

照射された馬鈴薯は 30 年以上にわたって日本各地の青果物市場に、毎年 15,000 トン以上が出荷されてきた。市場での照射馬鈴薯はダンボール箱に入れられ、照射済みのスタンプが印されている。2005 年に JAS 法により店頭の小袋にも照射済みの表示が求められたため、一時期 3,000 トン程度まで出荷量が落ち込んだ。しかし、土幌農協などの販売努力もあり、現在では 6,000 トン程度が市場に出回っている。(伊藤 均)

参考文献

- 1) 梅田圭司. 食品照射の実用化とその背景. *化学と生物*, **12**(8), p.532-538 (1974).
- 2) 鈴木慶記ほか. 加工用ばれいしょの貯蔵および加工に関する研究. *食品産業センター技術研究報告*. No.3, p.61-70 (1979).
- 3) 久米民和ほか. γ 線照射による馬鈴薯の発芽防止における必要最低線量と線量率効果. *JAERI-M* (日本原子力研究所) 6408, p.1-9 (1976).
- 4) 佐藤友太郎ほか. 北海道土幌馬鈴薯照射施設の概念設計. *JAERI-M* (日本原子力研究所) 6000, p.1-42 (1975).
- 5) Takehisa M. Potato irradiation technology in Japan. *Radiation Physics and Chemistry*. **18**(1,2), p.159-173 (1977).
- 6) 田中義久ほか. 食品照射施設北海道土幌アイソトープ照射センター. *FAPIG* (第一原子力産業グループ) **74**, p.35-41 (1974).
- 7) Kameyama K.; Ito H. Twenty-six years experience of commercialization on potato irradiation at Shihoro, Japan. *Radiation Physics and Chemistry*. **57**(3-6), p.227-230 (2000).

13 照射食品の健全性評価のための食品照射国際プロジェクト (IFIP) と 1976 年の JECFI 勧告

食品照射の健全性を国際的に評価しようとする動きが 1961 年、ベルギーのブリュッセルで開催された FAO (国連食糧農業機関), IAEA (国際原子力機関), WHO (世界保健機関) の合同委員会から始まった。この会議では、照射食品の動物試験による健全性評価は食品添加物などと同じ 100 倍量(安全係数)を投与して行うことが合意された。その理由は、当時は放射線の化学反応で生成する食品成分の反応生成物の量や化学物質の種類がわかっていなかったためである。健全性を国際的に評価するための国際プロジェクトの研究方針が 1964 年のローマでの会議で検討され、1969 年のジュネーブでの会議で具体的な研究項目とプロジェクトが合意された。

食品照射国際プロジェクト (International Project in the Field of Food Irradiation : IFIP) は 1970 年 10 月に発足し、最終的に 24 ヶ国が参加、1980 年まで研究が継続された。プロジェクト参加国は米国、西ドイツ、オランダ、ベルギー、デンマーク、スウェーデン、ハンガリー、カナダ、日本、オーストラリア、フランス、インド、ブルガリア、ノルウエイ、ソ連、英国、ブラジルなどである。プロジェクトの分担金

は各国 2.5 万～5.0 万ドルであった。プロジェクトの主な実施場所は西ドイツのカールスルーエにあるドイツ連邦栄養研究所に置かれ、各種の研究計画、研究方針などが決定あるいは提案された。情報誌の FOOD IRRADIATION INFORMATION が 1971 年から刊行され、加盟各国の研究情報が共有された。

最初の研究課題としては照射馬鈴薯と照射小麦の健全性が取り上げられた。これらの研究では、1) 0.75kGy 照射された小麦粉で飼育されたマウスの繁殖能の試験、2) 照射後 2 年間貯蔵した照射小麦から作られたパンの栄養価試験、3) 0.12kGy 照射された馬鈴薯で飼育されたマウスとラットの繁殖試験、4) 照射馬鈴薯で飼育されたマウスの寿命試験が行われた。この他に、タマネギ、魚、米、パパイヤ、香辛料などの健全性試験も開始された。1976 年にジュネーブで開催された FAO/IEA/WHO の食品照射合同専門家委員会で、1kGy 以下の線量を照射された小麦および小麦製品、0.15kGy 以下の線量を照射された馬鈴薯は無条件で安全であると勧告された。また、7kGy 照射された食鳥肉や 1～3kGy 照射されたイチゴ、1kGy 以下の線量照射されたパ

パイヤも安全であると勧告された。これらの勧告は本プロジェクトや個別の参加国による長期毒性試験や繁殖試験、栄養試験の結果に基づいたものである。

1976年のFAO/IAEA/WHO合同専門家委員会の会議では国際プロジェクトの中間総括が行われ、日本からは理化学研究所の松山氏が参加した。この会議での重要な勧告は、「食品の放射線処理は加熱や冷凍処理と同じ物理的処理であり、食品添加物としての扱いは妥当でない」とした見解である。すなわち、放射線処理を食品添加物として評価する場合、動物を使った毒性試験では食品添加物や残留農薬試験が必要とされる1日当たりの摂取許容量や安全係数の概念が必要であった。しかし、照射食品の動物試験においては、照射食品を通常の食餌レベルの何倍も多く食べさせるのは無理であり、照射線量を必要量の何倍も多くして試験するのは適当ではない。照射食品の健全性評価においては、線量が増加すれば栄養成分が分解され、栄養組成が異なってくる可能性があり、放射線分解生成物の量も異なってくる可能性があるため、食品添加物とは異なるとしたものである。

一方、食品成分の放射線化学的反応を調べたところ、各種食品中のタンパク質、脂質、炭水化物間で分解物の種類に共通性があることがわかった。食品成分の放射線による化学反応のほとんどは分解反応であり、放射線分解生成物のほとんどの成分は非照射食品中や加熱処理など他の方法で処理された食品中にも見出すことができた。合同専門家委員会は放射線分解生成物の量は60kGy照射しても食品1kg

当たり数mgの範囲に過ぎないとし、ある照射食品に関する健全性のデータは他の照射食品にも関連づけることができると述べた。また、照射食品間に共通な反応がわかっているならば各種照射食品の健全性評価を確実なものにすることができるとし、照射食品の放射線化学的研究成果と毒性試験や栄養学的データを併せることによって健全性を評価することができると述べている。

放射線化学的研究成果から10kGy以下の照射食品は安全と考えられるがデータが不足しており、5kGy以下の照射食品が安全であると見なしている。

なお、今後の研究課題として、放射線分解生成物のさらなる分析と毒性評価、照射された実験動物用飼料による飼育試験の総合的評価、照射による栄養価の損耗と他の処理法との比較などについての検討があげられた。(伊藤 均)

参考文献

- 1) 川嶋浩二, 林 徹 (訳). WHO技術報告シリーズ No.604 照射食品の健全性 FAO/IAEA/WHO合同専門家委員会 (1976) 報告. *食品照射*. **16**, p.60-88 (1981).
- 2) P. Elias. 食品照射に関する国際プロジェクト (IFIP) の活動現状. *食品照射*. **11**, p.64-69 (1976).
- 3) 伊藤 均. “照射食品の健全性”. 食品・農業分野の放射線利用. 林徹編, 東京, 幸書房, p.11-51 (2008).

14 FAO/IAEAの飼料の放射線殺菌に関する専門家会議での安全宣言

1960年代になると、医療や薬剤などの研究上、実験動物を飼育する必要性が日本や欧米諸国で増加していたが、病気にかかった実験動物を使用しているデータにばらつきが生じたり、実験そのものが失敗する事例が多数発生した。主な原因は使用した動物が純系で病気に弱い上に、飼料や飼育環境などからの病原菌による感染があった。そこで、無菌動物を無菌環境下、殺菌処理した飼料で飼育する必要が生

じ、実験用のSPF (specific pathogen free) 動物やgerm-free (無菌動物), gnoto-biotic (もっている微生物種が明らか) 動物の飼料の殺菌処理が行われるようになった。

当初、SPF動物や無菌動物などの乾燥飼料は120℃・20～40分間の高圧蒸気処理やエチレンオキシドでの燻蒸が行われていたが、加熱処理では成長率が悪く、エチレンオキシド燻蒸では残留毒性や

15 1980年 JECFI の 10kGy 以下の照射食品の健全性に関する勧告

食品照射は第二次世界大戦後に出現した新しい技術であり、照射食品の食経験がなかったため、照射食品の安全性を調べるため数多くの試験研究が実施された。1950年頃から照射食品中に存在する毒性的物質を検出するための化学分析や数多くの動物試験が行われた。当初、これら試験研究のほとんどは米国および英国におけるものであった。1960年代になって、他の国においても、照射食品の健全性に関する試験研究が活発に行われるようになった。

照射食品の安全性を国際的に評価しようとする動きは、1961年のFAO/IAEA/WHO照射食品の健全性に関する合同会合（Joint FAO/IAEA/WHO meeting on the wholesomeness of Irradiated Foods）から始まった。また、FAOとIAEAは、WHOの助言に従い、1970年に食品照射国際プロジェクト（International Project in the Field of Food Irradiation：IFIP）を開始した。IFIPは、10kGy以下の線量を照射した食品を対象とした世界中で行われている種々の動物試験に対して統一性を持たせるとともに、動物試験に関する情報交換の場を設けた。また、IFIPは、照射食品の健全性に関する独自の委託試験も行った。IFIPには24カ国が参加した。

IFIPの成果に基づき、1976年にJECFI（FAO/IAEA/WHO照射食品の健全性に関する合同専門家委員会：Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee meeting on the wholesomeness of irradiated foods）は、食品の放射線処理は加熱や凍結と同じ物理的処理法であるという見解を出した。それまでの動物試験は放射線分解生成物を食品添加物と同じように考えて過剰投与して安全性評価を行っていたが、分析技術の進歩によって放射線分解生成物が量的に非常に少ないこと、生成物の多くが未処理の食品や他の物理的な処理をした食品にも含まれていることが明らかになったからである。IFIPの支援のもとに行われた研究では、照射食品には毒性学、栄養学、微生物学に関わる問題となる現象は何も観察されなかった。

このプロジェクトは、10kGy以下の線量を照射した食品の健全性を明らかにして、1981年に終了した。これらの成果に基づいて1980年に開催され

たJECFI（FAO/IAEA/WHO照射食品の健全性に関する合同専門家委員会：Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee meeting on the wholesomeness of irradiated foods）は以下のような「照射食品の健全性に関する問題はない」という内容の勧告を出した。

- 1) 平均線量が10kGy以下の放射線を照射したいかなる食品も毒性を示すことはなく、したがって、10kGy以下の放射線を照射した食品の毒性試験はこれ以上行う必要がない。
- 2) 10kGy以下の平均線量を照射した食品は、特別の栄養学的な問題や微生物学的な問題がない。

この報告を受けて、1983年にコーデックス委員会は、食品に10kGy以下の線量の放射線を適切に照射した食品を国際間で流通させるための基本的な規格として、「照射食品に関する国際一般規格」（CODEX STAN 106-1983）と「食品処理のための照射施設の運転に関する実施規範」（CAC/RCP19-1979-（Rev.1-1983））を作成し、加盟各国に勧告した。

ところで、このように国際機関が10kGy以下の照射食品の健全性を認めたのは、10kGyを越える照射食品の健全性に疑念が持たれたためではなく、当時10kGyを越える照射食品の必要性を認識しておらずそのような高線量照射した食品の健全性を評価していなかったからである。

また、JECFIの報告書の表紙には、専門家の見解でありFAO、IAEA、WHOの公式な見解でない旨の“This report contains the collective views of an international group of experts and does not necessarily represent the decisions or the stated policy of FAO, IAEA, or WHO”という文章が記載されており、JECFIの勧告は国際機関が認めていないという誤解がある。JECFIは国際機関に勧告をしただけであり、それを受けたコーデックス委員会が1983年に前述の国際規格と国際基準を作成して加盟各国に勧告したことにより、FAOとWHOがJECFIの見解を国際的に認知したことになる。

このような国際機関、各国政府における照射食品の健全性に対する評価にもかかわらず、各国で照射食品に対する不安や反対運動があったので、WHO

は1994年に照射食品の健全性について再評価し、問題のないことを再確認し、“Safety and Nutritional Adequacy of Irradiated Food”という本形で公式見解を公表した。その日本語訳版は「照射食品の安全性と栄養適性」としてコープ出版から出版された。さらに、1997年9月にはFAO/IAEA/WHOの高線量照射に関する合同研究部会 (Joint FAO/IAEA/WHO Study Group on High Dose Irradiation) が10kGy以上照射した食品の健全性についても問題がないという見解を出し、この結果に基づいて、2003年にコーデックスの関連文書の改訂が行われた。(林 徹)

参考文献

- 1) 川嶋浩二ほか (訳). WHO 技術報告シリーズ No.659 照射食品の健全性 FAO/IAEA/WHO 合同専門家委員会 (1980) 報告. *食品照射*. 16, p.89-111 (1981).
- 2) WHO. Safety and Nutritional Adequacy of Irradiated Food. Geneva, WHO, 161p. (1994).
- 3) WHO. 照射食品の安全性と栄養適性. 東京, コープ出版, 242p. (1996).

16 インドにおける照射小麦によるポリプロイド発生説の問題点

1975年にインド国立栄養研究所が発表した「照射小麦はポリプロイド (倍数性細胞, 血液中リンパ球の染色体異常) の出現率を増加させる」という内容の論文は、照射食品が有害であるという根拠としてしばしば引用される。

ガンマ線を0.75kGy照射して間もない小麦, 照射してから12週間貯蔵した小麦, 非照射小麦をインドの栄養不良の子供に4~6週間与えたところ, ポリプロイド出現率は, 非照射小麦を与えた群で0%, 照射後2週間貯蔵した小麦を与えた群で0~0.5%であったのに対し, 照射して間もない小麦を与えた群では0.8~1.8%であった。また, 同様の試料をサルに与えた場合にも, ポリプロイド出現率は, 非照射群が0.4%, 照射後貯蔵した小麦群が0.10%, 照射直後の小麦群が0.58%となり, 照射直後の小麦を与えたサルのみ高い値を示した。マウスやラットを用いた実験でも同じようなポリプロイドの増加が照射小麦を与えた群で認められた。

小麦は世界で最も大量に消費される主食であり, これらの研究結果は世界中に大きな衝撃を与え, いくつかの研究所で追試が行われた。例えば, インドのBhabha原子力研究所では, 0.75kGy照射して2週間貯蔵した小麦をラットに5週間与えてもポリプロイドの増加は認められなかった。同様の試験が英国のLife Science Research, Huntingdon Research

Centreで実施されたが, 照射小麦の摂取が原因となるポリプロイドの増加は観察されなかった。また, 日本では, 日本アイソトープ協会食品照射委員会のもとで, 食品薬品安全センターが行ったチャイニーズハムスターを用いた試験においても, 照射した小麦によるポリプロイドの誘発や抹消赤血球中の小核の誘発は認められなかった。

中国では, ボランティアの学生ら78人に35種の照射食品を90日間食べさせてその影響が調べられた。米, 小麦, 大豆, 小豆, ピーナッツ, 肉製品, 馬鈴薯, 野菜, きのこと, 果実などを0.1~0.8kGy照射した後に調理し, 学生達が供試した。全食品に占める照射食品の割合は60.3%であった。血液検査, 尿検査, 血液生化学検査, 肝機能検査, 腎機能検査, 内分泌検査, 免疫検査, 突然変異指標検査などが行われ, その結果, 照射食品を食べることによる上記の検査項目への悪影響は全く観察されなかった。この試験において, 照射食品摂取に伴うポリプロイドの増加も観察されなかった。

そもそも栄養状態が悪いと, 染色体異常が起こりやすい。例えば, メキシコの子供を対象にした調査では, 染色体異常の出現率は, 栄養状態の良い子供では5%以下であり, 栄養状態の悪い子供では10%以上であった。もちろんこれらの子供は照射食品を食べてはいない。このような結果と比較して, イン

- Current Status. C. H. Mc Murray et al. eds. Cambridge, U. K. Royal Society of Chemistry, p.269-284 (1966).
- 6) C. H. Sommers et al. 2-Dodecylcyclobutanone does not induce mutation in *Salmonella* mutagenicity test or interchromosomal recombination in *Saccharomyces cerevisiae*. *J. Food Protec.*, **67**, p.1293-1298 (2004).
- 7) FDA. Irradiation in the Production, Processing, and Handling of Food ; Final Rule, Federal Register, 21 CFR Part 179, April 18 (1986).
- 8) D. W. Thayer et al. Toxicology studies of irradiated-sterilized chicken. *J. Food Protec.*, **50**(4), p.278-288 (1987).
- 9) A. Anellis et al. Low-temperature irradiation of beef and methods for evaluation of a radappertization process. *Applied Microbiology*, **30**(5), p.811-820 (1975).
- 10) 伊藤 均. 食品照射を巡る最近の状況. *放射線と産業*, **121**, p.38-41 (2009).

19 国際食品照射諮問グループ (ICGFI) の活動

国際食品照射諮問グループ (International Consultative Group on Food Irradiation : ICGFI) は FAO, IAEA, WHO の後援によって、1984 年 5 月に設立された。ICGFI 設立の目的は、1) 世界各国の食品照射技術開発を国際的に評価する、2) ICGFI 加入国や関係機関に食品照射の実用化に寄与する助言を行う、3) 1980 年の JECFI (FAO/IAEA/WHO 照射食品の健全性に関する合同専門家委員会) での健全性評価の勧告や、コーデックス委員会、その他の食品照射に関する情報を世界各国に提供することであった。ICGFI 事務局は FAO, IAEA, WHO 代表が務め、当初の加入国はアルゼンチン、オーストラリア、バングラデシュ、カナダ、チリ、エジプト、フランス、ドイツ、ハンガリー、インド、イラク、イスラエル、イタリア、マレーシア、メキシコ、オランダ、パキスタン、フィリピン、ポーランド、シリア、タイ、トルコ、米国、ユーゴスラビアの 24 カ国であった。日本は加入しなかった。

ICGFI は食品照射に関する法規制、照射食品の表示、検知技術、照射施設と照射技術などに取り組み、10kGy 以上の照射食品の健全性のデータについても世界各国の研究成果を収集して整理を行った。1986 年 3 月には米国ワシントン国務省で国際食品照射セミナーが開催され、各国の研究成果が報告された。日本からは科学技術庁の要請により伊藤がオブザー参加し、香辛料の殺菌効果について発表した。

1988 年 12 月には ICGFI が支援した FAO/IAEA/

WHO ならびに国連貿易開発会議 (UNCTAD) と関税一般協定 (GATT) の合同機関との共催による「照射食品の受容、管理、貿易に関する」国際会議がスイスのジュネーブ WHO 国際会議場で開催された。本会議には 57 カ国の代表と、コーデックス委員会、国際消費者機構など 16 機関がオブザー参加した。日本からは科学技術庁関係 2 名 (伊藤、渡辺) と民間 14 名 (藤巻、松山、足立、武久ほか) が参加し、日本の消費者団体もオブザーとして参加した。会議は 5 日間に渡って開催され、消費者の照射食品に対する姿勢、政府の許可、照射工程管理、照射食品の貿易管理について討論され、次のような勧告が出された。

- 1) 食品衛生の上で食品照射の果たす役割は大きい。
- 2) 食品照射は農産物の貯蔵中の損耗減少に寄与し、植物防疫の手段として有効である。
- 3) 各国政府は食品照射の許可、管理、表示、品質管理、検知法の開発について適切に取り組むべきである。
- 4) 消費者の受け入れが食品照射の重要な要因である。

これらの勧告には多くの国が賛成したが、消費者の受容性や食品照射技術の誤用のおそれなどの理由により、ドイツなど消極的な国もあった。

1994 年 10 月、ICGFI は日本原子力産業会議と共催の放射線利用国際シンポジウムを東京で開催し、

海外の多くの専門家が講演した。消費者団体やマスコミ関係者が多数参加し、食品照射の有用性について討論した。この頃には ICGFI 加入国は英国やベルギー、中国などを加え 47 カ国になっていた。日本は正式加入していなかったが、日本原子力産業会議がオブザーバー加入し、1995 年から 2001 年まで伊藤、須永、久米が出席した。

1995 年の ICGFI 総会では、10kGy 以上の照射食品の安全性について討論し、毒性学、栄養学、微生物学、放射線化学、誘導放射能の研究結果から 10～70kGy のいかなる線量を照射した食品でも安全性が保障され、栄養学的にも問題がないという ICGFI 専門家グループが出した結論が報告された。なお、オランダからは病人食は 75kGy まで許可されているとのコメントがあった。

ICGFI は 2004 年で役割を終えたが、食品照射の国際的な実用化進展に大きく貢献した。食品照射の規格基準についてラテンアメリカ地域やアジア・太平洋地域などでワークショップを開催し、多くの国が参加した。臭化メチル燻蒸の代替処理法として植物防疫における放射線殺虫処理の研究を支援し、研修も盛んに行った。カナダの照射センターでは食品の照射施設や工程管理の訓練を目的とした研修コースが、オランダのワーグニンゲンでは食品照射の基礎知識の研修が、それぞれ数年にわたって実施され、多くの研修生が学んだ。放射線特有の分解生成物である 2-アルキルシクロブタノン類の遺伝毒性についてはドイツ・カールスルーエの Delincée 博士に依頼して調査した。コメントアッセイのデータなどに問題があり専門家達から多くの批判が出さ

れたが、討論の結果、安全性に問題がないことが ICGFI 総会で報告された。また、食品照射のデータベースを構築し、世界各国に情報を提供した。さらに、1997 年には FAO/IAEA/WHO の高線量照射に関する合同研究部会 (Joint FAO/IAEA/WHO Study Group on High Dose Irradiation) が 10kGy 以上の照射食品の安全性を宣言したが、ICGFI はこの宣言を支持した。照射食品の検知技術の開発についてもドイツを中心とした研究活動を支援した。

(伊藤 均)

参考文献

- 1) ICGFI. Guidelines for Acceptance of Food Irradiation (Report of A Task Force Meeting, Ottawa, 15-19 September 1986), IAEA-TEC-DOC-432. (1987).
- 2) ICGFI. Summary Report of the Sixth Meeting, Joint FAO/IAEA Division. (1989).
- 3) 日本原子力産業会議. 照射食品の受容、管理、貿易に関する国際会議から. *原子力資料*, **219**, p.1-62 (1989).
- 4) 日本原子力産業会議. 放射線利用国際シンポジウム論文集 (1994).
- 5) ICGFI. Review of Data on High Dose (10-70kGy) Irradiation of Food (Report of a Consultation Karlsruhe, 29- August-2 September 1994). Geneva, WHO (1995).
- 6) ICGFI. Summary Report of the Fifteenth Meeting, Joint FAO/IAEA Division. (1998).

20 1997 年の 10kGy 以上の照射食品の安全宣言

1983 年にコーデックス委員会が 10kGy 以下の照射食品の国際一般規格を採択した後も食品照射に対する反対運動は世界各国で続いた。そこで、WHO はオーストラリア政府の要請を受けて、1980 年に FAO/IAEA/WHO 照射食品の健全性に関する合同専門家委員会 (Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee meeting on the wholesomeness of irradiated

foods) が出した 10kGy 以下の安全宣言について、1980 年以降に得られた科学的研究を基に再評価した。1994 年には“Safety and Nutritional Adequacy of Irradiated Food” (コープ出版「照射食品の安全性と栄養適性」はこの和訳である) を出版し、10kGy 以下の照射食品は毒性学的にも栄養学的にも問題がないと再確認した。

一方、10kGy以上の照射食品の安全性については1989年に国際食品照射諮問グループ(ICGFI)が10kGy以上の健全性のデータを収集し、健全性を究明することを決定し、1995年、ICGFIの専門家グループは10～70kGyの照射食品は安全であると結論し報告した。

ICGFIの報告を受けて、WHOは専門家による研究グループを組織し、10kGy以上の照射食品の健全性評価を行った。食品照射に関する放射線化学的評価、毒性学的評価、微生物学的評価、栄養学的評価の各種データを収集し、安全性を評価した。1997年、FAO/IAEA/WHOの高線量照射に関する合同研究部会(Joint FAO/IAEA/WHO Study Group on High Dose Irradiation)がジュネーブで開催され、食品照射の10kGyの上限撤廃が勧告された。

すなわち、食品照射の放射線化学の分野では、放射線分解生成物の量と種類は個々の食品の栄養成分組成に依存しており、生成量は線量に依存して直線的に増加する傾向があることがわかった。また、同じような食品の栄養成分組成では照射によって同じような化学反応を起こすことがわかった。例えば、凍結下で10kGy以上照射されたハムや豚肉、食鳥肉に残存するESRスペクトルは似ており、放射線分解生成物の種類や量も似ている。放射線分解生成物の多くは脂質の分解によるものであり、タンパク質は放射線に対して比較的安定である。脂質の分解は活性酸素などの水分解ラジカルによるものより、分子鎖内に生成されたフリーラジカルによる反応が中心であり、自動酸化反応、分子内結合反応、脱水素反応などが起こる。生成物としては炭化水素化合物に属すアルカン類、アルケン類、アルカデイエーレン類、アルキン類、アルデヒド類、アルコール類、ケトン類などが生成され、それらの化合物は非照射食品や加熱調理食品中にも存在している。各種分解生成物の量は50kGy照射された食品中でも微量であり、加熱調理の方が分解生成物の量が多い傾向がある。タンパク質の分解生成物はアンモニアや有機酸類、芳香族化合物、メルカプタン類などであり、高線量でも生成量は極微量であった。糖類の放射線による分解は少なく、低分子糖類は有機酸類やアルデヒド類、ケトン類を生成し、多糖類は低分子糖類を生成しやすい。ビタミン類は酸化分解が中心であり、加熱調理と似ている。放射線特有の分解生成物とし

ては2-アルキルシクロブタノン類が微量に生成されるが、Ames試験による変異原性が認められないことや、この化合物を含む照射食品の動物投与試験の結果に異常がないことから問題にされていない。毒性学的評価では米国で行われた59kGy照射された食鳥肉および55.8kGy照射された牛肉の慢性毒性試験や繁殖試験、催奇形性試験(項目18参照)、いずれもオランダで行われた74kGy照射された豚肉のラットによる2年6カ月に渡る慢性毒性試験と50kGy照射された豚肉ハムなどの繁殖試験および催奇形性試験、また、米国陸軍の人体試験などの結果ならびに各種変異原性試験によって、毒性学的に問題ないと結論した。

微生物学的安全性については、栄養細胞型細菌類、放射線抵抗性細菌類、酵母類、糸状菌類、有芽胞形成細菌類、寄生虫類、ウイルス類について検討し、多くの栄養細胞型細菌類や酵母類、糸状菌類が10kGy以下で殺菌され、寄生虫類は1kGy以下で殺菌されることを明らかにした。放射線抵抗性菌類は熱に弱く、ウイルス類も放射線に抵抗性であるが、熱に弱い。しかも、10kGy以上の照射食品は乾燥下で照射処理されるか、低温加熱調理後に凍結下で照射されるため、ウイルスや放射線抵抗性菌増殖の問題がない。有芽胞細菌類ではボツリヌス菌が放射線に抵抗性が強いが、未調理肉で45kGy、調理肉では30kGyで殺菌できる。照射による食品中のマイクロフローラ(微生物相)変化は主に10kGy以下で起こるが、熱処理でも起こる現象であり、多くの病原菌は低線量で殺菌される。また、ウイルス類の突然変異は放射線照射で著しく増加することはない。

栄養学的評価では、10kGy以上の高線量を照射してもタンパク質や脂質、糖類の栄養価の減少はわずかである。ビタミン類、ことにビタミンB₁は減少しやすいが、乾燥状態または凍結下で10kGy以上照射した場合にはビタミン類の多くは放射線に安定であり、ビタミンB₁も加熱滅菌処理よりも分解が少ない。すなわち、栄養学的には加熱滅菌された食品類に比べて、放射線滅菌された食品類の方が優れていると言える。

これらの各種評価を基に、FAO/IAEA/WHOの高線量照射に関する合同研究部会は10kGy以上の照射食品も10kGy以下の照射食品と同様に毒性学的にも栄養学的にも安全であり、多くの応用分野が

あると勧告した。 (伊藤 均)

参考文献

- 1) WHO. Safety and Nutritional Adequacy of Irradiated Food. Geneva, WHO, 161p. (1994).
- 2) WHO. 照射食品の安全性と栄養適正. 東京,

コープ出版, 242p. (1996).

- 3) WHO. High-Dose Irradiation : Wholesomeness of Food Irradiation with Doses Above 10kGy (Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Study Group), WHO Technical Report Series 890, Geneva, WHO (1999).

21 家畜飼料の放射線殺菌効果

家畜の飼育はわが国でも大規模化しており、いったん飼育中に病気が発生すると多くの家畜に伝染して罹病してしまう。このため、家畜の疾病対策として飼料（濃厚飼料）中に抗生物質などを添加している。一方、家畜飼料の製造も大規模化しており、病原菌が混入すると家畜の多くに病気が発生しやすくなる。また、家畜飼料の貯蔵中に発生する害虫や糸状菌により飼料の栄養価が低減したり、マイコトキシン類による家畜の疾病が起こる可能性もある。

こうした家畜の疾病問題の対策としては、飼料を殺菌することが必要であるが、乾燥した家畜飼料を蒸気殺菌することは困難でありコストも高くつく。また、魚粉などを加熱殺菌すると、ジゼロシンやヒスタミンなどの内臓疾患性物質が生成しやすくなる。そこで、乾燥状態でも大量殺菌が可能な放射線処理法の研究が行われてきた。

実験動物用飼料の放射線殺菌および飼育試験は1967年から1970年頃、日本原子力研究所高崎研究所（原研）や三共（株）などで行われ、30kGyが滅菌線量であり、ラット、マウス、ウサギの飼育効果は蒸気滅菌よりも良好なことが明らかにされた。

家畜飼料の放射線処理については1970年頃から研究が始まり、食品総合研究所の梅田らは配合飼料などを電子線照射して、ケナガコナダニは0.5kGyで殺虫でき、粗タンパク質、粗脂肪、粗繊維含量は60kGy照射でもほとんど変化しないと報告した。また、リジン含量も60kGyでも低下せず、ガンマ線を50kGy照射したマイロや脱脂肪大豆をニワトリ雛に食べさせても照射による異常は認められなかったと報告している。畜産試験所の滝川らはヌカ類や大豆油10%を含む半精製飼料にガンマ線を

6kGy, 30kGy, 60kGy照射したところ、過酸化物質価は6kGyでは非照射とほとんど差が認められなかったが、30kGy以上では過酸化物質価が非照射の5～10倍に増加し、ニワトリ雛の消化率や内臓などに悪影響を与えると報告した。しかし、畜産試験所の土黒らは10kGy照射した通常の配合飼料でニワトリ雛を飼育したところ飼料の栄養価は変化せず、飼育効果は良好であったと報告している。

家畜飼料の殺菌効果については原研の渡辺らがトウモロコシおよびマイロについて研究し、6kGyの照射で貯蔵中に発生する好浸透圧性糸状菌の発生が抑制できたと1971年に報告した。同じく、原研の伊藤らは配合飼料中の微生物分布を調べ、多くの飼料の大腸菌群は1g当たり $2.5 \times 10^2 \sim 6.8 \times 10^5$ 個検出されたが、そのほとんどは *Enterobacter* や *Klebsiella* などの植物由来であり、動物由来の大腸菌群の *Escherichia coli* は1%以下しか検出されなかったと1981年に報告した。一方、糸状菌としては好浸透圧性糸状菌 *Aspergillus galaucus* 群や *A. restrictus* 群の他に *A. versicolor* も若干検出された。*A. versicolor* は発癌性のストリグマトシスチンを産生する。これら大腸菌群や糸状菌は5kGy以下で殺菌され、配合飼料を夏期条件下で貯蔵すると5kGyで糸状菌の増殖が抑制できたと原研の久米らは報告した。

飼料用の魚粉、肉粉、骨粉などの高タンパク質飼料原料はサルモネラや大腸菌などの病原菌を含んでいると報告され、1983年、原研の伊藤らは魚粉などの微生物分布を調べ、大腸菌群は1g当たり $5.6 \times 10^1 \sim 1.0 \times 10^5$ 個検出され、30%以上が *Escherichia* および *Citrobacter* などの動物由来の大