

감마선 조사가 저염 명란(*Theragra chalcogramma*) 젓갈의 품질에 미치는 영향

남기호 · 이현진¹ · 박노현¹ · 김동환¹ · 송민규¹ · 김종일¹ · 오광수^{2*}

국립수산물연구원 남동해수산연구소, ¹경상국립대학교 해양식품공학과, ²경상국립대학교 해양식품공학과/해양산업연구소

Effects of Gamma Irradiation on Quality Characteristics of Low-salt Fermented Pollack *Theragra chalcogramma* Roe

Ki-Ho Nam, Hyun-Jin Lee¹, No-Hyun Park¹, Dong-Hwan Kim¹, Min-Gyu Song¹, Jong-Il Kim¹, and Kwang-Soo Oh^{2*}

Southeast Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Tongyeong 53085, Republic of Korea

¹Department of Seafood Science and Technology, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Republic of Korea

²Department of Seafood Science and Technology/Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Republic of Korea

Low-salt fermented pollack *Theragra chalcogramma* roe (*Myungran Jeotgal*, MJ), a traditional Korean fermented seafood, was prepared using a commercially available method and irradiated using gamma rays (0–10.0 kGy) to investigate the effect of gamma irradiation (GI) on food quality. After irradiation with 2.5 kGy gamma rays, the number of viable cells in MJ was reduced by one log compared to that observed in non-irradiated MJ, and no living cells were detected after 7.5 kGy GI. Though up to 2.5 kGy GI had no effect on color quality, over 7.5 kGy GI resulted in significantly poor quality MJ surface color. Saturated fatty acid contents increased slightly in irradiated MJ, while those of polyenes and monoenes decreased slightly as the GI dose increased. Exposure of MJ to GI had no effect on the free amino acid and mineral composition. These results demonstrated that the appropriate GI dose for MJ ranged from 2.5 to 5.0 kGy, which may be recommended for industrial application.

Keywords: Gamma ray, Irradiation, Low-salt fermented pollack roe, *Myungran Jeotkal*

서론

방사선(irradiation-ray)이란 에너지가 높아 들뜬 상태에 있는 원자가 바닥상태로 될 때 방출하는 에너지의 흐름이라고 정의 하는데, 식품 조사에서 주로 활용하고 있는 방사선은 감마선(γ -ray)으로 투과력이 강하여 제품을 포장한 상태로 연속 처리할 수 있으므로 재포장에 따른 2차 오염을 방지할 수 있다. 또한 조사시 제품의 품온 상승이 거의 없어 성분의 파괴를 최소화하고 냉장 및 냉동상태에서도 살균이 가능하다. 그리고 화학 훈증제나 보존제와는 달리 유해성분의 생성이나 잔류성분이 남지 않는다는 장점과 처리시 환경조건의 영향을 거의 받지 않는 특징도 있다(Roberts and Unnevehr, 1994; Byun and Lee, 2003).

현재 식품에 대한 방사선 조사는 평균 10 kGy까지 방사선 조사된 어떠한 식품도 독성학적 장해를 전혀 일으키지 않는다는 전제하에서 각종 식품에 대한 방사선 조사가 세계적으로 허용되고 있으며(WHO, 1981; Byun, 1997), 우리나라에서도 1987년 상업적 방사선 조사시설이 가동되기 시작하여 현재 다양한 품목에 대해 식품조사가 허가되어 있다. 이러한 방사선 조사가 식품의 성분 변화에 미치는 영향 및 방사선 조사식품의 저장성 향상 등에 관한 연구가 국내외에서 다양하게 수행되어져 왔으나, 이는 대부분 농축산 식품에 한정되어 있다. 반면 수분 및 고도 불포화지방산의 함량이 많은 수산식품의 경우 낮은 선량에서도 품질 변화가 쉽게 일어날 우려가 있으므로 적정 방사선 조사가 상당히 까다롭다. 국내에서 현재까지 수행된 수산식품의 방

*Corresponding author: Tel: +82. 55. 772. 9144 Fax: +82. 55. 772. 9149

E-mail address: ohks@gnu.ac.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2022.0302>

Korean J Fish Aquat Sci 55(3), 302-309, June 2022

Received 9 May 2022; Revised 30 May 2022; Accepted 9 June 2022

저자 직위: 남기호(연구사), 이현진(대학원생), 박노현(대학원생), 김동환(대학원생), 송민규(대학원생), 김종일(대학원생), 오광수(교수)

사선 조사 연구로는 감마선 조사 참굴의 병장 기간 중 세균 및 화학적 변화 등 패류의 품질보전에 관한 연구(Chung, 1974)를 시작으로 감마선 조사에 의한 튀김어묵의 품질보전(Cho et al., 1985), 감마선 조사된 단체급식용 구운 어묵의 품질과 이화학적 변화(Kim et al., 2004), 반건조 오징어의 저장성 연장을 위한 감마선 조사(Lee et al., 2002), 감마선 조사와 저장기간에 따른 마른멸치의 품질특성(Noh et al., 2002), 감마선 조사가 염장미역의 품질에 미치는 영향(Byun et al., 1991), 콩치 과메기의 위생안전성 개선 및 저장기간 연장을 위한 감마선 조사의 효과(Cho et al., 2002) 등이 있다. 젓갈에 대한 방사선 조사 효과에 관한 연구로는 저염 오징어젓갈의 품질변화에 미치는 감마선 조사의 영향(Kim et al., 1999), 새우젓 저염화를 위한 감마선 조사(Ahn et al., 2000), 감마선 조사된 양념 창란젓갈의 품질특성(Jo et al., 2003; Lee et al., 2003), 그리고 감마선 조사된 멸치액젓의 유전독성학적 안전성 평가와 효능(Yook et al., 2004) 등이 있다. 한편 우리나라의 대표적인 저염 양념젓갈인 명란젓갈은 식염함량이 7~10%로 4°C 이하 또는 동결 상태로 유통되는데 시간이 경과함에 따라 내부 수분의 확산에 따른 표면 수분의 증가와 효모의 발육으로 인한 pH의 저하 및 퇴색 등 품질악변 현상이 쉽게 발생한다(Lee et al., 2001). 저염 양념젓갈 유통시 대두되는 가장 큰 문제점 중의 하나는 짧은 shelf-life로 이를 연장하려는 연구가 폭넓게 이루어지고 있으나 아직까지 동결저장 이외에 뚜렷한 해결 방안이 마련되어 있지 않다(Kim, 1996; Kim and Lee, 1997). 저염 양념젓갈의 shelf-life에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 미생물로서 양념젓갈에 존재하는 단백질 분해균은 원료어와 고춧가루와 같은 부원료에서 유래되며, 당질을 분해하여 산을 생성하는 세균은 고춧가루, 생강 및 마늘 등에서, 곰팡이는 주로 고춧가루에서 혼입되는 것으로 보고되어 있다(Lee et al., 2000). 본 논문에서는 저염 명란젓갈에 감마선을 조사하여 유통 중 급격히 증가하는 미생물의 효과적인 제어와 품질을 유지시키기 위한 적정 조사선량을 구명하고자 하였으며, 감마선 조사가 명란젓갈의 품질 특성에 미치는 영향을 살펴보았다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용한 명란젓갈은 구룡포 H 식품(주)(Pohang, Korea)에서 출하 직전의 제품을 구입하여 실험에 사용하였다. 제조사에서 제공한 저염 명란젓갈의 가공공정도 및 제품 제조시 사용된 첨가물의 조성비는 Fig. 1 및 Table 1과 같다.

감마선 조사

상기 시료 명란젓갈을 250 g씩 PE (polyethylene)/PP (polypropylene) 복합필름 주머니로 함기포장한 후 정읍 방사선과 학연구소 내 선원 100,000 Ci의 Co-60 감마선 조사시설(Point

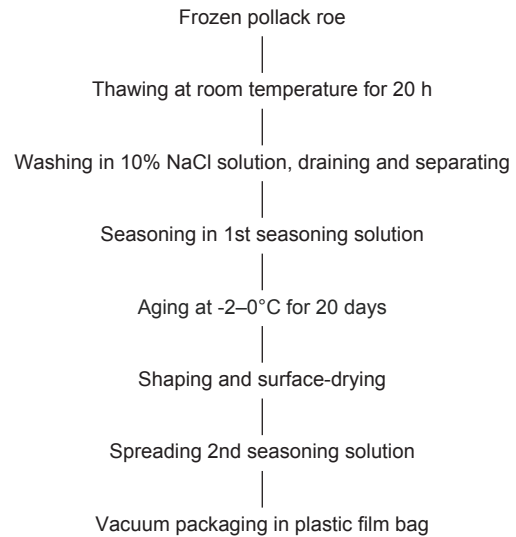


Fig. 1. Flow diagram for low-salt fermented pollack *Theragra chalcogramma* roe processing.

source AECL, IR-79; MDS Nordion International Co. Ltd., Ottawa, ON, Canada)을 이용하여 12±1°C의 실온에서 시간당 1 kGy의 선량율로 각각 1.0 kGy, 2.5 kGy, 5.0 kGy, 7.5 kGy 및 10.0 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 감마선을 조사하였다. 흡수선량은 국제원자력기구(International Atomic Energy Agency,

Table 1. Recipes of 1st and 2nd seasoning solution for low-salt fermented pollack *Theragra chalcogramma* roe processing

Material	Composition ¹
D-sorbitol	2.0
Monosodium glutamate	3.0
Sucrose	2.0
1st seasoning solution ²	
Seasoning source	1.0
Salt	7.0
Purified water	20.0
Total	35.0
2nd seasoning solution ²	
Red pepper	0.2
D-sorbitol	0.1
Monosodium glutamate	0.1
Sucrose	0.2
Garlic powder	0.2
Seasoning source	0.2
Starch syrup	0.5
Purified water	2.0
Total	3.5

¹Percentage (wt%) to the raw pollack roe. ²Refer to the comment in Fig. 1.

IAEA)의 규격에 준용하여 표준화한 alanine dosimeter (5 mm; Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)로 측정하였으며, 총 흡수선량의 오차는 2% 이내로 확인되었다. 비조사 및 감마선 조사 시료들은 $4\pm 1^\circ\text{C}$ 에서 냉장저장하면서 실험에 사용하였다.

일반성분 및 염도

일반성분의 함량은 상법(KSFSN, 2000a)에 따라 수분은 상압가열건조법, 조단백질은 semi-micro Kjeldahl법, 조지방은 Soxhlet법, 회분은 건식회화법으로 측정하였고, 탄수화물 함량은 100에서 수분, 조단백질, 조지방 및 회분 함량을 뺀 값으로 나타내었다. 염도는 염도계(Salt meter ES-421; Atago Co., Saitama, Japan)로 측정하였다.

수분활성도, pH 및 산도

수분활성도(water activity, A_w)는 시료를 세절한 다음 A_w 측정기(Novasina Ms Set-aW; Novasina Co., Zürich, Switzerland)로 측정하였다. pH는 시료에 10배량의 증류수를 가하여 균질기(Ultra Turrax T25; IKA Janke & Kunkel GmbH Co., Staufen, Germany)로 균질화한 후 pH meter (Fisher Basic; Fisher Sci. Co., Pittsburgh, PA, USA)로 측정하였다. 산도는 pH를 측정한 시료액 100 mL에 중성 formalin으로 중화한 0.1 N NaOH 용액을 적가하여 pH 8.3이 될 때까지 소요된 용액의 mL 수로 나타내었다(JSSRI, 1985).

Thiobarbituric acid 값, 휘발성염기질소 및 아미노산질소

Thiobarbituric acid (TBA) 값은 시료 5 g을 정평한 후 Tarladgis et al. (1960)의 수증기증류법으로 측정하였고, 휘발성염기질소(volatile basic nitrogen, VBN)는 Conway unit를 사용하는 미량화산법(KSFSN, 2000b)으로 측정하였다. 아미노산질소($\text{NH}_2\text{-N}$) 함량은 formol 적정법(Ohara, 1982a)으로 측정하였다.

생균수, 조직감 및 헨터 색도

생균수는 APHA (1970)의 표준한천평판배양법에 따라 $35\pm 0.5^\circ\text{C}$ 에서 48 ± 3 시간 배양하여 나타난 집락수를 계측하였고, 배지는 표준한천평판배지를 사용하였다. 조직감은 난막 손상이 없으며 최대한 크기가 균일한 명란젓갈을 선별하여 지름 1.6 cm의 스테인레스제 원통형 용기 속에 높이 1.5 cm로 채워 넣은 다음 레오메터(CR-100D; Sun Scientific Co., Tokyo, Japan)로 시료의 경도를 측정하였다. 이때 load cell의 하중은 2 kg, 변형률은 80%로 하였으며, plunger는 지름 1.5 cm의 평판 adapter를 사용하였다. 헨터 색도는 직시색차계(Color difference meter ZE-2000; Nippon Denshoku Ltd., Tokyo, Japan)를 사용하여 시료의 표면 색도에 대한 L 값(명도), a 값(적

색도), b 값(황색도) 및 ΔE 값(색차)을 측정하였다. 이 때 표준 백판(standard plate)의 L 값, a 값 및 b 값은 각각 99.98, 0.01 및 0.01이었다.

지방산

Bligh and Dyer (1959)의 방법에 따라 시료의 총지질을 추출한 다음 AOCS official method (AOCS, 1990)에 따라 검화 및 methylester 화하여 지방산을 분리하였고, capillary column (Supelcowax-2560; 100 m \times 0.25 mm; Supelco Japan Ltd., Tokyo, Japan)이 장착된 GC (gas chromatography; Shimadzu JP/GC-2010; Shimadzu Co., Kyoto, Japan)로 분석하였다. 이 때 GC의 분석조건은 전보(Kim et al., 1994)와 같고, 각 구성 지방산의 동정은 표준품과의 머무름시간 비교 및 equivalent chain length법에 의해 동정하였다.

유리아미노산 및 무기질

유리아미노산 및 무기질 분석용 엑스성분은 시료에 3배량의 70% ethanol 용액을 가하여 균질기(Ultra Turrax T25; IKA Janke and Kunkel GmbH Co., Staufen, Germany)로 균질화한 후 8,000 rpm에서 15분간 원심분리하였다. 이 상층액과 이 조작을 2회 더 반복하여 얻은 상층액을 모아 감압농축한 후 증류수로 일정량 정용하였고, 여기에 제단백을 위해 5'-sulfosalicylic acid를 10% 첨가하여 10시간 방치한 다음 여과하여 추출하였다. 유리아미노산은 시료 엑스성분을 일정량 취하여 감압건조한 다음 lithium buffer (pH 2.20, 0.20 M)로 정용한 후 아미노산 자동분석기(Biochrom 30; Biochrom. Ltd., Cambridge, England)로 분석하였다. 무기질은 시료 엑스성분에 진한 HNO_3 용액을 가해 습식분해(Ohara, 1982b)시킨 후 ashless filter paper (Toyo 5B; Toyo Co., Nagano, Japan)로 여과하여 일정량으로 정용한 다음, inductively coupled plasma (ICP) atomic emission spectrometer (Atomscan 25; TJA Co., Santa Clara, CA, USA)로 Na, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, P, S 및 Se의 함량을 분석하였다.

결과 및 고찰

감마선 조사 명란젓갈의 성분조성

시료 비조사구 명란젓갈의 일반성분 및 염도를 측정한 결과는 Table 2와 같다. 시료 명란젓갈의 일반성분 조성은 수분 65.0%, 조단백질 25.5%, 조회분은 6.6%이었고, 염도는 6.3%이었다.

비조사구 및 1.0–10.0 kGy 감마선 조사구의 수분 함량, A_w , pH, 산도, TBA 값, VBN 및 아미노산질소 함량을 측정한 결과는 Table 3과 같다. 비조사구 및 조사구의 수분 함량은 64.3–66.4%로서 감마선 조사에 따른 유의적 차이는 없었다. A_w 역시 0.91–0.92의 범위로서 수분함량과 마찬가지로 감마선 조사에 따른 유의적 차이는 없었는데 이로 미루어 10.0 kGy 정도

의 감마선 조사처리는 수분의 유출이나 자유수와 결합수 같은 식품 내 수분의 존재 형태에 미치는 영향이 거의 없음을 확인하였다. 1.0–10.0 kGy 조사구의 pH는 비조사구의 6.16에 비하여 조사선량이 증가할수록 약간씩 낮아지는 경향을 나타내었으며, 산도는 비조사구가 9.4 mL인데 비하여 조사선량이 증가할수록 약간씩 높아지는 경향을 보였으나 유의적 차이는 없었다. 감마선 조사처리가 명란젓갈의 지방질 산화에 미치는 영향을 살펴보기 위해 TBA 값을 측정된 결과, 조사구의 TBA 값은 0.020–0.034 O.D.로 비조사구의 0.019에 비해 높았으며, 조사선량이 증가할수록 TBA 값도 약간씩 증가하는 경향을 나타내어 지방질의 산화가 지속적으로 진행되고 있음을 확인하였다. 특히 감마선 조사선량 7.5 kGy 이상에서 증가폭이 컸으나, 산화생성물인 aldehyde 류의 역치 등을 고려할 때 명란젓갈의 냄새 변화에 미치는 영향은 거의 없을 것으로 보인다. Lee et al. (2002)은 반건조 오징어에 대한 5 kGy 정도의 감마선 조사는 TBA 값의 변화에 미치는 영향이 없었다고 보고한 바 있다. 수산물의 선도나 어취 발현에 영향을 미치는 VBN 함량은 비조사구가 28.9 mg/100 g, 1.0–10.0 kGy 조사구는 29.3–30.7 mg/100 g으로 감마선 조사처리에 의한 어취 및 비린내의 추

가 생성은 거의 없었다. 아미노산질소 함량의 변화는 비조사구가 33.9 mg/100 g이었고, 조사선량이 증가할수록 34.1–39.9 mg/100 g으로 점차 증가하는 경향을 보여 감마선 조사처리에 의해 육질의 일부가 약간씩 분해됨을 알 수 있었다. 젓갈 중의 아미노산질소 성분은 육성분이 분해되어 생성되는 유리아미노산을 나타내는 것으로 젓갈류 숙성도의 지표로 사용되며, 풍미와 깊은 관련이 있기 때문에 발효식품의 중요한 품질 지표로 인식되고 있다(Yook et al., 2004).

감마선 조사 명란젓갈의 품질특성

비조사구 및 1.0–10.0 kGy 조사구의 생균수와 조직감의 변화를 측정된 결과는 Table 4와 같다. 비조사구의 생균수는 $(6.1-8.0) \times 10^3$ CFU/g, 1.0 kGy 조사구는 $(2.3-3.6) \times 10^3$ CFU/g, 2.5 kGy 및 5.0 kGy 조사구의 생균수는 각각 $(3.2-4.0) \times 10^2$ CFU/g 및 $(1.2-1.7) \times 10^2$ CFU/g으로 유의적으로 감소하였으며, 7.5 kGy 이상의 조사구에서는 잔존세균이 모두 사멸되는 것으로 나타났다. 식품 내에 잔존하는 초기 미생물을 제어하는 것은 식품의 안전성 및 품질 변화의 억제측면에서 매우 중요하며, 감마선 조사를 통해 최숙성기에 있는 명란젓갈의 잔존세균수

Table 2. Proximate composition and salinity of seasoned low-salt fermented pollack *Theragra chalcogramma* roe

Content	Proximate composition (g/100 g)					Salinity (g/100 g)
	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash	Carbohydrate	
	65.0±0.2	25.5±0.4	0.9±0.1	6.6±0.3	2.0±0.4	6.3±0.1

Table 3. Changes of moisture content, Aw, pH, acidity, TBA value, VBN content, and NH₂-N content in low-salt fermented pollack *Theragra chalcogramma* roe as affected by various gamma irradiation dose

	Irradiation dose (kGy)					
	0	1.0	2.5	5.0	7.5	10.0
Moisture (g/100 g)	65.5±0.2 ^a	66.2±0.1 ^a	64.3±0.1 ^a	66.4±0.1 ^a	65.5±0.2 ^a	66.0±0.2 ^a
Aw	0.91±0.01 ^a	0.92±0.02 ^a	0.91±0.01 ^a	0.92±0.01 ^a	0.92±0.03 ^a	0.92±0.01 ^a
pH	6.16±0.11 ^a	6.10±0.09 ^a	6.06±0.10 ^a	6.00±0.10 ^a	5.93±0.12 ^a	5.90±0.10 ^a
Acidity (mL)	9.3±0.7 ^a	9.3±0.5 ^a	9.4±0.5 ^a	9.5±1.1 ^a	9.7±0.9 ^a	10.4±0.9 ^a
TBA value (O.D.)	0.019±0.003 ^a	0.020±0.007 ^a	0.022±0.005 ^{ab}	0.025±0.004 ^{ab}	0.030±0.004 ^{bc}	0.034±0.003 ^c
VBN (mg/100 g)	28.9±0.2 ^a	29.3±0.5 ^a	30.7±0.8 ^a	30.5±1.2 ^a	30.3±1.6 ^a	30.2±2.0 ^a
NH ₂ -N (mg/100 g)	33.9±0.6 ^a	34.1±1.3 ^a	34.3±2.1 ^a	35.4±1.5 ^{ab}	37.5±0.9 ^{bc}	39.9±2.3 ^c

^{a-c}Means within each row followed by the same letter are not statistically different (P>0.05). Aw, Water activity; TBA, Thiobarbituric acid; VBN, Volatile basic nitrogen; NH₂-N, amino nitrogen.

Table 4. Changes of viable cell count and hardness of low-salt fermented pollack *Theragra chalcogramma* roe as affected by various gamma irradiation dose

	Irradiation dose (kGy)					
	0	1.0	2.5	5.0	7.5	10.0
Viable cell count (CFU/g)	$(6.1-8.0) \times 10^3$	$(2.3-3.6) \times 10^3$	$(3.2-4.0) \times 10^2$	$(1.2-1.7) \times 10^2$	<30	<30
Hardness (g/cm ²)	224.5±10.4 ^a	223.3±12.9 ^a	227.3±10.6 ^a	235.5±7.3 ^{ab}	247.7±9.3 ^b	252.4±10.1 ^b

^{a,b}Means within each row followed by the same letter are not statistically different (P>0.05).

Table 5. Changes of color values in low-salt fermented pollack *Theragra chalcogramma* roe as affected by various gamma irradiation dose

Color value	Irradiation dose (kGy)					
	0	1.0	2.5	5.0	7.5	10.0
L	36.3±0.8 ^a	36.7±5.7 ^a	37.4±2.8 ^a	39.0±3.9 ^a	46.8±3.0 ^b	48.7±3.3 ^b
a	15.8±3.3 ^a	15.4±3.9 ^a	15.0±3.1 ^a	13.1±1.4 ^a	12.5±1.4 ^a	12.1±2.2 ^a
b	14.6±1.2 ^a	14.4±2.2 ^a	14.5±2.8 ^a	15.5±1.5 ^a	15.6±0.7 ^a	15.6±1.9 ^a
ΔE	63.0±1.3 ^b	62.9±5.9 ^b	63.0±2.0 ^b	62.0±6.5 ^{ab}	57.0±2.6 ^{ab}	55.1±2.0 ^a

^{a,b}Means within each row followed by the same letter are not statistically different ($P>0.05$). L, Lightness; a, Redness; b, Yellowness; ΔE, Color difference.

를 감소시킴으로써 감귤 효과 및 제품의 shelf-life 향상에도 상당히 기여할 것으로 사료된다. 본 명란젓갈의 shelf-life에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 미생물로 양념젓갈류에 존재하는 단백질 분해균은 원료어와 고춧가루에서 유래되며, 당질을 분해하여 산을 생성하는 세균은 고춧가루, 생강 및 마늘 등에서, 곰팡이는 주로 고춧가루에서 유래되는 것으로 알려져 있다(Lee et al., 2000). 한편 감마선 조사 명란젓갈의 조직감 측정결과 비조사구의 경도는 224.5 g/cm², 조사구는 223.3–252.4 g/cm² 범위로서 조사선량이 증가할수록 약간씩 경도가 증가하는 경향을 나타내었으나 5.0 kGy 조사선량까지는 유의적 차이가 없었다. Cho et al. (1985)은 5.0 kGy의 감마선 조사는 튀김어묵의 강도를 약간 저하시켰으나 3.0 kGy 이하의 조사선량에서는 거의 영향이 없었으며, 그 밖의 조직감 parameter에도 영향을 미치지 않았다고 보고한 바 있다.

비조사구 및 1.0–10.0 kGy 조사구의 표면 색도 변화를 측정된 결과는 Table 5와 같다. 비조사구의 표면 색도는 L 값이 36.3, a 값 15.8, b 값 14.6, ΔE 값은 63.0으로 감마선 조사선량이 증가할수록 L 값 및 b 값은 점차 증가하는 경향을, a 값 및 ΔE 값은 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 조사선량 2.5 kGy 까지는 색도의 변화폭이 미약한 반면 5.0 kGy 이상의 조사에서는 변화폭이 비교적 크게 증가하였다. 이러한 외관 색도의 변화는 육안으로도 관찰되었는데 감마선 조사 명란젓갈의 관능적 품질을 결정하는 가장 중요한 인자가 될 것으로 보인다.

감마선 조사 명란젓갈의 지방산 조성

비조사구 및 1.0–10.0 kGy의 조사구에서 추출한 총지방질의 구성지방산 조성을 분석한 결과는 Table 6과 같다. 비조사구의 주요 구성지방산은 16:0, 16:1n-9, 18:1n-9, 20:5n-3 및 22:6n-3으로 다른 수산물의 경우와 마찬가지로 고도불포화지방산의 조성비가 높았다. 특히 20:5n-3 및 22:6n-3의 조성비가 전체의 38.2%를 차지하여 감마선 조사시 이들 고도불포화지방산의 산화분해가 문제가 될 것으로 보인다. 1.0–10.0 kGy 조사구의 주요 구성지방산도 이와 비슷하였으나, 대체로 조사선량이 증가할수록 16:0 및 18:0은 증가하는 경향을, 18:1n-9, 20:1n-9, 20:5n-3 및 22:6n-3은 감소하는 경향을 나타내었다. 고도불포화지방산의 잔존율(Takiguchi, 1987)을 알 수 있는 (20:5n-3+22:6n-3)/16:0

Table 6. Changes of fatty acid composition in low-salt fermented pollack *Theragra chalcogramma* roe as affected by various gamma irradiation dose

Fatty acid	Irradiation dose (kGy)					
	0	1.0	2.5	5.0	7.5	10.0
14:0	2.6	2.0	2.7	3.2	3.2	3.1
15:0	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2
16:0	20.1	20.3	21.3	22.1	22.2	22.5
16:1n-9	5.1	4.2	5.7	5.5	5.4	5.5
17:0	0.6	0.2	0.6	0.5	0.5	0.3
17:1n-8	0.6	0.7	0.5	0.8	0.5	0.5
16:4n-3	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.6
18:0	2.1	2.0	2.2	2.9	3.2	3.5
18:1n-9	15.1	16.6	14.5	12.6	12.3	12.3
18:1n-7	0.9	1.6	1.0	1.0	0.7	0.7
18:2n-6	2.8	2.9	3.0	3.4	4.5	4.7
18:3n-3	0.4	0.4	0.1	0.5	0.9	0.5
18:4n-3	0.5	0.7	0.3	0.6	0.4	0.4
20:0	tr	tr	tr	tr	0.3	0.1
20:1n-4	4.1	3.5	3.2	4.0	2.4	3.2
20:2n-6	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1
20:3n-6	0.1	0.7	0.1	0.1	0.1	0.2
20:4n-6	1.0	1.1	1.2	1.1	1.8	1.5
20:4n-3	0.4	0.7	0.3	0.4	0.3	0.6
20:5n-3	16.0	15.7	15.6	14.6	14.3	14.2
22:1n-9	1.6	1.3	1.5	1.6	2.2	1.7
22:0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.5	0.2
22:4n-6	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4
22:5n-3	1.4	1.4	1.6	1.4	1.3	1.4
22:6n-3	22.2	22.1	22.3	21.5	21.0	20.8
24:1n-9	1.4	1.0	1.2	1.0	1.2	0.8
RRPF ¹	1.90	1.86	1.78	1.63	1.59	1.56

¹Remaining ratio of polyunsaturated fatty acid, (20:5n-3+22:6n-3)/16:0. tr, trace.

역시 조사선량이 증가할수록 비조사구의 1.90에서 10.0 kGy 조사구의 경우 1.56까지 감소하였다. 이로 미루어 감마선 조사시 고도불포화지방산이 점차 산화분해됨을 확인하였으며, 적정 방사선 조사선량 구명은 이러한 고도불포화지방산 산화분해의 최소화를 충분히 고려해야 할 것으로 생각된다. 수산물에는 일반적으로 16:0, 16:1n-9, 18:1n-9, 20:5n-3 및 22:6n-3 같은 지방산이 다량 함유되어 있는데 이들 지방산에 감마선을 조사하면 중성지방의 carbonyl group의 α 와 β 탄소위치에서 결합이 끊어져 모지방산 보다 탄소수가 1-2개 적은 새로운 이중결합을 지닌 hydrocarbon류가 생기거나 모지방산과 동일한 탄소수를 가지면서 C₂ 위치에 alkyl기를 가진 2-alkylcyclobutanone류가 생성

된다(Letellier and Nawar, 1972; Nawar, 1986). 반면 Kim et al. (2001)은 고추장, 된장과 같은 전통장류는 20.0 kGy까지의 감마선 조사시 18:1n-9 조성의 변화가 일부 관찰되었으나 유의적 차이는 없었으며, 감마선 조사가 지방산 조성의 변화에 거의 영향을 미치지 않았다고 보고한 바 있다.

감마선 조사 명란젓갈의 정미성분

비조사구, 5.0 kGy 및 10.0 kGy 조사구에서 추출한 엑스성분의 유리아미노산 조성을 분석한 결과는 Table 7과 같다. 수산물의 가장 중요한 정미발현성분으로 알려져 있는 유리아미노산의 총합량은 비조사구가 2,339.6 mg/100 g, 5.0 kGy 및 10.0 kGy 조사구는 각각 2,429.8 mg/100 g 및 2,625.5 mg/100 g으로 조사선량이 증가할수록 유리아미노산의 총합량은 약간씩 증가하였다. 비조사구의 주요 유리아미노산은 glutamic acid가 1,065.4 mg/100 g으로 전체의 45.5%를 차지하였으며 다음이 arginine, lysine, leucine, taurine, cystine, proline, threonine 및 isoleucine 순이었다. 5.0 kGy 및 10.0 kGy 조사구의 유리아미노산 조성 역시 이와 비슷하였으나 조사선량이 증가할수록 대부분의 아미노산 함량이 미량 증가하였다. Kim et al. (2001)은 감마선 조사가 전통장류의 유리아미노산, 지방산 및 유기산 조성에 미치는 영향을 검토한 결과 5-10 kGy의 감마선 조사는 장류 제품의 아미노산 조성에 거의 영향을 미치지 않는다고 하였다.

비조사구, 5.0 kGy 및 10.0 kGy 조사구에서 추출한 엑스성분의 무기질 조성을 분석한 결과는 Table 8과 같다. 비조사구의 주요 무기질은 Na가 2,398.5 mg/100 g으로 타 무기질에 비해 월등히 많이 함유되어 있었으며, 다음이 S, P, Fe 및 K 순이었다.

Table 7. Changes of free amino acid contents in low-salt fermented pollack *Theragra chalcogramma* roe extract as affected by various gamma irradiation dose

Amino acid	Irradiation dose (kGy)		
	0	5.0	10.0
Taurine	90.6 (3.9)	89.9 (3.7)	96.2 (3.7)
PE ¹	6.4 (0.3)	6.9 (0.3)	8.0 (0.3)
Urea	61.7 (2.6)	62.5 (2.6)	66.5 (2.5)
Aspartic acid	0.5 (0.1)	0.9 (0.0)	1.5 (0.1)
Threonine	85.0 (3.6)	82.6 (3.4)	90.9 (3.5)
Serine	44.2 (1.9)	44.6 (1.8)	51.2 (2.0)
Glutamic acid	1,065.4 (45.5)	1,091.4 (44.9)	1,115.9 (42.5)
Sarcosine	11.9 (0.5)	13.1 (0.5)	17.6 (0.7)
AAAA ¹	4.8 (0.2)	3.6 (0.1)	5.8 (0.2)
Proline	87.7 (3.7)	88.3 (3.6)	95.6 (3.6)
Glycine	38.7 (1.7)	44.2 (1.8)	56.7 (2.2)
Alanine	76.0 (3.2)	80.8 (3.3)	98.3 (3.7)
AABA ¹	5.7 (0.2)	8.7 (0.4)	11.0 (0.4)
Valine	72.5 (3.1)	82.6 (3.4)	77.7 (3.0)
Cystine	88.2 (3.8)	91.6 (3.8)	111.6 (4.3)
Methionine	24.4 (1.0)	28.4 (1.2)	33.7 (1.3)
Isoleucine	79.5 (3.4)	81.1 (3.3)	92.5 (3.5)
Leucine	93.7 (4.0)	96.8 (4.0)	112.5 (4.3)
Tyrosine	48.0 (2.1)	49.2 (2.0)	53.8 (2.0)
β -alanine	11.2 (0.5)	12.4 (0.5)	13.6 (0.5)
Phenylalanine	44.2 (1.9)	48.2 (2.0)	51.8 (2.0)
Ethanolamine	19.9 (0.9)	30.5 (1.3)	41.3 (1.6)
Lysine	95.3 (4.1)	97.9 (4.0)	109.3 (4.2)
Histidine	21.3 (0.9)	25.6 (1.1)	37.1 (1.4)
Arginine	162.8 (7.0)	168.0 (6.9)	175.4 (6.7)
Total	2,339.6 (100.0)	2,429.8 (100.0)	2,625.5 (100.0)

¹PE, Phosphoethanolamine; AAAA, α -aminoadipic acid; AABA, α -aminobutyric acid.

Table 8. Changes of mineral contents in low-salt fermented pollack *Theragra chalcogramma* roe extract as affected by various gamma irradiation dose

Mineral	Irradiation dose (kGy)		
	0	5	10
Na	2,398.5±22.2 ^b	2,403.5±13.3 ^b	2,392.1±22.1 ^a
K	25.3±1.1 ^a	28.9±0.9 ^b	26.6±0.8 ^a
Ca	18.9±0.1 ^b	20.7±0.3 ^c	17.8±0.1 ^a
Mg	2.8±0.1 ^a	2.7±0.2 ^a	3.3±0.1 ^b
Fe	28.4±0.2 ^a	31.4±0.5 ^c	30.0±0.1 ^b
Zn	7.3±0.1 ^a	7.0±0.6 ^a	8.6±0.2 ^b
Cu	11.6±0.1 ^a	13.3±0.2 ^c	12.1±0.1 ^b
P	117.8±0.1 ^a	118.3±0.4 ^{ab}	118.7±0.2 ^b
S	283.8±8.6 ^b	279.7±6.7 ^b	260.8±8.3 ^a
Se	1.2±0.2 ^b	1.0±0.0 ^{ab}	0.8±0.1 ^a

^{a-c}Means within each row followed by the same letter are not statistically different (P>0.05).

5.0 kGy 및 10.0 kGy 조사구의 무기질 함량 및 조성 역시 비조사구와 거의 비슷하여 감마선 조사에 의한 무기질의 변화는 거의 없었다. 이상의 결과에서 저염 명란젓갈의 감마선 조사선량은 2.5-5.0 kGy가 적당하였으며, 표면 색도의 변화, 잔존균수의 감균 효과 및 지방산화 등을 적정 조사선량 결정인자로 활용할 수 있다는 결론을 얻었다.

사 사

이 논문은 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(2018-0854)의 결과로서 이에 감사드립니다.

References

- Ahn HJ, Lee CH, Lee KH, Kim JH, Cha BS and Byun MW. 2000. Processing of low salted and fermented shrimp using gamma irradiation before optimum fermentation. *Korean J Food Sci Technol* 32, 1107-1113.
- AOCS (American Oil Chemists' Society). 1990. AOCS official method Ce 1b-89. In: *Official Methods and Recommended Practice of the AOCS*, 4th ed. AOCS, Champaign, IL, U.S.A.
- APHA (American Public Health Association). 1970. Recommended Procedures for the Bacteriological Examination of Sea Water and Shellfish. 3rd ed. Am Pub Health Assoc Inc., New York, NY, U.S.A., 17-24.
- Bligh EG and Dyer WJ. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can J Biochem Physiol* 37, 911-917. <https://doi.org/10.1139/o59-099>.
- Byun MW. 1997. Application and aspect of irradiation technology in food industry. *Food Sci Ind* 30, 89-100.
- Byun MW and Lee JW. 2003. Application of irradiation technology for food safety and security. *Food Sci Ind* 36, 25-40.
- Byun MW, Kwon JH and Lee SJ. 1991. Effect of gamma irradiation on the microbiological and organoleptic qualities of salted sea mustard (*Undaria pinnatifida*). *Korean J Food Hygiene* 6, 157-163.
- Cho HO, Kwon JH, Byun MW and Lee MK. 1985. Preservation of fried fish meat paste by irradiation. *Korean J Food Sci Technol* 17, 474-481.
- Cho KH, Lee JW and Kim JH. 2002. Improvement of the hygienic quality and shelf-life of *Kwamegi* from *Cololabis seira* by gamma irradiation. *Korean J Food Sci Technol* 32, 1102-1106.
- Chung JR. 1974. Microbiological and chemical changes in the pacific oysters, *Crassostres gigas* exposed to gamma radiation during ice storage. *Korean J Fish Aquat Sci* 7, 221-228.
- Jo CR, Kim DH, Lee WD, Lee JJ and Byun MW. 2003. Application of Gamma Irradiation on manufacturing *Changgran Jeotgal*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32, 673-678. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2003.32.5.673>.
- JSSRI (Japanese Soy Sauce Research Institute). 1985. Analysis method of soy sauce. In: *Acidity*. Sanyushain Ins Co., Tokyo, Japan.
- Kim DH, Kim JO, Cha BS, Lee JY and Byun MW. 2001. Effects of the gamma irradiation on composition of free amino acid, fatty acid and organic acid of soybean-based fermentation food. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 30, 777-781.
- Kim DS, Koizumi C, Chung BY and Cho KS. 1994. Studies on the lipid contents and fatty acid composition of anchovy sauce prepared by heating fermentation. *Korean J Fish Aquat Sci* 27, 469-475.
- Kim JH, Jeon JY, Ryn SR, Kim YJ and Suh CS. 2004. Microbial quality and physicochemical changes of grilled fish paste in a group-meal service affected by gamma irradiation. *Korean J Food Preserv* 11, 522-529.
- Kim JH, Lee KH, Ahn HJ, Cha BS and Byun MW. 1999. Effects of gamma irradiation on microbiological and sensory qualities in processing of low salted and fermented squid. *Korean J Food Sci Technol* 31, 1050-1056.
- Kim SM. 1996. The effects of sulfite salts on the shelf-life of low-salted *Myungran-jeot* (soused roe of Alaska pollack). *Korean J Food Sci Technol* 28, 940-946.
- Kim SM and Lee KT. 1997. The shelf-life extension of low-salted *Myungran-Jeot*. *J Korean Fish Soc* 30, 459-465.
- KSFSN (Korean Society of Food Science and Nutrition). 2000a. Handbook of experimental in food science and nutrition. In: Chapter 2. Analysis of Food Proximate Composition. Hyoil Pub Co., Seoul, Korea.
- KSFSN (Korean Society of Food Science and Nutrition). 2000b. Chapter 9. 5. Measurement of food freshness. In: Handbook of Experimental in Food Science and Nutrition. Hyoil Pub Co., Seoul, Korea.
- Lee HS, Lee WD, Koh BH and Lee MS. 2000. Preparation of squid *Jeotkal* with pasteurized red pepper powder by ohmic heating. *J Food Hyg Saf* 15, 13-17.
- Lee JW, Cha BS, Kim, MC and Byun MW. 2002. Application of gamma irradiation for prolonging shelf-life of semi-dried squid (*Todarodes pacificus*). *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31, 469-474.
- Lee NY, Jo CH, Lee WD, Kim JH and Byun MW. 2003. Physicochemical characteristics of gamma irradiated *Changgran Jeotkal* during storage at 10°C. *Korean J Food Sci Technol* 35, 1129-1134.
- Lee WD, Chang DS and Kang SM. 2001. Development of new manufacturing process for *Changgran-Jeotgal*. *J Korean Fish Soc* 34, 109-113.
- Letellier PR and Nawar WW. 1972. 2-Alkylcyclobutanones from the radiolysis of triglycerides. *Lipids* 7, 75-76. <https://doi.org/10.1007/BF02531273>.
- Nawar WW. 1986. Volatiles from food irradiation. *Food Rev Int* 2, 45-78. <https://doi.org/10.1080/87559128609540788>.

- Noh JE, Byun MW and Kwon JH. 2002. Quality and thermoluminescence properties of γ -irradiated boiled-dried anchovies during storage. *Korean J Food Preserv* 9, 19-27.
- Ohara T. 1982a. Chapter II. 2.D.4. Formol titration method. In: *Food Analysis Handbook*. Kenpakusha, Tokyo, Japan.
- Ohara T. 1982b. Chapter II. 5.B. Quantitative analysis of minerals. In: *Food Analysis Handbook*. Kenpakusha, Tokyo, Japan.
- Roberts T and Unnevehr L. 1994. New approaches to regulating food safety. *Food Rev* 17, 2-8. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.266143>.
- Takiguchi A. 1987. Lipid oxidation and hydrolysis in dried anchovy products during drying and storage. *Bull Japanese Soc Sci Fish* 53, 1463-1469. <https://doi.org/10.2331/suisan.53.1463>.
- Tarladgis ZG, Watts BM, Younathan MT and Jr LD. 1960. A distillation method for quantitative determination of malonaldehyde in rancid food. *J Am Oils Chem Soc* 37, 44-48. <https://doi.org/10.1007/BF02630824>.
- WHO (World Health Organization). 1981. Wholesomeness of irradiation food. In: *Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee*. Technical report series 659. WHO, Geneva, Switzerland.
- Yook HS, Cha BS, Kim DH, Lee JW and Byun MW. 2004. Genotoxicological safety of gamma-irradiated salted and fermented anchovy sauce. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33, 1192-1200. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2004.33.7.1192>.