

ESR 분석법에 의한 감마선 조사 처리 건조어류 및 연체류의 조사 여부 판별 특성

김문영¹ · 김귀란¹ · 김동술² · 장홍근³ · 권중호¹

¹경북대학교 식품공학부

²식품의약품안전처

³경기대학교 대학원 식품생물공학과

Identification Characteristics of Gamma-Irradiated Dried Fishery and Mollusks Products Using Electron Spin Resonance Spectroscopy

Moon-Young Kim¹, Gui-Ran Kim¹, Dong-Sul Kim², Hong Keun Jang³, and Joong-Ho Kwon¹

¹School of Food Science and Technology, Kyungpook National University

²Ministry of Food and Drug Safety

³Department of Food Science and Biotechnology, Kyonggi University

ABSTRACT Electron spin resonance (ESR) analysis was conducted for eight different kinds of dried seafood products to investigate their gamma-irradiation status. The specimens consisted of 0~10 kGy-irradiated bones, which included five dried fishes (plaice, hairtail, saury, herring, and dried filefish) and three dried mollusks (beca squid, dried squid, and mitra squid) without flesh or marrow. ESR analysis showed that irradiated specimens exhibited typical asymmetric signals as compared to non-irradiated specimens. ESR signal intensities of all dried fishery samples significantly increased depending on irradiation dose, whereas hydroxyapatite radicals clearly appeared in irradiated plaice, saury, and hairtail. In comparing hydroxyapatite (HA) ratio, irradiated hairtail showed a greater hydroxyapatite-radical generation rate than plaice and saury, and the HA ratio significantly increased with elevated irradiation dose. However, all irradiated plaice and hairtail samples, including 5 and 10 kGy-irradiated saury, showed radiation-derived radicals, whereas filefish and mollusks did not. From the results, ESR spectroscopy was found to have potential to be applied for identifying irradiated plaice, hairtail, and saury, which all contained bones.

Key words: dried fishery, gamma-irradiation, electron spin resonance, hydroxyapatite radical

서 론

식품조사는 약 50여 개국에서 어패류, 해산물, 닭고기, 곡류 등의 식품에 허가되어 약 40개국에서 상업적으로 이용되고 있으며, 발아 억제 또는 숙도 및 숙성 지연을 통하여 저장기간을 연장하고, 살균·살충 등의 식품 안전성을 증가시키는 방법으로도 이용되고 있다(1). 한편 해산물 및 어패류 가공품의 교역량이 증가함에 따라 수출입 검사 및 위생안전성 확보의 중요성이 대두되고 있으나(2), 가공식품 제조 시 부적절한 생산과 취급, 유통과정 중에 발생할 수 있는 병원균 오염 등의 문제로 인해 일부 국가에서는 공중보건에 유해한 병원성 미생물 감소를 위하여 식품조사 처리를 하고 있다(3,4). 수산물의 주요 수입국은 주로 중국, 일본, 베트남 등이며 국립수산물품질관리원에서 이들 수입수산물에 대해

적합성 시험을 실시한 결과 미생물 오염, 일산화탄소 기준 초과, 이산화황 기준이 초과한 사례가 주를 이루고 있다(5). 현행 식품공전의 건어류의 품질 기준은 고유의 색택과 향미를 가지고 이미·이취가 없어야 하고, 건어포류의 경우는 수분 함량이 20% 이하, 조미건포류는 28% 이하이며, 이산화황 0.03 g/kg 이하, 미생물 규격은 대장균군 음성(6)으로 명시하고 있다. 건조수산물의 살균방법으로는 건조방법과 화학처리법 등이 이용되고 있으며 최근 화학 훈증제에 대한 사용 금지와 잔류 기준이 엄격해짐에 따라 조사 처리가 대체 기술로 대두되고 있다.

이에 국내에서는 건어류 분말을 포함하여 약 26개 품목(군)의 농식품 및 그 가공품에 대하여 감마선 및 전자선 조사를 허가하였으며, 최고 10 kGy 이하의 조사선량이 허용되어 있다(7). 조사식품은 소비자의 수용성 및 올바른 정보제공, 국제교역에서 국내 농산물 시장의 보호와 관련 산업의 경쟁력 확보를 위하여 조사식품에 조사 처리마크(radura)를 표시하고 있으나 우리나라에 수입되는 식품 중 일부에서 조사 처리 마크를 부착하지 않거나 쥐포 등과 같이 허가되지 않은 식품이 조사 처리되어 국내에 유통됨으로써 관리에 어려움

Received 5 January 2015; Accepted 17 February 2015

Corresponding author: Joong-Ho Kwon, School of Food Science and Biotechnology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

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

을 겪고 있으므로(8) 식품별 적합한 확인법을 이용하여 조사 처리 여부를 확인할 수 있는 연구가 필요하다. 조사 처리 식품의 조사 여부를 확인할 수 있는 시험법으로 광자극발광 분석법(photostimulated luminescence), 열발광분석법(thermoluminescence), 전자스핀공명법(electron spin resonance spectroscopy), GC-MS 분석법(gas chromatography/mass spectroscopy) 등을 고시하여 시행하고 있다(7). 이 중 물리적 판별방법의 하나인 ESR 확인방법은 방사선 조사에 의해 특이적으로 유래되는 자유라디칼을 직접 측정하는 것으로 시료에 손상을 주지 않으며 재현성이 높고 신속한 측정이 가능하다. 특히 식품 중 뼈를 포함하고 있는 식품(가금류)은 hydroxyapatite와 같은 조사에 의해 유래된 특이한 ESR 신호를 나타내는 것으로 알려져 있다(9). 그러나 어패류 및 그 가공품에 대한 ESR 측정 연구는 미비한 실정이며, 따라서 본 연구에서는 ESR 분석법을 통하여 어패류 및 그 가공품에 대한 ESR 분석법의 적용 가능성을 연구하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용된 건조수산품은 대구 S시장에서 판매되는 형태 그대로 구입하였으며 연체류 3종 꼴뚜기(beka squid), 오징어(dried squid), 한치(mitra squid)는 분말 형태로 분쇄하였고, 건조 어류 5종 가자미(plaice), 갈치(hairtail), 꽁치(saury), 디포리(herring), 쥐포(dried filefish)는 세절하고 뼈를 분리하여 사용하였다.

감마선 조사

건조수산품 8종의 감마선 조사는 한국원자력연구원 첨단 방사선연구소의 ^{60}Co 감마선 조사시설(100 kCi point source, AECL, IR-79, MDS Nordion International Co., Ltd., Ottawa, Canada)을 이용하여 실온에서 시간당 일정한 선량률로 0, 1, 5, 10 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 이때

흡수선량은 alanine dosimeter(Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 사용하여 ESR spectrometer(EMS 104 EPR analyzer, Bruker Instruments)에 의해 확인하였다.

전자스핀공명분석(electron spin resonance, ESR)

ESR 측정을 위해 시료를 24시간 동결 건조(PVTFD20R, Ilshinbiobase Co., Dongducheon, Korea)하여 약 0.5 g을 ESR pyrex tube에 충전하였다. ESR spectrometer(JEST-TE 300, Jeol Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 microwave power 9.18~9.21 GHz, microwave frequency 8.0 mW, sweep width 25 mT, modulation frequency 100 kHz, modulation width 1 mT, amplitude 160 mt, time constant 0.03초, sweep time 30초의 조건에서 측정하였다(10,11). Hydroxyapatite(HA) ratio는 ESR 측정 중심 peak 높이에서 조사된 뼈(석회)에서 형성되는 특이 라디칼의 높이의 비를 산출하는 값으로, 탄화석회류의 선량을 측정하는 데 이용된다(12).

실험 결과 분석

모든 실험 결과들은 3회 반복 측정하였으며, 실험 결과는 Origin 8.0 software(Origin Lab. Co., Northampton, MA, USA)를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

감마선 조사된 hydroxyapatite의 ESR spectra

Hydroxyapatite($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$)는 동물의 뼈와 치아의 주성분으로 알려져 있다(13). 뼈는 hydroxyapatite(HA)와 콜라겐 섬유소로 이루어져 있으며, 특히 HA의 OH기는 환원력이 매우 강하여 다른 유기성분(단백질, 유기산)과 쉽게 반응하거나 라디칼 상태로 존재하게 된다(14,15). 가령 뼈에 감마선을 조사하면 방사선의 강한 전리작용에 의해 HA 라디칼이 생성되며, 이것을 전자기장 하에서 마이크로 웨이브를 조사하면 특유의 라디칼 신호를 나타내게 된다

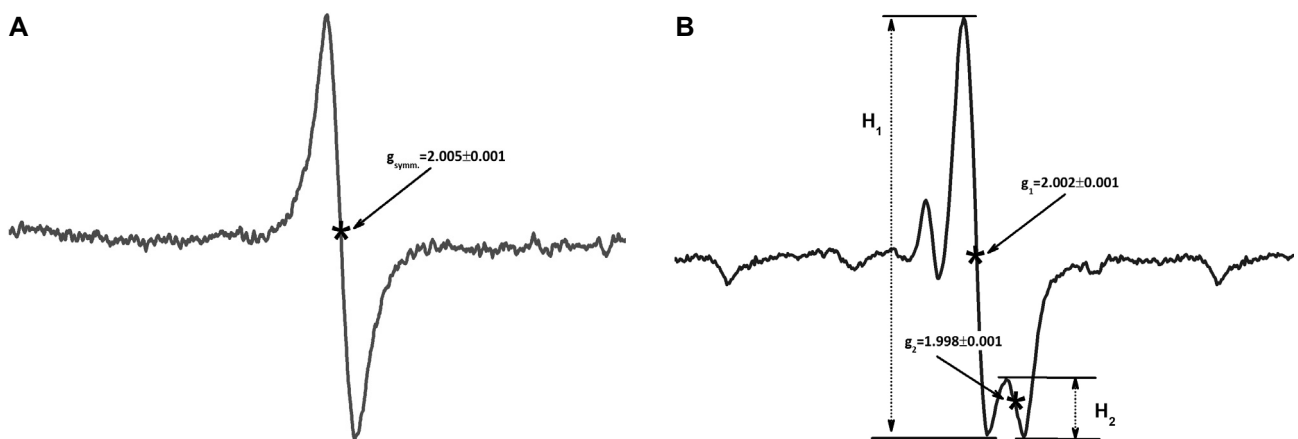


Fig. 1. ESR spectra of 5 kGy-irradiated hydroxyapatite. A, nonirradiated; B, irradiated.

(16). 감마선 조사 처리한 HA의 ESR spectra는 Fig. 1과 같다. 비 조사 HA의 경우 대칭형의 singlet signal을 나타내었으며, 이때 g 값은 2.005를 나타내었다. 이 singlet radical의 기원은 유기물에 의한 라디칼로서 signal 강도가 낮고, 자연계에 널리 존재하는 자유라디칼로 알려져 있다(17). 조

사 처리한 HA의 경우 $g_1=2.002$, $g_2=1.998$ 인 비대칭형 ESR signal을 나타내었으며, 비 조사 시료와 명확한 차이가 확인되었다. 이때 g_1 peak는 콜라겐에 의해 생성되는 라디칼로, g_2 peak는 HA에 의해 생성되는 라디칼로 알려져 있다(15, 18). 전리방사선은 HA에서 라디칼을 생성시키고, 생성된

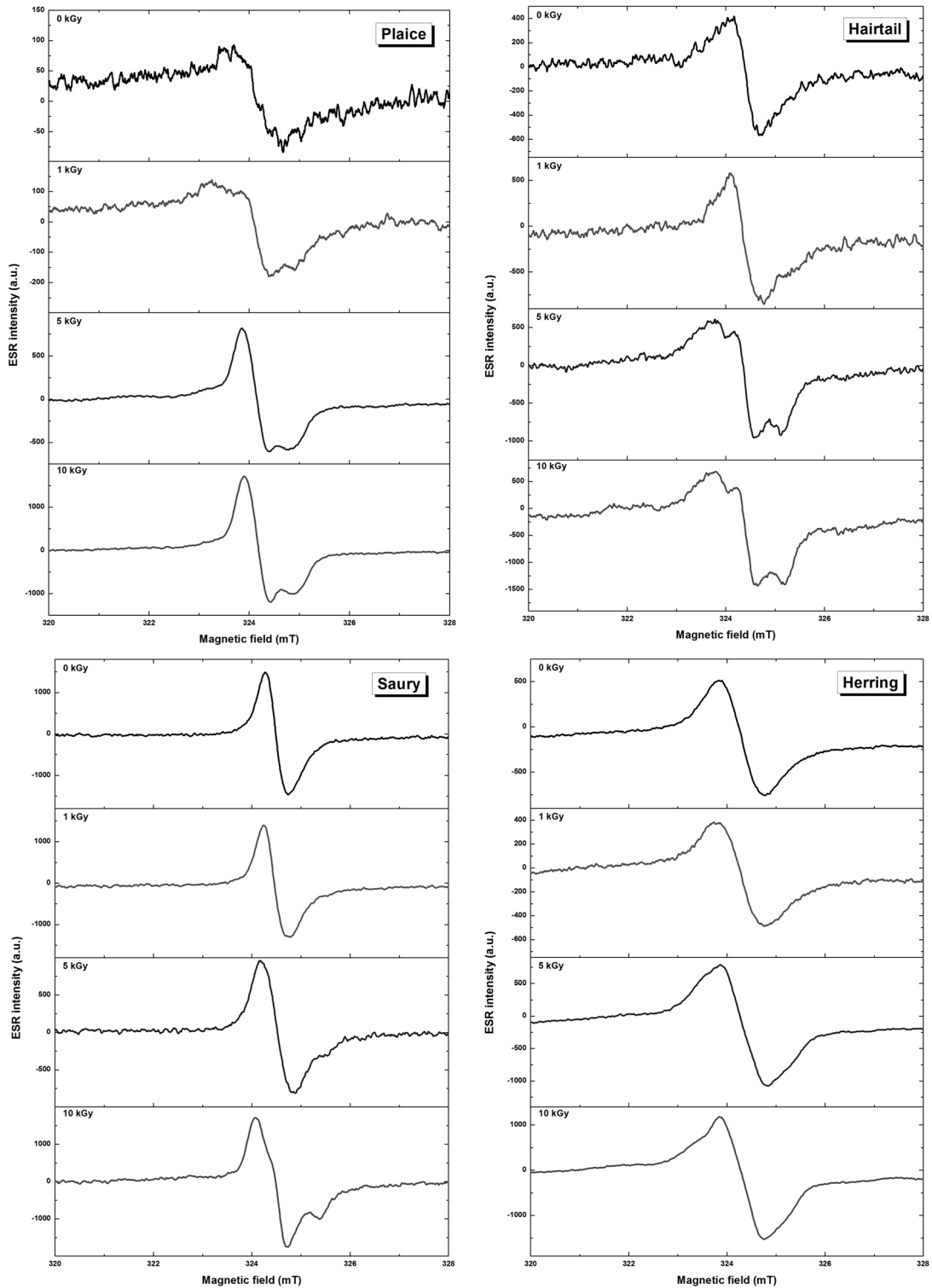


Fig. 2. ESR spectra of irradiated dried fish.

라디칼은 HA 내부 결정형 격자(crystal lattice)에 갇혀 오랫동안 보관된다. 일반적으로 HA는 조사 처리에 의해 CO_3^{3-} ($g=0.20048$), CO_3^{2-} ($g=2.0152$)와 $\text{CO}_2^{\cdot-}$ ($g=1.9998$) 라디칼 등이 생성되는 것으로 보고된 바 있으며, 이들 ESR 신호는 형태적으로 약간의 차이는 있을 수 있으나 ESR 신호의 고유

값인 g 값은 큰 변화가 없는 것으로 알려져 있다(19,20).

건조수산품의 ESR signal 분석 특성

건조 어류 5종과 연체류 3종의 조사 여부를 확인하기 위하여 측정된 ESR spectra를 Fig. 2와 3에 나타내었다. 건조

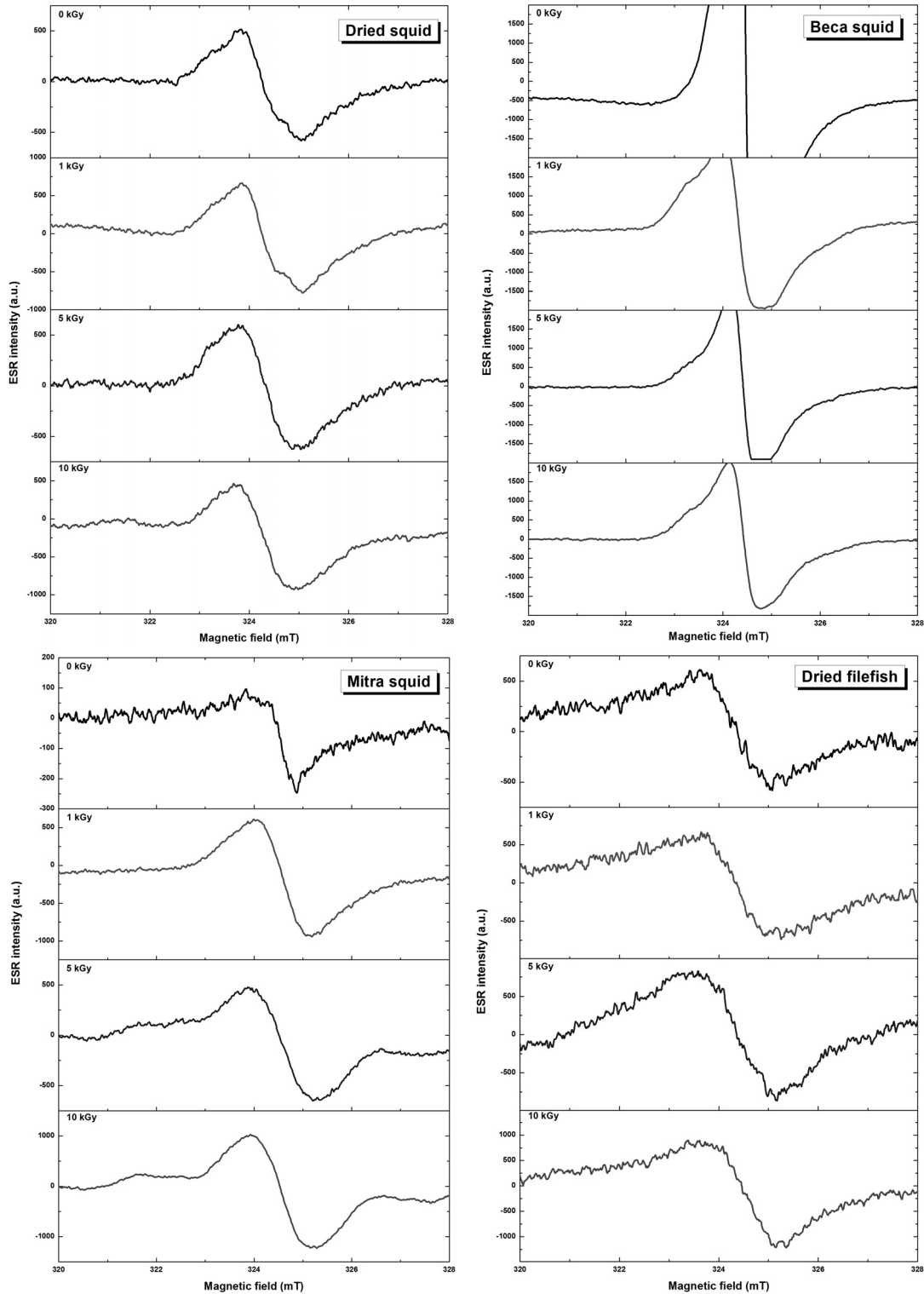


Fig. 3. ESR spectra of irradiated dried and seasoned mollusks and fish.

수산물 8종 모두 비 조사 시료에서는 대칭적인 central ESR signal을 나타내었는데, g값은 2.005±0.001로 나타나 유기물에 의한 signal로 확인되었다. 조사된 가자미, 갈치, 꽁치 등에서 hydroxyapatite에 의한 비대칭 신호가 확인되었으며, 이들의 g값은 g₁=2.002±0.000, g₂=1.998±0.001로 나타나 Fig. 1B에서 나타난 조사된 HA 라디칼과 유사한 경향을 나타내었다. 이것은 고등어, 뱀장어 등의 어류에 대해 측정된 Helle 등(20)의 연구에서 나타난 g₁=2.002±0.001, g₂=1.9981±0.001과 Raffi(21)의 g₁=2.0021, g₂=1.9980과 거의 일치하였고, ESR spectra의 모양도 유사한 것으로 확인되었다. 그러나 꼴뚜기, 오징어포, 한치, 디포리, 쥐포 등에서는 조사 후에도 특이적인 signal이 발견되지 않았으며, 특히 꼴뚜기, 오징어포, 한치 등은 연체동물로 가공 처리 시 뼈가 제거됨에 따라 뼈를 함유한 식품에서 나타나는 hydroxyapatite signal이 나타나지 않은 것으로 여겨진다. 반

면 디포리, 쥐포 등은 시료 내 뼈를 함유하였으나 뼈의 함량이 적고 분리가 어려워 ESR 적용이 어려운 것으로 사료되었다. Stevenson 등(22)은 기계적으로 뼈를 제거한 쇠고기에 알칼리 가수분해방법과 효소가수분해방법으로 처리하였을 때 시료 내 극소량의 뼈를 쉽게 분리할 수 있었으며, 연구결과 또한 매우 명확한 ESR signal을 얻을 수 있다고 보고하였다. 따라서 건조, 압착 및 조미 과정을 거치는 가공 수산물에 대해서는 뼈를 쉽게 분리할 수 있는 전처리방법에 대한 연구가 필요하다고 사료되었다.

건조수산물의 ESR parameter 분석 특성

건조 어류 5종과 연체류 3종에 대하여 감마선 조사 후 HA 라디칼이 생성되는 비율을 Table 1에 나타내었다. HA ratio는 Fig. 1과 같이 H₁과 H₂의 높이 비율을 산출하는 값으로 조사된 석회류의 선량을 예측하는 데 사용된다(12).

Table 1. ESR parameters of irradiated fishery products

Sample	Dose (kGy)	g value ¹⁾			HA ratio (%) ²⁾
		g _{symm.}	g ₁	g ₂	
Plaice	0	2.0052±0.0013	—	—	0.00±0.00
	1	—	2.0025±0.0003	1.9980±0.0002	4.41±0.43
	5	—	2.0020±0.0007	1.9975±0.0002	4.98±0.36
	10	—	2.0021±0.0002	1.9972±0.0004	6.25±0.54
Hairtail	0	2.0047±0.0011	—	—	0.00±0.00
	1	—	2.0029±0.0003	1.9982±0.0006	3.64±0.51
	5	—	2.0022±0.0004	1.9980±0.0014	7.66±0.67
	10	—	2.0023±0.0012	1.9980±0.0012	11.38±0.53
Saury	0	2.0041±0.0005	—	—	0.00±0.00
	1	—	2.0022±0.0002	1.9984±0.0005	2.29±0.00
	5	—	2.0024±0.0003	1.9989±0.0011	4.16±0.73
	10	—	2.0025±0.0005	1.9988±0.0012	5.44±0.31
Herring	0	2.0058±0.0023	—	—	0.00±0.00
	1	2.0052±0.0012	—	—	0.00±0.00
	5	2.0053±0.0007	—	—	0.00±0.00
	10	2.0053±0.0004	—	—	0.00±0.00
Beka squid	0	2.0054±0.0006	—	—	0.00±0.00
	1	2.0048±0.0009	—	—	0.00±0.00
	5	2.0051±0.0007	—	—	0.00±0.00
	10	2.0055±0.0003	—	—	0.00±0.00
Dried squid	0	2.0055±0.0001	—	—	0.00±0.00
	1	2.0052±0.0012	—	—	0.00±0.00
	5	2.0053±0.0008	—	—	0.00±0.00
	10	2.0049±0.0016	—	—	0.00±0.00
Mitra squid	0	2.0041±0.0023	—	—	0.00±0.00
	1	2.0054±0.0011	—	—	0.00±0.00
	5	2.0057±0.0007	—	—	0.00±0.00
	10	2.0053±0.0008	—	—	0.00±0.00
Dried filefish	0	2.0041±0.0007	—	—	0.00±0.00
	1	2.0047±0.0012	—	—	0.00±0.00
	5	2.0043±0.0015	—	—	0.00±0.00
	10	2.0046±0.0011	—	—	0.00±0.00

¹⁾g value=71.448×microwave (GHz)/ magnetic field (mT).

²⁾HA ratio (%)= $\frac{H_2}{H_1} \times 100$.

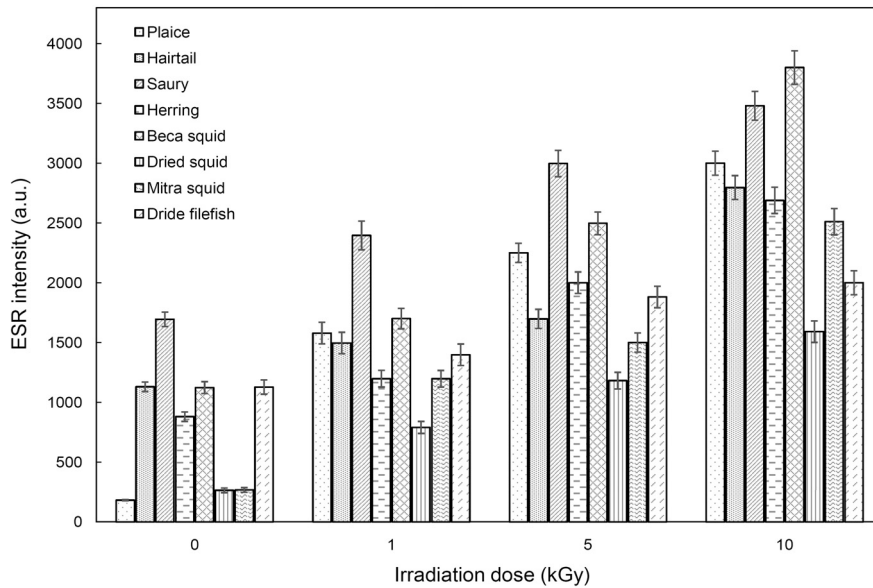


Fig. 4. ESR intensity of irradiated dried fishery products.

따라서 앞서 조사 처리에 의해 HA 라디칼이 나타난 가자미, 갈치, 꽁치의 경우 조사선량이 증가함에 따라 HA 라디칼의 비는 증가하였으며, 특히 갈치의 경우 가자미, 꽁치에 비해 높은 HA 라디칼 생성물을 나타내었다. 이로 인해 HA 라디칼이 조사에 의해 특이적으로 생성되는 라디칼임을 확인할 수 있었다. 또한 HA 라디칼을 나타낸 3종의 건조어류의 경우 조사 처리 전에는 g 값이 $2.0041 \pm 0.0005 \sim 2.0052 \pm 0.0013$ 사이의 단분자 signal을 나타내었지만, 조사 후에는 $g_1 = 2.0020 \pm 0.0007 \sim 2.0029 \pm 0.0003$ 의 값을, $g_2 = 1.9972 \pm 0.0004 \sim 1.9989 \pm 0.0011$ 인 signal로 변화하였는데 이는 조사 처리에 의해 라디칼이 생성되면서 원래 존재하던 단분자에 구조적인 변화가 나타난 것으로 판단되었다.

각 시료 간 ESR 신호 강도의 경향을 비교한 결과는 Fig. 4와 같다. 10 kGy 조사구에서는 꼴뚜기가 가장 높은 강도를 나타내었고, 0, 1, 5 kGy 조사구에서는 꽁치가 가장 높은 ESR 신호 강도를 나타내었다. 또한 오징어와 한치는 특히 ESR 신호강도가 가장 낮았는데, 이는 뼈가 없는 연체동물의 특성상 유기 라디칼이 쉽게 사라지는 데 기인한 결과로 생각된다. Nam 등(23)의 연구 결과에서도 각각 다른 신선어류 5종에 대해 감마선 조사 후 나타난 ESR 신호강도는 조사선량에 따라 다르다고 하여 본 연구 결과와 유사한 경향을 나타내었다. 또한 조사선량이 증가함에 따라 ESR 신호의 크기는 비례적으로 증가하였으며, 아울러 뼈 라디칼인 hydroxyapatite radical의 g_2 값도 증가하였다. 이는 어종을 분석한 Helle 등(20), Nam 등(23)과 고등어를 이용한 Empis 등(24)의 연구 결과와 일치하였다.

이로써 건조수산물에 대한 ESR parameter는 시료의 종류 및 가공방법에 따라 달라질 수 있으며, 이에 추후 보다 정확하고 신속한 확인법을 위한 연구개발이 필요할 것으로 판단된다.

요 약

감마선 조사된 건조수산물 8종을 electron spin resonance (ESR) 측정법에 의한 조사 처리 여부 가능성을 알아보았다. 연체류 3종(꼴뚜기, 오징어, 한치) 및 건조어류 5종(가자미, 갈치, 꽁치, 디포리, 쥐포)의 비 조사 시료와 감마선 조사(1, 5, 10 kGy) 시료를 어육과 골수를 제거한 후 뼈를 건조한 다음 시료로 사용하였다. 그 결과 모든 건조수산물은 조사선량이 증가함에 따라 유의적으로 ESR signal intensity가 증가하였으나 조사 유래 특이 라디칼인 hydroxyapatite는 뼈가 포함된 꼴뚜기, 가자미, 갈치 시료에서 비 조사 및 조사 시료와의 뚜렷한 차이를 나타내어 조사 여부 확인이 가능하였다. 또한 HA ratio를 비교해볼 때 갈치가 가자미 및 꽁치에 비해 hydroxyapatite 라디칼의 생성물이 가장 높은 것으로 확인되었으며 조사선량이 증가할수록 증가하였다. 그러나 꽁치는 5, 10 kGy, 가자미와 갈치는 모든 조사 처리구에서 확인이 가능한 반면, 연체동물인 꼴뚜기, 오징어, 한치의 경우 조사 유래 특이 라디칼이 확인되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 8종의 건조수산물 중 연체류를 제외한 뼈를 포함한 건조어류 가공품에 대하여 ESR 적용 가능성을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업을 받아 수행된 것으로, 이에 감사드립니다 (NRF-2013R1A1A4A03006993).

REFERENCES

- IAEA (International Atomic Energy Agency). 2006. *Food and environmental protection newsletter* 9. Joint FAO/IAEA Programme: Nuclear Techniques in Food and Agriculture,

- Wien, Austria. p 21-59.
2. Raffi J, Hasbany C, Lesgards G, Ochin D. 1996. ESR detection of irradiated seashells. *Appl Radiat Isot* 47: 1633-1636.
 3. Kilgren MB. 1993. Economic benefits of irradiation of molluscan shellfish in Louisiana. In *Cost Benefit Aspects of Food Irradiation Processing*. IAEA, Vienna, Austria. p 89-101.
 4. Kwon JH. 2010. *Safety and understanding of irradiation food*. Korea Food Safety Research Institute, Seoul, Korea. p 223-246.
 5. MFDS. 2014. Ministry of Food and Drug Safety. Available from <http://www.mfds.go.kr/index.do?mid=1228> (accessed Dec 2014).
 6. MFDS. 2013. *Food Standard Code*. Ministry of Food and Drug Safety, Osong, Korea. No. 5-28-1.
 7. MFDS. 2009. *Notification on the detection methods for irradiated food*. Ministry of Food and Drug Safety, Osong, Korea. No. 2009-44.
 8. Park JM. 2011. *Irradiated food labeling state investigation report*. Korea Consumer Agency, Chungbuk, Korea. p 20-33.
 9. Yang JS, Kim CK, Lee HJ. 1999. Detection of irradiated chicken, pork and beef by ESR spectroscopy. *Korean J Food Sci Technol* 31: 606-611.
 10. EN 1786. 1996. *Foodstuffs-detection of irradiated food containing bone method by ESR spectroscopy*. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.
 11. Stewart EM, Stevenson MH, Gray R. 1994. Use of ESR spectroscopy for the detection of irradiated *Crustacea*. *J Sci Food Agric* 65: 191-197.
 12. Nosenko VV, Vorona IP, Baran NP, Ishchenko SS, Vysotskiy BV, Krakhmalnaya TV, Semenov YA. 2014. Comparative EPR study CO²⁻ radicals in modern and fossil tooth enamel. *Radiat Meas* In Press. doi:10.1016/j.radmeas.2014.09.004.
 13. Ikeya M. 1993. New applications of electron spin resonance: dating, dosimetry and microscopy. New World Scientific, Farrer Road, Singapore. p 185.
 14. Schramm DU, Rossi AM. 2000. Electron spin resonance (ESR) studies of CO²⁻ radicals in irradiated A and B-type carbonate-containing apatites. *Appl Radiat Isot* 52: 1085-1091.
 15. Wieser A, Haskell E, Kenner G, Bruenger F. 1994. EPR dosimetry of bone gains accuracy by isolation of calcified tissue. *Appl Radiat Isot* 45: 525-526.
 16. Da Costa ZM, Pontuschka WM, Campos LL. 2004. Study of the ESR signal of gamma irradiated hydroxyapatite for dose assessment. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 218: 283-288.
 17. Caracelli I, Terrile MC, Mascarenhas S. 1986. Electron spin resonance dosimetric properties of bone. *Health Phys* 50: 259-263.
 18. Polat M, Korkmaz M, Dulkan B, Korkmaz Ö. 1997. Detection of irradiated chicken and dosimetric properties of drumsticks bones. *Radiat Phys Chem* 49: 363-369.
 19. Saldo J, Matthys P, Vanhaelwym G, Callens F, Michalik J, Stachowicz W. 1998. EPR and ENDOR of radiation-induced CO₃³⁻ radicals in human tooth enamel heated at 400°C. *J Chem Soc Faraday Trans* 94: 3275-3278.
 20. Helle VN, Ballin U, Etzel V, Kruse R. 1996. Etablierung analytischer methoden zur identifizierung bestrahlter fische und krebstiere. *Arch Lebensmittelhyg* 47: 13-21.
 21. Raffi J, Stevenson MH, Kent M, Thiery JM, Belliardo JJ. 1992. European intercomparison on electron spin resonance identification of irradiated foodstuffs. *Int J Food Sci & Technol* 27: 111-124.
 22. Stevenson MH, Marchioni E, Gray R, Stewart EM, Bergaentzle M, Kuntz F. 1996. 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 CH, Stewart M, Gray R, Pearce J, eds. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK. p 53-61.
 23. Nam HS, Woo SH, Ly SY, Yang JS. 2000. Identification of irradiated fishes by ESR spectroscopy. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 29: 425-429.
 24. Empis JMA, Silva HA, Nunes EL. 1995. Detection of irradiated fish using EPR of fish bone; signal intensity and stability. *Fisheries Research* 21: 471-475.