

原 著

照射された生マンゴーに誘起された ラジカルの ESR 測定

菊地正博, Mohammad S. HUSSAIN, 森下憲雄, 鵜飼光子,
下山雄平, 小林泰彦

Reprinted from
RADIOISOTOPES, Vol.58, No.12
December 2009



Japan Radioisotope Association

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

原 著



照射された生マンゴーに誘起されたラジカルの ESR 測定

菊地正博, Mohammad S. HUSSAIN[†], 森下憲雄,
 鶴飼光子*, 下山雄平**, 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
 *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
 **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

2009 年 5 月 13 日 受理

本論文では、電子スピン共鳴 (ESR) 法を用いて、照射により生マンゴー果肉と果皮に誘起されたラジカルを凍結乾燥後に検出できたので報告する。

フィリピン産の生マンゴーを γ 線照射し、その凍結乾燥粉末を ESR 装置で測定した。マンゴー検体のスペクトルでは $g=2.004$ を中心とする鋭い 1 本線のメインピークと一対のサイドピークが検出された。果肉・果皮で測定されたメインピークは照射後数日で減衰したが、一対のサイドピークは照射 9 日後でも線量依存性を示した。

本サイドピークを利用することで、ESR 法は生マンゴーなど生鮮果実の検知に適用できることが示唆された。

Key Words : fresh fruit, quarantine treatment, mango flesh, ESR, gamma ray irradiation, dose response

1. 緒 言

熱帯果実であるマンゴーは、学名を *Mangifera indica* L. と言いウルシ科に属する植物の果実で、中心部に大きな扁平の硬い種があり、果肉は繊維質が豊富である。日本でも九州や沖縄などで栽培されるが、多くはメキシコ、フィリピン、タイ、台湾からの輸入に頼っている¹⁾。マンゴー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、不対電子を直接測定することが可能であり、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⁾。

国際的に認められた ESR 検知法では、骨付き肉や乾燥香辛料や砂糖漬け果実などの食品を対象に、照射で誘起された不対電子の検出によって評価されている。この場合、骨のリン酸カルシウム、セルロース、結晶性砂糖に残存する不対電子が検出対象となっている。それ以外の食品素材への ESR 法適用のため、 $g=2.00$ に見出されるシングルピークを利用して照射トウモロコシ、照射タマネギ、照射果実の検知法としての適用可能性について研究されてきた⁵⁾⁻⁷⁾。その中で測定された試料は、もともと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を対象としていた。

[†]Present Address: Food Technology Division, Institute of Food and Radiation Biology, Atomic Energy Research Establishment, Bangladesh Atomic Energy Commission, GPO Box No.3787, Dhaka-1000, Bangladesh

物質に放射線が当たると電子がはじき出されてイオン化し、化学結合の切断を生じたりホールを形成したりして対電子が誘起される。生マンゴーのように水が多い試料の場合には、水の放射線分解によって生じるヒドロキシラジカルが生体高分子との化学反応に関与する⁸⁾。生マンゴーは可食部分 100 g あたり、水分が 82% を占め、抗酸化能を持つ β -カロテン、ビタミン E、ビタミン C もそれぞれ 610 μg 、1.9 mg、20 mg 含まれているため⁹⁾、この反応は秒オーダーで進行し、ラジカルは消滅すると考えられている。

これまでに高水分含量食品中における照射ラジカルの不安定性が指摘され^{10)–12)}、ESR 検知法は限定的な適用がされてきた。著者らはヒドロキシラジカルを含むラジカルが対電子を持つことから、簡便な ESR 法を熱帯果実や生鮮野菜の検知に適用することを目的とし、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マンゴーを照射し、そこから検出されるシグナルの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

試料とした生マンゴーは市販品を用い、スーパーマーケットで傷が少なく熟度のほぼ等しいフィリピン産マンゴーを購入した。

照射は室温で $^{60}\text{Co}\gamma$ 線を用いて、線量率 2 kGy/h の位置で行い、照射時間を変えることで線量を制御した。照射後保管する場合は 4 $^{\circ}\text{C}$ で保管した。果皮、果肉に切り分け、 -80°C で 2 ~ 6 時間凍結後、減圧下で凍結乾燥を行った。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磁製乳鉢で粉碎し、ESR 試料管に 3 cm の高さになるように入れ、パラフィルムで封じた。ESR 試料管は直径 5 mm (内径: 約 4 mm) の高純度石英製の試料管を用いた。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、サンプル重量を求めた。

試料のおおよその重量は果皮で 0.15 ~ 0.20 g であり、果肉で 0.15 ~ 0.30 g であるが、試料ごとに mg オーダーで秤量して異なる重量の試料間の比較は、重量あたりの測定値として比較した。

本論文では、 γ 線照射した処理済みの生マンゴーを“照射された生マンゴー”と記載しており、凍結乾燥後の粉末状態のマンゴーのことを“検体”と呼んでいる。

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 (9.4 GHz 帯) のマイクロ波を用いて室温 ($24 \pm 1^{\circ}\text{C}$) で測定した。

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。

測定条件としては、試料の全 ESR シグナルを測定する場合、磁場掃引 250 ± 250 mT として、変調磁場幅 0.5 mT、時定数 0.1 秒、掃引時間 8 分、マイクロ波強度 0.1 mW を用いた。また、 $g=2$ のシングルピークを中心に測定する場合、磁場掃引を 336 ± 10 mT として、変調磁場幅 0.1 mT、時定数 0.03 秒、掃引時間 2 分、マイクロ波強度 0.4 mW を用いた。更に詳細なシグナル測定では、磁場掃引を 336 ± 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、4 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 1 回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

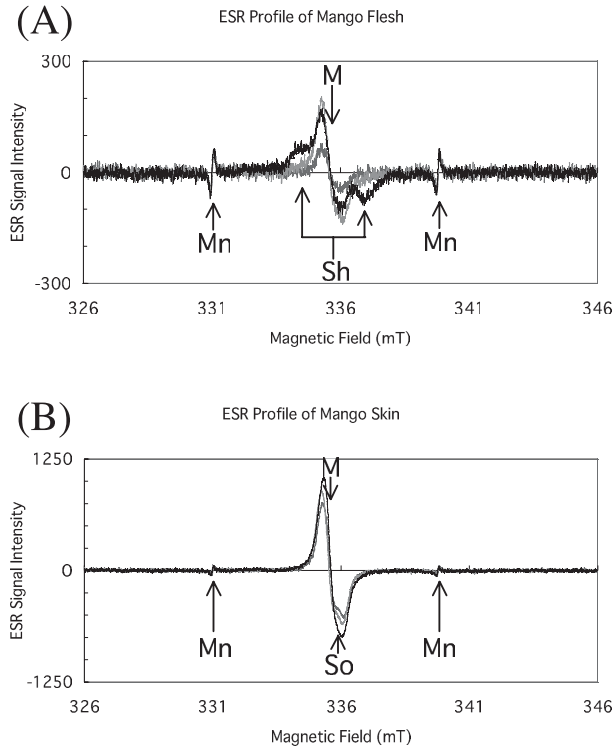


Fig. 1 ESR spectra of dry specimens prepared from fresh mangoes irradiated with several doses. (A) Flesh and (B) skin were measured with 336 ± 10 mT. Medium, light and black lines indicated 0, 1 and 5 kGy specimens, respectively. Abbreviations, M; main peak, Sh; shoulder peak, Mn; external Mn standard, So; signal overlapped.

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 (一次微分形) のピークトップとピークボトム (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。

3. 結果

3.1 メインピークの解析

中心磁場 336 mT として掃引幅 ± 10 mT で測定したところ Fig. 1 中に M で示したシングルピークが観察された。以後は、このシングルピークをメインピークと呼ぶ。図中に Mn で示した $g = 2.032$ と $g = 1.980$ のピークは Mn^{2+} の基準ピークである。照射及び非照射の生マンゴーから凍結乾燥後に調製された ESR 検体で観測されたシングルピーク (メインピーク) は、 $g = 2.004$ であった。果肉の線幅は $795 \mu\text{T}$ で、果皮の方は $698 \mu\text{T}$ であった。5 kGy 照射マンゴ

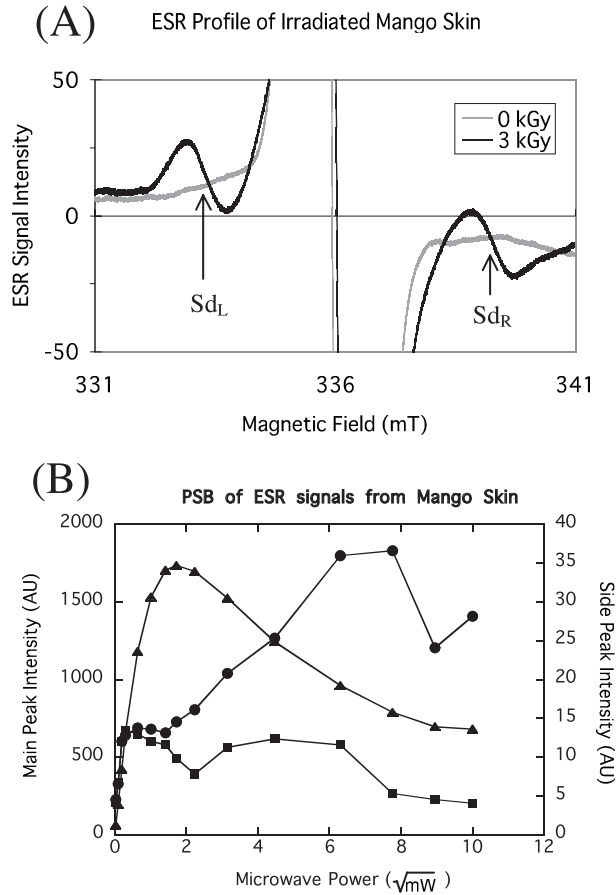


Fig. 2 (A) ESR profiles of dry specimens prepared from mango skins. Gray and black lines showed the non-irradiated and 3 kGy-irradiated mangoes, respectively. g values of left and right side peaks were determined at arrow (S_{dL} and S_{dR}). (B) Progressive saturation behavior (PSB) of mango skin. Symbols of \blacktriangle , \bullet and \blacksquare indicate main peak, right and left side peaks, respectively.

一の果肉で、メインピークの両脇にピーク変化 (Fig. 1 A 中に Sh で示した。以後、ショルダーピークと呼ぶ) が観察されたが、線量が 1 kGy 以下の試料で違いを見出すのは困難であった。また、1 kGy 以下の果皮では、 $g = 2.0075$ 付近でシグナルの重なり (Fig. 1 B 中に So で表示) が見られたが、5 kGy 試料では消失していた。

3.2 照射により変化する ESR シグナルの探索
凍結乾燥試料を用いて、放射線照射で変化する ESR シグナルを探索するため条件を変え詳

細に測定したところ、ショルダーピークとは別にメインピークの低磁場側と高磁場側に ESR シグナル (サイドピーク) があることを見出した (Fig. 2 A 中に、 S_{dL} と S_{dR} で示す)。このサイドピークをノイズの少ない状態で測定するため、測定条件として変調磁場 0.5 mT、時定数 1 秒、積算回数 4 回という条件を用いると測定できることがわかった。スペクトルデータは示さないが、このサイドピークは果肉を試料とした時も同じ条件で測定できた。3 kGy 照射された生マンゴーから調製された凍結乾燥検体を

用いて測定された, 低磁場側と高磁場側サイドピークは, それぞれ 2.019 と 1.983 であり, 果肉・果皮で違いはなかった。

3 kGy 照射された果皮でメインピーク, サイドピークの逐次飽和挙動 (Progressive Saturation Behavior; PSB) を調べた (Fig. 2 B)。その結果によると, メインピークは 3 mW 付近で閾値となるきれいな飽和挙動を示していた。これまでの報告で, 生葉で観測された $g=2.005$ の ESR シグナルは約 4 mW で飽和しており¹³⁾, よく一致していた。このようにシグナルが早く飽和するのは電子スピンの緩和時間が長いことを意味し有機フリーラジカルの特徴であることから¹⁴⁾, 著者らが測定した $g=2.004$ のシングルピークも有機フリーラジカルのシグナルであると推測された。

一方, 高磁場側サイドピークは 0.1 mW で一度飽和した後 50 mW 付近で再び飽和した。また, 低磁場側サイドピークも 0.1 mW で一度飽和して, 20 mW 付近で再び飽和した。両サイドピークの現れる磁場強度は Mn^{2+} のシグナルも現れる位置であり, また $g=2.004$ のメインピークも極近傍にあることからマイクロ波強度を上げた時にはこれらから影響されてシグナルが変化すると考えられる。したがって, 約 50 mW で飽和したシグナルは遷移金属である Mn^{2+} の飽和を示し, 20 mW で飽和している成分はメインピーク飽和後の減少と Mn^{2+} によるシグナル増加が共に影響して複次的な閾値となっていると考えられる。したがって高磁場側と低磁場側のサイドピークの PSB は, 共に 0.1 mW で飽和する成分が本来のサイドピークに由来する飽和であると考えられる。

更に, 3 kGy 照射されたマンゴー果皮を 0.05 mW で測定した時, 高磁場側と低磁場側のサイドピークのメインピークに対する相対強度は共に 2.8% であった。したがって, サイドピークの閾値とその相対強度が共に等しいことから, これらのサイドピークを生じる不対電子の共鳴は, 近傍に存在する磁気モーメントとの相互作用

で分裂して生じており, 高磁場側と低磁場側で対を成していると考えられる。

3.3 ESR シグナルの安定性と線量応答

メインピークの安定性について検討するため, 照射 1 日後から 9 日後までのシグナル強度を調査した。検体の ESR 測定で得られるメインピーク強度は, 購入したマンゴーの状態により変化しやすく, 異なる日に購入した状態の異なるマンゴーの間で合致させることが難しいため, 同じ購入日のマンゴーから調製された一連の検体に注目して経時変化を観察した。Fig. 3 A にマンゴー果皮で測定されたメインピーク強度の経日変化を示す。その結果, メインピークは照射後の保存期間によってシグナル強度が変化して, 9 日後までで安定しなかった。データは示さないが, 果肉でもやはりメインピークは安定しなかった。

一方, サイドピークの照射後安定性について検討するため, 照射直後及び照射後 4℃ で 1 日目から 9 日目まで保存された生マンゴーから, 果肉及び果皮を分離して凍結乾燥後に調製された検体の ESR 測定を行った。サイドピーク変化を定性的に調べるため, 1 次微分値として測定された ESR シグナルの低磁場側サイドピーク (331.7 ~ 333.1 mT) と高磁場側サイドピーク (338.4 ~ 340.4 mT) におけるシグナル変化量を求めたところ, 照射 9 日後でもサイドピークは検出することができ, 保存期間に依らず直線的な線量応答を示した (Fig. 3 B)。

これらのことから, メインピークは不安定であるが, サイドピークはそれより安定で, 照射後 1 週間以上経過しても測定可能であり, 果肉でも果皮でも同様に評価できると考えられる。

4. 考 察

これまでの報告に $g=2.004$ のシグナルは照射フルーツから分離された瘦果・種子・小果柄でも測定されている¹⁵⁾⁻¹⁷⁾。しかし, これらは植物組織の中でも水分含量が少ないためにラジ

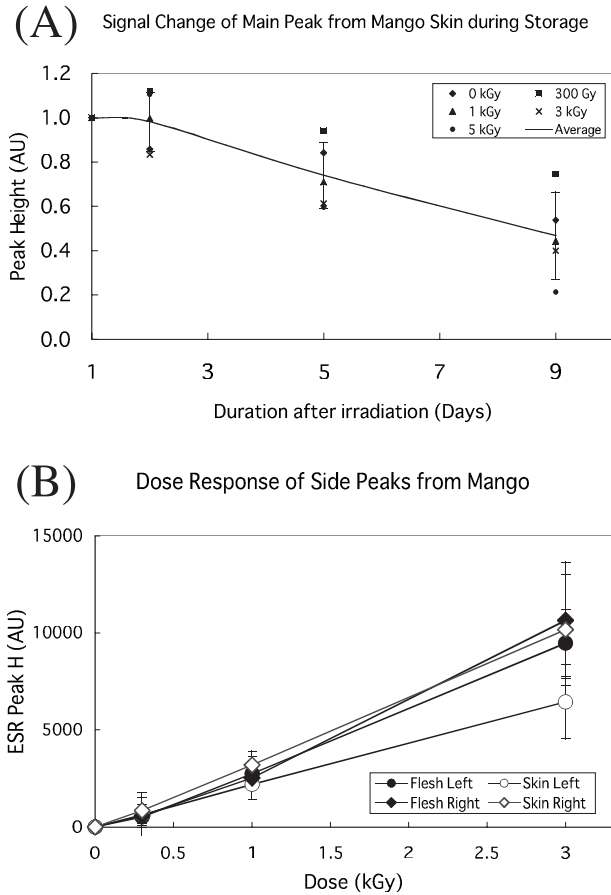


Fig. 3 ESR signal stability after the irradiation. (A) The change of main peak of dry specimens prepared from skins of γ -irradiated fresh mangoes. The symbols of \blacklozenge , \blacksquare , \blacktriangle , \times and \bullet indicate the 0 kGy, 300 Gy, 1 kGy, 3 kGy and 5 kGy γ -irradiation, respectively. The signal intensities were normalized by both sample weight and the intensity of each Day-1 specimen. (B) Dose response of side peak of dry specimens prepared from 0, 1, 2, 5, 7 and 9 day-stored fresh mangoes after γ -irradiation. The side peak intensities were normalized by sample weight and the intensity of each 0-kGy specimen.

カルが比較的残りやすい部位であった。今回、照射された生マンゴー果肉から凍結乾燥後に調製された試料を用いて ESR 測定した結果、 $g = 2.004$ のシグナルが観測されたことから、従来 ESR 法には適用できないと考えられていた高水分含量の植物組織に生じたラジカルを ESR で測定できることがわかった。Fig. 1 A

と B では、測定されたシグナル強度が異なるため、縦軸を変えている。今回測定されたシグナルは、放射線照射により誘導されその後も残存していたラジカルと、保存中に生体反応により生成したラジカル、物理的破碎により生成したラジカルが共に検出されていると考えられる。果肉と果皮では、素材の堅さのため果皮の粉碎

に時間がかかったので物理的破碎によるラジカルの影響が大きく現れ、シグナル強度が大きく異なると考えられる。

これまでに、照射されたマンゴー種子（硬い外殻を除いた内側部分）で異常な ESR シグナルが観測されたが、数日で消失したという報告がある⁵⁾。マンゴー果肉と果皮で観察されたシグナル変化はそれぞれ特徴的であるが、低線量照射の場合、果肉・果皮のメインピーク形状の違いを指標として照射・非照射を判定することは難しいと考えられる。

照射された乾燥トウモロコシやタマネギ外皮に誘起されるラジカルの ESR シグナルのピーク高は線量応答がよく、短期的には照射・非照射の指標になり得るといふ報告がある^{6),7)}。また、黒胡椒ではマイクロ波強度に対するシングルピークと内在性 Mn^{2+} の比の閾値を用いて線量の精密測定が可能と報告されている¹⁴⁾。データは示さないが、マンゴーの果肉及び果皮から調製された凍結乾燥検体においても、内在性の Mn^{2+} に起因すると考えられる 6 本線も観察されたが、このシグナルは微弱であること、更に照射後の経過日数によりメインピーク高は変化することから、メインピークでの生マンゴーの検知は難しいと考えられる。

著者らの測定で、照射 9 日後の果肉・果皮試料で一對のサイドピークが観察され、そのサイドピークは極めて早く飽和するシグナルであることが明らかとなった。検疫処理として照射される生マンゴーは、400 Gy から 1 kGy の線量が必要とされている^{18),19)}。この一對のサイドピークの線量依存性から、照射された生マンゴーを識別する指標としてサイドピークが利用可能であると考えられる。

今回測定されたサイドピークの g 値は、フルーツの低水分含量部位である瘦果・種子・小果柄で測定されたサイドピークの g 値ともよく一致していた¹⁵⁾⁻¹⁷⁾。また、マンゴーで測定された一對のサイドピークの超微細結合定数は 6.09 mT であり、これまで乾燥果実や照射セ

ルロスで測定されたピーク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¹⁵⁾⁻¹⁷⁾。高水分含量の生マンゴーを用いて、今回初めてサイドピークが測定され、より汎用性のある方法として ESR 法が利用可能であると考えられる。

これまで高感度の検知法として、炭化水素法 (GC 法) があり生マンゴーへの適用も可能とされている²⁰⁾。生マンゴーの GC 法での検出下限は、0.3 kGy とされており、今回著者が示したデータでも同程度の検出が可能と考えられる。GC 法では放射線分解された脂質の抽出と濃縮を繰り返す必要があるが、照射された生マンゴーの検知に ESR 法を適用する場合には試料の凍結乾燥と磨砕後の ESR 測定だけであり、スクリーニング法としても適している。

また、我が国でもモニタリング検査に利用されている熱ルミネッセンス法 (TL 法) も高感度な検知法であるが、食品そのものではなく付着した鉱物を分離して測定する方法であるため、清浄な食品には適用できない難点があり、更に検定のための基準線量の再照射が必要になることも迅速な検知を難しくしている^{21),22)}。

これまで ESR 検知法は、骨付き肉や乾燥香辛料や砂糖漬け果実などの食品を対象に限定的に適用されてきたが、今回、照射マンゴーの水分含量の高い果肉部分を用いて線量応答性のあるサイドピークを検出できたことから、ESR 法がより広範な食品に適用できる可能性を示唆している。

5. ま と め

γ 線照射された生マンゴーを凍結乾燥して粉碎後 ESR 測定を行った。水分含量の高い果肉部分の検体を用いて 1 本線のメインピークと一對のサイドピークが観測された。マンゴーのメインピーク高ではシグナルが安定しないため、検知法として利用できなかった。一方、果肉及び果皮の検体で観測されたサイドピークは照射後 9 日目でも測定でき線量依存性があることか

ら、生マンゴーの検知法として利用可能であると考えられた。今回の結果は、ESR法が熱帯果実や生鮮野菜など多くの生鮮食品へ適用できる可能性を示唆している。

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) 東京税関, 貿易統計特集・物流動向調査, 「マンゴー(生鮮)の輸入」(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) Desrosiers, M. F. and McLaughlin, W. L., Onion skin as a radiation monitor, *Radiat. Phys. Chem.*, **35** (1-3), 321-323 (1990)
- 8) von Sonntag, C., The Chemical Basis of Radiation Biology, Taylor & Francis, London (1987)
- 9) 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)
- 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., Agnel, J.-P. L., Buscarlet, L. A. and Martin, C. C., Electron spin resonance identification of irradiated strawberries, *J. Chem. Soc., Faraday Trans. 1*, **84** (10), 3359-3362 (1988)
- 12) 後藤典子, 田辺寛子, 照射セルロースに特有なラジカルのESRピークによる照射イチゴの検知, 食品照射, **37**, 12-16 (2002)
- 13) Yamaoki, R., Kimura, S., Aoki, K. and Nishimoto, S., Detection of Electron Beam Irradiated Crude Drugs by Electron Spin Resonance (ESR), *RADIOISOTOPES*, **56**, 163-172 (2007)
- 14) Shimoyama, Y., Ukai, M. and Nakamura, H., Advanced protocol for the detection of irradiated food by electron spin resonance spectroscopy, *Radiat. Phys. Chem.*, **76**, 1837-1839 (2007)
- 15) Raffi, J. J. and Agnel, J.-P. L., Electron spin resonance identification of irradiated fruits, *Radiat. Phys. Chem.*, **34** (6), 891-894 (1989)
- 16) Tabner, B. J. and Tabner, V. A., An electron spin resonance study of gamma-irradiated grapes, *Radiat. Phys. Chem.*, **38** (6), 523-531 (1991)
- 17) 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)
- 18) IAEA, Food Irradiation Clearances Database, <http://nucleus.iaea.org/NUCLEUS/nucleus/Content/Applications/FICdb/BrowseDatabase.jsp>
- 19) Office of Federal Register (USA), Importation of Mangoes From India, Vol.72, No.47, pp.10902-10907 (2007)
- 20) EN1784, Foodstuffs-Detection of irradiated food containing fat-Gas chromatographic analysis of hydrocarbons, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium (1996)
- 21) EN1788, Foodstuffs-Thermoluminescence detection of irradiated food from which silicate minerals can be isolated, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium (2001)
- 22) 厚生労働省医薬食品局食品安全部(食安発第0706002号), 放射線照射された食品の検知法について (2007)

Abstract**An ESR Study of Radicals Induced in Irradiated Fresh Mango**

Masahiro KIKUCHI, Mohammad S. HUSSAIN[†], Norio MORISHITA,
Mitsuko UKAI*, Yuhei SHIMOYAMA** and Yasuhiko KOBAYASHI

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

*Hokkaido University of Education

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

**Muroran Institute of Technology

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

An electron spin resonance (ESR) spectroscopic study was performed on the radicals induced in irradiated fresh mangoes. Fresh Philippine mangoes were irradiated by the γ -rays, lyophilized and powdered. The ESR spectrum of the dry specimen showed a strong main peak at $g=2.004$ and a pair of peaks at both magnetic fields of the main peak. The main peak detected from flesh and skin specimens faded away in a few days after the irradiation. On the other hand, the side peaks showed a well-defined dose response even 9 days after the irradiation. The side-peak is a useful mean to define the irradiation on fresh mangoes.

(Received May 13, 2009)

[†]Present Address: Food Technology Division, Institute of Food and Radiation Biology, Atomic Energy Research Establishment, Bangladesh Atomic Energy Commission
GPO Box No.-3787, Dhaka-1000, Bangladesh
