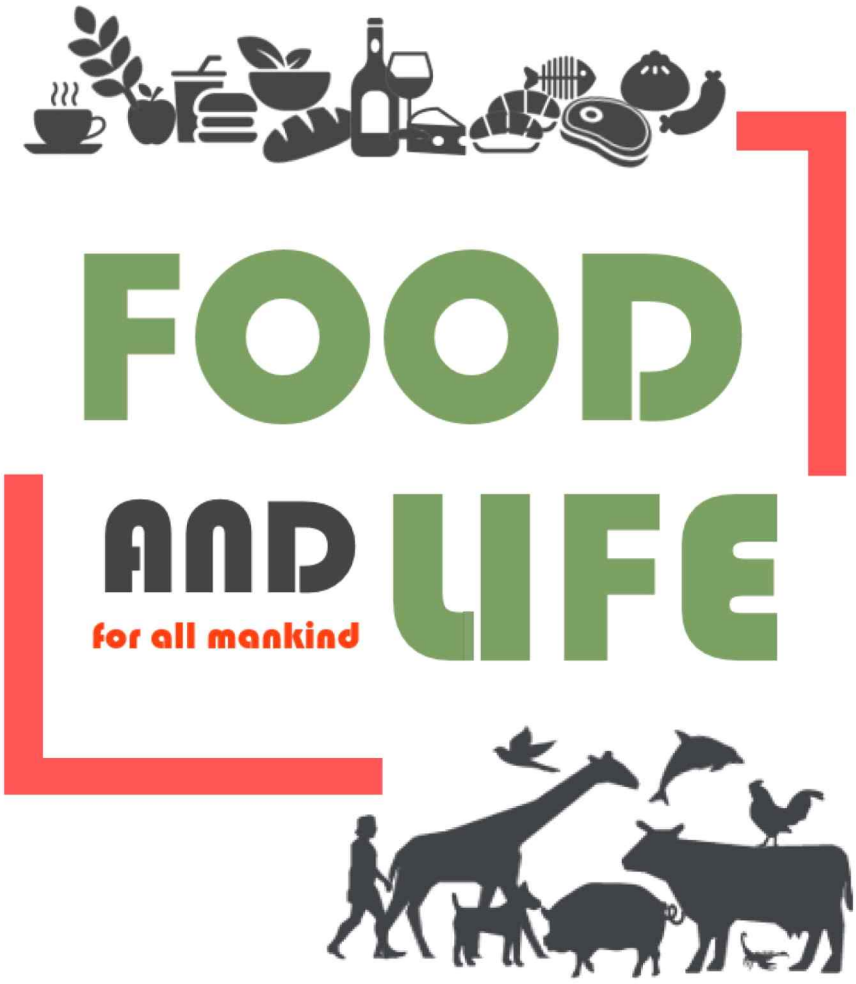


The Food and Life has published all type articles such as research articles, review articles, survey articles, research note, short communication or editorial since 2020. It covers the all scientific and technological aspects of food and life science.

https://www.foodnlife.org

Food and Life (2026) 2026(3):157-166
https://doi.org/10.5851/fl.2600015

Research Article Open Access

국내 유통 중인 합성 아질산염 첨가 및 천연 유래 아질산염 적용 햄의 품질 특성 비교

배수민[1,†], 유영미[1,2,†], 정종연[1,2,3,*]

[1]경성대학교 식품생명공학과
[2]경성대학교 Brain Busan 21 Plus 프로젝트팀
[3]경성대학교 식품생명연구소

Comparison of quality characteristics of commercial hams with synthetic nitrite or naturally derived nitrite

Su Min Bae[1,†], Yeongmi Yoo[1,2,†], Jong Youn Jeong[1,2,3,*]

[1]*Department of Food Science & Biotechnology, Kyungsung University, Busan 48434, Korea*
[2]*Brain Busan 21 Plus Project Team, Kyungsung University, Busan 48434, Korea*
[3]*Food & Life Science Research Institute, Kyungsung University, Busan 48434, Korea*

Abstract

This study compared the physicochemical characteristics of eight commercially available ham products in Korea, including four products with synthetic nitrite (Nitrite A-D) and four products with naturally derived nitrite (Alternative A-D). In addition, two laboratory-manufactured hams prepared with either sodium nitrite (Nitrite-Lab) or a Chinese cabbage juice-based pre-converted curing solution (Alternative-Lab) were compared with commercial products. Commercial products showed significant variation in pH (6.03-6.54), water activity (0.948-0.959), and salt content (1.46%-2.07%), with no consistent trends by nitrite source. CIE a* ranged from 11.71 to 14.92, with most products incorporating additional colorants regardless of nitrite source. Residual nitrite was markedly higher in products with synthetic nitrite (15.71-50.46 mg/kg) than in products with naturally derived nitrite (1.74-9.75 mg/kg). Alternative-Lab showed lower pH (5.83) and CIE a* (10.67) values than commercial products ($p<0.05$), while its water activity was comparable to that of commercial products ($p>0.05$). The residual nitrite content of Alternative-Lab was lower than that of Nitrite-Lab ($p<0.05$). Cured pigment and total pigment contents did not differ between the two laboratory-manufactured hams ($p>0.05$), whereas the curing efficiency of Alternative-Lab (83.97%) was significantly higher than that of Nitrite-Lab (79.73%; $p<0.05$). This study indicates that differences in the physicochemical characteristics of commercial ham products may be associated with formulation and processing practices as well as nitrite source. Furthermore, the Chinese cabbage juice-based pre-converted curing system can reduce residual nitrite content while maintaining curing efficiency and cured meat quality comparable to synthetic nitrite.

Keywords: pork ham, nitrite alternative, clean label, residual nitrite, curing efficiency

서 론

식육가공 산업에서 아질산염은 육제품의 품질과 안전성 확보에 중요한 역할을 하는 대표적인 식품 첨가물로서 다양한 육제품 제조에 활용되고 있다. 아질산염은 마이오글로빈(myoglobin)과 결합하여 특유의 염지 육색을 형성하고, 지방산화를 감소시킬 뿐만 아니라, *Clostridium botulinum*을 비롯한 식중독균의 증식을 억제하는 효과를 갖고 있다(Flores and Toldrá, 2021; Honikel, 2008; Jo et al., 2020; Sebranek, 2009).

그러나 아질산염이 육류에 존재하는 아민류와 반응하여 발암성 물질인 N-니트로사민(N-nitrosamine)을 형성할 수 있다는 부정적인 인식과 함께 소비자들의 우려가 증가하였다(Al-Qutaifi and Al-Mossawi, 2025; Hur et al., 2019; Lee et al., 2021; Yong et al., 2020). 이에 따라 최근에는 합성 첨가물을 배제하고 소비자가 이해하기 쉬운 천연 원료만을 사용하는 클린라벨

† These authors equally contributed to this study.

*Corresponding author : Jong Youn Jeong. Department of Food Science & Biotechnology, Kyungsung University, Busan 48434, Korea. Tel: +82-51-663-4711, E-mail: jeongjy@ks.ac.kr

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

(clean label) 트렌드가 식품산업 전반으로 확산되었으며(Asioli et al., 2017; Inguglia et al., 2023; Park et al., 2025), 육가공 산업 역시 합성 아질산염을 대체하면서도 기존 제품의 품질을 유지해야 하는 과제에 직면하게 되었다(Sebranek and Bacus, 2007).

이에 대한 대응으로 북미와 유럽을 중심으로 셀러리, 비트, 시금치, 근대 등 질산염 함량이 높은 식물성 소재를 활용한 간접 염지(indirect curing) 기술이 개발되어 상업적으로 적용되고 있다(Flores and Toldrá, 2021; Kim et al., 2025). 그러나 상용화된 천연소재 유래 질산염/아질산염을 이용한 염지 육제품은 제품 간 이화학적 품질 특성에 차이가 있는 것으로 보고되었으며(Sindelar et al., 2007), 특히 질산염이 풍부한 천연소재를 이용한 염지 시스템에서는 원료의 질산염 함량, starter culture의 활성 및 공정 조건 등에 따라 질산염의 환원으로 생성되는 아질산염의 양이 달라질 수 있어 제품 간 품질 편차가 발생할 수 있다(Sebranek and Bacus, 2007; Yong et al., 2021). 이는 제조 공정 중 질산염의 아질산염 전환 효율을 일정하게 제어하기 어렵다는 간접 염지 방식의 한계에서 비롯된다(Sebranek et al., 2012).

이러한 한계를 보완하기 위한 방법으로 pre-conversion 기술이 주목받고 있다. Pre-conversion은 식물성 원료를 육제품에 첨가하기 전에 미생물 발효를 통해 식물성 소재에 함유된 고농도의 질산염을 아질산염으로 전환하는 기술로, 질산염 환원 공정을 제품 제조 이전 단계에서 수행함으로써 아질산염 수준을 보다 균일하게 제어하여 공급할 수 있는 것으로 보고되고 있다(Kim et al., 2025; Yong et al., 2021).

국내에서 유통되는 천연 유래 아질산염 적용 햄 제품에는 질산염 기반 간접 염지 방식과 pre-converted 식물성 소재를 적용한 제품들이 혼재되어 있으며, 사용되는 소재와 아질산염 공급 방식의 차이에 따라 제품의 품질 특성이 달라질 가능성이 있다(Kim et al., 2025). 이러한 제품 간 품질 차이는 해외 시판 천연 염지 육제품에서도 보고된 바 있다(Bak et al., 2025; Sindelar et al., 2007; Sullivan et al., 2012). 현재 국내시장에는 채소 농축물, 과일 추출물 및 pre-converted 채소 농축물 등 다양한 소재와 기술을 활용한 천연 유래 아질산염 적용 햄 제품들이 유통되고 있으나, 이들 제품의 품질 특성을 합성 아질산염 첨가 제품과 체계적으로 비교하여 분석한 연구는 아직 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구는 국내 유통 중인 합성 아질산염 첨가 및 천연 유래 아질산염 적용 시판 햄의 이화학적 품질 특성을 조사하기 위해 수행되었다. 또한, 시판 제품의 품질 특성을 객관적으로 비교하기 위한 기준을 마련하고자 천연 유래 아질산염 적용 햄과 합성 아질산염 첨가 햄을 자체 제조하였으며, 이를 시판 제품과 함께 비교하여 분석하였다.

재료 및 방법

시료 준비

국내 유통 중인 합성 아질산염 첨가 햄과 천연 유래 아질산염 적용 햄의 품질 특성을 비교하기 위하여, 시판 햄 8종과 자체 제조한 햄 2종을 사용하였다.

시판 제품은 국내 주요 4개 제조사(A-D사)의 합성 아질산염 첨가 프레스햄(Nitrite A-D) 및 천연 유래 아질산염 적용 프레스햄(Alternative A-D) 총 8종을 사용하였으며, 제품별 세부 정보는 Table 1과 같다. 본 연구에서 천연 유래 아질산염 적용 제품은 합성 아질산나트륨($NaNO_2$)이 아닌 식물성 대체 소재를 사용한 제품을 의미하며, 구체적인 아질산염 공급 방식(간접 염지 또는 pre-conversion)은 제품마다 상이하였다. 모든 시판 제품은 각 제조사의 온라인 직영 판매처를 통해 제조 로트(lot)가 다른 제품을 각각 3회 구매하였으며, 제조일로부터 14일 이내의 제품을 분석에 사용하였다.

자체 제조한 시료는 $NaNO_2$를 첨가한 햄(Nitrite-Lab)과 배추 착즙액 및 starter culture를 이용하여 제조한 pre-converted 염지액을 첨가한 햄(Alternative-Lab)으로 구성하였으며, 배합비는 Table 2와 같다. Pre-converted 염지액은 Kang(2023)의 방법에 따라 배추 착즙액, starter culture(*Staphylococcus hominis*, Woogene B&G, Hwaseong, Korea), dextrose, 발효패각칼슘 및 증류수를 혼합 후, 37℃에서 6시간 동안 배양하여 제조하였다. 제조된 pre-converted 염지액의 아질산염 함량은 Merino(2009)의 방법에 따라 측정하였으며, 480.08 mg/kg의 아질산염을 함유하였다. 아질산염 첨가 수준은 원료육 기준 100 mg/kg으로 설정하였으며, 최종 제품 기준 목표 아질산염 농도는 80 mg/kg이었다. 원료육은 돈육 후지(*M. semimembranosus*, *M. biceps femoris*, *M. semitendinosus*)를 부경양돈조합(Gimhae, Korea)으로부터 구매하였으며, 과도한 지방 및 결체조직을 제거한 후 사용하였다. 돈육 햄 제조를 위해 원료육 중량 대비 25% 비율의 염지액을 수동식 인젝터로 주입한 후, 8 mm 크기로 분쇄하였다. 분쇄육은 진공텀블러(HR2035, Scharfen Slicing Machines, Witten, Germany)에서 10분 작동 후 5분 휴지하는 조건으로 2회 반복하여 총 30분간 텀블링을 실시하였다. 이후 4℃에서 12시간 염지한 다음, 충진 전 혼합기(5K5SS, Whirlpool Corp., St. Joseph, MI, USA)에서 저속(약 40 rpm)으로 1분간 혼합하고 직경 7.9 cm의 플라스틱 케이싱에 충진하였다. 충진된 시료는 90℃ 항온 수조에서 중심온도가 75℃에 도달할 때까지 가열한 후, 얼음물에서 20분간 냉각하였다. 냉각된 시료는 진공 포장하였으며 4℃에서 14일간 저장한 후 분석에 사용하였다.

pH 분석

pH는 시료 5 g에 증류수 25 mL를 첨가한 후 균질기(DI25

Table 1. Information on commercially available and laboratory-manufactured hams with synthetic nitrite or naturally derived nitrite used in this study

Nitrite source	Treatments[1)]	Curing/coloring system	Main ingredients declared on label
Nitrite group (synthetic nitrite)	Nitrite-Lab	Synthetic nitrite (no colorant)	Pork, purified water, refined salt, sodium nitrite
	Nitrite-A	Synthetic nitrite + natural colorant	Pork, purified water, refined salt, mixed preparation (dextrin, gardenia red, gardenia yellow), sodium nitrite
	Nitrite-B	Synthetic nitrite + natural colorant	Pork, purified water, refined salt, dextrin, cochineal extract, sodium nitrite
	Nitrite-C	Synthetic nitrite + natural colorant	Pork, purified water, refined salt, dextrin, cochineal extract, red cabbage pigment, gardenia yellow, sodium nitrite
	Nitrite-D	Synthetic nitrite + natural colorant	Pork, purified water, refined salt, mixed preparation (dextrin, gardenia red, gardenia yellow), sodium nitrite
Alternative group (naturally derived nitrite)	Alternative-Lab	Pre-converted curing solution (no colorant)	Pork, purified water, refined salt, pre-converted vegetable curing solution
	Alternative-A	Vegetable concentrate + nitrate-reducing bacteria + natural colorant	Pork, purified water, refined salt, vegetable concentrate (VegeStable502), mixed preparation (dextrin, gardenia red, gardenia yellow), nitrate-reducing bacteria
	Alternative-B	Fruit mixed extract powder + natural colorant	Pork, purified water, refined salt, fruit mixed extract powder, cochineal extract
	Alternative-C	Vegetable concentrate + natural colorant	Pork, purified water, sea salt, vegetable concentrate (Vege890), mixed preparation (cochineal extract, red cabbage pigment, dextrin), gardenia yellow, dextrin
	Alternative-D	Celery powder + natural colorant	Pork, purified water, refined salt, celery powder, lac pigment

[1)] Treatments: Nitrite-Lab, laboratory-manufactured ham with synthetic nitrite; Alternative-Lab, laboratory-manufactured ham with a pre-converted curing solution; Nitrite A-D, commercially available hams with synthetic nitrite; and Alternative A-D, commercially available hams with naturally derived nitrite.

basic, IKA-Werke, Staufen, Germany)를 이용하여 8,000 rpm에서 1분간 균질한 뒤, pH meter(AB150, Thermo Fisher Scientific, Singapore)로 측정하였다.

수분활성도 분석

수분활성도는 5 mm 이하로 잘게 분쇄한 시료 3 g을 전용 용기에 담아 25℃에서 평형시킨 후, 수분활성도 측정기(HP23-AW-A, Rotronic, Bassersdorf, Switzerland)를 이용하여 측정하였다.

식염 함량 분석

식염 함량은 Nielsen(2017)이 제시한 Mohr 적정법을 일부 변형하여 분석하였다. 시료 10 g에 증류수를 가하여 균질한 후 여과하였으며, 여과액에 5% potassium chromate 용액을 지시약으로 첨가한 뒤 0.02 N silver nitrate 용액으로 적정하였다. 적갈색 침전 생성 시점을 종말점으로 하여 식염 함량을 백분율(%)로 산출하였다.

색도 분석

색도 측정은 색도계(CR-400, Konica Minolta, Osaka, Japan; illuminant C, 2° observer)를 사용하여 표준 백색판(CR-A43)으로 보정한 후 실시하였다. 시료는 절단 직후 절단면의 서로 다른 3개 지점에서 색도를 측정하였으며, CIE L*(명도), a*(적색도), b*(황색도) 값으로 나타내었다.

잔류 아질산염 함량 분석

잔류 아질산염 함량은 AOAC method 973.31에 따라 분석하였다(AOAC, 2016). 시료 5 g에 80℃의 증류수를 첨가하여 추

Table 2. Formulation of laboratory-manufactured pork hams (Nitrite-Lab and Alternative-Lab)

Ingredients (%)[1)]	Nitrite-Lab[2)]	Alternative-Lab[3)]
Pork ham	100.00	100.00
Refined salt	1.50	1.50
Sugar	1.00	1.00
Sodium tripolyphosphate	0.30	0.30
Sodium nitrite	0.01	-
Sodium ascorbate	0.05	0.05
Purified water	22.14	1.32
Pre-converted vegetable curing solution	-	20.83
Total	125.00	125.00

[1)] All values are expressed as percentages (%) on a meat weight basis.
[2)] Nitrite-Lab: Laboratory-manufactured ham formulated with synthetic sodium nitrite.
[3)] Alternative-Lab: Laboratory-manufactured ham formulated with a Chinese cabbage juice-based pre-converted curing solution (containing 480.08 mg/kg $NaNO_2$ equivalent).

출 및 여과한 후, 여액에 sulfanilamide 및 N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride 시약을 첨가하여 발색시켰다. 이후 분광광도계(UV-1800, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 사용하여 540 nm에서 흡광도를 측정하였으며, sodium nitrite(S2252, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 표준곡선을 이용하여 정량하였다.

염지 육색소 함량, 총 육색소 함량 및 염지 효율 분석

염지 육색소(cured pigment) 및 총 육색소(total pigment) 함량은 Hornsey(1956)의 방법에 따라 분석하였다. 염지 육색소는 acetone 용액(acetone:distilled water=40:3)으로, 총 육색소는 산성 acetone 용액(acetone:distilled water:HCl=40:2:1)으로 각각 추출하였다. 추출액은 암냉소에서 반응시킨 후 여과하였으며, 분광광도계를 사용하여 염지 육색소는 540 nm(A540), 총 육색소는 640 nm(A640)에서 흡광도를 측정하였다. 염지 육색소 및 총 육색소 함량은 각각 A540×290 및 A640×680의 식으로 산출하였으며, 그 결과는 mg/kg 단위로 나타내었다. 염지 효율(%)은 총 육색소 함량에 대한 염지 육색소 함량의 비율을 백분율로 환산하여 산출하였다(King et al., 2023).

통계 분석

모든 데이터는 총 3회의 반복실험 결과를 바탕으로 평균과 표준오차(SE)로 나타내었다. 통계 분석은 SAS software(version 9.4, SAS Institute, Cary, NC, USA)의 general linear model procedure를 이용하여 수행하였으며, 햄 제품 간 평균의 유의성은 Duncan's multiple range test를 이용하여 $p<0.05$ 수준에서 검정을 실시하였다. 또한, 아질산염 공급원에 따른 효과를 평가하기 위해 $NaNO_2$ 첨가 제품군(Nitrite group)과 천연 유래 아질산염 적용 제품군(Alternative group)으로 구분하여 통합 평균(pooled mean)을 제시하였고, 두 그룹 간의 유의성을 비교 분석하였다($p<0.05$).

결과 및 고찰

pH, 수분활성도 및 식염 함량

합성 아질산염 첨가 및 천연 유래 아질산염 적용 시판 햄 8종과 자체 제조한 햄 2종의 pH, 수분활성도 및 식염 함량 결과는 Table 3과 같다.

pH는 Nitrite-C(6.54)와 Nitrite-D(6.51)에서 가장 높게 나타났으며($p<0.05$), Nitrite-A는 Nitrite-Lab과 함께 합성 아질산염 첨가 제품군 중 가장 낮은 pH를 보였다($p<0.05$; Table 3). 천연 유래 아질산염이 적용된 햄 제품군 중에서는 Alternative-A, Alternative-C 및 Alternative-D에서 pH가 6.30-6.40 범위로 유의적으로 높았으나($p<0.05$), Alternative-Lab의 pH는 5.83으로 모든 햄 제품 중 가장 낮은 값을 나타내었다($p<0.05$). Alternative-Lab의 낮은 pH는 제조에 사용된 pre-converted 염지액의 낮은 pH에 기인한 것으로 판단되며, 이는 pre-converted 염지액의 사용이 육제품의 pH를 감소시킬 수 있다고 보고한 Kang(2023)의 결과와 유사하였다. 아질산염 공급원별 통합 평균을 비교한 결과, 합성 아질산염 첨가 제품군이 천연 유래 아질산염 적용 제품군보다 높은 pH를 나타내었다($p<0.05$). 이는 식물성 원료 기반 pre-conversion 시스템을 적용한 육제품이 합

Table 3. pH, water activity, and salt content of commercially available and laboratory-manufactured hams containing synthetic or naturally derived nitrite

Treatments		pH	Water activity	Salt content (%)
Nitrite group (synthetic nitrite)	Nitrite-Lab	6.19±0.01^{D}	0.948±0.003^{B}	1.37±0.02^{G}
	Nitrite-A	6.21±0.02^{CD}	0.948±0.003^{B}	1.79±0.01^{CD}
	Nitrite-B	6.37±0.02^{B}	0.951±0.003^{AB}	1.76±0.02^{D}
	Nitrite-C	6.54±0.02^{A}	0.951±0.002^{AB}	1.75±0.05^{D}
	Nitrite-D	6.51±0.01^{A}	0.952±0.002^{AB}	1.85±0.01^{BC}
	Pooled mean	6.35±0.03^{a}	0.950±0.001^{a}	1.68±0.04^{a}
Alternative group (naturally derived nitrite)	Alternative-Lab	5.83±0.01^{F}	0.951±0.003^{AB}	1.57±0.03^{E}
	Alternative-A	6.40±0.01^{B}	0.959±0.002^{A}	1.48±0.01^{F}
	Alternative-B	6.03±0.07^{E}	0.952±0.002^{AB}	2.07±0.05^{A}
	Alternative-C	6.30±0.01^{BC}	0.955±0.002^{AB}	1.46±0.02^{F}
	Alternative-D	6.36±0.02^{B}	0.951±0.003^{AB}	1.91±0.02^{B}
	Pooled mean	6.15±0.04^{b}	0.953±0.001^{a}	1.69±0.05^{a}

All values are expressed as mean±SE.
Laboratory-manufactured hams represent 3 independent manufacturing replicates; commercial products represent 3 independent purchases obtained on different dates from different production lots.
$^{A-G}$ Different superscript letters within the same column indicate significant differences among treatments (α(0.05).
^{a,b} Different superscript letters for pooled means within a dependent variable indicate significant differences between the Nitrite and Alternative groups (α(0.05).

성 아질산염 첨가 제품에 비해 낮은 pH를 보였다는 선행연구 결과와 유사하였다(Hwang et al., 2018; Kim et al., 2019; Serdaroğlu et al., 2023). 한편, 미국에서 시판되는 다양한 육제품에 대한 이화학적 특성을 분석한 Sullivan 등(2012)은 시판 합성 아질산염 첨가 햄 제품군과 천연 염지 햄 제품군의 pH가 각각 5.91-6.12 및 5.78-6.12 범위라고 보고하였으나, 본 연구에서 조사된 시판 햄류 제품들의 pH는 이보다 다소 넓은 범위를 나타내었다.

합성 아질산염 첨가 햄 제품군과 천연 유래 아질산염 적용 햄 제품군의 수분활성도는 각각 0.948-0.952 및 0.951-0.959 범위로 나타났으며(Table 3), 아질산염 공급원에 따른 평균 수분활성도는 유의적인 차이가 없었다(p>0.05). 그러나 Alternative-A는 Nitrite-Lab 및 Nitrite-A보다 유의적으로 높은 수분활성도를 나타내었다(p<0.05). 이와 관련하여, 합성 아질산염 및 천연 유래 아질산염이 첨가된 시판 햄 제품의 수분활성도에 대해서는 연구마다 상이한 결과가 보고되고 있다. Bak 등(2025)은 오스트리아에서 유통되는 가열 햄 제품을 분석한 결과, 일반 염지 햄의 수분활성도가 천연 염지 햄보다 유의적으로 낮게 나타난다고 보고한 바 있다. 반면, Sullivan 등(2012)은 합성 아질산염 첨가 햄 제품군(0.942-0.953)과 천연 염지 햄 제품군(0.950-0.958) 간 수분활성도에 유의적인 차이가 없다고 보고하였다. 본 연구에서도 일부 천연 유래 아질산염 적용 햄 제품에서 상대적으로 높은 수분활성도가 관찰되었으나, 전체 제품 간 수분활성도 차이는 약 0.01 수준으로 전반적으로 유사하게 나타났다.

식염 함량은 Alternative-B에서 2.07%로 가장 높게 나타났으며(p<0.05), Nitrite-Lab에서 가장 낮은 값을 나타내었다(p<0.05; Table 3). 합성 아질산염 첨가 햄 제품군은 1.68%, 천연 유래 아질산염 적용 햄 제품군은 1.69%로 아질산염 공급원 통합 평균에 따른 식염 함량의 차이는 없었으나(p>0.05), 본 연구에서 분석된 햄 제품들의 식염 함량은 1.37%-2.07% 범위로 나타나 제품 간 큰 편차를 보였다. 이러한 편차는 제품별 원료 배합 및 제조공정 조건의 차이에 기인한 것으로 판단된다(Puolanne, 2010). 한편, Nitrite-Lab과 Alternative-Lab은 동일한 소금 첨가량 및 제조공정을 적용하였음에도 불구하고, Alternative-Lab에서 유의적으로 높은 식염 함량을 나타냈다(p<0.05). Mohr법은 시료 중 염화 이온(Cl^-)을 질산은($AgNO_3$)으로 적정하여 식염 함량을 산출하는 방법으로, 시료의 pH 및 구성성분에 의해 측정 결과가 영향을 받을 수 있다(ISO, 1989; Nielsen, 2017). 따라서 Alternative-Lab에서 나타난 상대적으로 높은 식염 함량은 pre-converted 염지액의 식물성 소재 유래 성분과 관련되었을 가능성이 있다.

색도

합성 아질산염 첨가 및 천연 유래 아질산염 적용 시판 햄 8종과 자체 제조한 햄 2종의 색도 측정 결과는 Table 4와 같다.

동일 제조사 제품 간 비교 시, 모든 천연 유래 아질산염 적용 제품군(Alternative A-D)이 합성 아질산염 첨가 제품군(Nitrite A-D)보다 높은 CIE L* 값을 보였다(p<0.05). 아질산염 공급원에 따른 통합 평균을 비교한 결과, CIE a* 값은 합성 아질산염 첨가 제품군이 천연 유래 아질산염 적용 제품군보다 유의적으로 높게 나타났다(p<0.05). 그러나, A사 제품에서는 천연 유래 아질산염 적용 제품(Alternative-A)이 합성 아질산염 첨가 제품(Nitrite-A)보다 높은 CIE a* 값을 나타내었다(p<0.05). 아질산염 공급원에 따른 평균 CIE b* 값은 합성 아질산염 첨가 제품군이 천연 유래 아질산염 적용 제품군보다 유의적으로 높았다(p<0.05). 이러한 경향은 A사 및 D사 제품에서만 나타났으며, B사 제품에서는 반대의 결과가 나타나 제조사별로는 일관된 경향을 보이지 않았다. 한편, 시판 제품에서 관찰된 색도 차이는 아질산염 공급원뿐만 아니라 첨가된 색소의 영향도 고려할 필요가 있다. 육제품의 색도는 소비자가 제품 구매를 결정하는 데 있어 핵심적인 지표 중 하나이며(Altmann et al., 2023; Mancini and Hunt, 2005), Table 1과 같이 국내 유통 중인 햄류에는 치자적색소, 치자황색소, 코치닐추출색소 등의 다양한 천연색소가 첨가되었다. 육제품의 색상은 제품 배합, 가공 기술 등 다양한 요인들에 의해 영향을 받으며(Ruedt et al., 2023), 특히 색소의 첨가는 제품의 색상 및 외관 특성에 중요한 영향을 미칠 수 있다(Delgado-Vargas et al., 2000).

자체 제조한 햄 제품의 경우, CIE L* 값은 Alternative-Lab이 Nitrite-Lab보다 높게 나타났으나(p<0.05), CIE a* 값은 반대로 Nitrite-Lab에서 더 높게 나타났다(p<0.05). 반면, CIE b* 값은 두 제품 간 유의적인 차이를 보이지 않았다(p>0.05). 천연 유래 아질산염의 첨가는 원료가 되는 식물성 소재에 따라 육제품의 황색도를 증가시키기도 하지만(Bae et al., 2020; Hwang et al., 2018; Jeong et al., 2020; Kim et al., 2019), 본 연구에서 사용한 pre-converted 염지액은 황색도에 제한적으로 기여한 것으로 판단된다.

잔류 아질산염 함량, 염지 육색소 함량, 총 육색소 함량 및 염지 효율

합성 아질산염 첨가 및 천연 유래 아질산염 적용 시판 햄 8종과 자체 제조한 햄 2종의 잔류 아질산염 함량, 염지 육색소 함량, 총 육색소 함량 및 염지 효율 측정 결과는 Table 5와 같다.

잔류 아질산염 함량은 Nitrite-C 햄 제품에서 가장 높게 나타났으며(p<0.05), Alternative-B 햄 제품에서 가장 낮게 나타났다

Table 4. CIE color values of commercially available and laboratory-manufactured hams containing synthetic or naturally derived nitrite

Treatments		CIE L*	CIE a*	CIE b*
Nitrite group (synthetic nitrite)	Nitrite-Lab	65.69±0.32^{BC}	11.27±0.16^{E}	6.84±0.08^{E}
	Nitrite-A	55.56±0.23^{G}	13.14±0.12^{C}	11.92±0.16^{A}
	Nitrite-B	65.13±0.35^{C}	13.34±0.17^{C}	5.60±0.13^{G}
	Nitrite-C	61.66±0.38^{E}	14.36±0.14^{B}	11.53±0.12^{B}
	Nitrite-D	56.12±0.16^{FG}	14.92±0.11^{A}	11.39±0.07^{B}
	Pooled mean	61.14±0.56^{b}	13.27±0.18^{a}	9.29±0.34^{a}
Alternative group (naturally derived nitrite)	Alternative-Lab	67.10±0.20^{A}	10.67±0.16^{F}	6.98±0.07^{E}
	Alternative-A	56.60±0.28^{F}	14.32±0.14^{B}	8.22±0.10^{D}
	Alternative-B	66.20±0.28^{B}	11.71±0.17^{DE}	6.31±0.11^{F}
	Alternative-C	63.93±0.35^{D}	11.86±0.29^{D}	11.60±0.14^{B}
	Alternative-D	62.17±0.24^{E}	12.89±0.15^{C}	8.71±0.07^{C}
	Pooled mean	63.44±0.48^{a}	12.19±0.18^{b}	8.28±0.23^{b}

All values are expressed as mean±SE.
Laboratory-manufactured hams represent 3 independent manufacturing replicates; commercial products represent 3 independent purchases obtained on different dates from different production lots.
$^{A-G}$ Different superscript letters within the same column indicate significant differences among treatments (α(0.05).
^{a,b} Different superscript letters for pooled means within a dependent variable indicate significant differences between the Nitrite and Alternative groups (α(0.05).

Table 5. Residual nitrite content, cured pigment, total pigment, and curing efficiency of commercially available and laboratory-manufactured hams containing synthetic or naturally derived nitrite

Treatments		Residual nitrite content (mg/kg)	Cured pigment (mg/kg)	Total pigment (mg/kg)	Curing efficiency (%)
Nitrite group (synthetic nitrite)	Nitrite-Lab	15.77±0.27^{D}	44.15±1.09^{C}	55.42±1.44^{C}	79.73±0.41^{D}
	Nitrite-A	15.71±1.29^{D}	28.03±0.33^{EF}	41.71±0.23^{D}	67.22±0.77^{F}
	Nitrite-B	24.30±1.02^{C}	32.14±0.80^{D}	39.67±0.54^{DE}	80.92±1.17^{CD}
	Nitrite-C	50.46±0.73^{A}	52.20±1.50^{B}	58.25±0.95^{B}	89.45±1.48^{A}
	Nitrite-D	35.69±1.41^{B}	71.05±0.50^{A}	84.66±1.17^{A}	84.09±1.24^{BC}
	Pooled mean	27.60±1.71^{a}	45.43±1.92^{a}	55.91±2.02^{a}	80.25±1.00^{a}
Alternative group (naturally derived nitrite)	Alternative-Lab	8.12±0.40^{E}	44.59±0.99^{C}	53.13±1.23^{C}	83.97±0.28^{BC}
	Alternative-A	5.40±0.40^{F}	44.13±0.17^{C}	58.82±0.26^{B}	75.03±0.21^{E}
	Alternative-B	1.74±0.32^{G}	30.55±0.11^{DE}	35.13±0.15^{F}	86.96±0.46^{AB}
	Alternative-C	4.10±0.13^{F}	26.78±1.78^{F}	37.74±0.65^{E}	70.34±3.76^{F}
	Alternative-D	9.75±0.13^{E}	29.58±0.49^{E}	38.31±0.15^{E}	77.23±1.30^{DE}
	Pooled mean	5.97±0.38^{b}	35.72±1.06^{b}	45.16±1.23^{b}	79.03±1.05^{a}

All values are expressed as mean±SE.
Laboratory-manufactured hams represent 3 independent manufacturing replicates; commercial products represent 3 independent purchases obtained on different dates from different production lots.
$^{A-G}$ Different superscript letters within the same column indicate significant differences among treatments (p<0.05).
^{a,b} Different superscript letters for pooled means within a dependent variable indicate significant differences between the Nitrite and Alternative groups (p<0.05).

(p<0.05; Table 5). 천연 유래 아질산염 적용 제품군의 잔류 아질산염 함량(1.74-9.75 mg/kg)은 합성 아질산염 첨가 제품군(15.71-50.46 mg/kg)보다 낮은 수준을 보였으며(p<0.05), 아질산염 공급원에 따른 통합 평균 비교에서도 유의적으로 낮은 값을 나타내었다(p<0.05). 이와 유사하게 Bak 등(2025)은 천연 염지 제품의 잔류 아질산염 함량이 시판 가열 햄의 일반 염지 제품보다 유의적으로 낮았다고 보고하였다. 그러나, Jackson 등(2011)은 미국 내 판매되는 합성 아질산염 첨가 및 천연 염지 햄 제품 간 뚜렷한 차이를 나타내지 않는다고 보고하였다. 이러한 결과는 잔류 아질산염이 아질산염 첨가량, 환원제의 사용, 가열 조건 및 방법, 저장 기간과 저장 조건 등의 요인에 의해 영향을 받기 때문으로 판단된다(Honikel, 2008; Iammarino et al., 2023; Merino et al., 2016; Sebranek, 2009). 합성 아질산염을 첨가한 제품군은 질산염을 직접 사용하지 않으므로 잔류 질산염이 존재할 가능성이 낮은 반면, pre-converted 시스템을 적용한 제품군은 발효를 통한 질산염의 아질산염 환원 과정을 거치므로 환원이 완전하지 않을 경우 이론적으로 질산염이 잔존할 수 있다. 이처럼 두 제품군 간 잔류 질산염이 잔존할 가능성 자체가 상이하기 때문에 질산염 함량을 동일한 기준으로 비교하기 어렵다고 판단하여 본 연구에서 분석을 실시하지 않았다. 한편, 자체 제조한 햄 제품에서 Alternative-Lab은 Nitrite-Lab보다 유의적으로 낮은 잔류 아질산염 함량을 나타내었는데(p<0.05), 이는 낮은 pH 조건에서 염지반응이 증가하여 아질산염의 소모가 촉진되었기 때문으로 판단된다(Sebranek, 2009; Siekmann et al., 2021).

염지 육색소 및 총 육색소 함량은 Nitrite-D에서 71.05 mg/kg 및 84.66 mg/kg으로 가장 높게 나타났다(p<0.05; Table 5). 반면, Alternative-C는 가장 낮은 염지 육색소 함량을 나타냈으나(p<0.05), Nitrite-A와 유의적인 차이는 없었다(p>0.05). 총 육색소 함량은 Alternative-B에서 가장 낮게 나타났다(p<0.05). 아질산염 공급원에 따른 통합 평균을 비교한 결과, 염지 육색소 및 총 육색소 함량은 합성 아질산염 첨가 제품군이 천연 유래 아질산염 적용 제품군보다 유의적으로 높게 나타났다(p<0.05). 그러나 A사 제품과 자체 제조 햄에서는 천연 유래 아질산염 적용 제품이 합성 아질산염 첨가 제품과 비교 시 동등하거나 더 높은 값을 나타내어 아질산염 공급원에 따른 일관된 경향을 보이지 않았다. 이러한 결과는 시판 육제품의 품질 특성이 원료육의 특성, 배합 조성, 제조공정 및 생산 후 경과 시간 등의 차이에 의해 크게 영향을 받을 수 있다는 Sullivan 등(2012)의 보고와 일치한다. 또한 Sindelar 등(2007)은 시판 육제품의 총 육

색소 함량 차이가 원료육 및 배합비의 차이에 의해 영향을 받을 수 있다고 하였다. 한편, 본 연구에 사용된 시판 햄 제품들은 치자색소, 코치닐추출색소, 적양배추색소 및 락색소 등의 천연색소가 함유되어 있었는데(Table 1), 이들 색소류가 염지 육색소 및 총 육색소 추출 과정에서 함께 추출되어 염지 육색소 및 총 육색소의 흡광도에 일부 영향을 미칠 가능성이 있다. 특히, 선행 연구에서 보고된 바와 같이, 이러한 천연색소의 주요 발색 성분인 anthocyanin, carminic acid 및 laccaic acids는 식품에 함유된 구성성분과 pH 환경에 따라 흡광 특성이 달라질 수 있다(Ahmadiani et al., 2014; Liu et al., 2021; Sakare et al., 2024). 반면, 추가적인 색소류를 첨가하지 않았던 자체 제조한 햄들 간에는 염지 육색소와 총 육색소 함량의 차이가 없었다(p>0.05). 이러한 결과는 유사한 배합비와 제조공정 조건에서는 아질산염 공급원(합성 또는 천연 유래)이 염지 육색소 및 총 육색소 함량에 미치는 영향이 제한적일 수 있음을 시사한다.

염지 효율은 총 육색소 함량 대비 염지 육색소의 비율로 정의되며, 육제품의 염지 육색 형성 정도를 평가하는 주요 지표로 활용된다(King et al., 2023). 본 연구에서 분석된 제품 중 Nitrite-C(89.45%)와 Alternative-B(86.96%)는 가장 높은 수준의 염지 효율을 나타냈으며, 두 제품 간 유의적인 차이는 없었다(p>0.05; Table 5). 반면, Nitrite-A와 Alternative-C는 가장 낮은 수준의 염지 효율을 나타냈으며(p<0.05), 이들 간에도 유의적인 차이는 나타나지 않았다(p>0.05). 자체 제조한 햄 중에서는 pre-converted 염지액을 첨가한 Alternative-Lab이 Nitrite-Lab보다 유의적으로 높은 염지 효율을 나타냈다(p<0.05). 이는 낮은 pH 조건에서 아질산염의 반응성이 증가하고, 이에 따라 일산화질소(nitric oxide) 생성 및 육색소와의 결합이 촉진되는 데 기인한 것으로 보인다(Sebranek, 2009; Siekmann et al., 2021). 따라서 Alternative-Lab에서의 높은 염지 효율은 아질산염 공급원의 차이보다는 pre-converted 염지액에 의한 낮은 pH 환경과 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다. 한편, Sullivan 등(2012)은 시판 합성 아질산염 첨가 햄과 천연 염지 햄 사이에 염지 효율의 차이가 나타나지 않았다고 보고하였다. 본 연구에서도 아질산염 공급원에 따른 평균 염지 효율은 유의적인 차이가 나타나지 않았으며(p>0.05), 합성 아질산염 첨가 햄 제품군과 천연 유래 아질산염 적용 햄 제품군의 염지 효율 범위는 각각 67.22%-89.45% 및 70.34%-86.96%로 전반적으로 유사한 수준을 나타냈다. 이는 천연 유래 아질산염 적용 제품이 잔류 아질산염 함량은 낮으면서도 합성 아질산염 첨가 제품과 동등한 수준의 염지 효율을 구현할 수 있음을 시사한다.

결론

시판 제품의 경우 pH, 식염 함량, 색도, 염지 육색소 함량, 총 육색소 함량 및 염지 효율에서 제품별 변동성이 크게 나타났으며, 일관된 경향은 보이지 않았다. 반면, 잔류 아질산염 함량은 천연 유래 아질산염 적용 시판 햄 제품군이 합성 아질산염 첨가 제품군보다 낮게 나타났다. 한편, 자체 제조한 햄에서는 pre-converted 염지액을 적용한 햄(Alternative-Lab)이 아질산염 첨가 햄(Nitrite-Lab)보다 낮은 CIE a* 값 및 잔류 아질산염 함량을 나타냈다. 그러나 두 햄의 염지 육색소 및 총 육색소 함량은 동등한 수준이었으며, 염지 효율은 Alternative-Lab에서 더 높게 나타났다. 이러한 결과는 pre-conversion 기술을 적용한 천연 유래 아질산염 시스템이 잔류 아질산염 수준을 낮추면서도 합성 아질산염과 유사한 수준의 염지 품질을 구현할 수 있음을 시사한다. 다만, 본 연구는 국내에서 유통 중인 햄 제품들의 품질특성을 비교 평가하였다는 점에서 의의가 있었으나, 제품별로 배합 조성, 첨가된 원료, 제조공정 등이 상이하였기 때문에 이화학적 특성의 차이는 아질산염 공급원만의 영향으로 단정하기에 한계가 있었다.

Conflicts of Interest

The authors declare no potential conflict of interest.

Acknowledgments

This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Innovational Food Product and Natural Food Materials Development Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (119028-03-3-HD040). This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (RS-2022-NR069618). This research was supported by the BB21plus funded by Busan Metropolitan City and Busan Techno Park.

Ethics Approval

This article does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

Author Contributions

Conceptualization: Jeong JY.
Data curation: Bae SM, Yoo Y.
Formal analysis: Bae SM, Yoo Y.
Methodology: Bae SM, Yoo Y, Jeong JY.
Software: Bae SM, Yoo Y.
Validation: Jeong JY.
Investigation: Bae SM, Yoo Y.

Writing - original draft: Bae SM, Yoo Y.
Writing - review & editing: Bae SM, Yoo Y, Jeong JY.

Author Information

Su Min Bae (Graduate Student, Kyungsung University)
https://orcid.org/0000-0002-9367-4594
Yeongmi Yoo (Graduate Student, Kyungsung University)
https://orcid.org/0009-0005-4583-9218
Jong Youn Jeong (Professor, Kyungsung University)
https://orcid.org/0000-0001-5284-4510

References

Ahmadiani N, Robbins RJ, Collins TM, Giusti MM. 2014. Anthocyanins contents, profiles, and color characteristics of red cabbage extracts from different cultivars and maturity stages. J Agric Food Chem 62:7524-7531.

Altmann BA, Trinks A, Mörlein D. 2023. Consumer preferences for the color of unprocessed animal foods. J Food Sci 88:909-925.

Al-Qutaifi HK, Al-Mossawi AEBHJ. 2025. Alternative methods to reduce the formation of nitrosamines in cured meats: a review. IOP Conf Ser Earth Environ Sci 1487:012119.

AOAC. 2016. Official methods of analysis of AOAC International. 20th ed. AOAC International, Rockville, MD, USA.

Asioli D, Aschemann-Witzel J, Caputo V, Vecchio R, Annunziata A, Næs T, Varela P. 2017. Making sense of the "clean label" trends: a review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications. Food Res Int 99:58-71.

Bae SM, Choi JH, Jeong JY. 2020. Effects of radish powder concentration and incubation time on the physicochemical characteristics of alternatively cured pork products. J Anim Sci Technol 62:922-932.

Bak KH, Bauer S, Eisenreich C, Paulsen P. 2025. Residual nitrite, nitrate, and volatile N-nitrosamines in organic and conventional ham and salami products. Foods 14:112.

Delgado-Vargas F, Jiménez AR, Paredes-López O. 2000. Natural pigments: Carotenoids, anthocyanins, and betalains—Characteristics, biosynthesis, processing, and stability. Crit Rev Food Sci Nutr 40:173-289.

Flores M, Toldrá F. 2021. Chemistry, safety, and regulatory considerations in the use of nitrite and nitrate from natural origin in meat products- invited review. Meat Sci 171: 108272.

Honikel KO. 2008. The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products. Meat Sci 78:68-76.

Hornsey HC. 1956. The colour of cooked cured pork. I.—estimation of the nitric oxide-haem pigments. J Sci Food Agric 7:534-540.

Hur SJ, Jo C, Yoon Y, Jeong JY, Lee KT. 2019. Controversy on the correlation of red and processed meat consumption with colorectal cancer risk: An Asian perspective. Crit Rev Food Sci Nutr 59:3526-3537.

Hwang KE, Kim TK, Kim HW, Seo DH, Kim YB, Jeon KH, Choi YS. 2018. Effect of natural pre-converted nitrite sources on color development in raw and cooked pork sausage. Asian-Australas J Anim Sci 31:1358-1365.

Iammarino M, Berardi G, Tomasevic I, Nardelli V. 2023. Effect of different cooking treatments on the residual level of nitrite and nitrate in processed meat products and margin of safety (MoS) assessment. Foods 12:869.

Inguglia ES, Song Z, Kerry JP, O'Sullivan MG, Hamill RM. 2023. Addressing clean label trends in commercial meat processing: strategies, challenges and insights from consumer perspectives. Foods 12:2062.

ISO. 1989. International Standard: Water quality—determination of chloride—silver nitrate titration with chromate indicator (Mohr's method). 1st ed. ISO, Geneva, Switzerland.

Jackson AL, Sullivan GA, Kulchaiyawat C, Sebranek JG, Dickson JS. 2011. Survival and growth of *Clostridium perfringens* in commercial no-nitrate-or-nitrite-added (natural and organic) frankfurters, hams, and bacon. J Food Prot 74:410-416.

Jeong JY, Bae SM, Yoon J, Jeong DH, Gwak SH. 2020. Effect of using vegetable powders as nitrite/nitrate sources on the physicochemical characteristics of cooked pork products. Food Sci Anim Resour 40:831-843.

Jo K, Lee S, Yong HI, Choi YS, Jung S. 2020. Nitrite sources for cured meat products. LWT-Food Sci Technol 129: 109583.

Kang S. 2023. Study on the production of natural pre-converted nitrite as a nitrite alternative and its application for emulsified sausages. MS thesis, Kyungsung Univ. Busan, Korea.

Kim M, Bae SM, Yoo Y, Park J, Jeong JY. 2025. Clean-label strategies for the replacement of nitrite, ascorbate, and

phosphate in meat products: A review. Foods 14:2442.

Kim TK, Hwang KE, Song DH, Ham YK, Kim YB, Paik HD, Choi YS. 2019. Effects of natural nitrite source from Swiss chard on quality characteristics of cured pork loin. Asian-Australas J Anim Sci 32:1933-1941.

King DA, Hunt MC, Barbut S, Claus JR, Cornforth DP, Joseph P, Kim YH, Lindahl G, Mancini RA, Nair MN, Merok KJ, Milkowski A, Mohan A, Pohlman F, Ramanathan R, Raines CR, Seyfert M, Sorheim O, Suman SP, Weber M. 2023. American meat science association guidelines for meat color measurement. Meat Muscle Biol 6:12473.

Lee DY, Lee SY, Jo C, Yoon Y, Jeong JY, Hur SJ. 2021. Effect on health from consumption of meat and meat products. J Anim Sci Technol 63:955-976.

Liu Q, He Z, Zeng M, Qin F, Wang Z, Liu G, Chen J. 2021. Effects of different food ingredients on the color and absorption spectrum of carminic acid and carminic aluminum lake. Food Sci Nutr 9:36-43.

Mancini RA, Hunt MC. 2005. Current research in meat color. Meat Sci 71:100-121.

Merino L. 2009. Development and validation of a method for determination of residual nitrite/nitrate in foodstuffs and water after zinc reduction. Food Anal Methods 2:212-220.

Merino L, Darnerud PO, Toldrá F, Ilbäck NG. 2016. Time-dependent depletion of nitrite in pork/beef and chicken meat products and its effect on nitrite intake estimation. Food Addit Contamin A 33:186-192.

Nielsen SS. 2017. Sodium determination using ion-selective electrodes, Mohr titration, and test strips. In Food analysis laboratory manual. Nielsen SS (ed). Springer, Cham, Switzerland. pp 161-170.

Park MK, Lee HY, Choi YS. 2025. The future of the livestock food industry through the clean label certification system: Health, trust, and sustainability. Food Sci Anim Resour Ind 14:12-19.

Puolanne E. 2010. Cooked sausages. In Handbook of meat processing. Toldrá F (ed). Blackwell, Ames, IA, USA. pp 313-325.

Ruedt C, Gibis M, Weiss J. 2023. Meat color and iridescence: Origin, analysis, and approaches to modulation. Compr Rev Food Sci Food Saf 22:3366-3394.

Sakare P, Giri SK, Mohapatra D, Tripathi MK. 2024. UV-Vis spectroscopic investigation on color change kinetics of lac dye as influenced by some food spoilage metabolites: Validation for milk quality monitoring. Pigment Resin Technol 53:103-113.

Sebranek JG. 2009. Basic curing ingredients. In Ingredients in meat products. Tarté R (ed). Springer, New York, NY, USA. pp 1-23.

Sebranek JG, Bacus JN. 2007. Cured meat products without direct addition of nitrate or nitrite: what are the issues? Meat Sci 77:136-147.

Sebranek JG, Jackson-Davis AL, Myers KL, Lavieri NA. 2012. Beyond celery and starter culture: advances in natural/organic curing processes in the United States. Meat Sci 92:267-273.

Serdaroğlu M, Can H, Sarı B, Kavuşan HS, Yılmaz FM. 2023. Effects of natural nitrite sources from arugula and barberry extract on quality characteristic of heat-treated fermented sausages. Meat Sci 198:109090.

Siekmann L, Plötz M, Krischek C. 2021. Alternative curing methods. Curr Clin Microbiol Rep 8:40-48.

Sindelar JJ, Cordray JC, Olson DG, Sebranek JG, Love JA. 2007. Investigating quality attributes and consumer acceptance of uncured, no-nitrate/nitrite-added commercial hams, bacons, and frankfurters. J Food Sci 72:S551-S559.

Sullivan GA, Jackson-Davis AL, Schrader KD, Xi Y, Kulchaiyawat C, Sebranek JG, Dickson JS. 2012. Survey of naturally and conventionally cured commercial frankfurters, ham, and bacon for physio-chemical characteristics that affect bacterial growth. Meat Sci 92:808-815.

Yong HI, Kim TK, Choi HD, Jang HW, Jung S, Choi YS. 2021. Clean label meat technology: pre-converted nitrite as a natural curing. Food Sci Anim Resour 41:173-184.

Yong HI, Kim TK, Choi HD, Jung S, Choi YS. 2020. Technological strategy of clean label meat products. Food Life 2020:13-20.

ⓒ Copyright. Korean Society for Food Science of Animal Resources.

Date Received Jun. 5, 2026
Date Revised Jun. 29, 2026
Date Accepted Jul. 8, 2026