

食品照射의 세계적 動向과 展望

崔 彦 浩 · 李 瑞 來

韓國原子力研究所 環境化學研究室

(1977년 12월 5일 수리)

Worldwide Status and Prospect of Food Irradiation

Eon-Ho Choi and Su-Rae Lee

Environmental Chemistry Laboratory, Korea Atomic Energy Research Institute, Seoul

(Received December 5, 1977)

1. 서 론

오늘날 활용되고 있는 食品의 저장방법에는 건조(脫水), 鹽藏, 열처리(통조림 포함), 냉장 및 냉동, 약제처리, CA저장 등이 있다. 이들 대부분은 오랜 역사를 갖고 있으며 시간이 경과하는 동안 개선되고 과학화되어 오늘에 이르렀다. 이러한 식품저장 방법의 공통적인 특징은 (1)감염된 생물(해충, 미생물 등)을 억제, 사멸시키거나 생육조건을 부적합하게 만드는 것과 (2)식품자체의 활성(호흡, 중산작용 등)을 억제하는 것이다. 다시 말하여 식품 혹은 감염생물의 세포에 어떤 영향을 주어서 인체에 필요한 성분을 장기간 손실되지 않게 보존하는 것이다.

자외선, X선, 감마선 등을 세포에 처리하면 그 세포는 죽거나 변화를 받는다. 예를 들어 감마선을 처리한 세균이 죽는가 하면 감자의 경우 썩이 나지 않는다. 이와같은 방사선의 생물학적 효과는 생명현상을 지배하는 세포 내의 DNA가 방사선에 대하여 지극히 민감한데서 오는 결과이며 이것이 식품저장에 응용된 주요원리의 하나이다.

X선이 발견된 것은 1895년 Röntgen에 의해서이다. 감마선을 내는 방사성 동위원소가 생산되기 이전까지 X선과 자외선은 생물학 및 의학분야에서 생물학적 효과 및 진단, 치료에 관련된 연구에 이용되었으며 감마선처럼 식품조사연구에 직접 이용되지 않았지만 그 연구결과는 후에 중요한 기초자료가 되었다.

제2차대전을 전후하여 미국에서 加速裝置기술이 진보되고 동위원소 생산이 개발되면서 대형 방사선 照射

裝置의 사용이 가능하여지자 방사선에 의한 식품보존 연구가 1950년대초부터 활발하게 시작되었다. 그리하여 방사선에 의한 식품저장연구에는 Co-60(원자로에서 생산)과 Cs-137(핵분열 생성물)의 동위원소가 내는 감마선과 電子加速장치에서 발생되는 전자선(β -ray)이 이용되고 있다.

식품저장에 관련된 방사선의 특징을 들면 (1)감마선은 강력한 透過力을 갖고 있기 때문에 아무리 크거나 포장된 식품이라 하더라도 이를 투과할 수 있으며, (2)식품에 殘留分이 남지도 않는다. 또 (3)식품의 品溫을 상승 시키지 않기 때문에(1 Mrad에서 2 cal) 열에 의한 품질의 변화를 방지할 수 있으며, (4) 다량의 식품을 연속적으로 처리할 수 있다. 이러한 방사선의 매력(장점)때문에 식품조사에 관한 연구는 과거 20여년간 매우 활발히 진행되어 왔다. 지금까지 食品照射연구에서 알려진 방사선의 효과는 (1) 감자, 양파등의 發芽抑制, (2) 곡류식품의 殺蟲, (3) 과일, 채소, 육류의 殺菌, (4) 과일, 채소의 熟度調整 등이다. 이들 효과는 재래적인 어떤 처리법 보다도 분명하고 조절이 쉽다.

그러나 감마선이나 전자선은 전리작용을 갖고 있으며 이에 의하여 식품에서 생성된 free radical이나 어떤 분자가 인체에 유해할 가능성이 있기 때문에 식품조사의 실용화가 제한을 받았다. 또 식품조사의 실용화에 있어서 문제되는 것은 經濟性과 소비자의 受容性이다. Co-60이나 Cs-137의 동위원소는 그 자체가 비쌌뿐만 아니라 계속 소모(붕괴)되어 보충되어야 하고 안전 및 조작시설에 많은 경비가 소요된다. 또 조사식품을 과연 소비자가 어떻게 받아들일 것인가 하는 것도 의문이다. 放射能에 대한 두려움이 放射線과 혼동되어 마치 식품

중에 방사능을 첨가한 것으로 착각하기 때문이다.

이와같이 방사선에 의한 식품저장은 재래적인 어느 식품저장법보다도 유리한 장점을 갖고 있는 반면에 안전성, 經濟性, 소비자의 受容性 면에서 의문점을 갖고 있었다. 그러나 각국의 연구결과와 IAEA(국제원자력기구), FAO(국제식량농업기구), WHO(세계보건기구)의 공동노력에 의하여 이러한 문제들이 점차 해결되어 가고 있으며 실용화에 대한 전망이 매우 밝다고 할 수 있다. 예컨대 원자력에 가장 민감한 일본에서도 방사선 조사된 감자가 대량으로 시판되고 있다.

저자들은 최근 국제적으로 공동관심사가 되고 있는 食品照射 연구의 현황을 소개하고 과연 조사식품이 실용화될 것인가 하는 문제를 최근의 資料를 통하여 검토하였기에 그 내용을 이에 소개한다.

2. 방사선 照射食品의 健全性

방사선조사가 식품저장에 미치는 효과와 조사식품의 건전성을 검토하기 위하여 FAO/IAEA/WHO 공동전문위원회가 1961년 처음으로 국제적 관심을 모은 가운데 Brussels에서 개최되었다. 이어 1964년에는 Rome에서 조사식품의 건전성에 관한 연구와 그 지원방법이 논의 되었으며, 1969년에는 Geneva에서 방사선조사된 밀, 감자, 양파의 건전성에 관한 토론회가 있었다. 여기에서 감자는 15 krad, 밀과 가공품은 75 krad 조사선량에서 “잠정적 승인”이란 명목하에 인정되었는데 이것은 비록 잠정적인 것이지만 국제적 모임에서 조사식품의 안전성을 처음 公認한 것이기에 뜻이 깊다고 할 수 있다.

한편 식품조사에 관한 심포지움이 FAO/IAEA 주최로 1966년 서독 Karlsruhe에서, 1972년 인도 Bombay에서 개최되었는데, 이때 IAEA 지원으로 조사, 연구된 보문이 각각 69편, 53편 발표되었다. 그러나 조사식품의 건전성에 관한 보문은 그 수가 매우 적었다.

최근 조사식품의 건전성에 관한 문제는 IFIP(International Food Irradiation Project)에 의해서 활발히 수행되고 있다. IFIP는 조사식품의 건전성 연구와 그에 관련된 문제를 보다 적극적으로 해결하기 위한 계획으로, 1970년 10월 파리에서 열린 22개국간의 협정을 기초로 하여 출발되었으며 서독 Karlsruhe의 Institut für Strahlentechnologie에 위치하고 있다.

이는 OECD/NEA, IAEA, FAO의 財政支援과 참가국의 輸出金, WHO의 協力하에 1978년까지 계속하도록 되어 있으며 현재 23개국이 참여하고 있다. 참가국은 본부가 있는 서독을 비롯하여 남아프리카, 네델란드, 노르웨이, 덴마크, 미국, 벨지움, 브라질, 스웨덴, 스

위스, 스페인, 영국, 오스트리아, 이라크, 이스라엘, 이태리, 인도, 일본, 터키, 폴란드, 프랑스, 핀란드, 헝가리이다. IFIP는 1969년 WHO의 숙제였던 照射감자, 소맥과 개발도상국이 요망하는 품목의 건전성 시험수행에 중점을 두어왔다.

식품照射의 우수성과 실용가능성을 구체적으로 인정한 것은 1976년 8월 31일부터 9월 7일까지 Geneva의 WHO본부에서 개최된 FAO/IAEA/WHO 전문위원회로서 “조사식품의 건전성(Wholesomeness of irradiated food)”이란 획기적인 보고서가 출판되었다. 여기서는 미국, 영국, 소련, 서독, 프랑스, 인도, 호주, 일본, 캐나다, 불가리아, 헝가리, 노르웨이, 스웨덴 13개국과 FAO, IAEA, WHO에서 참가한 전문가 및 관계자 28명이 세계 각국에서 수집된 논문과 자료를 갖고 9개 품목에 해당하는 조사식품의 건전성에 관하여 토의 평가하였다.

9개 품목의 식품중 밀, 감자, 닭고기, papaya, 딸기에 대해서는 “무조건 승인(unconditional approval)”을 생산, 쌀, 양파의 경우에는 “잠정적 승인(provisional approval)”이란 표현으로 공인되었고 양송이(mushroom)에 대한 평가는 다음으로 미루었다. 전문위원회의 보고서 내용을 보면 9개 품목의 조사식품에 대한 승인여부도 관심사이지만 그보다 더 중요한 것은 조사식품의 건전성에 대한 개념이 전에 비하여 다음과 같이 변형된 것이라 할 수 있다.

방사선조사는 가열, 동결과 같은 물리적 처리법이다. 따라서 방사선조사를 食品添加物로 취급하는 것은 타당하지 않다. 조사식품의 건전성 검토에서 기준이 되는 것은 (1) 인간에 해로운 미생물과 미생물에 의하여 유기되는 독성물질의 유무, (2) 영양학적인 면에서 성분의 변화정도, (3) 방사선조사로 인한 유독성 물질의 생성여부 등이다. 조사식품의 건전성에 대한 평가가 이와 같이 미생물학적, 영양학적, 독성학적인 면에서 시도되어 왔던 것은 식품조사가 물리적 처리에 근거를 두었기 때문으로 볼 수 있다. 과거에는 조사식품에 마치 어떤 것이 첨가된 것처럼 식품첨가물의 입장에서, 재래적인 毒性學的 接近방법에 의하여 그 건전성을 평가하려 하였고 법적 규제도 이에 근거하였다.

방사선조사에 의하여 식품중의 영양성분이 어느정도 변화되었는가를 보는 것은 식품첨가물의 입장에서 논의될 수 없는 문제이다. 또 방사선조사를 물리적 처리 방법으로 본다면 식품첨가물이나 잔류농약과 같은 화합물의 안전성 평가에서 사용되는 1일섭취허용량(acceptable daily intake)이나 안전계수(safety factor)의 기준개념이 조사식품의 독성학적 평가에서는 적용하기 곤란하다는 것이다. 따라서 조사식품의 건전성을 검토하

기 위해서 適正量 이상의 시료를 실험동물에게 먹이거나 實用線量 이상의 높은 선량을 照射하는 것은 타당하지가 않다.

1964년과 1969년의 FAO/IAEA/WHO 전문위원회는 불충분한 자료때문에 어떤 조사식품에서 얻은 건전성에 관한 연구결과를 다른 조사식품에 外挿 적용시킬 수 있는 일반원칙을 설정할 수가 없었다. 그러나 1974년 WHO 협의에서는 1 Mrad 이내의 조사 선량에서는 건전성의 시험결과가 동일부류의 식품에 모두 적용될 수 있다고 생각하였다. 따라서 자료가 충분한 동일 종류의 식품에 대한 건전성 시험은 보다 간단한 과정만을 거쳐도 될 것으로 보았으며 예전대 밑에서 얻은 자료는 보리, 옥수수, 귀리에 적용할 수 있는 것으로 보았던 것이다. 그러므로 대표적인 한 품목의 시험결과는 전 품종을 망라하여 적용할 수 있다고 보았다.

1976년 同전문위원회는 식품의 放射化學에 관한 한 많은 data가 일반화하여 적용시킬 수 있는 것으로 보았다. 조사식품에서 확인된 방사선에 의한 분해생성물을 보면 대부분이 非照射 식품에서도 발견되는 것이며 그 농도는 가장 많이 생성된 분해생성물의 경우라 하더라도 6 Mrad 이내에서 ppm 단위에 불과하고 1 Mrad 이하에서는 이보다 훨씬 낮은 것으로 보고되었다. 다시 말해서 방사선 분해생성물의 화학구조와 그 생성농도를 볼 때, 조사식품이 인체에 미치는 유해작용은 무시될 수 있다는 결론에 이르게 된 것이다.

방사화학적 연구는 동물시험에 의한 독성학적 연구의 보조역할과 아울러 線量依存性을 실험적으로 증명하는데 기여하였다. 전에는 高線量의 조사식품에서 얻은 data를 동일식품의 低線量 조사에 적용하는 것이 의문시 되었는데 이것은 고선량조사는 저선량조사에서 형성된 어떤 방사선 분해생성물을 파괴하는 것이 아닌가 하는 의문 때문이었다. 그러나 방사화학적 실험결과는 Mrad 정도의 범위내에서는 방사선 분해생성물의 농도는 선량에 비례하여 증가한다는 선량의존성을 실증해 주었다. 따라서 고선량의 식품에서 얻은 data는 저선량의 동일식품에 적용할 수 있게 되었다.

결국 同위원회는 동물사육시험과 방사화학적 연구의 결과를 종합하여 볼 때 0.5 Mrad 이내의 조사식품의 식용은 인체에 위험하다는 어떠한 명확한 증거가 없기 때문에 인체에 안전하다고 보았으며, 인체는 이보다 높은 선량에서도 역시 안전하다는 결론이 내려지리라 기대하였다. 또 동일종류의 식품조사는 그것의 형태가 바뀌었다 하더라도 안전성의 시험결과는 마찬가지로 적용됨을 인정하였다. 또 同위원회는 식품조사의 기술

적인 면에 대하여, 예를 들어 최적조사선량 보다는 조사선량 범위(최고-최저선량)의 중요성과 反復照射의 방지, 수확 후 조사시기, 포장재료, 저장관리 등에 관하여서도 고찰하였는데 이에 대한 것은 생략하겠다.

3. 조사식품의 法的許可 현황

조사식품이 실용화하려면 법적허가 절차가 필요하다. 조사식품이 법적허가를 받으려면 식품첨가물의 경우와 마찬가지로 健全性시험(동물사육에 의한 안전성시험과 영양화학, 미생물학적 변화조사 등을 포함)을 거쳐야 한다.

식품의 건전성 승인은 국가에 따라 차이가 있으나 크게 (1) 무조건 승인(unconditional acceptance), (2) 잠정적 승인(temporary acceptance), (3) 조건부 승인(conditional acceptance)의 3 가지로 구별되고 있다. 여기서 조건부 승인에는 국가에 따라 차이가 있겠으나, (1) 연구실험용, (2) 환자치료용, 혹은 (3) 소비자 반응을 알기 위한 시험시판용(test marketing)에 한하여 승인됨을 뜻한다. 그런데 1976년의 FAO/IAEA/WHO 전문위원회에서는 “조건부 승인” 항목을 삭제하였으며 “temporary acceptance”를 식품첨가물과 구별하기 위하여 “provisional acceptance”로 바꾸어 놓았다. Provisional acceptance란 조사식품의 안전성을 확립하기 위하여 추가시험이 필요하지만 현존하는 data로 보아서 그 조사식품이 건강상 아무런 장애가 없는 경우로서 추가시험의 결과가 나와 전문위원회에서 다시 판정될 때까지 잠정적으로 승인함을 뜻한다.

조사식품의 법적허가는 1958년에 소련에서 처음으로 감자의 방사선조사를 허가한 이래 1976년 말까지 식품의 종류로 볼 때 19개 국가에서 25개 품목에 이른다(Table 1). 그중 한 품목의 식품이라도 무조건 허가를 결정한 국가는 소련, 미국, 이스라엘, 네델란드, 스페인, 덴마크, 우루구아이, 일본, 태국, 이태리(年代順)의 11개국에 달하고 식품의 종류를 보면 감자, 곡류식품 밀과 밀가루, 양파, 건조과실, 건조식품 농축물, 양송이, 마늘을 들 수 있다. 특히 감자의 照射는 가장 많은 나라(18개국)에서 무조건 혹은 조건부로 허가하고 있으며 네델란드, 소련, 캐나다, 불가리아, 헝가리 등이 많은 품목의 조사식품을 허가하고 있다.

4. 實用 가능한 照射食品

1) 감자, 양파, 마늘

감자, 양파, 마늘 등은 일정기간의 휴면이 지나면 발

Table 1. General survey of irradiated food products cleared for human consumption in different countries

Country	Product	Purpose of irradiation	Radiation source		Dose (krad)	Date of approval
			^{60}Co	^{137}Cs electrons		
Bulgaria	potatoes ^{a)}	+	+		10	1971
	potatoes ^{a)}	+	+		10	30 Apr. 1972
	onions ^{a)}	+	+		10	30 Apr. 1972
	garlic ^{a)}	+	+		10	30 Apr. 1972
	grain ^{a)}	+	+		30	30 Apr. 1972
	dry food concentrate ^{a)}	+	+		100	30 Apr. 1972
	dried fruits ^{a)}	+	+		100	30 Apr. 1972
	fresh fruits(tomatoes, peaches, apricot, cherry, raspberry, grapes) ^{a)}	+	+		250	30 Apr. 1972
	potatoes ^{e)}	+	+		10 max.	9 Nov. 1960
	potatoes ^{e)}	+	+		15 max.	14 Jun. 1963
Canada	onions ^{e)}	+	+		15 max.	25 Mar. 1965
	wheat, flour, whole wheat flour ^{e)}	+	+		75 max.	25 Feb. 1969
	poultry ^{d)}	+	+		700 max.	20 Jun. 1973
	cod & haddock fillets ^{d)}	+	+		150 max.	2 Oct. 1973
	potatoes ^{a)} ^{d)}	+	+			31 Oct. 1974
	potatoes ^{e)}	+	+		15 max.	27 Feb. 1970
	potatoes ^{b)}	+	+	10 MeV	7.5-15	8 Nov. 1972
	deep-frozen meals ^{a)} ^{c)}	+	+		2500~4500	24 Mar. 1972
	potatoes ^{a)}	+	+		15 max.	26 Sep. 1974
	potatoes ^{d)}	+	+		10	23 Dec. 1969
Denmark	potatoes ^{d)}	+	+		15	10 Jan. 1972
	potatoes ^{d)}	+	+		15 max.	5 Mar. 1973
	onions ^{d)}	+	+			5 Mar. 1973
	onions ^{d)}	+	+		6	6 Aug. 1975
	strawberries ^{d)}	+	+		500	5 Mar. 1973
	mixed spices (black pepper, cumin, paprika, dried garlic) ^{a)}	+	+			2 Apr. 1974
	potatoes ^{b)}	+	+		15 max.	5 Jul. 1976
	onions ^{b)}	+	+		10 max.	25 Jul. 1968
	potatoes ^{b)}	+	+		7.5~15	30 Aug. 1973
	potatoes ^{b)}	+	+	+		
FRG	potatoes ^{a)}	+	+			
	potatoes ^{b)}	+	+			
	potatoes ^{c)}	+	+			
	potatoes ^{d)}	+	+			
	potatoes ^{e)}	+	+			
	potatoes ^{f)}	+	+			
	potatoes ^{g)}	+	+			
	potatoes ^{h)}	+	+			
	potatoes ⁱ⁾	+	+			
	potatoes ^{j)}	+	+			
Hungary	potatoes ^{a)}	+	+			
	potatoes ^{b)}	+	+			
	potatoes ^{c)}	+	+			
	potatoes ^{d)}	+	+			
	potatoes ^{e)}	+	+			
	potatoes ^{f)}	+	+			
	potatoes ^{g)}	+	+			
	potatoes ^{h)}	+	+			
	potatoes ⁱ⁾	+	+			
	potatoes ^{j)}	+	+			
Israel	potatoes ^{a)}	+	+			
	potatoes ^{b)}	+	+			
Italy	potatoes ^{a)}	+	+			
	potatoes ^{b)}	+	+			

Country	Product	Purpose of irradiation	Radiation source		Dose (krad)	Date of approval
			⁶⁰ Co	¹³⁷ Cs		
Italy	onions ^{e)}	sprout inhibition	+	+	7.5~15	30 Aug. 1973
	garlic ^{e)}	sprout inhibition	+	+	7.5~15	30 Aug. 1973
	potatoes ^{e)}	sprout inhibition	+	+	15 max.	30 Aug. 1972
	asparagus ^{a)}	radurization	+	+	200 max.	7 May. 1969
	cocoabeans ^{a)}	insect disinfection	+	+	70 max.	7 May. 1969
	strawberries ^{a)}	radurization	+	+	250 max.	7 May. 1969
	mushrooms ^{e)}	growth inhibition	+	+	250 max.	23 Oct. 1969
	deep-frozen meals ^{c)}	radappertization	+	+	2500 min.	27 Nov. 1969
	potatoes ^{e)}	sprout inhibition	+	+	15 max.	23 Mar. 1970
	shrimps ^{a)}	radurization	+	+	50~100	13 Nov. 1970
Japan	onions ^{a)}	sprout inhibition	+	+	15 max.	5 Feb. 1971
	onions ^{e)}	sprout inhibition	+	+	5 max.	9 Jun. 1975
	spices & condiments	radicidation	+	+	800~1000	13 Sep. 1971
	poultry, eviscerated(in plastic bags) ^{e)}	radurization	+	+	300 max.	31 Dec. 1971
	fresh, tinned & liquid foodstuffs ^{e)}	radappertization	+	+	2500 min.	8 Mar. 1972
	spices ^{a)} ^{d)}	radicidation	+	+	1000	4 Oct. 1974
	spices ^{a)} ^{d)}	radicidation	+	+	1000	26 Jun. 1975
	vegetable filling(powdered batter-mix) ^{a)} ^{d)}	radicidation	+	+	150	4 Oct. 1974
	endive(prepacked, cut) ^{a)} ^{d)}	radicidation	+	+	100	14 Jan. 1975
	broiler chickens ^{e)}	radurization	+	+	300 max.	10 May 1976
Philippines	shrimps ^{d)}	sprout inhibition	+	+	100 max.	15 Jun. 1976
	cod & plaice fillets ^{d)}	sprout inhibition	+	+	100 max.	7 Sep. 1976
	potatoes ^{b)}	sprout inhibition	+	+	15 max.	13 Sep. 1972
	potatoes ^{e)}	sprout inhibition	+	+	5~15	4 Nov. 1969
	onions ^{e)}	sprout inhibition	+	+	8 max.	1971
	potatoes ^{e)}	sprout inhibition	+	+	12~24 max.	1976
	onions ^{e)}	sprout inhibition	+	+	10 max.	20 Mar. 1973
	potatoes ^{e)}	sprout inhibition	+	+	10	14 Mar. 1958
	potatoes ^{e)}	sprout inhibition	+	+	30	17 Jul. 1973
	grain ^{e)}	insect disinfection	+	+	30	1959
South Africa	fresh fruits & vegetables ^{a)}	radurization	+	+	200~400	11 Jul. 1964
	semi-prepared raw beef, pork & rabbit products (in plastic bags) ^{a)}	radurization	+	+	600~800	11 Jul. 1964
Thailand						
USSR						

Country	Product	Purpose of irradiation	Radiation source		Dose (krad)	Date of approval
			⁶⁰ Co	¹³⁷ Cs electrons		
USSR	dried fruits ^{a)}	insect disinfestation	+		100	15 Feb. 1966
	dry food concentrates(buckwheat mush, gruel, rice pudding) ^{a)}	insect disinfestation	+		70	6 Jun. 1966
	poultry, eviscerated(in plastic bags) ^{a)}	radurization	+		600	4 Jul. 1966
	culinary prepared meat products (fried meat, entrecote) (in plastic bags) ^{a)}	radurization	+		800	1 Feb. 1967
	onions ^{a)}	sprout inhibition	+		6	25 Feb. 1967
	onions ^{e)}	sprout inhibition	+		6	17 Jul. 1973
United Kingdom	any food for patients who require a sterile diet as an essential factor	radappertization				1 Dec. 1969
	wheat & wheat flour ^{e)}	insect disinfestation	+		20~50	21 Aug. 1963
USA				+	20~50	2 Oct. 1964
					20~50	26 Feb. 1966
	white potatoes ^{e)}	sprout inhibition	+	5 MeV	5~10	30 Jul. 1964
				+	5~10	2 Oct. 1964
				+	5~15	1 Nov. 1965
Uruguay	potatoes ^{e)}	sprout inhibition	+			23 Jun. 1970
	patatoes ^{b)}	sprout inhibition	+		15 max.	12 Apr. 1969
	wheat & ground products ^{b)}	insect disinfestation	+		75 max.	12 Apr. 1969

- a) experimental batches
- b) temporary acceptance for 5 years
- c) hospital patients
- d) test marketing
- e) unlimited clearance

아, 발근되어 영양성분이 소모되고 상품가치가 저하되기 때문에 장기간 저장이 어렵다. 이들의 발아억제(萌芽抑制)는 수확전 MH(maleic hydrazide)제의 포장살포, 수확 후 저온저장 등에 의하여 달성되기도 하나 조절, 관리가 까다롭고 그 효과가 완전하지 못하다.

방사선을 이용한 감자, 양파 등의 발아억제는 불과 10 krad 내외의 낮은 선량으로서 저장온도에 관계없이 그 효과가 뚜렷하고 또 식품에 미치는 부작용과 안전성 면에서 볼 때 어떤 문제를 일으키지 않을 것으로 예상되기 때문에 다른 식품에 비하여 보다 많은 연구가 수행되었다. 특히 감자는 1950년대 초부터 그 연구가 활발히 진행되어 조사식품중 최초로 법적허가(1958년 소련)를 받았고 또 최초로 산업화(1973년 일본)가 이루어진 품목이 되었다.

감자의 경우 일정한 照射線量 범위내에서 “무조건 허가”를 결정한 국가는 현재까지 소련, 캐나다, 미국, 이스라엘, 일본, 스페인, 덴마크, 네델란드, 우루구아이, 이태리, 남아프리카 순으로 11개국이며 그 외에 “잠정적 허가”를 내린 프랑스, 필리핀 등 7개국을 포함하면 18개국에 달한다. 또한 양파는 1965년 최초로 법적 허가를 결정한 캐나다를 비롯하여 소련, 이스라엘, 스페인, 네델란드, 태국, 이태리 순으로 7개국이 “무조건

허가”를 결정하였고 헝가리는 “시험시판용” 照射를 허가하고 있다. 그리고 마늘은 이태리와 불가리아 두 나라에서 법적 허가를 받았다.

발아억제를 목적으로 한 방사선조사는 일본에서 가장 큰 규모로 실시되고 있다. 일본에서는 1973년 12월 北海道의 감자 産地에 30만 Ci의 대단위 Co-60 감마선 照射施設(그림 1)이 완공되어 1973/74년에 15,000톤, 1974/75년에 19,000톤, 1975/76년에는 21,000톤의 감자가 방사선조사되어 시판되었다(표 2). 이는 1954년 Sparrow와 Christensen이 방사선에 의한 감자의 발아억제효과를 보고한 이래 약 20년이 경과되어 비로서 실용화가 성취된 것이다. 일본에는 北海道의 30만 Ci 조사시설에 앞서 이미 原研高崎研究所에 15만 Ci Co-60 감마선 선원이 개발연구용으로 설치되어 감자, 양파 등의 照射연구에 이용되어 왔으며, 양파의 경우도 건전성 시험이 끝나 법적허가를 신청중에 있으므로 곧 실용화 될 것으로 예상된다.

최근 이태리에서는 15톤의 照射감자가 2개월 저장후에 市販되었으며 헝가리에서는 照射감자와 양파가, 태국에서는 照射양파가 시험적으로 시판되어 성공을 거두었다고 한다. 방사선조사의 실용화는 조사식품의 건전성(안전성), 경제성과 소비자의 수용성에 좌우되는

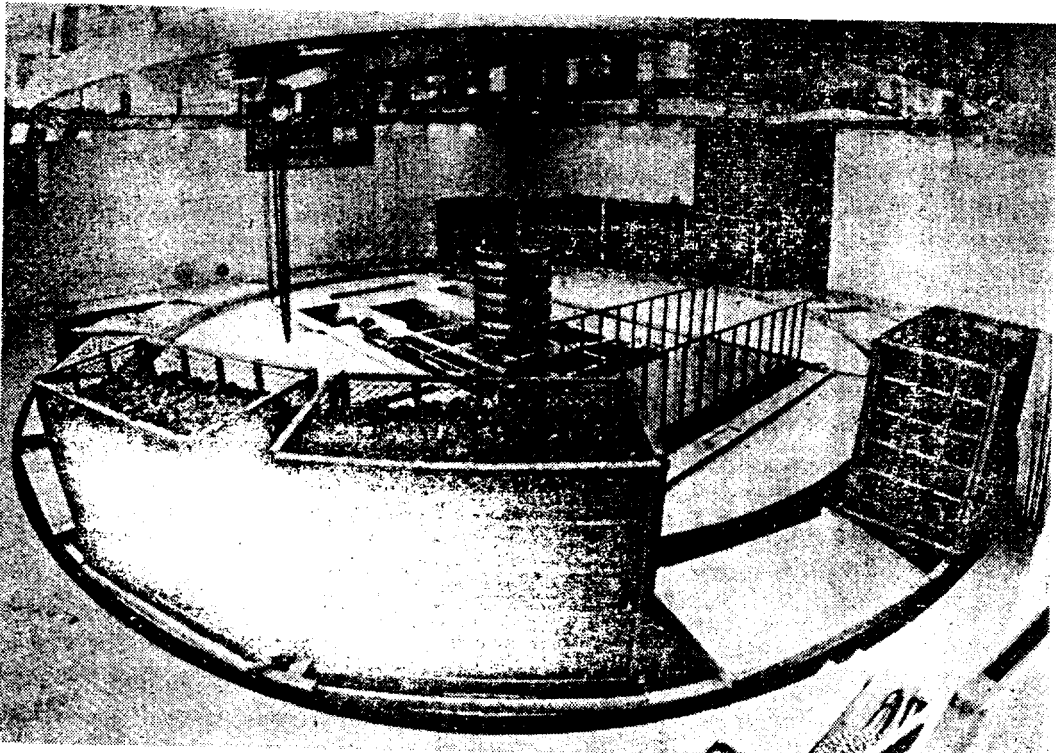


그림 1. 日本 北海道의 감자照射施設 (코발트-60 30만 큐리로 月 照射容量 15,000톤)

표 2. 日本에서의 방사선 照射감자 소비현황

(단위 : 톤)

연 도	家 庭 用	加 工 用	합 계
1973/74	9,000 東京 92% 大阪 2% 北海道 6%	6,000 東京 46% 北海道 54%	15,000
1974/75	10,000 東京 90% 大阪 7% 北海道 3%	9,000 東京 5% 北海道 95%	19,000
1975/76	11,000 東京 85% 大阪 10% 北海道 5%	10,000 東京 65% 大阪 5% 北海道 30%	21,000

데 시험시판으로서 소비자의 반응을 조사하고 있는 것이다. 서독에서는 50톤의 감자를 chip 가공용으로 照射하였다. 우루구아이에서는 감자 25,000톤, 양파 5,000톤 규모의 산업용 조사시설이 계획, 설계중에 있으며 프랑스에서는 移動照射시설(mobile irradiator)이 시험용으로 가동되고 있다.

발아억제를 위한 조사선량은 매우 낮아서 살균효과를 기대할 수 없으므로 미생물에 의한 부패를 막으려면 역시 저온에서 저장하여야 한다. 조사효과도 휴면기간이 지나면 현저히 감소되기 때문에 조사시기의 제한을 받게 되는 문제점이 남아 있으나 발아억제효과가 완전하고 이제 그 안전성이 증명되었기 때문에 방사선에 의한 발아억제는 다른 어느 것보다도 널리 보급될 것으로 보인다.

2) 穀類식품

밀, 쌀 등의 곡류나 그 분말제품에는 *Sitophilus* 속, *Ephestia* 속, *Tribolium* 속, *Oryzaephilus* 속, *Sitotroga* 속, *Polorus* 속, *Rhizopertha* 속 등의 有害昆蟲이 서식하고 있다. 이들 해충은 농약을 살포하거나 밀폐된 저장고에서 CS₂, methyl bromide, propylene oxide와 같은 燻蒸劑를 사용하여 제거하는 재래적인 방법이 있기는 하나, 약제성분이 잔류할 수 있고 그나마 포장내부 깊숙이 들어 있는 해충은 사멸시키기가 매우 어렵다.

감마선은 투과력이 강하고 잔류분을 남기지 않기 때문에 대형의 포장식품을 살충하는 데는 그 어느 방법보다도 편리하다. 더우기 해충의 방사선 저항성은 알, 애벌레, 번데기, 성충에 따라 차이가 있기는 하나, 불과 20~30 krad 정도의 조사선량으로 대부분이 사멸되어

방사선 저항성이 큰 *Sitotroga cerealella*도 100 krad 조사선량에서는 죽게 된다. 이와같이 곡류종의 해충은 저선량으로 사멸시킬 수 있을뿐만 아니라 곡류식품은 수분함량이 적기 때문에 방사선저장이 다른 어떤 종류의 식품보다도 유리한 위치에 있다고 보겠다. 그러나 곡류식품의 저장은 다른 식품에 비하여 그다지 심각하지 않은 때문인지 아직 산업화가 되지 못하였다.

곡류식품의 방사선조사는 1959년 소련에서 제일 먼저 30 krad에서 “무조건 허가”가 결정되었으며, 미국은 1963년에 50 krad, 카나다는 1969년에 75 krad 이내에서 밀과 밀가루에 한하여 “무조건 허가”를 승인하였다. 그리고 1976년에 열린 FAO/IAEA/WHO 전문위원회에서도 밀의 안전성이 공인되었다.

쌀에 대한 방사선 照射연구는 그 주산지인 한국, 일본, 스리랑카, 인도네시아 등에서 수행되었다. 그중 일본에서 가장 활발히 진척되어 건전성 연구까지 매듭단계에 있으므로 감자, 양파에 이어 곧 20 krad 선량에서 법적허가가 결정될 것으로 예상되고 있다. 쌀은 우리나라에서 동물에 의한 안정성 실험을 거친 유일한 품목이다.

건조가 덜 되거나 습도가 높은 환경조건에서는 쌀에 곰팡이가 번식한다. 이들 곰팡이 중에는 mycotoxin을 생성하는 *Aspergillus* 속, *Penicillium* 속이 있어 더욱 문제가 된다. 그리하여 殺蟲線量보다 높은 200 krad 정도의 高線量을 조사하여 곰팡이를 사멸시킴으로서 저장성을 향상시키는 연구가 수행되었으며 실용화가 가능하지 않을까 예상된다.

3) 果實類

과실에 대한 방사선 조사의 효과는 가열살균에서 pasteurization에 해당하는 部分殺菌(radurization)과 熟度調整, 殺蟲을 들 수 있다.

열대과실의 핵 중에 들어 있는 해충은 재래적인 방법으로는 죽이기가 어렵지만 투과력이 강한 감마선을 이용하면 매우 효과적이다. 특히 mango의 경우는 미국의 WARFI 연구소와 IFIP에 의해서 건전성 시험이 수행되고 있어 주목된다.

딸기, 果汁은 감염된 미생물로 인하여 오래 보관하기가 어렵고 특히 과즙의 경우에는 가열살균과정을 거치므로 해서 新鮮味가 떨어져게 된다. 이들 미생물(주로 곰팡이)의 발육은 250 krad 내외의 감마선조사로서 억제되기 때문에 신선한 채로 저장수명을 연장할 수 있는 것이다. 밀감과 같은 과실에 감염된 미생물은 표피 조직에서 번식하므로 과실내부까지 방사선을 관통시킬 필요가 없다. 그러므로 투과력이 강한 감마선 대신에 투과력이 약한 전자선을 照射하여 과실의 표면만을 살

관하는 방법이 연구되고 있다.

과실중에는 바나나와 같이 呼吸騰貴(climacteric rise) 현상을 갖는 것이 있어서 이러한 현상을 거치면 바로 老熟하게 된다. 호흡등귀현상이 일어나기 전에 방사선을 조사하면 이 현상이 늦게 나타나서 그만큼 오래 과실을 신선하게 보존할 수 있다. 바나나, 파파이어 등의 속도조절에는 250 krad 내외의 높은 선량이 필요하기 때문에 속도조절과 동시에 살균효과도 기대할 수 있다.

과실류의 방사선조사는 미국, 헝가리, 네델란드와 남아프리카, 태국 등의 熱帶국가에서 깊은 관심을 갖고 있으나 지금까지 “무조건 허가”가 결정된 품목은 하나도 없고 4개국에서 6개 품목에 한하여 “조건부 허가”를 결정하였다. 그러나 1976년 FAO/IAEA/WHO 전문위원회는 딸기와 파파이어에 대하여 “무조건 허가”를 공인하였으므로 곧 각국에서 이를 따를 것으로 예상된다.

4) 肉類와 생선

육류식품의 방사선조사는 살균에 그 목적이 있으며 미국과 소련에서 가장 활발히 연구되었다. 육류중에는 *Clostridium botulinum*, *Cl. perfringens*와 같은 유독성 有孢子 세균이 감염될 수 있는데 이들 세균은 방사선에 대한 저항성이 대단히 크므로 이들을 사멸시키는데는 매우 높은 선량이 필요하다. 그리하여 쇠고기는 소련에서 800 krad, 돼지고기는 캐나다에서 700 krad까지 법적으로 허가되고 있는데 그나마 실험용 규모 혹은 시험시판용에 국한하고 있어 그 실용화는 아직 숙제인 것 같다.

생선은 바다에서 잡아서 소비자에 이르기까지 일정한 기간이 필요하다. 생선이나 열처리되지 않은 이들 가공품은 그 기간동안 기계냉동, 혹은 얼음에 재운 상태로 보관된다. 생선의 방사선조사는 대체로 線蟲을 죽이거나 salmonellae와 같은 유독성 혹은 각종 부패성 세균을 부분 살균시킴으로서 보다 오랜 기간 신선하게 보존하는데 그 목적이 있다.

캐나다 150 krad 이내에서 照射된 대구(cod & haddock filets)를, 그리고 네델란드는 최근 100 krad 선량에서 조사된 대구, 새우를 시험시판용에 한하여 허가하고 있다. 현재 대구, 연어 등의 照射생선에 대한 전선성 시험이 IFIP에 의해서 진행되고 있고 이미 1976년에 FAO/IAEA/WHO 전문위원회는 생선의 종류에 관계없이 500 krad 이내에서 “잠정적 승인”을 하였으므로 이의 실용화는 유망한 것으로 보인다.

5) 기타식품

양송이를 많이 재배하는 네델란드에서는 250 krad 이내에서 양송이의 熟度조절을 목적으로 한 방사선조사를 “무조건 허가”하고 있다. 고추가루를 포함한 醬辛

료의 살균을 목적으로 헝가리에서는 500 krad, 네델란드에서는 1,000 krad까지 방사선 조사를 허가하고 있는데 특히 헝가리에서는 고추의 일종인 paprika의 방사선저장에 지대한 관심을 갖고 있다.

영국, 서독, 네델란드에서는 無菌食品의 개발에 방사선을 이용하는 방법을 채택하고 있다. 예를 들어 서독, 네델란드에서는 냉동무균식의 경우 2,500 krad 이상의 방사선조사를 환자에 한하여 허가하고 있으며 한개의 조사식품도 아직 법적으로 허가하지 않은 영국에서도 환자치료용에 한하여서는 식품의 종류에 관계 없이 이를 허가하고 있다.

5. 결 론

食品照射가 실용화되는데 있어서 가장 문제가 된 것은 조사식품의 安全性이었다. 조사식품의 안전성에 대한 증명은 법적허가 절차상 필요불가결한 것일 뿐만 아니라 소비자의 반응에 중요한 영향을 미친다. 특히 방사선에 대한 두려움은 전문가적인 입장에서만 느낄 수 있는 식품첨가물이나 잔류농약과는 달리 핵무기의 연상때문인지 일반대중에게도 매우 강하다.

그러므로 방사선조사가 식품보존을 위하여 산업적으로 널리 이용될 것인가 하는 의문이 오랫동안 계속되었다. 그러나 각국에서 산만하게 인정되던 조사식품의 안전성이 1976년 FAO/IAEA/WHO 공동전문위원회에서 公認되었고 放射線에 대단히 민감한 일본에서도 대량의 照射감자가 이미 市販되고 있음을 볼 때, 방사선에 의한 식품저장법은 멀지 않아 널리 실용화되지 않겠는가 하는 긍정적일 결론을 내릴 수 밖에 없다.

식품조사의 개발, 실용화를 목적으로 각국은 自國에 유리한 식품을 선정하여 건전성 시험과 아울러 조사선원, 조사방법, 조사후 관리방법 등의 기술적인 분야를 해결하려 하고 있고 연구결과를 국제무대에 제출하여 토론하고 있다. 금년에 들어서도 식품조사의 산업적 이용(Industrial application of food irradiation)에 관한 심포지움이 1977년 3월 APRIA(Association pour la Promotion Industrie-Agriculture) 주최로 파리에서 열렸으며 11월에는 방사선에 의한 식품저장(Food preservation by irradiation)에 관한 제3차 심포지움이 FAO/IAEA 주최로 네델란드에서 개최된 바 있다.

국내에서는 1960년대 중반부터 食品照射에 관한 연구가 활발히 착수되어 IAEA와도 밀접한 관계에 있었으나 최근 정부 및 관계기관의 관심이 적어져 연구가 부진하게 된 것은 매우 안타까운 일이다. 식품조사에 대한 세계적 動向과 展望을 감안하여 국내에서의 現況

分析과 對策이 絶실히 요청되고 있다.

참 고 문 헌

1) *Food Irradiation Information*, International Project in the field of Food Irradiation, Karlsruhe, W. Germany, No. 1~7 (1972~1977).

2) *Food Irradiation* (Proc. Symp., Karlsruhe, Jun. 1966, IAEA/FAO), IAEA, Vienna (1966).

3) *Radiation Preservation of Food* (Proc. Symp., Bombay, Nov. 1972, IAEA/FAO), IAEA, Vienna

(1973).

4) *Wholesomeness of Irradiated Food* (Report of Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee), WHO, Genva (1977).

5) 梅田圭司 : 澱粉科學(日本), 24(1), 19 (1977).

6) 青木章平 : 原子力工業(日本), 23(5), 9 (1977).

7) 松山晃 : 原子力工業(日本), 23(5), 23 (1977).

8) Elias, P. : 食品照射(日本), 11(1,2), 64 (1976).

9) Sparrow, A. H. & Christensen, E. : *Nucleonics*, 12 (8), 16 (1954).

10) 李瑞來 : 한국식품과학회지, 5, 188 (1973).