

Effect of Immersion in *Rhus verniciflua* Stokes Extract on the Total Reducing Ability, Protein Oxidation and Myoglobin Oxidation of Hanwoo Beef Steak Stored with Modified-atmosphere Packaging

Sun Moon Kang¹, Young Han Song², Cheon Soon Jeong³, Soohyun Cho¹,
Beomyoung Park¹, Seokgeun Jung¹ and Sung Ki Lee^{4*}

¹National Institute of Animal Science, Rural Development Administration, Suwon 441-706, Korea

²Department of Animal Life System, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

³Department of Horticulture, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

⁴Department of Animal Products and Food Science, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

옷나무 추출물의 침지가 가스조절포장으로 저장한 한우고기 스테이크의 총환원력, 단백질산화 및 육색소산화에 미치는 영향

강선문¹ · 송영한² · 정천순³ · 조수현¹ · 박범영¹ · 정석근¹ · 이성기^{4*}

¹농촌진흥청 국립축산과학원, ²강원대학교 동물생명시스템학과, ³강원대학교 원예학과,

⁴강원대학교 동물식품응용학과

Abstract

The objective of this research was to investigate the effect of immersion in *Rhus verniciflua* Stokes extract (RVSE) on the total reducing ability (TRA), protein oxidation and myoglobin oxidation of beef steak (*Hanwoo longissimus muscle*) stored with high oxygen-modified-atmosphere packaging (MAP) (HOMAP, 75% O₂+20% CO₂+5% N₂) and low oxygen-MAP (LOMAP, 0% O₂+20% CO₂+80% N₂) at 4°C for nine days. RVSE induced TRA ($p<0.05$), metmyoglobin (MetMb) formation, and the CIE H° value but reduced the carbonyl content and R630-R580, as an index of the intensity of redness by oxymyoglobin, and the CIE L*, a*, and C* values. HOMAP maintained a lower TRA, MetMb concentration, and CIE H° value but had higher R630-R580 and CIE L*, a*, and C* values compared to LOMAP. Therefore, RVSE induced TRA and protein oxidation stability but reduced myoglobin stability in Hanwoo beef steak. In addition, the effects of HOMAP were opposite those of RVSE.

Key words : *Rhus verniciflua* Stokes extract, total reducing ability, protein oxidation, myoglobin oxidation, Hanwoo beef

서 론

옷나무과(Anacardiaceae)의 낙엽활엽 소교목인 옷나무(*Rhus verniciflua* Stokes)는 약 4,000년 전부터 한국을 비롯한 중국과 일본에서 도료 및 공업용 옷칠로 이용되어 왔으며(1), 한방에서는 빈혈, 변비, 복통, 구충을 위한 약재로서 쓰여졌다(2). 또한 옷나무의 추출물은 butein, butin, gallic acid, fisetin, fustin, sulfuretin, quercetin과 같은 폴리페놀

화합물들을 함유하고 있어(3,4) 강력한 금속이온 붕쇄력과 free radical 소거력을 가지고 있으며(5), 이들의 항산화력은 catalase, α -tocopherol과 유사할 정도로 매우 강력하다(6). 한국에서 옷나무 추출물은 의약품 이외에도 전통적인 여름철 보양식인 옷담에 활용되었으며, 이는 현재에까지 이어져 현대인들의 건강 음식으로서 섭취되고 있다. 최근에는 옷나무 추출물의 생리적 효과를 기초로 하여 육제품의 기능성 첨가물로 이용한 결과, 가열 돈육의 저장 중 지방산화와 유화형 소시지의 저장 중 지방산화, 단백질부패, 변색이 억제되었다고 보고되었다(7,8).

가스조절포장(modified atmosphere packaging, MAP)은

*Corresponding author. E-mail : skilee@kangwon.ac.kr
Phone : 82-33-250-8646, Fax : 82-33-251-7719

식품을 포장재로 밀봉하기 전 대기 가스를 특정 가스로 치환하여 포장하는 기술로서 이의 주된 목적은 식품의 저장 수명을 증진시키는 것이다(9). 식육의 MAP 가스로는 주로 O₂, CO₂ 및 N₂가 이용되고 있으며, 이중 O₂의 역할은 표면에 oxymyoglobin을 형성시켜 소비자들이 좋아하는 선홍색으로 만들어 주는 것이다(10). CO₂는 항균제로서 20~30% 정도면 호기성 미생물을 충분히 억제할 수 있으나(11), 30% 이상일 경우 변색을 발생시킨다(12). N₂는 고기에 흡수되거나 어떠한 화학적 반응을 일으키지 않으므로 filler로서 이용된다(13). 신선육의 품질 보존에는 high oxygen-MAP (HOMAP; 70~80% O₂+20~30% CO₂)가 가장 최적의 조건이나(14), 고농도의 O₂는 오히려 일정기간 이상 저장 시 지방 산화, 변색 및 호기성 미생물에 의한 부패를 촉진시킨다(10). 이와 반대로 low oxygen-MAP (LOMAP; 0% O₂+20~30% CO₂+70~80% N₂)는 HOMAP에 비해 저장 수명이 길지만, 소비자들이 싫어하는 색깔을 형성시킨다(15).

신선육의 저장 중에는 여러 종류의 free radical들에 의해 단백질과 육색소(myoglobin)의 화학적 산화가 발생된다(16). 단백질산화는 조직감의 변질, 악취 및 독성 물질의 생성을 일으키며(17), 육색소산화는 소비자에 의한 기호도 감소와 함께 판매자의 경제적 손실을 불러온다(18). 그러므로 소비자들에게 좋은 품질의 고기를 제공하기 위해서는 산화 반응을 억제시키는 것이 관건이며, 이는 항산화제의 표면 처리를 통해 이를 수 있다(19). 따라서 본 연구는 옷나무 추출물의 침지 처리가 HOMAP 및 LOMAP로 저장한 한우고기 스테이크의 총환원력, 단백질산화 및 육색소산화에 미치는 영향을 구명하고자 실시하였다.

재료 및 방법

옷나무 추출물의 제조

강원도 원주에서 재배한 8년생 옷나무(*Rhus verniciflua* Stokes)의 분말 150 g에 100°C에서 끓인 3차 증류수 2,500 mL를 가한 후 100°C water bath에서 3시간 동안 가열하였다. 가열 종료 후 실온에서 1시간 동안 냉각한 다음 Whatman filter paper No 1과 0.45 µm membrane filter로 순차적으로 여과하였다. 옷나무 추출물(*Rhus verniciflua* Stokes extract, RVSE)은 시료 처리 1일 전에 제조하였으며, 제조 후 이용 직전까지 2°C의 냉장실에 보관하였다.

실험재료의 처리

시료의 처리는 도축 2일째의 거세 한우 등심(Hanwoo longissimus muscle)을 강원도 횡성 소재 A마트로부터 구입하여 등지방, 결체조직, 혈액을 완전히 제거한 후 7×10×1 cm(약 100 g)의 크기로 절단하였다. 이후 옷나무 추출물의 침지 여부와 MAP 방법(HOMAP[high oxygen - modified

-atmosphere packaging; 75% O₂+20% CO₂+5% N₂] 및 LOMAP[low oxygen-modified-atmosphere packaging; 0% O₂+20% CO₂+80% N₂])에 따라 4개의 처리구로 나누어 포장하였다. 옷나무 추출물의 침지는 각각의 스테이크들을 추출물에 3초 동안 담근 후 표면의 수분을 털어 내었다. MAP는 공압출 7층 필름(Nylon +tie+LLDPE+tie+nylon+tie+LLDPE; FoodSaver 8 inch pouch, Rollpack Co, Pyeongtaek, Korea)과 Active MA Packaging M/C (IE2004-2, Iru Eng Co, Chuncheon, Korea)를 이용하여 실시하였다. 모든 처리구들은 3반복씩 준비하였으며, 4±0.2°C에서 9일 동안 저장하면서 품질을 분석하였다. 또한 저장 0일에 시료들의 분석은 포장을 하지 않은 상태에서 실시하였다.

가스 농도 측정

MAP의 가스 농도는 portable O₂/CO₂ analyzer (CheckMate 9900 O₂/CO₂, PBI Dansensor, Ringsted, Denmark)를 이용하여 측정하였으며, N₂의 농도(%)는 100-[O₂(%)+CO₂(%)]로 산출하였다.

총환원력 분석

총환원력(toal reducing ability, TRA)은 Lee 등(20)의 방법에 의해 실시하였다. 시료 2 g과 25 mM pipes buffer(pH 5.8) 10 mL를 homogenizer (Ultra-Turrax T25 Basic, Ika Werke GmbH & Co, Staufen, Germany)로 13,500 rpm에서 10초 동안 균질한 후 균질물 5 mL와 5 mM potassium ferricyanide 2 mL를 15초 간격으로 혼합하면서 4°C에 1시간 동안 방치하였다. 이후 0.5% (w/v) ammonium sulfamate 0.1 mL, 0.5 M lead acetate 0.2 mL, 20%(w/v) TCA 5 mL 및 3차 증류수 0.2 mL를 순차적으로 넣고, 0.45 µm syringe filter로 여과한 다음 420 nm (UV-mini-1240, Shimadzu Corp, Kyoto, Japan)에서 흡광도를 측정하였다. 최종 결과는 blank (1 mM potassium ferricyanide)의 흡광도에서 시료의 흡광도를 뺀 수치로 산출하였다.

Carbonyl 함량 분석

Carbonyl 함량은 Mercier 등(21)의 방법에 의해 실시하였다. 시료 1 g과 0.15 M KCl 10 mL의 균질물 0.1 mL를 2개의 eppendorf tube에 각각 분할하여 2N HCl과 0.2%(w/v) DNPH를 0.7 mL씩 넣은 후 실온/암실에서 1시간 동안 incubation하였다. 반응물에 20%(w/v) TCA 0.7 mL를 넣고, 2°C에서 10분 동안 방치하였다. 3,000g(Micro 17R+ Centrifuge, Hanil Science Industrial Co, Incheon, Korea)에서 5분 동안 원심분리하고, 상등액을 조심스럽게 버린 후 ethanol-ethyl acetate (1:1)로 3회 세척하였다. 이후 6M guanidine HCl in 20 mM phosphate buffer(pH 6.5)를 1.5 mL씩 첨가하여 37°C에서 10분 동안 incubation한 다음 3,000g에서 원심분리하였다. 분리된 상등액은 280 nm

(HCl)와 370 nm (DNPH) (DU-800, Beckman Coulter, Inc, Palo Alto, USA)에서 흡광도를 측정하였으며, 최종 결과는 bovine serum albumin의 standard curve와 protein hydrazones의 molar extinction coefficient ($22,000 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$)를 이용하여 단백질 1 mg당 nmol carbonyl로 산출하였다.

Myofibrillar fragmentation index 분석

Myofibrillar fragmentation index (MFI)는 Culler 등(22)에 의해 분석하였다. 시료 2.5 g과 2°C의 MFI buffer (100 mM KCl-1 mM EDTA-1 mM MgCl_2 -20 mM potassium phosphate buffer, pH 7.0) 25 mL의 균질물을 2°C/2,500 rpm(J2-21 Centrifuge, Beckman Instruments, Inc, Palo Alto, USA)에서 15분 동안 원심분리를 2회 실시하고, 침전물과 MFI buffer 15 mL와 혼합한 후 gauze로 여과하였다. 여액의 단백질 농도를 biuret method(23)로 측정된 다음 0.5 mg/mL로 희석하여 540 nm에서 흡광도를 측정하였다. 최종 결과는 흡광도에 150을 곱하여 단백질 0.5 mg당 unit myofibril로 산출하였다.

표면육색소의 농도 분석

표면육색소의 농도는 Krzywicki(24)의 방법에 의해 분석하였다. 시료를 식품 포장용 선상 저밀도 폴리에틸렌 랩 (Oxygen transmission rate: $35,273 \text{ cc} / \text{m}^2 \cdot 24 \text{ hr} \cdot \text{atm}$, 0.01 mm thickness, 3M Co, Korea)으로 포장하여 473, 525, 572, 730 nm (UV-2401PC, Shimadzu Corp, Kyoto, Japan)에서 반사율을 측정된 후 Demos 등(25)에 의해 metmyoglobin (MetMb)의 백분율(%)을 산출하였다. Oxy-myoglobin (OxyMb)에 의한 적색 강도의 지표인 R630-R580(26)는 630 nm와 580 nm에서의 반사율을 뺀 값으로 산출하였다.

표면육색 분석

시료 표면의 CIE (27) L* (lightness), a* (redness), b* (yellowness), C* (chroma: $[a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$) 및 H° (hue-angle: $\tan^{-1}[b^*/a^*]$)은 chroma meter (CR-400, Konica Minolta Sensing, Inc, Sakai, Japan)를 이용하여 측정하였다. Calibration은 측정 직전 white tile plate (2° observer; Illuminant C Y: 93.6, x: 0.3134, y: 0.3194)를 이용하여 실시하였으며, plate의 색도는 L*: 97.46, a*: 0.08 및 b*: 1.81이었다.

통계분석

본 실험을 통해 얻은 자료는 SPSS(28) program의 ANOVA (analysis of variance)에 의해 분석하였으며, 각 평균들간의 유의성 차이는 Duncan's multiple range test에 의해 5% 수준에서 검증하였다.

결과 및 고찰

총환원력의 변화

웃나무 추출물(RVSE)의 침지가 HOMAP (high oxygen-MAP) 및 LOMAP (low oxygen-MAP)로 포장한 한우고기 스테이크의 4°C, 9일간 저장 중 총환원력에 미치는 영향은 Table 1과 같다. 총환원력은 3가의 Fe을 인위적으로 첨가했을 때, 시료 자체의 항산화 활성으로 2가의 Fe로 환원시킬 수 있는 능력이다(20). 본 실험에서는 저장 0일째에 RVSE 처리구들의 총환원력이 0.62로 무처리구들의 0.42보다 유의적으로 높게 나타났으며($p < 0.05$), 이후 저장 4일과 9일째에도 HOMAP와 LOMAP에 관계없이 RVSE 처리구들의 높은 총환원력은 지속되었다($p < 0.05$). 또한 HOMAP 처리구들의 총환원력은 저장기간 동안 유의적으로 감소했던 반면($p < 0.05$), LOMAP 처리구들은 유의적인 변화 없이 HOMAP 처리구들보다 높은 총환원력을 유지하였다($p < 0.05$). Kang(29)의 연구에서도 세질 우육에 RVSE를 0.02% 및 0.04% 첨가했을 때, 총환원력이 유의적으로 증가함과 동시에 0.04% 첨가구가 0.02% 첨가구보다 높은 총환원력을 보여 주었다고 동일하게 보고되었다. 또한 Zakrys 등(30)은 쇠고기 스테이크를 0%, 10%, 20%, 50% 및 80% O_2 -MAP로 포장하여 4°C, 15일간 저장했을 때, 0% O_2 -MAP 처리구에서는 지방산화의 증가를 볼 수 없었던 반면, 10% 이상의 O_2 -MAP 처리구들에서는 O_2 의 농도가 증가함에 따라 지방산화가 현저하게 증가하였다고 보고하였다. 고기 역시 생체 조직의 일부로서 저장 중 발생하는 지방산화를 억제하기 위해 antioxidant enzyme, vitamin, thiol, polyamine, peptide 등의 자체적인 항산화 시스템을 가지고 있다(31). 하지만 이들 역시 지방산화를 통해 발생하는 free radical들에 의해 산화되어 항산화 기능을 상실하게 된다(32). 이러한 이유로

Table 1. Effect of immersion in *Rhus verniciflua* Stokes extract (RVSE) on the total reducing ability (TRA) of Hanwoo beef steak stored with modified-atmosphere packaging (MAP) at 4°C for 9 days

Items	Treatments ¹⁾	Storage time (day)		
		0	4	9
TRA	HOMAP		0.39±0.05 ^{cB}	0.25±0.05 ^{dC}
	LOMAP	0.42±0.06 ^{bAX}	0.41±0.03 ^{cX}	0.38±0.08 ^{cX}
	RVSE+HOMAP		0.56±0.02 ^{bB}	0.50±0.09 ^{bC}
	RVSE+LOMAP	0.62±0.04 ^{aAX}	0.62±0.03 ^{aX}	0.61±0.05 ^{aX}

Values are means±S.D.

¹⁾HOMAP: high oxygen-MAP (75% O_2 +20% CO_2 +5% N_2) LOMAP: low oxygen-MAP (0% O_2 +20% CO_2 +80% N_2).

^{a-d)}Different superscripts indicate significant differences among HOMAP, LOMAP, RVSE+HOMAP and RVSE+LOMAP in 0, 4 or 9 day ($p < 0.05$).

^{A-C)}Different superscripts indicate significant differences among 0, 4, and 9 days in HOMAP or RVSE+HOMAP ($p < 0.05$).

^{X-Z)}Different superscripts indicate significant differences among 0, 4, and 9 days in LOMAP or RVSE+LOMAP ($p < 0.05$).

인해 HOMAP에서 저장 중 총환원력이 감소되었다고 사료된다.

Carbonyl 함량 및 MFI의 변화

저장육에서는 free radical들에 의해 단백질과 아미노산의 산화 반응이 일어나며, 이로 인해 carbonyl 및 thiol 등의 화합물들이 생성된다(33). 이러한 원리에 따라 본 실험에서는 단백질산화의 지표로서 carbonyl 함량과 근육 단백질(myofibrillar protein)의 분해 지수인 myofibrillar fragmentation index (MFI)를 측정하였다. 한우고기 스테이크의 carbonyl 함량(Table 2)은 모든 처리구들에서 저장기간이 지남에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 특히 HOMAP 처리구들이 LOMAP 처리구들보다 빨리 증가하여 저장 9일째에 유의적으로 높은 함량을 나타내었다(p<0.05). 하지만 HOMAP에 의한 carbonyl 함량의 증가는 RVSE 침지에 의해 억제되었으며, 9일째에 RVSE 처리구가 9.30 nmol/mg protein으로 무처리구의 10.36 nmol/mg protein보다 유의적으로 낮은 함량을 나타내었다(p<0.05). LOMAP에서는 RVSE 침지에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다(p>0.05). MFI (Table 2)는 저장기간의 증가와 HOMAP에 의해 증가하는 경향을 보였으나, 유의적인 차이는 없었다(p>0.05). 또한 RVSE의 침지에 의해 감소하는 경향을 보였으나, 이 역시 유의적인 차이를 보이지는 않았다(p>0.05). 본 실험결과와 동일하게 Lund 등(34)도 세절 우육의 4°C 저장 실험에서 6일째부터 80% O₂-MAP 처리구의 carbonyl 함량이 100% N₂-MAP 처리구보다 유의적으로 높았다고 보고하였다. 일반적으로 HOMAP는 쇠고기의 지방산화를 촉진시키며(30), 고기의 저장 중 carbonyl의 생성은 지방산화에 의해 촉진된다(35). 또한 Liang 등(36)은 37°C에서 산화 촉진시킨 beef homogenate model system에서 RVSE의 첨가에 의해 2차 지방산화물인

TBARS(2-thiobarbituric acid reactive substances)가 유의적으로 감소되었다고 보고하였다. 따라서 이들을 통해 미루어 봤을 때, RVSE의 침지가 HOMAP에 의한 carbonyl의 생성을 억제시킨 이유는 지방산화를 억제시켰기 때문으로 사료된다. 한편 MFI가 저장기간 동안 HOMAP와 RVSE에 의해 유의적인 변화를 받지 않았던 이유는 고기가 자체적으로 함유하고 있는 proteinase인 calpain (37)이 이들의 영향을 받지 않고 지속적으로 근육 단백질을 분해(fragmentation)시켰기 때문으로 판단되며, 70% O₂-MAP의 산화 촉진 조건에서도 4°C, 14일 동안 근육 단백질의 분해 작용이 활발히 일어났다는 Lund 등(38)의 보고가 이를 뒷받침해 준다.

표면육색소 농도의 변화

Myoglobin은 고기가 가지고 있는 heme 색소로서 이것의 구조 내에 함유되어 있는 Fe의 상태와 O₂의 결합 유무에 따라 deoxymyoglobin(DeoxyMb), oxymyoglobin(OxyMb) 및 metmyoglobin (MetMb)의 형태로 고기에 존재하면서 특유의 색깔을 형성한다(39). 이중 OxyMb는 Fe이 2가이고 O₂가 결합되어 있으며, 소비자들이 가장 선호하는 선홍색의 육색을 띄게 한다. 반면에 MetMb는 Fe이 3가이고 소비자들이 가장 싫어하여 구매를 하지 않게 만드는 갈색을 띄게 한다. 본 실험결과에서 MetMb의 농도(Table 3)는 저장기간 동안 모든 처리구들에서 증가하였으며, LOMAP 처리구들이 HOMAP 처리구들보다 유의적으로 높게 나타났다(p<0.05). 또한 RVSE 처리구들에서 무처리구들에 비해 높았으며, 특히 저장 9일째에는 LOMAP에서 RVSE 처리구가 53.76%로 45.21%인 무처리구보다 유의적으로 높은 농도를 보였다(p<0.05). OxyMb에 의한 적색 강도의 지표인 R630-R580(26)은 저장기간 동안 감소하는 경향을 보였으며, RVSE 처리구들이 무처리구들보다 빨리 감소하였다. 특히

Table 2. Effect of immersion in *Rhus verniciflua* Stokes extract (RVSE) on the carbonyl content and myofibrillar fragmentation index (MFI) of Hanwoo beef steak stored with modified-atmosphere packaging (MAP) at 4°C for 9 days

Items	Treatments ¹⁾	Storage time (day)		
		0	4	9
Carbonyl (nmol /mg protein)	HOMAP	4.60±1.11 ^{aCY}	7.61±0.83 ^{aB}	10.36±0.94 ^{aA}
	LOMAP		7.04±1.17 ^{aX}	7.48±1.26 ^{cX}
	RVSE+HOMAP	4.78±0.85 ^{aCY}	7.43±1.13 ^{aB}	9.30±1.19 ^{ba}
	RVSE+LOMAP		6.95±1.32 ^{aX}	7.06±1.47 ^{cX}
MFI (unit myofibril /0.5 mg protein)	HOMAP	99.62±7.27 ^{aBY}	121.22±11.45 ^{aA}	136.32±19.01 ^{aA}
	LOMAP		111.82±11.79 ^{aX}	124.38±11.61 ^{aX}
	RVSE+HOMAP	101.38±9.75 ^{aBY}	124.68±7.61 ^{aA}	131.67±36.28 ^{aA}
	RVSE+LOMAP		113.36±14.94 ^{aX}	120.88±19.56 ^{aX}

Values are means±S.D.

¹⁾HOMAP: high oxygen-MAP (75% O₂+20% CO₂+5% N₂); LOMAP: low oxygen-MAP (0% O₂+20% CO₂+80% N₂).

^{a,d}Different superscripts indicate significant differences among HOMAP, LOMAP, RVSE+HOMAP and RVSE+LOMAP in 0, 4 or 9 day (p<0.05).

^{A,C}Different superscripts indicate significant differences among 0, 4, and 9 days in HOMAP or RVSE+HOMAP (p<0.05).

^{X,Z}Different superscripts indicate significant differences among 0, 4, and 9 days in LOMAP or RVSE+LOMAP (p<0.05).

LOMAP에서 RVSE 처리구가 저장 4일과 9일째에 각각 8.44 및 4.90으로 10.19 및 10.06인 무처리구에 비해 유의적으로 낮게 나타났다($p<0.05$). 또한 HOMAP에서는 RVSE 처리구가 저장 9일째에 16.23으로 17.34인 무처리구보다 유의적으로 낮은 수치를 보였다($p<0.05$). O'Grady 등(40)의 쇠고기 저장(4°C) 실험에서도 고농도(80%)의 O₂-MAP 처리구가 OxyMb를 저장기간 동안 높은 농도로 유지하였다고 동일하게 보고되었다. 한편 고기의 저장기간 동안에는 OxyMb이 free radical들에 의해 MetMb으로 산화되어 지속적으로 감소한다(41). 하지만 OxyMb의 산화는 Sánchez-Escalante 등(42)의 보고와 수용성 항산화제의 처리에 의해 억제할 수 있지만, 본 실험에서는 RVSE가 강력한 항산화제임에도 불구하고, 오히려 OxyMb의 산화를 촉진시키는 것으로 나타났다. 이와 유사하게 Hayes 등(43)도 폴리페놀 화합물인 sesamol을 meat homogenate model system에 첨가했을 때, OxyMb의 산화가 촉진되었으며, 첨가 수준이 증가함에 따라 산화가 더욱 촉진되었다고 보고하였다. Halliwell과 Gutteridge (44)에 따르면, Fe²⁺이 금속이온들 중 가장 강력한 산화 촉진 물질이며, Fe²⁺은 Fenton reaction을 통해 hydroxyl radical을 생성한다. 뿐만 아니라 hydroxyl radical은 OxyMb의 산화를 촉진시킨다. 이러한 기작으로 미루어 볼 때, RVSE의 Fe³⁺에 대한 높은 환원력이 오히려 hydroxyl radical의 생성을 촉진할 수 있는 여건을 조성함으로써 OxyMb의 산화를 촉진시켰다고 사료된다.

Table 3. Effect of immersion in Rhus verniciflua Stokes extract (RVSE) on the surface myoglobin concentration of Hanwoo beef steak stored with modified-atmosphere packaging (MAP) at 4°C for 9 days

Items	Treatments ¹⁾	Storage time (day)		
		0	4	9
MetMb (%)	HOMAP	23.33±3.61 ^{bcz}	27.38±4.13 ^{bb}	29.95±6.39 ^{aa}
	LOMAP		36.55±6.27 ^{ay}	45.21±9.65 ^{bx}
	RVSE+HOMAP		29.42±2.31 ^{ba}	31.96±8.80 ^{ca}
	RVSE+LOMAP	25.90±3.78 ^{abz}	37.33±9.48 ^{ay}	53.76±6.17 ^{ax}
R630-R580	HOMAP	17.87±2.83 ^{abx}	17.82±1.63 ^{aa}	17.34±2.30 ^{aa}
	LOMAP		10.19±4.64 ^{by}	10.06±5.67 ^{cy}
	RVSE+HOMAP		17.34±5.01 ^{aa}	16.23±3.27 ^{bb}
	RVSE+LOMAP	16.12±3.30 ^{bbx}	8.44±3.18 ^{cy}	4.90±1.94 ^{dz}

Values are means±S.D..

¹⁾HOMAP: high oxygen-MAP (75% O₂+20% CO₂+5% N₂); LOMAP: low oxygen-MAP (0% O₂+20% CO₂+80% N₂).

^{a-d)}Different superscripts indicate significant differences among HOMAP, LOMAP, RVSE+HOMAP and RVSE+LOMAP in 0, 4 or 9 day ($p<0.05$).

^{A-C)}Differentsuperscripts indicate significant differences among 0, 4, and 9 days in HOMAP or RVSE+HOMAP ($p<0.05$).

^{X-Z)}Different superscripts indicate significant differences among 0, 4, and 9 days in LOMAP or RVSE+LOMAP ($p<0.05$).

표면육색의 변화

RVSE의 침지와 MAP에 따른 한우고기 스테이크의 저장 중 표면육색은 Table 4와 같다. 고기의 밝기를 나타내는 명도(L*)는 HOMAP 처리구들에서는 저장기간 동안 증가했던 반면, LOMAP 처리구들에서는 큰 변화를 보이지 않았다. 또한 RVSE 처리구들의 명도가 저장기간 동안 무처리구들에 비해 낮게 나타났으며, 특히 그 중 LOMAP에서 유의적인 차이를 보여 주었다($p<0.05$). 붉은 색의 강도를 나타내는 적색도(a*)는 HOMAP 처리구들이 LOMAP 처리구들보다 유의적으로 높게 나타났고($p<0.05$). 또한 MAP와 관계없이 RVSE 무처리구들에서 저장기간 동안 큰 변화를 보이지 않았던 반면, RVSE 처리구들에서는 빠른 감소가 발생하여 저장 4일째와 9일째에는 현저하게 낮은 수치를 보여 주었다($p<0.05$). 노란색의 강도를 나타내는 황색도(b*)는

Table 4. Effect of immersion in Rhus verniciflua Stokes extract (RVSE) on the meat color of Hanwoo beef steak stored with modified-atmosphere packaging (MAP) at 4°C for 9 days

Items	Treatments ¹⁾	Storage time (day)		
		0	4	9
L* (Lightness)	HOMAP	39.90±3.17 ^{abx}	40.09±2.16 ^{ab}	41.18±2.70 ^{aa}
	LOMAP		38.98±2.95 ^{by}	39.60±1.41 ^{cx}
	RVSE+HOMAP		39.66±3.24 ^{ab}	40.34±2.15 ^{ba}
	RVSE+LOMAP	38.59±1.81 ^{bcx}	35.37±1.76 ^{cy}	38.26±1.71 ^{dx}
a* (Redness)	HOMAP	18.56±1.69 ^{abx}	21.24±1.72 ^{aa}	21.01±0.94 ^{aa}
	LOMAP		13.34±1.99 ^{cy}	13.44±1.91 ^{cy}
	RVSE+HOMAP		20.12±0.92 ^{ba}	18.05±1.02 ^{bb}
	RVSE+LOMAP	18.41±2.51 ^{abx}	11.68±1.67 ^{dy}	10.47±0.65 ^{dz}
b* (Yellowness)	HOMAP	9.44±0.99 ^{bcx}	11.23±1.63 ^{aa}	10.37±0.80 ^{ab}
	LOMAP		8.11±1.68 ^{by}	9.43±1.28 ^{bx}
	RVSE+HOMAP		11.05±0.66 ^{aa}	10.41±0.96 ^{ab}
	RVSE+LOMAP	10.25±1.73 ^{abx}	6.72±0.93 ^{cz}	8.61±0.70 ^{cy}
C* (Chroma)	HOMAP	20.83±1.86 ^{acx}	24.04±2.20 ^{aa}	23.44±1.04 ^{ab}
	LOMAP		15.65±2.39 ^{cz}	16.45±2.01 ^{cy}
	RVSE+HOMAP		22.96±0.99 ^{ba}	20.84±1.29 ^{bb}
	RVSE+LOMAP	21.08±2.99 ^{abx}	13.50±1.76 ^{dy}	13.57±0.78 ^{dy}
Ho (Hue-angle)	HOMAP	26.96±1.72 ^{bbz}	27.75±2.08 ^{ba}	26.25±1.61 ^{db}
	LOMAP		30.02±3.22 ^{ay}	35.17±3.95 ^{bx}
	RVSE+HOMAP		28.79±1.39 ^{bb}	29.92±1.46 ^{ca}
	RVSE+LOMAP	29.00±1.53 ^{abz}	31.12±3.95 ^{ay}	39.40±2.31 ^{ax}

Values are means±S.D..

¹⁾HOMAP: high oxygen-MAP (75% O₂+20% CO₂+5% N₂); LOMAP: low oxygen-MAP (0% O₂+20% CO₂+80% N₂).

^{a-d)}Different superscripts indicate significant differences among HOMAP, LOMAP, RVSE+HOMAP and RVSE+LOMAP in 0, 4 or 9 day ($p<0.05$).

^{A-C)}Differentsuperscripts indicate significant differences among 0, 4, and 9 days in HOMAP or RVSE+HOMAP ($p<0.05$).

^{X-Z)}Different superscripts indicate significant differences among 0, 4, and 9 days in LOMAP or RVSE+LOMAP ($p<0.05$).

HOMAP 처리구들이 LOMAP 처리구들보다 유의적으로 높게 나타났으나($p < 0.05$). 또한 RVSE 처리구들의 황색도가 저장 0일째에는 10.25로 9.44인 무처리구보다 유의적으로 높게 나타났으나($p < 0.05$), 저장 4일과 9일째에는 LOMAP에서 RVSE 처리구들이 각각 6.72 및 8.61로 8.11 및 9.43인 무처리구에 비해 유의적으로 낮은 수치를 보여 주었다($p < 0.05$). 하지만 HOMAP에서는 RVSE 처리에 따른 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$). Chroma (C^*) 역시 적색도와 동일하게 HOMAP 처리구들이 LOMAP 처리구들보다 유의적으로 높았으며($p < 0.05$), 저장 4일과 9일째에 RVSE 처리구들이 무처리구들보다 유의적으로 낮은 수치를 보여 주었다($p < 0.05$). Hue-angle (H°)은 적색도와 반대로 LOMAP 처리구들이 MOMAP 처리구들보다 유의적으로 높게 나타났으며($p < 0.05$), RVSE 처리구들이 MAP와 관계없이 저장기간 동안 무처리구들보다 높게 나타났다. 특히 저장 9일째에는 RVSE 처리구들이 각각 29.92 및 39.40으로 26.25 및 35.17인 무처리구들보다 유의적으로 높은 수치를 보여 주었다($p < 0.05$). Lee 등(45)은 쇠고기에서 적색도와 chroma는 OxyMb의 농도가 높음에 따라 높게 나타나고, hue-angle은 MetMb의 농도가 높음에 따라 높게 나타난다고 보고하였으며, 본 실험결과에서도 이와 동일한 결과가 나타났다. 또한 HOMAP의 육색이 저장기간 동안 LOMAP보다 붉고 진하게 유지되어 HOMAP가 LOMAP보다 색깔 면에서 우수하였다. 이러한 이유는 R630-R580이 높고 MetMb의 농도가 낮았기 때문이다. 하지만 RVSE의 침지는 오히려 육색을 덜 붉고 덜 진하게 만들고 빠른 변색을 발생시켜 무침지보다 색깔 면에서 좋지 않았다. 이러한 이유는 앞서 설명했듯이 RVSE에 의해 OxyMb의 산화가 촉진되었기 때문이며, Hayes 등(46)의 연구에서도 폴리페놀 화합물인 sesamol을 쇠고기에 첨가하여 4°C에 저장했을 때, 오히려 변색이 촉진되었다고 유사하게 보고되었다.

요 약

본 연구는 옷나무 추출물(*Rhus verniciflua* Stokes extract, RVSE)의 침지가 가스조절포장(modified-atmosphere packaging, MAP)으로 저장한 한우고기 스테이크의 총환원력, 단백질산화 및 육색소산화에 미치는 영향을 구명하고자 실시하였다. 시료(Hanwoo *longissimus muscle*)는 옷나무 추출물의 침지 여부에 따라 처리한 후 high oxygen-MAP (HOMAP; 75% O₂+20% CO₂+5% N₂)와 low oxygen-MAP (LOMAP; 0% O₂+20% CO₂+80% N₂)으로 포장하여 4°C에서 9일 동안 저장하였다. 총환원력은 RVSE의 침지에 의해 증가되었으며($p < 0.05$), LOMAP에 의해 저장기간 동안 높게 유지되었다. Carbonyl 함량은 RVSE의 침지와 LOMAP에 의해 억제되었다. Metmyoglobin의 축적은 RVSE의 침지

에 의해 증가되었으나, HOMAP에 의해 낮게 유지되었다. 이와 반대로 oxymyoglobin에 의한 적색 강도의 지표인 R630-R580은 RVSE의 침지에 의해 감소되었던 반면, HOMAP에 의해 높게 유지되었다. 명도(L^*), 적색도(a^*) 및 chroma(C^*)는 RVSE의 침지에 의해 감소되었으나, HOMAP에 의해 높게 유지되었다. 반면에 hue-angle(H°)은 RVSE의 침지에 의해 증가되었으나, HOMAP에 의해 낮게 유지되었다. 따라서 RVSE의 침지는 한우고기 스테이크의 총환원력과 단백질산화 안정성을 증가시켰으나, 육색소산화 안정성은 감소시켰다. 또한 HOMAP는 총환원력과 단백질산화 안정성을 감소시켰으나, 육색소산화 안정성은 증가시켰다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(20070201033030, PJ907000022011)의 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Kim MJ, Hyun JO (1997) Genetic variation in urushiol components of *Rhus verniciflua* Stokes. Korean J Breed, 29, 115-123
2. Shin MK (1986) Coloured Limsangbonchohak. Namsandang, Seoul, Korea, p 165-718
3. Lee JC, Lim KT, Jang YS (2002) Identification of *Rhus verniciflua* Stokes compounds that exhibit free radical scavenging and anti-apoptotic properties. Biochim Biophys Acta, 1570, 181-191
4. Son YO, Lee KY, Lee JC, Jang HS, Kim JG, Jeon YM, Jang YS (2005) Selective antiproliferative and apoptotic effects of flavonoids purified from *Rhus verniciflua* Stokes on normal versus transformed hepatic cell lines. Toxicol Lett, 155, 115-125
5. Rice-Evans CA, Miller NJ, Paganga G (1996) Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. Free Rad Biol & Med, 20, 933-956
6. Lim KT, Shim JH (1997) Antioxidative effects of ethanol extracts from *Rhus verniciflua* Stokes (RVS) on mouse whole brain cells. Korean J Food Sci Technol, 29, 1248-1254
7. Kim DW, Liang CY, Kim YS, Kang CG, Lee SK (2003) Effects of addition of extracted *Rhus verniciflua* Stokes and supplementation on the meat quality of meat. Annal Anim Resour Sci, 14, 34-41

8. Lee SK, Kang SM, Kim YS, Kang CG (2005) Quality comparison of emulsion-type sausage made from *Rhus verniciflua* Stokes fed pork and extract. Korean J Food Sci Ani Resour, 25, 210-217
9. McMillin KW, Huang NY, Ho CP, Smith BS (1999) Quality and shelf-life of meat in case-ready modified atmosphere packaging. In: Quality Attributes in Muscle Foods, Xiong YL, Shahidi F, Ho CT (Editors), ACS Symposium Series, Plenum Publishing Co, NY, USA, p 73-93
10. Martínez L, Djenane D, Cilla I, Beltrán JA, Roncalés P (2006) Effect of varying oxygen concentrations on the shelf-life of fresh pork sausages packaged in modified atmosphere. Food Chem, 94, 219-225
11. Sørheim O, Ofstad R, Lea P (2004) Effect of carbon dioxide on yield, texture and microstructure of cooked ground beef. Meat Sci, 67, 231-236
12. Silliker JH, Woodruff, RE, Lugg, JR, Wolfe SK, Brown WD (1977) Preservation of refrigerated meats with controlled atmospheres: Treatment and post-treatment effects of carbon dioxide on pork and beef. Meat Sci, 1, 195-201
13. Sørheim O, Aune T, Nesbakken T (1997) Technological, hygienic and toxicological aspects of carbon monoxide used in modified-atmosphere packaging of meat. Tr Food Sci Technol, 8, 307-312
14. Ordóñez JA, Ledward DA (1977) Lipid oxidation and myoglobin oxidation in pork stored in oxygen- and carbon dioxide-enriched atmospheres. Meat Sci, 1, 41-48.
15. Lynch NM, Kastner CL, Kropf DH (1986) Consumer acceptance of vacuum packaged ground beef as influenced by product color and educational materials. J Food Sci, 51, 253-255, 272
16. Kanner J (1994) Oxidative processes in meat and meat products: quality implications. Meat Sci, 36, 169-189
17. Xiong YL (2000) Protein oxidation and implications for muscle food quality. In: Antioxidants in Muscle Foods: Nutritional Strategies to Improve Quality, Decker EA, Faustman C, Lopez-Bote CJ (Editors), John Wiley & Sons, Inc, NY, USA, p 85-111
18. Smith GC, Belk KE, Sofos JN, Tatum JD, Williams SN (2000) Economic implications of improved color stability in beef. In: Antioxidants in Muscle Foods: Nutritional Strategies to Improve Quality, Decker EA, Faustman C, Lopez-Bote CJ (Editors), John Wiley & Sons, Inc, NY, USA, p 397-426
19. Kim YS, Liang CY, Kim HJ, Lee, SK (2004) Effects of chitosan dipping treatments with different molecular weights on the meat quality of Hanwoo (Korean cattle) beef during refrigerated storage. Korean J Food Sci Ani Resour, 24, 1-7
20. Lee M, Cassens RG, Fennema OR (1981) Effect of meat ions on residual nitrite. J Food Proc Preservat, 5, 191-205
21. Mercier Y, Gatellier P, Renerre M (2004) Lipid and protein oxidation in vitro, and antioxidant potential in meat from Charolais cows finished on pasture or mixed diet. Meat Sci, 66, 467-473
22. Culler RD, Parrish FC, Smith GC, Cross HR (1978) Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine *longissimus* muscle. J Food Sci, 43, 1177-1180
23. Gornall AG, Bardawill CJ, David MM (1948) Determination of serum protein by means of the biuret reaction. J Biol Chem, 177, 751-766
24. Krzywicki K (1979) Assessment of relative content of myoglobin, oxymyoglobin and metmyoglobin at the surface of the beef. Meat Sci, 3, 1-10
25. Demos B P, Gerrard DE, Mandigo RW, Gao X, Tan J (1996) Mechanically recovered neck bone lean and ascorbic acid improve color stability of ground beef patties. J Food Sci, 61, 656 -659
26. Strange EE, Benedicts RC, Gugger RE, Metzger VG, Swift CE (1974) Simplified methodology for measuring meat color. J Food Sci 39, 988-992
27. CIE (2004) Technical report: Colorimetry. 3rd ed, Commission Internationale de Leclairage Central Bureau, Vienna, Austria, Publication 8
28. SPSS Inc (2005) SPSS 14.0 for Windows Evaluation Version, Statistical Package for the Social Sciences Incorporated, Illinois, USA
29. Kang SM (2011) Effects of *Rhus verniciflua* Stokes extract and modified atmosphere packaging (MAP) on the oxidative characteristics of Hanwoo (Korean cattle) beef. PhD thesis, Kangwon National Univ, Korea
30. Zakrys PI, Hogan SA, O'Sullivan MG, Allen P, Kerry JP (2008) Effects of oxygen concentration on the sensory evaluation and quality indicators of beef muscle packed under modified atmosphere. Meat Sci, 79, 648-655
31. Chan KM, Decker EA, Faustman C (1994) Endogenous skeletal muscle antioxidants. Crit Rev Food Sci Nutr, 34, 403-426
32. Cheigh HS (1994) Lipid peroxidation and its nutritional significance. J Korean Soc Food Nutr, 23, 867-878
33. Stadtman ER, Oliver CN (1991) Metal-catalyzed

- oxidation of proteins. *J Biol Chem*, 266, 2005-2008
34. Lund MN, Hviid MS, Skibsted LH (2007) The combined effect of antioxidants and modified atmosphere packaging on protein and lipid oxidation in beef patties during chill storage. *Meat Sci*, 27, 226-233
 35. Estevez M, Cava R (2004) Lipid and protein oxidation, release of iron from heme molecule and colour deterioration during refrigerated storage of liver pate. *Meat Sci*, 68, 551-558
 36. Liang CY, Kang SM, Kim YS, Lee SK (2005) Antioxidant activity of *Rhus verniciflua* Stokes extract in model systems and cooked beef. *Korean J Food Sci Ani Resour*, 25, 189-195
 37. 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 Sci*, 74, 34-43
 38. Lund MN, Lametsch R, Hviid M, Jensen ON, Skibsted LH (2007) High-oxygen packaging atmosphere influences protein oxidation and tenderness of porcine *longissimus dorsi* during chill storage. *Meat Sci*, 77, 295-303
 39. Faustman C, Cassens RG (1990) The biochemical basis for discoloration in fresh meat: A review. *J Muscle Foods*, 1, 217-243
 40. O'Grady MN, Monahan FJ, Bailey J, Allen P, Buckley DJ, Keane MG (1998) Colour-stabilising effect of muscle vitamin E in minced beef stored in high oxygen packs. *Meat Sci*, 50, 73-80
 41. Faustman C, Sun Q, Mancini R, Suman SP (2010) Myoglobin and lipid oxidation interactions: mechanistic bases and control. *Meat Sci*, 86, 86-94
 42. Sánchez-Escalante A, Djenane D, Torrecano G, Beltrán JA, Roncalés P (2001) The effects of ascorbic acid, taurine, carnosine and rosemary powder on colour and lipid stability of beef patties packaged in modified atmosphere. *Meat Sci*, 58, 421-429
 43. Hayes JE, Stepanyan V, Allen P, O'Grady MN, O'Brien NM, Kerry JP (2009) The effect of lutein, sesamol, ellagic acid and olive leaf extract on lipid oxidation and oxymyoglobin oxidation in bovine and porcine muscle model system. *Meat Sci*, 83, 201-208
 44. Halliwell B, Gutteridge JMC (1986) Oxygen free radicals and iron in relation to biology and medicine: Some problems and concepts. *Arch Biochem Biophys*, 246, 501-514
 45. Lee SK, Kim YS, Liang CY, Song YH (2003) Effects of dietary vitamin E supplementation on color stability, lipid oxidation and reducing ability of Hanwoo (Korean cattle) beef during retail display. *Asian-Aust J Anim Sci*, 16, 1529-1534
 46. Hayes JE, Stepanyan V, Allen P, O'Grady MN, Kerry JP (2010) Effect of lutein, sesamol, ellagic acid and olive leaf extract on the quality and shelf-life stability of packaged raw minced beef patties. *Meat Sci*, 84, 613-620

(접수 2012년 4월 20일 수정 2012년 5월 11일 채택 2012년 5월 25일)