

生存率 $10^{-4}$ でも変異の誘発は0.01～0.5%であった。また、アミノ酸合成欠損変異も両者とも同程度の低い確率で誘導され、しかも変異株の多くは不安定で、植え次ぎによって元に戻ってしまった。

微生物を繰返し照射すると、放射線に耐性となる恐れがある。原研の伊藤らは *Salmonella* Typhimurium の菌液 (菌数約  $10^7$ /mL) を生残菌がほとんどない 1.2kGy で照射し (洗浄後・0.067M 磷酸緩衝液中, 好氣的条件下), 生き残った菌液を再培養して5回同じように繰返し照射したが、放射線耐性は増加しなかったと報告している。さらに同様の照射を繰り返すと、一部の細胞が放射線に耐性となったが、これは細胞が分裂能を失って菌糸状になったためである。そして、これらの菌体を照射せずに繰返し植え次ぐと、菌糸状細胞は消失して、放射線感受性も元に戻った。また、6回以上の繰返し照射を行うと、アミノ酸合成欠損株などが多く出現したが、血清型は変化しなかった。R. Davis らも *S. Typhimurium* を84回繰返し照射したが、同様の結果を得ている。なお、放射線耐性の遺伝子が同じ菌種の放射線感受性が高い菌株に転移することがないことも原研の H. Ito らが明らかにしている。また、薬剤耐性菌や耐熱性菌が出現することもない。

アフラトキシンなどのカビ毒を産生する糸状菌に放射線を照射すると、カビ毒産生量が2～3倍増加する株が若干発生するが、照射後に生残する90%以上の株はカビ毒産生能が低減するか失われてしまうと原研の伊藤らが報告している。また、毒素産生能が増加した株も純粋分離しないで植え次ぐと数代後に元に戻ってしまう。一方、低線量照射はカビ毒素産生能を若干促進したが、次世代には引き継がれない。細菌類のボツリヌス菌や腸管出血性大腸菌の場合には、低線量による毒素産生促進効果は認められていない。(伊藤 均)

## 参考文献

- 1) 伊藤 均. 大腸菌及び関連細菌の放射線感受性に及ぼすフリーラジカルと培養基の影響. *食品照射*. **35**, p.1-6 (2000).
- 2) 伊藤 均. 放射線殺菌と食品微生物. *日本食品微生物学会雑誌*. **28**(3), p.149-156 (2011).
- 3) Ito H. et al. Identification of osmophilic *Aspergillus* isolated from rice and their radio-sensitivity. *Agric. Biol. Chem.* **37**(4), p.789-798 (1973).
- 4) 瀧上真知子, 伊藤 均. *Escherichia coli* のガンマ線および紫外線感受性と突然変異誘発について. *食品照射*. **30**, p.11-16 (1995).
- 5) 伊藤 均ほか. 繰返し照射による *Salmonella typhimurium* の放射線抵抗性の誘導. *食品照射*. **24**, p.12-15 (1989).
- 6) R. Davis; A. T. Sinsky. Radiation-resistant mutants of *Salmonella typhimurium* LT2: Development and characterization. *J. Bacteriol.* **113**(1), p.133-144 (1973).
- 7) Ito H.; Iizuka H.. Genetic transformation of Moraxella-like psychrotrophic bacteria and their radiation-sensitivity. *Agricultural and Biological Chemistry*. **47**(3), p.603-605 (1983).
- 8) 伊藤 均ほか. “*Aspergillus paraciticus* と *Aspergillus flavus* のアフラトキシン産生に及ぼす低線量照射の影響.” 研究成果最終報告書. 食品照射研究委員会. 東京, 日本アイソトープ協会, p.235-244 (1992).
- 9) 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).

## 28 日本アイソトープ協会の食品照射研究委員会による健全性研究

日本アイソトープ協会は1986年から1991年までの6年間、松山晃氏を委員長とする食品照射研究委員会を設けて研究を実施した。原子力委員会の特定

総合研究 (食品照射ナショナルプロジェクト) の成果報告書が取り纏められていた時期と重なるが、特定総合研究後に新たに提起された健全性に係る問題

を主な対象に最新の手法を用いて試験を行い、科学的な知見を得ることを目的としたものであった。委員会では、誘導放射能、食品成分の変化、変異原性誘発、微生物による毒素産生について検討し、以下が主な研究成果であり、照射による健全性を否定するような結果は認められなかった。

1. 食品を 10MeV 電子線およびコバルト 60 ガンマ線で照射した場合の誘導放射能について、理論的考察と実験的測定を行った結果、これらの放射線を用いて食品を照射した場合、照射食品の安全性に係る誘導放射能の問題はないことを再確認した。
2. 30kGy 以下の線量で照射した食鳥肉において、アミノ酸組成の変化および人工消化系による消化率の低下は認められなかった。
3. 卵白アルブミン (OVA) の免疫化学的研究において、抗非照射 OVA 抗体 5 種および抗照射 OVA 抗体 1 種を得た。これらの抗体の照射および非照射 OVA に対する反応性を調べたところ、抗照射 OVA 抗体の認識する抗原決定部位は OVA 分子の変性により分子内部から露出してくる部分であり、照射により新たなアレルゲンは生成しないことが明らかになった。
4. 黒・白コショウ、シナモンを 30kGy の線量でガンマ線照射して成分分析を行った。照射によりコショウ精油収量が増大したが、成分の変化は認められなかった。シナモンでは精油収量は照射により増大しなかった。24 週間の貯蔵中、黒・白コショウ、シナモンの精油収量は照射・非照射の間で差異を見出せなかった。コショウの照射処理は、燻蒸法、瞬間高温蒸熱法と比べて、品質的に優れていた。
5. 黒コショウ、赤トウガラシ、ナツメグ、パプリカを 1kGy、10kGy 照射し、超臨界ガス抽出法などによる抽出物について、S.typhimuriumTA98, TA100, TA102 による変異原性試験を行った結果、照射による変異原性の誘発は認められなかった。
6. ガンマ線照射グルコース水溶液は、細菌による復帰突然変異試験において、エームス試験の標準プレインキュベーション法では TA98, TA100, TA102 のいずれの菌株でも陰性であったが、前培養時間を長くした Niemand 法では TA100 に対して陽性となり、線量の増加および照射時の酸素の存在により誘発復帰変異コロニー数の増加が認められた。照射グルコース水溶液の変異原性は、チャイニーズハムスター培養細胞 (CHL) による染色体異常試験でも認められた。しかし、細菌、CHL いずれにおける変異原活性も S9mix の添加によって減少または消滅し、さらにマウス末梢血の小核試験の結果も陰性であった。これらの結果は、生体レベルでは照射グルコースの変異原性が発現できない機構が働いていることを示唆している。
7. 照射グルコース溶液の細菌 (TA104) に対する変異原性は、野菜・果実類、特にミョウガ、ダイコンのジュースの添加により抑制された。CHL に対する照射グルコースの染色体異常誘発はマンゴージュースの添加により完全に抑制された。これらの結果およびマンゴー果肉を 10kGy 照射しても変異原性が認められなかったことは、含糖果実自体の中には、照射による変異原の生成ないしその活性発現を抑制する因子が存在することを示唆している。
8. 比較的低温で変異原性を生ずる糖・アミノ酸混合のメイラード反応系について、ガンマ線照射 (10kGy) した混合液と非照射の混合液をそれぞれ加熱 (121℃, 1 時間) して変異原性の発現を比べると、照射・非照射両群の間に明確な差は認められなかった。このことはこのような系を含む照射食品の加熱調理・加工に際し、新たに変異原性に係る問題は生じないことを示唆している。
9. 30kGy までガンマ線照射した小麦粉を照射後 8 時間以内に粉末飼料としてチャイニーズ・ハムスターに給餌し、3 日後に骨髓細胞のポリプロイド (倍数性細胞) 出現および末梢赤血球の小核誘発を調べたところ、いずれも照射による有意な増加は認められなかった。また、0.75kGy 照射小麦粉を照射後 2 週間以内にラットへ 12 週間給餌育し、骨髓細胞中のポリプロイド (倍数性細胞) 出現と末梢赤血球の小核誘発を調べたところ、いずれも照射による有意な増加は認められなかった。
10. ボツリヌス E 型菌および C 型菌の芽胞を水懸濁液中で 1 ~ 8kGy 照射して培養した場合、増殖および毒素産生は照射しても増大しなかった。ボツリヌス E 型、C 型両菌株とも食鳥肉中では水懸濁液中よりも放射線抵抗性で、芽胞汚染濃度によっては 10kGy でも完全殺菌できない可能性が

あった。ボツリヌス中毒の防止には照射後の低温貯蔵など適正製造基準にしたがって処理を行うことが重要である。

11. 香辛料などから分離した、*Aspergillus flavus* 野生株および *A. parviticus* 標準株の分生子を低線量で照射した後に生残する菌の多くは、アフラトキシン産生能が低い傾向を示し、繰返し照射による放射線抵抗性の増大や突然変異の増加は認められなかった。極低線量 (0.05kGy) によりアフラ

トキシン産生量の 1.1 ~ 1.8 倍程度の増大が認められたが、この増大は継代培養により消失し、遺伝的なものではなく、生理学的効果によるもので、低線量による代謝活動の活性化によるものと思われた。(林 徹)

#### 参考文献

- 1) 食品照射研究委員会. 研究成果最終報告書. 東京, 日本アイソトープ協会, 265p. (1992).

## 29 食品照射におけるコーデックス規格と ISO 規格

### コーデックス食品規格

コーデックス委員会は、FAO (国連食糧農業機関) と WHO (世界保健機関) によって 1963 年に設立された政府間組織であり、2013 年現在 185 ヶ国および欧州共同体がメンバーである。主目的は消費者の健康の保護、公正な食品・取引の保証、国際間 (政府および非政府組織) によって行われる食品規格作業の調整などである。コーデックス委員会の下には、2013 年現在、計 28 部会 (休会中の部会も含む) が設けられており、照射食品に関する事項は、歴史的にはコーデックス食品添加物・汚染物質部会 (CCFAC) が対応してきたが、2006 年から、部会構成が変更され、食品衛生部会 (Committee on Food Hygiene) が取り扱っている。この他に、照射食品の分析法 (検知法) の検討については、コーデックス分析・サンプリング法部会 (CCMAS) が関与している。

1995 年に WTO (世界貿易機関) が発足すると、「衛生と植物防疫措置に関する協定 (SPS 協定)」における「国際基準設定機関」としてのコーデックス委員会の立場が明確となった。すなわち、コーデックス委員会の勧告は、食品の安全性についての唯一の国際的な参考規格であり、WTO 加盟国は、原則としてそれらに基づいた措置をとることとされている。

### 照射食品のコーデックス規格

1979 年、それまでに出された 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: JECFI) からの勧告に基づき、コーデックス食品添加物・汚染物質部会 (CCFAC) での議論を踏まえ、「照射食品に関する国際一般規格 (CAC/RS106-1979)」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)」が採択された。さらに、1980 年の第 3 回 JECFI において、10kGy までの安全性についての結論 (項目 15 参照) が出されると、線量上限についての結論を反映した規格および規範の改定作業が進められ、1983 年に「照射食品に関する国際一般規格 (CODEX STAN 106-1983) および改正規範 (CAC/RCP19-1979 (Rev.1-1983))」が採択された。

さらに 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) の報告が出されると (項目 20 参照)、1983 年の一般規格、特に、吸収線量の項目を改正すべきであるとの意見が出され、1999 年より、規格改定作業が開始された。また、2000 年には、上述した国際規範の改定についても改定作業の開始が承認された。改訂作業の過程では 2-アルキルシクロブタノンの安全性についての議論が沸騰し、線量の上限撤廃については反対意見も出された。最終的に 2003 年のコーデックス委員会総会において、改定一般規格 (CODEX STAN 106-1983, REV.1-2003) および実施規範: 食品の照