

3. 応 用

食品照射

農業・食品産業技術総合研究機構 食品総合研究所

等々力 節子

1 はじめに

食品照射は、食品の品質保持や衛生化、植物検疫処理の手段の一つ（オプション）として国際的に認知された技術である。2005年時点での世界全体の処理量は年間40.5万トン、そのうちアジア・オセアニア地域では中国を筆頭に18.3万トンであったが、2010年の同地域での処理量は28.5万トンまで増加した¹⁾。現在は、中国の食品照射の処理量は70万トンを超えているとの報告もあり、世界全体の処理量は100万トンあまりとも見込まれている²⁾。このように、食品全体の流通量に占める割合は依然として限られているものの、放射線の持つ高い殺菌効果や処理工程の確実性により、照射食品の流通量は全体として緩やかに増加している。

2 応用範囲

食品照射に必要な線量は目的に応じて異なり、大まかにTable 1の様にとまとめられる³⁾。低線量域では、150 Gy程度で、発芽抑制作用を利用したニンニクやジャガイモの貯蔵期間の延長、1 kGy未満では穀物などを貯蔵中に食害する害虫の殺虫や植物検疫処理（不妊化/殺虫）が可能である。さらに高線量域の1 kGy-7 kGyで、畜肉や魚介類、生食野菜等を汚染する腐敗細菌や腸管出血性大腸菌 O157 やサルモネラなどの食中毒細菌の制御が可能である。また、香辛料や乾燥野菜などの水分活性の低い食品原材料に付着している耐熱性の芽胞菌に対しては、比較的高線量（3 kGy-10 kGy）の放射線を照射することで品質変化の少ない殺菌が可能である。

実際に目的とする効果を得るために必要な線量は、対象となる食品の物理状態や農産物の生理状態、細菌や害虫などの放射線抵抗性および汚染の程度によって変化するため、商業利用にあたっては、対象物を定め

ての念入りな条件検討が必要である。さらに目的が達成されても、最終的に食品の品質価値が維持されなければ実用には耐えない。我が国で流通するジャガイモや、諸外国で販売されている畜肉製品、冷凍魚介類、香辛料、生鮮果実等の照射食品は、効果と品質の両面からの線量設定条件が充たされている成功例である。

3 照射食品の安全性評価

照射食品のリスクを考慮する際には、(1) 照射により毒性（慢性毒性、催奇形性、変異原性を含む）物質の生成、また、誘導放射能の生成が起こらないか？（毒性学的安全性）、(2) 生残菌での突然変異誘発による有害菌の発生や毒素産生の促進、放射線耐性や薬剤耐性の増大が無いのか？（微生物学的安全性）、さらに、(3) 照射により特定の栄養素の損耗などの食品としての栄養学的適性が保持されているか？（栄養学的適確性）の3つの論点を合わせた、健全性（wholesomeness）について議論されている。長年にわたる国内外で膨大

Table 1. Food Irradiation Applications.

照射の目的	線量(kGy)	対象品目
発芽及び発根の抑制	0.03-0.15	ジャガイモ, タマネギ, ニンニク, 甘藷, シヤロット, ニンジン, 栗
殺虫及び不妊化	0.1-1.0	穀類, 豆類, 果実, カカオ豆, ナツメヤシ, 豚肉(寄生虫), 飼料原料
成熟遅延	0.5-1.0	バナナ, パパイア, マンゴー, アスパラガス, きのこと(開傘抑制)
品質改善	1.0-10.0	乾燥野菜(復元促進), アルコール飲料(熟成促進), コーヒー豆(抽出率向上)
腐敗菌の殺菌	1.0-7.0	果実, 水産加工品, 畜肉加工品, 魚
孢子非生成食中毒菌の殺菌	1.0-7.0	冷凍エビ, 冷凍カエル脚, 食鳥肉, 飼料原料
食品素材の殺菌(衛生化)	3.0-10.0 (-30)	香辛料, 乾燥野菜, 乾燥血液, 粉末卵, 酵素製剤, アラビアガム,
滅菌	20-50	畜肉加工品, 病人食, 宇宙食, キャンプ食, 実験動物用飼料, 包装容器, 医療用具

下線の品目は諸外国も含め商業規模で流通しているもの。

Food Irradiation
Setsuko TODORIKI (National Food Research Institute, National Agriculture and Food Research Organization),
〒305-8642 つくば市観音台 2-1-12
E-mail: setsuko@affrc.go.jp

な研究から、国際的に合意されている結論は以下のよう
にまとめられる^{3,4)}。

- 毒性 (慢性毒性, 催奇形性, 変異原性を含む) 試験では照射の悪影響は認められない。
- 照射後の生残微生物の影響は他の殺菌法の場合と同じで、照射で病原性や毒性が増大することはない。
- 適正な照射条件では核反応は起こらず、食品が放射能を帯びることはない。
- 栄養素の損耗は、加熱処理などとの比較において特に問題とならない。
- 放射線照射による分解生成物のほとんどは、加熱等の加工処理でも生成し、通常の殺菌線量 (10 kGy 以下) では、加熱処理に比べて生成量も少ない場合が多い。
- 現在、同定されている唯一の放射線照射特異的分解生成物は 2-アルキルシクロブタノン類 (2-ACBs) であるが、この化合物を含む照射食品の摂取によるヒトへの健康リスクはほとんど無視できる。

2-ACBs については、一部の限られた毒性試験の結果から、遺伝毒性や発がんプロモーション活性の懸念を示す報告もあるが、諸外国の食品安全評価機関が照射食品中の同物質のリスクを問題視することは無く⁵⁾、我国の研究者が行った研究でも指摘されている毒性は観察されなかったと報告されている^{6,7)}。

4 食品照射の国際的な評価と基準⁵⁾

照射食品の評価には、世界保健機関 (WHO)、国連食糧農業機関 (FAO)、国際原子力機関 (IAEA) が関与してきた。健全性評価と国際規格制定の流れを Table 2 に示した。

1980 年に実施された FAO/IAEA/WHO の照射食品の健全性に関する合同専門家会議 (JECFI) で、10 kGy までの食品照射の毒性学的安全性の結論が出され、これを反映して 1983 年には、FAO/WHO のコーデックス国際食品規格委員会がコーデックス照射食品に関する一般規格 (Codex General Standard for Irradiated Foods) を採択した。以降、諸外国では、照射食品に関する政府機関による安全性評価と規制の制定が進められた。

1997 年には、WHO の専門家委員会が、10 kGy 以上を照射した食品に関しても健全性評価を実施し「意図した技術上の目的を達成するために適正な線量を照射した食品は、いかなる線量でも適正な栄養を有し安全に摂取できる。」として、10 kGy 以上を照射した食品についても健全性に問題がないことを結論した。そこで、コーデックス規格の改訂が議論され、2003 年には「吸収線量は原則 10 kGy までとし、正当な技術的必要

Table 2. Wholesomeness evaluation and standard setting by the international bodies.

1970 年	国際食品照射プロジェクト (IFIP) 開始 (カールスルーエ) 健全性試験研究の方法の検討, 委託, 情報提供
1980 年	FAO/IAEA/WHO 照射食品の健全性に関する合同専門家委員会 (JECFI) (ジュネーブ) “10 kGy 以下の照射食品の健全性に問題はない”
1981 年	国際食品照射プロジェクト終了
1983 年	FAO/WHO 食品規格委員会 「照射食品に関する国際一般規格」(Codex 規格)
1997 年	WHO の高線量照射食品に対する見解 “10 kGy 以上照射した食品の健全性に問題はない”
2003 年	FAO/WHO 食品規格委員会 「照射食品に関する国際一般規格」(Codex 規格) 改訂 IPPC (国際植物検疫条約) において 照射が植物検疫措置に関する国際基準に (ISPM#18)

を認めれば、それを超えることも可」とする現行規格が採択された。

植物や農産物を加害する病害虫の国際間での伝搬を防ぐために国際植物検疫条約 (International Plant Protection Convention) が締結され、「植物検疫措置に関する国際基準 (ISPM)」を定めている。基本的には病害虫発生地域から無発生地域への寄生農産物の移動は制限されるが、薬剤くん蒸や低温、高温処理など一定の条件を満たした消毒処理その他により輸入を解禁する場合がある。その際、従来用いられてきたくん蒸剤の臭化メチルは、オゾン層破壊物質として使用全廃が進められていることから、代替消毒法としての放射線照射に大きな期待が寄せられている。2003 年 4 月に、IPPC において、「放射線照射を植物検疫処理法として利用するための指針 (ISPM#18)」が採択され、放射線照射処理は国際的に認知された植物検疫措置 (消毒処理) となった。さらに、2009 年-2015 年には「規制有害動植物に対する植物検疫処理 (ISPM#28)」の付属書 1-14, 19 として、15 本の個別の検疫害虫の具体的な消毒処理基準 (最低吸収線量) が設定されている。

なお、WTO における食品や農産物の輸出入に関する措置を定める SPS 協定 (衛生植物検疫措置の適用に関する協定) では、「コーデックス国際食品規格」及び「植物検疫措置に関する国際基準 (ISPM)」が、それぞれ食品衛生及び植物検疫分野における、国際参考規格と位置づけられている。

5 海外における評価, 規制, 実用化動向²⁾

米国においては、食品安全基準当局である米国食品薬品局 (FDA) が、14 のカテゴリーの食品について、上限線量を設定した上で許可をしている。これら品目のうち、微生物制御の目的の照射において、香辛料

(80000トン) および牛挽肉・鶏肉(8000トン)、植物検疫目的で青果物(総計15000トン)が市場流通している。青果物のうち、約5000トンは、ハワイやフロリダのサツマイモ、果実など米国内の農産物を他の地域に移送するために処理したもの、残りの1万トンは、輸出国で処理された果実類を輸入したものである(2013年実績)。農務省の動植物検疫局(USDA/APHIS)は、植物検疫における照射施設や処理の基準を管轄しており、線量については消毒に必要な最低吸収線量を害虫の種類ごとに定め、それを確実に超えることを要求している(上限はFDAの定める1kGy)。輸入植物検疫においては、到着時に米国内施設で照射処理した農産物の受け入れも開始しており、今後はその施設を用いた米国産農産物の輸出への展開も目指している。

EU加盟国では、食品照射に関する基準を統一し、表示の徹底も含めた食品照射に関する一般的な要件を定めている。域内で共通して照射が認められている食品は香辛料・ハーブ類であるが、フランス、ベルギー等では基準統一前の加盟国の独自許可品目が有効である。近年の域内施設での2013年の照射量は6876トンで、カエル脚、スパイス・ハーブ類が主な品目である。

アジア・太平洋諸国の中では、中国における実用化の進展が著しく、食品の処理量は全世界の3/4を占めると推定されている。また、ベトナムでも、輸出用冷凍魚介類、米国向けドラゴンフルーツの照射等が実施されている。他にも米国向け輸出果実の照射が、タイ、インド等で実施されており、フィリピン、マレーシア等も準備を進めている。オーストラリアは、世界に先駆けて照射果実の国際流通を実用化し、2004年からニュージーランドへの照射マンゴーの輸出を開始した。両国は、2014年までに、食品安全基準における照射可能な果実の品目を24種類まで拡大するとともに、2013年からは、唐辛子、トマトについて農業使用の代替として放射線照射を導入し、流通を開始した。

その他、食品照射が活発に実施されている国として、南アフリカ共和国(香辛料・果実類)とウクライナ(小麦)、メキシコ(輸出用果実)がある。

6 国内情勢と今後の展望

我が国では、ジャガイモの周年安定供給を目的に1974年より北海道の土幌の照射施設(土幌アイソトープセンター)において照射が開始された。近年の処理量は、年間5000トン-6000トン程度で、流通にあたっては、法令に従って、ダンボール箱外箱や店頭販売の際の小売パッケージに照射日を含めた表示がなされている。

ジャガイモ以外の食品についての放射線照射は、海

外で処理品の輸入も含め食品衛生法で禁止されている。2000年12月には、全日本スパイス協会が、当時の厚生省に殺菌の目的での香辛料類の照射許可の要望を提出した。その後、原子力委員会が専門部会を設けて現状を整理し、2007年から厚生労働省の審議会で検討が行われたが、2-ACBに関するデータ不足と未成熟な消費者認知を理由に、それらを解消する努力を業界や関係者に求めるとして、2010年に審議を中断した。2012年には、食中毒の危険性から、生食用の牛レバーの提供が法的に禁止されたが、その解除を求める声も多く、現在、レバー中に存在する細菌に対する制御手段として、放射線照射の効果を検証する研究が厚生労働省により実施されている。

食品照射技術は、決して万能ではなく、ニッチな技術として他に替えることのできない利点を発揮するとき、市場の需要を満ち消費者に受け入れられていくと考えられる。ニュージーランドでは“*Irradiated to Protect the New Zealand Environment*”のラベルを貼った果実やトマトなどが購入されていると聞けるが、これはその一つの例であろう。

今後の技術的な発展としては、コバルト60線源から加速器利用への転換のなかで、特定目的に特化した普及性のある小型の加速装置の開発が期待されている。また、我が国においては、ジャガイモの許可以来、真の意味での実用化研究は途絶えており、他品目への拡大をはかる場面では、工業製品において蓄積した照射技術以外に、食品流通技術としての品質評価や包装条件の検討なども必要となるだろう。

〈参考文献〉

- 1) 久米 民和, 食品照射, 47 (2012) 29.
- 2) 等々力節子, 食品照射, 50 (2015) in press.
- 3) WHO, *Safety and Nutritional Adequacy of Irradiated Food*, Geneva, 1994.
- 4) WHO, *High-dose irradiation: wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy*. Geneva, 1999.
- 5) 食品安全委員会: ファクトシート, 放射線照射食品, http://www.fsc.go.jp/sonota/factsheets/f06_food_irradiation.pdf.
- 6) K. Yamakage, H. Sui, R. Ohta, T. Toyozumi, K. Kawakami, H. Matsumoto, T. Takahashi, K. Sasaki, M. Ikezumi, S. Negishi, K. Izumi, S. Todoriki, K. Takashi, M. Furuta, *Mutat. Res. Genet. Toxicol. Environ. Mutagen.*, 770 (2014) 95.
- 7) M. Sato, S. Todoriki, T. Takahashi, E. Hafez, C. Takasu, H. Uehara, K. Yamakage, T. Kondo, K. Matsumoto, M. Furuta, *K. Izumi, J. Toxicol. Pathol.*, 28, (2015) 99.