

非接触式水分ストレス計の開発

機械システム科 科 長 兵 頭 竜 二
電子情報科 科 長 指 方 顕
電子情報科 主任研究員 田 中 博 樹

生育果実の糖度と水分ストレス（樹体の渇き具合）との間には密接な関係があるため、高品質な果実の生産には水分ストレスを指標とした適切な灌水管理が求められている。このため、水分ストレスによる緑葉の分光特性の変化に着目した水分ストレス計の試作開発を進めている。試作開発する装置は、昼間、太陽光の下で、樹木赤道部（葉の茂った部分）の分光特性を走査して簡便に水分ストレスを推定できる機能とする。

この報告では、主に、離れた対象物の分光特性を走査・取得する実験用の装置を用いて、圃場における測定実験を行った。この結果、測定の高さ位置や測定時刻（太陽角）が異なっても、緑葉分光特性から得られる特徴量であるレッドエッジ波長は安定しており、水分ストレスの推定に影響がないことを確認した。また、取得された緑葉分光特性から推定した水ポテンシャルは、プレッシャチャンバで測定された水ポテンシャルに対して、検量線評価時の残差の標準誤差（SEP）が0.20 MPa、決定係数(r^2)が0.70であり、概ね良好な関係であった。

1. 緒 言

収穫果実の糖度は果実育成期間中の水分ストレスの影響を受けるため、高品質果実の生産では水分ストレスを指標とした適切な灌水管理が求められる^[1]。このため、水分ストレスに起因する緑葉分光特性の変化に着目した^{[2]・[3]}、水分ストレス計の開発を進めている。

緑葉分光特性の変化から水分ストレスを推定する場合、まずは樹木緑葉の分光特性を得ることが必要である。この分光特性の取得には、複数枚の緑葉について測定して平均を求める方法や、樹木全体を一度に測定する方法などが考えられるが、本研究では、測定結果が虫による食害などの緑葉性状に左右されることを避けるため、一度に多数の緑葉を測定し、その結果から平均特性を算出する方法を採用した。具体的には、まず、離れたところから樹木赤道部の分光特性を走査する。この走査で得られる分光特性の並びには、緑葉だけでなく、幹や枝、さらには果実などのものも混在するため、緑葉の分光特性のみを選択抽出して平均化処理する、方法である。

そこでこの報告では、取得された分光特性の並びと、別途計測された単葉の分光特性との比較検証を行い、走査結果から水分ストレス推定に必要な緑葉分光特性のみを効率よく抽出する手法について検討した。そして、その緑葉分光特性と水分ストレスの物理的指標である水ポテンシャルとを比較評価することで、樹木赤道部の分光特性による水分ストレスの推定を試みた。

2. 実験方法

評価のためのデータ収集は、試作した分光特性計測装置を使用して、長崎県農林技術開発センター果樹研究部門の試験圃場で実施した。試験に用いた品種は原口早生である。

2.1 分光特性計測装置

実験に用いた計測装置^[4]の構成概要を図1に示す。

この装置は、同時に作動する2つの分光器を内部に持つ。分光器#1には、回転ステージ上に組み込まれた放物面鏡などからなる光学系が取り付けられており、放物面鏡が向いた方向からの光束を捉える仕組みとなっている。この仕組みにより、樹木表面からの散乱光が捉えられる。

分光器#2は太陽光をモニタする構成となっており、分光器#1の測定結果に含まれる太陽光の変動を取り除くのに使用される。

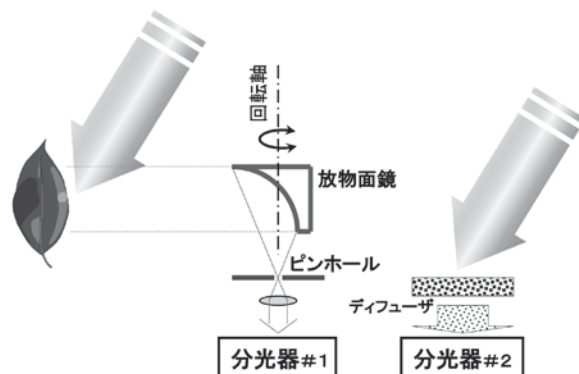


図1 分光特性計測装置の構成概要

2.2 圃場実験

比較対象となる樹木緑葉の水ポテンシャルは、長崎県農林技術開発センター果樹研究部門によって、平成22年7月中旬から11月初旬までの間、10日間隔を目安に、夜間、プレッシャチャンバ装置を用いて測定された。またその時、水ポテンシャルの測定に供したサンプル葉の分光特性も計測した。

分光特性計測装置による走査実験は、夜間測定の前夜の昼間、晴れの日を選んで実施した。その月日は7/22、8/3、8/19、9/2、9/24、11/1であった。計測装置は対象樹木の表面から約2m、地表高約1mの位置に太陽を背に配置し(図2)、その走査範囲は装置正面を基準に $\pm 15^\circ$ あるいは $\pm 20^\circ$ とした。

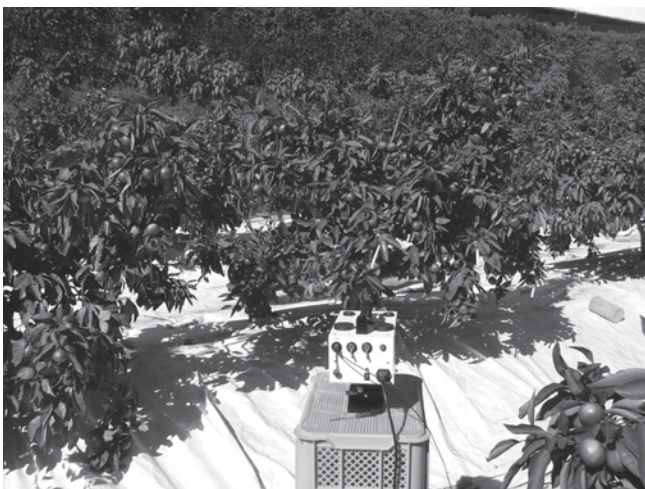


図2 圃場での走査実験の様子

2.3 緑葉分光特性の解析処理

走査実験で得られる分光特性の並びは、対象物の明るさにより、その特性が変化する。従って、後の解析処理を簡単にするため、まず近赤外部分(775nm~800nm)の反射率の平均値が80%になるよう、全波長域に定数を乗じて値を調節した。そして、並びに含まれる一つひとつの分光特性を確認し、緑葉分光特性の特徴を持つもののみを選択抽出して平均化した。これを樹木全体の平均の緑葉分光特性と考え、別途計測した単葉の分光特性との比較や、レッドエッジ波長の評価などを実施した。

2.4 走査条件による分光特性特徴量の揺らぎ

離れたところから分光特性を走査する場合、その走査対象位置や走査する時の太陽角が、取得される分光特性に影響を及ぼすことが想定される。

このため、基準高さとした地表高1mに $\pm 2.5\text{cm}$ 、 $\pm 5\text{cm}$ した高さ位置の分光特性も走査した。また、

太陽角の影響を見るため、13時頃から16時頃の間複数回、走査実験を行なった。そして、これらの走査実験において分光特性やレッドエッジ波長がどの程度変化するかを確認した。

2.5 緑葉分光特性と水ポテンシャルとの関係

緑葉分光特性と水ポテンシャルとの解析処理には重回帰分析を用いた。なお、効果的な説明変数を選択するアルゴリズムには逐次法を使用した。

また、重回帰分析で得られた検量線の検定には、交差確認法の一つであるLOO法(leave one out法)を用いた。

3. 結果と考察

3.1 分光特性の並び

図3は右手前に向かう軸を走査角度に対応する刻み位置、右奥に向かう軸を光の波長、上向きの軸を相対反射率として、得られた分光特性の並びの一例を示したものである。なお、ここで示した並びは、近赤外部分の反射率の平均値を80%に規格化する前のものである。

この図によれば、取得された分光反射特性の殆どが、クロロフィルの吸収域(645nm~665nm付近)に極小部、緑色の波長域に小さな極大部と近赤外域に大きな極大部を持つことなど、緑葉分光特性の基本的な特徴を備えている。しかし一部の特性においては、クロロフィルの吸収域に極小値が見られないものなどがある。従って、これらの特徴を評価すれば、緑葉かそうでないかの判別が可能となる。

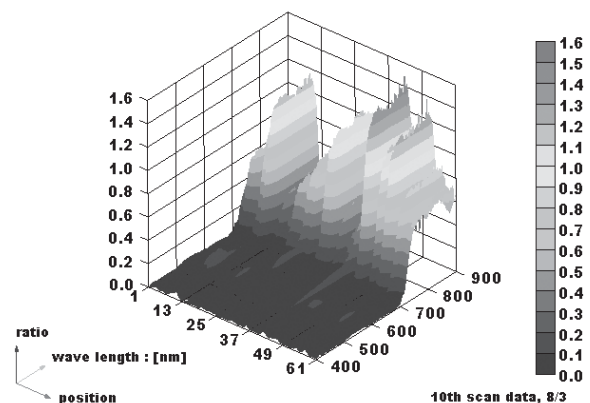


図3 分光特性並びの取得例

3.2 緑葉分光特性

図4は得られた分光特性の並びの評価結果例(非接触式)であり、別途計測した単葉の分光特性(接触式)と併せて示している。なお、この時の単葉の分光特性

は、樹木表面からランダムに選択した10葉の緑葉分光特性を平均化したものである。また非接触式では、取得された101セットの並びから37セットの分光特性が選択抽出され、平均化されている。

この図から、両者の分光特性が良く類似していることが見て取れる。また、この場合のレッドエッジ波長は接触式で 720.83 ± 1.16 [nm]、非接触式で 720.81 ± 1.81 [nm] の結果が得られており、両者の分光特性特徴量も似通っていることが確認できる。

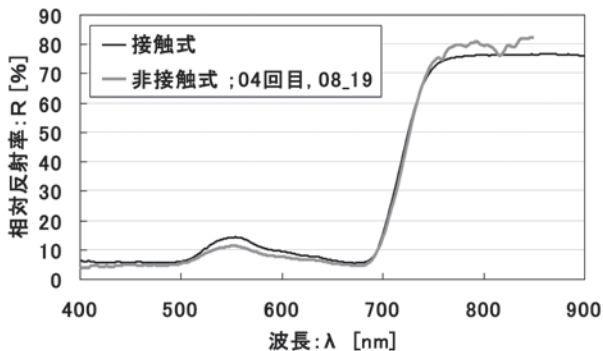


図4 分光特性の取得

図5は同様の実験について行ったレッドエッジ波長の評価結果を示している。

この図から、算出されたレッドエッジ波長にばりはあるが、その平均値は非接触式と接触式とで同様の値を持つことが確認できる。

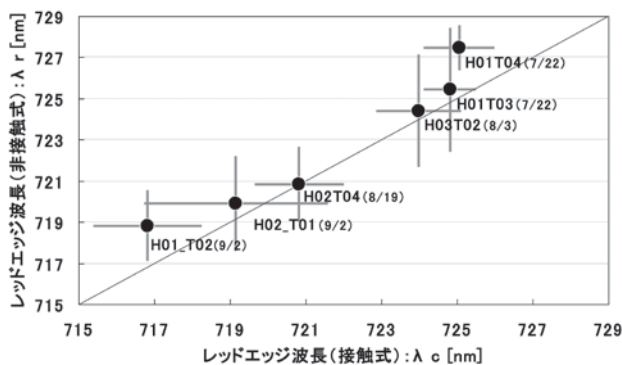


図5 緑葉分光特性の特徴量の対比

3.3 走査条件による分光特性特徴量の揺らぎ

図6は得られた樹木全体の平均の緑葉分光特性から検出したレッドエッジ波長の例を示している。図中、左端のプロットは分光器でランダムに測定した緑葉20枚分の平均特性から求めたものであり、それ以外は走査実験から得られたものである。またこれらのプロットの下方には、基準高さからのズレや測定時刻も

示している。

この図から、測定の高さ位置や測定時刻（太陽角）が異なっても、緑葉分光特性から得られるレッドエッジ波長は大きく異なることが分かる。

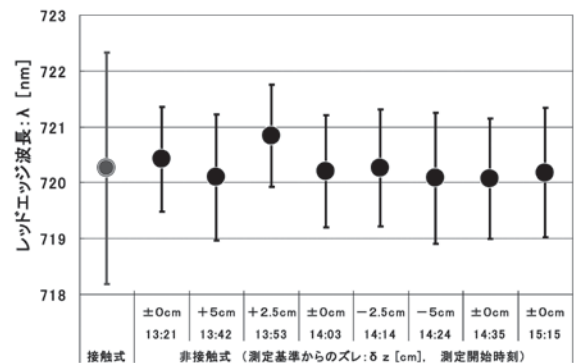


図6 分光特性特徴量 (11/1)

3.4 水分ストレスの推定

重回帰分析を使って作成した検量線を用いて分光特性から推定した水ポテンシャル (Ψ) と、プレッシャチャンバで測定された水ポテンシャル (ψ) との関係を図7に示す。なおこの図では、夜間の水ポテンシャル測定に供したサンプル葉の分光特性を用いたものは灰色、昼間の分光特性の走査実験から得られたものは黒色で表示している。

またこの時、 $SEC = 0.17$ (検量線作成時の標準誤差)、 $SEP = 0.20$ (検量線評価時の残差の標準誤差)、 $r^2 = 0.70$ であり、概ね良好な関係が見て取れる。

なお、図中、8/19の走査実験によるプロットに大きな推定誤差が生じていることが分かる。この時、水分ストレスの影響で乾燥して巻いた状態となっている緑葉が多く見受けられた。このため走査結果に緑葉裏面の分光特性が混入したことなどが、原因の一つであると推察している。

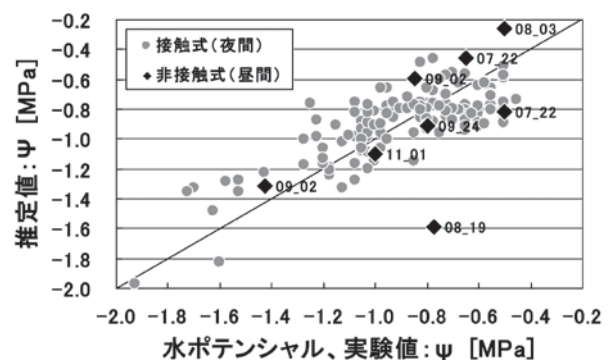


図7 水ポテンシャルの推定

4. 結 言

緑葉分光特性を用いて樹木の状態をセンシングする場合、サンプルとして使用する緑葉の性状などの影響を軽減するためには、サンプル数を増やし、その平均値を用いるなどの手順が必要となる。この目的のために測定サンプル数を簡単に増やす方法として、樹木赤道部と呼ばれる枝葉が最も繁って広がった部分の分光特性を横一直線状に走査する方法を検討した。

この場合、取得された分光特性の並びには、樹木表面に展開する緑葉や果実などのものが混在することとなるので、そこから目的の緑葉分光特性のみを分離抽出して平均化処理を行った。さらに、この特性と、別途計測した単葉毎の分光特性との比較を試みた。この結果、離れたところから樹木赤道部を走査して得られた分光特性は、走査位置の揺らぎや測定時間の影響も少なく、樹木全体の緑葉分光特性として十分に利用できることが確認できた。

また、走査の結果から得られる樹木全体の平均の緑葉分光特性を使って、水分ストレスの推定を試みたところ、水ポテンシャルの推定値と実測値との間に $r^2 = 0.70$ の良好な関係があることを確認した。

これらのことから、樹木赤道部の分光特性を走査することで、簡便に水分ストレスの推定が行えると言える。今後は、より簡易な分光特性計測装置として、片手で持てる程度の小型軽量のものを試作開発し、その計測装置を用いた水分ストレスの推定実験を行うことを計画している。

参考文献

- [1] 野並浩、2001. 植物水分生理学、pp.236 - 257.
- [2] 本郷千春、他、1998. 分光反射率からみた樹木の水分ストレス反応、写真測量とリモートセンシング、37(4), pp.43 - 50.
- [3] 西田顕郎、他、2000. 樹木単葉の分光反射率特性と光合成速度および水分欠乏との関係、日本リモートセンシング学会誌、20(3), pp.6 - 16.
- [4] 兵頭竜二、2010. 樹木水分ストレス推定のための緑葉分光特性計測装置の試作開発、日本写真測量学会平成 22 年度年次学術講演会発表論文集、pp.3 - 4.