

# 생식 펫푸드 원료별 비가열 살균 처리 방법: 초고압과 방사선

백의빈<sup>1</sup> · 김학연<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>공주대학교 동물자원학과, <sup>2</sup>자연과학연구소

## Non-Thermal Sterilization Method for Raw Pet Food by Raw Material Using Ultra-High Pressure and Radiation

Ui-Bin Baek<sup>1</sup> and Hack-Youn Kim<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Animal Resources Science, Kongju National University

<sup>2</sup>Resource Science Research Institute, Kongju National University

### Abstract

As the number of households with pets has increased worldwide, there is a growing trend of accepting pets as family members. Consequently, the pet food market has seen the emergence of concepts such as “human-grade,” “raw (PMR and BARF),” and “no synthetic additives” pet food. These concepts not only fulfill essential nutrients but also consider the health and habits of pets, a crucial aspect that should be at the forefront of our work. However, these types of pet food are prone to microbial contamination and component alterations caused by heat. Current studies and products have recently been developed overseas to apply non-thermal sterilization technologies to pet food commonly used in the food industry. In contrast, the domestic standards for non-thermal sterilization in pet food are insufficient. Therefore, a comprehensive review of non-thermal sterilization technologies, such as high-pressure processing (HPP), radiation, and plasma predominantly applied in the international pet food market, is deemed necessary. This review is expected to provide guidelines for non-thermal sterilization standards in domestic pet food, thereby laying the foundation for the safe production of raw pet food.

**Key words:** raw pet food, non-thermal sterilization, high-pressure processing, radiation

## 서 론

최근 고령화, 비혼 주의, 도시화 등 사회 현상에 따른 덩크족과 핵가족, 그리고 1인 가구 증가와 같은 가구 형태 변화로 반려동물 양육 인구 증가와 함께 국내의 반려동물 시장 또한 확대되고 있다(Choe et al., 2023). 덩크족, 핵가족, 독거가구에 해당하는 1인, 2인 가구는 2022년 기준 전체 가구 구성 비율 대비 65%를 차지하고 있어 반려동물 양육 인구 증가에 큰 영향을 미친다(Ministry of the Interior and Safety, 2023). 이에 농림축산식품부의 ‘동물보호에 대한 국민의식조사’(2023)에 따르면 반려동물 양육 가구는 602만 가구로 총 가구수 대비 25.4%를 차지하고 있다. 반려동물 양육 가구 증가에 따른 반려동물 시장 규모의 변화는 2023년 기준 4조 5천 만으로 2020년 3조 3천 만 대비 36.36% 증

가율을 보일 것으로 예상되며, 지속적인 성장 추세가 전망된다(Korea Rural Economic Institute, 2018). 반려동물 세부 시장은 크게 펫푸드와 펫헬스케어, 펫서비스, 그리고 펫테크로 나눌 수 있으며, 이중 펫푸드는 가장 빠르게 성장하는 시장으로, 2020년 기준 글로벌 반려동물 시장가치(1억 3,824만 달러; 약 1,900억 원) 중 펫푸드 시장 가치가 약 70.94% (9,807만 달러; 약 1,348만 원)의 비중을 차지하고 있다(Gromek & Perek-Bialas, 2022). 국내 시장 또한, 2019년 기준 전체 반려동물 관련 산업 중 펫푸드가 57%의 비중을 차지하고 있으며, 전년 대비 5.4%의 성장률을 보이고 있다(Korea Consumer Agency, 2021). 또한, 전체 반려동물 양육비 중 50.7%의 비중을 펫푸드가 차지하고 있는 만큼 펫푸드 산업은 더욱 성장세를 보일 것으로 판단된다(KB Management Research Institute, 2021). 이에 펫푸드 시장이 성장하기 위해서는 기존의 곡류 중심에서 벗어난 단백질 중심의 펫푸드의 관리가 중요하며, 펫푸드의 유통을 위해서는 살균 조건 확립이 중요할 것으로 사료된다.

현재 펫푸드 트렌드는 반려동물을 의인화(擬人化)하는 펫휴머니제이션(pet humanization)으로, 사람이 먹는 재료로 만든 ‘휴먼그레이드(human grade)’와 반려동물의 습성을 고려

\*Corresponding author: Hack-Youn Kim, Department of Animal Resources Science, Resource Science Research Institute, Kongju National University, Chungnam 32439, Republic of Korea  
Tel: +82-41-330-1241; Fax: +82-41-330-1249  
E-mail: kimhy@konju.ac.kr  
Received June 24, 2024; revised July 31, 2024; accepted August 2, 2024

한 ‘생식’ 등과 같은 펫푸드가 연구 및 개발되고 있다(Ye et al., 2022). 이에 펫푸드는 초식 가축을 급여(feed)하기 위한 ‘사료’에서 반려동물이 섭취(food)하기 위한 ‘식품’의 형태로 변화하고 있다(Park et al., 2022). 사료의 형태도 기존의 건식 사료보다 기호성과 기능성이 뛰어난 냉동, 동결건조, 저온건조 등 최소 가공 펫푸드 시장이 빠르게 성장하고 있다(Geary et al., 2023). 소비자가 선호하는 사료의 주요 원료는 닭고기, 소고기, 양고기 연어, 칠면조, 돼지고기 등으로 나타났다으며, 이중 생식 사료에는 소고기, 돼지고기, 가금육(닭, 칠면조 등), 어육(연어 등)이 주로 사용된다(PEI, 2020). 그러나, 영양성분과 수분이 풍부한 고기를 원료로하는 생식 펫푸드는 기존 펫푸드보다 미생물 생장에 비교적 취약하다(Watson et al., 2023). 또한, 건강에 대한 관심이 증가하며 합성제제를 첨가하지 않은 식품을 원하는 소비자(반려인)의 니즈를 충족한 펫푸드는 쉽게 변질될 수 있어 적절한 살균 처리가 필요하다.

식품의 저장 기간을 늘리기 위한 살균 방법은 가온, 마이크로파, 적외선 등 가열 처리와 초고압, 플라즈마, 방사선 등 비가열 처리가 있다(Wang et al., 2023). 이중 가열 처리는 파우치, 캔, 트레이, 병 등 다양한 용기에 담은 식품에 직간접적으로 목표 균 온도에 도달할 때까지 열을 가하여 살균하는 가장 보편적인 방법이다(Barbosa-Cánovas et al., 2014). 이는 식품 내 미생물 활성을 저해하거나 풍미를 증진시키고 물리적 변화를 일으키는 등 중요한 식품 처리 공정이다(Miri et al., 2008). 그러나 보통 121-140°C에서 살균하는 가열 처리는 식품 고유의 풍미나 색상 등 품질특성을 감소시키고 일부 영양성분이 파괴되는 등 영향을 미친다(Lazárková et al., 2011). 영양성분 중 단백질은 30-35°C에서 myoglobin의 열변성이 시작되고 58-65°C에서 콜라겐의 폴리펩타이드 구조가 끊어지게 된다(Vinnikova et al., 2019). 혈장 단백질인 myoglobin은 가열에 따른 산화반응으로 60°C에서 붉은색, 60-70°C에서 분홍색, 70-80°C 이상에서 회갈색으로 변하여 육가공제품 기호에 큰 영향을 미친다(Han et al., 2024). 또한, 결합 조직 단백질인 콜라겐의 변성은 단백질의 가수분해를 유도하여 단백질의 경도를 감소하나 과도한 열변성은 오히려 단백질 강도를 증가시킬 수 있다(Yu et al., 2017). 이러한 가열 처리의 문제점으로 구성성분 대부분이 단백질인 축산물과 수산물은 열에 취약하여 화학적 살균을 시행하고 있으나, 살균제에 대한 미생물의 저항성과 내성이 증가하고 화학제제에 대한 소비자의 부정적 인식으로 대체 기술이 요구되고 있다(Lim & Ha, 2020). 이에 축산물과 수산물 같은 동물성 단백질을 다량 함유한 펫푸드 또한 기존의 살균 방법을 대체할 비가열 살균 기술이 제시되고 있다(Lim & Ha, 2020; Shin, 2020).

비가열 살균은 원재료의 변이를 최소화하고 미생물을 억제에 효과적인 살균 기술로 초고압과 방사선, 전기장, 플라즈마 등 물리적 처리 방법과 화학물질이나 세포벽 분해 효

소를 사용한 화학적 처리 방법이 있다(Song, 2020). 건강에 유익하고 오염으로부터 안전한 고품질 식품을 요구하는 소비자가 증가하며 합성제제에 대한 거부감이 높아져 확실한 살균을 위해 비가열 살균 처리가 고려되고 있다. 현재 식품 비가열 처리는 가열에 의해 효능이 감소할 수 있는 곡류, 과채류, 수산물, 축산물 등에 시행되고 있다(Chauhan et al., 2018). 이는 비가열 살균에 의해 곡류의 발아를 정지시키고 과일의 숙성을 늦추며, 식품 내 기생충과 미생물 생장을 억제하여 최종적으로 저장 기간을 증가시킨다(Jan et al., 2017). 펫푸드의 주요 원료인 육류나 어류의 미생물 제어는 고압 세척과 진공 및 가스 치환 포장, 저온 시스템, 그리고 소독수 살포 등이 시행되고 있다(Sohaib et al., 2016). 그러나 축산물과 수산물은 식물성 원료보다 외부 오염에 비교적 취약하고 쉽게 변질되어 식중독 균을 완전하게, 그리고 최소한의 가공으로 살균할 수 있는 효과적인 처리 방법이 요구된다(Molins et al., 2001). 이에 최근 다양한 축산물과 어류에 대한 방사선, 초고압, 플라즈마 등 비가열 살균 연구가 진행되고 있다. 그러나 미국, 유럽 등 펫푸드 산업 선진국과 달리 우리나라는 펫푸드 비가열 살균 기준이 미비한 실정으로 이를 정립하기 위한 기존 연구의 전반적인 리뷰가 필요할 것으로 판단된다.

### 주요 생식 펫푸드 원료별 특징 및 비열 살균 필요성

#### 소고기와 돼지고기

소고기와 돼지고기는 가금육과 함께 보편적으로 많이 사용되는 펫푸드 원료이다. 소고기는 대표적인 적색육으로 철분과 아연 함량이 높고 고품질 단백질을 제공한다(Davis et al., 2022). 돼지고기는 소고기와 함께 전세계적으로 많이 소비되는 적색육으로 고품질 단백질을 제공하며, 소고기보다 백색육 함량이 높다(Ponnampalam et al., 2024). 소고기와 돼지고기는 닭고기와 함께 국내에서 가장 많이 소비되는 육종이다. 특히 돼지고기는 소고기보다 낮은 가격과 높은 선호도로 2024년 1인당 연간 소비가능량이 29.5 kg (50.00%)으로 소고기(15.1 kg, 25.59%)와 닭고기(14.5 kg, 24.58%)보다 많이 소비될 것으로 나타났다(Korea Rural Economic Institute, 2024). 이에 국내 도축 및 집유시설 총 80곳 중 소고기와 돼지고기 도축가능 시설은 73곳이며, 염소와 사슴 등 다른 축종보다 체계적이며 위생적인 도축 시설을 유지하고 있다(Animal and Plant Quarantine Agency, 2024).

소고기와 돼지고기는 영양성분이 풍부한 식품으로 위해 미생물에 취약하여 취급에 주의가 필요하다. 이에 생육은 저온에서 유통되며 육가공품은 주로 가열조리를 통해 미생물을 억제한다(Chiozzi et al., 2022; Zhu et al., 2022). 반려동물 생식 사료의 경우 가열조리보다 생육의 영양성분을 보존하며, 저온 유통보다 안전한 살균 방법이 필요하다. 이에

**Table 1. Current status of non-heat treatment for raw beef and uncooked processed meat products**

Raw material meat	Non-heat treatment methods	Characteristics after treatment	Origin
Beef (chuck)	High-pressure processing 130/520 MPa 10°C, 260 s Storage: 0/1/2/3/4 weeks	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Metmyoglobin decreases up to 300 MPa</li> <li>■ Metmyoglobin increases from 301 MPa</li> <li>■ Brightness increases in the treatment group compared to the control group</li> <li>■ Microbial inhibition for 7 days at 520 MPa</li> </ul>	Jung et al. (2003)
Beef (sirloin)	High-pressure processing 400/600 MPa 5°C, 15 min Storage: 0/4/10/24 h	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ n-hexanal increase at 600 MPa</li> <li>■ Refrigerated storage recommended for 24 hours to 14 days</li> </ul>	Schindler et al. (2010)
Beef (sirloin patty)	High-pressure processing 300/400/500 MPa 25°C, 5 min Storage: 0/2/4/6/8/10 days	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ As the treatment pressure increases, the microbial inhibition effect increases</li> <li>■ Brightness increased compared to control at 500 MPa</li> <li>■ Redness decreased compared to control at 500 MPa</li> </ul>	Lee et al. (2021)
Beef (sirloin)	Gamma-ray 3/6/9 kGy	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 3-9 kGy gamma rays have no effect on pH</li> <li>■ 3-9 kGy treated was cooking loss decreases compared to the control group</li> <li>■ 9 kGy treated was shear force decreased, TBARS, and chroma increased compared to the control group</li> <li>■ More than 3 kGy treated was deoxymyoglobin and metmyoglobin increase</li> </ul>	Rodrigues et al. (2020)
Beef (patty)	Electron beam 2/4/6 kGy 25°C Storage: 0/1/3/5/7 months	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ More than 2 kGy treated was the detection of aerobic bacteria, mold, yeast, and coliforms reduced compared to the control group during the storage period</li> <li>■ When treated with more than 6 kGy, detection of mold and yeast decreases (about 1.1 log CFU/g) during the storage period compared to the control group (about 3.6 log CFU/g) and other treatments (about 2.1 log CFU/g)</li> </ul>	Tolentino et al. (2021)
Beef (sirloins)	Electron beam 4/8/12/16 kGy Storage: 1/7/14/21 days	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ When treated with 4-8 kGy, brightness, and redness increases, yellowness decreases, and the degree of odor is lower than the control in sensory evaluation</li> <li>■ 4-12 kGy electron beam has no effect on TBARS</li> </ul>	Yang et al. (2022)

최근 반려동물 생식 사료에 비가열 살균 방법을 적용한 연구가 발표되고 있다(Hadinoto et al., 2023; Serra-Castelló et al., 2023). Table 1과 Table 2는 각각 소고기와 돼지고기의 초고압 및 방사선 비가열 살균 현황과 결과를 정리하였다.

### 가금육

대표적인 가금육인 닭고기는 가격이 저렴하고 지방 함량이 2% 이하로 낮으며 필수 아미노산 함량은 8.29%로 소고기 등심(8.66%)과 유사한 수치를 나타내어 영양식으로 많이 소비되고 있다(Jo et al., 2021). 또한, 소고기, 돼지고기와 달리 종교적 제한이 없어 전 세계적으로 닭, 오리, 칠면조 등의 가금육이 많이 소비되고 있다(Dong et al., 2020). 이에 가금육과 가금육 부산물은 펫푸드 원료로도 많이 사용 및 연구되고 있다(Meeker et al., 2015).

생식 사료 원료로서의 가금육은 살모넬라 등 유해 미생물에 노출되기 쉬워 적절한 비가열 살균 처리가 필요하다(Barroug et al., 2021). 가금육 비가열 살균 처리는 초고압, 방사선, 플라즈마, 그리고 플라즈마 활성화 등이 연구되고 있

다(Chai & Sheen, 2021; Ji et al., 2021; Qian et al., 2022). 이러한 처리 방법은 가금육의 색, 풍미, 형태, 질감 변화 등에 영향을 미칠 수 있다(Khalid et al., 2023). 특히 가금육은 소고기와 돼지고기보다 근육조직이 부드러워 형태와 질감 변화에 민감하다(Lan et al., 1995). 이러한 가금육의 특징을 반영하여 가금육 비가열 살균 기준 설립이 필요할 것으로 판단된다. Table 3은 가금육의 초고압 및 방사선 비가열 살균 현황과 결과를 정리하였다.

### 어육

펫푸드 원료로 사용되는 어육은 주로 연어, 고등어, 참치 등으로 고단백 저지방 육류이며, 오메가3과 오메가-6, 그리고 비타민 D 등이 풍부하다(Ahmed et al., 2022).

어육은 소고기와 돼지고기, 닭고기와 같이 *Salmonella*와 *Listeria*, 그리고 *E. coli* 등에 대한 오염에 취약하다(Khan & Ullah, 2021). 그러나 어육은 육고기와 달리 자연적 또는 가공 과정에서 오염될 수 있는 미생물 군이 일부 다르다. 이에 어육은 *Pseudomonas*, *Shewanella*, 그리고 *Photobacterium*

**Table 2. Current status of non-heat treatment for raw pork and uncooked processed meat products**

Raw material meat	Non-heat treatment methods	Characteristics after treatment	Origin
Pork (leg ham patty)	High-pressure processing 600 MPa 10°C, 5 min Storage: 0/1/14/21 days	<ul style="list-style-type: none"> <li>Brightness and yellowness increased in the treatment group as opposed to the control group</li> <li>Redness decreased in the treatment group compared to the control group</li> </ul>	Martillanes et al. (2020)
Pork (leg ham)	High-pressure processing 100/200/300/400 MPa 1 min 600 Mpa Storage: 0/3/10/20 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fresh pork hind leg showed no inhibitory effect on <i>Toxoplasma gondii</i> at 400 MPa high-pressure treatment</li> <li>Dried hind leg inhibited <i>Toxoplasma gondii</i> at 600 MPa for 20 min</li> </ul>	Gracia et al. (2020)
Pork (loin)	High-pressure processing 200/300/400 MPa 4°C, 5 min Storage: 0/14/28/56/84 days	<ul style="list-style-type: none"> <li>Muscle fiber protein deformation occurred during pressurization</li> </ul>	Jia et al. (2021)
Pork (leg ham)	Gamma-ray 3/5/7 kGy Storage: 3/7/11/14 days	<ul style="list-style-type: none"> <li>When treated at 3 kGy or higher, odor intensity, redness, and sulfur compounds increased compared to the control group</li> <li>There was no difference in TBARS between the control group and the treatment group</li> </ul>	Li et al. (2017)
Pork (leg ham)	Gamma-ray 3/5/7 kGy Storage: 3/7/11/14 days	<ul style="list-style-type: none"> <li>Shear force decreased in the treatment group compared to the control group when treated at 3 kGy or higher</li> <li>Calpain was inactivated at 5 kGy or higher</li> <li>Muscle fiber fragmentation increased at 7 kGy or higher</li> </ul>	Zhang et al. (2020)
Pork (loin)	Electron beam 8/12 kGy Storage: 1/10/20/30 days	<ul style="list-style-type: none"> <li>At 8 kGy or higher, brightness and sensory preference decreased, while redness and TBARS increased compared to the control group</li> <li>Microbial inhibition occurred at 8 kGy or higher</li> </ul>	Yang et al. (2023)

등 미생물 군에 오염될 수 있다(Pedros-Garrido et al., 2018). 어육은 육고기와 달리 결체 조직이 연하고 수분함량이 높아 변성에 민감하다(Ahmed et al., 2022). 이에 어육은 가금육과 같이 근육조직이 물러 형태와 질감 변형에 민감할 것으로 판단된다. 또한, 이러한 특성으로 인하여 국내 어육 반려동물 생식 사료는 주로 동결건조하여 유통된다. 그러나 동결건조 어육은 식사보다는 간식의 개념이 강하고 공정 비용이 비싸 미생물을 억제할 수 있는 비가열 살균 방법의 고려가 필요하다. Table 4는 어육의 초고압 및 방사선 비가열 살균 현황과 결과를 정리하였다.

### 주요 생식 펫푸드 원료별 초고압 비열 살균 처리

소고기와 돼지고기의 초고압 비열 살균 처리  
초고압에 의한 육류의 화학적 변화는 myoglobin과 지질의 산화 등이 있다. 가압에 의한 육류 색상의 변화는 myoglobin 함량이 풍부한 적색육에서 더 예민한 변화를 나타낸다. 300 MPa 이상의 가압 시 myoglobin의 물리적 구조 파괴 및 산화의 촉진으로 명도는 증가하고 적색도는 감소하였으나, 이러한 초고압 처리로 인한 색상 변화는 보관기간이 증가할

수록 점차 사라지는 것으로 나타났다(Bak et al., 2012). 또한, myoglobin의 산화는 200 MPa 이상 가압한 소고기의 황색도 증가에도 영향을 미치는 것으로 나타났다(Marcos & Mullen, 2014). 백색근 함량이 많은 돼지고기의 등심은 5°C와 20°C에서 200 MPa 가압 후 명도, 적색도, 황색도, chroma, 그리고 hue angle 값이 증가하였다(Bak et al., 2012). 소고기의 가압에 의한 지질 산화(TBARS)는 20°C와 40°C에서 300 MPa 이상 가압하였을 때 대조구보다 증가하는 것으로 나타났다(McArdle et al., 2010). 이때 40°C에서 200 MPa 이하 처리한 처리구가 20°C에서 200 MPa 처리한 처리구보다 더 높은 TBARS 값을 나타내었다. Han et al. (2021)의 연구에서도 20°C에서 300 MPa 처리는 대조구보다 높은 TBARS 값을 나타내었으며, 20°C에서 200 MPa 처리는 대조구와 비슷한 TBARS 값을 보였다. 돼지고기의 지질 산화는 20°C에서 350 MPa 이상 처리 시 대조구보다 높은 TBARS 값을 나타내었다(He et al., 2012). 가압에 의한 지질 산화는 hemeprotein의 금속 이온 방출과 세포 막 파괴로 인한 산화 촉진, 마지막으로 단백질 변성에 의한 자유 라디칼에 의한 것이다(Bolumar et al., 2021).

초고압은 단백질 함량이 20% 이상인 육류에 대하여 근육 성장의 물리적 변화를 일으킨다. 소고기 양지와 돼지고

**Table 3. Current status of non-heat treatment for raw poultry and uncooked processed meat products**

Raw material meat	Non-heat treatment methods	Characteristics after treatment	Origin
Chicken (ground breast)	High-pressure processing 250/300/350/400/450 MPa 4-25°C, 10 min Storage: 7 days	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Inhibition of <i>Salmonella</i> and <i>Listeria</i> to below 5 log CFU/g when treated at 400 MPa or higher</li> </ul>	Chuang et al. (2020)
Chicken (breast)	High-pressure processing 100/200/300/400/500/600 MPa 5°C, 1/3/5/7/9 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sequential reduction of <i>Salmonella</i> with increased pressure</li> <li>■ No detection of <i>Salmonella</i> and color stability when treated at 500 MPa for more than 1 min</li> <li>■ No microbial detection when treated at 400 MPa for more than 5 min</li> </ul>	Cap et al. (2020)
Chicken (ground breast)	High-pressure processing 200/300/350 MPa 4°C, 4/8/12 min Storage: 24/48/72 h	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Reduction of <i>Salmonella</i> when treated at 300 MPa or higher</li> <li>■ Increase in brightness, redness, and yellowness when treated at 250 MPa or higher</li> </ul>	Chai and Sheen (2021)
Quail	Electron beam 1.5/3/5 kGy	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Increase in TBARS when treated at 1.5 kGy or higher</li> </ul>	Derakhshan et al. (2018)
Duck (frozen)	Electron beam 3/7 kGy	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ No detection of total bacteria and <i>E. coli</i> when treated at 3 kGy or higher</li> <li>■ Decrease in brightness and redness, and increase in yellowness, pH, and TBARS when treated at 3 kGy or higher</li> </ul>	Arshad et al. (2020)
Chicken (meatball)	Gamma-ray 3/5/7 kGy 23°C, 45/74/104 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Decrease in antibiotic residue and yellowness, and increase in weight loss and brightness compared to the control group when treated at 3 kGy or higher</li> <li>■ Decrease in redness when treated at 3-5 kGy, whereas an increase in redness when treated at 7 kGy</li> </ul>	Heydarian et al. (2023)
Chicken (breast)	Electron beam 2/5/10 kGy	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Muscle fiber damage when treated at 5 kGy or higher</li> <li>■ No significant effect on pH and general components when treated at 2-10 kGy</li> <li>■ Decrease in amino acid concentrations such as threonine, alanine, and cystine when treated at 10 kGy</li> </ul>	Vazirov et al. (2024)

기 등심의 pH는 200 MPa 이상 가압 시 대조구보다 증가하는 것으로 나타났다(McArdle et al., 2010; Grossi et al., 2016). 소고기 육포의 보수력은 200 MPa 이하로 20분 처리 시 증가하였으나, 300 MPa 이상 처리 시 감소하였다(Han et al., 2021). 돼지고기 등심의 보수력은 12.5°C 이하에서 200 MPa 이상 처리 시 증가하였으나, 12.6°C 이상의 온도에서 처리 시 압력 수준이 증가할수록 순차적으로 감소하였다(Hong et al., 2012). 소고기 등심의 전단력은 200-300 MPa 이하 처리 시 순차적으로 감소하였다(Neto et al., 2015; Han et al., 2021). 돼지고기 등심의 전단력은 20°C 이하에서 300 MPa 이상 처리하였을 때 대조구보다 유의적으로 감소하였다(Hong et al., 2012). 이는 고압에 의한 단백질의 변형, 해리, 응집, 겔화 등 이화학적 변화와 단백질 간 수소 결합의 강화 등에 따른 근육 성상의 변화에 따른 연화로 판단된다(Jia et al., 2021). Souza et al. (2011)은 215 MPa로 가압한 돼지고

기의 단백질 분해 정도와 근육 조직의 전자현미경 관찰로 Troponin-T와 Desmin 검출의 증가와 근원섬유의 손상을 나타내었다. 가압은 미생물 성장 억제에도 영향을 미친다. 육류에서 초고압은 미생물 막 단백질의 파괴와 자유 라디칼 형성에 영향을 미쳐 미생물을 억제할 수 있다(Albert et al., 2021). 육류 및 육류 제품의 초고압 저온 살균은 4-25°C에서 400-600 MPa의 압력과 3-10분의 압력 유지 시간이 필요하다(Gracia et al., 2020). 소고기와 돼지고기는 다른 육류와 같이 *Salmonella*, *Listeria*, *Campylobacter* 등 식중독 균 감염에 민감하며, 소고기는 특히 Shiga toxin-producing *Escherichia coli* (STEC) 감염에, 돼지고기는 *Salmonella*와 *Campylobacter* 유병률이 높아 주의가 필요한 미생물이다(Li et al., 2020a).

이를 종합하였을 때, 초고압은 5°C와 20°C의 온도 조건에서 300 MPa 이상의 가압은 소고기와 돼지고기의 명도와 적색도, 지질 산화, 그리고 pH가 증가하나, 보수력과 전단력,

**Table 4. Current status of non-heat treatment for raw fish and uncooked processed meat products**

Raw material meat	Non-heat treatment methods	Characteristics after treatment	Origin
Pollock (surimi)	High-pressure processing 150/300 MPa 5°C, 24 h	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Increased brightness compared to the control group when treated at 300 MPa</li> <li>■ Increased water-binding capacity compared to the control group when treated at 150 MPa</li> <li>■ Increased elasticity compared to the control group when treated at 300 MPa</li> </ul>	Cando et al. (2015)
Flying fish (surimi)	High-pressure processing 40/80/125/200 MPa -15°C, 10 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Increased viscoelasticity and breaking strength compared to the control group when treated at 40 MPa or higher</li> <li>■ Improved protein structure compared to the control group when treated at 125 MPa or higher</li> </ul>	Moreno et al. (2015)
Salmon, Flounder (fillet)	High-pressure processing 500 MPa 4°C, 2 min Storage: 0/3/6/8/12 days	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Lower incidence of sulfur compounds and ketones during storage compared to the control group when treated with high-pressure</li> <li>■ Lower detection rates of microorganisms (enterobacteria, mesophilic bacteria, psychrotrophic bacteria, <i>Pseudomonas</i> spp.) compared to the control group during storage for up to 8 days when treated with high-pressure</li> <li>■ Increased brightness and yellowness, but decreased sensory color and texture compared to the control group when treated with high-pressure</li> </ul>	Castrica et al. (2021)
Nile tilapia ( <i>Tilapia nilotica</i> )/ Smoked Herring/ Smoked mackerel	Gamma-ray 1.5/3/4.5 kGy 2-3°C±1°C, 30 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ In fresh <i>Nile tilapia</i>, <i>Enterococci</i> (0 kGy: 3.47 log CFU), <i>Staphylococcus aureus</i> (0 kGy: 2.51 log CFU), yeasts (0 kGy: 3.9 log/CFU), and molds (0 kGy: 1.84 log CFU) were detected at 2 log CFU or less when treated with 3 kGy or more</li> <li>■ In fresh <i>Nile tilapia</i>, peroxide value, acid value, and TBARS values increased sequentially when treated with 1.5 kGy or more</li> <li>■ In fresh <i>Nile tilapia</i>, sensory evaluation scores decreased when treated with 3 kGy or more</li> </ul>	Al-Kuraieef. (2021)
Largemouth bass ( <i>Micropterus salmoides</i> )	Gamma-ray 3/6 kGy 0-4°C  Electron beam 3/6 kGy 0-4°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ In fresh largemouth bass treated with 3 kGy or more, both gamma-ray and electron beam increased the acid value, peroxide value, and TBARS values, and the gamma-ray treatment group showed higher values than the electron beam treatment group.</li> <li>■ In fresh freeze-dried largemouth bass treated with 3 kGy or more gamma-ray, the acid value, peroxide value, and TBARS values increased, and the fresh treatment group showed higher values than the freeze-dried treatment group.</li> </ul>	Li et al. (2020)
Salmon (fillet)	Electron beam 0/2/4/7/10 kGy	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Increased TBARS values when treated at 2 kGy or higher</li> <li>■ Increased amino acid content and shear force when treated at 7 kGy or higher</li> <li>■ Loss of vitamin A when treated at 10 kGy or higher</li> </ul>	Yu et al. (2023)

그리고 미생물 검출율은 감소함을 알 수 있다. 그러나 온도 조건과 가압 유지 시간에 의하여 같은 부위에서도 상이한 결과를 나타내어 이화학적 및 관능적으로 우수한 초고압 조건을 연구할 필요가 있을 것으로 판단된다.

**가금육의 초고압 비열 살균 처리**

가금육은 소고기와 돼지고기 보다 백색근 함량이 높다. 또한, 운동량에 따라 부위별 백색근 분포의 차이에 의하여

가슴살은 백색근 함량이 높고 다리살은 적색근 함량이 높아 다양한 이화학적 변화가 나타날 것으로 판단된다. 초고압에 의한 가금육의 색상 변화는, 닭가슴살을 15°C에서 300 MPa 이상으로 5분 처리 시 명도는 순차적으로 증가하고 적색도는 순차적인 감소를 보였다(Kruk et al., 2011). Dong et al. (2021)은 닭가슴살을 25°C에서 200 MPa 이상으로 10분 처리 시 명도와 황색도는 순차적으로 증가하고 적색도는 순차적으로 감소하였다. Marušić Radovčić et al. (2019)은

닭가슴살을 200 MPa 이상으로 5분 및 10분 처리하였을 때, 두 처리구 모두 명도, 적색도, 황색도가 대조구보다 증가하였으며, 10분 처리구에서 더 높은 증가폭을 나타내었다. 가압에 의한 닭고기의 지질 산화는 300 MPa 이상 처리 시 순차적으로 증가하여 소고기, 돼지고기와 유사한 결과를 나타내었다(Kruk et al., 2011; Jung et al., 2012). 가압 시 닭가슴살의 pH와 물성은 200 MPa 이상 처리 시 대조구보다 높은 값을 나타내었다(Dong et al., 2021). 닭가슴살의 보수력과 가열수율은 100 MPa 이하 처리 시 증가하였으나, 200 MPa 이상 처리 시 순차적으로 감소하는 것으로 나타났다(Marušić Radović et al., 2019). 가금육에서 주의해야 할 미생물은 *Escherichia coli*, *Listeria*, 그리고 *Salmonella*가 있으며, 닭고기와 칠면조 생육에서 *Salmonella*에 의한 오염을 특히 주의해야 할 것으로 판단된다(Li et al., 2020a). 닭가슴살은 15°C에서 450 MPa 이상으로 5분 처리 시 *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli*, 그리고 *Listeria monocytogenes*가 14일의 저장 기간 동안 4 log CFU/g 미만 검출되어 높은 억제 효과를 나타내었다(Kruk et al., 2011). Sheen et al. (2015)은 분쇄한 닭가슴살을 450 MPa에서 15분 처리 시 살모넬라의 현미경 구조에서 세포 손상이 발생한 것으로 나타났다. Chuang et al. (2020)은 분쇄 닭고기를 25°C에서 400 MPa 이상으로 10분 처리 시 *Salmonella* spp.와 *Listeria monocytogenes*가 5 log CFU/g 미만의 검출을 나타내었다.

이를 종합하였을 때, 초고압은 25°C 이하의 온도 조건에서 200 MPa 이상의 가압은 가금육의 명도와 황색도, 지질 산화, pH, 그리고 물성의 증가에 영향을 미쳤다. 반면, 보수력과 가열수율은 200 MPa 이상 처리 시 감소하는 것으로 나타났다. 가금육의 초고압 살균은 15-25°C 온도 조건에서 400 MPa 이상으로 5분 이상 처리하는 것이 *Salmonella*와 *Listeria*, 그리고 *Escherichia coli*의 억제에 효과적일 것으로 판단된다.

#### 어육의 초고압 비열 살균 처리

어육의 초고압 처리는 변색, 경도 증가, 보수력 저하, 지질산화 촉진, 단백질 산화 등의 등의 이화학적 변화가 나타날 수 있다. 연어와 가자미에서 500 MPa 처리는 pH 증가에 영향을 나타내었다(Castrica et al., 2021). 초고압에 의한 어육의 색상 변화는 참치와 명태에서 200 MPa 이상 처리 시 명도가 증가하였다(Matser et al., 2000; Cando et al., 2015). 연어와 가자미에서도 500 MPa 이상 처리 시 대조구보다 명도와 황색도의 증가를 보였다(Castrica et al., 2021). 잉어는 100 MPa 이상 처리 시 명도와 적색도, 그리고 황색도가 증가하는 것으로 나타났다(Sequeira-Munoz et al., 2006). 날치는 40-125 MPa 이상, 명태는 300 MPa 이상 처리 시 대조구보다 단단한 질감을 가지는 것으로 나타났다(Cando et al., 2015; Moreno et al., 2015). 연어와 대구는 111 MPa 이상 처리 시 가열 감량이 증가하였고, -20°C에서 193 MPa 처리

시 hardness와 cohesiveness가 증가하였다(Malinowska-Pańczyk et al., 2014). 지질 산화의 변화는 잉어에서 100 MPa, 15분 이상 처리 시 대조구보다 증가하였다(Sequeira-Munoz et al., 2006). 이는 고압 처리에 의한 효소 방출과 리소좀 막의 손상에 의한 것으로 나타났다(Senturk et al., 2013). 초고압에 의한 어육의 미생물 억제 효과는 아래와 같다. 500 MPa 처리한 연어와 가자미는 저장 기간 8일 까지 대조구보다 장내세균, 중온성균, 저온성균, *Pseudomonas* spp.가 억제되었다(Castrica et al., 2021). 5°C에서 10분간 150 MPa 처리한 후 가스 포장(50% O<sub>2</sub>+50% CO<sub>2</sub>)한 연어의 경우 *Shewanella putrefaciens*와 *Listeria monocytogenes*, 그리고 *Salmonella typhimurium*의 억제에 효과적으로 나타났다(Amanatidou et al., 2000). 훈제 송어와 생 메기에서 200-600 MPa, 1-5분 처리는 *Listeria monocytogenes*를 6 log<sub>10</sub> CFU/g 이상의 감소를 나타내었다(Mengden et al., 2015).

이를 종합하였을 때, 어육의 초고압 처리는 100 MPa 이상 처리 시 명도와 적색도, 그리고 황색도 증가에 영향을 미쳤다. 또한, 전단력과 TBARS 값을 증가시켰다. 어육의 미생물 억제를 위한 조건은 200 MPa, 10분 이상 처리하는 것이 *Listeria*, *Salmonella* 등에 효과적일 것으로 판단된다.

### 주요 생식 펫푸드 원료별 방사선 비열 살균 처리

#### 소고기와 돼지고기의 방사선 비열 살균 처리

방사선은 소고기와 돼지고기의 색상과 전단력, 가열감량, 미생물 억제 등 이화학적 영향을 미친다. 그러나 소고기, 돼지고기의 pH는 2.5-10 kGy의 방사선(감마선과 전자빔)에서 유의적인 영향을 받지 않았다(Ham et al., 2017; Rodrigues et al., 2020). 방사선(전자빔)에 의한 소고기의 색상은 4 kGy 이상 처리 시 명도와 적색도는 감소하였고, 황색도는 증가하였다(Yang et al., 2022). 방사선에 의한 소고기의 적색도 감소는 Fe<sup>2+</sup>의 이온화로 인한 methemoglobin의 형성과 자유 라디칼의 생성 등에 의해 발생된다(Bliznyuk et al., 2023). 방사선(감마선, 전자빔)에 의한 돼지고기의 색상은 3 kGy 이상 처리 시 적색도는 증가하였고, 명도는 감소하였다(Li et al., 2017; Yang et al., 2023). 소고기와 돼지고기의 지질 산화는 4-7 kGy의 방사선(감마선과 전자빔)에서 유의적인 영향을 받지 않았다(Li et al., 2017; Yang et al., 2022). 또한, 소고기와 돼지고기는 각각 9 kGy와 8 kGy 이상 처리 시 TBARS 값이 감소하였다(Rodrigues et al., 2020; Yang et al., 2023). 소고기와 돼지고기의 생육 및 조리하지 않은 육가공품에 대한 방사선의 미생물 억제 효과는 2-16 kGy의 범위에서 연구되었다. 소고기의 총 미생물 생존수(total viable count, TVC)와 총 대장균군수(total coliform count, TCC), 총 효모 및 곰팡이수(total yeast and mold count)는 2-6 kGy 조사 시 대조구보다 각각 0.91-2.79, 1.14-1.62, 1.24-2.10 kGy 범위로 감소하

였다(Haquea et al., 2017). 또한, 다진 소고기에 항산화제인 카르바크롤과 티몰, 피로인산사나트륨, 그리고 아스코르브산을 첨가하여 방사선 조사 시, 방사선만 조사한 처리구보다 *E. coli*와 *Salmonella typhi*에 대한 항균 효과가 증가한 것으로 나타났다(Chiasson et al., 2004). 돼지고기에서 방사선과 항산화제의 병행은 항산화제인 키토산과 카르바크롤, 차 폴리페놀, 포도씨 추출물, 그리고 D-sodium erythorbate를 첨가하여 1-3 kGy의 저선량에서 TPC와 *Salmonella typhimurium*, 그리고 *Staphylococcus aureus*의 억제 효과를 나타내었다(Hu et al., 2021; Chen et al., 2023).

이를 종합하였을 때, 11 kGy 이하의 방사선은 소고기와 돼지고기의 pH에 유의적인 영향을 미치지 않았다. 3-4 kGy 이상의 방사선 처리는 소고기와 돼지고기의 색상을 변화시켰으며 소고기는 적색도가 감소한 반면, 돼지고기는 증가하였다. 8-9 kGy 이상은 소고기와 돼지고기의 TBARS 값 증가에 영향을 미치며, 2 kGy 이상에서 미생물 억제 효과를 나타내었다.

#### 가금육의 방사선 비열 살균 처리

방사선은 가금류의 색상, 지질 산화, 미생물 억제 등에 영향을 미칠 수 있다. 그러나 2-10 kGy의 방사선(감마선과 전자빔)은 pH와 가열수율, 일반성분 등에는 유의적인 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다(Islam et al., 2019; Vazirov et al., 2024). 색상의 경우 닭과 오리고기에서 3 kGy 이상 처리 시 색상 변화나 나타났으며, 닭고기의 경우 명도는 순차적으로 증가하였으나 적색도와 황색도는 순차적인 감소를 나타내었다(Heydarian et al., 2023). 방사선에 의한 닭과 오리고기의 지질 산화는 1 kGy 이상 처리부터 대조구보다 TBARS 값이 증가하였으나 유의적인 영향은 3 kGy 이상 처리부터 나타났다(Islam et al., 2019; Arshad et al., 2020). 그러나 메추라기 고기의 경우 1.5 kGy 이상 처리부터 대조구보다 유의적인 TBARS 값의 증가를 나타내었으며, 이는 메추라기 근내 지방 중 불포화지방산이 75% 이상 함유되어 있어 방사선의 영향에 민감한 것으로 판단된다(Derakhshan et al., 2018). 방사선의 가금육 내 미생물 억제는 방사선 단독 처리 뿐만 아니라 항산화 성분 첨가를 병행한 연구가 많이 진행되고 있다. 방사선 단독 처리의 경우 닭고기와 닭 내장에서 방사선을 1 kGy 이상 처리 시 *Salmonella enterica*와 *Campylobacter jejuni*가 5 log CFU/g 미만으로 검출되었고, 2 kGy 이상 처리 시 미검출 되었다(Mahmoud et al., 2015; Gunther and Nereus et al., 2019). 오리고기는 3 kGy 이상 처리 시 총균수와 대장균이 검출되지 않았다(Arshad et al., 2020). 방사선 조사와 항산화 물질을 함유한 구아바일 추출물 첨가를 병행할 시, 2 kGy의 선량에서도 호기성 미생물과 대장균에 대한 저해 효과가 나타나 천연 항산화 성분은 방사선 조사 후에도 항산화 효능이 있음을 알 수 있었다(Sadiq et al., 2023). 또한, 합성 항산화물인 무기피로인산염

과 신남알데하이드, 그리고 아스코르브산은 증온성 및 저온성 미생물에 대하여 높은 저해 효과를 나타내었으며, 항균 능력은 무기피로인산, 신남알데하이드, 아스코르브산 순으로 높게 나타났다(Ayari et al., 2016). 이외에도 phytic acid와 tea polyphenol, 그리고 케일 등 항산화제의 첨가는 방사선 조사 시 미생물 억제에 효과를 준 것으로 나타났다(Khalid et al., 2021; Long et al., 2021). 이러한 항산화제 첨가는 방사선 저항성이 높은 미생물이나 소비기간 중 외부 오염 요인을 예측 및 제거할 필요가 있는 완제품에 대하여 방사선 조사량 감소에 응용할 수 있을 것으로 판단된다. 가금육 방사선 처리는 잔류 항생제 감소에도 영향을 미친다. 방사선 처리 시 닭고기 내 amoxicillin, doxycycline, ciprofloxacin, enrofloxacin, oxytetracycline, 그리고 sulfadiazine 등 잔류 항생제(Alsager et al., 2018; Heydarian et al., 2023). 이는 방사선에 의한 hydroxyl radical 생성으로 항생제의 화학 구조가 파괴되며, 화학 구조가 복잡할수록 hydroxyl radical에 저항성을 가진다(Alsager et al., 2018).

이를 종합하였을 때, 3 kGy 이상의 방사선 처리는 색상과 TBARS에 영향을 미치나 가금육의 주요 식중독 균을 억제하고, 항산화제와 병행 처리로 필요 선량을 낮출 수 있다. 또한, 7 kGy 이상의 방사선 처리는 가금육 내 잔류 항생제를 감소할 수 있다.

#### 어육의 방사선 비열 살균 처리

무지개 송어는 3 kGy의 감마선 처리 시 대조구보다 명도가 증가하였고 적색도와 황색도는 감소하였다(Dvořák et al., 2005). Moini et al. (2009)과 Oraei et al. (2012)은 무지개 송어에 1 kGy 이상의 감마선 처리 시 대조구보다 pH가 증가하여, 방사선 조사는 어육의 pH 증가에 영향을 주는 것으로 판단된다. 전단력은 7 kGy 이상 처리한 연어에서 대조구보다 증가하는 것으로 나타났다(Yu et al., 2023). 또한, 대서양 가다랑어에 1.5 kGy 이상의 감마선 처리 시 대조구보다 hardness가 증가하는 것으로 나타났다(Mbarki et al., 2008). 지질 산화는 2 kGy 이상 처리한 연어에서 TBARS 값이 증가하는 것으로 나타났다(Yu et al., 2023). Mbarki et al. (2008)은 대서양 가다랑어에 1.5 kGy 이상의 감마선 처리 시 대조구보다 과산화물가가 증가하는 것으로 나타났다. Li et al. (2020b)은 신선한 큰입배스에 3 kGy 이상의 감마선과 전자빔 처리 시 산가(acid value), 과산화물가(peroxide value), 그리고 TBARS 값이 증가하였으며, 이때 감마선 처리구가 전자빔 처리구보다 높은 값을 나타내었다. 또한, 동결건조한 큰입배스 처리구가 신선한 큰입배스 처리구보다 낮은 산가, 과산화물가, TBARS 값을 나타내었다. 이에 방사선은 소고기와 돼지고기, 그리고 닭고기와 함께 어육의 지질 산화 촉진에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 방사선 조사한 어육의 관능 평가는 appearance, odor, colour, texture, taste 항목에서 1-10 kGy 이상의 방사선 처리한 무지개 송어, 틸라

피아, 삼치, 염장한 도미 필렛에서 대조구와 유의적 차이를 나타내지 않았다(Abu-Tarboush et al., 1996; Chouliara et al., 2004; Moini et al., 2009; Oraei et al., 2012). 방사선의 어육 미생물 억제 효과는 총 호기성균의 경우 3 kGy 이상의 감마선 처리 시 150일의 저장 기간 동안 2 log CFU/g 이하로 감소하였다(Oraei et al., 2011). 염장한 도미살의 중온성균은 1-3 kGy의 감마선 처리 시 대조구보다 1.8-3.2 log CFU/g 감소하였다(Chouliara et al., 2004). *Shewanella putrefaciens*와 *Enterobacteriaceae*, *Brochothrix thermosphacta*, 그리고 lactic acid bacteria는 3 kGy 처리구에서 14일의 저장 기간 동안 2 log CFU/g 미만으로 검출되었다. 1.5-3 kGy의 감마선 처리 한 틸라피아와 삼치는 *Yersinia*와 *Campylobacter* 억제에 효과적인 것으로 나타났다(Abu-Tarboush et al., 1996). 또한, 6-10 kGy의 감마선 처리는 저온성균 살균에 효과적이었으나, 낮은 관능 평가 점수를 받았다. 이에 Abdeldaiem et al. (2018)은 은잉어에 0.5% 로즈마리 에센셜 오일을 첨가한 후 1 kGy의 감마선을 처리하여 *Enterobacteriaceae*와 *Staphylococcus aureus*, 그리고 *Bacillus cereus* 억제 및 *Vibrio* spp. 살균 효과를 나타내었다. 또한, 로즈마리 에센셜 오일을 첨가한 후 3 kGy 이상의 감마선 처리 시 *Salmonella* spp.와 *Bacillus cereus* 살균 처리 효과를 보였다.

이를 종합하였을 때, 어육의 방사선 처리는 1-3 kGy 이상 처리 시 pH와 전단력, 지질 산화, 그리고 명도가 증가하였다. 반면, 적색도와 황색도는 감소하는 것으로 나타났다. 1-6 kGy의 방사선 처리는 관능 평가 appearance, odor, colour, texture, taste 항목에서 대조구와 유사한 점수값을 나타내었다. 또한, 3 kGy 이상의 처리는 총 호기성균과 *Salmonella*, *Campylobacter*, *Listeria*, *E. coli*, *Shewanella putrefaciens*, *Enterobacteriaceae*, *Brochothrix thermosphacta*, 그리고 *Yersinia* 등 미생물의 억제에 효과적인 것으로 판단된다.

## 요 약

반려동물 시장은 덩크족, 핵가족, 1인 가구 증가로 인해 확대되고 있으며, 2022년 기준으로 반려동물 양육 가구는 전체의 25.4%를 차지하고 있다. 펫푸드 시장은 가장 빠르게 성장하는 부문으로, 2020년 기준으로 글로벌 반려동물 시장의 약 70.94%를 차지하였다. 펫푸드의 주요 원료는 닭고기, 소고기, 연어 등이 있으며, 특히 생식 사료는 미생물 생장에 취약하다. 이를 해결하기 위해 방사선, 초고압 등 비가열 살균 처리 방법이 연구되고 있다. 특히 방사선 조사는 2-5 kGy에서 살모넬라, 리스테리아, 대장균을 효과적으로 억제하며, 저선량에서는 품질 변화가 적다. 그러나 국내 펫푸드 비가열 살균 기준은 아직 미비하여 추가 연구가 필요하다.

초고압은 5°C와 20°C의 온도 조건에서 300 MPa 이상의 가압 시 소고기와 돼지고기의 명도와 적색도, 지질 산화, pH가 증가하지만, 보수력과 전단력, 미생물 검출율은 감소한

다. 그러나 온도 조건과 가압 유지 시간에 따라 같은 부위에서도 상이한 결과가 나타나므로, 이화학적 및 관능적으로 우수한 초고압 조건에 대한 추가 연구가 필요하다. 11 kGy 이하의 방사선은 소고기와 돼지고기의 pH에 유의적인 영향을 미치지 않는다. 3-4 kGy 이상의 방사선 처리는 소고기와 돼지고기의 색상을 변화시키며, 소고기는 적색도가 감소하고 돼지고기는 증가한다. 8-9 kGy 이상에서는 TBARS 값 증가가 나타나며, 2 kGy 이상에서 미생물 억제 효과가 있을 것으로 판단된다.

가금류에서는 25°C 이하의 온도 조건에서 200 MPa 이상의 가압은 가금육의 명도와 황색도, 지질 산화, pH, 그리고 물성의 증가에 영향을 미쳤으나 보수력과 가열수율은 200 MPa 이상 처리 시 감소한다. 이에 가금육의 초고압 살균은 15-25°C 온도 조건에서 400 MPa 이상으로 5분 이상 처리하는 것이 미생물 억제에 효과가 있을 것으로 판단된다. 3 kGy 이상의 방사선 처리는 색상과 TBARS에 영향을 미치거나 가금육의 주요 식중독 균을 억제하고, 항산화제와 병행 처리로 필요 선량을 낮출 수 있다.

어육의 경우 100 MPa 이상 처리 시 명도와 적색도, 황색도, 전단력과 TBARS 증가에 영향을 미친다. 또한, 200 MPa에서 10분 이상 처리 시 *Listeria*와 *Salmonella* 등의 식중독 미생물 억제에 효과적인 것으로 판단된다. 방사선 조건은 1-3 kGy 이상 처리 시 pH, 전단력, 지질 산화, 명도를 증가시키고, 적색도와 황색도를 감소에 영향을 미친다. 또한, 1-6 kGy의 방사선 처리는 관능 평가에서 대조구와 유사한 점수를 나타내고, 3 kGy 이상 처리는 어육 내 미생물 억제에 효과적인 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청의 “농업과학기술개발협력연구사업(과제번호 RS-2023-00231378)”의 지원으로 수행되었습니다. 연구 수행에 도움을 주셔서 감사합니다.

## References

- Abdeldaiem MH, Mohammad HG, Ramadan MF. 2018. Improving the quality of silver carp fish fillets by gamma irradiation and coatings containing rosemary oil. *J. Aquat. Food Prod. Technol.* 27(5): 568-579.
- Abu-Tarboush HM, Al-Kahtani HA, Atia M, Abou-Arab AA, Bajaber AS, El-Mojaddidi MA. 1996. Irradiation and postirradiation storage at 2±2°C of Tilapia (*Tilapia nilotica* × *T. aurea*) and Spanish Mackerel (*Scomberomorus commerson*): Sensory and microbial assessment. *J. Food Prot.* 59(10): 1041-1048.
- Ahmed I, Jan K, Fatma S, Dawood MA. 2022. Muscle proximate composition of various food fish species and their nutritional significance: A review. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 106(3): 690-

- 719.
- Albert T, Braun PG, Saffaf J, Wiacek C. 2021. Physical methods for the decontamination of meat surfaces. *Curr. Clin. Microbiol. Rep.* 8: 9-20.
- Al-Kuraieef AN. 2021. Microbiological, chemical and organoleptic evaluation of fresh fish and its products irradiated by gamma rays. *Potr. S. J. F. Sci.* 15: 95-100.
- Alsager OA, Alnajrani MN, Alhazzaa O. 2018. Decomposition of antibiotics by gamma irradiation: Kinetics, antimicrobial activity, and real application in food matrices. *Chem. Eng. J.* 338: 548-556.
- Amanatidou A, Schlüter O, Lemkau K, Gorris LGM, Smid EJ, Knorr D. 2000. Effect of combined application of high pressure treatment and modified atmospheres on the shelf life of fresh Atlantic salmon. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 1(2): 87-98.
- Animal and Plant Quarantine Agency. 2024. Status of slaughterhouse milk collection sites in 2024. Available from: <https://www.qia.go.kr/viewwebQiaCom.do?id=63250&type=slauPlace>. Accessed Jun. 20. 2024.
- Arshad MS, Kwon JH, Ahmad RS, Ameer K, Ahmad S, Jo Y. 2020. Influence of E-beam irradiation on microbiological and physicochemical properties and fatty acid profile of frozen duck meat. *Food Sci. Nutr.* 8(2): 1020-1029.
- Ayari S, Han J, Vu KD, Lacroix M. 2016. Effects of gamma radiation, individually and in combination with bioactive agents, on microbiological and physicochemical properties of ground beef. *Food Control.* 64: 173-180.
- Bak KH, Lindahl G, Karlsson AH, Orlien V. 2012. Effect of high pressure, temperature, and storage on the color of porcine longissimus dorsi. *Meat Sci.* 92(4): 374-381.
- Barbosa-Cánovas GV, Medina-Meza I, Candoğan K, Bermúdez-Aguirre D. 2014. Advanced retorting, microwave assisted thermal sterilization (MATS), and pressure assisted thermal sterilization (PATS) to process meat products. *Meat Sci.* 98(3): 420-434.
- Barroug S, Chaple S, Bourke P. 2021. Combination of natural compounds with novel non-thermal technologies for poultry products: a review. *Front. Nutr.* 8: 628723.
- Bliznyuk U, Borshchegovskaya P, Chernyaev A, Ipatova V, Kozlov A, Khmelevskiy O, Mezhetova I, Nikitchenko A, Rodin I, Kozlova E. 2023. Hemoglobin derivatives in beef irradiated with accelerated electrons. *Molecules.* 28(15): 5773.
- Bolmar T, Orlien V, Sikes A, Aganovic K, Bak KH, Guyon C, Stübler A, de Lamballerie M, Hertel C, Brüggemann DA. 2021. High-pressure processing of meat: Molecular impacts and industrial applications. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 20(1): 332-368.
- Cando D, Herranz B, Borderías AJ, Moreno HM. 2015. Effect of high pressure on reduced sodium chloride surimi gels. *Food Hydrocoll.* 51: 176-187.
- Cap M, Paredes PF, Fernández D, Mozgovej M, Vaudagna SR, Rodriguez A. 2020. Effect of high hydrostatic pressure on *Salmonella* spp. inactivation and meat-quality of frozen chicken breast. *LWT-Food Sci. Technol.* 118: 108873.
- Castrica M, Pavlovic R, Balzaretta CM, Curone G, Brecchia G, Copelotti E, Panseri S, Pessina D, Arnoldi C, Chiesa LM. 2021. Effect of high-pressure processing on physico-chemical, microbiological and sensory traits in fresh fish fillets (*Salmo salar* and *Pleuronectes platessa*). *Foods.* 10(8): 1775.
- Chai HE, Sheen S. 2021. Effect of high pressure processing, allyl isothiocyanate, and acetic acid stresses on *Salmonella* survivals, storage, and appearance color in raw ground chicken meat. *Food Control.* 123: 107784.
- Chauhan N, Singh J, Chandra S, Chaudhary V, Kumar V. 2018. "Non-thermal techniques: Application in food industries" A review. *J. Pharmacognosy. Phytochem.* 7(5): 1507-1518.
- Chen W, Yang J, Huang N, Zhang Q, Zhong Y, Yang H, Liu W, Yue Y. 2023. Effect of combined treatments of electron beam irradiation with antioxidants on the microbial quality, physicochemical characteristics and volatiles of vacuum-packed fresh pork during refrigerated storage. *Food Control.* 145: 109480.
- Chiasson F, Borsa J, Ouattara B, Lacroix M. 2004. Radiosensitization of *Escherichia coli* and *Salmonella* Typhi in ground beef. *J. Food Prot.* 67(6): 1157-1162.
- Chiozzi V, Agriopoulou S, Varzakas T. 2022. Advances, applications, and comparison of thermal (pasteurization, sterilization, and aseptic packaging) against non-thermal (ultrasounds, uv radiation, ozonation, high hydrostatic pressure) technologies in food processing. *Appl. Sci.* 12(4): 2202.
- Choe SY, Lee JS, Choi YB. 2023. A research on the status of domestic and foreign industries related to pet funeral and pet loss syndrome. *J. Humanit. Soc. Sci.* 14(2): 481-494.
- Chouliara I, Savvaidis IN, Panagiotakis N, Kontominas MG. 2004. Preservation of salted, vacuum-packaged, refrigerated sea bream (*Sparus aurata*) fillets by irradiation: microbiological, chemical and sensory attributes. *Food Microbiol.* 21(3): 351-359.
- Chuang S, Sheen S, Sommers CH, Zhou S, Sheen LY. 2020. Survival evaluation of *Salmonella* and *Listeria monocytogenes* on selective and nonselective media in ground chicken meat subjected to high hydrostatic pressure and carvacrol. *J. Food Prot.* 83(1): 37-44.
- Davis H, Magistrali A, Butler G, Stergiadis S. 2022. Nutritional benefits from fatty acids in organic and grass-fed beef. *Foods.* 11(5): 646.
- Derakhshan Z, Conti GO, Heydari A, Hosseini MS, Mohajeri FA, Gheisari H, Kargar S, Karimi E, Ferrante M. 2018. Survey on the effects of electron beam irradiation on chemical quality and sensory properties on quail meat. *Food Chem. Toxicol.* 112: 416-420.
- Dong K, Luo X, Liu L, An F, Tang D, Fu L, Teng H, Huang Q. 2021. Effect of high-pressure treatment on the quality of prepared chicken breast. *Int. J. Food Sci. Technol.* 56(4): 1597-1607.
- Dong M, Chen H, Zhang Y, Xu Y, Han M, Xu X, Zhou G. 2020. Processing properties and improvement of pale, soft, and exudative-like chicken meat: a review. *Food Bioproc. Tech.* 13: 1280-1291.
- Dvořák P, Kratochvíl B, Grolichová M. 2005. Changes of colour and pH in fish musculature after ionizing radiation exposure. *Eur. Food Res. Technol.* 220: 309-311.
- Geary EL, Parsons CM, Utterback PL, Templeman JR, Swanson KS. 2023. Standardized amino acid digestibility and nitrogen-corrected true metabolizable energy of frozen raw, freeze-dried raw, fresh,

- and extruded dog foods using precision-fed cecectomized and conventional rooster assays. *J. Anim. Sci.* 101: 1-9.
- Gracia MJ, Lázaro R, Pérez-Arquillué C, Pagán R, Ramos S, Garcia JL, Bayarri S. 2020. High-pressure processing (HPP) of raw and dry-cured ham from experimentally infected pigs as a potential tool for the risk control of *Toxoplasma gondii*. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 61: 102315.
- Gromek N, Perok-Białas J. 2022. Why is pet goods consumption imperceptible for economists? A scoping review. *SN Bus. Econ.* 2(11): 172.
- Grossi A, Olsen K, Bolumar T, Rinnan Å, Øgendal LH, Orlie V. 2016. The effect of high pressure on the functional properties of pork myofibrillar proteins. *Food Chem.* 196: 1005-1015.
- Gunther NW 4th, Abdul-Wakeel A, Scullen OJ, Sommers C. 2019. The evaluation of gamma irradiation and cold storage for the reduction of *Campylobacter jejuni* in chicken livers. *Food Microbiol.* 82: 249-253.
- Hadinoto K, Yang H, Zhang T, Cullen PJ, Prescott S, Trujillo FJ. 2023. The antimicrobial effects of mist spraying and immersion on beef samples with plasma-activated water. *Meat Sci.* 200: 109165.
- Ham YK, Kim HW, Hwang KE, Song DH, Kim YJ, Choi YS, Song BS, Park JH, Kim CJ. 2017. Effects of irradiation source and dose level on quality characteristics of processed meat products. *Radiat. Phys. Chem.* 130: 259-264.
- Han G, Chen Q, Xia X, Liu Q, Kong B, Wang H. 2021. High hydrostatic pressure combined with moisture regulators improves the tenderness and quality of beef jerky. *Meat Sci.* 181: 108617.
- Han J, Wang Y, Wang Y, Hao S, Zhang K, Tian J, Jin Y. 2024. Effect of changes in the structure of myoglobin on the color of meat products. *Food Mater. Res.* 4(1): e011.
- Haqea MA, Hashema MA, Mujaffar MM, Rimaa FJ, Hossain B. 2017. Effect of gamma irradiation on shelf life and quality of beef. *J. Meat Sci. Technol.* 5(2): 20-28.
- He Z, Huang Y, Li H, Qin G, Wang T, Yang J. 2012. Effect of high-pressure treatment on the fatty acid composition of intramuscular lipid in pork. *Meat Sci.* 90(1): 170-175.
- Heydarian M, Khani M, Jebelli-Javan A, Rahman A. 2023. Comparing the effects of irradiation and ultrasound on enrofloxacin, oxytetracycline, and sulfadiazine residues in chicken meat. *Radiat. Phys. Chem.* 212: 111169.
- Hong GP, Chun JY, Lee SK, Choi MJ. 2012. Modelization and optimization of quality characteristics of pork treated various hydrostatic pressure conditions. *Food Sci. Anim. Resour.* 32(3): 274-284.
- Hu Z, Xiao Y, Wang B, Jin TZ, Lyu W, Ren D. 2021. Combined treatments of low dose irradiation with antimicrobials for inactivation of foodborne pathogens on fresh pork. *Food Control.* 125: 107977.
- Islam A, Sadakuzzaman Hossain A, Hossain M, Hashem A. 2019. Effect of gamma irradiation on shelf life and quality of indigenous chicken meat. *J. Bangladesh Agril. Univ.* 17(4): 560-566.
- Jan A, Sood M, Sofi SA, Norzom T. 2017. Non-thermal processing in food applications: A review. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 2(6): 171-180.
- Ji HJ, Byun EB, Chen F, Ahn KB, Jung HK, Han SH, Lim JH, Won Y, Moon JY, Hur J, Seo HS. 2021. Radiation-inactivated *S. gallinarum* vaccine provides a high protective immune response by activating both humoral and cellular immunity. *Front. Immunol.* 12: 717556.
- Jia G, Orlie V, Liu H, Sun A. 2021. Effect of high pressure processing of pork (*Longissimus dorsi*) on changes of protein structure and water loss during frozen storage. *LWT-Food Sci. Technol.* 135: 110084.
- Jo S, Yim E, Kim YS, Lo C, Shin D. 2021. Comparison of the chemical and amino acid compositions of breast meat of broiler and laying hens. *Food Sci. Preserv.* 28(2): 297-302.
- Jung S, Ghoul M, de Lamballerie-Anton M. 2003. Influence of high pressure on the color and microbial quality of beef meat. *LWT-Food Sci. Technol.* 36(6): 625-631.
- Jung S, Kang MG, Kim IS, Nam KC, Ahn DU, Jo CR. 2012. Effect of addition of phosvitin and high pressure processing on microbiological quality and lipid and protein oxidation of minced chicken leg meat. *Food Sci. Anim. Resour.* 32(2): 212-219.
- KB Management Research Institute. 2021. 2021 Korea Pet Report. Available from: <https://www.kbfg.com/kbresearch/report/reportView.do?reportId=2000160>. Accessed Jun. 19. 2024.
- Khalid W, Arshad MS, Yasin M, Imran A, Ahmad MH. 2021. Quality characteristics of gamma irradiation and kale leaf powder treated ostrich and chicken meat during storage. *Int. J. Food Prop.* 24(1): 1335-1348.
- Khalid W, Maggiolino A, Kour J, Arshad MS, Aslam N, Afzal MF, Meghwar P, Zafar K, Palo PD, Korma SA. 2023. Dynamic alterations in protein, sensory, chemical, and oxidative properties occurring in meat during thermal and non-thermal processing techniques: A comprehensive review. *Front. Nutr.* 9: 1057457.
- Khan N, Ullah K. 2021. Food-borne bacteria associated with contaminated fishes: A brief review. *J. Microbiol. Mol. Genet.* 2(1): 1-13.
- Korea Consumer Agency. 2021. 2020 Study on the use of consumer market evaluation indicators in Korea: Focusing on the furniture and pet-related products market. Available from: <https://www.kca.go.kr/smartconsumer/sub.do?menukey=7301&mode=view&no=1003084033>. Accessed Jun. 19. 2024.
- Korea Rural Economic Institute. 2018. Research on development plans for companion animal-related industries. Available from: <https://www.krei.re.kr/krei/researchReportView.do?key=67&biblioid=509979&pageType=010101&pageUnit=10&searchCnd=all&searchKrd=&pageIndex=1&engView=#n>. Accessed Jun. 19. 2024.
- Korea Rural Economic Institute. 2024. Agricultural Outlook 2024 (Volume 2): Agriculture and rural areas, challenges and future in an era of uncertainty. Available from: <https://www.krei.re.kr/krei/researchReportView.do?key=67&pageType=010101&biblioid=533622&pageUnit=10&searchCnd=all&searchKrd=&pageIndex=1>. Accessed Jun. 20. 2024.
- Kruk ZA, Yun H, Rutley DL, Lee EJ, Kim YJ, Jo C. 2011. The effect of high pressure on microbial population, meat quality and sensory characteristics of chicken breast fillet. *Food Control.* 22(1): 6-12.
- Lan YH, Novakofski J, McCusker RH, Brewer MS, Carr TR, McKeith FK. 1995. Thermal gelation of pork, beef, fish, chicken

- and turkey muscles as affected by heating rate and pH. *J. Food Sci.* 60(5): 936-940.
- Lazárková Z, Buňka F, Buňková L, Holán F, Kráčmar S, Hrabě J. 2011. The effect of different heat sterilization regimes on the quality of canned processed cheese. *J. Food Process Eng.* 34(6): 1860-1878.
- Li C, He L, Jin G, Ma S, Wu W, Gai L. 2017. Effect of different irradiation dose treatment on the lipid oxidation, instrumental color and volatiles of fresh pork and their changes during storage. *Meat Sci.* 128: 68-76.
- Li H, Sun X, Liao X, Gänzle M. 2020a. Control of pathogenic and spoilage bacteria in meat and meat products by high pressure: Challenges and future perspectives. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 19(6): 3476-3500.
- Li HL, Yu YH, Xiong GQ, Liao T, Zu XY. 2020b. Cobalt-60 and electron beam irradiation-induced lipid oxidation in largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 100(12): 4612-4617.
- Lim JS, Ha JW. 2020. The potential of X-ray irradiation as a new pasteurization technology for food. *Food Sci. Ind.* 53(3): 264-276.
- Long M, Liu M, Li Y, Tian Z, He Y, Shi B, Liang Q, Tan S. 2021. Analysis of flavor compounds in marinated chicken wings after irradiation and natural antioxidant (phytic acid and tea polyphenols) treatment. *Int. J. Food Eng.* 17(10): 783-794.
- Mahmoud BS, Chang S, Wu Y, Nannapaneni R, Sharma CS, Coker R. 2015. Effect of X-ray treatments on *Salmonella enterica* and spoilage bacteria on skin-on chicken breast fillets and shell eggs. *Food Control.* 57: 110-114.
- Malinowska-Pańczyk E, Walecka M, Pawłowicz R, Tylingo R, Kołodziejaska I. 2014. The effect of high pressure at subzero temperature on proteins solubility, drip loss and texture of fish (cod and salmon) and mammal's (pork and beef) meat. *Food Sci. Technol. Int.* 20(5): 383-395.
- Marcos B, Mullen AM. 2014. High pressure induced changes in beef muscle proteome: Correlation with quality parameters. *Meat Sci.* 97(1): 11-20.
- Marušić Radović N, Ježek D, Markov K, Frece J, Čurić D, Medić H. 2019. The effect of high pressure treatment on the quality of chicken breast meat. *Croat. J. Educ.* 14(3-4): 76-81.
- Matser AM, Stegeman D, Kals J, Bartels PV. 2000. Effects of high pressure on colour and texture of fish. *Int. J. High Press. Res.* 19(1-6): 109-115.
- Mbarki R, Sadok S, Barkallah I. 2008. Influence of gamma irradiation on microbiological, biochemical, and textural properties of bonito (*Sarda sarda*) during chilled storage. *Food Sci. Technol. Int.* 14(4): 367-373.
- McArdle R, Marcos B, Kerry JP, Mullen A. 2010. Monitoring the effects of high pressure processing and temperature on selected beef quality attributes. *Meat Sci.* 86(3): 629-634.
- Meeker DL, Meisinger JL. 2015. Companion animals symposium: Rendered ingredients significantly influence sustainability, quality, and safety of pet food. *J. Anim. Sci.* 93(3): 835-847.
- Mengden R, Röhrner A, Sudhaus N, Klein G. 2015. High-pressure processing of mild smoked rainbow trout fillets (*Oncorhynchus mykiss*) and fresh European catfish fillets (*Silurus glanis*). *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 32: 9-15.
- Ministry of Agriculture: Food and Rural Affairs. 2023. Announcement of 2022 public awareness survey on animal protection. Available from: <https://www.mafra.go.kr/home/5109/subview.do?enc=Zm5jdDF8QEB8JTJGYmJzJTJGaG9tZSUyRjc5MiUyRjU2NTI4MiUyRmFydGNsVmllldy5kbyUzRg%3D%3D>. Accessed Jun. 19. 2024.
- Ministry of the Interior and Safety. 2023. 2023 Administrative safety statistics yearbook (as of December 31, 2022). Available from: [https://www.mois.go.kr/fit/bbs/type001/commonSelectBoardArticle.do?sessionId=pT-BxuWpYTx41tVDoMbilg+-node10?bbsId=BBSMSTR\\_000000000013&nttId=102952](https://www.mois.go.kr/fit/bbs/type001/commonSelectBoardArticle.do?sessionId=pT-BxuWpYTx41tVDoMbilg+-node10?bbsId=BBSMSTR_000000000013&nttId=102952). Accessed Jun. 19. 2024.
- Miri T, Tsoukalas A, Bakalis S, Pistikopoulos EN, Rustem B, Fryer PJ. 2008. Global optimization of process conditions in batch thermal sterilization of food. *J. Food Process Eng.* 87(4): 485-494.
- Moini S, Tahergorabi R, Hosseini SV, Rabbani M, Tahergorabi Z, Feas X, Aflaki F. 2009. Effect of gamma radiation on the quality and shelf life of refrigerated rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets. *J. Food Prot.* 72(7): 1419-1426.
- Molins RA, Motarjemi Y, Käferstein FK. 2001. Irradiation: a critical control point in ensuring the microbiological safety of raw foods. *Food Control.* 12(6): 347-356.
- Moreno HM, Bargiela V, Tovar CA, Cando D, Borderías AJ, Herranz B. 2015. High pressure applied to frozen flying fish (*Parexocoetus brachyterus*) surimi: Effect on physicochemical and rheological properties of gels. *Food Hydrocoll.* 48: 127-134.
- Neto OC, Rosenthal A, Deliza R, Torrezan R, Ferreira JC, Leal WF, Gaspar A. 2015. Effects of hydrostatic pressure processing on texture and color of Zebu beef. *Food Bioproc. Tech.* 8: 837-843.
- Oraci M, Motallebi A, Hoseini E, Javan S. 2011. Effect of gamma irradiation and frozen storage on microbial quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillet. *Iran. J. Fish. Sci.* 10(1): 75-84.
- Oraci M, Motallebi A, Hoseini E, Javan S. 2012. Effect of gamma irradiation and frozen storage on chemical and sensory characteristics of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillet. *Int. J. Food Sci. Technol.* 47(5): 977-984.
- Park EY, Park SE, Yoon YH. 2022. Non-thermal decontamination on chicken tenderloin-based pet food with 2.5% lactic acid and hypochlorous acid water. *Food and Life.* 2022(1): 27-31.
- Pedros-Garrido S, Condón-Abanto S, Clemente I, Beltrán JA, Lyng JG, Bolton D, Brunton N, Whyte P. 2018. Efficacy of ultraviolet light (UV-C) and pulsed light (PL) for the microbiological decontamination of raw salmon (*Salmo salar*) and food contact surface materials. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 50: 124-131.
- PEI. Pet Food Institute. 2020. Pet Food Production and Ingredient Analysis. Available from: <https://www.petfoodinstitute.org/wp-content/uploads/20200310-Pet-Food-Report-FINAL.pdf>. Accessed Jun. 19. 2024.
- Ponnampalam EN, Priyashantha H, Vidanarachchi JK, Kiani A, Holman BWB. 2024. Effects of nutritional factors on fat content, fatty acid composition, and sensorial properties of meat and milk from domesticated ruminants: An overview. *Animals.* 14(6): 840.
- Qian C, Castañeda-Gulla K, Sattlegger E, Mutukumira AN. 2022. Enterotoxigenicity and genetic relatedness of *Staphylococcus aureus* in a commercial poultry plant and poultry farm. *Int. J.*

- Food. Microbiol. 363: 109454.
- Rodrigues LM, Sales LA, Fontes PR, de Almeida Torres Filho R, Andrade MPD, Ramos ADLS, Ramos EM. 2020. Combined effects of gamma irradiation and aging on tenderness and quality of beef from Nellore cattle. Food Chem. 313: 126137.
- Sadiq A, Arshad MS, Amjad RB, Munir H, Rohi M, Khalid W, Nadeem MT, Suleria HAR. 2023. Impact of gamma irradiation and guava leaf extract on the quality and storage stability of chicken patties. Food Sci. Nutr. 11(8): 4485-4501.
- Senturk T, Alpas H. 2013. Effect of high hydrostatic pressure treatment (HHPT) on quality and shelf life of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*). Food Bioproc. Tech. 6: 2306-2318.
- Sequeira-Munoz A, Chevalier D, LeBail A, Ramaswamy HS, Simpson BK. 2006. Physicochemical changes induced in carp (*Cyprinus carpio*) fillets by high pressure processing at low temperature. Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 7(1-2): 13-18.
- Serra-Castelló C, Possas A, Jofré A, Garriga M, Bover-Cid S. 2023. High pressure processing to control *Salmonella* in raw pet food without compromising the freshness appearance: The impact of acidulation and frozen storage. Food Microbiol. 109: 104139.
- Sheen S, Cassidy J, Scullen B, Uknalis J, Sommers C. 2015. Inactivation of *Salmonella* spp. in ground chicken using high pressure processing. Food Control. 57: 41-47.
- Shin JK. 2020. Commercial pasteurization of foods using high voltage pulsed electric fields treatment. Food Sci. Ind. 53(3): 28-294.
- Sohaib M, Anjum FM, Arshad MS, Rahman UU. 2016. Postharvest intervention technologies for safety enhancement of meat and meat based products; A critical review. J. Food Sci. Technol. 53: 19-30.
- Song KM. 2020. Current status of research on microbial disinfection of food using ultrasound. Food Sci. Ind. 53(3): 277-283.
- Souza CM, Boler DD, Clark DL, Kutzler LW, Holmer SF, Summerfield JW, Cannon JE, Smit NR, Mckeith FK, Killefer J. 2011. The effects of high pressure processing on pork quality, palatability, and further processed products. Meat Sci. 87(4): 419-427.
- Vazirov RA, Sokovnin SY, Krivonogova AS, Isaeva AG. 2024. Radiation surface antimicrobial processing of poultry meat and by-products using the nanosecond low-energy electron beam. Radiation Physics and Chemistry 217: 111528.
- Vinnikova L, Synytsia O, Kyshenia A. 2019. The problems of meat products thermal treatment. Food Sci. Technol. 13(2): 2073-8684.
- Wang J, Chen J, Sun Y, He J, Zhou C, Xia Q, Dang Y, Pan D, Du L. 2023. Ultraviolet-radiation technology for preservation of meat and meat products: Recent advances and future trends. Food Control. 148: 109684.
- Watson PE, Thomas DG, Bermingham EN, Schreurs NM, Parker ME. 2023. Drivers of palatability for cats and dogs—what it means for pet food development. Animals. 13(7): 1134.
- Yang J, Wei W, Holman BWB, Shi H, Zhang X, Dong P, Luo X, Qin H, Mao Y, Zhang Y. 2022. Effects of low-energy electron beam irradiation on the shelf-life and quality of vacuum-packaged beef steaks during chilled storage. Meat Sci. 193: 108932.
- Yang J, Zhang Y, Shi H, Zhang X, Dong P, Luo X, Qin H, Zhang Y, Mao Y, Holman BWB. 2023. Influence of low-energy electron beam irradiation on the quality and shelf-life of vacuum-packaged pork stored under chilled and superchilled conditions. Meat Sci. 195: 109019.
- Ye H, Bhatt S, Deutsch J, Suri R. 2022. Is there a market for upcycled pet food?. J. Clean. Prod. 343: 130960.
- Yu H, Zhang J, Zhao Y, Li H, Chen Y, Zhu J. 2023. Effects of specific doses of E-beam irradiation which inactivated SARS-CoV-2 on the nutrition and quality of Atlantic salmon. Food Sci. Hum. Wellness. 12(4): 1351-1358.
- Yu TY, Morton JD, Clerens S, Dyer JM. 2017. Cooking-induced protein modifications in meat. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 16(1): 141-159.
- Zhu Y, Wang W, Li M, Zhang J, Ji L, Zhao Z, Zhang R, Cai D, Chen, L. 2022. Microbial diversity of meat products under spoilage and its controlling approaches. Front. Nutr. 9: 1078201.

### Author Information

**백의빈:** 공주대학교 동물자원학과  
**김학연:** 공주대학교 동물자원학과  
 자연과학연구소