

감마선 조사된 바질과 정향의 전처리방법에 따른 ESR Spectra 판별 특성

곽지영 · 안재준 · 카시프 아크람 · 권중호[†]

경북대학교 식품공학부

ESR-based Identification of Radiation-Induced Free Radicals in Gamma-Irradiated Basil and Clove Using Different Sample Pre-Treatments

Ji-Young Kwak, Jae-Jun Ahn, Kashif Akram, and Joong-Ho Kwon[†]

School of Food Science & Biotechnology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

Abstract

An improved detection of radiation-induced paramagnetic faults was developed to identify the irradiation status of basil and clove. The effectiveness of different sample pretreatments, including freeze-drying (FD), oven-drying (OD), alcoholic-extraction (AE), and water-washing and alcoholic-extraction (WAE), were examined. All non-irradiated samples showed a single central signal ($g_0=2.006$), whereas radicals representing two additional side peaks ($g_1=2.023$ and $g_2=1.986$) with a mutual distance of 6 mT were detected in the irradiated samples. AE and WAE produced the best results for irradiated clove in terms of intensities of radiation-specific ESR signals and their ratios to the central signal. However, FD provided the highest intensities of radiation-specific ESR signals for basil, whereas their ratios to the major signal were better in the cases of AE and WAE. Signal noise, particularly due to Mn^{2+} signals, was observed, whereas it decreased in AE and WAE pretreatments. Based on our results, AE and WAE can improve the detection conditions for radiation-specific ESR signals in irradiated samples.

Key words: basil, clove, gamma-irradiation, identification, electron spin resonance spectroscopy

서 론

조사식품의 국제 교역량은 2005년 기준으로 약 40만 톤이 국제적으로 교역 및 생산되었으며, 그 중 향신료 및 신선채 소류는 19만 톤으로 약 47%를 차지하였다(1). 식품의 방사선 이용 가능성이 알려지고 사용량이 증가함에 따라 각국에서는 소비자의 수용성과 알 권리를 보호하기 위한 조사여부 확인방법의 연구가 필요하게 되었다. 이에 따라 각 식품의 특성에 맞는 다양한 판별방법이 개발되어 CODEX(Codex Alimentarius Commission, CAS) 기준으로 설정되어 있다(2).

전자스핀공명분석법(Electron Spin Resonance, ESR)을 이용한 조사여부 확인법은 섬유소, 당, 뼈를 함유한 식품에서 방사선에 의해 생성되는 특이적인 radical을 검출하여 조사여부를 판정하는 방법으로서, 판별마커가 radical이므로 재현성이 높고 신속하게 판정할 수 있는 장점이 있다(3). 특히 섬유소를 함유하는 식품은 전 세계에서 널리 이용되는 식품군이므로 적용 가능성이 매우 크다. 다만, free radical의 경우 수분, 공기 및 라디칼을 포획하는 모체의 강도에 매우 큰 영향을 받으므로 시료의 특성 및 건조방법에 따라 라디칼의 검출여부가 크게 좌우되며, 저장기간에 따라 라디칼이

쉽게 사라지는 단점이 있다(4).

일반적으로 향신료는 일반적으로 10 kGy의 조사선량이 허가되어 있으며, 미국과 뉴질랜드는 최고 30 kGy까지 허가되어 있다. 고춧가루, 후추, thyme 등은 방사선 조사 처리 시 cellulose radical이 확인되어, 조사여부 확인시험법으로 ESR 방법이 적합하다고 보고되었으나(5,6), 건조 양파, 건조 마늘, cumin, saffron, fennel, sage, savory 등은 조사처리에 따른 특이한 signal이 발견되지 않아 ESR 방법이 부적합하다고 보고된바 있다(7-14). 특히, Ahn 등(15)은 10 kGy 조사된 건조양파 및 건조마늘의 경우 매우 약한 cellulose 신호를 나타내었고, Mn^{2+} ion이 ESR signal에 영향을 크게 미쳐 조사여부의 판별이 어려웠다고 하였다. 그 이유는 식품 내에 존재하는 특정 물질이 cellulose radical의 검출을 방해하거나 cellulose와 유사한 non-cellulose 성분(hemi-cellulose 및 lignin) 등에 의해 cellulose가 상대적으로 함량이 낮아 ESR signal이 명확하게 나타나지 않기 때문으로 판단된다(4). 현재 식품공전(16) 및 CEN(Committee European de Normalisation)(17)에서 ESR의 전처리 방법으로 동결건조와 진공건조방법을 제시하고 있다. Jo와 Kwon(18), Akram 등(19)은 상압건조방법은 동결건조방법에 비해 건조시간이 짧고, cellulose

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

radical의 central peak와 side peak의 비(cellulose signal ratio)가 판별에 적합하다고 하였다. 또한 Uchiyama 등(20)은 향신료에 대해 methyl alcohol을 이용하여 건조하였을 때, non-cellulose 성분이 일부 제거됨으로써 동결건조처리구보다 명확한 cellulose signal을 확인하였다고 보고하였다. Ahn 등(21)은 Uchiyama 등(20)의 방법을 개선하여 시료를 세척한 후 ethyl alcohol을 이용하였을 때, Mn^{2+} ion이 제거되어 매우 명확한 ESR signal을 얻을 수 있다고 하였다. 이와 같이 식품 내 수분은 방사선 조사에 의해 생성되는 radical의 확인에 지대한 영향을 미치며, 명확한 ESR signal을 확인하기 위해서는 수분함량을 최대한 낮추어야 하므로 건조방법은 ESR 분석에 매우 큰 영향을 미치게 된다. 또한 향신료의 경우 일반적으로 건조된 상태로 유통되고 있으나, 다른 섬유소식품에 비해 cellulose radical이 확인이 어려우므로 이에 대한 개선방법이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 향신료가공품 중 바질과 정향을 시료로 선정하여 감마선 조사한 뒤 동결건조(FD), 상압건조(OD), 알코올건조(AE) 및 세척알코올건조(WAE)에 따른 cellulose radical을 확인하고 분석 특성을 비교하여, 조사처리여부를 판별하기 위한 향신료의 ESR 전처리방법을 개선하고자 하였다.

재료 및 방법

실험 재료

본 실험에 사용된 바질과 정향은 대구의 E 향신료 전문마트에서 구입하였다. 시료는 건조된 상태의 제품을 구입하였으며, 폴리에틸렌(LDPE)필름에 포장한 후 감마선 조사 시료로 사용하였다.

감마선 조사

포장시료의 감마선 조사는 정읍방사선과학연구소에 소재한 Co-60 감마선 조사시설(AECL, IR-79, MDS Nordion International Co. Ltd., Ottawa, Canada)을 이용하여 시간당 일정한 선량률로 0, 10, 50 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 이때 흡수선량은 alanine dosimeter(Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 사용하여 ESR spectrometer(EMS 104 EPR analyzer, Bruker Instruments)에 의해 확인하였다.

시료의 전처리

ESR 측정을 위해 각 시료는 막자사발에서 분쇄하였으며, 40 mesh의 sieve를 이용하여 입자크기를 균일하게 한 후, ESR 측정 시료로 이용하였다. 현재 식품공전(16)에서는 ESR 처리를 위한 건조방법으로서 동결건조방법과 진공건조방법을 제시하고 있으며, 본 연구에서는 동결건조방법과 처리구로서 상압건조, 알코올건조, 세척알코올건조방법을 이용하여 각 방법의 ESR spectra를 비교하였다.

동결건조(freeze drying, FD): 시료의 동결건조는 Yor-

danov 등(22)의 방법에 따라 진공동결건조기(Bondiro, Ilsin Bio Base, Yangju, Gyeonggido, Korea)에서 16시간동안 건조하였다.

상압건조(oven drying, OD): 시료의 상압건조는 Akram 등(19)의 방법에 따라 드라이오븐에 넣고 50°C에서 6~8시간 동안 건조하였다.

알코올건조(alcoholic extraction, AE): 시료의 알코올건조는 Ahn 등(21)의 방법에 따라 시료 20 g과 80% ethyl alcohol 100 mL와 혼합하여 20분간 정치시켰다. 시료를 강하게 눌러 짜서 최대한 ethyl alcohol을 제거한 후 petridish에 골고루 퍼 담아 상온에서 3~4시간 동안 건조하였다.

세척알코올건조(washing and alcoholic extraction, WAE): Ahn 등(21)의 방법에 따라 시료를 일정량의 증류수(약 2 L)로 세척하면서 nylon sieve(pore size 150 μ m)를 통과시킨 후, sieve에 남은 잔사를 위 AE 방법과 동일하게 처리하였다.

전자스핀공명분석

건조된 시료는 내경 3.7 mm의 pyrex ESR tube에 충전(약 0.15~0.2 g)하여 측정에 사용하였다. ESR signal은 CEN(10)에 제시된 방법으로 X-band ESR spectrometer(JES-TE300, Jeol Co., Tokyo, Japan)을 이용하여 실온에서 3회 반복 측정하였다. 측정조건은 microwave power, 0.4 mW; microwave frequency, 9.18~9.21 GHz; center magnetic field, 324 ± 2 mT; sweep width, 10~25 mT; modulation frequency, 100 kHz; modulation width, 0.1~0.2 mT; amplitude, 20; sweep time, 30 s; 및 time constant, 0.03 s 등으로 하였다.

결과 분석

모든 실험결과들은 3회 반복 측정하였으며, 실험결과는 Origin 8.0 software(Origin Lab. Co., Northampton, MA, USA)을 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

감마선 조사한 향신료의 동결건조에 따른 ESR spectra 특성

감마선 조사한 동결건조 처리한 향신료(바질, 정향)에 대해 전자스핀공명분석법(electron spin resonance, ESR)을 이용하여 조사여부를 확인한 결과, 비 조사구는 두 시료 모두 g value가 2.006인 singlet signal이 나타났다(Fig. 1). 또한 감마선 10 kGy 조사된 바질은 비조사구와 유사한 형태의 ESR signal이 확인되어 특이적인 signal은 발견되지 않았다. 그러나 바질(50 kGy)과 정향(10, 50 kGy)의 경우 central signal(g_0)을 중심으로 좌우 3 mT의 간격으로 작은 peak(g_1, g_2)가 나타나 cellulose radical로 확인되었다. 다만, 고 선량으로 조사된 바질과 정향은 signal이 매우 명확하여 판별이

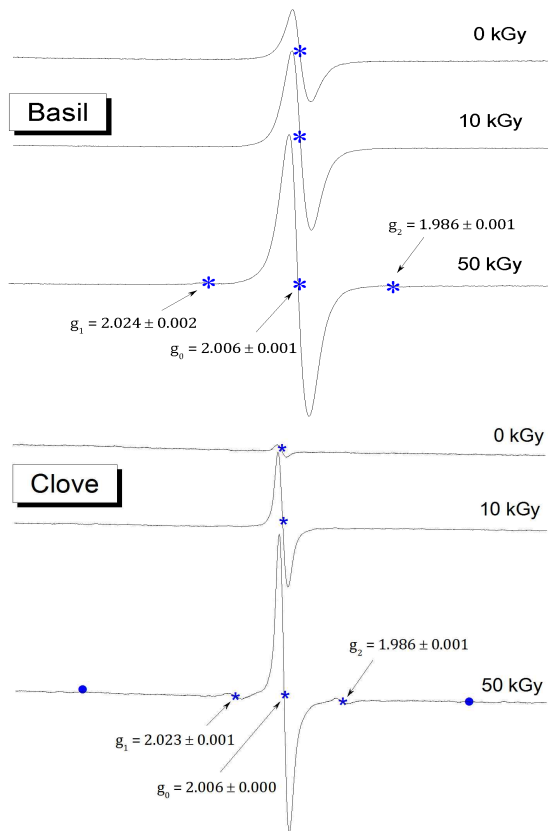


Fig. 1. ESR spectra of irradiated spices after freeze drying. •: Mn ion, *: cellulose radical.

쉽게 가능하였으나, 10 kGy 조사된 정향의 cellulose signal은 매우 약한 signal을 나타내어 Ahn 등(15)의 결과와 유사한 결과를 나타내었다. 이때 나타난 cellulose radical의 g value는 $g_0=2.006$, $g_1=2.024$ 및 $g_2=1.986$ 으로 확인되었으며,

cellulose radical이 나타난 모든 ESR signal은 유사한 g value를 가지는 것으로 나타났다.

건조방법에 따른 조사시료의 ESR spectra

감마선 조사(10 kGy)된 바질과 정향에 대해 건조방법(FD, OD, AE, WAE)을 달리하여 ESR signal을 분석하였다. 10 kGy 조사된 바질은 FD 및 OD 처리구에서 모두 특이한 signal이 나타나지 않아 조사여부 확인이 어려웠으나, AE 및 WAE 처리 시 side signal이 보다 선명히 나타나는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 2). 10 kGy 조사된 정향의 경우 모든 처리구에서 Mn^{2+} ion과 cellulose radical이 혼재하여 나타났으며, FD 처리구에서는 매우 약한 cellulose radical을 나타내었고, OD 처리구에서는 cellulose radical을 확인할 수 없었다(Fig. 3). 반면, AE 및 WAE 처리구에서는 Mn^{2+} ion의 signal은 약하게 나타났고, cellulose radical은 명확하게 나타나, 조사여부 확인이 용이한 것으로 관찰되었다(Fig. 3). 이는 FD 및 OD 처리가 단지 수분함량을 제거하는 물리적인 건조방법인데 비해, AE 및 WAE 처리는 수분함량을 낮출 뿐 아니라 Mn^{2+} ion과 비점유소 물질을 일부 제거하여 cellulose radical의 함량이 상대적으로 증가하는데 기인하는 것으로 판단되었다(20,21). Mn^{2+} ion은 식물체내에 존재하는 유기라디칼에 의해 생성되며(23,24), 비 조사시료에서 나타나는 singlet signal을 중심으로 좌우 8~9 mT 간격으로 3개씩 peak를 가지는 형태를 지닌다. Mn^{2+} ion은 방사선에 영향을 받지 않는 자연유래의 라디칼로서 전자기장하에서 cellulose radical보다 높은 감도(sensitivity)를 가지므로 ESR 측정 시 cellulose보다 쉽게 검출될 수 있다(25). 본 실험에서 사용된 바질과 정향의 경우 Mn^{2+} ion signal은 매우 낮은 강도로 나타나 cellulose radical의 판별에 미치는 영향은 미미한 것으로 확인되었다.

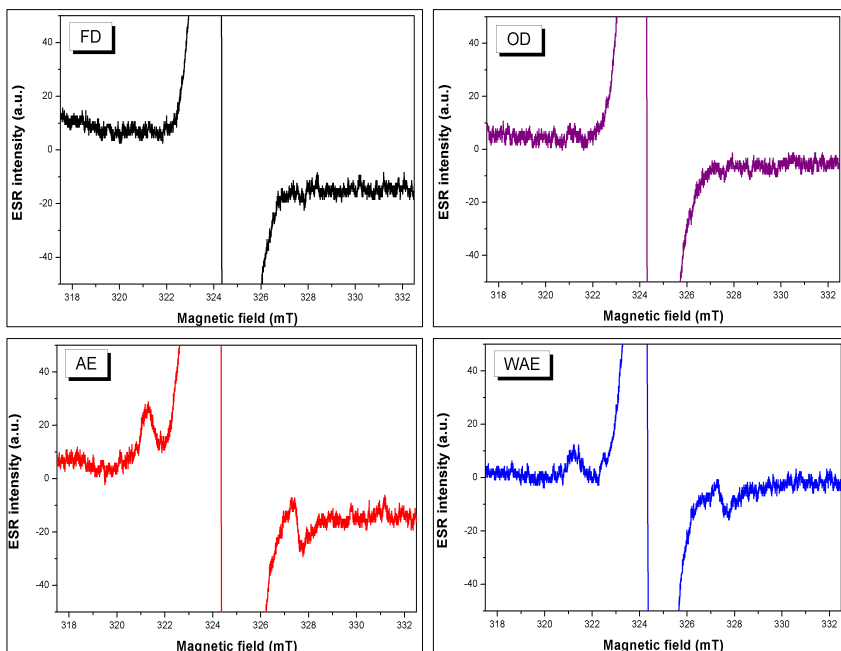


Fig. 2. ESR spectra of 10 kGy-irradiated basil at different drying conditions.

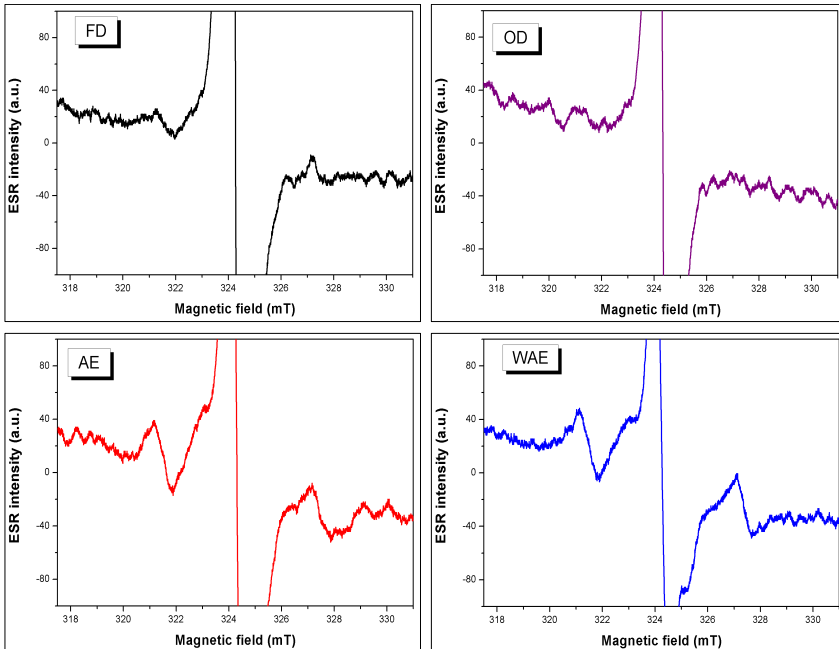


Fig. 3. ESR spectra of 10 kGy-irradiated clove at different drying conditions.

조사선량에 따라 ESR intensity를 비교하였을 때, 조사선량이 증가할수록 ESR intensity는 모든 건조방법에서 증가하였다(Fig. 4). 또한 각 건조방법별로 ESR intensity를 비교한 결과, 바질과 정향 모두 central signal(g_0) intensity는 $FD > OD > AE > WAE$ 순으로 나타났으며, g_1 signal intensity는 FD와 AE 처리구가 비슷한 수준으로 높게 나타났고, OD와 WAE 처리구가 낮은 intensity를 나타내었다(Fig. 4). FD, OD 처리 시 AE, WAE에 비해 central peak(g_0)의 intensity 증가폭이 크게 나타났지만, side peak(g_1, g_2)의 intensity는 오히려 낮아 cellulose radical의 signal이 명확하지 않은 것으로 확인되었다.

건조방법에 따른 ESR 판별마커 parameter 분석

본 연구에서 확인된 cellulose radical의 ESR signal은 g_0 를 중심으로 좌(g_1), 우(g_2)에서 각각 대칭적인 peak를 가지는 대칭형 triplet signal로서, g_1 peak는 오직 방사선 조사에 의해서만 생성되는 cellulose 유래의 signal이라고 하였고

(10,23), g_2 peak는 식물체내에 존재하는 Mn^{2+} ion(26) 및 lignin(27,28)에서 생성되며, 열, 빛, 방사선 조사에 의해 신호 강도가 증가할 수 있다고 보고 된 바 있다. Table 1은 바질과 정향에서 나타난 ESR spectrum의 g value 및 $g_1 \sim g_2$ peak 사이의 거리를 나타낸 것으로, 두 peak의 간격이 약 6 mT로 cellulose 유래의 radical임을 확인할 수 있었다. 이는 조사된 과채류의 side peak 간격이 6.00 ± 0.05 mT로 나타난다고 하였던 de Jesus 등(29)의 결과와 유사하게 나타났다. 또한 모든 조사선량(10 및 50 kGy)에서 g_1 value는 2.022~2.024, g_0 value는 2.006~2.007, g_2 value는 1.986~1.988의 범위로 나타났는데, Nam과 Yang(9), Ahn 등(15)은 향신료의 ESR 분석 결과 g_0 value 2.006, g_1 value 2.020, g_2 value 1.987로 나타난다고 하여, 본 실험 결과와 유사하였다. Table 2는 바질과 정향의 각 ESR signal의 ratio를 나타낸 것으로서 왼쪽 signal(g_1)의 intensity를 1로 가정하였을 때, central signal(g_0) 및 오른쪽 signal(g_2)의 intensity를 나타낸 것이다. AE 및 WAE 처리구의 경우 FD 및 OD 처리구에 비해 signal

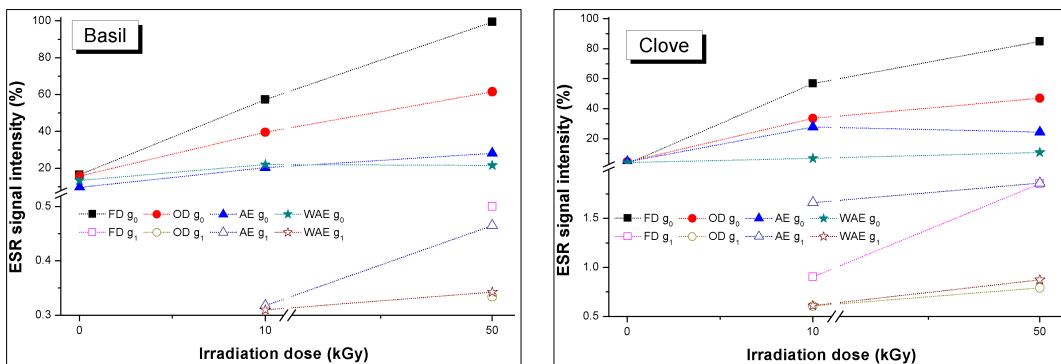


Fig. 4. ESR spectral intensities of irradiated spices at different drying conditions.

Table 1. The ESR signal information on measurement of the irradiated spices after employing different sample pretreatments

Sample	Dose (kGy)	Treatment ¹⁾	g-value ²⁾			g ₁ -g ₂ distance
			g ₁	g ₀	g ₂	
Basil	0	FD	—	2.00703	—	
		OD	—	2.00690	—	
		AE	—	2.00686	—	
		WAE	—	2.00699	—	
	10	FD	—	2.00697	—	
		OD	—	2.00694	—	
		AE	2.02375	2.00701	1.98741	6.015
		WAE	2.02261	2.00709	1.98725	6.004
	50	FD	2.23510	2.00676	1.98717	6.050
		OD	2.02452	2.00692	1.98679	5.977
		AE	2.02361	2.00704	1.98772	6.116
		WAE	2.02366	2.00682	1.98735	6.108
Clove	0	FD	—	2.00658	—	
		OD	—	2.00651	—	
		AE	—	2.00664	—	
		WAE	—	2.00642	—	
	10	FD	2.02357	2.00661	1.98621	5.911
		OD	2.02401	2.00691	1.98686	6.013
		AE	2.02336	2.00651	1.98684	6.018
		WAE	2.02362	2.00667	1.98687	5.947
	50	FD	2.02395	2.00677	1.98702	6.050
		OD	2.02351	2.00682	1.98756	5.984
		AE	2.02396	2.00627	1.98702	6.042
		WAE	2.02391	2.00647	1.98693	6.013

¹⁾FD, freeze drying; OD, oven drying; AE, alcoholic extraction; WAE, water-washing & alcoholic extraction.

²⁾g value (g₁, left; g₀, central; g₂, right)=71.448×microwave (GHz)/ magnetic field (mT).

ratio가 크게 낮게 나타났는데, g₀ 강도는 낮고 g₁ 및 g₂ 강도는 상대적으로 높게 나타나 조사여부 판별에 매우 적합하였다. de Jesus 등(29)은 cellulose radical의 각 peak intensity의 비가 1:2:1(g₁:g₀:g₂)일 때 가장 판별에 적합한 signal ratio

Table 2. ESR signal ratios (intensity) of irradiated spices at different sample pretreatments

Sample	Dose (kGy)	Treatment ¹⁾	Signal ratio (g _n intensity/g ₁ intensity)		
			g ₁	g ₀	g ₂
Basil	10	FD	—	—	—
		OD	—	—	—
		AE	1.0	64.3	1.1
		WAE	1.0	71.2	0.9
	50	FD	1.0	198.9	1.0
		OD	1.0	184.3	1.2
		AE	1.0	60.6	1.2
		WAE	1.0	63.2	1.0
Clove	10	FD	1.0	62.9	1.0
		OD	1.0	55.4	1.0
		AE	1.0	16.8	0.8
		WAE	1.0	11.4	1.1
	50	FD	1.0	45.8	0.9
		OD	1.0	59.4	1.4
		AE	1.0	25.1	1.2
		WAE	1.0	12.5	1.1

¹⁾FD, freeze drying; OD, oven drying; AE, alcoholic extraction; WAE, water-washing & alcoholic extraction.

라고 하였다. 본 연구결과에서 FD 및 OD 처리구는 1:45~199:1.1의 signal ratio를 나타낸 반면, AE 및 WAE 처리구는 그에 비해 약 3배 정도 감소한 1:11.4~62.9:1.1로 나타나 AE 및 WAE 처리구가 FD 및 OD 처리구에 비해 이상적인 signal ratio에 가까운 ESR spectrum을 나타내는 것으로 확인되었다.

결론적으로, 감마선 처리된 바질과 정향의 조사여부 확인을 위하여 건조방법(FD, OD, AE, WAE)을 달리하여 ESR spectrum을 분석하였을 때, AE와 WAE에서는 매우 명확한 방사선 유래의 cellulose radical을 확인할 수 있었으나, 그에 비해 FD 및 OD에서는 명확하지 않았다. 또한 ESR signal intensity는 FD가 가장 높게 나타났고, OD, AE, WAE 순으로 나타났으나, AE와 WAE가 조사여부 판별에 가장 적합한 signal ratio를 나타내었다. 조사여부 판별에 있어 바질의 경우 AE가 WAE보다 적합하였고, 정향은 WAE가 AE보다 적합한 건조방법으로 판단되었다.

요 약

섭취 식품 중 바질과 정향의 방사선 조사처리 여부 확인을 위한 전자스핀공명분석법(ESR)의 개선을 위해 동결건조(FD), 상압건조(OD), 알코올건조(AE), 알코올세척건조(WAE) 처리하여 cellulose radical을 확인하였다. 비 조사 시료는 모

두 singlet signal($g_0=2.006$)을 나타내었고, 조사된 시료의 경우는 모두 singlet signal을 중심으로 두 개의 side peak($g_1=2.023$ and $g_2=1.986$)가 6 mT 간격으로 나타나 cellulose 유래의 signal을 확인할 수 있었다. AE, WAE 처리한 정향의 경우, 조사유래의 cellulose radical의 ESR intensity가 증가하였으며, central peak와 side peak의 비율도 판별에 매우 적합하였다. 그러나 FD 처리한 바질의 경우 ESR intensity는 가장 크게 나타났으나, signal ratio는 AE, WAE 처리하였을 때 더 이상적이었다. 또한 Mn^{2+} signal 유래의 radical은 AE, WAE 처리한 시료에서 크게 감소하여, FD 및 OD에 비해 매우 명확한 조사여부 판별이 가능하였다. 따라서 AE, WAE 처리는 바질과 정향의 조사여부 판별방법을 크게 개선시키는 것으로 확인되었으며, 기타 향신료에 대해서도 ESR spectra 분석에 적용 가능할 것으로 판단되었다.

감사의 글

이 논문은 2012학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음. 아울러 농림수산식품 농림기술개발사업의 일부 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

문헌

- Kume T, Furuta M, Todoriki S, Uenoyama N, Kobayashi Y. 2009. Status of food irradiation in the world. *Radiat Phys Chem* 78: 222-226.
- Kwon JH. 2010. *Safety and understanding of irradiated food*. 1st ed. Korea Food Safety Research Institute, Seoul, Korea. p 125-128.
- Kwon JH, Chung HW, Kim BK, Ahn JJ, Kim GR, Jo DJ, Ahn KA. 2011. Research and application of identification methods for irradiated foods. *Safe Food* 6: 11-27.
- Stevenson MH, Gray R. 1990. Can ESR spectroscopy be used to detect irradiated food? In *Food Irradiation and the Chemist*. Johnston DE, Stevenson MH, eds. Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK. p 80-96.
- Raffi J. 1996. ESR identification of irradiated foodstuffs: LARQUA research. In *Detection Methods for Irradiated Foods, Current Status*. McMurray CH, Stewart EM, Gray R, Pearce J, eds. Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK. p 93-97.
- Uchiyama S, Kawamura Y, Saito Y. 1990. Identification of gamma-irradiated spices by electron spin resonance (ESR) spectrometry. *J Food Hyg Soc Japan* 31: 499-507.
- Kwon JH, Kim MY, Kim BK, Lee JE, Kim DH, Byun MW, Lee CB. 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.
- Abdel-Fattah AA. 2002. Identification and dose assessment of irradiated cumin by EPR spectrometry. *Appl Radiat Isot* 56: 557-562.
- Nam HS, Yang JS. 2001. Detection of gamma-irradiated spices by ESR spectroscopy. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 30: 239-242.
- Sadecka J. 2007. Irradiation of spices—a review. *Czech J Food Sci* 25: 231-242.
- Helle N, Linke B, Bögl KW, Schreiber GA. 1992. Elektronen-Spin-Resonanz-Spektroskopie an Gewürzproben Nachweis einer Behandlung mit ionisierenden Strahlen. *Eur Food Res Technol* 195: 129-132.
- Delincée H, Soika C. 2002. Improvement of the ESR detection of irradiated food containing cellulose employing a simple extraction method. *Radiat Phys Chem* 63: 437-441.
- Raffi J, Yordanov ND, Chabane S, Douifi L, Gancheva V, Ivanova S. 2000. Identification of irradiation treatment of aromatic herbs, spices and fruits by electron paramagnetic resonance and thermoluminescence. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc* 56: 409-416.
- Duliu OG, Georgescu R, Ali SI. 2007. EPR investigation of some traditional oriental irradiated spices. *Radiat Phys Chem* 76: 1031-1036.
- Ahn JJ, Kim DG, Chung HW, Kwon JH. 2009. Parameter analysis by electron spin resonance spectroscopy of cellulose radicals in gamma-irradiated dried spicy vegetables. *Korean J Food Preserv* 16: 371-375.
- KFDA. 2010. *Food Code*. Korea Food & Drug Administration. Seoul, Korea. p 10-8-40-10-8-60.
- EN 1787. 2000. Foodstuffs—detection of irradiated food containing cellulose by ESR spectroscopy. European Committee of Standardization (CEN), Brussels, Belgium.
- Jo D, Kwon JH. 2006. Detection of radiation-induced markers from parts of irradiated kiwifruits. *Food Control* 17: 617-621.
- Akram K, Ahn JJ, Kim GR, Kwon JH. 2012. Identification of irradiated spaghetti sauces using different physical techniques. *J Food Quality* 35: 292-297.
- Uchiyama S, Sugiki A, Kawamura Y, Murayama M, Saito Y. 1992. Radical unique to gamma-irradiated allspice and cinnamon and its utility for detection of irradiated foods. *J Food Hyg Soc Japan* 34: 128-135.
- Ahn JJ, Akram K, Jo D, Kwon JH. 2012. Investigation of different factors affecting the electron spin resonance-based characterization of gamma-irradiated fresh, white, and red ginseng. *J Ginseng Res* 36: 308-313.
- Yordanov ND, Aleksieva K, Dimitrova A, Georgieva L, Tzvetkova E. 2006. Multifrequency EPR study on freeze-dried fruits before and after X-ray irradiation. *Radiat Phys Chem* 75: 1069-1074.
- Tabner BJ, Tabner VA. 1991. An electron spin resonance study of gamma-irradiated grapes. *Radiat Phys Chem* 38: 523-531.
- Maloney DR, Tabner BJ, Tabner VA. 1992. An electron spin resonance study of some gamma-irradiated fruits. *Int J Radiat Appl Instrum C Radiat Phys Chem* 39: 309-314.
- Ahn JJ, Akram K, Kim HK, Kwon JH. 2012. Electron spin resonance spectroscopy for the identification of irradiated food with complex ESR signals. *Food Anal Method* doi: 10.1007/s12161-012-9440-4.
- Raffi JJ, Agnel JPL, Buscarlet LA, Martin CC. 1988. Electron spin resonance identification of irradiated strawberries. *J Chem Soc Faraday Trans 1* 84: 3359-3362.
- Deighton N, Glidwell SM, Goodman BA, Morrison IM. 1993. Electron paramagnetic resonance of gamma-irradiated cellulose and lignocellulosic material. *Int J Food Sci Technol* 28: 45-55.
- de Jesus EF, Rossi AM, Lopes RT. 1996. Influence of sample treatment on ESR signal of irradiated citrus. *Appl Radiat Isot* 47: 1647-1653.
- de Jesus EF, Rossi AM, Lopes RT. 1994. An ESR study on identification of gamma-irradiated kiwi, papaya and tomato using fruit pulp. *Int J Food Sci Technol* 34: 173-178.

(2012년 7월 3일 접수; 2012년 8월 7일 채택)