

ANIMAL

The effect of aging on the quality of *Semimembranosus* muscle from Hanwoo

Sun Hyo Kim¹, Hyun Joo Kim², Hyun Jung Lee³, Hae In Yong³, Cheorun Jo³, Ki Chang Nam⁴, Samooel Jung^{1*}

¹Department of Animal Science and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

²Crop Post-harvest Technology Division, National Institute of Crop Science, Suwon 16429, Korea

³Department of Agricultural Biotechnology, Center for Food and Bioconvergence, and Research Institute for Agriculture and Life Science, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

⁴Department of Animal Science and Technology, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea

*Corresponding author: samooel@cnu.ac.kr



click for updates

OPEN ACCESS

Citation: Kim SH, Kim HJ, Lee HJ, Yong HI, Jo C, Nam KC, Jung Samooel. 2016. The effect of aging on the quality of *Semimembranosus* muscle from Hanwoo. Korean Journal of Agricultural Science 43:61-71.

DOI: <http://dx.doi.org/10.7744/kjoas.20160008>

Editor: Jung Min Heo, Chungnam National University, Korea

Received: October 13, 2015

Revised: October 29, 2015

Accepted: November 6, 2015

Copyright: ©2016 Korean Journal of Agricultural Science.

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

Abstract

The effect of postmortem aging on the quality of *Semimembranosus* muscle (SM) from Hanwoo was investigated. The quality of SM was compared with that of *Longissimus dorsi* muscle (LD). SM contained higher moisture, protein, and ash, and lower fat than LD ($p < 0.05$). The a^* and b^* values of SM were significantly decreased after 21 days of aging. SM showed higher a^* values than LD at 1 and 7 day of aging ($p < 0.05$). The cooking loss of SM was not affected by aging. SM had higher cooking loss than that of LD throughout the aging period. Although the shear force of SM was significantly decreased by aging, SM showed high shear force compared to LD during aging period ($p < 0.05$). Aging increased lipid oxidation in both muscles ($p < 0.05$). However, TBARS value of SM was significantly lower than that of LD throughout the aging period ($p < 0.05$). There was no effect of aging on the betaine and L-carnitine contents of SM. SM contained higher betaine and L-carnitine than LD in all aging days ($p < 0.05$). Therefore, we concluded that consumer acceptability of SM could be increased by aging based on the increase of tenderness in addition to its high nutritional properties.

Keywords: aging, quality, *Semimembranosus* muscle, tenderness

Introduction

경제 발전이 지속됨에 따라 먹거리에 대한 소비자들의 인식이 변화하고 있으며 식육의 다양한 품질 중에서도 우선시 되는 품질특성 또한 변화하고 있다. 1980년대 이전에만 해도 국내의 식육 공급이 불충분하여 소비자 및 생산자는 도체의 질적 품질보다 양적 품질 즉 생산량을 중요하게 생각하였다. 하지만 경제적인 발전에 따른 국민소득의 증가와 함께 식육의 질적 품질이 중요시됨에 따라 식육의 관능적 및 영양적 품질에 대한 소비자의 관심이

증가하고 있다(Choe et al., 2010).

우육의 관능적 품질을 결정하는 여러 요인 중 가장 중요 요인으로 근내지방이 있다. 기존의 여러 연구에 따르면 우육의 근내지방도가 높을수록 우육의 연도 및 다즙성이 증가하며 연도 및 다즙성은 풍미와 더불어 우육의 맛을 결정하는 주요한 요인임이 보고된바 있다(Monson et al., 2005; Moon et al., 2013). Hwang et al. (2010)의 연구에 따르면 국내의 우육 부위별 선호도는 등심 43.5%, 갈비 22.9%, 안심 10.5%, 양지 9.9%, 우둔 및 사태 4.7% 순이며 이는 각 부위별 근내지방도 차이에 따른 연도 차이와의 높은 연관성에 기인한 결과라고 보고하였다. 이러한 이유로 우육의 소비경향을 보면 근내지방도가 높은 등심을 중심으로 소비가 활발하게 이루어지고 있다. 하지만 지방 함량이 낮은 앞다리, 설도 및 우둔은 전체 우육 생산량의 50% 이상을 차지함에도 불구하고 소비자의 비선호 부위로서 소비의 둔화 및 적체현상이 일어나고 있는 실정이다(Ku et al., 2013; Hwang et al., 2010). 최근 식육의 영양적 품질에 대한 소비자 관심이 증가함에 따라 저지방 고단백질 부위의 소비가 증가하고는 있지만 여전히 지방함량이 낮은 부위는 비선호 부위로서 생산량 대비 소비량이 적은 실정이다. 이러한 소비의 불균형으로 인해 우육의 부위별 큰 가격차이가 발생하며 많은 재고 물량이 생겨남에 따라 축산 농가와 식육 업체는 경영악화와 같은 큰 문제에 직면해 있다. 따라서 우리나라 식육산업의 발전과 안정화를 위해 앞다리, 설도 및 우둔과 같은 비선호 부위의 소비촉진을 위한 방법이 요구되고 있는 실정이다(Ku et al., 2013; Seong et al., 2012).

최근 적색육 섭취에 따른 대장 및 결장암과 같은 여러 질병의 발생 가능성이 증가할 수 있다는 일부 연구 결과가 보고됨에 따라 식육의 관능적 품질의 중요성과 함께 식육의 영양적 품질이 더욱더 중요시 되고 있다(Binnie et al., 2014). 이러한 이유로 식육의 영양적 품질과 관련하여 식육의 단백질과 지방의 비율뿐 아니라 식육내 존재하는 다양한 생리활성 물질에 대한 관심이 증가하고 있다. 식육 내에는 인간에게 있어 영양학적으로 매우 중요하게 여겨지는 L-carnitine 과 betaine 등 다양한 생리활성 물질들이 존재한다. L-carnitine은 지방산으로부터 에너지를 생산하기 위한 β -oxidation 에서 미토콘드리아 내부로 장쇄 지방산을 운반하는 역할을 하며 따라 섭취 시 체내에서 지질 대사를 원활하게 하여 조직 내 지방의 과 축적을 막는 역할을 한다(Arslan et al., 2003). Betaine 은 삼투압조절 효과를 갖고 있으며 조직내의 methyl donor 로서 methionine 합성을 유도하는 역할을 한다(Alirezai et al., 2012). 따라서 이러한 생리활성 물질을 많이 함유하고 있는 식육은 영양학적 품질이 우수한 것으로 여겨지고 있다(Jung et al., 2013).

우육 비선호 부위의 소비 촉진을 위해 앞서 언급한 바와 같이 비선호 부위의 낮은 지방함량에 따른 낮은 관능적 품질의 개선과 함께 우수한 영양적 품질을 가지는 우육의 공급이 필요하다. 숙성은 우육의 관능적 품질을 개선할 수 있는 방법 중 하나로 우육을 빙점이상의 온도에서 일정기간 저장함에 따라 우육의 연도 및 풍미가 증가하게 된다(Smith et al., 2008; Calvo et al., 2014). 식육 동물의 근육은 도축 후 수축된 근육을 이완시킬 수 있는 충분한 adenosine triphosphate가 생성되지 않아 myosin과 actin이 강하게 결합하여 actomyosin이 생성됨에 따라 사후 강직을 겪게 된다. 사후강직이 종료된 후부터 강직의 해지기를 시작으로 식육의 숙성기라고 할 수 있는데 숙성 중 우육의 연도가 증가하는 기작은 근원섬유 내의 세포골격 단백질이 붕괴 되면서 근원섬유 간 결합력 감소 및 근원섬유를 구성하고 있는 근절의 붕괴가 일어나는 것에 기인한다고 알려져 있다(Kim et al., 1996). 또한 숙성은 식육 내 함유되어 있는 효소들의 작용을 통해 탄수화물, 단백질 및 핵산 등의 성분들을 저분자 물질로 분해시킴으로써 유리 아미노산, 펩타이드, 비단백태 질소 화합물, 당류 및 인산 화합물 등과 같은 저분자 풍미 전구물질들을 생성시켜 고기의 풍미를 증진시킨다(Reina et al., 2014). 따라서 숙성을 통해 우육 비선호 부위의 관능적 품질 개선이 가능할 것으로 생각된다. 하지만 우육의 관능적 품질에 미치는 숙성의 영향은 수차례 보고되어있음에도 불구하고 숙성을 통해 비선호 부위의 관능적 품질을 개선하기 위한 연구는 아직까지 미비한 실정이며 또한 우육내 생리활성 물질 함량에 대한 숙성의 영향은 거의 보고되지 않았다.

따라서 본 연구는 숙성과정 중 일어나는 우육 비선호 부위인 우둔의 품질 변화를 우육 선호부위인 등심의

품질과 비교 및 숙성 과정 중 우육내 생리활성 물질의 함량 비교를 통해 숙성이 우육 비선호 부위인 우둔의 품질에 미치는 영향을 알아보기 위해 수행되었다.

Materials and Methods

공시재료

본 연구를 위해서 도축 1일 후의 1등급 거세한우(28개월) 한 도체의 등심 및 우둔을 시중에서 구매하여 아이스박스에 담아 연구실로 운반하였다. 구매한 등심 및 우둔은 300 g씩 나누어 진공포장 하였으며, 각기 포장된 우육을 하나의 시료로하여 각 숙성 일자별 3개의 등심 및 우둔을 1, 7, 14 및 21일간 저온숙성(4°C) 하면서 실험에 이용하였다.

일반성분

일반성분은 수분, 조단백질, 조지방 및 조회분 함량을 측정하였으며 AOAC법에 따라 측정하였다(AOAC, 1995). 즉, 수분 함량은 105°C 상압가열건조법에 따라 측정하였고, 조단백질 함량은 Kjeldahl법에 따라 측정하였다(VAPO45, Gerhardt Ltd., Germany). 조지방 함량은 Soxhlet extraction system (TT 12/A, Gerhardt Ltd., Germany) 이용하여 측정하였으며, 조회분 함량은 550°C에서 직접회화법을 따라 측정하였다.

육색

육색은 시료를 공기 중에 10분 정도 노출시킨 후 색차계(CR-310, Minolta Co., Ltd., Japan)로 명도(L*), 적색도(a*), 황색도(b*)를 CIE (Commission Internationale de Leclairage) 값으로 4반복 측정하여 평균값을 적용하였으며 이 때 L = 97.74, a = -0.06, b = 1.76 값의 백색타일을 표준판으로 이용하였다.

가열 감량 및 전단력

준비한 시료를 절단(6×4×2 cm, 50 g)하고 80°C 항온수조에서 시료 심부온도 72°C에 도달할 때까지 가열한 후 가열전·후 중량차를 백분율로 하여 가열감량을 계산하였다.

$$\text{가열감량(\%)} = \frac{(\text{가열 전 중량} - \text{가열 후 중량})}{\text{가열 전 중량}} \times 100$$

가열감량 측정 후 이용된 시료를 일정한 크기와 두께로 정형(1×1×2 cm)하여 Warner-Bratzler shear 장착하고 있는 texture analyzer (CT3 10K, Brookfield Engineering Laboratories., USA)으로 준비한 시료를 근섬유 방향과 수직으로 하여 시료가 완전히 절단될 때까지 전단력을 측정하였다. 실험에 이용된 측정조건은 maximum cell load, 10 kg; probe pre-test speed, 2.0 mm/s; test speed, 2.0 mm/s; post-test speed, 5 mm/s; distance, 28 mm, mode, measure force in compression, trigger load, 10.0 g이다.

지방산패도

지방산패도는 2-thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) 값을 Jung et al. (2012)의 방법을 통하여 측정하였다. 시료 3 g에 9 mL 증류수 및 50 µL butylated hydroxyl toluene (7.2%, Sigma-Aldrich, USA)를 첨가 후 균질(T10, Ika Works, Germany)하였다. 균질액 1 mL을 시험관에 넣고 20 mM 2-thiobarbituric acid (Sigma-Aldrich) in 15% trichloroacetic acid (Sigma-Aldrich) 2 mL을 혼합 후 항온수조(90°C)에서 30분동안 가열하였다. 냉각 후 원심분리(3,000 rpm, 15분, Union 32R, Hanil Co., Ltd., Korea)하여 분광광도계(X-ma 3100, Human Co. Ltd. Korea)를 이용하여 532 nm에서 흡광도를 측정했다. 지방산패도의 값은 mg malondialdehyde/kg sample으로 표시하여 나타냈다.

Betaine 및 L-carnitine

육 내 betaine 및 L-carnitine 함량 측정을 위해 시료 5 g에 acetonitrile:methanol (9:1) 용액을 10 mL 첨가 후 30초동안 균질(T10, Ika Works)하였다. 이 균질물을 3,000 rpm에서 5분간 원심분리(Union 32R, Hanil)한 다음 상층액을 회수하고, 침전물에 다시 acetonitrile:methanol (9:1)을 첨가하고 3,000 rpm에서 5분간 원심분리(Union 32R, Hanil)하여 상층액을 회수한 후 acetonitrile:methanol (9:1)을 이용하여 20 mL까지 정용한 다음 이 중 2 mL을 다른 15 mL 시험관에 옮겼다. 여기에 Na_2PHO_4 810 mg과 Ag_2O 90 mg을 첨가한 다음 강하게 흔들어서 vortexing한 후 약 20분간 상온에다 방치하였다. 이것을 원심분리(3,000 rpm, 5분, Union 32R, Hanil)한 뒤 상층액 0.5 mL을 새로운 15 mL의 시험관에 옮기고 여기에 유도체 시약(18-Crown-6 66 mg, bromoacetophenon 1,390 mg in acetonitrile 100 mL) 0.5 mL를 첨가한 후 항온수조(80°C)에서 1시간동안 가열하고, 냉각한 후 vial에 옮긴 다음 HPLC (Ultimate 3000, Dionex)를 이용해 betaine과 L-carnitine의 함량을 분석하였다. 본 연구에 사용한 HPLC 분석 조건은 다음과 같다. Column, Atlantis HILIC silica column, 4.6×150 mm, 3 μM , Waters, USA; 이동상A, 25 mM ammonium acetate (pH 3); 이동상B, acetonitrile 유속, 1.4 mL/min; Detector, UV detector (254 nm); Temperature, 30°C. 정량을 위하여 betaine 및 L-carnitine (Sigma-Aldrich)으로 검량선을 작성하여 이용하였다.

통계분석

모든 실험군은 3회 반복하여 실시하였으며 결과의 분석은 SAS program (ver. 9.3, SAS Institute Inc.) general linear model procedure에 의해 one-way ANOVA 처리 후 측정결과간의 유의성 검정을 위해 Duncan의 다중검정법을 이용하여 통계분석($p < 0.05$) 하였다.

Results and Discussion

일반성분

일반성분 조성을 분석한 결과 수분, 조지방, 조단백질 및 조회분 함량 모두에서 등심과 우둔 사이에 유의적인 차이가 있었다(Table 1). 비선호 부위인 우둔의 수분, 조단백질 및 조회분 함량은 각각 73.53%, 20.71% 및 1.68%로 선호 부위인 등심의 수분(69.10%), 조단백질(15.40%) 및 조회분(0.84%)함량과 비교하여 유의적으로 높음이 확인되었다($p < 0.05$). 반면 우둔의 조지방 함량은 4.33%로 등심의 지방함량 14.22%와 비교하여 유의적으로 3배 이상 낮음이 확인되었다($p < 0.05$). 기존의 연구에 따르면 우둔 부위의 수분 함량은 등심에 비해 낮다고 보고하였으며, 또한 우육내 수분과 조지방 함량 사이에 부의 상관관계가 있다고 보고하였다(Cho et al., 2008; Jo et al., 2013). 일반적으로 식육내 수분은 근원섬유 단백질과 결합 및 근원섬유 단백질 간 사이에 존재한다. 또한 식육내 존재하는 대부분의 무기질은 근세포 내에 존재하고 있다(Ramos et al., 2009). 따라서 우육의 우둔은 등심과 비교하면 지방조직 대비 근육조직의 비율이 높기 때문에 등심에 비해 수분, 조단백질 및 조회분 함량은 높고 조지방 함량은 낮은 것으로 사료된다.

Table 1. Comparison the proximate composition (%) between *Longissimus dorsi* and *Semimembranosus* muscle.

	<i>Longissimus dorsi</i>	<i>Semimembranosus</i>	SEM ²
Moisture	69.10a	73.53b	0.361
Crude Fat	14.22b	4.33a	0.270
Crude protein	15.40a	20.71b	0.229
Crude Ash	0.84a	1.68b	0.025

²Standard error of the means (n=6).

Values with different letters within the same row differ significantly ($p < 0.05$).

최근 필요이상의 지방 섭취에 따른 다양한 성인병 발병과 관련하여 소비자 들이 저지방 및 고단백 식이의 선호도가 증가하고 있다. 이러한 면에서 보았을 때 우둔은 저지방 및 고단백 식육의 섭취를 원하는 소비자의 요구를 충족시킬 수 있을 것으로 생각된다.

육색

저장기간별 숙성에 따른 등심과 우둔의 표면 육색 변화를 Table 2에 나타내었다. 등심과 우둔의 명도(L*)값 비교 결과 숙성 전기간에 걸쳐 두 부위 사이에 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한 등심 및 우둔 모두에서 숙성기간에 따른 명도 값의 유의적인 변화가 없는 것으로 나타났다. 적색도(a*)의 경우 숙성초기(1 day) 우둔에서 등심에 비해 유의적으로 높음이 확인되었으며, 숙성 7일 후에도 유의적으로 우둔에서 높았다($p < 0.05$). 하지만 숙성 14일 후부터 등심과 우둔의 적색도 값 사이에 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과의 이유는 숙성 기간이 증가함에 따라 등심의 적색도는 변화가 없었던 반면 우둔의 적색도는 유의적으로 감소하였기 때문이다($p < 0.05$). 황색도의 경우 적색도와 마찬가지로 우둔에서만 숙성기간에 따라 유의적으로 감소하는 경향을 보였다.

Table 2. Changes of color in *Longissimus dorsi* and *Semimembranosus* muscle during 21 days of aging at 4°C.

	Aging (day)	<i>Longissimus dorsi</i>	<i>Semimembranosus</i>	SEM ^z
L*	1	40.98	42.84	0.624
	7	42.00	41.92	0.358
	14	41.71	43.33	0.676
	21	41.52	42.35	0.752
	SEM ^y	0.451	0.753	
a*	1	14.89a	16.15bB	0.313
	7	14.85a	15.94bB	0.165
	14	14.54	15.48AB	0.361
	21	14.38	14.47A	0.197
	SEM ^y	0.220	0.317	
b*	1	2.06	2.61B	0.225
	7	1.92	2.58B	0.290
	14	2.25	2.85B	0.298
	21	1.58	1.52A	0.205
	SEM ^y	0.257	0.318	

^zStandard error of the means (n=6).

^yStandard error of the means (n=12).

a,b Values with different letters within the same row differ significantly ($p < 0.05$).

A,B Values with different letters within the same column differ significantly ($p < 0.05$).

식육의 육색은 식육 내 포함되어있는 myoglobin의 함량 및 화학적 상태에 크게 영향을 받는다(Mancini and Hunt, 2005). 육색소인 myoglobin의 함량이 높을수록 식육의 적색도는 높아지며 식육 내 myoglobin의 함량은 같은 우육이라 할지라도 종, 성별, 사료 및 성숙도에 따라 다를 뿐만 아니라 우육의 부위에 따라서도 다르다(Suman and Joseph, 2013). 또한 식육의 육색은 식육의 지방 함량 및 보수력 등에 영향을 받는다. 기존 연구에 따르면 우육내 지방함량은 명도 및 적색도와 각각 정 및 부의 상관관계가 있음이 보고되었으며, 보수력이 낮을수록 식육 표면으로 삼출된 수분이 빛을 반사하여 명도값이 증가한다고 보고되었다(Swatland, 2008; Pflanzler and de Felicio, 2011). 본 연구에서 우둔이 등심에 비해 지방함량이 낮았으며, 가열감량 결과를 보았을 때 보수력 또한 낮았는데 이로 인해 우둔과 등심 사이에 육색의 차이가 있는 것으로 생각된다. 또

한 본 연구에서 숙성기간이 증가함에 따라 우둔의 적색도가 감소함이 나타났다. 기존 연구에 따르면 도축 후 식육의 저장 중 식육의 적색도 값이 감소한다고 보고되고 있다(Mancini and Ramanathan, 2014). 식육 내 myoglobin은 도축 직후 deoxymyoglobin 상태로 식육이 적자색을 띠며 식육이 산소에 노출됨에 따라 oxymyoglobin이 생성되어 식육은 선홍색이 되고 산소 분압이 낮거나 시간이 지남에 따라 oxymyoglobin이 산화되어 metmyoglobin이 생성되며 식육의 색은 갈색으로 변하게 된다(Mancini and Hunt, 2005). Mancini and Ramanathan (2014)는 우육의 저장 중 metmyoglobin이 생성됨에 따라 적색도가 감소한다고 보고하였다. 하지만 본 연구에서 등심에서는 적색도값이 변화가 나타나지 않아 식육의 숙성 중 부위에 따른 육색 변화 차이에 대한 추후 연구가 필요할 것으로 생각된다.

가열감량 및 전단력

등심과 우둔의 숙성기간에 따른 가열감량 및 전단력 변화 결과를 Table 3에 나타내었다. 식육에 있어 가열은 성분조성, 가열하는 조건에 따라서 물리적 구조에 대한 변화를 야기하며 가열 방법에 관계없이 식육이 가열될 때 근섬유의 수축과 근질의 단축으로 가열감량이 발생하며 가열감량이 높을수록 연도 및 다즙성이 감소하여 식육의 관능적 품질이 저하된다(Bower et al., 1987). 본 연구 결과 숙성 전기간에 걸쳐 우둔의 가열 감량이 등심에 비해 유의적으로 높음이 나타났다($p < 0.05$). 이러한 결과는 Kim et al. (1996)의 결과와 일치하며 Breidenstein et al. (1968)에 따르면 근내지방도가 높아질수록 가열감량이 줄어든다고 보고하였다. 또한 Lee et al. (2010)은 근내지방도가 높은 고기일수록 가열감량이 낮으며 이는 근내지방이 가열 중 용해되어 식육의 주변 공간으로 전파되어 가열 중 수분의 손실을 감소시키기 때문이라고 보고하였다. 따라서 등심과 우둔의 지방함량 차이로 인해 우둔에서 가열감량이 높았던 것으로 생각된다. 기존의 연구에 따르면 숙성과정이 진행됨에 따라 근원섬유의 소편화로 인해 근원섬유내 수분의 삼출이 용이해짐에 따라 감량이 증가한다고 보고되었다(Kim et al., 2007). 하지만 본 연구 결과 등심에서는 숙성기간 증가와 함께 가열감량의 증가가 나타나 기존의 연구 결과와 일치함을 보였지만 우둔의 경우 숙성기간 증가에 따른 가열감량의 변화가 없는 것으로 나타나 이에 대한 추후 연구가 필요할 것으로 생각된다.

Table 3. Changes of cooking loss (%) and shear force (kg) in *Longissimus dorsi* and *Semimembranosus* muscle during 21 days of aging at °C.

	Aging (day)	<i>Longissimus dorsi</i>	<i>Semimembranosus</i>	SEM ^z
Cooking loss	1	25.02aA	34.00b	1.080
	7	28.79aB	34.32b	0.784
	14	28.01aC	35.17b	0.341
	21	30.49aC	35.29b	0.591
	SEM ^y	0.696	0.799	
Shear force	1	6.56aC	9.62bD	0.272
	7	2.83aB	6.67bC	0.299
	14	1.81aA	5.35bB	0.140
	21	1.64aA	3.77bA	0.109
	SEM ^y	0.143	0.277	

^zStandard error of the means (n=6).

^yStandard error of the means (n=12).

a,b Values with different letters within the same row differ significantly ($p < 0.05$).

A-D Values with different letters within the same column differ significantly ($p < 0.05$).

전단력은 식육의 연도를 기계적으로 측정된 수치로 전단력이 낮을수록 연도가 높다고 볼 수 있다. 본 연구 결과 숙성 전기간에 걸쳐 우둔의 전단력이 등심에 비해 높음이 나타났다($p < 0.05$). 본 결과는 기존 연구와 동

일한 결과로 Berry (1993)에 따르면 근내지방도가 높을수록 전단력이 낮아진다고 보고하였다. 또한 Cho et al. (2013)은 움직임이 적게 일어나는 부위의 근육에서는 지방 축적이 잘 일어나지만 활발히 움직이는 부위의 근육은 상대적으로 근막이나 인대와 같은 결합조직이 더 발달된다고 보고하였다. 등심과 우둔 두 부위 모두 숙성기간에 따라서 전단력이 유의적으로 감소함이 나타났다($p < 0.05$). 숙성 중 우육의 근원섬유 내 세포골격 단백질이 식육내 존재하는 단백질 분해효소들 중 calpain의 주된 작용으로 붕괴되게 되는데 이로 인해 근원섬유 간 결합력 감소 및 근원섬유를 구성하고 있는 근질의 붕괴가 일어나 전단력이 감소한 것으로 생각된다 (Koochmarai and Geesink, 2006). 또한 우육의 숙성 중 육내 결체조직의 강도가 숙성 10일까지는 크게 변하지 않지만 숙성 기간이 증가함에 따라 점차적으로 감소하여 장기간 숙성을 통해 결체조직이 많은 식육 또한 연도 증가가 가능함이 보고되었다(Nishimura et al., 1998). 따라서 본 연구 결과 우둔의 전단력을 숙성을 통해 등심과 유사한 수준으로 낮출수는 없지만 7일 간의 숙성을 통해 우둔의 전단력을 등심의 숙성 초기 전단력과 유사한 수준으로 낮출 수 있으며 21일 간의 숙성을 통해 우둔의 전단력을 숙성 초기에 40%이하로 낮출 수 있음이 확인되었다. 또한 우둔을 고온숙성과 같은 다른 방법을 이용 숙성한다면 더 낮은 연도의 개선을 낳을 수 있을 것으로 생각된다.

지방 산패도

숙성 중 우둔의 지방산패도가 등심에 비해 숙성 전 기간에 걸쳐 유의적으로 낮음이 확인되었다(Table 4, $p < 0.05$). 이 결과는 지방함량이 우둔에서 등심에 비해 낮았기 때문인 것으로 생각된다. 기존의 연구 결과에 따르면 우육 내 지방함량이 높을수록 지방산패도가 높음이 보고되고 있다(Humada et al., 2014). 식육 내 지방의 산패는 산소, 가열조건, 일사광선 및 금속이온 등의 영향으로 발생되며 산패취를 생성하여 식육의 관능적 품질의 저하뿐만 아니라 필수지방산과 지용성 비타민 손실 및 단백질 산패를 유도하여 식육의 영양적 품질을 저하하는 주요 요인 중 하나이다(Jung et al., 2013; Humada et al., 2014). 또한 산화로 인하여 생성되는 alcohol, aldehyde 및 ketone 등의 물질들이 체내 DNA를 손상시키거나 암을 유발하며 노화와도 관련이 있다고 보고되고 있다(Lee et al., 1999; Kang et al., 2013). 숙성 기간 증가에 따른 지방산패도 변화 결과 숙성 기간이 증가함에 따라 지방산패도가 증가함이 나타났다($p < 0.05$). 이는 저장기간이 증가함에 따라 지방산패도가 증가했던 기존 여러 연구들과 일치하는 결과이다(Ali et al., 2007; Jung et al., 2012; Kim et al., 2013).

Table 4. Changes of 2-thiobarbituric acid reactive substance values (mg malondialdehyde/kg sample) in *Longissimus dorsi* and *Semimembranosus* muscle during 21 days of aging at 4°C.

Aging (day)	<i>Longissimus dorsi</i>	<i>Semimembranosus</i>	SEM ^z
1	0.46bA	0.38aA	0.006
7	0.48bA	0.44aB	0.011
14	0.75bB	0.53aC	0.039
21	0.82bB	0.69aD	0.027
SEM ^y	0.033	0.011	

^zStandard error of the means (n=6).

^yStandard error of the means (n=12).

a,b Values with different letters within the same row differ significantly ($p < 0.05$).

A-D Values with different letters within the same column differ significantly ($p < 0.05$).

Betaine 및 L-carnitine

우둔과 등심에서 betaine 함량을 측정한 결과 숙성 전 기간에 걸쳐 우둔에서 유의적으로 2배 이상 높음이 나타났다(Table 5, $p < 0.05$). 숙성 기간에 따른 betaine함량은 우둔에서는 유의적인 함량 변화가 없었던 반면

등심에서는 숙성기간 증가와 함께 유의적으로 betaine 함량이 증가함이 나타났다($p < 0.05$). L-carnitine 함량 또한 우둔에서 숙성 전 기간에 걸쳐 등심에 비해 유의적으로 높았으며, 우둔의 경우 숙성기간에 따른 유의적인 차이가 없었던 반면 등심에서는 유의적으로 증가함이 확인되었다($p < 0.05$).

근육 내 betaine의 합성은 choline이 mitochondrial choline oxidase에 의해 산화되어 betaine aldehyde가 생성되고 mitochondrial betaine aldehyde dehydrogenase의 작용으로 betaine aldehyde로부터 betaine이 합성 되는 것으로 보고되고 있다(Dragolovich, 1994). 따라서 choline 및 mitochondria가 많은 근육일수록 betaine의 축적이 더 용이한 것으로 보고되고 있다(Jayasena et al., 2015). L-carnitine 또한 근육 내에서 에너지 생산을 위해 지방산을 mitochondria로 운반하는 역할을 하기 때문에 mitochondria가 많은 근육에 축적이 용이하여 백색 근섬유 보다 적색근섬유의 비율이 높은 근육에서 함량이 높은 것으로 보고되고 있다(Arslan et al., 2003; Ehrenborg and Krook 2009). 하지만 현재까지 우육 부위 및 숙성에 따른 betaine 및 L-carnitine 함량 차이에 대한 연구 결과가 보고된바 없어 본 연구 결과의 정확함 이해를 위해 우육의 부위별 근섬유 비율 차이에 대한 추후 연구가 필요할 것으로 생각된다.

Table 5. Changes of betaine and L-carnitine contents (mg/100 g) in *Longissimus* and *Semimembranosus* muscle during 21 days of aging at 4°C.

	Aging (day)	<i>Longissimus dorsi</i>	<i>Semimembranosus</i>	SEM ^z
Betaine	1	4.93aA	10.39b	0.515
	7	5.47aB	10.93b	0.521
	14	5.83aC	10.83b	0.065
	21	5.98aD	11.75b	0.689
	SEM ^y	0.039	0.712	
L-carnitine	1	14.77aA	113.04b	2.418
	7	16.89aA	114.91b	16.476
	14	24.04aB	113.40b	3.893
	21	30.05aC	137.73b	7.952
	SEM ^y	0.671	13.319	

^zStandard error of the means (n=6).

^yStandard error of the means (n=12).

a,b Values with different letters within the same row differ significantly ($p < 0.05$).

A-D Values with different letters within the same column differ significantly ($p < 0.05$).

Conclusion

본 연구는 숙성과정 중 일어나는 우육 비선호 부위인 우둔의 품질 변화를 우육 선호부위인 등심의 품질과 비교를 통해 숙성이 우육 비선호 부위인 우둔의 품질에 미치는 영향을 알아보기 위해 수행되었다. 본 연구의 결과 우둔은 등심과 비교하여 저지방 고단백 식육이며 숙성초기 연도는 등심과 비교하여 낮았지만 21일간의 저온숙성을 통해 7일간 숙성된 등심과 비슷한 수준으로 연도를 개선할 수 있음이 확인되었다. 또한 우둔은 등심과 비교하여 생리활성 물질인 betaine 과 L-carnitine 함량이 숙성 전 기간에 걸쳐 높은 것으로 나타났다.

따라서 우둔은 등심과 비교하여 영양학적으로 우수한 것으로 생각되며, 숙성에 따른 연도 개선을 통해 소비자 기호도 증진이 가능할 것으로 생각된다. 또한 본 연구 결과를 바탕으로 더욱더 최적화된 숙성 조건을 확립한다면 우둔뿐만 아니라 다른 비선호 부위의 품질 개선과 함께 선호 부위에만 소비가 편중되어 있는 현재 시장의 불균형적인 소비를 개선하여 산업 및 생산자에게 긍정적인 효과를 미칠 것으로 사료된다.

Acknowledgements

본 연구는 한국연구재단 원자력연구개발사업(NRF-2014M2A2A6045051)과 서울대학교 그린바이오연구원 친환경경제동물연구소의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

References

- Ali SM, Kang GH, Yang HS, Jeong JY, Hwang YH, Park GB, Joo ST. 2007. A comparison of meat characteristics between duck and chicken breast. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 20(6):1002-1006.
- Alirezai M, Gheisari HR, Ranjbar VR, Hajibemani A. 2012. Betaine: a promising antioxidant agent for enhancement of broiler meat quality. *British Poultry Science* 53(5):699-707.
- Arslan C, Cital M, Saatci M. 2003. Effects of L-Carnitine administration on growth performance, carcass traits, serum lipids and abdominal fatty acid compositions of geese. *Revue de Médecine Vétérinaire* 155(6):315-320.
- Berry BW. 1993. Tenderness of beef loin steaks as influences by marbling level, removal of subcutaneous fat and cooking method. *Journal of Animal Science* 71(9):2412-2419.
- Binnie MA, Barlow K, Johnson V, Harrison C. 2014. Red meats: time for a paradigm shift in dietary advice. *Meat Science* 98(3):445-451.
- Bowers J, Craig J, Kropf DH, Tucker T. 1987. Flavor, color and other characteristics on palatability of beef longissimus muscle heated to seven internal temperatures between 55°C and 85°C. *Journal of Food Science* 52:533-536.
- Breidenstein BB, Cooper CC, Evans RG, Bray RW. 1968. Influence of marbling and maturity on palatability of beef muscle. 1. chemical and organoleptic consideration. *Journal of Animal Science* 27(6):1532-1536.
- Calvo JH, Iguácel LP, Kirinus JK, Serrano M, Ripoll G, Casasús I, Blanco M. 2014. A new single nucleotide polymorphism in the calpastatin (CAST) gene associated with beef tenderness. *Meat Science* 96(2):775-782.
- Cho S, Kang G, Seong P, Kang S, Park K, Kim Y, Park, B. 2013. Physico-chemical meat quality and nutritional composition of 10 cuts for Hanwoo steer beef of quality grade 1. *Annals of Animal Resource Sciences* 24(2):147-156.
- Cho SH, Seong PN, Kim JH, Park BY, Baek BH, Lee YJ, In TS, Lee JM, Kim DH, Ahn CN. 2008. Calorie, cholesterol, collagen, free amino acids, nucleotide-related compounds and fatty acid composition of Hanwoo steer beef with 1++ quality grade. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources* 28(3):333-343.
- Choe JH, Jung S, Kim B, Yun H, Jo C. 2010. Differences in the quality characteristics between commercial Korean native chickens and broilers. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources* 30(1):13-19.
- Dragolovich J. 1994. Dealing with salt stress in animal cells: the role and regulation of glycine betaine concentrations. *Journal of Experimental Zoology* 268(2):139-144.
- Ehrenborg E, Krook A. 2009. Regulation of skeletal muscle physiology and metabolism by peroxisome proliferator-activated receptor delta. *Pharmacological Reviews* 61(3):373-393.
- Humada MJ, Sanudo C, Serrano E. 2014. Chemical composition, vitamin E content, lipid oxidation, colour and cooking losses in meat from Tudaanca bulls finished on semi-extensive or intensive systems and slaughtered at 12 or 14 months. *Meat Science* 96(2):908-915
- Hwang EG, Bae MJ, Kim KB. 2010. Research on consumers purchasing characteristics and satisfaction for Hanwoo beef. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition* 39(5):709-718.
- Jayasena DD, Jung S, Kim SH, Kim HJ, Alahakoon AU, Lee JH, Jo C. 2015. Endogenous functional compounds in Korean native chicken meat are dependent on sex, thermal processing and meat cut. *Journal of the Science of Food and Agriculture*

95(4):771-775.

- Jo C, Jayasena DD, Lim DG, Lee KH, Kim JJ, Cha JS, Nam KC. 2013. Effect of intramuscular fat content on the meat quality and antioxidative dipeptides of Hanwoo beef. *The Korean Journal of Food and Nutrition* 26(1):117-124.
- Jung Y, Jung S, Lee HJ, Kang M, Lee SK, Kim YJ, Jo C. 2012. Effect of high pressure after the addition of vegetable oil on the safety and quality of beef Loin. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources* 32(1):68-76.
- Jung S, Bae YS, Kim HJ, Jayasena DD, Lee JH, Park HB, Heo KN, Jo C. 2013. Carnosine, anserine, creatine, and inosine 5'-monophosphate contents in breast and thigh meats from 5 lines of Korean native chicken. *Poultry Science* 92(12):3275-3282.
- Kang SM, Kang G, Seong P, Kim Y, Park B, Cho S. 2013. Changes of water-soluble flavor precursors in loin and top round from Hanwoo (Korean cattle) beef during aging. *Annals of Animal Resource Sciences* 24(2):123-129
- Kim DG, Jung KK, Sung SK, Choi SB, Kim SG, Kim DY, Choi BJ. 1996. Effects of castration on the carcass characteristics of Hanwoo and Holstein. *Journal of Animal Science and Technology* 38(3):239-248.
- Kim HJ, Yong HI, Park S, Choe W, Jo C. 2013. Effects of dielectric barrier discharge plasma on pathogen inactivation and the physicochemical and sensory characteristics of pork loin. *Current Applied Physics* 13(7):1420-1425.
- Kim JH, Cho SH, Seong PN, Hah GH, Kim BY, Lee JM, Kim DH, Ahn CN. 2007. Effect of ageing temperature and time on the meat quality of longissimus muscle from Hanwoo steer. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources* 27(2):171-178.
- Koohmaraie M, Geesink GH. 2006. Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. *Meat Science* 74(1):34-43.
- Ku SK, Kim HJ, Yu SC, Jeon KH, Kim YB. 2013 Effects of injection and tumbling methods on the meat properties of marinated beef. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources* 33(2):244-250.
- Lee KH, Yook HS, Lee JW, Kim S, Kim MJ, Byun MW. 1999. Effects of antioxidants on oxidation of tallow by gamma irradiation. *Korean Journal of Food Science and Technology* 31(1):7-12.
- Lee YJ, Kim CJ, Park BY, Seong PN, Kim JH, Kang GH, Kim DH, Cho SH. 2010. 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(6):997-1006.
- Mancini RA, Hunt MC. 2005. Current research in meat color. *Meat Science* 71(1):100-121.
- Mancini RA, Ramanathan R. 2014. Effects of postmortem storage time on color and mitochondria in beef. *Meat Science* 98(1):65-70
- Monson F, Sanudo C, Sierra I. 2005. Influence of breed and ageing time on the sensory meat quality and consumer acceptability in intensively reared beef. *Meat Science* 71(3):471-479.
- Moon JH, Sung M, Kim JH, Kim BS, Kim Y. 2013. Quality factors of freshness and palatability of hanwoo from their physicochemical and sensorial properties. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources* 33(6):796-805.
- Nishimura T, Liu A, Hattori A, Takahashi K. 1998. Changes in mechanical strength of intramuscular connective tissue during postmortem aging of beef. *Journal of Animal Science* 76(2):528-532.
- Pflanzer SB, de Felicio PE. 2011. Moisture and fat content, marbling level and color of boneless rib cut from Nellore steers varying in maturity and fatness. *Meat Science* 87(1):7-11.
- Ramos A, Cabrera MC, del Puerto M, Sasdoun A. 2009. Minerals, haem and non-haem iron contents of rhea meat. *Meat Science* 81(1):116-119.
- Reina R, Sánchez del Pulgar J., López-Buesa P, García C. 2014. Amino acid and nucleotide contents and sensory traits of dry-cured products from pigs with different genotype. *Meat Science* 96(1):230-236.
- Seong PN, Kim JH, Cho SH, Kamg GH, Park BY, Park KM, Kim DH, Jeong D. 2012. The effects of marinating with commercial vinegars on the quality characteristics of biceps femoris muscle on Hanwoo. *Annals of Animal Resource Sciences* 23(1) 26-32.

- Smith RD, Nicholson KL, Nicholson JDW, Harris KB, Miller RK, Griffin DB, Savell JW. 2008. Dry versus wet aging of beef: Retail cutting yields and consumer palatability evaluations of steaks from US Choice and US Select short loins. *Meat Science* 79(4):631-639.
- Suman SP, Joseph P. 2013. Myoglobin chemistry and meat color. *Annual Review of Food Science and Technology* 4:79-99.
- Swatland HJ. 2008. How pH causes paleness or darkness in chicken breast meat. *Meat Science* 80(2):396-400.