※그림 1번 칼라인지 흑백인지 확인부탁드립니다.

Journal of Radiation Industry 6 (4) : 305~310 (2012)

PSL, TL 및 ESR 분석을 통한 수입산 들깨, 아몬드 및 대두의 방사선 조사 여부 판별 특성

한인준 · 윤영민 · 최수정 · 송범석 · 김재경 · 박종흠 · 이주운 · 김재훈
김규헌[1] · 조태용[1] · 윤혜성[1] · 한상배[1] · 이정은[2,*]

한국원자력연구원 첨단방사선연구소, [1]식품의약품안전평가원 식품감시과학팀
[2]대구과학대학교 식품영양조리과

Detection of Gamma-irradiated Imported Foods (Perilla seeds, Almonds, and Soybeans) by Using PSL, TL, and ESR

In-Jun Han, Young-Min Yoon, Soo-Jeong Choi, Beom-Seok Song, Jae-Kyung Kim, Jong-Heum Park, Ju-Woon Lee, Jae-Hun Kim, Kyu-Heon Kim[1], Tae-Yong Cho[1], Hae-Sung Yoon[1], Sang-Bae Han[1] and Jung-Eun Lee[2,*]

Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Research Institute, Jeongeup 580-185, Korea
[1]Scientific Food Investigation Team, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Cheongwon 363-700, Korea
[2]Department of Food and Nutrition and Cook, Daegu Science University, Deagu 702-723, Korea

Abstract - **This study examined radiation detection properties of imported perilla seeds, almonds, and soybeans. Food samples were irradiated at doses of 0.5, 1, 2, and 4 kGy and analyzed by photo-stimulated luminescence (PSL), thermoluminescence (TL), and electron spin resonance (ESR). The results of PSL showed that photon counts of irradiated perilla seeds and soybeans were 32,959 counts · 60 sec^{-1} and 7,234 counts · 60 sec^{-1}, respectively, at an irradiation dose of 0.5 kGy, and the photon count of irradiated almonds was 5,581 counts · 60 sec^{-1} at an irradiation dose of 1 kGy. The results of TL showed that this technique is useful for detecting irradiated samples; the TL ratios (TL_1/TL_2) measured for the food samples at an irradiation dose of 0.5 kGy were 0.2301 for perilla seeds, 0.4595 for almonds, and 0.4827 for soy beans. Lastly, results of ESR spectroscopy for only soybeans revealed specific signals derived from free radicals captured in the cellulose. In conclusion, PSL, TL, and ESR methods can be used for the detection of gamma-irradiated soybean samples, whereas gamma-irradiated perilla seeds and almonds can be confirmed by a serial detection with a TL method after PSL.**

Key words : Perilla seeds, Almond, Soybean, Gamma irradiation, PSL, TL, ESR

* Corresponding author: Jung-Eun Lee, Tel. +82-53-320-1091, Fax. +82-53-320-1092, E-mail. jeli@tsu.ac.kr

서 론

방사선 조사 식품은 현재 53개국 250여 품목에 대해 허가 및 이용되고 있으며, 관련 연구는 40년 이상의 연구 기간 동안 FAO, IAEA, WHO 및 FDA 등의 국제기구와 선진 여러 나라에서 수행하여 그 건전성과 경제성이 확인된 기술이다(Kim *et al.* 2012; IAEA 2012). 우리나라에서는 식품에 대한 방사선 조사 허가 기준이 26종류의 품목에 한해 각각의 목적에 맞는 조사선량을 지정 및 고시하고 있다(KFDA 2012). 이러한 방사선 조사된 식품은 조사 여부 및 오남용을 방지하기 위해 정확한 조사 여부의 판별이 필요하여 세계소비자연맹의 요구에 따라 일부의 EU국가에 의해 연구가 시작되었다(IAEA 1991). 지금까지 개발된 검지방법으로는 물리적으로 photostimulated luminescence (PSL) (Sanderson 1990), thermoluminescence (TL) (Dduko and Spyrou 1990) 및 electron spin resonance (ESR) (Raffi and Stocker 1996)이 있고, 화학적으로 hydrocarbon류(Morehouse and Ku 1993)를 검출하는 방법, 생물학적으로 DNA의 손상과 염기서열 변화를 확인하는 comet assay (Cerda *et al.* 1997) 방법 등이 있다. 이 가운데 우리나라에서는 물리적 검지 방법인 PSL, TL 및 ESR과 화학적 검지 방법인 GC/MS를 이용한 hydrocarbon류의 검출 방법을 조사 판별법으로 인정하고 있다(KFDA 2012).

검지 방법에 대한 연구는 매우 활발하고 다양하게 진행되고 있으며, 특히 이 가운데 물리적 방법만으로 분석한 연구로는 방사선 조사된 홍삼(Kwon *et al.* 2009), chestnut (Chung *et al.* 2004; Michele *et al.* 2009), 보리(Ute *et al.* 2007), 건조 멸치와 새우(Chung *et al.* 2002), 볶은 참깨(Lee *et al.* 2008) 및 차류(Göktuğ and Henry 2004) 등에 관한 연구가 있다. 그러나 견과류 또는 종실류에 대한 물리적 검지 방법 연구는 아직 미흡한 수준이다.

한편 주요한 식량자원 수입국인 우리나라는 2010년 기준 세계 13위의 농림수산식품 수입국으로써(Global Trade Atlas 2011. 2) 곡물자급률이 1995년 29.1%, 2000년 29.7% 그리고 2006년 26.6%이었고 2015년에는 26.2%까지 낮아질 것으로 전망하고 있다(최지현 2008). 이는 축산물과 유지류의 소비 및 외식 증가 등의 식생활 변화와 쌀의 소비 감소가 주된 원인으로 알려져 있다. 때문에 교역을 통한 식품의 수입량은 지속적으로 증가할 것으로 예상된다(이철호 2009). 그러나 교역과정을 통해 수입된 작물의 30~50%가 해충 및 미생물로 인해 폐기되며 이러한 피해를 방지하기 위한 방안으로 메칠브로마이드를 사용하고 있다. 그러나 메칠브로마이드는 오존층을 파괴하는 환경피해의 원인이 되어 1997년 몬트리올 국제환경협약에 따라 그 사용을 금지시키고 있다. 메칠브로마이드의 대안인 방사선 조사 기술은 제품을 포장한 상태에서 연속적으로 조사 처리가 가능하여 통관 및 검역 절차와 같이 대량 농산물의 위생화에 매우 효과적이다(Woods and Pikaev 1994).

따라서 본 연구에서는 수입산 들깨, 아몬드 및 대두에 대한 검지방법을 확보하고자 PSL, TL 및 ESR분석을 통하여 각각의 검지특성을 비교함으로써 조사 식품의 조사 여부의 판별을 위한 보다 효과적인 방안을 모색하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

본 연구에 사용된 시료는 들깨(중국산), 아몬드(미국산) 및 대두(미국산)를 지역 마트에서 구입하여 믹서기(Hanil Co., Incheon, Korea)로 분말화한 후 실험에 사용하였다.

감마선 조사

들깨, 아몬드 및 대두에 대한 감마선 조사는 선원 11.1 PBq, ^{60}Co 감마선 조사시설(IR-70 gamma irradiator, MDS Nordion, Canada)을 이용하였다. 흡수선량(선량률 10 kGy · h^{-1})은 0.5, 1, 2 및 4 kGy가 되도록 조사였다. 조사 후 총 흡수선량 확인은 alanine dosimeter (Oeric cerous dosimeter, Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 사용하였다. Dosimetry 시스템은 국제원자력기구(IAEA)의 규격에 준용하여 표준화한 후 사용하였다.

광자극 발광 (PSL) 분석

PSL 분석은 CEN 방법(2002) 및 KFDA 방법(2009)에 준하여 PSL system (Serial 0021, SURRC, Scottish universities research & Reactor Centre, London, UK)을 사용하여 빛이 차단된 장소에서 photon count를 측정하였다. 분석 조건은 cycle time 1초, cycle 횟수 60, dark count 24±2.4, light count 22±1.3 범위에서 실시하였다. 측정된 결과의 판정에서 700 cpm 이하(lower threshold value, T1)이면 음성시료(negative), 5000 cpm 이상(upper threshold value, T2)이면 양성시료(positive), T1과 T2의 중간 값(intermediate)이면 조사여부 판정 불가 시료로 분류하였다(KFDA 2012). 모든 시료는 각 3회의 실험을 진행하여 방사선 조사 여부를 판별하였다.

열 발광 (TL) 분석

TL 분석은 시료에서 분리된 미네랄을 이용하여 측정하는 CEN 방법 (1997)에 준하여 실험하였다. 즉, 일정량의 시료에 증류수를 가하여 초음파세척기 (8210R-DTH, Branson Ultrasonics co., Danbur, CT, USA)에서 3분간 처리하고 여과한 후 정치시켰다. 잔사에 존재해 있는 유기물 제거를 위해 2 g · ml^{-1}의 농도로 준비된 sodium polytungstate 5 ml를 가하고 증류수로 세척하였다. 다시 침전물 중의 carbonate 제거를 위해 1 N HCl을 기포가 발생되지 않을 때까지 가한 후 1 N NH_4OH를 가하여 중화시키고, acetone으로 세척하여 건조하였다. TL spectra 측정은 TLD 시스템 (RISO, DA-20, Copenhagen, Denmark)을 이용하여 초기온도는 50°C에서 5초간 예열하고, 5°C · sec^{-1}의 온도 상승률에서 최고 온도를 400°C의 조건으로 분석하였다. 이때 초고순도 N_2 gas를 flow gas로 이용하면서 측정하였다. 시료에서 분리된 미네랄을 측정한 일차 glow와 측정 뒤 1.0 kGy로 미네랄을 재조사하여 이차 glow를 측정하여 방사선 조사 특유의 신호가 나타나는 150 ~ 250°C 범위의 값으로 TL ratio (TL_1/TL_2)를 구하였다. 그 결과 0.1 미만이면 비조사, 0.1 이상이면 조사된 것으로 판단하였다 (Lee *et al.* 2001).

전자스핀공명 (ESR) 분석

ESR 분석을 위한 시료의 전처리 및 측정은 CEN 방법 (2002) 및 KFDA 방법 (2009)에 준하여 실험하였다. 즉, 시료는 각 부위에 따라 일정 크기로 절단하여 18 ~ 24시간 동결건조 후, 수분과 단수명 ESR center를 제거하고 수분 함량 5% 이내로 건조된 시료를 분석용 시료로 사용하였다 (EN 2009; KFDA 2009). ESR 측정 후 판정은 분석을 위해 전 처리된 시료 일정량 (0.1 g)을 ESR quartz tube에 충진하고 ESR/EPR spectrometer (JES-TE300, Jeol Co., Tokyo, Japan)에 의해 분석하였다. 즉, microwave frequency 9.4 GHz, microwave power 0.4 mW & 5.0 mW, magnetic center field 327 ± 5 mT, modulation 100 kHz, time constant 0.03 sec, sweep time 0.5 min 등의 조건으로 radiation-induced free radical (cellulose radical, sugar radical, hydroxyapatite radical) 농도를 분석하여 screening 하였다. Cellulose 및 sugar 함량에 따른 free radical 검출여부 및 신호강도를 모니터링하여 함량에 따른 signal 검출한계를 설정하였다.

결과 및 논의

들깨, 아몬드 및 대두의 광자극 발광 (PSL) 분석

감마선 조사된 들깨, 아몬드 및 대두에 대한 PSL 측정 결과는 Table 1에 나타내었다. 들깨와 대두는 최소 조사선량인 0.5 kGy에서도 photon counts 수치 (threshold value)가 5,000 이상으로 나타나 방사선 조사된 것으로 확인되었다. 아몬드는 최소 선량 (0.5 kGy)에서 700초과 5,000 미만의 photon counts 수치를 보여 확인 실험이 필요한 것으로 나타나 TL 또는 ESR 등의 방법을 적용한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다. 아울러 모든 시료에서 방사선 조사선량의 증가에 따른 photon counts 수치가 증가하는 것으로 확인되었다. 본 연구 결과 들깨와 대두는 PSL 분석을 통한 방사선 조사 여부의 판별이 가능하였으며, 아몬드는 추가적인 분석법을 이용한 조사 여부의 판별이 필요할 것으로 생각되었다. Jeong *et al.* (2001)의 보고에서는 중국산 두류의 경우 방사선 조사 여부를 PSL 분석을 통해 판별이 가능였으며, 인삼분말 (Chung *et al.* 2000), 종실류 (Yi *et al.* 2000) 및 향신료 (Park *et al.* 2010)에 대한 보고에서는 조사 여부만이 판별이 가능하여 일차적인 screening 목적으로 활용은 가능하다고 하였다.

들깨, 아몬드 및 대두의 열 발광 (TL) 분석

감마선 조사된 들깨, 아몬드 및 대두에 대한 TL 분석 결과는 Table 2에 나타내었다. 모든 방사선 조사 시료에

Table 1. Photo-stimulated luminescence (PSL) photon counts of irradiated perilla seeds, almonds, and soybeans at different dose with gamma irradiation

Irradiation dose (kGy)	Samples (counts · 60 sec^{-1})		
	Perilla seeds	Almonds	Soybeans
0	246 ± 24[1] (−)[2]	344 ± 117.380 (−)	269 ± 81 (−)
0.5	32,959 ± 637 (+)	3,057 ± 6.364 (M)	7,234 ± 453 (+)
1	76,669 ± 31295 (+)	5,581 ± 737.512 (+)	15,501 ± 1263 (+)
2	71,037 ± 23431 (+)	9,339 ± 1093.894 (+)	24,823 ± 4146 (+)
4	238,801 ± 92183 (+)	14,702 ± 111.016 (+)	81,638 ± 8163 (+)

[1]Mean ± standard deviation (n=3).
[2]Threshold value: T1=700 (non-irradiated), T2=5000 (irradiated), (−) < T1, T1 < (M) < T2, and (+) > T2.

Table 2. Thermoluminescence (TL) ratio of glow curves of minerals separated from irradiated perilla seeds, almonds, and soybeans

Samples	Irradiation dose (kGy)	TL_1 intensity[1)]	TL_2 intensity	TL ratio[2)]	Estimation[3)]
Perilla seeds	0	412,940	23,761,873	0.0017	−
	0.5	331,416	1,440,344	0.2301	+
	1	669,340	1,034,859	0.6468	+
	2	43,821,019	28,465,283	1.5395	+
	4	6,512,132	2,661,026	2.4472	+
Almonds	0	14,097	13,008,870	0.0011	−
	0.5	8,887,257	19,341,674	0.4595	+
	1	2,640,477	4,765,424	0.5541	+
	2	22,375,201	18,176,020	1.2310	+
	4	60,608,338	23,679,791	2.5595	+
Soybeans	0	118,037	123,741,482	0.0010	−
	0.5	60,865,431	126,105,122	0.4827	+
	1	88,194,182	140,785,828	0.6264	+
	2	97,157,659	83,406,410	1.1649	+
	4	253,054,786	120,222,327	2.1049	+

[1)]Integrated TL intensity
[2)]TL_1 intensity/TL_2 intensity
[3)]−: nonirradiated, +: irradiated

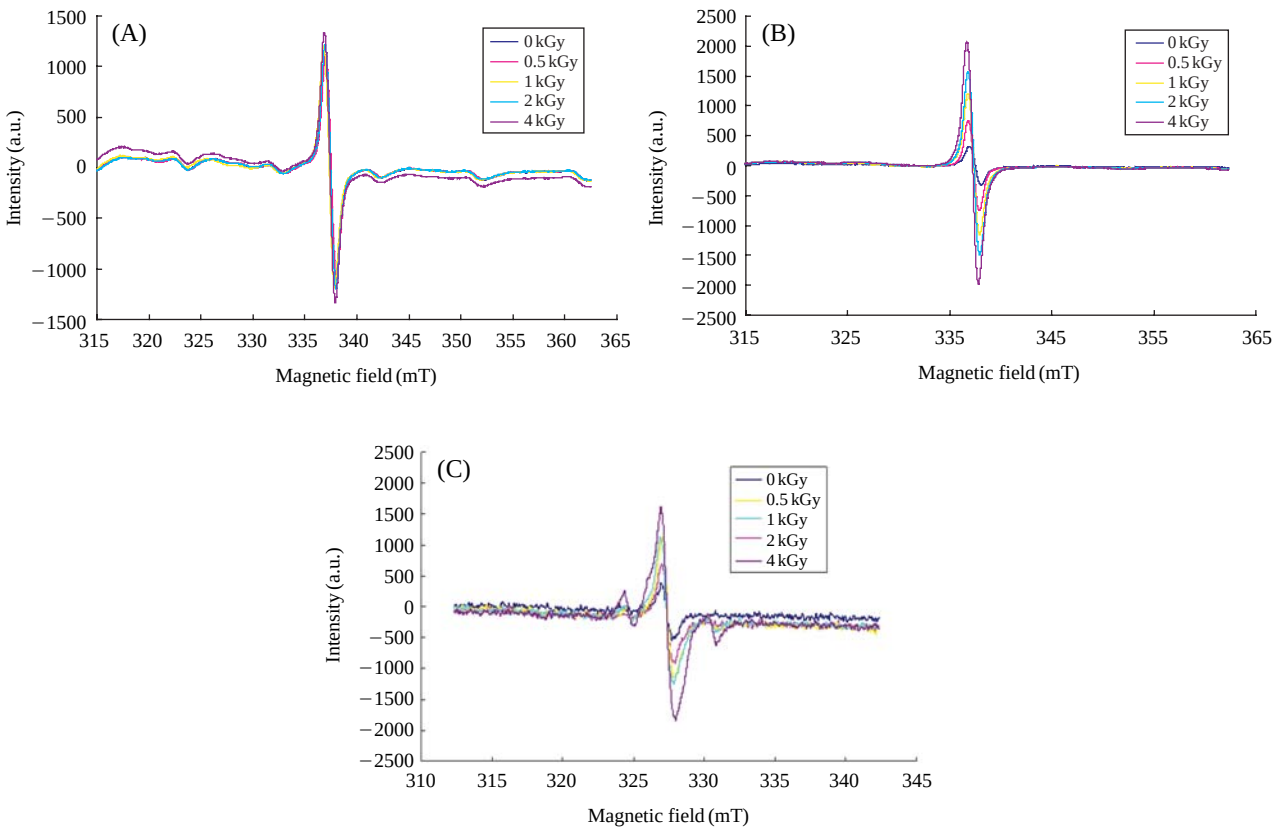

Fig. 1. ESR radical spectra of gamma-irradiated perilla seeds (A), almonds (B), and soybeans (C).

서 전형적인 방사선 조사 glow curve가 150~250°C 범위에서 확인되었으며, 방사선 조사선량의 증가에 따라 TL intensity도 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 분리된 미네랄의 재조사 시험에서도 0.5 kGy 이상의 방사선 조사시 모두 TL ratio가 0.1 이상으로 나타나 방사선 조사 여부의 판별이 가능하였다. 본 연구 결과를 통해 TL 분

석 방법은 들깨, 아몬드 및 대두의 방사선 조사의 여부를 판별하는데 있어 확인시험법으로 매우 적합한 방법이라 사료되었다. 이러한 결과는 양파와 마늘(Hwang *et al.* 1998a), 땅콩(Lee *et al.* 2001), 훈증 건고추(Kim and Kwon 2004), 라면 건조 수프 재료(Hwang *et al.* 1998b) 및 백삼분말(Chung *et al.* 2000)에 대한 연구 결과에서도 TL 분석법을 이용하여 농산물의 방사선 조사 여부를 판별할 수 있었다는 보고와 일치하였다. 일반적으로 방사선이 조사되지 않은 시료는 특징적 glow curve를 나타내지 않거나 300°C 이상에서 자연방사능에 의한 낮은 곡선을 보이게 된다. 그러나 방사선을 조사한 시료는 150~250°C 부근에서 maximum을 보이는 glow curve를 나타내게 되어 이를 통한 판별이 가능하다. 이와 함께 재조사된 시료를 이용한 TL ratio를 확인하여 그 결과가 0.1 이상이면 방사선이 조사된 것으로, 0.1 이하이면 조사되지 않은 것으로 판정한다.

들깨, 아몬드 및 대두의 전자스핀공명 (ESR) 분석

감마선 조사된 들깨, 아몬드 및 대두에 대한 ESR 분석 결과는 Fig. 1에 나타내었다. ESR 분석 결과 대두만이 방사선 조사시료에서 cellulose 유래 triplet signal이 확인되었으며, 방사선 조사에 의존적으로 강도가 높아지는 것으로 나타나 ESR 분석법 적용이 가능한 것으로 확인되었다. 들깨와 아몬드의 경우 single signal로 나타나 ESR 분석법 적용이 불가능한 것으로 판단되었다. Lee *et al.* (2001)는 땅콩에 있어 ESR 측정 결과 대칭적인 signal외에 방사선 조사에 의한 특이적인 peak가 나타나지 않았다고 하여 들깨와 아몬드의 실험 결과와 유사한 것으로 확인되었다. ESR 분석을 통한 방사선 조사된 식품의 검지 방법은 뼈, 셀룰로오스 또는 결정형 당을 함유한 경우 적용하게 된다. 뼈를 함유한 식품에서는 하이드록시아파타이트(hydroxyapatite)에서 생성된 라디칼에 의해 g 값이 2.001~2.003 (g1)과 1.997~1.999 (g2)인 비대칭 신호가 나타난 경우 방사선 조사된 것으로 판정하며, 셀룰로오스를 함유하는 식품에서는 비조사 식품에서 나타나는 한 쌍의 피크가 6.0 mT의 공간을 두고 나타날 경우 조사된 것으로 판단한다. 또한 결정형 당을 함유한 식품에서는 다성분의 ESR 신호가 나타나면 방사선 조사된 것으로 판정한다(KFDA 2012).

결 론

본 연구는 수입산 들깨, 아몬드 및 대두에 대한 방사선 조사 여부를 판별하기 위해 방사선 조사 여부 판별 특성을 조사선량을 각각 달리하여 감마선을 조사한 후 PSL, TL 및 ESR을 이용하여 분석하였다. PSL의 경우 700 counts · 60 sec^{-1} 이상의 positive 판정된 선량은 들깨와 대두가 0.5 kGy 조사시 각각 32,959 counts · 60 sec^{-1}, 7,234 counts · 60 sec^{-1}로 확인되었으며, 아몬드는 1 kGy 조사시 5,581 counts · 60 sec^{-1}로 나타나, 아몬드만이 모든 감마선 조사구에서 검지가 불가능하였다. TL 분석 결과 최소 조사선량인 0.5 kGy에서는 들깨, 아몬드 및 대두에서 각각 TL ratio가 0.2301, 0.4595, 0.4827로 확인된 결과와 함께 모든 감마선 조사구에서 검지가 가능하였다. ESR 분석 결과에서는 대두에서만 조사선량의 증가에 따른 강도의 증가와 함께 cellulose 유래 signal이 확인되어 조사 여부의 판별이 가능하였다. 본 연구 결과를 통하여 PSL, TL 및 ESR 방법 모두를 순차적으로 적용이 가능한 시료는 대두로 나타났으며, ESR을 제외한 PSL과 TL 방법으로는 들깨와 아몬드만이 순차적인 적용이 가능하였다.

사 사

본 연구는 원자력연구개발사업 및 식품의약품안전청 용역연구개발과제의 연구개발비 지원(KFDA-10162식품안082 및 KFDA-11162식품안047)에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

이철호. 2009. 우리나라 식량안보의 문제점과 개선방안. 한국과학기술한림원 연구보고서 **55**:48-99.

최지현. 2008. 식량자급률 목표치 설정에 관한 연구. 농어촌과 환경 **99**:14-23.

Cerda H, Delincée H, Haine J and Rupp H. 1997. The DNA 'comet assay' as a rapid screening technique to control irradiated food. *Mutat. Res.* **29**:167-181.

Chung HW, Kwon JH and Delincée H. 2000. Photostimulated luminescence thermo luminescence application to detection of irradiated white ginseng powder. *Korean J. Food Sci. Techonol.* **32**:265-270.

Chung HW, Deincee H, Han SB and Kwon JH. 2002. The application of different detection methods for irradiated dried anchovy and shrimp. *Radiat. Phys. Chem.* **63**:411-414.

Chung HW, Deincee H, Han SB, Hong JH, Kim HY, Kim MC, Byun MW and Kwon JH. 2004. Trials to identify irradiated

chestnut (*Castanea bungena*) with different analytical techniques. *Radiat. Phys. Chem.* **71**:179-182.

Dduko JM and Spyrou NM. 1990. Thermoluminescence of irradiated foodstuffs. *Radiat. Phys. Chem.* **36**:603-607.

European Committee for Standard. 1997. Detection of irradiated food from which silicate minerals can be isolated. Method by thermoluminescence. English version of DIN EN 1788.

European Committee for Standard. 2002. Detection of irradiated food using photostimulated luminescence English version of DIN EN 13751.

Göktuğ B and Henry D. 2004. Identification of irradiated Turkish foodstuffs combining various physical detection methods. *Food Control* **15**:81-91.

Hwang KT, Byun MW, Wagner U and Schreiber GA. 1998a. Application of thermoluminescence to detecting post-irradiation of onion and garlic. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **27**:63-68.

Hwang KT, Byun MW, Wangner U and Dehne LI. 1998b. Detection of post-irradiation of dry soup base ingredients in instant noodle by thermoluminescence technique. *Korean J. Food Sci. Technol.* **30**:759-766.

IAEA. 1991. Analytical detection methods for irradiated foods. In: A review of current literature. IAEA-TECDOC-587, pp. 7-42.

IAEA. 2012. Homepage www.iaea.org/icgfi.

Jeong JY, Lee EY and Kwon JH. 2001. the detection of irradiated agricultural commodities by origins with photostimulated luminescence (PSL) analysis. *Korean J. Postharvest Sci. Technol.* **8**:291-295.

KFDA. 2012. Food Code. Munyoungsa, Seoul, Korea.

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.

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 ES, Jang YM, Yoon HS and Han SB. 2012. Studies on the applications PSL, TL and ESR methods for the detection of irradiated foods not allowed to be irradiated in Korea. *J. Fd. Hyg. Safety* **27**:233-246.

Kwon JH, Lee J, Waje C, Ahn JJ, Kim GR, Chung HW, Kim DH, Lee JW, Byun MW, Kim KS, Kim KS, Park SH, Lee EJ and Ahn DU. 2009. The quality of irradiated red ginseng powder following transport from Korea to the United States. *Radiat. Phys. Chem.* **78**:643-646.

Lee EY, Jung JY, Jo DJ and Kwon JH. 2001. Detection characteristics of TL, ESR and DNA comet for irradiated peanuts by origins. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **30**:1076-1081.

Lee J, Kausar T, Kim BK and Kwon JH. 2008. Detection of γ-irradiated sesame seeds before and after roasting by analyzing photostimulated luminescence, thermoluminescence, and electron spin resonance. *J. Agric. Food Chem.* **56**:7184-7188.

Michele M, Antonio EC, Giuliana M, Antonio DS, Concetta B, Emanuela B and Sandro O. 2009. Detection of irradiated chestnuts: preliminary study using three analytical techniques. *Radiat. Phys. Chem.* **78**:695-698.

Morehouse KM and Ku Y. 1993. Identification of irradiated foods by monitoring radiolytically produced hydrocarbons. Radiat. *Phys. Chem.* **42**:359-362.

Park ER, Kang HS, Ahn HJ, An KA, Cho SY, Kim HY, Kim DS, Kim DH and Kang CS. 2010. Analysis of the detection characteristics of irradiated dired spices and herbs by photostimulated luminescence (PSL). *Korean J. Food Sci. Technol.* **42**:136-141.

Raffi J and Stocker P. 1996. Electron paramagnetic resonance detection of irradiated foodstuffs. *Appl. Magn. Reson.* **10**: 357-373.

Sanderson D. 1990. Photostimulated luminescence (PSL). A new approach to identifying irradiated foods. BCR workshop, 13-15 February.

Ute E, Mario S, Henry D, Hans JS and Olaf R. 2007. Electron seed dressing of barley-aspects of its verification. *Eur. Food Res. Technol.* **224**:489-497.

Woods RJ and Pikaev AK. 1994. Applied radiation chemistry: Radiation Processing. Wiley Science, New York, USA, pp. 50.

Yi SD, Soo SH and Yang JS. 2000. The use of pulsed photostimulated luminescence (PPSL) and thermoluminescence (TL) for the detection of irradiated perilla and sesame seeds. *J. Food Sci. Nutr.* **5**:142-147.

Manuscript Received: October 29, 2012
Revised: November 5, 2012
Revision Accepted: December 4, 2012