

조미료의 방사선 조사선원에 따른 전자스핀공명 분석 특성

안재준 · 김귀란 · Qiong-Wen Jin · 권중호[†]
경북대학교 식품공학과

Analytical Properties of Electron Spin Resonance after Irradiation of Seasonings with Different Radiation Sources

Jae-Jun Ahn, Gui-Ran Kim, Qiong-Wen Jin and Joong-Ho Kwon[†]
Department of Food Science & Technology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

Abstract

Analytical electron spin resonance (ESR) parameters were investigated in irradiated seasonings after exposure to different radiation sources. Two commercial seasonings (SS-1 and SS-2) were irradiated with 0 - 20 kGy under ambient conditions using a ⁶⁰Co gamma-ray irradiator or an electron beam accelerator. Crystalline sugar-induced multi-component signals with g-values of 2.031, 2.021, 2.017, 2.009, 2.002, 1.990, and 1.980 were observed in both irradiated samples, whereas singlet signals were detected in non-irradiated materials, thereby distinguishing irradiated from control samples. Under the same analytical conditions, the ESR signal intensity of electron beam-irradiated samples was greater than that of gamma-irradiated materials. Determination coefficients (R² values) between irradiation doses and corresponding ESR responses were 0.9916 - 0.9973 for all samples, and the magnetic field of specified g-values for irradiated samples remained constant. The predominant ESR signals of g₂ (2.021), g₄ (2.009), g₅ (2.002), and g₆ (1.990) showed high correlations with the corresponding irradiation doses (R²=0.8243 - 0.9929).

Key words : seasoning, radiation sources, electron spin resonance (ESR), signal parameter

서 론

식품에 전리방사선을 쬐이면 피조사체의 특성에 따라 측정할 수 있는 변화가 일어나기도 한다. 방사선 조사식품의 판별을 위한 확인 연구는 물리적, 화학적 및 생물학적 변화에 근거를 두며(1,2), 특히 최근에는 방사선 조사식품에서 자유라디칼의 농도를 측정하는 전자스핀공명(ESR) 분석법이 많이 연구되고 있다. 이 방법은 1955년 방사선 조사된 단백질과 아미노산에 대한 ESR spectrum의 측정을 시작으로 방사선이 조사식품의 판별에 아주 유용한 방법으로 제시되었다(3). ESR 측정방법은 식품의 방사선 조사로 인해 특이적인 자유 라디칼이 생성되는 원리를 응용하여 자유라디칼의 spectrum을 측정하는 방법이다. 이때 자유라

디칼은 일반적으로 물과 같은 다른 물질과 쉽게 결합하여 사라지나, 라디칼 중 일부는 상대적으로 건조하고 단단한 뼈나 각피 등 결정구조 모체에 사라지지 않고 잡혀 그 식품의 수명과 거의 비슷하거나 더 오랜 기간 존재한다. 이 라디칼들은 ESR spectrometer에 의해 측정이 가능하며, 방사선 조사식품 판별에서는 cellulose radical을 함유하는 식품(4), crystalline sugar 유래의 multi-component signal을 가지는 radical 함유 식품(5), 그리고 뼈를 구성하는 hydroxy-apatite 유래의 radical을 함유하는 식품(6)으로 크게 구분한다.

조미료(seasoning)는 요리나 식품에 맛과 향을 제공함으로써 인간의 기호에 적합하도록 하기 위해서 식품에 첨가되는 양념(spice & herb), 액상풍미조미료(flavoring) 및 맛 조미료 형태의 식용재료를 말하며(7,8), 감칠맛(umami)을 내는 조미물질로서 monosodium glutamate(MSG), disodium 5-inosinate(IMP), disodium 5-guanylate(GMP) 등이 일반적으로 사용되고 있다. 위와 같이 조미료에는 당-아미노산류

[†]Corresponding author. E-mail : jhkwon@knu.ac.kr,
Phone : 82-53-950-5775, Fax : 82-53-950-6772

의 조미물질이 많으므로 crystalline sugar radical이 생성될 가능성이 매우 크며(9), CEN 방법(5)에서는 결정형 당을 함유하고 있는 식품의 경우 중심 peak의 g-value가 2.0035 ± 0.0010 인 다중 성분의 ESR spectrum이 나타난다고 하였다.

조미료는 많은 부재료를 혼합·가공하므로 미생물의 혼입 가능성 크므로 미생물학적 품질관리가 필요한 품목이다. 따라서 조미료를 포함한 향신료, 허브 및 복합조미식품은 방사선 조사의 가능성이 높은 품목이라 할 수 있다(10). 현재 국내에서 조미료는 살균의 목적으로 10 kGy까지 감마선 조사가 허가되어 있으며, 이에 대한 확인방법으로서 TL, PSL, ESR 방법 등이 활발히 연구되고 있다(11,12).

본 연구에서는 방사선 조사된 혼합조미료의 조사여부에 대한 판별법으로서 ESR 분석법을 이용하여 조사선원(감마선, 전자선) 및 조사선량에 따른 ESR signal의 parameter를 분석하여 조사여부 판별을 뒷받침할 수 있는 정보와 이들의 조사선원별 특성을 비교하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에서는 다소비 혼합조미료 2종(SS-1, SS-2)을 2007년 8월 B사에서 제공받아 사용하였다. 시료는 폴리에틸렌 필름에 10 g 단위로 포장하여 방사선조사 시료로 사용하였다.

방사선 조사 및 저장

포장된 조미료의 방사선 조사는 현재 국제적으로 널리 식품에 이용되고 있는 감마선과 전자선 조사선원을 이용하여 각각 0, 2.5, 5, 10, 20 kGy의 흡수선량을 얻도록 처리하였다. 감마선 조사는 정읍방사선연구소에 소재한 ^{60}Co 감마선 조사시설(AECL, IR-79, MDS Nordion International Co. Ltd., Ottawa, ON, Canada)을 이용하여 실온($22 \pm 2^\circ\text{C}$)에서 0.69 Gy/sec의 선량률로 조사하였다. 전자선 조사는 electron beam accelerator(ELV-4, 2.5 MeV, EB-tech, Daejeon, Korea)를 이용하여 electric current를 선량에 따라 다르게 하여 1회 조사하였다. 또한 흡수선량의 확인은 ceric/cerous dosimeter를 사용하였으며, 조사한 시료는 비 조사 시료와 함께 실온 암소($10 \pm 3^\circ\text{C}$)에 보관하면서 실험에 사용하였다.

ESR 측정

준비된 시료는 50°C 의 건조기에서 48시간 건조한 후 내경이 3.7 mm인 pyrex ESR tube에 충전하여(약 0.28 g) ESR X-band spectrometer(TE5-300, JEOL, Tokyo, Japan)를 이용하여 3회 반복 측정하였다. 측정 조건은 magnetic field 327 mT; sweep width 10~15 mT; microwave power 1.0 mW;

modulation frequency 100 kHz; modulation amplitude 10 mT; sweep time 30 sec; time constant 0.3 sec로써 ESR cavity에 같은 조건으로 고정시켜 실온에서 측정하였다. 본 실험에서는 두 가지의 실험이 병행되었다. 먼저 각 시료에 대한 최적 spectra를 얻은 뒤 그에 따른 parameter를 분석하였고, 두 번째는 최고선량(20 kGy)의 시료를 측정한 후 그와 동일한 조건으로 두 가지 시료를 측정하여 조사선원에 따른 ESR intensity를 비교하였다.

결과분석

방사선 조사된 조미료의 ESR 측정 실험결과는 Origin(13)에 의해 분석하였고, ESR 분석에 영향을 미치는 반응변수와 회귀변수 간의 산점도를 분석하기 위하여 SAS(14)를 이용하여 최소제곱법(least square method)과 다중회귀모형(polynomial regression model)으로 나타내었다.

결과 및 고찰

조사선원 및 선량에 따른 ESR 특성

조미료를 감마선과 전자선으로 20 kGy까지 조사하여 관찰되는 ESR spectra를 비 조사 시료와 비교하였다 (Fig. 1). 방사선 처리 하지 않은 조미료 SS-1과 SS-2은 g-value 2.005인 singlet line의 매우 낮은 signal을 나타내었다.

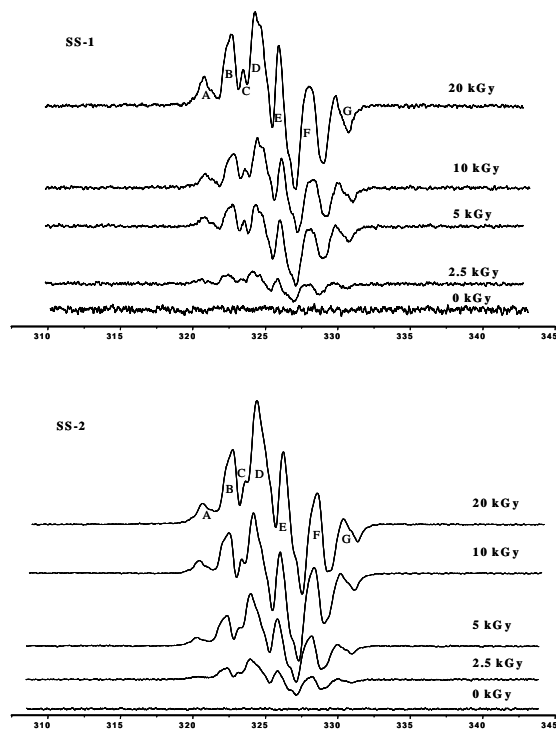


Fig. 1. ESR spectrum of non-irradiated and irradiated seasonings.

Signal A, $g_1=2.031$; B, $g_2=2.021$; C, $g_3=2.017$; D, $g_4=2.009$; E, $g_5=2.002$; F, $g_6=1.990$; G, $g_7=1.980$.

Desrosier(15)는 새우를 0-20 kGy까지 방사선 조사하여 측정한 결과, 비 조사시료에서 $g=2.005$ 인 singlet signal이 나타났다고 하였는데 이 signal은 선량에 따라 증가하였으나 유의적이지 않았으며, 이에 대한 이유는 아직 밝혀지지 않았다고 하였다. 방사선 처리(2.5-20 kGy)된 조미료는 내부에 존재하는 결정형 당에 의한 크고 작은 peak가 연속적으로 나타나는 sugar-like radical이 나타났다. 조사된 조미료의 ESR peak의 g_n value는 $g_1=2.0310\pm 0.0002$, $g_2=2.0212\pm 0.0001$, $g_3=2.0173\pm 0.0003$, $g_4=2.0095\pm 0.0001$, $g_5=2.0021\pm 0.0003$, $g_6=1.9900\pm 0.0005$ 및 $g_7=1.9806\pm 0.0002$ 로 나타났으며, 이들의 intensity는 감마선 및 전자선 조사선량의 증가에 따라 증가하였다(≥ 0.991). 이는 조사선량이 증가함에 따라 ESR intensity가 의존적으로 증가하였다는 Jesus 등(17)과 Desrosiers와 Simic(16)의 결과와 유사하였다(Table 1). 또한 선원(감마선, 전자선)에 따른 ESR spectra를 분석한 결과, sugar-like radical의 형태에 따른 차이는 나타나지 않았으며, 다만 ESR intensity가 전자선 조사군이 감마선 조사군보다 더 높은 intensity를 나타내었다. 그러나 ESR intensity는 조사선량과 밀접한 상관을 나타내지만 선량률(dose rate)에 따른 영향은 크지 않은 것으로 알려져 있다(18). Esteves 등(19)은 아몬드, 건포도, 피스타치오 등을 대상으로 조사선원(감마선, 전자선)에 따른 ESR spectra를 측정한 결과, 동일 선량일지라도 조사선원에 따라 ESR intensity는 상이하며, 이는 감마선과 전자선의 투과력의 차이와 단위시간당 에너지의 흡수량 즉, 선량률의 차이에 기인된 것으로 예상할 수 있겠다(20).

g_4 에서, 최저점(minimum point)은 g_5 에서 나타났으며, 두 signal의 ΔH (ESR intensity에 대한 g_n intensity의 비)는 각각 62~75%와 73~88%로 나타났다. 그리고 방사선 조사된 조미료의 signal intensity의 선형회귀곡선을 $y=ax+b$ 의 형태로 나타내었다.

$$y=ax+b, (y: \text{ESR signal intensity}; x: \text{흡수선량}; a \text{와 } b: \text{상수})$$

한편 최소제곱법을 이용하여 감마선과 전자선 조사된 조미료의 signal B, D, E 및 F의 intensity와 조사선량과의 관계를 나타낸 회귀모델은 Fig. 3과 4에 나타내었다. 감마선 조사된 시료 SS-1은 $g=1.990, 2.002, 2.009$ 및 2.021 에서 $R^2=0.9063, 0.8971, 0.9054$ 및 0.9213 이었고, 회귀식은 각각 $y=59.62x+74.25$, $y=15.78x+294.45$, $y=47.09x-331.63$ 및 $y=80.84x+101$ 로 나타났다. 그리고 전자선 조사된 시료 SS-1은 $R^2=0.9827, 0.9929, 0.9854$ 및 0.9817 로 회귀식은 $y=66.57x+7.725$, $y=126.73+125.53$, $y=153.6x+169$ 및 $y=75.34x+70.95$ 로 나타났다. 감마선 조사된 시료 SS-2는 $g=1.990, 2.002, 2.009$ 및 2.021 일 때 $R^2=0.8243, 0.9507, 0.8996$ 및 0.8701 로써 회귀식은 $y=49.5x+217.35$, $y=135.58x+236.95$, $y=132.73x+375$ 및 $y=70.57x+241.33$ 으로 각각 나타났다. 또한 전자선 조사된 시료 SS-2는 $R^2=0.9418, 0.9643, 0.9651$ 및 0.9737 로써, $y=45.14x+104.45$, $y=105.79x+159.58$, $y=116.75+196.38$ 및 $y=70.28x+101.3$ 으로 나타났다. Ghelawi 등(20)은 방사선 조사된 대추야자의 ESR을 측정하였을 때 $g=1.9850, 1.9895, 1.9984, 2.0045, 2.0135, 2.0159$

Table 1. Determination of coefficients (R^2) between irradiation dose and ESR signal intensity in irradiated seasonings at 0 to 20 kGy

Irradiated sample	Radiation source	Regression expressions and coefficients	
		Mathematical fit ¹⁾	Determination Coefficients (R^2)
SS-1	Gamma-ray	$y = -0.62031x^2 + 181.16051x + 168.73769$	0.9916
	Electron beam	$y = -3.50095x^2 + 260.19363x + 50.72383$	0.9973
SS-2	Gamma-ray	$y = -9.51239x^2 + 379.64654x - 50.39215$	0.9933
	Electron beam	$y = -5.55509x^2 + 286.50411x + 15.11338$	0.9937

¹⁾x: irradiation dose (kGy), y: ESR intensity.

조사시료의 ESR parameter 분석

방사선 조사된 조미료의 ESR spectra(Fig. 1)의 특성을 비교 분석하여 Table 2와 3에 나타내었다. 각각의 g_n -value에서 나타난 signal의 intensity는 조사선량이 증가함에 따라 일정하게 증가하였으며, g_1 에서 g_7 value가 나타나는 자장영역(magnetic field)은 조사선원과 조사선량의 변화와 무관하게 $323.2\pm 0.1, 324.8\pm 0.1, 325.4\pm 0.4, 326.7\pm 0.1, 328.0\pm 0.1, 329.5\pm 0.4$ 및 331.4 ± 0.5 mT로 일정하게 나타났다. 방사선 조사된 조미료의 ESR spectra의 최고점(maximum point)은

및 2.0227인 signal이 나타났으며, 이 중 $g=1.9895$ 와 $g=2.0159$ 의 intensity는 선량에 따라 선형적으로 증가하였다고 보고하여 본 연구의 결과와 일치하였다.

이상의 결과에서 볼 때 방사선 조사 혼합조미료의 ESR 특성 분석에서 비 조사 시료와 방사선 조사시료 간에 분명한 signal의 차이가 확인되어 조사여부의 판별이 가능하였으며, 감마선에 비해 전자선 조사 시료에서 ESR signal intensity가 더 높게 나타났다.

Table 2. ESR signal parameter of crystalline sugar radical from irradiated SS-1 with different radiation sources

Signal	Parameter	Gamma-ray (kGy)				Electron beam (kGy)			
		2.5	5	10	20	2.5	5	10	20
A	g-value ¹⁾	2.0311	2.0310	2.0311	2.0311	2.0311	2.0311	2.0311	2.0311
	ΔH (%) ²⁾	29.6	14.2	9.4	12.6	28.5	16.9	8.8	12.8
	M.F. (mT) ³⁾	323.28	323.25	323.34	323.32	323.33	323.29	323.29	323.41
B	g-value	2.0212	2.0213	2.0212	2.0212	2.0212	2.0211	2.0212	2.0213
	ΔH (%)	14.2	25.9	31.8	31.1	12.6	30.5	33.8	32.7
	M.F. (mT)	324.88	324.81	324.92	324.90	324.86	324.92	324.90	324.88
C	g-value	2.0173	2.0173	2.0173	2.0173	2.0176	2.0174	2.0173	2.0175
	ΔH (%)	9.5	8.7	10.5	8.4	9.7	9.1	8.3	9.6
	M.F. (mT)	325.42	325.46	325.55	325.53	325.46	325.51	325.48	325.49
D	g-value	2.0095	2.0095	2.0096	2.0096	2.0095	2.0096	2.0096	2.0096
	ΔH (%)	75.1	65.8	62.0	64.9	63.6	67.4	62.6	66.3
	M.F. (mT)	326.76	326.72	326.81	326.79	326.78	326.81	326.79	326.77
E	g-value	2.0021	2.0021	2.0020	2.0020	2.0020	2.0021	2.0023	2.0020
	ΔH (%)	84.1	78.1	79.2	81.2	78.6	77.9	82.3	79.5
	M.F. (mT)	328.03	327.93	328.04	328.02	328.06	328.01	327.86	328.00
F	g-value	1.9900	1.9901	1.9900	1.9900	1.9901	1.9904	1.9903	1.9905
	ΔH (%)	21.4	38.9	38.2	43.4	30.4	39.6	41.2	38.3
	M.F. (mT)	329.50	329.90	330.01	330.00	329.75	329.83	329.86	330.09
G	g-value	1.9806	1.9806	1.9805	1.9805	1.9805	1.9806	1.9806	1.9806
	ΔH (%)	24.3	21.4	24.8	21.0	20.2	25.6	23.3	22.5
	M.F. (mT)	331.51	331.49	331.60	331.58	331.64	331.49	331.44	331.51

¹⁾(71.448 × microwave GHz)/magnetic field.

²⁾(Signal intensity/ESR intensity) × 100.

³⁾Magnetic field.

Table 3. ESR signal parameter of crystalline sugar radical from irradiated SS-2 with different radiation sources

Signal	Parameter	Gamma-ray (kGy)				Electron beam (kGy)			
		2.5	5	10	20	2.5	5	10	20
A	g-value ¹⁾	2.0310	2.0313	2.0311	2.0310	2.0312	2.0312	2.0310	2.0311
	ΔH (%) ²⁾	12.4	5.8	6.3	4.2	5.0	5.4	4.0	4.3
	M.F. (mT) ³⁾	323.27	323.29	323.28	323.29	323.24	323.27	323.30	323.29
B	g-value	2.0211	2.0215	2.0213	2.0212	2.0211	2.0214	2.0212	2.0215
	ΔH (%)	45.6	39.4	30.1	28.8	35.2	28.3	27.2	27.7
	M.F. (mT)	324.75	324.80	324.3	324.86	324.84	324.81	324.85	324.88
C	g-value	2.0171	2.0173	2.0172	2.0173	2.0171	2.0171	2.0174	2.0173
	ΔH (%)	3.6	2.2	1.3	1.4	2.5	1.8	2.3	1.5
	M.F. (mT)	325.33	325.25	325.21	325.26	325.24	325.28	325.25	325.25
D	g-value	2.0094	2.0096	2.0095	2.0096	2.0090	2.0094	2.0095	2.0095
	ΔH (%)	69.7	66.2	65.9	65.4	63.5	55.2	60.2	63.2
	M.F. (mT)	326.69	326.71	326.71	326.72	326.67	326.70	326.71	326.73
E	g-value	2.0022	2.0023	2.0023	2.0023	2.0020	2.0027	2.0024	2.0026
	ΔH (%)	88.8	79.5	73.5	73.5	75.2	68.6	62.3	71.4
	M.F. (mT)	328.02	328.00	327.96	328.00	328.01	328.05	328.03	327.99
F	g-value	1.9901	1.9905	1.9902	1.9903	1.9904	1.9906	1.9904	1.9901
	ΔH (%)	51.2	52.2	37.6	40.5	49.6	32.4	39.5	42.2
	M.F. (mT)	329.88	329.91	328.94	329.90	329.89	329.86	329.92	329.91
G	g-value	1.9805	1.9802	1.9800	1.9801	1.9804	1.9800	1.9803	1.9801
	ΔH (%)	11.6	14.9	11.1	11.8	12.2	10.2	10.2	13.3
	M.F. (mT)	331.84	331.75	331.95	331.60	331.86	331.64	331.58	331.62

¹⁾(71.448 × microwave GHz)/magnetic field.

²⁾(Signal intensity/ESR intensity) × 100.

³⁾Magnetic field.

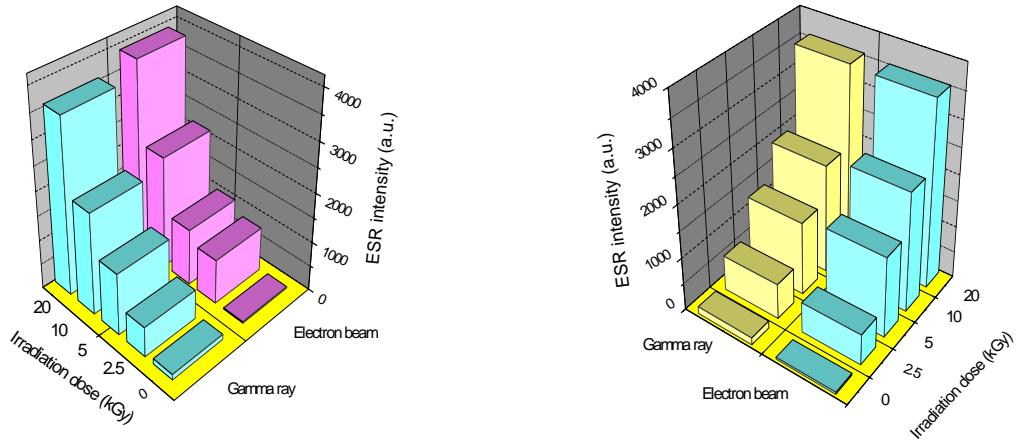


Fig. 2. Typical ESR intensity of irradiated seasoning with different radiation sources. left, SS-1; right, SS-2.

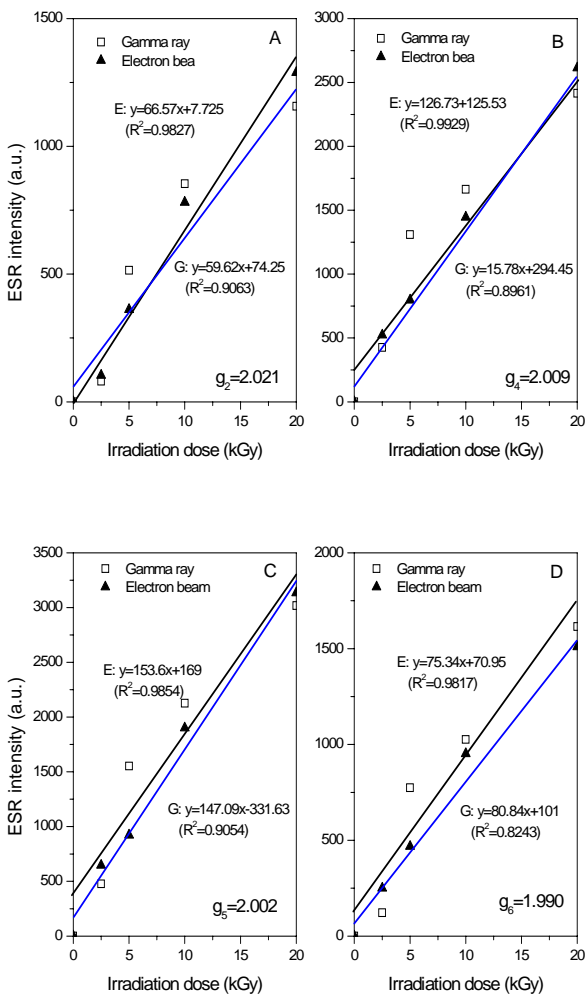


Fig. 3. Weighted lineared least-squares regression analysis of ESR response for irradiated SS-1 with different radiation sources.

A, $g_2=2.021$; B, $g_2=2.009$; C, $g_2=2.002$; D, $g_2=1.990$.

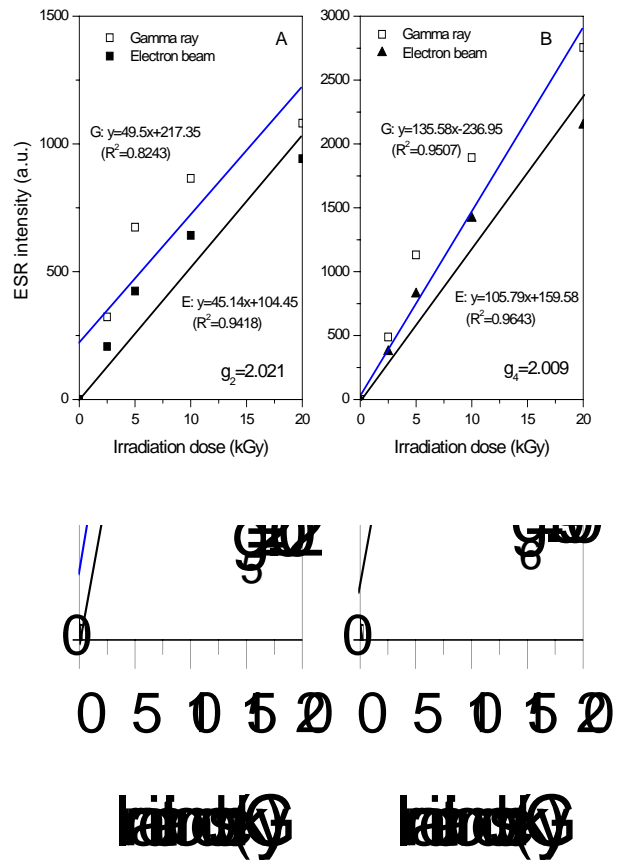


Fig. 4. Weighted lineared least-squares regression analysis of ESR response for irradiated SS-2 with different radiation sources.

A, $g_2=2.021$; B, $g_2=2.009$; C, $g_2=2.002$; D, $g_2=1.990$.

요 약

시판 혼합조미료(SS-1, SS-2)를 시료로 하여 조사선원(감마선, 전자선) 및 조사선량(0-20 kGy)에 따른 ESR spectrum의 특성을 비교하고, 방사선조사 유래의 signal에 대한 parameter를 분석하여 조사여부 판별을 뒷받침하는 자료를 확인하였다. 그 결과, 방사선 조사된 조미료 시료에서는 조사선원에 상관없이 특이한 free radical의 ESR signal을 보여주었다. 이 signal은 g-value가 2.031, 2.021, 2.017, 2.009, 2.002, 1.990 및 1.980인 크고 작은 7개의 peak를 지닌 crystalline sugar 유래의 multicomponent radical로 확인되었다. 그러나 방사선 처리되지 않은 두 시료(SS-1, SS-2)는 모두 매우 낮은 강도의 singlet line의 형태의 spectrum을 나타내어 비조사구와 조사구의 구별이 분명하였다. 조사선원과 선량에 따른 signal intensity를 비교한 결과, 동일한 측정조건에서 모든 조사선량에서 전자선 시료가 감마선 시료보다 더 높은 강도를 나타내었으며, 조사선량의 증가에 따라 선형적으로 증가하였다($R^2=0.9916\sim0.9973$). 두 시료에서 방사선 조사 유래의 spectra는 조사선원 및 조사선량에 관계없이 g-value와 signal을 나타내는 자장영역은 거의 일정하였으며, 주요 signals($g_2=2.021$, $g_4=2.009$, $g_5=2.002$, $g_6=1.990$)의 강도 역시 조사선량에 따라 증가하였다($R^2=0.8243\sim0.9929$).

참고문헌

1. FAO/WHO CODEX STAN. (2003) General Codex Methods for the Detection of Irradiated Foods, CODEX STAN 231-2001, Rev.1
2. IAEA. (1991) Analytical detection methods for irradiated foods. A review of current literature. IAEA-TECDOC-587, p.172
3. Gordy, W., Ard, W.B. and Shields, H. (1955) Microwave spectroscopy of biological substances: Paramagnetic resonance in X-irradiated amino acids and proteins. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 41, 983 - 996
4. CEN. (2000) Detection of irradiated food irradiated food containing cellulose, method by ESR spectroscopy. European Committee for Standard. English version of EN 1787, Brussels
5. CEN. (2001) Detection of irradiated food irradiated food containing crystalline sugar, method by ESR spectroscopy. European Committee for Standard. English version of EN 13708, Brussels
6. CEN. (1996) Detection of irradiated food irradiated food containing bone, method by ESR spectroscopy. European Committee for Standard. English version of EN 1786, Brussels
7. Webster's Third New International Dictionary. (1966) G&C Merriam Co., Chicago, U.S.A., p.2193
8. KFDA. (2008) Korea Food Standard Code. Korea Food & Drug Administration, Seoul, Korea, p.5-21-1-5-21-10
9. Johnston, D.E. and Stevenson, M.H. (1990) Food irradiation and the chemist. Royal society of chemistry, Queen's University, Belfast, U.K., Special Publication No. 86, p.90-92.
10. IAEA. (2008) International Atomic Energy Agency homepage. <http://nucleus.iaea.org/NUCLEUS/nucleus/Content/Applications/FICdb/FoodIrradiationclearances.jsp?module=cif>, Accessed on July 5
11. Kwon, J.H., Kim, M.Y., Kim, B.K., Lee, J.E., Kim, D.H., Lee, J.W., Byun, M.W. and Lee, C.B. (2006) Identification characteristics of irradiated dried-spicy vegetables by analyzing photostimulated luminescence (PSL), thermoluminescence (TL) and electron spin resonance (ESR). Korean J. Food Preserv., 13, 50-54
12. Kwon, J.H., Kim, M.Y., Kim, B.K., Chung, H.W., Kim, T.C. and Kim, S.J. (2006) The detection of irradiated composite seasoning foods by analyzing photostimulated luminescence (PSL), electron spin resonance (ESR) and thermoluminescence (TL). Korean J. Food Preserv., 13, 55-56
13. Origin (1999) Origin Tutorial Manual, version 6.0, Microcal Software, Inc., Northampton, MA., U.K., p.20-45
14. SAS (1998) SAS User's Guide Statistics, 3rd ed., Statistical Analysis System Institute Inc., Cary, NC, U.S.A.
15. Desrosiers, M.F. (1989) Gamma-irradiated sea foods: Identification and dosimetry by electron paramagnetic resonance spectroscopy. J. Agric. Food Chem., 37, 96-100.
16. Desrosiers, M.F. and Simic, M.G. (1988) Post-irradiation dosimetry of meat by electron spin resonance spectroscopy of bones. J. Agric. Food Chem., 36, 601-603
17. De Jusus, E.F.O., Rossi, A.M. and Lopes, R.T. (2000) Identification and dose determination using ESR measurements in the flesh of irradiated vegetable products. Appl. Radiat. Isotopes, 52, 1375-1383
18. Johnston, D.E. and Stevenson, M.H. (1990) Food irradiation and the chemist. Royal society of chemistry, Queen's University, Belfast, U.K., Special Publication No. 89-90

19. Estevesa, M.P., Andradeb, M.E. and Empisc, J. (1999) Detection of prior irradiation of dried fruits by electron spin resonance (ESR). *Radiat. Phys. Chem.*, 55, 737-742
 20. IAEA. (1982) Training Manual on Food Irradiation Technology and Techniques. 2nd ed., Technical Reports Series No. 114, International Atomic Energy Agency, Vienna, p.112-132
 21. Ghelawi, M.A., Moore, J.S., Bisby, R.H. and Dodd, N.J.F. (2001) Estimation of absorbed dose in irradiated dates (*Phoenix dactylifera* L.). Test of ESR response function by a weighted linear least-squares regression analysis. *Radiat. Phys. Chem.*, 60, 143-147
-
- (접수 2009년 2월 25일, 채택 2009년 5월 1일)