

キュウリ果肉部の物理性評価法の開発

堀江秀樹*, 伊藤秀和, 一法師克成, 東 敬子, 五十嵐 勇

独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構野菜茶業研究所 514-2392 三重県安芸郡安濃町大字草生 360

Evaluation of the Physical Quality of the Mesocarp of Cucumber Fruit

Hideki Horie*, Hidekazu Ito, Katsunari Ippoushi, Keiko Azuma and Isamu Igarashi

National Institute of Vegetable and Tea Science, National Agriculture and Bio-oriented Research Organization, Ano, Mie, 514-2392

Summary

Texture is one of the most important factors in evaluating the palatability of cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruit. We proposed a method of evaluating the physical characteristics of the flesh (mesocarp) of cucumber fruit. A stick-like plunger was inserted into the flesh, and the force was monitored during insertion. Fluctuation in the force during insertion was calculated as an index, which was defined as CI (crispness index). CI is the total of the absolute values of the secondary differentiation values of force. Crispy cucumber fruits showed higher CI values. While 'firmness (the force of the destruction of the tissue)' is popularly used as an index of the texture of many fruits, it was supposed that the characteristics expressed by CI are different from 'firmness'. Since CI can be measured using the same instrument as used to test 'firmness', it is expected that the physical quality of the fruit can be evaluated more accurately using these two indices.

キーワード: 品質評価, 果実, キュウリ, 食感, テクスチャー

緒 言

近年食品の健康維持機能についての関心が強まり、野菜を食べることによる健康増進効果についても期待されている。こうした中で、キュウリについては、他の野菜と比べて際だって高い栄養価や機能性が認められているわけではなく、その嗜好性が需要を支えているものと考えられる。嗜好性の中では、歯切れなどの言葉で表現される物理性が、キュウリの品質上重要と考えられ、平本・松本(1988)も、キュウリの各品種、作型の間で官能評価を行い、官能検査の総合評点とテクスチャーとの間での相関が高いことを示している。そこで、本報ではキュウリを対象として、高食感キュウリの育種や食感の客観的評価に利用できる物理性評価方法について検討し、従来法では比較的评价が難しいと考えられる果肉部肉質の評価手法の開発を試みた。

キュウリ果実の物理性の評価方法として、円柱状のプランジャーを貫入させ、プランジャーにかかる力を記録し、そのピークを「硬さ」として表現する方法が提唱されている(菅野・上村, 1978; 武田・稲山, 1993; 平本・松

本, 1988; 石坂ら, 2000)。しかし、キュウリ果実に歯を立てただけでは、食感を評価することは困難であり、この過程を機械で模倣して得られる「硬さ」だけで、食感に相当する物理性が評価できるのか疑問が残る。一方、キュウリも含む多様な果実を対象にして、共鳴法や超音波法等の非破壊法も含め多様な物理性測定法が開発されている(村松, 1999)。しかしながら、それらの報告における測定対象は主に果実の成熟や貯蔵中の物理性変化など比較的大きな変化にあり、報告された方法がそのままキュウリ品種間の食感の差のような微妙な差違に適用可能か疑問がある。さらに、このような新しい手法では特殊な装置を必要とする場合が多く、簡単に試してみることができない。最近、Danら(2003)はシート状の圧力センサーを口にに入れて、食感の異なるキュウリをかむ時の圧力を解析することにより、キュウリ3品種の識別が可能であることを示している。しかしながら、この方法は測定にヒトを使うため、被験者が異なるとデータの再現性が得られないという難点がある。

著者らは、石坂ら(2000)と同様な方法でキュウリ果肉の測定を行った。その結果、果肉部に貫入する瞬間(破断時)の力だけでなく、プランジャーを果肉に深く貫入させる間の力の変化も、キュウリ果肉の物理性を表現するのに重要なパラメータになりうるものと考えた。そこで貫入後の力の変化を、力の2次微分値の総和として数値化

2004年3月3日 受付. 2004年6月9日 受理.
本研究の一部は園芸学会平成15年度秋季大会で発表した.
* Corresponding author. E-mail: horie@affrc.go.jp

し、品種間比較を試みたところ、肉質の品種間差異が表現できた。この方法では、従来から使われていた機器がそのまま使えて、「硬さ」とともに食感を表現する新たなパラメータを得ることができる。本法はキュウリ以外の果実の物理性を評価するのにも有望な手段ではないかと考えるので報告する。

材料および方法

実験に用いたキュウリ品種・系統は「フリーダムハウス2号」(サカタのタネ), 「シャープ1」(埼玉原種育成会), 「アンコール10」(ときわ研究場), 「全国四葉胡瓜」(大和農園)および、高食感を育種目標として野菜茶業研究所で育成過程にある高硬度育成系統2系統(仮に「高硬度系統A」, 「高硬度系統B」とする)であり、これらは、2003年4月に三重県安濃町の野菜茶業研究所内ビニールハウスに定植した。5月下旬から7月上旬にかけて100~150gの果実を午前中に収穫し、測定に用いた。

測定方法は石坂ら(2000)の果肉貫入抵抗値の測定法に準じ、キュウリ果実の中央部を約2cmの厚みで輪切りにし、プランジャーが胎座部と果皮に触れないように、基部側から尻部方向に果肉部に貫入させた。1試料につき2度の測定を行い平均をとった。

測定には、卓上物性測定器(山電, TPU-2S)を用いた。本機は簡易なテクスチュロメータであり、試料台に載せた試料をプランジャーで突き刺すときの力を、試料台に敷設している歪計で検出する方式である。卓上物性測定器の出力側は、パーソナルコンピュータに接続しておき、検出された力は電圧出力として、クロマト解析用ソフトウェア(Waters, Millennium 2010J)を用いて、1秒間に100点(最大)の取り込み速度で取り込んだ。プランジャーは直径3mmの円柱形のものを用い、2.5mm/sの速度で、キュウリの果肉部に貫入させた。破断時の力(「硬さ」とする)はMillennium 2010Jにより自動計算させた。さらにプランジャーが果肉を貫入中の0.05分間について、

各データポイントにおける力を、2次微分し、得られた絶対値の総和を計算し、CI (crispness index)とした。この計算は、Millennium 2010Jに蓄えられたデータを表計算ソフトの形式に変換後、市販の表計算ソフトを用いて行った。なお、任意の時間tにおける2次微分値 D_{2t} の計算は、時間tでの力を F_t とし、その0.01秒前および0.01秒後の力をそれぞれ F_{t-1} , F_{t+1} とすれば、

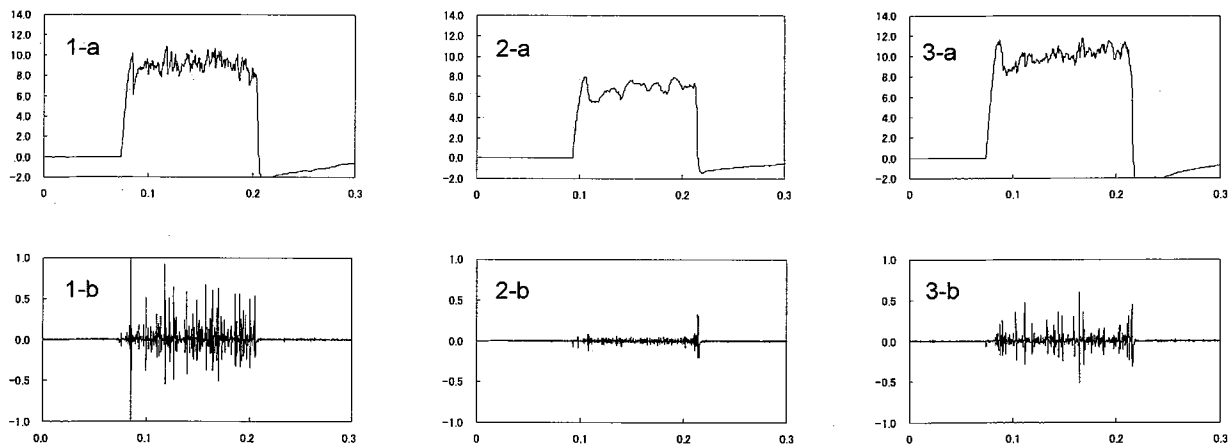
$$D_{2t} = 2 \times F_t - (F_{t-1} + F_{t+1}) \dots \dots \dots \text{式1}$$

とした。

結果および考察

プランジャーを貫入させた時の代表的な「力-時間」の関係を第1図(1-a, 2-a, 3-a)に記載する。プランジャーがキュウリ果肉に接触するまでは力がかからないが、接触後果肉の切断面を破断し貫入するまでに大きな力を要し、この時の力を既存の報告(菅野, 1978)に従い「硬さ」とし、各品種の測定値を第2図に記載した。「硬さ」に関しては、「全国四葉胡瓜」において有意に高い値が得られ、このことは四葉系キュウリで果肉が硬いとす武田ら(1993)の報告に一致する。一方で、いぼのないことが特徴で、食感的にも果肉の柔らかい「フリーダムハウス2号」において、有意に低い値が得られた。高硬度系統A, Bの特徴は、果肉が硬くてコリコリした食感であるが、「硬さ」のみの測定においては、「全国四葉胡瓜」より低い値であった。石坂ら(2000)は果肉の「硬さ」が「歯切れ感」の重要な要因であることを考察しているが、本測定で得られた「硬さ」のみでは、育成過程にある高硬度系統の果肉の食感の特徴が十分に表現できないものと考えられた。

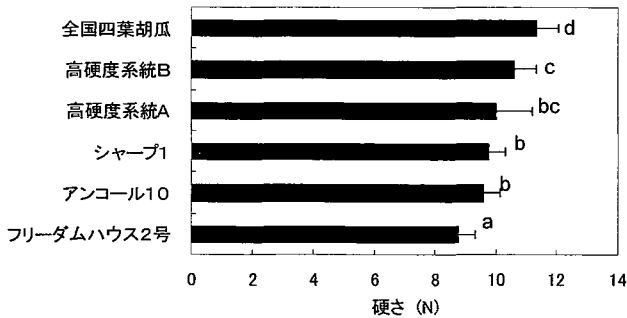
一方で、プランジャー先端が果肉の切断面を破断し、果肉中を貫入している間も、プランジャーには力がかかり、この力の変動パターンは、第1図(1-a, 2-a, 3-a)に示すように品種間で異なり、各品種の果肉特性を表すものと考えられた。このパターンの差を数値化するため、力



第1図 キュウリ果肉部にプランジャーを貫入させたときの力-時間曲線(a)とその2次微分曲線(b)

横軸は時間(分), 縦軸は力(N)とその微分値

1: 高硬度系統A, 2: フリーダムハウス2号, 3: 全国四葉胡瓜



第2図 キュウリの硬さの品種間比較

キュウリ果実それぞれ20個体以上測定した平均値と標準偏差
異なるアルファベット間で5%水準で有意差あり

第1表 キュウリの保存による物理性変化

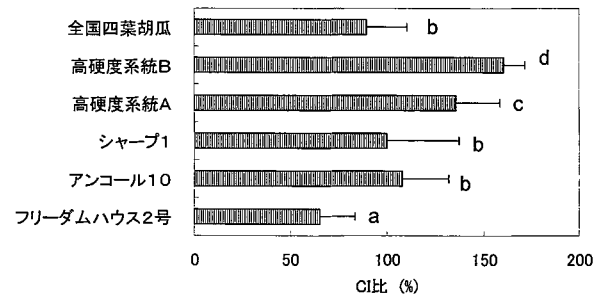
	硬さ (N)	CI比 (%)
対照 (収穫直後)	9.31	100
30°C3日保存後	9.40	65*

‘フリーダムハウス2号’を供試した
各区3個体, *5%水準で有意差あり
30°C保存区では10%果実重が減少した

-時間曲線を2次微分したところ, 品種間の差が明確化された(1-b, 2-b, 3-b)ので, 図中の0.12分~0.17分(プランジャーが貫入してからおおよそ0.03分~0.08分)の間の2次微分値の絶対値を足し合わせたものについて, 標準的な品種である‘シャープ1’を100%とした時の指数としてCIを比較した(第3図)。

なお, ここで直径3mmのプランジャーを選択したのは, 3mmより太いプランジャーを用いた場合には, 胎座部や果皮に触れずに貫入させることが困難であり, 3mmより細い場合には, 力の変動が急激すぎるため, パソコンへのデータの取り込みが追いつかないためである。プランジャーの移動速度についても, データの取り込み速度(最大100 points/s)を考慮して, 使用した機種で設定できる最も遅い速度(2.5 mm/s)を選択した。ヒトのかむ速度は最大で30~100 mm/sとされる(中沢・盛田, 2003)ので, 測定パラメータの選定に当たっては, 用いる機器やデータの入力装置との兼ね合いで, さらに検討の余地はあるものとする。また, 第3図においてCIを指数として比較したのは, このような限定された測定条件のもとでなされたものであるため, 絶対値には物理的な意味がないものとする。

第3図において, CIを品種間比較したところ「硬さ」とは全く異なる結果が得られた。すなわち, すなわち最も, コリコリした食感に優れた高硬度系統(A, B)においてCIは高かった。一方で「硬さ」は高いものの, 食感それほど優れない‘全国四葉胡瓜’においては, CIは高硬度系統よりも低かった。各品種の胎座部におけるCIを求め



第3図 キュウリのCI値に品種間比較

‘シャープ1’の値を100(%)として相対値を表示
異なるアルファベット間で5%水準で有意差あり

ると, ‘シャープ1’果肉部の30%以下と著しく低かった。ふにゃりとした食感が低いCIに対応し, 一方で高いCIにはコリコリ感が対応しているのではないかと考えられる。

次に, 本測定法を応用し, しなびた状態のキュウリを測定した。すなわち収穫日の同じ‘フリーダムハウス2号’を2組に分け, 一方は直ちに測定を行い, もう一方は3日間30°Cで保存した後測定を行い, 得られた結果を比較した。30°C保存区では, 水分を10%程度失い, 食感的にも明らかにしなびていたが, 「硬さ」については2つの区の間で差は認められなかった。一方, CIについては, 30°C保存区において有意に低下した(第1表)。表には‘フリーダムハウス2号’の例のみを示したが, 他の品種を用いた場合も, しなびた場合には, 同様にCIの低下が認められ, CIの低下はコリコリ感の低下と一致した。このように, CIは従来から測定されてきた「硬さ」とともに, 果実の食感(コリコリした肉質)に関する重要なパラメータになるものと期待される。

果実の物理性を評価する方法として, 近年, 軟らかさ非破壊評価装置による方法(薬師寺ら, 1995), 音響法(Muramatsuら, 1997)やレーザードップラー法(Terasakiら, 2001)などの非破壊計測法や, プロブが貫入する時の音響信号を圧電素子によって検出するAMC法(岩谷・桜井, 2003)など新しい方法が提案されているが, いまだ多種類の野菜・果物において広く用いられていない。その理由のひとつは, 測定のために特殊な装置を必要とすることであろう。一方, 本報において提案するCIは一般的なテクスチャーの測定装置がそのまま利用できるため, キュウリに限らずリンゴなど他の野菜や果物に適用できる可能性があり, また多様な果実に当てはめることによりCIとして示される食感要素が明らかになると期待される。ただしその際には, 用いる機種や果実の種類に応じて, 適時測定のパラメータを検討する必要があるものと考えられる。

本報においては, キュウリの果肉部の物理性のみの評価法について考察し, 果肉の「硬さ」だけでなく, CIも重要なパラメータになりうることを報告した。今後はCIや「硬さ」と, 果肉組織の構造や化学性と関係について

解明する必要がある。さらにキュウリの食感を評価するには、果肉部の肉質だけでなく、かんだ時のジューシー感や、胎座部と果肉部の割合、果皮の硬さなども重要な要素になるものと考えられる。今後はこれらを的確に評価する手法の開発や、得られたデータから食感を総合的に判断するための指標の設定なども必要である。

摘 要

キュウリの嗜好評価の上で、食感の評価が重要である。そこで、キュウリ果実の果肉部の肉質を評価する方法を提案した。本法では、キュウリ果肉部にプランジャーを貫入させ、プランジャーの先端が果肉中を移動する間の力の変化を記録した。プランジャー貫入中の力の変化を指標化し、CI (crispness index) とした。CIはプランジャーが果肉中を貫入する間にかかる力を2次微分し、その絶対値の和として計算した。CIはコリコリした食感のキュウリ果肉において高い値を示した。多くの果実の食感評価の指標として「硬さ(組織破断時の力)」が広く用いられてきたが、CIは「硬さ」とは異なる特性を表すものと考えられる。従来法による「硬さ」の測定ができれば、新たな装置を準備しなくともCIの測定が可能で、「硬さ」とCIを用いることにより、より精度の高いキュウリ果実の食感評価が可能になるものと期待される。

引用文献

- Dan H., K. Okuhara and K. Kohyama. 2003. Description of cucumber cultivars using a multiple-point sheet sensor to measure biting force. *J. Sci. Food Agr.* 83: 1320-1326.
- 平本ふく子・松本伸子. 1988. きゅうりの品質と嗜好. *調理科学.* 21: 206-212.
- 石坂 晃・山本幸彦・月時和隆・満田幸恵. 2000. 歯切れ感が優れ大果どりに適したキュウリ品種. *福岡農総試報.* 19: 41-43.
- 岩谷真一郎・桜井直樹. 2003. メロン果肉のレーザードップラー法とAMC法による食味評価. *園学雑.* 72別2: 520.
- Muramatsu, N., N. Sakurai, R. Yamamoto, D. J. Nevins, T. Takahara and T. Ogata. 1997. Comparison of a non-destructive acoustic method with an intrusive method for firmness measurement of kiwifruit. *Postharvest Biol. Tech.* 12: 221-228.
- 村松 昇. 1999. 果実の物理性の測定法. *果樹試報.* 33: 17-35.
- 中沢文子・盛田秋子. 2003. 咀嚼・嚥下の計測と物性. *Foods & Food Ingredients Journal of Japan.* 208: 835-842.
- 菅野紹雄・上村昭二. 1978. キュウリの果皮・果肉の硬さの測定法とその品種間差違. *野菜試報.* B2: 25-42.
- 武田正人・稲山光男. 1993. キュウリの品質評価技術, 促成栽培における果実硬度. *埼玉県園試研報.* 20: 27-31.
- Terasaki S., N. Sakurai, R. Yamamoto, N. Wada and D. J. Nevins. 2001. Changes in cell wall polysaccharides of kiwifruit and visco-elastic properties detected by laser Doppler method. *J. Japan. Soc. Hort Sci.* 70: 572-580.
- 薬師寺博・小野祐幸・鷲尾宏之進・伊庭慶昭. 1995. 軟らかさ非破壊評価装置によるカキ果実硬度の非破壊測定について. *果樹試報.* 28: 39-50.