



즉석식품 제조를 위한 육가공제품의 감마선 조사에 따른 미생물 및 유전독성학적 안전성 평가

이나영 · 조철훈 · 강호진 · 홍상필¹ · 김영호¹ · 이경행² · 변명우*

한국원자력연구소 방사선식품 · 생명공학연구팀

¹한국식품개발연구원 동물자원연구팀

²국립 청주과학대학 김치식품과학과

Microbiological and Mutagenical Safety Evaluation of Gamma Irradiated Ready-to-Eat Foods of Animal Origin

Na-Young Lee, Cheorun Jo, Ho-Jin Kang, Sang-Pill Hong¹, Young-Ho Kim¹, Kyong-Haeng Lee², and Myung-Woo Byun*

Radiation Food Science and Biotechnology Team, Korea Atomic Energy Research Institute

¹Korea Food Research Institute

²Department of Kimchi and Food Science, Chonju National College of Science & Technology

Abstract

The radio-sensitivity of pathogens and the effect of irradiation on microbiological safety and mutagenicity of meat products such as seasoned and cooked beef and ham were investigated. Samples were radiation-sterilized and inoculated at 10^7 cfu/g with each of the four pathogens including *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, and *Listeria ivanovii*. No viable cells of pathogens were observed in the sample irradiated with 3 kGy. The D₁₀ value of inoculated pathogens in seasoned and cooked beef and ham were 0.24~0.48 and 0.39~0.45, respectively. Results of Ames test performed with non-irradiated and irradiated seasoned and cooked beef and ham were both negative at the level of 625, 1,250, 2,500, 50,000, and 10,000 μg sample/plate, respectively. Results indicate that low dose (2~3 kGy) irradiation is effective to ensure safety for seasoned and cooked beef and ham with toxicological wholesomeness.

Key words : animal foods, irradiation, pathogens, mutagenicity

서 론

오늘날 경제규모가 확대되고 국민소득 향상 및 식생활의 서구화로 인해 우리나라에서도 육류의 수요와 생산이 증가하고 있으며 이에 따라 육류 및 육제품 처리에 있어 도살·공정, 가공, 저장 및 유통단계의 위생안전성 확보가 필수적으로

대두되고 있다(Yook et al., 1999). 또한 단체급식의 보급 및 즉석식품의 소비 증가로 인해 그 소비량도 점점 증가하고 있는 추세이다. 특히 육류 및 육가공제품을 이용한 즉석식품의 경우 김밥 및 햄버거 등과 같은 식품이 그 소비의 주류를 이루는데 이러한 식품은 판매업소의 식품위생 및 짧은 유통기한 등으로 인해 식중독 발생사례가 꾸준히 증가하고 있어 큰 사회문제로 대두되고 있다.

최근 소고기와 같은 육류 및 육제품에서 대장균 및 *Listeria* 등의 병원성 미생물이 검출되어 이로 인한 경제적 손실도 심각한 실정이다(Chung et al., 1998). 우리나라의 경우도 1990~2001년까지 식품유래 병원성 미생물에 의한 식중독 발생건

* Corresponding author : Myung-Woo Byun, Radiation Food Science and Biotechnology Team, Korea Atomic Energy Research Institute, Yuseong, Daejeon 305-353, Korea. Tel: 82-42-868-8060, Fax: 82-42-868-8043, E-mail: mwbyun@kaeri.re.kr

수는 958건으로 발생 환자수는 37,422명에 이르며(Byun and Lee, 2003), 미국의 경우 연간 발생건수는 약 650~3,300만명으로 이중 9,000여명이 사망하고 이에 따른 경제적 손실은 직접비용만도 29~67억 달러이며 부가적인 경제손실 비용은 197~349억 달러에 이른다고 알려져 있다(Buzby and Roberts, 2001). 이에 육류 및 육가공품의 미생물 안전성을 높이기 위한 연구가 지속적으로 진행되고 있으며(Aziz et al., 2002), 식육의 장기저장 및 품질개선을 목적으로 천연 연화제, 인산염첨가, 포장방법, 저장온도 및 저장방법 등을 이용하여 육류 및 육제품의 저장성 향상, 미생물 및 위생 안전성을 높이려는 연구가 꾸준히 진행되고 있다(Kim et al., 2003).

방사선 조사기술은 현재 국제기구(FAO/IAEA/WHO)와 선진 여러 나라에서 그 전전성과 경제성이 공인되어 현재 40개국에서 230여종의 식품에 대하여 식품 방사선 조사를 허가하고 있다. 미국 FDA는 쇠고기 및 냉동 햄버거에 오염된 *E. coli* O157:H7의 파문을 계기로 1997년 12월 2일 위생적 품질을 보장하기 위해 적색육(쇠고기, 양고기와 말고기 등)의 방사선 조사를 허가하였다(Yook et al., 1998). 그리고 2002년 10월에 미국 내 모든 학교급식에 사용되는 모든 식육 및 그 가공품에 대한 방사선 조사기술의 사용을 승인하였고, 분쇄우육, 돈육 및 계육 등과 같은 육류 생산량의 반만이라도 방사선 조사된다면 미국에서만 연간 880,000건의 식중독 사고와 8,500건의 입원 및 352명의 사망을 감소시킬 수 있다고 추정하였다(Anonymous, 2003). 이처럼 적절한 선량의 방사선 조사는 식품의 물리, 화학적 및 관능적 특성에 큰 영향을 주지 않고 식품에서 유래하는 오염 유기체들로부터의 위험을 상당히 줄일 수 있는 유익한 식품 위생 처리 방법이다(Byun, 1997).

본 실험에서는 즉석식품 제조를 위한 육가공제품 중 볶은 쇠고기 및 햄의 안전성을 평가하기 위하여 감마선 조사에 따른 병원성 미생물의 제어 효과와 유전 독성학적 안전성을 조사하였다.

재료 및 방법

시료의 준비 및 멸균

볶은 쇠고기 및 햄의 위생학적 안전성을 평가하기 위하여 조사선량에 따른 미생물의 제어효과를 inoculation test를 이용하여 평가하였다. 실험에 사용된 시료는 시중에서 구입한 후 바로 실험에 사용하였다. 진공포장된 햄은 냉장 보관된 상태로 구입한 후 바로 실험에 사용하였으며, 볶은 쇠고기는 시중에서 판매되는 양념된 상태로 구입하여 170°C로 가열된 팬에서 약 4분간 조리한 후 냉각하여 사용하였다. 각 실험재료는 약 1×1×0.5 cm 크기로 절단하여 멸균된 polyethylene bag(산소투과도 2 mL/m²/24 h/atm at 0°C, 크기 20 cm×30 cm;

Sunkyung Co. Ltd, Seoul, Korea)에 넣은 다음 접합하고 감마선 조사를 통한 멸균을 실시하였다. 감마선 조사는 한국원자력연구소(Daejeon, Korea) 내 선원 10만 Ci, Co-60 감마선 조사시설(point source AECL, IR-79, MDS Nordion International Co. Ltd., Ottawa, ON, Canada)을 이용하여 실온(14±1°C)에서 10 kGy h⁻¹의 선량을 총 흡수선량이 30 kGy가 되도록 조사하였다.

균주의 접종

실험에 사용된 4종류의 병원성 미생물은 *Listeria ivanovii* KCTC 3444, *Salmonella typhimurium* KCTC 1925, *Escherichia coli* KCTC 1682 및 *Staphylococcus aureus* KCTC 1916이며, 한국생명공학연구원 생물자원센터(Korean Collection for Type Cultures, KCTC)에서 구입하여 실험에 사용하였다. 미생물 활성은 *L. ivanovii*, *E. coli* 및 *S. aureus*의 경우 tryptic soy broth 및 tryptic soy agar(Difco, Laboratories, Sparks, MD, USA)를 사용하였고 *S. typhimurium*은 nutrient broth 및 nutrient agar (Difco, USA)를 사용하였다. 균주에 따른 최적배양온도는 *E. coli*, *S. aureus* 및 *S. typhimurium*은 37°C에서 배양하였으며 *L. ivanovii*의 최적배양온도는 30°C였다. 4종류의 병원성 미생물들은 이들이 접종된 배지에서 1백금이를 취해 균주에 따른 활성배지 10 mL에 접종하여 24시간 배양시킨 후 그 배양액 0.1 mL를 취해 새로운 배지 10 mL에 접종하여 18시간 동안 2차 배양한 후 그 배양액을 실험에 사용하였다. 균주 접종 시 배양배지에서 오는 오차를 줄이기 위해 2차 배양액을 원심분리기(VS-5500, Vision Scientific Co., LTD, Korea)를 이용하여 원심분리(698.75 × g, 15 min) 한 후 상등액을 제거하여 0.85% 멸균식염수로 2 회 세척하였다. 실험에 사용된 4 균주의 초기농도는 10⁷~10⁸ CFU/mL 수준이 되도록 하였으며 균주를 멸균된 시료에 각각 200 µL씩 접종하였다. 4 종류의 병원성 미생물이 접종된 볶은 쇠고기 및 햄을 감마선 조사한 후 미생물을 분석하였다.

감마선 조사

4종류의 병원성 미생물이 접종되어 포장된 각 시료는 한국원자력연구소의 Co-60 감마선 조사시설에서 1, 2 및 3 kGy의 흡수선량을 갖도록 조사되었다. 유전독성학적 안전성 측정용 시료는 이보다 높은 선량인 10 kGy로 조사하여 시험하였다. 조사시설의 Source strength는 약 100 kCi였으며, 선량율은 10 kGy h⁻¹이었고 실내온도는 12.5°C였다. 지름 5 mm의 alanine dosimeter(Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 사용하여 실제 적용된 조사선량이 계획된 조사선량과 오차가 있는지 검사하였다. Dosimeter는 국제원자력기구(Vienna, Austria)에 의해 국제표준대로 검정된 것을 사용하였다. 감마

선 비조사구(0 kGy)는 감마선 조사구와 같은 환경온도를 유지하기 위하여 감마선 조사시설 외부에 조사가 끝날 때까지 보관하다가 조사처리구와 함께 실험실로 옮겨져 시험이 진행되었다.

미생물 분석

감마선 조사 후 저장기간에 따른 볶은 쇠고기 및 햄에 접종된 병원성 미생물은 시료 10 g에 멸균 peptone수 90 mL를 첨가하여 Lab blender(FM 680T, Hanil Co. Ltd., Korea)를 사용하여 60초 동안 혼합한 후 10진 희석법으로 희석한 희석액을 각각의 선택배지에 도말하였다. 미생물의 종식은 표준한천배양방법으로 균주에 따른 최적배양온도에서 48시간동안 배양한 후 계수하였다. 볶은 쇠고기 및 햄에 접종된 병원성 미생물 분석을 위해 균주에 따른 선택배지를 사용하였으며, 선택배지로 *L. ivanovii*는 Palcam agar(Oxoid, Basingstoke, Hampshire, England), *S. typhimurium*은 Xylose lysine deoxycholate agar(Difco, USA), *E. coli*는 Violet red bile lactose agar(Oxoid, England) 및 *S. aureus*는 Baird Parker agar(Difco, USA) 배지를 사용하였다.

*Salmonella typhimurium*을 이용한 복귀 돌연변이 시험(Ames test) 시료의 제조

시료 100 g과 에탄올 900 mL를 2 L 비이커에 넣고 4시간 실온에서 추출한 후 새로운 에탄올 900 mL를 가지고 이 과정을 한 번 더 반복하였다. 준비된 에탄올 추출물을 vacuum evaporator(EYELA N-11, Tokyo Nikakikai Co., LTD, Japan)를 이용하여 남은 에탄올이 없을 때까지 증류시킨 후 동결건조하였다. 동결건조된 시료는 분쇄 후 -70°C의 냉동고(SWNF-300, Samwon Freezing Engineering Co., LTD, Korea)에서 보관하면서 시험에 사용하였다.

복귀 돌연변이 시험(Ames test)

복귀 돌연변이 시험은 Maron과 Ames의 방법(1983)을 이용하여 측정하였다. 시험에 사용된 균주는 *Salmonella typhimurium* LT2를 친주로 하는 *S. typhimurium* TA98 및 TA100이었고, 이를 균주는 사용에 앞서 필요시 균주의 유전자형 확인을 위해 histidine 요구성 여부, UV에 대한 민감도(*uvrB* 돌연변이), rfa 돌연변이의 유지 여부 및 R-factor에 의한 ampicillin 또는 tetracycline 내성 등의 유전형질을 확인한 후 시험에 사용하였다.

본 실험에 사용된 균주는 Molecular Toxicology Inc.(Boone, NC, USA)에서 구입하여 형질을 확인한 후 한국화학연구소 안전성센터에서 계대 배양 중인 것을 시험에 사용하였다. 유전형질이 확인된 균주된 nutrient broth(Oxoid Ltd., Hampshire,

England)에 접종하여 37°C에서 200 rpm으로 약 10시간 진탕 배양(Vision Scientific Co., Korea)한 후 시험에 사용하였다.

간 균질액(S9 fraction)은 Maron과 Ames의 방법(1983)에 따라 조제한 것(단백질함량 22.5 mg/mL 함유, Lot No. 00042101, Oriental Yeast Co., Japan)을 사용하였다. 5% S9 mix는 상기 S9 fraction과 시판 cofactor(Lot No. 999902, Wako Co., Japan)로 조제하였다. 처리농도는 0.5 mL/plate로 하였으며, S9 mix의 활성은 2-AA의 돌연변이 유발로 확인하였다.

양성 대조물질로는 sodium azide(SA, Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Inc., Germany)는 증류수에 용해하였으며, Sigma-Aldrich Chemie(Steinheim, Germany)사에서 구입한 4-nitroquinoline-1-oxide(4-NQO) 및 2-aminoanthracene(2-AA)는 증류수 또는 dimethyl sulfoxide(DMSO, Aldrich Chemical Co., USA)에 용해하여 각 시험균주의 특성에 맞추어 사용하였다.

복귀돌연변이 시험은 시험물질의 각 농도군 당 2개 plate를 사용하여 direct plate incorporation 방법으로 실시하였다. 즉 *S. typhimurium* 균주를 nutrient broth에 하룻밤 동안 배양하여 대수기(2×10^9 cells/mL)상태에 이르도록 한 배양액 100 μL, 시험물질의 멸균증류수 혼탁액 100 μL 및 S-9 mixture(또는 0.2 M Na-Phosphate buffer) 500 μL를 혼합하여 histidine-biotine를 함유한 top agar 2.0 mL에 섞은 후 이를 minimal glucose agar배지에 부어 고화시킨 다음 37°C에서 48시간 동안 배양한 후 복귀돌연변이 집락수를 계수하였다. 음성대조군은 시험물질 대신 증류수 100 μL를 첨가하였으며, 양성 대조군은 대사 활성계 미적용시 SA 및 4-NQO를, 대사활성계 적용시 2-AA를 각각 100 μL씩 가하여 같은 방법으로 실시하였다. 시험결과는 각 농도군 당 각 plate로부터 얻은 colony 수의 평균과 표준편차로 나타내었고 복귀돌연변이 colony 수와 농도의존성을 보이면서 용매대조군의 2배 이상인 경우를 양성으로 하였다.

통계분석

병원성 미생물이 접종된 볶은 쇠고기 및 햄은 조사선량에 따라 감마선 조사를 실시하여 미생물 분석한 후 D_{10} (90% 생존균의 감소를 나타내는 선량 : kGy)값을 구하였다. 즉 각 시험구의 생존균수 값은 3개 평균계수에 대한 평균(N) CFU 값을 3번의 제로선량 평균값(N_0)으로 나누어 \log_{10} 생존균수값($\log_{10} N/N_0$)으로 나타낸 후 \log 생균수 값의 직선 회귀의 역의 기울기로 나타내었다.

결과 및 고찰

미생물 검사 및 방사선 감수성

즉석식품 제조를 위한 육류 및 육가공 식품의 감마선 조사에 따른 병원성 미생물의 제어효과를 나타낸 결과는 Table 1~4와 같다. 볶은 쇠고기 및 햄에 접종된 4종류의 미생물은 $10^7 \log_{10}$ cfu/g의 균수를 나타냈다. *Salmonella typhimurium*의 경우 볶은 쇠고기에 접종되어 감마선 조사한 경우 1 kGy로 조사됐을 경우 4 log정도의 증식억제를 보였으며 2 kGy로 조사했을 경우 균이 검출되지 않았으나 햄은 3 kGy로 조사했을 경우 균이 검출되지 않았으나 햄은 3 kGy로 조사했을 경우 균이 검출되지 않았다. *Escherichia coli*의 경우 볶은 쇠고기에는 2 kGy로 조사되었을 경우 균이 검출되지 않았으나 저장 기간이 지남에 따라 균의 증식이 확인되었다. *Staphylococcus aureus*를 볶은 쇠고기 및 햄에 접종했을 경우 3 kGy의

선량으로 조사했을 경우 균이 검출되지 않았으나 볶은 쇠고기에 접종된 *Listeria ivanovii*는 3 kGy의 선량에서도 저장 24시간 후에 균이 2.78 log 검출되었다. Aziz 등(2002)은 시중에서 판매되는 우육, 분쇄우육 및 beef burger에 대한 총균수를 조사한 결과 각각 4.9×10^4 , 2.1×10^6 및 4.3×10^6 [cfu/g] 검출되었으며 감마선 조사 및 마이크로 웨이브에 노출시켜 균수의 변화를 살펴본 결과 5.0 kGy로 감마선 조사했을 경우 균수는 2~3 log cycle 정도가 감소하였고, 감마선 5.0 kGy와 20 sec 마이크로 웨이브를 병용할 경우 미생물은 검출되지 않았다고 보고하였다.

볶은 쇠고기 및 햄에 접종된 병원성 미생물의 방사선 감수

Table 1. Effect of irradiation on growth (log CFU/g) of *Salmonella typhimurium* (KCTC 1925) in animal originated materials during storage at 20°C

Irradiation dose (kGy)	Meat products					
	Seasoned and cooked beef			Ham		
	0 hr	8 hr	24 hr	0 hr	8 hr	24 hr
0	7.53±0.07	7.31±0.12	7.80±0.15	7.25±0.33	7.30±0.15	7.36±0.07
1	3.21±0.29	3.58±0.08	4.21±0.10	5.70±0.01	5.89±0.16	6.10±0.14
2	ND ¹⁾	ND	ND	3.42±0.25	3.91±0.09	4.40±0.09
3	ND	ND	ND	ND	ND	ND

¹⁾ Viable colonies were not detected at detection limit < 10^2 CFU/g.

Table 2. Effect of irradiation on growth (log CFU/g) of *Escherichia coli* (KCTC 1682) in animal originated materials during storage at 20°C

Irradiation dose (kGy)	Meat products					
	Seasoned and cooked beef			Ham		
	0 hr	8 hr	24 hr	0 hr	8 hr	24 hr
0	7.80±0.17	8.12±0.03	8.53±0.27	7.71±0.27	7.64±0.06	7.08±0.25
1	4.34±0.05	4.69±0.17	4.60±0.18	5.59±0.32	5.53±0.02	5.66±0.34
2	ND ¹⁾	3.38±0.01	3.24±0.09	3.79±0.12	3.94±0.23	4.27±0.25
3	ND	ND	ND	ND	ND	ND

¹⁾ Viable colonies were not detected at detection limit < 10^2 CFU/g.

Table 3. Effect of irradiation on growth (log CFU/g) of *Staphylococcus aureus* (KCTC 1916) in animal originated materials during storage at 20°C

Irradiation dose (kGy)	Meat products					
	Seasoned and cooked beef			Ham		
	0 hr	8 hr	24 hr	0 hr	8 hr	24 hr
0	7.86±0.11	8.26±0.23	8.02±0.01	7.96±0.21	8.00±0.36	8.22±0.04
1	4.97±0.04	5.36±0.12	5.16±0.02	5.45±0.05	5.30±0.15	5.36±0.07
2	3.23±0.08	3.47±0.10	3.15±0.21	3.51±0.14	3.58±0.04	3.64±0.03
3	ND ¹⁾	ND	ND	ND	ND	ND

¹⁾ Viable colonies were not detected at detection limit < 10^2 CFU/g.

Table 4. Effect of irradiation on growth (log CFU/g) of *Listeria ivanovii* (KCTC 3444) in animal originated materials during storage at 20°C

Irradiation dose (kGy)	Meat products					
	Seasoned and cooked beef			Ham		
	0 hr	8 hr	24 hr	0 hr	8 hr	24 hr
0	7.40±0.12	7.39±0.18	7.44±0.13	7.89±0.21	7.59±0.26	7.71±0.15
1	5.19±0.02	5.25±0.10	5.22±0.25	5.20±0.62	4.89±0.02	5.29±0.16
2	3.90±0.17	4.14±0.07	4.36±0.16	3.62±0.04	3.49±0.10	3.78±0.10
3	ND ¹⁾	ND	2.78±0.05	ND	ND	ND

¹⁾ Viable colonies were not detected at detection limit < 10² CFU/g.

성을 조사한 결과는 Table 5와 같다. 볶은 쇠고기에 접종된 병원성 미생물은 *L. ivanovii*[0.48로 가장 감수성이 낮은 것으로 나타났으며 햄의 경우 *S. typhimurium*[0.45로 감수성이 낮은 것으로 나타났다. Yook 등(1998)은 우육에 오염시킨 병원세균의 방사선 감수성은 *E. coli*, *S. typhimurium*, *V. parahaemolyticus*, *S. aureus* 및 *L. monocytogenes*는 각각 0.32,

Table 5. Radio-sensitivity (D_{10} -value) of food born microorganisms inoculated to animal originated materials

Animal originated materials	Food-born microorganisms	D_{10} -value
Seasoned and cooked beef	<i>Escherichia coli</i>	0.27±0.01
	<i>Staphylococcus aureus</i>	0.37±0.01
	<i>Listeria ivanovii</i>	0.48±0.01
	<i>Salmonella typhimurium</i>	0.24±0.02
Ham	<i>Escherichia coli</i>	0.43±0.01
	<i>Staphylococcus aureus</i>	0.39±0.02
	<i>Listeria ivanovii</i>	0.41±0.02
	<i>Salmonella typhimurium</i>	0.45±0.06

Table 6. Ames test results of non-irradiated and irradiated animal originated materials¹⁾

Irradiation dose (kGy)	Materials	Concentration ($\mu\text{g}/\text{plate}$)	No. of revertant colonies (His ⁺) per plate			
			TA98 (-S9)	TA98 (+S9)	TA100 (-S9)	TA100 (+S9)
0	Seasoned and cooked beef	10,000	25±3.5	38±2.8	285±7.1	233±14.1
		5,000	29±7.1	48±4.9	290±0.7	237±12.7
		2,500	32±2.8	40±0.7	222±9.2	285±14.8
		1,250	18±4.9	28±2.1	247±9.9	245±12.7
		625	20±7.1	34±2.1	205±12.7	231±7.1
	Ham	10,000	16±4.9	28±3.5	239±17.0	237±4.2
		5,000	29±7.1	27±4.2	225±12.7	241±0.7
		2,500	27±4.9	28±2.1	215±15.6	206±9.2
		1,250	22±1.4	21±2.1	158±0.7	194±9.9
		625	25±0.7	29±5.7	192±3.5	184±17.0

0.54, 0.61, 0.44 및 0.37 kGy을 나타났다고 보고하였다.

Salmonella typhimurium 복귀돌연변이 검정

감마선 조사 또는 비조사된 볶은 쇠고기 및 햄을 첨가하였을 경우 *Salmonella typhimurium* TA98 및 TA100에 대한 복귀돌연변이 집락수를 측정한 결과는 Table 6과 같다. 실험에 사용된 2 균주의 생균수는 $1.0 \sim 1.8 \times 10^9/\text{mL}$ 수준이었다. 대사활성계가 첨가된 경우와 첨가되지 않은 경우 시험물질에 의한 *S. typhimurium* TA98 및 TA100 균주를 이용한 복귀돌연변이 시험을 수행한 결과 농도에 따른 복귀변이 집락수의 증가를 보이지 않았다. 일반적으로 돌연변이원성의 판정은 음성 대조구 복귀변이 집락수의 2배 이상인 경우를 양성으로 하므로 본 실험의 감마선 조사된 시료 및 조사하지 않은 시료에 대하여 전 농도에서 복귀를 유발하지 않은 것으로 보아 감마선 조사에 대한 돌연변이 원성은 없는 것으로 판단된다. Mittler (1979)는 생약제에 대한 감마선 조사는 유전독성학적으로 안전하다고 보고하였는데 이는 본 실험과도 일치하였다.

Table 6. Continued

Irradiation dose (kGy)	Materials	Concentration ($\mu\text{g}/\text{plate}$)	No. of revertant colonies (His ⁺) per plate			
			TA98 (-S9)	TA98 (+S9)	TA100 (-S9)	TA100 (+S9)
10	Seasoned and cooked beef	10,000	26±0.7	65±6.4	234±11.3	282±2.8
		5,000	25±0.0	34±0.7	261±9.9	250±2.8
		2,500	25±1.4	43±6.4	208±0.7	258±11.3
		1,250	20±3.5	31±6.4	237±5.7	286±1.4
		625	15±1.4	30±1.4	168±7.8	194±8.5
	Ham	10,000	20±7.8	28±10.6	252±11.3	200±11.3
		5,000	22±0.0	26±2.1	252±1.4	239±3.5
		2,500	19±0.7	32±7.1	172±17.0	178±10.6
		1,250	26±11.3	19±0.0	150±2.8	183±11.3
		625	26±2.1	22±5.7	168±2.8	194±0.7
Negative control	H ₂ O		17±5.8	27±5.7	227±14.0	274±13.1
	4-NQO ²⁾		415±13.3			
	2-AA ²⁾			537±10.1		
	SA ²⁾				602±14.4	
	2-AA ²⁾					997±4.4

¹⁾ Value are the mean±S.D.²⁾ Abbreviations: 4-NQO, 4-nitroquinoline-1-oxide; 2-AA, 2-aminoanthracene; SA, sodium azide.

요 약

감마선 조사를 통한 즉석식품 제조용 육가공제품의 미생물학적 및 유전 독성학적 안전성 평가를 실시하였다. 미생물 안전성은 총 4종류의 병원성 미생물(*Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* 및 *Listeria ivanovii*)을 이용하여 inoculation test를 실시하였으며 유전 독성학적 평가는 ames test를 통해 조사하였다. 4 종류의 병원성 미생물을 볶은 쇠고기 및 햄에 접종했을 경우 초기 균수는 7 log 정도로 나타났으나 1 kGy로 감마선 조사했을 경우 *S. typhimurium*은 4 log cycle 정도, *E. coli* 및 *S. aureus*는 3 log 및 *L. ivanovii*는 2 log 정도 증식이 억제되었다. 볶은 쇠고기 및 햄에 접종된 4 종류의 병원성 미생물은 3 kGy의 선량으로 감마선 조사했을 경우 겸출되지 않았다. 볶은 쇠고기 및 햄에 접종된 4 종류의 병원성 미생물의 방사선 조사에 대한 감수성을 측정한 결과 접종된 병원성 미생물의 D₁₀ value는 볶은 쇠고기에 접종된 *L. ivanovii*가 0.48로 가장 감수성이 낮은 것으로 나타났다. 볶은 쇠고기 및 햄을 비조사구와 조사구(10 kGy)로 나누어 *S. typhimurium* TA98 및 TA100 두 균주를 이용하여 유전 독성학적 안전성을 평가한 결과 대사활성을 시킨 경우와 대사활성을 시키지 않은 경우 모두 추출물의 농도에 따른 복귀돌연변이 집락수의 증가는 확인되지 않아, 즉석 식품제조를 위한 볶은 쇠고기 및 햄의 감마선 조사는 유전독성학적

으로 안전한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 및 한국과학기술기획평가원의 원자력증강기연구개발사업과 한국식품개발연구원 자체개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Anonymous (2003) Irradiation enhances food safety and quality. *Food Prot. Trends* **23**, 593-574.
- Aziz, N. H., Mahrous, S. R., and Youssef, B. M. (2002) Effect of gamma-ray and microwave treatment on the shelf-life of beef products stored at 5°C. *Food Control* **13**, 437-444.
- Byun, M. W. (1997) Application and aspect of irradiation technology in food industry. *Food Sci. Ind.* **30**, 89-100.
- Byun, M. W., and Lee, J. W. (2003) Application of irradiation technology for food safety and security. *Food Sci. Ind.* **36**, 25-41.
- Buzby, J. C., and Roberts, T. (2001) ERS estimates U.S. food-borne disease costs. *Food Rev.* **24**, 37-42.

6. Chung, M. S., Kang, H. D., Um, B. Y., Kim, Y. J., and Lee, M. (1998) Effects of low dose electron-beam on the beef aging. *Korean J. Anim. Sci.* **40**, 193-202.
7. Kim, K. J., Min, J. S., Lee, S., Jang, A., Jang, S. H., Cheon, Y. H., and Lee, M. (2003) Effect of natural or phosphates on quality improvement of the low-grade seasoned Hanwoo ribs. *Korean J. Anim. Sci.* **45**, 309-318.
8. Maron, D. M., and Ames, B. N. (1983) Revised methods for *Salmonella* mutagenicity test. *Mutation Research* **113**, 1013-1030.
9. Mittler, S. (1979) Failure of irradiated beef and ham to induce genetic aberrations in drosophila. *Int. J. Radiation Biology* **35**, 583-588.
10. Yook, H. S., Lee, K. H., Lee, J. W., Kang, K. O., and Byun, M. W. (1998) Effect of gamma irradiation on lipid oxidation of Korean beef. *Korean J. Food Sci. Technol.* **30**, 1179-1183.
11. Yook, H. S., Lee, J. W., Lee, H. J., Kim, J. G., Kim, K. P., and Byun, M. W. (1999) Effect of gamma irradiation on the protein solubility, purge loss and shear force of beef. *Korean J. Food Sci. Technol.* **31**, 665-671.

(2004. 8. 3. 접수 ; 2004. 12. 28. 채택)