

감마선 조사가 우육의 단백질 용해성, 수분손실 및 전단력에 미치는 영향

육홍선 · 이주운 · 이현자** · 김종근*** · 김경표* · 변명우
한국원자력연구소 방사선식품공학기술개발팀, *국제협력실
*국립한경대학교 가정학과, **세종대학교 가정학과

Effect of Gamma Irradiation on the Protein Solubility, Purge Loss and Shear Force of Beef

Hong-Sun Yook, Ju-Woon Lee, Hyun-Ja Lee**, Jong-Goon Kim***,
Kyoung-Pyo Kim*, Myung-Woo Byun
Team for Food Irradiation, *Office of International Cooperation,
Korea Atomic Energy Research Institute
**Department of Home Economics, National Hankyong University
***Department of Home Economics, King Sejong University

Abstract

Post mortem bovine muscle, *semitendinosus* was used to investigate the effects of gamma irradiation on physicochemical properties. The muscle was cut into pieces of 2 cm in thickness and packaged with 2 different methods; vacuum-packaged and air-packaged. The packaged samples were irradiated at designated doses of 0, 1, 3 and 5 kGy by Cobalt-60 irradiator. Muscle protein solubility, purge loss, composition and contents of free amino acids, and shear force were observed during storage at 4°C. We found no significant differences in the purge loss and the contents of free amino acids. Muscle protein solubility slightly increased depending upon the increase of the dose. The decrease of shear force by gamma irradiation was observed. Therefore, it is considered that meat quality can be improved by gamma irradiation.

Key words: beef, gamma irradiation, physico-chemical properties, meat quality

서 론

최근 식생활의 서구화에 따른 육류의 수요와 생산이 크게 증가함에 따라 이들 제품의 위생적이고 효율적인 도살공정, 안전한 공급을 위한 저장 및 유통기술의 확보가 필수적이다. 식육의 위생적인 생산과 유통을 위한 한 방법으로서 식육으로부터 기인되는 병원성 미생물과 기생충에 의한 질병 등의 억제 및 국제무역에서의 위생적 기준을 만족시키기 위한 수단으로 방사선 조사기술의 사용이 제시되었으며 점차 확대될 전망이다⁽¹⁾. 적절한 선량의 방사선 조사는 식품의 물리화학적 및 관능적 특성에 영향을 주지 않고 식품에서 유래하는 이들 오염 유기체들로부터의 위험을 상당히 줄일 수 있는 유익한 식품위생화 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)의 방사선 조사를 3~7 kGy까지 허가하였다. 현재, 국제기구(FAO/IAEA/WHO)와 선진 여러 나라에서 그 건전성과 경제성이 공인되어 현재 39개국에서 40여 식품군(230여 품목)이 각국 보건 당국에 의해 방사선 조사가 허가되어 실용화되고 있다^(2,4). 이를 배경으로 WTO체제하에서 육류의 국제교역에서 방사선 조사기술의 이용이 확대될 전망이며 이에 따라 국가간 무역 마찰 방지와 소비자의 수용성 확보 등 국내 연구자료의 마련이 필요시 된다.

우육에 대한 방사선 조사의 영향은 물의 이온화로부터 유래된 활성 유리 radical들과 우육성분과의 화학적 반응 및 그 반응에서 생성된 또 다른 화합물들에 의한 2차 화학적 반응으로 나누어 생각할 수 있으며, 이들은 우육성분의 미생물학적·이화학적 특성과 물성

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

Table 1. Muscle protein solubilities of vacuum-packaged and gamma-irradiated beef during storage at 4°C (mg/mL)

Irradiated dose (kGy)	Storage periods				
	0	1	3	5	7
0	4.96±0.14 ¹⁾	5.17±0.25	4.71±0.17	4.60±0.09	5.10±0.23
1	5.09±0.21	5.27±0.22	4.71±0.31	4.83±0.21	5.21±0.21
3	5.22±0.18	5.16±0.27	4.88±0.34	4.67±0.24	5.26±0.19
5	5.19±0.11	5.27±0.23	4.75±0.11	5.26±0.21	5.17±0.25

¹⁾These values were statistically evaluated by SAS program and recognized significant differences in the range of $p < 0.05$.

에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다^{6,7)}.

이에 본 연구에서는 감마선 조사 후 냉장 저장하는 동안 우육의 이화학적 특성을 평가하여 감마선 조사된 우육과 비조사 우육의 차이를 발견하고, 식품으로서의 가치를 판단하기 위하여 실험을 실시하였다.

재료 및 방법

시료 및 감마선 조사

도축 후 24시간이 경과된 한우 암소의 muscle (m. *semitendinosus*)를 구입하여 본 연구에 사용하였다. 근육외부의 과도한 지방과 근막을 제거한 후 근육을 두께 2 cm (약 200 g)되게 절단한 후 진공포장과 합기포장을 하였다. 포장된 시료를 Co-60 감마선 조사시설 (10만 Ci)을 이용하여 시간당 2 kGy의 선량율로 1, 3, 5 kGy의 총흡수선량을 얻도록 조사하였고, ceric-cerous dosimeter를 이용하여 흡수선량을 확인하였다. 이때 흡수선량의 오차범위는 ± 6 Gy였다. 감마선 조사된 시료는 $4 \pm 1^\circ\text{C}$ 냉장고에 7일 동안 저장하면서 시험시료로 사용하였다.

단백질 용해성 측정

Wagner와 Añon⁸⁾의 방법을 사용하여, 시료의 단백질 용해성을 평가하였다. 2 g의 우육에 20 mL의 0.6 M NaCl과 10 mM sodium phosphate 혼합 완충액 (pH 7.0)을 첨가한 후 균질기(Diax 900, Heidolph Co., Germany)에서 10,000 rpm의 회전속도로 3분간 균질화하고 냉장실에서 1시간 동안 교반시킨 후 9,000 rpm으로 4°C에서 30분간 원심분리를 실시하였다. 상등액을 Whatman No. 3 여과지를 사용하여 여과한 후 그 여액을 용해성 측정에 사용하였다. 단백질을 측정하기 위하여 bicichinonic acid (BCA) protein assay kit (Sigma Chemical Co., St Louis, MO, U.S.A)를 사용하였다. 표준용액으로는 1 mg/mL에서 10 mg/mL 농도의 bovine serum albumin 용액을 사용하였다.

Purge loss

Seideman 등⁹⁾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 손실 측정 후 시료를 진공포장기에 넣고 80°C로 고정된 water bath에서 시료의 중심온도가 70°C가 될 때까지 가열 처리한 후 실온에서 방냉하였다. 방냉 후 발생된 가열 감량(cooking loss)의 양을 측정하였다. Purge loss는 측정된 각 시료의 육즙손실과 가열감량의 양을 합하여 시료의 전체무게에 대한 백분율로 표시하였다.

유리아미노산의 분석

Feidt 등¹⁰⁾의 방법을 변형하여 가열 처리 후 발생된 cooking loss (가열육즙)에 들어있는 유리아미노산을 분석하였다. 가열감량에서 얻은 용액들을 0.22 μm membrane filter를 사용하여 여과한 후 여액 50 μL 를 취하여 Tarri¹¹⁾의 방법을 사용하여 hydrolysis와 PITC labeling을 실시하였다. PITC 표식된 시료 400 μL 중에서 10 μL 를 취하여 아미노산 분석기(Pharmacia LKB, Sweden)에 주입하였다. 분석된 결과들은 총 검출된 아미노산의 양에 대한 각각의 아미노산의 함량 비로서 나타내었다.

전단력 측정

Liu 등¹²⁾의 방법을 사용하여 방냉이 끝난 시료를 직경 1 cm의 천공기로 횡축줄 방향으로 천공한 후 Texture analyser (TA-XT2i, Stable Micro Systems, England)를 사용하여 전단력을 측정하였다.

결과 및 고찰

단백질 용해성의 변화

감마선 조사에 의해 우육은 구성성분의 변화에 의한 물성학적 특성의 변화가 발생한다^{6,7)}. 우육은 약 80% 내외의 수분을 가지고 있으며, 수분은 대부분 유리수 및 고정수의 형태로 근육내에 존재한다. 근육내 고정수와 결합수는 단백질과 결합되어 있으며, 결합

Table 2. Muscle protein solubilities of air-packaged and gamma-irradiated beef during storage at 4°C (mg/mL)

Irradiated dose (kGy)	Storage periods				
	0	1	3	5	7
0	5.11±0.25 ¹⁾	5.07±0.24	5.06±0.10	4.88±0.22	5.02±0.21
1	5.41±0.22	5.47±0.26	5.10±0.22	4.82±0.24	5.23±0.23
3	5.23±0.24	5.16±0.10	5.27±0.25	5.04±0.22	5.06±0.26
5	5.19±0.21	5.26±0.24	4.95±0.22	5.32±0.19	5.31±0.15

¹⁾These values were statistically evaluated by SAS program and recognized significant differences in the range of $p < 0.05$.

형태와 양에 따라 우육의 물성학적 특성에 영향을 미친다. 감마선 처리에 의해 육단백질의 변화가 발생된다는 연구결과 등에 비추어볼 때 단백질의 변화는 결합되어 있는 물과의 반응에도 영향을 미칠 것이다⁽¹³⁻¹⁶⁾.

감마선 조사와 포장 방법에 따른 우육 단백질의 용해성의 변화는 Table 1에서와 같이 큰 변화를 나타내지 않았다. 진공포장구의 경우 근섬유 단백질의 용해성은 감마선 조사에 의해 약간 증가되었다. 근혈장 단백질의 용해성은 감마선 조사에 의해 크게 영향을 받지 않는 것으로 판단된다. 저장 기간 동안의 용해성 변화도 두드러지게 나타나지 않았고, 모든 처리구에서 약간 증가하는 것으로 나타났다.

합기포장구에서의 육단백질 용해성의 변화는 Table 2와 같다. 감마선 조사에 의해 용해성이 증가되는 경향을 나타냈다. 1 kGy의 조사구에서 조사직후 높은 용해성을 나타냈지만, 유의적인 차이를 나타내지는 않았다($p > 0.05$). 저장기간이 경과되어도 용해성의 변화는 두드러지게 나타나지 않았으며, 처리구들

간의 유의적인 차이도 나타나지 않았다.

Purge loss의 변화

근육내 수분의 손실은 보통 저장온도와 포장방법에 따라서도 차이가 있다. 진공포장의 경우 합기포장보다 약간 더 많은 수분을 손실하고, 냉장상태보다는 높은 온도에서의 저장시 수분 손실량이 더 많이 발생된다⁽⁶⁾. 감마선 조사된 우육의 수분 손실은 조사선량에 따라 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다(Fig. 1). 그러나, 처리구에 따라 약간의 유의성은 인정되었다($p < 0.05$). 수분 손실은 모든 시험구에서 저장기간이 경과함에 따라 증가하였다. 합기포장구의 경우 저장 3일부터는 모든 처리구에서 큰 차이가 발견되지 않아, 수분손실은 조사선량에 영향을 받는 것으로 판단되지 않았다. 진공포장구의 수분손실은 진공상태에 의한 육즙의 발생이 많았고, 저장 1일에는 약 30% 내외의 수분손실을 나타냈다. 감마선 조사에 의한 수분손실의 차이는 발견되지 않았으며, 저장 기간이 경과됨에

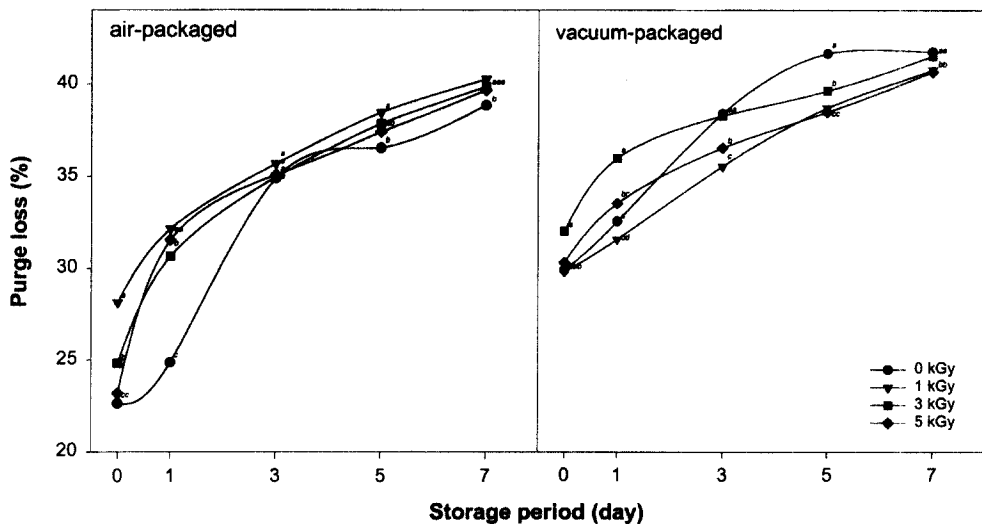


Fig. 1. The changes in purge loss (%) of gamma-irradiated beef packaged with different methods, air or vacuum, during at 4°C. Purge loss mean values within the same storage periods with different italic letters were significantly different in the range of $p < 0.05$.

따라 비조사구의 수분손실이 감마선 조사구 보다 더 높은 수치를 나타냈다. 합기포장구의 경우에서와 같이 감마선 조사에 의한 수분손실은 영향을 받지 않는 것으로 판단된다. 이러한 결과로 볼 때, 우육 오염 병원성 미생물의 완전살균선량인 5 kGy까지의 감마선 조사는 쇠고기의 수분손실에 큰 영향을 미치지 않으며, 오히려 포장방법에 의해 영향을 받는 것으로 사료된다^(6,9).

유리아미노산의 함량

Cooking loss에 존재하는 유리아미노산의 함량은 우육의 숙성정도, 영양과 정미성분의 생성 및 변화, 그리고 가공처리에 의한 육단백질의 변화를 판단하는 자료로 사용된다^(10,16). Table 3과 4는 진공포장구와 합기포장구에서 가열처리에 의해 발생된 cooking loss에 함유된 유리아미노산의 함량을 나타내고 있다. Cooking loss에 존재하는 유리아미노산의 함량은 진공포장구의 경우 감마선 처리구에서 더 높게 나타났다. 그러나, 저장 7일째에는 5 kGy 처리구를 제외한 다른 처리구들에서 유의적인 차이를 발견할 수 없었다($p >$

0.05). 진공포장구의 cooking loss에서 arginine, proline의 감소가 관찰되었으며, glutamine, histidine의 증가가 관찰되었다. 합기포장구의 cooking loss에서도 역시 조사선량이 증가함에 따라 유리아미노산의 함량이 증가하는 것으로 나타났다. 그러나, 저장 7일째는 비조사구와 3 kGy 처리구에서 높은 함량을 나타낸 반면, 1 kGy의 처리구에서는 낮은 함량을 나타냈다. 합기포장구에서는 aspartic acid, proline, methionine의 함량이 감소하고, serine, threonine, alanine이 증가하는 것으로 관찰되었다. 감마선 조사된 우육의 아미노산 함량 변화에 대한 다른 연구자들의 보고에서와 같이 유리아미노산의 함량과 각 아미노산의 함량비는 감마선 조사에 의해 영향을 받지 않는 것으로 나타났다^(5,16,18). 결론적으로 감마선 조사된 우육으로부터 유래한 cooking loss에 존재하는 유리아미노산의 함량은 변화가 없는 것으로 판단된다.

전단력의 변화

진공포장구의 전단력 값은 감마선 조사 직후 조사구에서 높게 나타났으나, 저장기간 동안 감마선 처리

Table 3. Free amino acid composition and content in cooking loss extruded from vacuum-packaged and gamma-irradiated beef during storage at 4°C (% , mM/mL)

Amino acid ^a	Irradiated dose (kGy)							
	0		1		3		5	
	0 day	7 day	0 day	7 day	0 day	7 day	0 day	7 day
Asp	0.32	0.27	0.34	0.51	0.37	0.26	0.90	0.60
Glu	2.18	2.00	1.88	4.55	3.16	4.78	2.25	4.10
Ser	0.54	0.61	0.56	0.73	0.58	0.78	0.63	0.85
Gly	2.77	2.66	2.75	2.58	2.44	2.96	2.87	3.05
His	1.96	2.03	1.57	2.63	2.59	3.19	2.80	3.04
Arg	66.10	65.45	63.53	59.12	64.59	53.56	63.09	54.76
Thr	8.37	8.06	8.31	8.80	8.82	7.97	8.28	8.28
Ala	8.40	8.99	8.89	11.30	9.01	13.68	10.96	12.68
Pro	3.00	4.12	5.52	2.94	3.73	4.09	3.11	4.28
Tyr	0.64	0.40	0.60	0.60	0.55	0.92	0.63	1.03
Val	1.15	1.15	1.13	1.37	1.09	1.59	1.29	1.60
Met	0.23	0.32	0.23	0.36	0.19	0.40	0.27	0.49
Cys2 ^b	0.05	0.04	0.24	0.08	0.04	0.29	0.19	0.23
Ile	0.90	0.74	1.01	1.13	0.76	1.66	0.97	1.20
Leu	0.96	1.06	0.92	1.28	0.85	1.37	1.07	1.45
Phe	0.47	0.47	0.41	0.55	0.34	0.64	0.46	0.68
Trp	0.18	0.87	0.15	0.25	0.14	0.29	0.15	0.23
Lys	0.88	0.76	0.96	0.90	0.75	0.99	0.89	1.05
Cys	n.d. ^d	n.d.	n.d.	0.32	n.d.	0.58	n.d.	0.40
Sum ^c	30.85	36.81	45.51	31.69	43.02	39.54	41.41	46.94

^aFull names of amino acids are abbreviated using expression of three letter.

^bCys2 indicates Cystine disulfide-linked with two Cysteines.

^cSum indicates free amino acid content (mM/mL) in cooking loss.

^dn.d. indicates no detection.

Table 4. Free amino acid composition and content in cooking loss extruded from air-packaged and gamma-irradiated beef during storage at 4°C (% , mM/mL)

Amino acid ^a	Irradiated dose (kGy)							
	0		1		3		5	
	0 day	7 day	0 day	7 day	0 day	7 day	0 day	7 day
Asp	0.22	0.29	1.10	0.46	0.08	0.19	0.34	0.43
Glu	1.29	2.49	1.66	2.45	1.72	2.87	2.67	2.47
Ser	0.73	1.19	0.95	1.14	0.96	1.19	0.83	1.13
Gly	3.52	2.07	3.98	2.13	1.88	2.23	1.71	2.04
His	1.77	2.99	2.16	2.19	2.04	2.64	2.78	2.33
Arg	70.10	62.05	64.64	62.66	64.90	56.92	66.33	63.02
Thr	7.01	7.56	8.09	7.74	8.69	8.38	7.80	7.62
Ala	9.24	12.96	12.16	13.40	11.94	14.97	10.48	12.22
Pro	1.76	2.68	1.70	1.57	2.24	4.47	1.92	3.12
Tyr	0.42	0.55	0.40	0.56	0.51	0.66	0.47	0.46
Val	1.07	1.27	1.07	1.35	1.24	1.26	1.19	1.25
Met	0.16	0.39	0.16	0.36	0.20	0.29	0.18	0.31
Cys ^{2b}	0.06	0.06	0.09	0.13	0.18	0.01	0.14	0.19
Ile	0.59	0.85	0.73	1.00	0.95	1.18	0.85	0.89
Leu	0.88	1.16	0.93	1.31	1.12	1.09	1.02	1.18
Phe	0.47	0.56	0.48	0.61	0.53	0.49	0.46	0.53
Trp	0.15	0.14	0.16	0.24	0.19	0.15	0.13	0.18
Lys	0.56	0.55	0.54	0.70	0.63	0.65	0.56	0.63
Cys	n.d. ^d	0.19	n.d.	n.d.	n.d.	0.36	0.14	n.d.
Sum ^c	20.88	39.19	20.78	16.68	22.01	37.38	28.73	26.88

^aFull names of amino acids are abbreviated using expression of three letter.

^bCys² indicates Cystine disulfide-linkaged with two Cysteines.

^cSum indicates free amino acid content (mM/mL) in cooking loss.

^dn.d. indicates no detection.

Fig. 2. The changes in shear force values (kg/cm²) of gamma-irradiated beef packaged with different methods, air or vacuum, during storage at 4°C. Mean values were significantly different in the range of p<0.05.

구의 전단력값이 비조사구보다 낮게 나타났으며, 조사선량의 증가와 함께 감소하는 경향을 나타냈다(Fig. 2). 이는 진공포장구에 대한 감마선 조사가 육질의 연

도개선효과를 부여한다는 것을 시사한다. 합기포장구에서 조사직후 전단력값은 감마선 처리에 의한 영향을 받지 않는 것으로 나타났다(Fig. 2). 그러나, 진공포

장구에서와 같이 저장 7일째 전단력값은 선량의 증가에 따라 감소되는 경향을 보였으나, 큰 차이를 나타내지는 않았다($p>0.05$). 저장기간 중 쇠고기의 연도는 점차 개선되는데 이는 쇠고기 내부에 존재하는 다양한 단백질 분해 효소들의 작용이 근육을 쇠고기의 형태로 전환하는 주요한 과정 중의 하나이다⁽⁹⁾. 감마선 조사에 의한 연도의 개선효과는 상기 실험결과와 볼 때 유의성이 있는 것으로 판단된다 ($p<0.05$). 그러나, 효소들의 활성에 의한 연도 개선에 대한 연구가 진행되어야 한다고 사료된다. 감마선 조사에 의한 식육의 연도개선 효과에 대해 Horowitz 등⁽¹⁹⁾과 Yook 등⁽²⁰⁾은 감마선 조사에 의한 근육내 collagen 단백질들인 titin과 nebulin의 파괴와 perimysium과 endomysium의 파괴 속도가 비조사우육 보다 빠르게 진행된다고 보고하고 있다. 따라서 감마선 처리는 식육의 연도를 개선한다고 판단된다.

요 약

사후경직이 끝난 우육의 이화학적 특성에 감마선 조사가 미치는 영향을 조사하기 위하여 우육의 *m. semitendinosus*를 공시시료로 사용하여 진공포장과 합기포장을 시킨 후 감마선 조사를 실시하였다. 냉장(4°C) 상태에서 저장하는 동안 육단백질 용해성, 수분손실, 유리아미노산의 함량 변화 및 전단력 변화를 측정 한 결과, 감마선 조사가 우육의 수분손실과 유리아미노산의 함량에는 영향을 끼치지 않는 것으로 나타났다. 한편, 감마선 조사된 우육의 단백질 용해성은 조사선량의 증가에 의존하여 증가하는 것으로 나타났고, 전단력은 감소되었다. 그러나, 포장방법에 따른 차이는 발견되지 않았다. 결론적으로 적절한 선량에서의 감마선 조사는 육질에 큰 영향을 끼치지 않고, 우육의 연도를 개선하는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

문 헌

- Byun, M.W.: Application and aspect of irradiation technology in food industry. (in Korean) *Food Sci. Ind.*, **30**, 89-100 (1997)
- Olsen, D.G.: Irradiation of food. *Food Technol.*, **52**(2), 56-64 (1998)
- Thayer, D.W.: Wholesomeness of irradiated foods. *Food Technol.*, **48**(5) (1994)
- 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**(4), 775-780 (1998)
- Taub, I.A., Robbins, F.M., Simic, M.G., Walker, J.E. and Wierbick, E.: Effect of irradiation on meat proteins. *Food Technol.* May, 184-193 (1979)
- Lee, M., Sebranek, J. and Parrish, F. C. Jr.: Accelerated postmortem ageing of beef utilizing electro-beam irradiation and modified atmosphere packaging. *J. Food Sci.*, **61**, 133-136, 141 (1996)
- 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)
- 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)
- 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 Science* **41**, 732-735 (1976)
- Feidt, C., Petit, A., Bruas-Reignier, F. and Brun-Bellut, J.: Release of free amino acids during ageing in bovine meat. *Meat Sci.*, **44**, 19-25 (1996)
- Tarr, G.E.: Methods of protein microcharacterization. Shively J.E. (Ed.), Humana Press, Clifton, NJ., p. 155-194 (1986)
- Liu, A., Nishimura, T. and Takahashi, K.: Structural weakening of intramuscular connective tissue during post mortem ageing of chicken *Semitendinosus* muscle. *Meat Sci.*, **39**, 135-142 (1995)
- ICGFI: Irradiation of red meat. IAEA-TECDOC-902, IAEA, Vienna, p. 19-20 (1996)
- 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. Radiation Biology*, **72**, 63-70 (1997)
- Kume, T. and Matsuda, T.: Changes in structural and antigenic properties of proteins by radiation. *Radiat. Phys. Chem.*, **46**, 225-231 (1995)
- Al-kahtani, H.A., Abu-tarbouch, H.M., Atia, M., Bajaber, A.S., Ahmed, M.A. and El-mojaddidi, M.A.: Amino acid and protein changes in tilapia and spanish mackerel after irradiation and storage. *Radiat. Phys. Chem.*, **51**, 107-114 (1998)
- Stanley, D. W., Stone, A. P. and Hultin, H. O.: Solubility of beef and chicken myofibrillar proteins in low ionic strength media. *J. of Agric. Food chem.*, **42**, 863-867 (1994)
- Brooke, R.O., Ravesi, E.M., Gadvois, D.F. and Steinberg, M.A.: Preservation of fresh unfrozen fishery products by low-level radiation. 5. The effects of radiation pasteurization on amino acids and vitamins in haddock fillets. *Food Technol.*, Nov., 99-102 (1966).

19. 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)
20. 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.*, In Press (1998)

(1998년 12월 9일 접수)