

## 돈육의 위생화와 품질보존을 위한 감마선 조사

곽희진 · 계수경\* · 강일준\*\*

한국식품개발연구원, \*경민대학 식품영양과, \*\*한림대학교 식품영양학과

### Irradiation of Pork Meat for Improvement of Hygienic and Keeping Quality

Hee-Jin Kwak, Soo-Kyung Kye\* and Il-Jun Kang\*\*

*Korea Food Research Institute*

*\*Department of Food and Nutrition, Kyungmin Junior Collage*

*\*\*Department of Food and Nutrition, Hallym University*

#### ABSTRACT

Meat is a perishable product since it offers favorable conditions for microbial contamination and multiplication. Besides, undercooked and raw meat has been linked to outbreaks of hemorrhagic diarrhea due to the presence of microbial pathogens. Therefore, this study was conducted to find out the effect of the use of gamma-irradiation in order to improve preservation and eliminate this microorganisms. The initial level of microbial contamination in pork was  $1.1 \times 10^4$  CFU/g (aerobic bacteria),  $5.3 \times 10^3$  CFU/g (psychrophile),  $3.1 \times 10^3$  CFU/g (coliforms) and  $3.2 \times 10^3$  CFU/g (*Listeria*). All kinds of contaminated microorganisms were sterilized by gamma irradiation at 3 kGy. The proximate composition of pork was 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. There was no difference in total amino acid content regardless of irradiation dose and storage period. Glutamic acid was detected at high levels throughout the storage period. The major mineral compositions of pork were potassium, phosphorus, sodium, magnesium. No significant difference in the components of minerals were observed by gamma irradiation.

Key words: pork meat, gamma irradiation

#### I. 서론

국민 생활수준의 향상으로 소득의 증가와 함께 우수한 단백질원인 육류는 식생활의 많은 부분을 차지

하게 되었고, 식생활 양식의 고급화로 그 소비량은 1990년도에는 1인당 19.9 kg에서 1995년도에는 27.5 kg으로 1.38배의 증가율로 급증하였다<sup>1,2)</sup>. 육류의 저장법에 관한 연구로는 온도조절, 포장방법의 개선, 화학보존료의 처리 등 다양한 연구가 시도되어

왔는데, Winger 등<sup>3)</sup>, Yamamoto 등<sup>4)</sup>과 Miller 등<sup>5)</sup>은 동결처리 저장은 식육 단백질의 변성을 초래하여 품질 저하를 일으킨다고 하였고, Brewer 등<sup>6)</sup>은 돼지고기를 냉동 저장할 때 포장방법이 지방산패에 미치는 영향을 검토하였으며, Bhattacharya 등<sup>7)</sup>도 쇠고기 가공품의 포장방법과 냉동온도에 따른 지질산화에 대하여 연구한 결과 온도가 증가함에 따라, 공기투과성이 높은 포장일수록 지방산화가 더 잘 일어난다고 보고하였다. 그밖에도 화학보존제와 유기산처리 등에 의한 육제품의 저장성 연장 등<sup>8,9)</sup> 많은 연구들이 검토되어 왔다. 한편, 식품의 안전성에 대한 관심이 높아짐에 따라 보건 당국과 식품업계에서는 위생적 생산에 큰 역점을 두고 있으며, 현재 국내외적으로 사용이 중지되고 있는 화학보존제나 보존제 등을 대체할 수 있는 효과적인 살균, 살충기술의 개발은 식품산업에 있어서 가장 시급한 당면과제가 되고 있다<sup>10)</sup>. 냉온살균법으로 알려져 있는 방사선 살균법은 축산물의 병원성 세균 및 기생충 퇴치를 위해 매우 효과적인 것으로 알려져 있으며<sup>11)</sup>, 식육의 원초적인 병원성 세균 및 기생충에 의한 오염을 방지하는 것은 불가능하나 최종 포장 단계에서의 방사선 처리는 이들을 손쉽게 살균할 수 있고 방사선 조사에 의한 색조나 조직감의 변화 및 성분 열화를 고려하여 1~3kGy의 방사선 조사를 추천하고 있다<sup>12-14)</sup>. Mattison 등<sup>15)</sup>은 저선량(1 kGy)으로 조사된 돼지고기 가공품의 관능검사와 미생물증식 억제 및 지질산패 등에 관한 연구결과에서 저선량의 방사선 조사는 증온성 및 저온성부패균의 증식억제에 효과적이며, 관능평가 및 지질산패에 거의 영향을 주지 않는다고 보고하였고, 또한 오랫동안 문제점으로 여겨졌던 식중독 등의 문제점을 해결하는 데 방사선 조사의 여러 장점이 보고되고 있으며<sup>16)</sup>, 저선량의 방사선 처리는 돈육에 의한 tapeworm의 피해나 toxoplasma에 의한 피해를 상당량 감소시킬 수 있다고 알려져 있다<sup>17, 18)</sup>. 따라서 본 연구는 감마선 조사 살균 방법을 이용한 돼지고기의 위생화와 품질보존을 목적으로 미생물의 살균, 살충 및 선도 유지 효과 등을 고려한 최적선량을 선택하여 감마선 조사 돼지고기의 오염미생물 살균과 품질에 미치는 영향을 조사하였다.

## I. 재료 및 방법

### 1. 시료 및 감마선 조사

실험에 사용한 돼지고기는 암수 구별없이 우둔 부위를 구입하여 그 즉시 meat chopper(Model MN 22S, FUJI)로 갈아 500 g씩 분취하여 polyethylene 비닐 팩에 포장한 후 ice box에 담아 운송하여 감마선 조사 시료로 사용하였다. 감마선 조사는 상업적 다목적용 감마선 조사시설(선원 570,000 Ci Co-60, 그린피아 기술 주식회사)을 사용하여 돼지고기 시료를 ice box에 담아 시간당 0.7 kGy의 선량을 미생물시험을 위해서는 0.5, 1, 3, 5 kGy를, 그 외의 실험에는 1, 3 kGy를 조사하였으며, ceric cerous dosimeter(USA)를 사용하여 총흡수선량을 확인하였다. 감마선 조사된 시료는 비조사구와 함께 냉장(5℃), 냉동(-20℃) 저장 하면서 저장기간 별로 실험에 사용하였다.

### 2. 미생물 시험용액 제조

각 시료 25 g을 살균된 회석수로 전량을 250 mL로 하고 5분간 잘 흔들어서 정치시킨 후 그 상등액을 시험용으로 사용하였다. 각 미생물 검사는 위의 시험용액 1 mL을 test tube에 취한 후 살균된 회석수로 10배 단위로 희석하여 실시하였고, 미생물의 수는 시료 g당 colony forming unit(CFU/g)으로 나타내었다.

### 3. 호기성 전 세균 및 저온성 세균수

APHA 표준방법<sup>19)</sup>에 따라 plate count agar를 사용하였다. 3차 증류수 900 mL에 plate count agar(Merck) 20.25 g을 넣은 후 hot plate에서 stirring 하면서 혼합하였다. Autoclaving(121℃, 15min)한 후 50℃ water bath에서 냉각시켜 petri dish에 부어 고화시킨 후 시험용액을 0.1 mL씩 적하도포하였다. 이때 호기성 전세균은 35℃에서 2일간, 저온성 세균은 7℃에서 10일간 배양한 후 집락을 계수하였다.

### 4. 대장균군 및 *E. coli*

대장균군은 chromocult coliform agar(Merck)를 사용한 방법으로 증류수 900 ml에 chromocult coliform agar 23.7 g을 섞어 hot plate에서 가열하면서 혼합한 후 50℃로 냉각하여 petri dish에 부어 고화시켰다. 여기에 시험용액을 0.1 mL씩 적어도포한 후 35~37℃에서 24시간 배양한 다음 pink 또는 빨간색은 coliform으로 흑청색 또는 보라색은 *E. coli*로 집락을 계수하였다.

#### 5. *Salmonella* 및 *Listeria*

*Salmonella*는 Rambach agar(Merck)를 사용하여 liquid-mix 1 vial에 증류수 250 mL를 가해 용해하고 여기에 nutrient-powder 1 vial을 섞어 hot plate 위에서 stirring하면서 완전히 용해시킨 후, 45~50℃의 water bath에서 가능한 빨리 냉각시켜 petri dish에 부어 고화시켰다. 시험용액 0.1 mL를 적어도포하여 35℃에서 18~48시간 배양한 다음 적색의 집락을 계수하였으며 *Listeria*는 Palcam *Listeria* selective agar(Merck)를 사용하여 같은 방법으로 행하였다.

#### 6. 일반성분 측정

각 시료의 일반성분은 AOAC<sup>20)</sup> 방법에 따라 수분은 105℃ 건조법, 조단백질은 Kjeldahl법으로, 조지방은 시료를 해사와 섞어 예비 건조시킨 후 Soxhlet 법에 의하였으며, 조회분은 직접회화법으로 측정하여 백분율로 나타내었다.

#### 7. pH 및 산도 측정

시료의 pH는 마쇄한 시료 10 g에 70 mL의 증류수(끓인 후 식힌 것)를 가해 homogenizer(polytron 294, Kinematica AG Littau)로 균질화 시킨 후 전체부피를 100 mL로 조정하여 pH meter(microprocessor pH/mV/℃ meter, mode 18417, Hanna Instruments., made in Singapore)를 사용하여 측정하였고<sup>20)</sup>, 산도는 이를 중화하는데 소비되는 0.05 N NaOH 표준용액의 양으로 환산하여 나타내었다.

#### 8. 총아미노산 측정

각 시료의 총아미노산 함량은 생시료 고형분 10 g

을 냉각 아세톤으로 탈수시킨 후 60℃의 dry oven에서 건조시켜 마쇄한 시료 5 mg을 취해 6N-HCl로 가수분해하여 아미노산 자동분석기(Beckman System 6300, USA)로 분석하였다.

#### 9. 무기질 측정

시료의 무기질 함량은 시료 5 g을 정확히 칭량하여 500 mL 비커에 넣고 질산을 50 mL 가한 후 watch glass로 덮고 가열하여 유기물이 완전히 파괴될 때까지 반복하여 분해시키고 분해물이 2 mL 정도 될 때까지 농축시켰다. 여기에 증류수 약 75 mL를 가해 가용성 물질들을 용해시킨 후 실온까지 식히고 50 mL로 정용하여 무기질 분석용 검액으로 하였다. Ca, Mg, Zn, Fe, Cu, Mn, Co는 원자흡수분광기(Hitachi z-8100 Atomic Absorption Spectrophotometer), Na과 K(Varian-Spectro AA 300plus AAS), P(UV-Vis Spectrophotometer)를 사용하여 각각 정량하였다<sup>21)</sup>.

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 미생물의 오염과 감마선 살균효과

돼지고기의 초기 미생물 오염도는 호기성전세균  $1.1 \times 10^4$  CFU/g, 저온성 균  $5.3 \times 10^3$  CFU/g, 대장균군  $3.8 \times 10^3$  CFU/g, *Listeria*  $3.2 \times 10^3$  CFU/g으로 비교적 높은 초기 오염도를 나타내었다(Table 1). 오염미생물에 대한 감마선 살균효과를 살펴보면 호기성전세균의 경우, 비조사군에서는  $1.1 \times 10^4$  CFU/g이 검출되었으나 1 kGy 이상 조사군에서는 검출한계 이하로 사멸되었다. *Listeria*의 경우도 0.5 kGy 조사선량으로 약 1.3 log cycle 정도 감소되었으며, 3 kGy 이상 조사로 완전 사멸 가능하였다. 한편, 대장균군의 경우에는 감마선에 대한 감수성이 높아 0.5 kGy 조사선량으로도 검출한계 이하로 사멸시킬 수 있었고 저온성 균의 경우 검출한계 이하의 사멸을 위해서는 3 kGy 이상의 선량이 요구되었다. Mattison 등<sup>15)</sup>은 육제품의 경우 중온성 균과 저온성 균이 변패를 일으키는 가장 주요한 요인이라 하였으며 진공 포장된 돼지등심을 1 kGy로 감마선을 조사하였을 때, 저온성균과 중온성균,

**Table 1.** Effect of gamma irradiation on the inactivation of microorganisms in pork<sup>1</sup> (unit: CFU/g)

Microorganism	Irradiation dose (kGy)				
	0	0.5	1	3	5
Coliforms	$3.8 \times 10^3$	ND <sup>2</sup>	ND	ND	ND
<i>E. coli</i>	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Salmonella</i>	ND	ND	ND	ND	ND
Total bacteria	$1.1 \times 10^4$	$3.0 \times 10^3$	ND	ND	ND
Psychrophile	$5.3 \times 10^3$	$3.8 \times 10^3$	$5.0 \times 10^2$	ND	ND
<i>Listeria</i>	$3.2 \times 10^3$	$1.8 \times 10^2$	ND	ND	ND

<sup>1</sup>Each value represents the mean of duplicate determinations.

<sup>2</sup>ND: not detected

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

## 2. 저장기간에 따른 미생물 생육 변화

### 1) 호기성전세균

저장중 돼지고기에 오염된 호기성전세균의 생육 변화를 살펴보면, 비조사군의 경우 냉장저장 4주째 초기 부패 단계인  $9.2 \times 10^5$  CFU/g를 나타내었으나 3 kGy 조사군에서는 저장 8주 후에도 비슷한 수준이었다. 또한 5 kGy조사로 저장말기까지  $10^2$  CFU/g 정도의 낮은 수준을 유지하여 조사선량에 따라 호기성전세균의 증식이 현저히 감소됨을 보였다(Table 2). 이 같은 결과는 김과 유<sup>22)</sup>의 냉장돈육에 관한 연구와 유사한 경향이었으며, Ehioba<sup>23)</sup>가 보고한 1 kGy의 조사선량으로 돼지고기 중심의 저장기간에 따른 호기성전세균의 증식을 약 1.5 log cycle 정도 감소시켰다는 결과와도 잘 일치하고 있다. 한편, 냉동저장 시험에서는 감마선조사군과 비조사군 모두 전 저장기간 동안 호기성전세균수의 변화없이 초기수준을 유지하였다(Table 3). 영국의 DOH<sup>24)</sup>와 미국의 HEW<sup>25)</sup>에서는 급식제도를 위한 호기성전세균수의 한계치를  $10^5$  CFU/g으로 제시하였는데, 이 기준치에 따르면 본 실험에서 냉동저장시 6개월까지도 미생물적 안전한 수준으로 간주할 수 있다고 사료된다.

### 2) 저온성균

냉장저장중 돼지고기에 대한 저온성균의 생육 변화는 다음과 같다(Table 4). 비조사군과 0.5 kGy 군에서는 비슷한 수준으로 냉장저장 4주째 초기부패 단계에 도달하여 각각  $6.6 \times 10^7$  CFU/g과  $3.3 \times 10^6$  CFU/g이었고, 저장 8주째 최대를 나타내어  $1.2 \times 10^9$  CFU/g과  $2.5 \times 10^8$  CFU/g 이었다. 반면 1 kGy조사군에서는 저장 4주후에도  $5.7 \times 10^4$  CFU/g으로 미생물학적으로 안전한 수준이었으며, 3 kGy군에서는 냉장저장 8주째  $4.8 \times 10^4$  CFU/g을 나타내었다. 이와 같은 결과는 Ehioba 등<sup>23)</sup>의 연구에서 보고한 저온성균의 초기오염 정도와 비슷한 수준이었으며, 감마선 조사군이 비조사군에 비해 저온성세균의 느린 증식으로 1~2 log cycle 정도의 증식 차이를 보인 결과와 유사하였다. 또한 Mattison 등<sup>15)</sup>도 조사 직후에는 비조사군과 감마선 조사군간의 저온성균수의 차이가 없었으나 저장기간이 경과함에 따라 비조사군은 급격한 증가를 보이는 반면 1 kGy 조사군의 경우 완만히 증가하여 냉장저장 3주째 약 2.5 log cycle 정도의 차이를 나타내었다고 보고하였다. 냉동저장의 경우에는(Table 3) 0.5 kGy와 1 kGy선량으로  $10^2$  CFU/g 수준을 꾸준히 지속하였고 3 kGy군에서는 냉동저장 4개월 후부터 균이 검출되기 시작하여 6개월째  $2.1 \times 10^2$  CFU/g을 나타내어 조사선량에 따른 감균현상을 보였을 뿐 저장기간에 따른 증식패턴은 비슷하였다.

### 3) 대장균군 및 *E. coli*

돼지고기에 오염된 대장균군의 냉장저장중 생육 정도를 살펴보면(Table 2), 비조사군에서는 대장균

**Table 2.** Effect of gamma irradiation on the growth of microorganisms in pork during storage at 5°C<sup>1</sup>

(unit: CFU /g)

Irradiation dose(kGy)	Microorganisms	Storage period (weeks)			
		0	2	4	8
0	Coliforms	$3.8 \times 10^3$	$1.4 \times 10^5$	$2.8 \times 10^6$	$1.4 \times 10^7$
	<i>E. coli</i>	ND <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	<i>Salmonella</i>	ND	$2.7 \times 10^2$	$3.8 \times 10^4$	$9.3 \times 10^6$
	Total bacteria	$1.1 \times 10^4$	$5.2 \times 10^4$	$9.2 \times 10^5$	$7.7 \times 10^7$
	Psychrophile	$5.3 \times 10^3$	$2.6 \times 10^5$	$6.6 \times 10^7$	$1.2 \times 10^9$
	<i>Listeria</i>	$3.2 \times 10^3$	$1.5 \times 10^4$	$8.7 \times 10^4$	$3.3 \times 10^5$
0.5	Coliforms	ND	$1.0 \times 10^2$	$2.5 \times 10^4$	$2.0 \times 10^6$
	<i>E. coli</i>	ND	ND	ND	ND
	<i>Salmonella</i>	ND	ND	$3.5 \times 10^2$	$4.6 \times 10^4$
	Total bacteria	$3.0 \times 10^3$	$4.3 \times 10^4$	$8.5 \times 10^5$	$6.3 \times 10^7$
	Psychrophile	$3.8 \times 10^3$	$1.2 \times 10^5$	$3.3 \times 10^6$	$2.5 \times 10^8$
	<i>Listeria</i>	$1.8 \times 10^2$	$5.0 \times 10^2$	$3.7 \times 10^3$	$7.5 \times 10^3$
1	Coliforms	ND	ND	$1.1 \times 10^4$	$1.9 \times 10^5$
	<i>E. coli</i>	ND	ND	ND	ND
	<i>Salmonella</i>	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	ND	$7.3 \times 10^2$	$4.6 \times 10^4$	$5.7 \times 10^6$
	Psychrophile	$5.0 \times 10^2$	$2.3 \times 10^3$	$5.7 \times 10^4$	$6.4 \times 10^6$
	<i>Listeria</i>	ND	$2.7 \times 10^1$	$1.7 \times 10^2$	$8.1 \times 10^2$
3	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	<i>E. coli</i>	ND	ND	ND	ND
	<i>Salmonella</i>	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	ND	$1.2 \times 10^1$	$7.3 \times 10^3$	$2.9 \times 10^5$
	Psychrophile	ND	$0.6 \times 10^1$	$2.8 \times 10^3$	$4.8 \times 10^4$
	<i>Listeria</i>	ND	ND	ND	ND
5	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	<i>E. coli</i>	ND	ND	ND	ND
	<i>Salmonella</i>	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	ND	ND	$1.1 \times 10^1$	$2.3 \times 10^2$
	Psychrophile	ND	ND	$2.6 \times 10^2$	$1.8 \times 10^3$
	<i>Listeria</i>	ND	ND	ND	ND

<sup>1</sup>Each value represents the mean of duplicate determinations.<sup>2</sup>ND: not detected.

균의 초기 오염균수가  $3.8 \times 10^3$  CFU/g으로 기준치인  $10^2$  CFU/g보다는 높은 수치였고, 냉장저장 4주부터 초기부패 균수인 약  $10^6$  CFU/g을 나타내었다. 반면, 1 kGy 조사균에서는 냉장저장 2주까지 균이 검출되지 않다가 저장 4주후부터 서서히 증식하여 저장말기에는 약  $10^5$  CFU/g 수준이었으며, 3 kGy 이상의 선량에서는 저장기간 내내 대장균균이 검출되지 않았다. 또한 돼지고기는 냉장, 냉동저장

모두에서 *E. coli*가 전혀 검출되지 않았다. 냉동저장 시 대장균균은 비조사균과 0.5 kGy 감마선 조사균 모두 냉동저장 6개월까지도 초기 오염균수와 비슷한 수준으로 더 이상의 증식은 없었으며, 1 kGy 이상의 선량으로 완전 사멸 억제되었다(Table 3).

#### 4) *Salmonella* 및 *Listeria*

*Salmonella*의 저장기간에 따른 생육변화는 다음과

**Table 3.** Effect of gamma irradiation on the growth of microorganisms pork during storage at  $-20^{\circ}\text{C}^1$   
(unit: CFU/g)

Irradiation dose(kGy)	Microorganisms	Storage period (months)			
		1	2	4	6
0	Coliforms	$2.5 \times 10^2$	$2.1 \times 10^2$	$2.3 \times 10^2$	$2.5 \times 10^2$
	<i>E. coli</i>	ND <sup>2</sup>	ND	ND	ND
	<i>Salmonella</i>	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	$1.9 \times 10^3$	$2.6 \times 10^3$	$2.2 \times 10^3$	$2.8 \times 10^3$
	Psychrophile	$6.4 \times 10^3$	$8.5 \times 10^3$	$1.1 \times 10^4$	$1.2 \times 10^4$
	<i>Listeria</i>	$2.0 \times 10^2$	$2.4 \times 10^2$	$1.6 \times 10^2$	$2.1 \times 10^2$
0.5	Coliforms	ND	$1.2 \times 10^2$	$1.1 \times 10^2$	$1.4 \times 10^2$
	<i>E. coli</i>	ND	ND	ND	ND
	<i>Salmonella</i>	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	$1.3 \times 10^3$	$1.2 \times 10^3$	$1.3 \times 10^3$	$1.5 \times 10^3$
	Psychrophile	$3.7 \times 10^2$	$6.5 \times 10^2$	$8.0 \times 10^2$	$1.4 \times 10^3$
	<i>Listeria</i>	$0.5 \times 10^2$	$1.0 \times 10^2$	$0.7 \times 10^2$	$0.5 \times 10^2$
1	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	<i>E. coli</i>	ND	ND	ND	ND
	<i>Salmonella</i>	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	$5.6 \times 10^2$	$5.2 \times 10^2$	$5.6 \times 10^2$	$5.4 \times 10^2$
	Psychrophile	$0.8 \times 10^2$	$1.6 \times 10^2$	$3.7 \times 10^2$	$5.4 \times 10^2$
	<i>Listeria</i>	ND	ND	ND	ND
3	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	<i>E. coli</i>	ND	ND	ND	ND
	<i>Salmonella</i>	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	$1.5 \times 10^2$	$1.7 \times 10^2$	$1.2 \times 10^2$	$1.5 \times 10^2$
	Psychrophile	ND	ND	$1.8 \times 10^2$	$2.1 \times 10^2$
	<i>Listeria</i>	ND	ND	ND	ND
5	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	<i>E. coli</i>	ND	ND	ND	ND
	<i>Salmonella</i>	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	ND	ND	ND	ND
	Psychrophile	ND	ND	ND	ND
	<i>Listeria</i>	ND	ND	ND	ND

<sup>1</sup>Each value represents the mean of duplicate determinations.<sup>2</sup>ND: not detected.

같다(Table 2, 3). 저장초기 신선한 상태의 비조사군에서 *Salmonella*는 검출되지 않았으나 냉장저장 2주후부터 서서히 증식하여 저장 8주째  $9.3 \times 10^6$  CFU/g의 높은 오염도를 나타내었다. 반면, 1 kGy의 저선량 조사로도 완전 사멸되어 전 저장기간 동안 균이 검출되지 않았다. *Salmonella* spp.를 비롯한 장내 병원성 세균은 일반적으로 감마선 저항성이 약하여 종에 따라 차이는 있지만  $D_{10}$  값이 1 kGy 정

도로 알려지고 있다<sup>26)</sup>. 한편, 냉동저장은 감마선 조사군과 비조사군 모두 초기의 무균상태를 지속하여 전 저장기간 동안 *Salmonella*의 오염을 보이지 않았다. 따라서 식품을 냉동시켜서 저장을 하게 되면 세균의 성장은 억제되며 저장시 감마선 조사와 냉동의 병용처리는 새우, 육, 가금육과 같은 식품에서 *Salmonella*를 제거하기 위한 매우 적절한 방법이라고 제시되고 있다<sup>27)</sup>. 한편, *Listeria*는 비교적 높은 초기

오염도를 나타내었는데, 1 kGy 조사로 조사 직후에는 균이 검출되지 않았으나 냉장저장 2주후부터 서서히 증식하여 8주째에  $8.1 \times 10^2$  CFU/g 수준에 도달하였고, 3 kGy 이상 조사로 완전 사멸되었다 (Table 2). 냉동저장시에는 비조사균의 초기균수가  $2.1 \times 10^2$  CFU/g로 저장 6개월까지 더 이상의 균의 증식은 없었으며 1 kGy 선량으로 조사 직후 사멸상태를 저장말기까지 지속하여 균이 검출되지 않았다 (Table 3).

### 5) 일반성분 변화

감마선 조사선량과 저장기간에 따른 돼지고기의 일반성분의 변화는 Table 4와 같다. 신선한 상태(0주)의 돼지고기의 일반성분은 수분함량이 약 75%, 조단백이 약 30%, 조지방이 약 6.5%, 조회분이 약 1.1% 정도였고, 냉장 2주 후에는 각각 72.6%, 29.8%, 6.3%, 1.0%였으며, 냉장 4주 후에는 72.1%, 29.8%, 6.0%, 1.0%로 저장기간에 따른 변화는 거의 없었으며 수분함량의 경우만이 저장기간에 따라 다소 감소됨을 보였고, 냉동저장의 경우에도 유사한 양상을 나타내었다. 이는 Brewer와 Harbers<sup>28)</sup>의 냉동 돼지고기의 수분함량이 저장기간에 따라 감

소한다는 보고와 일치하고 있으며 김 등<sup>29)</sup>의 진공 포장한 냉장육의 저장성에 관한 연구에서의 일반성분 조성과도 비슷한 결과를 나타내었다. 또한 감마선 조사시료와 비조사시료 간에도 일반성분의 차이는 나타나지 않았다.

### 6) pH 및 산도 변화

감마선 조사와 저장기간에 따른 pH 변화를 살펴 보면 초기 pH는 조사선량에 관계없이 약 6.0으로 감마선 조사 직후에는 비조사균이나 감마선 조사균 간에 변화를 나타내지 않았으나 냉장의 경우 저장기간이 경과함에 따라서 모든 시험군에서 pH값이 증가하는 경향을 보였다 (Table 5). 이 같은 결과는 pH 변화에 대한 김 등<sup>30)</sup>의 연구에서 우육을 냉장저장하였을 때 저장초기 pH값 5.5에서 점차 상승한다고 하여 본 실험의 결과와 일치하였고, Dahl<sup>31)</sup>의 저장기간이 경과함에 따라 쇠고기 주성분인 단백질이 암모니아, 인돌 등의 알칼리성 물질 등으로 분해되면서 pH가 상승한다는 보고와 일치하였다. 냉동저장시 비조사균의 경우 저장기간에 따라 다소 감소하는 경향으로, 초기 pH 6.0에서 5.9이었으며 감마선 조사균의 경우에는 저장기간에 따른 뚜렷한 변화

**Table 4.** Changes in proximate composition of nonirradiated and irradiated pork during storage at 5°C and -20°C<sup>1</sup>

Sample Component (%)	Irradiation dose(kGy)	Storage period				
		5°C (weeks)			-20°C (months)	
		0	2	4	1	6
Moisture	0	75.8	72.6	72.0	72.5	72.1
	1	71.9	71.8	71.6	71.2	70.8
	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
Pork 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

<sup>1</sup>Each value represents the mean of duplicate determinations.

**Table 5.** Changes in pH of nonirradiated and irradiated pork during storage at 5°C and -20°C<sup>1</sup>

Sample	Irradiation dose(kGy)	Storage period							
		5°C (weeks)				-20°C (months)			
		0	2	4	8	1	2	4	6
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

<sup>1</sup>Each value represents the mean of duplicate determinations.**Table 6.** Changes in acidity of nonirradiated and irradiated pork during storage at 5°C and -20°C<sup>1</sup>

Sample	Irradiation dose(kGy)	Storage period							
		5°C (weeks)				-20°C (months)			
		0	2	4	8	1	2	4	6
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

<sup>1</sup>Each value represents the mean of duplicate determinations and expressed as titration mL 0.05 N NaOH.**Table 7.** Changes in total amino acid of nonirradiated and irradiated pork during storage at 5°C and -20°C<sup>1</sup>

Amino acids	Storage at 5°C (weeks)						Storage at -20°C (months)					
	0			4			1			6		
	0kGy	1kGy	3kGy	0kGy	1kGy	3kGy	0kGy	1kGy	3kGy	0kGy	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	ND <sup>2</sup>	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	5,357	5,550	3,995	4,845	5,215	4,535	5,350	4,995	4,485	4,590	4,140	3,055

<sup>1</sup>Each value represents the mean of duplicate determinations and expressed  $\mu\text{M g}^{-1}$ (dry weight basis)<sup>2</sup>ND: not detected.



를 나타내지 않았다. 따라서 저장온도에 있어 냉동저장이 냉장저장에 비해 pH 변화가 완만함을 알 수 있으며, 냉동저장중 pH의 감소는 시료의 지방질 성분이 산화되어 생성된 유리지방산의 영향으로 보고되고 있다<sup>32)</sup>. 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 6). 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.

#### 7) 총아미노산 함량 및 무기질 조성 변화

감마선 조사 및 저장기간이 돼지고기의 총아미노산 조성에 미치는 영향을 조사한 결과는 다음과 같다(Table 7). 총아미노산중 저장초 가장 많이 검출된 것은 glutamic acid와 lysine이었고 반면 asparagine, glutamine 등은 검출되지 않았는데, 이는 glutamin과 asparagine의 경우 산가수분해시 amino기가 떨어져 glutamic acid와 aspartic acid로 정량되었기 때문으로 생각된다. 또한 저장기간에 따른 총아미노산의 함량 변화는 미비하였으며 감마선 조사에 따른 변화도 냉장, 냉동저장 모두가 커다란 차이를 나타내지 않았다. 본 실험에서와 같이 실제로 식품에서도 단백질 중의 아미노산이 감마선의 영향을 받기 어려운 상태로 존재하고, 따라서 감마선에 의한 분해는 거의 일어나지 않으며, 조사결과 생성된 free radical도 비교적 움직이기 힘든 상태로 있기 때문에 단백질 내에서 재결합이 일어나기 쉽고 보고되고 있다<sup>33)</sup>. 또한, 단백질 중의 아미노산은 감마선에 의한 손상이 극히 적어, 50 kGy까지의 고선량을 조사해도 아미노산 조성은 거의 변화하지 않는다는 연구도 많이 보고되고 있다<sup>34, 35)</sup>. 돼지고기의 주요 무기질 성분으로는 potassium, phosphorus, sodium, magnesium의 순으로 높게 함유되었고 감마선 조사에 의한 성분변화는 없었다. 또한, 가장

**Table 8.** Changes in selected mineral of nonirradiated and irradiated porks during storage at 5°C and -20°C<sup>1</sup>

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

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

적게 검출된 무기질 성분은 Co였으며, 그 외의 모든 무기질 성분은 시료간에 거의 차이가 없는 유사한 함량이었다(Table 8). Quaranta 등<sup>36)</sup>, Urbain 등<sup>37)</sup>에 의하면 감마선 조사에 대한 식품의 무기질 성분은 매우 안정하다고 보고하고 있다. 한편, 본 실험에서 다소의 함량 차이는 다량 시료 취급시 육의 부위별 차이에서 기인된 것으로 무시해도 좋을 것으로 사료된다.

## 요 약

이상의 결과로 돼지고기는 비교적 미생물 오염도

가 낮아 1 kGy 조사로 저온성 미생물을 제외한 오염미생물의 생육을 검출한계 이하로 감소시킬 수 있었으며 모든 오염미생물의 살균을 위해서는 3 kGy의 선량이 요구되었다. 감마선 조사와 저장기간에 따른 일반성분 변화의 경우 수분함량에 있어서만이 저장기간에 따라 다소 감소되었으며, pH 및 산도는 감마선 조사에 의한 영향은 없었으나 저장기간이 경과함에 따라 pH는 증가하고 산도는 감소하는 경향을 보였다. 총아미노산 조성에서는 가장 많이 검출된 것이 glutamic acid였고, 저장기간에 따른 함량 변화는 거의 없었으며 감마선 조사에 의한 영향도 매우 미비하였다. 무기질 함량의 경우 주요 무기질 성분으로 potassium, phosphorus, sodium, magnesium 순이었고 감마선 조사에 의한 조성변화는 없었다.

### 참고문헌

1. 농수산부 농림통계 연보, 1981-1988.
2. 축산조사계보: 축산물자료 및 수급자료, 축산업 협동조합 중앙회, 1996.
3. Winger, R. J. and Fennema, O.: Tenderness and water holding properties of beef muscle as influenced by freezing and subsequent storage at  $-3$  or  $150^{\circ}\text{C}$ . J. Food Sci., 41, 1433, 1976.
4. Yamamoto, K. and Samejima, K.: A comparative study of the change in hemipectoralmuscle during storage at  $4^{\circ}\text{C}$  and  $-2^{\circ}\text{C}$ . J. Food Sci., 42, 1642, 1977.
5. 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.
6. 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. J. Food Sci., 57, 558, 1992.
7. 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, 3, 1988.
8. Surve, A. V., Sherkar, A. T., Bhiegaonokar, K. N. and Karkare, U. D.: Preservative effect of combination of acetic acid with acetic acid or propionic acid on buffalo meat stored at refrigeration temperature. Meat Sci., 29, 309, 1991.
9. Papadopoulos, L. S., Miller, R. K., Ringer, L. J. and Cross, M. R.: Sodium lactate effect on sensory characteristic, Cooked Meat Color and Chemical Composition. J. Food Sci., 56(3): 621, 1991.
10. WHO: Wholesomeness of irradiation food (Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Export Committee), Technical Report Series-659: 7, 1981.
11. 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 Colombo., November 1980, Vienna, IAEA., p. 265, 1981.
12. Thayer, D. W. and Boyd, G.: Elimination of *Escherichia coli* O157: H7 in meats by gamma irradiation. Appl. Environ. Microbiol., 59, 1030, 1993.
13. Thayer, D. W.: Extending shelf-life of poultry and red meat by irradiation processing. J. Food Prot., 56, 831, 1993.
14. Shay, B. J., Egan, A. F. and Wills, P. A.: The use of irradiation for extending the storage life of fresh and processed meats. Food Technol. Aust., 40, 310, 1988.
15. 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 characteri-

- stics and fat stability. *J. Food Sci.*, 51, 284, 1986.
16. Pszczola, D.: Irradiated produce reaches midwest market. *Food Technol.* 5, 59, 1992.
  17. Robert, D.: Sources of infection, *Food, Cancer*, p 336, 1990.
  18. Ebgel, R. E., Post, A. R. and Post, R. C.: Implementation of irradiation of pork for trichina control. *Food Technol.*, 42(7), 71, 1988.
  19. APHA: Compendium of methods for the microbiological examination of foods, M. Speck(ed), Americal Public Health Association, Washington, D.C, 1976.
  20. AOAC Methods of Analysis, 13th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C, 1980.
  21. Osborne, D. R. and Voogt, P.: The analysis of nutrients in food., Academic Press, London, 1981.
  22. Kim, Y. S. and Yoo, I. J.: Effects of sanitary treatment of port cut surface on shelf-life of chilled pork, *Korean J. Anim, Sci.*, 36(4), 403, 1994.
  23. 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.
  24. Department of Health.: Chilled and frozen guidlines on cook-chil and cook-freeze catering system, London, 1989.
  25. Department of Health.: Education and welfare public health service, DHEW, Pub, No (FDA), 79~208, U.S. Govt, Printing Office, Washington, D.C. 1978.
  26. Technical Reports Series Noll4.: Training manual on food irradiation technology and techniques, second edition, IAEA., Vienna, p.43, 1982.
  27. 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.
  28. 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.
  29. 김용봉, 김용수, 노정해, 성기승, 윤철석, 이남형.: 진공포장된 수입냉장우육의 저장성에 관한 연구, *한국축산학회지*. 38(4): 411, 1996.
  30. 김천재.: 한우육의 고품질화를 위한 냉장, 냉동 저장에 관한 연구, 냉동, 냉장에 따른 육색, 근 절길이, 연도의 변화, *한국축산학회지*. 14, 151, 1994.
  31. Dahl, Q.: Decomposition of starch in sausage products, *Food Research.*, 23: 161, 1957.
  32. 日本 厚生省: 食品衛生検査指針 1. 日本 厚生省, 1960.
  33. Liebster, J. and Kopoldova, J.: The radiation chemistry of amino acids. *Advances in Radiation Biology*, 1, 157, 1964.
  34. 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.
  35. 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.
  36. 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.
  37. Urbain, W. M.: *Food Irradiation*, Academic Press, New York, p. 273, 1987.