

キュウリ果実中の糖含量の日ごとの変動と血糖センサーの品質評価への利用

誌名	園芸学研究
ISSN	13472658
著者名	堀江, 秀樹
発行元	園芸学会
巻/号	10巻1号
掲載ページ	p. 109-113
発行年月	2011年1月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



キュウリ果実中の糖含量の日ごとの変動と血糖センサーの品質評価への利用

堀江秀樹*

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構野菜茶業研究所 514-2392 三重県津市安濃町草生

Day-to-Day Fluctuations of the Sugar Contents in Cucumber Fruits and the Application of Disposable Blood Glucose Sensors for Quality Estimation of the Fruits

Hideki Horie*

National Institute of Vegetable and Tea Science, NARO, Tsu, Mie 514-2392

Abstract

Day-to-day fluctuations in the sugar contents of cucumber fruits harvested at the same greenhouse were investigated. The fruits contained glucose and fructose in almost equal quantities. The contents of the glucose (and fructose) in the fruits fluctuated between 0.8% and 1.4%, dependent on the date of harvest. A relationship was shown between glucose contents in the fruit and the weather on the day before harvest; shorter duration of the sunshine or shading treatment decreased the glucose contents of fruit harvested the next day. Because the sugar contents of cucumber fruits varied day-to-day, it is useful to measure the sugars in the fruits simply and rapidly in order to obtain cucumbers of high quality. A disposable blood glucose sensor (biosensor) was used to measure a glucose in the fruits. The results obtained by the biosensor showed high correlation with the data on glucose obtained by capillary electrophoresis. Because the sample preparations were very simple and it took less than 10 min to obtain the results, this method using the biosensor appears to be quite effective for the rapid measurement of the glucose contents in cucumber fruits.

Key Words : biosensor, duration of sunshine, fructose, glucose, vegetable

キーワード : バイオセンサー, フルクトース, グルコース, 日照時間, 野菜

緒言

キュウリは栄養的には特筆すべき成分を含まないため、おいしさを楽しむ野菜といえる。キュウリのおいしさに関しては、官能評価と呈味成分分析が中町ら(2002)によってなされている。キュウリの主要成分はグルコース、フルクトース、リンゴ酸およびグルタミンであり、低温貯蔵中にグルコース、フルクトースおよびリンゴ酸の含量は低下することが明らかにされている。また、官能的には7日間の低温貯蔵により甘味、旨味および味の好ましさが低下し、甘味の低下はグルコースおよびフルクトースの含量低下によるものと考察されている。

一方、知識集約型産業創業対策事業「野菜のおいしさ検討委員会」では、同一産地から収穫日の異なるキュウリを入手し、それらのおいしさを官能比較した。中町ら(2002)の結果に基づき、収穫後の日数を経ないキュウリの方がおいしさの評価は高いものと期待して官能比較されたが、必

ずしも一定の結果は得られなかった(堀江, 2008; 松田, 2007; 山口, 2008)。この原因は、同一産地で収穫したキュウリであっても、収穫時の品質は日々変動しているためと推察される。これを確認するために、同一ビニールハウスで収穫したキュウリについて、日ごとの品質比較を試みた。品質の指標としては、甘味との関連が考えられ、上記野菜のおいしさ検討委員会においても、おいしさとの関係が指摘されている(堀江, 2008)グルコースおよびフルクトース含量の測定を行った。

検討の結果、グルコースおよびフルクトースの含量は、同一ビニールハウスで収穫した果実であっても、収穫日によって変動することが明らかになった。したがって、内部品質を重視した品質管理のためには、生産現場でも使えるような簡易な糖含量の測定法が求められる。一方、糖尿病患者が血液中のグルコース濃度をモニターするための使い捨て型のバイオセンサー(血糖センサー)が近年低価格化され、入手が容易になりつつある。血糖センサーは、専門知識を持たない人の使用を前提としているため、操作方法は非常に簡易である。そこで、このようなヒト用の血糖センサーを用いて、キュウリ中のグルコース含量測定ができないか併せて検討した。

2009年12月5日 受付. 2010年5月27日 受理.
本報告の一部は園芸学会平成21年度秋季大会で発表した.
* Corresponding author. E-mail: horie@affrc.go.jp

材料および方法

1. キュウリ試料と糖分析

キュウリは、野菜茶業研究所（三重県津市）の試験用ビニールハウスで、2007～2009年（2007年は4月中旬、2008年は8月下旬、2009年は4月下旬にそれぞれの10株以上定植）に栽培した‘フリーダムハウス2号’（サカタのタネ）および‘久輝’（久留米原種育成会）を用いた。糖含量の日々の変化を検討するため、午前9時～9時30分に収穫した‘フリーダムハウス2号’のうち、90～120gの果実を用いた。果実の両端（3分の1ずつ）を切り落とした後、家庭用ジュースャーを用いて破碎して果汁を得た。これを遠心分離して得た上澄みを冷凍保存した。解凍した試料を水で10倍希釈し、既報（堀江・伊藤、2006）に従いキャピラリー電気泳動法を用いて分析した。分析は3～4個体について行い、図にはその平均値をプロットした。なお、グラフに記載した日照時間については、津市のアメダスデータに基づいた。

2. 遮光の影響

2008年秋作の‘フリーダムハウス2号’と‘久輝’について、10月21日の14時にビニールハウスの屋根に寒冷紗をかけることにより遮光処理した。遮光24時間後、遮光区および無遮光の対照区から5果採取し、上記の方法で糖分析に供した。なお、遮光率は75%であった。

3. 血糖センサーによる果汁中のグルコース測定

血糖センサーとしては、グルテストエーズR（三和化学研究所、販売中止）、およびこの後継機種であるグルテストエブリ（三和化学研究所）を用いた。血糖センサー本体に、付属の使い捨て型センサーチップを装着し、センサーチップ先端に試料液を50μL程度滴下することにより測定を開始し、15秒後本体にデジタル表示される値（ $\text{mg} \cdot 100 \text{mL}^{-1}$ ）を読み取った。なお、グルテストエーズRとグルテストエブリはセンサーチップが共通であり、両者間で測定値に差異はなかったため、本報においては、両者で得られた結果は区別せずグルテストとして記載した。さらに比較のため、メーカーは異なるが、同等の機能をもつと推定される血糖センサー、アセンシアプリオ（バイエル薬品）も一部の試験で用いた。グルコースの標準液は、特級試薬を水に溶解し、1晩室温で放置したものを用いた。

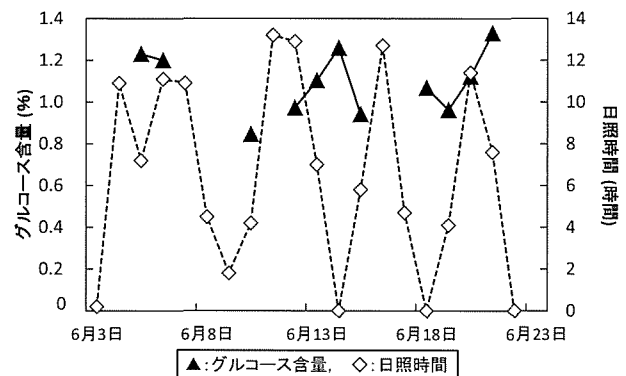
2008年の秋作キュウリ（‘フリーダムハウス2号’および‘久輝’）について、果実中央部からナイフで10g程度の輪切り切片を切り出した。切片をニンク搾りで搾汁したものを遠心分離し、その上澄み液のBrixを測定した。同じ液を水で10倍希釈したものを血糖センサー（グルテスト）で測定し、残った試料液を冷凍保存した。解凍した試料液について、キャピラリー電気泳動法で糖濃度を測定し、それぞれの測定値を比較した。なお、本実験に際しては、測定用試料に曲がり果等通常の出荷規格外の果実も含めることにより、糖含量に幅をもたせた。

さらに、2009年夏作の‘フリーダムハウス2号’果実については、血糖センサー（グルテスト）を用いて収穫日ごとのグルコースを簡易測定した。2007年と同様に、朝収穫したキュウリ果実について、収穫後2時間以内に果実中央部からナイフで10g程度の輪切り切片を切り出し、同様の前処理操作の後、直ちに血糖センサーで測定した。同一試料については2反復で測定し、2回の測定の平均値を記載した。

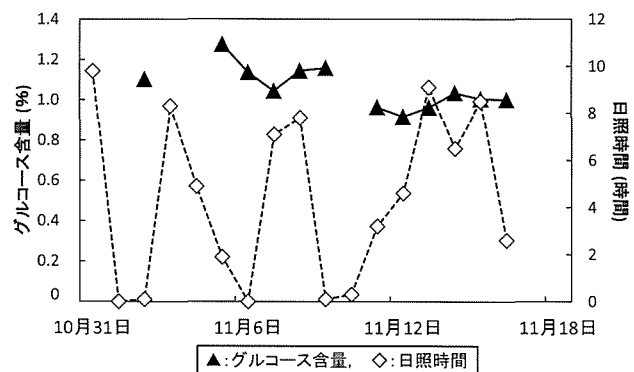
結果および考察

1. 果実中糖含量の日ごとの変動

定時に収穫したキュウリ果実中のグルコース含量について、収穫日ごとの値を第1（6月実施）および2図（10月実施）に示した。これまでの報告（堀江、2008; 堀江ら、2003; 中町ら、2002）同様、果実中にはグルコースおよびフルクトースがほぼ等量含まれていたため、図にはグルコース含量のみを示した。これらの図から、グルコースおよびフルクトース含量はそれぞれ0.8～1.4%の間で日々変動していることが認められた。なお、キュウリの甘味と収穫までの天候に関連があると考えられたので、第1および2図には、津のアメダスデータに基づく日照時間を併せて



第1図 キュウリ果実中のグルコース含量の変動と日照時間（夏作）



第2図 キュウリ果実中のグルコース含量の変動と日照時間（秋作）

第1表 遮光処理が果実中の糖含量に及ぼす影響

品種	処理	%	
		フルクトース	グルコース
フリーダムハウス2号	対照	1.54 (0.15) ^z	1.52 (0.17)
	遮光	1.39 (0.11)	1.38 (0.09)
久輝	対照	1.30 (0.10)	1.27 (0.10)
	遮光	1.17 (0.08) *	1.14 (0.07) *

^z: 標準偏差, n=5

*は対照と比較して5%水準で有意

記載した。両者を比較した結果、前日の日照時間が長い場合にグルコース含量が高く、短い場合には逆の傾向が認められ、天候が果実糖含量に影響することが示唆された。このことは、6 (第1図) および10月 (第2図) の結果においても同様の傾向が認められた。

第1および2図においては、津市のアメダスのデータでは全日日照量が公開されていないため、日照時間のみを記載した。しかしながら、光合成産物が果実に転流し、糖として蓄積するものと考えれば、実際は日照量との関係がより強い可能性がある。そこで、人為的に遮光することによって日照量を制御し、果実中の糖含量に影響するか検討した (第1表)。なお、遮光した10月21日の午後は晴天であったが、翌22日の午前は曇天であった。これまでの結果同様、供試した2品種とも遮光処理の有無にかかわらず、グルコースとフルクトースを等量含んでいた。‘久輝’においては、遮光処理した果実のグルコースおよびフルクトースの含量は対照区に比べて低く、‘フリーダムハウス2号’においても有意差は認められなかったものの、遮光による糖含量の低下傾向があった。収穫直前の24時間の日照量が果実の糖含量に影響したものと考えられる。

収穫期前後の果実は急速に生長し、一夜で3 cm 程度伸張するとされる (斎藤, 2004)。この間十分に光合成産物が供給されれば糖含量を高めることができるが、日照量が不足して光合成が十分でない、糖含量の低下が認められるも

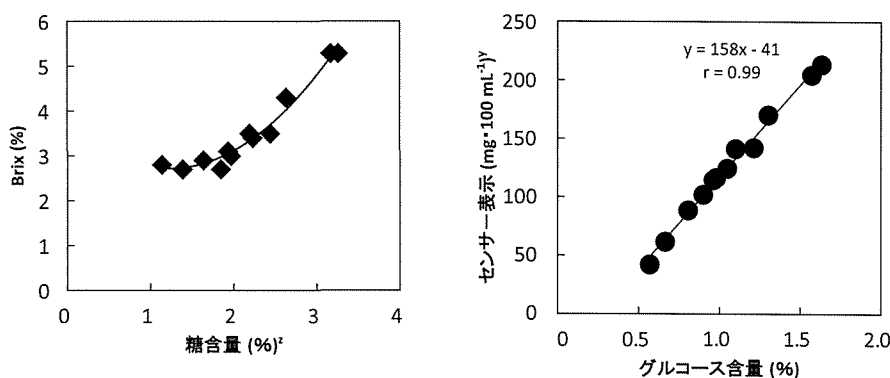
のと考えられる。第1および2図において、前日の日照時間が短い場合には、日射量が不足したために果実中の糖含量が低下したものと考察される。

収穫前日の日照時間や日射量と野菜品質の関係については、ホウレンソウにおいて収穫直前の日射量がアスコルビン酸含量に影響することが報告されている (吉田ら, 2007) が、直接味にかかわる成分への影響が示されたのは本報以外に見あたらない。なお、本報告では果実中の糖含量に関し、収穫日間の短期的な結果を、日照時間や日射量に基づき考察した。一方、第2図において、11月5日からの5日間のグルコース含量に比べて、11日以降は低めに推移している点については、日照時間のみからでは解釈できず、株の老化など別の要因も含めて考察する必要がある。実際の栽培条件においては、日照時間だけでなく灌水や追肥などの管理条件、株の老化や病害虫の影響、あるいは日射量の季節変化や管理温度など、多様な要因により果実中の糖含量は長期的に変動するものと推定される。

2. 血糖センサーを用いた果実中グルコース含量の簡易評価

上記のように、キュウリの味に直接関係すると考えられる糖の含量が日々変化するのであれば、成分による品質管理を目指す場合には、こまめに糖分析を行う必要がある。キュウリにはグルコースおよびフルクトースがほぼ等量含まれるので、どちらか一方が測定できればよい。グルコースについてはバイオセンサーの利用により、迅速・簡便な測定が可能と期待される。そこで、血液中のグルコース測定を目的に、糖尿病患者向けに開発された使い捨て型バイオセンサーである血糖センサーの利用を試みた。また、野菜の品質評価に汎用される糖度 (Brix 値) についても併せて測定し比較した。

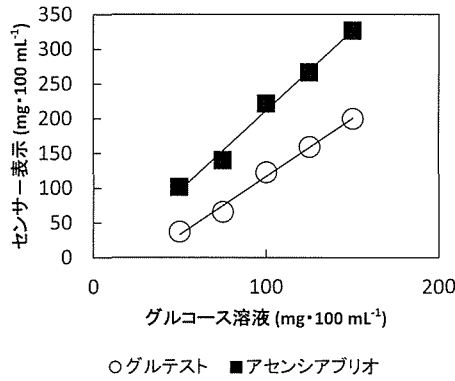
キュウリ果実試料について、キャピラリー電気泳動法で測定した糖分析値と Brix 値および血糖センサー表示の関係を第3図に示した。なお、本試料においても、グルコースおよびフルクトース含量はほぼ等しかった。キュウリ果汁について、キャピラリー電気泳動法で得たグルコースおよびフルクトースの合計値 (糖含量) と Brix 値の間では、糖



第3図 糖度計(左)および血糖センサー(右)によるキュウリ果汁の測定値とキャピラリー電気泳動法(横軸)による測定値の関係

^zグルコースおよびフルクトースの測定値の合計量を糖含量 (%) とした

^y果汁を10倍希釈して測定した際のセンサー表示をそのまま記した

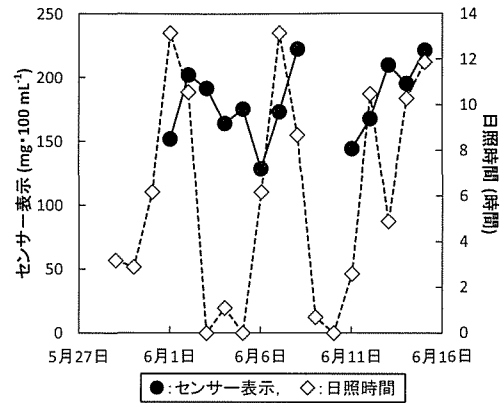


第4図 グルコース標準液に対する2種類の血糖センサーの応答比較

含量が2%以上の領域では糖含量の増加にともない Brix 値も増加する傾向が認められたものの、糖含量がそれ以下の領域では、糖含量に対する Brix 値の変化が小さかった（第3図左）。一方、キャピラリー電気泳動法で得られたグルコースの分析値と血糖センサー表示値の間では、扱った試料のグルコース濃度範囲内では直線回帰 ($r=0.99$) が可能であった（第3図右）。キュウリ果実中の糖含量の推定には、特に糖含量の低い場合には、Brix 値よりも血糖センサーの表示の方が精度が高いといえる。ただし、血糖センサーの表示から推定されるグルコース含量とキャピラリー電気泳動法による定量値の間では、数値は一致しなかった。

メーカーの異なる2種類の血糖センサーについて、グルコースの標準液を測定した結果を第4図に示した。両機種とも、グルコース標品の濃度と応答の間には直線性が得られた。ただし、グルコース標準液の濃度と血糖センサー表示値は一致せず、さらにメーカーが異なる血糖センサー間では、同一濃度のグルコース標準液に対して表示値が一致しなかった。このことについては、次のように考察される。血糖センサーは、本来血液中のグルコース濃度を正しく表示できるよう設計されている。それぞれのセンサーチップには試料注入用のごく浅い溝が掘られて、滴下された試料を一定量感応部位に供給するように設計されている（南海, 2004）。ところが、本来の試料である血液とグルコース標準液とでは粘性などの物理性が異なるため、感応部に到達するグルコース量が異なり、その結果グルコース標準液の濃度と血糖センサー表示値の間で、数値が一致しないものと考えられる。また、メーカーが異なる場合にはセンサーチップの構造が異なるため、同一グルコース標準液に対するセンサー表示値に差異が生じたものと考えられる。このようなことから、異なるメーカーの製品間では、キュウリ果汁を測定して得られた数字をそのまま比較することはできない。ただし、あらかじめグルコースの標準液を用いて検量線を作成しておき、数値を読み替えることができれば、異機種間でのデータの比較は可能である。

2009年夏作の‘フリーダムハウス2号’果実について、



第5図 キュウリ果実中のグルコース含量（血糖センサー表示）の変動と日照時間

血糖センサーで測定したグルコース値の日ごとの変動および津市の日照時間を第5図に示した。第1および2図の結果同様、前日の日照時間に対応した含量変化が認められ、前日の日照時間が短い場合にセンサーの表示値が低い傾向にあった。測定には、果実中央部から搾った果汁を2分程度遠心分離し、上澄みを10倍に希釈して、センサーチップに滴下するだけなので、1試料当たり10分あれば十分であった。さらに、遠心分離と希釈以外の操作には特殊な機器を必要としないので、本法の生産や流通の現場への導入は比較的容易と考えられる。ただし、本法ではセンサーチップを測定の都度交換する必要があるため、1測定ごとに100円程度のランニングコストを要した。

このような血糖センサーの食品分野への応用については、すでに15年以上前に吉岡・南海（1994）が可能性を示しているが、その後、貝柱分解液中のグルコースを分析した報告（和田ら, 1997）があるだけで、必ずしも普及しているとはいえない。和田ら（1997）の報告では、血糖センサーによる計測自体は簡便であっても、試料の前処理が煩雑なために、血糖センサーの簡易・迅速な特徴をいかしきれていない。一方、キュウリを測定対象とする場合には、果汁を希釈するだけの前処理で血糖センサーの利用が可能であった。血糖センサー本体や付属のセンサーチップの低価格化も進みつつあるため、キュウリや他の野菜・果樹においても、栽培研究や流通過程での品質管理等への血糖センサーの活用が期待される。

本報において、キュウリの嗜好性に関係が深いグルコースおよびフルクトース含量が日々変動することを示し、その要因には収穫前日の天候の関与が示唆された。さらに、果実中のグルコース含量の測定には、血糖センサーが利用できることを示した。果実中のグルコース含量の日々の変動についても、血糖センサーを用いて簡易測定が可能であり、高品質なキュウリの栽培、流通などへの利活用が期待される。

摘 要

同一ビニールハウスで収穫したキュウリ果実中の糖含量について日ごとの変化を調査した。果実中にはグルコースとフルクトースがほぼ等量含まれていた。果実中のグルコース（およびフルクトース）の含量は、収穫日によって0.8～1.4%の間で変動した。果実中のグルコース含量と収穫前日の天候との関連が認められ、日照時間が短い場合や遮光処理した場合に、翌日収穫した果実中のグルコース含量が低下した。キュウリ果実中の糖含量は日々変動するため、キュウリの内部品質管理には果実中の糖含量を簡便・迅速に測定できるのが望ましい。そこで、使い捨て型のバイオセンサーである血糖センサーを用い、果実中のグルコースを測定することを試みた。血糖センサーを用いて得た結果は、キャピラリー電気泳動法で分析したグルコースのデータと高い正の相関を示した。試料の前処理は簡単で、結果を得るのに10分程度しか要しないので、血糖センサーを用いたこの方法は、キュウリ果実中のグルコースの迅速定量に非常に有効である。

謝 辞 本研究は、一部農林水産省委託プロジェクト「低コストで質の良い加工・業務用農産物の安定供給技術の開発」の予算の基に行われた。議論いただいた同プロジェクトの関係諸氏に感謝する。また、問題提起・議論いただいた「野菜のおいしさ検討委員会」の山口静子委員長をはじめ委員各位、事務局の野菜と文化のフォーラムにも謝意を表す。

引用文献

堀江秀樹. 2008. きゅうりに関する官能評価と機器分析の比較. p. 47-58. 特定非営利活動法人野菜と文化の

フォーラム. 平成19年度知的集約型産業創造対策事業「野菜のおいしさ検討委員会」報告書.

- 堀江秀樹・伊藤秀和. 2006. キャピラリー電気泳動法による野菜中の糖分析. 野菜茶研報. 5: 1-6.
- 堀江秀樹・伊藤秀和・一法師克成・東 敬子・五十嵐 勇. 2003. キュウリの味 1. 渋味成分. 日本味と匂学会誌. 10: 793-794.
- 松田康子. 2007. 分析型官能評価結果. p. 43-57. 特定非営利活動法人野菜と文化のフォーラム. 平成18年度野菜ブランド化推進調査事業「野菜のおいしさ検討委員会」報告書.
- 中町敦子・吉川光子・香西みどり・畑江敬子. 2002. キュウリ呈味成分の分布と貯蔵変化および味との関係. 調科誌. 35: 234-241.
- 南海史朗. 2004. 血糖センサの開発と実用化. 社団法人映像メディア学会技術報告. 28: 1-7.
- 斎藤 隆. 2004. 果実発育の生理, 生態. p. 97-131. 野菜園芸大百科. 1. キュウリ. 農文協. 東京.
- 和田直樹・滝本真一・徳永博之・馬場英行. 1997. 使い捨て型血糖値センサを用いた貝柱内グリコーゲンの簡易定量. 食科工誌. 44: 153-155.
- 山口静子. 2008. 嗜好型官能評価の概要. p. 17-41. 特定非営利活動法人野菜と文化のフォーラム. 平成19年度知的集約型産業創造対策事業「野菜のおいしさ検討委員会」報告書.
- 吉田祐子・浜本 浩・亀野 貞・熊倉裕史. 2007. ホウレンソウのアスコルビン酸含量の変動は収穫前日の日射量の影響を受ける. 園学研. 6 (別1): 441.
- 吉岡俊彦・南海史朗. 1994. 使い捨て型バイオセンサによる食品分析. 食品工業. 37 (18): 29-34.