

전자선 조사 처리한 마늘분말 첨가 불고기소스의 혼합비와 살균처리에 따른 열발광 판별특성: 실험실 교차 검증시험

안재준¹ · 이정은² · 백지영³ · 정일윤³ · 권중호^{1*}

¹경북대학교 식품공학부

²대구과학대학 식품영양조리과

³한국원자력연구원 첨단방사선연구소

Identification of *Bulgogi* Sauce Added with Low Quantity of Electron Beam-Irradiated Garlic Powders by Thermoluminescence Analysis: An Inter-Laboratory Study

Jae-Jun Ahn¹, Jeongeun Lee², Ji-Yeong Baek³, Il-Yun Jeong³, and Joong-Ho Kwon^{1*}

¹School of Food Science & Biotechnology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

²Dept. of Food, Nutrition and Cook, Taegu Science University, Daegu 702-723, Korea

³Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic & Energy Research Institute, Jeonbuk 580-185, Korea

ABSTRACT *Bulgogi* sauces containing electron beam-irradiated garlic powder (1%, 3%, and 5%) were used to compare their irradiation status before and after pasteurization (85°C, 30 min), using a thermoluminescence (TL) analysis by two different laboratories. The sauces with non-irradiated ingredient only provided a background TL glow curve with a maximum peak after 300°C. However, the presence of irradiated ingredient (1 and 10 kGy) was evident through the typical TL glow curves in a temperature range of 150 to 250°C. The concentration of irradiated ingredients showed a greater impact on identification characteristics than their radiation doses. TL ratios (TL₁/TL₂) were not able to confirm the results showing evidence of irradiation through the TL glow curve shapes. Pasteurization showed a negligible effect on the key identification parameters and did not change the shape or temperature range of radiation-specific TL glow peak, but reduced TL glow curve intensity. TL glow curve shape with the maximum peak in a temperature range of 150~250°C was the most useful characteristic providing information required for confirming the irradiation status.

Key words: electron beam-irradiation, thermoluminescence, *Bulgogi* sauce, blending ratio, pasteurization

서 론

조사식품은 WHO/FAO/IAEA에 의해 식품학적으로 안전성이 인정되어 1981년 "Golden rule"로 발표된 이후(1), 산업적으로 널리 이용되고 있다. "Golden rule"이란 "10 kGy 이하의 선량으로 조사된 식품은 인체에 어떤 유해한 영향이 없다"는 것으로 안전성에 아무런 문제가 없으며, 열을 수반하지 않으므로 식품의 품질 변화가 거의 없다. 또한 유해한 미생물을 효과적으로 사멸시킬 수 있으므로, 영양학적 가치 및 저장성을 높일 수 있는 친 환경 위생화 기술로 대두되고 있다(2). 현재 조사식품은 56개국에서 230여개 품목이 허가되어 있으며, 조사선원은 감마선, X-선 및 전자선이 사용되며, 조사선량은 식품의 품목과 목적에 맞게 0.1~30 kGy까지 허가되어 있다(3). 국내에서는 26개 품목에 대해 감마선

과 전자선 조사가 허가되어 있으며 조사선량은 처리 목적에 따라 0.15~10 kGy로 허가되어 있다(4). 그러나 조사처리에 대한 오해와 정보의 부족으로 많은 소비자들에게 수용성의 한계가 있는 실정이며, 소비자의 선택권을 보장하기 위하여 CODEX에서는 조사식품에는 Radura 마크를 반드시 부착하도록 권고하고 있다(5).

식품조사기술의 상업화와 더불어 조사처리식품의 판별방법이 중요한 과제로 대두되었는데, 이는 각국의 허가 규정이 각각 상이하고 조사처리 식품의 수용성 역시 각 나라별로 다르기 때문이다. 이를 위해 EU에서는 식품의 조사여부를 확인할 수 있는 10가지 방법을 제안·확립하였으며, 이는 CODEX 표준규격으로 채택되어 현재 각국에서 활용하고 있다(6). 그러나 이들 방법 중 모든 식품에 적용 가능한 방법은 없으며, 식품의 특성에 맞게 적합한 방법을 선택하여 조사여부를 확인하여야 한다(7).

조사식품의 판별방법 중 열발광분석법(thermoluminescence, TL)은 식품에 표면에 존재하는 광물질(silicate)에 흡수된 에너지를 가열(50~400°C)하여 나타나는 발광곡선

Received 30 July 2013; Accepted 23 October 2013

*Corresponding author.

E-mail: jhkwn@knu.ac.kr, Phone: 82-53-950-5775

의 형태로 조사여부를 판별하는 방법으로, 현재 이용되고 있는 여러 판별 방법 중 가장 신뢰도가 높고, 장시간 저장 후에도 판별이 가능한 방법으로 인정받고 있다. TL 방법에서 판별 마커가 되는 silicate는 장석(feldspar)과 석영(quartz) 등 주로 규소화합물로서 지각이나 대기 중에 광범위하게 분포하고 있으므로 많은 식품군에 적용 가능하지만(8), 마커 물질이 식품이 아닌 외부 오염체이므로 가공된 식품군에 적용할 때에는 많은 한계점이 존재한다(9). 첫째, TL 방법은 열로 광물질을 자극하여 발광곡선을 측정하는 방법이므로 열처리된 가공식품에 대해서는 조사여부의 판별이 명확하지 않을 수 있으며(10-12), 둘째, 많은 식품군이 혼합되어 있는 식품의 경우 조사된 광물질의 함량이 상대적으로 낮아 판별이 어려운 경우가 있다(13).

향신료는 많은 나라에서 다양하게 이용되는 주요 식품 소재로서 후추, 고춧가루, 강황, 마늘 등 많은 향신료의 TL 판별 연구사례가 보고된 바 있다(14-17). 이들 향신료는 단독으로 섭취하는 경우보다 식품의 부재료로서 많이 이용되고 있으며, 이에 따라 향신료를 부재료로 이용하여 가공된 식품에 대한 조사여부 판별가능성을 확립하는 것이 중요하다고 판단된다. Marchioni 등(18)은 조사된 향신료와 조사하지 않은 식품 부재료를 혼합하여 TL 분석하여 혼합가공식품에 대해서도 TL 판별이 가능하다고 보고한 바 있다.

따라서 본 연구에서는 조사 처리한 마늘분말이 소량 첨가된 소스의 TL 판별특성과 살균처리(pasteurization) 전후에서의 TL 판별특성을 interlaboratory test에 의해 확인하고자 하였다.

재료 및 방법

실험 재료

마늘분말은 2010년 허브나라에서 구매하여 사용하였다. 시료는 polyethylene(PE) film에 500 g 단위로 포장된 상태(길이 20 cm, 너비 30 cm, 높이 0.8 cm)였으며, 이를 그대로 전자선 조사시료로 사용하였다.

전자선 및 감마선 조사

포장된 마늘분말의 전자선 조사는 electron beam accelerator(ELV-4, 2.5 MeV, EB-Tech, Daejeon, Korea)를 이용하여 electric current를 선량(1 kGy, 10 kGy)에 따라 다르게 하여 양면 조사하였다. 조사한 시료는 비 조사 시료와 함께 실온 압소에 보관하면서 실험에 사용하였다. TL normalization을 위하여 열 발광 분석(TL₁) 후 1 kGy로 재조사하여 다시 측정(TL₂)하였다. 이때 선량은 감마선을 이용하였으며, 첨단방사선연구소에 소재한 Co-60 감마선 조사시설(AECL, IR-79, MDS Nordion International Co. Ltd., Ottawa, ON, Canada)을 이용하여 실온(22±2°C)에서 시간당 일정한 선량률로 조사하였으며, 흡수선량은 alanine dosimeter(Bruker Corp., Rheinstetten, Germany)

를 사용하여 ESR spectrometer(EMS 104 EPR analyzer, Bruker Corp.)에 의해 확인하였다.

소스의 제조

불고기소스는 CJ제일제당(Seoul, Korea)에서 제조하였으며, 조사된 마늘분말을 포함하여 기타 소스 부재료들을 혼합한 후 스팀살균 처리(85°C, 30 min)하고 냉각하여 최종 제품을 제조하였다. 이때 조사된 소스 부재료와 혼합한 마늘분말의 혼합비율은 각각 1%, 3%, 5%로 하였으며, 살균 전과 살균 후로 검체를 나누어, 동일한 처리구에 대해 경북대학교와 첨단방사선과학연구소에서 각각 열 발광분석시험을 수행하였다(Fig. 1).

열발광 분석(thermoluminescence, TL)

열발광분석법은 EN1788법(8)에 준하여 수행하였다. 즉 소스 100 g에 일정량의 증류수를 가하여 ultrasonic agitator(Power sonic 420, Whasin Tech, Daegu, Korea)에서 10분간 처리한 후, 다시 시료를 물로 세척하여 nylon sieve(직경 150 µm)를 통과시켜 일정시간 정지시킨 후 침전물을 취하였다. 침전물은 Na₆[H₂W₁₂O₄₀] 용액(2.0 g/mL) 2.5 mL를 가하여 유기물을 제거하고 증류수로 세척한 후, 산(1 N HCl)-알칼리(1 N NH₄OH) 처리하여 carbonate를 제거하고 열발광 분석에 필요한 광물질을 얻었다. 중화된 광물질은 증류수로 세척한 후 acetone으로 몇 차례 세척 및 건조하였으며, 건조된 광물질은 50°C 건조기에서 하룻밤 예열하여 TLD system(Harshaw 4500, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)을 이용하여 고 순도 질소 가스(99.999%) 기류 하에서 실온에서부터 350°C까지 5°C/sec의 속도로 온도를 상승시키면서 측정(TL₁)하였다. 측정된 광물질을 감마선으로 1 kGy로 조사한 후 다시 TL 측정

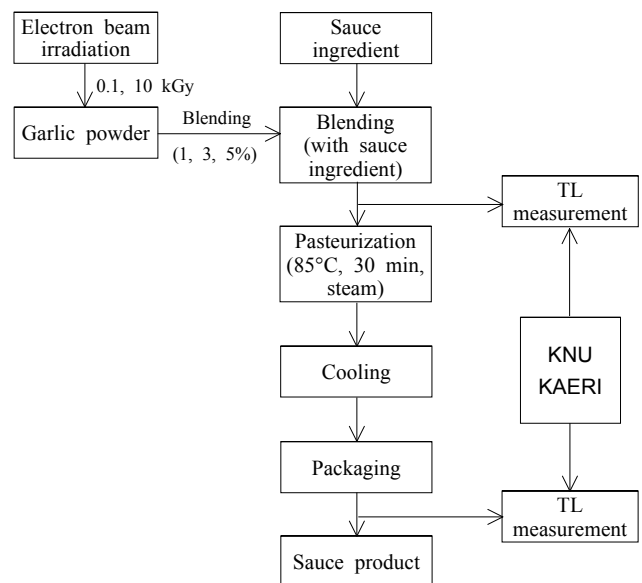


Fig. 1. A scheme of experiments for TL measurements.

(TL₂)하였으며, TL₁과 TL₂의 발광곡선에서 150~250°C의 면적비(TL ratio, TL₁/TL₂)를 산출하였다(8,19). TL ratio 값이 0.1 이하이면 비 조사구로, 0.1 이상이면 조사구로 판단하였으며(19), TL 측정 시 판별결과에 대한 신뢰성을 얻기 위하여 blank test를 동시에 실시하여 이것의 TL glow curve 면적 값을 구해 blank 평균값에 표준편차의 3배수를 더하여 MDL(Minimal detectable integrated TL intensity)을 구하였고, 각 시료의 TL₂값이 MDL의 10배를 넘으면 유효한 시험결과로 받아들였다.

결과 분석

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

결과 및 고찰

전자선 처리 마늘분말의 TL 판별특성

조사식품의 판별을 위한 열 발광분석법은 식품 표면에 존재하는 광물질이 방사선의 에너지를 흡수하는 원리를 이용한 것으로 흡수된 에너지는 광물질의 구조적 격자에 갇혀 있다가 열이나 빛 등 특정한 자극에 의해 방출된다. TL 방법은 광물질에 열을 자극하여 방출되는 에너지를 측정하는 방법으로 현재 허브류, 향신료 및 이들 혼합물과 수산물에 대해 한국, 유럽, CODEX 기준으로 설정되어 이용되고 있다(8,19,20). 특히 광물질은 대기 및 지각 등에 광범위하게 존재하므로 대부분의 식품군에 적용할 수 있다는 큰 장점을 지닌다.

전자선을 조사한 마늘분말의 TL 발광곡선을 Fig. 2에 나타내었다. 비 조사시료는 350°C 이후에서 발광 곡선이 나타났고, 조사시료(1 kGy, 10 kGy)는 150~250°C에서 높은 강도의 발광곡선을 나타내었다. 발광강도는 비 조사시료의 경우 13 a.u.로 매우 낮은 강도를 나타내었으나, 조사시료는 15,000 a.u. 이상의 높은 강도를 나타내었으며, 조사선량이 증가할수록 발광강도 역시 증가하였다. 또한 TL ratio(TL₁/TL₂)는 비 조사시료가 0.1 이하, 조사시료는 모두 0.1 이상으로 나타나 발광곡선에서 나타난 조사여부 판별결과를 확실하게 뒷받침하였다(Table 1). 이상의 결과는 다른 감마선 조사 처리한 향신료의 TL 판별결과와 유사한 결과로써, 전자선 조사 마늘분말 역시 판별 가능한 것으로 사료되었다(6,14,21).

전자선 처리 마늘분말의 혼합비에 따른 소스의 TL 판별 특성

전자선 조사된 마늘분말을 기타 소스 부재료와 각각 다른 혼합비로 배합하여 불고기소스를 제조한 후 열 발광특성을 확인하였다. TL 발광곡선의 형태와 발광온도는 광물질에 포획된 에너지 준위에 따라 변화하며, 자연에 존재하는 방사능 에너지는 300°C 이후에 조사처리에 의한 에너지는 150

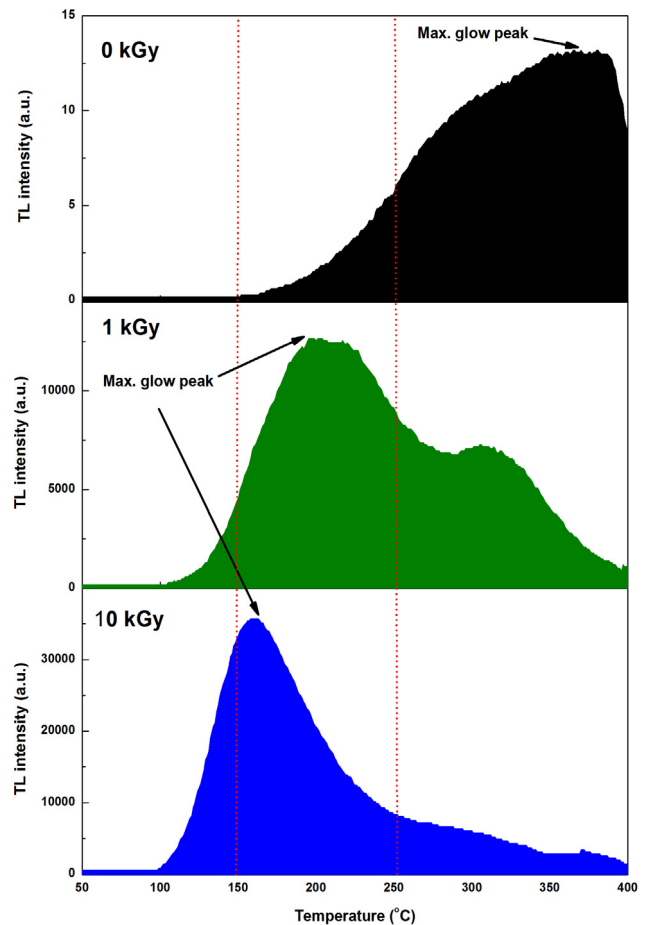


Fig. 2. TL glow curves of minerals separated from irradiated garlic powders.

~250°C에서 발광곡선을 나타낸다(22). 장석 및 석영과 같은 규산염 광물은 향신료나 농산물에 가장 일반적으로 존재하는 광물질로서(23) 방사선에 매우 민감한 특성을 나타낸다. 특히 장석은 조사처리에 의해 매우 강한 발광곡선을 나타내며, 극미량으로 존재하여도 발광하기 때문에 silicate 광물질 중 가장 정확한 TL 판별마커로 이용가능하다.

비 조사 마늘분말 첨가 불고기소스는 모두 350°C 이후에서 발광곡선이 나타나 전형적인 자연방사선에 의한 발광곡선을 나타내었다(Fig. 3). 전자선 1 kGy 조사된 마늘분말 1% 첨가 불고기소스의 TL 발광곡선은 240~245°C에서 발광곡선이 나타났으며, 3% 및 5% 첨가 불고기소스의 발광곡선은 180~205°C에서 관찰되었다. Marchioni 등(18)은 조사된 향신료분말이 혼합된 쇠고기양념분말에 대해 TL 분석한 결과, 5 kGy 조사된 강황이 0.05% 혼합된 쇠고기양념분말에서도 판별이 가능하다고 하였다. 또한 Kim 등(24)은 1 kGy 조사된 고춧가루를 1% 혼합하였을 때 최대발광온도는 210°C 전후에서 나타나 판별이 가능하였지만, 0.5% 혼합시에는 250°C 이후에서 최대 발광온도를 나타내어 판별이 어려웠다고 보고하였다. 발광곡선의 강도는 조사선량에 따라 증가하였으나, 조사된 마늘분말의 함량이 낮을수록 감소

Table 1. TL ratio (TL₁/TL₂) of minerals separated form irradiated *Bulgogi* sauce as influenced by processing

Lab.	Treatment		Irradiation dose (kGy)								
	Blending ratio (%) ¹⁾	Pasteurization ²⁾	0			1			10		
			TL ₁ (μC)	TL ₂ (μC)	TL ratio (TL ₁ /TL ₂)	TL ₁ (μC)	TL ₂ (μC)	TL ratio (TL ₁ /TL ₂)	TL ₁ (μC)	TL ₂ (μC)	TL ratio (TL ₁ /TL ₂)
A	100	Before	0.957	478.500	0.002	485.623	1148.045	0.423	2354.214	1512.019	1.557
	1	Before	0.353	117.667	0.003	5.125	1024.996	0.005	6.215	1553.708	0.004
		After	0.413	103.255	0.004	8.596	955.111	0.009	4.321	1440.428	0.003
	3	Before	0.152	158.205	0.001	10.265	789.592	0.013	9.217	843.310	0.005
		After	0.426	425.842	0.001	19.213	873.340	0.022	3.481	435.170	0.008
	5	Before	0.216	35.975	0.006	4.215	421.550	0.010	7.215	450.968	0.016
		After	0.359	359.340	0.001	5.155	468.624	0.011	6.548	545.678	0.012
	B	1	Before	0.755	188.874	0.004	13.215	471.981	0.028	8.483	1413.864
After			0.125	24.972	0.005	5.455	545.468	0.010	5.535	263.563	0.021
3		Before	0.489	69.848	0.007	7.546	1078.020	0.007	11.318	808.463	0.014
		After	0.516	515.896	0.001	6.314	901.936	0.007	7381	492.088	0.015
5		Before	0.472	94.472	0.005	4.514	1128.387	0.004	13.518	795.205	0.017
		After	0.598	35.197	0.017	2.487	828.957	0.003	2.486	621.535	0.004

¹⁾ Blending ratio of garlic power content.
²⁾ Before pasteurization; after pasteurization (85°C, 30 min).

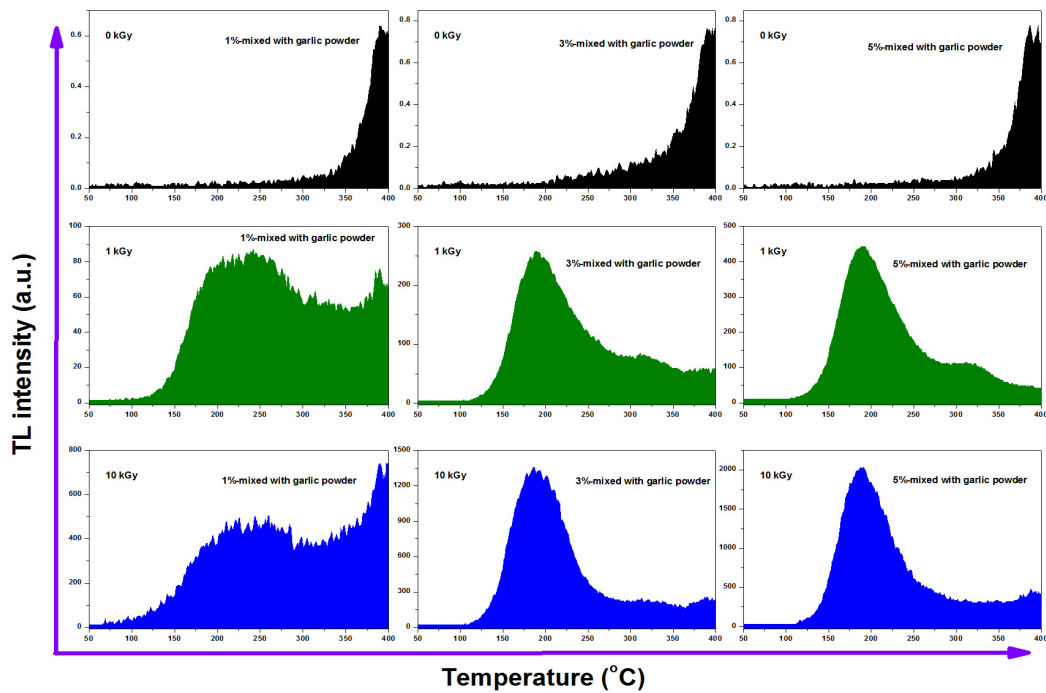


Fig. 3. TL glow curves of minerals separated from *Bulgogi* sauce at 1~5% blends before pasteurization.

하여 100% 마늘분말 시료에 비해 마늘분말 1% 첨가 불고기 소스는 약 100배, 3% 및 5% 불고기소스는 약 17~41배 정도 감소하였다.

전자선 처리 마늘분말 혼합 소스의 살균처리에 따른 TL 판별특성

조사된 마늘분말을 각각 다른 양(1~3%)으로 첨가하여 제조된 불고기소스를 살균처리(85°C, 30 min)한 후 발광특

성을 분석하였다. TL 분석방법은 식품으로부터 분리한 광물질에 열(50~400°C)을 가하여 방출되는 광자의 특성을 분석하여 조사여부를 판별하는 방법이므로, 일반적인 열 가공 조건에 의해 광자가 소실 및 소멸될 수 있으며(10), Kitai와 Furuta(25)는 고온의 환경에서는 조사처리에 의해 여기된 전자(excited electron)가 기저상태(ground state)로 변화할 수 있다고 하였다. 본 연구에서 사용된 상업적 살균조건(85°C, 30 min)에서 비 조사 마늘분말이 첨가된 불고기소스

의 발광곡선은 큰 변화가 나타나지 않았으나, 조사 마늘분말이 첨가된 불고기소스의 경우 발광온도와 발광형태가 크게 변화하였다(Fig. 4). Fig. 2 및 Fig. 3에서 나타난 바와 같이 조사처리에 의해 생성된 150~250°C의 발광곡선은 살균처리 이후 발광강도가 감소하였고 발광온도는 고온의 영역으로 이동하였다. 특히 1 kGy 조사 마늘분말 1% 첨가 불고기소스의 경우, 150~250°C의 발광 강도는 크게 감소하여 자연방사선에 의한 발광곡선의 발광강도와 비슷하게 나타나 조사여부 판별이 어려웠다(Fig. 4, 5). 조사된 마늘분말이 3~5% 첨가된 불고기소스 역시 고온의 영역으로 이동하였으나, 최대 발광온도는 250°C를 벗어나지 않았으므로 조사 여부 판별이 가능하였다(Fig. 5). Ahn 등(10)은 감마선 조사

한 장석을 열처리한 후 TL 분석하였을 때, 열에너지에 의해 발광곡선은 고온의 영역으로 이동(fading)하게 되며, 특히 100°C 이상의 고온 처리 후에는 250°C 이후로 크게 fading되어 판별이 어렵다고 하였다.

전자선 처리 마늘분말 혼합 소스의 살균처리에 따른 TL ratio(TL₁/TL₂) 특성

EN1788에서는 TL normalization 방법을 이용하여 TL 발광곡선의 판정을 확정하도록 기준을 제시하고 있다(8). TL normalization이란 측정된 TL 디스크(TL₁)에 저선량(0.4 또는 1 kGy)으로 조사한 후 다시 TL 측정(TL₂)하여 TL ratio(TL₁/TL₂)를 구하는 방법을 말한다. 이때 TL₁과

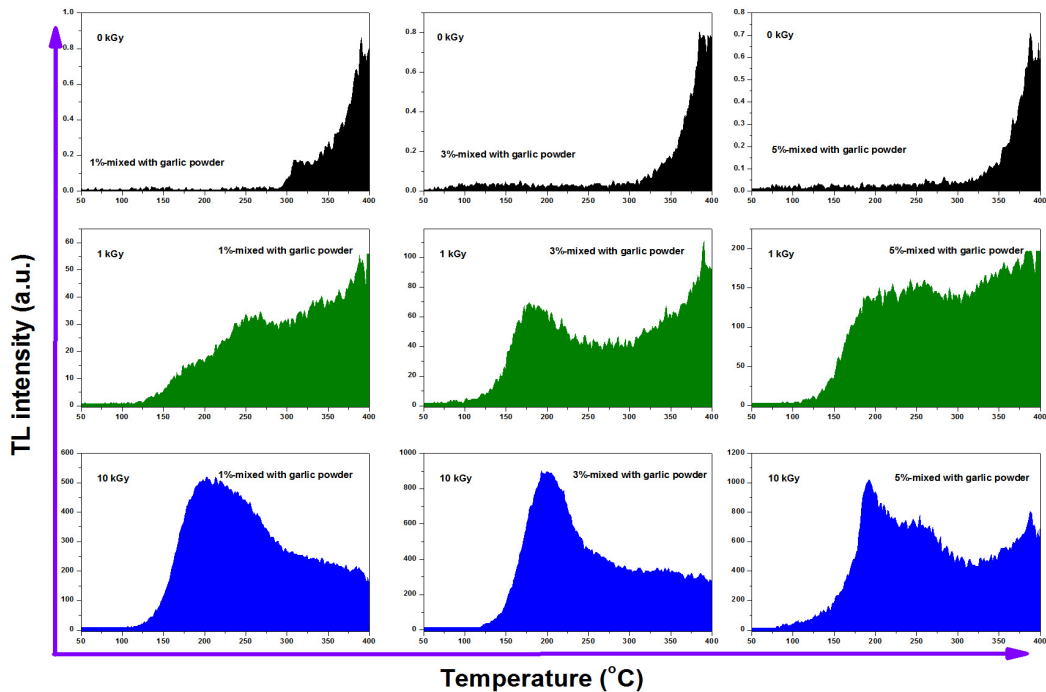


Fig. 4. TL glow curves of minerals separated from *Bulgogi* sauce at 1~5% blends after pasteurization.

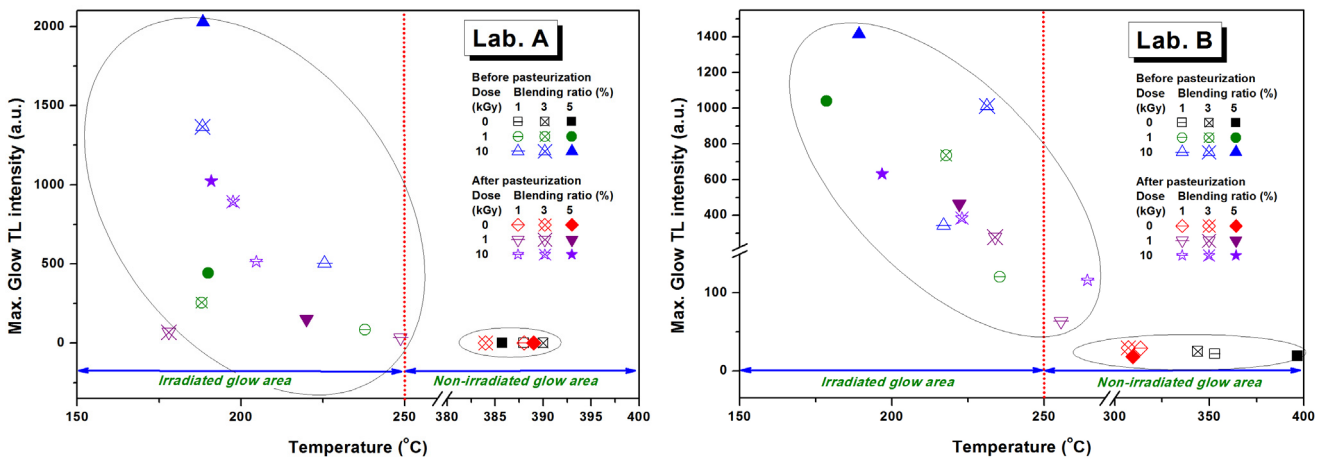


Fig. 5. TL intensity comparison before and after pasteurization of *Bulgogi* sauce containing irradiated garlic powders at different ratios by different institutes.

TL₂의 발광곡선에서 150~250°C 구간의 면적 값을 비교하여 그 비(TL₁/TL₂)가 0.1 이상이면 조사, 0.1 이하이면 비 조사시료로 판정하게 된다(19).

마늘분말이 첨가된 불고기소스와 마늘분말의 TL ratio를 Table 1에 나타내었다. 비 조사 마늘분말의 TL ratio는 0.002로 확인되었고, 조사 마늘분말의 경우 1 kGy 조사구 0.423, 10 kGy 조사구 1.557로 나타났다. 그러나 조사된 마늘분말이 1~5% 혼합된 소스에서는 모두 비 조사기준인 0.1 이하로 나타났고, 살균 처리된 소스 역시 모두 0.1 이하로 나타났다. EN1787(8)에 따르면 원료가 2종 이상인 시료(복합가공식품)는 조사 원료가 소량으로 섞여있더라도 TL ratio는 0.1 이하로 나타날 수 있으며, 이 경우 반드시 발광곡선의 형태로만 조사여부를 판정해야 한다고 권고하고 있다. Kim 등(24)과 Lee 등(16) 역시 조사된 향신료가 일부 혼합되었을 때, TL ratio는 0.1 이하로 나타날 수 있으며, Ahn 등(10)과 Kim 등(11)은 고온의 열처리 후에도 TL ratio는 0.1 이하로 감소할 수 있다고 하였다.

이상의 결과에서 조사된 마늘분말이 혼합된 불고기소스에서 분리한 광물질의 TL ratio는 모두 0.1 이하로 나타나 판별이 명확하지 않았으나, 발광곡선의 온도범위(150~250°C)로서 조사여부 확인이 가능하였다. 상업적 살균처리 후에도 TL 판별은 가능하였으나, 열처리에 의한 에너지의 소실로 인해 1% 혼합시료에서는 판별이 어려운 것으로 확인되었다. 이는 산업적으로 이용되는 열처리에 의해 조사여부의 확인이 어려울 수 있음을 시사하며, 특히 가공식품의 TL 판별 시에는 더욱 정확한 분석이 필요하다고 판단된다. 또한 동일한 시료에 대해 두 개의 연구기관에서 각각 분석하였을 때, 모두 유사한 결과를 나타내어 TL 분석법의 재현성을 검증하였다.

요 약

전자선 조사된 마늘분말을 혼합하여 불고기소스를 제조한 후 살균처리(85°C, 30 min)와 혼합비(1, 3, 5%)에 따른 열 발광(thermoluminescence, TL)특성을 서로 다른 연구기관에서 확인하였다. 비 조사 마늘분말이 혼합된 소스의 TL 발광곡선은 자연방사선에 의해 300°C 이후에서 나타났다. 그러나 조사원료(1 kGy, 10 kGy)가 혼합된 소스의 경우 150~250°C에서 나타났으며, 원료의 혼합량 및 조사선량이 낮을수록 발광곡선의 강도는 감소하였다. TL ratio(TL₁/TL₂)는 조사 원료가 혼합된 시료구에서도 모두 0.1 이하로 나타나 조사여부 판정은 어려웠으며, 살균 처리 후에는 발광 강도는 감소하고 발광온도범위는 고온영역으로 이동하여 낮은 혼합시료(1 kGy 조사 마늘분말, 1%)에서는 판별이 어려운 것으로 확인되었다. 조사 원료가 소량 혼합된 가공식품의 판별 시에는 TL 발광곡선의 형태와 최대 발광온도를 복합적으로 고려하여 조사여부를 확인하여야 할 것으로 판단되었다.

감사의 글

이 논문은 2013학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음. 아울러 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업지원을 받아 수행된 것으로 이에 감사드립니다(NRF-2013R1A1A4A03006993).

REFERENCES

1. WHO. 1981. Wholesomeness of food. Report of a joint FAO/IAEA/WHO expert committee. WHO technical report series 659. World Health Organization, Geneva.
2. Kwon JH, Chung HW, Kim BK, Ahn JJ, Kim GR, Jo DJ, Ahn KA. 2011. Research and application of identification methods for irradiated foods. *Safe Food* 6: 11-27.
3. Farkas J, Farkas CM. 2009. History and future of food irradiation. *Trends Food Sci Tech* 22: 121-126.
4. KFDA. 2012. *Food Code*. Korea Food and Drug Administration, Seoul, Korea. Article 2-1-11-2-1-12.
5. Arvanitoyannis IS. 2010. Consumer behavior toward irradiated food. In *Irradiation of Food Commodities: Techniques, Applications, Detection, Legislation, Safety and Consumer Opinion*. Academic Press, London, UK. p 673-698.
6. Chauhan SK, Kumar R, Nadasabapathy S, Bawa AS. 2009. Detection methods for irradiated foods. *Compr Rev Food Sci Saf* 8: 4-16.
7. Delincée H. 2002. Analytical methods to identify irradiated food - A review. *Radiat Phys Chem* 63: 455-458.
8. EN 1788. 2001. Foodstuffs-thermoluminescence detection of irradiated food from silicate minerals can be isolated. European Committee of Standardization. Brussels, Belgium.
9. Soika C, Delincée H. 2000. Thermoluminescence analysis for detection of irradiated food-luminescence characteristics of minerals for different types of radiation and radiation doses. *LWT-Food Sci Technol* 33: 431-439.
10. Ahn JJ, Akram K, Kwak JY, Jeong MS, Jang YD, Kwon JH. 2012. Radiation-induced thermoluminescence characteristics of feldspar upon different heat and microwave treatments. *J Lumin* 32: 1964-1968.
11. Kim GR, Akram K, Ahn JJ, Kwon JH. 2012. Identification of gamma ray and electron-beam irradiated wheat after different processing treatments. *J Cereal Sci* 56: 347-351.
12. Lee J, Kausar T, Kim BK, Kwon JH. 2008. Detection of gamma-irradiated sesame seeds before and after roasting by analyzing photostimulated luminescence, thermoluminescence, and electron spin resonance. *J Agric Food Chem* 56: 7184-7188.
13. Delincée H. 1998. Detection of food treated with ionizing radiation. *Trends Food Sci Technol* 9: 73-82.
14. Engin B. 2007. Thermoluminescence parameters and kinetics of irradiated inorganic dust collected from black peppers. *Food Control* 18: 243-250.
15. Kim BK, Kwon JH. 2004. 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.
16. Lee JA, Chung HW, Kwon JH. 2010. Detection of different ratios of gamma-irradiated turmeric by photostimulated luminescence and thermoluminescence. *Korean J Food Sci Technol* 42: 648-652.
17. Ahn JJ, Kim GR, Akram K, Kim JS, Kwon JH. 2012. 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.
18. Marchioni E, Horvatovich P, Charon H, Kuntz F. 2005. Detection of irradiated ingredients included in low quantity in non-irradiated food matrix. 2. ESR analysis of mechanically recovered poultry meat and TL analysis of spices. *J Agric Food Chem* 53: 3774-3778.
 19. KFDA. 2012. *Food Code*. Korea Food and Drug Administration, Seoul, Korea. Article 10-8-40-10-8-60.
 20. FAO/WHO CODEX STAN. 2003. General methods for the detection of irradiated foods. CODEX STAN 231-2001.
 21. Kwon JH, Ahn JJ, Akram K, Son IJ, Lee SO. 2013. Characterization of radiation-induced luminescence properties and free radicals for the identification of different gamma-irradiated teas. *Anal Bioanal Chem* 405: 4225-4234.
 22. Soika C, Delincée H. 2000. Thermoluminescence analysis for detection of irradiated food-effects of dose rate on the glow curves of quartz. *LWT-Food Sci Technol* 33: 440-443.
 23. Autio T, Pinnioja S. 1990. Identification of irradiated foods by the thermoluminescence of mineral contamination. *Z Lebensm Unters Forsch* 191: 177-180.
 24. Kim BK, Akram K, Kim CT, Kang NR, Lee JW, Ryang JH, Kwon JH. 2012. Identification of low amount of irradiated spices (red pepper, garlic, ginger powder) with luminescence analysis. *Radiat Phys Chem* 81: 1220-1223.
 25. Kitai S, Furuta M. 2009. Change in thermoluminescence of irradiated paprika powder during storage under various temperature and humidity conditions. *Radiat Phys Chem* 78: 703-705.