J. Fd Hyg. Safety
Vol. 25, No. 1, pp. 73~78 (2010)

Journal of Food Hygiene and Safety
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

광자극발광법과 열발광법을 이용한 국내 방사선 조사 허용 외 식품에 대한 실태 조사

조준일 · 이지애 · 이순호 · 황인균*
식품의약품안전청 식품의약품안전평가원 미생물과

Monitoring on the Foods not Approved for Irradiation in Korea by PSL and TL Detection Method

Joon-Il Cho, Ji-Ae Lee, Soon-Ho Lee, and In-Gyun Hwang*
Food Microbiology Division, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Korea Food and Drug Administration, Seoul 122-704, Korea
(Received February 4, 2010/Revised February 27, 2010/Accepted March 12, 2010)

ABSTRACT - This research was conducted to assess applicability of photostimulated luminescence (PSL) and Thermoluminescence (TL) methods for investigation of infant and young children products, nut, seasoned dried fish, spice, dried fruits, fruit & vegetable, grain and marine products, which are not approved for irradiation in Korea. PSL results show that the photon counts of non-irradiated samples were lower than 700, while those of irradiated samples were higher than 700. In TL measurement, TL ratio of irradiated samples were higher than 0.1 or ones can decrease below 0.1 whereas the temperature range of TL Glow curve was between 150-250°C. Monitoring result about 8 class of 325 not approved to irradiated foods, photon counts of samples were less than 700, and after re-irradiation TL Ratio (TL_1/TL_2) through re-irradiation step at 1 kGy were higher than 0.1 for the all samples. Therefore, these results suggested that PSL and TL measurements were useful detection methods for 8 class food products not approved to irradiation in Korea and all sample (325 cases) were not irradiated when we analysed by PSL and TL methods.

Key words : PSL, TL, Food not approved for irradiation

식품에 대한 방사선 조사기술은 20세기 초 기생충 사멸에 대한 특허가 발표된 후 식품의 살균, 살충, 발아억제, 숙도조절 및 물성개선 등의 기술적 효과와 FAO/IAEA/WHO 등 관련 국제기구에서 조사식품의 안전성이 공식 인정됨으로써 현재 56개국 250여종의 식품에 대하여 사용이 허가되어 있다[1,2]. 하지만 방사선 조사식품은 허가된 조사시설에서 규정된 기준에 따라 생산되어야 하고 표시 또한 규정에 따르도록 명시되어 있다[3,4]. 최근 세계시장의 개방화와 더불어 교역 대상 상품의 검역 및 품질 보증의 중요성이 증대되고 있으며 이에 따라 방사선 조사기술의 이용 및 방사선 조사식품의 교역 물량이 확대되고 있다[5,6].

국내에서는 '87, '88, '91, '95, '04년 등 5차에 걸쳐서 감자, 양파, 마늘, 밤, 생버섯 등 신선식품류를 비롯하여 건조식육, 어패류분말, 장류분말, 전분, 인삼제품류, 건조채소류 등 26개 식품에 대하여 감마선 조사를 확대, 허가하고 있으며, 최저 0.15 kGy에서부터 최고 10 kGy까지의 ^{60}Co 감마선 조사가 허용되어 있다[7]. 또한 일단 조사한 식품에 대해서는 다시 조사하여서는 아니 되며, 조사식품은 포장되어 방사선 조사여부를 표시하도록 규정되어 있다. 하지만 방사선 조사식품은 처리 후에도 외관적 변화가 없으므로 안전한 유통관리를 위해서는 품목별로 적합한 분석 기술이 필요하다[8].

방사선 조사에 의해서 식품에서 발생될 수 있는 변화는 광물질(mineral)의 열발광 특성, 유리기(free radicals)의 생성, hydrocarbon 및 2-alkylcyclobutanone의 생성, 점도저하, DNA 이중결합의 파괴와 염기의 변화, 미생물 농도 감소, 발아력 저하 등이 알려져 있으며[9-13], 조사식품에 대한 광자극발광(Photostimulated luminescence, PSL), 열발광(Thermoluminescence, TL) 및 전자스핀공명(Electron Spin Resonance, ESR) 등을 분석하는 물리적 방법, GC나 GC/MS를 이용하는 화학적 방법, DNA comet assay 등 생물

*Correspondence to: In Gyun Hwang, Food Microbiology Division, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Korea Food and Drug Administration, Seoul 122-704, Korea
Tel : 82-2-380-1681, Fax : 82-355-6036
E-mail : inghwang@korea.kr

학적 방법이 연구되고 있다[14-23]. 특히 물리적 방법은 전처리가 간단하고 신뢰도가 높아 실용가능성이 높으며 백삼, 건조채소, 알로에 분말, 곡류, 두류, 복합조미식품과 향신료 등 다양한 식품에 대한 PSL과 TL 시험법의 적용 가능성이 보고된 바 있다[24-32].

이에 본 연구에서는 PSL과 TL 확인 시험법을 활용하여 국내에서 방사선 조사가 허용되어 있지 않은 영·유아용 이유식, 견과류, 조미건어포류, 천연향신료, 건조과실류, 과·채가공품, 곡류가공품, 수산물가공품 등 8품목에 대하여 방사선 조사여부 분석 가능성을 검증하고 실태조사를 실시하였다.

재료 및 방법

시료

본 연구에 사용된 시료는 총 8종 325건으로, 영·유아용이유식(259건), 견과류(15건), 조미건어포(12건), 천연향신료(11건), 건조과실류(10건), 과·채가공품(7건), 곡류가공품(6건), 수산물가공품(5건)을 식품제조가공업체, 서울 소재 마트 및 인터넷에서 각 1 kg씩 구입하여 사용하였다.

방사선 조사

시료의 방사선 조사는 PE film bag (Nicepack, Seoul, Korea)으로 포장한 후 한국원자력연구원(Korea Atomic Energy Research Institute, KAERI) ^{60}Co 감마선 조사시설(AECL, IR-79,. MDS Nordion International Co. Ltd., Ottawa, ON, Canada)을 이용하여 모든 시료에 1 kGy의 흡수선량을 얻도록 하였다.

국내 방사선 조사 허용 외 식품에 대한 PSL 및 TL 시험법 적용 가능성

본 연구에 사용된 8개의 국내 방사선 조사 허용 외 식품군 중 천연향신료, 과·채가공품 및 수산물 가공품은 사전연구[33-35]에 의해 PSL 및 TL 시험법 적용가능성이 검토되었고 그 외 영·유아용이유식, 견과류, 조미건어포, 건조과실류, 곡류가공품에 대하여 시험법 적용 가능성을 아래의 방법으로 검토하였다.

광자극발광법(photostimulated luminescence, PSL)측정

시료는 빛에 대한 노출을 최대한으로 줄인 조건 하에서 직경 50 mm의 일회용 petri dish (50 × 15 mm, Green Cross Medical, Inc., Seoul, Korea)에 바닥이 보이지 않을 정도로 고르게 펼쳐 담은 후 Scottish Universities Reactor and Research Center (SURRC) PPSL irradiated food screening system (SURRC, Glasgow, U.K)의 시료 챔버에 넣은 후 60초 동안 방출되는 광자를 측정하였다. 방사선이 조사된 표준물질과 조사되지 않은 표준물질을 사용하여 기기의 상태 및 측정조건을 확인한 후 측정하였다. 각 시료에서 비 조사 시료와 조사 시료를 판별하는 threshold value는 T_1 = 700 count/60s 와 T_2 = 5,000 count/60s이었다. 식품의약품안전청 고시 제2007-12호의 방법[36]에 따라 측정값이 T_1 미만이면 음성시료(Negative, 방사선이 조사되지 않은 시료)로 판정하고 T_2 초과이면 양성시료(Positive, 방사선이 조사된 시료)로 판정하였다. 측정값이 T_1~T_2 의 값을 나타내면 중간시료(Intermediate, 방사선 조사여부를 판단할 수 없는 시료)로 하였고 양성시료와 중간시료는 TL에 따라 시험한 후 그 결과의 판정에 따랐다[37-39].

열발광법(Thermoluminescene, TL) 측정

시료에 증류수를 가하여 혼탁액을 만든 다음 5분간 초음파(Power sonic 520, Hwashin, Korea) 처리하고 나일론 여과포로 여과, 세척한 후 정치하여 잔사를 모았다. 여기에 2.0 g/ml 농도의 폴리텅스텐나트륨용액을 첨가하여 무기물과 비중차를 이용하여 유기물을 제거한 뒤 증류수로 세척하였다. 그 다음 1 N 염산 2 mL을 가하여 10분간 암소에 정치하고, 1 N 암모니아수 2 mL을 가하여 중화시킨 후 증류수로 세척한 다음 아세톤(Merck, Germany)으로 충진한 후 건조시켰다. 건조된 광물질을 준비된 시료 용기에 충진하여 광자극발광분광기(Optically Stimulated Luminescene)(TL/OSL SYSTEM, Risø N.L., Denmark)를 이용하여 실온에서부터 500°C까지 검체의 온도를 상승(5°C/sec) 시키면서 측정하였다. 이렇게 측정하여 얻어진 열발광 곡선(glow curve)의 150~250°C 온도범위를 적분하여 TL intensity로 하였고 대상 시료의 glow 1을 측정한 뒤 재조사(1 kGy)하여 glow 2를 측정하고 TL ratio (150~250°C 온도범위의 glow 1 면적/150~250°C 온도범위의 glow 2 면적)를 구하여 0.1보다 작은 경우는 방사선이 조사되지 않은 것으로, 0.1보다 큰 경우는 조사된 것으로 확인하였으며, glow curve의 형태와 함께 시료의 조사여부를 판정하였다[36]. 일반적으로 방사선이 조사된 시료는 150~250°C 부근에서 최대강도를 보이는 glow curve를 나타내지만 방사선이 조사되지 않은 시료는 특징적인 glow curve를 나타내지 않거나 300°C 이상에서 자연 방사선에 의한 곡선을 나타낸다(Fig. 1)[37-39].

결과 및 고찰

국내 방사선 조사 허용 외 식품에 대한 PSL 및 TL 시험법 적용 가능성

영·유아용이유식, 견과류, 조미건어포, 건조과실류 및 곡류가공품의 PSL 분석결과, 비 조사구는 433~473, 230 ~698, 352~557, 369~660, 328~406 count로 모두 700 count보다 낮아 음성 시료로 나타났고 1 kGy로 조사 시 9533~18293, 2718~17706, 5159~27678, 1144~2735, 3426~10849 count로 중간 및 양성 시료로 확인되었다. 이 등 [40]은 PSL 측정의

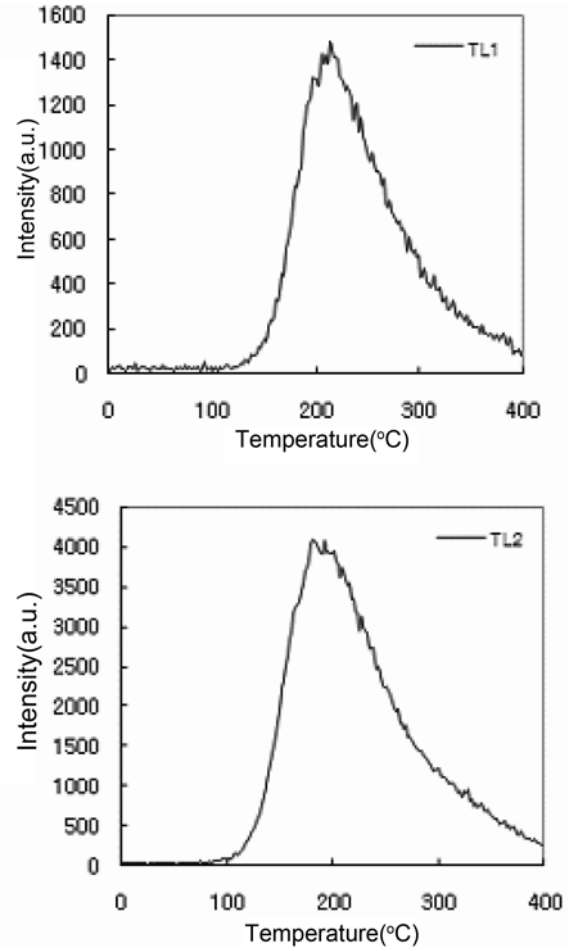

Fig. 1. Thermoluminescence glow curve for 1 kGy-irradiated (top) and 1 kGy-reirradiated (bottom) nut product.

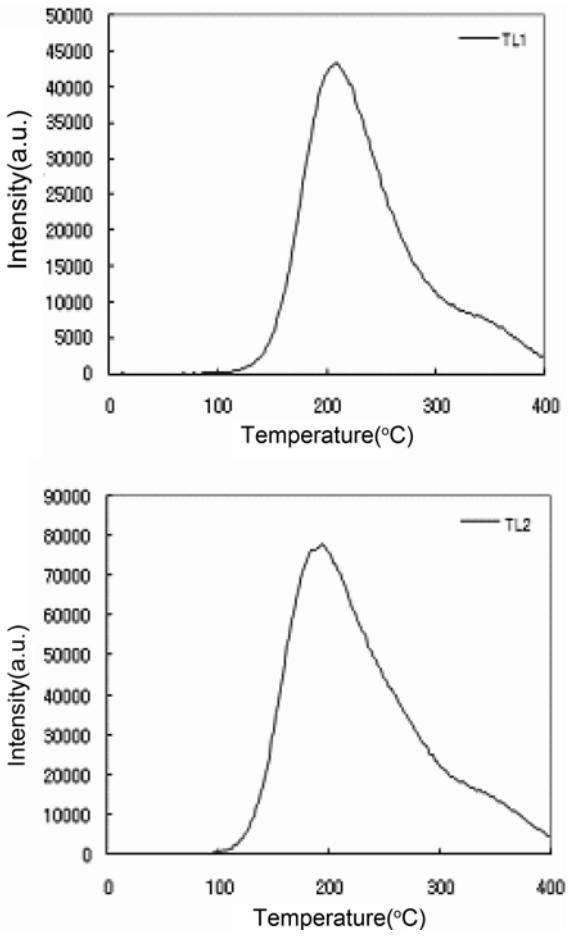

Fig. 2. Thermoluminescence glow curve for 1 kGy-irradiated (top) and 1 kGy-reirradiated (bottom) seasoned dried fish product.

Table 1. Thermoluminescence ratio of minerals separated from gamma-irradiated nut product, seasoned dried fish product, dried fruit products, grain product.

Sample	Irradiation dose (kGy)	TL ratio	Result
nut product	1	0.199	Irradiated
seasoned dried fish product		0.682	Irradiated
dried fruit		0.155	Irradiated
grain product		0.169	Irradiated

신뢰도 향상과 적용범위를 넓히기 위해서는 포획 여기 전자의 포화를 가져오는 한계선량의 설정과 미네랄 양의 관계, 그리고 측정시료의 채취 부위 등에 대한 보완 실험이 필요하다고 보고하였다. TL 분석결과 비조사구는 모두 자연방사선에 의해서 300°C 부근에서 peak를 가지는 비 특이적 glow curve를 나타냈고 TL ratio는 0.1 보다 낮게 나타나 음성 시료로 확인되었다. 1 kGy로 조사 시 TL ratio는 영·유아용이유식을 제외하고 모든 시료에서 0.1 이상으로 나타났으며(Table 1) 150~250°C 사이에서 peak가 나타나는 특이적 glow curve를 보여 확인 시험법 적용 가능성을 확인하였다(Fig. 1-4). 영·유아용이유식은 2가지 이상의 원료가 혼합되어있어 TL ratio가 비록 0.1 이하지만 150~250°C 사이에서 peak가 나타나는 특이적 glow curve를 통해 조사 여부를 확인할 수 있었다(Fig. 5). 이 등[41]은 국내 방사선 조사 허용 외 식품인 땅콩에 대하여 TL 시험법 적용 결과, 신뢰성 있는 분석 방법의 하나로 보고하여 본 연구와 동일한 결과를 나타내었다.

시료의 PSL 확인 시험 특성

영·유아용이유식, 견과류, 조미건어포류, 천연향신료, 건조과실류, 과·채가공품, 곡류가공품, 수산물가공품 등 국내 방사선 조사가 허용되지 않은 8품목에 대하여 PSL을 이용하여 방사선 조사여부를 확인하였다. 총 325건의 검체 중 15건(4.6%), 영·유아용 이유식 12건, 견과류, 조미건어포류 및 수산물가공품 각 1건이 이 중간시료로 나타났고, 5,000 ≤ photon counts 값을 나타내는 양성시료는 없는 것으로 확인되었다.

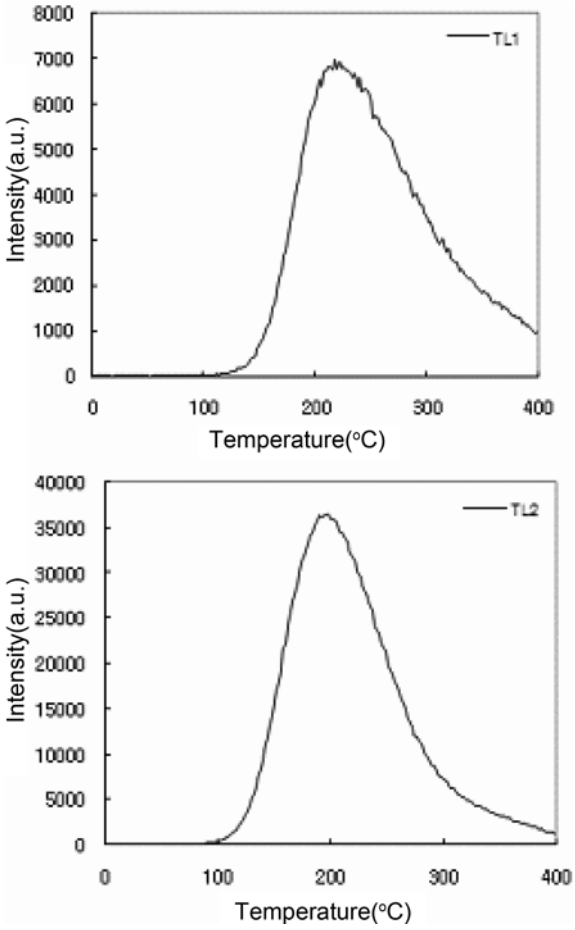

Fig. 3. Thermoluminescence glow curve for 1 kGy-irradiated (top) and 1 kGy-reirradiated (bottom) dried fruit.

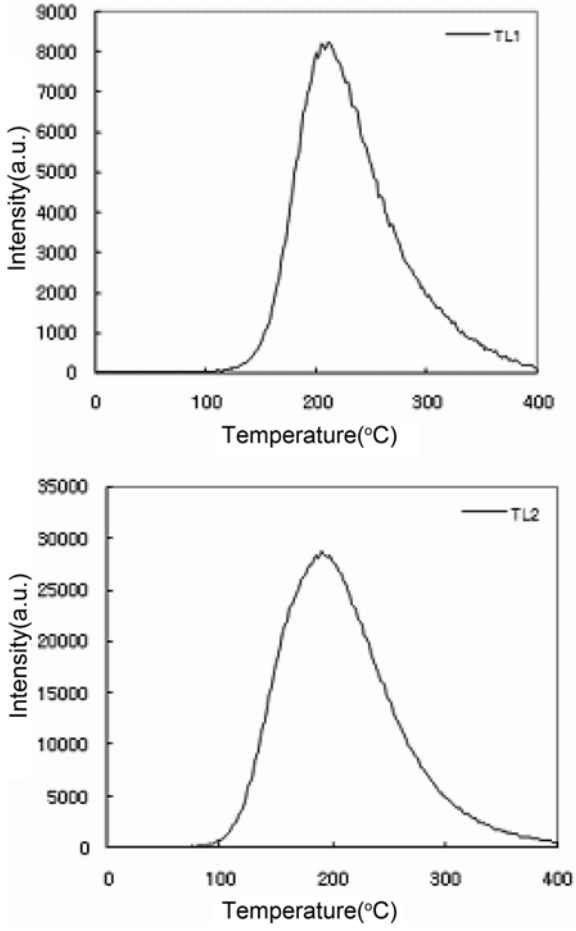

Fig. 4. Thermoluminescence glow curve for 1 kGy-irradiated (top) and 1 kGy-reirradiated (bottom) grain product.

시료의 TL 확인 시험 특성

영 · 유아용이유식, 견과류, 조미건어포류, 천연향신료, 건조과실류, 과 · 채가공품, 곡류가공품, 수산물가공품 등 국내 방사선 조사가 허용되지 않은 8품목에 대하여 TL을 이용하여 방사선 조사여부를 확인하였다. 총 325건의 검체 중 TL ratio가 0.1 이상이거나, 2개 이상의 원료가 혼합되어 150~250°C 부근에서 최대강도를 보이는 glow curve를 나타내는 양성시료는 없는 것으로 확인되었다.

요 약

영 · 유아용이유식, 견과류, 조미건어포류, 천연향신료, 건조과실류, 과 · 채가공품, 곡류가공품, 수산물가공품 등 국내 방사선 조사가 허용되지 않은 8품목에 대하여 PSL과 TL 분석법의 적용가능성을 검토하고 325건의 식품을 대상으로 방사선 조사여부 실태조사를 실시하였다. 선행연구가 수행된 천연향신료, 과 · 채가공품 및 수산물가공품을 제외한 5개의 식품군에 대하여 PSL과 TL 시험법 적용 가능성 검토 결과, PSL의 경우 비조사구는 모두 700 count보다 낮아 음성 시료로 나타났고 1 kGy로 조사 시 중간 및 양성 시료로 확인되었다. TL 분석결과 비조사구는 모두 자연방사선에 의해서 300°C 부근에서 peak를 가지는 비 특이적 glow curve를 나타냈고 TL ratio는 0.1보다

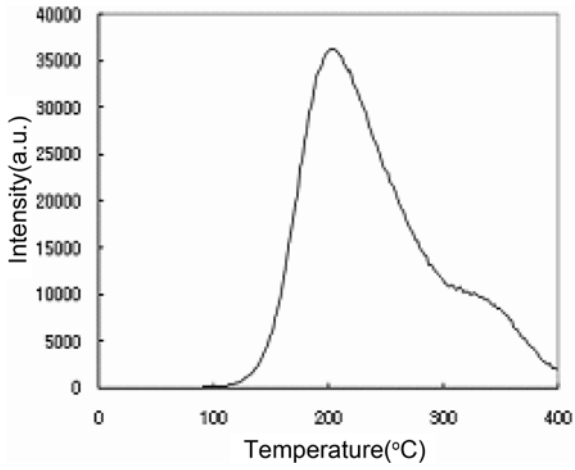

Fig. 5. Thermoluminescence glow curve for 1 kGy-irradiated infant and young children product.

낮게 나타나 음성 시료로 확인되었다. 1 kGy로 조사 시 TL ratio는 영·유아용이유식을 제외하고 모든 시료에서 0.1 이상으로 나타났으며 150~250°C 사이에서 peak가 나타나는 특이적 glow curve를 보여 확인 시험법으로 적용 가능하였다. 또한 영·유아용이유식은 2가지 이상의 원료가 혼합되어있어 TL ratio가 비록 0.1 이하지만 150~250°C 사이에서 peak가 나타나는 특이적 glow curve를 통해 조사여부를 확인할 수 있었다. 국내 방사선 조사 허용 외 식품 8품목에 대하여 PSL과 TL 시험법의 적용가능성을 확인한 후 325건의 식품에 대하여 실태조사 결과, PSL 경우 15건에서 중간시료가 나타났으나 TL 분석 시 TL ratio가 0.1 이상이거나, 150~ 250°C 부근에서 최대강도를 보이는 glow curve를 나타내는 양성시료는 없는 것으로 확인되었다.

참고문헌

1. IAEA. Homepage www.iaea.org/icgfi (2005).
2. IAEA. Clearance of item by country. (2006).
3. Regulation of food Irradiation. Food Code. Korea Food and Drug Administration, Seoul, p. 151-152 (2005).
4. Codex Alimentarius Commission. Codex General Standard for Irradiated Foods and Recommended International Code of Practice for the Operation of Radiation Facilities Used for the Treatment of foods. CAC/VOL, XV, FAO, Rome (1984).
5. Kwon, J.H.: Commercialization of food irradiation technology and the identification of irradiated foods. *Food Ind.,* **36**, 50-55 (2003).
6. Kwon, J.H., Chung, H.W. and Kwon, Y.J.: Infrastructure of quarantine procedures for promoting the trade of irradiated foods. Paper presented at Symposium of The Korean Society of Postharvest Science and Technology of Agricultural Products on Irradiation Technology for the Safety of food and Public Health Industries and Quality Assurance. Daejon, 13 October, p.209-254 (2000).
7. Standard for Irradiation. Food Standards Code. Korea Food and Drug Administration, Seoul, **1**, 2-1-9. (2007).
8. Chung, H. W., Park, S. K., Han, S. B., Choi, D. M. and Lee, D. H.: Application of PSL-TL Combined Detection Method on irradiated Composite Seasoning Products and Spices. *J. Fd Hyg. Safety.*, **23**, 206-211 (2008).
9. IAEA. Analytical detection methods for irradiated foods. A review of current literature. IAEA-TECDOC-587, pp.7-172 (1991).
10. Delincée, H.: Detection of food treated with ionizing radiation. *Trends in Food Sci. Tech.,* **9**, 73-82 (1998).
11. Hwang, K.T., Park, J.Y. and Kwon, Y.J.: Hydrocarbons detected in irradiated soybeans. *Korean J. Food Sci. Technol.,* **30**(3), 517-522 (1998).
12. Lee, E.Y., Kim, M.O., Lee, H.J., Kim, K.S. and Kwon, J.H.: Detection characteristics of hydrocarbons from irradiated legumes of Korean and Chinese origins. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.,* **30**(5), 770-776 (2001).
13. Oh, K.N., Kim, K.E. and Yang, J.S.: Detection of irradiated beans using the DNA comet assay. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.,* **29**, 843-848 (2000).
14. Kim, B.K. and Kwon, J.H.: 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).
15. Delincée, H.: Analytical methods to identify irradiated food-a review. *Radiat. Phys. Chem.,* **63**, 455-458 (2002).
16. Oduko, J.M. and Spyrou, N.M.: Thermoluminescence of irradiated food stuffs. *Radiat. Phys. Chem.,* **36**, 603-607 (1990).
17. Hasan, M. and Delincée, H.: Detection of radiation treatment of spices and herbs of asian origin using thermoluminescence of mineral contaminants. *Appl. Radiat. Isol.,* **46**, 1071-1075 (1995).
18. Schreiber, G.A.: Thermoluminescence and photostimulated luminescence techniques to indentify irradiated foods. In: Detection Methods for Irradiated foods. McMurray, C.H., Stewart, E.M., Gray, R. and Pearce, J. (eds). The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, pp.121-123 (1996).
19. Chung, H.W., Kwon, J.H. and Delincée, H.: Photostimulated luminescence thermoluminescence application to detection of irradiated white ginseng powder. *Korean J. Food Sci. Technol.,* **32**, 265-270 (2000).
20. Raffi, J.J. and Benzaria, S.M.: Identification of irradiated foods by electron spin resonance techniques. *J. Radiat. Steril.,* **1**, 281-304 (1993).
21. Morehouse, K.W. and Ku, Y.: Identification of irradiated foods by monitoring radiolytically produced hydrocarbons. *Radiat. Phys. Chem.,* **42**, 359-362 (1993).
22. McKelvey-Martin, V.J., Green, M.H.L., Schmezer, P., Pool-Zobel, B.L., De Meo, MP, Collinns, A.: The single cell gel electrophoresis assay (comet assay). A European review. *Mut. Res.,* **288**, 47-63 (1993).
23. Cerda, H., Delincée, H., Haine, H. and Rupp, H. : The DNA Comet assay as a rapid screening technique to control irradiated food. *Mut. Res.,* **375**, 167-181 (1997).
24. Jo, D.J. and Kwon, J.H.: 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 (2002).
25. Noh, J.E., Byun, M.W. and Kwon, J.H.: Quality and thermoluminescence properties of γ-irradiated boiled-dried anchovies during storage. *Korean J. Food Preserv.,* **9**, 19-27 (2002).
26. Chung, H.W., Delincée, H. and Kwon, J.H.: Photostimulated luminescence-thermoluminescence application to detection of irradiated white ginseng powder. *Korean J. Food Sci. Technol.,* **32**, 265-270 (2000).
27. Kim, G.R., Lee, J.W., Kim, J.S. and Kwon, J.H.: Physical detection properties of irradiated wheat and corn treated with different radiation sources. *Korean J. Food Preserv.,* **16**, 211-216 (2009).

28. Chung, H.W. and Kwon, J.H.: Detection of irradiation treatment for seasoned-powdered foods by thermoluminescence measurement. *Korean J. Food Sci. Technol.,* **30**, 509-516 (1998).
29. Hwang, K.T., Byun, M.W., Wagner, U. and Dehne, L.I.: Detection of post-irradiation of dry soup base ingredients in instant noodle by thermoluminescence technique. *Korean J. Food Sci. Technol.,* **30**, 759-766 (1998).
30. Hwang, K.T., Uhm, T.B., Wagner, U. and Schreiber, G.A.: Application of thermoluminescence to detecting post-irradiation of onion and garlic. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.,* **27**, 63-68 (1998).
31. Woo, S.H., Yi, S.D. and Yand, J.S.: Detection of irradiated agricultural products by thermoluminescence (TL). *Korean J. Food Sci. Technol.,* **32**, 525-530 (2000).
32. Jeong, J.Y. and Lee, E.Y. and Kwon, J.H.: The detection of irradiated agricultural commodities by origins with photostimulated luminescence (PSL) analysis. *Korean J. Postharvest Sci. Technol.,* **8**, 291-295 (2001).
33. Hwang, K.T., Uhm, T.B., Wahner, U. And Schreiber, G.A.: Application of photostimulated luminescence to detection of irradiated foods. *Korean J. Food Sci. Technol.,* **30**, 498-501 (1998).
34. Kim, M.Y., Kim, B.K., Kim, K.Y., Bhatti, I.A. and Kwon, J.H.: Detection characteristics of irradiated dried vegetables by analyzing photostimulated luminescence (PSL) and thermoluminescence (TL). *Korean J. Food Preserv.,* **13**, 211-215 (2006).
35. Noh, J.E. and Kwon, J.H.: Multistep identification of γ-irradiated boiled-dried anchovies by analysis of thermoluminescence, electron spin resonance, hydrocarbon and 2-alkylsyclobutanone. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.,* **32**, 8-14 (2003).
36. 식품의약품안전청. 식품의 기준 및 규격(방사선 조사식품의 검지법 신설), 식품의약품안전청 고시 제 2007-22호 (2007).
37. Kwon, J.H., Kim, M.Y., Kim, B.K, Chung, H.W., Kim, T.C. and Kim, S.J.: The detection of irradiated composite seasoning foods by analyzing photostimulated luminescence (PSL), electron spin resonance (ESR) and thermoluminescence (TL). *Korean J. Food Preserv.,* **13**, 55-60 (2006).
38. Kim, B.K., Lim, S.Y., Song, H.P., Yun, H.J., Kwon, J.H. and Kim, D.H.: Detection characteristics of irradiated aloe vera by analysis of PSL, TL and ESR. *Korean J. Food Preserv.,* **13**, 61-65 (2006).
39. Kwon, J.H., Kim, M.Y., Kim, B.K., Lee, J.E., Kim, D.H., Lee, J.W., Byun, M.W. and Lee, C.B.: Identification characteristics of irradiated dried-spicy vegetables by analyzing photostimulated luminescence (PSL), thermoluminescence (TL) and electron spin resonance (ESR). *Korean J. Food Preserv.,* **13**, 50-54 (2006).
40. Yi, S. D., Woo, S. H. and Yang, J. S.: The use of photostimulated luminescence (PPSL) and thermoluminescence (TL) for the detection of irradiated perilla and sesame seeds. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **5**, 142-147 (2000).
41. Lee, E. Y., Jung, J. Y., Jo, D. J. and Kwon, J. H.: Detection of Characteristics of TL, ESR and DNA comet for irradiated peanuts by origins. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **30**, 1076-1081 (2001).