

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）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る。このため、水分ストレスによる緑葉の分光特性（葉色）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、その結果から簡便に水分ストレスを推定する機能とする。

この報告では、主に、平成22年度に開発した評価用試作機（離れた対象物の分光特性を走査・取得して水分ストレスを推定する装置）を用いて圃場におけるみかん樹の測定実験を行い、その性能評価を行った。この結果、まず、取得された分光特性の並びから、樹木赤道部の平均の緑葉分光特性が得られることを確認した。そして、圃場における緑葉分光特性の計測にこの装置を継続して使用することで、水分ストレスの物理的指標である水ポテンシャル推定を試みたところ、評価用試作機で取得した緑葉分光特性から、予測標準誤差；SE P = 0.12MPa、決定係数； $R^2 = 0.50$ で水ポテンシャルの推定が可能であることを確認した。

1. 緒言

果実育成期間中の水分ストレスを適切に管理すれば収穫果実の糖度を増すことができるため、高品質果実の生産では水分ストレスを指標とした灌水管理が行われる^[1]。このため、水分ストレスによる葉色の変化に着目した^{[2], [3]}、簡易な水分ストレス計の開発を進めている^[4]。

この報告では、既に試作開発された小型・軽量の樹木緑葉分光特性取得装置^[4]を用いて、水分ストレス推定の元となる樹木赤道部の緑葉分光特性を抽出した^[5]。そして、得られた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継続して比較評価することで、樹木赤道部の緑葉分光特性による水分ストレスの推定を試みた^[5]。

2. 実験方法

評価実験は、長崎県農林技術開発センター果樹研究部門が管理する、ウンシュウミカンの試験圃場で行った。品種は原口早生である。

2.1 樹木緑葉分光特性取得装置

図1は樹木緑葉分光特性取得装置を使用している様子である。この装置は小型可搬型のものであり、昼間、太陽光の下で、樹木から一步引いた場所で、樹木赤道部（枝葉の茂った部分）に向けてゆっくりと装置を転回すれば、一連の分光特性の並びを取得することができる。



図1 圃場実験の様子

2.2 樹木赤道部の緑葉分光特性の抽出

取得される分光特性の並びには、目的とする緑葉のものだけではなく、枝や果実のものも含まれる。

このため、まず分光特性の並び全体の平均特性を算出する。つぎにこの平均特性を基準と考えて、並びに含まれる個々の分光特性の残差を評価し、基準から最も外れている分光特性を一つ削除する。さらにこれらの処理を、個々の残差が特定の閾値以下になるまで繰り返す。そして残ったものを緑葉分光特性と判断する。

2.3 緑葉分光特性と水ポテンシャルとの関係

水ポテンシャルは、深夜、長崎県農林技術開発センターによって、測定されたものを用いた。

緑葉分光特性は、水ポテンシャルが測定された同日あるいは翌日の昼間、雨天を避けて樹木緑葉分光特性取得装置を用いて測定した。

測定された分光特性を用いた水ポテンシャルの推定評価には重回帰分析を用いた。そして、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

測定は、2011年7月上旬から同年11月上旬の約4月間、ほぼ10日間隔で実施した。

3.1 樹木赤道部の緑葉分光特性

図2は樹木赤道部を走査した結果例であり、この中から特徴的なものを幾つか選定して図3に示している。なお、図3では、後の解析の都合上、近赤外域の値を80%に規格化して表示している。また図3には、ランダムに選択した緑葉と果皮について、接触式で測定した分光特性も併せて表示している。

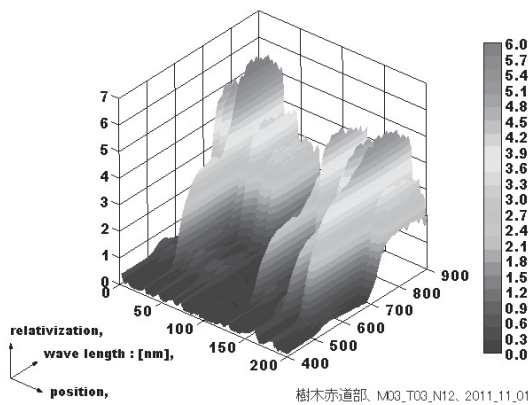


図2 分光特性の並び

図3から、樹木緑葉分光特性取得装置による測定で得られる分光特性には、緑葉の分光特性(接触式)に酷似するものや、果皮のそれと類似するものがあること、などが確認できる。このことは、走査によって得られた一連の分光特性それぞれについて特徴を比較判断すれば、それが緑葉を捉えたものか、そうでないものかが判断できることを意味している。

図4は、前述の手順に従って緑葉分光特性と判断されたものの平均特性を例示している。またこの図には、接触式で測定した緑葉分光特性も併せて示している。この図をみれば、得られた平均特性が、接触式で測定した緑葉分光特性と良く一致することが確認できる。

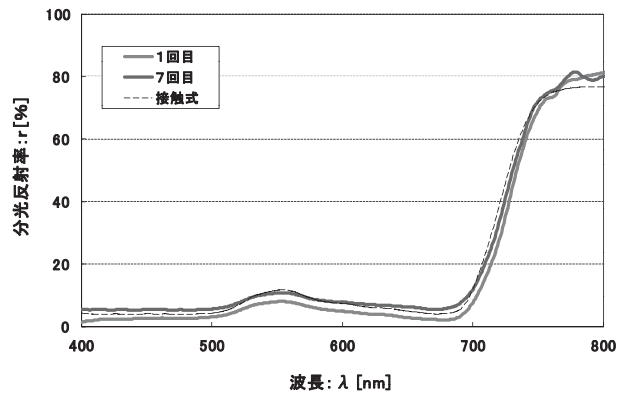


図4 樹木赤道部の緑葉分光特性

3.2 緑葉分光特性と水ポテンシャルとの関係

図5は、水ポテンシャルと緑葉分光特性との関係性を評価したものである。なお、図中、黒色で示した測定点は樹木緑葉分光特性取得装置による推定値であり、灰色で示したプロットは、水ポテンシャルを測定したサンプル葉を接触式で測定した結果によるものである。

解析評価の結果、予測標準誤差はSEP=0.20MPaであったが、決定係数はR2=0.44であり、あまり良い相関関係とは言い難い結果であった。

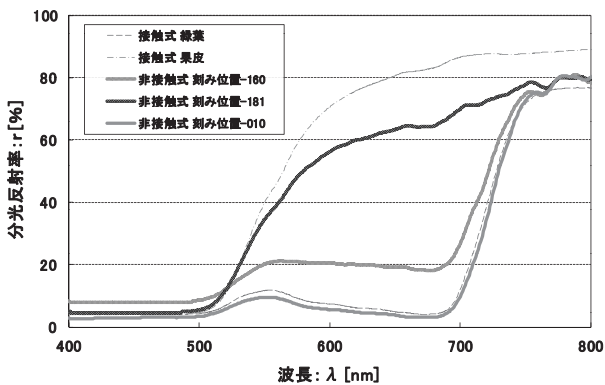


図3 特徴的な分光特性

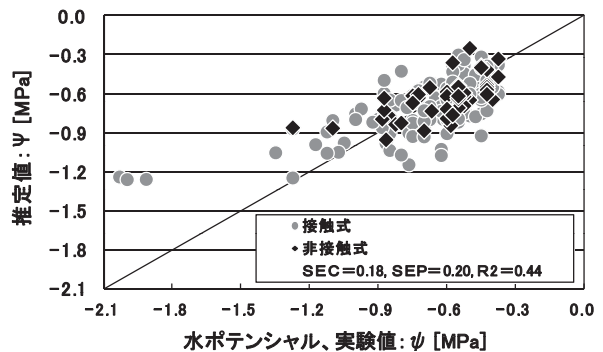


図5 水ポテンシャルとの関係

このことは、緑葉分光特性と水ポテンシャルとの間に、ある程度の相関関係が存在するものの、両者が一対一に対応していないことが原因と考えられる。図6は、試験圃場内のある試験区について、実測値と推定値の推移を示したものである。この図から、9月中旬に水ポテンシャル実測値が急激に低下して再び上昇している箇所があるのが見て取れる。しかしこのとき、水ポテンシャル推定値はこの変化に追従していない。これは、水ポテンシャルが時々刻々変化する水分ストレス状態を表すのに対し、分光特性は、水分ストレスの影響を受けてクロロフィルの合成などに影響が生じ、その結果、変化を起こすためである。このため、緑葉分光特性は時間的に応答が遅く、急激な水ポテンシャルの変化を捉えることができないものと考えられる。

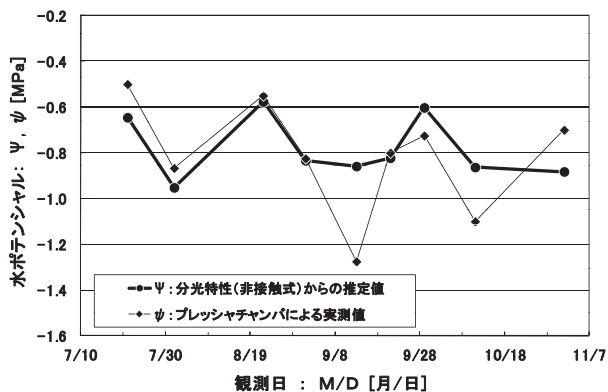


図6 水ポテンシャル推定値の推移

従って、このように水ポテンシャルが急激に変化して相関性を悪化させている測定点を削除し、再度、相関性の評価を試みたのが図7であり、予測標準誤差は $SEP=0.12\text{MPa}$ 、決定係数は $R^2=0.50$ 、分散比は $F_0=19.29$ であった。なお、この図において、分散比 F_0 が $F_{137}^{7}(0.01)=2.77$ を越えることから、得られた検量線の有意性が認められる。

このように、相関性を下げているデータを削除したことによって測定点の広がり狭くなったが、 SEP が改善(減少)し、決定係数についても $R_2=0.44$ が $R^2=0.50$ となり、若干ではあるが相関性が向上している。

結果として、図5あるいは図7から、樹木緑葉分光特性取得装置で測定した樹木全体の緑葉分光特性を利用することで、みかん樹の水分ストレスの物理的指標である水ポテンシャルを評価することが可能であるこ

とが示唆される。

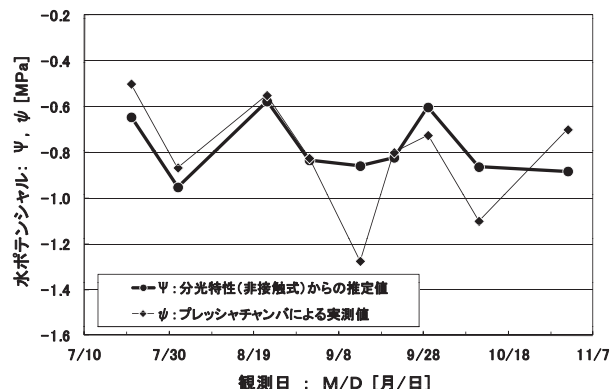


図7 大きな推定誤差を生じる測定データを省いた場合の水ポテンシャルとの関係

4. 結言

この報告では、まず、取得された分光特性の並びから、樹木赤道部の緑葉分光特性が得られることを確認した。そして、みかん樹赤道部の緑葉分光特性を測定して、水分ストレスの推定を試みた。この結果、水分ストレスに対する時間的応答性については問題があるが、試作した装置で取得された分光特性を用いれば、予測標準誤差; $SEP=0.12\text{MPa}$ 、決定係数; $R^2=0.50$ の精度で水ポテンシャルを推定できることも確認した。

この研究の大きな目的は、果実栽培における灌水管理の定量化や簡単化である。従って今後は、推定した水分ストレスと、収穫された果実の糖度などを比較検証することで、この樹木緑葉分光特性取得装置を、果実栽培における灌水管理の定量化や簡単化などに寄与できる装置として完成させる予定である。

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, 2011. 小型・軽量の樹木緑葉分光特性取得装置の開発, 日本写真測量学会 平成23年度秋季学術講演会発表論文集, pp.171-172.

[5] 兵頭 竜二、2012. 小型・軽量の樹木緑葉分光特性取得装置を用いた樹木水分ストレスの推定, 日本写真測量学会 平成24年度年次学術講演会発表論文集, pp.45-46.