

## 저선량 감마선 반복조사의 육류와 생선 중 미생물 저감효과

제길수<sup>1</sup> · 정덕화<sup>1,2</sup> · 심원보<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>경상대학교 응용생명과학부, <sup>2</sup>경상대학교 농업생명과학연구원, <sup>3</sup>세계김치연구소

### Reducing Effect of Microorganism on Meat and Fish Products by Repeated $\gamma$ -Irradiation at Low Dose

Gil-Soo Je<sup>1</sup>, and Duck-Hwa Chung<sup>1,2</sup>, and Won-Bo Shim<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Applied Life Science, Graduate School, Gyeongsang National University, Jinju, Gyeongnam 660-701, Korea

<sup>2</sup>Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju, Gyeongnam 660-701, Korea

<sup>3</sup>World Institute of Kimchi, Gwangju 503-360, Korea

(Received November 4, 2014/Revised December 19, 2014/Accepted January 26, 2015)

**ABSTRACT** - The aim of this study is to examine the removal efficiency of pathogen (*Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella typhimurium*) on meat and fish products (packing condition: vacuum or not and storage temperature: 4°C or -20°C) repeatedly exposed at low-dose gamma irradiation. In case of meat products (beef and chicken), *E. coli* O157:H7 was not observed at the level of 2 kGy single gamma irradiation and 0.5 kGy repeated gamma irradiation and *S. Typhimurium* was not observed at the level of 2 kGy single gamma irradiation and 1 kGy repeated gamma irradiation. In case of fish products, *E. coli* O157:H7 and *S. Typhimurium* were not detected at the level of 0.5 kGy single and repeated gamma irradiation. These results showed that microorganisms on fish products were more efficiently removed than those of meat products with low-dose gamma irradiation. Generally, each packing condition made no difference. However, the products (fish and meat) stored at -20°C needed more higher dose gamma irradiation than products at 4°C.

**Key words** :  $\gamma$ -irradiation, repeated treatments, meat, fish, microbial safety

전 세계적으로 인류의 공중보건을 위협하고 질병발생과 사망의 주요 원인이기도 한 식중독이 큰 문제로 대두되고 있다. WHO에서는 전 세계적으로 식중독 사고로 180만 명이 사망한 것으로 보고하였다. 선진국인 미국에서도 매년 약 480만 명 정도의 세균성 식중독 환자가 발생하고 있다. 이 중 3,000명 정도가 사망하고 있으며, 연간 약 56-94억 달러의 직접 또는 간접비용이 소요된다고 추정하고 있다<sup>1)</sup>. 국내의 경우에도 식품의약품안전처 통계에 따르면 2002년부터 2013년까지 총 2,858건의 식중독이 발생하여 86,291명의 환자가 발생하였으며, 대부분 *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella Typhimurium*, *Vibrio parahaemolyticus* 및 *Staphylococcus aureus* 등이 원인인 것으로 확인되었다<sup>2)</sup>. 이들 병원성 미생물의 주요 감염원은 육류나 생선으로 이러한 식품은 가공 및 보관 방법에 따라 미생물 오염

에 의한 부패 및 식중독이 발생할 수 있어 품질을 유지하고 안전하게 소비할 수 있는 방안이 마련되어야 한다<sup>3)</sup>. 이들 방안 중의 하나인 방사선 조사기술은 대표적인 비가열 살균기술로 제품을 완전히 포장한 상태에서 처리할 수 있어 식품의 2차 오염 없이 안전하게 제품을 생산할 수 있고, 잔류독성 없이 식품 고유의 생화학적 품질 및 위생학적 품질을 유지할 수 있는 기술이다<sup>4,5)</sup>. 특히 전자선 혹은 감마선 조사는 국내외적으로 식품에 존재하는 유해 미생물을 제어하여 위생적인 상태로 유통하기 위한 방안으로 다양한 연구가 진행되었다<sup>6-10)</sup>. 현재는 식품에 존재하는 병원성 미생물을 효과적으로 사멸시킬 수 있는 식중독 예방 기술로 이용되고 있다<sup>11)</sup>. 미국의 경우 1993년과 1997년에 *E. coli* O157:H7에 오염된 햄버거 패티의 유통으로 인해 발생한 식중독 사망사고를 계기로 식육에 대한 방사선 조사 연구를 진행하였다. 다양한 연구결과를 바탕으로 식품 안전검사국(FSIS: Food Safety and Inspection Service)에서는 냉장육 4.5 kGy, 냉동육 7.0 kGy의 조사규격을 제정하여 방사선을 조사한 냉장냉동육의 유통을 허가하였다. 영

\*Correspondence to: Won-Bo Shim, World Institute of Kimchi, Gwangju 503-360, Korea  
Tel: 82-62-610-1759, Fax: 82-62-610-1850  
E-mail: wbskim@wikim.re.kr

국의 경우 식품과학기술연구소(IFST: International Journal of Food Science & Technology)에서 1991년 식육에 대해 7.0 kGy 조사를 승인하였다.

일반적으로 식품위생에 있어 감마선 조사는 단일조사를 기본으로 하고 있으나 1981년 FAO/IAEA/WHO의 전문가 위원회는 이온화 방사선의 반복 노출로 인하여 제품의 다른 품질 특성에 지장이 없는 경우에는 식품의 반복조사를 동의하였다<sup>12)</sup>. 하지만 우리나라는 방사선 반복조사를 활용한 식품의 미생물 생육에 대하여 연구된 결과는 거의 없는 상태이다. 따라서 본 연구에서는 식중독 세균 중 위험성과 식중독 발생가능성이 높은 *E. coli* O157:H7과 *S. Typhimurium*를 이용하여 포장 (진공, 일반) 및 저장 (냉장, 냉동) 방법을 달리한 식품의 저선량 감마선 반복조사가 미생물의 생육변화 대하여 미치는 영향을 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 사용균주 및 배지

본 실험을 위해 균주는 *E. coli* O157:H7 (KCCM 11264)와 *S. Typhimurium* (ATTC 43174)을 사용하였고, 증균배지는 tryptic soy broth (Difco, Becton Dickinson and Company, Sparks, MD, USA), 선택배지는 xylose lysine desoxycholate agar (Difco)와 sorbitol MacConkey agar (Difco)를 사용하였다.

### 육류 및 생선시료 준비

육류는 소고기 (우둔살)와 닭고기 (가슴살), 생선은 광어 회를 구입하여 아래와 같이 준비된 미생물 균주를 임의로 오염시켜 방사선 조사에 사용할 시료를 준비하였다. 먼저 tryptic soy broth (Difco) 10 mL에 *E. coli* O157:H7 및 *S. Typhimurium* 표준균주를 각각 0.1 mL씩 접종하여 37°C에서 24시간 동안 배양하여 활성화시킨 후 배양된 각 균액을 다시 tryptic soy broth (Difco) 10 mL에 0.1 mL씩 접종하여 동일 조건으로 재배양 하였다. 재배양된 균액은 *E. coli* O157:H7의 경우 sorbitol MacConkey agar (Difco)에, *S. Typhimurium*은 xylose lysine desoxycholate agar (Difco)에 각각 도말하여 선택배양(37°C, 24시간) 하였다. 선택배양 후 단일집락을 백금이로 채취하여 tryptic soy broth (Difco) 10 mL에 접종하여 37°C에서 24시간 증균시킨 다음 대량 배양을 위해 200 mL의 tryptic soy broth (Difco)에 증균액 100  $\mu$ L를 접종한 후 37°C에서 24시간 배양하여 표준균주 배양액을 준비하였다. 준비된 배양액은 4,000 rpm에서 15분간 원심분리 하여 상등액을 제거한 후 phosphate buffer saline (PBS, pH 7.4)를 사용하여 2회 세척 하였다. 세척이 끝난 침전물은 PBS 용액으로 재부유시켜 균수를 10<sup>9</sup> CFU/mL로 조정 한 다음 준비된 각각의 시료 5 g에 100  $\mu$ L씩 분주하여 *E. coli* O157:H7 및 *S. Typhimurium*를

임의로 오염시킨 후 진공포장 및 일반포장을 하였다. 이때 진공포장은 LLDPE (Linear Low-Density Polyethylene vinyl)를 사용하여 진공포장기(VP-5700, Rollpack, Pyeongtaek, Korea)로 포장하였다. 포장된 시료는 온도를 4°C와 20°C로 구분하여 냉장고 및 냉동고에 보관한 후 방사선 조사에 사용하였다. 대조군은 방사선 조사를 하지 않은 임의오염 시료로 하였다.

### 방사선 조사

방사선 조사는 한국원자력연구원 첨단방사선연구소 내 Co-60 감마선 조사시설(IR-221, MDS Nordion International Co. Ltd., Ottawa, Ontario, Canada)을 이용하였다. 식품처리 별 방사선 조사 요구선량에 기초하여 감마선 조사는 시간당 10 kGy의 선량율로 단일조사는 0.5, 1, 2, 5 및 10 kGy의 흡수선량이 되도록 처리하였고, 반복조사는 0.5, 1, 2, 및 5 kGy 흡수선량이 되도록 처리하였다. 이때 방사선 처리시간은 1시간, 처리시간 간격은 30분으로 설정하였으며, 반복조사는 2회, 3회로 하였다. 조사 후 총 흡수선량은 alanine dosimeter (5 mm, Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 사용하여 확인하였다.

### 병원성 미생물 생육도 확인

감마선 반복 조사가 병원성 미생물의 생육 및 사멸에 미치는 영향을 확인하기 위해 앞서 미생물을 오염시켜 감마선을 조사한 각각의 시료 5 g에 45 mL의 0.85%의 생리 식염수를 넣고 균질기(Stomacher 80, Seward, U.K)를 이용하여 균질화 하였다. 균질화된 시료는 0.85%의 생리 식염수를 이용하여 10진 단계희석법으로 10<sup>2</sup>~10<sup>6</sup>배 희석하였다. 단계희석하여 준비된 시료 중 *E. coli* O157:H7을 오염시켜 감마선을 조사한 시료는 sorbitol MacConkey agar (Difco)에, *S. Typhimurium*을 오염시켜 감마선을 조사한 시료는 xylose lysine desoxycholate agar (Difco)에 희석배수 별로 각각 1 mL 씩 분주하여 도말한 후 37°C에서 24시간 동안 배양하였다. 배양이 끝난 후 형성된 colony를 계수하여 미생물의 생육 및 사멸 정도를 확인하였다.

### 통계분석

각 항목에 대해 동일한 실험을 3회 반복 실시하였으며, 얻어진 결과들을 SPSS (Window ver. 12.0.1 SPSS Inc., USA)을 이용하여 각 시료간의 유의성을 검증한 후  $p < 0.05$  수준에서 Duncan의 multiple range test로 사후 검정을 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 소고기에 오염된 미생물 사멸효과

진공 및 일반포장 소고기를 감마선 선량별로 단일조사

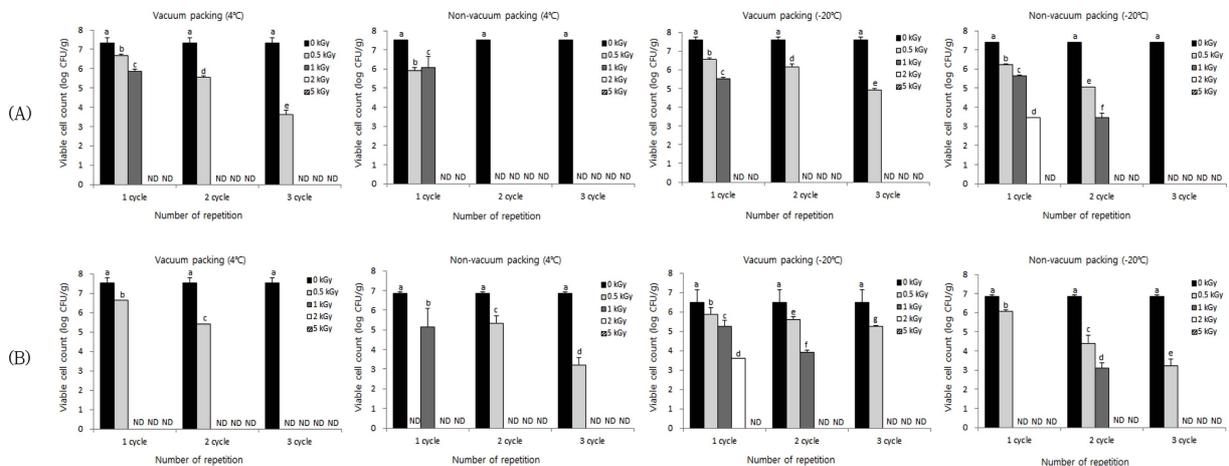
와 반복조사(2회, 3회) 하였을 때 *E. coli* O157:H7와 *S. Typhimurium*의 생육변화는 Fig. 1과 같다. 냉장(4°C)상태의 소고기에서 *E. coli* O157:H7은 진공포장의 경우 초기균수가 7.3 log CFU/g 수준이었으나 1 kGy 선량을 조사할 경우 단일조사 시에는 5.8 log CFU/g 수준으로 감소한 반면, 반복조사 시에는 사멸되는 것으로 확인되었다. 일반포장은 초기균수가 7.5 log CFU/g 으로 단일조사는 1 kGy 선량 조사에서 6.0 log CFU/g의 높은 수준으로 검출되었으나, 반복조사는 0.5 kGy 선량으로도 모두 사멸시킬 수 있는 것으로 확인되었다. *S. Typhimurium*은 진공포장의 경우 7.5 log CFU/g 이었던 초기균수가 0.5 kGy 선량 단일조사와 2회 반복 조사 각각 6.6 및 5.4 log CFU/g 수준으로 감소하였으나, 3회 반복 시에는 사멸되는 것으로 확인되었다. 일반포장 (초기균수: 6.8 log CFU/g)의 경우 1 kGy 이상의 선량으로 조사 시 사멸되는 것을 확인하였다. 냉동(-20°C)상태의 소고기의 경우 *E. coli* O157:H7는 진공포장 시에는 7.6 log CFU/g 수준이었던 것이 1 kGy 선량을 조사할 경우 단일조사 시에는 5.5 log CFU/g 수준으로 감소하였으나 반복조사 시에는 모두 사멸되는 것으로 확인되었다. 일반포장은 초기균수가 7.4 log CFU/g 수준이었던 것이 2 kGy 선량 2회 및 0.5 kGy 선량 3회 반복조사 시 모두 사멸되는 것으로 확인된 반면, 단일 조사는 *E. coli* O157:H7을 사멸시키기 위해서는 2 kGy 이상의 선량이 필요한 것으로 확인되었다. *S. Typhimurium*의 경우 사멸시키기 위해서는 *E. coli* O157:H7 보다 높은 선량이 요구되는 것으로 확인되었다.

Dennis<sup>13)</sup>는 저선량 방사선의 조사는 소고기에 오염되어 있는 *E. coli* O157:H7을 사멸시키는데 효과적이라고 보고하였고, Grant와 Patterson<sup>14)</sup>은 7 kGy 이상의 조사는 *Salmonella*를 비롯한 병원성 미생물들을 조절하는 수단으로 유용하다고 보고하고 있다. 콰<sup>15)</sup>등은 일반세균 초기 균수가  $2.0 \times 10^2$  CFU/g 이었던 냉장 소고기 포장육에 감마

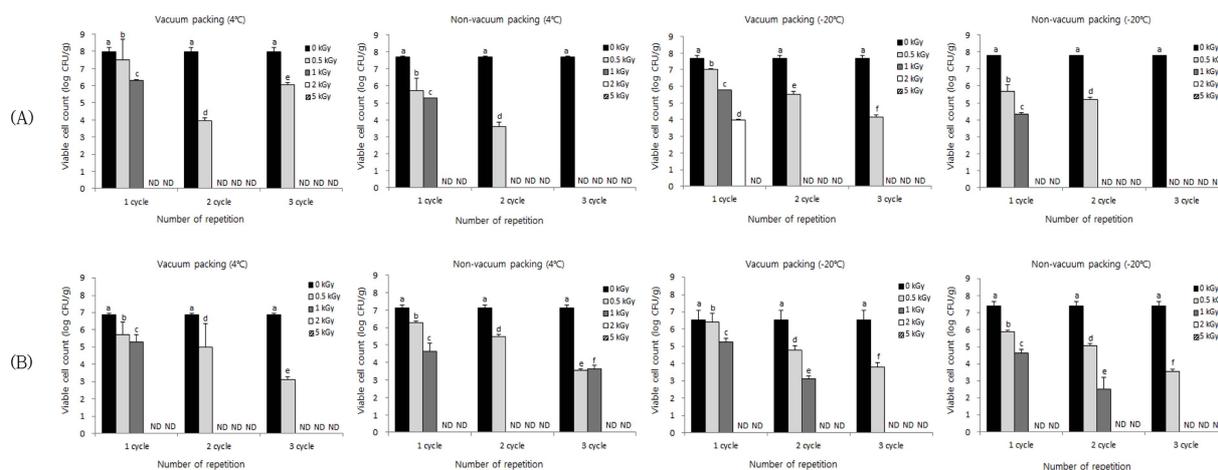
선을 3 kGy 선량으로 조사한 결과 모두 사멸되었다고 보고하고 있다. 본 연구에서는 조사선량에 대해서는 대체적으로 2~5 kGy 선량으로 조사 시 소고기에 존재하는 병원성 미생물을 사멸시킬 수 있는 것으로 확인되었다. 또한 반복조사의 경우는 단일조사보다 더 낮은 선량으로도 병원성 미생물을 효과적으로 사멸할 수 있음을 확인하였다. 보관방법에 따른 차이의 경우 냉동육의 경우가 냉장육 보다 높은 선량을 요하는 것으로 나타났다. 하지만 전<sup>16)</sup> 등의 연구에서는 미생물이 냉장육 보다 냉동육에서 더 낮은 조사선량으로 미생물이 사멸하는 것으로 보고하고 있어 본 연구와는 차이가 있는 것으로 확인되었다.

**닭고기에 오염된 미생물 사멸효과**

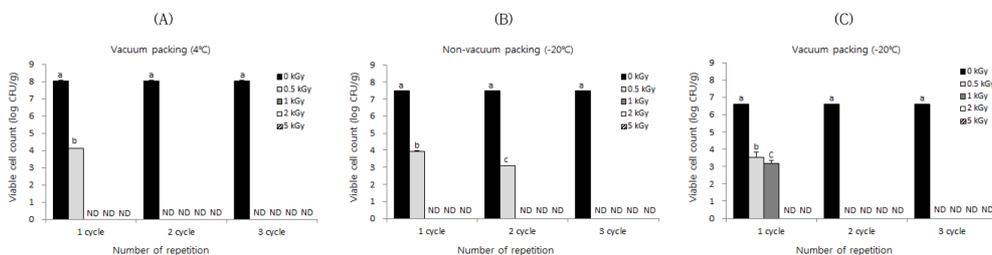
진공 및 일반포장 닭고기를 감마선 선량별로 단일조사와 반복조사 (2회, 3회) 하였을 때 *E. coli* O157:H7와 *S. Typhimurium*의 생육변화는 Fig. 2와 같다. 먼저 냉장(4°C) 상태의 진공 및 일반포장 닭고기에서 *E. coli* O157:H7은 7.7~7.9 log CFU/g 수준의 초기균수가 1 kGy 선량 조사 시 단일조사에서는 5.2~6.3 log CFU/g 수준으로 감소한 반면, 반복 조사 시에는 사멸되는 것으로 확인되었다. 특히 0.5 kGy 선량 조사의 경우는 3회 반복조사 시에도 *E. coli* O157:H7가 사멸하는 것으로 확인되었다. *S. Typhimurium*은 진공포장의 경우 *E. coli* O157:H7와 마찬가지로 6.8~7.0 log CFU/g 수준으로 존재하던 균이 1 kGy 선량 반복조사 시 사멸되는 것으로 확인되었고, 일반포장의 경우 사멸을 위해서는 2 kGy 이상 선량의 단일 및 반복조사가 필요한 것으로 확인되었다. 냉동(-20°C)상태의 진공 및 일반포장 닭고기에서 *E. coli* O157:H7 초기균수는 7.7~7.8 log CFU/g 수준으로 확인되었으며, 냉장 상태의 경우와 동일한 조사선량에서 사멸이 가능한 것으로 확인되었다. *S. Typhimurium*은 진공포장의 경우 6.5 log CFU/g의 초기균수가 1 kGy 선량 조사 시 단일조사에서는 5.2 log CFU/g, 2회 반복조사



**Fig. 1.** Viability of *E. coli* O157:H7 (A) and *S. Typhimurium* (B) in beef. Detection limit: < 10 CFU/g. <sup>a-e</sup>Values with different letters differ significantly ( $p < 0.05$ ).



**Fig. 2.** Viability of *E. coli* O157:H7 (A) and *S. Typhimurium* (B) in chicken. Detection limit: < 10 CFU/g. <sup>a-f</sup>Values with different letters differ significantly ( $p < 0.05$ ).



**Fig. 3.** Viability of *E. coli* O157:H7 (A, B) and *S. Typhimurium* (C) in fish. Detection limit: < 10 CFU/g. <sup>a-c</sup>Values with different letters differ significantly ( $p < 0.05$ ).

에서는 3.1 log CFU/g 수준으로 감소되었고, 3회 반복조사에서는 생육이 확인되지 않았다. 또한 일반포장의 경우도 7.4 log CFU/g의 초기균수가 1 kGy 선량 조사 시 단일조사에서는 4.6 log CFU/g, 2회 반복조사에서는 2.5 log CFU/g 수준으로 감소된 반면 3회 반복조사에서는 생육이 확인되지 않았다.

Javanmard<sup>17)</sup> 등은 *E. coli* 양성시료에 0.75 kGy 선량으로 조사 시 전체 시료의 53.4%에서, 2 kGy 이상의 선량으로 조사 시에는 모든 시료에서 *E. coli*가 확인되지 않은 것으로 보고하고 있다. Lamulka<sup>18)</sup> 등은 닭고기에 2.5 kGy의 선량으로 조사 시 *Salmonella*를 완전히 제거할 수 있다고 보고하였다. Dennis<sup>13)</sup>는 저선량 방사선의 조사는 가금육에 존재하는 병원성 미생물인 *Salmonella spp.*의 99.9%를 사멸시킬 수 있다고 보고하였다. 또한 Spoto<sup>19)</sup> 등의 연구에서는 6.0 kGy 이상의 조사선량으로 조사 시 냉장보관 닭고기에 존재하는 *S. aureus*, *E. coli* 및 *S. Typhimurium*이 사멸하는 것으로 확인되었다. 이와 비교 시 본 연구에서는 이들 보다 낮은 방사선량으로 미생물을 사멸시킬 수 있는 것으로 나타났다. 전반적으로 방사선 조사로 닭고기에 오염된 *E. coli* O157:H7와 *S. Typhimurium*을 사멸시키는 데는 소고기와 마찬가지로 단일조사보다 반복조사에서 더 낮은 방사선 선량이 요구되는 것으로 확인되었다.

또한 저장 상태에 따라서는 냉장육이 냉동육 보다 낮은 선량으로 사멸시킬 수 있음을 확인하였다.

### 생선에 오염된 미생물 사멸효과

진공포장 생선과 일반포장 생선에 대한 감마선 단일조사 및 반복조사(2회, 3회) 시 *E. coli* O157:H7와 *S. Typhimurium*의 생육변화는 Fig. 3과 같다. *E. coli* O157:H7은 냉장(4°C)상태의 경우 초기균수가 8.0 log CFU/g 수준이었던 진공포장 생선을 0.5 kGy 선량 단일조사 했을 때 4.1 log CFU/g 수준으로 감소한 경우 외에는 모두 사멸된 것으로 확인되었다. 냉동(-20°C)상태의 경우는 일반포장 생선 (초기균수: 7.5 log CFU/g)을 0.5 kGy 선량 단일 및 2회 반복조사 시 각각 3.9 log CFU/g와 3.1 log CFU/g 수준으로 감소한 경우 외에 모두 미생물 생육이 확인되지 않았다. *S. Typhimurium*은 냉동(-20°C)상태의 진공포장 생선 (초기균수: 6.6 log CFU/g)의 경우만 0.5~1 kGy 선량 단일조사에서 3.2~3.5 log CFU/g 수준으로 생육이 확인되었을 뿐 이외의 시료에서는 방사선의 단일 및 반복조사 결과 모두 사멸하는 것으로 확인되었다.

Urban<sup>19)</sup> 등이 생선을 진공포장한 후 방사선을 조사하여 총균수의 변화를 시험한 결과와 비교 시 본 연구결과는 이와 유사한 경향을 나타내는 것으로 확인되었다. Oraei<sup>20)</sup>

등은 3 kGy의 저선량 감마선 조사로 무지개 송어의 미생물 생육을 제어할 수 있다고 보고하였다. Moini<sup>21)</sup> 등은 *Salmonella*와 같이 H<sub>2</sub>S를 생산하는 미생물이 감마선을 조사하지 않은 시료에서는 확인된 반면 1, 3 및 5 kGy의 선량으로 조사한 시료에서는 검출되지 않은 것으로 보고하였다. 전반적으로 본 연구에서는 이들 연구와 유사한 경향을 나타낸 반면 *E. coli* O157:H7와 *S. Typhimurium*를 제어하는 조사선량의 경우 이들 연구에서 보다 낮은 선량으로도 효과적으로 제어가 가능한 것으로 확인되었다. 또한 소고기와 닭고기와 마찬가지로 반복조사 시 단일조사보다 더 낮은 선량으로도 미생물 사멸이 가능하였다.

방사선 조사에 의한 미생물의 사멸은 주로 미생물 세포의 DNA 손상과 방사선 조사로 생성된 반응성 높은 활성산소종에 의한 미생물 세포막의 산화적 손상 등에 기인한다. 특히 산소가 존재할 경우 방사선 조사에 의한 세포 손상이 촉진되며 세포막 구조에 손상을 주어 에너지 생성과 같은 세포의 정상적인 대사과정을 교란하고 성장을 저해한다<sup>22-24)</sup>. 방사선 조사에 의한 미생물 제어 정도는 여러 가지 조건에 따라 달라질 수 있으며 대상 시료와 저장방법 등에 따라서도 차이가 있다.

본 연구에서는 육류 중 소고기와 닭고기의 경우 최소 2 kGy 이상의 단일조사와 1 kGy 이상의 반복조사 시 미생물을 사멸시킬 수 있었고, 생선의 경우 최소 0.5 kGy 이상의 단일 및 반복조사 시 미생물의 생육이 확인되지 않았다. 또한 냉동시료가 냉장시료보다 높은 조사선량을 요구하였다. 따라서 저선량 감마선 반복조사는 단일조사보다 낮은 선량으로 미생물학적 안전성을 확보할 수 있어 고선량 감마선 조사를 대체할 수 있는 효과적인 방법인 것으로 판단된다.

## 요 약

본 연구에서는 포장방법 (진공, 일반)과 저장온도(4°C, -20°C)를 달리한 육류 (소고기, 닭고기) 및 생선에 대해 저선량 감마선 반복조사를 적용하였을 때 나타나는 병원성 미생물 *E. coli* O157:H7 및 *S. Typhimurium*의 사멸효과를 확인하였다. 소고기와 닭고기의 경우 *E. coli* O157:H7은 최소 2 kGy 이상의 단일조사와 0.5 kGy 이상으로 반복조사 시 생육이 확인되지 않았고, *S. Typhimurium*은 최소 2 kGy 이상의 단일조사와 1 kGy 이상으로 반복조사 시 생육이 확인되지 않았다. 생선의 경우 최소 0.5 kGy 이상의 단일 및 반복조사 시 *E. coli* O157:H7 와 *S. Typhimurium*의 생육이 확인되지 않았다. 육류보다 생선이 낮은 선량으로 미생물을 사멸시킬 수 있었으며, 전반적으로 포장 방법에 따른 조사선량의 차이는 없었으나 저장온도의 경우 냉장보다 냉동의 경우가 좀 더 높은 조사선량을 요구하는 것으로 확인되었다.

## 참고문헌

1. Scallan, E., Hoekstra, R.M., Angulo, F.J., Tauxe, R.V., Widowson, M.A., Roy, S.L., Jones, J.L. and Griffin, P.M.: Foodborne illness acquired in the United States-major pathogen. *Emerg. Infect. Dis.*, **17**, 7-15 (2011).
2. <http://www.mfds.go.kr/e-stat/index.do>
3. Ki, H.J., Oh, S.W., Lee, N.H., Kim, Y.J., Park, K.J. and Kim Y.H.: Quality properties of the refrigerated or frozen irradiated beef patty. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.*, **28**, 437-444 (2008).
4. Byun, M.W.: Application and aspect of irradiation technology in food industry. *Food Sci. Ind.*, **30**, 89-100 (1997).
5. Han, I.J., Song, B.S., Kim, J.H., Park, J.H., Lee, J.W. and Chun, S.S.: Effect of antioxidant and irradiation treatment under freezing temperature conditions on physicochemical and sensory properties of tarakjuk (Milk Porridge). *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **40**, 1750-1756 (2011).
6. Sweet, D.M. and Moseley, B.E.B.: The resistance of micrococcus radiodurans to killing and mutation by agents which damage DNA. *Mutat. Res.*, **34**, 175-186 (1976).
7. Dickson, J.S. and Maxcy, R.B.: Irradiation of meat for the production of fermented sausage. *J. Food Sci.*, **50**, 1007-1009 (1985).
8. Mattison, M.L., Kraft, A.A., Olson, D.G., Walker, M.W., Rust, R.E. and James, D.D.: Effect of low dose irradiation of pork loins on the microflora, sensory characteristics and fat stability. *J. Food Sci.*, **51**, 284-287 (1986).
9. Thayer, D.W., Boyd, G. and Jenkins, R.K.: Low dose gamma irradiation and refrigerated storage in vacuo affect microbial flora of fresh pork. *J. Food Sci.*, **58**, 717-719 (1993).
10. Ehioba, R.M., Kraft, A.A., Molins, R.A., Walker, H.W., Olson, D.G., Subbaraman, G. and Skowronski, R.P.: Effect of low-dose(100 Krad) gamma radiation on the microflora of vacuum-packaged ground pork with and without added sodium phosphates. *J. Food Sci.*, **52**, 1477-1480 (1987).
11. Lee, J.W.: Application and prospect of food irradiation for providing the safe food materials. *Food Industry and Nutrition*, **11**, 12-20 (2006).
12. Venugopal, R.J., Ingham, S.C., McCurdy, A.R. and Jones, G.A.: Anaerobic microbiology of fresh beef packaged under modified atmosphere or vacuum. *J. Food Sci.*, **58**, 935-938 (1993).
13. Dennis, G.O.: Irradiation of food. *Food Technol.*, **52**, 56-62 (1998).
14. Grant, I.R. and Patterson, M.F.: Effect of irradiation and modified atmosphere packaging on the microbiological and sensory quality of pork stored at refrigeration temperatures. *Int. J. Food Sci. Tech.*, **26**, 507-519 (1991).
15. Kwak, H.J. and Kang, L.J.: Irradiation of korean beef for the improvement of hygienics and quality preservation. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **32**, 363-372 (2000).
16. Jeon, K.H., Oh, S.W., Lee, N.H., Kim, Y.J., Park, K.J. and Kim, Y.H.: Quality properties of the refrigerated or frozen irradiated beef patty. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.*, **28**,

- 437-444 (2008).
17. Javanmard, M., Rokni, N., Bokaie, S. and Shahhosseini, G.: Effects of gamma irradiation and frozen storage on microbial, chemical and sensory quality of chicken meat in Iran. *Food Control*, **17**, 469-473 (2006).
  18. Lamulka, P.O., Sunki, G.R., Chawan, D.R., Rao, D.R. and Shacckelford, L.A.: Bacteriological quality of freshly processed broiler chickens as affected by carcass pretreatment and gamma irradiation. *J. Food Sci.*, **57**, 330-332 (1992).
  19. Spoto, M.H.F., Gallo, C.R., Alcarde, A.R., Gurgel, M.S.D.A., Blumer, L., Walder, J.M.M. and Domarco, R.E.: Gamma irradiation in the control of pathogenic bacteria in refrigerated ground chicken meat. *Sci. Agric.*, **57**, 389-394 (2000).
  19. Urbain, W.M. and Giddings, G.G.: Factors related to market life extension of low dose irradiated fresh meat and poultry. *Rad. Res. Review*, **3**, 389-397 (1972).
  20. Oraei, M., Motalebi, A.A., Hoseini, E. and Javan, S.: Effect of gamma irradiation and frozen storage on microbial quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillet. *Iran. J. Fish. Sci.*, **10**, 75-84 (2011).
  21. Moini, S., Tahergorabi, R., Hosseini, S.V., Rabbani, M., Tahergorabi, Z., Feas, X. and Aflaki, F.: Effect of gamma radiation on the quality and shelf life of refrigerated rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets. *J. food prot.*, **72**, 1419-1426 (2009).
  22. Alper, T.: The role of membrane damage in radiation-induced cell death. *Adv. Exp. Med. Biol.*, **84**, 139-165 (1977).
  23. Verma, N.C. and Singh, R.K.: Stress-inducible DNA repair in *saccharomyces cerevisiae*. *J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol.*, **20**, 1-7 (2001).
  24. Mishra, K.P.: Cell membrane oxidative damage induced by gamma-radiation and apoptotic sensitivity. *J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol.*, **23**, 61-66 (2004).