

カキ ‘西条’ における環状剥皮, 摘葉, 湛水処理が果実の樹上および収穫後軟化に及ぼす影響

松本敏一^{1a}・板村裕之^{2*}・倉橋孝夫¹・牧 慎也³・松本真悟²

¹ 島根県農業試験場 693-0035 出雲市芦渡町

² 島根大学生物資源科学部 690-8504 松江市西川津町

³ 新居浜工業高等専門学校 792-8580 新居浜市八雲町

Effects of Girdling, Defoliation and Flooding Treatments on Fruit Softening before and after Harvest in ‘Saijo’ Persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.).

Toshikazu Matsumoto¹, Hiroyuki Itamura^{2*}, Takao Kurahashi¹, Shinya Maki³ and Shingo Matsumoto²

¹Shimane Agricultural Experiment Station, Ashiwata, Izumo, Shimane 693-0035

²Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University, Nishikawatsu, Matsue 690-8504

³Niihama National Technology College, Yakumo, Niihama 792-8580

Abstract

The mechanism of enhanced fruit softening on the tree following natural disaster was investigated in ‘Saijo’ persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) by girdling, defoliation and flooding treatments. The highest rate of fruit softening on the tree occurred after girdling treatment (20%). It is possible that ethylene production caused by girdling treatment may be involved in the subsequent fruit softening. Postharvest investigation also indicated that flooding or girdling treatments yielded the highest incidence of fruit softening. These results indicate that flooding caused by natural disaster or girdling induces physiological stress that results in fruit softening of ‘Saijo’ persimmon. It was clear that fruits with black spots below the calyx easily softened before and after harvest.

Key Words : black spots, ethylene, fruit softening, tannin

キーワード : エチレン, 果実軟化, 果実内部黒変, タンニン

緒 言

中国地方で栽培されている完全渋ガキ ‘西条’ では, 果実が収穫前に樹上で軟化する生理障害が問題となっている。この樹上軟化は, 島根県で栽培されている早生系, 普通系ともに発生し, 収穫の約1か月前から収穫期にかけて樹上で果実が軟化するもので, ひどい場合は総収穫量の50%以上も発生する樹もあることから生産量を低下させる大きな問題となっている。さらに, 樹上軟化の発生樹から収穫した果実は, 外観上は正常であっても脱渋中に軟化を起こすものもあり, 流通上でも大きな問題となっている。

一般的な樹上軟化は, 台風や落葉病などによって早期落葉が発生し, 樹勢が衰弱した場合に多発する傾向にある。さらに, 強風による葉や枝との擦れ, 炭疽病, スリップス,

ダニなどによる果皮の傷害, さらに過湿や日焼け果などによる果皮表面の汚損によっても助長される(第33回全国カキ研究大会実行委員会編, 1998)。また, 竹下ら(1996)は, 樹上軟化は樹勢が衰弱し, 葉色が淡く, 生育がやや不良である樹に発生しやすく, 園内の排水が悪く, 地下水位が高い水田転換園などでも発生例が多いと報告している。そこで, 台風や水害等の自然災害による樹体への被害を想定した各種処理によって樹上軟化を再現させることで, その発生原因について検討した。また, 結実年限の短縮等の目的で広く行われている環状剥皮は収穫後軟化を助長するという報告(播磨ら, 2006)があることから, 樹上軟化と収穫後軟化への影響についても調査した。樹上軟化発生樹から収穫した果実は軟化しやすい傾向にあり, さらに軟化果実には果肉中に黒変が観察されることから両者には何らかの関連性があると考えられ, これらについても検討を行った。

材料および方法

1. 各種処理が樹上軟化に及ぼす影響

供試材料として, 島根県農業試験場圃場(出雲市; 現島

2005年12月6日 受付. 2006年8月29日 受理.

* Corresponding author. E-mail: itamura@life.shimane-u.ac.jp

^a 現在: 島根県農業技術センター加工研究部 697-0006 浜田市下府町

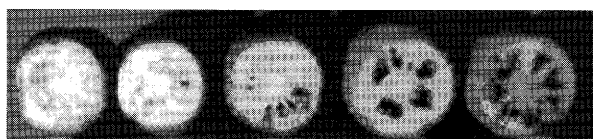
根県農業技術センター)に栽植されている26年生普通系カキ‘西条’を用いた。通常の栽培管理として、結果年齢に早く到達させたり、成熟を促進するために行なわれることのある主幹や主枝への環状剥皮処理および、台風等で樹体が受けるストレスを想定した摘葉処理、湛水処理および溝処理を設けて、樹上軟化を人為的に再現させた。環状剥皮による影響を調べるため、2002年9月6日に樹の主幹および3本の主枝の基部に幅約2 cmで計4か所の環状剥皮処理を行った。また、強風での落葉による影響を検討するため、同日、樹全体の葉を約80%除去する摘葉処理を行った。さらに、夏季の日照り後の長雨を想定して湛水処理区を設けた。すなわち、2002年8月8日に樹を中心に外径約2 m、内径1.5 m、深さ50 cmのドーナツ状に溝を掘り、その内側に水が溜まるように溝の外縁に土を盛った後、溝に水を流し、樹の周囲を9月6日までの30日間にわたって完全に水没させる湛水処理を行った。また、この溝掘り作業中に直径2 cm程度の根を数本切ることから、その断根による傷害ストレスの影響を確認するため、溝のみで中に水を入れない溝処理区も設けた。なお、本実験を行った島根県出雲市における2002年7月中旬から湛水処理時までの1か月間の天候は、30℃以上の高温が続き降雨はほとんどなく、干ばつ的な状況で推移した。各処理区とも同一園内でほぼ同じ生育の樹を選び、1区あたり3樹の反復とした。

2. 樹上軟化と果実内部黒変

樹上軟化した果実の多くで、ヘタ付近の果肉部に黒変箇所が認められた(第1図)。そこで、果実内部の黒変についての調査には、2002年11月7日に樹上軟化が発生している樹から収穫した果実を用い、軟化程度で、大(ほぼ全て)、中(半分程度)、小(果頂部のみ)および無(軟化なし)に分類した。対照区として健全樹の健全果を用いた。果実のヘタ部から1 cm下を水平に切り、樹上軟化発生樹および健全樹の各2樹からそれぞれ採取した果実10個を用いて、果肉内部の黒変率を2反復の平均値で求めた。また、果実内部黒変程度は、上記で用いた合計20果について第1図で示す分類にしたがって数値化した。

3. 環状剥皮処理と樹上軟化発生の様相および内部エチレン濃度

2002年9月6日から10月25日まで3～4日毎に環状剥皮処理樹から軟化していない果実を採取し、果実内部から発生するエチレンの濃度をItamuraら(2003)の方法で測定した。ヘタから下1 cmの部分から約2 cmの幅で輪切り



程度 0 1 2 3 4

第1図 ‘西条’果実におけるヘタ付近の程度別黒変状況

にして得られた約80 gの果実片をサンプルとした。果実の内部エチレンを得るために、半分に切った2 Lのペットボトルの上部分を飽和食塩水が入ったデシケータ内に入れ、そのペットボトル中にサンプルを入れて中の空気をすべて食塩水に置換して口にゴム栓をした。脱気中に果実内部から発生するガスは飽和食塩水に溶けないためほぼ全量が回収できる。次に、デシケータ内をポンプで減圧、脱気し、サンプルから発生してペットボトル上部に溜まった気体が150 mL程度になった時点でデシケータ内を常圧に戻した。ペットボトルの口のゴム栓に注射針を差し込みヘッドスペースガスを0.5 mL採取し、ガスクロマトグラフィーでエチレン濃度を測定した。なお、それぞれ調査時に3～5個の果実をエチレン測定用サンプルとして用いた。

環状剥皮処理と樹上軟化の経時的な関係を調べるため、9月6～30日、10月1～3日、4～7日、8～17日および18～23日の5期間における累計の樹上軟化率の平均値を求めた。なお、用いた樹は前述の樹上軟化再現試験の環状剥皮区で用いた樹と同一園内の異なる樹を用い、処理区、対照区ともに3樹とした。

4. 各種処理が収穫後軟化に及ぼす影響

収穫後軟化については、10月28日に各種処理区から収穫した軟化していない正常な果実を用い、1樹当たり10個を乾燥しないようにポリエチレン袋(厚さ0.06 mm)に入れて軽く縛り、10℃で貯蔵した。10日後に果実の軟化程度を大(ほぼ全て)、中(半分程度)、小(果頂部のみ)および無(軟化なし)に分類し、それぞれの割合を3樹の平均として求めた。

結果および考察

1. 各種処理が樹上軟化に及ぼす影響

樹上軟化との関連性を検討するため、栽培管理の一つとして現場でも行われている環状剥皮処理や樹上軟化の実態調査から、台風等による落葉を想定した80%摘葉処理、日照り後の長雨を想定した湛水処理を行った。なお、環状剥皮は地上部で生産された光合成産物等の師部輸送を阻害することで成熟促進効果があり、広く実用化されている技術であるが、収穫後軟化を促進するという最近の報告もある(播磨ら, 2006)。最も高い軟化発生率は、環状剥皮処理で、約20%と他処理区に比べて大幅に高くなった(第1表)。一方、摘葉処理区でも4.8%と他処理区よりやや高くなったものの、湛水処理区および溝処理区における樹上軟化発生率は対照区と大きな差は見られなかった。このことから、樹上軟化は根の傷害や地下部の湛水、摘葉によるストレスに比べて、環状剥皮の影響が強いことが明らかとなった。‘西条’の栽培現場においては、環状剥皮は広く実施されており、‘刀根早生’において収穫後軟化の報告はあるものの(播磨ら, 2006)、樹上軟化が増加したという例は見あたらない。本実験で行った環状剥皮処理は、通常より剥皮箇所が多かったこと、実施時期が9月上旬と3か月以上遅かつ

たことが樹上軟化発生に影響したものと考えられる。

2. 樹上軟化と果実内部黒変

樹上軟化果実を詳細に観察する過程で、ほとんどの軟化果実にはヘタ付近の果肉部に黒変が存在することが確認された。そこで、樹上軟化と果実内部黒変の関係について調査したところ、樹上軟化した果実はその程度に関わらず、ヘタ付近の果肉に極めて高率で黒変が認められた(第2表)。また、樹上軟化発生樹においては、収穫時に軟化していない健全果でも同様に高率で黒変がみられたが、対照区である健全樹の健全果には全く見られなかった。この果肉部の黒変は、種子につながる果実内の維管束中にも認められ、組織切片の顕微鏡観察で細胞内にタンニンの集積が確認されたこと、フォリン法による分析で黒変していない部分より不溶性タンニン量が多かったことからタンニンによると考えられる(データ省略)。また、果実内部の黒変程度は樹上における果実の軟化程度に比例して高くなる傾向があった(第2表)。さらに、収穫後軟化した果実のほとんどに内部黒変が見られたことから、内部黒変がある果実は収穫後にも軟化しやすい可能性が示唆された。

3. 環状剥皮処理と樹上軟化発生の様相および内部エチレン濃度

樹上軟化の発生のきっかけは、成熟前の果実内でエチレンが異常発生することに起因すると考えられる。果実内部

で発生するエチレン濃度を比較すると、環状剥皮処理区において9月24日および10月1日で約0.31 ppmの2つのピークが認められた(第2図)。一方、対照区では、同時期に2つのピークはあったものの、その濃度はそれぞれ、0.08 ppm, 0.04 ppmと低かった。また、収穫期である10月18日に対照区では約0.28 ppmの高いピークが見られ、環状剥皮区とは異なる様相が確認された。環状剥皮処理区における9月24日と10月1日のエチレンピークの後、10月1～3日の樹上軟化発生率が他の期間より若干高くなった(第3図)。このことから、環状剥皮処理区におけるエチレンピークは、成熟初期の果実の樹上軟化にある程度関与していると考えられる。Nakanoら(2002, 2003)は‘刀根早生’を用いて、果実が水分ストレスを受けるとエチレンの生成系酵素遺伝子、特に1-アミノシクロプロパン-1-カルボン酸(ACC)合成酵素の遺伝子発現が起こり、エチレンが生成されるために果実軟化を引き起こすと述べている。本研究においても、樹上軟化果実で見られるヘタ直下の果肉黒変部分における顕微鏡観察で細胞内にタンニン集積が確認され、黒変は種子へとつながる果実内の維管束中にも見られた。これらのことから、果実内黒変は果実内の通道組織(維管束)を詰まらせ水分移動を阻害していると思わ

第1表 各種処理と1樹当たりの樹上軟化率

処理区	樹上軟化率 (% ± 標準誤差)
環状剥皮処理区 ^z	19.9 ± 5.1
80%摘葉処理区 ^y	4.8 ± 2.0
湛水処理区 ^x	2.1 ± 1.4
溝処理区 ^w	0.4 ± 0.4
無処理区	0.3 ± 0.1

2002年11月7日調査 (n=3)

^z 主幹部と3本の主枝基部の計4か所に2 cmの幅で環状剥皮

^y 樹全体の80%の葉を除去

^x 主幹を中心に半径2 mの溝を掘り、1か月間、樹を湛水状態

^w 溝に水を溜めない

第2表 カキ‘西条’の樹上軟化果実における果肉部ヘタ付近黒変

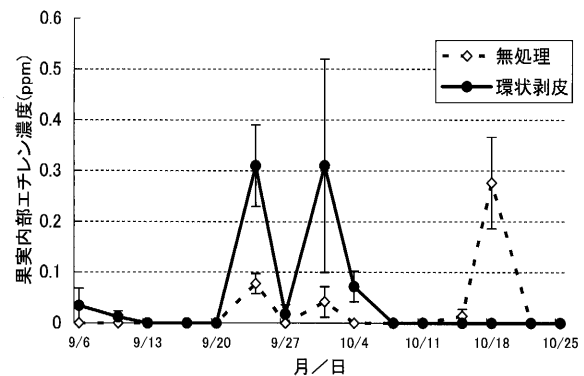
果実軟化程度 ^z	ヘタ付近黒変率 ^y (%)	黒変程度 ^x (平均値 ± 標準誤差)
軟化発生樹の果実		
大	95.0	3.1 ± 0.2
中	100.0	2.6 ± 0.2
小	90.0	2.2 ± 0.2
無	65.0	1.8 ± 0.2
健全樹の健全果	0	0

2002年11月7日調査

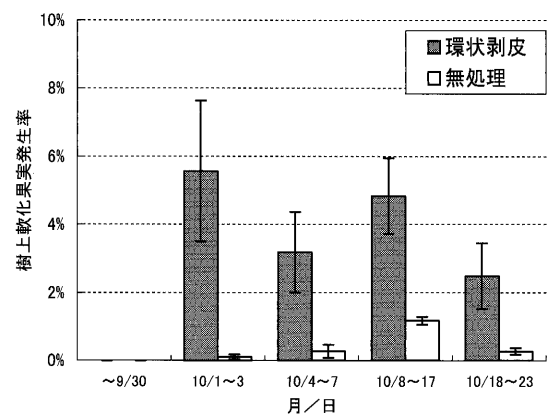
^z 軟化程度: 大(ほぼ全て), 中(半分程度), 小(果頂部のみ), 無(軟化なし)

^y 10個の果実における黒変率の平均値 (n=2)

^x ヘタ付近の黒変程度: 第1図の通り (n=20)



第2図 環状剥皮処理と果実内部エチレンの濃度
2002年9月6日に環状剥皮処理
縦棒は標準誤差 (n=5)



第3図 環状剥皮樹における期間累計の樹上軟化果実発生率
縦棒は標準誤差 (n=3)

れる。これが二次的ストレスとなってエチレン生成を誘導し、樹上軟化および収穫後軟化を誘発した可能性も考えられる。

本実験において、環状剥皮処理による樹上軟化の発生は、処理直後に起こるのではなく、処理後1か月以上経過してから起こることが分かった。これらのことは、環状剥皮処理や各種処理が、直接果実の軟化を誘導しているのではなく、果肉の黒変などを通して間接的に軟化を誘導していることを示唆している。特に、環状剥皮処理で樹上軟化が多発したのは、師部の通導を切断することで、同化養分や他の物質が集積するなど何らかの要因で間接的に軟化を促進したものと推察される。

生理障害には、樹体内の要素欠乏が発生原因となっていることも多い(清水, 1990)。竹下ら(1996)は、樹上軟化の発生樹と健全樹との無機成分含量を比較したところ、発生樹において、葉および果実中のマンガン含量が健全樹に比べて少ないと報告している。また、梅野ら(1999)は、‘西条’の樹上軟化の発生樹における果実、ヘタおよび葉のマンガン含量が健全樹より低いことから、樹の各器官におけるマンガン含有率を高めることで樹上軟化防止に効果があると報告している。このように、果実中のマンガン含量と軟化発生との間には関連性がある可能性が示唆されている。しかし、著者らが以前に行ったマンガン施用試験では明らかな樹上軟化抑制効果は認められなかった。また、現場においては根が長期間浸水した場合には、マンガン含量が多くても樹上軟化が発生するケースも少なくない。根が浸水すると道管内にエチレンの前駆体である ACC 濃度が高くなるという報告(English ら, 1995)があることから、水ストレスも軟化の一つの引き金になるかもしれない。

一方、果実への外傷によるストレスで果実内部に傷害型エチレンが発生し、軟化を誘発することも指摘されている(Nakano ら, 2002)。「西条」においても強風等で打撲を受けた果実では、その部分が軟化して全体に広がることが確認された。しかし、板村ら(1989)は樹に着生しているカキ‘平核無’幼果の果皮を用い、8月上旬に約5mm×10mm程度の剥皮を行う加傷処理をしたところ、一時的なエチレン増加が見られたものの落果や軟化には結びつかず、さらに、葉が枝に付着している場合は顕著に抑制されたと報告している。このことから、葉のすれ等の軽微な果皮への傷害は樹上軟化の直接的な原因にはならないかもしれない。

‘西条’の生理障害の一つである発芽不良では発症した樹は回復しないが(松本ら, 2006)、樹上軟化は年次によって発生率が大きく変動することから、その発生機構には栽培環境や天候等の自然条件が大きく関与しているものと考えられる。また、発芽不良は、ストレスにより枝梢内のタンニン含量が増え、一部が不溶化、黒変することで維管束が詰まり、養水分の供給が制限されることにより発生する(松本ら, 2006)。本実験における樹上軟化も発芽不良と同様、何らかのストレスによって果肉部のタンニンが不溶化、

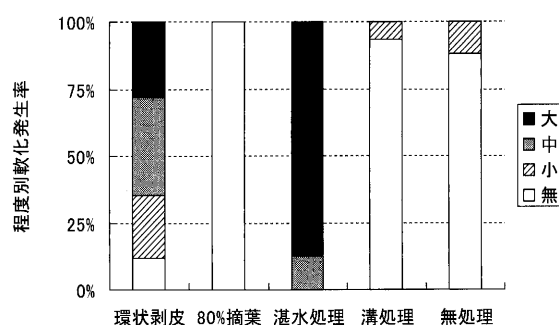
黒変することによって維管束が詰まり、養水分の供給を阻害されたことによるのかもしれない。

4. 各種処理が収穫後軟化に及ぼす影響

収穫後における果実の軟化について調査したところ、樹上軟化発生率が高かった環状剥皮区および対照区とほとんど差がなかった湛水処理区において、非常に高い軟化発生率が認められた(第4図)。一方、溝処理区と摘葉区における軟化発生は、対照区とほぼ同程度で低かった。したがって、環状剥皮区および湛水処理区で収穫された果実は、外観では正常であっても収穫後軟化が発生しやすい性質を持っていることが明らかとなった。これら2つの処理区で収穫後軟化が高率で認められた原因は、発生しなかった溝処理区や摘葉区と比べて大きなストレスを樹が受けたためと推察される。

樹上軟化発生樹から収穫した果実は、ヘタ付近果肉部に黒変があり収穫後軟化を起こしやすいと前述したが、環状剥皮区および湛水処理区でも多くの果実に黒変が見られた。このように、環状剥皮処理および湛水処理によって軟化を引き起こす可能性が示唆された。Nakano ら(2001)は、‘西条’果実の収穫後軟化には水ストレスと脱渋処理に伴う炭酸ガスストレスによって誘導されるエチレンが関与していると述べている。一方、竹下ら(1995)は、‘西条’の樹上軟化発生樹と健全樹から採取した成熟果実をポリ容器に入れて72時間後に容器内のエチレン濃度を測定したところ、樹上軟化発生樹の果実で2.5倍高かったと報告しているが、このエチレン発生量の増加は樹上での生理的特性を反映したものと考えられる。また、播磨ら(2001)は、‘刀根早生’の促成栽培における収穫後軟化について、成熟期の高温が果実を「軟化しやすい」生理状態にするのではないかと述べている。このことから、収穫後に軟化した果実は傷害や湛水等が原因で「軟化しやすい」生理状態となったものと推察される。

以上のことから、環状剥皮等のストレスで樹上軟化が発生する可能性があると考えられる。また、過度なストレスを与えるような環状剥皮処理を行っても樹上軟化が発生し



第4図 各種処理と収穫後果実の程度別軟化発生率

2002年10月28日収穫、ポリエチレン袋内で10℃で10日間貯蔵後に調査

軟化程度：大（ほぼ全て）、中（半分程度）、小（果頂部のみ）、無（軟化なし）

ない場合がある。しかし、収穫時に果実のヘタ付近の果肉部に黒変がある場合は、脱渋中に軟化しやすくなる性質を持つ可能性が示唆された。従って、過度なストレスを与えるような環状剥皮を行った場合や自然災害等で樹に大きな傷害を受けた場合および本研究のような1か月間の湛水処理のような状態になった場合は、樹は大きなストレスを受けることになる。これらにより果肉部黒変が生じると収穫後軟化を起こす可能性が危惧されることから、出荷には十分に注意する必要がある。

摘 要

カキ‘西条’果実の樹上軟化について、自然災害を想定した処理や環状剥皮処理での再現を試みた。その結果、環状剥皮処理区での軟化発生率が約20%と最も高く、処理により誘導されたエチレンが樹上軟化発生の原因である可能性が示された。また、収穫後果実の軟化発生について調査したところ、湛水処理区および環状剥皮処理区において非常に高い軟化発生率が認められた。従って、湛水状態になったり環状剥皮によって、収穫後軟化を起こす生理状態になった可能性がある。また、ヘタ直下の果実内部黒変と樹上または収穫後軟化に密接な関連性があることが明らかとなった。

引用文献

- 第 33 回全国カキ研究大会実行委員会編. 1998. 島根のかき. 流通の現状と課題, 34.
- English, P. J., G. W. Lycett, J. A. Roberts and M. B. Jackson. 1995. Increased 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid oxidase activity in shoots of flooded tomato plants raises ethylene production to physiologically active levels. *Plant Physiol.* 109: 1435–1440.
- 播磨真志・中野龍平・稲葉昭次・久保康隆. 2006. 環状はく皮および反射マルチ敷設がカキ‘刀根早生’果実の収穫後の軟化発生に及ぼす影響. *園学研.* 5: 185–191.
- 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.
- 板村裕之・今堀志朗・北村利夫・福嶋忠昭. 1989. 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.
- Itamura, H., M. Yoshioka and A. Nakatsuka. 2003. The effects of internal ethylene production on coloration and on-tree fruit softening of Japanese persimmon. *Acta Hort.* 601: 165–169.
- 松本敏一・倉橋孝夫・柳川敏治・尾山圭二・牧 慎也・松本真悟. 2006. カキ‘西条’の発芽不良とその発生機構. *園学研.* 5: 129–133.
- Nakano, R., S. Harima, E. Ogura, S. Inoue, Y. Kubo and A. Inaba. 2001. Involvement of stress-induced ethylene biosynthesis in fruit softening of ‘Saijo’ persimmon. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 70: 581–585.
- Nakano, R., S. Inoue, Y. Kubo and A. Inaba. 2002. Water stress-induced ethylene in the calyx triggers autocatalytic ethylene production and fruit softening in ‘Tonewase’ persimmon growth in a heated plastic-house. *Postharvest Biol. Technol.* 25: 293–300.
- Nakano, R., E. Ogura, Y. Kubo and A. Inaba. 2003. Ethylene biosynthesis in detached young persimmon fruit is inhibited in calyx and modulated by water loss from the fruit. *Plant Physiol.* 131: 276–286.
- 清水 武. 1990. 要素障害の診断・調査法と現地での発生の特徴. p. 205–257. 清水 武編著. 原色要素障害診断事典. 農文協. 東京.
- 竹下 修・倉橋孝夫・梅野康行・小豆沢 斉・板村裕之. 1996. カキ‘西条’の果実軟化発生樹の特性. *園学雑.* 65 (別2): 146–147.
- 梅野康行・倉橋孝夫・竹下 修・持田圭介・板村裕之. 1999. カキ‘西条’における樹上軟化と無機成分含有率との関係. *園学雑.* 68 (別2): 183.