

건식숙성한 우육의 유통관리 방법

Management and Shelf-life of Dry-aged Beef

이현정¹, 윤요한², 조철훈^{1,3,*} (Hyun Jung Lee¹, Yohan Yoon², Cheorun Jo^{1,3,*})

¹서울대학교 농생명공학부, ²숙명여자대학교 식품영양학과, ³서울대학교 그린바이오과학기술연구원

¹Department of Agricultural Biotechnology, Seoul National University

²Department of Food and Nutrition, Sookmyung Women's University

³Institute of Green Bio Science and Technology, Seoul National University

I. 서론

「식품, 식품첨가물, 축산물 및 건강기능식품의 유통기한 설정기준」에 따르면 유통기한이란 제품의 제조일로부터 소비자에게 판매가 허용되는 기한[식품의약품안전처, 2017; 표 1]으로 '유통기한 설정실험'을 실시하고, 설정된 유통기간 내에서 실제 유통조건을 고려하여 제품의 안전성과 품질을 보장할 수 있도록 설정하여야 한다. 유통기간 설정실험 지표는 이화학적, 미생물학적, 관능적 지표로 구분할 수 있으며, 식품의 종류에 따라서 그 항목에 차이가 있다(표 2). 또한, 식품에 표시된 유통기한 내 식품의 품질은 식품공전상 기준 및 규격에 적합해야 하며, 유통기한 설정의 책임은 제조업자에게 있지만, 설정된 유통기한 내 식품의 품질이 유지될 수 있도록 관리할 책임은 원재료 생산자 및 공급자로부터 소비자들까지 모두에게 있다(식품의약품안전처, 2013).

건식숙성육이란 식육을 포장 없이 외부환경(온·습도 및 풍속 조절)에 직접적으로 노출한 상태로 숙성하는 것이 특징이며, 그 과정 중 식육 내 수분이 증발하고 건조된 표면에 곰팡이, 효모 등 여러 미생물이 자람에 따라서 습식

표 1. 유통기간 관련 용어 정의

용어	정의
유통기간	소비자에게 판매 가능한 최대기간으로써 설정실험 등을 통해 산출된 기간
유통기한	제품의 제조일로부터 소비자에게 판매가 허용되는 기한
권장유통기한	영업자 등이 유통기한 설정 시 참고할 수 있도록 제시하는 판매가능 기한

(출처: 식품의약품안전처, 2017)

*Corresponding author: Cheorun Jo
 Department of Agricultural Biotechnology, Seoul National University,
 Seoul 08826, Republic of Korea
 Tel: +82-2-880-4804
 Fax: +82-2-873-2271
 Email: cheorun@snu.ac.kr

표 2. 식육가공품 및 포장육의 유통기간 설정실험 지표(일부 발췌)

식품 종류	설정실험 지표		
	식품종 또는 유형	이화학적	미생물학적
16-1. 햄류 16-2. 소시지류 16-3. 베이컨류 16-4. 건조저장육류 16-5. 양념육류 16-8. 포장육	휘발성염기태질소 pH	세균수 대장균군 대장균(포장육)	성상
16-6. 식육추출가공품	휘발성염기태질소 pH	세균수 대장균군 대장균	성상
16-7. 식육함유가공품	TBA가 휘발성염기태질소	세균수 대장균군	성상

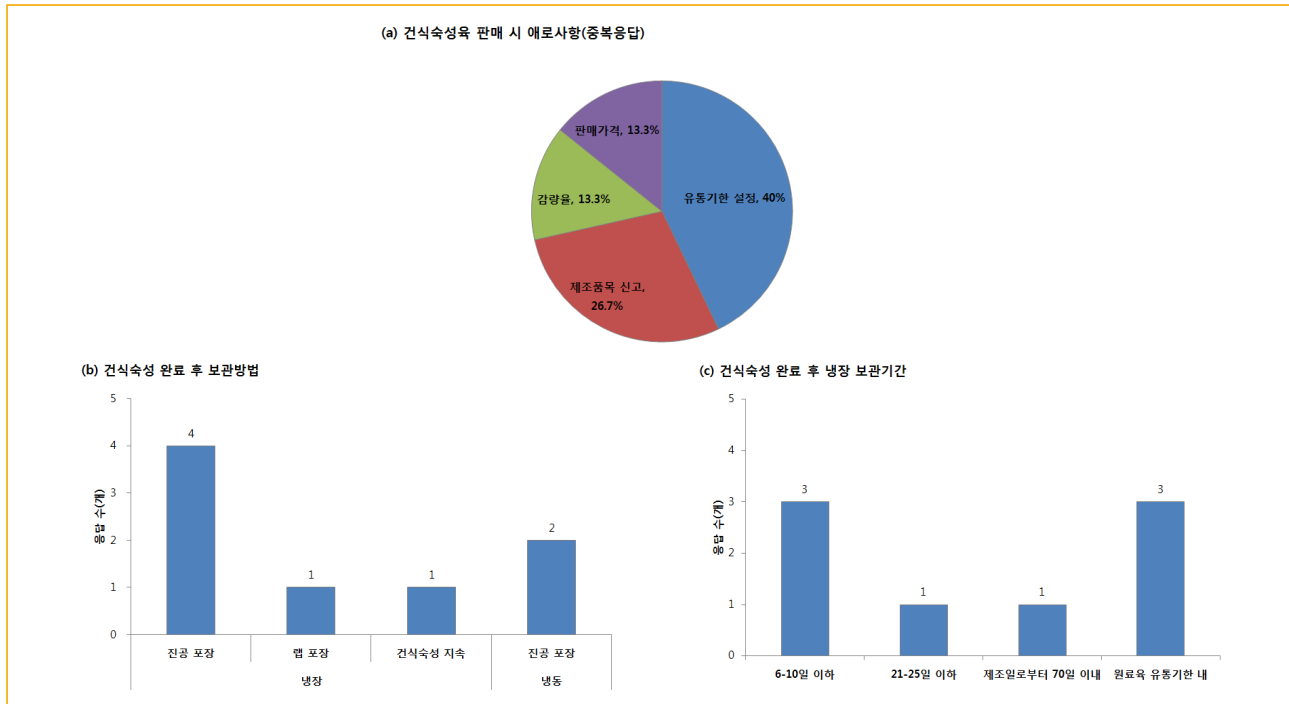
(출처: 식품의약품안전처, 2017)

숙성육과 다른 고유의 풍미(beefy and brown/roasted flavor)를 발현하게 된다(Lee 등, 2017; 2018). 이러한 풍미를 선호하는 소비자가 점차 늘어남에 따라 국내에서도 건식숙성육 유통량이 지속적으로 증가하는 추세이다. 특히, 대부분의 국내 건식숙성 전문업체들은 가격

및 숙성기술과 조화 등을 고려하여 2-3등급 식육을 활용하여 연도, 풍미 등 관능적 품질을 증진 후 판매하고 있다(축산물품질평가원, 2016). 국내 소고기 2-3등급 출현율이 약 38.3% 가량 높은 수준임을 고려했을 때, 저등급/비선호 식육의 고부가가치화라는 측면에서 앞으로도 건식숙성육의 시장성은 유지 또는 증가할 것으로 사료된다(축산물품질평가원, 2016).

이에 따라 건식숙성육 유통관리 방법의 중요성 또한 점차 증가할 것으로 전망된다. 축산물품질평가원(2016)의 조사에 따르면, 국내 건식숙성 전문업체 8곳 중 40%가 유통기한 설정에 있어서 어려움을 느끼고 있음을 확인할 수 있었다(그림 1). 또한, 조사결과, 현재 건식숙성육의 유통방법 및 기한 등이 업체별로 다양하며, 관련 연구 자료 및 법적인 기반이 부족하여 건식숙성육의 유통관리 방법과 관련한 대안이 필요할 것으로 사료된다. 이에 본 글에서는 본 연구팀이 연구한 내용을 기반으로 건식숙성육의 유통관리 방법에 대하여 제언해 보고자 한다.

그림 1. 국내 건식숙성육 유통 현황



(출처 : 축산물품질평가원, 2016)

II. 본론

1. 축산물의 유통기한 설정 방법

(1) 미생물학적 안전성의 법적 기준

미생물의 생장으로 인한 식육의 부패는 이취(off-odor) 및 이미(off-taste)의 발생을 일으킬 뿐 아니라, 색(H₂O₂ 또는 H₂S 생성으로 인한 녹색) 및 점액성(slime)의 조직감 변화를 가져올 수 있다(Nychas 등, 2008). 또한, 이는 사람의 신체에 일반적으로 유해하지는 않지만 병원성균 존재 가능성이 함께 상존하여(Kang 등, 2018) 유통기한 설정에 있어서 반드시 고려되어야 할 항목이다. 현재 식품의약품안전처의 「식육 중 미생물 검사요령」에 따르면 식육에 대한 미생물 검사항목은 일반세균(total aerobic bacteria) 및 대장균(coliform) 수를 포함하며, 해당 미생물에 대한 권장기준치는 표 3과 같으므로 판매 시 축산물의 일반세균 및 대장균 수는 7 Log CFU/g 이하로 규정한다(식품의약품안전처, 2014). 이는 식육 부패의 시작을 7-8 Log CFU/g 수준으로 보고하고 있는 기존의 연구와 일치한다(Jang, 2014).

(2) 신선도 · 부패도 판정 및 권장기준

유통기한 중 식육의 신선도 · 부패도 판정은 품질의 저하를 판별할 수 있는 주요 기준이다. 현재 국내에서 이용되는 신선도 · 부패도 판정기준으로 pH, 암모니아 시험, 유화수소 검출 시험, Walkiewicz 반응 및 trimethylamine 및 휘발성염기태질소(volatile basic nitrogen, VBN) 등이 있다(Jang, 2014; 표 4).

이는 유통 중 미생물의 생장으로 인한 효소작용으로 식육 내 단백질이 분해되어 염기성을 가진 암모니아 및 아민류(dimethylamine 및 trimethylamine 등)가 생성되는 것에 기반하며, 해당 물질들이 증가함에 따라 pH 값은 상승하고 VBN의 함량 또한 증가하게 된다(Lee 등, 2018). 표 2와 같이 대다수의 식육 및 식육가공품의 유통기간 설정지표로서 pH 및 VBN 함량이 활용되며, 현재 신선육을 pH 6.2 이하, VBN 함량을 ~20 mg% 수준으로 규정하고 있다(표 4). 단, 최근 국내에서 유행하고 있는 숙성육의 경우, 평균 최소 2주 이상 숙성함에 따라 대다수의 VBN 함량이 권장기준치를 초과하여 숙성육에 대한 권장기준치의 재설정 필요성이 언급되고 있고(Jang, 2014), 특히 건식숙성육의 경우, 유통 중 VBN 등 기존 신선도 · 부패도 판정과 관련한 연구들이 거의 전무하다. 그 외 K값(ATP 등 핵산 관련 물질들을 활용), xanthine oxidase 센서 및 토리미터(세포의 변화에 의한 전류의 차이를 활용) 등도 식육의 신선도 판정에 활용되는 사례가 있지만(Hernandez-Cazares 등, 2010; Sujiwo 등, 2018), 이 또한 다양한 종류의 식육에 대한 연구 자료가 부족한 실

표 3. 국내 식육의 미생물 권장기준

	일반세균수 (CFU/g, cm ²)			대장균수 (CFU/g, cm ²)		
	도축장	식육포장 처리장	식육 판매장	도축장	식육포장 처리장	식육 판매장
소고기, 양고기	1×10 ⁵ 이하	1×10 ⁷ 이하	1×10 ⁷ 이하	1×10 ² 이하	1×10 ³ 이하	1×10 ³ 이하
돼지고기	1×10 ⁵ 이하	1×10 ⁷ 이하	1×10 ⁷ 이하	1×10 ⁴ 이하	1×10 ⁴ 이하	1×10 ⁴ 이하
닭고기, 오리고기	1×10 ⁵ 이하	1×10 ⁷ 이하	1×10 ⁷ 이하	1×10 ³ 이하	1×10 ⁴ 이하	1×10 ⁴ 이하

(출처: 식품의약품안전처, 2014)

표 4. 국내 식육의 신선도 판정 기준

시험항목	기준
pH	< 6.2
암모니아 시험	음성
유화수소 검출 시험	미검출
Walkiewicz 반응	음성
트리메틸아민	< 4 mg/100 g
휘발성염기태질소	< 20 mg/100 g

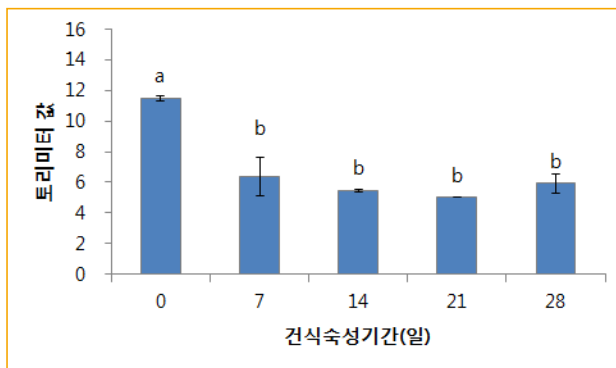
(출처: Jang, 2014)

정이다. 특히 본 연구팀이 건식숙성 중 토리미터를 적용해본 결과, 제조과정 중 식육의 표면이 딱딱하게 굳어 측정이 어렵고, 건식숙성 초기 해당 값이 이미 크게 변화(그림 2)하여 현재로서 건식숙성육에 토리미터 활용은 어려울 것으로 생각된다. 한편, 전자코 등 장비를 이용해 특정 향기 성분들을 식육의 신선도 판정에 활용하는 연구들도 점차 증가하고 있다(Ellis와 Goodacre, 2001). 한국식품연구원의 경우, 2,3-butanediol, 3-methylbutan-1-ol, acetoin, 2-butanone 등 10여종의 휘발성 성분을 신선도 지표인자로 선정하였다(한국식품연구원, 2018).

(3) 지방 산패

지방 산패 또한 유통 중 식육 품질 측정의 지표가 될 수 있다. 이는 주로 2차 지방 산화물인 malondi-aldehyde 함량을 측정하여 표현된다(Fernandez 등, 1996). 지방 산패의 정도는 열, 빛, 산소 등 산화 촉진 요소 및 도축 전 조건, 불포화지방산 함량 등 다양한 요소에 따라서 달라질 수 있어서 현재 권장되고 있는 기준치는 별도로 없지만, 식육 내 지방의 산패가 일정 수준 이상 증가 시 산패로 인하여 이취가 발생하고, 가열 후 warmed-over flavor를 발생하는 등 식육의 관능적 품질에 영향을 미친다. 게다가 색 및 조직감의 변화, 영양소 손실 등이 일어나고, 특히 불포화지방산의 산화

그림 2. 건식숙성 중 토리미터 값 변화



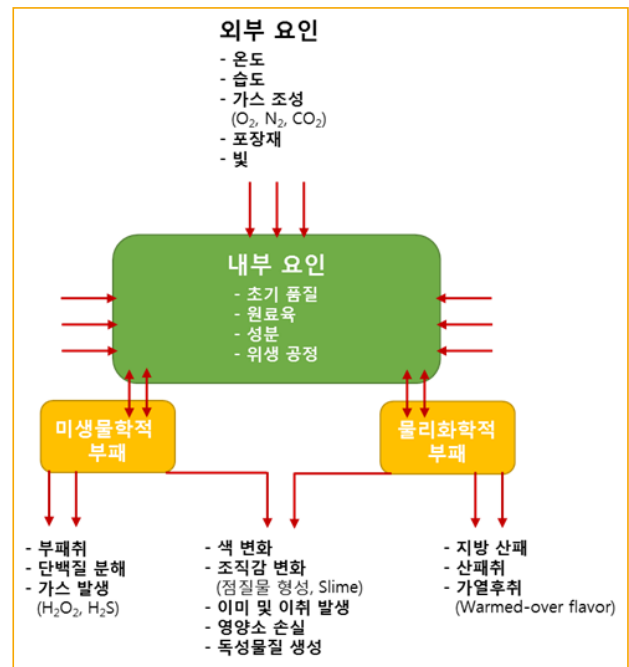
(Unpublished data)

로 인하여 발생하는 지방산화물은 잠재적 독성을 가질 수 있으므로 이는 유통기한 설정 시 고려되어야 할 주요 요소 중 하나이다(Gray 등, 1996; Kang 등, 2018; Ladikos와 Lougovois, 1990). 현재 국내법 상으로는 식육함유가공품일 경우 지방 산패의 측정을 유통기간 설정 지표로서 권장하고 있다(표 2; 식품의약품안전처, 2017).

2. 제조과정 중 건식숙성육의 주요 변화

식육의 부패는 크게 미생물학적 및 물리화학적 부패로 구분될 수 있으며, 일반미생물 또는 병원균 성장, 지방 산패, 수분 및 색 변화, 관능적 품질의 저하 등을 포함한다(식품의약품안전처, 2013). 이러한 식육의 품질 변화에는 유통 중 산소, 온도 및 습도, 빛, 포장방법 등의 요인들도 영향을 주지만, 원료육 상태도 주요 요인 중 하나이다(그림 3). 이에 따라 건식숙성육의 유통관리 방법 마련을 위해선 건식숙성육의 특징과 관련한 이

그림 3. 유통 중 식육의 품질에 영향을 미치는 요인



(출처: Huis in't Veld, 1996)

해가 선행되어야만 한다. 상기 기술했던 바와 같이 건식숙성육은 식육을 외부에 노출함에 따라 신선육 및 습식숙성육과 달리 다음의 특징이 나타난다.

(1) 미생물학적 특징

건식숙성 중 미생물 오염에 관한 우려들은 몇 년간 지속되어 왔다(Ahnstrom 등, 2006). 다만, 본 연구팀과 근래 몇몇 연구에 따르면 건식숙성 시 시간이 지남에 따라 수분의 손실로 식육의 표면이 딱딱하게 굳고(크러스트, crust), 이에 따라 식육 내부로의 외부 미생물 침입을 방지할 수 있어 건식숙성 전·후 식육 내부 미생물 생장은 유의적 차이를 보이지 않았다(Dashdorj 등, 2016; Hulankova 등, 2018; Lee 등, 2017). 또한, 해당 문헌들은 건식숙성 중 식육 내 수분 손실 또한 미생물 생장을 지연하는 원인으로 지목하고 있다. 이를 기반으로 볼 때 ① 건식숙성 전 원료육 관리와 ② 크러스트 제거 시 외부 표면 미생물이 식육의 내부에 오염되지 않도록 주의를 기울이면 건식숙성 중 미생물 오염은 충분히 방지할 수 있으리라 사료된다.

또한, 건식숙성육의 경우, 곰팡이, 효모 등이 생장한다. 본 연구팀의 기존 연구 결과에 따르면, 이러한 곰팡이 및 효모의 생장은 건식숙성 중 풍속에 따라서 달라질 수 있으며, 주요 부패미생물인 *Pseudomonas* spp. 및 젖산균의 조성 또한 풍속의 영향을 받는 것을 확인하였다(data not shown). 이러한 미생물 조성의 변화에 따라 미생물이 가진 단백질 및 지방 분해능이 달라질 수 있으며, 이는 건식숙성 직후 또는 유통 중 건식숙성육의 품질 변화에 영향을 미칠 수 있다. 또한, 일부 곰팡이의 경우 곰팡이 독소를 생성할 수 있으니 건식숙성육 유래 곰팡이에 대한 연구들도 향후 필요할 것으로 사료된다. 본 연구팀의 경우, 연구 수행 중 *Pilaira anomala* 및 *Debaryomyces hansenii*를 건식숙성육에서 분리·동정하였으며, 이 중 곰팡이인 *P. anomala*의 경우 주요 곰팡이 독소인 aflatoxin에 대하여 검사를 완료하였다(Yoon 등, 2018a; 2018b). 기존 문헌에 따

르면 *P. anomala*의 경우 국내 된장에서 검출된 바 있으며, *D. hansenii*의 경우 이미 전세계적으로 GRAS로 인정되고 있는 미생물로 확인하였다(Flores 등, 2015; Kim 등, 2009).

(2) 물리화학적 특징

건식숙성 중 수분의 손실로 인한 클러스터 형성 및 곰팡이, 효모 등 미생물의 생장으로 인해 건식숙성육은 신선육 및 습식숙성육과 다른 물리화학적 특징을 가지며, 이는 곧 품질의 차이로 이어진다(Khan 등, 2016). 본 연구팀의 연구 결과, 건식숙성육은 습식숙성육에 비해 대부분의 유리아미노산 및 환원당 함량이 유의적으로 높은 결과를 보였고, inosine 5'-monophosphate 함량은 낮은 경향을 보였다(data not shown). 이러한 결과는 Kim 등(2016)과 동일한 양상을 보였다. 또한, 건식숙성육은 습식숙성육과 비교하여 metmyoglobin 함량이 높아서 적색도가 낮고 식육이 외부에 노출됨에 따라 지방의 산패가 보다 빨리 진행되며, 단백질 분해가 빨라 VBN 함량이 높다(data not shown). 이에 따라, 건식숙성육은 상기 1. (2), 1. (3)에서 기술했던 물리화학적 품질과 관련한 유통기한 설정 방법에 있어서 기존 신선육 및 습식숙성육과 다른 시각에서 살펴보아야 할 것으로 생각이 된다.

3. 건식숙성육의 유통기한 설정 관련 연구현황

(1) 포장방법별 미생물학적 안전성 분석

포장방법(냉장 랩, 냉장 진공 및 냉동 진공포장)에 따른 건식숙성육의 안전성 분석을 위하여 28일간의 건식숙성이 완료된 소고기 채끝 18수를 각 3등분하여 포장방법별 미생물학적 변화를 관찰하였다(Choe 등, 2018). 분석 결과, 건식숙성 전·후 일반미생물 수는 유의적 변화를 보이지 않았으나, 저장 7일 후 냉장 랩 포장 시료는 일반미생물이 법적 권장기준치인 7 Log

CFU/g을 넘은 8.82 Log CFU/g을 넘어, 랩 포장을 할 경우 짧은 시간 내 식육의 부패가 진행됨을 확인할 수 있었다(그림 4). 이에 따라 건식숙성 후 식육을 랩 포장할 경우 가능한 빠르게 섭취하는 것을 권장한다.

한편, 진공 포장 후 냉장 및 냉동저장한 건식숙성육 시료들은 저장 21일 후에도 7 Log CFU/g 미만 수준을 유지하였으며, 특히 냉동 시 일반미생물의 수가 저장 14일 후 다시 감소하는 경향을 보였다(그림 4). 일반미생물 수 외 유통 중 식육의 품질에 영향을 미치는 요소로는 색, 지방 산패 및 관능 등이 있다(Kim, 2008). 해당 연구 결과, 진공 포장 시 저장한 온도와 상관없이 21일 동안 외관, 지방 산패 및 관능 상 유의적 변화는 없었다. 따라서, 진공 포장 후 냉장 및 냉동저장한 건식숙성육 시료들은 저장 21일 후에도 미생물학적으로 안전한 수준을 유지할 뿐 아니라, 품질적으로 큰 변화가 없음을 확인하여 건식숙성육을 장기간 저장할 경우 진공 포장하는 것이 유리할 것으로 사료된다.

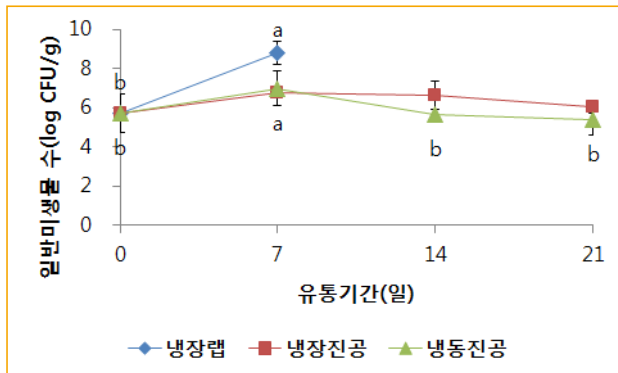
(2) 냉장 랩 포장 시 유통실험 설정지표 변화 분석

냉장 랩(warp) 포장 시 건식숙성육의 유통기한 설정을 위하여 28일간의 건식숙성이 완료된 소고기 채끝 9수를 랩 포장한 후, 0, 3, 5, 7일 동안 냉장저장하며 미

생물 및 물리화학적 변화를 관찰하였다(Lee 등, 2018). 건식숙성 직후, 일반미생물 수는 4.26 Log CFU/g으로(그림 5) 기존 Choe 등(2018)의 연구와 비교해 약 1.5 Log CFU/g 정도 낮은 수준을 보였으며, 이를 랩 포장하여 냉장 보관 시 약 12.2일까지 미생물학적으로 안전할 것으로 예상하였다. 또한, 식육 품질의 변화를 확인하기 위해 색, 지방 산패 및 관능평가를 수행하였다. 분석 결과, 저장 3일 후 유의적인 색 변화(명도, 적색도, 황색도)를 나타내었으나, 육안 상 차이는 없었으며 향, 맛, 종합적 기호도 또한 저장기간이 지남에 따라서 감소하였으나 보통(>5 point) 이상의 수준을 유지함에 따라 건식숙성육을 랩 포장하여 냉장 보관 시 약 6.3일까지 보통 이상의 관능적 품질을 유지할 수 있다고 관측하였다(Lee 등, 2018). 이에 따라 미생물학적 안전성 및 품질을 고려하였을 때 건식숙성육을 랩 포장 시 냉장 조건에서 약 6.3일까지 섭취하는 것을 권장한다. 다만, 이는 원료육의 미생물 수준에 따라서 차이가 있을 수 있으므로 건식숙성 전 원료육 관리가 중요할 것으로 사료된다.

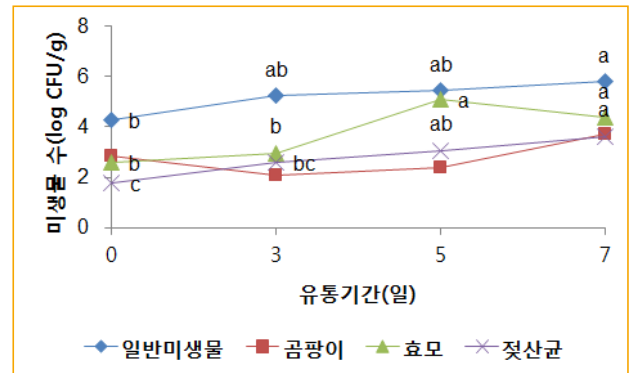
한편, 식육의 신선도 · 부패도 측정 인자로서 건식숙성육을 랩 포장하여 냉장 보관하는 중 pH 및 VBN 함량의 변화를 측정해 보았을 때 기존 식육의 신선도 · 부패도 판정 권장기준치가 건식숙성육에 알맞지 않음

그림 4. 유통기간 중 포장방법별 일반미생물 수 변화



^{a,b} Different letters within the same packaging method indicate a significant difference ($p < 0.05$) (출처: Choe 등, 2018)

그림 5. 냉장 랩 포장 시 유통기간 중 미생물 수 변화



^{a-c} Different letters within the same packaging method indicate a significant difference ($p < 0.05$) (출처: Lee 등, 2018)

을 관찰하였다(Lee 등, 2018). 현행법 상 pH는 6.2, VBN 함량은 20 mg%까지 신선육이라고 분류하고 있다(Jang, 2014). 본 연구 결과, 랩 포장 후 7일 동안 냉장 보관 시 건식숙성육의 pH는 5.69–5.81 수준으로 유의적 변화를 보이지 않음을 확인하였으며, VBN 함량의 경우 건식숙성 직후 66.14 mg%로 기준에 권장된 수치에 비해서 현저히 높은 값을 보인 후, 저장 7일 동안 89.49 mg%까지 증가하는 경향을 보였다. 이는 건식숙성 시 발견되는 곰팡이 및 효모 등 기존의 신선육 또는 습식숙성육에서는 발견되지 않는 미생물의 영향인 것으로 사료된다. 해당 연구에서 VBN 함량은 건식숙성육이 향, 맛 및 종합적 기호도 등 관능적 품질에 영향을 미치며, VBN 함량이 89.31 mg%이 될 때까지 보통 이상의 관능적 품질을 유지할 수 있음을 보고하여 기존 권장기준치인 ~20 mg%을 크게 상회한다. 본 연구 결과, 기존 신선도·부패도 측정 인자들은 건식숙성육의 저장 중 품질의 판정에 적합하지 않으므로 건식숙성육의 유통기한 설정을 위하여 다른 신선도·부패도 측정 인자들과 권장기준치가 고려되어야만 한다.

III. 결론

상기 연구 결과들을 볼 때 건식숙성 후 식육을 장기간 저장할 경우 진공 포장하여 냉동 또는 냉장 저장하는 것을 권장하며 랩 포장하여 단기간 저장 시 미생물학적 안전성 및 관능적 품질을 고려하여 6일 이내에 소비자가 소비하는 것을 권장한다. 단, 이러한 결과는 건식숙성 전·후 미생물 수준에 따라서 달라질 수 있으므로 원료육 관리가 중요할 것으로 사료된다. 또한, 현행 신선도·부패도 측정 인자로서 주로 이용되고 있는 pH, VBN 등의 항목들은 건식숙성육의 신선도 판정에 적합하지 않아 측정 인자 또는 권장기준치의 재설정이 필요할 것으로 생각된다.

사사

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 고부가가치식품기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(316048-03).

참고문헌

1. Ahnstrom ML, Seyfert M, Hunt MC, Johnson DE. 2006. Dry aging of beef in a bag highly permeable to water vapour. *Meat Sci* 73:674–679.
2. Dashdorj D, Tripathi VK, Cho S, Kim Y, Hwang I. 2016. Dry aging of beef: Review. *J Anim Sci Technol* 58:20.
3. Ellis DI, Goodacre R. 2001. Rapid and quantitative detection of the microbial spoilage of muscle foods: Current status and future trends. *Trends Food Sci Tech* 12:414-424.
4. Fernandez J, Perez-Alvarez JA, Fernandez-Lopez JA. 1996. Thiobarbituric acid test for monitoring lipid oxidation in meat. *Food Chem* 59:345-353.
5. Flores M, Corral S, Cano-Garcia L, Salvador A, Belloch C. 2015. Yeast strains as potential aroma enhancers in dry fermented sausages. *Int J Food Microbiol* 212:16-24.
6. Gray JI, Gomaa EA, Buckley DJ. 1996. Oxidative quality and shelf life of meats. *Meat Sci* 43:S111-S123.
7. Hernandez-Cazares AS, Aristoy MC, Toldra F. 2010. Hypoxanthine-based enzymatic sensor for determination of

- pork meat freshness. *Food Chem* 123:949-954.
8. Hulankova R, Kamenik J, Salakova A, Zavodsky D, Borilova G. 2018. The effect of dry aging on instrumental, chemical and microbiological parameters of organic beef loin muscle. *LWT-Food Sci Technol* 89:559-565.
 9. Jang A. 2014. Study of meat freshness (spoilage) standard evaluation. Ministry of Food and Drug Safety.
 10. Khan MI, Jung S, Nam KC, Jo C. 2016. Postmortem aging of beef with a special reference to the dry aging. *Korean J Food Sci An* 36:159-169.
 11. Kim TW, Lee JH, Kim SE, Park MH, Chang HC, Kim HY. 2009. Analysis of microbial communities in *doenjang*, a Korean fermented soybean paste, using nested PCR-denaturing gradient gel electrophoresis. *Int J Food Microbiol* 131:265-271.
 12. Kim WS, 2008. Development of guideline for establishment of shelf-life of foods. Ministry of Food and Drug Safety.
 13. Kim YHB, Kemp R, Samuelsson LM. 2016. Effects of dry-aging on meat quality attributes and metabolite profiles of beef loins. *Meat Sci* 111:168-176.
 14. Ladikos D, Lougovois V. 1990. Lipid oxidation in muscle foods: A review. *Food Chem* 35:295-314.
 15. Lee HJ, Choe J, Kim KT, Oh J, Lee DG, Kwon KM, Choi YI, Jo C. 2017. Analysis of low-marbled Hanwoo cow meat aged with different dry-aging methods. *Asian Australas J Anim Sci* 30:1733-1738.
 16. 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 An* 38:251-258.
 17. Nychas GJE, Skandamis PN, Tassou CC, Koutsoumanis KP. 2008. Meat spoilage during distribution. *Meat Sci* 78:77-89.
 18. Sujiwo J, Kim D, Jang A. 2018. Relation among quality traits of chicken breast meat during cold storage: Correlations between freshness traits and torrymeter values. *Poult Sci* 97:2887-2894.
 19. Yoon Y, Oh H, Lee J, Jung GH, Jo C, Lee HJ, Yoon JW, Kim M. 2018a. Novel *Debaryomyces hansenii* smfm201707 strain for softening meat and improving flavor and method for softening meat and improving flavor using the same. Korea Patent 10-2018-0042706.
 20. Yoon Y, Oh H, Jo C, Lee J, Jung GH, Lee HJ, Oh J, Yong HI, Choe J. 2018b. Novel *Pilaira anomala* smfm201611 strain for softening meat and improving flavor, and method of softening meat and improving flavor using the same. Korea Patent 10-1859417.
 21. Yun YG. 2014. Understanding on beef grading and marbling. *Grading information* 212:14-15.
 22. 강석남, 김일석, 남기창, 민병록, 이무하, 임동균, 장애라, 조철훈. 2018. 식육과학 4.0, 유한문화사.
 23. 식품의약품안전처, 2013. 식품 및 축산물의 유통기한 설정 실험 가이드라인. 식품의약품안전처. 발간등록번호 11-1471000-000032-01.
 24. 식품의약품안전처, 2014. 식육 중 미생물 검사요령. 식품의약품안전처 고시 제2014-135호.
 25. 식품의약품안전처, 2017. 식품, 식품첨가물, 축산물 및 건강기능식품의 유통기한 설정기준. 식품의약품안전처 고시 제2017-89호.
 26. 축산물품질평가원. (2016) 한우고기 건식숙성 방법설정 연구. 한우자조금 위원회.
 27. 한국식품연구원. 2018. 국내산 소고기의 미생물 유래 휘발성분 분석을 통한 신선도 판별. 한국식품연구원 보도자료. Available from: http://www.kfri.re.kr/cop/bbs/selectBoardArticle.do;jsessionid=78513DF2295853370D33FCDE1C149EDC?menuId=MNU_0000000000000327&siteId=&sysTyCode=&nttNo=37019&pageGubun=1&bbsId=BBSMS TR_000000000072&searchCnd=99&pageIdx=3. Accessed at Sep 30, 2018.