

미국산 오렌지의 Radiation Induced Marker 검색

조덕조 · 권중호[†]

경북대학교 식품공학과

Detection of Radiation Induced Markers in Oranges Imported from the United States of America

Deokjo Jo and Joong-Ho Kwon[†]

Dept. of Food Science and Technology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

Abstract

Radiation induced markers were investigated for the detection of irradiated oranges imported from America. In the DNA comet assay, the non-irradiated and irradiated samples showed the comets with long tails in both seed and flesh. Though this tendency was maintained for 6 weeks, identification of non-irradiated or irradiated samples was impossible. In the thermoluminescence (TL) measurement, the non-irradiated samples revealed a glow curve with low intensity at about 280°C, while the irradiated samples showed with higher intensity at around 180°C. There were no remarkable changes in detection properties for 6 weeks after irradiation. The TL ratio of area for TL₁ glow curve to TL₂ was below 0.1 for the non-irradiated samples and 0.5 or more for the irradiated ones during storage. In the electron spin resonance (ESR) measurement, irradiated oranges showed an unspecific central signal in all parts (seed, flesh and peel), so the detection for radiation treatment of oranges was impossible. Based on the results, DNA comet assay and ESR were not useful for the detection, but TL was appropriate to search radiation induced markers of oranges during storage period. The detectable period during storage is confirmed by sensory evaluation.

Key words: orange, irradiation detection, DNA comet assay, TL, ESR

서 론

최근 농산물 시장의 개방에 따라 외국 농산물의 대량 유입이 우려되고 있으며, 이에 따라 국내 식물 환경의 철저한 보호를 위하여 검역 대상 해충에 대한 완전 박멸 방제 기술(quarantine treatment)이 요구되고 있다(1). 지금까지 검역 방법으로 훈증처리(2), 저온처리(3), 환경기체조절(4), 열처리(5) 등이 사용되어 왔으나 이들은 효과가 불충분하고 처리 시간이 많이 소요되는 등의 문제점이 지적되고 있으며, 특히 methyl bromide(MeBr) 훈증 처리는 오존층 파괴 물질로 밝혀지면서(6) 그 사용이 점차 금지될 전망이다. 이로 인하여 식물 검역을 위한 새로운 검역 처리 기술이 요구되고 있으며, 방사선 조사 기술은 적합한 대체 기술의 하나로 인식되고 있다(6).

식품의 방사선 조사(food irradiation)는 가열이나 냉동과 비유되는 물리적인 처리로써 안전성이 보장되는 방사선 선원을 이용하는 기술이다. 그러나 방사선 조사 기술의 산업화와 더불어 조사 식품의 국제 교역 가능성 증대, 국가별 식품 조사 관리 기술 상이점, 그리고 조사 식품의 표시를 바라는 소비자들의 요구 등을 고려한다면 식품 자체를 대상으로 방

사선 조사 여부를 확인할 수 있는 검지 방법이 요구되고 있다(7,8).

지금까지 방사선 조사 식품에 대한 검지 방법이 여러 방향으로 연구되어 왔으며, 현재 열발광(TL) 분석, 전자스핀공명(ESR) 분석, hydrocarbon류의 GC 분석, 2-alkylcyclobutane류의 GC/MS 분석, 광자극발광(PSL) 분석, 미생물 검색(DEFT/APC), DNA comet assay 등이 European standard로 확립되어 있다(9).

한편, 과일류는 살충·살균 속도 지연, 저장 기간 연장 등을 목적으로 현재 11개국에서 1~4 kGy 범위의 방사선 조사가 허가되어 있으며, 국내에서는 과일류의 방사선 조사가 아직 허가되지 않은 상태이다(10). 농수산물무역정보(11)에 의하면 오렌지의 수입량은 매년 증가 추세에 있으며, 검역 해충 관리의 중요성과 방사선 조사 기술의 이용 전망을 고려할 때 수입 과일의 검지 관리를 위한 기술 확립의 필요성이 대두되고 있다.

따라서 본 연구에서는 과일류의 방사선 조사 시 예상되는 생물학적, 물리적 변화에 기초하여 오렌지의 부위별로 DNA comet assay, TL 및 ESR 분석의 적용 가능성을 검토하여

[†]Corresponding author. E-mail: jhkwon@knu.ac.kr
Phone: 82-53-950-5775. Fax: 82-53-950-6772

수입 오렌지의 검지 관리를 위한 radiation induced marker를 검색하고자 하였다.

재료 및 방법

실험 재료

본 실험에 사용된 오렌지는 미국산으로 국내 대형 마트에 서 구입하여 식품 포장용 low density polyethylene(LDPE) film으로 10개씩 포장하여 감마선 조사 시료로 사용하였다.

방사선 조사

시료의 방사선 조사는 KAERI의 Co-60 감마선 조사 시설(100 kCi, Nordion, Ontario, Canada)을 이용하여 실온에서 시간당 선량률을 일정하게 하면서 0~2 kGy 범위의 선량으로 조사하였으며, 흡수 선량의 확인에는 ceric/cerous dosimeter를 사용하여 오차 범위를 $\pm 5.6\%$ 이내로 하였다. 방사선 처리 후 시료는 저온($4 \pm 1^\circ\text{C}$)에서 6주 동안 보관하면서 실험에 사용하였다.

DNA comet assay

오렌지의 씨 1g, 과육 3g을 사용하였으며, 이는 slide glass 당 50개 이상의 핵체를 관찰하기 위해 예비 실험 결과 산출된 양이다. Cerda 등(12)의 방법에 준하여, 부드럽게 마쇄한 시료에 cold PBS(phosphate buffered saline, pH 7.4) 5 mL를 가하여 균질화시킨 후 200 μm , 125 μm nylon sieve cloth에 차례로 통과시킨 상등액을 실험에 사용하였다. 세포 현탁액 50 μL 와 0.8% LMA(low melting point agarose) 100 μL 를 혼합한 후, 그 중 100 μL 를 pre-coated slide에 cover glass를 이용하여 균일하게 도포하고 ice bath 위에서 10분 동안 방치하여 gel을 형성시켰다. Casted slides는 lysis buffer(2.5% SDS in 45 mM Tris-borate, 1 mM EDTA, pH 8.4)에 20분, TBE buffer(Tris borate electrophoresis buffer, pH 8.4)에 5분 동안 각각 침지하고, 전기영동 수조 위에 agarose end가 anode 방향으로 향하도록 놓은 후 TBE buffer에서 2 V/cm로 2분간 전기영동하고 세척, 건조하였다. 전기영동이 끝난 slide는 fixing solution으로 고정시키고 silver staining하였다. Slide 분석은 표준 투과현미경(Eclipse E400, Nikon Co., Japan)을 이용하여 100 \times 배율로 관찰하였다. DNA tail migration은 comet 중앙에서 tail 끝까지의 길이를 tail length로 측정하였으며, 이 때 모든 시료에 대해 2개의 slide를 준비하여 각 slide 당 50개씩 총 100개의 세포를 대상으로 측정하였다.

열발광(thermoluminescence, TL) 분석

TL 분석은 CEN 방법(13)에 준하여 whole sample로부터 분리된 mineral을 사용하였다. 즉, 시료 일정량에 증류수를 가하여 sonicator(Branson 3210, Branson Ultrasonic Co., USA) 처리하고 125 μm sieve에 여과한 후, 정지한 침전물에 sodium polytungstate(density, 2 g/mL), 1 N HCl, 1 N NH₄OH 및 acetone을 처리하여 건조하였다. Mineral 일정량을 aluminium

disc(Φ 6 mm)에 옮겨 담고 50 $^\circ\text{C}$ dry oven에서 overnight한 후 linear heating system($^\circ\text{C}/\text{min}$)이 부착된 TLD 4500(Harshaw, Germany) detector 및 reading system을 이용하여 preheating temperature 50 $^\circ\text{C}$ (5 sec), increasing rate 5 $^\circ\text{C}/\text{sec}$, maximum temperature 400 $^\circ\text{C}$ 의 조건으로 high pure N₂ gas(99.9999%)를 흘려 보내면서 측정하였다. 한편, 시료의 1st glow curve(TL₁) 측정 시 최고 온도인 400 $^\circ\text{C}$ 에서 5초간 annealing 함으로써 mineral 내의 TL 특성은 모두 사라지게 되며, 이 mineral 시료를 1 kGy로 재조사(reirradiation)하여 2nd glow curve(TL₂)를 측정함으로써 TL₁ glow curve의 normalization을 시도하였다. 이 때 방사선 조사 특유의 peak가 나타나는 150~250 $^\circ\text{C}$ 범위의 면적 값으로 TL ratio(1st glow/2nd glow)를 구하고 이를 threshold value로 삼아 조사 여부를 확인하였으며, 본 연구에서는 TL ratio 값이 0.1 이하이면 방사선 조사되지 않은 것으로, 0.5 이상이면 조사된 것으로 판단하였다(13).

전자스핀공명(electron spin resonance, ESR) 분석

ESR 분석을 위한 시료의 전처리 및 측정은 CEN 방법(14)에 준하였으며, 시료 부위별 특성을 알아보기 위해 씨, 과육 및 껍질로 분리하였다. 시료 일정량을 취하여 50 $^\circ\text{C}$ dry oven에서 수분과 단수명 ESR center를 제거하였으며, 수분 함량이 5% 이내로 건조된 시료를 20 mesh로 분쇄한 다음 약 0.1 g을 sample tube에 충전하고 ESR spectrometer(JES-TE300, Jeol Co., Japan)를 이용하여 spectra를 측정하였다. 이 때 분석 조건은 microwave frequency 9.18 GHz, magnetic field 347 \pm 0.5 mT, microwave power 0.4 mW, modulation 100 kHz, time constant 0.03 sec, sweep time 30 sec이었으며, 방사선 조사 유래의 peak를 확인하고 signal intensity(peak-to-peak height)를 측정하였다.

관능적 평가

실험에 사용된 시료의 관능적 평가를 위하여, 선발된 10명의 검사 요원을 대상으로 9점 채점법(15)(9점 : 가장 좋다, 1점 : 가장 싫다, 4점 : 가식 한계점)에 따라 색(color), 냄새(odor), 조직감(texture), 맛(taste) 및 상품성(marketability)에 대한 특성을 평가하여 각 시료의 방사선 조사 여부 검지 필요 기간을 확인하였다.

결과 분석

DNA comet assay는 100개 comet의 tail length를 측정하였고, TL과 ESR은 3회 반복 실시하였으며, 측정 결과는 Origin(16)에 의해 분석하였다. 검사 결과의 유의성은 SAS(Statistical Analysis System)(17)에 의한 분산분석(ANOVA)과 Duncan's multiple range test에 의해 검정하였다.

결과 및 고찰

DNA comet assay 특성

오렌지의 cell 양상을 현미경으로 관찰한 결과, 씨는 비조

사 시료에서 intact cell이 관찰되기는 하였지만 그 비율이 매우 낮았고($\leq 5\%$), 비조사 시료와 조사 시료 모두 comet cell이 관찰되어 조사 선량에 따른 tail length 차이가 크지 않아 조사 여부의 확인이 어려웠다(Fig. 1). 오렌지 과육 또한 조사 여부에 관계없이 모든 시료에서 20~30 μm 정도의 tail을 가진 comet cell이 관찰되었다(Fig. 2). 한편, 씨와 과육 모두 조사 선량이 증가할수록 tail 내 DNA 농도 차이로 인해 head 부분보다 tail 부분의 색이 진하게 관찰되었고, 2 kGy에서는 tail이 head로부터 분리되는 현상도 관찰되었다. DNA migration 측정 결과, 씨에 비해 과육이 더 큰 범위의 standard deviation과 standard error를 나타내었으나 씨와 과육 모두 조사 선량에 관계없이 일정한 tail length를 나타내었다(Fig. 3). 한편 Kim 등(18)의 DNA comet assay 실험에서 1 kGy 미만으로 조사한 오렌지 씨의 경우 조사 선량의 증가에 따라 tail

length가 유의적으로 증가한다는 보고는 본 실험과의 차이를 나타내었는데, 이는 오렌지 품종 및 수입 시 저장 조건이 실험 결과에 많은 영향을 미친 것으로 사료된다. Cerda(19)는 신선 육류에서 저장 온도 및 기간에 따라 natural(enzymatic) degradation이 발생되어 DNA 손상을 일으킬 가능성이 있다고 보고하였으며, 오렌지의 경우에도 품종 및 수입 과정의 조건 등이 방사선 조사에 의해 유래될 수 있는 comet 양상에 영향을 미친 것으로 예상된다. 한편 오렌지의 저장 기간 중 comet의 변화 및 측정 가능성을 알아보기 위하여 방사선 조사 후 4°C에서 6주간 DNA comet을 관찰한 결과, 오렌지의 씨와 과육은 저장 기간동안 comet의 길이 변화를 거의 나타내지 않았으며, 여전히 조사 여부의 관별이 불가능하였다(Table 1). 이상의 결과, 오렌지의 씨와 과육에서 분리된 DNA의 fragmentation은 irradiation marker로써 활용 가능성이 낮



Fig. 1. DNA migration profile of orange seeds immediately after irradiation (left: non-irradiated, middle: 1 kGy, right: 2 kGy).



Fig. 2. DNA migration profile of orange flesh immediately after irradiation (left: non-irradiated, middle: 1 kGy, right: 2 kGy).

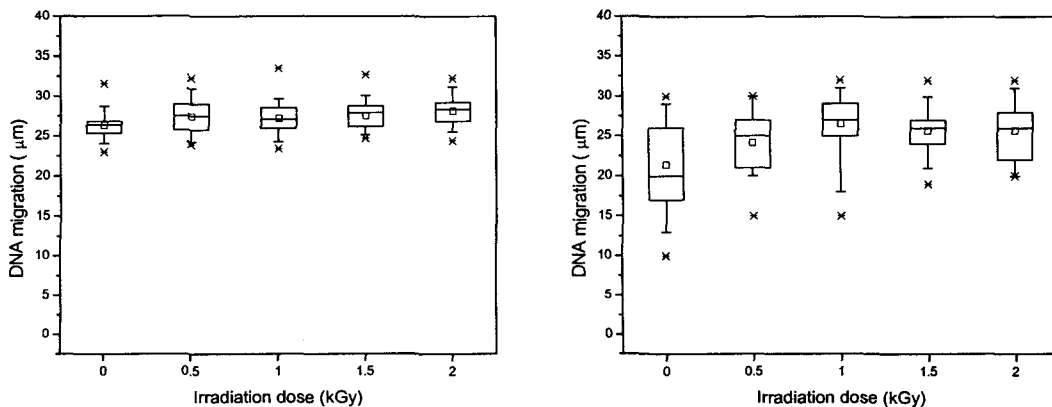


Fig. 3. Dose vs. tail length (μm) of the comets from 100 nuclei of oranges irradiated at different levels. Values shown are mean (\circ), standard deviation (bars) and standard error (boxes) (left: seed, right: flesh).

Table 1. Mean length (μm) of the comets from 100 nuclei of non-irradiated and irradiated oranges by DNA comet assay

Part	Period (week)	0 kGy		0.5 kGy		1 kGy		1.5 kGy		2 kGy	
		$\bar{x}^{1)}$	$s_x^{2)}$	\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x
Seed	0	26.35	1.61	27.45	2.08	27.20	2.00	27.53	1.60	28.15	1.73
	3	26.49	2.02	28.07	2.11	27.13	2.07	27.55	1.36	28.34	1.95
	6	27.79	2.09	27.80	1.99	27.43	1.76	27.83	2.40	28.31	2.03
Flesh	0	21.40	5.40	24.16	3.39	26.52	3.45	25.72	2.89	25.70	3.52
	3	21.36	5.88	24.56	3.30	27.00	2.95	26.16	3.15	26.40	3.37
	6	23.70	3.16	26.00	1.85	27.86	1.91	27.84	2.01	28.70	2.62

¹⁾ \bar{x} : mean.

²⁾ s_x : standard deviation.

음을 알 수 있었다. 그리고 오렌지는 품종 및 저장 조건에 따라 비조사 시료에서도 DNA fragmentation이 나타날 수 있으므로(19) comet 모양의 관찰로써 방사선 조사 여부를 쉽게 단정지를 수는 없었다. 따라서 DNA comet assay는 방사선 조사 식품의 검지에 단독으로 사용되기보다는 품목에 따라 신속, 간편 및 저렴한 screening 방법으로써 보다 신뢰도 높은 검지 방법과의 다중적 활용(20)이 바람직하다고 생각된다.

열발광 분석 특성

오렌지의 비조사 시료에서 분리한 mineral의 TL glow curve는 약 250~350°C 온도 범위에서 매우 낮은 intensity의 glow curve를 나타내었으나(Fig. 4), 0.5 kGy 이상의 조사 시료는 180°C 부근에서 조사 시료 특유의 peak를 나타내었다(Fig. 5). 또한 TL signal intensity와 조사 선량과의 관계에서 $Y = 119.18X + 1.01 (R^2 = 0.9809)$ 의 높은 상관성을 나타내었다. 이상의 결과에서 TL glow curve의 모양과 관찰된 온도의 비교는 오렌지의 방사선 조사 여부를 확인할 수 있는 지표로 확인되었다. 한편, 식품의 TL 검지 실험에서 방사선 조사에 따른 mineral의 glow curve 모양과 peak가 관찰되는 온도 범위는 일정한 패턴을 나타내고 있으나, TL response의 크기는 주요 mineral인 feldspar(장석), quartz(석영), limestone(석회암) 등의 조성적 차이에 의해 크게 영향을 받는 것으로

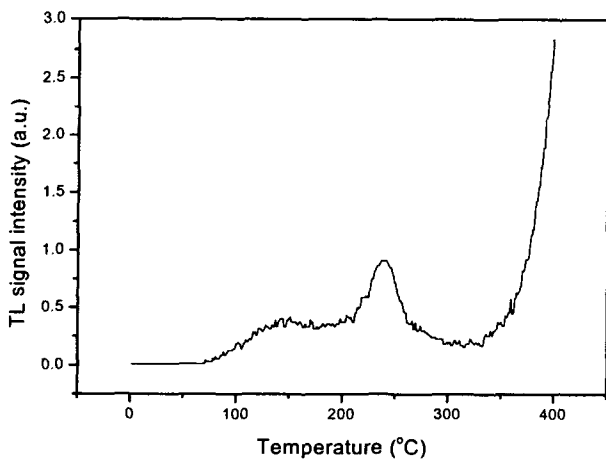


Fig. 4. Typical TL glow curve of minerals separated from non-irradiated oranges.

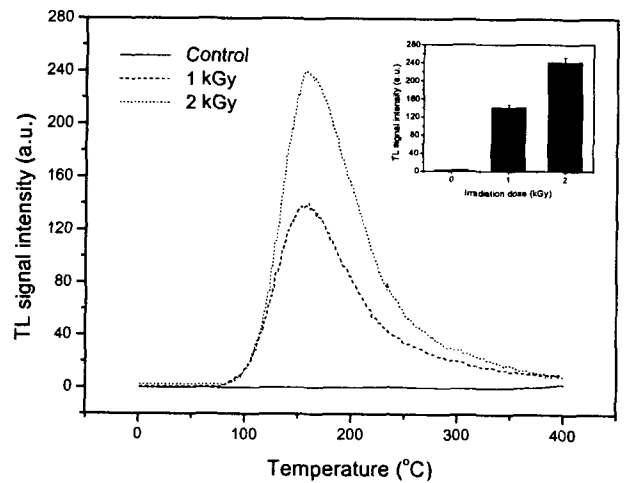


Fig. 5. TL glow curves of minerals from oranges irradiated at different doses.

보고되고 있다(21,22).

방사선 조사된 오렌지의 저장 기간에 따른 TL 측정 가능성을 알아보기 위하여 시료별 glow curve의 변화와 signal intensity의 안정성을 관찰하였다(Fig. 6). 본 실험의 최저 선량인 0.5 kGy로 조사한 오렌지의 경우 저장 0주 짜 측정된 glow curve와 저온에서 저장 6주 후 측정된 glow curve의

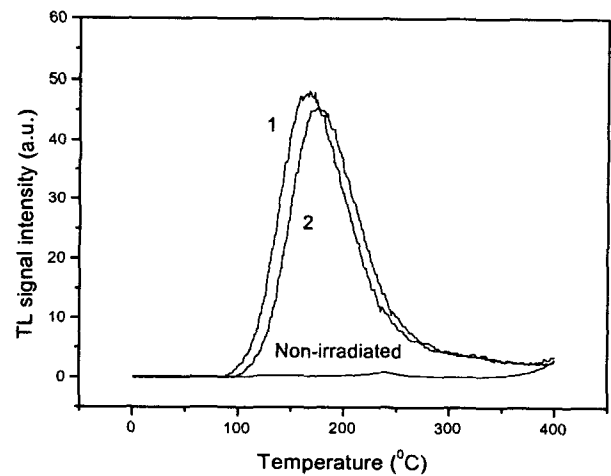


Fig. 6. Stability of TL glow curves of minerals separated from 0.5 kGy irradiated oranges during storage (1 : 24 hours after irradiation, 2 : 6 weeks after irradiation).

비교에서 peak의 온도 범위나 intensity의 변화가 크지 않아 조사 여부의 확인이 가능하였다. 일반적으로 채광이나 상온 조건에 저장된 시료의 경우 TL 측정에서 저장 기간의 증가에 따른 signal intensity의 감소와 함께 glow curve의 온도대가 고온대로 이동하는 경향이 나타나지만(23), 본 실험에서는 빛을 차단한 저온의 조건에서 비교적 짧은 기간 실험을 실시하였으므로 glow curve의 signal intensity 감소와 shifting 현상이 크지 않았다고 사료된다.

저장 0주 짜 오렌지로부터 추출되는 mineral의 normalization 과정을 통한 TL ratio 산출 결과, 비조사 시료는 0.051로 비조사 시료의 TL threshold value “0.1 이하”보다 낮은 값을 나타내었고, 조사 시료는 최저 0.627로 threshold value “0.5 이상”보다 높은 값을 나타내어 시료의 방사선 조사 여부 확인이 가능하였다(13)(Fig. 7). 한편 Kispéter 등(24)은 paprika의 경우 TL ratio가 저장 기간에 유의적인 경향을 보이지 않았다고 밝힌 바 있으며, 본 연구에서도 저장 실험의 경우 유사한 결과를 보여주었다. 그러나 비조사 시료가 없는 미지 시료의 방사선 조사 여부 검지에서 TL ratio의 확인은 조사 여부의 판단에 용이하게 활용될 수 있다고 보고되고 있다(13,25).

전자스핀공명 분석 특성

오렌지의 ESR 측정 결과 씨, 과육, 껍질 모두 비조사 시료는 phenol 성분으로 인한 single line의 ESR signal을 보여주었고, 감마선 조사 시료에서도 비조사 시료에서 나타난 signal 외에 방사선 조사 유래의 특이적인 signal이 확인되지 않아 조사 시료와 비조사 시료간의 구분이 불가능하였다(Fig. 8). 이 때 g-value는 씨 2.0077, 과육 2.0088, 껍질 2.0084이었으며, 선량의 증가에 따라 ESR signal intensity가 다소 증가하는 경향이었으나 큰 차이는 없었다. 이 같은 결과는 cherry,

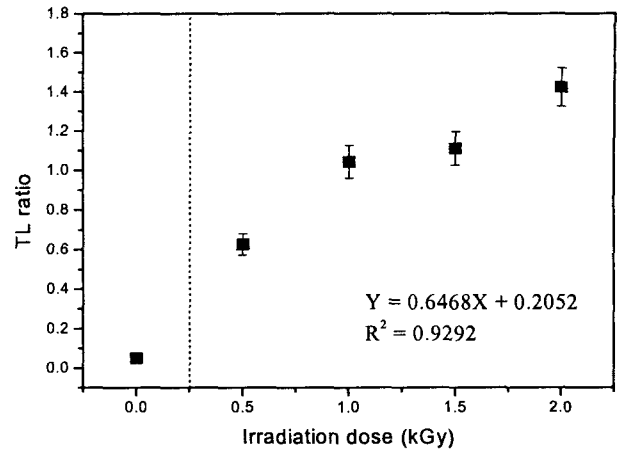


Fig. 7. Thermoluminescence ratio of minerals separated from non-irradiated and irradiated oranges.

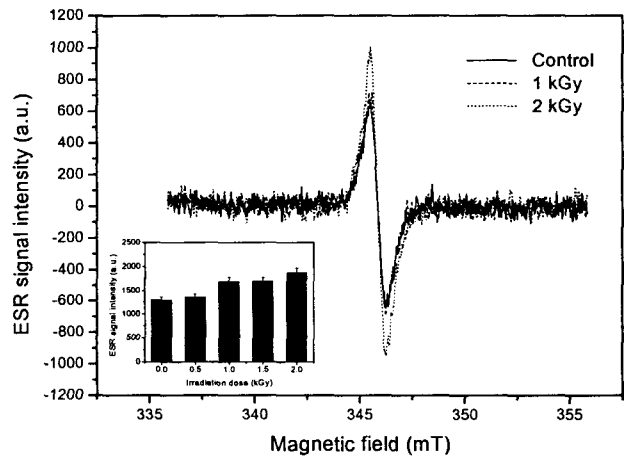


Fig. 8. ESR spectra of gamma-irradiated orange seeds at different doses.

Table 2. Means of sensory scores of gamma-irradiated oranges during storage at 4°C

Sensory characteristics	Storage period (week)	Irradiation dose (kGy)					F value
		0	0.5	1	1.5	2	
Color	0	6.9 ^{ab1)}	7.2 ^a	6.1 ^{ab}	6.2 ^{ab}	6.4 ^{ab}	1.90**
	3	6.6 ^{ab}	6.8 ^{ab}	5.2 ^{bc}	6.2 ^{ab}	5.4 ^{abc}	
	6	6.4 ^{ab}	6.6 ^{ab}	5.2 ^{bc}	6.2 ^{ab}	4.2 ^c	
Odor	0	7.1 ^a	6.4 ^{ab}	5.8 ^{ab}	6.6 ^{ab}	5.5 ^{ab}	1.30
	3	6.4 ^{ab}	6.6 ^{ab}	5.4 ^{ab}	6.2 ^{ab}	5.4 ^{ab}	
	6	6.2 ^{ab}	6.4 ^{ab}	5.2 ^{ab}	6.2 ^{ab}	4.6 ^b	
Texture	0	6.2 ^{ab}	6.2 ^{ab}	6.4 ^a	5.7 ^{ab}	5.9 ^{ab}	1.99**
	3	6.4 ^a	6.2 ^{ab}	5.2 ^{abc}	5.0 ^{abc}	4.4 ^{bc}	
	6	6.2 ^{ab}	6.0 ^{ab}	5.2 ^{abc}	5.0 ^{abc}	3.6 ^c	
Taste	0	6.9 ^a	6.1 ^{ab}	6.0 ^{ab}	5.3 ^{abc}	4.9 ^{bc}	2.27**
	3	6.4 ^{ab}	6.0 ^{ab}	5.4 ^{abc}	4.8 ^{bc}	4.6 ^{bc}	
	6	6.2 ^{ab}	5.8 ^{ab}	5.0 ^{bc}	4.8 ^{bc}	3.8 ^c	
Marketability	0	7.5 ^a	6.7 ^{ab}	6.3 ^{abcd}	6.0 ^{abcd}	5.2 ^{bcde}	4.03***
	3	6.2 ^{abcd}	6.4 ^{abc}	5.0 ^{bcde}	5.0 ^{bcde}	4.6 ^{de}	
	6	6.0 ^{abcd}	6.2 ^{abcd}	4.8 ^{cde}	4.8 ^{cde}	3.8 ^e	

¹⁾Mean scores within a row followed by the same subscript are not significantly different at 5% level using Duncan's multiple range test.

*p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01.

peach, apple, grape, pear 등의 씨를 이용한 ESR 분석에서 방사선 조사 유래의 특이적인 peak가 발견되지 않았다는 보고(26)와 유사하였으며, 오렌지에는 free radical을 trap할 수 있는 성분이 존재하지 않거나 시료 내 free radical의 scavenger가 함께 존재할 가능성이 있음을 시사하여 주었다.

관능적 품질

방사선 조사 오렌지의 관능적 평가를 기준으로 검지 관리의 필요 기간을 설정하고자 하였다. Table 2에서와 같이 색, 향, 조직감 및 맛의 경우 관능 평점이 저장 기간의 경과에 따라 전반적으로 감소하였고, 상품성의 경우 저장 기간과 조사 선량의 증가에 따라 유의적으로 감소하였다. 비조사 시료와 0.5 kGy 조사 시료는 저장 6주 동안 모든 품질 인자에서 유사한 평점을 나타내어 관능적 품질에 큰 차이를 보이지 않았다. 한편 저장 6주 쯤 2 kGy 조사 오렌지의 조직감, 맛, 상품성 등은 가식 한계점인 3.6~4.6 수준, 1 kGy 조사시료는 4.8~5.2 수준의 평점을 보여 TL 검지 방법에 의한 조사 여부의 확인은 저장 6주 이상까지도 필요한 것으로 나타났다.

요 약

교역량이 증가되고 있는 수입 오렌지를 대상으로 radiation induced marker 검색을 위하여, 방사선 조사시 예상되는 생물학적, 물리적 변화에 기초한 DNA comet assay, 열발광(TL) 및 전자스핀공명(ESR) 분석을 실시하였다. DNA comet assay 결과, 오렌지의 씨 및 과육의 cell은 감마선 조사와 무관하게 긴 tail을 가진 comet 모양으로 관찰되었으며, 저온 저장 6주까지도 유사한 경향이 유지되어 marker로의 활용 가능성이 낮았다. TL 측정에서 비조사 시료는 약 200~300°C 부근에서 매우 낮은 intensity의 glow curve를 나타내었고, 0.5 kGy 이상의 조사 시료에서는 조사 시료 특유의 peak가 180°C 부근에서 나타났으며, 조사 선량의 증가에 따라 intensity도 점차 증가하였다. TL 측정은 저장 6주까지도 가능하였고, TL ratio(TL₁/TL₂)의 산출은 검지 결과의 신뢰도를 높여주었다. ESR 측정에서는 시료의 씨, 과육 및 과피 부위에서 방사선 조사 유래의 특이적인 signal이 나타나지 않아 조사 시료와 비조사 시료의 구분이 불가능하였다. 이상의 결과에서 볼 때 오렌지는 TL 분석에 의해 방사선 조사 여부의 확인이 가능하며 이 방법은 오렌지의 저온 상품성이 유지되는 저장 6주 이후에도 적용이 가능한 것으로 나타났다.

감사의 글

이 논문은 2002년도 경북대학교특성화사업팀(KNURT) 연구비에 의하여 연구되었음.

문 헌

1. Kwon YJ, Huh EY, Kwon JH, Byun MW. 1999. Quarantine

- status of agricultural products for export and application prospects of irradiation technology. *Food Science and Industry* 32: 80-90.
2. Jessup AJ. 1998. Response of 'Lambert' and 'Ron's Seedling' sweet cherries to fumigation with methyl bromide plus cold storage. *Aust J Exp Agric* 28: 431-434.
 3. Gould WP, Sharp JL. 1990. Cold-storage quarantine treatment for carambolas infested with the caribbean fruit fly (Diptera: Tephritidae). *J Econ Entomol* 83: 458-460.
 4. Delate KM, Brecht JK, Coffelt JA. 1990. Controlled atmosphere treatments for control of sweet potato weevil (Coleoptera: Curculionidae) in stored tropical sweet potatoes. *J Econ Entomol* 83: 461-465.
 5. Couey M. 1989. Heat treatment for control of postharvest diseases and insect pests of fruits. *Hortscience* 24: 198-202.
 6. UNEP. 1995. Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer. Report of the methyl bromide technical options committee. p 294.
 7. IAEA. 1991. Analytical detection methods for irradiated foods. A review of current literature. IAEA-TECDOC-587. p 172.
 8. Delincée H. 1998. Detection of food treated with ionizing radiation. *Trends in Food Sci Tech* 9: 73-82.
 9. Delincée H. 2002. Analytical methods to identify irradiated food—a review. *Radiat Phys Chem* 63: 455-458.
 10. IAEA. 2001. International atomic energy agency homepage. www.iaea.org/icgfi.
 11. KATI. 2001. Korea agricultural trade information homepage. www.kati.co.kr.
 12. Cerda H, Delincee H, Haine H, Rupp H. 1997. The DNA "comet assay" as a rapid screening technique to control irradiated food. *Mutation Research* 375: 167-181.
 13. 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.
 14. European Committee for standard. 2000. Detection of irradiated food containing cellulose. Method by ESR spectroscopy. English version of DIN EN 1787.
 15. Larmond E. 1973. Methods for sensory evaluation of foods. Canada department of Agriculture, Publication 1284. p 27-30.
 16. Origin. 1999. Origin tutorial manual. version 6.0. Microcal Software Inc., Northampton, MA. p 20-45.
 17. SAS. 2001. SAS Users guide. version 8.1. SAS Institute Inc., Cary, NC.
 18. Kim SM, Park EJ, Yang JS, Kang MH. 2001. Changes of DNA fragmentation by irradiation doses and storage in gamma-irradiated fruits. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31: 594-598.
 19. Cerda H. 1998. Detection of irradiated frozen food with the DNA comet assay; Interlaboratory test. *J Sci Food Agric* 76: 435-442.
 20. Chung HW, Delincee H, Han SB, Hong JH, Kim HY, Kwon JH. 2002. Characteristics of DNA comet, photostimulated luminescence, thermoluminescence and hydrocarbon in perilla seeds exposed to electron beam. *J Food Sci* 67: 2517-2522.
 21. Oduko JM, Spyrou NM. 1990. Thermoluminescence of irradiated foodstuffs. *Radiat Phys Chem* 36: 603-607.
 22. Kwon JH, Jeong JY, Chung HW. 2002. Thermoluminescence characteristics of minerals from irradiated potatoes of different origins of production. *Radiat Phys Chem* 63: 415-418.
 23. Hammerton KM, Banos C. 1996. Detection of irradiated spices by thermoluminescence analysis. In *Detection Methods for Irradiated Foods*. McMurray CH, Stewart EM, Gray R, Pearce J, eds. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK. p 168-171.

24. Kispéter J, Delincée H, Kiss LI. 1996. Influence of mineral composition on the thermoluminescence of irradiated food-stuffs. *Acta Alimentaria* 25: 199-202.
25. Khan HM, Bhatti IA, Delincée H. 2002. Thermoluminescence of contaminating minerals for the detection of radiation treatment of dried fruit. *Radiat Phys Chem* 63: 403-406.
26. Desrosiers MF, McLaughlin WL. 1989. Examination of gamma-irradiated fruits and vegetables by electron spin resonance spectroscopy. *Radiat Phys Chem* 34: 895-898.

(2002년 7월 19일 접수; 2002년 11월 11일 채택)