

果実の成熟・品質の制御

－生理活性物質による成熟・老化の制御－

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 果樹研究所
果実鮮度保持研究チーム 羽山 裕子

1. はじめに

一般的な栽培条件では、果実は、栽培地の気象条件に応じて品種固有のある決まった時期に成熟する。しかしながら、このような成熟期は、必ずしも高値で販売できる需要増大期に一致するとは限らない。また、栽培が特定の品種に偏っている場合は、収穫が短期間に集中し、多大な労働力が必要となる。したがって、成熟期を人為的に前後させることができれば、収穫期間を拡大し労働を分散させたり、より需要の多い時期に収穫し、有利に販売することできる。一方、成熟に引き続いて進行する老化は、果実の貯蔵可能期間や流通・販売過程における日持ち性を左右することから、その抑制は高品質果実の安定供給を図る上で極めて重要である。このため、様々な生理活性物質について、果実の成熟・老化に及ぼす影響が検討され、いくつかの物質については植物生育調節剤として実用化され、広く利用されている。しかしながら、生理活性物質の処理効果は、樹種や品種によって大きく異なるだけでなく、処理時期、処理濃度、気象条件などにも影響される。本稿では、果実の成熟・老化との関係が最も深い植物ホルモンであるエチレンに関与する生理活性物質を中心に、成熟・老化の制御技術について紹介する。

2. 果実の成熟

成熟期を迎えた果実では、果皮の着色（アントシアニン、カロチノイドなど色素成分の蓄積）、地色の抜け（クロロフィルの分解）、果肉の軟化（細胞壁の分解）、デンプンの分解、糖含量の増加、酸含量の低下、香気成分の生成など、様々な形質が急激に変化する（Brady, 1987）。これらの変化は、果実が、外観および食味の両面で高品質果実としての条件を具備するために必須である。一方、成熟が過度に進行すると、地色が上がり、酸味が抜け、食感が悪化するなど、品質が低下してしまう。一般に、果実の成熟ステージは、未熟、完熟および過熟に大別され、未熟から完熟までの過程を成熟、完熟から過熟までの変化を老化と呼んでいる（間苧谷ら, 2002）。しかしながら、完熟とはあくまで人間にとって最高の品質となる成熟ステージを示す概念であり、未熟から過熟に至るまでの変化は連続的に進行し、成熟と老化の間に明確な境界はない（図－1）。このため、本稿では、成熟と老化を区別せず、一連の変化全体を成熟とした。

果実の成熟・老化には様々な生理活性物質が関与することが知られているが、中でもエチレンの果たす役割は大きい。エチレンは、常温・常圧下においてガス体の物質で、20世紀初頭には、エチレンにより緑色のレモンが黄

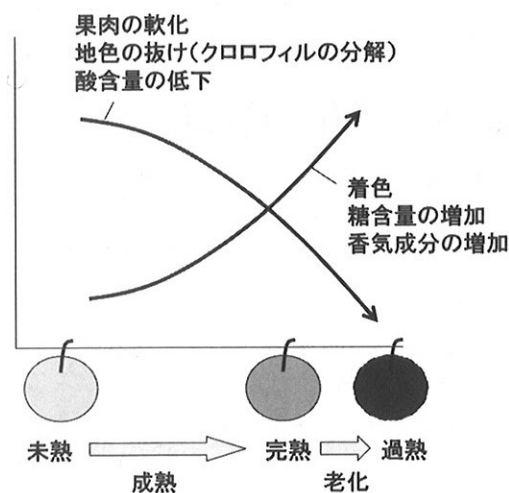


図-1 成熟老化過程における果実品質の変化

色に着色することが発見された。また、1945年には、クライマクテリック型果実を特徴付けている成熟に伴う呼吸上昇（クライマクテリック・ライズ）はエチレンによって誘導されることが明らかにされた。このように、エチレンは果実の成熟・老化を促進するはたらきを持つことから、「成熟ホルモン」、「老化ホルモン」とも呼ばれる。また、トマトでは、遺伝子組換えにより果実のエチレン生成を抑制すると自然条件では成熟しないが、人為的にエチレンを処理すると成熟することが示されている（Oeller et al., 1991）。このようなことから、果実の成熟・老化を制御する上ではエチレンが最も重要な鍵の一つと考えられている。

3. エチレン発生剤による成熟促進

エチレンは気体のため、樹上の果実等に直接処理することは難しい。このため、果樹の生産現場においては、エテホン（ethephone, 有効成分は2-クロロエチルホスホン酸 2-chloroethylphosphonic acid）が使用される。エテホンは、植物体内に浸透し、分解され

てエチレンに変換される液剤である（Yang, 1969）。エテホンを処理すると成熟が促進されることが多くの果実において明らかにされているが、効果は樹種や品種によって異なる。以下、樹種別に紹介する。

1) ニホンナシ

‘二十世紀’では、満開100日後に100ppm（有効成分濃度、以下同じ）のエテホンを処理することにより、地色の抜け、糖度の上昇、デンプンの分解、果実肥大などが促進され、熟期が前進する（図-2）。しかしながら、成熟の促進により果実発育期間が短縮されるため、小玉となりやすい（広田, 1971; 四宮ら, 1972）。また、糖の蓄積もエテホン処理は糖の上昇を促進するものの、成熟期が早まるため、収穫適期の果実の糖度は無処理と同等である。一方、果肉の軟化は、地色の抜けや糖度の上昇ほどは促進されないため、処理果の果肉は無処理果よりも硬い

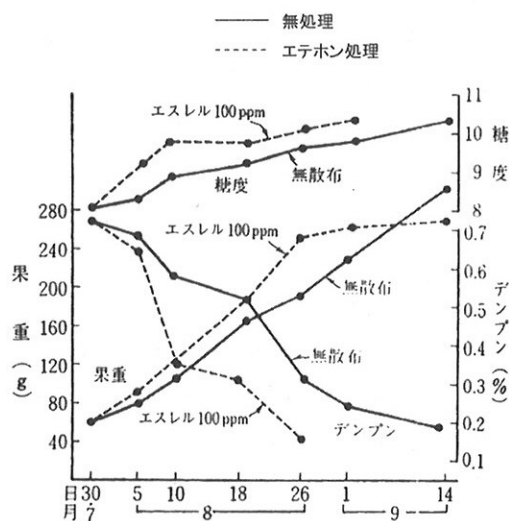


図-2 エテホン処理後の果実成熟の進み方（‘二十世紀’）

エテホン処理：100ppm, 7月30日散布
（広田, 1971）

傾向にある(広田, 1971)。また、高濃度のエテホン処理は裂果を多発させることが知られている。

エテホン処理による熟期促進効果は品種によって異なり、‘二十世紀’では18日、‘幸水’、‘長十郎’などでは6～9日とされている(中田ら, 1973)。また、裂果の発生程度も、品種によって異なり、‘新水’、‘幸水’、‘早玉’では多いが、‘八君’、‘新興’では発生しにくい(中田ら, 1973)。なお、裂果の発生には、処理時期および処理濃度が影響し、処理時期が早いほど、また処理濃度が高いほど増加する(広田, 1971; 四宮ら, 1972; 中田ら, 1973)。また、処理時期が早いと、裂果に加えて、落果も助長される(広田, 1971)。この他、‘豊水’では、エテホン処理によりみつ症の発生が増加する(木村ら, 1977)。

また、エチレンは果実の老化を促進するが、収穫果の日持ち性にエテホン処理の影響は認められない(中田ら, 1973; 木村ら, 1977)。

現在、我が国では、‘幸水’等10品種について成熟促進剤としての使用が認められている。

2) リンゴ

リンゴでは、エテホン処理により成熟が促進されるが、その効果は品種によって異なる。‘スターキング・デリシャス’では、収穫の2週間前または3週間前に480ppmのエテホンを処理することにより、着色、糖含量の増加、果肉硬度の低下が促進される(Larrigaudiere et al., 1996)。一方、スパータイプの枝変わりである‘スカーレットスパー・デリシャス’では、収穫の1週間前または2週間前のエテホン処理によって、糖含量の増加やデンプンの分解は促進されるものの、着色に対する影響は認められて

いない(Drake et al., 2005a, 2005b)。これは、系統成熟前期から良好に着色する系統を供試したためと考えられる。また、‘ジョナゴールド’では、収穫4週間前に480ppmのエテホンを処理することにより着色は促進されるが、糖含量、酸含量、果肉硬度に対する影響は認められていない(Awad and Jager, 2002)。

また、エスレルを処理した果実は香りが強く、ジュースに加工した場合の官能検査では高い評価が得られている(Drake et al., 2005a)。しかしながら、処理果実は収穫後の軟化が速く、日持ち性は悪い傾向にある。

ただし、エテホンは収穫前落果も促進するため、処理に際して、落果防止剤を併用するなどの対策が必要となる。

我が国においてもエテホンによる成熟促進効果が検討され、収穫3～4週間前に300ppmで処理することが適当とされているが(山崎ら, 1989)、現在、リンゴにおける登録はない。

3) カキ

‘富有’では着色開始期に75ppm、‘平核無’および‘西条’では着色開始期に50～75ppmのエテホンを処理することにより、果実の肥大、着色、糖の蓄積、クロロフィルの分解、酸含量の低下が促進され、熟期が15～25日程度前進する(平田ら, 1970; 岩堀・佐藤, 1970)。ただし、処理時期が早いと、ヘタすき果や軟化果実が多くなる。また、処理濃度が高いほど、成熟は促進されるが、落果が増加するとともに、100ppm以上の処理ではヘタと果梗の接合部の組織が褐変枯死する(平田ら, 1970)。その後、エテホンの処理濃度について詳細な検討が加えられ、最適な処理濃度は、‘富有’で25～50ppm、‘平核無’および‘西条’で25ppmとされ、現

在の我が国における農薬登録は本濃度を基準としている（平田ら，1971）。一方‘会津身不知’では，10ppm以上の処理は葉害の発生や収穫前落果を助長することから，処理は収穫の30日前～50日前に5ppmで行うことが望ましい。なお，処理による熟期促進効果は7日間程度である。

また，カキではエテホン処理により，軟化が促進され日持ち性が低下することに加え，糖度が低下しやすいとの問題も指摘されている。

4) イチジク

イチジクでは，古くから果頂部に油を処理することによって成熟が促進されることが知られている。これは，油処理によってエチレン生成が促進されるためである。このため，油処理に代わる成熟促進技術としてエテホン処理が用いられる。

‘榊井ドーフィン’では，油処理の適期（果実肥大第Ⅱ期の後期で果孔部が赤桃色になり，果色がやや黄味をおびた時期）に200ppmのエテホンを処理することによって，果実肥大，着色，糖含量の増加，果肉の軟化が急激に促進され，処理後7日で完熟する（松井ら，1970；奥田ら，1972；細見ら，1988）。また，エテホンにより成熟を促進させた果実は，自然に成熟したものと比べて果肉がやや淡い点を除けば，果皮の着色，果肉の軟化，香り，味などは全く同等である（松井ら，1970）。しかしながら，エテホンを処理した果実の成熟は，天候の影響を受けやすく，成熟後半の日照が不足すると着色や糖度の上昇が抑制され果実品質が低下する（伊藤・佐藤，1986）。また，エテホン処理した果実は，油処理した果実に比べて果頂部の裂開が生じやすい（山崎ら，1989）。

5) オウトウ

‘佐藤錦’と‘ナポレオン’では50ppmのエテホン処理により5～7日の成熟促進効果が得られる（佐竹ら，1982）。なお，75ppm以上の処理では，さらに大きな熟期促進効果を得られるが，落果が増加する。なお，エテホン処理による落果促進は，両品種とも，処理時期が早い場合に認められる。ただし，‘佐藤錦’では満開3週間後の処理でも落果が見られないのに対し，‘ナポレオン’では同時期の処理で落果することから，処理適期は，‘佐藤錦’では満開3週間後，‘ナポレオン’では満開4週間後とされている（佐竹ら，1982）。

6) キウイフルーツ

キウイフルーツ果実の成熟はエチレンによって進む。しかしながら，病害果等を除き一般的な果実は，樹上でも収穫後もエチレンを生成しない。このため，完熟させるには，人為的にエチレンを処理し，追熟させることが一般的であるが，エスレールを処理すると樹上で成熟させることも可能である。‘ヘイワード’および‘モンティ’では，満開110日後に100ppmまたは500ppmのエテホンを浸漬処理すると，可溶性固形物含量（SSC）の上昇，果肉硬度の低下，酸含量の低下，香氣成分の生成等が促進され，収穫後20℃で貯蔵することによりエチレンを処理しなくとも追熟が進み完熟する。ただし，適切な処理濃度は品種によって異なり，‘ヘイワード’の場合，500ppm処理では落果が多発するため，100ppmが適当としている。一方，‘モンティ’は，500ppm処理でも落果は見られないが，100ppm処理では，軟化は促進されるものの酸含量の低下や香氣成分の生成が不十分なことから500ppmが適当としている（永田・栗原，1995）。

7) その他の果樹

ブルーベリーでは、着色開始時期に 200ppm のエテホン进行处理すると、処理 4 日後には、果皮の着色、酸含量の低下、軟化の促進が、処理 8 日後には糖含量増加の促進が認められる。なお、果実肥大に対する影響は認められない (Ban et al., 2007)。

一方、ボンカンやキンカンなどのカンキツ類では、着色開始期にエテホン进行处理することによって果皮におけるクロロフィルの分解やカロチノイドの合成が促進され、着色が向上する。

4. エチレン生成阻害剤による熟期遅延および日持ち性の向上

果実のエチレン生成を抑制することにより成熟を抑制することができる。果実のエチレン生成抑制剤としては、AVG (aminoethoxyvinylglycine) が最も良く知られている。AVG は、エチレン生合成の鍵酵素である ACC 合成酵素の働きを阻害することによりエチレン生成を抑制する。リンゴやモモ等の果実では処理により、エチレン生成が長期間に渡って顕著に抑制される。

1) リンゴ

リンゴでは、収穫 4 週間前に 125mg/L 以上の AVG を散布処理することにより果実のエチレン生成が抑制され、果実の成熟、特に果皮の着色が顕著に遅延する (Bangerth, 1978 ; Wang and Dilley, 2001 ; Layne et al., 2002)。AVG 処理による成熟抑制効果は、品種によって異なり、収穫 1 週間前の 1000mg/L の AVG 処理により早生の 'アーリー・マッキントッシュ (早生旭)' では成熟が 11 日遅延するが、晩生の 'ロイヤルレッド・デリシャス' では、約 50 日遅延するなど、晩生品種の方が早生品種に比べ

表-1 AVG 処理が収穫時および貯蔵後の果実品質に及ぼす影響('さんざ' (櫻村, 未発表))

	果肉硬度 (lb)	Brix	酸含量 (g/100mL)
収穫時			
無処理	12.6	13.0	0.353
AVG 処理	15.2	12.7	0.443
1 週間貯蔵後 (25°C)			
無処理	9.8	13.8	0.313
AVG 処理	14.5	14.1	0.413

注) 収穫 6 週間前および 2 週間前に AVG (4mM) を散布。両処理区とも同一日に収穫し、25°C で 1 週間貯蔵。

て抑制効果が高い傾向にある (Autio and Bramlage, 1982)。一方、AVG 処理は多くの赤色品種で着色を抑制するが、着色良好な 'スカーレットスパー・デリシャス' では、着色遅延効果がほとんど認められない (Drake et al., 2005a, 2005b)。なお、AVG 処理の着色遅延は、収穫約 2 週間前にエテホン进行处理することにより改善される (Wang and Dilley, 2001 ; Stover et al., 2003)。

また、AVG 処理は、収穫後の軟化を抑制し、日持ち性を向上させる (Bangerth, 1978 ; Halder-Doll and Bangerth, 1987 ; Layne et al., 2002 ; Drake et al., 2005a) (表-1)。しかしながら、AVG 処理した果実では、貯蔵中に果心に褐変を生じやすい (Bramlage et al., 1980 ; Johnson and Colgan, 2003)。特に、AVG の処理時期が遅いほど褐変が発生しやすく、'Cox's OrangePippin' を 3°C、酸素分圧 1.2kPa の条件で 6 ヶ月貯蔵すると、無処理の果実では全く発生が認められないのに対し、収穫 2 週間前に AVG を処理した場合は約 60% の果実に、収穫 4 週間前に処理した場合は 30 ~ 60% の果実にそれぞれ褐変が認められている (Johnson and Colgan, 2003)。なお、貯蔵中の果心褐変は、未熟果実を貯蔵した場合に発生しやすいことから、AVG 処理果における褐変発

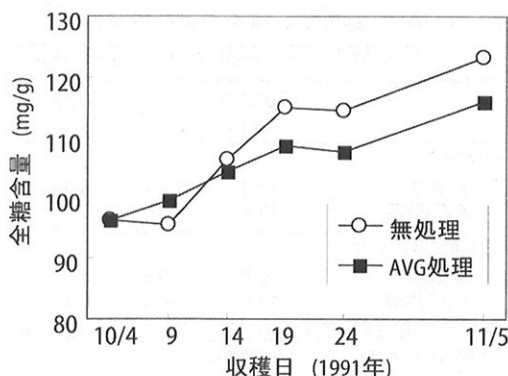


図-3 AVG処理がリンゴの糖含量に及ぼす影響(‘陸奥’)
AVG(4mM)を10月4日、14日および24日に散布(櫻村、未発表)

生も、AVGの直接的な影響ではなく、処理により収穫時の熟度が進んでいないためとも考えられる (Autio and Bramlage, 1982)。

また、AVG処理により‘デリシャス’や‘ゴールデン・デリシャス’では、AVG処理により、芳香成分の生成が抑制され、香りが薄いこと (Halder-Doll and Bangerth, 1987; Drake et al., 2005a)、『陸奥』等では糖含量の増加が抑制されることが知られている (図-3)。

2) モモ・ネクタリン

モモでは、収穫1～3週間前に約130mg/LのAVGを散布処理することにより、3日～4日程度熟が遅延する (Belding and Lokaj, 2002)。このような熟期遅延効果は、処理時期が早いほど高く、収穫3週間前の処理が最も効果的である。また、処理果では熟期が遅延し果実の生育期間が長くなるため肥大が良好となる (McGlasson et al., 2005)。しかしながら、処理効果はリンゴに比べて小さく、効果がほとんど認められないこともある (Byers, 1997)。

一方、収穫1週間前に散布処理するか収穫果を1分間AVG溶液に浸漬処理すると軟化が顕著

に抑制される (Byers, 1997; Belding and Lokaj, 2002; Torrigiani et al., 2004; McGlasson et al., 2005)。なお、このような軟化抑制効果は、処理濃度が高いほど高い。ただし、常温(20～25℃程度)で貯蔵した場合の軟化は抑制するが、数日間冷蔵した後に常温で追熟させた場合の軟化は抑制できない (Byers, 1997; McGlasson et al., 2005)。また、AVGを処理した果実を冷蔵後に追熟させると赤肉果の発生が増加することが報告されている (McGlasson et al., 2005)。

5. エチレン作用阻害剤による日持ち性の向上

AVGに代表されるエチレン生成阻害剤は、果実のエチレン生成を抑制するものであり、エチレンに対する感受性を失わせるものではない。このため、エチレン生成阻害剤を処理した果実も、周囲にエチレンが存在すると成熟が促進されてしまうことから、無処理の果実等エチレンを生成する農作物との混載等を避ける必要がある。一方、エチレン作用阻害剤は、植物体のエチレンに対する反応を阻害することから、周囲にエチレンが存在していても果実の成熟に対する抑制効果は失われない。

1-MCP (1-methylcyclopropene) は、化学的安定性や安全性の面から最も実用性の高いエチレン作用阻害物質である。本物質は、常温・常圧では気体で、植物体を暴露処理することにより、非常に低濃度(1,000ppb以下)で強力にエチレンの作用を阻害することができる (Sisler and Blankenship, 1996)。収穫した果実を1-MCPで12～24時間暴露処理すると、軟化や地色の変化などが抑制され、日持ち性が2～3倍向上する (Blankenship and Dole, 2003; 櫻村, 2005)。果実の鮮度を保持するには冷蔵する

表-2 1-MCP がリンゴの貯蔵性に及ぼす影響 (‘ふじ’)(樫村, 2005)

		処理日	6ヶ月後	6ヶ月後 +4週間後
果肉硬度 (lb)	無処理	14.93	11.38	9.08
	1-MCP処理	-	13.98	14.15
酸含量 (g/100mL)	無処理	0.39	0.19	0.13
	1-MCP処理	-	0.27	0.22
みつ (0~4)	無処理	3.1	0.2	0.1
	1-MCP処理	-	0.9	0.2

注) 収穫翌日に 1ppm で 18 時間暴露処理した後, 2℃で 6ヶ月間冷蔵, 出庫後 20℃で 4週間貯蔵。

ことが一般的であるが, 1-MCP 処理果は常温においても鮮度が保持されることから, 流通現場への導入が期待されている。

1) リンゴ

リンゴでは, 1-MCP 処理により, 果肉硬度の低下, 酸含量の低下, 香気成分の生成, クロロフィルの分解, デンプンの分解, 油あがり, みつの消失, 貯蔵病害である「やけ」の発生が抑制されるなど, 非常に高い成熟抑制効果が認められる (Fan et al., 1999; Watkins et al., 2000; Mir et al., 2001; 艾乃ら, 2005; 樫村, 2005) (表-2)。ただし, 処理効果は, 品種, 処理条件, 処理時の果実熟度などの影響を受ける。

‘つがる’ および ‘ジョナゴールド’ では, 収穫当日に 1,000ppb の 1-MCP を 16~24 時間暴露処理することにより, 常温 (20~24℃) で貯蔵しても, 軟化, クロロフィルの分解, 酸含量の低下, デンプンの分解, 油上がりが 2 週間~1 ヶ月間抑制される (野呂, 2004; Fan et al., 1999)。一方, ‘ふじ’ は, 貯蔵性が極めて良好で, 冷蔵するだけで長期にわたり果肉硬度が維持されるため, 1-MCP 処理が果肉軟化に及ぼす影響は小さいが, 冷蔵では抑制できない酸含量

の低下も抑制される (野呂, 2004; Fan et al., 1999; Tatsuki et al., 2006)。また, ‘ふじ’ では, 1-MCP 処理により貯蔵中におけるみつの消失が抑制される (艾乃ら, 2005)。

1-MCP 処理による成熟抑制効果は, 処理後の貯蔵温度 (0℃~20℃) に関わらず認められるが, 貯蔵温度が高いほど処理効果は顕著である (Mir et al., 2001)。特に, 20℃で貯蔵した場合, 無処理果実は急激に軟化するが, 1-MCP 処理果では軟化が抑制される。また, ‘レッドチーフ・デリシャス’ では, 1-MCP を毎週繰り返し処理することにより, 20℃において 100 日間にわたり収穫時の果肉硬度を維持することが可能であった (Mir et al., 2001)。

リンゴでは, CA 貯蔵による鮮度保持効果が高く, 青森県を中心に導入されているが, CA 貯蔵と 1-MCP 処理を比較すると, 果肉軟化の抑制効果では 1-MCP 処理の方が優れており, 1-MCP を処理して普通冷蔵した果実の果肉硬度は, CA 貯蔵した無処理果実よりも高い。同様に, ‘ジョナゴールド’ および ‘王林’ では, 酸含量の低下を抑制する効果についても 1-MCP 処理が優れ, 1-MCP を処理すれば普通冷蔵であっても CA 貯蔵と同程度に酸含量が維持される。なお, ‘ふじ’

においては、CA貯蔵と1-MCP処理の併用効果が認められ、1-MCPを処理してCA貯蔵した果実の果肉硬度は、無処理でCA所蔵した果実や1-MCP処理後普通冷蔵した果実よりもやや高い(野呂, 2004)。さらに、'王林'では1-MCP処理により貯蔵やけが完全に抑制され、貯蔵方法の如何にかかわらず1-MCP処理した果実では全

く発生しない。なお、1-MCPによる貯蔵やけの抑制は、'王林'以外の品種においても確認されている(Watkins et al., 2000; Rupasinghe et al., 2000)。

果実熟度は、1-MCP処理効果に影響し、果実の熟度が進むほど処理効果が低下する傾向がある(Fan et al., 1999; Mir et al., 2001;

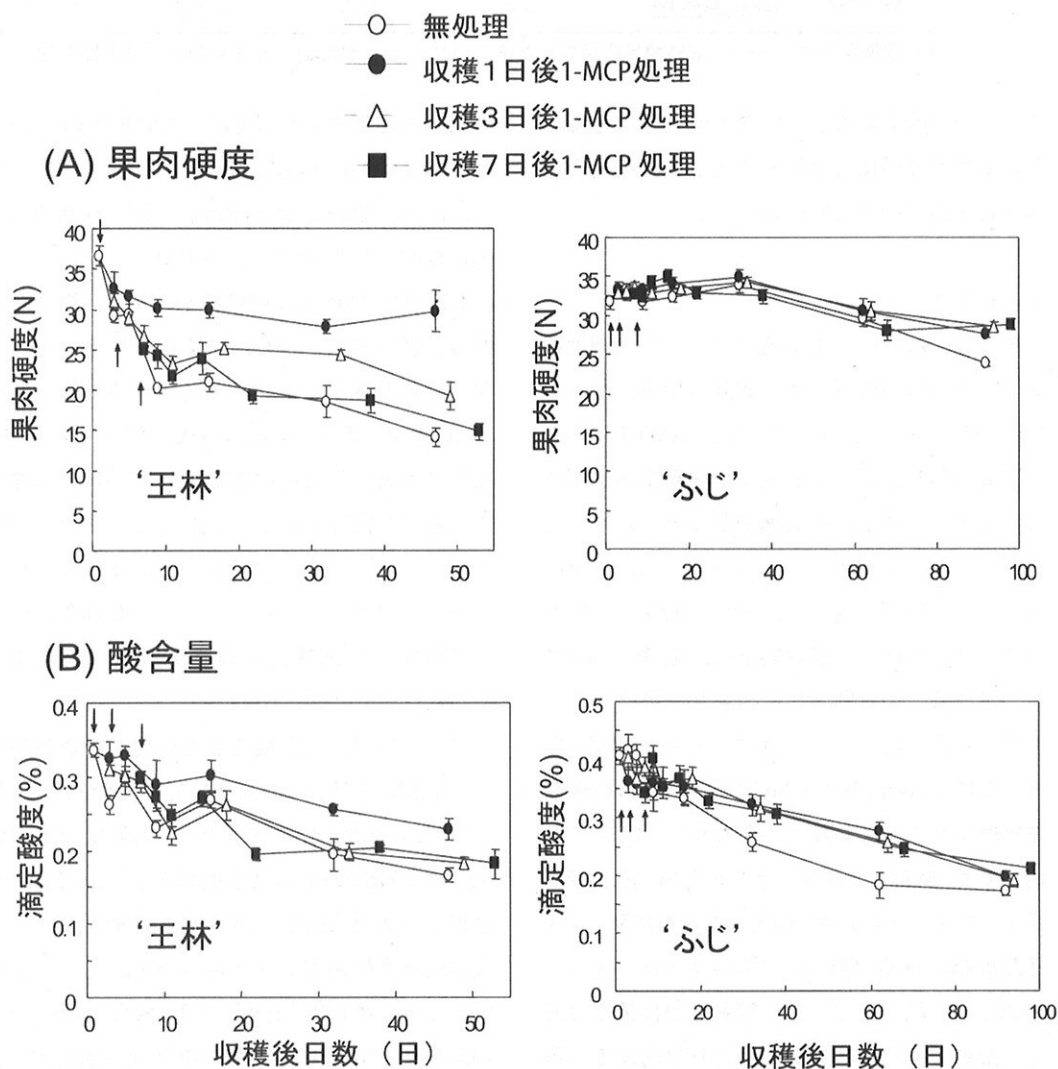


図-4 1-MCPの処理時期の違いが処理効果(A, 果肉硬度, B, 酸含有量)に及ぼす影響('王林', 'ふじ')
収穫1日後, 3日後, または7日後に, 1-MCP(1ppm)を12時間暴露処理した後, 20°Cで貯蔵
(Tatsuki et al., 2007)

Baritelle et al., 2001)。このため、確実に処理効果を得るためには未熟果実を対象とすれば良いが、このような果実では長期にわたってデンブン臭が残るため食味が悪い。また、高い処理効果を得るには、収穫後、できるだけ早く処理することが肝要である。‘王林’に1,000ppbの1-MCPを処理する場合、収穫1日後の処理に比べ、処理3日後、7日後の処理では効果が低下する。特に、酸含量の低下に対しては、収穫1日後の処理のみ抑制効果が認められ、それ以降の処理では効果がない(Tatsuki et al., 2007) (図-4)。‘さんさ’でも、処理効果を得るためには収穫後3日以内に処理しなければならない(艾乃ら, 2005)。一方、‘ジョナゴールド’や‘ふ

じ’では収穫7日後に処理しても効果はやや低下するものの十分な効果が得られる(Tatsuki et al., 2007; 艾乃ら, 2005) (図-4)。このような品種間差異について、処理効果には処理時の果実のエチレン生成量が関与しており、エチレン生成量の多い果実ほど処理効果を得られにくいのではないかと推測されている(Tatsukiら, 2007)。

2) ニホンナシ

‘幸水’では、収穫当日に1,000ppbの1-MCPを16時間暴露処理することにより、地色の上がり、軟化、酸の低下が抑制され、日持ち性が向上する(島田, 2004; 樫村, 2005) (表-3, 図-5)。カラーチャート4程度の完熟果実を室温

表-3 1-MCPがニホンナシの日持ち性に及ぼす影響(‘幸水’)(樫村, 2005)

		処理日	1週間後	2週間後
果肉硬度	無処理	4.7	4.28	3.73
	1-MCP処理	-	4.25	4.14
果汁pH	無処理	5.16	5.27	5.37
	1-MCP処理	-	5.27	5.15

注) 収穫当日に1ppmで16時間暴露処理した後25℃で貯蔵。

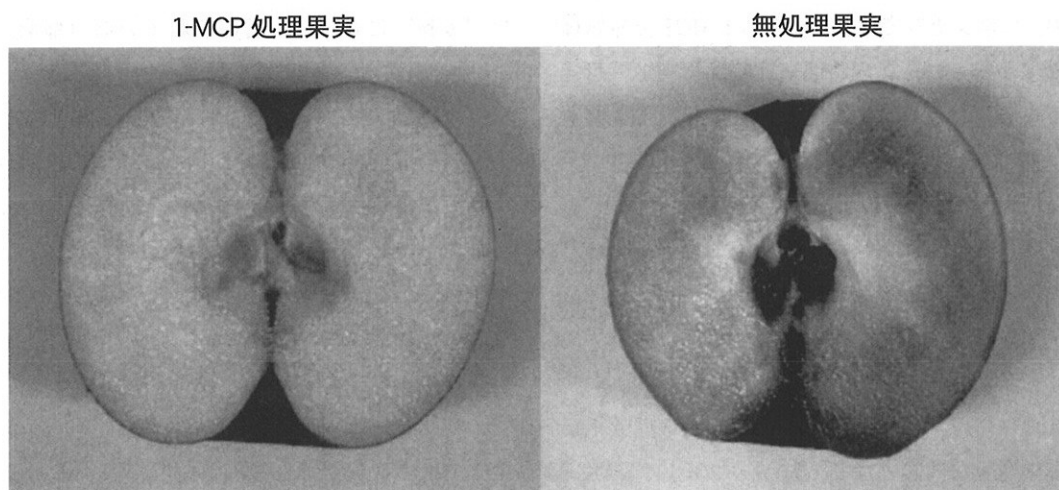
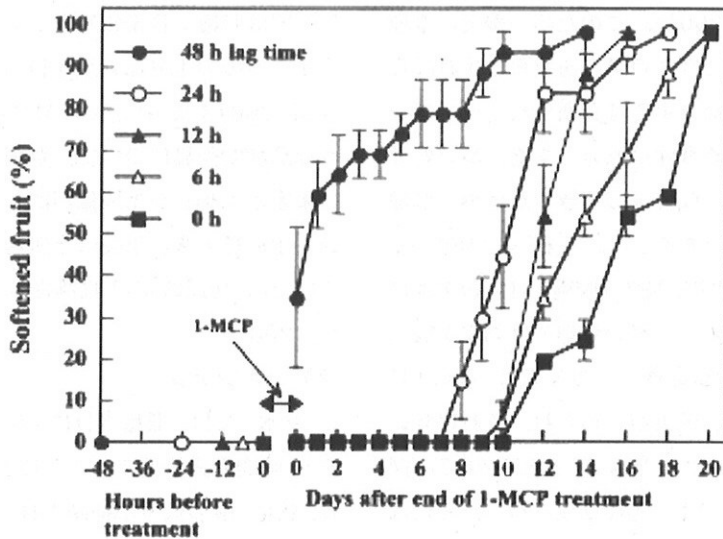


図-5 1-MCPの処理が(‘幸水’)の日持ち性に及ぼす影響(25℃で2週間貯蔵)(樫村, 2005)



図－6 収穫から 1-MCP 処理までの時間が処理効果に及ぼす影響(‘刀根早生’)
 X 軸は 1-MCP 処理終了後からの日数 (Harima et al., 2003)
 Y 軸は軟化した果実の割合(%)
 エラーバーは標準誤差(SE)
 1-MCP1000ppb + 95%CO₂ 条件で 16 時間暴露処理

条件下で貯蔵した場合、無処理果実の日持ち性は収穫後 5 日程度であるのに対し、1-MCP 処理した果実では、収穫後 10 日間程度である。一方、カラーチャート 2 程度のやや未熟な果実では、無処理果実の日持ち性は 7 日間程度であるが、1-MCP 処理により 14 日程度まで延長される。なお、ニホンナシでは 500ppb の 1-MCP でも処理効果が得られ、処理時間も 4 時間まで短縮可能である。1-MCP による日持ち性向上効果は、‘豊水’や‘あきづき’でも認められるが、ニホンナシではリンゴほどには効果が持続しないため、貯蔵性の高い晩生品種では明瞭な効果が認められない。

3) カキ

カキでは、収穫後急激に軟化する早期軟化果実の発生が問題となる(播磨ら, 2001)。1-MCP はこのような早期軟化を顕著に抑制することが

明らかにされている。‘刀根早生’では、収穫 3 日目以降に軟化果実が発生し、6 日後には 50% 程度の果実が軟化するが、1,000ppb の 1-MCP を 16 時間暴露処理した果実では、収穫後 14 日間は軟化果実の発生が認められない (Harima et al., 2003) (図－6)。同様の傾向は‘西条’や‘太秋’においても認められている(播磨, 2004; 中満ら, 2006)。

カキでは、リンゴ等比べて低い濃度でも効果が認められ、100ppb で 1,000ppb とほぼ同等の効果が得られる (Harima et al., 2003)。また、渋柿ではアルコールや高炭酸ガスによる脱渋処理と 1-MCP 処理を同時に行うことが可能である(播磨, 2004)。

一方、カキでは収穫から 1-MCP 処理を行うまでの時間が処理効果を大きく左右する。‘刀根早生’では、収穫直後に処理した場合は、処理後 10 日間軟化が抑制されるのに対し、24 時間後に

処理した場合の軟化抑制期間は7日間となり、48時間後の処理では全く効果がなく、収穫後12時間以内に処理することが望ましいとしている (Harima et al., 2003)。

4) モモ

モモは日持ち性が極めて低いことから、効果的な鮮度保持技術に対する期待が大きい。このため、モモの1-MCP処理については多くの研究がなされているが、リンゴやニホンナシ、カキのような顕著な成熟抑制効果は認められない。‘白鳳’や‘あかつき’では、1-MCP処理 (1,000ppb, 12～18時間) による軟化抑制効果は、常温 (20～25℃) では収穫後1～2日程度である (Mathooko et al., 2001; Hayama et al., 2005)。¹⁾ ‘Oded’では高濃度 (5,000ppb または20,000ppb) で処理することにより若干効果が高まることが報告されているが、それでも軟化が抑制される期間は5日程度であり、7日後には無処理と同等となる (Liguori et al., 2004)。

5) その他の果樹

1-MCPは、多くの果実において高い鮮度保持効果を示すことが報告されている (Blankenship and Dole, 2003)。

なお、前述したとおり、エチレン作用阻害剤の処理効果はエチレンが周囲に存在しても持続する (Harima et al., 2003; Trinchero et al., 2004)。従って、1-MCPを処理した果実は、エチレンを大量に発生する過熟果実、傷害果、腐敗果実などが周囲に存在しても成熟が抑制されることから、流通過程における廃棄率を抑制できるものと考えられる。また、処理果実はカットフルーツに加工しても鮮度が良好に保持されることが報告されている (Vilas-Boas and

Kader, 2007)。一方で、セイヨウナシやキウイフルーツのようにエチレンによる追熟が必要な果実では、追熟前に1-MCP処理を行うと、追熟させようとしても、エチレンに反応しないため果肉の軟化やデンプンの分解、香気成分の生成が抑制され、うまく追熟できない場合がある (Boquete et al., 2004; Trinchero et al., 2004)。1-MCPを処理した果実において、必要に応じて処理効果を解除し、エチレンによって成熟を促進できれば、果実の成熟をより一層コントロールできるものと期待されるが、現在のところ、そのような技術は開発されていない。

6. エチレン以外の植物ホルモンによる成熟・老 化の制御

エチレン以外の植物ホルモンも果実の成熟に関与している。しかしながら、植物ホルモンは、植物体のエチレンの生成にも影響を及ぼすため、成熟に対する作用が必ずしも直接的なものではなく、エチレンを介して成熟に関与することも多いと考えられる。

1) ジベレリン

ニホンナシでは、満開後30～40日の幼果の果梗にジベレリン塗布剤を処理することにより、熟期を促進できる。ジベレリンは、細胞伸長を促進させる作用を持つ植物ホルモンで、ジベレリンを処理した果実は早期に肥大するが、肥大が緩慢となる時期も早く、無処理に比べて早期に成熟期が前進する。なお、ジベレリンによる熟期促進効果は、AVG処理により打ち消されることから、熟期促進にはエチレンが関与していると考えられる。

また、ブドウでは無核栽培を目的にジベレリン処理が行われるが、ジベレリン処理は、ニホ

ンナシと同様、成熟に伴う糖含量の増加、酸含量の低下を促進させ、‘巨峰’では2～3週間成熟期が前進する。

一方、ジベレリンは、果皮の着色を抑制する効果がある。カンキツ類では、収穫後のジベレリン処理により果皮のクロロフィルの分解およびカロチノイドの生成が抑制され、緑色が維持される (Copper and Henry, 1968 ; Wheaton and Stewart, 1973 ; Porat et al., 1995)。また、ジベレリンは、エチレンによるクロロフィルの分解に対して拮抗的に働くために緑色を維持することが明らかにされている (Trebitsh et al., 1993)。

2) オーキシシン

イチゴは、オーキシシンを生成するそう果 (種子) を除去することにより、成熟が促進されること等から、オーキシシンが一定レベル以下になると成熟が促されることが明らかにされている (Given et al., 1988)。同様に、ブドウにおいても、オーキシシンと成熟との間には負の相関が得られており、‘巨峰’では、満開後45日 (ベレゾーン開始期) にオーキシシン作用を有するNAA (naphthalene acetic acid) 200mg/L を処理すると果実肥大、糖含量の増加、酸含量の低下、着色が抑制され、成熟が遅延する。一方、抗オーキシシン剤であるTIBA (2,3,5-triiodobenzoic acid) 200mg/L を満開45日後に処理すると、果皮の着色や糖含量の増加などの成熟が促進される (Yakushiji et al., 2001)。また、オーキシシン様物質である benzothiazoe-2-oxyacetic acid (BTOA) 処理においても果実の成熟が遅延することが報告されている (Hale, 1968, 1970 ; Cawthon and Morris, 1982 ; Davie et al., 1997)。

3) アブシジン酸 (ABA)

ABA は、果実の成熟を促進させる (Sacher, 1973 ; Brady, 1987)。特に、ABA は着色に影響し、ブドウでは満開後45日 (ベレゾーン開始期) にABAを処理するとアントシアニンの蓄積が促進される (Yakushiji et al., 2001)。

7. 終わりに

果実の成熟は、様々な要因によって非常に複雑に制御されている。また、果実の種類によって、求められる果実品質 (大きさ、硬さ、甘さ、酸味、香り) も大きく異なる。このため、生理活性物質等により果実の成熟を一様に制御することは極めて難しい。特に、今回言及した生理活性物質は、果実の種類、処理濃度、また処理する果実の熟度などによって異なる作用を示す場合も多く、適切な処理効果を得るためには注意が必要である。

引用文献

- Autio, W.R., Bramlage, W.J., 1982. Effects of AVG on maturation, ripening, and storage of apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107, 1074-1077.
- Awad, M.A., Jager, A., 2002. Formation of flavonoids, especially anthocyanin and chlorogenic acid in ‘Jonagold’ apple skin: influences of growth regulators and fruit maturity. *Sci. Hort.* 93, 257-266.
- Ban, T., Kugishima, M., Ogata, T., Shiozaki, S., Horiuchi, S., Ueda, H., 2007. Effect of ethephon on the fruit ripening characters of rabbiteye blueberry. *Sci. Hort.* 112, 278-281.
- Baritelle, A.L., Hyde, G.M., Fellman, J.K.,

- Varith, J., 2001. Using 1-MCP to inhibit the influence of ripening on impact properties of peach and apple tissue. *Postharvest Biol. Technol.* 23, 135-160.
- Bangerth, F., 1978. The effect of a substituted amino acid on ethylene biosynthesis, respiration, ripening and preharvest drop of apple fruits. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 103, 401-404.
- Belding, R.D., Lokaj, G.R.W., 2002. Aminoethoxyvinylglycine treatment of peach fruit reduces ethylene production and softening. *Hortscience* 37, 1065-1068.
- Blankenship, S.M., Dole, J.M., 2003. 1-methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biol. Technol.* 28, 1-25.
- Boquete, E.J., Trinchero, G.D., Frascina, A.A., Vilella, F., Sozzi, G.O., 2004. Ripening of 'Hayward' kiwifruit treated with 1-methylcyclopropene after cold storage. *Postharvest Biol. Technol.* 32, 57-65.
- Brady, C.J., 1987. Fruit ripening. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 38, 155-178.
- Bramlage, W.J., Greene, D.W., Autio, W.R., McLaughlin, J.M., 1980. Effects of aminoethoxyvinylglycine on internal ethylene concentrations and storage of apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105, 847-851.
- Byers, R.E., 1997. Peach and nectarine fruit softening following aminoethoxyvinylglycine spray and dips. *Hortscience* 32, 86-88.
- Cawthon, D.L., Morris, J.R., 1982. Relationship of seed number and maturity to berry development, fruit maturation, hormonal changes, and uneven ripening of 'Concord' grapes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107, 1097-1104.
- Copper, W.C., Henry, W.H., 1968. Effect of growth regulators on coloring and abscission of citrus fruits. *Isr. J. Agric. Res.* 18, 161-174.
- Davie, C., Boss, P. K., Robinson, S.P., 1997. Treatment of grape berries, a nonclimacteric fruit with a synthetic auxin, retards ripening and alters the expression of developmentally regulated genes. *Plant Physiol.* 115, 1155-1161.
- Drake, S.R., Eisele, T.A., Drake, M.A., Elfving, D.C., Drake, S.L., Visser, D.B., 2005a. The influence of aminoethoxyvinylglycine and ethephon on objective and sensory quality of 'Delicious' apples and apple juice at harvest and after storage. *Washington Tree Fruit Postharvest Conf.* 1-13.
- Drake, S.R., Eisele, T.A., Drake, M.A., Drake, S.L., Elfving, D.C., Visser, D.B., 2005b. Effects of the bioregulators aminoethoxyvinylglycine and ethephon on brix, carbohydrate, acid, and mineral concentrations in 'Scarletspur Delicious' apple juice. *Hortscience* 40, 1421-1424.
- Fan, X., Blankenship, S.M., Mattheis, J.P., 1999. 1-methylcyclopropene inhibits apple ripening. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 124, 690-695.
- Given, N.K., Venis, M.A., Grierson, D., 1988. Hormonal regulation of ripening in the strawberry, a non-climacteric fruit. *Planta* 174, 402-406.
- Halder-Doll, H., Bangerth, F., 1987. Inhibition of autocatalytic C_2H_4 -biosynthesis by AVG applications and consequence on the physiological behaviour and quality of apple fruits in cool storage. *Sci. Hort.* 33, 87-96.
- Hale, C.R., 1968. Growth and senescence of the grape berry. *Aust. J. Agric. Res.* 19, 939-945.

- Hale, C.R., Coombe, B.G., Hawker, J.S., 1970. Effects of ethylene and w-chloroethylphosphoric acid on the ripening of grapes. *Plant Physiol.* 45, 620-623.
- Harima, S., Nakano, R., Yamauchi, S., Kitano, Y., Yamamoto, Y., Inaba, A., Kubo, Y., 2003. Extending shelf-life of astringent persimmon fruit by 1-MCP. *Postharvest Biol. Technol.* 29; 318-323.
- Hayama, H., Ito, A., Kashimura, Y., 2005. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment under sub-atmospheric pressure on the softening of 'Akatsuki' peach. *園学雑* 74, 398-400.
- Johnson D.S., Colgan, R.J., 2003. Low ethylene controlled atmosphere induces adverse effects on the quality of 'Cox's Orange Pippin' apples treated with aminoethoxyvinylglycine during fruit development. *Postharvest Biol. Technol.* 27, 59-68.
- Larrigauriere, C., Pinto, E., Vendrell, M., 1996. Differential effects of ethephon and seniphos on color development of 'Starking Delicious' apple. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121, 746-750.
- Layne, D.R., Jiang, Z., Rushing, J.W., 2002. The influence of reflection film and retain on red skin coloration and maturity of 'Gala' apples. *Horttechnology*, 12, 640-645.
- Liguori, G., Weksler, A., Zutahi, Y., Lurie, S., Kosto, I., 2004. Effect of 1-methylcyclopropene on ripening of melting flesh peaches and nectarines. *Postharvest Biol. Technol.* 31, 263-268.
- Mathooko, F.M., Tunashima, Y., Owino, W.Z.O., Kubo, Y., Inaba, A., 2001. Regulation of genes encoding ethylene biosynthetic enzymes in peach fruit by carbon dioxide and 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biol. Technol.* 21, 265-281.
- McGlasson W.B., Rath, A.C., Legendre, L., 2005. Preharvest application of aminoethoxyvinylglycine (AVG) modifies harvest maturity and cool storage life of 'Arctic Snow' nectarines. *Postharvest Biol. Technol.* 36, 93-102.
- Mir, N.A., Curell, E., Khan, N., Whitaker, M., Beaudry, R.M., 2001. Harvest maturity, storage temperature, and 1-MCP application frequency alter firmness retention and chlorophyll fluorescence of 'Redchief Delicious' apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 126, 618-624.
- Oeller, P. W., Lu, M.W., Taylor, L.P., Pike, D.A., Theologis, A., 1991. Reversible inhibition of tomato fruit senescence by antisense RNA. *Science* 254, 437-439.
- Porat, R., Feng, X., Huberman, M., Galili, D., Goren, R., Goldschmidt, E.E., 2001. Gibberellic acid slows postharvest degreening of 'Oroblanco' citrus fruits. *Hortscience* 36, 937-940.
- Rupasinghe, H.P.V., Murr, D.P., Paliyath, G., Skog, L., 2000. Inhibitory effect of 1-MCP on ripening and superficial scald development in 'McIntosh' and 'Delicious' apples. *J. Hort. Sci. Biotech.* 75, 271-276.
- Sacher, J.A., 1973. Senescence and postharvest physiology. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24, 197-224.
- Sisler, E.C., Blankenship, S.M., 1996. Methods of

- counteracting an ethylene response in plants. U.S. Patent Number, 5,518,988.
- Stover, E., Fargione, M., Watkins, C.B., Iungerman, K.A., 2003. Harvest management of marshall 'McIntosh' apples: Effects of AVG, NAA, ethephon, and summer pruning on preharvest drop and fruit quality. *Hortscience* 38, 1093-1099.
- Tatsuki, M., Endo, A., 2006. Analyses of expression patterns of ethylene receptor genes in apple fruits treated with or without 1-methylcyclopropene (1-MCP). *園学雑* 75, 481-487.
- Tatsuki, M., Endo, A., Ohkawa, H., 2007. Influence of time from harvest to 1-MCP treatment on apple fruit quality and expression of genes for ethylene biosynthesis enzymes and ethylene receptors. *Postharvest Biol. Technol.* 43, 28-35.
- Torrigiani, P., Bregoli, A.M., Ziosi, V., Scaramagli, S., Ciriaci, T., Rasori, A., Biondi, S., Costa, G., 2004. *Postharvest Biol. Technol.* 33, 293-308.
- Trebitsh, T., Goldschmidt, E.E., Riov, J., 1993. Ethylene induces de novo synthesis of chlorophyllase, a chlorophyll degrading enzyme, in Citrus fruit peel. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 90, 9441-9445.
- Trincheri, G.D., Sozzi, G.O., Covatta, F., Frascina, A.A., 2004. Inhibition of ethylene action by 1-methylcyclopropene extends postharvest life of 'Bartlett' pears. *Postharvest Biol. Technol.* 32, 193-204.
- Vilas-Boas, E. V. B., Kader, A.A., 2007. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on softening of fresh-cut kiwifruit, mango and persimmon slices. *Postharvest Biol. Technol.* 43, 238-244.
- Wang, Z., Dille, D.R., 2001. Aminoethoxyvinylglycine, combined with ethephon, enhance red color development without over-ripening apples. *Hortscience* 36, 328-331.
- Watkins, C.B., Nock, J.F., Whitaker, B.D., 2000. Responses of early, mid and late season apple cultivars to postharvest application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) under air and controlled atmosphere storage conditions. *Postharvest Biol. Technol.* 19, 17-32.
- Wheaton, T.A., Stewart, T.A., 1973. Optimum temperature and ethylene concentrations for postharvest development of carotenoid pigments in Citrus. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 98, 337-340.
- Yakushiji, H., Morinaga, K., Kobayashi, S., 2001. Promotion of berry ripening by 2,3,5-triiodobenzoic acid in 'Kyoho' grapes. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 70, 185 - 190.
- Yang, S.F. 1969. Ethylene evolution from 2-chloroethylphosphonic acid. *Plant Physiol.* 44, 1203-1204.
- 伊藤裕朗, 佐藤栄治, 1986. イチジクの高品質果実安定出荷技術 (第2報) エスレル処理の天候と果実品質 愛知農総試研報 18, 213-220.
- 岩堀修一, 佐藤幹夫, 1970. Ethrelによるカキ果実の成熟促進 農業および園芸 45, 63-64.
- 奥田義二, 小寺正史, 段正幸, 1972. イチジク果実の成熟促進に及ぼすエスレルの影響大阪農技七研報 9, 35-39.
- 樫村芳記, 2005. 新規鮮度保持剤1-MCP 農業機械学会誌 67, 16-18.

- 木村伸人, 岡田詔男, 青木松信, 河淵明夫, 1977. ニホンナシ「豊水」のエスレルによる熟期促進とカラーチャートによる収穫適期の判定 愛知農総試研報 B9, 112-118.
- 艾乃吐拉, 木合塔爾, 壽松木章, 小森貞男, 2005. 園学研 4, 439-443.
- 佐竹正行, 西村幸一, 佐藤昌宏, 駒林和夫, 香山武司, 菊池善吉, 1970. オウトウの熟期促進に関する研究 山形園試報 1, 15-29
- 島田智人, 2004. 1-MCP を利用した貯蔵・出荷技術 ナシでの利用 農業技術体系果樹編 8. 共通技術, 28 の 1 の 16-21.
- 四宮英彦, 北垣四男, 大橋一正, 田淵満一, 1972. 日本ナシに対するエスレル利用に関する研究 兵庫農試研報 20, 41-44.
- 中田隆人, 金子友昭, 坂本秀之, 1973. エスレルによるナシの熟期促進について 栃木農試研報 17, 89-100.
- 永田賢嗣, 栗原昭夫, 1995. エセフォン処理がキウイフルーツ果実の熟期促進と追熟に及ぼす影響 園学雑 64, 625-631.
- 中満一晴, 羽山裕子, 中村ゆり, 檜村芳記, 2006. カキ「太秋」における熟度の違いが1-MCPの処理効果に及ぼす影響 園学雑75(別2) 414.
- 野呂昭司, 2004. 1-MCP を利用した貯蔵・出荷技術 リンゴでの利用 農業技術体系果樹編 8. 共通技術, 28 の 1 の 12-15.
- 播磨真志, 中野龍平, 山本貴司, 小松英雄, 藤本欣司, 北野欣信, 久保康隆, 稲葉昭次, 富田栄一, 2001. カキ「刀根早生」促成栽培果実の収穫後の軟化発生 園学雑 70, 251-257.
- 播磨真志, 2004. 1-MCP を利用した貯蔵・出荷技術 カキでの利用 農業技術体系果樹編 8. 共通技術, 28 の 1 の 22-28.
- 平田尚美, 林 真二, 井上耕介, 1970. カキ果実の成熟促進 農業および園芸 45, 95-96.
- 平田尚美, 林 真二, 衣笠義人, 1971. カキ果実の成熟の機構に関する研究(第2報) Ethrel による果実の成熟促進とその実用化への検討 園学要旨 昭 46 春, 92-93.
- 広田隆一郎, 1971. エスレルによるナシの熟期促進 農業および園芸 46, 1033-1038.
- 細見彰洋, 奥田義二, 段正幸, 1988. イチジクの成熟調節と果実品質(I) エスレル多果処理の実用化について 大阪農技セ研報 25, 31-37.
- 間苧谷徹ら, 2002. 果実の成熟 p.217-228. 果樹園芸学 化学工業日報社
- 松井鑄一郎, 菅沼広美, 1970. エチレン遊離化合物の果樹栽培の利用 農業および園芸 45, 1421-1423.
- 山崎利彦, 福田博之, 広瀬和栄, 野間豊, 1989. 成熟の制御 p.141-167. 果樹の生育調節 博友社

牧草・毒草・雑草図鑑

定価 2,940円
(本体2,800円+税5%)

編著：清水矩宏・宮崎茂・森田弘彦・廣田伸七

B6判 288頁 カラー写真 800点

牧草・飼料作物80種、雑草180種、有毒植物40種を収録した畜産のための植物図鑑

発行／社団法人 畜産技術協会

販売／全国農村教育協会 電話 03-3839-9160 FAX 03-3839-9172