

Crispness Index(CI)と最大荷重によるカキ果肉部の物性評価

増本憲考*・浦 広幸¹⁾・江嶋亜祐子・池田浩暢

カキ「秋王」(福岡県育成)や「太秋」はサクサクとした食感(サクサク感)が特長である。このサクサク感を評価した報告は少ないため、客観的な数値でサクサク感を評価する手法について検討した。クリープメータの荷重測定値から算出したCrispness Index(CI)は、「秋王」および「太秋」のサクサク感の官能評点と対数回帰し、決定係数は0.9程度と適合度が大きかった。また、「太秋」を5°Cで20日間貯蔵した場合、サクサク感とCIは低下したが、果肉硬度やクリープメータで測定した最大荷重は低下しなかったことから、CIはサクサク感の低下を客観的に評価できると考えられた。甘ガキ品種間の物性をCIで比較すると、サクサク感を有しない「富有」や「西村早生」の方が「太秋」および「秋王」より高い値を示した。CIを最大荷重で除した値で比べたところ、「秋王」と「太秋」で最も大きく、サクサク感を有しない「早秋」、「富有」および「西村早生」より有意に大きかったことから、品種の食感の違いを明らかにするときは、CIと最大荷重の両方から判断する必要があると考えられた。

以上のことから、サクサク感を有する品種の貯蔵によるサクサク感の変化については、クリープメータを用いて測定したCIで適正に評価できること、品種間の比較ではサクサク感を有する品種と有しない品種をCI/最大荷重で区別できることが明らかになった。

[キーワード: カキ, 果肉, 食感, CI, 最大荷重]

Quantifying Persimmon Flesh Texture using Crispness Index and Maximum Stress. MASUMOTO Noritaka, Hiroyuki URA, Ayuko ESHIMA, Hironobu IKEDA (Fukuoka Agriculture and Forestry Research Center, Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. For. Res. Cent.* 4:109-113 (2018)

The fruits of Japanese persimmon (*Diospyros kaki* Thunb) cultivars "Akiou," bred at the Fukuoka Agricultural Research Center, and "Taishu" have a flesh with crispy texture. As only a few reports have examined their texture, we investigated the evaluation parameters for crispy texture of persimmon fruits. Crispness index (CI) calculated by integrating the second derivative of stress values obtained during the probe insertion into the flesh could express the individual crispy texture of persimmon. The relationship between CI and the individual crispy texture value for "Akiou" and "Taishu" was estimated by logarithmic regression. The correlation coefficient of this regression was about 0.9; in contrast, the relationship between other physical properties (hardness and maximum stress) and the individual crispy texture value was not as high. Although the hardness and maximum stress of the flesh did not decrease, the CI and the individual crispy texture value decreased when "Taishu" was stored at 5°C for 20 days. These results indicate that CI could objectively evaluate individual crispy texture. We compared the physical properties of other persimmon cultivars using the CI and maximum stress parameters. The value obtained by dividing CI by the maximum stress were significantly greater in "Akiou" and "Taishu" than they were in "Soshu," "Fuyu," and "Nishimura Wase"; the fruits of the latter three cultivars are lacking crispy texture. This indicates that CI and maximum stress are suitable for distinguishing crispy persimmon cultivars from other non-crispy persimmon cultivars.

[Key words: Persimmon, Flesh, Texture, Crispness index, Maximum stress]

緒言

福岡県のカキ収穫量は16,400 tで和歌山県、奈良県について全国第3位の産地であるが(農林水産省2017)、栽培面積は年々減少傾向にある(福岡県2015)。この対策として、福岡県では大果で食味が優れ、種が極めて少ない甘ガキ品種「福岡K1号」(以後、商標名の「秋王」とする)を育成し(千々和ら2013)、カキ産地の活性化を図っている。「秋王」は糖度が高く、「太秋」と似たサクサクとした食感(以後、サクサク感とする)を有することが特長である。しかし、収穫期間が10月下旬から11月中旬と短いため、今後生産量が増えた場合、消費拡大に向けた販売期間の延長が求められる。そのため、「秋王」のサクサク感を維持する貯蔵および流通技術の開発が喫緊の課題となり、サクサク感を客観的に評価することが大変重要

である。

食感の測定方法として実際に人が食べた時の音をマイククロフォンで計測する手法があるが(Drake 1963, Vickers & Bourne 1976, Cristensen & Vickers 1981, De Belie et al 2002)、個人差が大きく再現性のないことが課題であった。そこでSakuraiら(2005a, 2005b)は、プローブを貫入させて発生する音響振動を検出する食感測定装置(Acoustic Measurement of Crispness, AMC)を開発し、鈴木ら(2013)はその音響振動法を応用して「太秋」のサクサク感を評価する方法を明らかにしている。しかし、この音響振動法は高価で特殊な測定装置の導入が必要である。一方、堀江ら(2004)はテクスチュロメータを用い、円柱形のプランジャーが果肉を貫入する力の変化を荷重の2次微分値の総和で算出したCrispness index(CI)はキュウリ果肉部のコリコリした食感を評価

*連絡責任者(流通・加工部:masumoto-n1759@pref.fukuoka.lg.jp)

受付2017年8月1日;受理2017年10月12日

1) 現 福岡県福岡農林事務所 北筑前普及指導センター

できる有望な方法であると報告している。このキュウリのコリコリした食感を評価したCIがカキに応用できればサクサク感を評価する有望な評価法となり得る。また、この方法は食品の物性評価に従来から用いられているテクスチュロメータで評価したことも利点である。当試験場が有するクリープメータもテクスチュロメータと同じくプランジャー貫入時の荷重を経時的に計測でき、食品の物性を評価する機器として一般的に使用されている機器である。

そこで、本研究ではクリープメータで測定した荷重データからCIを算出し、「秋王」および「太秋」のサクサク感について、貯蔵による変化や他の甘ガキ品種との違いを客観的に評価できる方法について検討したので報告する。

材料および方法

1 貯蔵条件の異なる「秋王」および「太秋」の官能評価と物性の関係

(1) 供試果実 「秋王」は2016年11月10日に県内生産者から集荷された81果を用い、「太秋」は2016年10月20日にJA筑前あさくら管内の生産者から集荷された90果を用いた。

(2) 貯蔵処理 厚さ0.06mmのポリエチレンフィルムで個包装して-1, 0, 5, 10°Cで20日間貯蔵した4区、さらに同条件で貯蔵後、15°Cで5日間保存した4区を設定して食感の異なる果実を作出した。「秋王」は各区9反復、「太秋」は各区10反復とした。

(3) 機器による物性測定 果肉硬度は、サンプル果実の赤道部を厚さ2cmに輪切りし、果肉部の対角2か所をユニバーサル型果実硬度計(KM-5型:藤原製作所)により直径5mmの円柱形プランジャーを果頂部側の切断面から貫入させて測定した。また、最大荷重(N)とCIはクリープメータ(RE-3305S:株式会社山電)を用いて次の条件で測定した。即ち果肉硬度の測定部位から90°の角度に位置する対角2か所のカキ果肉部に、直径3mmの円柱形プランジャーを1mm/秒の速度で、深さ11mmまで貫入させ、貫入開始から0.05秒ごとに10秒間連続して荷重を計測した。この間の最も大きな荷重を最大荷重とした。また、CIは堀江ら(2004)の手法に準じ、データポイント t における荷重を F_t とし、その0.05秒前および0.05秒後の荷重をそれぞれ F_{t-1} 、 F_{t+1} とした以下の式で算出した。

$$CI = \Sigma |(F_{t+1} + F_{t-1}) - 2F_t|$$

(4) サクサク感の評価 機器による物性測定した部位を除外したサンプルを扇状に10等分し、福岡県農林業総合試験場資源活用研究センターの研究員および臨時職員で構成された10名をパネルとしてカキ果肉部を食べた際のサクサク感について5段階評点法(1:ない~3:弱い~5:強い)で評価した。なお、「秋王」や「太秋」らしいサクサク感を示す評点は3以上である。

(5) 統計処理 官能評価と機器で測定した物性の関係について、統計ソフトRを用いて線形回帰分析を行い、回帰式と決定係数(R^2)を算出した。また、貯蔵処理前と

各貯蔵処理間の差については、分散分析を実施後、Dunnettの多重比較検定を行った。

2 カキ品種間における果肉の物性比較

(1) 供試果実 2016年に福岡県農林業総合試験場果樹部の圃場から適期に収穫された、「西村早生」(9月27日収穫)、「早秋」(10月3日収穫)、「太秋」(10月25日収穫)、「秋王」(11月1日収穫)、「富有」(11月22日収穫)の5品種を各10果供試した。

(2) 機器による物性測定 1の試験方法に準じてプランジャー貫入時の最大荷重(N)とCIを算出した。

(3) 統計処理 物性の品種間差は統計ソフトRを用いて分散分析した後、TukeyHSDの多重比較検定を行った。

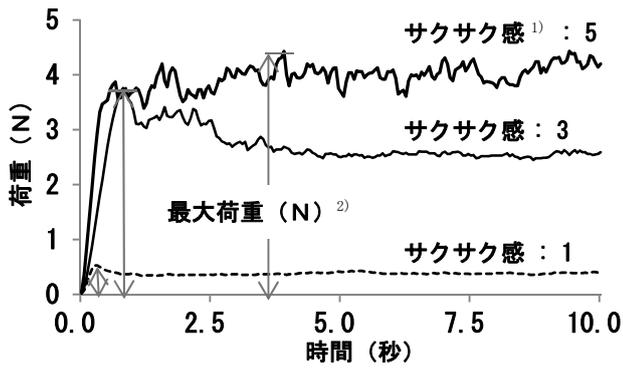
結果

1 貯蔵条件の異なる「秋王」および「太秋」の官能評価と物性の関係

サクサク感が異なるカキ果肉にクリープメータでプランジャーを貫入した際の代表的な荷重(N)と時間(秒)の関係を第1図に示した。サクサク感1と3では最大荷重が大きく異なっていたが、サクサク感3と5では最大荷重の差は小さかった。荷重変動を数値化した2次微分値と時間(秒)の関係を示した第2図を見ると、変動の大きさの違いが顕著となり、変動の絶対値を総和したCIでサクサク感3と5の違いが明確になった。

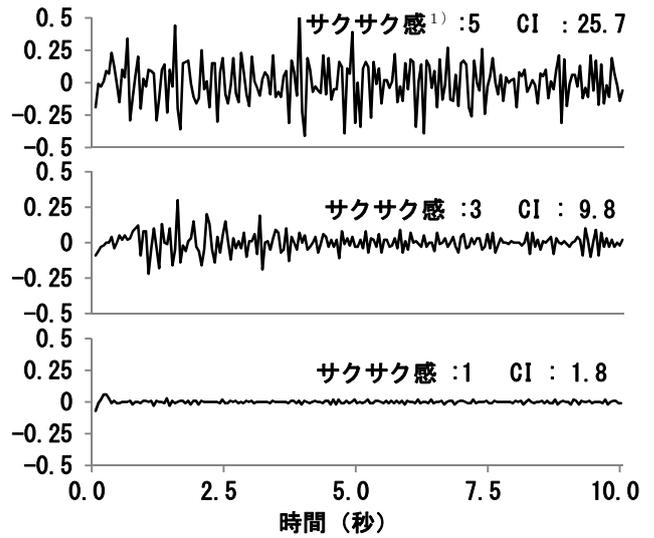
次に貯蔵処理によって物性が変化した「秋王」および「太秋」の果実について、サクサク感の官能評点と果肉硬度、最大荷重、CIの各測定値で散布図を作成した(第3図、第4図)。両品種ともサクサク感の官能評点は果肉硬度および最大荷重と直線関係が認められ、CIとは対数関係が認められた。決定係数は $CI > \text{最大応力}(N) > \text{果肉硬度}(kg)$ の順に大きく、CIの決定係数は「秋王」が $R^2 = 0.91$ 、「太秋」は $R^2 = 0.89$ であった。

「太秋」の貯蔵条件の違いによるサクサク感の変化と果肉の物性の関係について検討した結果を第1表に示した。-1°Cおよび0°Cで貯蔵した場合、いずれの調査項目においてもほぼ貯蔵開始時の状態を保持していたが、5°Cではサクサク感およびCIのみが有意に低下したのに対し、果肉硬度および最大荷重の低下は認められなかった。10°Cではサクサク感と全ての物性値が低下した。貯蔵後5日間15°Cで保存した場合は、-1°Cではサクサク感およびCIは低下したが、果肉硬度および最大荷重の低下は認められなかった。0°Cにおいてもサクサク感は低下し、統計的な差は認められなかったもののCIの平均値も低下したが、果肉硬度および最大荷重の低下は認められなかった。5°Cおよび10°Cではサクサク感と各物性値は低下した。



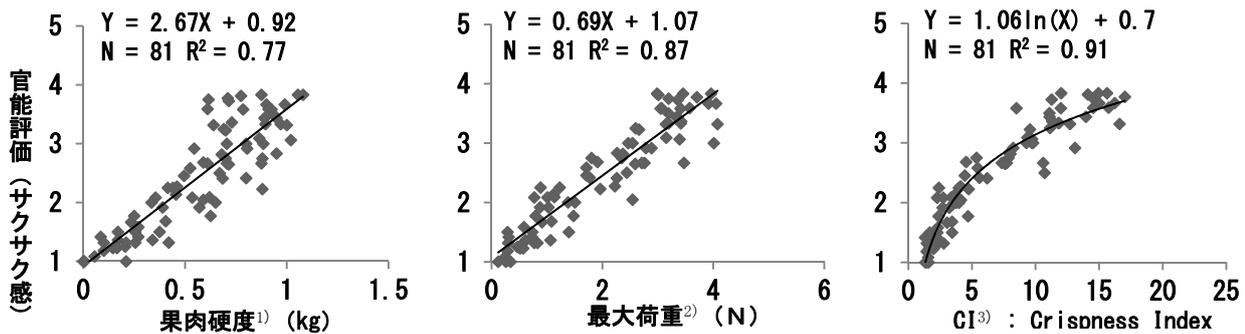
第1図 カキ「太秋」果肉部にプランジャーを貫入させたときの荷重-時間曲線

- 1) サクサク感は官能評価による 5段階評価 (1:無し～ 3:弱い～ 5:強い)
- 2) 最大荷重は各波形における荷重の最大値



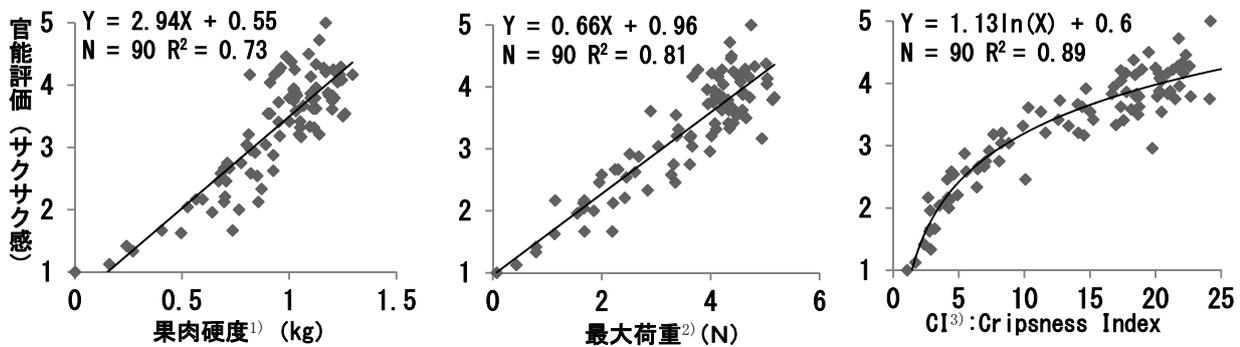
第2図 カキ「太秋」果肉部にプランジャーを貫入させたときの荷重の2次微分値

- 1) サクサク感は官能評価による 5段階評価 (1:無し～ 3:弱い～ 5:強い)



第3図 カキ「秋王」果肉部の機器で測定した物性と官能評価 (サクサク感) の関係

- 1) ユニバーサル型果実硬度計 (KM-5 型: 藤原製作所) の円柱型プランジャー (φ 5mm) で計測
- 2) クリープメータ (RE-3305S: 株式会社山電) により円柱型プランジャー (φ 3mm) で計測
- 3) クリープメータで測定した荷重データから算出
- 4) サクサク感は官能評価による 5段階評価 (1:無し～ 3:弱い～ 5:強い)



第4図 カキ「太秋」果肉部の機器で測定した物性と官能評価 (サクサク感) の関係

- 1), 2), 3), 4) は第3図と同じ

第1表 貯蔵方法が異なるカキ「太秋」の官能評価と物性

処理区	貯蔵温度 (°C)	官能評価 サクサク感	果肉硬度 (kg)	最大荷重 (N)	CI
貯蔵前	—	4.3	1.07	4.02	20.1
20日貯蔵	-1	4.1	1.07	4.40	18.3
	0	3.8	1.13	4.34	20.8
	5	3.3 **	1.03	4.08	14.8 *
	10	2.6 **	0.79 **	2.35 **	6.8 **
20日貯蔵 +	-1	3.7 *	1.06	4.13	14.5 *
	0	3.7 *	1.00	4.40	17.5
5日間	5	2.6 **	0.81 **	3.10 *	6.8 **
15°C保存	10	1.8 **	0.44 **	1.28 **	3.2 **

1) 各区のn数は10果

2) 統計処理は貯蔵前を対照としたDunnnettの多重比較検定 * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

2 カキ品種間における果肉の物性比較

品種別の各物性値を多重比較検定した結果を第2表に示した。最大荷重は「西村早生」>「富有」>「太秋」>「秋王」>「早秋」の順に大きく、「太秋」と「秋王」、「秋王」と「早秋」に有意差は認められないが、その他の品種間では有意差が認められた。CIは「秋王」と「太秋」の間と、「西村早生」と「富有」の間に差がなく、「富有」・「西村早生」>「秋王」・「太秋」>「早秋」の順に大きかった。また、CIを最大荷重で除した数値を比較したところ「秋王」と「太秋」の間と、「早秋」と「富有」の間に差がなく、「秋王」・「太秋」>「富有」・「早秋」>「西村早生」の順に大きかった。

第2表 カキ品種間の物性比較

品種名	最大荷重 (N)	CI	CI/最大荷重
秋王	3.95 ^{cd}	19.5 ^b	4.9 ^a
太秋	4.02 ^c	18.9 ^b	4.7 ^a
早秋	2.34 ^d	7.5 ^c	3.1 ^b
富有	7.76 ^b	27.7 ^a	3.6 ^b
西村早生	12.32 ^a	26.1 ^a	2.1 ^c

1) TukeyHSDによる多重比較検定で同列異符号間は5%水準で有意差あり

考 察

一般的に果肉の硬さを評価する指標としてクリープメータで測定した最大荷重やユニバーサル型果実硬度計など手動でプランジャーを貫入して測定する果肉硬度がよく用いられている。本試験では「秋王」や「太秋」を対象に果肉の硬さを表す指標である最大荷重および果肉硬度とサクサク感との関係を検証したところ、回帰式の決定係数が最大荷重で0.8以上、果肉硬度で0.7以上であった。このことから、これらの測定値でもサクサク感はある程度表現できるものと思われた。しかしながら、サクサク

感1と3の間では最大荷重の差は大きいものの、サクサク感3と5の間では差が小さく、サクサク感を評価する際に果肉の硬さは適当でないと考えられた。樽谷(1960)や平ら(1987)もカキの果肉硬度と感覚的な食感には必ずしも一致しない場合があると報告している。そこで、果肉の硬さと異なる指標として貫入時のプランジャーに掛かる荷重変動の大きさを表すCIでサクサク感3と5を比べたところ、その差が明確となり、サクサク感1と3の間もCIで評価できることが示された。CIとサクサク感の決定係数についても「秋王」が0.91、「太秋」が0.89と果肉硬度や最大荷重よりも大きく、サクサク感を評価する指標としてCIはより適していると考えられた。また、第1表では、-1°Cで20日貯蔵して15°Cで5日間保存した区と5°Cで20日間貯蔵した区において、サクサク感は低下したものの、果肉硬度と最大荷重の低下は認められず、CIのみ低下した。このことからCIがサクサク感の良い指標になり得ることが示唆された。

キュウリのコリコリとした食感もカキのサクサク感と同様に歯触りの良さを評した表現である。堀江ら(2004)はキュウリを30°Cで3日間保存した場合、コリコリとした食感は低下したが、果肉硬度は変わらずにCIのみが低下したと報告している。この結果は、保存前後での食感の変化は果肉の硬さよりCIの方が反映している点で本試験の結果と類似している。そのため、カキにおいても貯蔵前後のサクサク感の低下を評価する場合にCIは果実硬度や最大荷重より適していると考えられた。本試験の官能評点では「秋王」や「太秋」らしいサクサク感を示す評点は3以上としているが、各回帰モデル式より評点3におけるCIの値を算出すると「太秋」は8.4、「秋王」は8.8であった。これらの値は当該品種の貯蔵試験などでサクサク感を維持する果実品質の下限値を検討する目安になると考えられた。

本試験では適期収穫したサクサク感を有する品種と有しない品種間の物性の違いについても、クリープメータで測定したCIと最大荷重で検討した。供試した「早秋」は多汁で、肉質が緻密な良食味とされており(山田ら

2004),「富有」は品種登録のかきのき属の審査基準・特性表(農林水産省 2013)によれば果肉がやや硬いとされ、「西村早生」は他の品種と比べて果肉が硬くて肉質が粗いとされる。いずれの品種もサクサク感があるとは評されていない。サクサク感を有する「秋王」と「太秋」はCIと最大荷重の各値はほぼ同じ値を示した。最大荷重で「秋王」と「早秋」に有意差が認められなかったが、CIでは有意差が認められた。「早秋」のCIは5品種の中で最も低く、「太秋」や「秋王」でサクサク感を感じる境界となるCI 8.4~8.8より低いことがサクサク感と評されない要因と考えられた。「富有」と「西村早生」のCIは「太秋」および「秋王」と比べて高い値を示した。このことは、品種間のサクサク感の有無を単純にCIの数値だけで評価できないことを示している。最大荷重を見ると、「西村早生」は最も値が高く、次いで「富有」が高い値で、「秋王」と「太秋」は比較的低い値であった。「秋王」や「太秋」は果肉が柔らかいことが果実特性の一つになっており(千々和ら 1997, 2013, 山根ら 2001), 歯触りの良いサクサク感を感じるとするにはある程度の柔らかさが必要と考えられた。さらにCIを最大荷重で除した値を見た場合、「秋王」および「太秋」が最も高かった。このことは、噛んだ際に感じる負荷(最大荷重)に対して負荷の変動(CI)がより大きいことがサクサク感を感じる物性の特徴と考えられた。「西村早生」のCI/最大荷重の値は最も低い値を示し、CIが大きくてもその最大荷重の大きさから硬さの感覚が勝ってしまうことでサクサク感を感じないと推測した。このことから、サクサク感を有する「秋王」や「太秋」とサクサク感を有しない品種の食感の違いをCI単独では区別できないが、CIと最大荷重の両方を用いることで食感の違いを評価できることが認められた。

本試験では、サクサク感を有する品種の貯蔵によるサクサク感の変化については、クリープメータを用いて測定したCIで適性に評価できること、品種間の比較ではサクサク感を有する品種と有しない品種をCI/最大荷重で区別できることを明らかにした。このことで「秋王」の特長であるサクサク感を維持するための貯蔵技術の開発を効果的に進めることができ、今後の「秋王」のブランド化推進に寄与できると考える。また、これらの指標により、サクサク感等食感を考慮した選抜が可能となり、消費者ニーズに対応した有望品種の選定に貢献できると考える。

引用文献

- Cristensen, C. M., Z. Vickers(1981) Relationships of chewing sounds to judgments of food crispness. *J. Food Sci.* 46:574-578.
- De Belie, N., F. R. Harker, J. De Baerdemaeker(2002) Crispness judgment of royal gala apples based on chewing sounds. *Biosystems Engineering* 81:297-303.
- Drake, B. K.(1963) Food crushing sounds. An introductory study. *J. Food Sci.* 28:233-241.
- 福岡県(2015)福岡県食料・農業・農村の動向—平成27年度農林水産白書—:43.
- 堀江秀樹・伊藤秀和・一法師克成・東敬子・五十嵐勇(2004)キュウリ果肉部の物理性評価法の開発. *園学研* 3:425-428.
- 農林水産省(2013)品種登録ホームページ審査基準・特性表. 農林水産省・食料産業局・知的財産課, 東京, <http://www.hinsyu.maff.go.jp/info/sinsakijun/japanese.html> (2017年6月5日閲覧)
- 農林水産省(2017)平成28年産西洋なし、かき、くりの結果樹面積、収穫量及び出荷量. 農林水産省, 東京, http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_kazyu/index.html (2017年6月1日閲覧)
- Sakurai, N., S. Iwatani, S. Terasaki and R. Yamamoto(2005a) Texture evaluation of cucumber by a new acoustic vibration method. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 74:31-35.
- Sakurai, N., S. Iwatani, S. Terasaki and R. Yamamoto(2005b) Evaluation of 'Fuyu' persimmon texture by a new parameter, "Sharpness index". *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 74:150-158.
- 鈴木哲也・新川 猛・櫻井直樹(2013)音響振動法によるカキ「太秋」の食感評価. *園学研* 12:433-438.
- 平 智・久保康隆・杉浦 明・苜名 孝(1987)脱渋方法の違いがカキ「平核無」果実の収穫・脱渋後の品質及び貯蔵性に及ぼす影響. *園学雑* 56:215-221.
- 樽谷隆之(1960)カキ果実の利用に関する研究(第4報)富有の冷蔵における包装の効果. *園学雑* 29:212-218.
- 千々和浩幸・朝隈英昭・石坂 晃(2013)無核性完全甘ガキ品種「福岡K1号」の育成ならびにジベレリン散布と適蕾による結実安定効果. *園学研* 12:263-267.
- 千々和浩幸・牛島孝策・林 公彦・姫野周二・吉永文浩・鶴丈和(1997)福岡県におけるカキ「太秋」の生育, 果実品質, 着花及び花粉に関する特性. *福岡農総試研報* 16:82-86.
- Vickers, Z. M., M. C. Bourne(1976) A psychoacoustical theory of crispness. *J. Food Sci.* 41:1158-1164.
- 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.
- 山根弘康・山田昌彦・栗原昭夫・佐藤明彦・吉永勝一・永田賢嗣・松本亮司・平川信之・角谷真奈美・小澤俊治・角 利昭・平林利郎・岩波 宏(2001)カキ新品種「太秋」. *果樹試報* 35:57-73.