

감마선조사 닭고기의 미생물학적 및 유전독성학적 안전성 평가

곽희진 · 정차권* · 강일준*
동해대학교 관광외식산업학과, *한림대학교 생명과학부

Microbiological and Genotoxicological Safety of Gamma-Irradiated Chicken

Hee-Jin Kwak, Cha-Kwon Chung* and Il-Jun Kang*
Dept. of Tourism and Food Service Industry, Tonghae University
*School of Life Sciences, Hallym University

Abstract

Gamma irradiation (1-10 kGy) was applied to chicken for the evaluation of their microbiological safety and possible genotoxicity. In 3 kGy-irradiated sample, the growth of psychrophile was inhibited about 1.5 log cycles and no cells were recovered in total microbial counts. All kinds of contaminated microorganism were sterilized by 7 kGy-irradiation. Also, irradiation followed by freeze-storage at the same time was very effective in inhibiting bacterial growth. The genotoxicity of 10 kGy-irradiated chicken was evaluated by *Salmonella* Typhimurium reversion assay and in vivo micronucleus assay using mouse bone marrow cells. The results were negative in the bacterial reversion assay with *S. Typhimurium* TA98, TA100, TA1535, and TA1539. Clastogenic effects were not shown in vivo mouse micronucleus assay at 10 kGy-dose tested.

Keywords: Korean chicken, gamma irradiation, genotoxicity.

1. 서 론

식품조사는 다양한 선량의 범위내에서 몇몇 식품에서 관찰된 특정성분의 함유량 감소나 특유한 방사선 분해물(Unique radiolytic products: URP)의 생성 유무로, 조사 식품을 일반식품으로 사용하는 것에 대한 부적합성과 관련한 찬반의 논란이 끊임없이 이어져 왔다. 그러나 특정영양소의 감소나 특유의 분해물이 생성되었다면 그것은 멸균처리 등과 같은 다른 식품보존 방법으로부터 생기는 결과와 별 차이가 없는 것이며, 특히 냉동이나 진공상태에서의 조사와 같은 병행처리기술의 발달로 이러한 현상이 현저히 줄어들었다¹⁻³⁾. 따라서, 현재 많은 국가들이 조사 식품을 그들의 시장에 공급하고 있으며, 조사 식품의 사용에 소비자의 신뢰를 단계적으로 쌓아가

고 있는 동시에 정부차원에서 조사식품 품목을 추가시키는 사업을 활발히 증가시켜 나가고 있다⁶⁾.

육류는 도살과정의 비위생화와 복잡한 유통과정 및 원활하지 못한 수급과정으로 인하여 쉽게 변질될 수 있으며, Shelf-life가 짧아 선도유지가 어려운 단점을 지니고 있다⁷⁾. 이러한 현상은 특히 하절기에 일어나기 쉬워 계절성 또한 무시할 수 없으며, 미생물의 증식이 주된 원인으로 초기 미생물 오염도는 육류의 저장성을 결정짓는 중요한 요소로 작용한다⁸⁾. 이러한 사실은 식품의 양적 손실을 초래할 뿐 아니라 인간의 건강에도 큰 위협을 가져오며, 그 결과 경제성 및 생산성 저하의 중요한 원인이 되고 있다. 1983년 FAO/WHO 합동 식품안전 전문위원회는 보고한 바 있다^{9,10)}. 따라서 생산시설의 낙후와 과학적인 위생처리의 부족으로 인한 공중위생상의 많은 문제점을 내포하고 있는 현실속에서 소비자의 육구를 충족시켜 주기 위해서는 1차적으로 생산과정의 개선이 요구되고 있으며 추가적으로는 육류를 위생적으로 저장할 수 있는 방안이 강구되어야 할 것이다. 더욱이 1997년부터 냉장육 수입의 허용으로 수

Corresponding author : Hee-Jin Kwak, Tonghae University,
San 119, Jiheungdong, Tonghae, Kangwondo, 240-150, Korea
Tel : 033-521-9900
Fax : 033-522-1739
E-mail : heejine@hanmail.net

입육에 대한 한우육의 경쟁력 제고를 위하여 냉장육의 장기 저장 방안의 확립 마련이 매우 시급한 실정에 있다¹¹⁾.

이러한 육고기의 품질보존을 위하여 최근 육제품의 저장에 많이 이용되고있는 방법인 감마선조사는 이미 국제적으로 건전성이 공인되어 실용화되고 있을 뿐 아니라(38개국, 200여품목) 식육에서 원초적인 병원성 세균 및 기생충에 의한 오염을 방지하는 것은 불가능 하나 최종 포장단계에서의 방사선 처리는 이들을 손쉽게 살균할 수 있으며, 방사선 조사에 의한 색조나 조직감의 변화 및 성분 열화 등을 고려하여 1~3 kGy의 방사선 조사를 추천하고 있다¹²⁻¹⁴⁾.

따라서 본 연구는 국내에서 이미 식품 위생법 시행령(대통령령 제 11,717호, 1985. 6)이 공포되어 있는 감마선조사 기술의 이용가능성을 검토할 목적으로 계육의 미생물 시험 및 유전독성 시험을 통해 안전성 평가를 실시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시료 및 감마선 조사

실험에 사용한 닭고기는 서울시 마장동 우시장에서 압수 구별 없이 가슴살만을 구입하여 그 즉시 meat chopper(Model MN 22S, FUJI, Japan)로 갈아 500 g씩 분취하여 polyethylene 비닐 팩에 포장한 후 ice box에 담아 운송하여 감마선조사 시료로 사용하였다. 감마선 조사는 경기도 여주 그린피어 기술 주식회사에 설치되어 있는 상업적 다목적용 감마선조사시설(선원 570,000 Ci Co-60, 그린피어 기술 주식회사)을 이용하여 닭고기 시료를 ice box에 담아 시간당 0.7 kGy의 선량률로 0.5, 1, 3, 5 kGy를 조사하였으며, ceric cerous dosimeter(USA)를 사용하여 총 흡수선량을 확인하였다. 감마선 조사된 시료는 비조사구와 함께 냉장(5°C) 및 냉동(-20°C) 저장하면서 저장기간별로 실험에 사용하였으며, 유전독성학적 안전성 평가시험을 위해서는 동결건조기(Labconco, U.S.A.)를 사용하여 동결건조시킨 후, 무균상태에서 분말화 한 다음 냉장저장하면서 안전성 평가시험을 행하였다.

2. 미생물 시험용액 제조

각 시료 25 g을 살균된 희석수로 전량을 250 mL로 하고 5분간 잘 흔들어서 정치시킨 후 그 상층액을 시험액으로 사용하였다. 각 미생물 검사는 위의 시험용액 1 mL을 test tube에 취한 후 살균된 희석

수로 10배 단위로 희석하여 실시하였고, 미생물의 수는 시료 g당 colony forming unit(CFU/g)으로 나타내었다.

3. 호기성 전 세균 및 저온성 세균수

APHA표준방법¹⁵⁾에 따라 plate count agar를 사용하였다. 3차 증류수 900ml에 Plate count agar(Merck) 20.25 g을 넣은 후 hot plate에서 stirring 하면서 혼합하였다. Autoclaving(121°C, 15min)한 후 50°C water bath 에서 냉각시켜 petri dish에 부어 고화시킨후 시험용액을 0.1 mL씩 적하도포하였다. 이때 호기성 전 세균은 35°C에서 2일간, 저온성 세균은 7°C에서 10일간 배양한 후 집락을 계수 하였다.

4. Salmonella

Salmonella는 Rambach agar(Merck)를 사용하여 liquid-mix 1 vial에 증류수 250 mL를 가해 용해하고 여기에 nutrient-powder 1 vial을 섞어 hot plate 위에서 stirring하면서 완전히 용해시킨 후, 45-50°C의 water bath에서 가능한 빨리 냉각시켜 petri dish에 부어 고화시켰다. 시험용액 0.1 mL를 적하도포하여 35°C에서 18-48시간 배양한 다음 적색의 집락을 계수 하였다.

5. 복귀돌연변이 시험

시험균주: 시험에 사용된 균주는 *Salmonella typhimurium* LT2를 친주로 하는 *Salmonella typhimurium* TA98, TA100, TA1535, TA1537을 사용하였다. 이들 균주는 사용에 앞서 histidine 요구성, crystal violet 감수성, ampicillin 내성, spontaneous 복귀변이 수 등을 확인하였다.

S-9 mixture의 제조: 한림대학교 실험동물부에서 분양 받은 Sprague-Dawley계 흰쥐(웅성; 6~8주령)에 Aroclor 1254를 500mg/kg의 용량으로 1회 복강내 투여하여 4일째 경추탈골에 의하여 도살한 후 간을 적출하였다. 적출한 간 중량의 3배량의 냉각한 0.15 M KCl용액을 넣어 균질화 하고 9,000×g에서 10분간 원심분리 한 후 그 상층액을 S-9 mixture으로 하였으며, 이를 사용해 Maron과 Ames¹⁶⁾의 방법에 따라 S-9 mixture를 조제하였다.

복귀돌연변이 시험: *S. typhimurium* 균주를 nutrient broth에 하룻밤 동안 배양하여 대수기(2×10^8 cells/ml) 상태로 이르도록 한 배양액 0.1ml, 시험물질의 멸균 증류수 현탁액 0.1mL, S-9 mixture(또는 0.2M Na-Phosphate buffer) 0.5mL을 혼합하여 37°C에서 30분

간 pre-incubation하였다. Histidine/biotin을 함유한 top agar 2.5mL을 가하여 minimal glucose agar 배지에 부어 고화시킨 다음 37°C에서 48시간 동안 배양한 후 복귀돌연변이 집락을 계수하였다. 양성대조물질로는 2-aminofluorene(2-AF), 2-aminoanthracene (2AA)을 각 시험균주의 특성에 맞추어 사용하였다.

6. 소핵시험

실험동물: 한림대학교 실험동물부에서 분양 받은 ICR 마우스(웅성; 5~6주령)를 사용하였으며, 동물 입수후 약 1주일간의 순화기간을 거쳐 건강한 동물만을 시험에 사용하였다. 실험동물의 사육은 온도 25±1°C, 습도 55±5%, 조도 300~500Lux로 12시간 자동 점·소등 장치가 설치되어 있는 환경에서 사육하였으며, 삼양사의 마우스용 고품사료와 수돗물을 자유로이 공급하였다.

소핵시험: 시험물질 투여량은 현탁하여 경구투여가 가능한 최고농도를 고용량으로 설정하였고, 이를 1/2로 희석하여 저용량으로 하였다. 시험최고 농도는 kg당 2,500mg이었으며, 검체 현탁액을 24시간 간격으로 2회 경구 투여하고, 마지막 투여 후 24시간이 경과한 후 Hayashi등⁽¹⁷⁾의 방법에 따라 acridine orange 용액(0.5mg/mL)을 slide glass에 도포하여 공기 중에 건조시키고, 마우스의 꼬리정맥으로부터 채취한 혈액 약 5µl를 slide glass위에 떨어뜨리고 cover glass로 덮었다. 세포가 고정된 후 형광현미경 하에서 마우스 1마리당 1,000개의 망상적혈구(reticulocyte; RET)를 관찰하여 그 중에서 초록색 형광을 띠는 소핵을 가진 망상적혈구(micronucleated reticulocyte; MNRET)를 측정하여 소핵생성 빈도를 계산하였다.

7. 통계학적 평가

Hayashi 등⁽¹⁷⁾의 방법에 따라 3단계의 통계처리법을 적용하여 결과를 분석하였다. 1단계에서는 Hayashi등에 의해 측정되어진 음성 및 양성대조군에 대한 배경 data와 비교해 보았고, 2단계에서는 각 처리군의 MNRET 출현빈도를 음성대조군의 비교자료로부터 추정하여 2항분포를 통하여 검정을 하였고 여기에서 유의한 차이를 나타내면 3단계로서 음성대조군과 시험물질처리군의 결과에 대해서 용량반응관계가 있는가를 Cochran Armitage 경향검정을 통하여 추정하였다(유의수준 0.05).

III. 결과 및 고찰

1. 미생물의 오염과 감마선 살균효과

닭고기의 초기 미생물 오염도는 호기성 전세균 9.5×10⁴CFU/g, 저온성균 7.5×10³CFU/g, *Salmonella* 2.2×10³CFU/g으로 비교적 높은 초기오염도를 나타냈으며, 특히 *Salmonella*의 심각한 오염이 나타나 이에 대한 적절한 위생처리 방법 등의 품질관리 체계가 필요할 것으로 사료된다(Table 1).

닭고기에 대한 감마선 살균효과를 살펴보면, 호기성전세균이 비조사군에서는 9.5×10⁴CFU/g이었으며, 1kGy 조사군에서 1.5×10³CFU/g로 약 2 log cycle 정도 감소되었고, 3kGy 이상 조사로 완전 사멸 가능하였다. 저온성균의 경우 1kGy의 조사로는 전혀 감균되지 않았으며, 3kGy 조사군에서 약 1.5 log cycle 정도 감소되었고, 7kGy 이상의 조사선량으로 검출한계 이하로 사멸되었다. Chuang 등⁽¹⁸⁾은 닭고기 가공품에 대한 연구에서 저온성균의 경우 2kGy 조사로 약 1.5 log cycle 정도 감균되었고, 4kGy 이상 조사로 완전사멸되었다고 하여 본 실험에서 적용한 조사선량과 비슷한 결과를 보고하였다. 또한 *Salmonella*의 경우 비조사군에서 2.2×10³CFU/g을 나타내었으나 1kGy의 낮은 조사선량으로도 검출한계 이하로 사멸가능하였다.

한편, 닭고기는 *Salmonella*와 같은 식중독세균의 중요한 매개체중의 하나로서 대개의 *Salmonella* spp를 비롯한 장내 병원성 세균은 일반적으로 방사선 저항성이 약하여 종에 따라 차이는 있지만 D₁₀값이 1kGy 정도로 알려지고 있다⁽¹⁹⁾. Mulder⁽²⁰⁾의 연구에서도 *Salmonella panama*와 *Escherichia coli* K 12의 D-Value가 각각 0.65kGy와 0.56kGy라고 하였으며, 같은 조건으로 *Enterobacteriaceae*를 1/10로 감소시키는 데 약 1kGy가 필요하다고 보고한 바 있다.

Table 1. Effect of gamma irradiation on the inactivation of microorganisms in chicken¹ (unit: CFU/g)

Microorganism	Irradiation dose (kGy)				
	0	1	3	7	10
<i>Salmonella</i>	2.2×10 ³	ND	ND	ND	ND
Total bacteria	9.5×10 ⁴	1.5×10 ³	ND	ND	ND
Psychrophile	7.5×10 ³	9.3×10 ³	3.0×10 ²	ND	ND

¹Each value represents the mean of duplicate determinations.

²ND: not detected

IV. 저장기간에 따른 미생물 생육 변화

1. 호기성전세균

Table 2와 같이 닭고기의 냉장저장에서는 비조사균의 초기 호기성전세균수는 9.5×10^4 CFU/g로 비교적 높은 수치를 나타냈으나 일반적으로 상온에서 유통되는 신선계육의 미생물수는 $10^4 \sim 10^5$ /cm²라는 김과 이²¹⁾의 보고를 참고하여 볼 때 위생상 이상이 없다고 사료된다. Egan 등²²⁾은 총균수가 10^8 수준일 때 관능학적 부패를 발견할 수 있었다고 보고하였으나 본 연구에서는 부패를 느낄 수 있었던 냉장저장 8주까지도 호기성전세균수가 2.1×10^7 CFU/g으로 앞선 수치보다 낮은 세균 수를 나타내었다. 이는 부분적인 진공포장으로 어느 정도 산소를 제거하여 포장한 것에서 기인된 것으로 생각되며, Gardener²³⁾ 등도 산소의 농도가 호기성전세균의 증식에 유의적인 영향을 미친다고 보고한 바 있다. 1kGy 조사균의 경우 비조사균과의 차이가 없었으며, 3kGy 조사균에서는 조사직후에는 세균이 검출되지 않았으나 냉장 2주째부터 점차 증식되어 냉장저장 8주후에는 2.0×10^2 CFU/g로 조사전 초기세균수보다 적었다. 이는 감마선 조사로 균과 포자가 거의 사멸된 상태로 저장이 행해졌기 때문이라 생각 되며 7kGy 이상 조사균에서는 완전 사멸되어 냉장저장 8주 후에도 호기성전세균은 전혀 검출되지 않았다. 냉동저장의 경우에는(Table 3) 비조사균이 저장 1개월째 4.6×10^3 CFU/g 이었고, 냉동저장 6개월 후에도 거의 변화

없는 상태를 유지하였다. 1kGy군에서는 저장 1개월째 비조사균보다는 적은 2.0×10^2 CFU/g 이었으며, 3kGy군은 저장 4개월까지는 검출되지 않았으나 6개월째에 0.5×10^2 CFU/g를 나타내었고, 7kGy 이상의 선량에서는 완전히 사멸됨을 알 수 있었다.

2. 저온성균

냉장저장중 닭고기에 대한 저온성균 생육증식 변화는 다음과 같다(Table 2). 우선 비조사균과 1kGy균의 경우에는 비슷한 수준의 증식을 보여 냉장저장 4주째 10^6 CFU/g 정도였고, 저장 8주후에는 10^8 CFU/g으로 완전히 부패하였다. 3kGy군에서는 냉장저장 8주후까지도 3.4×10^6 CFU/g 수준을 보여 조사균과 비조사균간의 증식현상은 현저한 차이를 보였다. 또한 7kGy군에서도 저장 4주째부터 10^4 CFU/g 정도의 증식을 보여 8주 후에는 2.1×10^6 CFU/g으로 저온성균의 경우 비교적 높은 선량에서도 증식하여 닭고기의 냉장저장 중 변패를 일으키는 주된 오염미생물임을 알 수 있었다. 냉동저장의 경우에도(Table 3) 비슷한 양상으로 비조사균과 1kGy은 저장 6개월까지 전 저장기간에 걸쳐 10^4 CFU/g 수준을 나타내었고, 3kGy 조사균에서는 약 10^2 CFU/g 수준이며, 7kGy군에서는 저장 4개월까지 검출되지 않았으나 6개월째 1.5×10^2 CFU/g 내외를 나타내었다. Barnes 등²⁴⁾의 보고에 의하면 비조사 닭고기의 저온저장 및 호기적 조건에서 변패는 주로 *Pseudomonas*에 의한 것이 가장 크며, 적은 수의 *Achromobacter*와 Coliform도 검출되었고, 이러한

Table 2. Effect of gamma irradiation on the growth of microorganisms in chicken during storage at 5°C¹ (unit: CFU/g)

Irradiation Dose(kGy)	Microorganisms	Storage period (weeks)			
		0	2	4	8
0	<i>Salmonella</i>	2.2×10^2	7.9×10^4	1.0×10^5	2.0×10^7
	Total bacteria	9.5×10^4	2.7×10^5	9.2×10^5	2.1×10^7
	Psychrophile	7.5×10^5	2.3×10^5	5.6×10^6	8.6×10^8
1	<i>Salmonella</i>	ND	2.0×10^2	6.1×10^3	4.7×10^4
	Total bacteria	1.5×10^5	6.8×10^6	5.6×10^7	1.7×10^7
	Psychrophile	9.3×10^5	1.2×10^5	3.3×10^6	2.5×10^8
3	<i>Salmonella</i>	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	ND	7.2×10^1	1.0×10^2	2.0×10^2
	Psychrophile	3.0×10^2	4.2×10^3	2.7×10^4	3.4×10^6
7	<i>Salmonella</i>	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	ND	ND	ND	ND
	Psychrophile	ND	ND	1.5×10^4	2.1×10^6
10	<i>Salmonella</i>	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	ND	ND	ND	ND
	Psychrophile	ND	ND	ND	ND

¹Each value represents the mean of duplicate determinations.

²ND: not detected

Table 3. Effect of gamma irradiation on the growth of microorganisms in chicken during storage at -20°C¹ (unit: CFU/g)

Irradiation Dose(kGy)	Microorganisms	Storage period (months)			
		1	2	4	6
0	<i>Salmonella</i>	ND	1.5 × 10 ²	1.2 × 10 ²	1.0 × 10 ²
	Total bacteria	4.6 × 10 ⁵	4.9 × 10 ⁵	4.4 × 10 ⁵	4.8 × 10 ⁵
	Psychrophile	2.9 × 10 ⁴	3.6 × 10 ⁴	4.3 × 10 ⁴	5.6 × 10 ⁴
1	<i>Salmonella</i>	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	2.0 × 10 ²	1.8 × 10 ²	1.2 × 10 ²	1.6 × 10 ²
	Psychrophile	6.6 × 10 ¹	1.3 × 10 ¹	1.5 × 10 ¹	2.1 × 10 ¹
3	<i>Salmonella</i>	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	ND	ND	ND	0.5 × 10 ²
	Psychrophile	3.5 × 10 ²	4.8 × 10 ²	7.7 × 10 ²	1.3 × 10 ³
7	<i>Salmonella</i>	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	ND	ND	ND	ND
	Psychrophile	ND	ND	ND	1.5 × 10 ²
10	<i>Salmonella</i>	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	ND	ND	ND	ND
	Psychrophile	ND	ND	ND	ND

¹Each value represents the mean of duplicate determinations.

²ND: not detected

세균은 보편적으로 지방과 단백질을 강하게 분해시켜 풍미변화의 원인이 된다고 한다. Kahan 등²⁵⁾도 비조사 닭고기의 주된 미생물은 *Pseudomonas*로 약 2.5kGy 조사로서 거의 제거되며, 조사후 저장된 닭고기의 생존세균은 주로 *Achromobacter*로 냉장 중에도 계속 증식하여 변패를 일으킨다고 하였다.

3. *Salmonella*

냉장저장의 경우에는(Table 2) 비조사균의 초기 *Salmonella* 오염균수는 2.2 × 10²CFU/g이었고, 저장기간에 따라 증가되어 냉장저장 8주후에는 2.0 × 10⁵CFU/g을 나타내었다. 반면 1kGy 조사균의 경우 조사직후에는 *Salmonella*가 완전히 제거되어 검출되지 않았으나 냉장저장 2주후부터 점차 증식하기 시작한 반면, 3kGy이상의 선량에서는 저장말기까지 완전 사멸되었다. 냉동상태(Table 3)에서는 비조사균에서 저장 1개월까지는 초기의 무균상태를 계속 나타내었으나 2개월째 1.5 × 10²CFU/g 수준을 나타낸 후 저장 6개월까지 더 이상의 증식은 없었다. 감마선 조사균에서는 전 저장기간동안 *Salmonella*의 오염을 보이지 않았다. 이러한 결과는 Kahan 등²⁵⁾의 닭고기에 2.5kGy의 감마선 조사는 *Salmonella*나 다른 병원성 장내세균을 제거할 수 있었다는 내용과 2.5kGy의 감마선 조사는 시료저장중 *Salmonella*의 생육억제와 냉장이나 냉동조류내에 오염된 *Salmonella*를 3 log cycle 이상 살균시키는데 효과가 매우 높았다고 한 연구보고와 일치하고 있다^{26,19)}. 또한 무포자 세균과 가금류 및 사료의 *Salmonella* 제

거를 위해 사용된 감마선 조사선량은 1~8kGy였다는 결과²⁷⁾와 냉동가금류에서 *Salmonella*의 불활성화는 4~5kGy 선량이 적용된다는 연구보고²⁸⁾ 등과도 거의 일치하였다.

이상으로 닭고기의 경우에는 3kGy의 감마선 조사로 일반세균을 검출한계 이하로 감소시킬 수 있었으나 저온성세균은 약 1.5 log cycle정도밖에 감소시킬 수 없었으며, 7kGy이상의 조사로 모든 오염미생물은 완전히 사멸시킬 수 있었다. 또한, 감마선 조사후 냉동저장의 병용은 육제품의 초기살균과 미생물의 생육억제에 매우 효과적임을 알 수 있었다.

V. 감마선 조사 계육의 복귀돌연변이 시험

예비시험결과에 따라 모든 시료는 8.3mg/plate를 최고농도로 설정하여 본 시험을 수행하였다. 이는 용매인 멸균증류수에 현탁하여 본시험을 수행하는데 있어서 적용 가능한 최고농도로써, 그 이상의 농도에서는 현탁액의 점도로 인한 조작상의 문제가 있었고, 결과 판독시 plate에서 복귀변이 집락과 구별이 어렵게 되는 등의 문제를 배제시킬 수 있는 농도로써 이와 같은 농도를 본 시험에 적용하였다.

감마선 조사 및 비조사 닭고기의 현탁액을 첨가하였을 때 *S. typhimurium* TA 98, TA100, TA1535 및 TA1537에 대한 복귀변이 집락수를 조사한 결과는 Table 4와 같다. 우선 대사활성 부제시의 경우, γ 선으로 조사한 육류는 모든 시험균주에서 시험적용 농도인 0.1~8.3mg/plate의 범위에서 복귀

Table 4. Mutagenicity of gamma irradiated chicken at 10kGy against *Salmonella typhimurium*

Test compound	Conc (mg/plate)	S-9mix	No. of His ⁺ revertants per plate ¹				
			TA98	TA100	TA1535	TA1537	
Chicken (0kGy)	8.3	+	48± 9	104±16	37± 1	8±4	
	2.8	+	52± 1	154±18	46±26	6±4	
	0.9	+	43± 5	126±11	23± 4	8±7	
	0.3	+	30± 5	149±11	23± 6	8±1	
	0.1	+	24± 4	130± 2	23± 7	18±3	
	0	+	40±15	131± 2	27± 4	18±1	
	8.3	-	28±8	96± 4	44±12	8±5	
	2.8	-	30±14	192±59	34± 8	5±1	
	0.9	-	20± 1	123±16	24± 4	11±0	
	0.3	-	25± 4	124±17	28± 0	14±4	
	0.1	-	18± 1	172±13	20± 1	14±6	
	0	-	22± 4	187±12	21± 4	11±3	
	Chicken (10kGy)	8.3	+	24± 1	211±40	26± 1	6±1
		2.8	+	24± 1	222±22	44±12	8±1
0.9		+	30±11	161± 9	33± 1	5±1	
0.3		+	43± 8	135± 7	22± 4	7±0	
0.1		+	38± 6	142±11	33± 4	8±6	
0		+	40±15	118±17	27± 4	8±1	
8.3		-	18± 1	150±15	16± 1	4±0	
2.8		-	12± 2	112± 8	21± 1	3±0	
0.9		-	30±16	126±29	28± 3	4±4	
0.3		-	25±10	114±28	28± 1	6±1	
0.1		-	25± 6	139± 6	41± 8	7±6	
0		-	22± 4	129±20	21± 4	11±3	
2-AF ²		0.01	+	2334±88	1467±167	ne ³	ne
2-AA		0.002	+	ne	ne	252±11	210±18
2-NF	0.01	-	1474±31	ne	ne	ne	
MNNG	0.01	-	ne	1088±34	798±167	ne	
9-AA	0.08	-	ne	ne	ne	882±1085	

¹Each value represents the mean ± SD of three plates and expresses as revertant colonies per plate

²2-AF, 2-Aminofluorene; 2-AA, 2-Aminoanthracene; 2-NF, 2-Nitrofluorene; MNNG, N-methyl-N'-nitrosoguanidine; 9-AA, 9-Aminoacridine were used as positive controls for the corresponding strains.

³ne, not examined

변이 집락수의 농도 의존적인 증가 혹은 감소를 보이지 않았으며 용매대조군과 비교해서도 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 고농도군에서 약간의 집락수가 감소한 것은 시험물질의 입자들에 의한 집락형성의 방해에 기인하는 것으로 추정되며 이와 같은 현상은 γ 선 조사시료와 대조시료 모두에서 나타났다. 대사활성계를 도입한 즉 S-9 mixture를 가한 상태에서 이들시험물질에 대해 *S. typhimurium*을 이용한 복귀돌연변이 시험을 수행한 결과에서도 시험한 모든 검체는 각각의 시험적용 농도에서 복귀변이 집락수의 증가를 보이지 않았다.

이와 같은 결과는 감마선 조사된 닭고기에 대해 본 실험과 동일한 *salmonella typhimurium*을 이용한 복귀돌연변이 시험에서 변이원성이 발견되지 않았다는 Thayer 등²⁹⁾의 연구와, 초파리를 이용한 쇠고기 및 햄의 변이원성시험에서 감마선 조사가 돌연변이를 유발하지 않았다는 Mittle³⁰⁾의 실험과도 잘 일치하였다.

일반적으로 돌연변이원성의 판정은 음성대조군 복귀변이 집락수의 2배 이상인 경우를 양성으로 하므로 본 실험의 조사한 닭고기 및 조사하지 않은 이들 시험물질에 대하여 전 시험적용농도에서 복귀변이를 유발하지 않는 것으로 보아 γ 선조사에 의

Table 5. Frequency of micronuclei from marrow in mice treated with 10kGy-irradiated chicken¹

Test compound	Dose (mg/plate)	No. of mice tested	MNRET/1,000 RET ²
D.W.		5	3.1 ± 1.4
Chicken(10kGy)	2,500	5	2.0 ± 1.3
	1,250	5	3.8 ± 0.7
MMC ³	0.5	5	26.4 ± 4.9

¹ Each value represents the mean ± SD of three plates.

² MNRET:micronucleated reticulocyte; RET:reticulocyte

³ MMC:mitomycin C

한 돌연변이원성은 없는 것으로 판단되었다.

VI. 설치류 망상적혈구를 이용한 염색체 이상검증

In vivo 시험으로 설치류 망상적혈구를 이용하여 감마선 조사된 닭고기의 염색체 이상 시험을 수행한 결과는 Table 5와 같다.

γ 선으로 조사한 모든 시험 군은 전시험용량 단계를 걸쳐 소핵을 가진 망상적혈구의 출현율이 음성대조군과 유의한 차이를 나타내지 않아 본 시험 물질이 설치류를 이용한 소핵시험에서 소핵을 유발하지 않음을 나타내었다. 따라서 γ 선으로 조사된 닭고기는 시험적용 용량인 1,250-2,500mg/plate의 범위에서 설치류를 이용한 소핵시험에서 용매대조군에 비해 소핵발현 빈도가 증가하지 않아, γ 선을 조사한 이들 시험물질에 의한 소핵 형성은 유발되지 않아 감마선 조사는 본 실험조건 하에서 변이원으로서 작용하지 않았음을 확인하였다. Renner 등³¹⁾ 마우스와 랫드를 이용한 골수의 염색체 이상, 소핵, 골수 및 정원세포에서 조사식품은 자매염색분체교환을 일으키지 않았다고 보고한 바 있다.

VII. 요약

계육의 위생화를 위한 방사선 조사기술의 이용가능성을 검토할 목적으로 방사선 조사 계육을 대상으로 미생물학적 및 유전독성학적 안전성 평가를 실시하였다. 3kGy의 감마선 조사는 저온성 세균을 약 1.5 log cycle 정도 감소시킬 수 있었고, 일반세균도 검출한계 이하로 감소되었으며, 특히 7kGy이상의 조사로 모든 오염미생물은 완전히 사멸시킬 수 있었다. 또한 감마선 조사후 냉동저장의 병용은 육제품의 초기살균과 미생물의 생육억제에 매우 효과

적임을 알 수 있었다.

유전독성학적 안전성 시험의 경우에는 감마선 조사 및 비조사 닭고기 현탁액의 *S. typhimurium* TA98, TA100, TA1535 및 TA1537에 대한 복귀변이 집락수를 조사한 결과, 대사활성제 도입 및 부재시 모두, 모든 시험군주에서 시험적용 농도인 0.1~8.3mg/plate의 범위에서 복귀변이 집락수의 농도 의존적인 증가 혹은 감소를 보이지 않아 감마선 조사 닭고기(10kGy)는 돌연변이원성이 없는 것으로 판단되었다. 또한 설치류 망상적혈구를 이용하여 감마선 조사된 닭고기의 염색체 이상 시험을 수행한 결과, 감마선 조사 닭고기는 시험적용 용량인 1250~2500mg/plate의 범위에서 소핵을 가진 망상 적혈구의 출현율이 음성대조군과 유의한 차이를 나타내지 않아 소핵을 유발하지 않음을 확인하여 유전독성학적 측면에서의 안전성이 확인되었다.

참고문헌

1. WHO : Food irradiation. A technique for preserving and improving the safety of food. Geneva, Word Health Organization. 1988
2. Hugo, W.B. : A brief history of heat and chemical preservation and disinfection. *J. Applied Bacteriology*, 71: 9, 1991
3. Taub, I.A., Halliday, J.W. and Sevilla, M.D. : Chemical reactions in proteins irradiated at subfreezing temperatures. *Adv. Chem. Ser.*, 180:109, 1979
4. Diel, J.F. : Safety of Irradiated Foods. Marcel Dekker, Inc., New York. 1990
5. Grant, I.R. and Patterson, M.F. : Effect of irradiation and modified atmosphere packing on the microbiological and sensory quality of pork stored at refrigeration temperatures. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 26:507, 1991
6. Urbain, W.M. : Food irradiation. Academic Press, Inc., New York. 1986
7. Kim, Y.S. and Yoo, I.J. : Effects of sanitary treatment of port cut surface on shelf-life of chilled pork (in Korean). *Korean J. Anim Sci.*, 36(4):403, 1994
8. Cunningham, F.E. : Microbiological aspects of poultry and poultry products-an update. *J. Food Protection.*, 45: 1149, 1982
9. Smith, J.L. : Foodborne toxoplasmosis. *J. Food Safety*, 12:15, 1991
10. WHO: The role of food safety in health and development. Report of a joint FAO/WHO Expert Committee on Food Safety. 1984
11. Kim, D.G., Lee, S.M., Kim, S.M., Seok, Y.S. and Sung, S.K. : Effects packaging method on physico-chemical properties of Korea beef (in Korean). *J. Korean Sci. Nutri.*, 25(6):944, 1996

12. Thayer, D.W. and Boyd, G. : Elimination of *Escherichia coli* O157: H7 in meats by gamma irradiation. *Appl. Environ. Microbiol.*, 59:1030, 1993
13. Thayer, D.W. : Extending shelf-life of poultry and red meat by irradiation processing. *J. Food Prot.*, 56:831, 1993
14. Shay, B.J., Egan, A.F and Wills, P.A. : The use of irradiation for extending the storage life of fresh and processed meats. *Food Technol. Aust.*, 40:310, 1988
15. APHA: Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods, M. Speck(ed), Americal Public Health Association, Washington, D.C. 1976
16. Maron, D.M. and Ames, B.N. : Revised methods for the *Salmonella* mutagenicity test. *Mutat. Res.*, 113:173, 1983
17. Hayashi, M. : The micronucleus test. *Scientist*, Tokyo 1991
18. Chuang, J.T., YI, Y.H and Chen, T.C. : Microbial Quality and TBA Values of Chicken Patties as Affected by Irradiation and Storage Temperature., *Korean J. Food Sci, Technol.*, 22(3):290, 1990
19. Kampelmacher, E.H. : Prospects of Eliminating Pathogens by the Process of Food Irradiation., In: Combination Processes in Food Irradiation, Proceedings of a Symposium Held in Columbo., November 1980, Vienna, AEA., 265, 1981
20. Mulder, R. : Radiation Inactivation of *Salmonella Panama* and *Escherichia Coli* K12 Present on-deep Frozen Broiler Carcasses., *European J. Appl Microbial.*, 3:63, 1976
21. 김병석, 이유방 : 도제처리 방법이 근육대사 및 육질에 미치는 영향, *한국축산학회지*, 21:515, 1979
22. Egan, A.F and Shay, B.J. : Significance of Lactobacilli and Film Permeability in the Spoilage of Vacuum-Packaged Beef, *J. Food. Sci.*, 47:1119, 1982
23. Gardmer, C.A., Carson, A.W. and Patton, J. : Bacteriology of Prepackaged Pork with reference at the Bas Composition within the Pack., *J. Appl. Bacteriol.*, 30:32, 1967
24. Barnes, E.M. and Thornley, M.J. : *J. Food Technol.*, 1: 113, 1966
25. Kahan, R.S. and Howker, J.J. : Food Preservation by Irradiation., IAEA-SM-22/36., Vienna, p.221, 1978
26. Mossel, D.A.A., Schothorst, M.Van. and Kampelmacher, E.H. : Elimination of Harmful Organisms from Food and Feed by Irradiation., IAEA., Vienna, p.43, 1985
27. Josephson, E.S., Brynjolfsson, A., Wierkickl, E., Rowley, D.B., Merritt, C., Barker, R.W., Killoran, J.J. and Thomas, M.H. : Radiation Preservation of Food., IAEA., Vienna, p.47, 1973
28. Josephson, E.S., Brynjolfsson, A., Wierkickl, E., Rowley, D.B., Merritt, C., Barker, R.W., Killoran, J.J. and Thomas, M.H.: Radiation Preservation of Food., IAEA., Vienna, p.471, 1973
29. Thayer, D.W and Murry, A.C.: Toxicology Studies of Irradiated-sterilized Chicken, *J. Food Protection.*, 50:278, 1987
30. Mittler, S. : Failure of Irradiated Beef and Ham to Induce Genetic Aberrations in *Drosophila*, *International Journal of Radiation Biology*, 35:583, 1979
31. Renner, H.W.: An Investigation of the Genotoxicology of Irradiated Food Stuffs Using Short-Term Test System. Part 3. In Vivo Tests in Small Rodents and in *Drosophila Melanogaster*, *Food and Chemical Toxicology.*, 20:867, 1982

(2001년 9월 20일 접수)