

実用化が予想される食品への放射線利用に関する基礎研究

(受託者) 国立大学法人北海道教育大学

(研究代表者) 鶴飼光子 大学院教育学研究科

(再委託先) 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構

独立行政法人日本原子力研究開発機構

国立大学法人室蘭工業大学

公立大学法人大阪府立大学

(研究開発期間) 平成20年度～22年度)

1. 研究開発の背景とねらい

放射線の食品分野への利用はめざましく、食中毒の撲滅や宇宙食・軍事食の衛生管理、さらに災害時や難民救済用食糧として照射食品は広範に利用されている。我が国は輸入食品に多くの食糧を依存しており、食品産業は香辛料の殺菌を目的とした放射線利用の許可を2000年に政府に対し要望した。原子力委員会は原子力政策大綱(2005)に対するフォローアップとして食品照射専門部会(2006)を設置した。原子力委員会は食品照射専門部会からの報告書を受け、文部科学省、農林水産省、研究者、事業者などが(1)食品安全行政の観点からの判断、(2)検知技術の実用化、(3)食品照射に関する社会受容性の向上のために行動する必要性を示した。

食品への放射線照射が海外で広く活用されている現状をふまえ、我が国で実用化が予想される食品に関し、殺虫や殺菌等の照射効果、食品としての品質や健全性についての論点を整理し、重要なポイントについての検証を行う必要がある。これにより行政機関の施策決定の裏づけとなる科学的データを提供することができ、食品の安全・安心の確保に繋がる。

本事業では海外で広く実施されている殺虫や殺菌等のための放射線照射利用について、我が国での実用化にむけた食品の安全安心につながる実証的研究を行うことを目的とする。実用化が予想される食品としては香辛料や穀類さらに果実類である。我が国における食品照射研究の裾野を広げるよう、照射技術と効果、流通管理、国民受容に関する技術的な課題を取り上げ、大学、旧国研の独法(農林水産省所管)、原子力機構の専門家を組織し、効率的かつ効果的に基礎基盤研究を実施する。原子力開発利用の食品分野への応用技術に関する基盤を維持し、新たな知見や概念を創出することにより、人材育成を図る。

研究開発目標は、実用的な食品を対象に殺菌・殺虫に関する基礎的・特徴的効果を示し、食品照射の便益を明確にする。さらに、検知技術の感度と精度の向上をはかり、照射食品の流通管理に利用できる技術を提供する。以上の科学的データの提供により、便益とリスクに基づく政策判断や社会受容の向上を加速する。従来、各研究機関が独自に行っていた研究課題を食品分野への放射線利用という視点から総括する包括的かつ独創的研究計画である。非常に多岐にわたる研究分野を網羅しており、革新的な取組みと考える。

2. 研究開発成果

EU 公定法や Codex 標準法を検証し、直接ラジカルを計測できる唯一の方法である ESR 法を導入したときの実用的プロトコールを検討した。ESR 装置の開発や信号解析ソフトの改良を実施した。北海道教育大学で開発した ESR 装置と原子力機構が保有する ESR 装置との実験データの共有化を

はかるために互換性のある ESR 測定・解析ソフトを開発し、原子力機構にデータ処理装置を導入した。ESR 計測データの相互比較により、ESR 測定における検出感度の向上だけでなく、データの再現性試験も実施できた。解析ソフト開発により、信号の計測から解析までが迅速に且つ確実にできるようになった。実用的な検知技術の基礎を固めた。

固体乾燥試料の照射誘導ラジカルを計測した。試料は実用化が予想される食品（胡椒、唐辛子、ニンニク、ナツメグ、朝鮮ニンジン、熱帯果実類など）を用いた。数種類のラジカル信号の観測に成功した。放射線照射誘導ラジカルは 1 本線であり信号強度には線量依存性があったことから照射履歴の定量が可能であることを明らかにした。照射試料には照射の有無の判別に用いるサイド（サテライト）信号が明瞭に観測できたことから迅速な定量も可能であることを示した。照射誘導ラジカルの健全性を評価するため ESR スピントラップ法の基礎試験を実施した。植物性食品（根菜類、葉菜類、果実類など）の抽出物を試料としてラジカル捕捉活性評価法を開発した。ラジカル種は alkyl-oxy radical、superoxide radical、hydroxyl radical などである。照射食品のラジカル捕捉活性は未照射試料と差異はなく、照射食品の健全性を ESR スピントラップ法を用いて示唆できた。

厳密な検知技術として電子スピンの緩和現象を利用して計測する方法を開発した。これをもとに ESR 信号解析法の開発に繋げた。連続波 ESR による計測で得られたパラメーターを用い、電子の緩和時間 (T1, T2) を算出する解析ソフトを開発した。これにより、照射誘導ラジカル種の同定を可能にした。電子の緩和時間 (T1, T2) は照射依存性を有することを明らかにした。ESR 信号強度の照射依存性が明確に捉えにくい低線量処理の試料においても電子の緩和時間 (T1, T2) は照射依存性を示したことから、照射の有無の判別に有用な検査法として適用できることを示した。2 パルス ESR 法による信号計測と緩和時間計測に成功した。食品試料での計測事例はなく、本研究が初めてである。

微生物学的試験を行い照射食品の健全性を評価した。特に放射線耐性菌に関する基礎研究を実施した。市販の未殺菌及び過熱水蒸気殺菌済みの香辛料を試料とした。照射処理はガンマ線を用い 10 kGy までの異なる線量を均質に照射した。試料中の一般生菌数、大腸菌群、真菌類の菌数を食品衛生検査指針に従って求めた。10 kGy 照射で十分加工食品に使用可能なレベル (1000 個/g 未満) まで殺菌できることを確認した。同時に生残菌の多くが芽胞を形成する Bacillus 属の細菌であることを顕微鏡観察および BBL クリスタル簡易同定キットにより明らかにした。試料香辛料を粉砕し牛肉や加工ソーセージに添加し培養した。放射線殺菌された香辛料の生残菌は過熱水蒸気と比べて異常な増殖挙動を示す懸念はないことも確認された。10 kGy 照射試料をリチウムドリフトゲルマニウム検出器を用いて測定し波高分析装置により放射性核種を同定した。照射試料は非照射試料と同一のスペクトルが得られた。試料をイメージングプレートに密着させ、低バックグラウンド下で室温にて 3 日間露光した結果、照射の有無にかかわらず同一の画像が得られた。照射香辛料には自然放射能以外の誘導放射能は検出されなかったことを示すことができた。

殺虫や害虫の不妊化について検討した。ガンマ線、電子線、低エネルギー電子線（ソフトエレクトロン）といった、線質、線量率の異なる放射線を用い、照射雰囲気を変えて貯穀害虫へ致死・不妊化について基礎的な試験を行った。唐辛子を飼料としてタバコシバンムシを飼育し実験室規模のガンマ線の殺虫効果を検討し、卵と幼虫は実験で用いた最も低い線量である 64 Gy でもすべての個体が死亡し、蛹は 1074Gy 以上では生存しないことを確認した。香辛料中に混入させたタバ

コシバンムシ(蛹)への殺虫効果も確認した。DNA コメットアッセイを用い、タバコシバンムシ成虫への放射線照射による DNA 損傷を照射直後から経時的に追跡した。1 kGy 照射において照射直後には、DNA 鎖切断 (1 本鎖及び 2 本鎖切断) によるコメット像が明確に観測された。この損傷は、照射後の時間とともに修復したが、アルカリ条件による泳動では、照射 7 日後にもコントロール試料との差が認められ照射の履歴の確認に利用できる可能性が示唆された。熱ルミネッセンス法により、60Gy 照射 1 年保存したニンニクの検知の可能性を見いだしたが、一方で、ナツメグなどの一部香辛料では鉍物分離が不可能な場合があり、その適用が難しいことを確認した。照射処理された害虫の確認法について ESR 法の適用を検討した。未照射および照射コクゾウムシの ESR 信号観測に成功した。強く鋭い一本線信号が、未照射試料でも照射試料でも g 値が約 2 の位置に観測された。これは従来の照射食品や照射漢方薬で報告された 1 本線と同じ g 値であることから有機フリーラジカル由来の信号であると考えた。コクゾウムシと同様の条件でコクヌストモドキ、ノシメマダラメイガ、タバコシバンムシを計測し ESR 信号観測に成功した。

放射線照射の効果について検討した。従来の馬鈴薯への商業的規模でのガンマ線照射に関する研究実績を生かし、実用化が予想される照射食品の放射線処理について詳細に検討を行った。放射線処理の実用化が予想される食品群について、殺菌などの照射効果とその線量・照射条件依存性を評価し、放射線処理の有用性、必要性を検討した。薬剤に依存しないニンニクの品質保持法への放射線照射の応用を検討し、収穫後 2 ヶ月以内の 30Gy 以上のガンマ線照射によって萌芽と発根をほぼ完全に抑制できることを明らかにした。

食の安全・安心の問題に関心をもつ消費者グループを中心に生活協同組合のメンバーなどもまきこんで、消費者にとって身近な食材を用いて、線量・照射条件に依存した殺菌効果や照射臭の有無など食品としての品質や健全性に関する試験を実施した。これらの結果を学会などで発表するとともに一般の消費者だけでなく食品安全に関わる行政や流通・食品関連業界などの実務担当者および教師やマスメディアなどのオピニオンリーダー層に向けて発信することにより、科学に裏打ちされた新しい形の食品照射のリスクコミュニケーション活動を開始した。

3. 今後の展望

本研究は科学的な議論をもとに先端的研究手法を用いて具体的な最新データを提供するものである。食品照射技術は、食品の流通や貯蔵の技術の中でのひとつの選択肢であるが、健全性が立証された最先端の選択肢である。食品分野における放射線利用の技術開発は我が国に最も必要とされる安心安全の課題であるとともに広範な研究分野に及ぶ先端的技术であることから、その研究知見は他の技術分野への波及効果も期待される。

人材育成にも大きな貢献ができた。本研究に参画したポスドクが農研機構に職を得て照射食品研究に着手した。また、投稿論文が学会奨励賞や学会論文賞を受賞した。さらに、連携機関(再委託先)の研究代表者が教授に昇格した。このような成果は今後の食品照射研究の進展に繋がると確信している。我が国の放射線の食品への利用は食品衛生法により馬鈴薯の発芽防止に限られているが、諸外国のように認可された場合には経済への波及効果ははかりしれない。

2011 年 3 月に東日本大震災が起こった。福島第一原子力発電所の事故により、放射性物質が飛散し農水産物が汚染された。「放射線と食品」は国家的な喫緊問題になっている。災害とはいえ放射線と食品が身近になった今日、放射線を悪者として封じ込めるのではなく、これを契機に見直すことが必要である。今後は食品照射についての基礎研究にとどまらず、リスクコミュニケーション

オン活動も継続していく所存である。

4. 参考文献

1. M. Ukai, H. Kameya, H. Nakamura, Y. Shimoyama, An Electron Spin Resonance Study of Dry Vegetables before and after Irradiation, *Spectrochimica Acta* **69**, 1417-1422(2008)
2. M. Kikuch, M. S.Hussain, N. Morishita, M. Ukai, Y. Kobayashi, Y. Shimoyama, ESR Study of free radicals in mango, *Spectrochimica Acta A* **75**, 310-313(2009)
3. M. Ukai, H. Kameya, H. Nakamura, Y. Shimoyama, Radical scavenging activities of plant food of alkyl-oxy radical and superoxide radical, *Food Science and Technology Research*, **15**, 619-624(2009)
4. 鵜飼光子、亀谷宏美、今村太郎、宮ノ下明大、等々力節子、下山雄平、照射害虫の ESR 信号、*RADIOISOTOPES*, **58**, 799-806(2009)
5. 小川英之、鵜飼光子、A. Lund、下山雄平、照射誘導ラジカルの緩和挙動、*食品照射*, **44**, 5-8 (2009)
6. 亀谷宏美、貝森良彦、鵜飼光子、放射線照射したニンニクにおけるラジカルの測定、*RADIOISOTOPES*, **59**, 415-421 (2010) 学会奨励賞
7. 亀谷宏美、垣田大介、貝森良彦、菊地正博、小林泰彦、鵜飼光子、下山雄平、照射マンガウ中に誘導されるラジカルの緩和挙動と線量依存性、*RADIOISOTOPES*, **59**, 10, 607-614(2010) 学会奨励賞
8. 亀谷宏美、齊藤希巳江、菊地正博、小林泰彦、鵜飼光子、等々力節子、照射ニンニクの電子スピン共鳴法、光刺激ルミネッセンス法、熱ルミネッセンス法による検知、*食品科学工学会誌*, **57**, 11, 472-478 (2010) 学会論文賞
9. 古田雅一、石川悦子、保科美幸、富井恵奈美、小池佳都子、鵜飼光子、殺菌済み香辛料に生残する微生物の食肉中における増殖動態の解析、*食品照射*, **45**, 4-10(2010)
10. 中村秀夫、高橋司、太多由依、貝森良彦、亀谷宏美、鵜飼光子、放射線照射漢方薬（エキシ剤）の照射誘導ラジカルの緩和時間、*食品照射*, **45**, 11-18(2010)
11. 小林泰彦、菊地正博、等々力節子、齊藤希巳江、桂洋子、亀谷宏美、市川まりこ、飯塚友子、千葉悦子、鵜飼光子、放射線照射によるニンニクの萌芽発根抑制効果、*食品照射*, **45**, 26-33(2010)
12. M. Kikuchi, Y. Shimoyama, M. Ukai, Y. Kobayashi, ESR detection procedure of irradiated papaya containing high water content, *Radiation Physics and Chemistry*, **80**, 664-667(2011)
13. 亀谷宏美、鵜飼光子、殺菌処理された香辛料の成分変化の ESR による解析、*日本調理科学会誌*, **44**, 49-54(2011)
14. 亀谷宏美、鵜飼光子、国内の市販唐辛子と放射線処理唐辛子の ESR によるラジカルの解析、*RADIOISOTOPES*, **60**, 173-180 (2011)
15. 鵜飼光子、解説放射線照射香辛料の ESR 法による分析、*ぶんせき*, **3**, 132-136 (2011)
16. H. Kameya, M. Ukai, New ESR detection method of hydroxyl radical scavenging activity of blue berry, *J. of Material Science and Engineering*, (2011) in press