

ガンマ線照射による果実の貯蔵性向上に関する研究

——温州ミカンとモモの腐敗抑制効果と品質変化——

相 良 泰 行・森 嶋 博

Extending the Storage Life of Fruits by Gamma-ray Irradiation

——Pasteurizing Effect and Quality Change of Satsuma Mandarin and Peach during Storage——

Yasuyuki SAGARA, Hiroshi MORISHIMA

農業施設 第11巻 第2号 (通巻第21号) 別刷

昭和56年7月

Reprinted from

The Journal of The Society of Agricultural Structures, Japan

Vol. 11, No. 2 (No. 21) Jul, 1981

ガンマ線照射による果実の貯蔵性向上に関する研究

—温州ミカンとモモの腐敗抑制効果と品質変化—

相 良 泰 行*・森 嶋 博*

Extending the Storage Life of Fruits by Gamma-ray Irradiation

—Pasteurizing Effect and Quality Change of Satsuma Mandarin and Peach during Storage—

Yasuyuki SAGARA*, Hiroshi MORISHIMA*

I 緒 言

農産物の貯蔵に放射線を利用するための研究はこれまで数多く行なわれている。これらの研究は照射効果のうち特に代謝抑制などの生理的效果を利用して生長を制御することを目的としたものと、殺菌効果を利用して貯蔵中の腐敗を防止することを目的としたものに大別される¹⁾。前者にはジャガイモとタマネギの発芽抑制²⁻⁶⁾、バナナ、トマト、カキおよび洋ナシの追熟調整⁷⁾、マツタケの開傘抑制⁸⁾などの研究がある。特に我が国では1972年8月30日に、農産物では初めてジャガイモの放射線照射が許可され、実用化されている¹⁾。後者には温州ミカンの放射線保蔵⁹⁻¹²⁾、貯蔵用穀物の殺菌・殺虫に関する研究¹³⁾などが挙げられるが、果実の貯蔵に限れば対象とした果実の種類も研究例も数少なく、この方面の研究は端緒についたばかりという現状にある。

殺菌効果を果実の貯蔵に用いる場合の技術的難点の1つは放射線照射が果実表面の殺菌と同時に品質の変化をひき起すことにある。このため、表面殺菌に必要な最低線量、最適な線質、放射線の品質への影響、貯蔵・包装方式の選択および経済性・安全性に関する基礎的データの蓄積が必要である。

筆者らは放射線の持つ殺菌効果を利用して果実の貯蔵性を高めることを目的とし、温州ミカンとモモに γ 線を照射して室温貯蔵および冷蔵中における腐敗抑制効果と品質（外観・食味・重量・糖度および酸度）の変化を測定した。次にこれらの基礎的データを用いて γ 線照射と貯蔵方法が果実の品質に及ぼす影響について考察すると共に、実用化のための照射・貯蔵方法とその問題点を検

討して幾つかの知見が得られたので以下に報告する。

II 実 験 方 法

1. 供試材料および試験区

供試材料は愛媛県産の温州ミカンと群馬県榛名産のモモ（品種；倉方早生）である。これらの果実を選んだ理由は温州ミカンが我が国における生産・消費の面の代表的果実であり、研究例⁹⁻¹²⁾のある数少ない果実の1つでもあり、測定データの比較が可能であること、モモは腐敗や食味の点から貯蔵困難であり、また出荷調整のため貯蔵が最も望まれている果実の1つであることなどである。

試験区は γ 線照射の有無に関して照射区と無処理区に、貯蔵方法に関して室温区と冷蔵区に分け、これらを組合せて次に示す(A)~(D)の4区を設けた。ただし、冷蔵区の設定温度は3℃とし、無処理の場合は貯蔵方法のみを示した。

- (A) 室温区
- (B) 冷蔵区（3℃）
- (C) 照射室温区
- (D) 照射冷蔵区（3℃）

モモの場合は γ 線照射の灰星病に対する抑制効果を観察するために、すでに灰星病の発生している果実を選び無処理区と照射区に分け、いずれも冷蔵した。すなわち上記4区に加え(E)、(F)の2区を設けた。

- (E) 灰星病照射冷蔵区（3℃）
- (F) 灰星病冷蔵区（3℃）

2. 照射条件の設定

柑橘類の腐敗に関与する主要な原因菌には青カビ

* 東京大学農学部

(*Penicillium italicum*), 緑カビ (*Penicillium digitatum*) および *Alternaria citri* などが挙げられる。青カビや緑カビの発生抑制のために従来の研究で用いられてきた線量の範囲は 50~300krad^{9,12)}であるが、提唱された線量の最適値は研究者によって異なり一定の結論は得られていない。モモの場合は照射実験例が見当らず、灰星病、せん孔細菌病、黒星病および炭そ病などに関与する原因菌の放射線抵抗性は明らかにされていない。

このように、最適線量の決定には果実の表面殺菌に必要な最低線量と照射果実の貯蔵方法による品質変化の特性を検討する必要がある。そこで研究の第1段階として、多少品質は損なわれても、果実に照射効果が顕著に表われる大きな線量で照射した試料を用いて各種貯蔵実験を行い、照射効果と貯蔵方法の関係を明確に把握して有効な貯蔵方法を決めた後、次の段階として表面殺菌に必要な最低線量を検討するため貯蔵実験を行うことが能率的であると考えられる。当実験では第1段階の基礎的データを得るために、照射線量としては比較的大きな線量、すなわち上記研究例^{9,12)}に示された上限値 300 krad の γ 線を温州ミカンとモモに照射した。

3 照射方法

温州ミカンは総重量約 60kg を 4 等分して約 15kg とし、内径 40×30×35cm の段ボール箱 4 箱に収納し、各試験区の試料に供した。照射区 (C, D区) の試料は箱詰め状態で、日本原子力研究所高崎研究所食品照射開発試験室 (群馬県高崎市綿貫町1233) で照射を行った。線源は 10万キュリーの C_{60} で箱両面からの反転照射により、設定値の 300 krad となるように試料と線源間の距離および照射時間を調整した。

モモは各試験区当り 15~16 個 (平均重量約 5 kg) の試料を内径 44×26×9.6cm の出荷用段ボール箱に詰め各試験区の試料に供した。C~F 区の試料は箱詰め状態で温州ミカンと同様な方法で照射した。灰星病冷蔵区の試料はポリエチレン・フィルム袋 (大きさ 23.5×31.5 mm, 厚さ 0.01mm) で二重包装して密封し段ボール箱に入れた状態で照射後そのまま冷蔵した。果実の種類によっては、厚さ 0.3mm 以上のポリエチレン・フィルムで包装すると、貯蔵中に袋内部が CA の状態になることが知られている¹⁴⁾。当実験ではこの効果を避けるため厚さ 0.01mm のものを使用した。

4 貯蔵試験

温州ミカンは昭和54年2月28日、照射直後より貯蔵を開始し、4月16日に終了した。貯蔵期間は48日であった。貯蔵の実施場所は東京大学農学部農工学科内 (東京都

文京区弥生 1~1~1) である。室温区の試料は屋外に設置した断熱コンテナ内部に棚を設け、この上に試料を並べて無風状態で貯蔵した。この貯蔵期間における室温の変化は 10~18°C, 平均相対湿度は 57% であった。冷蔵区の試料は恒温槽 (タバイ製 PL-1 型) 内の棚上に並べて貯蔵した。設定温度 3°C に対する恒温槽内温度の変化は 3~4°C, 平均相対湿度は 86% であった。

モモは昭和54年8月1日照射直後より貯蔵を開始し、室温区 (A, C区) は 8 日間、その他の試験区は全て 28 日間で終了した。室温区の試料は段ボール箱詰め状態で実験室内に放置した。実験室内は空調しており、貯蔵期間の室温は 26~27°C, 平均相対湿度は 74% であった。冷蔵区の試料は上記実験室内に設置されたプレハブ型冷蔵庫内に室温区と同様に段ボール箱詰め状態で貯蔵した。貯蔵期間の冷蔵庫内温度の変化は設定値 3°C に対し 2~3°C, 平均相対湿度は 87% であった。腐敗果の除去や写真撮影時以外は段ボール箱のふたをガムテープでシールした。

5. 測定方法

温州ミカンの貯蔵中における腐敗と品質を評価するために、試料重量、腐敗果発生数、果汁の糖度と酸度を測定すると同時に外観と食味の変化を調べた。モモの場合は腐敗果発生数、外観および食味の変化を調べた。以下に温州ミカンの場合について各項目ごとにその測定法を述べる。

(1) 外観と食味の評価; 研究室メンバー 5 名をパネルとし、外観は各試験区に貯蔵中の全ての試料を観察し、食味は各試験区から任意に 3~4 個の試料を取出して試食し、それぞれ点数制による 5 段階評価を行った。各試験区の最終的評点はパネルの評点の平均値である。5 段階評価は照射前の外観と食味を 5 点とし、貯蔵中の外観が商品価値を消失したと判定された試験区、食味が不可食の状態と判定された試験区につき、それぞれ最低点の 1 点と評価した。外観の貯蔵中における変化を記録するために、同一照明条件下で写真撮影を行った。

(2) 重量; 各試験区から任意に 5 個の試料を選び、全貯蔵期間を通じて同一試料の重量変化を測定した。

(3) 累積腐敗果率と腐敗果発生率; 各試験区の初期個体全数に対する腐敗果の総数の割合を累積腐敗果率 (%) と定義した。また品質の測定時に腐敗果を除去した残りの個体数に対する腐敗果発生数の割合、すなわち貯蔵期間毎の腐敗果発生数の変化を示す指標として腐敗果発生率 (%) を定義した。

(4) 糖度・酸度; 各試験区につき果汁採取用の試料を

25~30個準備し、この中から3~5個の試料を任意に選び糖度・酸度の測定に供した。果汁はこれらの個体から集めた果肉をガーゼで搾汁し、全量を約150ccとした。この果汁の糖度は手持屈折計(アタゴ製N1型, N10型)で測定し、同時に同一果汁2ccの酸度を、0.2Nの苛性ソーダをアルカリ液、1%フェノールフタレインアルコール溶液を指示薬として酸度計(アタゴ社製FS-1型)で滴定した。糖度・酸度共に1試験区につき3回の測定を行いこれらの平均値を求めた。

III 実験結果および考察

1. 温州ミカン

(1) 外観と食味の変化; 表1に各試験区の外観と食味の5点評価による経時変化を示す。照射直後(貯蔵日数0)の試料の外観は無処理のものと同じであったが、わずかながら果皮の軟化が認められた。また、食味はビタミンB臭に似た異臭が強く食用に耐えられない味を呈した。貯蔵日数4日になると照射区(C, D区)の果皮に褐色の斑点が生じ、その程度はC区がD区より強く、貯蔵方式による差が現れた。C区は貯蔵日数10日で果皮の褐色斑点が黒色に変化し、外観・食味共に商品価値が失なわれたものと評価された。D区も貯蔵日数17日以後は同様の傾向を示したが、41日以後になると食味の異臭が消失しB区と同様の食味を呈した。この味の回復現象は渡辺⁹⁾も報告しており、照射直後のoff-flavorが貯蔵中に消失していくためと考えられているが¹²⁾、この現象の化学的・生理的メカニズムは不明である。

貯蔵日数41日以後はA~C区で食味にアルコール臭が現れたが、D区のみは認められず、酸味もB区と同程度

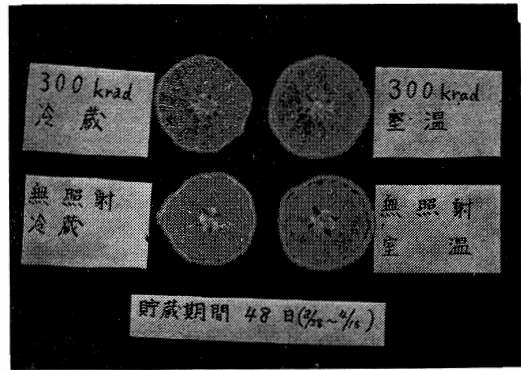


写真1 温州ミカンの貯蔵終了時(48日)における果肉の比較(A~D区)

に保持された。

写真1に貯蔵日数48日における果肉の状態を示した。照射区(C, D区)の果肉色は無処理区(A, B区)に比べて若干濃い色を示した。浮き皮の度合はD区が最も小さい傾向を示した。このように、食味や浮き皮の点でD区はB区に比べて有利であると考えられたが、外観は劣る傾向を示した。これは照射線量が過大であったためと考えられ、今後外観を損なわない最適線量を決める必要があると思われた。また、若干外観は損なわれても、以下に述べる腐敗抑制効果、重量損失の点からD区は他区に比べて有利であり、照射冷蔵法は加工用温州ミカンの長期貯蔵に適用の可能性があると考えられた。

(2) 重量変化; 図1に重量残存率の経時変化を示した。重量の減少速度は貯蔵方式によって異なり、冷蔵区のほうが室温区より速い傾向を示した。これは室温区は無風状態であったのに対し、冷蔵区は恒温槽内空気が強制的に循環しているためと考えられた。冷蔵区に限れば照射区の重量残存率は無処理区より減少速度が小さく、長期貯蔵を行う場合には有利であると思われる。これは写真1に見られるように、照射直後軟化した果皮が冷蔵中に果肉に密着・硬化し、予措と同様の効果が現れたためと考えられる。

(3) 腐敗の抑制効果; 図2に貯蔵中における累積腐敗果率と腐敗果発生率の経時変化を示した。D区では全貯蔵期間を通じて腐敗果率は1個も発生せず、γ線照射の腐敗抑制効果が顕著に示された。C区の累積腐敗果率はB区より大きくA区より小さくなり、腐敗の抑制には照射と共に冷蔵が必要であると判断された。腐敗果発生率の経時変化より貯蔵期間の影響および貯蔵方式による差を明確に判別することは困難であった。以上の結果より貯

表1 貯蔵中における温州ミカンの外観と食味の変化(5点評価)

貯蔵日数	試験区		照射(300krad)					
	無処理		(C)室温		(D)冷蔵			
	(A)室温	(B)冷蔵	外観	食味	外観	食味		
0	5	5	5	5	4	1	4	1
4	5	5	5	5	2	1	2	1
10	4	3	5	4	1	1	2	1
17	3	2	4	4	1	1	1	1
24	2	1	4	4	1	1	1	1
41	1	1	3	3	1	1	1	2
48	1	1	3	2	1	1	1	2

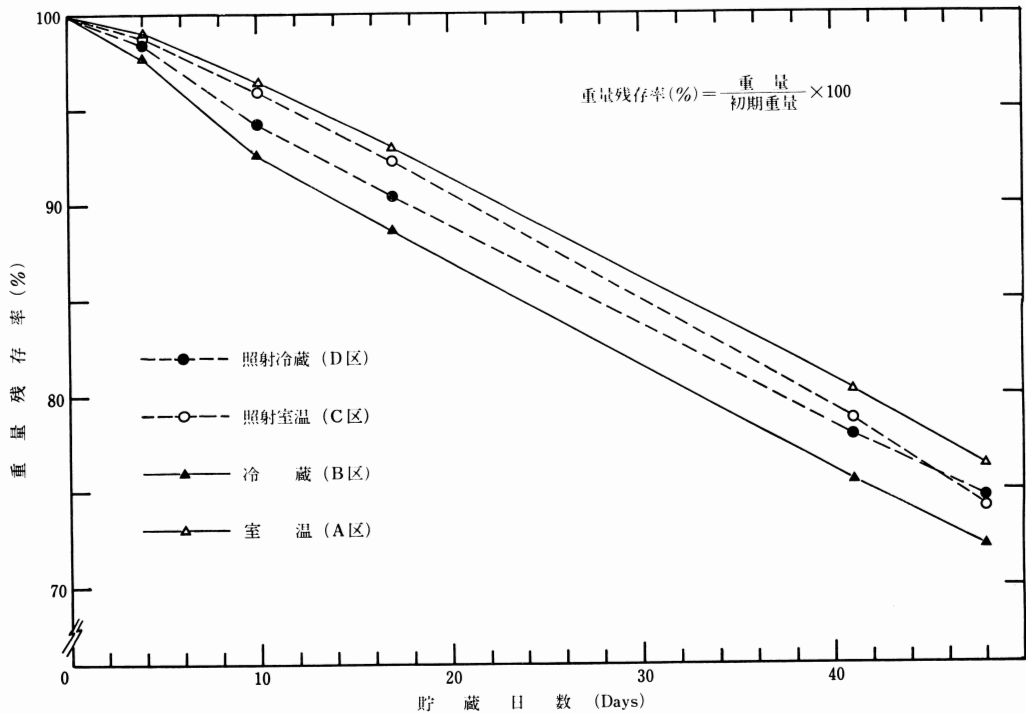


図1 温州ミカンの貯蔵中における重量残存率の変化

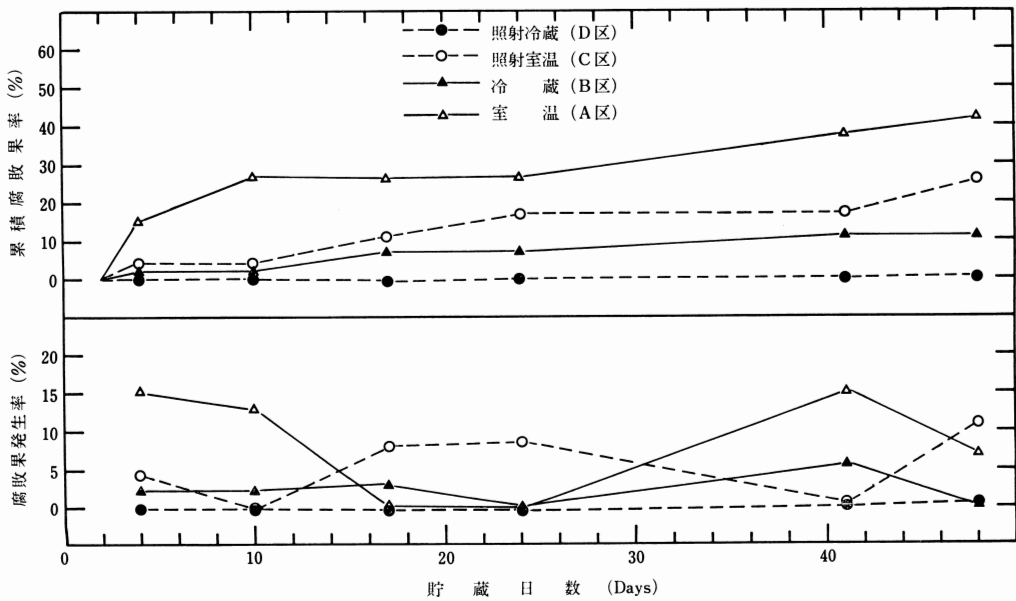


図2 温州ミカンの貯蔵中における腐敗果の発生率変化

蔵中の腐敗抑制には照射冷蔵方式が最も有効であることが明らかになった。

(4) 糖度・酸度；図3に貯蔵中における果汁の糖度と酸度の変化を示す。糖度は貯蔵方式によって影響を受け

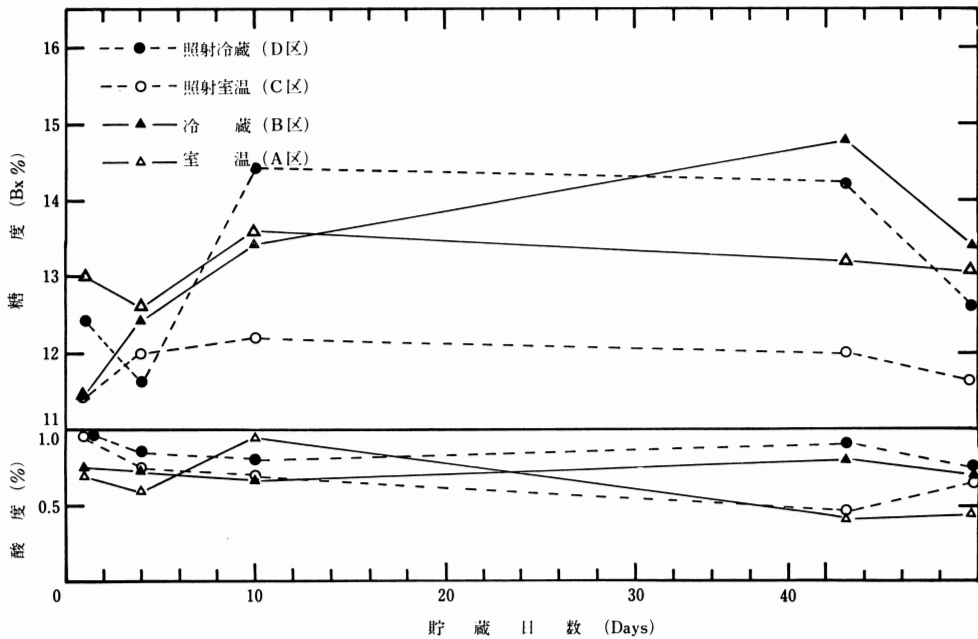


図3 温州ミカンの貯蔵中における糖度・酸度の変化



(F) 灰星病冷蔵区(3℃) (E) 灰星病照射冷蔵区(3℃)
写真2 モモの灰星病に対する線照射の抑制効果 (E, F区の外観の比較)

冷蔵区が室温区より大きくなる傾向を示した。照射直後の試料の糖度は無処理のものより若干低く、その後D区は急激に増加しB区と同様の値を示すが、C区は他区より低い値を維持した。酸度の変化から照射の影響を判別する事はできなかった。このように、γ線照射が果汁の酸度・糖度に及ぼす影響は小さいことが分った。

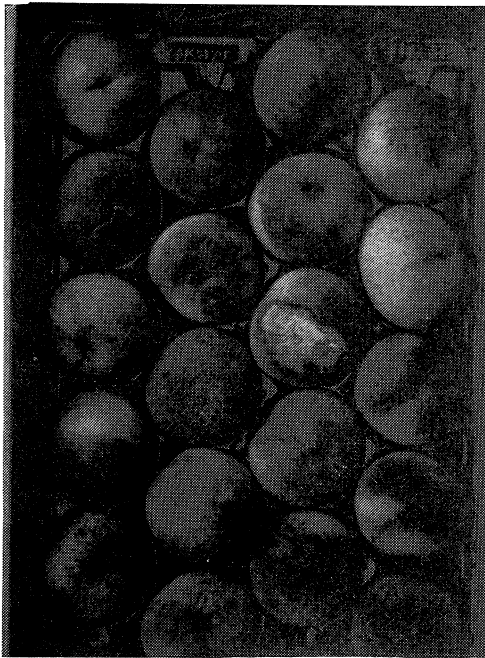
2. モモ

(1) 灰星病の抑制効果；写真2に貯蔵日数5日にお

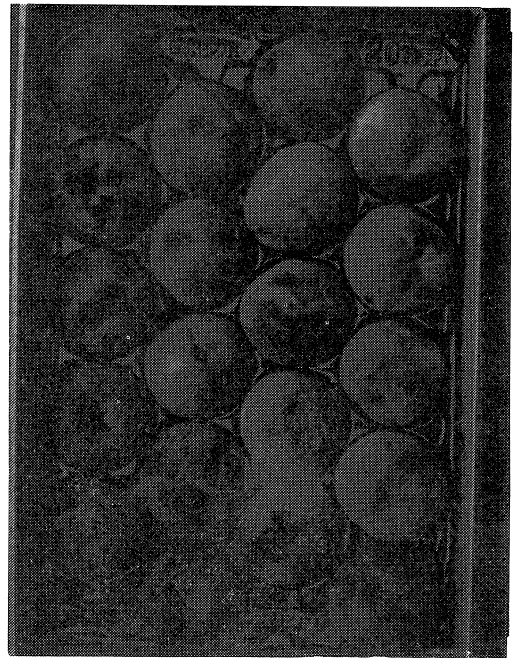
けるE, F区の外観の比較を示す。照射した試料の灰星病は冷蔵初期とほとんど変化せず、灰星病はほぼ完全に抑制された。これに対し、無処理の試料では表皮と果肉に対して灰星病が進展して腐敗・軟化し、不可食状態になった。

(2) 腐敗の抑制効果と食味の変化；写真3の(A)~(D)に貯蔵日数8日における各試験区の外観と腐敗の発生状態を示した。室温貯蔵(A, C区)の場合は照射の腐敗抑制効果は現れず、両区共に腐敗が進行し、その度合はむしろC区のほうが速い傾向にあった。これは照射直後の試料の果皮と果肉は若干軟化する傾向にあることから、腐敗に対する抵抗性が弱くなったためと考えられた。

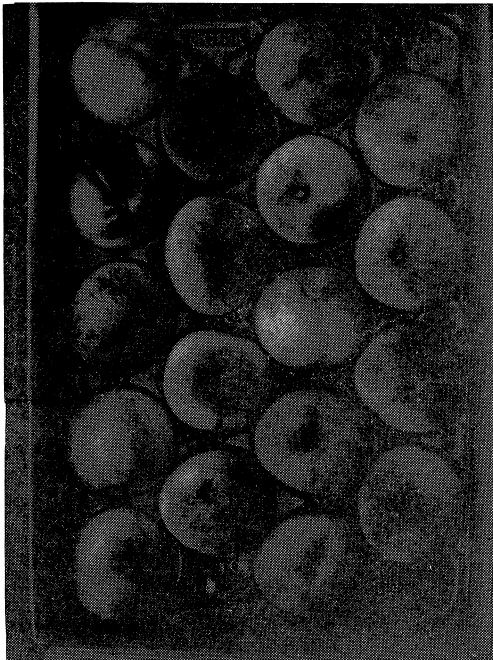
冷蔵(B, D区)の場合、D区では腐敗果は発生せず照射冷蔵の腐敗抑制効果が認められた。しかし、B区と比較して果皮全体の色の赤味が濃くなり、果肉の軟化が観られると共に食味の甘味が増して、いわゆる「追熟」が進行した状態を示した。B区では腐敗果の発生が観られたが、腐敗の進行は室温貯蔵(A, C区)に比べて遅く、写真3の(B)に観られるように1個体内の腐敗に留まり、他の個体に進展する傾向は観られなかった。この傾向は低温貯蔵による腐敗抑制効果を示しているものと考えられた。B区の食味は腐敗果を除き、ほぼ貯蔵以前の状態に維持された。



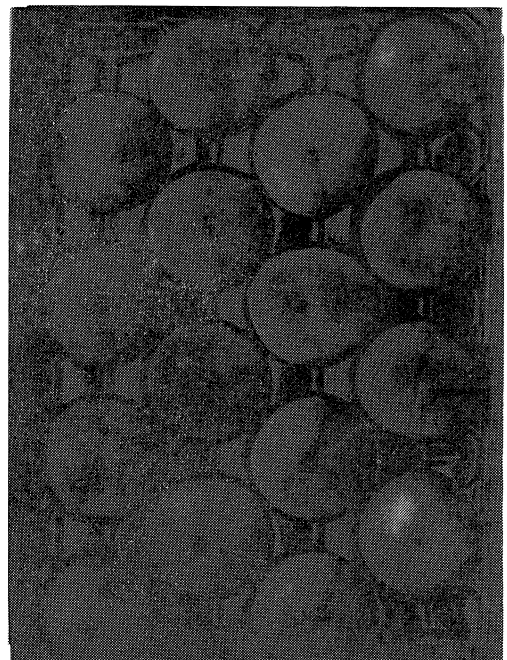
(A) 室温区 (26~27°C)



(C) 照射室温区 (26~27°C)



(B) 冷蔵区 (3°C)

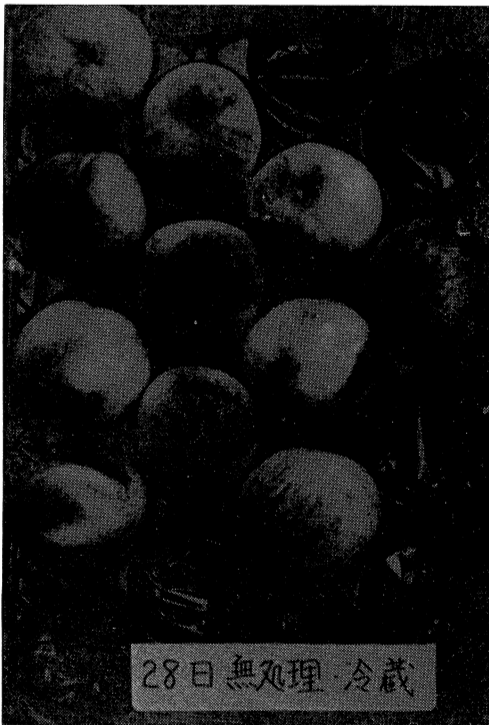


(D) 照射冷蔵区 (3°C)

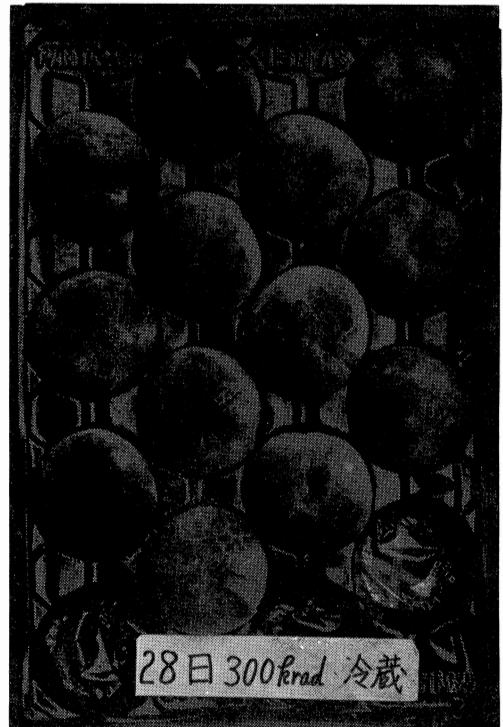
写真3 モモの外観と腐敗の発生状況 (貯蔵日数8日)

A, C区は共に腐敗が著しいため、貯蔵日数8日で貯蔵試験を終了した。B, D区は腐敗の抑制効果と貯蔵期

間の限界を知るために継続して冷蔵した。B区は全数18個のうち腐敗果4個と食味試験用試料2個を除去し、残



(B) 冷蔵区 (3°C)



(D) 照射冷蔵区 (3°C)

写真4 モモの外観の比較 (貯蔵日数28日)

りの12個を、D区は全数16個のうち食味試験用試料3個を除去し、残りの13個を貯蔵用試料に供した。

写真4の(B)、(D)に貯蔵日数28日における冷蔵区と照射冷蔵区の外観を示した。ただし、B区では腐敗果が1個発生したため、これを除去してある。D区では腐敗果が発生せず全貯蔵期間を通じて腐敗が完全に抑制された。しかし、果皮の色は全体的に暗赤色を呈し、網状のヒビ割れを生じた。果肉は軟化・褐変し食味もモモ本来の風味が失なわれる傾向にあった。B区の試料の外観は果皮の赤味が増した他は貯蔵以前の状態に保たれたが、食味は風味が失なわれ、味が淡白となった。したがって、両区共に食味の点で商品価値が失なわれたものと判断された。一般にモモは貯蔵困難な果物の代表的果実であるが、 γ 線照射と冷蔵方式の組合せにより少なくとも1週間程度は腐敗を防止し、商品価値を維持できることが解った。

IV 要 約

放射線照射を利用して果物の貯蔵性を高めることを目的とし、温州ミカンとモモに 300 krad の γ 線を照射して室温貯蔵および冷蔵中における腐敗抑制効果と品質

(外観・食味・重量・糖度・酸度)の変化を測定した。以下にその結果を要約する。

1. γ 線照射と冷蔵を組合せて用いることにより、温州ミカンとモモの貯蔵中における腐敗を防止できることが確認された。
2. γ 線照射が温州ミカンの重量変化、糖度・酸度に及ぼす影響はほとんど検知されなかったが、果皮に褐変、食味に異臭を生じた。しかし40日以上冷蔵するとこの異臭が消失し、食味の回復現象が生じることから、加工用温州ミカンの長期貯蔵に γ 線を適用することは有望であると考えられた。
3. γ 線照射と冷蔵によりモモの品質を1週間程度維持でき灰星病の抑制に有効であることが認められた。
4. 当実験では γ 線の品質に及ぼす影響を検討するため、果実の表面殺菌に必要な線量より過大な線量を用いたため、外観と食味に照射の影響が現れたが、品質を損なわず、腐敗を抑制できる線量と線質を今後検討する必要がある。

本研究の遂行には日本原子力研究所高崎研究所の渡辺宏、伊藤均、佐藤友太郎の各氏に照射の便宜と助言をい

ただいた。ここに記して謝意を表する。なお本研究は昭和53・54年度文部省科学研究費の助成を受けて行ったものである。

(原稿受理 昭和55年7月6日)

参考文献

- 1) 佐藤友太郎：放射線によるジャガイモの発芽防止，日本食品工業学会誌20(1)，26～33 (1973)
- 2) 緒方邦安，辰巳保夫，茶珍和雄：放射線照射ジャガイモのかわり変現象に関する研究 (第1報)，日本食品工業学会誌17，(7)，298～302 (1970)
- 3) 辰巳保夫，茶珍和雄，松塚正道，緒方邦安：同上 (第3報)，日本食品工業学会誌20，(4)，132～136 (1973)
- 4) 高野博幸，鈴木忠直，梅田圭司：放射線による馬鈴薯の発芽抑制 (第5報)，日本食品工業学会誌21，(10) 483～489 (1974)
- 5) 茶珍和雄，緒方邦安： γ 線照射によるタマネギの発芽抑制に対する照射時期ならびに貯蔵温度の影響，日本食品工業学会誌18，(8)，378～382 (1971)
- 6) 高野博幸，青木章平，梅田圭司，佐藤友太郎：放射線によるタマネギの発芽抑制 (第4報)，日本食品工業学会誌，21，(6)，273～279 (1974)
- 7) 緒方邦安，山中博之，加藤勝一，茶珍和雄：放射線照射による果実の熟度調整効果に関する研究 (第4報)，日本食品工業学会誌，16，(9)，391～396(1969)
- 8) 青木章平，渡辺宏，佐藤友太郎： γ 線照射によるマツタケの開傘抑制，日本食品工業学会誌，21，(6)，290～292 (1974)
- 9) 渡辺宏，青木章平，佐藤友太郎：温州ミカンの放射線保蔵に関する研究 (第1報)，日本食品工業学会誌23，(7)，300～305 (1976)
- 10) 渡辺宏，橘宏行，青木章平，佐藤友太郎：同上 (第2報)，日本食品工業学会誌，24，(1)，31～36(1977)
- 11) 渡辺宏，青木章平，佐藤友太郎：同上 (第3報)，日本食品工業学会誌，24，(2)，59～64 (1977)
- 12) 梅田圭司，川嶋浩二，佐藤友太郎，伊庭慶昭，西浦昌男：電子線によるミカンの表面殺菌 (第1報)，日本食品工業学会誌，16，(9)，397～404 (1969)
- 13) 高野博幸，梅田圭司：貯蔵害虫の放射線殺虫 (第3報) 日本食品工業学会誌，21，(6)，267～272(1974)
- 14) 佐藤公一，森英男，松井修，北島博，千葉勉：果樹園芸大事典，養賢堂，319 (1974)

Summary

To investigate the applicability of a gamma-ray irradiation for extending the storage life of fruits, measurements of pasteurizing effect, peel appearance, flesh flavor and taste, weight loss, sugar content and total acidity have been made on Satsuma mandarin and peach (Kurakata Wase) irradiated with the dose 300 krad of gamma-ray during the room- and low temperature storage.

It was confirmed that irradiation and low temperature storage combination was a very useful method to prevent Satsuma mandarin and peach from decay during the post-irradiation storage.

No marked influences of gamma-ray irradiation on the patterns of weight loss, sugar content and total acidity of Satsuma mandarin were detected, except that off-flavor in flesh of fruits and the browning of peel were appeared during storage. However, off-flavor had a tendency to disappear after 40 day's storage at temperature 3-5°C, therefore, the gamma-ray irradiation might be applied to the long term storage of Satsuma mandarin for processing.

The appearance and taste of peach irradiated were maintained for about one week, and the brown rot growth of fruits was markedly suppressed using the gamma-ray irradiation and the low temperature storage.