

ARTICLE

MAP 산소 농도가 세절한 쇠고기의 SOD 활성 및 산화안정성에 미치는 영향

이 정 아 · 강 선 문*

농촌진흥청 국립축산과학원 축산물이용과

Effect of Oxygen Concentration in Modified Atmosphere Packaging on the Superoxide Dismutase Activity and Oxidation Stability of Ground Beef

Jeong Ah Lee, Sun Moon Kang*

Animal Products Utilization Division, National Institute of Animal Science, RDA, Wanju 55365, Korea

Received: January 11, 2022
Revised: March 22, 2022
Accepted: April 06, 2022

*Corresponding author :
Sun Moon Kang
Animal Products Utilization Division,
National Institute of Animal Science,
RDA, Wanju 55365, Korea
Tel: +82-63-238-7394
E-mail: smkang1014@naver.com

Copyright © 2022 Resources Science Research Institute, Kongju National University. 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.

ORCID

Jeong Ah Lee
<https://orcid.org/0000-0003-3019-8321>
Sun Moon Kang
<https://orcid.org/0000-0003-3947-4337>

Abstract

This study estimated the effect of oxygen (O₂) concentration in modified atmosphere packaging (MAP) on the superoxide dismutase (SOD) activity and oxidative stability of ground beef. The samples of Top rounds from Hanwoo (Korean cattle) were ground, packaged into four O₂ proportion (0%, 25%, 50%, or 75%), and then stored for 11 days at 11°C. SOD activity was significantly (p<0.05) lower in the beef stored under 25%, 50%, and 75% O₂-MAP than in that stored in 0% O₂-MAP after 3 days of storage. After 7 days of storage, total reducing ability (TRA) was the lowest (p<0.05) in the beef stored under 75% O₂-MAP, but that stored under 0% O₂-MAP had the highest (p<0.05) TRA. Higher O₂ proportion remarkably (p<0.05) increased the TBARS content of stored beef, and 25%, 50%, and 75% O₂-MAP treatments showed more than 5 times higher TBARS content compared to the 0% O₂-MAP treatment at day 11 of storage. Oxymyoglobin concentration greatly (p<0.05) decreased in 25%, 50%, and 75% O₂-MAP treatments. The highest (p<0.05) L* and b* values were maintained in 50% and 75% O₂-MAP treatments, but 25%, 50%, and 75% O₂-MAP drastically (p<0.05) decreased the a* value of stored beef. These findings suggest that high O₂-MAP decreases the oxidation stability of stored beef with a decrease in SOD activity.

Keywords

MAP, Oxygen, SOD, Oxidation stability, Ground beef

1. 서론

Modified atmosphere packaging (MAP)는 산소, 이산화탄소, 질소 등의 가스들을 이용하여 식품을 포장하는 기술이다 (Seideman and Durland, 1984). 진열육에서는 전형적으로 70~80% O₂/20~30% CO₂로 충전된 고산소 MAP (high oxygen-MAP)를 사용하고 있다 (OJohn *et al.*, 2005; Zhang *et al.*, 2018). 고산소 MAP는 고기 표면에 oxymyoglobin (OxyMb) 농도를 증가시켜 육색을 향상시키고, 미생물 생장을 억제시켜 저장 수명을 증진시킨다 (Jongberg *et al.*, 2014; Young *et al.*, 1988). 하지만 고농도의 산소로 인해 지방산화와 변색, 단백질 산화가 발생되어 결국 식육의 품질이 저하된다 (Kim *et al.*, 2010; Lund *et al.*, 2007a; Morcuende *et al.*, 2020).

식육에는 항산화효소, 비타민, 핵산, thiol, polyamine, peptide 등의 다양한 항산화 시스템들이 존재하며 (Chan *et al.*, 1994), 도축 후에도 이들의 항산화 작용은 지속적으로 일어난다 (Renerre *et al.*,

1999). Catalase (CAT), glutathione peroxidase (GPx), superoxide dismutase (SOD) 등의 항산화효소들은 산화 반응의 가장 첫 단계에서 작용하는 항산화 방어막이다 (Halliwell and Gutteridge, 1989). 이중 SOD는 H_2O_2 를 생성함으로써 superoxide anion ($O_2^{\bullet-}$)을 소거하며, 도축 후 식육에서 일정기간 동안 매우 안정적으로 유지되어 free radical에 의한 산화적 손상으로부터 보호해준다 (Descalzo *et al.*, 2000a; Renner *et al.*, 1999).

식육의 항산화효소 활성은 산화 촉진 인자들에 의해 영향을 받으며, 이로 인해 산화안정성이 영향을 받게 된다. Mei 등 (1994)은 가열 처리는 항산화효소들을 불활성시키며, 이로 인해 가열육의 지방 산화가 비가열육보다 빨리 촉진된다고 보고하였다. Lee 등 (1997)은 소금 첨가 돈육에 관한 연구에서 소금 첨가에 의해 항산화효소들의 활성이 감소하였고, 이로 인해 저장 중 지방산화가 촉진되었다고 보고하였다. 그러므로 이들의 연구 결과를 미루어 봤을 때, MAP내 산소 역시 지방산화 촉진의 요인이기 때문에, 항산화효소의 활성에 영향을 미칠 것으로 판단된다. MAP의 산소 농도에 따른 식육의 저장 중 산화안정성에 대해서는 O'Grady 등 (2000)과 Zakrys 등 (2008)에 의해 보고된 바 있다. 이들은 육색안정성에서는 산소 농도에 따른 큰 차이를 보이지 않았으나, 지방산화 안정성은 산소 농도가 증가함에 따라 현저하게 감소하였다고 보고하였다. 하지만 이들의 연구에서 식육 자체의 항산화시스템과 관련하여 MAP 산소 농도에 따른 산화안정성의 변화에 대해 보고된 바 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 MAP 산소 농도가 세절한 쇠고기의 SOD 활성 및 산화안정성에 미치는 영향을 구명하고자 실시하였다.

II. 재료 및 방법

공시재료 및 실험설계

지역 식육 판매점으로부터 신선한 거세 한우 우둔 (Top round, 1⁺등급)을 구입하여 등지방, 결체조직 및 혈액을 제거한 후 meat chopper (M-12S, HankookFujee Industries Co., Ltd., Suwon, Gyonggi-do, Korea)를 이용하여 4 mm로 세절하였다. 준비된 세절육은 50 g씩 $9 \times 7 \times 4$ cm의 polystyrene barrier foam tray (TQD900, Max. O_2 transmission rate: $0.1 \text{ cc/cm}^2 \cdot 24 \text{ hr}$ at 23°C , RH 0%; Max. moisture vapor transmission rate: $7.87 \text{ mg/cm}^2 \cdot 24 \text{ hr}$ at 38°C , RH 100%; Cryovac Sealed Air Corp., Duncan, SC, USA)에 얇게 펴서 담은 후 3 gas mixer (MAP Mix9001, PBI Dansensor, Rønnedevej, Ringsted, Denmark)가 장착된 MAP machine (MAP-E1, HyperVac Co., Hwaseong, Gyeonggi-do, Korea)을 이용하여 각각 0% O_2 /20% CO_2 /80% N_2 , 25% O_2 /20% CO_2 /55% N_2 , 50% O_2 /20% CO_2 /30% N_2 및 75% O_2 /20% CO_2 /5% N_2 로 충전하고, oxygen barrier film (Max. O_2 transmission rate: $0.002 \text{ cc/cm}^2 \cdot 24 \text{ hr}$ at 4.4°C , RH 100%; Max. moisture vapor transmission rate: $0.39 \text{ mg/cm}^2 \cdot 24 \text{ hr}$ at 4.4°C , RH 100%; Lid 1050, Cryovac Sealed Air Corp., Duncan, SC, USA)으로 밀봉하였다. 모든 처리구들은 저장일당 6개씩 포장하여 $11 \pm 0.3^\circ\text{C}$ 에서 0, 3, 7, 11일 동안 저장하였다. 저장기간 동안 3개의 tray는 SOD 활성, 총환원력, TBARS 함량 및 표면육색 분석에 이용하였으며, 나머지 3개는 oxymyoglobin (OxyMb) 농도 분석에 이용하였다. 저장 0일 분석은 포장 직후 90분에 개봉하여 실시하였다.

실험방법

가스 조성

MAP O_2 및 CO_2 농도 (%)는 portable gas analyzer (CheckPoint O_2/CO_2 , PBI Dansensor, Rønnedevej, Ringsted, Denmark)를 이용하여 측정하였으며, N_2 농도 (%)는 $100 - [O_2 (\%) + CO_2 (\%)]$ 로 산출하였다.

SOD 활성

SOD 활성 분석을 위한 전처리로 육균질물을 제조하였다. 시료 5 g과 50 mM phosphate buffer (pH 7.0) 25 mL를 homogenizer (Ultra-Turrax T25 basic, Ika Werke GmbH & Co., Staufen, Germany)를 이용하여 13,500 rpm에서 15초 동안 균질한 후 2℃, 1,000 g (J2-21 Centrifuge, Beckman Instruments, Inc., USA)에서 15분 동안 원심분리하였다 (Renerre *et al.*, 1996). 분리된 상등액은 지방과 결체조직을 제거하기 위해 filter paper No. 1 (Whatman International Ltd., Maidstone, Kent, UK)으로 여과하여 SOD 활성 측정에 이용하였으며, 측정은 25℃에서 실시하였다. Superoxide dismutase (SOD) 활성은 Del Maestro와 McDonald (1986)의 방법에 의해 실시하였다. 상등액 50 μ L와 50 mM tris-cacodylate buffer (pH 8.2, 1.1 mM DTPA 함유; Zhang *et al.*, 2002) 3.025 mL의 혼합물에 24.8 mM pyrogallol (in 10 mM HCl) 25 μ L를 첨가후 420 nm에서 2분 동안 pyrogallol의 autoxidation을 측정하였다. SOD 1 unit은 pyrogallol의 autoxidation을 50% 억제시키는데 필요한 시료량 (g)으로 나타내었다.

총환원력

총환원력 (Total reducing ability, TRA)은 Lee 등 (1981)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 균질하고, 균질물 5 mL와 5 mM potassium ferricyanide 용액 2 mL를 혼합한 후 4℃, 암실에서 1시간 동안 incubation하였다. 이후 0.5% ammonium sulfamate 0.1 mL, 0.5 M lead acetate 0.2 mL, 20% TCA 5 mL, 증류수 0.2 mL와 순차적으로 혼합하고, filter paper No. 42 (Whatman International Ltd.)로 여과한 다음 420 nm에서 흡광도를 측정하였다. 최종 결과는 blank (1 mM potassium ferricyanide 용액)의 흡광도에서 시료의 흡광도를 뺀 수치로 산출하였다.

TBARS 함량

TBARS 함량은 Simmhuber와 Yu (1977)의 방법에 의해 실시하였다. 시료 0.5 g을 $\varnothing 18 \times 150$ mm의 screw-capped glass tube에 넣고, 항산화제 (3% BHA-54% propylene glycol-3% BHT-40% Tween20) 200 μ g, 1% TBA-0.3% NaOH 3 mL, 2.5% TCA-3.6 mM HCl 용액 17 mL와 혼합한 후 100℃ water bath에서 30분 동안 가열하고, 얼음물에 15분 동안 냉각하였다. 반응물 5 mL를 chloroform 3 mL와 함께 $\varnothing 16 \times 100$ mm의 disposable glass tube에 넣고, 3,500 rpm (GS-6R Centrifuge, Beckman Instruments, Inc., Palo Alto, CA, USA)에서 30분 동안 원심분리한 후 상등액의 흡광도를 532 nm에서 측정하였다. 최종 결과는 시료와 blank (증류수 0.5 mL)의 흡광도를 이용하여 시료 1 kg당 mg malondialdehyde (MDA)로 산출하였다.

OxyMb 농도

OxyMb 농도는 Krzywicki (1982)의 방법에 의해 실시하였다. Tray의 개봉 즉시 표면의 시료를 실험용 핀셋으로 긁어내어 정확히 3 g을 50 mL 용량의 conical tube ($\varnothing 29 \times 115$ mm)에 넣고, 50 mM phosphate buffer (pH 6.8) 15 mL와 13,500 rpm에서 30초 동안 균질 (Ultra-Turrax T25 basic, Ika Werke GmbH & Co., Staufen, Germany)한 후 2℃, 5,000 g (J2-21 Centrifuge, Beckman Instruments, Inc., Palo Alto, CA, USA)에서 30분 동안 원심분리하였다. 분리된 상등액은 filter paper No. 1 (Whatman International Ltd.)으로 여과한 후 여액의 흡광도를 572, 565, 545 및 525 nm (UV-2401PC, Shimadzu Corp., Kyoto, Kansai, Japan)에서 측정하였다. 최종 결과는 Krzywicki (1982)의 수식에 의해 산출하였다.

표면육색

시료 표면의 CIE L* (lightness), a* (redness) 및 b* (yellowness)는 tray의 개봉 즉시 식품 포장용 선상 저밀도 폴리에틸렌 랩 (O₂ transmission rate: 35,273 cc/m²·24 hr·atm, 0.01 mm thickness; 3M Co., Seoul, Korea)으로 시료 표면을 덮은 후 chroma meter (CR-400, Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Kansai, Japan)를 이용하여 측정하였다. 이때 calibration plate (2° observer; Illuminant C)의 색도는 L* = 97.46, a* = 0.08 및 b* = 1.81이었다.

통계분석

본 실험을 통해 얻은 모든 자료들은 SPSS (2005)의 ANOVA에 의해 분석하였으며, 각 평균들간의 유의성 차이는 Duncan's multiple range test에 의해 95% 수준에서 검증하였다.

III. 결과 및 고찰

SOD 활성 및 총환원력

MAP 산소 농도가 세절한 쇠고기의 저장 중 SOD 활성 및 총환원력에 미치는 영향은 Table 1과 같다. SOD 활성은 MAP 산소 농도가 증가함에 따라 저장기간 동안 더욱 빨리 감소하는 것으로 나타났다. 저장 3일째부터 25%, 50% 및 75% 산소 MAP 처리구들이 0% 산소 MAP 처리구에 비해 유의적으로 낮게 나타났다 ($p < 0.05$). 또한 25%, 50% 및 75% 산소 MAP 처리구들간에 유의적인 차이가 없었지만, 산소 농도가 증가함에 따라 낮은 경향을 보였다. 따라서 SOD 활성은 고산소 MAP와 같은 지방 산화 촉진 조건에서 안정성이 감소하는 것으로 사료된다. Lee 등 (1997)의 연구에서도 냉동 돈육에 2% 소금을 첨가했을 때 SOD 활성이 58%로 감소하였다고 보고하였으며, 이들의 연구에서도 SOD 활성이 산화 촉진 조건에 의해 안정성이 떨어지는 것으로 나타났다. 저장 중 총환원력은 SOD 활성과 동일하게 MAP 산소 농도가 증가함에 따라 저장기간 동안 현저하게 감소하였다. 그 차이는 저장 7일째부터 현저하게 벌어져 75% 산소 처리구가 0% 산소 처리구에 비해 약 2~3배로 낮게 나타났다. Seyfer 등 (2007)도 쇠고기 스테이크를 각각 20% 및 80% 산소 MAP로 포장하여 7일 동안 진열 저장

Table 1. Effect of oxygen concentration in modified atmosphere packaging (MAP) on the superoxide dismutase (SOD) activity and total reducing ability (TRA) of ground beef during storage

Items	Storage time (day)	O ₂ /CO ₂ /N ₂ (%) in MAP			
		0/20/80	25/20/55	50/20/30	75/20/5
SOD (U/g meat)	0	148.36±3.90	147.64±4.29 ^A	149.09±3.28 ^A	150.55±2.39 ^A
	3	143.38±4.91 ^a	132.31±4.32 ^{bb}	131.69±5.04 ^{bb}	131.08±6.07 ^{bb}
	7	139.52±2.89 ^a	93.44±2.89 ^{bd}	88.96±3.97 ^{cd}	86.40±3.43 ^{cc}
	11	144.62±10.81 ^a	99.08±4.91 ^{bc}	94.15±3.87 ^{bc}	92.92±2.78 ^{bc}
TRA	0	0.29±0.02 ^B	0.29±0.03 ^A	0.29±0.02 ^A	0.29±0.03 ^A
	3	0.39±0.04 ^{aA}	0.29±0.03 ^{ba}	0.27±0.03 ^{ba}	0.25±0.02 ^{bb}
	7	0.34±0.03 ^{aA}	0.17±0.02 ^{bb}	0.14±0.02 ^{bb}	0.11±0.01 ^{cc}
	11	0.24±0.02 ^{aC}	0.14±0.01 ^{bc}	0.12±0.01 ^{bb}	0.09±0.01 ^{cc}

^{a-c} Means±S.D. in the same row with different letters differ significantly ($p < 0.05$).

^{A-D} Means±S.D. in the same column with different letters differ significantly ($p < 0.05$).

했을 때, 7일째에 80% 산소 MAP 처리구의 총환원력이 20% 산소 MAP 처리구보다 낮았다고 동일하게 보고하였다.

TBARS 함량 및 OxyMb 농도

MAP 산소 농도가 세절한 쇠고기의 저장 중 TBARS 함량 및 OxyMb 농도에 미치는 영향은 Table 2와 같다. TBARS 함량은 0% 산소 처리구에서는 전혀 변화가 나타나지 않았으나, 25%, 50% 및 75% 산소 MAP 처리구들에서 저장 3일째부터 급격하게 촉진되어 각 저장일마다 산소 농도에 따른 유의적인 증가를 보여주었다 ($p < 0.05$). 특히, 저장 11일째에는 25%, 50% 및 75% 산소 MAP 처리구들은 0% 산소 MAP 처리구보다 각각 4.9, 6.1 및 7.5배 높은 TBARS 함량을 보여주었다. 따라서 MAP 산소 농도가 증가함에 따라 저장 중 지방산화가 더욱 빨리 촉진되었다. 이와 동일하게 Zakrys 등 (2008)도 0~80% O₂/20% CO₂ MAP로 쇠고기 스테이크를 포장하여 4°C에 저장했을 때, 산소 농도가 높을수록 지방산화가 더 빨리 촉진되었다고 보고하였다. OxyMb 농도는 저장 0일째에는 25~75% 산소 처리구들이 각각 69.82%, 71.13%, 71.31%로 40.51%인 0% 산소 처리구보다 유의적으로 높았으나 ($p < 0.05$), 저장기간이 증가함에 따라 급격하게 감소하여 11일째에는 36.20%인 0% 산소 처리구에 비해 낮게 나타났다 ($p < 0.05$). 또한 25~75% 산소 처리구들간에는 저장기간 동안 유의적인 차이가 나타나지 않았다. O'Grady 등 (2000)의 연구에서도 4°C 저장 0일과 최종 10일째에 산소 농도 (20~80%)에 따른 OxyMb의 차이가 나타나지 않았다고 보고되었다. 따라서 TBARS 결과와 유사하게 MAP 산소 농도의 증가에 따라 저장 중 OxyMb 산화가 촉진되었다.

표면육색

MAP 산소 농도가 세절한 쇠고기의 저장 중 표면육색에 미치는 영향은 Table 3과 같다. 저장 중 표면육색은 L* 값 (명도)의 경우 저장기간 동안 25%, 50% 및 75% 산소 MAP 처리구들이 0% 산소 MAP 처리구보다 높은 수치를 보였으며, 특히 11일째에는 75% 및 50% > 25% > 0% 순으로 높게 나타났다 ($p < 0.05$). a* 값 (적색도)은 저장 0일째에는 75% > 50% > 25% > 0% 순으로 높게 나타났으나 ($p < 0.05$), 이후부터는 MAP 산소 농도가 높을수록 급격하게 감소하여 최종 11일째에는 25%, 50%

Table 2. Effect of oxygen concentration in modified atmosphere packaging (MAP) on the TBARS content and oxymyoglobin (OxyMb) concentration of ground beef during storage

Items	Storage time (day)	O ₂ /CO ₂ /N ₂ (%) in MAP			
		0/20/80	25/20/55	50/20/30	75/20/5
TBARS (mg MDA /kg meat)	0	0.38±0.04 ^B	0.39±0.07 ^D	0.39±0.06 ^D	0.39±0.06 ^D
	3	0.37±0.03 ^{dB}	1.12±0.26 ^{cC}	1.41±0.22 ^{bc}	1.79±0.24 ^{aC}
	7	0.38±0.02 ^{dB}	1.62±0.21 ^{EB}	2.04±0.36 ^{bB}	2.52±0.26 ^{aB}
	11	0.40±0.02 ^{dA}	1.95±0.14 ^{eA}	2.43±0.23 ^{bA}	3.02±0.20 ^{aA}
OxyMb (%)	0	40.51±0.65 ^{bc}	69.82±0.66 ^{aA}	71.13±0.96 ^{aA}	71.31±0.94 ^{aA}
	3	66.26±2.56 ^{aA}	53.41±2.16 ^{EB}	56.72±1.13 ^{bcB}	59.59±0.24 ^{bB}
	7	52.40±4.41 ^{aB}	14.27±1.00 ^{bc}	14.60±0.35 ^{bc}	14.19±0.48 ^{bc}
	11	36.20±5.01 ^{aC}	11.98±1.47 ^{bc}	9.17±0.25 ^{bd}	8.67±0.90 ^{bd}

^{a-d} Means±S.D. in the same row with different letters differ significantly ($p < 0.05$).

^{A-D} Means±S.D. in the same column with different letters differ significantly ($p < 0.05$).

Table 3. Effect of oxygen concentration in modified atmosphere packaging (MAP) on the meat color of ground beef during storage

Items	Storage time (day)	O ₂ /CO ₂ /N ₂ (%) in MAP			
		0/20/80	25/20/55	50/20/30	75/20/5
L* (Lightness)	0	40.69±2.06 ^{cC}	43.47±1.70 ^{aC}	42.03±1.13 ^{bD}	43.05±1.91 ^{aD}
	3	41.91±1.30 ^{bB}	44.20±1.58 ^{aB}	44.56±1.89 ^{aC}	44.61±1.97 ^{aC}
	7	43.29±1.68 ^{aA}	46.73±1.28 ^{aA}	46.43±1.63 ^{abB}	46.17±1.28 ^{bB}
	11	43.67±1.48 ^{aA}	46.44±1.50 ^{bA}	47.58±1.39 ^{aA}	47.31±1.95 ^{aA}
a* (Redness)	0	13.41±1.22 ^{dB}	16.55±1.13 ^{aA}	17.92±1.37 ^{bA}	19.16±1.64 ^{aA}
	3	14.27±1.00 ^{bA}	14.25±1.08 ^{bB}	14.96±1.08 ^{aB}	15.02±1.28 ^{aB}
	7	10.97±2.19 ^{aC}	8.06±0.61 ^{bC}	7.95±0.63 ^{bC}	7.94±0.58 ^{bC}
	11	8.88±0.87 ^{aD}	7.05±0.46 ^{bD}	6.97±0.48 ^{bD}	6.95±0.54 ^{bD}
b* (Yellowness)	0	7.58±0.97 ^{dA}	8.70±0.73 ^{cB}	9.06±0.65 ^{bB}	9.44±1.11 ^{aA}
	3	6.13±0.59 ^{cB}	8.46±0.60 ^{aC}	8.37±0.71 ^{aD}	8.11±0.89 ^{bC}
	7	7.37±0.67 ^{bA}	8.76±0.68 ^{aB}	8.72±0.68 ^{aC}	8.86±0.62 ^{aB}
	11	7.36±0.65 ^{aA}	9.41±0.66 ^{bA}	9.70±0.67 ^{aA}	9.68±0.78 ^{aA}

^{a-d} Means±S.D. in the same row with different letters differ significantly ($p<0.05$).

^{A-D} Means±S.D. in the same column with different letters differ significantly ($p<0.05$).

및 75% 산소 MAP 처리구들이 0% 산소 MAP 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 ($p<0.05$). b* 값 (황색도)의 경우, 저장 0일에는 75% 및 50% > 25% > 0% 순으로 높게 나타났다 ($p<0.05$). 이후 저장 11일째에도 0일과 유사하게 나타나 25%, 50% 및 75% 산소 MAP 처리구들이 0% 산소 MAP 처리구보다 높았다 ($p<0.05$). 따라서 MAP 산소 농도가 높을수록 저장 중 육색의 변질이 가속화되었으며, 이 결과는 OxyMb 결과와 일치하였다.

IV. 요약

본 연구는 MAP 산소 농도가 세절한 쇠고기의 저장 중 SOD 활성 및 산화안정성에 미치는 영향에 대해 구명하였다. 공시재료는 한우 우둔 (Top round)을 세절하고 MAP 산소 농도에 따라 4개 처리구로 나누어 각각 0%, 25%, 50% 및 75%로 포장한 후 11°C에서 11일 동안 저장하였다. SOD 활성은 25%, 50% 및 75% 산소 MAP 처리구들이 저장 3일째부터 0% 산소 MAP 처리구보다 낮았다 ($p<0.05$). 총환원력은 75% 산소 MAP 처리구가 저장 7일째부터 가장 낮았던 반면 ($p<0.05$), 0% 산소 MAP 처리구는 가장 높은 환원력을 보여주었다 ($p<0.05$). TBARS 함량은 저장기간 동안 MAP 산소 농도가 증가함에 따라 더 빨리 증가하였으며 ($p<0.05$), 저장 11일째에는 25%, 50% 및 75% 산소 MAP 처리구들의 TBARS 함량이 0% 산소 MAP 처리구보다 약 5배 이상 높았다. OxyMb 농도는 저장기간 동안 25%, 50% 및 75% 산소 MAP 처리구들에서 현저하게 감소하였다 ($p<0.05$). 표면육색은 L*과 b* 값의 경우 저장기간 동안 50% 및 75% 산소 MAP 처리구들이 가장 높게 유지하였으나 ($p<0.05$), a* 값은 25%, 50% 및 75% 산소MAP 처리구들에서 급격하게 감소하였다 ($p<0.05$). 따라서 고산소

MAP와 같은 산화 촉진 조건에서 쇠고기의 SOD 활성을 감소시켜 산화안정성을 떨어뜨리며, OxyMb의 산화를 촉진시켜 육색의 변질을 가속화시킨다.

V. 사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ006218)의 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

VI. 참고문헌

1. Bartkowski L, Dryden, FD, Marchello JA. 1982. Quality changes of beef steaks stored in controlled gas atmospheres containing high or low levels of oxygen. *J Food Prot* 45:41-45.
2. Chan KM, Decker EA, Faustman C. 1994. Endogenous skeletal muscle antioxidants. *Crit Rev Food Sci Nutr* 34:403-426.
3. Del Maestro RF, McDonald W. 1986. Oxidative enzymes in tissue homogenates. In *CRC handbook of methods for oxygen radical research*. Green, R. A. (ed). CRC Press Inc., Boca Raton, FL, USA. pp 291-296.
4. Descalzo AA, Insani EM, Eyherabide A, Guidi SM, Pensel NA. 2000. Antioxidant enzymes activity in Psoas major beef muscle from different production systems. *Proceedings of the 46th International Congress of Meat Science and Technology*, Aukland, Norway. pp 560-561.
5. Halliwell B, Gutteridge JMC. 1989. *Free radicals in biology and medicine*. 2nd ed. Clarendon Press, Oxford, UK. pp 144.
6. John L, Cornforth D, Carpenter CE, Sørheim O, Pettee B, Whittier DR. 2005. Color and thiobarbituric acid values of cooked top sirloin steaks packaged in modified atmospheres of 80% oxygen, or 0.4% carbon monoxide, or vacuum. *Meat Sci* 69: 441-449.
7. Jongberg S, Wen J, Tørngren MA, Lund MN. 2014. Effect of high-oxygen atmosphere packaging on oxidative stability and sensory quality of two chicken muscles during chill store. *Food Packag Shelf Life* 1:38-48.
8. Kim YH, Huff-Lonergan E, Sebranek JG, Lonergan SM. 2010. High-oxygen modified atmosphere packaging system induces lipid and myoglobin oxidation and protein polymerization. *Meat Sci* 85:759-767.
9. Krzywicki K. 1982. The determination of haem pigments in meat. *Meat Sci* 7:29-36.
10. Lee M, Cassens RG, Fennema OR. 1981. Effect of meat ions on residual nitrite. *J Food Proc Preserv* 5:191-205.
11. Lee SK, Mei L, Decker EA. 1996. Lipid oxidation in cooked turkey as affected by added antioxidant enzymes. *J Food Sci* 61:726-728, 795.
12. Lee SK, Mei L, and Decker, EA. 1997. Influence of sodium chloride on antioxidant enzyme activity and lipid oxidation in frozen ground pork. *Meat Sci* 46:349-355.

13. 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* 76:226-233.
14. Mei L, Crum AD, Decker EA. 1994. Role of antioxidant enzymes in the development of warmed-over flavor in pork. *J Food Lipids* 1:273-283.
15. Morcuende D, Vallejo-torees C, Ventanas S, Martinez SL, Ruiz SC, Estevez, M. 2020. Effectiveness of sprayed bioactive fruit extracts in counteracting protein oxidation in lamb cutlets subjected to a high-oxygen MAP. *Foods* 9:1-18.
16. O'Grady MN, Monahan FJ, Burken RM, Allen P. 2000. The effects of oxygen level and exogenous α -tocopherol on the oxidative stability of minced beef in modified atmosphere packs. *Meat Sci* 55:39-45.
17. Renerre M, Dumont F, Gatellier Ph. 1996. Antioxidant enzyme activities in beef in relation to oxidation of lipid and myoglobin. *Meat Sci* 43:111-121.
18. Renerre M, Poncet K, Mercier Y, Gatellier P, Métro B. 1999. Influence of dietary fat and vitamin E antioxidant status of muscles of turkey. *J Agric Food Chem* 47: 237-244.
19. Seideman SC, Durland PR. 1984. The utilisation of modified gas atmosphere packaging for fresh meat: a review. *J Food Qual* 6:239-252.
20. Seyfert M, Mancini RA, Hunt MC, Tang J, Faustman C. 2007. Influence of carbon monoxide in package atmospheres containing oxygen on colour, reducing activity, and oxygen consumption of five bovine muscles. *Meat Sci* 75:432-442.
21. Sinnhuber RO, Yu TC. 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.
22. Sørheim O, Nissen H, Nesbakken T. 1999. The storage life of beef and pork packaged in an atmosphere with low carbon monoxide and high carbon dioxide. *Meat Sci* 52:157-164.
23. 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.
24. SPSS 2005. SPSS 14.0 for Windows evaluation version. SPSS Inc., Illinois, USA.
25. 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.
26. Zhang Y, Qin L, Mao Y, Hopkins DL, Han G, Zhu L, Luo X. 2018. Carbon monoxide packaging shows the same color improvement for dark cutting beef as high oxygen packing. *Meat Sci* 137:153-159.