PSL, TL 및 ESR 분석에 의한 건조과일류 및 버섯류에 대한 검지 특성 연구

김규헌* · 손진혁[1] · 강윤정[2] · 박혜영[3] · 황초롱 · 김재이 · 이강봉[1]
조태용[2] · 엄미옥[3] · 박순희[1] · 성락선[2] · 장영미[3] · 이재황
박용춘 · 이화정 · 이상재 · 한상배

식품의약품안전처 식품의약품안전평가원 식품위해평가부 신종유해물질팀
[1]서울지방식품의약품안전청 유해물질분석과, [2]부산지방식품의약품안전청 유해물질분석팀
[3]경인지방식품의약품안전청 수입식품분석팀

Studies on the Applications of PSL, TL and ESR Methods for the Detection of Dried Fruits and Mushrooms

Kyu-Heon Kim*, Jin-Hyok Son[1], Yoon-Jung Kang[2], Hye-Young Park[3], Cho-Rong Hwang, Jae-I Kim, Kang-Bong Lee[1], Tae-Yong Jo[2], Mi-Ok Eom[3], Sue-Nie Park[1], Rack Seon Seong[2], Young-Mi Jang[3], Jae-Hwang Lee, Yong-Chjun Park, Hwa-Jung Lee, Sang-Jae Lee and Sang-Bae Han

New Hazardous Substances Team, Food Safety Evaluation Department, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Ministry of Food and Drug Safety
[1]Hazardous Substances Analysis Division, Seoul Regional Food and Drug Administration
[2]Hazardous Substances Analysis Team, Busan Regional Food and Drug Administration
[3]Imported Food Analysis Team, Gyeongin Regional Food and Drug Administration

Abstract - In this study, we investigated the applicability of the photostimulated luminescence (PSL), thermoluminescence (TL) and electron spin resonance (ESR) methods for various foods. The analysed samples consist of 11 items including dried fruits (6 items) and mushrooms (5 items). To compare between non-irradiated and irradiated food, all samples were irradiated with ^{60}Co gamma-ray source. In PSL study, the photon counts of all the unirradiated sample were identified negative (lower than 700). The photon counts irradiated (1, 5, 10 kGy) dried date-palm, dried jujube and mushrooms (*Auricularia auricula, Phellinus linteus* and *Sarcodon aspratus*) showed positive (higher than 5,000) and the results for the other samples were negative or intermediate (＞700 and ＞5,000). In TL analysis most of items can be applicable to detect irradiated foods because of showing TL ratio above 0.1. The glow curves by TL method were estimated in the range of 150～250°C in irradiated samples. In ESR measurements, the intensity of ESR signal (single-line) increased as the dose of irradiation increased. In particular, the specific ESR signals of irradiation-induced radical were detected in dried papaya, dried date-palm, dried banana, dried pineapple and *S. aspratus*. According to the results, PSL, TL and ESR methods were successfully applied to

* Corresponding author: Kyu-Heon Kim, Tel. +82-43-719-4453, Fax. +82-43-719-4450, E-mail. khkim95@korea.kr

detect the irradiated foods. It is concluded that PSL, TL and ESR methods are suitable for detection of irradiated samples and a combined method is recommendable for enhancing the reliability of detection results.

Key words : Dried fruit, mushroom, PSL, TL, ESR

서 론

식품에 대한 조사기술은 20세기 초 기생충 사멸에 대한 특허가 발표된 후 식품의 살균, 살충, 발아억제, 숙도조절 및 물성개선 등의 기술적 효과가 우수하며, 조사식품의 안전성은 FAO/IAEA/WHO 등 관련 국제기구에 의해서 공식 인정되었고 Codex 일반 규격으로도 채택되어 2003년에 개정되었다 (WHO 1981; IAEA 2005; IAEA 2006; Codex 2008). 현재 한국을 포함한 세계 58 개국에서 250 여종의 식품에 대하여 사용이 허가되어 있으며 (IAEA 2009), 국내에서는 조사 허가식품 26개 품목에 대하여 0.15～10 kGy 범위의 ^{60}Co 감마선 및 전사선 조사가 허용되어 있다 (KFDA 2012). 또한 일단 조사한 식품에 대해서는 다시 조사하여서는 아니 되며, 조사식품은 포장되어 조사여부를 표시하도록 규정되어 있다. 조사식품은 처리 후에도 외관적 변화가 없으므로 안전한 유통관리를 위해서는 품목별로 적합한 분석 기술이 필요하다 (Chung *et al.* 2008). 최근 조사처리식품 (irradiated food)의 교역기회가 증대됨에 따라 관련 국가 및 국제기구를 중심으로 방사선 검역처리 표준화가 진행되고 있으며, 특히 WTO 체제에 맞는 방사선 조사지침 표준화를 위한 harmonized regulation이 마련될 전망이므로 이에 대한 기술적 대비가 필요하다고 생각된다 (Kwon *et al.* 2006; Kim *et al.* 2012; Han *et al.* 2012).

조사식품의 검지방법에 관한 연구는 1970년대부터 꾸준히 진행되어 왔으며, 지금까지 연구된 조사식품에 대한 검지 방법에는 크게 물리적인 방법과 화학적인 방법으로 나눌 수 있다. 물리적인 방법으로 혼입된 미네랄의 열발광 특성을 이용한 열발광분석법 (Thermoluminescence, TL) 및 광자극발광분석법 (Photostimulated luminescence, PSL), free radical을 측정하는 전자스핀공명법 (Electron Spin Resonance Spectroscopy, ESR)이 있고, 화학적 방법으로 hydrocarbon류 및 2-alkylcyclobutanone류를 검출하는 GC/MS 분석법 (Gas Chromatography/Mass Spectrometry) 등이 있다. 이들 방법들은 유럽표준화위원회 (European Committee for Standardization, CEN)에 의해 EU의 기준으로 채택되었으며 현재 Codex에 9개의 조사식품 확인시험법이 설정되어 있다 (KFDA 2009; Kwon *et al.* 2011; Delincee 1998; Hwang *et al.* 1998; Lee *et al.* 2001; Kim and Kwon 2004).

본 연구에서는 열대과일류 중 일부 건조과일류 (6종) 및 버섯류 (5종)에 대하여 조사여부의 검지방법 선택을 위해 신속성과 정확성이 인정되고 있는 PSL, TL 및 free radical 의 농도를 측정하는 ESR 분석에 대한 검지특성을 확인하여 검지법별 적용 가능성을 보고자 하였다.

재료 및 방법

1. 시료

본 연구에서 사용된 시료는 총 11종으로 건조과일류 6종 (아보카도, 건파파야, 건대추야자, 건대추, 건바나나, 건파인애플), 버섯류 5종 (목이버섯, 영지버섯, 상황버섯, 차가버섯, 능이버섯)을 국내 대형마트에서 구입하여 사용하였다.

2. 감마선 조사

시료의 감마선 조사는 한국원자력연구원 (Korea Atomic Energy Research Institute, KAERI) 정읍 첨단방사선연구소 ^{60}Co 감마선 조사 시설 (AECL, IR-79., MDS Nordion International Co. Ltd., Ottawa, ON, Canada)을 이용하여 모든 시료에 1, 5, 10 kGy의 흡수선량을 얻도록 하였다. 흡수선량의 확인은 5 mm-diameter alanine dosimeter (Brucker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 사용하였으며, 오차는 ±5% 이내로 하였다.

3. 광자극발광법 (Photostimulated luminescence, PSL) 측정

감마선 조사 시료에 대한 PSL 분석은 식품공전 방법에 준하여 실시하였다. 분석 원리는 식품에 혼입된 이물질인 광물질의 발광 특성을 이용하는 방법으로서 광물질은 조사에 의하여 에너지가 저장되고 일정 온도의 적외선에 노출되면 에너지를 방출하는데 이때 방출되는 빛의 양을 측정하여 방사선 조사 여부를 판정하는 방법

이다. 시료는 빛에 대한 노출을 최대한으로 줄인 조건하에서 직경 50 mm의 일회용 petri dish (50 × 15 mm, Green Cross Medical, Inc., Seoul, Korea)에 바닥이 보이지 않을 정도로 고르게 펼쳐 담아 Scottish Universities Reactor and Research Center (SURRC) PPSL irradiated food screening system (SURRC, Glasgow, U.K)의 시료 챔버에 넣은 후 60초 동안 방출되는 광자를 측정하였다. 방사선이 조사된 표준물질과 조사되지 않은 표준물질을 사용하여 기기의 상태 및 측정 조건을 확인한 후 측정하였다. 각 시료에서 비조사 시료와 조사 시료를 판별하는 threshold value는 T_1=700 count/60s와 T_2=5,000 count/60s이었다. 식품공전에 따라 측정값이 T_1 미만이면 음성시료 (Negative, 방사선이 조사되지 않은 시료)로 판정하고, T_2 초과이면 양성시료 (Positive, 방사선이 조사된 시료)로 판정하였다. 측정값이 T_1～T_2의 값을 나타내면 중간시료 (Intermediate, 방사선 조사여부를 판단할 수 없는 시료)로 판별하였다.

4. 열발광법 (Thermoluminescence, TL) 측정

감마선 조사 시료에 대한 TL 분석은 식품공전 방법에 준하여 실시하였다. 분석 원리는 식품에 혼입된 이물질인 광물질의 발광 특성을 이용하는 방법으로서 광물질은 방사선 조사에 의하여 에너지가 저장되고 일정 온도의 열에 노출되면 에너지를 방출하는데 이때 방출되는 빛의 양을 측정하여 방사선 조사 여부를 판정하는 방법이다. 시료에 증류수를 가하여 혼탁액을 만든 다음 5분간 초음파 (Power sonic 520, Hwashin, Korea) 처리하고 나일론 여과포로 여과, 세척한 후 정치하여 잔사를 모았다. 여기에 2.0 g ml^{-1} 밀도의 폴리텅스텐나트륨 용액을 첨가하여 무기물과 비중차를 이용하여 유기물을 제거한 뒤 증류수로 세척하였다. 그 다음 1 N 염산 2 ml을 가하여 10분간 암소에 정치하고, 1 N 암모니아수 2 ml을 가하여 중화시킨 후 증류수로 세척한 다음 아세톤 (Merck, Germany)으로 충진한 후 건조시켰다. 건조된 광물질을 준비된 시료 용기에 충진하여 광자극발광분광기 (Optically Stimulated Luminescence) (TL/OSL SYSTEM, Riso N.L., Denmark)를 이용하여 실온에서부터 500°C까지 검체의 온도를 상승 (5°C sec^{-1}) 시키면서 측정하였다. 이렇게 측정하여 얻어진 열발광 곡선 (glow curve)의 150～250°C 온도 범위를 적분하여 TL intensity로 하였고 대상 시료의 glow 1을 측정한 뒤 재조사 (1 kGy)하여 glow 2를 측정하고 TL ratio (150～250°C 온도 범위의 glow 1 면적/150～250°C 온도 범위의 glow 2 면적)를 구하여 0.1 미만인 경우는 방사선이 조사되지 않은 것으로, 0.1 이상인 경우는 방사선이 조사된 것으로 판정하였다. 일반적으로 방사선이 조사된 시료는 150～250°C 부근에서 최대 강도를 보이는 glow curve를 나타내지만 방사선이 조사되지 않은 시료는 특징적인 glow curve를 나타내지 않거나 300°C 이상에서 자연 방사선에 의한 곡선을 나타낸다.

5. 전자스핀공명법 (Electron Spin Resonance, ESR) 측정

감마선 조사 시료에 대한 ESR 분석은 식품공전 방법에 준하여 실시하였다. 분석 원리는 뼈, 셀룰로오스 및 결정형 당 (Crystalline sugar)을 함유한 식품에 잔존하는 방사선 조사로 생긴 자유라디칼 (Free radical)을 분광학적으로 측정하는 방법으로서, 자장에 의하여 전자가 공명한 후 방출하는 에너지의 차이를 측정하여 방사선 조사 여부를 판정하는 방법이다. 방사선 조사된 시료의 ESR 측정을 위하여 절단하여 동결건조기에서 18시간 이상 또는 40°C의 진공건조에서 3시간 이상 건조시킨 후 100 mg을 직경 4.0 mm의 ESR 석영 시험관에 넣어 측정하였다. 측정은 ESR spectrometer (e-Scan™ Food Analyzer, Bruker Biospin, Rheinstetten, Germany)를 이용하였다.

결과 및 논의

1. 시료의 PSL 특성

PSL 분석법은 광물질에 포획된 저장에너지를 적외선으로 자극하여 방사되는 빛에너지를 Photon counts (PCs)로 계측하는 방법이다 (Jung *et al.* 2012). 건조과일류 (6종), 버섯류 (5종)의 PSL 측정결과를 Table 1에 나타내었다. Table 1에서 보는 바와 같이 조사처리 되지 않은 시료는 threshold value (T_1, 700)보다 낮은 PCs를 보여 음성시료 (Negative)로 확인되었다. 건대추야자의 경우 1 kGy 이상의 선량을 조사한 시료에서 양성시료 (Positive, 27,741～57,760 PCs)의 측정값을 나타내어 조사 시료로 판정할 수 있었으며, 건대추의 경우 1 kGy 조사 시 중간시료 (Intermediate, 1,340 PCs)로 판정되었으나 그 이상의 선량으로 조사할 경우 양성시료 (9,981～13,013 PCs)로 나타내었다. 그러나 대부분의 건조과일류의 시료에서는 선량이 증가함에도 불구하고 모두 음성시료로 확인되었다. Jung *et al.* (2012) 연구에 의하면 건조과일류에 감마선 조사선량이 증가함에도 불구하고 비조사시료와 조사시료의 PCs 값이 288～341 PCs로 나타나 PSL 측정법의 적용 가능이 낮다고 보고한 결과와 유사하였다. 버섯류의 경우, 대부분의 시료에서 1 kGy 이상의 선량을

Table 1. Photostimulated luminescence determinations of gamma-irradiated sample

Sample	PSL photon counts (counts/60 sec)[1]			
	0 kGy	1 kGy	5 kGy	10 kGy
Avocado	253±44[2] (−)	274±18 (−)	303±91 (−)	268±15 (−)
Dried papaya	220±31 (−)	265±37 (−)	521±46 (−)	393±89 (−)
Dried date-palm	370±72 (−)	27741±12683 (+)	57760±11332 (+)	33506±15772 (+)
Dried jujube	189±52 (−)	1340±436 (M)	9981±1836 (+)	13013±3331 (+)
Dried banana	269±21 (−)	347±55 (−)	337±129 (−)	369±49 (−)
Dried pineapple	242±59 (−)	272±32 (−)	484±73 (−)	437±28 (−)
Auricularia auricula	343±141 (−)	18695±2154 (+)	35824±9539 (+)	136658±45101 (+)
Ganoderma lucidum	301±29 (−)	1313±250 (M)	1761±136 (M)	6374±774 (+)
Phellinus linteus	311±121 (−)	180496±120133 (+)	168325±31133 (+)	515644±135477 (+)
Inonotus obliquus	241±25 (−)	2511±246 (M)	5550±394 (+)	17971±2413 (+)
Sarcodon aspratus	280±31 (−)	24909±2384 (+)	102321±27648 (+)	113753±46325 (+)

[1]Threshold value: T_1=700, T_2=5000, (−)<T_1, T_1<(M)<T_2, (+)>T_2
[2]Means±SD (n=3)

Table 2. TL ratio of minerals isolated from gamma-irradiated sample

Group	Sample	Irradiation dose (kGy)	TL ratio[1]	Evaluation
Dried fruit	Avocado	1	0.062	–
	Dried papaya		0.690	Irradiated
	Dried date-palm		0.533	Irradiated
	Dried jujube		0.782	Irradiated
	Dried banana		0.197	Irradiated
	Dried pineapple		0.435	Irradiated
Mushroom	*Auricularia auricula*		0.288	Irradiated
	Ganoderma lucidum		0.333	Irradiated
	Phellinus linteus		0.356	Irradiated
	Inonotus obliquus		0.828	Irradiated
	Sarcodon aspratus		0.447	Irradiated

[1]Glow 1 curve integration/Glow 2 curve integration at temperature range 150～250°C

조사한 시료에서는 5,000 PCs 이상의 측정값을 나타내어 조사 시료로 판정할 수 있었으나 영지버섯의 경우 1, 5 kGy 조사 시 각각 1,313, 1,761 PCs를 나타내어 중간시료로, 10 kGy 조사 시 양성시료로 판정되었고, 차가버섯의 경우 1 kGy에서만 2,511 PCs로 나타났으며 그 이상의 선량에서는 양성시료로 판정할 수 있었다. 또한 대부분의 시료에서 선량이 증가함에 따라 PCs 측정값 역시 증가하는 경향이 나타났다.

이상의 결과, PSL 측정법은 버섯류의 경우 screening 방법으로 적용 가능하지만 대부분 건조과일류의 screening 방법으로의 적용 가능성이 낮다고 판단되며 이는 건조과일의 가공공정 중 제품에 포함된 미네랄 함량이 적기 때문이라고 판단하였다.

2. 시료의 TL 특성

건조과일류(6종), 버섯류(5종)의 TL 검지법을 이용하여 조사여부를 확인하였고 1 kGy로 조사 후 TL 검지법 적용 가능성 여부를 검토하여 Table 2에 나타내었다. TL 분석에서 실험의 신뢰도를 높이기 위해 미네랄의 분리과정에서 시료를 담지 않은 blank test를 수행하여 최저검출한계 (minimum detectable integrated TL-intensity level; MDL)를 설정하였다 (data not showed). 조사처리 되지 않은 시료는 자연방사선에 의해서 300°C 부근에서 최고 peak를 가지는 glow curve를 나타내거나 특징적인 TL glow curve가 나타나지 않았고 TL ratio는 0.1보다 낮게 나타나 음성시료로 확인되었다 (data not showed). 1 kGy로 조사 시 TL ratio는 아보카도를 제외하고 모든 시료에서 0.1 이상으로 나타났으며 150～250°C 사이에서 peak가 나타나는 특이적 glow curve를 보여 확인시험법 적용 가능성을 확인하였다 (Fig. 1). 아보카도의 경우 TL ratio가 0.1 이하지만 150～250°C 사이에서 peak가 나타나는 특이적 glow curve를 통해 조사 여부를 확인할 수 있었으나 시료에 미네랄 함량이 적어 적용 가능성이 낮은 것으로 확인하였다 (Fig. 1, top). 건바나나의 경우 TL ratio가 0.197로 0.1 이상이지만 미네랄 분리 시 어려움이 있고, 함량 또한 적어 적용 가능성이 낮다고 판단하였다 (Fig. 1, middle). 감마선 조사된 건바나나의 물리적 특성을 연구한 Jo와 Kwon (2008) 등에 의하면 건바나나의 경우 시료로부터 미네랄 분리가 어려워 TL 적용 가능성이 낮다고 보고되고 있으며 Pinnioja *et al.* (1993)에 의하면 향신료, 버섯을 대상으로 TL을 검역 목적으로 사용한 결과 대부분의 시료가 적용 가능하다고 보고되고 있다.

이러한 결과를 볼 때 아보카도, 건바나나를 제외하고 나머지 시료에 대해서는 조사되지 않은 시료와 조사된 시료에서 TL glow curve의 온도범위와 TL intensity 차이가 명확하게 나타나 비조사구와 조사구간의 차이가 분명하여 조사여부 판별이 가능하다고 판단되며 시료 자

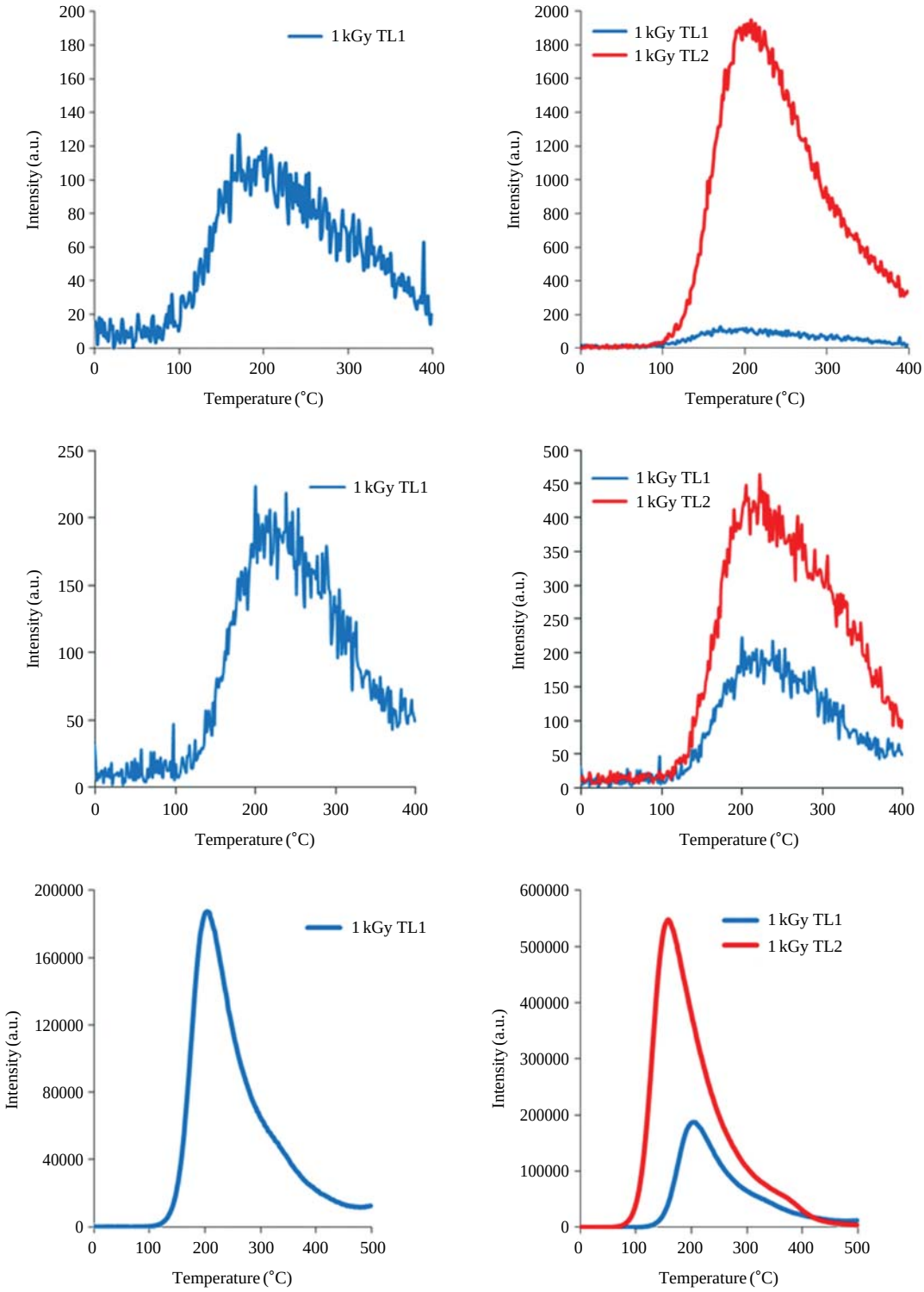

Fig. 1. TL glow curve of gamma-irradiated avocado (top), dried banana (middle) and Phellinus linteus (bottom) with 1 kGy.

체 내의 함유된 미네랄이 소량일 경우, 시료를 대량으로 전처리를 함으로써 적용 가능성을 높일 수 있을 것이라 판단하였다.

3. 시료의 ESR 특성

건조과일류(6종), 버섯류(5종)의 ESR 검지법을 이용하

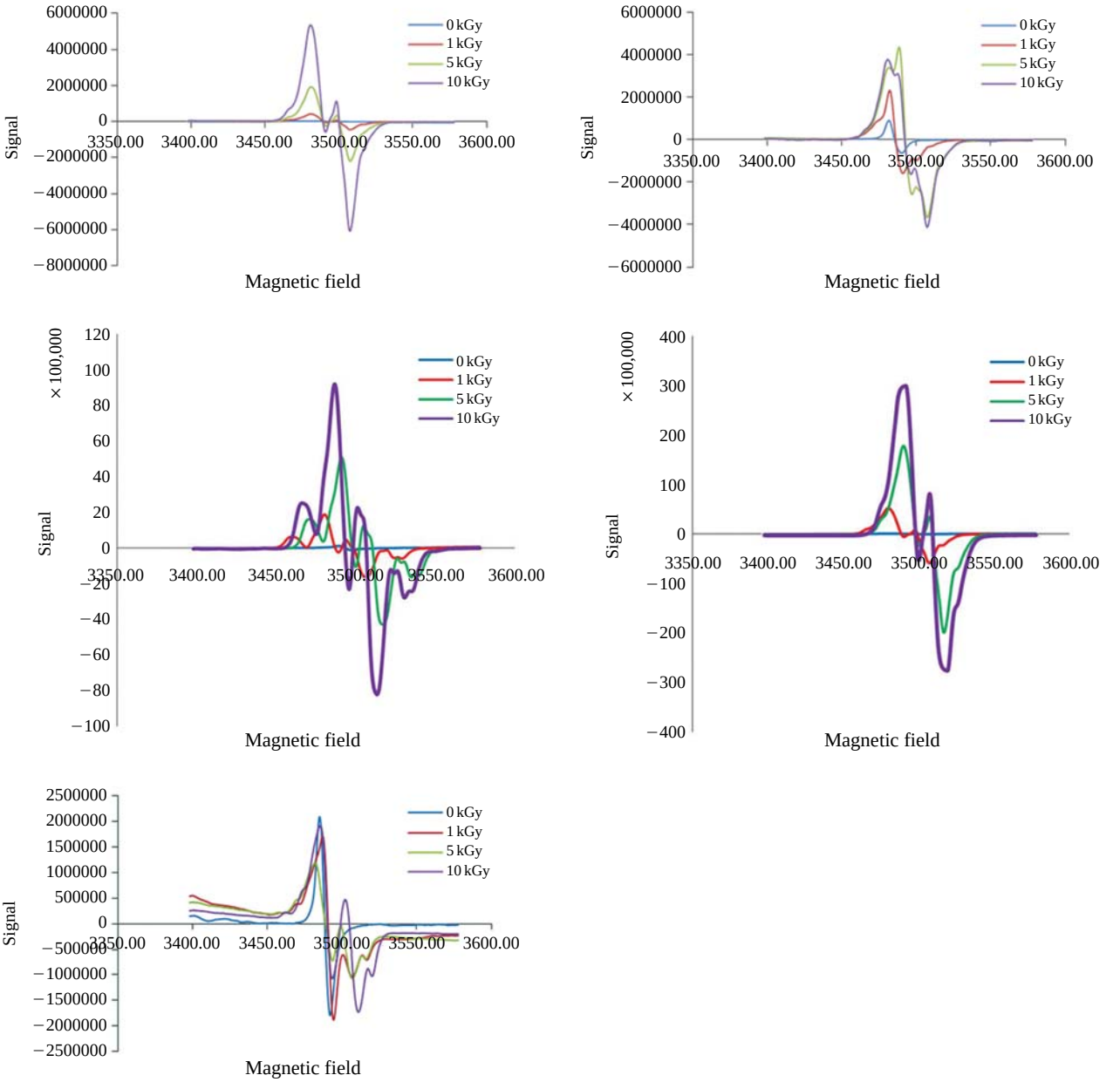

Fig. 2. Typical ESR spectra of dried papaya (top, left), dried banana (top, right), dried date-palm (middle, left), dried pineapple (middle, right) and *Sarcodon aspratus* (bottom) gamma-irradiated at different dose.

여 방사선 조사여부를 확인하였고, 1～10 kGy로 방사선 조사 후 ESR 검지법의 적용 가능성 여부를 검토하여 Fig. 2에 나타내었다. 건조과일류의 비조사시료의 ESR spectra는 peak를 나타내지 않아 라디칼이 검지되지 않았으나, 건파파야, 건대추야자, 건바나나, 건파인애플 조사시료에서는 crystalline sugar radical 유래의 전형적인 multi-component line을 지니는 ESR signal을 나타냈다. 이는 감마선 조사된 건파인애플과 건바나나의 전자공명 특성을 살펴본 Nam *et al.* (2001)의 연구결과와 유사한 signal이 관찰되었으며, 제조 과정에서 당류를 첨가한 건조과일류는 ESR 분석에 의해 조사 여부의 검지가 가능함을 확인하였다. 버섯류의 능이버섯의 경우, 조사시료에서 조사 유래의 ESR signal이 관찰되었다. 목이버섯, 영지버섯, 상황버섯, 차가버섯의 경우 모든 시료에서 조사여부와 관계없이 single line의 ESR signal이 관찰되어 대조군이 없는 경우에 방사선 조사 여부를 검지하는 것이 어려워 적

용 가능성이 낮다고 판단되었지만, 조사선량이 (1, 5, 10 kGy) 증가함에 따라 single-line signal이 증가하는 경향을 보였기 때문에 signal intensity에 대한 한계값 (threshold value)이 정해진다면 일부 식품의 경우에는 적용 가능성이 높다고 판단하였다.

결 론

건조과일류 6종 (아보카도, 건파파야, 건대추야자, 건대추, 건바나나, 건파인애플) 및 버섯류 5종 (목이버섯, 영지버섯, 상황버섯, 차가버섯, 능이버섯)을 1～10 kGy로 감마선 조사한 후 조사여부 판별 가능성을 확인하였다. PSL 측정결과, 건대추야자, 건대추, 목이버섯, 상황버섯, 능이버섯은 PSL 시험법의 적용 가능성이 높았으나 영지버섯, 차가버섯, 아보카도, 건파파야, 건바나나, 건파인애플은 PSL 시험법의 적용 가능성이 낮은 것으로 판단하였다. TL 측정결과, 대부분의 시료에서 TL 확인시험법의 적용 가능하였지만 아보카도, 건바나나의 경우 적용 가능성이 낮았다. ESR 측정결과, 건파파야, 건대추야자, 건바나나, 건파인애플, 능이버섯의 경우 조사시료에서 조사유래의 ESR signal을 보여주었고, 조사선량에 따라 유의적으로 증가하여 ESR 적용이 가능하였다. 대상식품 모두에서 방사선이 조사되지 않은 것으로 확인되었으며, 대부분의 품목에서 TL과 ESR 검지법이 PSL 검지법 보다 적용 가능성이 높은 것으로 확인되었다. 본 연구를 통해 TL은 미네랄 함량이 적은 시료를 제외한 대부분 시료에서 검지법별 적용 확대가 가능하였으나 ESR은 식품유형과 함량에 따라 결과에 차이가 있어 검지법별 적용 가능성 연구가 지속적으로 필요할 것으로 생각하였다.

사 사

본 연구는 식품의약품안전평가원 2012년도 연구개발사업 지원비 (12161식품안019) 에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

Chung HW, Park SK, Han SB, Choi DM and Lee DH. 2008. Appricaton of PSL-TL combined detection method on irradiated composite seasoning products and spices. *J. Fd Hyg. Safety*. **23**:206-211.

Codex Alimentarius Commission. 2008. Codex General Standard for Irradiated Foods. CODEX STAN106-1983, REV. 1-2003.

Delincee H. 1998. Detection of food treated with ionizing radiation. *Trends in Food Sci. Tech.* **9**:73-82.

Han IJ, Yoon YM, Choi SJ, Song BS, Kim JK, Park JH, Lee JW, Kim JH, Kim KH, Cho TY, Yoon HS, Han SB and Lee JE. 2012. Detection of gamma-irradiated imported foods (Perilla seeds, Almonds, and Soybeans) by using PSL, TL, and ESR. *J. Rad. Indust.* **6**(4):295-300.

Hwang KT, Park JY and Kwon YJ. 1998. Hydrocarbons detected in irradiated soybean. *Korean J. Food Sci. Technol.* **30**(3):517-522.

IAEA. 2005. Homepage www.iaea.org/icgfi.

IAEA. 2006. Clearance of item by country.

IAEA. 2009. Food Irradiation Clearance Database. Available From: http://nucleus.iaea.org Accessed February 17.

Jo DJ and Kwon JH. 2008. Characteristics of thermoluminescence and electron spin resonance and organoleptic quality of irradiated raisin and dried banana during storage. *J. Fd. Hyg. Safety* **23**(3):206-211.

Jung JH, Jung YM, Jo D and Kwon JH. 2012. Quality evaluation and physical identification of irradiated dried fruits. *J. Korean Soc. Food Sci Nutr.* **41**(11):1559-1564.

KFDA. 2012. Notification on the Detection Methods for Irradiated Food. No. 2009-44.

Kim KH, Choi EJ, Chang HW, Shin CS, Kim MY, Hwang CR, Kim EJ, Jo TY, Park GS, Kang MH, Kim JI, Kim JS, Park SN, Seong RS, Jang YM, Yoon HS and Han SB. 2012. Studies on the application of PSL, TL and ESR methods for the detection of irradiated foods not allowed to be irradiated in Korea. *J. Fd Hyg. Safety* **27**(3):233-246.

Kim BK and Kwon JH. 2004. Identification Characteristics of irradiated Dried Red Pepper during Storage by Analysis of Thermoluminescence, DNA Comet, and DEFT/APC. *Korean J. Food Sci. Technol.* **36**:851-856.

Kwon JH, Chung HW Kim, BK, Ahn JJ, Kim GR, Jo DJ and An KA. 2011. Research and application of identification methods for irradiated foods. *Safe Food* **6**:11-27.

Kwon JH, Kim MY, Kim BK, Lee JE, Kim DH, Lee JW, Byun MW and 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.

Lee ET, Kim MO, Lee HJ, Kim KS and Kwon JH. 2001. Detection characteristics of hydrocarbons from irradiated legumes of Korean and Chinese origins. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **30**(5):770-776.

Nam HS, Ly SY and Yang JS. 2001. Detection of gamma-irradiated dried fruits by measuring of free radicals. *J. Korean Food Sci Technol.* **33**:423-426.

Pinnioja S, Autio T, Niemi E and Pensala O. 1993. Import control of irradiated foods by the thermoluminescence method. *Z Lebensm Unters Forsch.* **196**:111-115.

Standard for Irradiation. Food Standards Code. 2011. Korea Food and Drug Administration, Seoul, 1,2-1-9.

WHO. 1981. Wholesomeness of Irradiated Food (report of a joint FAO/IAEA/WHO expert committee), Technical Report Series-659, pp.7-34.

Manuscript Received: February 15, 2013
Revised: March 5, 2013
Revision Accepted: April 11, 2013