Korean J. Food Sci. Ani. Resour.
Vol. 29, No. 2, pp. 194~202(2009)

감마선 또는 전자선 조사된 분쇄돈육과 돈육패티의 저장 중 품질특성 비교

송범석 · 박진규 · 김왕근 · 김재훈 · 최종일 · 윤요한 · 변명우 · 김천제[1] · 이주운*
한국원자력연구원 정읍방사선과학연구소 방사선식품생명공학연구실, [1]건국대학교 축산식품생물공학 전공

Comparison of the Quality of Gamma Ray- or Electron Beam-irradiated Minced Pork and Pork Patties

Beom Seok Song, Jin Gyu Park, Wang Geun Kim, Jae Hun Kim, Jong Il Choi, Yohan Yoon, Myung Woo Byun, Cheon Jei Kim[1], and Ju Woon Lee*
Team for Radiation Food Science and Biotechnology, Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Research Institute, Jeongeup 580-185, Korea
[1]Department of Food Science and Biotechnology of Animal Resources, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

Abstract

This study was conducted to determine the effects of gamma and e-beam irradiation on the quality of minced pork and pork patties. Each sample was irradiated at 5 to 20 kGy, and its quality characteristics were then evaluated during storage at 30. The results of the total bacterial populations in the minced-pork and pork patty samples showed that the antimicrobial effect of gamma irradiation was superior to that of e-beam irradiation. The 2-thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) value of all the samples significantly increased ($p<0.05$) as the irradiation dose and storage period increased. In addition, the gamma-irradiated (GI) samples had higher ($p<0.05$) TBARS values than the e-beam-irradiated (EI) samples. The volatile basic nitrogen contents of the GI samples were lower ($p<0.05$) than those of the EI samples. The color values, such as the L* (brightness), a* (redness), and b* (yellowness) of the minced pork and pork patties, were increased ($p<0.05$) by irradiation. The hardness and sensory properties, such as the color, chewiness, taste, and overall acceptability of the pork patties, were decreased when the irradiation dose increased, and the hardness and sensory scores of the GI samples were lower than those of the EI samples.

Key words : gamma ray, electron beam, minced pork, pork patties, sensory quality

서 론

국민 생활수준의 향상은 영양의 질적 섭취에 대한 관심을 높였으며, 대표적인 변화 중의 하나는 영양과 풍미, 기호성이 우수한 동물성 단백질의 섭취가 급증하고 있는 것이다. 그러나 축산식품은 영양 및 관능적 품질이 우수한 반면, 부패성 미생물이나 병원성 미생물의 생장에 적합한 조건을 갖추고 있어 변패가 쉽게 되고 식중독을 일으킬 위험이 높은 것으로 평가되고 있다(Smith, 1991). 이러한 문제를 해결하기 위해 가열(Kim *et al.*, 2006), 냉장(Choi *et al.*, 2002), 건조(Han *et al.*, 2007), 염장(Park *et al.*, 1994), 진공포장(Thomas *et al.*, 2008) 등의 가공 및 저장 방법에 대한 연구가 수행되어 왔으나, 각 공정들의 한계성이 지적되면서 신선육 상태로 살균처리할 수 있는 새로운 기술개발이 요구되고 있다. 또한 경제적인 비용 때문에 일반식품에 널리 이용되고 있는 화학훈증제, 농약 및 보존료에 대해서도 식품중 잔류량에 대한 안전성 논란이 국내외에서 지속되고 있는 실정이다. 따라서 효율적이고 안전한 살균 및 살충방법의 확보는 국내외 식품산업에 있어서 중요한 당면과제라 할 수 있다.

이와 같은 추세에서 ^{60}Co 또는 ^{137}Cs를 에너지원으로 사용하는 감마선이나 기계적으로 발생되는 전자선을 사용하는 방사선조사는 살균공정상 온도, 습도, 압력의 영향을 받지 않고 연속처리가 가능하여 에너지효율을 높일 수 있을 뿐 아니라 완전 포장된 상태로 포장내 오염미생물을 살균할 수 있어 제품의 품질개선, 저장기간의 연장, 비용절감, 시장확대 등 안전하고 위생적인 식품의 대량공급이

*Corresponding author : Ju Woon Lee, Team for Radiation Food Science and Biotechnology, Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Research Institute, Jeongeup 580-185, Korea. Tel: 82-63-570-3204; Fax: 82-63-570-3207, E-mail: sjwlee@kaeri.re.kr

라는 측면에서 관심이 되어 왔다(Diehl, 1990; Thayer, 1994). 1981년 FAO, IAEA 및 WHO의 합동회의가 조사 식품의 안전성과 영양학적 타당성을 국제적으로 공인한 후(WHO, 1984), 방사선 조사에 의한 육류제품의 미생물학적 안전성 확보와 신선도 유지를 위한 연구가 활발히 진행되었다. Dogbevi 등(1999)과 Dempster (1985)는 돈육에 1 kGy 이하의 방사선 조사가 *Trichinella*와 기생충균 사멸에 효과적이라고 하였고, Fu 등(1995a, 1995b)은 육류에 10 kGy 이하의 감마선이 *Listeria*, *Salmonella*, *Escherichia coli* O157:H7, *Yersinia* 등과 같은 병원성 세균과 부패 원인균에 대해 우수한 생육 억제 효과를 나타냈다고 보고하였다. 현재 육류는 국제적으로 실용화되고 있는 대표적 조사 식품의 하나로, FDA가 허용하고 있는 최대 조사량은 신선육 4.5 kGy, 냉동육 7 kGy이며, 육류에 최대 조사량의 방사선을 조사하면 *Salmonella*, *E. coli* O157:H7과 같은 식중독균의 99.9% 이상을 파괴할 수 있는 것으로 나타났다(FDA, 1997). 한편, 이와 같은 연구들은 대부분 감마선 또는 전자선을 개별적으로 식육에 조사하여 그 효과를 각각 살펴본 것이며(Grant and Patterson, 1991; Koh and Whang, 2002; Min *et al.*, 1999; Wilson *et al.*, 1960), 돈육 및 그 가공품에 대해 중선량부터 고선량(1-20 kGy)까지 감마선과 전자선을 조사하여 식육에 대한 미생물학적 안전성, 이화학적 품질특성 변화를 비교한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구는 분쇄 돈육과 돈육 패티를 진공포장하여 감마선, 전자선 조사를 하였고, 저장성, 이화학적 및 관능적 품질특성 비교를 통해 향후 식육 및 그 가공품에 대한 국내 식품 조사품목 확대 허용 및 조사 선종의 다양화에 대비하고자 수행되었다.

재료 및 방법

분쇄돈육의 제조

시험에 사용한 식육 시료는 도축 후 24시간이 경과된 돈육 후지부위(porcine ham) 20 kg을 지역 식육점으로부터 구입하여 과도한 표면지방을 제거한 후, 지름 3 mm hole plate가 장착된 분쇄기(M-12S, Hankook Fujee Industries Co., Korea)를 이용하여 가늘게 저미어 시료를 준비하였다. 햄버거 패티용 돼지 등지방(pork back fat)의 경우 지역 식육점으로부터 표면 색택이 우유빛이고 이취가 없는 것을 1 kg 구입하여 식육과 같은 방법으로 얇게 저미어 사용하였다.

원료육의 저장성 평가를 위해 분쇄된 돈육을 무처리구와 방사선 처리구로 분류하여 폴리에틸렌비닐(polyethylene vinyl)에 넣어 3 mm 이하의 두께가 되도록 3회 반복으로 진공포장 한 후 계획된 흡수선량에 맞게 각각 감마선과 전자선 조사를 실시하고 가속저장법의 조건(30°C, incubator)에서 저장하며 실험에 사용하였다.

Table 1. Formula for manufacturing hamburger patties

Materials	Content (%)	Remark[1)]
Minced pork	51.5	1
Pork back fat	16.4	1
Iced water	6.1	1
Ginger	1.0	2
Onion	8.5	2
Egg white	4.3	2
Tomato ketchup	1.6	2
Isolated soy protein	4.1	2
Dried bread powder	4.1	3
Nutmeg powder	0.05	1
Salt	0.65	1
Flavor enhancing wine	0.42	1
Black pepper powder	0.21	1
Red color reagent	0.01	1
Trisodium phosphate	0.21	1
Sugar	0.85	1
Sum	100	

[1)]Numbers in remark indicate the order of addition of materials in a mixer.

햄버거 패티의 제조

햄버거 패티는 국내 생산업체에서 상용하는 방법을 이용하여 제조하였다. Table 1과 같이 원료 및 부재료를 준비한 후 배합 순서에 맞게 혼합하였다. 시료의 혼합은 각각의 원료를 배합순서에 맞게 혼합기(M15 mixer, Falsf Co., Barcelona, Spain)에 넣은 후 1차 혼합 8분, 2차 혼합 2분, 3차 혼합은 1분간 실시하였으며, 혼합육(meat mixture)은 100 g 정도의 무게와 10 mm의 두께를 갖도록 Mould (ϕ105×10 mm)를 이용하여 성형한 후 가열처리하였다. 가열은 85°C로 예열된 Cooker(NU-VUES-3 cooker, Food Service System, USA)에서 중심 온도가 70°C가 될 때까지 실시한 후 상온에서 방냉하고 polyethylene vinyl 포장지를 사용하여 진공포장 후 감마선을 조사 하였다.

방사선 조사

시료의 감마선 조사는 선원 11.1 PBq, Co-60 감마선 조사시설(IR-79 gamma irradiator, MDS Nordion, Canada)을 이용하여 실온(20±1°C)에서 시간당 10 kGy의 선량률로 하여 흡수선량이 5, 10, 15, 20 kGy가 되도록 조사하였으며 흡수선량의 확인은 방사선 선량계(ceric cerous dosimeter, Bruker Instruments, Germany)를 사용하여 총 흡수선량의 오차를 계산하였다. 전자선 조사는 ELV4-electron accelerator (Energy 2.5 MeV, Beam power 40, EB tech., Korea)를 이용하여 감마선 조사와 동일한 흡수선량을 갖도록 조사하였다. 이 때 빔 전류의 세기는 각각 1.9, 3.2, 4.5 및 6.4 mA 이었다. 흡수선량의 확인은 감마선 조사구와 동일하게 실시하였다.

저장성 평가시험

가속저장시험은 저장 온도를 높여 미생물의 생육과 품질변화 속도를 증가시켜 단시간 내에 저장 및 유통 중 식품의 품질변화 양상, 오염미생물의 생육과 부패도달 속도 및 저장가능 기간을 측정하거나 예측하는데 사용되는 방법으로 가속저장 시험을 통해 즉석 햄버거 스테이크(Oh *et al.*, 2004) 및 즉석 취식용 양념 돼지 갈비 구이(Lee *et al.*, 2006)의 저장 중 품질변화와 유통기한을 예측한 연구가 보고된 바 있다.

즉, 방사선 조사 후 시료를 가속조건 온도인 30°C Incubator(Fisher Isotemp, Fisher Scientific Inc., USA)에서 저장하며 품질변화시험을 실시하였다. 시험은 제조 직후 및 저장 2, 5, 10일에 실시하였다.

미생물 생육 시험

미생물 검사를 위한 시험액은 시료 10 g에 멸균한 0.1%의 펩톤(peptone)수를 100 mL까지 채워 Stomacher Lab Blender(Model 400, Tekmar Co., USA)로 2분간 균질한 다음 Plate Count Agar(Difco Co., USA)를 이용하여 총균수의 생육을 검사하였으며, 37°C에서 48시간 동안 배양한 후 형성된 집락을 계수하였다. 미생물수는 시료 1 g당 colony forming unit (CFU)로 나타냈고, 검출을 위한 최소 한계치는 1 log CFU/g이었다.

지방산패도(TBARS)와 휘발성 염기태 질소(VBN) 함량 측정

지방 산패도(thiobarbituric acid value)는 Jo와 Ahn(2000)의 2-thiobarbituric acid reactive substances(TBARS)법을 약간 변형하여 측정하였으며, 이 때 얻어진 결과는 μg malondialdehyde/g sample(wet weight basis)로 표시하였다. 휘발성 염기태 질소(volatile basic nitrogen: VBN)의 함량은 Conway 미량 확산법을 이용하여 측정하였다(Japanese Ministry of Hygiene, 1973).

이화학적 특성 평가

색도는 시료표면을 color/color differencemeter(Spectrophotometer, Model CM-3500d, Minolta Co., Japan)를 이용하여 헌터 색체계(Hunter's color system)에 의한 명도(L*: lightness), 적색도(a*: redness) 및 황색도(b*: yellowness)를 측정하였다. 경도의 경우 Claus 등(1990)의 방법을 변형시켜 방사선 조사에 의한 돈육 패티의 물성변화를 관찰하였다. 즉, 물성시험기(texture analyzer, TA-XT2i, SMS Co., U.K.)를 이용하여 경도를 측정하였다.

관능 평가

돈육 패티의 관능검사는 Park 등(2004)의 방법을 사용하여 평가하였다. 즉, 관능평가용 시료는 170°C가 되도록 예열된 cooker (NU-VUES-3 cooker, Food Service System, USA)에서 패티의 중심온도가 70°C가 될 때까지 가열한 후 관능평가자에게 제시하였다. 관능검사를 위한 평가자는 미리 훈련된 10인을 대상으로 하였으며 이때의 평가항목은 색택(color), 씹힘성(chewiness), 맛(taste), 이취(off-flavor) 및 전체적인 기호도(overall acceptability)를 7점 척도법으로 평가하였다. 이취를 제외한 4가지 평가항목의 배점은 1: 매우 나쁘다. -4: 보통이다. -7: 매우 좋다. 로, 이취의 경우는 1: 전혀 없다. -4: 보통이다. -7: 아주 심하다. 로 척도를 정하여 실시하였다. 평가자의 나이·성별 등을 기록하고 관능검사 중에는 정수기에서 받은 물을 각 시료 사이에 제공하였으며 관능에 미치는 영향을 최소화하기 위해 평가시간은 15-20분으로 정하였다.

통계분석

이상의 실험에서 얻어진 결과는 Statistical Package for Social Sciences(SPSS, 10.0) (1999)를 이용하여 One Way ANOVA 분석을 하였으며, 시료간의 유의성은 Duncan's multiple range test로 $p<0.05$ 수준에서 비교하였다.

결과 및 고찰

분쇄 돈육과 돈육 패티의 미생물 생육에 대한 감마선, 전자선 조사 효과

진공포장 후 흡수선량별로 감마선과 전자선이 조사된 분쇄 돈육과 돈육 패티를 30°C에서 10일간 가속저장 시험을 하였을 때 총균수의 생육변화를 Table 2에 나타내었다. 분쇄 돈육의 경우 조사처리 직후 비조사구의 총균수는 3-4 log CFU/g이었으나 감마선, 전자선 조사에 의해 총균수가 감소하였고, 10 kGy 이상의 선량에서는 미생물 생육이 관찰되지 않았다. 그러나 저장기간이 경과함에 따라 균수의 회복으로 인해 총균수가 증가하였고, 이러한 경향은 조사선량이 증가할수록 억제되었다. 총균수의 회복기간을 살펴보면, 감마선과 전자선 모두 15 kGy까지는 저장 2일 만에 균의 회복이 시작되었는데 이는 Kwak 등(2002)의 연구에서도 유사하게 나타났다. 선종별 미생물 사멸효과 및 미생물 생육 억제능은 감마선이 전자선에 비해 효과적인 것으로 나타났다. 이러한 현상은 분쇄육의 경우 일반 식육과는 달리 분쇄과정에 의해 미생물이 내부까지 오염되는데 이때 감마선이 전자선에 비해 투과도가 높기 때문에 분쇄육 내부에 오염된 미생물 제어에 보다 효과적이기 때문으로 사료된다(Thakur and Singh, 1994). 방사선 조사에 의한 미생물 살균·멸균의 원리는 방사선을 조사함으로써 조사대상물에 존재하는 유해한 미생물이 가지는 유전물질인 DNA의 생물활성을 소실시키는 데 있다. 방사선의 DNA에의 작용은 거의 모두가 생물에 포함되어 있는 물 분자가 조사에 의해 여기되어 생성한 OH 라디칼에 의한 것이

Table 2. Effects of gamma ray or electron beam irradiation on growth of total aerobic bacteria in vacuum-packaged minced pork and pork patties during storage at 30°C (Unit: log CFU/g)

	Dose (kGy)	Minced pork (d)				Pork patties (d)			
		0	2	5	10	0	2	5	10
Gamma ray	0	3.75	-[1)]	-	-	3.56	-	-	-
	5	3.38	5.61	-	-	ND	6.89	-	-
	10	ND[2)]	4.49	6.43	-	ND	5.76	6.49	-
	15	ND	3.68	5.83	6.86	ND	3.32	5.72	7.26
	20	ND	ND	4.49	5.53	ND	ND	3.75	5.46
Electron Beam	0	3.75	-	-	-	3.56	-	-	-
	5	3.48	6.69	-	-	3.32	7.91	-	-
	10	ND	4.91	7.46	-	ND	6.83	-	-
	15	ND	3.75	6.48	7.89	ND	6.61	-	-
	20	ND	ND	5.54	7.61	ND	5.51	-	-

[1)]Bar indicates no determination of cells because of spoilage.
[2)]Below the detection limit < 1 log CFU/g.

며 그것으로 인해 DNA 사슬이 절단된다. DNA 외가닥 사슬 절단은 용이하게 수복되지만 두 가닥 사슬의 같은 부분이 동시에 손상을 입으면 수복 불가능 또는 사멸에 의해 세포증식력을 상실하게 된다(WHO, 1994). 또한, 현재까지 식육을 저장하는 동안 방사선 조사가 미생물 생육에 미치는 살균효과를 확인한 연구들은 많이 있으며 동일한 종류의 식육이라도 같은 선량에서 미생물의 살균효과는 연구자별로 상당히 다름을 알 수 있다. 그러한 이유는 도체의 처리방법, 초기 미생물 오염도와 미생물의 종류 등이 다르기 때문으로 판단된다.

돈육 패티의 경우 비조사구의 총미생물 오염도는 3 log CFU/g 정도였으며 감마선의 경우에는 5 kGy 이상 조사시 포장방법에 상관없이 검출한계 이하로 나타났으나 전자선의 경우 10 kGy 조사구에서도 미생물이 검출되어 감마선에 비해 미생물 살균 효과가 크게 감소하였다. 가공식품의 초기 미생물을 제어하는 것은 식품의 위생성, 안전성 및 저장성을 확보하는데 있어 매우 중요하다(Park *et al.*, 1996). 일반적으로 식품의 저장 초기에 총균수가 많으면 부패 변질에 도달하는 시간이 짧아지므로 저장 초기에 총균수가 적을수록 저장성이 좋아지는데, 이러한 측면에서 볼 때 감마선이 전자선에 비해 보다 효과적인 방법인 것으로 판단된다. 부패에 도달하는 시기를 살펴보면 패티의 가열처리로 인해 비조사구의 경우에는 저장 2일 만에 부패에 도달하였고 조사선량이 증가할수록 부패시기가 지연되어 20 kGy로 조사를 할 경우에 저장 10일이 경과하여도 부패되지 않았다. 이와 같은 결과는 Oh 등(2004)의 연구와 일치하는 것으로 나타났다.

감마선, 전자선 조사된 분쇄 돈육 및 돈육 패티의 지방산패도 변화

진공포장하여 감마선, 전자선을 조사한 분쇄 돈육, 돈육 패티의 가속저장 기간 중 TBARS 값의 변화를 Table 3에 나타냈다. 식육은 저장이 진행됨에 따라 점차 지방산패가 일어나며 이로 인해 과산화물 함량도 증가하며, 식

Table 3. Contents (μg/g) of malondialdehyde in vacuum-packaged minced pork and pork patties, followed by gamma ray or electron beam-irradiation, during storage at 30°C

	Dose (kGy)	Minced pork (d)				Pork patties (d)			
		0	2	5	10	0	2	5	10
Gamma ray	0	0.48±0.21^{c}	-[1)]	-	-	1.79±0.33^{c}	-	-	-
	5	1.17±0.24^{b}	-	-	-	1.89±0.13^{bc}	-	-	-
	10	1.59±0.33^{b}	2.41±0.16^{b}	2.84±0.19^{a}	-	2.18±0.27^{b}	2.66±0.36^{b}	3.25±0.42^{a}	-
	15	2.06±0.28^{a}	2.88±0.37^{ab}	2.95±0.38^{a}	3.45±0.49^{a}	2.72±0.24^{ab}	2.90±0.22^{ab}	3.37±0.28^{a}	4.07±0.47^{a}
	20	2.08±0.22^{a}	2.91±0.29^{a}	3.00±0.13^{a}	3.64±0.37^{a}	3.01±0.43^{a}	3.18±0.46^{a}	3.63±0.31^{a}	4.88±0.39^{a}
Electron Beam	0	0.48±0.16^{c}	-	-	-	1.79±0.33^{b}	-	-	-
	5	0.85±0.23^{bc}	-	-	-	1.84±0.23^{b}	-	-	-
	10	1.07±0.18^{b}	2.08±0.13^{b}	-	-	1.92±0.17^{ab}	2.44±0.10^{b}	-	-
	15	1.55±0.37^{ab}	2.13±0.21^{b}	-	-	2.61±0.44^{a}	2.78±0.41^{ab}	-	-
	20	1.84±0.29^{a}	2.71±0.29^{a}	-	-	2.76±0.52^{a}	2.97±0.29^{a}	-	-

[a-c]Means within the same column different letters differ significantly ($p<0.05$).
[1)]Bar indicates no determination of TBARS value because of spoilage.

육에 방사선을 조사할 경우에도 역시 방사선 조사로 생성된 hydroxyl radical에 의해 지방 산패가 촉진된다(Smith *et al.*, 1960). 육류의 주요 지방산은 palmitic acid($C_{16:0}$), stearic acid($C_{18:0}$), oleic acid($C_{18:1}$) 및 linoleic acid($C_{18:2}$)이며, 이들 지방산은 돈육에 25.4±1.3, 10.9±1.5, 34.7±2.0 및 10.4±1.3의 비율(%)로 존재한다(Kim *et al.*, 1999). 이중 oleic acid, linoleic acid와 같은 불포화 지방산은 방사선 조사에 의해 쉽게 산화된다(Giroux and Lacroix, 1998). 지방산화는 방사선 조사선량에 의존적이며 특히, 산소가 존재할 경우 지방산화가 촉진된다. 본 연구에서 분쇄 돈육은 방사선 조사선량이 증가함에 따라 TBARS 값도 증가하였으며, 저장 중에 지속적으로 증가하는 것으로 나타나 이전의 연구와 동일한 결과를 얻을 수 있었다(Heath *et al.*, 1990). 한편, 방사선 조사에 의한 지방산화를 방지하기 위해 질소치환 또는 진공 포장 외에도 냉동 방사선 조사 및 항산화제 첨가와 같은 다양한 연구가 수행되어 왔다(Taub *et al.*, 1979). 이들 방법은 방사선 조사에 의한 지방산화를 방지하는데 매우 효과적인 방법이지만 본 연구 결과에서와 같이 조사선량이 높아질 경우에는 하나의 방법을 단독으로 사용하는 것보다는 두 가지 이상의 처리를 동시에 병용하는 것이 더욱 효과적일 것으로 판단되어 향후 이를 위한 연구가 추진되어야 할 것으로 사료되었다.

돈육 패티의 경우 저장 초기 TBARS 값은 비조사구에서 1.79 μg/g이었으나 감마선과 전자선 모두 조사선량이 증가함에 따라 유의적으로 증가하는 것으로 나타났다($p<0.05$). 일반적으로 방사선은 수용액 또는 오일 에멀젼(oil emulsion) 상태에서 hydroxyl radical을 생성시키는데 육류의 경우 근육세포의 약 75%를 차지하는 물이 지방 이중막(lipid bilayer)으로 둘러싸여져 있기 때문에 지방의 산화를 야기한다(Thakur and Singh, 1994). 방사선 선종에 따른 영향으로는 원료육의 결과와 마찬가지로 감마선이 전자선에 비해 지방산화를 더욱 촉진시키는 것으로 나타났다. 이는 미생물 생육시험 결과에서와 같이 감마선이 전자선에 비해 투과도가 높아 지방산화에 미치는 영향이 크기 때문으로 사료된다. 한편, Ahn과 Lee(2006)는 질소치환 또는 진공 포장방법과 항산화제 병용처리가 방사선 조사에 따른 신선육과 가공육의 산화적 품질변화를 억제하는데 매우 효과적이라고 제시한 바 있는데, 본 연구에서 진공포장 만으로는 고선량 방사선 조사에 의한 지질 산패를 억제하기 힘들어 항산화제와 같은 병용처리가 필요할 것으로 판단되었다.

감마선, 전자선 조사된 분쇄 돈육 및 돈육 패티의 휘발성 염기태 질소 함량 변화

진공포장된 분쇄 돈육과 돈육 패티를 방사선 선종별로 조사하여 가속저장하면서 휘발성 염기태 질소 함량 변화를 측정한 결과를 Table 4에 나타내었다. 저장초기 분쇄 돈육의 VBN 함량은 약 2-4 mg%로 조사선종 및 조사선량에 관계없이 유의적인 차이가 없는 것으로 나타나($p<0.05$) 방사선 조사가 육류의 VBN 함량에 영향을 주지 않는 것으로 확인되었다. 육류의 저장 중 근육단백질은 아미노산 및 저분자의 무기태 질소로 분해되는데 이 때 생성되는 단백질 분해효소에 의해 아미노산과 펩타이드가 증가하며 아데닐산(Adenosine monophospate: AMP)의 분해로 인해 암모니아가 생성되므로 VBN 함량이 증가하게 된다(Davies and Board, 1998). 따라서 VBN 함량은 육류의 신선도를 평가하는 중요한 지표 중 하나로 원료육 및 포장육에 한하여 VBN 함량을 20 mg% 이하로 규정하고 있다(Davies and Board, 1998). 본 연구 결과에서도 분쇄 돈육의 VBN 함량은 저장기간이 증가함에 따라 지속적으로 증가하는 경향이었으나 감마선 또는 전자선 조사구의 경우 대조구에 비해 VBN 함량의 증가가 억제되었다. 이는 방사선 조사에 의해 분쇄 돈육의 미생물이 감소하였기 때문으로 사료되며 다른 연구 결과들도 본 연구 결과를 뒷받침해주고

Table 4. Contents (mg%) of volatile basic nitrogen in vacuum-packaged minced pork and pork patties, followed by gamma ray or electron beam irradiation, during storage at 30°C

	Dose (kGy)	Minced pork (d)				Pork patties (d)			
		0	2	5	10	0	2	5	10
Gamma ray	0	2.19±0.36^{a}	-[1)]	-	-	3.18±0.43^{a}	-	-	-
	5	2.16±0.28^{a}	-	-	-	3.24±0.52^{a}	-	-	-
	10	2.84±0.35^{a}	6.14±0.68^{a}	10.3±1.27^{a}	-	2.97±0.43^{a}	5.61±0.63^{a}	10.93±0.79^{a}	-
	15	2.38±0.51^{a}	4.83±0.52^{b}	6.85±0.73^{b}	7.76±0.64^{a}	2.81±0.29^{a}	4.72±0.41^{ab}	7.68±0.45^{b}	10.64±0.84^{a}
	20	2.45±0.32^{a}	3.76±0.49^{b}	4.14±0.54^{c}	4.55±0.58^{b}	2.52±0.33^{a}	3.95±0.47^{b}	6.12±0.54^{c}	6.96±0.61^{b}
Electron Beam	0	2.19±0.36^{a}	-	-	-	3.18±0.43^{a}	-	-	-
	5	2.79±0.42^{a}	-	-	-	2.63±0.27^{a}	-	-	-
	10	2.45±0.16^{a}	6.51±0.73^{a}	-	-	3.25±0.52^{a}	5.84±0.53^{a}	-	-
	15	3.15±0.54^{a}	5.05±0.46^{b}	-	-	2.72±0.41^{a}	4.98±0.36^{ab}	-	-
	20	3.58±0.35^{a}	3.89±0.38^{c}	-	-	2.87±0.35^{a}	4.13±0.44^{b}	-	-

$^{a-c}$Means within the same column different letters differ significantly ($p<0.05$).
[1)]Bar indicates no determination of VBN because of spoilage.

있다(Aziz *et al.*, 2002). 방사선 선종에 따른 차이는 감마선 조사가 전자선 조사에 비해 저장 중에 VBN 함량 증가를 억제하는데 효과적인 것으로 나타났다. 이는 미생물 생육결과와 일치하는 결과로 감마선이 전자선에 비해 미생물의 제어에 더욱 효과적이기 때문이다. 따라서 전자선의 경우 분쇄 돈육의 품질을 유지하는데 감마선에 비해 보다 높은 선량이 요구되는 것으로 판단되었다.

돈육 패티의 경우 분쇄 돈육의 결과와 마찬가지로 VBN 함량은 방사선 조사에도 불구하고 2.5-3.3 mg%로 유의적 차이가 없는 것으로 나타났으며($p<0.05$) 조사선종에 따른 차이도 없었다. 또한, 저장기간이 증가함에 따라 방사선 조사구가 대조구에 비해 VBN 함량 증가가 억제되어 미생물 생육결과와 일치하였다. Al-Bachir과 Mehio(2001)는 lucheon meat에 감마선을 조사하여 저장 중의 VBN 함량을 분석한 결과 감마선 조사된 시료의 VBN 함량이 비조사구에 비해 낮았다고 보고하여 본 연구 결과와 일치하였다. 조사선종에 따른 차이 역시 감마선 조사가 전자선 조사에 비해 저장 중 VBN 함량의 증가를 억제하는데 조금 효과적인 것으로 나타나 분쇄육의 결과와 일치하였다.

이상의 결과에서와 같이 육류 및 육가공품의 중요한 품질 지표인자인 VBN 함량은 미생물 생육과 밀접한 관련이 있으며, 본 연구에서 감마선 조사가 전자선 조사에 비해 VBN 함량 증가를 억제할 수 있었던 것은 감마선의 높은 투과도가 분쇄 돈육 및 패티 내부에 오염된 미생물 제어에 보다 효과적이며, 이로 인한 부패의 지연이 원인인 것으로 생각되었다.

감마선, 전자선 조사된 분쇄 돈육 및 돈육 패티의 색도 변화

진공포장 후 감마선, 전자선 조사한 분쇄 돈육 및 돈육 패티의 표면색도 변화를 Table 5에 나타내었다. 돈육의 경우 방사선 조사에 의해 명도, 적색도, 황색도 모두 유의적으로 증가하였다($p<0.05$). 철(Fe)원자가 2가이면 환원 myoglobin이라 불리우고, 육색은 적자색이 되며, 3가이면 metmyoglobin이라 불리우며 육색은 갈색이 된다. 또한 환원철원자의 여섯째 위치에 산소분자가 부착되면 이것을 산소화라 부르며 이를 oxymyoglobin이라고 하고, 육색은 밝은 적색이 된다. 그러나 방사선이 조사된 식육은 이온화 에너지의 흡수에 의해 Fe^{2+}가 산화되어 Fe^{3+}의 생성과 함께 방사선 자체에 의한 metmyoglobin의 파괴가 발생된다(Clarke and Richards, 1971). 또한, 방사선 조사에 의해 공기 중의 일산화탄소(CO) 또는 일산화질소(NO)가 육색소인 myoglobin과 결합하여 CO-Mb 또는 NO-Mb이 생성되므로 고정화된 밝은 선홍색을 띄게 된다. Nanke 등(1998)은 진공 포장한 우육에 방사선을 조사할 경우 적색도가 감소하고, 이와 반대로 돈육에 방사선을 조사할 경우 명도와 적색도가 증가한다고 보고하여 본 연구 결과를 뒷받침하였다. 한편, 돈육의 색도에 대해 조사선원별 영향은 감마선이 전자선보다 색도변화가 큰 것으로 나타났다. 이러한 방사선 조사에 의한 육색소 변화는 조사선량, 원료육의 종류, 근육의 형태 및 포장방법과 같이 다양한 조건에 따라 서로 다른 결과를 나타낸다고 보고된 바 있다(Nanke *et al.*, 1998). 식육의 색이 중요한 이유는 모든 개개의 식육이 고유한 색을 가지고 있으며, 각 식품의 형태, 크기, 풍미 등과 함께 소비자들의 상품 가치면에서 크게 자리 잡고 있기 때문이다. 특히, 소비자 구입 시 고려사항 중 가장 중요한 선택요인은 외관이나 색깔이며(Risvik, 1994), 소비자는 선홍색을 가장 선호한다. 본 연구 결과에서 돈육의 경우 방사선 조사에 의해 붉은색이 증가하게 되어 많은 장점을 부여할 수 있을 것으로 기대되었다.

돈육 패티의 경우 방사선 조사선량이 증가함에 따라 적색도가 유의적으로 증가하였으나, 명도와 황색도는 유의적인 변화가 없는 것으로 나타났다($p<0.05$). 또한, 감마선이 전자선에 비해 돈육의 적색도 증가에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다. Lee 등(1999)은 돈육 햄버거 스테이크의 적색도가 방사선 조사에 의해 증가하였고, Lim과 Lee (2007)는 돈육 발효 소시지에 전자선을 조사하고 육색 변

Table 5. Hunter's color values in gamma-ray or electron beam irradiated minced pork and pork patties after vacuum packaging

	Dose (kGy)	Minced pork			Pork patties		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
Gamma ray	0	44.35±0.97^{c}	7.17±0.13^{e}	8.14±0.22^{d}	48.17±0.91^{a}	4.25±0.04^{e}	10.17±0.23^{a}
	5	44.88±0.57^{c}	7.91±0.06^{d}	8.58±0.11^{c}	49.73±0.75^{a}	4.67±0.08^{d}	10.48±0.21^{a}
	10	45.46±0.84^{c}	8.53±0.13^{c}	9.16±0.19^{b}	50.26±0.48^{a}	5.41±0.24^{c}	10.07±0.32^{a}
	15	46.91±0.51^{b}	9.72±0.32^{b}	9.59±0.28^{b}	50.46±0.62^{a}	6.65±0.17^{b}	10.53±0.26^{a}
	20	48.68±0.76^{a}	10.63±0.21^{a}	10.54±0.43^{a}	50.71±0.58^{a}	7.42±0.29^{a}	10.96±0.23^{a}
Electron Beam	0	44.35±0.97^{c}	7.17±0.13^{d}	8.14±0.09^{d}	48.17±0.94^{a}	4.25±0.04^{e}	10.17±0.23^{c}
	5	44.24±0.58^{b}	7.58±0.14^{c}	8.58±0.06^{c}	49.13±0.63^{a}	4.54±0.07^{d}	10.41±0.23^{b}
	10	45.16±0.39^{b}	8.37±0.19^{b}	9.16±0.24^{b}	49.41±0.74^{a}	5.15±0.08^{c}	10.76±0.15^{b}
	15	46.28±0.57^{a}	8.69±0.23^{b}	9.49±0.31^{ab}	49.76±0.47^{a}	5.73±0.15^{b}	11.41±0.24^{a}
	20	47.24±0.61^{a}	9.98±0.27^{a}	9.84±0.28^{a}	49.95±0.59^{a}	6.89±0.24^{a}	11.75±0.29^{a}

$^{a-e}$Means within the same column different letters differ significantly ($p<0.05$).

화를 분석한 결과 적색도와 황색도 값이 증가한 것으로 보고하여 본 연구 결과와 일치하였다.

감마선, 전자선 조사가 돈육 패티의 경도, 관능적 품질에 미치는 영향

진공포장하여 감마선, 전자선을 조사한 돈육 패티의 경도와 관능평가 결과를 Table 6에 나타냈다. 돈육 패티의 경도는 방사선 조사선량이 증가할수록 감소하나 유의차는 나타나지 않았다($p<0.05$). Park 등(2004)은 육제품의 경도에 영향을 미치는 주요 요인은 근육내의 근섬유(myofibrils)인데, 햄버거 스테이크를 방사선 조사했을 때 육제품의 근육중 결체조직과 근섬유가 분해되어 조사구의 경도가 낮아진다고 하였다. 일반적으로 식육에 대한 방사선 조사는 근육과 피부조직 collagen을 약화시킨다는 연구결과와 (Horowits *et al.*, 1986), 근육 내 효소활성을 증진시켜 해당작용을 가속화한다는 보고가 있다(Bowes and Moss, 1962). 또한, Horowits 등(1986)은 방사선이 조사된 근육에서 이온화 에너지에 의해 근절내부에서 단백질 공유 결합의 파괴를 동반한 직·간접적이고 부분적이거나 완전한 구성단백질의 변성이 발생된다고 하였고, 특히 결합조직 단백질인 titin과 nebulin 등과 섬유상 구조를 가진 단백질들이 방사선 조사에 의해 disulphide bond를 포함한 화학적 결합들이 깨어져 적은 분자의 peptide로 전환된다고 하였다. 그 결과 식육의 전단력이 감소되는 것으로 보고하여 본 연구결과를 뒷받침 해주고 있다. 조사선종에 의한 영향은 감마선이 전자선에 비해 경도 감소에 더욱 큰 영향을 주는 것으로 나타났으며 이는 감마선이 전자선에 비해 투과도가 높아 햄버거 패티에 존재하는 근원섬유 단백질에 더욱 많은 영향을 주기 때문으로 판단되었다.

돈육 패티의 관능평가 결과 색(color), 씹힘성(chewiness), 맛(taste), 종합적 기호도(overall acceptability)는 감마선과 전자선 조사구 모두 조사선량이 증가함에 따라 유의적으로 감소하고 반대로 이취는 증가하는 것으로 나타나 방사선 조사에 의한 관능적 품질저하를 확인할 수 있었다 ($p<0.05$). 측정 항목별로 살펴보면, 색은 15 kGy 이상의 고선량 조사시 유의적으로 감소하였다. 이는 돈육 패티의 색도 측정결과(Table 5)에서 나타난 바와 같이 방사선 조사에 의해 돈육 패티 내부까지 적색도(a)가 증가하여 비조사구와 큰 차이를 보이기 때문으로 사료된다. 씹힘성 역시 방사선 조사에 의해 감소하였는데 이는 햄버거 패티의 경도측정 결과(Table 6)와 일치하는 경향이었다. 맛의 경우 방사선 조사선량이 증가함에 따라 감소하였는데 이는 방사선 조사에 의해 이취가 증가한 것이 원인으로 사료된다. 식육 및 식육가공품의 방사선 조사에 있어서 가장 중요한 관점은 관능적 품질 변화이다. 방사선 조사에 의해 발생되는 이취는 단백질 또는 아미노산의 변화에 의해 생성된 황함유 휘발성 물질에 기인한 것으로 이는 지방산화에 의한 생성물과는 다른 것이다(Schweigert *et al.*, 1954). 이러한 이취는 물에 젖은 개의 냄새(wet dog odor)와 같은 냄새(Koleva *et al.*, 2002) 로 인식되기도 하며, Park 등(2004)의 연구에서도 본 연구와 유사한 조사취로 인해 조사구의 풍미가 낮게 평가되었다고 보고한 바 있다. 한편, 조사선종에 따른 영향으로는 전자선 처리구의 관능평가 결과가 전반적으로 높게 나타나 관능적 품질저하 방지 측면에서 효과적인 것으로 판단되었다. 그러나 본 연구 결과에서와 같이 진공포장 하였음에도 불구하고 여전히 방사선 조사에 의해 관능적 품질저하를 효과적으로 억제하지는 못하였으며 이러한 현상은 특히 15 kGy 이상의 고선량 방사선 조사에 의해 더욱 두드러진 것으로 나타났다. 현재까지 방사선 조사에 의한 지질산화 및 관능적 품질변화를 방지하기 위해 항산화제 첨가(Nawar, 1977), 진공포장(Ahn *et al.*, 1998), 냉동조사(Raffi and Agnel, 1983) 등 다양한 물리화학적 방법이 시도된 바 있으나, Ahn과 Lee(2006)는 이들 방법을 단독으로 처리하는 것 보다 두세가지 방법을 병용처리 하는 것이 신선육과 가공육의 산화적 품질, 관능적 품질 변화를 억제하는데 효과적이라고

Table 6. Evaluation of hardness and sensory qualities of gamma ray or electron beam irradiated pork patties after vacuum packaging

	Dose (kGy)	Hardness (g)	Color	Chewiness	Taste	Off-flavor	Overall acceptance
Gamma ray	0	431.76±45.35^{a}	6.8±0.8^{a}	6.7±0.7^{a}	6.8±0.6^{a}	1.2±0.1^{c}	6.8±0.8^{a}
	5	395.67±50.32^{a}	6.1±0.6^{a}	6.1±0.5^{a}	6.2±0.4^{a}	2.2±0.2^{b}	5.7±0.4^{a}
	10	385.06±27.59^{a}	5.6±0.5^{ab}	5.7±0.4^{ab}	5.6±0.6^{a}	2.7±0.3^{ab}	5.3±0.5^{ab}
	15	381.43±20.32^{a}	5.1±0.4^{b}	5.2±0.4^{b}	5.3±0.4^{ab}	3.1±0.3^{a}	4.6±0.2^{b}
	20	375.69±28.35^{a}	4.7±0.5^{b}	4.4±0.3^{b}	4.1±0.3^{b}	3.3±0.2^{a}	4.2±0.4^{b}
Electron Beam	0	431.76±45.35^{a}	6.7±0.4^{a}	6.9±0.6^{a}	6.7±0.7^{a}	2.1±0.2^{b}	6.9±0.5^{a}
	5	424.38± 6.22^{a}	5.9±0.6^{a}	5.8±0.6^{ab}	6.5±0.3^{a}	2.3±0.2^{ab}	5.6±0.4^{b}
	10	423.21±61.62^{a}	5.8±0.5^{ab}	5.5±0.3^{b}	5.8±0.5^{ab}	2.7±0.1^{a}	5.4±0.4^{bc}
	15	419.93±83.64^{a}	5.4±0.3^{b}	4.6±0.4^{c}	5.4±0.6^{b}	2.9±0.2^{a}	4.9±0.2^{c}
	20	407.34±69.88^{a}	5.1±0.4^{b}	4.3±0.3^{c}	4.3±0.4^{c}	2.7±0.2^{a}	4.4±0.4^{c}

$^{a-c}$Means within the same column different letters differ significantly ($p<0.05$).

제시한 바 있다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 방사선 조사는 식육 및 식육가공품의 저장에 있어서 매우 효과적 이었으나 지방산패 및 이취 발생에 따른 관능적 품질 저하 문제를 확인할 수 있었다. 따라서 식육 및 식육가공품에 대한 방사선 조사를 활성화하기 위해서는 앞서 언급한 것처럼 방사선 조사에 의한 관능적 품질저하를 방지할 수 있는 연구가 후행되어야 할 것으로 사료된다.

요 약

본 연구는 분쇄 돈육과 돈육 패티의 품질특성에 대한 감마선 조사와 전자선 조사의 효과를 비교하기 위해 수행되었다. 각각의 샘플을 진공포장한 후 5에서 20 kGy의 흡수선량으로 조사하였고 30°C에서 저장하면서 품질 평가를 실시하였다. 분쇄 돈육과 햄버거 패티의 저장 중 미생물 생육에 대하여 감마선 조사가 전자선 조사에 비해 높은 미생물 사멸효과를 나타냈다. 저장 중 이화학적 품질변화에서 지방산화도(TBARS)는 방사선 조사선량 및 저장기간이 증가함에 따라 유의적으로 증가하였고, 감마선이 전자선에 비해 지방산화를 촉진시켰다. 휘발성 염기태 질소(VBN)는 감마선 조사구가 전자선 조사구에 비해 낮은 VBN 함량을 나타내었다. 분쇄 돈육과 돈육 패티의 색도는 방사선 조사선량이 증가함에 따라 명도, 적색도, 황색도가 모두 유의적으로 증가하였다. 햄버거 패티의 경도(hardness)와 색, 씹힘성, 맛, 종합적 기호도 등의 관능적 품질특성은 조사선량이 증가할수록 감소하였고, 감마선이 전자선에 비해 품질 변화가 심했다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부 및 과학재단의 지원을 받아 2009년도 원자력연구개발사업과 한국원자력연구원 Top Brand Project사업을 통해 수행되었으며, 그 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Ahn, D. U. and Lee, E. J. (2006) Mechanisms and prevention of quality changes in meat by irradiation. In: Food Irradiation Research and Technology, Blackwell publishing, IFT Press pp. 127-142.
2. Ahn, D. U., Olson, D. G., Jo, C., Chen, X., Wu, C., and Lee, J. I. (1998) Effect of muscle type, packaging, and irradiation on lipid oxidation, volatile production and color in raw pork patties. *Meat Sci.* **49**, 27-39.
3. Al-Bachir, M. and Mehio, A. (2001) Irradiated luncheon meat: microbiological, chemical and sensory characteristics during storage. *Food Chem.* **75**, 169-175.
4. Aziz, N. H., Mahrous, S. R., and Youssef, B. M. (2002) Effect of Gammaa ray and microwave treatment on the shelf-life of beef products stored at 5°C. *Food Control* **13**, 437-444.
5. Bowes, J. H. and Moss, J. A. (1962) The effect of gamma radiation on collagen. *Radiat. Res.* **16**, 211-223.
6. Choi, Y. S., Park, B. Y., Lee, J. M., Kim, I. S., Lee, S. K., and Kim, B. C. (2002) Microbiological and sensory characteristics of vacuum packed Korean chilled pork loins for export. *Korean J. Anim. Sci. Technol.* **44**, 351-360.
7. Clarke, R. and Richards, J. F. (1971) Effect of gamma-irradiation on beef myoglobin. *J. Agric. Food Chem.* **19**, 170-174.
8. Claus, J. R., Hunt, M. C., Kastner, C. L. and Kropf, D. H. (1990) Low-fat, high-added water bologna: effects of massaging, preblending, and time of addition of water and fat on physical and sensory characteristics. *J. Food Sci.* **55**, 338-341.
9. Davies, A. and Board R. (1998) The microbiology of meat and poultry. Blackie Academic & Professional, London, UK, p.288.
10. Dempster, J. F. (1985) Radiation preservation of meat and meat products : A review. *Meat Sci.* **52**, 1477-1480.
11. Diehl, J. F. (1990) "Safety of irradiated foods." Marcel Dekker, Inc., New York.
12. Dogbevi, M. K., Vachon, C., and Larcroix, M. (1999) Physicochemical and microbiological changes in irradiated fresh pork loins. *Meat Sci.* **51**, 349-354.
13. FDA. (1997) Irradiation in the production, processing and handling of food : Final rule. *Federal Register* **62**, 64107-64212.
14. Fu, A. H., Sebranek, J. G., and Murano, E. A. (1995a) Survival of *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica*, and *Escherichia coli* O157:H7 and quality changes after irradiation of beef steaks and ground beef. *J. Food Sci.* **60**, 972-977.
15. Fu, A. H., Sebranek, J. G., and Murano, E. A. (1995b) Survival of *Listeria monocytogenes*, *Salmonella thyphimurium* and quality attributes of cooked pork chops and cured ham after irradiation. *J. Food Sci.* **60**, 1001-1005, 1008.
16. Giroux, M. and Lacroix, M. (1998) Nutritional adequacy of irradiated meat - a review. *Food Res. Int.* **31**, 257-264.
17. Grant, I. R. and Patterson, M. F. (1991) Effect of irradiation and modified atmosphere packaging on the micrological and sensory quality of pork stored at refrigeration temperature. *Int. J. Food Sci. Technol.* **26**, 507-519.
18. Han, D. J., Jeong, J. Y., Choi, J. H., Choi, Y. S., Kim, H. Y., Lee, M. A., Lee, E. S., Paik, H. D., and Kim, C. J. (2007) Effects of drying conditions on quality properties of pork jerky. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.* **27**, 29-34.
19. Heath, J. L., Owens, S. L., Tesch, S., and Hannah, K. W. (1990) Effect of high-energy electron irradiation of chicken on thiobarbituric acid values, shear values, odor and cook yield. *Poultry Sci.* **69**, 313-319.
20. Horowits, R., Kempner, E. S., Bisher, M. E., and Podolsky, R. J. (1986) A physiological role for titin and nebulin in skeletal muscle. *Nature* **323**, 160-164.

21. Japanese Ministry of Hygiene. (1973) Food sanitation indices. I. Volatile basic nitrogens. 30-32.
22. Jo, C. and Ahn, D. U. (2000) Production volatile compounds from irradiated oil emulsions containing amino acids or proteins. *J. Food Sci.* **65**, 612-616.
23. Kim, K. S., Kim, E. A., Lee, H. J., Yang, J. S., and Byun, M. W. (1999) Quantitative comparison of radiation-induced hydrocarbons from irradiated beef, pork and chicken. *Korean J. Food Sci. Technol.* **31**, 301-307.
24. Kim, M. Y., Lee, H. S., Kim, Y. J., Lee, J. K., Oh, S. W., and Song, Y. H. (2006) The survival level of microorganisms contaminate on pork depending on the time and temperature of heating, and thickness of pork. *Korean J. Food Sci. Technol.* **38**, 456-459.
25. Koh, K. H. and Whang, K. (2002) Effect of electron beam irradiation on the oxidative and microbiological stability of ground pork during storage. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.* **22**, 316-321.
26. Koleva, I. I., Beek, T. A., Linssen, J. P. H., Groot, A., and Exstatieva, L. N. (2002) Screening of plant extracts for antioxidant activity. A comparative study on three testing methods. *Phytochem. Anal.* **13**, 8-17.
27. Kwak, H. J., Lee, S. O., and Jung, I. C. (2002) Irradiation of chicken for the improvement of hygiene. *Korean J. Cul. Res.* **8**, 249-257.
28. Lee, J. W., Park, J. N., Kim, J. H., Park, J. G., Kim, C. J., Kim, K. S., and Byun, M. W. (2006) Effects of high dose gamma irradiation on shelf stability and lipid oxidation of marinated and precooked pork rib steak. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.* **26**, 471-477.
29. Lee, J. W., Yook, H. S., Kim, J. H., Kim, K. P., Lee, H. J., and Byun, M. W. (1999) Use of gamma irradiation for improving quality and assuring safety of meat products. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **28**, 858-864.
30. Lim, D. G. and Lee, M. H. (2007) Combination effect of packaging and electron beam irradiation on quality traits of fermented sausages during storage. *J Anim. Sci. Technol.* **49**, 539-548.
31. Min, J. S., Kim, I. S., and Lee, M. H. (1999) Effects of electron beam radiation on the microflora and sensory characteristics of pork loin. *Korean J. Food Sci. Technol.* **31**, 746-750.
32. Nanke, K. E., Sebranek, J. G., and Olson, D. G. (1998) Color characteristics of irradiated vacuum packaged pork, beef, and turkey. *J. Food Sci.* **63**, 1001-1006.
33. Nawar, W. W. (1977) Radiation chemistry of lipids. In P. S. Elias, & A. J. Cohen, Radiation Chemistry of Major Food Components, Chap. 3, Amstrerdam: Elsevier Scientific. pp. 21-61.
34. Oh, S. H., Kim, J. H., Lee, J. W., Lee, Y. S., Park, K. S., Kim, J. G., Lee, H. K., and Byun, M. W. (2004) Effects of combined treatment of gamma irradiation and addition of rosemary extract powder on ready-to-eat hamburger steaks: I. Microbiological quality and shelf-life. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **33**, 687-693.
35. Park, G. B., Lee, H. G., Kim, J. S., Kim, Y. J., Park, T. S., Shin, T. S., and Lee, J. I. (1994) Effect of sodium nitrite levels and curing temperatures on preservation and production of antihygenic chemicals of cured pork. *Korean J. Anim. Sci.* **36**, 330-339.
36. Park, K. J., Jung, S. W., Park, B. I., Kim, Y. H., and Jeong, J. W. (1996) Initial control of microorganism in *kimchi* by the modified preparation method of seasoning mixture and the pretreatment of electrolyzed acid-water. *Korean J. Food Sci. Technol.* **28**, 1104-1110.
37. Park, K. S., Kim, J. G., Lee, J. W., Oh, S. H., Lee, Y. S., Kim, J. H., Kim, J. H., Kim, W. G., and Byun M.W. (2004) Effects of combined treatment of gamma irradiation and addition of rosemary extract powder on ready-to-eat hamburger steaks. Improvement in quality. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **33**, 694-699.
38. Raffi, J. and Agnel, J. (1983) Influence of the physical structure of irradiated starches on their electron spin resonance spectra kinetics. *J. Phys. Chem.* **87**, 2369-2373.
39. Risvik, E. (1994) Sensory properties and preferences. *Meat Sci.* **36**, 67-77.
40. Schweigert, B. S., Doty, D. M., and Niven, Jr C. F. (1954) Asummary of studies on the irradiation of meat. In: Radiation Sterillization: Review of the Literature in Selected Fields. Chicago Quartermaster Depot, US Army, Chicago, IL.
41. Smith, J. L. (1991) Foodborne toxoplasmosis. *J. Food Safety* **12**, 15-57.
42. Smith, N. L., Tinsley, I. J., and Bubl, C. E. (1960) The thiobarbituric acid test in irradiation sterilized beef. *Food Technol.* **14**, 317-320.
43. SPSS. (1999) SPSS for Windows. Rel. 10.05. SPSS Inc. Chicago, IL.
44. Taub, I. A., Kaprielian, R. A., Halliday, J. W., Walker, J. E., Angelini, P., and Merritt, Jr. C. (1979) Factors affecting radiolytic effects in food. *Radiat. Phys. Chem.* **14**, 639-953.
45. Thakur, B. R. and Singh, R. K. (1994) Food irradiation. Chemistry and applications. *Food Rev. Int.* **10**, 437-473.
46. Thayer, D. W. (1994) Wholesomeness of irradiated foods. *Food Technol.* **48**, 132-136
47. Thomas, R., Anjaneyulu, A. S. R., and Kondaiah, N. (2008) Development of shelf stable pork sausages using hurdle technology and their quality at ambient temperature (37±1°C) storage. *Meat Sci.* **79**, 1-12.
48. WHO. (1984) The role of food safety in health and development. Report of a Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Safety.
49. WHO. (1994) Safety and Nutritional Adequacy of Irradiated Food, Geneva.
50. Wilson, G. D., Brown, P. O., Chesbro, W. R., Ginger, B., and Weir, C. E. (1960) The use of antibiotics and gamma irradiation in the aging of steaks at high temperatures. *Food Technol.* **14**, 143-147.

(Received 2009.1.13/Revised 2009.3.10/
Accepted 2009.3.24)