

ANIMAL

# Changes in growth performance, carcass characteristics, and meat properties of Hanwoo steers according to supplementation of composite feed additive

Jun-Sang Ahn<sup>1,†</sup>, Jong-Suh Shin<sup>2,†</sup>, Chang-Woo Lee<sup>3</sup>, Wook-Jin Choi<sup>2</sup>, Min-Ji Kim<sup>2</sup>, Jang-Gun Choi<sup>2</sup>, Gi-Hwal Son<sup>2</sup>, Sun-Six Chang<sup>1</sup>, Eung-Gi Kwon<sup>1</sup>, Byung-Ki Park<sup>4,\*</sup>

<sup>1</sup>Hanwoo Research Institute, National Institute of Animal Science, RDA, Pyeongchang 25340, Korea

<sup>2</sup>Division of Animal Resource Science, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

<sup>3</sup>Gangwon Livestock Technology Research Institute, Hoengseong 25266, Korea

<sup>4</sup>Nonghyup Feed Co., LTD., Seoul 05398, Korea

\*Corresponding author: [animalpark@hanmail.net](mailto:animalpark@hanmail.net)

†These authors contributed equally to this work as the first authors

## Abstract

This study was conducted to evaluate the effects of a composite feed additive (CFA) consisting of vitamin C, vitamin E, selenium, and choline on growth performance, carcass characteristics, and meat properties of Hanwoo steers. Twenty-two late fattening steers were randomly assigned to one of two dietary groups, control (commercial concentrate + rice straw) and treatment (commercial concentrate + rice straw + 50 g of CFA). Average daily gain (ADG) was 4.0% higher in treatment than that in control; however, there was no statistically significant difference. The supplementation of CFA had no effect on overall yield or quality traits of carcass. CFA had no effect on chemical composition, water holding capacity, shear force, cooking loss, or myoglobin values in *longissimus* muscle; however, the content of  $\alpha$ -tocopherol was increased by supplementation of CFA ( $p < 0.01$ ). The contents of  $\alpha$ -linolenic acid and n-3 fatty acids were higher in treatment group than in control ( $p < 0.01$ ). The ratio of n-6/n-3 fatty acids was decreased by supplementation of CFA ( $p < 0.01$ ). The supplementation of CFA had no effect on pH or thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) values in *longissimus* muscle (raw); however, TBARS (cooked) values were lower in treatment group than in control during refrigerated storage ( $p < 0.01$ ). Thus, the results indicate that the supplementation of CFA (vitamin C + vitamin E + selenium + choline) had some positive effects on the increase in  $\alpha$ -tocopherol and n-3 fatty in *longissimus muscle*, without any negative effect on growth performance or carcass characteristics of late fattening Hanwoo steers.

**Keywords:** carcass characteristics, Hanwoo steers, n-3 fatty acid, TBARS (thiobarbituric acid reactive substances),  $\alpha$ -tocopherol



## OPEN ACCESS

**Citation:** Ahn JS, Shin JS, Lee CW, Choi WJ, Kim MJ, Choi JG, Son GH, Chang SS, Kwon EG, Park BK. 2019. Changes in growth performance, carcass characteristics, and meat properties of Hanwoo steers according to supplementation of composite feed additive. Korean Journal of Agricultural Science. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20180070>

**DOI:** <https://doi.org/10.7744/kjoas.20180070>

**Received:** May 29, 2018

**Revised:** September 5, 2018

**Accepted:** September 19, 2018

**Copyright:** © 2019 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

비육후기는 한우의 육질이 완성되는 중요한 시기이지만, 장기간의 비육으로 인한 스트레스 증가, 반추위 및 간 기능 저하로 생산성의 감소현상이 나타날 수 있다. 특히, 여름철에 발생하는 고온 스트레스는 체온, 호흡수, 대사, 행동, 호르몬 및 에너지 요구량 변화 등과 같은 반추동물의 생리적 및 영양적 기능에 좋지 않은 영향을 미치며(Collier et al., 1982; Coppock et al., 1982; West, 2003), 반추위 운동성, 사료섭취량, 일당증체량 및 번식 효율 등의 감소를 초래하여(Colditz and Kellaway, 1972; Nonaka et al., 2008) 반추가축의 건강, 생산성 및 농가의 수익에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위한 방안으로 시설환경의 개선(Mader and Davis, 2004), 사료 첨가제 사용(Kim, 2016) 및 유지요구량 변화(Choi, 2018) 등과 관련된 연구가 진행되어왔으며, 최근에는 소고기의 품질, 안전성 및 기능성을 중시하는 소비자의 선택 기준 변화(Kim, 2011)에 대응하고 비육우의 생산성 향상을 목적으로 천연 물질을 활용한 기능성 첨가제에 대한 관심이 증가되고 있다.

다양한 천연 물질 중에서 비타민 C는 골격세포 및 연조직 등의 물질을 형성하고 유지하는데 관여하는 수용성 항산화제(Sandell and Daniel, 1988; McDowell, 1989)로서 비타민 E와 함께 급여하면 강력한 항산화 효과를 나타내며(Tappel et al., 1961), 육색의 보존(Wheeler et al., 1996), 지방세포 분화(Torii, 1995), 육질 개선(Yano et al., 2000) 및 고온스트레스 저감에 효과가 있는 것으로 알려져 왔다. 한편, 비타민 E는 세포막의 불포화지방산을 활성산소로부터 보호하는 항산화제이며(Buckley et al., 1995; Liu et al., 1995), 비육우의 증체 및 사료요구율에 대한 개선 효과(Pehrson et al., 1991)와 등심의 지방산화 억제, 육색 안정 및 육즙 보존에 대한 효과(Kim, 2004)가 있는 것으로 보고되어 왔다.

셀레늄은 필수 미량원소이며(Schwarz and Foltz, 1957), 유기태 셀레늄은 반추위를 우회하여 소장에서 흡수될 뿐만 아니라 생물학적인 이용성이 뛰어나 조직에 효과적으로 축적되는 것으로 보고되어 왔다(Mahan, 1999). 또한 셀레늄은 유해 중금속의 해독(Rayman, 2000), 세포에서 산화환원 조절(Allan et al., 1999) 및 단백질 합성(Tapiero et al., 2003)에 관여하며, 번식관련 질병 및 면역반응에도 중요한 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Harrison et al., 1984; Holben and Smith, 1999). 한편, 콜린은 세포막의 완전성, 지질 소화 및 수송에 관여하며(Bindel et al., 2005), acetylcholine 및 methionine의 합성과정에서 전구체로 이용될 뿐만 아니라 간 기능 회복 및 건강에도 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Zeisel et al., 1991; Zeisel and Blusztajn, 1994). 콜린이 결핍된 식이를 지속할 경우 성장지연, 지방간, 간 손상 및 간 경변이 유발되며(Newbeme and Rogers, 1986; Buchman et al., 1992), ALT (alanine aminotransferase)활성이 증가되는 것으로 보고된 바 있다(Zeisel et al., 1991).

비육우의 생산성 향상과 경제성을 고려하여 인공합성물이 단독 혹은 혼합 제제로 사용되고 있지만, 활성 저하 및 반추위 미생물에 의한 분해로 인해 적용효과가 뚜렷하지 않으며, 연구결과에 대한 일관성도 결여되어 있다. 다양한 기능성 물질들을 천연 상태로 추출한 후 반추위에서 by-pass 될 수 있도록 제조하여 급여할 경우 반추위 미생물에 의한 분해를 비교적 적게 받을 수 있으며, 가축의 체내에서 보다 효과적으로 이용될 수 있을 것으로 생각되지만, 비육후기 거세한우를 대상으로 진행된 연구결과는 찾아보기 힘들다.

따라서 본 연구는 코팅 처리된 천연 비타민 C, 천연 비타민 E, 유기태 셀레늄 및 천연 콜린의 복합 첨가제 급여가 여름철 비육후기 거세한우의 더위 스트레스 저감(비타민 C, 비타민 E 및 셀레늄) 및 간 기능 개선(콜린)을 통한 증체, 도체 및 육질 특성에 미치는 영향을 규명하여 기능성 첨가제 활용을 위한 기초자료를 제공하기 위해 수행되었다.

## Materials and Methods

### 시험장소, 공시동물 및 시험기간

본 연구는 강원도 횡성군에 소재한 강원도 축산기술연구소에서 28개월령 비육후기 거세한우 22두(평균체중 728.1 ±

69.2 kg)를 공시하여 2017년 7월부터 10월까지 약 3개월간 수행하였다.

## 시험설계, 시험사료 및 사양관리

시험구 배치는 시판 배합사료 + 볏짚을 급여하는 대조구(Control)와 시판 배합사료 + 볏짚 + 복합 첨가제(50 g/두/일)를 급여하는 처리구(Treatment)의 2처리로 하였다. 복합 첨가제는 1 kg 당 비타민 C (2,000,000 IU), 비타민 E (200,000 IU), 유기태 셀레늄(500 ppm), 콜린(40 g) 및 부형제인 말분(650 g)으로 구성되었으며, 비타민(C 및 E)과 콜린은 식물성 유지로 제조된 보호지방을 이용하여 코팅처리(팜유와 칼슘의 혼합반응)된 제품을 사용하였다.

배합사료(Ansimae Hanwoo Gold Marbling, Nonghyup Feed Co., LTD., Seoul, Korea)는 1일 2회(오전 8시 및 오후 5시)로 구분하여 4.5 kg (건물 기준)씩 정량 급여하였으며, 볏짚은 1.5 kg (건물 기준) 수준으로 급여하였다. 물은 항상 자유롭게 이용할 수 있도록 하였으며, 기타 사양관리는 강원도 축산기술연구소의 관행에 따랐다. 배합사료 및 볏짚의 화학적 조성은 Table 1과 같다.

## 조사항목 및 분석방법

### 일반성분분석

시험사료의 일반성분은 AOAC (2005) 방법에 준하여 분석하였으며, neutral detergent fiber (NDF) 및 acid detergent fiber (ADF)는 filter bag (Ankom F57, Ankom Technology, USA)을 이용하여 Van Soest et al. (1991) 방법에 준하여 분석하였다.

### 건물섭취량, 일당증체량 및 사료요구율

사료섭취량은 오전 사료 급여전에 pen (5 m × 10 m) 단위로 배합사료 및 조사료의 잔량을 조사하여 급여량과의 차이로 계산하였으며, 일당증체량은 시험 개시 및 종료시 체중과 사양일수에 근거하여 산출하였다. 사료요구율은 건물섭취량과 일당증체량을 이용하여 계산하였다.

### 도체평가 및 등심의 이화학적 성분

도체조사는 사양시험 종료 후 모든 공시축을 축산물공판장에 출하하여 도축 후, 0°C에서 18-24 시간 동안 도체를 현수 시킨 후 육량판정 요인(도체중, 등지방두께 및 배최장근단면적)과 육질판정 요인(근내지방도, 육색, 지방색, 조직감 및 성 속도)을 축산물 등급판정 세부기준의 소도체 등급판정기준(MAFRA, 2017)에 따라 축산물등급판정사가 판정하였다.

등심의 이화학적 성분 분석을 위해 채취한 시료는 5°C 저온실에서 지방, 결체조직 및 혈액을 제거한 다음 도체품질 분석에 이용하였으며, 저장성 실험은 시료를 1 cm 두께로 절단한 후 polyethylene bag에 포장하여 4°C에서 9 일 동안 보관하면서 분석하였다.

등심의 일반성분은 AOAC (2005)의 방법에 따라 수분, 조단백질, 조지방 및 조회분 함량을 측정하였다. 보수력은

**Table 1.** Chemical composition of experimental diets (as-fed basis).

Items (%)	Concentrate	Rice straw
Dry matter	89.49 ± 0.89	51.67 ± 0.65
Crude protein	14.72 ± 0.04	1.66 ± 0.28
Ether extract	4.31 ± 0.43	1.04 ± 0.19
Crude ash	6.32 ± 0.21	3.75 ± 0.24
Crude fiber	9.59 ± 0.74	15.25 ± 0.95
NDF	31.67 ± 0.97	38.82 ± 0.88
ADF	11.70 ± 0.69	19.33 ± 0.86

NDF, neutral detergent fiber; ADF, acid detergent fiber.

Hofmann (1982)의 방법에 따라 여과지 압착법에 의해 측정하였다. Plexi-glass plate (11.5 cm × 5.0 cm × 0.8 cm) 위에 여과지(Whatman No. 1, Whatman Inc., UK)를 올려 놓고, 여과지 위에 등심 0.3 g을 올려놓은 다음 동일한 힘으로 나사를 조여 5분 동안 방치하였다. 이후 digitizing area-line meter (Super PLANIX-a, Tamaya Technics Inc., Japan)를 사용하여 총면적과 내부의 시료면적을 측정하여 다음 백분율(%)로 계산하였다.

가열감량을 분석하기 위해 등심을 약 1 cm 두께로 절단하여 polyethylene bag에 넣고 심부 온도가 75°C 이상에 도달할 때까지 항온수조에서 40 분간 가열한 다음 가열 전후의 중량 차이를 백분율로 계산하였다.

전단력은 등심을 polyethylene bag에 넣고 심부 온도가 75°C 이상에 도달할 때까지 항온수조에 가열 하고, 근섬유 방향과 직각이 되게 2 cm × 1 cm × 1 cm로 잘라 제조한 다음 Texture Analyzer TA 1 (LLOYD instruments, Fareham, UK)를 사용하여 측정하였다. Texture analyzer의 측정 조건은 load cell 50 kg, test speed 50 mm/min, trigger speed 50 mm/min 및 trigger forces 0.01 kgf 이었다.

Myoglobin 측정은 등심 4 g 취하여 냉장고에 보관중인 phosphate buffer (pH 6.8, ionic strength 0.04)를 25 mL 넣은 다음 5,400 × g에서 30 초간 균질화 시켜 1시간 방냉시킨 후 4°C 에서 2,080 × g으로 30분간 원심분리 시켰으며, 상등액을 여과지(Whatman No. 1, Whatman, UK)로 여과한 후 spectrophotometer의 572, 565, 545 및 525 nm에서 각각 흡광도를 측정하여 산출하였다.

α-tocopherol 측정을 위해 분쇄된 등심 1 g을 칭량해 10 mL test tube에 넣은 후 0.5% ethanolic ascorbic acid 5 mL와 60% potassium hydroxide 1 mL를 첨가하고 질소가스를 넣고 뚜껑을 닫았다. 이를 중탕해 끓인 후 매 5분 마다 흔들어 주면서 20 분 동안 끓인 후 약 30°C까지 냉각시켰다. 다시 2 mL 증류수를 가한 후 잘 흔들어 섞고 3 mL hexane을 가하여 40초 동안 강하게 흔든 후 1,250 × g에서 30분간 원심분리 하였다. 이후 상등액 2 mL를 취하여 40°C 에서 질소가스로 농축·건조시킨 후 얼음물에서 냉각시킨 다음 acetone 20 μL를 첨가하여 vortexing 한 후 HPLC를 이용하여 분석하였다.

등심의 지방산 조성은 Folch의 방법(Folch et al., 1957)에 준하여 30 mL의 튜브에 동결건조 시킨 시료를 0.5 g 칭량 후 chloroform-methanol (2 : 1) 용액 20 mL와 0.88% NaCl 용액 5 mL를 각각 첨가하여 5분간 shaking시킨 후에 4°C 인큐베이터에서 36 시간 방치하였다. 이후 원심분리(3,000 × g, 4°C, 30분)를 통해 분리된 하층액을 25 mL 튜브에 옮겨 질소가스로 유기용매를 날린 후 0.5 N methanolic NaOH 1 mL를 가하고 15분간 가열 후 냉각시켰다. 다시 14% BF<sub>3</sub>-methanol 2 mL를 가하여 15분간 가열 후 냉각시킨 다음 1 mL heptane과 2 mL 포화 NaCl 용액을 가하고, 튜브를 shaking 한 후 40분 이상 실온 방치하였다. 그 후 상층액을 미세 피펫으로 취하여 vial에 옮겨 gas chromatography (Shimadzu-17A, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 이용하여 지방산을 분석하였다.

Deoxymyoglobin (DeoxyMb), oxymyoglobin (OxyMb) 및 metmyoglobin (MetMb) 측정은 Krzywicki (1979)의 방법을 이용하여 시료를 식품 포장용 선상 저밀도 폴리에틸렌 랩(Oxygen transmission rate: 35,273 cc/m<sup>2</sup> · 24 hr · atm, 0.01 mm thickness, 3M Co., Korea)으로 포장한 다음 473, 525, 572 및 730 nm (UV-240 IPC, Shimadzu Corp, Kyoto, Japan)에서 반사율을 측정하여 Demos et al. (1996)에 의해 MetMb의 백분율(%)을 산출하였다. OxyMb에 의한 적색 강도의 지표인 R630-R580 (26)는 630 nm와 580 nm에서의 반사율을 뺀 값으로 산출하였으며, DeoxyMb는 100에서 OxyMb과 MetMb를 공제한 값으로 산출하였다.

육색은 색차계(Colormeter CR-300, Minolta Co., Osaka, Japan)를 이용하여 등심의 표면육색을 측정하였다. L\* (Lightness, 명도), a\* (Redness, 적색도) 및 b\* (Yellowness, 황색도)의 색채 값을 동일한 방법으로 반복 측정하여 평균값을 나타내었다. 이때 표준 백판은 Y값이 93.60, x값이 0.3134, y값이 0.3194였다.

등심의 pH는 시료 10 g에 90 mL 증류수를 가하고 homogenizer (PolyTron PT-2500 E, Kinematica, Lucerne, Switzerland)을 이용하여 균질화한 후, pH meter (Orion 230A, Thermo Fisher Scientific, Inc., Waltham, MA, USA)로 측정하였다.

등심의 thiobarbituric acid reactive substances (TBARS)는 Witte et al. (1970)의 방법을 이용하여 측정하였다. 시료 10 g에 20%

의 trichloro-acetic acid (in 2 M phosphoric acid) 25 mL을 첨가하고, 30초 동안 homogenizer (PolyTron PT-2500E, Kinematica, Lucerne, Switzerland)를 이용하여 균질화 시켰다. 균질액의 총 양이 50 mL이 되도록 증류수로 희석한 뒤, 원심분리(1,250 × g, 4°C, 10 min)하였다. 원심 분리 후 상등액을 여과지(Whatman No. 1)를 이용하여 여과하였다. 여과액 5 mL와 0.005 mM 2-thiobarbituric acid 5 mL을 넣어 실온에서 15시간 방치한 후, UV/VIS spectrophotometer (Molecular Device, M2e, Sunnyvale, CA, USA)를 이용하여 530 nm에서 측정하고, 다음의 식에 의하여 계산하였다. TBARS (mg of malondialdehyde [MDA]/kg sample) = (시료 흡광도 - 공시료 흡광도) × 5.2.

## 통계분석

본 실험의 모든 결과는 SAS 9.3 program (SAS Institute, Cary, USA)을 이용한 T-test 검정으로 두 집단 간의 평균을 비교하여 5% 수준에서 유의성 검정을 실시하였다.

## Results and Discussion

기능성 복합 첨가제의 급여가 비육후기 거세한우의 사양성적에 미치는 영향은 Table 2와 같다. 총 증체량 및 일당증체량은 대조구에 비해 처리구에서 4.0% 이상 높은 경향을 보였지만, 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 사료섭취량도 처리구 간 유의적인 차이가 없었으며, 사료요구율은 대조구 및 처리구 각각 14.69 및 14.08로 대조구에 비해 처리구에서 개선되는 경향을 보였지만, 유의적인 차이는 없었다. Park (2003)은 1일 1-3 g의 반추위 우회 비타민 C 급여에 따른 비육후기 거세한우의 일당증체량 차이는 없었다고 보고하였다. 또한 비타민 C 및 E 급여로 인해 24개월령 비육후기 거세한우의 일당증체량이 대조구에 비해 처리구에서 개선되는 경향을 보였지만, 통계적으로 유의적인 차이는 없었다는 Kim (2004)의 연구 결과도 본 연구의 결과를 뒷받침하고 있는 것으로 판단된다.

한편, Mir et al. (2003)과 Rivera et al. (2002)은 비타민 E의 급여에 따른 비육우의 증체량 차이는 없었다고 본 연구와 유사한 결과를 보고하였다. 그러나 Pehrson et al. (1991)은 비타민 E 급여로 비육우의 증체량이 유의적으로 증가되었다고 하였으며, Hill and Williams (1993)는 증체량 개선을 위한 비타민 E 급여량은 100-200 IU/두/일로 보고한 바 있다. 따라서 비타민 E의 급여가 비육우의 증체량에 미치는 효과는 일관성이 결여되어 있는 것으로 생각되는데, 이는 비타민 E의 종류, 급여량 및 급여기간 등의 차이에서 비롯된 것으로 판단된다.

Pinotti et al. (2009)은 5 g/두/일 콜린 급여로 인해 시험 중간(89일)에는 체중 및 일당증체량이 유의적으로 개선되는 결과를 보였지만, 시험 종료시(122일)에는 일당증체량의 처리구 차이가 없었다고 본 연구와 유사한 결과를 보고한 바 있다. 한편, Kim (2013)은 셀레늄 강화 청보리 급여 연구에서 셀레늄 함량에 따른 증체량, 사료섭취량 및 사료효율의 처리구 차이

**Table 2.** Effect of composite feed additive on growth performance of Hanwoo steers.

Items	Control	Treatment	Pr >   t
Body weight (kg)			
Initial BW	727.45 ± 76.66	728.64 ± 64.54	0.95
Final BW	783.64 ± 77.48	787.09 ± 73.11	0.88
Total gain (kg)	56.18 ± 20.72	58.45 ± 18.02	0.79
Average daily gain	0.72 ± 0.20	0.75 ± 0.23	0.79
Feed intake (DM kg/day/head)	9.68 ± 0.07	9.77 ± 0.15	-
Concentrate	8.27 ± 0.09	8.30 ± 0.11	-
Rice straw	1.41 ± 0.02	1.47 ± 0.05	-
Feed conversion ratio <sup>z</sup>	14.69 ± 6.40	14.08 ± 3.91	0.43

BW, body weight; DM, dry matter.

<sup>z</sup>Feed conversion ratio: average feed intake/average daily gain

는 없었다고 보고하였다.

따라서 본 연구에서 복합 첨가제에 사용된 비타민 C, 비타민 E, 유기태 셀레늄 및 콜린은 비육우에서 이들 물질을 개별적으로 적용했던 선행 연구결과들과 마찬가지로 거세한우의 비육후기 증체량에 미치는 영향은 적은 것으로 판단된다. 또한 시험설계 과정에서 기대했던 비육후기 거세한우의 증체량에 대한 이들 첨가 물질들간의 상호작용 효과는 없었던 것으로 판단되며, 향후 거세한우의 성장단계(육성기, 비육전기 및 비육후기), 첨가수준 및 급여기간을 달리한 후속 연구가 필요할 것으로 생각된다.

기능성 복합 첨가제 급여가 비육후기 거세한우의 도체성적 미치는 영향은 Table 3과 같다. 처리간 도체중, 배최장근단면적, 등지방두께 및 육량지수는 비슷한 수준이었으며, 이로 인해 육량등급의 차이도 없었다. 근내지방도, 육색, 지방색, 조직감, 성숙도 및 육질등급의 처리간 차이도 나타나지 않았다. 육색은 대조구에 비해 처리구에서 밝아지는 경향을 보였지만, 통계적인 유의차이는 없었다. 비타민 C는 지방전구세포의 glycerol-3-phosphate dehydrogenase (GPDH) 활성, 단백질 합성 및 지방세포 분화 증가(Kawada et al., 1990)에 따른 근내지방도 개선 효과가 있는 것으로 보고되었으며(Oohashi et al., 1999), 비타민 E의 경우에도 근내지방도 및 육질 개선효과가 있는 것으로 보고된 바 있다(Liu et al., 1995). 하지만 본 연구에서 이전의 연구결과와는 달리 비타민 C 및 E의 급여에 따른 근내지방도(육질 등급)의 개선효과가 없었던 원인은 급여 목적, 급여 시기 및 급여량 차이 때문인 것으로 판단된다. 본 연구에서 비타민 C의 급여 목적은 거세한우의 비육후기 동안 여름철 고온스트레스 저감 및 항산화 효과를 목적으로 하였으며, 지방세포 분화를 통한 근내지방도 증가가 목적일 경우 비타민 C의 급여는 비육후기가 아니라 이전의 연구들처럼 육성기-비육전기에 이루어져야 할 것으로 판단된다. Chu and Ahn (2004)은 출하전 3개월 동안 거세한우에 비타민 C와 E의 단독 및 혼합 급여가 근내지방도와 육질등급에 미치는 영향

**Table 3.** Effect of composite feed additive on carcass characteristics of Hanwoo steers.

Items	Control	Treatment	Pr>   t
Yield traits <sup>w</sup>			
Carcass weight (kg)	449.45 ± 44.76	451.55 ± 48.66	0.92
Rib eye area (cm <sup>2</sup> )	90.09 ± 8.12	88.82 ± 7.85	0.71
Back fat thickness (mm)	10.18 ± 3.28	9.73 ± 1.42	0.68
Yield index	65.97 ± 3.03	66.04 ± 1.54	0.95
Yield grade score <sup>x</sup>	2.45 ± 0.69	2.36 ± 0.50	0.73
Yield grade (A : B : C)	6 : 4 : 1	4 : 7 : 0	-
Quality traits <sup>y</sup>			
Marbling score	4.45 ± 1.63	4.27 ± 1.90	0.81
Meat color	3.36 ± 0.81	3.00 ± 0.00	0.15
Fat color	4.45 ± 0.93	4.91 ± 0.54	0.18
Texture	1.36 ± 0.50	1.45 ± 0.52	0.68
Maturity	2.82 ± 0.60	2.82 ± 0.40	0.99
Quality grade score <sup>z</sup>	3.00 ± 0.89	2.91 ± 0.83	0.81
Quality grade (1 <sup>++</sup> : 1 <sup>+</sup> : 1 : 2 : 3)	0 : 4 : 3 : 4 : 0	0 : 3 : 4 : 4 : 0	-
Carcass Traits (won/kg)	17321.73 ± 1957.98	17103.00 ± 1829.49	0.79

<sup>w</sup>Area was measured from *longissimus* muscle taken at 13<sup>th</sup> rib and back fat thickness was also measured at 13<sup>th</sup> rib; Yield index was calculated using the following equation: [68.184 - (0.625 × back fat thickness (mm)) + (0.130 × rib eye area (cm<sup>2</sup>)) - (0.024 × dressed weight amount (kg))] + 3.23; Carcass yield grades from C (low yield) to A (high yield).

<sup>x</sup>A grade = 3, B grade = 2, C grade = 1.

<sup>y</sup>Grading ranges are 1 to 9 for marbling score with higher numbers for better quality (1 = devoid, 9 = abundant); meat color (1 = bright red, 7 = dark red); fat color (1 = creamy white, 7 = yellowish); texture (1 = soft, 3 = firm); quality grades from 3 (low quality) to 1<sup>++</sup> (very high quality).

<sup>z</sup>1<sup>++</sup> grade = 5, 1<sup>+</sup> grade = 4, 1 grade = 3, 2 grade = 2, 3 grade = 1.

은 적었다고 하여 본 연구와 유사한 결과를 보고한 바 있다. 이외에도 비타민 C (Hwang, 2012) 및 비타민 E (Secrist et al., 1997; Rivera et al., 2002)의 급여가 육질에 미치는 영향은 없었다는 연구결과들도 본 연구의 결과를 뒷받침하고 있는 것으로 판단된다.

한편, 이전의 연구(Lee et al., 2004; Jin et al., 2009)에서 유기태 셀레늄의 급여가 도체 및 육질 특성에 미치는 영향은 없었다고 본 연구와 유사한 결과들이 보고된바 있다. 또한 반추위 보호 콜린의 첨가가 비육후기 비육우의 근내지방도 및 도체 특성에 미치는 영향은 없었다는 이전의 연구결과(Bindel et al., 1998; Bindel et al., 2000)도 본 연구의 결과를 뒷받침하고 있는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구의 결과에서 복합 첨가제의 급여가 비육후기 거세한우의 도체특성에 미치는 영향은 선행 연구결과들과 마찬가지로 적은 것으로 생각되지만, 급여 기간(육성기 혹은 비육전기) 혹은 급여량을 달리한 추가적인 연구도 필요할 것으로 판단된다.

기능성 복합 첨가제의 급여가 거세한우 등심의 육질 특성에 미치는 영향은 Table 4와 같다. 복합 첨가제의 급여가 거세한우 등심의 일반 성분(수분, 조지방, 조단백질 및 조회분)에 미치는 영향은 없었다. 마찬가지로 등심의 보수력, 가열감량 및 전단력에 대한 복합 첨가제의 영향은 없었으며, 색소 단백질(myoglobin)은 대조구에 비해 처리구에서 약간 높은 경향을 보였지만, 통계적인 유의차이는 없었다. 대조구 및 처리구의  $\alpha$ -tocopherol 함량은 각각 1.63 및 3.23 mg/kg으로 나타나 대조구에 비해 처리구에서 약 98.2% 높은 결과를 보였다( $p < 0.01$ ).

일반적으로 도체의 일반 성분(Cameron et al., 1994; Lee et al., 2004)을 비롯하여 보수력(Lee et al., 2010b), 가열감량(Lee et al., 2010a) 및 전단력(Moon and Jung, 2012) 등은 주로 근내지방도와 육질등급의 영향을 받는 것으로 알려져 있으며, 본 연구에서 처리간 등심의 일반 성분 및 품질 특성이 비슷하게 나타난 원인은 처리간 근내지방도 및 육질등급의 차이가 없었기 때문인 것으로 판단된다(Table 3).

비타민 E는 D- $\alpha$ -tocopherol로 소장에서 흡수되어 운반단백질을 통해 조직으로 이송되며(Faustman et al., 1989), 1970년대부터 고기의  $\alpha$ -tocopherol 함량을 증가시키기 위한 연구가 진행되어 왔다(Webb et al., 1972; Asturp, 1973). 본 연구에서 복합 첨가제의 급여로  $\alpha$ -tocopherol 함량이 증가된 결과는 육우에서 비타민 E의 첨가로 인해 고기의  $\alpha$ -tocopherol 함량이 유의적으로 증가되었다는 이전의 연구결과들(Yang et al., 2002; Descalzo et al., 2005)과 유사한 것으로 판단된다. 따라서 본 연구의 결과에서 복합 첨가제의 급여가 등심의 일반성분, 보수력, 가열감량 및 전단력에 미치는 영향은 적었지만,  $\alpha$ -tocopherol 함량 증가를 통한 산화 안전성 및 육색 보존에는 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

기능성 복합 첨가제의 급여가 거세한우 등심의 지방산 조성에 미치는 영향은 Table 5와 같다. 본 연구에서 처리간 등심의 포화 및 불포화 지방산 함량의 차이는 없었지만,  $\alpha$ -linolenic acid ( $p < 0.01$ ) 및 총 n-3 지방산( $p < 0.02$ ) 비율은 대조구에 비해 처리구에서 높은 결과를 보였으며, 대조구에 비해 처리구에서 n-6/n-3 지방산 비율이 낮아지는 결과를 보였다( $p < 0.01$ ).

**Table 4.** Effects of composite feed additive on meat properties in *longissimus* muscle of Hanwoo steers.

Item	Control	Treatment	Pr>   t
Moisture (%)	67.03 $\pm$ 3.48	66.66 $\pm$ 4.02	0.82
Fat (%)	12.88 $\pm$ 3.98	11.97 $\pm$ 4.56	0.62
Protein (%)	20.44 $\pm$ 1.34	20.28 $\pm$ 1.77	0.81
Ash (%)	0.96 $\pm$ 0.05	0.99 $\pm$ 0.08	0.22
WHC (%)	53.30 $\pm$ 4.66	53.18 $\pm$ 4.28	0.95
Cooking loss (%)	31.71 $\pm$ 1.90	31.10 $\pm$ 3.44	0.61
Shear force (kgf)	5.41 $\pm$ 0.69	5.30 $\pm$ 1.20	0.79
Myoglobin (mg/g)	13.34 $\pm$ 1.36	14.08 $\pm$ 1.77	0.28
$\alpha$ -tocopherol (mg/kg)	1.63 $\pm$ 0.33b	3.23 $\pm$ 0.27a	0.01

WHC, water holding capacity.

a, b: Means followed by different letters in the same row are significantly different ( $p < 0.05$ ).

일반적으로 소 도체의 지방산 조성은 품종, 연령 및 사료의 종류 등에 따라 달라지며(Cho et al., 2005), 고기의 풍미와도 관계가 깊은 것으로 알려져 왔다(Moon, 2012). 본 연구에서 복합 첨가제의 급여로 인해  $\alpha$ -linolenic acid 비율이 증가되는 결과를 보였는데,  $\alpha$ -linolenic acid는 필수지방산으로 eicosapentaenoic acid (EPA) 및 docosahexaenoic acid (DHA)와 같은 오메가 3 지방산의 전구물질이며 (Goyens and Mensink, 2006),  $\alpha$ -linolenic acid 함량이 풍부한 사료원료의 공급을 통해 증가될 수 있지만(Dierking et al., 2010), 산화에 취약한 한 것으로 보고된 바 있다(He et al., 2012). 본 연구에서 복합 첨가제의 급여로  $\alpha$ -linolenic acid 비율이 증가된 원인은 항산화 효과(비타민 C, 비타민 E 및 유기태 셀레늄) 및 간기능 개선(콜린)에 따른 지방대사 활성화가  $\alpha$ -linolenic acid 비율 증가에 영향을 미친 것으로 생각되지만, 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

기능성 복합 첨가제 급여가 거세한우 등심의 저장기간 동안 색소 단백질 및 표면 육색소 변화에 미치는 영향은 Table 6 과 같다.

Deoxymyoglobin 비율은 저장 0, 3, 6 및 9일에 처리구에 비해 대조구가 낮은 값을 보였지만, 통계적인 유의차이는 없었다. Oxymyoglobin 비율은 전체 저장기간 동안 처리구에 비해 대조구에서 높았으며, metmyoglobin 농도는 대조구에 비해 처리구에서 증가되었지만 통계적인 차이는 없었다.

명도(L\*), 적색도(a\*) 및 황색도(b\*)는 저장 0일에 대조구에 비해 처리구에서 다소 낮았지만, 이후 처리에 관계없이 지속적으로 감소되었다. 또한, 저장 9일에 명도와 황색도는 처리간 유사한 수준인 반면에 적색도는 대조구에 비해 처리구에서 낮은 경향을 보였다.

Myoglobin는 deoxymyoglobin, oxymyoglobin 및 metmyoglobin 단계를 거쳐 산화되는데(Renerre, 1990), 본 연구에서도 저장기간이 증가될수록 deoxymyoglobin 및 oxymyoglobin 농도는 감소되는 반면에 metmyoglobin 농도는 증가되는 결과를 보여 처리에 관계없이 산화가 진행됨을 알 수 있었다.

비타민 C, 비타민 E 및 셀레늄은 강력한 항산화제로 인지질의 산화 억제와 활성 산소에 대한 산화 안정화를 통해 육색

**Table 5.** Effects of composite feed additive on fatty acid composition in *longissimus* muscle of Hanwoo steers.

Items	Control	Treatment	Pr >   t
C14:0 (Myristic, %)	3.82 ± 0.56	3.85 ± 0.62	0.89
C16:0 (Palmitic, %)	29.32 ± 1.21	29.03 ± 0.90	0.53
C16:1n7 (Palmitoleic, %)	5.82 ± 0.81	5.39 ± 0.56	0.16
C18:0 (Stearic, %)	10.71 ± 0.75	11.14 ± 0.78	0.21
C18:1n9 (Oleic, %)	47.87 ± 1.95	48.46 ± 1.39	0.43
C18:2n6 (Linoleic, %)	0.16 ± 0.03	0.15 ± 0.05	0.44
C18:3n6 ( $\gamma$ -linolenic, %)	1.87 ± 0.27	1.82 ± 0.21	0.62
C18:3n3 ( $\alpha$ -linolenic, %)	0.15 ± 0.03b	0.20 ± 0.04a	0.01
C20:4n6 (Arachidonic, %)	0.14 ± 0.03	0.14 ± 0.02	0.50
C20:5n3 (Eicosapentaenoic, %)	0.08 ± 0.03	0.08 ± 0.02	0.64
C22:4n6 (Docosapentaenoic, %)	0.05 ± 0.03	0.04 ± 0.01	0.14
SFA	43.84 ± 1.81	43.73 ± 1.05	0.86
MUFA	53.69 ± 1.65	53.85 ± 1.10	0.79
PUFA	2.46 ± 0.32	2.42 ± 0.19	0.69
n-3	0.23 ± 0.04b	0.27 ± 0.04a	0.02
n-6	2.23 ± 0.30	2.15 ± 0.18	0.41
n-6/n-3	9.86 ± 1.36a	8.20 ± 1.24b	0.01

SFA, saturated fatty acid; MUFA, mono-unsaturated fatty acid; PUFA, poly-unsaturated fatty acid.

a, b: Means followed by different letters in the same row are significantly different ( $p < 0.05$ ).



을 개선시키는 효과가 있는 것으로 보고되어 왔으며(Arnold et al., 1993; Djenane et al., 2002), 비타민 C 및 E 급여는 metmyoglobin 생성률 감소에 따른 갈색화 지연에 도움이 된다고 보고된 바 있다(Chu and Ahn, 2004). 본 연구에서 항산화 효과가 높은 비타민 C, 비타민 E 및 셀레늄의 복합 사용으로 인해 저장기간 동안 산화 안전성 효과를 기대하였지만, 기대와는 달리 뚜렷한 개선효과는 없었던 것으로 판단된다. Kim et al. (2002)의 연구에서 비타민 E 및 셀레늄을 급여한 한우 등심의 저장 7일차 metmyoglobin 함량은 29.27 - 40.63%로 보고한 바 있는데, 이는 본 연구의 9일차 함량인 26.62 - 28.53%에 비해서도 현저히 높은 수준인 것으로 판단된다. 이와 같은 결과로 판단했을 때, 저장성 시험과정에서 처리에 관계없이 등심의 보관상태가 양호하였기 때문에 복합 첨가제 급여에 따른 산화 방지효과가 적게 나타났던 것으로 생각되며, 표면 육색소 값이 9일 동안 크게 차이 나지 않았던 점도 이를 뒷받침 해주고 있는 것으로 판단된다. 그러나 복합 첨가제의 급여효과를 정확하게 검증하기 위해서는 산화가 일어나기 쉬운 조건 혹은 저장기간을 연장시킨 추가적인 조사가 필요할 것으로 사료된다.

가능성 복합 첨가제 급여가 거세한우 등심의 저장기간 동안 pH 및 TBARS 변화에 미치는 영향은 Table 7과 같다. 복합 첨가제의 급여가 등심의 pH 변화에 미치는 영향은 없었다. 또한 등심의 TBARS raw 값은 처리에 관계없이 저장 기간이 길어짐에 따라 증가되는 경향을 보였으며, 저장 3일 및 6일차에 대조구에 비해 처리구에서 개선되는 경향을 보였지만, 통계적인 유의차이는 없었다. 그러나 TBARS cooked 값은 조리 2시간부터 48시간까지 대조구에 비해 처리구에서 낮은 결과를 보였으며( $p < 0.01$ ), 조리 2시간 대비 최대 증가 수치도 대조구에 비해 처리구에서 낮게 나타났다(0.40 vs 0.34 mg MDA/kg).

본 연구에서 등심의 TBARS Raw 값은 처리에 관계없이 저장기간이 길어짐에 따라 증가되는 일반적인 패턴을 보였으

**Table 6.** Effects of composite feed additive on myoglobin forms (%) and CIE color values in *longissimus* muscle of Hanwoo steers during refrigerated storage.

Items	Storage days	Control	Treatment	Pr >   t
Deoxymyoglobin (%)	0	20.04 ± 2.23	22.74 ± 4.15	0.07
	3	16.56 ± 2.58	17.47 ± 3.39	0.28
	6	17.12 ± 3.48	17.90 ± 3.67	0.07
	9	15.44 ± 2.23	16.09 ± 2.90	0.49
Oxymyoglobin (%)	0	67.36 ± 3.36	64.75 ± 7.07	0.61
	3	60.18 ± 3.06	58.58 ± 5.60	0.56
	6	56.97 ± 6.62	55.72 ± 7.05	0.29
	9	57.94 ± 4.85	55.38 ± 5.76	0.42
Metmyoglobin (%)	0	12.60 ± 3.75	12.51 ± 4.16	0.96
	3	23.25 ± 4.23	23.94 ± 3.96	0.70
	6	25.91 ± 6.49	26.38 ± 5.82	0.86
	9	26.62 ± 6.29	28.53 ± 5.30	0.45
Lightness (L*)	0	37.45 ± 2.31	36.67 ± 1.67	0.38
	3	36.70 ± 2.14	35.58 ± 1.53	0.17
	6	36.72 ± 2.05	36.81 ± 2.04	0.92
	9	36.42 ± 1.75	36.19 ± 1.44	0.74
Redness (a*)	0	23.75 ± 1.67	23.06 ± 1.13	0.27
	3	22.47 ± 1.67	22.29 ± 1.91	0.82
	6	21.92 ± 1.78	22.17 ± 1.83	0.75
	9	22.09 ± 1.75	21.07 ± 1.71	0.18
Yellowness (b*)	0	13.66 ± 3.28	12.25 ± 0.74	0.19
	3	11.64 ± 0.95	11.58 ± 1.05	0.89
	6	11.33 ± 1.03	11.50 ± 1.28	0.74
	9	11.53 ± 0.89	11.03 ± 1.20	0.28

CIE, Commission Internationale de l'Eclairage.

**Table 7.** Effects of composite feed additive on pH and TBARS values in *longissimus* muscle of Hanwoo steers during refrigerated storage.

Items	Storage times	Control	Treatment	Pr >   t
pH	0 d	5.52 ± 0.05	5.55 ± 0.05	0.21
	3 d	5.46 ± 0.05	5.47 ± 0.06	0.61
	6 d	5.43 ± 0.06	5.45 ± 0.04	0.36
	9 d	5.43 ± 0.07	5.47 ± 0.05	0.14
	TBARS <sup>z</sup> Raw (mg MDA/kg)	0 d	0.24 ± 0.04	0.23 ± 0.02
TBARS <sup>z</sup> Raw (mg MDA/kg)	3 d	0.31 ± 0.05	0.29 ± 0.03	0.26
	6 d	0.38 ± 0.04	0.34 ± 0.06	0.08
	9 d	0.43 ± 0.08	0.42 ± 0.07	0.88
	TBARS Cooked (mg MDA/kg)	2 h	0.85 ± 0.10a	0.60 ± 0.09b
TBARS Cooked (mg MDA/kg)	9 h	1.03 ± 0.13a	0.66 ± 0.09b	0.01
	24 h	1.11 ± 0.16a	0.75 ± 0.11b	0.01
	30 h	1.25 ± 0.12a	0.94 ± 0.14b	0.01
	48 h	1.16 ± 0.17a	0.82 ± 0.12b	0.01

TBARS, 2-thiobarbituric acid reactive substances; MDA, malondialdehyde.

a, b: Means followed by different letters in the same row are significantly different ( $p < 0.05$ ).

며(Witte et al., 1970), 본 연구의 결과는 등심의 TBARS 값이 비타민 C와 E의 처리(Mitsumoto et al., 1991; Gatellier et al., 2001) 및 셀레늄 단독 혹은 셀레늄과 비타민 E의 혼합 급여(Kim et al., 2002)로 감소되었다는 이전의 연구결과들과 차이를 보였던 것으로 판단된다. 그러나 상대적으로 산화율이 높은 조건의 TBARS cooked 값은 복합 첨가제의 급여로 개선되는 결과를 보여 TBARS 값은 등심의 저장 또는 조리 여부 등의 조건에 따라서도 달라질 수 있는 것으로 판단된다. 따라서 앞서 언급한 바와 같이 저장관리가 양호한 상태에서 복합첨가제 급여가 등심의 산화안정성에 미치는 영향은 적었지만, 산화율이 높은 조건에서는 지방산패의 저하 혹은 방지를 통해 등심의 품질 개선 및 안전성에 긍정적인 영향을 미칠 수도 있을 것으로 판단된다.

## Conclusion

본 연구에서 코팅 처리된 천연 비타민 C, 천연 비타민 E, 유기태 셀레늄 및 천연 콜린으로 구성된 복합 첨가제의 급여가 비육후기 거세한우의 일당증체량, 사료섭취량 및 도체특성에 미치는 영향은 없었다. 또한 복합 첨가제의 급여가 등심의 일반 성분, 보수력, 가열감량, 전단력 및 육색소에 대한 영향은 없었지만, 등심의  $\alpha$ -tocopherol,  $\alpha$ -linolenic acid, n-3 지방산, n-6/n-3 비율 및 TBARS cooked에는 긍정적인 영향을 미쳤다.

따라서 천연 비타민 C, 천연 비타민 E, 유기태 셀레늄 및 천연 콜린으로 구성된 복합 첨가제의 급여는 비육후기 거세한우의 증체 및 도체등급에 대한 부의 영향 없이 등심의  $\alpha$ -tocopherol 및 n-3 지방산 증가에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

## Acknowledgements

본 연구는 2018년도 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원 과정 지원사업에 의해 이루어졌고, 또한 여기에 사용된 자료의 수집은 강원도 축산기술연구소에서 수행된 과제와 농촌진흥청 연구사업(과제번호 PJ0137482018)에 의해 이루어졌기에 이에 감사 드립니다.

## Authors Information

Jun Sang Ahn, <https://orcid.org/0000-0001-7362-9270>

## References

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2005. Official methods of analysis, 18th ed. AOAC, Arlington, USA.
- Allan CB, Lacourciere GM, Stadtman TC. 1999. Responsiveness of selenoproteins to dietary selenium. *Annual Review of Nutrition* 19:1-16.
- Arnold RN, Arp SC, Scheller KK, Williams SN, Schaefer DM. 1993. Tissue equilibration and subcellular distribution of vitamin E relative to myoglobin and lipid oxidation in displayed beef. *Journal of Animal Science* 71:105-118.
- Asturp HN. 1973. Vitamin E and the quality of pork. *Acta Agriculturae Scandinavica Supplementum* 19:152-157.
- Bindel DJ, Drouillard JS, Titgemeyer EC, Wessels RH, Löest CA. 2000. Effects of ruminally protected choline and dietary fat on performance and blood metabolites of finishing heifers. *Journal of Animal Science* 78:2497-2503.
- Bindel DJ, Titgemeyer EC, Drouillard JS, Ives SE. 2005. Effects of choline on blood metabolites associated with lipid metabolism and digestion by steers fed corn-based diets 1. *Journal of Animal Science* 83:1625-1632.
- Bindel DJ, Wessels RH, Loest CA, Drouillard JS, Titgemeyer EC. 1998. Effects of ruminally protected choline and dietary fat on performance of finishing heifers. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports* 1:68-70.
- Buchman AL, Dubin M, Jenden D, Moukarzel A, Roch MH, Rice K, Eckhert CD. 1992. Lecithin increases plasma free choline and decreases hepatic steatosis in long-term total parenteral nutrition patients. *Gastroenterology* 102:1363-1370.
- Buckley DJ, Morrissey PA, Gray JI. 1995. Influence of dietary vitamin E on the oxidative stability and quality of pig meat. *Journal of Animal Science* 73:3122-3130.
- Cameron PJ, Zembayashi M, Lunt DK, Mitsuhashi T, Mitsumoto M, Ozawa S, Smith SB. 1994. Relationship between Japanese beef marbling standard and intramuscular lipid in the *M. longissimus thoracis* of Japanese black and American Wagyu cattle. *Meat Science* 38:361-364.
- 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. [in Korean]
- Cho SH, Park BY, Kim JH, Hwang IH, Kim JH, Lee JM. 2005. Fatty acid profiles and sensory properties of longissimus dorsi, triceps brachii, and semimembranosus muscles from Korean Hanwoo and Australian Angus beef. *Asian-Australian Journal of Animal Science* 18:1786-1793.
- Chu GM, Ahn BH. 2004. Effects of dietary vitamin C and E on carcass grade and fatty acid composition of

- Hanwoo steers. *Journal of Animal Science and Technology* 46:387-396. [in Korean]
- Colditz PJ, Kellaway RC. 1972. The effect of diet and heat stress on feed intake, growth, and nitrogen metabolism in Friesian, F1 Brahman × Friesian, and Brahman heifers. *Australian Journal of Agricultural Research* 23:717-725.
- Collier RJ, Doelger SG, Head HH, Thatcher WW, Wilcox CJ. 1982. Effects of heat stress during pregnancy on maternal hormone concentrations, calf birth weight and postpartum milk yield of Holstein cows 1. *Journal of Animal Science* 54:309-319.
- Coppock CE, Grant PA, Portzer SJ, Charles DA, Escobosa A. 1982. Lactating dairy cow responses to dietary sodium, chloride, and bicarbonate during hot weather. *Journal of Dairy Science* 65:566-576.
- Demos BP, Gerrard DE, Mandigo RW, Gao X, Tan J. 1996. Mechanically recovered neck bone lean and ascorbic acid improve color stability of ground beef patties. *Journal of Food Science* 61:656-659.
- Descalzo AM, Insani EM, Biolatto A, Sancho AM, Garcia PT, Pensel NA, Josifovich JA. 2005. Influence of pasture or grain-based diets supplemented with vitamin E on antioxidant/oxidative balance of Argentine beef. *Meat Science* 70:35-44.
- Dierking RM, Kallenbach RL, Grun IU. 2010. Effect of forage species on fatty acid content and performance of pasture finished steers. *Meat Science* 85:597-605.
- Djenane D, Escalante AS, Beltran JA, Roncales P. 2002. Ability of  $\alpha$ -tocopherol, taurine and rosemary, in combination with vitamin C, to increase the oxidative stability of beef steaks packaged in modified atmosphere. *Food Chemistry* 76:407-415.
- Faustman C, Sun Q, Mancini R, Suman SP. 2010. Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. *Meat Science* 86:86-94.
- Faustman C, Cassens RG, Schaefer DM, Buege DR, Williams SN, Scheller KK. 1989. Improvement of pigment and lipid stability in Holstein steer beef by dietary supplementation of vitamin E. *Journal of Food Science* 54:858-862.
- Folch J, Lees M, Stanley GHS. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry* 226:497-509.
- Gatellier P, Hamelin C, Durand Y, Renner M. 2001. Effect of a dietary vitamin E supplementation on colour stability and lipid oxidation of air- and modified atmosphere packaged beef. *Meat Science* 59:133-140.
- Goyens PLL, Mensink RP. 2006. Effects of alpha-linolenic acid versus those of EPA/DHA on cardiovascular risk markers in healthy elderly subjects. *European Journal of Clinical Nutrition* 60:978-984.
- Harrison JH, Hancock DD, Conrad HR. 1984. Vitamin E and selenium for reproduction of the dairy cow. *Journal of Dairy Science* 67:123-132.
- Hofmann K. 1982. Neues über die bestimmung der wasserbindung des fleisches mit hilfe der filterpapierprebmethode. *Fleischwirtsch* 62:87-94.
- He ML, McAllister TA, Kastelic JP, Mir PS, Aalhus JL, Dugan MER, McKinnon JJ. 2012. Feeding flaxseed in grass hay and barley silage diets to beef cows increases alpha-linolenic acid and its biohydrogenation intermediates in subcutaneous fat. *Journal of Animal Science* 90:592-604.

- Hill GM, Williams SE. 1993. Vitamin E in beef nutrition and meat quality. In Minnesota Nutrition Conference Proceedings. pp. 197-212. University of Minnesota Extension Service Minneapolis, Minnesota, USA.
- Holben DH, Smith AM. 1999. The diverse role of selenium within selenoproteins: A review. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics* 99:836-843.
- Hwang SW. 2012. Effect of mixed additives of glucose, vitamin C and yeast culture on the carcass characteristics of Hanwoo steers. Master dissertation, Konkuk Univ., Seoul, Korea. [in Korean]
- Jin SK, Kim IS, Hur IC, Choi SY, Yu KO, Kim JG, Kang SN. 2009. Effect of feeding complex of wild chrysanthemum powder, probiotics and selenium on meat quality in finishing porks. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources* 29:114-120. [in Korean]
- Kawada T, Aoki N, Kamei Y, Maeshige K, Nishiu S, Sugimoto E. 1990. Comparative investigation of vitamins and their analogues on terminal differentiation from preadipocytes to adipocytes of 3T3-L1 cells. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* 96:323-326.
- Kim C. 2004. Effects of fat sources and vitamin C and E on weight gain and carcass characteristics of Hanwoo steer. Ph.D. dissertation, Konkuk Univ., Seoul, Korea. [in Korean]
- Kim GW. 2013. Studies on effects of feeding seleniferous whole crop barley on livestock production. Ph.D. dissertation, Daegu Univ., Gyeongsan, Korea. [in Korean]
- Kim JS. 2016. Effect of heat stress relieve additive supplementation on growth performance, carcass characteristics and ruminal fermentation in Hanwoo steers. Master dissertation, Chonbuk National Univ., Jeonju, Korea. [in Korean]
- Kim YK. 2011. Study on the utilization of mulberry (*Morus alba* L) silage as a functional feed source for high quality beef production of Hanwoo. Master dissertation, Konkuk Univ., Seoul, Korea. [in Korean]
- Kim YS, Liang CY, Kim JY, Park YS, Hwang HS, Lee SK. 2002. Effects of dietary vitamin E and selenium supplementation on meat color stability of Hanwoo (Korean native cattle) bull beef during retail display. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources* 22:108-114. [in Korean]
- Krzywicki K. 1979. Assessment of relative content of myoglobin, oxymyoglobin and metmyoglobin at the surface of the beef. *Meat Science* 3:1-10.
- Lee JM, Choe JH, Lee HK, Na JC, Kim YH, Cheon DW, Hwang KS. 2010a. Effect of quality grades on carcass characteristics, physico-chemical and sensory traits of *longissimus dorsi* in Hanwoo. *Korean Journal Animal Science and Technology* 30:495-503. [in Korean]
- Lee SH, Park BY, Kim WY. 2004. Effects of spent composts of Se-enriched mushrooms on carcass characteristics, plasma GSH-Px activity, and Se deposition in finishing Hanwoo steers. *Korean Journal Animal Science and Technology* 46:799-810. [in Korean]
- Lee YJ, Kim CK, Park BY, Seong PN, Kim JH, Kang GH, Kim DH, Cho SH. 2010b. Chemical composition, cholesterol, trans-fatty acids contents, pH, meat color, water holding capacity and cooking loss of Hanwoo beef (Korean native cattle) quality grade. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources* 30:997-1006. [in Korean]
- Liu Q, Lanari MC, Schaefer DM. 1995. A review of dietary vitamin E supplementation for improvement of

- beef quality. *Journal of Animal Science* 73:3131-3140.
- Mader TL, Davis MS. 2004. Effect of management strategies on reducing heat stress of feedlot cattle: Feed and water intake 1. *Journal of Animal Science* 82:3077-3087.
- Mahan DC. 1999. Organic selenium: Using nature's model to redefine selenium supplementation for animals. In *biotechnology in the feed industry. Proceedings of the 15th annual symposium*. Nottingham University Press, Nottingham, UK.
- McDowell LR. 1989. *Vitamins in animal nutrition*. Academic Press Inc, California, USA.
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2017. Grade rule for cattle carcass in Korea. Korea Ministry of Government Legislation. Accessed in <http://www.law.go.kr/main.htm> on 30 Oct 2017.
- Mir PS, McAllister TA, Zaman S, Morgan Jones SD, He ML, Aalhus JL, Jeremiah LE, Goonewardene LA, Weselake RJ, Mir Z. 2003. Effect of dietary sunflower oil and vitamin E on beef cattle performance, carcass characteristics and meat quality. *Canadian Journal of Animal Science* 83:53-66.
- Mitsumoto M, Cassens RG, Schaefer DM, Scheller KK. 1991. Pigment stability improvement in beef steak by ascorbic acid application. *Journal of Food Science* 56:857-858.
- Moon YH. 2012. Comparison of quality characteristics among chilled loins obtained from Jeju black cattle, Hanwoo and imported Australian beef. *Journal of the East Asian Society of Dietary Life* 22:497-505.
- Moon YH, Jung IC. 2012. Physicochemical characteristics of Korean black cattle-fed mugwort. *Korean Journal of Life Science* 22:587-594. [in Korean]
- Newberne PM, Rogers AE. 1986. Labile methyl groups and the promotion of cancer. *Annual Review of Nutrition* 6:407-432.
- Nonaka I, Takusari N, Tajima K, Suzuki T, Higuchi K, Kurihara M. 2008. Effects of high environmental temperatures on physiological and nutritional status of prepubertal Holstein heifers. *Livestock Science* 113:14-23.
- Oohashi H, Takizawa H, Morita H. 1999. Effect of vitamin C administration on the meat quality in Japanese black steers. *Research Bulletin of the Aichi-Ken Agricultural Research Center* 31:252-454.
- Park MS. 2003. Effect of vitamin C supplementation level on carcass characteristics of Hanwoo steers. Master dissertation, Konkuk Univ., Seoul, Korea. [in Korean]
- Pehrson B, Hakkarainen J, Tornquist M, Edfors K, Fossum C. 1991. Effect of vitamin E supplementation on weight gain, immune competence, and disease incidence in barley fed beef cattle. *Journal of Dairy Science* 74:1054-1059.
- Pinotti L, Paltanin C, Campagnoli A, Cavassini P, Dell'Orto V. 2009. Rumen protected choline supplementation in beef cattle: Effect on growth performance. *Italian Journal of Animal Science* 8:322-324.
- Rayman MP. 2000. The importance of selenium to human health. *The Lancet* 3356:233-241.
- Renner M. 1990. Review: Factors involved in the discoloration of beef meat. *International Journal of Food Science and Technology* 25:613-630.

- Rivera JD, Duff GC, Galyean ML, Walker DA, Nunnery GA. 2002. Effects of supplemental vitamin E on performance, health, and humoral immune response of beef cattle. *Journal of Animal Science* 80:933-941.
- Sandell LJ, Daniel JC. 1988. Effects of ascorbic acid on collagen mRNA levels in short term chondrocyte cultures. *Connective Tissue Research* 17:11-22.
- Schwarz K, Foltz CM. 1957. Selenium as an integral part of factor 3 against dietary necrotic liver degeneration. *Journal of the American Chemical Society* 79:3292-3293.
- Secrist DS, Owens FN, Gill DR, Boyd LJ, Oldfield JE. 1997. Effects of vitamin E on performance of feedlot cattle: A review. *The Professional Animal Scientist* 13:47-54.
- Tapiero H, Townsend DM, Tew KD. 2003. The antioxidant role of selenium and seleno-compounds. *Biomedicine and Pharmacotherapy* 57:134-144.
- Tappel AL, Brown WD, Zalkin H, Maier VP. 1961. Unsaturated lipid peroxidation catalyzed by hematin compounds and its inhibition by vitamin E. *Journal of the American Oil Chemists Society* 38:5-9.
- Torii S. 1995. Effect of vitamin A, C, and D on glycerol-3-phosphate dehydrogenase activity of sheep pre-adipocytes in primary culture. *Journal of Animal Science and Technology* 66:1039-1042.
- Van Soest PV, Robertson JB, Lewis BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74:3583-3597.
- Webb JE, Brunson CC, Yates JD. 1972. Effects of feeding antioxidants on rancidity development in pre-cooked, frozen broiler parts. *Poultry Science* 51:1601-1605.
- West JW. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 86:2131-2144.
- Wheeler TL, Koochmaria M, Shackelford SD. 1996. Effect of vitamin C concentration and co-injection with calcium chloride on beef retail display color. *Journal of Animal Science* 74:1846-1853.
- Witte VC, Krause GF, Bailey ME. 1970. A new extraction method for determining 2-thiobarbituric acid values of pork and beef during storage. *Journal of Food Science* 35:582-585.
- Yang A, Brewster MJ, Lanari MC, Tume RK. 2002. Effect of vitamin E supplementation on  $\alpha$ -tocopherol and  $\beta$ -carotene concentrations in tissues from pasture- and grain-fed cattle. *Meat Science* 60:35-40.
- Yano H, Tanaka S, Torli SS, Ohyama M, Hino N, Matsui T. 2000. Some factors to regulate adipocyte differentiation in beef cattle in relation to intramuscular fat accumulation. *Asian-Australasian journal of Animal Sciences* 13:219-226.
- Zeisel SH, Blusztajn JK. 1994. Choline and human nutrition. *Annual Review of Nutrition* 14:269-296.
- Zeisel SH, Da Costa KA, Franklin PD, Alexander EA, Lamont JT, Sheard NF, Beiser ALEXA. 1991. Choline, an essential nutrient for humans. *The Federation of American Societies for Experimental Biology Journal* 5:2093-2098.