

우육에 오염된 미생물의 감마선 살균

육홍선 · 김 성 · 이경행 · 김영지* · 김정옥** · 변명우
한국원자력연구소 방사선식품공학연구소
*영남이공대학 식품영양과, **세종대학교 가정학과

Radurization of the Microorganisms Contaminated in Beef

Hong-Sun Yook, Sung Kim, Kyong-Haeng Lee, Yeung-Ji Kim*,
Jung-Ok Kim** and Myung-Woo Byun

Department of Food Irradiation, Korea Atomic Energy Research Institute

*Department of Food Science and Nutrition, Yeungnam College of Science and Technology

**Department of Home Economics, King Sejong University

Abstract

The effects of gamma irradiation (1, 3 and 5 kGy) and packaging methods (air and vacuum) on the growth of microorganisms contaminated in beef was investigated during storage at different temperatures (-20, 4 and 25°C). The initial microbial population of beef was 8.0×10^2 CFU/g in total aerobic bacteria, 2.0×10^2 CFU/g in total lactic acid bacteria, 8.0×10^1 CFU/g in molds, 6.0×10^2 CFU/g in *Pseudomonas* sp. and 7.0×10^2 CFU/g in coliforms, respectively. Gamma irradiation at 5 kGy completely eliminated pathogenic bacteria in beef. Gamma irradiation at such dose and subsequent storage at less than 4°C could ensure hygienic quality prolong the microbiological shelf-life resulting from the reduction of spoilage microorganisms. The different packaging methods of beef caused negligible changes in the growth of microorganisms during storage.

Key words: beef, gamma irradiation, microorganism, packaging, storage temperature

서 론

최근 식생활의 서구화에 따른 육류의 수요와 생산이 크게 증가함에 따라 이들 제품의 위생적이고 효율적인 도살공정, 안전공급, 저온저장 및 유통기술의 확보가 필수적이다. 특히 육류에서 기인하는 미생물인 살모넬라, 리스테리아, 대장균 O157:H7 등으로 인한 식중독 방지뿐만 아니라 방부제 등 식품 첨가물 규제의 강화와 식품보존료 무첨가 육제품의 요구 증가 등 소비자의 건강 지향적 욕구가 증대됨에 따라 식품산업에서의 위생적인 품질 관리는 그 중요성이 더욱 증가되고 있는 실정이다. 특히, 축육으로부터 기인되는 병원성 미생물과 기생충에 대한 질병 등에 대한 식품의 안전성에 깊은 관심을 보이며, 무엇보다도 식품의 국제무역에서의 위생적 기준을 만족시키기 위한 수단으로 방사선 조사기술의 사용이 확대될 전망이다. 저 혹은 중선량의

방사선 조사는 식품의 물리적 및 관능적 특성에 영향을 주지 않고 식품에서 유래하는 이들 오염 유기체들로부터의 위험을 상당히 줄일 수 있는 안전한 식품위생화 방법이다. 미국 FDA는 쇠고기 및 냉동 햄버거에 오염된 *E. coli* O157:H7의 파문을 계기로 1997년 12월 2일 위생적 품질을 보장하기 위해 적색육(쇠고기, 양고기, 말고기 등)의 방사선 조사를 3~7 kGy까지 허가하였다⁽¹⁾. 이렇게 이미 식품가공, 저장 및 위생화 방법으로 알려진 감마선 조사기술은 이용 대상식품에 대한 저장수명 연장, 살충, 살균 및 건조식품의 물성개선 등에 효과가 탁월하다는 것이 인정되고 있으며, 국제기구(FAO/IAEA/WHO)와 선진 여러 나라에서 그 건전성과 경제성이 공인되어 현재 39개국에서 40여 식품군(230여 품목)이 각국 보건 당국에 의해 허가되어 실용화되고 있다^(2,3). 이를 배경으로 WTO 체제하 육류의 국제교역에서 방사선 조사기술의 이용이 확대될 전망이며, 이에 따라 국가간 무역마찰 방지와 소비자의 수용성 확보 등 국내 연구자료의 마련이 필요시된다.

한편, 식육에 대한 방사선의 작용은 물의 이온화로

Corresponding author: Myung-Woo Byun, Department of Food Irradiation, Korea Atomic Energy Research Institute, Yusung, P.O. Box 105, Taejeon 305-600, Korea

부터 유래된 활성 유리 라디칼들에 의한 식육성분과 의 화학적 반응과 그 반응에서 생성된 또다른 화합물 들에 의한 2차 화학적 반응으로, 식육성분의 미생물학 적·이화학적 특성과 물성에 영향을 미치는 것으로 보 고되고 있다⁶⁹⁾.

본 연구에서는 감마선 조사 기법의 적용확대를 위 하여 우유에 오염된 미생물의 살균 및 선도유지 효과 를 검토하였다.

재료 및 방법

시료 및 방사선 조사

본 실험에 사용된 한우 암소우유는 도축장(경북 예천 축협)에서 도축직후 우둔부위를 해체하고 약 200 g씩 집합포장재(nylon, 15 μ m/PE 100 μ m:투습도, 4.7 g/m²/24 hr:산소투과도, 22.5 cc/m²/24 hr)를 이용하여 합 기 및 진공포장하였다. 포장된 우유의 방사선 조사는 10만 Ci Co-60 감마선 조사시설을 이용하여 시간당 2 kGy의 선량율로 1, 3, 5 kGy의 총흡수선량을 얻도록 하였고, ceric cerous dosimeter (USA)를 이용한 흡수선 량 확인에서 흡수선량 오차범위는 ± 6 Gy였다. 감마선 조사된 우유는 25 \pm 1°C 실온, 4 \pm 1°C 냉장 및 -20 \pm 1°C 냉동 범위에서 저장하면서 시험시료로 사용하였다.

미생물 생육시험

시료 10 g을 살균된 waring blender jar에 정확히 취 하고 살균된 0.1% peptone수를 적당량 가하여 2분 정 도 균일하게 마쇄한 다음 전량을 100 mL로 하였다. 각 미생물 검사는 이 시험액을 사용하여 3회 반복 실 시하고, 미생물의 수는 시료 g당 colony forming unit (CFU)로 나타내었다.

호기성 전세균

상기 시험액 일정량을 취하여 살균된 0.1% peptone 수로 적당히 희석하고, APHA 표준방법⁶⁰⁾에 따라 plate count agar (Difco Lab., USA)를 사용하여 30°C에 서 1~2일간 배양한 후 집락을 계수하였다.

총 젖산균

총 젖산균은 bromo cresol purple (Merck Lab., Ger many)배지를 이용하여 37°C에서 2~3일간 배양 후 황 색집락을 계수하였다⁶¹⁾.

효모

효모는 potato dextrose agar (Difco Lab., USA)를 사

용하여 살균된 10% tartaric acid로 pH를 3.5로 조절한 후, 평판법으로 25°C에서 5~6일간 배양한 후 집락을 계수하였다⁶⁰⁾.

위생지표 세균

우유에 오염된 위생지표 세균으로서 대장균군은 deoxycholate agar (Difco Lab., USA)를 이용한 pour plate method⁶²⁾로 37°C에서 1~2일간 배양한 후 적색 의 집락을 계수하였다. *Pseudomonas* sp.는 GSP agar (Merck, Lab.)에 sodium penicillin G (100,000 IU/L)를 45~50°C로 냉각시킨 배지에 첨가하여 사용하였으며 25°C에서 3일간 배양 후 red violet을 나타내는 집락을 계수하였다⁶²⁾. 또한, *Listeria* sp.와 *Campylobacter* sp. 는 각각 Palcam-*Listeria*-Selective agar (Merck, Lab.)와 *Campylobacter* Selective Supplement (Merck, Lab.)에 5~7% sheep blood를 첨가한 배지를 사용하여 혐기적 조건으로 37°C와 42°C에서 1~2일간 배양 후 집락을 계 수하였고, *Salmonella* sp.는 SS (Difco Lab., USA) 배지 에서 42°C에서 1일간 배양 후 집락을 계수하였다⁶²⁾.

통계분석

실험결과와 통계분석은 statistical analysis system (Version 5 edition)⁶³⁾을 사용하였다.

결과 및 고찰

감마선 조사 우유의 미생물 생육 변화

국내유통 우유는 대부분 도축장의 비위생적 도축처 리와 복잡한 유통 및 불확실한 냉장유통조건 등으로 초기의 미생물 오염도가 높으며, 특히 하절기에는 미 생물의 빠른 증식으로 선도유지가 어려워 저장수명이 짧다. 이와 같이 초기의 높은 미생물 오염과 증식은 저장유통중 우유의 이화학적 변패를 촉진시키며 우유 의 저장성을 결정짓는 중요한 요소로 작용한다. 따라 서 본 실험에서는 우유의 저장성 향상과 병원성 미생 물의 살균으로 위생적 우유를 생산할 목적으로 감마 선을 조사하여 오염미생물의 감마선 조사 살균 효과 와 저장중 미생물의 생육변화를 조사하였다.

호기성 전세균

본 실험에 사용된 우유의 저장기간, 조사선량 및 저 장온도에 따른 호기성 전세균의 생육변화는 Fig. 1과 같다. 우유의 초기 호기성 전세균의 오염은 약 8.0 \times 10² CFU/g 정도였고, 감마선 조사직후 1 kGy 조사구 는 약 1.2 \times 10² CFU/g, 3 kGy 조사구는 2 \times 10¹ CFU/g

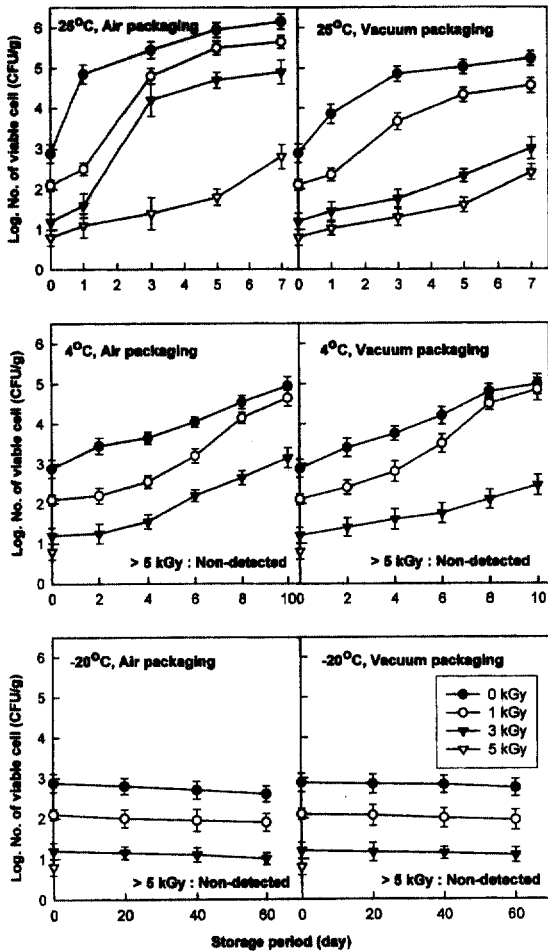


Fig. 1. Effects of packaging method and gamma irradiation on the growth of total aerobic bacteria in beef during storage at different temperatures.

이하였고 5 kGy 조사구는 검출한계 이하였다.

저장온도 및 포장방법에 따른 호기성 전세균의 생육변화를 보면 25°C 저장조건에서는 저장 1일째에 비조사구는 거의 10⁵ CFU/g로 증식하였고 저장 5일에는 10⁶ CFU/g으로 부패되기 시작하였다. 1 kGy와 3 kGy 조사구에서는 저장 1일째에 4×10² CFU/g과 6×10¹ CFU/g으로 증식이 낮았으나 저장 3일째부터 급격하게 증식하여 비조사구와 동일한 생육양상을 나타내었다. 그러나 5 kGy 조사구에서는 저장 7일까지도 6×10²으로 미생물 증식이 억제되었다. 25°C 저장에서 포장방법에 따른 변화를 보면 진공포장 시험구가 합기포장시험구에 비해 다소 낮은 호기성 전세균의 증식을 보였으나 큰 효과는 없는 것으로 나타났다.

저장조건을 4°C로 하였을 때 비조사구와 저선량인

1 kGy 조사구는 저장 10일째 약 10⁵ CFU/g으로 증식하여 초기 부패현상을 보인 반면 3 kGy 조사구는 합기포장구가 약 10³ CFU/g, 진공포장구가 약 10² CFU/g으로 낮은 증식을 보였고, 5 kGy 조사구에서는 호기성 전세균이 검출되지 않았다. 또한 포장방법에 따른 차이는 앞의 25°C 저장시험구에서와 동일한 경향을 나타내었다.

냉동저장(-20°C)의 경우에는 비조사구는 전저장기간 동안 초기오염도 수준을 보였고 1 kGy와 3 kGy 감마선 조사구에서도 조사직후 생존세균의 수준을 유지하였으나 저장기간동안 다소 감소되는 경향을 보였다. 5 kGy 조사구에서는 냉장저장에서의 같이 저장 60일 까지도 호기성 전세균의 검출이 없었다. 이러한 본 실험의 결과는 Niemand 등⁽¹⁴⁾의 냉장 마쇄우유에 2.5 kGy의 감마선 조사는 호기성 전세균을 3~5 log cycles를 감소시킬 수 있었으며, 4°C에서 9일 동안 신선도를 유지하였다는 결과와 유사하였다. Dempster 등⁽¹⁵⁾의 진공포장된 마쇄우유에 1 kGy 조사는 총균수를 82%, 1.5 kGy 조사는 92%를 감소시켰으며 3°C, 저장 15일에 1 kGy 조사구는 약한 부패취를 발생하였으나, 1.5 kGy 조사구는 신선도가 유지되었고 비조사구는 저장 4일째에 부패하였다는 결과와 유사하였다.

총젖산균

본 실험에 사용된 우유의 저장기간, 조사선량 및 저장온도에 따른 총젖산균의 생육변화는 Fig. 2와 같다. 우유의 초기 총젖산균 오염은 약 2.0×10² CFU/g 정도였고 감마선 조사직후 1 kGy 조사구는 8.0×10¹ CFU/g이었고, 3 kGy와 5 kGy 조사구는 검출한계 이하였다.

저장온도 및 포장방법에 따른 저장중 총젖산균의 생육변화를 보면 25°C 저장조건에서는 저장 1일째부터 급격하게 증식하여 비조사구와 3 kGy까지의 조사구에서 약 10³ CFU/g 이상의 균수를 보였고, 저장 7일째에는 약 10⁴~10⁶ CFU/g 이상의 높은 균수를 나타내었다. 5 kGy 조사구에서는 저장 7일까지도 총젖산균의 검출이 없었다. 25°C 저장시 포장방법에서는 큰 차이가 없었으나 진공포장구가 다소 합기포장구에 비해 다소 높은 증식을 보였다.

냉장저장(4°C)에서는 비조사구와 저선량인 1 kGy 조사구에서는 25°C 저장구에서와 동일한 경향으로 증식되었으나 3 kGy 조사구에서는 저장 4일까지 다소 증식하여 약 10² CFU/g 수준을 저장 10일까지 유지하며 더 이상의 증식은 없었다. 4°C 저장시 포장방법간의 총젖산균 증식 양상은 앞의 25°C와 동일한 경향으로 큰 차이를 나타내지 않았으며 5 kGy 조사구에서는

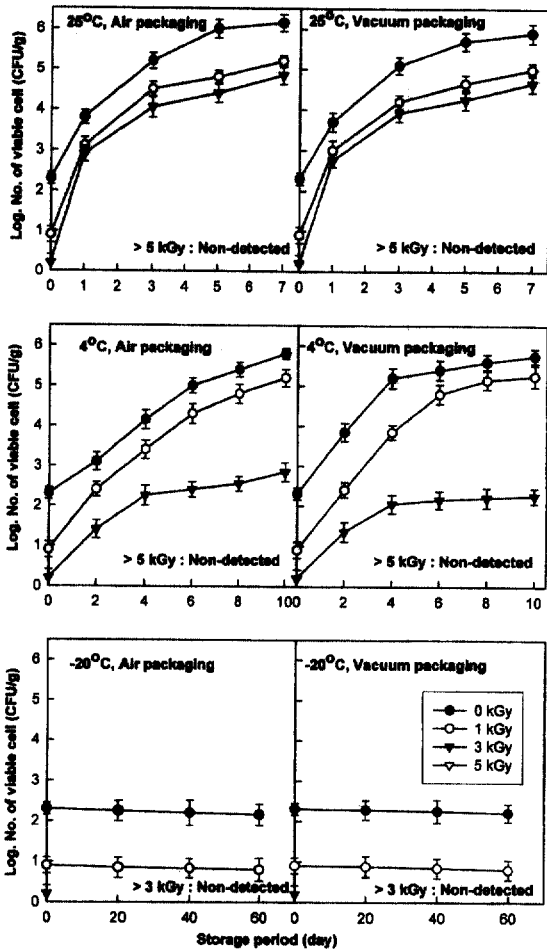


Fig. 2. Effects of packaging method and gamma irradiation on the growth of total lactic acid in beef during storage at different temperatures.

함기나 진공포장구 모두 저장 10일까지 총젖산균이 검출되지 않았다.

냉동저장(-20°C)에서는 비조사구와 1 kGy 조사구는 저장 초기의 균수를 저장말기까지 계속 유지하였으며 3 kGy 이상의 조사구에서는 저장 60일까지도 총젖산균이 검출되지 않았고 포장구간의 차이는 없었다.

육류의 방사선 조사의 첫 번째 목적은 병원성 미생물의 사멸이며, 그 다음은 부패 미생물을 사멸 혹은 감소시켜 저장성을 연장하는 것이다. 신선육이나 가공육 및 생선류의 주요 부패미생물은 *Pseudomonas-Achromobacter* group (P-A)으로 이들의 방사선 감수성 즉, D_{10} 값은 0.1 kGy 이하이나, 대부분의 비병원성 미생물은 1 kGy 정도의 조사선량에서 생존되며, 특히 젖산생성세균들은 산소의 부재와 P-A group이 제거되

었을 때 육류의 부패를 야기시키는 주요 세균으로 보고되고 있다⁽¹⁶⁾. 본 실험에서도 비조사구와 저선량인 1 kGy 조사구에서 저장동안 총젖산균의 높은 증식은 우유의 부패와 직접적인 관계를 보여주는 것이다.

효모

본 실험에 사용된 우유의 저장기간, 조사선량 및 저장온도에 따른 효모의 생육변화는 Fig. 3과 같다. 우유의 초기 효모 오염은 약 8.0×10^4 CFU/g 정도였고, 감마선 조사직후 모든 선량에서 검출한계 이하였다.

실온저장(25°C)에서는 효모의 생육양상을 보면 비조사구와 저선량인 1 kGy 조사구에서 저장 1일째 약 $10^2 \sim 10^3$ CFU/g 이상 증식하였으나, 저장 3일째에는 약 $10^3 \sim 10^4$ CFU/g 이상 증식하였다. 3 kGy 조사구는 저

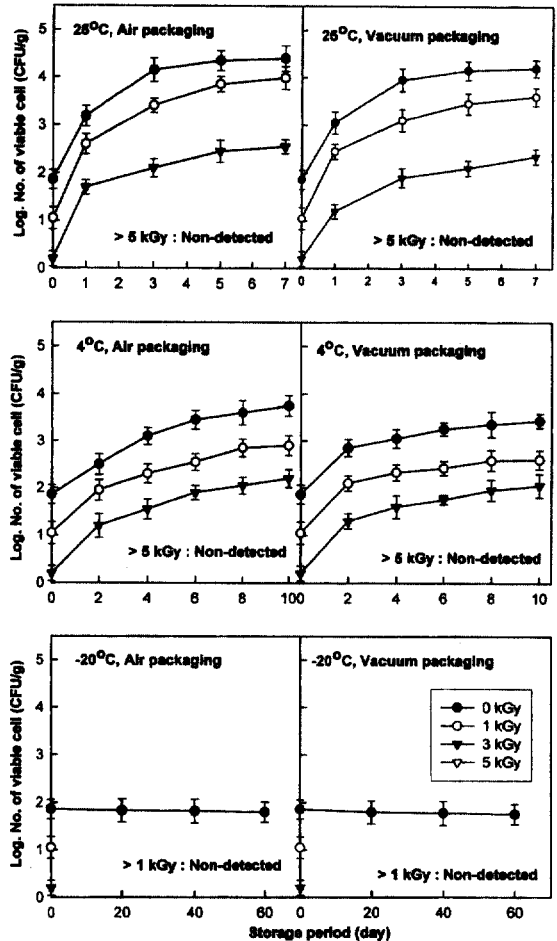


Fig. 3. Effects of packaging method and gamma irradiation on the growth of yeasts in beef during storage at different temperatures.

장 7일째에도 약 6.0×10^2 CFU/g 정도였고 5 kGy 조사구에서는 저장 7일까지도 효모의 생육이 없었다. 포장방법에 따라서는 합기 및 진공포장구간에 큰 차이를 보이지 않았다.

냉장저장(4°C)에서는 비조사구도 저장 10일까지 약 10^4 CFU/g 이하로 25°C 저장에 비해 낮은 증식을 보였고, 1 kGy와 3 kGy 조사구도 저장 초기에 비해 1 log cycle 정도의 증식을 보였을 뿐이며 5 kGy 조사구에서는 효모의 생육이 없었다. -20°C 냉동저장동안의 효모의 생육은 비조사구만이 저장 60일까지 초기오염 수준을 유지하였고 1 kGy 이상의 감마선 조사구에서는 전 저장기간을 통해 검출되지 않았다. 또한 냉장, 냉동 저장동안 포장방법에 따른 변화는 합기 및 진공포장구간에 차이를 나타내지 않았다.

위생지표세균

본 실험에 사용된 우육의 *Pseudomonas* 오염정도와 감마선 조사선량에 따른 살균효과 및 저장기간에 따른 생육양상은 Fig. 4와 같다. 초기 오염도는 약 6.0×10^2 CFU/g였고, 1 kGy 조사구는 약 4.0×10^1 CFU/g으로 감소되었고 3 kGy 이상의 조사선량에서는 완전사멸되었다.

실온저장(25°C)에서는 비조사구와 1 kGy 조사구는

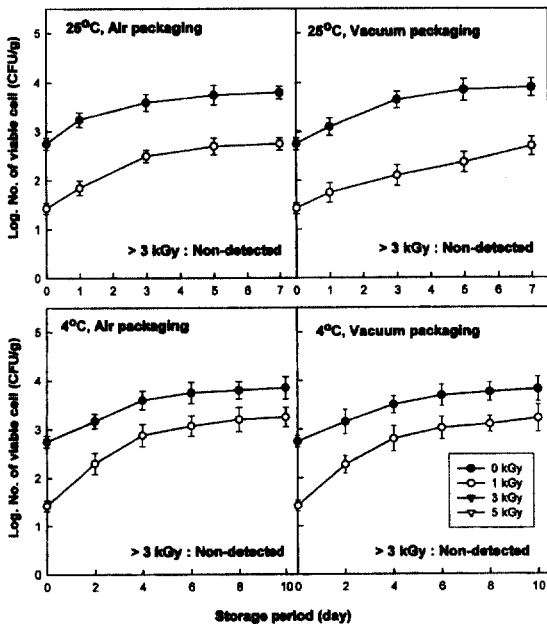


Fig. 4. Effects of packaging method and gamma irradiation on the growth of *Pseudomonas* sp. in beef during storage at different temperatures.

계속 생육하여 저장 7일째에 약 $10^3 \sim 10^4$ CFU/g으로 증식하였고 3 kGy 이상 조사구에서는 저장 7일까지도 생육이 없었다. 포장방법에 따른 차이는 합기 및 진공포장구간에 큰 차이를 보이지 않았다.

*Pseudomonas*는 저온성, 세균으로 일반적으로 냉장 조건에서도 잘 생육하기 때문에 4°C에서 저장하는 동안 이들의 생육변화 및 농도는 앞의 25°C 저장동안의 변화와 비슷한 경향을 나타내었다.

*Pseudomonas*는 일반적으로 방사선 감수성이 높아서 저선량 조사로도 완전사멸이 가능하다. 순수배양된 *Pseudomonas fluorescens*를 저지방(3.3~5.6%)의 마쇄 쇠고기에 접종하고 0.85 kGy의 감마선을 조사하면 약 6 log cycles 이상을 감소시켜 2°C에서 1주이상 부패를 지연시킬 수 있었고, 고지방(40~44%)의 마쇄 쇠고기에 접종된 경우 0.8 kGy의 조사로서 완전 사멸되었으나 2°C에서 21일 저장후 10 CFU/g 정도가 존재하였다⁽¹⁷⁻¹⁹⁾. Niemand 등⁽⁶⁾은 냉마쇄 쇠고기에 2.5 kGy의 조사는 호기성 전세균의 감소뿐만 아니라 *Pseudomonas*, *Enterobacteriaceae*나 *Brochothrix thermosphacta* 등 부패 미생물을 완전하게 사멸할 수 있었다고 보고하였다. 일반적으로 순수 배양된 미생물은 wild type보다 방사선 감수성이 높아 동일 종류라도 방사선 조사에 의해 잘 사멸되며 이러한 여러 연구자의 보고는 본 실험의 결과와 대체로 잘 일치하였다.

대장균군의 오염과 감마선 조사에 의한 살균 및 저장동안 생육양상은 Fig. 5와 같다. 초기 오염도는 약 7.0×10^2 CFU/g 정도였고 감마선 조사직후 1 kGy 조사구는 5.0×10^2 CFU/g으로 다소 감소하였으며, 3 kGy 이상 조사구에서는 검출되지 않았다.

실온저장(25°C)에서는 이들의 생육변화를 보면, 비조사구와 1 kGy조사구는 급격한 증가를 보여 저장 1일째에 약 10^4 CFU/g에 달하였고, 저장 7일에는 약 10^5 CFU/g으로 증식되었다. 또한 감마선 조사직후 대장균군이 검출되지 않았던 3 kGy 조사구에서도 저장 1일째에 약 10^2 CFU/g, 저장 7일째에는 약 10^3 CFU/g 이상으로 생육되었다. 포장방법에 따른 이들의 생육양상은 합기포장구와 진공포장구 간에 큰 차이를 나타내지 않았다.

냉장저장(4°C)에서는 25°C저장에 비해 대장균군의 증식이 낮았으나 비조사구는 저장 7일에 약 5×10^3 CFU/g, 1 kGy 조사구는 약 6×10^2 CFU/g이었으며, 3 kGy 이상 조사구에는 저장 10일까지도 이들의 검출이 없었다. 포장방법에 따른 차이는 앞의 25°C저장의 경우와 같이 차이가 없었다.

대장균군은 앞에서 언급된 *Pseudomonas*와 같이 일

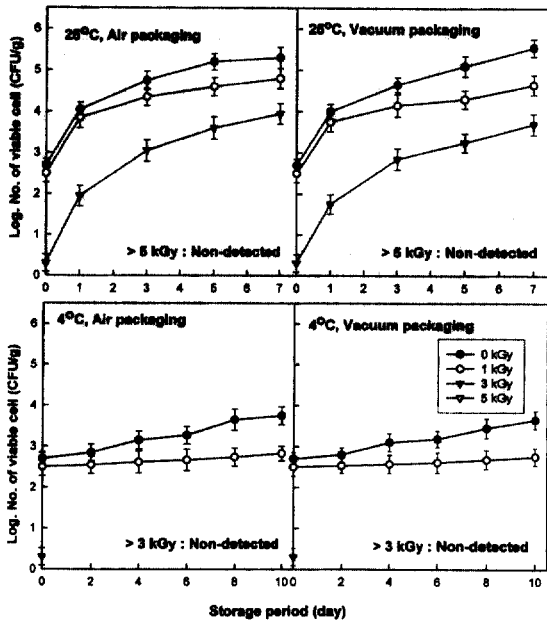


Fig. 5. Effects of packaging method and gamma irradiation on the growth of coliform group in beef during storage at different temperatures.

반적으로 방사선 감수성이 높아 낮은 선량의 조사로도 잘 사멸된다. 순수배양된 4종류의 *Escherichia coli* O157:H7을 쇠고기에 접종하고 감마선을 조사했을 때 D_{10} 값은 0.30~0.47 kGy였고, 2 kGy와 3 kGy 선량에서의 불활성화 계수는 4.26~10.0으로 높은 방사선 감수성을 보였다⁽²⁰⁾. Thayer 등⁽²¹⁾도 마쇄 쇠고기, 돼지고기, 칠면조고기 및 닭고기에서 *Escherichia coli* O157:H7의 D_{10} 값이 0.3 kGy 정도라고 보고하였다.

한편, *Listeria*, *Campylobacter* 및 *Salmonella*는 본 실험에 사용된 우육에서 검출되지 않았다. 이상의 결과를 종합해보면 한우육에 3 kGy 내외의 감마선 조사는 부패미생물의 살균과 감균으로 저장기간을 크게 연장시키고, 특히 우육에 오염된 병원성 미생물을 완전 사멸하거나 생육을 억제시켜 위생적인 식육의 생산과 안전한 유통을 가져올 수 있을 것이다.

요 약

우육의 사태부위를 대상으로 포장방법(함기, 진공), 저장온도(-20, 4, 25°C) 및 저장기간에 따른 오염미생물의 감마선 조사(1, 3, 5 kGy)에 의한 살균효과를 조사하였다. 시험 우육의 초기 미생물 오염도는 호기성 전세균 약 8.0×10^2 CFU/g, 총 젖산균 약 2.0×10^2 CFU/g, 효모 약 8.0×10^1 CFU/g, *Pseudomonas* sp. 약

6.0×10^2 CFU/g이었고, 위생지표세균인 대장균군도 약 7.0×10^2 CFU/g으로 높은 초기 오염도를 보여 적절한 위생화 처리가 요구되었다. 감마선 살균효과에서 5 kGy 내외의 감마선 조사와 4°C이하의 냉장 및 냉동저장으로 부패미생물을 살균 또는 감균시켜 저장기간을 크게 연장시켰고, 특히 병원성 미생물의 완전 사멸 및 생육억제로 위생화 처리가 가능하였다. 한편 함기 및 진공 포장구간의 미생물 생육에서는 큰 차이를 보이지 않았다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력 연구개발사업의 일환으로 수행되었으며 그 지원에 감사드립니다.

문 헌

- John, H.: Irradiation : A safe measure for safer food. *FDA consumer*, May-June 13-17 (1998)
- Byun, M.W.: Application and aspect of irradiation technology in food industry (in Korean). *Food Sci. and Industry*, **30**, 89-100 (1997)
- Thayer, D.W.: Wholesomeness of irradiated foods. *Food Technol.*, May 132-136 (1994)
- Ahmed, M.: Food irradiation. Up-to-date status. Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, IAEA 6626F, Vienna, 27, Nov. (1991)
- Diehl, J.F.: "Safety of Irradiated foods". Marcel Dekker, Inc., New York (1990)
- Taub, I.A., Robbins, F.M., Simic, M.G., Walker, J.E. and Wierbick, E.: Effect of irradiation on meat proteins. *Food Technol.*, May, 184-193 (1979)
- Lee, M., Sebranek, J. and Parrish, F. C.Jr.: Accelerated postmortem ageing of beef utilizing electro-beam irradiation and modified atmosphere packaging. *J. Food Sci.*, **61**, 133-136, 141 (1996)
- Fox, J.B.Jr., Lakritz, L., Hampson, J., Richardson, R., Ward, K. and Thayer, D.W.: Gamma irradiation effects on thiamin and riboflavin in beef, lamb, pork, and turkey. *J. Food Sci.*, **60**, 596-603 (1995)
- Krumhar, K.C. and Berry, J.W.: Effect of antioxidant and conditions on solubility of irradiated food proteins in aqueous solutions. *J. Food Sci.*, **55**, 1127-1132 (1990)
- APHA: "Compendium of methods for the microbiological examination of foods", M. Speck (ed.), American Public Health Association, Washington, DC (1976)
- Merck: Microbiology manual. LPRO UBA-V, Product management microbiology, Frankfurter (1996)
- Harrigan, W.F. and McCance, M.E.: "Laboratory methods in food and dairy microbiology", Academic Press, London (1976)
- Statistical Analysis System. User's Guide: Statistics, Version 5 edition, SAS Institute Inc., Cary, NC, U.S.A. (1985)

14. Niemand, J.G., Van Der Linde, H.J. and Holzappel, W. H.: Shelf-life extension of minced beef through combined treatments involving radurization. *J. Food Prot.*, **46**, 791-796 (1983)
15. Dempster, J.F., Hawrysh, Z.J., Shand, P., Lahola-Chomiak, L. and Corletto, L.: Effect of low dose irradiation (radurization) on the shelf life of beefburgers stored at 3°C. *J. Food Technol.*, **120**, 145-154 (1985)
16. ICGFI: Irradiation of red meat. IAEA-TECDOC-902, IAEA, Vienna, p. 19-20 (1996)
17. Maxcy, R.B. and Tiwari, N.P.: Irradiation of meats for public health protection. In *Radiation preservation of foods* p. 491-503. Proceedings of a symposium organized by the Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture. STI/PUB/317. IAEA, Vienna (1973)
18. Maxcy, R.B., Tiwari, N.P. and Anagnostis, C.C.: Study of control of public health problems using irradiation. Annual Report to the Division of Isotopes Development, U. S. Atomic Energy Commission on Contract AT(11-1)-2038 (1971)
19. Tiwari, N.P. and Maxcy, R.B.: Impact of low doses of gamma radiation and storage on the microflora of ground red meat: A research note. *J. Food Sci.*, **36**, 833-834 (1971)
20. Kim, S., Yook, H.S., Lee, J.W., Choi, C. and Byun, M.W.: Sterilization of *Escherichia coli* O157:H7 contaminated beef by gamma irradiation (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **30**, 1209-1213 (1998)
21. Thayer, D.W., Boyd, G., Fox, J.B., Lakritz, L. and Hampson, J.W.: Variations in radiation sensitivity of foodborne pathogens associated with the suspending meat. *J. Food Sci.*, **60**, 63-67 (1994)

(1998년 10월 23일 접수)