감마선 및 전자선 조사 처리 건조향신료에 대한 광자극발광, 열발광 및 전자스핀공명의 분광학적 분석 비교

정진화^{1,2} · 안재준² · 백지영¹ · 김효영² · 권중호² · 진창현¹ · 정일윤^{1,*}

¹한국원자력연구원 첨단방사선연구소, ²경북대학교 식품공학부

Comparison of Photostimulated Luminescence, Thermoluminescence, and Electron Spin Resonance Spectroscopic Analyses on Dried-spices Irradiated by Gamma Ray and Electron Beam

Jin-Hwa Jeong^{1,2}, Jae-Jun Ahn², Ji-Yeong Baek¹, Hyo-Young Kim², Joong-Ho Kwon²,
Chang-Hyun Jin¹, and Il-Yun Jeong^{1,*}

¹Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic and Energy Research Institute

²School of Food Science and Biotechnology, Kyungpook National University

Abstract This study was conducted to determine the effect of gamma-ray and electron-beam irradiation on dried spices (black pepper, red pepper, parsley, and basil) using the photostimulated luminescence (PSL), thermoluminescence (TL) and electron spin resonance (ESR) methods. The spices were irradiated at 0, 1, 5, and 10 kGy. All non-irradiated spices had photon counts (PCs) less than 700 PCs. The PCs of three irradiated spices (red pepper, parsley, and basil) were clearly distinguishable from those of non-irradiated ones, exhibiting PSL signals higher than 5000 PCs. However, negative PSL counts (<700 PCs) were obtained for most irradiated black pepper, except those irradiated with 5 kGy gamma rays and 10 kGy electron-beams. TL glow curves of the irradiated spices showed a higher peak at 150-250°C. TL ratios were found to be less than 0.1 for non-irradiated spices and higher than 0.1 for irradiated ones. No ESR signal was observed for any irradiated spice except red pepper, which displayed cellulose-based ESR spectra. Therefore, the results suggest that the PSL, TL, and ESR methods are effective detection techniques for dried spices irradiated with electron beams as well as gamma rays.

Keywords: PSL, TL, ESR, dried spice, irradiation, gamma ray, electron beam

서 론

향신료는 세계적으로 널리 이용되는 식품재료로서 식물의 열매, 꽃, 뿌리 등을 이용하여 음식의 맛과 향을 복돋거나 색깔을 내어 식욕을 증진시키며, 육류의 누린내와 생선의 비린내를 없애는 기능을 가지고 있다(1). 향신료의 국제 교역량은 해마다 증가하고 있으며, 국내 역시 매년 이용량이 증가하여, 2011년 약 333톤에서 2012년 469톤으로 수입량이 증가하였다(2). 일반적으로 향신료는 건조된 상태로 유통되며 쉽게 미생물에 오염될 수 있고, 오염된 미생물은 포자의 형태로 잠복한 후, 가공식품이나 요리에 사용될 때 활성화 되어 부패나 식중독의 원인이 된다. 그러므로 향신료의 위생적인 처리는 매우 중요한 과제이다.

식품조사기술은 방사선의 생물학적 작용으로 근채류 농산물(감자, 마늘, 양파, 밤 등)의 발아 및 발근 억제, 과일 등의 숙도 지연, 식품의 부패균/병원균 사멸 등과 같이 식품의 저장성 및 안

전성을 증진시키는 다양한 효과를 얻을 수 있는 방법이다. 또한 식품조사기술은 열을 가하지 않는 비열(non-thermal treatment)처리방법으로 식품의 영양 및 관능적인 품질의 변화는 적고, 반대로 살균 및 살충 효과는 매우 뛰어나므로 매우 유용한 위생적 처리방법이라 할 수 있다. 식품 방사선에 이용되는 조사선원으로는 감마선, X선 및 전자선 등이 있으며, 세계적으로 50여 개국에서 260종의 식품에 대해 위 3종의 선원에 대해 사용이 허가되어 있다(3,4). 감마선은 Co-60 및 Cs-137 등과 같은 방사성동위원소에서 자연적으로 방출되는 빛에너지를 이용하는 방법이며, 전자선 및 X선은 전자를 빠른 속도로 가속시켜 방출되는 에너지를 이용하는 방법이다. 특히 전자선 및 X선은 기계적인 장치를 이용하므로 on/off가 가능하여 에너지를 효율적으로 이용할 수 있으며, 선량률이 높아 감마선에 비해 처리시간이 짧은 장점이 있다. 반면, 감마선에 비해 투과력이 약하므로 대용량의 식품 조사 시 처리가 어려운 단점이 있다(3). 또한 우리나라는 1986년부터 감마선 조사처리가 허가되어 이용되어 왔으며, 2012년 7월 30일 전자선조사가 허용되어 식품조사기술의 실용화가 본격적으로 추진되고 있다(5).

세계적으로 식품조사기술의 이용량이 증가하고, 대부분의 향신료를 수입에 의존하는 국내에서는 안전관리를 위한 조사식품 확인시험법이 필수적이다. 확인시험법은 식품에 혼입된 이물질인 광물질의 발광특성을 이용하는 방법의 광자극발광법(photostimulated luminescence, PSL) (6,7), 열발광분석법(thermoluminescence, TL)

*Corresponding author: Il-Yun Jeong, Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic and Energy Research Institute, Jeongeup, Jeonbuk 580-185, Korea
Tel: 82-63-570-3150
Fax: 82-63-570-3159
E-mail: iyjeong@kaeri.re.kr
Received October 1, 2013; revised November 8, 2013;
accepted November 26, 2013

(8,9), 뼈, 셀룰로오스 및 결정형 당을 함유한 식품에 방사선 조사 후 생긴 자유라디칼을 분광학적으로 측정하는 방법으로, 자장에 의하여 전자가 공명한 후 방출하는 에너지의 차이를 측정하는 전자스핀공명법(electron spin resonance, ESR) (10,11)이 있다. 식품공전에 따르면 가공식품 및 농수산물 원료를 대상으로 조사식품 확인시험법인 PSL, TL, ESR을 이용하여 조사식품 여부를 판정할 때, 광자극발광법 분석 시 photon count 값이 5,000 count/min 이상을 나타내고, 열발광분석법은 온도에 따른 glow curve가 150-250°C 사이의 범위에서 특유의 peak가 나타날 때, 그리고 ESR 법은 방사선 유래의 특이적인 radical이 측정되었을 때 조사식품으로 판정한다(5). 이러한 방법을 이용하여 Lee 등(12)과 Ahn 등(13)은 감마선 조사된 건조향신료들이 물리적 방법으로 확인이 가능하다고 보고하였다. 그러나 현재 전자선 조사 향신료에 대한 연구사례는 미흡하므로 이에 대한 체계적인 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 식품공전에 제시된 조사식품 확인시험법인 PSL, TL 및 ESR방법을 이용하여 선원(감마선 및 전자선)에 따른 물리적 판별 특성을 확인하고, 수입산 건조 향신료의 조사여부 판별분석가능성을 검토하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험은 수입산 건조향신료(4종)를 대상으로 고춧가루(중국산), 후춧가루(인도산), 바질(이집트산), 파슬리(네덜란드산)를 구입하였다. 시료는 polyethylene (PE) film에 200-1,000 g 단위로 포장된 상태로, 이를 상온에 암실 보관하면서 시험분석용 시료로 사용하였다.

조사 처리

감마선 조사는 한국원자력연구원 첨단방사선연구소(Jeongeup, Korea) 내 감마선 조사시설(AECL, IR-79, MDS Nordion International Co., Ltd., Ottawa, Canada)을 이용하여 0, 1, 5, 10 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 흡수선량의 확인은 alanine dosimeter (Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)을 사용하여 ESR spectrometer (EMS 104 EPR analyzer, Bruker, Rheinstetten, Germany)에 의해 확인하였다. 전자선 조사는 전자선가속기(UELV-10-10S, EB-Tech, Daejeon, Korea)를 이용하였고 10 MeV의 에너지 세기로 총 흡수선량이 0, 1, 5, 10 kGy가 되도록 조사하였다. 이 때 흡수선량은 CTA dosimeter를 사용하여 확인하였다.

광자극발광(photostimulated luminescence, PSL) 분석

광자극발광법의 측정은 시료를 적당량 취하여 직경(50 mm) 페트리디시에 담아 SURRC pulsed PSL system (Scottish University Research and Reactor Center, Glasgow, UK)의 sample chamber에 넣은 후 PSL photon count를 측정 하였다. 측정 조건은 cycle time: 60 sec, cycle count 60, dark count: 23.1±1.3, light count: 35±1.5였다. 또한 조사판정 시 photon count의 threshold value는 $T_1=700$ count/min과 $T_2=5,000$ count/min으로 photon값이 T_1 이하의 값은 비 조사 시료(negative, -), T_1 과 T_2 의 사이의 값이면 중간값 시료(intermediate, M), T_2 이상이면 조사 시료(positive, +)로 판단하였다(15).

열발광(thermoluminescence, TL) 분석

열발광법(TL)의 측정은 각 시료의 광물질의 분리는 water rinsing 하는 방법으로 실시하였다. 시료에 일정량의 증류수를 가하고 초

음과 처리기에서 5분간 처리한 후, 125 μ m sieve를 통과시켜 일정시간 정치시킨 후 침전물을 취하였다. 침전물을 tube에 옮겨 담은 후 sodium polytungstate solution (TC-Tungsten compounds, Bavaria, Germany, 2.0 g/mL) 5 mL를 가하고 원심분리(1,000 g, 5 min, 22°C)하여 유기물을 제거하고 증류수로 세척하였다. 일반적으로 혼입된 광물질은 carbonate를 함유하고 있으며 이 carbonate는 제조사 후 측정 시 TL 측정에서 glow curve peak에 대해 영향을 초래하므로 1 N HCl (Junsei, Chouku, Japan) 2 mL를 가해 10분간 정치시켜 carbonate를 제거하고, 1 N NH₄OH (Wako, Osaka, Japan)를 가해 10분간 중화시켰다. 중화된 광물질은 아세톤(Sigma-Aldrich, Saint louis, USA)으로 세척하여 분리하였다. 건조된 광물질 0.5 mg을 TL 디스크에 옮겨 담고 50°C 드라이 오븐에서 하루 동안 예열한 후 TLD system (TL/OSL System TL-DA-20, Risø, Denmark)을 이용하여 측정하였다. 측정 조건은 초기온도 50°C에서 5초간 예열한 후 5°C/sec의 속도로 400°C까지 가온하였다. 측정된 시료의 발광곡선에서 최대발광피크가 나타나는 온도범위와 발광강도, 그리고 제조사 방법에 의하여 TL ratio를 산출하였다(14,15).

전자스핀공명(electron spin resonance, ESR) 분석

ESR 측정을 위해 16시간 동안 동결건조하였으며, 건조된 시료 0.4 g을 ESR pyrex tube에 충전하였다. ESR 분석은 식품공전에 제시된 방법으로 X-band ESR spectrometer (JES-FA200, JEOL Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 측정하였다(14). 이 때 측정조건은 microwave power 0.4 mW, microwave frequency 942 GHz 대역, magnetic center field 327 mT, modulation frequency 100 kHz, sweep width 15 mT, time constant 0.03 sec, sweep time 30 sec, temperature 22°C에서 측정하였다.

결과 분석

본 연구에서 실험한 결과는 Origin 8.0 software (Origin Lab. Co., Northampton, MA, USA)을 이용하여 분석하였다(16).

결과 및 고찰

조사선원에 따른 건조향신료의 광자극발광(PSL) 판별 특성

규소화합물(장석, 석영 등)은 지각과 공기 중에 광범위하게 분포하며, 식품에는 농산물이나 건조식품의 외벽에 존재한다. 규소화합물은 격자(lattice)구조로 이루어져 있으며, 규소화합물에 방사선 조사를 하게 되면, 구조적 특성상 격자 안에 조사 에너지를 포획 및 저장하게 된다. 포획된 에너지는 매우 안정하며 쉽게 소멸되지 않으므로, 물리적으로 자극하여 포획된 에너지를 측정할 수 있다. 광자극발광법은 식품에 존재하는 규소화합물에 적외선을 쏘여 방출되는 에너지를 광자 수(photon counts, PCs)로 계측하는 방법이다(7).

각 선원별(감마선 및 전자선)로 조사된 고춧가루, 바질, 후춧가루, 파슬리에 대한 PSL 결과 값을 Table 1에 나타내었다. 각 시료의 비조사군은 700 보다 낮은 259-324 PCs로 나타나 비 조사 시료로 판정 가능하였다. 조사된 향신료 3종(고춧가루, 파슬리, 바질)은 7,004-70,519 범위의 PCs 값을 나타내어 양성으로 확인 가능하였으며, 선원에 따른 차이는 나타나지 않았다. 그러나 후춧가루의 경우 감마선 5 kGy 조사구와 전자선 10 kGy 조사구에서 1572 PCs로 중간값을 나타내었고, 그 외의 조사구에서 모두 700 PCs 이하의 음성 값을 나타내었다. EN13751 방법(7)에서는 광자극발광법의 적용 가능한 식품군으로 건조향신료(육두구, 후

Table 1. Photostimulated luminescence determinations of gamma- and electron beam- irradiated dried spices

Sample	Radiation treatment	Irradiation dose (kGy)			
		0	1	5	10
Black pepper	Gamma-ray	276±54 ¹⁾ (-) ²⁾	442±61 (-)	779±187 (M)	636±38 (-)
	E-beam	276±54 (-)	525±136 (-)	621±181 (-)	1572±980 (M)
Red pepper	Gamma-ray	294±49(-)	22194±6136 (+)	70519±37808 (+)	51838±12373 (+)
	E-beam	294±49 (-)	29493±2186 (+)	47105±14693 (+)	65907±21115 (+)
Parsley	Gamma-ray	259±45 (-)	23445±1392 (+)	51168±11646 (+)	68476±58908 (+)
	E-beam	259±45 (-)	27751±10141 (+)	36452±10976 (+)	21899±9735 (+)
Basil	Gamma-ray	324±74 (-)	9980 ± 4045 (+)	15989±255 (+)	35529±27581 (+)
	E-beam	324±74 (-)	7004±1707 (+)	19753±8353 (+)	19983±6372 (+)

¹⁾Means±SD (n=3)²⁾Threshold value: T1=700, T2=5000, (-)<T1, T1<(M)<T2, (+)>T2.Table 2. TL ratio (TL₁/TL₂) of minerals separated from gamma- and electron beam- irradiated dried spices

Sample	Radiation treatment	Irradiation dose (kGy)			
		0	1	5	10
Red pepper	Gamma-ray	0.001±0.001 ¹⁾	0.154±0.015	0.191±0.028	0.392±0.026
	E-beam	0.001±0.001	0.159±0.031	0.308±0.016	0.689±0.021
Basil	Gamma-ray	0.004±0.001	0.212±0.022	0.292±0.041	0.889±0.038
	E-beam	0.004±0.001	0.101±0.018	0.250±0.052	0.515±0.029
Parsley	Gamma-ray	0.001±0.000	0.169±0.012	0.122±0.037	0.198±0.034
	E-beam	0.001±0.000	0.158±0.017	0.213±0.029	0.299±0.026
Black pepper	Gamma-ray	0.025±0.004	0.371±0.021	0.654±0.015	0.722±0.043
	E-beam	0.025±0.004	0.313±0.037	0.631±0.043	0.745±0.056

¹⁾Means±SD (n=3)

추 제외)와 채소류 및 수산식품류를 제안하고 있으며, 식품공전 역시 건조향신료(육두구, 후추, 정향 제외), 고춧가루, 마늘 및 양파에 적용하도록 규정하고 있다. 본 연구에서도 고춧가루, 파슬리, 바질 등의 건조향신료는 선원에 관계없이 모두 PSL 방법이 적용 가능함을 확인하였으나, 후추는 PSL 적용이 어려운 것을 재 확인하였다(7). Ahn 등(17)의 연구에서도 건조향신료 4종(고춧가루, 계피가루, 후추, 파프리카 분말)에 1-10 kGy로 조사한 후 PSL 측정된 결과, 고춧가루와 계피가루는 1 kGy 이상 조사하였을 때, 모두 5,000 이상의 PCs를 나타내었으나, 후추와 파프리카는 중간 값 또는 음성값을 나타내어 본 실험결과와 유사한 결과를 나타내었다. 또한 Alberti 등(18)은 10 kGy 조사한 오레가노(oregano), 페넬(fennel), 고춧가루 등을 PSL 측정된 결과 모두 16,000 PCs 이상의 높은 양성 값을 나타내어 건조향신료는 PSL 적용가능성이 높다고 보고하였다.

따라서 일부 향신료(후추, 육두구 등)를 제외한 건조향신료는 광자극발광법을 이용하여 조사여부를 스크리닝이 가능함을 확인할 수 있었으며(19,20), 또한 감마선뿐만 아니라 전자선 조사 건조향신료 역시 조사여부 확인이 가능하다는 것을 나타내었다.

조사선원에 따른 건조 향신료의 열발광(TL) 특성

열발광분석법은 광자극발광법과 분석원리는 유사하나, 광자극발광법은 적외선을 쏘여 조사에너지를 측정하는 반면, 열발광분석법은 50-400°C의 고온의 열을 가해 조사에너지를 측정하게 된다. 식품에서 분리한 광물질(규소화합물)은 비 조사식품의 경우 300°C 이후에 자연방사능에 의한 발광곡선을 나타내며, 조사식품은 150-250°C에서 강한 발광곡선을 나타낸다(9).

감마선 및 전자선을 조사한 고춧가루, 바질, 후춧가루, 파슬리의 발광곡선은 Fig. 1과 같다. 고춧가루, 바질, 후춧가루, 파슬리 등 비 조사 건조향신료는 300°C 이상에서 발광곡선(TL₁)을 나타내어 비 조사 시료로 판정이 가능하였다. 또한 조사시료의 경우 4종 모두 150-250°C에서 발광곡선을 나타내었고, 선원에 따른 차이는 발견되지 않았다. 파슬리를 제외한 건조향신료는 조사선량에 따라 발광곡선의 강도 역시 유의적으로 증가하는 경향을 나타내었다. Marcazzo 등(21)은 정향(clove)과 마조람(majoram)의 광물질을 분리한 후 조성을 분석한 결과, 장식과 석영이 주를 이루고 있다고 보고하였고, 또한 분리된 광물질에 10-400 Gy로 조사하여 TL 분석한 결과 150-250°C에서 강한 발광곡선을 나타내었고, 발광강도 역시 선량에 따라 유의적으로 증가하여 본 실험결과와 유사한 결과를 나타내었다.

식품으로부터 분리한 광물질을 TL 측정하면(TL₁), 광물질에 trap된 에너지가 방출되며 특유의 발광곡선이 나타나며, 동시에 trap된 에너지는 모두 소멸하게 된다. 여기에 1 kGy로 조사한 후 다시 TL 측정을 하여(TL₂) TL₁과 TL₂의 발광곡선의 면적값(150-250°C)을 비교하면 TL₁에서 나타난 판별결과를 검증할 수 있다. 이를 TL normalization이라 하며, EN1788에서는 TL₁/TL₂ (TL ratio)의 값이 0.5 이상이면 조사, 0.1 이하이면 비 조사로 판정하도록 권고하고 있으며(9), 식품공전에서는 TL ratio 값이 0.1 이상이면 조사, 0.1 이하이면 비 조사로 판정하도록 기준을 제시하고 있다(14).

TL₁과 TL₂의 면적 값을 나타낸 TL ratio 결과는 Table 2와 같다. 또한 TL ratio의 판정기준은 식품공전에 제시된 대로 TL ratio의 값이 0.1 이하이면 비 조사, 0.1 이상이면 조사된 시료로 판

Fig. 1. TL glow curves of minerals separated from gamma- and electron beam- irradiated dried spices.

단하였다(14). 비 조사 건조향신료 4종은 TL ratio 값이 0.02 이하의 값을 나타내어 모두 비 조사 시료로 판정 가능하였다. 또한 감마선 및 전자선 조사된 건조 향신료 4종은 TL ratio 값이 모두 0.1-0.889의 값을 나타내어 조사로 판별된 TL₁ 발광곡선의 결과를 잘 뒷받침 하였다.

이와 같은 결과는 현재까지의 선행된 연구(22)와 유사한 결과를 나타내었으며, 감마선 및 전자선 조사처리한 모든 시료에서 TL 확인시험법의 적용이 가능하다는 것을 보여준다.

조사선원에 따른 건조 향신료의 전자스핀공명(ESR) 분석 특성
식품에 방사선을 쬌리게 되면 전리작용에 의해 이온이 생성되

며, 생성된 이온은 해당 식품의 구조적 특징에 따라 모체에 갇혀 오랫동안 식품에 존재하게 된다. ESR 분석방법을 이용하여 조사 여부를 판정할 수 있는 마커 라디칼은 섬유소 유래의 라디칼(23), crystalline sugar 유래의 multicomponent signal(24), 뼈 유래의 hydroxy apatite radical(25)로 알려져 있으며, 마커 라디칼의 종류에 따라 ESR sensitivity는 크게 달라지므로, ESR 분석시에는 측정 전에 반드시 target radical을 정한 후 알맞은 측정조건으로 분석하여야 한다(3).

전자스핀공명(ESR) 확인시험법을 이용하여 선원별로 조사 처리한 건조 향신료 4종(고춧가루, 바질, 후춧가루, 파슬리)에 대한 측정 결과는 Fig. 2와 같다. 건조향신료의 ESR 측정결과 조사선

Fig. 2. ESR spectra of gamma- and electron beam-irradiated dried spices.

량이 증가할수록, 연속적으로 ESR intensity가 증가하였다. 비 조사 건조향신료에서는 모두 singlet signal이 확인되었으며, 조사된 고춧가루는 감마선 및 전자선 조사시료 모두 center signal을 중심으로 좌우 3 mT의 간격을 둔 작은 peak가 나타나 cellulose radical이 확인되었으므로 조사여부 판정이 가능하였다(23). 후춧가루, 바질, 파슬리 등은 조사시료 모두 비 조사시료와 유사한 singlet signal이 발견되어 조사여부를 확인하기 어려웠으며, 선원에 따른 차이는 발견되지 않았다. Kim 등(26)은 감마선 조사한 고추의 부위별로 ESR 측정된 결과, 모든 부위에서 cellulose radical이 발견되었다고 하여 본 연구결과와 유사한 결과를 나타내었다. 또한 Dulu 등(27)은 감마선 조사(11.3 kGy)된 건조 향신

료(카다뭇, 생강, 샤프론)에서 특이적인 signal이 나타나지 않아 조사여부의 확인이 어렵다고 보고하였다. Uchiyama 등(28)은 올스파이스(allspice), 계피 등을 ESR 측정된 결과, 비 조사구와 3-10 kGy 조사구에서는 특이적인 ESR signal을 발견하기 어려웠으며, 30 kGy 이상 조사하였을 때, cellulose radical의 확인이 가능하였다고 보고하였다. Kwak 등(29)은 10 kGy 조사한 건조향신료(바질, 정향)에서 특이적인 ESR signal을 발견할 수 없었으나, 전처리 방법으로서 동결건조 대신 알콜건조방법으로 처리한 후에는 명확한 cellulose radical의 확인이 가능하다고 보고한 바 있다.

고춧가루 시료에서는 감마선 및 전자선조사 시 선원에 관계없이 ESR 확인시험법 적용이 가능하나(30) 바질, 파슬리, 후추의

시료에서는 ESR 확인시험법의 적용이 어려울 것으로 판단되었으며, 동결건조와 같이 단순히 수분을 제거하는 건조방법 보다는 cellulose의 함량을 높이는 용매건조방법에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

요 약

현재 사용되고 있는 물리적 확인시험법인 광자극발광법(PSL), 열발광분석법(TL), 전자스핀공명법(ESR)을 이용하여 4종의 시료에 대해 감마선과 전자선에 의한 확인시험법의 판별 특성을 확인하였다. PSL 측정 결과 고춧가루, 바질, 파슬리 시료는 선원 및 선량에 관계없이 조사된 시료는 photon count 값(PCs)이 5,000 이상인 7,004-70,519의 PCs로 측정되어 조사여부의 판정이 가능하였다. 하지만 조사된 후춧가루에서는 선원에 관계없이 threshold value가 5,000 이하인 442-1,572 PCs로 중간값 및 음성값을 나타냄에 따라 조사여부 확인이 어려웠다. TL 측정 결과에서는 고춧가루, 바질, 파슬리, 후춧가루 4종 모두 선원 및 선량에 관계없이 조사된 시료는 150-250°C 사이에서 최대 glow curve peak가 나타났다. 또한 TL ratio값이 0.1 이상인 0.101-0.889를 나타내어 조사여부 판정이 가능하였다. ESR 측정 결과에서는 고춧가루만이 cellulose 유래의 signal을 보이면서 방사선 조사여부를 판정할 수 있었다. 다른 3종 시료에서는 single line signal을 나타내어 ESR 판정이 어렵다는 것이 확인되었다. 따라서 전자선조사 향신료에서도 현행 물리적 판별방법으로 조사 여부 확인이 가능하였으며, false 값에 대한 이유를 밝히는 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부에서 주관하는 원자력 연구개발사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- Kim MR. Functionality of spice and herbs. *J. East Asian Soc. Dietary Life* 12: 431-453 (2002)
- KATI. Korea Agro-Fisheries Trade Corporation. Available from: <http://www.at.or.kr>. Accessed Aug. 16, 2013.
- Kwon JH. Safety and Understanding of irradiated Food. Korea Food Safety Research Institute, Seoul, Korea. pp. 9-29 (2010)
- Kwon JH, Chung HW, Kim BK, Ahn JJ, Kim GR, Jo D, Ahn KA. Research and application of identification methods for irradiated foods. *Safe Food* 6: 11-27 (2011)
- KFDA. Korea food standard Code. 2012-48. Korea Food & Drug Administration, Cheongwon, Korea. pp. 2-3 (2012)
- Sanderson DCW, Carmichael LA, Riain SN, Naylor J, Spencer JQ. Luminescence studies to identify irradiated food. *Food Sci. Technol.* 8: 93-95 (1994)
- EN13751. Foodstuffs-detection of irradiated food using Photo-stimulated Luminescence. European Committee for Standardization (CEN), Brussel, Belgium (2009)
- Odoko JM, Spyrou NM. Thermoluminescence of irradiated foodstuffs. *Radiat. Phys. Chem.* 36: 603-607 (1990)
- EN1788. Foodstuffs-thermoluminescence detection of irradiated food from which silicate minerals can be isolated. European Committee for Standardization (CEN), Brussel, Belgium (2001)
- Desrosiers MF. Current status of the EPR method to detect irradiated food. *Appl. Radiat. Isotopes* 47: 1621-1628 (1996)
- Sanderson DCW, Slater C, Cairns KJ. Detection of irradiated food. *Nature* 30: 23-24 (1989)
- Lee JA, Chung HW, Kwon JH. Detection of different ratios of gamma-irradiated turmeric by photostimulated luminescence and thermoluminescence. *Korean J. Food Sci. Technol.* 42: 648-652 (2010)
- Ahn JJ, Kim GR, Chung HW, Kwon JH. Parameter analysis by electron spin resonance spectroscopy of cellulose radicals in gamma-irradiated dried spicy vegetables. *Korean J. Food Preserv.* 16: 371-375 (2009)
- KFDA. Food Code. Korea Food & Drug Administration Seoul, Korea. pp. 10-8-40-10-8-60 (2013)
- Schreiber GA, Hoffmann A, Helle N, Bögl KW. An interlaboratory trial on the identification of irradiated spices, herbs, and spice-herb mixtures by thermo-luminescence analysis. *J. AOAC Int.* 78: 88-93 (1995)
- Origin. Origin Tutorial Manual. version 6.0. Microcal Software, Inc., Northampton, MA, USA. pp. 20-45 (1999)
- Ahn JJ, Akram K, Kwak JY, Jeong MS, Kwon JH. Reliable screening of various foodstuffs with respect to their irradiation status: A comparative study of different analytical techniques. *Radiat. Phys. Chem.* 91: 186-192 (2013)
- Alberti A, Corda U, Fuochi P, Bortolin E, Calicchia A, Onori S. Light-induced fading of the PSL signal from irradiated herbs and spices. *Radiat. Phys. Chem.* 76: 1455-1458 (2007)
- Kim DY, Park YD, Jin CH, Choi DS, Yook HS, Jeong IY. Study on application of the physical detection methods for electron beam-irradiated agricultural products. *Radiat. Indus.* 4: 221-226 (2010)
- Park ER, Kang HS, Ahn HJ, An KA, Vho SY, Kim HY, Kim DS, Kim DH, Kang CS. Analysis of the detection characteristics of irradiated dried spices and herbs by photostimulated luminescence (PSL). *Korean J. Food Sci. Technol.* 42: 136-141 (2010)
- Marcazzo J, Cruz-Zaragoza E, Mendoza JE, Reyes E, Brown F. Thermoluminescence study of polyminerals extracted from clove and marjoram for detection purposes. *Appl. Radiat. Isotopes* 71: 25-29 (2012)
- Kim GR, Akram K, Ahn JJ, Kwon JH. Identification of gamma ray and electron-beam irradiated wheat after different processing treatments. *J. Cereal Sci.* 56: 347-351 (2012)
- EN1787. Foodstuffs-detection of irradiated food containing cellulose by ESR spectroscopy. European Committee for Standardization (CEN), Brussel, Belgium (2000)
- EN13708. Foodstuffs-detection of irradiated food containing crystalline sugar by ESR spectroscopy. European Committee for Standardization (CEN), Brussel, Belgium (2002)
- EN1786. Foodstuffs-detection of irradiated food containing bone-method by ESR spectroscopy. European Committee for Standardization (CEN), Brussel, Belgium (1996)
- Kim BK, Lee J, Kausar T, Kim DH, Yang JS, Byun MW, Kwon JH. Identification characteristics of irradiated dried red pepper during storage by the analysis of electron spin resonance and hydrocarbons. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 33: 1522-1528 (2004)
- Duliu OG, Georgescu R, Ali SI. EPR investigation of some traditional oriental irradiated spices. *Radiat. Phys. Chem.* 76: 1031-1036 (2007)
- Uchiyama S, Sugiki A, Kawamura Y, Murayama M, Saito Y. Radical unique to gamma-irradiated allspice and cinnamon and its utility for detection of irradiated foods. *J. Food Hyg. Soc. Japan* 34: 128-135 (1993)
- Kwak JY, Ahn JJ, Akram K, Kwon JH. ESR-based identification of radiation-induced free radicals in gamma-irradiated basil and clove using different sample pre-treatments. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 41: 1454-1459 (2012)
- Jeong MS, Ahn JJ, Akram K, Kim GR, Kim HK, Kwon JH. Monitoring of commercial red pepper powders for their irradiation status. *Korean J. Food Sci. Technol.* 44: 673-679 (2012)