KOREAN J. FOOD SCI. TECHNOL. Vol. 44, No. 6, pp. 673~679 (2012)
http://dx.doi.org/10.9721/KJFST.2012.44.6.673

KOREAN JOURNAL OF
한국식품과학회지
FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY

©The Korean Society of Food Science and Technology

물리적 확인시험법을 이용한 시판 유통 중인 고춧가루의 방사선 조사여부 판별 모니터링

정미선 · 안재준 · 카시프 아크람 · 김귀란 · 김현구[1] · 권중호*
경북대학교 식품공학부 및 식품생물산업연구소, [1]한국식품연구원

Monitoring of Commercial Red Pepper Powders for Their Irradiation Status

Mi-Seon Jeong, Jae-Jun Ahn, Kashif Akram, Gui-Ran Kim, Hyun-Ku Kim[1], and Joong-Ho Kwon*
School of Food Science & Biotechnology, Kyungpook National University
[1]*Korea Food Research Institute*

Abstract Ten commercially available red pepper powders were investigated using photostimulated-luminescence (PSL), thermoluminescence (TL) and electron spin resonance (ESR) analyses to confirm their irradiation status. The application of PSL, TL, and ESR analyses was also confirmed by in-house irradiation. In PSL-based screening, all samples gave negative photon counts (<700 PCs). The PSL calibration dose (1 kGy) showed a low sensitivity of 4 samples, while the others provided reliable screening results. TL glow curves demonstrated maximum peaks after 250°C for the 6 samples; however 4 samples gave complex TL glow curves with maximum peaks in the range of 185-260°C (radiation-specific), which could be the effect of an irradiated component in low concentration as the TL ratios of all samples were <0.1. Radiation-specific ESR features were absent in the all commercial samples. Variable irradiation detection properties were found; where the TL analysis showed the possible presence of an irradiated component in 4 samples requiring further monitoring and investigation.

Keywords: red pepper powder, detection, thermoluminescence, photostimulated luminescence, electron spin resonance

서 론

고추(*Capsacum annuum* L.)는 비타민 A와 비타민 C의 주요 공급원이며, 중요한 항산화물질도 많이 함유하고 있어 한국인의 식생활에서 필수적인 향신료로서(1), 특히 전통 발표식품인 김치와 고추장의 색깔, 맛, 질 등의 가치를 평하는 중요한 재료이다. 고추의 매운맛 성분인 capsaicinoid는 항균작용, 항암효과 및 항비만 효과 등을 나타내는 것으로 보고된 바 있다(2). 하지만 고춧가루는 수확 후 건조, 분쇄 및 유통 과정 중 미생물의 오염 가능성이 매우 높아 상품가치가 떨어질 수 있어 식품 위생상 큰 문제가 될 수 있다(3). 고춧가루의 살균방법으로는 ethylene oxide, ethylene dibromide 등을 이용한 훈증처리, 적외선 및 자외선 조사처리를 이용한 살균법 등이 있는데(4-6), 훈증처리방법은 화학약제를 이용함으로써 인체에 해로운 2차 오염물질이 발생할 수 있고 환경적 오염문제를 유발하므로 2015년을 기준으로 세계적으로 사용이 금지되며(7), 적외선 및 자외선 조사방법은 고춧가루의 품질변화도 적고, 환경/영양학적인 문제도 없으나 살균효과가 낮은 단점이 있다. 이에 반해 방사선을 이용한 살균살충기술은 잔류성이 없고 환경 친화적인 기술로서 비가열, 비약제 처리이므로 품질변화가 적고, 작은 선량으로도 완전 살균이 가능하며, 포장된 상태에서 처리가 가능하므로 2차 오염이 없는 장점이 있다(8,9).

국내 및 대부분의 나라에서 향신료는 10 kGy까지 조사선량이 허가되어 있는며, 미국 및 뉴질랜드는 최대 30 kGy까지 허가되어 있다(10). 또한 조사처리식품에는 조사처리마크(radura)를 부착하도록 법으로 규정하여 소비자의 알권리와 선택권을 보장하고 있다(11). 향신료의 조사여부 확인방법으로는 식품에 존재하는 광물질의 에너지 준위를 분석하는 광자극발광(photostimulated luminescence, PSL), 열발광(thermoluminescence, TL)과 조사처리에 의해 생성되는 자유라디칼을 측정하는 전자스핀공명(electron spin resonance, ESR), 조사전과 조사후의 미생물상을 비교하여 조사여부를 확인하는 direct epifluorescent filter technique/aerobic plate counts(DEFT/APC) 등이 있다(12). 국내 식품공전에서는 향신료의 조사여부를 확인하기 위한 방법으로 PSL, TL 및 ESR 방법을 이용하여 판별하도록 규정하고 있다(13). 2005년 영국 FSA(Food Standards Agency)에서 유통 중인 향신료 48 종에 대한 조사여부를 모니터링한 결과, 최종제품 조사 23%, 식품 내 부재료 조사 20%, 비 조사 56%로 나타났다고 하였으며(14), 아일랜드에서 2003년과 2005년 20 종의 향신료 품목에 대해 조사여부를 모니터링한 결과, 2003년 85%, 2005년 95%의 향신료가 조사처리된 것으로 확인되었다(15). 최근 중국에서 보고된 133개 가공식품의 부재료에 대한 조사여부를 판별한 모니터링 한 결과에 의하면, 30종(23%)의 부재료에서 조사처리된 것으로 나타났다(16). 따라서 식품의 조사처리는 나라마다 허가규정이 서로 상이하고, 국민들

*Corresponding author: Joong-Ho Kwon, School of Food Science & Biotechnology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea
Tel: 82-53-950-5775
Fax 82-53-950-6772
E-mail: jhkwon@knu.ac.kr
Received July 18, 2012; revised September 26, 2012; accepted October 4, 2012

의 조사식품에 대한 이해도와 수용성이 각각 다르므로, 조사여부를 판별하는 것은 매우 중요하며, 이에 대한 관리 역시 매우 중요하다. 그러나 많은 제품이 조사처리를 하였음에도 불구하고 radura 마크를 부착하지 않은 경우가 대부분이므로, 이에 대한 관리와 감독이 반드시 필요하다.

따라서 본 연구에서는 PSL, TL 및 ESR 확인시험법을 이용하여 국내에서 감마선조사(10 kGy 이하)가 허가된 시중에 유통 중인 고춧가루 제품을 대상으로 조사여부 판별분석가능성을 확인하고, 위생안정성에 대해 조사하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용된 고춧가루는 시중에 유통 중인 고춧가루 제품 중 각각 다른 회사에서 생산된 10 종(국내산 8 종, 중국산 2 종)의 제품을 대구 대형마트에서 구입하여 실험재료로 이용하였다. 시료는 polyethylene(PE) film에 200-500 g 단위로 포장된 상태였으며, 이를 그대로 시험분석용 시료로 사용하였다.

감마선 조사

시판 고춧가루의 감마선 조사는 정읍 한국원자력연구원 첨단방사선연구소내 선원 ^{60}Co 감마선 조사시설(AECL, IR-79, MDS Nordion International Co., Ltd., Canada)을 이용하여 시간당 일정한 선량률(1 kGy/hr)로 0-5 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 이 때 흡수선량은 alanine dosimeter(Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 사용하여 ESR spectrometer(EMS 104 EPR analyzer, Bruker, Rheinstetten, Germany)에 의해 확인하였으며 총 흡수선량의 오차는 2% 이내였다.

광자극발광(PSL) 분석

광자극발광법(PSL)의 측정은 식품공전의 방사선 조사식품 확인시험법에 따라 시행하였다(13). 시료를 50 mm 직경의 PSL 측정용 페트리디시에 바닥에 담고, PSL screening system(serial 0021, Scottish universities research and reactor center, Glasgow, UK) 60초 동안 방출되는 광자수를 계측하였다. 조사여부 판정을 위한 threshold value는 T_1=700 count/60 s와 T_2=5000 count/60 s이었다. T_1 미만이면 음성(negative, 방사선이 조사되지 않은 시료)로 판정하고, T_2 초과이면 양성시료(positive, 방사선이 조사된 시료)로 판정하였다. 측정값이 T_1-T_2의 값을 나타내면 중간시료(intermediate, 방사선 조사여부를 판단할 수 없는 시료)로 판정하였다.

열발광(TL) 분석

열발광분석법(TL)의 측정을 위하여 고춧가루 200 g에 일정량의 증류수를 가하여 ultrasonic agitator(Power sonic 420, Whasin Tech, Daegu, Korea)에서 10분간 처리한 후, 다시 시료를 water rising하여 nylon sieve(직경: 150 μm)를 통과시켜 일정시간 정치시킨 후 침전물을 취하였다. 침전물은 $Na_6[H_2W_{12}O_{40}]$ solution(2.0 g/mL) 2.5 mL를 가하여 유기물을 제거하고 증류수로 세척한 후, 산(1 N HCl)-알칼리(1 N NH_4OH) 처리하여 carbonate를 제거하였다. 중화된 미네랄은 충분히 세척한 후 acetone으로 몇 차례 세척 후 건조하였으며, 건조된 미네랄은 50°C 건조기에서 하룻밤 예열하여 TLD system(Harshaw 4500, Waltham, MA, USA)을 이용하여 고순도 질소가스(99.999%) 기류 하에서 측정하였다(13).

전자스핀공명(ESR) 분석

ESR 측정은 대상 시료를 약 20시간 동안 동결건조 한 후 일정량(0.4 g)을 ESR tube에 담아 ESR spectrometer(JES-TE200, JEOL, Tokyo, Japan)로 측정하였다. 분석 조건은 microwave frequency 9.18 GHz, magnetic center field 324.30 mT, microwave power 0.4-0.8 mW, modulation frequency 100 kHz, sweep width 1-1.6 mT, time constant 0.03 s, sweep time 30 s의 범위에서 측정하였다(13).

결과 분석

본 연구에서 측정한 결과는 Origin 8.0 software(Microcal Software Inc., Northampton, MA, USA)를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

광자극 발광분석(PSL)을 통한 시판 고춧가루의 조사여부 스크리닝

시판 고춧가루의 조사여부 확인을 위하여 식품공전방법(13)에 따라 광자극발광법(PSL), 열발광분석법(TL), 전자스핀공명분석법(ESR)을 이용하여 조사여부를 판별코자 하였다. 식품공전에서는 향신료에 대해 신속하고 전처리가 간편한 스크리닝 방법으로 후

Table 1. Photostimulated luminescence properties of 10 red pepper powders available in the Korean market (photon count/60 s)

Sample	Unknown (1_{st} measured)	Calibrated PSL[1] (2_{nd} measured)	PSL ratio[2] (2_{nd} measured/1_{st} measured)
RP-1	327.3±109.0[3] (-)[4]	2396.7±1235.9 (-)	7.1±1.4
RP-2	348.0±57.4 (-)	109707.3±44899.5 (+)	309.8±83.8
RP-3	297.0±29.5 (-)	410.6±15.3 (-)	1.4±0.2
RP-4	235.7±24.5 (-)	2776.0±927.5 (M)	11.6±2.6
RP-5	242.7±79.8 (-)	1542.6±114.5 (M)	6.9±2.5
RP-6	297.0±105.9 (-)	5179±436.4 (+)	19.6±9.0
RP-7	306.3±34.2 (-)	13420.3±3998.3 (+)	44.9±16.4
RP-8	270.7±52.6 (-)	9619.3±6905.1 (+)	35.6±22.1
RP-9	282.7±29.9 (-)	18020.7±3595.8 (+)	64.9±17.8
RP-10	276.3±102.7 (-)	82186.7±15634.8 (+)	351.8±220.0

[1]PSL values after re-irradiation dose of 1 kGy
[2]Calibrated PSL value/unknown PSL value
[3]Mean±SD (n=3)
[4]Threshold value: T_1=700, T_2=5,000, (-) <T_1, T_1<(M)>T_2, (+)>T_2

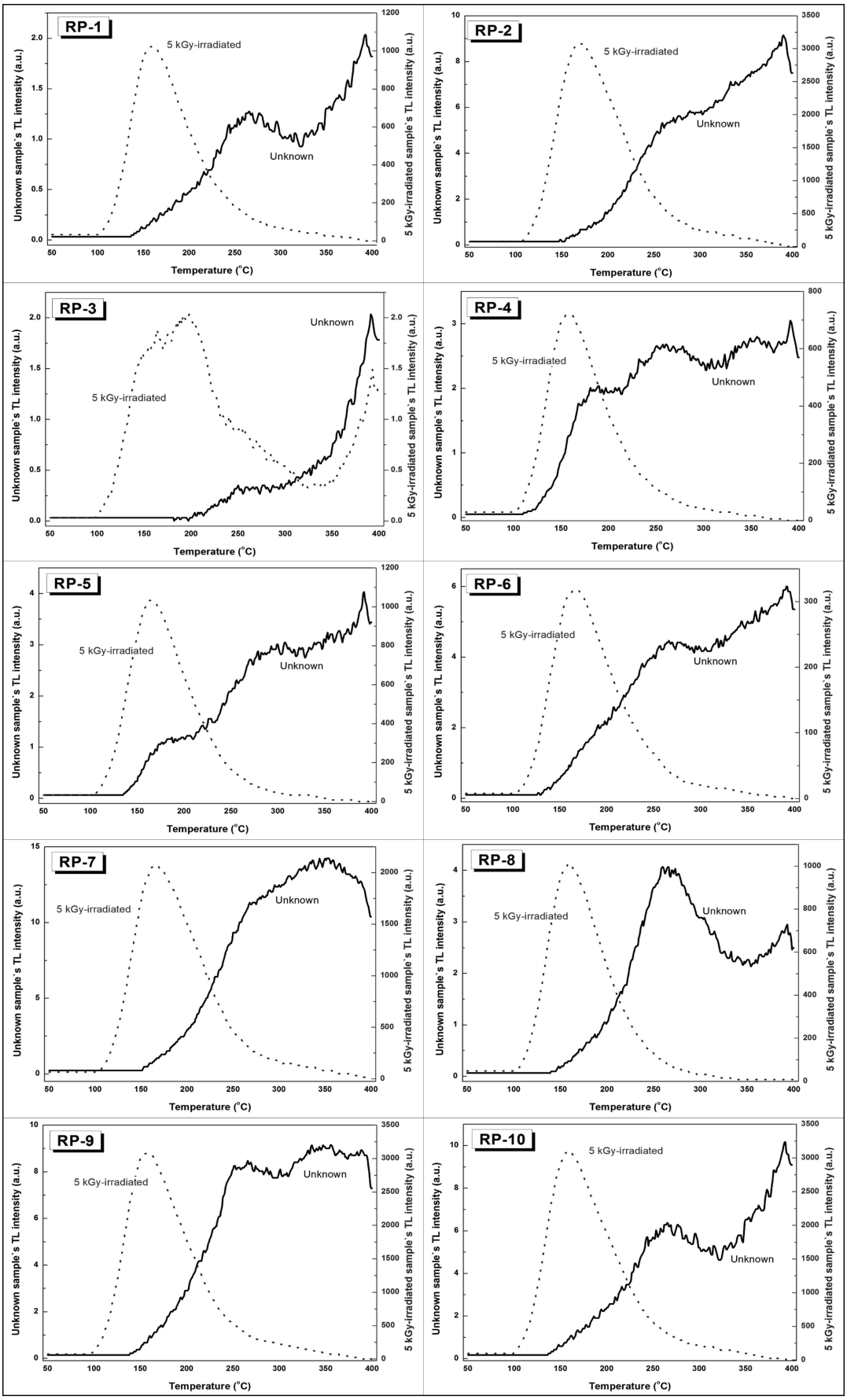

Fig. 1. TL glow curves of 10 red pepper powders available in the Korean market.

추, 넛맥, 정향을 제외한 향신료에 대해 PSL 방법을 제시하고 있고, 확증방법으로 TL 및 ESR 방법을 조사여부를 확인하도록 규정하고 있다(13). PSL 방법은 시료에 근적외선을 조사하여 방출되는 광자의 수를 계측하여 조사여부를 판별하는 방법으로, 비조사시에는 700 이하의 광자수(photon counts, PCs)를 나타내지만, 조사구의 경우 5,000 이상의 높은 PCs를 나타낸다. 시판 고춧가루의 PSL 측정 결과, 10개 검체 모두 700 이하의 음성(-)값을 나타내어 비 조사시료로 확인되었다(Table 1). 1차 PSL 측정한 페트리디시에 담긴 미지의 검체 10 종은 calibrated PSL 시험을 위하여 1 kGy의 선량으로 조사 후 2차 PSL 시험을 측정하였다. EN 13751(17)에서는, 미지시료의 경우 해당 시료의 PSL sensitivity를 확인하기 위하여 처음 측정(1차) 후 1 kGy로 조사하여 다시 측정한 PSL 값(calibrated PSL, 2차)을 확인토록 권고하고 있다. Calibrated PSL 값이 1차 PSL 값보다 10배 이내이면 조사시료를 의미하며, 1차 측정 시 음성(-)이지만, 2차 측정 시 양성(+)을 나타내는 시료는 비 조사시료로 판단할 수 있다. 또한 calibrated PSL 시험 후 음성시료로 판정된 시료는 PSL sensitivity가 낮은 시료임을 의미하므로, PSL 방법이 아닌 다른 확인시험법을 적용하여야 하며, 1차 PSL 결과가 양성(+)시료로 판정된 후 2차 calibrated PSL 결과 값이 중간시료로 판정된 경우는 calibrated PSL을 위한 재조사 선량보다 높은 선량으로 조사되었음을 의미한다.

시판 고춧가루 10 종의 calibrated PSL 결과에서 6 종의 검체(RP-2, RP-6-10)는 1차 PSL 결과보다 약 20배 이상의 PSL 값을 나타내었고, 모두 양성(+)을 나타내어 1차 PSL 결과와 비교하여 비 조사시료로 판별이 가능하였다. 그러나 그 외 4 종의 검체(RP-1, 3-5)는 2차 calibrated PSL 측정 결과, 1 kGy의 선량으로 조사하였음에도 불구하고 거짓음성(false negative) 및 중간값(intermediate)을 나타내어(PSL ratio, 1.4-11.6), 조사처리에 큰 영향을 받지 않았으므로, PSL 방법의 적용이 어려운 것으로 나타났다. EN 방법(16)에서는 calibrated PSL 방법으로 미지시료를 판정할 경우 PSL sensitivity가 낮은 시료는 반드시 TL이나 ESR 등 다른 확인시험법을 거쳐 최종 판정토록 권고하고 있다. 식품의약품안전청에서 calibrated PSL 분석방법을 이용하여 향신료 및 조미식품에 대해 blind test를 실시한 결과, 결과의 정확성은 95-98%로 나타났고, 특히 향신료는 97%의 정확성을 나타내었다(18).

열발광분석(TL)을 통한 시판 고춧가루의 조사여부 확인

TL 방법은 PSL 방법과 측정원리는 같으나, PSL은 근적외선을 이용하여, TL은 열을 이용하여 광자를 방출시킨다는 점에서 다른 판별특성을 가진다. 시료에서 분리한 광물질에 50-400°C의 열을 가하면, 특이적인 발광곡선이 나타나게 되는데, 조사시료의 경우 150-250°C, 비 조사시료의 경우 300°C 이후에 발광 peak를 가지므로, 발광 peak의 온도범위로 식품의 조사여부를 판별할 수 있다(13). 시판 고춧가루 10 종의 TL 발광곡선을 확인한 결과, 6 종의 검체(RP-2, RP-3, RP-6, RP-7, RP-8, RP-9)는 260°C 이상에서 발광곡선을 나타내어 비 조사시료로 확인되었다(Fig. 1). RP-4 및 RP-5 검체는 185-190°C에서 매우 약한 발광곡선을 나타내었고, RP-1 및 RP-10 검체는 240-260°C에서 약한 발광곡선을 나타내어 조사시료로 의심되었는데, 미지시료에 5 kGy를 조사하여 TL 측정한 결과, 모두 150-200°C에서 발광곡선을 나타내어 조사시료로 의심된 4 종의 검체(RP-1, 4, 5, 10)의 발광곡선이 거짓양성(false positive)결과임을 확인할 수 있었다. Kim 등(19)은 감마선 5, 10 kGy 조사한 고춧가루의 발광곡선은 150°C 전후에서 나타났고, 비 조사시료는 특이한 peak가 나타나지 않아 조사처리에 따른 차이가 명확하게 나타났다고 하여 본 실험결과와 유사한 결과를 나타내었다.

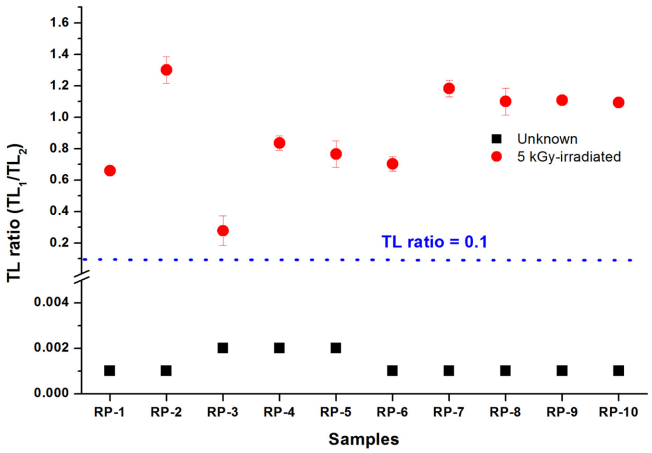

Fig. 2. TL ratio (TL_1/TL_2) of 10 red pepper powders available in the Korean market.

TL 방법은 400°C의 가열 후 발산되는 에너지를 광자수(빛)로 계측하여 식품의 조사여부를 판별하는 방법이므로, 일반적으로 식품가공 및 유통에 이용되는 물리적 인자에 매우 큰 영향을 받게 된다. TL 결과에 영향을 미칠 수 있는 물리적 인자로는 저장기간(20,21), 가열, 살균등 가공처리(22-25), 조사 원료의 혼입 여부(21,26), 마찰열(27,28)등이 있으며, 이에 대해 발광곡선의 형태뿐 아니라, TL ratio(TL_1/TL_2)를 산출하여 TL 결과에 대해 신뢰도 높은 결과를 확인할 수 있다. TL 측정 시 가하게 되는 50-400°C의 열에너지는 시료 내에 존재하는 여기(excited state)된 전자들을 모두 방출시키게 된다. 이 원리를 이용하여 측정한 검체(TL_1)에 1 kGy의 선량으로 재조사한 후 다시 TL 방법으로 측정(TL_2)하여 조사발광곡선이 나타나는 구역(150-250°C)의 면적 값을 비교(TL_1/TL_2) 하면, 신뢰도가 높은 판별결과를 얻을 수 있다. EN1787(29)에서 TL ratio는 0.1 이하일 경우, 비 조사시료로 판정하며, 0.5 이상이면 조사시료로 판정하도록 하고 있고, 식품공전에서는 0.1을 기준으로 하여 0.1 이상일 경우 조사시료로 판정토록 규정하고 있다. 시판 고춧가루 검체는 모두 0.1 이하의 낮은 TL ratio 값을 나타내었고, 5 kGy 조사된 고춧가루 검체는 0.2-1.3으로 모두 0.1 이상의 TL ratio를 나타내어 시판 고춧가루 10 종은 비 조사시료로 판정 가능하였다(Fig. 2). 앞서 거짓 양성으로 나타난 4 종의 검체는 고춧가루 제조공정상 분쇄과정 중에 나타날 수 있는 마찰열(tribo-luminescence)에 의해 150-300°C의 범위에서 발광곡선이 나타난 것으로 판단되었다. 따라서 분말식품에 대해 TL 방법으로 판별할 시에는 마찰열에 의한 발광곡선이 나타날 수 있으므로, 신중한 접근과 판별이 필요하다고 사료되었다(27).

일반적으로 물리적 방법을 이용하여 미지시료의 조사여부를 확인할 때에는 먼저 PSL 방법으로 조사여부를 스크리닝한 후 TL 방법 및 ESR 방법을 이용하여 조사여부를 확정하게 된다. Guzik과 Stachowicz(30)는 조미식품, 향신료 및 야채 등 유통식품 136종에 대해 PSL 스크리닝 결과와 TL 판별결과를 비교한 결과, 64%의 시료가 PSL 스크리닝으로 조사여부를 확인할 수 있었으며, 36%의 시료는 PSL 측정 후 TL 방법을 거쳐야 판별가능하다고 보고하였다. 특히 일부 향신료는 PSL sensitivity가 낮아 거짓양성(false negative) 값을 나타낼 수 있으므로 반드시 TL 방법으로 판별하여야 한다고 하였다. 본 연구결과 역시 일부 고춧가루가 PSL sensitivity가 낮은 일부 고춧가루가 발견되었나, TL 판별

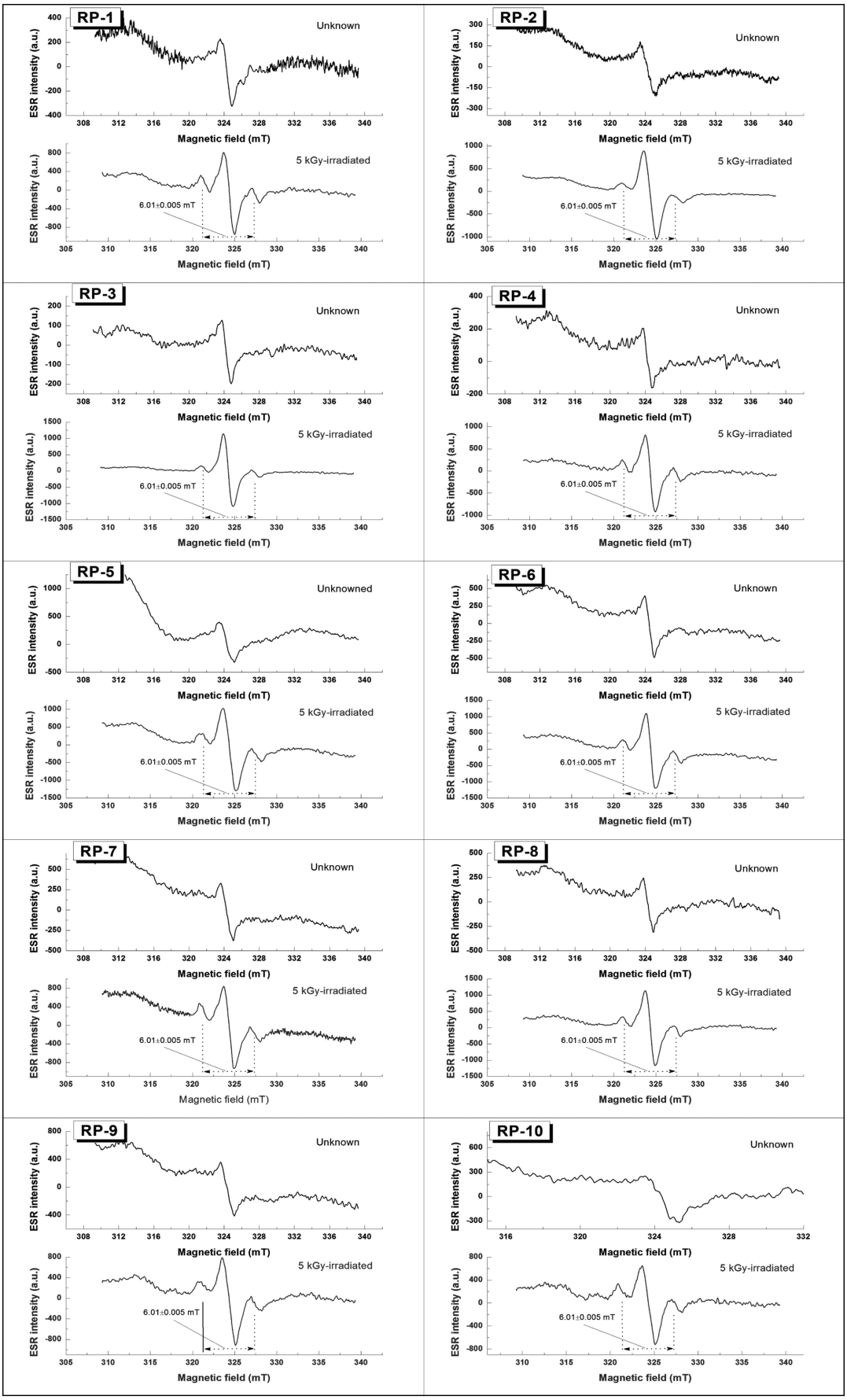

Fig. 3. ESR spectra of 10 red pepper powders available in the Korean market.

방법을 통하여 비 조사시료임을 확증할 수 있었다.

전자스핀공명분석(ESR)을 통한 시판 고춧가루의 조사여부 확인

시판 고춧가루의 ESR 측정 결과, 특이적인 ESR signal은 발견되지 않았으나, 5 kGy 조사된 고춧가루는 모두 cellulose radical이 발견되었다(Fig. 3). Cellulose radical은 방사선 조사된 딸기에서 처음 발견되었으며, central signal을 중심으로 좌우 3 mT의 간격으로 작은 side peak가 생성되는 것이 특징이며, 방사선 조사에 의해 특이적으로 생성되는 radical로 알려져 있다(31). Kim 등(32)은 건고추의 부위(씨, 줄기, 과피)와 고춧가루에 5 kGy와 10 kGy로 조사한 후 ESR 측정하였을 때, 모든 부위에서 cellulose radical이 확인되었으며, 12주 동안 저장 후에도 ESR intensity의 감소는 있었으나, 조사여부의 판별은 가능하다고 하였다. 본 실험결과에서 역시 5 kGy로 조사된 고춧가루의 경우 모두 cellulose radical이 나타났으나, 시판 고춧가루는 특이한 signal이 발견되지 않아, 모두 조사되지 않은 시료임을 확인할 수 있었다.

요 약

국내에서 고춧가루는 조사선량이 10 kGy까지 허가되어 있으며, 미국 및 뉴질랜드는 최대 30 kGy까지 허가되어 있다. 국내 식품공전에서는 향신료의 조사여부를 확인하기 위한 방법으로 PSL, TL 및 ESR 방법을 이용하여 판별하도록 규정하고 있다. 시판 유통 중인 고춧가루 10 종에 대해 식품공전에서 제시된 물리적 확인시험법을 이용하여 방사선 조사 여부를 판별하였다. 광자극발광법(PSL) 측정 결과, 10 종의 검체 모두 700 photon counts 이하의 음성(negative)값을 나타내었다. 측정된 검체에 대해 1 kGy의 선량을 재조사하여 calibrated PSL 시험을 실시한 결과, 6 종의 검체는 모두 비 조사시료로 확인되었으나, 4 종의 검체(RP1, RP-3, 4, 5)에서 false negative와 중간값(intermediate)이 나타나, PSL 스크리닝이 어려운 것으로 확인되었다. 조사여부를 확증하기 위하여 TL 방법으로 분석한 결과, 시판 유통 중인 시료 중 6 종의 검체는 모두 250°C 이후에서 발광곡선을 나타내었으나, 그 외 4 종의 검체는 185-260°C의 범위에서 발광곡선을 나타내었다. 반면, 5 kGy 조사한 검체는 모두 150-200°C에서 발광곡선을 나타내어 조사처리에 따른 차이가 명확하게 나타났다. 또한 TL ratio(TL_1/TL_2) 역시 검체 10 종 모두 0.1 이하를 나타내어 비 조사시료로 확인되었다. ESR 방법에서 역시 방사선 유래의 radical은 나타나지 않아, 본 연구에서 수행한 시판 중인 10 종의 고춧가루는 모두 조사 처리되지 않은 것으로 확인되었다.

감사의 글

본 연구는 농림수산식품부 농림기술개발사업의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

문 헌

1. Kang IH. *Hankook Shiksenghwalsa*. Samyongsa, Seoul, Korea. p. 190 (1983)
2. Oh SH, Hwang IG, Kim HY, Hwang CR, Park SM, Hwang Y, Yoo SM, Kim HR, Kim HY, Lee JS, Jeong HS. Quality characteristics by particle size of red pepper powders for pepper paste and kimchi. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 40: 725-730 (2011)
3. Byun MW, Yook HS, Kwon JH, Kim JO. Improvement of hygienic quality long-term storage of dried red pepper by γ-irradiation. Korean J. Food Sci. Technol. 28: 482-489 (1996)
4. Kim BK, Kausar T, Kim DH, Kwon JH. Effects of γ-irradiation and fumigation on microbial growth, color, and absorption properties of dried red pepper during storage. Korean J. Food Preserv. 12: 48-53 (2005)
5. Jung JJ, Choi EJ, Lee YJ, Kang ST. Effect of infrared pasteurization on quailty of red pepper powder. Korean J. Food Sci. Technol. 43: 156-160 (2011)
6. Shin KS, Ma JS, Cho CH. Effects of γ-irradiation and ethylene oxide fumigation for the quality preservation of spices and dry vegetables. Korean J. Food Hyg. 4: 119-132 (1989)
7. UNEP. The Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer. United Nations Environment Programme. Nairobi, Kenya, pp. 2-40 (2000)
8. Kwon JH. Chung HW, Kim BK, Ahn JJ, Kim GR, Jo D, Ahn KA. Research and application of identification methods for irradiated foods. Food Safe. 6: 11-27 (2011)
9. Kwon JH. Safety and Understanding of Irradiated Food. Korea Food Safety Research Institute, Seoul, Korea. pp. 9-29 (2010)
10. International Atomic and Energy Agency (IAEA). Food Irradiation Clearances Database (FICDB). Avaliable from http://nucleus.iaea.org/FICDB/Browse.aspx. Accessed Feb. 15, 2012.
11. FAO/WHO CODEX STAN. General standard for the labelling of prepackaged foods. CODEX STAN 1-1985, Rome, Italy, pp. 1-7 (1985)
12. FAO/WHO CODEX STAN. General Codex Methods For The Detection of Irradiated Foods. CODEX STAN 231-2001, Rev.1. Rome, Italy, p. 1 (2003)
13. KFDA. Food Code. pp. 10-8-40 - 10-8-60. Korea Food & Drug Administration, Seoul, Korea (2011)
14. FSA. Irradiated Food Supplement: Enforcement Exercise. Food Standards Agency, London, UK (2005)
15. FSAI. Irradiated Herbal Supplements and Herbal Substances Survey. Food Safety Authority of Ireland, Dublin, Ireland (2005)
16. Chen SQ, Jiang KX, Cao BS, Liu YQ, Cai XF, Liu XL, Cao Y, Liu XY, Shi WN. Distribution of irradiated foods in China. Food Control 28: 237-239 (2012)
17. EN 13751. Foodstuffs-Detection of irradiated food using photostimulated luminescence. English version of DIN EN 13751:2009. European Committee for Standardization, Brussels, European Union (2009)
18. KFDA. Validation of detection method for irradiated foodstuffs using photo-stimulated luminescence (PSL). Project report 08211-042. Korea Food & Drug Administration, Cheongwon, Korea (2008)
19. Kim BK, Kwon JH. Identification characteristics of irradiated dried red pepper during storage by analysis of thermoluminescence, DNA comet, and DEFT/APC. Korean J. Food Sci. Technol. 36: 851-856 (2004)
20. Ahn JJ, Kim GR, Akram K, Kim JS, Kwon JH. Change in thermoluminescence properties of minerals separated from irradiated potatoes and garlic during long-term storage under different light conditions. Eur. Food Res. Technol. 235: 75-82 (2012)
21. Ahn JJ, Akram K, Kim GR, Kim KS, Kwon JH. Luminescence characteristics of minerals separated from irradiated onions during storage under different light conditions. Radiat. Phys. Chem. 81: 1215-1219 (2012)
22. Ahn JJ, Akram K, Lee J, Kim KS, Kwon JH. Identification of a γ-irradiated ingredient in Korean barbecue sauce by thermoluminescence analysis before and after pasteurization. J. Food Sci. 77: C476-C480 (2012)
23. Ahn JJ, Akram K, Jeong MS, Kwak JY, Jang YD, Kwon JH. Radiation-induced thermoluminescence characteristics of feldspar following different heat and microwave treatments. J. Lumin. 132: 1964-1968 (2012)
24. Kim GR, Akram K, Ahn JJ, Kwon JH. Luminescence characteristics for identifying irradiated wheat after different processing treatments. J. Cereal Sci. DOI: 10.1016/j.jcs.2012.02.013 (2012)
25. Kim BK, Akram K, Kim CT, Kang NR, Lee JW, Ryang JH, Kwon JH. Identification of low amount of irradiated spices (red pepper, garlic, ginger powder) with luminescence analysis. Radiat. Phys. Chem. 81: 1220-1223 (2012)
26. Lee J, Kausar T, Kim BK, Kwon JH. Detection of gamma-irradi-

ated sesame seeds before and after roasting by analyzing photostimulated luminescence, thermoluminescence, and electron spin resonance. J. Agr. Food Chem. 56: 7184-7188 (2008)
27. Charlesby A, Gupta PS. Thermoluminescence and triboluminescence in trioxane crystals. J. Mater. Sci. 3: 70-75 (1968)
28. Mosquera DF, Sanchez JS. A simple method to separate quartz and feldspar and its application to TL/OSL methods. Geochronometria 30: 41-47 (2008)
29. EN 1788. Foodstuffs-Thermoluminescence detection of irradiated food from which silicate minerals can be isolated. English version of DIN EN 1788:2001. European Committee for Standardization, Brussels, European Union (2001)
30. Guzik GP, Stachowicz W. Reliability of light-stimulated photoluminescence (PSL) in detection of irradiated food comparison with thermoluminescence method (TL). Nukleonika 53: 25-29 (2008)
31. Raffi JJ, Agnel JPL, Buscarlet LA, Martin CC. Electron spin resonance identification of irradiated strawberries. J. Chem. Soc. Faraday T. 84: 3359-3362 (1988)
32. Kim BK, Lee J, Kausar T, Kim DH, Yang JS, Byun MW, Kwon JH. Identification characteristics of irradiated dried red pepper during storage by the analysis of electron spin resonance and hydrocarbons. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 33: 1522-1528 (2004)