

열발광기를 이용한 양파와 마늘의 방사선 조사 여부 검지

황금택[†] · 엄태봉* · Ute Wagner** · Georg A. Schreiber**

전북대학교 식품영양학과

*전북대학교 생물과학부 및 유전공학연구소

**독일연방 소비자보건·수의학연구소

Application of Thermoluminescence to Detecting Post-Irradiation of Onion and Garlic

Keum-Taek Hwang[†], Tai-Boong Uhm*, Ute Wagner** and Georg A. Schreiber**

Dept. of Food Science and Human Nutrition, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea

*Faculty of Biological Sciences and Institute for Molecular Biology and Genetics,
Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea

**Federal Institute for Health Protection of Consumers and Veterinary Medicine,
FG212, Berlin D-14191, Germany

Abstract

Irradiation can be utilized to inhibit sprouting of onions and garlic. Thermoluminescence(TL) is a potential method to detect post-irradiation of onions and garlic because they are irradiated with soil or dusts on them, from which minerals can be isolated for TL analysis. This study was to determine whether TL can be applied for the detection of post-irradiation of onions and garlic. Onions and garlic produced in Korea were irradiated in the range of 0.01~0.6kGy. Minerals isolated from the samples using sodium polytungstate solution were used for TL analysis. The onions and garlic irradiated at 0.15kGy or higher could be detected with little errors. Minimum dose for the 2nd glow could be applied since the dose for the 2nd glow did not affect the results. The TL intensities of the temperature ranges of 229~295°C and 229~361°C and the maximum intensity provided more accurate information for the determination of the post-irradiation of onions and garlic.

Key words: thermoluminescence, irradiation detection, onion, garlic

서 론

방사선 조사를 식품에 활용하여 얻는 유익은 매우 다양하다. IAEA, FAO, WHO 등 국제기구를 비롯한 각국의 보건 관련 기관에서 방사선 조사식품에 대한 안전성을 보장하고 있으며(1) 방사선 조사의 식품에의 활용을 적극 장려하고 있다. 우리 나라에서는 보건복지부에서 방사선 조사 허용 식품품목 및 조사량을 규정하고 있다(2). 이러한 규정은 국내의 경우 그 적용이 용이하나 수입식품의 경우는 수출업자가 이를 명시하지 않는 한, 규정의 적용이 어려운 형편이다. 따라서 소비자에게 그들이 소비하고 있는 식품이 어떻게 처리되었는지에 관한 정보를 제공하고 국제 식품거래 질서를 확립하

는 차원에서 국제적으로 식품의 방사선 조사 여부 판별을 검지할 수 있는 방법을 연구해 왔다. 이 중에서 지방을 함유하고 있는 식품에 대한 hydrocarbon류 검지 방법(3-10), 뼈나 무수 결정물을 함유하고 있는 식품에 대한 electron spin resonance spectroscopy 방법(11, 12), 무기물을 분리해 낼 수 있는 식품에 대한 열발광기(thermoluminescence: TL)를 이용하는 방법(13-17) 등이 방사선 조사식품 검지에 활용 가능한 방법으로 인식되고 있다. TL 방법은 방사선 조사에 의한 여기상태의 에너지가 무기물 결정에 장기간 보유되어 있다가 가열시 발광되는 현상을 이용한 것으로서, 향신료 등과 같이 무기물이 오염되어 있고 조사량이 10kGy 정도로서 상당히 높은 건조식품에 적용하는 데에는 큰 문제

[†]To whom all correspondence should be addressed

가 없다(13-17). 그러나 방사선 조사가 발아억제 목적으로 사용되는 생양파와 마늘의 경우에는 각국의 허용 조사량이 0.15kGy를 중심으로 최대 0.5kGy 정도이기 때문에(18), 낮은 조사량으로 조사된 생양파와 마늘의 경우에 TL방법을 적용할 수 있는지를 시험할 필요가 있다.

본 연구에서는 국내에서 생산한 양파와 마늘에 0.01에서 0.6kGy 범위의 방사선을 조사한 후 무기물을 분리하여 TL 강도를 측정하였으며, 이를 분석하여 TL 검지 방법을 어느 선량범위까지 방사선 조사한 양파 및 마늘에 적용 가능한 지를 검토하였다.

재료 및 방법

양파와 마늘의 방사선 조사

양파와 마늘은 전남 무안지역에서 재배한 것으로서, 양파는 오사가 중고 275, 마늘은 남도(대비) 품종을 농가에서 수확 후 건조한 것을 구입하였다. 양파와 마늘에 묻은 과도한 흙은 제거하고, 원자력연구소가 보유하고 있는 ^{60}Co gamma-radiation source를 사용하여 0.01, 0.05, 0.15, 0.3, 0.6kGy씩 각각 조사하였다.

무기물의 분리

TL분석을 위한 전처리 및 분석은 Schreiber 등의 방법(15,16)에 준하였다. 조사 또는 비조사 양파와 마늘에서 수집한 토양을 10ml 시험관에 넣고 물을 가하여 부유물을 제거하였다. 밀도가 2g/ml가 되도록 조정된 sodium polytungstate용액($\text{Na}_6\text{W}_{12}\text{O}_{36}$; Aldrich Chemical Co., Milwaukee, WI) 5ml를 가하여 vortex를 이용하여 교반한 후 2,000rpm에서 2분간 원심분리하였다. 소량의 물을 가하고 상등액을 진공 펌프를 사용하여 제거하였다. 부유물이 거의 제거될 때까지 sodium polytungstate용액으로 분리하는 과정을 반복하였다. 소량의 물을 가하고 vortex를 이용하여 교반한 후 2,000rpm에서 2분간 원심분리하였다. 상등액을 진공 펌프를 사용하여 제거하였다. 부유물이 보이지 않을 때까지 물로 세척하는 과정을 반복하였다. 1N HCl 1ml를 가하여 공기 방울이 발생하지 않을 때까지 기다린 다음, 소량의 물을 가하여 vortex를 이용하여 교반한 후 2,000rpm에서 2분간 원심분리하였다. 상등액을 진공 펌프를 사용하여 제거한 후, 물로 세척하는 과정을 한번 더 시행한 다음, 침전 무기물에 acetone 1ml를 가하였다.

TL분석

Risø TL reader(Department of Nuclear Safety Re-

search and Nuclear Facilities, Roskilde, Denmark)의 disk에 acetone 중의 무기물을 표면에 덜일 정도로 apply하고, acetone이 증발한 후에 silicone spray(ACMOS 70-2404, Acmos Chemie, Bremen, Germany)로 고정시켰다. Disk에 고정된 시료를 70°C에서 500°C까지 6°C/sec로 가열하면서 TL 강도를 기록하고 1st glow라 하였다. 가열처리한 같은 시료를 TL reader에 부착된 ^{90}Sr β -방사원을 사용하여 10Gy로 조사하고 24시간이 경과한 후에 상기방법으로 가열하면서 얻은 TL 강도를 기록하여 2nd glow-I이라 하였다. 같은 방법으로 50Gy를 조사하여 2nd glow-II를 얻었고, 100Gy를 조사하여 2nd glow-III를 얻었다. TL 강도는 Schreiber 등(16, 17)이 제안한 229~295, 262~295, 295~328, 328~361, 229~361°C 범위로 나누어 면적을 산출하였다. 2nd glow에 대한 1st glow를 각각 TL signal-I, II, III이라 하였다.

통계분석

모든 시험은 2반복으로 하였으며, 다른 경우는 명기하였다. 통계분석은 Microsoft Excel for Windows 95 Version 7.0(Microsoft Corp.)를 사용하였다.

결과 및 고찰

생양파와 생마늘은 저장 중 휴면 종료와 동시에 발아되어 상품성이 급격히 저하된다. 이들의 발아는 저온 저장 유통 system을 사용하거나, maleic hydrazide나 prophan 또는 chloroprophan과 같은 화학물질을 사용하여 억제할 수 있다(19). 전자의 경우는 설치 및 운용상 비용이 많이 들고, 후자는 건강상의 이유로 많은 나라에서 사용을 금지하고 있다. 따라서 방사선 조사가 가장 적절한 발아 억제방법으로 권장되고 있다. 양파나 마늘은 껍질을 벗기고 저장 유통할 경우 저장성이 급격히 저하되므로 주로 껍질채 저장 유통된다. 껍질채 유통할 경우에는 표면에 묻은 토양으로부터 TL 검지에 사용하기 충분한 양의 무기물을 수집할 수 있다고 본다. 현재까지는 생양파와 마늘의 방사선 조사 여부 감지는 TL방법을 제외한 다른 방법의 적용이 어렵다고 본다.

TL 시험시 disk에 무기물 없이 측정된 TL 강도(blank)는 방사선 조사 여부에 관계없이 무기물을 apply한 disk의 TL 강도 측정치보다 현격히 낮아야 신빙성 있는 data로 받아들일 수 있다. Blank 평균치에 표준 편차의 3배 수치를 더한 값을 최소 검지치(MDL)라 정의할 때, 무기물을 apply한 1st glow 값과 비교하여 MDL보다 낮은 값이 있는 data가 있으면 분석 data로 받아들일 수가 없으나, 본 실험에서의 양파와 마늘 시험시 측정

한 8개의 blank에 대한 MDL은 무기물을 apply한 disk의 TL 강도보다 현저히 낮기 때문에 유효한 data로 인정되었다. 또한 재차 방사선 조사한 disk에 대한 TL 강도, 즉 2nd glow도 충분히 높아야 신빙성 있는 data로 받아들일 수 있다. 즉, 시료 disk에 대한 재차 조사량 1kGy를 기준으로 하여 2nd glow가 MDL의 10배를 넘으면 유효한 data로 인정되는데, 본 실험에서 얻은 data는 이 조건을 충분히 만족시켰다.

방사선 조사하지 않은 양파와 마늘에서 얻은 무기물을 TL 분석하였을 때 얻은 1st glow는 250~300°C 부근에서 작은 peak가 나타나고, 400~450°C 부근에서 보다 큰 peak가 나타났었다(Fig. 1). 1st glow는 양파와 마늘에 조사된 방사선 조사량이 증가함에 따라 250~300°C 부근의 peak가 증대되었고, 400~450°C 부근의 peak는 감춰졌다. 1st glow를 얻고 난 TL disk를 TL reader에 부착된 방사원을 사용하여 10, 50, 100Gy로 재차 방사선 조사한 후 얻은 2nd glow-I, II, III는 양파와 마늘과 같이 부피가 큰 시료를 방사선 조사하여 얻은 data보다 정확하다고 볼 수 있다. 따라서 각각의 disk에 대하여 얻은 2nd glow는 재차 조사량에 비례한다고 볼 수 있다. 각각의 disk에 대하여 온도 구간에 따른(2nd glow-II)/(2nd glow-I) 및 (2nd glow-III)/(2nd glow-I)을 구하여 평균 및 표준편차를 Table 1에 나타내었다. 방사선 조사량의 비율이 5와 10배이었으나 나타난 glow 평균의 비율은 모든 온도 범위에서 그보다 높게 나타났다. 이들의 표준편차를 비교하여 볼 때, 229~295°C 및 229~361°C 범위에서 표준편차가 가장 낮은 것으로 나타났으며, 328~361°C 범위에서 가장 높은 것으로 나타났다. 즉 229~295°C나 229~361°C 범위의 glow를

Table 1. Means and standard deviations of the ratios of the 2nd glows

	Number of observation	(2nd glow-II/ (2nd glow-I)		(2nd glow-III/ (2nd glow-I)	
		Mean	Std. dev.	Mean	Std. dev.
229-295°C	24	5.74	0.434	12.63	0.820
262-295°C	24	5.85	0.471	13.08	1.010
295-328°C	24	6.07	0.569	13.87	1.449
328-361°C	24	6.29	0.734	14.63	1.984
229-361°C	24	5.83	0.419	13.00	0.853
Maximum	24	5.60	0.407	12.23	0.781

방사선 조사 여부나 조사량의 예측에 사용할 때, 보다 정확한 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. TL 강도의 최대치에 있어서도 표준편차가 상당히 낮아 최대치만을 사용해도 방사선 조사 여부나 조사량의 예측에 사용이 가능함을 알 수 있다.

방사선 조사한 생양파와 생마늘에 있어서, 방사선 조사량이 증가함에 따라 TL 강도는 대체로 증가하는 경향을 보였으며 250~300°C에서 최대값을 보였다(Fig. 1). 방사선 조사한 시료에서 얻은 무기물에 대하여 측정된 TL 강도, 즉 1st glow는 방사선 조사량이 같을지라도 disk에 apply한 무기물의 양이나 무기물의 종류 등에 따라 달라지게 된다(15-17). 따라서 일단 가열했던 시료 disk를 재차 일정량의 방사선으로 조사한 후 같은 방법으로 가열하면서 얻은 TL 강도(2nd glow)에 대한 비율(1st glow/2nd glow)로 나타낼 필요가 있으며 이를 TL signal이라 하였다. 양파와 마늘에 대한 TL signal을 온도 구간별로 산출하여 Fig. 2와 3에 나타내었다. 이들 그림은 저선량에서의 차이를 쉽게 보기 위하여 log scale로 나타냈다. 온도 전체 구간(229~361°C)

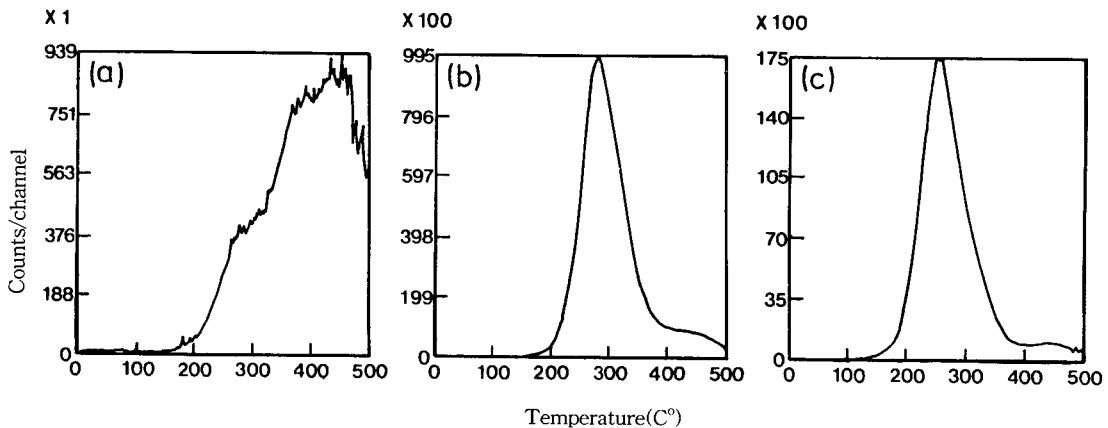


Fig. 1. Thermoluminescence glow curves of minerals heated from 50°C to 500°C at the rate of 6°C/sec. (a) the 1st glow of minerals from unirradiated garlic; (b) 1st glow of minerals from garlic irradiated at 0.15 kGy; (c) the 2nd glow of minerals reirradiated at 10Gy. Note that the y axis of each graph has a different scale.

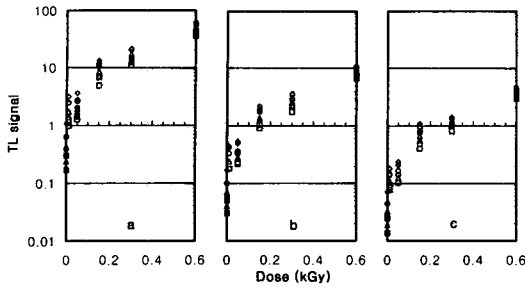


Fig. 2. TL signals(the 1st/2nd glow) for onions obtained in the ranges of 229~295°C(□), 262~295°C(△), 295~328°C(○), 328~361°C(◇), based on the reirradiation (a) at 10Gy, (b) at 50Gy, and (c) at 100Gy.

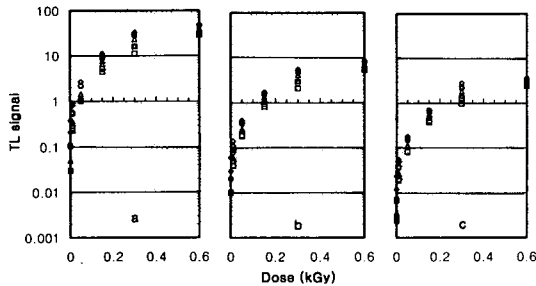


Fig. 3. TL signals(the 1st/2nd glow) for garlics obtained in the ranges of 229~295°C(□), 262~295°C(△), 295~328°C(○), 328~361°C(◇), based on the reirradiation (a) at 10Gy, (b) at 50Gy, and (c) at 100Gy.

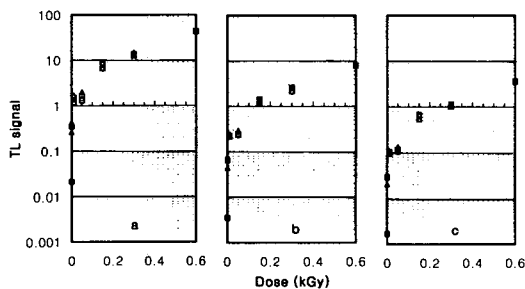


Fig. 4. TL signals(the 1st/2nd glow) for onions at maximum TL signal and in the range of 229~361°C(△), based on the reirradiation (a) at 10Gy, (b) at 50Gy, and (c) at 100Gy.

및 최대 TL 강도에 대한 TL signal은 Fig. 4와 5에 나타내었다. 이들 TL signal의 도표에 의하면 어느 온도 범위를 사용하든 조사량이 0.15kGy 이상인 시료는 높은 신빙성으로 방사선 조사 여부를 판별 가능하다고 사료된다. 양파와 마늘에 대한 각국의 방사선 조사량 허용기준이 대부분 0.15kGy인 점을 고려하면 TL이 양파와 마늘의 방사선 조사 여부 판별에 이용 가능함을 보여

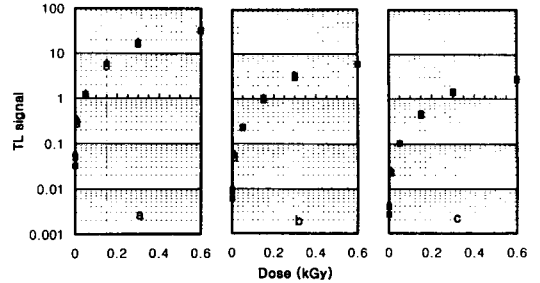


Fig. 5. TL signals(the 1st/2nd glow) for garlics at maximum TL signal and in the range of 229~361°C(△), based on the reirradiation (a) at 10Gy, (b) at 50Gy, and (c) at 100Gy.

준다.

조사량에 대한 TL signal 값은 실험한 조사량 범위 내에서 거의 직선관계로 증가하였다. 이들 관계를 $y = ax + b$ 로 추정된 회귀 직선으로 나타낼 때 추정값 a , b , 상관계수, 선형계수 등을 Table 2와 3에 나타냈다. 이들은 온도 구간이나 2nd glow를 위해 조사한 조사량에 관계없이 R^2 이 양파의 경우는 대부분 0.94 이상, 마늘의 경우는 0.97 이상인 매우 강한 선형 관계를 보였다. 마늘이 양파보다 강한 선형관계를 보인 것은 마늘이 양파보다 작아 조사가 보다 균일하게 되었기 때문에 나타난 현상으로 보인다. y 절편 대부분이 음의 값을 나타낸 것으로 보아 조사량의 증가에 따라 TL 강도가 약간 더 증가하는 경향이 있음을 볼 수 있다. 이것은 앞에서의 (2nd glow-II)/(2nd glow-I) 및 (2nd glow-III)/(2nd glow-I) 비교치에서 각각 5와 10배 이상을 나타낸 것과 같은 현상으로부터도 알 수 있다. 방사선 조사하지 않은 시료를 방사선 조사한 것으로 판별할 오류를 최소화하기 위하여 y 절편에 대한 99% 신뢰구간의 상위값을 산출하였다. 이 값은 0.15kGy 이상 조사한 양파와 마늘에 대하여 얻은 값보다 낮았다. 따라서 양파와 마늘에 대한 TL 분석치가 이 값 이상이면 이들 시료가 방사선 조사된 것이라는 판단에 신빙성을 높여준다.

본 연구 결과를 종합하면, 양파와 마늘을 토양이 묻은 채 방사선 조사하면 방사선 조사 여부 판별을 위하여 충분한 무기물을 수집할 수 있어서 TL을 이용한 방사선 조사 여부 판별 시험이 가능하며, 양파와 마늘을 0.15kGy 이상 조사하면 TL에 의해 확실하게 판정할 수 있다. 결과는 2nd glow를 위한 방사선 조사량의 크기에는 큰 영향을 받지 않으므로 최소량을 조사해도 무난하다고 본다. TL 강도의 온도 범위는 어느 경우라도 사용이 가능하지만 229~295°C, 229~361°C, 최대값을 사용할 때, 보다 정확한 판별이 가능하다고 사료된다.

Table 2. Estimates of linear regression equations between dose(x) and TL signal(y) for onions

TL signal		229~295°C	262~295°C	295~328°C	328~361°C	229~361°C	Maximum
I	a	62.67	79.58	90.63	88.14	70.99	68.45
	b	-1.729	-2.107	-1.756	-1.823	-1.574	-1.582
	u	2.605	3.116	4.057	5.073	2.831	2.495
	R	0.971	0.974	0.975	0.973	0.977	0.978
	R ²	0.943	0.949	0.951	0.947	0.954	0.957
II	a	11.32	14.12	15.82	15.23	12.69	12.66
	b	-0.351	-0.399	-0.332	-0.154	-0.317	-0.333
	u	0.459	0.508	0.618	0.685	0.471	0.444
	R	0.969	0.975	0.978	0.981	0.977	0.977
	R ²	0.940	0.951	0.957	0.963	0.954	0.955
III	a	5.19	6.40	7.10	6.84	5.78	5.80
	b	-0.162	-0.184	-0.153	-0.079	-0.147	-0.151
	u	0.219	0.242	0.281	0.317	0.223	0.199
	R	0.968	0.973	0.977	0.979	0.975	0.978
	R ²	0.936	0.947	0.955	0.959	0.951	0.956

n=12; a: slope; b: y-intercept; u: upper limit of 99% confidence interval for y-intercept; R: regression coefficient; R²: determinant coefficient

Table 3. Estimates of linear regression equations between dose(x) and TL signal(y) for garlics

TL signal		229~295°C	262~295°C	295~328°C	328~361°C	229~361°C	Maximum
I	a	49.99	66.42	81.28	85.39	58.71	54.69
	b	-1.029	-1.009	-0.518	0.051	-0.875	-0.909
	u	0.799	1.312	2.422	4.064	0.777	0.634
	R	0.992	0.992	0.992	0.986	0.995	0.995
	R ²	0.983	0.985	0.984	0.973	0.990	0.990
II	a	9.11	11.88	14.00	14.17	10.50	10.21
	b	-0.182	-0.178	-0.096	-0.012	-0.155	-0.164
	u	0.142	0.240	0.461	0.698	0.153	0.126
	R	0.992	0.992	0.990	0.985	0.995	0.995
	R ²	0.984	0.985	0.981	0.969	0.989	0.990
III	a	4.19	5.26	5.99	5.89	4.71	4.74
	b	-0.089	-0.075	-0.022	0.027	-0.068	-0.080
	u	0.055	0.103	0.300	0.510	0.071	0.051
	R	0.993	0.993	0.982	0.960	0.995	0.995
	R ²	0.985	0.986	0.965	0.922	0.989	0.991

n=12; a: slope; b: y-intercept; u: upper limit of 99% confidence interval for y-intercept; R: regression coefficient; R²: determinant coefficient

요 약

방사선 조사는 양파와 마늘의 발아 방지를 목적으로 이용될 수 있다. 양파와 마늘은 무기물을 분리할 수 있는 토양이 묻은 채 방사선 조사할 가능성이 있으므로 열발광기(TL)를 이들의 방사선 조사 여부를 판별하는데 이용하였다. 국내에서 생산한 양파와 마늘에 0.01에서 0.6kGy 범위의 방사선을 조사한 후 sodium polytungstate 용액을 사용하여 무기물을 분리하여 TL 강도를 측정하였으며, 이를 분석하여 TL 검지방법을 어느 선량까지 방사선 조사한 양파 및 마늘에 적용 가능한지를 검토하였다. 양파와 마늘을 토양이 묻은 채 방사선 조사하면 충분한 무기물을 수집할 수 있어서 TL을 이용한 방사선 조사 여부 판별 시험이 가능하였다. 양파

와 마늘을 0.15kGy 이상 조사하면 TL에 의한 방사선 조사했다고 확실하게 판정할 수 있었다. 2nd glow를 위한 재차 조사량의 크기에 큰 영향을 받지 않으므로 최소량을 조사해도 무난하다고 판단되었다. 방사선 조사 여부 판별을 위한 TL 강도는 229~295°C 및 229~361°C 온도 범위와 최대치 등을 사용할 때, 보다 정확한 결과를 예측할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 보건복지부 보건의료기술연구개발사업 연구비(HMP-96-F-1-1007) 지원에 의한 연구결과물의 일부이며, 연구비를 지원해 주신 보건의료기술연구기획단에 감사드립니다. 방사선 조사에 협조해 주신 한국

원자력연구소 방사선 식품공학연구팀에 감사드리며, 본 연구 수행에 협조해 주신 독일연방소비자보건·수의학연구소(BgVV)의 Prof. Dr. Bögl에 감사드립니다.

문 헌

1. WHO : Wholesomeness of Irradiated Food, WHO Technical Report Series, 604, Geneva, Switzerland(1977)
2. FSN : 식품의 기증 및 규격 중 개정 고시(보건복지부 고시 제1995-34호). 식품위생정보 52호, 3(1995)
3. Champagne, J. R. and Nawar, W. W. : The volatile components of irradiated beef and pork fats. *Food Science*, **34**, 335(1969)
4. Schulzki, G., Spiegelberg, A., Helle, N., Bögl, K. W. and Schreiber, G. A. : Identification of radiation-induced volatiles in meat. Comparison of two isolation methods: high vacuum 'cold finger' distillation and florisil chromatography. In "Recent advances on the detection of irradiated food" Lenardi, M, Raffi, J. J. and Belliardo, J. J.(eds.), BCR Information, EUR/14315/EN, Commission of the European Communities, Brussels, Luxembourg, p.250(1992)
5. Morehouse, K. M., Ku, Y., Albrecht, H. L. and Yang, G. C. : Chromatographic and electron spin resonance investigations of gamma-irradiated frog legs. *Radiat. Phys. Chem.*, **32**, 61(1991)
6. Lesgards, G., Raffi, J., Pouliquen, I., Chaouch, A. A., Giamarchi, P. and Prost, M. : Use of radiation-induced alkanes and alkenes to detect irradiated food containing lipids. *JAOCs*, **70**, 179(1993)
7. Spiegelberg, A., Schulzki, G., Helle, N., Bögl, K. W. and Schreiber, G. A. : Methods for routine control of irradiated food: optimization of a method for detection of radiation-induced hydrocarbons and its application to various foods. *Radiat. Phys. Chem.*, **43**, 433(1994)
8. Schreiber, G. A., Schulzki, G., Spiegelberg, A., Helle, N. and Bögl, K. W. : Evaluation of a gas chromatographic method to identify irradiated chicken, pork, and beef by detection of volatile hydrocarbons. *JAOC International*, **77**, 1202(1994)
9. Schulzki, G., Spiegelberg, A., Bögl, K. W. and Schreiber, G. A. : Detection of radiation-induced hydrocarbons in camembert irradiated before and after the maturing process-comparison of Florisil column chromatography and on-line coupled liquid chromatography-gas chromatography. *J. Agric. Food Chem.*, **43**, 372(1995)
10. Choi, C. R. and Hwang, K. T. : Detection of hydrocarbons in irradiated and roasted sesame seeds. *JAOCs*, **74**, 469(1997)
11. Lea, L. S., Dodd, N. J. F. and Swallow, A. J. : A method of testing for irradiation of poultry. *Int'l J. Food Sci. Technol.*, **23**, 625(1988)
12. Desrosiers, M. F. and Simic, M. G. : Postirradiation dosimetry of meat by electron spin resonance spectroscopy of bones. *J. Agric. Food Chem.*, **36**, 601(1988)
13. Sanderson, D. C. W., Slater, C. and Cairns, K. J. : Detection of irradiated food. *Nature*, **30**, 23(1989)
14. Heide, L. and Bögl, K. W. : The identification of irradiated spices with thermo- and chemiluminescence measurements. *Int'l J. Food Sci. Technol.*, **22**, 93 (1987)
15. Schreiber, G. A., Ziegelmann, B., Quitzsch, G., Helle, N. and Bögl, K. W. : Luminescence techniques to identify the treatment of foods by ionizing irradiation. *Food Structure*, **12**, 385(1993)
16. Schreiber, G. A., Helle, N. and Bögl, K. W. : An interlaboratory trial on the identification of irradiated spices, herbs, and spice-herb mixtures by thermoluminescence analysis. *JAOC International*, **78**, 88 (1995)
17. Schreiber, G. A., Hoffmann, A., Helle, N. and Bögl, K. W. : Methods for routine control of irradiated food: determination of the irradiation status of shellfish by thermoluminescence analysis. *Radiat. Phys. Chem.*, **43**, 533(1994)
18. IAEA : *Supplement to Food Irradiation Newsletter*. 19(1995)
19. Diel, J. F. : Potential and actual applications of irradiated foods. In "Safety of irradiated foods" Marcel Dekker, Inc., New York, p.217(1990)

(1997년 9월 20일 접수)