

カキ果実の成熟に及ぼすジャスモン酸とサリチル酸処理の影響

高橋郁夫^{1a}・永田雅靖²・名田和義¹・平塚 伸^{1*}¹ 三重大学大学院生物資源学研究科 514-8507 三重県津市栗真町屋町² 農業・食品産業技術総合研究機構野菜茶業研究所 514-2392 三重県津市安濃町

Effect of Jasmonate and Salicylic Acid Treatments on Fruit Maturation in Japanese Persimmon

Ikuo Takahashi^{1a}, Masayasu Nagata², Kazuyoshi Nada¹ and Shin Hiratsuka^{1*}¹ Graduate School of Bioresources, Mie University, Kurimamachiya, Tsu, Mie 514-8507² National Institute of Vegetable and Tea Science, Ano, Tsu, Mie 514-2392

Abstract

Jasmonic acid (JA) is widely distributed in higher plants and its derivatives are considered novel plant hormones, while salicylic acid (SA) regulates various physiological responses including fruit ripening through the production of reactive oxygen species and ethylene in some plant species. To elucidate the involvement of JA and SA in the maturation of persimmon fruit (*Diospyros kaki* Thunb. cv. Fuyu), the effects of methyl jasmonate (MeJA), SA, ethrel and hydrogen peroxide (H₂O₂) on fruit maturation were evaluated in this study. H₂O₂ most strongly enhanced coloration as determined by “color chart”, followed in order by MeJA and SA, whereas ethrel did not show any effect on color promotion. H₂O₂, MeJA and SA also increased lycopene and decreased chlorophyll concentration in the skin at harvest. Severe fruit drop was caused by both H₂O₂ and ethrel treatments, but there was almost no effect of MeJA treatment at 500 ppm. MeJA at 500 ppm did not soften the fruit flesh at all, although H₂O₂ and ethrel softened the fruit significantly. Persimmon fruit treated with MeJA emitted about 10 times more ethylene than the control, and SA treatment hastened the ethylene emission peak about 6 days compared to the control. Thus, JA and SA appear to be involved in maturation of persimmon fruit, possibly through the production of endogenous ethylene and reactive oxygen species. MeJA is a promising chemical for enhancing coloration of persimmon fruit.

Key Words : *Diospyros kaki*, ethylene, reactive oxygen species

キーワード : エチレン, 活性酸素種

緒 言

多価不飽和脂肪酸の類似化合物として発見されたジャスモン酸 (JA) やジャスモン酸メチルエステル (MeJA) 等の JA 類は, 植物界に広く分布する新規の植物ホルモンとして注目されており, 果実の発育, 成熟や植物の病害抵抗性などに関与すると考えられている (Creelman・Mullet, 1997). 緑熟期のトマト (Saniewski ら, 1987) やリンゴ (Fan・Mattheis, 1999) への MeJA 処理は, エチレン生成や着色を促進し, また, 果実発育中の内生 JA および MeJA 濃度の変化と果実の発育や成熟との関係がクライマクテリック型果実であるトマトやリンゴ (Fan ら, 1998), および, 非クライマクテリック型のブドウ (Kondo・Fukuda, 2001) など示されている. 一方, サリチル酸 (SA) はフェノール化合物の一種で, 植物において種子発芽や花成誘導, 病害抵

抗性など種々の生理的機能との関係が示されている (Raskin, 1992). また, SA は ACC 酸化酵素活性を抑制してエチレン生成を阻害する (Raskin, 1992). キウイフルーツへの SA 処理はエチレン生成を抑制して収穫後の成熟を抑制し (Zhang ら, 2003), トマトへの SA メチル処理は果皮の着色を遅延させた (Ding・Wang, 2003). 病害応答では, SA はカタラーゼと結合してその活性を抑制し, 細胞内の過酸化水素 (H₂O₂) 濃度を上昇することによりシグナル伝達が行なわれる (Durner・Klessig, 1996). また, 果実の成熟に伴う果色の変化, 軟化などは植物の老化の一種と考えられ, H₂O₂ を代表とする活性酸素種の関与が指摘されている (Del Rio ら, 1998).

カキ果実では, 成熟に伴って着色の進行, 糖度の上昇および急激な果肉硬度の低下などが生じ, 成熟にはエチレンが重要な働きを果たすことが明らかにされており (板村ら, 1991; 高田, 1982), エスレル (2-クロロエチルホスホン酸) はエチレン発生剤としてカキ果実の着色や熟期促進に用いられている. 近年, 李・前澤 (2004) は, 貯蔵中の ‘富有’ 果実における軟化と抗酸化レベルについて検討し, 軟化に

2007年5月24日 受付. 2007年10月11日 受理.

* Corresponding author. E-mail: hiratsuka@bio.mie-u.ac.jp

^a 現在: 奈良先端科学技術大学院大学

は抗酸化機能が関与することを示した。しかし、エチレンに敏感で末期上昇型のクライマクテリックライズを示すカキ果実の成熟に及ぼす SA の報告はなく、また、JA 類については n-プロピルジヒドロジャスモン酸 (PDJ) の影響を調査した Gemma ら (1997) の報告のみである。彼らは、10 月上中旬の PDJ 処理が果実の成熟を促進し、これには果肉の ABA 濃度低下が伴うことを認めたが、処理と内生エチレンの関係は不明である。

そこで本実験では、樹上の‘富有’果実に MeJA, SA, H₂O₂ およびエスレルを処理して果実の成熟に及ぼす影響を調査するとともに、MeJA と SA 処理後の果実からのエチレン放出量を測定し、カキ果実におけるこれらの物質と成熟との関係を考察した。

材料および方法

1. 樹上果実の成熟に及ぼす各種薬剤処理の影響

1) 植物材料と薬剤処理

三重大学実験圃場栽植の成木‘富有’3 樹を用いた。実験開始時の果実サイズは横径 74.5 ± 3.1 mm, 縦径 55.6 ± 2.6 mm (平均値 ± 標準偏差) であった。果実はさまざまな位置に着果しているものを無作為に用い、処理区間で着生位置に偏りがないよう配慮し、2005 年 10 月 30 日に以下の処理を行った。処理薬剤として 340 ppm の H₂O₂ (H₂O₂ 区), 500 と 1000 ppm の MeJA (MeJA 区) および SA (SA 区), 500 ppm のエスレル (エスレル区) を用い、対照区には脱イオン水処理区 (H₂O 区) と無処理区を設定した。薬剤濃度は、これまでに報告された実験結果、すなわちズッキーニカボチャへの 200 ppm MeJA 処理 (Wang・Buta, 1994) やトマト果実への約 70 ppm メチル SA 処理 (Ding・Wang, 2003) を参考にし、明確な反応を得る目的でこれらより高めに設定した。また、確実に果実内に薬剤を浸透させる目的で、1 mL の注射器を用いて 0.1 mL の各溶液を果実とへたの接合部に注入した。なお、それぞれの処理区には 10 果を供試した。

2) 落果率調査

処理後から実験終了時の 11 月 29 日まで、3 日毎に落果した果実数を記録した。なお、それぞれの処理区には 10 果を供試した。

3) 着色、色素含量および果肉硬度の測定

果皮色の測定には、農林水産省果樹試験場 (現 農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所) 作成の“カラーチャート・カキ”を用い、処理後 3 日ごとに果実赤道部の果皮色調査を行った。また、実験終了時 (11 月 29 日) に全ての果実をサンプリングし、果頂部と赤道部から厚さ約 2 mm の果皮を調製し、永田・山下 (1992) の方法に従ってクロロフィルとカロテノイド色素含量を測定した。果肉硬度は、実験終了時に各処理区で 5 果を任意に選んで測定した。ただし、落果によって 5 果に満たなかった H₂O₂ 区とエスレル区は、それぞれ 2 および 3 果を用いた。赤道面

の果皮をはく皮し、果実硬度計 (基部径 12 mm, 高さ 10 mm の円錐型プランジャー使用; KM 社, 東京) を用いて 1 果あたり 3 箇所について測定し、それらの平均値を果肉硬度とした。

2. 果実からのエチレン放出量の測定

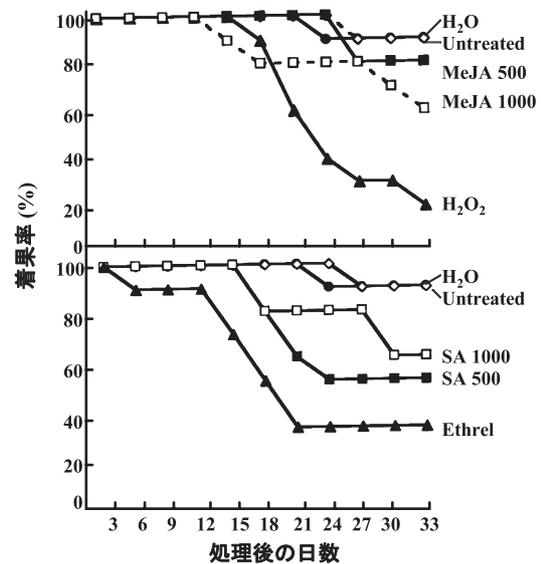
果実から放出されるエチレンを経日的に測定するために、11 月 8 日に果実を採取し、へた部を 20 と 100 ppm の MeJA および 69 と 138 ppm の SA 溶液に 12 時間浸漬処理した。薬剤濃度は、Fan ら (1998) の試験を参考とした。処理後 23°C, 相対湿度 90% のチャンバー内で維持し、エチレン測定前に果実をデシケータ内に密閉して 1 時間放置した。その後、1 mL のヘッドスペースガスを採取し、活性アルミナカラムと水素炎イオン化検出器を備えたガスクロマトグラフで分析した。なお、実験には 6 果を供試して 2 果づつをセットで用い、3 反復の測定とした。

結 果

1. 樹上果実の成熟に及ぼす各種薬剤処理の影響

1) 落果率

処理後の着果率の経日的変化を第 1 図に示した。H₂O 区と無処理区での落果率は、処理後 27 と 24 日目にそれぞれ 10% ずつであり、試験期間を通じて落果がほとんど認められなかった。これに対して H₂O₂ 区では、18 日目以降急速に落果が生じ、実験終了時には 20% が結実していたのみであった。MeJA 処理では、1000 ppm 区で 15 と 18 日目にそれぞれ 10% ずつが、さらに 30 と 33 日目にそれぞれ 10% の落果が確認された。500 ppm 区では、処理後 27 日目に 20



第 1 図 ジャスモン酸メチル (MeJA) およびサリチル酸 (SA) 処理がカキ果実の落果に及ぼす影響
H₂O₂ = 340 ppm 過酸化水素水, MeJA1000 = 1000 ppm MeJA, MeJA500 = 500 ppm MeJA, H₂O = 脱イオン水, Untreated = 無処理, SA1000 = 1000 ppm サリチル酸, SA500 = 500 ppm サリチル酸, Ethrel = 500 ppm エスレル

%が落果したのみであった。SA 処理では、1000 ppm 区で 18 日目に 20%が落果し、その後 30 日目に 20%の落果が確認され、500 ppm 区では 24 日目までに 40%が落果した。一方、エスレル区では 12 日目以降急激に落果が進み、21 日目には 60%が落果した。このように、今回処理した薬剤は全てが落果を促進し、その程度は H_2O_2 > エスレル > SA 500 ppm > SA 1000 ppm \cong MeJA 1000 ppm > MeJA 500 ppm の順であった。

2) 着色

各薬剤処理後のカラーチャート値（以下 CC 値）の変化を第 2 図に示した。最も着色を促進した薬剤は H_2O_2 であり、処理後 2 週間前後には MeJA 1000 ppm 区と同程度の着色であったが、その後 CC 値が 7 前後に達してから急速に着色が進み、実験終了時には CC 値は 9.3 となって果皮は赤色を呈した。なお、実験終了時の H_2O 区の CC 値は 7.5 であった。次に着色を促進したのは MeJA 処理であった。特に、1000 ppm 区では、処理後著しく着色が進行し、実験終了時には CC 値が 8.7 になった。また、500 ppm 区では 3 週間目頃から急激に着色が進行し、実験終了時の CC 値は 8.2 となった。一方、SA 処理の着色促進効果はわずかであった。SA 1000 ppm 区の CC 値は、実験開始初期から対照区を上回って終了時には 7.8 になった。500 ppm 区では処理後 4 週間目頃から次第に着色が進み、実験終了時には 1000 ppm 区と同程度の CC 値に達した。なお、エスレル処理では対照区との差が見られなかった。

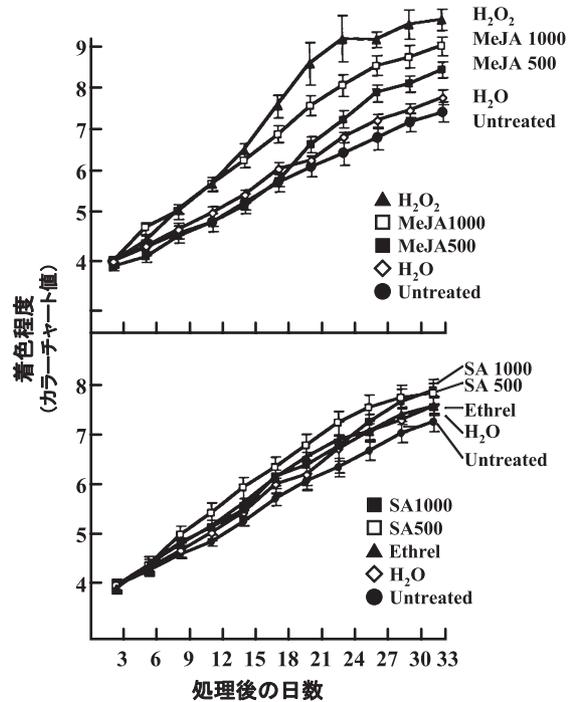
実験終了時の果皮中クロロフィル含量を第 3 図に、また、カロテノイド含量を第 4 図に示した。クロロフィル含量は、CC 値が低かった対照区とエスレル区で高く、これらの処理が果実の成熟を促進しなかったことを示した。なお、MeJA や SA によるクロロフィル分解は、クロロフィル b よりも a において多かった。リコピンは、CC 値が高い MeJA や SA 処理果に多く含まれていたが、最も CC 値が高かった H_2O_2 処理果では MeJA および SA 処理果に比べてかなり低い含量であり、 H_2O およびエスレル処理果では更に低かった。逆に、 β -カロテン含量は MeJA や SA 処理果では低く、 H_2O およびエスレル処理果で高かった。

3) 果肉硬度

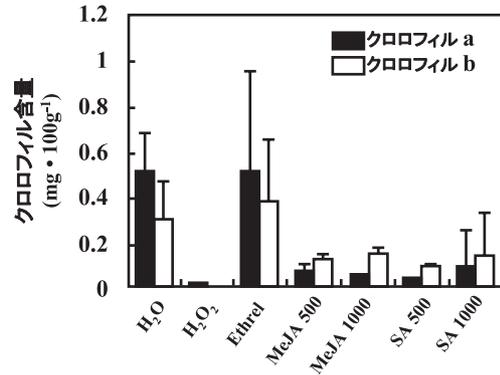
実験終了時の 11 月 29 日における各処理区の果肉硬度を第 5 図に示した。 H_2O_2 区では、他の処理区と比較して、実験開始時の果肉硬度が著しく低下した。エスレル区でも、対照区と比較して有意に果肉硬度が低下した。また、MeJA 1000 ppm および SA 500 ppm 区でも、有意ではないものの、果肉硬度が低下する傾向であった。その他の処理区では、対照区と有意な差はなかった。

2. MeJA および SA 処理後のエチレン生成

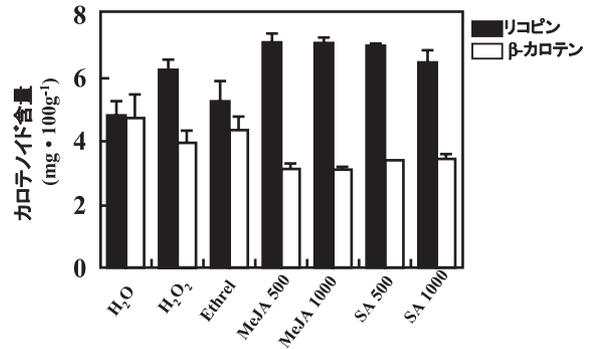
MeJA および SA 処理果からのエチレン生成量の経日的变化を第 6 図に示した。MeJA 区では処理後 6 日目にエチレン生成のピークを示し、その発生量は 100 ppm 区では対照区の約 10 倍、20 ppm 区では約 6 倍であった。その後生成



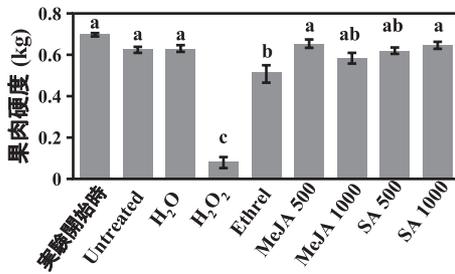
第 2 図 ジャスモン酸メチル (MeJA) およびサリチル酸 (SA) 処理がカキ果実の着色に及ぼす影響 図中の縦線は SE (n = 2 ~ 10) を示す



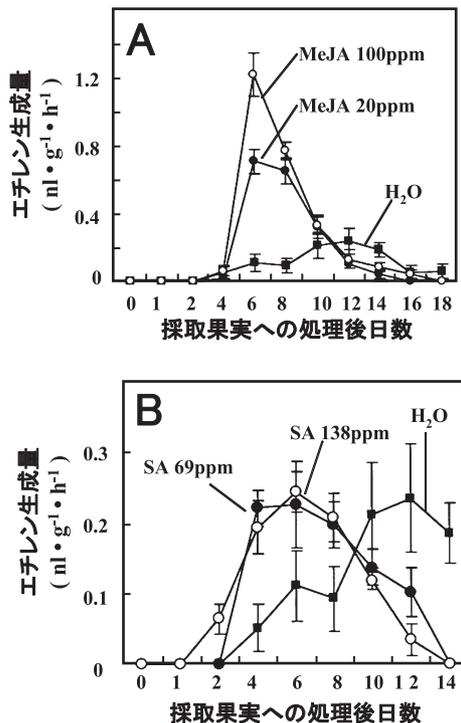
第 3 図 ジャスモン酸メチル (MeJA) およびサリチル酸 (SA) 処理がカキ果皮のクロロフィル含量に及ぼす影響 図中の縦線は SE (n = 2 ~ 5) を示す



第 4 図 ジャスモン酸メチル (MeJA) およびサリチル酸 (SA) 処理がカキ果皮のカロテノイド含量に及ぼす影響 図中の縦線は SE (n = 2 ~ 5) を示す



第5図 ジャスモン酸メチル (MeJA) およびサリチル酸 (SA) 処理が収穫期のカキ果肉硬度に及ぼす影響
図中の縦線は SE ($n=2\sim5$) を示す
Tukey-Kramer の多重検定により、異なるアルファベット間では 5% レベルの有意差あり



第6図 ジャスモン酸メチル (MeJA) (A) およびサリチル酸 (SA) (B) 処理がカキ果実からのエチレン放出に及ぼす影響
図中の縦線は SE ($n=3$) を示す

量は徐々に低下し、10日後には対照区とほぼ同じ値となった。SA 処理では MeJA ほど急激なエチレン生成のピークは認められなかったが、エチレンの生成開始が早まった。SA 138 ppm 区では処理後2日目から、SA 69 ppm 区では4日目から対照区より明らかに多量のエチレンが観察され、4日目の値は対照区の約5倍となった。

考 察

生育後期のカキ果実に対し、植物のエチレン生成や活性酸素代謝に関与する各種の生理活性物質を処理した結果、すべての処理区で落果率の促進や果肉硬度の低下、または

着色促進のいずれかの影響が認められ、成熟を抑制する物質はなかった。

エスレル処理は、着果率および果肉硬度を著しく低下させた。これは、果実のエチレン発生量を増加させると落果が生じること (寿松木ら, 1988), エスレル処理により果実の軟化が促進されること (松村, 1992) など、これまでの研究報告とほぼ同じ結果となった。しかし、果実に対する着色促進効果は得られなかった。松村 (1992) によると、比較的気温が高い10月上旬のエスレル処理では着色と軟化が促進されるのに対し、気温が低くなる11月中旬の処理では両者とも促進されなかったとしている。このことから、本実験で着色が進まなかったのは処理時期が遅かったことが原因かもしれない。一方、甘ガキに対するエスレルの適正な処理濃度は、軟化を誘発しない20–30 ppm とされているが (松村, 1992), 本実験では明確な成熟促進効果を得ることを目的として、500 ppm 溶液を用いた。従って、処理濃度が高すぎたために着色が阻害された可能性もある。

MeJA 処理により CC 値が上昇してリコピン含量が増加したことから、MeJA は樹上のカキ果実においても着色促進効果があることが示された。この結果は、10月上旬に PDJ 処理した‘富有’果実の着色が促進されたとする Gemma ら (1997) の報告と一致した。収穫後のトマト (Saniewski ら, 1987) やリンゴ (Perez ら, 1993) などでは、MeJA 処理によりクロロフィルの減少とカロテノイドやアントシアニンの増加が報告されているが、本実験からこの薬剤はカキ果実のリコピン蓄積も促進することが明らかとなった。落果に関して、Hartmond ら (2000) はオレンジ果実への MeJA 処理が落果を促進することを報告しているが、本実験においても 1000 ppm 区で 30% の落果が確認され、カキ果実に対しても落果誘発作用のあることが示された。JA 類は処理によりエチレン誘発することが数種の植物で知られており (Fan ら, 1998), 本実験でも MeJA 処理により多量のエチレンが検出されたことから、JA が誘発したエチレンによって離層形成が促進されたものと考えられた。果肉硬度は、1000 ppm 区で若干の低下傾向のみで、ほとんど影響は認められなかった。果実の軟化は成熟に伴って進行するが、これは主に、細胞壁中のペクチン主鎖であるガラクトン酸ポリマーを分解するポリガラクトナーゼ (PG) などの酵素の作用によって生じる。Saniewski ら (1987) は、緑熟期のトマトへの MeJA 処理は着色を促進したが、PG 活性は抑制したと報告しており、カキ果実でも PG 活性への影響は小さいのかもしれない。また、Gemma ら (1997) も、10月中旬の PDJ 250 ppm 処理は‘富有’果実の着色を促進したが、果肉硬度に変化はなかったとしている。このように、MeJA はカキ果実の着色や落果を促すものの、500 ppm 以下では落果や硬度への影響は小さく、適切な濃度では松村 (1992) が10月上旬のエスレル処理で得た結果と同様な着色促進作用が期待できるものと考えられた。

SA は、種々の果実において成熟抑制作用が報告されて

いるが、本研究では着色および落果が促進され、果肉硬度への影響はほとんどなかった。また、SA処理は果実からのエチレン放出ピークを早めたが、生成量は増大しなかった。トマト (Todd・Paliyath, 1990) やリンゴ (Marcelle, 1991) などでは、リポキシゲナーゼ (LOX) 活性の上昇がエチレン生成や成熟、軟化に関与することが示されており、SAによる成熟抑制作用は、LOX活性の抑制によるものと考えられている。さらに、トマト (Ding・Wang, 2003) へのSAおよびMeSA処理はエチレン生成を抑制し、また、SA誘導体であるアセチルサリチル酸処理は、キウイフルーツのLOX活性の低下とエチレン生成抑制による収穫後の成熟を遅延する (Zhangら, 2003)。ただし、低濃度のSA処理はエチレン生成を促し、高濃度では活性酸素種の生産により細胞死が誘発されるとする報告もある (Nissen, 1994)。本実験においては、採取したカキ果実に処理したSAは0.5 mM (69 ppm) と1 mM (138 ppm) であり、これはキウイフルーツの5分間浸漬処理によりエチレン生成抑制が生じる濃度である (Zhangら, 2003)。しかし、この濃度ではカキ果実に対しては低すぎる可能性があり、このためエチレン誘導されたのかもしれない。一方、SAの果肉硬度に及ぼす影響はMeJAと同様に小さく、両薬剤は内生エチレンを誘導して色素生成を促進するが、軟化に及ぼす影響は小さいものと考えられた。

本実験において、H₂O₂処理は著しい軟化を引き起こしたが、これは脂質過酸化による生体膜分解が生じたためと推察される。細胞内の脂質過酸化は、H₂O₂などの活性酸素種によって誘発される (Panavas・Rubinstein, 1998)。さらに、本実験ではH₂O₂による急激な着色の進行も認められ、H₂O₂はカキ果実の急激な成熟に関与すると考えられる。活性酸素種は、定常状態でも植物細胞内に存在して環境ストレスにより活性化するため、それに伴う酸化的障害に対応して植物は抗酸化酵素活性や抗酸化物質量を調節する (重岡ら, 1998)。Imahoriら (2000) は、ピーマン果実の成熟に伴ってH₂O₂が蓄積するが、同様に抗酸化酵素活性も高まることを示している。また、セイヨウナシの成熟は果肉のH₂O₂含量の増加によって開始され、H₂O₂生成を阻害すると成熟は遅延する (今堀, 2005)。収穫後の‘富有’果実では、軟化に伴って抗酸化酵素活性が上昇し、この酵素によって消去されなかった活性酸素種が膜構造を破壊し、その結果軟化が促進すると考えられている (李・前澤, 2004)。これらの報告と本実験結果から、カキ果実の成熟においても活性酸素種が重要な働きを担っているものと推察された。

以上のように、カキ果実の成熟・着色はH₂O₂、MeJAおよびSA処理によって促進され、MeJAとSAの成熟促進効果には、内生エチレン生産や活性酸素代謝の促進が関与すると考えられた。低濃度のMeJAは着色を促進するが、果肉硬度の低下や落果は誘発しなかったことから、カキ果実の着色促進剤として利用できる可能性がある。今後、最適処理濃度や処理時期を検討するとともに、糖度などの品質

に及ぼす影響を確認する必要がある。

摘 要

植物界に広く分布し、新規植物ホルモンとして注目されているジャスモン酸と、エチレンや活性酸素種の代謝に関与するとされるサリチル酸が、カキ‘富有’果実の成熟に及ぼす影響を知る目的で実験を行った。ジャスモン酸メチル (MeJA)、サリチル酸 (SA)、エスレルおよび過酸化水素 (H₂O₂) 溶液を果実に処理し、着色、落果および収穫時の果肉硬度を調査した結果、H₂O₂は強く着色を促進し、MeJAとSAも促進効果を示したが、エスレルの効果は認められなかった。また、MeJAとSA処理果では、収穫時の果皮中のリコピン含量が高く、クロロフィル含量が低かった。H₂O₂とエスレル処理は、激しい落果を誘発して収穫時の果肉硬度も有意に低下させたが、MeJA 500 ppm区での落果はほとんど観察されず、果肉硬度の低下も認められなかった。MeJA処理は果実からのエチレン放出量を増大し、SA処理はエチレン放出時期を早めた。このように、MeJAとSAは内生エチレンと活性酸素種の生産を通じてカキ果実の成熟に関与していると推察され、MeJAはカキ果実の着色促進剤として利用できる可能性がある。

引用文献

- Creelman, R. A. and J. E. Mullet. 1997. Biosynthesis and action of jasmonates in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 48: 355–381.
- Del Rio, L. A., G. M. Pastori, J. M. Palma, L. M. Sandalio, F. Sevilla, F. J. Corpas, A. Jimenez, E. Lopez-Huertas and J. A. Hernandez. 1998. The activated oxygen role of peroxisomes in senescence. *Plant Physiol.* 116: 1195–1200.
- Ding, C-K. and Y. Wang. 2003. The dual effects of methyl salicylate on ripening and expression of ethylene biosynthetic genes in tomato fruit. *Plant Sci.* 164: 589–596.
- Durner, J. and D. F. Klessig. 1996. Salicylic acid is a modulator of tobacco and mammalian catalases. *J. Biol. Chem.* 271: 28492–28501.
- Fan, X. and J. P. Mattheis. 1999. Methyl jasmonate promotes apple fruit degreening independently of ethylene action. *HortScience* 34: 310–312.
- Fan, X., J. P. Mattheis and J. K. Fellman. 1998. A role for jasmonates in climacteric fruit ripening. *Planta* 204: 444–449.
- Gemma, H., Y. Ogata and S. Iwahori. 1997. Effect of n-propyl dihydrojasmonate (PDJ) on maturation of ‘Fuyu’ persimmon fruit as well as its ABA level at harvest. *Acta Hort.* 436: 189–194.
- Hartmond, H., R. Yuan, J. K. Burns, A. Grant and W. J. Kender. 2000. Citrus fruit abscission induced by methyl-jasmonate. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 125: 547–552.

- 今堀義洋. 2005. 果実・野菜の成熟・老化とアスコルビン酸—グルタチオンサイクル. 園学雑. 74 (別2): 98–99.
- Imahori, Y., Y. Kanetsune, Y. Ueda and K. Chachin. 2000. Changes in hydrogen peroxide content and antioxidative enzyme activities during the maturation of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) fruit. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 69: 690–695.
- 板村裕之・北村利夫・平 智・原田 久・伊藤教善・高橋芳浩・福嶋忠昭. 1991. カキ‘平核無’果実の軟化とエチレン生成および呼吸の関係. 園学雑. 60: 695–701.
- Kondo, S. and K. Fukuda. 2001. Changes of jasmonates in grape berries and their possible roles in fruit development. Sci. Hort. 91: 275–288.
- 李 進才・前澤重禮. 2004. 低, 常温下におけるカキ‘富有’果実の軟化と抗酸化レベルの変化. 園学研. 3: 301–305.
- Marcelle, R. D. 1991. Relationship between mineral content, lipoxygenase activity, level of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid and ethylene emission in apple fruit flesh disks during storage. Postharvest Biol. Technol. 1: 101–109.
- 松村博行. 1992. 果色を左右する要因と向上技術. p. 50 の 3–51. 農業技術大系果樹編4. 農文協. 東京.
- 永田雅靖・山下市二. 1992. トマト果実に含まれるクロロフィルおよびカロテノイドの同時, 簡便定量法. 食工誌. 99: 925–928.
- Nissen, P. 1994. Stimulation of somatic embryogenesis in carrot by ethylene: effects of modulators of ethylene biosynthesis and action. Physiol. Plant. 92: 397–403.
- Panavas, T. and B. Rubinstein. 1998. Oxidative events during programmed cell death of daylily (*Hemerocallis hybrid*) petals. Plant Sci. 133: 125–138.
- Perez, A. G., C. Sanz, D. G. Richardson and J. M. Olias. 1993. Methyl jasmonate vapor promotes β -carotene synthesis and chlorophyll degradation in Golden Delicious apple peel. J. Plant Growth Regul. 12: 163–167.
- Raskin, I. 1992. Role of salicylic acid in plants. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 43: 439–463.
- Saniewski, M., H. Urbanek and J. Czapski. 1987. Effects of methyl jasmonate on ethylene production, chlorophyll degradation, and polygalacturonase activity in tomatoes. J. Plant Physiol. 127: 177–181.
- 重岡 成・石川孝博・武田 徹・田茂井政宏. 1998. 光合成生物における光・酸素毒防御系の分子機構. 蛋白質核酸酵素. 43: 634–648.
- 寿松木 章・岩永秀人・村上ゆり子・間亭谷 徹. 1988. カキ果実の生理落果とエチレン発生量との因果関係. 園学雑. 57: 167–172.
- 高田峰雄. 1982. 発育ステージの異なるカキ果実の呼吸, エチレン生成及び成熟に対するエチレン処理の影響. 園学雑. 51: 203–209.
- Todd, J. F. and G. Paliyath. 1990. Characteristics of a membrane-associated lipoxygenase in tomato fruit. Plant Physiol. 94: 1225–1232.
- Wang, C. T. and G. Buta. 1994. Methyl jasmonate reduces chilling injury in *Cucurbita pepo* through its regulation of abscisic acid and polyamine levels. Environ. Exp. Bot. 34: 427–432.
- Zhang, Y., K. Chen, S. Zhang and I. Ferguson. 2003. The role of salicylic acid in postharvest ripening of kiwifruit. Postharvest Biol. Technol. 28: 67–74.