제3차년도
최종보고서

방사선을 이용한 식품 살균/살충 및 장기안전저장 기술개발에 관한 연구

Studies on the Technology Development for Sterilization and Long Term Safety Preservation of Foods by Gamma Irradiation

연구기관

한 림 대 학 교

농 림 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “방사선을 이용한 식품 살균/살충 및 장기안전저장 기술개발에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

1998. 12. 29.

주관연구기관명 : 한림대학교
총괄연구책임자 : 강 일 준
연 구 원 : 정 차 권
연 구 원 : 이 병 훈
연 구 원 : 김 광 훈
연 구 원 : 김 수 진

요 약 문

Ⅰ. 제 목

방사선을 이용한 식품 살균/살충 및 장기안전저장 기술개발에 관한 연구

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 중요성

최근 환경오염 등으로 해충과 병원성 미생물 오염에 의한 식품의 변질 및 부패가 상당히 문제시되고 있다. 세계 식품 공급의 어느 정도가 변질되고 있는지 정확한 통계는 없으나 특히 개발 도상국에 있어서의 식품 손실은 대단히 크다. 이는 식품에 대한 포괄적인 살충, 살균법 및 저장 유통 System에 대한 기술개발이 뒤떨어져 있으며, 이 분야에 대한 국가적 차원에서의 필요성 및 중요성에 대한 인식 부족도 그 원인의 하나라 할 수 있다. 현재 세계의 인구가 계속적으로 증가되고 있어 가능한 한 식품의 손실을 최대로 예방할 필요성 또한 절실히 요구되고 있는 실정에도 불구하고 곡물과 두류의 저장 중에 발생하는 손실이 20% 이상으로 예측되고 있으며, 곡물이외의 주요 농산물, 육류 및 어패류의 피해 또한 상당량에 이르는 것으로 알려져 있다. 미생물 및 병원균에 의한 식품의 손실은 이러한 양적인 문제 뿐 아니라 인간의 건강에도 큰 위협을 가져오며, 그 결과 경제성 및 생산성 저하의 중요한 원인이 되고 있다고 1983年 FAO/WHO 합동 식품 안전 전문 위원회는 보고한 바 있다. 동물성의 신선 식품은 비교적 높은 비율로 병원균에 오염되고, 이것이 원인이 되어 모든

나라에 있어 식중독이 많이 발생하고 있으며 이러한 사실은 통계적으로도 증명되고 있다. 식중독이 증가하는 원인으로는 식용 동물의 대량 사육의 폭발적인 증가, 오염된 환경, 식물성 식품의 대량 생산, 식품 및 가축용 사료의 국제무역의 증가 등을 열거할 수 있다. 가축의 육류 또는 육류 제품은 선모충이라던가 Toxoplasma에 의한 것이 질병의 원인이 되고, 특히 닭고기에는 병원성 미생물인 *Salmonella*가 큰 문제로 남아 있다. 이러한 질병으로 인한 치료비 또는 생산성의 저하에 의한 경제적 손실은 미국만 하더라도 년간 약 10 억불 이상이라고 예측하고 있다. 따라서 본 연구개발의 목적 및 중요성을 요약하면 다음과 같다.

○ 기술적 측면

- 식품산업의 고도화와 국제화 시대를 맞이하여 고부가가치의 가공식품을 생산하기 위해서는 식품원료의 안정공급, 위생적 제품생산, 효율적 제조공정, 안전한 저장 유통기술 등이 확보되어야 함.
- 식품 살균/저장에 있어서 지금까지 이용되어온 온열처리, 냉장, 화학약품처리 등은 처리효과, 비용, 안전성 등에 문제점이 지적되면서 세계적으로 사용이 점차 제한을 받게됨에 따라, 실용성이 인정된 방사선 조사기법을 이용한 문제핵심기술 개발이 요구됨.
- UR을 대비하여 생물자원 활용 극대화 및 수입대체를 위해 필요시 됨.

○ 경제, 산업적 측면

- 국가 식량에너지 확보 차원에서 수확 후 20-30% 이상 손실되는 식량을 안전하게 보존하여 간접증산 효과를 도모하고, 나아가 단 경기에 식품의 안정공급으로 물가안정과 수입대체 효과를 가져올 수 있는 방사선 조사기술

의 개발이 필요함.

- 식품공업에서의 핵심문제분야의 대체기술 개발로 생산성 제고 및 수출증대 효과를 가져올 수 있는 방사선 조사기술의 개발이 필요함.
- 국제 식량교역시 검역관리방법으로 방사선 조사기술의 이용이 확대될 전망으로 표준화를 위한 기술자립과 국제협력 연구가 요구됨.
- 식품의 방사선이용 기술을 산업체에 이전하여 품목의 다양화와 상업적 규모의 방사선 조사체제 확립

○ 사회, 문화적 측면

- 방사선조사 식품의 안전성 연구로 소비자 수용성 확보
- 특히 방사선조사 기법에 의해 식품에 기인된 질병예방과 위생식품 생산기반을 확립하여 국민 보건향상과 생산성 증대를 도모하기 위해 필요함.

이에 본 연구는 UR 및 WTO 체재에 대비하여 농수축산물을 중심으로 감마선을 이용한 최적 살균/살충 기술을 확립함과 동시에 보다 장기적으로 식품을 안전하게 저장할 수 있는 기술을 개발하고자 하였다. 나아가 본 기술의 이용확대 및 실용화를 위해 조사식품의 이화학적 품질평가 및 유전독성학적 안전성 평가를 수행하여 소비자의 의식전환 및 수용성 증진에 기여하고자 하였다.

III. 연구개발 내용 및 범위

가. 위생화/장기안전저장기술개발

1) 오염유기체의 분리, 검색

각 식품의 초기 미생물 오염도를 측정하였다. 즉, 시료를 균질화한 후, 호

기성 전세균 및 저온성 세균, 대장균 군 및 E. Coli, Salmonella 및 Listeria 등의 생성 집락을 계수하였다.

2) 감마선조사 최적조건 시험

각 식품을 선원 570,000 Ci Co-60 감마선 조사시설 (그린피아기술 소재)을 이용하여 실온에서 시간당 0.7 kGy의 선량률로서 일정시간별로 조사하여 각 식품의 장기 안전저장을 위한 최적조사 선량을 확립하도록 하였다. 감마선조사 최적선량 확립시, 오염유기체의 살균을 기준으로 하여 장기 안전저장을 시도하였다. 이때 감마선 조사된 식품은 비조사 대조시료와 함께 냉동 및 냉장 또는 실온조건으로 저장하면서 장기 안전저장시험을 실시하였다.

3) 살균/살충 최적조건 확립

각 식품에 대해 감마선조사 선량을 여러 범위로 조절하여 살균 최적조건을 확립하도록 하였다. 예로 들면, 쇠고기와 돼지고기는 0.5, 1, 3, 5 kGy의 선량으로, 닭고기는 1, 3, 5, 7, 10 kGy의 선량으로 감마선을 조사하여 각 조사구에 대해 오염유기체를 분리, 검색하여 오염유기체를 완전히 사멸할 수 있는 감마선 조사선량을 결정함으로서 살균/살충 최적조건을 확립하도록 하였다.

4) 위생화 기술완료

오염유기체의 분리/검색, 감마선조사 최적조건 시험, 살균/살충 최적조건 확립 시험을 토대로 하여 각 식품의 위생화 기술을 완료하도록 하였다.

5) 장기안전저장시험

앞선 위생화 기술에서 확립된 결과를 바탕으로 각 식품 중 최적시료를 선별하여 이들을 냉장 (5℃)/냉동(-20℃) 및 실온조건에서 각각 저장하면서 장기안전저장시험을 실시하였으며, 저장온도 및 저장기간에 따라 시료를 채취하여 이

화학적 품질평가를 수행하였다.

나. 방사선조사 식품의 이화학적 품질평가

1) 방사선 조사선량 및 저장기간에 따른 품질평가시험

방사선 조사선량별 품질특성 시험 및 저장기간과 저장온도에 따른 품질평가시험으로 일반성분, 산도 및 pH, TBA가, 지질산가, 휘발성 염기태 질소, 색소, texture 등을 측정하였다.

2) 주요성분의 이화학적 특성시험

감마선 조사가 각 식품의 주요 영양성분에 어떠한 영향을 미치는가를 조사하기 위해 유리 및 총 아미노산 조성, 전기영동, 지방산조성, 무기질 분석시험을 수행하였다.

다. 방사선조사 식품의 안전성 평가 연구

1) Salmonella typhimurium 을 이용한 복귀 돌연변이 시험

Maron과 Ames(1983) 방법에 의하여 수행하였다. 1차적으로 대사활성부재조건의 시험을 먼저 수행하였으며, 그 후 S-9 fraction을 이용한 대사활성화법을 적용하였다. 본 시험의 방법은 예비독성시험을 통하여 얻어진 시험적용농도를 통하여 pre-incubation법에 따라 수행하였으며, 각 시험농도군에 대해 3회 반복시험하였다.

2) 감마선조사 유전학적 안전성시험

설치류 망상적혈구를 이용한 소핵실험을 통하여 유전학적 안전성 시험을 수행하였다. 시험 최고농도는 kg당 2500mg 이었으며 24시간 간격으로 2회 경구투여하였다. 음성대조물질로는 시험물질의 용매로 사용한 증류수를 경구 투여하였고 양성 대조물질로는 Mitomycin C (0.5mg/kg)를 복강 내에 투여하였다.

Ⅳ. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구결과

가. 농산물의 살균/살충 및 장기안전저장 기술개발

(1) 농산물의 살균/살충

- 농산물의 감마선조사 및 살균/살충 최적조건 확립시험

감자, 마늘, 대두, 옥수수, 당귀, 알로에를 대상으로 일정 시간별로 감마선을 일정선량(57만 Ci, Co-60)으로 조사하여, 이들 농산물에 대한 최적 방사선 조사 선량을 설정하였다. 발아억제, 신선도 유지 및 부패방지를 위해서는 저준위 선량(1 kGy이하)이 적절하였으며, 오염유기체인 대장균 및 곰팡이 등 병원성 유해 세균 및 독소생성 곰팡이의 사멸에 대한 방사선 조사선량은 중준위 선량(5-10 kGy)이 타당하였다.

- 본 기술을 통한 농산물의 위생화 및 장기안전저장시험

감마선 조사 및 살균/살충 최적조건 확립기술을 바탕으로 각 조사선량별로 저온 및 상온에서 장기저장시험을 수행한 결과, 대두, 옥수수, 알로에의 경우 저장 6개월까지 5 kGy에서 전혀 오염유기체가 검출되지 않았으며, 당귀의 경우는 7 kGy이상이 요구되었다. 감자, 마늘에 있어서는 발아억제, 부패방지, 신선도 유지 및 장기저장을 위해 0.15-0.20 kGy의 감마선을 조사하는 것이 가장 효과적이었다.

(2) 장기 저장중 방사선조사 농산물의 이화학적 품질평가

- 방사선 조사 농산물의 품질특성 시험

방사선 조사선량별 품질특성 시험 및 저장기간과 저장온도에 따른 품질평가 시험으로 환원당 함량, 비타민 C 함량, 적정산도, 발아율, 부패율, 중량변화, 수용성 고형분함량, 갈변도 등을 측정하였으며, 장기안전저장을 위해 설정한 방사선 조사 선량에서의 이러한 품질특성은 비조사 농산물에 비해 유사하거나 오히려 우수한 것으로 판정되었다.

- 주요성분의 이화학적 특성시험 및 영양학적 안전성 시험

주요성분의 이화학적 특성시험으로 아미노산 조성, 단백질 변성, 전기영동, 지방산조성, 지방산의 이성질화, 전분의 Amylograph 특성 및 기타 이화학적 시험을 수행하였다.

이들 결과를 종합해 보면, 전분질 식품의 경우 추출전분의 점도가 감소되는 것을 제외하고는 비조사 농산물시료와 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 따라서 방사선조사 농산물은 영양학적 안전성에 문제가 없는 것으로 판명되었다.

(3) 방사선 조사농산물의 안전성 평가

- *Salmonella typhimurium*을 이용한 복귀돌연변이 시험

Salmonella typhimurium (TA98, TA100, TA1535, TA1537)을 이용한 복귀돌연변이 시험에서 감마선조사 농산물은 대사활성법을 적용한 경우나 적용하지 않은 경우 모두 각각의 시험적용 농도에서 복귀변이를 유발하지 않아 감마선조사에 의한 돌연변이원성이 없는 것으로 나타났다.

- 설치류 골수세포를 이용한 소핵시험

감마선 조사된 감자, 마늘, 당귀 및 알로에를 대상으로 시험적용 용량인 1250 - 2500 mg/kg의 범위에서 설치류를 이용한 소핵시험을 수행한 결과 용매대조군에 비해 소핵발현 빈도가 증가하지 않아, 감마선을 조사한 이들 시험물질에 의한 소핵 형성은 유발되지 않음을 확인하였다.

나. 축산물의 살균/살충 및 장기안전저장 기술개발

(1) 축산물의 살균/살충

쇠고기, 돼지고기, 닭고기를 대상으로 일정 시간별로 감마선을 일정선량 (57만 Ci, Co-60)으로 조사하여, 이들 축산물에 대한 최적 방사선 조사 선량을 설정하였다. 축산물은 비교적 높은 초기 미생물오염도를 보였고, 특히 식품위생지표세균인 대장균군도 상당히 많이 검출되어 이에 대한 적절한 위생화처리 방법과 살균공정이 요구되었다. 감마선 조사에 따른 오염미생물의 살균효과는 쇠고기와 돼지고기가 닭고기보다 미생물 오염도가 낮아 1 kGy의 조사로 저온성 미생물을 제외한 오염미생물의 생육을 검출한계 이하로 제거시킬 수 있었고, 모든 미생물의 살균을 위해서는 3 kGy의 선량이 요구되었다. 닭고기의 경우에는 3 kGy의 감마선 조사로 저온성 세균을 약 1.5 log cycle 정도 감소시킬 수 있었고, 일반세균과 대장균수도 검출한계 이하로 감소되었다. 특히 7 kGy이상의 조사로 모든 오염미생물은 완전히 사멸시킬 수 있었다.

(2) 장기 저장중 방사선조사 축산물의 이화학적 품질평가

감마선 조사된 쇠고기, 돼지고기, 닭고기의 이화학적 및 영양학적 특성시험에서 일반성분은 조사선량과 저장기간에 따른 변화는 없었고, 수분에 있어서만이 저장기간에 따라 다소 감소되었으며, pH 및 산도는 감마선 조사에 대한 영향은 없었으나 저장기간이 경과함에 따라 pH는 증가하고, 산도는 감소하는 경향을 보였다. TBA가는 감마선 조사군이 조사선량이 높아짐에 따라 증가되었고, 비조사군이나 감마선 조사군 모두 저장기간의 경과로 냉장·냉동저장 모두 현저한 증가현상을 보였다. 지질 산가는 냉장저장기간이 경과함에 따라 비조사군과 감마선 조사군 모두 급격히 증가하였는데 감마선 조사군의

경우 조사선량에 비례하여 그 증가폭이 훨씬 완만하였다. 냉동저장의 경우는 비조사군과 감마선 조사군의 차이는 없었으나 저장기간의 경과로 약간씩 증가하였다. 휘발성 염기태질소도 저장기간이 경과됨에 따라 비조사군은 급격히 증가된 반면 감마선 조사군은 매우 완만히 증가하는 경향으로 감마선 조사에 의해 단백질의 부패가 지연됨을 확인하였다.

지방산 조성변화에 있어서는 총 12종의 구성지방산을 확인하였고, 비조사군이나 감마선 조사군간에 변화는 없었다. 유리아미노산의 조성은 쇠고기, 돼지고기, 닭고기 모두 가장 많이 검출된 것은 glutamin과 alanine이었고, 저장기간에 따라 유리아미노산의 함량은 대체적으로 증가하였으며, 감마선 조사에 따른 영향은 거의 없었고, 함황아미노산인 methionin의 경우도 대체적으로 큰 변화없이 안정하였다. 총 아미노산 조성에서는 가장 많이 검출된 것이 glutamic acid였고, 저장기간에 따른 함량변화는 거의 없었으며, 감마선 조사에 의한 영향도 매우 미비하였다. 쇠고기, 돼지고기, 닭고기에 대한 전기영동결과는 감마선 조사군과 비조사군 사이의 변화는 거의 없었으며 냉장저장기간에 따라 모든 시험군에서 분자량이 96kDa에서 116kDa사이의 약 105kDa의 단백질 subunit가 분해되기 시작하여 8주후에는 완전소실 되었고, 또한 약 32kDa에서 40kDa의 분자량을 가진 단백질 subunit의 경우 모든 시험군에서 저장기간이 경과됨에 따라 서서히 분해되면서 소실되거나 두개의 분획으로 분리되어 새로운 band를 형성하였다. 그외 분자량이 작은 단백질의 subunit 조성에 대해서는 감마선 조사와 저장기간에 따른 변화는 거의 없었으며 냉동저장에따른 차이도 없었다. 무기질 조성에 있어서는 쇠고기, 돼지고기, 닭고기 모두 주요 무기질 성분이 potassium, phosphorus, sodium, magnesium의 순으로 높게 함유되었고, 감마선 조사에의한 무기질의 성분변화는 없었다. 육색소(myoglobin)평가에서는 냉장저장시 쇠고기는 조사직후 조사선량 및 저장기

간의 경과에 따라 metmyoglobin의 함량이 다소 증가되었고, 돼지고기와 닭고기의 경우에는 비조사군과 감마선 조사군간의 차이는 거의 없었으나, 저장기간에 따라 다소 증가하는 경향이었다. 냉동저장에서는 쇠고기, 돼지고기, 닭고기 모두 조사에 따른 영향없이 저장기간에 따라 점차 감소하는 경향이었다.

Texture에 대해서는 모든 시험군에서 저장온도에 관계없이 감마선 조사는 경도(hardness)를 다소 증가시키는 경향이었으나 그 정도는 미비하여 감마선 조사가 Texture에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 사료되었다.

(3) 방사선조사축산물의 안전성 평가

Salmonella typhimurium(TA98, TA100, TA1535, TA1537)을 이용한 감마선 조사 쇠고기, 돼지고기, 닭고기의 돌연변이 시험에서 비조사군이나 감마선 조사군의 시험적용 농도인 0.1 8.3mg/plate 범위에서 음성대조군과 동일한 수준의 복귀돌연변이 집락수를 보여 돌연변이 유발성이 없는 것으로 나타났다.

설치류 배양세포를 이용한 염색체이상 시험에서도 비조사 및 감마선 조사 쇠고기, 돼지고기, 닭고기는 염색체의 구조적 이상 및 수적 이상을 보인 염색체의 출현율이 음성대조군과 유의한 차이를 나타내지 않아 이들 시험물질에 의한 소핵형성은 유발되지 않음을 확인하여 유전독성학적 측면에서의 안전성이 확인되었다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 감마선을 조사할 경우 오염미생물의 살균 및 감균으로 미생물학적 측면에 있어서 2 4주간 저장기간의 연장이 가능하였고, 이화학적, 영양학적, 독성학적 건전성을 고려하여 냉장온도(5℃)에서는 20일까지 그리고 냉동온도(-20℃)에서는 150일까지 육고기의 선도유지가 가능한 것으로 판단되었다.

다. 수산물의 살균/살충 및 장기안전저장 기술개발

(1) 수산물의 살균/살충

수산물로 건조물인 김, 다시마, 건조어묵을, 젓갈류로는 명란젓, 창란젓을, 그밖에 어묵, 냉동 피조개를 구입하여 시험에 사용하였다. 김의 미생물 오염도를 살펴본 결과, 호기성 전세균 5.7 x 106 CFU/g, 저온성 세균 1.5 x 106 CFU/g, staphylococcus 1.0 x 103 CFU/g를 나타내어 다른 수산물시료에 비해 미생물의 오염이 심각함을 알 수 있었다. 그밖의 수산물 시료도 초기 미생물 오염도를 측정한 다음, polyethylene 비닐 팩, OPP+PE, PP 또는 유리병에 포장한 후 건조물은 그대로, 냉장 및 냉동수산물은 각각 ice box에 담아 감마선을 조사하였다. 감마선 조사후 각 수산물의 오염유기체에 대한 감마선조사의 살균효과를 살펴본 결과, 김의 경우 3 kGy의 감마선 조사로 호기성 전세균 및 저온성 세균을 103 정도로 감소시킬 수 있었으며, 모든 오염미생물을 완전히 사멸시키는 데는 5 kGy 이상의 조사선량이 요구되었다. 한편, 건조어묵, 어묵, 피조개 및 다시마의 경우에는 미생물 오염도가 낮아, 3 kGy이하의 감마선조사로 오염미생물의 생육을 검출한계 이하로 감소시킬 수 있었다. 그 밖의 수산물에 대해서도 살펴본 결과 감마선을 이용한 수산물의 살균에는 최소 3-5 kGy의 선량이 요구되며, 살균에 대한 판정으로는 호기성전세균 및 저온성 세균을 지표 균으로 설정하는 것이 효과적임을 알 수 있었다.

(2) 장기저장시험

수산물의 장기저장을 위하여 김, 다시마, 건조어묵은 실온에서, 어묵, 창란젓, 명란젓은 냉장(5℃)조건에서, 피조개는 냉동(-20℃) 상태에서 저장하면서 각 수

산물의 장기안전저장 시험을 실시하였다. 저장시험 결과 모든 비조사 시료는 저장기간에 따라 오염유기체의 생육이 상당히 증가된 반면, 앞에서 설정한 감마선 살균선량에서는 오염유기체가 검출되지 않았거나, 또는 미소한 생육을 보였다. 장기 저장시험 결과중 어묵의 미생물 오염도만 살펴보면 감마선을 조사하지 않은 비조사 시료의 경우 비조사 대조구의 초기 미생물오염도가 상당히 낮은 수준을 나타내었으나, 냉장저장 1개월에는 상당한 부패현상이 나타나, 호기성 전세균, 저온세균 및 yeast & mold가 각각 3.0 x 107, 9.2 x 107, 4.8 x 103 CFU/g의 오염도를 나타내었으며, 저장 2개월 째는 완전부패로 판정되었다. 특히 초기에는 검출되지 않았던 yeast & mold의 생육이 두드러짐을 알 수 있었다. 3 kGy의 조사선량에서는 초기에 검출되지 않았던 호기성 전세균 및 저온성세균이 냉장저장 1개월 째부터 생육하였으며, 저장 2개월부터는 yeast & mold의 생육이 검출되었다. 한편, 5 kGy이상의 조사 선량의 시료에서는 초기상태와 마찬가지로 냉장저장 3개월까지 오염 미생물이 검출되지 않았다.

(3) 장기 저장중 방사선조사 수산물의 이화학적 품질평가

각 수산물의 저장기간 및 감마선 조사에 따른 품질평가시험으로 pH, carbonyl가, TBA가, 휘발성 염기태질소(VBN), trimethylamine을 측정하였다.

pH는 창란젓의 경우 초기 pH는 5.8정도의 수준이었으며, 저장기간이 경과됨에 따라 비조사군, 3kGy 조사군, 5kGy조사군에서는 대체로 pH가 감소했으나 10kGy 조사군에서는 거의 변화가 없었다. 어묵의 경우는 비조사군, 3kGy 조사군, 5kGy 조사군에서 저장 3개월 째부터 pH가 저장 초기에 비해 다소 상승했으나 10kGy 조사군은 오히려 감소했다.

휘발성염기태질소(VBN)는 어묵의 경우 초기 값이 5.6 Nmg%를 나타내어 상당히 신선한 상태를 유지하였으며 비조사군과 조사 군간의 차이는 없었으나, 냉장

저장 1개월부터 비조사군은 25.3Nmg% 이상으로 높은 변패수치를 나타낸 반면, 감마선조사 군은 큰 변화가 없었다. 김의 경우는 비조사군만 약간 증가하였을 뿐, 감마선 조사군은 초기상태의 신선도를 유지하였다.

TMA는 창란젓의 경우 저장 3개월부터 TMA의 함량이 서서히 증가되기 시작하였으며, 비조사군과 3kGy 조사군에서 증가현상이 두드러졌다. 어묵은 수산물 시료중 가장 심한 변화를 나타내어 저장안정성이 상당히 저조하여 비린 냄새를 내는 TMA의 함량이 저장기간에 따라 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. 한편, 5 kGy 및 10 kGy 조사군은 초기수치와 큰 변화를 나타내지 않아 앞선 미생물 생육 및 VBN결과와 잘 일치함을 알 수 있다.

지질의 산패도는 김의 경우, 저장 1개월에 있어 감마선 조사선량의 증가와 함께 carbonyl가가 증가하여 10 kGy조사군이 가장 높았으나, 저장 2개월부터는 오히려 3 kGy조사군과 비조사 군이 높은 값을 나타내었고 10 kGy조사군이 가장 낮았다. 따라서, 저장기간이 경과함에 따라 5 kGy이상의 감마선 조사된 시료는 지질산패가 억제됨을 알 수 있었다.

(4) 방사선조사 수산물의 안전성 평가

Salmonella typhimurium(TA98, TA100, TA1535, TA1537)을 이용한 감마선 조사 수산물의 돌연변이 시험에서 비조사군이나 감마선 조사군의 시험적용 농도인 0.1 8.3mg/plate 범위에서 음성대조군과 동일한 수준의 복귀돌연변이 집락수를 보여 돌연변이 유발성이 없는 것으로 나타났다. 대사활성계를 도입한 즉 S-9mixture를 가한 상태에서의 결과에서도 시험한 모든 검체는 시험적용농도에서 유의한 복귀변이 집락수의 증감을 보이지 않았으며 모두 정상범위 안에서의 편차만 보였다. 따라서 본 실험의 조사한 모든 수산물은 전 시험적용농도에서 복귀변이를 유발하지 않는 것으로 보아 γ선 조사에 의한

돌연변이원성은 없는 것으로 판단되었다.

설치류 배양세포를 이용한 염색체이상 시험에서도 감마선 조사한 모든 수산물은 염색체의 구조적 이상 및 수적 이상을 보인 염색체의 출현율이 음성대조군과 유의한 차이를 나타내지 않아 이들 시험물질에 의한 소핵형성은 유발되지 않음을 확인하여 유전독성학적 측면에서의 안전성이 확인되었다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 농수축산 식품에 감마선을 조사할 경우 오염미생물의 살균 및 감균 등으로 상당기간 저장성의 연장이 가능하였고, 이화학적, 영양학적, 독성학적 건전성을 고려하여 보더라도 감마선조사를 이용한 농수축산 식품의 장기 저장방법은 전혀 문제가 없는 것으로 평가되었다.

2. 활용방안

가. 기술적 측면

감마선 조사는 다른 저장기술에 비해 소요 에너지가 적게 들기 때문에 에너지 절약형 식품 살균/살충 및 저장 가공기술로 활용 가능하다.

방사선에 의한 식품 성분의 변화와 조사식품에 대한 안정성에 관한 연구는 이 분야의 좋은 기초자료가 될 수 있으며, 또한 소비자에 대한 수용성 증대를 위해서도 활용 가능할 것이다.

한편, 본 연구에서 수행된 품목 중 보건복지부에서 이미 허가한 품목은 그 기술을 산업체에 이전할 계획이며, 미 허가 품목은 보건복지부 허가에 필요한 연구결과를 제시할 것이다.

나. 경제, 산업적 측면

본 기술은 식품원료의 안정공급, 위생적 제품생산, 안전한 저장 유통기술로 활용 가능하여, 농수축산물의 저장성 향상으로 수입대체효과 및 간접증산을 가져올 수 있으며, 단경기에 식품의 안정공급으로 물가안정에도 큰 도움이 될 것이다.

또한, 위생적 살균 및 살충기술 확보로서 화학약품 사용대체 효과를 가져올 수 있으며, 국민보건 증진에도 이바지 할 것이다.

산업적으로는 농수축산물의 방사선이용 기술을 산업체에 이전하여 품목의 다양화 및 실용화 확립함으로써 관련 산업계를 활성화시킬 수 있을 것으로 기대된다.

SUMMARY

Sanitation and safe storage are necessary for the establishment of stable and safe food supply. Therefore, this project has intended to develop the technology for sterilization and long term safety preservation of foods by gamma irradiation. We also investigated the wholesomeness of irradiated foods on microbiological, physicochemical, nutritional and toxicological changes according to storage period and irradiation dose in this project.

1. microbiological safety

Gamma irradiation was applied to foods to improve their hygienic quality. The effective dose of irradiation was 7 kGy in Angelicae gigantis radix and 5 kGy in Aloe for the sterilization of all contaminated microorganisms tested. After 8 months of storage at room temperature, no growth of microorganisms was observed in the irradiated products.

The initial level of microbial contamination in beef was 3.0×102 CFU/g (aerobic bacteria), 1.5×103 CFU/g (psychrophile), 2.0×102 CFU/g (coliforms) and 4.2×103 CFU/g (*Listeria)*, In the case of pork, the initial contamination level was 1.1×104 CFU/g (total aerobic bacteria), 5.3×103 CFU/g (psychrophile), 3.8×103 CFU/g (coliforms) and 3.2×103 CFU/g (*Listeria)*. Chicken was contaminated with 9.5×104 CFU/g (total aerobic bateria), 7.5×103 CFU/g (psychrophile), 1.8×104 CFU/g (coliforms), 2.7×102 CFU/g (*Listeria)* and 2.2×103 CFU/g (Salmonella). Especially, *E. coli, an* index bacteria of food hygienic was detected to some extent. *E. coli* is a member of the gastrointestinal tract flora in men and animals

and may occur in soil and water at a residual of fecal contamination (often being regarded as an indicator organism for fecal pollution). Therefore, there was a necessity for developing a proper sanitary technique and sterilizing process.

Germicidal efficacy of gamma irradiation on the microorganisms was that initial contamination levels of beef and pork were lower than those of chicken. Therefore, gamma irradiation at 1 kGy could sterilize contaminated microorganisms below detectable levels except for psychrophilles. In order to sterilize all of microorganisms, 3 kGy of irradiation dose was needed. In case of chicken, gamma irradiation at 1kGy could reduce about 1.5 log cycle of psychrophile and total viable bacteria and coliforms were reduced below detectable levels.
Therefore all kinds of contaminated microorganisms of foods could be sterilized by gamma irradiation.

2. Physico chemical and nutritional safety

The proximate composition of foods were not significantly changed by irradiation dose and storage period. The pH was slightly increased during storage period and titratable acidity decreased. However, no significant changes in pH and acidity were observed by gamma irradiation. TBA values were increased according to the increment of irradiation dose level. All the sample(nonirradiated and irradiated) were increased drastically with storage period at both 5 ℃ and -20 ℃. The acid value of beef, pork and chicken during storage at 5℃ was increased rapidly with the elapse of storage period in both nonirradiated and irradiated

samples and also, that of irradiated samples increased more slowly than nonirradiated samples. At -20℃, there was no difference of acid value in nonirradiated and irradiated samples, but it was increased slightly as the storage period increased. VBN value increased more rapidly in nonirradiated samples than irradiated samples depending on the increment of storage period. So, it was evident that gamma irradiation has efficacy to delay protein decay.

Twelve kinds of fatty acids were analyzed from foods. No significant difference in the components of fatty acids were observed by gamma irradiation. In general, the amount of released free amino acid was increased during storage and was not significantly changed by gamma irradiation. There was no difference in total amino acid content regardless of irradiation dose and storage period.

The SDS electrophoresis patterns of samples were not significantly different between nonirradiated and irradiated samples. All samples stored in at 5℃ showed prominent breakdown of molecular weights ranged from 97,000 116,000 Daltons after 8 weeks' storage. Especially, in all subunits having molecular weights between 32,000 and 40,000 Daltons, degradation was started in all lanes depending on storage period and was separated the new band of two after 8 weeks' storage at 5℃. There was no significant changes in the number of lower molecular subumits by gamma irradiation and storage period.

The major mineral compositions of foods were potassium, phosphorus, sodium, magnesium. The content of mineral was not significantly changed by gamma irradiation. In a heme pigment (myoglobin) content,

metmyoglobin content of beef stored at 5℃ was slightly increased with elapse of irradiation dose and storage period. The heme pigment content of pork and chicken was not affected by gamma irradiation but was slightly increased with an increase in storage period. All samples stored at -20℃ were not different in heme pigment content of nonirradiated and irradiated samples and were decreased slightly as freezing storage period increased. In textural property, hardness of all samples appears to be increased slightly by gamma irradiation. However, the extent of increase was so little that it could be ignored.

3. Genotoxical safety

The reverse mutation assay of using *Salmonella typhimurium*(TA98, TA100, TA1535, TA1537) showed that nonirradiated and irradiated samples(up to 10 kGy) did not have any mutagenic activity. The test of micronucleus formation from marrow in mice demonstrated no significant differences, when compared irradiated samples (up to 10 kGy) with nonirradiated ones in the concentration of the sample producing cytotoxicity (1250-2500mg/plate). These results confirm that no mutagens were formed by gamma irradiation up to 10 kGy. Therefore, gamma irradiated foods could be safe from the genotoxic point of view.

The results of this project will soon be utilized in the industry sanitary production of foods by gamma irradiation, which will eventually contribute to the health of the general public as well as promoting competitiveness in international and local market.

CONTENTS

목 차

제 1 장　　서　　론

제 1 절　연구의 배경

전세계 식품공급량의 1/4 이상에 해당하는 거대한 규모가 수확후 해충 및 곤충, 세균과 곰팡이의 오염을 방지하지 못하여 손실되고 있으며, 이와 동시에 식품이 지니는 질병이 인간의 건강에 만연하는 위협중의 하나로 생산성을 감소시키는 주요한 요인이라고 1983년 식품안전성에 관한 WHO/FAO 연합 전문가 위원회는 결론 내리고 있다. 예를 들어 전 세계의 5살 이하 어린이들에 있어서 320만 명의 사망자 중 식품이 유발한 설사병에 의한 사망이 70% 이상에 이르고 있다고 평가하였다. 부적절한 저장조건으로 나타난 식품의 손실은 새로운 문제가 아니며, 그것을 막기 위한 방법들을 고안하는 것이 역사를 통해보면 인간에게 주요한 관심사였다. 육류의 가죽과 생선시체를 분리하여 말리는 것이 초기 문명사회에서 이루어졌다는 구석기 시대의 증거가 있고, 동물들의 사육과 경작기술의 발달과 함께 식품저장법이 고안되어 발효, 훈증, 건조, 침지, 냉동, 조리에 이르게 되었다1). 지금까지 식품공업에 주로 사용되어온 식품저장, 가공방법은 오랜 역사와 더불어 개선되고 과학화되어 왔으나 나름대로 한계성이 지적되면서 문제점을 해결하거나 보완할 수 있는 새로운 기술의 필요성이 요구되고 있다. 특히 식품안전성에 대한 관심이 높아짐에 따라 보건당국과 식품업계에서는 위생적 식품생산에 큰 역점을 두고 있으며, 현재 국내외적으로 사용이 금지되고 있는 화학훈증제나 보존제 등을 대체할 수 있는 효과적인 살균, 살충 기술의 개발은 국내의 식품산업에 있어서 가장 시급한 당면과제가 되고있다2).

식품에 대한 방사선조사 즉, 식품조사(Food irradiation)는 식품의 가열이나 냉동에 비유될 수 있는 물리적인 처리방법으로서, 현재 식품공업에 이

용되고 있는 어떠한 저장, 가공방법 보다도 50여년 동안 장기간 체계적으로 연구 되어왔으며, 그 결과 식품 조사기술은 1980년대에 접어들면서 안전성에 대한 과학적 뒷받침과 세계적인 필요성의 새로운 인식으로 국제기구(FAO/IAEA/WHO)와 보건당국(FDA)의 주도에 의해 실용화 기반 마련을 위한 제 2의 출발을 시작하였다[3]. 식품조사는 부패 또는 변질에 의한 식품의 손실, 감소 또는 식품이 매개가 되어 발생하는 질병의 원인이 되는 미생물의 억제 등 다른 식품저장 및 위생화 처리법과 동일한 목적을 가지고 있다. 따라서 현재 이용되고 있는 식품저장 기술을 대체 한다기보다는 보강하기 위한 것으로, 식품조사에 이용되는 방사선원으로는 ^{60}Co와 ^{137}Cs 동위원소가 방출하는 감마선과 전자가속 장치에서 발생되는 10Mev 이하의 전자선(β-선) 및 5Mev 이하의 X-선이 있으나 현재 상업적으로 가장 많이 이용되고 있는 것은 감마선(γ-선)이다. 감마선은 강력한 투과력이 있어 제품을 포장된 상태로 살균, 살충함으로써 이차오염의 방지와 전 공정을 연속적으로 대량 처리할 수 있고 식품의 온도를 상승시키지 않아(2.4℃/10 kGy) 영양분의 파괴와 외관의 변화를 거의 일으키지 않으며 유독 성분이 생성되지 않고 사용에너지의 절감 등 많은 장점을 지니고 있다[4-7]. 현재 식품조사의 기술은 세계 25개국에서 상업화되고 있으며, 국내에서도 18개 식품에 대하여 사용이 허가되어 있으나 본격적인 실용화를 위한 더 많은 연구가 요구되고 있다.

1. 이론적 배경

감마선 식품조사에 관한 지식은 1900년 이전부터 존재했었으나 비용이 고가였으므로 1940년대 제 2차 세계대전 이후에야 비로소 상업적으로 사용되기 시작하였다. 감마선 식품조사란 식품보존이나 가공 또는 다른 유익한 결과를 얻기 위해서 이온화에너지를 이용하는 기술로써[8], 고형식품에서의 유해미생물을 살균하는 등 공중위생에 많은 도움을 줄 수 있다. 특히, 화학

훈증이나 다른 물리적 처리방법을 대체할 수 있는 기술로 크게 주목되고 있다. 물론 이러한 새로운 처리기술을 도입하기 위해서는 단순히 바람직한 효과가 있다는 것 외에 독성학적, 영양학적, 미생물학적으로 문제가될수있는 악영향이 없다는 명확한 증거와 확신이 얻어져야 한다1).

식품조사는 대부분의 경우 식품의 보존성을 목적으로 하여 실용화가 실시되고 있는데, 감마선은 세균, 곰팡이, 효모와 같은 부패미생물을 사멸시키고 성숙, 발아, 노화 등의 일반적인 생물적 변화를 억제시킴으로써 신선한 과일, 야채의 신선도를 연장시키며 기생충을 포함한 병원성 생물이라든가 식품저장중에 손상을 주는 해충도 살충할 수 있다. 또한 식품을 처리하는 동안 거의 열을 발생시키지 않으므로 "cold-sterilization (저온살균)"이라고도 하는데 이러한 특징은 영양소 보유(nutrient retention)를 위해 열에 민감한 식품의 살균에 적합하며, 식품변화를 최소화함으로써 조직감, 풍미, 색깔 등이 좀더 원래대로의(신선한) 상태에 가깝게 유지되면서 품질수명이 안정된 제품을 생산할 수 있다9). 또한 다른 식품처리의 경우와 마찬가지로 식품 속의 유용한 화학변화를 일으켜 콩을 연하게 하여 조리시간을 단축시키고, 과일과 야채숙성을 지연시킬 수 있으며, 수확후 발아억제를 통하여 품질저하를 예방할 수 있다10). 식품조사에 있어서는 전리방사선이라는 특수한 전자파 에너지가 이용되는데 전자파의 일종인 X-선은 1895년에 발견되었으며, β-선, α-선, γ-선은 1896년에 발견되었다. 이들 X선, β선, α선, γ선은 물질에 충돌하면 전하를 가진 이온을 생성하기 때문에 전리방사선이라 불리운다. 전리방사선이 세균을 살균하는 것이 명확하게된 초기의 실험이후 전리방사선을 식품의 부패균의 멸균에 이용하기 위하여 많은 연구가 진행되었고 이들 초기의 연구성과는 실용적으로나 과학적으로 흥미가 대단히 큰 것이었으나 식품산업에의 전리방사선의 이용에 결부되지는 못하였다. 20세기에 와서도 수년간 산업적으로 이용할 수 있는 필요량의 방

사선을 경제적으로 확보하는 수단이 없었고 당시의 X-선 발생장치는 전력을 X-선으로 변화시키는 효율이 대단히 낮았으며, 라듐과 같은 자연에 존재하는 방사성 물질은 식품처리에 이용될 수 있을 정도의 감마선이 발생되지는 않았다. 식품처리에 필요한 양의 전리방사선을 경제적으로 얻을 수 있게 된 것은 1940년대초 방사선 발생장치의 개발과 핵분열 연구의 진보가 크게 공헌하고 있다. 즉 전자 가속장치가 개발되어 전에 볼 수 없었던 대량의 전리방사선을 적절한 가격으로 발생시킬 수 있게되었고 핵분열의 연구가 진행되면서 핵분열에 의한 핵에너지의 생산뿐 아니라 세시움137과 같은 핵분열 생성물이 전리방사선이 될 수 있다는 사실이 발견되었다. 또한 어떠한 종류의 원소는 방사성 물질로 변환시킬 수 있음이 발견되어 코발트 60과 같은 방사성 동위원소가 제조되게 되었다. 이러한 새로운 방사선원을 사용하여 연구하게 됨으로써 전리방사선이 식품의 손실 및 식중독을 방지하는 유력한 수단이 될 수 있음이 명백해졌으며 이러한 과학적인 진보에 따라 더욱 유효하고 효율적인 조사기술을 개발키 위한 오랜동안의 연구활동을 거쳐, 1986년에 EC 식품과학위원회는 조사된 식품의 건전성과 안전성에 관하여 FAO/IAEA/WHO 합동위원회와 함께 최종적으로 10kGy 이하로 조사된 식품은 어떠한 독성학적, 미생물학적 문제도 없다고 결론지었다. 그러므로 이렇게 처리된 식품의 독성검사는 더이상 필요치 않으며 최고 10kGy까지 처리된 모든 식품의 무조건적인 수용을 채택하였다[11]. 그러나 국제적으로 몇몇 소비단체가 식품조사기술에 상당히 강하게 반발하고 많은 반론을 제기함으로써, 조사식품에대한 전반적인 재검토가 이루어질 필요성도 대두되고 있다.

2. 국내외 연구동향

가. 국제적 동향

식품조사와 관련된 국제적 노력의 대부분은 WHO, FAO 그리고 IAEA 의 연

합활동으로 30년이 넘게 계속 이루어져 왔는데, 현재 39개국에서 식품의 방사선 조사를 허가하였고 이중 25개국이 상업적 규모로 조사기술을 실용화하고 있다. 1993년 말까지 세계적으로 식품조사에 활용되고 있는 조사시설은 50여기 이상에 이르며, 현재 건설중이거나 건설계획중인 조사시설도 약 20여기에 이르고 있다[12]. 특히 식품조사에 대해 영국에서는 약초 및 향신료에 대하여 발암 가능성이 있다고 보고된 ethylene oxide(EO)처리 허용을 종료시키고 1991년 2월 13일 이후부터 과실류, 채소류, 곡류, 구근류, 향신료, 조미료, 생선, 어패류 및 닭고기를 허용선량까지 조사할 수 있도록 허가하여 조사식품의 수출입을 허용하였다[13]. 또한 미국 농무성(USDA) 식품안전검사부(FSIS)에서는 가금육에 대하여 1.5-3 kGy의 상업적 조사를 승인하였고[14], Florida의 식품조사 시설에서는 1992년 1월부터 양파, 토마토, 딸기, 오렌지쥬스, 버섯 등의 신선농산물을 대상으로 상업적 조사가 계속되어 조사식품의 시장이 확대되고 있으며[15],[16], 1993년 9월부터는 가금육에 대한 상업적 조사가 시작되어 Illinois에서는 감마선조사 닭고기가 소비자들에게 신속하게 판매되고 있다고 보고되고 있다[17]. 그밖에도 일본에서는 연간 15,000톤 이상의 감자가 감마선 조사되어 생감자로 유통되고 있고, 우크라이나에서는 매년 수십만 톤의 곡류가 전자선으로 살충되고 있다. 또한 소련에서는 곡물의 곤충박멸, 프랑스에서는 발골계육의 저온살균, 네덜란드에서는 냉동수입 식품의 정화(decontamination), 그리고 이스라엘에서는 가금사료의 정화 등에 상업적으로 이용되고 있다[18],[19].

나. 국내의 동향

국내에서는 1987-1991년사이 3차례에 걸쳐 총 18개 조사품목의 건전성이 보건복지부에 의해 허가되었고, 최근 건조식품중 향신료에 대한 ethylene oxide의 훈증처리가 금지된 이후 식품조사를 이용하는 업체의 수가 증가되

고 있다. 이는 위생적 품질관리가 절대적으로 요구되는 가공식품의 대량생산 체제에서 현실적으로 분말 및 건조식품과 수출용 가공식품에 적합한 살충, 살균방법이 미비한 상황에 비추어볼때 국내외의 식품산업에서 방사선 조사기술의 수요가 증가하는 것은 당연한 추세로 여겨진다.

3. 안전성에 대한 규제 및 관리

식품조사를 절대로 안전한 것으로 하기 위하여 각국 정부는 조사식품 또는 식품조사에 관한 법률을 제정할 필요가 있다. 또한 규제 당국은 조사하는 종류와 목적을 결정하여 개개의 식품조사 목적에 부합되는 정확한 방사선량을 결정해야만 하며, 조사식품의 표시에 기재되어야할 식품조사에 관계되는 정보의 종류에 대해서도 규정해야만 하는데, 이 사항에 대해서는 포장식품의 표시에 관한 국제 일반규격(Codex Alimentarius General Standard for the Labelling of Prepackaged Foods)이 전리방사선으로 처리한 식품에 대하여 그 사실을 기입한 표시를 하게끔 규정하고 있다.

가. 식품조사 공정의 안전성

식품조사에 이용되는 감마선에 의하여 식품포장, 장치, 시설 등이 방사능에 오염되지 않는다는 사실을 먼저 명확하게 하는 것이 선행조건이며 식품과 함께 선량계를 넣어 감마선을 조사함으로써 식품에 흡수되는 감마선을 측량할 수가 있고 이와 같은 측정을 행함으로써 조사시설에 있어 종사자가 조사공정을 감시하고 감마선량을 조절할 수 있다.

나. 규격 및 기준

조사식품에 관한 국제 일반규격 및 식품조사 시설에 관한 국제 규정은 조사를 안전하게 그리고 효율적으로 실시하기 위한 목적으로써, 세계 여러

나라의 규제를 담당하는 당국이라든가 산업계에 인지되어 있는 권위 있는 지침서 등이 있으며 FAO/WHO 식품규격 위원회의 식품위생에 관한 일반규정 (general principle of food hygiene)은 식품을 처리하는 조사시설에 대하여 위생적인 식품을 처리, 가공하기 위한 기본적인 사항을 제시하고 있다. 또한 개개의 식품을 위한 FAO/WHO 국제 식품규격의 모든 규칙을 필요에 따라 식품조사에도 적용할 필요가 있고, 식품조사를 허가하고있는 각국의 법규제와 더불어 이러한 국제적인 규정을 채택함으로써 모든 나라에서는 식품조사를 안전하고 생산적으로 실시할 수 있을 것이다20).

다. 조사된 식품의 독성학적 안전성

여러 가지 동물실험들이 과거 몇십년 동안 이루어져 왔으나 조사된 식품의 소비가 해로운 효과를 유발한다는 증거는 없었으며,대조군과 시험동물 사이에 차이가 나타난 경우도 기형의 형태, 식품의 유형, 소비된 양, 연구기간, 조사량과 관련하여 어떤 일관성 있는 결과는 관찰되지 않았다. 또한 다수의 동물투여 연구가 식품조사 분야에서의 국제적 계획사업(IPFFI)에 의해 수행되어 1970년에서 1982년까지 이루어 졌으며 수행된 동물실험에 대해 기술한 70개 이상의 보고서 연구중 조사에 의해 나쁜 결과가 유도되었다는 증거는 없었다.

한편, 1987년 독성연구 보고서들을 모아 가금류의 저장기간을 연장시키고 살모넬라에의한 위험을 줄이기 위해 감마선 조사를 사용하여야 한다고 제안하는 청원이 미국 식품 의약국에 제출되었으며, 그 제출서중 네덜란드에서 수행된 다세대 연구 쥐에서의 만성독성에 관한 연구와 개에서의 1년간 독성연구를 실시한 결과 감마선 조사에 의한 나쁜 효과는 관찰되지 않았다고 발표하였다1). CAST(council for agricultural science and technology)의 이온화 에너지로 처리된 식품위생에 관한 보고서의 결과에서도 조사식품

에 대한 30여년의 연구결과, 방사선이 조사되지 않은 식품이나 다른 공인된 식품가공 방법에 의해서 처리된 식품에서는 정상적으로 검출되지 않은 특유한 방사선 분해 생성물(unique radiolytic products: URP)은 발견되지 않음을 명확히 제시하였다10).

제 2 절 연구개발의 필요성 및 목표

1. 기술적 측면

식품산업의 고도화와 국제화 시대를 맞이하여 고부가가치의 가공식품을 생산하기 위해서는 식품원료의 안정공급, 위생적 제품생산, 효율적 제조공정, 안전한 저장 유통기술 등이 확보되어야 하나, 지금까지 이용되어온 식품 살균/저장 방법인 온열처리, 냉장, 화학약품처리 등은 처리효과, 비용, 안전성 등에 문제점이 지적되면서 세계적으로 사용이 점차 제한을 받고 있다. 따라서 저온살균법으로 알려져 있는 방사선 조사기법을 이용한 문제핵심기술 개발이 요구되고 있으며, UR을 대비하여 생물자원 활용 극대화 및 수입대체를 위해서도 본 기술의 개발이 필요시 된다.

2. 경제, 산업적 측면

국가 식량에너지 확보 차원에서 수확 후 20-30% 이상 손실되는 식량을 안전하게 보존하여 간접증산 효과를 도모하고, 나아가 단 경기에 식품의 안정공급으로 물가안정과 수입대체 효과를 가져올 수 있는 방사선 조사기술의 개발이 필요시 된다. 또한 본 기술은 식품공업에서의 핵심문제분야의 대체기술 개발로 생산성 제고 및 수출증대 효과를 가져올 수 있으며, 국제 식량교역시 검역관리방법으로 방사선 조사기술의 이용이 확대될 전망이므로 표준화를 위한 기술자립과 국제협력 연구가 요구된다. 식품의 방사선이용 연구는 산업체에 그 기술을 이전하여 품목의 다양화 및 상업적 규모의 방사선

조사체제 확립이 가능하므로 관련 산업계를 활성화시킬 수 있을 것으로 기대된다.

3. 사회, 문화적 측면

방사선조사 기법은 식품에 기인된 질병예방과 위생식품 생산기반을 확립하여 국민 보건향상과 생산성 증대를 도모하기 위해 반드시 필요하다. 한편, 방사선 조사는 다른 살균 및 저장 방법에 비해 많은 장점을 가지고 있음에도 불구하고 안전성에 관한 연구부족으로 일반 소비자들에게 의구심을 불러일으키거나 외면당하고 있는 실정이다. 따라서 방사선조사 식품의 안전성 연구로 방사선 조사에 대한 소비자의 의식전환 및 수용성 확보가 절실히 요구된다.

4. 앞으로의 전망

식품조사는 수년동안 다양한 선량의 범위에서 몇몇 식품에서 관찰된 특정 성분의 함유량 감소로, 조사식품을 일반식품으로 사용하는 것에 대한 부적합성과 관련하여 찬반의 논란이 끊임없이 있어왔다. 그러나 특정영양소의 감소가 발생했다면 그것은 멸균처리 등과 같은 다른 식품보존 형태로부터 생기는 결과와 별 차이가 없는 것이며, 특히 냉동상태와 진공상태에서의 조사와 같은 병행처리기술의 발달과 각국의 규제당국, 관계기관, 식품업계 등은 과학적인 정보와 경험에 의거하여 일반국민의 요구와 이해촉진에 능동적으로 대처하면서 식품조사의 실용화를 추진하고 있다. 현재 많은 국가들이 조사식품을 그들의 시장에 공급하고 있고 가정과 다른 곳에서도 조사식품의 사용에 소비자의 신뢰를 단계적으로 쌓아가고 있는 동시에 여러 나라에서도 정부차원에서 조사식품 품목들을 국가적 식품공급에 추가시키는 사업을 활발히 증가시켜 나가고 있다. 또한 조사기술을 더욱 유효하고 효율적으로 개

발하기 위한 대규모 연구계획의 추진활동도 적극적으로 이루어질 전망에 있으며 더욱이 방사선 조사는 다양한 크기나 형태의 식품보존에 이용될 수 있는 이점 때문에 향후 식품업계에서의 감마선 조사 활용은 점점 늘어날 것으로 기대된다8).

5. 연구개발의 최종목표

본 연구는 식량의 가격안정과 수입대체 및 생물자원 활용극대화와 방사선 조사 기술의 표준화 확립을 위해, 농수축산물을 중심으로 감마선을 이용한 최적 살균/살충 기술을 확립함과 동시에 보다 장기적으로 식품을 안전하게 저장할 수 있는 기술을 개발하고자 하였다. 나아가 본 기술의 이용확대 및 실용화를 위해 조사식품의 이화학적 품질평가 및 유전독성학적 안전성 평가를 수행하여 소비자의 의식전환 및 수용성 증진에 기여하고자 하였다.

제 3 절 연구개발 내용 및 범위

1. 위생화/장기안전저장기술개발

오염유기체의 분리, 검색을 위해 각 식품의 초기 미생물 오염도를 측정하였다. 즉, 시료를 균질화한 후, 호기성 전세균 및 저온성 세균, 대장균 군 및 E. Coli, Salmonella 및 Listeria 등의 생성 집락을 계수하였다. 감마선 조사 최적조건 시험으로는 각 식품을 선원 570,000 Ci Co-60 감마선 조사시설 (그린피아기술 소재)을 이용하여 실온에서 시간당 0.7 kGy의 선량률로서 일정시간별로 조사하여 각 식품의 장기 안전저장을 위한 최적조사 선량을 확립하도록 하였다. 감마선조사 최적선량 확립시, 오염유기체의 살균을 기준으로 하여 장기 안전저장을 시도하였다. 이때 감마선 조사된 식품은 비조

사 대조시료와 함께 냉동 및 냉장 또는 실온조건으로 저장하면서 장기 안전 저장시험을 실시하였다. 한편, 살균/살충 최적조건 확립을 위해 각 식품에 대해 감마선조사 선량을 여러 범위로 조절하여 살균 최적조건을 확립하도록 하였다. 앞의 결과, 즉 오염유기체의 분리/검색, 감마선조사 최적조건 시험, 살균/살충 최적조건 확립시험을 토대로 하여 각 식품의 위생화 기술을 완료하도록 하였으며, 위생화 기술에서 확립된 결과를 바탕으로 각 식품 중 최적시료를 선별하여 이들을 냉장 (5℃)/냉동(-20℃) 및 실온조건에서 각각 저장하면서 장기안전저장시험을 실시하였으며, 저장온도 및 저장기간에 따라 시료를 채취하여 이화학적 품질평가를 수행하였다.

2. 방사선조사 식품의 이화학적 품질평가

방사선 조사선량별 품질특성 시험 및 저장기간과 저장온도에 따른 품질평가시험으로 일반성분, 산도 및 pH, TBA가, 지질산가, 휘발성 염기태 질소, 색소, texture 등을 측정하였다. 또한 감마선 조사가 각 식품의 주요 영양성분에 어떠한 영향을 미치는가를 조사하기 위해 각 식품의 특성에 따라 유리 및 총 아미노산 조성, 전기영동, 지방산조성, 무기질 분석시험 등의 이화학적 특성시험을 수행하였다.

3. 방사선조사 식품의 안전성 평가 연구

우선, Maron과 Ames(1983) 방법에 의하여 Salmonella typhimurium 을 이용한 복귀 돌연변이 시험을 수행하였다. 1차적으로 대사활성부재조건의 시험을 먼저 수행하였으며, 그 후 S-9 fraction을 이용한 대사활성화법을 적용하였다. 본 시험의 방법은 예비독성시험을 통하여 얻어진 시험적용농도를 통하여 pre-incubation법에 따라 수행하였으며, 각 시험농도군에 대해 3회 반복 시험하였다. 감마선조사 유전학적 안전성시험으로는 설치류 망상적혈

구를 이용한 소핵실험을 통하여 유전학적 안전성 시험을 수행하였다. 시험 최고농도는 kg당 2500mg 이었으며 24시간 간격으로 2회 경구투여 하였다.

제 4 절 참 고 문 헌

1. WHO/HPP/FOS/92.2, World Health Organization.
2. KAERI/RR-1321/ '93 2차년도 연구보고서.
3. WHO, Technical Report Series, 655, 7 (1981): Wholesomeness of Irradiation Food(Report of A Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee).
4. Kokji, J. U.: Food Preservation by Irradiation, Radiation and Agriculture (IAEA Bullettine) 23, 33(1981).
5. World Health Organization, Wholesomeness of Irradiation Food, WHO Technical Report Series, 604, Geneva(1977).
6. World Health Organization, Wholesomeness of Irradiation Food, WHO Technical Report Series, 604, Geneva(1981).
7. Glddings, G.G. and Welt, M.A.: Radiation Preservation of Food, Cereal Food World, 27, 17(1982).
8. Radiation Technology Inc., Rockaway NJ, USA(1985).
9. Josephson, E.S.: Advantages, Problems and Experience of Irradiated Foods., In: "Aero-space Food Technology., A Conference Held at the University of South Florida, Tampa, FL, USA, April 15 17, NASA Sp-202, National Aeronautics & Space Administration, Washington, D.C.(1970).
10. Council for Agricultural Science and Technology, Ionizing Energy in Food Processing and Pest Control I, Wholesomeness of Food

Treated with Ionizing Energy, Report No.109, ISSN0194-4088 (1986).

11. FAO/WHO/IAEA:(JECFI), Geneva. Joint Expert Committee a Food Irradiation Reports (1980)
12. Ahmed, M.: Food Irradiation, up to Date Status Joint FAO/IAEA., Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, IAEA6626F, Vienna, 27 Nov(1991).
13. IAEA: Food Irradiation, Newsletter, (1992)
14. USDA/FSIS: Status of Food Irradiation Activities in the U.S.A., A.I.I.I. Newsletter No. 27, 137(1993).
15. Marcotte, M.: Irradiated Strawberries Enter the U.S. Market., Food Technol., 980(1992).
16. Pszczola, D.: Irradiated Produce Reaches Midwest Market., Food Technol., p.89, May(1992).
17. Reuter: "Irradiated Chicken Selling Briskly." 3, September (1993).
18. Loaharanu, P.: International Trade in Irradiated Foods: Regional Status and Outlook., Food Technol., p.77, July(1989).
19. Karel, M.: Food Irradiation., Food Technol., 42: 76(1988).
20. WHO-Food Irradiation, A Technique for Preserving and Improving the Safety of Food Geneva(1988).

제 2 장　농산물의 위생화 및 장기저장시험

제 1 절　서　론

일반적으로 신선 농산물에 방사선처리를 하는 경우는 저 선량으로 한정되어 있다. 그 이유는 방사선은 식물에 장해를 입히기 쉽기 때문이다. 방사선 조사의 영향은 식물의 종류나 품종, 품질, 숙성정도, 미생물의 오염도, 수확후의 처리방법 등에 따라 상당히 다르다. 방사선을 1 kGy이하로 조사했을 때 기대할 수 있는 효과는 서류 및 근채류의 발아억제, 해충의 사멸 등이다. 반면, 1-3 kGy에서는 몇몇 식물성 식품의 부패를 억제시킬 수 있다. 이외에도 방사선 조사선량을 적절히 조절하면, 농산물의 신선도 유지, 숙성지연, 장기저장 등의 목적을 달성할 수 있을 것으로 기대된다. 이에 따라 식품조사에 대해 보수적이었던 영국에서도 약초 및 향신료에 대한 ethylene oxide (EO) 처리 허용기간을 1991년 1월 1일로 종료시키고, 1991년 2월 13일 이후부터 과실류, 구균류, 향신료, 조미료를 허용선량까지 조사할 수 있도록 허용한 바 있으며, 미국 Florida의 식품조사 시설에서는 1992년 1월부터 양파, 토마토, 딸기, 오렌지 쥬스, 버섯 등의 신선 농산물을 대상으로 상업적 조사가 계속되어 조사식품의 시장이 확대되고 있다. 그 밖에 일본에서는 연간 15,000톤 이상의 감자가 감마선 조사되어 생감자로 유통되고 있다. 따라서 본 연구는 UR 및 WTO 체재에 대비하여 감마선을 이용하여 최적 살균/살충 기술을 확립함으로서, 보다 장기적으로 농산물을 안전하게 저장할 수 있는 기술을 개발하는데 그 목적을 두었다. 나아가 본 기술의 이용확대 및 실용화를 위해 저장기간에 따른 방사선조사 농산물의 이화학적 품질평가 및 독성학적 안전성 평가를 수행하여 소비자의 의식 전환 및 수용성 증진에 기여하고자 하였다.

제 2 절 실험재료 및 방법

1. 주요 농산물의 위생화/장기안전저장기술개발

가. 오염유기체의 분리, 검색

농산물시료를 적당한 크기로 조제한 후, 그 중 5 g을 취하여 오염유기체의 분리 검색을 실시하였다. 호기성 전세균은 APHA 표준방법에 따라 plate count agar (Difco Lab.)를 사용하여 30 ℃에서 1-2일간 배양한 후 집락을 계수 하였으며, 효모 및 곰팡이는 potato dextrose agar (Difco Lab.)를 사용하여 멸균된 10 % tartaric acid로 pH를 3.5로 조절한 후 평판법으로 25 ℃에서 5-6일간 배양한 후 계수 하였다. 대장균 군은 desoxycholate agar (Difco Lab.)를 사용해 pour plate method로 37 ℃에서 1-2일간 배양한 후 적색의 집락을 계수 하였다. 모든 미생물 검사는 3회 반복 실시하였으며, 단위는 시료 g당 colony forming unit (CFU)로 나타내었다.

나. 감마선조사 최적조건 시험

각 농산물을 선원 570,000 Ci Co-60 감마선 조사시설 (그린피아 기술 소재)을 이용하여 실온에서 시간당 0.7 kGy의 선량률로서 일정시간별로 조사하여 각 농산물의 장기 안전저장을 위한 최적조사 선량을 확립하도록 하였다. 감마선조사 최적선량 확립시, 발아 농산물(감자, 마늘)의 경우에는 최적 발아억제 선량을 기준으로 하였으며, 기타 농산물(대두, 옥수수, 알로에, 당귀)은 오염유기체의 살균/살충을 기준으로 하여 장기 안전저장을 시도하였다.이때 ceric cerous dosimeter(USA)를 사용하여 총 흡수선량을 확인하였다. 감마선 조사 농산물은 비조사 대조시료와 함께 실온 및 저온(4℃)에 보관하면서 장기 안전저장시험을 실시하였다.

다. 살균/살충 최적조건 확립

각 농산물에 대해 감마선조사 선량을 여러 범위로 조절하여 살균/살충 최적조건을 확립하도록 하였다. 즉, 대두, 옥수수, 알로에, 당귀에 1, 2, 3, 5, 6, 7, 10 kGy의 선량으로 감마선을 조사하여 각 조사구에 대해 오염유기체를 분리, 검색하여 오염유기체를 완전히 사멸할 수 있는 감마선 조사선량을 결정함으로서 살균/살충 최적조건을 확립하도록 하였다.

라. 위생화 기술완료

오염유기체의 분리/검색, 감마선조사 최적조건 시험, 살균/살충 최적조건 확립시험, 발아억제 선량확립 시험을 토대로 하여 농산물의 위생화 기술을 완료하도록 하였다.

마. 장기안전저장시험

앞선 위생화 기술에서 확립된 결과를 바탕으로 각 농산물중 최적시료를 선별하여 이들을 저온 (4℃) 및 상온에서 각각 저장하면서 장기안전저장시험을 실시하였으며, 저장온도 및 저장기간에 따라 시료를 채취하여 이화학적 품질평가를 수행하였다.

2. 방사선조사 농산물의 이화학적 품질평가

가. 방사선 조사선량 및 저장기간에 따른 품질평가시험

방사선 조사선량별 품질특성 시험 및 저장기간 및 저장온도에 따른 품질평가시험으로 환원당 함량, 비타민 C 함량, 적정산도, 발아율, 부패율, 중량변화, 수용성 고형분 함량, 갈변도 등을 측정하였다.

1) 환원당 함량

시료 10g에 증류수 약 100ml를 가한 후 waring blender를 사용하여 1분간 마쇄하여, 여과액을 원심분 Tube에 넣고 포화중성초산납 2ml를 가해 잘 교반한 다음 원심분리 (5000rpm, 20min) 하여 상등액을 얻는다. 이 상등액에 Na2C2O4 분말 0.5g을 가해 잘 교반한 다음 여과하여 1 N NaOH를 사용하여 pH를 중성으로 보정한 후 전체 부피를 400 ml로 정용한다. 그후 Somogyi법으로 환원당 함량을 구하였다.

2) 비타민 C 정량

시료 10g에 5% 메타인산용액 40ml를 가한 후 마쇄하여 여과한 다음 전체 부피를 100ml로 정용한다. 원심분리 (2000rpm, 10min) 하여 상등액을 얻어 시료용액으로 하였다. 시료용액 2 ml를 취해 DCP용액 1ml를 가한 다음 Tiourea-HPO3 용액 2 ml와 DVP 용액 1 ml를 차례로 가한다. 잘 흔들어 50℃에서 70분간 반응시킨 후 빙수중에서 20분간 방치한다. 빙수중에서 85% 유산용액 5ml를 첨가하여 실온에서 30분간 반응시킨 후, 520 nm에서 흡광도를 측정하여 비타민 C 함량을 구하였다 (Hydrazine 비색법).

3) 적정산도

시료 20 g에 증류수 150 ml를 가한 다음 waring blender로 마쇄한 후 여과하여 상등액을 얻었다. 최종 부피가 200 ml가 되도록 정용한 다음, 그중 50 ㎖를 취하여 0.05N NaOH로 pH 8.0이 될 때까지 적정하여 적정산도를 구하였다.

4) 발아율, 부패율

발아율은 발아된 싹눈의 길이로 나타내었으며, 부패율은 육안으로 판별하

여 백분율로 표시하였다.

5) 중량변화

각 농산물을 일정량씩 개별 포장하여, 저장온도 및 저장기간에 따라 변화되는 무게를 측정하였다.

6) 수용성고형분

시료 20 g에 증류수 150 ml를 가한 다음 waring blender로 마쇄한 후 여과하여 상등액을 얻었다. 최종 부피가 200 ml가 되도록 정용한 다음, 원심분리 (3,000 rpm x 20 min)하여 그 중 10 ml를 정확히 취하여 100-105℃에서 4-6 시간 건조한 후 수용성 고형분함량을 구하였다.

7) 갈변도

시료 10 g에 증류수 70 ml를 가한 다음 waring blender로 마쇄한 후 최종 부피가 100 ml가 되도록 정용한다. 35℃ water bath에서 2시간 방치한 후 여과 및 원심분리 (3,000 rpm x 30 min)하여 상등액을 얻어 spectrophotometer를 사용하여 420 nm 에서 흡광도를 측정하였다.

나. 주요성분의 이화학적 특성시험

감마선 조사가 각 농산물의 주요 영양성분에 어떠한 영향을 미치는가를 조사하기 위해 아미노산 조성, 단백질 변성, 전기영동, 지방산조성, 지방산의 이성질화, 전분의 Amylograph 특성 및 기타 이화학적 시험을 수행하였다.

1) 단백질의 전기영동

감마선 조사선량별 분획들의 단백질 분자량과 subunit조성 변화를 알아보기 위해 전기영동을 수행하였다(SDS-PAGE). 이때 환원제인 2-ME의 존재와 부재 조건하에서 수행하였고, 전기영동 후 gel의 염색은 0.1% Coomassie brilliant blue R-250을 사용하였다.

2) Differential scanning calorimetry (DSC) 측정

단백질의 열 변성을 측정하기 위해 대두의 주요 단백질 분획인 7S, 11S 분획 시료를 사용하였다. 각 분획의 단백질 농도를 10%로 조절한 후 silver pan에 넣어 밀봉하였으며, reference 물질로는 단백질 용액과 동일한 완충용액을 사용하였다. DSC 측정은 Difference scanning calorimeter (Seiko Model SSC 5000-DSC 100, Japan)를 이용하여 분당 1℃의 heating 속도로 25℃에서 120℃까지 가열하면서 측정하였다.

3) fluorescence spectra 측정

감마선 조사된 대두단백질의 구조적 변화를 조사하기 위하여 fluorescence spectra를 측정하였다. 0.04%의 단백질 용액을 사용하여 실온에서 Hitachi fluorescence spectrophotometer (Model F-3000, Hitachi Co., Japan)를 사용하여 측정하였다.

4) 대두단백질의 amino acid 분석

아미노산 분석은 6N HCl을 가해 115℃에서 22시간 산 가수분해하여 아미노산자동분석기 (Hitachi amino acid analyzer 835, Japan)로 분석하였다.

5) 지방질의 추출

비조사 및 감마선 조사된 대두시료는 지방질의 추출이 용이하도록 고속분

쇄기로 80mesh 이하로 분쇄하고 무수황산나트륨으로 탈수시켜 여과하였다. 그 지방추출물을 evaporator로 n-hexane을 제거하여 지방시료를 얻었으며, 이를 질소가스로 충전하여 밀폐한 후 냉동 보관하면서 시료로 사용하였다.

6) 산가 및 과산화물가

AOAC 및 AOCS 공정법에 따라서 유지의 산패정도를 측정하였다.

7) 점도

Brookfild viscometer (Model LVF-115V, USA)로 측정하였다.

8) 유전항수

Food-oil sensor (Model Ni-21 A Northern Instrument Co., USA)로 측정하였으며, 유지내의 산화생성물에 의하여 유전항수가 변하므로 산화생성물 속에 존재하는 극성물질의 양으로 나타내었다.

9) 유도기간

Racimat method (Metrohm-HERISAU)에 의하여 유지가 가열상태에서 공기와 접촉함으로써 발생하는 휘발성 산화물을 탈이온수에 포집하여 물의 전기 전도도의 변화로 그 값을 측정하였다.

10) 공액 이중산가

AOAC 공정법에 의하여 Spectrophotometer (Model 342-2, Cecil UK)를 사용하여 233㎚에서 흡광도를 측정하여 계산하였다.

11) 지방산 조성

각 시료의 지방산 조성은 AOCS Gas Liquid Chromatography 방법에 의해 분석되었다. 유지시료를 가수분해하여 생성된 지방산은 Metcalf 등이 사용한 방법에 의해서 methyl ester화 하였다.

12) Trans 지방산 조성

방사선 조사시의 trans 지방산의 생성여부 및 그 양을 측정하기 위하여 감마선 조사된 대두로부터 추출된 유지에 대하여 AOCS 공정법에 의해 전처리를하여 trans 지방산의 함량을 측정하였다.

13) 아밀로그래프에 의한 호화특성

시료 전분의 호화양상은 Brabender viscograph E type (독일 Brabender Co.)을 사용하여 Medcaif 와 Gilles의 방법에 따라 전분시료용액 (메옥수수 8%, 찰옥수수 5%) 500ml를 1분간 교반시킨 후 Amylograph bowl에 넣어서 1.5℃/min의 일정속도로 25℃에서 95℃까지 가열하고, 95℃에서 30분간 유지시킨 후 50℃까지 1.5℃/min의 속도로 냉각시켰다.

3. 방사선조사 농산물의 안전성 평가 연구

가. 방사선조사 농산물의 독성학적 안전성시험

Salmonella typhimurium을 이용한 복귀돌연변이 시험을 통하여 독성학적 안전성 시험을 수행하였다.

1) 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 확인 한 후 사용하였다.

2) 시험물질 및 대조물질

시험물질은 감자, 마늘, 당귀, 대두의 분말로써 이를 각각 0.25, 0.25, 12, 10kGy의 선량으로 γ선을 조사한 시료와 조사하지 않은 시료로 나누어 시험을 실시하였다. 한편 대조물질로서는 음성대조물질은 본 시험물질을 현탁시킬 때 사용한 DMSO를 사용하였고, 양성대조물질로는 2-Nitrofluorene (2-NF), N-methyl-N'-nitro-N-nitrosoguanidine(MNNG), Sodium azide(SAZ) 및 9-Aminoacridine(9AA)를 각 시험균주의 특성에 맞추어 사용하였다.

3) 사용한 배지 및 시약

시험용 균주배양에는 Nutrient broth를 사용하였고, 복귀변이시험에 사용되는 배지에는 Minimal glucose agar배지와 0.5mM의 Histidine/Botin용액을 넣어 Histidine요구성 시험균주에 1-2회의 분열을 할 수 있게 만든 Top agar를 사용하였다.

4) S-9 fraction의 제조

대사활성화법을 수행하기 위해 Maron 과 Ames (1983)의 방법에 따라 다음과 같이 제조하였다. SD계 랫(♂, 8주령, 약 250g)에 polychlorinated biphenyl(PCB)혼합액인 Aroclor 1254를 corn oil에 200mg/ml로 희석하여 500mg/kg의 용량으로 1회 복강내 투여하여 4일째에 경추탈골에 의하여 도살한 후 간을 적출하였다. 적출한 간중량의 3배량의 냉각한 0.15M KCl용액을 넣어 균질화하고 9,000g에서 10분간 원심분리한 후 그 상층액을 S-9 fraction으로 하였다. 이상의 모든 과정은 무균적으로 행하였고, 만들어진

S-9 fraction 0.1ml을 Top agar와 함께 minimal glucose agar배지에 plating하여 무균성을 확인하였다.

5) 시험물질의 농도설정을 위한 예비독성시험

본 시험을 적용하기에 앞서 알맞은 용매의 선정 및 시험농도를 설정하기 위하여 TA100균주를 이용하여 예비시험을 수행하였다. Salmonella typhimurium TA100균주를 하룻밤 동안 배양하여 대수기(2×109cells/ml) 상태에 이르도록 한 배양액 0.1ml, 시험물질의 DMSO현탁액 0.1ml, 0.2M Na-Phosphate buffer 0.5ml을 test tube에 넣은 후 37℃ water bath shaker에서 30분간 pre-incubation을 한 후, Histidine/biotin을 함유한 top agar 2.5ml을 가한 후 잘 혼합시킨 후 minimal glucose agar배지에 plating 한 후 수분간 고화시킨 다음 37℃ incubator에서 48시간 동안 배양한 후 His+ 복귀돌연변이 집락을 계수하여 현탁액을 적용시켰을 때의 복귀변이집락수 관찰에 미치는 영향 및 세포독성유무를 결정하여 본 시험에 적용할 농도를 결정하였다.

6) 본시험

본 시험은 Maron과 Ames(1983)의 방법에 의하여 수행하였다. 1차적으로 대사활성부재조건의 시험을 먼저 수행하였으며, 그 후 S-9 fraction을 이용한 대사활성화법을 적용하였다. 본 시험의 방법은 예비독성시험을 통하여 얻어진 시험적용농도를 통하여 pre-incubation법에 따라 수행하였으며, 각 시험농도군당 3장의 minimal glucose agar plate를 사용하였다.

나. 방사선조사 농산물의 유전학적 안전성시험

설치류 골수세포를 이용한 소핵실험을 통하여 유전학적 안전성 시험을 수

행하였다.

1) 실험동물 및 시험물질의 투여

한림대학교 실험동물부에서 분양 받은 ICR 마우스를 사용하였으며, 동물 입수후 약 1주일간의 순화기간을 거쳐 건강한 동물만을 시험에 사용하였다. 실험동물의 사육은 온도 25±1℃, 습도 55±5%, 조도 300 500 Lux로 12시간 자동 점·소등 장치가 설치되었다. 동물은 순화 및 시험 기간 중에 polycarbonate cage에 6마리씩 넣어 사육하였다. 사료는 삼양사의 고형사료를, 물은 수돗물을 자유로이 공급하였다.

2) 대조물질

음성대조물질로는 시험물질의 용매로 사용한 증류수를 경구투여 하였고, 양성대조물질로는 Mitomycin C를 증류수에 녹여 복강내 투여하였다.

3) 군 분리 및 식별

순화기간을 거친 모든 동물의 체중을 측정, 소정의 범위에 드는 동물을 무작위로 각 시험군에 4-5마리씩 배분하였고, 각 시험군의 식별은 cage별 tag표시 법을 이용하였다.

4) 골수세포표본의 제작

본 시험에서의 시험물질 투여량은 현탁시킬 수 있는 최대용량으로써 경구투여가 가능한 농도를 설정하여, 시험적용 최고농도에 ½씩 2단계의 농도를 설정 1㎖ 용량의 일회용 주사기와 mouse용 jonde를 사용하여 10㎖/㎏으로 본 시험물질의 실제적인 투여경로에 맞추어 24시간 간격으로 2회 경구투여한 후, 24시간이 경과한 후, Schmid의 방법에 따라 골수세포 표본을 제작하

였다. 즉, 마우스를 경추탈골에 의하여 도살시킨 후, 양쪽 대퇴골로부터 1 ㎖의 Calf serum을 주입시킨 주사기 (24gauge침 사용)를 이용하여 골수를 채취한 후 골수세포 부유액을 1000rpm에서 5분간 원침하였다. 상층액을 제거하고 적당한 양으로 골수세포의 현탁액을 만들어 한 방울을 세척된 슬라이드에 적하시킨 후 도말하고 건조시킨 후 메탄올에 5분간 고정하였다. 표본은 각 동물당 2매씩 제작하였고 고정 건조시킨 후 4% Giemsa 염색시약에 슬라이드를 30분간 염색시켰다.

5) 골수도말 표본의 관찰

마우스 1개체당 1000개의 적혈구에서 다염성적혈구 (polychromatic erythrocyte, PCE)와 정염성적혈구 (normochromatic erythrocyte, NCE)의 비를 구하고 다시 1000개의 다염성적혈구중에서 소핵을 갖는 다염성적혈구의 출현빈도를 구하였다. 소핵이라 생각되는 과립이 세포내에 있는 경우 초점을 상하로 움직여 확인하며 이때 백색 광을 나타내지 않는 것을 소핵으로 간주하였다. 아울러 소핵은 핵막을 갖고 있어 윤곽이 확실하므로 주위가 백색으로 보이는 경우에 소핵으로 인정하였다. 계수시 소핵의 크기는 세포직경의 ½로부터 식별가능한 범위까지로 하였으며, 주변 유핵세포의 핵과 염색상이 동일한 것을 선택하였다.

6) 통계학적 평가

Hayashi등의 방법에 따라 3단계의 통계처리법을 적용하여 결과를 분석하였다. 1단계에서는 Hayashi등에 의해 축적되어진 음성 및 양성대조군에 대한 배경 data와 비교해 보았고, 2단계에서는 각 처리군의 MNPCE (micronucleated polychromatic erythrocyte) 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).

제 3 절 결과 및 고찰

1. 주요 농산물의 위생화/장기안전저장기술개발

가. 오염유기체의 분리, 검색

먼저, 옥수수 시료의 미생물 오염도를 살펴본 결과, 찰옥수수의 경우 호기성 전세균이 6.3 x 103 CFU/g, 곰팡이가 1.5 x 106 CFU/g, 대장균 군이 4.8 x 102 CFU/g 를 나타냈으며, 메옥수수의 경우에는 호기성 전세균이 4.0 x 102 CFU/g, 곰팡이가 1.2 x 103 CFU/g, 대장균 군이 1.4 x 102 CFU/g 를 나타내어, 옥수수의 저장중 손실과 가장 관계가 깊은 곰팡이 류의 오염이 가장 심각하였다. 한약재료로 폭넓게 사용되고 있는 당귀의 경우, 호기성 전세균이 4.0 x 106 CFU/g, 곰팡이가 5.0 x 104 CFU/g, 대장균 군이 1.0 x 106 CFU/g 를 나타내어 호기성 전세균과 식품위생지표 세균인 대장균군의 오염이 심각함을 알 수 있었으며, 알로에의 경우에도 호기성 전세균이 1.0 x 104 CFU/g, 곰팡이가 2.0 x 102 CFU/g, 대장균 군이 5.0 x 102 CFU/g을 나타내었다. 대두는 호기성 전세균이 3.8 x 103 CFU/g, 곰팡이가 1.1 x 106 CFU/g, 대장균 군이 2.3 x 103 CFU/g 으로 찰옥수수와 마찬가지로 곰팡이의 오염이 심각하였다. 따라서, 현재 저장 유통되는 농산물은 상당량의 미생물에 오염되어 있어 장기 안전저장 및 우수한 품질의 가공제품을 생산하기 위해서는 적절한 살균처리방법등이 절실히 요구됨을 알 수 있었다 (Table 1).

나. 감마선조사 최적조건 시험

농산물의 장기저장을 위해 발아농산물인 감자와 마늘을 대상으로 감마선을 조사하여 발아억제를 위한 최적 조건확립시험을 실시하였다. 0 1 kGy 범위로 감마선을 조사한 결과, 감자, 마늘 모두 0.1 kGy이상에서 발아가 억제됨을 알 수 있었다.

농산물의 위생화를 위해 오염유기체에 대한 감마선조사의 살균효과를 살펴본 결과, 찰옥수수의 경우 2.5 kGy의 감마선 조사로 오염곰팡이의 수를 1/2 이상 감소시킬 수 있었으며, 일반세균과 대장균수도 검출한계 이하로 감소시킬 수 있었고, 특히 5 kGy 이상의 조사로 모든 미생물을 완전히 사멸시킬 수 있었다. 메옥수수의 경우에는 찰옥수수보다 미생물 오염도가 낮아, 1 kGy의 조사로 모든 미생물의 생육을 검출한계 이하로 감소시킬 수 있었다 (Table 1). 당귀의 경우에는 6 kGy의 선량에서 대장균 군과 곰팡이의 생육을 저해시킬 수 있었으나, 호기성 전세균은 여전히 검출되어, 그이상의 선량이 요구되었으며, 최적 선량을 조사해 본 결과 7 kGy이상에서 모든 미생물들이 검출한계이하로 사멸됨을 알 수 있었으며, 알로에와 대두의 경우에는 5 kGy의 감마선 조사에 의해 모든 오염 유기체가 사멸되었다 (Table 1).

다. 장기안전저장시험

감마선조사 최적조건시험에서 확립된 결과를 바탕으로 각 농산물중 최적시료를 선별하여 이들을 저온 (4℃) 및 상온에서 각각 저장하면서 장기안전저장시험을 실시하였다.

발아농산물인 감자의 경우 비조사 시료는 상온에서 저장 1개월후 58㎜, 저장 3개월후 483㎜로 저장기간의 경과에 따라 급격히 발아가 진행되었으며, 저온 저장에 있어서도 저장 5개월후 8㎜로 상온에 비해 느리기는 하나 여전히 발아가 진행됨을 알 수 있었다. 한편, 0.15 kGy이상의 선량으로 조

사된 시료는 저온뿐 아니라 상온에서도 전혀 발아가 진행되지 않았다(Fig. 1). 마늘의 경우 비조사 시료는 감자에 비해 발아율이 다소 낮았으나 저장기간중 저온, 상온 모두 발아가 진행되어, 저온저장시 5개월 후 31㎜의 발아가 진행되었으나, 실온 저장시에는 3개월만에 30 ㎜의 발아를 나타내었다. 0.15 kGy이상의 조사시료는 역시 저온뿐 아니라 상온에서도 전혀 발아가 진행되지 않았다(Fig. 2).

살균/살충을 목적으로한 옥수수, 대두, 당귀 및 알로에의 저장시험에 있어 비조사 시료는 초기 오염도와 유사한 수준으로 계속 오염유기체가 검출되었으며, 앞에서 설정한 위생화 살균선량으로 조사된 시료는 저장 5개월까지 전혀 오염유기체가 검출되지 않았다 (Table 2).

저장 5개월까지 비조사 감자의 경우 저온 및 상온에서 각각 10.68%, 26.42%의 중량감소를 나타낸 반면, 방사선조사 감자는 저온 및 상온에서 각각 평균 7.51%, 14.48%의 중량감소를 나타내었다(Fig. 3). 마늘의 경우에는 저온저장의 경우 방사선조사 마늘과 비조사 마늘간에 중량감소율이 37% 전후로 거의 유사한 수준을 나타내었으며, 상온저장에서는 비조사 마늘의 중량감소율이 크게 나타났다(Fig. 4). 따라서 방사선조사는 발아 및 호흡에 의한 증산작용을 감소시킴으로서 중량감소를 방지하는데 효과적임을 알 수 있었다.

부패율에 있어, 감자의 경우 비조사 감자는 심하게 수축되어 상품가치를 상실하였으며, 이러한 수축현상을 제외하고는 저장 5 개월까지 비조사 및 감마선조사 시료 모두 20%의 부패율을 나타내었다. 마늘에 있어서는 방사선조사 효과가 뚜렷하여 비조사 마늘은 20% 전후, 조사 마늘은 12%정도의 부패율을 나타내었다. 따라서 감마선 조사는 수축현상 방지(감자) 및 부패 방지(마늘)에 효과적임을 알 수 있었다.

적정산도의 경우 방사선조사 및 비조사 시료 모두 저장기간에 따라 증가

하는 경향을 나타내었고, 증가정도는 실온 저장의 경우가 현저하였다. 감자, 마늘 모두 0.2 kGy까지는 비조사시료와 비슷한 수준을 나타내었으나, 0.25 kGy에서는 다소 높은 산도를 나타내었다(Table 3).

환원당 함량에 있어서는 비조사 감자의 경우 저장 1 개월부터 높은 함량을 나타내었으며, 발아가 계속 진행됨에 따라 다시 감소하는 경향을 나타내었다. 한편, 방사선조사 시료는 저장기간에 따라 큰 차이를 나타내지 않았다(Fig. 5).

수용성 고형분에 있어 마늘의 경우, 방사선조사 및 비조사 시료 모두 저장 초기에 증가하다가 서서히 감소하는 추세를 나타냈으며, 감자는 저온 저장의 경우 마늘과 유사한 경향을 나타내었으나, 실온저장의 경우에는 저장기간과 더불어 계속 증가하였다. 감마선 조사에 따른 영향은 거의 나타나지 않았다(Table 4).

갈변도는 마늘에 있어 감마선 조사에 의해 현저한 감소를 나타냈으며, 저장기간이 경과하여도 동일한 효과를 계속 유지하였다. 감자는 감마선조사에 의해 초기 갈변도가 증가하였으나, 저장기간의 경과에 따라 감소하여 실온 5개월 저장 후에는 오히려 비조사 감자의 갈변도가 증가하였다(Table 5).

비타민 C는 감자, 마늘 모두 저장기간에 따라 큰 폭으로 감소하는 경향을 나타내었고 감마선 조사에 따른 영향은 나타나지 않았다(Table 6).

이상의 결과를 종합해보면, 감자, 마늘의 경우 발아억제와 장기안전저장을 위해 0.15 kGy 에서 0.20 kGy 범위의 감마선을 조사하는 것이 가장 효과적인 것으로 판명되었다.

2. 방사선조사 농산물의 이화학적 품질평가

가. 일반성분

감마선 조사 및 비조사 옥수수의 일반성분을 정량한 결과는 Table 7과 같다. 메 옥수수와 찰 옥수수의 수분함량은 각각 18.92%와 13.78% 였고, 탄수화물 65.93%와 70.48%, 조단백질 9.06%와 9.94%, 조지방 4.84%와 4.60%, 조회분 1.25% 및 1.20% 였다. 감마선 조사에 따른 일반성분의 변화는 나타나지 않았다.

나. Amylograph에 의한 호화 특성

Table 8은 감마선 조사선량에 따른 메옥수수 전분(8%)과 찰옥수수 전분(5%)의 amylograph 특성을 나타낸 것으로 조사선량에 따라 전분의 물리적 특성이 달라짐을 알 수 있다. 메옥수수 전분의 경우, 조사선량이 증가함에 따라 호화개시 온도와 peak시 온도가 점차로 낮아졌으며, 최고점도는 물론, 95℃에서 30분간 유지시킨 후의 점도 및 50℃점도도 크게 감소하였다. 특히 10kGy의 경우 비조사전분에 비해 최고점도가 2배 이상 감소했으며, 95℃ 30분 후의 점도도 7배이상 감소하였다. 찰옥수수 전분의 호화특성을 살펴보면, 조사선량에 따라 호화개시온도는 거의 변화가 없었으나, 최고점도, 95℃ 30점도, 50℃냉각점도는 크게 감소하였으며, 감소율을 메옥수수의 경우보다 더욱 현저하였다. 즉, 10 kGy의 감마선조사로 peak 점도, 95℃ 30분 점도, 50℃냉각점도가 비조사군에 비해 각각 9.3배, 20배, 16.8배 씩 감소하였다. 따라서 감마선 조사는 전분의 물성을 변화시킬 수 있으므로 이를 고려해야 한다.

다. 단백질의 전기영동상

대두단백질의 SDS-PAGE 전기영동상의 결과는 Fig. 6과 같다. 모든 시험군에서 2-mercapto-ethanol (2-ME)존재시 2개의 주요 단백질 분리대를 보였다. 그 중 하나는 7S globulin으로 α-, α‘- 와 β-subunits의 3개의 소

분리대를 보였고, 다른 하나는 11S globulin으로 acidic과 basic subunits의 2개의 소분리대를 보였다. 2-ME 부재시의 SDS-PAGE 전기영동상은 분자량이 큰 intermediary subunits (IS)와 IS 분리대 양쪽에 3개의 소분리대 즉, β-subunit 및 α-와 α'-subunits를 나타내었다. 비조사군 및 감마선 조사군간의 SDS-PAGE상의 단백질 pattern은 차이가 없었다.

7S와 11S globulin로 분리, 정제한 시료에 대해 2-ME 부재 조건에서 SDS-PAGE를 수행하였다 (Fig. 7). 대두단백질의 가장 중요한 구성성분인 11S는 2-ME 존재시 적어도 4개의 acidic subunits (AS 1, 2 , 3, 4)와 3개의 basic subunits (BS 1, 2, 3)을 나타내었다. 또한 대두단백질의 주요성분중의 하나인 7S도 모든 시료에서 분명한 3개의 소분리대 즉, α-, α'-와 β-subunits를 보였다. 따라서, 비조사군 및 감마선 조사군간의 SDS-PAGE상의 단백질 pattern은 역시 차이가 없었다.

라. DSC 변화

단백질의 변성온도는 단백질의 안정성과 관련이 깊으므로, 비조사 및 감마선 조사 대두단백질 (10%)의 DSC 측정을 수행하였다 (Table 9). 모든 시료에서 7S globulin은 79℃ 부근에서, 11S globulin은 95℃ 부근에서 열변성이 시작되었다. 따라서, 열변성온도(TD)를 통해 감마선 조사는 대두 단백질의 안정성에 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 한편, 변성 enthalpy (△H)의 경우에는 조사군이 비조사군에 비해 다소 낮은 값을 나타내었다. 이는 대두의 감마선 조사가 대두단백질의 열 안정성에는 큰 영향을 주지 않았으나 (유사한 Td값), 고선량에서는 열 변성되기 쉬운 형태로 단백질의 구조가 다소 변형되었음을 시사하였다(△H의 감소).

마. Fluorescence spectra 변화

Fluorescence spectra에 있어 비조사군이나 감마선 조사군의 7S와 11S 구성성분 모두 최대파장이 각각 334-338 nm 와 333-335 nm 로 차이가 없었다 (Table 10). 또한 intensity에 있어서도 조사군 및 비조사군 모두 유사한 수치를 나타내었다. 따라서 10 kGy까지의 감마선조사는 대두단백질의 3차 구조에 아무런 영향을 나타내지 않음을 알 수 있다.

바. 대두단백질의 아미노산 조성

대두의 아미노산 조성을 살펴보면 산성 아미노산인 glutamic acid가 8.2-8.7%로 가장 높았으며, 다음으로 aspartic acid가 4.4-4.7% 였고, proline, leucine, serine, arginine의 순으로 높은 함량을 나타내었다. 반면 함황아미노산인 methionine과 cysteine은 각각 0.058-0.342% 및 0.291-0.530%로 낮은 함량을 나타내었다. 대두의 아미노산 함량에 대한 감마선 조사의 영향은 함황 아미노산인 methionine과 염기성 아미노산인 Histidine이 조사선량의 증가와 함께 유의적인 감소를 나타낸 반면, 방향족 아미노산인 Tyrosine은 증가하는 경향을 나타내었다. 그 밖의 아미노산은 감마선조사에 의해 변화가 없었다 (Table 11, 12).

사. 대두유의 이화학적 품질평가

감마선 조사선량에 따른 대두 유지의 이화학적 특성변화를 검토한 결과는 Table 13과 같다. 먼저 산가의 경우 비조사군이나 감마선 조사군 모두 0.2-0.3 범위로 감마선 조사에 따른 산가의 변화는 거의 없었다. 과산화물가에서는 비조사군과 5kGy 조사군까지는 0.6meq/kg oil이었고, 10kGy에서는 0.8 meq/kg oil로 약간의 증가만 나타내어 식물성유 특히, 대두의 경우 감마선 조사에 의한 지방선분의 산패가 거의 일어나지 않았음을 알 수 있었다.

유전항수를 측정한 결과, 비조사군의 경우 1.76이던 것이 10kGy조사로서 1.48로 감소하였고. 점도도 10kGy조사로써 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 유도기간을 측정한 결과, 비조사군이 5.21시간, 2.5kGy 조사군이 8.15시간, 5kGy 조사군이 11.9시간, 10kGy 조사군이 9.6시간으로 감마선 조사에 의해 유도기간의 증가를 보였으며 특히, 5kGy 조사군에서는 비조사군에 비해 약 2배 정도 유도기간이 연장됨을 보여, 유치추출후 저장, 유통동안 유지의 자동산화의 지연효과가 기대된다. 공액 이중산가의 경우 비조사군이나 5kGy 조사군까지는 0.10-0.11범위로 차이가 없었고, 10kGy조사군에서는 0.15로 다소 증가된 값을 나타내었다.

이러한 결과들로 볼 때 10kGy까지 조사된 대두로부터 추출된 대두유는 이화학적 품질특성에서 비조사군과 유의적인 차이를 나타내지 않았으며, 특히 대두유 산패과정의 유도기간을 연장시켜 대두의 저장안전성을 향상시킬 수 있음을 시사하였다.

아. 지방산의 조성

감마선 조사된 대두에서 추출된 총지방질의 지방산 조성은 Table 14와 같다. 주요 구성 지방산으로는 linoleic (18:2)이 52.53 - 52.83%로 가장 많았으며, oleic (18:1)이 약 20.69 - 21.01%, palmitic (16:0)이 9.63 - 10.08%, linolenic (18:3)이 9.62 - 9.96%의 순이었다.

감마선 조사된 대두의 지방산조성 변화는 10 kGy의 조사선량에서는 유의적인 변화가 없었다.

자. Trans 지방산의 생성

식품내 불포화지방산은 주로 cis형으로 존재하나 경화과정에서 불포화지방산의 이중결합이 cis형에서 trans 형으로 입체이성화가 일어나며, 이는

유지의 품질평가 및 생리적 기능면에서 주요한 의의를 지니고 있다.

대두유의 trans 지방산의 생성율을 보면 비조사군이나 조사군 모두 C18:0가 1.49 - 1.58%, C18:1은 6.5 - 6.9%, C18:2는 10kGy 조사군만이 0.15%정도로 미량 생성되었고, C18:3은 비조사군이나 조사군 모두 trans지방산은 생성되지 않았다 (Table 14).

3.조사식품의 안전성 평가 연구

가. 조사식품의 독성학적 안전성시험

예비독성 결과, 감자와 마늘의 경우는 25mg/plate를 최고농도로 설정하여 본시험을 수행하였고, 당귀와 대두에는 20mg/plate를 최고농도로 설정하여 본시험을 수행하였다. 이는 용매인 DMSO에 현탁하여 본시험을 수행하는데 있어서 적용 가능한 최고농도로써, 그 이상의 농도에서는 현탁액의 점도로 인한 조작상의 문제가 있었고, 또한 plate상에서 복귀변이집락과 구별이 어렵게 되는 문제 등이 발생하여 이를 배제시킬 수 있는 농도로써 이상과 같은 농도를 본시험에 적용하였다. 본 시험의 결과, 감자의 경우에는 γ선을 조사한 것과 조사하지 않은 두 군에서 시험적용농도인 0.3 - 20mg/plate의 범위에서 시험균주 모두에서 유의한 복귀변이집락수의 증가를 보이지 않았으며, 두 군 모두 용매대조군과 비교해서도 약간의 복귀변이집락수의 감소 외에는 어떠한 유의성을 갖는 차이를 보이지 않았다. 이와 같은 약간의 복귀변이집락수의 감소는 현탁입자에 의한 복귀변이집락 형성의 저해라고 생각되어진다(Table 15). 마늘의 경우에는γ선을 조사한 것과 조사하지 않은 두 군을 비교해 보면 γ선을 조사한 군에서 TA98에서는 25, 8.3mg/plate에서, TA100에서는 25mg/plate에서, TA1537에서는 25, 8.3, 2.8, 0.9mg/plate에서 세포독성을 나타내었다. 그 외의 시험균주 및 농도에서는 유의한 복귀

변이집락수의 증가를 보이지 않았다. 한편 γ선을 조사하지 않은 군에서는 시험균주 모두에서 유의한 복귀변이집락수의 증가를 보이지 않았다(Table 16). 당귀 및 알로에는 γ선을 조사한 군에서 용매대조군과 비교하여 유의한 복귀변이집락수의 증가를 보이지 않았다. 한편 γ선을 조사하지 않은 군은 시험물질이 미생물로 오염되어본 시험을 수행할 수 없었다(Table 17, 18). 한편, 대사활성계를 도입한 즉, S-9 mixture를 가한 상태에서 γ선을 조사한 감자, 마늘, 당귀, 대두 및 γ선을 조사하지 않은 이들 시험물질에 대해 *S. typhimurium*을 이용한 복귀돌연변이시험을 수행한 결과 시험한 모든 검체는 각각의 시험적용농도에서 복귀변이를 유발하지 않으므로 γ선 조사에 의한 돌연변이원성은 관찰되지 않았다(Table 15, 16, 17, 18). 다만 γ선을 조사한 마늘의 경우 시험한 최고농도에서 TA98 균주에 세포독성을 나타내었으며, 이는 γ선 조사에 의한 마늘의 성분변화에 기인하는 것으로 사료된다. γ선을 조사한 당귀도 최고농도에서 TA98 균주에 세포독성을 보였으나 γ선을 조사하지 않은 검체가 미생물에 오염되어 시험이 불가능하였으므로 이 결과가 γ선 조사에 의한 것인지는 규명할 수 없었다.

나. 방사선조사 농산물의 유전학적 안전성시험

방사선조사 감자, 당귀 및 알로에의 본 시험결과를 Table 19과 20에 나타내었다. 전 시험용량단계에 걸쳐 소핵을 가진 다염성적혈구의 출현율이 음성대조군과 유의한 차이를 나타내지 않아 본 시험물질이 설치류를 이용한 소핵시험에서 소핵을 유발하지 않음을 나타내었다. 따라서, γ선 조사로 처리된 감자(0.25 kGy), 당귀(12 kGy) 및 알로에(10 kGy)는 시험적용 용량인 1250 - 2500㎎/㎏의 범위에서 설치류를 이용한 소핵시험에서 조사하지 않은 감자에 비해 소핵발현 빈도가 증가하지 않아, γ선을 조사한 감자에 의한 소핵 형성은 유발되지 않음을 확인하였다.

제 4 절 참고문헌

1. Baldelli B et al.(1971) Effects of gamma radiation on a strain of Toxoplasma isolated from dog. Parasitologia, 13:105(in Italian)
2. Bougle D, Stahl V (1993) Éradication de bactéries pathogènes (Listeria monocytogenes et Salmonella) de Camembert au lait cru par rayonnements ionisants. In:Cost-benefit aspects of food irradiation. Vienna, International Atomic Energy Agency.
3. Brake RJ et al.(1985) Destruction of Trichinella spiralis by low-dose irradiation of infected pork. Journal of food safety, 7:127-143.
4. CAST (1989) Ionizing energy in food processing and pest control.Ⅱ. Applications. Ames, IA, Council for Agricultural Science and Technology (Report No.1159).
5. Clarke ID (1971) effects of radiation treatments. In:Hulme AC, ed. The biochemistry of fruits and their products, Vol.2, New York, Academic Press.
6. Diehl JF (1990) Safety of irradiated food. New York, Marcel Dekker.
7. Dubey JP et al (1985) Effect of irradiation on the niability of Toxoplasma gondii cysts in tissues of mice and pigs. Journal of the American Veterinary Medical Association, 187:304.
8. Farkas J (1987) Decontamination, including parasite control, of dried, chilled, and frozen foods by irradiation. Acta alimentaria, 16:351-384.

9. Food and Drug Administration (1990) Irradiation of poultry. Federal register, 55:18538.
10. Goresline HE et al.(1964) Tentative classification of food irradiation processes with microbiological objectives. Nature, 204:237-238.
11. IAEA (1973) Radiation preservation of food. Proceedings of a symposium, Bombay, India, 1972. Vienna, International Atomic Energy Agency (Publication No.STI/PUB/470).
12. Kampelmacher EH (1981) Prospects of eliminating pathogens by the process of food irradiation. In: Combination processes in food irradiation. Proceedings of a symposium held in Colombo, November 1980. Vienna, International Atomic Energy Agency, pp.265-289.
13. Morgan BH, Siu RGH (1957) Action ofionizing radiation in individual foods. In: Bailey SD et al., eds. Radiation preservation of food. Washington, DC, US Government Printing Office, pp.268-294.
14. Mossel DAA, Stegeman H (1985) Irradiation: an effective mode of processing food for safety. In: Food irradiation processing. Proceedings of a symposium held in Washington,DC, 1985. Vienna, Iternational Atomic Energy Agency, p.251.
15. Ouwerkerk T (1981) Salmonella control in poultry through the use of gamma irradiation. In: Combination processes in food irradiation. Proceedings of a symposium held in Colombo, November 1980. Vienna, International Atomic Energy Agency, pp.335-345.
16. Prachasitthisakdi Y et al.(1984) Lethality and flora shift of the

psychrotropic and mesophilic bacterial association of frozen shrimps and chicken after radicidation. In: Kiss I, Deak T, Incze K, eds. Micribial associations and interactions in food. Budapest, Publishing House of the Hungarian Academy of Science, pp. 417-428.

17. Roberts D (1990) Sources of infection:food. Lancet, 336:859-861.
18. Urbain WM (1973) The low-dose radiation preservation of retail cuts of meat. In: Radiation preservation of food. Vienna, International Atomic Energy Agency, pp.505-521 (Publication No,STI/PUB/317).
19. Urbain WM (1978) Food irradiation. Advances in food research, 24:155-227.
20. Urbain WM (1986) Food irradiation. New York, Academic Press.
21. Verster A et al.(1977) The eradication of tapeworms in pork and beef carcasses by irradiation. Radiation physics and chemistry, 9:769-773.
22. Wagner J, Sillard M (1989) Pasteurizing with electrons. Food engineering international, 14(2): 38-41.
23. WHO (1987) Task Force Meeting on the use of irradiation to ensure hygienic quality of food, Vienna, Austria, 1986. Geneva, World Health Organization (unpublished document WHO/EHE/FOS/87.2; available on request from Food Safety, World Health Organization, 1211 Geneva 27, Switzerland).
24. WHO (1988) Food irradiation. A technique for preserving and improving the safety of food. Geneva, World Health Organization.

25. WHO (1992) WHO Commission on Health and environment : report of the Panel on Food and Agriculture. Geneva, World Health Organization (unpublished document, WHO/EHE/92.2).

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

Microorganisms	Irradiation dose (kGy)							
	0	1	2	3	5	6	7	10
Glutinous corn								
Total bacteria	6.3x103	7.5x102	3.5x102	nd	nd	nd	nd	nd
Yeast & mold	1.5x106	6.0x105	5.8x104	5.6x103	nd	nd	nd	nd
Coliforms	4.8x103	8.0x102	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Non-glutinous corn								
Total bacteria	4.0x102	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Yeast & mold	1.2x103	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Coliforms	1.4x102	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Angelica gigas Nakai								
Total bacteria	4.0x106	5.6x105	6.4x104	5.8x103	8.4x102	2.5x102	nd	nd
Yeast & mold	5.0x104	4.8x103	2.8x102	nd	nd	nd	nd	nd
Coliforms	1.0x106	2.5x105	5.7x104	3.3x103	5.4x102	nd	nd	nd
Aloe								
Total bacteria	1.0x104	7.3x103	8.4x102	1.5x102	nd	nd	nd	nd
Yeast & mold	2.0x102	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Coliforms	5.0x102	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Soybean								
Total bacteria	3.8x103	4.5x102	3.1x102	nd	nd	nd	nd	nd
Yeast & mold	1.1x106	4.6x105	3.8x104	2.6x103	nd	nd	nd	nd
Coliforms	2.3x103	2.8x102	nd	nd	nd	nd	nd	nd

nd: not detected.

Table 2. Effect of gamma irradiation on the growth of microorganisms during storage at room temperature (unit: CFU/g)

sample / microorganism	storage period (month)					
	0	1	2	3	4	5
Glutinous corn(0 kGy)						
Total bacteria	6.3×103	7.5×103	3.4×103	4.9×103	4.0×103	4.0×103
Yeast & mold	1.5×106	1.7×106	2.0×106	1.8×106	1.6×106	1.5×106
Coliforms	4.8×103	4.1×103	4.3×103	3.8×103	4.0×103	4.1×103
Glutinous corn(5 kGy)						
Total bacteria	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Yeast & mold	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Coliforms	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Angelica gigs Nakai (0 kGy)						
Total bacteria	4.0×106	4.6×106	3.4×106	4.9×106	4.5×106	3.8×106
Yeast & mold	5.0×104	2.7×104	5.0×104	4.7×104	4.0×104	4.9×104
Coliforms	1.0×106	2.1×106	3.0×106	2.8×106	1.2×106	2.0×106
Angelica gigs Nakai (6 kGy)						
Total bacteria	2.5×102	3.2×102	1.0×102	8.0×101	1.2×102	1.2×102
Yeast & mold	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Coliforms	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Angelica gigs Nakai (7 kGy)						
Total bacteria	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Yeast & mold	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Coliforms	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Aloe (0 kGy)						
Total bacteria	1.0×104	3.5×104	3.0×104	3.1×104	2.5×104	2.0×104
Yeast & mold	2.0×102	3.0×102	2.0×102	1.0×102	2.1×102	.5×102
Coliforms	5.0×102	2.7×102	4.8×102	3.7×102	4.8×102	4.5×102
Aloe (3 kGy)						
Total bacteria	1.5×102	1.2×102	1.0×102	1.0×102	1.5×102	1.0×102
Yeast & mold	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Coliforms	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Aloe (5 kGy)						
Total bacteria	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Yeast & mold	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Coliforms	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Soybean (0 kGy)						
Total bacteria	3.8×103	4.5×103	4.3×103	4.0×103	4.1×103	3.9×103
Yeast & mold	1.1×106	1.5×106	2.1×106	1.9×106	1.9×106	1.7×106
Coliforms	2.3×103	2.1×103	2.3×103	2.3×103	1.8×103	1.8×103
Soybean (3 kGy)						
Total bacteria	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Yeast & mold	2.6×103	3.4×103	3.0×103	3.0×103	2.8×103	2.6×103
Coliforms	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Soybean (5 kGy)						
Total bacteria	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Yeast & mold	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Coliforms	nd	nd	nd	nd	nd	nd

Table 3. Effect of γ-irradiation dose levels on the acidity of potato and garlic during storage at cooling and room temperatures

(0.05N NaOH ml)

sample	storage condition	irradiation dose (kGy)	storage period (month)				
			0	1	2	3	5
potato	cooling temperature	0	1.70	1.97	2.10	2.10	2.10
		0.15	1.65	2.38	2.30	2.05	2.00
		0.20	1.70	2.20	2.20	2.10	1.95
		0.25	2.10	2.15	2.21	2.25	2.05
	room temperature	0	1.70	1.74	1.80	2.00	3.30
		0.15	1.65	1.45	1.50	2.20	3.24
		0.20	1.70	1.35	1.45	2.10	3.15
		0.25	2.10	1.75	1.85	2.30	3.85
garlic	cooling temperature	0	5.15	5.20	5.20	6.00	6.70
		0.15	5.20	5.30	5.35	6.20	6.72
		0.20	5.25	5.40	5.90	6.75	6.80
		0.25	5.35	5.70	6.10	7.35	7.60
	room temperature	0	5.15	5.70	5.78	5.85	-
		0.15	5.20	5.75	5.80	5.90	8.00
		0.20	5.25	5.90	6.30	6.50	8.20
		0.25	5.35	5.75	6.50	6.80	9.00

Table 4. Effect of γ-irradiation dose levels on the water soluble solids of potato and garlic during storage at cooling and room temperatures

(g)

sample	storage condition	irradiation dose (kGy)	storage period (month)				
			0	1	2	3	5
potato	cooling temperature	0	0.033	0.049	0.064	0.048	0.047
		0.15	0.030	0.052	0.052	0.046	0.051
		0.20	0.032	0.051	0.057	0.047	0.052
		0.25	0.032	0.051	0.058	0.049	0.047
	room temperature	0	0.033	0.040	0.039	0.048	0.070
		0.15	0.030	0.037	0.040	0.049	0.075
		0.20	0.032	0.039	0.038	0.047	0.079
		0.25	0.032	0.035	0.040	0.050	0.070
garlic	cooling temperature	0	0.199	0.342	0.320	0.302	0.283
		0.15	0.205	0.325	0.309	0.302	0.284
		0.20	0.200	0.324	0.294	0.312	0.283
		0.25	0.224	0.323	0.307	0.316	0.289
	room temperature	0	0.199	0.334	0.353	0.305	-
		0.15	0.205	0.315	0.324	0.297	0.283
		0.20	0.200	0.302	0.301	0.296	0.281
		0.25	0.224	0.300	0.305	0.291	0.290

Table 5. Effect of γ-irradiation dose levels on the browning pigments of potato and garlic during storage at cooling and room temperatures

(O.D. at 240 nm)

sample	storage condition	irradiation dose (kGy)	storage period (month)				
			0	1	2	3	5
potato	cooling temperature	0	0.240	0.242	0.248	0.220	0.211
		0.15	0.310	0.328	0.320	0.315	0.274
		0.20	0.290	0.292	0.290	0.285	0.190
		0.25	0.250	0.251	0.249	0.208	0.180
	room temperature	0	0.240	0.232	0.229	0.227	0.193
		0.15	0.310	0.260	0.230	0.220	0.140
		0.20	0.290	0.250	0.200	0.192	0.122
		0.25	0.250	0.230	0.220	0.205	0.120
garlic	cooling temperature	0	0.620	0.640	0.689	0.694	0.720
		0.15	0.500	0.510	0.520	0.528	0.546
		0.20	0.510	0.522	0.531	0.542	0.560
		0.25	0.520	0.533	0.543	0.563	0.582
	room temperature	0	0.620	0.782	0.982	1.250	-
		0.15	0.500	0.620	0.732	0.879	0.898
		0.20	0.510	0.645	0.812	0.930	0.949
		0.25	0.520	0.675	0.864	0.944	1.044

Table 6. Effect of γ-irradiation dose levels on the vitamin C content of potato and garlic during storage at cooling and room temperatures

(mg/100g)

sample	storage condition	irradiation dose (kGy)	storage period (month)				
			0	1	2	3	5
potato	cooling temperature	0	11.92	10.27	8.74	7.66	6.39
		0.15	10.88	9.56	8.21	7.69	6.48
		0.20	10.91	9.35	8.32	7.74	6.68
		0.25	10.39	9.21	8.18	7.68	6.51
	room temperature	0	11.92	9.12	8.38	7.49	7.10
		0.15	10.88	9.15	8.65	7.56	6.80
		0.20	10.91	9.19	8.84	7.14	6.21
		0.25	10.39	9.02	8.56	7.36	6.56
garlic	cooling temperature	0	7.89	7.28	6.74	5.66	4.28
		0.15	6.88	6.51	6.22	5.68	4.37
		0.20	6.57	6.37	6.32	5.72	4.59
		0.25	6.39	6.24	6.06	5.68	4.47
	room temperature	0	7.89	7.12	6.57	4.89	3.42
		0.15	6.88	6.19	5.65	4.46	3.34
		0.20	6.57	6.02	5.21	4.32	3.21
		0.25	6.39	5.94	5.56	4.73	3.56

Table 7. Proximate composition of nonirradiated and irradiated corns

Components (%)	Non-glutinous corns			Glutinous corns		
	Control	5 kGy	10 kGy	Control	5 kGy	10 kGy
Moisture	18.92	19.23	19.12	13.78	13.66	13.66
Carbohydrate	65.93	65.49	65.83	70.48	70.52	70.65
Protein	9.06	9.13	9.06	9.94	9.86	9.87
Fat	4.84	4.90	4.69	4.60	4.61	4.62
Ash	1.25	1.25	1.30	1.20	1.35	1.20

Table 8. Amylograph indices on nonglutinous and glutinous corn starches isolated from nonirradiated and irradiated corn grains

Irradiation dose (kGy)	Initial pasting Temperature(℃)a	Peak Temperature (℃)	Peak height (B.U.)	30 min height (B.U.)b	Viscosity at 50℃ (B.U.)
Nonglutinous Corn (8%, dry basis)					
0	71.5	88.5	890	490	1,085
0.5	71.5	88.5	880	480	1,000
1.0	71.0	87.5	870	405	950
2.0	70.5	87.0	840	380	880
3.0	70.5	86.5	775	305	720
4.0	70.5	86.0	730	245	585
5.0	70.0	85.5	600	175	440
10.0	69.0	84.0	390	65	170
Glutinous corn (5%, dry basis)					
0	69.0	73.5	1,020	300	420
0.5	68.5	73.5	910	240	325
1.0	69.0	74.5	830	225	310
1.5	69.0	75.5	710	195	265
2.0	69.0	75.5	640	180	235
2.5	69.5	75.5	535	165	205
5.0	69.5	75.5	290	85	115
10.0	69.0	75.5	110	15	25

a Temperature at which the initial rise in the curve reached 10 B.U.
b Peak height after 30min holding at 95 ℃.

Table 9. Effect of gamma-irradiation on thermal transition characteristics of soybean proteins

Irradiation dose (kGy)	Td (℃)		△H (mJ/mg protein)	
	7S	11S	7S	11S
0	79.3±0.06	94.4±0.13	0.4±0.06	3.9±0.08
5	79.7±0.14	95.2±0.13	0.3±0.06	3.4±0.08
10	79.0±0.06	95.1±0.12	0.3±0.08	3.4±0.06

Td (℃) : denaturation temperature, △H : enthalpy
Each value is the average of triplicate experiments.
a Mean ± standard error (n=3).
b Significantly different from the nonirradiated control ($p<0.01$).

Table 10. Effect of gamma-irradiation on fluorescence spectra characteristics of soybean proteins

Irradiation dose (kGy)	Max. wavelength (nm)		Intensity	
	7S	11S	7S	11S
0	334.8±0.10	333.8±0.06	89.1±0.13	188.6±0.14
5	338.3±0.13	334.1±0.08	89.2±0.13	189.3±0.13
10	336.2±0.08	335.2±0.14	89.8±0.14	187.4±0.19

Each value is the average of triplicate experiments.
a Mean ± standard error (n=3).
b Significantly different from the nonirradiated control ($p<0.05$).

Table.11. Amino acid composition in the absence of 2-mercaptoethanol of proteins extracted from nonirradiated and irradiated soybeans

Amino acids	Irradiation dose (kGy)		
	0	5	10
Cm-Cys	0.495	0.484	0.530
Asp	12.607	12.531	12.579
Thr	4.433	4.435	4.410
Ser	6.914	6.851	6.917
Glu	19.829	19.495	19.578
Gly	7.411	7.372	7.336
Ala	6.486	6.551	6.375
Val	5.782	5.720	5.664
Met	0.860	0.823	0.799
Ile	5.144	5.094	5.097
Leu	8.751	8.734	8.821
Tyr	1.796	2.478	2.794
Phe	4.595	4.630	4.641
Lys	5.959	5.943	5.710
His	2.403	2.374	2.340
Arg	5.902	5.865	5.782
Pro	0.634	0.620	0.626
Total	100.000	100.000	100.000

Table. 12. Amino acid composition in the presence of 2-mercaptoethanol of proteins extracted from nonirradiated and irradiated soybeans

Amino acids	Irradiation dose (kGy)		
	0	5	10
Cm-Cys	1.137	1.129	1.156
Asp	12.355	12.361	12.487
Thr	4.437	4.443	4.427
Ser	6.699	6.752	6.722
Glu	19.198	19.139	19.202
Gly	7.247	7.360	7.203
Ala	6.466	6.542	6.468
Val	5.918	5.742	5.871
Met	0.978	0.960	0.946
Ile	5.239	5.090	5.219
Leu	8.682	8.642	8.709
Tyr	2.304	2.536	2.505
Phe	4.686	4.746	4.678
Lys	5.880	5.913	5.787
His	2.288	2.177	2.170
Arg	5.865	5.853	5.830
Pro	0.620	0.614	0.621
Total	100.000	100.000	100.000

Table 13. Physicochemical properties of the oils extracted from nonirradiated and irradiated soybeans1

Parameter	Irradiation dose (kGy)			
	0	2.5	5	10
Acid value	0.2±0.1	0.2±0.1	0.2±0.1	0.3±0.1
Peroxide value(Meq/kg)	0.6±0.1	0.5±0.1	0.6±0.1	0.7±0.1
Dielectric constant	1.76	1.92	1.90	1.68
Viscosity (25℃)	48.10	50.20	51.10	47.60
Induction period (hr)	5.21a	8.15b	11.90cd	9.06bc
Conjugated diene value(%)	0.10	0.10	0.11	0.15

1Samples were analyzed immediately after γ-irradiation and each value was the average of triplicate determinations.
Values with same letter within each row are not significantly different at $p<0.05$.

Table 14. Fatty acid compositions of oil extracted from γ-irradiated soybeans1

(unit: relative weight %)

Fatty acid		Irradiation dose (kGy)			
		0	2.5	5	10
C14:0		0.06	0.07	0.07	0.07
C16:0		9.63	10.01	10.08	10.17
C16:1		0.11	0.12	0.12	0.12
C17:0		0.08	0.07	0.08	0.08
C18:0	cis	3.86	3.96	3.89	3.72
	trans	0.06	0.06	0.06	0.06
	t-ratio2	1.53	1.49	1.52	1.58
C18:1	cis	20.69	21.01	20.91	20.81
	trans	1.51	1.54	1.56	1.51
	t-ratio	6.80	6.83	6.94	6.77
C18:2	cis	52.83	52.53	52.71	52.62
	trans	-	-	-	0.08
	t-ratio	-	-	-	0.15
C18:3	cis	9.96	9.64	9.62	9.87
	trans	-	-	-	-
	t-ratio	-	-	-	-
C20:0		0.37	0.36	0.34	0.30
C20:1		0.20	0.21	0.20	0.19
C22:0		0.49	0.47	0.45	0.41
C24:0		0.13	0.13	-	-

1Fatty acids were analyzed immediately after γ-irradiation and each value was the average of triplicate determinations.

2t-ratio (trans-fatty acid ratio) (%)= $\frac{\text{trans}}{\text{cis + trans}} \times 100$

Table 15. Mutagenic effects of potato irradiated with gamma ray at a dose of 0.25 kGy

	Conc (mg/plate)	S9 mix	γ-irradiation	TA98	TA100	TA1535	TA1537
potato	25	-	-	26∓6	110∓17	25∓2	9∓1
	8.3	-	-	26∓1	120∓14	21∓7	15∓9
	2.8	-	-	27∓3	119∓11	26∓2	15∓3
	0.9	-	-	24∓61	33∓11	23∓4	14∓7
	0.3	-	-	23∓31	21∓4	17∓1	12∓3
	0	-	-	38∓31	75∓9	25∓1	11∓2
2-NF	0.01	-	*	2647∓408			
MNNG	0.01	-	*		3751∓260		
9-AA	0.08	-	*				586∓21
SAZ	0.0005	-	*			128∓10	
	25	-	+	52∓72	16∓10	26∓1	30∓4
	8.3	-	+	43∓6	200∓22	22∓1	32∓12
	2.8	-	+	36∓4	215∓18	21∓13	32∓3
	0.9	-	+	42∓8	215∓23	16∓7	32∓3
	0.3	-	+	35∓2	193∓9	16∓6	29∓9
	0	-	+	37∓1	185∓6	40∓1	28∓6
	25	+	+	39∓1	112∓5	33∓4	23∓8
	8.3	+	+	36∓13	123∓14	24∓8	21∓4
	2.8	+	+	29∓13	99∓6	24∓4	20∓3
	0.9	+	+	38∓10	110∓18	25∓2	19∓2
	0.3	+	+	33∓6	101∓16	25∓3	20∓6
	0	+	+	45∓3	115∓19	27∓1	19∓2
2-AF	0.01	+	*	1314∓58	1118∓84	95∓17	
2AA	0.002	+	+				107∓6
	25	+	-	39∓3	138∓14	22∓4	16∓5
	8.3	+	-	41∓7	138∓6	22∓4	10∓2
	2.8	+	-	32∓3	120∓11	19∓3	13∓3
	0.9	+	-	35∓11	120∓10	20∓3	13∓5
	0.3	+	-	39∓3	121∓11	16∓1	8∓2
	0	+	-	39∓8	135∓31	16∓3	19∓2

Conc. ; Concentraion, 2-NF ; 2-Nitrofluorene,
MNNG ; N-methyl-N'-nitro-N-nitrosoguanidine, 9-AA ; 9-Aminoacridine,
SAZ ; Sodium azide, c ; Cytotoxic effect

Table 16. Mutagenic effects of garlic irradiated with gamma ray at a dose of 0.25 kGy

Conc. (mg/plate)	S-9 mix	γ-irradiation	TA98	TA100	TA1535	TA1537
25	+	+	8 ∓ 3*	197 ∓ 19	19 ∓ 3	20 ∓ 2
8.3	+	+	25 ∓ 4	146 ∓ 17	29 ∓ 4	24 ∓ 3
2.8	+	+	20 ∓ 5	155 ∓ 3	27 ∓ 12	16 ∓ 8
0.9	+	+	20 ∓ 6	124 ∓ 6	28 ∓ 7	16 ∓ 4
0.3	+	+	16 ∓ 3	113 ∓ 13	21 ∓ 5	12 ∓ 6
0	+	+	28 ∓ 2	148 ∓ 9	25 ∓ 5	19 ∓ 2
2-AF 0.01	+	*	1324 ∓ 56	1118 ∓ 84	95 ∓ 17	
2AA 0.002	+					107 ∓ 8
25	+	-	46 ∓ 2	193 ∓ 6	20 ∓ 6	17 ∓ 5
8.3	+	-	44 ∓ 4	176 ∓ 17	21 ∓ 3	8 ∓ 1
2.8	+	-	33 ∓ 9	143 ∓ 12	13 ∓ 6	9 ∓ 3
0.9	+	-	37 ∓ 4	145 ∓ 6	14 ∓ 3	7 ∓ 3
0.3	+	-	36 ∓ 2	134 ∓ 5	14 ∓ 7	12 ∓ 5
0	+	-	39 ∓ 8	135 ∓ 3	116 ∓ 3	19 ∓ 2
25	-	-	25 ∓ 1	83 ∓ 4	213 ∓ 1	120 ∓ 4
8.3	-	-	52 ∓ 11	123 ∓ 2	422 ∓ 4	32 ∓ 2
2.8	-	-	43 ∓ 2	101 ∓ 1	419 ∓ 3	23 ∓ 5
0.9	-	-	32 ∓ 2	105 ∓ 8	21 ∓ 3	9 ∓ 8
0.3	-	-	28 ∓ 2	138 ∓ 50	19 ∓ 3	14 ∓ 5
0	-	-	38 ∓ 3	175 ∓ 9	25 ∓ 1	11 ∓ 2
2-NF 0.01	-	*	2647 ∓ 408			
MNNG 0.01	-	*		3751 ∓ 260		
9-AA 0.08	-	*				88 ∓ 21
SAZ 0.0005	-	*			128 ∓ 10	
25	-	+	1 ∓ 2	63 ∓ 1	24 ∓ 3	c
8.3	-	+	15 ∓ 3	138 ∓ 2	433 ∓ 5	c
2.8	-	+	26 ∓ 1	154 ∓ 10	38 ∓ 7	c
0.9	-	+	40 ∓ 3	147 ∓ 2	30 ∓ 7	c
0.3	-	+	35 ∓ 7	147 ∓ 17	15 ∓ 2	18 ∓ 8
0	-	+	40 ∓ 3	203 ∓ 19	40 ∓ 1	28 ∓ 8

Conc. ; Concentraion, 2-NF ; 2-Nitrofluorene,
MNNG ; N-methyl-N'-nitro-N-nitrosoguanidine, 9-AA ; 9-Aminoacridine,
SAZ ; Sodium azide, c ; Cytotoxic effect
2-AF ; 2-Aminofluorene, 2AA ; 2-Aminoanthracene
* significantly different from the control ($p < 0.01$)

Table 17. Mutagenic effects of Angelicae gigantis radix irradiated with gamma ray at a dose of 12kGy

Conc. (mg/plate)	S-9 mix	γ-irradiation	TA98	TA100	TA1535	TA1537
20	-	+	44 ∓ 3	188 ∓ 4	22 ∓ 5	13 ∓ 2
6.7	-	+	37 ∓ 10	178 ∓ 12	23 ∓ 2	10 ∓ 3
2.2	-	+	37 ∓ 1	196 ∓ 18	15 ∓ 3	12 ∓ 3
0.7	-	+	29 ∓ 3	183 ∓ 13	17 ∓ 3	17 ∓ 8
0.2	-	+	32 ∓ 2	174 ∓ 20	18 ∓ 2	14 ∓ 2
0	-	+	37 ∓ 1	185 ∓ 6	40 ∓ 1	42 ∓ 3
2-NF 0.01	-	*	2647 ∓ 408			
MNNG 0.01	-	*		3751 ∓ 260		
9-AA 0.08	-	*				588 ∓ 21
SAZ 0.0005	-	*			128 ∓ 10	
20	+	+	21 ∓ 6	106 ∓ 12	23 ∓ 5	21 ∓ 5
6.7	+	+	41 ∓ 7	122 ∓ 1	23 ∓ 9	18 ∓ 5
2.2	+	+	38 ∓ 2	146 ∓ 7	25 ∓ 7	18 ∓ 4
0.7	+	+	42 ∓ 5	150 ∓ 4	24 ∓ 2	24 ∓ 5
0.2	+	+	41 ∓ 10	139 ∓ 4	25 ∓ 4	20 ∓ 7
0	+	+	46 ∓ 5	148 ∓ 9	27 ∓ 1	19 ∓ 2
2-AF 0.01	+	*	1314 ∓ 58	1118 ∓ 84	95 ∓ 17	nd
2-AA 0.002	+	*				107 ∓ 6

Table 18. Mutagenic effects of Aloe irradiated with gamma ray at a dose of 10 kGy

conc. (mg/plate)	S-9 mix	γ-irradiation	TA98	TA100	TA1535	TA1537
20	+	+	30∓7	126∓14	22∓7	28∓6
6.7	+	+	30∓5	124∓11	16∓3	19∓5
2.2	+	+	23∓4	108∓13	25∓3	20∓9
0.7	+	+	27∓4	110∓4	19∓2	18∓6
0.2	+	+	37∓6	109∓7	25∓8	18∓6
0	+	+	45∓3	115∓19	25∓5	19∓2
2-AF 0.01	+	*	1314∓58	1118∓84	95∓17	
2AA 0.002	+					107∓6
20	-	+	31∓3	235∓10	21∓2	48∓9
6.7	-	+	25∓3	219∓11	16∓2	40∓13
2.2	-	+	27∓2	182∓28	13∓7	36∓5
0.7	-	+	39∓8	164∓6	11∓2	35∓4
0.2	-	+	31∓3	136∓11	10∓2	37∓6
0	-	+	40∓3	203∓19	40∓1	42∓3
2-NF 0.01	-	*	2647∓408			
MNNG 0.01	-	*		3751∓260		
9-AA 0.08	-	*				588∓21
SAZ 0.0005	-	*			128∓10	

Conc. ; Concentraion, 2-NF ; 2-Nitrofluorene,
MNNG ; N-methyl-N'-nitro-N-nitrosoguanidine,
9-AA ; 9-Aminoacridine, SAZ ; Sodium azide
2-A ; 2-Aminofluorene, 2AA ; 2-Aminoanthracene

Table 19. Frequency of micronuclei in PCEs from bone marrow in mice treated with potato irradiated with gamma ray at a dose of 0.25 kGy

Test Compound	Dose (㎎/㎏)	No. of mice tested	MNPCE ‰ (Mean±SD)	Ratio % PCE/(PCE+NCE) (Mean±SD)
D.W.	0	5	0.20±0.08	51.55±1.44
potato	2500	5	0.18±0.08	52.25±2.26
	1250	5	0.13±0.15	50.99±1.44
MMC	0.05	5	1.44±0.35	55.62±1.46

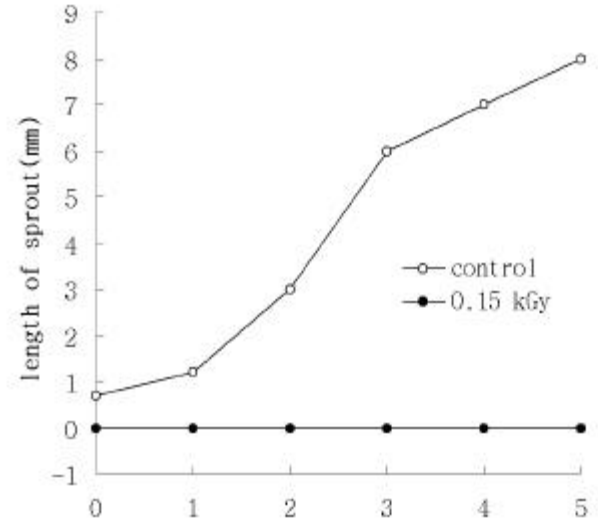
MNPCE : Micronucleated polychromatic erythrocytes, PCE : Polychromatic erythrocytes, NCE : normochromatic erythrocytes

Table 20. Frequency of micronuclei in PCEs from bone marrow in mice treated with Angelicae gigantis radix or Aloe irradiated with gamma ray

Test Compound	Dose (㎎/㎏)	No. of mice tested	MNPCE/1000 PCE (Mean±SD)	PCE/(PCE+NCE) (Mean±SD)
D.W.		5	0.2±0.8	0.52±0.01
Angelicae gigantis radix(12 kGy)				
	2500	5	1.6±0.8	1.45±0.02
	1250	5	1.7±0.6	0.53±0.02
Aloe (10 kGy)				
	2500	5	1.5±1.0	0.51±0.01
	1250	5	1.5±1.0	0.53±0.01
MMC	0.05	5	1.44±3.5	0.56±0.01

MNPCE : Micronucleated polychromatic erythrocytes, PCE : Polychromatic erythrocytes, NCE : normochromatic erythrocytes, MMC : mitomycin C

(A)



(B)

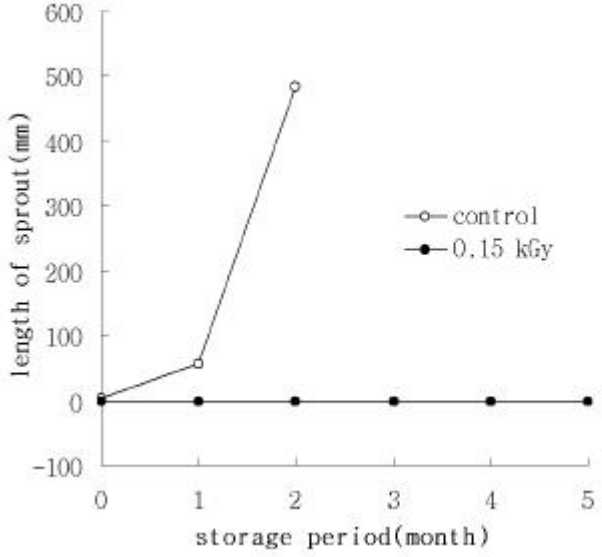
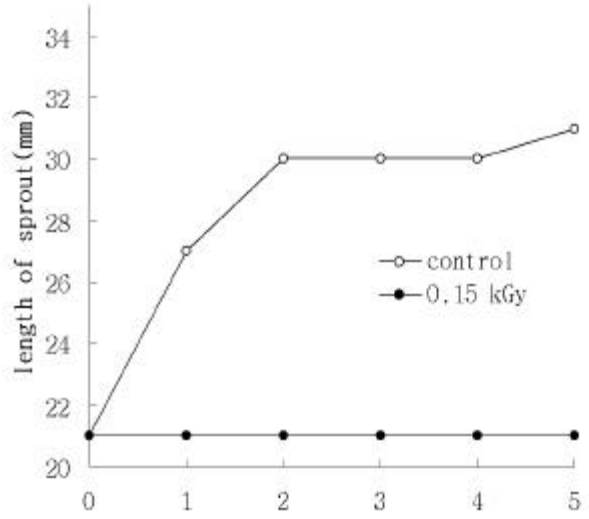


Fig. 1. Effect of γ-irradiation dose levels on the sprouting of potato tubers during storage at cooling(A) and room(B) temperatures

(A)



(B)

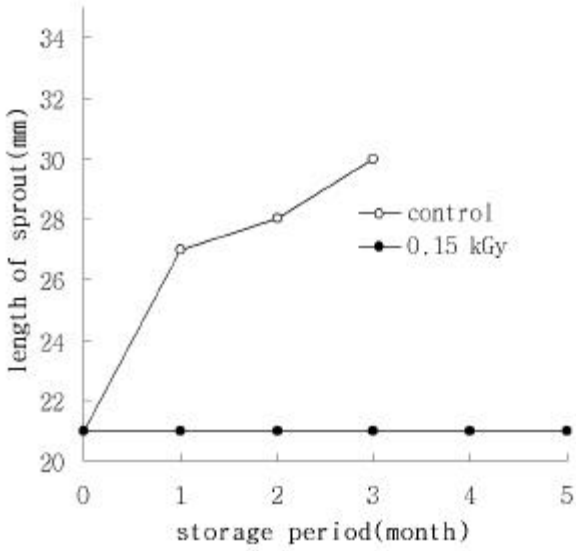


Fig. 2. Effect of γ-irradiation dose levels on the sprouting of garlic bulbs during storage at cooling(A) and room(B) temperatures

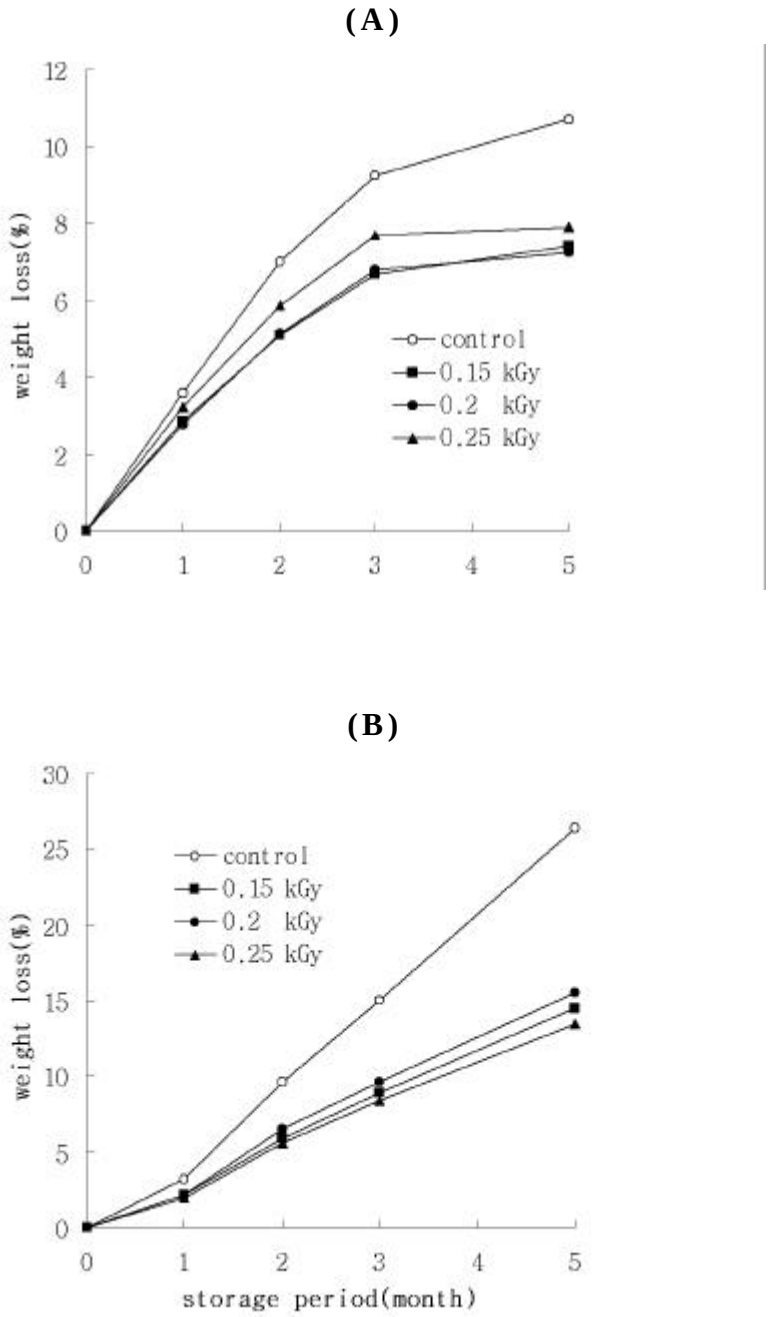
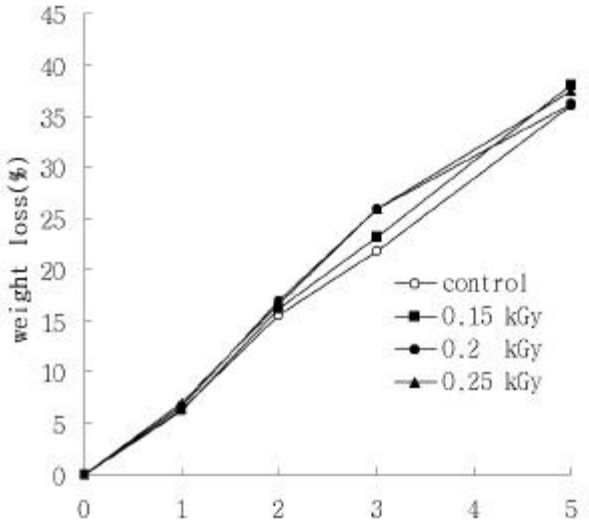


Fig. 3. Effect of γ-irradiation dose levels on the weight loss(%) of potato tubers during storage at cooling(A) and room(B) temperatures

(A)



(B)

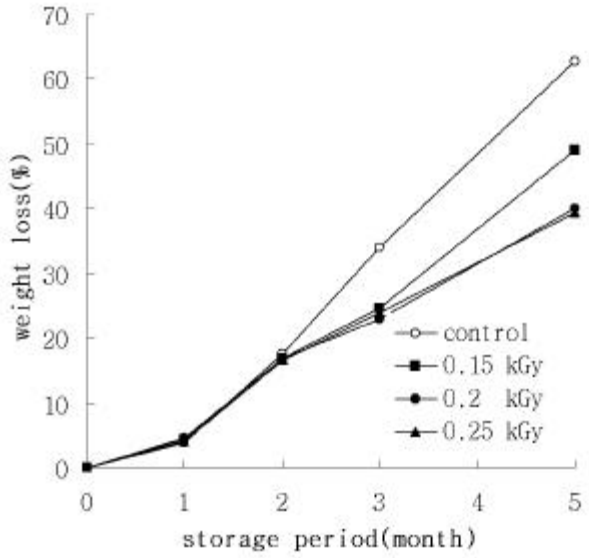
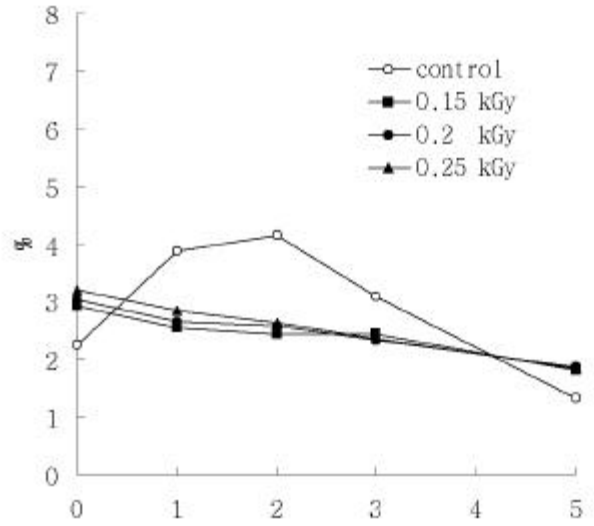


Fig. 4. Effect of γ-irradiation dose levels on the weight loss(%) of garlic bulbs during storage at cooling(A) and room(B) temperatures

(A)



(B)

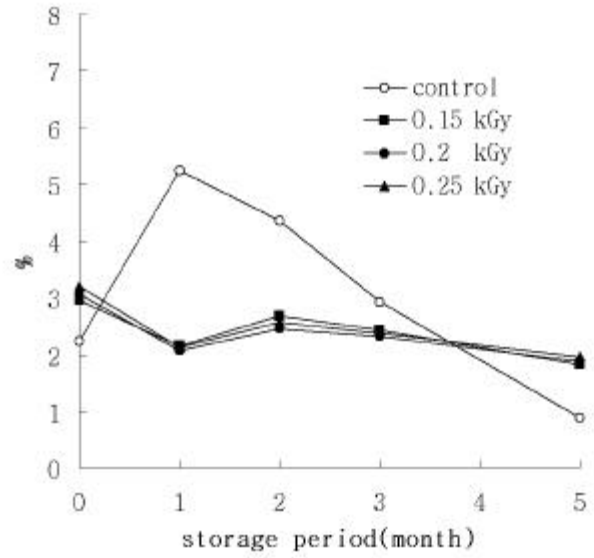


Fig. 5. Effect of γ-irradiation dose levels on the content of reducing sugar(%) of potato tubers during storage at cooling(A) and room(B) temperatures

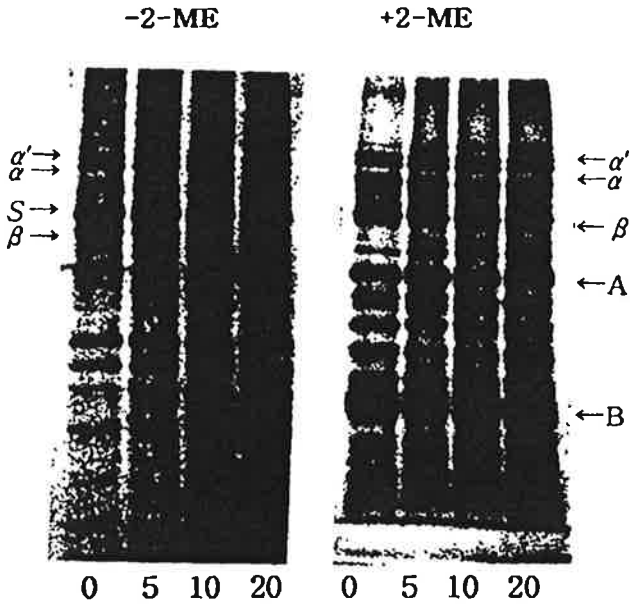


Fig. 6. SDS-polyacrylamide gel electrophoresis in the presence and absence of 2-mercaptoethanol of extracted from aceton powder of nonirradiated and irradiated soybeans.

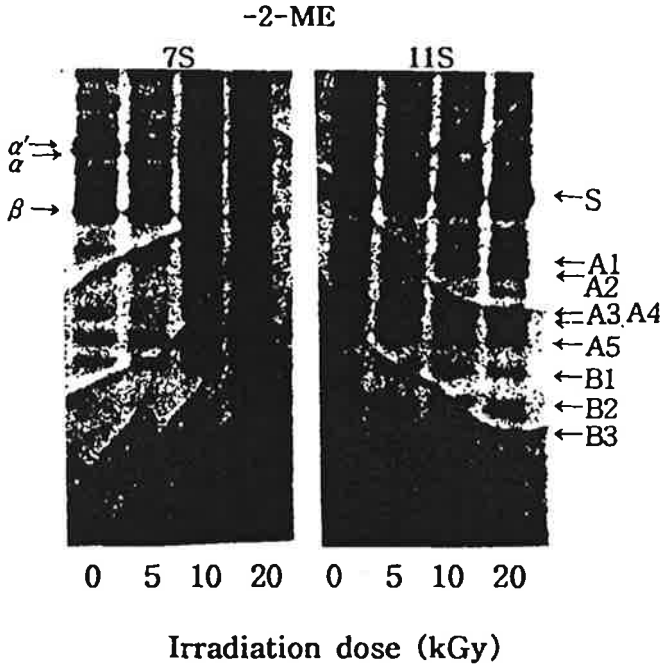


Fig. 7. SDS-polyacrylamide gel electrophoresis in the absence of 2-mercaptoethanol of 7S and 11S fractions separated by column chromatography.

제 3 장 축산물의 위생화 및 장기저장시험

제 1 절 서 론

감마선 조사는 축산물의 위생화를 위해 활용될 수 있다고 보고 되고 있다[1-20]. 최근, 소득 증가와 함께 국민생활 수준의 향상으로 우수한 단백질원인 육류는 식생활의 많은 부분을 차지하게되었고, 식생활 양식의 고급화로 그 소비량은 1990년도에는 1인당 19.9 kg에서 1995년도에는 27.5 kg으로 1.38배의 증가율로 급증하였다[21],[22]. 또한 영양학적 관심도가 높아짐에 따라 쇠고기뿐 아니라 다양한 축육 제품을 소비하게되어 닭고기의 경우 1995년 1인당 6.0 kg의 소비량을 기록함으로써 연간 높은 생산량의 증가를 보이고 있다[23][24]. 이러한 조육, 가축육을 포함한 동물성식품은 부패균 및 병원성 세균에 의해 상당히 오염되어 있는 것으로 알려져 있고, 이러한 사실은 식품의 양적 손실을 초래할 뿐 아니라 인간의 건강에도 큰 위협을 가져오며, 그 결과 경제성 및 생산성 저하의 중요한 원인이 되고있다고 1983년 FAO/WHO 합동 식품안전 전문위원회는 보고한 바 있다. 동물성 식품은 비교적 높은 비율로 병원균에 오염되고, 이것이 원인이 되어 모든 나라에 있어 식중독이 많이 발생하고 있으며 이러한 사실은 통계적으로도 증명되고 있다. 1990년대에 미국에서 햄버거와 닭고기에 의한 대규모 식중독 사건은 국민적 관심을 불러 일으켰으며, 최근 문제시되고 있는 광우병과 O157에 의한 식중독도 좋은 실례라 할 수 있다. 이러한 식중독이 증가하는 원인으로는 식용동물 대량사육의 폭발적인 증가, 오염된 환경, 식물성식품의 대량생산, 식품 및 가축용 사료의 국제무역의 증가 등을 열거할 수 있다. 가축의 육류 또는 육류제품은 선모충이라던가 *Toxoplasma*에 의한 것이 질병의 원인이 되고, 닭고기에는 병원성 미생물인 *Salmonella* 및 *Campylobacter*가 큰 문제로 남아

있다1). 특히 돼지고기에는 기생충인 선모충으로 오염되어있어 완전히 가열하도록 권고하고 있으며, 그럼에도 불구하고 선모충 병으로 사망하는 사례가 번번히 일어나 이를 방지하기 위해 안전한 돼지고기 처리의 노력이 정부 차원에서 추진되어야 할 것이다. *Tapeworm* 및 *Toxoplasma* 병에 의한 피해도 돼지고기에 있어 큰 문제점의 하나이다. 인간의 내장질환의 원인인 *Salmonella* 및 *Campylobacter*는 조육류 및 가축 등의 소화기관에 생육하고 있으며 영국에서 유통되고있는 조육류의 60-80%가 *Salmonella* 균에 오염되어 있고, 거의 100%가 *Campylobacter* 로 오염되어 있다고 보고된 바 있다25). 이러한 원인으로 발생된 질병으로 인한 치료비 또는 생산성의 저하에 의한 경제적 손실은 영국만 하더라도 년간 약 10억불 이상이라고 예측하고 있다. 이러한 생산시설의 낙후와 과학적인 위생처리의 부족으로 인한 공중위생상의 많은 문제점을 내포하고 있는 현실 속에서 소비자의 욕구를 충족시켜 주기 위해서는 1차적으로 생산과정의 개선이 요구되고 있으며 추가적으로는 육류의 저장성을 향상시킬 수 있는 방안이 강구되어야 할 것이다26),27).

식육의 저장기간을 연장하기 위한 방법으로는 온도조절, 포장방법의 개선, 화학보존료의 처리 등 다양한 연구가 시도되어 왔는데, Winger 등27), Yamamoto 등28)과 Miller 등29)은 동결처리 저장은 식육 단백질의 변성을 초래하여 품질저하를 일으킨다고 하였고, Brewer 등30)은 돼지고기를 냉동 저장할 때 포장방법이 지방산패에 미치는 영향을 검토하였으며, Bhattacharya 등31)도 쇠고기 가공품의 포장방법과 냉동온도에 따른 지질산화에 대하여 연구한 결과 온도가 증가함에 따라 또한 공기투과성이 높은 포장일수록 지방산화가 더 잘 일어난다고 보고하였다. Gill 과 Penney32)는 진공포장으로 냉장우육의 저장성을 효과적으로 연장시킬 수 있다고 하였고, Gill 과 Harrison 등33)과 Hart 등34)은 포장방법에 의한 미생물 생육 억제효과에 대

해 보고하였으며, Frederick 과 Paul[35]도 진공 포장된 육가공품의 미생물중 *Listeria monocytogenes*의 발생과 증식에 대해 검토 보고하였다. 한편, 방사선 조사에 대한 연구로써 Mattison 등[36]은 저 선량(100Krad)으로 조사된 돼지고기 가공품의 관능평가와 미생물증식 억제 및 지질산패 등에 관한 연구결과에서 중온성, 저온성 부패균의 증식억제에 효과적이며 이러한 저선량의 조사는 관능검사 및 지질산패에 거의 영향을 주지 않는다고 보고하였다. Dickson과 Maxcy[37]는 발효 소시지를 만들기 위한 고기반죽에 500 Krad의 방사선을 조사함으로서, 호기성전세균과 대장균군 및 *Staphylococci*의 증식을 공중보건 개념의 최저수치까지 억제시킬 수 있었다고 보고하였고, Ehioba 등[38]도 진공 포장된 돼지고기를 냉장저장할때 방사선 조사가 지질산패와 미생물 증식에 미치는 영향을 연구 보고하였다. 그 밖에도 화학 보존제와 유기산 처리 등에 의한 육제품의 저장성 연장 등[39),40] 많은 연구들이 검토되어 왔다.

국내에서의 연구로는 김 과 유[41]는 육표면에 천연·합성보존제등의 위생처리가 냉장돈육의 저장성 향상에 미치는 효과를 보고하였고 최[42]는 알카리성 인산염(sodium tripolyphosphate, STPP)의 첨가가 냉장저장 닭고기 가공제품의 지방산패를 억제하여 저장기간을 연장시킴을 보고하였다. 김 등[43]도 냉장 쇠고기의 품질에 관련된 포장방법의 개선에 대해 연구하였으며, 강 등[44]은 육류를 공기 투과성이 없는 포장지로 진공 포장함으로써 지방의 자동산화를 방지할 수 있다고 보고하였다. 그 외 닭고기의 냉장 및 냉동저장에서 일어나는 미생물학적 품질변화에 관한 연구 등[45] 다양한 연구 결과들이 축적되어 왔다.

그러나 이같은 활발한 연구에도 불구하고 냉장상태에서도 저온성 세균의 계속적인 증식으로 며칠 정도밖에 저장성을 갖지 못하며, 저장성 연장을 위한 종래의 방법 또한 경제적, 기술적 측면에서 그 이용이 한정되어 있다[20].

더욱이 1997년부터 냉장육 수입의 허용으로 수입육에 대한 한우육의 경쟁력 제고를 위하여 냉장 육의 장기 저장 방안의 확립 마련이 매우 시급한 실정이다43). 이와 같은 상황에서 저온살균법으로 알려져있는 방사선 살균법은 축산물의 병원성세균 및 기생충 퇴치를 위해 매우 효과적인 것으로 알려져 있다46). 원초적인 병원성세균 및 기생충에 의한 오염을 방지하는 것은 불가능하나 최종포장의 단계에서의 방사선처리는 이들을 손쉽게 살균가능 할 것으로 기대된다.

이에 본 연구에서는 국내 축산물의 위생화 및 장기안전저장/유통을 위해 감마선을 이용한 최적 살균/살충 저장법을 개발·확립함으로써 미생물학적 부패를 억제하여 저장성 증진을 기하고 병원성 미생물의 사멸을 촉진하여 식품 안전성을 성취할 목적으로 국내 축산물 중 쇠고기, 돼지고기, 닭고기를 대상으로 조사선량을 달리하여 감마선을 조사한 후 냉장(5℃)과 냉동(-20℃) 저장하면서, 조사선량과 저장기간에 따라 미생물학적, 이화학적, 영양학적 품질평가 시험을 수행하였으며, 아울러 조사축산물의 유전독성학적 안전성 평가를 수행하였다.

제 2 절 실험재료 및 방법

1. 실험재료

가. 구입 및 포장

실험에 사용한 쇠고기, 돼지고기 및 닭고기는 실험 전날(1997년 1월 28일) 서울시 마장동 우시장에서 암수 구별 없이 쇠고기와 돼지고기는 우둔부위의 살코기만을, 닭고기는 가슴살을 구입하여 그 즉시 Meat Chopper

(Model NO. MN 22 S, FUJI)로 갈아 500g씩 분취하여 polyethylene 비닐 팩에 진공 포장한 후 ice box에 담아 운송하여 감마선조사 시료로 사용하였다.

나. 시료의 감마선조사 및 저장방법

감마선 조사는 포장직후 ice box 에 담아 경기도 여주 그린피아 기술 주식회사에 설치되어 있는 상업적 다목적용 감마선조사시설(선원 570,000 Ci Co-60)을 이용하여 시간당 0.7 kGy의 선량률로 쇠고기, 돼지고기는 0.5, 1, 3, 5kGy를, 닭고기는 1, 3, 7, 10 kGy를 조사시켰으며, ceric cerous dosimeter(USA)를 사용하여 총흡수선량을 확인하였다. 감마선 조사된 시료는 비조사구와 함께 냉장(5℃)과 냉동(-20℃)저장하면서 저장기간별로 실험에 사용하였다.

2. 미생물학적 품질평가 시험

가. 희석수 원액 제조

KH_2PO_4(인산2수소칼륨) 34g을 정제수 500ml에 용해시킨 후 1N NaOH용액 175ml를 가해 정제수로 최종부피를 1L로 채운다음 pH 7.2로 맞춘 후 냉장온도에 보관하였다. 실험에 사용한 희석수는 위의 원액 1.25 ml 에 생리 식염수(NaCl 8.5g/L)를 가하여 1L로 채워 희석하여 사용하였다.

나. 시험용액 제조

각 시료 25g을 살균된 희석수로 전량을 250ml로 하고 5분간 잘 흔들어서 정치시킨 후 그 상등액을 시험액으로 사용하였다. 각 미생물 검사는 위의 시험용액 1ml을 test tube에 취한 후 살균된 희석수로 10배 단위로 희석하

여 실시하였고, 미생물의 수는 시료 g당 colony forming unit(CFU/g)으로 나타내었다.

다. 생균수 측정

1) 호기성 전 세균 및 저온성 세균수

APHA표준방법[47]에 따라 plate count agar를 사용하였다(Table 1). 3차 증류수 900ml에 Plate count agar(Merck) 20.25g을 넣은 후 hot plate에서 stirring 하면서 혼합하였다. Autoclaving(121℃, 15min)한 후 50℃ water bath 에서 냉각시켜 petri dish에 부어 고화시킨후 시험용액을 0.1ml씩 적하도포하였다. 이때 호기성 전세균은 35℃에서 2일간, 저온성 세균은 7℃에서 10일간 배양한 후 집락을 계수 하였다.

2) 대장균군 및 *E.coli*

대장균군은 chromocult coliform agar(Merck)를 사용한 방법으로 증류수 900ml에 chromocult coliform agar 23.7g을 섞어 hot plate 에서 가열하면서 혼합한 후 50℃로 냉각하여 petri dish 에 부어 고화시켰다(Table 2). 여기에 시험용액을 0.1ml씩 적하도포한 후 35-37℃에서 24시간 배양한 다음 pink 또는 빨간색은 coliform으로 흑청색 또는 보라색은 *E.coli*로 집락을 계수 하였다.

3) *Salmonella*

Rambach agar(Merck)를 사용하여 liquid-mix 1 vial에 증류수 250ml를 가해 용해하였다(Table 3). 여기에 nutrient-powder 1 vial을 섞어 hot plate 위에서 stirring하면서 완전히 용해시킨 후, 45-50℃의 water bath에서 가

능한 빨리 냉각시켜 petri dish에 부어 고화시켰다. 시험용액 0.1ml를 적하도포하여 35℃에서 18-48시간 배양한 다음 적색의 집락을 계수 하였다.

4) *Listeria*

Palcam Listeria selective agar(Merck)를 사용한 방법으로 증류수 500ml에 Palcam Listeria selective agar 34.4g을 섞어 잘 혼합한 후 autoclaving(121℃, 15min)하여 50℃로 냉각하였다(Table 4). 여기에 Palcam Listeria selective supplement 1 vial 을 멸균수 2ml을 가하여 용해시켜 첨가한 다음 petri dish에 부어 건조시킨 후 시험용액 0.1ml 를 적하도포하여 35℃에서 48시간 배양한 후 생성집락을 계수 하였다.

3. 이화학적 특성 시험

가. 일반성분 측정

각 시료의 일반성분은 AOAC48)방법에 따라 수분은 105℃ 건조법, 조단백질은 Kjeldahl법으로, 조지방은 시료를 해사와 섞어 예비 건조시킨 후 Soxhlet법에 의하였으며, 조회분은 직접회화법으로 측정하여 백분율로 나타내었다.

나. pH 및 산도 측정

시료의 pH는 마쇄한 시료 10g에 70ml의 증류수(끓인 후 식힌것)를 가해 homogenizer(polytron 294. Kinematica AG Littau)로 균질화시킨 후 전체부피를 100ml로 조정하여 pH meter(microprocessor pH/mV/℃ meter. model8417, Hanna Instruments., made in Singapore)를 사용하여 측정하였고48), 산도는 이를 중화하는데 소비되는 0.05N NaOH 표준용액의 양으로 환산하여

나타내었다.

다. TBA(thiobarbituric acid)가 측정

저장기간과 저장조건에 따른 지질성분의 산패도를 알아보기 위하여 Salih 등[49]의 방법에 따라 TBA값을 측정하였다. 즉 마쇄한 시료 10g을 삼각플라스크에 취하고 추출용액(3.86%의 perchloric acid) 90ml를 넣은 후 250ul BHT(450mg/ml ethanol)를 첨가하여 30초간 균질화 한후 Whatman No 1 filter paper로 여과하였다. 여액 2ml와 0.02M thiobarbituric acid액 2ml를 혼합하여 mixing한 후 실온의 암소에서 17시간 발색시킨 후 spectrophotometer(Unikon model 930, Kontron Instrument, Switzerland)를 사용하여 reagent를 blank로 하여 531nm에서 흡광도를 측정하였다.

라. 산가 (acid value) 측정

유지시료 5-10g을 200ml의 삼각플라스크에 취해 ethylether와 ethanol 혼합액(1 : 2) 100ml을 가해 완전히 용해시키고 페놀프탈레인 지시약 5-6방울을 가하여 잘 혼합한다. 0.1N KOH ethanol 표준용액으로 적정하여 적색이 30초간 지속되는 점을 종말점으로 한 후 다음과 같은 식에 의하여 계산하였다.

$$\text{산가} = \frac{(a-b) \times F \times 5.611}{S}$$

a: 본 시험의 0.1N KOH 의 적정치 (ml)

b: 공 시험의 0.1N KOH 의 적정치 (ml)

F: 0.1 N KOH 용액의 factor

S: 시료 채취량

5.611: 0.1N KOH 1ml의 당량(5.611mg)

마. 휘발성 염기태질소(volatile basic nitrogen) 측정

휘발성 염기태질소 함량은 마쇄한 시료 10g을 취하여 증류수 30ml 과 20% Trichloro acetic acid 10ml를 가한 다음 homogenizer를 사용하여 3분간 균질화 한 뒤 전체부피를 100ml 조정하였다. 10분간 방치한 후 여과지로 여과하여 상등액 1ml을 conway unit 확산용기 외실에 넣고, 내실에 0.01N H_3BO_4 1ml 와 conway시약 (0.066% methyl red와 0.066% bromcresol green을 1:1 로 혼합한 시약) 1ml을 넣은 다음 탄산칼륨 포화용액 (K_2CO_3 120g을 물 100ml에 가열 용해시킨 후 냉각하여 상등액을 취한 것) 1ml을 외실 에 주입하고 밀폐시킨 후 37℃에서 80분간 방치해 두었다. 내실의 붕산용액을 0.02N H_2SO_4 표준용액으로 적정하여 다음과 같은 식에 의해 휘발성 염기태질소 함량을 계산하였다[50].

$$VBN = 0.28 \times (X-b) \times f \times \frac{100}{0.1} \quad (Nmg\%)$$

X : 적정치

b : 공시험치

f : 0.02N 황산의 factor

0.1 : 시험용액 1ml 에 상당하는 시료량(g)

바. 지방산 측정

지방질의 추출은 Bligh 와 Dyer[51]의 방법으로 추출, 정제하였다. 즉 시료 약 100g을 취하여 chloroform 과 methanol(1 : 2) 혼합액 300ml를 가해 마쇄하여 균질화 한 후 감압여과하였다. 여액을 분액 flask에 모으고 잔사에 100ml의 chloroform을 가해 homogenizing한 후 여과 액을 합쳐, 100ml의 염류용액(0.88% KCl용액)을 가해 두층으로 분리하였다. 비지방질 물질은 상층인 물층으로 이행시키고 하층인 지방질층만을 취하여 55℃의 온도에서 감압농축시켜 용매를 제거하여 지방시료로 하였다.

지방산의 분석은 Morrison과 Smith52)의 방법에 준하여 지방 0.2g을 Cap tube에 취해 0.5N NaOH in Methanol 용액을 3ml 가하여 질소가스로 치환하고 밀봉하여 100℃에서 5분간 끓인 후 찬물에 냉각한다. 여기에 BF3 4ml을 첨가하여 100℃에서 30분간 끓인 후 30-40℃ 에서 냉각시켜 2ml의 핵산을 가하고 질소가스로 치환한 다음 격렬히 흔들어 섞는다. 포화 NaCl 10ml을 넣어 실온에서 방치하여 두층으로 분리되면 상층액을 취하여 Gas Chromatography 에 주입하여 분석하였으며, 분석조건은 Table 5와 같다. 지방산 표준품은 sigma chemical co.의 fatty acid methyl ester 표준품을 사용하였다.

사. 유리아미노산 측정

각 시료의 유리아미노산은 생시료 10g에 물 20ml을 가하여 균질화한 다음 sulfosalicyric acid 1.5g을 가하여 1시간정도 단백질을 침전시킨 후 원심분리 하였다. 상층 액을 membrane filter 로 여과하여 수산화리디움으로 pH 2.0으로 조정한 후 분석시료로 하였다.

아. 총아미노산 측정

각 시료의 총아미노산 함량은 생시료 고형분 10g을 냉각 아세톤으로 탈수시킨 후 60℃의 dry oven에서 여과지에 펴서 건조시키고 마쇄하였다. 경질시험관(1.6x16cm)에 마쇄시료 5mg을 취해 6N-HCl 5ml을 가하여 탈기한 후 밀봉하여 110℃에서 24시간 가수분해 시켰다. 가수분해한 분해 물은 2-3회 소량의 증류수로 씻은 후 evaporator로 50℃에서 가능한 짧은 시간에 건조시켜 염산을 제거하고 시료 희석용 완충액으로 용해하여 아미노산 자동분석기(Beckman system 6300, USA)로 분석하였다. 총아미노산과 유리아미노산의 분석은 다음의 Table 6의 조건으로 분석하였다.

자. 전기영동

각 시료에 대한 감마선 조사 군별, 저장기간별 분획들의 단백질 분자량과 subunit 조성변화를 알아보기 위해 전기영동을 수행하였다. 전기영동은 sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis(SDS-PAGE)의 방법[53]으로 행하였다. 즉, 시료육에 약 4배량의 10mM Tris-HCl buffer (pH7.0)를 첨가하여 균질화한 후 원심 분리한 상층액을 전기영동용 시료로 하였다. 시료액은 1%-SDS, 1%-ME, 20%-glycerol을 함유한 10mM Tris -HCl 완충액(pH 6.8)으로 용해하여 100℃에서 1-2분간 가열처리한 후 사용하였다. 전기영동시 분해시료 20㎕를 주입하였고, Gel의 형성은 separating gel 10%, stacking gel 4.5%로 하였다. 전기영동으로 분리된 단백질들은 Sigma Chemical Co.에서 구입한 standard proteins(myosin heavy chain, MHC; B-galactosidase, GALAC; phosphorylase, PHOS; bovine serum albumin, BSA; egg albumin, EA; carbonic anhydrase, CA; soybean trypsin inhibitor, STI, ; egg white lysozyme, LZ)을 이용하여 상대적 이동성(relative mobilities)에 따라 분자량을 확인하였다. 전기영동후 gel의 염색은 0.1% Coomassie brilliant blue R-250을 사용하였으며 탈색은 ethanol : acetic acid : H_2O (3:1:6, v/v)혼합액을 사용하였다.

차. 무기질 측정

시료 5g을 정확히 칭량하여 500ml 비커에 넣고 질산을 50ml가한 후 watch glass로 덮고 가열하여 유기물이 완전히 파괴될 때까지 반복하여 분해시키고 분해물이 2ml정도 될 때까지 농축시켰다. 여기에 증류수 약 75ml을 가해 가용성물질들을 용해시킨 후 실온까지 식히고 50ml로 정용하여 무기질 분석용 검액으로 하였다. Ca, Mg, Zn, Fe, Cu, Mn, Co 는 원자흡수분광기 (Hitachi z-8100 Atpmic absorption Spectrophotometer), Na과 K(

Varian-Spectro AA 300plus AAS), P(UV-Vis Spectrophotometer)를 사용하여 각각 정량 하였다54). Interference suppressing agent로 Cesium chloride(Na, K), Strontium chloride(Ca), Triton x-100을 분석직전 첨가하여 Table 7의 분석조건으로 분석하였다.

카. 육색소(myoglobin) 측정

각 시료의 heme pigment의 측정은 Krzywicki55)의 방법에 의거하여 살짝 얼은 상태의 시료를 50ml tube에 표면을 긁어 4g을 취한 후 미리 만들어 놓은 buffer(0.2M Na_2HPO_4 98ml 와 0.2M NaH_2PO_4 102ml을 혼합하여 최종부피가 1000ml이 되도록 증류수로 채운 0.04M-pH 6.8의 시험 제조용액)를 30ml 가하여 약 20초 동안 homogenizer를 사용하여 균질화한 후 다시 buffer 20ml를 가하여 잘 혼합한 후 ice bath속에 넣어 1시간동안 방치하였다. 방치후 상온에서 20분간 원심 분리하여 그 상등액을 Spectrophotometer(Unikon model 930, Kontron instrument, switzerland)를 사용하여 572, 565, 545, 525nm에서 차례로 흡광도를 측정한 다음 아래와 같은 식에 의해 myoglobin, oxymyoglobin, metmyoglobin의 상대적 농도 값을 계산하였다.

$$[Myo] = 0.369R1 + 1.140R2 - 0.941R3 + 0.015$$

$$[Ox] = 0.882R1 - 1.267R2 + 0.809R3 - 0.361$$

$$[Met] = -2.514R1 + 0.777R2 + 0.800R3 + 1.098$$

[R1] ; A572/A525

[R2] ; A565/A525

[R3] ; A545/A525

타.텍스쳐 측정

각 시료에 대한 텍스쳐 측정은 Rheometer(model CR-100,Sun Scientific Co., LDL., Japan)를 사용하여 아래와 같은 조건으로 측정하였다. 측정 전에 모든 시료는 실온에 30분간 방치하여 온도에 따른 조직감의 변화를 최소화하였으며 Rheometer의 측정은 힘-거리 곡선으로 나타냈고, 이때 얻어진 표준곡선은 Fig 1과 같다.

Maximum load		2kg
Sample height		30mm
Clerarance		5mm
Probe	No. 1 critical diameter	20mm
Chart speed		500mm/min
Table speed		20mm/min

4. 유전독성학적 안전성 시험

가. 시료 분말의 조제

감마선 조사 및 비조사한 각 시료 1kg을 -70℃에서 12시간동안 급속냉동시킨후 동결건조기(Freezedryer system., Labconco, USA)를 사용하여 동결건조 시켰다. 건조된 시료는 분쇄기로 분쇄하여 분말로 만들어 멸균증류수로 적당한 농도로 희석한 다음 돌연변이시험 및 소핵시험에 사용하였다.

나. *Salmonella typhimurium* 을 이용한 복귀 돌연변이 시험

1) Ames test 시험용 균주

시험에 사용된 균주는 *Salmonella typhimurium LT2*를 친주로 하는

Salmonella typhimurium TA98, TA100, TA1535, TA1537을 사용하였다. 이들 균주는 사용에 앞서 histidine 요구성, crystal violet 감수성, ampicillin 내성, spontaneous 복귀변이수 등을 확인한 후 사용하였다.

2) 시험물질 및 대조물질

시험물질은 쇠고기, 돼지고기, 닭고기의 분말로써 쇠고기와 돼지고기는 각각 5kGy의 선량으로 닭고기는 10kGy의 선량으로 γ선을 조사한 시료와 조사하지 않은 시료로 나누어 시험을 실시하였다. 대조물질로서는 음성대조물질은 본 시험물질을 현탁시킬때 사용한 멸균증류수를 사용하였고, 양성 대조물질로는 2-aminofluorene(2-AF), 2-aminoanthracene(2-AA), 2-nitrofluorene(2-NF), N-methyl-N'-nitrosoguanidine(MNNG), 9-aminoacridine (9-AA)을 각 시험균주의 특성에 맞추어 사용하였다.

3) 사용한 배지 및 시약

시험용 균주배양에는 Nutrient broth를 사용하였고, 복귀변이시험에 사용되는 배지에는 Minimal glucose agar배지와 0.5mM의 Histidine/Biotin용액을 넣어 Histidine요구성 시험균주에 1-2회의 분열을 할 수 있게 만든 Top agar를 사용하였다. 사용한 배지와 시약조성은 Table 8과 같다.

4) S-9 fraction의 제조

대사활성화법을 수행하기 위해 Maron 과 Ames[56]의 방법에 따라 다음과 같이 제조하였다. SD계 랫드(♂, 8주령, 약 250g)에 polychlorinated biphenyl(PCB)혼합액인 Aroclor 1254를 corn oil에 200mg/ml로 희석하여 500mg/kg의 용량으로 1회 복강내 투여하여 4일째에 경추탈골에 의하여 도살한 후 간을 적출 하였다. 적출한 간 중량의 3배량의 냉각한 0.15M KCl용액

을 넣어 균질화하고 원심 분리한 후 그 상층액을 S-9 fraction으로 하였다. 이상의 모든 과정은 무균적으로 행하였고, 만들어진 S-9 fraction 0.1ml을 Top agar와 함께 minimal glucose agar 배지에 plating하여 무균성을 확인하였다.

5) S-9 mixture의 제조

In vitro에서 대사활성을 위하여 Maron 및 Ames[56]의 방법에 따라 cofactor를 첨가하여 S-9 mixture를 제조하여 사용하였다.

S-9 fraction	2ml
Salt solution	1ml(1.65M KCl + 0.4 M $MgCl_2 \cdot 6H_2O$)
1M Glucose-6-phosphate	0.25ml
0.1M NADP	2ml
0.2M Sodiumphosphate buffer(pH7.4)	25ml
Steril distilled water	19.75ml

6) 시험물질의 농도설정을 위한 예비 독성시험

본 시험을 적용하기에 앞서 알맞은 용매의 선정 및 시험농도를 설정하기 위하여 TA100균주를 이용하여 예비시험을 수행하였다. *Salmonella typhimurium* TA100균주를 하룻밤 동안 배양하여 대수기(2×10^9cells/ml)상태에 이르도록 한 배양액 0.1ml, 시험물질의 멸균증류수 현탁액 0.1ml, 0.2M Na-Phosphate buffer 0.5ml을 test tube에 넣은 후 37℃ water bath에서 진탕하면서 30분간 pre-incubation을 한 후, Histidine/biotin을 함유한 top agar 2.5ml을 가하고 잘 혼합시킨 후 minimal glucose agar 배지에

plating 하여 수분간 고화시킨 다음 37℃ incubator에서 48시간 배양하였다. His+ 복귀돌연변이 집락을 계수하여 현탁액을 적용시켰을 때의 복귀변이집락수 관찰에 미치는 영향 및 세포독성유무를 결정하여 본 시험에 적용할 농도를 결정하였다.

7) 시험방법

본 시험은 Maron과 Ames방법[56]에 의하여 수행하였다. 1차적으로 대사활성부재조건의 시험을 먼저 수행하였으며, 그 후 S-9 fraction을 이용한 대사활성화법을 적용하였다. 본 시험의 방법은 예비독성시험을 통하여 얻어진 시험적용 농도를 통하여 pre-incubation법에 따라 수행하였으며, 각 시험농도군에 대해 3회 반복 시험하였다.

다. 감마선조사 유전학적 안전성시험

설치류 망상적혈구를 이용한 소핵실험을 통하여 유전학적 안전성 시험을 수행하였다.

1) 실험동물

대한실험동물에서 구입한 SPF ICR 마우스(♂, 8주령, 약 250g)를 사용하였으며, 동물 입수후 약 1주일간의 순화기간을 거쳐 건강한 동물만을 시험에 사용하였다. 실험동물의 사육은 온도 25±1℃, 습도 55±5%, 조도 300 500 Lux로 12시간 자동 점·소등 장치가 설치되었다. 동물은 순화 및 시험 기간 중에 polycarbonate cage에 5마리씩 넣어 사육하였다. 사료는 삼양사의 고형사료를, 물은 수돗물을 자유로이 공급하였다.

2) 군 분리 및 식별

순화기간을 거친 모든 동물의 체중을 측정, 소정의 범위에 드는 동물을 무작위로 각 시험군에 5마리씩 배분하였고, 각 시험군의 식별은 cage별 tag 표시 법을 이용하였다.

3) 시험물질의 투여

시험물질 투여량은 현탁시킬 수 있는 최대용량으로써 경구투여가 가능한 농도를 설정하여, 시험적용 최고농도에 ½씩 2단계의 농도를 설정하여 mouse용 경구투여기를 사용하여 투여하였다. 시험 최고농도는 kg당 2500mg 이었으며 24시간 간격으로 2회 경구투여 하였고 마지막 투여 24시간 후에 혈액을 채취하여 Schmid의 방법[8]에 따라 도말 표본을 제작하였다. 즉, 마우스를 경추탈골에 의하여 도살시킨 후, 양쪽 대퇴골로부터 1㎖의 Calf serum을 주입시킨 주사기 (24gauge침 사용)를 이용하여 골수를 채취한 후 골수세포 부유액을 1000rpm에서 5분간 원심분리 하였다. 상층액을 제거하고 적당한 양으로 골수세포의 현탁액을 만들어 한방울을 세척된 슬라이드에 적하시킨 후 도말하고 건조시킨 후 메탄올에 5분간 고정하였다. 표본은 각 동물당 2매씩 제작하였고 고정 건조시킨 후 4% Giemsa 염색시약에 슬라이드를 30분간 염색시켰다.

4) 대조물질

음성대조물질로는 시험물질의 용매로 사용한 증류수를 경구 투여하였고 양성 대조물질로는 Mitomycin C (0.5mg/kg)를 복강 내에 투여하였다.

5) 혈액채취 및 도말 표본 제작

Hayashi 등[8]의 방법에 따라 acridine orange 용액 (0.5mg/ml) 20 을 slide glass에 도포 하여 공기 중에 건조시키고, 마우스의 꼬리정맥으로부

터 채취한 혈액 약 5㎕ 를 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.

6) 통계학적 평가

Hayashi 등[58]의 방법에 따라 3단계의 통계처리법을 적용하여 결과를 분석하였다. 1단계에서는 Hayashi등에 의해 축적되어진 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).

제 3 절 결과 및 고찰

1. 미생물학적 안전성 평가

육류는 도살과정의 비위생화와 복잡한 유통과정 및 원활하지 못한 수급과정으로 인하여 쉽게 변질될 수 있으며, Shelf-life가 짧아 선도유지가 어려운 단점을 지니고 있다[59]. 이러한 현상은 특히 하절기에 일어나기 쉬워 계절성 또한 무시할 수 없으며, 미생물의 증식이 주된 원인으로 작용한다. 미생물의 증식은 이화학적 변패를 촉진시킬 수 있으므로 초기 미생물 오염도는 육류의 저장성을 결정짓는 중요한 요소로 작용한다[60]. 따라서 본 실험

에서는 쇠고기, 돼지고기, 닭고기의 저장성을 향상시킬 목적으로 여러 선량의 감마선을 조사하여 오염 미생물에 대한 감마선 살균효과와 저장중 미생물의 생육변화를 조사하였다.

가. 미생물의 오염과 감마선 살균효과

육류시료의 초기 미생물의 오염도는 쇠고기의 경우 호기성전 세균 3.0×10²CFU/g, 저온성균 1.5×10³CFU/g, 대장균군 2.0×10²CFU/g, *Listeria* 4.2×10³CFU/g 이었으며(Table 9), 돼지고기는 호기성전세균 1.1×10⁴CFU/g, 저온성균 5.3×10³CFU/g, 대장균군 3.8×10³CFU/g, *Listeria* 3.2×10³CFU/g으로 쇠고기와 돼지고기 모두 *Listeria*, 대장균군, 저온성균등 비교적 높은 초기 오염도를 나타내었다(Table 10). Frederick 과 Paul[35]은 시판 인스턴트 쇠고기 제품중에(precooked-sliced beef roll) *Listeria monocytogenes*의 경우 1.9×10⁵CFU/g 검출되었다고 보고하여 육가공품의 *Listeria* 오염이 심각함을 시사하였다. 닭고기의 경우에는 호기성 전세균 9.5×10⁴CFU/g, 저온성균 7.5×10³CFU/g, 대장균군 1.8×10⁴CFU/g, *Listeria* 2.7×10²CFU/g, *Salmonella* 2.2×10³CFU/g으로 육류중 가장 높은 오염도를 나타냈으며, 특히 대장균군과 *Salmonella*의 심각한 오염을 알 수 있었다(Table 11). 또한 쇠고기, 돼지고기, 닭고기등 전 시료군에서 식품위생지표 세균인 대장균군의 오염이 나타나 이에 대한 적절한 위생처리 방법 등의 품질관리 체제가 필요할 것으로 사료된다.

오염미생물에 대한 감마선 조사의 살균효과를 살펴보면, 쇠고기에 오염된 호기성전세균의경우, 비조사군에서는 3.0×10²CFU/g이 검출되었으나 조사직후 0.5kGy 조사군에서는 1.5×10³CFU/g으로 감균되었고, 1kGy 이상 조사군에서는 검출한계 이하로 사멸되었다. 저온성균의 경우에는 오염된 세균의 감마선 감수성이 비교적 낮아 1kGy 조사로는 0.6 log cycle 정도의 감소

를 보였고, 완전살균을 위해서는 3kGy 이상의 선량이 요구되었다(Table 9). *Listeria*는 비조사군에서는 4.2×10³CFU/g을 나타내었던 것이 0.5kGy의 조사로 약 1.5 log cycle 정도 감소된 1.7×10²CFU/g을 나타내었고, 1kGy 이상에서는 완전 사멸되었다. 또한 대장균군의 경우는 초기 오염도가 낮아 0.5kGy의 낮은 조사선량으로도 사멸 가능하였다(Table 9). Dickson과 Maxcy[37]에 의하면 상업용 발효소시지 제조시 고기반죽에 감마선 조사를 한 결과 호기성전세균은 2kGy 조사로 약 1.3 log cycle 감균 되었으며, 5kGy 조사선량에서는 2.2 log cycle 감소되었다. 대장균군의 경우 초기 약 10⁴CFU/g을 나타내었으나 2kGy의 조사로 4.2×10¹CFU/g으로 감소하여 5kGy 조사선량 이상에서는 검출한계 이하로 사멸되었다고 보고하였다.

이러한 결과는 1kGy의 조사선량으로도 호기성전세균, 대장균군 모두 사멸되었던 본 실험에서와 차이가 있는데 이것은 가공고기 반죽의 경우 초기 오염도가 생육보다 높아 더 높은 선량이 요구되기 때문이라 생각된다.

돼지고기의 오염미생물에 대한 감마선 살균효과는 Table 10과 같다. 호기성 전 세균의 경우 비조사군에서는 1.1×10⁴CFU/g 이 검출되었으나 조사직후 0.5kGy 조사군에서는 3.0×10³CFU/g으로 감균되었고, 1kGy 이상의 조사선량으로 검출한계 이하로 사멸되었다. Listeria의 경우도 0.5kGy 조사선량으로 약 1.3 log cycle 정도 감균되었으며, 1k3Gy 이상의 조사선량으로 사멸가능 하였다. 한편, 대장균군의 경우에는 감마선에 대한 감수성이 높아 0.5kGy 조사선량으로도 검출한계 이하로 사멸시킬 수 있었다. 저온성균은 쇠고기와 마찬가지로 비조사군에서는 3.2×10³CFU/g을 나타내었고, 1kGy 조사선량으로 1.8×10²CFU/g을 나타내어 약 1 log cycle 정도밖에 감균되지 않았으며, 검출한계이하의 사멸을 위해서도 역시 3kGy 이상의 선량이 요구되었다. Mattison 등[36]은 육제품의 경우 중온성균과 저온성균이 변패를 일으키는 가장 주요한 요인이라 하였으며 진공 포장된 돼지등심을 1kGy로 감

마선을 조사하였을 때, 저온성균과 중온성균, 혐기성세균, 포도상구균 수를 감소시킬 수 있었고, 그 중에서도 저온성균과 중온성균의 감수성이 가장 높게 나타났다고 보고하고 있다.

Table 11은 닭고기에 대한 감마선 살균효과를 나타낸 것이다. 닭고기의 경우 쇠고기나 돼지고기에 비해 초기오염미생물의 검출이 대체적으로 높게 나타났다. 호기성전세균이 비조사군에서는 9.5×10^{4}CFU/g 이었으며, 1kGy 조사군에서 1.5×10^{3}CFU/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 사멸되어 닭고기가 쇠고기와 돼지고기에 비해 저온성균에 대한 감마선 감수성이 더 낮게 나타났다[61]. Chuang 등[62]은 닭고기 가공품에 대한 연구에서 저온성균의 경우 2kGy 조사로 약 1.5 log cycle 정도 감균 되었고, 4kGy 이상 조사로 완전사멸 되었다고 하여 본 실험에서 적용한 조사선량과 비슷한 결과를 보고하였다. 또한 대장균군과 *Listeria*는 모두 1kGy 이상조사로 사멸되었고, 쇠고기와 돼지고기에서는 검출되지 않았던 *Salmonella*가 비조사군에서 2.2×10^{3}CFU/g을 나타내었으나 1kGy의 낮은 조사선량으로도 검출한계 이하로 사멸가능 하였다.

한편, 닭고기는 *Salmonella*와 같은 식중독세균의 중요한 매개체중의 하나로서 대개의 *Salmonella* spp를 비롯한 장내 병원성 세균은 일반적으로 방사선 저항성이 약하여 종에 따라 차이는 있지만 D_{10}값이 1kGy 정도로 알려지고 있다[63),46]. Mulder[64]의 연구에서도 *Salmonella panama*와 *Escherichia coli* K 12의 D-Value가 각각 0.65kGy와 0.56kGy라고 하였으며, 같은 조건으로 *Enterobacteriaceae*를 1/10로 감소시키는데 약 1kGy가 필요하다고 보고한 바 있다.

나. 저장기간에 따른 미생물 생육 변화

1) 호기성전세균

저장중 쇠고기에 오염된 호기성전세균의 생육변화를 살펴보면, 비조사군의 경우 냉장저장에서 저장 2주째 4.6×10³CFU/g 정도였으나, 1kGy의 조사시료는 저장 4주후에 4.2×10²CFU/g, 3kGy 조사 군에서는 저장 8주후에 10³CFU/g 내외의 생육상태를 보여 조사직전의 세균수와 비슷하였으나, 관능학적 부패 초기현상을 보였다(Table 12). 이에 대해 Rhodes[65]는 3 5kGy 이상의 조사로서 40일 정도의 냉장은 미생물학적 저장성(microbiological-shelf life)을 연장시킨다 하더라도 25일 이후에는 효소적으로 불안정하다고 설명하고 있다. 또한 5kGy 조사 군에서는 저장말기까지 전혀 세균이 검출되지 않았다. 이는 Lefebvre 등[66]의 연구에서 냉장저장 2주후 비조사군에서 약 10⁸CFU/g, 5kGy 조사군이 약 10⁵CFU/g이었다는 결과와 비교하여 훨씬 낮은 수치였으며 초기오염도 또한 낮았다. 냉동저장의 경우에는 비조사군은 전 저장기간동안 초기오염도 5.1×10³CFU/g 수준으로 비교적 낮은 수치가 저장말기까지 계속되었다. 3kGy 조사군에서는 냉동저장 6개월 후에도 0.7×10²CFU/g 이었고, 5kGy 조사군에서는 완전 사멸되어 세균이 검출되지 않았다(Table 13). 이는 Berry[67]의 쇠고기 가공식품의 저장성에 대한 연구에서 장기간 냉동저장시, 6개월째 호기성전세균이 5.4 log CFU/g라는 보고와 유사한 수치였으며, 냉동 18개월까지도 5.4 log CFU/g의 수준이 지속되어 본 실험에서 냉동저장중 총 호기성 세균은 커다란 변화 없이 초기 수준을 유지했던 결과와 일치하였다.

돼지고기에 대한 저장중 호기성전세균의 생육변화를 살펴보면, 비조사군의 경우 초기 호기성전세균수는 1.1×10⁴CFU/g정도 였으며, 저장기간이 경과됨에 따라 크게 증식하여 냉장저장 4주째에는 초기 부패 단계인 9.2×

10⁵CFU/g를 나타내었다. 3kGy 조사군에서는 저장 8주째 10⁵CFU/g 내외로 비슷한 수준이었으며, 5kGy조사로 저장말기까지 10²CFU/g 정도의 낮은 수준을 유지하여 조사선량에 따라 호기성전세균의 증식이 현저히 감소됨을 보였다(Table 14). 이 같은 결과는 김과 유[41]의 냉장돈육에 관한 연구와 유사한 경향이었으며, Ehioba[38]가 보고한 1kGy의 조사선량으로 돼지고기 등심의 저장기간에 따른 호기성전세균의 증식을 약 1.5 log cycle 정도 감소시켰다는 결과와도 잘 일치하고 있다. 냉동저장에서는 비조사군의 초기 호기성전세균수는 1.9×10³CFU/g에서 냉동저장 6개월 후에도 2.8×10³CFU/g으로 전 저장기간동안 거의 변화가 없었으며, 3kGy 조사군의 경우에도 초기 1.5×10²CFU/g이 저장말기까지 계속되었다(Table 15). 영국의 DOH[68]와 미국의 HEW[69]에서는 급식제도를 위한 호기성전세균수의 한계치를 10⁵CFU/g으로 제시하였는데, 이 기준치에 따르면 본 실험에서 냉동저장시 6개월까지도 미생물적 안전한 수준으로 간주할 수 있다고 사료된다.

Table 16과 같이 닭고기의 냉장저장에서는 비조사군의 초기 호기성전세균수는 9.5×10⁴CFU/g로 비교적 높은 수치를 나타냈으나 일반적으로 상온에서 유통되는 신선계육의 미생물수는 10⁴ 10⁵/㎠라는 김과 이[70]의 보고를 참고하여 볼 때 위생상 이상이 없다고 사료된다. Egan 등[71]은 총균수가 10⁸수준일 때 관능학적 부패를 발견할 수 있었다고 보고하였으나 본 연구에서는 부패를 느낄 수 있었던 냉장저장 8주까지도 호기성전세균수가 2.1×10⁷CFU/g으로 앞선 수치보다 낮은 세균 수를 나타내었는다. 이는 부분적인 진공포장으로 어느 정도 산소를 제거하여 포장한 것에서 기인된 것으로 생각되며, Gardener[72]등도 산소의 농도가 호기성전세균의 증식에 유의적인 영향을 미친다고 보고한 바 있다. 1kGy 조사군의 경우 비조사군과의 차이가 없었으며, 3kGy 조사군에서는 조사직후에는 세균이 검출되지 않았으나 냉장 2주째부터 점차 증식되어 냉장저장 8주후에는 2.0×10²CFU/g로 조사전 초기

세균수보다 적었다. 이는 감마선 조사로 균과 포자가 거의 사멸된 상태로 저장이 행해졌기 때문이라 생각 되여 7kGy 이상 조사군에서는 완전 사멸되어 냉장저장 8주 후에도 호기성전세균은 전혀 검출되지 않았다. 냉동저장의 경우에는(Table 17) 비조사군이 저장 1개월째 4.6×10³CFU/g 이었고, 냉동저장 6개월 후에도 거의 변화 없는 상태를 유지하였다. 1kGy군에서는 저장 1개월째 비조사군보다는 적은 2.0×10²CFU/g 이었으며, 3kGy군은 저장 4개월까지는 검출되지 않았으나 6개월 째에 0.5×10²CFU/g를 나타내었고, 7kGy 이상의 선량에서는 완전히 사멸됨을 알 수 있었다.

2) 저온성균

냉장저장중 쇠고기의 저온성균 오염상태는 Table 12와 같이 비조사군의 초기오염도는 1.5×10³CFU/g으로 저장기간이 경과함에 따라 생육이 급속히 증식되어 냉장저장 4주째에 초기부패 단계인 4.2×10⁶CFU/g에 도달하였으며, 저장 8주후에 3.1×10⁸CFU/g으로 증가하였다. 0.5kGy군은 비조사군과 비슷한 수준으로 저장기간에 따라 증식한 반면, 1kGy군의 경우에는 냉장저장 4주째까지도 5.8×10³CFU/g으로 비조사군의 초기오염도와 비슷한 수준을 유지하였다, 3kGy군에서는 초기 조사직후에는 균이 검출되지 않았으나 냉장 2주째부터 서서히 증식하여 8주후에는 5.1×10⁵CFU/g을 나타내었다. 따라서 조사직후에는 비조사군과 감마선 조사군 사이에 커다란 차이가 없었으나 저장기간이 경과함에 따라 감마선 조사군은 비조사군에 비해 세균의 증식이 점차 지연됨을 알 수 있었다. Lefebvre 등[66]도 1kGy의 조사로도 저온성균을 약 0.7 log cycle 정도 감소시킬 수 있으며, 저장기간에 따른 증식도 현저히 감소시킬 수 있다고 보고하고 있다. 냉동저장의 경우(Table 13), 비조사군은 전 저장기간에 걸쳐 10⁴CFU/g수준을 유지하였고, 0.5kGy 조사군은 10³CFU/g, 1kGy 조사군은 10²CFU/g 수준을 나타냈으며, 3kGy 이상에서는 저

장말기까지 저온성 균은 검출되지 않았다. 따라서 조사선량에 따라 다소의 증식 감소를 보였을 뿐 저장기간이 경과함에 따른 균의 증식변화는 거의 없었다.

냉장저장중 돼지고기에 대한 저온성균의 생육변화는 다음과 같다(Table 14). 비조사군과 0.5kGy군에서는 비슷한 수준으로 냉장저장 4주째 초기부패 단계에 도달하여 각각 6.6×10^{7}CFU/g과 3.3×10^{6}CFU/g이었고, 저장 8주째 최대를 나타내어 1.2×10^{9}CFU/g과 2.5×10^{8}CFU/g 이었다. 반면 1kGy조사군에서는 저장 4주후에도 5.7×10^{4}CFU/g으로 미생물학적으로 안전한 수준이었으며, 3kGy군에서는 냉장저장 8주째 4.8×10^{4}CFU/g을 나타내었다. 5kGy군의 경우 냉장저장 2주까지도 균이 검출되지 않았으나 4주후부터 약간씩 증식되어 저장말기에 약 10^{2}CFU/g 정도를 나타내었다. 이와 같은 결과는 Ehioba 등[38]의 연구에서 보고한 저온성균의 초기오염 정도와 비슷한 수준이었으며, 감마선 조사군이 비조사군에 비해 저온성세균의 느린 증식으로 1 2 log cycle 정도의 증식차이를 보인 결과와 유사하였다. 또한 Mattison 등[36]도 조사직후에는 비조사군과 감마선 조사군간의 저온성균수의 차이가 없었으나 저장기간이 경과함에 따라 비조사군은 급격한 증가를 보이는 반면 1kGy 조사군의 경우 완만히 증가하여 냉장저장 3주째 약 2.5 log cycle 정도의 차이를 나타내었다고 보고하였다. 냉동저장의 경우에는(Table 15) 쇠고기와 비슷한 경향으로 비조사군이 초기 6.4×10^{3}CFU/g의 수준을 저장말기까지 유지하였고, 0.5kGy와 1kGy선량으로 10^{2}CFU/g 수준을 지속하였다. 또한 3kGy군에서는 냉동저장 4개월 후부터 균이 검출되기 시작하여 6개월째 2.1×10^{2}CFU/g을 나타내어 조사선량에 따른 감균현상을 보였을 뿐 저장기간에 따른 증식패턴은 비슷하였다.

냉장저장중 닭고기에 대한 저온성균 생육증식 변화는 다음과 같다(Table 16). 우선 비조사군과 1kGy군의 경우에는 비슷한 수준의 증식을 보여 냉장

저장 4주째 10⁶CFU/g정도였고, 저장 8주후에는 10⁸CFU/g으로 완전히 부패하였다. 3kGy군에서는 냉장저장 8주후까지도 3.4×10⁶CFU/g 수준을 보여 조사군과 비조사군간의 증식현상은 현저한 차이를 보였다. 또한 7kGy군에서도 저장 4주째부터 10⁴CFU/g 정도의 증식을 보여 8주후에는 2.1×10⁶CFU/g으로 저온성균의 경우 비교적 높은 선량에서도 증식하여 닭고기의 냉장저장 중 변패를 일으키는 주된 오염미생물임을 알 수 있었다. 냉동저장의 경우에도 (Table 17) 비슷한 양상으로 비조사군과 1kGy은 저장 6개월까지 전 저장기간에 걸쳐 10⁴CFU/g수준을 나타내었고, 3kGy 조사군에서는 약 10²CFU/g 수준이며, 7kGy군에서는 저장 4개월까지 검출되지 않았으나 6개월째 1.5×10²CFU/g 내외를 나타내었다. Barnes 등[73]의 보고에 의하면 비조사 닭고기의 저온저장 및 호기적 조건에서 변패는 주로 *Pseudomonas*에 의한 것이 가장 크며, 적은 수의 *Achromobacter*와 Coliform도 검출되었고, 이러한 세균은 보편적으로 지방과 단백질을 강하게 분해시켜 풍미변화의 원인이 된다고 한다. Kahan 등[61]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) 대장균군 및 *E.coli*

대장균군은 일반적으로 감마선 감수성이 높아 저선량 조사에 의해서도 사멸이 가능한 것으로 알려져있다 쇠고기에 오염된 대장균군의 냉장저장중 생육정도를 살펴보면(Table 12), 비조사군은 저장 초기 2.0×10²CFU/g로 비교적 낮은 수치의 오염도를 나타내어 저장 8주후 초기부패 단계인 1.2×10⁶CFU/g에 도달하였으며, 1kGy군에서는 냉장저장 2주까지는 대장균군이 검출되지 않다가 4주째부터 2.2×10²CFU/g으로 느린 속도의 성장률을 보여 저장 8주후에도 5.6×10³CFU/g 정도였다. 한편, 3kGy 이상조사군에서는 저장

말기까지 대장균군은 전혀 검출되지 않았다.

*E.coli*의 경우에는 저장초 신선한 상태에서 비조사군과 조사군 모두 검출되지 않았으나 저장기간이 경과함에 따라 비조사군에서는 냉장저장 2주후부터 5.0×10^2CFU/g으로 증식되어 8주후에는 7.5×10^3CFU/g을 나타내었다. 반면 0.5kGy 이상에서는 완전 사멸되어 전 저장기간에 걸쳐 검출되지 않았다. 김 등[43]도 냉장저장 우육에서 오염도가 10^2CFU/g의 수준이라 하였고, 2주후에 약 10^4CFU/g수준으로 증식하여 저장말기까지 계속적인 증가를 하였다고 보고하였고, Lefebvre 등[66]도 냉장 저장된 쇠고기에서 대장균군은 감마선 조사로 사멸되어 전 저장기간동안 검출되지 않았다고 보고하였다. 냉동저장에서는(Table 13) 비조사군과 0.5kGy 조사군 모두 저장말기까지 초기 오염도인 10^2CFU/g수준을 유지하여 저장기간에 따른 증식은 없었으며, 1kGy 이상으로 완전 사멸되었다. *E.coli*는 비조사군에서 저장 1개월까지 1.5×10^2CFU/g 이었으나 냉동저장 과정에서 균과 포자가 거의 사멸되어 더 이상 증식하지 못하고 2개월 후부터는 저장말기까지 검출되지 않았다. 이러한 현상을 고려해 볼 때 냉동저장은 장기간의 위생적 보관이 가능하므로 육류의 신선도를 유지하기 위해 반드시 필요한 것으로 사료된다. 감마선 조사군의 경우에는 전 저장기간동안 *E.coli*가 전혀 검출되지 않았다. 냉장저장 급식제도에서 제시된 생재료에서의 대장균군 기준치는 10^2CFU/g으로 제시하고 있는데 이 기준치와 비교해 볼 때 쇠고기의 초기균수는 그 범위를 크게 벗어나지 않았으나 대장균군은 일반적으로 분변에 의한 오염정도를 판별하는 지표군으로써, 이는 비위생적인 원료처리와 유통과정의 부적절성에의해 주로 오염되고 있다.

냉장저장중 돼지고기에 대한 대장균군과 *E.coli*의 생육상태를 살펴보면 (Table 14) 비조사군에서는 대장균군의 초기 오염균수가 3.8×10^3CFU/g으로 기준치인 10^2CFU/g 보다는 높은 수치였고, 냉장저장 4주부터 초기부패 균수

인 약 106CFU/g을 나타내고, 8주후에는 완전 부패하여 1.4×107CFU/g을 나타내었다. 0.5kGy조사로 조사직후 대장균군은 검출되지 않았으나 저장 2주째부터 서서히 증식하여 냉장저장 8주째 2.0×106CFU/g을 나타내었으며, 1kGy 조사군에서는 냉장저장 2주까지 검출되지 않다가 저장 4주후부터 서서히 증식하여 저장말기에는 약 105CFU/g 수준이었으며, 3kGy 이상의 선량에서는 저장기간 내내 대장균군이 검출되지 않았다. 또한 돼지고기는 냉장, 냉동저장 모두에서 *E.coli*가 전혀 검출되지 않았다. 냉동저장시 대장균군은 비조사군과 0.5kGy 감마선 조사군 모두 냉동저장 6개월까지 약 102CFU/g 수준으로 초기 오염균수와 비슷하였고, 더 이상의 증식은 없었으며, 1kGy 이상의 선량으로 완전 사멸억제 되었다(Table 15).

냉장저장중 닭고기에 대한 대장균군의 생육변화는 다음과 같다(Table 16). 초기 오염균수는 비조사군이 1.8×104CFU/g으로 쇠고기와 돼지고기에 비해 다소 높은 오염수준을 나타내었고, 1kGy군은 조사직후에는 검출되지 않았으나 냉장저장 2주부터 1.1×104CFU/g으로 증식하였다. 한편, 3kGy이상의 감마선조사로 대장균군은 완전사멸 가능하였다. 조 등[74]도 닭고기에 오염된 대장균군의 경우 저장초기 비조사군이 2.1×103CFU/g이였던 것이 냉장기간 중 계속 생육하여 저장 10일에는 1.0×104CFU/g, 저장 41일에는 1.1×107CFU/g을 나타내었고, 5kGy 조사군에서는 조사직후 양성으로 나타났으나 저장 10일경부터는 음성으로서 대장균군의 생육은 없었으며, 8kGy 이상 조사군에서는 저장 전기간을 통해 음성이었다고 보고하였다. 이러한 결과는 EI-Wakeil 등[75]의 닭고기에 5, 10 및 15kGy의 감마선을 조사하여 저장성 실험을 수행한 결과 비조사군은 Coliform과 Streptococci가 검출되었으나 감마선 조사군에서는 완전사멸 되었다는 보고와 거의 일치하였다.

*E.coli*는 비조사군의 경우 저장초기에는 검출되지 않았으나 냉장저장 4주후부터 0.5×102CFU/g 수준으로 증식하기 시작하였고, 저장 8주째는 4.8

×103CFU/g을 나타내었다. 반면 1kGy 조사로 완전 사멸되어 전 저장기간에 거쳐 전혀 검출되지 않았다. 냉동저장에서는(Table 17) 대장균군이 저장 1개월째 2.5×103CFU/g이었고, 냉동저장 6개월까지 같은 수준을 유지하며 더 이상의 증식은 없었으며, 1kGy이상의 조사로 완전사멸 되어 냉동저장 전 기간동안 전혀 검출되지 않았다. 박 등[76]에 의하면 계육을 동결 저장하면서 대장균군수를 측정한 결과 저장기간에 따라 일부 1 2개의 균군이 검출되었으나 평균적인 수치를 나타낼 수 없었고 초기 미생물 수는 저장성에 많은 영향을 미치나 동결과정에서 균과 포자까지 거의 사멸되어 동결저장은 장기간의 위생적 보관에 반드시 필요하다고 보고하고있다. 박 등[77]의 연구에서도 냉동계육의 대장균수의 변화는 저장초 102 CFU/g정도에서 저장 20일 후에도 전 처리구에 걸쳐서 103수준을 나타내어 저장기간이 경과함에 따라 그 변화는 경미하였다고 하여 동결저장 기간에 따른 대장균군의 증식은 거의 변화가 없었던 본 실험의 결과와 일치하고 있다.

4) *Salmonella*

쇠고기에 오염된 *Salmonella*는 저장초기 신선한 상태의 비조사군에서는 검출되지 않았으나 냉장저장 2주째부터 1.7×103CFU/g을 나타내었고 비교적 서서히 증식하여 저장 8주째 2.0×104CFU/g 수준에 도달하였다. 반면 0.5kGy의 저선량 조사로도 완전 사멸되어 전 저장기간동안 균이 검출되지 않았다. 또한 냉동저장으로 감마선 조사군과 비조사군 모두 저장말기까지 *Salmonella*의 오염을 나타내지 않았다(Table 12,13). *Salmonella*는 조리될 때 대부분 사멸되며 가금류에서 발견된 *Salmonella* spp는 대체로 독성이 없으나 cross-infection의 원인이 되며 가정에서 조리에 앞서 주방기구등에 2차오염이 될 수도 있으며[46], *Salmonella* spp를 비롯한 장내 병원성 세균은 일반적으로 감마선 저항성이 약하여 종에 따라 차이는 있지만 D10 값이

1kGy정도로 알려지고 있다[78]. 급식소를 위해 제시된 미생물 품질기준을 보면 원재료 및 조리된 음식에서는 *Salmonella* 기준치[79]가 10³/MPN 이하로 권장하고 있으며, 식중독 방지를 위한 비위험 수준의 기준치로서는 10¹CFU/g로 규정하여 쇠고기에서 *Salmonella*균의 생육결과와 위에서 제시된 모든 기준치와 비교해 볼 때 쇠고기의 *Salmonella* 오염은 문제가 되지 않는 수준임을 알 수 있었다. 한편, ground beef에서 저장 온도별로 *Salmonella*의 분당세대시간(MGT:Mem Generation Times)을 조사한바에 따르면 1℃ 저장의 경우 9.70×10²CFU/g, 7℃ 저장에서는 6.41×10³CFU/g으로 보고되었다[80].

돼지고기에 대한 *Salmonella*의 저장기간에 따른 생육변화는 다음과 같다(Table14,15). 비조사군의 경우 저장초기 신선한 상태에서는 *Salmonella*의 오염은 없었으나 냉장저장 2주후부터 균이 검출되어 8주후에는 9.3×10⁶CFU/g의 높은 오염도를 나타내었다. 0.5kGy군에서는 냉장 2주후까지도 *Salmonella*의 오염을 보이지 않았으나 냉장 4주째부터는 서서히 증식하기 시작하였고 8주후에는 비조사군보다 약 2 log cycle 감소된 4.6×10⁴CFU/g을 나타내었다. 1kGy 이상의 조사군에는 저장말기까지 균의 증식은 없었다. 한편, 냉동저장은 초기의 무균상태를 지속하여 전 저장기간동안 *Salmonella*의 오염을 보이지 않았다. 따라서 식품을 냉동시켜서 저장을 하게 되면 세균의 성장은 억제되며 또한 냉동상태에서 식품에 감마선 처리를 하게되면 이에 존재하고 있는 미생물을 감소시켜, 미생물에 의한 위험도 동시에 줄어들게 된다. 따라서 저장시 감마선 조사와 냉동의 병용처리는 새우, 육, 가금육과 같은 식품에서 *Salmonella*를 제거하기 위한 매우 적절한 방법이라고 제시되고 있다[10].

닭고기의 경우에는(Table 16,17) 비조사군의 초기 *Salmonella* 오염균수는 2.2×10²CFU/g이었고, 저장기간에 따라 증가되어 냉장저장 8주후에는

2.0×10⁵CFU/g을 나타내었다. 반면 1kGy 조사군의 경우 조사직후에는 *Salmonella*가 완전히 제거되어 검출되지 않았으나 냉장저장 2주후부터 점차 증식하기 시작한 반면, 3kGy이상의 선량에서는 저장말기까지 완전 사멸되었다. 냉동상태에서는 비조사군에서 저장 1개월까지는 초기의 무균상태를 계속 나타내었으나 2개월째 1.5×10²CFU/g 수준을 나타낸 후 저장 6개월까지 더 이상의 증식은 없었다. 감마선 조사군에서는 전 저장기간동안 *Salmonella*의 오염을 보이지 않았다. 이러한 결과는 Kahan 등[61]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[81),46]. 또한 무포자 세균과 가금류 및 사료의 *Salmonella* 제거를 위해 사용된 감마선 조사선량은 1 8kGy였다는 결과[82]와 냉동가금류에서 *Salmonella*의 불활성화는 4 5kGy 선량이 적용된다는 연구보고[83] 등과도 거의 일치하였다.

5) *Listeria*

쇠고기에 대한 *Listeria* 초기오염균수는 비조사군이 4.2×10³CFU/g으로 비교적 높은 오염도를 나타내었으며 0.5kGy 조사군의 경우는 약 2 log cycle정도 감균된 1.7×10¹CFU/g이었고 두군 모두 냉장저장기간이 경과됨에 따라 증식되었다. 1kGy군에서는 조사직후에는 균이 검출되지 않았으나 냉장저장 2주후부터 서서히 증식하여 저장 8주후 5.5×10³CFU/g을 나타내었고, 3kGy 이상 조사로 완전 사멸되었다(Table 12). 냉동저장의 경우에는 비조사군 초기균수가 2.2×10²CFU/g으로 저장 6개월까지 더 이상의 증식은 없었으며, 1kGy의 선량으로 조사직후 사멸상태가 저장말기까지 지속되어 균이 검출되지 않았다(Table 13). Frederick과 Paul은[35]은 진공 포장된 쇠고

기 가공품에서 *Listeria*의 초기 오염균수가 10³CFU/g 이상이라고 하였고 균의 증식속도도 제품의 구성성분에 따라 다양하다고 보고하였다.

돼지고기의 경우에도(Table 14) 비조사군에서는 쇠고기와 비슷한 수준이었고, 1kGy 조사로 조사직후에는 사멸되었으나 냉장저장 2주후부터 서서히 증식하여 8주째에 8.1×10^2CFU/g 수준에 도달하였고, 역시 3kGy 이상의 선량에서는 완전 사멸되었다. 냉동저장에서도 비조사군과 0.5kGy 조사군 둘다 비슷한 수준인 10^2CFU/g을 전 저장기간 나타냈으며, 1kGy의 조사후 냉동저장으로 전 저장기간에 거쳐 *Listeria*의 오염은 검출되지 않았다.(Table 15)

냉장저장시 닭고기에 대한 *Listeria*의 생육변화를 살펴보면, 비조사군의 초기 *Listeria* 오염균수는 2.7×10^2CFU/g으로 쇠고기와 돼지고기에 비해 그 오염도가 낮았으며, 1kGy 조사로 역시 조사직후에는 사멸상태였으나, 냉장저장 2주후부터 다시 증식하기 시작하였고, 3kGy이상의 선량에서는 완전 사멸되었다(Table 16). 냉동저장의 경우에는 비조사군이 초기 1개월까지 2.1×10^2CFU/g 검출되었으나 그 후 자체내 사멸로 2개월째부터 전혀 균이 검출되지 않았고, 감마선 조사군의 경우는 전 저장기간에 거쳐 *Listeria*의 오염은 관찰되지 않았다(Table 17).

이상으로 쇠고기와 돼지고기는 닭고기보다 미생물 오염도가 낮아 1kGy의 조사로 저온성 미생물을 제외한 오염미생물의 생육을 검출한계 이하로 감소시킬 수 있었으며, 모든 미생물의 살균을 위해서는 3kGy의 선량이 요구됨을 알 수 있었다. 한편, 닭고기의 경우에는 3kGy의 감마선 조사로 일반세균과 대장균도 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.

2. 감마선 조사 축산물의 이화학적 품질특성 평가

가. 일반성분변화

본 실험에 사용된 쇠고기, 돼지고기, 닭고기의 조사선량과 저장기간에 따른 일반 성분의 변화는 Table 18과 같다. 신선한 상태(0주)의 쇠고기의 일반성분은 수분함량이 약 73%, 조단백이 약 29%, 조지방이 약 4.5%, 조회분이 약 1.1% 정도였고, 냉장 2주 후에는 각각 73.9%, 28.8%, 4.3%, 1.0%였으며, 냉장 4주후에는 72.1%, 28.1%, 4.8%, 1.0%로 저장기간에 따른 변화는 거의 없었으며 수분함량의 경우만이 저장기간에 따라 다소 감소됨을 보였고, 냉동저장의 경우에도 유사한 양상을 나타내었다. 또한 감마선 조사시료와 비조사시료간에도 일반성분의 차이는 나타나지 않았다.

돼지고기와 닭고기의 경우도 수분함량에 있어서만이 약간 감소했을 뿐 저장기간, 저장온도 및 조사선량에 따른 일반 성분의 변화는 없었다. 이는 Brewer와 Harbers[84]의 냉동 돼지고기의 수분함량이 저장기간에 따라 감소한다는 보고와 일치하고 있으며 김 등[85]의 진공 포장한 냉장우육의 저장성에 관한 연구에서의 일반성분 조성과도 비슷한 결과를 나타내었다.

나. pH 및 산도 변화

감마선 조사와 저장기간에 따른 pH 변화를 살펴보면 초기 pH는 조사선량에 관계없이 쇠고기가 약 5.5, 돼지고기는 약 6.0, 닭고기는 6.1로 쇠고기가 가장 낮았으며 감마선 조사 직후에는 비조사군이나 감마선 조사군간에 변화를 나타내지 않았으나 냉장의 경우 저장기간이 경과함에 따라서 모든 시험군에서 pH값이 증가하는 경향을 보였다(Table 19). 이 같은 결과는 냉장 쇠고기의 pH변화에 대한 김 등[86]의 연구에서 우육을 냉장저장 하였을 때 저장초기 pH값 5.5에서 점차 상승한다고 하여 본 실험의 결과와 일치하였

고, Dahl87)의 저장기간이 경과함에 따라 쇠고기 주성분인 단백질이 암모니아, 인돌등의 알칼리성 물질 등으로 분해되면서 pH가 상승한다는 보고와 일치하였다. 냉동저장시 비조사군의 경우 저장기간에 따라 다소 감소하는 경향으로, 쇠고기는 초기 pH 5.7에서 저장 4개월 후에는 5.5를 나타내었고, 돼지고기는 초기 pH 6.0에서 5.9, 닭고기는 초기 pH 6.2에서 6.0이었으며 감마선 조사군의 경우에는 저장기간에 따른 뚜렷한 변화를 나타내지 않았다. 따라서 저장온도에 있어 냉동저장은 냉장저장에 비해 pH 변화가 완만함을 알 수 있으며, 냉동저장중 pH의 감소는 시료의 지방질 성분이 산화되어 생성된 유리지방산의 영향으로 보고되고 있다88).

적정산도에 있어서도 pH 변화와 동일한 경향으로 감마선 조사 직후에는 각 시험군간에 큰 변화가 없었으나 냉장저장기간이 경과함에 따라 산도의 감소현상을 보였다. 냉동저장에 따른 산도는 비조사군의 경우에는 증가현상을 보였으나, 감마선 조사군에서는 뚜렷한 경향없이 증가 또는 감소하였다 (Table 20).

이러한 결과로 본 실험에서 사용된 살균선량의 감마선 조사는 시료의 pH 및 산도에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있었으며, 냉장 및 냉동저장에 있어서도 비조사군보다 안정된 수치를 나타내었다.

다. TBA가(thiobarbituric acid value) 변화

식품 중에 함유된 지방질 특히 불포화 지방산은 산패가 진행됨에 따라 과산화물과 carbonyl 화합물을 생성하며, TBA가는 이때 생성된 malonaldehyde와 2-thiobarbituric acid (TBA) 와의 적색복합체를 생성하는 정색반응으로 산가, 과산화물가 등과 함께 지방질의 산패도를 알아보는 방법이다89). 본 실험에서 쇠고기, 돼지고기, 닭고기의 감마선 조사와 저장기간에 따른 TBA가의 변화는 다음과 같다.

쇠고기의 경우(Fig 2) 감마선 조사직후 비조사군에 비해 감마선 조사군이 조사선량에 비례하여 TBA가의 증가를 나타내었으며, 냉장저장기간이 경과됨에 따라 모든 시험 군에서 냉장 4주까지 현저한 증가를 보였고, 8주후에는 대체적으로 감소하는 추세였다. 또한 감마선 조사군의 경우가 저장기간에 따른 증가폭이 훨씬 급격하여 3kGy조사군은 냉장저장 4주후에 약 4배의 증가를 나타내었다. 이러한 결과는 Demeyer[90]의 육의 숙성기간중에 지방은 지방분해효소에 의한 가수분해와 미생물 대사에 의한 산화적 변화가 일어나면서, 알코올, 케톤, 알데히드 등으로 분해되어 맛과 향에 영향을 미치게 되고 저장기간이 경과됨에 따라 TBA가가 증가한다는 보고와 잘 일치하는 경향이었고, Gokalp 등[91]은 장시간 저장시 malonealdehyde 가 carbonyl compounds, amino acid, urea등과 반응하여 TBA가가 오히려 감소한다고 보고하였으며, 감마선 조사가 지방산패를 촉진하며 malonaledehyde와 glycoxal등을 생성해 TBA와 적색중합체를 많이 생성한다는 보고[92]와도 잘 일치하고 있다. 냉동저장의 경우(Fig 3)에도 조사선량에 따라 TBA가가 증가하였고, 저장기간의 경과에 따라서도 계속적으로 증가하여 저장말기인 6개월 후 최대치를 나타내었다. Bhattacharya 등[31]은 쇠고기를 냉동저장 하였을 때 TBA가는 12 16 주까지 계속적으로 증가한 후 그 후 감소하였다고 하여 본 실험결과와 일치하였으며, 냉동쇠고기의 TBA가는 저장 180일까지 계속적으로 증가하며, 이는 쇠고기 근육 속의 철을 함유한 색소의 농도가 점점 증가하여 이것이 Prooxidant로 작용하기 때문이라고 Brown 등[93]은 보고하고 있다.

돼지고기는(Fig 4) 냉장저장 직전 비조사군이 0.085였으나 저장기간이 경과함에 따라 거의 직선적으로 증가하여 저장 8주후에는 0.388을 나타내었다. 감마선 조사군의 경우에는 특히 2주후부터 급격히 증가하여 냉장 4주째 1kGy와 3kGy군 모두 0.8정도로 최대를 나타내었고 그후에는 다소 감소하였

다. 이는 박 등[94]의 돼지고기에 대한 저장기간에 따른 TBA가의 증가보고와 일치하며, 김과 유의[41]의 연구에서도 저장 초 신선한 돼지고기의 TBA가는 0.02에서 냉장저장 4주후 0.13이었다고 하여 본 실험에서의 TBA가와는 차이가 있었으나 저장기간에 따른 증가경향은 뚜렷하였다. 한편, Ehioba 등[38]은 감마선 조사한 돼지고기가 비조사군에 비해 TBA가가 더 낮았다고 보고하였고, Mattison 등[36]도 감마선조사 돼지고기의 저장기간에 따른 TBA가에 대한 연구에서 저장기간의 경과로 TBA가는 현저히 증가되었으나 비조사군과 감마선조사군 사이의 차이는 없었다고 보고하여 본 실험과는 다소 상이한 결과를 나타내었다. 냉동저장의 경우도 냉장저장과 비슷한 추세로 저장기간에 따라 증가하여 저장말기인 6개월 후 최대치를 나타내었고, 특히 3kGy군의경우 0.863으로 조사직후 0.157과 비교하여 약 5배의 큰 증가를 나타내었다(Fig 5). 이는 최와 안[95]의 연구결과와 일치하는 경향이었으며, 또한 돼지고기를 장기간 냉동저장시 저장 6개월까지 지속적인 TBA가의 증가를 보고한 Brewer 등[30]의 결과와도 일치하였다.

닭고기에 대한 저장기간과 조사선량에 따른 TBA가의 변화는 Fig 6,7에 나타내었다. 먼저 냉장저장의 경우 비조사군이 저장직전 0.186으로 돼지고기에 비해 다소 높았으며 저장기간이 경과함에 따라 계속적으로 증가하여 4주후 최대치를 나타내었고, 그 이후에는 감소하였다. 또한 감마선 조사선량에 비례하여, 감마선 조사군이 비조사군보다 그 증가폭이 훨씬 급격하였으며, 3kGy조사군의 경우 2주후에 초기 0.3에서 약 3배 증가한 0.9를 나타내었고 저장 4주째 최대치를 나타내었다(Fig 6). 이는 EI-Wakeil 등[75]의 연구보고에서 감마선 조사된 닭고기의 TBA가가 비조사군에 비해 조사선량의 증가와 저장기간에 따라 증가했다는 결과와 일치하였으며, 변 등[96]은 닭고기를 감마선 조사할 때 생기는 free radical들에 의해 지방산패가 촉진되며, 이는 지방의 자동산화 과정과 비슷하게 산화생성물과 과산화물이 형성되어

TBA가가 높아진다고 하였다. Chipault 등[97]은 산소 존재하에 지방질에 고선량의 감마선조사는 상당량의 peroxide와 carbonyl 화합물을 생성하는데, 이러한 생성물의 양은 풍미나 기타의 이화학적 변화 등과 관련지을 수 없다고 보고한 바 있다. 또한 박 등[77]의 연구에서도 냉장저장 닭고기의 TBA가가 냉장저장 26일까지 포장방법에 관계없이 계속적으로 증가한다고 하여 본 실험의 결과와 잘 일치하고 있다. 냉동저장의 경우에도 저장기간 및 감마선 조사선량에 따라 계속적으로 증가하여 냉동 6개월 후 최대를 나타내었다(Fig 7).

본 실험에서 쇠고기의 경우에는 돼지고기와 닭고기에 비해 TBA가가 다소 높은 수치를 나타내었는데, 이에 대해 Marian과 Forsythe[98]는 적육이 백육보다 heme 색소가 많아 지방산화를 촉진시킨다고 설명하였으며, Miller 등[29]의 연구에서도 냉동저장중 TBA가에 있어 우육이 돈육보다 월등히 높아 저장 4개월째 약 6배의 차이를 나타내었다. 한편, 가식권에 대해서는 Turner[99]는 TBA가가 0.46이하에서 가식권으로 인정된다고 하였고, 박 등[100]은 0.25일 때 산패취를 느낄 수 있었다고 하였다. 그러나 김 과 유[41]의 연구에서는 냉장저장 30일이 경과한 돈육의 TBA가가 0.1의 낮은 수치를 나타내었고, Chuang[62]의 보고에서는 신선계육의 TBA가가 0.3 MAmg/kg라고 하였다. 또한, 김 등[85]은 fresh한 상태의 냉장우육의 TBA가가 약 0.43이라고 보고한 반면, 최 등[101]의 연구에서는 저장 0주, 0.2 MAmg/kg 수준에서 저장 10일후 약 0.43 MAmg/kg을 나타내었다.

이와 같이 TBA가는 실험방법상의 차이와 여러 연구자들마다의 결과가 다양하여 TBA가의 수치만으로 저장중 식품의 산패유무를 정확히 판단하는 것은 다소 무리가 있는 것으로 사료된다.

라. 지질산가의 변화

유지는 오랫동안 저장하는 동안에 공기중의 산소 및 미생물의 작용을 받아 산패하게 되므로 유지중에 포함되어 있는 유리지방산의 양은 유지의 품질과 신선도를 나타내는 기준이 될 수 있다. 감마선 조사와 저장기간에 따른 지질 산가 변화는 Table 21에 나타나있다. 감마선 조사직후 쇠고기와 돼지고기의 초기 지질 산가는 비조사군과 조사군 모두 2.9 3.8 정도였으며, 닭고기의 경우에는 7.7 8.5로 비조사군과 조사군간의 차이는 없었다. 쇠고기와 돼지고기는 냉장저장 2주째부터 각각 비조사군과 1kGy군은 증가하기 시작하여 냉장 8주째에는 최대치를 나타내었으나 3kGy 조사군은 냉장 4주까지도 쇠고기는 6.3, 돼지고기는 5.6으로 비조사군에 비하여 완만히 증가하였고, 냉장 8주에는 쇠고기 9.1, 돼지고기 19.4를 나타내었다.

닭고기는 비조사군이 냉장 2주째부터 12.4를 냉장 8주째에는 27.8의 높은 증가를 보인 반면, 3kGy와 7kGy군의 경우 2주째에 각각 8.4와 8.6을 나타내 조사선량의 증가에 따라 지질 산가의 감소를 보였으며, 냉장 8주째에는 각각 17.5와 15.6을 나타내었다.

냉동저장의 경우에는 쇠고기와 돼지고기는 비슷한 추세로 저장 1개월에 각각 3.4 3.9이었고, 저장 6개월째에는 5.0 5.8을 나타내어 냉동저장중에도 지방의 산화는 계속적으로 일어남을 보여주었다. 닭고기는 냉동저장 1개월째에 비조사군은 10.8, 3kGy은 10.7, 7kGy군은 9.8을 나타내어 지질 산패가 상당히 진행되었음을 알 수 있었고, 6개월째에는 각각 13.7, 14.6, 14.7으로 저장기간이 경과함에 따라 점차 증가하였다. 또한 냉동저장시 비조사군과 감마선 조사군간의 산값의 차이는 없었다. Lefebvre 등[102]은 감마선 처리가 유리지방산의 형성에 큰 영향을 미치지 않으며, 비조사 및 조사시료 모두 저장기간에 따라 증가한다고 보고하여 본 실험과 유사한 결과를 나타내었으며, Urbain[103]도 유리지방산은 주로 triglyceride(중성지방)

와 phospholipid의 가수분해에 의해 생성되며, 50kGy의 조사선량으로도 여기에 관여하는 lipolytic enzyme을 불 활성화시킬 수 없어, 저장기간에 따라 유리지방산 함량이 증가한다고 보고하였다.

마. 휘발성 염기태 질소변화

육제품은 변패가 진행됨에 따라 암모니아 및 아민류 등과 같은 휘발성 염기질소 화합물을 생성하므로 VBN 함량은 단백질의 부패정도를 판정하는 척도의 하나로 흔히 활용되며 단백질 식품의 신선도 판정에 유효하다.

본 실험에서 감마선조사와 저장기간에 따른 VBN 함량변화는 저장 0주에 쇠고기와 돼지고기의 경우 18Nmg%에서 20Nmg%로 비조사군과 조사군간의 차이는 없었고, 냉장 2주째부터 각각의 비조사군은 50Nmg% 이상으로 높은 변패수치를 나타낸 반면, 각 1kGy조사군에서는 저장 2주까지도 큰 변화가 없었으며, 3kGy 조사군에서는 저장 4주째에도 30Nmg%이하를 나타낸 반면 비조사군은 그의 2배인 60Nmg%로 감마선 조사구가 비조사구에 비하여 VBN 증가폭이 현저히 작아 단백질의 변패를 지연시키는 것으로 생각된다. 또한 저장 8주후에 모든 시험군에서 최대값을 나타내어 저장기간에 따라 VBN값이 지속적으로 상승한다는 Dierick 등[104]의 보고와 유사한 경향을 나타내었다(Fig. 8, 9). 닭고기의 경우에는 초기 VBN 값이 비조사군과 조사군의 차이없이 약 26Nmg%를 나타내어 쇠고기와 돼지고기에 비해 다소 높은 경향이었으며, 비조사군은 냉장 2주째에 56Nmg%의 높은 수치를 나타내었고, 3kGy 조사군에서는 34Nmg%를 나타내었으나 식용으로는 불가능한 수치였으며, 7kGy 조사군은 냉장 8주까지도 34Nmg%로 비교적 낮은 수치를 나타내었다(Fig 10).

냉동저장의 경우에는 모든 시험 군에서 대체적으로 저장 6개월까지도 30Nmg% 내외로 비교적 낮은 수치를 나타내었고, 감마선 조사군과 비조사군의 차이없이 저장기간이 경과함에 따라 약간씩 증가하여 쇠고기와 돼지고기

의 경우 초기 VBN값이 14Nmg% 18Nmg%에서 저장 6개월 후에는 20 24Nmg%, 닭고기는 약 23Nmg%에서 31Nmg%를 나타내었다(Fig. 11,12,13). 이와 같은 결과는 미생물의 생육정도와 잘 일치하는 경향을 나타냈으며 Lefebvre 등[102]도 ammonia 및 amine류와 같은 휘발성 염기태 질소 화합물은 육류에 많이 오염되어있는 *Pseudomonas*등과 같은 gram-negative bacteria에 의해 urea와 아미노산이 분해됨으로써 형성된다고 하였다.

휘발성 염기태 질소 함량에 대한 식품의 신선도 평가는 식품의 종류에 따라 차이는 있겠지만 어육의 경우는 30Nmg%정도를 부패의 초기 현상으로 보고 있으며, 가공육의 경우 연구자마다 약간씩의 차이가 있어 30Nmg% 이상이 되어도 변패하지 않는 경우도 많다고 하여 절대적인 변패수치를 명시할 수는 없지만 국내 식품공전에서는 원료육 및 포장육에 한하여 VBN 함량이 20Nmg% 이하이어야 한다고 명시하고 있다[105].

바. 지방산 조성의 변화

쇠고기, 돼지고기, 닭고기에 대한 저장기간과 감마선 조사선량에 따른 총 12종의 구성지방산을 분석한 결과는 다음과 같다. 쇠고기의 지방산 조성 변화를 보면 냉장 및 냉동 두 가지 저장조건 모두 포화지방산인 palmitic acid, stearic acid와 불포화지방산인 oleic acid, palmitoleic acid, linoleic acid가 대부분을 차지하여, 다른 쇠고기의 지방산 분석[92),43]과 잘 일치하였다. Cannell등[106]도 쇠고기의 지방산 조성연구에서 제일 많은 비율을 차지하는 것이 불포화지방산인 oleic acid 였으며, 다음이 palmitic acid, stearic acid라고 보고하여 본 실험의 주요 지방산 구성과 같은 경향이었으며(Table 22,23), 감마선조사에 따른 지방산 조성과 함량의 변화는 거의 없었다. 저장기간에 따른 지방산 조성 변화에 관한 연구로 박 등[107]은 한우육의 oleic acid의 비율은 저장기간에 따라 감소하고 palmitic acid와

stearic acid의 비율은 증가한다고 하였으며, 저장중 불포화 지방산이 감소하면서 지방산화가 일어난다고 Moerck와 Ball[108]도 보고하고 있다. 그러나 본 실험의 결과에서는 저장기간에 따른 포화지방산의 증가나 불포화지방산의 감소는 불규칙하여 뚜렷한 경향을 찾을 수 없었다. 이러한 결과는 우육의 품종, 사양조건, 체중, 근육부위등을 포함한 여러 가지 요인에 의해 다소 차이가 있을 수 있어 본 실험에서는 이와 같은 오차요인에의해 뚜렷한 경향이 나타나지 않는 것으로 사료된다. 한편, Gillis와 Eskin[109]은 우육에서 pentadecenoic 및 heptadecenoic acid를 검출하였다고 보고했는데, 본 연구에서도 heptadecenoic acid (17:0)가 상당량 검출되었다.

돼지고기에 대해서는 냉장과 냉동저장 모두 총 12종이 분리되었으며 이들중 대부분을 구성하고 있는 것은 oleic, palmitic, linoleic, stearic 및 myristic acid였다. 가장 높은 함량을 나타낸 지방산은 oleic acid로 약 45%, 다음은 palmitic acid로 약 23%였으며, 특히 linoleic acid가 약 14%로서 쇠고기의 약 5%에 비하여 상당히 높은 함량을 나타내었다(Table 24.25). 또한 돼지고기가 쇠고기에 비해 지방산 조성에서 다중 불포화지방산 조성비가 훨씬 높게 나타났는데, 이는 쇠고기의 체지방에는 포화지방산 함량이 높고, 불포화지방산 함량이 낮다는 Reiser 등[110),111),112]의 보고와 유사하였다. 박 등[94]과 Hilditch[113]의 연구에서도 돈육이 우육과 비교하여 불포화 지방산 조성비가 높으며, 돈육의 주요지방산은 oleic acid, palmitic acid, linoleic acid 순으로 본 실험과 일치하였고, 그 조성비 함량 또한 비슷하였다. 한편, 감마선 조사선량과 저장기간에 따른 뚜렷한 차이는 없었으며, 다만 Chang과 Watts[114]의 보고에 의하면 육류에 있어 불포화 지방산은 산패의 주요인 이라고 했으며, Dimick와 Macneil[115]은 linoleic acid와 arachidonic acid가 자동산화로 인한 변패의 주된 요인이라고 보고하였는데 본 실험의 경우도 linoleic acid(18:2)와 arachidonic

acid(20:4)의 조성비가 저장초 각각 14.11%와 1.29%에서 냉장저장 8주후에는 12.34%와 1.03%로 감소하여 위에서 말한 연구결과와 상관관계가 있는 것으로 사료된다.

닭고기에 대한 지방산 조성변화의 경우(Table 26) 대부분을 이루는 주요 지방산은 oleic acid, palmitic acid, linoleic acid, stearic acid 및 palmitoleic acid 등이었으며, 그 중 함량이 가장 높은 것은 oleic acid(약 38%)로써 전체 불포화지방산의 60 64%를 차지하였다. 한편, 포화지방산은 palmitic acid가 대부분을 차지하였고, 저장기간의 경과에 따른 변화를 보면 냉장저장 기간이 경과할수록 비조사군과 감마선 조사군 모두 다중 불포화지방산 함량은 다소 감소하고 포화 지방산은 증가하는 경향이었고, 조사직후 감마선 조사선량에 따른 조성비의 함량변화는 거의 없었다. 앞선 쇠고기와 돼지고기의 경우 저장기간에 따른 변화가 불규칙하여 뚜렷한 경향을 찾아볼 수 없었던 것과는 달리 닭고기는 저장기간에 따른 포화지방산의 증가경향이 뚜렷하였는데, 이는 닭고기의 경우 근육부위별, 품종별 지방산 조성차이가 작으며 또한 육질도 훨씬 균질화가 쉽기 때문인 것으로 생각된다. 냉동저장시에는(Table 27) 저장기간에 따른 지방산의 함량변화는 거의 없었으며, 조사선량에 따른 차이도 뚜렷하지 않았다. 특히 불포화도가 높아 자동산화가 용이한 다중불포화 지방산의 경우에도 조성비율의 차이가 21.13% 21.65%로 감마선 조사군과 비조사군간에 차이가 없었다. Lee와 Dawson[116]은 계육지방산의 70%가 불포화지방산이라고 하였고, 저장기간에 따라 불포화지방산의 함량이 감소한다고 하여 본 실험의 결과와 일치하였고, 박 등[117]은 계육의 경우 다중 불포화 지방산의 함량이 높기 때문에 필수지방산의 공급원이 되나 이를 가금육이 타육류에 비하여 산패가 되기 쉬운 요인으로 설명하고 있다[114]. 본 실험에서도 불포화지방산 중 산패의 요인으로 작용하는 linoleic acid와 arachidonic acid의 경우 감마선 조사군

과 비조사군 모두 냉장저장 기간이 경과됨에 따라 현저히 감소됨을 보여 위의 연구결과를 잘 뒷받침해 주고 있다.

한편, 박 등[76),117),118)]의 계육에 관한 일련의 연구를 살펴보면 주요지방산 중 가장 높은 함량을 나타낸 지방산은 oleic acid로 다음은 palmitic acid, linoleic acid 순이였으며, 저장기간이 경과함에 따라 불포화지방산은 감소한다고 하여 본 실험결과와 잘 일치하였다. 또한 타육에 비해 다중불포화비가 2 3배정도 높아 산패에 대한 문제점도 제시하고 있다.

사. 유리아미노산 함량의 변화

감마선 조사가 시료의 유리아미노산 조성에 미치는 영향을 조사한 결과는 다음과 같다. 먼저 Table 28은 쇠고기의 냉장저장중 유리아미노산 함량변화를 나타낸 것으로 총 19종의 유리아미노산이 분석되었는데 저장초기 신선한 상태의 비조사군에서 가장 많이 검출된 것은 glutamine 이었고, 그 다음은 alanine, glycine 순이었다. 반면에 cysteine과 asparagine이 가장 적게 검출되었다. 저장기간에 따른 유리아미노산 조성중 총 12종은 증가하였는데, 특히 glutamic acid의 경우 6배, aspartic acid, threonine, proline, valine, methionine, isoleucine, leucine, phenylalanine 등은 2 3배 이상 증가하였다. Histidine, serine, asparagine 등은 큰 변화 없거나 불규칙하였으며, glutamin, tyrosine, lysine, arginine 등 4종은 감소하는 경향이었다. Youn 등[119)]은 쇠고기의 저장중 lysine의 함량이 감소한다고 보고하여 본 실험의 결과와 유사하였고, 마쇄 쇠고기에 대한 Penet 등[120)]의 유리아미노산 조성 연구를 보면 alanine, glutamic acid, serine, glycine 등이 가장 많이 검출되었고, cysteine과 tryptophan은 불검출되어 본 실험과 비슷한 경향이었다.

감마선 조사에 따른 유리아미노산 조성상의 변화를 보면, 대체적으로

3kGy군에서 약간 감소하였으며, 특히 함황아미노산인 methionine, arginine 등은 3kGy의 감마선 조사로 2 3배정도 감소하였는데 Khattak 등[121]은 감마선 조사로 함황아미노산이 불안정해진다고 보고한 바 있다. 한편, 저장기간이 경과함에 따라 유리아미노산의 함량이 대체로 증가하는 것은 lysosome으로부터 acid lipase가 많이 유리되어 지방 가수 분해를 촉진하기 때문이며[122], 단백질도 분해되어 유리아미노산을 생성하고 이것이 숙성중 용출하기 때문인 것으로 보고되고 있다[123]. 냉동저장의 경우에는(Table 29) 대체적으로 모든 아미노산이 저장기간이 경과함에 따라 약간 증가하거나 차이가 없었고, 가장 많이 검출된 아미노산이 glutamine, alanine 순으로 냉장저장과 거의 비슷하였다. 감마선 조사에 따른 변화는 불규칙하여 뚜렷한 경향을 찾기 힘들었으며, 냉동상태에서는 저장기간과 감마선 조사에 따른 커다란 변화를 나타내지 않아 조사후 냉동저장이 유리아미노산 조성변화를 방지하는데 효과적인 것으로 사료된다.

돼지고기에 대한 유리아미노산 함량의 경우 신선한 상태의 비조사군에서 가장 많이 검출된 것은 glutamine과 alanine이었고 다음이 glycine, glutamic acid 순으로 검출되었다(Table 30). 또한 cysteine은 검출되지 않았으며, asparagine과 methionine이 가장 적게 검출되어 쇠고기와 같은 경향으로 Penet 등[120]의 연구 결과와도 잘 일치하고 있다. 냉장저장기간에 따라 유리 아미노산 조성중 총 10종이 증가하였고, 특히 glutamic acid, alanine, valine 등은 5 6배 이상 증가하였다. Aspartic acid, asparagine, proline, histidine등은 변화가 없거나 불규칙하였으며, glutamine, tyrocine, Arginine등은 감소하는 경향이었다. 감마선 조사의 영향은 쇠고기와 비교하여 돼지고기의 경우 비교적 안정한 편으로 냉장저장 2주까지는 조사군과 비조사군간의 총 유리아미노산 함량은 커다란 차이가 없었다. 또한 함황아미노산인 methionine의 경우 감마선 조사에 의한 영

향은 보이지 않았으며 lysine은 3kGy 조사로 다소 증가하였고, 저장기간이 경과됨에 따라 증가하여 이 등[123]의 도살후 저장기간이 경과됨에 따라 돈육의 lysine의 함량이 증가했다는 결과와 일치하였다. 한편, 저장 4주후부터는 3kGy 조사군의 경우 저장말기까지 큰 함량변화는 없는 반면, 비조사군은 큰 폭으로 상승하였다. 냉동저장의 경우(Table 31)에도 가장 많이 검출된 것은 alanine과 glutamine이었고, cystein과 methionin이 가장 적게 검출되었다.또한 저장기간과 감마선 조사에 따른 영향은 대체적으로 큰변화를 나타내지 않았다.

Table 32는 냉장저장중 닭고기에 대한 감마선조사와 저장기간에 따른 유리아미노산 조성변화를 나타낸 것이다. 가장 많이 검출된 것은 alanine이었고 다음은 serine, glutamic acid, glycine, aspartic acid순으로 검출되었고, lysine, threonine, leucine 등도 상당량 검출되었다. Mott 등[124]의 연구에서도 glutamic acid, aspartic acid, lysine, alanine 등이 가장 많이 검출되어 본 실험의 결과와 유사하였다. 한편, cystein는 전혀 검출되지 않다가 냉장저장 8주째 7kGy군에서 3.9μM/g이 검출되었으며, 저장기간에 따라 glutamic acid, glycine, alanine, methionine, isoleucine, histidine 등은 증가하였고, arginine, glutamine 등은 감소하였다. 그 외의 아미노산은 모두 불규칙하여 뚜렷한 경향이 없었으며 감마선조사로 인한 영향은 7kGy 조사군의 경우 다소 감소하는 종이 많았고 함황아미노산인 methionine은 감사선 조사에 의해 약간 감소하였으며, lysine의 경우에는 변화가 없었다. 또한 냉동저장에서는 alanine, serine, glutamic acid, glycine, lysine등이 가장 많이 검출되었으며 감마선 조사에 따른 변화는 거의 없었다(Table 33). 닭고기는 냉동저장중에도 쇠고기와 돼지고기와 비교하여 유리아미노산의 증가폭이 상대적으로 높은 경향이었는데 이는 닭고기의 경우 냉동저장 중에도 지방산패가 다른 육고기에 비해 빨라 유리아미노산의 용출

이 용이하며 shelf-life도 짧은 것으로 사료된다.

아. 총아미노산

쇠고기, 돼지고기, 닭고기의 저장기간과 감마선 조사선량에 따른 총아미노산 함량을 분석하였다.

쇠고기의 총아미노산(Table 34)중 가장 많이 검출된 것은 glutamic acid와 lysine 이었고 반면 asparagine, glutamine등은 검출되지 않았는데, 이는 glutamin 과 asparagine의 경우 산가수분해시 amino기가 떨어져 glutamic acid 와 aspartic acid로 정량되었기 때문으로 생각된다. 냉장저장 4주후에는 대부분의 총아미노산의 함량은 다소 증가하였고, histidine, cystein, lysine, tyrosine등 4종만이 감소하거나 별다른 변화를 나타내지 않았으며, 감마선 조사에 따른 영향은 거의 없었다. 한편, 냉동저장의 경우 총아미노산의 함량은 대체적으로 저장말기인 6개월후 비조사군의 경우 다소 감소하는 경향이었으며, Perrson 등[125]은 냉동식품의 해동시에 필수아미노산의 손실양이 증가했다고 하여 해동과정이 필요없는 냉장저장이 오히려 아미노산 함량을 보유하는데 효과적이라고 보고하기도 하였다.

돼지고기의 경우에는(Table 35) glutamic acid와 aspartic acid가 가장 많이 검출되었고 lysine, alanine등도 상당히 많이 검출되었다. 또한 저장기간에 따른 총아미노산의 함량 변화는 미비하였으며 감마선 조사에 따른 변화도 냉장, 냉동저장 모두가 커다란 차이를 나타내지 않았다.

닭고기의 경우도(Table 36) 돼지고기와 마찬가지로 가장 많이 검출된 것이 glutamic acid와 aspartic acid 였으며, 다음은 alanine, lysine 순으로 검출되었다. 또한, 감마선 조사에 따른 총아미노산의 함량변화는 거의 없었고, 저장기간의 경과에 따라서도 커다란 변화를 찾기 힘들었으며, 냉동저장의 경우가 다소 그 함량이 감소하는 듯해 보이나 뚜렷하지는 않았다. 함황

아미노산인 methionine 과 cysteine은 냉장, 냉동저장 모두 거의 변화 없었고, 감마선 조사선량에 따른 함량변화 역시 없었다.

한편, 돼지고기와 닭고기도 마찬가지로 glutamin과 asparagine의 경우 산가수분해시 amino기의 소실로 검출되지 않은 것으로 사료된다. 본 실험에서와 같이 실제로 식품에서도 단백질중의 아미노산이 감마선의 영향을 받기 어려운 상태로 존재하며, 따라서 감마선에 의한 분해는 거의 일어나지 않으며, 조사결과 생성된 free radical도 비교적 움직이기 힘든 상태로 있기 때문에 단백질 내에서 재결합이 일어나기 쉽다고 보고되고 있다[126]. 또한, 단백질중의 아미노산은 감마선에 의한 손상이 극히 적어, 50kGy까지의 고선량을 조사해도 아미노산 조성은 거의 변화하지 않는다는 연구도 많이 보고되고 있다[103],[127].

자. 전기영동

육의 단백질은 근섬유를 구성하고 있는 구조적 단백질과 근장을 이루고 있는 근장단백질로 되어있고 이들 단백질의 분해는 육의 저장온도, 시간, pH 등과 깊은 관련이 있다고 한다[128],[129].

본 실험에서 쇠고기, 돼지고기, 닭고기에 대한 저장기간과 감마선 조사선량별 육단백질의 변화상태를 SDS-PAGE를 이용하여 전기영동한 결과는 다음과 같다. 먼저, 쇠고기에 대한 전기영동상에 나타난 단백질의 변화상태는 냉장저장의 경우(Fig 14) 저장초 신선한 상태에서는 모든 시험군에서 단백질의 subunit 조성에는 변화가 없었고, 냉장저장 2주까지도 감마선 조사군과 비조사군의 차이는 없었다. 반면 냉장저장 4주후부터 모든 시험군에서 분자량이 116kDa(β-galactosidase, GALAC) 바로 밑 약 105kDa의 단백질 band가 분해되기 시작하여 8주후에는 완전히 소실되었고, 이러한 현상은 감마선 조사군의 경우가 비조사군에 비해 더욱 뚜렷하였다. 한편, 비조사군

과 감마선 조사군 모두 45kDa(egg albumin, EA) 아래 약 40kDa 단백질의 경우, 냉장저장 4주후부터 두개의 분 획으로 나누어져 8주후에는 완전히 분리되어 2개의 band를 나타내었다. 또한 약 34kDa의 분자량을 가진 단백질도 모든 시험 군에서 저장 2주이후 완전히 분해소실 되었다. 냉동저장의 경우(Fig 15)에는 감마선 조사군과 비조사 시료 모두 전 저장기간동안 안정한 단백질 구조를 유지하였다.

저장온도와 저장기간에 따라 쇠고기의 근단백질 분해에 대한 Peter 등[130]의 연구에서는 myosin heavy chain을 포함한 분자량이 큰 단백질에서 분해가 먼저 일어나며 이러한 현상은 4℃보다 35℃에서 더욱 심해 온도에 직접적인 영향을 받는다고 하여 본 실험의 결과와 유사한 경향을 나타내었다.

다음은 돼지고기에 대한 전기영동 결과이다. 저장초 비조사군과 감마선 조사군 사이의 단백질의 subunit 조성차이는 전혀 없었으며, 약 105kDa의 분자량을 가진 단백질은 1kGy군에서만 냉장저장 8주후 약간 감소하는 듯 하여 쇠고기에 비해 안정됨을 나타내었다. 한편, 3kGy 조사군에서 45kDa(EA)과 31kDa(carbonic anhydrase. CA)사이의 3개의 분획중(약 40kDa, 37kDa, 32kDa) 37kDa의 분자량을 가진 subunit이 냉장저장 2주후부터 서서히 분해되기 시작하여 저장 8주째에는 완전히 소실됨을 보였다(Fig 16). 냉동저장중에는 모든 시험군에서 저장 말기까지 단백질 band의 변화는 없었다 (Fig 17).

닭고기에 대한 전기영동 결과에서는 저장초 비조사군에서는 205kDa (myosin heavy chain)인 subunit가 존재했으나, 감마선 조사군에서는 거의 식별하기 곤란할 정도로 감소하였으며, 116kDa(GALAC) 아래 약 105kDa의 분자량을 가진 단백질 band에 냉장저장 4주후부터 상단 band가 보이기 시작하여 8주후에는 뚜렷하게 2개의 band를 나타내었다. 또한, 45kDa(EA)과 31kDa(carbonic anhydrase. CA) 사이의 약 40kDa, 35kDa, 33kDa의 단백질

분획들중 35kDa과 33kDa의 band는 냉장저장 2주까지는 상단 35kDa 분자량 단백질의 band 양이 많았으나 저장 4주 이후부터 서서히 감소하여 저장 말기에는 하단 32kDa인 단백질 band의 농도와 균등하게 되었고, 특히 저장 8주째 3kGy군에서는 뚜렷이 상하 균등한 농도의 band를 나타내었다(Fig 18). 냉동저장의 경우(Fig 19) 모든 시험군에서 단백질 band의 변화는 거의 없었다. 오 등[131] 및 박 등[100]의 연구에 의하면 닭고기의 도살후 숙성기간중 모든 부위의 단백질이 4℃에서는 완전한 상태를 유지하였지만 37℃에서는 가슴근이 2일 경부터 그리고 4일경부터는 다른 부위의 근단백질 band도 변화가 일어나기 시작하였으며, 12일 경에는 분자량이 205kDa(myosin heavy chain)인 band가 모든 근에서 전부 소실되었다고 보고하고 있다.

육의 단백질분해는 육중 효소들의 활성과 근섬유내 이온의 변화와 관련되는데 Wolf와 Samejima[128]는 육의 저장온도, 시간 그리고 pH등에 따라 효소의 단백질 분해능력이 다르다고 하였고, Yasui 등[132]은 근섬유단백질은 낮은 pH와 높은 온도에 매우 민감하고 육질에 영향을 미친다고 하였다. 또한 전기영동으로 사후 높은 온도에 저장한 근섬유단백질에서 광범위한 분해가 일어났음을 고찰하기도 하였다[133].

이와 같은 결과로 볼 때 육단백질의 분해는 사후 저장온도, 시간, 부위에 따라 다르며 단백질 종류에 따라서도 분해가 다른데, 대체적으로 분자량이 큰 단백질에서부터 분해가 진행되며 이러한 육 구조단백질의 소실은 결국 사후 육의 조직감에도 영향을 미칠 것으로 사료된다.

차. 무기질 성분 변화

감마선 조사와 저장기간에 따른 무기질 성분의 변화는 Table 37 39 에 나타내었다. 쇠고기, 돼지고기, 닭고기등 모든 시료에서 주요 무기질 성분으로는 potassium, phosphorus, sodium, magnesium의 순으로 높게 함유되었

고, 감마선 조사에 의한 무기질의 성분변화는 없었다. Quaranta 등[134], Urbain 등[135]에 의하면 감마선 조사에 대한 식품의 무기질 성분은 매우 안정하다고 보고하고 있다. Fe의 함량은 쇠고기가 돼지고기와 닭고기에 비해 약 3배정도 많이 함유하였고, 반면 Ca, Mn의 함량은 비교적 적었다. 또한 Zn의 함량도 쇠고기 > 돼지고기 > 닭고기의 순이었으며, 모든 시료에서 가장 적게 검출된 무기질 성분은 Co였다. 그 외의 모든 무기질 성분은 시료간에 거의 차이가 없는 유사한 함량이었다. 또한 수치상의 차이는 분석상의 오차나 다량 시료 취급시 육의 부위별 차이에서 기인된 것으로 무시해도 좋을 것으로 사료된다.

Doornenbal과 Murray[136]의 연구에 따르면 쇠고기의 주요 무기질 성분이 K, P, Na, Mg로 본 실험과 같았으며, 육의 부위, 나이, 품종 등에 따라 무기질의 함량은 달라지므로 함량수치의 차이가 있으나 Na과 K의 비율이 약 1 : 5 , Mg과 Na의 비율은 약 1 : 2 로 본 실험의 함량 비와 유사한 경향이었다. 또한 Mott 등[124]의 가금육의 Zn의 함량이 1.8μg/100g(wet weight basis)라는 결과와도 잘 일치하고 있다.

카. 육색소(heme pigment)

식육 및 육제품의 육색은 소비자들의 선택에 1차적 요인이 되고 소비를 증진시키는데 기여할 수 있어 육고기에 있어서 색도는 외관적 품질평가의 척도가 된다. 다음은 감마선 조사 및 저장기간에 따른 육색소(myoglobin)의 변화이다.

Myoglobin이 산화되면 oxymyoglobin에서 metmyoglobin으로 색깔의 변화가 뚜렷한데, 쇠고기의 경우(Table 40) 감마선 조사직후 metmyoglobin의 색도는 감마선 조사선량에 비례하여 다소의 증가를 나타냈으나, 육안적 식별은 곤란하였고 냉장저장시 저장기간에 따라 4주까지는 증가됨을 보였고 그

이후에는 감소되었다. 이는 고기의 지방산화가 촉진됨으로써 결과적으로 산소 소비량이 증가하게 되고 또한 호기성 미생물의 성장은 산소압을 저하시킴으로써 갈색의 metmyoglobin형성을 촉진하기 때문이라고 하며137), 한우육을 냉장 저장할 때 저장기간이 길어질수록 고기색이 짙어진다고 보고한 최 등101)의 결과와 일치한다. 또한 지방산패도와 연관지어 생각해 볼 때 본 실험에서 TBA가가 감마선 조사선량에 따라 증가했으며 저장기간과도 정비례하여 냉장저장 4주째 최대를 보인 후 그 후에 감소했던 결과와도 잘 일치하고 있다.

돼지고기의 경우(Table 41) 감마선 조사직후에는 선량에 따른 차이가 없었으며, 냉장저장 2주째부터 감마선 조사군과 비조사군간의 차이를 보이기 시작하여 감마선 조사군은 급격히 증가하는 반면, 비조사군은 전 저장기간에 거쳐 완만한 증가로 그 정도는 미비하였다. 이 등123)은 저장기간에 따라 저장온도에 관계없이 육색이 증가하였으며 아질산염의 첨가량이 많아짐에 따라 증가한다고 보고하였다.

닭고기는(Table 42) 감마선 조사직후 조사로 인한 metmyoglobin의 함량 증가는 보이지 않았고, 저장기간이 경과됨에 따라 metmyoglobin의 함량은 다소 증가되었다. 또한 감마선조사군이 비조사군에 비해 좀더 큰 폭으로 증가하여 저장 4주째 최대치를 나타내었고, 그 이후에는 감소하였다. 또한 돼지고기와 닭고기는 metmyoglobin의 값이 대체적으로 쇠고기와 비교하여 낮고 저장기간에 따른 변화도 비교적 완만한 경향이었다.

냉동저장에서는 쇠고기, 돼지고기, 닭고기의 모든 시험군에서 저장기간이 경과됨에 따라 감소됨을 보였고, 쇠고기와 돼지고기의 경우에는 감마선 조사 직후에는 선량에 따른 차이를 보이지 않았으나 저장 2개월후부터는 비조사군에 비해 감마선 조사군이 더욱 큰 폭으로 감소하는 뚜렷한 경향을 나타내었다(Table 40,42).

이러한 결과는 Brewer와 Harbers[84]가 보고한 장기간 냉동저장한 육고기의 육색은 시간이 경과함에 따라 감소하며 또한 산소를 차단할 수 있는 포장재를 사용함으로써 26주동안 색의 손실을 방지할 수 있다고 한 결과와 일치하는 경향이었다.

한편, 육색소의 함량은 종종 시각적인 육색의 비율과 근접할 수 있는 결과를 제공하지 못할 때가 있는데 그 이유는 myoglobin의 화학적 상태와 myoglobin의 근육 내에서의 분포상태에 따라 달라지기 때문인 것으로 보고되고 있다[89].

타. 텍스쳐

감마선조사가 시료의 texture에 미치는 영향을 조사한 결과는 다음과 같다. 먼저 쇠고기의 경우(Table 43)에는 냉장저장시 hardness(경도)와 cohesiveness(응집성)가 감마선 조사선량에 따라 약간 증가하였으나, 부착성(adhesiveness)은 크게 변화하지 않았으며 탄력성(springiness)의 경우 3kGy 조사군만이 다소 감소하였다. 냉동저장에서도 경도는 선량에 따라 증가하였고 탄력성은 1kGy에서는 변화가 없으나 3kGy 조사로 약간 감소하였다. 부착성의 경우 비조사군에 비해 감마선 조사군이 약간 증가하였다.

돼지고기에 대해서도(Table 44) 냉장저장시에 hardness와 cohesiveness가 증가하고 그 밖의 texture 즉, 부착성과, 탄력성 등은 거의 영향이 없었다. 냉동저장의 경우도 쇠고기와 비슷한 경향으로 경도와 부착성에 있어 다소 증가추세를 나타내었다.

닭고기는 냉장저장시 hardness와 adhesiveness등은 3kGy조사군에서 증가되었으나 반면 7kGy이상 조사군에서는 감소하였으며, 탄력성은 조사선량에 따라 다소 감소하였고 응집성은 선량에 비례하여 증가하는 추세로 쇠고기와 돼지고기와 비슷한 경향이었다. 냉동저장의 경우에는 경도만이 선량별로 다

소 증가하는 듯하고 그 외의 texture parameter에 대해서는 변화 없거나 감소됨을 보여 대체적으로 그 변화의 폭이 미비하였다(Table 45).

이와 같은 결과로 신선도 유지를 위한 선량의 감마선 조사가 texture에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 사료되고 대체적으로 저장온도에 관계없이 감마선 조사는 경도를 다소 증가시키고 냉장저장시 부착성과 응집성이 약간 증가되며 냉동저장시 탄력성이 다소 감소되는 것으로 보이나 그 정도에 있어서는 미비하였다. Sasayama 등[138]도 감마선 조사는 시료의 texture에 별다른 영향을 주지 않는 것으로 보고하고 있다.

3. 감마선 조사 축산물의 유전독성학적 안전성 평가

가. *Salmonella typhimurium* 복귀 돌연변이 검증

1) 시험물질의 농도설정을 위한 예비독성시험

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.

2) 본 시험

감마선 조사 및 비조사 쇠고기, 돼지고기, 닭고기의 현탁액을 첨가하였을 때 *S. typhimurium* TA 98, TA100, TA1535 및 TA1537에 대한 복귀변이 집락수를 조사한 결과는 Table 46 48과 같다.

우선 대사활성 부재시의 경우, γ선으로 조사한 육류는 모든 시험균주에

서 시험적용 농도인 0.1 8.3mg/plate의 범위에서 복귀변이 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 γ선 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 등[139]의 연구와, 초파리를 이용한 쇠고기와 햄의 변이원성시험에서 감마선 조사가 돌연변이를 유발하지 않았다는 Mittle[140]의 실험과도 잘 일치하였다.

일반적으로 돌연변이원성의 판정은 음성대조군 복귀변이 집락수의 2배 이상인 경우를 양성으로 하므로 본 실험의 조사한 쇠고기, 돼지고기, 닭고기 및 조사하지 않은 이들 시험물질에 대하여 전 시험적용농도에서 복귀변이를 유발하지 않는 것으로 보아 γ선조사에의한 돌연변이원성은 없는 것으로 판단되었다.

나. 설치류 망상적혈구를 이용한 염색체 이상검증

In vivo 시험으로 설치류 망상적혈구를 이용하여 감마선 조사된 쇠고기, 돼지고기, 닭고기의 염색체 이상 시험을 수행한 결과는 Table 49와 같다.

γ선으로 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 γ선으로 조사된 쇠고기, 돼지고기, 닭고기는 시험적용 용량인 1250-2500mg/plate의 범위에서 설치류를 이용한 소핵시험에서 용매대조군에 비해 소핵발현 빈도가 증가하지 않아, γ선을 조사한 이들 시험물질에 의한 소핵 형성은 유발되지 않아 감마선 조사는 본 실험조건 하에서 변이원으로서 작용하지 않았음을 확인하였다. Renner 등[141]도 마우스와 랏드를 이용한 골수의 염색체이상, 소핵, 골수 및 정원세포에서 조사식품은 자매염색분체 교환을 일으키지 않았다고 보고하였다.

제 4 절 참고문헌

1. WHO/HPP/FOS/92.2, World Health Organization.
2. KAERI/RR-1321/ '93 2차년도 연구보고서.
3. WHO, Technical Report Series, 655, 7(1981):Wholesomeness of Irradiation Food(Report of A Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee).
4. Kokji, J. U.: Food Preservation by Irradiation, Radiation and Agriculture (IAEA Bullettine) 23, 33(1981).
5. World Health Organization, Wholesomeness of Irradiation Food, WHO Technical Report Series, 604, Geneva(1977).
6. World Health Organization, Wholesomeness of Irradiation Food, WHO Technical Report Series, 604, Geneva(1981).
7. Glddings, G.G. and Welt, M.A.: Radiation Preservation of Food, Cereal Food World, 27, 17(1982).
8. Radiation Technology Inc., Rockaway NJ, USA(1985).
9. Josephson, E.S.: Advantages, Problems and Experience of Irradiated

Foods., In: "Aero-space Food Technology.," A Conference Held at the University of South Florida, Tampa, FL, USA, April 15 17, NASA Sp-202, National Aeronautics & Space Administration, Washington, D.C.(1970).

10. Council for Agricultural Science and Technology, Ionizing Energy in Food Processing and Pest Control I, Wholesomeness of Food Treated with Ionizing Energy, Report No. 109, ISSN 0194-4088 (1986).
11. FAO/WHO/IAEA:(JECFI), Geneva. Joint Expert Committee a Food Irradiation Reports(1980)
12. Ahmed, M.: Food Irradiation, up to Date Status Joint FAO/IAEA., Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, IAEA6626F, Vienna, 27 Nov(1991).
13. IAEA: Food Irradiation, Newsletter, (1992)
14. USDA/FSIS: Status of Food Irradiation Activities in the U.S.A., A.I.I.I. Newsletter No. 27, 137(1993).
15. Marcotte, M.: Irradiated Strawberries Enter the U.S. Market., Food Technol., 980(1992).
16. Pszczola, D.: Irradiated Produce Reaches Midwest Market., Food Technol., p.89, May(1992).
17. Reuter: "Irradiated Chicken Selling Briskly." 3, September (1993).
18. Loaharanu, P.: International Trade in Irradiated Foods: Regional Status and Outlook., Food Technol., p.77, July(1989).
19. Karel, M.: Food Irradiation., Food Technol., 42: 76(1988).
20. WHO-Food Irradiation, A Technique for Preserving and Improving the

Safety of Food Geneva(1988).

21. 농수산부 농림통계 연보, 1981 1988.

22. 축산조사계보: 축산물자료 및 수급자료, 축산업 협동조합 중앙회 (1996).

23. 축협중앙회 (1988).

24. 한국육가공협회(1989).

25. Roberts, D.: Sources of Infection: Food, Cancel., 336:859 (1990).

26. Food Irradiaton Information, International Project in the Field of food Irradiation, Karlsruhe, W. Germany, No.1,(1972 1977).

27. Winger, R.J. and Fennema, O.: Tenderness and Water Holding Properties of Beef Muscle as Influenced by Freezing and Subsequent Strage at -3 or 150℃., J. Food Sci., 41, 1433(1976)

28. Yamamoto, K. and Samejima, K.: A Comparative Study of the Change in Hem Pectoral Muscle during Storage at 4℃ and -2℃., J. Food Sci., 42, 1642(1977).

29. Miller, A.J., Ackerman, S.A. and Palumbo, S.A.: Effect of Frozen Storage on Functionality of meat for Processing., J. Food Sci., 45, 1466(1980).

30. Brewer, M.S., Ikins, W.G. and Harberts, C.A.Z.: TBA Values Sensory Characteristics and Volatiles in Ground Pork during Long-term Frozen Storage: Effect of Packaging., J. Food Sci., 57 558(1992).

31. Bhattacharya, M., Hanna, M.A. and Mandigo, R.W.: Lipid Oxidation in Ground Beef Patties as Affected by Time-temperature and Product Packaging Parameters., J. Food Sci., 53, No.3(1988).

32. Gill, C.O. and Penney, N.: The Effect of Initial Gas Volume to

Meat Weight Ratio on the Storage Life of Chilled Beef Packaged under Carbon Dioxide., Meat Sci., 22, 53 63(1988).

33. Gill, C.O. and Harrison, J.C.L.: The Storage Life of Chilled Pork Packaged under Carbon Dioxide., Meat Sci., 26, 313(1989).
34. Hart, C.D., Mead, G.C. and Norris, A.P.: Effect of Gaseous Environment and Temperature on the Storage Behavior of Listeria Monocytogenes on Chicken Breast Meat., J. Appl. Bacteriol., 70, 40(1991).
35. Frederick, H.G., and Paul, B.V.: Occurrence, Number and Growth of Listeria Monocytogenes on some Vacuum-packaged Processed Meats., J. Food Protection, 55, 47(1992).
36. 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(1986).
37. Dickson, J.S. and Maxcy, R.B.: Irradiation of Meat for the Production of Fermented Sausage., J. Food Sci., 50, 1007 (1985).
38. 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(1987).
39. Surve, A.V., Sherkar, A.T., Bhiegaonokar, K.N. and Karkare, U.D.: Preservative Effect of Combination of Acetic Acid with Actic Acid or Propionic Acid on Buffalo Meat Stored at Refrigeration

Temperature., Meat Sci., 29, 309 322(1991).

40. Papadopoulos, L.S., Miller, R.K., Ringer, L.J. and Cross, M.R.: Sodium Lactate Effect on Sensory Characteristic, Cooked Meat Color and Chemical Compositon., J. Food Sci., 56(3): 621 635(1991).

41. Kim, Y.S. and Yoo, I.J.: Effects of Sanitary Trearment of Port Cut Surface on Shelf-life of Chilled Pork., Korean, J. Anim, Sci., 36(4), 403 408(1994).

42. 최양일.: 인산염이 조리된 재조직 닭고기 제품의 결착성 및 저장성에 미치는 영향., 한국축산학회., 34: 307(1992).

43. Kim, D.G., Lee, S.M., Kim, S.M., S, Y.S. and S, S.K.: Effects Packaging Method on Physico-chemical Properties of Korea Beef., J. Korean Sci., Nutri., 25(6), 944(1996).

44. 강창기, 박구부, 성삼경, 이무하, 이영현, 정명섭, 최양일.: 식육생산과 가공의 과학., 선진문화사(1992).

45. 김영봉, 김기성, 이성기, 김경환, 유익종.: 저장온도가 닭고기 가공제품의 저장성에 미치는 영향., 한국가금학회지., 17(1):39 (1990).

46. 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, IAEA., pp.265 289(1981).

47. APHA: Compendium of Methods for the Micribiological Examination of Foods, M. Speck(ed), Americal Public Health Association, Washington, D.C.(1976)

48. AOAC Methods of Analysis, 13th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.(1980)

49. Salih, A.M., Smith, D.M., Price, J.F. and Dawson, L.E.: Modified Extraction 2-thiobarbituric Acid Method for Measuring Lipid Oxidation in Poultry., Poutry Science., 66: 1483(1987).
50. 太田靜行.: 油脂食品の 酸化とての防止., 辛書房., 186(1977).
51. Bligh, E.F. and Dyer, W.J.: A Rapid Method of Total Lipid Extraction and Purification, Can., J. Biochem., Physiol., 37: 911 (1959).
52. Morrison, W.R. and Smith, L.M.: Preparation of Fatty Acid Methylesters and Dimethylacetals from Lipids with Boron Fluoride -methanol., J. Lipid Res., 5: 600(1964).
53. Brake, R.J. et al.: Destruction of *Trichinella Spiralis* by Low -dose irradiation of Infected Pork., Journal of Food Safety., 7: 127 143(1985).
54. Osborne, D.R. and Voogt, P.: The Analysis of Nutrients in Food., Academic Press, London.(1981)
55. Karel Krzywicki: The Determination of Haem Pigments in Meat., Meat Science, 7: 29(1982).
56. Maron, D.M. and Ames, B.N.: Revised Methods for the *Salmonella* Mutagenicity Test., Mutat. Res., 113:173(1983).
57. Schmid, W.: The Micronucleus Test., Mutat. Res., 31:9(1975).
58. Hayashi, M.: The Micronucleus Test., Scientist., Tokyo (1991).
59. 유익종.: 냉장닭고기의 저장성 연장에 관한 연구., 한국가금학회지, 17: 115(1990).
60. Cunninggham, F.E.: Microbiological Aspects of Poutry and Poutry Products-an Update., J. Food Protection., 45:1149 (1982).

61. Kahan, R.S. and Howker, J.J.: Food Preservation by Irradiation., IAEA-SM-22/36., Vienna, p.221(1978).

62. 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., Vol 22, No3, 290(1990).

63. Rey, C.B. and Kraft, A.A.: J. Food Sci., 36: 454(1971).

64. Mulder, RWAW.: Radiation Inactivation of *Salmonella Panama* and *Escherichia Coli* K12 Present on-deep Frozen Broiler Carcasses., European J. Appl Microbial., 3: 63(1976).

65. Rhodes, D.N.: Food Manufacture., Proc, Int, Food Congr., London, p.26(1964).

66. Lefebvre, N., Thibault, C., and Charbonneau, R.: Improvement of Shelf-Life and Wholesomeness of Ground Beef by Irradiation, 1. microbial aspects, Meat. Science., 32: 371(1994)

67. Berry, B.W.: Changes in Quality of All- Beef and Soy-Extended Patties as Influenced by Freezing Rate, Frozen Storage Temperature, and Storage Time, J. Food. Sci., 55(4): 893(1990)

68. Department of Health.: Chilled and Frozen Guidlines on Cook-chil and Cook-Freeze Catering System., London, HMSO(1989).

69. Department of Health.: Education and Welfare Public Health Service., DHEW, Pub, No(FDA), 79 208., U.S. Govt, Printing Office, Washington, D.C.(1978).

70. 김병석,이유방: 도계처리 방법이 근육대사 및 육질에 미치는 영향, 한국축산학회지., 21: 515(1979)

71. 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)

72. 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: 321 (1967).

73. Barnes, E.M. and Thornley, M.J.: J. Food Technol., 1,113 (1966).

74. 조한옥, 이미경, 변명우, 권중호, 김종군.: 닭고기에 오염된 미생물의 감마선 살균, 한국식품과학회지., 17(3): 170(1985).

75. EI-Wakeil, F.A., Sulwa, B.M., EI-Maydi and Nadia, A.M., Salama.: Food Preservation by Irradiation., Vienna, IAEA-SM-221/10., p.467(1978).

76. 박구부, 하동기, 정선부.: 포장방법이 동결계육의 저장성 및 미생물의 증식에 미치는 영향, 한국가금학회지., 23(4): 203 (1996).

77. 박구부, 송또준, 이상진, 김용곤, 박태선, 신택순, 이정일.: 냉각방법과 포장방법이 냉장계육의 저장성 및 미생물 증식에 미치는 영향, 한국가금학회지., 24(1): 17(1997)

78. Technical Reports Series No114.: Training Manual on Food Irradiation Technology and Techniques., Second Edition, IAEA., Vienna, p.43(1982).

79. Synder, O.P.: Applying the Hazard Analysis and Critical Control Points System in Food Service and Food Borne Illness Prevention., J. Food Ser., Systems, 4: 125(1986).

80. Rivifuso, C.P. and Synder, O.P.: Bacterial Growth at Food Service Operation Temperature., J. Food Prot., 44(100):770 (1981).

81. 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).

82. 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).

83. Elliott, R.P. and Michener, H.D.: Appl. Microbiol., 9:452 (1961).

84. Brewer, M.S., and Harbers, C.A.Z.: Effect of Packaging on Color and Physical Characteristics of Ground Pork in Long-Term Frozen Storage, J. Food. Sci., 56(2): 363(1991)

85. 김용붕, 김용수, 노정해, 성기승, 윤철석, 이남형.: 진공포장된 수입 냉장우육의 저장성에 관한연구, 한국축산학회지., 38(4):411(1996)

86. 김천재.: 한우육의 고품질화를 위한 냉장, 냉동저장에 관한연구 Ⅰ, 냉동, 냉장에따른 육색, 근절길이, 연도의 변화, 한국축산학회지., 14: 151(1994)

87. Dahl, Q.: Decomposition of Starch in Sausage Products, Food Research., 23: 161(1957)

88. 日本 厚生省: 食品衛生檢查指針 1. 日本 厚生省(1960).

89. 류윤선, 이무하, 고경철.: 등급체에따른 한우육과 수입육류의 품질비교 연구., 한국축산학회지., 36(3): 340(1994)

90. Demeyer, D., Hoozee, J. and Meadom, H.: Specificity of Lipolysis during Dry Sausage Ripening., J. Food Sci., 39: 293(1974).

91. Gokalp, H.T., Ockerman, H.W., Plimpton, R.F., Harper, W.J.: Fatty Acid of Neutral and Phospholipid, Rancidity Scores and TBA values as Influenced by Packing and Storage, J. Food. Sci., 48: 8229(1983)

92. Smith, N.L., Tinsley, I.J. and Bubl, C.E.: The Thiobarbituric Acid Test in Irradiation-Sterilized Beef., Food Technol., 14: 317(1960)

93. Brown, H.G., Melton, S.L., Riemann, M.J. and Backus, W.R.: Effects of Energy Intake and Feed Source on Chemical Changes and Flavor of Ground Beef during Frozen Storage., J. Animal Sci., 48: 338(1979).

94. 박구부, 이한기, 김진성, 김영직, 박태선, 신택순, 이정일.: 아질산염의 첨가수준과 염지온도가 염지돈육의 저장성과 위생적 성질에 미치는 영향., 한국축산학회지., 36(3): 330 (1994)

95. 최양일, 안광영.: 인산염의 종류와 첨가수준이 재구성 돼지고기 육포의 결착성, 미세조직 및 저장성에 미치는 영향., 한국축산학회지., 38(2): 159(1996)

96. Byun, M.W., Cho, H.O., Lee, J.W., Kwon , J.H., and Kim, Y.B.: Decontamination of Poultry Feeds by Gamma Irradiation, Korean J. Food. Sci. Technol., 19(5): 403(1987)

97. Chipault, J.R., Mizuno, G.R. and Landberg, W.O.: Antioxident Properties of Spices on Food., Food. Technol., 10: 209(1956)

98. Marian, W.W. and Forsythe, R.H.: Autooxidation of Turkey Lipids., J. Food Sci., 29: 530(1964).

99. Turner, E.W., Paynter, W.D., Montie, E,J., Bssert, M.W., and Struck, G.M.: Use of 2-thiobarbituric acid Reagent to Measure Rancidity in Frozen Pork., Food Technol., 8:326 (1954)

100. 박구부, 강승환, 김영직, 이한기, 김영환.: 한국 재래산 양육의 저장기간중 육단백질의 변화, 한국축산학회지., 30:123(1988).

101. 최양일, 김영귀, 이창림.: 포장방법 및 숙성온도가 한우육의 육색, 연도 및 저장특성에 미치는 영향, 한국축산학회지., 37(6): 639(1995)

102. Lefebvre, N., Thibault, C., Charbonneau, R., and Piette, J.P.G.: Improvement of Shelf-Life and Wholesomeness of Ground Beef by Irradiation, 2. chemical analysis and sensory evaluation, Meat. Science., 32: 371(1994)

103. Urbain, W.M.: Radiation Chemistry of Proteins., In: Elias, P.S., Cohen, A.J. eds., Radiation Chemistry of Major Food Components., Amsterdam, Elsevier., 63(1977).

104. Dierick, A., Vandekerckhoue, P., Demeyer, D.: Changes in Nonprotein Nitrogen Components during Dry Sausages Ripening., J. Food Sci., 39: 301(1974).

105. 보건사회부 (1988)

106. Cannell, L.E., Savell, J.W., Smith, S.B., Cross, S.R., and John, L.C.ST.: Fatty Acid Composition and Calorie Value of Ground Beef Containing Low Levels of Fat, J. Food. SCI., 54(5): 1163(1989)

107. 박구부, 이재숙, 이한기, 송또준.: 저장기간에 따른 한우육 및 돈육의 지방산 조성변화, 한국축산학회지., 31: 254(1989).

108. Moerck, K.E. and Ball, H.R.Jr.: Lipid Autooxidation on Mechanically Deboned Chicken Meat., J. Food Sci., 39: 876(1974).

109. Gillis, A.T. and Eskin, N.A.M.: Fatty Acid Composition of Bovine Intramuscular and Subcutaneous Fat as Related to Breed and Sex., J. Food Sci., 38: 408(1973).

110. Reiser, R.: The Syntheses and Interconversions of Poly Unsaturated Fatty Acids by the Laying Hem., J. Nutrition., 44: 159(1951).

111. Garton, G.A., Lough, A.K. and Vioque, E.: Glyceride Hydrolysis

and Glycerol Fermentation by Sheep Rumen Contents., J. Gen, Micropiol., 25: 215(1961).

112. Ulyatt, M.J., Czwekawski J.W. and Blaxte, K.L.: A Technique for Quantative Measurement Hydrogenation of Long-chain Fatty Acids in the Forshomach of Sheep., Proc, Nutri, Sor., 25: XV Ⅲ(1966).

113. Hilditch, T.P., Jones, E.C. and Read, A.J.: The Body Fats of the Hem., J. Biochem., 28: 786(1984).

114. Chang, I. and Watts, B.M.: The Fatty Acid Content of Meat and Poultry before and after Cooking., J. American Oil Chem, Soc., 29: 334(1952).

115. Dimick, P.S. and Macneil, J.H.: Poultry Product Quality Storage Time-Temperature Effects of Carbonyl Composition of Cooked Turkey and Chicken Skim Fractions., J. Food Sci., 35: 186(1970).

116. Lee, W.T. and Dawson, L.E.: Chicken Lipid Changes during Cooking Oil., J. Food Sci., 38: 1232 1237(1973).

117. 박구부, 이재숙, 이한기, 송또준.: 저장기간에 따른 재래산 양육 및 계육의 지방산 변화, 한국축산학회지., 32(2): 83(1990)

118. 박구부, 정천교, 김영직, 이한기.: 저장기간에 따른 계육의 지방산 조성에 관한 연구 Ⅰ. 지질의 조성변화, 한국축산학회지., 30(12): 747(1988)

119. Youn, J.E., Yang, R., Lee, S.K. and Park, S.Y.: Studies on the Aging of Beef at Adding the Proteolyic Enzyme (Ⅲ. Changes of Tryptophan Content in Beef According to the Papain Enzyme)., J. Food Sci Technol., Korean, 5: 174(1973).

120. Penet, C.S., Worthington, R.E., Phillip, R.D., and Nancy, J.M.:

Free Amino Acid of Raw and Cooked Ground Beef and Pork, J. Food Sci., 48:298(1983)

121. Khattak, A.B., Klopfenstein, C.F.: Effect of Gamma Irradiation on Nutritionul Quality of Grains and Legumes., Ⅱ, change in amino acid profiles and available ltsine, Cereal Chem., 66: 171(1989)

122. Geromel, E.J. and Moutgomery, M.W.: Lipase from Lyposomes of Rainbow Trout Muscle Subject to Low Temperature., J. Food Sci., 45: 412(1980).

123. 이한기, 박구부, 김영환, 김진성, 김영직, 진상근, 강정실.: 아질산염의 첨가수준 및 염의 온도에 따라 영지육의 이화학적 특성 (Ⅱ.유리아미노산의 조성변화), 한국축산학회지., 32(9): 554(1990)

124. Mott, E.L., Macneil, J.M., Mast, M.G. and Leach, R.M.: Protein Efficiency Ratio and Amounts of Selected Nutrients in Mechanically Debound Spent Layer Meat., J. Food Sci., Vol.47, 655(1982).

125. Pearson, A.M., West, R.G. and Luecke, R.W.: The Vitamin and Amino Acid Content of Drip Obtained upon Defrosting Frozen Pok., Food Res., 24: 515(1959).

126. Liebster, J. and Kopoldova, J.: The Radiation Chemistry of Amino Acids., Advances in Radiation Biology., 1: 157(1964).

127. Delincée, H.: Recent Advances in the Radiation Chemistry of Proteins., In: Elias, P.S., Cohen, A.J. eds., Recent Advances in Food Irradiation., Amsterdam, Elsevier Biomedical., p.129(1983).

128. Wolf, F.H. and Samejima, K.: Further Studies of Postmortem Aging Effects on Chicken Actomyosin., J. Food Sci., 41: 244(1976).

129. Cheng, C.S. and Parrish, J.F.C.: Heat Induce Changes in Myofiber Proteins of Bovine Longissimus Muscle., J. Food Sci., 44: 22(1979).

130. Peter, J., Bechtel and Frederick, C., Parrish, J.R.: Effects of Postmortem and Temperature on Muscle Protein Degradation.: Analysis by SDS Gel Electrophoresis., J. Food Sci., 48: 294(1983).

131. 오동환.: 사후 온도와 시간이 닭의 근육단백질 분해에 미치는 효과, 한국축산학회지., 31: 334(1989)

132. Yasui, T., Gotoh, T. and Morita, J.: J. Agric, Food Chem., 21: 241(1973).

133. Yamamoto, K., Samejima, K. and Yasni, T.: Changes Produce in Muscle Proteins during Incubation of Muscle Homogenates., J. Food Sci., 44:51(1979).

134. Quaranta, H.O., Eterovic, J.E., and Piccini, J.L.: Essential Elementa in Fresh and Irradiated Strawberries and Strawberry Marmalad, Appl. Radiat. Isotop., 37: 633(1986)

135. Urbain, W.M.: Food Irradiation, Academic Press, New York., p. 273(1987)

136. Doornenbal, H., and Murry, A.C.: Effect of Age, Breed, Sex and Muscle on Certain Mineral Concentrations in Cattle, J. Food. Sci., 47: 55(1981)

137. Judge, M.D. and Aberle, E.D.: Effect of Prerigor Processing Oxidation Rancidity of Ground Light and dark Porcine Muscle, J. Food. Sci., 45: 1736(1980)

138. Sasayama, S., Shiba, M. and Yamamoto, J.: Bull Tokai Reg., Fish, Res, Lab., No 82, Aug, p.97(1975).

139. Thayer, D.W. et al.: Toxicology Studies of Irradiated-sterilized Chicken., Journal of Food Protection., 50, 278 (1987).

140. Mittler, S.: Failure of Irradiated Beef and Ham to Induce Genetic Aberrations in Drosophila., International Journal of Radiation Biology., 35, 583 588(1979).

141.Renner, H.W et al.: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)

Table 1. Composition of plate count agar per liter

Peptone	5.0g
Yeast extract	2.5 g
Glucose	1.0 g
Agar-agar	14.0 g

Final pH 7.0 ±0.2 at 25℃

Table 2 Composition of chromocult coliform agar per liter

Peptone	5.0 g
Sodium chloride	5.0 g
Sodium dihydrogenphosphate	2.2 g
Disodium hydrogenphosphate	2.7 g
Tryptophan	1.0 g
Sodium pyruvate	1.0 g
Tergitol	70.15 g
Solbitol	1.0 g
Chromogenic mix	0.2 g
Agar-agar	10 g

Final pH 6.8 ±0.1 at 25℃

Table 3. Composition of Rambach agar per liter

Peptone	8.0 g
Sodium chloride	5.0 g
Sodium deoxycholate	1.0 g
Chromogenic mix	1.5 g
Propylene glycol	10.5 g
Agar-agar	15.0 g

Final pH 7.3±0.2 at 25℃

Table 4. Composition of Palcam Listeria selective agar per liter

Peptone	23 g
Starch	1.0 g
Sodium chloride	5.0 g
Agar-agar	13.0 g
Mannitol	10.0 g
Ammonium iron citrate	0.5 g
Aesculin	0.8 g
Dextrose	0.5 g
Lithium chloride	15.0 g
Phenol red	0.08 g

Final pH 7.0±0.1 at 25℃

Table 5. Operating conditions of GLC for analysis of fatty acids

Instrument	Hewlett Packard 5890 series II
Detector	Flame ionization detector
Column	HP FFAP(30mm x 0.53mm x 1.0μm film thickness,U.S. patent No. 4, USA)
Oven temp.	programmed from 160℃ to 220℃ at 5℃/min
Injector temp.	230℃
Detector temp.	250℃
Carrier gas, flow rate	N2 (1ml/min)

Table 6. Operating conditions of Amino acid analyzer for analysis amino acids

Instrument	System 6300 hyperperformence analyzer(Beckman)
Column	Li 10㎝ column No. 338051 ion-exchange(Beckman)
Analysis time	150min
Buffer flow rate	20ml/hour
Ninhydrin flow rate	10ml/hour
Column pressure	1380 psi
Buffer change steps	Li A→Li D→Li E→i F
Optimum sample quantity	50μℓ
N2 gas pressure	40psi

Table 7. Operating conditions of AAS for analysis of minerals

	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn	Na	K
Wave length (nm)	422.7	285.2	248.3	213.9	342.8	279.6	589	766.5
Discharge current (mA)	7.5mA							
Fuel flow rate (ℓ/min)	1.9					1.7	2.0	
Burner height (mm)	normal 7.5 ㎝							
Air pressure (kg/㎡)	160 kpa							

	Co	P
wave length (nm)	240.7	714.0
Ashing temp	600℃	
Atomizing temp	2300℃	
Injection volumn	20㎕	
Method	external	
Tube type	pyrolytic platform coated tube	

Table 8. Composition of culture media and reagent used

Ingradients	
Nutrient Broth (per liter, Distilled water)	
Nutrient broth	8g
NaCl	5g
5.0× Vogel Bonner E medium (per liter, Distilled water)	
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	10g
Citric acid monohydrate	100g
K_2HPO_4	500g
$NaHNH_4(PO_4 \cdot 4H_2O)$	175g
Top agar (per liter, Distilled water)	
Bacto agar	6g
NaCl	5g
0.5mM histidine/biotin solution	100ml
0.5mM Histidine/biotin solution	
L-Histidine (F.W,191.7)	24.0mg
D-Biotin (F.W. 247.3)	30.9mg
Distilled water	250ml
0.2M Sodium phosphate buffer (pH 7.4)	
0.2M $NaH_2PO_4 \cdot H_2O$ (27.6g/l)	120ml
0.2M Na_2HPO_4 (28.4g/l)	880ml

Table 9. Effect of gamma irradiation on the inactivation of microorganisms in beef[1] (unit: CFU/g)

Microorganism	Irradiation dose (kGy)				
	0	0.5	1	3	5
Coliforms	2.0 x 102	ND[2]	ND	ND	ND
E. coli	ND	ND	ND	ND	ND
Salmonella	ND	ND	ND	ND	ND
Total bacteria	3.0 x 102	1.0 x 102	ND	ND	ND
Psychrophile	1.5 x 103	6.0 x 102	5.5 x 102	ND	ND
Listeria	4.2 x 103	1.7 x 102	ND	ND	ND

[1]Each value represents the mean of duplicate determinations.
[2]ND: not detected

Table 10. Effect of gamma irradiation on the inactivation of microorganisms in pork[1] (unit: CFU/g)

Microorganism	Irradiation dose (kGy)				
	0	0.5	1	3	5
Coliforms	3.8 x 10[3]	ND[2]	ND	ND	ND
E. coli	ND	ND	ND	ND	ND
Salmonella	ND	ND	ND	ND	ND
Total bacteria	1.1 x 10[4]	3.0 x 10[3]	ND	ND	ND
Psychrophile	5.3 x 10[3]	3.8 x 10[3]	5.0 x 10[2]	ND	ND
Listeria	3.2 x 10[3]	1.8 x 10[2]	ND	ND	ND

[1]Each value represents the mean of duplicate determinations.
[2]ND: not detected

Table 11. Effect of gamma irradiation on the inactivation of microorganisms in chicken1 (unit: CFU/g)

Microorganism	Irradiation dose (kGy)				
	0	1	3	7	10
Coliforms	1.8 x 104	ND2	ND	ND	ND
E. coli	ND	ND	ND	ND	ND
Salmonella	2.2 x 103	ND	ND	ND	ND
Total bacteria	9.5 x 104	1.5 x 103	ND	ND	ND
Psychrophile	7.5 x 103	9.3 x 103	3.0 x102	ND	ND
Listeria	2.7 x 102	ND	ND	ND	ND

1Each value represents the mean of duplicate determinations.
2ND: not detected

Table 12. Effect of gamma irradiation on the growth of microorganisms in beef during storage at 5℃[1] (unit: CFU/g)

Irradiation Dose(kGy)	Microorganisms	Storage period (weeks)			
		0	2	4	8
0	Coliforms	2.0 x 102	2.4 x 104	1.7 x 105	1.2 x 106
	E. coli	ND[2]	5.0 x 102	1.0 x 103	7.5 x 103
	Salmonella	ND	1.7 x 103	2.0 x 103	2.0 x 104
	Total bacteria	3.0 x 102	4.6 x 103	6.3 x 105	1.2 x 107
	Psychrophile	1.5 x 103	1.3 x 105	4.2 x 106	3.1 x 108
	Listeria	4.2 x 103	8.4 x 103	1.5 x 104	4.0 x 105
0.5	Coliforms	ND	ND	1.1 x 104	2.8 x 105
	E. coli	ND	ND	ND	ND
	Salmonella	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	1.0 x 102	6.3 x 103	5.1 x 104	9.2 x 106
	Psychrophile	6.0 x 102	2.2 x 103	2.3 x 106	0.5 x 108
	Listeria	1.7 x 101	2.5 x 102	4.6 x 103	1.7 x 104
1	Coliforms	ND	ND	2.2 x 102	5.6 x 103
	E. coli	ND	ND	ND	ND
	Salmonella	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	ND	7.5 x 101	4.2 x 102	8.1 x 104
	Psychrophile	5.5 x 102	1.6 x 103	5.8 x 103	6.2 x 105
	Listeria	ND	1.5 x 102	9.2 x 102	5.5 x 103
3	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	E. coli	ND	ND	ND	ND
	Salmonella	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	ND	ND	ND	2.7 x 103
	Psychrophile	ND	0.4 x 101	4.2 x 102	5.1 x 105
	Listeria	ND	ND	ND	ND
5	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	E.coli	ND	ND	ND	ND
	Salmonella	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	ND	ND	ND	ND
	Psychrophile	ND	ND	ND	1.5 x 10
	Listeria	ND	ND	ND	ND

[1]Each value represents the mean of duplicate determinations.
[2]ND: not detected

Table 13. Effect of gamma irradiation on the growth of microorganisms in beef during storage at -20℃1 (unit: CFU/g)

Irradiation Dose(kGy)	Microorganisms	Storage period (months)			
		1	2	4	6
0	Coliforms	2.2 x 102	2.6 x 104	2.5 x 102	2.5 x 102
	E. coli	1.5 x 102	ND	ND	ND
	Salmonella	ND2	ND	ND	ND
	Total bacteria	5.1 x 103	5.2 x 103	5.2 x 103	5.4 x 103
	Psychrophile	2.1 x 104	2.3 x 104	3.2 x 104	3.5 x 104
	Listeria	2.2 x 102	2.4 x 102	2.5 x 102	2.4 x 102
0.5	Coliforms	1.5 x 102	1.4 x 102	1.2 x 102	1.2 x 102
	E. coli	ND	ND	ND	ND
	Salmonella	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	4.8 x 103	4.8 x 103	5.0 x 103	5.0 x 103
	Psychrophile	2.1 x 103	3.6 x 103	5.5 x 103	5.7 x 103
	Listeria	1.3 x 101	1.5 x 101	1.6 x 101	1.5 x 101
1	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	E. coli	ND	ND	ND	ND
	Salmonella	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	1.0 x 103	1.0 x 103	1.2 x 103	1.1 x 103
	Psychrophile	3.5 x 102	5.1 x 102	6.7 x 102	8.0 x 102
	Listeria	ND	ND	ND	ND
3	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	E. coli	ND	ND	ND	ND
	Salmonella	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	2.0 x 102	1.5 x 102	1.1 x 102	0.7 x 102
	Psychrophile	ND	ND	ND	ND
	Listeria	ND	ND	ND	ND
5	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	E.coli	ND	ND	ND	ND
	Salmonella	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	ND	ND	ND	ND
	Psychrophile	ND	ND	ND	ND
	Listeria	ND	ND	ND	ND

1Each value represents the mean of duplicate determinations.
2ND: not detected

Table 14. Effect of gamma irradiation on the growth of microorganisms in pork during storage at 5℃1 (unit: CFU/g)

Irradiation Dose(kGy)	Microorganisms	Storage period (weeks)			
		0	2	4	8
0	Coliforms	3.8 x 103	1.4 x 105	2.8 x 106	1.4 x 107
	E. coli	ND2	ND	ND	ND
	Salmonella	ND	2.7 x 102	3.8 x 104	9.3 x 106
	Total bacteria	1.1 x 104	5.2 x 104	9.2 x 105	7.7 x 107
	Psychrophile	5.3 x 103	2.6 x 105	6.6 x 107	1.2 x 109
	Listeria	3.2 x 103	1.5 x 104	8.7 x 104	3.3 x 105
0.5	Coliforms	ND	1.0 x 102	2.5 x 104	2.0 x 106
	E. coli	ND	ND	ND	ND
	Salmonella	ND	ND	3.5 x 102	4.6 x 104
	Total bacteria	3.0 x 103	4.3 x 104	8.5 x 105	6.3 x 107
	Psychrophile	3.8 x 103	1.2 x 105	3.3 x 106	2.5 x 108
	Listeria	1.8 x 102	5.0 x 102	3.7 x 103	7.5 x 103
1	Coliforms	ND	ND	1.1 x 104	1.9 x 105
	E. coli	ND	ND	ND	ND
	Salmonella	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	ND	7.3 x 102	4.6 x 104	5.7 x 106
	Psychrophile	5.0 x 102	2.3 x 103	5.7 x 104	6.4 x 106
	Listeria	ND	2.7 x 101	1.7 x 102	8.1 x 102
3	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	E. coli	ND	ND	ND	ND
	Salmonella	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	ND	1.2 x 101	7.3 x 103	2.9 x 105
	Psychrophile	ND	0.6 x 101	2.8 x 103	4.8 x 104
	Listeria	ND	ND	ND	ND
5	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	E.coli	ND	ND	ND	ND
	Salmonella	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	ND	ND	1.1 x 101	2.3 x 102
	Psychrophile	ND	ND	2.6 x 102	1.8 x 103
	Listeria	ND	ND	ND	ND

1Each value represents the mean of duplicate determinations.
2ND: not detected

Table 15. Effect of gamma irradiation on the growth of microorginanisms pork during storage at -20℃1 (unit: CFU/g)

Irradiation Dose(kGy)	Microorganisms	Storage period (months)			
		1	2	4	6
0	Coliforms	2.5 x 102	2.1 x 102	2.3 x 102	2.5 x 102
	E. coli	ND2	ND	ND	ND
	Salmonella	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	1.9 x 103	2.6 x 103	2.2 x 103	2.8 x 103
	Psychrophile	6.4 x 103	8.5 x 103	1.1 x 104	1.2 x 104
	Listeria	2.0 x 102	2.4 x 102	1.6 x 102	2.1 x 102
0.5	Coliforms	ND	1.2 x 102	1.1 x 102	1.4 x 102
	E. coli	ND	ND	ND	ND
	Salmonella	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	1.3 x 103	1.2 x 103	1.3 x 103	1.5 x 103
	Psychrophile	3.7 x 102	6.5 x 102	8.0 x 102	1.4 x 103
	Listeria	0.5 x 102	1.0 x 102	0.7 x 102	0.5 x 102
1	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	E. coli	ND	ND	ND	ND
	Salmonella	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	5.6 x 102	5.2 x 102	5.6 x 102	5.4 x 102
	Psychrophile	0.8 x 102	1.6 x 102	3.7 x 102	5.4 x 102
	Listeria	ND	ND	ND	ND
3	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	E. coli	ND	ND	ND	ND
	Salmonella	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	1.5 x 102	1.7 x 102	1.2 x 102	1.5 x 102
	Psychrophile	ND	ND	1.8 x 102	2.1 x 102
	Listeria	ND	ND	ND	ND
5	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	E.coli	ND	ND	ND	ND
	Salmonella	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	ND	ND	ND	ND
	Psychrophile	ND	ND	ND	ND
	Listeria	ND	ND	ND	ND

1Each value represents the mean of duplicate determinations.
2ND: not detected

Table 16. Effect of gamma irradiation on the growth of microorganisms in chicken during storage at 5℃1 (unit: CFU/g)

Irradiation Dose(kGy)	Microorganisms	Storage period (weeks)			
		0	2	4	8
0	Coliforms	1.8 x 104	3.8 x 105	8.7 x 106	5.7 x 106
	E. coli	ND2	ND	0.5 x 102	4.8 x 103
	Salmonella	2.2 x 102	7.9 x 104	1.0 x 105	2.0 x 105
	Total bacteria	9.5 x 104	2.7 x 105	9.2 x 105	2.1 x 107
	Psychrophile	7.5 x 103	2.3 x 105	5.6 x 106	8.6 x 108
	Listeria	2.7 x 102	7.6 x 103	0.7 x 104	6.0 x 104
1	Coliforms	ND	1.1 x 104	1.6 x 104	2.1 x 105
	E. coli	ND	ND	ND	ND
	Salmonella	ND	2.0 x 102	6.1 x 103	4.7 x 104
	Total bacteria	1.5 x 103	6.8 x 104	5.6 x 105	1.7 x 107
	Psychrophile	9.3 x 103	1.2 x 105	3.3 x 106	2.5 x 108
	Listeria	ND	5.0 x 102	3.7 x 103	7.5 x 103
3	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	E. coli	ND	ND	ND	ND
	Salmonella	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	ND	7.2 x 101	1.0 x 102	2.0 x 102
	Psychrophile	3.0 x 102	4.2 x 103	2.7 x 104	3.4 x 106
	Listeria	ND	ND	ND	ND
7	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	E. coli	ND	ND	ND	ND
	Salmonella	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	ND	ND	ND	ND
	Psychrophile	ND	ND	1.5 x 104	2.1 x 106
	Listeria	ND	ND	ND	ND
10	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	E.coli	ND	ND	ND	ND
	Salmonella	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	ND	ND	ND	ND
	Psychrophile	ND	ND	ND	ND
	Listeria	ND	ND	ND	ND

2ND: not detected

Table 17. Effect of gamma irradiation on the growth of microorganisms in chicken during storage at -20℃1 (unit: CFU/g)

Irradiation Dose(kGy)	Microorganisms	Storage period (months)			
		1	2	4	6
0	Coliforms	2.5 x 103	1.9 x 103	2.5 x 103	2.3 x 103
	E. coli	ND2	ND	ND	ND
	Salmonella	ND	1.5 x 102	1.2 x 102	1.0 x 102
	Total bacteria	4.6 x 103	4.9 x 103	4.4 x 103	4.8 x 103
	Psychrophile	2.9 x 104	3.6 x 104	4.3 x 104	5.6 x 104
	Listeria	2.1 x 102	ND	ND	ND
1	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	E. coli	ND	ND	ND	ND
	Salmonella	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	2.0 x 102	1.8 x 102	1.2 x 102	1.6 x 102
	Psychrophile	6.6 x 103	1.3 x 104	1.5 x 104	2.1 x 104
	Listeria	ND	ND	ND	ND
3	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	E. coli	ND	ND	ND	ND
	Salmonella	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	ND	ND	ND	0.5 x 102
	Psychrophile	3.5 x 102	4.8 x 102	7.7 x 102	1.3 x 103
	Listeria	ND	ND	ND	ND
7	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	E. coli	ND	ND	ND	ND
	Salmonella	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	ND	ND	ND	ND
	Psychrophile	ND	ND	ND	1.5 x 102
	Listeria	ND	ND	ND	ND
10	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	E.coli	ND	ND	ND	ND
	Salmonella	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	ND	ND	ND	ND
	Psychrophile	ND	ND	ND	ND
	Listeria	ND	ND	ND	ND

2ND: not detected

Table 18. Changes in proximate composition of nonirradiated and irradiated beef, pork and chicken during storage at 5℃ and -20℃

Sample	Component (%)	radiation dose(kGy)	Storage period				
			5℃ (weeks)			-20℃ (months)	
			0	2	4	1	6
Beef	Moisture	0	73.2	73.9	72.1	72.5	71.2
		1	74.2	73.8	71.0	73.5	71.8
		3	74.1	73.9	72.8	72.1	71.3
	Crude protein	0	29.5	28.8	28.1	29.4	28.9
		1	30.1	28.8	29.2	30.3	29.4
		3	29.0	28.9	29.0	29.3	29.2
	Crude lipid	0	4.5	4.3	4.8	4.0	4.3
		1	4.4	4.6	4.9	4.2	4.1
		3	4.2	4.6	4.8	4.3	4.6
	Crude ash	0	1.1	1.0	1.0	1.1	1.0
		1	1.3	1.1	1.1	1.1	1.2
		3	1.2	1.1	1.0	1.1	1.1
Pork	Moisture	0	75.8	72.6	72.0	72.5	72.1
		1	71.9	71.8	71.6	71.2	7.08
		3	72.1	72.8	72.5	72.1	71.7
	Crude protein	0	30.8	30.1	29.8	29.7	29.8
		1	30.2	29.2	29.7	30.9	29.9
		3	29.6	29.6	29.2	28.0	29.4
	Crude lipid	0	6.5	6.3	6.0	6.9	6.4
		1	6.1	6.4	6.7	6.2	6.6
		3	6.1	6.0	6.9	6.3	6.0
	Crude ash	0	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
		1	1.1	1.0	1.0	1.1	1.0
		3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.1
Chicken	Moisture	0	74.6	74.6	74.7	74.8	74.1
		3	75.3	75.8	74.8	75.0	74.4
		7	75.4	75.3	75.7	75.2	74.4
	Crude protein	0	29.6	31.4	29.8	30.2	30.1
		3	31.0	29.4	30.4	30.1	29.8
		7	30.8	29.5	29.5	29.2	29.5
	Crude lipid	0	2.0	2.3	2.4	2.4	2.3
		3	2.2	2.2	2.0	2.9	2.6
		7	2.4	2.0	2.5	2.6	2.5
	Crude ash	0	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1
		3	1.1	1.2	1.0	1.1	1.0
		7	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0

1Each value represents the mean of duplicate determinations.

Table 19. Changes in pH of nonirradiated and irradiated beef, pork, and chicken during storage at 5℃ and -20℃1

Sample	radiation dose(kGy)	Storage period							
		5℃ (weeks)				-20℃ (months)			
		0	2	4	8	1	2	4	6
Beef	0	5.5	5.8	5.8	5.7	5.7	5.6	5.5	5.6
	1	5.6	5.7	5.8	5.6	5.7	5.5	5.7	5.6
	3	5.6	5.7	5.7	5.7	5.6	5.5	5.4	5.7
Pork	0	6.0	6.0	6.0	6.3	6.0	6.0	5.8	5.9
	1	5.9	5.9	6.0	6.5	5.9	5.9	5.9	6.1
	3	5.9	6.0	6.2	6.4	5.9	5.8	6.0	6.0
Chicken	0	6.1	6.1	6.5	6.5	6.2	6.0	6.0	6.1
	3	6.0	6.0	6.1	6.3	6.0	6.0	6.0	6.0
	7	6.0	6.0	6.1	6.2	6.0	6.0	6.0	6.0

1Each value represents the mean of duplicate determinations.

Table 20. Changes in acidity of nonirradiated and irradiated beef, pork and chicken during storage at 5℃ and -20℃1

Sample	Irradiation dose(kGy)	Storage period							
		5℃ (weeks)				-20℃ (months)			
		0	2	4	8	1	2	4	6
Beef	0	10.6	9.2	9.2	10.2	9.4	10.2	10.3	10.4
	1	10.4	10.5	10.5	10.3	10.2	10.3	10.3	10.2
	3	10.2	9.9	9.7	9.6	10.1	10.0	10.4	10.0
Pork	0	9.8	8.9	9.0	8.8	8.9	8.9	9.3	9.8
	1	9.4	9.3	9.0	8.8	8.7	8.9	8.9	9.5
	3	9.3	8.5	8.3	8.0	8.6	8.7	8.5	9.7
Chicken	0	11.2	10.0	9.6	9.8	11.5	11.9	11.8	11.9
	3	11.3	11.5	11.0	10.6	11.9	11.8	11.3	11.6
	7	11.3	11.4	11.2	10.8	11.8	11.3	11.9	11.5

1Each value represents the mean of duplicate determinations and expressed as titration ml 0.05N NaOH.

Table 21. Changes in acid value of nonirradiated and irradiated beef, pork and chicken during storage at 5℃ and -20℃1

Samples	Irradiation dose (kGy)	Storage period							
		5℃ (weeks)				-20℃ (months)			
		0	2	4	8	1	2	4	6
Beef	0	3.7	5.4	7.8	15.5	3.4	6.2	5.0	5.5
	1	3.8	5.8	8.4	16.0	3.5	5.7	5.6	5.8
	3	3.5	4.4	6.3	9.1	3.6	5.5	5.4	5.3
Pork	0	2.9	5.7	7.5	15.0	3.3	4.3	5.3	5.4
	1	3.3	8.2	11.9	13.5	3.7	4.8	5.2	5.7
	3	3.5	4.2	5.6	19.4	3.9	4.8	5.3	5.0
Chicken	0	8.5	12.4	15.4	27.8	10.8	11.3	11.9	13.7
	3	8.3	8.4	11.4	17.5	10.7	10.4	12.6	14.6
	7	7.7	8.6	12.7	15.6	9.8	9.9	11.5	14.7

1Each value represents the mean of duplicate determinations and expressed as titration ml of 0.1N KOH.

Table 22. Changes in fatty acid composition of nonirradiated and irradiated beef during storage at 5℃1 (unit: %)

Fatty acids	Storage period (weeks)											
	0			2			4			8		
	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy
14:0	2.91	2.76	2.76	2.84	2.99	2.66	2.67	2.97	2.21	2.78	1.67	2.90
14:1	0.88	0.84	0.86	0.95	0.91	0.76	0.75	0.83	0.59	0.85	0.08	0.85
16:0	28.8	28.27	28.2	28.4	28.9	27.9	27.3	29.3	29.1	28.0	25.7	28.6
16:1	4.32	4.47	4.52	4.77	4.71	4.41	4.17	4.01	4.18	4.21	3.77	4.39
17:0	0.75	0.74	0.77	0.72	0.75	0.76	0.79	0.81	0.82	0.78	0.39	0.81
18:0	13.4	13.26	13.3	12.6	12.9	13.6	13.9	13.8	14.9	13.8	11.7	13.9
18:1	41.8	42.49	43.0	43.5	43.0	43.2	42.9	42.4	41.8	42.6	49.9	42.2
18:2	4.38	4.62	4.24	4.01	3.80	4.50	5.0	3.85	4.29	4.58	3.02	3.96
18:3	0.23	0.17	0.17	0.15	0.14	0.16	0.20	0.15	0.16	0.18	0.88	0.15
20:1	0.72	0.59	0.59	0.62	0.53	0.62	0.58	0.64	0.60	0.58	1.37	0.61
20:4	1.42	1.45	1.21	1.10	1.01	1.23	1.31	0.97	1.07	1.26	1.27	1.06
22:0	0.28	0.28	0.24	0.23	0.20	0.24	0.31	0.21	0.23	0.26	0.27	0.49
SFA	46.2	43.41	45.3	44.9	43.8	45.1	45.0	44.9	47.3	45.7	39.1	46.7
PUFA	6.04	6.25	5.63	5.27	4.96	5.90	6.52	4.98	5.53	6.02	5.18	5.18
P/S	0.13	0.14	0.12	0.11	0.11	0.13	0.14	0.11	0.11	0.13	0.13	0.11

1Each value represents the mean of duplicate determinations

Table 23. Changes in fatty acid composition of nonirradiated and irradiated beef during storage at -20℃1 (unit: %)

Fatty acids	Storage period (months)											
	1			2			4			6		
	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy
14:0	2.88	2.69	2.95	2.70	2.87	2.89	2.84	2.83	2.74	2.82	2.73	2.82
14:1	0.96	0.90	0.97	0.86	0.87	0.86	0.96	0.86	0.82	0.90	0.89	0.83
16:0	28.5	27.8	28.7	27.3	28.5	28.5	28.2	28.5	28.7	28.1	27.1	28.2
16:1	4.67	4.46	4.83	4.57	4.72	4.50	5.03	4.53	4.34	4.57	4.71	4.61
17:0	0.74	0.73	0.73	0.82	0.73	0.76	0.77	0.75	0.78	0.80	0.74	0.77
18:0	13.04	12.72	12.76	13.46	13.14	13.24	12.62	13.25	13.50	13.27	12.90	13.38
18:1	43.5	42.6	43.3	43.6	42.2	42.6	43.1	42.8	42.9	42.6	43.2	42.9
18:2	3.71	4.56	3.90	4.47	4.66	4.42	4.22	4.35	4.19	4.48	5.19	4.31
18:3	0.17	0.17	0.14	0.16	0.17	0.15	0.16	0.16	0.14	0.16	0.18	0.17
20:1	0.60	0.57	0.62	0.49	0.48	0.51	0.49	0.50	0.50	0.49	0.48	0.51
20:4	0.96	1.39	0.99	1.26	1.36	1.29	1.31	1.25	1.16	1.34	1.62	1.22
22:0	0.19	1.33	0.02	0.33	0.31	0.27	0.31	0.25	0.24	0.35	0.29	0.28
SFA	45.4	43.5	45.2	44.6	43.5	45.7	44.8	43.6	45.9	45.4	41.9	45.4
PUFA	4.86	6.13	5.04	5.90	6.20	5.87	5.70	5.76	5.50	6.00	6.99	5.71
P/S	0.10	0.14	0.11	0.13	0.14	0.12	0.12	0.13	0.11	0.13	0.16	0.12

1Each value represents the mean of duplicate determinations

Table 24. Changes in fatty acid composition of nonirradiated and irradiated pork during storage at 5℃1 (unit: %)

Fatty acids	Storage period (weeks)											
	0			2			4			8		
	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy
14:0	1.53	1.46	1.42	1.50	1.44	1.48	1.45	1.49	1.48	1.49	1.86	1.40
14:1	0.05	0.05	0.02	0.06	0.02	0.04	0	0.05	0.08	0.05	0.96	0.03
16:0	24.2	23.4	23.2	23.1	22.7	22.9	23.0	22.6	22.7	23.3	29.2	22.6
16:1	0.30	3.02	2.96	3.26	3.19	3.33	2.90	3.33	3.23	3.15	4.89	3.13
17:0	0.39	0.41	0.36	0.36	0.34	0.34	0.36	0.33	0.36	0.36	0.72	0.34
18:0	11.8	11.9	10.8	10.7	10.4	10.6	11.2	9.92	10.5	11.1	12.8	10.5
18:1	44.3	42.8	42.9	44.3	44.3	44.3	44.7	45.3	44.4	44.8	43.2	44.9
18:2	14.1	13.6	13.8	13.3	14.0	13.4	13.3	13.6	14.0	12.3	4.15	13.7
18:3	0.85	0.76	1.02	0.87	0.83	0.82	0.77	0.84	0.78	0.87	0.19	0.80
20:1	1.16	1.23	1.06	1.18	1.13	1.08	1.23	1.11	1.11	1.29	0.61	1.24
20:4	1.29	1.20	1.73	1.15	1.33	1.07	0.78	1.17	1.09	1.03	1.15	1.10
22:0	0.02	0.23	0.66	0.20	0.21	0.62	0.18	0.22	0.24	0.19	0.22	0.24
SFA	37.9	36.0	36.4	35.9	33.7	35.9	36.3	33.1	35.3	36.4	43.9	35.1
PUFA	16.3	15.5	16.6	15.3	16.2	15.3	14.9	15.6	15.9	14.2	5.49	15.6
P/S	0.42	0.43	0.45	0.42	0.48	0.42	0.41	0.47	0.45	0.39	0.12	0.44

1Each value represents the mean of duplicate determinations

Table 25. Changes in fatty acid composition of nonirradiated and irradiated pork during storage at -20℃1 (unit: %)

Fatty acids	Storage period (months)											
	1			2			4			6		
	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy
14:0	1.46	1.45	1.43	1.50	1.42	1.43	1.46	1.47	1.48	1.42	1.47	1.45
14:1	0.04	0.08	0.04	0.08	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.08	0.06
16:0	23.1	22.8	22.9	23.1	22.9	22.9	23.1	22.9	22.9	22.6	22.3	22.3
16:1	3.07	3.08	3.05	3.35	3.50	3.01	3.11	3.29	3.39	3.20	3.40	3.53
17:0	0.35	0.37	0.34	0.34	0.37	0.34	0.34	0.35	0.37	0.37	0.35	0.36
18:0	10.9	10.8	10.7	10.9	10.0	11.1	10.8	10.7	10.7	10.9	9.76	9.89
18:1	45.4	43.8	44.5	44.4	44.9	44.4	44.4	44.5	43.9	44.1	45.1	45.2
18:2	12.6	13.8	13.5	13.0	13.6	13.4	13.6	13.4	13.8	13.6	14.1	13.7
18:3	0.80	0.87	0.80	0.82	0.83	0.74	0.79	0.83	0.87	0.81	0.86	0.85
20:1	1.11	1.10	1.10	1.02	1.02	1.15	1.09	1.03	1.02	1.01	1.05	1.04
20:4	0.91	1.57	1.39	1.35	1.17	1.17	1.02	1.05	1.13	1.59	1.16	1.16
22:0	0.19	0.27	0.19	0.21	0.21	0.21	0.26	0.28	0.24	0.36	0.31	0.32
SFA	36.0	34.4	35.6	35.9	33.6	36.0	35.9	34.4	35.8	35.7	32.8	34.4
PUFA	14.3	16.2	15.7	15.2	15.6	15.3	15.4	15.3	15.8	15.9	16.1	15.8
P/S	0.39	0.47	0.44	0.42	0.46	0.42	0.42	0.44	0.44	0.44	0.49	0.45

1Each value represents the mean of duplicate determinations

Table 26. Changes in fatty acid composition of nonirradiated and irradiated chicken during storage at 5℃1 (unit:%)

Fatty acids	Storage period (weeks)											
	0			2			4			8		
	Cont	3kGy	7kGy	Cont	3kGy	7kGy	Cont	3kGy	7kGy	Cont	3kGy	7kGy
14:0	0.74	0.69	0.68	0.69	0.73	0.76	0.76	0.75	0.75	0.77	0.74	0.75
14:1	0.19	0.15	0.20	0.21	0.22	0.23	0.22	0.22	0.20	0.23	0.17	0.21
16:0	24.2	25.3	24.9	24.6	24.9	25.2	25.3	26.0	26.0	25.3	24.9	25.3
16:1	5.80	5.40	5.39	5.62	5.77	5.85	5.71	5.86	5.71	5.72	5.76	5.66
17:0	0.16	0.15	0.16	0.16	0.16	0.16	0.17	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17
18:0	7.68	8.79	8.63	8.21	7.77	7.92	7.75	7.61	8.83	7.68	7.80	8.34
18:1	38.8	36.3	36.9	37.7	37.8	38.9	38.1	38.5	38.9	38.7	38.5	38.6
18:2	18.0	17.9	17.9	18.0	17.6	16.9	17.7	17.1	15.2	17.5	17.7	16.5
18:3	0.83	0.78	0.80	0.79	0.82	0.80	0.80	0.76	0.58	0.87	0.81	0.77
20:1	0.77	0.67	0.75	0.86	0.81	0.89	0.89	0.82	1.20	0.98	0.66	0.86
20:4	2.29	3.15	2.95	2.54	2.19	1.77	2.02	1.77	1.74	1.69	2.10	2.22
22:0	0.49	0.65	0.68	0.55	1.11	0.54	0.62	0.35	0.61	0.37	0.66	0.49
SFA	33.3	35.0	35.0	34.2	34.2	34.6	34.6	34.4	36.4	34.3	33.8	35.1
PUFA	21.1	21.9	21.7	21.4	20.6	19.5	20.5	19.7	17.5	20.1	20.6	17.5
P/S	0.63	0.62	0.61	0.62	0.60	0.56	0.59	0.57	0.48	0.58	0.60	0.55

1Each value represents the mean of duplicate determinations

Table 27. Changes in fatty acid composition of nonirradiated and irradiated chicken during storage at -20℃1 (unit: %)

Fatty acids	Storage period (months)											
	1			2			4			6		
	Cont	3kGy	7kGy	Cont	3kGy	7kGy	Cont	3kGy	7kGy	Cont	3kGy	7kGy
14:0	0.72	0.74	0.71	0.96	0.76	0.75	0.79	0.78	0.63	0.73	0.76	0.73
14:1	0.19	0.22	0.18	0.26	0.22	0.23	0.23	0.24	0.23	0.23	0.23	0.22
16:0	24.9	24.9	25.7	25.9	24.8	24.6	25.0	24.9	25.1	24.6	24.7	24.9
16:1	5.51	5.64	5.89	6.21	5.59	5.78	5.80	5.81	5.71	5.76	5.63	5.62
17:0	0.16	0.16	0.14	0.18	0.17	0.20	0.17	0.16	0.17	0.17	0.20	0.16
18:0	8.16	8.13	7.76	8.08	8.21	8.10	7.33	7.71	7.77	7.86	8.01	8.10
18:1	37.7	37.9	37.6	42.6	37.8	37.8	39.1	38.3	38.3	37.9	38.0	37.6
18:2	17.9	17.5	17.5	17.5	17.9	18.1	17.8	17.9	17.9	18.2	17.8	18.1
18:3	0.82	0.93	0.90	0.74	0.85	0.81	0.95	0.88	0.84	0.83	0.81	0.88
20:1	0.77	0.79	0.72	1.74	0.62	0.64	0.68	0.63	0.62	0.77	0.67	0.63
20:4	2.47	2.49	2.08	2.27	2.53	2.4	1.67	2.18	2.20	2.42	2.53	2.49
22:0	0.52	0.53	0.79	0.45	0.52	0.55	0.38	0.45	0.49	0.55	0.60	0.54
SFA	34.6	33.9	35.1	35.6	33.9	34.3	33.7	33.5	34.2	33.9	33.8	34.5
PUFA	21.2	20.9	20.5	20.3	21.3	21.3	20.4	20.9	20.9	21.5	21.1	21.4
P/S	0.61	0.61	0.58	0.56	0.62	0.62	0.60	0.62	0.61	0.63	0.62	0.62

1Each value represents the mean of duplicate determinations

Table 28. Changes in free amino acid of nonirradiated and irradiated beef during storage at 5℃1

Amino acids	Storage period (weeks)											
	0			2			4			8		
	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy
Asp	0.21	0.2	0.18	0.48	0.23	0.16	0.5	0.65	0.13	0.57	0.57	0.1
Thr	0.41	0.3	0.18	0.53	0.47	0.29	0.61	0.8	0.38	0.86	0.59	0.3
Ser	0.61	0.4	0.24	0.66	0.64	0.44	0.77	0.51	0.44	0.42	0.11	0.43
Asn	0.17	0.16	0.06	ND2	0.16	0.11	ND	ND	0.1	0.04	ND	0.14
Glu	0.49	0.37	0.48	2.04	0.75	0.62	2.73	2.43	0.51	2.47	2.53	0.54
Gln	3.33	2.72	1.94	1.27	2.13	2.21	1	0.53	1.74	0.26	0.2	1.47
Pro	0.16	0.19	0.13	0.24	0.19	0.18	0.26	0.31	0.15	0.42	0.4	0.17
Gly	0.89	0.64	0.4	0.88	0.9	0.64	1.1	1.25	0.87	1.49	1.4	0.57
Ala	2.58	1.84	1.46	3.44	2.83	2.14	4.56	4.7	2.77	4.1	4.42	1.76
Val	0.53	0.35	0.21	0.66	0.68	0.34	0.96	1.25	0.58	1.45	1.41	0.46
Cys	ND2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.03	0.02	0.02
Met	0.3	0.18	0.09	0.34	0.36	0.15	0.44	0.57	0.22	0.61	0.6	0.27
Ile	0.41	0.24	0.15	0.4	0.44	0.22	0.56	0.69	0.3	0.88	0.8	0.29
Lue	0.74	0.4	0.25	0.76	0.84	0.42	1.1	1.49	0.57	1.54	1.6	0.56
Tyr	0.32	0.19	0.09	0.06	0.26	0.18	0.05	0.15	0.34	0.01	0.03	0.27
Phe	0.32	0.22	ND	0.36	0.42	0.21	0.5	0.69	0.28	0.78	0.77	0.34
Lys	0.45	0.35	0.43	0.43	0.52	0.34	0.28	0.73	0.44	0.27	0.78	0.35
His	0.27	0.21	0.31	0.49	0.51	0.21	0.28	0.29	0.22	0.42	0.36	0.19
Arg	0.41	0.18	0.17	ND	0.28	0.31	ND	ND	0.3	0.03	ND	0.25
Total	14.6	9.14	6.77	15.1	12.6	9.17	15.7	17.0	10.3	16.7	16.6	8.48

1Each value represents the mean of duplicate determinations and expressed μM g-1(wet weight basis). 2ND: not detected

Table 29. Changes in free amino acid of nonirradiated and irradiated beef during storage at -20℃1

Amino acids	Storage period(months)											
	1			2			4			6		
	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy
Asp	0.24	0.16	0.2	0.37	0.14	0.15	0.21	0.14	0.21	0.23	0.23	0.14
Thr	0.28	0.24	0.28	0.46	0.23	0.22	0.33	0.32	0.28	0.31	0.26	0.14
Ser	0.4	0.34	0.41	0.64	0.31	0.31	0.48	0.49	0.38	0.48	0.38	0.3
Asn	0.1	0.09	0.12	0.24	0.08	0.09	0.12	0.11	0.1	0.13	0.1	0.07
Glu	0.58	0.53	0.55	0.67	0.4	0.36	0.87	0.87	0.66	0.37	0.39	0.23
Gln	2.21	1.92	2.29	3.85	2.44	1.95	4.61	5.42	3.55	3.54	4.7	3.28
Pro	0.14	0.07	0.08	0.3	0.13	0.13	0.15	0.16	0.17	0.14	0.12	0.11
Gly	0.62	0.59	0.68	0.85	0.59	0.51	0.78	0.79	0.77	0.67	0.62	0.59
Ala	1.87	1.85	2.15	2.19	1.68	1.52	2.59	2.57	2.2	2.52	2.32	1.73
Val	0.3	0.33	0.37	0.51	0.29	0.35	0.38	0.34	0.32	0.42	0.3	0.26
Cys	ND2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Met	0.13	0.15	0.15	0.28	0.13	0.2	0.19	0.15	0.14	0.24	0.14	0.11
Ile	0.22	0.2	0.23	0.39	0.21	0.3	0.26	0.22	0.19	0.31	0.22	0.16
Lue	0.4	0.36	0.42	0.68	0.35	0.46	0.49	0.42	0.36	0.56	0.4	0.3
Tyr	0.15	0.16	0.19	0.3	0.16	0.25	0.2	0.18	0.16	0.25	0.2	0.13
Phe	0.19	0.19	0.2	0.32	0.18	0.26	0.23	0.2	0.17	0.24	0.16	0.14
Lys	0.51	0.28	0.58	0.61	0.32	0.36	0.5	0.36	0.49	0.46	0.33	0.36
His	0.31	0.18	0.45	0.36	0.17	0.24	0.35	0.26	0.43	0.26	0.19	0.2
Arg	0.27	0.22	0.28	0.51	0.3	0.32	0.31	0.27	0.31	0.28	0.54	0.21
Total	10.92	7.86	9.63	13.5	8.11	7.98	13.1	13.3	10.9	11.4	11.6	8.46

1Each value represents the mean of duplicate determinations and expressed μM g-1(wet weight basis).

2ND: not detected

Table 30. Changes in free amino acid of nonirradiated and irradiated pork during storage at 5℃1

Amino acids	Storage period (weeks)											
	0			2			4			8		
	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy
Asp	0.38	0.42	0.41	0.32	0.29	0.21	0.49	0.4	0.15	0.38	0.37	0.26
Thr	0.31	0.31	0.26	0.48	0.39	0.33	0.77	0.58	0.31	0.08	0.28	0.42
Ser	0.43	0.4	0.34	0.29	0.44	0.44	0.61	0.38	0.36	0.07	0.12	0.15
Asn	0.1	0.1	0.08	0.04	0.1	0.1	ND	ND	0.11	ND	ND	ND
Glu	0.7	0.75	0.49	1.32	0.79	0.63	2.41	2	0.38	2.62	2.86	0.75
Gln	1.46	1.58	1.38	0.34	1.06	1.12	0.19	0.29	0.59	ND	0.09	0.54
Pro	0.31	0.44	0.3	0.31	0.33	0.36	0.36	0.32	0.27	0.29	0.88	0.45
Gly	0.95	1.05	0.92	1.14	1.2	1.02	1.4	1.37	0.81	1.51	2.37	1.26
Ala	1.46	1.32	2.19	2.77	2.29	2.25	3.87	3.59	1.58	6.32	4.98	2.95
Val	0.32	0.33	0.3	0.48	0.41	0.39	0.99	0.77	0.35	1.73	2.22	0.68
Cys	ND2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Met	0.14	0.1	0.12	0.22	0.16	0.17	0.41	0.34	0.13	0.53	0.79	0.26
Ile	0.19	0.17	0.16	0.24	0.18	0.24	0.53	0.41	0.17	0.78	1.26	0.33
Lue	0.35	0.3	0.3	0.48	0.39	0.4	0.99	0.8	0.31	1.25	1.95	0.52
Tyr	0.17	0.15	0.14	0.07	0.03	0.23	0.04	ND	0.15	0.05	0.03	0.26
Phe	0.17	0.16	0.15	0.22	0.2	0.21	0.45	0.4	0.15	0.71	0.97	0.31
Lys	0.26	0.28	0.38	0.11	0.34	0.36	0.43	0.67	0.23	0.66	2.62	0.48
His	0.2	0.2	0.26	0.28	0.22	0.2	0.42	0.31	0.13	0.26	0.79	0.32
Arg	0.26	0.2	0.2	0.05	ND	0.24	0.11	ND	0.38	0.03	0.02	0.04
Total	10.2	8.26	8.38	9.16	8.82	8.9	14.5	12.6	6.56	17.3	22.6	9.98

1Each value represents the mean of duplicate determinations and expressed μM g-1(wet weight basis).

2ND: not detected

Table 31. Changes in free amino acid of nonirradiated and irradiated pork during storage at -20℃1

Amino acids	Storage period (months)											
	1			2			4			6		
	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy
Asp	0.28	0.39	0.22	0.19	0.37	0.29	0.32	0.3	0.26	0.27	0.29	0.28
Thr	0.29	0.39	0.22	0.15	0.31	0.25	0.27	0.28	0.24	0.25	0.28	0.2
Ser	0.4	0.45	0.27	0.2	0.39	0.34	0.34	0.34	0.3	0.33	0.36	0.27
Asn	0.09	0.16	0.07	0.05	0.11	0.1	0.09	0.08	0.08	0.08	0.1	0.08
Glu	0.65	0.65	0.48	0.22	0.53	0.45	0.63	0.6	0.5	0.39	0.4	0.35
Gln	1.28	1.67	1.19	1.03	1.64	1.68	2.34	1.88	1.76	2.28	2.18	2.34
Pro	0.25	0.26	0.21	0.18	0.26	0.25	0.27	0.25	0.24	0.22	0.25	0.23
Gly	0.85	0.81	0.68	0.49	0.95	0.85	0.79	0.91	0.78	0.73	0.82	0.84
Ala	1.44	1.66	1.42	0.87	1.73	1.75	1.93	1.76	1.89	1.57	2.24	1.82
Val	0.27	0.29	0.25	0.18	0.34	0.32	0.29	0.27	0.25	0.27	0.27	0.27
Cys	ND2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Met	0.11	0.1	0.1	0.13	0.16	0.14	0.13	0.11	0.09	0.11	0.1	0.11
Ile	0.19	0.17	0.13	0.13	0.21	0.21	0.16	0.15	0.15	0.14	0.15	0.13
Lue	0.34	0.3	0.22	0.23	0.35	0.35	0.29	0.28	0.28	0.26	0.28	0.25
Tyr	0.22	0.15	0.11	0.13	0.14	0.18	0.16	0.14	0.18	0.14	0.15	0.14
Phe	0.18	0.14	0.12	0.11	0.16	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.18	0.13
Lys	0.28	0.46	0.21	0.29	0.27	0.5	0.23	0.23	0.25	0.24	0.23	0.21
His	0.15	0.26	0.17	0.19	0.21	0.33	0.21	0.22	0.2	0.1	0.15	0.13
Arg	0.22	0.44	0.6	0.11	0.24	0.22	0.23	0.2	0.19	0.19	0.2	0.17
Total	9.49	8.75	6.67	4.88	8.37	8.38	8.84	8.15	7.78	7.71	8.63	7.95

1Each value represents the mean of duplicate determinations and expressed μM g-1(wet weight basis).

2ND: not detected

Table 32. Changes in free amino acid of nonirradiated and irradiated chicken during storage at 5℃1

Amino acids	Storage period (weeks)											
	0			2			4			8		
	Cont	3kGy	7kGy	Cont	3kGy	7kGy	Cont	3kGy	7kGy	Cont	3kGy	7kGy
Asp	1.57	1.35	1.13	2.44	1.58	1.56	1.57	1.31	0.36	0.99	1.82	1.79
Thr	1.41	1.09	1.03	1.99	1.19	1.19	1.21	1.03	2.11	0.78	1.35	1.28
Ser	1.96	1.53	1.42	1.99	1.67	1.66	1.62	1.33	0.51	0.07	0.84	1.26
Asn	0.54	0.4	0.37	0.14	0.4	0.4	0.38	0.36	0.02	ND	0.14	2.38
Glu	1.87	1.24	1.32	4.12	1.57	1.55	1.71	1.23	2.97	7.72	0.9	0.19
Gln	0.94	0.77	0.74	ND	0.61	0.62	0.53	0.34	0.04	ND	0.07	1.8
Pro	0.9	0.8	0.76	0.1	1.01	0.98	1.08	0.85	0.26	0.19	1.18	0.5
Gly	1.84	1.61	1.51	2.72	1.63	1.62	1.7	1.4	4.32	4.22	1.91	0.41
Ala	3	2.4	2.42	3.93	2.41	2.4	2.84	1.63	6.43	11.1	3.51	1.98
Val	1.1	0.86	0.8	1.94	1.01	1.02	1.14	0.94	3.15	4.64	1.65	2.6
Cys	ND2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.78
Met	0.59	0.42	0.38	0.84	0.41	0.42	0.46	0.4	1.17	1.86	0.73	0.55
Ile	0.71	0.54	0.47	1.19	0.62	0.61	0.67	0.57	2.02	2.47	0.89	0.74
Lue	1.48	1.01	0.93	2.15	1.03	1.06	1.14	0.95	3.12	2.66	1.26	1.18
Tyr	0.53	0.55	0.51	0.01	0.57	0.59	0.59	0.49	0.07	0.07	0.65	0.67
Phe	0.56	0.43	0.4	0.86	0.46	0.48	0.46	0.4	1.18	1.55	0.72	0.55
Lys	1.44	1.35	1.3	0.73	1.56	1.31	1.9	1.28	1.69	1.4	0.77	1.4
His	0.57	0.48	0.39	0.81	0.84	0.67	1.06	0.62	0.58	0.28	0.79	1
Arg	0.99	0.79	0.76	0.02	0.9	0.93	1.57	0.67	ND	ND	0.04	0.76
Total	24	17.6	16.6	25.9	19.5	19.1	21.6	15.8	29	40	19.2	21.8

1Each value represents the mean of duplicate determinations and expressed μM g-1(wet weight basis).
2ND: not detected

Table 33. Changes in free amino acid of nonirradiated and irradiated chicken during storage at -20℃1

Amino acids	Storage period (months)											
	1			2			4			6		
	Cont	3kGy	7kGy	Cont	3kGy	7kGy	Cont	3kGy	7kGy	Cont	3kGy	7kGy
Asp	0.84	0.91	0.87	1.9	1.32	1.07	1.32	0.99	1	1.4	0.89	0.79
Thr	0.89	0.91	0.87	1.94	1.27	1.07	1.4	1.02	0.95	1.26	0.91	0.81
Ser	1.21	1.21	1.2	2.87	1.76	1.5	1.93	1.38	1.37	1.81	1.25	1.11
Asn	0.34	0.37	0.34	0.78	0.47	0.46	0.52	0.4	0.4	0.48	0.34	0.3
Glu	1.21	1.08	1.03	3.16	1.59	1.41	2.02	1.21	1.15	1.78	1.14	0.93
Gln	0.71	0.77	0.74	1.48	1.1	0.94	1.6	1.14	1.15	1.45	1.13	0.99
Pro	0.56	0.62	0.63	1.24	0.94	0.83	0.96	0.74	0.73	0.87	0.65	0.59
Gly	1.16	1.18	1.19	2.4	1.72	1.51	2.01	1.52	1.44	1.76	1.34	1.2
Ala	1.78	1.79	1.82	3.71	2.44	2.2	3.31	2.38	2.39	3.06	2.12	1.93
Val	0.7	0.7	0.67	2.09	1.1	0.89	1.32	0.77	0.74	1.27	0.76	0.64
Cys	ND2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Met	0.36	0.36	0.33	0.99	0.6	0.48	0.67	0.38	0.38	0.57	0.34	0.29
Ile	0.45	0.44	0.39	1.35	0.66	0.57	0.82	0.44	0.46	0.76	0.44	0.36
Lue	0.89	0.82	0.79	2.39	1.17	0.95	1.52	0.92	0.88	1.45	0.9	0.69
Tyr	0.44	0.47	0.47	0.74	.56	0.48	0.77	0.5	0.54	0.7	0.47	0.39
Phe	0.39	0.35	0.37	0.95	0.47	0.39	0.64	0.4	0.42	0.63	0.37	0.32
Lys	1.37	1.08	1.12	2.85	1.77	1.43	1.68	1.39	1.4	1.6	1.07	1.04
His	0.54	0.41	0.38	1.18	0.69	0.47	0.77	0.45	0.45	0.73	0.36	0.3
Arg	2.24	0.77	0.72	2.02	0.91	0.77	1.16	0.79	0.78	1.1	0.71	0.63
Total	18.1	14.2	13.9	34.0	20.5	17.4	24.4	16.8	16.6	22.7	15.2	13.3

1Each value represents the mean of duplicate determinations and expressed μM g-1(wet weight basis).
2ND: not detected

Table 34. Changes in total amino acid of nonirradiated and irradiated beef during storage at 5℃ and -20℃1

Amino acids	Storage at 5℃ (weeks)						Storage at -20℃ (months)					
	0			4			1			6		
	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy
Asp	365	395	515	500	590	410	715	565	500	415	385	525
Thr	260	260	295	330	345	235	415	330	300	245	220	340
Ser	215	245	300	290	340	230	405	320	285	240	225	325
Asn	ND2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Glu	555	580	770	750	900	610	1075	830	725	625	570	740
Gln	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Pro	225	250	235	265	335	245	325	275	200	220	210	230
Gly	305	380	460	415	460	330	530	470	385	375	350	375
Ala	330	375	480	475	550	380	635	525	440	385	360	415
Val	205	220	280	275	330	230	370	315	275	235	240	250
Cys	30	30	45	45	60	15	55	50	35	25	25	20
Met	75	85	145	100	175	105	195	160	130	100	95	115
Ile	175	180	230	220	300	185	320	265	225	195	180	200
Leu	340	350	460	445	555	360	625	500	445	375	340	395
Tyr	120	110	145	140	205	115	195	155	145	125	105	125
Phe	130	130	175	170	230	140	235	190	170	140	130	150
Lys	425	315	445	420	500	345	585	485	410	365	340	375
His	175	115	175	130	180	125	220	205	120	140	130	125
Arg	185	200	260	250	290	205	350	285	245	220	200	225
Total	4117	4229	5415	5220	6345	4265	7250	5925	5035	4425	4105	4930

1Each value represents the mean of duplicate determinations and expressed μM g-1(dry weight basis).
2ND: not detected

Table 35. Changes in total amino acid of nonirradiated and irradiated pork during storage at 5℃ and -20℃1

Amino acids	Storage at 5℃ (weeks)						Storage at -20℃ (months)					
	0			4			1			6		
	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy	Cont	1kGy	3kGy
Asp	520	540	380	470	505	440	515	490	425	440	395	300
Thr	305	350	215	300	305	255	320	320	250	265	225	175
Ser	305	310	220	275	295	260	300	280	260	270	225	180
Asn	ND2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Glu	755	790	555	660	730	635	745	705	655	640	585	440
Gln	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Pro	290	270	235	235	235	200	235	240	210	295	215	145
Gly	425	455	335	405	385	380	435	385	340	375	345	250
Ala	460	490	345	435	445	405	460	430	370	380	365	265
Val	280	295	220	260	265	230	275	265	255	255	225	165
Cys	35	30	15	30	40	25	30	35	25	20	20	15
Met	130	95	95	85	140	110	110	100	130	105	100	75
Ile	225	240	175	195	230	180	225	215	200	190	185	135
Leu	455	475	335	410	450	385	460	425	380	365	345	250
Tyr	145	150	105	130	140	125	145	135	125	120	115	80
Phe	170	180	125	150	160	145	180	160	140	145	130	95
Lys	420	440	315	390	445	375	445	400	355	355	335	245
His	170	165	125	185	200	165	200	165	150	150	125	90
Arg	265	275	200	230	245	220	270	245	215	220	205	150
Total	5357	5550	3995	4845	5215	4535	5350	4995	4485	4590	4140	3055

1Each value represents the mean of duplicate determinations and expressed μM g-1(dry weight basis).
2ND: not detected

Table 36. Changes in total amino acid of nonirradiated and irradiated chicken during storage at 5℃ and -20℃1

Amino acids	Storage at 5℃ (weeks)						Storage at -20℃ (months)					
	0			4			1			6		
	Cont	3kGy	7kGy	Cont	3kGy	7kGy	Cont	3kGy	7kGy	Cont	3kGy	7kGy
Asp	505	430	570	565	620	520	380	530	360	555	465	515
Thr	305	240	360	345	365	290	225	340	220	310	255	295
Ser	285	245	315	315	345	305	210	300	215	315	260	300
Asn	ND2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Glu	690	595	790	770	835	705	520	735	515	770	635	745
Gln	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Pro	275	215	295	260	305	275	180	310	245	255	235	225
Gly	410	355	460	415	475	400	300	440	320	430	365	410
Ala	465	390	535	490	560	450	350	490	325	490	410	465
Val	265	235	310	305	325	285	250	290	200	290	245	265
Cys	45	40	35	30	50	30	85	45	25	30	20	40
Met	120	125	125	115	145	140	120	105	80	155	130	130
Ile	225	215	275	235	285	215	165	250	150	255	220	220
Leu	425	375	490	465	530	410	305	450	285	455	390	420
Tyr	130	140	155	140	170	130	95	140	90	145	125	135
Phe	155	160	180	175	200	155	115	165	110	170	140	160
Lys	410	355	480	450	510	420	315	445	290	460	385	435
His	165	140	185	175	205	165	170	180	115	180	150	165
Arg	255	215	290	275	305	250	195	266	180	275	225	260
Total	5132	4470	5850	5525	6230	5145	3980	5481	3725	5540	4655	5185

1Each value represents the mean of duplicate determinations and expressed μM g-1(dry weight basis).
2ND: not detected

Table 37. Changes in selected mineral of nonirradiated irradiated beefs during storage at 5℃ and -20℃1

Minerals	Storage period (months)			
	irradiation dose	0 (fresh)	2 (at 5℃)	6 (at -20℃)
Magnesium	Control	30	39	37
	3kGy	36	33	36
Sodium	control	75	73	78
	3kGy	78	74	73
Potassium	Control	333	378	333
	3kGy	354	396	357
Iron	Control	18.4	14.4	16.0
	3kGy	18.2	16.40	17.20
Zinc	Control	5.3	6.9	5.8
	3kGy	6.7	5.8	5.5
Calcium	Control	18.1	15.3	14.2
	3kGy	12.1	12.6	15.0
Phosphorus	Control	2145	2666	2509
	3kGy	2132	2419	2601
Cobalt	Control	0.082	0.084	0.071
	3kGy	0.081	0.086	0.073
Copper	Control	0.28	0.22	0.22
	3kGy	0.35	0.20	0.32
Manganese	Control	0.11	0.17	0.10
	3kGy	0.18	0.16	0.09

1Each value represents the mean of duplicate determinations and expressed mg 100g-1(wet weight basis).

Table 38. Changes in selected mineral of nonirradiated and irradiated porks during storage at 5℃ and -20℃1

Minerals	Storage period (months)			
	irradiation dose	0 (fresh)	2 (at 5℃)	6 (at -20℃)
Magnesium	Control	30	30	36
	3kGy	39	32	33
Sodium	Control	77	79	74
	3kGy	70	83	84
Potassium	Control	333	315	372
	3kGy	336	354	327
Iron	Control	5.30	6.90	5.3
	3kGy	6.4	6.70	5.8
Zinc	Control	3.1	4.1	3.8
	3kGy	4.3	3.2	3.7
Calcium	Control	26.9	23.5	28.0
	3kGy	29.0	24.7	23.5
Phosphorus	Control	2847	1371	2828
	3kGy	2056	1778	2284
Cobalt	Control	0.056	0.066	0.063
	3kGy	0.054	0.061	0.055
Copper	Control	0.30	0.26	0.29
	3kGy	0.36	0.23	0.36
Manganese	Control	0.20	0.28	0.28
	3kGy	0.38	0.23	0.30

1Each value represents the mean of duplicate determinations and expressed mg 100g-1(wet weight basis).

Table 39. Changes in selected mineral of nonirradiated and irradiated chickens during storage at 5℃ and -20℃1

Minerals	Storage period (months)			
	irradiation dose	0 (fresh)	2 (at 5℃)	6 (at -20℃)
Magnesium	Control	39	36	36
	3kGy	33	30	33
Sodium	Control	56	58	58
	3kGy	56	59	57
Potassium	Control	354	309	345
	3kGy	348	394	339
Iron	Control	6.5	6.10	6.30
	3kGy	5.90	5.10	5.20
Zinc	Control	1.6	1.4	1.2
	3kGy	1.0	1.1	1.4
Calcium	Control	24.1	24.3	19.7
	3kGy	14.0	21.5	17.2
Phosphorus	Control	1708	1403	1483
	3kGy	1404	1107	1416
Cobalt	Control	0.067	0.077	0.072
	3kGy	0.059	0.068	0.064
Copper	Control	0.70	0.67	0.64
	3kGy	0.68	0.57	0.50
Manganese	Control	0.29	0.21	0.16
	3kGy	0.09	0.07	0.11

1Each value represents the mean of duplicate determinations and expressed mg 100g-1(wet weight basis).

Table 40. Changes in heme pigment of nonirradiated and irradiated beef during storage at 5℃ and -20℃1

Temp	Storage period	rdia-tion dose	Absorbance (nm)				Relative concentration		
			572	565	545	525	myo	ox	met
5℃ (weeks)	0	Control	0.2919	0.2543	0.3970	0.3334	0.0871	0.4081	0.4422
		1 kGy	0.2254	0.1977	0.3151	0.2736	0.0590	0.3818	0.5097
		3 kGy	0.1952	0.1806	0.2759	0.2730	0.0820	0.2491	0.6230
	2	Control	0.2968	0.2693	0.4013	0.3714	0.1197	0.2993	0.5168
		1 kGy	0.2366	0.2287	0.3312	0.3419	0.1214	0.1855	0.6530
		3 kGy	0.2077	0.1970	0.2942	0.2997	0.0963	0.2116	0.6518
	4	Control	0.1922	0.1913	0.2818	0.3166	0.0903	0.1290	0.7524
		1 kGy	0.1042	0.1101	0.1614	0.1893	0.0788	0.0774	0.8482
		3 kGy	0.1136	0.1154	0.1822	0.2127	0.0245	0.1156	0.8622
	8	Control	0.1791	0.1744	0.2534	0.2559	0.1184	0.1939	0.6602
		1 kGy	0.2091	0.2001	0.2948	0.2886	0.1116	0.2259	0.6324
		3 kGy	0.1400	0.1365	0.2091	0.2290	0.0609	0.1617	0.7547
-20℃ (month)	1	Control	0.2622	0.2427	0.3657	0.3500	0.0987	0.2665	0.5893
		1 kGy	0.2526	0.2348	0.3582	0.3516	0.0827	0.2507	0.6258
		3 kGy	0.1827	0.1726	0.2616	0.2675	0.0823	0.2150	0.6647
	2	Control	0.2611	0.2308	0.3648	0.3207	0.0655	0.3655	0.5204
		1 kGy	0.2407	0.2108	0.3366	0.2896	0.0578	0.3901	0.5039
		3 kGy	0.2389	0.2115	0.3302	0.2871	0.0796	0.3700	0.4986
	4	Control	0.2769	0.2394	0.3866	0.3246	0.0498	0.4205	0.4793
		1 kGy	0.2698	0.2308	0.3767	0.3066	0.0417	0.4553	0.4536
		3 kGy	0.2285	0.2304	0.3168	0.2775	0.0802	0.3602	0.5107
	6	Control	0.3026	0.2997	0.3687	0.3720	0.3009	0.1375	0.4719
		1 kGy	0.3215	0.3149	0.3742	0.4205	0.3134	0.0845	0.4697
		3 kGy	0.2875	0.2559	0.3797	0.3252	0.1396	0.3663	0.4209

1Each value represents the mean of duplicate determinations.

Table 41. Changes in heme pigment of nonirradiated and irradiated pork during storage at 5℃ and -20℃1

Temp.	Storage period	radiation dose	Absorbance (nm)				Relative concentration		
			572	565	545	525	myo	ox	met
5℃ (weeks)	0	Control	0.1875	0.1884	0.2389	0.2478	0.2538	0.1230	0.5578
		1 kGy	0.1857	0.1835	0.2320	0.2477	0.2548	0.1193	0.5382
		3 kGy	0.1816	0.1825	0.2281	0.2422	0.2645	0.1075	0.5519
	2	Control	0.2101	0.2130	0.2656	0.2893	0.2584	0.0894	0.5788
		1 kGy	0.1721	0.1791	0.2240	0.2438	0.2484	0.0741	0.6292
		3 kGy	0.0881	0.0944	0.1139	0.1337	0.2614	0.0148	0.6716
	4	Control	0.0712	0.0691	0.0957	0.0943	0.1740	0.1975	0.5811
		1 kGy	0.0787	0.0815	0.1065	0.1158	0.2027	0.0907	0.6720
		3 kGy	0.1319	0.1317	0.1696	0.1734	0.2412	0.1389	0.5583
	8	Control	0.0598	0.0577	0.0804	0.0746	0.1784	0.2379	0.5459
		1 kGy	0.0462	0.0464	0.0660	0.0594	0.1469	0.2342	0.6385
		3 kGy	0.1110	0.1146	0.1467	0.1553	0.2310	0.0987	0.6302
-20℃ (month)	1	Control	0.1335	0.1373	0.1697	0.1877	0.2606	0.0709	0.6016
		1 kGy	0.1258	0.1250	0.1623	0.1718	0.2257	0.1273	0.5782
		3 kGy	0.1148	0.1131	0.1466	0.1547	0.2305	0.1399	0.5586
	2	Control	0.1220	0.1253	0.1556	0.1695	0.2595	0.0799	0.5973
		1 kGy	0.1272	0.1248	0.1604	0.1692	0.2412	0.1345	0.5395
		3 kGy	0.1017	0.1952	0.1285	0.1221	0.2209	0.2372	0.4518
	4	Control	0.0906	0.0854	0.1165	0.1161	0.1973	0.2071	0.5105
		1 kGy	0.1049	0.1965	0.1335	0.1266	0.1974	0.2572	0.4508
		3 kGy	0.0998	0.0873	0.1261	0.1040	0.1851	0.4027	0.3078
	6	Control	0.2260	0.2223	0.2757	0.2856	0.2859	0.1317	0.4857
		1 kGy	0.2866	0.2978	0.3209	0.3698	0.4025	0.0043	0.4695
		3 kGy	0.3026	0.2989	0.3699	0.3751	0.2931	0.1387	0.4787

1Each value represents the mean of duplicate determinations.

Table 42. Changes in heme pigment of nonirradiated and irradiated chicken during storage at 5℃ and -20℃1

Temp.e	Storage period	radia-tion dose	Absorbance (nm)				Relative concentration		
			572	565	545	525	myo	ox	met
5℃ (weeks)	0	Control	0.1259	0.1356	0.1625	0.1925	0.2650	0.0063	0.6764
		3 kGy	0.0968	0.1025	0.1253	0.1456	0.2531	0.0296	0.6621
		7 kGy	0.0954	0.1023	0.1235	0.1447	0.2611	0.0152	0.6726
	2	Control	0.1114	0.1186	0.1432	0.1760	0.2511	0.0017	0.6813
		3 kGy	0.0771	0.0819	0.1026	0.1157	0.2334	0.0473	0.6822
		7 kGy	0.0853	0.0899	0.1102	0.1389	0.2329	0.0024	0.6917
	4	Control	0.0436	0.0479	0.0590	0.0695	0.2334	0.0059	0.7355
		3 kGy	0.0744	0.0801	0.0974	0.1185	0.2438	0.0013	0.7024
		7 kGy	0.0729	0.0789	0.0995	0.1165	0.2143	0.0238	0.7343
	8	Control	0.1040	0.1114	0.1355	0.1576	0.2553	0.0210	0.6761
		3 kGy	0.0856	0.0909	0.1102	0.1295	0.2584	0.0211	0.6624
		7 kGy	0.0423	0.0447	0.0560	0.0673	0.2211	0.0250	0.6996
-20℃ (month)	1	Control	0.0868	0.0959	0.1156	0.1344	0.2574	0.0004	0.7169
		3 kGy	0.0362	0.0386	0.0490	0.0547	0.2207	0.0533	0.7169
		7 kGy	0.0628	0.0669	0.0821	0.0964	0.2451	0.0233	0.6808
	2	Control	0.0889	0.0949	0.1157	0.1360	0.2512	0.0197	0.6774
		3 kGy	0.0675	0.0719	0.0889	0.1026	0.2413	0.0324	0.6817
		7 kGy	0.0624	0.0650	0.0791	0.0888	0.2705	0.0520	0.6128
	4	Control	0.0878	0.0927	0.1139	0.1338	0.2459	0.0286	0.6676
		3 kGy	0.0530	0.0545	0.0686	0.0768	0.2381	0.0712	0.6290
		7 kGy	0.0470	0.0480	0.0586	0.0660	0.2714	0.0639	0.5831
	6	Control	0.1095	0.1162	0.1394	0.1620	0.2724	0.0225	0.6444
		3 kGy	0.1257	0.1304	0.1594	0.1815	0.2632	0.0500	0.6177
		7 kGy	0.1054	0.1088	0.1320	0.1499	0.2733	0.0520	0.5987

1Each value represents the mean of duplicate determinations.

Table 43. Changes in textural property of nonirradiated and irradiated beefs during storage at 5℃ and -20℃1

1Each value represents the mean of duplicate determinations.

Sample	Textural Parameter	Storage Period					
		(after 4 weeks at 5℃)			(after 6 months at -20℃)		
		Control	1kGy	3kGy	Control	1kGy	3kGy
Beef	Hardness (g)	3881	6866	7609	4328	6129	6481
	adhesiveness (cm2)	0.57	0.60	0.60	0.50	0.68	0.71
	Springiness	0.82	0.87	0.78	0.74	0.73	0.67
	Cohesiveness	0.57	0.72	0.74	0.62	0.61	0.65

Table 44. Changes in textural property of nonirradiated and irradiated porks during storage at 5℃ and -20℃1

Sample	Textural Parameter	Storage Period					
		(after 4 weeks at 5℃)			(after 6 months at -20℃)		
		control	1kGy	3kGy	control	1kGy	3kGy
Pork	Hardness (g)	3826	4283	4738	3852	4345	5420
	Adhesiveness (cm2)	0.74	0.78	0.86	0.60	0.63	0.67
	Springiness	0.76	0.78	0.72	0.57	0.61	0.51
	Cohesiveness	0.43	0.52	0.54	0.57	0.62	0.60

1Each value represents the mean of duplicate determinations.

Table 45. Changes in textural property of nonirradiated and irradiated chickens during storage at 5℃ and -20℃1

Sample	Textural Parameter	Storage Period					
		(after 4 weeks at 5℃)			(after 6 months at -20℃)		
		Control	3kGy	7kGy	Control	3kGy	7kGy
Chicken	Hardness (g)	3582	3747	3655	3406	3719	3510
	Adhesiveness (cm2)	0.66	0.75	0.65	0.60	0.61	0.39
	Springiness	0.62	0.57	0.52	0.55	0.50	0.47
	Cohesiveness	0.62	0.78	0.82	0.73	0.70	0.75

1Each value represents the mean of duplicate determinations.

Table 46. Mutagenicity of gamma irradiated beef at 5kGy against *Salmonella typhimurium*

Test compound	Conc (mg/plate)	S-9mix	No. of His+ revertants per plate[1]			
			TA98	TA100	TA1535	TA1537
Beef (0kGy)	8.3	+	8±1	154±15	51±15	8±0
	2.8	+	20±1	140±3	71±0	7±1
	0.9	+	15±3	165±1	38±7	13±6
	0.3	+	25±1	128±9	39±3	13±1
	0.1	+	33±9	134±0	30±3	9±8
	0	+	31±4	131±2	51±3	13±0
	8.3	-	14±2	149±4	25±8	5±1
	2.8	-	21±16	136±10	21±4	3±1
	0.9	-	24±9	150±4	32±13	7±1
	0.3	-	23±8	134±4	38±3	10±1
	0.1	-	28±2	116±6	32±1	13±1
	0	-	22±8	187±12	21±4	11±3
Beef (5kGy)	8.3	+	9±6	209±18	27±12	9±4
	2.8	+	30±11	179±4	37±1	14±8
	0.9	+	22±4	150±4	52±13	6±1
	0.3	+	36±4	145±12	60±15	10±1
	0.1	+	39±16	126±14	63±18	9±5
	0	+	31±4	118±17	51±3	8±1
	8.3	-	19±1	195±24	25±6	5±0
	2.8	-	26±5	142±21	33±2	4±0
	0.9	-	24±1	148±13	25±1	5±1
	0.3	-	39±11	154±10	36±2	11±1
	0.1	-	25±1	136±7	21±1	11±1
	0	-	27±5	129±20	21±4	11±3
2-AF2	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±105

[1]Each value represents the mean ± SD of three plates and expressed of revertant colonies per plate
[2]2-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. [3]ne, not examined

Table 47. Mutagenicity of gamma irradiated pork at 5kGy against *Salmonella typhimurium*

Test compound	Conc (mg/plate)	S-9mix	No. of His+ revertants per plate[1]			
			TA98	TA100	TA1535	TA1537
Pork (0kGy)	**8.3**	+	-	149±15	24±1	5±1
	2.8	+	22±3	212±33	24±0	8±5
	0.9	+	27±3	172±19	28±7	15±5
	0.3	+	5±7	149±25	22±8	17±1
	0.1	+	35±5	131±33	25±2	14±4
	0	+	31±4	131±2	26±8	13±0
	8.3	-	4±2	92±3	13±1	7±1
	2.8	-	18±9	186±1	43±22	6±1
	0.9	-	30±6	123±15	30±6	18±13
	0.3	-	19±5	120±8	32±2	16±6
	0.1	-	22±11	131±3	29±6	14±8
	0	-	22±8	187±12	21±4	11±3
Pork (5kGy)	**8.3**	+	-	139±58	11±5	6±6
	2.8	+	18±1	147±5	19±1	9±1
	0.9	+	24±5	158±8	17±4	10±0
	0.3	+	22±3	112±4	22±6	9±4
	0.1	+	42±6	125±13	25±5	15±4
	0	+	31±4	131±2	26±8	8±1
	8.3	-	13±8	179±31	23±5	8±6
	2.8	-	8±1	201±35	39±16	7±1
	0.9	-	17±1	176±22	24±2	13±3
	0.3	-	25±11	155±9	19±2	17±8
	0.1	-	22±4	125±9	21±6	14±6
	0	-	22±8	187±12	21±4	11±3
2-AF2	**0.01**	+	2334±88	1056±249	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±105

[1]Each value represents the mean ± SD of three plates and expressed of revertant colonies per plate.
[2]2-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.[3]ne, not examined

Table 48. 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-AF2	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

[1]Each value represents the mean ± SD of three plates and expressed of revertant colonies per plate
[2]2-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. [3]ne, not examined

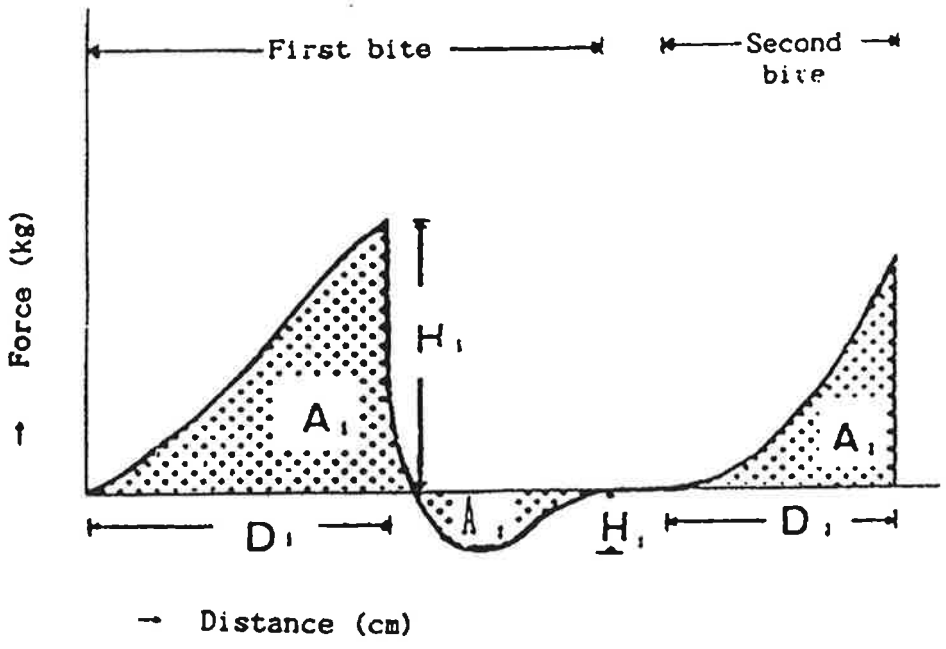
Table 49. Frequency of micronucleus formation from marrow in mice oral administrated with gamma irradiated beef, pork and chicken1

Test compound	Dose(mg/plate)	No. of mice tested	MNRET/1,000 RET2
D.W.		5	3.1 ± 1.4
Beef(5kGy)	2,500	5	3.4 ± 0.8
	1,250	5	4.2 ± 1.9
Pork(5kGy)	2,500	5	2.4 ± 1.0
	1,250	5	4.6 ± 1.4
Chicken(10kGy)	2,500	5	2.0 ± 1.3
	1,250	5	3.8 ± 0.7
MMC3	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



Hardness : Height of first bite(Force)

$$\text{Cohesiveness} : \frac{\text{Area of } A_2}{\text{Area of } A_1} \text{ (Dimensionless)}$$

$$\text{Springness} : \frac{\text{Distance of } D_2}{\text{Distance of } D_1} \text{ (Dimensionless)}$$

Adhesiveness : Area of A_3 (Work)

Gumminess = Hardness x Cohesiveness (Force)

Chewiness = Hardness x Cohesiveness x Springiness(Work)

Fig. 1. Typical texture profile analysis curve

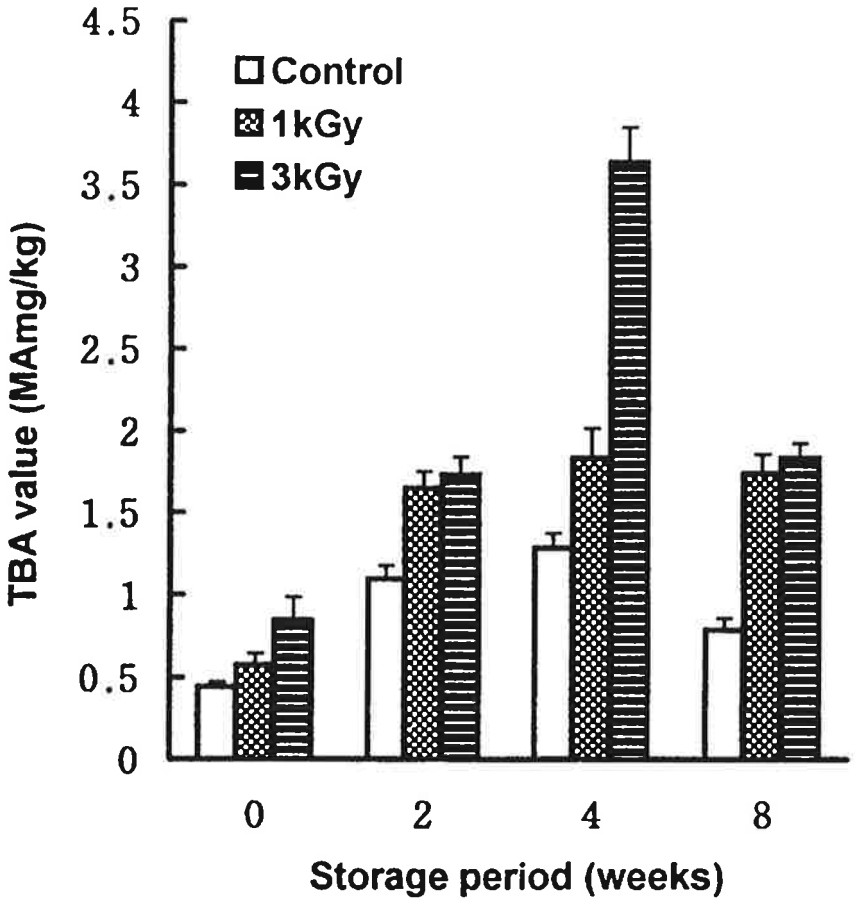


Fig. 2. TBA values of nonirradiated and irradiated beefs during storage at 5°C

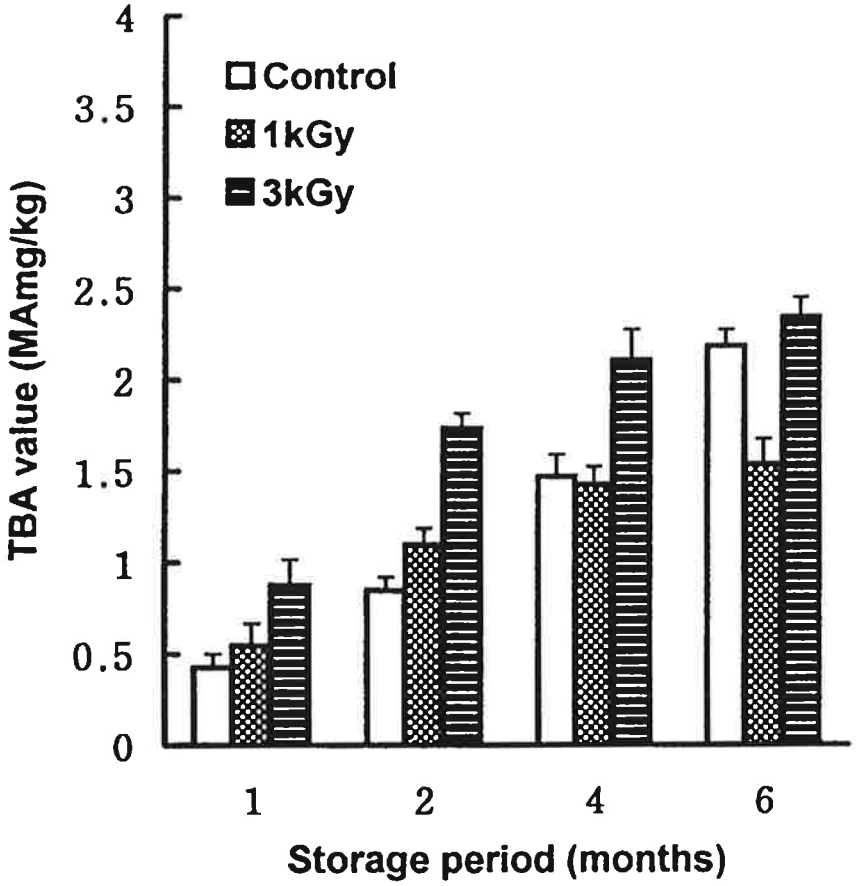


Fig. 3. TBA values of nonirradiated and irradiated beefs during storage at -20°C

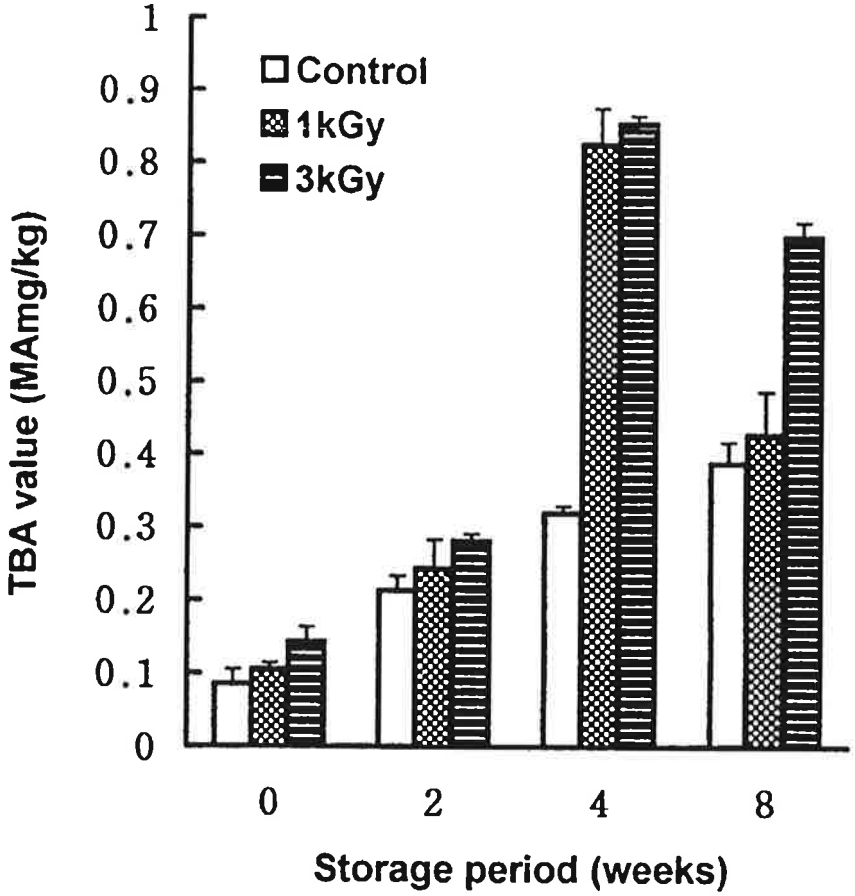


Fig. 4. TBA values of nonirradiated and irradiated Porks during storage at 5°C

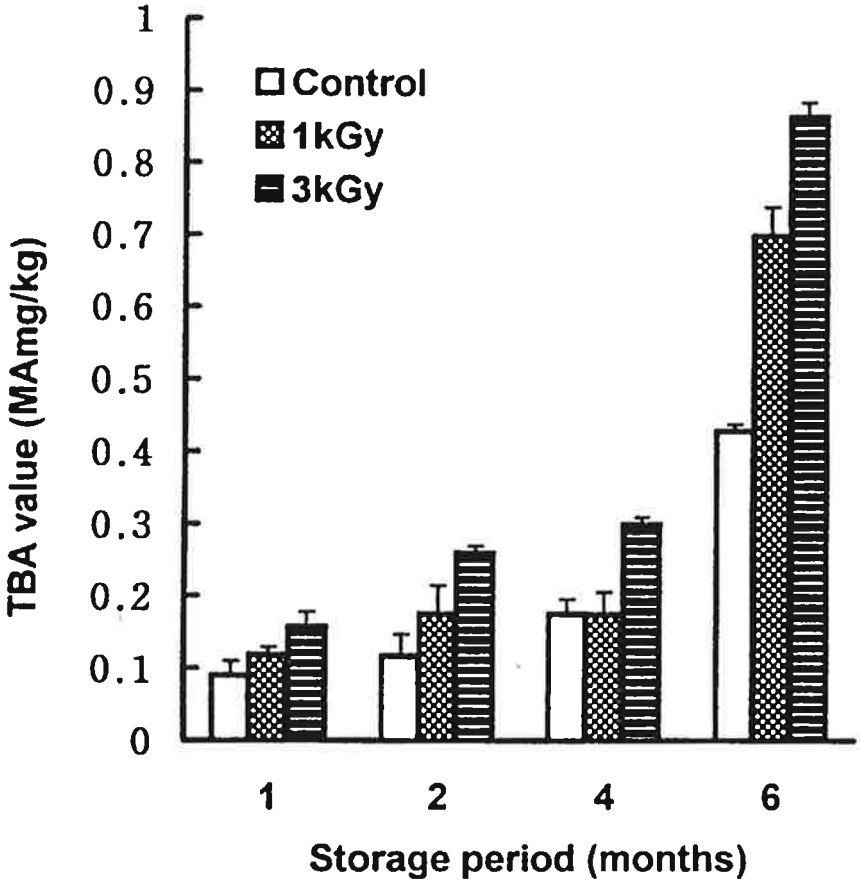


Fig. 5. TBA values of nonirradiated and irradiated porks during storage at -20°C

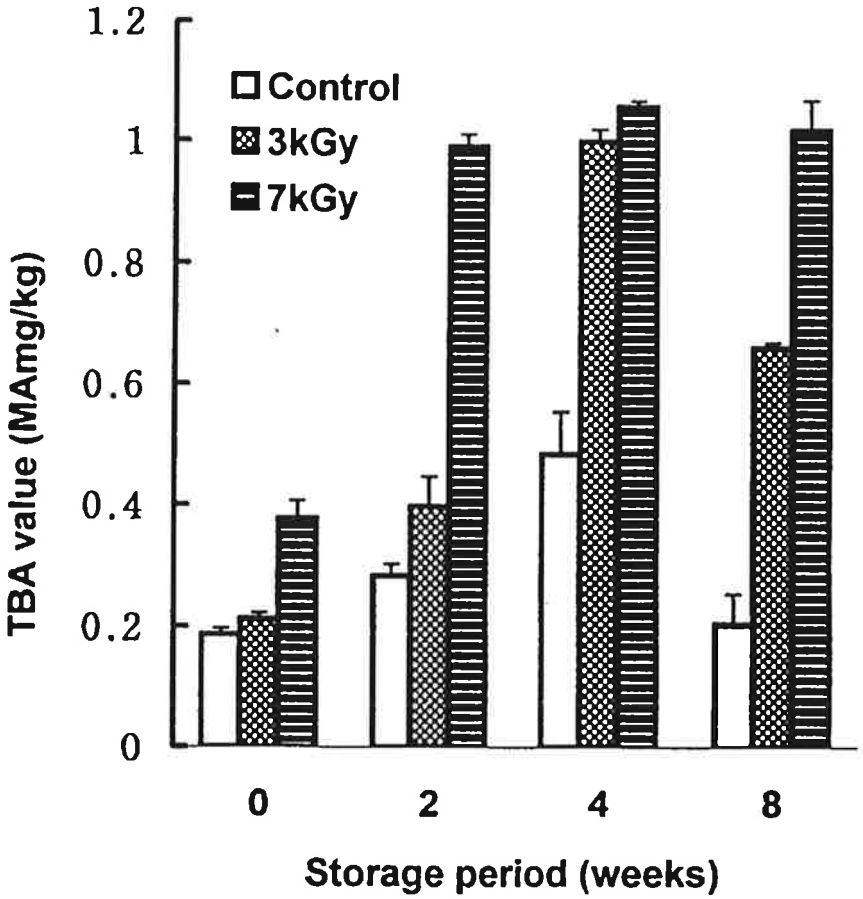


Fig. 6. TBA values of nonirradiated and irradiated chickens during storage at 5°C

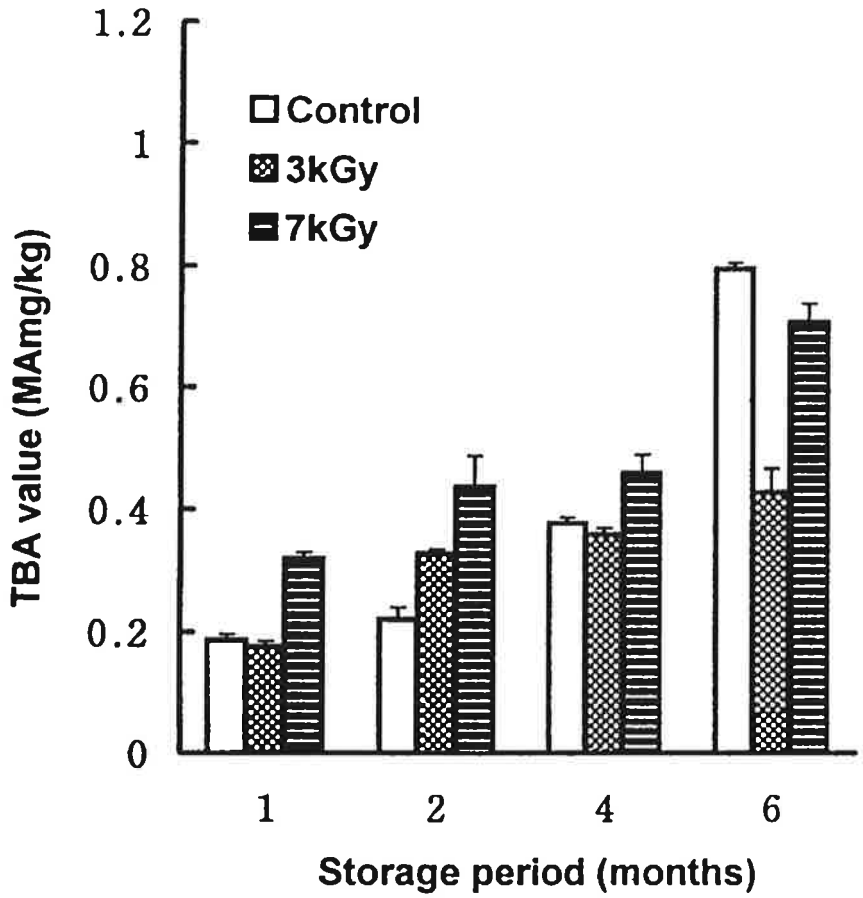


Fig. 7. TBA values of nonirradiated and irradiated chickens during storage at -20°C

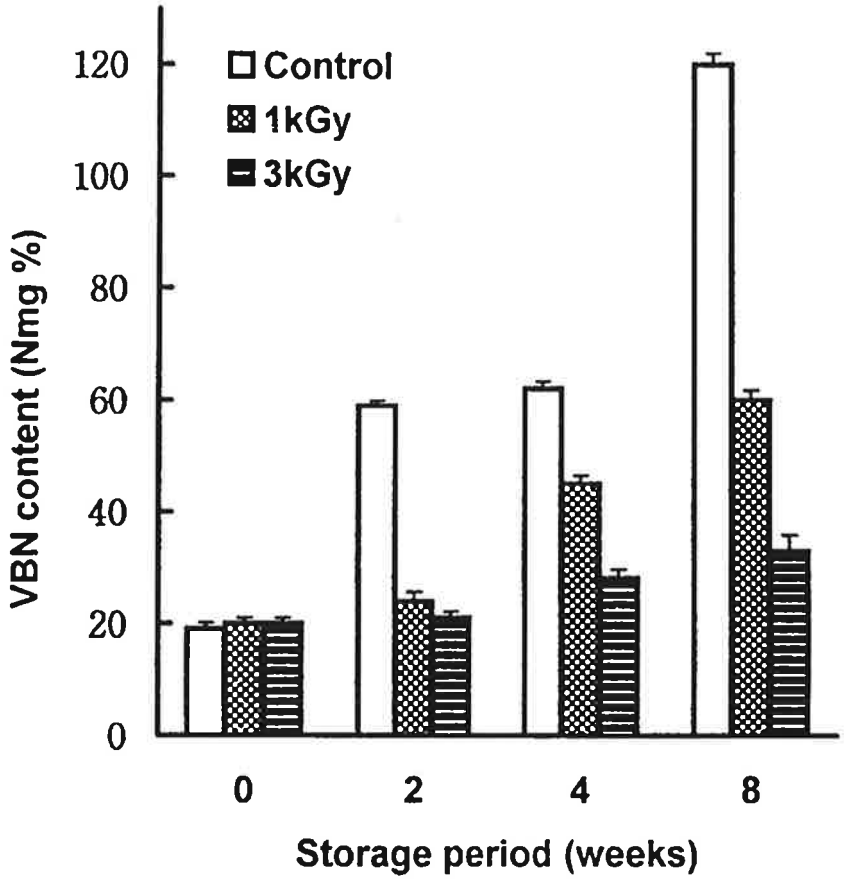


Fig. 8. VBN contents of nonirradiated and irradiated beefs during storage at 5°C

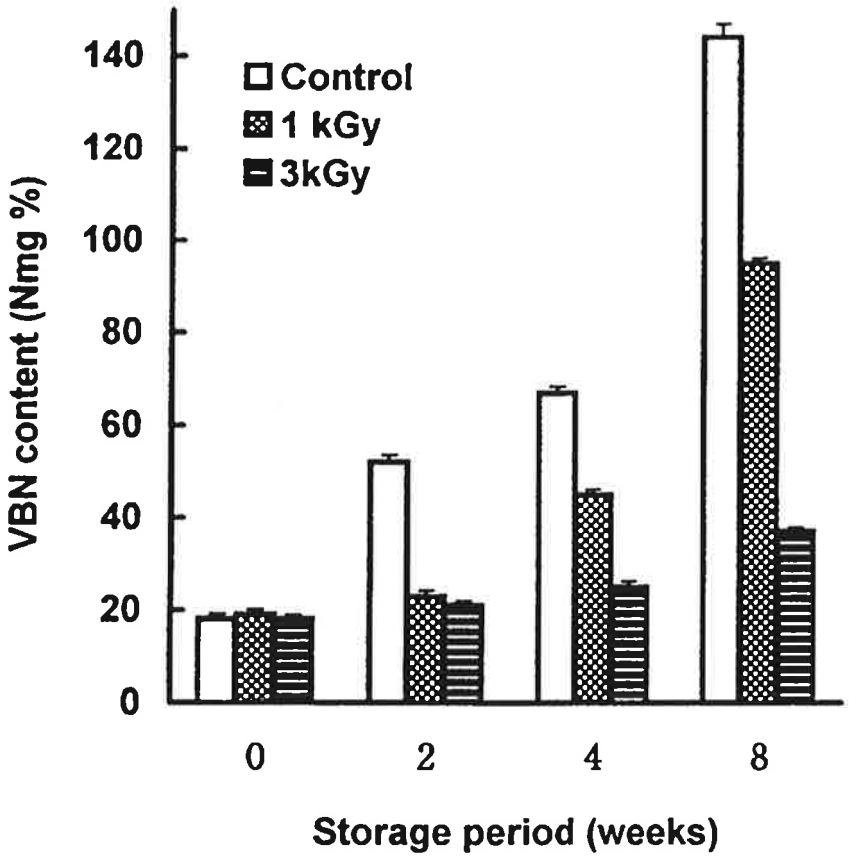


Fig. 9. VBN contents of nonirradiated and irradiated porks during storage at 5°C

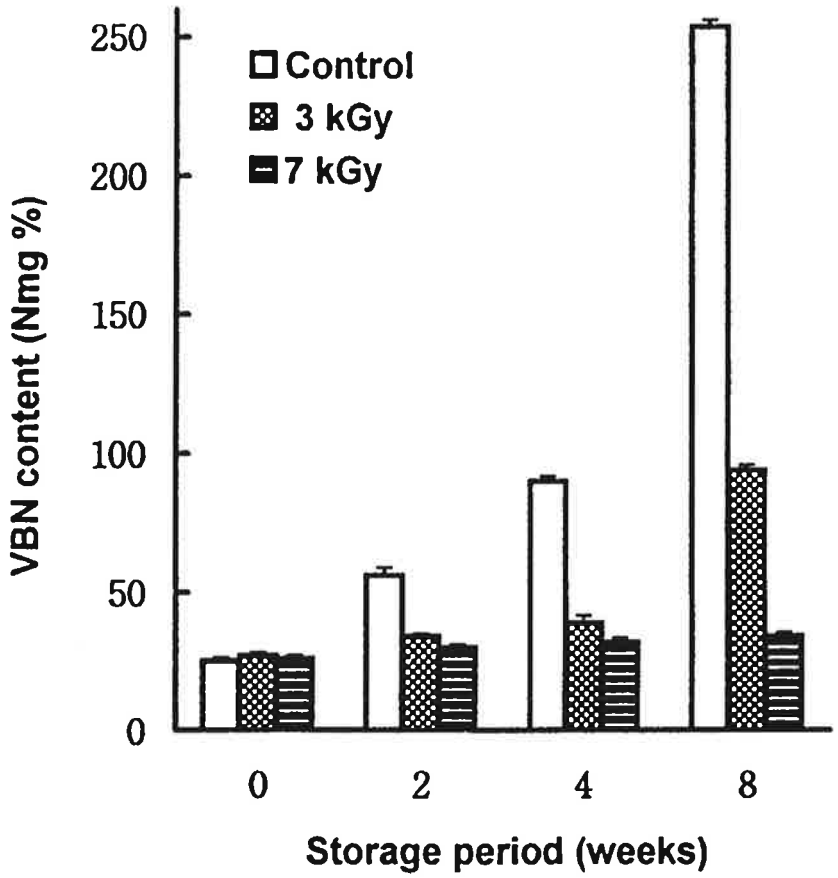


Fig. 10. VBN contents of nonirradiated and irradiated chickens during storage at 5°C

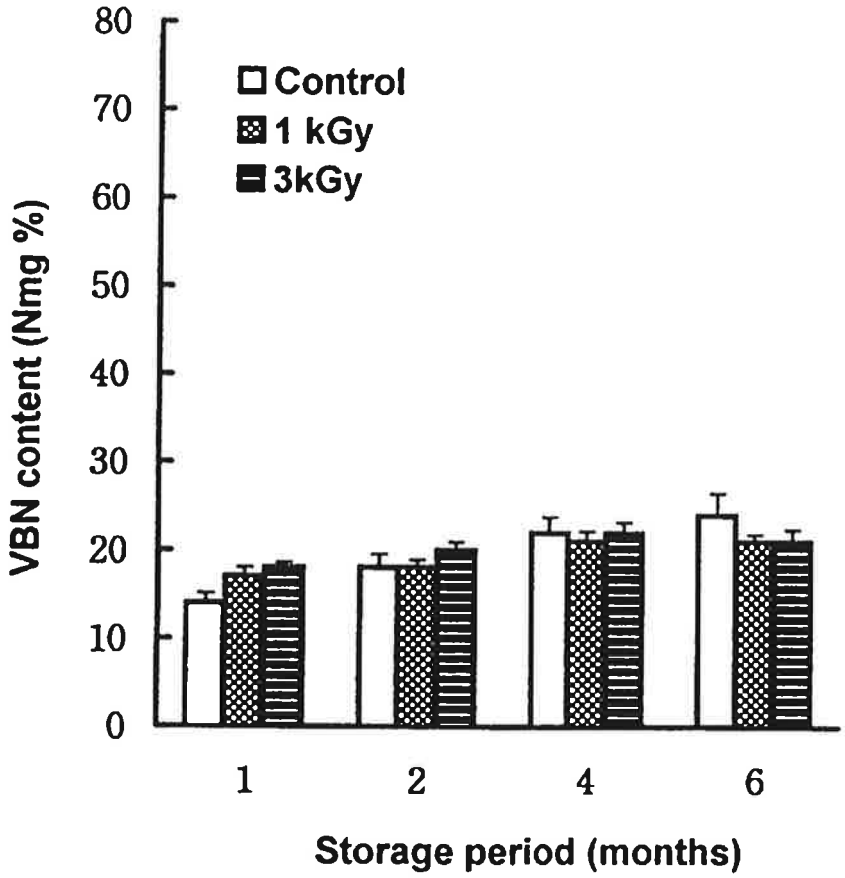


Fig. 11. VBN contents of nonirradiated and irradiated beefs during storage at - 20°C

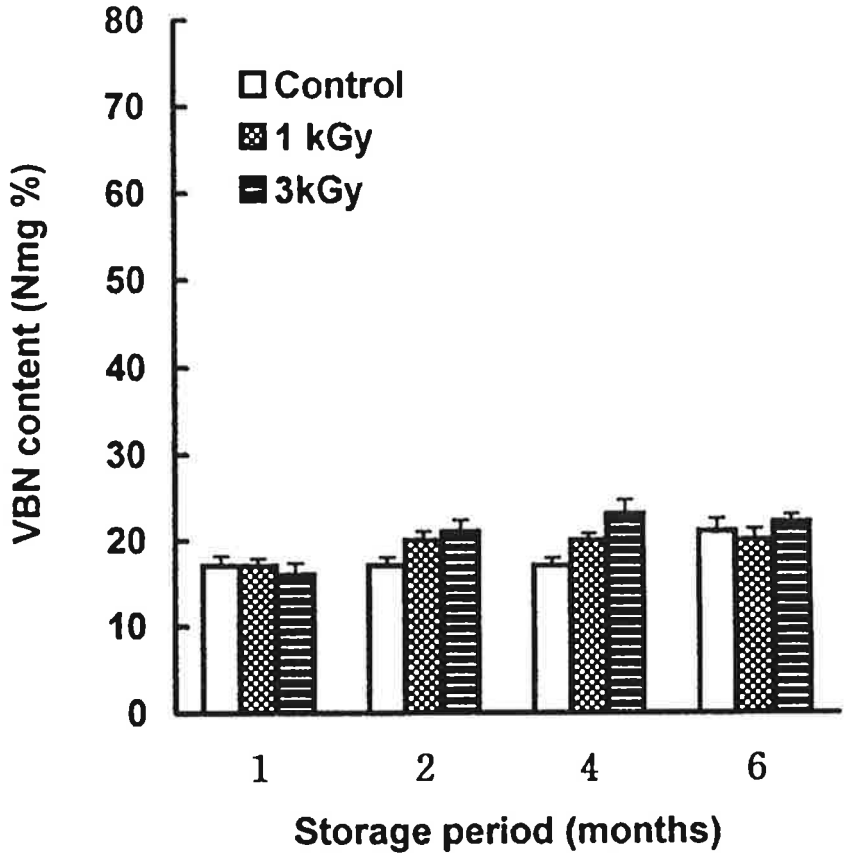


Fig. 12. VBN contents of nonirradiated and irradiated porks during storage at -20°C

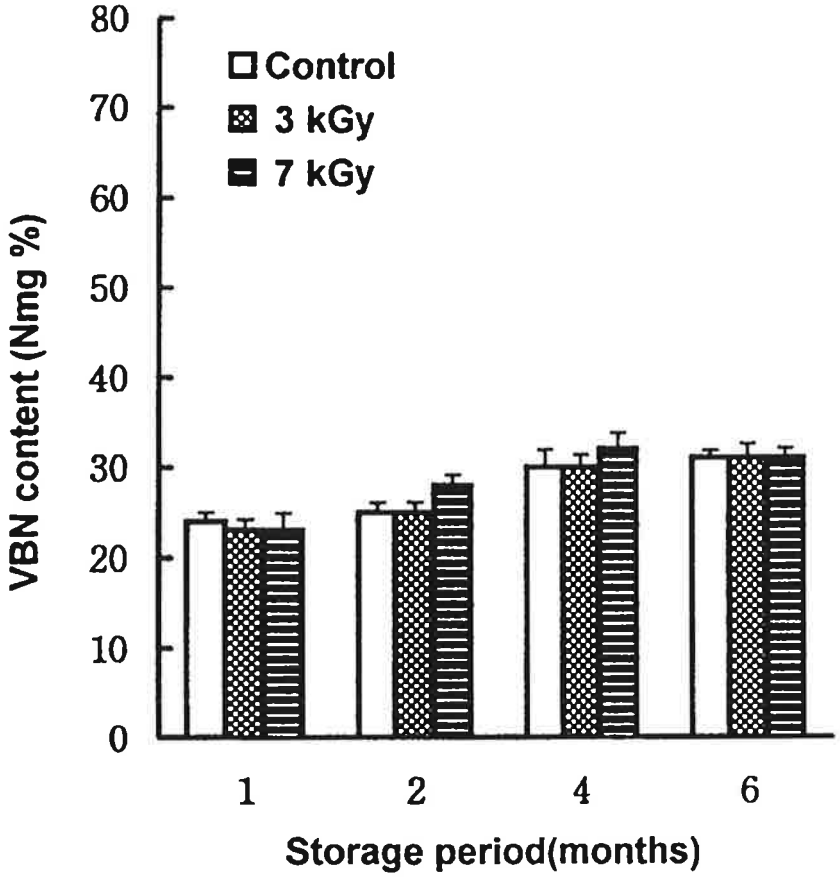


Fig. 13. VBN contents of nonirradiated and irradiated chickens during storage at -20°C

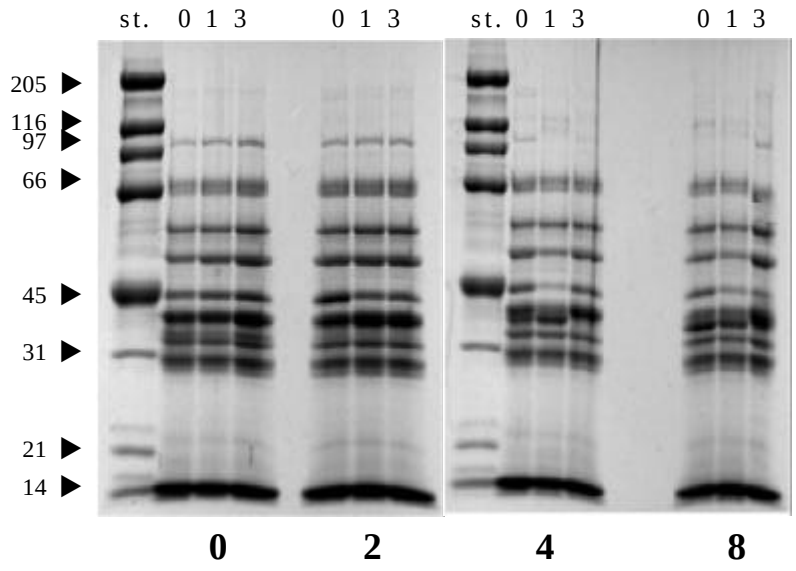


Fig. 14. Electroporetic patterns of nonirradiated and irradiated beefs during storage at 5℃

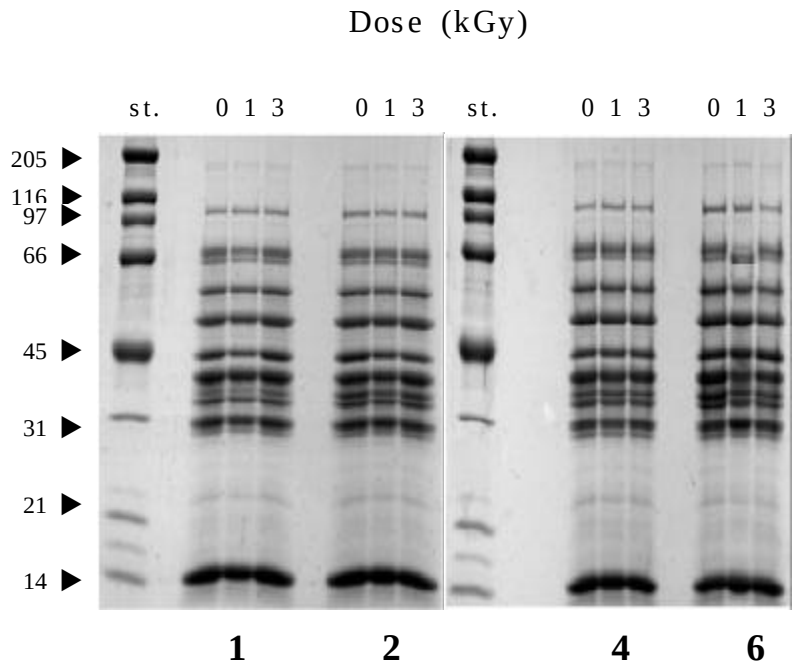


Fig. 15. Electroporetic patterns of nonirradiated and irradiated beefs during storage at -20℃

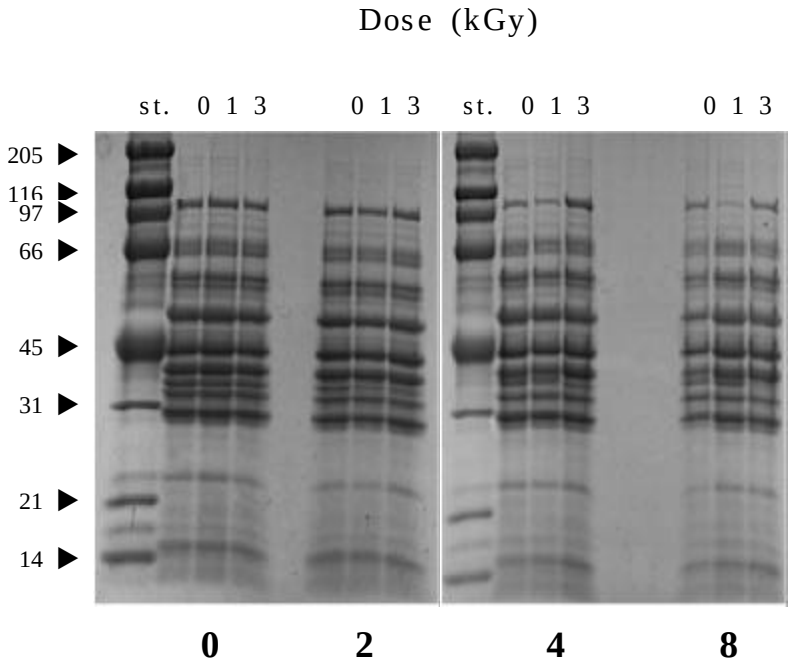


Fig. 16. Electroporetic patterns of nonirradiated and irradiated porks during storage at 5℃

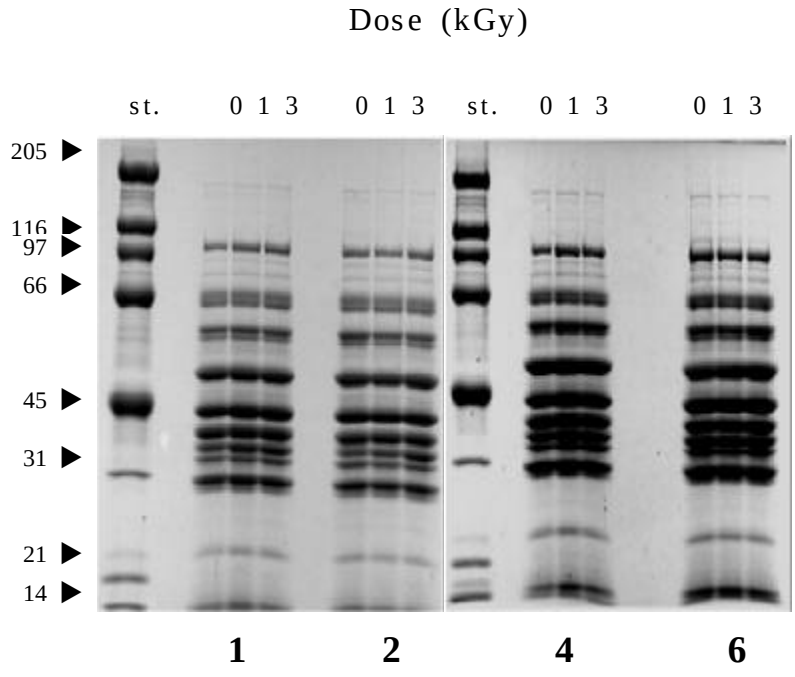


Fig. 17. Electroporetic patterns of nonirradiated and irradiated porks during storage at -20℃

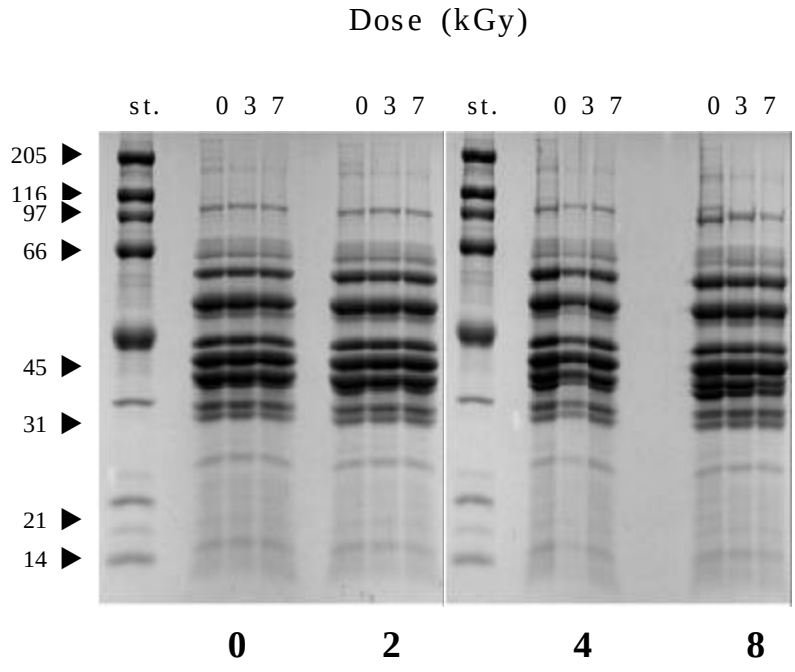


Fig. 18. Electroporetic patterns of nonirradiated and irradiated chickens during storage at 5℃

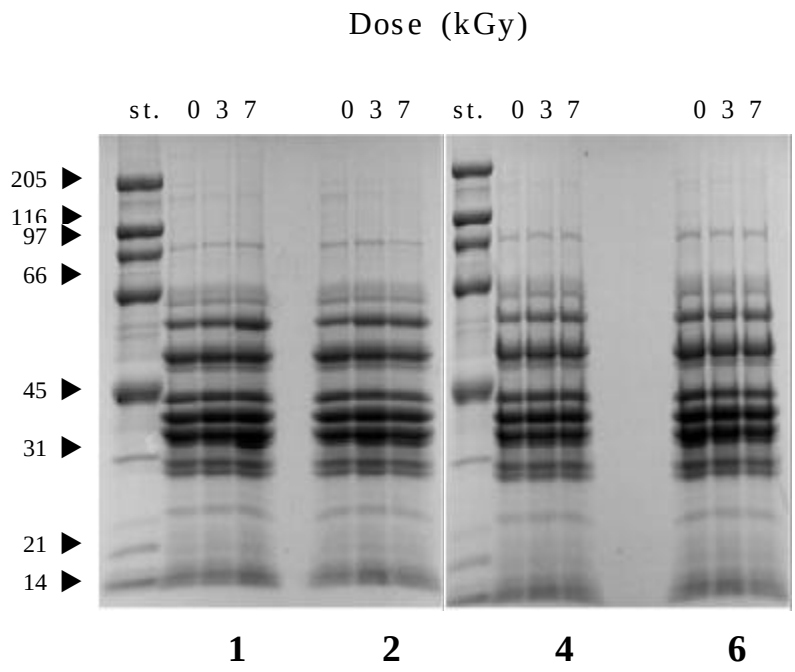


Fig. 19. Electroporetic patterns of nonirradiated and irradiated chickens during storage at -20℃

제 4 장 수산물의 위생화 및 장기저장시험

제 1 절 서 론

수산물은 저장기간이 짧아 보존이 곤란하다. 또한, 어류 및 그밖의 해산물로부터 많은 병원균이 생육하고 있다. 이들 병원균은 Salmonella균, 포도상구균, clostridium perfringens, 병원성대장균, A형 간염 Virus로 육지로부터 유입되는 물과 부적절한 처리 및 보존공정에 의해 오염된다. 장염 vibrio균 및 vibrio vulnificus균은 날 생선을 먹는 사람들에 있어 위험하며, yersinia균은 저온에서도 생육한다.

병원균에서 특히 문제인 것은 botulinum E형균으로 이들의 포자는 다른 오염균에 비해 방사선에 특히 내성이 있는 것으로 알려져있다(Eklund, 1982). 일반적으로 해산물의 처리선량은 2.2kGy이하이나, 이 경우에는 부패균이 생육할수있어 botulinum E형균이 독소를 생성하기 전에 부패의 조짐이 나타난다. 또한, 이 같은 선량으로 방사선 살균한 해산물은 botulinum E형균의 피해를 방지하기위해 3.3℃이하에서 저장할 필요가 있다. 콜fp라균 및 이질균도 인간에게 위험하지만 저선량으로 살균하는 것이 가능하다.

Tapeworm(촌충)등의 기생충은 배수로 오염된 조개류에서 검출되며, 공중위생상의 문제로 되어 있다. 일반적으로 생선회 등 날것으로 소비되는 해산물은 저 선량조사로 기생충을 처리할 수 있어 이러한 위험성을 방지할 수 있다.

살균을 목적으로 한 선량에서는 어패류의 저장기간을 연장하는 것이 가능하다. Ronsivalli들 (1969)은 대구를 1.5 kGy로 조사한 후 0.6℃로 저장하면 비조사의 15일에 비해 36일간 저장 가능하다고 보고하고 있다. 또한, Ampola와 Ronsivalli(1969)에 의하면 내장을 제거한 대구는 조사 전 선박에

서의 체류기간이 길어질수록 저장기간의 연장효과가 감소한다고 하여, 어류는 어획직후에 조사할 필요가 있음을 시사한 바 있다.

장염 vibrio균 및 vibrio vulnificus균, A형 간염 virus는 일반적으로 어패류의 오염균으로 검출된다. 연체동물 및 갑각류를 생으로 또는 불충분하게 가열한 상태에서 섭취하면 질병을 야기하기도 하고, 사망률이 높아진다는 보고도 있다. 네덜란드에서는 1983년 어패류로 인한 이질균으로 14명이 사망한 사례도 있다(Farkas, 1987).

냉동새우의 감마선 조사는 벨기에, 프랑스, 네덜란드에서 실용화 되고있다. 북유럽에서는 갈색 구주새우를 위생화 또는 저장기간을 연장시키는데 감마선조사의 이용을 검토하고 있다. 이 갈색 구주새우는 크기가 작아 껍질을 기계로 제거할 수 없어 가내업으로 이러한 작업이 이루어지고 있으며, 각 소로 운송하는데 시간이 걸려 저장가능한 기간이 짧아지기 때문이다. 유럽에서의 몇몇 연구에서는 1.3 kGy의 조사로 껍질을 제거한 새우의 오염 미생물수를 상당히 감소시킬수 있었으며, 약제처리 새우보다 매우 효과적이며 장기간에 걸쳐 살균효과가 지속되었다고 하였다. 또한, 병원성 포도상구균도 미처리 및 약제처리에서는 다량 검출되었으나 감마선 조사처리 시료에서는 전혀 검출되지 않았다고 보고하고 있다(Ehlermamm and Munzner, 1976).

이와 같은 상황에서 저온 살균법으로 알려져 있는 방사선 살균법이 수산물의 병원성 세균 및 기생충 퇴치를 위해 가장 효과적일 것으로 생각된다. 원초적인 병원성 세균 및 기생충에 의한 오염을 방지하는 것은 불가능하나 최종포장의 단계에서 방사선처리로 이들을 손쉽게 살균 가능할 것으로 기대된다.

이에 본 연구는 UR 및 WTO 체재에 대비하여 수산물의 위생화 및 장기안전저장/유통을 위해, 감마선을 이용한 최적 살균/살충 기술을 확립함으로서 미생물학적 부패를 억제하여 저장성 증진을 기하고 병원성 미생물의 사멸을

촉진하여 식품안전성을 성취하는데 그 목적을 두고 있다. 나아가 본 기술의 이용확대 및 실용화를 위해 방사선조사 수산물의 이화학적 품질평가 및 독성학적 안전성 평가를 수행하여 소비자의 의식 전환 및 수용성 증진에 기여하고자 한다.

제 2 절 재료 및 방법

1. 시료 및 감마선 조사

어묵은 (주)삼호물산에서 제조한, 진공 비닐 포장되어 있는 제품명 「부산어묵」을 춘천시 소재 수협 수산물 백화점에서 구입하여 냉장저장 시켰으며, 창란젓과 명란젓도 수협 수산물 백화점에서 영신식품에서 제조한, 병에 진공 포장되어 있는 제품을 구입하여 냉장저장 시켰다. 피조개는 비닐에 속살만 진공포장된 것을 구입하여 냉동저장 시키고, 건조어묵도 비닐에 진공포장된 것을 구입하였다. 김과 다시마는 수산업협동조합중앙회에서 제조한, 진공 비닐 포장되어 있는 마른김과 완도산 다시마를 수협 수산물 백화점에서 구입하였으며, 건조어묵과 김, 다시마는 실온에서 저장하였다. 이들 시료의 감마선 조사는 일단 비조사구를 별도로 두고 나머지 시료에 대해서 경기도 여주군에 위치한 (주)그린피아에 설치되어 있는 상업적 다목적용 감마선 조사시설(선원 570,000 Ci Co-60)을 이용하여 시간당 0.7kGy의 선량률로 각 수산물의 장기 안전저장을 위한 최적조사 선량을 확립하도록 하였다. 즉, 각 수산물은 polyethylene 비닐 팩, CPP+PE, PP 또는 유리병에 포장한 후 건조물은 그대로, 냉장 및 냉동수산물은 각각 ice box에 담아 조사하였으며, 이때, 피조개는 3, 5 kGy, 김, 다시마, 어묵, 건조어묵, 명란젓, 창란젓은 3, 5, 10kGy를 각각 조사하였다. 총 흡수선량의 확인은 ceric

cerous dosimeter (USA) 를 사용하였다. 감마선 조사 수산물은 비조사 대조시료와 함께 실온 또는 냉장저장(5℃)하면서 장기 안전저장실험을 실시하였다.

2. 오염유기체의 분리, 검색

주요 수산물로 건조물인 김, 다시마, 건조어묵을, 젓갈류로는 명란젓, 창란젓을, 그밖에 어묵, 냉동 피조개를 구입하여 시험에 사용하였다. 구입한 시료는 세절한 후, 그중 10g을 취하여 오염유기체의 분리 검색을 실시하였다. 대장균 군은 chromocult coliform Agar (MERCK, Lab)를 사용하여 시험용액을 0.1㎖씩 적하도포한 후 35-37℃에서 24시간 배양한 다음 pink 또는 빨간 색은 coliform으로 흑청색 또는 보라색은 E. Coli로 집락을 계수하였다. 호기성 전세균 및 저온성 세균은 APHA 표준방법에 따라 plate count agar(Difco Lab.)를 사용하였으며, 이때 호기성 전세균은 35℃에서 2일간, 저온성 세균은 7℃에서 10일간 배양한 후 집락을 계수 하였다. 효모 및 곰팡이는 potato dextrose agar (Difco Lab.)를 사용하여 멸균된 10 % tartaric acid로 pH를 3.5로 조절한 후 평판법으로 25 ℃에서 5-6일간 배양한 후 계수 하였다. Salmonella는 Reattach agar(MERCK, Lab)를 사용하여 시험용액을 도포한 후 35℃에서 18-48시간 배양한 다음 적색의 집락을 계수하였다. Vibrio는 TCBS agar (MERCK, Lab)를 사용하여 증류수 600㎖에 TCBS agar 52.8g을 섞어 잘 혼합하여 완전히 용해시킨 후 50℃로 냉각한다음 petri dish에 부어 건조시킨 후 시험용액 0.1㎖를 적하도포하여 35℃에서 24시간 배양한 후 생성 집락을 계수 하였다. Staphylococcus는 Baird-Parker agar를 사용한 방법으로 증류수 475㎖에 Baird-Parker agar 29g을 섞어 잘 혼합한 후 autoclave하여 50℃로 냉각하였다. 여기에 egg yolk tellurite emulsion 25㎖를 첨가한 다음 petri dish에 부어 건조시킨 후 시

험용액 0.1㎖를 적하도포하여 37℃에서 24-48시간 배양한 후 생성 집락을 계수 하였다. 모든 미생물 검사는 3회 반복 실시하였으며, 단위는 시료 g당 colony forming unit (CFU)로 나타내었다.

3. 조사식품의 이화학적 품질평가

각 수산물의 저장기간 및 감마선 조사에 따른 품질평가시험으로 pH, carbonyl가, TBA가, 휘발성염기태질소(VBN), trimethylamine을 측정하였다.

가. pH 측정

시료 10g을 채취하여 증류수 30㎖을 넣은 후 고르게 마쇄하여 20 25℃에서 pH meter(microprocessor pH/mv/℃ meter. mode 18417, Hanna Instruments., made in Singapore) 로 2회 반복 측정하였다.

나. VBN(Volatile Basic Nitrogen)

휘발성 염기질소는 conway unit를 사용하는 미량 확산법으로 측정하였다. 일단 pH측정이 끝난 시료에 20% trichloroacetic acid 10㎖를 가해 3분간 잘 흔들고, 증류수를 사용하여 100㎖로 정용한 다음 다시 잘 흔든 후, 10분간 방치하였다. 조밀하지 않은 여과지(거즈사용)로 여과한 여과액을 시료용액으로 사용하였다. conway 확산기 내실에 boric acid 흡수제를 1㎖ 주입하고, 외실에는 시료용액 1㎖을 주입하였다. 뚜껑에 기밀제(glycerol)를 바르고 pipet 끝만 들어갈 정도로 뚜껑을 닫았다. 외실에 K_2CO_3 포화용액 1㎖을 넣고 재빨리 뚜껑을 닫았다. 외실에 있는 시료용액과 K_2CO_3 포화용액이 잘 혼합되도록 수평방향으로 조심스럽게 흔들었다. 27℃ incubator에서 100분간 방치한 후 녹색으로 변해있는 내실의 boric acid 흡수제를 0.02N H_2SO_4 표준용액으로 옅은 적색(최초의 boric acid색)으로 변할때까지

적정하여 0.02N H_2SO_4 소비량을 기록하였다. 공시험은 시료용액 대신 증류수를 사용하여 전과정을 동일하게 수행하였다. 이렇게 실험에 소비된 0.02N H_2SO_4의 양과 공시험에 소비된 H_2SO_4의 양을 다음의 계산식에 대입하여 VBN 함량을 구하였다. 2회 반복실시 하였다.

[계산식]

$$VBN(Nmg\%) = 0.28 \times (a-b) \times f \times \frac{100}{0.1}$$

- a : 소비된 0.02N H_2SO_4(㎖)
- b : 공시험에 소비된 0.02N H_2SO_4(㎖)
- f : 0.02N H_2SO_4의 factor
- 0.1 : 시료용액 1㎖에 상당하는 시료량(g)

결과로 얻은 VBN함량에 대한 부패 판정은 다음과 같다.

- 5 10Nmg% : 매우 신선한 어육
- 15 20Nmg% : 보통 신선한 어육
- 30 40Nmg% : 초기부패한 어육
- 50Nmg% 이상 : 부패한 어육

다. TMA(Trimethylamine)

TMA값은 Murray & Gibson의 방법을 이용하여 2회 반복실시 하였다. 우선 VBN 시험용액에서 얻은 시험용액을 계속 사용하였다. 먼저 시료 4㎖을 25㎖ 공전시험관에 넣고 10% formaldehyde 용액 1㎖, toluene 10㎖, 25% NaOH 용액 3㎖을 첨가하여 1분간 격렬히 흔들었다. 5분간 방치 후 2층으로 분리되면 상층부 5㎖을 취한 후 Sodium sulfate, Anhydrous 약 1g을 가하여 수분

을 제거하였다. 그 후 이미 0.02% picricacid toluene 2㎖이 담겨있는 시험관에 수분을 제거한 시료용액 2㎖을 넣고 혼합한 후 정확히 10분이 경과한 다음 Spectrophotometer(UVIKON 930, made in switzerland)에서 410㎚로 흡광도를 측정하였다. 공시험은 시험용액 대신 2% trichloroacetic acid 4㎖을 사용하여 전과정을 본실험과 동일하게 처리한 후 마찬가지로 410㎚에서 흡광도를 구하였다. 그다음 각 시료의 흡광도에서 공시험의 흡광도 값을 뺀 것을 기록하였다. 마지막으로 검량선을 그리기 위하여 TMA 염산염(trimethylamine hydrochloride)을 뜨거운 물로부터 2회 재결정해 얻은 0.682g과 농염산 1㎖을 100㎖ mass flask에 넣고 증류수를 가해 100㎖로 정용하였다. 이 표준액에서 각각 1㎖, 2㎖, 3㎖, 4㎖을 취하여 본 실험의 과정과 동일하게 실험을 한 후 흡광도를 측정하였다. 표준액 1㎖은 TMA-N을 1㎎ 함유하게 되므로 이를 이용하여 x축에 TMA-N 농도를, y축에 흡광도 값을 두어 검량선(일차방정식)을 구하였다. 이렇게해서 얻은 검량선에 각각의 흡광도를 대입하여 시험용액 4㎖중의 TMA-N(㎍)을 구하고 다음의 계산에 대입하여 최종적으로 TMA 값을 구하였다.

[계산식]

$$\text{TMA-N(㎎\%)} = \frac{\text{A} \times \text{희석배수} \times 250}{1000}$$

A : 검량선으로부터 구한 시험용액 4㎖중의 TMA-N의 ㎍

라. carbonyl가

각 시료에서 추출한 유지 100 ㎎을 취해 benzen 10 ㎖, 4% trichloroacetic acid·benzen 용액 4 ㎖, 0.05% 2,4-DNPH·benzen 용액 5 ㎖을 가한 다음, 60℃의 water bath에서 30분간 가온하여 방냉한 후 4% KO

H·ethanol 용액 10 mL을 가해 정색시켰다. 여기에 ethanol로 전체 부피를 50 mL로 정용한 후, 약 30분간 방치한 다음 spectrophotometer(Unikon model 930, Kontron Instrument, Switzerland)를 사용하여 440 nm에서 흡광도를 측정하였다.

마. TBA가 측정

저장기간과 저장조건에 따른 지질성분의 산패도를 알아보기 위하여 Salih 등의 방법에 따라 TBA값을 측정하였다. 즉 각 시료에서 추출한 유지 150 mg을 취해 SDS용액 10 mL를 가해 혼탁액으로 하고, 여기에 초산 완충액 72 mL, BHT용액 2.5 mL를 가한 후 D.W.로 전체부피를 100 mL로 하여 시험용액으로 하였다. 시험용액 2 mL에 냉각 TBA시약 2 mL을 가한 후, 50 ℃에서 60분간 방치한 다음 비등 water bath에서 60분간 가열하였다. 냉각 후, D.W. 1 mL, buthanol·pyrizine 혼합액 5 mL을 가해 혼합한 다음 원심분리(3,000rpm×20분)한 후, 상등액을 취해 spectrophotometer(Unikon model 930, Kontron Instrument, Switzerland)를 사용하여 532nm에서 흡광도를 측정하였다.

4. 유전독성학적 안전성 시험

가. 시료 분말의 조제

감마선 조사 및 비조사한 각 시료 1kg을 -70℃에서 12시간동안 급속냉동시킨후 동결건조기(Freezedryer system., Labconco, USA)를 사용하여 동결건조 시켰다. 건조된 시료는 분쇄기로 분쇄하여 분말로 만들어 멸균증류수로 적당한 농도로 희석한 다음 돌연변이시험 및 소핵시험에 사용하였다.

나. *Salmonella typhimurium* 을 이용한 복귀 돌연변이 시험

1) Ames test 시험용 균주

시험에 사용된 균주는 *Salmonella typhimurium LT2*를 친주로 하는 *Salmonella typhimurium* TA98, TA100, TA1535, TA1537을 사용하였다. 이들 균주는 사용에 앞서 histidine 요구성, crystal violet 감수성, ampicillin 내성, spontaneous 복귀변이수 등을 확인한 후 사용하였다.

2) 시험물질 및 대조물질

시험물질은 감마선 조사한 수산물과 조사하지 않은 대조시료로 나누어 시험을 실시하였다. 대조물질로서는 음성대조물질은 본 시험물질을 현탁시킬 때 사용한 멸균증류수를 사용하였고, 양성 대조물질로는 2-aminofluorene (2-AF), 2-aminoanthracene(2-AA), 2-nitro- fluorene(2-NF), N-methyl-N'-nitrosoguanidine(MNNG), 9-aminoacridine (9-AA)을 각 시험균주의 특성에 맞추어 사용하였다.

3) 사용한 배지 및 시약

시험용 균주배양에는 Nutrient broth를 사용하였고, 복귀변이시험에 사용되는 배지에는 Minimal glucose agar배지와 0.5mM의 Histidine/Biotin용액을 넣어 Histidine요구성 시험균주에 1-2회의 분열을 할 수 있게 만든 Top agar를 사용하였다.

4) S-9 fraction의 제조

대사활성화법을 수행하기 위해 Maron 과 Ames의 방법에 따라 다음과 같이 제조하였다. SD계 랫드(♂, 8주령, 약 250g)에 polychlorinated biphenyl(PCB)혼합액인 Aroclor 1254를 corn oil에 200mg/ml로 희석하여

500㎎/kg의 용량으로 1회 복강내 투여하여 4일째에 경추탈골에 의하여 도살한 후 간을 적출 하였다. 적출한 간 중량의 3배량의 냉각한 0.15M KCl용액을 넣어 균질화하고 원심 분리한 후 그 상층액을 S-9 fraction으로 하였다. 이상의 모든 과정은 무균적으로 행하였고, 만들어진 S-9 fraction 0.1㎖을 Top agar와 함께 minimal glucose agar 배지에 plating하여 무균성을 확인하였다.

5) S-9 mixture의 제조

In vitro에서 대사활성을 위하여 Maron 및 Ames의 방법에 따라 cofactor를 첨가하여 S-9 mixture를 제조하여 사용하였다.

6) 시험물질의 농도설정을 위한 예비 독성시험

본 시험을 적용하기에 앞서 알맞은 용매의 선정 및 시험농도를 설정하기 위하여 TA100균주를 이용하여 예비시험을 수행하였다. *Salmonella typhimurium* TA100균주를 하룻밤 동안 배양하여 대수기(2×10⁹cells/㎖)상태에 이르도록 한 배양액 0.1㎖, 시험물질의 멸균증류수 현탁액 0.1㎖, 0.2M Na-Phosphate buffer 0.5㎖을 test tube에 넣은 후 37℃ water bath에서 진탕하면서 30분간 pre-incubation을 한 후, Histidine/biotin을 함유한 top agar 2.5㎖을 가하고 잘 혼합시킨 후 minimal glucose agar 배지에 plating 하여 수분간 고화시킨 다음 37℃ incubator에서 48시간 배양하였다. His+ 복귀돌연변이 집락을 계수하여 현탁액을 적용시켰을 때의 복귀변이집락수 관찰에 미치는 영향 및 세포독성유무를 결정하여 본 시험에 적용할 농도를 결정하였다.

7) 시험방법

본 시험은 Maron과 Ames방법에 의하여 수행하였다. 1차적으로 대사활성 부재조건의 시험을 먼저 수행하였으며, 그 후 S-9 fraction을 이용한 대사 활성화법을 적용하였다. 본 시험의 방법은 예비독성시험을 통하여 얻어진 시험적용 농도를 통하여 pre-incubation법에 따라 수행하였으며, 각 시험농도군에 대해 3회 반복 시험하였다.

다. 감마선조사 유전학적 안전성시험

설치류 망상적혈구를 이용한 소핵실험을 통하여 유전학적 안전성 시험을 수행하였다.

1) 실험동물

대한실험동물에서 구입한 SPF ICR 마우스(♂, 8주령, 약 250g)를 사용하였으며, 동물 입수후 약 1주일간의 순화기간을 거쳐 건강한 동물만을 시험에 사용하였다. 실험동물의 사육은 온도 25±1℃, 습도 55±5%, 조도 300 500 Lux로 12시간 자동 점·소등 장치가 설치되었다. 동물은 순화 및 시험 기간 중에 polycarbonate cage에 5마리씩 넣어 사육하였다. 사료는 삼양사의 고형사료를, 물은 수돗물을 자유로이 공급하였다.

2) 군 분리 및 식별

순화기간을 거친 모든 동물의 체중을 측정, 소정의 범위에 드는 동물을 무작위로 각 시험군에 5마리씩 배분하였고, 각 시험군의 식별은 cage별 tag 표시 법을 이용하였다.

3) 시험물질의 투여

시험물질 투여량은 현탁시킬 수 있는 최대용량으로써 경구투여가 가능한

농도를 설정하여, 시험적용 최고농도에 ½씩 2단계의 농도를 설정하여 mouse용 경구투여기를 사용하여 투여하였다. 시험 최고농도는 kg당 2500㎎ 이었으며 24시간 간격으로 2회 경구투여 하였고 마지막 투여 24시간 후에 혈액을 채취하여 Schmid의 방법에 따라 도말 표본을 제작하였다. 즉, 마우스를 경추탈골에 의하여 도살시킨 후, 양쪽 대퇴골로부터 1㎖의 Calf serum을 주입시킨 주사기 (24gauge침 사용)를 이용하여 골수를 채취한 후 골수세포 부유액을 1000rpm에서 5분간 원심분리 하였다. 상층액을 제거하고 적당한 양으로 골수세포의 현탁액을 만들어 한방울을 세척된 슬라이드에 적하시킨 후 도말하고 건조시킨 후 메탄올에 5분간 고정하였다. 표본은 각 동물당 2매씩 제작하였고 고정 건조시킨 후 4% Giemsa 염색시약에 슬라이드를 30분간 염색시켰다.

4) 대조물질

음성대조물질로는 시험물질의 용매로 사용한 증류수를 경구 투여하였고 양성 대조물질로는 Mitomycin C (0.5㎎/㎏)를 복강 내에 투여하였다.

5) 혈액채취 및 도말 표본 제작

Hayashi 등의 방법에 따라 acridine orange 용액 (0.5㎎/㎖) 20 을 slide glass에 도포 하여 공기 중에 건조시키고, 마우스의 꼬리정맥으로부터 채취한 혈액 약 5㎕ 를 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.

6) 통계학적 평가

Hayashi 등의 방법에 따라 3단계의 통계처리법을 적용하여 결과를 분석하였다. 1단계에서는 Hayashi등에 의해 축적되어진 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).

제 3 절 결과 및 고찰

1. 미생물의 오염과 감마선 살균효과

젓갈류의 초기 미생물의 오염도는 창란젓의 경우 호기성전세균 4.0×104 CFU/g, 저온성균이 5.6×104 CFU/g, 효모와 곰팡이가 3.7×103 CFU/g, *staphylococcus*는 3.0×103 CFU/g, 명란젓은 호기성전세균이 8.7×104 CFU/g, 저온성균이 3.0×103 CFU/g, *staphylococcus*가 3.0×103 CFU/g으로 창란젓 명란젓 모두 호기성전세균과 저온성균의 초기오염도가 높은 것으로 나타났으며 대장균군, *vibrio*는 두 시료 모두 나타나지 않았다. 어육류 가공품인 건조어묵과 튀김어묵에서는 건조어묵에서 호기성전세균 4.2×103 CFU/g, 저온성균 6.8×103 CFU/g으로 나타났고, 그외의 균들은 발견되지 않았으며 어묵의 경우 호기성전세균, 저온성균 모두 3.0×103 CFU/g으로 비교적 안전수치로 나타났다(Table 1, 2, 3, 4).

해조류의 경우 김과 다시마를 시료로 하였는데 김은 호기성전세균 5.7×106 CFU/g, 저온성균 7.4×106 CFU/g로 심한 초기오염를 나타내었고, 대장

균군 1.5×103 CFU/g으로 나타났으며 비브리오나 곰팡이와 효모 등은 발견되지 않았다. 피조개의 경우 호기성전세균 3.×103 CFU/g, 저온성균 1.3×104 CFU/g, *staphylococcus* 3.0×103 CFU/g으로 저온성균의 초기 오염이 나타났다 (Table 5, 6, 7).

오염 미생물에 대한 감마선 조사의 살균효과를 살펴보면, 창란젓의 경우 호기성전세균의 경우 비조사구에서는 4.0×104 CFU/g이 검출되었으나 3 kGy는 4.7×104 CFU/g로 비조사구 보다 다소 높은 수치였고, 5, 10 kGy 경우 3.0×103 CFU/g로 나타났다. 저온성균의 경우 비조사구에서는 5.6×104 CFU/g로 초기오염이 심각하였으나 3 kGy에서는 5.5×103 CFU/g으로 크게 감균되었고 5 kGy는 3.0×103 CFU/g, 10 kGy 3.0×103 CFU/g으로 검출한계 이하로 사멸되었다. *Staphylococcus*의 경우 비조사구에서 3.0 ×103 CFU/g으로 비교적 낮은 오염수치를 나타내었고, 살균을 위해서는 3 kGy의 이상의 선량이 요구되었다. 대장균군, *vbrio*의 경우 비조사구나 조사구 모두 검출되지 않았다. *yeast&mold*는 비조사구에서 3.7×103 CFU/g, 3 kGy, 5 kGy에서 3.0×103 CFU/g으로 나타났으며 10 kGy에서는 검출되지 않았다.

명란젓은 호기성전세균이 비조사구에서 8.7×104 CFU/g으로 높은 초기오염이 나타났고 조사구의 경우 3 kGy에서 2.6×10*4* CFU/g, 5 kGy 3.0×103 CFU/g, 10 kGy 3.0×103 CFU/g으로 감소하였다. 저온성균은 비조사구의 경우 3.3×105 CFU/g 조사구의 경우 3 kGy는 3.0×104 CFU/g으로 감균되었고 5, 10 kGy는 3.0×103 CFU/g으로 나타났다. *staphylococcus*는 비조사구에서만 3.0×103 CFU/g으로 나타났을 뿐 조사구에서는 전혀 검출되지 않았다. *yeast&mold*는 비조사구에서 3.0×103 CFU/g, 3, 5 kGy는 3.0×103 CFU/g으로 나타났고 10 kGy에서는 전혀 검출되지 않았다.

건조어묵의 경우 호기성세균이 4.2×103 CFU/g으로 나타났으며 조사구에서는 전혀 검출되지 않았다. 저온성균의 경우 6.8×103 CFU/g으로 호기성균

에 비해 높은 수치를 나타내었으나 3 kGy 이상의 조사구에서는 균이 완전 사멸되었다.

튀긴 어묵은 호기성전세균, 저온성균이 3.0×103 CFU/g으로 비조사구에서만 나타났으며 조사구에서는 완전히 사멸되었다.

김은 호기성전세균이 5.7×106 CFU/g으로 비조사구에서는 높은초기오염도를 나타내었고 3 kGy는 7.9×105 CFU/g로 감균되었고, 5 kGy 경우는 3 kGy보다 낮은 수치가 검출되었다. 저온성균의 경우 비조사구에서 7.4×106 CFU/g으로 높은 초기오염도를 나타났으며 3 kGy에서 1.2×106 CFU/g으로 약간의 감균이 있었으나 효과가 크지 못했다. *Staphylococcus*는 비조사구에서 1.5×104 CFU/g으로 심각한 오염도를 나타내었다. 3, 5kGy도 1.5×104 CFU/g로 비조사구와 마찬가지로 심각하게 오염되어 있었다. 대장균군은 1.5×103 CFU/g으로 비조사구에서 초기오염이 나타났으나 조사구에서는 검출되지 않았고, 비브리오나 *yeast&mold*는 비조사구나 조사구 모두 나타나지 않았다.

피조개는 호기성전세균이 비조사구에서 3.0×102 CFU/g로 나타났고 3, 5kGy에서는 전혀 검출되지 않았다. 저온성균은 비조사구에서 1.3×104 CFU/g으로 높은 수치를 나타내었고, 3kGy는 3.0×103 CFU/g으로 감균하였고 5 kGy에서는 검출되지 않아 사멸을 위해서는 5 kGy이상의 선량이 요구되었다. *Staphylococcus*는 비조사구에서 3.0×103 CFU/g으로 나타났으나 조사구에서는 전혀 검출되지 않았다. 대장균군, *vibrio*, *yeast&mold* 는 비조사구나 조사구 모두 검출되지 않았다.

2. 저장기간에 따른 미생물의 생육변화

가. 호기성전세균

냉장저장 중 창란젓에 오염된 호기성전세균의 생육변화를 살펴보면 비조사구의 경우 냉장저장에서 저장 1개월에 3.7×104 CFU/g, 2개월에 3.0×105 CFU/g으로 저장기간이 증가함에 따라 증가함을 보였으며, 4개월 째부터 점차로 감소하는 경향을 나타내었다. 양 등에 의하면 엽삭젓의 총균수 측정에서 염도 18%와 22%의 엽삭젓이 발효 0일째 낮은 수치였던 것이 발효 30일째에 급격하게 증가함을 보였다고 하여 본 실험도 이와 유사한 증가를 보였다. 3 kGy는 저장 1개월째 6.1×103 CFU/g를 나타내었고 저장 4개월부터는 3.0×103 CFU/g으로 큰 변화 없이 일정수준을 유지하였다. 5 kGy 감사선 조사 시료는 저장 2개월까지 4.4×103 CFU/g으로 증가함을 보이다가 저장 3개월부터는 변화 없이 일정하게 나타났다. 10 kGy는 저장 0개월부터 1개월까지는 다소 증가함을 보였으나 그 이후부터 저장 6개월까지 3.0×103 CFU/g으로 균의 증감없이 일정한 수준을 계속 유지하였다.

명란젓에 다한 저장 중 호기성전세균의 생육변화를 살펴보면 비조사구의 경우 초기 호기성전세균의 수는 2.9×104 CFU/g이었으나 저장 3개월까지는 감소하는 경향을 나타내었다. 저장 4개월에 급격한 증가를 보였고 5개월에는 다시 감소를 나타내었다. 조사구의 경우 3 kGy는 대체적으로 10□내외에서 비슷한 수준이었으나 5, 10 kGy역시 3.0×103 CFU/g내외에서 큰 변화 없이 일정한 수준을 유지하였다.

건조어묵의 저장 중 호기성전세균의 생육변화를 살펴보면 비조사구나 조사구 모두 발견되지 않았다. 이는 부분적인 진공포장으로 어느 정도 산소를 제거하여 포장한 것에서 기인되며 건조된 상태였기 때문에 다른 것에 비해 오염이 덜된 것으로 생각된다.

튀긴 어묵은 초기에 3.0×103 CFU/g으로 큰 오염을 나타내지는 않았으나 비조사구의 경우 저장한달 후 심하게 부패되었다. 조사구의 경우 3 kGy역시 부패하였고 5·10 kGy는 저장 3개월에도 균이 검출되지 않아 5 kGy이상에서

완전히 사멸된 것으로 사료된다. 조 등은 튀김어묵의 살균효과에서 초기 총 세균수는 2.2×103 CFU/g정도였고 3 kGy이상의 감마선 조사로서 1.5 log cycle정도의 감균이 가능하였고 저장기간이 경과됨에 따라 세균은 크게 증식되었다고 하였으며 본 실험의 결과도 이와 유사함을 보였다.

김의 저장 중 호기성전세균의 생육변화를 살펴보면 비조사구의 경우 저장 한 달에 2.8×107 CFU/g으로 심각한 오염도를 나타내었으며 저장 4개월까지 계속 증가하였으며 저장 5개월부터는 감소하는 경향이 나타났다. 조사구의 경우 3 kGy는 8.7×105 CFU/g으로 초기오염도가 심하게 나타났으며 저장기간이 경과됨에 따라 감소하였다. 5 kGy는 105 106 CFU/g이내의 수준으로 유지되었으며 10 kGy는 저장 1개월에 1.7×105 CFU/g, 저장 4개월에 9.5×105 CFU/g으로 완만히 증가하였다가 감소하였다. 김의 호기성전세균의 오염도가 대체적으로 높은 것은 김의 가공과정에서 기인된 것으로 사료된다.

다시마의 경우 비조사구나 조사구 모두 발견되지 않았다. 피조개는 비조사구의 경우 3.0×103 CFU/g으로 저장 말까지 같은 수준을 유지하였으며 조사구의 경우 3, 5 kGy 모두 저장 한 달까지는 발견되지 않았으나 저장 2개월에 3.0×103 CFU/g이 발견되어 저장 말까지 같은 수준을 유지하였다.

나. 저온성균

냉장저장 중 창란젓의 저온성균의 오염상태는 Table 1 에서와 같이 비조사구의 초기오염도는 2.7×105 CFU/g으로 저장기간이 경과함에 따라 생육이 급격하게 증식되어 저장 2개월에 1.9×107 CFU/g에 도달하였으며 점차적으로 감소하다가 저장 5개월에 다시 6.2×107 CFU/g으로 크게 증가하였다. 3 kGy는 초기오염도가 6.2×104 CFU/g으로 비조사구보다 낮았으나 역시 저장기간이 경과함에 따라 급격하게 증가하여 저장 2개월에 1.6×107 CFU/g으로 큰 폭으로 증가하였다. 저장5개월에 7.7×105 CFU/g으로 감소하였으며 다시

증가하는 경향을 나타내었다. 5 kGy는 초기오염도가 2.1×105 CFU/g으로 3 kGy보다 다소 높았고 저장기간이 경과함에 따라 급격한 증가를 보였다. 한편 10 kGy는 3.0×103 CFU/g으로 나타났으며 저장6개월까지 큰 변화 없이 일정한 수준을 유지하여 균의 사멸을 위해서는 10 kGy이상의 선량이 요구됨을 알 수 있었다.

냉장 보관 중인 명란젓의 저온성균의 오염 상태는 Table 2 에서와 같이 비조사구의 초기오염도가 2.7×105 CFU/g으로 나타났고 2개월에 급격한 증가를 보이면서 그 수준을 유지하다가 5개월부터 감소하였다. 조사구의 경우 3 kGy는 3.0×105 CFU/g으로 저장 6개월까지 같은 수준을 유지하였다. 5 kGy는 7.1×103 CFU/g으로 3 kGy보다 낮은 수준이었으며 저장 2개월에 2.9×106 CFU/g으로 급격하게 증가하였다. 4개월에는6.0×105 CFU/g으로 약간 감소하였으나 다시 증가하였다. 10kGy는 3.0×103 CFU/g으로 초기수준과 같았고 저장기간이 경과할수록 점차적으로 증가하였다. 저장 6개월에 가장 높은 수치인 6.1×106 CFU/g을 나타내었다. 선량이 증가할수록 미생물의 증가가 더디게 나타났으며 균의 완전한 사멸을 위해서는 10 kGy이상의 선량이 요구될 것으로 생각된다.

건조어묵과 냉장 저장 중인 어묵의 저장기간에 따른 저온성균의 오염상태는 건조어묵은 저장 0개월에 3.0×103 CFU/g으로 나타났으나 저장기간의 경과에 따라 급격한 부패로 인해 측정하지 못하였으며 조사군의 경우 3 kGy는 저장 3개월에 1.4×108 CFU/g으로 크게 오염되었다. 5 kGy경우 저장 2개월에 2.0×106 CFU/g으로 역시 오염도가 심각했으며 10 kGy도 저장 1개월에서는 균이 전혀 검출되지 않았고 저장기간이 경과될수록 부패하였으나 다른 조사구에 비해 그 속도가 상당히 느림을 알 수 있었다.

김의 실온 저장 중 저온성세균의 오염도를 살펴보면 비조사구의 경우 저장 1개월에 3.4×107 CFU/g으로 초기오염이 심각하였고 저장기간이 경과할

수록 감소하다가 6개월에 다시 증가하였다. 조사군의 경우 3 kGy는 9.4×106 CFU/g으로 심각한 오염도를 보였고 저장 4개월부터 1.5×105 CFU/g으로 일정한 수준을 유지하였다. 5 kGy는 비조사구의 경우 1.2×106 CFU/g으로 저장4개월까지 105 CFU/g내의 수준이었으며 저장5개월부터 104 CFU/g으로 감소하였다. 10 kGy 경우에는 1.2×105 CFU/g의 오염도를 나타내었으며 큰 변화 없이 완만하게 증가하다가 저장 3개월에 1.1×105 CFU/g으로 가장 높게 나타났다. 그후로는 감소하는 경향을 나타내었다.

다시마의 저온성균의 오염상태를 보면 저장 2개월까지 발견되지 않았고 저장 4개월에 3.0×103 CFU/g의 수치를 보였으나 그 이후에는 균이 검출되지 않았다. 조사군의 경우 균이 완전히 사멸되어 전혀 나타나지 않았다.

냉동저장의 피조개의 저온성균의 오염은 저장 2개월에 3.5×103 CFU/g으로 나타났으며 저장 4개월, 6개월에도 변화 없이 그 수준을 유지하였다. 조사군의 경우 3 kGy는 3.6×103 CFU/g의 오염도를 나타냈으며 저장기간이 경과함에 따라 완만하게 감소하였고 3, 5 kGy도 같은 수준을 나타내었다.

다. *staphylococcus*

창란젓의 *staphylococcus*의 오염은 저장초기에 3.0×103 CFU/g의 오염을 나타내었고 저장 2개월에는 검출되지 않았으나 저장 4개월부터는 3.0×103 CFU/g의 수준을 저장 말까지 계속해서 유지하였다. 조사군의 경우저장 4개월까지 검출되지 않았으나 저장 5개월에 3.0×103 CFU/g이 검출되었고 저장 말까지 증가함 없이 일정수준을 유지하였다.

명란젓은 비조사구에서는 저장 4개월까지 검출되지 않았으나 저장 5개월에 3.0×103 CFU/g이 검출되었으며 조사구의 경우 3, 5 kGy는 저장 5개월부터 3.0×103 CFU/g으로 검출되었다. 10 kGy에서는 저장 말까지 검출되지 않았다.

건조어묵, 어묵은 비조사구나 조사구 모두 검출되지 않았다.

김의 경우 저장 0개월에서 1.5×104 CFU/g으로 초기오염이 심각했고 저장 6개월에 1.9×105 CFU/g이 검출되었다. 조사군의 경우 3 kGy 1.5×104 CFU/g으로 저장 말까지 같은 수준을 유지했으며 5 kGy는 저장 말까지 발견되지 않았고 10 kGy에서는 전혀 검출되지 않았다.

다시마의 경우 비조사구에서는 검출되지 않았으나 조사군의 3 kGy에서 4개월에 4.4×104 CFU/g가 검출되었으나 5, 10 kGy에서는 저장말까지 검출되지 않았다.

라. 대장균군

대장균군은 일반적으로 감마선 감수성이 높아 저선량 조사에서도 사멸이 가능한 것으로 알려져 있다. 명란젓, 건조어묵, 튀긴어묵 등에서는 비조사구이나 조사구 모두에서 발견되지 않았으며, 창란젓은 저장1개월에 5 kGy에서 3.0×103 CFU/g, 10 kGy에서 6.3×103 CFU/g가 검출되었고 그후 저장기간 동안 발견되지 않았다. 김의 경우 비조사구의 저장 0개월에 1.5×103 CFU/g의 오염을 나타내었으나 저장초기부터 말까지는 발견되지 않았으며 조사군의 경우에서도 발견되지 않았다. 다시마 역시 비조사구, 조사구 모두 발견되지 않았다.

피조개의 경우 저장초기에 3.0×103 CFU/g을 나타내었으며 저장 4개월에도 같은 양이 검출되었으나 저장 말에는 검출되지 않았다. 조사군의 겨우 3 kGy에서 저장초기 4.2×103 CFU/g으로 비조사구보다 많은 양이 검출되었으며 저장 4개월에 3.0×103 CFU/g으로 감소하였고 저장 6개월에는 검출되지 않았다. 5 kGy 경우 저장3개월에 3.0×103 CFU/g으로 저장 6개월까지 계속 같은 수준의 양을 유지하였다.

마. *Vibrio*

*vibrio spp.*는 방사선에 저항성이 약하다. *V.vulnificu, V. parahaemoliticus*의 D값은 배지에 따라 차이가 있으나 0.1-0.2 kGy의 범위를 나타낸다. 따라서 1 kGy이하의 낮은 선량으로도 굴이나 대합조개의 신선도를 손상하지 않고 *Vivrio spp.*를 5-10 로그사이클 감소시킬 수 있다. 식품의 *V.cholerae*를 규제하기 위하여 감마선 조사를 하는 것은 WHO의 권장사항이기도 하다.

창란젓의 v*ibrio*는 비조사구의 초기저장 기간에서는 발견되지 않았으나 저장 4개월에 8.7×103 CFU/g으로 증가함을 보였다. 비조사구의 경우 3 kGy 역시 저장초기에는 발견되지 않았으나 저장 4개월에 3.0×103 CFU/g이 발견되었으며 저장 6개월까지 같은 수준을 유지하였다. 5 kGy 도 3 kGy 와 같은 결과를 보였고 10 kGy 에서는 초기저장기간동안은 발견되지 않았으나 저장 6개월에 3.0×103 CFU/g의 양을 나타내었다.

명란젓은 창란젓과 마찬가지로 비조사군에서는 저장4개월에 3.0×103 CFU/g으로 창란젓보다 다소 낮은 수치를 나타내었고 저장 6개월까지 그 수준을 유지하였다. 조사군의 경우 3 kGy는 저장4개월에 3.5×103 CFU/g의 수준을 나타내었고 저장 6개월에 3.7×103 CFU/g으로 완만한 증가를 보였다. 5 kGy는 저장4개월부터 3.0×103 CFU/g의 수치가 발견되었으며 저장 말까지 같은 수준을 유지하였으며 10 kGy 역시 5 kGy 와 같은 수치로 나타났다.

건조어묵과 튀긴어묵에서는 발견되지 않았으며 김의 경우 비조사군에서만 저장 6개월에 6.8×105 CFU/g의 다소 높은 수치로 검출되었고 조사군에서는 발견되지 않았다. 다시마, 피조개는 비조사군이나 조사군에서 전혀 발견되지 않았다. 1986년 주와 김은 남해안 일대의 해수와 해산물에서 *Vibrio vulnificus*의 분리 연구에서 총 가검물 339에서의 15주인 3.8%를 분리할 수가 있었으며 해니 10.0%, 해수8.2%. 어류2.2%가 분리되었고 패류 및 해조류

에서는 분리되지 않았다고 보고하고 있다.

바. *Yeast&Mold*

창란젓의 *Yeast&Mold*의 생육변화를 살펴보면 저장 0개월에 3.7×103 CFU/g으로 나타났는데 저장 3개월에 3.0×106 CFU/g으로 저장기간이 증가함에 따라 많은 증가를 보였고 9.1×106 CFU/g으로 최대치를 기록하였다. 조사군의 경우 3 kGy은 저장 3개월에 3.0×106 CFU/g을 나타냈으며 그후로 점차적으로 감소하는 경향을 보였다. 5 kGy 경우 저장3개월에 6.1×106 CFU/g으로 많이 증가하였으나 저장4개월에 서는 완만한 감소를 보였다. 10 kGy는 저장 2, 3개월에 3.0×103 CFU/g가 검출되었으며 그후에는 검출되지 않았다.

명란젓의 *Yeast & Mold* 생육변화는 비조사구는 저장 2개월까지 증가하다가 저장3개월부터 감소하여 3.0×105 CFU/g의 수준을 저장 6개월까지 유지하였으며 멸치젓에서도 효모는 담금 80일에 최고였다가 이후 점차로 감소하였다고 보고되었다. 3 kGy 조사군은 비조사구보다 다소 높은 수치를 나타내었는데 저장 3개월까지는 완만한 증가를 보이다가 저장 4개월에 1.3×106 CFU/g으로 약간 감소한 후 다시 증가하는 경향을 보였다. 5 kGy는 저장초기에는 3.0×103 CFU/g으로 낮은 수치였으나 저장 3개월에 5.3×103 CFU/g으로 약간 증가하였다. 10 kGy는 저장초기에는 발견되지 않았지만 저장기간이 경과함에 따라 증가함을 보였고 저장 4개월에 3.1×105 CFU/g으로 약간 감소하였으나 저장 5개월에 다시 증가하였다.

건조어묵에서는 발견되지 않았고 튀긴 어묵에서는 3 kGy의 경우 저장2개월에 3.0×103 CFU/g의 수치를 보였으며 3개월에 2.7×104 CFU/g으로 증가함을 보였다. 10 kGy 경우 저장 3개월에 7.3×103 CFU/g의 오염도를 나타내었다.

김과 다시마에서는 전혀 검출되지 않았으며 피조개의 경우는 비조사군과 조사군 모두 저장기간 초기에는 발견되지 않았으나 저장 6개월에 3.0×103 CFU/g가 검출되었다.

이상의 결과 감마선 조사는 수산물에 오염된 미생물의 생육을 크게 저하시켜 5 kGy이상에서는 저온성균과 호기성 전 세균을 제외한 오염미생물의 생육을 검출한계이하로 감소시킬 수 있었다. 창란젓과 명란젓의 경우 호기성전세균과 저온성세균을 제외하고 다른 오염미생물들의 초기살균효과가 크게 나타났으며, 다시마, 튀긴어묵, 건조어묵은 감마선 조사한 것은 균이 거의 사멸되었다. 그러나 김은 비조사군이나 조사군 모두 저온성, 호기성전세균의 초기오염도가 높아 10 kGy이상의 고 선량이 요구되었으며 대장균군이나 *vibrio*는 3 kGy 선량에서 사멸되었다. *vibrio*, *staphylococcus*는 저장기간이 상당히 경과한 후 검출이 되었으며 이것으로 감마선 조사의 초기살균효과가 뛰어남을 알 수 있었다. 튀긴어묵은 10 kGy선량으로 조사한 시료는 저장 3개월이 지나도 *yeast&mold*를 제외한 오염균들이 검출되지 않아 감마선 조사가 저장기간 연장에 상당히 기여한 것으로 사료된다. 피조개의 경우 -20℃냉동저장으로 균의 증감이 거의 없었으며 균의 검출양도 거의 일정하였다. 그리고 다른 시료들에 비해 균의 양도 적었으며 이것은 냉동저장과 감마선 조사의 병용이 생육미생물의 억제에 상당히 효율적임을 보여 주었다. *yeast&mold*는 주로 어육류 가공품인 창란젓과 명란젓에서 많이 검출되었는데 이들 젓갈의 숙성에 관여하는 것으로 생각되며 저장 기간이 경과함에 따라 검출량이 증가하여 부패되고 있음을 보여주었다. 10 kGy 이상의 선량으로 조사한다면 균의 완전 사멸도 가능할 것으로 사료된다.

3. 저장기간에 따른 이화학적 품질특성 평가

가. pH 측정

pH 변화는 전반적으로 어묵을 제외하고는 작은 범위내에서 소폭 상승하거나 소폭 감소하는 경향을 보였다. Fig 1에서 보는 바와 같이 다시마는 저장초기의 pH가 저장 6개월이 경과한 후 각 조사군별로 소폭 상승하는 경향을 보였으며, Fig 2의 김은 각 조사군별로 뚜렷한 차이없이 소폭 감소하는 경향을 보였다. 김과 다시마는 건조식품으로서 저장유통기간이 다른 시료에 비해 길기 때문에 pH 변화폭이 작은 것으로 생각되며, 또한 유리아미노산과 같은 기타 유기물질의 완충작용 때문이라고 보고되었다. Fig 3의 어묵을 살펴보면 저장 3개월동안 pH 변화가 거의 없었으나 그 후 감마선 조사군에서 급격히 감소함을 보였다. 반면 감마선 비조사군은 급격히 증가함을 나타내었다. 이는 산생성 세균 및 자가소화효소에 의한 발효 및 부패가 진행되어 저장 3개월 후 pH가 감소했다는 김 등의 보고와 일치하였다. 다른 한편으로 저장기간이 경과함에 따라 단백질이 암모니아, 인돌등의 알칼리성 물질으로 분해된다는 보고에서 볼 때, 감마선 비조사군의 급격한 pH 상승은 산생성 세균이나 자가소화효소에 의한 발효 및 부패보다 알칼리성 물질이 만들어지는 속도가 훨씬 커 pH가 상승하였고, 아울러 10kGy, 5kGy, 3kGy 감마선 조사군 순으로 pH 감소폭이 적은 것으로 생각된다. Fig 4의 창란젓과 Fig 5의 명란젓은 저장 1개월동안은 pH가 소폭 상승하였으나 그 이후 서서히 감소하는 경향을 보였다. 이는 pH가 저장기간동안 서서히 감소한다는 이[15]등의 보고와 일치하였다. 창란젓에서 감마선 조사 10kGy의 pH가 저장 6개월 후 높은 것으로 나타났는데, 이는 감마선 조사의 영향으로 발효 및 부패의 진행이 비교적 억제된 것으로 생각된다. 또한 명란젓에서도 저장 6개월 후의 pH를 보면 비조사군에 비해 감마선 조사군의 pH가 더 높은 것으로 나타나 감

마선 조사에 의한 발효 및 부패가 상당히 억제되었음을 나타내었다.

건조어묵과 피조개의 pH 변화를 보면, 건조어묵은 변화가 거의 없었으며, 피조개는 감마선 비조사군에서 다소 상승하였고, 3kGy는 변화가 없었으며, 5kGy는 소폭 감소하였다. 이는 냉동저장동안에도 품질의 변화를 피할 수 없다는, 즉 단백질 변성이나 지방 산화등의 변화가 일어난다는 김 등의 보고에 비추어 볼 때 감마선 비조사군에서 단백질 변성이 미약하나마 진행된 것으로 생각한다.

나. 휘발성 염기질소 측정(VBN : Volatile Basic Nitrogen)

어제품은 변패가 진행됨에 따라 암모니아 및 아민류 등과 같은 휘발성 염기질소 화합물을 생성하므로 VBN 함량은 단백질의 부패정도를 판정하는 척도의 하나로 흔히 활용되며 단백질 식품의 신선도 판정에 유효하다.

Fig 6 다시마의 VBN 함량을 보면, 저장 4개월동안은 저장초기의 VBN 함량과 차이가 없었으나 저장 5개월후에 감마선 비조사군과 3kGy 조사군에서 소폭 증가하였으며, 저장 6개월후에는 5kGy, 10kGy 감마선 조사군에서도 소폭 증가하였다. 그러나 VBN 함량이 6.2 7.9Nmg%로 매우 신선한 상태였기 때문에 다시마는 감마선 조사에 상관없이 부패 진행이 느린, 저장성이 좋은 것으로 생각된다. Fig 7 김의 VBN 함량도 저장기간동안 큰 차이는 없었다. 단지 감마선 비조사군의 VBN 함량이 저장기간 전체에 걸쳐 감마선 조사군에 비해 다소 높게 나타남을 볼 수 있었다. 그러나 저장 6개월이 지난후 감마선 비조사군의 VBN 함량이 12.6Nmg%로 신선한 상태였으며, 3kGy, 5kGy, 10kGy 조사군 모두 7.0Nmg%로 매우 신선한 상태였다. 아울러 VBN 함량 폭은 감마선 비조사군과 조사군간에 작지만 확연히 나타났다. Fig 8 어묵의 VBN 함량을 보면 감마선 비조사군과 조사군 모두 저장 3개월까지는 매우 신선한 상태를 유지하였으나 저장 6개월째에 감마선 비조사군이 374.6Nmg%로 완전

히 부패했음을 나타냈다. 이는 저장기간이 경과함에따라 단백질이 암모니아, 인돌 등의 알칼리성 물질 등으로 분해되는 부패정도가 매우 큰 것으로 생각된다. 반면 3kGy, 5kGy, 10kGy 조사군 모두 6.2 8.5Nmg%로 매우 신선한 상태를 유지하여 감마선 조사가 어묵의 저장성 향상에 큰 영향을 미쳤음을 나타냈다.

Fig 9의 창란젓과 Fig 10의 명란젓을 보면 저장초기부터 VBN 함량이 매우 높은 것으로 나타났다. 김 등은 젓갈 제조과정이 자가소화효소 또는 미생물의 효소작용에 의해 육질을 분해시키는 숙성과정을 거친다고 하였는데 이로인해 명란젓과 창란젓은 저장 초기부터 VBN 함량이 높은 것으로 생각된다. 한편 저장기간이 경과함에 따라 VBN 함량이 계속 증가하였는데, 이는 송16)등, 김13),17), 김19)등의 보고와 일치하였다. 저장 6개월째에 창란젓, 명란젓 모두 VBN 함량이 많은 것은 젓갈숙성 중 단백질이나 아미노산 등의 고분자 물질이 저분자 질소화합물로의 분해에 의해 젓갈의 품질에 나쁜 영향을 줌으로써 높은 수치를 나타낸다고 생각된다. 창란젓과 명란젓은 저장 6개월째에 초기부패 상태를 넘어 완전부패 상태 가까이에 이르렀다.

건조어묵과 피조개를 보면, 저장 6개월 동안 VBN 함량의 변화가 거의 없어 매우 신선한 상태를 유지하였다. 그러나 피조개의 경우 냉동보관 시켰음에도 미약하나마 VBN 함량이 증가하였음을 볼 수 있었다.

다. TMA 측정

TMA는 신선한 육에서는 산화된 형태인 TMAO로 있다가 육질이 분해되면 TMA로 환원이 되며, TMA는 다시 amine 이나 NH3 등의 휘발성 물질로 빠른 속도로 분해되어지는데, 숙성기간 및 온도가 증가할수록 TMA 값은 증가하는 경향이 있다고 보고되었다. 이에따라 Fig 11 다시마와 Fig 12 김의 TMA 변화를 보면 전체적으로 TMA 값이 적은 편으로 나타났다. 또한 저장 3개월까

지는 TMA 값의 증가가 거의 없었으나, 저장 4개월째부터 서서히 증가하는 것으로 나타났다. 한편 다시마는 감마선 비조사군과 조사군간의 유의적인 차이가 나타났으나 김의 경우에는 유의적인 차이가 거의 나타나지 않았다. Fig 13 어묵의 TMA 값은 저장초기에는 TMA 값이 적고 감마선 비조사군과 조사군간에 유의적인 차이가 적었으나 저장 1개월부터 급격히 증가하는 경향을 보였고, 감마선 조사군보다 비조사군에서 TMA 값이 현저히 증가한다는 조 등의 보고와 일치하는 경향을 나타냈다. 또한 이는 감마선 조사군의 미생물 및 기타 효소등에 의한 변질이 억제되었음을 나타내고 있다. Fig 14 창란젓과 Fig 15 명란젓의 TMA 값 변화에서 조 등, 김 은 TMA 값이 저장기간 전체에 걸쳐 꾸준히 증가하였다고 하였는데 본 실험에서도 저장 초기에는 TMA 값이 거의 없다가 저장 1개월부터 급격히 증가하고 그 이후 일정하게 증가함을 보여주었다. 또한 저장 6개월의 TMA 값을 보면 감마선 비조사군보다 감마선 조사군의 TMA 값이 적게 나타났고, 명란젓에서 더욱 두드러지게 나타났다. 이는 감마선 조사군이 미생물 및 기타 효소등에 의한 변질이 상당히 억제되었음을 나타낸다.

건조어묵과 피조개의 TMA 값은 저장 초기에 비해 저장 6개월째에 모두 2배 가까이 증가하였는데 감마선 비조사군에 비해 조사군의 TMA 값이 더 적게 나타났으며, 피조개에서 이러한 경우가 더욱 뚜렷이 나타났다. 이는 창란젓과 명란젓의 경우와 마찬가지로 감마선 조사로 인하여 변질이 상당히 억제되었음을 나타낸다. 또한 피조개의 경우 냉동보관 시켰음에도 TMA 값이 꾸준히 증가하여 pH나 VBN 경우에서 볼 수 있었던 것처럼 단백질 변성이 진행되었음을 확인 할 수 있었다.

라. 지질의 산패도

수산물 중에 함유된 지방질 특히 불포화 지방산은 산패가 진행됨에 따라

과산화물과 carbonyl 화합물을 생성하며, TBA가는 이때 생성된 malonaldehyde와 2-thiobarbituric acid(TBA)와의 적색 복합체를 생성하는 정색 반응으로 peroxide와 같이 지방질의 산패도를 알아보는 방법이다. 본 실험에서는 carbonyl가와 TBA가를 측정하여 저장기간중 지질의 산패도를 살펴보았다. 각 수산물의 감마선 조사와 저장기간에 따른 carbonyl가 및 TBA가의 변화는 Fig. 16 29와 같다.

김에 경우, 모든 시험군에서 저장 1개월의 carbonyl가가 가장 높았으며, 그 이후는 약간 감소하는 경향을 나타냈다. 감마선 조사군과 비조사군을 비교해보면 저장 1개월에 있어 감마선 조사선량의 증가와 함께 carbonyl가가 증가하여 10 kGy조사군이 가장 높았으나, 저장 2개월부터는 오히려 3 kGy조사군과 비조사 군이 높은 값을 나타내었고 10 kGy조사군이 가장 낮았다. 저장 4개월의 경우에도 감마선조사 선량이 증가함에 따라 carbonyl가가 감소하는 경향이 뚜렷하였다. 한편, TBA가의 경우에는 저장기간에 따라 큰 변화가 없었으나 carbonyl가와 마찬가지로 저장 4개월의 경우 감마선 조사 선량이 증가함에 따라 감마선 조사구 모두가 낮은 값을 나타내었다. 따라서, 저장기간이 경과함에 따라 감마선 조사된 김은 지질산패가 억제됨을 알 수 있었다(Fig. 16, 17).

다시마의 경우에는 저장 2개월까지 carbonyl가가 계속 증가하다가, 저장 3개월부터 감소하는 추세를 나타내었고, 김과 마찬가지로 저장 1개월에 있어 10 kGy조사군이 가장 높았으나, 저장 2개월에서는 가장 낮았으며, 저장 3개월에는 감마선조사 시료와 비조사시료간에 큰 차이를 나타내지 않았고 저장 4개월에는 3 kGy 조사군이 가장 낮은 값을 나타내었다. TBA가의 변화는 carbonyl가와는 상당히 다른 pattern을 나타내었다. 즉, 저장 1개월까지 감소하여 일정수준을 유지하다가 저장 2개월 이후부터 크게 증가하기 시작하였다. 저장 3개월 이후부터는 감마선 조사선량의 증가와 더불어 TBA가의

감소가 뚜렷이 나타났으며, 10kGy 조사군이 저장 4개월까지 현저히 낮은 값을 유지하였다(Fig. 18, 19).

저장기간에 따른 어묵의 carbonyl가와 TBA가의 변화를 살펴본 결과는 Fig 20, 21과 같다. carbonyl가의 경우, 비조사구 및 3kGy, 5kGy조사구는 저장기간에 따라 거의 변화가 없었으나 10kGy조사구는 저장기간에 따라 크게 증가하여 저장 3개월 후에는 159로 저장 초기보다 약 4배 이상의 높은 수치를 나타내었다. TBA가도 carbonyl가와 유사한 경향을 나타내어 저장 2개월까지 비조사구 및 3kGy, 5kGy는 큰 변화가 없었으며, 저장 3개월에는 조사선량과 더불어 3kGy, 5kGy는 약간 증가하는 경향이었으나 10kGy는 큰 폭으로 증가하였다.

건조어묵은 비조사구 및 조사구 모두 저장기간에 따라 증가하였으며 TBA가는 오히려 감소하여 정확한 경향을 알 수 없었다(Fig. 22, 23).

냉동 피조개의 경우에는 모든 시험군에서 저장 1개월의 carbonyl가가 가장 높았으며, 그 이후부터는 감소하여 비조사구가 가장 낮은 수치를 나타내었고, TBA가의 경우에도 1개월 이후부터 감소하기 시작하여 저장 2개월에는 비조사구가 가장 낮은 수치를 나타내었다(Fig. 24, 25).

창란젖 및 명란젖의 carbonyl가는 저장기간에 따라 큰 변화는 나타내지 않았으나 창란젖의 경우 저장 4개월에는 10kGy조사구가 가장 낮은 값을 나타낸 반면, 명란젖은 오히려 약간 증가하는 경향을 보였다. TBA가에 있어서도 창란젖은 자장 4개월째 10kGy조사구가 다른 시험구에 비해 현저히 낮은 값을 나타내었으며, 명란젖은 감마선 조사에 따라 거의 변화가 없었다(Fig. 26 29).

이상의 결과, pH, VBN 함량, TMA 값을 종합해보면 전 시료에 걸쳐 비조사군에 비해 감마선 조사군이, 감마선 조사군에서도 선량이 높을수록 저장성이 향상되었으나, TBA가와 carbonyl가에서 알 수 있듯이 시료에 따라서는

고선량의 감마선조사는 지방산패를 촉진시킬 수 있음을 시사해 주고 있다.

3. 감마선 조사 수산물의 유전독성학적 안전성 평가

가. *Salmonella typhimurium* 복귀 돌연변이 검증

시험물질은 피조개의 경우 5kGy, 건조어묵, 어묵, 창란젓, 명란젓, 다시마, 김은 10kGy의 선량으로 γ선을 조사한 시료로 Ames test를 실시하였으며, 그 결과를 Table 8 14에 나타내었다. 우선 대사활성 부재시의 경우, γ선으로 조사한 수산물 시료는 모든 시험균주에서 시험적용 농도인 0.62 50mg/plate의 범위에서 복귀변이 집락수의 농도 의존적인 증가 혹은 감소를 보이지 않았으며 용매대조군과 비교해서도 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 대사활성계를 도입한 즉 S-9mixture를 가한 상태에서 이들 시험물질에 대해 *S. typhimurium*을 이용한 복귀돌연변이 시험을 수행한 결과에서도 시험한 모든 검체는 시험적용농도인 0.62-50mg/plate의 범위에서 유의한 복귀변이 집락수의 증감을 보이지 않았으며 모두 정상범위 안에서의 편차만 보였다. 각각의 시험적용 농도에서 복귀변이 집락수의 증가를 보이지 않았다. 일반적으로 돌연변이원성의 판정은 음성대조군 복귀변이 집락수의 2배 이상인 경우를 양성으로 하므로 본 실험의 조사한 모든 수산물은 전 시험적용농도에서 복귀변이를 유발하지 않는 것으로 보아 γ선 조사에 의한 돌연변이원성은 없는 것으로 판단되었다.

나. 설치류 망상적혈구를 이용한 염색체 이상검증

설치류 망상적혈구를 이용하여 시험물질인 피조개(5 kGy), 건조어묵(10 kGy), 어묵(10 kGy), 창란젓(10 kGy), 명란젓(10 kGy), 다시마(10 kGy), 김

(10kGy)의 염색체 이상 시험을 수행한 결과는 Table 15와 같다.

γ선으로 조사한 모든 시험 군은 전시험용량 단계를 걸쳐 소핵을 가진 망상적혈구의 출현율이 음성대조군과 유의한 차이를 나타내지 않아 본 시험물질이 설치류를 이용한 소핵시험에서 소핵을 유발하지 않음을 나타내었다. 따라서 γ선으로 조사된 수산물은 시험적용 용량인 1250-2500㎎/plate의 범위에서 설치류를 이용한 소핵시험에서 용매대조군에 비해 소핵발현 빈도가 증가하지 않아, γ선을 조사한 이들 시험물질에 의한 소핵 형성은 유발되지 않아 감마선 조사는 본 실험조건 하에서 변이원으로서 작용하지 않았음을 확인하였다.

제 4 절 참고문헌

1. Ampola VG, Ronsivalli LJ (1969) Effect of pre-irradiation quality of eviscerated haddock on postirradiation shelf-life of fillets. Journal of food science, 34: 27-30.
2. Baldelli B et al.(1971) Effects of gamma radiation on a strain of Toxoplasma isolated from dog. Parasitologia, 13:105(in Italian)
3. Carver JH et al.(1969) Irradiation of fish at sea. In : Kreuzer R, ed. Freezing and irradiation of fish. London, Fishing News.
4. CAST (1989) Ionizing energy in food processing and pest control.Ⅱ. Applications. Ames, IA, Council for Agricultural Science and Technology(Report No.1159).
5. Clarke ID (1971) effects of radiation treatments. In: Hulme AC, ed.The biochemistry of fruits and their products, Vol.2, New York,

Academic Press.

6 Ehlermann D, Münzner R(1976) Radiation preservation of North Sea shrimps. Archiv für Lebensmittelhygiene, 27 : 50-55(in German).

7. Ehlermann D, Reinacher E(1978) Some conclusions from shipboard experiments on the radurization of whole fish in the Federal Republic of Germany. In : Food preservation by irradiation,Vol. I. Vienna, International Atomic Energy Agency, pp.321-331 (IAEA-SM-221/18).

8 Eklund MW(1982) Significance of Clostridium botulinum in fishery products preserved short of sterilization. Food technology, 36 : 107-112.

9. Goresline HE et al.(1964) Tentative classification of food irradiation processes with microbiological objectives. Nature, 204:237-238.

10. Prachasitthisakdi Y et al.(1984) Lethality and flora shift of the psychrotropic and mesophilic bacterial association of frozen shrimps and chicken after radicidation. In: Kiss I, Deak T, Incze K, eds. Micribial associations and interactions in food. Budapest, Publishing House of the Hungarian Academy of Science, pp.417-428.

11. Ronsivalli LJ et al.(1966) Studies in petition-oriented aspects of radiation pasteurization of fishery products. In : Preservation of fish by irradiation. Vienna, International Atomic Energy Agency, pp.1-11(Publicication No.STI/PUB/196).

12. KAERI / RR-1321 / '93 2차년도 연구 보고서.

13. Primavera,J, Honculada.. INFOFISH. Environmental and socioeconomic effects of shrimp farming; the Philippine experience. 1/94/page 44-49
14. Reilly, P.J.A., Dr. Twiddy and R.S.Fuchs. Review of the Occurrence of Salmonella in Cultured Tropical shirmp. FAO Fisheries Circular no.851 FAO, Rome, May 1992
15. Lambet A.D., Maxcy RB; Effect of gamma radiation on Compylobacter jejuni. J Food Sci, 49; 665 (1984)
16. Woods RJ, Pikaev AK: Interaction of radiation with matter. In "Applied adiation Chemistry: Radiation Processing." John Wiley & Sons (1994)
17. El-Zawahry YA, Rowley DB,: radistion Resistance and injury of Yersinia enterocolitica.Appl. Environ. Microbiol, 37, 50(1979)
18. 양철호,정희정: 엽사젓 제조중의 미생물 및 화학성분의 변화, 한국식품과학회지., 27 (2) 185-192 (1995)
19. 조한옥, 권중오, 변명우, 이미경: 감마선 조사에 의한 튀김어묵의 품질보존, 한국식품과학회지.,17 (6) (1985)
20. 김상무: 가정용 냉장고에서 동결저장 중의 가리비의 품질변화, 26 (3) 450-455 (1997)
21. Simmonds, C.K. and Lamprecht, E.C.: Microbiogy of frozen foods. In *"Microbiology of frozen fish and related products"* Robinsos, R.K. (ed.), Elsevier Applied Science Publishers Ltd., N.Y.,169(1985)
22. 권중오, 변명우, 조한옥: 한국식품과학회지 15. 364(1983)
23. Sang, F.C., Hugh-Jonea, M.E. and Hagstad, H.V.: Viability of Vibrio Cholerae O:1 on legs under frozen and refrigerated

conditions and low dose radiation treatment. *J. Food Prot*,50, 662 (1987)

24. 주우진, 김일: 한국 남해안 일대의 해수 및 해산물에서 *Vibrio vulnificus*의 분리연구, 대한 미생물학회지 21(1) 97-106 (1986)
25. 이종갑, 최휘경: 멸치젓 숙성에 따른 미생물상의 변화, 한국수산학회지, 7, 105 (1974)
26. 박희열. : 수산가공학., 수학사(1988).
27. 신효선. : 식품분석., 신광출판사(1987).
28. 日本厚生省編. : 食品衛生檢查指針Ⅰ, 揮發性鹽基窒素., pp.30 32 (1960).
29. Murray, C.K. and Gibson, D.M. : *J. Food. Technol.*, 7 35(1972).
30. 김경삼외 3명 : 식품분석., 세종출판사(1996).
31. 조태숙. : 가자미 식해에 관한 연구., 고려대 석사학위 논문(1982).
32. 김상무. : 가정용 냉장고에서 동결저장 중의 가리비의 품질변화., 한국식품영양학회지, 26(3), pp.450 455(1997).
33. Dahl, Q. : Decomposition of Starch in Sausage Product, Food Research., 23: 161(1957).
34. 이강호, 유병진, 서재수, 조진호, 정인학, 제외관. : 내부가열을 이용한 보장성어육(고등어) 연제품의 가공 및 제품개발에 관한 연구, 2. 제품저장중의 품질변화., *Enll. Korean Fish. Soc*, 17(5), pp.361 367(1984).
35. 곽희진 : 축산물의 저장성 향상을 위한 감마선의 이용 및 건전성 평가에 관한 연구., 세종대 박사학위 논문(1998).
36. 김상무 : 식품첨가제에 의한 저염 명란젓의 보존효과., 한국식품영양과학회지., pp.937 943(1996).

37. 송영옥, 변대석, 변재형. : 멸치젓갈 숙성중 지질의 산화와 단백질의 분해., *Korean J. Nutrition & Food*, 11(1), pp.1 6(1982).
38. 김동수, 김영명, 구재군, 이영철, 도정룡. : 오징어 조미젓갈의 품질 유지기한에 관한 연구., 한국수산학회지., 26, 13(1993).
39. 양호철, 정희종. : 엽삭젓 제조중의 미생물 및 화학성분의 변화., 한국식품과학회지, 27(2), pp.185 192(1995).
40. 오상룡. : 수산발효식품의 품질개선을 위한 기초연구., 한국식품개발연구원(1990).
41. 김상무, 정인학, 조영제. : 강릉지방의 오징어 식해개발에 관한 연구, 1.숙성온도 및 기간에 따른 성분 변화., 한국수산학회지, 27, 215(1994).
42. 조한옥, 변명우, 권중호, 양재승, 이재원. : 방사선 조사 및 Ethylene Oxide 처리된 건조 수산물(조개살, 홍합살)의 미생물 및 화학적 특성., *The Korean Journal of Food Hygiene*, 1(1), pp.39 46(1986).
43. 조한옥, 변명우, 권중호, 이재원. : 방사선 조사와 Ethylene Oxide 처리가 건조 수산가공품(건새우, 건멸치)의 품질에 미치는 영향., *The Korean Journal of Food Hygiene*, 2(1), pp.21 27(1987).

Table 1. Effect of gamma irradiation on the growth of microorganisms in salted pollack's viscera during storage at 5℃

(unit:CFU/g)

kGy	Microorganism	Storage Period(weeks)						
		0	1	2	3	4	5	6
0	*Psychrophile*	5.6×10⁴	2.7×10⁵	1.9×10⁷	6.3×10⁶	3.0×10⁶	6.2×10⁷	1.7×10⁶
	Staphylococcus	3.0×10³	3.0×10³	ND	NE	3.0×10³	3.0×10³	3.0×10³
	Coliforms	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Vibrio	ND	ND	ND	ND	8.7×10³	3.0×10³	6.5×10³
	Yeast & Mold	3.7×10³	NE	NE	3.0×10⁶	2.1×10⁶	9.1×10⁶	3.0×10⁶
	Total bacteria	4.0×10⁴	3.7×10⁴	3.0×10⁵	3.0×10⁵	1.3×10⁴	2.3×10⁴	1.3×10⁴
3	*Psychrophile*	5.5×10³	6.2×10⁴	1.6×10⁷	1.1×10⁷	3.0×10⁶	7.7×10⁵	7.2×10⁶
	Staphylococcus	ND	ND	ND	NE	ND	3.0×10³	3.0×10³
	Coliforms	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Vibrio	ND	ND	ND	ND	3.0×10³	3.0×10³	3.0×10³
	Yeast & Mold	3.0×10³	NE	NE	3.0×10⁶	6.4×10⁶	3.0×10⁶	1.4×10⁶
	Total bacteria	4.7×10⁴	6.1×10³	4.7×10³	5.6×10³	3.0×10³	3.0×10³	3.5×10³
5	*Psychrophile*	3.0×10³	2.1×10⁵	1.8×10⁷	1.3×10⁷	4.5×10⁶	1.3×10⁶	1.1×10⁷
	Staphylococcus	ND	ND	ND	NE	ND	3.0×10³	3.0×10³
	Coliforms	ND	3.0×10³	ND	ND	ND	ND	ND
	Vibrio	ND	ND	ND	ND	3.0×10³	3.0×10³	3.0×10³
	Yeast & Mold	3.0×10³	NE	NE	6.1×10⁶	1.5×10⁷	1.3×10⁷	6.4×10⁶
	Total bacteria	3.0×10³	4.4×10³	3.6×10³	3.0×10³	3.0×10³	3.0×10³	3.0×10³
10	*Psychrophile*	3.0×10³	NE	3.0×10⁴	3.0×10³	3.0×10³	3.0×10³	3.0×10³
	Staphylococcus	ND	ND	ND	NE	ND	3.0×10³	3.0×10³
	Coliforms	ND	6.3×10³	ND	ND	ND	ND	ND
	Vibrio	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3.0×10³
	Yeast & Mold	ND	ND	3.0×10³	3.0×10³	ND	ND	ND
	Total bacteria	3.0×10³	9.5×10³	3.0×10³	3.0×10³	3.0×10³	3.0×10³	3.0×10³

ND: not detected, NE: not experimented

Table 2. Effect of gamma irradiation on the growth of microorganisms in salted pollack caviar during storage at 5℃

(unit: CFU/g)

kGy	Microorganism	Storage Period(weeks)						
		0	1	2	3	4	5	6
0	*Psychrophile*	3.3×10⁵	2.7×10⁵	4.5×10⁶	3.0×10⁶	3.0×10⁶	3.9×10⁵	3.3×10⁵
	Staphylococcus	3.0×10³	ND	ND	NE	ND	3.0×10³	3.0×10³
	Coliforms	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Vibrio	ND	ND	ND	ND	3.0×10³	3.0×10³	3.0×10³
	Yeast & Mold	3.0×10³		2.8×10⁶	6.7×10⁵	3.0×10⁵	3.0×10⁵	3.0×10⁵
	Total bacteria	8.7×10⁴	2.9×10⁴	2.1×10⁴	1.6×10⁴	8.0×10⁴	3.0×10³	2.4×10⁴
3	*Psychrophile*	3.0×10⁴	3.0×10⁵	5.0×10⁶	3.4×10⁶	3.0×10⁶	3.0×10⁶	4.1×10⁶
	Staphylococcus	ND	ND	ND	NE	ND	3.0×10³	3.0×10³
	Coliforms	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Vibrio	ND	ND	ND	ND	3.5×10³	3.0×10³	3.7×10³
	Yeast & Mold	3.0×10³		1.7×10⁶	1.1×10⁶	1.3×10⁵	3.7×10⁶	8.1×10⁵
	Total bacteria	2.6×10⁴	3.0×10³	3.0×10³	9.4×10³	4.8×10³	3.0×10³	7.7×10³
5	*Psychrophile*	3.0×10³	7.1×10³	2.9×10⁶	3.0×10⁶	6.0×10⁵		2.5×10⁶
	Staphylococcus	ND	ND	ND	NE	ND	3.0×10³	ND
	Coliforms	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Vibrio	ND	ND	ND	ND	3.0×10³	3.0×10³	3.0×10³
	Yeast & Mold	3.0×10³	3.0×10³		5.3×10⁵	7.9×10⁴	5.1×10⁶	5.2×10⁵
	Total bacteria	3.0×10³	3.3×10³	3.6×10³	3.0×10³	3.0×10³	3.0×10³	3.0×10³
10	*Psychrophile*	3.0×10³	3.0×10³	1.3×10⁴	5.4×10⁴	1.7×10⁶	2.9×10⁶	6.1×10⁶
	Staphylococcus	ND	ND	ND	NE	ND	ND	ND
	Coliforms	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Vibrio	ND	ND	ND	ND	3.0×10³	3.0×10³	3.0×10³
	Yeast & Mold	ND	ND	1.6×10⁴	1.8×10⁴	3.1×10⁵	3.3×10⁶	1.5×10⁶
	Total bacteria	3.0×10³	3.0×10³	3.0×10³	3.0×10³	3.0×10³	3.0×10³	3.0×10³

ND: not detected, NE: not experimented

Table 3. Effect of gamma irradiation on the growth of microorganisms in *Dried fish* paste during storage at 25℃

(unit:CFU/g)

kGy	Microorganism	Storage Period(weeks)						
		0	1	2	3	4	5	6
0	*Psychrophile*	6.8×103	NE	NE	NE	NE	NE	ND
	Staphylococcus	ND	NE	NE	NE	NE	NE	ND
	Coliforms	ND	NE	NE	NE	NE	NE	ND
	Vibrio	ND	NE	NE	NE	NE	NE	ND
	Yeast & Mold	ND	NE	NE	NE	NE	NE	ND
	Total bacteria	4.2×103	NE	NE	NE	NE	NE	ND
3	*Psychrophile*	ND	NE	NE	NE	NE	NE	ND
	Staphylococcus	ND	NE	NE	NE	NE	NE	ND
	Coliforms	ND	NE	NE	NE	NE	NE	ND
	Vibrio	ND	NE	NE	NE	NE	NE	ND
	Yeast & Mold	ND	NE	NE	NE	NE	NE	ND
	Total bacteria	ND	NE	NE	NE	NE	NE	ND
5	*Psychrophile*	ND	NE	NE	NE	NE	NE	ND
	Staphylococcus	ND	NE	NE	NE	NE	NE	ND
	Coliforms	ND	NE	NE	NE	NE	NE	ND
	Vibrio	ND	NE	NE	NE	NE	NE	ND
	Yeast & Mold	ND	NE	NE	NE	NE	NE	ND
	Total bacteria	ND	NE	NE	NE	NE	NE	ND
10	*Psychrophile*	ND	NE	NE	NE	NE	NE	ND
	Staphylococcus	ND	NE	NE	NE	NE	NE	ND
	Coliforms	ND	NE	NE	NE	NE	NE	ND
	Vibrio	ND	NE	NE	NE	NE	NE	ND
	Yeast & Mold	ND	NE	NE	NE	NE	NE	ND
	Total bacteria	ND	NE	NE	NE	NE	NE	ND

ND: not detected, NE: not experimented

Table 4. Effect of gamma irradiation on the growth of microorganisms in *fish paste* during storage at 5℃

(unit: CFU/g)

kGy	Microorganism	Storage Period(weeks)			
		0	1	2	3
0	*Psychrophile*	3.0×103	NE	NE	NE
	Staphylococcus	ND	NE	NE	NE
	Coliforms	ND	ND	NE	NE
	Vibrio	ND	ND	NE	NE
	Yeast & Mold	ND	NE	NE	NE
	Total bacteria	3.0×103	NE	NE	NE
3	*Psychrophile*	ND	NE	NE	1.4×108
	Staphylococcus	ND	ND	ND	ND
	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	Vibrio	ND	ND	ND	ND
	Yeast & Mold	ND	ND	3.0×103	2.7×104
	Total bacteria	ND	NE	NE	NE
5	*Psychrophile*	ND	NE	2.0×106	NE
	Staphylococcus	ND	ND	ND	ND
	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	Vibrio	ND	ND	ND	ND
	Yeast & Mold	ND	NE	NE	NE
	Total bacteria	ND	ND	ND	ND
10	*Psychrophile*	ND	ND	NE	NE
	Staphylococcus	ND	ND	ND	ND
	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	Vibrio	ND	ND	ND	ND
	Yeast & Mold	ND	ND	NE	7.3×103
	Total bacteria	ND	ND	ND	ND

ND: not detected, NE: not experimented

Table 5. Effect of gamma irradiation on the growth of microorganisms in dried laver during storage at 25℃

(unit: CFU/g)

kGy	Microorganism	Storage Period(weeks)						
		0	1	2	3	4	5	6
0	*Psychrophile*	7.4×106	3.4×107	2.0×107	4.2×106	1.5×107	3.0×106	1.5×105
	Staphylococcus	1.5×104		ND	NE	ND	ND	1.9×105
	Coliforms	1.5×103	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Vibrio	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6.8×105
	Yeast & Mold	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	5.7×106	2.8×107	2.6×107	3.7×107	1.5×107	3.3×106	1.5×106
3	*Psychrophile*	1.2×106	9.4×106	2.2×106	1.5×106	1.5×105	1.5×105	1.5×105
	Staphylococcus	1.5×104	1.5×104	ND	NE	1.5×104	1.5×104	1.5×104
	Coliforms	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Vibrio	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Yeast & Mold	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	7.9×105	8.7×105	2.3×106	1.5×106	1.5×105	6.5×104	1.5×105
5	*Psychrophile*		1.2×106	2.0×106	1.5×106	1.5×106	2.8×105	1.5×105
	Staphylococcus	1.5×104	ND	ND	NE	ND	ND	ND
	Coliforms	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Vibrio	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Yeast & Mold	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria			2.4×106	2.1×106	1.5×106	2.7×105	1.5×105
10	*Psychrophile*	NE	1.2×105	5.3×104	1.1×105	1.0×106	5.7×105	1.5×105
	Staphylococcus	NE	ND	ND	NE	ND	ND	ND
	Coliforms	NE	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Vibrio	NE	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Yeast & Mold	NE	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	NE	1.7×105	6.5×104	1.4×105	9.5×105	3.7×105	1.5×105

ND: not detected, NE: not experimented

Table 6. Effect of gamma irradiation on the growth of microorganisms in dried sea tangle during storage at 25℃

(unit:CFU/g)

kGy	Microorganism	Storage Period(weeks)						
		0	1	2	3	4	5	6
0	*Psychrophile*	3.0×103	NE	ND	NE	3.0×103	NE	ND
	Staphylococcus	ND	NE	ND	NE	ND	NE	ND
	Coliforms	ND	NE	ND	NE	ND	NE	ND
	Vibrio	ND	NE	ND	NE	ND	NE	ND
	Yeast & Mold	ND	NE	ND	NE	ND	NE	ND
	Total bacteria	ND	NE	ND	NE	ND	NE	ND
3	*Psychrophile*	ND	NE	ND	NE	ND	NE	ND
	Staphylococcus	ND	NE	ND	NE	ND	NE	ND
	Coliforms	ND	NE	ND	NE	ND	NE	ND
	Vibrio	ND	NE	ND	NE	ND	NE	ND
	Yeast & Mold	ND	NE	ND	NE	ND	NE	ND
	Total bacteria	ND	NE	ND	NE	ND	NE	ND
5	*Psychrophile*	ND	NE	ND	NE	ND	NE	ND
	Staphylococcus	ND	NE	ND	NE	ND	NE	ND
	Coliforms	ND	NE	ND	NE	ND	NE	ND
	Vibrio	ND	NE	ND	NE	ND	NE	ND
	Yeast & Mold	ND	NE	ND	NE	ND	NE	ND
	Total bacteria	ND	NE	ND	NE	ND	NE	ND
10	*Psychrophile*	ND	NE	ND	NE	ND	NE	ND
	Staphylococcus	ND	NE	ND	NE	ND	NE	ND
	Coliforms	ND	NE	ND	NE	ND	NE	ND
	Vibrio	ND	NE	ND	NE	ND	NE	ND
	Yeast & Mold	ND	NE	ND	NE	ND	NE	ND
	Total bacteria	ND	NE	ND	NE	ND	NE	ND

ND: not detected, NE: not experimented

Table 7. Effect of gamma irradiation on the growth of microorganisms Arkshell during storage at -20℃

(unit:CFU/g)

kGy	Microorganism	Storage Period(weeks)						
		0	1	2	3	4	5	6
0	*Psychrophile*	1.3×104	NE	3.5×103	NE	3.0×103	NE	3.0×103
	Staphylococcus	3.0×103	NE	ND	NE	ND	NE	ND
	Coliforms	ND	NE	3.0×103	NE	3.0×103	NE	ND
	Vibrio	ND	NE	ND	NE	ND	NE	ND
	Yeast & Mold	ND	NE	ND	NE	ND	NE	3.0×103
	Total bacteria	3.0×103	NE	3.0×103	NE	3.0×103	NE	3.0×103
3	*Psychrophile*	3.0×103	NE	3.6×103	NE	3.0×103	NE	3.0×103
	Staphylococcus	ND	NE	ND	NE	4.4×104	NE	ND
	Coliforms	ND	NE	4.2×103	NE	3.0×103	NE	ND
	Vibrio	ND	NE	ND	NE	ND	NE	ND
	Yeast & Mold	ND	NE	ND	NE	ND	NE	3.0×103
	Total bacteria	ND	NE	3.0×103	NE	3.0×103	NE	3.0×103
5	*Psychrophile*	ND	NE	3.6×103	NE	3.0×103	NE	3.0×103
	Staphylococcus	ND	NE	ND	NE	ND	NE	ND
	Coliforms	ND	NE	3.0×103	NE	3.0×103	NE	3.0×103
	Vibrio	ND	NE	ND	NE	ND	NE	ND
	Yeast & Mold	ND	NE	ND	NE	ND	NE	3.0×103
	Total bacteria	ND	NE	3.0×103	NE	3.0×103	NE	3.0×103

ND: not detected, NE: not experimented

Table 8. Mutagenic effects of Arkshell(Anadara broughtonii) irradiated with gamma ray at a dose of 5kGy

Conc. (㎎/plate)	S-9	radiation	No. of His+ revertants per platea			
			TA98	TA100	TA1535	TA1537
50	+	+	17±2	116±10	35±2	15±4
16.67	+	+	12±2	126±21	27±2	13±1
5.56	+	+	17±3	121±11	24±6	14±3
1.85	+	+	16±1	125± 9	24±4	8 ±1
0.62	+	+	16±4	119± 7	21±2	10±1
0	+	+	20±1	122±27	29±8	12±3
2-AAb	+		ne	ne	98±11	ne
B[α]P	+			458±278	ne	42
50	-	+	21±2	73±10	23± 2	11±2
16.67	-	+	17±4	64± 3	21± 4	12±4
5.56	-	+	18±7	76±11	22± 2	15±3
1.85	-	+	17±6	72±13	29± 2	12±2
0.62	-	+	21±2	77±12	27± 7	7±1
0	-	+	21±5	95±15	28±15	13±2
2-NF	-		1141±130	ne	ne	ne
MNNG	-		ne	1013±94	887±100	93±13

a. Numbers represent the SD of three plates.

b. 2-AA, 2-aminoanthracene; 2-NF, nitrofluorene;
MNNG, N-methy-N'-nitro-N-nitrosoguanidine; B[α]P, Benzo[α]pyrene.

c. ne, not examined.

Table 9. Mutagenic effects of dried laver irradiated with gamma ray at a dose of 10kGy

Conc. (㎎/plate)	S-9	radiation	No. of His+ revertants per platea			
			TA98	TA100	TA1535	TA1537
50	+	+	29±6	113±11	23±4	11±2
16.67	+	+	26±3	113± 4	23±7	11±2
5.56	+	+	28±5	106± 6	24±4	16±3
1.85	+	+	20±2	92 ± 7	24±3	10±1
0.62	+	+	24±4	103± 3	28±2	11±4
0	+	+	20±1	122±27	29±8	12±3
2-AAb	+		ne	ne	98±11	ne
B[α]P	+		120±12	453±278	ne	42
50	-	+	17± 2	85±15	50± 3	13±2
16.67	-	+	15± 4	72±13	49± 3	14±2
5.56	-	+	18± 2	65± 3	57±17	15±3
1.85	-	+	22± 6	70± 6	47± 8	11±1
0.62	-	+	25±10	57± 5	44±11	10±1
0	-	+	21± 5	95±15	28±15	13±2
2-NF	-		1141±130	ne	ne	93±13
MNNG	-		ne	1013± 94	887±100	ne

a. Numbers represent the SD of three plates.

b. 2-AA, 2-aminoanthracene; 2-NF, nitrofluorene;
MNNG, N-methy-N'-nitro-N-nitrosoguanidine; B[α]P, Benzo[α]pyrene.

c. ne, not examined.

Table 10. Mutagenic effects of dried sea tangle irradiated with gamma ray at a dose of 10kGy

Conc. (㎎/plate)	S-9	radiation	No. of His+ revertants per platea			
			TA98	TA100	TA1535	TA1537
50	+	+	12±1	120± 9	16± 2	12±2
16.67	+	+	14±2	89 ±24	27± 8	9 ±1
5.56	+	+	13±4	114± 2	31±10	9 ±2
1.85	+	+	15±2	106± 3	35± 5	10±2
0.62	+	+	15±5	117± 3	34± 3	8 ±1
0	+	+	20±14	122±27	32± 9	12±3
2-AAb	+		ne	ne	95± 9	ne
B[α]P	+		120±12	453±278	ne	42
50	-	+	18±3	123±11	44±5	14±5
16.67	-	+	18±4	100± 1	44±8	14±4
5.56	-	+	15±3	121±11	34±7	14±4
1.85	-	+	17±6	95 ± 6	55±5	16±3
0.62	-	+	18±1	106±11	63±5	15±3
0	-	+	21±5	95 ±15	28±5	19±3
2-NF	-		1141±130	ne	ne	94±15
MNNG	-		ne	1013±94	887±100	ne

a. Numbers represent the SD of three plates.

b. 2-AA, 2-aminoanthracene; 2-NF, nitrofluorene;
MNNG, N-methy-N'-nitro-N-nitrosoguanidine; B[α]P, Benzo[α]pyrene.

c. ne, not examined.

Table 11. Mutagenic effects of salted pollack caviar irradiated with gamma ray at a dose of 10kGy

Conc. (mg/plate)	S-9	radiation	No. of His+ revertants per platea			
			TA98	TA100	TA1535	TA1537
50	+	+	24±4	103± 2	28±2	9 ± 3
16.67	+	+	24±4	102± 4	30±8	8 ± 2
5.56	+	+	26±10	62 ± 2	25±2	9 ± 2
1.85	+	+	21±1	110± 9	25±2	14± 6
0.62	+	+	26±4	129±19	29±1	10± 3
0	+	+	20±1	122±27	32±9	12± 3
2-AAb	+		ne	ne	95±9	ne
B[α]P	+		120±12	453±278	ne	42
50	-	+	9 ± 3	92 ±10	22± 3	12±2
16.67	-	+	15± 4	97 ±14	24± 5	14±2
5.56	-	+	20± 8	106± 7	18± 5	15±3
1.85	-	+	26±16	100± 1	28±12	11±1
0.62	-	+	9 ± 1	98 ±13	22± 2	10±1
0	-	+	21± 5	95 ±15	28±15	13±2
2-NF	-		1141± 130	ne	ne	93±13
MNNG	-		ne	1013±94	887±100	ne

a. Numbers represent the SD of three plates.

b. 2-AA, 2-aminoanthracene; 2-NF, nitrofluorene;
MNNG, N-methy-N'-nitro-N-nitrosoguanidine; B[α]P, Benzo[α]pyrene.

c. ne, not examined.

Table 12. Mutagenic effects of salted pollack's viscera irradiated with gamma ray at a dose of 10kGy

Conc. (mg/plate)	S-9	radiation	No. of His+ revertants per platea			
			TA98	TA100	TA1535	TA1537
50	+	+	23±3	92 ± 7	38±4	8±1
16.67	+	+	19±4	105± 5	40±1	7±1
5.56	+	+	25±5	96 ±12	39±4	9±1
1.85	+	+	27±3	104±12	33±2	7±1
0.62	+	+	29±8	123±20	34±1	7±1
0	+	+	20±1	122±27	32±1	12±3
2-AAb	+		ne	ne	95±9	ne
B[α]P	+		120±12	453±278	ne	42
50	-	+	19±2	103±10	25± 9	11±1
16.67	-	+	17±2	95 ± 7	16± 5	8±1
5.56	-	+	14±2	81 ±16	19± 3	15±5
1.85	-	+	16±7	104± 3	29± 9	11±2
0.62	-	+	15±4	78 ± 8	26± 3	20±1
0	-	+	21±5	95 ±15	28±15	13±2
2-NF	-		1141±130	ne	ne	93±13
MNNG	-		ne	1013±94	887±100	ne

a. Numbers represent the SD of three plates.

b. 2-AA, 2-aminoanthracene; 2-NF, nitrofluorene;
MNNG, N-methy-N'-nitro-N-nitrosoguanidine; B[α]P, Benzo[α]pyrene.

c. ne, not examined.

Table 13. Mutagenic effects of boiled fish paste irradiated with gamma ray at a dose of 10kGy

Conc. (mg/plate)	S-9	radiation	No. of His+ revertants per platea			
			TA98	TA100	TA1535	TA1537
50	+	+	27±2	115± 2	22±2	11±2
16.67	+	+	27±1	139±10	25±3	11±1
5.56	+	+	23±3	132± 8	27±2	11±3
1.85	+	+	23±14	147± 5	24±4	11±3
0.62	+	+	22±2	129±19	24±3	14±5
0	+	+	20±1	122±27	32±9	12±3
2-AAb	+		ne	ne	95±9	ne
B[α]P	+		120±12	453±278	ne	42
50	-	+	21±3	108±10	25± 4	10±1
16.67	-	+	15±1	63 ± 5	26± 3	11±1
5.56	-	+	15±4	74 ±11	24± 3	22±3
1.85	-	+	24±3	66 ± 9	21± 1	18±7
0.62	-	+	18±2	61 ±11	25± 4	20±4
0	-	+	21±5	95 ±15	28±15	13±2
2-NF	-		1141±130	ne	ne	93±13
MNNG	-		ne	1013±94	887±100	ne

a. Numbers represent the SD of three plates.

b. 2-AA, 2-aminoanthracene; 2-NF, nitrofluorene;
MNNG, N-methy-N'-nitro-N-nitrosoguanidine; B[α]P, Benzo[α]pyrene.

c. ne, not examined.

Table 14. Mutagenic effects of dried fish paste irradiated with gamma ray at a dose of 10kGy

Conc. (mg/plate)	S-9	radiation	No. of His+ revertants per platea			
			TA98	TA100	TA1535	TA1537
50	+	+	16±3	132± 7	26±2	9 ± 2
16.67	+	+	14±1	126±10	27±4	7 ± 2
5.56	+	+	15±2	127±14	25±2	11± 3
1.85	+	+	17±4	126±10	24±1	10± 2
0.62	+	+	15±1	124± 2	20±3	13± 2
0	+	+	20±1	122±27	32±9	12± 3
2-AAb	+		ne	ne	95±9	ne
B[α]P	+			453±278	ne	42
50	-	+	17±2	85± 7	34± 9	18± 2
16.67	-	+	18±5	80±19	46±11	16± 2
5.56	-	+	9 ±1	88±12	53± 5	15± 4
1.85	-	+	20±1	64± 4	55± 5	15± 3
0.62	-	+	14±3	73± 9	53± 8	14± 2
0	-	+	21±5	95±15	28±15	19± 3
2-NF	-		1141±130	ne	ne	94±15
MNNG	-		ne	1013±94	887±100	ne

a. Numbers represent the SD of three plates.

b. 2-AA, 2-aminoanthracene; 2-NF, nitrofluorene;
MNNG, N-methy-N'-nitro-N-nitrosoguanidine; B[α]P, Benzo[α]pyrene.

c. ne, not examined.

Table 15. Frequency of micronucleus formation from marrow in mice oral administrated with gamma irraiated fishery products [1]

Test compound	Dose (㎎/plate)	No. of mice tested	MNRET/1,000 RET [2]
D.W		3	3.8±1
Arkshell (5kGy)	2,500	3	2.8±1
	1,250	3	2.8±1
dried laver (10kGy)	2,500	3	4.3±1
	1,250	3	2.0±1
dried sea tangle (10kGy)	2,500	3	2.8±1
	1,250	3	2.5±1
boiled fish paste (10kGy)	2,500	3	4.0±1
	1,250	3	2.5±1
dried fish paste (10kGy)	2,500	3	3.5±1
	1,250	3	4.6±1
salted pollack caviar	2,500	3	3.3±1
(10kGy)	1,250	3	3.0±1
salted pollack's viscera	2,500	3	3.2±1
(10kGy)	1,250	3	3.0±1
MMC [3]	0.5	3	22±2

1. Each value represents the ± SD of three plates
2. MNRET : micronucleated reticulocyte ; RET : reticulocyte
3. MMC : mitomycin C