pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 41, No. 1, pp. 42~49 (2026)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2026.41.1.42

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

저장온도 및 포장방법이 한우 등심, 우둔, 사태의 부패에 미치는 영향

이은선[1] · 김종희[2] · 오미화[3]*

[1]농촌진흥청 국립축산과학원 동물바이오유전체과
[2]농촌진흥청 국립축산과학원 축산푸드테크과
[3]농촌진흥청 국립축산과학원 기획조정과

Effects of Storage Temperature and Packaging Methods on the Spoilage of *Hanwoo* Sirloin, Top Round, and Shank

Eun-Seon Lee[1], Jong-Hui Kim[2], Mi-Hwa Oh[3]*

[1]*Animal Biotechnology and Genomics Division, National Institute of Animal Science, Wanju, Korea*
[2]*Animal Resources Food Tech Division, National Institute of Animal Science, Wanju, Korea*
[3]*Planning and Coordination Division, National Institute of Animal Science, Wanju, Korea*

(Received April 6, 2025/Revised May 20, 2025/Accepted May 21, 2025)

ABSTRACT - This study aimed to evaluate the effects of different storage temperatures and packaging methods on the spoilage characteristics of *Hanwoo* beef—specifically the sirloin, top-round, and shank cuts. Samples were stored under wrap and vacuum packaging at 2°C, 4°C, 10°C, and 15°C. Quality indicators—such as volatile basic nitrogen (VBN), pH, and meat color (CIE a*)—were analyzed to estimate the initial spoilage point. The results revealed that VBN levels increased more rapidly than pH, especially in samples with higher protein content, such as the shank and top-round samples. Notably, the longest storage duration was observed only under the most favorable conditions—sirloin stored at 2°C in vacuum packaging. In this case, spoilage indicators suggested a maximum potential shelf life of up to 217 days, as estimated via regression analysis. This value represented a condition-specific upper limit; whereas, other temperatures, cuts, and packaging methods exhibited substantially shorter storage periods. However, storage at higher temperatures—particularly at 15°C—resulted in rapid spoilage, regardless of packaging. In conclusion, spoilage progression is closely related to microbial enzyme activity and protein breakdown, thereby suggesting VBN as a more sensitive indicator of freshness compared to pH. These findings provide practical insights into determining the optimal storage conditions and consumption periods for *Hanwoo* beef.

Key words: *Hanwoo* beef, Volatile basic nitrogen, pH, Spoilage, Vacuum packaging

전 세계적으로 노년층 인구 비율이 증가함에 따라 단백질 섭취의 중요성이 점차 부각되고 있다. 특히, 소고기는 단백질 밀도가 높은 대표적인 식품 중 하나로 평가받고 있다[1,2]. 또한 소고기에는 단백질 외에도 체내 흡수가 용이한 헴철(heme iron), 비타민 B_{12}, 아연, 그리고 근육 유지와 노화 방지에 기여하는 다양한 지방산이 풍부하게 함유되어 있어, 노화 과정에서 신체 기능을 유지하는 데 필수적인 식품으로 간주된다[3,4]. 이러한 이유로 고령 인구의 증가와 더불어 육류 섭취의 필요성이 강조되고 있으며, 이에 따라 다양한 육류 제품의 품질 평가 및 보존 기술에 대한 연구도 지속적으로 이루어지고 있다. 국내 육류 소비 시장에서 한우는 고급육으로 인식되며, 소비자들 사이에서 높은 선호도를 보이는 품목 중 하나이다. 2023년 온·오프라인 육류 구매자를 대상으로 실시한 조사에 따르면 한우에 대한 선호도는 지속적으로 상승하고 있다[5]. 한우 고기는 부위별로 다양한 조리법에 활용되며, 등심과 같은 고급 부위는 주로 구이용으로 소비되는 반면, 상대적으로 지방 함량이 낮은 사태와 우둔 부위는 육회, 장조림, 국거

*Correspondence to: Mi-hwa Oh, Division of Animal Products Research and Development, National Institute of Animal Science, Wanju 55365, Korea
Tel: +82-63-238-7379, Fax: +82-63-238-7397
E-mail: moh@korea.kr

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.

리 등으로 다양하게 조리된다. 특히 등심은 국내에서 가장 많이 소비되는 부위이며, 그 뒤를 이어 양지, 안심, 갈비 순으로 소비량이 많다[5]. 소비자의 주요 구매 결정 요인은 맛(85.7%)과 안전성(50.3%) 순으로 나타났으며[5], 이는 최근 식품 소비에 있어 맛뿐만 아니라 안전성이 중요한 요소로 인식되고 있음을 보여준다. 이러한 안전성에 대한 관심 증가는 광우병, 조류인플루엔자와 같은 가축 질병뿐만 아니라 코로나19와 같은 감염병의 확산이 소비자 인식과 행동에 영향을 미쳤기 때문으로 분석된다. 이에 따라 원산지, 생산 과정, 위생 관리 수준 등을 고려하는 소비자가 증가하고 있으며, 안전성은 단순한 품질 요소를 넘어 식품 시장에서의 경쟁력을 좌우하는 핵심 요인으로 작용하고 있다.

현행 식품공전에서는 식육의 초기 부패 여부를 판단하기 위한 지표로 pH와 휘발성염기질소(volatile basic nitrogen, VBN) 함량을 제시하고 있으며, 그 기준은 각각 pH 6.2-6.3 이하, VBN 20 mg% 이하로 설정되어 있다[6]. pH와 VBN은 육류의 신선도를 평가하는 핵심 지표로, 기준치를 초과할 경우 부패 가능성이 증가하여 소비자의 안전성을 위협할 수 있다. 특히 VBN 함량은 부위별 단백질 함량에 따라 차이가 발생할 수 있다.

국립축산과학원이 발간한 「소도체수율」책자[7]에 따르면, 한우 1등급 거세우의 갈비 부위는 약 16.3%의 단백질을 함유하고 있다. 휘발성염기질소는 질소 함유 물질에서 발생하는 염기성분으로 효소나 미생물에 의한 단백질 분해로 인해 발생하는 부패 반응이며, 이때 생성되는 휘발성염기질소는 단백질의 함량과 양의 상관관계가 있는 것으로 보고되고 있다[19,20].

이에 본 연구에서는 소비자 선호도가 높고, 동시에 단백질 함량이 상대적으로 높은 부위인 등심, 사태, 우둔을 대상으로 저장 기간에 따른 품질 변화를 조사하였다. 저장 온도와 더불어 포장 방법(랩포장, 진공포장)에 따른 pH 및 VBN 함량을 분석하여 초기 부패 시점을 확인하고, 한우고기 표면의 육색 변화를 비교·분석함으로써 적절한 소비 시점을 제시하고자 하였다.

Materials and Methods

시료 준비 및 저장조건

한우 시료는 ㈜건화(Eumseong-gun, Korea)에서 구매한 등심, 우둔, 사태 부위를 공시재료로 사용하였으며, 이 때 시료는 분할하여 랩 포장, 진공포장으로 구분하여 2, 4, 10, 15±0.5°C로 유지로 설정한 냉장배양기(Laboratory refrigerator, Jeoitech, Daejeon, Korea)에 보관하였다. 이때 온도범위는 예냉실, 냉장, 유통온도의 범위를 고려하여 설정하였다. 랩포장은 폴리스틸렌(polystyrene, PS) 재질의 용기(223×163×28 mm)에 고기를 넣고 선상저밀도 폴리에틸렌(linear low-density polyethylene, LLD-PE) 재질의 랩을 사용하여 포장하였다. 진공포장은 다층 구조의 플라스틱 필름으로 제작된 진공포장지를 사용하였다. 해당 포장재의 외부는 폴리아미드(polyamide, PA) 재질과 내부 폴리에틸렌(polyethylene, PE)으로 제조되어 산소차단성과 열접착성에 유리한 포장재를 활용하였다. 진공포장을 위해 시중에 판매되는 진공포장육처럼 포장지 내 흡습제(Dripkeeper, 100×150 mm, Daesung pack, Daejeon, Korea)를 넣고 진공포장기(FoodSaver, Atlanta, GA, USA)로 밀봉하였다. 시료는 온도별로 저장 보관하였으며, 흡습제는 재포장시 오염우려가 있어 교체없이 처음 포장상태를 유지하였다. 각각의 포장방법과 온도조건의 동일 시료는 3개씩 반복 포장하여 저장하였다.

휘발성염기질소(VBN, mg%) 분석

저장기간에 따른 한우고기의 휘발성염기질소 함량은 식품공전[6]에서 제시한 Conway 미량확산법에 따라 분석하였다. 먼저 시료는 여러 군데에서 20-50 g씩 채취하여 분쇄하고, 이 중 10 g을 덜어내어 멸균된 storage bottle (Corning Inc., Corning, NY, USA)에 증류수 50 mL를 넣고 30분간 침출한 후 여과지(Whatman™ Grade 1 Qualitative Filter paper, Whatman, Marlborough, MA, USA, Particle retention 11 μm)를 활용하여 여과하였다. 이 여과액을 시험용액으로 사용하였다. 분석을 위해 Brunswik 시약과 확산기(Conway dish)를 준비하였다. Brunswik 시약은 메틸레드(Sigma-Aldrich, St. Louis, USA) 0.1 g과 메틸렌블루(Sigma-Aldrich) 0.1 g을 각각 에탄올 100 mL에 용해시킨 후 amber conical tube (SPL, Hwaseong, Korea)에 담아 냉장보관 하였으며 사용 시 두 용액을 2:1(v/v) 비율로 혼합하여 사용하였다. 확산기의 외실에는 시험용액 1 mL을 내실에는 0.01 N 황산용액 1 mL을 각각 주입하였다. 외실 상단에는 탄산칼륨 포화용액 1 mL을 추가하고, 확산기의 뚜껑 접합부에 바세린을 바른 후 즉시 뚜껑을 닫고 클립으로 고정하였다. 확산기 내 용액을 좌우로 혼합하여 25°C에서 1시간 동안 정치하여 확산 반응을 유도하였다. 정치가 완료된 이 후 내실의 황산용액에 준비한 Brunswik 시약 10 μL를 첨가하였다. 이후 0.01 N 수산화나트륨 용액으로 적정하여 시료의 평균 적정량을 측정하였으며, 동일한 방법으로 실시한 공시험(blank)으로부터 평균 적정량을 구하였다. 휘발성염기질소 함량(mg%)은 아래의 식으로 도출하였다.

$$VBN(mg\%) = 0.14 \times (a-b) \times f \times \frac{100}{W}$$

a: 시료의 적정량(mL)
b: 공시험의 적정량(mL)
f: 0.01N NaOH 용액의 역가
W: 시료 채취량(g)

pH 및 육색 측정

한우고기의 pH 측정은 고체용 pH meter (Model Testo 205; Testo, Lenzkirch, Germany)을 사용하여 고기 내·외부에 삽입하여 측정하였다. pH와 휘발성염기질소는 한 가지 지표만 부패기준을 초과하여도 섭취가 불가능한 것으로 간주하여 둘 중 하나가 기준치 초과한 경우 분석을 중단하였다. 표면 육색 측정은 색차계(CR-400, Konica Minolta, Tokyo, Japan)를 이용하여 수행하였으며, 조명 조건은 CIE 표준광원 D65로 설정하였다. 측정 전 시료의 드립을 제거하고 표준 백판으로 조정(calibration)하였다. 시료는 동일 부위에서 3회 반복 측정하여 L*(밝기), a*(적색도), b*(황색도) 값을 산출하였다.

통계분석

한우고기 부위에 따른 저장기간 별 휘발성염기질소 및 pH의 변화 값은 모두 3반복 측정되었고, ANOVA 분석을 통해 유의성(P<0.05)을 평가하였다. 유의적인 차이가 있는 결과값에 대해서는 Duncan's multiple range test를 통해서 그룹핑을 하여 윗첨자로 표기하였다. 해당 통계 분석은 통계 분석프로그램인 SAS Enterprise Guide (ver. 7.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 사용하였다. 또한 저장기간에 따라 휘발성염기질소가 기준치를 초과하는 시점을 예측하기 위해 측정값을 Microsoft Excel 2016 (Microsoft Corp., Redmond, WA, USA)에 입력하여 선형 회귀분석을 수행하였다. 도출된 회귀식을 통해 휘발성염기질소가 부패 기준치(20 mg%)에 도달하는 예상 일수를 산출하였다.

Results and Discussion

휘발성염기질소(VBN) 분석 결과

국립축산과학원이 발간한 소도체수율 책자[7]에 따르면, 한우 1등급(1++) 등심의 단백질 함량은 평균적으로 17.8%를 함유하는 것으로 보고하고 있다. 반면, 동일 등급의 사태와 우둔 부위는 각 21.3%의 단백질을 함유하고 있으며, 부위별 영양성분의 차이는 맛 뿐만 아니라 저장기간에도 영향을 미칠 수 있다. 특히 휘발성염기질소는 단백질이 분해되면서 생성되는 아민류로 단백질 함량이 많을수록 미생물이나 효소에 의해 분해되는 양이 증가하므로 휘발성염기질소의 발생량이 빠르게 증가할 수 있다. 이를 확인하기 위하여 식약처에서 초기 부패육으로 판정하는 지표인 휘발성염기질소와 pH 변화를 분석하였다. 먼저 등심, 우둔, 사태의 저장방법(랩포장, 진공포장)과 온도, 저장기간에 따른 휘발성염기질소 변화는 Figs. 1-3에 제시하였다. 앞서 언급했던 단백질 함량과 휘발성염기질소의 상관관계를 보았을 때, 상대적으로 단백질 함량이 더 많은 사태, 우둔에서 그 변화가 빠르게 일어났다. 또한 포장 방법에 따른 결과를 살펴보면 진공포장하여 저장한 고기의 휘발성염기질소 분석 결과 부위와 상관없이 2°C를 제외하고 모두 9주 이내에 초기 부패 기준치인 20 mg%를 초과하였다. 이는 랩포장된 고기에 비해 전체적으로 진공포장 된 고기의 저장기간이 길었다. 특히 진공포장한 고기를 2°C에서 저장한 결과 최대 9주까지 저장하였음에도 기준치를 초과하지 않아 회귀 분석을 통하여 초기 부패 시점을 예측하였다. 관련 회귀식과 계산된 부패 예측일은 Table 1에 제시하였다. 2°C에서 진공포장하여 저장기간이 가장 긴 것으로 예측되는 부위는 등심으로 약 217일 후 초기 부패 시점에 도달 되는 것으로 확인되었으나, 사태와 우둔은 100-114일 이후에 부패가 진행될 것으로 예측되었다. 상대적으로 등심부위에 비하여 3개월 빠르게 부패가 진행되었다. 사태 및 우둔부위는 근섬유 구조, 낮은 지방함량, 높은 수분함량, 결합조직 비율 등으로 인해 등심에 비해 부패가 빠르게 진행되는 경향이 있다[8,9]. 이러한 특성은 미생물 생육이 더욱 용이하며 저장 중 품질 저하 속도를 가속화 시킨다. 특히 우둔과 사태부위의 회귀분석에서 비교적 낮은 상관계수가 나타났다. 이는 저장기간과 휘발성염기질소 증가 간의 선형성이 해당부위에서 충분히 확보되

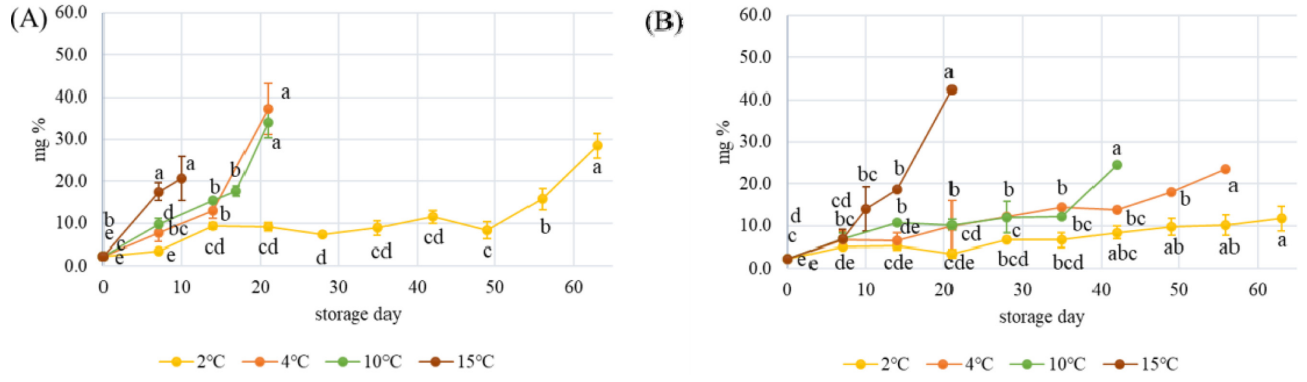

Fig. 1. The changes in VBN of *Hanwoo* sirloin according to the storage period at different temperatures. (A) Wrap packaging and (B) Vacuum packaging. In each sample, [a-d] superscripts are significantly different at P<0.05 by Duncan's multiple range test.

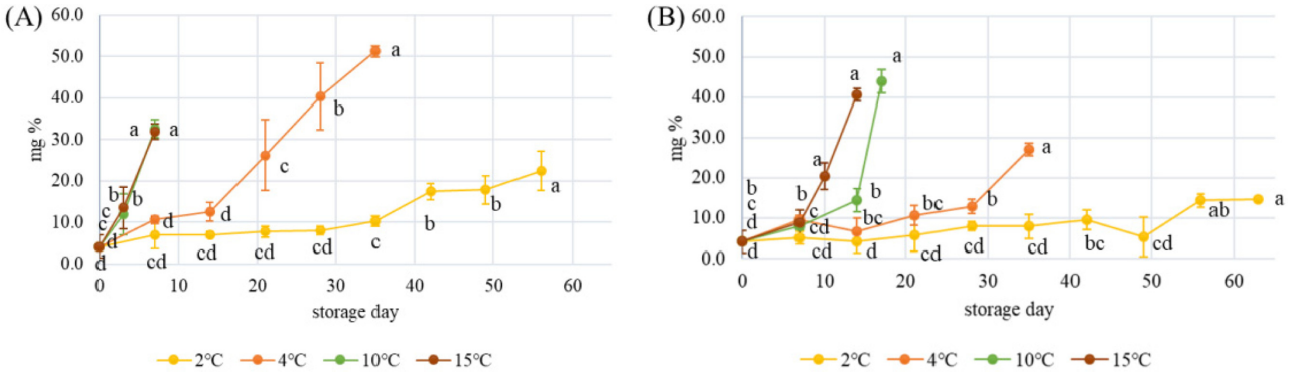

Fig. 2. The changes in VBN of *Hanwoo* round according to the storage period at different temperatures. (A) Wrap packaging and (B) Vacuum packaging. In each sample, [a-d] superscripts are significantly different at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test.

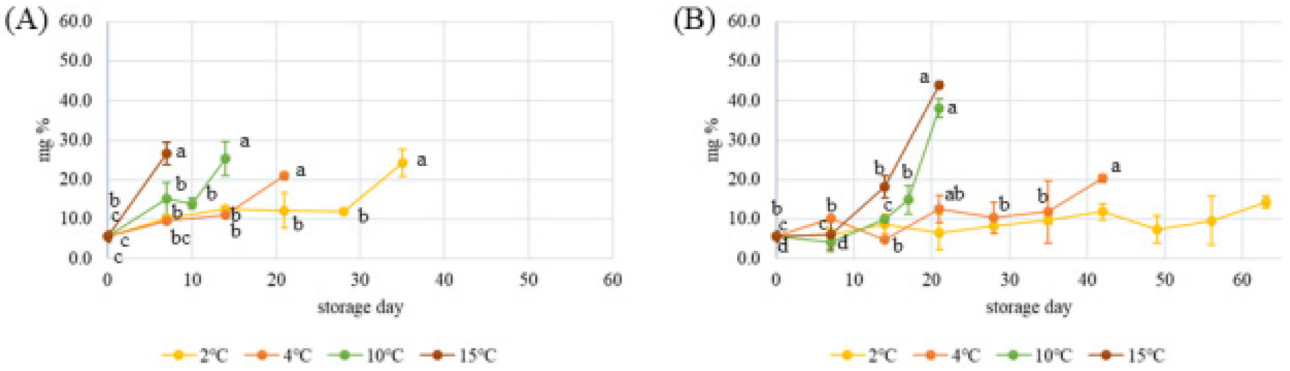

Fig. 3. The changes in VBN of *Hanwoo* shank according to the storage period at different temperatures. (A) Wrap packaging and (B) Vacuum packaging. In each sample, [a-d]superscripts are significantly different at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test.

Table 1. Regression analysis of VBN in beef cuts (sirloin, round, and shank) during vacuum storage at 2°C

Cuts	Regression equation	Coefficient of determination (R^2)	Estimated time of initial spoilage (day)
Sirloin	y = 0.1358x + 2.6842	0.9038	217.510
Round	y = 0.1528x + 3.1318	0.6906	110.394
Shank	y = 0.099x + 5.7385	0.5931	114.056

지 않았음을 의미하며, 이는 위에서 언급한 결합조직 함량 등 조직학적 특성에 기인한 것으로 판단된다. 따라서 본 연구결과에 도출된 우둔, 사태부위의 회귀식은 부위 특성을 반영한 다중지표 기반의 보완 모델이 필요하다. 반면에 진공포장의 경우 냉장온도인 4°C는 비교적 장기간 저장이 가능하나, 15°C의 경우 3주 이내에 부패 시점에 도달하였다. 그러나 미생물의 생육은 이화학적 변화보다 더욱 빠르게 일어나므로 미생물학적 지표와 이화학적 지표를 종합적으로 고려할 필요가 있다. 식품의약품안전처(Ministry of Food and Drug Safety, MFDS)의 기준에 따르면 일반세균수의 부패 기준을 6 log CFU/cm^{2}으로 설정하고 있다. 선행연구에 따르면, 안심 부위를 2°C에서 진공포장하여 저장할 경우 일반세균 수는 저장 40일 이후부터 부패 기준에 도달하였다. 이는 본 연구에서 휘발성염기질소가 초기 부패 시점에 도달한 기간보다 최소 2달 이상 빠른 것으로 확인되었다[10].

반면에 랩포장의 경우 모든 온도에서 9주 이내에 다 기준치를 초과하였다. 온도가 높아짐에 따라서 휘발성염기질소의 농도가 급격히 증가하였다. 특히 냉장 저장온도인 4°C에서도 대부분 3주 이내에 20 mg%를 초과하였다. 또한 한우에서 미생물 생장 분석결과에서도 3주에 6 log CFU/g 수준에 도달하였다. 이는 마트나 시장에서 랩포장의 형태로 구매한 경우에는 진열된 기간까지 고려하여 최대한 빨리 섭취하여야 한다는 점을 시사한다. 랩포장 시

저장기간에 따라 휘발성염기질소 발생 속도의 차이가 있었는데, 사태, 우둔, 등심 순으로 저장기간이 짧았다. 진공포장의 경우 우둔과 사태에서 약간의 차이는 있으나 평균적으로 등심의 휘발성염기질소 증가가 빠르게 일어났다. 이러한 경향은 앞서 언급한 부위별 단백질 함량과 결합조직의 특성 차이에 기인한 것으로 해석될 수 있다. 여러 연구결과와 마찬가지로 미생물 수와 휘발성염기질소는 시간에 따라 증가하였으며, 부패시점 또한 밀접한 관계를 보였다[10]. 이러한 경향은 미생물이 분비하는 효소 또는 그 효소의 활성과 관련이 있는 것으로 추정되며, 육류의 저장 중 발생하는 근육 단백질의 분해가 결국 무기태 질소로 분해되어 휘발성염기질소 함량이 증가한 것으로 확인된다[11,12].

pH 분석 결과

저장기간과 포장방법에 따른 pH 분석 결과는 Fig. 4-6에 제시하였다. 랩포장 시 모든 부위에서 8주 이내에 pH는 부패 기준치(<6.2)를 초과하였으나, 진공포장의 경우

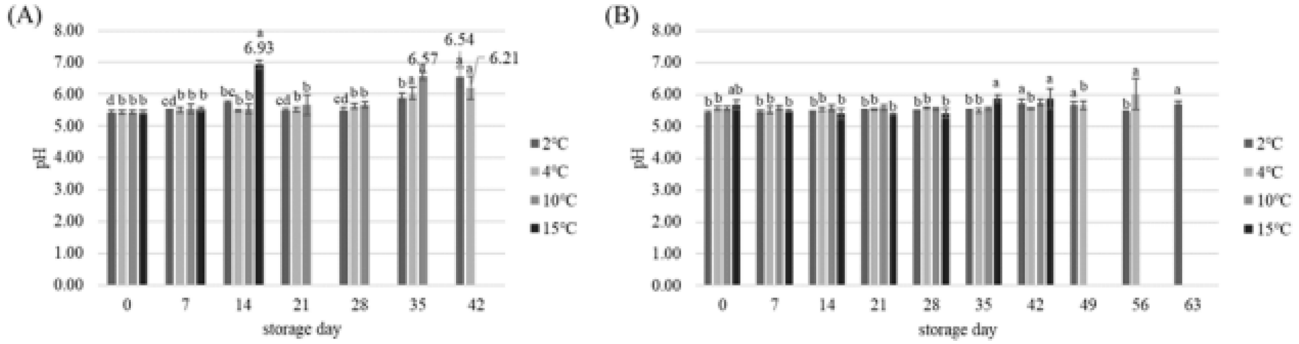

Fig. 4. The changes in pH of *Hanwoo* sirloin according to the storage period at different temperatures. (A) Wrap packaging and (B) Vacuum packaging. In each sample, [a-d]superscripts are significantly different at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test.

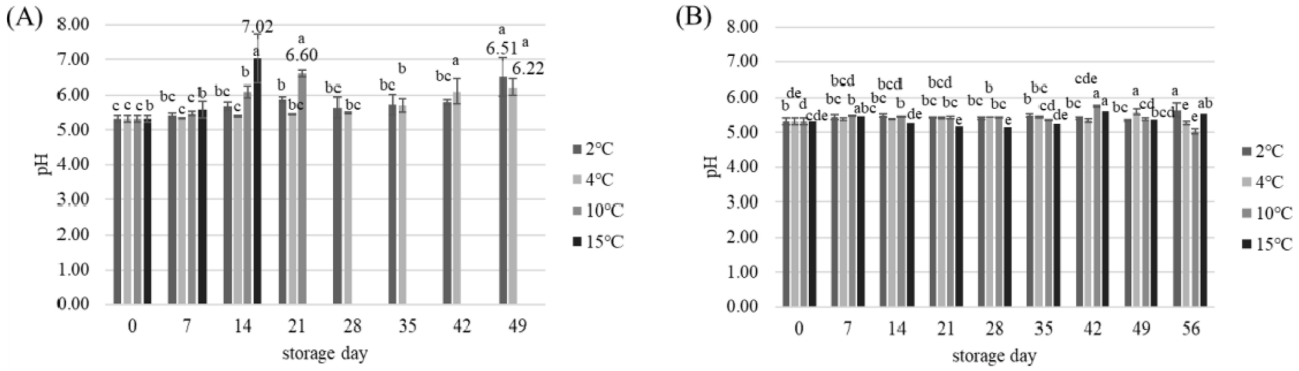

Fig. 5. The changes in pH of *Hanwoo* round according to the storage period at different temperatures. (A) Wrap packaging and (B) Vacuum packaging. In each sample, [a-d] superscripts are significantly different at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test.

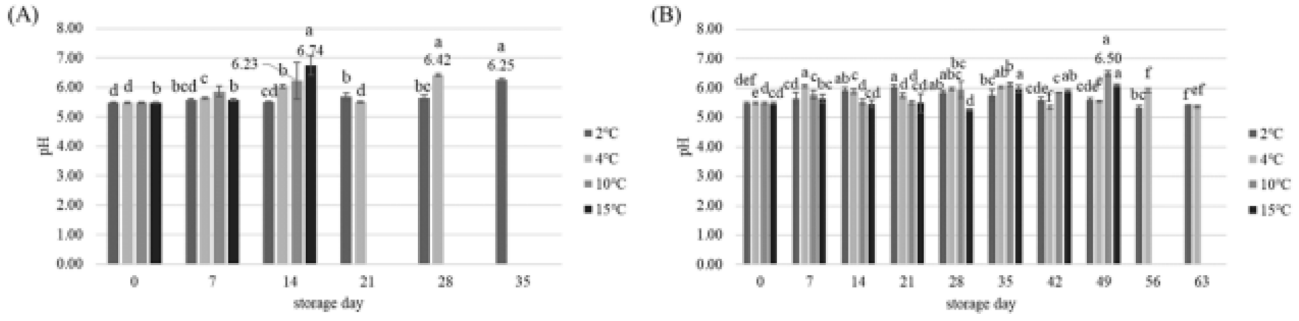

Fig. 6. The changes in pH of *Hanwoo* shank according to the storage period at different temperatures. (A) Wrap packaging and (B) Vacuum packaging. In each sample, [a-d] superscripts are significantly different at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test.

10°C에 저장된 사태에서만 기준치를 초과하였고, 나머지 처리구에서는 6.2를 초과한 부위는 확인되지 않았다. 전반적으로 저장기간에 따른 휘발성염기질소가 pH에 비하여 급격하게 변화한다고 볼 수 있다[12]. 추가적으로 각 부위를 랩포장하여 2°C에서 저장기간에 따른 pH와 휘발성염기질소의 상관관계를 분석하였다. 그 결과, 모든 부위에서 통계적으로 유의적인 양의 상관관계가 있는 것으로 확인되었으며, 등심(r=0.939), 우둔(r=0.790), 사태(r=0.682) 순으로 강한 연관성을 보였다. 이는 휘발성염기질소가 식육 내 단백질이 미생물에 의해 분해되면서 암모니아 및 아민류의 축적이 증가되고 결과적으로 pH의 상승을 야기한다. 시료의 pH와 휘발성염기질소의 기준치 초과시점을 종합적으로 고려하면 랩포장한 후 2°C 저장 시 부위 간 차이는 있으나 최소 4주 이내가 기준치를 초과하지 않았으며, 4°C는 2주, 10, 15°C는 1주 이내가 기준치 이하인 것을 확인하였다.

육색 분석 결과

등심, 우둔, 사태 부위별 저장기간 및 온도에 따른 육색 표면 변화를 관측하였다. 그 결과 밝기를 나타내는 값인 L value에서는 한우 표면의 지방 분포 때문에 표면에 따라서 측정 값간에 차이가 있었으나, 저장기간이나 온도에 따른 경향성을 찾기 어려웠다(data not shown). 이에 따라서 육색 측정 지표 중 중요한 적색도(a value)를 분석하고, 그 결과를 Table 2-4에 제시하였다. Joo 등[8]의 연구에 따르면 사태(7.5%)에 비해 등심(8.3%)이나 안심(11.4%)부위

Table 2. Changes in surface meat redness (a value) of beef sirloin cuts according to packaging methods and storage periods

Cuts	Sirloin							
	Wrap				Vacuum			
°C	2	4	10	15	2	4	10	15
0 d	28.7±1.6^{a}	28.7±1.6^{a}	28.7±1.6^{a}	28.7±1.6^{a}	28.7±1.6^{a}	28.7±1.6^{a}	28.7±4.0^{a}	28.7±1.6^{a}
7 d	21.6±1.8^{b}	22.7±3.3^{b}	14.5±2.1^{b}	14.9±0.7^{b}	23.5±2.0^{ac}	29.1±0.7^{a}	20.2±4.7^{b}	19.3±0.4^{b}
14 d	21.0±1.6^{b}	21.8±2.3^{bc}	16.6±4.5^{b}	8.9±5.4^{b}	26.5±2.5^{ab}	30.0±5.1^{a}	24.0±0.6^{b}	22.1±1.2^{b}
21 d	21.0±3.8^{b}	19.6±2.6^{bc}	13.7±1.4^{b}		24.2±3.8^{abc}	29.5±2.2^{a}	20.7±1.8^{b}	20.2±3.0^{b}
28 d	19.1±5.7^{bc}	20.4±2.8^{bc}			22.4±1.5^{bc}	27.6±3.2^{a}	23.1±1.2^{b}	
35 d	16.6±2.4^{bc}	17.9±1.1^{cd}			20.5±2.5^{c}	29.8±3.1^{a}	20.3±2.4^{b}	
42 d	19.3±2.6^{bc}	14.1±1.8^{de}			26.3±5.3^{ab}	21.4±1.7^{b}		
49 d	18.0±1.8^{bc}	13.4±3.2^{e}			23.2±3.1^{bc}	21.7±6.4^{b}		
56 d	17.9±4.2^{bc}				24.4±2.2^{abc}	16.3±1.3^{b}		
63 d	14.9±2.5^{c}				20.0±1.6^{c}	18.8±2.4^{b}		

$^{a-e}$ superscripts are significantly different at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test.

Table 3. Changes in surface meat redness (a value) of beef round cuts according to packaging methods and storage periods

Cuts	Round							
	Wrap				Vacuum			
°C	2	4	10	15	2	4	10	15
0 d	23.4±0.1^{a}	26.6±0.8	28.1±0.8^{a}	21.3±6.1	23.4±0.1^{a}	26.6±0.8^{a}	21.3±6.1	21.3±2.0
7 d	20.7±1.0^{ab}	24.3±1.9	25.7±1.0^{b}	16.9±0.2	22.3±0.7^{ab}	27.7±1.7^{a}	22.3±2.9	18.3±0.6
14 d	19.5±1.7^{bc}	25.3±2.3	16.0±1.1^{c}	15.5±0.9	24.0±2.0^{bc}	28.5±2.4^{a}	23.5±2.4	16.8±0.4
21 d	19.2±1.0^{bc}	20.6±0.9			21.2±3.6^{bc}	25.8±3.3^{ab}	18.7±2.1	16.1±0.6
28 d	16.3±2.6^{c}	22.2±5.9			20.0±2.4^{c}	27.3±1.0^{a}		
35 d	16.9±3.0^{c}	25.5±5.4			20.9±0.4^{c}	25.5±4.2^{ab}		
42 d	11.9±2.8^{d}	17.5±5.4			24.2±2.9^{d}	20.3±2.4^{c}		
49 d	8.5±0.6^{e}	18.7±2.1			19.4±0.9^{e}	21.2±3.0^{bc}		
56 d	10.9±2.0^{de}				19.6±1.1^{de}	19.3±3.4^{c}		
63 d	11.0±0.9^{de}				18.7±0.7^{de}			

$^{a-e}$ superscripts are significantly different at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test.

Table 4. Changes in surface meat redness (a value) of beef shank cuts according to packaging methods and storage periods

Cuts	Shank							
	Wrap				Vacuum			
°C	2	4	10	15	2	4	10	15
0 d	27.7±3.3^{a}	23.4±4.1^{a}	22.6±5.3	21.5±1.6	27.7±3.3^{a}	23.4±4.1^{a}	22.6±5.3	21.5±1.6^{a}
7 d	25.2±1.9^{ab}	22.5±4.4^{ab}	15.3±6.1	15.4±5.5	20.2±2.3^{b}	23.1±0.8^{a}	21.3±7.2	19.7±1.0^{ab}
14 d	24.8±3.6^{ab}	21.4±2.6^{ab}	25.9±0.5	12.9±2.3	22.8±1.9^{ab}	23.3±5.6^{a}	21.4±2.6	18.9±1.1^{ab}
21 d	19.0±3.7^{bcd}	15.9±2.1^{bc}			24.1±2.8^{ab}	21.3±2.6^{ab}	20.5±1.3	16.9±1.8^{b}
28 d	22.6±2.8^{abc}	21.1±5.8^{ab}			21.0±1.4^{b}	19.7±1.6^{ab}		
35 d	14.4±3.7^{d}	23.7±2.6^{a}			23.7±3.1^{ab}	24.2±2.0^{a}		
42 d	26.1±2.6^{a}	10.6±4.1^{c}			27.9±0.4^{a}	14.3±4.9^{c}		
49 d	17.1±2.8^{cd}	12.9±2.1^{c}			24.4±4.2^{ab}	19.9±0.7^{ab}		
56 d	16.1±6.9^{cd}				22.2±2.1^{b}	17.2±0.8^{bc}		
63 d	12.4±1.7^{d}				21.5±1.8^{b}	22.9±1.3^{a}		

$^{a-d}$ superscripts are significantly different at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test.

의 미오글로빈 함량이 높은 것으로 나타났다. 미오글로빈은 육색, 특히 적색도에 큰 영향을 미치는 주요 색소 단백질로 알려져 있으며, 본 연구에서 사용된 각 부위 중 등심이 평균 28.7로 사태(23.8)나 우둔(23.7)부위에 비하여 높게 확인되었다. 특히 저장 온도가 상승하고 저장 기간이 길어짐에 따라서 적색도가 유의적으로 감소하게 되었다 ($P<0.05$). 우둔과 사태를 15°C에서 저장할 경우, 일부 유의성이 보이지 않는 경우도 있으나, 수치적으로는 감소하는 경향을 보였다. 그러나 적색도의 변화는 미오글로빈의 산화에 따른 결과일 수 있다. 이러한 육색의 변화는 결과적을 소비자의 구매결정에 영향을 미칠 수 있다. 이와 관련하여 육색과 구매 인식 등에 대한 연구에 따르면 적색도가 20 이하로 내려갈수록 소비자가 부정적으로 인식하여 기호도와 구매의사에 부정적 영향을 미칠 것으로 보고 있다[13-16]. 본 연구에서 저장기간에 따른 적색도 변화를 살펴보면 10, 15°C에서 랩포장시 최대 2주차부터 적색도가 20 이하로 감소하였으며, 진공포장의 경우 사태, 우둔에서 2주까지도 적색도 값이 20 이상으로 유지되었으나 15도에서는 포장방법과 관계 없이 1주차부터 20 이하로 측정되었다. Holman 등[17] 과 Wu 등[18]의 연구에 따르면 소비자가 수용가능한 적색도 임계값은 약 14.5 이며, 이보다 낮아질 경우 시각적으로 명확한 변색으로 인지되는 것으로 보고된다. 본 연구에서는 사태 부위를 랩 포장하여 경우 2도에 저장한 경우, 저장 1개월 시점에 적색도가 14.4로 감소하여 소비자 인식 기준에서 변색이 매우 심하다고 볼 수 있으나, 이러한 변화가 곧바로 미생물학적 부패로 이어진다고 단정짓기는 어렵다. 특히 육색의 변화는 현행 부패육 판정 체계에서 공식적 지표로 규정되어 있지 않으므로, 적색도는 단독 지표로 활용하기 보다 휘발성염기질소, pH 등과 같은 이화학적·미생물학적 지표와 병행하여 신선도 평가를 보완하는 보조 지표로 활용하는 것이 타당하다.

Acknowledgement

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제명: 한우고기 유통환경·안전성 정보 모니터링 및 통합관리 시스템 개발, 세부과제번호: PJ01706701)에 의해 이루어진 결과이며, 이에 감사드립니다.

국문요약

본 연구는 한우 등심, 우둔, 사태 부위를 대상으로 포장방법과 온도별 저장기간에 따라 부패 특성과 육색에 미치는 영향을 평가하였다. 시료는 랩 포장과 진공 포장 상태로 2, 4, 10, 15°C에서 저장하였으며, 저장 기간 동안 휘발성염기질소(VBN), pH, 육색(CIE a*)을 측정하여 초기 부패 시점을 측정하였다. 그 결과, VBN은 pH보다 빠르게 증가하였으며, 특히 단백질 함량이 높은 사태와 우둔에서 증가 속도가 두드러졌다. 진공 포장은 랩 포장 대비 저장기간이 현저히 긴 것으로 나타났다. 특히, 진공 포장 상태에서 2°C로 저장한 시료는 최대 9주간 저장하였음에도 불구하고 기준치를 초과하지 않았다. 이에 따라 저장 기간과 품질 지표 간의 관계를 회귀분석으로 추정한 결과, 해당 조건에서 최대 217일까지 품질 기준을 유지 가능한 것으로 추정되었다. 이는 저온에서 진공 포장이 한우 고기의 저장 수명을 극대화하는 데 매우 효과적임을 시사한다. 반면, 15°C와 같이 높은 온도에서는 포장 방식과 관계없

이 부패가 급속히 진행되었다. 본 연구는 부패 진행이 미생물 효소 활성과 단백질 분해와 밀접하게 관련됨을 확인하였으며, pH보다 VBN이 신선도 판단에 더 민감한 지표임을 제시한다. 이러한 결과는 한우의 최적 저장 조건 및 안전한 소비 기간 설정에 실질적인 근거를 제공한다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

ORCID

Eun-Seon Lee https://orcid.org/0000-0002-3957-0575
Jong-Hui Kim https://orcid.org/0000-0001-8669-993x
Mi-Hwa Oh https://orcid.org/0000-0001-7838-5260

References

1. Binnie, M.A., Barlow, K., Johnson, V., Harrison, C., Red meats: time for a paradigm shift in dietary advice. *Meat Sci.*, **98**, 445-451 (2014).
2. Kouvari, M., Tyrovolas, S., Panagiotakos, D.B., Red meat consumption and healthy ageing: a review. *Maturitas*, **84**, 17-24 (2016).
3. Lombardi-Boccia, G., Lanzi, S., Aguzzi, A., Aspects of meat quality: trace elements and B vitamins in raw and cooked meats. *J. Food Compos. Anal.*, **18**, 39-46 (2005).
4. Pereira, P.M.D.C.C., Vicente, A.F.D.R.B., Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet. *Meat Sci.*, **93**, 586-592 (2013).
5. *Hanwoo* Board, (2025, July 24). *Hanwoo* distribution status survey report. Seoul: *Hanwoo* board. Retrieved from https://www.*hanwoo*board.or.kr/pages/statistics/research/market_trends_view.html?seq=12488&cate=&year=&keyword=&page=
6. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), (2025, July 26). Food Code. Retrieved from https://various.foodsafetykorea.go.kr/fsd/#/ext/Document/FC?searchNm=%ED%9C%98%EB%B0%9C%EC%84%B1%EC%97%BC%EA%B8%B0%EC%A7%88%EC%86%8C&itemCode=FC0A252003004A254
7. Jo, S.H., Seo, H.W., Hoa, V.B., Kang, S.M., Kim, Y.S., Seol, G.H., Sung, P.N., Kim, J.H., 2020. Beef carcass yield, first ed, National Institute of Animal Science, Wanju, Jeollabuk-do, Korea, pp. 326-369.
8. Joo, S.H., Lee, K.W., Hwang, Y.H., Joo, S.T., Histochemical characteristics in relation to meat quality traits of eight major muscles from *Hanwoo* steers. *Korean J. Food Sci. Anim. Resour.*, **37**, 716-725. (2017).
9. Jung, E.Y., Hwang, Y.H., Joo, S.T., Chemical components and meat quality traits related to palatability of ten primal cuts from *Hanwoo* carcasses. *Korean J. Food Sci. Anim. Resour.*, **35**, 859-866. (2015).
10. Kim, J.H., Lee, E.S., Oh, M.H., Effects of various temperatures and packaging methods on the storage properties of *Hanwoo* tenderloin. *J. Korean Soc. Food Cult.*, **39,** 119-126 (2024).
11. Shin, H.Y., Ku, K.J., Park, S.K., Song, K.B., Use of freshness indicator for determination of freshness and quality change of chicken during storage. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **35**, 761-767 (2006).
12. Kuang, L., He, E., Zhou, L., Lou, A., Liu, Y., Quan, W., Shen, Q., Dynamic changes in meat quality, volatile organic compounds, and microbial community of Xiangxi Yellow Cattle beef during chilled storage. *Foods*, **14**, 1139 (2025).
13. Holman, B.W., van de Ven, R.J., Mao, Y., Coombs, C.E., Hopkins, D. L., Using instrumental (CIE and reflectance) measures to predict consumers' acceptance of beef colour. *Meat Sci.*, **127**, 57-62 (2017).
14. King, D.A., Hunt, M.C., Barbut, S., Claus, J.R., Cornforth, D.P., Joseph, P., Kim, Y.H., Lindahl, G., Mancini, R.A., Nair, M.N., Merok, K.J., Milkowski, A., Mohan, A., Pohlman, F., Ramanathan, R., Raines, C.R., Seyfert, M., Sørheim, O., Suman, S.P. Weber, M., American meat science association guidelines for meat color measurement. *Meat Muscle Biol.*, **6**, 1-81 (2023).
15. Lybarger, K.R., Beyer, E.S., Farmer, K.J., Egger, L.A., Drey, L.N., Hunt, M.C., Vipham, J.L., Zumbaugh M.D., Chao, M.D., O'Quinn, T.G., Determination of consumer color and discoloration thresholds for purchase of representative retail ground beef. *Meat Muscle Biol.*, **7,** 1-19 (2023).
16. Corlett, M.T., Pethick, D.W., Kelman, K.R., Jacob, R.H., Gardner, G.E., Consumer perceptions of meat redness were strongly influenced by storage and display times. *Foods*, **10**, 540 (2021).
17. Holman, B.W.B., Bekhit, A.E.-D.A., Waller, M., Bailes, K.L., Kerr, M.J., Hopkins, D.L., The association between total volatile basic nitrogen (TVB-N) concentration and other biomarkers of quality and spoilage for vacuum packaged beef. *Meat Sci.*, **179**, 108551 (2021).
18. Wu, S., Han, J., Liang, R., Dong, P., Zhu, L., Hopkins, D.L., Zhang, Y., Luo, X., Investigation of muscle-specific beef color stability at different ultimate pHs. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.*, **33**, 1999-2007 (2020)
19. Leroi, F., Joffraud, J.J., Chevalier, F., Cardinal, M., Research of quality indices for cold-smoked salmon using a stepwise multiple regression of microbiological counts and physico-chemical parameters. *J. Appl. Microbiol.*, **90**, 578-587 (2001).
20. Jin, S.K., Lee, S.H., Kim, S.H., Moon, S.S., Choi, J., Effect of non-meat proteins on storage characteristics and amino acid composition of pork emulsified sausages. *Food Sci. Anim. Resour.*, **44**, 1069 (2024).