

《解 說》

核技術의 農學的利用 現況과 展望(Ⅲ)

權 臣 漢

韓國原子力研究所 放射線育種學研究室

(June 13, 1979)

1. 緒 論

農業分野에 이용되는 放射性同位元素는 線源의 利用과 追跡子의 利用(Tracer)으로 분류할수가 있다. 線源의 利用에는 各種 農作物에 突然變異를 誘起하여 品種改良, 直接照射에 의한 食品保存, 害虫驅除를 위한 雄性不妊技術 또는 放射化分析에 의한 土壤 및 植物體中에 含有되어있는 極微量元素의 分析등에 주로 利用되고 있다. 追跡子의 利用에서는 農作物의 營養實驗, 肥料, 家畜의 營養生理, 水産業, 農藥, 農業土木分野 등 광범하게 利用되고 있으며 언젠가는 原子核分裂에 의해서 發生되는 巨大한 에너지를 颱風의 方向轉換에 의한 農作物의 막대한 被害回避등에 利用될 가능성도 있다. 이상과 같이 原子力의 農業分野 利用은 多樣한데 放射線과 放射性同位元素를 利用한 品種改良과 作物 및 家畜의 營養生理의 研究에 대해서는 前報에 記述한 바 있고 이어서 食品保存과 害虫驅除研究에 放射線利用에 대해 論하기로 한다.

食糧의 生産도 중요하지만 이미 收穫된 穀物 또는 食品의 효율적保存도 增産에 못지않게 중요하다. 국내에서는 확실한 統計가 없지만 실제로 美國에서는 貯藏 農産物의 約 30%가 加害動物이나 微生物에 의해서 損失되고 있다는 사실을 생각해보면 우리나라에서도 상당한 損失이 있을것으로 생각된다. 食品保存方法이란 人類歷史와 더불어 發達되어 그 地域環境에 맞도록 여러가지 方策이 마련 되었을것인데 근래에 와서는 科學技術의 발전에 따라 食品의 貯藏법 및 流通機構가 改善되어 우리의 食生活이 점차 向上되고 있는것이 사실이다. 그러나 여러나라에 있어서 腐敗, 虫害, 發芽 등으로 인한 損失의 防止로 流通과 消費의 安定化를 期하고자 하는 對策 또는 衛生上의 觀點에서 食品中の 病原性細菌 및 寄生虫의 防除등 여러가지 未解決問題가 남아있다.

이와같은 問題의 解決方法의 하나가 될 수 있는것이 食品의 放射線照射이다. 이 方法은 企業化가 될수있는 새로운 方法으로 登場하였는데 2次대전 이후 先進諸國에서 積極적인 開發研究의 進行으로 지금은 實用化의 단계에 들어가고 있다. 放射線處理法은 간단한 操作으로 大量의 試料를 處理할수가 있고, 또한 照射에 따른 溫度上昇이 실제로 거의 問題가되지 않으므로 新鮮한 狀態로 食品을 處理할 수가있는 소위 冷殺菌法(Cold sterilization)이라는 점, 또 放射線處理法은 在來의 食品貯藏法인 加熱, 통조림, 冷凍, 冷藏法등과 並行하면 一層 더 그 效果를 얻을 수 있다. 고로 우리나라에서는 아직 食品工業이 크게 발달하지 못하여 食品貯藏法도 在來式을 窺지 못하고 있으나 앞으로 放射線照射에 의한 食品貯藏法이 期待된다고 본다.

2. 食品照射을 위한 放射線源 및 照射裝置

食品貯藏에 쓰일 수 있는 放射線의 종류로는 放射性同位元素에서 放出되는 감마線과 加速裝置에서 얻을수 있는 β 線 그외 X-線과 자외선등의 電離放射線(Ionizing radiation)이 포함된다. 그러나 실제로 利用할때는 經濟적이고 透過力이 강한 감마線을 使用하는것이 가장 효율적이라고 알려져있으며, 中性子는 含有物質에 放射能을 띄게함으로 食品貯藏에는 사용되지 않는다.

食品을 放射線處理하는 裝置 또는 施設은 食品에 미치는 放射線의 效果가 다르므로 그 效果를 충분히 발휘할 수 있도록 放射線의 特性과 照射效果를 고려해야 할것인데 현재 食品照射에 널리 使用되는 放射線源인 Co-60으로부터의 감마線에 대하여 記述해보면 Co-60은 原子爐에서 Co-59에 中性子를 照射하여 放射化시킨 것으로 大量供給이 가능하며 遮蔽는 1萬~100萬큐리의 線源에 대하여 25-30cm의 납 또는 150~180cm의 콘크리트(2.2g/cm²의 密度)가 필요할 정도로서 大容量照射 施設用으로 적당하다. 이 施設은 납등으로 遮蔽된 照

射室中央에 Co-60線源이있고 그 주위를 被照射體가 통과되면서 移動中에 必要한 放射線量을 받게되는 것이다.

3. 食品의 放射線處理法 分類

農産物이나 食品의 주된 파괴자는 昆虫類, 박테리아類 곰팡이類, 酸素類등으로 크게 나눌수있으며 食品의 放射線照射時 食品의 變質을 最少限으로 막으면서 이들을 死滅시켜야 할 것이다. 그런데 食品은 사람이 먹어야 되는것이기 때문에 貯藏성과 함께 色, 香, 新鮮度 및 有害物質등 모든 要素를 綜合하여 생각해야할것으로 실제로 食品照射面으로보아 分類하면 1) 殺菌, 殺虫, 또는 發芽防止, 果實, 菜蔬의 熟度調整에서와 같이 放射線의 生物學的 또는 生化學的效를 노리므로서 食品의 貯藏성을 높이기 위한 處理(保存性 延長), 2) 病原性微生物이나 寄生虫을 殺菌하는 式的 公衆衛生的인 面의 改善을 위한 處理(病原性有害生物의 除去), 3) 放射線의 物理, 化學的 作用에 의한 食品成分의 變質을 利用하여 食品의 製造工程이나 品質의 改善을 꾀하는 方法(品質改善)등으로 나눌 수 있다.

4. 食品照射의 現況

가. 감자, 양파, 마늘

감자, 양파, 마늘 등은 一定期間의 休眠이 지나면 發芽 및 發根으로 영양분이 소모되고 商品價値가 저하되기 때문에 長期貯藏이 어렵다. 지금까지 이들의 發芽抑制(萌芽抑制)를 위해서는 收穫前에 MH(Maleic hydrazide)劑를 圃場에 散布하거나 收穫後 低溫貯藏하기도하나 調節, 管理가 까다롭고 그 效果 또한 完全하지 못하다. 放射線을 利用한 감자, 양파등의 發芽抑制는 불과 10KRad內외의 낮은 線量으로서 貯藏溫度에 관계없이 그 效果가 뚜렷할뿐만 아니라 食品의 安全性面에서도 完全한 狀態이므로 다른 食品에 비해 더욱 많은 研究가 進行되어 왔다.

감자의 경우 일정한 照射線量범위내에서 法的으로 許可된나라는 소련, 캐나다, 미국, 이스라엘, 일본, 스페인, 덴마크, 네덜란드, 우루과이, 이태리, 남아프리카 順으로 11個國이며 그외 잠정적許可를 내린 프랑스, 필리핀등 7個國을 포함하면 18個國에 달한다. 그중 특히 일본에서는 1973년부터 최초로 産業化한 나라로서 유명하다. 양파는 1965년 최초로 法的許可를 決定한 가나다를 비롯하여 소련, 이스라엘, 스페인, 네덜란드, 태국, 이태리 順으로 7個國이 無條件許可를

決定하였고 항가리는 試驗市販用照射를 許可하고있다. 그리고 마늘은 이태리와 불가리아 두나라에서 法的許可를 받았다.

나. 穀類

밀, 쌀등의 穀類나 粉末製品에는 *Sitophilus*, *Ephestia*, *Tribolium*, *Oryzaephilus*, *Sitotroga*, *Polorus*, *Rhizopertha* 屬등의 여러가지 有害昆蟲이 棲息하므로서 長期貯藏이 곤란하다. 이들 害虫은 農藥을 散布하거나 밀폐된 貯藏庫에서 CS₂, Methyl bromide, Propylene oxide와 같은 燻蒸劑를 使用하여 除去하는 在來의인 方法이 있기는 하나 藥劑成分이 殘留할 수 있고 그나마 포장內部에까지 깊숙히 들어있는 害虫은 死滅시키기 매우 어렵다. 이때 감마線은 透過力이 強하고 殘留分을 남기지 않기때문에 大型의 包裝食品을 殺虫하는데는 그 어느 方法보다도 便利하다. 더욱이 害虫의 放射線抵抗性은 알, 애벌레, 번데기, 成虫에따라서 差異가 있기는하나 그것도 불과 20-30KRad 정도의 線量으로 대부분이 死滅된다. 이와같이 穀類中의 害虫은 低線量으로 死滅시킬 수 있을뿐만아니라 穀類를 原料로한 食品은 대부분 水分含量이 낮기때문에 放射線貯藏이 다른 종류의 食品보다도 有利한 위치에 있다고 보겠으나 이들의 貯藏은 다른食品에 비하여 그다지 심각하지 않은 때문인지 아직 産業化가 되지 못하고있다. 穀類를 原料로한 食品의 放射線照射는 1959년 소련에서 제일먼저 30KRad에서 無條件許可가 決定되었으며, 미국은 1963년에 50KRad, 카나다는 1969년에 75KRad이내에서 밀과 밀가루에 限하여 法的으로 승인하였다. 쌀에대한 放射線照射研究는 그 主產地인 한국 일본, 스리랑카, 인도네시아 등에서 遂行되었는데 그중 일본에서 가장 활발히 진척되어 健全性研究까지 매듭단계에 있으므로 감자, 양파에 이어 20KRad 線量에서 곧 法的許可가 決定될것으로 豫想된다.

다. 果實類

果實에 대한 放射線照射效果는 加熱殺菌에서 Pasteurization에 해당하는 部分殺菌(Radurization)과 熟度調整, 殺虫을 들수있다. 열대果實의 種子(核)중에 들어있는 害虫의경우 在來의인 方法으로는 죽이기 어렵지만 透過力이 강한 감마線을 利用하면 매우 效果的이다. 딸기나 果汁은 感染된 微生物로 인하여 오래 보관하기가 어렵고 특히 果汁의 경우에는 加熱殺菌過程을 거치므로해서 新鮮味가 떨어지게되는데 이들 微生物의 發育은 250KRad內외의 감마線照射로서 抑制되기 때문에 新鮮한 狀態로 貯藏壽命을 延長할수 있는 것이

다. 밀감과 같은 果實에 感染된 微生物은 表皮組織에서 번식하므로 果實內部까지 放射線을 貫通시킬 필요가 없다. 이때는 透過力이 강한 감마線 대신에 電子線을 照射하므로서 果實의 表面만을 殺菌하는 方法이 研究되고 있다. 果實中에서 바나나와 같은 것은 呼吸騰貴(Climacteric rise) 現象으로 인하여 老熟이 잘 되는 데 呼吸騰貴現象이 일어나기전에 放射線을 照射하면 이 現象이 늦게 나타나서 果實을 新鮮하게 保存할 수 있다. 바나나, 파파이어 등의 熟度調整에는 250KRad 內의 높은 線量이 필요하기 때문에 熟度調整과 동시에 殺菌効果도 기대할 수 있다. 果實類의 放射線照射는 미국, 헝가리, 네덜란드와 남아프리카, 태국 등의 열대국 가에서 많이 해해지고 있는데 그중 4개국에서 6個品目에 대한 조건부 許可를 決定하고 있다.

라. 肉類와 魚類

肉類食品의 放射線照射는 殺菌에 目的이 있으며 미국과 소련에서 가장 활발히 연구되었다. 肉類중에는 몇가지 有毒性 有孢子細菌이 感染될 수 있는데 이들 細菌을 위해서는 매우 높은 線量이 필요하다. 쇠고기의 경우 소련에서 800KRad, 캐나다에서 700KRad까지 法的으로 許可되고있는데 아직까지 實用化단계까지는 이르지 못하고있다. 魚類는 바다에서 잡아서 消費者에 이르기까지는 一定한 期間이 所要된다. 魚類의 放射線照射는 주로 寄生蟲을 죽이거나 Salmonella와 같은 有毒性 혹은 각종 부패성 細菌을 部分殺菌시킴으로써 보다 오랜期間동안 新鮮하게 保存하는데 그 目的이 있다. 현재 캐나다와 네덜란드에서 새우나 대구에 100-150KRad의 放射線照射로서 試驗市販용으로 許可되고 있는것을 비롯하여 1976년 FAO/IAEA/WHO 전문위원회는 魚類의 種類에 관계없이 500KRad 以內에서 잠정적승인을 許可하므로서 實用化는 有望한것으로 본다.

그의 양송이의 熟度調節, 고추가루를 포함한 香辛料의 殺菌을 目的으로 放射線照射가 나라에 따라 이미 許可되고 있으며 영국, 서독, 네덜란드등에서는 無菌食品의 開發을 위해 放射線을 利用하는 方法을 채택하여 환자치료용 食品에 許可하고 있다.

5. 照射食品의 安全性

放射線의 生物作用에 의해서 殺菌, 殺虫 또는 發芽抑制의 效果가 食品의 貯藏에 有効하다고 하더라도 照射食品을 여러 각도로 檢討해서 安全, 無害하다는 保證이 없이는 照射食品을 實用化할수가 없으므로 安全性의 證明은 放射線照射의 實用化를 위한 基本問題이다.

照射食品의 安全性은 毒性 및 發癌性物質의 生成有無, 遺傳的變異의 招來, 營養素의 파괴, 病原性 細菌의 殘留, 放射能物質의 誘起, 包裝材料의 安全性등에 대해서 生物, 化學, 物理學의 見地에서 研究가 이뤄져야 할 것이다.

가. 毒性物質과 營養素

安全性和 관련하여 上記의 몇가지 問題中 毒性 및 發癌性物質의 生成과 遺傳的인 問題에 대해서는 주로 動物試驗에 의하는것으로 各各의 食品에대하여 여러가지 動物를 對象으로 長期間에 걸쳐 大規模의 實驗을 하지않으면 믿을수가 없다. 이에 대해서는 미국의 政府 各機關과 大學研究所의 協力下에 大規模의 實驗을 15년以上 行하고 있어서 結論을 내릴 단계에있으며 기타 各國에서도 安全性을 檢討하고있다. 照射에 의해서 營養素가 파괴되지 않는지 또는 營養價가 어떻게 變化는지에 대하여는 長期間의 試驗에 의해서 대체로 밝혀졌는데 주요 營養素인 蛋白質, 탄수화물, 脂肪에 關해서 完全殺菌정도의 線量을 照射한것이라도 그 利用率은 거의 變化하지 않았다. 아미노酸의 경우 高線量의 照射는 아미노酸을 脫아미노酸化시켜 그중 Cysteine, Methionine등 含硫黃아미노酸과 Histidine, Phenylalanine등이 分解되기 쉬우나 殺菌線量정도에 따라서는 蛋白質中의 아미노酸의 分解가 적어서 營養價의 면에서는 거의 變化하지 않는다. 脂肪도 高線量을 照射하면 過酸化物, 重合物, Carbonyl化合物등을 生成하나 실제로 食品中의 蛋白質 및 기타 成分과 共存할때는 보호되며 酸素의 有無에 따라서는 현저히 달라진다. 脂肪의 放射線照射에 의해서 消化速度가 低下되는것이 報告되기도 하였는데 이는 照射에 의해서 生成된 Carbonyl化合物이나 照射에 의한 炭水化合物의 경우 高線量照射로 炭水化合物은 酸化하여 分解가 일어나는 경우가 있으나 일반적으로 炭水化合物은 특히 安定하므로 殺菌線量정도에서는 消化率, 營養價등에 거의 影響이 없다. 비타민類에서는 水溶性비타민과 脂溶性비타민을 比較할 경우 照射에 의해 脂溶性비타민이 比較的 파괴되기 쉬운데 殺菌정도의 照射와 熱處理한것을 比較할때 水溶性비타민의 파괴정도는 거의 같거나 照射한것이 덜 分解되고 A, E 등 脂溶性비타민은 照射한것이 약간 더 分解된다. 비타민 C의 파괴는 食品의 種類에 따라서 틀리나 일반적으로 加熱의 정도와 비슷하다.

나. 放射能誘起

照射한 食品이 放射能을 그대로 지닐 위험이 있지않느냐 하는것은 누구나 큰 관심을 갖는것으로 이면이

대한 충분한 安全性檢討가 필요하다. 食品照射에 使用하는 放射線으로서의 透過力이 크고 또한 放射能誘起에 위험성이 적어야한다는 점에서 주로 감마, X-및 電子線에 限定되어 있는데 감마와 X-선의 경우에는 高에너지 光子에 의해서 誘起되는 放射能의 하나로서 에너지가 原子核에 吸收되므로서 勵起狀態로부터 中性子 또는 陽子が 放出되는 核光電效果의 反應이다. 이 反應에서 放出된 粒子는 다른 原子核에 吸收되어 이것을 放射化할수도 있으며 또한 이와같은 粒子를 放出한 核種自體가 放射能을 갖는 同位元素로 變하는 경우가 있는데 이러한 反應이 필요한 에너지는 原子核에 따라서 다르며 食品에 含有되는 主元素에 대한 限界에너지와 生成되는 放射性同位元素의 壽命도 각각 다르다. 그런데 食品의 主要元素인 C,O,N등은 언제나 10 MeV 以上の 에너지를 필요로 하는 것이며 生成된 同位元素의 壽命도 짧은것이 많으며 또한 核光電效果가 생기는 것은 에너지와 核種에따라서 틀리지만 그 確率이 적으므로 감마線을 照射線源으로 使用하는限 核反應에 의해서 放射化되는 위험은 전혀 없다고 볼수있다. 電子線을 使用하는 경우는 過透力의 觀點에서 數 MeV부터 數십 MeV에 達하는 高에너지의 電子線을 使用하는데 이와같은 高에너지電子가 原子核을 通過하면 核이 減速되어 그때 연속 X-線이나 감마線을 放出하는 現象이 있다. 이때 X-線の 에너지中 最高는 一次電子의 에너지에 達하는것으로 數 MeV以上の X-線이 放出되며 이것에 의하여 核反應이 생기고 放射性同位元素가 生成될 가능성이 있다. 이와같은 點에서 電子線을 使用할경우 放射能化의 가능성이 큼으로 食品照射에는 10MeV以下の 電子線을 勸하고있다. 그런데 실제로 10MeV 以上の 電子線을 써서 完全殺菌線量 5 Mrad정도의 照射를 했을때 食品中의 元素가 放射化되는것은 極히 적으며 또한 그 壽命도 極히 짧은 것이 많으므로 照射後 1個月以上 經過한것은 무시할 정도로 微量이다.

6. 經 濟 性

照射食品의 實用化에 있어서 문제시되는 것은 安全性과 經濟性으로서 과연 食品照射가 經濟적으로 成立될 수 있는가 하는것은 照射費用自體의 문제와 아울러 對象이되는 食品의 生産, 流通, 需要등을 고려해야 될 것이다. 食品照射의 産業化를 위한 照射施設의 設置와 稼動에 있어서 所要經費를 支配하는 要因으로는 照射될 食品의 性質, 照射施設이 갖는 特性, 照射線源, 자금조달 및 投資자본의 회수方法 및 運營方法등을 들수

있을것이다. 食品의 性質面에서보면 照射線量을 많이 요구하는 食品일수록 單位重量當 照射費用이 많이드는 것은 당연하지만 同一線量이라 하더라도 照射線源과 食品과의 距離 및 排列方法에 따라 照射效率에 差異가 있기 때문에 最適條件을 찾아야된다. 施設이 갖는 특징으로서 照射施設의 規模를 나타내는 施設容量과 年間稼動率은 相互 밀접한 關係가있다. 대부분의 食品原料는 한철에 收穫되고 收穫後 一定期間內에 照射하는 것이 有利하기 때문에 한가지 品目の 食品만을 照射할 수 있는 期間은 매우 짧다. 例로서 감자나 양파의 發芽抑制는 休眠期間中 즉 收穫後 2-3個月以內에 照射하였을 때에만 效果的인데 反面에 照射線源은 休業中에도 계속 소모되고 있는점과 人件費 기타 관리비의 支給을 고려할때 年間稼動率을 높여야 될것인데 이 경우 照射食品의 品目數를 늘리므로서 效果的인 稼動을 기대할수가 있을 것이다. 照射線源問題로서 Co-60과 Cs-137을 比較할때 어느것이 더 經濟的이나 하는것은 半減期와 에너지, 線源의 效率, 遮蔽施設費, 線源費用, 企業의 短期 혹은 長期的인 利潤追求등에 의해서 決定될것인데 Co-60의 半減期는 5年정도로써 線源의 強度를 現象維持하려면 1년에 12.5%씩 보충되어야하고 反面에 Cs-137의 半減期는 33년이어서 1년에 2.28% 혹은 5년에 10.9%씩 보충되어야 한다. 그리고 Cs-137의 감마線에너지가 Co-60의 절반정도에 불과하여 遮蔽施設을 적게 요구하므로 Mobile irradiator에는 有利한 長點이있다. 照射施設의 설립 및 운영문제를 보면 照射施設을 食品加工 혹은 貯藏業體에서 직접 施設投資한後 原料購入, 放射線照射 및 貯藏加工을 一括하여 經營하는 方法과 食品照射全擔企業體가 있어서 施設과 運營을 全擔하는方法 또는 放射線의 特殊性을 고려하여 私設企業體代身에 어느 特定 公共機關으로 하여금 全擔케 하는 方法이있다.

7. 食品照射의 展望

電子力の 平和의利用의 하나로 國際原子力機構(IAEA) 및 先進諸國에서 주도된 食品照射研究가 이제 그 열매를 맺고있다. 放射線에 의한 食品照射의 主目的은 食品을 長期間 保存하는데있다. 放射線은 지금까지 食品의 貯藏手段으로서 活用되고있는 乾燥, 鹽藏, 熱處理(동조립 포함), 冷凍, 防腐劑處理, CA貯藏등과 마찬가지로 1) 食品에 感染된 害虫, 細菌등의 有害生物을 抑制, 死滅시키거나 그 生育條件을 부적합하게 만들수있고, 2) 食品自體의 呼吸, 蒸散作用등의 活性을 抑制시킬수있어 食品貯藏에 放射線의 應用이 試圖되었

다. 지금까지 食品照射研究에서 알려진 이들 放射線의 効果는 1) 감자, 양파, 쌀등의 發芽抑制, 2) 穀類의 殺虫, 3) 果實, 菜蔬, 肉類의 殺菌, 4) 果實 및 菜蔬의 熟度調整등이다. 이것은 在來의 어떤 貯藏方法보다도 效果가 分明하고 매력적이다. 그 理由는 1) 감마線은 강력한 透過力을 갖고 있기때문에 큰 食品이나 包裝된 食品을 그대로 處理할 수 있으며, 2) 食品에 殘留毒性分이 남지도 않는다. 또 3) 食品의 溫度를 上昇시키지 않기때문에 (1Mrad에서 불과 2cal) 凍조림에서 問題시되는 熱에 의한 品質의 變化를 防止할 수 있으며 4) 多量의 食品을 連續적으로 處理할 수 있다.

食品照射의 健全성은 各國에서 거듭된 研究結果로 立證되어 이미 法的으로 許可된 食品이 19國에서 25個 品目에 이르고있다. 그중 한 品目の 食品이라도 無條件許可를 決定한 國家는 소련, 미국, 캐나다, 이스라

엘, 네델란드, 스페인, 덴마크, 우루과이, 일본, 태국 이태리順으로 11國에 達하고 食品의 種類를 보면 감자, 穀類, 밀과 밀가루, 양파, 乾燥果實, 乾燥食品, 濃縮物, 양송이, 마늘등을 들수 있다(Table 1). 食品照射의 産業化가 가장 먼저 實現된나라는 日本인데 日本에서는 1973년 12월 北海道에 300,000Ci의 大單位 Co-60 감마線 照射施設이 完工되어 每年 約 20,000톤의 照射감자가 加工 및 家庭用으로 市販되고있고 태국 이태리, 서독, 네델란드 등에서도 消費者反應을 檢討하기 위한 照射食品의 市販에서 成功을 거두었다. 照射食品의 實用化는 미국, 소련, 캐나다와 같은 넓은나라보다는 耕地面積이 좁고 人口密度가 높은 일본, 네델란드, 서독, 이태리 등에서 먼저 實用化되어가고 있다. 이처럼 各國에서 認定되어오던 照射食品의 安全性이 FAO/IAEA/WHO에서도 公認되었고 原子力에 지

Table 1. Irradiated food products cleared unconditionally for human consumption in different countries

Country	Product	Purpose of irradiation	Radiation source			Dose(krad)
			60Co	137Cs	Electrons	
Canada	potatoes, onions	sprout inhibition	+			10-15
	wheat, wheat flour	insect disinfestation	+			75max.
Denmark	potatoes	sprout inhibition	+		10MeV	15max.
France	potatoes	sprout inhibition	+			7.5-15
India	potatoes, onions	sprout inhibition	+			6-10
	mangoes, bananes	delayed ripening	+			25-50
	wheat	insect disinfestation	+			75max.
	bombay duck, pomfret, shrimp	preservation	+			100
Israel	potatoes, onions	sprout inhibition	+			10-15max.
Italy	potatoes, onions, garlics	sprout inhibition	+	+		7.5-15
Japan	potatoes	sprout inhibition	+			15max.
Netherlands	mushrooms	growth inhibition	+		4MeV	250max.
	potatoes, onions	sprout inhibition	+			5-15
	poultry, eviscerated	radurization	+			300max.
	broiler chickens(in plastic bags)		+			300max.
Philippines	potatoes	sprout inhibition	+			15max.
Spain	potatoes, onions	sprout inhibition	+			5-15
South Africa	potatoes	sprout inhibition	+			12-24max.
Thailand	onions	sprout inhibition	+			10max.
USSR	potatoes, onions	sprout inhibition	+		1MeV	6-30
	grain, dried fruits, dry food concentrates(buckwheat, mushroom, gruel, rice pudding)	insect disinfestation	+			30-100
USA	wheat, wheat flour	insect disinfestation	+			20-50
	white potatoes	sprout inhibition	+	+		20-50
Uruguay	potatoes	sprout inhibition	+			5-15

극히 敏感한 日本에서도 多量の 照射食品이 市販되고 있음을 볼 때 放射線에 의한 食品貯藏法은 멀지않아 널리 實用化될 것으로 展望되는데 이는 農家の 收益增大, 食糧資源의 損失防止에서 뿐만 아니라 起伏이 심한 農水産物의 物價安定面에서 寄與하는바가 클 것이다.

8. 우리나라에서 發展과 寄與度

우리나라의 照射食品에 관한 研究는 1960년대 初부터 始作되었으며 食品의 放射線處理效果는 食品의 保存期間延長, 有害生物의 除去 및 品質改善에 있다. 初期의 食品分野 研究는 魚貝類, 김, 김치등을 對象으로 이뤄졌는데 皮조개류, 민어, 갈치등에 伽馬線을 處理하여 貯藏期間을 2-3倍로 延長할 수 있었으며 특히 低溫貯藏을 결드림으로서 월등한 效果를 보았고, 잉어의 肝吸虫을 37KRad의 伽馬線照射로서 死滅시킬수있으며 또 火入된 마른김에 伽馬線을 照射한 結果 成分이나 品質에 變化없이 貯藏이 可能하다는것을 알게되었다. 쇠고기를 Aluminium foil로 包裝한다음 伽馬線을 處理하여 低溫貯藏하거나 소세지를 法定許容量의 防腐劑를 處理한後 伽馬線照射를 함으로서 貯藏期間을 2-3倍로 延長할수있음을 밝혔다. 김치의 貯藏상 問題點은 酸敗인데 이의 防止를 위한 研究가 試圖되었으며 X-線照射에 의해서 細菌數를 현저하게 減少시킬 수 있고 냄새, 맛, 비타민 C 및 C₁₂에 큰 損傷없이 貯藏期間延長의 可能性을 밝혔다. 放射線照射에 의한 감자나 양파의 發芽抑制의 研究와 實用化는 이미 先進各國에서 널리 利用되고있는 것으로 이 分野에 대해서도 1960년대 中부터 감자에 伽馬線을 照射하여 硬度, 맛, 營養分에 變化없이 發芽抑制效果를 보았으며 양파에서는 貯藏期間의 延長은 물론 오히려 香味成分인 揮發性 硫黃化合物의 分解가 抑制되었고 도마도는 CO₂와 伽馬線의 複合處理에 의해 常溫에서 15일간의 貯藏期間延長이 可能하였다. 딸기는 0.2Mrad의 伽馬線處理와 低溫貯藏으로 糖度, 香味, 外觀形態등에 變化없이 23일간 貯藏이 可能하였다. 白桃는 0.25Mrad照射로 1個月間 貯藏이 되었으며 배는 斑點發生이 抑制되었다. 사과는 腐敗와 重量減少가 抑制되었으며 밤에서는 發芽抑制效果는 있었으나 腐敗防止效果는 없었다. 쌀을 위시한 穀物의 長期貯藏時에는 微生物과 害虫에 의한 被害를 입게되는데 伽馬線 30~50KRad를 米穀에 照射함으로써 糖分, Riboflavin 및 食味에 變化를 주지않고 害虫驅除가 可能함을 밝혔다.

9. 害虫驅除

매년 많은 農藥을 消費하는데도 農作物의 害虫被害는 해를 거듭할수록 激增하고있는 實情인데 그 主要因은 農作物品種의 高度한 發達에 의한 抵抗性減退와 農藥에 의한 昆虫捕食 및 寄生天敵의 減少 및 害虫의 農藥에 대한 耐性과 抵抗性의 增進등으로 말할 수 있을 것이다. 農藥없이 農事를 지을수있는가 하는것은 現代人の 꿈으로 되어있어서 이 꿈의 實現을 위해서 農學者들은 努力하고 있다. 各種作物에 害虫에대한 抵抗性 遺傳因子를 導入(Incorporation)할 수 있는 技術을 開發하였으며 生物은 生物로 制壓한다는 生物學的 防除法를 研究하고있다. 이러한 防除法이야말로 作物에 農藥을 주지않으므로 天敵의 被害와 殘留毒性에 의한 人畜의 被害가 없으며 農藥의 撒布時期, 方法등의 까다로움이 없어진다. 生物學的 方法은 광범위한 害虫驅除手段인데 여기에서 論하려는 放射線을 利用한 雄性不妊技術도 生物學的 防除法의 하나요 또 放射線으로 害虫에 致死因子를 誘起하여 이 因子를지닌 害虫을 害虫集團에 擴散시켜 自滅을 誘導하려는 試圖 역시 生物學的 防除法의 하나이다. 또 昆虫의 生理나 生態를 안다는 것은 害虫驅除의 첫段階인데 放射性同位元素는 이러한 研究에 便利한 武器가 되어주고 있다.

原子力의 害虫學의 利用은 同位元素와 放射線의 利用으로 나눌수있는데 同位元素를 追跡子로 利用하는 것은 昆虫體의 物質代謝, 殺虫劑의 作用機作, 殺虫劑의 殘留毒性問題, 昆虫의 中間代謝過程, 殺虫劑에대한 昆虫의 抵抗性本質에 관한 研究등 生理學的인 利用과 昆虫의 集團研究, 行動習性, 越冬 등 生態學의 面을 究明하기위하여 많이 利用되는데 그 原理는 作物의 營養生理研究에서 同位元素의 追跡子の 利用과 같은 것으로 前報에 이미 論한바 있으므로 여기서는 放射線의 害虫學의 利用에대하여 論하고자 한다. 放射線의 害虫學의 利用은 放射性的 殺虫效果 또는 不妊效果를 利用하려는 것으로 昆虫學者가 放射線에 대하여 관심을 갖게된 것은 Müller가 X-線을 利用하여 人爲的으로 突然變異를 誘起시킬수있고 또 一時的 또는 永久的으로 不妊化시킬 수 있음을 報告한 以來의 일이다. 放射線의 不妊效果를 利用한 害虫防除法을 Sterile male technique (雄性不妊技術)이라고 부르는데 이 方法은 放射線照射로 不妊화된 害虫을 大量으로 野外에 放散하여 健全한 昆虫과 交尾케하므로써 無精卵을 産卵시켜 防除效果를 얻는 것이다. 일반적으로는 放射線에 대한 感受性은 細胞分裂이 왕성한 器官에서 큰데 그中 生殖腺은 細胞

分裂이 가장 왕성한 器官의 하나로 體細胞보다 放射線에 대해 敏感한것이 보통이다. 한편 昆蟲體는 放射線에 대한 抵抗性이 강한데 그 原因은 昆蟲에 있어서는 表皮組織, 粘膜組織, 淋巴組織에 있어서의 再生이 없고 成蟲의 몸은 주로 神經, 筋肉, 脂肪組織등과 같이 상당히 抵抗性이 강한 組織으로 되어있고 體表는 Cuticle 이라는 生命이 없는 層으로 되어있기 때문이라고 하겠다. 고로 昆蟲에 있어서의 致死線量과 不妊線量間의 큰 差異는 昆蟲의 일반적 生理活動에는 큰 영향을 주지않고 生殖能力만을 喪失케 할수있음을 암시해 주고 있다. 即 초파리의 경우 不妊線量은 致死線量の 16分之의 1밖에 안되므로써 초파리의 活力에는 별로 影響을 주지 않으면서 集團全體에 均一한 不妊性을 誘起할 수 있음을 알수있다. 그리고 交尾能力은 生物의 가장 強力한 本能의 一種으로 放散된 不妊雄蟲은 自然界에서 昆蟲을 本能的으로 찾을 것인고로 일반 殺虫劑의 경우와는 달리 能動的이고 選擇的인 防除效果를 얻을 수 있는것이다. 이와같이 生物學的 原因으로 인한 雄性不妊技術利用은 防除效果가 큰것인데 여기에따른 問題로는 害蟲의 經濟的 大量生産과 放射線照射에 의한 不妊化 그리고 自然界에 存在하는 害蟲數보다 많은 數의 不妊雄蟲의 放散을 주축으로 하고있는것으로 계속적으로 不妊雄蟲을 放散하므로써 野外害蟲集團의 完全驅除가 可能할것이다. 害蟲의 人工飼育法의 發展은 이 方法의 成功與否를 左右하는 重要한 要因으로서 害蟲의 種類에 따라서는 室內에서 직접 그들의 寄主를 利用하여 大量으로 飼育할수있으나 매개의 경우 人工飼料

를 利用한다. 人工飼料는 昆蟲의 營養學的要求를 充足시켜야하며 攝食을 위해서는 특수한 物質로서 흔히 寄主 또는 寄主軸出物을 加하여 주는 경우가 많고 飼料의 pH調節에도 留意하여야 한다. 그의 飼料의 腐敗防止와 成蟲의 飼料도 昆蟲에따라서 달라지기도 하므로 特別히 考慮해야 할 것이며 따라서 受精卵을 손쉽게 얻는 問題등도 提起된다. 害蟲의 人工飼育技術의 發達은 비단 雄性不妊技術에만 利用되는 것이 아니고 耐虫性 育種에서도 必須의 條件으로 되어있어 該當 害蟲의 人工飼育與否가 耐虫性品種育成의 成敗를 가름하는 것으로 이 또한 최근에 害蟲의 人工飼育技術의 發展에 힘입고 있다. 또한 害蟲의 天敵人工飼育이 可能하다면 大量生産하여 放散하면 自動的으로 害蟲驅除가 可能할 것이며 또 天敵의 직접 人工飼育이 어려울때는 害蟲을 人工飼育하여 그것을 먹이므로써 天敵生産이 可能할수도 있는것이다. 다음은 正確한 不妊誘起線量과 放散方法問題인데 不妊誘起線量은 昆蟲의 種類에따라서 다를 뿐만 아니라 虫態, 性生理的條件 그의 環境條件등에 의하여 差異가 있는것으로 이미 많은 昆蟲에대하여 野外에서 自然雄蟲과의 交尾競爭에 뒤지지 않으므로써 그 效果도 크고 經濟的인 不妊誘起線量이 究明되어있다. 放散에 있어서는 봄철이나 該當 害蟲의 數가 적은 發生初期를 擇하여 不妊雄蟲을 放散시키면 그 效果는 더욱 크며 만일에 害蟲集團이 클 경우에는 農藥을 一次 撒布하여 集團의 크기를 적게한 다음 放散하는 방법도 利用될 수 있다.