

감마선 조사가 돈육 등심의 이화학적 특성에 미치는 영향

이주운 · 육홍선 · 김성애* · 손천배* · 변명우
한국원자력연구소 방사선식품공학기술개발팀
*충남대학교 식품영양학과

Effect of Gamma Irradiation on the Physicochemical Properties of Pork Loin

Ju-Woon Lee, Hong-Sun Yook, Seong-Ai Kim*, Cheon-Bae Sohn* and Myung-Woo Byun

Team for Food Irradiation, Korea Atomic Energy Research Institute

*Department of Food Science and Nutrition, Chungnam National University

Abstract

Post-mortem pork loins were used to investigate the effects of gamma irradiation on the surface and inside color, heme pigments, muscle protein solubility, purge loss, electrophoretical patterns of muscle proteins, and tenderness. The muscle was cut into pieces of 5 cm in length and divided into both groups, vacuum-packaged and air-packaged. The packaged samples were irradiated at designed doses, 0, 1, 3, 5 and 10 kGy, by a cobalt-60 irradiator, and stored at 4°C for 7 days. There were no significant differences in the purge loss and electrophoretic patterns. Hunter's L and a values of the surface and inside of loins increased by gamma irradiation, showing a bright red color and the red color was maintained during the storage of both samples. However, the concentrations of heme pigments were not significantly changed. Muscle protein solubility slightly increased by increasing the applied dose. The decrease in shear force was observed in irradiated samples. As result, it was expected that meat quality, especially color and processing properties, could be improved by gamma irradiation at below 5 kGy.

Key words: pork loin, gamma irradiation, physico chemical properties, meat quality

서 론

식육에 방사선이 조사되면 식육에 존재하는 수분의 이온화로부터 생성된 활성 유리 radical들의 식육성분과의 화학적 반응과 그 반응에서 생성된 또 다른 화합물들에 의한 2차 화학적 반응으로 식육의 미생물학적, 이화학적 및 물성 특성에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다^(1,2). 적절한 선량의 방사선 조사는 식품의 물리화학적 및 관능적 특성에 영향을 주지 않으면서 식품에서 유래하는 오염 유기체들을 사멸 또는 억제시켜 안전한 식품을 생산할 수 있는 방법이다. 미국 FDA는 쇠고기 및 냉동 햄버거에 오염된 *E. coli* O157:H7의 파문을 계기로 1997년 12월 2일 위생적 품질을 보장하기 위해 적색육(쇠고기, 양고기, 돼지고기 등)에 4.5~7.5 kGy 선량까지의 방사선 조사를 허가하였다⁽³⁾.

방사선 조사는 국제기구(FAO/IAEA/WHO)와 선진 여러나라에서 그 안전성과 경제성이 공인되어 현재 39개국에서 40여 식품군(230여 품목)이 각국 보건당국에 의해 허가되어 실용화되고 있다^(4,5). 이를 배경으로 WTO 체제하에서 육류의 국제교역에서 방사선 조사기술의 이용이 확대될 전망이고, 이에 따른 국가간 무역마찰 방지와 소비자의 수용성 확보 등 국내 연구 자료의 마련이 필요시 되고 있다. 또한 육류의 수요, 생산 및 수입량의 증가는 이들 제품의 위생적이고 효율적인 도살공정과 안전한 저장 및 유통기술의 확보가 요구되고 있다. 따라서 식육의 위생적 생산과 유통을 위한 한 방법으로써 식육으로부터 기인되는 병원성 미생물과 기생충에 의한 질병의 억제 및 국제무역에서의 위생적 기준을 만족시키기 위한 수단으로써 방사선 조사기술의 이용이 제안되었으며 점차 확대될 전망이다⁽⁶⁾.

이에 본 연구에서는 돈육 등심을 감마선 조사한 후 냉장 저장하면서 이화학적 특성 변화를 조사하였다.

Corresponding author: Myung-Woo Byun, Team for Food Irradiation, Korea Atomic Energy Research Institute, Yusong, Taejeon P. O. Box 105, 305-535, Korea

재료 및 방법

시료 및 감마선 조사

도축 후 24시간이 경과된 돈육 등심을 구입하여 사용하였다. 근육 외부의 과도한 지방과 근막을 제거한 후 근육을 길이가 5 cm (약 500 g) 내외가 되도록 절단한 후 진공 및 합기 포장을 하였다. 포장된 시료를 Co-60 감마선 조사시설(선원 10만 Ci)을 이용하여 시간당 2 kGy의 선량율로 1, 3, 5 및 10 kGy의 총흡수선량을 얻도록 조사하였고, ceric-cerous dosimeter를 이용하여 흡수선량을 확인하였다. 이때 흡수선량의 오차범위는 ± 0.12 kGy였다. 감마선 조사된 시료는 $4 \pm 1^\circ\text{C}$ 냉장고에 7일 동안 저장하면서 분석용 시료로 사용하였다.

기계적 색도 및 육색소 함량 측정

돈육 등심의 표면색도는 color/color difference meter (ND-1001 NP, I&T Co. Ltd., Japan)를 사용하여 Hunter 색차계의 명도(L, lightness), 적색도(a, redness) 및 황색도(b, yellowness)를 5회 반복 측정하여 평균값을 얻었다. 이때 사용된 표준 백판의 L, a, b값은 90.6, 0.4 및 3.3이었다. 또한 각 시료에 대한 heme pigment의 상대적 농도는 Krzywichi[®]의 방법에 의하여 5회 반복 측정하여 평균값으로 나타냈다.

단백질 용해성 측정

근혈장 단백질과 근섬유 단백질 용액은 Wagner와 Anon[®]의 방법을 변형하였다. 즉, 2 g의 시료에 20 mL의 0.15 M NaCl과 10 mM sodium phosphate 혼합완충용액(pH 7.0, PBS)을 첨가한 후 균질기(Ultratrex, Heidolph DIAX 900)에서 10,000 rpm의 회전속도로 3분간 균질화한 후 9,000 rpm으로 4°C에서 30분간 원심분리하였다. 상등액을 Whatman No. 3 여과지를 사용하여 여과한 후 그 여액을 근혈장 단백질 용액으로 사용하였다. 원심분리 후 남은 침전물을 PBS를 사용하여 같은 방법으로 3회 수세한 후 침전된 부분에 0.6 M NaCl과 10 mM sodium phosphate 혼합완충액(pH 7.0, high salt buffer, HSB)을 첨가한 후 다시 균질하고 원심분리기에서 9,000 rpm으로 4°C에서 30분간 원심분리하였다. 상등액을 Whatman No.3 여과지를 사용하여 여과하여 얻은 여액을 근섬유 단백질 용액으로 사용하였다.

위의 방법으로 얻어진 단백질 용액들의 단백질 농도를 결정하기 위하여 Bicichinonic acid (BCA) protein assay kit (Sigma Chemical Co., St Louis, MO, U.S.A)를

사용하였고⁽¹⁰⁾, 표준용액으로는 0.5 mg/mL에서 5.0 mg/mL 농도의 bovine serum albumin 용액을 사용하였다. 단백질 용해성은 근혈장 단백질과 근섬유 단백질의 농도를 합하여 산출하였다.

Purge loss 측정

Seideman 등⁽¹¹⁾의 방법을 사용하여 저장 기간 동안에 발생된 시료의 총 수분 손실량을 측정하였다. 육즙 손실(drip loss)은 감마선 조사 후 저장 기간 동안 시료에서 삼출되어 나온 육즙의 무게를 측정하였다. 육즙 손실을 측정 후 시료를 포장지에 넣고 80°C로 고정된 water bath에서 시료의 중심온도가 70°C가 될 때까지 가열 처리한 후 실온에서 방냉하였다. 방냉 후 발생된 가열감량(cooking loss)의 양을 측정하였다. 측정된 각 시료의 육즙손실과 가열감량의 양을 합하여 시료의 전체무게에 대한 백분율로 표시하였다.

전기영동에 의한 단백질의 변화 측정

Denatured polyacrylamide gel (SDS-PAGE, 10% acrylamide)에서 근혈장 단백질과 근섬유 단백질의 전기영동적 분리 형태를 조사하였다. 전기영동을 실시하기 전에 각 시료의 단백질 함량을 2 mg/mL로 일정하게 조정하였다. 전기영동은 Laemmli⁽¹²⁾의 방법을 이용하였고, 전개가 끝난 후 Claes 등⁽¹³⁾의 방법에 따라 gel을 염색하고 탈색하였다. 전기영동용 분자량 표시 marker로써 prestained molecular weight marker (Sigma Chemical Co., St Louis, MO, U.S.A.)를 사용하였다.

전단력 측정

Liu 등⁽¹⁴⁾의 방법을 사용하여 purge loss 측정이 끝난 시료를 방냉한 후 직경 1 cm의 천공기로 횡축출 방향으로 천공한 후 texture analyser (TA-XT2i, Stable Micro Systems, England)를 사용하여 전단력을 측정하였다.

결과 평가 및 통계처리

얻어진 결과들은 SAS software⁽¹⁵⁾에서 프로그램된 general linear procedures, least square 평균값을 Duncan의 multiple range test법을 사용하여 평가하였다.

결과 및 고찰

색도 및 육색소 함량의 변화

식육의 색택은 시각적 상품가치면에서 소비자의 기호에 큰 영향을 끼친다⁽¹⁶⁾. 감마선 조사된 돈육 등심의 포장방법에 따른 Hunter값의 변화는 Fig. 1과 같다. 감

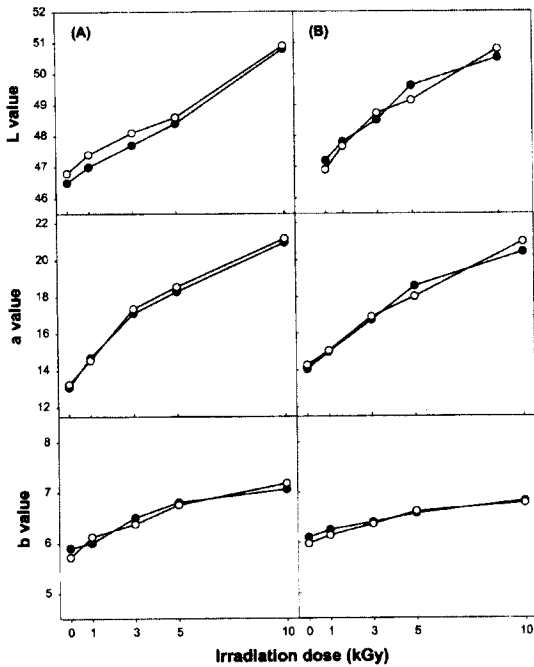


Fig. 1. Hunter's color values of gamma-irradiated pork loin. Pork loins vacuum-packaged (A) and air-packaged (B) were irradiated at the designed doses of 0, 1, 3, 5 and 10 kGy. Color values were determined on the surface (●—●) and inside (○—○) of the sample.

마선 조사시 돈육 등심의 표면 색도는 포장 방법에 관계없이 가지적으로 관찰하였을 때 밝은 선홍색을 나타냈으며, 선량의 증가에 비례하는 것으로 관찰되었다. Hunter 값에서는 감마선 조사에 의해 L, a, b값이 모두 증가하였고, 특히 L값과 a값의 증가는 돈육 등심이 밝은 선홍색을 유지하는 것을 설명하여 준다. 식육의 myoglobin은 산화하여 oxymyoglobin을 형성하고 산화 과정이 계속 진행됨에 따라 metmyoglobin을 형성하게 된다. 이 기작은 산소의 존재하에서 일반적으로 일어나지만, 감마선 조사된 식육은 이온화 에너지의 흡수에 의해 Fe²⁺의 산화가 발생되어 Fe³⁺의 생성과 함께 감마선 자체에 의한 metmyoglobin의 파괴가 발생된다⁽¹⁷⁾. 감마선 조사된 돈육 등심에서 발견되는 밝은 선홍색은 시료의 내부까지 그 색택을 유지하고 있으며, 저장 기간에 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 감마선 조사된 우육에서 발견되는 색택의 변화, 즉 감마선 조사에 의한 암적색으로의 변화⁽¹⁸⁾와는 다른 양상을 나타냈고, 이것은 근육이 함유한 myoglobin의 함량의 차이와 시료로 사용된 근육부위의 차이에서 나타나는 것으로 판단되며, 또한 10 kGy 이하의 선량에서 감마선 조사된 돈육 등심의 색

Table 1. Changes in relative concentration of heme pigments in gamma-irradiated pork loin during storage at 4°C

Packaging type	Heme pigment	Irradiation dose (kGy)	Storage period (day)			
			0	1	3	7
Vacuum	Myoglobin	0	0.46 ¹⁾	0.45	0.48	0.44
		1	0.42	0.45	0.46	0.43
		3	0.42	0.42	0.49	0.45
		5	0.41	0.43	0.45	0.44
		10	0.42	0.45	0.47	0.44
Air	Oxymyoglobin	0	0.24	0.22	0.21	0.24
		1	0.25	0.23	0.23	0.25
		3	0.28	0.27	0.25	0.24
		5	0.30	0.26	0.26	0.25
		10	0.29	0.28	0.28	0.28
Vacuum	Metmyoglobin	0	0.43	0.42	0.44	0.42
		1	0.41	0.43	0.42	0.43
		3	0.45	0.43	0.43	0.44
		5	0.44	0.44	0.43	0.45
		10	0.44	0.45	0.44	0.42
Air	Myoglobin	0	0.42	0.42	0.40	0.39
		1	0.44	0.42	0.37	0.35
		3	0.44	0.41	0.39	0.39
		5	0.43	0.41	0.38	0.36
		10	0.42	0.42	0.41	0.40
Vacuum	Oxymyoglobin	0	0.28	0.31	0.34	0.36
		1	0.25	0.30	0.32	0.37
		3	0.25	0.28	0.32	0.34
		5	0.25	0.27	0.34	0.37
		10	0.28	0.30	0.35	0.38
Air	Metmyoglobin	0	0.43	0.43	0.45	0.48
		1	0.41	0.43	0.46	0.50
		3	0.45	0.44	0.47	0.49
		5	0.44	0.46	0.48	0.52
		10	0.44	0.47	0.48	0.51

¹⁾These values were statistically evaluated by SAS at 5% level.

택 개선 효과를 시사하고 있다. Hunter 값의 결과를 육색소의 변화와 비교하기 위하여 heme pigment의 상대적인 함량을 측정하였다. 감마선 조사 직후 진공 포장구와 합기 포장구의 myoglobin과 metmyoglobin 함량은 큰 차이를 나타내지 않았다(Table 1). 그러나, oxymyoglobin의 함량이 조사 선량의 증가에 따라 증가하는 경향을 나타냈다. 이러한 결과는 oxymyoglobin의 증가가 감마선 조사된 돈육 등심이 밝은 선홍색을 나타내는 것을 뒷받침하여 준다. 7일까지 냉장하는 동안 각 색소의 함량은 큰 차이를 나타내지 않았고, 합기포장구의 metmyoglobin이 약간 증가하였으며 이는 Kwak⁽¹⁹⁾이 보고한 결과와 일치하였다.

단백질 용해성의 변화

감마선 조사에 의해 돈육은 구성성분의 변화에 의

Table 2. Protein solubility of gamma-irradiated pork loin during storage at 4°C

(unit: mg/mL)

Packaging type	Irradiation dose (kGy)	Storage period (day)			
		0	1	3	7
Vacuum	0	6.52±0.13 ¹⁾	4.92±0.23	4.22±0.24	4.52±0.21
	1	6.82±0.25	5.69±0.22	4.95±0.27	5.21±0.32
	3	7.22±0.21	6.34±0.32	5.82±0.22	5.51±0.31
	5	7.47±0.16	7.06±0.34	6.61±0.23	5.58±0.27
	10	7.80±0.17	7.77±0.18	6.92±0.16	5.96±0.25
Air	0	6.43±0.21	5.25±0.22	6.06±0.22	5.81±0.21
	1	6.26±0.18	6.49±0.21	5.99±0.22	6.76±0.28
	3	6.68±0.22	7.22±0.29	7.37±0.22	6.08±0.17
	5	6.84±0.23	7.11±0.18	7.28±0.17	7.11±0.21
	10	7.28±0.24	7.76±0.16	7.37±0.32	6.63±0.23

¹⁾These values were statistically evaluated by SAS at 5% level.

한 물성학적 특성의 변화가 발생한다.^(1,3) 돈육은 약 80% 내외의 수분을 가지고 있으며, 수분은 대부분 유리수 및 고정수의 형태로 근육내에 존재한다. 근육내 고정수와 결합수는 단백질과 결합되어 있으며, 결합 형태와 양에 따라 돈육의 물성학적 특성에 영향을 미친다. 감마선 조사에 의해 육단백질의 변화가 발생한다는 연구결과 등에 비추어볼 때 단백질의 변화는 결합되어 있는 물과의 반응에도 영향을 미칠 것이다⁽²⁰⁻²²⁾.

감마선 조사와 포장 방법에 따른 돈육 단백질의 용해성의 변화는 Table 2와 같다. 진공포장구의 경우 근섬유 단백질의 용해성은 감마선 조사에 의해 약하게 증가되었고, 근혈장 단백질의 용해성은 감마선 조사의 영향을 거의 받지 않는 것으로 판단된다. 저장 기간 동안 용해성의 변화는 역시 두드러지게 나타나지 않았고, 모든 처리구에서 약간 증가하는 것으로 나타났다.

합기포장구에서 육단백질의 용해성을 보면 감마선 조사에 의해 증가되는 경향을 나타냈다. 1 kGy의 조사구에서 조사직후 다소 높은 용해성을 나타냈지만, 유

의적인 차이를 나타내지는 않았다($p>0.05$). 저장기간의 경과에 따른 용해성 역시 큰 변화가 없이 처리구들 간의 유의적인 차이를 나타내지 않았다.

Purge loss의 변화

돈육 등심의 수분 손실은 감마선 조사에 의해 다소 영향을 받는 것으로 나타났고, 포장방법에서는 합기포장에 비해 진공포장구의 수분 손실이 더 많은 것으로 나타났다(Table 3). 진공포장구의 수분손실은 포장시 진공상태에서 육즙의 유출이 크게 발생하여 저장 1일에는 약 22~26% 내외의 수분손실을 나타냈다. 저장기간에 따른 수분손실을 보면 모든 시험구에서 저장기간이 경과함에 따라 증가하는 경향을 보였고, 감마선 조사에 의한 수분손실은 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 근육내 수분의 손실은 일반적으로 저장온도와 포장방법에 따라서도 차이가 있다. 진공포장의 경우 합기포장보다 약간 더 많은 수분을 손실한다. 이러한 결과로 볼 때, 돈육 오염 병원성 미생물의 완전살균선량인 5 kGy까지의 감마선 조사는 돈육 등심의 수분손

Table 3. Purge loss of gamma-irradiated pork loin during storage at 4°C

(unit: mg/mL)

Packaging type	Irradiation dose (kGy)	Storage period (day)			
		0	1	3	7
Vacuum	0	20.82±0.76 ¹⁾	23.04±0.87	25.19±0.68	25.26±0.64
	1	21.19±0.58	22.46±0.82	24.88±0.68	25.19±0.65
	3	21.75±0.35	23.18±0.76	25.53±0.37	26.13±0.78
	5	22.35±0.86	24.36±0.57	26.52±0.54	27.44±0.81
	10	22.43±1.02	26.48±0.46	26.75±0.74	27.39±0.69
Air	0	18.61±0.54	19.73±1.14	20.15±0.99	22.54±0.88
	1	19.82±0.56	21.18±0.95	20.23±1.20	21.53±1.17
	3	20.06±0.75	22.39±0.87	21.36±1.21	23.12±0.96
	5	20.54±0.71	19.19±0.84	24.36±0.98	23.42±0.87
	10	21.12±0.64	24.25±0.59	24.50±0.86	25.17±1.06

¹⁾These values were statistically evaluated by SAS at 5% level.

Fig. 2. Electrophoretic patterns (SDS-PAGE, 10% acrylamide) of sarcoplasmic proteins and myofibrillar proteins extracted from gamma-irradiated pork loin. Pork loins vacuum-packaged (A) and air-packaged (B) were irradiated at the designed doses of 0, 1, 3, 5 and 10 kGy. Concentration of protein was adjusted into 2 mg/mL with an extracting buffer. M and numeric numbers on the gels indicate molecular weight of standard marker and irradiated doses, respectively.

실에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다^(2,11).

전기영동에 의한 단백질의 변화

감마선 조사에 의한 근섬유 단백질과 근혈장 단백질의 전기영동적 분리 형태의 차이점은 관찰되지 않았다(Fig. 2). 진공포장구의 비조사구에서 myosin (212 kilodalton, kDa)과 actin (48 kDa)의 띠가 감마선 조사구들 보다 진하게 발견되었으나, 합기포장구의 경우 비조사구에서 근섬유 단백질들의 분리 형태가 불분명하게 나타났다. 그러나 다른 근섬유 단백질들의 분리 형태는 감마선 조사에 의해 큰 차이를 나타내지 않았다. 근섬유 단백질들의 감마선 조사보다는 포장방법에 의해 근섬유 단백질들의 전기영동적 분리 형태가 약간 다르게 나타났다^(18,23).

전단력의 변화

감마선 조사에 의한 돈육 등심의 전단력 측정 결과는 Fig. 3과 같다. 감마선 조사구의 전단력 값은 비조사구에 비해 조사선량의 증가와 더불어 크게 감소되는 것으로 나타나 감마선 조사가 돈육 등심의 연도개선 효과를 가져올 수 있을 것으로 생각된다. 일반적으로 저장기간 중 식육의 연도는 점차 개선되는데 이는 식육 내부에 존재하는 다양한 단백분해 효소들의 작용이 근육을 식육의 형태로 전환하는 주요한 과정 중의 하나이다⁽⁹⁾. 감마선 조사에 의한 식육의 연도개선 효과는 Horowitz 등⁽²⁴⁾과 Yook 등⁽²⁵⁾의 보고에서와 같

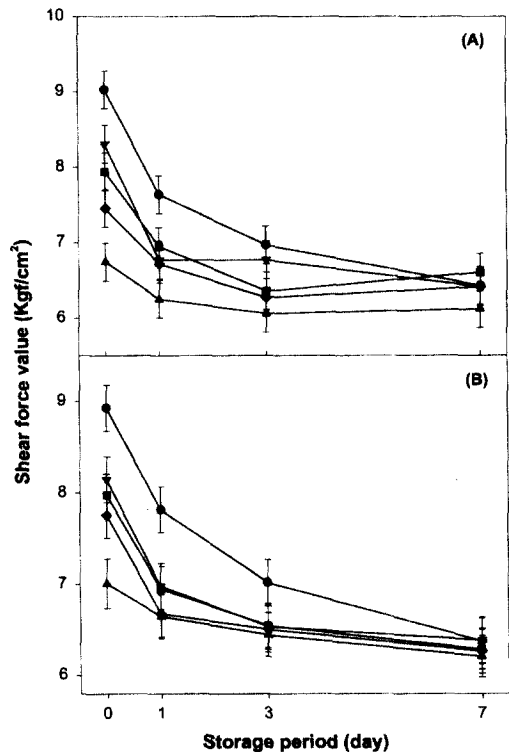


Fig. 3. The changes in shear-force values of gamma-irradiated pork loin during storage at 4°C. Pork loins vacuum-packaged (A) and air-packaged (B) were irradiated at the designed doses of 0 (●—●), 1 (▼—▼), 3 (■—■), 5 (◆—◆) and 10 kGy (▲—▲). Mean values were significantly different (p<0.05).

이 감마선 조사는 근육내 collagen 단백질들인 titin과 nebulin의 파괴와 perimysium과 endomysium의 파괴 속도가 비조사근육보다 빠르게 진행되고 이로 인해 감마선 조사가 식육의 연도를 개선한다고 판단된다. 따라서 감마선 조사에 의한 육질의 연도 개선효과는 상기 실험결과로 볼 때 유의성이 있는 것으로 판단되며($p < 0.05$), 감마선 조사에 의한 연도에 관여하는 효소들의 활성에 대한 연구를 더 수행할 예정이다.

요 약

사후경직이 끝난 돈육의 이화학적 특성에 대한 감마선 조사의 영향을 알아보기 위하여 돈육 등심을 진공 및 합기포장한 후 1, 3, 5 및 10 kGy 선량의 감마선을 조사하였다. 감마선 조사 후 냉장(4°C) 상태에서 저장하는 동안 Hunter 색도 및 육색소 함량의 변화, 육단백질 용해성, 수분손실, 전기영동적 변화 및 전단력 변화를 측정하였다. 감마선 조사가 돈육의 수분손실과 전기영동적 단백질 형태에는 유의적인 차이를 나타내지 않았고($p > 0.05$), 감마선 조사선량에 의존하며 L값과 a값의 유의적 증가가 관측되었으며, 저장 기간이 경과하여도 선홍색을 유지하였다. 감마선 조사된 돈육 등심의 단백질 용해성은 조사선량에 따라 증가하는 것으로 나타났고 전단력은 감소하였다. 그러나 포장방법에 따른 유의적 차이는 없었다. 5 kGy 선량 내외의 감마선 조사는 돈육 등심의 이화학적 특성에 큰 영향을 주지 않으면서 육색이나 조직 연화 등 품질개선효과를 가져왔다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

문 헌

1. Taub, I.A., Robbins, F.M., Simic, M.G., Walker, J.E. and Wierbick, E.: Effect of irradiation on meat proteins. *Food Technol.* **33**, 184-193 (1979)
2. Lee, M., Sebranek, J. and Parrish, F. C. Jr.: Accelerated postmortem ageing of beef utilizing electron-beam irradiation and modified atmosphere packaging. *J. Food Sci.*, **61**, 133-136, 141 (1996)
3. Fox, J.B.Jr., Lakritz, L. Hampson, J., Richardson, R., Ward, K. and Thayer, D.W.: Gamma irradiation effects on thiamin and riboflavin in beef, lamb, pork, and turkey. *J. Food Sci.*, **60**, 596-603 (1995)
4. Olson, D.G.: Irradiation of food. *Food Technol.*, **52**, 56-64 (1998)
5. Thayer, D.W.: Wholesomeness of irradiated foods. *Food Technol.*, **48**, 58-67 (1994)
6. Kang, I.J., Kwak, H.J., Lee, B.H., Kim, K.H., Byun, M. W. and Yook, H.S. Genotoxicological and acute toxicological safeties of gamma irradiated beef. (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **30**, 775-780 (1998)
7. Byun, M.W.: Application and aspect of irradiation technology in food industry. (in Korean) *Food Sci. Ind.*, **30**, 89-100 (1997)
8. Krzywichi, K.: The determination of heme pigments in meat. *Meat Sci.*, **7**, 29-36 (1982)
9. Wagner, J.R. and A on, M.C.: Effect of frozen storage on protein denaturation in bovine muscle. II. Myofibrillar ATPase activity and differential scanning calorimetric studies. *J. Food Technol.*, **21**, 9-18 (1986)
10. Hill, H.D. and Straka, J.G.: Protein determination using bicinchoninic acid in the presence of sulfhydryl reagents. *Anal. Biochem.*, **170**, 203-208 (1988)
11. Seideman, S.C., Carpenter, Z.L., Smith, G.S. and Hork, K.E.: Effect of degree of vacuum and length of storage on the physical characteristics of vacuum packaged beef wholesale cut. *J. Food Sci.*, **41**, 732-735 (1976)
12. Lammni, U.K.: Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, **227**, 680-685 (1970)
13. Claeys, E., Buts, U.R. and Demeyer, D.: Quantification of beef myofibrillar proteins by SDS-PAGE. *Meat Sci.*, **39**, 177-193 (1995)
14. Liu, A., Nishimura, T. and Takahashi, K.: Structural weakening of intramuscular connective tissue during post mortem ageing of chicken *Semitenidinosus* muscle. *Meat Sci.*, **39**, 135-142 (1995)
15. SAS: SAS User's Guide. Statistics, 6th edition, SAS Institute Inc., Cary, NC, U.S.A. (1988)
16. Jhu, L.G. and Brewer, M.S.: Discoloration of fresh pork as related to muscle and display conditions. *J. Food Sci.*, **63**, 763-767 (1998)
17. Clarke, R. and Richards, J.F.: Effect of γ -irradiation on beef myoglobin. *J. Agr. Food Chem.*, **19**, 170-174 (1971)
18. Yook, H.S.: Effect of gamma irradiation on the microbiological, biochemical, morphological, nutritional, toxicological and food processing characteristics of beef. *Ph.D. Thesis*, Chungnam National Univ., Korea (1999)
19. Kwak, H.J.: Studies on the improvement of preservation and wholesomeness of meats by gamma-irradiation. *Ph. D. Thesis*, Sejong Univ., Korea (1998)
20. ICGFI: Irradiation of red meat. IAEA-TECDOC-902, IAEA, Vienna, p. 19-20 (1996)
21. Filali-mouhim, A., Audette, M., St-louis, M., Thauvette, L., Denoroy, L., Penin, F., Chen, X., Rouleau, N., Le Caer, J.P., Rossier, J., Potier, M. and Le Maire, M.: Lysozyme fragmentation induced by γ -radiolysis. *Int. J. Radiat. Biol.*, **72**, 63-70 (1997)
22. Kume, T. and Matsuda, T.: Changes in structural and antigenic properties of proteins by radiation. *Radiat. Phys. Chem.*, **46**, 225-231 (1995)
23. Hajos, G., Matrai, B., Szerdahelyi, E. and Orsi, F.: Differences in the electrophoretic patterns of soluble pork

- proteins as a consequence of pig rearing conditions. *Meat Sci.*, **41**, 77-87 (1995)
24. Horowitz, R., Kempner, E.S., Bisher, M.E. and Podolsky, R.J.: A physiological role for titin and nebulin in skeletal muscle. *Nature*, **323**, 160-164 (1986)
25. Yook, H.S., Lee, J.W., Lee, K.H., Kim, M.K., Song, C. W. and Byun, M.W.: Effect of gamma irradiation on the microstructure and anaerobic metabolism of post-mortem bovine muscle. *J. Sci. Food Agric.*, **JSFA 446/1998**, In Press (1999)
-

(1999년 1월 23일 접수)