pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 40, No. 1, pp. 18~26 (2025)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2025.40.1.18

Journal of Food Hygiene and Safety
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

가스치환 포장법이 적용된 친환경 종이트레이 사용 포장육의 안정성 수준 평가

이동빈†* · 김병후† · 신승훈 · 고은미 · 김종억 · 이자영
풀무원기술원 식품안전실 품질기술센터

Stability Assessment of Eco-Friendly Paper Packaging Materials Used in Meat Packaging under MAP Conditions

Dong Bin Lee†*, Byoung Hu Kim†, Seung Hun Shin, Eun Mi Ko, Jong Eok Kim, Ja Yeong Lee
Food Quality Technology Center, Pulmuone Co. Ltd., Cheongju, Korea

(Received October 14, 2024/Revised November 22, 2024/Accepted December 3, 2024)

ABSTRACT - Currently, modified atmosphere packaging (MAP) trays are predominantly composed of plastic, prompting the exploration of paper as an alternative. This study was performed to comparatively analyze the safety and stability of meat packaged and distributed in a modified atmosphere using paper trays instead of conventional plastic packaging. To compare stability, unheated raw meats, including pork and beef, were placed in plastic and paper trays, respectively, and the inside of the trays was gassed with 15% O_2 and 85% CO_2. The package was then sealed with polyethylene film and refrigerated at 5°C. Experimental and control packages were stored for 13 d and tested daily for microbiological presence and chemical composition change. No significant differences were found in pathogenic microorganisms, including *E. coli* and other hygiene indicator bacteria (P<0.05). Similarly, no significant differences were observed in the hunter color values of the packaged meat surface, the gas distribution ratio of substituted O_2 and CO_2 in the packaging, or volatile basic nitrogen (VBN) (P<0.05). These findings suggest that eco-friendly paper packaging can serve as a sustainable alternative to plastic for meat packaging under MAP conditions without compromising safety or quality. This opens new opportunities for sustainable packaging solutions in the food industry, reducing reliance on plastics and mitigating environmental impacts.

Key words: Modified atmosphere packaging, Eco-friendly paper tray, Reducing plastic materials, MAP applications for packaged meat

세계 각국의 식품 산업에서는 지속 가능성을 위하여 그린 정책에 대해 강력한 의지를 표방하고 움직임을 강화하고 있으며, 특히 플라스틱 폐기물을 줄이는 것에 중점을 두고 있다. 2018년 중국의 폐기물 정책 변화와 더불어 유럽 연합 집행위원회(European Commission, EC)는 2014년에 순환경제패키지(circular electronics partnership, CEP)를 발표하고, 2015년 순환경제 액션플랜(circular economy action plan, CEAP)을 채택하여 공표하였다. 또한, 2018년 유럽의 순환경제 플라스틱 전략(2018 A European Strategy for Plastic in a Circular Economy)을 마련하여 플라스틱세의 인도율을 검토하고, 2030년까지 플라스틱 제품 사용 및 생산을 축소하는 데 집중하고 있다. 보고서에 따르면 전 세계 친환경 포장 시장은 2023년까지 2383억 9,000만 달러 규모로 성장하였으며, 2023년부터 2028년까지 친환경 포장 시장의 연평균 성장률(compound annual growth rate, CAGR)은 6.44%에 이를 것이라고 발표하였다[1]. 이러한 급격한 성장은 환경에 대한 전 세계적인 관심 증가와 환경 영향을 줄이기 위해 노력하는 기업의 친환경 포장을 채택하는 영향과, 이와 동시에 소비자들의 환경에 대한 인식이 높아짐에 따라 소비자 행동이 더욱 친환경적인 선택으로 변화함[2]에 따른 것으로 추정된다. 미국의 밀레니얼 세대 48%는 플라스틱 제품 사용에 죄책감을 느끼며 64%는 플라스틱 대체재를 사용할 용의가 있다고 응답했고, 소

†These authors contributed equally to this work.

*Correspondence to: Dong Bin Lee, Food Quality Technology Center, Pulmuone Institute of Technology, Pulmuone Co., Ltd., Cheongju 28220, Korea
Tel: +82-10-6601-6187, Fax: +82-2-6499-0131
E-mail: leo.lee1@pulmuone.com

Copyright © The Korean Society of Food Hygiene and Safety. All rights reserved. The Journal of Food Hygiene and Safety is an Open-Access journal distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution,and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

비자들은 사회적 책임을 다하는 기업에 긍정적으로 반응하고 있다[3]. 아직 친환경 포장 용기의 수요는 크지 않지만, 소비자들이 점차 환경문제에 대해 계몽되면서 친환경 포장 용기에 대한 요구가 높아질 것으로 보인다. 이러한 변화는 규제 대응일 뿐만 아니라 지속 가능한 소비 옵션에 대한 증가하는 수요를 맞추기 위한 전략적 적응이기도 하다. 이에 따라 현재 전체 친환경 포장 산업에서 가장 큰 시장 점유율을 차지하고 있는 식품 및 음료 산업 분야에서는 플라스틱의 대체재로 종이 재질 포장재의 사용이 증가하고 있으며, 높은 재활용률과 비용 효율성으로 인해 시장 성장에 크게 기여하고 있다[4]. 재활용성 포장재이자 자원 순환성이 우수한 종이 소재는 비용 및 원료사용을 감소시키는 장점과 더불어 탈 플라스틱의 현실적인 대체재이자 플라스틱 폐기물 감축을 위한 대안이 될 수 있으며, 당장 모든 플라스틱을 종이로 대체하기는 어렵지만, 종이는 친환경적으로 플라스틱을 줄이기 위한 소재로 생분해 플라스틱이나 폐플라스틱의 화학적 재활용보다 월등히 빠르고 효과적으로 적용할 수 있다[5]. 이러한 종이 소재는 식품의 포장 분야에서도 다양하게 응용되고 있으며, 플라스틱을 대체하기 위한 연구가 다양하게 이루어지고 있다. 식품의약품안전처에서 발표한 통계 자료 중 '2022년 국내 식품 산업 생산실적'에 따르면 돼지고기 포장육 8조6천848억 원, 쇠고기 포장육 7조1천547억 원으로 전체 식품 유형 중 1, 2위로 집계되었으며[6], 신선육에 사용되는 포장법 중 플라스틱 트레이를 사용하는 가스치환포장(modified atmosphere packaging, MAP)과 스킨(skin) 포장이 대부분인 상황으로 미루어 보아, 해당 식품 유형에 사용되는 플라스틱의 비율 또한 높을 것으로 추정할 수 있다. 가스치환 포장이란 포장 내부 공기를 정상적인 공기 조성과 다르게 변경시켜, 미생물의 호흡 속도를 늦추고 성장을 억제하며 효소 부패를 지연시키며, 이로 인해 제품의 소비기한을 연장하는 등 보존에 유리한 효과를 얻는 포장 방법이다[7]. 가스치환 포장에 사용되는 플라스틱 트레이를 종이로 대체하기 위한 여러 가지 시도가 이루어지고 있으나, 우수한 차단성과 내구성을 가짐과 동시에 가공 및 성형이 용이한 플라스틱 소재를 완전히 대체하기는 어려운 상황이며, 일부 단점을 보완한 종이 소재를 MAP에 적용하였을 때 유통과정 중 제품의 안정성 및 수축 내구성 문제가 발생하고 있다. 이러한 문제는 단순한 파손 문제에 그치는 것이 아니라, 식육 제품의 품질 저하가 초래되고, 치명적인 식중독의 위험에 노출될 위험이 있다. 식육에서 식중독을 유발하는 *Salmonella*는 6°C, *Clostridium botulinum*은 3.3°C가 최저 생장 온도이고, 포장육에서의 주종 균인 *Lactobacillus*는 1°C, *Pseudomonas*는 -3°C의 온도에서도 생장이 가능하다[8]. 냉장육의 표면에 오염되어 있는 세균수가 1.0×10^7-5.0×10^7 CFU/cm^{2}일 때 전형적인 이취가 감지되고, 5.0×10^7-1.0×10^8 CFU/cm^2 수준에서 표면에 점도가 생성된다고 하였으며, 육류 저장 기간의 한계인 부패기준을 1.0×10^7-1.0×10^8 CFU/cm^{2}로 제시하였고[9], 우리나라 식품의약품안전처에서 식육의 미생물 위생관리 기준은 1.0×10^7 CFU/g 초과를 '부적합 권장기준'으로 설정하였다[10]. 앞서 언급한 식중독균과 표면 세균수 등에 대한 안정성 실험과 축산물의 유통 안정성 및 저장성 향상을 위한 MAP의 연구는 일반적으로 가스치환 포장방법의 특성상 포장되는 트레이의 수축 및 파손이 발생할 수 있어 플라스틱 소재의 트레이 기준으로 분석된 결과가 대부분이다. 따라서 본 연구에서는 환경 목표에 부합하기 위하여 식품 산업에서 포장육 분야에 적용되고 있는 MAP 종이 소재 포장재의 이화학 및 미생물적 안정성에 대하여 분석하였다. 이러한 연구 결과를 활용하여 식품 산업에서 지속 가능한 포장 솔루션에 대한 새로운 기회를 열어 플라스틱 소재에 대한 의존도를 줄이고 환경적 영향을 완화하며, 포장육의 종이 포장재 유통 관리 안전성을 확보하는데 기여하고자 한다.

Materials and Methods

원료육의 종류

본 실험에서 사용된 원료육은 위생적인 시료 확보를 위해 현대적 시설이 갖추어진 충청북도 음성에 위치한 A 도축장에서 도살된 한우를 사용하였다. 도축 후 24시간 냉각을 거친 뒤 발골 및 지육 작업을 실시하였으며, 목심 부위(chuck meat)를 시료로 선정하였다. 원료육의 지육 및 절단, 계량, 가스치환 포장 작업은 ㈜풀무원 기술원(Cheongju, Korea)의 협력업체인 D사에서 진행되었으며, 실험에 사용되는 원료육이 최대한 위생적으로 취급될 수 있도록 작업대 및 작업용 도구를 살균하는 등 오염원을 철저히 차단하는 방법으로 시료를 채취하였다.

가스치환 포장 및 저장 조건

채취한 원료육 시료는 3 mm 두께의 불고기용 형태로 절단하였으며, Fig. 1과 같이 대조군 플라스틱 트레이(polypropylene, PP)와 실험군 종이 트레이(paper+polyethylene coating)에 각각 100 g, 500 g, 1,000 g 중량에 맞게 계량하여 담았다. 두가지 트레이의 두께는 0.45 mm로 동일하며, 종이트레이는 공기투과도를 최소화 하기 위하여 20 μm 두께의 폴리에틸렌으로 코팅하였다. 모든 시료는 tray sealing machine (TPS-TR1, MAPPACK, Hwaseong, Korea)에 가스치환 포장하였으며, 상단부에 접합된 tray lid film은 저온실링이 가능한 50 μm 두께의 PP 단일 재질 고투명 수축필름을 사용하였다. 두 포장재의 내부 가스치환 비율은 동일하게 O_2 85.0±5.0%. CO_2 15.0±5.0%로 설정하였으며, top sealing oven의 온도는 플라스틱 트레이 175.0±2.0°C, 종이트레이는 수축현상 방지를 고려하여 168.0±2.0°C로 설정 및 고산소 modified atmosphere (MA) 포장을 실시하였다.

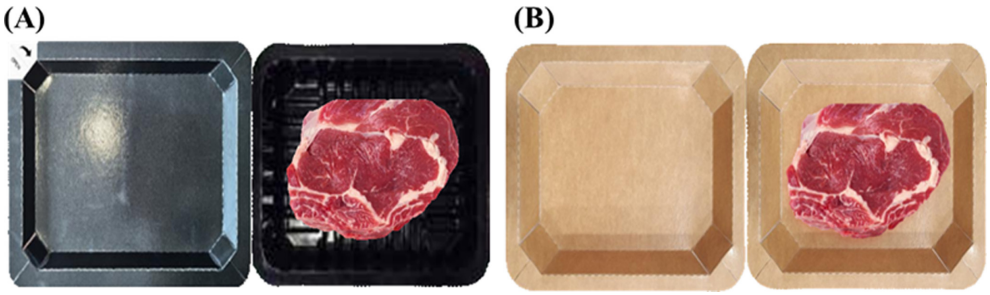

Fig. 1. Modified atmosphere packaging of beef; (A) Plastic tray (polypropylene), (B) Paper tray (paper+polyetylene coating).

이는 각 포장 재질에 따른 트레이의 수축 안정성과 상단 필름의 접합 강도를 고려하여 설정한 평균 수치이다. 포장 후 각 시료들은 -2°C에서 5°C 조건의 냉장 저장고에 보관하였으며, 포장일 기준 다음날을 1일 차로 설정하고, 6개의 시험 구로 분류하여 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13일 동안 저장하였다. 각 저장 기간에 해당하는 시료에 대하여 미생물 및 이화학 규격 실험을 진행하였다. 본 실험은 동일조건에서 3회 반복하여 실시하였다.

가스농도 및 pH, 육색, VBN 측정

저장 기간별로 포장육이 담긴 각 시료에서 상단 필름 덮개 부분에 실리콘 테이프를 부착한 후, 헤드 스페이스에 가스농도측정기(Checkpoint 3, AMETEK MOCON, Brooklyn Park, MN, USA)와 연결된 주사기 바늘을 찔러 넣어 CO_2와 O_2의 함량을 측정하였으며, color difference meter (ZE 7700, Nippon Denshoku Industries Co. Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 상단 필름방향의 표면 육색을 추적하였다. 이때 L값+92.82, a 값+0.08, b 값+1.97인 백색의 calibration plate를 이용하여 보정 후 'a'값을 측정하였다. pH는 digital pH meter (A211, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)를 사용하여 측정하였으며, 휘발성 염기 질소(volatile basic nitrogen, VBN)는 식품공전[11]에서 제시한 미량확산(conway)법에 의거하여 휘발되는 염기태 질소의 양을 적정하였다.

일반세균 및 대장균군, 대장균 정량분석

일반세균의 총균수 분석을 위하여 각 트레이에 포장되어 있는 시료를 멸균된 도구를 이용하여 시료 50 g을 실험팩에 샘플링 후, 0.1% 펩톤식염완충액 450 mL를 가하여 균질기(BagMixer® 400CC, Interscience, Saint Nom la Bretèche, France)를 사용해 3분간 균질화하였다. 검액 1 mL를 0.1% 펩톤식염완충액으로 10배 희석한 후, 3M 페트리필름(aerobic count plate, 3M, St. Paul, MN, USA)에 분주하여 35±1°C에서 48시간 배양하였다. 1×10-1×10^7개 범위 내에 생성된 붉은색의 콜로니를 계수하여 log CFU/cm^2로 측정하였다. 대장균군과 대장균 수를 조사하기 위하여, 일반세균과 같은 방법으로 희석한 후 3M 페트리필름(coliform/E. coli count plate, 3M)에 파이펫팅(pipetting)하여 35±1°C에서 48±4시간 배양하였다. 1×10-1×10^3개 범위에서 대장균군은 기포를 형성한 붉은색과 푸른색의 콜로니을 계수하고, 대장균은 푸른색 콜로니 수를 계수하여 log CFU/cm^2로 측정하였다.

통계적 분석 방법

통계처리는 Excel spreadsheet (Ver. 2021, Microsoft office, USA)로 데이터 취합 및 분석을 진행하고, SPSS (Ver. 25.0, IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 사용하여 평균 및 표준편차를 산출하였으며, 비교 분석을 위하여 Duncan's multiple range test로 실험의 통계적 유의성을 검증하였다. 전체 실험값의 유의적 차이는 $P<0.05$ 수준에서 분석하였다.

Results and Discussion

포장 재질 및 저장 기간에 따른 이화학적 변화

가스 조성 변화

포장재로 사용된 트레이의 재질 종류와 저장 기간에 따른 중량별 우육의 가스 조성 변화는 Table 1과 같으며, 사용된 가스 측정기는 산소와 탄산가스만 측정 가능하여 두 기체의 절대 농도가 아닌 트레이 내부의 상대적 비율을 측정하였다. 가스치환 포장 후 CO_2, O_2 측정 비율은 각 설정된 중량의 플라스틱 트레이 샘플에서 최솟값 13.41±0.21%, 78.35±0.27%, 최댓값 17.37±0.48%, 85.52±0.51%로 측정되었으며, 모든 중량의 종이 트레이 샘플에서 최솟값 13.59±0.25%, 77.13±0.33%, 최댓값 16.98±0.71%, 85.22±0.64%로 조사되었다. 결괏값 중 두 샘플의 500g 단량에서 저장 13일 차 O_2 함량 비율이 대조군에서 79.17±0.19%, 실험군에서 77.13±0.33%로 유의적 차이가 있었지만($P<0.05$), CO_2는 포장 내부에서 고기 표면에 있는 수분과 상호 작용하여 pH를 감소시켜 미생물의 성장을 억제하고 효소의 활력을 저하시키는 역할을 하며, O_2는 육색을 선홍빛으로 유지해주는 역할을 하는 점[12]과, 일반적으로 냉장 유통되는

Table 1. Changes in CO_2 and O_2 ratio in packaging tray for beef meat during refrigerated storage (5°C) with packaging conditions

Packaging condition	Storage time (days)	CO_2 and O_2 ratio inside packaging tray after MAP[1] (%)					
		100 g		500 g		1,000 g	
		CO_2	O_2	CO_2	O_2	CO_2	O_2
Plastic tray (control)	1	13.81±0.21[a]	84.82±0.26[d]	13.76±0.18[a]	85.10±0.62[d]	13.41±0.21[a]	85.52±0.51[d]
	3	13.75±0.59[a]	84.25±0.81[de]	13.58±0.51[a]	84.97±0.19[d]	14.12±0.59[ab]	85.13±0.64[d]
	5	14.15±0.22[ab]	83.96±0.93[de]	14.67±0.89[b]	84.11±0.78[de]	14.37±0.22[ab]	84.43±0.31[de]
	7	14.25±0.45[ab]	82.12±0.79[e]	14.79±0.73[b]	83.75±0.45[de]	14.96±0.45[b]	81.17±0.64[ef]
	9	14.98±0.66[bc]	81.55±0.73[ef]	15.48±0.29[bc]	82.33±0.41[e]	14.78±0.61[b]	79.64±0.69[f]
	11	15.56±0.61[bc]	80.54±0.54[f]	15.92±0.41[bc]	78.39±0.65[f]	15.87±0.61[c]	80.48±0.46[f]
	13	16.45±0.43[c]	79.68±0.48[f]	17.37±0.48[c]	79.17±0.19[f]	16.11±0.43[c]	78.35±0.27[fg]
Paper tray	1	13.69±0.45[a]	84.71±0.29[d]	13.84±0.86[a]	85.22±0.64[d]	13.99±0.42[ab]	84.79±0.36[d]
	3	13.95±0.29[a]	84.94±0.45[d]	13.89±0.91[ab]	83.73±0.45[de]	13.59±0.25[a]	84.27±0.96[de]
	5	14.35±0.64[ab]	83.78±0.89[de]	14.22±0.73[ab]	83.56±0.26[de]	13.87±0.34[ab]	84.96±0.63[d]
	7	14.66±0.41[b]	81.25±0.61[ef]	14.87±0.66[b]	82.52±0.61[e]	14.31±0.28[ab]	81.11±0.41[ef]
	9	14.81±0.37[b]	81.59±0.74[ef]	14.98±0.52[bc]	79.79±0.72[f]	15.11±0.19[bc]	80.95±0.43[ef]
	11	15.41±0.98[bc]	80.62±0.82[f]	15.11±0.84[bc]	80.11±0.39[ef]	15.39±0.21[bc]	77.64±0.81[fg]
	13	16.77±0.63[c]	78.13±0.86[f]	16.98±0.71[c]	77.13±0.33[g]	15.98±0.48[c]	78.18±0.91[f]

[1] MAP: modified atmosphere packaging.
[2] The data are presented as the means±standard deviation of three independent experiments.
[3] Values with different superscripts are statistically different (P<0.05). Lowercase letters designate statistical difference of values within each column.

MAP 포장육의 소비기한은 제조일로부터 10일 내외로 설정되는 사례[13]로 미루어 보아, 저장 기간 13일 차에서의 O_2 함량 차이가 끼치는 미생물적 영향은 미미할 것으로 사료된다. 그 외 두 샘플 간 모든 중량과 저장 기간에 따른 가스농도 비율의 유의적 차이 차이가 낮았으며(P<0.05), MAP 포장에 사용된 두 재질 모두 동일하게 저장 기간이 증가함에 따라 O_2 함량은 감소하고, CO_2 함량은 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 실험결과는 Seideman 등[14]과 Bartholomew 등[15]에서 보고한 고농도의 포장육 산소치환 MAP 포장에서 저장 기간이 경과함에 따라 CO_2의 농도는 증가하고 O_2 농도는 점차 감소하는 경향과 일치한다.

pH

포장 재질 및 저장 기간에 따른 중량별 우육의 pH 변화는 Fig. 2와 같다. 플라스틱 트레이의 저장 초기 우육의 pH는 평균 5.49이었으며, 저장 기간이 경과함에 따라 증가하는 경향을 나타내었고, 냉장 보관 13일 차의 우육은 pH 6.02까지 조사되었다. 이는 우육이 저장 말기로 가면서 육의 숙성 중 근육내의 효소나 미생물에 의하여 단백질이 변성되고, 유리 아미노산과 비단 백태 질소 화합물들을 증가시키며, 형성된 단백질 분해 산물들이 pH 증가에 영향을 미친 것으로 사료된다[16]. 전체적으로 100 g, 500 g, 1,000 g 포장 중량 차이에 따른 pH는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 종이 트레이 포장육의 경우 저장 초기의 pH는 평균 5.53이었으며, 플라스틱 트레이 제품과 동일하

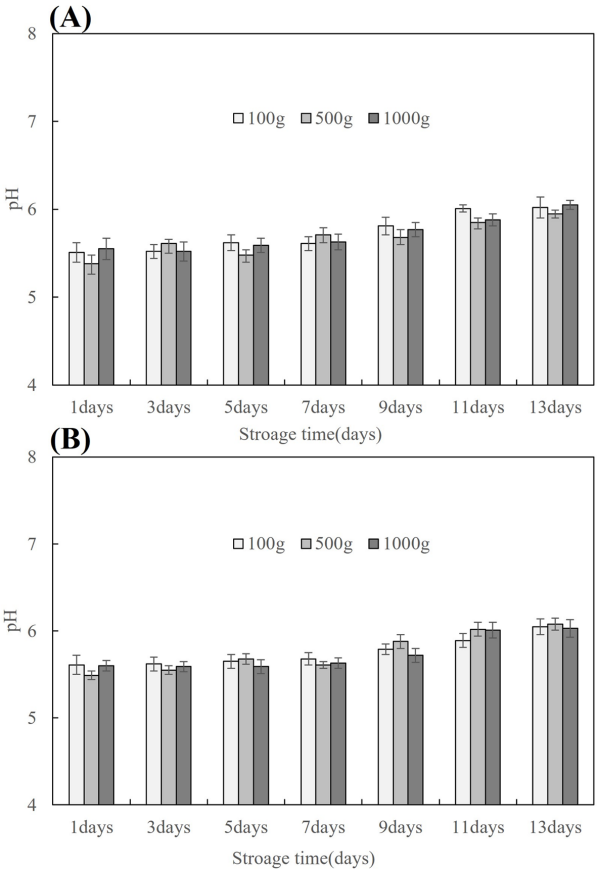

Fig. 2. Changes in pH of beef in plastic tray (A) and paper tray (B) by weight used in MAP.

게 저장 기간이 경과함에 따라 pH는 다소 증가하여 저장 11일차에 pH는 6.02를 나타냈고, 13일 차에 평균 6.05로 조사되었다. 중량에 따른 pH 변화 과정 중 1,000 g 조건에서 pH가 다소 상승하는 경향을 보였으나 유의적 차이는 없었다(P<0.05). 결론적으로 포장재 재질 및 중량 차이에 따른 pH의 변화는 유의적 차이가 없으며, 대조군과 실험군 모두 기간이 경과함에 따라 pH가 상승하는 것으로 나타났다.

육색

육류의 선홍빛 정도는 신선육을 포장할 때 중요한 육의 특성을 나타낸다[17]. 즉, 소비자가 신선한 고기를 맛보고, 냄새 맡고, 분석하여 평가하기 전에 외관이 중요한 역할을 하며, 특히 포장육의 색상은 제품 품질에 대한 인식과 구매 선택에 직접적인 영향을 미치기 때문에[18], 소비자 의사결정의 일차적인 결정 요인으로 작용한다. 따라서 대조군과 실험군에서의 육색 차이 정도에 따라서 시각적 외관이 결정되고, 육색이 소비자의 구매력을 유지하고 증가시킴에 있어 중요한 요소일 것으로 사료된다. 포장 재질 및 저장 기간에 따른 중량별 우육의 색도 측정값은 Table 2와 같으며, 명도(lightness)를 표현하는 L*값은 플라스틱 트레이에서 저장 1일 차의 우육은 평균 45.6±0.5이었으며 13일 차 우육은 평균 53.23±0.2로 측정되었다. 모든 중량 조건에서 저장하는 기간이 경과함에 따라 증가하는 경향이 있었으나 결론적으로 중량 차이에 의한 유의적 변화가 관찰되지 않았다. 종이트레이 포장의 경우 1일 차 대조군과 동일하게 저장 기간에 따라 L*값이 증가하는 경향을 보였으며, 측정치가 감소 및 증가하는 경향 또한 동일함을 나타낸 것으로 보아 포장 재질이 명도에 미치는 영향이 크지 않을 것으로 사료된다. 적색도(redness)를 표현하는 a*값은 플라스틱 트레이와 종이트레이 모두 포장 직후부터 저장 5일 차까지 동일 수준으로 적색도가 유지되었으나, 7일 차부터 모든 저장군에서 기간이 경과함 따라 두드러지게 감소하였으며(P<0.05), 7일에서 9일 차로 경과될 때의 적색도 감소 폭이 가장 크게 나타났다. 이는 7일 차 이후 육류에 존재하는 옥시마이오글로빈(oxymyoglobin)이 산화되어 갈색의 메트마이오글로빈(metmyoglobin)으로 변화되는 과정[19]이 가장 빠르게 진행되었음을 의미한다. 이와 같은 결과는 Jeong 등[20]의 연구에서 보고한 육류의 저장 기간에 따른 적색도 변화량 결과와 일치한다. 황색도(yellowness)를 나타내는 b*값은 플라스틱 트레이에서 1일 차 평균 11.9±0.3, 13일 차 평균 15.0±0.5, 종이트레이에서 1일 차 평균 12.3±0.2, 13일 차 평균 14.9±0.4로 조사되었으며, 유의적 차이는 없었다(P<0.05). 결론적으로 대조군과 실험군 사이의 L*, a*, b* 색도 값 변화량 △E*은 모든 저장 구간에서 0.5-1.5로 측정되었으며, △E*값이 1.5 이상인 경우에만 유의적 차이가 있는 것으로 판단하여, 두 가지 샘플 군에서 저장 기간에 따른 육색의 유의적 차이가 없음을 확인하였다(P<0.05).

VBN

단백질이 풍부한 식품인 신선육은 미생물과 자체 효소로 인해 부패하기 쉬우며, 단백질이 분해되면서 유기산과 색소가 형성되어 다양한 가스가 발생해 불쾌한 악취가 형성되고, 특정 화합물이 분해되면서 고유의 향미가 발생한다. 이때 고기의 지방은 산패되어 단백질의 성질이 변화하는데, 알코올, 암모니아, 아민(특히 NH_3)과 같은 화합물은 이 과정의 부산물이며, 암모니아 수준은 고기의 신선도를 평가하는 데 사용된다. 단백질 분해에 영향을 미치는 요인으로는 수분, 온도, 빛, 공기, pH 등이 있으며, 효소와 미생물의 활동도 포함된다[21]. Volatile basic nitrogen (VBN, 휘발성염기질소)은 식품 산업, 특히 육류 부문에서 쇠고기 및 기타 육류의 부패 정도를 평가하기 위해 일반적으로 사용되는 지표이며, 부패하지 않은 포장육의 경우, pH는 6.2 이하, VBN은 20 mg% 이하 수준으로 규정되어 있다[11]. 포장 재질 및 저장 기간에 따른 중량별 우육의 VBN 조사 값은 Table 3과 같으며, 각각의 저장 기간에 해당하는 시료를 꺼내어 측정하였을 때 저장 기간이 늘어남에 따라 VBN 함량도 점차 증가하는 경향을 보였다. 플라스틱 트레이 우육의 1일 차 평균 VBN 함량은 9.10±0.43 mg%이었고 저장 기간이 경과함에 따라 점차 증가하여 저장 13일 차에서 평균 VBN은 15.65±0.47 mg%였으며, 종이트레이 포장육은 1일 차 평균 9.01±0.38 mg%, 13일 차 평균 15.40 mg%였다. 플라스틱 트레이 대조군에서 100 g, 500 g, 1,000 g 중량별 샘플간의 유의적 차이는 9일 차 이후에 나타나고, 종이트레이 실험군 중량별 샘플 사이에서 동일하게 9일 차부터 유의적인 차이가 나타났으나, 이는 우육이 가스치환 포장된 후 중량에 따라 접촉면적이 변화함에 따른 특성으로 추정되며, 플라스틱과 종이트레이 샘플의 VBN값의 변화 경향은 유의적 차이가 없는 것으로 조사되었다(P<0.05). 일반적으로 휘발성 염기질소 함량은 연구원마다 다소 차이는 있지만, 신선육의 VBN이 5-10 mg%일때 신선한 상태이며, 20 mg%이상 일 때는 변질로 간주하고 있고, Park 등[22]에 따르면 VBN 함량이 15 mg% 이상일 때 육의 초기 부패가 시작된다고 보고하였다. 본 연구에서는 두 가지 포장 재질의 모든 처리 구에서 휘발성 염기질소 함량이 11일 차까지 15 mg% 미만의 VBN 값이 측정되었으며, 13일 차 저장군에서 플라스틱 트레이 평균 15.65±0.45, 종이트레이 평균 15.40±0.48로 측정되고, 이상취가 관찰되는 등 초기 부패가 시작되는 시기가 동일한 것으로 조사되었다.

포장 재질 및 저장 기간에 따른 미생물적 변화

일반세균수

Fig. 3은 세 번 반복된 가스치환 포장 우육 실험에서의 일반세균 총균수의 변화를 비교한 것이다. 일반세균수는

Table 2. Changes in CIE L*, a*, b*, and ΔE* color scores for beef meat during refrigerated storage (5°C) with packaging conditions (plastic tray and paper tray)

Packaging condition	Storage time (days)	Beef hunter color											
		100 g				500 g				1,000 g			
		L*	a*	b*	ΔE*	L*	a*	b*	ΔE*	L*	a*	b*	ΔE*
Plastic tray (control)	1	45.7±0.8^{A}	20.8±0.5^{C}	11.7±1.0^{A}	-	45.1±0.5^{A}	21.2±0.1^{C}	12.3±0.3^{A}	-	46.2±0.6^{A}	20.6±0.4^{C}	11.8±0.8^{A}	-
	3	47.1±0.3^{AB}	24.4±0.9^{D}	14.2±0.6^{C}	-	46.7±0.6^{AB}	22.9±0.4^{CD}	14.5±1.2^{CD}	-	47.1±0.9^{A}	21.2±0.8^{CD}	12.5±0.5^{AB}	-
	5	45.7±0.8^{A}	20.8±0.5^{C}	11.7±1.0^{A}	-	48.6±0.5^{B}	22.8±0.1^{CD}	12.7±0.3^{AB}	-	46.2±0.6^{A}	20.4±0.4^{C}	11.7±0.8^{A}	-
	7	46.2±0.7^{A}	22.2±0.5^{CD}	14.6±0.8^{CD}	-	46.8±0.7^{A}	21.4±0.5^{C}	14.9±0.4^{CD}	-	47.3±0.6^{A}	21.8±0.3^{CD}	13.1±0.4^{BC}	-
	9	51.7±0.8^{C}	14.6±0.5^{B}	15.2±0.5^{D}	-	52.6±0.6^{C}	15.2±0.3^{B}	14.6±0.6^{CD}	-	50.6±0.7^{BC}	19.2±0.4^{C}	13.9±0.2^{C}	-
	11	45.7±0.8^{A}	13.8±0.5^{B}	13.7±1.0^{C}	-	47.9±0.5^{B}	15.5±0.1^{B}	13.5±0.3^{BC}	-	49.2±0.6^{B}	16.6±0.4^{B}	12.8±0.8^{B}	-
	13	52.6±0.5^{C}	11.2±0.6^{A}	15.4±1.1^{D}	-	53.1±0.4^{C}	12.3±0.7^{A}	15.6±1.3^{D}	-	54.1±0.2^{CD}	14.4±0.5^{A}	14.1±0.6^{CD}	-
Paper tray	1	46.2±1.1^{A}	21.6±0.7^{C}	12.4±0.8^{AB}	1.17	45.8±0.1^{A}	21.6±0.4^{C}	12.1±0.8^{A}	0.83	45.9±0.4^{A}	20.4±0.7^{C}	12.3±0.7^{A}	0.62
	3	47.2±0.7^{AB}	23.8±0.4^{D}	14.3±0.6^{CD}	0.62	47.2±0.7^{AB}	22.6±0.4^{C}	14.3±0.5^{C}	0.62	46.9±0.4^{A}	20.2±1.4^{C}	12.1±0.4^{A}	1.10
	5	46.5±0.6^{A}	21.1±0.4^{C}	12.8±0.6^{B}	1.39	48.4±0.7^{B}	23.1±0.4^{CD}	13.2±0.5^{B}	0.62	46.9±0.4^{A}	19.2±1.4^{C}	11.5±0.4^{A}	1.40
	7	46.8±0.5^{A}	21.2±0.6^{C}	14.2±0.6^{CD}	1.23	47.1±0.4^{AB}	22.1±0.3^{C}	15.1±0.4^{D}	0.79	48.6±1.2^{AB}	21.4±0.5^{CD}	12.8±0.4^{B}	1.39
	9	51.2±0.4^{C}	15.8±1.3^{B}	14.9±0.5^{D}	1.33	52.6±0.2^{C}	16.4±0.4^{B}	15.1±0.8^{D}	1.30	50.3±0.8^{BC}	18.4±0.8^{C}	13.6±0.8^{C}	0.91
	11	46.1±0.7^{A}	13.9±0.4^{B}	14.3±0.6^{CD}	0.73	47.2±0.7^{AB}	15.9±0.4^{B}	14.7±0.5^{CD}	1.45	49.9±0.4^{B}	16.2±1.4^{B}	13.1±0.4^{B}	0.86
	13	52.8±0.8^{C}	11.1±0.7^{A}	14.8±0.7^{D}	0.64	53.2±0.8^{C}	11.6±0.6^{A}	15.4±1.1^{D}	0.73	52.8±0.6^{C}	14.6±1.1^{A}	14.5±0.3^{D}	1.37

[1] The data are presented as the means±standard deviation of three independent experiments.

[2] Values with different superscripts are statistically different (P<0.05). Uppercase letters designate statistical difference of values within each column. Hunter color was indicated as L*(lightness), a*(redness/greenness), b*(yellowness/blueness), and overall color difference ($\Delta E^* = \sqrt{\Delta L \times 2 + \Delta a \times 2 + \Delta b \times 2}$). The ΔE*value of the treated samples was estimated as indicating a subtle (0-0.5), slight (0.5-1.5), or significant difference (>1.5) compared to the control samples.

Table 3. Changes in volatile basic nitrogen (VBN) scores for beef meat during refrigerated storage (5°C) with packaging conditions

Packaging condition	Storage time (days)	VBN (mg/%)		
		100 g	500 g	1,000 g
Plastic tray (control)	1	9.05±0.45^{Aa}	8.67±0.35^{Aa}	9.57±0.48^{ABb}
	3	9.85±0.37^{Ab}	10.13±0.47^{Bc}	9.55±0.34^{Ab}
	5	11.15±0.37^{Cd}	10.92±0.19^{Cd}	10.53±0.61^{Bc}
	7	10.56±0.43^{Bc}	10.48±0.42^{Bc}	10.61±0.78^{Bc}
	9	13.52±0.38^{Eg}	12.49±0.54^{Ef}	11.69±0.61^{Ce}
	11	14.52±0.38^{Fh}	12.92±0.43^{Fg}	12.77±0.34^{DEf}
	13	16.91±0.32^{Gi}	14.87±0.62^{Gh}	15.18±0.41^{Gh}
Paper tray	1	8.95±0.22^{Aa}	9.21±0.52^{Aa}	8.87±0.33^{Aa}
	3	10.07±0.37^{ABb}	10.57±0.59^{Bc}	10.13±0.52^{ABc}
	5	10.85±0.37^{BCc}	11.24±0.34^{Cd}	10.51±0.42^{BCc}
	7	10.47±0.26^{Bc}	10.87±0.23^{BCd}	10.31±0.49^{Bb}
	9	13.66±0.35^{DEg}	12.16±0.46^{DEf}	12.92±0.45^{CDf}
	11	14.49±0.35^{Fh}	13.98±0.51^{EFh}	13.19±0.31^{Eg}
	13	15.11±0.41^{FGh}	16.09±0.39^{Gi}	14.99±0.63^{FGh}

[1] The data are presented as the means±standard deviation of three independent experiments.

[2] Values with different superscripts are statistically different (P<0.05). Uppercase letters designate statistical difference of values within each column, whereas lowercase letters are statistically different within each row.

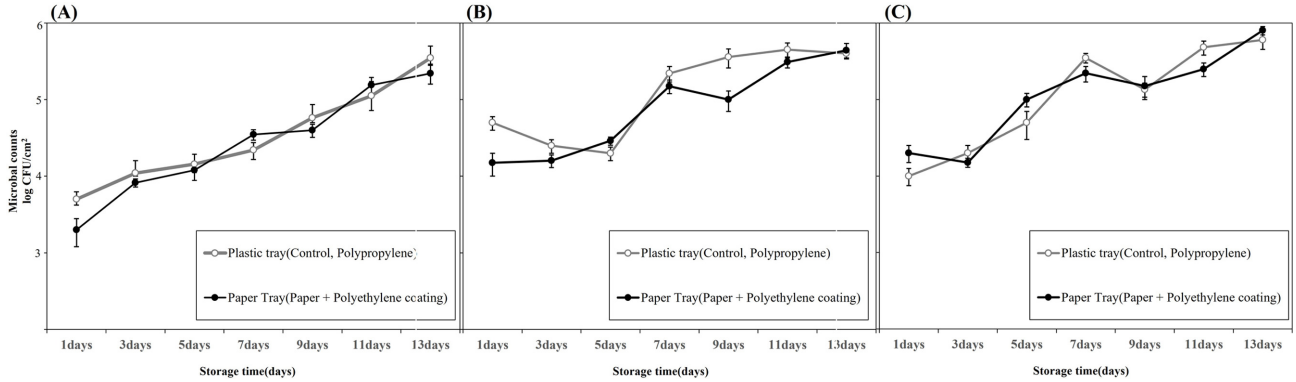

Fig. 3. Total aerobic bacteria count results for plastic and paper trays by *weight used in MAP.
* Weight of tray used in MAP: A, B, C (A=100 g, B=500 g, C=1,000 g).

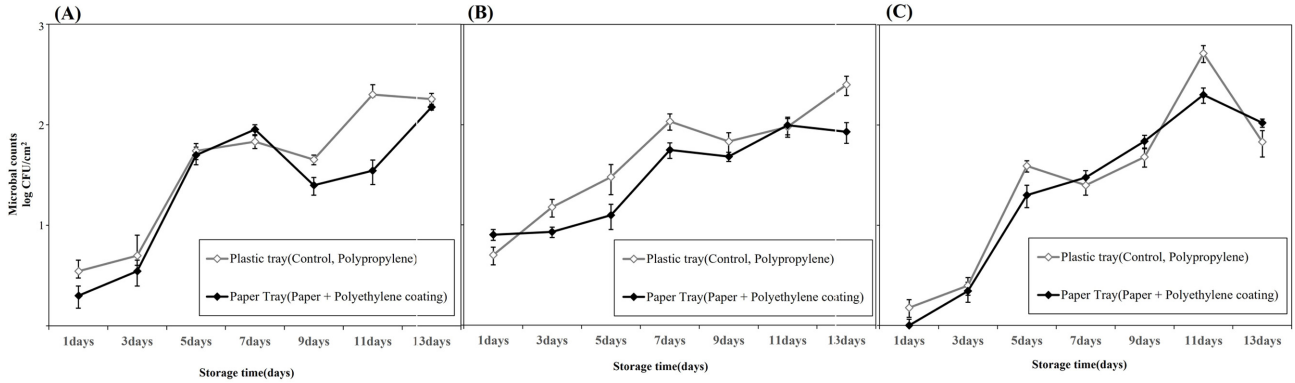

Fig. 4. Total coliform group count results for plastic and paper trays by *weight used in MAP.
* Weight of tray used in MAP: A, B, C (A=100 g, B=500 g, C=1,000 g).

식품 제조 및 유통 과정 전반에 걸쳐 위생 상태를 평가하는 주요 지표로 사용되고, 식품의 부패 척도를 판단하는 위생지표균이며[23], 플라스틱 트레이 100 g 저장군에서 총균수가 1-7일 차까지 기록 cm당 7.8×10^3 CFU/cm^{2}를 유지하다가 9일 차에서 증가하여 13일 차에는 5.2×10^5 CFU/cm^{2}수준까지 도달하였다. 500 g 저장군에서는 1일 차에 8.2×10^4 CFU/cm^2 수준에서 7일 차에 4.0×10^5 CFU/cm^{2}으로 증가하여 13일 차까지 유지되는 경향을 나타냈고, 1,000 g 저장군에서는 100 g 저장군과 비슷하게 총균수가 1일 차 1.0×10^4 CFU/cm^{2}에서 기간이 경과함에 따라 증가하였으며, 7일 차 6.1×10^5 CFU/cm^{2}에서 13일 차까지 비슷한 수준을 유지하였다. 종이트레이 저장군에서도 각 중량별에 따라 일부 차이가 나타났으나, 그 차이는 두드러지지 않았으며, 대조군과 동일 중량군에서 비교하였을 때 일반세균수의 유의적 차이는 확인되지 않았다(P<0.05). 이러한 결과는 제품이 담기는 중량에 따라 공기 접촉면의 차이가 발생하여 나타나는 차이로 추측되며, 동일한 중량의 실험군과 대조군에서는 총균수 변화량의 유의적 차이는 나타나지 않고, 동일한 수준을 확인하였다. 한편, Park 등[24]에 따르면, 미생물 중 일반세균수의 한계 수준을 신선육의 부패가 시작되는 시점으로 관찰되는 1.0×10^6 CFU/cm^{2}로 보고하였으며, 국내에서 포장육의 일반세균수 규격은 따로 규정하고 있지 않지만, 식품의약품안전처가 고시한 식육(포장육 포함) 중 미생물검사에 관한 규정[25]에 따르면 모니터링 권장기준은 5×10^6 CFU/cm^{2}이하로 설정하였다. 본 연구의 모든 저장군에서 일반세균수의 검출 값은 앞서 언급한 한계 기준 이하의 수준으로 확인되어 두 포장 재질 모두 비교적 안정성이 확보되는 것으로 판단된다.

대장균군 및 대장균

Fig. 4, Fig. 5는 세 번 반복된 가스치환 포장 우육 실험에서의 대장균군, 대장균 수의 변화를 비교한 것이다. 두 포장 재질에 따른 샘플군에서 대장균군과 *E. coli* 수는 13일 차까지 1.0×10^3 CFU/cm^2 미만으로 측정되었으며, 이는 일반세균의 총균수 조사 결과와 마찬가지로, 식품의약품안전처에서 고시하는 식육 중 미생물검사 요령[25] 중 일반적인 부패수준의 검출한계 기준인 1.0×10^3 CFU/cm² 미만에 부합한 것으로 관찰되었다. 대장균군 함량은 대조군과

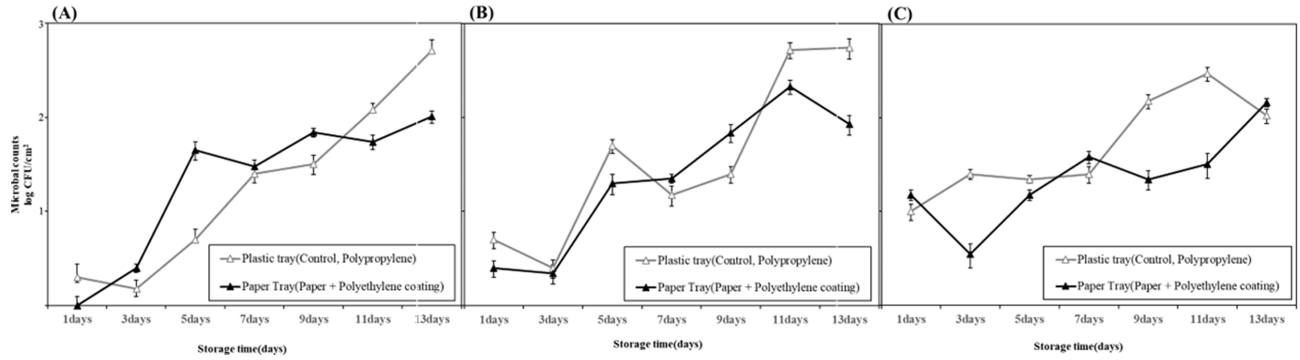

Fig. 5. *E. coli* plate count results for plastic and paper trays by *weight used in MAP.
* Weight of tray used in MAP: A, B, C (A=100 g, B=500 g, C=1,000 g).

실험군 동일하게 초기 1.0×10^2 CFU/cm^2 미만 수준에서 7일 차까지 증가하고, 13일 차까지 1.0×10^3 CFU/cm^2 미만으로 확인되었으며, *E. coli* 수는 일정한 증가 또는 유지 추세를 보이지 않았지만, 대장균군 수와 비슷하게 미미한 변화량을 나타내었다. 종이재질이 플라스틱보다 공기투과도가 높아 포장 환경에 영향을 줄 수 있으나, 종이의 폴리에틸렌 코팅으로 차단성을 강화하여 비교적 짧은 실험기간 내에서 미생물 증식 등 내부 안정성에 미치는 영향은 미미한 것으로 사료된다. 앞선 결과를 종합하여 볼 때 플라스틱 트레이와 종이 트레이로 포장된 우육 미생물 수의 변화량 경향은 서로 유의적 차이가 없고(P<0.05), 두 포장 재질의 저장군 모두 국내 식품의약품안전처에서 고시한 미생물 모니터링 기준에 부합한다. 이는 쇠고기 가스치환 포장에 플라스틱 대신 종이 트레이를 사용하더라도 기존 공급망을 통해 소비자에게 안전하게 유통될 수 있음을 시사한다. 본 연구의 결과가 종이트레이의 안정성 데이터를 확보하고, 이를 기반으로 소비자에게 종이트레이의 안전함과 환경을 고려하는 이미지를 형성하는 데 기여할 수 있다는 것을 제시하고 있으며, 이러한 연구가 국내 식품 포장의 안전관리 수준을 높이고, 향후 개선을 견인하는 데 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

Acknowledgement

This work was supported by Pulmuone Co. Ltd.

국문요약

본 연구는 modified atmosphere packaging (MAP) 포장육에 사용되는 플라스틱 트레이를 종이 트레이로 대체하여 포장 및 유통할 때 이화학적 특성 및 미생물 제어에 미치는 영향을 분석하고, 제품의 안정성을 검증하기 위하여 수행되었다. 안정성 비교를 위하여 국내에서 도축된 우육을 가열하지 않은 생고기 상태로 각각 플라스틱 트레이와 종이 트레이에 넣고 트레이 내부를 15±5% O_2와 85% CO_2로 가스 처리한 다음, 포장 상단을 폴리에틸렌 필름으로 밀봉하여 5°C에서 냉장 보관하였으며, 실험군과 대조군은 6개의 시험구로 분류하여 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13일 동안 저장하고, 각 저장 기간에 해당되는 시료에 대하여 미생물 및 이화학 규격 실험을 진행하였다. 연구 결과, 대조군과 비교하여 모든 중량(100 g, 500 g, 1,000 g)에서 총균, 대장균군, 대장균수와 같은 위생 지표 병원성 미생물 실험값의 유의미한 차이가 발견되지 않았으며(P<0.05), 마찬가지로, 포장된 육류 표면의 색도 헌터 값(a*, b*, L*)과, pH, 포장재의 치환된 O_2와 CO_2의 가스 측정치 비율, 휘발성 염기성 질소(volatile basic nitrogen, VBN) 수치와 같은 이화학적 측정값에서 유의미한 차이가 없었다(P<0.05). 상기의 연구 결과를 고려할 때, 친환경 종이 재질 트레이를 MAP 방식에 적용하였을 경우 플라스틱과 비교하여 안전성이나 품질을 손상 시키지 않고 육류 제품의 MAP 응용분야에서 플라스틱에 대한 지속 가능한 대안으로 사용될 수 있음을 시사한다. 이를 통하여 식품 산업에서 지속 가능한 포장 솔루션의 새로운 기회가 열리고, 플라스틱 소재에 대한 의존도가 감소하여 환경적 영향이 완화될 것으로 사료된다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

ORCID

Dong Bin Lee https://orcid.org/0009-0007-1906-9197
Byoung Hu Kim https://orcid.org/0000-0001-6107-1919
Seung Hun Shin https://orcid.org/0009-0005-3715-3478
Eun Mi Ko https://orcid.org/0009-0003-6261-6732
Jong Eok Kim https://orcid.org/0009-0000-4670-2356
Ja Yeong Lee https://orcid.org/0009-0005-3329-1857

References

1. Research And Markets (R&M), 2023. Global green packaging market (by packaging type, material, application, & region): insights and forecast with potential Impact of COVID-19 (2023-2028), R&M, pp. 160-170.
2. Oldring, P.K.T., O'Mahony, C., Dixon, J., Vints, M., Mehegan, J., Dequatre, C., Castle, L., Development of a new modelling tool (FACET) to assess exposure to chemical migrants from food packaging. *Food Addit Contam.,* **31**, 444-465 (2014).
3. Marsh, K., Bugusu, B., Food packaging-roles, materials, and environmental issues. *J. Food Sci.*, **72**, 39-55 (2007).
4. Raheem, D., Application of plastics and paper as food packaging materials-an overview. *Emir. J. Food Agric.,* **25**, 177-188 (2012).
5. Han, J.W., A study on the recycling of wasted paper pakage. Master's Degree, Soongsil University, Seoul, Korea (1993).
6. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), 2022. 2022 Production performance of food items, MFDS, Cheongju, Korea, pp. 571.
7. Gill, C.O., Harrison, J.C.L., The storage of chilled pork packged under carbon dioxide. *Meat Sci*., **26**, 313-324 (1989).
8. Sinell, H.J., 1980. Einfuhrungen in die lebensmittelhygiene, verlag paul parey, Berlin, Germany, pp. 103-104.
9. Gill, C.O., 1998. Microbiological contamination of meat during slaughter and butchering of cattle, sheep and pigs, The Microbiology of Meat and Poultry, Blackie Academic & Professional, London, UK, pp.118-157.
10. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), 2015. Evaluation of microbiological guideline for meat, MFDS, Cheongju, Korea, pp. 77.
11. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), 2023, Korean food standards codex, MFDS, Cheongju, Korea.
12. Stammen, K., Gerdes, D., Caporaso, F., Modified atmosphere packaging of seafood. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.,* **29**, 301-331 (1990).
13. Ou, J., Xu, X., Chen, L., Ma, C., Yan, W., Microbial diversity analysis of chilled beef with map during storage. *J. Pure Appl. Microbiol.,* **7**, 3091-3098 (2013)
14. Seideman, S.C., Durland, P.R., Vaccum packaging of fresh beef: a review. *J. Food. Qual.,* **6**, 29-47 (1983).
15. Bartholomew D.T., Blumer T.N., Microbial interactions in countrystyle hams. *J. Food Sci.*, **42**, 498-502 (1977).
16. Lee, K.J., Investigation on the market conditions for chilled storge and the shelf-life of vacuum packaged beef. Master's Degree, Gangneung National University, Gangneung, Korea (2000).
17. Young, L.L., Reviere, R.D., Cole, A.B., Fresh red meats: a place to apply modified atomosphere. *J. Food Technol.,* **42**, 65-69 (1988).
18. Ohh, D.H., Park, H.K., Studies on the curing agents in the Meat processing 2. Effects of added nitrate and nitrite amount on colour development of cured meat. *J. Anim. Sci. Technol.,* **24**, 470-475 (1982).
19. Livingston, D.J., Brown, W.D., The chemistry of myoglobin and its reactions. *Food Technol.,* **35**, 244-252 (1981).
20. Jeong, J.Y., Hur, S.J., Lee, S.J., Yang, H.S., Moon, S.S., Lee, J.I., Kim, Y.H., Joo, S.T., Park, G.B., Effects of submersion aging in chilled water on lipid oxidation, myoglobin oxidation and purge loss of vacuumpacked hanwoo meat. *Food Sci. Anim. Resour.,* **22**, 222-227 (2002).
21. Chung, J.G., Effects of high O_2 modified atmosphere packaging and display time on the quality of retail packaged beef loin cuts. Master's Degree, Konkuk University, Seoul, Korea (1999).
22. Park, G.B., Kim, Y.J., Lee, H.G., Kim, J.S., Kim, Y.H., Changes in freshness of meats during postmortem storage 2. Changes in freshness of beef. *Korean J. Anim. Sci.,* **30**, 672-677 (1988).
23. Forsythe, S.J., 2020. The microbiology of safe food, 3rd Edition, Wiley-Blackwell, Hoboken, NJ, USA, pp. 261-262.
24. Park, J.A., Joo, S.Y., Hwang, H.J., Na, Y.S., Kim, S.J., Choi, J.I., Ha, J.Y., Cho, M.S., Effects of freezing storage temperature on the storage stability of beef. *Korean J. Food Sci. Technol.,* **48**, 301-305 (2016).
25. Korean Law Information Center, (2024, January 8). Regulations on microbial testing in meat. Retrieved from https://law.go.kr/LSW/admRulInfoP.do?admRulSeq=2100000190025