

방사선 조사한 대두에서 검출되는 Hydrocarbon류

황금택 · 박준영* · 권용주*

전북대학교 식품영양학과 및 유전공학연구소, *전북대학교 식품공학과

Hydrocarbons Detected in Irradiated Soybeans

Keum Taek Hwang, Jun Young Park* and Yong Ju Kwon*

Department of Food Science and Human Nutrition and Institute for Molecular Biology
and Genetics, Chonbuk National University

*Department of Food Science and Technology, Chonbuk National University

Abstract

Hydrocarbons in soybeans were analyzed to determine whether the hydrocarbons can be applied for detecting post-irradiation of soybeans. Yellow and green soybeans were irradiated at 0.5, 1, 3, and 6 kGy. Fats were extracted with hexane and then hydrocarbons were separated from the fat through Florisil column. The hydrocarbons were analyzed with GC. Hydrocarbons 17:2, 16:3, 17:1, and 16:2 were detected in the samples irradiated at 0.5 kGy or higher, but not in the unirradiated ones. The detection levels of hydrocarbons increased with the dose of the irradiation. When unirradiated or irradiated soybeans were roasted or boiled, these hydrocarbons were detected in the samples irradiated at 1 kGy or higher, but not in the unirradiated ones. A blind test confirmed that the hydrocarbon determining method could detect the soybeans irradiated at 1 kGy.

Key words: hydrocarbon(s), irradiation detection, soybean

서 론

FAO, WHO, IAEA와 같은 국제 기구에서 식품의 방사선 조사에 대한 효과와 안전성 보장 및 국가적인 장려에 힘입어 식품의 방사선 조사는 증가 추세에 있다⁽¹⁻⁴⁾. 안전성의 확보에도 불구하고 소비자들은 명확한 방사선 조사와 관련된 규정의 적용과 그들이 섭취하고 있는 식품이 어떻게 처리되었는지에 대한 알 권리를 요구하고 있다. 국내에서의 식품에 대한 방사선 조사는 그 규정 준수를 통제할 수 있으나 수입 농산물의 경우는 수출 당사자가 이를 밝히지 않는 한 그 규정 적용이 어렵다. 특히 방사선 조사는 근래에 들어 살충 및 살균 화학 물질의 사용이 억제되고 있는 데 따른 가장 유망한 대체 방법으로 대두되고 있기 때문에 이를 사용하면서도 소비자들의 반응을 염려하거나 방사선 조사 식품의 판별이 어렵다는 점 때문에 표시 없이 수출할 가능성이 크다. 따라서 농산물의 국제적 유통질서를 세우고 자국민의 알 권리를 보장해 주는

측면에서 식품의 방사선 조사 여부를 판별할 수 있는 방법을 연구할 필요가 있다.

현재까지 양념류나 건조 채소류 등에 함유된 무기질을 분리하여 측정하는 thermoluminescence (TL) 분석법^(5,9), 뼈나 각질을 함유한 식품의 radical을 electron spin resonance (ESR)을 이용하여 분석하는 방법^(10,11), 지방을 함유한 식품의 휘발성 hydrocarbon류⁽¹²⁻¹⁸⁾나 cyclobutanone^(19,20)을 gas chromatography (GC)를 이용하여 분석하는 방법 등이 유망한 방사선 조사 식품 판별 방법으로 기대된다. 대두와 같이 지방을 다량 함유한 경우는 hydrocarbon류 검출이 방사선 조사 여부 판별을 위한 가장 유망한 방법이 될 수 있다. Nawar group^(12,21,22)에 의하여 hydrocarbons가 지방을 함유하고 있는 식품을 방사선 조사할 때 식품에 특이하게 존재한다고 발표된 이래, 저선량 조사 식품에서도 보다 간편하게 hydrocarbon류를 분리하여 정확하게 분석하여 표준화하고자 하는 많은 연구가 진행되어 왔으며, 현재도 전세계적으로 계속 이 분야의 연구가 진행되고 있다^(13-18,23,24). 대부분의 동물성 식품이 지방을 함유하고 있으므로 hydrocarbon류를 검출하는 방법은 주로 동물성 식품을 대상으로 연구가 진행되어 왔으며, 식물

Corresponding author: Keum Taek Hwang, Department of Food Science and Human Nutrition, Chonbuk National University, Chonju, Chonbuk 561-756, Korea

성 식품에 대해서는 지방을 다량 함유한 식품을 대상으로 제한적으로 연구가 수행되어 왔다^(22,24). 우리나라에서는 국내에서 소비되는 대두를 다량 수입하여 사용하고 있는 바, 대두의 방사선 조사 처리 여부를 판별할 수 있는 연구를 통하여 국제적인 추세에 능동적으로 대처할 필요성이 있다. 대두에는 다량의 지방이 함유되어 있기 때문에 방사선 조사에 의하여 다양한 hydrocarbon류가 생성될 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 황색 및 녹색 대두를 방사선 조사한 후 hydrocarbon류를 분석하여 이들 hydrocarbon류를 방사선 조사 여부 판별을 위한 검지 방법으로 활용할 수 있는지를 검토하였다.

재료 및 방법

재료

황색 및 녹색 대두는 전북 완주군 농가에서 구입하였다. Hydrocarbon standard는 Sigma Chemical (St. Louis, MO)와 독일연방소비자보건·수의학연구소에서 구입하였다. *n*-Hexane 및 *iso*-octane (2,2,4-trimethylpentane)은 J.T. Baker Inc. (Philipsburg, NJ) 제품을 사용하였다. Na_2SO_4 는 伸陽化學工業(日本大阪) 제품을 650°C에서 5시간 가열한 후 냉각하여 사용하였다. Florisil (60~100 mesh, F100-3)은 Fisher Scientific (Fairlawn, NJ) 제품을 사용하되, 550°C에서 하룻밤 가열한 후 사용 전에 130°C에서 3시간 동안 재가열하여 상온으로 냉각시킨 후 3% 증류수를 가하여 불활성화시켰다.

방사선 조사

시료는 한국원자력연구소 또는 그린피아기술(주) (여주)이 보유하고 있는 ^{60}Co γ -radiation source를 사용하여 0.5, 1, 3, 및 6 kGy 조사하였다.

볶기 및 삶기

비조사 및 조사한 대두의 일부를 전기 후라이팬 (setting: 400; Sunbeam Appliance Co., Oak Brook, IL)에서 10분간 볶거나, 상온에서 물에 24시간 침지한 후 30분간 삶았다.

지방 추출

지방 추출, hydrocarbon의 분리, GC 분석 등은 전보⁽¹⁸⁾에 준하되 시료에 맞게 적절히 변경하였다. 황색 대두 30 g 또는 녹색 대두 50 g에 Na_2SO_4 를 10 g과 20 g을 각각 첨가하여 분쇄하고 200 mL *n*-hexane을 가하여 blending한 후 Teflon 원심분리 tube에 넣어 원심분리

하여 상등액을 취해 질소를 사용하여 용매를 휘발시켜 지방을 얻었다.

Florisil column chromatography

Teflon stopcock가 부착된 유리 column (2.3 cm i.d.)에 nylon membrane filter (0.2 μm ; Whatman International Ltd., Maidstone, England)를 장치하고 hexane으로 씻은 후 20 g의 Florisil을 충전하였다. 약 1 g의 지방에 약 8 μg *n*-eicosane (20:0)을 internal standard로 첨가하여 1 mL hexane에 녹여 column에 가하고 hexane을 가하여 약 3 mL/min 속도로 60 mL를 받아 1 mL *iso*-octane을 첨가한 후 질소를 사용하여 내용물이 약 5 mL될 때까지 증발시켰다. 이 용액을 nylon membrane filter (0.2 μm ; Whatman International Ltd.)를 장치한 13 mm syringe holder (Nucleopore Corp., Pleasanton, CA)에 연결된 Luer-lock syringe를 통과시킨 후, 여액을 질소를 사용하여 휘발시켜 0.5 mL가 되도록 하였다.

GC 분석

분리한 hydrocarbon류는 flame-ionization detector와 split injector가 장착된 영린 GC 600D (영린기기, 안양)를 사용하여 분석하였다. Column은 DB-5 (30 m, 0.25 mm i.d., 0.25 μm film; J&W Scientific, Folsom, CA)을 사용하였으며, carrier gas는 helium을 사용하였다. Injector와 detector의 온도는 각각 200°C와 250°C로 하였다. Oven 온도는 50°C에서 2분 정지 후 10°C/min으로 130°C까지, 그 후 5°C/min으로 200°C까지 올려 5분간 정지 후 25°C/min으로 250°C로 올려 5분간 정지시켰다. 분석 시료는 2 μL 를 주입하였으며, 초기에는 splitless로 하였고 2분이 되었을 때 split으로 하였다. Hydrocarbon류의 각 peak는 standard의 relative retention time을 기준으로 하되 불확실한 경우에는 GC/MS로 확인하였다.

Blind test

비조사 시료와 1 kGy 조사한 시료 각각 5개에 대하여 실험과 관계없는 자가 난수표를 사용하여 번호를 부여하도록 한 후, 모르는 상태에서 hydrocarbon류를 분석하여 비조사 시료와 조사 시료를 판별할 수 있는지를 시험하였다.

결과 및 고찰

지방의 방사선 조사에 의하여 생성되는 hydrocarbon류

지방에 방사선 조사를 하면 지방으로부터 hydrocar-

bon류가 생성된다⁽¹²⁾. 방사선 조사에 의하여 지방산으로부터 생성되는 주요 hydrocarbon류는 carboxylic group이 제거되면서 모지방산보다 탄소수가 한 개 적은 것 (C_{n-1}) 그리고 carboxylic group과 이것에 인접한 탄소가 제거되면서 1번 탄소에 이중결합이 형성되는 것 (C_{n-2}) 등을 들 수 있다^(15,16). 따라서 식품에 함유되어 있는 지방의 지방산 조성을 알면 방사선 조사에 의하여 생성 가능한 주요 hydrocarbon류를 예측할 수 있다. 두류의 지방은 약 40%의 linoleic acid, 약 18%의 oleic acid, 약 7%의 palmitic acid로 구성되어 있기 때문에⁽²⁾, linoleic acid로부터 생성되는 6,9-heptadecadiene (17:2)과 1,7,10-hexadecatriene (16:3), oleic acid로부터 생성되는 8-heptadecene (17:1)과 1,7-hexadecadiene (16:2), palmitic acid로부터 생성되는 pentadecane (15:0)과 1-tetradecene (14:1) 등을 주요 hydrocarbon으로 기대할 수 있다.

방사선 조사한 대두에서 검출되는 hydrocarbon류

황색 및 녹색 대두 시료로부터 분리한 주요 hydrocarbon류의 GC 분석에 의하면, 비조사 시료에서는 15:0를 제외하고 방사선 조사에 의하여 생성되는 주요 hydrocarbon류는 검출되지 않았기 때문에(Fig. 1), 다수의 hydrocarbon류를 두류의 방사선 조사 여부 검지를 위한 marker로 사용할 수 있다고 본다. 비조사 시료에서 검출되는 15:0을 포함한 포화 hydrocarbon류는 시료 자체에서 유래되었다고 볼 수 없고 hexane에 함유되어 있던 미량의 이들 포화 hydrocarbon이 지방 추출 및 Florisil column 과정 중 농축되어 검출되는

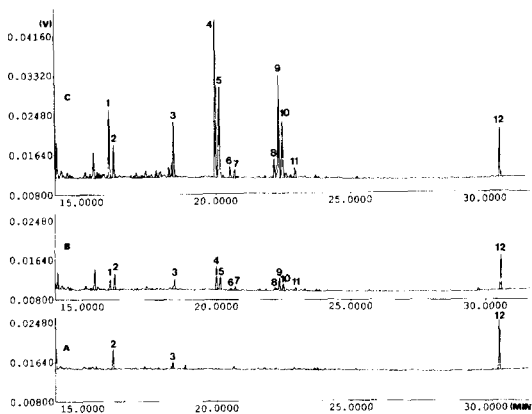


Fig. 1. GC chromatograms of hydrocarbons detected in yellow soybeans. (A) unirradiated; (B) 1 kGy; (C) 6 kGy. (1) 14:1; (2) 14:0; (3) 15:0; (4) 16:3; (5) 16:2; (6) 16:1; (7) 16:0; (8) 17:3(?); (9) 17:2; (10) 17:1; (11) 17:0; (12) 20:0 (internal standard).

것으로 사료되어 포화 hydrocarbon은 방사선 조사 여부 검지를 위한 marker로 사용하기는 곤란하다고 본다. 14:1도 비조사 시료에서 가끔씩 검출되기도 하며 고선량 시료에서도 소량 검출되기 때문에 marker로 활용하는 데에는 문제가 있다고 본다.

대두에서 검출된 상기 주요 hydrocarbon류에 대하여 황색과 녹색 대두 시료 모두에서 방사선 조사한 시료와 비조사 시료간에 차이가 명확히 나타났으며, 조사량이 증가함에 따라 주요 hydrocarbon 검출량이 매우 뚜렷하게 증가하였다(Fig. 2, 3). 콩의 지방에는 linoleic acid가 가장 많이 함유되어 있기 때문에 예상한 바와 같이 방사선 조사 시료에서 17:2와 16:3이 가장 많이 검출되었고, 다음으로 oleic acid에서 유래하는 17:1과 16:2가 많이 검출되었다. 이들 4개의 hydrocarbon류는 소량이긴 하나 0.5 kGy 조사 시료에서도 검출되었다. 이들 hydrocarbon류는 녹색 대두에

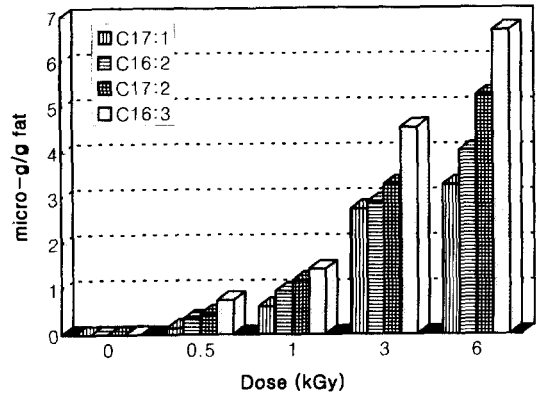


Fig. 2. Prominent hydrocarbons detected in irradiated yellow soybeans.

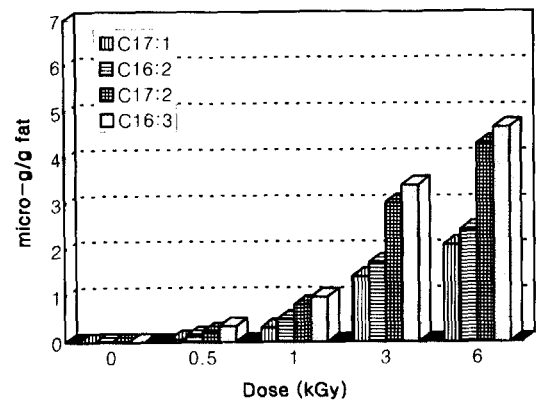


Fig. 3. Prominent hydrocarbons detected in irradiated green soybeans.

서보다 황색 대두에서 더 많이 검출되었다.

대두와 관련된 국제적인 방사선 조사 허용 규정을 살펴보면, soya flour 및 soya powder 항목으로 남아공에서 미생물 생육억제를 위하여 10 kGy, soybean 항목으로 멕시코에서 곤충 구제를 위하여 1 kGy, beans 항목으로 브라질과 태국에서는 곤충 구제를 위하여 1 kGy, 인도네시아에서는 미생물 생육 억제제를 위하여 5 kGy까지의 조사를 허용하고 있다¹⁾. 즉, 대두의 경우 미생물 생육보다는 해충에 의한 피해가 더 문제가 될 수 있으므로 최소 1 kGy의 방사선 조사를 할 경우에 원하는 목적을 달성할 수 있기 때문에 대두에 방사선 조사를 한다면 1 kGy 정도의 방사선 조사를 할 가능성이 크다고 본다. 상기한 4 종류의 hydrocarbon류는 1 kGy 조사한 황색 및 녹색 대두에서 모두 검출되었기 때문에 대두의 방사선 조사 여부 판별에 hydrocarbon류를 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

볶거나 삶은 대두의 hydrocarbon류 분석

대두를 볶거나 삶을 때 대두 내의 hydrocarbon류의 변화를 알아보기 위하여 비조사, 1 kGy 및 6 kGy 조사한 대두를 실험한 결과는 Table 1과 같다. 비조사 시료에서는 황색 및 녹색 대두 모든 처리구에서 hydrocar-

bon 17:2, 16:3, 17:1, 16:2가 검출되지 않은 반면, 1 kGy 및 6 kGy 조사한 시료에서는 검출량이 다소 감소하기는 하였으나 상기한 4개의 hydrocarbon이 모두 검출되었다. 따라서 일단 방사선 조사를 한 대두는 볶거나 삶은 처리를 하더라도 hydrocarbon의 검출이 가능하여 hydrocarbon의 분석을 통하여 대두의 방사선 조사 여부를 검지할 수 있을 것으로 사료된다.

Blind test

실험과 관계없는 자로 하여금 난수표를 사용하여 비조사 시료와 1 kGy 조사한 시료에 번호를 부여하도록 하고, 실험에 직접 참여한 자들은 hydrocarbon만을 분석하여, 그 결과로부터 대두의 방사선 조사 여부를 판별할 수 있는지를 검토한 결과, Table 2에 나타난 바와 같이 비조사 시료와 조사 시료를 100% 정확하게 판별할 수 있었다. 앞에서 방사선 조사한 대두의 검지 marker로 제시한 hydrocarbon 17:2, 16:3, 17:1, 16:2은 비조사 시료에서는 검출되지 않은 반면, 1 kGy 조사한 시료 모두에서는 검출되었다. 그러나 미량을 분석해야 하고 data의 오차 범위가 넓기 때문에 검출 hydrocarbon량에 의하여 조사 대두의 조사선량을 정확히 판정하기는 아직 어렵다고 사료된다.

Table 1. Hydrocarbons detected in roasted and boiled soybeans following irradiation¹⁾

Hydrocarbons ($\mu\text{g/g fat}$)	Yellow soybeans								
	Untreated			Roasted			Boiled		
	0 kGy	1 kGy	6 kGy	0 kGy	1 kGy	6 kGy	0 kGy	1 kGy	6 kGy
17:1	0	0.61 (0.07)	3.28 (0.46)	0	0.62 (0.12)	2.39 (0.18)	0	0.43 (0.05)	1.86 (0.14)
16:2	0	0.95 (0.07)	4.04 (0.76)	0	0.84 (0.10)	3.19 (0.27)	0	0.83 (0.17)	2.35 (0.29)
17:2	0	1.18 (0.21)	5.26 (0.81)	0	0.99 (0.18)	3.73 (0.29)	0	0.91 (0.21)	3.00 (0.16)
16:3	0	1.43 (0.13)	6.69 (0.91)	0	1.47 (0.22)	4.09 (0.36)	0	1.10 (0.15)	3.15 (0.38)
Hydrocarbons ($\mu\text{g/g fat}$)	Green soybeans								
	Untreated			Roasted			Boiled		
	0 kGy	1 kGy	6 kGy	0 kGy	1 kGy	6 kGy	0 kGy	1 kGy	6 kGy
17:1	0	0.31 (0.05)	2.11 (0.35)	0	0.24 (0.08)	1.19 (0.11)	0	0.30 (0.04)	1.38 (0.24)
16:2	0	0.50 (0.09)	2.44 (0.68)	0	0.38 (0.10)	1.33 (0.13)	0	0.37 (0.15)	1.61 (0.35)
17:2	0	0.82 (0.17)	4.31 (1.10)	0	0.59 (0.14)	2.52 (0.11)	0	0.67 (0.08)	3.13 (0.53)
16:3	0	0.98 (0.16)	4.67 (1.48)	0	0.64 (0.20)	2.53 (0.21)	0	0.76 (0.11)	3.06 (0.52)

¹⁾mean (standard deviation) of duplicate.

Table 2. Blind tests of unirradiated and irradiated soybeans

Sample Number	Hydrocarbons ($\mu\text{g/g}$ fat)											Judgement	Actual treatment
	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	16:2	16:3	17:0	17:1	17:2			
Yellow soybeans	192	2.20	0.56	1.24	0.27	0.24	1.29	1.73	-	0.77	1.27	irradiated	irradiated
	252	0.69	0.19	0.52	0.10	0.10	0.51	0.68	0.11	0.29	0.54	irradiated	irradiated
	582	1.78	0.55	1.30	0.25	0.19	1.19	1.69	0.21	0.67	1.36	irradiated	irradiated
	669	0.88	-	0.30	-	-	-	-	-	-	-	unirrad.	unirrad.
	600	1.26	0.35	0.87	0.16	-	0.72	1.02	-	0.40	0.67	irradiated	irradiated
	742	0.66	-	0.31	0.10	-	-	-	-	-	-	unirrad.	unirrad.
	815	0.75	-	0.23	0.13	-	-	-	-	-	-	unirrad.	unirrad.
	967	0.44	-	0.65	0.08	-	-	-	0.05	-	-	unirrad.	unirrad.
	053	1.10	0.25	0.85	0.20	0.12	0.76	0.98	0.14	0.46	0.83	irradiated	irradiated
	100	3.60	-	1.04	0.33	-	-	-	0.15	-	-	unirrad.	unirrad.
Green soybeans	394	2.51	-	1.31	0.47	-	-	-	-	-	-	unirrad.	unirrad.
	215	1.31	-	0.49	-	-	-	-	0.12	-	-	unirrad.	unirrad.
	798	0.39	0.21	0.19	0.14	-	0.44	0.86	0.11	0.33	0.74	irradiated	irradiated
	046	1.45	-	0.88	0.33	-	-	-	-	-	-	unirrad.	unirrad.
	602	0.40	-	0.09	0.14	-	-	-	-	-	-	unirrad.	unirrad.
	818	0.36	0.23	0.22	0.13	-	0.56	1.05	-	0.39	0.85	irradiated	irradiated
	179	1.31	0.26	0.60	0.20	-	0.51	0.92	-	0.35	0.71	irradiated	irradiated
	406	0.42	0.22	0.23	0.14	0.08	0.39	0.81	-	0.27	0.64	irradiated	irradiated
	691	0.79	0.31	0.49	0.13	-	0.43	0.86	0.12	0.29	0.68	irradiated	irradiated
	792	0.39	-	0.10	0.16	-	-	-	-	-	-	unirrad.	unirrad.

대두의 장기간 저장 운송에 따른 곤충 및 미생물의 피해를 막기 위하여 처리하는 화학 살충제 및 살균제의 사용 규제가 국제적으로 확대되고 있기 때문에 국제 기구에서 안전성 및 효능을 보장하고 있는 방사선 조사에 관심을 갖게 될 것이다. 따라서 방사선 조사한 대두의 판별 방법을 확립하여 소비자들이 섭취하고 있는 대두가 어떻게 처리되었는지 소비자들에게 제공할 필요가 있다. 대두를 방사선 조사한다면 1 kGy 이상 조사할 것으로 판단되며, 1 kGy 이상 조사한다면 조사하지 않은 시료에서는 검출되지 않는 hydrocarbon 17:2, 16:3, 17:1, 16:2 등이 충분한 검출되어 이들을 방사선 조사 검지법으로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

요 약

대두에서 hydrocarbon류를 검출하여 대두의 방사선 조사 여부 검지에 활용하고자 하였다. 황색 및 녹색 대두를 0.5, 1, 3, 및 6 kGy의 감마선을 조사하여 hexane으로 지방을 추출하고 Florisil column으로 분리한 hydrocarbon류를 GC를 사용하여 분석하였다. Hydrocarbon 17:2, 16:3, 17:1, 16:2 등은 비조사 대두에서는 검출되지 않았으나, 0.5 kGy 이상 조사한 시료에서는 검출되었으며, 또한 조사선량이 증가함에 따라

검출량도 증가하였다. 비조사 대두를 볶거나 삶을 경우에도 이러한 hydrocarbon류는 검출되지 않았으나, 1 kGy 이상 조사한 대두에서는 검출되었다. Hydrocarbon류 검출에 의한 1 kGy 이상 조사한 대두의 방사선 조사 여부 판별 가능성은 blind test에 의하여도 확인되었다.

감사의 글

이 논문은 보건복지부 보건의료기술연구개발사업 연구비 지원(HMP-96-F-1007)에 의한 연구결과의 일부이며, 연구비를 지원해 주신 한국보건의료관리연구원·보건의료기술연구기획단에 감사드립니다. 방사선 조사에 협조해 주신 한국원자력연구소 방사선식품공학연구팀과 그린피아기술(주)에 감사드립니다.

문 헌

1. FDA: Irradiation in the production, processing, and handling of food. *Federal Register*, 51, 13376 (1986)
2. FSN: Announcement of amendment in food standards and regulations (Korean Ministry of Health and Welfare Announcement No. 1995-34) (in Korean). *Food and Sanitation News*, 52(3) (1995)
3. IAEA: *Supplement to Food Irradiation Newsletter*, 19(2) (1995)

4. ICGFI: *Facts about Food Irradiation*, International Consultative Group on Food Irradiation, Vienna, Austria (1991)
5. Heide, L. and Bögl, K.W.: The identification of irradiated spices with thermo- and chemiluminescence measurements. *Int. J. Food Sci. Technol.*, **22**, 93-103 (1987)
6. Schreiber, G.A., Ziegelmann, B., Quitzsch, G., Helle, N. and Bögl, K.W.: Luminescence techniques to identify the treatment of foods by ionizing irradiation. *Food Structure*, **12**, 385-396 (1993)
7. Schreiber, G.A., Hoffmann, A., Helle, N. and Bögl, K.W.: Methods for routine control of irradiated food: determination of the irradiation status of shellfish by thermoluminescence analysis. *Radiat. Phys. Chem.*, **43**, 533-544 (1994)
8. Schreiber, G.A., Helle, N. and Bögl, K.W.: An interlaboratory trial on the identification of irradiated spices, herbs, and spice-herb mixtures by thermoluminescence analysis. *JAOAC International*, **78**, 88-93 (1995)
9. Hwang, K.T., Uhm, T.B., Wagner, U. and Schreiber, G.A.: Application of thermoluminescence to detecting post-irradiation of onion and garlic (in Korean). *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **27**(1), 63-68 (1998)
10. Desrosiers, M.F. and Simic, M.G.: Postirradiation dosimetry of meat by electron spin resonance spectroscopy of bones. *J. Agric. Food Chem.*, **36**, 601-603 (1988)
11. Lea, L.S., Dodd, N.J.F. and Swallow, A.J.: A method of testing for irradiation of poultry. *Int. J. Food Sci. Technol.*, **23**, 625-632 (1988)
12. Champagne, J.R. and Nawar, W.W.: The volatile components of irradiated beef and pork fats. *Food Science*, **34**, 335-339 (1969)
13. Morehouse, K.M., Ku, Y., Albrecht, H.L. and Yang, G.C.: Chromatographic and electron spin resonance investigations of gamma-irradiated frog legs. *Radiat. Phys. Chem.*, **32**, 61-68 (1991)
14. Lesgards, G., Raffi, J., Pouliquen, I., Chaouch, A.A., Giamarchi, P. and Prost, M.: Use of radiation-induced alkanes and alkenes to detect irradiated food containing lipids. *JAOCs*, **70**(2), 179-185 (1993)
15. Schreiber, G.A., Schulzki, G., Spiegelberg, A., Helle, N. and Bögl, K.W.: Evaluation of a gas chromatographic method to identify irradiated chicken, pork, and beef by detection of volatile hydrocarbons. *JAOAC International*, **77**, 1202-1217 (1994)
16. Spiegelberg, A., Schulzki, G., Helle, N., Bögl, K.W. and Schreiber, G.A.: Methods for routine control of irradiated food: optimization of a method for detection of radiation-induced hydrocarbons and its application to various foods. *Radiat. Phys. Chem.*, **43**, 433-444 (1994)
17. Schulzki, G., Spiegelberg, A., Bögl, K.W. and Schreiber, G.A.: Detection of radiation-induced hydrocarbons in camembert irradiated before and after the maturing process-comparison of Florisil column chromatography and on-line coupled liquid chromatography-gas chromatography. *J. Agric. Food Chem.*, **43**, 372-376 (1995)
18. Choi, C.R. and Hwang, K.T.: Detection of hydrocarbons in irradiated and roasted sesame seeds. *JAOCs*, **74**, 469-472 (1997)
19. Boyd, D.R., Crone, A.V.J., Hamilton, J.T.G., Hand, M.V., Stevenson, M.H. and Stevenson, P.J.: Synthesis, characterization, and potential use of 2-dodecylcyclobutane as a marker for irradiated chicken. *J. Agric. Food Chem.*, **39**, 789-792 (1991)
20. Crone, A.V.J., Hamilton, J.T.G. and Stevenson, M.H.: Effect of storage and cooking on the dose response of 2-dodecylcyclobutane, a potential marker for irradiated chicken. *J. Sci. Food Agric.*, **58**, 249-252 (1992)
21. Dubravcic, M.F. and Nawar, W.W.: Effects of high-energy radiation on the lipids of fish. *J. Agric. Food Chem.*, **17**, 639-644 (1969)
22. Kavalam, J.R. and Nawar, W.W.: Effects of ionizing radiation on some vegetable fats. *JAOCs*, **46**, 387-390 (1969)
23. Nawar, W.W., Zhu, Z.R. and Yoo, Y.J.: Radiolytic products of lipids as marker for the detection of irradiated meat. In *Food Irradiation and the Chemist*, Johnston, D. E. and Stevenson, M.H. (Ed.), The Royal Society of Chemistry, London, UK, p.13-24 (1990)
24. Hwang, K.T., Park, J.Y. and Kim, C.K.: Application of hydrocarbons as markers for detecting post-irradiation of imported meats and fish (in Korean). *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **26**, 1109-1115 (1997)
25. Hands, E.S.: Lipid composition of selected foods. In *Bailey's Industrial Oil and Fat Products: Vol. 1. Edible Oil and Fat Products: General Applications*, 5th ed., Hui, Y.H. (Ed.), John Wiley & Sons, Inc., New York, p.441-504 (1996)