カキ ‘早秋’ と ‘刀根早生’ 果実におけるカロテノイド蓄積と カロテノイド生合成関連酵素遺伝子の発現特性

新川 猛^{1*}・加藤雅也²・鈴木哲也¹・尾関 健^{1a}・生駒吉識³

¹ 岐阜県農業技術センター 501-1152 岐阜市又丸

² 静岡大学農学部 422-8529 静岡市駿河区大谷

³ 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 果樹研究所カンキツ研究興津拠点 424-0292 静岡市清水区興津中町

The Characteristics of Carotenoid Accumulation and Expression of Carotenoid Biosynthetic Genes in the Japanese Persimmon ‘Soshu’ and ‘Tonewase’ Fruits

Takeshi Niikawa^{1*}, Masaya Kato², Tetsuya Suzuki¹, Takeshi Ozeki^{1a} and Yoshinori Ikoma³

¹Gifu Prefectural Agricultural Technology Center, Gifu 501-1152

²Faculty of Agriculture, Shizuoka University, Suruga-ku, Shizuoka 422-8529

³Okitsu Citrus Research Station, NARO Institute of Fruit Tree Science, Okitsu, Shimizu-ku, Shizuoka 424-0292

Abstract

‘Soshu’ and ‘Tonewase’ are major early maturing varieties of Japanese persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.). The skin of ‘Soshu’ is red, whereas the color of ‘Tonewase’ is orange at harvest. In the present study, we investigated carotenoid accumulation in fruits of these two persimmon varieties. In the fruit skin, the levels of expression of carotenoid biosynthetic genes except for lycopene- ϵ -cyclase increased with carotenoid accumulation during fruit maturation. In ‘Soshu’, a large accumulation of carotenoids was observed at harvest. The total carotenoid content in ‘Soshu’ was nearly twice as high as that in ‘Tonewase’. Both varieties predominantly accumulated β -carotene, zeaxanthin, and β -cryptoxanthin, accounting for nearly 90% of the total carotenoids. The composition of carotenoids in ‘Soshu’ was similar to that in ‘Tonewase’. In the flesh, the level of expression of carotenoid biosynthetic genes except for lycopene- ϵ -cyclase and zeaxanthin epoxidase increased with carotenoid accumulation during fruit maturation. The total carotenoid content in ‘Soshu’ was nearly four times as high as that in ‘Tonewase’. The composition of carotenoids in ‘Soshu’ was similar to that in ‘Tonewase’.

Key Words : β -cryptoxanthin, lycopene, variety

キーワード : β -クリプトキサンチン, 品種, リコペン

緒 言

現在の我が国のカキの早生品種は、甘ガキでは‘早秋’、渋ガキでは‘刀根早生’が主力となっている。この両品種は、ほぼ同時期の10月上中旬に収穫期を迎えるが、収穫期の果皮色は‘早秋’では赤色(山田ら, 2004)であるのに対し、‘刀根早生’では橙色(富田, 1994)と明確に異なる品種特有の色調を呈している。カキ果実の着色は、葉緑素の分解とカロテノイドの生成の2つが大きな要因となっており、植物ホルモン、光、温度および土壌水分が関与する(米森, 2001)。特に温度については、‘富有’では15～30℃の間で昼夜温を組み合わせた処理を行った場合、30℃を含む処理区では着色が遅れることや(中條, 1982)、

‘平核無’の果実近傍温度を14、22および30℃でそれぞれ制御した際、カロテノイド含量は22℃で最も高く、30℃で最も低いとともにクロロフィル消失も大幅に遅れることが報告され(鄭ら, 1988)、30℃の高温は着色の進行に抑制的に作用すると考えられている。岐阜市の真夏日(日最高気温が30℃以上の日)日数は、有意な増加傾向が認められ、1990年代以降からの真夏日の年間日数は70日以上となる年が頻発している(東京管区気象台ほか, 2012)。実際に‘早秋’および‘刀根早生’の着色が最も進む9月中下旬にあっても毎年真夏日は出現しており、‘富有’や‘平核無’で着色良好と報告されている温度とは、異なる気温下で着色が進行している。一方、カキは果肉にもカロテノイドを多量に含み、特に β -クリプトキサンチンについては、ウンシュウミカンに次いで含有量の多い果実の一種である(Yanoら, 2005)。カロテノイドは、抗酸化活性に加えて、生活習慣病予防など多くの健康有用性が

2013年4月18日 受付。2013年9月26日 受理。

* Corresponding author. E-mail: niikawa-takeshi@pref.gifu.lg.jp

^a 現在: 岐阜県農業経営課

研究されている成分で(富田, 2006), 消費者の健康志向に訴求した販売戦略を構築するうえで重要な成分であると考えられる。しかし, 果肉中のカロテノイドの種類別の構成比や品種間差についての報告は少ない。そこで, 本報告では, カロテノイドの種類別の蓄積と生合成関連酵素の遺伝子発現解析を行い, ‘早秋’ と ‘刀根早生’ のカロテノイド蓄積の特徴について明らかにした。

材料および方法

2008年に岐阜県農業技術センター植栽の‘早秋’(高接ぎ8年生, 中間台木‘富有’)および‘刀根早生’(9年生)を供試樹として, ‘早秋’は8月1日から収穫期までの間にはほぼ15日間隔で5回, ‘刀根早生’は8月15日から同様に5回, それぞれの時期に平均的な着色程度の果実を5果ずつ採取し材料とした。一般に, 果皮色の評価はカキ用カラーチャートで行うが, 目測であることから誤差が大きい。本研究では色彩色差計(CR-200, コニカミノルタ)で測定した色相角度(H°)とカラーチャート値(X)との間に, 高い相関($X = -8.101 \ln(H^\circ) + 38.829$ ($R^2 = 0.994$))があることから, 果皮色については採取後速やかに果頂部の H° を測定し, 上式で変換した X 値をカラーチャート値として示した。また, 果肉色については赤道横断面の H° 値を同様に用いた。

採取後の果実は, ピーラーを用いて果皮と果肉に分離し, 5果を均等に混ぜ合わせた。それぞれの組織からHot Borate法によりTotal RNAを抽出し, ランダムヘキサマーと逆転写酵素を用いてcDNAを合成した。これを鋳型としてカロテノイド生合成関連酵素遺伝子7種類, phytoene synthase (*DK-PSY*: AB258435), phytoene desaturase (*DK-PDS*: AB258434), ζ -carotene desaturase (*DK-ZDS*: AB258433), lycopene β -cyclase (*DK-LCYb*: AB258436), β -ring hydroxylase (*DK-HYb*: AB258438), zeaxanthin epoxidase (*DK-ZEP*: AB258454) および lycopene ϵ -cyclase (*DK-LCYe*: AB258437) について, 新川ら(2007)の方法に従い, TaqMan プローブを用いたリアルタイムPCRによりmRNAの検出を行った。カロテノイドの定量は, Katoら(2004)の方法に準じて行ったが, 新川ら(2008)と同様に分析機器ならびに溶出条件について一部変更した。同定・定量したカロテノイドの種類は, リコペン, β -カロテン, β -クリプトキサンチン, ゼアキサンチン, α -カロテンおよびルテインの6種類でそれ以外のカロテノイドと類推されるピークは認められなかったことから, 6種類のカロテノイドのそれぞれの定量値の合計を総カロテノイド量とした。なお, ‘刀根早生’の脱渋処理は実施せず, 収穫後そのまま供試した。

結 果

1. 成熟に伴う果皮色ならびに果肉色の変化

‘早秋’の果皮色は, 8月15日まではカラーチャート値1.0前後の緑色の強い未熟な状態であったが, その後直線的に

カラーチャート値が上昇し, 10月1日には, 果頂部カラーチャート値が岐阜県における‘早秋’の収穫基準である6.0になった(第1図)。「刀根早生」の果皮色は, 9月1日までは緑色の強い未熟な状態であったが, その後カラーチャート値の上昇が認められ, 10月1日には果頂部カラーチャート値3.8に到達し, 岐阜県における‘刀根早生’の収穫基準であるカラーチャート値3.5以上となった。その後10月15日にはカラーチャート値4.6に到達したが, 増加量はやや鈍化した。一方, 果肉色は‘早秋’ならびに‘刀根早生’とも調査開始から終了までカラーチャート値は緩やかに上昇していった(第1図)。調査期間中の増加量は‘早秋’ではカラーチャート値で1.6, ‘刀根早生’では1.2であった。

2. 果皮における mRNA レベルとカロテノイド蓄積の推移

‘早秋’の果皮におけるカロテノイド生合成関連酵素遺伝子の mRNA レベルは, *DK-LCYe* では全期間を通じてほぼ一定であったが, それ以外の *DK-PSY*, *DK-PDS*, *DK-ZDS*, *DK-LCYb*, *DK-HYb* および *DK-ZEP* の6種類については, 9月15日までは低い発現量で推移し, 10月1日に急激に高レベルの発現量を示した(第2図)。カロテノイドの蓄積は, 総カロテノイド量, リコペン, β -カロテンおよび β -クリプトキサンチンについては, 9月15日から10月1日に急激に蓄積量が多くなったのに対し, ゼアキサンチン, α -カロテンおよびルテインについては, 全期間を通じて徐々に蓄積量が多くなっていった(第3図)。

‘刀根早生’の果皮における mRNA レベルは, *DK-PDS* と *DK-ZDS* は成熟に伴って徐々に高レベルの発現量となるのに対して, *DK-PSY*, *DK-LCYb*, *DK-HYb* および *DK-ZEP*

Fig. 1. Color chart value for the skin (upper) on the fruit apex and flesh (lower) of Japanese persimmon ‘Soshu’ and ‘Tonewase’ during fruit maturation. Vertical bars indicate SE ($n = 5$).

Fig. 2. Change in mRNA levels for carotenoid biosynthetic genes in the skin of Japanese persimmon 'Soshu' and 'Tonewase' during fruit maturation (○: Soshu, ●: Tonewase).

The levels of gene expression were normalized by 18S ribosomal RNA.

Vertical bars are standard errors of three replicates based on independent extraction from fruit tissue.

については10月1日から10月15日に急激に高レベルの発現量を示した(第2図)。しかし成熟期におけるこれらの遺伝子の発現量は「早秋」に比べると低かった。またDK-LCYeについては、「早秋」と同様に全期間を通じて一定のレベルで推移した。カロテノイド蓄積は10月1日以降でのみ蓄積が認められたリコペン以外については、成熟に伴って徐々に蓄積量が多くなっていき、「早秋」で認められたような急激な増加はなかった(第3図)。

カラーチャートで出荷基準となったときの果皮の総カロテノイド量は、「早秋」は $8.3 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ 、「刀根早生」は $4.3 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ で約2倍の差が認められた。カロテノイドの種類別の構成比では、「早秋」では8月1日ではルテインが36%と最も高くβ-クリプトキサンチンは4%であったが、10月1日では、ルテインは5%に低下しβ-クリプトキサンチンは34%と最も高くなり、β-カロテンおよびゼアキサンチンを併せた3種類の合計は88%となった。「刀根早生」においてもβ-クリプトキサンチンは、8月15日では3%であったが、10月15日では37%を占め、「早秋」

と同様にβ-カロテンおよびゼアキサンチンを併せた3種類の合計は89%となり、組成比の品種による相違は認められなかった。

3. 果肉における mRNA レベルとカロテノイド蓄積の推移

「早秋」の果肉におけるカロテノイド生成関連酵素遺伝子の mRNA レベルは、DK-ZEP と DK-LCYe は全期間を通じてほぼ一定に推移したのに対し、DK-PSY, DK-PDS, DK-ZDS および DK-HYb は9月1日もしくは9月15日をピークにして高レベルの発現量となり10月1日にやや低レベルの発現量となった(第4図)。カロテノイド蓄積は、10月1日にもみわずかに蓄積が認められたリコペン以外は、成熟に伴って徐々に増加していった(第5図)。

「刀根早生」の果肉における mRNA レベルは、DK-ZEP と DK-LCYe では全期間を通じてほぼ一定に推移したのに対して、DK-PSY, DK-PDS, DK-ZDS および DK-HYb は成熟に伴って高レベルの発現量を示した(第4図)。カロテノイド蓄積は、リコペンではすべての期間を通じて蓄積が認められなかったが、他の種類は成熟に伴って徐々に増加

Fig. 3. Carotenoid content in the skin of Japanese persimmon 'Soshu' and 'Tonewase' during fruit maturation (○: Soshu, ●: Tonewase). The value for total carotenoids was the sum of identified carotenoids (lycopene, β-carotene, β-cryptoxanthin, zeaxanthin, α-carotene, and lutein).

Vertical bars are standard errors of three replicates based on independent extraction from fruit tissue.

Fig. 4. Change in mRNA levels for carotenoid biosynthetic genes in the flesh of Japanese persimmon 'Soshu' and 'Tonewase' during fruit maturation (○: Soshu, ●: Tonewase).

The levels of gene expression were normalized by 18S ribosomal RNA.

Vertical bars are standard errors of three replicates based on independent extraction from fruit tissue.

Fig. 5. Carotenoid content in the flesh of Japanese persimmon 'Soshu' and 'Tonewase' during fruit maturation (○: Soshu, ●: Tonewase).

The value for total carotenoids was the sum of identified carotenoids (lycopene, β-carotene, β-cryptoxanthin, zeaxanthin, α-carotene, and lutein).

Vertical bars are standard errors of three replicates based on independent extraction from fruit tissue.

していく傾向が認められた (第5図)。ただし、ゼアキササンチンおよびα-カロテンについては、10月15日に10月1日より蓄積量の減少が認められた。

果皮と同様に果肉においても最終調査時点の総カロテノイドに占めるカロテノイドの種類別の構成比ではβ-クリプトキササンチンが、'早秋'で29%，'刀根早生'で34%と最も高くなり、β-カロテンおよびゼアキササンチンと併せた3種類の合計は、それぞれ76および84%となった。

考 察

本研究は、完全甘ガキである'早秋'と不完全渋ガキである'刀根早生'を用いて、経時的にカロテノイドの蓄積とカロテノイド生合成関連酵素遺伝子の発現量を調査したものである。'刀根早生'は渋ガキであるため、生食のためには脱渋を行う必要があり、CTSD脱渋技術が確立されている (小川ら, 2011)。CTSD脱渋を完了させるためには、25～28℃で数日間保管する必要があるが、'富有'では採取果を25℃で保存した場合、収穫後数日でカロテノイド含量が大きく変化する (新川ら, 2008) ことから、今回

の研究においては、'刀根早生'の脱渋は実施せず収穫直後に調査を行った。

果皮においては、果皮の赤みが強い'早秋'では、成熟後半の10月1日にカロテノイド生合成関連酵素遺伝子群のmRNAが高レベルの発現量を示し、それに伴ってカロテノイド含量が9月15日以降の15日間で4倍以上に増大しているが、果皮が黄色の'刀根早生'においては、mRNAが高いレベルの発現量を示さず、カラーチャートが出荷基準を上回った果皮色となったときのカロテノイド含量も少なかった。Katoら (2004) は、成熟果において、フラベドならびに砂じょうとも薄い黄色を呈しているリスボンレモンとどちらもオレンジ色を呈しているウンシュウミカンとを比較した場合、両器官ともウンシュウミカンにおいては、β,β-キサントフィル (β-クリプトキササンチン、ゼアキササンチンおよびバイオキササンチン) の生成に必要な遺伝子群の一斉上昇に伴って含量も増大するが、リスボンレモンでは遺伝子発現の上昇はわずかで含量も少なかったと報告している。今回の結果からも、Katoら (2004) の報告と同様に、成熟時の色調の異なる品種では、カロテノ

イド生合成関連酵素遺伝子群が一斉に発現上昇するか否かによって、カロテノイド含量に差がでることが示唆された。

加藤 (2011) は、成熟後期のリスボンレモンとバレンシアオレンジのフラベドにおける総カロテノイド含量は同程度であるが、リスボンレモンでは無色のカロテノイドであるフィトエンの含量が圧倒的に多く、 β,β -キサントフィルの含量が多いバレンシアオレンジより薄い黄色を呈するとし、カキでもカロテノイド含量だけでなくカロテノイド組成や種類の違いが果皮色に差を与えることが要因として考えられる。中條 (1971) は、カキの朱紅色の発現にはリコペンの消長が重要であるとしているが、今回の‘早秋’ならびに‘刀根早生’ともカラーチャートが出荷基準に達した場合においても、リコペン含量は5%未満と少なく、 β -カロテン、 β -クリプトキササンチンおよびゼアキササンチンの3種類が全体の9割弱を占めており、カロテノイドの種類や組成比に大きな差は認められなかったことから、‘早秋’と‘刀根早生’の果皮色の色調には、大きな影響は及ぼしていないものと考えられた。カロテノイドの蓄積は、それぞれの植物種が蓄積しやすいカロテノイドの種類の中でカロテノイド生合成経路の下流に位置する種類が一定量蓄積すると、次にその上流に位置する種類が蓄積するといった傾向があるものと考えられる。カロテノイド含量の少ないリスボンレモンにおいて成熟後期には、生合成系最上流のフィトエンが大量に蓄積し (Kato, 2012)、カキ‘富有’では成熟後期に相当する11月にはリコペンのみを特異的に蓄積している (新川ら, 2007)。従って、果皮中にわずかではあるがリコペンの存在が認められた10月1日の‘早秋’および10月15日の‘刀根早生’については、この時点で既にリコペンより生合成系の下流にある β -クリプトキササンチンやゼアキササンチンの蓄積はほぼ完了していると考えられ、この後より長く樹上に置いても β -クリプトキササンチンやゼアキササンチンの蓄積は漸増でリコペンが増加していくと推察される。10月15日の‘刀根早生’における β -クリプトキササンチンとゼアキササンチンの和は、10月1日の‘早秋’の β -クリプトキササンチンとゼアキササンチンの和に比べると約半分に留まっている。このことから、‘刀根早生’は‘早秋’に比べて蓄積できるカロテノイド量が少なく、それが果皮色の色調の相違をもたらす主要因ではないかと考えられた。

果肉においては、果皮よりも色調の変化が少なく、収穫期の総カロテノイド含量も果皮に比べ‘早秋’で1/8、‘刀根早生’で1/15と少ない。成熟の進行に伴って徐々にカロテノイド含量が増加し、カロテノイド生合成関連酵素遺伝子群のmRNAが高レベルの発現量を示すようになるが、両品種には大きな差が認められる。‘早秋’はmRNAレベルが高い発現量を示すことに伴ってカロテノイド含量も増加していき、収穫時にわずかにリコペンの存在が認められ、‘富有’ (新川ら, 2007) や‘西村早生’ (Zhao ら, 2011) と同様の結果を示している。一方、‘刀根早生’については、

10月1日以降の相対的なmRNAレベルは‘早秋’より高く維持されているが、カロテノイドの蓄積は進まず、収穫時においても‘早秋’の1/4程度に留まっている。さらにゼアキササンチンと α -カロテンについては、10月1日より10月15日の含量が減少している。特にゼアキササンチンはカキに含まれるカロテノイドの中でも構成比が高い主要なカロテノイドであり、このように主要なカロテノイドが成熟に伴って減少する事例は、‘富有’や‘早秋’では果皮でも果肉でも認められていない。ゼアキササンチンは代謝が進むとビオラキササンチンとなり、このビオラキササンチンは、カンキツ類では構成比が高いカロテノイドである。カキでは‘Triumph’の果皮に含まれている (Ebert・Gross, 1985) とされるが、‘富有’では検出限界以下で (Yano ら, 2005)、本研究においてもそれに類するピークは検出されていないため、減少したゼアキササンチンはビオラキササンチンよりさらに下流のカロテノイド分解まで代謝が進んだ可能性が考えられた。‘刀根早生’では‘早秋’に比べてカロテノイド生合成関連酵素遺伝子の発現レベルが高いにもかかわらず、カロテノイド含量が少ないという現象は、カロテノイド分解関連酵素の発現によりカロテノイドが分解しやすい状態が継続することにより引き起こされているのではないかと推察される。今後、カロテノイド分解関連酵素の発現やカロテノイドの代謝産物であるアブシジン酸の挙動を明らかにする必要があると考えられた。

摘 要

完全甘ガキの‘早秋’と不完全渋ガキの‘刀根早生’は、現在の早生ガキの主力品種であるが、収穫時の色調は‘早秋’は赤く、‘刀根早生’は橙色と異なっている。本研究では、この2品種のカロテノイド蓄積の特徴について明らかにした。果皮では、*lycopene- ϵ -cyclase* 以外のmRNAレベルが成熟に伴って高い発現量を示し、カロテノイド含量も増加していった。特に‘早秋’では、収穫期に急激に増加し、総カロテノイド含量は‘刀根早生’の2倍となった。両品種とも、 β -カロテン、 β -クリプトキササンチンおよびゼアキササンチンの3種類が総カロテノイド含量の9割弱を占め、構成比に差は認められなかった。果肉では、*lycopene- ϵ -cyclase* と *zeaxanthin epoxidase* 以外のmRNAレベルが成熟に伴って徐々に高い発現量となり、総カロテノイド量も増加していった。‘刀根早生’は、収穫期の相対的なmRNAレベルは‘早秋’より高い傾向にあった。カロテノイドの構成比に差は認められなかったが、‘刀根早生’の総カロテノイド含量は、‘早秋’の1/4と少なかった。また収穫直前に‘刀根早生’のゼアキササンチン含量は減少した。このことから、‘刀根早生’はカロテノイドを分解しやすい品種ではないかと推察した。

引用文献

中條利明. 1971. 富有カキの果色に関する研究 II. 朱色の

- 発現に及ぼす光度の影響. 香川大農学報. 23: 35–41.
- 中條利明. 1982. 富有カキ果実の発育ならびに品質に及ぼす温度条件に関する研究. 香川大農紀要. 37: 1–63.
- Ebert, G. and J. Gross. 1985. Carotenoid changes in the peel of ripening persimmon (*Diospyros kaki*) cv Triumph. Phytochemistry 24: 29–32.
- 加藤雅也. 2011. カンキツ果実におけるカロテノイド蓄積メカニズム. 化学と生物. 49: 843–851.
- Kato, M. 2012. Mechanism of Carotenoid Accumulation in Citrus Fruit. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 81: 219–233.
- Kato, M., Y. Ikoma, H. Matsumoto, M. Sugiura, H. Hyodo and M. Yano. 2004. Accumulation of carotenoids and expression of carotenoid biosynthetic genes during maturation in citrus fruits. Plant Physiol. 134: 824–837.
- 新川 猛・尾関 健・加藤雅也・生駒吉識. 2008. 収穫後の高温処理によるカキ‘富有’果肉中のカロテノイド含量の増強. 園学研. 7: 123–128.
- 新川 猛・鈴木哲也・尾関 健・加藤雅也・生駒吉識. 2007. カキ‘富有’の成熟に伴うカロテノイドの蓄積特性. 園学研. 6: 251–256.
- 小川正毅・石崎雅彦・角田秀孝・山内 勸・中村義彦・竹本 昇・辻本雅宏・黒田喜佐雄・岩本和彦・松本善守・小野良允・澤村泰則・大西 豊・植田重孝. 2011. カキ‘平核無’および‘刀根早生’のCTSD炭酸ガス脱炭法の実用化. 園学研. 10: 295–301.
- 東京管区気象台・気象庁地球環境・海洋部・神戸海洋気象台・舞鶴海洋気象台. 2012. 気候変化レポート 2012. 岐阜県の気候変化. p. 82–85.
- 富田栄一. 1994. 果樹主要品種解説. 刀根早生. 日本果樹種苗協会. 東京.
- 富田純史. 2006. 動物における機能と生理活性. p. 67–107. 高市真一編. カロテノイドーその多様性と生理活性一. 裳華房. 東京.
- 山田昌彦・山根弘康・佐藤明彦・岩波 宏・平川信之・吉永勝一・小澤俊治・中島育子. 2004. カキ新品種‘早秋’. 果樹研報. 3: 53–66.
- Yano, M., M. Kato, Y. Ikoma, A. Kawasaki, Y. Fukazawa, M. Sugiura, H. Matsumoto, Y. Oohara, A. Nagao and K. Ogawa. 2005. Quantitation of carotenoids in raw and processed fruits in Japan. Food Sci. Technol. Res. 11: 13–18.
- 米森敬三. 2001. カキの着色. 和歌山の果樹. 52: 7–12.
- Zhao, D., C. Zhou and J. Tao. 2011. Carotenoid accumulation and carotenogenic genes expression during two types of persimmon fruit (*Diospyros kaki* L.) development. Plant Mol. Biol. Rep. 29: 646–654.
- 鄭 国華・安田 稔・平野 健・杉浦 明. 1988. 果実温度がカキ‘平核無’果実の成熟に及ぼす影響. 園学要旨. 昭 63 春: 106–107.