ウンシュウミカンにおける相対値を用いた TDR 枝内水分測定法による水分状態の把握

岩崎光徳^{1*}・深町 浩¹・佐藤景子^{1a}・今井 篤¹・野中圭介¹・平岡潔志^{2b}・奥田 均³¹ 農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所カンキツ研究口之津拠点 859-2501 長崎県南島原市口之津町² 農業・食品産業技術総合研究機構近畿中国四国農業研究センター 765-0053 香川県善通寺市生野町³ 三重大学大学院生物資源学研究科附属紀伊黒潮生命地域フィールドサイエンスセンター 514-2221 三重県津市高野尾町Estimation of Water Status by Relative Stem Water Measurement
with Time Domain Reflectometry in Satsuma MandarinMitsunori Iwasaki^{1*}, Hiroshi Fukamachi¹, Keiko Satoh^{1a}, Atsushi Imai¹,
Keisuke Nonaka¹, Kiyoshi Hiraoka^{2b} and Hitoshi Okuda³¹Kuchinotsu Citrus Research Station, National Institute of Fruit Tree Science, Minamishimabara, Nagasaki 859-2501²National Agricultural Research Center for Western Region, Zentsuji, Kagawa 765-0053³Field Science of Kii-Kuroshio Life Area, Mie University, Tsu, Mie 514-2221

Abstract

In earlier research, we developed a system to measure the volumetric water content in the branches and trunks of satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marcow.) by portable Time Domain Reflectometry (TDR). However, there were some problems, such as temperature dependency or the unevenness of the values at the beginning of the measurement because of errors in the insertion of the probe. Therefore, in this research, a revised equation was used to adjust for the temperature dependency; and to remove the unevenness of the values, a relative evaluation based on the annual point time at which the stem water content became stable was examined. Concerning the revised equation, we recognized a strong correlation between the temperature and the TDR value through which we obtained the revised equation. During the measurement period, from early and mid-July to mid-September, when the temperatures were above 30 degrees and the soil was wet, the standard value was determined to be the point at which the stem water content reached an annual peak. Thus, the relative value of TDR (R_{rev}) could be fixed, and the correlation between that value and the leaf water potential (LWP, ϕ_{max}) was demonstrated month by month. The correlation coefficient in July was 0.888, and that in August and September was about 0.7, but, in October and thereafter, the coefficient decreased to 0.435. However, the TDR value converted into volumetric water content (VWC) maintained its correlation coefficient with LWP 0.3 and under every month. The predicted value of LWP from R_{rev} and temperatures showed a strong correlation ($r^2 = 0.712$) with the observation LWP value. In this way, the method used in this research seemed to be able to measure the water status of the stem with high precision.

Key Words : irrigation, leaf water potential, sheet mulching, water stress**キーワード :** 灌水, シートマルチ栽培, 水分ストレス, 葉内水ポテンシャル

緒 言

ウンシュウミカン (*Citrus unshiu* Marcow.) は夏秋期の降雨により果実の糖度低下などが生じ, 商品価値が低くなる。そこで, 高品質果実の安定生産を目的にシートマルチ栽培が普及している。この栽培法は, 降雨による根圏土壌への水の流入を制限することにより, 樹体に水分ストレスを付与することで品質向上を行っている。しかし, 水分コントロールが適切でないことから果実品質が安定しないケース

がみられる。現在, 水分ストレスを適切に付与するために, 樹体の水分状態を測定する技術が開発されている (星ら, 2007; 北園ら, 2007; 奥田ら, 2007)。そのうちの一つである TDR 計を利用した枝内水分測定は Constantz・Murphy (1990) によって 10 種類の樹木で試みられ, TDR 計のロッド部を幹に挿入することにより枝内水分の変化を明らかにできた。また, 他の樹木についても枝内水分動態の測定技術として研究されている (Holbrook ら, 1992; Irvine・Grace, 1997; Wullschlegel ら, 1996)。果樹の水管理技術としての利用は, レモン (Nadler ら, 2003) やマンゴー (Nadler ら, 2006) で研究されている。平岡ら (2005) は従来の TDR 測定法を改良し, 多点測定できるようステンレス製釘をプローブとし, 携帯型 TDR 計のセンサーロッドをこれに接触させることで枝内水分を測定することを提案している。奥田ら

2009 年 10 月 19 日 受付. 2010 年 3 月 24 日受理.

* Corresponding author. E-mail: iwanori@affrc.go.jp

^a現在: 農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所カンキツ研究興津拠点^b現在: 農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所

(2007)はこの方法をウンシュウミカンに適用し、プローブの形状や測定部位を明らかにし、測定値を枝内体積含水率(以降 VWC とする)に変換する検量線を作成した。さらに、夏～秋にかけての VWC の変化が果汁内成分の Brix 値の変化に対応したことを報告した。しかしながら、奥田ら(2007)は、プローブ設置時の挿入の深さなどの技術的な問題や TDR 計の温度依存性、樹皮の厚さ等の問題があるとしている。そこで、TDR 法の測定精度を向上させ、ウンシュウミカンの水分状態の把握に用いることを目的として、以下の点について検討を行った。

温度依存性については、補正式を作成することにより測定精度の向上を試みた。また、プローブの挿入深度の違いや樹皮厚の違いが測定値に及ぼす影響は、樹体水分が安定する時期の TDR 測定値を基準点とし、その値を基準とした推移を相対的な値(以降相対値とする)として観測することにより軽減できると考えられる。そこで、相対値を用いた場合の基準日の設定について検討した。また、一般に水分ストレスの指標として利用されている葉内最大水ポテンシャル(以降 LWP とする)と TDR 計による枝内水分との関係解析は解決されるべき課題となっている(平岡ら, 2005)。そこで、LWP と TDR 計で測定した温度補正前 TDR 相対値(以降 R_{site} とする)、補正後 TDR 相対値(以降 R_{rev} とする)、および、あらかじめ作成した検量線により VWC に変換した値の相関関係を調査するとともに、 R_{rev} と LWP の季節推移を比較検討した。

材料および方法

1. 温度依存性の影響と補正式の作成(実験 1)

2006 年 7 月 17 日に、果樹研究所カンキツ研究口之津拠点植栽の 16 年生カラタチ台「原口早生」を 3 樹供試し、奥田ら(2007)の方法に従って、主枝部にプローブ(ステンレス製平頭釘、#16×25 mm, SUS304, 八幡ねじ)をロッドの間隔と同じ 32 mm の間隔で伸長方向に沿って 15 mm の深さで挿入した。同年 7 月 20 日にプローブを中心に伸長方向に 70 mm 切り出し、切り出した木片を乾燥させないようにすぐにビニール袋で密封した。その後、グロースキャビ

第 1 図 枝内温度が TDR 測定値に及ぼす影響
図中の縦棒は標準誤差を示す (n=3)
** 1%水準で有意差あり

ネット (MLR-350HT, 三洋電機) で気温を 5～35℃ まで 5℃ 間隔で変化させながら、枝内温度と TDR 計 (TDR-341F, ロッド長 300 mm, 藤原製作所) による測定を行い、測定物の温度に対する TDR 測定値の影響を調査した。TDR 測定法のロッドとプローブの接触方法は、ロッド基部から 100 mm の部位でプローブを挟むように行った。枝内温度の測定は温度計 (TR-52S, ティアンドデイ) のセンサー部を木片に挿入し、クーラー配管用不乾性充填材で密閉した。センサーの挿入方法は、電動ドリルでセンサーと同じ直径 2 mm の穴をあけ、プローブの挿入深と同じ深さにセンサーを配した。

また、簡便化を目的に、気温から枝内温度の推定を試みた。供試樹は前述と同様の圃場植栽樹を用いて、枝内温度と樹冠内の気温を測定した。枝内温度は前述と同様の方法で温度計のセンサー部を主枝部に挿入することにより測定し、気温はセンサー部を遮光し、樹冠内部に設置した。測定期間は 2006 年 3 月 10 日～2007 年 9 月 25 日とした。調査時刻は奥田ら(2007)の TDR 測定時刻を参考に 13～14 時とした。調査の間隔は週に 2 回とした。以上より、測定時の気温から枝内温度を推定し、TDR 測定値の温度依存性について補正式を作成した。

2. TDR 相対値の基準点の設定(実験 2)

TDR 計を用いた年間の枝内水分の変化を明らかにすることにより、値の安定する時期の特定を行った。また、安定期の気温と TDR 測定値の関係を検証した。TDR 計を用いた年間の枝内水分の変化は、果樹研究所口之津拠点植栽のカラタチ台「原口早生」を供試し、2006、2007 および 2008 年の 3 か年調査した (2006 年; 15 年生, n=19, 2007 年; 16 年生, n=5, 2008 年; 17 年生, n=4)。2006 年は 3 月 13 日～11 月 28 日, 2007 年は 6 月 7 日～11 月 13 日, 2008 年は 7 月 4 日～2009 年 5 月 20 日まで調査した。TDR 枝内水分測定法は、奥田ら(2007)の方法に従った。測定位置は直径 45～60 mm の主枝部とし、1 樹当たり 1 か所とした。TDR 計による測定間隔は週に 1, 2 回とした。土壌は適湿状態を維持するよう定期的に灌水した。灌水は、2006 年は手灌水, 2007 および 2008 年は点滴灌水チューブ (ラム 17, ネタフィルム) を植栽列と平行して主幹部近傍に 1 列設置して行った。2007 および 2008 年は、根域部の地表面に透湿性シートマルチ (タイベックソフト, 幅 3 m, デュボン社製) を敷設した。灌水は週 2 回とし、1 回の灌水量は約 100 L/樹とした。その他の管理は慣行に従った。

気温と TDR 値の関係は、2008 年 7 月 4 日～2009 年 5 月 20 日の TDR 計による測定と同時刻の気温について検証した。気温は実験 1 で使用した温度計を使用し、センサー部を樹冠内部に設置した。

3. LWP と TDR 相対値の関係(実験 3)

17 年生カラタチ台「原口早生」を供試し、2007 年 7 月～収穫期まで、枝内水分の異なる樹を設定するため、灌水量の異なる処理区を 3 区 (多灌水区, 中灌水区および少灌水

区, $n=6$) 設置した. TDR 計による調査樹は各区 5 樹, LWP の調査樹は各区 3 樹とした. 灌水は, 前述の点滴灌水チューブを主幹部近傍に植栽列と平行に設置して行った. また, 降雨による影響をなくすため, 実験 2 と同様の透湿性シートマルチを 6 月 27 日に全面被覆した. 灌水は 7 月 6 日より開始し, 1 回の灌水量は約 100 L / 樹とし, 多灌水区は週に 2 回, 中灌水区は 10 日に 1 回, 少灌水区は 20 日に 1 回とした. 葉果比は 20 葉当たり 1 果とし, その他の管理は慣行に従った. LWP との相関は, TDR 計により得られた R_{site} , R_{rev} と温度補正を行った TDR 周波数 (以降 F_{rev} とする) を検量線 ($VWC = -2.9757 \times F_{rev} + 221.42$, $r^2 = 0.9799$) により VWC に変換した値を用いた. 検量線の作成は, 奥田ら (2007) の方法に従った. また, TDR 相対値の基準点は, 実験 2 によって得られた時期とした. LWP はプレッシャーチャンパー (Model1000, PMS) 法により, 葉内最大水ポテンシャルを測定した. サンプル数は, TDR 測定は 1 樹当たり主枝 1 か所, LWP は 1 樹当たり春葉 2 枚とした. 調査期間は 7 ~ 11 月までとし, LWP は週に 1 回, TDR 測定は週に 2 ~ 3 回行った. なお, TDR 測定値と LWP の相関関係の検証は, それらの調査が重複する 7 樹を用いて, それぞれの調査日が同日か前後日の値を使用した. 統計処理は統計ソフト (JMP ver.5.0.1a, SAS Institute) を用いて行った.

結果および考察

1. 温度依存性の影響と補正式の作成

TDR 計を用いた枝内水分測定法は, 枝内温度の上昇により TDR 計の周波数が低下するという温度依存が認められ, 一次回帰式によって強い相関関係 ($y = -0.0559x + 61.016$, $r^2 = 0.9969$) が認められた (第 1 図). また, 枝内温度 5°C の上昇により測定値は 0.3 kHz 減少した. 測定値の標準誤差はやや高い値 ($\pm 0.2 \sim 0.5$) であった. これは前述したプローブの挿入深度による技術的な問題であると考えられる. しかし, サンプルごとの直線の傾きはほぼ等しく, 補正式は傾きに対してのみ反映されることから, 補正式に及

第 2 図 気温と枝内温度の相関図

** 1%水準で有意差あり

ぼす影響は小さいと思われる. この回帰式を用いて枝内温度を便宜的に 25°C に設定した場合の補正式は

$$y = 0.0009x + 0.9758 \quad (r^2 = 0.9972) \quad (1)$$

となる.

気温からの枝内温度の変換式は

$$y = 0.6068x + 11.468 \quad (r^2 = 0.8027) \quad (2)$$

であった (第 2 図) ことから, F_{rev} を気温をもとに算出するには (2) を (1) に代入し, 温度補正前 TDR 周波数 (以降 F_{site} とする) を乗じることで得られる. つまり,

$$F_{rev}(\text{kHz}) = F_{site}(\text{kHz}) \times (0.0009(0.6068 \times T + 11.468) + 0.9758) \quad (3)$$

となる. ここで, T は測定時の気温を示す.

また, 以下の試験で行う相対値評価は

$$R_{rev} = F_{rev}(\text{kHz}) \div F_{base}(\text{kHz})$$

を用いて算出した. ここで, F_{base} は基準日の温度補正後の TDR 周波数を表す.

以上の方法により, 温度補正と相対値の変換を行った.

2. 相対値の基準点について

2006 年の F_{rev} は 3 ~ 4 月まで約 61.5 kHz を推移し, 5 月以降減少し始め 6 月下旬には約 59.5 kHz となった (第 3 図). 9 月中下旬まで値は安定し, それ以降は上昇して 11 月には約 61.0 kHz となった. 2007 年は 6 月中旬で約 60.5 kHz を示し, 以降 7 月上旬まで減少し, 約 59.5 kHz で安定した. 9 月中旬以降から増加し, 11 月上旬には約 60.5 kHz となった. 2008 年は測定開始の 7 月上旬で約 59.8 kHz を示し, 7 月上中旬以降は約 59.5 kHz で微増減を繰り返した. 9 月下旬から上昇し, 10 月下旬には約 61.0 kHz となった. 翌年の 1 月下旬に年間の最高値である約 62.0 kHz を示し, 4 月上旬以降減少した. 2007 年の 9 月は, 2006 および 2008 年に

第 3 図 TDR 計を用いた枝内水分の年間の推移

第4図 TDR計を用いた測定値とその測定時の気温との関係
図中の縦棒は標準誤差を示す (n=4)
** 1%水準で有意差あり

比べ値の上昇が20日程度早かった。これは、2007年の8月5日～9月14日の降水量がまとまった降雨のない86mmと少なく、日照時間は日平均8.5時間と多かったことから、気象条件に対して灌水が十分でなかったと考えられる。また、点滴灌水チューブによる灌水の影響も考えられる。点滴灌水チューブは点滴孔周辺に細根を増加させる(草場ら, 2004)が、設置後の期間が短いため、点滴孔付近に細根が多く分布していなかったことにより樹体に水分ストレスが付与されたと考えられる。この3年間の推移より、VWCが高い値で安定する期間(以降安定期とする)は7月上旬以降から9月下旬と考えられ、その期間のTDR測定値は約59.5 kHzであった。

測定時の気温と F_{rev} の相関は、一次回帰式で表された($y = -0.0981x + 62.619$, $r^2 = 0.8899$, 第4図)。安定期の59.5 kHz

となるのは、概ね30°C以上であることが認められた。以上より、相対値の基準日は、土壤の湿潤状態と測定時の気温が30°Cを超える樹体条件が適していると考えられ、そのときの F_{rev} は59.5 kHzとなることが示唆される。緒方・高原(2004)は、'青島温州'において茎熱収支法により年間の枝内サップフローを測定し、気温の低い12～4月の樹液流量が $30 \sim 100 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ に対し、気温の高い6～9月の樹液流量は $200 \sim 300 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ と高く推移していることを明らかにしている。これは、7月上旬～9月下旬に枝内水分の安定期となった本試験の年間推移とほぼ一致する。

わが国のウンシュウミカンの主な産地である和歌山、愛媛および静岡の気象観測台(和歌山、宇和島および浜松)の過去十年間の気温と降雨について、最高気温30°Cを超える初観測日は和歌山、宇和島で概ね6月中下旬にあり、浜松は6月下旬～7月上旬であった。また、いずれの地点も7月上中旬以降に30°Cを超える日がほとんどであった。6月下旬～7月上旬の降雨は梅雨期にあたることから、いずれの地域においても10日間で50mm以上の降雨が観測されている。西田ら(1977)は、ウンシュウミカンの日消費水量は土壤水分含量と果実肥大の関係より2.9～3.0mm程度としていることから、十分な降雨量であることが推察される。なお、ウンシュウミカンの水分ストレスの付与時期は7月中下旬以降となることから、基準点はこれ以前が好ましい。以上のことから降雨または灌水により土壤が湿潤であり、最高気温が30°Cを超える7月上中旬を基準点とすることが妥当であると考えられる。

3. LWPとTDR相対値の関係

R_{rev} の季節推移について、多灌水區は基準日とした7月4日～9月上旬まで基準点の1.00前後を推移し、中灌水區は1.00～1.01、少灌水區は上昇して1.023を示した(第5図)。

第5図 異なる灌水処理区における温度補正後のTDR相対値(R_{rev})の季節推移(2008)

図中の縦棒は標準誤差を示す (n=5)

図中の○は多灌水區と少灌水區に有意差あり、●は多灌水區と中灌水區および少灌水區間に有意差あり(Dunnnettの多重検定により行った、危険率5%, コントロールは多灌水區とした)

第6図 異なる灌水処理区におけるLWPの季節推移(2008)

図中の縦棒は標準誤差を示す (n=3)

図中の○は多灌水区と少灌水区に有意差あり, ●は多灌水区と中灌水区および少灌水区間に有意差あり (Dunnett の多重検定により行った, 危険率5%, コントロールは多灌水区とした)

9月上旬以降は各区とも上昇し, 10月上旬の多灌水区は1.010, 中灌水区は1.020, 少灌水区は1.030を示し, 収穫期まで同水準を維持した. 調査期間中の標準誤差の平均は多灌水区で0.0026, 中灌水区で0.0017, 少灌水区で0.0023であった. 一方, LWPの季節推移は各区とも処理前は $-0.4 \sim -0.5$ MPaを示し, 8~9月の多灌水区は -0.6 MPa, 中灌水区は $-0.7 \sim -0.8$ MPa, 少灌水区は $-0.9 \sim -1.0$ MPaを推移した(第6図). 10月上旬は約100 mmの降雨の影響により, 一時的に各区とも値は高くなった. 収穫直前の11月7日は, 10月下旬以降の灌水と降雨により各区とも -0.4 MPaであった. 調査期間中の標準誤差の平均は多灌水区で0.025, 中灌水区で0.022, 少灌水区で0.037であった. R_{rev} は, 測定期間を通して多灌水区は少灌水区に比べ有意に低かった. また, 多灌水区は中灌水区に比べ7月23日, 8月中旬, 8月下旬~9月上旬, 10月5日, 11月7日に有意に低かった. 一方, LWPは多灌水区が少灌水区に比べ7月下旬~10月下旬まで有意に高かった. また, 多灌水区は中灌水区に比べ8月上旬, 9月18日, 10月4日に有意に高かった. LWPの多灌水区と少灌水区は7月中旬~10月まで $0.3 \sim 0.4$ MPaの差がみられ, 同時期に R_{rev} は $0.01 \sim 0.02$ の差が認められている. また, LWPおよび R_{rev} の多灌水区と中灌水区は8月中旬および10月上旬の同期間に差が認められる. このときのLWPの処理区間差は約 0.15 MPaであり, この値の前後が R_{rev} の検出限界と考えられる. 貝原ら(2006)は, 極早生温州においてLWPを7月中下旬~収穫まで -1.0 MPa程度を目途に水管理をすることで, 高品質果実を生産できるとしている. 本試験の少灌水区のLWPは7月下旬以降 -1.0 MPa程度であり, R_{rev} は多灌水区と少灌水区の差を検出できることから, R_{rev} の水管理への利用が期待できる. しかし, 10月中旬のLWPの減少は R_{rev} で確認できず, 11月のLWPの減少にも R_{rev} の変化はみられない. これは,

第1表 葉内水ポテンシャルとTDR相対値およびVWC変換値の月別相関関係

LWP	VWC 変換値	R_{site}	R_{rev}	R_{rev} 回帰式
7月	0.275	0.832	0.888	$y = 29.43x - 29.03$
8月	0.232	0.705	0.727	$y = 14.66x - 14.01$
9月	0.060	0.699	0.694	$y = 11.46x - 10.75$
10月以降 ²	0.084	0.264	0.435	$y = 14.31x - 14.04$

²収穫直前の11月7日までとした

(n=7, 調査回数は7月は4回, 8月は5回, 9月は3回, 10月以降は5回)

第7図 温度補正後のTDR相対値(R_{rev})とLWPとの相関図(2008)

*5%水準で有意差あり, **1%水準で有意差あり

LWPが葉内の導管の水ポテンシャルを測定するのにに対し, TDR計を用いた枝内水分測定は主枝の水分含量を測定していることが原因と思われる. つまり, 葉は環境の影響を受けやすいことから, 降雨による葉の水分吸収が生じたと思われる. このことから, R_{rev} を用いてLWPを予測する場合, 直前に降雨のない状態が望ましいと考えられる.

LWPとTDR計による測定値の月別相関関係は, 7月のLWPは R_{rev} と最も相関が高く, その相関係数は0.888で,

第8図 温度補正後の TDR 相対値 (R_{rev}) と気温を用いた LWP の重相関関係 (2008)

** 1%水準で有意差あり

調査期間: 7月5日～11月7日

次に R_{site} の 0.832 であった (第1表, 第7図). VWC 変換値との相関係数は 0.275 と低かった. 8 および 9 月の LWP と R_{site} , R_{rev} の相関係数は, 0.7 前後とほぼ同程度であった. 10 月以降は, LWP と R_{rev} の相関係数は 0.435 となり, R_{site} や VWC との相関関係は認められなかった. 10 月以降の相関係数の低下は, 実験 2 の 9 月下旬以降に F_{rev} が上昇する時期と一致する. つまり, 秋季以降の低温により TDR 計で測定される枝内の貯留水が低下し, 葉の水分張力との間に不均衡が生じたためと推察される. また, 夏秋季は枝幹の肥大期と重なり, プローブの埋没も要因の一つとも考えられる. 貝原ら (2008) の報告では, TDR 計を用いた VWC 変換値と LWP との相関関係は十分認められなかった. 本試験でも, VWC と LWP の相関関係は低い結果となったことから, VWC はプローブの挿入深度の誤差や樹皮厚による影響が測定値に影響したと考えられる.

次に, 気温の違いが R_{rev} の値に影響することから, R_{rev} とその測定時の気温を変数とした重回帰分析による LWP の予測式をもとめた (5%水準で外れ値と認められた 3 点は除外した). その結果, 予測式の決定係数は 0.712 と高い値であった (第8図). これにより, 夏秋期において, 処理区の比較や季節推移でない樹体水分の把握がある程度可能であると考えられる.

小林・田中 (2001) は, アカマツを対象に, TDR 法から求めた樹幹貯留水分の変化は, 樹液流量から得られた蒸散に対する根系からの吸水と一致することを明らかにし, 貝原ら (2008) は, ウンシュウミカンにおいて TDR 計を用いた VWC と土壌水分や蒸発散位の変化との間の関連性を明らかにしている. 本試験においても, 枝と葉の間で季節的な水分変動や降雨の影響に違いが認められた. このことから, TDR 枝内水分測定法は, 土壌—植物—大気連続体 (SPAC) を通した水の動態解明に寄与する技術として有用と考えられる. また, R_{rev} と気温を用いた重相関による LWP の予測式は, 相関が高いことが明らかとなった. 相対値の

利用は, 従来の TDR 枝内水分測定法で用いられる VWC 変換に必要な検量線を必要としないことから, より実用的な手法として利用可能である.

以上のことから, 気温 30°C 以上で土壌が湿潤な時期を基準とする R_{rev} により, 樹体の水分状態の変化を把握することが可能であると示唆された. 今後は R_{rev} と果実品質の関連について検証を行い, 高品質果実を生産するための樹体水分状態を明らかにする必要があると考えられる.

摘 要

従来の TDR 枝内水分測定法を用いてウンシュウミカンの水分状態を把握する際, 温度依存性, プローブの挿入深度の誤差による測定開始時の値のバラツキが問題となっている. そこで, 温度依存性は補正式を作成し, 値のバラツキは年間の枝内水分状態が安定する時期を基準点とした相対値の利用を検討した. その結果, 枝内温度と TDR 値の間には高い相関が認められ, 補正式を導き出した. 基準点は測定時の気温が 30°C 以上で土壌が湿潤状態の場合, 年間の枝内水分がピークとなる 7 月上中旬が適していることが明らかとなった. 温度補正後の TDR 相対値 (R_{rev}) と葉内最大水ポテンシャル (LWP) との間には, 強い相関が認められた. 月別では 7 月の相関係数は 0.888, 8 および 9 月は約 0.7 となった. 10 月以降は 0.435 と中程度の相関となった. 一方, TDR 値を枝内体積含水率 (VWC) に変換した値は, いずれの月においても相関係数は 0.3 以下であった. さらに, R_{rev} と気温を用いた LWP の予測式の決定係数は 0.712 となり, 高い精度で予測できる. 以上より, 本方法は従来の VWC 変換値に比べ LWP との相関が高く, 樹体の水分状態を一定程度把握できると考えられる.

引用文献

- Constantz, J. and F. Murphy. 1990. Monitoring moisture storage in tree using time domain reflectometry. J. Hydrol. 119: 31–42.
- 平岡潔志・滝下文孝・村松 昇・内田 誠・土田晴久. 2005. TDR 土壌水分計による果樹の太枝体積含水率の計測. 土肥誌. 16: 641–644.
- Holbrook, N. M., M. J. Burns and T. R. Sinclair. 1992. Frequency and time domain dielectric measurements of stem water content in the arborescent palm, sabal palmetto. J. Exp. Bot. 43: 111–119.
- 星 典宏・森永邦久・横井秀輔・浜出絵里子・草場新之助・島崎昌彦. 2007. ウンシュウミカン樹における水分状態の簡易把握のための “水分ストレス表示シート” の開発. 園学研. 6: 541–546.
- Irvine, J. and J. Grace. 1997. Non-destructive measurement of stem water content by time domain reflectometry using short probes. J. Exp. Bot. 48: 813–818.
- 貝原洋平・宮本輝仁・原口暢朗・池田繁成・新堂高広. 2008.

- ウンシュウミカン樹における枝体積含水率の年間変動と水分環境および水管理. 園学研. 7: 517–523.
- 貝原洋平・宮本輝仁・新堂高広. 2006. 根域制限栽培のウンシュウミカン ‘上野早生’ における水分ストレス付与程度の違いが果実品質に及ぼす影響. 園学雑. 75 (別2): 99.
- 北園邦弥・榊 英雄・藤田賢輔. 2007. 極早生ウンシュウの高品質果実生産のための簡易水分ストレス診断指標. 九州沖縄農研成果情報. 22: 169–170.
- 小林義和・田中 正. 2001. TDR法による樹幹貯留水分の測定. 水文・水資源学会誌. 14: 207–216.
- 草場新之助・森永邦久・島崎昌彦・星 典宏. 2004. 周年マルチ点滴同時施肥法で栽培されたウンシュウミカンにおける細根の割合と呼吸活性. 根の研究. 13: 111–115.
- Nadler, A., E. Raveh, U. Yermiyahu and S. R. Green. 2003. Evaluation of TDR use to monitor water content in stem of lemon trees and soil and their response to water stress. Soil Sci. Soc. Am. J. 67: 437–448.
- Nadler, A., E. Raveh, U. Yermiyahu and S. R. Green. 2006. Stress induced water content variations in mango stem by time domain reflectometry. Soil Sci. Soc. Am. J. 70: 510–520.
- 西田和夫・相沢 博・池宗勝三郎. 1977. 安芸灘地域におけるミカン園の水管理に関する研究 (第3報) 夏季における温州ミカンの水分消費量と灌漑警報器の利用例について. 広島果試研報. 3: 1–14.
- 緒方達志・高原利雄. 2004. カンキツ樹の木部樹液と樹体生理との関係 (第3報) 蒸散流量及び推定養分輸送量の年間推移. 園学雑. 73 (別2): 104.
- 奥田 均・岩崎光徳・佐藤景子. 2007. 水管理の異なるウンシュウミカン樹の TDR 法による枝体積含水率の変化. 園学研. 6: 529–533.
- Wullschleger, S. D., P. J. Hnason and D. E. Todd. 1996. Measuring stem water content in four deciduous hard woods with a time-domain-refletometer. Tree Physiol. 16: 809–815.