

## 감마선 조사가 육단백질에 미치는 영향

육홍선 · 김미리 · 김정옥\* · 임성일\*\* · 변명우\*\*\*

충남대학교 식품영양학과, \*세종대학교 가정학과,

\*\*한국식품개발연구원,

\*\*\*한국원자력연구소 방사선식품공학연구팀

## Effects of $\gamma$ -Irradiation on Meat Proteins

Hong-Sun Yook, Mee-Ree Kim, Jung-Ok Kim\*, Seong-Il Lim\*\* and Myung-Woo Byun\*\*\*

Department of Food and Nutrition, Chungnam National University

\*Department of Home Economics, King Sejong University,

\*\*Korea Food Research Institute,

\*\*\*Department of Food Irradiation, Korea Atomic Energy Research Institute

### Abstract

The proteins extracted from beef, pork and chicken meats were irradiated with up to 100 kGy at room temperature. The extracted proteins were evaluated on their *in vitro* digestibility by incubating successively with pepsin and pancreatin conjugate. Amino acid compositions and SDS-PAGE pattern were also analyzed for these proteins. Gamma irradiation within the applied dose range (up to 100 kGy) produced negligible *in vitro* digestibility and amino acid composition. Analysis of gamma-irradiated proteins by SDS-PAGE revealed radiolysis of ovalbumin to proteins or peptides with lower molecular weight. On the other hand, the proteins directly extracted from irradiated meats containing moisture were also evaluated for their *in vitro* digestibility, amino acid compositions and SDS-PAGE pattern. However, the results obtained from this experiment were similar to those of irradiated proteins after extraction from the meats.

Key words: meat protein,  $\gamma$ -irradiation, digestibility, amino acid, SDS-PAGE

## 서 론

방사선 조사(放射線 照射)의 역사는 한 세기를 거슬러 올라가 1896년 방사성 물질이 발견되면서 방사선 조사는 식품중의 미생물을 사멸시킬 수 있다는 가능성이 제시되었다. 또한 1921년 방사선 조사가 육류의 기생충 오염 분해해결을 위해 미국에서 특허를 얻은 후 최초로 이용되기 시작하였다. 1930년에는 프랑스에서 식품의 장기 안전보관을 위해 이용되었고, 세계 제 2차대전 동안에 네덜란드에서는 긴급 구조물자인 분유와 채소류의 안전성과 저장을 위해 방사선 조사를 이용하였다. 이것이 바로 60년전의 일로서 그 당시의 방사성 물질이 상대적으로 가격이 비쌌으므로 경제적인 방사선 조사를 위한 공장 설비가 매우 제한되어

있었기 때문에 실용화는 상당히 어려운 여건이었다. 그러나 1950년대에 대량의 방사성 동위원소의 생산과 이용이 가능해지면서 본격적인 연구가 수행되었고, 그 결과 방사선 조사기술은 1980년대에 접어들면서 현재까지 안전성에 대한 과학적 뒷받침과 세계보건기구(WHO), 국제원자력기구(IAEA), 국제식량농업기구(FAO) 등의 국제기구와 선진국의 보건당국(FDA 등)의 주도에 의해 실용화 기반마련을 위한 제 2의 출발을 시작했다. 1980년 방사선 조사식품의 건전성에 대해 FAO/IAEA/WHO의 합동전문가위원회에서는 10 kGy 이하의 선량으로 조사된 식품은 독성이 없기 때문에 더 이상의 독성실험이 필요없으며 특별한 영양학적, 미생물학적인 문제가 없다고 보고한 바 있다<sup>1)</sup>. 그 후 세계 각국에서 방사선 식품조사가 허가되어 실용화되기 시작하였고, 현재는 고선량(10~70 kGy) 조사에 의한 육제품의 보존, 식품의 무균화 등의 실용화 연구가 진행되고 있다<sup>2)</sup>. 지금까지 방사선 조사식품의 건전성

Corresponding author: Myung-Woo Byun, Department of Food Irradiation, Korea Atomic Energy Research Institute, Yusing P.O. Box 105, Taejeon 305-600, Korea

에 관하여 기초적, 실용적 차원에서 많은 연구가 이루어져왔으나 아직 고선량으로 방사선 조사된 식품의 영양성이나 특수한 경우에서의 건전성에 관한 검토는 부족한 실정이다. 특히 단백질을 주성분으로하는 육제품 등을 고선량으로 조사할 경우, 조사취 등에 의한 식품 품질의 저하와 함께 단백질 분자내의 라디칼반응으로 인하여 가교, 비천연성 peptide가 생성되는 등의 소화성에 좋지 못한 변화를 일으키는 것도 충분히 생각할 수 있다. 또한 단백질에 고선량의 방사선을 조사할 경우, 생성된 라디칼이 연쇄반응하여 단백질분자가 고분자화 또는 단편화되고<sup>(6)</sup>, 수분을 높게 함유한 경우에는 물분자로부터 생성된 hydroxyl radical (OH·)에 의해 단백질을 구성하는 아미노산과 각종 결합이 생성된다<sup>(7)</sup>. 예를들면, 반응성이 높은 아미노산의 하나인 phenylalanine은 orthotyrosine, metatyrosine을 생성 한다<sup>(8)</sup>. 이와 같이 고선량의 방사선 조사는 단백질의 구조변화나 구성아미노산의 화학적변화를 일으켜 단백질의 영양성이나 안전성에 영향을 미칠 것으로 예상된다.

최근 쇠고기에 오염된 병원성대장균 O157:H7에 의한 식중독이 미국을 비롯한 세계 각국에서 크게 문제시 되었고, 감마선 조사기법은 이러한 식중독 세균의 제거에 매우 효과적인 방법으로 대두되고 있으며, 1997년 12월 2일 미국 FDA는 쇠고기를 포함한 적색육의 감마선 조사를 허용하였다.

이에 본 연구에서는 국내에서 육류중 소비량이 가장 많은 우육, 돈육 및 계육을 대상으로 5 kGy에서 100 kGy까지의 고선량의 감마선을 조사하여 육단백질의 몇가지 특성에 미치는 영향을 검토하였다.

### 재료 및 방법

#### 재료

우육, 돈육 및 계육을 시중 정육점에서 구입하였다. 실험은 직접 육류에 감마선을 조사한 후 단백질을 추출한 것과 육류로부터 단백질을 추출한 후 감마선을 조사하는 것으로 나누어 수행되었다. 육류로부터 단백질의 추출은 -20°C 냉 아세톤으로 균질화 시킨 다음 10,000 rpm에서 10분간 원심분리시켜 탈지·탈수시켰고, 이 과정을 5회 반복하여 건조분말 상태로 조제하였다.

#### 방사선 조사

방사선 조사는 실온에서 선원 10만 Ci, Co-60 감마선 조사시설을 이용하여 분당 71.5 Gy의 선량율로 육

류 자체의 경우는 0, 5, 10, 20, 40 kGy를, 육류로부터 추출된 단백질은 0, 2.5, 5, 10, 20, 30, 100 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였으며, 흡수선량 확인은 ceric cerous dosimeter를 사용하였고 총 흡수선량의 오차는 ±0.2 kGy였다.

#### 아미노산 분석

총 아미노산 함량은 시험관(2×20 cm)에 시료 50 mg과 6 N HCl 10 mL를 가하여 질소가스로 충전한 후 15 lb, 121°C에서 3시간 가수분해하고 Whatman filter papper (No. 2)와 membrane filter (0.45 μm)로 각각 여과하였다. 이 여액을 cartridge C18을 사용하여 지방질과 색소를 제거하고 아미노산 자동분석기(Hitachi model 835)로 분석하였다.

#### 인공소화계에서의 소화율

인공소화에는 pepsine, pancreatin (Sigma Co.)을 이용하여 Sch. 1과 같은 방법으로 수행하였다<sup>(9)</sup>. Pepsin-pancreatin 소화물을 trichloroacetic acid (TCA) 불용성물 및 가용성물로 분획하였으며, 각각의 분획은 Kjeldahl법에 의해 총질소량을 정량하여 소화율을 산출하였다.

총질소량에 의한 소화율(%)=

$$\frac{\text{TCA 가용성분획물 중의 질소량}}{\text{총질소량}} \times 100$$

#### SDS-PAGE pattern의 비교

Polyacrylamide gel 전기영동(SDS-PAGE)은 Laemmli<sup>(10)</sup>

Dried sample (100 mg)

- ← pepsin digestion  
0.1 N HCl (15 mL), pepsin (1.5 mg)  
37°C for 24 hr. with occasional shaking
- ← neutralized with 0.2 N NaOH
- ← pancreatin digestion  
7.5 mL of pancreatin solution\*
- ← TCA (final concentration at 6%,v/v)
- ← centrifugation at 15,000 rpm for 1 hr.

Precipitate

(TCA insoluble)

TCA total N determination

Supernatant

(TCA soluble)

Total N, NH<sub>2</sub> determination)

#### Sch. 1. Procedure of pepsin-pancreatin digestion test.

\*Supernatant of pancreatin (67 mg) suspended in 0.1 M phosphate buffer, pH 8.0 (100 mL)

의 방법에 준하였다. 이 때 stacking gel과 separation gel의 농도는 각각 4.5%, 12.5%이었으며, 전기영동은 20 mA에서 50분간 행하였다.

**결과 및 고찰**

**아미노산 조성 변화**

우육, 돈육 및 계육으로부터 추출된 육단백질의 감마선 조사에 의한 아미노산 조성의 변화는 Table 1과

같다. 일반적으로 식품단백질은 가공·저장과정에 있어 그 구성아미노산이 손상을 받기 쉽다. 특히 methionine이 가장 손상을 받기 쉬우며, lysine, histidine, tryptophane도 손상 받기 쉬운 아미노산으로 알려져 있다<sup>(1)</sup>. 그러나 본 실험에 사용된 3종류의 육단백질은 100 kGy까지의 감마선 조사로도 일반 식품가공·저장 공정에서 영향을 받기쉬운 tryptophane과 threonine, valine, methionine, isoleucine, phenylalanine 등의 필수아미노산 또는 tyrosine 등의 방향족 아미노산들

**Table 1. Effect of gamma irradiation on amino acid composition of proteins extracted from meats** (unit: %)

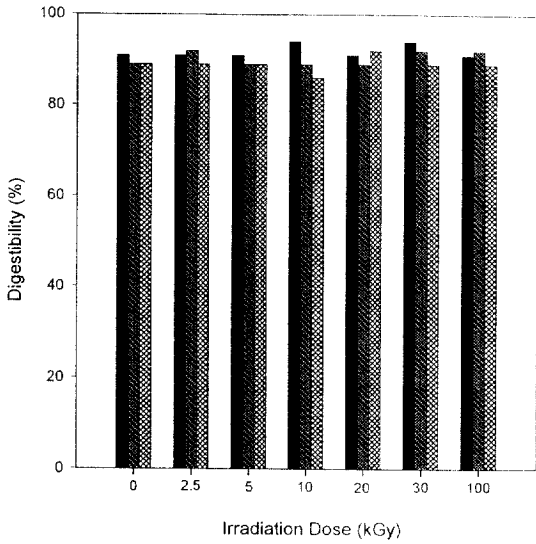
Amino acid	Irradiation dose (kGy)											
	0			5			10			100		
	B <sup>1)</sup>	P <sup>2)</sup>	C <sup>3)</sup>	B <sup>1)</sup>	P <sup>2)</sup>	C <sup>3)</sup>	B <sup>1)</sup>	P <sup>2)</sup>	C <sup>3)</sup>	B <sup>1)</sup>	P <sup>2)</sup>	C <sup>3)</sup>
Asp	5.93	5.84	6.16	6.15	6.07	6.59	5.69	6.06	5.30	6.15	5.94	6.44
Glu	8.27	8.34	9.47	8.31	8.41	9.42	8.31	8.29	8.87	8.56	8.26	9.57
His	2.99	2.59	3.36	2.87	3.12	3.47	2.70	2.91	3.33	3.06	2.88	3.91
Ser	16.57	18.64	8.99	16.83	18.59	8.52	16.70	18.02	8.63	16.16	18.07	8.60
Arg	7.61	6.94	6.81	7.60	6.77	7.11	7.57	6.74	6.97	7.48	6.73	6.26
Gly	5.65	5.90	7.81	5.69	5.99	7.45	5.65	5.74	7.62	5.82	5.77	8.03
Thr	1.40	1.68	1.79	1.87	1.60	2.06	1.68	1.87	3.86	1.66	1.83	2.16
Ala	3.32	3.31	3.84	3.57	3.37	3.68	3.48	3.31	3.77	3.53	3.27	4.01
Tyr	2.05	2.51	2.05	2.20	2.05	2.91	2.62	2.93	3.09	2.55	2.64	2.38
Met	1.88	2.07	1.92	1.95	1.85	2.14	1.96	2.07	2.37	1.95	2.02	2.07
Val	2.01	1.60	1.22	1.83	1.77	1.63	1.84	1.64	1.72	1.88	1.72	1.99
Phe	4.38	3.23	3.67	3.91	3.32	3.73	4.38	3.63	4.51	4.03	3.58	3.84
Ile	1.72	1.76	2.66	2.24	1.72	1.84	2.34	1.64	1.97	1.62	1.87	1.85
Leu	4.75	4.81	6.29	4.62	4.72	4.97	4.65	4.55	5.26	4.36	4.57	4.96
Lys	18.60	18.54	21.26	17.69	18.51	22.82	17.96	17.94	20.37	18.49	18.52	21.33
Total	87.13	87.76	87.30	87.33	87.86	88.34	87.83	87.34	87.64	87.30	87.67	87.40

B<sup>1)</sup>: beef, P<sup>2)</sup>: pork, C<sup>3)</sup>: chicken meat.

**Table 2. Effect of gamma irradiation on amino acid composition of meats** (unit: %)

Amino acid	Irradiation dose (kGy)														
	0			5			10			20			40		
	B <sup>1)</sup>	P <sup>2)</sup>	C <sup>3)</sup>	B <sup>1)</sup>	P <sup>2)</sup>	C <sup>3)</sup>	B <sup>1)</sup>	P <sup>2)</sup>	C <sup>3)</sup>	B <sup>1)</sup>	P <sup>2)</sup>	C <sup>3)</sup>	B <sup>1)</sup>	P <sup>2)</sup>	C <sup>3)</sup>
Asp	7.85	8.23	8.74	7.81	8.36	8.73	7.84	8.42	8.80	7.84	8.34	8.75	7.84	8.21	8.72
Thr	3.34	3.55	3.65	3.31	3.59	3.68	3.29	3.40	3.64	3.38	3.44	3.69	3.34	3.40	3.68
Ser	3.08	3.23	3.40	3.29	3.30	3.41	3.09	3.21	3.42	3.18	3.21	3.36	3.09	3.20	3.35
Glu	13.60	13.59	4.07	13.61	13.53	14.07	13.58	13.42	14.03	13.38	13.52	14.15	13.24	14.00	14.05
Gly	3.39	3.38	3.80	3.45	3.40	3.74	3.36	3.40	3.74	3.37	3.46	3.75	3.51	3.39	3.34
Ala	4.89	4.77	5.14	4.91	4.70	5.24	4.84	4.68	5.19	4.85	4.60	5.09	4.91	4.68	5.11
Cys	0.88	0.58	0.84	0.79	0.60	0.83	0.79	0.88	0.73	0.84	0.80	0.74	0.94	0.75	0.72
Val	3.50	3.94	4.13	3.67	3.96	4.23	3.58	3.82	4.05	3.70	3.92	4.12	3.67	3.87	4.18
Met	1.59	1.74	1.84	1.63	1.70	1.57	1.52	1.76	1.77	1.48	1.78	1.80	1.49	1.72	1.75
Ile	2.90	3.27	3.69	2.96	3.22	3.65	2.88	3.15	3.36	2.99	3.25	3.62	2.87	3.25	3.63
Leu	6.45	6.72	7.01	6.54	6.60	7.10	6.48	6.47	6.96	6.57	6.63	7.13	6.43	6.52	7.05
Tyr	2.29	2.42	2.50	2.29	2.43	2.51	2.31	2.29	2.50	2.35	2.32	2.52	2.24	2.29	2.48
Phe	4.49	4.66	5.34	4.49	4.69	5.41	4.45	4.57	5.40	4.49	4.60	5.31	4.42	4.57	5.31
Lys	7.39	7.55	7.98	7.41	7.55	7.90	7.33	7.42	7.82	7.42	7.42	7.90	7.29	7.46	7.93
His	3.33	3.71	3.18	3.38	3.62	3.14	3.36	3.77	3.14	3.13	3.67	3.13	2.95	3.54	3.00
Arg	4.72	5.21	5.61	4.94	5.28	5.33	4.97	5.29	5.57	4.99	5.32	5.46	4.95	5.33	5.65
Pro	4.44	4.43	4.40	4.31	4.41	4.32	4.40	4.38	4.09	4.34	4.30	4.37	4.95	4.35	4.31
Total	78.13	80.98	85.32	78.79	80.94	84.86	78.07	80.33	84.21	78.30	80.58	84.89	78.13	80.53	84.26

B<sup>1)</sup>: beef, P<sup>2)</sup>: pork, C<sup>3)</sup>: chicken meat



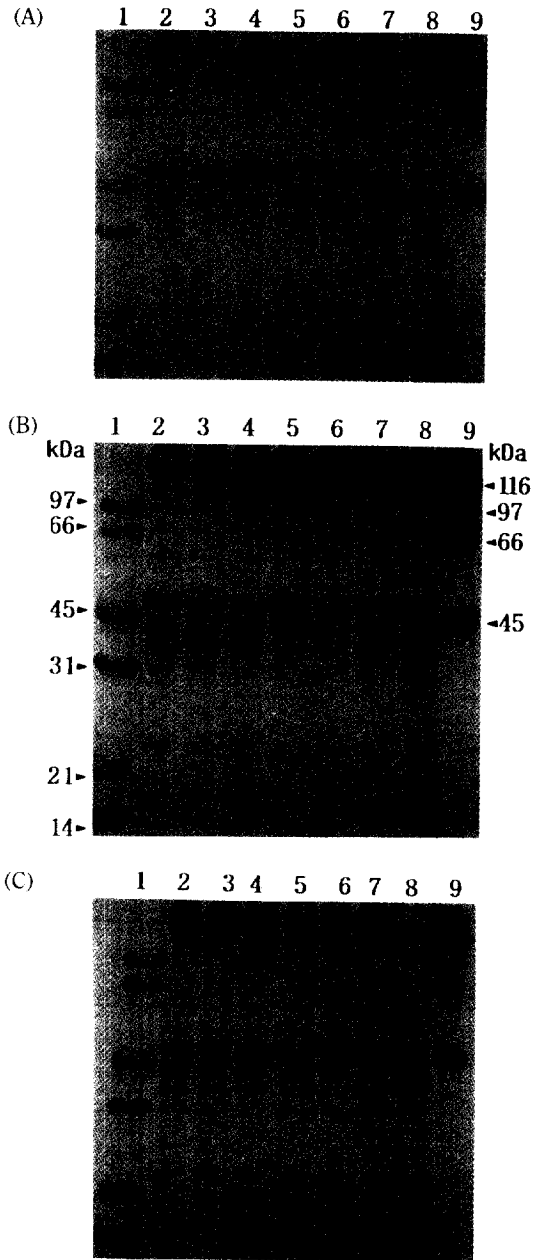
**Fig. 1. Effect of gamma irradiation on digestibility of proteins extracted from meats by pepsin-pancreatin system as assessed from TCA-soluble-N. ■: Beef, ▨: Pork, ▩: Chicken**

의 변화는 없는 것으로 나타났다. Yasumoto 등<sup>(13)</sup>은 o-valbumin에 500 kGy까지 고선량의 감마선을 조사하여 아미노산 조성 변화를 검토한 결과 250 kGy까지는 아미노산 조성의 변화가 없었으나 500 kGy의 고선량 조사군에서는 tyrosine, lysine, histidine이 유의적으로 감소하였다고 보고하였다.

단백질을 주성분으로 하는 육제품에 고선량의 방사선을 조사할 경우, 생성된 라디칼이 연쇄반응하여 단백질분자가 고분자화 또는 단편화되며<sup>(14,15)</sup>, 조사에 의해 물분자로부터 생성된 hydroxyl radical (OH·)에 의해 단백질을 구성하는 아미노산과 각종 결합이 생성될수 있다<sup>(1)</sup>. 결과적으로 건조 단백질식품 보다도 수용액 혹은 고수분 함유 식품이 감마선 조사에 의해 변성되는 속도가 빠를 것으로 생각된다. 이에 본 연구에서는 방사선을 육류에 직접 조사하여 단백질을 추출한 후 아미노산 조성변화를 검토한 결과, Table 2와 같이 육류에 직접 40 kGy까지의 감마선 조사로서도 아미노산 조성상에 변화가 없는 것으로 나타났다.

**인공소화계에서의 소화율 변화**

실온에서의 TCA가용성 질소량으로 평가한 계육, 돈육, 우육으로 부터 추출된 육단백질의 감마선 조사선량에 따른 소화율의 변화는 Fig. 2와 같다. 비조사구와 100 kGy까지의 감마선 조사구 간의 인공소화계에서의 소화율 차이가 없는 것으로 나타나 감마선 조사



**Fig. 2. Changes in SDS-PAGE patterns of proteins extracted from beef (A), pork (B) and chicken meats (C) as influenced by gamma irradiation. Lane 1, low range molecular weight markers; lane 2, 0 kGy; lane 3, 2.5 kGy; lane 4, 5 kGy; lane 5, 10 kGy; lane 6, 20 kGy; lane 7, 30 kGy; lane 8, 100 kGy; lane 9, high range molecular weight markers.**

가 육류 단백질의 소화율에 미치는 영향은 없는 것으로 확인되었다. 한편 높은 수분함량에서의 감마선 조사가 건조상태 보다 더 영향을 미친다는 것을 고려해

직접 이들 육류에 감마선을 조사한 후 단백질을 추출하여 그 소화율도 함께 검토하였다. 그러나 이 역조건조상태의 육단백질에서와 마찬가지로 소화율에는 변화가 없어 고수분 함량의 육류에서도 감마선 조사가 소화율에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. Yasumoto 등<sup>(12)</sup>도 30 kGy까지 감마선 조사된 닭고기

와 ovalbumin은 인공소화계에서 비조사군과 소화율의 차이를 보이지 않았다고 하였다.

SDS-PAGE pattern의 비교

우유, 돈육, 계육으로부터 추출된 육단백질의 감마선 조사에 의한 변화를 SDS-PAGE로 분석한 결과는 Fig. 2와 같다. SDS-PAGE의 밴드의 굵기로서 판단할 경우, 3종의 단백질은 감마선 조사선량에 따라 전체적으로 분해되는 경향으로 나타났다. 비조사군과 비교해 10 kGy까지는 큰 차이가 없었으며 30 kGy에서는 약 20%가, 100 kGy에서는 약 60%의 단백질이 분해되는 것으로 나타나 조사선량의 증가와 더불어 peptide 결합이 절단됨으로써 단백질의 저분자량화가 일어났음이 시사되었다. 한편, 감마선을 직접 육류에 조사한 것으로 부터 분리한 단백질의 변화를 SDS-PAGE로 분석한 결과에서는 예상과는 달리 40 kGy의 조사선량까지 단백질의 분해가 미미한 것으로 확인되었다(Fig. 3). 단백질의 방사선에 의한 분해반응으로는 탈아미노, 탈탄산, SH기의 산화, S-S 결합의 분해, 아미노산 잔기의 수식, peptide 결합의 분해나 중합 등을 들 수 있으며<sup>(11)</sup>, Kume<sup>(16)</sup>는 10 kGy와 50 kGy의 선량으로 조사된 난백단백질의 절단된 peptide fragment를 면역화학적 방법으로 확인한 바 있다. 위의 반응들이 식품단백질의 생리적 기능이나 가공특성에 미치는 영향은 지금까지 밝혀지지 않았으며, 또한 고선량 조사된 육단백질의 SDS-PAGE 패턴 차이로 부터 감마선 조사에 의해 단백질 구조상에 변화가 일어났다는 것이 시사되어 이러한 변화가 인체에 어떠한 영향을 미칠 것인가에 대해서는 앞으로 수행되어야 할 연구과제라 생각된다.

요 약

우유, 돈육 및 계육으로부터 단백질을 추출하고 실온에서 100 kGy까지의 감마선을 조사하여 비조사군과 감마선 조사군간의 *in vitro* 소화율, 아미노산 조성 및 SDS-PAGE 패턴변화를 비교분석하였다. 100 kGy까지의 감마선 조사는 이들 육단백질의 소화율 및 아미노산 조성에 있어서 비조사군과 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. SDS-PAGE 패턴에서 10 kGy조사는 거의 변화가 없었으나 30 kGy에서는 약 20%, 100 kGy에서는 약 60%의 단백질이 분해되는 것으로 나타나 감마선 조사선량의 증가에 따라 단백질의 저분자량화가 일어났음이 시사되었다. 한편 육류에 감마선을 직접 조사한 후 단백질을 추출한 시험군에서는 40 kGy 조사

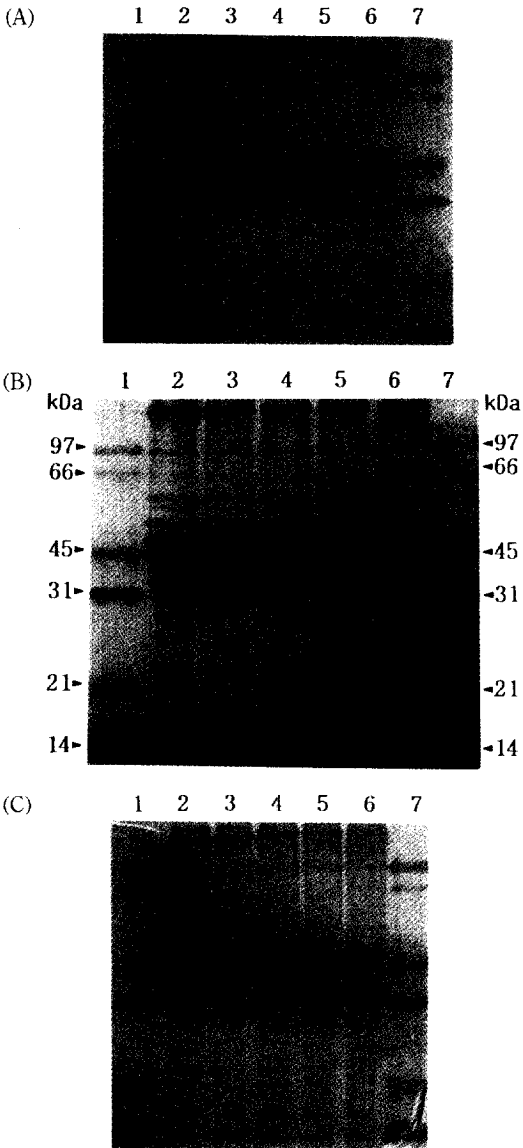


Fig. 3. Changes in SDS-PAGE patterns of proteins extracted from beef (A), pork (B) and chicken meats (C) irradiated with up to 40 kGy. Lane 1, low range molecular weight markers; lane 2, 0 kGy; lane 3, 5 kGy; lane 4, 10 kGy; lane 5, 20 kGy; lane 6, 40 kGy; lane 7, low range molecular weight markers.

선량까지 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

## 감사의 글

이 논문은 1998년도 과학기술처 원자력연구개발과제의 연구비에 의해 수행된 연구결과의 일부로, 그 지원에 감사드립니다.

## 문헌

1. Department of Health and Human Services: Irradiation in the production, processing, handling of food. FDA 21 CFR part-179 Federal Register, 51, 13376, April 18 (1986)
2. World health Organization: Wholesomeness of irradiation food. Report of joint FAO/IAEA/WHO expert committee. Technical report series No.695. Geneva WHO (1981)
3. Olivia, B. W. and Christine, M. B.: Position of the American dietetic association; Food irradiation. The American Dietetic Association Info. (1996)
4. El-Moneim, A., Afify, M.R. and Shousha, M.A.: Effect of low-dose irradiation of soybean protein solubility, trypsin inhibitor activity, and protein patterns separated by polyacrylamide gel electrophoresis. *J. Agric. Food Chem.*, **36**, 810 (1988)
5. Krumhar, K.C. and Berry, J.W.: Effect of antioxidant and conditions on solutions. *J. Food Sci.*, **55**, 1127 (1990)
6. Le Maire, M., Thauvette, L., De Foresta, B., Biel, A., Beauregard, G. and Totier, M.: Effects of ionizing radiations on proteins. evidence of nonrandom fragmentations and a caution in the use of the method for determination of molecular mass. *Biochem. J.*, **267**, 431 (1990)
7. Simic, M.G.: Radiation chemistry of amino acids and peptides in aqueous solutions. *J. Agric. Food Chem.*, **26**, 6 (1978)
8. Kaur, J. Fagerheim, I., Grootveld, M., Puppo, A. and Halliwell, B.: Aromatic hydroxylation of phenylalanine as an assay for hydroxyl radicals; application to activated human neutrophils and to the heme protein leghemoglobin. *Anal. Biochem.*, **172**, 360 (1988)
9. Matoba, T., Doi, E., Yonezawa, D., Osre, R. and Nair, B.M.: An approach to assessing the gastro-intestinal digestion of rice and wheat proteins: use of a model system with pepsin, pancreatin and intracellular peptidases. *Agri. Biol. Chem.*, **46**, 465 (1982)
10. Laemmli, U.K.: Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, **227**, 680 (1970)
11. Matoba, T., Yoshida, H. and Yonezawa, D.: Changes in casein and egg albumin due to reactions with oxidizing methyl linoleate in dehydrated systems. *Agric. Biol. Chem.*, **46**, 979 (1982)
12. Yasumoto, K., Ueda, M. and Suzuki, T.: Evaluation of  $\gamma$ -irradiation on nutritional quality of protein foods. Report of the Food Irradiation Research Committee, The Japan Radioisotope Association, p.51 (1992)
13. 川岸舜朗: 食品成分の相互作用(木満夫, 松下雪郎編), 講談社, 東京, p.33 (1989)
14. Diehl, J.F.: Safty of irradiated foods. Marcel Dekker, Inc, New York, p.62 (1990)
15. Simic, M.G.: Radiation chemistry of amino acids and peptides in aqueous solutions. *J. Agric. Food Chem.*, **26**, 6 (1978)
16. Kume, T.: Immunochemical identification of irradiated chicken eggs, *J. Sci. Food Agric.*, **65**, 1 (1994)

(1998년 2월 17일 접수)