

농산물 검역에서 방사선기술의 이용 동향

Current Status of Food Irradiation Technology on Quarantine of Agricultural Commodities

윤요한, 변명우, 김왕준¹, 권중호², 이주운*

Yohan Yoon, Myung-Woo Byun, Wang-Jun Kim¹, Jung-Ho Kwon², Ju-Woon Lee*

한국원자력연구원, 정읍 방사선과학연구소, 방사선 식품생명공학연구팀

¹동국대학교 식품공학과

²경북대학교 식품공학과

Team for Radiation Food Science and Biotechnology, Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Research Institute

¹Department of Food Science and Technology, Dongguk University

²Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University

I. 서론

식품산업의 고도화 및 국제화 시대를 맞아 고부가가치의 제품을 생산하기 위해서는 원료의 안정공급, 위생적 생산, 효율적 제조공정, 안전저장 및 유통을 위한 기술이 확보되어야 한다. 식품의 위생화 기술로서 방사선 조사기술은 1차 세계 대전을 전후하여 미국과 유럽에서 연구되기 시작하여 1980년대 상용화가 이루어 졌다. 상용화와 함께 세계보건기구(WHO), 식량농업기구(FAO), 국제원자력기구(IAEA) 등 국제기관에서는 기술의 건전성과 안전성에 대해 매우 광범위하고 폭넓게 연구하여, 1999년에 방사선 조사식품의 안전성에 대한 최종보고서를 발간하였다(1, 2). 1964년부터 FAO/IAEA Joint Division에서는 식품과 농업분야에서 원자력 기술의 활용을 위한 사업을 추진하고 있다. UN FAO는 식품의 영양과 안전성을 향상시킨 지속 가능한 농업 발전을 통해 국제적 기아와 빈곤 퇴치를 위

해 노력하고 있고, IAEA는 원자력의 평화로운 사용을 권장하고 원자력 기술을 지구촌 건강과 행복을 촉진시키기 위해 사용하도록 권장하고 있다. 방사선 조사기술은 식품의 관능적 품질에 큰 변화를 일으키지 않으면서도 오염과 식품 유래 병원성 미생물, 유해 곤충을 제어하여 식품의 질과 안전성을 상승시키는 몇 가지 기술 중 하나이다. 방사선 조사기술은 크게 3가지의 목적으로 이용될 수 있다. 식품의 저장성 연장과 생물학적 식중독 예방, 가공공정 개선 및 품질개선, 그리고 국제 식량교역에서 검역관리에 활용할 수 있다(3). 식품을 포장한 상태로 연속처리가 가능하여 살균처리 후 재포장에 따른 2차 오염의 방지, 처리 시 온도의 변화가 적어 냉장, 냉동식품에 대한 살균의 용이성, 화학 훈증 살충방법으로 인한 환경 파괴와 잔류 유해성분의 문제 해결과 함께 고에너지 효율의 장점을 갖고 있다(4). 반면에, 광산화 촉진으로 인한 지방 산패와 조직의 연화 등으로 인한 관능적 품질 저하는 반드시 극복해

*Corresponding author: Ju-Woon Lee

Team for Radiation Food Science and Biotechnology, Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Research Institute

1266 Sinjeong-dong, Jeongeup 580-158, Korea

Tel: +82-63-570-3204

Fax: +82-63-570-3207

e-mail: sjwlee@kaeri.re.kr

야 할 과제로 나타났다(5). 또한, 낮은 소비자 수용성 문제도 여전히 산업 활성화에 큰 장벽으로 존재하고 있다.

한편, 국가 간 식품과 농산물 자원의 교역이 활발해짐에 따라 방사선 기술의 활용도 커질 것으로 전망된다. WTO에서는 1986년 Canada Montreal에서 개최된 UN 환경보호위원회에서 동식물위생검역처리절차(Sanitary and Phytosanitary Measures, SPS)의 수정안이 의결됨에 따라 methyl bromide 등 화학훈증제를 대체할 기술로서 방사선 조사기술의 사용을 권고하고 있다(6). 이에 따라 곡류, 과일, 야채류와 같은 농산물의 식품검역을 주관하는 국제식물검역위원회(IPPC)에서는 방사선 조사기술을 이용한 해충류의 안전한 검역관리를 위한 지침서를 발간하여 각국에 배포하고 이를 기준으로 자국의 규정을 정비하도록 요구하고 있다(7). 이러한 국제적인 환경변화에서 2007년부터 인도는 방사선 조사한 망고를 미국으로 수출하기 시작하였고 그 양은 약 157톤 정도였으나, 2008년에는 275톤이었다. 미국의 망고 소비량은 약 25만톤으로 방사선 조사된 망고의 수출량은 더욱 증가될 전망이다. 게다가 적은 양의 조사된 파파야는 오스트레일리아에서 뉴질랜드로 2008년에 수출되었고, 300 톤의 오스트레일리아 망고가 2004년부터 수출을 진행하고 있다(8). 2008년 현재 멕시코, 오스트레일리아, 태국, 베트남 등 20여 이상의 국가가 농산물 수출을 위한 유해 해충류에 대한 방사선 조사 검역관리를 채택하고 미국 등 선진국 시장진입을 위한 협상을 진행 중이다(8).

이와 같은 국제 동향에서 대한민국은 주요 농산물 수입국으로서 방사선 조사된 농산물의 국내 유입에 대한 준비가 거의 없는 것이 현실이다. 국내에는 아직까지 방사선 조사된 열대과일 등의 유통에 관한 규정이 마련되어 있지 않다. 따라서, 방사선 조사된 열대과일이나 신선 농산물

이 수입되어도 유통될 수 없기 때문에 수출국은 규정 마련을 요구하고 있다. 이는 세계 무역의 자유화 경향에서 심각한 통상의 문제를 야기시킬 수 있다. WTO는 무역에 관한 기술장벽(technical barriers on trade, TBT)을 보복관세와 같은 의미로 해석하여 자유무역주의협정(Free Trade Agreement, FTA)에서 반드시 철회하여야 할 항목으로 분류하고 있다(9). 국내 농산물 수출에서도 이와 같은 상황은 충분히 발생할 수 있다. 특히, 농식품 수출 활성화를 위한 정부의 적극적 지원으로 적은 규모이지만 국내산 농산물이 수출되는 상황에서 수입국의 검역 기준을 만족시키는 것이 무엇보다도 중요하다.

이러한 상황에서 WTO, IPPC, WHO/FAO 등 국제기구 중심의 진행 중인 방사선 조사기술을 활용한 국제 농산물 교역의 안전 검역관리 국제기준 표준화 활동을 이해하고 2015년 이후 본격적으로 이용이 급증할 방사선 조사 검역관리 기준에 대응할 국내 기반 마련을 위한 자료로서 활용하기 위해 본 논문을 기고한다.

II. 방사선 조사기술의 이용 현황

1. 식품산업에 이용되는 방사선의 종류 및 특성

방사선은 방사성동위원소(radio isotope, RI)로부터 방출되는 α (알파), β (베타), γ (감마)선과 기계적으로 전자 가속기(electron accelerator)에서 나오는 전자선(electron beam)과 이를 자기파로 전환시킨 χ 선, 원자로에서 만들 수 있는 중성자선(neutron beam) 등이 있다. 이들 중 χ 선과 감마선은 매우 짧은 초단파장이고 높은 에너지를 갖는 전자기파이다(10). 이는 우리가 일상생활에서 쉽게 접하고 있는 microwave나 라디오/TV 전파, 자외선, 가시

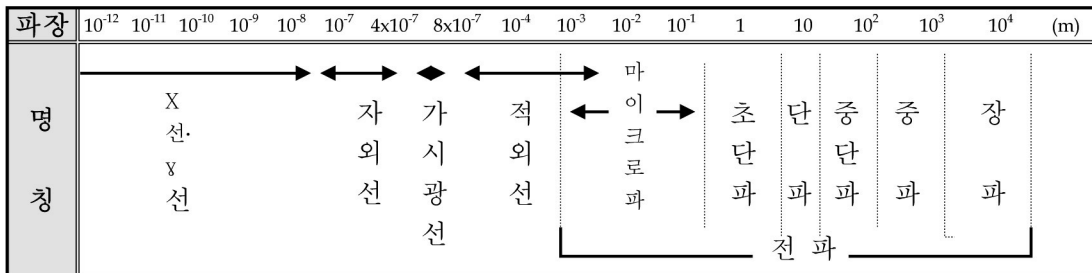


그림 1. 방사선의 종류와 파장

광선, 적외선 등과 같은 범주에 속한다 (그림 1).

식품에 대한 방사선 조사는 넓은 의미에서는 광합성, 천 일건조, 숯불구이, 전기구이, 마이크로웨이브 가열, 자외선 살균, γ -선/전자선/감마선 조사 등 모든 형태의 빛에 에너지를 이용하는 것을 포함한다. 그러나 전문적 의미에서 방사선 식품조사(food irradiation)란 초단파장의 감마선, 전자선, γ -선을 이용한 식품의 처리를 말한다. 사전적 의미의 방사선 식품조사 기술이란 식품 완제품 또는 식품재료를 본래 상태에 가깝게 보존하거나 위생적 품질을 개선할 목적으로 특정 방사선 에너지를 식품(피조사체)에 일정시간 노출시켜 살균, 살충, 생장조절, 물성개선 등의 효과를 거두는 기술이라고 할 수 있다.

방사선 에너지는 식품을 통과할 때 물질의 원자나 원자단, 분자 등을 전리시켜 이온을 생성하게 되며, 이러한 성질을 지닌 방사선을 전리방사선 또는 이온화 방사선(ionizing radiation)이라 한다. 감마선, γ -선, 전자선, 자외선 등이 이 범주에 포함되며, 현재 FAO, WHO, IAEA와 Codex에서 식품에 이용할 수 있다고 밝힌 방사선은 감마선, 전자선 및 γ -선이다.

식품에 대한 방사선 조사량은 국제단위계(SI)의 방사선 흡수선량(absorbed dose)으로 나타내며, 그 단위는 gray(Gy)가 사용된다(1 Gy = 100 rad = 1 joule/kg). 한때는 Rad(radiation absorbed dose - 물질 1 g당 100 erg의 방사선 에너지를 흡수한 상태를 1 rad라고 함)를 사용하기도 하였으나, 현재는 Gy를 사용하고 있다.

식품의 저장 및 위생화에 이용하는 방사선 조사기술은 방사선의 생물학적 반응 특성을 활용한 응용과학 분야이다. 이를 이용하여 근채류 농산물(감자, 마늘, 양파, 밤 등)의 발아 및 발근 억제, 과일 등의 숙도지연, 식품의 부패균/병원균 사멸 등과 같은 식품의 저장성 및 안전성을 증진시키는 다양한 효과를 얻을 수 있다. 방사선의 생물학적 작용기작은 직접 작용설(direct theory), 즉 표적설(target theory)과 간접 작용설(indirect theory)로 설명할 수 있다. 먼저 직접 작용설은 생물체의 세포나 그 밖의 표적 물질에는 방사선에 대해 감수성이 높은 부분(DNA 등)이 존재하므로 여기에 방사선 에너지가 직접 작용하여 분자 내 유효한 전리작용을 일으켜 생물학적 효과 - 불활성화 -를 가져온다. 간접 작용설은 생체 내에 세포 구조를 둘러싸고 있는 물이나 전리 생성물(ion이나 radical 등)이 2차적으로 세포생활에 필요한 물질(유전자, 효소 등) 또는

그 구조에 화학적 변화를 일으켜 간접적으로 생물학적 불활성화를 나타내는 학설로 설명된다. 일반적으로 식품과 같은 생물체에서 유래된 피조사체에 대한 방사선의 작용은 이상의 두 가지 작용이 동시에 일어나는 것으로 이해되며, 따라서 피조사체 식품의 수분함량(건조상태)과 형태(수분활성도), 생리적 상태(숙도, 저장기간), 공존물질(항산화성 물질), 조사 시 온도, 조사시 환경(산소 존재 여부) 등에 의해 방사선의 생물학적 작용이 상이하게 나타날 수 있다(11).

식품산업에 이용되는 방사선 에너지의 특징을 살펴보면 현재 이용률이 가장 높은 감마선의 경우 우수한 투과력을 지니고 있어서 식품을 포장한 상태에서도 살균, 살충 효과를 거둘 수 있어 연속처리가 가능하고 재포장에 따른 2차 오염의 위험이 없다(4). 전자기속기에서 발생하는 전자선은 감마선에 비해 투과력이 약하여 적용범위가 제한되지만 곡류, 육류 등의 표면살균에 이용이 가능하다. 또한, 방사선 식품조사는 에너지 소요량이 적은 장점을 가지고 있다(12). 즉, 2.5 kGy 조사시 21 kJ/kg의 에너지가 소요되는 반면, 가열살균, 조리(93°C), 냉동(-25°C, 3.5 주) 및 냉장(0°C, 5.5일간) 가공은 각각 918 kJ/kg, 25558 kJ/kg, 5149 kJ/kg 및 157 kJ/kg의 에너지가 소요된다. 방사선 조사식품은 비열처리(non-thermal treatment), 냉온살균(cold pasteurization) 가공법으로 처리식품의 내부 온도 상승이 거의 없어 식품의 물성, 영양 및 관능적 품질의 변화를 최소화 할 수 있는 장점을 지니고 있다. 10 kGy 처리시 비열이 물과 동일한 경우 2.4°C 정도의 낮은 온도상승이 일어나 냉장, 냉동식품의 위생화 처리에도 아주 적합하다(13).

2. 활용범위

방사선 조사식품에 관한 대부분의 연구는 주로 ① 농산물의 발아, 발근 억제(inhibition of sprouting) ② 농산물의 해충구제(insect disinfestation) ③ 농축산물의 기생충 사멸(parasite disinfection) ④ 농산물의 숙도조절(delay of physiological process) ⑤ 저장수명 연장 (extension of shelf-life) 등 농산물의 보존과 국제교역에서의 안전성 확보를 목적으로 이루어졌다.

방사선 식품조사 기술이 기존의 살균 기술들에 비하여 식품고유의 특성변화를 가장 최소화할 수 있는 기술이라

표 1. 주요 식품군의 방사선 조사 목적 및 유효선량

주요 식품군	조사선량(kGy)	주요 목적 및 효과
육류, 가금육, 어패류, 채소 및 기타 신선식품을 이용한 특수영양식품, 무균식품 등	20-70	상업적 완전살균 멸균처리 후 상온 보존
향신료	8-30	미생물의 유효한 감균 및 근충사멸 화학살균 살충의 대체
육류, 가금육, 어패류	1-10	병원성 미생물의 살균 및 부패 방지
딸기 등 과채	1-4	곰팡이의 제거로 보존성 연장
곡류, 과일, 야채	0.1-1	해충의 제거
바나나, 아보카도, 망고 등	0.25-0.35	숙성의 지연
돼지고기	0.08-0.15	선모충의 제거
감자, 양파, 마늘	0.05-0.15	발아의 억제

고는 하지만 조사선량, 식품의 종류 등에 따라 어느 정도의 품질변화가 수반되는 것은 사실이다. 따라서 제어하고자 하는 대상 미생물, 제어 수준, 식품의 특성 등에 따라 조사선량을 조절하여야 한다. 방사선에 의한 식품 내 미생물 살균은 그 목적에 따라 ① 방사선 완전살균(radappertization) - *Bacillus*속 및 *Clostridium*속 등의 내생포자를 포함한 모든 미생물이 검출되지 않을 정도로 멸균 처리로서 30~50 kGy의 고선량 조사로 통조림 식품과 병원 환자용 무균식품, 우주인 식품, 특수스포츠식품, 실험 동물용 무균사료(SPF 또는 germ-free 사료 등), 의약품, 의료용품 및 식품의 포장재료 등의 살균에 적용 ② 방사선 병원성 미생물 살균(radicidation) - 식중독균, 경구전염병균 등의 병원성 미생물을 3.0~10 kGy 조사선량 범위로서 사멸시키는 방법으로 주로 위생화를 목적으로 실시하며 세계적으로 실용화가 가장 활발한 분야 ③ 방사선 부분살균(radurization) - 일반 오염미생물의 생균수를 감소시켜 보존기간 또는 냉장기간을 연장시키는 처리로서 0.5~10 kGy 정도의 방사선 조사선량이 요구된다.

식품산업에서의 방사선 조사기술은 병원성 미생물 및 유해 생물의 사멸에 의한 위생화, 식량자원의 장기보존 및 손실방지, 국가간 식량교역에 따른 검역관리 기술, 그리고 이온화 방사선 에너지를 이용한 식품 및 생명공학분야에서 가공공정 개선 및 신 가공기술로서 이용되고 있다. 이 중 식품산업에서 사용하는 방사선 조사기술에 대한 조사선량 범위와 주요 사용 목적을 표 1에 정리하였다.

3. 방사선 조사식품의 국제 현황

방사선 조사식품의 안전성이 지난 50여 년간 국제기구와 선진국의 주도로 체계적으로 연구되었다. 국제방사선조사전문가위원회(International Consultative Group on Food Irradiation, ICGFI)는 1992년 10 kGy로 조사된 모든 식품의 안전성을 인정하였고, 1997년 10 kGy 이상의 고선량 조사식품에 대한 안전성과 건전성에 대한 기술보고서를 최종 평가하였고, WHO 주관으로 1999년 기술보고서를 발간하여 각 국에 배포하였다. 이와 같은 과학적인 근거로 하여 52개국의 200여개의 시설에서 약 250여종의 식품군에 대하여 방사선 조사가 허가되어 있고, 주요 식품은 향신료, 건조채소류, 근채류, 가금류 등이다. Codex에서는 방사선 조사식품에 대한 Codex 일반규격 및 운영규정을 채택하고 각 국의 활용을 권장하고 있다(표 2).

III. 국제 농산물 교역에서의 활용

1. 국제 농산물 검역 환경의 변화

농산물의 검역기술로서 지금까지 이용되어온 훈증제(fumigant) 등의 화학약품 처리는 효과, 비용, 건전성 및 환경적 측면으로 많은 문제점이 지적되면서 적용분야의 제한을 받기 시작했다(14). 훈증 방법에 의해서 식품에 오염된 근충이나 해충의 알(卵)을 파괴 시킬 수 있으나 제

표 2. WHO/FAO/IAEA 및 Codex의 식품 방사선 조사 국제적 합의 규격

식품군	방사선조사 목적	기술적 선량범위 (kGy)	
		(min)	(max)
식품군 1: 구근류, 근채류, 괴경식물	저장 중 발아억제	0.05	0.2
식품군 2: 생과일 및 신선야채류	a)속도지연	0.3	1.0
	b)해충구제	0.3	1.0
	c)저장성 연장	1.0	2.5
	d)감염관리*	0.15	1.0
식품군 3: 곡류 및 그 분말류, 견과류, 유지종자, 두류, 건조과일	a)해충구제	0.3	1.0
	b)미생물 감균	1.5	5.0
	c)발아억제(밥)	0.1	2.0
식품군 4: 어류, 해산물, 개구리다리, 민물 및 육상무척추동물 (신선 및 냉동)	a)병원성미생물 감균**	1.0	7.0
	b)저장성 연장	1.0	3.0
	c)기생충 감염관리**	0.1	2.0
식품군 5: 가금육과 적색육 및 그 육제품 (신선 또는 냉동)	a)병원성미생물 감균**	1.0	7.0
	b)저장성 연장	1.0	3.0
	c)기생충 감염관리**	0.5	2.0
식품군 6: 건조채소류, 향신료, 양념류, 동물사료, 건약제 또는 약용차	a)병원성미생물 감균**	2.0	10.0
	b)해충구제	0.3	1.0
식품군 7: 동물 근원의 건조식품	a)해충구제	0.3	1.0
	b)곰팡이 억제	1.0	3.0
	c)병원성미생물 감소	2.0	7.0
식품군 8: 전통식품과 기타식품 - 건강식품, 환자식용 전통식품, 아라비아검 및 기타 증량제, 군 식량, 꿀, 우주식량, 특수향신료, 액상란(卵)	a)미생물 감균		***
	b)멸균		***
	c)감염관리		***

* 최소선량은 특정 해충이나 병원균에 대해 정해질 수 있음.

** 최소선량은 식품의 위생적 품질을 보장하기 위해 처리 목적을 고려하여 정함.

*** 특정 목적과 식품 원료에 대해 정해지는 최대 선량.

품을 멸균시킬 수는 없다. 전통적으로 사용되고 있는 훈증 방법에서는 ethylene oxide(EO)와 methyle bromide(MeBr)를 사용하는 것이다. EO는 발암 유발 물질로 알려져 1991년에 EU에서 사용이 금지되었고 미국에서는 검토 중이다. MeBr은 대기의 ozone을 파괴시키는 것으로 보고되었다(15). 또 하나의 훈증방법으로서 sulfur

dioxide (SO₂) gas를 사용하는 것인데 이 방법은 아직도 시험 평가 중이다. 이와 같은 훈증 방법 사용에 따라 예상되는 건강장해는 대체 기술의 필요성을 강력히 시사하고 있다. 1986년 UNEP의 의결로 발표된 MeBr의 사용 규제는 농산물 교역에서 관리기술의 변화를 예고하였다 (표 3).

표 3. Methyl Bromide의 사용 규제/금지 사항

국 가	규제량 (시행년도)
선진국	25% (1999)
	50% (2001)
	70% (2003)
	전면금지 (2005)
개발도상국	20% (2005)
	전면금지 (2015)

(UNEP, Montreal Protocol, 1986)

국내의 경우, 증가하는 수입 농산물의 미생물이나 해충을 제어하기 위한 방법으로 화학 훈증제를 사용하고 있으나 국제 규정에서 제시하였듯이 2015년 이후에는 훈증제의 사용이 금지되기 때문에 식물검역 분야에 대한 기술(alternative technology)이 필요한 실정이다(14). 최근 IPPC은 식물검역에 방사선기술의 이용에 관한 국제기준에 관한 가이드라인을 제시함으로써 과일류 수출입 검역에서 훈증제나 화학보존제의 대체 기술로서 방사선기술이 농산물 무역에 유용이 사용될 것으로 전망된다(13).

Del Mante Foods, Philip Morris/Kraft 및 Mitsubishi와 같은 다국적 기업은 세계적 위치를 굳히기 위하여 방사선 조사를 선호하고 있다. 세계적 식품기업은 노동력이 싸고 농약을 많이 사용하지 않은 열대지역의 과일과 채소류에 주목하고 있다. 주요대상국은 중국, 브라질, 남아프리카, 필리핀, 칠레, 아르헨티나, 태국과 멕시코이며 선진국은 미국, 호주, 뉴질랜드 및 캐나다를 포함하여 방사선 식품조사에 대하여 큰 관심을 가지고 주목하고 있다. 수출용 과일에 대한 방사선 조사는 과일의 저장기간을 연장하고, 과일파리(fruit fly)와 같은 유해한 해충을 제거하여 TBT로 되어 있는 유해 미생물의 반입을 차단할 수 있기 때문에 선진 검역기술로서 인정되어 방사선 조사된 과일이 세계 각국에 수출할 수 있게 된다. 이와 같은 기술은 식품 공급의 산업화와 관련기구 활성화를 촉진하며 세계적으로 식량 교역을 증가시키고 있다. 국내에서도 신선과채류의 편의성과 영양적 가치 때문에 그 소비가 해마다 증가하고 있고 부족한 공급과 다양한 소비자의 요구를 충족시키기 위해 미국, 남미, 중국을 비롯한 동남아시아 국가로부터 수입이 증가하고 있으나 훈증제 사용 금지 후 이를 대체할 기술이 준비되어 있지 않은 실정이다.

2. 국제 방사선 식품조사 시장 규모

2005년도 국제 방사선 식품조사 시장 동향 분석 결과에 따르면 방사선 조사된 식품 및 농산물은 총 405,000톤이고 경제적인 가치로는 24억 달러 규모였다(14). 이 중에서 45%(183,000톤)가 아시아와 오세아니아 지역에서 생산되었고 29%(116,000톤)가 미주지역에서, 22%(90,000톤)가 아프리카와 우크라이나 지역에서, 4%(15,000톤)가 EU지역에서 각각 생산되었다. 경제적 규모로는 미주지역이 16억 달러, 아시아와 오세아니아 지역에선 4억 7천만 달러, 아프리카와 우크라이나가 2억 달러, EU의 1억 달러에 해당한다. 또한 살균을 목적으로 방사선이 조사된 양념류나 건조된 야채류는 186,000톤(46%) 이었고 방사선을 조사하여 살균된 곡류나 과일류 그리고 육류나 생선의 양은 각각 82,000톤(20%)과 32,000톤(8%) 이었다. 마늘이나 감자의 경우는 88,000톤(22%)이 방사선이 조사되었고 건강보조식품, 버섯, 꿀과 같은 기타 식품 중 17,000톤(4%)이 방사선에 조사된 후 유통되었다(15).

3. 농산물 검역의 활용 사례

1) USA

농산물 수출입 검역관리를 위한 방사선 조사는 하와이, 캘리포니아, 플로리다에서 주로 수행하고 있으며 방사선 조사시설(업체)과 관련 규정은 USDA 산하 미국 동식물 검역소(APHIS)에 의해 관리되고 있다. 신선 과일류의 방사선 조사는 150 - 400 Gy의 흡수선량에서 실시하고 있다. 우수 방사선 조사 절차(good irradiation practice, GIP)에 따른 조사선량의 정확성을 보증하기 위한 dosimetry와 검역관리 기준에 대한 정기 검사를 실시하여 방역과 검역 관리에 활용하고 있다.

2) 태국

2006년 태국은 방사선 조사한 과일류를 미국에 수출하기 시작하였다. 미국과의 수입 조건에서 과일은 곤충류와 식물 해충 구제를 위해 400 Gy로 방사선 조사하여 검역처리하고 수출하도록 계약하였으며, 미국 정부가 인증한 업체에서 실시하여야 한다. 식물위생 증명서에 따라 수출국 검사증명서에 부기하여 방사선 조사를 실시하고 litchi의

경우, litchi에 상해를 입히는 곰팡이 *Peronophythora litchii* 가 제거되었음을 수출국 검사증명서에 기록하여야 한다.

3) 멕시코

2008년 멕시코 정부는 구아바, 감귤, 망고 등이 미국으로 수출할 수 있도록 수입 기준을 마련하였다. 구아바는 최소 400 Gy의 방사선 조사를 해야 하며 선적 물품은 멕시코 국립식물검역소(NPPO)에 의해 검사를 받아야 한다.

4) 인도

2007년부터 미국으로 수출하기 시작한 인도산 망고는 400 Gy의 방사선 조사가 요구된다. *Cytosphaera mangiferae*, *Macrophoma mangifera* 같은 곰팡이류와 세균의 일종인 *Xanthomonas campestris* pv.의 미국 내의 유입되는 것을 막기 위한 추가적인 방법이 연구되고 있다.

4. 농산물 검역에서 방사선 조사기술의 전망

훈증제를 대체하기 위해 대안 제시를 위해 먼저 고려해야 할 사항은 경제성이다. 방사선 조사는 기존의 방법들보다 위생화 비용이 25 - 55 달러/Ton 으로 다른 처리방법들(50 - 600 달러/Ton)에 비해 경제적이다(표4).

식물검역을 위한 방사선의 이용은 IPPC에 의해 현재 국제적으로 승인이 되어 있고(17), 농산물이 수입되기 전 저선량(<1 kGy)의 방사선 조사만으로 과일 또는 채소류에 상관없이 모든 유해 해충을 구제할 수 있으며 제품의 품질에 미치는 영향도 다른 살충방법과 달리 적다(표 5). 따라서 확실한 처리를 통해 해충을 미리 사멸시켜 놓으면 수입 통관 시 반복처리를 하지 않아도 되기 때문에 검역이 매우 빨리 진행된다(17, 18).

농산물의 안전 검역을 위한 방사선 조사기술의 이용을

확대하기 위해 FAO와 IAEA는 합동으로 국제 전문가 공동연구 사업을 수행하여 왔다. 이 활동을 중심으로 방사선 조사기술 적용에 관한 규정은 FAO/IAEA/WHO의 후원 하에 설립된 ICGFI에서 각국 정부에서 지정한 방사선 식품조사 전문가로 구성된 그룹이 방사선 식품조사 기술의 R&D 성과와 결과의 평가를 수행하였고, 회원국과 국제기구에 방사선 조사기술의 적용에 관해 권고하여왔다. 또한, 국제 기준에 맞게 회원국 간의 규정을 단일화하고 방사선 조사된 농산물의 교역을 원활하게 하기 위하여 과학적인 자료들을 수집하고 평가 분석한 정보를 제공하여 왔다(19). 우리나라도 1998년 FAO/IAEA Workshop(서울, 1998년 4월)에서 아시아 태평양 지역 IAEA 회원국과 Codex 기준에 맞게 자국내 규정을 일치하자고 합의하여 2004년 5월 식품공전의 방사선 조사식품 규정을 Codex 범주로 재편하였다. 그러나, 신선 야채와 과일과 같은 주요 교역대상 농산물에 대한 규정이 마련되어 있지 않아 WTO체제에서 동남아시아와 농산물 주요 수출국과의 FTA/DDA 통상교섭에서 매우 불리한 위치에 있을 수 있고, TBT 판정에 따른 불이익을 입을 수 있다. 따라서, 무조건적인 수입허용으로 인한 국내 농업기반을 붕괴시키지 않으면서, 우리 농산물을 보호하고 또한 우수 농산물을 수출할 수 있는 해안이 마련되어야 할 것이다. 2015년부터 시행할 MeBr 전면 규제에 따른 준비기간이 매우 짧다. 통상의 문제는 이제 농업, 식품 산업만의 문제가 아닌 국가 산업전체에 걸쳐 영향을 미칠 수 있기 때문에 준비가 철저해야 한다. 이제는 기술적 오해와 물이해에서 벗어나 국제적 활용에 대해 냉정히 관찰하고 준비하여야 할 것이다. 방사선 조사기술은 완벽한 검역관리 기술은 아니다. 그러나, 앞으로 당면할 문제를 해결하는데 큰 역할을 담당할 수 있는 국가가 보유한 기술인 것이다.

표 4. 식물 위생화를 위한 경제성 비교

Treatments	US\$/Ton
Hot water	250
Steam treatment	200 - 250
Refrigeration	46 - 600
Controlled atmosphere	50 - 600
Irradiation	25 - 55

표 5. 방사선 조사가 이용되고 있는 농산물과 이용 선량

농산물	조사선량(Gy)	수출국가
Mangos	400	인도
Litchi, longan, rambutan mangosteen	400	태국
Dragon fruit		베트남
Guavas, mango	150	멕시코
Grape, strawberry, mushroom	<400	미국
Litchi, mango, papaya, logan	<250	호주

IV. 결론

수입 농산물의 안전과 식량안보의 확립, 국제 교역에서 국익과 경제성, 화학 훈증제의 대체기술 마련으로 인해, 국제적으로 방사선 조사기술의 이용이 증가하고 있다. 하지만, 국내에 식물검역 분야에 이 기술을 적용하기 위한 규정이 마련되어 있지 않고 소비자 수용성도 낮기 때문에 농산물 교역에서 국제적 마찰이 우려된다. 물론 무작위로 수입 농산물을 받아들일 수만은 없다. 국내 농업기반의 안정을 꾀하면서, 국제 교역환경의 변화에 대응하기 위한 노력이 절실히 필요한 시점이다. 따라서 국제 환경변화에 대한 능동적인 대처를 위해 정보의 획득, 지속적인 연구개발, 실효성 있는 정책의 수립과 시행이 이루어져야 할 것이다. 방사선 조사기술과 같은 국제적인 요구에 부응하는 기술의 획득과 적용으로 국내의 우수 농산품을 수출할 수 있고, 그 시장은 넓게 펼쳐져 있다.

참고문헌

1. WHO. High-dose Irradiation: Wholesomeness of Food Irradiated with Doses Above 10 kGy, Report of a joint FAO/IAEA/WHO Study Group, WHO Technical Report Series 890, Geneva, 1999.
2. European Commission, Statement of the Scientific Committee on Food on a Report on 2-alkylcyclobutanone (expressed on 3 July 2002), SCF/CS/NF/IRR/26 ADD 3 Final.
3. Canadian Food Inspection Agency. Recommended Canadian code of practice for food irradiation (2002).
4. Thayer DW, Boydm G, Foxm JB, Lakritzm L, Hampton JW. Variations in radiation sensitivity of foodborne pathogens associated with the suspending meats. J. Food Sci. 60: 63-67 (1994).
5. Jo C, Lee JI, Ahn DU. Lipid oxidation, color changes and volatiles production in irradiated pork sausage with different fat content and packaging during storage. Meat Sci. 51: 355-361 (1999).
6. FAO/IAEA. Irradiation for food safety.
7. IPPC. International standards for phytosanitary measures (2008).
8. India seeks early breakthrough for mango exports to US, Japan. Available at: <http://webetc.info/TYNC/03-19-06.mango-irradiation.pdf>
9. WTO. Technical barriers to trade. Available at: http://www.wto.org/english/tratop_E/tbt_e/tbt_e.htm
10. Food Standards Agency-Irradiated food. Available at: http://www.food.gov.uk/safereating/rad_in_food/irradfoodqa/. Retrieved on 2008-01-26.
11. Cuero RG, Smith JE, Lacey J. Interaction of water activity, temperature and substrate on mycotoxin production by *Aspergillus flavus*, *Penicillium viridicatum* and *Fusarium graminearum* in irradiated grains. Trans. Brit. Mycol. Soc. 89: 221-226 (1987).
12. Ito H, Islam MS. Effect of dose rate on inactivation of microorganisms in spices by electron-beams and gamma-rays irradiation. Radiat. Phys. Chem. 43: 545-550 (1994).
13. Loaharanu P. Irradiation as a cold pasteurization process of food. Vet. Parasitol. 64: 71-98 (1996).
14. Kume T, Furuta M, Todoriki S, Uenoyama N, Kobayashi Y. Quantity and economic scale of food irradiation in the world. Radioisotopes. 58: 25-35 (2009).
15. Kume T, Furuta M, Todoriki S, Uenoyama N, Kobayashi Y. Status of food irradiation in the world. Radiation Physics and Chemistry. 78: 222-226 (2009).
16. Kim JK. Hepatoprotective effects of low molecular weight hyaluronic acid prepared by gamma irradiation. Ph.D dissertation. Korea University (2008).
17. FAO. Guidelines for the use of irradiation as a phytosanitary measures. International Plant Protection Convention, ISPM No. 18, Rome, Italy (2003).
18. Morris SC, Jessup AJ. Irradiation. pp. 163-190, In: Paull RE, Armstrong JW (ed) Insect pests and fresh horticultural products: Treatments and responses. CAB International, Wallingford, UK (1994).
19. WHO. International consultative group on food irradiation. Available at: <http://www.afro.who.int/des/fos/links.html>.