

Original Article

안전한 건식 숙성육 제조를 위한 미생물 위해평가 및 HACCP 적용 방안

오혜민¹ · 이현정² · 조철훈^{2,3} · 윤요한^{1,4,*}¹숙명여자대학교 위해분석 연구센터 연구교수, ²서울대학교 식품바이오융합연구소 연구교수
³서울대학교 농생명공학부 교수, ⁴숙명여자대학교 식품영양학과 교수

Microbial Risk Assessment and HACCP Plan for the Safe Production of Dry Aged Meat

Hyemin Oh¹, Hyun Jung Lee², Cheorun Jo^{2,3}, and Yohan Yoon^{1,4,*}¹Risk Analysis Research Center, Sookmyung Women's University²Department of Agricultural Biotechnology, Center for Food and Bioconvergence,
Research Instrument of Agriculture and Life Science, Seoul National University³Instrument of Green Bio Science and Technology, Seoul National University⁴Department of Food and nutrition, Sookmyung Women's University

Abstract: Dry-aging is one of the traditional aging processes, especially for beef. This aging process is being popular, because it produces unique brown/roasted flavor and texture that consumers prefer. However, as it is exposed to outside without packaging food safety concerns have been raised. The objective of this study was to investigate the presence of total aerobic bacteria (TAB) and pathogenic bacteria in manufacturing environment and suggest the safety management plan for the production of dry-aged meat. Surface samples from 66 environmental and 6 beef carcass samples were collected. According to the monitoring results, the contamination levels of TAB were in the order of shelves (5.4 ± 1.1 Log CFU/cm²), cotton gloves (2.9 ± 0.2 Log CFU/cm²), and door knobs (2.8 ± 0.4 Log CFU/cm²) in the dry-aging room. In the door knobs, the level of mold was higher than that of yeast. These results indicate that the mold spores may be cross-contaminated with environmental factors inside the aging room. The risk factors that may occur during the manufacturing process were presented and possibility of risk was determined. From the aspect of microbiology, aging and trimming steps were determined as the critical control points. The temperature of the aging room should be maintained below 10°C and the humidity below 75-85%. Based on the monitoring and the risk assessment of the dry-aging process, we prepared the safety management plan for the production of dry-aged meat, and it should be useful in improving the food safety of dry-aged meat.

Key words: Dry-aged meat, microbial safety, management plan, hygiene

I. 서 론

세계 인구는 2018년 기준 76억 명에서 2050년에는 92억 명까지 매년 0.6% 증가할 것으로 예측하고 있으며(FAO 2009; Silva 2018), 이러한 인구 증가에 따라 단백질 공급을

위한 육류의 소비도 꾸준히 증가하고 있다. 국내 1인당 육류 소비량은 2000년 31.9 kg에서 2019년 기준 55.8 kg으로 증가하는 추세이며, 1인당 우육 소비량 역시 2000년 8.5 kg에서 2019년 13.0 kg으로 1.5배 증가한 것으로 보고되었다(KMTA 2021). 한우고기 소비유통 모니터링 보고서(Hanwoo Board 2021)에 따르면, 한우고기 주 구입 등급은 1⁺ 등급이 58.9%로 가장 높았고, 1등급이 21.0%, 1⁺⁺ 등급도 18.4%로 조사되었다. 또한, 주요 구입 부위는 등심(40.7%), 안심(14.0%), 갈비(13.3%), 채끝(12.5%) 등의 부드러운 구입용 부위를 선호하는 경향을 보이는 반면에 2, 3등급육과 저지방 부위의 소비는 매우 낮은 것으로 나타났다. 이러한 식육의

*Corresponding author: Yohan Yoon, Department of Food and Nutrition, Sookmyung Women's University, Seoul 04310, Korea
Tel: +82-2-2077-7585, Fax: +82-2-710-9479
E-mail: yyoona@sookmyung.ac.kr

등급과 부위에 따른 소비 불균형으로 인하여 판매 가격 차이 또한 심화되고 있는 추세이며, 재고량에 의한 적체현상으로 축산농가 및 식육 업체의 경제적 손실도 발생하고 있다.

숙성이란, 우육의 관능적 품질을 개선할 수 있는 방법으로 사후장식 후 딱딱하고 질겨진 근육을 냉장상태에서 연도와 풍미를 증진시키는 공정이다(Calvo *et al.* 2014; Ryu *et al.* 2018). 식육의 연도를 증진하기 위한 숙성 방법에는 건식 숙성(dry-aging)과 습식 숙성(wet-aging)으로 구분할 수 있다(Park & Kim 2020). 습식 숙성은 고기를 진공포장 상태로 0~5°C의 저온에서 숙성하는 방법으로 미생물생장 억제, 연도 개선 등의 이점이 있으나, drip 발생으로 인해 기호도 저하 문제가 발생할 수 있다(Ha *et al.* 2019). 반면에 건식 숙성은 포장하지 않은 고기를 공기 중에 그대로 노출한 채 1~5주간 온도와 습도 등을 조절하여 숙성하는 방법으로 독특한 풍미와 부드러운 육질을 느낄 수 있어 기호도 증진에 유리하지만(Lee *et al.* 2015; Seo *et al.* 2021), 수분 손실에 의한 수율 감소와 미생물 오염 가능성이 높다는 단점이 있다(Ha *et al.* 2019; Oh *et al.* 2019). Park *et al.* (2016) 연구에 따르면, 고등급(1등급) 한우와 건식 숙성된 3등급 한우와 비교하였을 때 건식 숙성 3주 후부터 1등급 한우와 비슷한 수준의 풍미와 연도를 나타내는 결과를 확인하였으며, 건식 숙성기간에 따른 향미, 연도, 다즙성 선호도와 구입의사를 조사했을 때 숙성기간이 길어질수록 연도와 다즙성에 대한 선호도가 증가하였다(Laster 2008; Park & Kim 2021). Li *et al.* (2014)의 연구에 따르면, 건식 및 습식 숙성육 간의 관능평가를 비교한 결과 건식 숙성육의 종합적 기호도, 연도, 다즙성에 대한 소비자 선호도가 각각 57.6, 61.7, 61.0%로 높게 나타났다.

이처럼 품질적 특성 및 소비자 선호도가 높은 건식 숙성 방법에 영향을 미치는 주요 인자는 숙성 기간, 저장 온도, 상대습도 등이 있으며, 이는 고기의 외관과 풍미, 유통기한 및 미생물에 의한 오염과 직결되는 요소라고 볼 수 있다(Lee & Yoon 2015; Kim *et al.* 2021). 또한, 건식 숙성 생산 공정에서 여러 가지 위험요인과 교차오염에 대한 위험도 존재할 수 있으며, 숙성 중 성장할 수 있는 안전성이 확인되지 않은 곰팡이의 경우에는 독소에 대한 위해성을 가져올 수 있다(Kang *et al.* 2010). 국외에서는 건식 숙성육 및 건조 육제품에 대한 미생물학적 위험성을 인지하여 물리적, 화학적 방법을 이용한 연구가 진행되고 있으나, 국내에서는 건식 숙성육의 안전성에 대하여 진행된 연구가 거의 없는 실정이다. 따라서, 본 연구는 건식 숙성육 생산 공정 중 미생물 오염도를 조사하고 위험도 평가모델을 통하여 숙성 공정에서 발생할 수 있는 위해요소를 파악하였다. 오염도 조사와 위해요소의 위험도 평가를 통하여 중요관리점을 설정하고 이를 바탕으로 국내 상황에 적용할 수 있는 건식 숙성육의 안전한 생산 방법을 위한 과학적인 관리방안을 제시하고자 하였다.

II. 연구내용 및 방법

1. 대상 시료 및 채취

건식 숙성육의 숙성 공정 중 중요관리점을 결정하기 위하여 숙성 공정의 미생물 모니터링을 통하여 위해요소를 평가하였다. 숙성 공정 중 미생물 오염의 가능성이 있을 것으로 판단되는 환경요소 10곳(선반, 문손잡이, 도마, 트레이, 칼, 컷팅기, 면장갑, 라텍스 장갑, 저울, 선풍기)을 설정하였고, 원료육도 함께 모니터링을 진행하였다. 각 환경요소의 5×5 cm²의 면적을 0.9% NaCl이 완충용액으로 함유된 pipette swab (3MTM, Maplewood, Minnesota, USA)을 이용하여 2차례 모니터링을 통해 환경요소의 검체 당 3개의 시료를 채취하여 총 66건의 환경시료와 6개의 원료육 시료를 채취하였다.

2. 실험 방법

채취한 환경요소에 대하여 일반세균, 곰팡이 및 효모, 대장균군과 대장균, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* 모니터링을 진행하였으며, 미생물 오염도가 높게 확인된 위해요소를 탐색하여 중요관리점으로 선정하였다.

1) 일반세균 및 진균(곰팡이, 효모)

시험원액을 0.1% peptone water (PW; Becton, Dickinson and Company, Sparks, MD, USA)를 이용하여 단계별로 십진 희석한 후 일반세균 수를 확인하기 위하여 tryptic soy agar (TSA; Becton, Dickinson and Company, USA) 배지에 분주하여 도말하였고, 곰팡이와 효모는 Potato dextrose agar (PDA; Becton, Dickinson and Company, USA)에 분주하여 도말하였다. TSA는 35°C에서 24시간 배양하였고, PDA는 20°C에서 7일간 배양 후 각각 일반세균과 곰팡이, 효모의 집락을 계수하였다.

2) 대장균군 및 대장균

시험원액을 0.1% PW를 이용하여 단계별로 십진 희석한 후 PetrifilmTM *E. coli*/Coliform Count Plates (3MTM, Maplewood, Minnesota, USA)에 분주하고, 35°C에서 24시간 배양하여 기포를 내는 붉은색 집락은 대장균군, 푸른색 집락은 *E. coli*로 계수하였다. *E. coli* 집락은 16s rRNA 분석을 진행하였고 <Table 1>, *E. coli*로 동정된 것만 *E. coli* 세균수로 결정하였다. 병원성의 유무를 확인하기 위하여 PowerCheckTM Diarrheal *E. coli* 8-plex Detection Kit (Kogenbiotech, geumcheon, Seoul, Korea)를 사용하여 분석하였다. PCR premix 10 μL와 primer Mix (Diarrheal *E. coli* 8-plex)를 5 μL, Template DNA 5 μL를 첨가하여 총 20 μL의 반응물을 만든 후 PCR을 진행하였다. PCR 반응 조건으로는 초기 변성(initial denaturation) 단계를 95°C에서 12분 진행하였고,

<Table 1> Primer list used in this study for 16s rRNA analysis

Mircoorganisms	Gene	Sequence (5'→3')	Size (bp)	Reference
<i>Escherichia coli</i>	<i>uidA</i>	F-GCG AAA ACT GTG GAA TTG GG R-TGA TGC TCC ATA ACT TCC TG	252	Cebula <i>et al.</i> 1995
<i>Staphylococcus aureus</i>	rRNA2	F-GTA GGT GGC AAG CGT TAT CC R-CGC ACA TCA GCG TCA G	228	Monday & Bohach 1999
<i>Listeria monocytogenes</i>	<i>hlyA</i>	F-CCT AAC ATA TCC AGG TGC TCT C R-CTG ATT GCG CCG AAG TTT AC	350	Burall <i>et al.</i> 2011
<i>Salmonella</i>	<i>invA</i>	F-GCT GCG CGC GAA CGG CGA AG R-TCC CGG CAG AGT TCC CAT T	389	Ferretti <i>et al.</i> 2001

변성(denaturation) 95°C에서 30초, 가열냉각(annealing) 60°C에서 45초, 증폭(extension) 72°C에서 1분으로 변성-가열냉각-증폭의 과정을 32회 반복하였으며 마지막으로 72°C에서 10분 동안 반응시킨 후 4°C에 냉각하였다. 반응이 종료된 산물은 2% agarose gel에서 전기영동을 통하여 확인하였다.

3) *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella*

시험원액을 0.1% PW를 이용하여 단계별로 십진 희석한 후 *S. aureus*는 mannitol salt agar (MSA; Becton, Dickinson and Company), *L. monocytogenes*는 polymyxin acriflavine lithium-chloride ceftazidime aesculin mannitol agar (PALCAM; Becton, Dickinson and Company), *Salmonella*는 xylose lysine deoxycholate agar (XLD; Becton, Dickinson and Company)에 분주하여 도말하고 *S. aureus*와 *Salmonella*는 37°C에서 24시간 배양하였고, *L. monocytogenes*는 30°C에서 48시간 배양하였다. *S. aureus*는 1차로 응집반응을 통해 의심집락을 계수하였으며, 응집반응이 확인된 집락을 취하여 16s rRNA 분석을 진행하였다<Table 1>. *L. monocytogenes*와 *Salmonella*는 배양된 선택 배지에 자란 의심 집락을 계수하였으며, 의심 집락을 취하여 16s rRNA 분석을 진행하였다<Table 1>. 전체 집락의 수에서 16s rRNA 분석을 통한 양성 집락의 비율을 계산하여 세균수를 결정하였다.

3. 자료 분석

1) 미생물 분석

건식 숙성 공정의 환경 요소 모니터링의 정량 분석 결과는 mean±standard deviation (SD)로 표현하였다. 또한 모니터링 결과들의 통계학적 분석은 SAS® (version 9.3; SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하였으며 통계적 유의성을 검증하기 위해 일반화 선형 모델(generalized linear model, GLM)을 사용하였고, 유의수준은 p<0.05로 설정하였다.

식품에 사용되는 기구 및 용기 표면의 일반세균수가 2.7 Log CFU/100 cm² 미만일 때 만족할 만한 수준으로 판단하며, 2.7~3.4 Log CFU/100 cm² 범위는 시정을 필요로 하고, 3.4 Log CFU/100 cm² 이상일 경우 즉각적인 조치를 강구해

야 한다고 제시한 Harrigan & McCance (1976)의 기준을 참고하였다(Jo *et al.* 2017). 본 연구의 미생물 분석 결과를 바탕으로 환경요소의 일반세균수가 4 Log CFU/cm² 이상의 경우 숙성 공정에서 미생물학적 오염 가능성이 높을 것으로 판단하였고, 2~4 Log CFU/cm² 수준의 경우 식품의 표면 접촉 시 교차오염의 영향력이 클 것으로 판단하였다. 2 Log CFU/cm² 미만의 경우에는 오염의 영향은 존재하나 크지 않을 것으로 사료되어 만족할만한 수준으로 판단하였다. 위의 기준을 바탕으로 숙성 공정에서의 미생물 분석 결과를 활용하여 오염 가능성에 대한 위해도를 판단하였다.

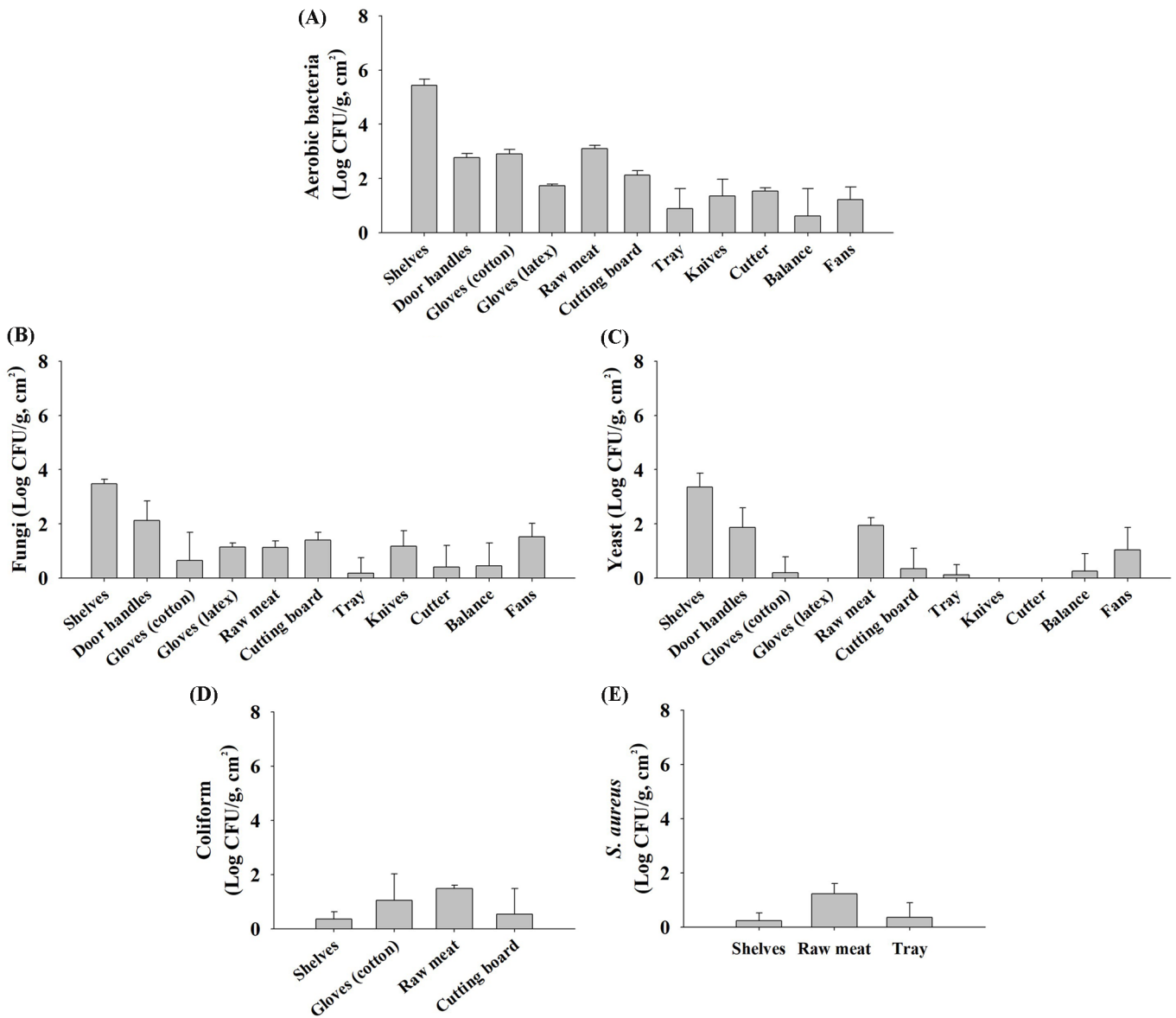
2) 위해요소 관리수준 평가

오염도 결과를 바탕으로 위해요소를 관리 및 제어하기 위하여 '위험도 평가모델(Animal and Plant Quarantine Agency 2014)'을 바탕으로 위험도 수준을 결정하고 그에 따른 위해요소의 관리수준을 제시하였다. 위험 발생의 가능성은 숙성 공정 중 위해요소에 대한 미생물 분석 결과를 바탕으로 위험 발생 가능성을 판단하여 적용하였으며, 위험 발생의 심각성은 공정단계에서 발생 가능한 위해에 대하여 인체의 건강 장애를 일으킬 수 있는 정도에 따라 판단하였다. 위해요소의 관리수준은 위험 발생의 가능성과 심각성에 대한 위험도 분석 결과를 통하여 만족(satisfactory, Sa), 경한 결함(minor deficiency, Mi), 중한 결함(major deficiency, Ma), 치명적 결함(critical deficiency, Cr)으로 제시하였고, 위험도 분석 결과를 바탕으로 위험 발생의 가능성과 심각성이 높아 치명적 결함으로 구분된 위해요소는 건식 숙성 공정의 중요관리점으로 제시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 건식 숙성 공정에서의 미생물 분석

건식 숙성육을 생산하는 공정 중 위해요소를 평가하기 위하여 환경요소 10곳에 대하여 모니터링을 진행한 결과<Figure 1>, 건식 숙성육을 숙성하는 선반에서 일반세균(5.4±1.1 Log CFU/cm²), 곰팡이(3.5±0.8 Log CFU/cm²),



<Figure 1> Investigation of contamination level of environmental factors in dry aging process

A: Aerobic bacteria, B: Fungi, C: Yeast, D: Coliform, E: *Staphylococcus aureus*

효모(3.4 ± 2.5 Log CFU/cm²)의 오염도가 가장 높게 확인되었으며, 병원성 세균으로 *S. aureus* (0.2 ± 1.0 Log CFU/cm²)와 대장균군(0.4 ± 1.4 Log CFU/cm²)도 존재하였다<Figure 2>. 그 외의 환경요소에서 일반세균의 오염도 확인 결과, 면장갑(2.9 ± 0.2 Log CFU/cm²), 문손잡이(2.8 ± 0.4 Log CFU/cm²), 도마(2.1 ± 0.3 Log CFU/cm²), 라텍스 장갑(1.7 ± 0.1 Log CFU/cm²), 커팅기(1.5 ± 0.2 Log CFU/cm²), 칼(1.4 ± 1.2 Log CFU/cm²), 선풍기(1.2 ± 0.9 Log CFU/cm²), 트레이(0.9 ± 1.5 Log CFU/cm²), 저울(0.6 ± 1.4 Log CFU/cm²)로 확인되었으며<Figure 1A>, 특히 작업자의 손이 직접 닿는 면장갑, 문손잡이, 라텍스 장갑과 원료육이 닿는 도마 등에서 일반세균수가 2~4 Log CFU/cm² 수준으로 검출이 확인되어 식품의 표면 접촉 시 교차오염의 영향력이 클 것으로 판단

하였다. 원료육의 경우에도 3.1 ± 0.4 Log CFU/cm²의 일반세균이 검출되었고, 국내 식육 판매장에서 식육에 대한 일반세균수는 1×10^7 CFU/cm² 이하로 권장하고 있어(Kim *et al.* 2018) 권고 수치보다는 낮은 오염도로 확인되었으나, 원료육의 초기오염도는 건식 숙성육 제조 공정에서의 위해도 발생 가능성을 높일 수 있는 위해요소로 판단되었다. Ko *et al.* (2013)의 연구에 따르면, 서울지역의 식육판매점에서 판매되고 있는 우육에 대한 일반세균수가 1.1×10^2 CFU/g에서 1.5×10^6 CFU/g으로 업소별로 매우 큰 차이를 보였다. 건식 숙성육의 경우, 낮은 온도와 습도 하에 장기간 보관하며 숙성을 진행하기 때문에 원료육의 초기오염도를 낮춰 미생물의 성장을 제어해야 한다. 곰팡이와 효모는 가장 높은 오염도를 나타내는 선반을 제외하고 문손잡이와 선풍기에서 높

은 오염도를 나타냈다<Figure 1A, 1B>. 문손잡이와 선풍기에서 곰팡이는 각각 $2.1 \pm 1.8 \text{ Log CFU/cm}^2$ 와 $1.5 \pm 1.0 \text{ Log CFU/cm}^2$ 로 확인되었고, 효모는 각각 $1.9 \pm 1.8 \text{ Log CFU/cm}^2$ 와 $1.5 \pm 1.7 \text{ Log CFU/cm}^2$ 로 확인되었다. 그 외의 환경요소(장갑, 칼, 도마 등)에서는 효모의 오염도보다 곰팡이의 오염도가 높게 확인되었으며, 이는 숙성 기간 동안 건식 숙성육 표면에 자라는 곰팡이 포자가 작업자의 손이나 작업도구, 작업실 내부의 선풍기를 통하여 환경요소에 전파될 가능성이 있어 효모보다 전파력이 높을 것으로 사료된다. 병원성 세균의 분석 결과, *Listeria*와 *Salmonella*는 모든 시료에서 검출한계 미만($< -0.4 \text{ Log CFU/cm}^2$)으로 확인되었고 대장균의 경우에도 일부 선반과 면장갑에서 각각 0.3 ± 0.2 , $0.0 \pm 0.6 \text{ Log CFU/cm}^2$ 로 매우 낮은 수준으로 검출되었다. 검출된 대장균의 병원성을 확인한 결과, 모두 비병원성의 대장균으로 확인되었다. 대장균군의 경우에는 선반($0.4 \pm 1.4 \text{ Log CFU/cm}^2$), 면장갑($1.0 \pm 1.4 \text{ Log CFU/cm}^2$), 도마($0.5 \pm 1.9 \text{ Log CFU/cm}^2$)와 원료육($1.5 \pm 0.2 \text{ Log CFU/cm}^2$)에서 매우 낮은 수준 검출되었으며, 국내 식육에 대한 대장균군 검출한계는 2 Log CFU/cm^2 로 권장하고 있어 권고 수치보다 낮은 오염도로 확인되었다<Figure 1D>. *S. aureus*의 오염도 조사 결과, 대부분의 시료에서 *S. aureus* 의심 집락이 검출되지 않았고(검출한계 미만, $< -0.4 \text{ Log CFU/cm}^2$), 선반($0.2 \pm 1.0 \text{ Log CFU/cm}^2$)과 트레이($0.4 \pm 1.1 \text{ Log CFU/cm}^2$)시료 일부에서 *S. aureus*가 검출되었으나 오염도가 매우 낮았다. *S. aureus*는 독소형 식중독 세균으로 장독소를 생성하기 위해서는 5 Log CFU/g ($5 \text{ Log CFU/100 cm}^2$) 이상의 수준으로 오염되어야 독소가 생성되므로(Loir et al. 2003; Shim et al. 2013), 본 연구 결과의 오염도 수치는 위험한 수준이 아니라고 판단된다. 그러나 식품의약품안전처 식중독 통계에 따르면 *S. aureus* 식중독은 2002년 이후 매년 꾸준히 발생하므로 숙성 및 보관 과정에서 *S. aureus*가 오염되지 않도록 꾸준한 관리가 필요할 것으로 사료된다(MFDS 2021).

2. 공정 단계 별 관리방안 제시

건식 숙성육 제조 공정 단계는 원료육 구매 및 준비, 원료육 보관, 건식 숙성 준비, 건식 숙성 과정, 트리밍, 절단, 포장과 보관 및 판매의 8단계로 구분하였다. 건식 숙성육 생산 공정 단계의 특성에 따라 발생 가능한 생물학적, 물리적, 화학적 위해요소를 제시하여 위험도 평가모형을 마련하였다<Table 2>. 위험도 평가에 활용된 위험도 평가모형은 건식 숙성육의 안전성에 영향을 미치는 잠재적 위해요소에 대한 위험도를 결정하기 위하여 위해요소의 심각성과 발생가능성을 제시하였다<Table 2>. 위해요소에 대한 결과의 심각성은 인체의 건강장애를 일으킬 수 있는 정도에 따라 판단하였으며, 결과의 심각성은 최종 소비자의 보건과 관련하여 최악의 상황을 기준으로 결정하였으며 병원성 미생물은 대부분 감염에 대한 증상이 높음으로 분류되지만, 물리적 위해는 낮음

또는 보통으로 분류하였다. 위해의 발생 가능성은 해당 요소 및 과정에서 발생할 수 있는 특정 위해의 발생 가능성, 즉 최종 소비자가 위해에 노출될 수 있는 가능성을 의미하며 이는 작업장 내에 사용되는 위해요소에 대한 미생물 분석 결과에 따라 위해의 발생 가능성을 제시하였다. 예를 들어, 원료육의 초기오염도 수준이 높을 경우 공정 중에 원료육에 존재하는 병원성 미생물이 성장할 수 있으므로 위해의 발생 가능성은 보통이나 높음으로 분류될 수 있다. 단, 보관 온도와 습도가 부적절할 경우 원료육과 선반에 존재하는 일반세균 및 병원성 미생물이 빠르게 성장할 수 있으므로 숙성 준비 및 숙성 단계에 대한 위해 발생 가능성은 높은 것으로 판단하였다. 미생물 분석 결과, 제품 표면에 접촉할 경우 교차오염을 발생시킬 수 있는 가능성이 높은 면장갑과 도마 등이 주로 사용되는 공정 단계에서는 교차오염에 대한 위해발생 가능성이 높은 것으로 판단하였다. 특히 숙성육 표면을 제거하는 트리밍 단계에서는 표면에 존재하는 곰팡이가 장갑, 칼, 도마 등에 의해 교차오염 될 수 있으므로 위해 가능성이 높은 것으로 판단하였다.

위험도 평가 모형을 건식 숙성육 생산 공정에 적용하여 위험도 분석 결과에 대한 단계별 관리방안을 제시하였다<Table 3>. 건식 숙성 공정 중의 물리적, 화학적 위해요소는 낮음(Mi)이나 보통(Ma)으로 분류되었으나, 건식 숙성 준비단계와 숙성단계 그리고 트리밍 단계까지의 미생물 교차오염과 성장에 대한 위험도가 존재할 수 있을 것으로 사료되었다. 특히 온도와 습도 조절 및 교차오염에 대한 주의가 각별히 필요할 것으로 판단되었다. 위해 발생가능성과 심각성에 대한 평가 결과를 종합적으로 판단하였을 때 관리수준이 치명적 결함(Cr)을 나타내는 공정단계의 경우에는 중점적인 위생관리가 필요할 것으로 판단되었다. 따라서 건식 숙성 준비단계에서는 원료육의 온도 상승을 제어하기 위하여 가공실 온도를 10°C 이하로 유지해야 하며, 작업 전에 미리 작업실 온도를 설정해 놓은 상태로 작업을 시작해야 한다. 또한, 숙성단계에서는 온도와 습도 유지가 숙성 미생물의 성장과 병원성 미생물의 제어에 가장 중요한 영향을 미칠 수 있기 때문에 숙성과 온도는 4°C 이하로 유지하며, 내부 습도는 75~85% 수준을 유지할 수 있도록 관리해야 한다. 오염도 조사 결과를 바탕으로 선반의 청결관리 또한 중요하며, 작업 전후로 세척 및 소독을 철저히 하면서 온도와 습도를 유지할 때 안전한 건식 숙성육을 생산할 수 있을 것으로 판단된다. 트리밍 시에는 숙성육 표면에 성장한 곰팡이와 효모가 칼과 도마, 작업자의 손을 통해 전달되지 않도록 교차오염에 대한 주의가 각별히 필요하며, 작업 전 후로 세척 및 소독을 철저히 진행하도록 해야 한다. 오염도 조사 결과를 보았을 때, 작업자 손을 통해 교차오염 될 수 있는 면장갑은 사용 시마다 교체할 수 있도록 하고, 트리밍에 사용되는 칼과 제품 절단에 사용되는 칼을 구분하여 작업을 진행하도록 하는 것이 교차오염 제어에 효과적일 것으로 사료된다.

<Table 2> Evaluation model of the potential risks associated with hazards for each process of dry-aging

Process	Risk factors	Causes	Risk assessment		
			Probability	Severity	
Purchasing and receiving raw meat	Biological	Initial bacterial concentration of raw meat	Unhygienic slaughter and prepare processes	Medium*	Medium
			Transport vehicle and raw meat core temperature over 5°C	Medium*	
			Damage to packaging and microbial cross-contamination from slaughter equipment	Low	
	Physical	Physical adulteration	Adulterated due to damage to packaging materials	Medium	Low
Chemical	Dry residues (antibiotics)	Possibility of antibiotic residue due to non-compliance of withdrawal periods	Low	Medium	
Storage of meat	Biological	Bacterial growth for storage	High storage temperature	High	Medium
			Damage to packaging and microbial cross-contamination from potential hazard factors	Low	
	Physical	Physical adulteration	Adulterated from packaging materials	Medium	Low
Prepare dry-aging	Biological	Cross contamination	Cross-contamination by workers	High	Medium
			Cross-contamination by workplaces or equipment	High	
			Bacterial growth	Rising temperature of raw meat during working	
			Lack of space to restrict airflow	Low	High
	Physical	Physical adulteration	Possibility of adulteration by equipment or workers during aging	Medium	Low
Dry age storage	Biological	Bacterial growth	Inadequate temperature	High	High
			Inadequate humidity	High	
			Improper airflow regulation	Medium	
			Microbial control failure due to raw meat contamination	Medium	
			Cross-contamination by workers, workplaces or equipment	Medium	
Trimming	Biological	Cross contamination	Cross-contamination by trimmed crust	High	High
			Cross-contamination by workplace or equipment	High	
		Bacterial growth	Rising temperature of product surface during trimming process	Medium	
Cutting	Biological	Cross contamination	Residual microorganisms on the surface of meat due to insufficient trimming process	High	Medium
			Cross-contamination by equipment	High	
		Bacterial growth	Rising temperature of product surface during cutting process	Medium	
	Physical	Metal contamination	Metallic contamination by knives or equipment	Low	Medium
Packaging	Biological	Cross contamination	Cross-contamination by workers, workplace or equipment	Medium	High
			Bacterial growth	Rising temperature of product surface during packaging process	Low
Storage and sale	Biological	Bacterial growth	Rising temperature of product surface during storage and sales process	Low	High
			Passed expiration date	Low	

*High risk: investigate the process and implement controls immediately; Medium risk: keep the process going; however, a control plan must be developed and should be implemented as soon as possible; Low risk: keep the process going, but monitor regularly. A control plan should also be investigated.

<Table 3> Safety management plan and management level for each process of dry-aging

Process	Risk factors	Causes	Safety management plan	Management level*	
Purchasing and receiving raw meat	Biological	Initial bacterial concentration of raw meat	Un-hygienic slaughter and prepare processes	Med.+Med.=Ma	
		Physical	Transport vehicle and raw meat core temperature over 5°C	Med.+Med.=Ma	
	Physical	Damage to packaging and microbial cross-contamination from slaughter equipment	Checking the packaging for damage when inspecting raw meat	Low+Med.=Mi	
		Physical adulteration materials	Adulterated due to damage to packaging materials	Med.+Low=Mj	
Storage of meat	Chemical	Dryresidues (antibiotics)	Possibility of antibiotic residue due to non-compliance of withdrawal periods	Low+Med.=Mi	
	Biological	Bacterial growth for storage	High storage temperature	High+Med.=Ma	
		Physical adulteration	Damage to packaging and microbial cross-contamination from potential hazard factors	Separate raw meat from potential sources of contamination (near trash bins, washbasins, etc.) Maintain a distance of 10 cm or more between carcasses	Low+Med.=Mi
	Physical	Physical adulteration	Adulterated from packaging materials	Med.+Low=Mj	
Prepare dry-aging	Cross contamination	Cross-contamination by workers	Microbial inspection of operators gloves and clothes (<2 Log CFU/cm ²) Management of personal hygiene by trained operators	High+Med.=Ma	
		Cross-contamination by workplace or equipment	Maintaining cleanliness of equipment (knife, cutting board, conveyor, etc.) in contact with meat (<2 Log CFU/cm ²) Disinfecting knives from time to time (using a UV sterilizer for 20 min)	High+Med.=Ma	
	Biological	Bacterial growth	Rising temperature of raw meat during working	Maintaining the processing room temperature below 10°C Checking the processing room temperature before and after work by automatic device	High+High=Cr
		Physical adulteration	Lack of space to restrict airflow	Routine microbiological testing including parasites (<2 Log CFU/cm ²) Installing an air circulator	Low+High=Mj
Physical	Physical adulteration	Possibility of adulteration by equipment or workers during aging	Checking for adulteration by visual inspection	Med.+Low=Mj	

<Table 3> Safety management plan and management level for each process of dry-aging (continued)

Process	Risk factors	Causes	Safety management plan	Management level*	
Dry age storage	Biological	Inadequate temperature	Maintaining the temperature in aging room below 4°C (Proper aging temperature 0-4°C)	High+High=Cr	
		Inadequate humidity	Maintaining the humidity level in the aging room at 75-85%	High+High=Cr	
	Bacterial growth	Improper airflow regulation	Management of internal air flow by handling the wind speed of 5m/s in the aging room (Using fans or ventilators)	Med.+High=Ma	
		Microbial control failure due to raw meat contamination	Replace the UV lamp every 6 months (Management to avoid thermal damage due to over-irradiation)	Med.+High=Ma	
Trimming	Biological	Cross-contamination by workers, workplace or equipment	Maintaining cleanliness of equipment (shelves, fans, etc.) in direct contact with aged meat (< 2 Log CFU/cm ²) Cleaning and disinfection before and after work	Med.+High=Ma	
		Cross-contamination by trimmed crust	Cleaning and disinfection before and after work Quickly collect and organize trimmed crust by trained operator	High+High=Cr	
	Cross contamination	Cross-contamination by workplace or equipment	Maintaining cleanliness of equipment (knife, cutting board, conveyor, etc.) in direct contact with aged meat (< 2 Log CFU/cm ²) Cleaning and disinfection before and after work Need to use the knives separately by carcasses Need to distinguish between trimming and cutting equipment	High+High=Cr	
		Bacterial growth	Rising temperature of product surface during trimming process Residual microorganisms on the surface of meat due to insufficient trimming process	Maintaining the temperature in processing room below 10°C Trimming without delay after aging is completed by trained operator Cleaning and disinfection before and after work Thorough trimming of surfaces that contacted the shelves by trained operator	Med.+High=Ma High+Med.=Ma
Cutting	Biological	Cross contamination	Maintaining cleanliness of equipment (knife, cutting board, conveyor, etc.) in direct contact with aged meat (< 2 Log CFU/cm ²) Cleaning and disinfection before and after work Frequent washing and disinfection of knives by UV irradiation sufficiently Need to distinguish between trimming and cutting equipment	High+Med.=Ma	
		Bacterial growth	Rising temperature of product surface during cutting process	Maintaining the temperature in processing room below 10°C Proceed without delay after trimming	Med.+High=Ma
	Physical	Metal contamination	Metallic contamination by knives or equipment	Checking for adulteration by visual inspection and metal detector	Low+Med.=Mi
		Cross contamination	Cross-contamination by workers, workplace or equipment	After trimming, change worker gloves, and clean and disinfect knives and cutting boards	Med.+High=Ma
Packaging	Biological	Bacterial growth	Rising temperature of product surface during packaging process	Low+High=Mi	
	Storage and sale	Bacterial growth	Rising temperature of product surface during storage and sales process Passed expiration date	Maintaining the temperature in processing room below 10°C Maintaining the storage temperature below 4°C Microbiological monitoring (< 5 Log CFU/cm ²) First-in-first-out inventory management and shipping Recommended for sale within 2 days after trimming and packaging	Low+High=Mi Low+High=Mi

*: Described based on risk assessment model (Animal and Plant Quarantine Agency 2014)
Cr: Critical deficiency, Ma: Major deficiency, Mi: Minor deficiency, Sa: Satisfactory

<Table 4> Determination of the critical control point (CCP) in dry-aging process

구분	Critical control point 1	Critical control point 2
Risk factor	Management of temperature and humidity	Management of cross-contamination
Process	Preparation and dry-aging	Trimming
Description	There is a high possibility of microbial growth due to insufficient temperature and humidity control of raw meat during process, and there is a risk to the quality of dry-aged meat due to contamination before aging. There is a risk to the quality of dry-aged meat due to the change in the distribution of microorganisms growing during aging.	During the trimming process, there is a possibility that microorganisms growing on the surface may be cross-contaminated from equipment such as cutting boards and knives. There is a possibility of cross-contamination of microorganisms due to insufficient maintenance of personnel or equipment.
Establish critical limits	Maintaining the proper temperature in the processing room - 10°C or less Maintaining proper temperature and humidity - Temperature: 0-4°C - Humidity: 75-85%	Distinguish between trimming equipment and cutting equipment - Separation of cutting board/knives for trimming and cutting Non-detection of pathogenic microorganisms in equipment (cutting boards, knives, conveyors, etc.) before and after work
Monitoring	Record of temperature and humidity checks before and after work - Check the core temperature of the products and room Checking the automatic temperature/humidity records every 2 hours	Inspection of surface contamination before and after work - Check the count of aerobic bacteria (<2 Log CFU/cm ²) - Check the fungi isolated from the product have a toxin Check whether equipment is used separately

3. 위해요소에 따른 중요관리점 설정

오염도 조사 결과와 위험도 평가를 바탕으로 제안한 관리 방안을 통하여 건식 숙성 공정에서의 중요관리점을 두 가지로 제시하였다<Table 4>. 건식 숙성 단계에서 온도관리의 미흡으로 인한 미생물 생장의 가능성을 낮추고, 숙성 전 원료육의 오염을 제어함에 따라 안전한 숙성육 생산의 가능성을 높이기 위하여 가공실 온도 관리와 숙성고의 온도 및 습도 관리를 첫 번째 중요관리점으로 제시하였다. 작업자는 작업 전후에 사용되는 원료육 및 제품의 중심온도를 확인하고, 가공실과 숙성고의 온도가 적정온도 및 습도로 유지될 수 있도록 점검해야 한다. 온도 점검표를 통해 가공실의 온도를 기록하고, 2~3시간 마다 자동으로 온도가 기록될 수 있도록 자동 장치를 설치하는 것이 바람직할 것으로 생각된다<Table 4>. 또한, 건식 숙성 과정 중에 숙성을 활성화하는 유용 미생물이 아닌 병원성 미생물이 성장할 수 있는 환경을 제어하기 위하여 숙성고의 온도를 4°C 이하로 유지하며 습도를 75~85%로 유지할 수 있도록 관리해야 한다<Table 4>. 두 번째 중요관리점은 트리밍 과정에서 발생할 수 있는 교차오염 관리를 제시하였다. 트리밍 후 크리스트에 의한 교차오염을 제어하기 위하여 작업자는 사용하는 장비(도마, 칼, 장갑 등)를 용도에 따라 구분하여 사용하고, 작업 전후로 세척 및 소독을 철저히 하여 병원성 미생물이 환경요소에서 검출되지 않도록 관리해야 한다<Table 4>. 제품의 미생물학적 검사를 통하여 제품 표면의 일반 세균 수를 6 Log CFU/g 이하로 유지하고, 독소를 생산하는 곰팡이가 검출되지 않도록 확인해야 한다. 교차오염을 관리하기 위한 관리방안으로는 트리밍 및 처리 방법에 대한 작업자 사전 교육을 진행하고,

주기적인 위생교육이 필요할 것으로 사료된다.

4. 주요 설비와 환경 및 도구 관리방안 제시

오염도 조사 결과 미생물이 많이 검출되었던 항목 및 설비를 기준으로 주요 환경 설비 및 도구에 대한 관리 방안을 제시할 수 있다. 건식 숙성 공정 중 가장 오염도가 높게 확인된 위해요소는 선반으로 숙성육 보관 시 원료육으로 곰팡이 또는 병원성 세균에 대한 교차오염 발생 가능성이 높다. 원료육 및 숙성육의 표면이 선반에 직접 닿지 않도록 흡수지를 깔아 숙성하는 방법을 권장한다. 또한, 작업자의 손이 닿는 설비 및 도구의 경우 미생물 분석을 통하여 일반세균 수가 2~4 Log CFU/cm² 이하로 나타날 수 있도록 세척 및 소독을 철저히 수행해야 하며, 칼, 도마, 장갑 등은 도체 별 또는 작업 공정 별로 사용 후 멸균된 장비로 교체하여 교차오염의 발생을 제어할 수 있다. 또한, 전체적인 미생물을 관리하기 위해 건식 숙성육 작업장의 온도와 습도 관리 및 위생관리를 주기적이고 체계적으로 수행해야 한다.

IV. 요약 및 결론

건식 숙성육 생산량이 점차 증가하고 있는 추세이지만 이에 대한 오염도 분석이 아직까지 미흡하고 위해요소에 대한 체계적인 관리 방안 또한 충분히 마련되어 있지 않다. 본 연구는 건식 숙성육 공정단계의 환경요소 및 원료육의 미생물학적 오염도 조사와 확인된 위해요소의 위험도 분석을 통하여 중요관리점을 정하고자 하였으며, 이를 통하여 국내 상황에 적용할 수 있는 안전한 생산을 위한 관리방안을 제시하

고자 하였다. 건식 숙성육 공정단계에서 사용되는 환경요소 중, 선반에서 일반세균수가 가장 높은 수준으로 확인되었으며 작업 중 제품 표면에 접촉할 수 있는 장갑, 도마에서 교차오염을 발생시킬 수 있는 수준의 일반세균수가 확인되었다. 건식 숙성육 공정과정에서 가장 중요하게 관리되어야 하는 중요관리점으로 숙성 준비 및 숙성 단계의 온도관리를 선정하였으며, 훈련된 작업자에 의하여 숙성고 및 작업장 온도 및 습도가 각각 4°C 이하, 75~85% 이하로 관리되어야 한다. 그 외에도 숙성 중 발생할 수 있는 병원성 미생물과 곰팡이 등에 의한 교차오염에 대한 관리를 위해 세척 및 소독을 철저히 수행해야 한다. 본 연구의 결과를 종합적으로 보았을 때, 건식 숙성육 생산과정에서 낮은 수준이기는 하지만 미생물을 비롯한 다양한 위해요소가 존재할 수 있기 때문에 이를 관리하기 위한 방안이 필요하고 제시된 관리방안은 안전한 건식 숙성육을 생산하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 고부가가치식품기술개발사업의 지원을 받아 연구되었으며(과제번호: 316048), 이에 감사드립니다.

이해 관계의 글

No potential conflict of interest relevant this article was reported.

References

- Animal and Plant Quarantine Agency. 2014. Slaughterhouse HACCP Assessment Practice Manual. 19-20.
- Burall LS, Simpson AC, Datta AR. 2011. Evaluation of a serotyping scheme using a combination of an antibody-based serogrouping method and a multiplex PCR assay for identifying the major serotypes of *Listeria monocytogenes*. *J. Food Prot.*, 74(3): 403-409.
- Calvo JH, Lguacel LP, Kirinus JK, Serrano M, Ripoll G, Casaus I, Joy M, Perez-Velasco L, Sarto P, Alberti P, Blanco M. 2014. A new single nucleotide polymorphism in the calpastatin (CAST) gene associated with beef tenderness. *Meat Sci.*, 96(2): 775-782.
- Cebula TA, Payne WL, Feng P. 1995. Simultaneous identification of strains of *Escherichia coli* serotype O157:H7 and their Shiga-like toxin type by mismatch amplification mutation assay multiplex PCR. *Int. J. Mol. Clin. Microbiol.*, 33(1): 248-250.
- Ferretti R, Mannazzu I, Coccolin L, Comi G, Clementi F. 2001. Twelve-hour PCR-based method for detection of *Salmonella* spp. in food. *Appl. Environ. Microbiol.*, 67(2): 977-978.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2009. Global agriculture towards 2050. 1-4.
- Ha Y, Hwang I, Ba HV, Ryu S, Kim Y, Kang SM, Kim J, Kim Y, Cho S. 2019. Effects of dry-and wet-aging on flavor compounds and eating quality of low fat Hanwoo beef muscles. *Food Sci. Anim. Resour.*, 39(4): 655-667.
- Hanwoo Board. 2021. Monitoring the consumption and distribution of Korean beef in 2020. P43-48.
- Harrigan WF, McCance ME. 1976. The examination of food processing plant, Laboratory Methods in Food and Dairy Microbiology, Academic Press., 231-236.
- Jo AH, Choi HN, Heo DB, Kwon SM, Kim JB. 2017. Prevalence and toxin characteristics of *Bacillus cereus* isolated from drinking cups in spring. *J. Food Hyg. Saf.* 32(1): 50-56.
- Kang KJ, Kim HJ, Lee YG, Jung KH, Han SB, Park SH, Oh HY. 2010. Administration of mycotoxins in food in Korea. *J. Food Hyg. Saf.* 25(4): 281-288.
- Ko EK, Heo EJ, Kim YJ, Park HJ, Wee SH, Moon JS. 2013. Evaluation on microbiological contamination level of raw beef from retail markets in Seoul, Korea. *Korean J. Food Sci. An.* 33(3): 403-410.
- Kim H, Shin M, Ryu S, Yun B, Oh S, Park DJ, Kim Y. 2021. Evaluation of probiotic characteristics of newly isolated lactic acid bacteria from dry-aged Hanwoo beef. *Food Sci. Anim. Resour.*, 41(3): 468-480.
- 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. *Food Sci. Anim. Resour.*, 38(1): 43-51.
- Laster MA, Smith RD, Nicholson KL, Nicholson JDW, Miller RK, Griffin DB, Harris KB, Savell JW. 2008. Dry versus wet aging of beef: Retail cutting yields and consumer sensory attribute evaluations of steaks from ribeyes, strip loins, and top sirloins from two quality grade groups. *Meat Sci.*, 80(3): 795-804.
- Lee CW, Lee SH, Min YJ, Lee SK, Jo C, Jung S. 2015. Quality improvement of strip loin from Hanwoo with low quality grade by dry aging. *Korean J. Food Nutr.*, 28(3): 415-421.
- Lee H, Yoon Y. 2015. Microbiological safety of dry-aging meat. *Safe Food.* 10(4): 37-41.
- Li X, Babol J, Bredie WLP, Nielsen B, Tomankova J, Lundstrom K. 2014. A comparison study of beef quality after ageing longissimus muscle using a dry ageing bag, traditional dry ageing or vacuum package ageing. *Meat Sci.*, 97(4): 433-442.
- Loir YL, Baron F, Gautier M. 2003. *Staphylococcus aureus* and food poisoning. *Genet. Mol. Res.*, 2(1): 63-76.
- Monday SR, Bohach GA. 1999. Use of multiplex PCR to detect classical and newly described pyrogenic toxin genes in staphylococcal isolates. *J. Clin. Microbiol.*, 37(10): 3411-3414.
- Oh H, Lee HJ, Lee J, Jo C, Yoon Y. 2019. Identification of microorganisms associated with the quality improvement of dry-aged beef through microbiome analysis and DNA sequencing, and evaluation of their effects on beef quality. *J. Food Sci.*, 84(10): 2944-2954.
- Park HJ, Kim TH, Um KH, Kim JS, Kim BS, Song SH. 2016. Changes of qualities in dry-aged beef products made from 3rd quality grade Hanwoo beef (Korean native cattle) according to aging periods. *Food Eng. Prog.*, 20(1): 67-72.
- Park SY, Kim HY. 2020. Electric field induced super-cooling system for long term dry-aged beef loin. *Food Sci. Anim. Resour.*, 40(2): 286-296.
- Park SY, Kim HY. 2021. Quality properties of bulgogi sauce with crust derived from dry-aged beef loin. *Food Sci. Anim. Resour.*, 41(2): 247-260.
- Ryu S, Park MR, Mabusutse BE, Lee WJ, Park DJ, Cho S, Hwang I, Oh S, Kim Y. 2018. Diversity and characteristics of the meat microbiological community on dry aged beef. *J. Microbiol. Biotechnol.*, 28(1): 105-108.
- Seo JK, Ko J, Park J, Eom JU, Yang HS. 2021. Effect of pig breed and processing stage on the physicochemical properties of dry-cured loin. *Food Sci. Anim. Resour.*, 41(3): 402-415.
- Shim WB, Kim KY, Yoon YH, Kim JE, Shim SI, Kim YS, Chung DH. 2013. Microbiological hazard analysis for strawberry farms at the harvest stage to establish good agricultural pPractices (GAP) model based on principle of HACCP. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 45(1): 104-110.
- Korea Meat Trade Association (KMTA). 2021. Beef consumption data. Available from: http://www.kmta.or.kr/kr/data/stats_spend.php, [cited 2021. Aug. 20]
- Ministry of Food and Drug Safety. 2021. Food poisoning statistics. Available from: <https://www.foodsafetykorea.go.kr/portal/healthy->

foodlife/foodPoisoningStat.do?menu_no=3724&menu_grp=MENU_NEW02, [cited 2021.Sep. 15].
Silva GS. 2018. Feeding the world in 2050 and beyond - Part 1: Pro-

ductivity challenges. Available from: <https://www.canr.msu.edu/news/feeding-the-world-in-2050-and-beyond-part-1>, [cited 2021, Sep, 05]

저자 정보

Hyemin Oh (Risk Analysis Research Center, Sookmyung Women's University, Research professor, 0000-0002-8073-7242)

Hyun Jung Lee (Dept. of Agricultural Biotechnology, Center for Food and Bioconvergence, Research Inst. of Agriculture and Life Science, Seoul National University, Research professor, 0000-0002-6891-8008)

Cheorun Jo (Dept. of Agricultural Biotechnology, Center for Food and Bioconvergence, and Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Professor, 0000-0003-2109-3798)

Yohan Yoon (Dept. of Food and nutrition, Sookmyung Women's University, Professor, 0000-0002-4561-6218)