

특집 : 발효식품에서 효소와 방사선 이용 및 김치의 기능성

발효식품의 감마선 조사

김동호¹ · 육홍선² · 변명우^{1*}

¹한국원자력연구소 방사선이용연구부

²충남대학교 식품영양학과

Gamma Irradiation on Fermented Foods

Dong-Ho Kim¹, Hong-Sun Yook² and Myung-Woo Byun^{1*}

¹Dept. of Radiation Application, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon 305-353, Korea

²Dept. of Food and Nutrition, Chungnam National University, Daejeon 305-754, Korea

서 론

식품의 발효과정에서는 미생물의 작용에 의하여 고분자 영양물질의 분해와 다양한 2차 대사산물의 생성이 유도된다. 따라서 식품의 발효를 통하여 원래의 원료가 가지고 있는 고유 특성 이외에도, 소화흡수도 향상, 새로운 기능성 형성, 관능 향상 등을 제품특성으로 제공할 수 있는 다양한 식품의 생산이 가능하다. 현대 식품산업에서의 발효식품은 전통적인 저장식품으로서 역할보다는 점차 기능성식품이나 기호식품으로서의 가치가 중요하게 평가되고 있는 추세이다. 특히 김치나 장류 등의 우리나라 전통 발효식품이 항암성, 면역기능성, 항산화성, 혈전용해 등의 기능성이 가장 높은 식품군으로 소개되고 있어 세계적으로 많은 관심을 받고 있다(1). 따라서 그동안 저장성 식품으로서의 역할이 주를 이루었던 우리나라의 전통 발효식품을 기능성식품으로 상품화하여, 이를 세계적 식품으로 발전시키기 위한 노력이 학계, 산업계를 중심으로 활발히 진행되고 있다. 그러나 아직까지 우리나라의 전통 발효식품을 세계적인 식품으로 발전시키기까지는 해결해야 할 과제가 적지 않다. 여기에는 세계 각국의 식문화적 특성에 맞는 제품의 개발, 맛이나 질감 등의 품질특성 개선, 디자인 및 유통전략과 같은 마케팅 기술, 국제교역에서의 검역 체계 구축 등과 같은 여러 가지 요인이 복합적으로 혼재되어 있다. 특히 이러한 여러 문제들 가운데 발효식품을 상품으로 유통하는데 따른 보존성의 확보는 우리나라 전통 발효식품의 상품화에서 가장 시급한 기술적 문제로 지적되고 있어 새로운 기술개발의 필요성이 크다.

발효식품에는 발효과정에서 유래한 다양한 미생물들이 발효 이후에도 고밀도로 생존하므로 제품 자체의 보존뿐

만 아니라 이들 발효제품을 이용한 다양한 2차 가공식품 - 소스, 드레싱, 토핑, ready to eat, ready to cook, 기타 fusion 식품 등 - 의 개발에도 커다란 제한요소가 되고 있다(2,3). 또한 우리나라의 김치, 장류, 젓갈 등에는 발효과정의 미생물 성장조절과 장기적인 보존성 확보를 위하여 과량의 식염이 첨가되는데, 이 또한 고염식이를 기피하는 현대의 식생활 문화에 부합하지 못한 것이므로 제품의 저염화를 위한 기술개발이 시급하다. 발효식품의 보존성 확보와 저염화를 위해서는 식품의 관능이나 외관, 기능성 등에는 영향을 주지 않고 발효식품의 미생물만을 선택적으로 제어할 수 있는 기술의 개발이 필요하다. 그러나 발효식품 고유의 제품 특성으로 인하여 기존의 살균 및 미생물 제어방법으로는 위의 목표를 달성하기 어려운 것이 현실이므로 새로운 기술개발이 이루어져야 한다.

이러한 상황에서, 최근 한국원자력연구소를 중심으로 진행된 『방사선을 이용한 전통 발효식품의 새로운 가공 기술 개발』에 관한 일련의 연구는 우리나라 전통 발효식품의 보존성 향상과 안정성 확보, 그리고 가공식품 원료로서의 활용도를 넓힐 수 있는 충분한 가능성을 제시하고 있다. 발효식품에 대한 감마선 조사 기술의 적용 연구는 장류, 젓갈, 김치 그리고 장류를 이용한 가공식품 등의 식품군을 대상으로 최근 5년 동안 광범위하게 검토되었다. 연구의 주요내용은 ① 발효식품별로 각기 서로 다른 microflora의 방사선감수성 평가, ② 보존안전성 확보를 위한 유효 방사선 조사선량 설정, ③ 방사선 조사에 따른 발효식품의 이화학적 품질특성 변화, ④ 방사선 조사가 발효식품의 기능성에 미치는 영향, ⑤ 유전독성학적 안전성, ⑥ 저염화 공정의 개발 등으로 정리할 수 있으며, 발효초기 병원성 미생물의 오염이 우려되는 김치나 저염 젓갈류에서는 ⑦ 병원

*Corresponding author. E-mail: mwbyun@kaeri.re.kr
Phone: 042-868-8060 Fax: 042-868-8043

성 미생물에 대한 검출 및 제어에 관한 연구가 검토되었다.

식품의 방사선 조사기술은 FAO/WHO/IAEA, US FDA, USDA, CODEX 등의 적극적인 실용화 추진에 의하여, 연간 수십만 톤의 농수산물 및 가공식품이 방사선 처리되어 유통되고 있으며 향후 국제교역에서 가장 안전한 검역기준으로 정착될 전망이다. 방사선 조사기술의 적용범위 또한 농산물의 발아나 숙도의 억제, 미생물의 살균에 의한 부패방지 수준에서 위생화와 가공적성 개선 등으로 확대되고 있으며, 대상 식품도 향신료, 곡류, 분말형 식품 등에서 신선육과 가공식품 전반, 그리고 의약품, 화장품, 의료기구 등의 공중보건 제품까지 급속히 확대되고 있다. 이러한 결과는 잔류독성이 없고 식품 고유의 풍미와 생화학적 품질을 유지하면서도 미생물에 대하여 선택적인 살균효과를 나타내는 방사선 조사 기술의 특성에 기인한 것으로(4,5), 이러한 기술적 특성은 발효식품의 보존성 향상과 저염화를 실현하는데도 유효한 기술로 활용될 수 있다. 아래에 우리나라 전통발효식품의 보존성 및 위생성 향상과 저염화 등을 목적으로 방사선 조사기술을 적용한 연구결과를 장류, 젓갈류, 김치 순으로 간략히 소개하고자 한다.

장류제품에 대한 방사선 조사

우리나라의 장류제품은 영양학적인 관점 뿐 아니라 기능적으로도 우수한 식품으로 평가되고 있으나 상품으로서의 저장성 확보가 어렵고 염 농도가 높으므로, 장기안전 저장 및 저염화 기술개발을 목표로 감마선 조사기술의 적용 연구를 수행하였다. 연구에 사용한 장류 제품은 청국장, 찜장, 된장, 고추장, 간장, 메주 등을 대상으로 하였으며 각 시료에 0~20 kGy의 범위로 감마선을 조사한 다음 보존기간의 경과에 따라 미생물의 사멸 및 성장, 각 제품의 이화학적 특성, 외관, 관능, 기능성 등의 변화를 종합적으로 검토하고 산업적으로 적용 가능한 유효 감마선 조사선량을 제시하였다.

감마선 조사를 이용한 된장의 저장성 향상 기술개발을 위하여, 된장에 분포하는 *Bacillus*, 효모, *Lactobacillus*의 감마선 감수성과 조사 후 성장변화를 살펴보았다. 된장에 분포하는 *Bacillus*의 D_{10} 값은 약 5.26 kGy로 계산되었으며 이는 일반적인 *Bacillus*의 endospore보다 높은 수준이었다. 감마선을 조사하지 않은 된장의 효모와 젖산균은 보존 초기 10^3 cells/g에서 상온 보존 12주 후 $10^5 \sim 10^6$ cells/g 수준으로 증가하였으나, 감마선 조사구에서는 보존기간 동안 효모와 젖산균이 거의 검출되지 않았다. 이러한 결과는 장류 제품의 품질열화가 대부분 효모와 젖산균에 의하여 진행된다는 사실을 감안할 때, 방사선 조사를 통하여 된장의 안정적인 품질유지가 가능한 것으로 평가되었다.

된장의 보존 중 갈변도는 감마선 조사구와 비조사구간에 유의적인 차이를 나타내지 않아 감마선 조사에 의하여 갈변이 억제되었다고 보고된 찜장이나 메주와는 다른 결과를 보여주었다. 이는 숙성이 완료된 된장에서의 갈변이 미생물의 작용보다는 Maillard 반응, 산화, 효소작용 등과 같은 화학적, 생화학적 작용에 의존하기 때문인 것으로 해석되었다. 된장의 품질특성과 관능은 10 kGy의 감마선 조사에서 영향을 받지 않았다. 최종적으로 된장의 보존성 향상을 위한 감마선 조사선량은 10 kGy이며, 이 경우 보존료를 첨가하지 않고도 상온 6개월 이상의 보존이 가능한 것으로 평가되었다(6).

감마선을 조사한 고추장의 *Bacillus*, 효모, 젖산균의 생존율과 보존기간 동안의 성장변화 측정에서, 고추장의 *Bacillus*는 비조사구에서 10^7 cells/g 수준이었으며 10 kGy의 감마선 조사구는 10^5 cells/g까지, 20 kGy 조사구는 10^3 cells/g까지 감소되었다. 효모와 젖산균은 비조사구에서 $10^3 \sim 10^4$ cells/g의 분포를 보였으며 10 kGy 이상의 감마선 조사에서는 완전사멸에 가까운 살균효과를 보였다. 고추장의 변패 역시 다른 장류와 마찬가지로 효모나 젖산균 등에 의한 가스의 생성, pH 저하 등이 주요 요인이므로 10 kGy 수준의 감마선 조사를 통하여 이들 미생물을 완전 살균함으로써 고추장의 위생성과 보존성을 향상시키고, 조미식품 및 식품첨가물로서의 활용 범위를 넓힐 수 있을 것으로 기대된다. 고추장의 갈변도는 대조구와 감마선 조사구, 그리고 주정 및 sorbic acid를 첨가한 시험구 모두 보존기간에 따라 증가하였으며 각 시험구간에 큰 차이는 관찰되지 않았다. 이상과 같은 결과로 보아 고추장의 보존성 향상을 위한 감마선 조사의 적정 선량은 10 kGy 수준으로 생각되며 이 때 보존기간은 6개월 이상이나, 고추장을 소스 등의 원료로 사용할 경우에는 *Bacillus*의 살균을 목표로 20 kGy 이상의 조사선량이 필요할 것으로 사료되었다(7).

발효가 완료된 청국장의 *Bacillus*는 비조사구에서 10^8 cells/g이었던 것이 5 kGy의 감마선 조사에는 10^6 cells/g으로, 10 kGy에서는 10^3 cells/g으로 감소하였으며 20 kGy 감마선 조사에는 10^0 cells/g까지 감소되어 거의 완전 사멸에 가까운 결과를 보여주었다. 이 때 *Bacillus*의 D_{10} 값과 $12D$ 값은 각각 1.78 kGy와 23.25 kGy로 계산되었다. 이러한 결과는 메주에 분포하는 *Bacillus*의 D_{10} 값인 2.28 kGy나 일반적인 *Bacillus* 포자의 D_{10} 값으로 알려진 2.40 kGy에 비하여 유의적으로 낮은 값으로, 이는 청국장의 *Bacillus*가 대부분 영양세포의 상태로 존재하기 때문에 포자에 비하여 감마선에 대한 저항성이 감소된 것으로 해석되었다. 청국장의 보존성 향상을 위한 감마선 조사선량은 5 kGy가 유효하였으며, 이 경우 보존료를 첨가하지 않고 상온 1개월, 냉장 2개월 이상의 보존이 가능할 것으로 예상되었다

(8).

감마선을 조사한 전통메주의 보존특성 연구 결과, 10 kGy의 감마선 조사에 의하여 *Bacillus*, 곰팡이, 효모, 젖산균 등의 메주 미생물을 유의적으로 제어할 수 있었다. 감마선 조사 후 상온에서 12개월 보존한 메주와 제조된 지 1개월 이내의 메주로 간장을 제조하여 제품의 일반규격과 관능을 비교한 결과, 10~20 kGy의 감마선 조사 후 12개월 보존한 메주로 제조한 간장의 품질특성이 새 메주로 제조한 것과 차이가 없었다. 본 연구를 통하여 대량생산이나 장기보존이 어렵고 생산시기가 제한된 전통메주의 보존성 향상 목적으로 감마선 조사기술을 적용할 경우, 10 kGy 수준의 감마선 조사가 메주의 보존성 확보에 매우 유효함을 확인하였다. 한편, 메주의 연구와 관련하여 메주의 산업적 압출성형공정에서 증자대두의 성형온도가 메주의 압착밀도에 영향을 줌으로써 메주품질에 결정함을 확인하였으며, 이를 기초로 성형온도 85°C 이상을 기준으로 하는 산업화 공정을 제시하였다(9,10).

감마선 조사를 이용한 간장의 품질특성 연구에서는 양조간장과 한식간장에 5, 10, 20 kGy의 선량으로 감마선을 조사하고 상온에 18주간 보존하면서 간장의 미생물 및 일반품질 변화를 조사하였다. 간장의 *Bacillus*는 10 kGy의 감마선 조사에 의하여 5 log cycle 이상 제거되었으며 효모와 젖산균은 5 kGy의 선량에서도 완전 사멸 수준의 살균효과를 보였다. 간장 보존 중, 일반품질 평가 요소인 총질소, 아미노산성질소, 중성단백분해효소 활성, pH 등은 감마선 조사에 의하여 영향을 받지 않았고 보존기간 중에도 안정적인 품질 수준을 유지하였다. 간장의 갈색도는 감마선 조사 직후에 낮아졌으나 보존 2주 이후부터는 비조사구의 수준으로 환원되었다. 감마선을 조사한 간장은 관능적으로도 안정된 품질 수준을 유지하였다. 따라서 10 kGy 수준의 감마선 조사는 간장의 보존·유통 및 가공에서 위생화 및 미생물적, 이화학적, 관능적 품질을 유지하는데 유용한 방법이 될 수 있을 것으로 평가되었으며 이 때 유효 보존기간은 상온 1년 이상이었다(11).

감마선 조사 장류제품의 영양성분 및 효소활성의 변화를 살펴본 결과, 감마선 조사 전후의 된장, 고추장, 간장 및 청국장의 유리 아미노산, 지방산, 유기산의 함량 및 조성은 20 kGy 조사선량 범위의 모든 시료에서 대조구와 유의적인 차이가 관찰되지 않았다(12). 선행연구결과에서 된장, 고추장 및 청국장의 보존성을 확보하기 위한 감마선 조사선량으로 5~10 kGy를 제시하고 있으므로 이 조사선량 범위에서는 감마선 조사가 장류제품의 영양성분 조성에 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다. 한편, 장류제품에 감마선을 조사하더라도 가수분해효소와 혈전용해효소 등의 효소활성에는 큰 변화가 없었다(13). 선행연구결과에 비추어 볼 때, 장류제품 보존 중의 유기물의 분해,

부정적인 품질변화 등은 감마선 조사에 의하여 현저히 억제될 수 있었으며 그 주요 요인이 미생물의 성장여부에 있었다고 하였으므로 상대적으로 미생물의 직접적인 역할에 비하여 잔존효소의 활성은 품질변화에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 평가되었다. 또한 다른 한편으로는 장류의 효소적 기능성으로 알려진 혈전용해효소 활성을 그대로 유지시키는 긍정적인 효과가 확인되었으며 발효과정 중의 조사시기에 따라 미생물을 제어한 상태에서도 후숙 등의 과정을 진행할 수 있을 것으로 예상되었다.

감마선 조사를 이용한 저염된장의 가공기술 개발연구에서는 숙성이 완료된 된장에 염도 4%의 청국장을 혼합하여 각각 염도 8%, 6%의 저염된장을 제조한 다음 0, 5, 10, 20 kGy의 감마선을 조사하여 상온에 숙성, 보존하면서 보존기간 중의 미생물 및 일반 품질 특성 변화를 검토하여 최적 염도 및 감마선 조사선량을 결정하였다. 연구결과, 된장과 청국장을 혼합한 다음 감마선을 조사하여 관능 및 보존성이 우수한 저염된장을 제조하는데 필요한 적정 조사선량은 염도 6%에서는 10 kGy가, 염도 8%에서는 5~10 kGy가 적합할 것으로 평가되었으며 이 경우 별도의 살균 및 보존처리 없이 상온 6개월의 보존기간을 확보할 수 있었다(14).

발효식품의 방사선 조사가 관능 및 이화학적 보존성을 확보하고 독성물질을 제거할 수 있는 유효한 기술이라 할지라도 발효식품의 또 다른 품질특성인 기능성에 영향을 주거나 다른 독성물질이 생성된다면 이를 산업적으로 적용하기는 어려울 것이다. 그러나 지금까지의 연구결과는 방사선 조사가 기능성을 변화시키지 않으며 독성학적으로도 안전하다는 매우 명확한 답변을 제시하고 있다. 그림 1은 감마선을 조사한 청국장과 된장의 Tyrosinase inhibition 효과와 Xanthine oxidase(XOase) inhibition 효과를 비교한 것으로 20 kGy의 고선량 조사에서의 Xanthine oxidase(XOase) inhibition 효과가 감소되었을 뿐 다른 시험구에서는 변화가 없음을 보여주고 있다(Fig. 1)(1). 아울러 감마선을 조사한 발효식품의 독성안전성 평가는 미생물을 이용한 유전독성학적 평가, SOS chromo test, 동물실험 등을 통하여 지속적으로 수행되어 왔으며 모든 시료에서 독성학적인 이상 소견을 나타내지 않았다(15,16).

젓갈에 대한 방사선 조사

젓갈은 우리나라의 전통 수산발효식품으로, 독특한 풍미와 영양, 기능성 등으로 인하여 반찬 및 조미식품으로 널리 사용되고 있으나 발효, 숙성 과정에서 20~30%, 또는 그 이상의 식염이 첨가되므로 특히 고염 식이에 따른 국민 건강의 위해 가능성이 제기되고 있다. 따라서 젓갈의 저염

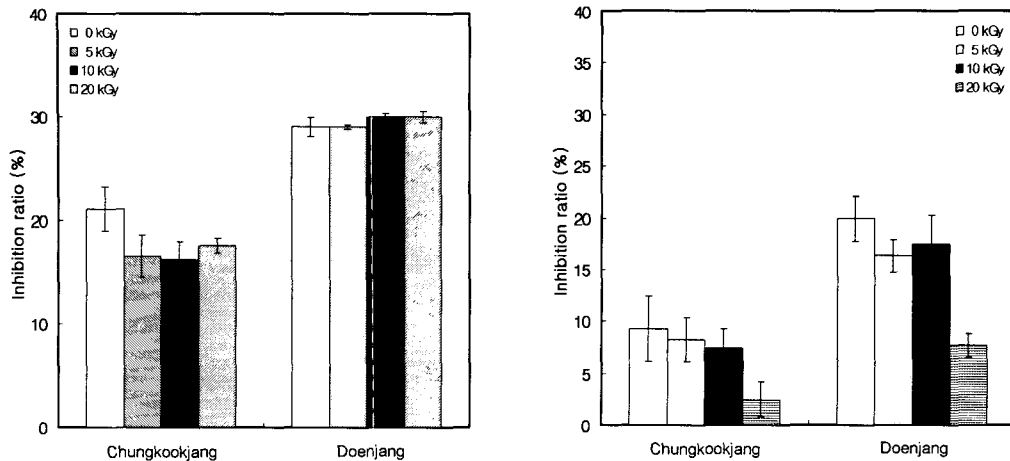


Fig. 1. Effect of gamma irradiation on the tyrosinase inhibition (left) and xanthine oxidase (XOase) inhibition activity in Chungkookjang and Doenjang.

화를 위한 연구 및 기술개발의 필요성이 절실하나 아직까지 산업적으로 적용이 가능한 기술의 개발은 이루어지지 못하고 있어 감마선 조사를 이용한 젓갈의 저염화 및 안전 저장을 위한 연구를 수행하였다. 시료는 사용빈도가 높은 새우젓과 오징어 젓갈, 창란 젓갈, 멸치액젓을 대상으로 하였으며 담금 직후, 또는 적정 숙성기에 0~10 kGy의 범위로 감마선을 조사한 다음 숙성 및 보존기간의 경과에 따라 미생물, 이화학적 성분, 외관, 관능, 기능성 등의 변화를 살펴보았다. 저염화를 위한 젓갈의 염도는 기존 제품의 50%를 목표로 설정하였다.

젓갈 발효과정 중의 미생물 분포는 각 시료에 따라 약간의 차이를 보였으나 *Lactobacillus* spp., *Staphylococcus* spp.가 우점종이었으며 발효 40일째에 염도 5%와 10%에서는 10^8 CFU/mL 수준까지, 염도 20%에서는 10^7 CFU/mL까지 성장하였다. 발효미생물의 동정 결과, *L. plantarum*이 전 실험구에 걸쳐 가장 일반적인 발효균으로 분리되었으며 *Lactobacillus* sp., *Mic. varians*, *Streptococcus* sp., *Mic. morrhuae* 등도 주요 미생물로 검출되었고 *L. brevis*, *Ped. halophilus*, *Pse. diminuta* 등은 방사선 감수성이 컸고 *L. plantarum*, *Mic. morrhuae* 등은 방사선에 대한 저항성이 높았다. 감마선을 조사한 젓갈은 5 kGy 단위로 평균 1 log cycle에 해당하는 성장억제 효과를 나타내어 감마선 조사를 통하여 저염 조건에서도 미생물의 성장을 조절할 수 있음을 확인하였다.

아미노태질소, 휘발성 염기태질소, trimethylamine, hypoxanthine 등의 이화학적 품질 요소와 관능 등을 평가한 결과 오징어젓갈은 10%, 새우젓은 15%의 식염을 첨가한 다음 10 kGy의 감마선을 조사하고 15°C에서 숙성시킨 제품이 가장 안정적이고 우수한 품질 특성을 나타내었다.

저염 젓갈 제조의 또 다른 공정으로, 저염 새우젓을 담은 다음 감마선 조사를 하지 않은 상태로 숙성시켜 적정

숙성 단계에 이르렀을 때 감마선을 조사하는 공정모델의 연구를 실시하였다. 새우젓의 적정 숙성 기준은 아미노태질소의 함량이 400 mg%에 이르는 시점이었으며 15%의 염도에서는 15°C-4주, 20%의 염도에서는 15°C-6주의 단기간에 적정 숙성에 도달하였다. 적숙기의 새우젓에 감마선을 조사한 결과 5 kGy에서는 4 log cycle, 10 kGy에서는 5 log cycle 내외의 미생물 살균 효과가 있었으며 보존기간의 경과에도 미생물의 생장은 관찰되지 않았다. 특히, 15% 식염과 10 kGy의 감마선처리구, 20% 식염과 5 kGy의 감마선 처리구의 아미노태질소, 휘발성 염기태질소, 단백질해효소활성 및 trimethylamine 등의 함량은 30%의 고염 새우젓과 비슷한 수준을 나타내었다.

창란젓갈은 원료자체의 미생물 오염도가 높으며 고춧가루, 채소 등이 가미되므로 위해미생물의 검출가능성이 크다. 창란젓갈의 위해미생물은 대부분 5 kGy 이내의 선량에서 제거되었으며 새우젓 등과 마찬가지로 기존 제품의 염도에 비하여 50% 내외의 저염화가 가능하였다(17-19). 또한 감마선 조사를 통하여 젓갈을 비롯한 발효식품의 발효과정에서 생성되는 아민류의 생성을 감소시킬 수 있음을 확인하였다(20,21). 따라서 감마선 조사는 젓갈의 저염화, 위생화 및 미생물적 품질을 유지하는데 유용한 방법이 될 것으로 평가되었다(22).

김치에 대한 방사선 조사

김치에 대한 감마선 조사기술의 적용 연구는 크게 채소로부터 유래한 발효초기의 병원성 미생물 제어와 적정 숙성도 유지기간의 연장을 목표로 수행되었다.

김치 담금 직후 SS agar(*Salmonella*, *Shigella* 및 enteric bacteria 선택배지) 분리균주는 10^4 CFU/g의 수준으로 pathogen의 오염도 가능성이 매우 높았다. SS agar 분

리균주는 발효기간의 경과에 따라 점차 자연적으로 사멸되었으나 발효 10일차까지도 검출되었다. 따라서 김치의 수출에서 발효초기 제품의 경우 병원성 미생물의 검출로 국제교역에서 검역상의 문제가 발생할 수 있을 것으로 사료되어 감마선 조사기술의 적용이 필요할 것으로 사료되었다. 김치 담금 직후 감마선 조사 시, 1 kGy의 선량에서 SS agar 분리균주의 밀도는 10² CFU/g 수준으로 감소하였고 3일 이후에는 검출되지 않았으며 2 kGy 이상의 선량에서는 enteric bacteria가 사멸되었다. 김치에서 분리된 enteric bacteria는 *Enterobacter agglomerans*, *Salmonella typhimurium*, *Alcaligenes xylosoxydans* 등으로 동정되었다. 한편 SS agar에서 분리된 enteric bacteria의 D₁₀값은 0.3 kGy 내외이고 김치발효에 관여하는 산생성 세균의 D₁₀값은 0.9 kGy 수준이므로(Fig. 2) 조사선량에 따라 enteric bacteria와 산생성 세균의 선택적 제어가 가능할 것으로 사료되었다. 김치의 발효에 관여하는 산생성 세균은 3 kGy의 선량에서도 완전 사멸되지 않고 발효의 경과에 따라 성장하였으며 조사선량이 증가함에 따라 산생성세균의 생장이 지연되어 김치의 발효속도 조절이 가능할 것으로 사료되었다(Fig. 3)(23).

김치발효 미생물은 같은 종이라도 염도에 따라 감마선 감수성이 달라지므로 산업적 적용 시 이에 대한 고려가 필요할 것으로 사료되었다. 실험결과, 효모 *Phichia subpelliculosa*, 산생성 세균 *Leuconostoc mesenteroides*, *Pediococcus halophilus* 모두 배양액의 염도가 높아질수록 감마선 저항성이 높아졌다. 또한 고염 발효 미생물의 감마선 저항성은 조사 시점의 환경보다 미생물의 성장환경에 의하여 결정됨을 확인하였다(24).

김치의 감마선 조사가 김치의 영양성분, 질감, 관능 등의 일반 품질에 직접적인 영향을 미치는지 살펴보기 위하

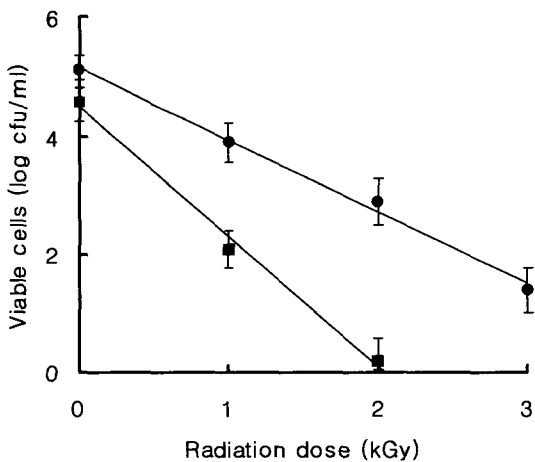


Fig. 2. Effect of gamma irradiation on the viability of *Lactobacillus* and enteric microbes. Symbols are ●, *Lactobacillus* group; ■, enteric microbes on SS agar plate.

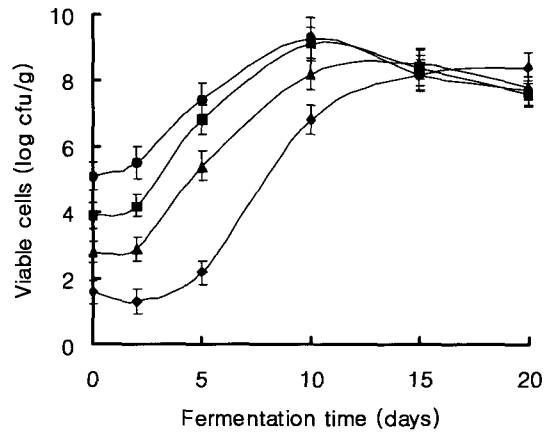


Fig. 3. Growth of *Lactobacillus* during the fermentation period of gamma irradiated and non-irradiated Kimchi. Symbols are ●, 0 kGy; ■, 1 kGy; ▲, 2 kGy; ◆, 3 kGy.

여 김치를 10°C에서 5일간 숙성시킨 후 각각 0, 2.5, 5.0, 10.0 kGy의 감마선을 조사하여 아미노산 및 유기산의 함량, 기계적 texture, 기계적 색도를 측정하였다. 또한 감마선 조사선량에 따른 김치의 관능차이를 triangle test와 선호도 검사로 평가하였다. 감마선 조사 직후 김치의 아미노산 함량 및 조성을 분석한 결과 10 kGy 이내의 조사선량에서 아미노산과 유기산 함량의 유의적인 변화는 나타나지 않았다. 감마선 조사 직후 김치의 기계적 texture를 분석한 결과 10 kGy 이내의 조사선량에서 total force 및 share의 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 감마선 조사 직후 김치의 L, a, b값을 측정한 결과 5 kGy 이내의 조사선량에서 색도의 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 그러나 10 kGy에서는 L값의 증가와 a값의 감소가 관찰되어 김치의 색상변화가 있을 것으로 평가되었다. 감마선 조사 직후 김치의 pH를 분석한 결과 10 kGy 이내의 조사선량에서 pH의 유의적인 변화는 관찰되지 않았다. 감마선을 조사하지 않은 대조구와 감마선 조사 시료의 관능평가 결과, 5 kGy 이내의 감마선 조사에서는 비조사구와 조사구의 차이를 인식하지 못하였으나 10 kGy의 감마선을 조사한 김치는 panel의 90%가 차이를 인식하였다. 10 kGy의 감마선을 조사한 김치는 texture를 제외한 색, 향, 맛 모두에서 5 kGy 이하의 조사 시료나 비조사 시료에 비하여 선호도가 낮았다. 따라서 김치의 감마선 조사는 5 kGy 이내의 선량이 유효할 것으로 사료되었다(25).

김치의 항균효과, 항산화효과 등의 기능성은 김치의 가장 유용한 품질특성이므로 감마선 조사에 의하여 김치의 보존성을 확보하더라도 유용한 기능성이 파괴된다면 김치의 감마선 조사는 산업적 적용에 제한을 받게 될 것이다. 10 kGy 이내의 감마선 조사에서 김치의 angiotensin converting enzyme(ACE) 저해효과, xanthine oxidase(XOase)의 저해효과 등의 기능성은 그 활성에 차이가 나

타나지 않았다 (Fig. 4). 마찬가지로 10 kGy 이내의 감마선 조사에서 김치의 전자공여능과 DPPH radical 소거능, 그리고 김치의 항균성 등도 대조구와 감마선 조사구 사이에 유의적인 차이가 없었다.

김치는 미생물의 발효작용으로 제조되므로 김치의 보

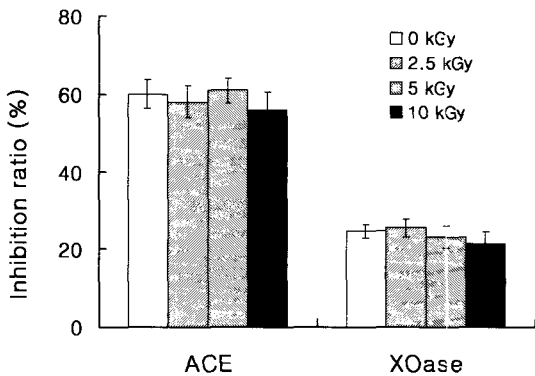


Fig. 4. The effects of gamma irradiation on the inhibition activity of Kimchi against angiotensin converting enzyme (ACE) and xanthine oxidase (XO).

존성을 최대화하기 위해서는 각기 다른 발효단계에서의 적절한 발효미생물 제어 기술이 필요하다. 따라서 김치의 발효초기와 적정 숙성기 도달 이후로 구분하여 감마선을 조사한 다음 어느 시기의 감마선 조사가 산업적 적용에 적합할 것인가를 살펴보았다(26). 발효초기의 감마선 조사시 조사선량의 증가에 따라 초기 젖산균의 밀도가 낮아졌으며 발효기간 중 젖산균의 성장도 유의적으로 지연되었다(Fig. 5). 발효초기의 감마선 조사시 조사선량에 따라 초기 효모의 밀도도 낮아졌고 발효기간 중 효모의 성장도 유의적으로 지연되었으며 5 kGy 이상의 선량에서는 효모가 검출되지 않았다(Fig. 5). 발효초기의 감마선 조사는 초기 발효미생물의 밀도를 낮추고 post irradiation effect에 의하여 미생물의 성장을 지연시킴으로써 김치의 보존성을 연장시킬 수 있을 것으로 사료되었다. 한편, 적정 숙성기 도달 이후에 감마선을 조사할 경우, 조사선량에 따라 젖산균과 효모의 밀도가 낮아졌으나(Fig. 6) 산도의 상승 및 pH의 저하효과는 초기 조사에 비하여 낮았다(Fig. 7). 이러한 현상은 lactate dehydrogenase 활성의 변화와 관련

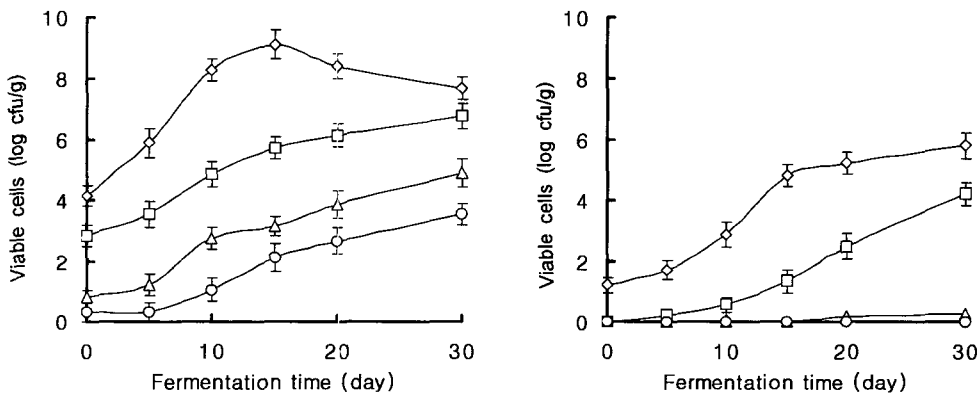


Fig. 5. Growth of acid producing bacteria (left) and yeast (right) in Kimchi after gamma irradiation on the early fermentation stage (D+0 day). Symbols are ◇, non-irradiated control; □, 2.5 kGy; △, 5 kGy; ○, 10 kGy.

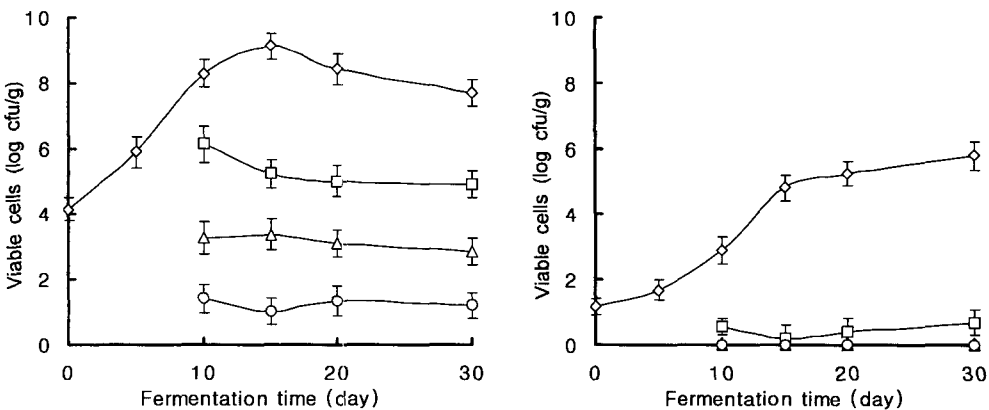


Fig. 6. Growth of acid producing bacteria (left) and yeast (right) in Kimchi after gamma irradiation on the mid fermentation stage (D+10 day). Symbols are ◇, non-irradiated control; □, 2.5 kGy; △, 5 kGy; ○, 10 kGy.

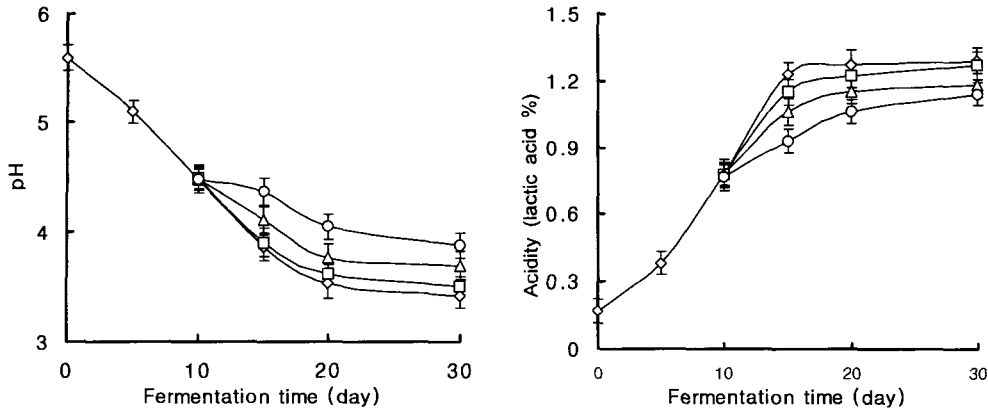


Fig. 7. Changes of pH (left) and acidity (right) in Kimchi after gamma irradiation on the mid fermentation stage (D+10 day).

Symbols are ◇, non-irradiated control; □, 2.5 kGy; △, 5 kGy; ○, 10 kGy.

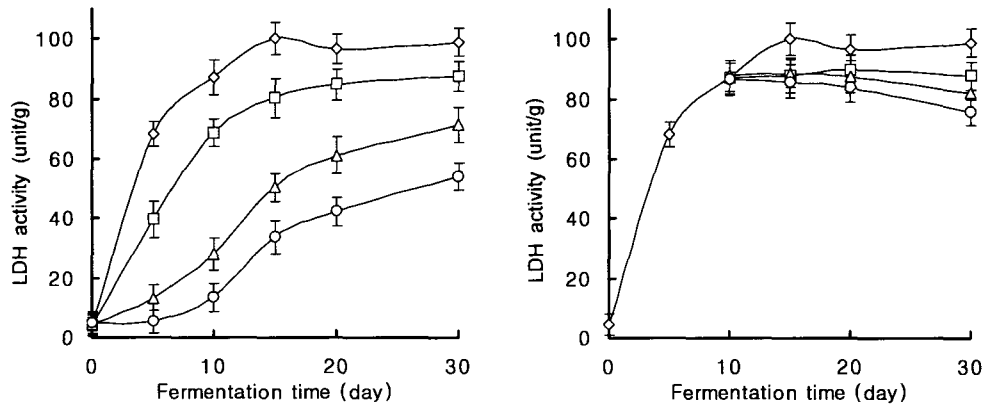


Fig. 8. Changes of lactate dehydrogenase activity in Kimchi after gamma irradiation on the early fermentation stage (D+0 day, left) and mid fermentation stage (D+10 day, right).

Symbols are ◇, non-irradiated control; □, 2.5 kGy; △, 5 kGy; ○, 10 kGy.

된 것으로(27), 발효초기 감마선 조사는 젖산균의 생장 제어와 함께 LDH의 활성의 상승도 유의적으로 지연시켰으나 적정 숙성기 도달 이후 감마선을 조사할 경우에는 젖산균이 감소한 시료에서도 LDH의 활성은 유지되기 때문인 것으로 밝혀졌다(Fig. 8). 따라서 김치의 보존성 향상 목적을 위해서는 발효초기의 감마선 조사가 바람직할 것으로 사료되었다. 한편, 김치산업에서 원료수급방식으로 중요한 절임배추의 장기저장에도 감마선 조사가 유효한 효과를 나타내었다(28).

결론

생존 미생물과 잔존 효소활성, 기능성 등으로 인하여 기존의 살균방식 적용이 어려워 유통과정에서 제품의 보존 안전성 확보가 어려운 전통발효식품의 새로운 가공기술로 방사선 조사기술을 적용하여 그 상용화 가능성을 살펴보고자 발효식품에 대한 종합적인 연구를 실시하였다. 이를 위하여 장류, 젓갈류, 김치 등 주요 전통발효식품에 감마선을 조사하여 보존성 향상 효과, 저염발효식품 제조 기술로서의 활용, 소스나 즉석식품 가공 기술로서의 활용,

독성물질의 제거효과, 그리고 기능성과 독성학적 안전성 등에 대한 연구결과들을 제시하였으며 각 제품별로 유효 방사선 조사선량을 설정하였다.

결론적으로 기술적인 효과뿐만 아니라, 경제성, 산업적인 적용가능성 등의 측면에서도 방사선 조사 기술은 발효식품의 보존 안전성을 확보하기 위한 매우 유용한 기술이 될 것으로 평가되었다. 그러나 최종적인 문제는 소비자의 수용도이다. 아직은 방사선조사기술의 효용성과 안전성이 제대로 인식되어 있지 않으므로 이 기술을 모든 제품에 적용하기는 당분간 어려울 것이다. 그렇지만 본 발표에서 간략히 소개한 연구결과들을 종합하여 방사선 조사 품목으로 허가를 취득하고 산업적인 적용이 가능한 공정들을 계속 개발해 나간다면 머지않아 방사선 조사기술은 발효식품의 보존성 확보와 가공영역의 확대를 위한 핵심적인 기술이 될 것으로 기대된다.

참고 문헌

1. Byun MW, Son JH, Yook HS, Jo C, Kim DH. 2002. Effect

- of gamma irradiation on the physiological activity of Korean soybean fermented foods, Chungkookjang and Doenjang. *Rad Phys Chem* 64: 245-248.
2. Jo C, Kim DH, Shin MG, Kang IJ, Byun MW. 2003. Irradiation effect on bulgogi sauce for making commercial Korean traditional meat product, bulgogi. *Rad Phys Chem* 68: 851-856.
 3. Kim DH, Ahn HJ, Yook HS, Kim MJ, Sohn CB, Byun MW. 2000. Quality properties of gamma irradiated *Samjang* (seasoned soybean paste) during storage. *Korean J Food Sci Technol* 32: 396-401.
 4. Thayer DW. 1990. Food irradiation: Benefits and concerns. *J Food Quality* 13: 147-169.
 5. Josephson ES, Thomas ME, Calhoun WK. 1979. Nutritional aspects of food irradiation: an overview. *J Food Proc Pres* 2: 299-313.
 6. Byun MW, Kim DH, Yook HS, Kim JO, Cha BS. 2001. Changes in microbiological and general quality characteristics of gamma irradiated *Doenjang*. *Food Sci and Biotechnol* 10: 7-11.
 7. Kim DH, Yook HS, Youn KC, Sohn CB, Byun MW. 2001. Changes of microbiological and general quality characteristics of gamma irradiated *Kochujang* (fermented hot pepper paste). *Korean J Food Sci Technol* 33: 72-77.
 8. Kim DH, Yook HS, Youn KC, Cha BS, Kim JO, Byun MW. 2000. Changes of microbiological and general quality characteristics of gamma irradiated *Chungkookjang*. *Korean J Food Sci Technol* 32: 896-901.
 9. Kim DH, Lee KH, Yook HS, Kim JH, Shin MG, Byun MW. 2000. Quality characteristics of gamma irradiated grain shape improved *Meju*. *Korean J Food Sci Technol* 32: 640-645.
 10. Kim DH, Jo C, Yook HS, Park BJ, Byun MW. 2002. Enhancement of preservation characteristics of *Meju*, an intermediate material for Korean legume-based fermented soy sauce, *Kanjang*, by irradiation. *Rad Phys Chem* 64: 317-322.
 11. Song TH, Kim DH, Park BJ, Shin MG, Byun MW. 2001. Changes in microbiological and general quality characteristics of gamma irradiated *Kanjang* and *Shoyu*. *Korean J Food Sci Technol* 33: 338-344.
 12. Kim DH, Kim JO, Cha BS, Lee JY, Byun MW. 2001. Effects of gamma irradiation on composition of free amino acid and organic acid of soybean-based fermented food. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 30: 777-781.
 13. Kim DH, Son JH, Yook HS, Kim MR, Cha BS, Byun MW. 2001. Effects of gamma irradiation on the hydrolytic enzyme activities of Korean soybean-based fermented food. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 30: 839-843.
 14. Park BJ, Jang KS, Kim DH, Yook HS, Byun MW. 2002. Changes of microbiological and physicochemical characteristics of *Doenjang* prepared with low salt content and gamma irradiation. *Korean J Food Sci Technol* 34: 79-84.
 15. Yook HS, Lee EM, Kim DH, Lee KH, Lee HJ, Lee YN, Byun MW. 2000. Genotoxicological safety on water-soluble fraction of gamma irradiated Korean soybean fermentation foods. *Korean J Food Hyg Safety* 15: 297-303.
 16. Yook HS, Kim DH, Kim DH, Lee JW, Cha BS, Byun MW. 2001. Toxicological safety of gamma irradiated Korean soybean fermentation foods by SOS chromotest. *Korean J Food Hyg Safety* 16: 133-138.
 17. Jo C, Kim DH, Lee WD, Lee JJ, Byun MW. 2003. Application of gamma irradiation on manufacturing Changran Jeotkal (aged and seasoned intestine of Alaska pollock): Microbiological and sensory characteristics. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32: 673-678.
 18. Jo C, Lee WD, Kim DH, Kim JH, Ahn HJ, Byun MW. 2004. *Changran Jeotkal* (aged and seasoned intestine of Alaska pollock, *Therage chalcogramma*) developed using gamma irradiation. *Food Control* 15: 435-440.
 19. Jo C, Kim DH, Kim HY, Lee WD, Lee HK, Byun MW. 2004. Studies on the development of low-salted, fermented, and seasoned Changran Jeotkal using the intestines of *Therage chalcogramma*. *Rad Phys Chem* 71: 121-124.
 20. Kim JH, Ahn HJ, Kim DH, Jo C, Yook HS, Park HJ, Byun MW. 2003. Irradiation effects on biogenic amines in Korean fermented soybean paste during fermentation. *J Food Sci Ntr* 68: 80-84.
 21. Kim JH, Kim DH, Ahn HJ, Park HJ, Byun MW. 2005. Reduction of the biogenic amine contents in low salt-fermented soybean paste by gamma irradiation. *Food Control* 16: 43-49.
 22. Yook HS, Cha BS, Kim DH, Lee JW, Byun MW. 2004. Genotoxicological safety of gamma-irradiated salted and fermented anchovy sauce. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 1192-1200.
 23. Kim DH, Song HP, Yook HS, Ryu YK, Byun MW. 2004. Isolation of enteric pathogens in the fermentation process of Kimchi (Korean fermented vegetables) and its radication by gamma irradiation. *Food Control* 15: 441-445.
 24. Kim DH, Song HP, Kim BK, Cheong MY, Byun MW. 2004. Effect of the salt concentration on the radiation sensitivity of some fermentative microorganisms inhabiting salted and fermented food. *Food Sci Biotechnol* 13: 387-389.
 25. Song HP, Kim DH, Yook HS, Kim MR, Kim KS, Byun MW. 2004. Nutritional, physiological, physicochemical and sensory stability of gamma irradiated Kimchi (Korean fermented vegetables). *Rad Phys Chem* 69: 85-90.
 26. Song HP, Kim DH, Yook HS, Kim KS, Kwon JH, Byun MW. 2004. Application of gamma irradiation for aging control and improvement of shelf-life of kimchi, Korean salted and fermented vegetables. *Rad Phys Chem* 71: 55-58.
 27. Yook HS, Kim DH, Song HP, Lee HJ, Byun MW. 2003. Effects of gamma irradiation on the fermentative micro-

organisms and lactate dehydrogenase activity in Kimchi at different fermentation stages. *J Food Sci Nutr* 8: 265-269.

28. Ahn HJ, Kim JH, Kim KK, Kim DH, Yook HS, Byun MW.

2005. Combined effects of irradiation and modified atmosphere packaging on minimally processed Chinese cabbage (*Brassica rapa* L.). *Food Chem* 89: 589-597.