

**특집 : 한국 전통식품의 현대화 및 세계화**

**방사선을 이용한 전통발효식품의 새로운 가공기술**

김동호 · 변명우<sup>†</sup>

한국원자력연구소 방사선식품 · 생명공학 기술개발팀

**Application of Radiation Technology on the Processing of Korean Traditional Fermentation Food**

Dong-Ho Kim and Myung-Woo Byun<sup>†</sup>

Team for Radiation Food Science and Biotechnology, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon 305-600, Korea

**서 론**

발효(fermentation)는 식품학, 미생물학, 생화학 등의 관점에서 각기 달리 해석될 수 있으나, 일반적으로 미생물학적인 관점에서의 발효는 미생물이 산소가 없는 상태에서 당(sugar, carbohydrates)을 유기물로 전환시키면서 기질 수준에서의 에너지를 생성하는 생화학 반응으로 정의할 수 있다. 그런 의미에서 본다면, 발효식품이란 미생물의 작용을 이용하여 본래의 식품원료가 갖고 있지 않는 유기물과 미생물의 2차 대사산물(secondary metabolites)을 생성시켜 이를 식품으로 사용하는 것이라 해석할 수 있다.

발효식품은 세계 각국이나 민족의 생활방식, 기후, 식문화 등의 생활환경에 따라 독특한 형태로 발전되어 왔으며 발효식품에 사용되는 원료도 각 지역에서 생산되는 곡류, 채소, 과일류, 육류, 어패류, 유제품 등으로 매우 다양하다. 우리나라는 농경생활을 하면서도 삼면이 바다로 둘러싸인 지리적 배경으로 인하여 곡류, 채소류, 어패류를 원료로 한 술, 식초, 장류, 김치, 젓갈 등의 발효식품이 이미 삼국시대 이전부터 제조되었다고 알려져 있다. 식문화의 관점에서 살펴볼 때, 대부분의 발효식품은 식품저장의 효율적인 수단으로 발전되어 왔다고 보여지며 우리나라의 발효식품도 역시 동절기의 식품저장의 역할이 가장 중요한 목적이었던 것으로 평가된다. 그러나 발효식품에는 미생물이 생산한 다양한 유기물들과 2차 대사산물(secondary metabolites)이 포함되어 있어 원래의 식품에는 없는 독특한 풍미를 만들어내므로 점차 저장식품으로서의 목적보다는 음료, 조미식품 등의 기호성 식품으로서의 역할이 커지게 되었다. 한편, 최근 들어서는 식품의 기능성에 관한 관심이 커지면서 발효식품의 다양한 기능성이 큰 주목

을 받고 있으며 특히 김치나 장류 등의 우리나라 전통 발효식품이 항산화성, 항암성, 면역기능강화, 혈전용해 등의 기능성이 매우 우수하다는 것이 밝혀지고 있다. 따라서 우리나라의 전통발효식품을 보다 과학화하여 우리의 식품을 세계에 알리고 관련 산업을 활성화시키기 위한 노력이 활발하게 진행되고 있다. 그러나 아직까지 이들 제품을 세계의 식품 시장에 매력적인 상품으로 유통시킬 수 있는 단계에는 이르지 못하고 있는 것이 현실이다. 여기에는 여러 가지 기술적인 요인이 있겠으나 발효식품의 보존성 확보가 가장 중요한 문제의 하나로 지적되고 있다. 발효식품에는 발효과정에서 유래한 다양한 미생물들이 발효 이후에도 고밀도로 생존하므로 제품 자체의 보존뿐만 아니라 이들 발효제품을 가공식품의 원료로 사용하는데도 커다란 제한요소가 되고 있다. 또한 발효식품의 보존성에 관련된 부가적 요소로 우리나라 발효식품의 고염 함량이 지적되고 있다. 우리나라의 김치, 장류, 젓갈 등에는 발효과정의 미생물 성장조절과 보존성 확보를 위하여 과량의 식염이 첨가되는데 이 또한 고염식이를 기피하는 현대의 식생활 문화에 부합하지 못한 것으로 상품으로서의 가치를 상실할 수 있는 요소가 된다. 이러한 문제들을 해결하기 위해서는 우선 식품의 관능이나 외관, 기능성 등에는 영향을 주지 않고 발효식품의 미생물만을 선택적으로 제어할 수 있는 기술의 개발이 필요하다. 그러나 발효식품 고유의 제품 특성으로 인하여 기존의 방법으로는 위의 목표를 달성하기 어려운 것이 현실이다. 이러한 상황에서 최근 진행 중인 '방사선을 이용한 전통발효식품의 새로운 가공기술 개발'에 관한 일련의 연구는 우리나라 전통발효식품의 보존성 향상과 안정성 확보, 그리고 가공식품 원료로서의 활용도를 넓힐 수 있는 충분한 가능성을 제시하고 있다.

<sup>†</sup>Corresponding author. E-mail: mwbyun@kaeri.re.kr  
Phone: 042-868-8060. Fax: 042-868-8043

방사선조사 기술의 일반적 활용 현황

방사선은 방사성 동위원소로부터 방출되는  $\alpha$ (알파),  $\beta$ (베타),  $\gamma$ (감마)선 외에도 기계적으로 발생하는 X선, 전자가속기에서 나오는 전자선(electrons), 원자로부터 만들 수 있는 중성자선 등이 있으며, 이들 중 X선과  $\gamma$  선은 매우 단파장의 전자파(電磁波)로서 우리 일상생활에서 쉽게 이용되고 있는 microwave나 라디오/TV전파, 그리고 자외선, 가시광선, 적외선 등과 같은 부류에 속하는 에너지이다. 방사선은 물질을 통과할 때 물질의 원자나 원자단, 분자 등을 전리시켜 이온을 생성하게 되는데 이와 같은 성질을 지닌 방사선을 전리방사선(ionizing radiation)이라 한다. 지금까지 관련 국제기구 즉, FAO, IAEA, WHO와 Codex식품규격위원회에서 식품 및 의료제품의 조사에 안전하게 이용될 수 있다고 밝힌 방사선의 종류는 표 1과 같다.

이들 방사선 가운데 식품 및 의료산업에서 활용되고 있는 비율은 대략  $\gamma$  선이 80% 이상, 전자선이 20% 미만을 차지하고 있으며, X선은 진단용을 제외하고는 실제적인 이용에 한계가 있다. 그리고 전자선은  $\gamma$  선에 비해 투과력이 약하여 활용범위가 제한되어 있으나 곡류의 살충이나 표면살균, 의료제품 및 제약 등의 분야에 일부 실용화되고 있다. 산업적으로 가장 많이 이용되고 있는  $\gamma$  선은 투과력이 강하여 제품을 완포장된 상태로 연속 처리할 수 있어 살균처리 후 재포장에 따른 2차 오염의 방지와 에너지의 효율을 높일 수 있고, 제품의 품온상승(국제적으로 건전성

이 허가된 10 kGy 조사시 물과 같은 열용량을 가진 산물에서 약 2.4°C 상승)에 따른 성분의 파괴를 최소화하고 외관의 변화를 막을 수 있는 냉온살균·살충방법이며, 화학혼증제나 보존제와는 달리 유해성분의 생성이나 잔류성분이 남지 않는다는 장점과 처리시 환경조건외 영향을 거의 받지 않는 특징이 있다. 또한 방사선 조사기술은 기존의 방법에 비하여 에너지 소요가 월등히 적어 경제적인 측면과 제품의 품질유지면에서도 장점으로 고려되어지고 있다.

방사선 조사의 활용분야는 공업, 환경, 의료, 생명공학 적 육종, 공중보건산물의 위생화 등으로 매우 다양하다. 이 중에서도 특히 식량자원의 보존성 향상 및 위생화에 대한 방사선 조사 효과는 안전하면서도 확실한 효과를 내는 것으로 보고되고 있다. 식량자원에 대한 방사선 조사기술은 농산물의 발아 및 발근 억제(Inhibition of sprouting), 농수산물 해충구제(Insect disinfestation), 농수축산물의 기생충 사멸(Parasite disinfection), 농산물의 속도조절(Delay of physiological process), 농수축산물의 저장수명 연장(Extension of shelf-life), 농수축산물 오염 미생물 살균(Sterilization), 농수축산물의 물성개선(Improving physical or rheological properties of food) 등에 적용되고 있다. 방사선 조사기술의 이러한 효과와 안전성이 확인됨에 따라 최근까지 40여 개국에서 200여종의 식품에 방사선 조사를 허가하였고, 이 중 28개국이 상업적 규모로 본 기술을 실용화하고 있다. 또한 2000년 현재 세계적으로 식품조사에 활용되고 있는 조사시설은 50여기 이상에 이르며, 현재 건설중이거나 건설계획인 조사시설도 약 20여기에 이르고 있다.

국내의 방사선 조사식품에 대한 본격적 연구는 한국원자력연구소를 중심으로 1980년부터 수행되어 왔으며 1987년 6월 경기도 여주에 상업적 다목적용 방사선 조사시설( $^{60}\text{Co}$ , 640 kCi)이 준공되어 현재 가동 중에 있다. 국내에서 방사선 조사가 허가된 식품은 1987-1995년 사이 3차례에 걸쳐 허가를 취득한 총 13개 식품품목군이며(표 2) 현재 추가된 품목군(표 3)의 허가를 취득하기 위한 절차가

표 1. 식품 및 공중보건관련 산업에서 이용될 수 있는 방사선의 종류

방사선	선원	반감기	이용에너지(MeV)
$\gamma$ (감마)선	Co-60	5.3년	1.17, 1.33
	Cs-137	30년	0.06
전자선(electrons)	전자가속기에서 발생(10 MeV 이하)		
X선	기계적으로 발생(5 MeV 이하)		

표 2. 국내 식품의 방사선 조사 허가품목

품목	조사목적	허가선량(kGy)	허가일자
감자, 양파, 마늘	발아, 발근 억제	0.15이하	1987. 10. 16.
밥	발아, 발근 억제	0.25이하	1987. 10. 16.
버섯(생 및 건조)	살충, 속도 조정	1.0 이하	1987. 10. 16.
가공식품 제조원료용 건조식육 및 어패류 분말	살균, 살충(위생화)	7 이하	1991. 12. 14.
된장, 고추장, 간장 분말	살균, 살충(위생화)	7 이하	1991. 12. 14.
조미식품용 전분	살균, 살충(위생화)	5 이하	1991. 12. 14.
가공식품제조원료용 건조 채소류	살균, 살충(위생화)	7 이하	1995. 5. 19.
건조향신료 및 이들조제품	살균, 살충(위생화)	10 이하	"
효모, 효소식품	살균, 살충(위생화)	7 이하	"
알로에 분말	살균, 살충(위생화)	7 이하	"
인삼(홍삼포함) 제품류	"	7 이하	"
2차살균이 필요한 환자식	살균	10 이하	"

표 3. 신규 허가신청 중인 식품품목

신규허가신청 품목	처 리 목 적	허 용 선 량	비고
1. 두류 및 가공식품 제조 원료용 분말	살충, 살균, 저장유통 안전성	5 kGy	
2. 조미식품류			
1) 복합조미식품	살균, 보존성 향상	10 kGy	
2) 소스류	살균, 보존성 향상	10 kGy	
3. 다류			
1) 침출 및 분말차	살충, 살균	10 kGy	
4. 원료육 및 그 가공품			
1) 원료육	병원성미생물 살균, 보존성·유통안전성 향상, 육질개선	냉장 4.5 kGy, 냉동 7 kGy	
(1) 가금육			
(2) 적색육			
2) 육 가공품			
(1) 햄	병원성미생물 살균, 보존성·유통 안전성 향상	5 kGy	
(2) 소시지			
(3) 분쇄육가공품			
5. 어육가공품	병원성미생물 살균, 보존성·유통 안전성 향상	5 kGy	
6. 과채류 가공품	살충, 살균, 기생충구제	7 kGy	
7. 난 가공품	병원성미생물 살균, 보존성·유통 안전성 향상	5 kGy	

진행 중에 있다.

국내에서 방사선 조사가 허가된 농수축산물들은 감마선 조사에 매우 안전한 식품군들로 화학약품처리를 제외한 다른 방법으로는 살균, 살충처리가 거의 불가능한 품목들로서, 현재 이들에 사용되고 있는 화학약품(훈증제 등) 처리의 잔류독성, 유해물질 생성에 따른 발암성, 환경공해 등의 많은 문제점을 해결할 수 있는 대체방안으로서 뿐만 아니라 국내에서 빈번히 발생하는 수입농산물의 농약 및 화학약품에 대한 문제점을 해결하여 앞으로 국민보건 향상에 이바지하는 바가 클 것으로 기대된다.

### 방사선을 이용한 전통발효식품의 새로운 가공기술

#### 발효식품의 보존성 향상

감마선 조사를 이용한 발효식품의 보존성 향상 기술은 김치, 장류, 젓갈 등을 대상으로 광범위하게 연구되고 있다. 이들 발효식품은 자기 독특한 microflora를 형성하고 있으며, 적정 발효기간에 도달하여 상품으로 유통되는 시점에서 미생물들의 작용이 계속되므로 품질변화가 진행된다. 김치, 장류, 젓갈류의 품질열화에 관여하는 미생물들은 각 제품에 따라 차이가 있지만 일반적으로 산생성세균과 산막효모가 대표적이다. 산생성세균은 제품의 pH를 낮추어 신맛을 내게 하며, pH가 낮아진 환경에서 다시 산막효모가 생장하면 변패가 진행된다. 그러나 염이 첨가되지 않은 청국장에서는 *Bacillus*가, 메주에서는 곰팡이와 *Bacillus*가 변패의 직접적인 원인이 되는 경우도 있다. 식품의 변패에는 미생물 이외에도 화학적, 물리적 요인이 복합적으로 작용하지만 발효식품의 변패에 관여하는 1차

적인 요소는 미생물이라 할 수 있다. 따라서 발효식품의 미생물들을 제어하기 위한 방법들이 발효식품의 보존성 향상 목적으로 다양하게 사용되고 있다. 일반적으로 사용되는 미생물 제어기술은 열살균과 화학보존료의 첨가 등이다. 그러나 열살균은 변색, 관능의 저하와 같은 부작용이 크며 장류처럼 물성자체가 열살균 기술을 적용하기 어려운 경우도 있다. 화학보존료의 첨가는 전통 발효식품에 방부제를 첨가하는데 따른 소비자의 거부감과 함께 제품에 균일하게 혼합하는데 필요한 공정비용의 손실도 크다.

발효식품의 감마선 살균은 완제품을 포장한 상태에서 미생물만을 선택적으로 살균할 수 있으므로 미생물의 살균효과 뿐만 아니라 살균에 필요한 복잡한 공정을 생략할 수 있다는 장점이 있다. 감마선 조사에 의한 발효식품의 미생물 살균효과는 각 제품의 microflora, 미생물의 밀도, 염도나 수분 등의 조건에 따라 조금씩 다르다(그림 1). 그

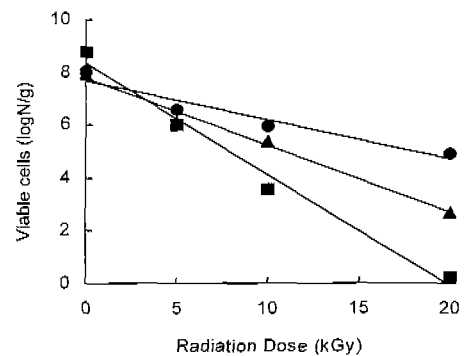


그림 1. 감마선 살균시 된장 (●), 고추장 (▲), 청국장 (■) 분포 *Bacillus*의 D<sub>10</sub> 값 비교.  
 된장: 5.26 kGy, 고추장: 3.95 kGy, 청국장: 1.78 kGy.

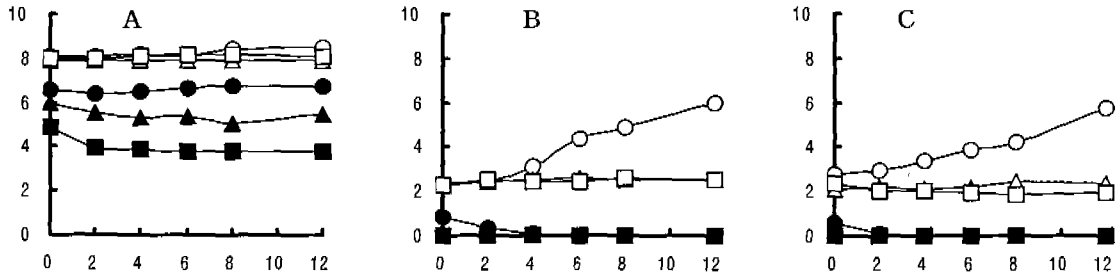


그림 2. 된장분포 *Bacillus*(A), 젖산균(B), 효모(C)의 감마선 조사 살균효과.  
○: 대조구, △: 2% ethanol 첨가, □: 0.1% sorbic acid 첨가, ●: 5 kGy, ▲: 10 kGy, ■: 20 kGy.

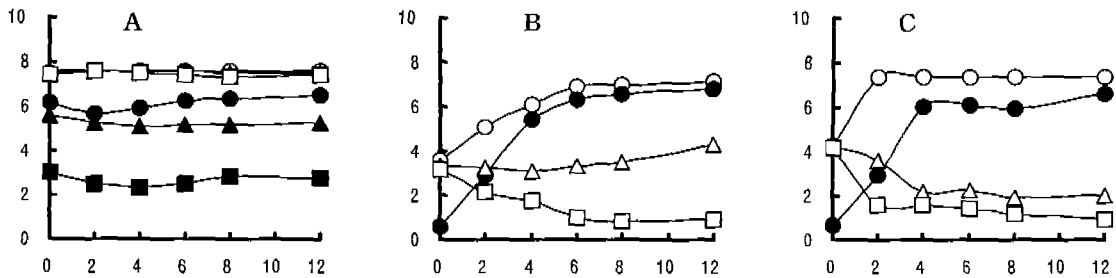


그림 3. 고추장분포 *Bacillus*(A), 젖산균(B), 효모(C)의 감마선 조사 살균효과.  
○: 대조구, △: 2% ethanol 첨가, □: 0.1% sorbic acid 첨가, ●: 5 kGy, ▲: 10 kGy, ■: 20 kGy.

러나 일반적으로 효모, 곰팡이, 젖산균은 5 kGy의 조사선량에서 대부분 사멸되었으며 *Bacillus*는 10 kGy의 선량에서 5 log cycle 정도의 감균과 함께 보존 중의 성장을 억제하는 효과를 나타내었다(그림 2, 그림 3).

감마선을 조사한 발효제품의 일반품질은 색상, swelling 등의 외관뿐만 아니라 이화화적인 분석에서도 안정적인 품질을 유지하는 것으로 보고되고 있다. 그림 4에서 감마선을 조사한 찜장과 열살균 찜장의 3개월 보존 후의 색상변화를 살펴볼 수 있다. 열처리를 실시한 찜장의 경우 갈변이 매우 심하게 진행되는 것을 볼 수 있으나 감마선을 조사한 찜장은 색상의 변화가 크지 않았다. 이러한 결과는 다른 장류나 발효식품에서도 비슷하게 나타났다. 특히 수분이 낮은 메주의 감마선 조사에서는 10 kGy의 감마선 조사에 의하여 곰팡이와 *Bacillus*만을 선택적으로 제거하여 1년 동안 보존이 가능하였고(그림 5), 이 메주로 간장과 된장을 제조하였을 때, 그 해에 생산한 메주로 제조한 된장이나 간장과 동일한 품질을 확보할 수 있었다.

이상에서 살펴본 바와 같이 대부분의 조건에서 감마선 조사를 이용한 발효식품의 보존성 향상은 매우 유효한 효과를 나타내고 있다. 그러나 위에서 언급한 바와 같이 감마선 조사의 효과는 각 식품에 분포하는 미생물의 종류와 밀도, 포자형성 여부, 식품환경(염도, 수분, 구성성분 등)에 따라 모두 다르고 식품의 성분에 따라서는 부정적인 효과가 나타날 수도 있으므로 각각의 발효식품에 대한 보다 심도 있는 적용시험이 계속되어야 할 것이다.

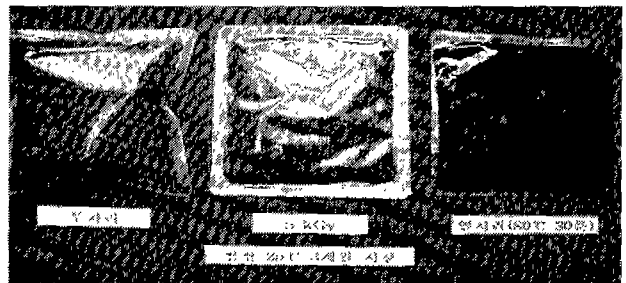


그림 4. 감마선 조사 찜장과 열살균 찜장의 3개월 보존 후 색상 비교.

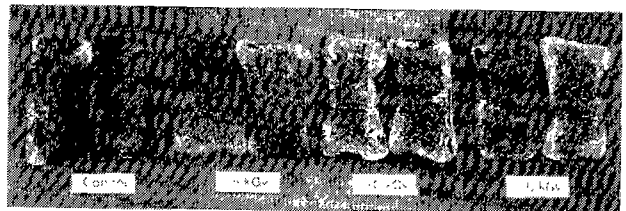


그림 5. 감마선 조사 후 1년간 상온 보존한 메주의 단면.

저염발효 식품의 제조

식품에 첨가된 식염은 적당한 맛을 내는 동시에 수분활성도와 삼투압을 조절하여 식품 중의 미생물 성장을 억제함으로써 식품의 관능과 저장성에 영향을 준다. 특히 발효식품 중의 염은 부패미생물의 생육을 억제하고 내염성의 발효미생물이 선택적으로 성장할 수 있도록 조절해 주는 역할을 하고 있다. 발효식품에 첨가되는 염의 농도는 각

식품의 원료특성, 발효기간, 얻고자하는 최종산물 등에 따라 다르지만 특히, 단백질 성분이 주원료이고 장기저장을 목적으로 하는 장류나 젓갈에는 10~20%, 경우에 따라서는 40%에 이르는 식염이 첨가되기도 한다. 따라서 이들 식품의 섭취는 자칫 고염식이에 의한 질병을 유발할 수 있다는 불안감을 소비자들이 갖게 되어 소비가 위축되는 결과를 초래할 수 있다.

실제로 연간 소비되는 된장의 양만을 추정하여 보아도 우리 국민의 고염식이 식습관을 가능해 볼 수 있다. 1997년 현재, 산업체에서 생산된 된장은 약 12만 톤이며 재래식으로 제조된 것까지 포함하면 약 20만 톤의 된장이 소비되는 것으로 추산되므로 성인 1인당 된장 섭취량은 약 27g/일로, 그에 따른 염분 섭취량은 약 3g/일 이상으로 추정된다. 이 염분량은 대부분의 선진국이 5~10g/일, 우리나라에서 8.7g/일의 염분 섭취량을 권장하고 있는 것에 비교할 때, 단일 식품으로서는 대단히 많은 양이라 할 수 있다. 일반적으로 염의 과다섭취는 혈액 내에 Hypervolemia를 일으켜 고혈압, 뇌졸중, 위암발생 등에 큰 영향을 준다고 알려져 있다. 따라서 국민건강과 보건 측면에서 된장뿐만 아니라 간장, 고추장, 쌈장 등의 장류와 젓갈, 김치 등의 발효제품을 저염화하는 연구의 필요성이 절실하다. 그러나 저염 발효제품의 제조를 위한 연구는 에탄올 첨가법, 수분활성 조절법, 저온 발효법 등으로 한정되어 있을 뿐이며 이 방법들도 산업적 적용의 문제점, 경제성, 관능의 저하, 보존성 확보의 미비와 같은 문제로 실용화되지 못하고 있다.

장류나 젓갈의 발효시 염도를 낮추면 미생물의 증식은 상대적으로 빨라지며 microflora의 변화도 정상발효와는 달라진다. 그 결과, 적정 숙성기간이 단축되고 관능의 변화도 일어날 수 있으며 특히 보존성의 확보가 어렵게 된다. 그러나 최근 일련의 연구보고는 감마선 조사가 이러한 문제점을 해결할 수 있는 좋은 방법으로 활용될 수 있다는 것을 제시하고 있다. 저자 등은 젓갈의 제조시 기존 제품의 50% 내외의 염만을 첨가한 다음 starter를 접종하여 단기간에 발효를 완료시키고 적정 숙성기의 제품에 감마선을 조사하는 방법으로 저염 새우젓의 제조공정을 보고 하였으며, 일반된장에 무염의 청국장(일종의 koji로서)을 혼합하여 후숙시킨 다음 감마선을 조사하여 6~8%의 저염된장을 제조하는 공정도 보고한 바 있다. 이렇게 제조된 저염젓갈과 저염된장은 상온에서도 유효한 보존안정성을 확보하였으며 관능평가 결과도 매우 우수하였다. 그러나 감마선 조사 기술도 발효과정을 직접적으로 제어하는데는 적용이 곤란하다. 발효과정의 미생물 제어를 위해서는 원료단계에서 감마선을 조사하여야 하나 이는 여러 가지 여건상 거의 불가능하므로 발효가 완료된 적정 숙성기의

포장제품에 감마선을 조사하는 방법이 가장 무난하다. 따라서 감마선 조사는 저염 발효제품의 보존안정성을 확보하는 수준의 역할을 담당하고 저염의 제품을 발효시키는 과정은 미생물 starter의 사용, 효소에 의한 가수분해, 반제품의 혼합 등과 같은 여러 가지 기술이 병행되어야 할 것으로 보인다.

#### 소스 및 즉석 식품의 가공

발효식품의 사용범위와 용도는 매우 다양하다. 술이나 유발효 제품은 음료의 형태로 섭취하며 김치는 반찬으로 직접 섭취하고 젓갈과 장류처럼 직접 섭취 혹은 조미식품으로 병행 사용되는 경우도 있다. 이 중 장류는 특히 조미식품으로의 관능 적성이 우수하여 여러 가지 제품에 첨가물로 사용되기도 하며 최근 유행하고 있는 fusion food에 편승하여 소스, 드레싱 등의 원료로 사용되기도 한다. 또한, 조리의 편의성을 추구하는 식생활 문화의 변화에 따라 여러 가지 형태의 즉석식품으로 가공되기도 한다. 그러나 앞서 언급한, 미생물에 의한 보존성 문제는 이러한 가공식품에서 더욱 큰 장애물로 자리잡고 있다. 따라서 가공용으로 사용되는 발효식품은 과도한 열처리를 하거나 건조하여 유통되는 경우가 많으며 straight type의 제품은 상품으로서의 유통이 힘들고 직접 조리하여 바로 섭취하는 형태를 벗어나기 어려운 것이 현실이다. 식품의 방사선 조사는 이러한 문제점을 해결하기 위한 좋은 방법이다. 즉석조리식품의 경우, 열처리나 건조를 하지 않은 신선한 원료를 큰 제한 없이 사용할 수 있으므로 제품의 관능뿐 아니라 외관을 자연 그대로 살려낼 수가 있는 장점이 있으며 혼합장과 소스제품도 보존성 및 가공공정의 적용 문제로 사용이 제한된 원료들을 다양하게 배합하여 독특한 풍미의 제품을 개발할 수 있다. 사실 우리나라 전통발효식품의 세계화란 과제는 발효식품 자체보다는 이들 발효식품을 이용하여 얼마나 다양한 가공제품을 개발하여 공급할 수 있느냐에 달려있다고 해도 과언이 아니다. 그런 점에서 본다면, 방사선 조사를 이용한 전통발효식품의 보존안정성 확보 기술이야말로 우리나라 전통발효식품의 세계화에 가장 크게 기여할 수 있는 기술이라고 생각할 수 있을 것이다.

#### 위생 미생물 및 독성물질의 제거

발효식품의 제조는 인류가 수 천년의 경험을 거쳐 만들어낸 자연적인 식품가공기술이며 어떤 점에서는 그 경험만으로도 안전성이 확보되었다고 평가할 수 있다. 사실 김치 제조공정의 경우를 살펴보다도, 발효 초기에는 채소, 고춧가루 등의 원료에서 유입된 대장균성 미생물이나 enterobacter 계통의 미생물이 검출되나 발효기간이 경과함에 따라 염, pH의 변화, 미생물의 길항작용 등으로 인하여

여 점차 사멸되는 것으로 알려져 있다. 이러한 미생물들은 설사 비병원성균이라 하더라도 수출을 전제로 한 경우에는 각국의 검역체제에서 교역불가의 요건에 해당될 수도 있다. 따라서 적절한 위생 미생물의 제거대책이 필요하며 방사선 조사는 이를 충족시켜줄 수 있는 효율적인 방법으로 사용될 수 있다. 대부분의 위생미생물은 2 kGy 이하의 전선량에서도 쉽게 제거되는 것으로 알려져 있다.

최근 김치, 장류, 젓갈 등의 우리나라 발효식품이나 유사한 외국의 발효식품에서 nitrosamine(NAs)이나 biogenic amine(BAs)을 검출한 연구결과가 많이 보고되고 있어 '발효식품은 안전한 식품'이라는 명제에 의구심을 던지고 있다. 이들 물질들은 일정 이상 섭취하였을 때에는 발암물질(일반적으로 NAs 20 ppm 이상)로 작용하거나 식성병해를 유발하는 원인이 되기도 한다. 최근, 저자 등은 숙성이 완료된 된장에 histamine (9.3 mg/g), tyramine 7.33 (mg/g) 그리고 agmatine(60.51 mg/g) 등의 BAs가 비교적 높은 농도로 분포한다고 보고한 바 있다. 한편, 이러한 물질들은 고에너지에 의하여 어느 정도 파괴가 이루어지는 것으로 알려져 있어 방사선 조사가 발효식품내의 독성물질을 제거하는데 이용될 수 있는지를 확인하기 위하여 감마선을 된장에 조사하였으며, 그 결과 10 kGy의 감마선 조사구에서는 30~40%, 그리고 20 kGy의 감마선 조사구에서는 55~70%의 BAs가 제거됨을 확인하였다. 이러한 결과는 NAs에서도 마찬가지로 확인되었다. 따라서 NAs, BAs 등으로 인하여 발효식품의 안전성에 대한 새로운 논란이 일고 있는 시점에서 방사선 조사는 미생물학적인 안전성뿐만 아니라 화학적인 안전성까지도 확보할 수 있는 새로운 기술로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

'방사선 조사를 이용한 독성물질의 제거'라는 관점에서 또 다른 흥미 있는 접근은 알러지 유발식품의 알러지성 감소에서 찾아볼 수 있다. 특히 새우젓의 경우에는 새우 알러지가 있는 환자가 많아 사용에 제한이 될 수도 있다. 본 연구팀에서는 그 동안 새우, 우유, 계란, 메밀, 땅콩 등의 알러지원을 감마선 조사를 이용하여 제거하는 연구결과를 발표하였으며 이러한 기술은 발효식품에도 직접 적용이 가능하다. 그림 6은 새우의 allergen을 감마선 조사하여 전기영동한 후 새우 알러지 환자의 IgE로 blotting한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 새우의 allergen은 전기영동에 의하여 점차 제거되었으며 그에 따라 IgE와의 결합도 낮아지는 것을 알 수 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 감마선 조사는 발효식품의 보존성 뿐만 아니라 위생미생물제거, NAs나 BAs와 같은 독성물질의 제거, 알러지원성의 제거와 같은 다양한 효과를 기대할 수 있는 기술임을 알 수 있다.

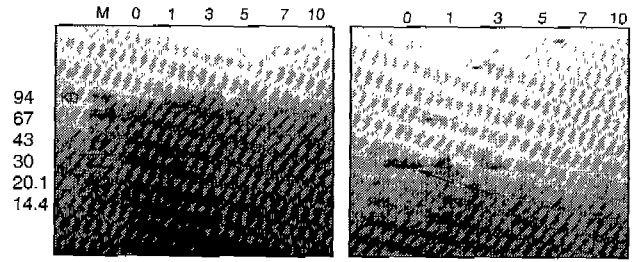


그림 6. 감마선을 조사한 새우 단백질의 전기영동 패턴(왼쪽) 및 새우 알러지 환자의 IgE를 이용한 immunoblotting 결과.

#### 방사선조사 발효식품의 기능성 및 안전성

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 적용하기는 어려울 것이다. 그러나 지금까지의 연구결과는 이런 불움에 대하여 방사선 조사가 기능성을 변화시키지 않으며 독성학적으로도 안전하다는 매우 명확한 답변을 제시하고 있다. 그림 7은 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. 그러나 보존안전성 확보 측면에서의 적정 방사선 조사선량은 10 kGy 이하이므로 이 범위에서는 발효식품의 기능성에 영향을 미치지 않을 것으로 보인다.

Phytochemical에 의한 기능성 이외에도 효소활성의 변화를 검토한 결과 가수분해 효소와 혈전용해효소 등은 20 kGy의 조사선량 범위에서도 효소활성이 변하지 않음을 확인하였다. 한편, 가수분해효소의 활성이 잔존하는 것은 다른 한편으로는 방사선 조사 이후에도 발효식품의 생화학적인 품질변화는 계속적으로 진행될 수 있음을 의미하므로 잔존 가수분해 효소의 활성을 제어할 수 있는 기술의 병용이 요구된다. 그러나 미생물만을 제거하고 잔존 효소활성으로 후숙을 진행하는 공정의 설정도 가능하므로 이에 관한 연구도 진행중이다.

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.

#### 결 론

잔존 미생물, 제품자체의 특성 등으로 인하여 제품의 보존 안전성 확보가 어려운 전통발효식품의 새로운 위생화 기술로 방사선 조사기술의 활용을 하나의 가능성으로

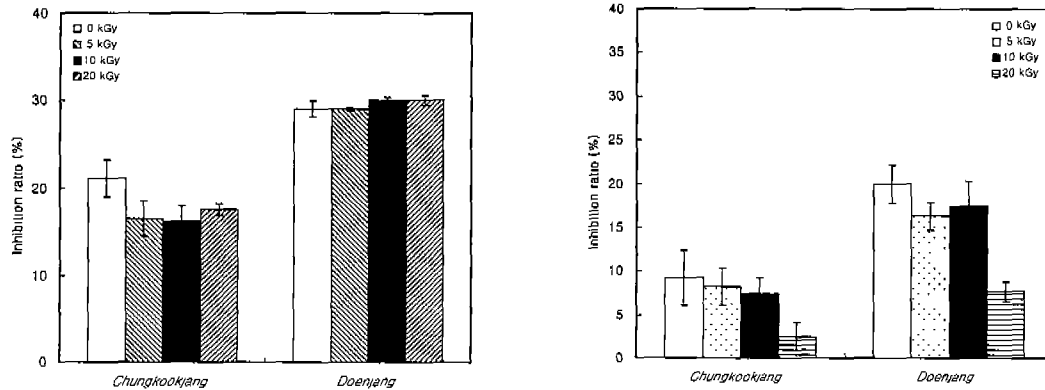


그림 7. 감마선을 조사한 청국장과 된장의 hyrosinase inhibition 효과(왼쪽) 및 xanthine oxidase (XOase) inhibition 효과(오른쪽)의 비교.

제시하기 위하여 방사선 조사 발효식품의 보존성 향상 효과, 저염발효식품 제조 기술로서의 활용, 소스나 즉석식품 가공 기술로서의 활용, 독성물질의 제거효과, 그리고 기능성과 독성학적 안전성 등에 대한 연구결과들을 검토하여 보았다. 결론적으로 기술적인 효과뿐만 아니라, 경제성, 산업적인 적용가능성 등의 측면에서도 방사선 조사 기술은 발효식품의 보존 안전성을 확보하기 위한 매우 유용한 기술이 될 것으로 평가된다. 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 머지 않아 방사선 조사 기술은 발효식품의 보존성 확보와 가공영역의 확대를 위한 핵심적인 기술이 될 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

- Ahn, H.J., Yook, H.S., Rhee, M.S., Lee, C.H., Cho, Y.J. and Byun, M.W.: Application of gamma irradiation on breakdown of hazardous volatile N-nitrosamine. *J. Food Sci.*, In press (2001)
- Byun, M.W.: Application and aspect of irradiation technology in food industry. *Food Sci. Ind.*, **30**, 89-100 (1997)
- Byun, M.W., Kim, D.H., Yook, H.S., Kim, J.O. and Cha, B.S.: Changes in microbiological and general quality characteristics of gamma irradiated *Doenjang* (fermented soybean paste). *Food Sci. Biotechnol.*, **10**, 7-11 (2001)
- Byun, M.W., Kim, J.H., Lee, J.W., Park, J.W., Hong, C.S. and Kang, I.J.: Effects of gamma radiation on the conformational antigenic properties of a heat-stable major allergen in brown shrimp. *J. Food Prot.*, **63**, 940-944 (2000)
- Hafez, Y.S., Mohamed, A.I., Singh, G. and Hewedy, F.M.: Effect of gamma irradiation on proteins and fatty acids of soybean. *J. Food Sci.*, **50**, 1271-1274 (1985)
- Josephson, E.S., Thomas, M.E. and Calhoun, W.K.: Nutritional aspects of food irradiation: an overview. *J. Food Proc. Pres.*, **2**, 299-313 (1979)
- Kim, D.H., Yook, H.S., Youn, K.C., Sohn, C.B. and Byun, M.W.: Changes of microbiological and general quality characteristics of gamma irradiated *Kochujang* (fermented hot pepper paste). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **33**, 72-77 (2001)
- Kim, D.H., Yook, H.S., Youn, K.C., Cha, B.S., Kim, J.O. and Byun, M.W.: Changes of microbiological and general quality characteristics of gamma irradiated *Chungkookjang*. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **32**, 896-901 (2000)
- Kim, D.H., Ahn, H.J., Yook, H.S., Kim, M.J., Sohn, C.B. and Byun, M.W.: Quality properties of gamma irradiated *Sarijang* (seasoned soybean paste) during storage. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **32**, 396-401 (2000)
- Kim, D.H., Lee, K.H., Yook, H.S., Kim, J.H., Shin, M.G. and Byun, M.W.: Quality characteristics of gamma irradiated grain shape improved *Meju*. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **32**, 640-645 (2000)
- Lee, J.W., Yook, H.S., Cho, K.H., Lee, S.Y. and Byun, M.W.: The changes of allergenic and antigenic properties of egg white albumin (*Gal d 1*) by gamma irradiation. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **30**, 500-504 (2001)
- Song, T.H., Kim, D.H., Park, B.J., Shin, M.G. and Byun, M.W.: Changes in microbiological and general quality characteristics of gamma irradiated *Kanjang* and *Shoyu*. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **33**, 338-344 (2001)
- Thayer, D.W.: Food irradiation: Benefits and concerns. *J. Food Quality*, **13**, 147-169 (1990)
- Yook, H.S., Lee, E.M., Kim, D.H., Lee, K.H., Lee, H.J., Lee, Y.N. and Byun, M.W.: Genotoxicological safety on water-soluble fraction of gamma irradiated Korean soybean fermentation foods. *Korean J. Food Hyg. Safety*, **15**, 297-303 (2000)
- Yook, H.S., Kim, D.H., Kim, D.H., Lee, J.W., Cha, B.S. and Byun, M.W.: Toxicological safety of gamma irradiated Korean soybean fermentation foods by SOS chromotest. *Korean J. Food Hyg. Safety*, **16**, 133-138 (2001)