

# 琉球大学学術リポジトリ

## 近赤外線分析装置(NIR)による作物の有効成分非破壊計測に関する基礎的研究

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学農学部 公開日: 2008-02-14 キーワード (Ja): 品質評価, 近赤外線分析装置, マンゴー, 非破壊計測 キーワード (En): Mango, Near infrared radiation analysys, Non-destruction measurement, Quality assessment, Sugarcane 作成者: 川満, 芳信, 木永, 泰山, 上野, 正実, 小宮, 康明, 平良, 栄三, 松田, 昇, Kawamitsu, Yoshinobu, Kinaga, Yasutaka, Ueno, Masami, Komiya, Yasuaki, Taira, Eizou, Matsuda, Noboru メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/3590">http://hdl.handle.net/20.500.12000/3590</a>

# 近赤外線分析装置 (NIR) による作物の有効成分非破壊計測に関する基礎的研究

川満芳信\*・木永泰山\*・上野正実\*・小宮康明\*\*・平良栄三\*・松田 昇\*\*\*

Yoshinobu KAWAMITSU\*, Yasutaka KINAGA\*, Masami UENO\*, Yasuaki KOMIYA\*\*, Eizou TAIRA\* and Noboru MATSUDA\*\*\*

## Basic research on nondestruction measurement of the active component in crop by near infrared radiation analytical equipment

キーワード：品質評価, 近赤外線分析装置, マンゴー, 非破壊計測

**Key words:** Mango, Near infrared radiation analysys, Non-destruction measurement, Quality assessment, Sugarcane.

### Summary

In this paper, as basic research on the development of nondestructive analysis equipment for nutritional diagnosis and quality assessment in crops, the absorption spectrum of mango fruit was measured using a near infrared radiation (NIR) and the calibration curve was made, and finally the wavelength was determined as for measurement of fruit sugar content. In addition, photosynthetic rate, transpiration rate, and water potential of the leaf was measured using the pot-cultivating sugarcane plants under water stress conditions, then the calibration curve were developed in order to estimate such physiological parameters in the field using the NIR.

### はじめに

作物や果物の品質評価に近赤外線分析装置 (NIR, Near Infra Red) が導入されて以来, 近赤外線分析技術は飛躍的に向上し, 近年では主に大豆のタンパク質含量やミカン, リンゴ, スイカの糖度を迅速かつ簡便に計測し評価することにより品質の振り分けや価格決定に大いに貢献している. 近赤外線は他の光線に比べて物体に吸収されやすい性質があるため非破壊計測に最も適した光であり, その波長域も広いことから様々な成分情報を捉えることが出来る. また, 近赤外線は太陽光線の中に含

まれている安全な光であるため, 農業だけではなく医学の分野においても使用されている.

近年, 沖縄県, 鹿児島県, 宮崎県で急速に生産量が伸びているマンゴー (*Mangifera indica* L.) は, 世界中の市場において需要が多い熱帯の果実である. 高品質な果実を出荷するためには適度に熟したマンゴーを選出しなければならないが, その分類基準や収穫のタイミングなどはまだ正確に確立されていない. 出荷時において品質は果実の価格を決定する上で重要な項目であり, 糖度, 酸度, 重量, 硬度, 色, 保存状態など様々な要素により左右される. 現在, マンゴーの品質は外観色と重量による分類基準で評価されているが, 果実品質に大きく影響を与えるのは果肉糖度である. しかし, マンゴーの糖度は果肉を破壊しなければ測定できず, 一度測定した果実は商品としての価値がなくなる. 従って, マンゴーの品質評価には糖度を非破壊計測法で分析する必要がある. そのための新しい装置開発が望まれている中, 近赤外線分析装置による非破壊計測の例として, Quantum 1200 (Rockville社製) を用いてマンゴー果実の糖度を高い精度で測定した報告 (Ze'evら, 2000) や, 近赤外スペクトルフォトメーター (ニレコ社製6500型) を用いてマンゴー果実だけではなく, パインやパイアの糖度を測定した報告 (池田ら, 1996) がある. また糖度に加え, 酸度を測定した報告もある (田邊ら, 1997).

沖縄県のサトウキビ栽培における課題は, 反収の増大と糖度向上であるが, 生育旺盛時に干ばつが生じると両者とも不安定

\*琉球大学農学部生物生産学科

\*\*琉球大学農学部生産環境学科

\*\*\*沖縄県農業試験場名護支場

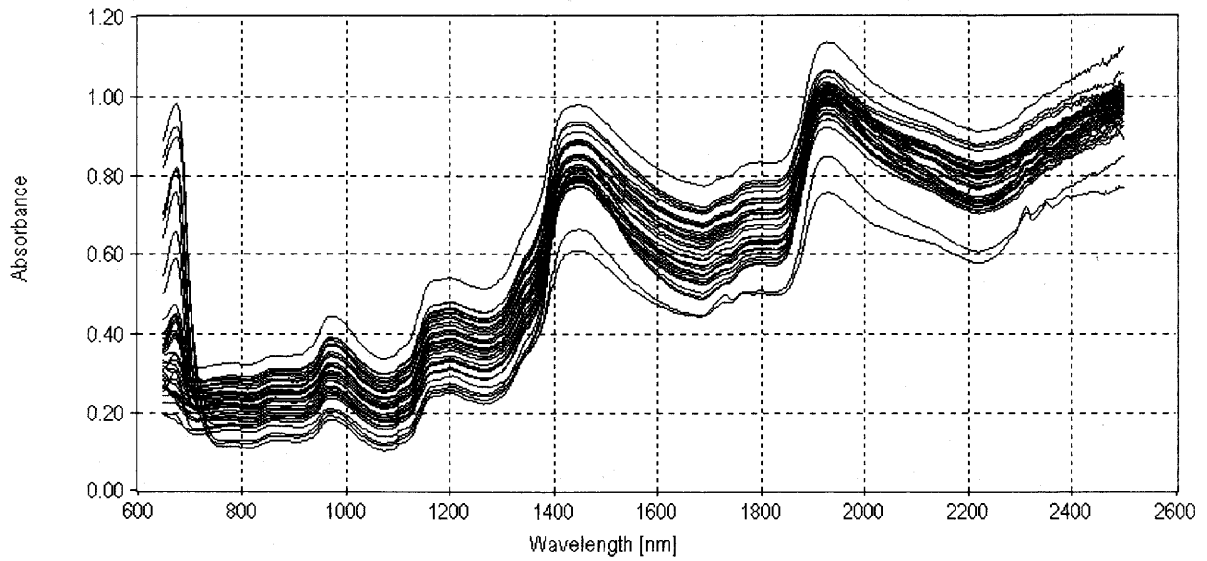


図1. 宮古島マンゴーの近赤外線吸収スペクトル.

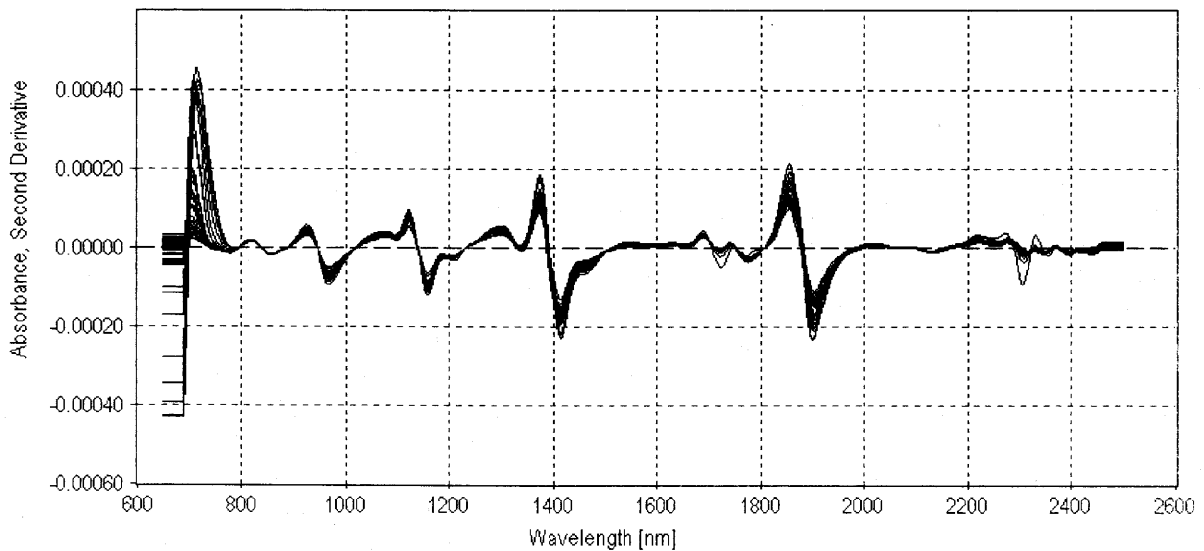


図2. 宮古島マンゴーの近赤外線吸収スペクトル2次微分変換.

となる。この原因は干ばつによるサトウキビの葉の生理的変化によるところが大きいですが、早い時期に干ばつの程度を把握し、灌水等の対策を講じれば被害を最小限に抑えることもできる。

本報では栄養診断用と品質評価用非破壊分析装置開発の基礎研究として、近赤外線分光分析装置(NIR)を用いてマンゴー果実の吸収スペクトルを測定し、糖度が測定できる波長を決定し検量線を作成した。また、ポット栽培したサトウキビに水ストレスを与え、NIRによって葉の光合成速度、蒸散速度、水ポテンシャルなどの生理的パラメーターが推定できるか検量線を作成し、検討した。

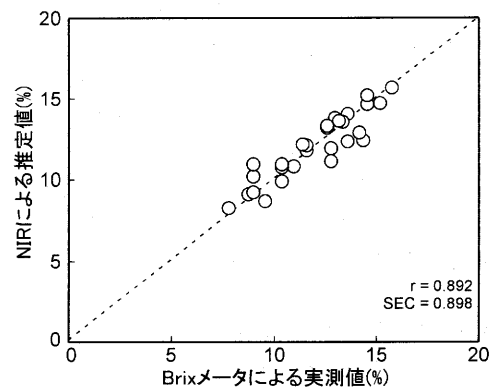


図3. NIRによるマンゴーBrixの推定値と実測値の関係.

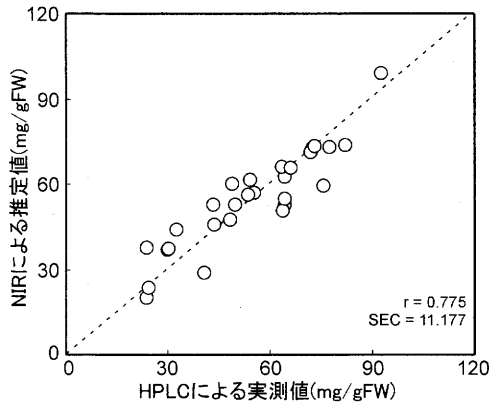


図4. NIRによるマンゴーのSUCROSE含量推定値と実測値の関係.

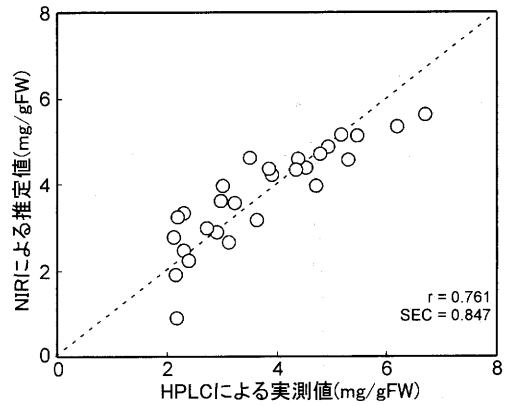


図5. NIRによるマンゴーのGLUCOSE含量推定値と実測値の関係.

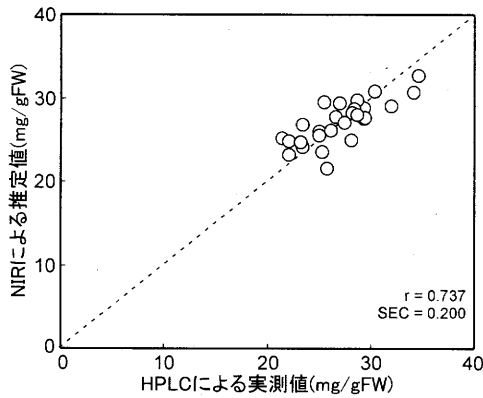


図6. NIRによるマンゴーのFRUCTOSE含量推定値と実測値の関係.

## 材料及び方法

### 1. NIRによる宮古島マンゴーの果実糖度測定

2002年7月18日~19日に宮古島の12農家で収穫したマンゴー36個体を琉球大学農学部を持ち込み、NIRを用いてスペクトルを測定した。測定は、室温26℃の黒いビニールで覆った暗黒下で行った。近赤外線分析装置はInfraAlyzer-500 (BRAN+LUEBBE) を用い、外付けのプロープによりスペクトルを取得した。波長域は650~2498nm、3 nm間隔で各サンプルにつき1回ずつ測定した(図1)。測定はマンゴー果実の中央部で、種子と垂直に交わる位置に定めた。その後、測点部を切り抜きホモジナイザーでジュースにし、Brixと糖類分析用サンプルとした。供試個体数が少ないため、キャリブレーションには測定した全ての値を使用し、スペクトルを2次微分処理(図2)し、多変量解析ソフト

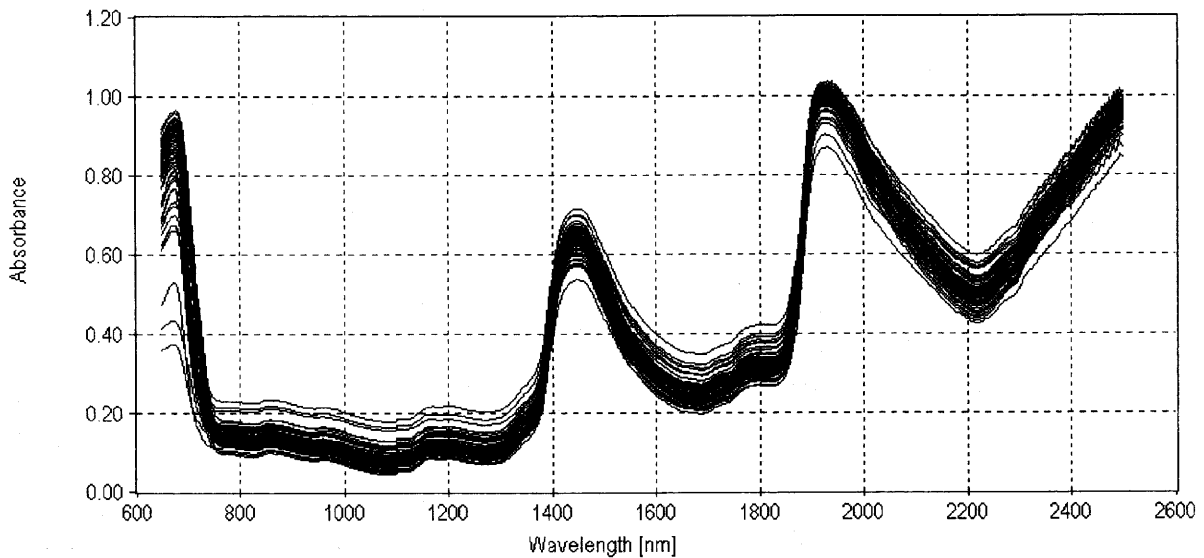


図7. サトウキビ農林8号の葉身近赤外線吸収スペクトル.

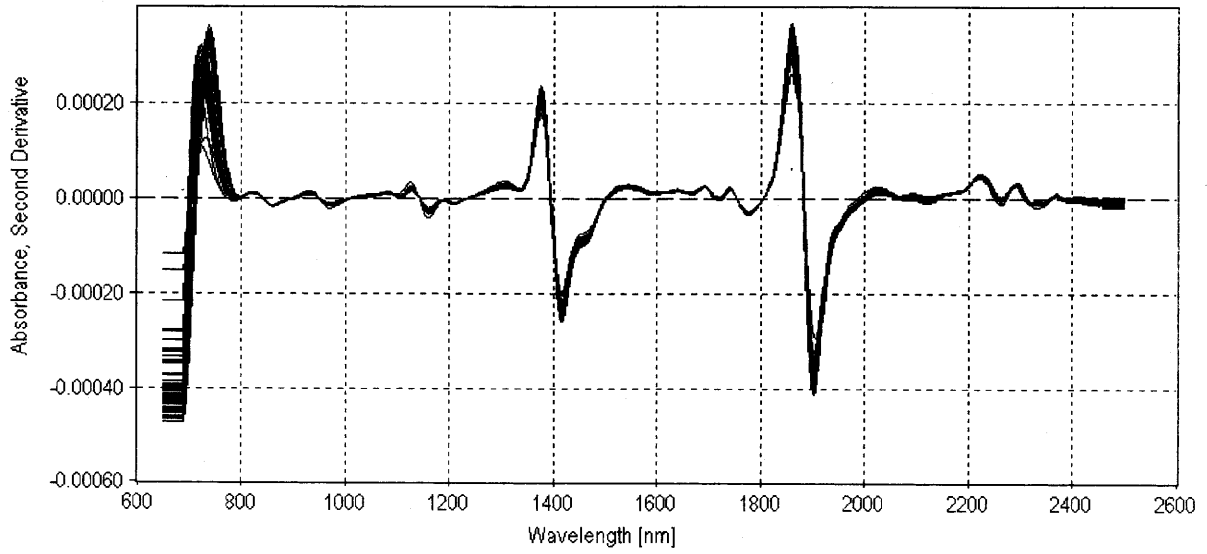


図8. サトウキビ農林8号の葉身近赤外線吸収スペクトル2次微分変換.

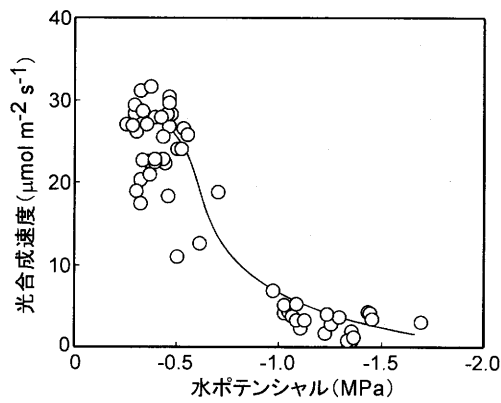


図9. サトウキビの光合成速度と水ポテンシャルの関係.

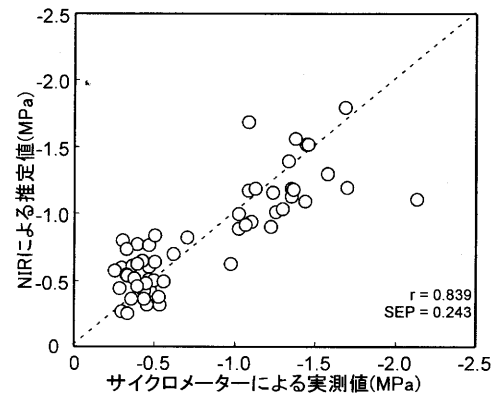


図11. NIRによるサトウキビの葉身水ポテンシャルの推定値と実測値の関係.

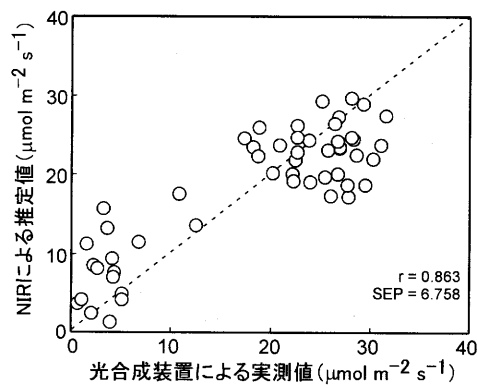


図10. NIRによるサトウキビ光合成速度の推定値と実測値の関係.

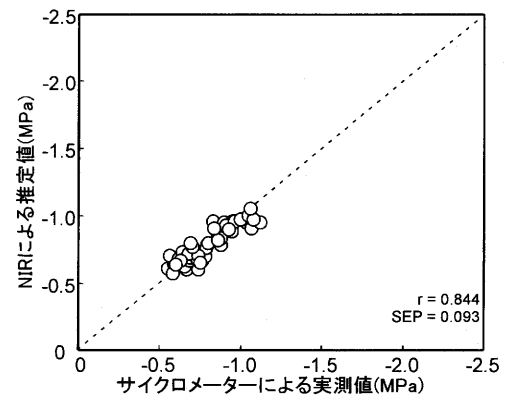


図12. NIRによるサトウキビの葉身浸透ポテンシャルの推定値と実測値の関係.

(SESAME ver3.0, BRAN+LUEBBE) を用い線形重回帰分析法 (MLR) によって解析した。

## 2. NIRによるサトウキビ葉身水ポテンシャルの非破壊計測

サトウキビ (*Saccharum* spp. cv. NiF8) を異なる水分含量の土壌でポット栽培した。灌水を停止することで植物体に水ストレスを与え、サトウキビ葉身中の水分状態を変化させ、その過程でNIRスペクトルを測定し、検量線の作成に用いた。水ストレス開始日を0日目とし、サトウキビの光合成速度がほぼ0になるまで、毎日6個体ずつ、反復を交互に交代させながら10日間で60サンプル測定した。

光合成速度は、光合成・蒸散同時測定装置で、葉の水ポテンシャルと浸透ポテンシャルはアイソピエスティックサイクロメーターを用いて測定した。近赤吸光度スペクトルはInfraAlyzer-500 (BRAN+LUEBBE) を使用し、光合成速度を測定した部分にプローブをあててその反射率から葉身吸光度を算出した (図7)。その後、測点部をリーフパンチャーで打ち抜きサイクロメータを用いて水ポテンシャル及び浸透ポテンシャルを測定した。取得したスペクトルは全て多変量解析ソフトSESAME ver3.0 (BRAN+LUEBBE) を用いて2次微分処理後 (図8)、MLR法により解析を行った。

## 結果および考察

### 1. NIRによるマンゴー果実のBrix, ショ糖, その他の糖分量の推定

多成分の吸収が重合し干渉しあっているNIRスペクトルでは、目的とする情報を抽出するために様々な多変量解析法 (ケモメトリクス) が使われる。マンゴーの糖含量は水分に次いで多く、MLR法による定量が可能であると判断し、MLR法によるBrixでのキャリブレーションを行った結果、予測値と実測値の間に高い相関が見られた (図3)。一般に、吸光度は物体中の構造や密度により大きく変化するため、原スペクトルへの影響が顕著に現れる (岩元ら, 1994)。そのため、Brixのような濃度を表すパラメータとNIRスペクトルとの間には高い相関関係があると考えられる。検量線標準誤差 (SEC) の値が大きくなった原因は、使用したマンゴーの数が少なかったために、本来ならばはずれ値ではない値がアウトライヤーとして処理されたためと考えられる。しかし、収穫時や選果段階でのマンゴー果実中のBrixの高低を示す指標としては十分に使用可能である。但し、本研究において作成した検量線はキャリブレーションに用いたサンプルにのみ適用可能であり、実際の圃場や市場において使用する検量線としては、更なるサンプルの追加及び熟度の異なる段階でのBrixの測定が必要である。

ショ糖およびその他の糖含量においても推定値と実測値の間には高い相関が見られたが、SECも高い値を示した (図4~6)。また、ショ糖やブドウ糖、果糖はそれらの糖分があると吸収を生じる波長帯があることが知られている (宮本, 1998) が、本キャリブレーションではその波長帯の特定はできなかった。各糖分におけるキャリブレーション

でアウトライヤーが数多く検出されたことから、これらもBrixと同じようにサンプルの数が少なく、糖度の範囲が狭かったために生じたと考えられる。

本研究で使用したサンプル数は36個体であり、キャリブレーションを行うには数が少なく、また、マンゴーの鮮度が統一されていたため各糖含量に大きな差がなかった。そのため、広範囲にわたるサンプルが得られず結果としてアウトライヤーの出現やSECが増加したと考えられる。しかし、いずれの検量線も定性分析用には使用可能であり、サンプルの数や品種を追加すれば定量分析も可能であると判断される。キャリブレーション過程において、検量線作成に用いた解析法はMLR法のみであったが、構造や密度によってスペクトル全体が上下するような場合は、測定波長全てを使用してキャリブレーションを行うPLSR法 (主成分重回帰分析法) も有効であると考えられる。但し、いずれの解析法においても多くのサンプルを必要とし、また、追試としてジュースに各糖を添加し、糖に帰属する吸収帯を特定する必要がある。

また、圃場でNIRを使用することを想定した場合、未熟果や果熟果や異なる品種に対しても適応できる検量線作成のために、それらのサンプル情報を組み込む必要がある。

### 2. NIRによるサトウキビ葉身の光合成速度, 水ポテンシャルの推定値と実測値との関係

サトウキビの葉の水ポテンシャルが下がると光合成速度は低下し、両者は密接に関係している (図9)。葉の光合成速度をNIRで推定したところ、重相関係数は高かったが、重回帰式を未知試料に適用した時の誤差は (SEP) 大きくなった (図10)。その原因として、光合成速度を測定後、葉を同化箱から取り出しNIRで測定するまでに時間がかかり条件が著しく変化した事が考えられる。

NIRによるサトウキビ葉身水ポテンシャルの推定値と実測値の関係およびNIRによるサトウキビ葉身浸透ポテンシャルの推定値と実測値の関係において、重相関係数が高く、SEPが大きくなった (図11)。中でも浸透ポテンシャルは、吸光度測定時とサイクロメータ測定時において値が変化しなかったことから精度の高いキャリブレーション結果となった (図12)。

光合成速度の推定において、光合成速度測定時の光や温度の環境が吸光度測定時と異なったため、実測値とスペクトルデータにズレが生じ、その結果、誤差が大きくなったと考えられる。光合成速度は様々な要因の影響を受け決定されるため、複数の重回帰式を用いて総合的に推定しなければならない。また、実測値とスペクトルデータのズレをなくすために、光合成速度測定と同時に吸光度スペクトルを取る必要がある。更に、光合成速度の変化によるスペクトルのシフト現象を考慮し、MLR法だけではなく原スペクトルを用いたPLSR法による解析も必要である。

サトウキビ葉身水ポテンシャルおよび浸透ポテンシャル推定において、光合成速度の測定時と同様、吸光度測定時の値とサイクロメータによる測定時の水ポテンシャルの値

が異なったため、キャリブレーションが正確に行われず、そのために予測誤差が大きくなったと考えられる。葉身の浸透ポテンシャルにおける検量線は、誤差が小さいことから本報で使用したサトウキビには十分に使用できると考えられる。また、水ポテンシャルと浸透ポテンシャルに高い相関関係が見られることから、浸透ポテンシャルの推定式から水ポテンシャルの値を算出することも可能であると考えられる。

本報で作成した検量線は、適用範囲が狭かったため実際の圃場や他の品種における各パラメータ測定には不十分であり、圃場でNIR分析装置を使用する場合や他の品種で測定を行う場合は、広範囲の成分値を持ち且つ多量のサンプルから作られた検量線を作成する必要がある。

近赤外線分析法による定量分析は、解析に用いるサンプルの抽出および従来法による実測値の精度が非常に重要であり、現実に起こり得るあらゆる変動を含んだ多様なサンプルでなければ、未知サンプルに対して安定した測定精度を保つことはできない。検量線の精度向上や管理のためにも上に述べた2つの事項は検討すべき課題であるが、NIRを

用いて生理的要因が測定できる可能性は高く、モバイルNIRを用いて瞬時にしかも圃場レベルで推定する装置の開発は期待できる。

## 参考文献

1. 岩元睦夫・河野澄夫・魚住 純 1994. 近赤外分光法入門. 幸書房.
2. 田邊哲也 1997. 沖縄県産熱帯果実の非破壊計測法による内部品質判定に関する研究. 鹿児島連合大学院 学位論文.
3. 池田浩晃 1996. 近赤外分光法による熱帯果実の内部品質の測定. 鹿児島連合大学院 学位論文.
4. 宮本久美 1998. 温州ミカン糖度の非破壊検査. 非破壊検査. 47 (11): 792-798.
5. Ze'ev Scmilovich, Amos Mizrach, Aharon Hoffman, Haim Egozi and Yoram Fuchs 2000. Determination of mango physiological indices by near-infrared spectrometry. *Postharvest Biology and Technology*. 19: 245-252.