

감마선 조사 건조과일의 품질평가 및 물리적 판별

정재훈 · 정윤미 · 조덕조 · 권중호[†]

경북대학교 식품공학과

Quality Evaluation and Physical Identification of Irradiated Dried Fruits

Jae-Hoon Jung, Yoonmi Jung, Deokjo Jo, and Joong-Ho Kwon[†]

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

Abstract

Raisins (Thailand), dried mangos (Philippines), and dried figs (Iran) were gamma-irradiated (0~5 kGy), and their quality and detection characteristics were investigated. Microbiological characteristics were at safe levels when samples were irradiated at higher than 3 kGy. In color change after irradiation, dried mangoes were the most sensitive. Photostimulated luminescence (PSL) measurement was not applicable to dried fruits, showing negative or intermediate values for the irradiated samples. Thermoluminescence (TL) measurement was good for dried figs, exhibiting a glow curve in range of 150~200°C, where the signal intensity was dependent on the irradiation dose. Electron spin resonance (ESR) measurement was suitable for raisins and dried mangos, resulting in dose-dependent radiation-induced sugar radical signals.

Key words: dried fruit, irradiation, PSL, TL, ESR

서 론

과일의 건강효과에 대한 관심이 전 세계적으로 높아지고 있는 가운데 과일의 가공형태도 보다 다양해지고 있다. 식품공전에 의하면 과·채 가공품류란 과일류 또는 채소류를 주원료로 하여 제조·가공하거나, 이에 식품 또는 식품첨가물을 가하여 가공한 과·채가공품, 과·채퓨레·페이스트로 정의되고 있고, 대장균은 음성이어야 하고, 타르색소는 검출되어서는 아니된다고 규정되어 있다(1). 생과일이 지닌 수분만 제거하는 방식으로 가공된 건조과일은 미생물 및 효소에 의한 부패나 변질이 방지되고, 영양성분 또한 생과일과 큰 차이가 없다는 결과가 밝혀지면서(2-4) 한결 간편하게 즐길 수 있는 가공제품으로 수요가 증가하고 있다. 농수산물무역정보에 따르면 과일의 수입량은 2009년 654,713톤, 2010년 821,102톤, 2011년 923,080톤으로 매년 증가 추세에 있고, 2011년 수입된 과일 중 포도는 건조품으로 3,928,569 kg을, 망고는 신선제품 및 건조품으로 1,891,797 kg을, 무화과는 신선제품 및 건조품으로 269,671 kg을 차지하였다(5).

국제원자력기구에 따르면 신선 과일류는 살충, 살균, 숙성 지연, 저장기간 연장 등을 목적으로 현재 1~3 kGy 범위의 방사선조사가 허가되어 있으나, 국내에서의 방사선조사는 아직 허가되지 않은 상태이다(6). 방사선조사는 지금까지 사용되어 온 훈증제, 살균제, 농약 등의 화학약제와 열처리 등

의 대안으로 그 효과와 타당성이 인정되어 우리나라를 포함한 50여 개국에서 이용을 허가하였고, 30여 개국에서 상업적으로 실용화되고 있다(7). 식품공전에 따르면 우리나라의 경우 4차에 걸쳐서 26개 품목에 대하여 방사선조사를 확대 허가하였고, 품목은 감자, 양파, 마늘, 밤, 버섯 등 신선식품류를 비롯하여 건조식육, 어패류분말, 전분, 인삼, 건조향신료, 복합조미식품 등 다양하며, 선량은 최저 0.15 kGy에서 최고 10 kGy까지 ⁶⁰CO 감마선의 사용이 허용되어 있다(8). 이에 따라 방사선조사가 허가된 식품 중 7종(향신료 및 이들 조제품, 복합조미식품, 감자, 마늘, 생 버섯, 건조버섯, 양파)에 대한 물리적 판별법으로 광자극발광분석법(Photostimulated Luminescence, PSL)과 열발광분석법(Thermoluminescence, TL)의 시행(2010. 1. 1)을 위한 확인시험법이 확립 고시(2009. 6. 30)된 바 있다(9). 건조과일의 경우도 교역 증대로 인한 국내 유통이 증가될 전망이다(10) 이에 따른 확인시험법의 확립이 요구되고 있다.

본 연구에서는 방사선조사된 건조과일의 미생물 및 색도 확인을 통하여 시료 사이의 차이를 확인하고, 조사여부 판별을 위한 물리적 방법인 PSL, TL, ESR(Electron Spin Resonance)을 이용하여 건조과일에 대한 검지법의 적용가능성을 확인하였다.

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

재료 및 방법

실험 재료

시중에서 유통되고 있는 건포도, 건망고, 건무화과 제품을 3종씩 선택하여 TL 및 ESR 방법으로 조사처리 여부를 screening한 후 이를 통해 비 조사시료로 판별된 H사 건포도(Thailand산), P사 건망고(Philippine산), K사 건무화과(Iran산)를 본 실험의 재료로 선정하였다. 시료는 500 g 단위로 low density polyethylene bag에 밀봉하여 방사선조사용 시료로 사용하였다.

방사선조사

건조과일의 감마선 조사는 정읍방사선과학연구소에 있는 Co-60 감마선 조사 시설(100 kCi point source, AECL, IR-79, MDS Nordion International Co. Ltd., Ottawa, Canada)을 이용하여 시간당 일정한 선량률로 0~5 kGy를 조사하였다. 이때 흡수선량의 확인을 위해 alanine dosimeter(Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 이용하여 ESR spectrometer(Bruker EMS 104 EPR analyzer)에서 조사 후 생성되는 free radical을 측정하여 확인하였다.

총 균수 측정

건조과일의 총 균수는 American Public Health Association(APHA) 표준방법(10)에 따라 멸균된 peptone 수로 10 배수 연속 희석한 다음 plate count agar(Difco, Sparks, MD, USA)를 사용하여 37°C에서 72시간 이상 배양한 후 생성된 미생물의 집락을 계수하여 시료 1 mL당 미생물 수(colony forming unit, CFU)로 나타내었다.

기계적 색도 측정

건조과일의 기계적 색도는 색차계(Chromameter CR-200, Minolta, Osaka, Japan)를 사용하여 측정된 후 Hunter scale에 의해 L(lightness), a(redness) 및 b(yellowness) 값으로 나타내었다. 한편 ΔE (total color difference)는 조사되지 않은 시료의 L, a, b 값을 기준으로 나타내었고, 표준백판의 L, a, 및 b 값은 각각 97.79, -0.38, 2.05이었다(11).

PSL 분석

PSL 측정은 European Committee for Standardization(CEN) 방법(12)에 준하여 빛에 대한 노출을 최대한으로 줄인 조건 하에서 교차오염을 피하도록 주의하였다. 건조과일을 petri dish에 고르게 담아 Pulsed PSL Irradiated food screening system(SURRC, Glasgow, UK)의 시료 chamber에 넣고 60초 동안 방출되는 photon count를 측정하였다. 이때 기기의 dark count는 28 ± 1.5 , light count는 25 ± 1.8 이었다. 측정결과의 판정에서 threshold value는 $T_1=700$ photon count/min, $T_2=5,000$ photon count/min이었으며, T_1 이하의 값은 비 조사시료(negative)로, T_2 이상이면 조사시료(positive)로 판별하였다. 그리고 T_1 과 T_2 사이의 값은 조사

여부를 판단할 수 없으므로 다른 판별법과 병행하였다(13-15).

TL 분석

TL 분석은 CEN 방법(16)에 따라 시료에 혼입되어 있는 흙이나 이물질 형태의 무기질을 분리하여 측정에 사용하였다. 건조과일 200 g에 증류수를 가하여 ultrasonic agitator 처리하고 물로 세척하여 125 μ m 체를 통과시킨 후 일정시간 정지하여 침전물을 취하였다. 유기물 제거를 위해 침전물에 sodium polytungstate solution(2 g/mL) 2.5 mL를 가하고 무기질에 함유되어 있을 carbonate 제거를 위해 1 N HCl 2 mL를 가한 후 1 N NH_4OH 2 mL로 중화하였다. 분리된 무기질을 aluminium disc(6 mm)에 옮겨 담고 50°C에서 하룻밤 예열한 후 Thermoluminescence Dosimetry system(TLD-4500, Harshaw, Wermelskirchen, Germany)을 이용하여 고순도 질소가스를 흘려보내면서 초기온도 50°C, 최고 온도 350°C, 가온율 5°C/s의 조건으로 측정하였다(17-19).

ESR 분석

시료를 24시간 동결 건조하여 약 0.4 g을 ESR pyrex tube에 충전하였다. ESR spectrometer(JES-TE 300, Jeol Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 microwave power 9.18~9.21 GHz, microwave frequency 1.0 mW, sweep width 25 mT, modulation frequency 100 kHz, modulation width 1 mT, amplitude 160 mT, time constant 0.03초, sweep time 30초의 조건에서 측정하였다(20,21).

통계처리

기계적 색도는 10회, 그 외 분석은 3회 반복하였고, 측정 결과는 Origin(22)에 의해 분석하였다. 결과에 영향을 미치는 변수들은 SAS(Statistical Analysis System) program(23)을 이용하여 분석하였고, Duncan's multiple range test를 이용하여 평균값 사이의 유의적인 차이를 관찰하였다.

결과 및 고찰

총 균수 변화

건조과일류에 대한 총 균수 결과는 Table 1과 같다. 비 조사시료의 총 균수는 건포도에서 2.84×10^1 , 건망고에서 4.28×10^1 , 건무화과에서 2.04×10^1 CFU/g 수준으로 확인되었다. 하지만 방사선이 조사되자 1 kGy 시료에서 건포도는

Table 1. Total bacteria of gamma-irradiated dried fruits

Irradiation dose (kGy)	Total bacterial count (CFU/g)		
	Raisin	Dried mango	Dried fig
0	2.84×10^1	4.28×10^1	2.04×10^1
1	2.16×10^1	3.38×10^1	1.00×10^1
3	ND ¹⁾	1.64×10^1	ND
5	ND	ND	0

¹⁾Not detectable (the minimum detection level as 20 CFU/g).

2.16×10^1 , 건망고는 3.38×10^1 , 건무화과는 1.00×10^1 CFU/g 수준으로 감소하였고, 그 이상의 선량으로 조사된 시료에서는 대부분 확인할 수 없는 수준 이하로 나타나 미생물학적으로 안전함을 알 수 있었다. 일반적으로 방사선조사의 가장 주된 목적은 살균 및 멸균인데, 이는 방사선조사에 의해 물 분자에서 생성된 OH radical이 DNA 사슬을 절단하기 때문이다. 이와 같이 DNA 2가닥 고리의 같은 부분이 동시에 손상을 입으면 회복이 불가능하여 살균 및 멸균의 효과를 얻게 되고(24), 이를 위해 효모 및 곰팡이는 1~5 kGy, 포자형성균은 15~40 kGy 선량의 방사선조사가 필요하다(25). 본 실험에 사용된 다소비 시판 건조과일은 예상보다 비교적 낮은 수준의 미생물 농도를 나타내었고, 이는 시료의 높은 당 함량 때문이거나 건조과일에 대해 식품업계의 방사선조사 이외의 살균법 적용 가능성 때문이라고 사료되었다. 한편 이상의 결과는 방사선조사된 시료의 미생물 살균특성에 관한 기존 연구결과와 유사하였고(26-28), 건조과일은 미생물학적 품질을 유지하기 위해 살균 목적의 방사선조사 처리가 효과적임을 확인할 수 있었다.

기계적 색도 변화

방사선조사에 따른 건조과일의 색도 변화를 알아보기 위하여 색차계로 측정된 L, a, b, ΔE 값과 SAS에 의한 이들의 분석 결과는 Table 2와 같다. 건포도의 경우 명도는 36.57~40.14, 적색도는 1.95~4.19, 황색도는 0.37~2.19 범위로 측정되었고, 선량의 증가에 따라 명도는 감소하고 적색도와 황색도는 증가하는 경향을 나타내었다. 건망고의 경우 명도는 78.46~94.44, 적색도는 -6.16~1.09, 황색도는 12.63~24.06 범위로 측정되어, 선량의 증가에 따라 명도와 황색도가 감소하고 적색도가 증가하는 경향을 나타내었다. 건무화과의 경우 명도는 90.27~97.48, 적색도는 -1.65~4.82, 황색도는 5.74~8.97 범위로 측정되었으며, 명도는 비 조사시료에 비해 조사시료에서 다소 증가하는 경향을 보였으나, 적색도와 황색도는 선량의 증가에 따른 유의적인 차이를 나타내

지 않았다. 한편 비 조사시료와 색의 차이를 나타내는 색차 값은 건포도의 경우 1.67~4.59, 건망고의 경우 2.11~17.66, 건무화과의 경우 8.21~9.10 범위를 나타내었고, 건망고의 색 변화가 방사선조사에 가장 민감함을 알 수 있었다. 이와 같은 방사선조사 식품에서의 색 변화 현상은 조사에 의해 생성된 라디칼이 전분을 분해하여 환원당이 생성되고 Maillard 및 caramelization 반응을 유도하여 색의 변화를 가속화시키기기 때문으로(29) 사료되었다. 한편 Han 등(27)은 방사선조사된 우유죽에서 L, a, b 값의 증가를, Song 등(30)은 감마선 조사된 마즙에서 Hunter 값의 변화를 보고하여, 방사선조사가 시료의 색 변화를 가져올 수 있다는 본 연구의 결과와 유사하였다.

PSL 분석 특성

PSL 분석법은 광물질(feldspar, quartz)에 포획된 저장에너지를 적외선으로 자극하여 방사되는 빛에너지를 photon counts(PCs)로 측정하는 방법이다. 방사선조사에 따른 시료의 photon count 측정 결과는 Table 3과 같고, 이를 이용하여 screening 방법으로써의 가능성을 검토하였다. 건포도의 경우 비 조사시료는 음성(negative, 282 PCs)으로, 1, 3, 5 kGy 선량의 조사시료는 중간 값(intermediate, 967~1,153 PCs)으로 확인되었다. 건망고의 경우 비 조사시료와 조사시료의 photon count 값이 288~341 PCs 범위로 측정되어 모두 음성으로 확인되었다. 무화과의 경우 0 및 1 kGy 조사시료의 photon count 값이 317 및 439 PCs로 측정되어 음성으로 확인되었고, 3 kGy 시료는 2,991 PCs로 측정되어 중간 값 즉, 조사여부를 판별할 수 없었으며, 5 kGy 시료는 5,795 PCs로 측정되어 positive로 확인되었다. 이상의 결과 PSL 측정법은 건조과일에 대한 screening 방법으로서의 적용가능성이 낮았으며, 이는 가공공정과 유통과정 중 제품에 포함된 무기질의 손실 및 변형에 의한 것으로 추측되었다. 한편 Jeong 등(31)도 농산물을 이용한 PSL 측정에서 일부 시료의 photon counts가 조사여부에 대한 차이를 보이지 않아 본 실험

Table 2. Hunter's color values of gamma-irradiated dried fruits

Sample	Hunter's parameter ¹⁾	Irradiation dose (kGy)			
		0	1	3	5
Raisin	L	40.14±0.55 ^a	39.37±0.44 ^a	37.66±1.39 ^b	36.57±0.62 ^b
	a	1.95±0.15 ^b	2.38±0.11 ^b	3.44±0.96 ^a	4.19±0.53 ^a
	b	0.37±0.05 ^d	1.78±0.05 ^b	0.68±0.23 ^c	2.19±0.05 ^a
	ΔE	0.00	1.67±0.07	2.90±1.65	4.59±1.01
Dried mango	L	94.44±0.53 ^b	96.07±0.24 ^a	87.01±0.24 ^c	78.46±0.55 ^d
	a	-6.16±0.09 ^d	-5.21±0.05 ^c	1.09±0.10 ^a	0.00±0.26 ^b
	b	23.10±0.48 ^a	24.06±0.99 ^a	12.63±0.05 ^c	18.77±1.90 ^b
	ΔE	0.00	2.11±0.60	14.74±0.79	17.66±5.84
Dried fig	L	90.27±0.76 ^d	96.24±0.16 ^b	97.48±0.22 ^a	94.64±0.38 ^c
	a	4.82±6.51 ^a	-0.78±0.03 ^a	0.31±0.08 ^a	-1.65±0.04 ^a
	b	8.97±6.38 ^a	6.53±0.12 ^a	5.74±0.20 ^a	6.46±0.28 ^a
	ΔE	0.00	8.55±5.60	9.10±6.13	8.21±6.03

¹⁾L: Degree of lightness (white +100 ↔ 0 black), a: Degree of redness (red +100 ↔ -80 green), b: Degree of yellowness (yellow +70 ↔ -80 blue), ΔE: Overall color difference ($\sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$).

^{a-d}Values within a row not sharing the same superscript letter are significantly different (p<0.05).

Table 3. Photostimulated luminescence analysis of gamma-irradiated dried fruits (unit : PCs)

Sample	Irradiation dose (kGy)			
	0	1	3	5
Raisin	282±35 (-) ¹⁾	967±79 (M)	1,078±277 (M)	1,153±173 (M)
Dried mango	341±47 (-)	334±15 (-)	288±51 (-)	339±132 (-)
Dried fig	317±90 (-)	439±288 (-)	2,991±588 (M)	5,795±1,470 (+)

¹⁾Threshold value: $T_1=700$, $T_2=5,000$. (-: negative) $<T_1$, $T_1<(M: intermediated)<T_2$, (+: positive) $>T_2$.

과 유사한 결과를 보여주었다.

TL 분석 특성

TL 분석은 방사선 조사된 무기물이 열 자극에 특이적인 반응을 나타내는 원리를 이용하여 방사선 조사여부를 판별하는 방법으로, 이러한 발광특성을 이용하여 많은 연구가 진행되어 왔다. 건포도의 TL 분석 결과는 Fig. 1과 같다. 건포도의 경우 비 조사시료는 특유의 발광곡선을 나타내지 않았으나, 1 및 3 kGy 조사시료는 180°C 근처에서 조사 특유의 발광곡선을 나타내었고 강도(intensity)도 증가하였다. 하지만 5 kGy 조사시료의 경우 150 및 250°C에서 두 개의 peak를 나타내는 특이한 곡선을 나타내었고 신호 강도(signal intensity) 또한 선량 의존적으로 증가하지 않았다. Jo와 Kwon (32)은 건포도의 열발광 측정에서 조사시료는 특유의 glow curve를 나타내었고, 선량의 증가에 따라 신호 강도 또한 증가하였다고 보고하여 본 연구와 다소 상이한 결과를 보여주었다. 이는 실험에 사용된 재료의 차이로 인해 혼입된 무기질의 성분과 함량이 다를 수 있고, 가공에 적용된 방법의 차이 또한 중요한 요인이라고 사료되었다. 건망고의 경우 비 조사시료는 180°C 근처에서 30 a.u. 정도의 낮은 강도를 가지는 signal을 나타내었고, 조사시료는 250°C 근처에서 10~40 a.u. 범위의 강도를 가지는 signal을 나타내었으며 선량의 증가에 따라 강도는 증가하였다. 하지만 비 조사시료와 조사시료에서 나타나는 signal과 강도의 차이가 크지 않아 TL 측정의 적용이 어려운 것으로 확인되었고, 이는 TL 판별 marker인 feldspar, quartz 등의 광물질(17)이 건망고에 극히 소량으로 존재하기 때문으로 사료되었다. 건무화과의 경우 비 조사시료는 특이한 발광곡선을 나타내지 않았으나, 1~5 kGy 범위의 조사시료는 150~200°C 사이에서 조사시료 특유의 발광곡선을 나타내었고, 신호 강도 또한 조사선량에 의존적으로 증가하였다. 이상의 결과, 건무화과만이 TL 측정을 통한 조사여부의 판별이 가능하였다. 한편, 방사선처리 식품의 판별을 위한 열발광 분석에서 re-irradiation step에 의한 TL ratio 산출은 여러 종류의 식품에서 검지의 신뢰도를 높일 수 있는 방안으로 보고되었으므로(33,34), 건포도와 건망고의 경우 TL ratio 산출을 통해 결과의 신뢰성을 증진시키는 과정이 필요한 것으로 사료되었다.

ESR 분석 특성

건포도의 ESR 측정 결과는 Fig. 2 및 3과 같다. 식물유래의 식품은 조사시료와 비 조사시료 모두 공통적으로 central

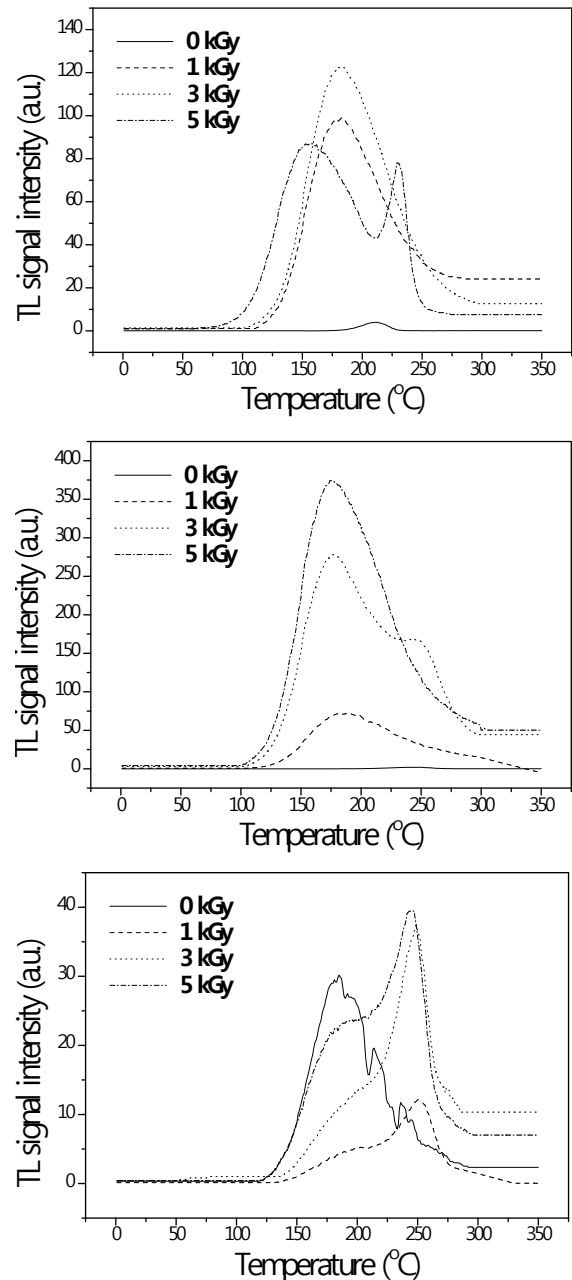


Fig. 1. TL signal intensity of dried fruits irradiated at different doses (top: raisin, middle: dried mango, bottom: dried fig).

line을 나타내고, 조사선량이 증가함에 따라 신호의 크기 역시 증가한다. 건포도와 건망고의 경우 비 조사시료에서는 single line의 신호를 보여주었으나 조사시료에서는 crys-

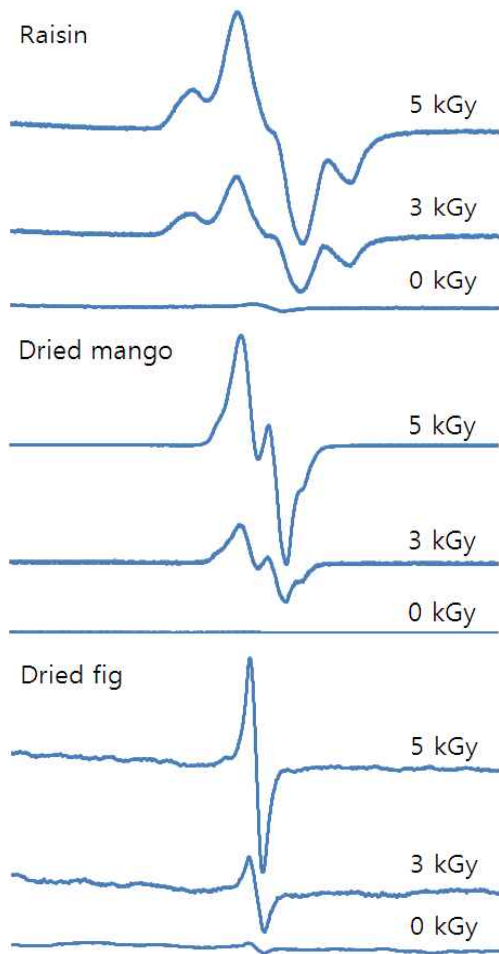


Fig. 2. ESR spectra of dried fruits irradiated at different doses.

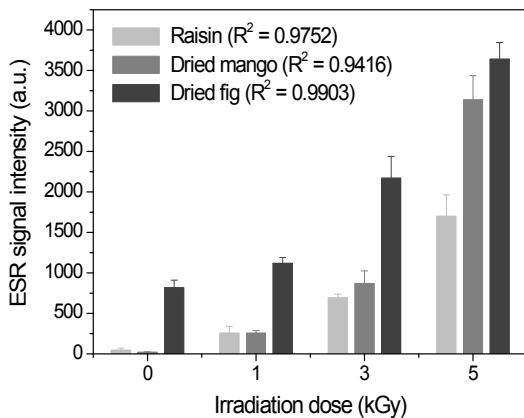


Fig. 3. ESR signal intensity of dried fruits irradiated at different doses.

talline sugar radical 유래의 multi-component 신호를 보여주었다. 피크와 피크 사이의 높이로 측정되는 신호 강도 역시 건포도($R^2=0.9752$)와 건망고($R^2=0.9416$) 모두 조사선량에 따라 유의적으로 증가하여 이들은 ESR 적용이 가능하였다. 한편 건무화과의 경우 모든 시료에서 조사여부에 관계없

이 single line의 ESR 신호가 확인될 뿐 조사유래의 특이한 신호가 나타나지 않았으나, 신호 강도의 R^2 는 0.9903으로 나타나 조사에 따른 신호의 세기가 선량에 유의적으로 증가함을 확인할 수 있었다. ESR 측정에서는 식품 내에 존재하는 특정 물질이 라디칼의 검출을 방해할 수 있으므로 본 연구의 실험 방법으로는 건무화과에 대한 ESR 적용이 어려울 것으로 판단되었고, 이에 대한 추후 연구가 필요한 것으로 사료되었다. 한편 Jo와 Kwon(32)은 건포도에서 방사선조사 유래의 특이적인 신호를 확인할 수 없어 ESR의 적용가능성이 낮다고 보고하여 본 연구의 결과와 다소 상이하였고, Bustos 등(35)은 ESR spectrometry가 방사선 조사된 망고의 확인을 위한 유용한 기술이라고 보고하여 본 연구의 결과를 뒷받침하였다. 식품에서 생성된 radical들은 식품 내에 존재하는 수분에 의해 빠르게 증화되므로(36), 건조과일을 이용한 ESR 측정에 있어 건조, 포장, 보관의 개선을 통한 수분함량의 조절과 일부 연구(36,37)에서와 같이 과일의 딱딱한 부분인 씨의 이용과 같은 보완책이 요구되었다.

요 약

건포도(Thailand산), 건망고(Philippine산), 건무화과(Iran산)를 0~5 kGy로 감마선 조사한 후 총균수 및 기계적 색차를 측정하고 조사여부 판별가능성을 확인하였다. 총 균수 측정 결과 3 kGy 이상으로 조사된 시료에서는 대부분 검출할 수 없는 수준으로 나타나 미생물학적으로 안전함을 알 수 있었다. 건조과일의 색차 측정에서, 건망고의 색 변화가 방사선조사에 가장 민감하였다. PSL 측정 결과, 건포도의 경우 비 조사시료는 음성으로, 조사시료는 중간 값으로 확인되었고 건망고의 경우 모든 시료가 음성으로 확인되었으며, 무화과의 경우 5 kGy 조사시료만이 양성으로 확인되어, 건조과일의 경우 PSL 측정법은 screening 방법으로서의 적용가능성이 낮았다. TL 측정 결과 건무화과의 경우 조사시료는 150~200°C 사이에서 특유의 발광곡선을 나타내었고, 신호 강도 또한 조사선량에 의존적으로 증가하여 TL 적용이 가능하였다. ESR 측정 결과 건포도와 건망고의 경우 조사시료에서 multi-component 신호를 보여주었고, 신호 강도 역시 조사선량에 따라 유의적으로 증가하여 ESR 적용이 가능하였다.

감사의 글

이 논문은 2012학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

문 헌

1. KFDA. 2011. *Korea Food Standard Code*. Available from http://fse.foodnara.go.kr/residue/RS/jsp/menu_02_01_03.jsp?idx=85.

2. Marques LG, Silveira AM, Freire JT. 2006. Freeze-drying characteristics of tropical fruits. *Drying Technol* 24: 457-463.
3. Hawlader MNA, Perera CO, Tian M, Yeo KL. 2006. Drying of guava and papaya: Impact of different drying methods. *Drying Technol* 24: 77-87.
4. Erbay Z, Icier F. 2009. Optimization of drying of olive leaves in a pilot-scale heat pump dryer. *Drying Technol* 27: 416-427.
5. KATI. 2011. Korea agricultural trade information homepage. Available from <http://www.kati.net/sta/staRes1.do?menuCode=120&parentCode=1&url=%2Fsta%2FstaRes1&topMenuCode=120>
6. IAEA. 2011. International atomic energy agency homepage. Available from <http://nucleus.iaea.org/ifa/FoodAuthorisationDisplay.aspx>
7. Kume T, Furuta M, Todoriki S, Uenoyama N, Kobayashi Y. 2009. Status of food irradiation in the world. *Raidat Phys Chem* 78: 222-226.
8. KFDA. 2009. Korea Food Code. 2-1-9~2-1-10.
9. KFDA. 2009. Notification on the Detection Methods for Irradiated Food. No. 2009-44.
10. APHA. 1976. *Standard methods for the examination of dairy products*. 14th ed. American Public Health Association, Washington, DC, USA. p 697.
11. Cho HO, Byun MW, Kwon JH, Lee JW. 1987. Effects of gamma irradiation and ethylene oxide fumigation on the quality of dried marine products (shrimp, anchovy). *Kor J Food Hygiene* 2: 21-27.
12. European Committee for Standard. 2002. Detection of irradiated food using photostimulated luminescence. English version of DIN EN13751.
13. Johnston DE, Stevenson MH. 1990. The proceedings of an international symposium organized by the food chemistry group of the royal society of chemistry as part of the annual chemical congress: food irradiation and the chemist. The Royal Society of Chemistry, Special publication, Cambridge, UK. No 86.
14. European Committee for Standard. 2002. Detection of irradiated food using photostimulated luminescence. English version of DIN EN13751.
15. Schreiber GA. 1996. Thermo-luminescence and photostimulated luminescence techniques to identify irradiated foods. In *Detection Methods for Irradiated Foods*. McMurray, Stewart CH, Gray EM, Pearce J, eds. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK. p 121-123.
16. 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.
17. Schreiber GA, Ziegelmann B, Quitzsch G, Helle N, Bögl KW. 1993. Luminescence techniques to identify the treatment of foods by ionizing irradiation. *Food Struct* 12: 385-396.
18. Schreiber GA, Helle N, Bögl KW. 1995. An interlaboratory trial on the identification of irradiated spices, herbs, and spice-herb mixtures by thermo-luminescence analysis. *J AOAC Int* 78: 88-93.
19. Schreiber GA, Hoffmann A, Helle N, Bögl KW. 1994. Methods for routine control of irradiate food: Determination of the irradiation status of shellfish by thermoluminescence analysis. *Raidat Phys Chem* 43: 533-544.
20. EN 1787. 2002. *Foodstuffs-Detection of irradiated food containing cellulose. Method by ESR spectroscopy*. Brussels, Belgium.
21. Stewart EM, Stevenson MH, Gray R. 1994. Use of ESR spectroscopy for the detection of irradiated Crustacea. *J Sci Food Agric* 65: 191-197.
22. Origin. 1999. Origin tutorial manual. version 6.0. Microcal Software Inc., Northampton, MA, USA. p 20-45.
23. SAS. 2001. SAS Users guide. version 8.1. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
24. WHO. 1994. *Safety and nutritional adequacy of irradiated food*. Geneva, Switzerland.
25. Goldblith SA, Proctor BE. 1956. Radiation preservation of milk and milk products I. Background and problems. *J Dairy Sci* 39: 374-378.
26. Jeon KH, Oh SW, Lee NH, Kim YJ, Park KJ, Kim YH. 2008. Quality properties of the refrigerated or frozen irradiated beef patty. *Korean J Food Sci Ani Resour* 28: 437-444.
27. Han IJ, Park JN, Park JG, Song BS, Lee JW, Kim JH, Ryu HS, Park JR, Chun SS. 2011. Quality characteristics of milk porridge (*Tarakjuk*) sterilized with radiation technology. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40: 885-891.
28. Rico CW, Kim GR, Ahn JJ, Kim HK, Furuta M, Kwon JH. 2010. The comparative effect of steaming and irradiation on the physicochemical and microbiological properties of dried red pepper (*Capsicum annum* L.). *Food Chem* 119: 1012-1016.
29. Oh SH, Lee YS, Kim JH, Kim JH, Lee JW, Kim MR, Yook HS, Byun MW. 2006. Effect of pH on non-enzymatic browning reaction during γ -irradiation processing using sugar and sugar-glycine solutions. *Food Chem* 94: 420-427.
30. Song HP, Kim BD, Shin EH, Song DS, Lee HJ, Kim DH. 2010. Effects of gamma irradiation on the microbiological and general quality characteristics of fresh yam juice. *Korean J Food Preserv* 17: 494-499.
31. Jeong J, Lee E, Kwon JH. 2001. The detection of irradiated agricultural commodities by origins with photostimulated luminescence (PSL) analysis. *Korean J Postharvest Sci Technol* 8: 291-295.
32. Jo D, Kwon JH. 2002. Characteristics of thermoluminescence and electron spin resonance and organoleptic quality of irradiated raisin and dried banana during storage. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31: 609-614.
33. Kwon JH, Jeong JY, Chung HW. 2002. Thermoluminescence characteristics of minerals separated from potatoes of different origins of production. *Raidat Phys Chem* 63: 415-418.
34. Beneitez P, Correcher V, Millan A, Calderon T. 1994. Thermoluminescence analysis for testing the irradiation of spices. *J Radioanal Nucl Chem* 185: 401-410.
35. Bustos ME, Romero ME, Gutiérrez A, Azorín J. 1996. Identification of irradiated mangoes by means of ESR spectroscopy. *Appl Radiat Isot* 47: 1655-1656.
36. Raffi JJ, Benzaria SM. 1993. Identification of irradiated foods by electron spin resonance techniques. *J Radiat Steril* 1: 281-304.
37. Engin B, Aydas C, Polat M. 2011. Detection of gamma irradiated fig seeds by analysing electron spin resonance. *Food Chem* 126: 1877-1882.

(2012년 7월 9일 접수; 2012년 8월 31일)