

5 原子力特定総合研究・食品照射ナショナルプロジェクトの経緯

1967 年、原子力委員会は食品照射をナショナルプロジェクト（国家プロジェクト）として原子力特定総合研究の一つに指定した。1965 年 12 月に発足した原子力委員会下部組織の食品照射専門部会が、1967 年 7 月に出した答申書を受けたものである。この答申書は食品照射の開発に必要な食品類について照射効果と健全性、照射技術などの研究の必要性和海外の動向などを調査した結果に基づく。そして、1) プロジェクトで取り上げる品目は生産者、消費者を含め広く国民経済に影響を与えるものとする、2) プロジェクトでは実用化に必要な基礎から応用までの全てのデータの蓄積を目的とする、3) 実用化の可能性の高い品目から研究に着手する、との基本的な考え方が示された。

食品照射専門部会は食品類の貯蔵・輸送中の腐敗、虫害、発芽などによる損耗防止に放射線処理が有効なことに注目し、放射線処理により貯蔵期間延長が可能なることを期待した。特定総合研究の候補品目として馬鈴薯やタマネギ、米、小麦の他に、リンゴやミカンなどの果実類、マグロ、タラ、水産加工品などの魚介類、ソーセージ、牛肉などの肉類、卵が選定されたが、最終的には、馬鈴薯、タマネギ、米、小麦、ウィンナーソーセージ、水産練り製品、温州ミカンの 7 品目が各種食品類の代表例として指定された。研究期間は 10 年を目途として、馬鈴薯およびタマネギから研究に着手することになった。また、日本原子力研究所高崎研究所にガンマ線照射施設および共同利用施設を設置して、各研究機関と連携して研究開発を行うことになった。

特定総合研究の研究組織は図に示すように科学技術庁、農林省、通産省、厚生省に所属する研究機関と大学などであり、1967 年より共同研究が開始された。照射効果の研究では農林省の食糧研究所（現食品総合研究所）が馬鈴薯やタマネギの発芽防止効果、米や小麦の殺虫効果、温州ミカンのカビ防止効果を主に担当し、畜産試験場はウィンナーソーセージの貯蔵効果、東海区水産試験所は水産練り製品の貯蔵効果を主に担当した。また、日本原子力研究所高崎研究所や日本アイソトープ協会が窓口となり、各公立研究所や大学も照射効果の研究を行った。厚

生省の国立衛生試験所は健全性試験を担当し、ラットやマウス、サルを用いた慢性毒性試験、亜慢性毒性試験などを担当した。国立栄養研究所は栄養成分の変化について研究し、国立予防衛生研究所は照射の有無を判別する検知法の研究を担当した。日本原子力研究所高崎研究所は照射技術開発と線量評価技術を主に担当し、理化学研究所は基礎研究を行った。

これらの研究では、照射および非照射食品のタマネギなどの実験動物への過剰投与による異常の発生、タマネギの発芽活動開始後の照射では発芽抑制効果がなかったこと、ウィンナーソーセージの照射による異臭発生など様々な問題に直面し、タマネギの健全性試験では実験動物へのタマネギの最適投与量を求めて試験をやりなおすことになった。また、1977 年より新たに変異原性試験が追加され、食品薬品安全センターがこれを担当した。食品照射ナショナルプロジェクトは当初の 1974 年終了の予定を 1983 年まで延長し、多分野にわたるプロジェクト研究を実施し、表に示すように 7 品目全ての食品

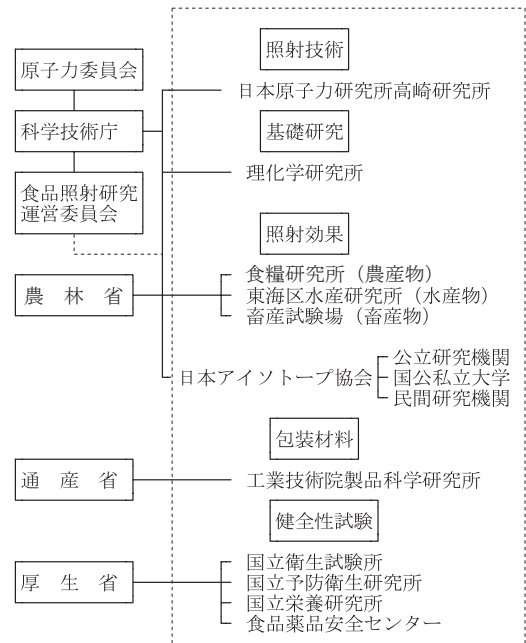


図 食品照射原子力特定総合研究の研究組織

表 食品照射特定総合研究結果の概要

品目 (照射目的)	放射線の種類	照射効果	効果・問題点	検知法	健全性試験				実施期間	備考
					栄養試験	慢性毒性	世代試験	変異原性		
馬鈴薯 (発芽防止)	γ線	室温中、60～150Gyで8ヶ月間発芽防止が可能	特になし	実用的な方法は見あたらなかった	影響無	影響無	影響無	影響無	1967～1971	食品衛生法許可 (1972年)
タマネギ (発芽防止)	γ線	室温中、20～150Gyで8ヶ月間発芽防止が可能	〃	〃	〃	〃	〃	〃	1967～1978	研究成果報告済 (1980年)
米 (殺虫)	γ線	200～500Gyで殺虫効果がある。カビ防止効果もある	品種によっては照射後の食味が低下するものあり	〃	〃	〃	〃	〃	1967～1979	研究成果報告済 (1983年)
小麦 (殺虫)	γ線	〃	小麦粉の粘度が若干低下する	〃	〃	〃	〃	〃	1968～1980	研究成果報告済 (1983年)
ウィンナーソーセージ (殺菌)	γ線	3～5kGy, 10℃貯蔵で貯蔵期間を3～5倍延長できる	酸素透過性の小さい包装材で窒素ガス封入が条件	〃	〃	〃	〃	〃	1968～1980	研究成果報告済 (1985年)
水産練り製品 (殺菌)	γ線	3kGy, 10℃貯蔵で貯蔵期間を2～3倍延長できる	特になし	励起蛍光スペクトルの変化による判別の可能性あり	〃	〃	〃	〃	1969～1980	研究成果報告済 (1985年)
温州ミカン (表面殺菌)	電子線	0.5MeVのエネルギーの電子線, 1.5kGy, 低温下で貯蔵期間を2～3倍延長できる	〃	—	〃	〃	〃	〃	1970～1981	研究成果報告済 (1988年)
実施機関	農林省研究機関, 日本原子力研究所高崎研究所 日本アイソトープ協会			国立予防衛生研究所	国立栄養研究所	国立衛生試験所		食品薬品安全センター		

類について健全性に問題がないことが確認され、照射効果もほぼ満足する結果が得られた。

この間、照射技術においても大量照射技術が開発された。検知法の研究ではこの時期に実用的な方法は確立できなかったが、1990年以降、様々な方法が開発された。なお、原子力委員会への最終的な研究成果報告書の作成は1988年で終了した。

(伊藤 均)

参考文献

- 1) 伊藤 均. なぜ食品照射か-その歴史と有用性; [1] わが国における食品照射技術の開発. *放射線と産業*. 110, p.36-42 (2006).
- 2) 日本原子力研究開発機構 食品照射データベース. <http://foodirra.jaea.go.jp/>

6 馬鈴薯の照射効果

馬鈴薯、タマネギは収穫後一定の休眠期が過ぎると、発芽・萎縮を開始し商品価値が損なわれるため、それを抑制する目的で次のような化学薬品がわが国を含め各国で使用されていた。すなわち Fusarex (tetrachloronitrobenzen), MH (maleichydrazid), CIPC (isopropyl N- (3-chlorophenyl) benzene) などである。これに代わる方法として、コバルト 60 を用いた放射線による一連の試験が行われ、以下のような結果を得た。

発芽率

「男爵」, 「島原」両品種とも収穫 45 日後に照射した。「男爵」は、0.07 ~ 0.15kGy 照射区では 5℃貯蔵、常温貯蔵とも 6 か月以上完全に発芽を抑制したが、非照射区では 5℃貯蔵で収穫 188 日後に 30% が、常温貯蔵では 78 日後に 100% 発芽した。「島原」は休眠期間が短い品種であり、5℃で貯蔵すると 0.07kGy 区では収穫 110 日後から発芽 (約 4%) がみられ、185 日後には 37.5% が発芽した。0.15kGy 区では 185 日後でも 4.6% であった。また非照射区では 110 日後に約 70%, 185 日後に 100% 発芽した。

一方、照射後常温貯蔵すると、発芽率は 0.07kGy 区では 110 日後に約 7%, 185 日後に約 40% であったが、0.15kGy 区では 185 日後でも 1% 程度であった。また非照射区では 110 日後で 100% 発芽した。

加工用に多用される「農林 1 号」を収穫 43 日後に照射すると 5℃の貯蔵で非照射区、0.07kGy, 0.15kGy 区ともに 6 か月は完全に発芽が抑制された。8 か月後では照射区で発芽率は 6 ~ 9%, 非照射区で約 14% であった。常温貯蔵区では 0.07kGy, 0.15kGy 区ともに 6 か月は完全に発芽が抑制されたが、8 か月後には 0.07kGy で 100%, 0.15kGy で 36% が発芽した。ただしこれらの芽は非常に短小なもので、商品価値を著しく損なうほどのものではなかった。また非照射常温貯蔵区では収穫後 76 日までに 100% 発芽した。

重量減少

「男爵」は 5℃で 6 か月間貯蔵すると重量減少率は、非照射で約 8%, 0.07kGy と 0.15kGy 照射では 3%

未満であったが、常温貯蔵すると非照射区で約 8%, 照射区では 5 ~ 6% であった。「島原」は 5℃で貯蔵すると 0.07kGy, 0.15kGy 照射で収穫 6 か月後、重量減少率は 3% 未満であったが、非照射区は 8% 程度と高かった。常温貯蔵すると照射区は 8 ~ 15%, 非照射区は 17% 程度であった。

「農林 1 号」は時期を変えて収穫後 43 日および 114 日に照射した。重量減少率は照射時期を変えても、5℃貯蔵区では非照射、0.07 および 0.15kGy とともに 6 か月後で 1.2 ~ 4%, 8 か月後で 2 ~ 4% であった。一方、常温貯蔵区では照射時期を変えても、照射区、非照射区とも 6 か月後で 6 ~ 8%, 8 か月後で 8 ~ 12% 程度であった。

照射時期

品種に因る差はあるが、収穫直後を避け休眠期の終わる直前までのなるべく早期に 0.07 ~ 0.15kGy 照射で 6 ~ 8 か月間発芽を抑制できた。貯蔵温度は 1℃では低温障害を起こすので 5℃程度の低温が好ましいが、実用化に際しては常温貯蔵でも十分目的を達せられると思われた。

還元糖量と褐変化

農林 1 号の照射 5 か月後の還元糖量は常温貯蔵よりも 5℃貯蔵区でより高くなり、非照射区が最も高く、0.15kGy 区が最も低くなった。還元糖量は農林 1 号では照射、非照射とも 8 か月間 5℃貯蔵したものを常温に移すと 2 ~ 3 週間で、10℃貯蔵からは 2 週間で還元糖量が最低値に達した。

農林 1 号やメイクイーンを用いた結果から、照射後低温貯蔵した馬鈴薯の還元糖量を低下させるためには、28℃に 1 週間または室温 (東京) に 2 週間保持する必要があった。春作馬鈴薯は、収穫直後に照射すると維管束部にリング状の褐変が見られたが、秋作馬鈴薯は収穫 2 週間後照射でも褐変しにくかった。

官能検査

「男爵」のポテトチップスを比較した。0.07 ~ 0.15kGy 照射した区は非照射区よりも官能検査値が

高かったが5℃貯蔵すると固さが低下した。農林1号から作ったポテトチップスの脱脂粉末は照射線量の高いほど着色(褐変)していた。5℃貯蔵区の方が常温区よりも照射、非照射に関係なくポテトチップスの官能検査値は高かった。(川嶋浩二)

参考文献

- 1) 梅田圭司ほか. 放射線によるジャガイモの発芽抑制(第1報)「男爵」および「島原」の照射時期と発芽率. *日本食品工業学会誌*. **16**, p.508-514 (1969).
- 2) 梅田圭司ほか. 放射線によるジャガイモの発芽抑制(第2報)「農林1号」の発芽抑制線量と照射が二次加工製品に与える影響. *日本食品工業学会誌*. **16**, p.515-519 (1969).
- 3) 緒方邦安ほか. 放射線照射ジャガイモの褐変現象について. *食品照射*. **5**, p.40-41 (1970).
- 4) 佐藤友太郎. 放射線処理による馬鈴薯, 玉ねぎの発芽抑制(I). *食品工業*. **10**下, p.71-76 (1965).
- 5) 佐藤友太郎. 放射線処理による馬鈴薯, 玉ねぎの発芽抑制(II). *食品工業*. **11**下, p.63-69 (1965).
- 6) 佐藤友太郎. 食品照射に関する原子力特定総合研究の現況-パレイショの発芽防止に関する研究成果-. *食品照射*. **6**(2), p.59-67 (1972).
- 7) 高野博幸ほか. 放射線によるジャガイモの発芽抑制(第3報)発芽抑制線量と低温貯蔵試料の糖の消長. *食糧研究所報告*. **27**, p.64-69(1972).
- 8) 堀 士郎ほか. 春作および秋作ジャガイモのγ線照射と維管束輪の褐変について. *食品照射*. **13**, p.10-13 (1978).

7 タマネギ, ニンニクの照射効果

馬鈴薯, タマネギは収穫後一定の休眠期が過ぎると発芽・萎縮を開始し商品価値が損なわれるため, それを抑制する目的で次のような化学薬品がわが国を含め各国で使用されていた。すなわち Fusarex (tetrachloronitrobenzen), MH (maleichydrazid), CIPC (isopropyl N-(3-chlorophenyl) benzene) などである。馬鈴薯同様, 化学薬剤使用に代わる方法としてコバルト 60 を用いた放射線による一連の試験が行われ以下のような結果を得た。

札幌黄(タマネギ)

1967年度産札幌黄を収穫40~100日後に日本原子力研究所高崎研究所においてコバルト 60 により, 各1200kgを0.03~0.15kGy照射し, 常温, 1℃および5℃で貯蔵した。収穫6か月後の腐敗率, 発芽率は試験区の全てで高く, 照射効果は認められなかった。原因として, 収穫後照射までの期間が長かったことと, 貯蔵用に不適な大球を用いたことなどが推定された。さらに1968年度産札幌黄を用いて同様に照射し, 常温および5℃に230日間貯蔵したが, 非照射区との間に有意な差はなかった。

その後, この品種は収穫後1か月以内の早期照射の必要性が明らかになり, 照射時期を早めるため, 収穫後直ちに0.03~0.07kGy照射してから2週間乾燥処理をした区, 1週間乾燥後照射し, さらに1週間乾燥した区を設定したが, 2週間乾燥後照射した結果と同様な発芽抑制効果が認められた。収穫後常温に2か月貯蔵すると照射効果は低下し, 3か月後に照射するとほとんど照射効果は失われた。

一方, 予め3~5℃に貯蔵すると, 3か月後まで0.03~0.07kGy処理により発芽を抑制できた。タマネギ球の内芽が2~3cmまでは照射効果があるが, 5~6cm以上になると発芽抑制効果は期待できなかった。照射による内芽の枯死・褐変は3~5℃に貯蔵することで8か月間は問題なかった。

また, 出荷後1か月間程度は常温下でも変色はなかった。1969年度産札幌黄では, 収穫後1か月以内に0.03~0.15kGy照射することにより常温に8か月間貯蔵可能であった。照射時期が遅れると, 球内部の幼芽の伸長が見られた。球を予め乾燥処理すると貯蔵中の腐敗率が低減した。札幌黄の発芽防止には最低0.02kGyが必要であった。

泉州黄 (タマネギ)

1968年度産泉州黄に、収穫した20および60日後に0.07および0.15kGy照射した。60日後に処理したものは、重量減は5℃および常温貯蔵区の収穫199日後で、非照射区は約49および62%と高かったが、照射区では常温貯蔵区で31~39%、5℃貯蔵区で9~12%程度であった。貯蔵中の腐敗率は、5℃および常温貯蔵区の収穫199日後で、非照射区は32および48%、照射区では4~5%および23~26%であった。

収穫60日後に処理した常温貯蔵区の8か月後の健全率は、非照射区で4%、0.07kGy照射区では32%、また5℃貯蔵の非照射区で7%、0.07kGy照射区で84%であった。

1970年度産泉州黄を、収穫後60日以内に0.07および0.15kGy照射し5℃に8か月貯蔵した結果、健全率は非照射区で13~16%、0.07kGy区では50~56%、0.15kGy区では37~47%で、照射の効果が認められた。

ニンニク

ニンニクは通常6~7月頃に収穫され、12~2月頃までに発芽する。8月末までに0.03~0.04kGy照射したものは、常温下に約2か月間で発芽・発根は完全に抑制されていたが、非照射ニンニクは全て発芽した。一方、11月初旬にまで照射時期が遅れると、12月末には0.04kGy照射区でも全て発芽した。アリナーゼ活性は、照射区と非照射区との間に差異はなかった。ニンニクの等電点沈殿粗酵素の酵素学的特性には、照射による差異が認められなかった。

(川嶋浩二)

参考文献

- 1) 梅田圭司ほか. 放射線によるタマネギの発芽抑制 (第1報) 札幌黄および泉州黄の照射時期と発芽率. *食品総合研究所報告*. **25**, p.24-31 (1970).
- 2) 久米民和ほか. γ 線照射によるタマネギの発芽防止における必要最低線量と線量率効果. *日本食品工業学会誌*. **4**, p.37-39 (1977).
- 3) 佐藤友太郎. 放射線処理による馬鈴薯, 玉ねぎの発芽抑制 (I). *食品工業*. **10**下, p.71-76 (1965).
- 4) 佐藤友太郎. 放射線処理による馬鈴薯, 玉ねぎの発芽抑制 (II). *食品工業*. **11**下, p.63-69 (1965).
- 5) 高野博幸ほか. 放射線によるタマネギの発芽抑制 (第2報) 泉州黄の照射時期と発芽率. *食品総合研究所報告*. **27**, p.59-63 (1972).
- 6) 高野博幸ほか. 放射線によるタマネギの発芽抑制 (第3報) 札幌黄の発芽抑制効果と照射線量との関係. *食品総合研究所報告*. **29**, p.55-61 (1974).
- 7) 高野博幸ほか. 放射線によるタマネギの発芽抑制 (第4報) “札幌黄”の最適照射期間の延長. *日本食品工業学会誌*. **21**, p.273-279 (1974).
- 8) 渡辺 正, 戸崎裕子. ^{60}Co 照射によるニンニクの発芽抑制と alliin-lyase 酵素力の消長. *食品照射*. **2**(1), p.106-112 (1967).

8 米, 小麦の照射効果

原子力特定総合研究 (食品照射ナショナルプロジェクト) において、殺虫を目的とした米 (1967~1979年) および小麦 (1969~1979年) の照射効果や安全性について試験研究が行われた。その概要は以下の通りである。

米, 小麦ともに0.2kGyのガンマ線を照射するこ

とによりコクゾウ, ココゾウ, コクヌストモドキを殺虫しノシメコクガを不妊化することができた (表)。

米を0.2~0.5kGy照射しても粘弾性, 炊飯時揮発性分, 一般成分, アミラーゼ活性などに顕著な変化は認められなかった。米の食味については, 変化

表 ガンマ線による貯穀害虫の適正照射線量

害虫	効果	線量 (kGy)
コクゾウ, ココクゾウ	不妊化	0.1
	殺虫	0.14
ノシメコクガ	不妊化	0.2
	羽化阻止	0.355
コクヌストモドキ	殺虫	0.1

が現れる限界線量はこしひかりでは 0.5kGy, ふじみのりでは 0.2kGy と品種によって違いが見られた。

小麦を 0.2～1.0kGy ガンマ線照射すると, 60% 粉で還元糖およびマルトース価が増加し, アミログラフ粘度がやや低下したが, 一般成分, 生地の粘弾性については照射による顕著な影響は認められなかった。製パン適性については, 照射直後の小麦でオフフレーバーの発生が認められたが, 照射後 3 ヶ月では非照射のもの比べて, 顕著な差は認められなかった。製麺適性については, 麺のゆで時の溶出量が線量とともに増加し, 麺のせん弾強度, 引っ張り強度が線量とともに低下した。ゆで麺の官能評価点は, 照射直後および 3 ヶ月貯蔵とも, 線量にしたがって低下し, 特にゆで麺のテクスチャーが照射の影響を受けやすかった。

慢性毒性試験において, 非照射, 0.5kGy および 1kGy 照射米添加飼料をマウス, ラットおよびアカゲザルに対し, また 0.2kGy および 2kGy 照射小麦添加飼料をマウスおよびラットに対し, 20 ヶ月な

いし 24 ヶ月間にわたって摂取させ, 一般症状, 体重測定, 血液学的検査, 生化学的検査, 臓器重量測定, 病理組織学的検査などを行った結果, いずれも照射の影響と考えられる変化は認められなかった。

マウスを用いた世代試験において, 非照射米添加飼料, 0.5kGy および 1kGy 照射米添加飼料, ならびに非照射小麦添加飼料および 2kGy 照射小麦添加飼料で 3 世代まで飼育し, 各世代について, 一般症状, 体重, 繁殖生理値 (交配率, 妊娠率, 着床率, 生存胎仔数など) および骨格などを検査した。その結果, 全項目について照射によるものと思われる影響は認められなかった。

非照射および 0.5kGy 照射の米, 小麦について, 細菌を用いた遺伝子突然変異試験, マウスを用いた宿主経路試験, 哺乳動物培養細胞を用いた遺伝子突然変異および染色体異常試験, マウスの生体を用いた染色体異常試験および優性致死試験を行った。その結果, 照射による影響はいずれの場合にも認められなかった。 (林 徹)

参考文献

- 1) 食品照射研究運営会議. 放射線照射による小麦の殺虫に関する研究成果報告書 (資料編) (1983).
- 2) 食品照射研究運営会議. 放射線照射による米の殺虫に関する研究成果報告書 (資料編) (1983).

9 ウィンナーソーセージ, 水産練り製品の照射効果

ウィンナーソーセージ (VS) は食肉加工製品中で生産量が最も多いとされているが, 10℃以下の貯蔵でも“ネット”と呼ばれる表面がベトベトした粘液状の物質でおおわれ, 2～3日で腐敗が進行する。VSは亜硝酸塩やソルビン酸塩を添加することによって微生物の増殖を抑制しているが, 乳酸菌類や腐敗性酵母類などには増殖抑制効果が少ない。

1968年, 日本食肉協会の高坂らと農林省畜産試験場の壇原が国内で初めてガンマ線によるVSの照射効果の研究を行い, 5kGyの照射でネット発生を2

倍以上遅らせることができると報告した。1975年には H. Ito らが原子力特定総合研究の健全性試験用に調製されたソルビン酸塩を添加していないVSを用いて照射によるマイクロフローラ (微生物相) 変化を調べ, 3kGy または 5kGy 照射により貯蔵期間を2～3倍延長できると報告した。海外では1969年にカナダの W. Watanabe らが 5kGy で照射臭を発生することなく殺菌できると報告し, ハンガリーの J. Farkas らも 1974年に 95℃・30分の加熱処理と 4.5kGy の組み合わせで缶詰での殺菌効果があった

と報告している。

1977年に伊藤らは包装材の貯蔵に与える照射の影響についても検討し、酸素ガス透過性の少ないフィルムを用い窒素ガス置換包装することにより照射臭を発生することがなく、貯蔵期間を4~8倍に延長できると報告した。

すなわち、ソルビン酸塩を添加しないVSでは窒素ガス置換包装下、10℃以下の貯蔵で非照射品に乳酸菌の *Streptococcus* や *Lactobacillus*, 腐敗性酵母菌の *Candida* や *Torulopsis* の他に *Psychrobacter* (*Moraxella-Acinetobacter*) や *Micrococcus*, *Flavobacterium*, 大腸菌群などの細菌群, VSの種類によっては食中毒性細菌のセレウス菌 (*Bacillus cereus*) などの細菌群も増殖するが, 3kGy照射すると放射線抵抗性の強い *Psychrobacter* と腐敗性酵母菌のみが増殖し, 食中毒を起こす可能性がある *B. cereus* や大腸菌群は増殖しなかった。10℃以上で貯蔵するとVSの種類によっては照射VSにも *B. cereus* が増殖した。そして包装材として酸素ガス透過性の低いK-セロハンなどを用いるとポリエチレン-セロハンフィルムに比べ貯蔵性が著しく向上した。VSは空気存在下での5kGy程度の照射により退色や異臭を発生するが, 窒素ガス置換または真空包装下で5kGy照射すると異臭や色調などの食味変化は無視できる程度であった。日本アイソトープ協会関係の研究機関の報告でも亜硝酸塩は照射による変化がほとんど認められず, アスコルビン酸は約50%減少した。VSは窒素ガス置換包装してから3~5kGy照射することにより, 食中毒菌の増殖を防いで貯蔵期間を大幅に延長することができ, 食味変化もないことが明らかになった。

かまぼこ類は水産練り製品の中では生産量が多いが, 保存性に乏しく食中毒の原因になりやすいとされている。1958年, 大阪市立大学の浦上らは, かまぼこのガンマ線照射効果の研究を行い, 室温保存した蒸しかまぼこおよび焼かまぼこは7.2~20kGy照射により保存期間が延長されたが, 食味が低下したと報告した。1972年と1973年には東海区水産研究所の篠山が蒸し板かまぼこについて研究し, 10℃の貯蔵下では3kGyで3週間程度保存が可能で, 非照射品に比べ2倍以上も貯蔵期間が延長でき, 食味も変化しないと報告した。1978年には伊藤らが原子力特定総合研究の健全性試験用に調製されたソ

ルビン酸塩を添加していないリテーナ成形かまぼこについて, 非照射品と3kGy照射品を5℃, 10℃, 20℃で貯蔵して微生物の増殖効果を比較した。また, 1979年には揚かまぼこについても10℃での貯蔵効果を比較している。20℃・15日間貯蔵したりテーナ成形かまぼこでは非照射品は *Bacillus subtilis* や *B. pumilus* などの有芽胞菌類が主に増殖し, 菌数は1g当たり $1.2 \times 10^6 \sim 2.4 \times 10^7$ 個となり, ネットやカビも発生した。3kGy照射品でも *B. subtilis* や *B. pumilus* が $2.3 \times 10^2 \sim 1.1 \times 10^5$ 個発生したが, ネットやカビは発生しなかった。10℃・20日貯蔵では非照射品に *B. pumilus* や *B. megaterium*, *B. cereus* などの他に食中毒性細菌の *Aeromonas* や腐敗性細菌の *Pseudomonas* も増殖し, 菌数は1g当たり $4.0 \times 10^4 \sim 8.8 \times 10^6$ 個検出されたが, 3kGy照射品では有芽胞菌類が $0 \sim 1.3 \times 10^4$ 個検出されたにすぎなかった。5℃で32日間貯蔵した場合には非照射品に *Aeromonas* や *Pseudomonas*, *Brevibacterium*, 腐敗性酵母菌が発生し菌数は1g当たり $5.0 \times 10^1 \sim 9.4 \times 10^3$ 個検出されたのに対し, 3kGy照射品では菌の増殖がほとんど認められなかった。揚かまぼこの場合も10℃で貯蔵した場合, 非照射品は5日貯蔵で1g当たり菌数が 1×10^6 個以上となり, *Micrococcus* や *Psychrobacter*, *Lactobacillus*, 腐敗性酵母菌などが増殖した。3kGy照射品では貯蔵期間は大幅に向上し, 20日貯蔵でも菌数は 1.0×10^5 程度であり, 腐敗性酵母菌が主に増殖した。以上のように, ソルビン酸塩無添加のかまぼこ類は10℃以下の貯蔵では3kGyの照射で貯蔵期間が2倍以上に延長でき, 20日以上貯蔵でき, *Aeromonas* などの食中毒菌も殺菌できることが明らかになった。なお, 特定総合研究用に調整されたりテーナ成形かまぼこは卵白を添加したものであったので, 3kGy照射品では苦味が若干認められたが, 卵白を添加していないかまぼこや揚かまぼこは, 異臭や苦味などの食味変化は認められなかった。日本アイソトープ協会関係の研究機関の報告でも, かまぼこ照射による成分変化は認められず, 保存料のソルビン酸塩も照射による影響はなかった。(伊藤 均)

参考文献

- 1) 高坂和久ほか, ウィンナーソーセージのγ線照射処理. *日本食品工業学会誌*. 15(11),

- p.507-513 (1968).
- 2) 高坂和久ほか. ウィンナーソーセージの官能的品質におよぼす γ 線照射の影響. *日本食品工業学会誌*, **20**(12), p.559-566 (1973).
 - 3) Watanabe W. et al. Gamma irradiation of commercial and microwave processed wienars. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*. **2**(4), p.181-184 (1969).
 - 4) J. Farkas et al. Effect of nitrite on the microbiological stability of canned vienna sausages preserved by mild heat treatment or combinations of heat and irradiation. *Acta Alimentaria*. **2**(3), p.361-376 (1973).
 - 5) Ito H.; Sato T. Changes in the microflora of vienna sausages after irradiation with gamma-rays and storage at 10°C. *Agric. Biol. Chem.*, **37**(2), p.233-242 (1973).
 - 6) 伊藤 均ほか. ガンマー線照射したウィンナーソーセージのミクロフローラに及ぼす包装フィルムの影響. *日本農芸化学会誌*. **51**(10), p.603-608 (1977).
 - 7) 浦上智子, 田中祐子. コバルト 60 照射による練製品の保蔵Ⅱ. *栄養と食糧*. **11**(2), p.78-86 (1958).
 - 8) 篠山茂行. ガンマー線照射によるかまぼこの保蔵 - I 適正線量および貯蔵効果について. *東海区水産研究所研究報告*. **70**, p.57-64 (1972).
 - 9) 篠山茂行. ガンマー線照射によるかまぼこの保蔵 - II 照射かまぼこの腐敗細菌. *東海区水産研究所研究報告*. **75**, p.39-46 (1973).
 - 10) 伊藤 均, 飯塚 宏. ガンマー線照射によるリテーナ成形かまぼこの変敗抑制効果. *日本食品工業学会誌*. **25**(1), p.14-21 (1978).
 - 11) 伊藤 均, E. G. Siagian. 揚かまぼこのガンマー線照射による変敗抑制効果. *日本食品工業学会誌*. **26**(8), p.342-345 (1979).

10 温州ミカン, グレープフルーツの照射効果

1969年, 電子線による温州ミカンの表面殺菌の研究が農林省食糧研究所の梅田らによって行われた。梅田らは温州ミカンの腐敗のほとんどがミカン表面に付着している緑かび (*Penicillium digitatum*) および青かび (*P. italicum*) によるものであり, 放射線による殺菌処理には2~2.5kGy 必要だったが, ガンマ線照射すると0.5kGy で果肉に異臭が生じ食用としての価値が低下した。そこでミカン表面をエネルギー0.5MeV および1MeV の電子線で1~8kGy 照射し, 5°Cと常温で20日間貯蔵して腐敗防止効果を比較した。その結果, 1.5kGy 照射し, 5°Cで貯蔵することにより腐敗を抑制することができた。電子線照射の場合, 常温貯蔵すると果皮の褐変化が起こるが, 低温貯蔵することにより褐変化が抑制でき, 0.5MeV と1MeV のエネルギーによる殺菌効果に差は認められなかった。

1973年には大阪府立放射線中央研究所の小島らが温州ミカンに0.5MeV の電子線を1kGy, 1.5kGy 照射して4°Cで貯蔵したところ, 4ヶ月貯蔵後の腐

敗率が非照射品で11%あったのに対し, 照射品は果皮の褐変化は増加したが3%であったと報告した。

1977年に日本原子力研究所高崎研究所の渡辺らは電子線エネルギーによる温州ミカンの照射条件について検討した。用いた電子加速器のエネルギーが2MeV の出力であったため, アルミニウム板を重ねてエネルギーを0.2~1.5MeV に下げてミカン表面を2kGy 照射し, 各エネルギーで2kGy 照射後, 3°Cで3ヶ月貯蔵して褐変化発生率を調べた。その結果, 0.2MeV では褐変化は非照射とほとんど差がなく9~10%であったのに対し, 0.5MeV で15%, 0.9MeV で20%, 1.5MeV で30%とエネルギーの増加とともに褐変化発生率が増加した。3°Cで3ヶ月貯蔵した場合のかびによる腐敗発生率は非照射品が16%であったのに対し, 0.5MeV で3%と腐敗が抑制され, 0.2MeV では10%, 0.9MeV で8%, 1.5MeV で25%と腐敗抑制効果は少なかった。3°Cで3ヶ月貯蔵後に室温(16~25°C)で7日間貯蔵すると,

0.5MeVでは腐敗率が5%であったのに対し、非照射品や他のエネルギーでの照射品の腐敗率は48～60%であった。非照射品と0.2MeV照射品では緑かびや青かびによる腐敗が多かったのに対し、他のエネルギーでの照射品では暗緑色や黒色のかびによる腐敗が発生した。また、電子線のビーム電流の影響を調べたところ、0.1mAのビーム電流は0.5mAおよび1.0mAに比べて腐敗率や褐変率が高かった。すなわち、温州ミカンでは0.5MeV、ビーム電流0.5～1.0mAで1.5～2kGy照射することで腐敗率が著しく低下し、褐変率も抑制できることが明らかになった。また、ミカン表面を電子線で連続的かつ大量にコンベアで均一照射するためには電子線発生窓から25～30cm離し、パレット上のミカンの間隔を2cm以上離して反転照射することによって、ミカン表面の線量均一度が約2.3になった。

グレープフルーツは輸入品として食卓に供給されていたが、1985年に米国で生鮮果実の害虫の放射線殺虫が許可されると、フロリダやカリフォルニア産などのグレープフルーツに寄生する地中海ミバエを放射線で殺虫処理して日本へ輸出しようとする動きが出てきた。これは、二臭化エチル燻蒸が発癌性を有し、国際的に禁止する動きがあったことが関係していた。

果実に寄生するミバエ類のガンマ線による殺虫線量はS. C. Morrisにより0.21～0.29kGyと報告されており、0.3kGyが殺虫線量として適当であると考えられる。グレープフルーツなどの多くの果実類は0.5kGy照射しても食味は変化しないとS. C. Morrisらが述べており、検疫処理の手段として有望である。

わが国では1987年に厚生省が米国からの輸出圧力を想定し照射グレープフルーツの健全性試験を実施した。ガンマ線照射は日本原子力研究所高崎研究所で行われ、1kGy照射したグレープフルーツの食味は照射直後に低下したが、4℃で1日貯蔵すると元に回復した。1988年には食品総合研究所の田島らがグレープフルーツの照射後のビタミンC含量について調べ、3kGyでも照射による影響は認められなかったと報告した。(伊藤 均)

参考文献

- 1) 梅田圭司ほか. 電子線によるミカンの表面殺菌 第1報 緑カビに対する有効殺菌線量と果実の品質に及ぼす照射の影響. *食品照射*. 4(1), p.91-100 (1969).
- 2) 小嶋つもるほか. 温州ミカンの貯蔵に対する電子線照射の影響 (その2). *食品照射*. 8(1), p. 11-21 (1973).
- 3) 渡辺 宏ほか. 温州ミカンの放射線保蔵に関する研究 第3報 ミカンの褐変発生と貯蔵効果に及ぼす電子線エネルギーの影響. *日本食品工業学会誌*. 24(2), p.59-64 (1977).
- 4) S. C. Morris. The practical and economic benefits of ionizing radiation for postharvest treatment of fruit and vegetables: an evaluation. *Food Technology in Australia*. 39(7), p.336-341 (1987).
- 5) 田島 眞ほか. 殺虫のためのガンマ線照射処理あるいは加熱処理を施したグレープフルーツのビタミンC量. *食品照射*. 23(2), p.63-65 (1988).

11 原子力特定総合研究指定7品目およびグレープフルーツの健全性試験

食品照射での健全性評価は食品を放射線照射することによって起こりうる成分変化や栄養価などの変化が有害かどうかを調べるものである。すなわち、健全性とは照射食品の食品としての安全性と栄養学的適正を意味している。原子力特定総合研究が開始された当初の動物試験では放射線分解生成物の知見はほとんどなかったため、食品添加物や薬剤と同じ

100倍量の考えで「試験食品の実験動物飼料中への添加量×吸収線量」によって過剰投与による飼育試験が行われた。

1968年から1981年にかけて国立衛生試験所と食品薬品安全センターは、照射された特定総合研究指定7品目の健全性試験を実施した。また1987年から1988年には厚生省が主導してグレープフルーツ

の健全性試験を実施した。健全性試験としては、慢性毒性試験（動物を使った長期飼育試験）、亜慢性毒性試験（動物を使った短期飼育試験）、世代試験（動物を使った繁殖試験および催奇形性試験）、変異原性試験（微生物変異株および動物を使った遺伝毒性試験）を行った。

毒性試験および世代試験などに用いた食品類は、日本原子力研究所高崎研究所でガンマ線照射された馬鈴薯 (0, 0.15, 0.3, 0.6kGy), タマネギ (0, 0.07, 0.15, 0.3kGy), 米 (0, 0.5, 1.0kGy), 小麦 (0, 0.2, 2.0kGy), ウィンナーソーセージ (0, 6.0kGy), 水産練り製品 (0, 4.5kGy), グレープフルーツ (0, 1.0kGy), 0.5MeVの電子線で表面を照射された温州ミカン (0, 1.5kGy) であり、照射後に乾燥処理してから動物飼料と混合した。飼料中への混合率は表1に示すように2～50%とし、品目によって異なる。動物試験での摂取量は国民の平均摂取量の12～333倍であった。なお、ウィンナーソーセージと水産練り製品のリテーナ成形かまぼこは、ソルビン酸を添加してな

い特別調製されたものを用いた。

照射馬鈴薯の毒性試験では、ガンマ線を発芽防止の上限線量の0.15kGyおよび0.3kGy, 0.6kGyの過剰照射を行ない、飼料に混合して固形の状態ですラットやマウスに投与した。ラット総数300匹、マウス総数400匹による慢性毒性試験、アカゲザル5頭による亜慢性試験、マウス41匹から出発しての3代にわたる世代試験が行われた。慢性毒性試験では体重増の測定、血液検査、臓器重量の測定、腫瘍発生や病理学的検査が行われた。すなわち、同試験では標準飼料と非照射馬鈴薯飼料、各照射馬鈴薯飼料などを各群・雌雄の飼育開始時において各々30～40匹用い、約2年間にわたり飼育が行われた。世代試験では3世代にわたって催奇形性（胎仔や新生仔に与える致死作用、胎仔に対する障害作用、骨の奇形などの検査）と胚（妊娠直後の胎仔になる前の組織）の毒性試験が実施された。いずれの試験でも照射馬鈴薯摂取による動物の異常は認められなかった。

タマネギの試験では、飼料中にタマネギを乾燥重

表1 原子力特定総合研究におけるラットの照射食品の摂取量とヒトに換算した場合の比較

食品	ラット飼料への 添加量 (%)	ヒト換算 換算摂取量 (g/人/日)	日常摂取量 (g/人/日)	ヒト換算における 摂取量の倍率
馬鈴薯	35	8000	24	333
タマネギ	2～25	720～9000	20	35～450
米	40～50	1200～1500	221	5～7
小麦	45	1300	96	14
ウィンナーソーセージ	2～5	160～400	9	17～44
水産練り製品	5	600	16	58
温州ミカン	2～6	800～1800	75	10～24
グレープフルーツ	2～6	800～1800	75	10～24

表2 変異原性試験の試験項目と実施年度

食品名	細菌		哺乳動物細胞		哺乳動物生体		
	遺伝子 突然変異	宿主経由	遺伝子 突然変異	染色体 異常	染色体 異常	小核	優性致死
タマネギ	1977	1977	1978	1977	1977	—	1977
米	1978	1978	1978	1978	1978	—	1978
小麦	1979	1978	—	1979	—	1979	1979
ウィンナーソーセージ	1980	1980	—	1980	—	1980	1980
水産練り製品	1980	1980	—	1980	—	1980	1980
温州ミカン	1981	—	—	1981	—	1981	1981
馬鈴薯	1981	—	—	1981	—	1981	1981
グレープフルーツ	1986	—	—	1987	—	—	—

量で25%添加することにより、非照射群および照射各群ともにラットやマウスの血液検査、臓器重量などに異常が生じた。そこで2%、4%の添加で再試験を行った結果、毒性試験や世代試験において照射による悪影響がないことが明らかになった。

同じような毒性試験および世代試験がガンマ線照射された米、小麦、ウィンナーソーセージ、水産練り製品、グレープフルーツ、電子線照射された温州ミカンについて行われたが、照射による悪影響は認められなかった。

一方、変異原性試験では、細菌を用いた遺伝子突然変異試験、チャイニーズハムスターとヒト細胞による染色体異常試験、マウスの生体による小核試験と優性致死試験が行われた。各照射食品の変異原性試験(表2)において照射による悪影響は認められず、動物を使った栄養試験でも照射による影響は認められなかった。

ただ、これらの動物を用いた毒性試験や世代試験では、個体差によるデータの誤差や、照射食品を乾燥重量で2~45%も配合飼料中に混ぜたために動物に栄養バランスの乱れを生じさせたなどの問題も起きた。例えば、0.6kGy照射馬鈴薯で飼育されたラットの卵巣重量が他の試験群より少ないのは照射による異常であるとの指摘があるが、これは個体差または実験操作による誤差によるものであり、組織学的観察では異常は観察されていない。同様の事例がタマネギの標準飼料群で観察されており、標準飼料群での卵巣重量が他の試験群より少なかったのも個体差などによるものである。また、照射馬鈴薯の飼育試験で雌ラットの体重増加が他の試験群に比べて少ないとの指摘があるが、これは標準飼料に比べて馬鈴薯の添加量が多すぎたためであり、老齢期の生残動物による個体差も関係している。さらに、照

射タマネギの世代試験でマウスの胎仔や新生仔の肋骨などの骨に異常が認められたとの指摘は、部分的なデータのみから照射の影響と断定したものと言える。本試験に用いられたマウスの系統では骨の異常が胎仔や新生仔で30~84%と高いが、これは成長に伴って消滅し、奇形のバラツキも多いので問題にする必要はない。全体的に見れば、標準飼料群や非照射群の方が骨の異常が多く認められる。照射米によるアカゲザルの内臓観察、照射水産練り製品の腫瘍発生率についても照射による悪影響が見られるとの指摘があるが、これらの事項も個体差による誤差であり、照射による影響ではない。(伊藤 均)

参考文献

- 1) 藤巻正生(監修)．“食品照射の効果と安全性．” 東京、日本原子力文化振興財団、119p．(1991)．
- 2) 日本原子力産業協会．食品照射 Q & A ハンドブック．東京、日本原子力産業協会、196p．(2007)．
- 3) 伊藤 均．特定総合研究での動物試験の結果について．*放射線と産業*．**115**，p.6-11 (2007)．
- 4) 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)．
- 5) 川崎 靖ほか．ガンマ線照射した柑橘類等の毒性に関する研究(1)ラットによる慢性毒性試験．昭和63年度国立原子力試験研究成果報告書29 (1988)．
- 6) 落合敏秋ほか．ガンマ線照射した柑橘類等の毒性に関する研究(2)マウスによる慢性毒性試験．昭和63年度国立原子力試験研究成果報告書29 (1988)．

12 北海道士幌町農協の照射施設建設と馬鈴薯照射事業展開の経緯

士幌農協の馬鈴薯照射施設は1973年に建設され、世界で初めて成功した食品照射の商業用照射施設として知られている。士幌の照射施設を含む馬鈴薯の貯蔵・加工処理プラントには士幌農協を含む5農協

が参加しており、年間約25万トンの馬鈴薯が集荷、加工されている。しかし、昔は北海道十勝平野に位置する士幌農協などの主要農産物は馬鈴薯や砂糖ダイコン、小麦、豆類、酪農作物など寒冷地に適し