

近赤外分光法による果実糖度の測定

1. はじめに

最近、「光センサ」と書かれた段ボール箱をスーパーで見かけるようになった。光センサという可視光を用いたセンサのように思われるが、これは農協や市場などで用いられている慣用語で、「近赤外光」という光を使って果実糖度を非破壊的に測定する選別機あるいは検出器を意味している。

当初、果物の選別はサイズあるいは重量のみで行われていたが、色彩の測定可能なカラーセンサが出現して色や傷が選別の対象なり、そして化学成分が測定できるセンサが出現して糖度（甘さ）が選別の対象となった。「光センサ」の言葉は必ずしも適正な用語ではないが、カラーセンサと区別するため便宜的にこの言葉が使われるようになったと思われる。

ここでは、近赤外分光法による果実糖度の測定の原理、これまでの研究の概要、糖度選別機の種類、糖度選別の利用方法及び今後の課題などについて述べる。

2. 「近赤外光」とは？

「近赤外光」はテレビの電波などでおなじみの電磁波の一種で、波の性質を有している。波の山と山（あるいは谷と谷）の間隔を波長といい、近赤外光は波長の順番で見ると可視光と赤外光の間にある。可視光は色として、（遠）赤外光は熱として認識できるが、近赤外光は人間の感覚では感知できない。近赤外光の波長の下限は明瞭ではないが、一般に800～2500nm（ナノメートル）（ 10^{-9} mのこと）の電磁波を「近赤外光」と呼ぶ。

3. 近赤外光の吸収

近赤外光を果物などの対象物に照射すると、ある特定な波長の光のみが吸収される。そして、光が吸収される強度（吸光度）は光を吸収する物質の濃度に比例する。それは次のような原理によるものである。

図1は果実の甘さの素であるショ糖の化学構造を示したものである。この図から、ショ糖はC-H、O-Hの原子団から成り立っていることが分かる。通常、C-H、O-Hなどの原子団はそれぞれ特有の振動数で振動している。その分子振動と共振する光が対象物に照射されると、その光のエネルギーの一部が原子団により吸収される。その結果、分子振動は激しくなり、照射光は減衰する。光の減衰の程度は光が遭遇する原子団の数、すなわち濃度に比例する。

4. 近赤外スペクトル

対象物に照射する光の波長を変えながら、光の減衰の程度（吸光度）を連続的

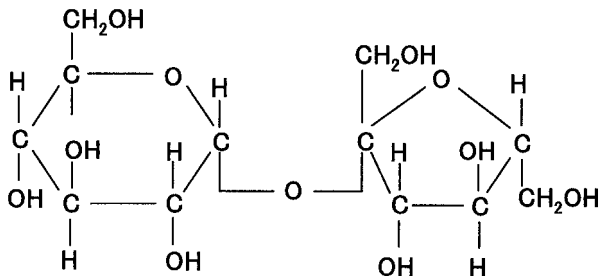


図1 ショ糖の化学構造

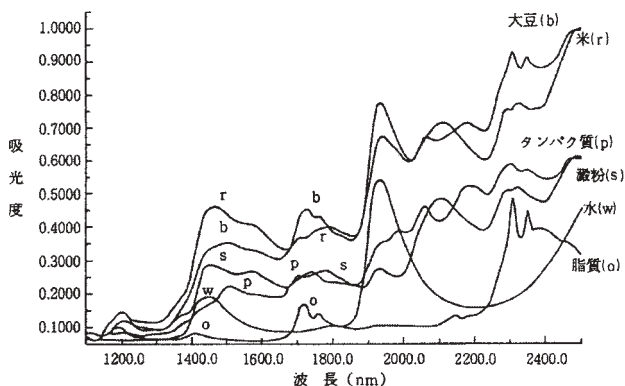


図2 米、大豆及び主要成分の近赤外スペクトル¹⁾

に測定したグラフを近赤外スペクトルと呼ぶ。

図2は大豆及び米、並びにそれぞれの主要成分である水、タンパク質、脂質、澱粉の近赤外スペクトルである¹⁾。吸光度は光の吸収される程度が大きいほど高い値を示す。構成成分の吸収バンドは、成分特有の原子団に基づくもので、米及び大豆のスペクトルにおいても内容成分特有の吸収バンドが見られる。大豆、米のいずれの試料でも観察される1935 nmの吸収バンドは主に水によるものである。米のスペクトルの2100 nmに見られる吸収バンドは主に澱粉によるもので、澱粉含量の少ない大豆ではこの吸収バンドは顕著でない。2180 nmに見られるタンパク質の吸収バンド、並びに2305 nm及び2345 nmに見られる脂質の吸収バンドはタンパク質、脂肪含量の多い大豆においてははっきりと見ることができる。

以上のように、近赤外スペクトルには複数の成分の情報が含まれており、近赤外法においては、これらのスペクトルから重回帰分析などの統計的手法を用いて対象物の品質に係わるいろいろな情報が抽出、解析される。

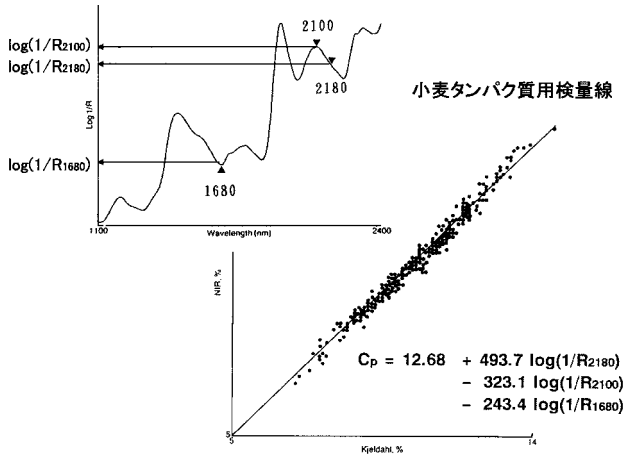


図3 小麦粉のタンパク質測定用検量線の仕組み

5. 定量分析

農産物のような多成分を含む試料の特定成分の濃度を測定するには、検量線と呼ばれる多項式（関係式）が必要になる。

図3は小麦粉のタンパク質含量 C_p を求める例で、検量線は次式で示される。

$$C_p = 12.68 + 493.7 \times \log(1/R_{2180}) - 323.1 \times \log(1/R_{2100}) - 243.4 \times \log(1/R_{1680})$$

ここで、 $\log(1/R_{2180})$ 、 $\log(1/R_{2100})$ 、 $\log(1/R_{1680})$ はそれぞれ2180、2100、1680 nmにおける吸光度である。2180 nmはタンパク質の吸収バンド、2100 nmは澱粉の吸収バンド、1680 nmは成分に依存しない中立のバンドである。粉碎試料の場合1680 nmに粒度の情報が反映さる。小麦粉のタンパク質含量を求める検量線はタンパク質、澱粉及び試料粒度の複数の情報から構成されていることが分かる。図3の2180 nm、2100 nm及び1680 nmにおける吸光度 $\log(1/R)$ を上記の式に代入するだけで、小麦粉のタンパク質を求めることが可能である。青果物用の検量線も同様の考えの基に作成される。

6. 果実糖度測定への応用

近赤外分光法（以後、近赤外法という）が青果物に应用されたのは1985年以降で、米国農務省のBirthらの研究グループの行った研究²⁾が最初である。図4に示すような青果物用に開発された装置“Biospect”が用いられた。上部から照射された近赤外光は産物内で散乱反射を繰り返し、ラパークッション（R）を施した

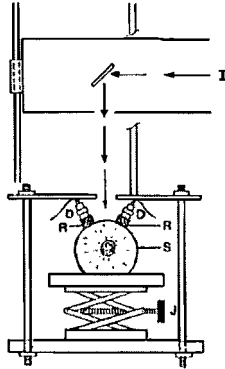


図4 “Biospect”によるタマネギのスペクトル測定²⁾
S：試料，D：検出器，R：クッション

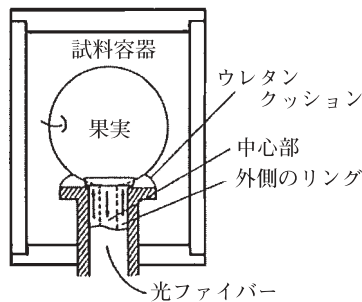


図5 モモ果実のスペクトル測定⁵⁾

検出器(D)で検出される．200グラム～380グラムの重量のタマネギ29個を用いた実験において、近赤外法により推定された乾物量は実際の化学分析値と高い相関をなし、両者の相関係数は0.995、標準誤差は0.42%であった．この場合の乾物の主要成分は炭水化物である．その後、同研究グループはネットメロンの可溶性固形物(SS)の測定³⁾を行っている．

我が国では、モモ^{4,5)}、リンゴ⁶⁾、温州ミカン⁷⁾などへの応用試験が行われた．図5に、インタラクタンスという方法によるモモ果実のスペクトル測定方法を示す^{4,5)}．光ファイバーは同心円状に2重構造になっており、外側のリングを介して光が果実に照射される．果実内で散乱反射されてもどってきた光は光ファイバーの中心部を通り検出器に達する．光ファイバーの先端には外光を遮断し、試料を保持するためウレタンクッションが貼られている．果実を光ファイバーの先端に置くだけで、そのスペクトルが測定される．モモ果実(清水白桃)を供試し、果実赤道

部のスペクトルデータと糖度（Brix値）を基に重回帰分析を行った実験で、近赤外法で推定した果実糖度（Brix値）は従来法で測定した値と高い相関をなし、最も良好な検量線において両者の重相関係数は0.97、検量線作成時の標準誤差（SEC）は 0.48°Brix であった。未知試料に対する標準誤差（SEP）及びバイアスは、それぞれ 0.50°Brix 及び 0.01°Brix であり、モモ果実の糖度は近赤外法により丸のまま精度よく測定できることが明らかになった。これが近赤外法により果実糖度を非破壊的に精度よく測定できることを示した我が国最初の研究である。この測定方式は、果皮が薄い果実であれば、どんな種類の果実にも適用可能である。

7. 温州ミカンへの応用

市販の近赤外装置は穀類などの粉体試料やワインなどの液状試料を対象に試料室が設計されている。そのため、丸のままの果実はそのまま測定できず、これまで色々な工夫がなされてきた。前述したモモ果実もその一例である。温州ミカンの場合、最初に引出し型直接測定方式が検討された。次に、積分球型あるいは2重リング型の光ファイバー方式が検討され、最後に透過型の光ファイバー方式が検討された。それぞれの内容は次のとおりである。

7.1 引出し型直接測定方式

試料室が引出し方式の近赤外装置及び特別に試作された果実用引出し（試料室）が利用された。果実用引出しは試料台が上下可動式になっており、大きさが異なる果実でも測定面を積分球の直下に調整できる。図6のように測定面を上にして果実を試料台に置き、測定面の高さを調整し、1100～2500nmの波長域のスペクトルが測定される。1次・2次スペクトル及び糖度（Brix値）を基に重回帰分析を行った結果、相関係数0.7～0.8、検量線評価時の標準誤差（SEP） $0.7\sim 0.8^{\circ}\text{Brix}$ の検量線が得られた。後述する透過方式に比較して測定精度はあまりよくない。丸のままの果実の反射スペクトルは、果肉を注意深く取り除いた果皮のみのスペク

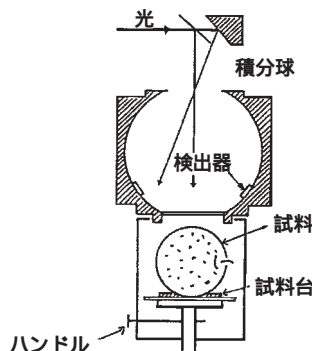


図6 引出し方式によるスペクトル測定

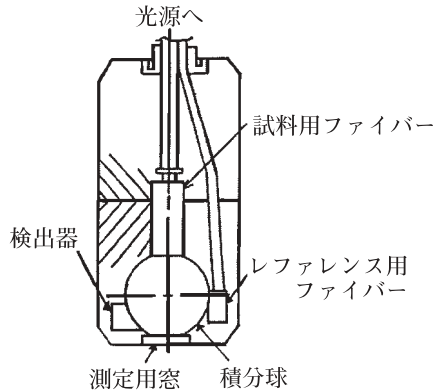


図7 積分球型光ファイバー方式の検出部³⁾

トルとほぼ同じであることから、反射スペクトルは果実内部の果汁成分の情報を反映していない可能性が高い。

7.2 積分球型光ファイバー方式

その後、図7のような光ファイバーを利用した研究が行われた³⁾。光ファイバーの先端には小さな積分球が取り付けられており、分光された光は積分球を介して試料に照射される。測定用窓が試料に接するように配置される。試料で散乱反射した光は積分球内で均一化され、均一化した光の一部が積分球内に取り付けられたセンサーで検出される。レファレンス用のファイバーを別に持っているため、基準板の測定を必要としない。光ファイバーの先端を試料に接触させるだけで、700～2500 nmの波長域のスペクトルを測定することができる。1次・2次スペクトル及び糖度（Brix値）を基に重回帰分析を行った結果、相関係数0.90～0.95，SEP 0.95～1.12°Brixの検量線が得られている。検量線作成用試料の糖度分布が広いから、相関係数の値は高くなっているが、SEPの値も大きくなっており、測定精度はあまりよくない。引出し方式の場合と同様、得られたスペクトルは果実内部の果汁成分の情報を反映していない可能性が高い。

7.3 二重リング（インタラクタンス）型光ファイバー方式

図5のようなインタラクタンス方式の光ファイバーを利用した研究が行われた。果実を光ファイバーの先端に置くだけで680～1235 nmの波長域のスペクトルが測定される。1次・2次スペクトル及び糖度（Brix値）を基に重回帰分析を行った結果、相関係数0.67～0.71，SEP 0.70～0.76°Brixの検量線が得られている。この精度は果皮の薄いモモ果実⁵⁾で得られた精度（相関係数：0.97，SEP:0.50°Brix）ほど

高くない．前述した2つの方法の場合と同様，得られたスペクトルは果実内部の果汁成分の情報を反映していない可能性が高い．

7.4 透過型光ファイバー方式

前述した3つの方法で高い測定精度が得られない理由として，測定されたスペクトルが果実内部の果汁の成分情報を反映していないことが考えられる．そこで，果実内に光を通す方法が検討された．詳細は次項で述べる．

8．透過方式による温州ミカン糖度の測定

図8に透過スペクトルの測定装置を示す．分光した光を上部より試料に照射し，透過光は試料の直下に配置したシリコン検出器で測定される．丸のままの果実及び果皮を注意深く取り除いた果実について，果実の赤道部及び果柄部からのスペクトル（波長域：680～1235 nm）が測定され，あわせて，搾った果汁のスペクトルも測定された．

図9は測定装置の応答の直線性が確認された680～935 nmの波長域のスペクトルである．果実径が大きいかほどスペクトルは上方へシフトする．2微分処理を施してもこの果実の大きさの影響は除去できない．

透過スペクトルから果実の大きさの影響を除く方法として，個々の果実のスペクトルを同一径の果実のスペクトルに換算する方法，すなわち各測定波長点における吸光度値をそれぞれの果実の直径で割り算する方法が考えられる．そこで，スペクトルの中に果実の直径と関連した情報が存在するかどうか検討された．図10は吸光度と果実径あるいはBrix値との間の相関係数を各波長ごとにプロットした図（相関プロット）である．糖度に無関係で果実の直径と相関の高い波長844

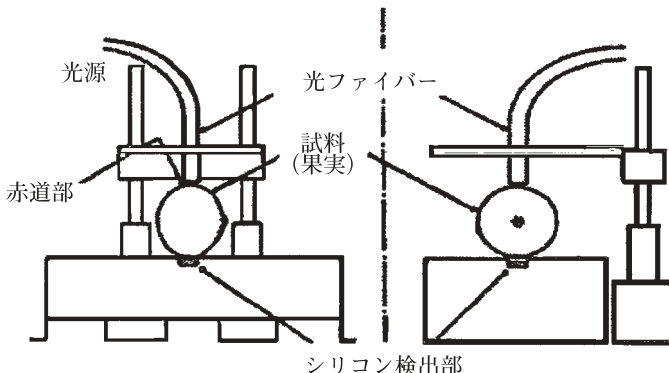


図8 透過方式による温州ミカンのスペクトル測定⁷⁾

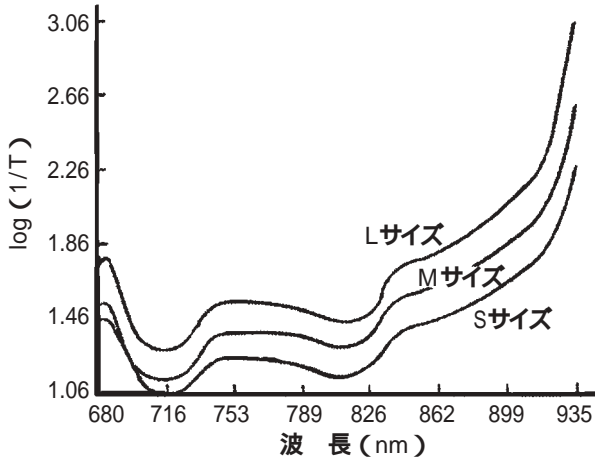


図9 温州ミカンの透過スペクトル⁷⁾

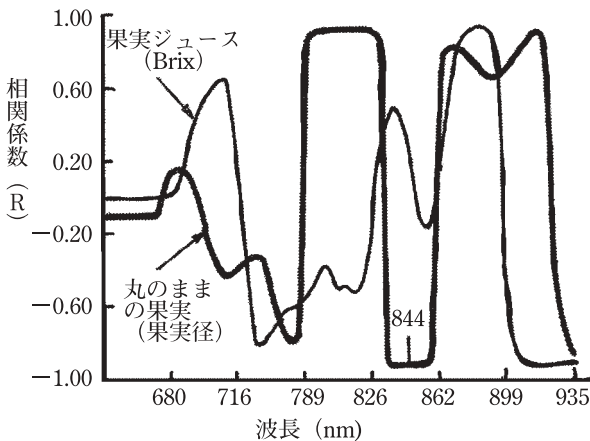


図10 Brix値と2次微分値、及び果径と2次微分値の間の相関プロット⁷⁾

nmが存在することが明らかになった．この波長は水の吸収バンドである．各試料の2次微分スペクトルを各々試料のこの波長の2次微分吸光度値で割ることにより，果実の大きさに影響されない正規化2次微分スペクトルが得られた（図11）．

正規化2次微分スペクトルと糖度を基に重回帰分析及び評価を行ない，表1及び表2の結果が得られている．果実の測定方向別に解析結果を比較すると，果実の赤道部からの測定において高い精度が得られた．温州ミカンの糖度はじょうの

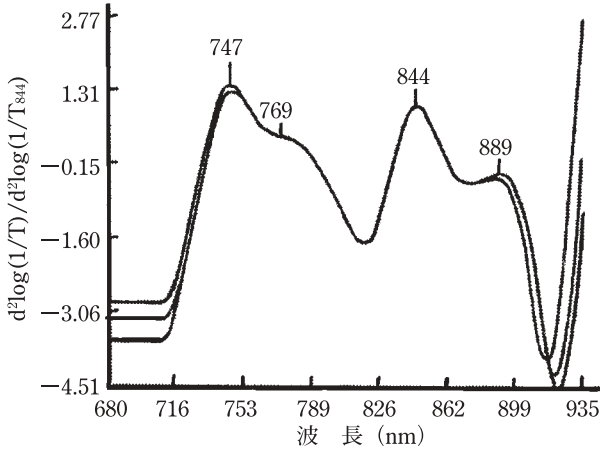


図11 温州ミカンの正規化2次微分スペクトル⁷⁾

表1 果実測定部位が糖度用検量線の作成及び評価に及ぼす影響⁷⁾

測定部位	選択波長 (nm)				R	SEC (°Brix)	SEP (°Brix)	Bias (°Brix)
	1	2	3	4				
赤道部	914	769	745		0.971	0.44	0.45	-0.01
	914	769	745	786	0.989	0.28	0.32	-0.02
果柄部	919	770	745		0.941	0.61	0.71	0.10
	919	770	745	785	0.979	0.37	0.48	0.04

表2 試料の形態が糖度用検量線の作成及び評価に及ぼす影響⁷⁾

試料形態	選択波長 (nm)				R	SEC (°Brix)	SEP (°Brix)	Bias (°Brix)
	1	2	3	4				
丸のままの果実	914	769	745	786	0.989	0.28	0.32	-0.02
皮を剥いた果実	901	760	878	980	0.991	0.26	0.28	0.02
ジュース	765	922	978		0.996	0.17	0.25	0.03

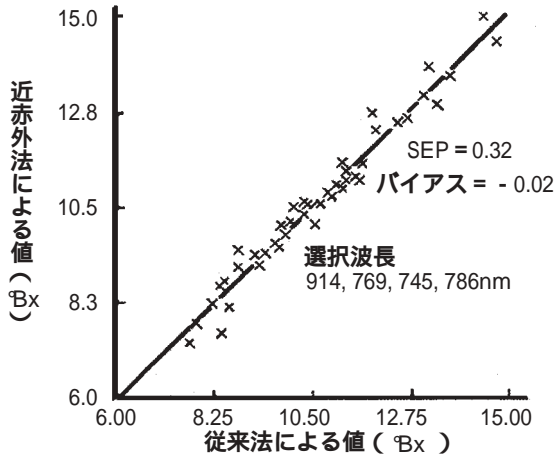


図12 温州ミカン糖度の近赤外値と化学分析値の関係⁷⁾

う（果実内の小袋）ごとに異なっているが、対角に位置するじょうのうの糖度の平均値は果実全体の平均糖度に近い⁷⁾。果柄からの測定の場合、光は限られたじょうのうあるいはじょうのうの隙間を通過するのに対し、赤道部からの測定の場合、光は対角に位置する複数のじょうのうを通過する。このことが測定精度を向上させる理由と考えられる。

試料の形態別に解析結果を比較すると、得られた検量線の精度はジュースで最もよく、次いで皮を剥いた果実、丸のままの果実の順であった。丸のままの果実でも、相関係数 0.989, SEP 0.32°Brixと非常によい結果が得られている（図12）。透過方式では、果皮の測定精度に及ぼす影響はほとんど無視できること、及び丸のままの果実でもジュースとほぼ同程度の精度で測定可能であることが分かる。丸のままの果実の検量線で採用された波長の914nm はショ糖に帰属される。

同様な方法に関し、果実の品種、産地、収穫時期、年次などの測定精度に及ぼす影響について精力的な検討もなされている⁹⁾。

9. 温度補償型検量線の開発

近赤外スペクトルは試料温度の影響を受けやすい。共同選別施設では果実試料の温度を事前に調整することは困難である。そこで、試料温度の影響を受けない検量線の開発が行われた¹⁰⁾。

試料温度は果実試料に含まれる水のスペクトルに影響を及ぼす。化学成分が変化しなくても温度が変化するだけで水の吸収バンドの強度が変化する。従って、

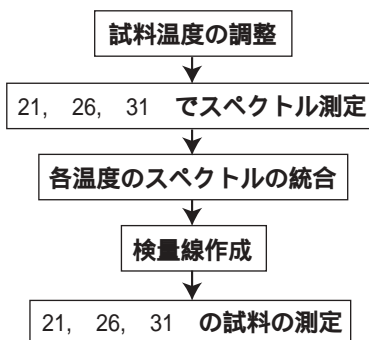


図13 温度補償型検量線の作成手順¹⁰⁾

表3 試料温度がバリデーションに及ぼす影響¹⁰⁾

試料温度 ()	温度補償無し		温度補償有り	
	SEP	Bias	SEP	Bias
31	0.50	0.20	0.46	- 0.03
26	0.44	0.05	0.39	- 0.01
21	0.49	- 0.33	0.41	- 0.02

試料温度の変化によるスペクトルの変動は、求めようとする成分以外の未知成分の変化によるスペクトルの変動と同じ現象と考えられる。すなわち、試料温度は未知成分の一つと考えられた。このような発想のもとに、検量線作成用試料温度を人為的に変動させることにより、温度補償型の検量線を開発する方法が開発された。

図13は温度補償型検量線の作成手順を示したものである。スペクトル測定は通常の検量線作成ではある一定の温度で行われるが、温度補償型検量の場合異なった複数の温度で行われる。表3は重回帰分析の結果である。通常の検量線では試料温度が検量線作成時と異なるとバイアス（測定値の偏り）が発生するが、温度補償型検量線の場合バイアスは発生しない。試料温度の変化によるスペクトルの変動を打ち消すような仕掛けが検量線の中に自動的に組み込まれたことになる。

表4 糖度選別機の種類

(1) 反射方式	
(2) 透過方式	全照射・遮光方式 部分照射・非接触方式

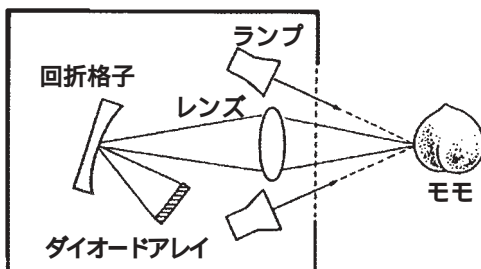


図14 モモの糖度選別機（反射方式）

10. 果実糖度選別機

果実糖度選別機はスペクトルの測定方式の違いにより表4のように反射方式と透過方式に大別される。透過方式は更に全照射・遮光方式と部分照射・非接触方式に分けられる。全照射・遮光方式とは赤道部の全部に光を照射し、果実の下へ透過した光を完全な遮光状態で検出する方式である。一方、部分照射・非接触方式とは果実の赤道部の一部に光を照射し、その反対側から透過光を非接触で測定する方式である。

反射方式の例として、モモ糖度選別機（図14）がある。その1号機が山梨県西野農協に導入された。選別されたモモは「糖度保証付き果実」として差別化されて販売されている。お皿状のコンベアに乗せられた果実はセンサー部を通過する瞬間2個のタングステンハロゲンランプによって腹部を照射され、果実表皮及び表皮に近い果肉層で反射された光が集光部によって捕らえられ、回折格子及びダイオードアレイによって近赤外吸収スペクトルが測定される。予め作られた検量線により、果実の糖度が瞬時に算出さる。本方式は果実糖度の部位によるバラツキを直接受ける欠点があるが、果実の性状をうまく利用することによりこの欠点を低減することが図られている。例えば、モモ果実の場合、縫合線と直角をなす果実赤道部（腹部）が平均糖度を示すことから、その部分がセンサ部を向くよう

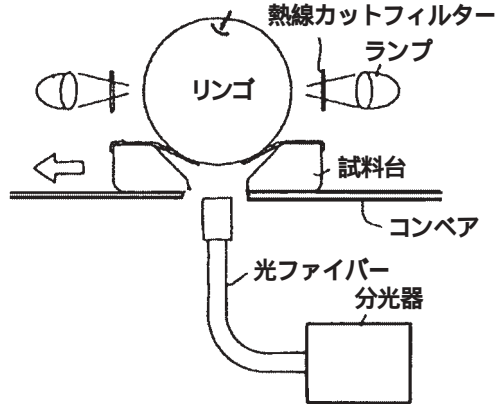


図15 リンゴの糖度選別機（全面照射・遮光方式）

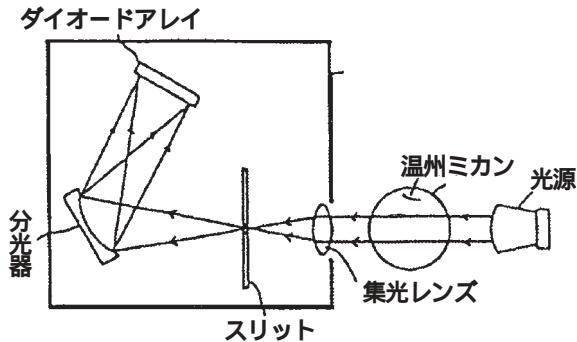


図16 温州ミカンの糖度選別機（部分照射、非接触方式）

に果実はコンベア上で揃えられる。選別速度は毎秒3個程度である。

透過方式の全照射・遮光方式の例として、リンゴ糖度選別機（図15）がある。ベルトコンベアの試料台上の果実が測定部を通過するとき、コンベアの側面に設置された多数のランプにより果実赤道部のほぼ全面が照射される。試料台は中心部に穴が空いており、果実内を透過した光は試料台の穴を通過して下に抜け、コンベアの直下に設けられたセンサユニットに達し、果実の透過スペクトルが測定される。予め作られた検量線を用いてスペクトルから糖度が瞬時に算出される。選別速度は毎秒3個程度である。赤道部以下の果実全部を光が透過することから、測定部位の違いによる測定誤差が比較的小さくなるという特徴がある。

透過方式の部分照射・非接触方式の例として、温州ミカン糖度選別機（図16）

がある。ベルトコンベア上の果実がセンサ部を通過するとき、果実の赤道部の一部がランプで照射される。果実内部を通過して反対側へ透過した光が非接触の状態でダイオードアレイによって捕らえられ、果実の透過スペクトルが測定される。前述した装置と同様、予め作られた検量線を用いてスペクトルから糖度が瞬時に算出される。非接触状態で計測を行えることから、従来の選果機を改造することが比較的容易ある。

11. 糖度選別機の測定データの活用状況と今後の課題

糖度選別機の登場によって、糖度を含む品質に関連した膨大な情報が毎日発生している。糖度選別機導入の成否はこの情報を如何に使いこなすかにかかっているとんでも過言ではない。情報の活用方法として、販売戦略への活用、清算業務への活用、栽培技術への活用が考えられる。

11.1 販売戦略への活用

現在、農協では高糖度産物だけを選別してこれを有利販売しようとする方法と、低糖度産物を格別品として取り除いて（いわゆる足切りをして）販売する方法とが取られている。前者の場合、高糖度品は通常品より高い単価で販売することができるが、残りの産物の販売が不利になる危険性がある。したがって、高糖度品全部を選別し特上品として販売することは必ずしも有利にならない。後者の場合、商品の中に格別品が含まれないようになることから、市場における農協の信頼が向上する効果がある。現在のところ後者の方式を採用している農協が多いようである。

新しい規格を考え出した農協もある。信州いいだ農協は外観には多少問題があ



図17 内部品質を保証する「優糖生」のシール

るが内部品質は最高である果実を、「優等生」の言葉をもじって「優糖生」という新しい出荷規格をもうけて出荷した（図17）。市場での反響はよく、糖度・外観両方とも優れた果実に劣らず高値で取引されているという。いままで考えられなかった販売戦略である。

糖度選別機から得られる糖度に関する情報の販売戦略への応用はまだ試行錯誤の段階であり、新しい情報伝達手段として注目をあびているインターネットなどと組み合わせることにより、全く新しい販売形態が生み出される可能性がある。

11.2 精算業務への活用

農家の手取りはこれまで外観によって評価された等級及びサイズに基づいて決定されてきた。すなわち、大玉で外観のよい産物を生産する農家ほど手取りが多かったのである。したがって、外観は多少悪いが味では負けないとする農家にとって必ずしも満足いく精算方法ではなかった。このような中で、糖度選別機の出現はこの精算業務に大きな変革をもたらしている。すなわち、糖度を加味した新たな単価表が作成されたのである。各農家は内容品質に見合った収入が得られるようになり、このことは生産意欲の向上につながっている。農協離れした組合員も農協に戻るという効果も発生した。これらのことは糖度選別機の導入によりもたらされた最も顕著な効果の一つである。

11.3 栽培技術への活用

糖度選別機では各農家ごとの糖度分布及び等級・階級のデータが保存されている。ある農協ではこれらのデータが毎日各農家に報告されている。すなわち、農協に出荷された産物の品質に関する通信簿が出荷した本人に毎日渡されているわけである。したがって、品質の良い果樹園と品質の悪い果樹園の比較をすることにより栽培技術の底上げが可能になる。この方法による栽培技術指導は始まったばかりであり、内部品質を向上させるための栽培技術に関する基礎的研究や具体的な指導方法の確立が必要である。

11.4 選別装置の測定精度の維持

糖度選別機は近赤外法を応用した装置である。したがって、近赤外法の特徴（宿命）をそのまま引き継いでいる。すなわち、定量分析を行うためには化学分析値を基にして開発した検量線が必要であり、その検量線は検量線作成に用いた試料が代表する母集団にしか適用できない。また、検量線作成用試料のスペクトルを測定した装置の光学系と比較してハード的な狂いがあると誤差が発生する。例えば、前者では産物の品種、生産地、栽培条件、収穫時期などが問題となり、後者では光源、センサーの経時変化、試料セルの汚れなどが問題となる。したが

って、糖度選別機の精度を維持するには、日常的な点検と定期的な精度の検査が必要である。

これは農協単独で解決できる問題ではなく、国、メーカ、農協が協力して対処すべき問題である。

12. 日常の点検方法

前述したように、近赤外装置は光源・センサーの経時変化、及び試料セルの汚れなどハード的な微妙な変化により測定誤差を生ずる危険性を有する。したがって、ルーチン分析において、測定開始時にはハードの点検が不可欠である。サトウキビの格付け検査では近赤外法を基軸とするいわゆる「サトウキビ品質評価システム」が構築されているが、このシステムにおいて近赤外装置の日常の点検には基準試料が用いられている。すなわち、サトウキビの組成に似た糖水溶液のモデルサンプルが準備されており、容器に内容成分の含量が明示してある。このモデルサンプルを装置に掛けて正常な値が標示されれば装置に異常がないことになり、そのままルーチン分析に使用できる。異常な値が表示された場合は近赤外管理センターの役割を果たしている日本食品分析センターにその旨を連絡し、指示を仰ぐことになっている。必要に応じて行う測定誤差の修正のための検量線のバイアス補正は近赤外管理センターの責任で行われる。信頼性を確保するため、現地での検量線の修正は出来なくなっている。

以上は「サトウキビ品質評価システム」での日常の点検方法であるが、糖度選別機の場合も類似した点検方法を構築する必要がある。果実の場合、基準試料としてのモデル果実の入手は困難で、実際の果実を使わざるを得ない。すなわち、実際の果実を選別機に掛けて、糖度の推定値と化学分析値を比較する方法が有力であろう。この場合、現地オペレータの研修・教育が不可欠になる。また、化学分析のための試料のサンプリング方法及び化学分析方法の統一が必要である。それは農産物の場合成分値がサンプリングする部位によって大きく異なるからである。

13. 精度の定期的な検査方法

装置が正常に作動したとしても測定誤差が発生する危険性がまだある。それは検量線と今後測定するであろう産物との相性の問題である。前述したように検量線は検量線作成時に用いた試料が代表する母集団にしか適用できない。したがって、産物の品種、生産地、栽培条件、収穫時期が異なると誤差を生じる危険性がある。これを防止あるいは早期発見をするためには、定期的な検査が必要である。前述した「サトウキビ品質評価システム」では試料の抜き取り検査が実施されている。すなわち、現地の近赤外装置に掛けた試料を凍結し、それを近赤外管理センターへ凍結したまま輸送、同センターで化学分析し、近赤外装置で求めた成分

値と比較検討される。近赤外管理センターでは現地で作動している近赤外装置ごとの「カルテ」が準備されており、測定誤差等のデータがこれに記録され管理されている。測定誤差が拡大する傾向にある場合、その原因を究明するとともに、測定誤差を小さくするためのバイアス補正などの処置が図られる。

糖度選別機の場合も類似した精度の検査方法が必要である。すなわち、次のような方法が想定される。糖度選別機に掛けた産物を選別機から抜き取り、クール宅配便等により糖度選別機管理センター（仮称）へ輸送、同センターで糖度を分析、糖度選別機による推定値と比較し、測定誤差を「カルテ」に記録する。測定誤差の変動を監視することにより、選別機の測定精度を保証することが可能となる。糖度測定に対する信頼性を確保するために、糖度選別機管理センターは公的機関が行うことが重要である。

14. おわりに

現在、糖度選別機の測定精度に関する公的機関による管理は行われていない。すなわち、野放しの状態である。シーズンの始めのオペレータの研修、日常の機器の点検、及び定期的な精度の確認を行っているメーカーもあるが、何も行っていないメーカーもある。

既に、数百台の糖度選別機が農協に導入されており、機種及びメンテナンスの有無による測定精度の違いが次第に明るみになってきている。

混乱が大きくなる前に、糖度選別機の測定精度の維持・管理のための国レベルの精度管理体制を早急に整備することが焦眉の課題となっている。

（分析科学部非破壊評価研究室 河野 澄夫）

参考文献

- 1) 岩元睦夫・河野澄夫・魚住 純：近赤外分光法入門，幸書房（1994）。
- 2) G. S. Birth, G. G. Dull, W. T. Renfro and S. J. Kays: *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, **110**, 297-303 (1985)。
- 3) G. G. Dull, G. S. Birth, D. A. Smittle and R. G. Leffler: *J. Food. Sci.*, **54**, 393-395 (1989)。
- 4) S. Kawano, H. Watanabe and M. Iwamoto: Proceedings of the 2nd International NIRS Conference (Ed. M. Iwamoto and S. Kawano), Korin, Tokyo, Japan, pp.343-352 (1990)。
- 5) S. Kawano, H. Watanabe and M. Iwamoto: *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.*, **61**, 445-451 (1992)。
- 6) 天間毅・上田英介・松江一・篠木藤敏・対馬 武夫：第6回非破壊計測シン

ポジウム, (社)日本食品工業学会, p.98-102 (1990).

- 7) S. Kawano, T. Fujiwara and M. Iwamoto: *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.*, **62**, 465-470 (1993).
- 8) 永井耕介: 第2回近赤外研究会講演要旨, 農林水産省食品総合研究所, p.25-28 (1993).
- 9) 宮本久美: 第2回近赤外研究会講演要旨集, 農林水産省食品総合研究所, p.19-24 (1993).
- 10) S. Kawano, H. Abe and M. Iwamoto: *J. Near Infrared Spectrosc.*, **3**, 211-218 (1995).