

エチレンによるモモ果実の軟化制御

| | |
|-------|--|
| 誌名 | 農業および園芸 = Agriculture and horticulture |
| ISSN | 03695247 |
| 著者名 | 羽山, 裕子 |
| 発行元 | 養賢堂 |
| 巻/号 | 85巻3号 |
| 掲載ページ | p. 328-337 |
| 発行年月 | 2010年3月 |

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



エチレンによるモモ果実の軟化制御

羽山 裕子*

〔キーワード〕: エチレン, 植物生育調節剤, 軟化, 日持ち性, モモ

1. はじめに

モモには, 成熟に伴い果肉が急激に軟らかくなる品種(溶質タイプ), 軟化が緩やかで加熱しても煮崩れしないため主に缶詰等加工用として利用される品種(不溶質タイプ), 成熟しても軟化せず硬いままの品種(硬肉タイプ)などさまざまな成熟特性を持つ品種が存在する(羽山 2003, 八重垣 2007)。しかしながら, わが国の消費者は果肉の軟らかいモモを好む傾向が強いため, 我が国で栽培されている品種の大半は, 成熟に伴い果肉が軟らかくなる溶質タイプのモモである。

溶質タイプのモモの収穫果実は, 軟らかい肉質を持つという特性から, 押し傷などが付きやすく, 収穫・出荷等における取り扱いが困難な果実の典型と言える。また, 軟化が速く日持ちが非常に悪いため, 限られた日数内に流通・販売することが求められ, 流通・販売過程での廃棄率も高い。したがって, モモの果肉軟化を制御し, 日持ち性を改善できれば, 適度な軟化程度の高品質な果実を安定して消費者に供給できるだけでなく, 流通・販売過程におけるコストの削減も期待できる。

モモの日持ち性は収穫時の熟度に左右され, 未熟なほど収穫時の果肉硬度が高く, その後の軟化も遅い。このため, これまででは取り扱いの容易さや日持ち性を考慮し, やや未熟な果実を収穫し, 出荷する傾向にあった。しかしながら, 近年は近赤外線を利用した非破壊品質評価装置(光センサー)を導入する選果場が増加し, 糖度を保証する販売方法が広がりつつあることから, 糖度の高い熟度の進んだ果実を収穫し, 出荷する傾向が強まっている。このような状況の下, モモの軟化を抑制する技術の開発は, 一層重要な課題となっている。ただし, モモの軟化制御は加減が極めて難しい。軟化を完全に抑制して

しまえば, 荷扱いは容易になるが消費者のニーズには応えられない。現状ではまだ困難な状況にあるが, 軟化速度を適度に遅延させ, 好適な軟らかさを長く維持可能な技術の開発が求められている。本稿では, モモの軟化において重要な役割を果たしているエチレンに着目し, 著者らの研究成果を中心に, 軟化機構やその制御技術についてこれまで得られている知見を紹介する。

2. モモの果肉軟化におけるエチレンの役割

一般に, 成熟に伴ってエチレンの生成が増大するクライマクテリック型果実では, 自らが生成するエチレンによって成熟・老化が促進されることから, 主要な成熟現象の一つである果肉軟化も, エチレンによって引き起こされるものと考えられている(立木 2007)。モモ果実も, 成熟期に達するとエチレン生成量が増大するクライマクテリック型果実であり(Tonutti ら 1991), 成熟に伴う急激な軟化には自ら生成するエチレンが関与している可能性が考えられる。しかしながら, モモの場合, 成熟時のエチレン生成の制御が困難なこともあり, 果肉の軟化とエチレンの関係を直接示す知見が得られていないことから, 軟化がエチレンによって誘導されているかどうかについては疑問視する考えも強い。

近年, 成熟期に達しても果肉軟化が起らない硬肉タイプと呼ばれるモモは, 成熟に伴うエチレン生成能力を遺伝的に欠失していることが明らかになったことから, 本タイプのモモを利用することにより, 果肉軟化におけるエチレンの役割が明らかになりつつある。

(1) 果肉軟化におけるエチレンの必要性

硬肉タイプのモモはわが国でも少量ながら栽培されているモモで, 外観は溶質タイプのモモと全く変わらないが, 収穫後も軟化しないため果肉が硬く, 食感は生の大根のようにカリカリとしている。わが国で栽培されている品種としては, ‘おどろき’や

*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 (Hayama Hiroko)

‘まなみ’がよく知られている。硬肉は遺伝的な形質で、交雑による後代の分離比から単一の劣性遺伝子 (*hd*) によって支配されていることが報告されている (吉田ら 1976)。

硬肉タイプのモモの成熟果実では、エチレンはほとんど生成しないが、エチレンに対する感受性は保持しており、外的にエチレンを処理すると溶質タイプのモモと同様に果肉硬度が低下する (Haji ら 2003, Hayama ら 2006a) (図1)。このことから、硬肉タイプのモモが軟化しない原因は、軟化する能力が欠如しているのではなく、エチレン生成が抑制されていることによるものであることが明らかとなった。つまり、モモの軟化にはエチレンの存在が必要であり、一般的なモモでは成熟に伴い生成されるエチレ

ンが軟化を引き起こしているものと考えられる。

一般に、クライマクテリック型果実では、成熟果実においてエチレンにより自らのエチレン生成が促進されるという特性を持つ。このため、一旦エチレンの生成を開始すると、そのエチレンに反応して生成量が急激に増加する (このような特性を「自己触媒的エチレン生成」と呼ぶ)。クライマクテリック型果実では、外的にエチレンを処理すると果実自らエチレンを生成し始めるため、エチレン処理のレベルや期間を制御することができない。これに対して、硬肉タイプのモモでは、外的にエチレンを処理しても自己触媒的エチレン生成はほとんど起こらない (Haji ら 2003)。このため、本タイプでは、果実が生成するエチレンに阻害されることなく、エチ

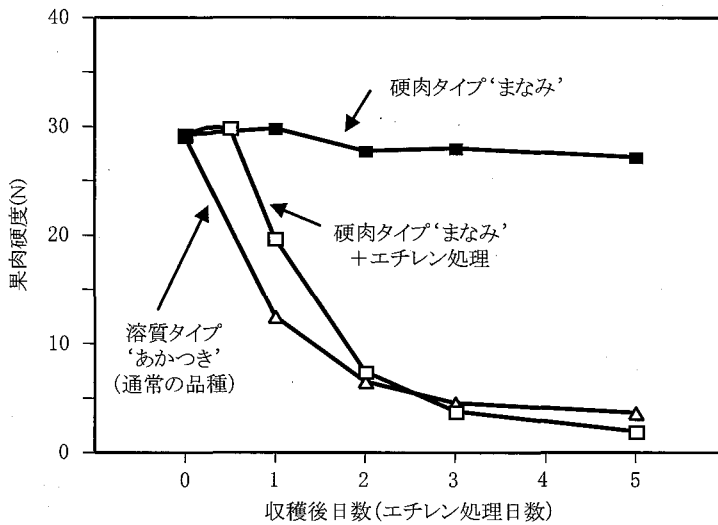


図1 硬肉タイプのモモの果肉軟化特性 (貯蔵温度 25°C)

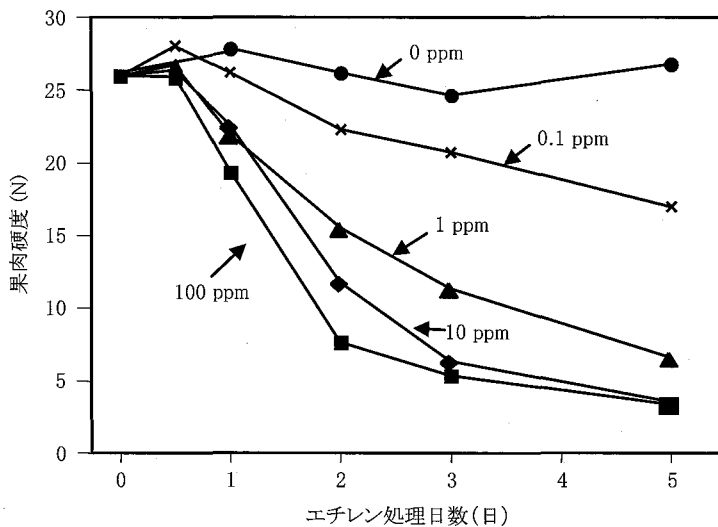


図2 エチレン処理濃度が硬肉タイプのモモ‘まなみ’の果肉硬度に及ぼす影響 (貯蔵温度 25°C)

レンと果肉軟化との関係を解析することが可能である。

そこで、硬肉タイプのもも果実に対して異なる濃度 (0.1ppm, 1ppm, 10ppm, 100ppm) のエチレンを継続的に処理し、エチレン濃度が果肉軟化に及ぼす影響を調べた (Hayama ら 2006b) . その結果、果肉軟化は 0.1ppm という極低濃度のエチレン処理でも進むこと、また軟化速度はエチレン濃度に依存しており、少なくとも 100ppm までは濃度が高いほど速く軟化することが明らかになった (図 2) .

また、硬肉タイプのももにおける外的なエチレン処理による果肉軟化は、エチレン処理開始後すぐには起こらず、おおよそ処理 12 時間後以降に開始した (図 1, 図 2) . このことから、果実がエチレンを受容した後、果肉軟化に関わる様々な生理的变化が起こり、果肉の軟化として顕在化するまでには 12 時間程度を要するものと考えられた。

なお、エチレン濃度は軟化後の肉質にも影響を及ぼし、エチレン濃度が高いほど果肉の多汁性が失われ粉質化する傾向が認められた。溶質タイプのももの中には様々な肉質を持つ品種が存在するが、このような肉質の違いにはそれぞれの品種におけるエチレン生成特性が関与している可能性が考えられる。

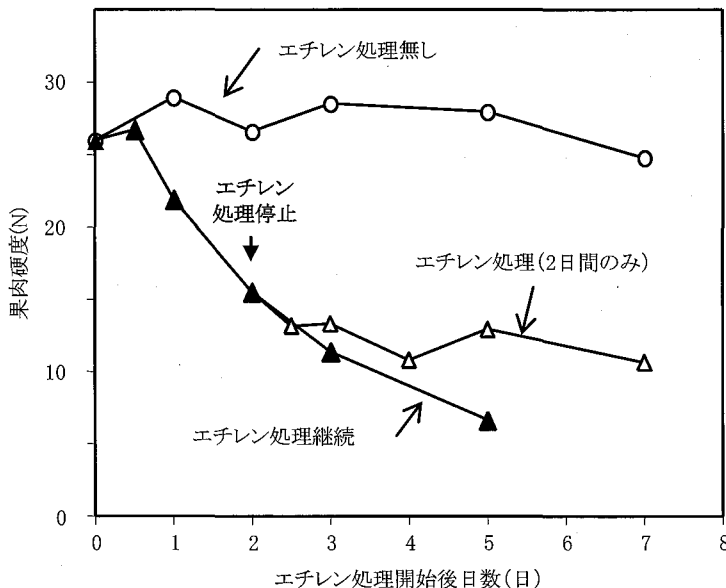


図3 硬肉タイプのもも‘まなみ’におけるエチレンの限定的処理(最初の2日間のみ処理)が果肉軟化に及ぼす影響(貯蔵温度 25°C)

このように、ももの果肉が軟化するには、エチレンの存在が不可欠である。しかしながら、エチレンによって果肉軟化が始まったもも果実に対するエチレンの影響は不明である。もしエチレンが果肉軟化の引き金としてのみ機能しており、その後の軟化にはエチレンが関与しないとすれば、エチレンによって果肉軟化の速度や程度を制御することは困難である。そこで、硬肉タイプのももに対し、エチレンを2日間連続的に処理して軟化させた後、エチレンを含まない空気中に移し、果肉硬度の変化を調査した。その結果、果肉軟化は、エチレン処理を停止してもその後約 12 時間は処理期間中と同様に進行したが、24 時間後には停止した (図 3) . このことから、エチレンは、単に果肉軟化の引き金として機能するだけではなく、一旦始まった果肉軟化の進行にも不可欠な役割を担っていることが明らかとなった。

(2) エチレンによる果肉軟化の分子機構

一般に、果実の軟化は、果肉細胞の細胞壁や細胞と細胞を接着する部位が酵素等の働きにより分解、修飾されることによって、果肉組織や果肉細胞の強度が低下することが主な要因であり、これには細胞壁の分解・修飾に関与する様々なタンパク質が複雑に関与しているとされている (Brummell and

Harpster 2001, 石丸 2007) . ももでは、細胞壁の分解・修飾に関与するタンパク質をコードする遺伝子について果実の成熟に伴う発現が網羅的に解析され、その多くがエチレンによって制御されていることが明らかにされている (Trainotti ら 2003) . 著者らの研究においても、細胞壁の分解・修飾に関与するタンパク質をコードする遺伝子のうち3種類 (エンド型ポリガラクトナーゼ (PpPG), アラビノフラノシダーゼ・キシロシダーゼ (PpARF/XYL), およびエクспанシン (PpExp3)) は、溶質タイプのももでは軟化時に発現するが、硬肉タイプのももでは外的にエチレンを処理した場合のみ発現することを明らかにした (Hayama ら 2006b) . また、硬肉タ

イブのモモにおけるこれらの遺伝子の発現は、エチレン処理開始後 12 時間以内に速やかに誘導される一方、処理を停止すると 12 時間以内に減少することから、エチレンによって制御されていることが明らかになった (図 4A)。さらに、これらの遺伝子の発現は、エチレン濃度依存的に制御されており、特にモモの軟化において主要な役割を果たすとされているエンド型ポリガラクトツロナーゼ (*PpPG*) の発現量は、エチレン濃度が高いほど発現量も多くなり軟化の程度とよく一致していた (図 4B)。

以上のことから、成熟に伴うモモの果肉軟化は、図5のような機構で起こっているものと考えられる。果実が成熟期に達するとエチレンの生成量が増加し、そのエチレンによって、細胞壁の分解・修飾に関わるタンパク質をコードする遺伝子の発現が誘導され、その結果として細胞壁が分解・修飾され、

果肉が軟化する。また、硬肉タイプのモモにおける果肉軟化はエチレンが存在している条件下においてのみ進行する。このことは、軟化に関与する細胞壁の分解・修飾に関わるタンパク質が不安定なことを示すものであり、モモの果肉はこれらのタンパク質をコードする遺伝子がエチレンの存在下で発現し続けることによって進行するものと考えられる。

3. エチレンによるモモの軟化制御技術

モモの果肉軟化の進行にはエチレンの存在が不可欠なこと、また軟化速度はエチレン濃度に依存していることから、成熟期に自らエチレンを生成して軟化する溶質タイプのモモ (一般的なモモ) においても、エチレンの生成や作用を抑制すれば、軟化を抑制し日持ち性が向上できるものと期待される。

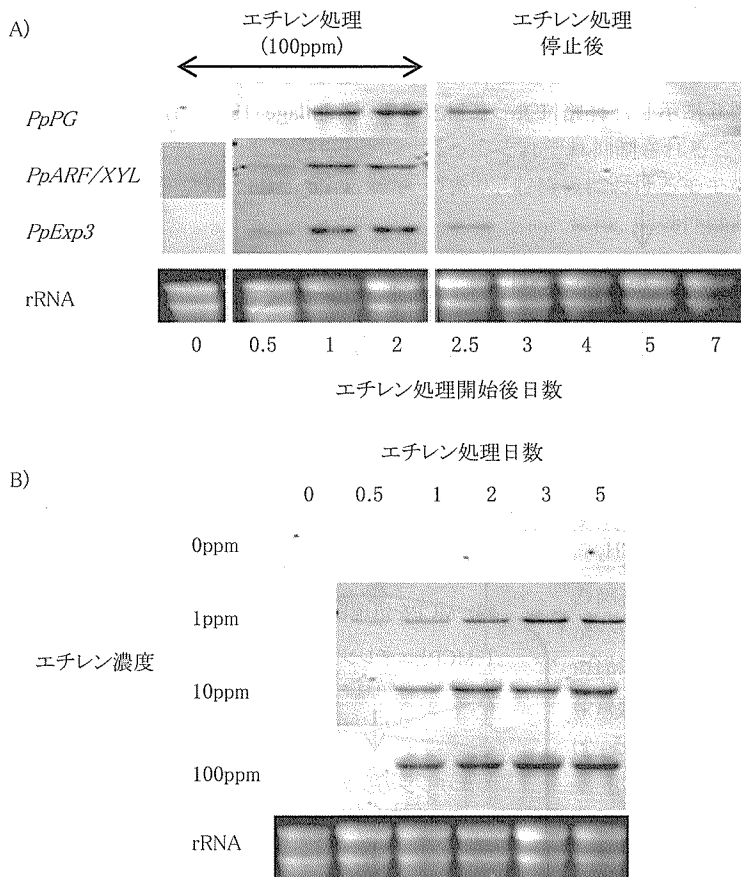


図4 硬肉タイプのモモ‘まなみ’におけるエチレン処理が細胞壁代謝関連タンパク質遺伝子 (*PpPG*, *PpARF/XYL*, *PpExp3*) の発現に及ぼす影響 (A) およびエチレン濃度が *PpPG* の発現に及ぼす影響 (B)

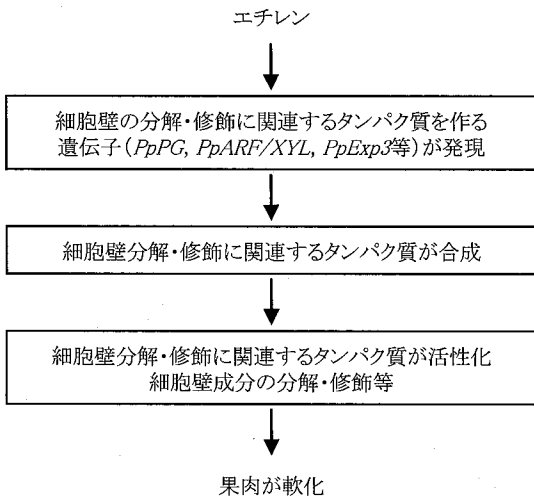


図5 エチレンによるモモの軟化機構

(1) 溶質タイプのモモにおけるエチレンの生成および作用の制御による軟化抑制
植物は、主として図6に示した経路によってエチ

レンを生成する (Adams and Yang 1979) . このようなエチレン生成系において、重要な酵素は S-アデノシルメチオニン (SAM) を 1-アミノシクロプロパン-1-カルボン酸 (ACC) に変換する ACC 合成酵素と ACC をエチレンに変換する ACC 酸化酵素であり、このうち ACC 合成酵素による ACC の合成が律速段階であるとされている。

エチレンは老化作用など作物生産にとってマイナスの面を持つことから、このような影響を緩和することを目的に種々の植物生育調節剤が開発されている。代表的なものとしては、エチレン生成を抑制するアミノエトキシビニルグリシン (AVG) と、エチレンの作用を抑制する 1-メチルシクロプロパン (1-MCP) が挙げられる。AVG は、エチレン生成の鍵酵素である ACC 合成酵素の働きを阻害することにより、エチレンの生成を抑制する薬剤である (Boller ら 1979) (図6) . 米国では主にリンゴの落果防止剤として使用されている他、果実の成熟を遅延させることが確認されている (Autio and Bramlage 1982, Bangerth 1978) . しかしながら、

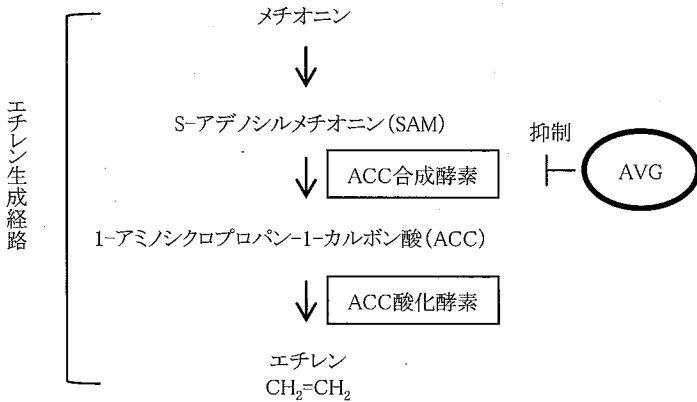
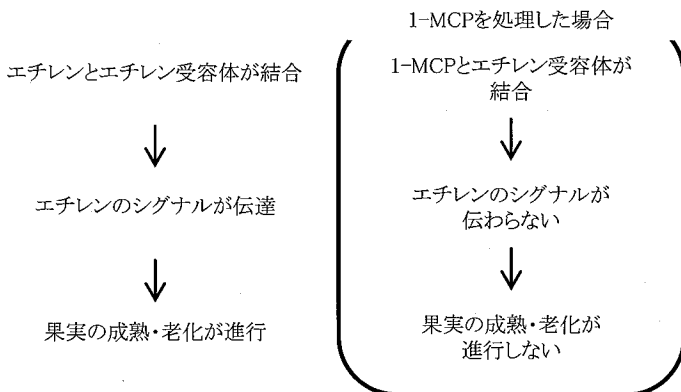


図6 エチレン生成経路とアミノエトキシビニルグリシン (AVG) および 1-メチルシクロプロパン (1-MCP) の作用



すでにエチレンを生成している果実では、本剤を処理してもエチレン生成を完全に抑制することは難しい。一方、1-メチルシクロプロペン (1-MCP) は、エチレンの生成ではなく作用を阻害する薬剤であり、一般的には収穫後の果実に処理することにより、リンゴ、ニホンナシ、カキなどの果実では、果肉の軟化や地色の上がりなどエチレンによって促進される老化現象を顕著に抑制し、日持ち性を画期的に向上させることが報告されている (Blankenship and Dole 2003, 樫村 2005)。一般に、植物体内において、エチレンはエチレン受容体と呼ばれるタンパク質と結合することによって感知され、そのシグナルが伝達されることにより果実の成熟・老化などの現象が進行する。ところが、1-MCP は、エチレンよりもこの受容体と結合しやすい。このため、エチレンとエチレン受容体との結合が阻害され、成熟・老化が進行しない (図 6)。

モモにおいても、AVG または 1-MCP を処理することにより、軟化がわずかに抑制されることが報告されているが、その効果は他のクライマクテリック型果実に比べて極めて小さく、十分な効果は得られない (Fan ら 2002, Mathooko ら 2001, Bregoli ら

2006)。その原因について詳細は不明であるが、モモは他のクライマクテリック型果実に比べてエチレンに対する感受性が高く、微量のエチレンでも軟化が進行するのかもしれない。

著者らは、モモ果実におけるエチレン生成および作用の両者を阻害することによって果肉軟化を抑制するため、収穫した成熟果実に対して AVG と 1-MCP の併用処理を試みた (Hayama ら 2008a)。その結果、AVG を処理した果実では 1-MCP 処理の有無に関わらず顕著にエチレン生成が抑制され、収穫後 9 日間室温 (25°C) で放置してもエチレン生成量の大幅な増加は認められなかった (図 7) が、果肉硬度は、AVG 処理だけでは収穫 2 日後以降は無処理果実と同等まで低下した。一方 AVG と 1-MCP を併用処理した果実では無処理果実に比べて顕著に軟化が抑制され、果肉硬度は収穫 9 日後でも無処理果実よりも有意に高く維持された (表 1)。両剤の単独処理および併用処理における果肉硬度を統計解析したところ、主として、収穫 4 日後までの軟化は 1-MCP によって、それ以降の軟化は AVG によってそれぞれ抑制されることが認められた (表 1)。つまり、収穫後におけるモモの果肉軟化を抑制する

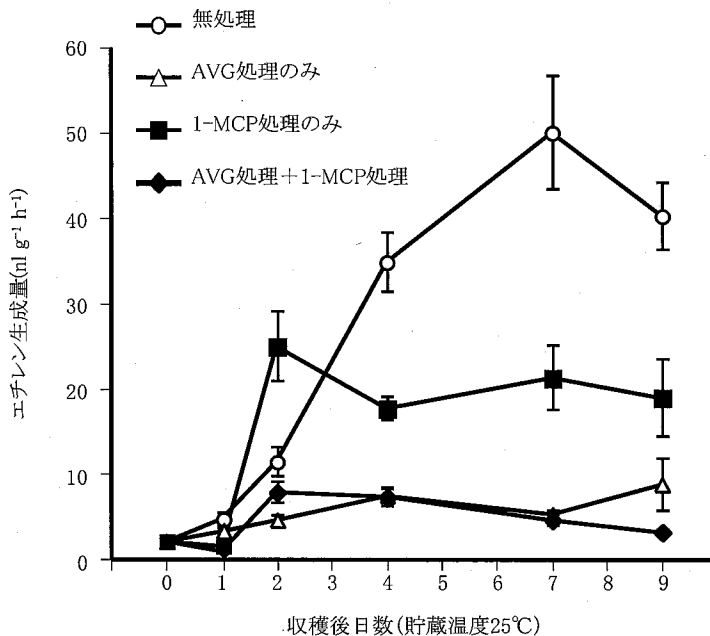


図 7 収穫後のモモ果実「あかつき」に対する AVG および 1-MCP 処理が果実のエチレン生成に及ぼす影響
誤差線は標準誤差を示す

には、即効性はあるが効果が持続しない 1-MCP と遅効性であるが効果が持続する AVG の両剤を併用処理することが有効であると考えられた。また、AVG を収穫後ではなく、収穫 1 週間前または 1 日前の果実に樹上散布し、収穫後に 1-MCP を処理しても、収穫後に AVG を処理した場合と同様の効果が認められる (表 2)。

なお、我が国では AVG と 1-MCP の両剤ともにモモに対する農薬登録がないため、現時点では本技術を生産現場で利用することはできない。

(2) 硬肉タイプのモモにおけるエチレンを利用した軟化促進技術

前述した通り、硬肉タイプのモモは、成熟に伴う果皮の着色や糖度の上昇、酸度の低下などは一般的なモモと同様に進行するが、成熟期に達してもほとんどエチレンを生成せず、果肉の軟

表1 収穫後 AVG 処理および 1-MCP 処理がモモ果実「あかつき」の果肉硬度に及ぼす影響

| 処理区 | 要因A(AVG) | 要因B(1-MCP) | 果肉硬度(N) ^z | | | | |
|------------------|----------|------------|----------------------|----------------------|---------|--------|---------|
| | | | 収穫後日数(25°C貯蔵) | | | | |
| | | | 0 | 2 | 4 | 7 | 9 |
| 無処理 | — | — | | 10.42 a ^y | 5.05 a | 4.46 a | 4.68 a |
| AVG | + | — | 36.28 | 14.71 a | 6.35 a | 6.47 b | 5.61 ab |
| 1-MCP | — | + | | 27.16 b | 6.96 a | 4.63 a | 4.73 a |
| AVG+1-MCP | + | + | | 32.97 b | 16.01 b | 6.50 b | 6.13 b |
| 有意性 ^x | | | | | | | |
| 要因A(AVG) | | | | NS | ** | ** | ** |
| 要因B(1-MCP) | | | | ** | ** | NS | NS |
| A×B | | | | NS | NS | NS | NS |

^z 硬度計(直径8mm円柱形プローブ)で測定^y 異なる英小文字間に5%の危険率で有意差あり(Tukey's test)^x 二元配置分散分析 NS:有意差なし, **:1%の危険率で有意差あり

表2 収穫前 AVG 処理および収穫後 1-MCP 処理がモモ果実「あかつき」の果肉硬度に及ぼす影響

| 処理区 | 果肉硬度(N) ^z | | | |
|------------------|----------------------|----------------------|----------|---------|
| | 収穫後日数(25°C貯蔵) | | | |
| | 0 | 2 | 4 | 6 |
| 無処理 | 22.44 | 11.03 a ^y | 4.11 a | 5.84 a |
| AVG(収穫7日前) | 30.69 | 18.08 ab | 10.32 ab | 6.40 a |
| AVG(収穫7日前)+1-MCP | | 33.68 c | 14.78 b | 6.95 ab |
| AVG(収穫1日前) | 33.65 | 16.92 a | 8.09 a | 4.39 a |
| AVG(収穫1日前)+1-MCP | | 27.04 bc | 18.96 b | 12.30 b |

^z 硬度計(直径8mm円柱形プローブ)で測定^y 異なる英小文字間に5%の危険率で有意差あり(Tukey's test)

化が起こらない(Hajiら2004)。また、収穫後も一般的な溶質タイプのモモと異なり、果肉が急激に軟化することもない(図1)。このため、硬肉タイプのモモは、日持ち性が極めて良好なだけでなく、押し傷等が付きにくいことから、収穫・出荷過程における取り扱いも容易である。しかしながら、わが国では軟らかい肉質のモモが好まれるため、硬肉タイプのモモの需要は限られる。しかし、自然には軟化しない硬肉タイプのモモも人為的にエチレンを処理すれば果肉を軟化させることができる(図1)。しかも、エチレン処理による軟化はエチレン処理期間中のみ進行し、処理を止めると軟化も停止するため、処理条件を制御することにより適度に軟化した食べごろの肉質を維持することが可能であると考えられる(図3)。このような処理を流通過程の適切な段階で実施すれば、日持ち性が良く取り扱いの容易な果実として流通させ、かつ軟らかな果肉のモモとして販売できるものと期待される。

1)機能性段ボール箱とエチレン発生剤を利用した簡便なエチレン処理
 キウイフルーツやバナナでは、エチレンを利用した追熟処理が行われている。ただし、これらの果実は、一旦、エチレンを感受すると自らエチレンを生成するため、継続的にエチレンを処理する必要はない。キウイフルーツでは、15~18時間程度エチレンを処理すればエチレン生成が誘導される(矢野ら1993)。しかしながら、硬肉タイプのモモは、エチレンを処理してもエチレン生成が誘導されないため、適度に軟化するまでエチレンを継続して処理することが必要である。硬肉タイプのモモはエチレン濃度が高いほど短時間で軟化するが、軟化後の果肉が粉質化するなど肉質が悪くなりやすい。一方、濃度が低すぎると適度に軟化するまでに時間がかかり実用的ではない。図2に示した実験等から、肉質を損ねずに簡便に軟化させるには、処理濃度を約10ppmとするのが適切であると考えられたが、この

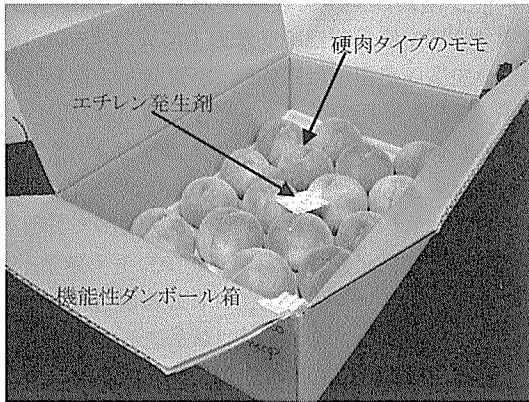


図8 エチレン発生剤および機能性段ボール箱を用いたエチレン処理方法

濃度では、良好な硬度まで軟化するのに2~3日間かかる。しかしながら、エチレン処理のために硬肉タイプのモモを密閉条件に2~3日間も放置すると、果実の呼吸により処理容器内部が低酸素・高二酸化炭素濃度となり、異臭（発酵臭）やガス障害が発生する恐れがある。実験的には、10ppmのエチレンを含む空気を通気させて処理すれば、このような問題は生じないが、大がかりな施設が必要となる。そこで、キウイフルーツ追熟用のエチレン発生剤及びMA (Modified Atmosphere) 包装等に用いられるガス透過性の低い機能性段ボール箱を利用した簡易なエチレン処理手法を検討した(羽山ら2009)。ただし、現在市販されているキウイフルーツ用のエチレン発生剤(熟れごろ[®], 大江化学)は、開封後、急激に大量のエチレンを発生するため、2~3日間にわたり比較的濃度のエチレンを継続的に処理す

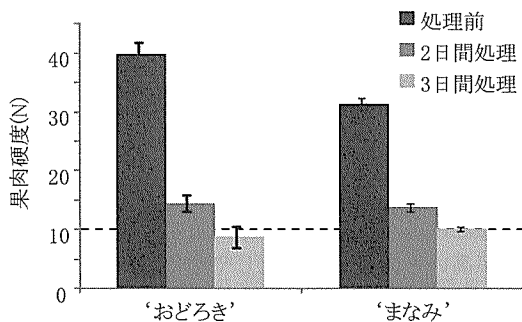


図9 改良型エチレン発生剤および機能性段ボール箱を用いたエチレン処理が硬肉モモの果肉硬度に及ぼす影響(処理温度25℃) 誤差線は標準誤差を示す

るには適さない。そこで、試験にはエチレンを少量ずつ継続的に発生するように改良した発生剤を用いた。また、処理用段ボール箱のガス透過性は、低いほど箱内のエチレン濃度を維持できるが、低すぎると処理期間中に箱内が低酸素・高二酸化炭素濃度となる危険性が高い。そこで、ガス透過性の異なる様々な機能性段ボール箱の中から、改良したエチレン発生剤を使用した場合にエチレン濃度を10ppm程度に維持しつつ、かつ酸素・二酸化炭素濃度も適切な範囲に維持し得る可能性の高い資材(段ボールのライナーに二軸延伸ポリビニルアルコールフィルムをラミネートした機能性段ボール箱、アイザック石崎産業)を選択した(図8)。

硬肉タイプのモモ‘まなみ’と‘おどろき’の成熟果実とエチレン発生剤を機能性段ボール箱に入れて密閉した後、3日間室温(25℃)貯蔵したところ、両品種ともに異臭や障害が発生することなく食べごろとなる果肉硬度まで軟化させることができた(図9)。しかしながら、‘まなみ’では‘おどろき’に比べて軟化後の肉質が粉質化する傾向が認められ、エチレン処理による軟化後の肉質は、エチレンの処理濃度だけではなく品種によっても異なるものと考えられた。また、粉質化の程度が低かった‘おどろき’においても、‘白鳳’や‘あかつき’等のわが国で栽培されている一般的なモモに比べると、やや多汁性に欠ける傾向にあったことから、実用化にあたっては、エチレン処理濃度や処理時間、処理温度などをさらに検討する必要がある。

2) エチレンの前駆体の処理

硬肉タイプのモモにおけるエチレン生成の抑制は、本来成熟期に機能すべきACC合成酵素遺伝子(*PpACS1*)の発現が抑制されることによるものであり(Tatsukiら2006)、本酵素の生成物であるACCを人為的に処理すればエチレンに変換され、その結果、軟化することが報告されている(Hajiら2003)。そこで、さまざまなACC濃度の溶液を硬肉タイプのモモ‘おどろき’に散布し、エチレン生成や果肉硬度に及ぼす影響を調査した(Hayamaら2008b)。その結果、1mM以上のACCを処理することにより処理1日後にはエチレンの生成が認められた(図10A)。またエチレン生成量は、処理したACC濃度が高いほど多かった。果肉硬度はACC処理により顕著に低下し、その程度は処理したACC濃度が

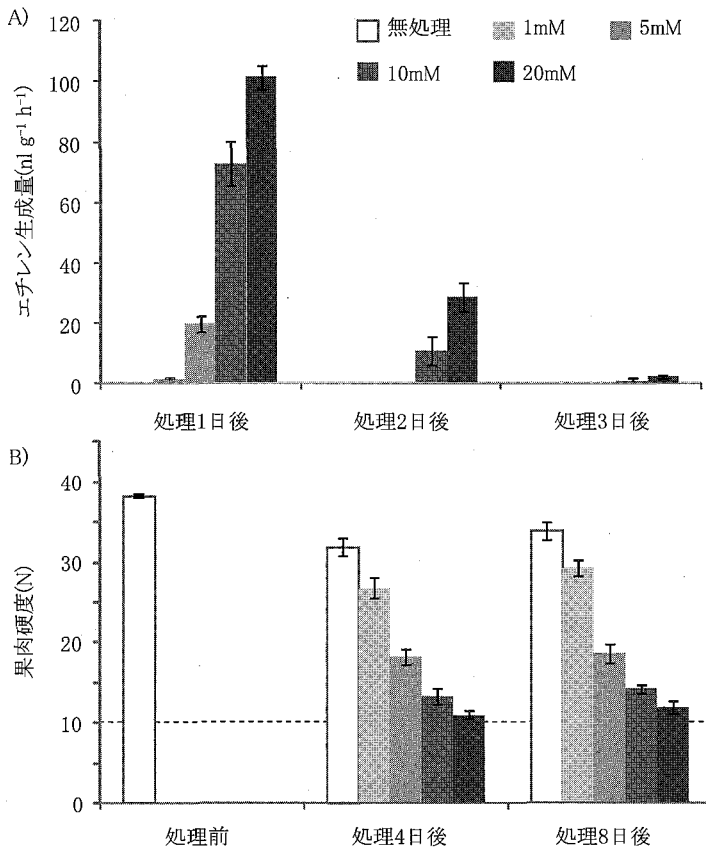


図 10 ACC 処理濃度が硬肉モモ 'おどろき' のエチレン生成 (A) および果肉硬度 (B) に及ぼす影響 (貯蔵温度 25°C) . 誤差線は標準誤差を示す.

高いほど大きかった (図 10B) . 食味に適した果肉硬度 (約 10N) まで軟化させるには, ACC 濃度 10-20mM の処理が適当であると考えられた. さらに, 処理 4 日後以降は 8 日後までは軟化が進まず, 適度な硬さが維持された (図 10B) . 本手法を用いれば, 硬肉タイプのモモを適度に軟化させられるだけでなく, 良好な果肉硬度をある程度の期間維持できることが明らかとなった. なお, 本方法を実際使用するためには ACC の食品添加物等としての登録が必要となる.

3) 低温処理

イタリアの研究グループは, 硬肉タイプのモモを 10°C で 15 日間貯蔵すると貯蔵 8 日後から微量ながらエチレン生成を開始し, 15 日後には果肉硬度が 10N まで低下することを報告している (Begheld ら 2008) . エチレンは低温などのストレスによっても誘導されることが知られており, 硬肉タイプのモモにおいても低温によってエチレン生成が誘導されるものと考えられる. 著者らが 'おどろき' を用い

て同様の試験を行ったところ, 本品種も微量のエチレンを生成し, 軟化したが, 軟化後も果肉にはまだカリカリとした食感が残っており, 前述したエチレン処理や ACC 処理とは異なり, 溶質タイプのモモの肉質には至らなかった.

4. おわりに

これまでの研究により, モモの軟化においてエチレンは重要な役割を担っており, エチレンを制御することによって軟化を抑制または促進できることが示された. しかしながら, モモの肉質は果肉硬度だけでは決まらない. 硬肉タイプのモモではエチレン処理によって果肉硬度が低下するが, エチレン濃度が高いと肉質が粉質化しやすく, またその程度は品種によっても異なる. また, 溶質タイプのモモの中にも, 肉質が多汁なものから粉質なものまで様々な品種が存在している. このような特性にエチレンの生成特性が関与しているのかもしれない. 我が国の消費者に好まれる多汁でとろけるような肉質を

持つモモを安定して供給可能にする技術を開発するには、エチレン生成量や細胞壁代謝に関与するタンパク質の活性変化、果肉細胞壁構造の変化などについてさらに研究を進めていく必要がある。

また、本稿ではエチレンに着目したためほとんど触れなかったが、主に缶詰用として栽培されている不溶質タイプのモモは、弾力のある肉質を持っており、溶質タイプのモモに比べて収穫後の軟化が緩やかなため、輸送性や日持ち性が優れる。従来の不溶質タイプのモモ品種は糖度が低く酸度が高い等、生食用には不向きな品質であったが、現在、果樹研究所では不溶質タイプの肉質を持つ生食用モモ品種の育成が進められている(八重垣 2007)。近い将来、日持ち性の良い新たな肉質を持つ生食用モモ品種が誕生するかもしれない。

なお、本稿で紹介した研究の一部は、農研機構交付金プロジェクト「高品質国産果実・花きの輸出に対応した生産・流通に関する基盤的技術の開発」において実施したものである。

参考文献

- Adams D. O., S. F. Yang 1979. Ethylene biosynthesis: Identification of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid as an intermediate in the conversion of methionine to ethylene. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 76: 170-174.
- Autio W. R., W. J. Bramlage 1982. Effects of AVG on maturation, ripening, and storage of apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 107: 1074-1077.
- Bangerth F. 1978. The effect of a substituted amino acid on ethylene biosynthesis, respiration, ripening and preharvest drop of apple fruits. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 103: 401-404.
- Begheldo M., Manganaris GA, Bonghi C, Tonutti P. 2008. Different postharvest conditions modulate ripening and ethylene biosynthetic and signal transduction pathways in Stony Hard peaches. *Postharvest Biology and Technology* 48: 84-91.
- Blankenship S. M., J. M. Dole 2003. 1-methylcyclopropane: a review. *Postharvest Biology and Technology* 28: 1-25.
- Boller T., R. C. Herner, H. Kende 1979. Assay for and enzymic formation of an ethylene precursor, 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid. *Planta* 145: 293-303.
- Bregoli A. M., V. Ziosi, S. Biondi, B. Claudio, G. Costa, P. Torrigiani 2006. A comparison between intact fruit and fruit explants to study the effect of polyamines and aminoethoxyvinylglycine (AVG) on fruit ripening in peach and nectarine (*Prunus persica* L. Batch). *Postharvest Biology and Technology* 42: 31-40.
- Brummell D. A., M. H. Harpster 2001. Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. *Plant Molecular Biology* 47: 311-340.
- Fan X., L. Argenta, J. P. Mattheis 2002. Interactive effects of 1-MCP and temperature on 'Elberta' peach quality. *Hortscience* 37: 134-138.
- Haji T., H. Yaegaki, M. Yamaguchi 2003. Softening of stony hard peach by ethylene and the induction of endogenous ethylene by 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC). *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 72: 212-217.
- Haji T., H. Yaegaki, M. Yamaguchi 2004. Varietal differences in the relationship between maturation characteristics, storage life and ethylene production in peach fruit. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 73: 97-104.
- 羽山裕子 2003. モモ果実の軟化機構とその制御. *農耕と園芸* 58: 184-187.
- 羽山裕子・阪本大輔・中村ゆり・榎村芳記 2009. 硬肉タイプのモモを軟化させるための簡便なエチレン処理方法. *日本食品保蔵科学会誌* 35: 235-240.
- Hayama H., M. Tatsuki, Y. Nakamura 2008a. Combined treatment of aminoethoxyvinylglycine (AVG) and 1-methylcyclopropane (1-MCP) reduces melting-flesh peach fruit softening. *Postharvest Biology and Technology* 50: 228-230.
- Hayama H., M. Tatsuki, H. Yoshioka, Y. Nakamura 2008b. Regulation of stony hard peach softening with ACC treatment. *Postharvest Biology and Technology* 50: 231-232.
- Hayama H., M. Tatsuki, A. Ito, Y. Kashimura 2006a. Ethylene and fruit softening in the stony hard mutation in peach. *Postharvest Biology and Technology* 41: 16-21.
- Hayama H., T. Shimada, H. Fujii, A. Ito, Y. Kashimura 2006b. Ethylene-regulation of fruit softening and softening-related genes in peach. *Journal of Experimental Botany* 57: 4071-4077.
- 石丸 恵. 2007. 果実軟化と細胞壁分解. *日本食品保蔵科学会誌* 33: 77-83.
- 榎村芳記. 2005. 新規鮮度保持剤 1-MCP. *農業機械学会誌* 67: 16-18.
- Mathooko F. M., Y. Tsunashima, W. Z. O. Owino, Y. Kubo, Y. Inaba 2001. Regulation of genes encoding ethylene biosynthetic enzymes in peach (*Prunus persica* L.) fruit by carbon dioxide and 1-methylcyclopropane. *Postharvest Biology and Technology* 21: 265-281.
- 立木美保. 2007. エチレンによる果実の成熟・老化制御機構. *果樹研究所報告* 6: 11-22.
- Tatsuki M., T. Haji, M. Yamaguchi 2006. The involvement of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase isogene, Pp-ACS1, in peach fruit softening. *Journal of Experimental Botany* 57: 1281-1289.
- Tonutti P., P. Casson, A. Ramina 1991. Ethylene biosynthesis during peach fruit development. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 116: 274-279.
- Trainotti L., D. Zanin, G. Casadoro 2003. A cell wall-oriented genomic approach reveals a new and unexpected complexity of the softening in peaches. *Journal of Experimental Botany* 54: 1821-1832.
- 八重垣英明. 2007. モモにおける新品種育成の現状と今後の展望. *果樹種苗* 108: 5-9.
- 矢野昌充・長谷川美典. 1993. キウイフルーツの収穫後における自己触媒的なエチレン生成の特徴について. *園芸学会雑誌* 62: 625-632.
- 吉田雅夫. 1976. モモの品質に関わる育種学的研究 III 肉質と日持ち性. *果樹試験場報告 A*. 3: 1-16.