

식품에 대한 방사선의 이용

〈제 1 회〉

權 重 浩

한국에너지연구소 식품조사연구실

국제기관의 통계에 의하면 수확된 식량의 저장중 손실은 전체 생산량의 25% 이상에 이르며, 특히 개발도상국을 포함한 아시아 지역에서는 30~50%의 수준에 달한다고 한다.

이와같은 손실의 원인은 주로 미생물이나 해충 등에 의한 직접적인 피해와 생체식품의 생리作用, 그리고 유통 및 저장 시스템의 미비에 따른 부패를 들 수 있으며, 국내에서도 유통과정에서 버려지는 농수산물의 양이 연간 2천억 원을 훨씬 넘는다고 하니 수확에서부터 소비에 이르기까지의 전체 손실량은 가히 짐작이 가고도 남음이 있다.

더우기 2000년대에는 6천만으로 늘어날 우리나라의 인구증가 추세와 식량수입 의존도 등을 감안하여 볼 때 식량자원의 확보를 위한 구체적인 대책이 요구되며, 현실적으로 가능한 과학적인 방법에 의해서도 10%의 직접증산이 어려운 현 상황에서 식량의 저장기술을 개선함으로써 20% 이상의 간접증산을 가져오는 방법은 가장 실제적인 방안이며 또한 세계적인 추세이다.

지금까지 이용되어 오던 재래적인 식품저장법은 오랜 역사와 더불어 개선되고 과학화되어 온 건조법(脱水포함), 鹽藏, 醱酵, 열처리, 냉장 및 냉동, 화학보존제, 포장 등이 있고 여기에 통조림 방법과 가스저장(controlled atmosphere)이 새로운 방법으로 부가되어 사용되고 있다.

그러나 이와같은 방법들은 식품 저장법으로서의 기본요건인 영양분의 보존, 병원성 및 부패 유기체의 제거, 생물학적 및 화학적 유해성 방지, 경제적 타당성 등의 측면에서 문제점을 안고 있어 실제적인 요구를 충족시키지 못하고 있다. 따라서 이상과 같은 문제점을 해결하거나 보완할 수 있는 새로운 기술의 개발이 요구되어 왔으며, 최근에는 방사선에 의한 식품저장법이 지난 30여년간의 연구결과를 바탕으로 그 안전성과 실용성이 국제적으로 인정됨에 따라 산업적인 규모의 이용이 확대되고 있다.

특히 국내에서도 지난 60년대 부터의 기초 연구와 80년대의 실용화 연구결과를 바탕으로 하여 放射線 照射食品의 法的許可와 産業用 照射施設의 建設 등(표1) 食品照射 시대의 본격적인 章을 열게 되었다. 따라서 본고는 새로운 식품저장가공 방법인 食品照射 기술의 전반적인 특성과 응용범위, 안전성 그리고 산업화에 관련된 내용을 소개함으로써 이에 대한 올바른 이해와 효율적인 활용을 도모코자 하였다.

〈표 1〉 국내법적허가 照射食品 및 照射施設

	품 목	허용照射量*	照射目的	허가일자
照射食品	감자, 양파, 마늘	0.15kGy이하	發芽抑制	'87.10.16
	밤	0.25kGy이하	"	"
	생 버섯	1.0kGy 이하	殺虫, 熟度調整	"
	건 조 버섯	1.0kGy이하	殺 虫	"
照射施設	放射線源*	線 種	처리용량	준공일
	⁶⁰ Co (18.5PBq, 500kCi)	감마(γ)선	60만톤/년	'87.6.19

* 식품에 대한 방사선 조사량(Gy)과 照射線源量(Bq)은 본문에서 설명됨.

제 1 장 食品照射 技術의 原理와 應用

食品照射의 역사는 Roentgen(1895)과 Becquerel (1896)이 X선과 自然放射能을 각각 발견하고 Mink(1896)가 세균에 대한 X선의 영향을 발표한 데서 비롯되었으며, 2차 세계대전 이후 원자력의 평화적 이용(atom for peace)의 전형적인 분야로서 국제기구와 선진 여러나라의 주도로 방사선에 의한 식품저장 연구가 본격적으로 추진되어 산업적 실용화의 단계에 접어들었다. 본란에서는 食品照射 기술의 기본적인 이론과 응용분야 등을 중심으로 정리해 본다.

1. 基礎概念

食品의 放射線 照射技術 및 照射食品에 대한

실제적인 내용을 다루기에 앞서 이에 관련된 기본적인 개념을 정리해 두기로 한다.

(1) 放射能과 放射性 同位元素

放射能(radioactivity)이란 어떤 물질에서 자발적으로 방사선이 방출되는 성질을 말하며 이것은 核種 즉, 原子 또는 原子核의 종류에 따른 고유한 성질의 차이로 어떤 원자는 방사선을 방출하지 않지만 어떤 원자는 방사선을 방출하는데 이와같은 성질, 즉 방사능을 지닌 核種을 放射性 同位元素(radioisotope, RI 또는 radionuclide)라 한다.

原子核의 종류는 이를 구성하는 陽子와 中性子の 수에 따라 결정되며, 陽子數가 같으면서 中性子の 수가 다른 원자끼리는 質量은 다르나 동일한 화학적 성질을 나타내므로 同位元素(isotope)라 부른다. 또한 同位元素끼리를 구별하기 위하여 陽子와 中性子の 합계(質量數)를 元素記號의 왼쪽위에 붙여 쓰게 되는데 예를 들어 산소(O, 원자번호 8)는 陽子를 8개 가진 元素로서 中性子 數의 차이에 따라 ¹⁶O, ¹⁷O, ¹⁸O 등의 동위원소가 존재한다.

放射能의 量을 나타내는 단위는 단위 시간당 崩壞하는 粒子의 수, 즉 原子核의 수를 나타내는 キュ리(curie, Ci ; 초당 3.7×10¹⁰개의 원자가 변환 또는 붕괴하는 방사성 물질의 양)가 사용되어 왔으나 국제 방사선 단위 측정위원회(ICRU)의 권고에 따른 국제단위계(SI)의 放射能量은 방사능 자체를 기본으로 한 새로운 베크렐(becquerel, Bq) 단위로 사용하고 있으며, 1Bq는 초당 1개의 원자가 변환 또는 붕괴되는 방사성 물질의 양으로 표시된다. 즉 1Bq는 1dps(disintegration per second)이며 2.7×10⁻¹¹Ci에 해당된다.

(2) 放射性 崩壞와 半減期

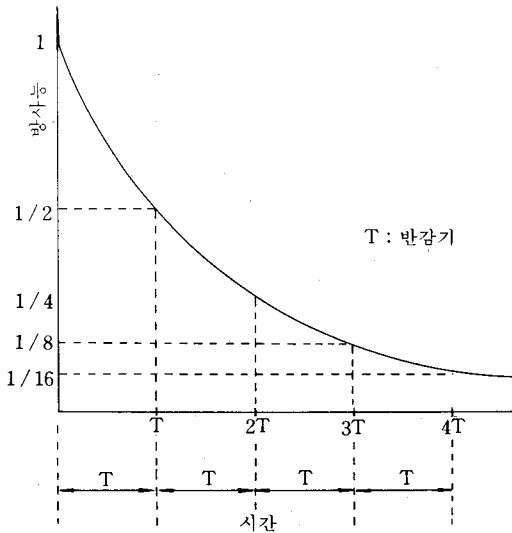
食品照射에 이용되는 대부분의 방사선 에너지는 放射性 同位元素의 붕괴과정에서 얻어지는 에너지를 이용하는 것인데, 어떤 원소의 원자를 구성하는 核이 내부결합의 不安定性 등으로 방사선을 내면서 안정한 元素로 될 때까지

붕괴되는 것을 放射性 崩壞라고 하며, 放射性 元素의 붕괴형식에는 α (알파)붕괴, β (베타)붕괴, 양전자(β^+)붕괴 등이 있다.

食品照射의 γ (감마)線源으로 쓰이는 코발트 60(^{60}Co , Co-60)과 세슘137(^{137}Cs , Cs-137) 동위원소의 붕괴과정은 β 붕괴로서 ^{60}Co 은 β 선을 내면서 붕괴한 후 勵起狀態(excited state)의 니켈60(^{60}Ni)은 γ 선을 방출하면서 안정한 상태로 변환된다.

이상과 같은 放射性 同位元素의 崩壞連鎖(decay chain) 과정에서 原子數가 처음의 半으로 붕괴되는 시간을 半減期라 하며, 放射能은 원자수에 비례하므로 원자수의 반감기는 방사능의 반감기와 동일하다.

그림 1은 放射能의 감쇠방식을 나타낸 것으로서 半減期 시간(T)이 경과함에 따라 放射能은 반으로 감소됨을 알 수 있으며, 食品照射에 주로 사용되는 ^{60}Co 과 ^{137}Cs 동위원소의 반감기는 5.3년과 30년이다. 따라서 이들 동위원소들



〈그림 1〉 放射能의 減衰方式

은 사용하지 않는 시간에도 항상 공간적으로 에너지를 방출하여 放射能의 量이 저하되므로 에너지의 효율적인 이용과 주기적인 線源의 보충이 필요하다.

(3) 放射線의 種類와 性質

放射線은 放射能과 흡사한 말로서 혼동하기가 쉽다. 放射性 同位元素를 전등에 비유한다면 放射線은 전기불에 해당하고 放射能은 전기불을 방출하는 능력과 성질을 가지고 있는 전등의 필라멘트로 비유될 수 있겠다.

放射線은 放射性 同位元素로부터 방출되는 α , β , γ 線 외에도 기계적으로 발생되는 X線, 電子加速器에서 나오는 電子線(electrons), 원자로에서 만들 수 있는 中性子線 등이 있으며, 이들 중 X線과 γ 線은 매우 短波長의 電磁破로서 우리 일상생활에서 쉽게 이용되고 있는 microwave 나 電波, 그리고 紫外線, 可視光線, 赤外線 등과 같은 부류에 속하는 에너지로서, 그림 2는 식품의 調理, 加工, 貯藏등의 목적에 응용될 수 있는 여러 放射線 에너지들의 波長과 에너지량에 따른 분류를 나타낸 것이다.

방사선과 물질과의 상호작용에서 방사선이 물질을 통과할 때 물질의 原子나 原子團, 分子를 電離시켜 이온을 생성하는 放射線이 있는데, 이와같은 방사선을 電離放射線(ionizing radiation) 이라하며 食品照射에 주로 이용되는 γ 線, 電子線 및 X線과, 그 밖에도 紫外線, α 線, 中性子線 등이 이에 포함된다.

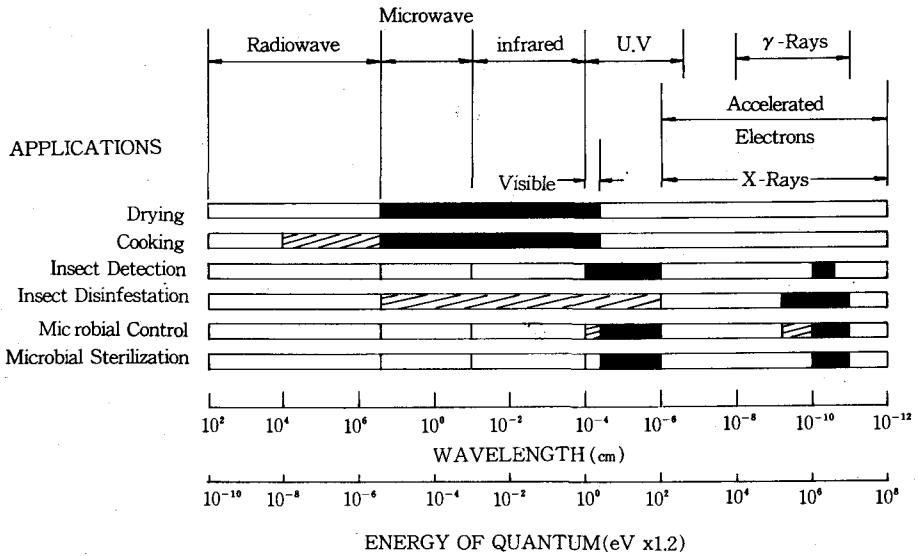
(4) 放射線의 單位

放射線의 기본단위와는 달리 베크렐(Bq)은 放射能의 量을 나타내는 단위이며, 전자볼트(electron volt, eV)나 메가전자볼트(mega 10⁶, MeV)는 小粒子, 原子核, 原子, 分子 등의 에너지를 나타내는 단위로서 방사선 에너지를 나타내는데 사용된다.

우리가 이용하고자 하는 電離放射線의 食品이나 生物體에 대한 照射量과 방사선 방어적인 측면에서 사용되고 있는 국제단위계(SI)의 방사선 단위는 다음과 같다.

① 吸收線量(Absorbed dose)

放射線의 어떤 물체에 대한 吸收線量의 단위는 그레이(gray, Gy)가 사용되며 1Gy=100rad (래드)=1joule/kg에 해당한다. 여기서 1rad (radiation absorption dose)는 被照射體의 종류



〈그림 2〉 식품에 응용될 수 있는 방사선에너지의 스펙트럼

에 관계없이 物質 1g 당 100erg의 방사선 에너지를 흡수하였을 때를 말하며(1rad=100erg/g), 食品照射에서는 照射量으로서 rad가 사용되었으나 최근에는 Gy로 대체되었다. 표2는 放射線 吸收量의 單位로서 rad와 Gy의 상호관계를 나타낸 것이다.

〈표 2〉 食品照射에서 래드(rad)와 그레이(Gy)의 상호관계

Rad (rad)	Kilorad (Krad)	Megarad (Mrad)	Gray (Gy)	Kilogray (kGy)
100	0.1	0.0001	1	0.001
1,000	1.0	0.001	10	0.01
100,000	100	0.1	1,000	1.0
1,000,000	1,000	1.0	10,000	10

② 照射線量(Exposure dose)

어느 장소에서 γ 선 또는 χ 선의 照射強度는 공기를 電離하는 정도로서 평가될 수 있다. 오래 전부터 照射線量의 單位로서는 χ 선의 발견자 이름을 따서 뢰트겐(roentgen, R)이 사용되었으나 최근에는 공기 1kg당 쿨롱(coulomb, C /

kg)으로 표시하며, 이는 얼마의 γ 선이나 χ 선이 공기중에 나오는 것인가를 말해준다(1C/kg=3876R).

③ 線量當量(Dose equivalent)

放射線이 생물에 미치는 영향을 나타내는 單位로서, 吸收線量과 補正係數(relative biological effectiveness, RBE)의 곱으로 표시한다. 즉, 同一한 吸收線量에 대해서도 放射線의 種類가 다르면 電離作用의 차이에 따라 인체에 미치는 영향이 다르다. χ 선, γ 선, 電子線의 생체에 미치는 작용의 RBE를 1 이라하면 中性子는 10, α 粒子는 20정도의 보다 강한 영향을 미치게 된다.

이같이 방사선 방어의 목적으로 사용되는 線量當量의 單位는 시버트(sievert, Sv)가 사용되고 1Sv는 100rem에 해당한다. 이때 rem(roentgen equivalent man)은 吸收線量의 單位가 rad 일 때 적용되는 線量當量이다.

2. 食品照射의 특징

식품의 방사선 조사란 가열이나 동결과 같은

물리적인 처리방법으로서¹⁾, 식품의 저장성 향상, 유해 미생물 및 해충제거, 품질개선 등을 목적으로 식품을 일정시간 동안 放射性 同位元素에서 방출되는 γ 선이나 기계적으로 발생하는 전자선 또는 χ 선에 노출시킴으로써 필요한 방사선 에너지를 식품에 통과시켜 효과를 달성하는 방법이다.

특히 γ 선은 투과력이 강하여 식품을 완포장된 상태로 연속처리할 수 있어 2차 오염을 방지할 수 있고, 식품의 品溫上升(국제적으로 무조건 사용이 허가된 10kGy 照射時 물과 같은 열용량을 가진 식품에서 약 2.4°C 상승)에 따른 영양분의 파괴나 외관의 변화를 막을 수 있으며, 화학혼중제나 보존제와는 달리 잔류성분이 남지 않는다는 장점이 있다.

따라서 최근 식품조사 기술은 식량의 저장중 손실감소와 식품저장에 소요되는 에너지 절감 및 인체에 유해한 화학약품 사용의 대체방안으로서 국제식량농업기구(FAO), 국제원자력기구(IAEA), 세계보건기구(WHO)와 미국 식품의약품국(FDA) 등에 의해 그 안전성과 우수성이 인정됨으로서 1987년말 현재 세계 34개국에서 40여 식품군에 속하는 200여종의 방사선 조사식품이 각국의 보건당국에 의해 허가되었다.¹⁻³⁾

(1) 照射線源과 放射線

지금까지 국제기구 즉, FAO, IAEA, WHO, 그리고 국제식품규격위원회(Codex Alimentarius Commission)에서 食品照射에 안전하게 이용될 수 있다고 밝힌 방사선의 종류는 표3과 같다.

〈표 3〉 食品照射에 이용되는 放射線

放射線	線源	半減期	이용에너지(MeV)
γ 선	⁶⁰ Co	5.3년	1.17, 1.33
	¹³⁷ Cs	30년	0.66
전자선 (electrons)	전자가속기에서 발생, 10MeV 이하		
χ 선	기계적으로 발생, 5MeV 이하		

앞서 언급된 바와 같이 ⁶⁰Co과 ¹³⁷Cs 감마선원은 원자핵 반응에 의해 만들어진 인공 방사성 동위원소로서 이들은 고유한 반감기에 따라 공간적으로 항시 감마에너지를 방출하면서 안정한 원소로 변환되지만 전자선과 χ 선은 인공적인 기계장치에 의해서 발생하는 차이점이 있다.

이상의 3가지 방사선 에너지는 식품에 이용될 수 있는 아무리 높은 線量을 照射하더라도 放射能을 誘起하지 않으며 이는 식품에 전기불빛을 아무리 오랫동안 쬐어도 식품에 전기를 일으키지 않는 것과 마찬가지이다.

현재 食品照射에 대한 이용율은 감마선(78%)과 전자선(20%)이 대부분을 차지하고, χ 선은 다량을 식품에 처리하였을 경우 외관이나 풍미에 변화를 일으킬 수 있어 실질적인 이용에 제한이 있다. 전자선은 감마선에 비해 투과력이 약하여 활용범위가 제한되어 있으나 電源에 의해서 에너지의 발생을 조절할 수 있고, 照射工程의 制御, 신속·정확성, 에너지 효율 등에 있어서 장점이 있으므로 실용적인 면에서의 연구개발이 매우 활발하다.

한편 放射線 照射施設로서는 연구용으로서 gammacell 220이 주로 간편하게 사용되고 있고, 그 밖의 감마선과 전자선 조사시설이 캐나다, 미국, 프랑스 등의 전문회사에 의해 제조·공급되어 의료용품의 멸균, 食品照射, 기타 공업용 목적에 활용되고 있다.

국내에는 한국에너지연구소에 ⁶⁰Co 연구용 照射線源과 pilot plant용 10만큐리(3.7PBq) 대당위 조사시설, 그리고 전자선 발생장치(300keV, 25mA)가 있다. 산업용 시설로서는 경기도 여주에 민간기업(용영물산)이 1987년 6월에 준공한 다목적 감마선 조사시설(50만큐리, 18.5-PBq)이 있어 방사선 조사가 법적으로 허가된 식품과 의료제품 등에 이용이 확대될 것으로 본다.

식품조사 시설의 개념은 비교적 간단하여 ⁶⁰Co이나 ¹³⁷Cs 동위원소를 선원으로 하는 감마선 조사시설은 그 주요부분이 放射線源, 콘베어 시스템, 차폐시설, 운전실로 구성되어 있으며, 조사시설에 대한 상세한 내용은 다음호에서 소

개하기로 한다.

(2) 放射線의 作用과 効果

食品照射와 관련한 방사선의 생물학적 효과는 生長調節, 殺虫, 殺菌 등으로 구분할 수 있으며(표4), 이와같은 방사선의 효과를 가져오는 생물학적 작용기작은 표적설(target theory)과 간접설(indirect theory)로 이해된다.

<표 4> 食品照射에 관련된 방사선의 주요생물학적 효과

생장조절	살 총	살 균
發芽·發根 억제 熟 度 지 연 熟 威 축 진 開 傘 방 지 특정성분축적	貯殺害虫사멸 과실해충사멸 건조식품살충 기생충사멸	부분살균 (radurization) 병원균살균 (radicidation) 완전살균 (radappertization)

먼저 표적설은 생물체의 세포나 그 밖의 표적물질내에는 방사선에 대한 感受性이 높은 부분(DNA 등)이 존재하여 여기에 방사선 에너지가 직접 유효한 電離를 일으켜 생물학적 효과를 가져오는 과정이며, 간접설은 생체내의

세포구조를 둘러싸고 있는 물이나 혹은 電離作用에 따른 생성물(이온이나 遊離基)이 2차적으로 세포생활에 필요한 물질 또는 그 구조에 화학적 변화를 일으켜 간접적인 효과를 얻게되는 학설로 설명된다.

3. 應用分野

식품에 대한 방사선의 이용방법은 그 안전성과 실용성에 관련하여 지금까지 이용되어온 어떤 식품가공·저장법보다 오랜기간에 걸쳐 연구되었고 타당성이 검토되었다. 방사선의 식품에 대한 응용분야는 매우 다양하지만 표5는 실용화를 위한 기초연구가 충분히 수행되었을 뿐 아니라 그 효과가 확인된 분야를 중심으로 低線量, 中線量 및 高線量 照射로 나누어 나타내 보았으며, 다음은 국내외에서 수행된 연구내용과 실용화 현황 등을 바탕으로 하여 그 응용분야를 정리해 보기로 한다.

(1) 發芽(根)抑制(Sprout(root) inhibition)

감자, 양파, 마늘 등 주요 根菜類 식품들은 수확후 일정기간의 휴면기가 지나면 發芽, 發根이 시작되어 영양분의 소모와 중량감소, 위

<표 5> 食品照射의 응용분야 및 照射線量

구 분	처 리 효 과	대 상 품 목	조사선량(kGy)
低線量照射 (1.0kGy 이하)	발아(근)억제	감자, 양파, 마늘 등 根菜類와(밤)	0.05~0.15 (0.25)
	殺虫 및 害虫不妊化	곡류, 과채류 등	0.10~0.75
	寄生虫除去	채소류, 돼지고기 등	0.25~1.0
	熟度調整	과채류 등	0.25~1.0
中線量照射 (1.0~10kGy)	저장수명연장	鮮肉, 축·수산가공품, 과채류 등	1.0~3.0
	곰팡이제거	제빵류 등	2.0~4.0
	식중독방지 (살모넬라자계등)	어류, 가공품, 닭고기, 냉동어패류, 냉동란등	3.0~7.0
	살균(위생화) 物性改良	향신료, 건조야채, 배합사료, 포장재 등 寒天生産, 건조야채, 증류주숙성 등	5.0~10 2.0~10
高線量照射 (10~100kGy)	완전살균	햄, 베이컨, 닭고기, 병원환자식, 무균실험동물사료 등	10~50
	바이러스제거		10~100

축, 부패현상을 쉽게 초래하여 상품적 가치가 저하될 뿐만 아니라 장기간 저장이 어렵다. 따라서 發芽抑制를 위해서 수확전 화학약제(MH, CIPC 등)의 처리나 수확후 저온저장법을 사용하여 장기간 품질보존을 꾀하고 있으나 처리효과, 조절관리, 경비 등에 문제점이 많아 안정된 물량의 수급과 물가안정에 어려움을 겪고 있다.

그러나 방사선에 의한 이들 식품의 발아억제는 0.05~0.15kGy 범위의 낮은線量에서도 그 효과가 뚜렷하고 이듬해 수확기까지 저장이 가능하며, 또한 안전성 면에 있어서도 문제가 없을 것으로 생각되어 다른 식품에 비해 가장 먼저 연구가 진행되었다. 특히 감자는 1958년(소련)에 세계 최초로 법적허가를 받았고, 최초로 산업적 실용화(일본, 1973년)가 시작되어 연간 만5천톤 이상이 방사선 처리되어 저장되고 있다.

또한 밤은 0.25kGy의 照射線量으로 發芽抑制와 殺虫效果를 달성할 수 있어 저장습도만 조절된다면 이듬해 여름까지의 저장은 무난하다.

이들 식품군은 수확후 늦어도 2~3개월 이내에 방사선을 처리하여야 발아억제 효과를 달성할 수 있으며, 수확후 기간이 많이 경과되면 보다 높은線量의 방사선이 요구되거나 처리효과가 저하된다.⁴⁾ 일반적으로 照射食品의 발아억제 효과는 처리후 저장온도에 영향을 받지않으나 이들은 생체식품이므로 상품적 가치를 유지하기 위해서는 저장습도 등 외적요인으로 인한 위축현상이나 중량변화 등은 효과적으로 관리되어야 한다.

국내에서는 발아억제 대상식품에 대하여 물가자료를 바탕으로한 방사선 처리시 경제적인 측면을 검토한 바 있으며⁵⁾, 보사부에서는 지난해 감자, 양파, 마늘에 대해 0.15kGy 이하, 밤은 0.25kGy 이하의 방사선 조사를 정식 허가하였다. 세계적으로는 감자 27개국, 양파 24개국, 마늘 11개국에서 각각 법적허가되어 산업적인 이용이 확대되고 있으며, 방사선의 이와같은 발아억제 효과는 고구마, 생강, 당근에서도 확인된 바 있다.

(2) 害虫除去(Insect disinfection)

곡류나 과일, 채소 등의 저장식품에 오염된 해충(알, 애벌레, 번데기, 성충 포함)을 0.1~0.75kGy 정도의 낮은 방사선에 의해 제거하는 방법으로서, 여기에는 雄性不妊技術(the sterile insect technique)도 포함될 수 있다. 일반적으로 해충의 생육단계별(life cycle stages) 방사선 저항성은 성충, 번데기, 유충, 알의 순으로 높으며⁶⁾, 최근에는 인체에 대한 유해성과 환경공해 때문에 ethylene dibromide를 비롯한 화학 훈증제와 농약 등의 사용이 점차 금지됨에 따라 이들에 대한 효과적인 대체방안으로서 방사선 살충방법이 크게 대두되고 있다.

(3) 寄生虫 死滅(Parasite control)

채소류나 돼지고기 등에 오염된 장내 기생충과 旋毛虫(trichinella spiralis)을 포함한線虫類를 0.25~1.0kGy의 방사선에 의해 완전히 사멸시키면서 식품의 영양성분이나 외관적 품질에는 전혀 변화를 주지 않는 방법이다.

미국정부는 1985년 7월 돼지고기의 기생충(선모충) 驅除를 위하여 1.0kGy 이하의 방사선 처리를 허가하였으며⁷⁾, 연간 照射量도 이미 250만톤을 훨씬 넘어서고 있다. 이 방법은 최근 위생적인 고급 채소류의 소비가 증가됨에 따라 활용범위가 넓어질 것으로 기대된다.

(4) 熟度調整(Delay of ripening)

수확된 과일이나 채소류의 숙도를 연장시킴 목적으로 1.0kGy 이하의 방사선을 照射하여 생리적 대사활동(호흡, 효소작용)을 조절함으로써 저장수명을 길게하여 시장확대 등 부가적인 효과를 가져오는 방법이다.

대상식품으로는 주로 열대 과일류(바나나, 망고, 파파야 등)와 토마토, 완두콩, 무화과류 등이며, 특히 버섯의 생장억제와 노화방지에는 효과가 분명하다. 그러나 버섯의 갓이 피는 것과 부패방지를 위해서는 저장환경에 따라 차이는 있으나 1.0kGy 보다 높은線量의 방사선 처리가 필요할 때도 있다.

(5) 貯藏壽命 延長(Shelf-life extension)

放射線의 部分殺菌(radurization) 효과에 의해 여러가지 식품 즉, 鮮魚, 수산가공품, 축육가공품, 채소, 과일 등에 오염된 세균, 효모, 곰팡이 등 부패 미생물의 수를 감소시켜 보존기간 또는 냉장기간을 연장시키는 방법으로서 0.5~10kGy 범위의 放射線量이 필요하다.

(6) 病原菌 殺菌(Radicidation)

3~10kGy 정도의 방사선에 의해 식중독균과 營口傳深病菌, 無芽胞性(芽胞菌의 경우는 營養細胞)病原菌을 사멸하는 것으로서, 처리대상 식품에서 대상병원균(예를 들면 살모넬라균속이나 대장균군)이 검출되지 않을 정도로 살균하는 방법이다. 이에는 冷凍魚介類, 닭고기, 冷凍卵 등의 식품이 대상이 되는데, 표6은 식품 유기체들의 방사선 저항성을 D₁₀값(decimal reduction dose, 초기에 오염된 미생물의 수를

90% 사멸시키는데 필요한 방사선 조사량)으로 비교해 본 것으로서 높은 D₁₀값을 나타낸 virus나 *clostridium* 屬 미생물은 그만큼 방사선에 대한 저항성이 강한 반면, 비브리오, 대장균, 살모넬라균 등은 D₁₀값이 낮아 방사선에 대한 감수성이 비교적 큰 것을 알 수 있다.

한편 식품에 오염된 病原菌의 除去 목적외에도 미생물의 오염도가 높은 향신료나 건조야채류, 분말식품, 배합사료, 어분 등을 위생화할 목적에서 5~10kGy의 방사선을 이용하는 방법(decontamination)이 있는데, 이 분야는 세계적으로 산업화가 가장 활발한 분야이며 미국에서는 1986년도에 이미 만톤이상의 향신료를 상업적으로 照射한 바 있다.

(7) 殺菌(Sterilization)

표6에 나타난 바와같이 방사선 저항성이 높은 *Bacillus* 屬, *Clostridium* 屬 등 芽胞細菌 특히, 내열성 *Clostridium botulinum* 芽胞의 사멸

〈표 6〉 식품 유기체들의 방사선 저항성 비교

Organisms	D ₁₀ 값*(kGy)			
	0.03-0.25	0.25-0.80	0.80-1.70	1.70-8.00
	Sensitive	Mod. Sens.	Mod. Res.	Resistant
Vibrio				
Yersinia				
Campylobacter				
Pseudomonas				
E. coli				
Salmonella				
Staphylococcus				
Penicillium				
Aspergillus				
Micrococcus				
Saccharomyces				
B. coagulans				
B. stearothermophilus				
B. cereus				
Cl. sporogenes				
Cl. perfringenes				
Cl. botulinum				
Viruses				

*D₁₀ 값 : 미생물의 방사선에 대한 저항성을 나타내는 단위로서 초기에 오염된 미생물의 수를 90% 사멸시키는데 필요한 방사선 조사량.

과 virus를 제외한 모든 미생물을 10~50kGy의 고선량에 의해 완전살균하는 방법(radappertization)으로서 밀봉포장된 햄, 베이컨, 닭고기, 병원환자食, 우주인식품, 실험동물용 무균사료 등이 처리될 수 있다.

(8) 物性改良

放射線의 독특한 電離作用에 의해 식품의 물리적 특성을 변화시켜 그 제조·가공 공정중 추출, 여과, 숙성, 再水和 등을 촉진시키는 방법으로서, 일반적으로 2~10kGy의 방사선이 이용되나 경우에 따라서는 더 높은 線量도 활용된다.

그 예로서는 5.0kGy 범위의 감마선 조사로서 寒天생산시 추출성과 여과성을 향상시키는 방법과⁸⁾, 건조야채의 texture개선과 水和시간 단축⁹⁾, 콩 등의 cooking time 단축¹⁰⁾, 人蔘의 유효성분 추출시간 단축¹¹⁾ 등의 기술이 개발되었고, 기타 해외에서는 전분의 점도저하, 위스키의 숙성촉진 등에도 방사선 조사기술을 이용·개발하고 있다.

(9) 기타

방사선은 발암물질인 nitrosamine의 분해효과와, 그 전구물질의 하나로서 육가공품에 널리 첨가되고 있는 아질산염(nitrite)의 사용량을 크게 줄일 수 있는 효과가 확인되었다.¹²⁾ 그 밖에도 식품중의 잔류농약 분해¹³⁾와 미생물 유래의 독성물질을 감소시킬 수 있고, 기타 식품포장재의 살균¹⁴⁾과 공장폐수나 공업용수의 정화처리 등에도 응용범위를 넓혀가고 있다.

이상과 같이 금번호에서는 식품에 대한 방사선의 이용에 있어서 食品照射 기술의 기본이론과 응용분야를 중심으로 정리해 보았다. 다음호에서는 食品照射 技術의 산업적 실용화에 있어서 충분히 검토되어야 할 안전성과 국제적 동향을 중심으로 하여 소개하기로 한다.

參 考 文 獻

1. FAO / IAEA : Food irradiation newsletter, Int'l Atomic Energy Agency, Vienna, 11 (2), 6(1987)
2. WHO : Wholesomeness of irradiated food (report of a Joint FAO / IAEA / WHO Expert Committee), Technical Report Series, 659, 7(1981)
3. Department of Health and Human Services (US FDA) : Federal Register, 51(75), 13376 (1986)
4. Kwon, J.H., Byun, M.W. and Cho, H.O. : J. Food Sci., 50(2), 379(1985)
5. 權重浩 : 食品照射 實用化에 대한 背景과 展望, 韓國營養食糧學會誌, 14(1), 88(1985)
6. Shipp, E : Ionizing Energy Treatment of Foods, Proceedings of national symposium, Sydney, Australia, 5-6 Oct.(1983), p.27.
7. Council on Radiation Applications : INFO, July(1985), p.4.
8. 松橋, 伊藤 : 食品照射(日本), 21, 43(1986)
9. Schroeder, C.W. and Teaneck, N.J. : Dehydrating vegetables, U.S. Patents No. 3,025, 171(1962)
10. Rao, V.S. and Vakil, U.K. : J. Food Sci., 50(2), 372(1985)
11. 趙漢玉, 權重浩, 邊明宇 : 大韓民國特許 第 20,185號(1985)
12. Pensabene, J.W., Gates, R.A., Jenkins, R. K., and Fiddler, W. : J.Agric. Food chem., 35, 192(1987)
13. Cin, D.A. and Kroger, M. : J. Food Sci., 47, 350(1982)
14. Tokuoka, K. and Ishitani, T. : Japan. Soc. Food Sci. and Technol., 33(1), 70(1986)