

## Thermoluminescence, DNA Comet 및 DEFT/APC 분석에 의한 방사선처리 건고추의 저장 중 검지 특성

김병근 · 권중호\*  
경북대학교 식품공학과

### Identification Characteristics of Irradiated Dried Red Pepper during Storage by Analysis of Thermoluminescence, DNA Comet, and DEFT/APC

Byeong-Keun Kim and Joong-Ho Kwon\*

Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University

Minerals separated from irradiated dried red pepper (whole) at 2.5 kGy or higher showed typical thermoluminescence (TL) glow curves (TL<sub>1</sub>) at around 150°C, which increased with irradiation dose. The TL ratio (TL<sub>1</sub>/TL<sub>2</sub>) through re-irradiation step at 1 kGy enhanced reliability of TL identification results. DNA comet assay indicated that the intact cell was observed in non-irradiated pepper (seed), while some long tails were found in irradiated ones, showing relationship between irradiation dose and tail length. Log DEFT/APC values increased in proportion to irradiation doses in powdered and whole peppers. Based on overall results, irradiated dried red peppers could be screened using DNA comet assay or log DEFT/APC, and moreover the identification results were verified by TL analysis.

**Key words:** red pepper, irradiation, thermoluminescence, DNA comet assay, DEFT/APC

### 서 론

식품의 방사선 조사기술은 그 안전성과 기술적 타당성이 국제기구(FAO/IAEA/WHO)에 의해 공식적으로 인정되어 연구개발과 이용이 권장되고 있다. 즉, Codex 식품규격위원회에서는 방사선 조사 식품 및 처리 시설에 대한 Codex규격 및 운영 규정을 채택하여 각 국에 활용을 권장하고 있다(1,2). 현재 세계적으로 방사선 조사가 허가된 식품류는 230여 종으로 대부분의 식품이 포함되어 있다(3). 이들 중 상업적인 규모로 방사선 처리되고 있는 식품류는 대부분 향신료, 곡류, 건조 식품류, 육류, 과일류, 채소류 등이고, 이 중 향신료와 조미료를 포함한 건조 식품류의 허가 및 실용화가 가장 활발하다(4).

우리나라의 대표적 향신료인 고추의 경우에는 대부분이 건조 보관되어 소비되고 있다. 생산량은 2000년과 2001년에 5% 수준으로 증가율을 보였지만, 농산물 시장의 개방으로 교역량의 증가와 더불어 건고추의 수입량은 수출량에 비해 증가하는 추세이다(5). 건고추는 저장 중 충해가 발생되며, 교역상품에서

의 해충 발생은 검역관리 측면에서 큰 문제점으로 지적되고 있다(6,7). 따라서 해충 발생을 방지하기 위해서는 화학훈증제의 사용이 일반적인 방법이었으나 안전성 및 환경공해 측면에서 새로운 대안의 연구개발이 국제적으로 요구되고 있다(6). 전리 방사선은 특유한 생물학적 작용으로 해충 및 미생물을 사멸시킬 수 있으며(2,7), 현재 여러 종류의 식품 및 식품 원료에 적용이 허가되어 있다(8).

우리나라의 주요 건고추 수출국인 중국은 상업용 방사선 조사시설을 갖추고 있으므로 일부 농산물에 대하여 방사선 처리를 시행하는 것으로 알려진다(4,8). 따라서 교역국 간의 관리 및 품질 규정을 바탕으로 한 안전관리와 특히 수입 후 방사선 재조사(re-irradiation)를 사전에 방지하기 위해서는 방사선 처리 식품의 효과적인 확인기술(identification methods)의 확보가 시급히 요구되고 있다(4,7,9).

방사선 조사식품의 확인/검지 기술은 크게 물리적 방법, 생물학적 방법, 화학적 방법(9)으로 구분할 수 있으며, 현재 실용 가능성이 확인되고 있는 방법으로는 혼입 미네랄의 열발광 특성을 이용한 thermoluminescence(TL) 분석(9-11), 미네랄에 대한 광자극 원리를 이용한 photostimulated luminescence(PSL) 분석(12,13), free radical 농도를 측정하는 electron spin resonance(ESR) 분석(9,14), 그리고 GC 또는 GC-MS를 이용한 지방질 유래의 hydrocarbon류 및 2-alkylcyclobutanones류 분석(9,15), DNA 손상과 염기 변화를 확인하는 DNA comet assay(16,17),

\*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

초기 미생물 수와 조사 후 미생물 수의 변화를 측정하는 DEFT/APC 방법(18) 등이 활발히 연구되고 있으나, 방사선 처리된 건고추의 부위별 검지 연구는 아직 시도된 바 없다.

본 연구에서는 건고추 및 분말의 효과적인 확인 방법 연구를 위하여 물리적 분석법인 TL과 생물학적 방법인 DNA comet assay 및 DEFT/APC 방법을 이용하여 건고추 부위별 radiation-induced marker들의 확인과 이들의 저장 중 분석 가능성을 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 실험에 사용된 건고추(*Capsicum annum* L.) 시료는 2002년 산지에서 구입하였으며 고추 방앗간에서 분말화(powder)한 것과 통고추(whole)를 사용하여 실험을 실시하였으며, DNA comet assay의 경우에는 통고추(whole)에서 씨(seed)를 분리하여 사용하였다.

### 감마선 조사

폴리에틸렌 용기에 포장된 건고추 시료의 감마선 조사는  $^{60}\text{Co}$  감마선 조사시설(AECL, IR-79, MDS Nordion International Co. Ltd., Ottawa, ON, Canada)을 이용하여 국제적으로 허용된 선량 범위인 0-10 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 이때 ceric/cerous dosimeter를 이용하여 흡수선량의 확인을 실시하였다( $\pm 5\%$ ). 조사된 시료는 차광된 실온에 저장하면서 실험에 사용하였다.

### Thermoluminescence (TL) 분석

방사선 조사 시료의 TL 분석은 CEN(19) 방법에 준하여 실시하였으며, TL 측정을 위해 필요한 미네랄을 얻기 위해 예비 실험을 하였다. 그 결과 통고추의 경우 약 600 g의 양을 water rinsing 하는 방법으로 미네랄을 채취 할 수 있었다. 즉, 통고추에 일정량의 증류수를 가하여 ultrasonic agitator(Branson 3210, Branson Ultrasonic Co., Danbury, CT, USA)에서 5분간 처리한 후 다시 시료를 water rinsing하며, 125  $\mu\text{m}$  sieve를 통과시켜 일정시간 정치시킨 후 침전물을 취하였다. 침전물은 sodium polytungstate solution(2.0/mL) 5 mL을 가하여 유기물을 제거하고 증류수로 세척하였다. 일반적으로 혼합된 미네랄에는 carbonate를 함유하고 있으며 이 carbonate는 제조사 후 측정 시 1차 측정에서의 glow curve peak에 대해 영향을 초래하므로 1 N HCl 2 mL를 가해 10분간 암소에서 정치하여 carbonate를 제거하였고 1 N  $\text{NH}_4\text{OH}$  2 mL를 가해 중화 시켰다. 중화된 미네랄은 증류수로 충분히 세척한 후 acetone으로 몇 차례 세척한 후 건조 시켰다. 건조된 미네랄 1 mg은 aluminium disc( $\phi 6$  mm)에 옮겨 담고 50°C incubator에서 하룻밤 정도 예열 한 후 TLD system (Harshaw TLD-4200, Dreieich, Germany)을 이용하여 high pure  $\text{N}_2$  gas(99.99999%)를 흘려 보내면서 측정하였다. TLD의 분석 조건은 초기 온도를 50°C로 하여 5초 동안 예열한 후 최고 온도 400°C, 가온율은 50°C/sec로 하였으며, acquisition time을 70 초로 하여 측정하였다. 측정된 시료의 TL 특성을 완전히 제거하기 위해 5초 동안의 annealing time을 설정하였다. 방사선 조사 여부의 확인은 측정된 glow curve를 TL intensity( $\text{TL}_1$ )로 나타내었으며,  $\text{TL}_1$ 의 normalization을 위하여 측정된 미네랄에 재조사(1 kGy)를 실시하여 2차 glow curve( $\text{TL}_2$ )를 측정하였다. 그 후  $\text{TL}_1/\text{TL}_2$ 의 면적비를 구하여 조사 여부 확인의 신뢰성을 높이기 위한 threshold value를 산출하였다(20).

### DNA comet 측정

건고추의 comet assay는 씨를 선별하여 실시하였으며, single cell gel electrophoresis(17)에 따라 0.5% agarose(normal melting point agarose, Sigma) 용액을 이용하여 pre-coated slide를 준비하고, 부드럽게 마쇄된 1.5 g의 시료에 냉장보관(4°C)된 PBS(phosphate buffered saline, pH 7.4)를 5 mL 가하고 stirring plate를 이용하여 균질화 시키고 mesh 200  $\mu\text{m}$ , 125  $\mu\text{m}$  nylon sieve cloth를 차례로 통과시켜 잔사를 제거하였다. 여과된 세포 현탁액은 20분 동안, 4°C의 냉장고에 방치시킨 후 상층액을 취해 실험에 사용하였다. Gel casting은 세포현탁액 50  $\mu\text{L}$ 와 0.8% low melting point agarose(LMA) 100  $\mu\text{L}$ 를 혼합하고, cover glass를 이용하여 균일하게 도포한 후 ice bath 위에 10분간 방치하여 gel을 형성시켰다. Casted slides는 lysis buffer(2.5% SDS in 45 mM tris-borate, 1 mM EDTA, pH 8.4)에 35분 동안(21) 침지한 후 증류수로 세척하였다. Lysis된 slide는 SDS가 배제된 TBE buffer(Tris borate electrophoresis buffer, pH 8.4)에 5분 동안 침지하고, 전기영동 수조 위에 agarose end가 anode방향으로 향하도록 놓은 후 TBE buffer가 담긴 2 V/cm로 정확하게 2분간 전기영동을 실시하고 증류수로 세척한 후 건조하였다. 건조시킨 slide glass는 ethidium bromide(EtBr) 형광염색 시약 bath에 20분 동안 침지하여 염색한 후 세척하였다. 세척된 slide glass는 pasteur pipette으로 증류수를 몇 방울 떨어뜨린 후 cover glass를 씌우고 595 nm emission filter가 장착된 Laser Scanning Confocal Imaging System MRC-1000(Biorad, Hercules, CA, USA)를 이용하여 20배 배율로 관찰하였다. 관찰된 DNA tail migration은 Laser Sharp software(Biorad, Hercules, CA, USA)를 이용하여 핵체 중앙에서 tail 끝까지의 길이를 tail length로 하여 측정하였으며, 이때 모든 시료에 대해 2개의 slide를 준비하여 각 slide 당 DNA 25개씩 총 50개의 핵체를 대상으로 측정하였다.

### DEFT/APC 측정

시료의 DEFT/APC 측정(18)에서 aerobic plate count(APC)는 생균수를 측정하는 방법으로써 10배 희석법으로 희석된 시료 용액을 각각 일정량을 취하여 평판배지(plate count agar, Difco)에 도말하고 30 $\pm$ 1°C 항온배양기에서 72시간 동안 뒤집어서 배양하였다. 배양된 호기적 생균수는 counting하고 희석법으로 계산한 다음 log unit로 환산하였다. DEFT는 생균수 및 비생균수의 총균수를 측정하는 방법으로써 10배 희석법으로 희석된 희석용액 2 mL씩을 진공여과 장치가 부착되어 있는 여과기(filtration tower, Millipore)로 옮겼다. 여과기는 stainless steel로 되어 있고 bottom filter의 직경이 25 mm, 그리고 tower의 부피는 30 mL였다. Filter paper는 prefilter를 위한 polypropylene filter(직경 25 mm, pore size 10  $\mu\text{m}$ , German Science Inc.)와 membrane filter를 위한 white polycarbonate filter(직경 25 mm, pore size 0.6  $\mu\text{m}$ , Nuclepore)를 사용하였다. 여과액 2 mL는 membrane filter 동안 진공이 25 mmHg를 넘지 않고 20 mmHg를 유지하도록 하였다. 여과된 membrane filter paper는 총균수 측정을 위해 acridine orange(25 mg/100 mL buffer, pH 6.6)로 염색하고 그 paper를 pH 3.0 buffer와 isopropanol 2.5 mL로 세척하였다. 세척된 polycarbonate filter paper는 조심스럽게 slide glass위에 놓고 공기로 건조시킨 다음 immersion oil을 떨어뜨려 paper를 적시고 cover slip을 덮은 후 분석에 사용하였다. 준비한 slide의 관찰은 형광현미경(Carl Zeiss Axioplanz Imaging, Gottingen, Germany)으로 100배율로 고정하여 측정하였다. 관찰

된 총균수와 생균수의 비는 Wirtanen과 Sj berg(28)의 방법에 따라 계산하였다. 즉 시료 g당 DEFT(X)는 현미경 관찰 면적 (microscope field, N/n), 시료의 희석배수(DF), microscopy factor (MF) 당 DEFT unit의 평균값으로 계산하였다. 공식은 다음과 같다.

$$X = \text{DEFT count/g} = (N \times \text{MF} \times \text{DF}) / n$$

여기에서 N은 n microscope field에서 계산된 DEFT units의 합이고, n은 측정된 microscope field의 수이며, MF는 microscopy factor(=FA/MA×V)이다. FA는 membrane filter의 면적이고 (πR<sup>2</sup>, R은 filtration tower의 밑 부분 반경) MA는 microscope field의 면적(πr<sup>2</sup>, r은 microscope field의 반경)이며 V는 시료의 부피(mL)이다. DEFT/APC의 log unit 값은 세 번 반복한 실험 결과로 계산한 다음 평균값을 구하였다.

### 결과 및 고찰

#### 방사선 조사 건고추의 TL 특성

TL signal 측정을 위한 전처리 과정에서 예비 실험을 통해 600 g의 시료를 water rinsing하여 0.1 mg의 미네랄을 추출하여 TL에 사용하였다. 이때 실험의 신뢰도를 높이기 위해 미네랄의 분리 조작에서는 미네랄 시료가 담겨지지 않은 시험관에서도 같은 조작의 바탕시험을 실시하여 전처리 중 미네랄 오염 여부를 확인하였다. 그 결과 4.780-13.78 nC 범위에서 TL glow curve가 측정되었으며, 이는 비조사구와 유사한 정도의 면적 값을 보이면서 실험 중에 미네랄의 유입이나 오염이 일어나지 않은 것을 확인하였다. 건고추를 포함한 건조 향신료의 경우 국내 허가 선량이 10 kGy이므로 본 연구에서는 2.5 kGy를 최저 선량으로 정하여 실험하였다. Fig. 1에 나타난 바와 같이 2.5 kGy 이상 조사 시료에서는 특이적인 peak가 150°C 전후에서 나타났고, 조사선량의 증가에 따라 glow curve(TL<sub>1</sub>) 크기가 증가함을 확인하였다(R<sup>2</sup>=0.9540). 그러나 비조사 시료에서는 같은 온도 범위에서 glow curve를 확인할 수 없었다. 이 같은 결과는 여러 종류의 방사선 조사 식품에서 보고된 열발광 특성과 유사하였으며(4,9-11), 시료간의 signal intensity를 비교함으로써 비조사와 조사구간의 구별이 가능하였다. 또한 방사선 조사 시료에서 나타난 TL<sub>1</sub> glow curve를 검증하기 위하여 normalization을 통한 TL ratio(TL<sub>1</sub>/TL<sub>2</sub> 면적비)를 산출한 결과, 비조사구는 0.001, 2.5 kGy 이상 조사구는 0.814 이상의 높은 값을 보여 TL<sub>1</sub> 분석 결과의 신뢰도를 높일 수 있었다(19-24). 또한 실온에서 8개월 동안 저장한 건고추를 대상으로 TL signal을 측정하였을 때 조사선량과 유의적인 상관관계(R<sup>2</sup>=0.8741)를 유지하였고(Table 1) TL ratio에서도 저장 초기와 유사한 경향을 보였다. 이는 여러 종류의 herb와 spice를 대상으로 whole sample test에 의한 TL 측정에서 조사 후 9개월 까지도 방사선 조사 여부의 판별이 가능하다고 보고한 Mamoon 등(25)의 보고 결과와 유사하였다.

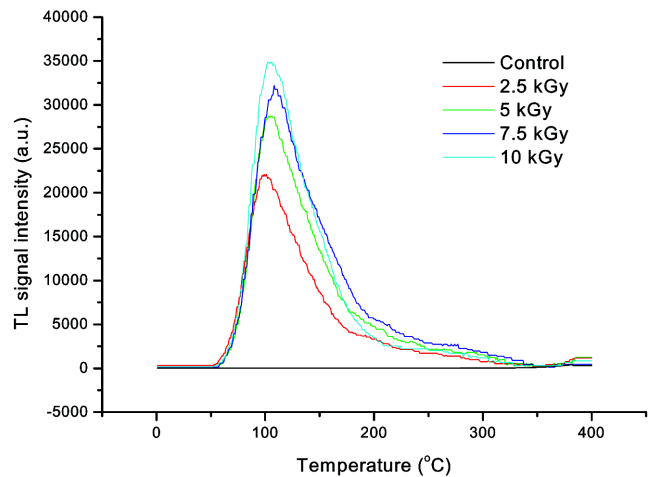


Fig. 1. Typical glowcurves of minerals separated from irradiated whole red pepper.

#### 방사선 조사 건고추의 DNA comet 특성

방사선 조사된 건고추의 DNA comet을 관찰하기 위해서 과피와 씨에 대해 예비 실험을 실시하였을 때 과피의 경우에는 DNA comet이 관찰되지 않았다. 그러나 씨의 경우에는 Khan 등(21)의 보고를 바탕으로 lysis 시간을 35분 실시하여 DNA comet을 관찰할 수 있었다. Fig. 3에서의 같이 comet은 아주 선명하지는 않았으나 조사선량에 따른 tail length의 상관성은 R<sup>2</sup>=0.7665 로써 유의성이 인정되었다(Table 2). 그리고 비조사구에 비해 10 kGy 조사한 건고추 씨에서는 comet의 모양이 크게 퍼지면서 head로부터 tail이 분리되어 길이가 점차 증가함을 알 수 있었다(Table 2, Fig. 2, 3). 이상의 결과는 방사선 조사된 오렌지의 씨에서 DNA comet 변화를 보고한 Jo와 Kwon(26)의 보고와 유사한 경향이였다. Cerda 등(17)은 식물세포는 동물세포에 비해 외부의 영향을 받기 쉽고 DNA도 쉽게 손상되어 핵의 모양이 다양하게 나타나며, 시료의 종류마다 comet의 양상도 다양하였다고 보고한 바 있으며, 특히 건고추의 경우는 건조과정을 거치게 되므로 조직 내 DNA의 손상이 예상되었다(27).

#### 방사선 조사 건고추의 DEFT/APC 특성 비교

조사식품의 생물학적 변화를 관찰하는 검지법으로서 건고추를 통고추와 분말고추로 구분하여 log DEFT와 log APC(Table 3) 및 DEFT/APC 값을 측정하였다. 두 시료 모두 조사선량이 높아질수록 log DEFT/APC 값이 점차 증가하는 경향을 보였다(Fig. 4). 이때 총균수(DEFT)는 방사선 처리구 별로 거의 유사한 경향을 보였으나 생균수(APC)에서는 조사선량이 높아질수록 점차 감소하였기 때문이다(Table 3). 저장 초 분말고추의 log DEFT/APC는 비조사 시료 1.08, 2.5 kGy 이상 조사시료 2.50-3.63의 log값을 나타내었다(R<sup>2</sup>=0.8897). 한편 통고추의 log

Table 1. TL ratio of minerals separated from dried red pepper

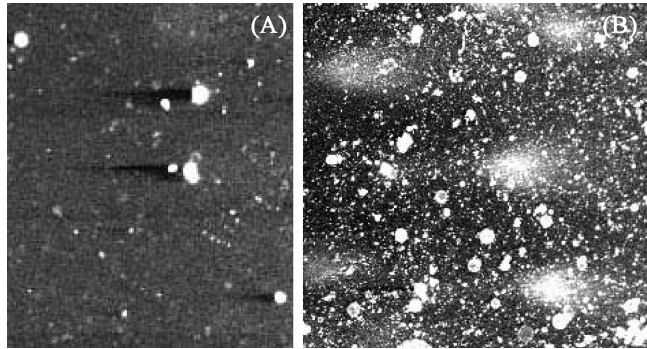
Storage period (month)	TL ratio					R <sup>2</sup>
	0	2.5	5	7.5	10	
0	0.001 <sup>1)</sup>	0.814	1.190	1.523	1.851	R <sup>2</sup> = 0.9540
8	0.001	0.805	1.089	1.230	1.450	R <sup>2</sup> = 0.8741

<sup>1)</sup>Integrated TL<sub>1</sub>/Integrated TL<sub>2</sub>.

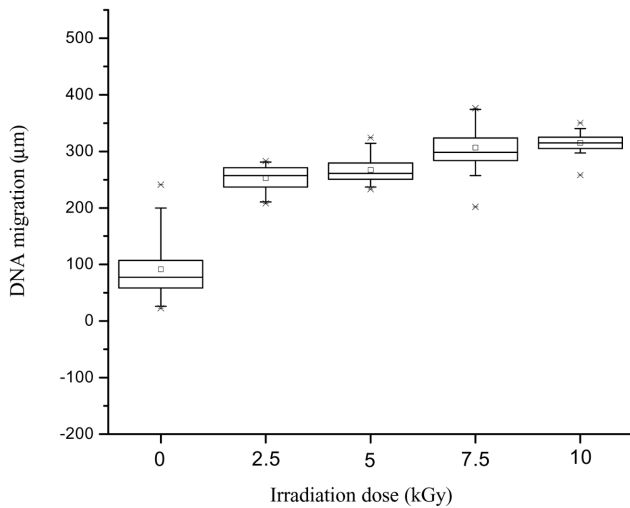
**Table 2. Mean length (mm) of the comets of non-irradiated and irradiated red pepper seed by comet assay**

Sample	Irradiation dose (kGy)					R <sup>2</sup>
	0	2.5	5	7.5	10	
Red pepper seed	91.32 <sup>1)</sup>	252.43	267.22	306.88	315.24	R <sup>2</sup> = 0.7665

<sup>1)</sup>Mean of 50 determinations.

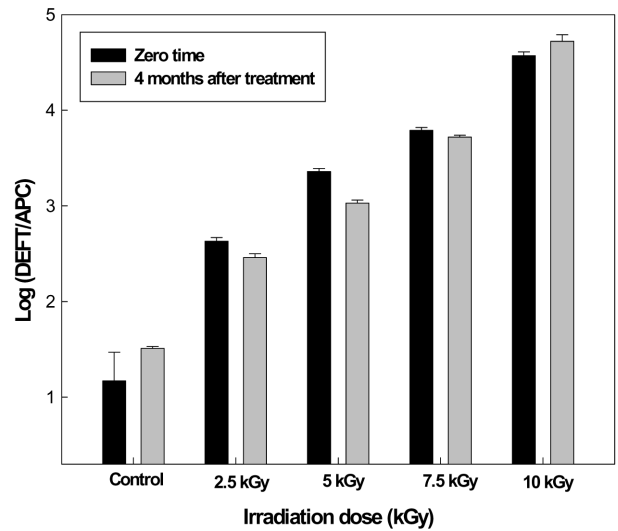
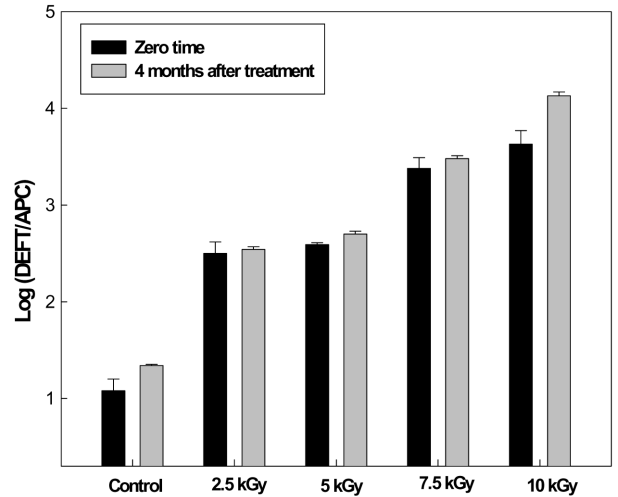


**Fig. 2. The graded DNA migration profiles of irradiated red pepper seed. A: non-irradiated, B: 10 kGy.**



**Fig. 3. Dose vs tail length (µm) of the comets from 50 nuclei of red pepper seed irradiated at different doses. Values shown are mean (·), standard deviation (bar), and standard error (boxes).**

DEFT/APC 값은 비조사 시료 1.17, 2.5 kGy 이상 조사시료 2.63-4.57 범위의 log값을 보이면서 보다 높은 R<sup>2</sup> 값(0.9528)을 보였다. 이는 통고추 시료의 초기 미생물 오염이 분말고추에 비해 적었으며, 방사선 조사에 대한 생균수의 감소가 심한 결과로 생각된다. Wirtanen와 Sj berg(28)는 향신료와 수산식품에 대한 연구에서 5 kGy 또는 그 이상의 선량으로 조사될 때 log 값이 4.0-7.0에 이른다고 보고하여 본 실험의 결과보다 다소 높은 값이었다. 그러나 Hammerton과 Banos(32)의 연구에서는 3-5 kGy로 조사된 향신료에서 2.5-3.0의 log값을 얻을 수 있었다고 보고하여 본 실험의 결과를 잘 뒷받침해 주었다. 실온 4개월 저장 기간에 따른 log DEFT/APC의 변화는 크지 않았으며 (Fig. 4), 분말고추는 저장 후 log DEFT/APC 값이 다소 증감현상을 보여 주었으나 조사선량에 따른 R<sup>2</sup>는 0.9589로써 정(+)의 높은 상관관계를 나타내었다. 통고추 시료의 경우에는 초기



**Fig. 4. Histogram of log DEFT/APC ratio (above: powdered red pepper, below: whole red pepper).**

에 비해 4개월 이후 비조사 시료와 10 kGy 조사 시료에서는 log DEFT/APC 값이 약간 증가하였으나 2.5 kGy, 5 kGy, 7.5 kGy의 조사 시료에서는 감소하는 경향을 보였다. 이상의 결과에서 log DEFT/APC 측정법은 통고추와 분말고추에 대하여, DNA comet assay는 고추씨에 대하여 실온 저장 4개월까지도 방사선 조사 여부 확인에 필요한 1차 screening 방법으로 적용이 가능한 것으로 나타났다.

**요 약**

통고추의 열발광 특성(TL) 분석에서 2.5 kGy 이상의 조사 시료에서 분리된 미세알 시료는 150°C 부근에서 TL glow curve (TL<sub>1</sub>)를 나타내었고, 조사선량이 증가할수록 peak intensity가 증

**Table 3. The logarithmic counts of gamma-irradiated red pepper**

Sample	Storage period (month)		Irradiation dose (kGy)				
			0	2.5	5	7.5	10
Whole	0	log DEFT	6.55 <sup>1)</sup>	6.53	6.51	6.52	6.53
	4		6.21	6.19	6.19	6.21	6.13
	0	log APC	4.38	2.48	1.94	1.72	1.43
	4		4.11	2.52	2.04	1.67	1.30
Powder	0	log DEFT	7.68	7.59	7.40	7.12	7.41
	4		7.41	7.47	7.44	7.34	7.35
	0	log APC	6.15	3.04	2.86	2.38	2.04
	4		5.53	2.94	2.76	2.11	1.78

<sup>1)</sup>Mean of triplicate.

가하였다. 재조사(1 kGy) 방법에 의한 TL ratio(TL<sub>1</sub>/TL<sub>2</sub>)는 TL 분석의 신뢰도를 높여주었다. DNA comet assay에서 비조사 시료(씨)는 전형적인 intact cell을 나타내었으나 감마선 조사 시료에서는 long tail을 가진 comet을 나타내면서 선량 의존적으로 tail length가 증가되었다. 미생물학적 방법으로써 DEFT/APC 값 측정에서는 조사선량에 따라 분말고추와 통고추에서 비교적 높은 상관관을 보였다. 이상의 결과에서 DNA comet assay와 DEFT/APC 방법은 방사선 조사 건고추의 screening 방법으로서, TL은 확인방법으로서 적용가능성이 확인되었다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

## 문헌

- WHO. Wholesomeness of Irradiated Food. FAO/IAEA/WHO Expert Committee, Geneva, Switzerland (1981)
- 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, Italy (1984)
- International Atomic Energy Agency. International consultative group on food irradiation. Available from: <http://www.iaea.org/icgfi>. Accessed Apr. 1, 2003.
- Kwon JH. Commercialization of food irradiation technology and the identification of irradiated foods. *Food Sci. Ind.* 36: 50-55 (2003)
- KATA. Korea agricultural trade information. Available from: [www.kati.co.kr](http://www.kati.co.kr). Accessed Jan. 30, 2003.
- UNEP. Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. Methyl Bromide Technical Options Committee, New York, NY, USA (1995)
- Kwon JH, Chung HW, Kwon YJ. Infrastructure of quarantine procedures for promoting the trade of irradiated foods. pp. 209-254. In: 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. The Korean Society of Food Preservation, Daegu, Korea (2000)
- FAO/IAEA. Food and Environmental Protection Newsletter. FAO, Vienna, Austria (2004)
- Delincee H. Analytical methods to identify irradiated food-a review. *Radiat. Phys. Chem.* 63: 455-458 (2002)
- Oduko JM, Spyrou NM. Thermoluminescence of irradiated food-stuffs. *Radiat. Phys. Chem.* 36: 603-607 (1990)
- Hasan M, Delincee H. Detection of radiation treatment of spices

- and herbs of asian origin using thermoluminescence of mineral contaminants. *Appl. Radiat. Isot.* 46: 1071-1075 (1995)
- Schreiber GA. Thermoluminescence and photostimulated luminescence techniques to identify irradiated foods. pp. 121-123. In: Detection Methods for Irradiated Foods. McMurray CH, Stewart EM, Gray R, Pearce J (eds). The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK (1996)
- Chung HW, Kwon JH, Delincee H. Photostimulated luminescence thermoluminescence application to detection of irradiated white ginseng powder. *Korean J. Food Sci. Technol.* 32: 265-270 (2000)
- Raffi JJ, Benzaria SM. Identification of irradiated foods by electron spin resonance techniques. *J. Radiat. Steril.* 1: 281-304 (1993)
- Morehouse KM, Ku Y. Identification of irradiated foods by monitoring radiolytically produced hydrocarbons. *Radiat. Phys. Chem.* 42: 359-362 (1993)
- McKelvey-Martin VJ, Green MHL, Schmeizer P, Pool-Zobel BL, De Meo, MP, Collins A. The single cell gel electrophoresis assay (comet assay): A European review. *Mut. Res.* 288: 47-63 (1993)
- Cerda H, Delincee H, Haine H, Rupp H. The DNA "Comet assay" as a rapid screening technique to control irradiated food. *Mut. Res.* 375: 167-181 (1997)
- Wirtanen G, Sjöberg AM. Microbiological screening method for indication of irradiation of spices and herbs: A BCR collaborative study. *J. AOAC Intern.* 76: 674-681 (1993)
- European Committee for Standard. Detection of irradiated food from which silicate minerals can be isolated. English version of DIN EN 1788 (1997)
- Kwon JH, Jeong JY, Lee EY, Jo DJ, Noh JE, Lee JE. Multiple detection to identify irradiated brown rice of different origins. *Food Sci. Biotechnol.* 11: 215-219 (2002)
- Khan AA, Khan HM, Delincee H. Identification of irradiated spice using the novel technique of DNA comet assay. *J. Food Sci.* 67: 493-496 (2002)
- Beneitez P, Correcher V, Millan A, Calderon T. Thermoluminescence analysis for testing the irradiation of spices. *J. Radiat. Nucl. Art.* 185: 401-410 (1994)
- Pinnioza S, Autio T, Niemi E, Pensala O. Import control of irradiated foods by the thermoluminescence method. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 196: 111-115 (1996)
- Delincee H. Detection of food treated with ionizing radiation. *Trends Foods Sci. Technol.* 9: 73-82 (1998)
- Mamoon A, Abdul-Fatlah AA, Abulfaraj MH. Thermoluminescence of irradiated herbs and spices. *Radiat. Phys. Chem.* 44: 203-206 (1994)
- Jo DJ, Kwon JH. Detection of radiation induced markers in oranges imported from the United States of America. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 32: 1-7 (2003)
- Kim MH. Color development of whole red peppers during drying. *Food Eng. Prog.* 1: 174-178 (1997)
- Wirtanen G, Sjöberg AM. A microbiological method (DEFT/APC) for the identification of irradiated spices and seafood. pp. 25-34. In: Workshop on Recent Advances on Detection of Irradiated Food. Leonardi M, Raffi JJ, Belliardo JJ (eds). Commission

of the European Communities, Luxembourg, Luxembourg (1993)  
29. Hammerton KM, Banos C. Detection of irradiated spices with a  
microbiological method DEFT/APC method. pp. 392-396. In:  
Detection Methods for Irradiated Foods: Current Status. McMur-

ray CH, Stewart EM, Gray R, Pearce J (eds). The Royal Society  
of Chemistry, Cambridge, UK (1996)

---

(2004년 7월 27일 접수; 2004년 8월 26일 채택)