カキ果実の成熟および脱渋後の軟化に関する研究

平成17年度日本食品保蔵科学会学会賞

板村 裕之*

Studies on Fruit Ripening and Softening after Removal of Astringency in Persimmon

ITAMURA Hiroyuki*

* Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University
1060, Nishikawatsu-cho, Matsue-shi, Shimane 690-8504

‘柿食えば鐘が鳴るなり法隆寺’（正岡子規）と詠まれ、昔から日本人の心に、ほのぼのと秋を感じさせてくれる“柿”。『新撰姓氏録』（大和時代）に柿が人名に現れてくることが記載されていることから、すでに柿が存在していたと思われる¹⁾。また、『本草和名』（918年）や『延喜式』（927年）に柿の記述がみられることから、平安時代には一般的に利用されていたものと思われる^{2),3)}。漁網や紙、傘にその渋を塗布して強くしたり、清酒を作る過程で澱を沈めるなどの利用^{1),3),4)}や、カキの葉のタンニンの抗菌性を利用したカキの葉ずしなど多用途である。しかしなんといっても、木ざわし、さわし柿、干し柿等の食用が主な用途である。カキ果実は糖質とビタミンを豊富に含み、ビタミンAはウンシュウミカンと、ビタミンCはイチゴと同程度含まれている（表1）。さらに、筋肉の収縮など人間の生命活動に重要な役割を果たすカリウムを多量に（果実100g当たり200mg）含んでおり、保健食品として重要である。また、成熟時渋ガキに1%程度含まれる可溶性タンニン⁵⁾（図1）の構成要素であるエピカテキン、エピガロカテキン、エピカテキン-3-ガレート、エピガロカテキン-3-ガレートはいずれも、癌を予防する作用が確認されており⁶⁾、高血圧や二日酔いの予防にもよいとされ³⁾、機能性食品としても注目される。しかし、リンゴなどに比べると貯蔵性が悪く、なか

には‘西条’のように脱渋後4日で完全に軟化するような品種もあり、果実軟化の制御が重要な問題となっている。

図1 カキタンニンの推定構造（松尾・伊藤，1978）

表1 甘ガキのビタミン含量
（四訂標準食品成分表より）

カロチン	120μg
A効力	65IU
B ₁	0.03mg
B ₂	0.02mg
ナイアシン	0.3mg
C	70mg

注 果実100g新鮮重当たり

* 島根大学生物資源科学部（〒690-8504 島根県松江市西川津町1060）
E-mail: itamura@life.shimane-u.ac.jp

本稿では、カキ果実の軟化メカニズムを、生育ステージによる軟化速度の違い、エチレン生成、細胞壁の分解などの観点から解説するなかで、これらの問題の原因と軟化防止、貯蔵性向上などの対応策について言及したい。

1. カキ果実の成熟特性と貯蔵性

一般に果実は、着色、果肉の軟化、芳香といった特色が現れてくると、成熟期に達したといい、可食適期となる。果実は、成熟時の果実の採取後の呼吸の変化の仕方から、大きく2つのグループに分けられる。1つはクライマクテリック型の果実、そしてもう1つはノンクライマクテリック型の果実である。クライマクテリック型の果実とは、採取後に、呼吸の一時的な上昇を伴うものであり、同時にエチレンの上昇も認められるタイプの果実である。リンゴ、ニホンナシ、セイヨウナシ、スモモ、アンズ、バナナのほか、チェリモア、マンゴ、アボカドなどの熱帯果実類がこのタイプの果実に属する。一方、ノンクライマクテリック型の果実というのは、採取後に呼吸の上昇を伴わず、エチレン生成も認められないタイプの果実であり、カンキツ類、オウトウ、ブドウなどがこのタイプの果実に属する。カキはこれらの果実とは異なった成熟特性を示し、そのため貯蔵性も熟度によって大きく異なるので注意が必要である。

(1) 呼吸型（採取後呼吸量の変化のパターン）の特徴

図2に採取後のカキ果実の呼吸量の変化を示した⁷⁾。EAKSは‘蜂屋’の採取後の呼吸量が、6.5日でピークに達し、8日で軟化したことを報告している。しかしBIALEらは同じ‘蜂屋’でクライマクテリック（呼吸の上昇）は明確でなかったとしている。AKAMINEは、栽培ガキと近縁種の、*Diospyros discolor* Willd. の緑熟果と5%着色果を用いて採取後の呼吸量とエチレン生成量を測定し、明らかなクライマクテリックピークを認めている。

一方、日本では、カキがクライマクテリック型の果実であるという説に否定的な研究が多い⁷⁾。岩田らは、‘花御所’、‘宮崎無核’、‘愛宕’のやや未熟果ないし適熟果において、採取後かなりたってから呼吸量の増大が起こるが、明確なピークを形成しないうえに、過熟状態になってから呼吸の増大が起こるなどの点から、クライマクテリック型の果実とは明らかに異なるとし、末期上昇型という分類を提唱した。また高田は、‘富有’の種々の生育段階の果実の採取後の呼吸量を測定し、未熟果では呼吸のシャープなピークが存在するが、成熟期に近くなると採取後相当日数を経て軟熟状態に近くなってから、呼吸の上昇が起こったことを報告している。板村⁸⁾は‘平核無’においても同様の現象を認めた。したがって、カキ果実は未熟期においてはクライマクテリック型の呼吸を示し、成熟期には末期上昇型の呼吸を示すものと思われる。カンキツ類においても、同様の現象が報告されており、カキ果実と共通点があり、生理学的に興味深い⁷⁾。

(2) 果実の貯蔵性

1) 収穫熟度と果実の貯蔵性 一般に果実はやや未熟な段階で収穫したものが貯蔵性が高く、熟度が進むほど貯蔵性が劣るといわれている。例えばリンゴ果実では、SMOCK⁹⁾が貯蔵用の果実はクライマクテリック ミニマム（呼吸の上昇前）か、ライズ（呼吸の上昇時）の比較的早い時期に収穫する必要があると指摘している。また、ナシ、モモ等でも同様の結果が報告されている。これに対して、カンキツ類は完熟期の果実がもっとも貯蔵性に富んでいるとされている⁷⁾。

一方、カキ果実では収穫時期と貯蔵性に関する報告は比較的少ない⁷⁾。田中らによると、‘富有’の早期収穫果は、採取時の肉質は硬いが貯蔵性が悪く、後期収穫果では採取時にすでに肉質が軟かく貯蔵中の腐敗も多いので、貯蔵用としては、収穫中期のやや完熟前の健全果実のうち硬いものを選ぶ必要があるとしている。また、同じ‘富有’で、福長らは11月上、中、下旬の3時期の採取果のうちやや未熟な11月上旬採取果の貯蔵性がもっとも高かったとしている。

筆者⁸⁾が、‘平核無’果実のアルコール脱渋後の貯蔵性を熟度別に調べた結果、山形県鶴岡市において、適熟期と考えられる10月中下旬の果実の貯蔵性がもっとも優れていた（図3）。これは、カキ果実の呼吸量やエチレン生成に代表される生理活性が、熟度が進むほど低下すること（図4）、過熟果では、樹上で既に軟熟しているために貯蔵性が低下するためと思われる。

2) 樹体条件と果実の貯蔵性 樹勢の弱った樹や早期に紅葉落葉する樹から採取した果実は軟化が早く貯蔵性に乏しいことは、栽培農家や技術者によって経験的に知られている。このような樹から収穫した果実と、健全葉を着生している樹から収穫した果実とでは、脱渋後の日持ちはどの程度違うのだろうか。カキ‘平核無’を用いて、この両者で、脱渋後の果実の軟化率を調査した結果、軟化率が50%に達するまでの日数が、早期落葉区で約30日、健全区で40日程度と10日の差があった。人為的に摘葉処理を行っても同様な結果が得られた¹⁰⁾。この結果は、落葉してから果実を樹に残しておくと、軟化してやがて熟柿になってしまうことから、容易に想像がつく。

SFAKIOTAKISとDILLEY¹¹⁾は、リンゴの結果枝の根元を環状剥皮してから摘葉すると、果実のエチレン生成の開始時期が著しく早くなることを報告している。このことは、葉がついていると、果実のエチレン生成を抑え、葉がついていないと促進され、軟化が早くなることを意味している。北川¹²⁾はジベレリン処理によって、収穫後のカキ果実の貯蔵性が著しく延びることを報告している。これらのことから、葉が着生することで供給されるジベレリンがエチレンによる果実軟化を抑制している可能性も考えられる。筆者ら¹³⁾は‘平核無’幼果への傷つけ処理と摘葉の組み合わせ実験から、カキ幼果が高いエチレ

図2 カキ果実の採取後の呼吸量とエチレン生成量の変化

A-Eaks, 1967: '蜂屋', B-Akamine ら, 1981: '*Dios-pyros discolor* Willd', C-森ら, 1973: '平核無', D-高田, 1967: '富有'

図3 カキアルコール脱渋果(平核無)の果肉硬度および硬度指数の時期別変化
(板村, 1986)

果肉硬度はアルコール処理後7日の値, 硬度指数は採取当日の果肉硬度を100としたときの, アルコール処理後7日の果肉硬度の指数をそれぞれ表している。

図4 カキ果実のエチレン生成能の時期別変化
(平核無)
(板村, 1986)

エチレン生成能はアルコール処理後のエチレン生成のピーク値で示した。

ン生成能を有しているにもかかわらず、樹上においてエチレン生成が誘導されずに落果を免れているのは、葉がなんらかの形で果実のエチレン生成を阻害しているものと考えた。

いずれにしても、秋季遅くまで健全葉を着生させるような栽培が、果実の品質向上だけではなく、収穫後の貯蔵性を向上させるために必要であると考えられる。

2. カキ果実の軟化とエチレン生成 および細胞壁分解酵素との関係

(1) エチレン生成系と果実軟化

園芸作物を含めた高等植物のエチレン生合成はメチオニン (Met)→S-アデノシルメチオニン (SAM)→1-アミノシクロプロパン-1-カルボン酸 (ACC)→エチレンの経路を経ることと、3つの反応にはそれぞれの酵素が介在していることが確認されている (図5)。3種の酵素とはMet→SAMではメチオニンアデノシル転移酵素、SAM→ACCではACC合成酵素、ACC→エチレンではACC酸化酵素である¹⁴⁾。トマトでpTOM 13と呼ばれていたDNAがACC酸化酵素をコードしているcDNAであることがわかったが、その後トマトでは3種類発見された。一方、ACC合成酵素を発現させるcDNAは成熟型、オーキシン型、傷害型など数種確認されており、トマトでは7種類のcDNAが認められている。最近では多くの植物でこれらの酵素のcDNAが見いだされており、その性質も明らかにされている¹⁵⁾。

1) カキ果実のエチレン生成の特徴 カキ果実におけるエチレン生成はコバルト、ニッケル、銅などの2価の金属イオンやポリアミンによって阻害されることから、メチオニンを出発物質とするYANGの経路によって行われている¹⁶⁾。NAKANOら¹⁷⁾は、カキ幼果から3種類のACC合成酵素と2種類のACC酸化酵素の遺伝子をクローニングした。カキ果実はまたACC (1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid) が蓄積されることなくエチレン生成が起こり、果実が軟化し膜構造が破壊されたあとでACCが蓄積する^{18), 19)}のが特徴である (図6)。カキ果実においてエチレン生成の増減を調節しているのは、ACCからエチレンの反応を司るACC酸化酵素よりも、むしろS-adenosyl methionine (SAM) からACCへの反応を司るACC合成酵素が重要な役割を果たしていると思われる^{19), 20)}。この際、ACC酸化酵素遺伝子は恒常的に発現しており、ACC合成酵素、ACC酸化酵素とも、一般的に植物で起こるエチレン生成系の反応と一致した働きをしていると考えられた。カキ果実のACC合成酵素の最適pHは8.5、基質に対するKm値は10μM、半減期は21分であり、ACC酸化酵素の最適pHは7.2、基質に対するKm値は114μM、半減期は9分であった²¹⁾。これは植物中標準的な値であるといえる。

2) カキ果実のエチレン生成と果実軟化 筆者ら²²⁾の試験で、果実間における採取後の生理的変化にばらつ

きが少なく、比較的反応がそろって起こる7~9月のカキ‘平核無’果実は、エチレン生成および呼吸量の増大が起こった後に、果実の軟化が顕著に認められることが明らかになった。またアルコール脱渋処理後の果実においても、エチレン生成の増大が起こった後に果肉硬度の急激な低下が認められた (図7)。さらに未熟果に対して、処理に用いるアルコールの濃度を変えて処理を行ったところ、濃度が高いほどエチレン生成のピーク値が高くなり、それに比例して果実軟化の速度も早くなった。

これらのことから、‘平核無’の未熟果では、果実の軟化はエチレンによって引き起こされているものと思われる。このことをさらに明らかにするために、幼果期および未熟期の果実に対してアルコールあるいは、炭酸ガス処理を行ったときのエチレン生成と果実軟化の関係を調べた。その結果、無処理区に比べて、エタノール処理区ではエチレン生成の増大が起こるまでの日数が短縮され、逆に炭酸ガス処理区では延長された。それぞれの区の果実の軟化はエチレン生成開始の早晩にしたがうようにして、軟化が促進または遅延された。またいずれの処理においても、エチレン生成が起こった後に果実軟化が起こっており、エチレン生成が果実軟化の引き金の役割を果たしていることが示唆された。

また、幼果期の果実に樹上でエチレン生合成抑制剤であるアミノオキシ酢酸 (AOA) を散布処理し、3日後に果実を採取して20℃に保存した場合、AOA処理果のエチレン生成の増大が、対照区 (無処理) の果実に比べて1日遅れ、それに伴って果実軟化も1日遅れた²³⁾。また高田²⁴⁾は同じくエチレンの生合成を抑えるAgNO₃ 0.1 mMを‘富有’幼果に処理したとき、エチレン生成が著しく抑制されると同時に果実軟化も抑制されることを報告している。これらの知見も、カキ果実の軟化はエチレンによって引き起こされている事実を示すものといえよう。

(2) 細胞壁の構造と果実軟化

細胞壁はガラクトウロン酸が重合したポリガラクトウロン酸を主成分とするペクチン、数種の中性多糖類で構成されているヘミセルロース、セルロースによって構成され、ペクチンは中性多糖類からなる側鎖をもち、ヘミセルロースと結合している (図8)。高等植物の細胞壁モデルではセルロースとペクチンはヘミセルロースによる架橋構造をとっている。双子葉植物におけるヘミセルロースの主成分であるキシログルカンには細胞壁の力学的構造の主要な担い手とされている。

果実軟化は一般的に細胞壁の多糖類が減少または変化して起こるものとされている。トマトやセイヨウナシなど多くの果実において果実が熟して軟らかくなるときには、特にペクチンが可溶化されやすくなることから、果実の軟化はペクチンの分解によって起こると考えられてきた。しかし、ポリガラクトン酸のα-1, 4結合を分解する酵素であるポリガラクトナーゼ (PG) の遺伝子

図5 エチレンの生成経路と制御酵素

図6 カキ‘平核無’幼果採取後のエチレン生成

(上) エチレン生成 (○) と ACC 含量 (●) の変化
(下) ACC 合成酵素遺伝子 (*DK-ACS*) と ACC 酸化酵素遺伝子 (*DK-ACO*) のノーザンプロット解析 (RNA 発現解析)

図7 カキ‘平核無’幼果のアルコール処理後の果肉硬度 (●) エチレン生成量 (○) の関係

図8 細胞壁のモデル図 (シカモアカエダの細胞壁構造)

発現を抑えた果実では、ペクチンの分解が抑えられているのにもかかわらず軟化が進み、一方では、遺伝的に軟化しない突然変異トマトに、PG遺伝子を導入すると、ペクチンは分解されるにもかかわらず、軟化が起こらなかった。これらのことから、現在ペクチンは果実の軟化に関与する唯一の分子ではないと結論されている²⁵⁾。

カキ‘平核無’脱渋果のゆっくりと軟化する通常の軟化過程では、ペクチン主鎖が分解して可溶化する^{26), 27)}。筆者ら²⁸⁾は、‘平核無’果実の冷蔵後脱渋処理したときの急速な軟化の原因はヘミセルロースの分解が果実軟化の直接的な原因であることを示した。また、カキ‘刀根早生’果実が脱渋後急速に軟化する際、細胞壁中性多糖類からガラクトース、アラビノース、キシロースなどの中性糖類が急速に減少することから、ペクチン側鎖やヘミセルロースが分解することが、急速な軟化の原因であると考えられる²⁹⁾。

細胞壁構成中性多糖類の分解と果実軟化に関する報告も多くなされ、リンゴ、セイヨウナシ、トマトで成熟中に細胞壁から中性多糖類が失われることが明らかにされている²⁵⁾。また、細胞壁構成中性多糖類の分解に関与する酵素である β -D-ガラクトシダーゼの特性については、リンゴ、キウイフルーツ、アボカド、トマト、マスキメロン、コーヒー果実などで、また、 α -L-アラビノフラノシダーゼについては、ニホンナシ、リンゴ果実などで報告されている³⁰⁾。カキ‘西条’果実においては、脱渋処理後の急速な果実軟化の際に、 α -L-アラビノフラノシダーゼ活性が増加することが見いだされ、この酵素によって、ヘミセルロース構成中性糖の分解およびペクチン側鎖の中性糖の可溶化が生じることが、急速な果実軟化の原因であると考えられた³¹⁾。

(3) 軟化防止と貯蔵性向上技術

現在、ポリエチレン貯蔵技術^{3), 32)}は、カキの貯蔵性と品質向上技術としてかなり普及しており、季節には、ポリエチレン個包装カキがスーパーなどの店頭で美しく並ぶようになった。‘愛宕’などでは、炭酸ガスを袋内に充填し、脱渋を兼ねて貯蔵性向上をさせる技術も確立されている。山本と小塚³³⁾は、‘西条’の脱渋に関して、ポリエチレン製脱渋袋に規定量より少ないドライアイスを入れて、4℃程度で冷蔵すると、冷蔵中に脱渋が進み、貯蔵期間が延長するという技術を編み出した。

この技術は、時によって常温に戻して袋から果実を取り出すと黒変するという現象が起きることがあり、不安定な技術であった。田村ら³³⁾は、この技術をさらに発展させ、ポリエチレン袋で個包装した‘西条’果実を脱渋袋に入れてドライアイスとともに封入し冷蔵するという技術を提唱した。この技術を用いると、黒変も防止され、比較的良好な果実を得られることがわかり、一部出荷調整として利用されている。

石丸ら³⁴⁾は‘刀根早生’の炭酸ガス脱渋で、炭酸ガス濃度を100%から徐々に低くする方法をとると、エチレ

ン生成が抑えられることで貯蔵性が増大することを報告している。許ら³⁵⁾は、‘西条’を粉末アルコール脱渋密封保存することによって、20℃で20日程度良好に保存できた。

中野ら³⁶⁾は、和歌山県産の‘刀根早生’のハウス促成栽培果のCTSD（炭酸ガス短期大量）脱渋中の軟化について研究を行い、有孔ポリエチレン袋に果実を入れてからCTSD脱渋すると、軟化がきわめて有効に防止できることを見いだした。有孔ポリエチレン袋によって果実からの水分蒸散が抑制され、水分蒸散によって誘導されるエチレン生成関連遺伝子（DKACS1, 2, DKACO1など）の発現が抑制されることで、エチレン生成が抑制されるためであることも同時に解明され、画期的な技術として、現在和歌山県の‘刀根早生’産業を支えている。

きわめて安全なエチレン作用阻害剤の1-MCPがロームアンドハス社から出され、2006年には、日本で、リンゴ、日本ナシ、カキに対し、いよいよ認可されるような流れになってきた。カキ‘蓮台寺’³⁷⁾、‘西条’で効果が認められている。‘西条’^{38), 39)}では、貯蔵性が少なくとも10日以上延長となるため、期待される場所である。現在、CTSD脱渋との組み合わせで検討を行っているところであるが、品質良好で日持ちのよい日本のカキが、上海や海外のデパートやスーパーの店頭で並ぶのも夢ではないように思われる。今後の発展に期待したい。

おわりに

90年代に、遺伝子組換え技術が発達し、カキでもTAOら⁴⁰⁾によって、‘次郎’に殺虫遺伝子であるBT遺伝子が導入された。NAKAMURAら⁴¹⁾は、‘西条’種子の胚軸にGUS遺伝子を組換えることに成功した。また、同じグループによって、矮性遺伝子の導入に成功している。

筆者ら⁴²⁾は、‘西条’の茎頂培養由来のシュートから発生させた根に、エチレンの作用を伝えるエチレンシグナル伝達系の終盤を核内にあって担うEIN3遺伝子を二本鎖RNAにしたもの（RNAi）を遺伝子導入し、ほぼ成功を収めている。エチレン生成がカキ果実の軟化の主要原因であるとする、エチレンの作用をとめる遺伝子を組換えることで、貯蔵性が増大することが考えられる。実際の利用という側面のほか、エチレン作用の研究材料としての利用を通して、新しいポストハーベスト技術の開発が期待される。

今後、カキ産業の発展と国民の健康増進のために、カキ果実の新しい利用形態開発⁴³⁾の促進や、悪酔い防止などの機能性⁴⁴⁾を利用した商品開発も目指したい。

謝 辞 本研究遂行にあたり、ご指導、ご助言をいただいた京都大学名誉教授 苫名 孝先生、杉浦 明先生、山形大学名誉教授 福嶋忠昭先生、島根大学名誉教授 内藤隆次先生、山村 宏先生はじめ、古川良茂博士、北村利夫博士、稲葉昭次博士、原田 久博士、山内直樹博

士, 米森敬三博士, 平 智博士, 中務 明博士, 久保康隆博士, 田尾龍太郎博士, 中野龍平博士, 板井章浩博士, 赤浦和之講師など多くの関連分野の先生に深く感謝申し上げます。また, 山形大学青果保蔵学研究室, 島根大学果樹園芸学(機能学)研究室の卒業生, 島根県果樹技術者会議, 島根フルーツクラブ会員の皆様方はじめ多くのご協力頂いた方々に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 傍島善次: 柿と人生(明玄書房, 東京), p.11, p.163 (1980)
- 2) 小林 章: 文化と果物 果樹園芸の源流を探索(養賢堂, 東京), p.159 (1990)
- 3) 北川博敏: カキの栽培と利用(養賢堂, 東京), p.185, p.161 (1970)
- 4) 今井敬潤: ものとなりの文化史115 柿渋(法政大学出版局, 東京), p.1 (2003)
- 5) MATSUO, T. and ITO, S.: The chemical structure of kaki-tannin from immature fruit of the persimmon (*Diospyros kaki* L.), *Agric. Biol. Chem.*, **42**, 1637~1643 (1978)
- 6) 津志田藤二郎: 青果物の機能性について, 園芸学会平成8年度秋季大会シンポジウム講演要旨, 146~158 (1996)
- 7) 板村裕之: カキの流通・貯蔵における諸問題ーカキ果実の成熟特性と貯蔵性ー, 園芸学会平成元年度秋季大会シンポジウム講演要旨, 126~135 (1989)
- 8) 板村裕之: 成熟段階の異なるカキ‘平核無’果実のアルコール脱渋にともなう軟化と呼吸量およびエチレン生成量の関係, 園学雑, **55**, 89~98 (1986)
- 9) SMOCK, R.M.: A study of maturity indices for McIntosh apples, *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **52**, 176~182 (1948)
- 10) 板村裕之・福嶋忠昭・北村利夫・原田 久・平 智・高橋芳浩: 摘葉およびジベレリン処理がカキ‘平核無’果実のアルコール脱渋後の軟化に及ぼす影響, 園学雑, **62**, 867~875 (1994)
- 11) SFAKIOTAKIS, E.M. and DILLEY, D.R.: Internal ethylene concentrations in apple fruits attached to or detached from the tree, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **98**, 501~503 (1973)
- 12) 北川博敏: カキの脱渋および貯蔵に関する研究(第3報)ジベレリンの葉面散布が貯蔵性増大および落葉遅延におよぼす影響, 植物の化学調節, **2**, 117~120 (1967)
- 13) 板村裕之・今堀志郎・北村利夫・福嶋忠昭: 幼果期の摘葉処理がカキ果実のエチレン生成に及ぼす影響, 島根大農研報, **23**, 11~15 (1989)
- 14) 兵藤 宏: 園芸作物におけるエチレンの生成とその生理学(1), 農業および園芸, **61**, 1157~1162 (1986)
- 15) 森 仁志: 成長と分化, エチレン(朝倉書店, 東京), p.36 (2001)
- 16) ITAMURA, H., OHNO, Y. and YAMAMURA, H.: Characteristics of fruit softening in Japanese persimmon ‘Saijo’, *Acta Horticulturae*, **436**, 179~188, (1997)
- 17) NAKANO, R., INOUE, S., KUBO, Y. and INABA, A.: Water stress-induced ethylene in the calyx triggers autocatalytic ethylene production and fruit softening in ‘Tonewase’ persimmon grown in a heated plastic-house, *Postharvest Biol. Technol.*, **25**, 293~300 (2002)
- 18) ITAMURA, H., TAIRA, S., KITAMURA, T. and FUKUSHIMA, T.: An improved pre-treatment method of the assay for 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid in Japanese persimmon fruits, *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, **37**, 239~242 (1990)
- 19) ZHENG, Q. L., NAKATSUKA, A., TAIRA, S. and ITAMURA, H.: Enzymatic activities and gene expression of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) synthase and ACC oxidase in persimmon fruit, *Postharvest Biology and Technology*, **37**, 286~290 (2005)
- 20) NAKANO, R., OGURA, E., KUBO, Y. and INABA, A.: Ethylene biosynthesis in detached young persimmon fruit is initiated in calyx and modulated by water loss from the fruit, *Plant Physiol.*, **131**, 276~286 (2003)
- 21) ZHENG, Q. L., NAKATSUKA, A. and ITAMURA, H.: Extraction and characterization of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) synthase and ACC oxidase from wounded persimmon fruit, *J. Japan. Hort. Sci.*, **74**, 159~166 (2005)
- 22) 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: カキ‘平核無’果実の軟化とエチレン生成及び呼吸の関係, 園学雑, **60**, 695~701 (1991)
- 23) 平 智・板村裕之・渡部俊三: 開花前のCaCl₂処理及びAOA (aminooxyacetic acid) 処理がカキ‘平核無’果実の軟化に及ぼす影響, 山形大学紀要(農学), **10**, 361~366 (1987)
- 24) 高田峰雄: カキ果実の成熟に対する銀イオンの影響, 園学雑, **50**, 372~378 (1981)
- 25) 吉岡博人: 果実の軟化機構, 園芸学会平成5年度秋季大会シンポジウム講演要旨, 179~195 (1993)
- 26) 平 智・杉浦 明・久保康隆・苫名 孝: CaCl₂処理がカキ‘平核無’果実の脱渋後の品質に及ぼす影響, 山形大学紀要(農学), **10**, 115~120 (1986)

- 27) 石丸 恵・茶珍和雄・和田安規・上田悦範：脱渋方法の異なるカキ‘平核無’果実のペクチン質およびヘミセルロースの変化と軟化との関係，日食保蔵誌，**27**，197～204（2001）
- 28) 板村裕之・福嶋忠昭・北村利夫：カキ‘平核無’果実の軟化と細胞壁多糖成分の関係，日食工誌，**36**，647～650（1989）
- 29) ITAMURA, H., TANIGAWA, T. and YAMAMURA, H.: Composition of cell-wall polysaccharides during fruit softening in ‘Tonewase’ Japanese persimmon, *Acta Horticulturae (Postharvest physiology)*, **398**, 131～138（1995）
- 30) YOSHIOKA, H., KASHIMURA, Y. and KANEKO, K.: β -D-Galactosidase and α -L-arabinofuranosidase activities during the softening of apples, *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, **63**, 871～878（1993）
- 31) 許 昌国・中務 明・加納弘光・板村裕之：カキ‘西条’果実の急速な軟化に伴うエチレン生成と細胞壁分解酵素活性の変化，園学雑，**72**，460～462（2003）
- 32) 板村裕之・横井 誠・山村 宏・内藤隆次：カキ‘西条’の長期貯蔵に関する研究，日食低温保蔵誌，**19**，14～19（1993）
- 33) 板村裕之：カキ‘西条’果実の貯蔵性および品質向上に関する研究，園芸振興松島財団30年の軌跡，pp.75～77（2005）
- 34) 石丸 恵・山本貴司・茶珍和雄：ハウスカキ‘刀根早生’果実のCO₂脱渋におけるCO₂濃度の漸次低下処理が果実硬度に及ぼす影響，園学雑，**67**，812～814（1998）
- 35) 許 昌国・中谷幸夫・中務 明・板村裕之：脱渋法および貯蔵法の違いがカキ‘西条’果実の日持ち性に及ぼす影響，日食保蔵誌，**29**，191～196（2003）
- 36) 中野龍平・播磨真志・久保康隆・稲葉昭次：有孔ポリエチレン包装によるカキ‘刀根早生’ハウス促成栽培果実の軟化抑制，園学雑，**70**，385～392（2001）
- 37) ORITZ, G. I., SUGAYA, S., SEKOZAWA, Y., ITO, H., WADA, K. and GEMMA, H.: Efficacy of 1-methylcyclopropene (1-MCP) in prolonging the shelf-life of ‘Rendaiji’ persimmon fruits previously subjected to astringency removal treatment, *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, **74**, 248～254（2005）
- 38) 許 昌国・中務 明・板村裕之：1-methylcyclopropene (MCP) 処理がカキ‘西条’ドライアイス脱渋果のエチレン生成と軟化および細胞壁分解酵素活性に及ぼす影響，園学雑，**73**，184～188（2004）
- 39) 倉橋孝夫・松本敏一・板村裕之：1-methylcyclopropene (1-MCP) 処理とエチレン吸収剤処理が収穫時期の異なるカキ‘西条’果実のドライアイス脱渋後の軟化と日持ち性に及ぼす影響，園学雑，**74**，63～67（2005）
- 40) TAO, R., DANDEKAR, A.M., URATSU, S.L., VAIL, P.V. and TEBBETS J.S.: Engineering genetic resistance against insects in Japanese persimmon using the cry IA (c) gene of *Bacillus thuringiensis*, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **122**, 764～771（1997）
- 41) NAKAMURA, Y., KOBAYASHI, S. and NAKAJIMA, I.: Agrobacterium-mediated transformation and plant regeneration from hypocotyls segments of Japanese persimmon (*Diospyros kaki* Thunb), *Plant cell Reports*, **17**, 435～440（1998）
- 42) ITAMURA, H., NAKATSUKA, A., ISHIZUKA, M., NAGAHARA, M., NISHIDA, K., MATSUMOTO, T., CHIKASHIGE, K. and YOKOTANI, N.: Studies on plant regeneration system and transformation by RNA interference in Japanese persimmon ‘Saijo’, *Programs and abstracts of 3rd international symposium on persimmon*, **P-6**（2004）
- 43) AKAURA, K.: Production of fully ripened ‘Saijo’ persimmon fruit, *Programs and abstracts of 3rd international symposium on persimmon*, **P-28**（2004）
- 44) 板村裕之・荒川長巳・中務 明・安藤はるか・上村英介・永松ひろ子・村上直之：カキ‘西条’あんぽ柿摂取が飲酒後のヒト血中エタノールおよびアセトアルデヒド含量に及ぼす影響，園学雑，**73別2**，526（2004）