

## Photostimulated Luminescence (PSL) 분석에 의한 원산지별 농산물의 방사선 조사여부 검지

정재영 · 이은영 · 권중호  
경북대학교 식품공학과 및 농산물가공저장유통기술연구소

### The Detection of Irradiated Agricultural Commodities by Origins with Photostimulated Luminescence (PSL) Analysis

Jaeyoung Jeong, EunYoung Lee and Joong-Ho Kwon  
Department of Food Science & Technology and Postharvest Technology Research Institute,  
Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

#### Abstract

Photostimulated luminescence (PSL) analysis was applied to determine whether some agricultural commodities of Korean and Chinese origins have been irradiated or not. Cereals (brown rice and buckwheat) and legumes (soybean, peanut, red bean and mung bean) were exposed to gamma irradiation at 0.5~4 kGy. The Korean garlic was irradiated at 0.05~0.5 kGy. Cereals and mung bean were not applicable to the PSL measurement, showing the intermediate values between the lower (700 photon counts, negative) and the upper threshold values (5,000, positive), however PSL values determined for soybean, peanut, red bean and garlic were suitable for being discriminated between nonirradiated and irradiated samples. There was no significant difference in PSL properties according to the sample origins.

**Key words** : photostimulated luminescence, irradiation detection, cereals, legumes, garlic

#### 서 론

식품에 대한 방사선 이용 기술은 기존의 식품처리 방법들에 비해 독특한 장점들을 지니고 있어서 그 이용이 증가하는 추세이다. 전 세계적으로 식품의 상업적 방사선 조사가 이루어지고 있는 나라는 39개국에 이르며, 식품조사(food irradiation)가 허용된 품목은 200여 종이 넘고 있다. 이들 중 상업적인 규모로 방사선 처리되고

있는 식품류에는 대부분 향신료, 건조식품류, 곡류, 육류 등이 포함되어 있으며, 조사식품 (irradiated food) 생산국에서는 자국 농수축산물의 부가가치 향상을 목적으로 식품 가공·저장에 방사선을 적극 활용하고 있다 (1,2).

이와 같이 방사선 조사식품의 유통과 국제교역이 예상되면서 조사식품에 대한 검지기술(detection/identification method)의 개발이 요구되고 있는 실정이며, 특히 해외로부터 식품가공용 재료나 가공품을 다량 수입하는 국가에서는 검지기술의 확보에 따라 수입식품의 안전한 관리가 요망되고 있다(3,4).

방사선 조사식품의 검지기법은 크게 물리적, 화학적 및 생물학적 방법으로 나눌 수 있으며, 이러한 방법들

Corresponding author : Joong-Ho Kwon, Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea  
E-mail : jhkwon@knu.ac.kr

중 열발광 분석(thermoluminescence, TL), 전자스핀공명 분석(electron spin resonance, ESR), hydrocarbon 및 alkylcyclobutanone 분석 등은 실제로 적용가능성이 인정되어 공인검지법으로 제시된 사례도 있다(3-5).

Photostimulated luminescence (PSL) 측정법은 TL 측정법과 유사한 원리를 지니고 있지만 TL 측정법보다 시료 처리과정의 간편하고 비교적 저렴한 장비로써 다수의 식품을 신속히 검사할 수 있는 가능성을 보이고 있으므로 DNA comet assay와 더불어 screening 목적으로 제안되고 있다(6-8). PSL 측정 원리는 다음과 같다. 즉, 일반적으로 농산물에는 토양으로부터 혼입되거나 풍화토로부터의 silicate나 bioinorganic material이 발견되는데, 대상 농산물이 방사선에 노출되면 각 물질의 내부 전자들이 여기상태로 튀어나갔다가 다시 기저상태로 돌아가게 된다. 그러나 일부 전자들은 물질의 결정 내부 전기적 격자 또는 물리적 trap에 갇히게 되어 상당히 오랜 시간 동안 유지될 수 있다. PSL은 이같이 trap에 갇힌 전자들을 측정하며, optical stimulation을 가해 전자가 여기상태를 거쳐 기저상태로 돌아올 때 발산되는 에너지 변화량(photon count)을 측정하여 방사선 조사 여부를 판정하게 된다(6,9,10).

본 연구에서는 교역 농산물 중 방사선처리 가능성이 높은(1) 곡류(현미, 메밀)와 두류(대두, 적두, 녹두, 땅콩)는 원산지 별로, 마늘은 국내산을 대상으로 감마선 조사 후 PSL 검지특성을 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 실험에 사용된 곡류(현미, 메밀)와 두류(대두, 적두, 녹두, 땅콩) 시료는 국내산과 중국산으로 원산지를 구분하여, 국산은 경북 상주, 문경 인근의 농가에서, 중국산은 서울 도매시장에서 출처를 확인한 다음 구입하여 각각 실험에 사용하였다. 그리고 마늘은 중국산 마늘의 확보가 어려워 2000년 경북 의성 지역에서 수확된 국산만을 사용하였다.

### 방사선 조사

본 연구의 시료인 곡류와 두류는 살충 및 위생화를 목적으로 0.5~4.0 kGy 범위의 선량이 허가되어 있다

(1). 따라서 시료에 0.5~4.0 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 100 kCi Co-60 감마선 조사시설(Nordion, Ontario, Canada)에서 조사를 실시하였다. 마늘은 발아억제를 위해 0.15 kGy 내외의 선량이 허가되어 있으므로(1) 0.05~0.5 kGy 범위로 감마선을 조사하여 상온 암실에 보관하면서 실험에 사용하였다. 이때 흡수선량은 ceric-cerous dosimeter와 Fricke dosimeter에 의해 확인하였다.

### Photostimulated luminescence (PSL) 측정

PSL 측정에 사용된 모든 시료는 태양 빛에 의한 photon 손실과 cross contamination을 피하면서 실험하였다. 곡류와 두류는 특별히 외부에 부착된 미네랄을 취하는 방법은 사용하지 않고 whole sample (5 g) 그대로를 측정용 dish(50 mm  $\phi$ , Bibby Sterilin type 122, Glasgow, UK)에 담아 측정하였고, 마늘은 비교적 미네랄 부착량이 많은 뿌리 부분을 0.2 g 취해 dish에 담은 후 각각 2회 반복 측정하였다. PSL 측정기기(SURRC, Pulsed PPSL Screening System, UK)의 조건은 cycle time 1초, cycle 횟수 60, dark count 63, light count 66 등이었다. PPSL system을 이용한 측정결과의 판정에서 lower threshold value는  $T_1=700$  counts/60 sec, upper threshold value는  $T_2=5,000$  counts/60 sec이었으며,  $T_1$  이하의 값(negative)은 비조사 시료로,  $T_2$  이상(positive)이면 방사선 조사된 시료로 판별하였다(11-13).

## 결과 및 고찰

### 현미와 메밀

본 실험에 사용된 현미(whole sample)를 사용하여 감마선 조사선량(0.5~4 kGy)에 따른 photon count를 측정해 본 결과, Table 1과 같이 국산 및 중국산 현미 모두에서 비조사군과 조사군 간에 329~3,812 범위의 photon count를 나타내면서 차이를 보이지 않았다. 이상의 결과는 PPSL system에 설정된 negative(700 photon counts 이하)와 positive (5,000 photon counts 이상) 기준과 비교해 보았을 때 조사 여부의 screening 방법으로 써는 적용 가능성이 없는 것으로 나타났다. 따라서 현미에 대한 보다 정확한 PPSL 적용가능성을 확인하기 위해서는 광물질의 분리 후 측정 연구가 필요한 것으로 판단된다(13).

Table 1. Threshold value of gamma-irradiated brown rice and buckwheat measured by photostimulated luminescence

Sample	Origin <sup>1)</sup>	Irradiation dose (kGy)				
		0	0.5	1.0	2.0	4.0
		(unit : photon count)				
Brown rice	Korea	329 (-) <sup>2)</sup>	748 (M)	2,779 (M)	1,174 (M)	2,786 (M)
	China	410 (-)	2,129 (M)	3,812 (M)	892 (M)	823 (M)
Buckwheat	Korea	867 (M)	144,395 (+)	398,981 (+)	495,800 (+)	474,748 (+)
	China	1,165 (M)	22,560 (+)	88,974 (+)	132,029 (+)	102,285 (+)

<sup>1)</sup> Origin indicates the native country of the cereal used in this experiment.

<sup>2)</sup> Threshold value :  $T_1 = 700$  (negative, non-irradiated),  $T_2 = 5,000$  (positive, irradiated)  
 ((-) : <  $T_1$ , (M) :  $T_1 \sim T_2$ , (+) : >  $T_2$ ).

Table 2. Threshold value of gamma-irradiated legumes measured by photostimulated luminescence

Sample	Origin <sup>1)</sup>	Irradiation dose (kGy)				
		0	0.5	1.0	2.0	4.0
		(unit : photon count)				
Soybean	Korea	332 (-) <sup>2)</sup>	7,499(+)	8,535 (+)	7,053 (+)	9,476 (+)
	China	323 (-)	6,116 (+)	24,702 (+)	8,240 (+)	8,063 (+)
Peanut	Korea	420 (-)	7,626 (+)	6,362 (+)	12,688 (+)	12,082 (+)
	China	318 (-)	4,488 (M)	8,553 (+)	7,752 (+)	15,843 (+)
Red bean	Korea	390 (-)	6,183 (+)	9,708 (+)	8,279 (+)	30,611 (+)
	China	359 (-)	13,378 (+)	25,368 (+)	51,756 (+)	39,139 (+)
Mung bean	Korea	321(-)	1,045 (M)	1,244 (M)	1,017 (M)	1,016 (M)
	China	276 (-)	900 (M)	3,241 (M)	5,237 (+)	10,831 (+)

<sup>1)</sup> Origin indicates the native country of the cereal used in this experiment.

<sup>2)</sup> Threshold value :  $T_1 = 700$  (negative, non-irradiated),  $T_2 = 5,000$  (positive, irradiated)  
 ((-) : <  $T_1$ , (M) :  $T_1 \sim T_2$ , (+) : >  $T_2$ ).

Table 3. Threshold value of gamma-irradiated Korean garlic measured by photostimulated luminescence

	Irradiation dose (kGy)				
	0	0.05	0.15	0.25	0.50
256 (-) <sup>1)</sup>	31,244 (+)	42,451 (+)	8,129 (+)	146,336 (+)	

<sup>1)</sup> Threshold value :  $T_1 = 700$  (negative, non-irradiated),  $T_2 = 5,000$  (positive, irradiated)  
 ((-) : <  $T_1$ , (M) :  $T_1 \sim T_2$ , (+) : >  $T_2$ ).

메밀의 경우에는 비조사 시료군의 국내산이 867 photon count, 중국산이 1,165 count로 두 시료 모두

negative 값 ( $T_1$ ) 보다 높은 수치를 보여 주었다. 이는 실험에 사용된 메밀시료에 함유되었거나 부착된 미네랄의 종류와 양에 영향을 받은 것으로 사료되며, PSL 측정시 시료의 양을 표준화하는 것이 필요할 것으로 생각된다(14). 감마선 조사시료(0.5~4 kGy)의 경우에는 국내산은 144,000 count 이상, 중국산은 88,000 count 이상으로 비조사 시료군과 뚜렷한 차이를 나타내었다. 이상의 메밀 시료에 대한 연구결과에서 볼 때 대조군과 조사군 간에는 분명한 차이를 보였으나 본 PPSL system의 negative 값(700 photon count 이하)에 대한 적용이 되지 않았으므로 이에 대한 측정조건의 검토가 요망되었다.

### 두류

감마선 조사 여부에 따른 두류의 PSL 측정 결과 대두, 땅콩, 적두 및 녹두의 비조사 시료에서는 276~420 범위의 photon count를 나타내어 국산과 중국산 모두 lower threshold value 이하의 negative 값을 보였다. 그리고 0.5 kGy 이상의 조사시료에서는 녹두를 제외한 3가지 두류에서는 upper threshold value인 5,000 이상의 photon count를 보여 radiation positive한 시료로 판단할 수 있었다. 이상과 같이 3종의 두류에 대한 PSL 측정 결과에서 볼 때 비조사군과 0.5 kGy 이상 조사군 간에는 분명한 판별이 가능하였고 원산지별 차이는 없었다. 그리고 감마선 조사시료의 photon count는 조사선량과 반드시 유의적으로 증가하는 것은 아니었으며, 이 같은 경향은 Sanderson 등(11)의 보고와 일치하였다. 이는 측정시료의 미네랄 함량과 조성의 차이에서 비롯되었다고 볼 수 있으며(6,11,12), 이와 관련하여 이 등(13)은 시료 자체보다는 분리된 미네랄을 측정시료로 사용하였을 시 시료의 함량과 조사선량에 따라 photon count의 변화가 보다 유의적이어서 높은 상관성을 보였다고 보고하였다.

### 마늘

마늘의 감마선 조사 여부 검지를 위한 PSL 방법의 적용가능성을 검토하였다. 비조사 시료에서는 256 photon count를 나타내어 positive한 것으로 확인되었으며, 0.05 kGy 이상의 조사시료에서는 모두 8,000 이상의 photon count를 나타내면서 positive(>5,000 photon counts)한 결과로 나타났다. 마늘의 경우에도 두류에서와 같이 조사선량과 photon count의 변화는 완전히 의존적이지는 않았으며, 전체적으로 매우 낮은 조사선량임에도 불구하고

하고 비조사군과 조사군의 판별은 PSL 측정에 의해 가능한 것으로 나타났다.

이상의 결과를 종합해 볼 때, 시료 농산물의 PSL 검지 특성은 원산지 별로 거의 차이가 없이 녹두를 제외한 두류와 마늘에서 적용가능성이 매우 높음을 알 수 있었다. 특히 본 PSL 실험에 사용된 일부 시료는 구입 및 전처리 시 빛에 일부 노출되었음에도 불구하고 조사여부의 검지가 가능하였다. 따라서 향후 국내에 대량으로 수입되는 농산물과 식품류의 방사선 조사 여부를 신속하게 screening할 수 있는 방법으로 이용 가능성이 확인되었다. 그러나 PSL 측정의 신뢰도 향상과 적용범위를 넓히기 위해서는 포획 여기전자의 포화를 가져오는 한계선량의 설정과 미네랄 양의 관계, 그리고 측정시료의 채취부위 등에 대한 보완 실험이 필요하며(14), 이는 다수의 미지시료에 대한 보다 신속하고도 정확한 검지를 위한 다중검지체계의 확립에도 중요한 기반이 될 것이다(13,15).

## 요 약

방사선 처리의 가능성이 높은 농산물로서 곡류(현미, 메밀)와 두류(대두, 땅콩, 적두, 녹두)는 국산과 중국산을, 마늘은 국산을 대상으로 하여 곡류와 두류는 0.5~4 kGy, 마늘은 0.05~0.5 kGy 범위의 감마선을 각각 조사하고 조사여부의 검지를 위한 광자극 발광 특성(PSL)을 검토하였다. 곡류와 녹두의 PSL 값은 대체로 비조사군 (< 700 photon counts, negative)과 조사군(> 5,000 counts, positive)의 중간 값을 보여 PSL 검지법의 적용이 불가능한 것으로 나타났다. 그러나 대두, 땅콩, 적두 및 마늘은 비조사군은 700 counts 이하, 감마선 조사군은 5,000 이상의 photon count를 나타내어 조사여부의 검지에 광자극 발광분석의 적용이 가능하였다. 본 실험에 사용된 곡류와 두류의 감마선 조사에 따른 광자극 발광 특성은 원산지 별로 차이가 없었다.

## 감사의 글

본 연구는 농림기술개발사업의 일환으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. IAEA (2000) Clearance of Item by Country. IAEA, Vienna, Austria
2. 권중호, 정형욱 (1998) Food irradiation의 과학적 근거와 연구과제. 식품과학과 산업, 31(2), 31-49
3. Delince, H. (1998) Detection of food treated with ionizing radiation. *Trends in Food Science & Technology*, 9, 73-82
4. 권중호, 정형욱, 권용정 (2000) 방사선 조사식품의 교역증진을 위한 검역관리 인프라 구축. 한국농산물 저장유통학회 제17차 학술대회 심포지움 논문 및 발표초록집, p.209-254
5. 한국식품공업협회 (1993) 영국, 방사선 조사된 식품을 검출해내는 방법 승인. 식품위생정보, 24, 12
6. Sanderson, D.C.W., Carmichael, L.A., Ni Riain, S., Naylor, J.D. and Spencer, J.Q. (1994) Luminescence studies to identify irradiated food. *Food Science and Technology Today*, 8, 93-96
7. Mckelvey-Martin, V.J., Green, M.H.L., Schmezer, P., Pool-Zobel, B.L., De Meo, M. and Collins, A. (1993) The single cell electrophoresis assay (Comet assay). *A European review. Mutation Research*, 288, 47-63
8. Fairbairn, D.W. Olive P.L. and O'Neill, K.L. (1995) The Comet assay. A comprehensive review. *Mutation Research*, 339, 37-59
9. Sanderson, D.C.W. (1991) Photostimulated luminescence (PSL): new approach to identifying irradiated foods. In *Potential New Methods of Detection of Irradiated Food*, Raffi, J.J. and Belliardo, J.J. (eds.), Commission of the European Communities, Brussels, Luxembourg, p.159-167
10. 황금택, 엄태봉, Wagner, U., Schreiber, G.A. (1998) 광자극발광기의 방사선 조사 식품 검지에의 활용. 한국식품과학회지, 30, 498-501
11. Sanderson D.C.W., Carmichael, L.A. and Fisk, S. (1998) Establishing luminescence methods to detect irradiated foods. *Food Science and Technology Today*, 12, 97-102
12. Schreiber, G.A. (1996) Thermoluminescence and photostimulated luminescence techniques to identify

- irradiated foods. In *Detection Methods for Irradiated Foods*, McMurray, C.H., Stewart, E.M., Gray, R. and Pearce, J. (Editor), The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, p.121
13. 이상덕, 우시호, 양재승 (2001) 방사선 조사된 수입 참깨, 들깨의 광여기 발광. *한국식품과학회지*, **33**, 173-177
14. Yi, S.D., Woo, S.H. and Yang, J.S. (2000) The use of photostimulated luminescence (PPSL) and thermoluminescence (TL) for the detection of irradiated perilla and sesame seeds. *J. Food Sci. Nutr.*, **5**, 142-147
15. 정형욱, Henry Delincee, 권중호 (2000) 방사선 조사 백삼분말의 PSL-TL 다중검지법. *한국식품과학회*, **32**, 265-270

---

(접수 2001년 4월 20일)