한국식생활문화학회지 39(5): 275-286, 2024
J. Korean Soc. Food Cult. 39(5): 275-286, 2024

ISSN 1225-7060(Print)
ISSN 2288-7148(Online)
https://doi.org/10.7318/KJFC/2024.39.5.275

한우 부위별 장기 보관 시 온도 및 포장 조건에 따른 미생물학적 변화

김종희 · 이은선 · 오미화*
농촌진흥청 국립축산과학원 축산물이용과

Microbiological Changes in Various Cuts of Hanwoo Beef during Storage under Different Temperature and Packaging Conditions

Jong-Hui Kim, Eun-Seon Lee, Mi-Hwa Oh*
Division of Animal Products Research and Development, National Institute of Animal Science

Abstract

We investigated the variations in the total bacterial counts (TBC) and coliform counts in a variety of Korean Hanwoo beef cuts (strip loin, rump, flank, shank, chuck and loin) stored at different temperatures after wrapping or vacuum packaging. TBC and coliform counts in all the cuts increased with an increase in the storage period. The initial microbial at baseline was higher in the chuck cut (2.0 log CFU/cm^2) than in the other cuts (1.1~1.3 log CFU/cm^2). Compared to wrapping, vacuum packaging effectively delayed spoilage. TBC exceeded 6 log CFU/cm^2 at 2 and 4°C in 21 and 11 days for wrapped meats and in 50 and 32 days for vacuum-packaged meats, respectively. Regardless of the initial microbial count, the TBC of wrapped meats stored at 10 and 15°C exceeded 6 log CFU/cm^2 in 4 and 3 days respectively, whereas that of the vacuum-packaged meats exceeded this level at these temperatures 6 and 5 days, respectively. Chuck cuts, with relatively high initial microbial levels, reached the spoilage point more quickly than other cuts under the same conditions. To sum up, vacuum packaging followed by storage and distribution at 2°C is the most effective approach for extending shelf life and maintaining quality.

Key Words : Hanwoo, microbiology, storage

I. 서 론

농림축산식품부와 한국농촌경제연구원에 따르면 한국인 1인당 쇠고기 소비량은 2012년 9.7 kg에서 2023년 13.2 kg로 빠르게 증가하였고(OECD/FAO 2023), 경제 성장의 흐름에 힘입어 소득이 증가함에 따라 냉장육을 선호하는 것으로 알려져 있다(Kim & Yoo 1997). 또한 소고기 구입 시 유통방법, 냉장 여부, 신선도, 브랜드 등을 함께 고려하는 것으로 나타났다(Kim et al. 2014; Shin 2020). 최근 국내 식품에 대한 유통기한 표시제(sell-by date)가 2023년 1월 1일부터 소비기한(use by date)으로 변경되었다(Minisity of food and drug safety 2024). 이에 따라 기존 유통기한에 비해 저장 기간이 길어지기 때문에 제품의 품질에 영향을 미치는 요인을 고려한 소비기한 설정이 필요하다.

소비기한 설정 시, 설정한 여러 지표 중 가장 먼저 품질 한계점에 도달할 지표를 기준으로 유통기한을 결정하는 것은 위생 안전 확보 측면에서 중요하다. 식육의 유통기한을 설정하기 위해 사용되는 객관적 품질 지표는 일반세균수(TBC), 대장균(*Escherichia coli*), 살모넬라(*Salmonella*)와 같은 미생물적 지표와 pH, 휘발성 염기질소(Volatile Basic Nitrogen), triphenyltetrazolium chloride와 같은 화학적 지표가 있다(Lee et al. 2018). 많은 연구에서 화학적 지표가 미생물적 지표에 비해 부패 시점에 늦게 도달하는 것으로 평가되었으며(Moon et al. 2013; Kim et al. 2024), 화학적 지표의 설정값은 대부분 미생물이 허용가능한 수준에서 결정된다(Ercolini et al. 2011). 지난 20년 동안 식품 품질과 안전에 대한 대중의 인식과 우려가 커지면서 육류 부패를 신속하게 감지하기 위한 연구가 활발하게 진행되었지만(Ellis & Goodacre 2001; Ercolini et al. 2011; Sowoidnich et al. 2012; Panagou et al. 2014; Xu et al. 2022), 미생물 부하 분석은 여전히 이러한 연구에서 부패를 정의하는 주요 기준이다.

*Corresponding author: Mi-hwa Oh, Division of Animal Products Research and Development, National Institute of Animal Science, 1500, Kongjwipatjwi-ro, Iseo-myeon, Wanju-gun, Jeollabuk-do, 55365, Republic of Korea
Tel: +82-63-238-7379 Fax: +82-63-238-7397 E-mail: moh@korea.kr

대장균군은 호기성 또는 통성혐기성, 그람음성, 포자 형성이 없는 간균으로 정의되며, 락토오스를 발효시켜 35°C에서 48시간 이내에 가스와 산을 생성한다(Nornberg et al. 2010). 전통적으로 대장균군은 *Citrobactor*, *Enterobactor*, *Klebsiella*, *Escherichia*의 4개의 속으로 표현된다고 여겨졌지만(Bergey 1939), 오늘날 20개 이상의 박테리아 속이 대장균군으로 분류되는 표현형적 특성을 가진다고 보고되었다(Masiello et al. 2016). 대장균군은 식육(도축장, 식육포장 및 처리장, 판매장)의 위생 지표로는 사용되고 있지 않지만, 축산물 중 식용란, 유제품 등의 위생 지표로서 명확한 규제가 존재하기 때문에 신선육에서 대장균군의 존재 여부도 분변오염 지표로서 위생학적으로 매우 중요하다.

식육의 저장 기간은 포장방법 및 온도에 따라 크게 달라질 수 있다. 폴리염화비닐(PVC: Polyvinyl Chloride) 필름을 사용한 전통적인 랩포장(wrap packaging)은 소매 단계에서 여전히 육류 포장의 일반적인 형태이며(McMillin & Belcher 2012), 진공포장(vacuum packaging) 방법은 식육포장처리업소에서 육류의 품질과 유통기한을 보장하기 위해 대용량 포장 형태로 가장 많이 사용되고 있다(Chen & Brody 2012). 진공포장은 호기성균의 증식 억제와 지방산화를 지연시켜 저장성을 높여준다고 알려져 있다(Ko & Yang 2008). 기존 쇠고기 저장성 관련 연구는 대부분 단일 부위를 이용하여 평가되었다(Kim et al. 2019; Cho et al. 2020; Kim et al. 2024). 그러나 도체의 부위에 따라 초기 미생물의 농도 및 영양성분 조성이 다르기 때문에 미생물의 증식 속도에 차이가 있을 수 있다(Jin et al. 2002). 식약처는 식육, 포장육, 식육가공품의 보존 및 유통 온도 기준은 −2- −10°C, 작업실 실내 온도는 15°C 이하로 규제하고 있다(Minisity of Food and Drug Safety 2024). 따라서 본 연구에서는 진공 또는 랩포장한 한우 6개 부위(채끝, 설도, 양지, 사태, 목심, 등심)를 5구간의 다양한 온도(−20, 2, 4, 10, 15°C)에 저장하면서, 저장 기간에 따라 일반세균수와 대장균군수를 측정하여 식육의 소비기한 설정 및 연장을 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

II. 연구 내용 및 방법

1. 시료 준비

본 실험에 사용한 한우는 도축장과 가공장을 동시에 보유한 충북 음성군 육가공업체인 ㈜건화에서 도축 후 2일 동안 냉장 보관 된 1등급 거세 한우를 구매하여 사용하였다. 부분육의 분석을 위해 도축 후 24시간 내에 채끝(Strip loin), 설도(Rump), 양지(Flank), 사태(Shank), 목심(Chuck), 등심(Loin)을 동일 소재 가공장에서 분할 정형하여 진공포장 후 0±1°C 내외의 냉장 차량을 이용하여 2시간 내에 실험실로 운반하였다.

2. 포장방법

한우 6개 부위는 각각 1.5 cm의 두께, 100 g±1 g으로 절단 후 사용하였다. 각 시료의 포장은 랩포장과 진공포장한 후 −20, 2, 4, 10, 15°C로 저장온도를 설정한 냉장고에서 보관하면서 시료로 사용하였다. 이때 랩포장의 경우에는 폴리에틸렌 폼 트레이[PE foam, 221×162×27 (mm)]에 넣어서 식품포장용 저밀도 폴리에틸렌 랩 [LLD-PE wrap, 300×600 (mm)]으로 함기포장 하였고, 진공포장의 경우에는 진공팩 [NY/LDPE/LLDPE, 해피락, Korea, 200×280 (mm)]을 사용하여 가정용진공포장기(푸드세이버, Korea)로 공기를 제거하여 진공으로 포장하였다. 랩포장의 경우 최대 24일, 진공포장의 경우 최대 84일 동안 저장 후 미생물수를 분석하였다.

3. 일반세균수

일반세균수는 식품공전(Ministry of Food and Drug Safety 2024)의 swab method를 이용하였다. 식육의 표면에 10 cm^2의 template를 대고 멸균 스왑봉(3MTM Quick swab)을 이용하여 꼼꼼하게 문지른 다음 9 mL 용량의 생리식염수에 옮겨 순차적으로 희석하였다. 이후 희석액의 1 mL을 Aerobic Count Plate Petrifilm™ (3M Health Care, USA)에 접종하여 35°C incubator에서 48시간 동안 배양한 후 군락수를 계수하였다.

4. 대장균군수

대장균군수를 측정하기 위해 준비한 희석액 1 mL을 Coliform Count Plate Petrifilm™ (3M Health Care, USA)에 접종하여 35°C incubator에서 1일 배양한 후 빨간색이면서 기포가 발생된 개체를 계수하였다.

5. 통계처리

모든 실험 측정은 3 반복 측정하여 평균값과 표준오차를 계산하였고, 각 군간 차이의 통계적 유의성은 SPSS Statistics Package for the social Science, Ver. 26 for Window)를 이용하였으며, ANOVA 분산분석과 Duncan의 다 범위 검정(multiple range test)을 사용하여 저장 기간별, 온도별, 부위별 초기 미생물 농도의 처리 간의 결과 차이를 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 랩포장 저장 시 다양한 온도에서 미생물수 변화

랩포장된 6부위(채끝, 설도, 양지, 사태, 목심, 등심)의 온도별(−20, 2, 4, 10, 15°C) 저장 기간에 따른 총세균수(TBC)의 변화는 <Table 1>에 나타내었다.

일반세균수는 전 부위 및 전 온도에서 저장기간이 증가할수록 증가하였으며($p<0.05$), 초기미생물 수준은 목심(2.0 log CFU/cm^2)을 제외하고, 1.1-1.3 log CFU/cm^2 수준이었다. Mansur et al. (2019)은 도축 후 도체의 초기 미생물수준은

<Table 1> Changes of TBC for warp packaged different cuts of Hanwoo with different temperature during storage

Cuts	Tem. (°C)	Mean log CFU/cm^2 on storage day															
		0d	1d	2d	3d	4d	5d	6d	7d	8d	11d	12d	13d	14d	21d	22d	24d
Strip loin	-20	1.1±0.2^{cA}	<1.0^{dD}	<1.0^{dE}	<1.0^{dE}	<1.0^{dE}	1.3±0.2^{eE}	1.5±0.1^{bcD}	1.5±0.3^{bcD}	1.5±0.4^{bcD}	1.5±0.2^{bcD}	1.5±0.2^{bcD}	1.8±0.2^{abC}	1.8±0.2^{abC}	2.0±0.1^{aC}	2.0±0.2^{aC}	2.2±0.1^{aB}
	2	1.1±0.2^{lA}	<1.0^{mD}	1.2±0.2^{klC}	1.4±0.0^{jkD}	1.6±0.1^{ijD}	1.6±0.0^{ijD}	1.8±0.0^{hiD}	2±0.1^{hC}	2.8±0.1^{gC}	3.5±0.1^{fC}	4.4±0.1^{eC}	4.8±0.1^{dC}	5.0±0.2^{cdB}	5.2±0.1^{cB}	6.3±0.1^{bB}	6.8±0.2^{aB}
	4	1.1±0.2^{iA}	1.3±0.2^{iC}	1.9±0.2^{hC}	2.1±0.2^{hC}	3.1±0.1^{gC}	3.8±0.2^{fC}	4.1±0.2^{eB}	4.2±0.0^{eB}	5.0±0.1^{dB}	5.4±0.2^{cB}	6.2±0.1^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	10	1.1±0.2^{fA}	2.3±0.1^{eB}	2.5±0.1^{eB}	3.6±0.1^{dB}	5.6±0.1^{cB}	6.5±0.1^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	15	1.1±0.2^{dA}	3.4±0.1^{cA}	5.8±0.1^{bA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
Rump	-20	1.1±0.1^{dA}	<1.0^{eD}	<1.0^{eD}	<1.0^{eE}	<1.0^{eE}	<1.0^{eE}	<1.0^{eE}	1.3±0.1^{cD}	1.5±0.2^{bcD}	1.5±0.2^{bcD}	1.6±0.2^{bD}	1.6±0.1^{bC}	2.1±0.2^{aC}	2.3±0.1^{aC}	2.3±0.1^{aB}	2.3±0.1^{aB}
	2	1.1±0.1^{iA}	<1.0^{jD}	<1^{jD}	1.2±0.3^{iD}	1.4±0.2^{iD}	1.8±0.2^{hD}	2.1±0.4^{hD}	2.8±0.1^{gC}	3.3±0.2^{fC}	4.1±0.1^{eC}	4.5±0.1^{dC}	5.5±0.2^{cB}	5.7±0.0^{cB}	6.4±0.1^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	4	1.1±0.1^{iA}	1.2±0.1^{iC}	1.2±0.2^{iC}	1.6±0.2^{hC}	1.8±0.1^{hC}	2.4±0.2^{gC}	3.2±0.3^{fC}	4.5±0.2^{eB}	4.9±0.2^{dB}	5.7±0.1^{cB}	6.4±0.1^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	10	1.1±0.1^{fA}	2.7±0.1^{eB}	3.3±0.3^{dB}	4.3±0.1^{cB}	5.4±0.1^{dB}	6.3±0.1^{cB}	6.7±0.3^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	15	1.1±0.1^{eA}	3.1±0.1^{dA}	5.6±0.1^{cA}	6.5±0.1^{bA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
Flank	-20	1.2±0.1^{cA}	<1.0^{dE}	<1.0^{dD}	<1.0^{dD}	<1.0^{dD}	<1.0^{dE}	<1.0^{dD}	1.5±0.1^{bD}	1.5±0.2^{bD}	1.5±0.2^{bD}	2.1±0.2^{aD}	2.2±0.1^{aC}	2.1±0.2^{aC}	2.0±0.1^{aC}	2.2±0.2^{aC}	2.3±0.1^{aB}
	2	1.2±0.1^{kA}	1.7±0.1^{jD}	1.7±0.1^{jC}	2.0±0.1^{iC}	2.2±0.0^{iC}	2.2±0.2^{iD}	2.5±0.1^{hC}	2.7±0.2^{ghC}	2.9±0.2^{fgC}	3.1±0.1^{fC}	4.0±0.3^{eC}	4.9±0.1^{dB}	5.1±0.1^{dB}	6.3±0.1^{cB}	6.7±0.1^{bB}	>7.0^{aA}
	4	1.2±0.1^{jA}	1.5±0.2^{ijC}	1.8±0.2^{hiC}	2.1±0.0^{ghC}	2.4±0.1^{gC}	2.8±0.3^{fC}	3.4±0.3^{eB}	4.2±0.1^{dB}	4.5±0.3^{dB}	5.8±0.3^{cB}	6.4±0.3^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	10	1.2±0.1^{gA}	2.5±0.2^{fB}	3.0±0.1^{eB}	4.9±0.4^{dB}	5.7±0.3^{cB}	6.3±0.2^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	15	1.2±0.1^{cA}	3.1±0.2^{cA}	5.4±0.0^{bA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}

$^{a, b, c, d, e, f, g, h, I, j, k, l, m}$Different letters within a row are significantly different ($p<0.05$).

$^{A, B, C, D, E}$Different letters within a column are significantly different ($p<0.05$).

*Correlation indicates the significance of the initial TBC concentration among the six beef cuts ($p<0.05$).

<Table 1> Changes of TBC for warp packaged different cuts of Hanwoo with different temperature during storage (continued)

Cuts	Tem. (°C)	Mean log CFU/cm^2 on storage day															
		0d	1d	2d	3d	4d	5d	6d	7d	8d	11d	12d	13d	14d	21d	22d	24d
Shank	-20	1.1±0.2^{eA}	<1.0^{fE}	<1.0^{fD}	<1.0^{fD}	<1.0^{fE}	<1.0^{fD}	<1.0^{fD}	1.5±0.1^{dD}	1.5±0.1^{dD}	1.7±0.1^{cdD}	1.8±0.1^{bcC}	1.8±0.1^{bcC}	2.0±0.1^{bC}	2.2±0.1^{aC}	2.1±0.1^{aB}	2.2±0.1^{aB}
	2	1.1±0.2^{kA}	1.4±0.1^{jkD}	1.7±0.0^{ijC}	1.9±0.1^{iC}	2.0±0.3^{hiD}	2.3±0.1^{ghC}	2.5±0.2^{gC}	3.1±0.4^{fC}	3.3±0.1^{efC}	3.4±0.1^{efC}	3.5±0.1^{eB}	4.5±0.1^{dB}	5.5±0.3^{cB}	6.5±0.1^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	4	1.1±0.2^{jA}	1.5±0.1^{iC}	1.8±0.1^{iC}	2.2±0.1^{hC}	2.8±0.2^{gC}	3.5±0.3^{fB}	4.5±0.2^{eB}	4.9±0.3^{dB}	5.7±0.4^{cB}	6.8±0.2^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	10	1.1±0.2^{fA}	3.8±0.1^{eB}	4.6±0.1^{dB}	5.4±0.3^{cB}	6.5±0.3^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	15	1.1±0.2^{dA}	4.3±0.1^{cA}	6.2±0.0^{bA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
Chuck*	-20	2.0±0.1^{deA}	<1.0^{gE}	<1.0^{gE}	<1.0^{gE}	<1.0^{gE}	<1.0^{gD}	1.5±0.2^{fD}	1.8±0.1^{eD}	2.2±0.1^{cdC}	2.3±0.1^{bcC}	2.4±0.1^{bcC}	2.4±0.2^{bcC}	2.3±0.3^{bcB}	2.4±0.2^{bcB}	2.6±0.1^{abB}	2.7±0.1^{aB}
	2	2.0±0.1^{iA}	1.7±0.1^{jD}	1.9±0.1^{iD}	2.0±0.0^{iD}	2.5±0.2^{hD}	3.0±0.1^{gC}	3.5±0.1^{fC}	3.8±0.2^{eC}	4.0±0.1^{eB}	4.8±0.1^{dB}	5.5±0.1^{cB}	6.4±0.1^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	4	2.0±0.1^{gA}	2.1±0.1^{gC}	2.2±0.1^{fgC}	2.5±0.2^{fC}	3.6±0.1^{eC}	4.2±0.3^{dB}	5.5±0.2^{cB}	6.7±0.3^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	10	2.0±0.1^{fA}	2.8±0.1^{eB}	3.5±0.1^{dB}	4.6±0.1^{cB}	6.5±0.1^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	15	2.0±0.1^{eA}	3.8±0.2^{dA}	4.8±0.2^{cA}	6.6±0.3^{bA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
Loin	-20	1.3±0.1^{cA}	<1.0^{dD}	<1.0^{dD}	<1.0^{dD}	<1.0^{dD}	<1.0^{dE}	<1.0^{dD}	1.3±0.0^{cD}	1.5±0.1^{bcD}	1.3±0.1^{cC}	1.4±0.1^{bcC}	1.5±0.1^{bcC}	1.6±0.2^{bC}	1.6±0.1^{bC}	2.0±0.1^{aB}	2.1±0.1^{aB}
	2	1.3±0.1^{kA}	1.3±0.4^{kC}	1.4±0.1^{kC}	1.6±0.2^{jkC}	1.9±0.2^{ijC}	2.2±0.2^{hiD}	2.4±0.3^{ghC}	2.6±0.3^{ghC}	2.8±0.1^{gC}	3.2±0.1^{fB}	3.9±0.1^{eB}	4.8±0.4^{dB}	5.5±0.1^{cB}	6.3±0.3^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	4	1.3±0.1^{hA}	1.4±0.1^{hC}	1.5±0.1^{hC}	1.7±0.1^{ghC}	2.0±0.1^{gC}	2.6±0.1^{fC}	3.7±0.3^{eB}	4.8±0.5^{dB}	5.4±0.2^{cB}	6.7±0.2^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	10	1.3±0.1^{gA}	2.3±0.2^{fB}	3.5±0.3^{eB}	4.2±0.1^{dB}	5.8±0.3^{cB}	6.3±0.3^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	15	1.3±0.1^{eA}	3.4±0.3^{dA}	5.5±0.0^{cA}	6.6±0.0^{bA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}

$^{a, b, c, d, e, f, g, h, I, j, k, l, m}$Different letters within a row are significantly different ($p<0.05$).

$^{A, B, C, D, E}$Different letters within a column are significantly different ($p<0.05$).

*Correlation indicates the significance of the initial TBC concentration among the six beef cuts ($p<0.05$).

<Table 2> Changes of Coliform for warp packaged different cuts of Hanwoo with different temperature during storage

Cuts	Tem. (°C)	Mean log CFU/cm^2 on storage day															
		0d	1d	2d	3d	4d	5d	6d	7d	8d	11d	12d	13d	14d	21d	22d	24d
Strip loin	-20	<1.0^{aA}	<1.0^{aB}	<1.0^{aC}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aC}	<1.0^{aB}
	2	<1.0^{hA}	<1.0^{hB}	<1.0^{hC}	<1.0^{hD}	<1.0^{hD}	<1.0^{hD}	<1.0^{hD}	<1.0^{hD}	1.2±0.0^{gC}	1.2±0.0^{gC}	1.5±0.1^{fC}	1.8±0.3^{eC}	2.7±0.1^{dC}	4.3±0.1^{cC}	6.2±0.2^{bB}	>7.0^{aA}
	4	<1.0^{hA}	<1.0^{hB}	<1.0^{hC}	<1.0^{hC}	1.2±0.3^{gC}	1.8±0.2^{fC}	1.8±0.3^{fC}	2.1±0.5^{efB}	2.6±0.2^{eB}	3.8±0.6^{dB}	4.2±0.4^{dB}	5.1±0.3^{cB}	5.6±0.2^{cB}	6.4±0.2^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	10	<1.0^{hA}	1.4±0.1^{gA}	2.5±0.2^{fB}	3.8±0.2^{eB}	4.7±0.4^{dB}	5.5±0.3^{cB}	6.3±0.3^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	15	<1.0^{gA}	1.5±0.0^{fA}	3.6±0.2^{eA}	4.8±0.1^{dA}	5.5±0.1^{cA}	6.7±0.4^{bA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
Rump	-20	<1.0^{aA}	<1.0^{aC}	<1.0^{aC}	<1.0^{aC}	<1.0^{aC}	<1.0^{aC}	<1.0^{aD}	<1.0^{aC}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aC}
	2	<1.0^{gA}	<1.0^{gC}	<1.0^{gC}	<1.0^{gC}	<1.0^{gC}	<1.0^{gC}	<1.0^{gD}	<1.0^{gC}	1.2±0.2^{fC}	1.3±0.1^{fC}	1.5±0.1^{fC}	2.2±0.2^{eC}	2.9±0.2^{dC}	3.5±0.1^{cC}	4.6±0.1^{bC}	6.2±0.5^{aB}
	4	<1.0^{iA}	<1.0^{iC}	<1.0^{iC}	<1.0^{iC}	<1.0^{iC}	<1.0^{iC}	1.2±0.2^{hC}	1.5±0.2^{hB}	2.0±0.2^{gB}	2.5±0.4^{fB}	3.4±0.1^{eB}	5.1±0.3^{dB}	5.6±0.2^{cB}	6.1±0.2^{bcB}	6.5±0.2^{bB}	>7.0^{aA}
	10	<1.0^{hA}	1.3±0.1^{gB}	2.0±0.1^{fB}	3.2±0.2^{eB}	4.3±0.3^{dB}	4.9±0.2^{cB}	6.3±0.1^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	15	<1.0^{gA}	1.6±0.1^{fA}	3.1±0.2^{eA}	4.3±0.2^{dA}	5.2±0.1^{cA}	6.5±0.2^{bA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
Flank	-20	<1.0^{aA}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aE}	<1.0^{aE}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aC}	<1.0^{aC}
	2	<1.0^{fA}	<1.0^{fD}	<1.0^{fD}	<1.0^{fD}	<1.0^{fD}	1.2±0.0^{eD}	1.2±0.1^{eD}	1.2±0.1^{eC}	1.3±0.2^{eC}	1.2±0.2^{eC}	1.3±0.1^{eC}	1.4±0.1^{eC}	2.4±0.2^{dC}	4.1±0.1^{cC}	5.2±0.1^{bB}	6.2±0.2^{aB}
	4	<1.0^{jA}	1.2±0.1^{iC}	1.2±0.0^{iC}	1.3±0.1^{iC}	2.2±0.2^{hC}	2.0±0.0^{hC}	2.1±0.1^{hC}	3.1±0.3^{gB}	3.4±0.1^{fB}	4.0±0.0^{eB}	4.2±0.3^{eB}	5.1±0.3^{dB}	5.6±0.2^{cB}	6.6±0.3^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	10	<1.0^{gA}	1.3±0.1^{fB}	2.7±0.3^{eB}	3.8±0.4^{eB}	4.6±0.5^{dB}	5.7±0.3^{cB}	6.5±0.2^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	15	<1.0^{fA}	2.4±0.1^{eA}	3.2±0.1^{dA}	5.4±0.3^{cA}	6.6±0.3^{bA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}

$^{a, b, c, d, e, f, g, h, i, j}$Different letters within a row are significantly different ($p<0.05$).

$^{A, B, C, D, E}$Different letters within a column are significantly different ($p<0.05$).

<Table 2> Changes of Coliform for warp packaged different cuts of Hanwoo with different temperature during storage (continued)

Cuts	Tem. (°C)	Mean log CFU/cm^2 on storage day															
		0d	1d	2d	3d	4d	5d	6d	7d	8d	11d	12d	13d	14d	21d	22d	24d
Shank	-20	<1.0^{aA}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aC}	<1.0^{aC}	<1.0^{aC}
	2	<1.0^{fA}	<1.0^{fD}	<1.0^{fD}	<1.0^{fD}	<1.0^{fD}	<1.0^{fD}	<1.0^{fD}	1.1±0.1^{eC}	1.2±0.2^{eC}	1.2±0.2^{eC}	1.4±0.1^{eC}	1.5±0.0^{eC}	2.7±0.4^{dC}	4.1±0.1^{cB}	5.4±0.1^{bB}	6.5±0.4^{aB}
	4	<1.0^{jA}	1.2±0.2^{iC}	1.2±0.2^{iC}	1.6±0.3^{hiC}	2.0±0.3^{ghC}	2.4±0.1^{gC}	3.0±0.1^{fC}	3.3±0.1^{fB}	3.8±0.6^{eB}	4.8±0.3^{dB}	5.1±0.4^{dB}	5.7±0.4^{cB}	6.2±0.2^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	10	<1.0^{hA}	1.5±0.0^{gB}	2.1±0.1^{fB}	3.9±0.3^{eB}	4.4±0.1^{dB}	5.9±0.4^{cB}	6.8±0.4^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	15	<1.0^{fA}	2.6±0.1^{eA}	3.7±0.2^{dA}	5.3±0.3^{cA}	6.6±0.2^{bA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
Chuck	-20	<1.0^{aA}	<1.0^{aC}	<1.0^{aE}	<1.0^{aE}	<1.0^{aE}	<1.0^{aE}	<1.0^{aE}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aC}	<1.0^{aC}	<1.0^{aC}	<1.0^{aC}	<1.0^{aB}	<1.0^{aB}
	2	<1.0^{hA}	1.3±0.1^{gB}	1.3±0.0^{gD}	1.3±0.1^{gD}	1.3±0.2^{gD}	1.3±0.1^{gD}	1.3±0.1^{gD}	1.5±0.1^{gC}	1.5±0.2^{gC}	2.0±0.4^{fC}	2.5±0.2^{eB}	3.2±0.2^{dB}	4.5±0.4^{cB}	6.2±0.2^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	4	<1.0^{hA}	1.4±0.1^{gB}	1.5±0.2^{gC}	2.3±0.1^{fC}	2.8±0.1^{fC}	3.5±0.1^{eC}	4.3±0.4^{dC}	4.6±0.6^{dB}	5.6±0.6^{cB}	6.7±0.3^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	10	<1.0^{hA}	1.4±0.1^{gB}	2.2±0.0^{fB}	3.1±0.0^{eB}	4.8±0.3^{dB}	5.5±0.5^{cB}	6.8±0.2^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	15	<1.0^{gA}	2.2±0.1^{fA}	3.3±0.0^{eA}	4.8±0.2^{dA}	5.6±0.1^{cA}	6.8±0.0^{bA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
Loin	-20	<1.0^{aA}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aE}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aD}	<1.0^{aC}	<1.0^{aC}	<1.0^{aC}	<1.0^{aC}	<1.0^{aC}
	2	<1.0^{fA}	<1.0^{fD}	<1.0^{fD}	<1.0^{fD}	<1.0^{fD}	<1.0^{fD}	1.0±0.0^{eD}	1.2±0.3^{eC}	1.2±0.1^{eC}	1.2±0.2^{eC}	1.3±0.1^{eC}	1.4±0.1^{eB}	2.1±0.2^{dB}	3.8±0.3^{cB}	5.4±0.1^{bB}	6.4±0.4^{aB}
	4	<1.0^{jA}	1.2±0.2^{iC}	1.4±0.2^{hiC}	1.7±0.2^{hC}	2.8±0.1^{gC}	3.3±0.2^{fC}	3.8±0.1^{eC}	4.1±0.2^{eB}	4.9±0.1^{dB}	5.6±0.3^{cB}	6.6±0.2^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	10	<1.0^{hA}	1.7±0.0^{gB}	2.7±0.3^{fB}	4.1±0.1^{eB}	4.8±0.4^{dB}	5.5±0.3^{cB}	6.4±0.2^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	15	<1.0^{gA}	2.2±0.4^{fA}	3.5±0.4^{eA}	4.9±0.3^{dA}	5.7±0.2^{cA}	6.4±0.2^{bA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}

$^{a, b, c, d, e, f, g, h, i, j}$Different letters within a row are significantly different ($p<0.05$).
$^{A, B, C, D, E}$Different letters within a column are significantly different ($p<0.05$).

2-4 log CFU/cm^2 미만으로 보고하여 본 실험 결과보다 다소 높은 수준을 나타냈었으나, Kim et al. (2018)은 소고기 등심의 초기 미생물 수준을 3.0 log CFU/cm^2 미만으로 보고하여 본 연구와 비슷한 수준을 나타냈다. 이는 도축장 환경 및 도축자의 숙련도에 따른 차이일 수 있다. 처음에는 무균인 상태의 도체의 미생물 오염은 도축 과정에서 도체와 환경 미생물에서의 교차 오염이 일어난다(Djordjević et al. 2019). 각 부위별 미생물수에서 목심 부위가 온도별 전 저장 기간 동안 다른 부위와 비교하여 높은 수준을 나타냈는데 이는 초기의 높은 미생물수에서 기인 되었을 것으로 판단된다. 목심의 높은 초기 미생물수는 Jin et al. (2002)에서도 보고되었으며, 이러한 결과는 해부학적 특성 및 도축 환경과 관련 있어 보인다. 즉, 목심의 근육 구조로 인해 수분 유지력과 표면적이 높아 보관 및 취급 중에 미생물이 성장하기 더 유리한 환경을 제공하고, 밀도 높은 근육으로 인해 작업자의 칼 또는 손에 노출되는 양이 많기 때문이다(De Filippis et al. 2013; Jaja et al. 2018). 식육의 유통기한을 결정하는 가장 중요한 지표가 초기 미생물수라는 점에서 볼 때, 도축작업 공정 특성상 오염이 되기 쉬운 부위는 취급에 있어 각별한 주의를 기울여야 할 것으로 보인다.

총 세균수는 전 부위에서 저장 기간이 증가할수록 증가하는 경향을 나타냈다 ($p<0.05$). 육류에서 7 log CFU/cm^{2}의 미생물 수준은 표면 부패 및 이취와 관련이 있다고 알려져 있다(Kim et al. 2018; Barcenilla et al. 2022). –20°C 저장 시 전 부위의 총 세균수는 최대 저장 기간인 24일 동안 3 log CFU/cm^2 미만을 유지하였으나, 2°C 저장 시 목심을 제외한 5부위에서 저장 22-24일차에, 4°C 저장 시에는 저장 11-13일차에 7 log CFU/cm^{2}를 초과하였다. 초기 미생물수가 상대적으로 높았던 목심은 2, 4°C에서 각각 저장 14, 8일 차에 7 log CFU/cm^{2}에 도달하였다. 10, 15°C의 경우 초기 미생물과 상관없이 전 부위에서 각각 저장 5-6일차, 3-4일차에 7 log CFU/cm^{2}를 초과하였다. 이와 유사하게 Kim et al. (2024)는 랩포장된 한우 안심을 2, 4°C에 저장했을 때 각각 21, 12일 이후에 총세균수 7 log CFU/cm^{2}에 도달하였다.

랩포장된 한우 6부위의 온도별 저장 기간에 따른 대장균군 수의 변화는 <Table 2>에 나타내었다. 대장균군의 수는 전 부위 및 –20°C를 제외한 모든 저장군에서 저장 기간이 증가할수록 증가하였으며($p<0.05$), –20°C에 저장하였을 때 분석한 24일 동안 전 부위에서 검출되지 않았다. 2°C 저장 시 경우 목심을 제외한 5부위에서 저장 6-7일차에 검출되기 시작하여 저장 24일차에 6 log CFU/cm^2 이상으로 증가하였다. 초기 농도가 높았던 목심은 2°C 저장시 1일차부터 검출되기 시작하여 저장 22일차에 7 log CFU/cm^{2}를 초과하였다. 4°C에 보관하였을 때 채끝, 설도, 양지, 사태는 저장 21-22일차에, 목심과 등심은 각각 저장 12일, 13일차에 7 log CFU/cm^{2}에 도달하였다. 10, 15°C의 경우 전 부위에서 각각 저장 7일차, 5-6일차에 7 log CFU/cm^{2}를 초과하였다.

2. 진공포장 저장시 다양한 온도에서 미생물수 변화

진공포장된 6부위(채끝, 설도, 양지, 사태, 목심, 등심)의 온도별(–20, 2, 4, 10, 15°C) 저장 기간에 따른 일반세균수(TBC)의 변화는 <Table 3>에 나타내었다. 저장 최대 84일 동안 –20°C에 저장했을 때 전 부위의 미생물수는 2.2 log CFU/cm^2 이하로 서서히 증가하였다. 2, 4°C 저장하였을 때 7 log CFU/cm^{2}를 초과하는 시점은 목심이 각각 49, 28일로 조사한 부위 중 가장 짧은 시간에 부패 수준에 도달하였다. 이러한 결과는 목심의 높은 초기 미생물수에서 기인한 것으로 판단된다. 반면 채끝, 설도, 양지, 사태는 2, 4°C 저장하였을 때 각각 63, 42-49일에 7 log CFU/cm^{2}를 초과하였다. 10, 15°C 저장 보관 시 초기 미생물수와 상관없이 각각 14, 7일에 7 log CFU/cm^{2}를 초과하였다.

진공포장된 한우 6부위의 온도별 저장 기간에 따른 대장균군 수의 변화는 <Table 4>에 나타내었다. –20°C에 저장하였을 때 대장균군은 저장 35-49일에 검출되기 시작하여 저장 84일째 1.3-1.6 log CFU/cm^2 수준으로 나타나 매우 느리게 증가하였다($p<0.05$). 2°C 저장시 목심, 사태, 등심은 6 log CFU/cm^2 이상으로 증가하였다. 4°C 저장하였을 때 목심과 등심은 56일에, 사태는 63일에, 그리고 나머지 3부위는 84일에 7 log CFU/cm^2 수준에 도달하였다. 10, 15°C 저장 시에는 각각 21-35일, 14-21일에 7 log CFU/cm^{2}를 초과하였다. Kim et al. (2023)은 진공포장된 양지를 4°C에서 20일간 저장하였을 때 총균수가 7 log CFU/cm^{2}에 도달하였고, 대장균군 수는 2.50 log CFU/cm^{2}이었다. 우리의 결과와 비교하였을 때, 목심과 비슷한 증가 속도를 보였지만, 나머지 5 부위(채끝, 설도, 양지, 사태, 등심)보단 빠르게 부패시점에 도달하였다. 이러한 차이는 양지의 초기 미생물 수가 3.64 log CFU/cm^2 임을 감안하였을 때, 초기 미생물수가 더 낮았기 때문으로 사료된다.

3. 포장방법 및 온도에 따른 미생물 부패 시점 설정

우리나라에서 식육포장 처리장 및 식육 판매장의 일반세균수는 5×10^6 CFU/g 이하로 권장된다(Ministry of Agriculture and Food Rural Affairs 2024). Gribble et al. (2014)은 시장에서 육류제품을 거부할 수 있는 거부 임계값을 총세균수 경우 6 log CFU/cm^{2}으로 제시하였고, Barcenilla et al. (2022)는 일반세균수가 10^7 CFU/cm^2 이상이 존재할 때 부패가 발생한다고 보고하였다. 이 기준에 따라 본 연구에서는 부패 시작되는 시점을 총 세균수가 10^6 CFU/cm^{2}을 초과하는 시점으로 결정하였고, 포장방법과 저장 온도에 따른 부패 시점을 설정하였다. 정확한 부패 시점을 확인하기 위하여 각 부위의 온도별, 포장별 회귀식을 구하였고, 그 결과를 <Table 5>에 나타내었다. 랩포장, 2°C와 4°C의 경우에는 목심을 제외하고, 각각 약 21, 11일, 그리고 진공포장의 경우 각각 약 50일과 32일에 부패 수준에 도달하였다. 이전에 보고된 Kim et al. (2019) 연구에서는 진공포장한 쇠고기 등심이 14일째

<Table 3> Changes of TBC for vacuum packaged different cuts of Hanwoo with different temperature during storage

Cuts	Tem. (°C)	Mean log CFU/cm^2 on storage day										
		3d	7d	14d	21d	28d	35d	42d	49d	56d	63d	84d
Strip loin	-20	<1.0^{bC}	<1.0^{bD}	<1.0^{bD}	<1.0^{bD}	<1.0^{bD}	<1.0^{bD}	<1.0^{bD}	<1.0^{bD}	<1.0^{bD}	1.6±0.1^{aB}	1.6±0.2^{aB}
	2	<1.0^{hC}	<1.0 ^{hD}	2.0±0.2^{gC}	2.5±0.2^{fC}	2.8±0.2^{fC}	3.8±0.3^{eC}	4.3±0.3^{dB}	5.7±0.2^{cB}	6.6±0.3^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	4	<1.0^{gC}	1.6±0.1^{fC}	3.2±0.2^{eB}	4.3±0.2^{dB}	5.6±0.2^{cB}	6.6±0.2^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	10	3.2±0.1^{cB}	6.2±0.1^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	15	4.3±0.1^{bA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
Rump	-20	<1.0^{bC}	<1.0^{bD}	<1.0^{bD}	<1.0^{bD}	<1.0^{bD}	1.3±0.1^{aD}	1.3±0.1^{aD}	1.3±0.2^{aC}	1.5±0.2^{aC}	1.4±0.1^{aB}	1.5±0.2^{aB}
	2	<1.0^{hC}	<1.0^{hD}	2.2±0.2^{gC}	3.1±0.2^{fC}	3.8±0.2^{eC}	4.0±0.3^{eC}	4.8±0.3^{dC}	5.9±0.4^{cB}	6.8±0.4^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	4	1.2±0.1^{hA}	1.8±0.3^{gC}	3.1±0.1^{fB}	4.2±0.1^{eB}	5.5±0.2^{dB}	6.3±0.1^{cB}	6.8±0.1^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	10	3.2±0.1^{cB}	6.4±0.1^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	15	4.5±0.1^{bA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
Flank	-20	<1.0^{bD}	<1.0^{bD}	<1.0^{bC}	<1.0^{bC}	<1.0^{bC}	<1.0^{bC}	1.5±0.0^{aC}	1.5±0.0^{aC}	1.5±0.1^{aC}	1.6±0.1^{aB}	1.6±0.2^{aB}
	2	<1.0^{iD}	<1.0 ^{iD}	2.1±0.0^{hC}	2.9±0.3^{gC}	3.4±0.3^{fC}	4.4±0.3^{eC}	5.1±0.2^{dB}	5.7±0.2^{cB}	6.5±0.2^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	4	1.2±0.1^{gC}	2.0±0.1^{fC}	3.7±0.3^{eB}	4.5±0.3^{dB}	5.4±0.2^{cB}	6.8±0.3^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	10	3.3±0.3^{cB}	6.6±0.3^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	15	5.1±0.3^{bA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
Shank	-20	<1.0^{fD}	<1.0^{fE}	<1.0^{fD}	1.2±0.2^{eD}	1.5±0.2^{dD}	1.5±0.2^{dD}	1.6±0.2^{cC}	1.6±0.1^{cC}	1.8±0.2^{bC}	2.1±0.1^{aB}	2.1±0.1^{aB}
	2	1.2±0.1^{iC}	1.2±0.3^{iD}	2.2±0.2^{hC}	3.0±0.2^{gC}	3.5±0.2^{fC}	4.0±0.1^{eC}	4.6±0.1^{dB}	5.3±0.3^{cB}	6.6±0.3^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	4	1.4±0.1^{gC}	2.0±0.3^{fC}	2.6±0.3^{eB}	3.5±0.2^{dB}	4.2±0.5^{cB}	6.6±0.1^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	10	3.1±0.1^{cB}	6.5±0.4^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	15	5.1±0.2^{bA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
Chuck	-20	1.2±0.1^{eD}	1.2±0.1^{eE}	1.2±0.1^{eD}	1.2±0.1^{eD}	1.3±0.1^{deC}	1.4±0.1^{deC}	1.5±0.1^{dC}	1.8±0.1^{cB}	2.0±0.2^{bB}	2.1±0.1^{abB}	2.2±0.1^{aB}
	2	1.3±0.1^{hD}	1.5±0.1^{gD}	2.5±0.1^{fC}	3.5±0.2^{eC}	4.4±0.1^{dB}	5.1±0.2^{cB}	6.3±0.4^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	4	2.1±0.2^{eC}	3.5±0.2^{dC}	4.7±0.2^{cB}	6.2±0.2^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	10	3.1±0.1^{cB}	6.3±0.2^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	15	4.7±0.2^{bA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
Loin	-20	<1.0^{eD}	<1.0^{eD}	<1.0^{eD}	<1.0^{eD}	1.2±0.0^{dD}	1.3±0.1^{cdD}	1.4±0.1^{cC}	1.7±0.2^{bC}	2.0±0.0^{abB}	2.1±0.1^{abB}	2.2±0.1^{aB}
	2	1.2±0.0^{hC}	1.2±0.0^{hC}	1.8±0.4^{gC}	2.3±0.3^{fC}	3.3±0.3^{eC}	4.8±0.1^{dC}	5.5±.0.1^{cB}	6.6±.0.1^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	4	1.3±0.1^{gC}	2.3±0.2^{fC}	3.2±0.2^{eB}	3.8±0.2^{dB}	4.8±0.2^{cB}	6.6±0.2^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	10	3.2±0.2^{cB}	6.7±0.2^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	15	4.2±0.2^{bA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}

$^{a, b, c, d, e, f, g, h, i}$Different letters within a row are significantly different ($p<0.05$).

$^{A, B, C, D, E}$Different letters within a column are significantly different ($p<0.05$).

<Table 4> Changes of Coliform for vacuum packaged different cuts of Hanwoo with different temperature during storage

Cuts	Tem. (°C)	Mean log CFU/cm^2 on storage day										
		3d	7d	14d	21d	28d	35d	42d	49d	56d	63d	84d
Strip loin	-20	<1.0^{bA}	<1.0^{bC}	<1.0^{bD}	<1.0^{bE}	<1.0^{bE}	<1.0^{bD}	<1.0^{bD}	<1.0^{bD}	1.2±0.2^{aD}	1.3±0.1^{aD}	1.3±0.2^{aC}
	2	<1.0^{iA}	<1.0^{gC}	<1.0^{gD}	1.3±0.3^{fD}	1.8±0.2^{fD}	2.6±0.4^{eC}	3.1±0.5^{deC}	3.3±0.5^{cdeC}	3.7±0.4^{cdC}	4.1±0.3^{bcC}	4.7±0.5^{bB}
	4	<1.0^{iA}	<1.0^{gC}	1.3±0.2^{fC}	2.1±0.4^{eC}	2.5±0.4^{eC}	3.4±0.5^{dB}	4.2±0.6^{cB}	4.5±0.4^{cB}	5.6±0.5^{bB}	6.3±0.3^{bB}	>7.0^{aA}
	10	<1.0^{eA}	2.6±0.4^{eB}	4.1±0.3^{dB}	5.5±0.5^{cB}	6.5±0.5^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	15	<1.0^{dA}	4.2±0.4^{cA}	6.3±0.4^{bA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
Rump	-20	<1.0^{cA}	<1.0^{dD}	<1.0^{dD}	<1.0^{dE}	<1.0^{dE}	<1.0^{dD}	<1.0^{dD}	<1.0^{dD}	1.2±0.1^{aD}	1.2±0.3^{aD}	1.3±0.2^{aC}
	2	<1.0^{hA}	<1.0^{hD}	<1.0^{hD}	1.3±0.1^{gD}	2±0.2^{fD}	2.5±0.2^{efC}	2.7±0.3^{defC}	3.0±0.5^{deC}	3.3±0.4^{cdC}	3.8±0.5^{cD}	4.5±0.5^{bB}
	4	<1.0^{iA}	1.3±0.2^{hC}	1.5±0.4^{ghC}	2.1±0.3^{fgC}	2.5±0.4^{fC}	3.8±0.4^{eB}	4±0.5^{deB}	4.7±0.4^{dB}	5.5±0.6^{cB}	6.4±0.6^{bB}	>7.0^{aA}
	10	<1.0^{eA}	3.2±0.3^{eB}	4.7±0.5^{dB}	5.8±0.6^{cB}	6.4±0.5^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	15	<1.0^{dA}	4±0.4^{cA}	6.4±0.4^{bA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
Flank	-20	<1.0^{bA}	<1.0^{dD}	<1.0^{dE}	<1.0^{dE}	<1.0^{dE}	<1.0^{dD}	<1.0^{dD}	1.2±0.2^{aD}	1.3±0.3^{aD}	1.3±0.2^{aD}	1.4±0.2^{aC}
	2	<1.0^{hA}	<1.0^{hD}	1.3±0.3^{gD}	1.5±0.3^{fgD}	1.7±0.5^{fgD}	2.2±0.4^{efC}	2.5±0.5^{eC}	3.6±0.3^{dC}	4.1±0.6^{cdC}	4.6±0.3^{bcC}	4.9±0.5^{bB}
	4	<1.0^{hA}	1.3±0.2^{fgC}	1.8±0.2^{fC}	2.1±0.2^{efC}	2.8±0.3^{eC}	3.4±0.4^{eB}	4.4±0.3^{dB}	5.2±0.5^{cB}	5.5±0.6 ^{cB}	6.4±0.5^{bB}	>7.0^{aA}
	10	<1.0^{eA}	3.5±0.5^{eB}	4.7±0.6^{dB}	5.7±0.5^{cB}	6.9±0.3^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	15	<1.0^{dA}	5.1±0.4^{cA}	6.8±0.5^{bA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
Shank	-20	<1.0^{bD}	<1.0^{bD}	<1.0^{bE}	<1.0^{bE}	<1.0^{bD}	1.2±0.1^{aD}	1.2±0.2^{aD}	1.2±0.2^{aD}	1.4±0.1^{aD}	1.4±0.2^{aC}	1.5±0.2^{aC}
	2	<1.0^{iD}	<1.0^{iD}	1.4±0.2^{hD}	1.8±0.3^{ghC}	2.5±0.5^{fgC}	3.1±0.4^{efC}	3.6±0.2^{deC}	4.0±0.5^{cdC}	4.4±0.3^{bcC}	5.1±0.6^{bB}	6.5±0.3^{aB}
	4	1.5±0.2^{hC}	1.7±0.2^{hC}	2.4±0.4^{ghC}	3.3±0.7^{fgB}	4.1±0.5^{efB}	4.4±0.4^{deB}	5.0±0.5^{cdB}	5.6±0.7^{bcB}	6.5±0.6^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	10	3.1±0.5^{dB}	4.8±0.5^{eB}	6.4±0.6^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	15	4.4±0.5^{cA}	6.9±0.3^{bA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
Chuck	-20	<1.0^{cD}	<1.0^{cE}	<1.0^{cE}	<1.0^{cD}	<1.0^{cD}	1.3±0.1^{abD}	1.4±0.2^{abD}	1.4±0.2^{abD}	1.5±0.1^{abC}	1.4±0.2^{abC}	1.6±0.3^{aC}
	2	<1.0^{hD}	1.8±0.4^{ghD}	2.2±0.3^{fgC}	2.7±0.2^{fC}	3.3±0.3^{eC}	3.8±0.6^{deC}	4.1±0.4^{dC}	4.3±0.5^{dB}	5.1±0.3^{cB}	6.2±0.3^{bB}	>7.0^{aA}
	4	1.8±0.2^{hC}	2.7±0.3^{gC}	3.5±0.4^{fC}	4.1±0.3^{efB}	4.7±0.3^{deB}	5.3±0.5^{cdB}	5.7±0.7^{cB}	6.8±0.2^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	10	3.0±0.3^{dB}	4.4±0.6^{cB}	6.6±0.5^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	15	4.3±0.5^{cA}	6.7±0.4^{bA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
Loin	-20	<1.0^{bD}	<1.0^{bE}	<1.0^{bE}	<1.0^{bD}	<1.0^{bD}	1.1±0.1^{aD}	1.1±0.2^{aD}	1.1±0.1^{aC}	1.3±0.3^{aC}	1.4±0.2^{aC}	1.4±0.3^{aB}
	2	<1.0^{hD}	1.3±0.1^{gD}	1.4±0.3^{fgD}	1.6±0.2^{fC}	2.5±0.4^{eC}	3.3±0.5^{dC}	3.8±0.4^{cdC}	4.1±0.6^{cB}	4.9±0.5^{bcB}	5.3±0.6^{bB}	6.8±0.3^{aB}
	4	1.2±0.2^{gC}	1.5±0.3^{gfC}	2.0±0.3^{fC}	3.5±0.2^{eC}	4.8±0.3^{dB}	5.3±0.4^{cdB}	5.8±0.3^{cB}	6.8±0.5^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	10	3.5±0.3^{dB}	5.5±0.5^{cB}	6.4±0.7^{bB}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}
	15	4.1±0.5^{cA}	6.6±0.5^{bA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}	>7.0^{aA}

$^{a, b, c, d, e, f, g, h, i}$Different letters within a row are significantly different ($p<0.05$).

$^{A, B, C, D, E}$Different letters within a column are significantly different ($p<0.05$).

<Table 5> Spoilage points (6 log CFU/cm^2) of wrap and vacuum-packed cuts of beef cuts stored at the various temperatures

Tem. (℃)	Cuts	Shelf-life in wrap packaging		Shelf-life in vacuum packaging	
		TBC	Coliform	TBC	Coliform
-20	Strip loin	NR	NR	NR	NR
	Rump	NR	NR	NR	NR
	Flank	NR	NR	NR	NR
	Shank	NR	NR	NR	NR
	Chuck	NR	NR	NR	NR
	Loin	NR	NR	NR	NR
2	Strip loin	22 days	22 days	51 days	80 days
	Rump	21 days	24 days	50 days	80 days
	Flank	21 days	24 days	51 days	75 days
	Shank	21 days	24 days	52 days	71 days
	Chuck	13 days	21 days	38 days	63 days
	Loin	21 days	24 days	46 days	75 days
4	Strip loin	12 days	21 days	31 days	56 days
	Rump	12 days	22 days	35 days	53 days
	Flank	12 days	21 days	32 days	53 days
	Shank	11 days	14 days	33 days	51 days
	Chuck	7 days	11 days	28 days	45 days
	Loin	11 days	12 days	33 days	36 days
10	Strip loin	5 days	6 days	6 days	16 days
	Rump	10 days	6 days	6 days	16 days
	Flank	5 days	6 days	6 days	15 days
	Shank	4 days	6 days	6 days	12 days
	Chuck	4 days	6 days	6 days	11 days
	Loin	5 days	6 days	6 days	11 days
15	Strip loin	2 days	5 days	5 days	6 days
	Rump	3 days	5 days	5 days	6 days
	Flank	2 days	4 days	5 days	5 days
	Shank	2 days	4 days	5 days	5 days
	Chuck	3 days	5 days	5 days	5 days
	Loin	3 days	5 days	5 days	5 days

NR, not reached

에 6 log CFU/g을 초과함으로써 본 연구의 진공포장 결과(32일)보다 2배 이상 빠르게 도달하였다. 이러한 결과는 4 log CFU/g 이상인 높은 초기 미생물의 농도 때문일 것으로 사료된다. 결과적으로 미생물의 증식 속도는 포장방법 및 온도에 따라 큰 영향을 받았으며, 진공포장 후 2℃에 저장 유통 및 보관하는 것이 유통기한 연장 및 품질 유지에 가장 효과적인 것으로 판단된다. 다만, 초기 미생물수가 높게 나타났던 목심의 경우, 분석된 부위 중 가장 빠르게 부패 시점에 도달하였기 때문에($p<0.05$), 미생물에 의한 소비기한 설정 시, 목심은 다른 부위와 비교하여 저장 기간을 짧게 설정해야 할 것으로 사료된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 랩포장 및 진공포장한 한우의 다양한 부위(채끝, 설도, 양지, 사태, 목심, 등심)를 다양한 온도(–20, 2, 4, 10, 15℃)에 보관하면서 총세균수와 대장균군수의 변화를 조사하였다. 초기미생물 수준은 목심 부위에서 2.0 log CFU/cm^2 수준으로 다른 부위(1.1-1.3 log CFU/cm^2)에 비해 높게 나타났으며, 모든 부위에서 저장 기간이 길어질수록 일반세균수(TBC: Total Bacteria Count) 및 대장균군수(Coliform)가 증가하였다. 랩포장과 비교할 때 진공포장은 부패를 효과적으로 지연시켰다. 일반세균수는 6 log CFU/cm^{2}를 초과하

는 데 걸리는 시간이 랩포장의 경우 2, 4℃에서 각각 약 21일과 11일이었고, 진공포장의 경우 각각 약 50일과 32일이었다. 초기 미생물수와 관계없이 10, 15℃에서 보관하는 경우 랩포장의 일반세균수가 각각 약 4일과 3일 만에 6 log CFU/cm^{2}를 초과했으며, 진공포장한 소고기의 경우 각각 약 6일과 5일 만에 해당 수준을 초과하였다. 상대적으로 초기미생물수가 높았던 목심 부위는 동일한 조건에서 더 빠르게 부패 지점에 도달하였다. 종합적으로 볼 때, 진공포장하여 2℃에 저장 유통 및 보관하는 것이 유통기한 연장 및 품질 유지에 가장 효과적인 것으로 판단된다. 또한 목심과 같이 초기 미생물 오염도가 높은 부위는 미생물 오염을 낮출 수 있는 세심한 현장 품질 관리가 필요할 것으로 사료된다.

저자 정보

김종희 (농촌진흥청 국립축산과학원 축산물 이용과, 전문연구원, 0000-0001-8669-993x)

이은선 (농촌진흥청 국립축산과학원 축산물 이용과, 농업연구사, 0000-0002-3957-0575)

오미화 (농촌진흥청 국립축산과학원 축산물 이용과, 농업연구관, 0000-0001-7838-5260)

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제명: 한우고기 유통환경·안전성 정보 모니터링 및 통합관리 시스템 개발, 과제번호: PJ01706701) 및 2024년도 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원 과정 지원 사업에 의해 이루어진 결과이며 지원에 감사드립니다.

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

References

Barcenilla C, Alvarez-Ordonez A, Lopez M, Alvseike O, Prieto M. 2022. Microbiological safety and shelf-life of low-salt meat products-A Review. Foods, 11(15):2331

Bergey DH. 1939. Determinative bacteriology. Baltimore: Williams & Wilkins, 556

Chen J, Brody AL. 2013. Use of active packaging structures to control the microbial quality of a ready-to-eat meat product. Food Control, 30(1):306-310

Cho S, Lee W, Seol KH, Kim Y, Kang SM, Seo H, Van Ba, H. 2020. Comparison of storage stability, volatile compounds and sensory properties between coarsely-and finely-marbled 1+ grade Hanwoo beef loins. Food Sci. Anim. Resour., 40(4):497

De Filippis F, La Storia A, Villani F, Ercolini D. 2013. Exploring the sources of bacterial spoilers in beefsteaks by culture-independent high-throughput sequencing. PLoS One, 8(7), e70222

Djordjević JASNA, Bošković M, Lazić IB, Djordjević VESNA, Baltić T, Laudanović M, Baltić MŽ. 2019. Spoilage-related bacteria of pork and beef minced meat under vacuum and modified atmosphere. Rom. Biotechnol. Lett., 24:658-668

Ellis DI, Goodacre R. 2001. Rapid and quantitative detection of the microbial spoilage of muscle foods: current status and future trends. Trends Food Sci. Technol., 12(11):414-424

Ercolini D, Ferrocino I, Nasi A, Ndagijimana M, Vernocchi P, La Storia A, Villani F. 2011. Monitoring of microbial metabolites and bacterial diversity in beef stored under different packaging conditions. Appl. Environ. Microbiol., 77(20):7372-7381

Gribble A, Mills J, Brightwell G. 2014. The spoilage characteristics of Brochothrix thermosphacta and two psychrotolerant Enterobacteriacae in vacuum packed lamb and the comparison between high and low pH cuts. Meat Sci., 97(1):83-92

Jaja IF, Green E, Muchenje V. 2018. Aerobic mesophilic, coliform, Escherichia coli, and Staphylococcus aureus counts of raw meat from the formal and informal meat sectors in South Africa. Int. J. Environ. Health Res., 15(4):819

Jin SK, Kim IS, Hah KH. 2002. Changes of pH, drip loss and microbes for vacuum packaged exportation pork during cold storage. Food Sci. Anim. Resour., 22(3):201-205

Kim AN, Lee KY, Han CY. Choi SG. 2023. Effect of different vacuum levels for beef brisket during cold storage: A microbiological and physicochemical analysis. Food Microbiol., 114:104287

Kim HJ, Kim D, Kim HJ, Song SO, Song YH, Jang A. 2018. Evaluation of the microbiological status of raw beef in Korea: Considering the suitability of aerobic plate count guidelines. Korean J. Food Sci. Anim. Resour., 38(1):43

Kim JH, Lee, ES, Oh, MH. 2024. Effects of various temperatures and packaging methods on the storage properties of Hanwoo tenderloin. J. Korean Soc. Food Cult., 39(2):119-126

Kim KR, Yoo HS. 1997. A Study on the Consumers' Behavior and the Marketing of Beef Meat in Korea. Ann. Anim. Resour. Sci., 8:98-11

Kim S, Lee HJ, Kim M, Yoon JW, Shin DJ, Jo C. 2019. Storage stability of vacuum-packaged dry-aged beef during refrigeration at 4℃. Food Sci. Anim. Resour., 39(2):266

Kim SY, Jeon SG, Lee KI. 2014. An analysis of consumers' preferences for quality-graded beef products. J. Rural Dev., 37(3):1-24

Ko SY, Yang CJ. 2008. Effect of green tea probiotics on the growth performance, meat quality and immune response

in finishing pigs. Asian-Australas. J. Anim. Sci., 21(9): 1339-1347

Lee HJ, Choe J, Yoon JW, Kim S, Oh H, Yoon Y, Jo C. 2018. Determination of salable shelf-life for wrap-packaged dry-aged beef during cold storage. Korean J. Food Sci. Anim. Resour., 38(2):251-258

Mansur AR, Song EJ, Cho YS, Nam YD, Choi YS, Kim DO, Nam TG. 2019. Comparative evaluation of spoilage-related bacterial diversity and metabolite profiles in chilled beef stored under air and vacuum packaging. Food Microbiol., 77:166-172

Masiello SN, Martin NH, Trmčić A, Wiedmann M, Boor KJ. 2016. Identification and characterization of psychrotolerant coliform bacteria isolated from pasteurized fluid milk. J. Dairy Sci., 99(1):130-140

McMillin KW, Belcher JN. 2012. Advances in the packaging of fresh and processed meat products. In Advances in meat, poultry and seafood packaging. pp. 173-204

Moon JH, Sung M, Kim JH, Kim BS, Kim, Y. 2013. Quality factors of freshness and palatability of Hanwoo from their physicochemical and sensorial properties. Food Sci. Anim. Resour., 33(6):796-805

Nornberg MF, Friedrich RS, Weiss RD, Tondo EC, Brandelli A. 2010. Proteolytic activity among psychrotrophic bacteria isolated from refrigerated raw milk. Int. J. Dairy Technol., 63(1):41-46

Panagou EZ, Papadopoulou O, Carstensen JM, Nychas GJE. 2014. Potential of multispectral imaging technology for rapid and non-destructive determination of the micro-biological quality of beef filets during aerobic storage. Int. J. Food Microbiol., 174:1-11

Shin JS. 2020. A study on the change of beef consumption and recognition of aged meat. J. Korea Acad.-Ind. Coop. Soc., 21(9):373-379

Sowoidnich K, Schmidt H, Kronfeldt HD, Schwägele F. 2012. A portable 671 nm Raman sensor system for rapid meat spoilage identification. Vib. Spectrosc., 62:70-76

Xu MM, Kaur M, Pillidge CJ, Torley PJ. 2022. Microbial biopreservatives for controlling the spoilage of beef and lamb meat: Their application and effects on meat quality. Crit. Rev. Food Sci. Nutr., 62(17):4571-4592

Ministry of Agriculture and Food Rural Affairs. 2024. Available from: https://www.mafra.go.kr/, [accessed Sep. 3, 2024]

Ministry of Food and Drug Safety. Food code 2024. Available from: http://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/, [accessed Sep. 3, 2024]

OECD/FAO. 2023. Agricultural Outlook 2023-2032, Paris/Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. OECD Statistics, Available From: https://stats.oecd.org, [accessed, Oct. 25. 2024]

Received September 30, 2024; revised October 25, 2024; revised October 30, 2024; accepted October 31, 2024