

青果物「酸度」の高精度非破壊計測技術の開発

電子情報科	専門研究員	下村義昭
電子情報科	研究員	田尻健志
電子情報科	研究員	田中博樹
電子情報科	科長	指方 顕

ミカン等の果実では糖度に加え、糖酸比が味を左右する重要な品質項目となる。約1%程度と僅かな酸度を測定する場合、従来の光計測方式では果物に照射された光がその内部で強い散乱を受け、この散乱により大きな測定誤差が生じる。一方、我々がこれまでに開発した糖度計測手法では青果物に照射された光の内部散乱による減衰量とその変化を完全に補正することができ、酸含量など微量成分の測定に有効となる。本研究ではこうした独自の計測手法を応用した「酸度」の高精度な非破壊計測技術の開発を目的としている。

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¹⁾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を重回帰分析、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(これを検量線作りと呼ぶ)、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、農家個々までの十分な普及には至っていない。そこで、我々はこうした従来の問題点を解決する新たな糖度の非破壊計測方式を独自に考案し²⁾、携帯型糖度計の開発をこれまでに実施してきた。

一方、特にミカン等の果実では糖度に加え、「糖酸比」が味を左右する重要な品質項目となるが、従来の測定装置では「酸度」の測定精度が悪く、高精度な酸度計の開発が関連業界から望まれている。ミカン等の果実に含まれる酸含量は約1%と僅かで、従来装置では青果物に照

射された光が内部で強い散乱を受け、その内部散乱による光の減衰量とその変化により大きな測定誤差が生じてしまう。一方、我々がこれまでに開発した糖度計測手法は青果物に照射された光の内部散乱による減衰量とその変化を完全に補正することができ、酸含量など微量成分の測定に有効となる。

本研究ではこうした独自の計測手法を応用した「酸度」の高精度な計測技術の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

図1に光ファイバを用いた拡散反射率 R の測定法(Three-Fiber-Based Diffuse Reflectance Spectroscopy: TFDRS)³⁾を示す。1本の光照射ファイバ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、吸収を繰り返シグザグ光路に沿って伝播する。2本の受光ファイバで受光される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 γ^3 を定義する。

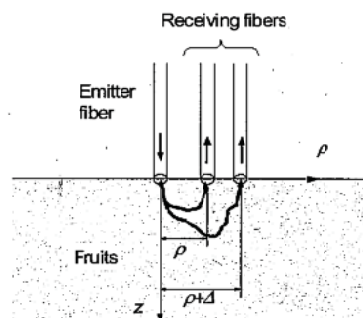


図1 3本の光ファイバを用いた拡散反射率の測定方法
(Three-Fiber-Based Diffuse Reflectance Spectroscopy: TFDRS)

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

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 γ は検出距離 ρ, Δ 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⁹⁾。

2.2 成分補正方式による果実酸度の計測

糖度に加え酸度が含まれる果実では、その吸収係数が酸度と糖度によって複雑に変化する。糖と酸が含まれる果実の酸度の計測では、相対吸光度比への糖度の影響を補正した成分補正を行う必要がある。ここではこうした他成分の影響を補正する新たな成分補正方式を提案した。

この新たな成分補正方式を用いた相対吸光度比による酸度の推定値について、果実モデルを対象に散乱理論⁹⁾を用いて解析した結果及びその実験的検証結果を図2に示す。ここでの解析では、果実モデルの散乱係数としてトマトの値を用いた。また吸収係数はグルコース濃度を4wt%~12wt%、クエン酸濃度を0wt%~5wt%でそれぞれ変化させた値を用いた。検証実験では50個のトマトを用いて測定した。測定したトマトの酸度は電量滴定法を用いた果汁酸度計(CAM-500、京都電子工業社製)で測定した。図中、酸度推定に用いた波長は理論解析と同じ波長を用いている。本実験に用いたトマトの酸度はそのばらつきが約1%の狭い範囲となったが、糖度と酸度の各成分を補正する新たな方法を用いることにより、糖度の影響を受けることなく酸度の実用精度($\pm 0.3\text{wt}\%$)での測定が可能であることが示された。

2.3 酸度測定時の果実温度補償

相対吸光度比は近似的に果実の吸収係数のみの関数で表され、その吸収係数の温度依存により相対吸光度比も果実温度の影響を受けて変化する。そのため、果実温度による相対吸光度比の変化を補正する必要がある。本研究で提案した温度補償方式の検証結果を図3に示す。本結果より、果実温度を15度から35度の範囲で変化させた果実の酸度を実用的な精度($\pm 0.3\text{wt}\%$ 以下)での測定が可能であることが示された。

3. 結言

TFDRS法で計測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、酸度の響を受けて複雑に変化し、特定の成分を測定するには他の成分の影響を補正する必要がある。本研究では、酸度計測における成分補正方式を新たに提案し、その有効性について理論・実験の両面で検証し、実用精度での酸度の計測が可能であることが示された。また、果実温度の影響を受けない新たな温度補償方式を提案し、その有効性を検証した。

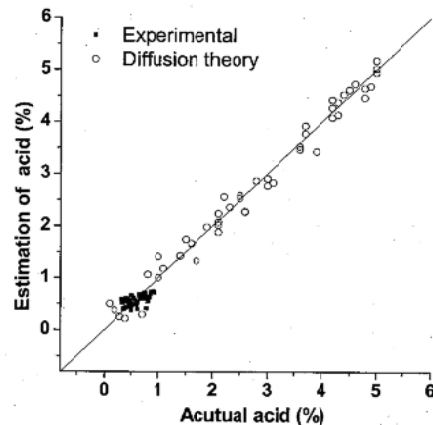


図2 果実酸度の散乱理論 (○) 及び検証実験 (■) による推定結果

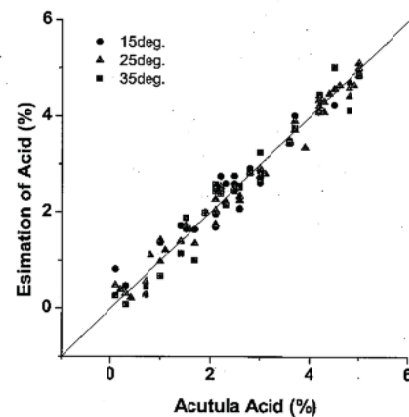


図3 温度補償方式を用いた果実酸度の推定結果。果実温度は15度(●)、25度(△)、35度(□)で変化させた。

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, 岡田龍雄: レーザー研究, 33, 9, PP. 620-625(2005).
- 3) Y. Shimomura, S. Miki, and H. Ichise: Proc. of IEEE/LEOS Annual Meeting, PP. 882-883(2005).