

산 · 학 · 연 논문

고선량 조사식품의 영양학적 안전성

육홍선[†] · 변명우

한국원자력연구소 방사선 식품·생명공학기술개발팀

Nutritional Safety of Food Irradiated with High Dose

Hong-Sun Yook[†] and Myung-Woo Byun

Team for Radiation Food Science and Biotechnology, Korea Atomic Energy Research Institute,
Taejon 305-600, Korea

서론

식품의 방사선 조사는 다양한 크기나 형태의 식품 보존에 이용될 수 있다는 장점 때문에 향후 식품업계에서 그 이용이 점차 늘어날 것으로 기대되고 있다. 현재 많은 국가들이 방사선 조사된 식품을 시장에 공급하고 있으며, 방사선 조사식품의 사용에 대한 소비자의 신뢰를 점차적으로 쌓아가고 있는 동시에 정부에서도 방사선 조사식품의 품목을 추가시키는 등 그 이용이 증대될 전망이다.

그러나, 이러한 식품의 방사선 조사에서 고려해야 할 중요한 점 중의 하나는 방사선 조사된 식품이 기존의 방법에 의해 가공된 식품과 영양학적으로 어떤 차이가 있는가라는 문제이다. 식품의 방사선 조사는 일부 영양소의 변화를 가져올 수 있으나, 이러한 변화는 조리나 가열과 같은 일반적인 식품의 가공과정에서 오는 손실보다 매우 적다고 할 수 있다. Codex 영양위원회는 1983년에 방사선 조사식품에 대한 Codex 표준규격을 채택하였다(1). 이 표준규격은 평균 조사량을 10 kGy까지로 제한하고 있으며, 이와 같은 결정은 1980년대에 있었던 FAO/IAEA/WHO 전문가 위원회 방사선 조사식품의 안전성에 대한 보고서에 의한 결정으로 방사선이 조사되어진 모든 종류의 식품에 대하여 전체 평균 조사량 10 kGy까지는 독성을 지니지 않는다는 결론에 근거한 것이다. 또한, 10 kGy까지의 방사선 조사는 영양학적으로나 미생물학적으로도 문제를 일으키지 않는 것으로 밝혀졌다. 방사선 조사에서 10 kGy라는 한계치는 대부분의 식품이 10 kGy이하의 방사선 조사를 요구하고 있고, 방사선 조사식품에 대한 동물사육 실험들의 대부분이 10 kGy 이하의 방사선 조사량에서 수행되어 왔다는 이유 때문에 설정되어졌을 뿐이다. 그러나 육계품,

완전식 또는 변역조절식품 등 수분함량이 높은 식품의 방사선 살균과 향신료, 약초류, 건조야채류 등 건조 식품의 오염물질 제거를 위한 방사선 조사 등 최근 점차 많은 응용분야에서 10 kGy 이상의 방사선 조사를 필요로 한다. 한편, 몇몇 나라에서는 이미 10 kGy 이상의 방사선 조사를 허용하고 있다. 향신료의 방사선 조사의 경우, 아르헨티나, 중화인민공화국, 미국은 최대 30 kGy까지 허용하고 있으며, 네덜란드에서는 특정 병원식의 방사선 조사를 최고 75 kGy까지 허용하고 있다.

10 kGy를 초과하는 방사선 조사식품들의 안전성에 대한 국제적인 평가가 이루어지지 않은 상태에서 고선량 사용의 법적 허가는 불가능할지도 모른다. 따라서, 방사선 조사식품에 대한 국제자문위원회(ICGFI)는 1989년 자문위원들의 도움을 요청함과 동시에 10~70 kGy로 조사된 식품의 안전성을 평가하기에 충분한 관련정보를 수집하여 세계보건기구에 제출하였고, 현재까지 다양한 조건하에서 고선량으로 방사선 조사된 식품들의 영양학적 안전성에 관한 많은 연구들이 수행되어져 왔다(2-9). 따라서 본고에서는 현재까지 이루어진 국제적 평가와 다양한 영양학적 실험을 중심으로 방사선 조사식품의 건전성을 살펴봄으로써 방사선 조사된 식품의 영양적 측면에 대한 이해증진을 도모하고자 한다.

일반영양성분

여러 식품을 56 kGy로 조사한 결과 일반영양소의 생물가에 있어서는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었고(10), 28 kGy로 조사된 다양한 식품을 섭취한 지원자들의 비교실험에서도 대사 에너지, 질소평형, 소화율에 대해 비

[†] Corresponding author. E-mail: yhsuny@kaeri.re.kr
Phone: 82-42-868-8065, Fax: 82-42-868-8043

조사군과 방사선 조사군 간에 차이가 없는 것으로 나타났다(11). 한편, 동물사료연구에 의하면 대체로 방사선 조사된 식품에 있어서 탄수화물, 지방, 단백질에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

식품에서 지방과 탄수화물이 에너지 급원으로 중요하게 공급되는 반면 단백질은 이에 부가적으로 인간의 생체를 구성하는 데 필요한 필수 아미노산을 제공한다. 그러므로 특별히 주목해야 할 것은 단백질의 소화력과 생물가에 관한 방사선 조사의 영향이다. 58 kGy로 조사된 닭고기를 사료로 한 동물실험에서는 닭고기의 단백질 및 실험 동물의 성장률을 측정된 결과, 전자파 혹은 감마선에 의한 독성학적인 차이가 나타나지 않았으며(12) 아미노산 조성에도 영향이 없는 것으로 나타났다(13). Table 1과 2에서 보는 바와 같이 45 kGy까지 조사된 고등어에서 단백질과 아미노산 조성을 측정된 결과 역시 방사선 조사에 의해 큰 영향을 받지 않았으며, 동물실험의 경우 이러한 조사량 범위에서 단백질은 큰 영향이 없는 것으로 나타났으나 아미노산 분석 실험은 cystein과 cystin이 약간 손실되는 것으로 나타났다(14).

한편, 수용상태의 단백질분해효소활성의 경우 30 kGy 이상의 고선량 조사로 단백질활성이 30~65%가 소실되었으나 건조상태의 경우 고선량 조사가 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다(15). 또, 100 kGy까지의 감마선 조사가 소화율 및 아미노산 조성에 있어서 비조사군과 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났으나, SDS PAGE 패턴에

서 30 kGy는 약 20%, 100 kGy는 약 80%의 단백질이 분해되어 감마선 조사선량이 증가함에 따라 단백질의 저분자량화가 일어났다는 보고도 있으며(16) 역시 쇠고기, 돼지고기, 닭고기에서 단백질을 추출한 후 방사선 조사하였을 경우도 유사한 결과를 나타내었으나, 이러한 육류에 감마선을 직접 조사한 후 단백질을 추출한 시험군에서는 40 kGy까지 큰 변화가 없는 것으로 나타났다(17).

식물성 식품에서는 밀과 옥수수를 28 kGy로 조사하였을 경우 이들 단백질의 생물가에 아무런 영향을 주지 않는 것으로 나타났고, 고선량으로 조사된 곡물 사료로 키운 병아리의 성장률 측정실험에서는 영양학적 가치가 다소 향상된 것을 발견하였다(18,19). 실제로 180~210 kGy로 고선량 조사된 콩을 병아리의 사료로 사용한 결과 단백질의 영양가가 향상된 것을 발견할 수 있었으며(20,21), 50 kGy로 조사된 밀기울의 단백질은 40.3으로 조사되지 않은 밀기울의 단백질인 36.0보다 뚜렷하게 높은 것으로 나타났다(18). 이러한 결과들은 방사선 조사에 의한 단백질의 소화율 개선효과에 의한 것으로 사료된다. 또 70 kGy 이상의 고선량으로 조사된 사료를 먹인 다양한 동물실험 결과, 단백질의 소화율과 생물가가 비조사군과 조사군간에 차이가 없었으며, 비교적 양호한 성장률이 관찰되었다(22, 23). 동물 사료연구와 화학적 분석결과에 나타난 바와 같이, 70 kGy 이상의 고선량 조사에서도 단백질의 영양학적 손실은 발생하지 않는 것을 알 수 있었다.

비타민

비타민은 방사선 조사에 대해 다양한 감수성을 가지고 있다. 즉, 지용성 비타민의 경우 비타민 E가 가장 높은 방사선 감수성을 보였고 다음으로 카로틴, 비타민 A, 비타민 D, 비타민 K의 순이었으며 수용성 비타민의 경우 비타민 B₁이 가장 높은 방사선 감수성을 보였고 다음으로 비타민 C, 비타민 B₆, 비타민 B₂, 엽산, 비타민 B₁₂의 순이었다(24). 그러나 이러한 식품의 비타민에 대한 감수성은 식품조성, 포장여건, 조사시와 조사 후의 저장온도 등 많은 요인들이 산재해 있어 식품마다 그 감수성이 다르다고 할 수 있다. 포장과정에서 산소의 존재유무는 매우 중요하며, 쇠고기를 조사하였을 경우 산소부재시 비타민 E의 손실이 없는 반면, 산소존재시에는 최대 37%의 비타민 E가 손실되는 것으로 나타났다(25). 병아리 사료를 50 kGy로 조사하였을 경우 비타민 E의 손실은 진공포장에서는 10%인 반면 대기 중에서 포장되었을 때는 51%에 달하였다(26).

일반적인 비타민 손실이 조사선량이 높아질수록 증가하므로 고선량 조사에 의한 관능적 품질 열화를 최소화하기 위하여 앞서 말한 바와 같이 진공포장이나 저온에서

Table 1. Evaluation of the nutritional value of proteins in gamma-irradiated mackerel by the rat growth assay

Radiation dose (kGy)	True digestibility (%)	Biological value (%)	Net protein utilization (%)
0	93.2	82.6	77.0
1	94.8	84.2	79.8
3	96.6	84.8	81.9
6	97.0	85.9	83.3
10	98.1	84.1	82.6
25	97.0	82.6	80.1
45	98.0	80.2	79.1

Table 2. The effect of irradiation on the protein quality of a rat diet

Radiation dose (kGy)	True digestibility (%)	Biological value (%)	Net protein utilization (%)
0	85.6	80.5	68.9
5	83.6	75.8	63.5
10	86.5	81.7	70.6
25	87.0	78.1	68.0
30	84.8	77.3	65.4
70	85.3	76.4	65.2

의 조사 등 적절한 가공조건을 설정하는 것이 중요하다. 예를 들어 Raltech의 사료연구에 이용된 닭고기의 경우 내부온도를 73~80°C로 가열하여 효소를 불활성화시키고 진공포장한 후 -25°C에서 감마선이나 10 MeV 전자선으로 조사하였으며 동결상태 및 115.6°C에서 열처리한 구를 대조구로 하였다(12).

코발라민, 리보플라빈, 피리독신, 나이아신, 판토텐산, 비오틴, 엽산, 콜린, 비타민 A, D, K는 전자선이나 감마선 조사구가 동결시킨 대조구와 비교하였을 때 큰 차이가 없었다. 티아민은 수용성 비타민 중에서 가장 방사선에 민감하기 때문에 많은 연구가 수행되어져 왔다. 손실이 가장 큰 티아민 함량의 경우, 동결 대조구보다 감마선 조사구가 32%, 열처리구는 34%로 유의적으로 낮게 나타났으나 전자파 처리구는 동결 대조구와 유의적인 차이가 없었다. 그러나 Table 3에서와 같이 티아민을 제외한 대부분의 비타민에서 59 kGy의 고선량 조사에도 불구하고 방사선 조사로 인한 두드러진 비타민 손실은 없었다(13).

저온 방사선 조사법은 1947년에 미국에서 최초로 보고되었고(27) 그 후 영국에서 다진 쇠고기를 질소 충전하여 10 kGy로 조사한 후 티아민의 손실량을 측정한 결과 실온에서는 65%, -10°C에서는 24%, -20°C에서는 12%, -75°C에서는 5%로 나타났다(28). 닭고기, 돼지고기, 쇠고기 등 육류 및 육제품의 위생화를 위한 방사선 조사법은 미국의 육군 Natick연구소에서 개발된 방법에 따르고 있으며, 돼지고기의 티아민 함량에 있어서 방사선 조사구가 열처리구보다 높았으며, 실온보다 저온에서 방사선을 조사할 경

우 티아민의 잔존율이 향상되었고(29), 모든 육류에서 감마선보다 전자선을 조사했을 때 티아민의 잔존율이 높았다(29). 또 냉동 쇠고기를 실온에서 40 kGy로 고선량 조사하였을 때 역시 티아민이 60~70% 감소되었다는 연구결과도 있다(30). 면역력 저하 환자에게 안전한 유제품을 제공하기 위해 질소충진 포장 후 -78°C에서 40 kGy로 방사선 조사를 한다. 이 때, 요거트바와 무지방 분유는 약 25%의 티아민이 손실되지만 아이스크림, 모짜렐라 치즈, 체다 치즈는 영향을 받지 않았다(31). 또 Table 4의 공정 순서에 따른 베이컨의 티아민 함량 변화 연구에서 방사선 조사 후 튀긴 구가 튀긴 후 방사선 조사한 구보다 손실량이 감소되었고, 그 효과는 10 kGy보다 30 kGy 조사할 때 현저하게 나타났다(32).

연구 초기에 육류의 방사선 조사시 티아민과 피리독신의 항대사인자들이 형성된다는 주장 때문에 방사선 조사된 육류에서 항티아민 및 항피리독신 인자의 발생가능성에 관한 연구가 수행되었으나 어떠한 육류에서도 항비타민 인자생성의 증거는 발견되지 않았다(33). 마쇄 및 냉동된 쇠고기를 30 kGy로 조사하였을 때 리보플라빈이 8%, 피리독신이 25%, 티아민이 68%로 손실이 발생하였고, 티아민 이외의 다른 비타민류를 살펴보면 다음과 같다. 피리독신 연구에서 여러 식품을 28~56 kGy로 방사선 조사한 경우, 감자는 48~76%, 쇠고기 간은 0~18%의 피리독신이 손실되었으나(34), 30 kGy 조사된 돼지고기에서는 날고기나 조리된 상태 모두 피리독신의 손실이 보이지 않았다(35). 질소를 충전 후 -78°C에서 40 kGy 조사된 체다치즈, 모짜렐라치즈, 요거트바, 아이스크림, 무지방분유에서도 뚜렷한 리보플라빈의 손실은 보고되지 않았다(31). 비타민 B₁₂도 방사선 감수성이 낮은 비타민으로 25 kGy 조사된 대구살과(36), 30 kGy 조사된 여러 종류의 생선들(37), 방사선 조사된 닭고기(13) 및 질소충진하여 -78°C에서 40 kGy로 멸균처리한 유제품에서도 비타민 B₁₂의 손실은 관찰되지 않았다(31). 나이아신과 엽산도 역시 방사선 감수성이 낮은 비타민 중 하나로 30 kGy 조사된 쇠고기에서 나이아신의 손실은 관찰되지 않았고(38) 고선량으로 방사선 조사된 쇠고기나 닭고기에서 엽산의 손실이 발견되지 않았다는 연구결과(13,39)와 28 kGy 조사된 병아리사료의 경우에도 완전한 엽산의 활성을 유지하였다는 연구결과도 보고되어지고 있다(40). 비타민 C는 방사선 조사에 매우 민감하며 주요 급원은 신선한 채소류와 감자류, 과일 및 과일쥬스 등이 있으나, 일반적으로 이러한 제품들은 고선량 조사에 부적합한 것으로 나타났다. 한편, 양파 분말을 20 kGy로 조사했을 때 함유된 비타민 C의 손실이 일어나지 않는 것이 관찰되었다(41).

뚝발상어를 0°C, 3 kGy로 조사시켰을 때 비타민 A는

Table 3. Vitamin content of frozen, thermally processed, gamma-irradiated and electron-irradiated enzyme-inactivated chicken meat¹⁾

Vitamin	Process			
	Frozen control	Heat-sterilized	59 kGy (-25°C) gamma irradiation	59 kGy (-25°C) electron irradiation
Thiamin (ppm)	2.31	1.53 ²⁾	1.57 ²⁾	1.98
Riboflavin (ppm)	4.31	4.60	4.46	4.90 ³⁾
Pyridoxine (ppm)	7.26	7.62	5.32	6.70
Niacin (ppm)	212.9	213.9	197.9	208.2
Pantothenic acid (ppm)	24.0	21.8	23.5	24.9
Biotin (ppm)	0.093	0.097	0.098	0.103
Folic acid (ppm)	0.83	1.22	1.26	1.47 ³⁾
Vitamin A (IU/kg)	2716	2340	2270	2270
Vitamin D (IU/kg)	375.1	342.8	354.0	466.1
Vitamin K (ppm)	1.29	1.01	0.81	0.85
Vitamin B ₁₂ (ppm)	0.008	0.016 ³⁾	0.014 ³⁾	0.009

¹⁾Vitamin concentrations are given on a dry weight basis.

²⁾Significantly lower than frozen control.

³⁾Significantly higher than frozen control.

Table 4. Thiamin in raw, fried, irradiated-fried, and fried-irradiated bacon at three radiation doses and two irradiation temperatures

Treatment	Radiation dose (kGy)	Irradiation temperature 2°C				Irradiation temperature -40°C			
		Thiamin (mg/100 g protein)	loss (%)			Thiamin (mg/100 g protein)	loss (%)		
			Due to irradiation	Due to combined treatment	Due to frying		Due to irradiation	Due to combined treatment	Due to frying
None (raw)	0	4.42	-	-	-	4.54	-	-	-
	7.5	1.77	60 ^a	-	-	3.84	15 ^a	-	-
	15.0	0.95	78 ^a	-	-	3.09	32 ^a	-	-
	30.0	0.40	91 ^a	-	-	1.70	62 ^a	-	-
Irradiated, then fried	0	2.28	-	48 ^a	48 ^b	2.28	-	50 ^a	50 ^b
	7.5	0.76	-	83 ^a	57 ^b	1.73	-	62 ^a	55 ^b
	15.0	0.40	-	91 ^a	58 ^b	1.34	-	70 ^a	57 ^b
	30.0	0.07	-	98 ^a	82 ^b	0.16	-	96 ^a	91 ^b
Fried, then irradiated	0	2.32	-	47 ^a	47 ^b	2.18	-	52 ^a	52 ^b
	7.5	2.02	13 ^c	54 ^a	-	1.94	11 ^c	57 ^a	-
	15.0	1.78	23 ^c	60 ^a	-	1.73	21 ^c	62 ^a	-
	30.0	1.49	36 ^c	66 ^a	-	1.48	32 ^c	67 ^a	-

^aCompared to non-irradiated, non-fried samples.

^bCompared to non-fried samples irradiated to the same dose.

^cCompared to non-irradiated, fried samples.

방사선 조사에 대해 영향을 받지 않지만 30 kGy로 조사된 후에는 45%가 손실되었다(37). 비타민 A의 주요 급원인 우유, 버터, 치즈 등과 같은 식품들은 상업적인 방사선 조사식품의 대상으로는 부적합하다. 비타민 C와 같이 카로틴도 고선량 조사에 적합치 않은 야채와 과일에 의해 주로 공급되는 영양 성분이다. 비타민 D는 비타민 A보다 방사선 조사에 대한 감수성이 적다(42). 비타민 D는 Table 3과 같이 Raltech 사료연구에서 조사된 닭고기에 있어서는 손실되지 않는 것으로 나타났다. 비타민 E가 방사선 조사에 민감하지만 주요 급원인 마가린, 버터, 식물성 지방, 기름은 방사선 조사에 적합하지 않다. 비타민 K는 지용성 비타민 중 방사선 조사에 가장 안정하다는 사실이 초기 연구에서 밝혀졌다(42). 특히 브로커리, 양배추, 시금치와 그 밖의 다른 야채를 28~56 kGy로 고선량 조사한 후 실온에서 9~15개월 저장한 경우에도 비타민 K의 활성이 소실되지 않음을 알 수 있었으나(43), 쇠고기에 존재하는 매우 적은 양의 비타민 K가 방사선 조사에 불안정한 것으로 나타났고, 쇠고기로 비타민 K에 대한 영양 요구량을 맞춘 실험 사료를 28~56 kGy로 조사하여 실험동물에게 투여하였을 때 비타민 K의 결핍증인 출혈증상이 나타났다는 보고도 있다(44).

무엇보다도 방사선 조사된 식품에서 비타민 손실의 중요성은 이 식품이 총 식이에서 영양학적으로 얼마나 기여하는가에 중요하다. 그러므로 10 kGy 이상의 고선량 조사에서 식품조사에 대한 허용여부는 전체 식이에서 해당 식품의 영양학적 중요성을 고려하여 결정해야만 한다.

다중 불포화 지방산

몇몇 다중불포화 지방산들은 인간에게 필수적이다. 2 kGy 또는 10 kGy로 방사선 조사된 청어 기름의 고도 불포화 지방산들의 파괴에 대해 보고된 바 있으며(45), 지방 식품들의 방사선 조사에서 다중 불포화 지방산의 안전성에 대한 관심을 불러일으키게 되었다. 연구자들은 전분과 청어기름의 9:1 혼합물을 방사선 조사하였는데, 분석전의 시료 저장시에 산소를 제거하지 않았다. 이러한 조건하에서는 향미의 변화가 일어날 수 있으며 따라서 방사선 조사구 뿐만 아니라 비조사구에서도 다중 불포화 지방산은 불안정하였다. 그러나, 청어살만을 50 kGy로 방사선 조사하였을 때는 다중 불포화 지방산의 파괴가 일어나지 않았다.

호밀, 밀, 쌀의 혼합 곡물을 0.1~1 kGy에서 방사선 조사하였을 때, 다중 불포화 지방산의 파괴가 일어나지 않았으며, 산소가 제거되지 않은 실온에서 63 kGy로 방사선 조사하였을 경우에는 소량의 손실이 관찰되었다는 보고(46)와 대두의 linoleic acid 농도는 100 kGy 조사까지 변화가 관찰되지 않았다는 보고(47)가 있다. 또 껍질을 벗긴 땅콩을 20 kGy로 방사선 조사하고 1년 동안 14°C, 산소존재하에서 저장한 후에도 지방산 조성에서 유의적인 변화가 없었고, 땅콩을 실온에 저장하였을 때 총 지방산 함량 중 linoleic acid가 40.2%에서 20 kGy 조사에 의해 39.4%로 감소하였으며, linolenic acid는 비조사시 1.7%에서 20 kGy 조사시 1.1%로 감소하였다는 보고도 있다(48). Raltech 사료연구

에서도 감마선과 전자선으로 조사된 닭고기의 지방산 조성에 유의적인 변화가 없었다고 보고한 바 있다(13). 여기에서 비교적 고선량의 방사선 조사에서 조사식품의 필수 지방산은 약간 혹은 전혀 영향을 받지 않는다는 결과를 나타내주고 있다. 한편, 무기질과 미량 원소는 방사선 조사에 의해 영향을 받지 않으며 이 원소들의 생리적 유용성 또한 나쁜 영향을 받는다는 증거도 없으나 앞으로 더욱 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본고는 과학기술부의 원자력 연구개발사업의 일환으로 수행되었으며, 그 지원에 감사드립니다.

결론

방사선 조사는 단백질, 지방, 탄수화물과 같은 거대영양소들의 영양적 가치와 소화성에 있어서 큰 영향을 미치지 않는다. 미량영양소 중에서 티아민과 같은 몇 가지 비타민들은 식품의 조성과 가공 및 저장조건에 따라 방사선 조사에 대해 민감하다. 10 kGy 이상의 고선량으로 조사되는 식품의 영양적 및 관능적 품질변화를 막기 위해서는 산소 제거와 저온에서의 조사 등 여러 조건이 필요하다. 그러나, 10 kGy 이상의 고선량 조사에서 식품조사에 대한 허용여부는 전체 식이에서 해당 식품의 영양학적 중요성을 고려하여 결정해야만 한다. 국제조사식품자문위원회(ICGFI)에서는 현재까지 연구된 조사식품의 영양학적인 연구결과를 기초로 최대 70 kGy까지의 조사식품에 대해 영양학적으로 안전하다는 결론을 내렸다.

문헌

1. FAO/WHO : Codex general standard for irradiated foods. Codex Alimentarius Commission, Rome, Italy (1984)
2. Raica, N.J., Scott, J. and Nielsen, W. : The nutritional quality of irradiated foods. *Radiat. Res. Rev.*, **3**, 447-457 (1972)
3. Tobback, P.P. : Radiation chemistry of vitamins. In *Radiation chemistry of major food components*, Elias, P.S. and Cohen, A.J. (eds.), Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, p.187-220 (1977)
4. Josephson, E.S., Thomas, M.E. and Calhoun, W.K. : Nutritional aspects of food irradiation, an overview. *J. Food Proc. Pres.*, **2**, 299-313 (1979)
5. Kraybill, H.F. : Nutritional and biochemical aspects of food preserved by ionizing radiation. *J. Home Econ.*, **50**, 695 (1982)
6. Murray, T.K. : Nutritional aspects of food irradiation. In *Recent advances in food irradiation*, Elias, P.S. and Cohen, A.J. (eds.), Elsevier Biomedical, Amsterdam, p.203-216 (1983)
7. Thayer, D.W., Fox, J.B. and Lakritz, L. : Effects of ionizing radiation on vitamins. In *Food irradiation*, Thorne, S. (ed.), Elsevier Science Publishers, Barking, UK, p.285-325 (1991)
8. Diehl, J.F., Hasselmann, C. and Kilcast, D. : Regulation of food irradiation in the European Community. *Food Control*, **2**, 212-219 (1991)
9. 이철호, 이명철, Paisan Loaharanu, 변명우, Alicia O.L. : 조사식품의 안전성과 국제교역. 안암신서 18, 고려대학교 출판부 (1998)
10. Read, M.S., Kraybill, H.F., Worth, W.S., Thompson, S.W., Issac, G.J. and Witt, N.F. : Successive generation rat-feeding studies with a composite diet of gamma-irradiated foods. *Toxicol. Appl. Pharm.*, **3**, 153-173 (1961)
11. Kraybill, H.F. : Nutritional and biochemical aspects of food preserved by ionizing radiation. *J. Home Econ.*, **50**, 695 (1958)
12. Thayer, D.W., Christopher, J.P., Cambell, L.A., Ronning, R.R., Dahlgren, G.M., Thomson, G.M. and Wierbicki, E. : Toxicity studies of irradiation-sterilized chicken. *J. Food Prot.*, **50**, 278-288 (1987)
13. Thayer, D.W. : Food irradiation. Benefits and concerns. *J. Food Qual.*, **13**, 147-169 (1990)
14. Underdal B., Nordal, J., Lunde, G. and Eggum, B. : The effect of ionizing radiation on the nutritional value of fish (cod) protein. *Lebensm. Wiss. Technol.*, **6**, 279 (1973)
15. 육홍선, 이현자, 임성일, 김성, 변명우 : 감마선 조사에 의한 단백질분해효소의 특성변화. *한국식품영양과학회지*, **26**, 1116-1121 (1997)
16. 임성일, 육홍선, 윤혜현, 김영지, 변명우 : 난백단백질에 대한 감마선 조사의 영향. *한국식품영양과학회지*, **27**, 291-295 (1998)
17. 육홍선, 김미리, 김정옥, 임성일, 변명우 : 감마선 조사가 육단백질에 미치는 영향. *한국식품과학회지*, **30**, 407-412 (1998)
18. Moran, E.T., Summers, J.D. and Bayley, M.S. : Effect of cobalt-60 gamma irradiation on the utilization of energy, protein, and phosphorus from wheat bran by the chicken. *Cereal Chem.*, **45**, 469-479 (1968)
19. McGinnis, J., Honeyfield, D., Patel, M.B. and Pubols, M.H. : Improvement in the nutritional value of rye by gamma irradiation. *Fed. Proc.*, **37**, 759 (1978)
20. Reddy, S.J., Pubols, M.H. and McGinnis, J. : Effect of gamma irradiation on nutritional value of dry field beans (*Phaseolus vulgaris*) for chicks. *J. Nutr.*, **109**, 1307-1312 (1979)
21. Dagher, N.J., Sell, J.L. and Mateos, G.G. : Effect of gamma irradiation on nutritional value of lentils (*Lens culinaris*) for chicks. *Nutr. Rept. Int.*, **27**, 1087-1093 (1983)
22. Eggum B. : Effect of radiation treatment on protein quality and vitamin content of animal feeds. In *Proceedings of an FAO/IAEA advisory Group Meeting*, Sofia, Vienna, International Atomic Energy Agency, p.55-67 (1979)
23. Ley, F.J., Bleby, J., Coates, M.E. and Paterson, J.S. : Ster-

- ilization of laboratory animal diets using gamma radiation. *Lab. Anim.*, **3**, 221-254 (1969)
24. Diehl, J.F. : Food irradiation : Is it an alternative to chemical preservatives? *Food Addit. and Contam.*, **9**, 409-416 (1992)
 25. Groninger, H.S., Tappel, A.L. and Knapp, F.W. : Effect of gamma irradiation on proteins and fatty acids of soybean. *J. Food Sci.*, **50**, 1271-1274 (1956)
 26. Josephson, E.S., Thomas, M.E. and Calhoun, W.K. : Nutritional aspects of food irradiation. *J. Food Proc. Pres.*, **2**, 299-313 (1979)
 27. Brasch, A. and Huber, W. : Ultrashort application time of penetrating electrons a tool for sterilization and preservation of food in the raw state. *Science*, **105**, 112-117 (1947)
 28. Wilson, G.M. : The treatment of meats with ionising radiation II, Observations on the destruction of thiamin. *J. Sci. Food Agric.*, **10**, 295-300 (1959)
 29. Thomas, M.H., Atwood, B.M., Wierbicki, E. and Taub, I. A. : Effect of radiation and conventional processing on the thiamin content of pork. *J. Food Sci.*, **46**, 824-828 (1981)
 30. Day, E.J., Sauberlich, H.E., Alexander, H.D. and Salmon, W.D. : The bioassay of thiamin in beef exposed to gamma radiation. *J. Nutr.*, **62**, 107-118 (1957)
 31. Dong, F.M., Lee, C.J., Rasco, B.A. and Hungate, F.B. : Effects of gamma-irradiation on the contents of thiamin, riboflavin and vitamin B₁₂ in dairy products for low microbial diets. *J. Food Proc. Pres.*, **13**, 233-244 (1989)
 32. Thayer, D.W., Shieh, J.J., Jenkins, R.K., Phillips, J.G., Wierbicki, E. and Ackerman, S.A. : Effects of gamma ray irradiation and frying on the thiamin content of bacon. *J. Food Qual.*, **12**, 115-134 (1989)
 33. Skala, J.H., McGown, E.L. and Waring, P.O. : Wholesomeness of irradiated foods. *J. Food Prot.*, **50**, 150-160 (1987)
 34. Richardson, L.R., Wilkes, S. and Ritchey, S.J. : Comparative vitamin B₆ activity in frozen, irradiated and heat-processed food. *J. Nutr.*, **73**, 363-368 (1961)
 35. Brin, M., Ravesi, M., Gadbois, D.F. and Steinberg, M.A. : Effects of feeding X-irradiated pork to rats on their pyridoxine nutrition as reflected in the activity of plasma transaminase. *J. Nutr.*, **75**, 35-38 (1961)
 36. Brooke, R.O., Ravesi, E.M., Gadbois, 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.*, **20**, 99-102 (1966)
 37. Mameesh, M.S., Boge, G., Myklestad, H. and Braekkan, O.R. : Studies on the radiation preservation of fish, I. The effect of certain vitamins in fresh fillets of cod and dogfish and in smoked fillets of cod and herring. *Fiskeridirektoratets Skrifter*, **4**, 1-10 (1964)
 38. Day, E.J., Alexander, H.D., Sauberlich, H.E. and Salmon, W.D. : The bioassay of thiamin in beef exposed to gamma radiation. *J. Nutr.*, **62**, 107-118 (1957)
 39. Alexander, H.D., Day, E.J., Sauberlich, H.E. and Salmon, W.D. : Radiation effects on water soluble vitamins in raw beef. *Fed. Proc.*, **15**, 921-923 (1956)
 40. Richardson, L.R., Martin, J.L. and Hart, S. : The activity of certain water-soluble vitamins after exposure to gamma radiations in dry mixtures and in solutions. *J. Nutr.*, **65**, 409-418 (1958)
 41. Galetto, W., Kahan, J., Eiss, M., Welbourn, J., Bednarczyk, A. and Silberstein, O. : Irradiation treatment of onion powder, Effects on chemical constituents. *J. Food Sci.*, **44**, 591-595, 605 (1979)
 42. Knapp, F.W. and Tappel, A.L. : Comparison of the radiosensitivities of the fat-soluble vitamins by gamma irradiation. *J. Agric. Food Chem.*, **9**, 430-433 (1961)
 43. Richardson, L.R., Wilkes, S. and Ritchey, S.J. : Comparative vitamin K activity in frozen, irradiated and heat-processed food. *J. Nutr.*, **73**, 369-373 (1961)
 44. Matschiner, J.T. and Doisy, J. : Vitamin K content of ground beef. *J. Nutr.*, **90**, 331-334 (1966)
 45. Hammer, C.T. and Wills, F.D. : The effect of ionizing radiation on the fatty acid composition of natural fats and on lipid peroxide formation. *Int. J. Radiat. Biol.*, **35**, 323-332 (1979)
 46. Vaca, C.E. and Harms-Ringdahl, M. : Radiation-induced lipid peroxidation in whole grain of rye, wheat and rice. Effects on linoleic and linolenic acid. *Radiat. Phys. Chem.*, **28**, 325-330 (1986)
 47. Hafez, Y.S., Mohamed, A.I., Singh, G. and Hewedy, F.M. : Effect of gamma irradiation on proteins and fatty acids of soybean. *J. Food Sci.*, **50**, 1271-1274 (1985)
 48. Chiou, R.Y., Shyu, S.L. and Tsai, C.L. : Characterization of gamma irradiated peanut kernels stored one year under ambient and frozen conditions. *J. Food Sci.*, **56**, 1375-1377 (1991)