

## 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

貝原洋平<sup>1\*</sup>・宮本輝仁<sup>2a</sup>・原口暢朗<sup>2</sup>・池田繁成<sup>1</sup>・新堂高広<sup>1</sup><sup>1</sup> 佐賀県果樹試験場 845-0014 佐賀県小城市小城町晴氣 91<sup>2</sup> (独) 農研機構九州沖縄農業研究センター 861-1192 熊本県合志市須屋 2421

## Seasonal Changes in Branch Moisture of Satsuma Mandarin and Their Relations to Water Management

Youhei Kaihara<sup>1\*</sup>, Teruhito Miyamoto<sup>2a</sup>, Noburo Haraguchi<sup>2</sup>, Shigenari Ikeda<sup>1</sup> and Takahiro Shindo<sup>1</sup><sup>1</sup> Saga Prefectural Fruit Tree Experiment Station, Ogi, Saga 845-0014<sup>2</sup> National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region, Goushi, Kumamoto 861-1192

## Abstract

The relationships between volumetric water concentration in branches ( $\theta_{\text{branch}}$ ) measured by time domain reflectometry (TDR) and soil moisture, potential evaporation, leaf water potential (LWP) and fruit quality were investigated in order to evaluate the efficiency of  $\theta_{\text{branch}}$  for optimal water management to obtain high quality fruit. The  $\theta_{\text{branch}}$  at the base of the trunk began to increase in April, reaching the highest value in July, then gradually decreased and reached the lowest value in mid-October including that during the harvesting period. After harvesting, the  $\theta_{\text{branch}}$  increased slightly, and then became stable in winter. The decrease in  $\theta_{\text{branch}}$  from summer until harvesting and the increase after harvesting were related to the soil moisture. The seasonal changes in  $\theta_{\text{branch}}$  of the trees as long as the LWP was controlled around -1 MPa corresponded to the potential evaporation. Moreover, it was found that water stress condition was reflected in changes in  $\theta_{\text{branch}}$ , LWP, and fruits quality. Although the relationship between  $\theta_{\text{branch}}$  and LWP was unclear, our results suggested that  $\theta_{\text{branch}}$  measured by TDR would be a useful indicator for water management in Satsuma mandarin orchards.

**Key Words** : fruits quality, leaf water potential, TDR, volumetric water content**キーワード** : 果実品質, 水ポテンシャル, 体積含水率, TDR

## 緒 言

近年, ウンシュウミカン産地では光センサー選果機の導入が進み, 外観のみでなく品質に応じて果実が区分出荷される体制となっている. 品質基準を満たした高品質な果実がブランド品として高単価で取引されるため, 高品質果実生産量の多少が農家経営に大きく影響している. そこで, 露地ウンシュウミカンの生産現場では, 透湿性シートを利用して土壌表面を被覆することにより, 夏秋季に土壌を乾燥させ, 樹体に適度な水分ストレスを付与して高糖度な果実生産を図る栽培法に取り組んでいる (貝原ら, 2006; 森永ら, 2003). しかし, 透湿性シートマルチの果実糖度向上効果には, 年次変動や園地によるばらつきがあり, 樹体に適切な水分ストレスが付与できていないと考えられる事例も多い. そのため, 水分ストレスが付与された結果として現れる様々な樹体の反応を客観的な数値情報として簡便に

測定し, これを水分ストレスの指標として水管理に反映させる試みが行われている (星ら, 2007; 宮本ら, 2006).

TDR (Time Domain Reflectometry) 法は, 土壌水分を測定する手法として農業分野のみならず幅広い分野で利用されている. この方法では, 土壌の構成要素である空気や土粒子に対して水が著しく高い (比) 誘電率を有する特性を活かして, 土壌の誘電率を測定することにより体積含水率を推定する (登尾, 2003). この方法は, 樹体の水分測定にも応用され, 森林内の水循環における樹体の役割を検討する際に利用されており (小林・田中, 2001; Wullschlegel ら, 1996), 果樹栽培においても水管理の指標として枝の水分状態を測定する方法への利用が検討されている (Nadler ら, 2003, 2006). 平岡ら (2005) は, 園地で容易に計測値が得られるように, 枝にステンレス製の釘を打ち込んでプローブにし, 近年普及してきている TDR 法の原理を応用した携帯型 TDR 水分計を利用して, 果樹の太枝体積含水率を測定する方法を提案している. この方法を利用して, 奥田ら (2007) は, 露地栽培され異なる水管理を行ったウンシュウミカン樹において枝体積含水率に差が見られることを明らかにし, 枝体積含水率の変化が果汁成分の Brix 値の変化に対応したことを報告している. しかし, 枝体積含水率を樹

2007年10月22日 受付. 2008年5月20日 受理.

本研究は農林水産研究高度化事業「水分ストレスの簡易現場診断による九州産極早生温州の高糖度化技術の開発」で行われた.

\* Corresponding author. E-mail: kaihara-youhei@pref.saga.lg.jp

<sup>a</sup> 現在: (独) 農研機構農村工学研究所

体の水分指標として水管理に利用するためには、枝体積含水率と土壌水分や気象環境の変化およびこれまで樹体の水分状態の指標に用いられてきた葉の水ポテンシャルとの関連性についてさらに詳細な検討が必要である。

本研究では、露地栽培された樹体の枝の誘電率を測定して体積含水率を推定し、枝体積含水率の年間変動と土壌および気象環境との関連性について検討した。また、枝体積含水率と葉の水ポテンシャル、果実品質との関係について検討し、ウンシュウミカンのマルチ栽培における夏秋季の水管理指標として枝体積含水率が利用できるかについて検討した。

## 材料および方法

### 1. 枝体積含水率測定用の検量線作成

本研究で用いた TDR 法による枝体積含水率の推定には、平岡ら (2005)、奥田ら (2007) が用いた携帯型 TDR 水分計ではなく、誘電率を測定する TDR 測定器 (TDR100, Campbell 製) を用い、枝体積含水率用の検量線の作成は、同様に誘電率と体積含水率との関係式を検量線にした Constantz・Murphy (1990) の方法に準じて行った。

検量線の作成には、園地で継続測定する枝と同程度の径である直径約 5 ～ 6 cm と約 3 cm の枝を用いた。約 5 ～ 6 cm 径の枝片は、地表面から 20 cm 程の高さの位置より採取した。約 3 cm 径の枝片は、樹高の 3 分の 2 程の高さの位置より採取した。それぞれ 10 cm の長さで枝片を切り出し、ただちにステンレス製のプローブを枝の伸長方向に沿って縦に 3 cm 間隔で 2 本埋設した。プローブは市販のステンレス棒を用い、先端部を釘のように尖らせて作成した。約 5 ～ 6 cm 径の枝片には、2 組のステンレスプローブ (直径 3 mm・5.5 cm 長、直径 2 mm・3.5 cm 長) を用い、約 3 cm 径の枝片には 1 組のステンレスプローブ (直径 2 mm・3.5 cm 長) を用いた。プローブは、枝片に埋設する直前に電気ドリルで一回り小さな穴を開け、測定ケーブルを脱着するために末端 5 mm を残して埋設した。各プローブにおける測定長は、それぞれ 5 cm、3 cm となる。枝片は、室内に持ち帰った後、浸漬法により枝片の体積を測定し、乾燥過程において枝片の重量測定と TDR 法による誘電率測定を定期的に繰り返し行った。最後に 105°C の恒温器内で絶乾させて枝片の乾燥重量を求め、体積含水率に換算する際に用いた。TDR 法による誘電率の算出は、TDR 測定器と付属ソフトウェア (PCTDR) を用いて TDR 波形データをノートパソコンに保存し、波形解析ソフトウェア (WinTDR, Version 6.1) を用いて波形データを解析して行った (Or ら, 2004)。

### 2. 枝体積含水率の年次変動と土壌および気象環境との関係

2004 年から 2005 年にかけて、佐賀県果樹試験場内の根域制限栽培圃場に植栽した‘上野早生’6 樹を枝体積含水率の測定に供試した。根域制限栽培圃場は、不透水性の遮水シートを畝部 (幅 1.5 m) の底面に敷設し、シート上に培土 (玄武岩質土壌) を盛土して形成されている。供試樹

は、1992 年に 2 年生苗を樹間 1.5 m で植栽したもので、1 樹当たりの培土容量は約 600 L である (夏秋ら, 2004)。樹高が 1.5 m 程で樹容積が 2.5 m<sup>3</sup> 程の樹を選んで用い、7 月上旬頃に葉果比 30 程度に摘果した。7 月上旬から 10 月中旬の収穫期までは、地表面を白黒ポリのマルチ資材で被覆し、被覆期間における水管理は夜明け前の葉の水ポテンシャルを基準に行った。葉の水ポテンシャルは、枝体積含水率測定日の夜明け前 (午前 4 ～ 5 時頃) に、各樹より春葉 2 枚を採取してプレッシャーチャンバー (Model 600, pms 製) を用いて測定した。葉の水ポテンシャルが -1.0 MPa 程度となった際に、マルチ資材下に設置した 2 本の散水型の灌水資材で 1 樹当たり 10 ～ 20 L (約 4 ～ 8 mm) を灌水した。被覆期間以外は、土壌を湿潤状態に保つように適宜灌水した。

枝体積含水率は、地表面より高さ 20 cm 程の位置で枝径が約 5 ～ 6 cm の主枝に、5.5 cm 長 (径 3 mm) のプローブを測定長が 5 cm になるように枝の伸長方向に沿って縦 3 cm 間隔で埋設して測定した。プローブの埋設は 2004 年 5 月下旬に行い、約 1 か月後の 6 月下旬より 2006 年 10 月中旬まで、7 ～ 10 月の収穫までは約 10 日おき、その後 11 ～ 6 月までは約 1 か月おきに TDR 法による誘電率の測定を行った。測定は 11:00 から 14:00 の間に行い、約 5 ～ 6 cm 径の枝片で求めた検量線を用いて体積含水率に換算した。調査樹は各年 3 樹とし、プローブの先端が枝内に埋没して測定不能となったため、2005 年に 2 樹、2006 年に 1 樹を変更した。

枝体積含水率の測定日に合わせて、地表面から深さ 20 cm までの土壌水分の測定も行った。20.5 cm 長の測定プローブを 5 cm 間隔で 20 cm まで土壌内に埋設し、TDR 法による誘電率の測定を行い、試験園地の土壌を用いて別途作成した検量線から体積含水率に換算した。

試験期間における当試験場の日単位の平均気温 (°C)、平均風速 (m・s<sup>-1</sup>)、平均湿度 (%), 日照時間 (h)、降水量 (mm) の各気象データを用いて、ペンマン法により蒸発散位 (mm) を算出した (三浦, 1992)。

### 3. 枝体積含水率と葉の水ポテンシャル、果実品質との関係

2005 年、2006 年の 6 月下旬から 10 月中旬に、上に述べた試験園地の‘上野早生’9 樹を供試して、枝体積含水率と葉の水ポテンシャル、果実品質との関係を調査した。試験期間の 7 月上旬から 10 月中旬は地表面を白黒ポリのマルチ資材で被覆し、夜明け前の葉の水ポテンシャルが -1.0 MPa 程度で灌水する乾燥区と -0.6 MPa 程度で灌水する湿潤区の 2 試験区を設けた。葉の水ポテンシャルの測定は、上に述べた方法に準じて行った。各試験区の調査樹は 3 樹とし、2006 年に乾燥区の 1 樹、湿潤区の全樹を変更した。

枝体積含水率は、地表面より高さ 20 cm 程の位置で枝径が約 5 ～ 6 cm の主枝 (基部位置) と、樹高の 3 分の 2 程の高さの枝径が約 3 cm の主枝 (上部位置) の 2 か所で測定した。測定には、両位置ともに 3.5 cm 長 (径 2 mm) のプローブを用いた。2 本のプローブを枝の伸長方向に沿って縦 3 cm

間隔で先端 5 mm を残して枝内に埋設し、測定長を 3 cm とした。埋設は 2005 年、2006 年の 5 月下旬に行い、6 月下旬から 10 月中旬まで約 10～14 日おきに、11:00～14:00 の間に測定した。

果実品質は、2005 年、2006 年ともに 7 月下旬より約 10～14 日おきに各樹 3 果の果実を採取して、糖酸度分析機 (NH-2000, HORIBA 製) を用いて糖度 (Brix 値)、クエン酸含量 (%) を測定した。

## 結 果

### 1. 枝体積含水率測定用の検量線の作成

枝片の誘電率と体積含水率は、プローブの測定長ごとに 2 次式で示される有意な相関関係を示し、5 cm のプローブでは 3 cm のプローブと比べて同じ体積含水率でも低い誘電率を示した (第 1 図)。プローブ長が短くなるに従って同じ体積含水率でも誘電率が高くなる結果は、Irvine・Grace (1997) の報告と同様であった。また、約 5～6 cm 径と約 3 cm 径の枝片における 3 cm のプローブで得られた誘電率と体積含水率は、体積含水率が高い際に約 5～6 cm 径の枝片のほうが高い誘電率を示す傾向があった。

$$\theta_5 = -1.5 \times 10^{-2} K_5^2 + 1.6533 K_5 + 7.6279 \quad (R^2 = 0.9500^{**}) \quad [1]$$

$$\theta_{3, \phi 5} = -0.2 \times 10^{-2} K_3^2 + 0.8249 K_3 + 2.8414 \quad (R^2 = 0.9139^{**}) \quad [2]$$

$$\theta_{3, \phi 3} = -0.4 \times 10^{-2} K_3^2 + 1.1242 K_3 - 4.5818 \quad (R^2 = 0.9623^{**}) \quad [3]$$

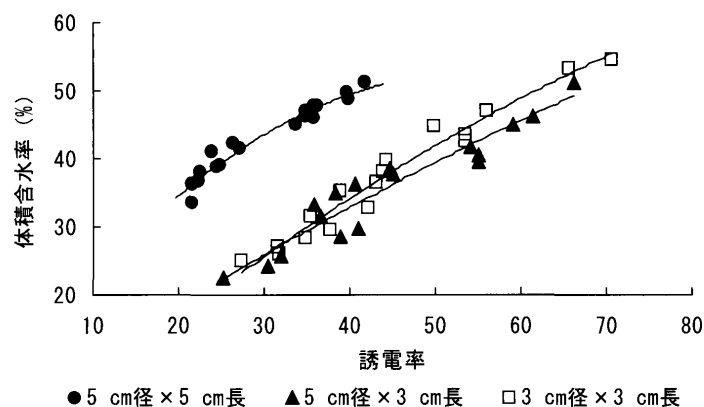
ここで、 $\theta_5$  は 5 cm 長のプローブで測定される体積含水率、 $\theta_{3, \phi 5}$ 、 $\theta_{3, \phi 3}$  はそれぞれ 3 cm 長のプローブで約 5～6 cm 径と約 3 cm 径の枝部で測定される体積含水率、 $K_5$ 、 $K_3$  はそれぞれ 5 cm 長、3 cm 長のプローブで測定される誘電率を示す。

式 [1]、[2] は約 5～6 cm 径の主枝基部を対象に、式 [3] は約 3 cm 径の主枝上部を対象に枝体積含水率を計測する際の検量線に用いた。各式の決定係数に付いた印は、\*\* で 1% 水準の有意性を表す。

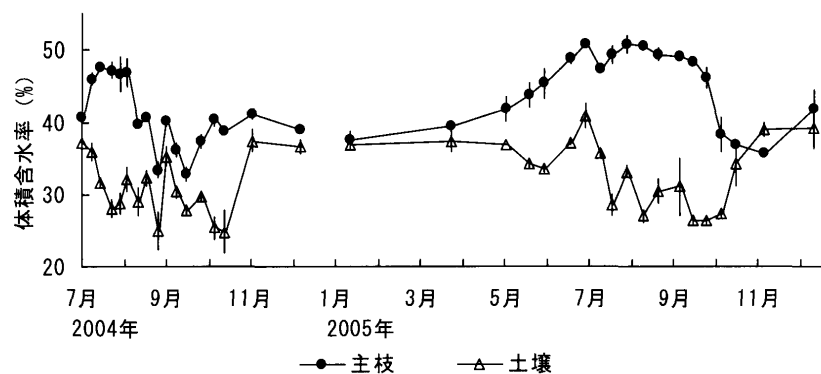
### 2. 枝体積含水率の年間変動と土壌および気象環境との関連

‘上野早生’の約 5～6 cm 径の主枝における枝体積含水率は、2004 年は 7 月に高水分状態となり、その後秋季にかけて低下した後、やや増加して冬季は値の変動が少なく推移した。2005 年は、4 月から緩やかに上昇し、7 月初旬にピークを示した後、夏季から冬季にかけて 2004 年と同様な推移を示した (第 2 図)。

土壌水分は、各年ともシートマルチした 7～10 月中旬の収穫期まで、灌水によって変動しながら緩やかに低下した。収穫期以後は、湿潤を維持する水分管理によって値が上昇

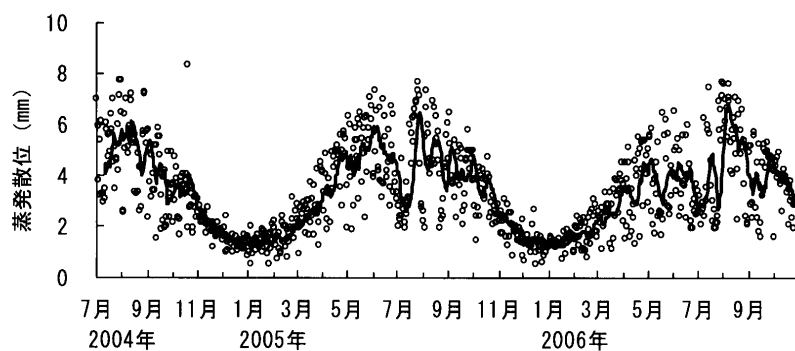


第 1 図 ウンシュウミカン樹における枝径およびプローブの違いによる TDR 測定値の誘電率と体積含水率との関係  
回帰式及び決定係数は本文参照

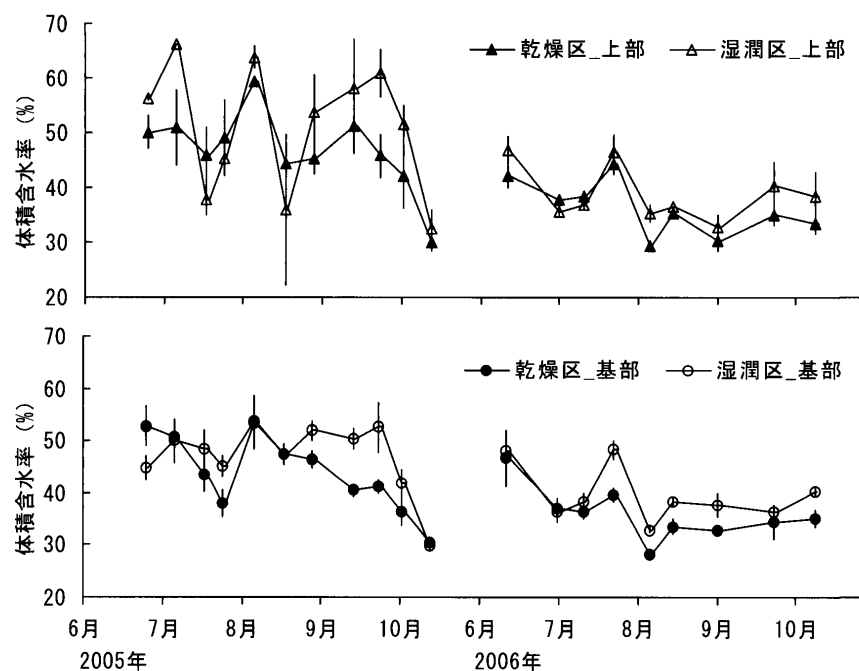


第 2 図 ‘上野早生’の主枝基部および土壌の体積含水率の年間変動

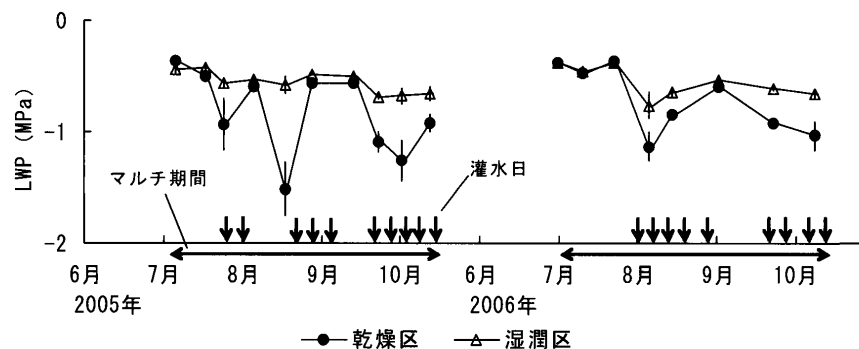
主枝基部 (約 5～6 cm 径) の枝体積含水率は、5.5 cm (測定長 5.0 cm) のプローブを用いて測定した  
土壌 (深さ 20 cm) の体積含水率は、20.5 cm (測定長 20.0 cm) のプローブを用いて測定した  
誤差線は、標準誤差 (n=3) を表す



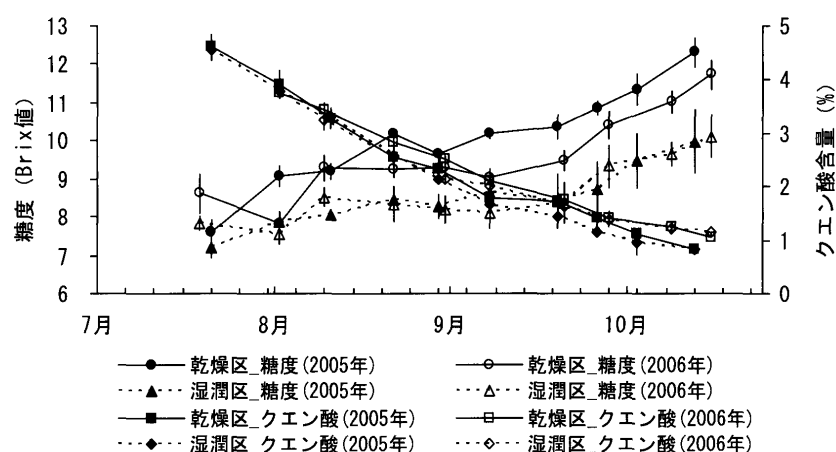
第3図 2004年7月から2006年10月までの蒸発散位の推移  
実線は、移動平均（10日単位）を表す



第4図 異なる乾燥処理をした‘上野早生’における主枝上部（図上段）および基部（図下段）の枝体積含水率の推移  
測定プローブは、主枝基部（約5～6 cm 径）、上部（約3 cm 径）ともに3.5 cm（測定長3.0 cm）を用いた  
誤差線は、標準誤差（ $n=3$ ）を表す



第5図 異なる乾燥処理をした‘上野早生’における葉の水ポテンシャルの推移  
葉の水ポテンシャルは、夜明け前（午前4～5時頃）に測定  
灌水日は乾燥区における灌水実施日を表す  
誤差線は、標準誤差（ $n=3$ ）を表す



第6図 異なる乾燥処理をした‘上野早生’における果実糖度およびクエン酸含量の推移  
誤差線は、標準誤差 (n=3) を表す

し、翌年7月まで高水分状態を保持していた(第2図)。

ペンマン法により算出した蒸発散位(可能蒸発散量)は、枝体積含水率と類似な季節変動を示した(第3図)。例えば、2004年9～10月にかけては、2005年の同期間と比較して蒸発散位が低く枝体積含水率も低い値を示す傾向が見られ、2005年7月中旬においては蒸発散位の低下に反応して枝体積含水率も減少したように見えるなど、夏秋期における枝体積含水率は蒸発散位と似た変化を示した(第2, 3図)。

### 3. 枝体積含水率と葉の水ポテンシャル、果実品質との関係

主枝の基部および上部の枝体積含水率を比較すると、2005年、2006年ともに乾燥区の値は湿潤区より低い値で推移したが、上部位置では測定値のばらつきが大きく試験区による差が明確ではなかった(第4図)。

葉の水ポテンシャルは、乾燥区で2005年には7月下旬から、2006年には8月上旬から乾燥区が湿潤区より低い値で推移した(第5図)。また、葉の水ポテンシャルと枝体積含水率は、推移がやや異なった(第4, 5図)。

両年とも乾燥区において、葉の水ポテンシャルが低下するにともなって果実糖度が上昇する傾向が見られ、10月中旬の収穫期の糖度は、両年ともに約12まで上昇したが、湿潤区では約10であった(第6図)。クエン酸含量は、両年ともに9月までは乾燥区でやや高い値を示したが、10月中旬の収穫期には両試験区ともに1%未満の値となり、差が見られなかった(第6図)。

## 考 察

### 1. 枝体積含水率の年間変動と土壌および気象環境との関係

本研究では、主枝基部の枝体積含水率が1年周期で変動していることや年次間差が見られることを確認した。これまで果樹を対象に複数年にわたる長期間の体積含水率の変動パターンを調査した事例はないが、森林の樹体では周期的な変動が観測されている。Constantz・Murphy(1990)は、春先から新葉の成長とともに枝体積含水率が最大値をとった後、8月の高温・乾燥期に最小値となり、冬季に緩やか

に回復したと報告している。また、Wullschlegelら(1996)は、気象条件に起因する土壌水分条件の異なった年では枝体積含水率の年間変動が異なることを報告している。本研究で得られた枝体積含水率の変動パターンの年次間差は、これに類似している。ただし、ウンシュウミカン樹の枝体積含水率は、夏季から収穫期に土壌水分の減少や果実肥大の抑制と対応して減少した。これは、ウンシュウミカン栽培では、樹体と果実の生育を維持するために人為的な水管理が行われるため、枝体積含水率の年間変動が森林樹木と異なったものと考えられる。

主枝の枝体積含水率は、春先から上昇して夏季以降低下したあと10月中旬の収穫期に最小値を示し、その後やや増加して冬季はその水分量を保持していた。この枝体積含水率の夏季から収穫期の変動パターンは、奥田ら(2007)の報告と同様である。本研究では、収穫後に枝体積含水率がやや増加したが、これは土壌の湿潤管理によるものと考えられ、その後冬季は蒸散量が少なくなりその水分量を保つような推移になったと考えられる。

葉の水ポテンシャルを-1 MPa程に維持し、著しい水分ストレスを与えないようにした本研究の水管理の下では、枝体積含水率は蒸発散位が高くなれば高まり、低くなると低下する傾向を示した。枝体積含水率の変動と蒸発散位の推移が類似していたことは、著しい水分ストレスを受けていない樹体では、枝体積含水率の変動に気象環境要因の影響が大きいことを示唆している。これまで、樹幹の収縮量(García-Orellanaら, 2007)や樹幹流の変動(Fernándezら, 2001)と蒸発散位の関連性を検討した報告はあるが、本研究の結果は、枝体積含水率の変動と蒸発散位の関連性を示している。

このように、枝体積含水率は、土壌や気象環境の変動にともない年や測定日によって変動するため、枝体積含水率を水管理の指標として用いるには、土壌水分環境や気象環境が枝体積含水率に与える影響をさらに明らかにする必要がある。

## 2. 枝体積含水率と葉の水ポテンシャル、果実品質との関係

主枝の基部と樹高の3分の2程の高さの上部における枝体積含水率を比較すると、基部の枝体積含水率が水管理の違いを上部より明瞭に表していた。主枝上部において枝体積含水率の違いが明確でなかった理由は、測定対象とした枝の着葉および着果数、枝の向き等が異なっていたことが考えられる。著者らが別途実施した試験では、同一樹において葉果比が小さい枝ほど枝体積含水率が小さい値を示す結果が得られている（未発表）。奥田ら（2007）も、同様な理由から側枝より主枝の枝体積含水率が水管理の違いを反映したと報告している。

本研究で主枝基部において得られた乾燥区と湿潤区間の枝体積含水率の差は、夏秋季において数%から10%程度であった。枝体積含水率と葉の水ポテンシャルとの間に明確な関係はみられなかったが、葉の水ポテンシャルと果実糖度に明確な差が生じた試験区間では枝体積含水率にも差が生じる結果が得られたことから、枝体積含水率によって水分ストレス付与程度を診断できる可能性は示唆された。この結果は、ウンシュウミカン樹の水管理の違いにより枝体積含水率に差が生じ、果実のBrix値の変化を反映したという奥田ら（2007）の報告を支持するものである。

しかし、本研究でみられた枝体積含水率の最大値は、奥田ら（2007）の報告より高い傾向にあり、測定機器やプローブの設置方法など枝体積含水率の測定環境の違いの影響が伺われる。また、本研究でも果実糖度と葉の水ポテンシャルとの間の関係が確認されており、枝体積含水率を実践的な水管理の指標とするためには、葉の水ポテンシャルとの関係解明が必要である。

## 摘 要

ウンシュウミカン栽培における水管理の指標としての枝体積含水率の可能性を評価するため、TDR法により誘電率を測定して枝体積含水率を推定し、枝体積含水率と土壌水分、気象環境、葉の水ポテンシャル、果実品質との関連性を調査した。主枝基部の枝体積含水率は、4月から上昇して7月に最大値となった。その後は、緩やかに減少して10月中旬の収穫期に最小値を示した後、やや増加して冬季はその水分量を保持した。枝体積含水率の夏季から収穫期にかけての低下と収穫後の増加は、土壌水分の変化との対応関係がみられ、葉の水ポテンシャルを $-1$  MPa程に維持する水管理を行った場合の枝体積含水率の年間変動パターンは、蒸発散位の変化と対応する傾向にあった。夏秋季に異なる水管理を行い、葉の水ポテンシャルの低下程度が異なった乾燥区と湿潤区では、乾燥区で果実糖度が高く、主枝基部の枝体積含水率は低い値を示した。よって、夏秋季の枝体積含水率と葉の水ポテンシャルとの間に明確な関係はみられなかったものの、枝体積含水率により夏秋季の水分ストレス程度の違いを判別できる可能性が示唆された。

## 引用文献

- Constantz, J. and F. Murphy. 1990. Monitoring moisture storage in trees using time domain reflectometry. *J. Hydrol.* 119: 31–42.
- Fernández, J. E., M. J. Palomo, A. Díaz-Espejo, B. E. Clothier, S. R. Green, I. F. Girón and F. Moreno. 2001. Heat-pulse measurements of sap flow in olives for automating irrigation: tests, root flow and diagnostics of water stress. *Agric. Water Manage.* 51: 99–123.
- García-Orellana, Y., M. C. Ruiz-Sánchez, J. J. Alarcón, W. Conejero, M. F. Ortuño, E. Nicolás and A. Torrecillas. 2007. Preliminary assessment of the feasibility of using maximum daily trunk shrinkage for irrigation scheduling in lemon trees. *Agric. Water Manage.* 89: 167–171.
- 平岡潔志・瀧下文孝・村松 昇・内田 誠・土田靖久. 2005. TDR 携帯型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.
- 星 典宏・森永邦久・横井秀輔・浜出絵理子・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・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.
- 小林義和・田中 正. 2001. TDR法による樹冠貯留水分の測定. *水文・水資源学会誌.* 14: 207–216.
- 三浦健志. 1992. 第4章消費水量と蒸発散. p. 136–160. 畑地灌漑の新展開. 社団法人畑地農業振興会. 東京.
- 宮本久美・中地克之・安田和弘. 2006. 夕方の葉水ポテンシャルによるウンシュウミカン樹の水ストレス診断. *園学雑.* 75 (別1): 41.
- 森永邦久・吉川弘恭・中尾誠司・村松 昇・長谷川美典. 2003. 温州ミカンの周年マルチ点滴灌水同時施肥法（マルドリ方式）. 果樹編. *カンキツ. 施肥と土壌管理.* p. 35–44. 農業技術体系. 農文協. 東京.
- 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.
- 夏秋道俊・岩永秀人・新堂高広・山口正洋・末次信行・岩

- 切 徹. 2004. 根域制限栽培における土壌母材の違いがウンシュウミカンの生育や果実品質に及ぼす影響. 佐賀果試研報. 15: 1–7.
- 登尾浩助. 2003. 実践TDR法活用—土壌中の水分・塩分量の同時測定—. 土壌の物理性. 93: 57–65.
- 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.
- Or, D., J. Scott, V. Jeffrey, H. Seth and K. Louis. 2004. WinTDR Version 6.1—Fall 2004—Users Guide—. USU Soil Physics Group. p. 27–30. Utah State Univ, Utah.
- Wullschleger, S., P. J. Hanson and D. Todd. 1996. Measuring stem water content in four deciduous hardwoods with a time—domain reflectometer. Tree Physiol. 16: 809–815.