

極早生ウンシュウミカンの高糖度果実生産のための TDR土壤水分計を用いた測定法と土壤水分管理

村本晃司*・井樋昭宏¹⁾・大倉英憲・松本和紀・牛島孝策¹⁾

極早生ウンシュウミカンのシートマルチ栽培における高糖度果実生産のための簡易な土壤水分診断法として、TDR土壤水分計による効果的な測定方法を明らかにし、測定値を目安とする土壤水分管理の有効性について検討を行った。「日南 1号」8年生樹におけるTDR測定値とプレッシャーチャンバーで測定した葉の最大水ポテンシャルには、主幹から90cm地点を12cmのセンサープローブで測定した場合に最も相関が高く、樹冠外周部が測定位置の目安となると考えられた。TDR測定値を目安に土壤水分の管理を行った「日南 1号」および「上野早生」のシートマルチ被覆樹では、着色 8分以上、糖度11度前後の果実が生産され、TDR測定値を目安とする土壤水分管理が高糖度果実生産に有効であることが示唆された。

[キーワード：極早生ウンシュウミカン、シートマルチ、土壤水分、TDR]

Measurement and Management of Soil Moisture Using TDR for Producing Very Early Ripening Satsuma Mandarins with High Sugar Content. MURAMOTO Koji, Akihiro IBI, Hidenori OHKURA, Kazunori MATSUMOTO and Kosaku USHJIMA (Fukuoka Agricultural Research Center, Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. Res. Cent.* 30: 43-47 (2011)

In order to simplify soil moisture measurement for producing very early ripening Satsuma mandarins with high sugar content under mulching cultivation, we have clarified effective measurement methods using TDR. We have also examined effectiveness of soil moisture management through TDR measurements. In the 8-year old 'Nichinan No. 1', the highest correlation between data concerning the maximum leaf water potential and data concerning the TDR measurement value was attained when measured with 12 cm sensor probes at the point 90 cm away from the trunk. Therefore the crown periphery is considered to be the optimum point for the TDR measurement. In mulching cultivation of 'Nichinan No. 1' and 'Uenowase', the soil moisture was controlled by TDR measurements, resulting in fruit with a high coloration and a sugar content of around 11 degrees. These data suggest that soil moisture management with TDR measurements is effective for high sugar content fruit production.

[Key words : very early ripening satsuma mandarin, mulching, soil moisture, TDR]

緒 言

ウンシュウミカン果実の糖は、果実生育期の樹体の水分と密接な関係をもっており、樹体への水分ストレスが強まると増加する（河崎ら 1971、栗山ら 1974、間苧谷・町田 1977a、河合ら 2000）。この樹体生理はシートマルチ栽培として実用化され、多くの産地に普及し、昨今のブランド化戦略に欠かせない技術となっている。シートマルチ栽培における樹体の生理機構や管理技術については多くの報告がなされている（松本ら 1991、中里ら 1996、中里・岸野 1999、森永ら 2004a, 2004b）。しかし、品質向上効果を左右するシート被覆期間中のかん水やシート開閉の時期については、生産現場で活用できる明確な判断基準がないため、土壤の乾燥不足による果実糖度不足や、過乾燥による果実の小玉化や酸高、樹勢低下などを招く場合が多い。特にウンシュウミカンの中でも生育期間が短い極早生品種（以下、極早生ウンシュウとする）において深刻な問題となっている。

ウンシュウミカンの水分ストレス診断においては、樹体の水分状態を直接把握する方法が適当であるとされ、夏季あるいは秋季の水管理の指標として、プレッシャーチャンバー法による葉の水ポテンシャル（以下LWPと略記）の最大値（ $\psi_{\max}$ ）を示した報告が多

い（間苧谷・町田 1977a、間苧谷・町田 1980）。しかし、高額な機器を要する上、 $\psi_{\max}$ の測定には早朝未明に測定を行う必要があり、生産現場において実用的な手法とはいえない。間苧谷・町田（1977b）は更に日中のLWP（ $\psi_{\min}$ ）あるいは19:00のLWPから日の出前のLWP（ $\psi_{\max}$ ）を推定する方法について検討し、19:00のLWPからの推定は気象条件や土壌の物理性の差異にかかわらず密接な関係を示したとしているが、いずれにせよ測定時間が限られることから、測定するほ場の点数は制限される。また、採取した葉について、飽和水分不足度（鈴木ら 1968）や水分吸収率（北園ら 2008）から樹体の水分状態を診断する方法も考案されているが、採取後の吸水処理が必要で、ほ場での即時診断には対応できない。つまり、現状では樹体内の水分を簡便かつ迅速に測定する方法がない。一方、土壤水分を測定する手法として、近年林業等の分野においてTDR法が活用されている（堤ら 2002）。TDR法は土壌の誘電率を測定することで土壌中の含水量を推定する方法であり、測定機器は小型かつ軽量で、センサー部を土壌に挿入するだけで迅速に土壤水分が測定できることから、ほ場における土壤水分の簡易診断への活用が期待される。

そこで、本研究においては、極早生ウンシュウ園においてTDR土壤水分計を用い、LWP（ $\psi_{\max}$ ）と相関

*連絡責任者
(果樹部: muramoto@farc.pref.fukuoka.jp)

1) 現 果樹苗木分場

の高い土壌水分の効果的な測定方法について明らかにし、さらにシートマルチ栽培におけるTDR土壌水分計による測定値（以下TDR値とする）を目安とする土壌水分管理の有効性について検討を行った。

材料および方法

2005年に福岡県農業総合試験場（花崗岩堆積砂壤土）のカラタチ台 8年生「日南 1号」（樹冠直径161～200cm）を供試し、透湿性シート（デュポン社、タイベックシートハードタイプ、以下同）による被覆処理を行った。点滴法による一昼夜のかん水の後、6月13日から収穫日まで植栽うね（幅約 3m、高さ20cm）を被覆し、対照区は無被覆として、それぞれ 3樹について土壌水分を経時的に調査した。松本ら（1991）は、本研究と同一ほ場で行った研究結果から、極早生ウンシュウの糖度を高めるためには 7月から土壌水分を制御して 8月以降の深さ20cmの含水比を花崗岩砂壤土では15%以下とする必要があるとしている。これを体積含水率に換算した値を参考として、シート被覆開始から 6月下旬まではやや湿潤（TDR値で20～25%）、7月上旬中はやや乾燥（15～20%）、7月下旬から収穫期までは乾燥（10～15%）を目安に土壌水分の管理を行った。TDR値が目安よりも低い場合には主幹部に1列で設置した点滴かん水チューブにより、1回当たり20mm相当のかん水を行った。

土壌水分の測定にはTDR土壌水分計（Campbell Scientific社製、HydroSense土壌水分測定器）を用い、体積含水率を毎週2回測定した。測定位置は主幹からうね垂直方向に30、60、90および120cm離れた地点とし、12cmおよび20cmのセンサープローブを用いて1箇所当たり 5回の反復測定を行った。

8月にはLWP（ $\psi_{\max}$ ）を週に 2回、プレッシャーチャンバー（大起理化学工業社製、DIK-7000）を用い、日の出前の午前4時前後に樹冠赤道部の無着果枝から1樹当たり春葉 3葉を採取し測定した。

果実品質は10月24日に収穫を行い、各樹の平均的な果実10果について、着色程度、果実横径および果重を調査した後はく皮し、果肉をハンドジュースで搾汁して得た果汁について糖度およびクエン酸含量を測定した。着色程度は着色した果皮の割合を 0（未着色）から10（完全着色）の11段階で達観により判定した。糖度およびクエン酸含量は日園連式酸糖度分析装置（NH-1000）により測定を行った。

2006年には、八女郡立花町（現 八女市立花町、結結晶片岩土壌）に栽植の「上野早生」12年生樹

（樹冠直径約 2m）を供試し、6月 9日から収穫期にかけて透湿性シートで樹冠下土壌の全面被覆を行い、対照区は無被覆とした。シート被覆および無被覆のそれぞれ 5樹について、被覆期間中の土壌水分を 6月10日から約10日間隔で調査し、同時に各樹10果の果実横径を 7月21日から調査した。10月10日に各樹から平均的な果実10果を収穫し、果実品質の調査を2005年と同様に行った。なお、土壌水分はTDR土壌水分計により12cmのプローブで主幹から東西60～90cm地点（1樹当たり 2箇所）において 5回の反復測定を行った。現地ほ場の土壌は、場内とは異なるpF-水分曲線を示すことから、土壌水分の管理目安は両者のpF-水分曲線の関係を基に換算し、被覆開始から6月下旬まではやや湿潤（TDR値で25～30%）、7月上旬中はやや乾燥（21～25%）、7月下旬から収穫期までは乾燥（16～21%）として、2005年の試験と同様にかん水管理を行った。

結 果

1 プローブ長と測定位置

2005年の「日南 1号」において 8月の土壌水分測定値とLWP（ $\psi_{\max}$ ）には、いずれの測定位置においても、12cmのプローブが20cmのものより高い有意な相関が得られた（第1表）。測定位置では、用いたプローブの長さにかかわらず、主幹から60、90cm地点の測定値で高い相関が認められ、特に主幹から90cm地点のプローブ12cmによる測定値で相関係数が0.855と最もLWPとの相関が高かった。

2 TDR値と果実肥大および果実品質

2005年の場内「日南 1号」における主幹から90cm、センサープローブ12cmでのTDR値は、無被覆区では9月中旬まで降雨の影響を受け11～26%の範囲で大きく増減して推移したが、シート被覆区では、降雨によるTDR値の上昇が大幅に抑制され、6月下旬から7月上旬は概ね15～20%で、7月中旬以降は概ね10～15%で推移した（第1図）。また、現地ほ場「上野早生」においても、無被覆区では降雨の影響を受けてTDR値は25%以上の非常に高い値で推移したものの、シート被覆区では概ね目安としたTDR値で推移した（第2図）。

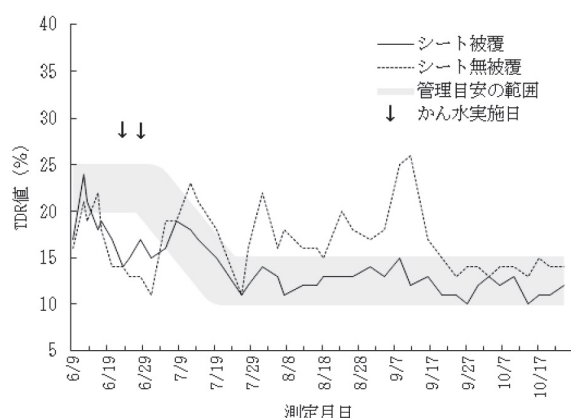
2006年の現地「上野早生」における時期別日肥大量は、シート被覆の有無に関わらず時期により増減がみられた（第3図）。8月上旬および下旬におけるシート被覆樹の日肥大量（0.23mm、0.31mm）は、無

第1表 8月の土壌水分測定値とLWPの相関係数¹⁾（2005年）

主幹からの距離	12cmプローブ	20cmプローブ
30cm	0.664* ²⁾	0.589
60cm	0.774**	0.727**
90cm	0.855**	0.776**
120cm	0.667*	0.613

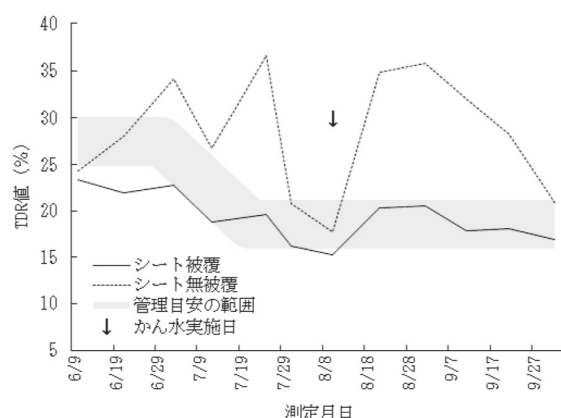
1) 供試品種：「日南1号」 8年生

2) *, **: それぞれ 5%, 1%水準で有意に相関あり



第1図 花崗岩土壌における「日南1号」のシート被覆中のTDR値¹⁾ (2005年)

1) センサープローブ長: 12 cm, 測定位置: 主幹から90 cm



第2図 結晶片岩土壌における「上野早生」のシート被覆中のTDR値¹⁾ (2006年)

1) センサープローブ長: 12 cm, 測定位置: 主幹から60 ~ 90 cm

被覆樹 (0.28mm, 0.44mm) に比べて有意に小さく, その他の時期においては試験区間に有意な差は認められなかった。

シート被覆区の収穫期の果実品質は, 「日南1号」(2005年) および「上野早生」(2006年) のいずれも着色程度 8分以上, 糖度11度前後となり, シート無被覆よりも有意に優れた(第2表)。果実横径, 果実重およびクエン酸含量は, いずれの品種も試験区間に有意な差は認められなかった。

考 察

樹体の水分状態を間接的に把握する手法としては, これまでは土壌を採取し, 含水比を直接測定する定量採土法が行われてきたが, ほ場での即時診断には対応できない。ウンシュウミカンにおいて高精度果実を生産するためにはpF3.0以上の土壌の乾燥程度が必要であるが(河崎ら 1971, 栗山ら 1974, 駒村ら 1982, 松本ら 1991), 一般にpF2.7までが測定限界とされるテンシオメーター法は, ウンシュウミカンのシートマルチ栽培における指標として活用できない。

これらに対し, 本研究で用いたTDR土壌水分計はセンサー部を土壌表層へ突き刺すだけで容易に土壌の体積含水率を測定でき, 迅速に複数地点の土壌水分状態を把握することが可能となる。このTDR値を土壌

水分管理の目安として用いるためには, 樹体の水分状態と最も関連の強い測定位置を明らかにする必要がある。2005年の試験においては, 主幹より90cm離れた位置の12cmのセンサープローブによるTDR値が最も樹体の水分状態との相関が高いことが明らかとなった。今回供試した樹の樹冠の直径は161~200cmで, 最もLWP (ψ_{max}) との相関が高かった90cmはちょうど樹冠外周の位置に相当した。根群域は樹冠の増大に伴って拡大し, TDR値の最適測定位置も樹冠拡大に伴って異なるものと推察されるが, 樹冠外周部が目安になると考えられる。なお, ウンシュウミカンでは, 一般に極早生種で根域が狭く浅く, 晩生種になるほど根域は広く深くなると言われ, 極早生ウンシュウ以外の品種については, それぞれ測定位置およびセンサープローブの長さの検討を行う必要がある。また, 間苧谷ら(1976)は, 強い乾燥条件下において土層の深いほ場では下層からの補給水があり, 樹体の水分状態に差を生じる可能性を指摘している。土層の深さが異なる園地におけるTDR土壌水分計の適用方法についても, 更なる検討が必要と考えられる。

本研究の2つの試験において, TDR値が管理目安に概ね沿って推移したシート被覆区では, いずれもシート無被覆区よりも着色が優れ糖度の高い果実が生産できた。2006年現地試験では, 8月上旬および8月下旬

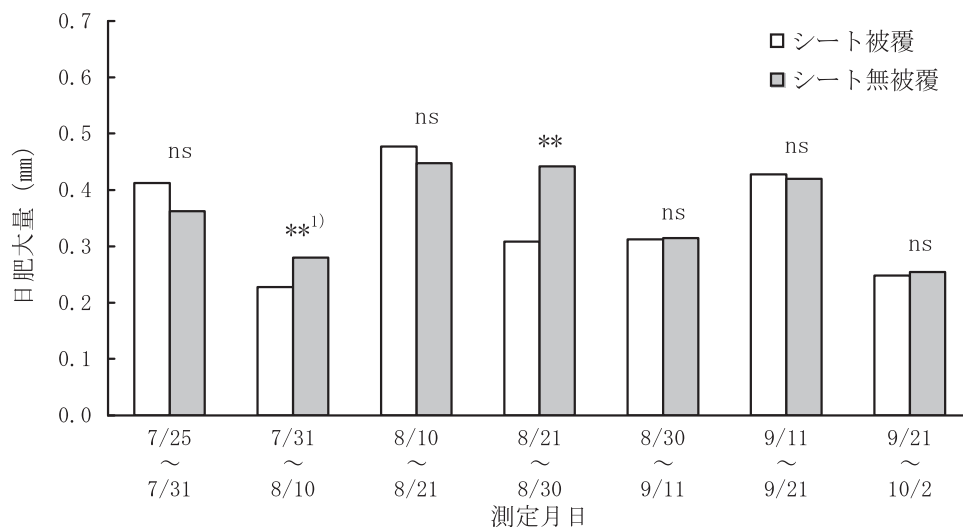
第2表 TDR値による土壌水分管理を行ったシートマルチ栽培極早生ウンシュウの果実品質

品 種 名	試 験 区	調査年	収穫日	着色 程度 ¹⁾	果実横径 (mm)	果実重 (g)	糖度 (Brix)	クエン酸含量 (g/100mL)
日南1号 ²⁾	シート被覆	2005	10/24	8.6	60.8	92.0	10.7	0.74
日南1号	シート無被覆	2005	10/24	5.5	61.6	98.8	8.0	0.77
t検定				** ³⁾	ns	ns	**	ns
上野早生	シート被覆	2006	10/10	8.5	56.8	74.5	11.7	0.97
上野早生	シート無被覆	2006	10/10	6.7	56.9	78.3	10.2	0.91
t検定				**	ns	ns	**	ns

1) 着色程度は果皮の着色部分を 0(未着色)~10(完全着色)の11段階で分類

2) 「日南1号」は花崗岩土壌, 「上野早生」は結晶片岩土壌

3) t検定の**は 1%水準で有意性があることを示す



第3図 シートマルチ栽培「上野早生」における果実横径の時期別日肥大量（2006年）

1) t 検定により, **は 1 %水準で有意差あり

における果実横径の日肥大量が、シート被覆樹で有意に小さかった。樹体の水分ストレスが果実肥大に影響を及ぼすことはよく知られており、北園ら（2008）は、根域制限栽培の極早生ウンシュウにおいて、果実横径の肥大量がLWP（ ψ_{max} ）と強い負の相関があることを明らかにしている。本試験では、果実日肥大量に差が見られた期間において、シート被覆樹で適度な水分ストレスが付与されたものと考えられ、TDR値を目安とする土壌水分管理が高糖度果実生産に有効であることが示唆された。

近年シートマルチ栽培は産地に広く普及しているが、その品質向上効果は生産者や園地によって大きく異なる。また、消費者による品質への要求度は一層高まっており、個々の園地条件に対応した土壌水分管理指導についての要望は非常に大きい。特に土壌の母材によっても樹体の水分動態は大きく影響を受けると考えられるが、駒村ら（1982）は土壌の孔げき性や保水性、透水性など物理的性質の差異によるものとしている。また、母岩が異なる土壌では、土壌の体積含水率とpF値との関係は異なり、TDR値とLWPとの関係も同様に土壌の母岩で異なることが報告されており（貝原・新堂 2005）、このことはTDR値を土壌水分管理の指標として用いる場合に最も重要な要素と考えられる。このため本研究では、場内と土壌の母岩が異なる現地ほ場においては、予備的に調査を行ったpF-水分曲線（データ略）を参考に土壌水分の目安をやや高めに管理を行い、高糖度果実を得ることができた。このことから、個々の園地条件ごとにpF-水分曲線を作成することで、高糖度果実生産のためのTDR値による精度の高い土壌水分管理が可能になると考えられる。

引用文献

貝原洋平・新堂高広（2005）根域制限栽培における土壌母材の違いが「興津早生」の水ポテンシャルおよび果実品質に及ぼす影響。九農研67：201。
河合義隆・塚本太郎・中西さくら・河瀬幸浩・前川

豊孝（2000）露地ポット栽培のウンシュウミカンに及ぼす水切りの影響。三重大生資農場研報 11：31-35。

河崎佳寿夫・石原 昂・下郡嘉勝（1971）温州みかんの品質に及ぼす秋季土壌水分の影響。宮崎総農試研報6：103-115。

北園邦弥・榊 英雄・藤田賢輔（2008）極早生ウンシュウ「豊福早生」における高糖度果実生産のための水分ストレスと樹体反応との関係。熊本農研センター研報15：105-111。

駒村研三・小畑 仁・関谷宏三（1982）土壌母材、有効土層の差異と土壌及びウンシュウミカン樹体中における水分変動。果樹試報A9：143-157。

栗山隆明・白石真一・吉田 守・下大迫三徳（1974）温州ミカンの品質に関する研究（第4報）。土壌水分が果実の品質におよぼす影響について。福岡園試研報13：1-15。

間苧谷 徹・町田 裕（1977a）果樹の葉内水分不足に関する研究（第7報）。夏季の葉の水分ポテンシャルがウンシュウミカンの収穫時の果実形質に及ぼす影響について。園学雑46：145-152。

間苧谷 徹・町田 裕（1977b）果樹の葉内水分不足に関する研究。（Ⅷ）温州ミカン樹の日の出前と日中の葉の水ポテンシャルの関係。農業気象33（1）：19-23。

間苧谷 徹・町田 裕（1980）夏季におけるウンシュウミカン樹の水管理の指標としての葉の水ポテンシャル。園学雑49：41-48。

間苧谷 徹・町田 裕・山津憲治・山崎隆生（1976）果樹の葉内水分不足に関する研究（第3報）。土壌要因がカンキツ葉の Water potential に及ぼす影響について。園学雑44：367-374。

松本和紀・大庭義材・矢羽田二郎・津田勝男（1991）温州ミカンのフィルムマルチ栽培に関する研究。第1報 温州ミカンの品質に及ぼす土壌水分制御の影響。福岡農総試研B11：73-76。
森永邦久・吉川弘恭・中尾誠司・村松 昇・長谷川美

- 典 (2004a) 露地栽培ウンシュウミカンにおける周年マルチ点滴かん水同時施肥法の開発. 園学研 3: 45-49.
- 森永邦久・吉川弘恭・中尾誠司・関野幸二・村松昇・長谷川美典 (2004b) 露地栽培ウンシュウミカンにおける周年マルチ点滴かん水同時施肥法の効果. 園学研 3: 33-37.
- 中里一郎・松永茂治・岸野 功 (1996) ウンシュウミカンのフィルムマルチ栽培における乾燥ストレスの期間及び程度が果実品質に及ぼす影響. 長崎果樹試研報 3: 1-10.
- 中里一郎・岸野 功 (1999) ウンシュウミカンのシートマルチ栽培における灌水方法, 時期が果実の減酸と乾燥ストレス軽減に及ぼす影響. 長崎果樹試研報6: 1-9.
- 鈴木鉄男・金子 衛・鳥潟博高・八田洋章 (1968) 温州ミカンの水分均衡に関する研究 (第1報). 葉の飽和水分不足度より見た Water balance の変化. 園学雑37: 37-44.
- 堤 大三・小杉賢一朗・水山高久 (2002) 根箱を用いた 2次元根系成長と土壌水分の観察. 森林研究 74: 99-109.