

감마선을 이용한 한우육의 위생화와 품질보존

곽희진 · 강일준*

동해대학 관광외식산업학과, *한림대학교 생명과학부

Irradiation of Korean Beef for the Improvement of Hygienics and Quality Preservation

Hee-Jin Kwak and Il-Jun Kang*

Department of Tourism and Food Service Industry, Tonghae University,

*Division of Life Sciences, Hallym University

Abstract

Gamma irradiation(1~5 kGy) was applied to Korean beef to improve the hygienics and quality preservation. The effective dose of irradiation was 3 kGy for the sterilization of the initially contaminated microorganisms. After 8 weeks of storage at 5°C, no growth of the microorganisms were observed in the samples irradiated above 5 kGy. The pH was slightly increased as storage period increased. However, no significant change in pH was observed by gamma irradiation. The acid value of beef during storage at 5°C was increased rapidly with the elapse of the storage period in both nonirradiated and irradiated samples, but that of the 3 kGy irradiated samples increased more slowly than the nonirradiated. VBN value increased more rapidly in nonirradiated sample than the irradiated during storage. Especially VBN value of the nonirradiated sample was four fold higher than that of the 3 kGy irradiated sample after 8 weeks of storage at 5°C. No significant differences in the components of fatty acid were observed by gamma irradiation. The amount of released free amino acid was increased during storage and was not significantly affected by gamma irradiation.

Key words : Korean beef, gamma irradiation, hygienic quality

서 론

육류는 도살과정의 비위생화와 복잡한 유통과정 및 원활하지 못한 수급과정으로 인하여 쉽게 변질될 수 있으며, Shelf-life가 짧아 선도유지가 어려운 단점을 지니고 있다⁽¹⁾. 이러한 현상은 특히 하절기에 일어나기 쉬워 계절성 또한 무시할 수 없으며, 미생물의 증식이 주된 원인으로 초기 미생물 오염도는 육류의 저장성을 결정짓는 중요한 요소로 작용한다⁽²⁾. 더욱이 1997년부터 냉장육 수입의 허용으로 수입육에 대한 한우육의 경쟁력 제고를 위하여 냉장 육의 장기 저장 방안의 확립 마련이 매우 시급한 실정에 있다⁽³⁾. 이러한 육고기의 품질보존을 위하여 최근 육제품의 저장에 이용되고 있는 감마선조사는 이미 국제적으로 타당성이 인정되어 실용화되고 있을 뿐 아니라(38개국, 200여품

목) 이에 관한 연구도 활발히 이루어져 Mattison 등⁽⁴⁾은 저 선량(100 Krad)으로 조사된 돼지고기 가공품의 관능평가와 미생물증식 억제 및 지질산패 등에 관한 연구결과에서 저선량의 감마선조사는 중온성, 저온성 부패균의 증식억제에 매우 효과적이며, 관능검사 및 지질산패에 거의 영향을 주지 않는다고 보고한 바 있다. 또한 Dickson과 Maxcy⁽⁵⁾는 발효 소시지를 만들기 위한 고기반죽에 500 Krad의 방사선을 조사함으로써, 호기성 전 세균과 대장균군 및 *Staphylococcus*의 증식을 공중보건 개념의 최저수치까지 억제시킬 수 있었다고 보고하였다. 한편, 최근에는 식품의 무균화에 대한 연구도 활발히 진행되고 있으나⁽⁶⁾ 이러한 연구의 대부분이 미국, 일본 등에서 수행된 내용이며 국내에서는 아직 육류의 감마선 이용에 대한 체계적 연구가 진행되어 있지 않은 실정이다. 따라서 본 연구는 국내에서 이미 식품 위생법 시행령(대통령령 제 11,717호, 1985. 6)으로 공포되어 있는 감마선 식품저장 방법을 이용하여 조사선량과 저장기간에 따른 한우육의 미생물학적, 이화학적 품질변화를 조사하였다.

Corresponding author : Il-Jun Kang, Division of Life Sciences, Hallym University, 1 Okchon-dong, Chunchon 200-702, Korea
Tel : 82-361-240-1478
Fax : 82-361-255-4787
E-mail : ijkang@sun.hallym.ac.kr

재료 및 방법

시료 및 감마선 조사

실험에 사용한 쇠고기는 암수 구별 없이 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 감마선조사 시료로 사용하였다. 감마선 조사는 상업적 다목적용 감마선조사시설(선원 570,000 Ci Co-60, 그린피아기술 주식회사)을 사용하여 쇠고기 시료를 ice box에 담아 시간당 0.7 kGy의 선량률로 0.5, 1, 3, 5 kGy를 조사하였으며, ceric cerous dosimeter(USA)를 사용하여 총 흡수선량을 확인하였다. 감마선 조사된 시료는 비조사구와 함께 냉장(5°C), 냉동(-20°C)저장하면서 저장기간별로 실험에 사용하였다.

미생물 시험용액 제조

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

호기성 전세균 및 저온성 세균수

APHA표준방법⁽⁷⁾에 따라 plate count agar를 사용하였다. 3차 증류수 900 mL에 plate count agar(Merck) 20.25 g을 넣은 후 hot plate에서 stirring하면서 혼합하였다. Autoclaving(121°C, 15min)한 후 50°C water bath에서 냉각시켜 petri dish에 부어 고화시킨 후, 시험용액을 0.1 mL씩 적하도포하였다. 이때 호기성 전세균은 35°C에서 2일간, 저온성 세균은 7°C에서 10일간 배양한 후 집락을 계수하였다.

대장균군 및 *Escherichia 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°C로 냉각하여 petri dish에 부어 고화시켰다. 여기에 시험용액을 0.1 mL씩 적하도포한 후 35~37°C에서 24시간 배양한 다음 분홍색 또는 빨간색은 coliforms로 흑청색 또는 보라색은 *E. coli*로 집락을 계수하였다.

Salmonella 및 *Listeria*

Salmonella spp.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°C의 water bath에서 가능한 빨리 냉각시켜 petri dish에 부어 고화시켰다. 시험용액 0.1 mL를 적하도포하여 35°C에서 18-48시간 배양한 다음 적색의 집락을 계수하였으며, *Listeria* spp.는 Palcam *Listeria* selective agar(Merck)를 사용하여 같은 방법으로 행하였다.

pH 및 지질산가 측정

시료의 pH는 마쇄한 시료 10 g에 70 mL의 증류수를 가해 homogenizer(polytron 294, Kinematica AG Littau)로 균질화시킨 후 전체부피를 100 mL로 조정하여 pH meter(mode 18417, Hanna Instruments)를 사용하여 측정하였고, 지질산가는 유지시료 5 g을 취해 ethylether와 ethanol 혼합액(1:2, v/v) 100 mL를 가한 다음 완전히 용해시킨 후 페놀프탈레인을 지시약으로 0.1 N KOH ethanol 표준용액을 적정하여 산출하였다⁽⁸⁾.

휘발성 염기태질소(volatile basic nitrogen) 측정

마쇄한 시료 10 g을 취하여 증류수 30 mL과 20% trichloroacetic acid 10 mL를 가한 후 homogenizer를 사용하여 균질화한 다음 전체부피를 100 mL로 조정하였다. 10분간 방치한 후 여과지로 여과하여 여액 1 mL을 conway unit 확산용기 외실에 넣고, 내실에 0.01 N H₃BO₃ 1 mL과 conway시약 1 mL을 넣은 다음 탄산칼륨 포화용액 1 mL을 외실에 주입하고 밀폐시킨 후 37°C에서 80분간 방치하였다. 내실의 붕산용액을 0.02 N H₂SO₄ 표준용액으로 적정하여 휘발성 염기태질소 함량을 산출하였다⁽⁹⁾.

지방산 측정

지방질의 추출은 Bligh와 Dyer⁽¹⁰⁾의 방법으로 추출, 정제하였다. 지방산의 분석은 Morrison과 Smith⁽¹¹⁾의 방법에 준하여 지방 0.2 g을 취해 0.5 N NaOH-methanol 용액 3 mL를 가하여 질소가스로 치환, 밀봉하여 100°C에서 5분간 끓인 후 찬물에 냉각하였다. 여기에 BF₃ 4 mL을 첨가하여 100°C에서 30분간 끓인 후 냉각시켜 2 mL의 hexan을 가하고 질소가스로 치환하였다. 포화 NaCl 10 mL을 넣은 후 상층액을 취하여 Gas chromatography(Hewlett Packard 5890)로 분석하였다.

유리아미노산 측정

각 시료의 유리아미노산은 시료 10 g에 증류수 20 mL를 가하여 균질화한 다음 sulfosalicylic acid 1.5 g을 가하여 1시간 정도 단백질을 침전시킨 후 원심분리 하

Table 1. Effect of gamma irradiation on the inactivation of microorganisms in beefs¹⁾

(unit: CFU/g)

Microorganism	Irradiation dose (kGy)				
	0	0.5	1	3	5
Coliforms	2.0×10 ²	ND ²⁾	ND	ND	ND
<i>E. coli</i>	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Salmonella</i> spp.	ND	ND	ND	ND	ND
Total bacteria	3.0×10 ²	1.0×10 ²	ND	ND	ND
Psychrophiles	1.5×10 ³	6.0×10 ²	5.5×10 ²	ND	ND
<i>Listeria</i> spp.	4.2×10 ³	1.7×10 ²	ND	ND	ND

¹⁾Each value represents the mean of triplicate determinations.

²⁾ND: not detected.

Table 2. Effect of gamma irradiation on the growth of microorganisms in beefs during storage at 5°C¹⁾

(unit: CFU/g)

Irradiation dose(kGy)	Microorganisms	Storage period (weeks)			
		0	2	4	8
0	Coliforms	2.0×10 ²	2.4×10 ⁴	1.7×10 ⁵	1.2×10 ⁶
	<i>E. coli</i>	ND ²⁾	5.0×10 ²	1.0×10 ³	7.5×10 ³
	<i>Salmonella</i> spp.	ND	1.7×10 ³	2.0×10 ³	2.0×10 ⁴
	Total bacteria	3.0×10 ²	4.6×10 ³	6.3×10 ⁵	1.2×10 ⁷
	Psychrophiles	1.5×10 ³	1.3×10 ⁵	4.2×10 ⁶	3.1×10 ⁸
	<i>Listeria</i> spp.	4.2×10 ³	8.4×10 ³	1.5×10 ⁴	4.0×10 ⁵
0.5	Coliforms	ND	ND	1.1×10 ⁴	2.8×10 ⁵
	<i>E. coli</i>	ND	ND	ND	ND
	<i>Salmonella</i> spp.	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	1.0×10 ²	6.3×10 ³	5.1×10 ⁴	9.2×10 ⁶
	Psychrophiles	6.0×10 ²	2.2×10 ³	2.3×10 ⁶	0.5×10 ⁸
	<i>Listeria</i> spp.	1.7×10 ¹	2.5×10 ²	4.6×10 ³	1.7×10 ⁴
1	Coliforms	ND	ND	2.2×10 ²	5.6×10 ³
	<i>E. coli</i>	ND	ND	ND	ND
	<i>Salmonella</i> spp.	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	ND	7.5×10 ¹	4.2×10 ²	8.1×10 ⁴
	Psychrophiles	5.5×10 ²	1.6×10 ³	5.8×10 ³	6.2×10 ⁵
	<i>Listeria</i> spp.	ND	1.5×10 ²	9.2×10 ²	5.5×10 ³
3	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	<i>E. coli</i>	ND	ND	ND	ND
	<i>Salmonella</i> spp.	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	ND	ND	ND	2.7×10 ³
	Psychrophiles	ND	0.4×10 ¹	4.2×10 ²	5.1×10 ⁵
	<i>Listeria</i> spp.	ND	ND	ND	ND
5	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	<i>E. coli</i>	ND	ND	ND	ND
	<i>Salmonella</i> spp.	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	ND	ND	ND	ND
	Psychrophiles	ND	ND	ND	1.5×10 ²
	<i>Listeria</i> spp.	ND	ND	ND	ND

¹⁾Each value represents the mean of triplicate determinations.

²⁾ND: not detected.

였다. 상층액을 membrane filter로 여과하여 LiOH로 pH를 2.0으로 조정 한 후 아미노산 자동분석기(Beckman system 6300, USA)로 분석하였다.

결과 및 고찰

미생물의 오염과 감마선 살균효과

쇠고기의 초기 미생물의 오염도는 호기성 전 세균 3.0×10² CFU/g, 저온성균 1.5×10³ CFU/g, 대장균군 2.0×10² CFU/g, *Listeria* spp. 4.2×10³ CFU/g으로 비교적 높은 초기 오염도를 나타내었다(Table 1). Frederick과 Paul⁽¹²⁾은 시판 인스턴트 쇠고기 제품(precooked-sliced beef roll)중에 *Listeria monocytogenes*의 경우 1.9×10⁵ CFU/g이 검출되었다고 보고하

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

Irradiation dose(kGy)	Microorganisms	Storage period (months)			
		1	2	4	6
0	Coliforms	2.2×10 ²	2.6×10 ⁴	2.5×10 ²	2.5×10 ²
	<i>E. coli</i>	1.5×10 ²	ND	ND	ND
	<i>Salmonella</i> spp.	ND ²⁾	ND	ND	ND
	Total bacteria	5.1×10 ³	5.2×10 ³	5.2×10 ³	5.4×10 ³
	Psychrophiles	2.1×10 ⁴	2.3×10 ⁴	3.2×10 ⁴	3.5×10 ⁴
	<i>Listeria</i> spp.	2.2×10 ²	2.4×10 ²	2.5×10 ²	2.4×10 ²
0.5	Coliforms	1.5×10 ²	1.4×10 ²	1.2×10 ²	1.2×10 ²
	<i>E. coli</i>	ND	ND	ND	ND
	<i>Salmonella</i> spp.	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	4.8×10 ³	4.8×10 ³	5.0×10 ³	5.0×10 ³
	Psychrophiles	2.1×10 ³	3.6×10 ³	5.5×10 ³	5.7×10 ³
	<i>Listeria</i> spp.	1.3×10 ¹	1.5×10 ¹	1.6×10 ¹	1.5×10 ¹
1	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	<i>E. coli</i>	ND	ND	ND	ND
	<i>Salmonella</i> spp.	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	1.0×10 ³	1.0×10 ³	1.2×10 ³	1.1×10 ³
	Psychrophiles	3.5×10 ²	5.1×10 ²	6.7×10 ²	8.0×10 ²
	<i>Listeria</i> spp.	ND	ND	ND	ND
3	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	<i>E. coli</i>	ND	ND	ND	ND
	<i>Salmonella</i> spp.	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	2.0×10 ²	1.5×10 ²	1.1×10 ²	0.7×10 ²
	Psychrophiles	ND	ND	ND	ND
	<i>Listeria</i> spp.	ND	ND	ND	ND
5	Coliforms	ND	ND	ND	ND
	<i>E. coli</i>	ND	ND	ND	ND
	<i>Salmonella</i> spp.	ND	ND	ND	ND
	Total bacteria	ND	ND	ND	ND
	Psychrophiles	ND	ND	ND	ND
	<i>Listeria</i> spp.	ND	ND	ND	ND

¹⁾Each value represents the mean of triplicate determinations.

²⁾ND: not detected.

여 육가공품의 *Listeria* 오염이 심각함을 시사한 바 있다. 오염미생물에 대한 감마선 조사의 살균효과를 살펴보면, 호기성 전 세균의 경우 비조사군에서는 3.0×10² CFU/g이 검출되었으나 1 kGy 이상 조사군에서는 검출한계 이하로 사멸되었고, 저온성균은 감마선 감수성이 비교적 낮아 1 kGy 조사로 0.6 log cycle 정도만의 감소를 보였다(Table 1). *Listeria* spp.의 경우에는 비조사군이 4.2×10³ CFU/g을 나타내었던 것이 0.5 kGy의 조사로 약 1.5 log cycle 정도 감소된 1.7×10² CFU/g을 나타내었다. 또한 대장균군의 경우도 0.5 kGy의 낮은 조사선량으로도 완전사멸 가능하였다(Table 1). Dickson과 Maxey⁽⁵⁾도 상업용 발효소시지 제조시 고기 반죽에 감마선 조사를 한 결과 호기성 전 세균은 2 kGy 조사로 약 1.3 log cycle이 감균 되었으며, 5 kGy 조사선량에서는 2.2 log cycle 감소되었고 대장균군의 경우에는 검출한계 이하로 사멸되었다고 보고하고 있다.

저장기간에 따른 미생물 생육 변화

저장중 쇠고기에 오염된 호기성 전 세균의 생육변화를 살펴보면, 비조사군의 경우 냉장저장에서 저장 2주째 4.6×10³ CFU/g정도였으며, 1 kGy의 조사시료는 저장 4주후에 4.2×10² CFU/g, 3 kGy 조사 군에서는 저장 8주후에 10³ CFU/g 내외의 생육상태를 보여 조사직전의 세균수와 비슷하였으나, 관능적으로는 초기 부패현상을 감지할 수 있었다(Table 2). 이에 대해 Rhodes⁽¹³⁾는 3~5 kGy 이상의 조사로서 40일 정도의 냉장은 미생물학적 저장성(microbiological shelf-life)을 연장시킨다 하더라도 25일 이후에는 효소적으로 불안정하다고 설명하고 있다. 냉동저장 시험에서도 3 kGy 조사는 저장 6개월 후 0.7×10² CFU/g의 수준을 나타내었고, 5 kGy 조사군에서는 완전 사멸되어 저장말기까지 호기성 전 세균이 검출되지 않았다(Table 3).

저온성균의 냉장중 오염상태는 Table 2와 같이 비조

Table 4. Changes in pH of nonirradiated and irradiated beefs during storage at 5 and -20°C¹⁾

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

¹⁾Each value represents the mean of triplicate determinations.

Table 5. Changes in acid value of nonirradiated and irradiated beefs during storage at 5 and -20°C¹⁾

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

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

사균의 경우 초기오염도가 1.5×10^3 CFU/g이었으나 저장기간이 경과함에 따라 생육이 급속히 증식되어 냉장저장 4주째에 초기부패 단계인 4.2×10^6 CFU/g에 도달하였으며, 저장 8주후에는 3.1×10^8 CFU/g를 나타내었다. 반면, 1 kGy군과 3 kGy군에서는 냉장저장 4주째까지도 비조사균의 초기오염도와 비슷한 수준이거나 그 이하를 유지하였다. Lefebvre 등⁽¹⁴⁾도 1 kGy의 조사로 저온성균을 약 0.7 log cycle 정도 감소시킬 수 있으며, 저장기간에 따른 증식도 현저히 감소시킬 수 있다고 보고하고 있다. 냉동저장의 경우(Table 3), 비조사균은 전 저장기간에 걸쳐 10^4 CFU/g수준을 유지하였고, 3 kGy 이상에서는 저장말기까지 저온성 균은 검

출되지 않았다.

쇠고기에 오염된 대장균군의 냉장저장 중 생육정도를 살펴보면(Table 2), 비조사균은 저장초기 2.0×10^2 CFU/g로 비교적 낮은 수치의 오염도를 나타내었으며 저장 8주후에 비로소 초기부패 단계인 1.2×10^6 CFU/g에 도달하였다. 한편, 대장균군은 일반적으로 감마선 감수성이 높아 저선량 조사에 의해서도 사멸이 가능하여 0.5 kGy이상의 조사로 완전 사멸되어 전 저장기간에 걸쳐 균이 검출되지 않았다. 냉동저장 시험의 경우에도 1 kGy이상에서는 균이 검출되지 않았다(Table 3).

Fig. 1. VBN contents of nonirradiated and irradiated beefs during storage at 5°C.

Fig. 2. VBN contents of nonirradiated and irradiated beefs during storage at -20°C.

Table 6. Changes in fatty acid composition of nonirradiated and irradiated beefs during storage at 5°C¹⁾ (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	28.80	28.27	28.23	28.41	28.91	27.85	27.28	29.33	29.12	28.00	25.66	28.57
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	13.42	13.26	13.33	12.63	12.97	13.59	13.97	13.78	14.85	13.83	11.67	13.93
18:1	41.82	42.49	43.03	43.50	43.01	43.17	42.91	42.40	41.82	42.64	49.89	42.22
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 ²⁾	46.19	43.41	45.34	44.85	43.77	45.10	45.04	44.98	47.26	45.67	39.09	46.72
PUFA ³⁾	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 ⁴⁾	0.13	0.14	0.12	0.11	0.11	0.13	0.14	0.11	0.11	0.13	0.13	0.11

¹⁾Each value represents the mean of duplicate determinations.²⁾SFA: Total saturated fatty acids. ³⁾PUFA: Total polyunsaturated fatty acids.⁴⁾P/S: The ratio of PUFA to SFA.**Table 7. Changes in fatty acid composition of nonirradiated and irradiated beefs during storage at -20°C¹⁾** (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	28.49	27.80	28.69	27.27	28.47	28.50	28.19	28.50	28.67	28.13	27.05	28.14
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	43.51	42.63	43.33	43.55	42.16	42.55	43.05	42.73	42.87	42.62	43.17	42.90
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 ²⁾	45.37	43.49	45.17	44.60	43.54	45.68	44.75	43.62	45.95	45.39	41.89	45.41
PUFA ³⁾	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 ⁴⁾	0.10	0.14	0.11	0.13	0.14	0.12	0.12	0.13	0.11	0.13	0.16	0.12

¹⁾Each value represents the mean of duplicate determinations.²⁾SFA: Total saturated fatty acids. ³⁾PUFA: Total polyunsaturated fatty acids.⁴⁾P/S: The ratio of PUFA to SFA.

Salmonella spp.는 저장초기 신선한 상태의 비조사균에서는 검출되지 않았으나 냉장저장 2주째부터 비교적 서서히 증식하여 저장 8주째 2.0×10^4 CFU/g 수준에 도달하였다. 반면 0.5 kGy의 저선량 조사로 완전 사멸되어 전 저장기간 동안 균이 검출되지 않았다(Table 2). 냉동저장의 경우에는 감마선 조사균과 비조사균 모두 저장말기까지 *Salmonella*의 오염을 나타내지 않았다(Table 3). *Salmonella* spp.를 비롯한 장내 병원성 세균

은 일반적으로 감마선 저항성이 약하여 종에 따라 차이는 있지만 D_{10} 값이 1 kGy정도로 알려져 있다⁽¹⁵⁾.

한편, *Listeria* spp.는 비교적 높은 초기오염도를 나타내었는데, 1 kGy 조사직후에는 균이 검출되지 않았으나 냉장저장 2주후부터 서서히 증식하여 저장 8주 후 5.5×10^3 CFU/g을 나타내었고, 3 kGy 이상 조사로 완전 사멸되었다(Table 2). 냉동저장시에는 비조사균의 경우 초기균수 2.2×10^2 CFU/g으로 저장 6개월까지 더

Table 8. Changes in free amino acid of nonirradiated and irradiated beefs during storage at 5°C¹⁾

Amino acids	Storage period (months)											
	1			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	ND ²⁾	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	ND	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	12.6	9.14	6.77	15.04	12.61	9.17	15.7	17.04	10.34	16.65	16.59	8.48

¹⁾Each value represents the mean of duplicate determinations and expressed $\mu\text{M g}^{-1}$ (wet weight basis).

²⁾ND: not detected.

이상의 증식은 없었으며, 1 kGy의 선량으로 조사직후 사멸상태가 저장말기까지 지속되어 균이 검출되지 않았다(Table 3).

pH 및 지질산가 변화

감마선 조사와 저장기간에 따른 쇠고기 시료의 pH 변화를 살펴보면, 초기 pH는 조사선량에 관계없이 감마선 조사 직후에는 비조사군이나 감마선 조사군간에 변화를 나타내지 않았으나 냉장의 경우 저장기간이 경과함에 따라서 모든 시험군에서 pH값이 다소 증가하는 경향을 보였다(Table 4). 이와 같은 결과는 냉장 쇠고기의 pH변화에 대한 김 등⁽¹⁶⁾의 연구에서 우육을 냉장저장 하였을 때, 저장초기 pH값인 5.5에서 점차 상승한다고 하여 본 실험결과와 일치하였고, Dahl⁽¹⁷⁾의 저장기간이 경과함에 따라 쇠고기의 주성분인 단백질이 암모니아, 인돌 등의 알칼리성 물질 등으로 분해되면서 pH가 상승한다는 보고와 일치하였다. 냉동저장의 경우에는 비조사군의 경우 저장기간에 따라 다소 감소하는 경향으로, 쇠고기는 저장 1개월 후 pH 5.7에서 4개월 후에는 5.5를 나타내었다. 따라서 저장온도에 있어 냉동저장은 냉장저장에 비해 pH 변화가 완만함을 알 수 있었다. 냉동저장중 pH의 감소는 시료의

지방질 성분이 산화되어 생성된 유리지방산의 영향으로 보고되고 있다⁽¹⁸⁾.

감마선 조사와 저장기간에 따른 지질 산가 변화는 Table 5에 나타내었다. 감마선 조사직후 쇠고기의 초기 지질 산가는 비조사군과 조사군 모두 3.5~3.8 정도였으며, 비조사군과 1kGy군은 냉장 저장기간이 경과함에 따라 증가하기 시작하여 냉장 8주째에는 최대치를 나타내었다. 한편, 3kGy 조사군은 냉장 4주까지도 6.3으로 비조사군에 비하여 완만히 증가하였다. 냉동저장시험에서도 저장 6개월후에는 5.3~5.8을 나타내어 냉동 저장중에도 지방의 산화는 계속적으로 일어남을 보여주었다. 또한 냉동저장시 비조사군과 감마선 조사군간의 지질산가의 차이는 크지 않았다. Lefebvre 등⁽¹⁸⁾은 감마선 처리가 유리지방산의 형성에 큰 영향을 미치지 않으며, 비조사 및 조사시료 모두 저장기간에 따라 증가한다고 보고하여 본 실험과 유사한 결과를 나타내었다.

휘발성 염기태 질소변화

감마선조사와 저장기간에 따른 VBN 함량변화는 저장 초기에 약 18 Nmg%으로 비조사군과 조사군간의 차이는 없었고, 냉장 2주째부터 비조사군은 50 Nmg%

Table 9. Changes in free amino acid of nonirradiated and irradiated beefs during storage at 20°C¹⁾

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	ND ²⁾	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	13.53	8.11	7.98	13.05	13.27	10.89	11.41	11.6	8.46

¹⁾Each value represents the mean of duplicate determinations and expressed $\mu\text{M g}^{-1}$ (wet weight basis).

²⁾ND: not detected.

이상으로 높은 변패수치를 나타낸 반면, 1 kGy 조사군에서는 저장 2주까지도 큰 변화가 없었다. 3 kGy 조사군에서는 저장 4주째에도 30 Nmg% 이하를 나타내었으나 비조사군은 그의 2배인 60 Nmg%로 감마선 조사구가 비조사구에 비하여 VBN 증가폭이 현저히 작아 단백질의 변패를 지연시키는 것으로 생각된다(Fig. 1). 또한 저장 8주후에 모든 시험군에서 최대값을 나타내어 저장기간에 따라 VBN 값이 지속적으로 상승한다는 Dierick 등⁽¹⁹⁾의 보고와 유사한 경향을 나타내었다.

냉동저장의 경우에는 모든 시험군에서 대체적으로 저장 6개월까지도 30 Nmg% 이하로 비교적 낮은 수치를 나타내었고, 감마선 조사군과 비조사군의 차이없이 저장기간이 경과함에 따라 약간씩 증가하였다(Fig. 2). 이와 같은 결과는 미생물의 생육정도와 잘 일치하는 경향을 나타냈으며 Lefebvre 등⁽¹⁸⁾도 ammonia 및 amine류와 같은 휘발성 염기태 질소 화합물은 육류에 많이 오염되어있는 *Pseudomonas* 등과 같은 gram-negative bacteria에 의해 urea와 아미노산이 분해됨으로써 형성된다고 하였다.

지방산 조성 및 유리아미노산 함량변화

쇠고기의 저장기간과 감마선 조사선량에 따른 총 12종의 구성지방산을 분석한 결과는 Table 6, 7과 같다.

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^(3,20)과 잘 일치하였다. 한편, 감마선 조사와 저장기간에 따른 구성지방산 함량의 뚜렷한 차이는 나타나지 않았다.

감마선 조사 및 저장기간에 따른 유리아미노산 함량변화의 경우, 신선한 상태의 비조사군에서 가장 많이 검출된 것은 glutamine이었고, cysteine과 asparagine이 가장 적게 검출되었다. 저장기간에 따라 유리아미노산 조성중 총 12종은 증가하였는데, 특히 glutamic acid의 경우 6배, aspartic acid, threonine, proline, valine, methionine, isoleucine, leucine, phenylalanine 등은 2~3배 이상 증가하였고 glutamine, tyrosine, lysine, arginine은 감소하는 경향이였다(Table 8). Youn 등⁽²¹⁾은 쇠고기의 저장중 lysine의 함량이 감소한다고 보고하여 본 실험결과와 유사하였고, 마쇄 쇠고기에 대한 Penet 등⁽²²⁾의 유리아미노산 조성 연구를 보면 alanine, glutamic acid, serine, glycine 등이 가장 많이 검출되었고, cysteine과 tryptophan은 불검출되어 본 실험과 비슷한 경향이였다. 감마선 조사에 따른 유리아미노산 함량변화는 대체적으로 3 kGy군에서 약간 감소하였으며, 특히 함황아미노산인 methionine, arginine

등은 3 kGy의 감마선 조사로 2~3배정도 감소하였는데 Khattak 등⁽²³⁾도 감마선 조사로 합황아미노산이 불안정해진다고 보고한 바 있다. 냉동저장의 경우에는 대체적으로 모든 아미노산이 저장기간이 경과함에 따라 약간 증가하거나 차이가 없었다(Table 9). 또한 감마선 조사에 따른 변화도 불규칙하여 뚜렷한 경향을 찾기 힘들었다. 따라서 냉동상태에서는 저장기간과 감마선 조사에 따른 커다란 변화를 나타내지 않아 조사후 냉동저장이 유리아미노산 조성변화를 방지하는데 효과적인 것으로 사료된다.

요 약

한우육의 위생화와 품질보존을 위해 1~5 kGy의 감마선을 조사하였다. 초기 시료에 오염된 미생물의 살균을 위해서는 3 kGy의 선량이 요구되었다. 5 kGy 이상으로 조사된 시료는 5°C 8주후에도 미생물의 생육이 관찰되지 않았다. 저장중 pH변화의 경우 저장기간에 따라 다소 증가하는 경향을 보였으나, 감마선 조사에 의한 영향은 거의 없었다. 지질산가는 냉장저장시 감마선 조사 및 비조사 시료 모두 저장기간에 따라 증가하였으나, 3 kGy 조사시료는 비조사 시료보다 완만한 증가를 나타냈다. VBN함량의 경우 냉장저장시 큰 변화를 나타내었고, 비조사 시료는 저장기간이 경과됨에 따라 크게 증가하였다. 특히 냉장저장 8주후의 비조사 시료는 3 kGy조사 시료에 비해 약 4배의 증가를 나타내었다. 지방산 조성은 감마선조사에 의해 큰 영향이 없었으며, 유리 아미노산 함량은 감마선 조사보다는 저장기간에 의해 많은 변화를 나타냈다.

감사의 글

본 연구는 1999년도 과학기술부 원자력연구개발 과제에 의해 수행된 연구결과의 일부이며 연구비 지원에 감사드립니다.

문 헌

- Kim, Y.S. and Yoo, I.J. Effects of sanitary treatment of pork cut surface on shelf-life of chilled pork. *Korean J. Anim. Sci.* 36: 403-408 (1994)
- Cunningham, F.E. Microbiological aspects of poultry and poultry products-an update. *J. Food Protection* 45: 1149-1156 (1982)
- Kim, D.G., Lee, S.M., Kim, S.M., Seok, Y.S. and Sung, S.K. Effects of packaging method on physico-chemical properties of Korean beef. *J. Korean Sci. Nutri.* 25: 944-951 (1996)
- 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: 284-287 (1986)
- Dickson, J.S. and Maxcy, R.B. Irradiation of meat for the production of fermented sausage. *J. Food Sci.* 50: 1007-1009 (1985)
- Olive, B.W. and Christine, M.B. Position of the American Dietetic Association, Food Irradiation. The American Dietetic Association, USA (1996)
- APHA. Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods, Speck, M. (ed.), American Public Health Association, Washington, DC, USA (1976)
- AOAC. Official Methods of Analysis. 13th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA (1980)
- Standard methods of analysis for hygienic chemists, Pharmaceutical Society of Japan, Japan (1995)
- Bligh, E.F. and Dyer, W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.* 37: 911-918 (1959)
- Morrison, W.R. and Smith, L.M. Preparation of fatty acid methylesters and dimethylacetals from lipids with boron fluoride-methanol. *J. Lipid Res.* 5: 600-608 (1964)
- Frederick, H.G. and Paul, B.V. Occurrence, number and growth of *Listeria monocytogenes* on some vacuum-packaged processed meats. *J. Food Protection* 55: 47-53 (1992)
- Rhodes, D.N. Food Manufacture., Proc. Int. Food Congr., London, England (1964)
- Lefebvre, N., Thibault, C. and Charbonneau, R. Improvement of shelf-life and wholesomeness of ground beef by irradiation, 1. microbial aspects. *Meat Science* 32: 203-213 (1992)
- IAEA. Training Manual on Food Irradiation Technology and Techniques, 2nd ed. Technical Reports Series No 114. International Atomic Energy Agency. Vienna (1982)
- Kim, C.J., Suck, S.J., Ko, W.S. and Lee, E.S. Studies on the cold and frozen storage for the production of high quality meat of Korean native cattle. *Korean J. Anim. Sci.* 14: 155-158 (1994)
- Dahl, Q. Decomposition of starch in sausage products. *Food Research* 23: 161-172 (1957)
- 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* 36: 371-380 (1994)
- Dierick, A., Vandekerckhoue, P. and Demeyer, D. Changes in nonprotein nitrogen components during dry sausages ripening. *J. Food Sci.* 39: 301-312 (1974)
- Smith, N.L., Tinsley, I.J. and Bubl, C.E. The thiobarbituric acid test in irradiation-sterilized beef. *Food Technol.* 14: 317-324 (1960)
- Youn, J.E., Yang, R., Lee, S.K. and Park, S.Y. Studies

- on the aging of beef adding the proteolytic enzyme. *J. Food Sci. Technol.* 5: 174-181 (1973)
22. 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: 298-302 (1983)
23. Khattak, A.B. and Klopfenstein, C.F. Effect of gamma irradiation on nutritional quality of grains and legumes. II. Change in amino acid profiles and available lysine. *Cereal Chem.* 66: 171-186 (1989)
-
- (1999년 11월 10일 접수)