

수산 자숙액의 방사선 조사 여부 판별 특성 연구

최종일 · 김연주 · 김재훈[†] · 이주운
한국원자력연구원 정음방사선과학연구소

Identification of Irradiated Seafood Cooking Drips Using Various Detection Methods

Jong-Il Choi, Yeon-Joo Kim, Jae-Hun Kim[†], and Ju-Woon Lee

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

Abstract

In this study, the identification of the irradiated seafood cooking drips from *Hizikia fusiformis*, *Enteroctopus dofleini* and *Thunnus thynnus* was conducted. The physical detection methods used included photo-stimulated luminescence (PSL) and thermoluminescence (TL), and the chemical detection methods were hydrocarbons analysis. In the PSL study, all seafood cooking drip samples showed 260~510 photon counts; thus, the PSL method could not be used for the detection of irradiated seafood cooking drips. The TL method could be used for the detection of irradiated *H. fusiformis* and *E. dofleini* cooking drips. In both cooking drips, the shapes of the glow curves indicated a specific peak at 150°C~250°C, which made it possible to identify the irradiated samples. The hydrocarbons derived by gamma irradiation of *T. thynnus* cooking drip were not detected due to low concentration and inconsistent content of fatty acids in the untreated *T. thynnus* cooking drip.

Key words: radiation treatment detection, seafood cooking drip, PSL, TL, hydrocarbons

서 론

최근 간편성을 부여한 수산가공품이 주류를 이루고 있는 가운데 톳, 미역, 참치, 고등어, 굴, 오징어, 문어 및 멸치 등과 같은 수산물의 통조림 및 건제품 가공과정에서는 부산물로서 다량의 자숙액이 발생되고 있다. 자숙액에는 수산 원료에 포함된 다양한 성분들, 특히 기능성 생물 활성물질이 추출되어 함유되어 있다. 이러한 자숙액은 다량으로 발생하지만 활용 분야가 많지 않기 때문에 아무런 처리 없이 폐기되고 있는 실정이다. 이러한 폐액은 생물학적 산소 요구량의 증대와 같은 해양 환경에 중요한 영향을 미칠 수 있어 자숙액의 회수 및 이용은 폐기 자원의 이용이라는 측면뿐만 아니라 환경 보호의 측면에서도 매우 필요하다(1). 최근에는 이러한 자숙액의 오염 미생물을 살균하고, 기능성을 증가시키는 방법으로 감마선의 이용 가능성이 대두되고 있다(2,3).

방사선 조사기술은 해충이나 미생물의 사멸뿐 아니라 농산물의 발아억제, 숙도 조정, 식품의 저장수명 연장, 건조식품의 물성개선 등에 효과가 인정되고 있으며(4-6), 그 안전성과 기술적 타당성이 국제기구(FAO/IAEA/WHO)에 의해 보증되고 있다(7). 현재 중국, 일본, 미국 등 세계 56여 개국에서 이미 상업적으로 방사선조사식품의 생산, 유통이 본격

화되고 있으며(8), 1984년 방사선 조사 식품에 대한 Codex 일반 규격이 채택되었다(9). 그러나 방사선조사식품에 대한 교역국간의 규정이 상이하므로 조사식품의 수입 및 유통관리를 위해 식품의 방사선 조사 판별기술의 개발이 진행되고 있다.

방사선조사식품의 소비자 수용도를 높이기 위한 여러 요건 중에서도 조사식품의 품질관리 및 품질보증을 위한 조사식품의 표시제도(labeling)와 이를 뒷받침할 수 있는 조사식품의 확인 방법(identification method)에 관한 연구가 가장 시급한 과제로 인식되고 있다(4,10). 방사선조사식품의 확인 방법 정립은 국제교역에서의 검역과 제품의 품질관리뿐 아니라 자국의 경제적 이익을 위해서도 필수적이다. 이에 따라 우리나라에서는 방사선조사 허가식품 중 7종(향신료 및 이들 조제품, 복합조미식품, 감자, 마늘, 생버섯, 건조버섯, 양파)에 대하여 물리적 검지법으로서 광자극발광분석법(PSL, photo-stimulated luminescence)과 열발광분석법(TL, thermoluminescence)의 시행(2010.1.1)을 위하여 검지법을 확립 고시(2007.4.12)한 바 있다(11).

식품의 방사선조사 여부 확인은 조사된 식품에서 발생하는 물리적, 화학적 및 생물학적 변화에 따른 다양한 연구들이 수행되었으며, 이에 따라 Codex 표준방법(12)과 EU의 CEN

[†]Corresponding author. E-mail: jaehun@kaeri.re.kr
Phone: 82-63-570-3205, Fax: 82-63-570-3207

방법(13)이 보고되고 있다. 이들 방법들은 방사선조사식품에서 발생할 수 있는 free radical을 측정하는 전자스핀공명 분석(ESR, electron spin resonance)(14), 혼입된 무기물(mineral)의 광자극발광(PSL)(15) 및 열발광(TL) 분석(16) 등의 물리적 방법과 방사선 조사로 인해 생성되는 지방질 함유식품의 hydrocarbon 및 2-alkylcyclobutanone(2-ACB) 분석 등의 화학적 방법(17)이 있으며, 생체 시료의 DNA 손상(18), 미생물 농도 저하, 발아력 저하 등이 알려지고 있다.

따라서 본 연구에서는 수산 가공 부산물인 자숙액을 식품 및 공중보건 소재로 사용하기 위해 위생화 및 기능성 증진의 목적으로 사용한 방사선조사 여부 판별 분석 방법을 연구하여 다양한 식품 및 소재에서의 방사선조사 검지 기술의 개발에 활용하고자 한다.

재료 및 방법

실험 재료

본 연구에서 사용한 톳, 문어 및 참치 자숙액은 국내 수산 업체 태림 산업, 우영수산, 동원수산에서 각각 구입하거나 제공받아 사용하였다. 방사선조사 확인 실험을 위하여 자숙액을 low density polyethylene(LDPE) bag에 포장하여 방사선 조사하였다.

시료의 감마선조사

감마선조사는 한국원자력연구원 방사선과학연구소(Jeong-eup, Korea) 내 선원 11.1 PBq, Co-60 감마선 조사시설(point source AECL, IR-79, MDS Nordion International Co. Ltd., Ottawa, Canada)을 이용하여 실온($22 \pm 1^\circ\text{C}$)에서 시간당 10 kGy의 선량률로 각각 0, 5 및 10 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 흡수선량 확인은 alanine dosimeter(5 mm, Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 사용하였다. Dosimetry 시스템은 국제원자력기구(IAEA)의 규격에 준용하여 표준화한 후 사용하였으며, 총 흡수선량의 오차는 2% 이내였다. 비조사구인 0 kGy는 동일한 온도효과를 얻기 위하여 감마선 조사시설 외부에 둔 후, 조사 직후 처리구와 함께 4°C 냉장고에 저장하였다.

광자극 발광(photo-stimulated luminescence, PSL) 분석

PSL 분석은 CEN 방법(19) 및 KFDA 방법(11)에 준하여 실시하였다. PSL 측정에 사용된 모든 시료는 최대한 빛이 차단된 장소에 보관하면서 cross-contamination을 피하여 측정하였다. 감마선 조사한 자숙액을 건조시켜 수분을 제거한 후 분말 형태로 2 g씩 취하여 disposable petridish에 담아 PSL system(Glasgow, UK) 시료 chamber에 넣고 PSL photon count를 3회 반복 측정하였다. 기기의 cycle time은 1초, cycle 횟수는 60, dark count 24 ± 2.4 , light count는 22 ± 1.3 이었다. 측정 결과의 판정에서 lower threshold value는 $T_1 =$

700 counts/min, upper threshold value $T_2 = 5000$ counts/min으로 T_1 이하의 값은 비조사 시료(negative control)로, T_2 이상의 값은 방사선 조사된 시료(positive control)로 판별하였다(19,20).

TL(thermoluminescence) 분석

TL 측정을 위한 mineral 추출은 sample로부터 water rinsing, hand picking 등의 방법을 이용하였다. 자숙액에 일정량의 증류수를 가하여 ultrasonic agitator에서 5분간 처리한 후 다시 시료를 water rinsing하며 125 μm sieve를 통과시켜 일정시간 정치시킨 후 침전물을 취하였다. 침전물을 test tube에 옮겨 담은 후 sodium polytungstate solution(2.0 g/mL) 5 mL을 가하여 유기물을 제거하고 증류수로 세척하였다. 일반적으로 혼입된 mineral에는 carbonate를 함유하고 있으며 이 carbonate는 제조사 후 측정 시 1차 측정에서의 glow curve peak에 대해 영향을 초래하므로 1 N HCl 2 mL을 가해 10분간 암소에서 정치하여 carbonate를 제거하였고 1 N NH_4OH 2 mL을 가해 중화시켰다. 중화된 mineral은 증류수로 충분히 세척한 후 acetone으로 몇 차례 세척한 후 건조시켰다. 건조된 mineral 0.5 mg을 TL disk에 옮겨 담고 50°C incubator에서 하룻밤 예열한 후 측정하였다(20,21).

준비된 mineral의 TL spectra 측정은 TL 측정 시 외부 noise에 의한 영향을 받으므로 암실조건에서 측정 전 TL system(RISO, Roskilde, Denmark)을 켜 놓고 high pure N_2 gas(99.9999%)를 10분 정도 흘려보낸 후 다음 조건으로 측정하였다(11,21). TL 분석 조건으로는 preheat temperature 50°C , temperature rate $5^\circ\text{C}/\text{sec}$, maximum temperature 400°C , acquire time 70 sec, anneal temperature 400°C (5 sec)로 설정하였다.

시료에서 나타나는 glow curve intensity의 normalization을 위해서 1차 glow curve를 측정된 후 다시 감마선 조사시설을 이용하여 실온에서 시간당 일정한 선량률(Gy/sec)로 1 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 실시하여 2차 glow curve를 측정하였다. 처음 측정 시 얻은 면적 값을 TL_1 이라 하고 재조사 후 측정해서 구한 면적 값을 TL_2 라 하며 그 후 방사선 조사된 시료가 나타내는 TL glow curve 범위의 TL ratio (TL_1/TL_2)를 구하여 이 ratio를 threshold value로 이용하면 조사 여부 확인이 가능하다. 본 연구에서는 자숙액 시료에 대해 1 kGy를 재조사하여 TL_2 면적 값을 구하고, TL ratio 값이 0.1 이하이면 비조사구로, 0.1 이상이면 조사구로 판단하였다(11).

Hydrocarbon 측정

자숙액의 지방 추출을 위해 120 g의 시료에 Na_2SO_4 140 g 및 n-hexane(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA) 300 mL을 가하여 균질화 한 후 150 rpm에서 12시간 교반하였다. 추출된 여액을 원심분리(10000 rpm, 4°C , 20 min)하여 상층액을 취한 후 rotary vacuum evaporator를 사용하여

35°C에서 유기용매를 제거하고 질소가스로 잔존 유기용매를 완전히 휘발시켜 냉동 저장하면서 시료로 사용하였다.

추출한 지방 1 g에 정량분석을 위해 internal standard로서 1 mL eicosane 4 µg/mL hexane)을 첨가하여 hexane으로 활성화시킨 Florisil SPE cartridge(Waters, Milford, MA, USA)에 가한 후 30 mL n-hexane을 용리용매로 하여 hydrocarbon류를 분리하였다. 이 용리용매는 rotary vacuum evaporator를 이용하여 2 mL까지 농축한 후 0.5 mL까지 질소로 농축하여 GC/MS 분석기기를 이용하여 분석하였다.

분리한 hydrocarbon류의 분석은 Gas chromatograph mass selective detector system(Agilent, Waldbronn, Germany)을 사용하였으며, column은 DB-5(30 m×0.32 mm ID, 0.25 µm film thickness, J&W Scientific, Folsom, CA, USA)를 이용하였다. 온도 program은 60°C에서 170°C까지 25°C/min의 속도로 승온시키고, 205°C까지 2°C/min의 속도로 승온하였으며, 다시 10°C/min의 속도로 270°C까지 승온시켰다. Injektor와 detector 온도는 각각 250°C, 300°C이며, carrier gas는 helium을 사용하였으며, 유속은 1.0 mL/min으로 하였다. 시료는 1 µL를 주입하였고, split ratio는 1:20으로 하여 처음 2분 동안 splitless 시켰다. GC/MS 분석조건은 ionization voltage를 70 eV로 하였고, ion source temperature는 230°C로 하였다. 또한 분석할 분자량의 범위(m/z)는 40~350으로 설정하였다.

통계분석

모든 실험은 3회 반복 실시하였으며, 얻어진 결과들은 SPSS software(22)에서 프로그램에 의한 ANOVA test를 이용하여 분산분석을 한 후 Duncan의 다중위 검정을 실시하였다.

결과 및 고찰

PSL 분석 특성

시료의 방사선조사 여부 판별을 위하여 수산 자숙액 3종에 대하여 PSL을 측정하였다. 수산 자숙액을 3회 반복 측정한 결과, 모든 자숙액에서 260~510의 photon counts를 나타내어 비조사 시료로 확인되었다(Table 1)(23). 따라서 방사선조사 여부를 확인하기 위한 수산자숙액 3종의 PSL 분석은 적용 가능성이 낮은 것으로 사료되었다.

TL 분석 특성

TL signal 측정을 위한 전처리 과정에서 예비실험을 통해, 톳 자숙액의 경우 50 mL, 문어 자숙액의 경우 200 mL의 시료를 water rinsing 하여 1 mg의 미네랄을 추출하여 측정하였다. 그러나 참치 자숙액의 경우, 특이적으로 함유한 지방과 콜라겐의 함량이 높아(24), TL 방법은 적용 가능하지 않을 것으로 판단되어 본 실험에서 제외하였다. 실험의 신뢰도를 높이기 위해 미네랄의 분리과정에서 시료를 담지 않은

Table 1. Poststimulated luminescence (PSL) characteristics of gamma-irradiated seafood cooking drips

Sample	Irradiation dose (kGy)		
	0	5	10
Cooking drip from <i>Hizikia fusiformis</i>	269 ± 113 ^{1,2)} (-) ³⁾	337 ± 32 (-)	288 ± 60 (-)
Cooking drip from <i>Enteroctopus doleini</i>	348 ± 111 (-)	404 ± 51 (-)	510 ± 70 (-)
Cooking drip from <i>Thunnus thynnus</i>	260 ± 119 (-)	399 ± 79 (-)	378 ± 120 (-)

¹⁾ Mean ± SD (n=3).

²⁾ Threshold value: T₁=700, T₂=5000, (-)<T₁, T₁<(M)<T₂, (+)>T₂.

³⁾ +, positive, irradiated; -, negative, non-irradiated; M, intermediate.

blank test를 수행하여 MDL(minimal detectable integrated TL intensity level; 최저검출한계)을 측정된 결과 1782의 값을 얻었으며, 각 시료의 Glow 2 면적 값이 MDL의 10배를 넘으면 유효한 실험결과로 확인하였다.

현재 자숙액의 경우 국내에서 조사가 허가되어 있지 않기 때문에 안전하다고 받아들여지는 10 kGy를 최고 선량으로 하여 실험에 사용하였다(25). 톳 및 문어 자숙액에서 추출한 미네랄을 사용하여 TL을 측정된 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 실험 결과 톳, 문어 자숙액에서 비조사구에서는 특이 peak를 관찰할 수 없었으나, 5 및 10 kGy 조사구에서는 150

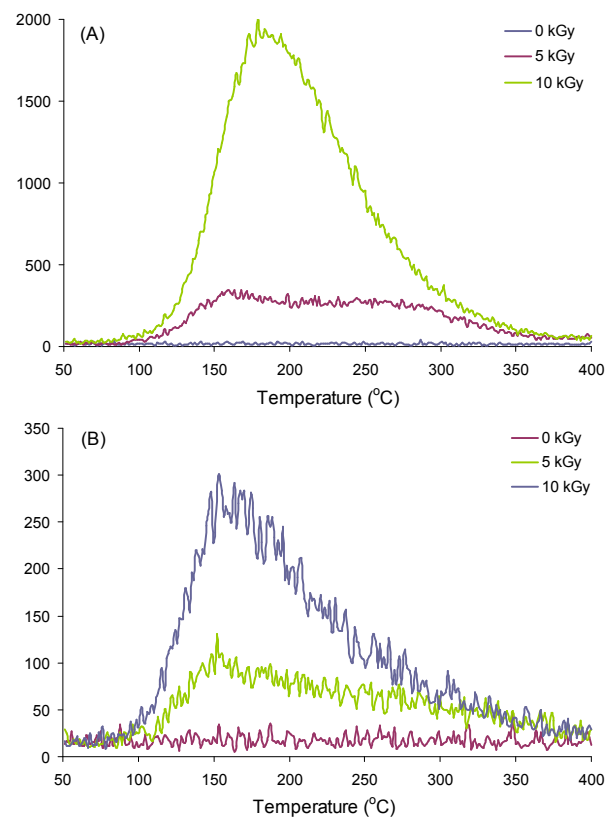


Fig. 1. Typical TL glow curves of minerals of gamma-irradiated cooking drips of *Hizikia fusiformis* (A) and cooking drips of *Enteroctopus doleini* (B).

Table 2. TL ratios (TL₁/TL₂) of minerals separated from gamma-irradiated *Hizikia fusiformis* and *Enterocarpus dofleini* cooking drips

Sample	TL glow	Irradiation dose (kGy)		
		0	5	10
Cooking drip from <i>Hizikia fusiformis</i>	TL ₁ intensity ¹⁾	1801.5	25761	38274
	TL ₂ intensity ²⁾	19416.5	53176.5	43539.5
	TL ratio ³⁾	0.093	0.487	0.799
Cooking drip from <i>Enterocarpus dofleini</i>	TL ₁ intensity	2407.5	4351	7998.5
	TL ₂ intensity	23013	22059.5	38169.5
	TL ratio	0.105	0.199	0.211

¹⁾Integrated TL₁ intensity at 150~250°C. ²⁾Integrated TL₂ intensity at 150~250°C. ³⁾TL₁ intensity/TL₂ intensity.

~250°C 사이에서 조사를 확인할 수 있는 특이 peak가 나타나는 것을 확인하였다. 또한, 조사선량의 증가에 따라 signal intensity는 급격히 증가함을 확인하였다. 문어 자숙액에서는 툷 자숙액보다 TL intensity가 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있었는데, 이는 시료에 따라 원재료에 혼입되는 무기질(mineral)의 종류와 양의 차이가 나타날 수 있기 때문이라고 생각된다(26-28). 본 연구 결과 방사선 조사한 자숙액에서는 150~250°C 범위에서 특정한 glow curve가 나타났으므로 이들의 방사선조사 여부를 확인하는데 적용이 가능할 것이라고 판단된다.

툷 및 문어 자숙액으로부터 분리한 미네랄에 대한 glow curve intensity의 normalization을 위하여 1차 glow curve (TL₁)를 측정된 다음 다시 재조사(1 kGy)를 실시하여 2차 glow curve(TL₂)를 측정하였다. TL ratio(TL₁/TL₂)를 측정된 결과(Table 2), 툷 자숙액에서는 비조사구에서는 0.093, 조사구에서는 0.487 이상의 TL ratio를 나타내었으며, 문어 자숙액에서는 비조사구의 경우 0.105, 조사구에서는 0.199 이상의 TL ratio를 나타내었다. TL ratio 값이 0.1보다 작은 경우는 방사선 조사하지 않은 것으로, 0.1보다 큰 경우는 방사선 조사된 것으로 판단하는데(29), 본 연구 결과 툷 자숙액에서는 비조사구의 TL ratio가 0.1보다 낮았으며, 조사구의 경우 0.1보다 높은 값을 보여 normalization이 가능하였으나, 문어 자숙액의 경우, 비조사구에서 0.1보다 높은 0.105의 값을 나타내어 normalization이 가능하지 않았다. Chung 등(29)은 백후추 분말시료의 경우 TL ratio가 0.10으로 나타났

으나, 이의 TL glow curve의 모양과 나타나는 온도범위를 고려하여 종합적으로 판단한 결과 비조사 시료로 판단하였다고 하였다. 본 연구 결과에서도 문어 자숙액의 경우 TL ratio는 0.105의 값을 나타내었으나, TL glow curve를 기준하여 조사 여부의 확인이 가능하여 툷과 문어 자숙액의 경우 TL 방법을 이용한 방사선조사 여부를 확인이 가능할 것이라고 판단하였다.

Hydrocarbon 분석 특성

툷 자숙액과 문어 자숙액에서는 지질이나 지방산의 함량이 매우 낮아서 hydrocarbon 분석을 이용한 방사선조사 여부 확인 실험에서는 제외하였다. 이전의 연구에서 수산 자숙액의 조지방 함량의 분석결과 참치 자숙액의 경우 25 mg g⁻¹의 함량이 나타났으나, 툷과 문어 자숙액에서는 조지방이 검출되지 않았다(30). 참치 자숙액의 지방에는 palmitic acid, stearic acid, docosahexaenoic acid(DHA) 등의 지방산이 많이 함유되어 있다. 이러한 지방산에 방사선을 조사시키면, 중성지방의 carbonyl group의 α 탄소와 β 탄소 위치에서 결합이 끊어져 원래의 지방산보다 탄소수가 1개(C_{n-1}) 적거나 2개(C_{n-2}) 적으면서 첫 번째 탄소위치에 새로운 이중결합을 가진 hydrocarbon류가 생성된다(24). 즉, palmitic acid로부터 pentadecane과 1-tetradecene, stearic acid로부터 heptadecane과 1-hexadecene, oleic acid로부터 8-heptadecene과 1,7-hexadecadiene, linoleic acid로부터는 6,9-heptadecadiene과 1,7,10-hexadecatriene이 생성된다. 이러한 hydrocarbons를 분석하게 되면 지방산이 함유된 식품의 방사선조

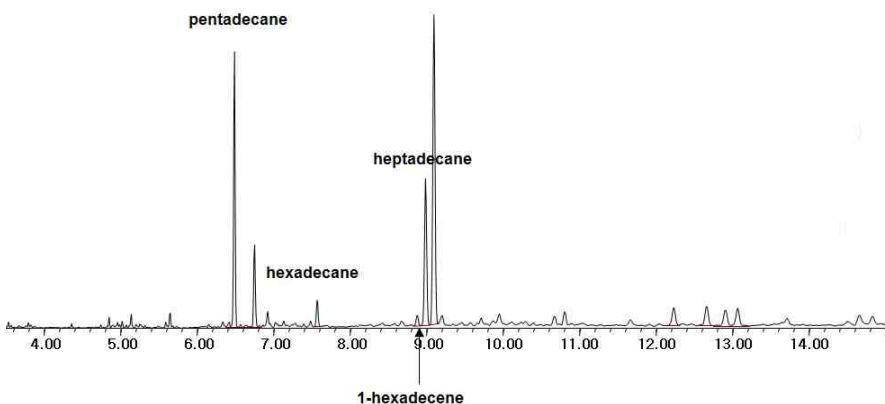


Fig. 2. GC/MS chromatogram of gamma-irradiated cooking drip of *Thunnus thynnus* at 10 kGy.

사 여부를 판별할 수 있다. 방사선조사에 의해 생성되는 hydrocarbon류 중 palmitic acid에서 유도된 pentadecane과 stearic acid에서 유도된 heptadecane은 유기용매로부터 형성될 수 있음에 따라(31), 국내 식품공전법에서는 식육 등의 경우 oleic acid에서 유래된 8-heptadecene(C_{17:1}), 1,7-hexadecadiene(C_{16:2}), 그리고 난분의 경우 1,7-hexadecadiene(C_{16:2})만이 방사선조사 검지를 위한 마커로써 사용된다(31). Fig. 2에서와 같이 참치 자숙액의 10 kGy 조사구에서는 pentadecane(C_{15:0}), hexadecane(C_{16:0}) 및 heptadecane(C_{17:0}) 등이 검출되었으나, 판별마커인 8-heptadecene(C_{17:1}), 1,7-hexadecadiene(C_{16:2})은 확인되지 않았다. Lee 등(32)은 참치 자숙액 에탄올 추출물의 지방산 조성은 myristic acid(8.03%), palmitoleic acid(3.00%), palmitic acid(53.29%), vaccenic acid(10.06%), stearic acid(22.32%) 및 docosahexaenoic acid(5.30%)라고 보고하였다. 하지만 oleic acid는 확인이 되지 않았으며, 이로부터 방사선 조사의 판별을 위한 특이적인 hydrocarbon인 8-heptadecene(C_{17:1}), 1,7-hexadecadiene(C_{16:2})은 검지되지 않은 것으로 사료된다. 이러한 결과로부터 참치 자숙액의 감마선 조사 확인 방법으로서 hydrocarbon은 적용 가능하지 않다고 사료되었다.

요 약

수산 자숙액의 조사 여부를 판별하기 위해 물리적(PSL, TL) 및 화학적(hydrocarbon 분석) 검지 시험을 진행하였다. 10 kGy까지의 감마선 조사를 적용한 자숙액을 PSL법으로 측정하였을 때, 모든 자숙액에서 260~510의 photon counts를 나타내어 자숙액의 방사선조사 여부를 확인 방법으로서 PSL은 적용 가능성이 낮다고 사료되었다. 수산 자숙액에 TL법을 적용한 결과 톱 및 문어 자숙액의 경우 방사선 조사한 자숙액에서 150~250°C 범위에서 특정한 glow curve가 나타났으므로 방사선조사 여부를 확인하는데 적용이 가능할 것이라고 사료된다. 참치 자숙액의 경우 감마선조사에 의해 유래되는 hydrocarbon은 검출되지 않았는데, 이는 참치 가공에서 부산물로 얻어지는 자숙액의 낮은 지방산 함량과 자숙 공정에 따른 상이한 지방산 조성에서 비롯된 것이라고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국원자력연구원의 기본연구지원사업과 식약청 용역연구사업에 의해 연구비 지원을 받아 수행되었습니다.

문 헌

- Ebitani KTO, Takahashi K. 1992. Development of taurine collection technology from sardine cooking wastes. In *National Conference Materials for Fisheries Utilization and Processing*. Takahashi K, ed. Central Fisheries Institute, Tokyo, Japan. p 88-91.
- Kim HJ, Choi J, Lee HS, Kim JH, Byun MW, Chun BS, Ahn DH, Yook HS, Lee JW. 2007. Improvement of physiological activity of the ethanol extract from boiled-water of *Enteroctopus dolleini* by gamma irradiation. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36: 1612-1616.
- Choi J, Kim YJ, Kim JH, Chun BS, Ahn DH, Kwon JH, Hwang YJ, Byun MW, Lee JW. 2009. Characteristics of microorganisms contaminating seafood cooking drips exposed to gamma irradiation. *Korean J Food Preserv* 16: 286-291.
- Kwon JH. 2003. Commercialization of food irradiation technology and the identification of irradiated foods. *Food Sci Ind* 36: 50-55.
- Byun MW, Lee JW. 2003. Application of irradiation technology for food safety and security. *Food Sci Ind* 36: 25-41.
- Daghir NJ, Sell JL, Mateos GG. 1983. Effect of gamma irradiation on nutritional value of lentils (*Lens culinaris*) for chicks. *Nutr Rept Int* 27: 1087-1093.
- WHO. 1999. *High dose irradiation: Wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy*. Technical Report Series 890 WHO, Geneva, Switzerland. p 9-37.
- IAEA. 2010. International Atomic Energy Agency homepage. www.iaea.org/icgfi.
- 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 Food. CAC/VOL. XV. FAO, Rome.
- Delincee H. 1998. Detection of food treated with ionizing radiation. *Trends Food Sci Technol* 9: 73-82.
- KFDA. 2007. Notification on the Detection Methods for Irradiated Food. No. 2007-22 (2007. 4. 12).
- FAO/WHO CODEX STAN. 2003. General Codex Methods for the Detection of Irradiated Foods, CODEX STAN 231-2001, Rev. 1.
- IAEA. 1991. Analytical detection methods for irradiated foods. A review of current literature. IAEA-TECDOC-587.
- Desrosiers MF, McLaughlin WL. 1989. Examination of gamma-irradiated fruits and vegetables by electron spin resonance spectroscopy. *Radiat Phys Chem* 34: 895-898.
- Alberti A, Corda U, Fuochi P, Bortolin E, Calicchia A, Onori S. 2007. Light-induced fading of the PSL signal from irradiated herbs and spices. *Radiat Phys Chem* 76: 1455-1458.
- Khan HM, Delincee H. 1995. Detection of radiation treatment of spices and herbs of asian origin using thermoluminescence of mineral contaminants. *Appl Radiat Isot* 46: 1071-1075.
- European Committee for Standard. 2002. Detection of irradiated food containing fat, gas chromatographic analysis of hydrocarbons. English version of DIN EN1784.
- Harrigan WF, Mccane ME. 1976. *Laboratory methods in food and dairy microbiology*. Academic Press, London, UK. p 146.
- European Committee for Standard. 2002. Detection of irradiated food using photo-stimulated luminescence. English version of DIN EN13751.
- Schreiber GA. 1996. Thermo-luminescence and photo-stimulated luminescence techniques to identify irradiated foods. In *Detection Methods for Irradiated Foods*. McMurray CH, Stewart EM, Gray R, Pearch J, eds. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK. p 121-123.
- Schreiber GA, Helle N, Bogl KW. 1993. Detection of irradiated food-methods and routine applications. *Int J Radiat Biol* 63: 105-130.

22. Nie N, Bent D, Hull C. 1970. *SPSS: Statistical Package for the Social Sciences*. McGraw-Hill, New York, NY, USA.
23. Kim KS, Yang JS, Kwon JH. 2003. Method of detection for irradiated foods. *Korean J Food Preserv* 10: 427-434.
24. Nawar WW. 1986. Volatiles from food irradiation. *Food Rev Int* 2: 45-78.
25. Truswell AS. 1987. Food irradiation. *Br Med J* 294: 1437-1438.
26. Autio T, Pinnioja S. 1990. Identification of irradiated foods the thermoluminescence of mineral contamination. *Z Lebensm Unters Forsch* 191: 177-180.
27. Behere A, Padwal Desai SR, Rao SMD, Nair PM. 1992. A simple method for identification of irradiated spices. *Radiat Phys Chem* 40: 27-30.
28. Soika C, Delincee H. 2000. Thermoluminescence analysis for detection of irradiated food-luminescence characteristics of minerals for different types of radiation and radiation doses. *Lebensm-Wiss Und-Technol* 33: 431-439.
29. Chung HW, Park S, Han S, Choi D, Lee D. 2008. Application of PSL-TL combined detection method on irradiated composite seasoning products and spices. *J Food Hyg Safety* 23: 206-211.
30. Choi J, Kim YJ, Kim JH, Yoon YH, Song BS, Chun BS, Ahn DH, Lee JY, Lee JW. 2010. Study on the changes in physicochemical properties of seafood cooking drips by gamma ray irradiation. *J Radiat Ind* 4: 53-57.
31. Kwon, JH, Chung HW, Kim BK, Ahn JJ, Kim GR, Jo DJ, An KA. 2011. Research and application of identified methods for irradiated foods. *Safer Food* 6: 11-27.
32. Lee HS, Choi J, Kim HJ, Yoo CW, Kim JB, Hwang YJ, Chung YJ, Kim JK, Byun MW, Lee JW. 2008. Study on the change of total fat content and fatty acid composition of the ethanol extract from cooking drips of *Thunnus thynnus* by ionizing irradiation. *J Radiat Ind* 2: 65-71.

(2011년 3월 31일 접수; 2011년 10월 21일 채택)