

原 著

照射された生鮮果実パパイアの 迅速 ESR 検知法

菊地正博，下山雄平，鵜飼光子，小林泰彦

Reprinted from
RADIOISOTOPES, Vol.60, No.4
April 2011



Japan Radioisotope Association

<http://www.jrias.or.jp/>

原 著



照射された生鮮果実パパイアの迅速 ESR 検知法

菊地正博, 下山雄平^{*†}, 鶴飼光子^{**}, 小林泰彦

独立行政法人 日本原子力研究開発機構 量子ビーム応用研究部門

370-1292 群馬県高崎市綿貫町 1233

*室蘭工業大学 大学院工学研究科

050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1

**北海道教育大学 大学院教育研究科

040-8567 北海道函館市八幡町 1-2

2010年6月30日 受理

本論文では、電子スピン共鳴 (ESR) 法を用いて、照射により生パパイアに誘起されたラジカルの直接的検出を報告する。本法は、生鮮果実のラジカル測定で凍結乾燥処理を要しないため、これまでより迅速に検出できる。

フィリピン産の生パパイアを γ 線照射し、その果肉と果皮を液体窒素温度 (77 K) で ESR 測定した。測定条件を最適化することで、生のパパイアから $g=2.000$ を中心とする 1 本線のメインピークと一対のサイドピークを検出することができた。更に、果肉の凍結乾燥検体のサイドピークでは、照射 2 週間後でも照射・非照射の識別が可能であった。

したがって、照射された生鮮果実を対象とした ESR 法では、最初に、果肉を用いて液体窒素温度で測定して簡易判別を行い、次の段階では、凍結乾燥検体を用いて常温で判別する検知スキームが有効であると考えられる。

Key Words : fresh fruit, quarantine treatment, papaya, ESR, cellulose radical, gamma ray irradiation, dose response

1. 緒 言

熱帯果実であるパパイアは、学名を *Carica papaya* といいパパイア科に属する植物の果実である。日本でも沖縄などに自生するが、多くはフィリピン、アメリカ、台湾から輸入している¹⁾。パパイアの輸入の際には害虫防除のため厳重な植物検疫が実施され、海外では非加熱処理である放射線照射も利用されるようになった。

電子スピン共鳴 (ESR) 法は、照射によって誘起された不対電子を直接測定することができ、

国際的には照射履歴判別法 (検知法) として使用されている²⁾⁻⁴⁾。ESR 検知法は、骨付き肉や乾燥香辛料やドライフルーツなどの食品に適用され、骨、セルロース、結晶性砂糖に残存する不対電子を検知対象としている。それ以外の食品素材への ESR 法適用のため、乾燥食品として供される食材や、食材中の乾燥した皮や小果柄といった部分に誘起されるラジカルについても研究されてきた^{5), 6)}。

完熟の生パパイアは水が約 90% を占め、水分を多く含む食品である。このように水が多い試料の場合には、放射線照射されると水の分解が起こり、ヒドロキシラジカルや水素ラジカルなどが生成される⁷⁾。一方で、生パパイアは、抗酸化能を持つ β -カロテン、ビタミン E、ビ

[†] 現所属：独立行政法人 日本原子力研究開発機構
量子ビーム応用研究部門
370-1292 群馬県高崎市綿貫町 1233

タミンCを可食部分100gあたり、それぞれ67 μg , 0.6 mg, 50 mg 含んでいるため⁸⁾, これらがラジカルスカベンジャーとして働きラジカルを消去する。放射線誘導ラジカルは生体高分子やラジカルスカベンジャー等と化学反応することによって消滅するため、ラジカルの寿命は秒オーダーであると考えられている。

著者らは、照射された生鮮果実の凍結乾燥検体からESR信号を検出する方法について既に報告している⁹⁾。これは乾燥プロセスのため、ESRスペクトルを得て照射の有無を判別するまでに数日かかっていた。そこで今回は、迅速に結果を得ることを目的とし、照射された生鮮果実を凍結乾燥せずにESR測定を行い、照射前後のスペクトル変化を詳細に検討した。本論文では、高水分含量である生パパイヤを照射し、そこから検出されるシグナルの安定性や線量依存性について検討した。

2. 試料と方法

2.1 試料調製

試料とした生パパイヤは市販品を用い、スーパーマーケットで傷が少ないフィリピン産パパイヤを別々に3個購入して実験に供した。

照射は室温で⁶⁰Co γ 線を用いて線量率2 kGy/hの位置で行った。1個のパパイヤを四つに切り分け、それぞれの照射時間を変えて、3 kGyまでの線量を照射した。照射後保管する場合は4℃で保管し、経時的にそれぞれ別の部位をサンプリングしてESR測定に供した。

ESR試料管は直径5 mm (内径: 約4 mm) の高純度石英製 (99.9% purity) の試料管を用いた。

生パパイヤから直接測定用試料を作成する場合、果皮と果肉に切り分け、ESR試料管へは高さ3 cmまで挿入し上端を封じた。

凍結乾燥検体パパイヤ試料の場合は、-80℃で2時間凍結後、減圧下で一晩、凍結乾燥を行った。凍結乾燥後の最終到達真空度は0.4 Pa以下であった。乾燥試料は速やかに粉碎し、ESR

試料管に3 cmの高さで封入した。

サンプル重量は、サンプルを入れた後の試料管重量から風袋重量を引いて求めた。試料のおよその重量は新鮮果皮で0.12~0.28 g, 新鮮果肉で0.20~0.28 gであり、果肉の乾燥検体は0.13~0.18 gであるが、試料ごとにmgオーダーで秤量して補正した。

本論文では、 γ 線照射された生パパイヤを液体窒素温度で凍結処理した状態でESR測定することを“直接測定”, その測定用サンプルを“生鮮検体”と記載した。一方、パパイヤを凍結乾燥後に粉末状態にして室温で測定することを“間接測定”, その測定用サンプルを“乾燥検体”と定義した。

2.2 ESR測定法

ESR装置はRE-3X (日本電子製) を用いて、変調磁場の周波数100 kHzでXバンド (9 GHz帯) のマイクロ波を用いて液体窒素中 (77 K) 又は室温 (297 K) で測定した。

液体窒素中で測定する場合、液体窒素デュワー瓶 (日本電子データム製UCD-3X) を使用した。試料管中の生パパイヤは液体窒素で予冷した後、デュワー瓶に移し、測定中はキャビティに高純度窒素ガスを通じて結露を防止した。

磁場強度を実測するため、NMR Field Meter ES-FC5 (日本電子製) を用いた。

マイクロ波周波数を正確に測定するため、Microwave Counter TR5212 (ADVANTEST製) を用いた。

液体窒素雰囲気でのESR測定は、磁場掃引 329 ± 5 mTとして、変調磁場幅0.5 mT, 時定数1秒, 掃引時間1分, マイクロ波強度10 μW を用い、25回掃引の平均値として求めた。

室温での測定は、磁場掃引を 337 ± 5 mTとして、変調磁場幅0.5 mT, 時定数1秒, 掃引時間1分, マイクロ波強度0.1 mWを用い、25回掃引の平均値として求めた。

2.3 ESR スペクトルの解析

測定された ESR スペクトルは, ESR 制御・解析ソフトウェア ES-IPRIT (日本電子データム製) を用いて解析した。

g 値は, 測定されたシグナルの積分形からピークトップの位置で示した。実際には, その試料測定時に NMR Field Counter で測定された高磁場側と低磁場側の磁場強度を ES-IPRIT に入力して磁場強度の補正を行い, ピークトップの磁場強度 (H) と試料測定時に実測されたマイクロ波周波数 (ν) から, 共鳴条件式 $h\nu = g\mu H$ を満たす g を有効数字 4 桁で求めた (h : Planck's constant, μ : Bohr magneton)。

線幅は, 測定されたシグナル (1 次微分形) のピークトップとピークボトムの幅 (磁場強度の差) で示し, 実測された高磁場側と低磁場側の磁場強度から ES-IPRIT 上で補正して, 有効数字 3 桁で求めた。

2.4 照射によるシグナル変化

照射によって変化するシグナルの変化量を求める場合は, 液体窒素中での測定では左サイドピーク (324.6 ~ 326.2 mT), メインピーク (327.2 ~ 331.1 mT), 右サイドピーク (331.5 ~ 333.5 mT) について, また, 室温測定では左サイドピーク (332.6 ~ 334.0 mT), メインピーク (334.9 ~ 338.9 mT), 右サイドピーク (339.3 ~ 341.3 mT) について, それぞれの範囲で測定された ESR シグナル変化量 (ピーク高) を指標として用い, 異なる重量の試料間の比較は, 重量 (0.2 g) あたりで比較した。

3. 結 果

3.1 生鮮検体で測定されたラジカルの ESR スペクトル

中心磁場 329 mT として掃引幅 ± 5 mT で測定したところ, 照射されたパパイアの生鮮検体及び非照射果皮の生鮮検体で強いピークが観察された (Fig.1 中に M で示し, 以後メインピークと呼ぶ) が, 非照射果肉の生鮮検体では明

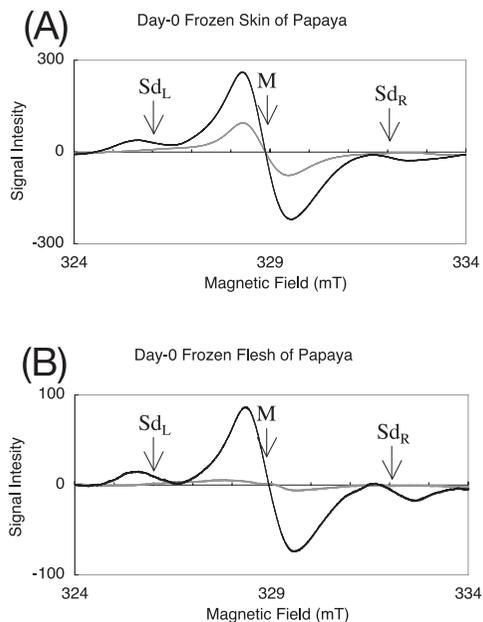


Fig. 1 ESR spectra of frozen specimens prepared from irradiated fresh papayas. (A) Skin and (B) flesh measured with 329 ± 5 mT. Gray and black lines indicate before and after 3 kGy irradiation, respectively. M stands for main peak and SdL and SdR peak top of left and right side peaks.

確なメインピークは観察されなかった。観測されたメインピークの g 値は, 果肉と果皮ともに $g = 2.000$ であり, 果肉の線幅は 1.45 mT で, 果皮の方は 1.20 mT であった。3 kGy 照射パパイアの果肉と果皮では, メインピークの両脇に $g = 2.018$ と $g = 1.982$ のサイドピーク (Fig. 1 中に, SdL と SdR で示す) が観察されたが, 非照射検体ではそれは見られなかった。

メインピークの安定性を見るため, 照射された生パパイアを 4°C に保管し, 照射当日, 3 日後, 1 週間後, 2 週間後にサンプリングした生鮮検体の ESR 測定を行った。Fig. 2 として, 照射 3 日後から 2 週間後のパパイア果肉におけるメインピークの線量依存性を示す。回帰直線を求めたところ相関係数 0.920 の直線となり (測定検体数 $n = 36$), メインピーク高は照射 3

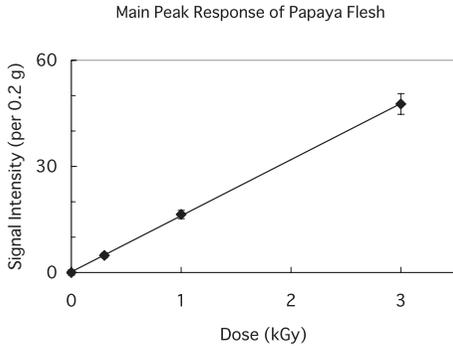


Fig. 2 Dose response of main peak versus doses. Data points were averaged from ESR measurements by distinct sampling on day-3, 7 and 14 after γ -irradiation. Three different fruits of papayas were used as ESR specimens on each sampling day. A regression line was calculated from all measurements after ESR signal intensities were normalized by sample weight and background values were subtracted. Error bars indicate standard errors of the mean.

日後から照射 2 週間後まで線量依存性が変化しないことがわかった。データは示さないが、照射当日 (Day-0) の生鮮検体では、3 日目以降と比べてシグナルが強い傾向が見られ、その回帰直線は相関係数 0.914 ($n=20$) となった。このことは、照射後輸送プロセスを経てから検知法適用となる輸入検疫の場合、検知対象のパパイヤについては 2 週間後までは、同じ線量応答曲線で評価できることを示唆している。

Fig. 3 には照射 1 週間後の生鮮検体のサイドピークを示す。パパイヤ果肉の生鮮検体では、照射 1 週間後まではスペクトルからサイドピークを確認できた。しかし、データは示さないが、2 週間後では低線量照射された生鮮検体のサイドピーク形状が不明瞭になった。また、果皮では、照射直後にはサイドピークの線量依存性が見られたが、照射 3 日目以後は線量応答性が消失した。パパイヤ果肉においてサイドピークの指標を用いて線量応答について検討するため、3 kGy まで照射したパパイヤを 4℃ で保管し、

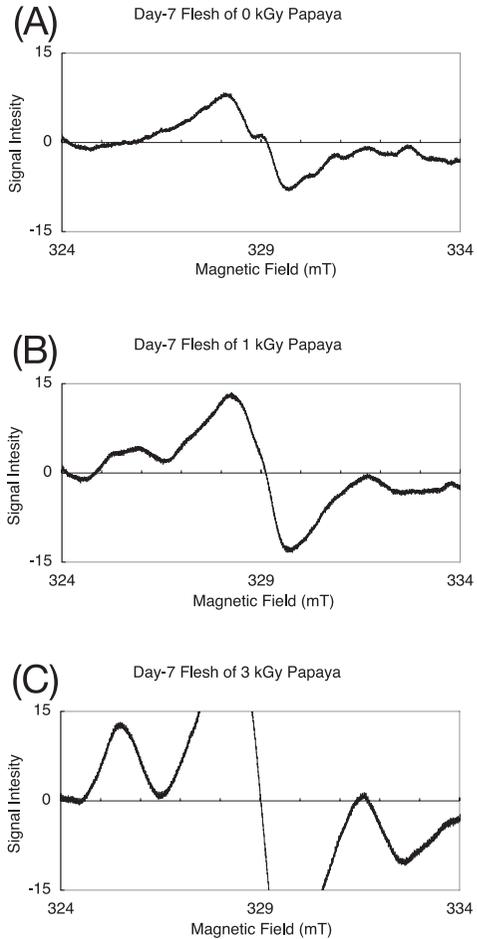


Fig. 3 ESR spectra of side peak measured from papaya flesh stored in 4°C for 7 days after γ -irradiation. (A) 0 kGy, (B) 1 kGy, (C) 3 kGy.

照射当日、3 日後、1 週間後、2 週間後にサンプリングした生鮮検体を ESR 測定したところ、線量応答の回帰直線は、3 kGy まで直線的に増加しており、相関係数 0.904 (データ数 $n=112$) であることから、生鮮検体でも照射から 2 週間は同じ線量依存性として評価できることが示唆された (Fig. 4)。

3・2 乾燥検体で測定された ESR スペクトル凍結乾燥試料を用いて、中心磁場 337 mT とし、掃引幅 ± 5 mT で測定した。Fig. 5 に示す

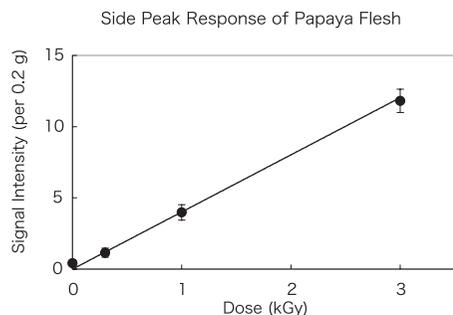


Fig. 4 Dose response of side peak indices obtained from frozen papaya flesh. Data points were averaged from ESR measurements by distinct sampling on day-0, 3, 7 and 14 after γ -irradiation. Three different fruits of papayas were used as ESR specimens on each sampling day. A regression line was calculated from left and right side peaks of all measurements, following both ESR signal normalizations by sample weight and background subtractions. Error bars indicate standard errors of the mean.

ように, 照射直後と14日後で, 照射されたパパイア果肉の乾燥検体では同様のサイドピークが観察された。3 kGy 照射された生パパイア果肉から調製された乾燥検体を用いて測定された低磁場側と高磁場側サイドピークの g 値は, それぞれ 2.018 と 1.982 であり生鮮検体で観察されたピークと同じであった。このように明確なサイドピークが測定されたことから, ピークの有無で照射・非照射が区別できると考えられる。パパイア果肉の乾燥検体においてメインピークのピーク強度を測定したところ, 相関係数 0.406 (データ数 $n=56$) となり, 線量依存性は観察されなかった。一方, サイドピークの指標を用いて乾燥検体の線量応答について調べたところ, そのピーク強度は直線的な線量依存性を示し, 左サイドピーク回帰直線の相関係数は 0.930 (データ数 $n=56$) であり, 右サイドピークのそれは 0.943 (データ数 $n=56$) であった (Fig. 6)。

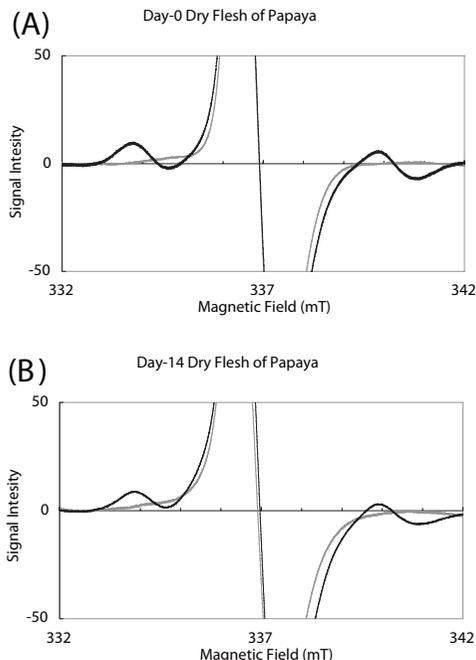


Fig. 5 ESR spectra of freeze-dried flesh prepared from fresh papayas at (A) day-0 and (B) day-14 stored in 4 °C after γ -irradiation. Gray and black lines indicate 0 kGy and 1 kGy-irradiation, respectively.

4. 考 察

4.1 生パパイアで観察された ESR シグナルについて

Boshard らは, 照射後1時間以内に液体窒素凍結させたパパイア種子を ESR 測定した結果, $g=2$ のシグナルを検出でき, それが線量依存性を示したと報告している¹⁰⁾。そのシグナルは保管の時間経過につれて減衰したと記している。著者らは, 高水分含量食品である生マンゴーにおいて, 照射後に長期間安定に存在し得るラジカルの存在を見出し, サイドピーク高を指標とした検知法について既に報告している⁹⁾。このサイドピークがセルロース・ラジカル由来であると推測されたことから, これまで限定的であった ESR 検知法が, 熱帯果実や生鮮野菜など

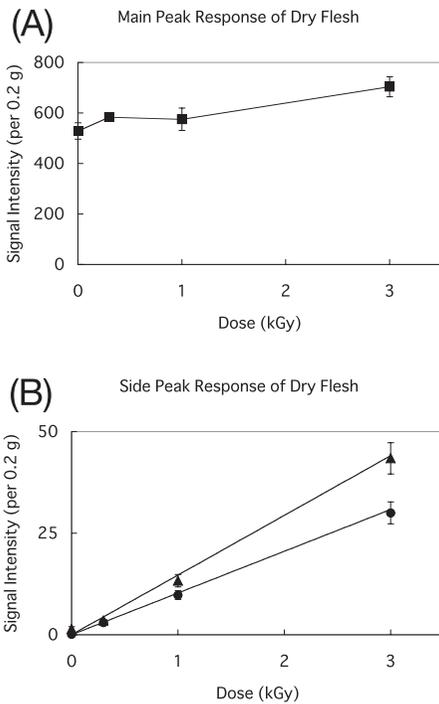


Fig. 6 Dose response of freeze-dried papaya flesh. Data points were averaged from ESR measurements by distinct sampling on day-0, 3, 7 and 14 after γ -irradiation. Three fruits of papayas were used as ESR specimens on each sampling day. (A) Main peak. ESR signals were normalized by sample weight. (B) Side peaks. Symbols of ● and ▲ indicate left and right side peaks, respectively. A regression line was calculated from left or right side peaks of all measurements, following both ESR signal normalizations by sample weight and background subtractions. Error bars indicate standard errors of the mean.

の青果物一般の検知法として適用可能であることが示唆され、有用な方法であると考えられたが、結果を得るまでに時間がかかるという短所もあった。今回、生パパイヤを凍結乾燥状態ではなく液体窒素温度下でそのまま測定する改良を行い、迅速な判別を可能にした。この方法で、照射当日の生パパイヤの果肉及び果皮 0.3 g 未満の生鮮検体から $g = 2.000$ のメインピークと $g = 2.018$ と $g = 1.982$ のサイドピークを検出し

た。そして、照射された生パパイヤ果肉では 4°C で 2 週間保管した後に ESR 測定したところ、そのピーク強度は照射 2 週間後でも安定して測定できることが明らかとなった。

従来、高水分含量の植物組織中に照射で誘起されたラジカルは消滅しやすいため ESR 法には適用できないと考えられた。著者らは、照射された生マンゴーを 1 週間以上 4°C 保管後に凍結乾燥して調製された検体から ESR シグナルを検出できることを示し、今回、生パパイヤでも同様に検出できることがわかった。

また、パパイヤで測定された一対のサイドピーク間の超微細結合定数は 6.0 mT であり、これまで乾燥果実や照射セルロースで測定されたピーク間の値とよく一致することから、セルロース・ラジカルに起因するシグナルであることが強く示唆された^{11) - 13)}。

4.2 検体中のラジカル種と線量依存性について

生マンゴーから凍結乾燥後磨砕された検体を ESR で測定した時のメインピークでは誤差が大きいと、照射・非照射の検知法には使用できないと結論された⁹⁾。今回、パパイヤ果肉の生鮮検体では、メインピークで線量依存性が観察された。この違いは、生鮮検体では試料の粉碎処理が行われていないことが関係していると考えられる。パパイヤの乾燥検体で測定されるラジカルは、照射により誘起されたラジカルと試料破碎により生じたメカノラジカルであるとされる。著者らの実験では、乾燥検体は測定直前に粉碎していることから、メカノラジカルが優勢となって、乾燥検体のメインピークが大きくなったと推察される。一方、生鮮検体では、試料に加えられる操作は検体切り出しのみであり、照射によって誘起されたラジカルが優勢であると考えられる。このようにして、果肉の生鮮検体では照射により比較的長寿命で安定なラジカル種が測定され線量依存性として観察されたと考えられる。

照射中に誘起された大量のヒドロキシラジカルは短寿命であり, 照射終了後の短時間で消失してしまうと考えられるが, 照射当日の生鮮検体で他より強いシグナルを示したのは, 比較的早く消失するラジカル成分が残存していたためと考えられる。

4.3 生鮮果実に適用する検知法としてのスキームについて

生パパイアへの照射はオーストラリア, ニューゼーランドでは, 検疫処理のために 150 Gy ~ 1 kGy, タイ, コスタリカ, チリでは, 熟度調節や害虫駆除のために 1 kGy の線量が許可されている¹⁴⁾。

今回の結果から, 生パパイアにおいては迅速な照射履歴の判別のために, まず果肉部分の生鮮検体による ESR 測定を行い, サイドピークの有無又はメインピーク強度により識別することができると考えられる。線量によって生鮮検体のサイドピークの有無又はメインピーク強度での判別が難しい場合は, 果肉を凍結乾燥して作製した乾燥検体を用いて ESR 測定を行い, サイドピークの有無で判別することができる。吸収線量の推定では, 乾燥検体又は生鮮検体の線量応答曲線から推定可能であろうと著者らは考えている。

具体的には, パパイア生鮮検体のサイドピークの有無の判別は, 通常 ESR 測定される 1 次微分スペクトルで見たととき, ピークの出現する磁場強度でスペクトルが上に凸 (324.6 ~ 326.6 mT) 又は下に凸 (331.8 ~ 333.8 mT) のスペクトル形状を示すか否かを判別に用いることができる。また, メインピーク強度はパパイア果肉のバックグラウンドの平均値である 14.8 ± 2.6 を超えるか否かが照射の有無を判別する基準になると考えられる。これら全てが該当する場合, 検体は照射されている可能性が高いと考えられる。また, このいずれかが該当する場合は照射の可能性があり, 乾燥検体による再評価の必要があると著者らは考えている。乾燥検体

のサイドピークの有無は, ピークの出現する磁場強度でスペクトルが上に凸 (332.7 ~ 334.7 mT) 又は下に凸 (339.9 ~ 341.9 mT) のスペクトル形状を示すか否かで照射の有無を判別できると考えられる。今回著者らが測定した ESR スペクトルは 25 回掃引して測定された平均シグナルであるので, 1 回掃引の測定に比べてノイズは 1/5 になっている。この測定条件で, 0.3 kGy 照射された乾燥検体の左サイドピーク強度は $S/N = 2.2 \pm 0.3$ であり, 右サイドピークのそれは 1.6 ± 0.5 であった。したがって, この値を超える測定結果の時, ミバエ類の殺虫処理で必要な放射線量は照射済みと判断できると著者らは考えている。しかし, S/N 比や ESR ピーク強度の計測では, ESR 装置の調整状態など機種依存性のある要因がシグナル強度に直接影響するので, 線量応答曲線は装置ごとに校正されるべきであると考えられる。

このように生パパイアの生鮮検体として, 又は乾燥検体として ESR 測定して得られるメインピークとサイドピークを総合的に判断することで, 照射の有無の判別及び線量の評価も可能であることが示唆された。

著者らは, 照射された生マンゴーの ESR 検知法について報告しており, これまで骨付き肉や乾燥香辛料などに限定して適用されてきた ESR 検知法が広範な食品に適用できる可能性を指摘してきた⁹⁾。今回, 照射された生パパイアでも同様にラジカルを検出でき, 生鮮検体で迅速に評価できたことにより, ESR 検知法の更なる有用性が示された。

5. ま と め

γ 線照射された生パパイアから直接, ESR 信号を取得するため液体窒素温度で測定を行った。水分含量の高い果肉及び果皮の生鮮検体を用いて 1 本線のメインピークと一対のサイドピークが観測された。直接測定されたパパイアのメインピーク高は安定しており, 検知法としての利用が考えられた。果肉及び果皮の生鮮検体

で観測されたサイドピークは照射後7日目でも測定でき、ピークの有無によって照射の判別が可能であることから、生パパイアの簡易判別法として利用できる可能性が示唆された。照射1週間を越えると、生鮮検体のサイドピークの有無での判別は難しくなったが、凍結乾燥されたパパイアの乾燥検体を用いると、サイドピークの有無が明確に判別可能であった。このことから、パパイアの照射の有無の判別では、生鮮検体でESR測定を行い、必要に応じて乾燥検体で確定する判定プロセスが有効であると考えられる。

謝 辞

本研究の一部は、文部科学省原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブにより実施された「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」の成果である。

文 献

- 1) 財務省貿易統計, 品目コード0807.20-000について検索, <http://www.customs.go.jp/tokei/srch/index.htm> (2008)
- 2) EN1786, Foodstuffs-Detection of irradiated food containing bone-Method by ESR spectroscopy, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium (1996)
- 3) EN1787, Foodstuffs-Detection of irradiated food containing cellulose-Method by ESR spectroscopy, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium (2000)
- 4) EN13708, Foodstuffs-Detection of irradiated food containing crystalline sugar by ESR spectroscopy, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium (2001)
- 5) Desrosiers, M. F. and McLaughlin, W. L., Examination of gamma-irradiated fruits and vegetables by electron spin resonance spectroscopy, *Radiat. Phys. Chem.*, **34** (6), 895-898 (1989)
- 6) Adem, E., Muñoz, P. E., Gleason, V. R., Murrieta, S. H., Aguilar, S. G. and Uribe, R. R., Electron paramagnetic resonance studies of γ -irradiated corn, *Appl. Radiat. Isot.*, **44** (1-2), 419-422 (1993)
- 7) von Sonntag, C., *The Chemical Basis of Radiation Biology*, Taylor & Francis, London (1987)
- 8) 文部科学省科学技術学術審議会資源調査分科会, 五訂増補日本食品標準成分表, 食品成分データベース, <http://fooddb.jp/>, 国立印刷局, 東京 (2008)
- 9) 菊地正博, Mohammad S. Hussain, 森下憲雄, 鶴飼光子, 下山雄平, 小林泰彦, 照射された生マンゴーに誘起されたラジカルのESR測定, *RADIOISOTOPES*, **58** (12), 789-797 (2009)
- 10) Boshard, J.-A. P., Holmes, D. E. and Piette, L. H., An inherent dosimeter for irradiated foods: papayas, *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, **22**, 316-318 (1971)
- 11) Raffi, J. J. and Agnel, J.-P. L., Electron spin resonance identification of irradiated fruits, *Radiat. Phys. Chem.*, **34** (6), 891-894 (1989)
- 12) Tabner, B. J. and Tabner, V. A., An electron spin resonance study of gamma-irradiated grapes, *Radiat. Phys. Chem.*, **38** (6), 523-531 (1991)
- 13) Maloney, D. R., Tabner, B. J. and Tabner, V. A., An electron spin resonance study of some gamma-irradiated fruits, *Radiat. Phys. Chem.*, **39** (4), 309-314 (1992)
- 14) IAEA, Food Irradiation Clearances Database, <http://nucleus.iaea.org/FICDB/Browse.aspx>

Abstract**A Rapid Detection for Irradiated Fresh Papayas Using ESR Spectroscopy**Masahiro KIKUCHI, Yuhei SHIMOYAMA^{*,†}, Mitsuko UKAI^{**} and Yasuhiko KOBAYASHI

Japan Atomic Energy Agency

1233 Watanuki-machi, Takasaki-shi, Gunma Pref. 370-1292, Japan

*Muroran Institute of Technology

27-1 Mizumoto-cho, Muroran-shi, Hokkaido 050-8585, Japan

**Hokkaido University of Education

1-2 Hachiman-cho, Hakodate-shi, Hokkaido 040-8567, Japan

The detections of radicals induced in irradiated both fresh and dried papayas were carried out at liquid nitrogen and room temperature using electron spin resonance (ESR) spectroscopy.

Fresh papayas irradiated by the γ -rays were separated into flesh and skin that subjected to the ESR detection. The ESR spectra of the specimen at liquid-nitrogen temperature were observed clearly at a week after the γ -irradiation. Those signals were consisted from main peak at $g=2.000$ and side peaks at $g=2.018$ and 1.982 . They showed a linear response against the dose. Furthermore, the side peaks from freeze-dried papaya flesh stored at 4°C were observed clearly at two weeks after the γ -irradiation. Those signals also showed the linear dose-response. The detection scheme for irradiated fresh fruits can be done by two stages :

- 1) A screening test of ESR signals at liquid nitrogen temperature using fresh samples.*
- 2) A room temperature ESR measurement using freeze-dry samples.*

(Received June 30, 2010)

[†] Present affiliation : Japan Atomic Energy Agency

1233 Watanuki-machi, Takasaki-shi, Gunma Pref. 370-1292, Japan