照射食品と食品衛生

梅田 圭司*

Irradiated Food and Food Hygiene

Keiji UMEDA

(National Food Research Institute, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries:
2-1-2, Kannondai, Yatabe, Tsukuba, Ibaraki, Japan)

はじめに

食品の保存、被害防除、加工を目的に放射線処理を行う技術を食品照射 (food irradiation) といい、また放射線処理を受けた食品を照射食品 (irradiated food) という。この技術の特徴は、殺菌、殺虫、発芽防止などを、温度上昇を伴わず、いかなる包装形態でも、連続的に処理できることである。また放射線処理は物理的な処理法であるため処理後に残留物を残さないこと、同じ物理的処理法である加熱、冷凍に比較して省エネルギー的であることも強調されている。

この分野の研究が活発になったのは欧米では 1950 年頃、日本ではその10年後で、1970年代のなかばまでに食品照射に関する基礎的な技術はほとんど報告されている。国連機関も食品照射の技術普及には積極的で、1980年にWHO (世界保健機構)、FAO (国連食糧農業機関)、IAEA (国際原子力機関) 合同委員会で照射食品の健全性を承認して以来、国際食品規格委員会で作業が続けられ、1984年に国際規格としてとりまとめ、これを加盟124 か国に対し有効利用するように勧告が出された。

1980年以前の全世界の研究成果は、Josephson らによって編集された“Preservation of Food by Ionizing Radiation”¹⁾ にまとめられているが、ここには引用文献2863の原報のフルタイトルも入っており、食品照射研究の集大成といえるものである。本報では食品照射技術の概要と食品衛生のかかわりについて解説するが、詳細は上記全3巻を御利用いただきたい。

1. 放射線と生物作用

FAO/WHO の Codex Alimentarius Commission (食品規格委員会) は照射食品に関する一般基準の中で、食品照射用の放射線を次のように規定している。

- ^{60}Co (コバルト 60), ^{137}Cs (セシウム 137) からの γ 線。
- 5 MeV (メガボルト: 百万ボルト) 以下の機械線源で発生させた X 線。

- 10 MeV 以下の機械線源で発生させた電子線。

これらの放射線は物質を透過する際に、物質を構成する分子や原子にエネルギーを与え、それらを電離したり励起させるので、電離放射線と呼んでいる。

γ 線は紫外線より波長は短い電磁波の一種で、物質への貫通力は強く、 ^{60}Co の場合、水の中を 27 cm 通過してもエネルギーは 50% くらい残る。ところが電子線というのは電子で構成されているので、エネルギーは高くても貫通力は弱い。電子線発生装置は、一種の発電器で、100~500万ボルトの電圧をつくり、そこから外部へ電子を放出させるもので、100 万ボルトの電子線なら水を 0.5 cm, 500 万ボルトなら 2.5 cm くらい透過するとエネルギーを失ってしまう。

電子線発生装置の製造技術は日進月歩であり、現在出力 100 KW 程度のものが利用できるが、これは ^{60}Co にして 670 万 Ci (キューリー) に匹敵する。全世界で用いられている ^{60}Co は 5000 万キューリー程度で、しかも ^{60}Co は ^{59}Co を専用原子炉に入れて作るので、急に大量生産を行うとか安くなるということは期待できない。これに対し電子線はより安く大量処理に向いているが、液体とか粉体のように薄層にできるものか、または表面処理しかできないという欠点がある。

γ 線も電子線も被照射体の原子や分子を電離するわけで、動物、植物、昆虫、微生物とあらゆる生物に対する作用は同じである。生物の細胞の中にはその生活現象をつかさどる生理活性物質が水に溶けた状態で存在するが、放射線はまずあたかも機関銃の弾丸で打ち抜くように、つまり確率的にこれらに作用する。次に細胞内の溶媒としての水にも電離や励起、それに伴う化学変化が起こり、これが間接的に活性物質に作用することになる。このような直接または間接作用によって、核酸、酵素、ホルモンなどが不活性化され、その結果、細胞の生活機能が破壊されて変異または死に至る。

放射線に対する生物体の感受性は組織によって異なり、一般に増殖活動の盛んな組織、成長の盛んな細胞は

* 農林水産省食品総合研究所: 茨城県筑波郡谷田部町観音台 2-1-2

図 1. 放射線の生物への影響

ど放射線抵抗性は弱い。人間の例を挙げると、造血機能、生殖機能、胎児などが放射線障害を最も受けやすいことは良く知られている。このように細胞分裂をつかさどる核、あるいは DNA 分子自体に損傷を与えることが放射線の最も大きな作用であろう。

個々の生物自体も放射線感受性は異なる。例えば、我々が脳腫瘍の検査のためレントゲン写真を撮ると、50 mR (ミリレントゲン) 程度の X 線を浴びることになる。これが 500~1,000 R (レントゲン) も身体に浴びると重度の放射線障害で 1 か月以内にほとんどの人は死ぬ。同じ尺度で表わしていくと、昆虫は 2~10 万 R、一般の微生物は 20~100 万 R で、胞子をつくる微生物は 100~500 万 R で死滅する。

食品照射では食品に吸収された放射線の量を表わすのに国際的に Gy (グレイ) という単位を使用している。1 Gy はおよそ 100 R と考えて良い。また古い文献には吸収線量を rep (レップ) とか rad (ラド) で示してあるが rep=rad=R として考えて良い。

2. 殺菌

食品照射の最大の目的は殺菌である。放射線処理によって対象食品の品温がほとんど上がらないということは、ナマものを処理できるし、また食味に最大の影響を与える加熱変性を防ぐことができる。また缶詰やプラスチックなど、どのような包装食品も、さらには梱包物も処理できるということは、再汚染を防止するに必要な包

表 1. 各種微生物の D 値*

微生物	培地	D 値
<i>Cl. botulinum</i> Type A	食品	4.0 kGy
<i>Cl. botulinum</i> Type B	緩衝液	3.3
<i>B. pumilus</i>	緩衝液(嫌気下)	3.0
<i>M. radiodurans</i> R1	牛肉	2.5
<i>Cl. welchii</i>	肉	2.1~2.4
<i>Cl. sporogenes</i>	緩衝液	2.1
<i>Cl. botulinum</i> Type E	肉汁	2.0
<i>B. pumilus</i>	緩衝液(好気下)	1.7
<i>B. stearothermophilus</i>	緩衝液(好気下)	1.0
<i>S. typhimurium</i>	凍結	0.7
<i>S. faecalis</i>	肉汁	0.5
<i>S. typhimurium</i>	緩衝液(好気下)	0.2
<i>E. coli</i>	肉汁	0.2
<i>Pseudomonas</i> sp.	緩衝液(好気下)	0.04
<i>B. subtilis</i>	緩衝液	2.0~2.5
<i>Asp. oryzae</i>	緩衝液	0.43

* 菌数を 10 分の 1 とするのに要する線量

装形態にしておくだけで、食品衛生の面から完璧な手段となるわけである。連続工程がとれるということは、他の工程への組み込みを容易にし、かつ無人運転、終夜作業もできることである。放射線殺菌の場合、目的によって、ラダアパティゼーション (Radappertization)、ラジュリゼーション (Radurization)、ラディンデーション (Radicidation) の 3 つの概念がある。

ラダアパティゼーションは完全殺菌を目的にするもので、いわゆる“commercially sterile”をさし、缶詰程度の殺菌状態を示す。食品の完全殺菌は、12-D の概念に基づいているが、これは毒性細菌である *Cl. botulinum* (ボツリヌス菌) の胞子数を 10^{-12} のファクターで減少させる程度の殺菌で、加熱殺菌の経験から生れた。

12-D の概念を採用すると、*Cl. botulinum* の D 値は 4 KGy なので、完全殺菌のためには約 50 KGy の放射線処理をしなければならない。しかしこのような高線量処理では、ほとんどの食品、とくに水分の多いものはオフフレーバー (照射臭) が発生し食べられなくなる。オフフレーバーの発生は、おもに放射線の間接作用によるもので、その防止には遊離水を除くことが最も効果的である。

このような理由で、完全殺菌の対象品目として凍結肉類や液卵、乾燥野菜、香辛料があげられている。とくに香辛料はエチレンオキシドによるガス殺菌が使われていたが、残留ガスから毒性の強いエチレンクロルヒドリンが生成する危険もあり、現在 16 か国で放射線殺菌が採用されている。香辛料は高タンパク食品の加工原料で、日本の需要も増加しつつあり年間 2 万数千トンが輸入されている。また生産地がおもに熱帯地域の途上国であり

表 2. 香辛料に対する殺菌法の比較

	長 所	短 所
加 熱 殺 菌 法	比較的簡便な殺菌法	品質劣化が激しい
マイクロウェーブ照射	比較的簡便な殺菌法	低水分含量の香辛料には十分な効果がない
紫 外 線 照 射	比較的簡便な殺菌法	浸透力が弱いため未殺菌部分が残る
ガ ス 殺 菌 (エチレンオキシドガス)	ほぼ全般の香辛料に適用可能 殺菌力強く、耐熱性細菌の胞子も殺菌可能	副生物 (ECH), 及び残留ガスに毒性有り 一部の品種に品質劣化が生じる (マスタード, オニオン, ガーリック)
気 流 式 殺 菌	加熱殺菌に比べ品質劣化が少ない	粉末香辛料, 香草類は品質劣化を伴う オニオン, ガーリックはブロッキングを起こす
放 射 線 照 射	ほぼ全般の香辛料に適用可能 殺菌力・透過力が強く、耐熱性細菌の胞子, 及び試料に内在している菌も殺菌可能	一部の品種に放射線感受性の強いものがある (カルダモン, カプシカム類など)

衛生管理が不十分で、とくに主要香辛料であるこしょう, ガーリック, オニオンの汚染が激しく, グラム当り $10^7 \sim 10^8$ もの汚染を示すこともある。このためハム,ソーセージなどの食肉加工分野では食品衛生法によって香辛料の耐熱性菌数を 1000 個/g 以下にするよう規制されている。

従来, 加熱殺菌, ガス殺菌, 紫外線殺菌, マイクロウェーブ殺菌が試みられてきたが, いずれも不十分な殺菌効果や香辛料のフレーバーを損うなど満足すべきものではなかった。また, 最近では粉粒体に過熱水蒸気を加圧下で作用させ, 連続的に殺菌させる方法が開発されているが, これでも香草類の褪色と褐変化及び粉末ガーリックなどでの吸湿ブロッキング化が起こるなどの欠点がある。

以上のように放射線殺菌は, まず代替技術のきかない分野に採用されている。食品以外で放射線殺菌が採用されている分野は, 医療用具と実験動物用飼料で, 日本でも専用の照射プラントが 4 工場稼働している。照射線量は医療用具, 実験動物飼料で 25 KGy, 香辛料では 30 KGy である。

ラジュリゼイションは完全殺菌を目的にせず, 食品を汚染している微生物を $10^2 \sim 10^3$ 程度減じてシェルフライフを延長しようとするものである。この場合の線量は完全殺菌に必要な線量の $1/20 \sim 1/30$ ぐらいで副反応による食品の変質, オフフレーバーの発生は著しく少なくなる。ラジュリゼイションの処理は, 凍結できないものかまたは凍結によって市場価値の下がるものについて, その流通機構まで考慮し設定されたシェルフライフに必要な最少限の放射線処理にとどめるようにする。

日本ではかまぼこ, ウィンナーソーセージ, みかんに

表 3. ブロイラーのラジュリゼイション*

線量 (kGy)	貯 蔵 条 件			
	4 日 5° + 1 日 15°		6 日 5° + 1 日 15°	
	外観	臭	外観	臭
0	正常	若干異臭あり	緑色 腐	敗
1.5	正常	異 臭 なし	正常 異 臭	なし
3.0	正常	異 臭 なし	正常 異 臭	なし
6.0	正常	異 臭 なし	正常 1/3 異 臭**	

* 3 個ずつ処理

** 3 個のうち 1 個にごくわずかであるが照射臭あり

ついて研究が行われたが, 将来は豚のカット肉, 鶏肉, いちごなどが有望な対象品目と考えられる。これらの食品はシェルフライフが 3~7 日と短く, いちごは凍結できず, 肉類は凍結するとコスト高とドリブロスなどで 2~3 週間の流通には採算が合わない。例えば, ブロイラーのシェルフライフを流通期間を含めて 6 日間と設定し, 5° の冷蔵を 6 日間, それに家庭での保存期間として 15° に 1 日加えて実験してみると, 1.5 KGy の照射で目的を達することができる。このブロイラーは羽毛を抜いて内臓をとり, ポリエチレンとセロファンのラミネート包材で包み, 24 時間以内に放射線処理を行っている。

ラジュリゼイションの目的を達成する鍵は初発の微生物数を抑えることで, 照射前の処理もできるだけ衛生的に行うことである。最近話題になっている氷温貯蔵, パーシャルフリージングなどは, 将来新しいスーパーチルド流通帯を形成することになると考えられるが, これらとの併用及び脱酸素保藏技術との組合せによる鮮度保持なども有望である。

ラディンデーションは公衆衛生面から好ましくない微生物の殺菌を目的にしたもので、食中毒の原因となるサルモネラを対象とすると、*Salmonellae radicidation* という。サルモネラは畜肉、家きん肉、液卵などを汚染して、輸入の際の検疫の対象になるばかりではなく、魚粉、骨粉などの動物性飼料原料を汚染し、家畜を通し食品へと汚染循環を繰返すことになる。日本でも凍結馬肉のサルモネラ汚染が問題になったが、燻蒸処理は不可能であり、また加熱殺菌ではハム、ソーセージ、ペットフードの原料となりえず適切な方法は見当らない。

放射線処理では、5~10 KGy の照射でサルモネラを $10^5 \sim 10^7$ のファクターで殺菌できる。対象物の初期汚染濃度が比較的少ないのでこれで十分目的を達成でき、しかも凍結品は梱包したまま処理して食品加工工場へそのまま配送できる。食品原料のみならず、飼料、ペットフード原料の輸入が増加するなかで、サルモネラ防除の唯一の方法として防疫上も必要であり、最も実用化の早い分野であろう。

3. 殺 虫

穀類や乾燥野菜につく害虫、防疫の対象になっている熱帯果実のミバエなど、いずれも 0.2~1 KGy で殺滅または不妊化できる。貯蔵穀類害虫の場合に放射線処理法が従来の燻蒸法より優れている点は、100% 殺虫ができる、人為的エラーがないこと、全工程を自動連続化でき、処理時間は照射時間のみでよいことなどがあげられる。また 0.2 KGy 以下の低線量で不妊化とか次世代または次生虫への変換をストップさせることを目的にした場合には、再汚染した雌と先に不妊化した雄が交尾することで、再汚染した害虫の繁殖もある程度抑えることができる。

放射線処理法の短所は、少なくとも年間50万トン以上処理しないと採算に合わないし、また季節的な流通の変動への適応も小さい。しかし年間を通して大量の穀物の

輸出入の拠点では極めて有望な方法である。また大量処理の場合は ^{60}Co よりも電子線加速器を用いる方が有利である。例えば、日本の大型サイロへの荷揚スピードは毎時 400~600 トンであるが、防疫処理のため放射線殺虫をするには、 ^{60}Co では効率 90% としても約 300 万 Ci の施設となり、実質的に設計困難である。これに対し電子線加速器の場合は出力 62 KW で十分で、現在 100 KW 級の利用が可能なることを考えると、大量処理には電子線ということになる。

ガス燻蒸法では、外部の成虫が死んでも穀粒内に埋め込まれた卵が生き残るというケースもあったが、放射線に対する抵抗性は成虫よりも幼虫、幼虫よりも卵が弱く、穀粒中であろうと、果実種子中であろうと簡単かつ完全に殺すことができる。またガスのような化学薬剤を使用し続けると、必ずその薬剤に対する抵抗性を示す害虫が発生してくるが、放射線ではこれらを差なく死滅させることができる。しかもガス燻蒸法では取扱い作業員への安全性の配慮ばかりではなく、燻蒸後のガス放出に伴う大気汚染、穀物などへの残留ガスの問題もあり、公害防止の観点からも放射線処理法が有利である。

熱帯果実のフルーツフライの殺虫は、サルモネラの汚染防除と同様に防疫上の問題でもある。パパイヤ、マンゴなどは 0.2~1.0 KGy の処理によって殺虫と同時に果実自体の熟成を遅らせる効果もあり、貯蔵、輸送手段の一つとしても利用できる。

4. 発 芽 防 止

発芽防止は最も普及している技術で、ばれいしょは26か国、たまねぎは23か国、にんにくは10か国で許可されている。生物体で最も放射線感受性の強い組織は、細胞の分裂または生長の盛んな部分で、このことは放射線の影響が核酸、染色体などに障害を与えることを意味している。事実、照射ばれいしょの場合には、発芽期に RNA の生合成が抑制されており、その結果、発芽期の

図 2. コクヌストモドキ (コクゾウ虫) の放射線殺虫

● ホスフィン (PH₃: 燻蒸剤) 抵抗性 ○ 正常

A: 線源 B: 線源格納プール C: のぞき窓 D: 照射コンベア E: 搬入コンベア F: 転移コンベア G: 反転テーブル H: 搬出コンベア

図3. ばれいしょ照射プラント平面図(土農協協, 1973)

エネルギーをつくり出し、代謝機能に活力を与える生体内諸酵素の生合成も抑えられている。このように発芽防止は、放射線によって生物体の生理代謝機能に障害を起こさせ、そのこと自体を利用するというものであり、被照射物が死に至らないという点では殺菌や殺虫とは異なる。

各国の発芽防止の許可線量は、最高 150 Gy とし、下限を定めないので一般的である。ばれいしょの発芽防止には最低 60 Gy 程度の線量が必要であり、max/min の線量比は 2.5 になる。またばれいしょのような大量処理を必要とするものは、荷扱いの自動化、簡便化のために大型コンテナに入れて照射することになる。

ばれいしょの発芽防止を目的に、昭和47年に北海道の土幌に建設されたプラントは、30 万 Ci の ^{60}Co を線源として、1 日 350 トン、年間3か月の稼動で3万トンを処理できる。図3の平面図の斜線部分が遮へい用のコンクリート壁で、その内部が照射室である。照射室の横に操作室、検査、研究室などの管理棟がある。A は直径 1 m の円筒状線源、B は線源を格納するプール、C が操作室より内部を見るのぞき窓である。D は円型の照射コンベアで半径は 6 m で、この上に19個のコンテナがある。コンテナは 100×160×130 cm の金鋼製で、1.5 トンのばれいしょが入り、貨車及びトラック輸送に合うようなサイズになっている。

コンテナはEから搬入コンベアで照射室に入り、D 上にのせられ約1時間かけて線源周囲を1回転し、いったん照射室外に出る。F 点で再度搬入コンベアにのり、G 点で表裏反転し再び照射された後、搬出コンベアでHよ

り貯蔵庫に移送される。コンテナの両面から照射してもコンテナ内部の個々のばれいしょの吸収線量は均一にならず、中心部の吸収線量は低い。一方コンテナを線源から遠くすると、線源から出る放射線の利用率は低くなるが、コンテナ内部の吸収線量の均一性は高くなる。以上のような条件を考慮し、土幌の照射プラントでは、コンテナ内部のばれいしょの吸収線量の分布は max/min ≤2.5 になっている。

ばれいしょは収穫後 3~4 か月の休眠期間(発芽しない期間)があり、この間に放射線処理すると発芽を防ぐことができる。しかし、たまねぎは休眠期間が比較的短かく、品種によっては収穫後1か月くらいつと、外觀的には発芽していなくても内芽が徐々に伸長してくる。経験的にはこの内芽が 1 cm 以内に放射線処理すると発芽しなくなる。また休眠期間が短い品種は、収穫後低温に貯蔵して内芽の伸長を抑えておくことで、放射線処理期間の延長を図ることができる。

5. 照射改質

食品またはその原料の成分に対する放射線の直接作用を利用して、変性とか改質を目的とした一種の加工法的な用い方もある。放射線処理では、組織または成分を構成する高分子化合物の切断、分解がおもな反応で、これに伴ない組織の柔軟化、溶液の粘度低下といった現象が生じる。

例えば、醗酵原料を放射線殺菌すると、加熱殺菌と比較して初期の微生物増殖が顕著で醗酵工程が促進される場合が多いが、これは原料高分子成分の分解と同時に、加熱による微生物発育阻害物質が生じないこととの相乗効果と考えられている。

また乾燥野菜を放射線処理すると最適クッキングタイムを短縮することができる。例えば 50 KGy の照射で

表4. 照射乾燥野菜の最適クッキング時間*

品名	線量 (Mrad)	ブランチング	
		乳糖	食塩
ごぼう	0	30	25
	5	10	15
	10	5	10
ばれいしょ	0	15	10
	5	10	5
	10	7	4
にんじん	0	5	5
	1	3	3
	5	2	2
たまねぎ	0	5	5
	0.5	3	2
	1	2	2

* 沸騰水中における所要時間 (min)

ぼうは25分→15分, ばれいしょは10分→5分, にんじんは5分→3分, たまねぎは5分→2分と短縮される。

このような利用法として, テングサの放射線処理で寒天収量を高めること, ぶどうの処理で搾汁収量を高めること, またウィスキー, しょうちゅうなどの蒸溜直後の原酒に照射すると熟成促進効果のあることなどが報告されている。

6. 照射食品の健全性

食品の安全性というのは人体に対する有害性, 毒性にかかわることをいうが, 健全性 (wholesomeness) というのは, この安全性に加えて栄養学的 また 衛生学的観点, それに嗜好性なども含めた食品トータルにかかわる評価である。この健全性試験が食品照射研究の最も重要な部門であり, 健全性という言葉も食品照射研究を通して一般化されたものである。

当初, 照射食品の健全性試験の中心となっていたのは, 実験動物による短期及び長期毒性試験, 世代試験, 催奇形成, 発ガン性の試験であった。しかしこれらの全試験を行うには, 1 品目あたり 3~4 年の年月とぼう大な資金と人員が必要であった。ところが食品添加物, 農薬, 化学薬剤の安全性が問題になり, 特にその遺伝学的的安全性評価方法の開発がすすみ, 1975年以降はこれらの手法を導入した試験方法が逐次採用されてきた。

これらの方法はいずれも突然変異誘発性を検討するもので実験動物による試験より感度よく, 簡便でかつ短期間に結果がわかる。

例えば, 微生物に直接検体を作用させるか, または哺乳動物の腹腔内に微生物を注射し検体を経口投与した後に, これらの微生物の突然変異を検査する方法, 哺乳動物の培養細胞に検体を作用させる方法, 哺乳動物に検体を投与して体細胞 (骨髄細胞) の染色体異常をみる方法, 検体を投与した雄マウスに雌マウスを交尾させて妊娠後の黄体数, 着床数 (死亡/生存) を調べる方法などがある。日本でもばれいしょ, たまねぎ, 米, 小麦, ウィンナソーセージ, かまぼこ, 温州みかんの7品目について, 当初の動物実験を終えた後上述の突然変異誘発性についても試験が行われた。

以上いずれも生物を用いる試験であるが, このほかに, 放射線処理によって食品成分がどのような化学変化をひき起こすかといった放射線化学的データも健全性評価に活用されている。炭水化物, タンパク質, 脂質, ビタミンなど食品成分の放射線分解物のおもな種類, 生成量を, 加熱, 乾燥, 光などの他の物理的処理法の場合と比較して, 食品の放射線化学全般を通して下された結論は次のようなものである。

第1に放射線による成分の分解は 10 KGy レベルまでは線量に依存している。

第2に同じような食品の中での各成分の 10 KGy での変化は同程度であり, また分解によってできる生成物

は他の食品処理法でできる分解物とほとんど同じである。

第3に 10 KGy レベルの放射線でできる生成物の量は ppm 単位以下であり, 低線量では検知できず, またこれら生成物は人間の健康を害するようなものではない。

このような動物実験, 突然変異誘発性試験, 放射線化学的研究の結果に基づいて, FAO/IAEA/WHO の合同専門家委員会は1980年に次のように結論づけた。

「10 KGy 以下の総平均線量でいかなる食品を照射しても毒性学的な危険を生ずるおそれはないこと, さらに今後は照射した食品についての毒性試験は不要であること。10 KGy 以下の線量で食品を照射することは栄養学的にまた微生物学的にみて特別な問題をひき起こすことはない」。

今後照射食品の実用化に際して, 照射食品の健全性に関する試験の経過と内容, 及び結論については重要な意味を持つが, 内山ら²⁾によって要領よくまとめられているので参照されたい。

7. 放射線処理エネルギー

食品 1 kg を処理するのに必要なエネルギーを比較すると放射線処理の有利さが理解できる。例えば, 肉 1 kg を加熱殺菌すると 918 KJ (キロジュール), 冷凍処理には 7,552 KJ, 冷凍貯蔵 (−25°) は 1 日当り 206 KJ, 冷蔵貯蔵 (0°) は 1 日当り 58 KJ 必要である。これに対し, 30 KGy のラダアパチゼーションには 157 KJ, 2.5 KGy のラジュリゼーションでは 21 KJ のエネルギーしか必要でない。このような個々のエネルギーを積算しながら, 製造から家庭で消費されるまでの全エネルギーを比較してみると, 30 KGy のラダアパチゼーション処理の照射食品は缶詰の 3/4, 冷凍食品の 3/5 程度のエネルギー所要量となる。

肉などのラダアパチゼーションには, 放射線の副反応防止のため, 照射時に凍結しなければならないので, エネルギー所要量も多くなる。しかし乾燥食品のラダアパチゼーション, 冷凍原料のラジシデーションといった使用方法では他の処理法より格段の省エネルギー技術となる。このようにエネルギー的に有利で, かつ食品衛生上の観点からの安全性と信頼性に優れているので, とくに

表 5. 食品 1 kg 処理の所要エネルギー

処 理 方 法	所要エネルギー (kJ)
加 熱 殺 菌	918
冷 凍 処 理	7,552
冷 凍 貯 蔵 (−25°)	206/日
冷 蔵 貯 蔵 (0°)	58/日
放 射 線 殺 菌 (3.0 Mrad)	157
" (0.25 Mrad)	21

コールドチェーンの整備されていない国には重要な技術となろう。

8. 実用化の現状と将来

現在世界で許可されている照射食品は、33 か国で 59 品目になっており、また食品照射プラントは17か国で29

か所稼動していて、デンマークとソ連では電子線加速器による処理も行われている。一般に先進工業国での新技術導入は、既存技術と競合する場合は困難であり、とくに日本は核アレルギーの強い国で、かつ過去において感情的な照射食品ボイコット騒動の経験もあり、政府が積

表 6. 食品照射を実用化している国

(1986 年 3 月現在)

国 名	会 社・施 設 名 (都市)	品 目 (処 理 量)	開始 年	備 考
日 本	士幌町農業協同組合 (北海道)	ばれいしょ (15,000 t/y)	1973	30 t/h, 300 kCi の Co-60
韓 国	新エネルギー研究所 (ソウル)	ガーリックパウダー	1985	0.3 t/h, 100 kCi の Co-60
中 国	上海原子核研究所 (上海)	ばれいしょ	1985	10 t/h, 100 kCi の Co-60
ア メ リ カ	Radiation Technology, Inc.	香辛料	1984	アメリカでは年間約10,000 t の香辛料が照射されている。
	Isomedix, Inc.	香辛料	1984	
	Neutron Products, Inc.	香辛料	1984	
	Applied Radiant Energy	香辛料	1984	
	Radiation Sterilizer	香辛料	1984	
	International Neutronics	香辛料	1984	
チ リ	チリ原子力委員会の施設 (Santiago)	たまねぎ (200~300 t/y) ばれいしょ (50~100 t/y) 香辛料と乾燥野菜 (20~30 t/y)	1983	
ブラジル	EMBRARAD (San Paulo)	香辛料, 乾燥野菜		
イスラエル	Sorvan Radiation Ltd (Yavne)	香辛料 (120 t/y)	1986	0.4 t/h
オランダ	GAMMASTER (Ede)	香辛料 (100 t/y), 冷凍エビ (20~40 t/w), 冷凍カエル脚, 米, 卵粉末, 乾燥血液, 包装材料, 鶏肉, 乾燥野菜	1978	1 MCi と 1.2 MCi の Co-60
	IFFIT (Wageningen)	香辛料		
ノルウェー	エネルギー技術研究所 (Kjeller)	香辛料 (500 t/y)	1982	1.8 t/d
ソ 連	Odessa Port Elevator RDU (Odessa)	穀 類	1980	電子線照射 (1.4 MeV, 20 kw), 200 t/h
ベルギー	MEDIRIS, IRE (Fleurus)	香辛料 (350 t/y), 乾燥野菜 (700 t/y), 冷凍水産物 (2,000 t/y)	1981	300 kCi と 350 kCi の Co-60
フ ラ ンス	Conservatome (Lyon)	香辛料 (500~600 t/y)	1982	1.7 MCi の Co-60
	Caric (Paris)	香辛料, 家禽肉 (300 t/y)	1986	電子線照射
ハンガリー	AGROSTER (Budapest)	香辛料, たまねぎ	1982	
東 ド イ ツ	中央原子力研究所 (Weideroda)	たまねぎ (600 t/y), にんにく (4 t/y)	1983	30 kCi の Co-60
	Queis 農業協同組合	たまねぎ (4,000 t/y)	1986	
	VEB Prowiko	酵素溶液 (300 t/y)	1986	
ユーゴスラビア	Ruder Boskovic Institute (Zagreb)	黒こしょう	1985	1 m ³ kGy/h
南アフリカ	Nuclear Development Corporation	果実, 肉, たまねぎ, ばれいしょ	1981	1~2 t/h (1 kGy), 173 kCi の Co-60
	ISO-STER	香辛料, 乾燥野菜		1 MCi の Co-60
	High Energy Processing	果実	1982	0.5~1 t/h (1 kGy), 70 kCi の Co-60

IAEA 資料等による

極的に国際食品規格委員会の勧告を受入れる雰囲気ではない。

しかし、世界的にみて食品照射をめぐる動きは活発化しており、とくに貿易摩擦で問題になっている米国の動向は日本に強い影響力をもつだけに注目しなければならない。米国での照射食品の許可は、1963年に小麦、小麦粉、1964年にばれいしょについて行われた後、最近では1983年に香辛料と乾燥野菜が、1985年に豚肉、豚肉製品及び乾燥酵素製剤が許可され、さらに1986年には生鮮食品の発育、追熟抑制及び節足動物殺虫の目的が許可された。この最後の件はかなり包括的な許可であるが、一般的には生鮮果実の殺虫の目的での食品照射であると受けとめられている。これは米国環境保護庁が従来オレンジ、グレープフルーツなどの殺虫のため用いられていたエチレンジブロマイド (EDB) を1984年に禁止したため、その代替手段として許可されたものである。

日本に輸入されている生鮮かんきつ類の90%は米国からのものであるが、日本でかんきつ類の照射許可がない限り、当面は日本向けのかんきつのみ EDB での燻蒸処理ということになる。米国では既に Radiation Technology 社など6社が香辛料の殺菌を年間1万トン規模で行っており、このほか豚肉の寄生虫駆除を目的とした照射プラントも稼動の見込みである。さらにハワイでの熱帯果実のプラント計画や、一般放射線照射会社の食品照射への参入の動きもあり、これらの影響がどのようなかたちで日本に現われるのか関心を集めている。

そのほかに中国では独自に ^{60}Co の生産も行われており、照射プラントの建設計画も4か所にのぼり、急速な技術普及が図られている。またフランスでは輸出用のハ

ーブ茶の照射のため数か所の照射プラントを計画中であり、一部先進工業国の活発な動きは、いずれ世界的な実用化の気運をつくり出すものと考えられる。

最後に放射線源について述べてみたい。現在放射線源はほとんど ^{60}Co であるが、世界の ^{60}Co の90%以上はカナダの原子力公社が供給しており、また ^{60}Co 照射プラントの建設実績の面でもトップに立っている。一方電子線発生装置の実績は米国、日本が強いが、将来有望な X 線発生装置は、この電子線発生装置の改良型ともいえるものである。つまり電子線を金属に当てると X 線に変換するものである。

日本では、ラジオアイソトープの ^{60}Co 線源は危険な放射能とイメージがダブリ、国民感情を配慮すると機械線源の方が使いやすいと考えられる。また一般的に各種線源を使い分けるとすると、 ^{60}Co は多目的利用であり、粉体、粒体や液体といったものは4~10 MeV の電子線を、梱包物やコンテナの処理は3~5 MeV の X 線で処理することが期待される。とくに日本は特殊な原子炉を必要とする ^{60}Co の生産は不可能であり、得意な機械線源の分野を伸ばし、効率的な X 線発生装置を完成することが期待されている。

文 献

- 1) Josephson, E. S., Peterson, M. S.: "Preservation of Food by Ionizing Radiation" Vol. 1~3 (1983) CRC Press.
- 2) 内山貞夫, 土屋雅子, 宝月大輔: New Food Industry 28, (12) 5~10 (1986).