

비육기간이 홀스타인육 패티의 산화안정성에 미치는 영향

김종인^{1,2} · 강선문¹ · 강근호¹ · 성필남¹ · 정석근¹ · 박범영¹ · 김천제² · 조수현^{1*}

¹농촌진흥청 국립축산과학원, ²건국대학교 축산식품생물공학과

Effect of Fattening Period on the Oxidative Stability of Holstein Beef Patties

Jongin Kim^{1,2}, Sun Moon Kang¹, Geunho Kang¹, Pilnam Seong¹, Seokgeun Jung¹,
Beomyoung Park¹, Cheon-Jei Kim², and Soohyun Cho^{1*}

¹Animal Products Research and Development Division, National Institute of Animal Science,
Rural Development Administration, Suwon 441-706, Korea

²Department of Food Science and Biotechnology of Animal Resources, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

Abstract

The objective of this research was to investigate the effect of the fattening period (18, 21, and 24 mon) on the oxidative stability of Holstein beef patties. The ground Holstein steer beef samples (*M. longissimus dorsi*) were stored at 4°C for 12 d and used for lipid oxidation, protein oxidation, myoglobin oxidation, and color measurements. Fat content was significantly ($p<0.05$) higher in the 24 mon group than in the 18 mon group. 2-thiobarbituric acid reactive substances content and metmyoglobin concentration were the highest ($p<0.05$) in the 24 mon group from 8 d of storage. Conjugated dienes content was significantly ($p<0.05$) higher in the 21 and 24 mon groups. Carbonyl content was the highest ($p<0.05$) in the 24 mon group at 12 d of storage. In surface meat color, the CIE L* value showed a lower level in the 21 and 24 mon groups from 4 d of storage. Although the CIE a* value was further lowered, the CIE b* value maintained a higher value in the 24 mon group during storage, compared to the other groups. Therefore, greater fattening period increased lipid oxidation, protein oxidation, and myoglobin oxidation in Holstein beef patties. Partially, the 24 mon group had the lowest oxidative stability.

Key words: fattening period, Holstein, oxidative stability, beef patties

서론

2010년 한미 자유무역협정(FTA)의 출범을 계기로 국내 쇠고기 시장이 무한 경쟁 시대에 접어들게 되면서 수입 쇠고기에 비해 가격 경쟁력면에서 취약한 한우육의 산업은 어려움을 맞게 되었다. 이를 극복하고자 국내산 쇠고기의 균급식 납품, 전문 브랜드 지원책 마련, 농가의 생산비 절감을 위한 노력이 끊임없이 이루어지고 있다. 하지만 현대 소비자들은 고기의 양적인 소비보다는 질적인 소비를 하고 있고 육질이 좋다면 비싸다하더라도 구입 의사가 있기 때문에(Shackelford *et al.*, 2001), 수입 쇠고기에 대한 국내 쇠고기의 경쟁력을 강화하기 위해서는 소비자가 요구하는 고품질 쇠고기를 생산해야 한다. 국내 쇠고

기의 고급화를 위한 노력으로 양질의 사료 급여와 사육조건 등을 통한 육질 향상에 관한 연구들(Kim *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2008)이 지속적으로 수행되고 있다. 또한 국립축산과학원과 KDBFA(2009)는 국내 육우 농가들의 소득 증가를 위해 고급 쇠고기 생산을 위한 지침서를 발간하였다. 여기에서 이들은 비육기간이 길어질수록 육우의 도체중, 등심단면적 및 근내지방도가 증가되나, 이에 따라 사료비의 지출이 증가하므로 적절한 비육기간의 조절이 필요하다.

식육의 가공 및 저장 중 발생하는 지방산화는 고기의 풍미, 조직감, 영양가를 저하시키며, 지방산화에 의해 생성된 유리 래디칼(free radical)은 더욱 심각한 문제들을 일으킨다(Buckley *et al.*, 1995; Decker *et al.*, 1995). 뿐만 아니라 oxymyoglobin(OxyMb)을 metmyoglobin(MetMb)으로 산화시킴으로써 육의 변색과 소비자에게 의한 구매도를 저하시키며(Faustman *et al.*, 1990), 단백질산화를 촉진시킨다(Xiong, 2000). 단백질산화는 지방산화와 유사한 기작으로 진행되며, 산화 물질인 carbonyls, hydroperoxides 및

*Corresponding author: Soohyun Cho, Animal Products Research and Development Division, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration, Suwon 441-706, Korea. Tel: 82-31-290-1703, Fax: 82-31-290-1697, E-mail: shc0915@korea.kr

sulfoxides를 생성함으로써 육단백질의 기능적 특성의 변질(Davies and Dean, 2003), 근원섬유단백질의 소편화 또는 응집, 소수성의 변화, 단백질 용해도의 저하 등 생화학적 변성을 일으킨다(Srinivasan and Xiong, 1996). 또한 단백질 분해 효소를 불활성시킴으로써 고기의 연도와 다즙성을 저하시킨다(Morzel *et al.*, 2006). 이러한 화학적 변화들을 미루어 볼 때 지방산화, 단백질산화와 관련된 산화안정성은 고기의 품질적인 측면에서 상당히 중요하다고 할 수 있으며, 가축의 도축 전 사육방법(Descalzo *et al.*, 2007) 등의 다양한 요인들에 의해 영향을 받는다.

최근 국내 홀스타인(Holstein)육의 생산량이 점차적으로 증가하고 있다(APGS, 2011). 특히 2010년에 전체 쇠고기의 생산량인 750,673두의 약 8.4%인데 반해, 2011년에는 약 11.1%를 차지하여 국내 쇠고기 수요량의 상당수를 충족시키고 있다. 하지만 홀스타인육은 젓소고기라는 선입견으로 인해 소비자들 사이에서는 일반 쇠고기보다 저급육으로 인식되고 있으므로(Kang *et al.*, 2005), 홀스타인육의 이미지 향상과 고품질화를 위해서는 품질 영향 요인에 관한 철저한 분석이 선행되어야 한다. 현재까지 홀스타인육에 관한 연구는 도축 전 영향 요인들 중 성별, 품종, 특수사료 급여의 영향(Corazzin *et al.*, 2012; Jurie *et al.*, 2007; Marti *et al.*, 2011)에 관해서는 보고되었으나, 사육조건의 영향에 관해서는 보고된 바 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 사육조건 중 비육기간이 홀스타인육 패티의 산화안정성에 미치는 영향에 관해 구명하고자 실시하였다.

재료 및 방법

시험동물 및 시료의 처리

시험동물은 충북 청원 소재 A육우 전문점에서 18, 21 및 24개월령 홀스타인 거세우를 각각 6두씩 도축하여 1°C에서 1일 동안 예냉한 후 경기도 수원 소재 국립축산과학원으로 반도체 상태로 운송하여 농림부고시(제2005-82호)(MIFAFF, 2007)에 따라 발골하였다. 본 실험의 재료를 위해 등심(*M. longissimus dorsi*)을 채취하여 폴리에틸렌 필름(Oxygen transmission rate=39 cc/m²·24 h·atm, 100 µm thickness, FoodSaver Co., Ltd., USA)으로 진공 포장하여 2°C에서 7일간 숙성시킨 후 meat chopper(5KSM150PS, Kitchen Aid Co., Ltd., USA)를 이용하여 3 mm로 세절하였다. 패티의 제조를 위해 세절육 100 g을 Ø90×15 mm의 polystyrene petri dish(Product No. 10090, SPL Life Sciences Co., Ltd., Korea)로 성형하여 폴리에틸렌 랩(Oxygen transmission rate=35,273 cc/m²·24 h·atm, 0.01 mm thickness, 3M Co., Korea)으로 포장한 다음 4°C에 12일 동안 저장하면서 산화안정성을 분석하였다.

일반성분 함량

일반성분 함량은 Anderson 등(2007)의 방법에 따라 시료 200 g을 Foodscan(Food Scan™ Lab 78810, Foss Tecator Co., Ltd., Denmark)에 넣어 분석하였다. 회분의 경우 550°C 회화로(MAS 7000, CEM Corp., USA)를 이용하여 분석하였다.

TBARS

TBARS(2-thiobarbituric acid reactive substances)는 Sinnhuber와 Yu(1977)의 방법에 의해 측정하였다. 시료 0.5 g(blank : 증류수 0.5 mL)을 정확히 정량하여 pyrex tube (Ø18×150 mm)에 정량하여 항산화제(3%(w/w) BHA-54%(w/w) propylene glycol-3%(w/w) BHT-40%(w/w) Tween 20) 200 µL와 1%(w/v) TBA-0.3%(w/v) NaOH 용액 3 mL를 넣고 5초간 vortex-mixing한 후 여기에 2.5%(w/v) TCA-3.6 mM HCl 용액 17 mL를 넣고 100°C water bath에서 30분 동안 가열하였다. 가열 종료 후 반응액을 15분 동안 얼음물에 냉각하여 상등액 5 mL를 chloroform 3 mL와 함께 glass tube에 옮긴 다음 20°C, 4,000 rpm(Avanti J-E, Beckman Coulter Inc., USA)에서 30분 동안 원심분리하였다. 분리된 상층액은 분광광도계(DU-800, Beckman Coulter Inc., USA)를 이용하여 532 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 최종 결과는 시료의 흡광도를 이용하여 시료 1 kg당 mg malonaldehyde(MA)로 산출하였다.

Conjugated dienes

Conjugated dienes(CD)는 Prasetyo 등(2008)의 방법에 의해 측정하였다. Folch 용액(Folch *et al.*, 1957)으로 추출한 지질 15 mg을 25 mL 용량의 volumetric flask에 넣고 iso-octane으로 25 mL까지 정용한 후 234 nm에서 흡광도를 측정하였다. 분석 결과는 흡광도와 몰흡광계수인 25,200 M⁻¹cm⁻¹를 이용하여 지질 1 mg당 µmol CD로 나타내었다.

Carbonyl

Carbonyl은 Oliver 등(1987)의 방법에 의해 측정하였다. 시료 4 g과 0.15 M KCl 용액 20 mL를 15,000 rpm에서 15초간 균질한 후 Whatman filter paper No. 1으로 여과하였다. 균질물 0.1 mL에 각각 0.2%(w/v) DNPH 용액 0.5 mL와 2 N HCl 용액 0.5 mL를 넣은 후 암실에서 1시간 동안 방치하였다. 10%(w/v) TCA 용액을 넣고, 3,000 g(VS-15000N, VISION, Japan)에서 5분 동안 원심분리한 다음 상등액을 제거하였다. 남은 침전물은 ethanol:ethyl acetate (1:1, v/v) 용액 용액으로 용해한 후 DNPH 첨가구는 370 nm, HCl 첨가구는 280 nm에서 흡광도를 측정하였다. 분석 결과는 흡광도와 bovine serum albumin의 standard curve, protein hydrazones의 몰흡광계수인 21,000 M⁻¹cm⁻¹를 이용하여 단백질 1 mg당 nmol carbonyl로 나타내었다.

Metmyoglobin의 농도

Metmyoglobin(MetMb)의 농도는 Krzywicki(1982)의 방법에 의해 측정하였다. 시료 4 g과 40 mM phosphate buffer (pH 6.8) 20 mL을 15,000 rpm에서 15초간 균질하였다. 이 균질액을 4°C, 암실에서 1시간 동안 방치한 후 2°C, 5,000 g에서 30분 동안 원심분리하여 4°C, 암실에서 Whatman filter paper No. 1으로 여과한 후 575, 565, 545 및 525 nm에서 여액의 흡광도를 측정하였다. 분석 결과는 Krzywicki (1982)의 수식에 따라 백분율(%)로 산출하였다.

표면육색

표면육색은 chroma meter(CR-400, Konica Minolta Sensing Inc., Japan)로 CIE(Commission Internationale de Leclairage, 1986) L^* (명도), a^* (적색도), b^* (황색도)를 측정하였다. 분석 전 보정에 이용한 표준판은 $Y=93.90$, $x=0.3131$, $y=0.3193$ 의 백색 타일을 이용하였다.

통계분석

통계분석은 SAS(2001) program의 ANOVA(analysis of variance)를 이용하여 분석하였고, 평균들간의 유의성 차이는 Duncan의 다중검정법을 통하여 5% 수준에서 검증을 실시하였다.

결과 및 고찰

일반성분 함량

비육기간이 홀스타인육 패티의 일반성분 함량에 미치는 영향은 Table 1과 같다. 수분 함량은 21개월과 24개월령이 각각 68.00%와 67.54%로 70.87%인 18개월령보다 유의적으로 높게 나타났다($p<0.05$). 이와 반대되는 경향으로 지방 함량은 24개월령이 9.78%로 6.57%인 18개월령보다 유의적으로 높게 나타났다($p<0.05$). 하지만 그 외 단백질과 회분 함량에서는 비육기간에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다. 따라서 비육기간이 증가함에 따라 홀스타인육의 지방 함량이 증가하였으며, 이러한 결과는 연령(20, 22 및 24개월령)에 따른 한우 거세우 등심의 일반성분 함량 비교 시 연령이 증가함에 따라 근내 지방 함량이 증가

Table 1. Effect of fattening period on proximate composition of Holstein beef patties

Items (%)	Fattening period (mon)		
	18	21	24
Moisture	70.87±0.21 ^a	68.00±0.22 ^b	67.54±0.66 ^b
Fat	6.57±0.26 ^b	9.43±0.37 ^{ab}	9.78±0.28 ^a
Protein	20.85±0.21	20.91±0.23	20.93±0.23
Ash	1.71±0.03	1.66±0.05	1.75±0.07

^{a,b}Means±SE in the same row with different letters differ significantly ($p<0.05$).

했다는 Kim 등(1996)의 보고와 동일하였다.

TBARS

비육기간이 홀스타인육 패티의 4°C 저장 중 TBARS 함량에 미치는 영향은 Fig. 1과 같다. 모든 처리구들의 TBARS는 저장기간 동안 유의적으로 증가하였으며($p<0.05$), 저장 0일째 0.20-0.26 mg MA/kg meat에서 12일째에는 0.82-0.92로 약 4배 가까이 증가하였다. 비육기간에 따른 차이를 보면, 저장 8일째에 24개월령이 0.61로 0.53과 0.52인 18과 21개월령보다 유의적으로 높게 나타났으며($p<0.05$), 12일째에는 24>21>18개월령 순으로 유의적인 차이를 보여 주었다($p<0.05$). 따라서 비육기간이 증가함에 따라 홀스타인육 패티의 저장 중 TBARS가 촉진되었다. 이와 같은 결과의 원인은 Hoehne 등(2012)의 홀스타인 교잡종육(Charolais×German Holstein)에 관한 연구가 뒷받침해 준다. 이들은 근내 지방 함량이 각각 0.63% 및 10.68%인 쇠고기 등심의 지방산 함량(mg/100 g meat)을 비교한 결과, 10.69%인 쇠고기에서 C18:2n6(linoleic acid), C18:3n3(linolenic acid) 및 다가불포화지방산의 함량이 높았으며, 근내 지방 함량과 이들간에 높은 정의 상관성이 있었다고 보고하였다. 그러므로 Hoehne 등(2012)의 보고를 미루어 볼 때, 비육기간의 증가에 따른 근내 지방 함량의 증가가 오히려 다가불포화지방산 함량을 증가시켜 지방산화를 촉진시킨 것으로 판단된다.

Conjugated dienes

Conjugated dienes(CD)는 지방산화 초기 단계에서 불포화지방산의 구조 내에 비 conjugated double bond가 conjugated 형태로 전환함으로써 생성되며, hydroperoxides와 동일한 단계에서 생성 및 분해되는 특성을 가지고 있어 1차 지방산화물의 지표로서 이용되고 있다(Kulas and Ackman, 2001). 모든 처리구들의 CD함량(Fig. 2)은 최초 0일째에 0.17-0.22 $\mu\text{mol}/\text{mg}$ fat의 수준으로 나타났으며, 8일째까지는 0.30-0.37까지 유의적으로 증가하였다가($p<0.05$) 12일째에는 0.22-0.29로 유의적인 감소를 보였다($p<0.05$). Choe

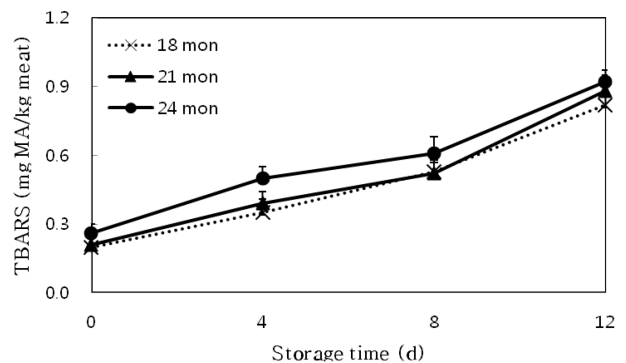


Fig. 1. Effect of fattening period on TBARS content of Holstein beef patties during storage at 4°C for 12 d. Values are means±SE.

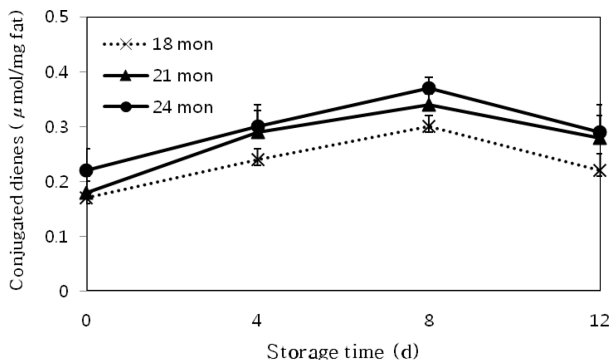


Fig. 2. Effect of fattening period on conjugated dienes contents of Holstein beef patties during storage at 4°C for 12 d. Values are means±SE.

등(2011)의 lotus 및 barley leaf powder의 첨가 유무에 따른 가열 세절 돈육의 4°C/10일 저장 실험에서도 CD의 함량은 4일째에 유의적으로 증가하였다가 10일째에 감소하는 유사한 경향이 보고되었다. 이러한 현상은 CD가 저장 초기 급격하게 생성되었다가 이후 2차 산화물로 분해되었다는 것을 의미한다. 비육기간에 따른 차이를 보면, 저장 4일째부터 21과 24개월령이 18개월령보다 유의적으로 높게 나타났다($p < 0.05$). 또한 비육기간이 증가할수록 CD의 함량이 증가하는 경향을 보였으며, 이는 2차 지방산화물인 TBARS와 유사한 결과였다. 따라서 비육기간이 증가함에 따라 홀스타인육 패티의 저장 중 1차 지방산화물 역시 더 많이 생성되었으며, Johnston 등(2005)의 즉석 가열 쇠고기 패티의 4°C/12일 저장 실험에서도 지방산화 억제력이 낮을수록 1차 산화물(hydroperoxides)과 2차 산화물(TBARS) 함량 모두 높았다고 보고된 바 있다.

Carbonyl

고기내 아미노산은 NH 또는 NH_2 그룹을 가지며, 이는 OH(hydroxyl radical)과 반응성이 매우 크기 때문에 산화과정 동안 carbonyl 화합물로 전환된다(Stadtman, 1990). Carbonyl은 단백질 산화 과정 동안 생성되는 가장 주요한 단백질산화물 중 하나로서(Requena *et al.*, 2003) malondialdehyde, 4-hydroxynonenal 등과 같은 지방산화물과 반응하여 유해 물질을 생성한다(Berlett and Stadtman, 1997). 저장 중 홀스타인육 패티의 carbonyl 함량(Fig. 3)은 0일째에 2.43-2.60 nmol/mg protein에서 지속적으로 증가하여 12일째에는 4.19-4.57의 수준을 보였다. 고기의 carbonyl 함량은 산화의 정도, 근육의 종류 및 단백질 용해도에 따라 달라지지만, 일반적으로 저장육에서는 2-14 nmol/mg protein의 수준을 보이며(Lund *et al.*, 2007), 본 실험결과 역시 이 범위 내에 포함되었다. 비육기간에 따른 차이는 저장 12일째에 24개월령이 4.57로 18과 21개월령의 4.19와 4.21에 비해 유의적으로 높게 나타났으며($p < 0.05$), 비육기간이 증가함에 따라 carbonyl의 생성이 증

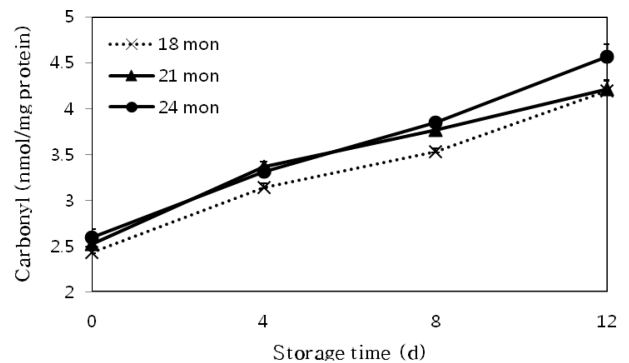


Fig. 3. Effect of fattening period on carbonyl content of Holstein beef patties during storage at 4°C for 12 d. Values are means±SE.

가하는 경향을 보였다. 따라서 지방산화와 마찬가지로 비육기간이 증가할수록 홀스타인육의 저장 중 단백질산화가 촉진되었다. 이러한 이유는 지방산화로 인해 생성된 유리 래디칼이 단백질산화를 발생시키기 때문이다.

Metmyoglobin

고기의 metmyoglobin(MetMb)는 소비자가 싫어하는 갈색의 육색을 띄게 하므로 기호도와 밀접한 관계를 가지고 있다. 본 실험에서 홀스타인육 패티의 MetMb 농도(Fig. 4)는 최초 0일에 23.36-27.81%이었으며, 8일째부터 유의적인 증가를 나타내었다($p < 0.05$). 특히 12일째에는 모든 처리구들이 40%를 초과함으로써 소비자의 구매 거절 범위에 들어갔다(Greene *et al.*, 1971). 그러므로 육색소 측면에서 볼 때, 홀스타인육 패티의 4°C 저장기간은 최대 8일 미만이 바람직하다고 사료된다. 비육기간에 따른 차이를 보면, 저장 8일과 12일에 24개월령이 38.95와 44.25%로 34.71과 40.50%, 31.94와 41.56%인 18과 21개월령보다 유의적으로 높게 나타났다($p < 0.05$). 따라서 비육기간이 증가함에 따라 홀스타인육 패티의 저장 중 MetMb의 농도는 더욱 증가하였다. 이러한 결과는 연령이 증가함에 따라 쇠고기 패티의 저장 중 MetMb이 더 빨리 축적되었다는

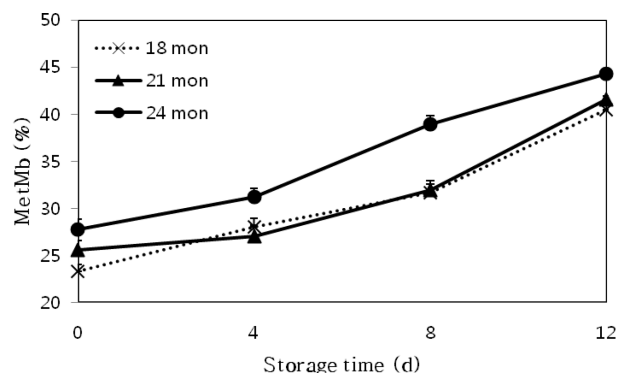


Fig. 4. Effect of fattening period on MetMb content of Holstein beef patties during storage at 4°C for 12 d. Values are means±SE.

Xiong 등(2007)의 보고와 동일하였다.

표면육색

홀스타인육 패티의 표면육색(Fig. 5) 중 명도(L*)는 0일째에 42.93-43.05에서 지속적으로 감소하여 12일째에는 38.66-40.08의 수준을 보였으며, 저장 4일부터 21과 24개월령이 낮은 경향을 보였다. 적색도(a*)는 모든 처리구들에서 저장기간이 지남에 따라 감소하였으며, 특히 24개월령이 가장 빠른 감소를 보여 주어 현저한 유의적 차이를 보여 주었다($p < 0.05$). 이와는 반대로 황색도(b*)는 저장기간이 지남에 따라 증가하였으며, 저장기간 동안 24개월령이 다른 처리구들에 비해 높은 값을 보였다($p < 0.05$). 따라서 비육기간이 증가할수록 홀스타인육 패티의 저장 중 육색, 특히 적색 안정성이 감소하였다. 이러한 이유는 비육기간이 증가함에 따라 MetMb의 축적이 증가하였기 때문이다.

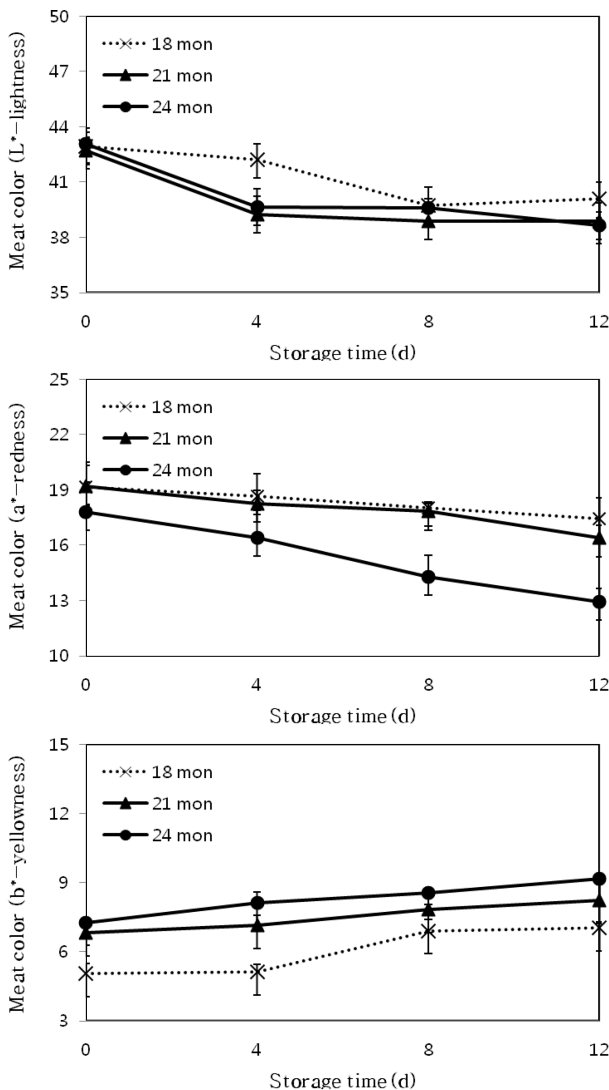


Fig. 5. Effect of fattening period on meat color (L*, a*, b* values) of Holstein beef patties during storage at 4°C for 12 d. Values are means±SE.

요 약

본 연구는 비육기간이 홀스타인육 패티의 산화안정성에 미치는 영향에 관해 구명하고자 실시하였다. 18, 21 및 24개월령 홀스타인 거세우 등심(*M. longissimus dorsi*) 패티를 4°C에서 12일간 저장하면서 지방산화, 단백질산화, 육색소산화 및 육색을 분석하였다. 일반성분 중 지방 함량은 24개월령이 18개월령보다 높았다($p < 0.05$). 저장 중 TBARS 함량과 metmyoglobin 농도는 8일째부터 24개월령이 높았다($p < 0.05$). Conjugated dienes 함량은 저장 4일째부터 21과 24개월령이 높았으며($p < 0.05$), carbonyl 함량은 12일째에 24개월령이 높았다($p < 0.05$). 표면육색 중 명도(L*)는 저장 4일째부터 21과 24개월령이 낮은 경향을 보였다. 적색도(a*)는 24개월령이 저장기간 동안 가장 빨리 감소하였으나($p < 0.05$), 황색도(b*)는 가장 높은 값을 유지하였다. 따라서 비육기간이 높을수록 홀스타인육 패티의 지방산화, 단백질산화, 육색소 산화가 촉진되었다. 특히 24개월령의 산화안정성이 가장 낮았다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 농촌진흥청 국립축산과학원 경상연구비에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Anderson, S., Aldana, S., Beggs, M., Birkey, J., Conquest, A., Conway, R., Hemminger, T., Herrick, J., Hurley, C., Ionita, C., Longbind, J., McMaignal, S., Milu, A., Mitchell, T., Nanke, K., Perez, A., Phelps, M., Reitz, J., Salazar, A., Shinkle, T., Strampe, M., Van Horn, K., Williams, J., Wipperfurth, C., Zelten, S., and Zerr, S. (2007) Determination of fat, moisture, and protein in meat and meat products by using the FOSS FoodScan™ near-infrared spectrophotometer with FOSS artificial neural network calibration model and associated database: collaborative study. *J. AOAC Int.* **90**, 1073-1082.
- APGS (Animal Products Grading Service) (2011) Information and data of agricultural statistics of Korea. Available from: http://www.ekape.or.kr/view/u-ser/distribution/distribution_01_01.asp. Assessed Oct. 22, 2011.
- Berlett, B. S. and Stadtman, E. R. (1997) Protein oxidation in aging, disease, and oxidative stress. *J. Biol. Chem.* **272**, 20313-20316.
- Buckley, D. J., Morrissey, P. A., and Gray, J. I. (1995) Influence of dietary vitamin E on the oxidative stability and quality of pig meat. *J. Anim. Sci.* **73**, 3122-3130.
- Choe, J. H., Jang, A., Lee, E. S., Choi, J. H., Choi, Y. S., Han, D. J., Kim, H. Y., Lee, M. A., Shim, S. Y., and Kim, C. J. (2011) Oxidative and color stability of cooked ground pork containing lotus leaf (*Nelumbo nucifera*) and barley leaf (*Hordeum vulgare*) powder during refrigerated storage. *Meat*

- Sci.* **87**, 12-18.
6. CIE (1986) Colorimetry. 2nd ed., Commission Internationale de Leclairage l'ØEclairage, Publication CIE No. 15:2. Vienna, Austria.
 7. Corazzin, M., Bovolenta, S., Sepulcri, A., and Piasentier, E. (2012) Effect of whole linseed addition on meat production and quality of Italian Simmental and Holstein young bulls. *Meat Sci.* **90**, 99-105.
 8. Davies, M. J. and Dean, R. T. (2003) Radical-mediated protein oxidation. Oxford Science University, London, England, p. 215.
 9. Decker, E. A., Chan, W. K. M., Livisay, S. A., Butterfield, D. A., and Faustman, C. (1995) Interactions between carnosine and the different redox states of myoglobin. *J. Food Sci.* **60**, 1201-1204.
 10. Descalzo, A. M., Rossetti, L., Grigioni, G., Irurueta, M., Sancho, A. M., Carrete, J., and Pensel, N. A. (2007) Antioxidant status and odour profile in fresh beef from pasture of grain-fed cattle. *Meat Sci.* **75**, 299-307.
 11. Faustman, C. and Cassens, R. G. (1990) The biochemical basis for discoloration in fresh meat: A review. *J. Muscle Foods* **1**, 217-243.
 12. Folch, J. M., Lees, M., and Stanley, G. H. S. (1957) A simple method for the isolation and purification and total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.* **226**, 497-509.
 13. Hoehne, A., Nuernberg, G., Kuehn, C., and Nuernberg, K. (2012) Relationships between intramuscular fat content, selected carcass traits, and fatty acid profile in bulls using a F₂-population. *Meat Sci.* **90**, 629-635.
 14. Greene, B. E., Hsin, I., and Zipser, M. W. (1971) Retardation of oxidative color changes in raw ground beef. *J. Food Sci.* **36**, 940-942.
 15. Johnston, J. E., Sepe, H. A., Miano, C. L., Brannan, R. G., and Alderton, A. L. (2005) Honey inhibits lipid oxidation on ready-to-eat ground beef patties. *Meat Sci.* **70**, 627-631.
 16. Jurie, C., Picard, B., Hocquette, J. F., Dransfield, E., Micol, D., and Lustrat, A. (2007) Muscle and meat quality characteristics of Holstein and Salers cull cows. *Meat Sci.* **77**, 459-466.
 17. Kang, S. W., Ki, K. S., Oh, Y. K., Kim, K. H., and Choi, C. W. (2005) Effects of roughage feeding type during the growing and early-fattening periods on growth performance, feed efficiency and carcass characteristics on Holstein steers. *Korean J. Anim. Sci. Technol.* **47**, 769-782.
 18. Kim, D. G. Jung, K. K., Sung, S. K., Choi, C. B., Kim, S. K., Kim, D. Y., and Choi, B. J. (1996) Effects of Age on the Carcass Characteristics of Hanwoo and Holstein steers. *Korean J. Anim. Sci.* **38**, 268-274.
 19. Kim, S. I., Jung, K. K., Kim, J. Y., Lee, S. W., Beak, K. H., and Choi, C. B. (2007) Effect of feeding high quality hay on performance and physic-chemical characteristics of carcass of Hanwoo steers. *Korean J. Anim. Sci. Technol.* **49**, 783-800.
 20. Korea Dairy and Beef Farmers Association (KDBFA) (2009) Guidelines of rearing of beef cattle for high-quality beef. Animal Products Research and Development Division, National Institute of Animal Science, p. 72.
 21. Krzywicki, K. (1982) The determination of haem pigments in meat. *Meat Sci.* **7**, 29-36.
 22. Kulas, E. and Ackman, R. G. (2001) Different tocopherols and the relationship between two methods for determination of primary oxidation products in fish oil. *J. Agric. Food Chem.* **49**, 1724-1729.
 23. Lee, S. K., Panjono, Kang, S. M., Jung, Y. B., Kim, T. S., Lee, I. S., Song, Y. H., and Kang, C. G. (2008) Effects of tethering and loose housing on the meat quality of Hanwoo bulls. *Asian. Aust. J. Anim. Sci.* **21**, 1807-1814.
 24. Lund, M. N., Hviid, M. S., and Skibsted, L. H. (2007) The combined effect of antioxidants and modified atmosphere packaging on protein and lipid oxidation on beef patties during chill storage. *Meat Sci.* **76**, 226-233.
 25. Marti, S., Realini, C. E., Bach, A., Pèrez-Juan, M., and Devant, M. (2011) Effect of vitamin A restriction on performance and meat quality in finishing Holstein bulls and steers. *Meat Sci.* **89**, 412-418.
 26. MIFAFF (2007) Processing standard for meat products Act 2008-82 Grading. Ministry for Food, Agriculture, Forest and Fisheries, Korea.
 27. Morzel, M., Gatellier, Ph., Sayd, T., Renerre, M., and Laville, E. (2006) Chemical oxidation decreases proteolytic susceptibility of skeletal muscle myofibrillar proteins. *Meat Sci.* **73**, 536-543.
 28. Oliver, C. N., Ahn, B. W., Moerman, E. J., Goldstein, S., and Stadtman, E. R. (1987) Age related changes in oxidized proteins. *J. Biol. Chem.* **262**, 5488-5491.
 29. Requena, J. R., Levine, R. L., and Stadtman, E. R. (2003) Recent advances in the analysis of oxidized proteins. *Amino Acids* **25**, 221-226.
 30. SAS (2001) SAS/STAT Software for PC. Release 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
 31. Shackelford, S. D., Wheeler, T. L., Meade, M. K., Reagan, J. O., Byrnes, B. L., and Koochmarai, M. (2001). Consumer impressions of Tender Select beef. *J. Anim. Sci.* **79**, 2605-2614.
 32. Sinnhuber, R. O. and Yu, T. C. (1977) The 2-thiobarbituric acid reaction, an objective measure of the oxidative deterioration occurring in fats and oils. *J. Jap. Soc. Fish. Sci.* **26**, 259-267.
 33. Srinivasan, S. and Xiong, Y. L. (1996) Gelation of beef heart surimi as affected by antioxidants. *J. Food Sci.* **61**, 707-711.
 34. Stadtman, E. R. (1990) Metal ion-catalysed oxidation of proteins: biochemical mechanism and biological consequences. *Free Rad. Bio. Med.* **8**, 315-325.
 35. Xiong, Y. L. (2000) Protein oxidation and implications for muscle food quality. In: Antioxidants on muscle foods. Decker, E., Faustman, C., and Lopez-Bote, C. (eds), John Wiley and Sons, Inc., NY, USA, pp. 85-111.
 36. Xiong, Y. L., Mullins, O. E., Stika, J. F., Chen, J., Blanchard, S. P., and Moody, W. G. (2007) Tenderness and oxidative stability of post-mortem muscles from mature cows of various ages. *Meat Sci.* **77**, 105-113.