

## 열발광, 전자스핀공명 및 DNA Comet 분석에 의한 대두의 방사선 조사 여부 검지 특성

이은영 · 정재영 · 노정은 · 조덕조 · 권중호\*  
경북대학교 식품공학과

### Detection Characteristics of TL, ESR and DNA Comet for Irradiated Soybeans

Eunyoung Lee, Jaeyoung Jeong, Jungeun Noh, Deokjo Jo and Joong-Ho Kwon\*  
Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University

The detection characteristics of gamma-irradiated (0~4 kGy) soybeans produced in Korea and China were investigated by thermoluminescence (TL), electron spin resonance (ESR), and DNA comet assay. The TL glow curves were shown at around 200°C for irradiated soybeans, while that at 280°C for the non-irradiated one. The normalization with a re-irradiation step at 1 kGy could verify the above detection results. The Korean soybean showed higher glow curves than Chinese did. The ESR spectroscopy for husks of irradiated soybeans revealed specific signals ( $g = 2.02374, 1.98715$ ) derived from cellulose radical, which intensities were proportional to irradiation doses, with the higher peaks in Chinese sample than Korean one. The DNA comet for the non-irradiated sample showed no or little tails, while those for irradiated samples above 0.5 kGy were remarkably changed in their length, size, and concentration, thus resulting in distinguishing non-irradiated from irradiated samples. As a result, TL, ESR, and DNA comet determinations were found suitable for the detection of irradiated soybean at 0.5 kGy or more, and negligible differences were observed between Korean and Chinese origins in their detection characteristics.

**Key words:** soybean, origin, thermoluminescence, electron spin resonance, DNA comet

### 서 론

최근 방사선 조사는 식품 저장 및 가공 기술로 인정되고 있으며, 특히 살충·살균용 화학훈증제의 대체방안의 하나로 인식되고 있다. 방사선 조사식품에 대한 소비자의 가장 큰 관심사는 안전성이라고 할 수 있으며, 이에 대하여 아직도 많은 소비자들은 정확한 정보를 얻지 못하여 의구심을 나타 내기도 한다. 식품에 대한 방사선 조사는 원자력을 이용한다는 특수성 때문에 그 안전성과 기술적 타당성이 관련 국제 기구와 선진국의 주도로 연구된 바 있다. 그 결과 조사식품의 안전성이 FAO/IAEA/WHO 등에 의해 공식 인정되었고<sup>(1)</sup>, Codex 규격<sup>(2)</sup>도 마련되어 기술적 타당성을 뒷받침하고 있다. 그럼에도 불구하고 방사선 조사식품의 실용화에는 많은 기간이 소요되고 있다. 현재 50여 개국에서 식품의 방사선 조

사를 허가 하고 있으며, 우리나라를 포함한 약 40개국에서는 상업적으로 조사식품을 생산하고 있다<sup>(3)</sup>.

지금까지 각 국은 자국의 실정을 고려하여 방사선 조사식품의 허용 기준과 표시 방법을 규정하고 있으며, 소비자들은 새로운 기술의 도입에 대하여 매우 보수적인 자세를 보이면서 조사식품의 유통 및 안전관리에 많은 관심을 보여주고 있다<sup>(4)</sup>. 최근 농산물 시장의 개방화에 따라 수입농산물의 양이 크게 증가하고 있으며, 특히 콩은 우리의 전통 작물의 하나이지만 최근에는 90% 이상을 수입에 의존하고 있는 실정에 있다<sup>(5)</sup>. 두류는 수확 후 저장 유통과정에서 해충 발생이 빈번한 농산물이므로 교역 중에는 해충의 방제를 위한 여러 가지 방법들이 요구될 것으로 예상된다<sup>(6)</sup>. 따라서 국가 간 식량교역에서는 방사선 조사기술의 이용가능성이 매우 높으며, 이에 따라 1 kGy 이상의 방사선 조사가 허가된 대두의 수입식품의 통제와 안전관리를 위해서는 검지기술의 실용화가 요구된다<sup>(3,7)</sup>.

방사선 조사에 의해서 피조사체 식품에서 발생될 수 있는 변화는 대개 유리기(free radical)의 생성, 혼입된 mineral의 열 발광(thermoluminescence, TL) 특성, DNA 이중체의 파괴와 염기의 변화, 지방질 유래의 hydrocarbon과 2-alkylcyclobu-

\*Corresponding author : Joong-Ho Kwon, Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea  
Tel: 82-53-950-5775  
Fax: 82-53-950-6772  
E-mail: jhkwon@knu.ac.kr

tanone의 생성 등이 알려지고 있으며<sup>(8)</sup>, 이들 중 일부 방법들은 실제적 활용이 기대되고 있다<sup>(9)</sup>. 지금까지 대두의 검지 연구로는 hydrocarbon류 분석<sup>(10,11)</sup>, DNA single cell gel electrophoresis(comet assay)<sup>(12)</sup> 등이 보고되고 있으나 보다 다양하고 체계적인 연구가 요망되고 있다.

이와 같은 배경에서 본 연구에서는 교역량이 크게 증가하고 있는 중국산 농산물 중 대두를 선택하여 방사선 조사시 국산 및 중국산 대두에서 나타나는 열발광, 전자스핀공명(electron spin resonance, ESR) 및 DNA comet의 특성을 비교 분석하여 수입관리에 필요한 다중검지기술을 확보하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

본 실험에 사용된 대두는 원산지별로 구분하여 국산 대두는 1999년 경북 상주에서 수확된 것을, 중국산 대두는 전문 수입상으로부터 구입하여 실험에 사용하였으며, 시료 대두의 subspecies의 동일 여부는 확인되지 않았다.

### 방사선 조사

시료의 방사선 조사는 실온에서 <sup>60</sup>Co 감마선 조사시설(100 kCi IR-79, Nordion International Inc., Ontario, Canada)을 이용하여 대두에 대한 적용 선량을 고려하여 시간 당 일정한 선량률로 0.5~4.0 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 이때 흡수선량의 확인은 ceric-cerous dosimeter를 사용하였으며(±5% 이내), 조사된 시료는 비조사 대조시료와 함께 실온에 보관하면서 실험에 사용하였다.

### Thermoluminescence(TL) 분석 및 normalization

방사선 조사 시료의 열발광 분석은 European Standards 방법<sup>(13)</sup>에 준하여 원료 시료 1.5 kg에 증류수를 일정량(1.5배, v/v)을 가하여 현탁액을 만든 다음 초음파세척기(Branson 3210, Danbury, CT, USA)에서 10분간 처리하고 여과 세척한 후 정지하여 잔사를 모았다. 여기에 high density liquid인 sodium polytungstate(density 2.0 g/cm<sup>3</sup>)를 첨가하여 유기물을 제거한 뒤 mineral을 분리하였다. 회수된 mineral을 탈이온수로 다시 세척한 후 acetone으로 건조시켜 aluminium disc(Φ6 mm)에 담아 50°C에서 하룻밤 예열한 후 silicone으로 고정시키고 TLD system(Harshaw TLD-4200, Germany)을 이용하여 초고순도(99.99%) N<sub>2</sub> gas를 흘려 보내면서 측정하였다. 이때 초기온도는 50°C로 하여 5초간 예열하고 최고온도는 400°C, 가온율은 5°C/sec의 조건으로 70초의 acquisition time을 가졌고, 측정 후 시료의 TL 특성을 완전히 제거하기 위하여 5초간의 annealing time을 설정하였다. 이렇게 측정된 glow curve의 150~250°C 범위의 면적을 적분하여 TL intensity(1st glow, TL<sub>1</sub>)로 구하였다. 이상의 TL<sub>1</sub>을 정상화(normalization)<sup>(13)</sup>하기 위하여 측정된 mineral을 재조사(re-irradiation, 1 kGy)하여 TL<sub>1</sub>과 동일한 조건으로 intensity를 구하고 2nd glow(TL<sub>2</sub>) 값을 구하였다. 이때 TL<sub>1</sub>/TL<sub>2</sub>의 비(TL ratio)를 구하여 방사선 조사 여부를 결정하는 threshold value로 활용하였으며, 그 값이 0.05 이하일 경우에는 방사선 조사되지 않은 것으로, 0.20 이상이면 조사된 것으로 판단하였다<sup>(14,15)</sup>.

### Electron spin resonance(ESR) 분석

ESR 분석에 사용된 대두 시료는 예비실험을 통하여 수분이 가장 적은 껍질 부분을 박피하여 50°C dry oven에서 건조하고 20 mesh로 분쇄하여 분말을 시료로 사용하였다. 이때 측정 시료의 수분함량은 국산 2.12%, 중국산 4.13%이었다. ESR 측정<sup>(16,17)</sup>은 정선된 분말 시료 일정량(0.4 g)을 ESR pyrex tube에 충전하고 ESR spectrometer(JES-TE300, JEOL Co., Japan)를 이용하여 free radical 농도를 측정하였다. 분석 조건은 microwave frequency 9.18 GHz, magnetic center field 347±0.5 mT, microwave power 0.4 mW, modulation frequency 100 kHz, sweep width 30 mT, time constant 0.03 sec, sweep time 0.5 min으로 각각 설정하였다. 이때 방사선 조사 유래의 free radical peak를 확인하고 signal intensity(peak to peak)를 측정하였다.

### DNA comet assay

대두 시료의 comet assay는 single cell gel electrophoresis<sup>(18,19)</sup>에 따라 precoated slide를 준비하고 시료 현탁액을 제조한 다음 젤의 주조, 세포의 파괴(lysis buffer: 45 mM tris-borate, 1 mM EDTA, pH 8.4 containing 2.5% SDS), 전기영동(neutral), 형광염색(ethidium bromide) 등의 과정을 거쳐 595 nm emission filter가 장착된 laser scanning confocal imaging system(MRC-1000, Biorad, USA)를 이용하여 100배 배율로 관찰하였다. 관찰된 DNA tail migration은 연결된 laser software를 이용하여 핵체 중앙에서 tail 끝까지의 길이를 tail length로 측정하였다. 각 선량 당 2개의 slide를 준비하여 slide 당 50개의 DNA(n = 100)를 선택하여 tail의 길이를 측정하였다.

### 결과 분석

TL 및 ESR 측정은 시료 당 3회 반복 실시하여 평균값으로 나타내었고, DNA comet assay는 100개 comet의 tail length를 측정하였다. 측정 결과는 Origin<sup>(20)</sup>에 의해 분석하였고 SAS에 의한 분산분석과 Duncan의 다중검정으로 통계적 유의성을 검정하였다(p<0.01)<sup>(21)</sup>.

## 결과 및 고찰

### TL 특성

방사선 조사시료의 TL 분석을 위하여 1.5 kg의 대두를 사용하여 mineral을 추출한 다음 TL을 측정한 결과, Fig. 1과 같이 peak가 나타나는 온도 범위와 peak intensity의 차이가 비조사구와 조사구간(0.5~4 kGy)에 분명하게 나타났다. 본 연구에서 최저 선량인 0.5 kGy 이상의 방사선 조사 시료에서는 방사선 조사 유래의 특이한 peak가 200°C 전후에서 나타났다. 이 peak는 조사선량의 증가에 따라 intensity가 급격히 증가하였으며, 비조사 시료에서는 280°C 전후에서 매우 낮은 peak가 나타났다. 국산 및 중국산 대두의 방사선 조사선량과 TL response와의 상관관계를 R<sup>2</sup>로 나타내 본 결과, 각각 0.9382와 0.9839로 높은 정(+)의 상관관계를 보여 주었다.

원산지별 대두의 TL signal intensity를 비교하였을 때 대조 시료에서는 유의적인 차이가 없었으나 조사구에서는 유의적(p<0.01)인 차이를 보이면서 국산이 중국산 보다 높은 intensity

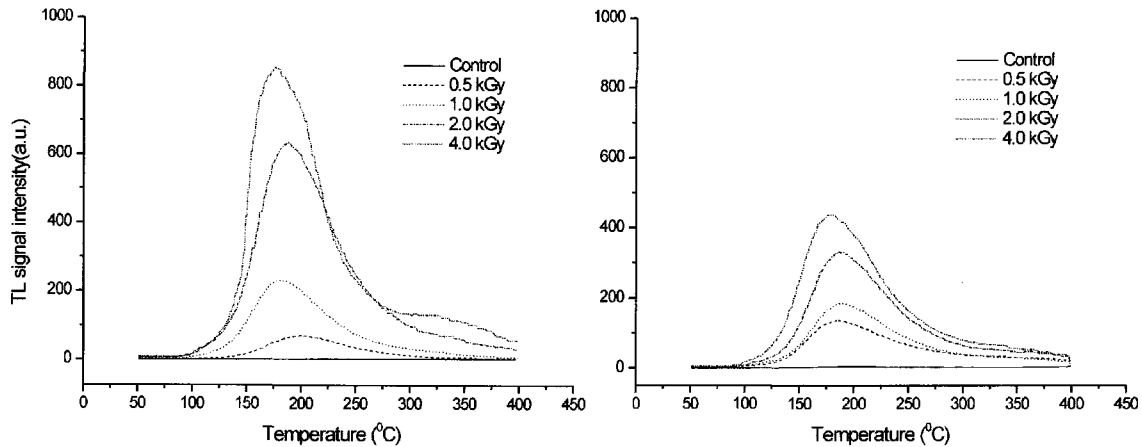


Fig. 1. Thermoluminescence glow curves of minerals separated from soybeans produced in Korea (left) and China (right)

Table 1. Thermoluminescence ratio (integrated  $TL_1$ /intergrated  $TL_2$ ) of minerals separated from irradiated soybeans with different origins

Origin	Irradiation dose (kGy)				
	0	0.5	1.0	2.0	4.0
Korean	0.005±0.002 <sup>df</sup>	0.670±0.060 <sup>cd</sup>	0.750±0.082 <sup>cd</sup>	1.390±0.096 <sup>bc</sup>	2.170±0.140 <sup>aa</sup>
Chinese	0.020±0.008 <sup>df</sup>	0.320±0.045 <sup>ce</sup>	0.700±0.063 <sup>bd</sup>	0.830±0.091 <sup>bd</sup>	1.570±0.164 <sup>ab</sup>

<sup>A-F</sup>Means with the same superscripts in column are not significantly different ( $p < 0.01$ )

<sup>a-d</sup>Means with the same superscripts in each row are not significantly different ( $p < 0.01$ )

를 나타내었다. 이는 시료 자체에 혼입되어 있는 mineral의 조성에 따른 차이라고 생각된다<sup>(22,24)</sup>. 농지의 토양이나 표토에서 확인되는 열발광 mineral로서는 장석(feldspar), 석영(quartz), 석회암(limestone) 등이 알려져 있으며, 장석과 석회암의 TL signal은 매우 강해서 소량이 존재하더라도 다른 mineral들의 TL signal들을 덮어버리는 경향이 있는 것으로 알려지고 있다<sup>(22,23)</sup>. Autio와 Pinnioja<sup>(24)</sup>는 석영에 대한 장석의 조성비가 높을수록 더 높은 TL signal이 나타난다고 보고한 바 있다. 그러나 mineral 시료의 열발광 특성은 방사선 조사에 대하여 매우 특이(unique)하게 나타나므로 대두의 조사 여부에 검지가 가능한 것으로 확인되었다.

또한 시료로부터 추출된 mineral을 사용하여 측정된 glow curve( $TL_1$ )의 normalization을 위하여 측정된 시료를 재조사(1.0 kGy)하여 2차 glow curve( $TL_2$ )를 얻고 그 결과를 이용하여 TL ratio(integrated  $TL_1$ /intergrated  $TL_2$ )를 구하였을 때 (Table 1) 비조사구는 0.02 이하, 0.5 kGy 이상 조사구에서는 0.320 이상의 TL ratio를 보여주었다. Chung<sup>(14)</sup>은 TL ratio가 0.05보다 작은 경우는 방사선이 조사되지 않은 시료로, 0.20보다 큰 경우는 방사선이 조사된 것으로 threshold value를 설정하였다고 하였으며, 이는 본 결과에서도 잘 적용되었다. 원산지 별 TL ratio의 비교에서는 비조사구의 경우 국내산이 중국산 보다 현저히 낮은 TL ratio를 보였으나, 조사구에서는 전반적으로 중국산이 더 낮은 값을 보여 주어 시료에 혼입된 무기질의 조성 등이 발광특성에 영향을 미친 것으로 생각된다. Khan과 Delince<sup>(25)</sup>는 방사선 조사된 향신료, 과일 및 채소의 TL 검지 연구에서 재조사 방법에 의한 normalization은 검지결과의 신뢰성을 더욱 높였다고 보고하여 방사선 조사 대두에 대한 연구결과를 잘 뒷받침해 주었다.

## ESR 특성

원산지별 대두에 0.5~4 kGy의 감마선을 조사하여 ESR spectra를 측정된 결과는 Fig. 2~4와 같다. 국산 및 중국산 시료 모두, 비조사구에서는 대칭적인 unspecific central ESR signal을 보여주었으나, 0.5 kGy 이상 조사구에서는 비조사구에서 나타나는 대칭적인 unspecific central ESR signal과 함께 뚜렷한 형태의 triplet이 측정되었다. 이 ESR resonance triplet의 간격은 6.0 mT이었으며, 이 signal은 Goodman 등<sup>(26)</sup>과 Kwon 등<sup>(27)</sup>의 보고에서와 같이 cellulose radical에 의해 생성되는 ESR signal로 사료된다. 그리고 Fig. 3에서 관찰된 signal에서와 같이 unspecific central ESR signal의 경우 peak의 g-value는 2.00329로 나타났고, cellulose radical에 의해서 생성되는 peak의 경우 왼쪽(at lower field)과 오른쪽(at higher field)의 g-value는 각각 2.02374와 1.98715로 관찰되었다<sup>(28,29)</sup>.

ESR signal intensity를 비교해 볼 때 1.0 kGy 이상 조사 시료에서는 특이적인 cellulose radical 유래의 peak가 관찰되었다. Signal intensity는 Fig. 4와 같이 조사선량이 증가함에 따라 직선적인 상관을 보여 주면서 검지가 가능함을 보여주었고, 예측 모델식을 적용하여 조사선량(X)과 signal intensity(Y) 간의 상관관계를 확인하였다. 그리고 cellulose radical 유래의 signal intensity는 국산에 비해서 중국산이 선량의 증가와 더불어 높게 나타났는데, 이는 시료의 수분함량(국산 2.12%, 중국산 4.13%) 차이와 기타 radical 생성에 영향을 주는 인자들에 기인된 것으로 추측된다<sup>(30)</sup>.

## DNA Comet 특성

DNA는 방사선 조사선량에 따라 손상정도가 달라지므로 comet의 tail length와 넓이, head와의 분리정도, 농도 등을 분

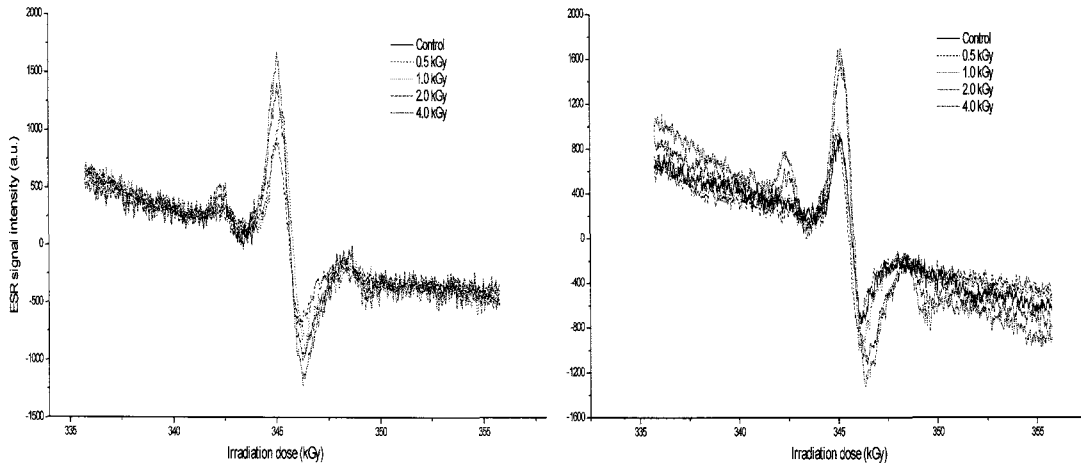


Fig. 2. ESR spectra of irradiated soybeans by increasing doses (left: Korean, right: Chinese)

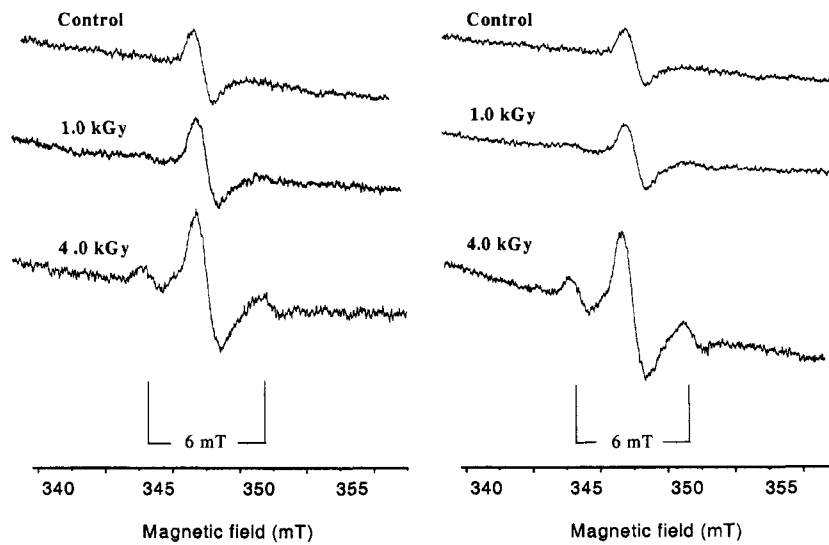


Fig. 3. Typical ESR spectra of irradiated soybeans of Korean (left) and Chinese (right) origins

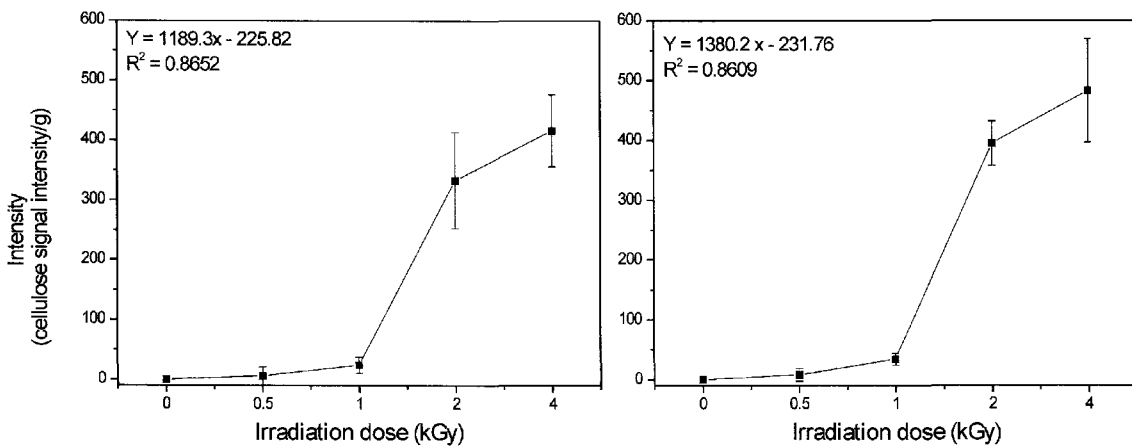


Fig. 4. Changes in ESR cellulose signal intensity and mathematical fits for irradiation dose (X) and ESR response (Y) of irradiated soybeans with different origins (left: Korean, right: Chinese)

석함으로써 조사 여부를 판별할 수 있다<sup>(18)</sup>. 본 실험에서는 DNA comet의 tail length를 측정하여 대두의 방사선 조사 여부를 검토하였다. 대두의 DNA comet은 전반적으로 조사선

량이 증가할수록 tail 길이가 길어져 조사 시료는 비조사 시료와 구별이 용이하였다. 국산 대두의 비조사구에서는 전형적인 intact cell이 관찰된 반면, 중국산 대두에서는 비조사구

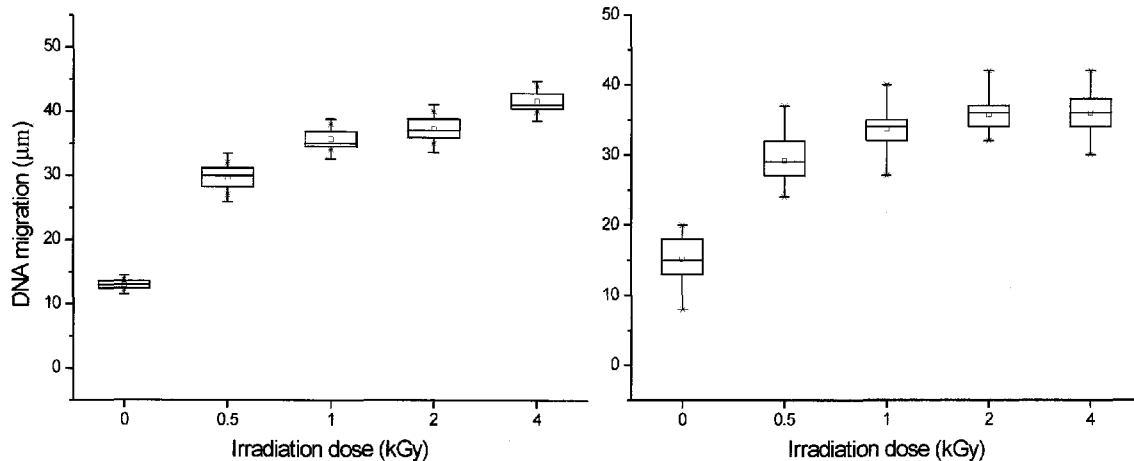


Fig. 5. Dose vs. tail length ( $\mu\text{m}$ ) of the comet from 50 nuclei of soybeans irradiated at different doses

Values shown are mean ( $\cdot$ ), max and min value (\*), standard deviation (bar) and standard error (boxes) (left: Korean, right: Chinese)

에서도 약간의 comet tailing이 관찰되었다. 이는 생체의 DNA는 저장 조건이나 외부적인 충격 등에 의해서도 DNA의 손상 우려가 있다는 보고<sup>(31)</sup>와 관련이 있는 것으로 사료되었다. 그러나 현미경 상(X 100)에서 comet의 tail length를 분석한 결과, 비조사 시료에 비하여 4 kGy 조사구에서는 comet tail 길이, 크기 및 농도의 변화가 크게 나타나면서 comet이 끊어지는 현상도 나타났다. 조사선량에 따른 comet의 변화를 측정해 본 결과, 국산 및 중국산 시료 모두 선량이 증가함에 따라 tail length의 길이가 증가하였으며(Fig. 5), 이 같은 경향은 Oh 등<sup>(12)</sup>의 보고와 일치하였다. 본 실험에서 국산 및 중국산 대두에서 0.5 kGy 조사된 시료에서도 gel 상에서 DNA 절편의 이동에 의해 형성된 comet의 tail length가 비조사 시료와 현저하게 차이를 보였으므로 대두의 조사 여부 screening을 위해서는 DNA comet assay의 적용이 가능한 것으로 확인되었다. 그렇지만 DNA의 손상은 저장조건, 열처리 등 여러 가지 물리화학적 조건에서도 일어날 수 있으므로<sup>(31)</sup> 방사선 조사식품의 보다 정확한 검지를 위해서는 comet assay에 의한 1차 screening과 TL, ESR 또는 hydrocarbon<sup>(10,11)</sup> 분석에 의한 다중검지가 필요한 것으로 나타났다.

## 요 약

방사선 조사된 대두의 검지방범을 연구하기 위하여 국산 및 중국산 대두에 대하여 0.5~4.0 kGy의 감마선을 조사하고 열발광(TL), 전자스핀공명(ESR) 및 DNA comet 특성을 비교 검토하였다. TL 측정에서 비조사구는 280°C 부근에서 매우 낮은 glow curve를 나타내었고, 감마선 조사구는 200°C 부근에서 조사선량에 의존적인 glow curve를 나타내었다. 재조사(re-irradiation) 방법에 의한 TL ratio(TL<sub>1</sub>/TL<sub>2</sub>)의 비교는 TL 측정 결과의 정확도를 높여 주었다. 원산지별 TL 특성 비교에서 국산은 중국산에 비해 높은 TL intensity를 나타내었다(p<0.01). 대두 껍질을 사용한 ESR 측정에서는 조사시료에서 cellulose radical 유래의 특이한 signal(g = 2.02374, 1.98715)을 보여주었고 중국산 시료의 ESR signal이 더 높게 나타났다. 비조사 대두의 DNA comet은 tail이 없거나 아주 짧은 tail을

가진 전형적인 intact cell을 나타내었다. 그러나 0.5 kGy 이상의 감마선 조사 시료에서는 조사선량에 의존적으로 comet의 tail length 증가와 더불어 comet의 크기 및 농도의 변화가 일어났다. 이상의 결과에서 TL, ESR 및 DNA comet의 분석은 대두의 방사선 조사 여부 확인을 가능하게 하였으며, 원산지별 검지특성의 차이는 거의 없었다.

## 문 헌

1. WHO Wholesomeness of Irradiated Food (Report of a joint FAO/IAEA/WHO expert committee), Technical Report Series-659, 7-34 (1981)
2. Codex Alimentarius Commission, Codex General Standard for Irradiated Foods and Recommended International Code of Practice for the Operation of Radiation Facilities Used for the Treatment of Foods. CAC/VOL, XV, FAO, Rome (1984)
3. IAEA homepage. www.iaea.org/icgfi (2001)
4. Kwon, J.H. Import control of irradiated food. Food Industry 159(1): 61-87 (2001)
5. Korea Agricultural Trade Information homepage. www.kati.co.kr (2001)
6. Kwon, Y.J., Huh, E.Y., Kwon, J.H. and Byun, M.W. Quarantine status of agricultural products for export and application prospects of irradiation technology. Food Sci. Ind. 32(2): 80-90 (1999)
7. Kwon, J.H., Chung, H.W. and Kwon, Y.J. Infrastructure of quarantine procedures for promoting the trade of irradiated foods. Paper presented at Symposium of The Korean Society of Postharvest Science and Technology of Agricultural Products on Irradiation Technology for the Safety of Food and Public Health Industries and Quality Assurance. Daejeon, 13 October, pp. 209-254 (2000)
8. IAEA Analytical detection methods for irradiated foods. A review of current literature. IAEA-TECDOC-587, pp. 1-172 (1991)
9. Delincé, H. Detection of food treated with ionizing radiation. Trends in Food Sci. Tech. 9: 73-82 (1998)
10. Hwang, K.T., Park, J.Y. and Kwon, Y.J. Hydrocarbons detected in irradiated soybeans. Korean J. Food Sci. Technol. 30(3): 517-522 (1998)
11. Lee, E.Y., Kim, M.O., Lee, H.J., Kim, K.S. and Kwon, J.H. Detection characteristics of hydrocarbons from irradiated legumes of Korean and Chinese origins. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 30(5): 770-776 (2001)
12. Oh, K.N., Kim, K.E. and Yang, J.S. Detection of irradiated beans

- using the DNA comet assay. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 29: 843-848 (2000)
13. European Committee for Standard. Detection of irradiated food from which silicate minerals can be isolated. Method by thermoluminescence. English version of DIN EN 1788 (1997)
  14. Chung, H.W. Characterization of irradiated foods by thermoluminescence and electron spin resonance measurements for their identification. Ph.D. thesis, Kyungpook National Univ., Daegu, Korea (2000)
  15. Schreiber, G.A., Hoffmann, A., Helle, N. and Bögl, K.W. An interlaboratory trial on the identification of irradiated spices, herbs, and spice-herb mixtures by thermoluminescence analysis. JAOAC Intl. 78: 88-93 (1995)
  16. Desrosiers, M.F. and McLaughlin, W.L. Examination of gamma-irradiated fruits and vegetables by electron spin resonance spectroscopy. Radiat. Phys. Chem. 34: 895-898 (1989)
  17. Stewart, E.M., Stevenson, M.H. and Gray, R. Use of ESR spectroscopy for the detection of irradiated *Crustacea*. J. Sci. Food Agric. 65: 191-197 (1994)
  18. Mckelvey-Martin, V.J., Green, M.H.L., Schmezer, P., Pool-Zobel, B.L., De Méo, M. and Collins, A. The single cell electrophoresis assay (comet assay): A European review. Mutat. Res. 288: 47-63 (1993)
  19. Cerda, H., Delincée, H., Haine, H. and Rupp, H. The DNA "Comet assay" as a rapid screening technique to control irradiated food. Mutat. Res. 375: 167-181 (1997)
  20. Origin. Origin tutorial manual, version 6.0, Microcal Software, Inc., pp. 20-45, Northampton, MA (1999)
  21. SAS, SAS users guide. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA (1986)
  22. Kwon, J.H., Jeong, J., Chung, H.W. and Byun, M.W. Thermoluminescence characteristics of minerals from irradiated potatoes of different origin of production. Paper presented at 11th International Meeting on Radiation Processing. Avignon, France, 25-30 March (2001)
  23. Schreiber, G.A., Ziegelmann, B., Quitzsch, G., Helle, N. and Bögl, K.W. Luminescence techniques to identify the treatment of foods by ionizing irradiation. Food Structure 12: 385-396 (1993)
  24. Autio, T. and Pinnioja, S. Identification of irradiated foods the thermoluminescence of mineral contamination. Z. Sebenschm. Unters. Forsch. 191: 177-180 (1990)
  25. Khan, J.M. and Delincée, H. Detection of radiation treatment of spices and herbs of asian origin using thermoluminescence of mineral contaminants. Appl. Radiat. Isot. 46(10): 1071-1075 (1995)
  26. Goodman, B.A., McPhail, D.B. and Duthie, D.M.L. Electron spin resonance spectroscopy of some irradiated food stuffs. J. Sci. Food Agric. 47: 101-111 (1989)
  27. Kwon, J.H., Chung, H.W. and Byun, M.W. ESR spectroscopy for detecting gamma-irradiated dried vegetables and estimating absorbed doses. Radiat. Phys. Chem. 57: 319-324 (2000)
  28. Edgar, F.O. de Jesus, Rossi, A.M. and Lopes, R.T. An ESR study on identification of gamma-irradiated kiwi, papaya and tomato using fruit pulp. Intl. J. Food Sci. Technol. 34: 173-178 (1999)
  29. Jacques, J.R. and Lean-Pierre, L.A. Electron spin resonance identification of irradiated fruits. Radiat. Phys. Chem. 34(6): 891-894 (1989)
  30. Lee, E., Jung, J., Chung, H.W. and Kwon, J.H. Effect of water activity on free radical concentration in detection of irradiated food by ESR spectroscopy. Paper presented at the 64th annual meeting of the Korean Society of Food Science and Technology, Daegu, May 22 (2000)
  31. Koppen, G. and Cerda, H. Identification of low-dose irradiated seeds using the neutral comet assay. Food Sci. Technol. 30: 452-457 (1997)

---

(2001년 10월 5일 접수)