

건포도와 건바나나의 감마선 조사와 저장기간에 따른 열발광 및 전자스핀공명 특성과 관능적 품질

조덕조 · 권중호[†]

경북대학교 식품공학과

Characteristics of Thermoluminescence and Electron Spin Resonance and Organoleptic Quality of Irradiated Raisin and Dried Banana During Storage

Deokjo Jo and Joong-Ho Kwon[†]

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

Abstract

The characteristics of thermoluminescence (TL) and electron spin resonance (ESR) and organoleptic qualities of gamma-irradiated raisin and dried banana were investigated during storage at 4°C for 6 months. The minerals separated from non-irradiated raisins showed TL glow curve (TL₁) with very low intensity around 200~300°C, while the irradiated samples at 1 kGy or more showed glow curves with higher intensity around 180°C, with linear increase by irradiation dose ($R^2=0.9684$), which made it possible to identify irradiated samples during 6 months. Moreover, TL ratios (TL₁/TL₂) through the reirradiation step at 1 kGy enhanced confidence in the identification of irradiated raisins. The ESR signals of multicomponent lines resulted from crystalline sugar radicals were shown in irradiated banana, identifying irradiated samples. The ESR signal intensity was dependent on irradiation doses ($R^2=0.8977$) and the signals were stable enough to be detected by 6th month after storage. Considering the marketability of irradiated dried fruits during 6 months at low temperature, TL and ESR analyses were shown suitable for the identification of irradiated raisins and dried banana, respectively.

Key words: raisin, dried banana, irradiation, detection, TL, ESR

서 론

국제원자력기구(IAEA)와 국제식품조사자문그룹(ICGFI)(1)에 의하면 과일류는 살충·살균, 검역 처리, 숙성 지연 등을 목적으로 신선과일류는 세계 11개국에서 1~4 kGy, 건조과일류는 16개국에서 1~10 kGy 범위의 방사선 처리가 각각 허가되어 있다. 국내에서는 과일류의 방사선 조사가 아직 허가되지 않은 상태이지만, 농산물의 교역 증대로 수입 과일의 국내 유통은 날로 증가될 전망이다(1,2). 식품의 방사선 조사(food irradiation)는 가열이나 냉동과 비유되는 물리적인 처리로써 기술적 타당성이 객관적으로 인정된 식품 가공 저장 기술이라 할 수 있다. 세계식량농업기구(FAO), 세계보건기구(WHO) 및 IAEA에서는 "10 kGy 이하로 방사선 조사된 모든 식품은 어떠한 독성학적 위해나 영양학적, 미생물학적 문제를 일으키지 않는다"고 결론을 내림에 따라(3) 방사선 조사 식품의 안전성이 국제적으로 인정되었고, 방사선 조사 식품에 대한 Codex 규격도 채택(4)된 바 있다.

이와 같이 식품의 방사선 조사는 식품의 위생적 품질 향상과 검역 처리가 가능한 비열처리 기술로 인정됨에 따라 국내외적으로 상업화가 본격화되고 있다(5). 이를 뒷받침하기 위하여 각 국에서는 조사 시설의 건설 및 공정 관리, 조사 식품의 허가 및 유통·교역 관리, 소비자의 수용성 증진을 위한 교육 및 홍보 프로그램 개발, 표시 규정(labeling requirements)의 이행 및 관리와 교역국간 규정 합의 등의 제도적·기술적 인프라를 마련하기 위하여 노력하고 있으며(6), 특히 방사선 조사 식품의 교역 관리와 표시 제도에 대한 정작을 뒷받침하기 위하여 검지 기술 체계의 구축을 위한 연구 개발을 활발히 추진하고 있다(7).

지금까지 방사선 처리된 식품의 조사 여부를 확인하기 위한 연구가 다양하게 진행되면서 실용 가능성이 높은 분석 방법들이 보고되고 있다(8,9). 즉, 생물학적 방법인 DNA comet assay (single cell gel electrophoresis assay)(10)는 방사선 조사에 의해 가장 민감한 DNA를 지표로 하여 조사 여부를 확인할 수 있는 방법이다. 물리적 검지 방법 중 하나인 thermoluminescence (TL, 열발광) 분석은 방사선 조사된 후추 가루

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

의 확인 연구(11)에서 처음 소개된 이후 감자(12), 향신료(13, 14), 약초(15), 건조 채소(16), 인삼(17), 딸기(18) 등의 검지 연구에 활용되었으며, 신뢰도를 높이기 위하여 normalization과정을 거쳐 threshold value를 설정하여 미지 시료의 판별을 시도하고 있다(19,20). Electron spin resonance(ESR, 전자스핀공명) 분석은 방사선 조사시 생성된 이온이나 유리기를 측정하는 물리적 방법으로 수분 함유량이 낮으면서 cellulose, sugar 및 뼈 등을 함유한 식품에 대한 적용이 보고되고 있다(21). 또한 방사선 조사 식품에서 유도되는 주요 지방 분해산물인 hydrocarbon류 또는 2-alkylcyclobutanone류를 GC-MS로 검출하는 화학적 방법이 실용가능성을 인정받고 있다(8,9).

농수산물무역정보(2)에 의하면 과일류 수입량은 매년 증가하고 있으며, 이들 과일류는 검역 유기체의 관리를 위하여 방사선 처리의 가능성이 높아짐에 따라 국내에서 허가되지 않은 품목의 수입 관리가 당면 과제가 되고 있다(7). 지금까지 과일류의 검지를 위한 국내 연구로는 DNA comet assay를 이용한 과일의 방사선 조사 확인(22), free radical 측정을 통한 감마선 조사 건조 과일의 검지(23) 등이 보고되고 있으나, 건포도와 건바나나의 다중검지(17)와 장기 저장 중 검지 가능성을 보고한 연구는 없다. 따라서 본 연구는 건조과일류의 방사선 조사시 예상되는 물리적 변화에 기초하여 조사 선량과 저장 기간에 따른 TL 및 ESR 특성의 변화와 관능적 상품성을 검토하였다.

재료 및 방법

실험 재료

본 실험에 사용된 건포도(필리핀)와 건바나나(미국)는 2001년 산으로서, 대형 수입 마트에서 구입하였다. 시료는 약 50 g 씩 polyethylene film(0.08 mm)으로 밀봉 포장하여 $4 \pm 1^\circ\text{C}$ 저장고에 6개월 동안 보관하면서 실험에 사용하였다.

방사선 조사

시료의 방사선 조사는 Co-60 감마선 조사 시설(KAERI, 100 kCi, Nordion, Ontario, Canada)을 이용하였다. 건조과일류의 살균, 살충 등을 목적으로 허가된 선량을 기준으로 하여 실온에서 시간당 일정한 선량률로 0, 1, 2 및 4 kGy의 감마선을 조사하였으며($\pm 5\%$ 이하), 흡수선량은 ceric/cerous dosimeter로써 확인하였다.

열발광(Thermoluminescence, TL) 분석

시료의 TL 분석은 CEN 방법(19)을 다소 변형하여, 각 시료로부터 mineral을 분리하고 일정량을 aluminium disc(ϕ 6 mm)에 옮겨 담아 50°C dry oven에서 건조한 후 linear heating system($^\circ\text{C}/\text{min}$)이 부착된 TLD system(TLD 4500, Harshaw, Germany)을 이용하여 고순도 N_2 gas(99.9999%)를 $2 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 의 압력으로 흘려주면서 TL glow curve(TL_1)를 측정하였다. 이때 측정 조건은 50°C 에서 5초간 preheating한 후 $5^\circ\text{C}/\text{sec}$ 로 400°C 까지 승온하여 70초동안 측정하였다. 또한 각 시료에서

얻어진 TL_1 의 정상화(normalization)를 위하여 측정된 mineral을 재조사(1 kGy)하여 2nd glow curve(TL_2)를 측정 후 방사선 조사 특유의 peak가 나타나는 $150 \sim 250^\circ\text{C}$ 범위의 면적 값으로써 TL ratio(1st glow/2nd glow, TL_1/TL_2)를 구하고 비조사 시료와 조사 시료를 판별하는 threshold value로 활용하였다(19,20).

전자스핀공명(Electron spin resonance, ESR) 분석

ESR 측정을 위한 시료의 전처리 및 측정은 CEN 방법(24)에 준하였다. 즉, 50°C dry oven에서 24시간 동안 단수명 ESR center를 제거하면서 수분 함량을 5% 이하로 건조하였다. 건조 시료는 20 mesh로 분쇄한 후 시료 일정량(0.1 g)을 ESR sample tube에 충전하고 ESR spectrometer(JES-TE300, Jeol Co., Japan)에 의하여 분석하였다. 즉, microwave frequency 9.4 GHz, microwave power 0.4 mW & 5.0 mW, magnetic center field $348 \pm 5 \text{ mT}$, modulation 100 kHz, time constant 0.03 sec, sweep time 0.5 min 등의 조건으로 free radical 농도를 측정하고 방사선 조사 유래의 peak를 signal intensity(peak-to-peak height)로 나타내었다(20).

관능적 품질 평가

시료의 관능적 품질 평가에 의해 방사선 조사와 저장 기간에 따른 건조 과일의 상품성을 확인하여 검지 가능 기간의 설정에 필요한 자료를 얻고자 하였다. 선발된 10명의 검사 요원에 의해 9점 채점법(25)(9점: 가장 좋다, 1점: 가장 싫다, 4점: 상품한 계점)에 따라 색(color), 냄새(odor), 조직감(texture), 맛(taste), 상품성(marketability)에 대한 기호성을 평가하였다.

결과 분석

시료의 TL 및 ESR 분석은 3회 반복 실시하여 Origin(26)에 의해 분석하였다. 결과의 유의성과 유의차 검정은 SAS(Statistical Analysis System)(27)에 의한 분산분석(ANOVA)과 Duncan's multiple range test에 의해 실시하였다.

결과 및 고찰

열발광(TL) 특성

본 실험에 사용된 건조과일 중 건포도는 mineral의 분리와 TL 측정이 가능하였지만, 건바나나는 시료로부터 mineral의 분리가 어려웠다. 건포도는 제조 시 과실 전체 부위를 사용하여 제조하는 반면, 건바나나는 과일의 껍질을 벗기고 가식부분만을 건조 가공하기 때문에 부착된 mineral의 함량이 아주 낮아 분리가 불가능하였던 것으로 생각된다. 감마선이 조사되지 않은 건포도 시료에서 분리된 mineral은 $250 \sim 350^\circ\text{C}$ 온도 범위에서 매우 낮은 intensity의 TL glow curve(TL_1)를 나타내었다(Fig. 1). 그러나 1 kGy 이상의 조사 시료에서는 180°C 부근에서 방사선 조사 특유의 glow curve를 나타내었다(Fig. 1). 이때 본 실험에서 최저 선량인 1 kGy 조사 시료의 signal intensity는 비조사 시료의 10배 이상이었으며, 조사 선량의 증가에

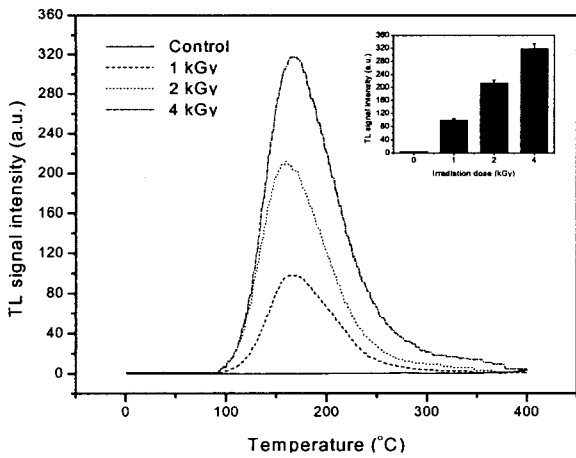


Fig. 1. Typical TL glow curves of minerals separated from raisin.

따라 intensity도 점차 증가하였다. 또한 TL glow curve와 조사 선량과의 상관에서 $Y=78.576X+20.412$, $R^2=0.9684$ 로 glow curve의 intensity는 높은 선량의존성을 보여주었다. 이상의 결과에서 TL glow curve의 모양과 peak가 나타나는 온도 및 peak intensity의 비교는 건포도의 방사선 조사 여부를 확인하는 주요 인자로 나타났다.

또한 감마선 조사된 건포도의 저장 중 TL 측정 가능성을 알아보기 위하여 6개월 저장 후 glow curve의 변화와 signal intensity의 안정성을 관찰하였다(Fig. 2). 즉, 저장 초기의 glow curve와 저온에서 6개월 저장 후 측정된 glow curve와의 비교에서 peak가 나타나는 온도 범위나 intensity의 변화가 크지 않았으며, 비조사 시료와 조사 시료의 구분이 여전히 가능하였다. 일반적으로 채광 조건이나 상온 조건에 저장된 시료의 경우 TL signal intensity의 감소와 함께 glow curve의 온도대가 고온대로 이동하는 경향이 보고되었지만(14), 본 실험에서는 빛을 차단한 저온 조건에서 6개월 후 비교한 실험이었으므로 저장 기간에 따른 glow curve의 signal intensity 감소와 shifting 현상이 크지 않은 것으로 사료된다. Mamoon 등(28)

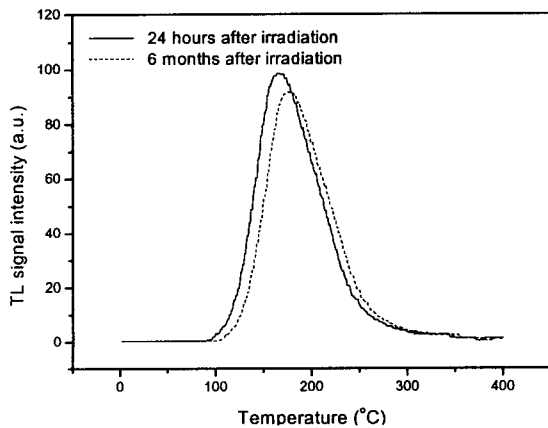


Fig. 2. Stability of TL glow curves of minerals separated from 1 kGy irradiated raisin during storage at 4°C.

은 ginger, cumin, chili 등의 시료를 대상으로 한 TL 측정에서 방사선 조사 후 9개월까지도 방사선 조사 여부의 구별이 가능하였다고 보고하여 본 실험의 결과와 유사하였다.

한편 TL₁ glow curve의 정상화(normalization)를 통한 TL ratio를 산출해 본 결과, 비조사 시료는 0.005 이하의 값을, 방사선 조사 시료는 0.516 이상의 값을 나타내어 저장 6개월까지도 TL ratio(비조사 시료 0.1 이하, 조사 시료 0.5 이상)의 비교에 의한 조사 여부의 확인이 가능하였다(Table 1). 방사선 처리 식품의 판별을 위한 열발광 분석에서 reirradiation step에 의한 TL ratio의 산출 방법은 여러 종류의 식품에서 검지 신뢰도를 높일 수 있는 방안으로 보고되고 있다(9,12-20).

전자스핀공명(ESR) 특성

건포도의 ESR spectra 결과는 Fig. 3과 같이 비조사 시료에서는 g-value 2.0085인 single line의 ESR signal을 보여 주었다. 감마선 조사 시료에서도 비조사 시료의 signal 이외에 방사선 조사 유래의 특이적인 signal을 확인할 수 없었으므로 조사 시료와 비조사 시료의 구분이 불가능하였다. 조사 선량의 증가에 따른 signal intensity 또한 유의적인 변화를 나타내지 않아 건포도 시료는 ESR spectroscopy의 적용 가능성이 낮은 것으로 확인되었다. 따라서 건포도는 방사선 조사 유래의 free radical을 trap할 수 있는 부분을 포함하지 않은 것으로 여겨지며, 이는 McMurray 등(29)의 향신료에 대한 결과와 유사하였다.

Table 1. Thermoluminescence (TL) ratio of minerals separated from raisin stored at 4°C

Storage period (month)	Irradiation dose (kGy)				Mathematical fit	R ²
	0	1	2	4		
0	0.002	0.516	1.080	2.245	Y=0.5635X-0.0254	0.9993
2	0.001	0.789	1.186	2.337	Y=0.5670X+0.0860	0.9904
4	0.005	0.898	1.531	2.772	Y=0.6786X+0.1140	0.9927
6	0.004	0.814	1.458	2.279	Y=0.5571X+0.1638	0.9716

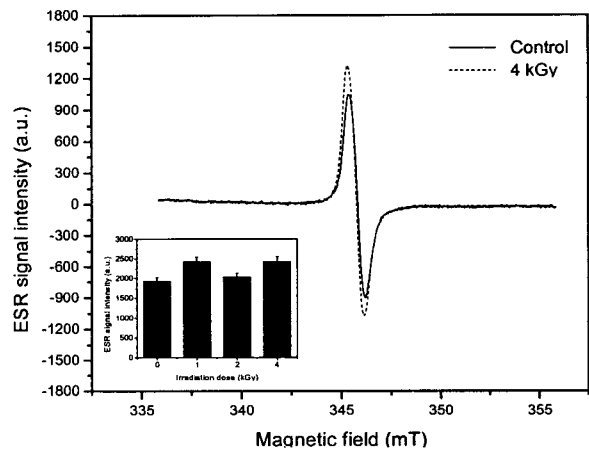


Fig. 3. ESR spectra of gamma-irradiated raisin at different doses.

한편, 건바나나의 비조사 시료는 g-value 2.0090의 single line을 가진 ESR signal을 보여주었다. 그러나 1 kGy 이상의 조사 시료는 crystalline sugar radical 유래의 전형적인 multi-component line을 지니는 ESR signal을 보여주었으며, g-value는 각각 $g_1 = 2.0157$, $g_2 = 2.0093$, $g_3 = 22.0038$ 및 $g_4 = 2.0008$ 이었다(Fig. 4). 조사 선량에 따른 signal intensity 측정에서는 선량 의존적인 경향을 나타내면서 $Y = 600.83X + 615.80$, $R^2 = 0.8977$ 의 상관성을 보여주었다(Fig. 5). Linke 등(30)은 방사선 조사된 건망고와 건무화과에서 crystalline sugar radical 유래의 ESR signal을 확인하였다. 또한 Nam 등(23)은 방사선 조사된 건과인에플과 건바나나에서 같은 경향의 signal을 보고하여 본 실험의 결과를 잘 뒷받침해 주었으며, 제조 과정에서 당류를 첨가한 건조과일류는 ESR 분석에 의해 조사 여부의 검지가 가능함을 확인하였다.

저장 중 crystalline sugar radical의 안정성을 알아보기 위하여 일정 기간 후 radical의 농도 변화를 알아 본 결과는 Fig. 6과 같다. 방사선 조사된 건바나나의 ESR signal intensity는 저장 초기에 비해 저장 6개월 후에 약 18% 정도 감소되었으나

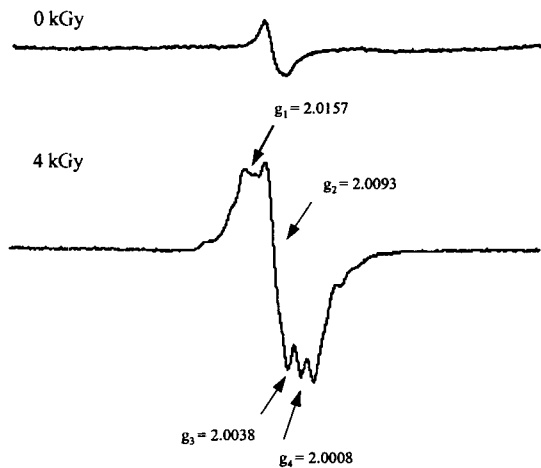


Fig. 4. Typical ESR spectra of irradiated dried banana at different doses.

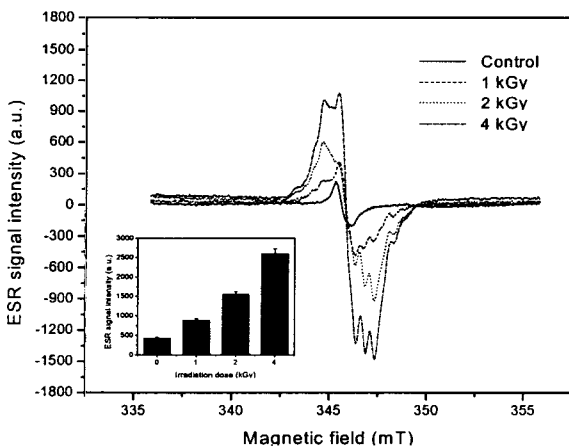


Fig. 5. ESR spectra of gamma-irradiated dried banana at different doses.

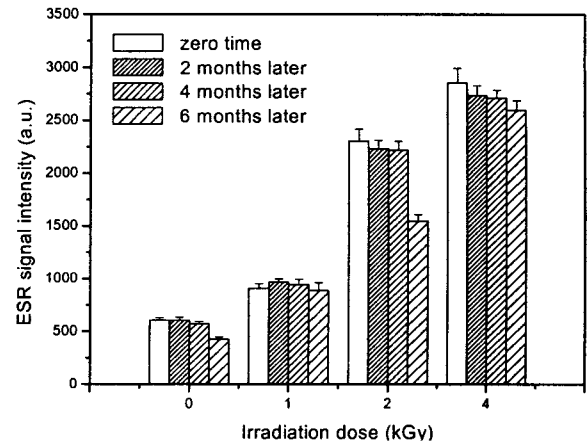


Fig. 6. Stability of ESR signal intensity of irradiated dried banana during storage at 4°C.

방사선 조사 여부의 판별을 위해서는 충분한 농도임이 확인되었다. Nam 등(23)은 방사선 조사된 건조과일류의 저장 중 radical 안정성을 확인한 결과, 건바나나는 상온에서 40일 경과 후 약 40% 정도의 농도가 감소되었으나 여전히 조사 여부의 확인이 가능하다고 하였고 보고하였으며 radical의 농도는 저장 온도에 많은 영향을 받는 것으로 생각되었다.

관능적 품질

방사선 조사된 건조과일의 저장 기간에 따른 관능적 상품성

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

Sensory characteristics	Storage period (month)	Irradiation dose (kGy)				F value
		0	1	2	4	
Color	0	7.6 ^{ca1)}	7.0 ^{ab}	7.0 ^{ab}	6.3 ^{abc}	1.76*
	2	6.4 ^{abc}	5.9 ^{abc}	5.5 ^{bc}	6.1 ^{abc}	
	4	6.4 ^{abc}	6.4 ^{abc}	6.4 ^{abc}	6.8 ^{abc}	
	6	6.4 ^{abc}	6.0 ^{abc}	5.4 ^{bc}	5.2 ^c	
Odor	0	6.8 ^{ab}	7.0 ^a	6.6 ^{abc}	6.7 ^{abc}	2.63***
	2	5.3 ^{cd}	5.8 ^{abcd}	5.9 ^{abcd}	5.5 ^{bcd}	
	4	6.2 ^{abcd}	6.4 ^{abcd}	5.4 ^{bcd}	5.6 ^{abcd}	
	6	5.4 ^{bcd}	5.8 ^{abcd}	5.0 ^d	5.0 ^d	
Texture	0	6.3 ^{ab}	6.1 ^{ab}	6.8 ^a	6.4 ^{ab}	1.00
	2	6.3 ^{ab}	6.2 ^{ab}	5.9 ^{ab}	5.8 ^{ab}	
	4	6.6 ^a	6.4 ^{ab}	5.6 ^{ab}	5.8 ^{ab}	
	6	6.2 ^{ab}	5.2 ^{ab}	5.2 ^{ab}	4.6 ^b	
Taste	0	6.2 ^a	6.4 ^a	6.0 ^a	6.4 ^a	0.46
	2	6.3 ^a	6.4 ^a	5.8 ^a	5.3 ^a	
	4	6.8 ^a	6.8 ^a	5.8 ^a	5.8 ^a	
	6	6.2 ^a	6.6 ^a	6.4 ^a	5.8 ^a	
Marketability	0	6.3 ^a	6.7 ^a	6.2 ^a	6.6 ^a	0.61
	2	6.3 ^a	6.1 ^a	6.3 ^a	6.0 ^a	
	4	6.8 ^a	6.4 ^a	5.6 ^a	5.8 ^a	
	6	6.2 ^a	6.0 ^a	5.8 ^a	5.2 ^a	

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

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

Table 3. Means of sensory scores of gamma-irradiated dried banana during storage at 4°C

Sensory characteristics	Storage period (month)	Irradiation dose (kGy)				F value
		0	1	2	4	
Color	0	7.4 ^{a1)}	6.2 ^{abc}	6.2 ^{abc}	5.2 ^c	1.47
	2	7.0 ^{ab}	7.3 ^{ab}	6.3 ^{abc}	6.5 ^{abc}	
	4	6.5 ^{abc}	6.7 ^{abc}	5.7 ^{abc}	6.0 ^{abc}	
	6	6.6 ^{abc}	5.6 ^{bc}	5.8 ^{abc}	5.6 ^{bc}	
Odor	0	7.2 ^a	6.4 ^{ab}	7.0 ^a	4.8 ^b	1.39
	2	6.9 ^a	6.0 ^{ab}	6.5 ^{ab}	6.8 ^a	
	4	6.3 ^{ab}	5.6 ^{ab}	5.9 ^{ab}	5.8 ^{ab}	
	6	5.8 ^{ab}	6.0 ^{ab}	6.0 ^{ab}	5.8 ^{ab}	
Texture	0	6.8 ^a	6.6 ^a	6.6 ^a	5.8 ^a	1.22
	2	5.7 ^a	5.8 ^a	7.0 ^a	6.9 ^a	
	4	5.7 ^a	5.4 ^a	5.9 ^a	5.6 ^a	
	6	5.8 ^a	5.8 ^a	6.0 ^a	5.2 ^a	
Taste	0	7.4 ^a	6.4 ^{abc}	6.8 ^{abc}	5.2 ^{bc}	1.33
	2	6.1 ^{abc}	5.9 ^{abc}	6.9 ^{ab}	5.9 ^{abc}	
	4	6.4 ^{abc}	5.6 ^{abc}	6.1 ^{abc}	4.9 ^c	
	6	6.0 ^{abc}	5.8 ^{abc}	5.6 ^{abc}	5.6 ^{abc}	
Marketability	0	7.4 ^a	6.8 ^{ab}	6.6 ^{ab}	5.6 ^b	1.32
	2	6.7 ^{ab}	6.2 ^{ab}	6.5 ^{ab}	6.5 ^{ab}	
	4	6.5 ^{ab}	5.7 ^{ab}	6.3 ^{ab}	5.4 ^b	
	6	6.2 ^{ab}	5.6 ^b	5.6 ^b	5.2 ^b	

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

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

을 평가하여 TL 및 ESR 검지 가능 기간과의 관련성을 검토하였다. 건포도의 경우 색은 저장 초기에 4 kGy 조사구에서 관능 평점이 낮게 나타났으나, 저장 2개월 쯤부터 선량간의 차이가 감소하였다. 향은 조사 선량 및 저장 기간의 증가에 따라 관능 평점이 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 조직감, 맛 및 상품성은 조사 선량 및 저장 기간에 따른 평점의 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 건포도는 저장 6개월까지 전반적으로 5점 이상의 평점을 나타내어 양호한 상품성을 보여주었다(Table 2). 건바나나의 향, 조직감 및 상품성은 조사 선량 및 저장 기간에 따라 유의적인 차이를 보이지 않았다. 색과 맛은 조사 선량과 저장 기간의 증가에 따라 관능 평점이 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 그러나 저장 6개월 후 전반적인 관능 평점은 5점 이상으로 비교적 양호한 상품성을 나타내었다(Table 3). 이상의 관능적 상품성 평가에서 건포도와 건바나나는 4 kGy까지의 감마선 조사에 의해 저온 저장 시 6개월까지도 양호한 품질을 유지하였으므로 이 기간까지는 조사 여부의 검지 관리가 필요한 것으로 확인되었다.

요 약

방사선 조사(1~4 kGy)와 저장 기간(4°C, 6개월)에 따른 건조과일의 TL 및 ESR 검지 특성과 관능적 품질을 평가하였다. 건포도에서 분리된 mineral의 TL 측정에서 비조사구는 200~

300°C 부근에서 매우 낮은 intensity의 glow curve(TL₁)를 나타내었으나, 1 kGy 이상의 조사구에서는 특유의 peak가 180°C 부근에서 나타나면서 선량 의존적으로 intensity가 증가되었다(R²=0.9684). 이로써 방사선 조사구와 비조사구의 판별이 6개월 동안 가능하였다. 또한 재조사(1 kG)에 의해 측정된 TL₂ signal을 활용하여 TL ratio(TL₁/TL₂)를 계산하였을 때 검지 결과의 신뢰도를 높일 수 있었다. 건바나나의 ESR 측정에서 1 kGy 이상의 조사 시료는 crystalline sugar radical 유래의 전형적인 multicomponent line을 보여 주어 조사 여부의 판별이 가능하였고 signal의 강도는 선량 의존적(R² = 0.8977)으로 6개월 동안 비교적 안정하였다. 방사선 조사된 건조과일은 6개월까지 상품성이 잘 유지되었으므로 TL 및 ESR 분석은 건포도와 건바나나의 검지 관리에 적합한 방법임이 확인되었다.

감사의 글

본 논문은 농림기술개발사업의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사 드립니다.

문 헌

- IAEA. 2001. International atomic energy agency homepage. www.iaea.org/icgfi.
- KATI. 2001. Korea agricultural trade information homepage. www.kati.co.kr.
- WHO. 1981. Wholesomeness of Irradiated Food. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. In Technical Report Series 659, Geneva, Switzerland.
- Codex Alimentarius Commission. 1984. 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.
- Kwon JH. 2001. Irradiation technology for preserving and improving the quality and safety of food. Paper presented at International Symposium on Recent Drying and Storage Technology of Foods and Agricultural Products. Seoul, Korea, 3 November. p 54-65.
- Kwon JH, Chung HW, Kwon YJ. 2000. 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, Korea, 13 October. p 209-254.
- Kwon JH. 2001. Trade prospects and detection control of irradiated food. *The Monthly Food World* 2: 34-38.
- IAEA. 1991. Analytical detection methods for irradiated foods. A review of current literature. IAEA-TECDOC-587. p 172.
- Delincée H. 1998. Detection of food treated with ionizing radiation. *Trends in Food Sci Tech* 9: 73-82.
- Delincée H, Marchioni E, Hasselmann C. 1993. Changes in DNA for the detection of irradiated food. EUR-15012. Commission of the European Communities, Luxembourg. p 1-24.
- Bögl KW. 1990. Method for identification of irradiated food. *Radiat Phys Chem* 35: 301-310.
- Kwon JH, Jeong JY, Chung HW. 2002. Thermoluminescence characteristics of minerals separated from potatoes of different origins of production. *Radiat Phys Chem* 63: 415-418.

13. Beneitez P, Correcher V, Millan A, Calderon T. 1994. Thermoluminescence analysis for testing the irradiation of spices. *J Radioanal Nucl Articles* 185: 401-410.
14. 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.
15. Schreiber GA, Helle N, Bögl KW. 1995. An interlaboratory trial on the identification of irradiated spices, herbs and spice-herb mixtures by thermoluminescence analysis. *J AOAC International* 78: 88-93.
16. Pinnioja S, Autio T, Niemi E, Pensala O. 1996. Import control of irradiated foods by the thermoluminescence method. *Z Lebensm Unters Forsch* 196: 111-115.
17. Chung HW, Kwon JH, Delincee H. 2000. Photostimulated luminescence-thermoluminescence application to detection of irradiated white ginseng powder. *Korean J Food Sci Technol* 32: 265-270.
18. Heide L, Guggenberger R, Bögl KW. 1990. Application of thermoluminescence measurements to detect irradiated strawberries. *J Agric Food Chem* 38: 2160-2163.
19. 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.
20. Chung HW, Delincee H, Kwon JH. 2002. The application of different detection methods for irradiated dried anchovy and shrimp. *Radiat Phys Chem* 63: 411-415.
21. Gray R. 1995. Electron spin resonance spectroscopy for detection of irradiated food. In *New physico-chemical techniques for the characterization of complex food system*. Dickinson E, ed. Cambridge University Press, Cambridge. p 86-108.
22. Oh KN, Park JY, Kim KE, Yang JS. 2000. Detection of irradiated fruits using the DNA comet assay. *Korean J Food Sci Technol* 32: 531-537.
23. Nam HS, Ly SY, Yang JS. 2001. Detection of gamma-irradiated dried fruits by measuring of free radicals. *Korean J Food Sci Technol* 33: 423-426.
24. European Committee for standard. 2000. Detection of irradiated food containing cellulose. Method by ESR spectroscopy. English version of DIN EN 1787.
25. Kim KO, Lee YC. 1993. *Sensory evaluation*. Hakyunsa, Seoul. p 238-246.
26. Origin. 1999. *Origin tutorial manual*. version 6.0. Microcal Software Inc., Northampton, MA. p 20-45.
27. SAS. 2001. *SAS Users guide*. version 8.1. SAS Institute Inc., Cary, NC.
28. Mamoon A, Abdul-Fattah AA, Abulfaraj WH. 1994. Thermoluminescence of irradiated herbs and spices. *Radiat Phys Chem* 44: 203-206.
29. McMurry CH, Stewart EM, Gray R, Pearce J. 1996. ESR detection of free radicals in gamma irradiated spices and other foodstuffs. In *Detection methods for irradiated foods*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK. p 70-84.
30. Linke B, Ammon J, Ballin U, Brockmann R, Brunner J, Delincee H, Eisen S, Erning D, Eschelbach H, Estendorfer-Rinner S, Fienitz B, Frohmüt G, Helle N, Holstein K, Jonas K, Krölls W, Kuhn T, Kruspe W, Marchioni E, Meier W, Pfordt J, Schleich C, Stewart E, Trapp C, Vreden N, Wiezorek C, Bögl KW, Schreiber GA. 1996. Elektronenspinresonanz spektroskopische Untersuchungen zur identifizierung bestrahlter getrockneter und frischer Früchte - Durchführung eines Finger-suches an getrockneten Feigen und Mangos sowie an Erdbeeren. Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin, Berlin, (BgVV-Hefte 03/1996).

(2002년 5월 16일 접수; 2002년 7월 11일 채택)