

닭고기, 돼지고기 및 쇠고기의 방사선 조사 유무 판별을 위한 ESR Spectroscopy의 활용

양재승 · 김충기 · 이해정

한국원자력연구소, 방사선조사식품의 검지기술포발 실험실

Detection of Irradiated Chicken, Pork and Beef by ESR Spectroscopy

Jae-Seung Yang, Choong-Ki Kim and Hae-Jung Lee

Laboratory for Detection of Irradiated Foods, Korea Atomic Energy Research Institute

Abstract

To identify irradiated foods, studies have been carried out with electron spin resonance (ESR) spectroscopy on bone containing foods, such as chicken, pork, and beef. Bones cleaned, pieced and dried were irradiated with doses of 0, 1, 3, 5 kGys using a Co⁶⁰ irradiator. The bones were placed in a resonant quartz tube with an internal diameter of about 4.0 mm within the Bruker Win-ESR spectrometer, and the intensity of the ESR signal could be quantified by double integration of the first derivative spectrum. The irradiated bone presented an asymmetric absorption in shape, different from that of an unirradiated one. It could be possible to detect at doses lower than 1 kGy below the dose employed commercially (3 kGy) in the case of irradiated chicken bone. The signal intensity was greatest in the beef bone, intermediate in the pork bone and lowest in the chicken bone; it was normally lower for smaller animals than for larger species, and small variations were observed between samples of the same species. The intensity of the signal induced in bones increased linearly with irradiation doses in the range of 1.0 kGy to 5.0 kGy, and it was possible to distinguish between samples given low and high doses of irradiation. The signal stability for 6 weeks made them ideal for the quick and easy identification of irradiated meats.

Key words: ESR spectroscopy, chicken, pork, beef, signal intensity of ESR

서 론

X-선, 감마선 그리고 전자선에 의한 식품조사는 식량의 손실을 감소시키고 식품의 위생화를 위하여 도입된 식품공정이다. 1950년대 이후 많은 나라들이 부패미생물을 없애므로써 저장기간을 늘리기 위하여 광범위한 식품에 이 기술을 도입하여 상업화 시켰으며 식품의 위생화를 위하여 닭고기, 육류, 생선 그리고 갑각류에서 주로 일어나는 식중독균 즉 *Listeria*, *Salmonella* 그리고 *Campylobacter* 같은 병원성균을 감소시키는데 이 기술을 이용하고 있다.

식품이 감마선, X-선 그리고 전자선같은 이온화 방사선에 놓이면 발생에너지의 일부가 흡수되어 식품의 원자나 분자의 화학결합에서 전자를 방출시킨다. 여

기서 방사선 조사선량 즉 식품에 흡수된 에너지량은 식품의 방사선 처리에서 바람직한 효과나 그렇지 못한 효과를 나타내는 가장 중요한 인자로서, 1 gray (Gy)의 조사선량은 식품 1 kg당 1 Joule의 에너지 흡수선량에 해당한다.

식품의 주성분은 물이다. 방사선 조사로 물은 반응성이 큰 라디칼을 생성한다. 즉, $H_2O \rightarrow e_{aq}^-, HO^\cdot, H^\cdot (H_2, H_2O_2, H_3O^+)$. 이들 라디칼은 DNA같이 생물학적으로 매우 중요한 분자에 민감한 손상을 입히며 대부분의 방사선 조사식품에서 이들 라디칼은 짧은 순간에 크게 감소되므로, 정량적으로는 무시할 만한 양이되어 방사선 조사식품이 소비자들에게 큰 위해요소일 수는 없다. 그러나 빠른 셀룰로스같은 단단한 구조에 생성된 어떤 라디칼들은 장기간 유지된다. 라디칼의 독성은 이들 라디칼의 존재보다는 이들의 반응성과 최종산물인 독성물의 형성에 관련되어 있다^(1,2). 이들의 반응성이나 최종 독성물 생성여부는 지금까지도

Corresponding author: Jae-Seung Yang, Laboratory for Detection of Irradiated Foods, Korea Atomic Energy Research Institute, Yusung P.O.Box 105, Taejon 305-600, Korea

논란이 되고 있으나 그동안의 많은 연구로 1980년 그리고 1992년 WHO와 IAEA등의 국제기구는 적절한 조사치침에 따라 조사된 식품은 안전하고 영양학적으로도 문제가 없다는 결론을 내렸다.

식품의 먹이사슬에서 방사선의 식품조사공정이 점점 더 많이 사용됨에 따라 국내외적으로 공인된 어떤 형태의 검출법(들이) 필요하게 되었다. 공인된 검출방법(검지법)의 개발은 행정규제당국에게 방사선 조사 식품이 정확하게 표시되었는가를 검사할 수 있게 하며 소비자들에게 독자적인 적정규제가 가능하다는 신뢰감을 줄 수가 있다.

식품가공에 사용되는 선량은 보통 0.1 kGy에서 10 kGy 사이로서 처리되는 식품의 종류와 기대효과에 따라 결정된다. 따라서 방사선 조사식품의 판별을 위해서는 연구되는 공전법으로 검출할 수 있는 최소선량은 상용되는 조사선량중 최소선량보다 더욱 낮아야 할 것이다.

어떤 한가지 방법이 모든 방사선 조사식품에 적용될 수 없다는 사실이 밝혀짐에 따라 방사선 조사식품에서 일어날 수 있는 물리, 화학, 생물, 그리고 미생물학적 변화를 중심으로 가능한 검출방법을 찾기 위하여 광범위한 연구가 이루어 졌는데, 이중 물리적인 방법인 전자스핀공명법(ESR: electron spin resonance)과 열발광법(TL: thermoluminescence)이 집중적으로 연구되었다⁽⁶⁻¹²⁾. 뼈나 다른 석회질 세포에서 ESR은 방사선 조사에 특유한 안정된 신호를 나타낸다. 뼈같이 견고한 결정구조에서 형성된 짝이없는 전자나 라디칼은 반응성이 크고 반자성을 띠며 ESR로 검출이 가능한 것이다. 따라서 ESR 분광법은 육류등 뼈를 함유한 식품의 방사선 처리유무를 알아내는 정성적이며 반(semi) 정량적인 방법으로 인식되고 있다. 또한 ESR은 시료를 비파괴적으로 사용하며 단순하고 빠른 검출이 가능한 이점도 있다^(13,14).

그러나 현재까지 우리나라에서는 ESR을 이용한 방사선 조사식품에 관한 검지연구가 전혀 이루어지지 않았다. 따라서 저자들은 뼈를 함유한 식품중 닭고기, 돼지고기 및 쇠고기에 대하여 방사선처리를 하고 ESR을 이용하여 방사선 처리하지 않은 시료와의 차이를 검토하고 방사선 조사선량에 따라 방사선 처리된 각 육류의 신호차이를 알아봄으로서 조사유무와 함께 개략적인 선량판정에 유용한 과학적 근거를 제시함으로써 이들 방사선 조사육류의 표준 검출법으로서 위의 방법이 어느 정도 가능한지를 알아보았다.

재료 및 방법

시료의 전처리

닭고기, 돼지고기, 쇠고기 시료는 한국원자력 연구소에 있는 선량률이 1.1 Gy/s인 고준위 Co-60 조사시설(AECL)을 이용하여 0, 1, 3, 5, 그리고 7 kGy의 선량으로 조사하였다. 먼저, 시중에서 산 신선한 원료를 칼과 끌로서 가능한 한 깨끗이 뼈에서 살을 제거하였으며 이어서 이 뼈를 적당히 잘라 골수를 깨끗이 제거하였다. 이뼈를 동결건조기에서 18시간이상 동결건조한 후 대략 두께 3.0 mm와 길이 5.0 mm로 잘게 잘라 시료조각을 만든 후 표준 ESR 수정튜브에 담았다⁽¹⁵⁻¹⁷⁾.

ESR 기기

ESR기기는 Bruker Win-EPR spectrometer (EMS 104 EPR Analyzer, Bruker, Germany)를 사용하였으며 자석, 마이크로웨이브 다리 (microwave bridge), 자장조절과 신호찬널이 있는 콘솔, 그리고 하나의 특수파장에서 마이크로웨이브가 시료위치부위에서 공명하여 감도를 높이기 위한 마이크로웨이브선 등이 부착되어 있다^(18,19).

측정

수정튜브는 직경이 약 4.0 mm의 긴 관으로서 시료를 채운 후 필요한 강한 자장을 내는 강력한 전자석의 양극사이에 있는 시료위치부위에 놓아, 일정한 파장의 마이크로웨이브 선(e.g. 9.663 GHz)에서 자장강도를 에너지 흡수가 관찰될 때까지 즉 낮고 높은 두 스핀에너지상태 사이의 에너지 차이가 마이크로웨이브 조사에너지와 같게 될 때까지 올렸다⁽²⁰⁻²²⁾.

분석

ESR 분광은 WIN-EPR과 Simfonia의 소프트웨어를 이용하여 기록하였으며 ESR 분광곡선은 적용자장에 대한 흡광곡선의 일차미분으로 나타냈다(Fig. 1)^(23,24). 이번 실험에서 사용한 방사선 조사육류 뼈의 ESR 분광기 조건은 다음과 같이 유럽권고방식 중 DIN EN 1786에 따랐다⁽¹⁵⁾.

Microwave radiation: 9.663 GHz, power: 1.992 mW,
Magnetic field: 3420 G center field, sweep width: 200 G,
Signal channel: 100 kHz modulation frequency, 2 G modulation amplitude, 81.92 ms time constant, 167.772 s sweep time,

Gain: 63 dB

Temperature: room temperature.

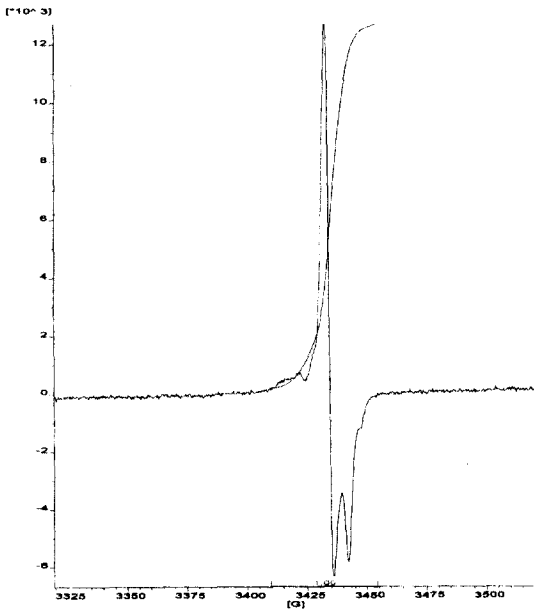


Fig. 1. Typical first derivative ESR spectrum of irradiated meat bone.

결과 및 고찰

방사선 조사와 비조사된 닭고기, 돼지고기 그리고 쇠고기 뼈조각의 ESR 분광곡선은 Fig. 2와 같았다. 뼈를 방사선 처리하면 자유라디칼이 포획되고 방사선 조사된 시료들은 포획된 라디칼에 의하여 342 mT에서 전형적인 비대칭형 신호를 나타내었다. 한편, 비조사된 뼈는 뼈에 붙어있는 골수의 영향으로 꼭지점과 꼭지점사이에 0.6 mT의 거리로 넓고 약한 대칭형의 ESR 신호를 나타내었다. 즉, 방사선 조사 육류는 같은 조건하에서 쉽게 알아볼 수 있는 신호가 없는 비조사

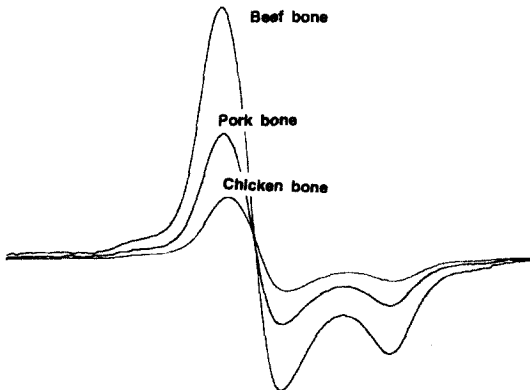


Fig. 2. Typical ESR spectra from different meat bones.

시료에 비하여 비대칭 신호를 나타냈다. 이는 뼈의 주 성분인 hydroxyapatite $[Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2]$ 에 방사선 조사로 생성된 라디칼이 포획되어 일어난 현상으로 ESR 분광곡선은 시료들의 방사선 조사유무를 확실하게 보여 주었다⁽²⁵⁻³⁰⁾. 또 같은 조사선량에서 닭고기뼈, 돼지고기뼈 그리고 쇠고기뼈의 신호는 쇠고기 뼈가 가장 높고 다음으로는 돼지고기 뼈 그리고 마지막으로 닭고기 뼈의 순으로 동물 시료간의 차이가 분명하였다.

방사선 조사선량에 따른 신호의 차이를 알아보기 위하여 세가지 육류뼈의 선량에 따른 신호 값을 알아 보았다. 이중 닭고기 뼈를 이용한 선량에 따른 값의 차이를 Fig. 3에 표시하였다. 이 그림에서 알 수 있듯이 육류의 상업적인 조사선량인 3 kGy보다 훨씬 낮은 1 kGy이하에서도 검출이 가능하였으며 신호값은 조사 선량이 1, 3, 5 그리고 7 kGy로 증가할수록 정상적으로 비례하여 증가하는 것을 알 수 있었다. 또 포획된 라디칼의 안정성은 모든 육류 뼈에서 비슷하여, 실온에서 예상되는 최대 저장기간인 6주 이상이 되어도 신호 값에는 초기의 것과 유의적인 차이가 없이 안정하였다. 이것은 ESR기기가 닭고기, 돼지고기 그리고 쇠고기등 일련의 육류에 대하여 방사선 조사 유무를 판별하는데 좋은 방법이 될 수 있다는 것을 말하는 것으로 다른 논문들의 결과와도 일치하였다⁽³¹⁻³⁶⁾.

ESR의 신호강도는 일차미분 분광의 이중적분(double integration)으로 즉 흡수 분광곡선 아래의 총면적으로 정량화 할 수 있으며 또는 분광곡선의 최대와 최소값의 거리 즉 양점점의 높이차를 측정함으로써 선량을 추정할 수 있었다. 방사선 조사된 뼈에서 일어나는 신호강도는 1.0 kGy와 5.0 kGy 범위에서는 조사선량에 비례하여 직선적으로 증가하였다(Fig. 4).

방사선 조사식품의 검출에 응용되기 전에 이 ESR

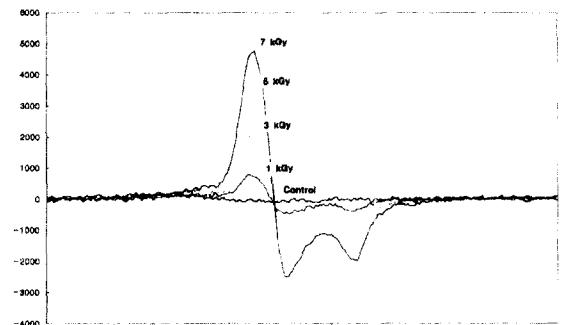


Fig. 3. Response of ESR signal to doses in irradiated chicken bone.

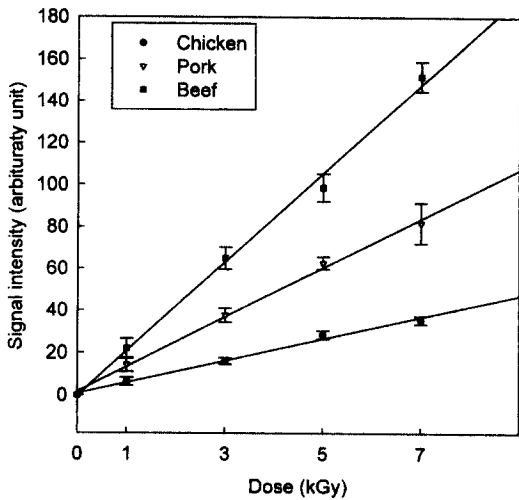


Fig. 4. Plot displaying the dose-response for meats containing bone.

법은 고고학적 건본의 연대측정에 사용되어 왔으며 방사선에 의한 인체 피폭수준을 결정하는 *in vivo* 선량계 역할에 이용되었다^(39,40). 지금까지 최적 검출조건들이 연구되고 실험실간의 비교를 통하여 유럽연합에서 공정법이 나오게 되었다⁽⁴¹⁻⁴³⁾.

원칙적으로 식품에서 검출되는 각기 다른 ESR 방사선 특이신호는 여러 과채류에서 생기는 '셀룰로스' 신호, 건조과일에서 일어나는 '설탕'신호 그리고 뼈와 같은 석회질화된 세포에서 생기는 CO_2^- 라디칼 신호 등 3가지가 있다. '셀룰로스'신호는 수분등 저장조건에 따라 없어지므로 조사유무는 알수 있어도 선량까지 예측하기는 힘들다. 건조 과일의 '설탕'신호는 안정하나 수화(rehydration)로 없어질 수 있다. 석회질 세포에서 방사선 신호의 안정화는 정성과 정량 모두에 적당하다. 이들 안정화된 신호는 처음에는 방사선 선량에 따라 직선적으로 증가하며 선량-효과 곡선의 경사도는 세포의 석회질화와 결정화의 정도에 따른다^(44,45).

그러나 정량화를 위한 절대값의 결정은 여러 인자들의 측정과 정확한 보정이 필요하다. 그러므로 많은 경우 ESR 신호의 크기변화를 비교하는 상대 측정이 이루어지나 이들 측정 역시 수분함량의 차에따라 생기는 등전점의 변화에 따라, 그리고 작은 시료가 시료구멍중앙에서 멀어짐에 따라 표준 마이크로웨이브 시료구멍에서의 반응이 빠르게 감소되므로 시료의 형상과 크기 그리고 위치에 따라 영향을 받는다. 이러한 문제는 무게가 알려진 한 개의 절편을 조심스럽게 균일화된 지역인 시료구멍의 중앙에 놓을 때 최소화 할 수 있다⁽⁴⁶⁾.

결론적으로 ESR 기술은 라디칼이 상호간 또는 물과 반응하는 반응성이 약한 그리고 장기간 안정한 뼈를 함유한 육류와 같은 고체식품의 조사유무 판별법으로 사용될 수 있었으며 반(semi) 정량적 선량추적이 가능하였다. 즉, ESR 기술은 뼈를 함유한 육류 식품의 유용한 비파괴 실험법으로 일상검사에 이용될 수 있었으며 육류에 따라 개략적인 정량까지도 가능한 방법임을 알 수 있었다.

요 약

ESR 기기를 이용하여 뼈를 함유한 육류의 방사선 조사 유무를 알아보았다. 닭고기, 돼지고기, 쇠고기 시료를 0, 1, 3, 5, 7 kGy로 조사한 후 살과 골수를 제거한 뼈를 건조한 다음 시료로 사용하였다. 분광은 적용 자장에 대한 흡광도의 일차미분으로 나타냈으며 Bruker Win-EPR spectrometer로 기록하였다. 실험결과 방사선 조사시료는 전형적 비대칭성 신호를 나타냄으로서 비조사 시료와 확실히 구별되었다. 방사선 조사된 닭뼈의 경우 상업적인 조사선량인 3 kGy보다 적은 1 kGy 이하까지 검출이 가능하였다. 또 방사선 조사한 시료의 신호 높이는 같은 시료의 채취부위 차이보다는 시료 종류간의 차이로 인하여 높이가 달랐다. 각 시료의 조사선량에 따른 신호의 높이를 알아본 결과 쇠고기 뼈가 가장 높았으며 다음으로는 돼지고기 뼈 그리고 닭고기 뼈의 경우 제일 낮아서 동물의 크기가 클수록 크게 나타났으나 어느 경우든 조사선량에 따라 직선관계를 보임으로서 개략적인 정량도 가능하였다. 또 이들 신호의 크기는 6주간의 저장기간동안에도 변하지 않아 ESR 기기법은 빠르고 확실한, 육류의 방사선 조사 유무를 판별할 수 있는 검출방법임을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 중장기 연구과제의 일부로 수행된 것으로 ESR기기 작업에 도움을 주신 조영환 선생님과 함께 감사를 드립니다.

문 헌

- Dodd, N.J.F.: Free radicals and food irradiation. *Biochem. Soc. Symp.* 61, 247-258 (1995)
- Hayashi, T., Kawakishi, S., Namiki, M., Nara, S. and Komiya, T.: Formation and disappearance of the radiation-induced radicals in foods. *Food Irrad. Japan*, 7(1), 15-19 (1972)

3. Krishna, C.M., Kondo, T. and Riesz, P.: Sonochemistry of aqueous solutions of amino acids and peptides-A spin trapping study. *Radiat. Phys. Chem.*, **32**(1), 121-128 (1988)
4. Scharmann, A.: Past and present of ESR in radiation applications. *Appl. Radiat. Isot.*, **47**(11-12), 1151-1153 (1996)
5. Shieh, J.J. and Wierbicki, E.: Interaction of radiation-generated free radicals with collagen and metalloproteins using cesium-137 gamma source. *Radiat. Phys. Chem.*, **25** (1-3), 155-165 (1985)
6. Desrosiers, M.F.: Current status of the EPR method to detect irradiated food. *Appl. Radiat. Isot.*, **47**(11-12), 1621-1628 (1996)
7. Dodd, N.J.F., Lea, J.S. and Swallow, A.J.: ESR detection of irradiated food. *Nature*, **334**, 387 (1988)
8. Glidewell, S.M. and Goodman, B.A.: The nature and origin of the spectra from irradiated bone and hydroxyapatite. in *Detection methods for irradiated foods: Current status*, McMurray, C.H., Stewart, E.M., Gray, R., Pearce, J., The Royal Society of Chemistry, Cambridge, U.K. (1996)
9. Goodman, B.A., McPhail, D.B. and Duthie, D.M.L.: Electron Spin Resonance spectroscopy of some irradiated foodstuffs. *J. Sci. Food Agric.*, **47**, 101-111 (1989)
10. Raffi, J.J. and Benzaria, S.M.: Identification of irradiated foods by electron spin resonance techniques. *J. Radiation Sterilization*, **1**, 282-304 (1993)
11. Raffi, J.J., Belliaro, J.J. and Agnel, J.P.: Application of ESR to identification of irradiated foodstuffs. *J. Chim. Phys.* **91**(11), 1913-1929 (1994)
12. Raffi, J.J. and Stocker, P.: Electron paramagnetic resonance detection of irradiated foodstuffs. *Appl. Magn. Reson.* **10**(1-3), 357-373 (1996)
13. Desrosiers, M.F.: Assessing radiation dose to food. *Nature*, **345**, 485 (1990)
14. Stachowicz, W., Burlinska, G., Michalik, J., Dziedzic-Goclawska, A. and Ostrowski, K.: The EPR detection of foods preserved with the use of ionizing radiation. *Radiat. Phys. Chem.*, **46**(4-6), 771-777 (1995)
15. European Standard DIN EN 1786: Detection of irradiated food containing bone-Method by ESR spectroscopy (1997)
16. European Standard DIN EN 1787: Detection of irradiated food containing cellulose-Method by ESR spectroscopy (1997)
17. Troup, G.J., Hunter, C.A., Hutton, D.R. and Pilbrow, J. R.: Detection and dosimetry of γ -irradiated food. *Arri. della Fondazione Giorgio Ronchi*, **45**(5), 777-784 (1990)
18. Bruker Analytik GMBH: EPR dosimetry. EMS104 EPR Analyzer (1997)
19. Resonance Instruments, Inc.: ESR spectrometer. The Model 8400 (1998)
20. Adem, E., Munoz, P.E., Gleason, V.R. and Murrieta, S. H.: Electron paramagnetic resonance studies of γ -irradiated corn. *Appl. Radiat. Isot.*, **44**(1-2), 419-422 (1993)
21. Desrosiers, M.F.: Estimation of the absorbed dose in radiation-processed food-2. Test of the EPR response function by an exponential fitting analysis: *Appl. Radiat. Isot.*, **42**(7), 617-619 (1991)
22. Goodman, B.A., Deighton, N. and Glidewell, S.M.: Reply to commentary by Desrosiers et al. on the optimization of experimental parameters for the EPR detection of the cellulosic radical in irradiated foodstuffs. *Int. J. Food Sci. Technol.*, **30**(5), 681-682 (1995)
23. Desrosiers, M.F., Wilson, G.L., Hunter, C. R. and Hutton, D.R.: Estimation of the absorbed dose in radiation-processed food-1. Test of the EPR response function by a linear regression analysis. *Appl. Radiat. Isot.*, **42**(7), 613-616 (1991)
24. Lee, C.P., Blackburn, R. and Baugh, P.J.: Computer coupled ESR spectroscopy with specific application to the detection of irradiated food products. *Radiat. Phys. Chem.*, **45**(5), 719-728 (1995)
25. Desrosiers, M.F. and Simic, M.G.: Post-irradiation dosimetry of meat by electron spin resonance spectroscopy of bones. *J. Agric. Food Chem.*, **36**, 601-603 (1988)
26. Desrosiers, M.F., McLaughlin, W.L., Sheahan, L.A., Dodd, N.J. F., Lea, J.S. and Evans, J.C.: Co-trial on ESR identification and estimates of γ -ray and electron absorbed doses given to meat and bones. *Int. J. Food Sci. Technol.*, **25**, 682-691 (1990)
27. Durate, C.L., Villavicencio, A.L.C.H., Del Mastro, N.L. and Wiendl, F.M.: Detection of irradiated chicken by ESR spectroscopy of bone. *Radiat. Phys. Chem.*, **46**(4-6), 689-692 (1995)
28. Gray, R. and Stevenson, M.H.: Detection of irradiated deboned turkey meat using electron spin resonance spectroscopy. *Radiat. Phys. Chem.*, **34**(6), 899-902 (1989)
29. Gray, R. and Stevenson, M.H.: Effect of dose rate and length of storage on the ESR signal strength in irradiated chicken bone. *Int. J. Food Sci. Technol.*, **26**, 669-672 (1991)
30. Stevenson, M. H., Marchioni, E., Gray, R., Stewart, E. M., Bergaentzle, M. and Kuntz, F.: The use of ESR spectroscopy for the detection of irradiated mechanically recovered meat (MRM) in tertiary food products. in *Detection methods for irradiated foods: Current status*, McMurray, C. H., Stewart, E.M, Gray, R., Pearce, J., The Royal Society of Chemistry, Cambridge, U.K. (1996)
31. Baccaro, S., Fuochi, P., Onori, S. and Pantaloni, M.: Influencing factors on ESR dose assessment in irradiated chicken legs. in *Detection methods for irradiated foods: Current status*, McMurray, C. H., Stewart, E. M, Gray, R., Pearce, J., The Royal Society of Chemistry, Cambridge, U.K. (1996)
32. Bordi, F., Fattibene, P., Onori, S. and Pantaloni, M.: ESR dose assessment in irradiated chicken legs. *Radiat. Phys. Chem.*, **43**(5), 487-491 (1994)
33. Gary, R. and Stevenson, M.H.: The effect of post-irradiation cooking, on the ESR signal in irradiated chicken drumsticks. *Int. J. Food Sci. Technol.*, **24** 447-450 (1989)
34. Gray, R., Stevenson, M.H. and Kilpatrick, D.J.: The effect of irradiation dose and age of bird on the ESR signal in irradiated chicken drumsticks. *Radiat. Phys. Chem.*, **35**(1-3), 284-287 (1990)
35. Lea, J.S., Dodd, N.J.F. and Swallow, A.J.: A method of testing for irradiation of poultry. *Int. J. Food Sci. Technol.*, **23** 625-632 (1988)
36. Onori, S. and Pantaloni, M.: ESR dosimetry of irradiated

- chicken legs and chicken eggs. in *detection methods for irradiated foods: Current status*, McMurray, C.H., Stewart, E.M, Gray, R., Pearce, J., The Royal Society of Chemistry, Cambridge, U.K. (1996)
37. Stevenson, M.H. and Gray, R.: An investigation into the effect of sample preparation methods on the resulting ESR signal from irradiated chicken bone. *J. Sci. Food Agric.* **48**, 261-127 (1989)
 38. Stevenson, M.H., and Gray, R.: Effect of irradiation dose, storage time and temperature on the ESR signal in irradiated chicken bone. *J. Sci. Food Agric.*, **48**, 269-274 (1989)
 39. Ikeya, M. and Miki, T.: Electron Spin Resonance Dating of Animal and human bones. *Science*, **207**, 977-979 (1980)
 40. Stachowicz, W, Burlinska, G., Michalik, J., Dziedzic-Goclawska, A. and Ostrowski, K.: Applications of EPR spectroscopy to radiation treated materials in medicine, dosimetry and agriculture. *Appl. Radiat. Isot.*, **44**(1-2), 423-427 (1993)
 41. Stachowicz, W., Burlinska, G., Michalik, J., Dziedzic-Goclawska, A. and Ostrowski, K.: EPR spectroscopy for the detection of foods treated with ionizing radiation. in *Detection methods for irradiated foods: Current status*, McMurray, C.H., Stewart, E.M., Gray, R., Pearce, J., The Royal Society of Chemistry, Cambridge, U.K. (1996)
 42. Raffi, J., Stevenson, M.H., Kent, M., Thiery, J.M. and Belliardo, J.J.: European intercomparison on electron spin resonance identification of irradiated foodstuffs. *Int. J. Food Sci. Technol.*, **27**, 111-124 (1992)
 43. Wood, R.: The progress of the European Committee for Standardisation (CEN) in developing methods of analysis for the detection of food irradiation. *Food Sci. Technol. Today*. **10**(3), 171 (1996)
 44. Stachowicz, W., Strzelczak-Burlinska, G., and Michalik, J.: Application of electron paramagnetic resonance (EPR) spectroscopy for control of irradiated food. *J. Sci. Food Agric.*, **58**, 407-415 (1992)
 45. Morehouse, K.M. and Ku, Y.: Gas chromatographic and electron spin resonance investigations of irradiated shrimp. *J. Agric. Food Chem.* **40**, 1963-1971 (1992)
 46. Gray, R.: The application of EPR spectroscopy to the detection of irradiated food. in *Characterization of food*, Gaonkor, A. G., Elsevier, Amsterdam, Netherlands (1995)

(1999년 2월 12일 접수)