

# 高性能な「糖・酸度計」の実用機開発

電子情報科 専門研究員 下村 義昭

果物の高品質・ブランド化では果物個々の品質管理が重要となる。また、柑橘類では糖度と僅か1%前後の微量な酸度が味を左右する重要な品質項目となる。光を用いて糖度と微量な酸含量を正確に非破壊計測するには、果実による光散乱の影響と果実の内部温度による光吸収への影響をそれぞれ排除する必要がある。本開発ではこれまでに光散乱の影響を受けない独自の非破壊計測技術をベースに糖・酸度と同時に果実の内部温度も計測する新たな手法を考案した。また、本手法について果実の散乱体モデルを用いて解析した結果、15℃～35℃の範囲で果実温度が変化しても実用精度による糖度と酸度の計測が可能であることが検証された。

## 1. 緒言

品質の高い青果物は、地域ブランドとして高価で売買され、地域振興の面でも重要である。県内でも温州ミカン等で代表される高品質・高価な青果物が栽培されている。こうした青果物を高価に市場に提供するには、生育途中の青果物品質を基にした栽培管理と出荷時の青果物個々の品質による等級選定が必要となる。近年では、こうした果実個々の品質管理を目的に近赤外分光法<sup>[1]</sup>を利用した果実糖度の非破壊計測装置が幾つかのメーカーで実用化され、産地の選果場等で利用されている。

従来の近赤外分光法を用いた果実糖度の測定では試料スペクトルの微分値と試料成分(糖度等)実測値との関連付け(これを検量線作りと呼ぶ)を重回帰分析や部分最小二乗(Partial Least Squares: PLS)回帰分析等の統計処理により行い、作成した検量線を使用して測定スペクトルから試料成分を定量する。こうした近赤外分光法では試料スペクトルの測定と統計処理が主要作業であり、測定対象の物理的な解釈無しで実施可能な簡便な手法であるが、①装置構成が複雑で高価、②消費電力が多い、③品種・収穫時期毎の検量線の更新に手間がかかる等の欠点があり、農家個々への十分な普及には至っていない。

また、柑橘類では糖度と1%前後の微量な酸度が味を左右する重要な品質項目となる。光を用いて糖度と微量な酸含量を正確に非破壊計測するには、果実による光散乱の影響と果実の内部温度による光吸収への影響をそれぞれ排除する必要がある。しかしながら、従来の近赤外分光法ではこうした課題を本質的に克服することは難しく、いくつか商品化されてはいるが十分な測定精度が得られず、高性能な糖・酸度計の開発が関連業界から望まれている。

一方、著者はこれまでに光散乱の影響を受けない

い非破壊計測手法(TFDRS:Three-Fiber-based Diffuse Reflectance Spectroscopy)<sup>[2]</sup>を開発し、世界最軽量の携帯型糖度計を実現している(図1)。



図1 TFDRSをベースに商品化した携帯型の非破壊糖度計。光源に発光ダイオードを使用し、重量200gと世界最軽量を実現した。

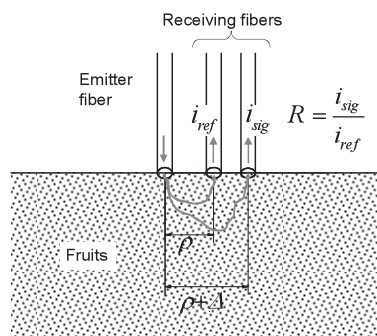


図2 TFDRS法による相対反射率の測定方法。1カ所から光を照射し、異なる2カ所で内部からの拡散反射光を受光し、その強度比から相対反射率を算出する。

本開発では、こうした独自のTFDRS法を応用した高性能な「糖・酸度計」の実用機開発を目的としている。

## 2. 研究内容と結果

### 2.1 TFDRS法と相対吸光度比<sup>[2]</sup>

図2にTFDRS法による相対反射率 $R$ の測定方法を示す。1本の光照射ファイバーを用いて果実にレーザー

光を照射する。果実に照射されたレーザー光は果実内部での散乱、吸収を繰り返しジグザグ光路に沿って伝播する。2本の受光ファイバーで受光される2つの拡散反射光の強度比から相対反射率 $R$ を算出し、下記式で表される相対吸光度比 $\gamma$ <sup>[2]</sup>を定義する。

$$\gamma(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_0) = \frac{\ln(R(\lambda_1)) - \ln(R(\lambda_0))}{\ln(R(\lambda_2)) - \ln(R(\lambda_0))} \quad (1)$$

ここで $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2$ は果実に照射されるレーザー光の波長を表す。(1)式で表される相対吸光度比 $\gamma$ は検出距離 $\rho, \Delta$ の変化、あるいは果実個々の散乱係数の変化等で生じる散乱光路長の変化に左右されない物理量となり、しかも果実糖度との直線相関を示す<sup>[2]</sup>。

## 2.2 糖・酸度と内部温度の同時計測

葉緑素など可視域での色素吸収が無視できる近赤外領域では果実を糖や酸を含んだ水溶液の散乱体と見なすことができ、果実の吸収係数は糖や酸を含んだ水溶液にその体積分率を乗じた値となる<sup>[2]</sup>。図3はグルコースとクエン酸を含む水溶液での吸収係数の各成分依存と温度依存を示す。果実の吸収係数も水溶液同様に含まれる酸度と糖度、さらには温度によって複雑に変化する。散乱体が光吸収に起因する複数年因子( $C_k, k=1 \dots m$ )を含む場合、TFDRS法では複数の相対吸光度比( $\gamma_k, k=1 \dots n, n \geq m$ )を用いた下記式により、各組成を同時に計測することが可能となる<sup>[3]</sup>。

$$\begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_k \\ \vdots \\ C_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{10} \\ a_{20} \\ \vdots \\ a_{k0} \\ \vdots \\ a_{m0} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{k1} & a_{k2} & \dots & a_{kn} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \vdots \\ \gamma_k \\ \vdots \\ \gamma_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

果実モデルを対象に理論解析した結果を図4に示す。ここでの解析では、果実モデルの散乱係数及び体積分率にトマトの値を用いた。また吸収係数はグルコース濃度を4 wt% ~ 12 wt%、クエン酸濃度を0 wt% ~ 3 wt%、果実温度を15 °C ~ 35 °Cの範囲でそれぞれ変化させた値を用いた。(2)式を用いた推定式により、糖度、酸度ともに温度変化に影響されことなく実用精度での非破壊計測が可能であることが検証された。

## 3. 結 言

TFDRS法で測定される相対吸光度比は果実内部での散乱の影響を受けず、酸含量など微量成分の測定に

有効となる。しかし、果実の吸収係数は糖度、酸度に加え、果実温度の影響を受けて複雑に変化し、特定の成分を測定するには他成分、並びに温度の影響を同時に排除する必要がある。

本研究ではTFDRS法をベースとした糖・酸度の計測手法を提案し、その有効性についてトマトを模した果実モデルでの理論解析を行った。その結果、複数の相対吸光度比を用いた推定式により果実温度の影響を受けることなく糖度と酸度を実用精度で同時に測定できることが示された。今後、測定方式の実験的検証を行い、非破壊測定機器の実用化を目指す。

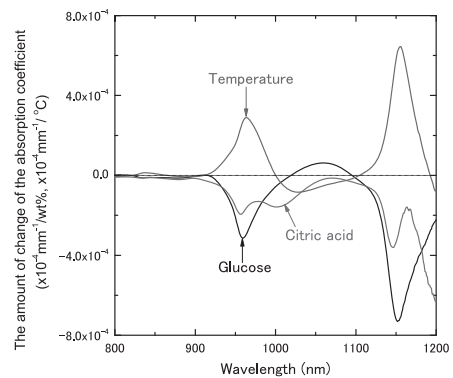


図3 糖・酸水溶液の各濃度と温度による吸収係数の変化量。

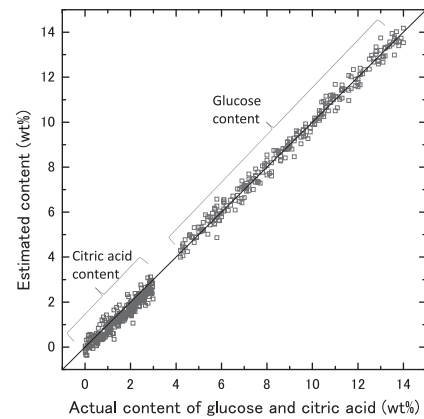


図4 TFDRS法による糖度と酸度の推定結果。トマトの散乱モデルを対象に温度を15 °C ~ 35 °Cの範囲で変化させた。

## 参考文献

- [1] 尾崎幸洋, 河田聡編: 近赤外分光法(日本分光学会測定法シリーズ32, 学会出版センター, 東京, 1996).
- [2] 下村義昭: レーザー研究39 (2011) 233.
- [3] Y. Shimomura, S. Miki, T. Tajiri, and H. Tanaka: Proc. of IEEE/LEOS Annual Meeting, 274-275(2009).