原 著 論 文

ウンシュウミカンのマルチ栽培圃場における果実硬度を利用した 新規水ストレス診断器具の開発

須崎徳高*¹⁾・市ノ木山浩道¹⁾・奥田 均²⁾

1) 三重県農業研究所紀南果樹研究室 〒519-5202 南牟婁郡御浜町志原2327

2) 三重大学大学院生物資源学研究課フィールドサイエンスセンター 〒514-2221 津市高野尾町2072-2

要旨

高品質なウンシュウミカンを生産するためのシートマルチ栽培が普及しているが、品質、収量、樹勢を調和させた水管理は難しい。最も大きな理由はかん水の適否を判断するための低コストかつ簡易な診断指標が少ないことがあげられる。そこで、水ストレスと果実硬度の関係に着目したところ、夕刻の果実硬度から翌朝の最大水ポテンシャルを推定できることが明らかになった。また、硬度計で計測した果実硬度と手の触感による硬度の間には高い相関が認められた。そこで、硬度の異なる模造果実をシリコンで試作し、これを利用した水管理を2年間にわたってほ場で実施したところ、収量を落とさずに、高品質な果実の生産が可能であった。これらのことから、シリコン製模造果実を利用した硬度スコアはマルチ栽培における水分管理指標として利用できることが明らかになった。

キーワード

ウンシュウミカン, マルチ栽培, 水分ストレス, かん水指標, シリコン製模造果実

緒言

わが国の代表的なカンキツであるウンシュウミカンの生産量は、1970年代に約300万トンのピークに達した後は低下を続け、近年は100万トン前後で推移している。1990年代から導入したシートマルチ栽培は高品質化に貢献し、需要刺激に一定の成果を上げている。しかしながら、ウンシュウミカンの品質に大きく関わる水ストレス付与は、果実品質を向上させる反面、樹体に大きなダメージを与える。したがって、果実品質と樹勢、収量の三者を調和させる水管理システムが必要である。このシステム開発には二つの鍵がある。一つは簡便で精度の高い水ストレス指標の採用、もう一つはその指標に応じて的確にかん水できるシステムの装備である。かん水システムに関しては、三重県紀南地域では2005年頃から点滴かん水を取り入れている。その後、近畿中国四国農業研究センターが開発したマルドリ法（森永ら2004）を試験的に導入しながら現場での有効性を実証してきた。しかしながら、マルドリ法を含め、シート

マルチ園で水管理を実施する際の適当な水ストレス指標は不備であった。これまで、水ストレス指標としてプレッシャーチャンバーなどで測定した水ポテンシャルがよく利用されていたが、携帯困難な測定機械による日の出前の測定のため現場に適応し難い。果実の日肥大量や樹体の葉巻程度などの指標（高辻2009）は手間の割に精度が低い。最近では、水分ストレス表示シート（星ら2007）や携帯型TDR水分計の利用（奥田ら2007、貝原ら2008）も提案されているが、栽培農家での利用を考えるとコスト面や利便性で実用上問題が残る。

一般に土壌の乾燥が進行すると果実の肥大は抑制され、果実硬度は低下することが知られている（北園ら1997）。しかし、これまで着果状態の果実の硬度を非破壊で測定することは困難であった。今回、硬度の異なるシリコン製模造果実（特許申請中）を試作し、これをリファレンスにして果実硬度を評価、水ストレス指標とした管理体系の有効性を検証したところ、簡便で精度よく水管理ができ高品質生産につながった（須崎・市ノ木山2009）。本報では水管理指標として採用したシリコン製模造果実による水分ストレス評価法とそれを指標にした水管理による高品質果実生産について報告する。

* Corresponding Author
E-mail: suzakn00@pref.mie.jp

材料及び方法

三重県農業研究所紀南果樹研究室のほ場に植栽されているウンシュウミカン、品種:「崎久保早生」(*Citrus unshiu* Marcow. “Sakikubo-wase”) 24 年生 (2007 年) を用いた。なお、実験ほ場は谷間にあるため、夏期の日が入りが一般ほ場より 1 時間程度早い。

水分ストレス指標としての果実硬度の利用可能性

●果実硬度ならびに葉の水ポテンシャルの日変化

シートマルチしたミカン樹 3 樹を用いて、2007 年 8 月 21 日 5:00 から 18:00 まで 2 ～ 4 時間間隔で、翌 22 日は 5:00 に果実硬度と葉の水ポテンシャルを測定した。果実硬度はデュロメータ (ESE (タイプ E), エラストロン社製) を使用し、果実の赤道面で測定した。葉の水ポテンシャルはプレッシャーチャンバー (DIK-7000, 大起理化社製) により測定した。いずれの調査も同一樹を用い、1 樹当たりランダムに 3 果 (葉) 3 反復 (3 樹) とした。

●果実硬度と葉の最大水ポテンシャルの関係

土壌水分の異なる樹体で、果実硬度と葉の水ポテンシャルの関係について検討した。シートマルチ区 (約 2 ～ 3 日間隔かん水と 3 ～ 4 日間隔かん水の 2 水準)、無被覆の露地区と湿潤区 (1 ～ 2 日間隔で 50/ 樹かん水) の各区 3 樹の計 12 樹を供し、1 樹当たり 3 果 (葉) について果実硬度、水ポテンシャルを調査した。果実硬度は 2007 年 8 月 21 日 5:30, 9:45, 11:00, 13:00, 15:00, 18:30 と 22 日 5:15 に調査し、葉の水ポテンシャルは 22 日 5:15 に最大値を測定し、両者の関係について検討した。測定器具、方法は前項と同様とした。

●果実硬度、果肉色、着色歩合の時期別変化

湿潤区 (1 ～ 2 日間隔で 50/ 樹かん水) の 3 樹を用いた。2007 年 8 月 2, 9, 15, 22, 30 日, 9 月 5, 13, 19 日の早朝 5:00 頃に、1 樹当たりランダムに 3 果採取し、室内で果実硬度、果実の着色歩合、果肉色を調査した。果実硬度はデュロメータ (ESE (タイプ E), エラストロン社製)、着色歩合は未熟から完熟までを外観で 10 段階に分けて評価し、果肉色はカラーチャート (オレンジ用, 日園連作成) で評価した。

硬度の異なるシリコン製模造果実の試作

●手の触感による硬度判定と硬度計値との関係

マルチ区 (2 水準)、湿潤区、露地区の各 3 樹、計 12 樹を用い、2007 年 8 月 8, 9, 15, 21, 22, 30 日, 9 月 5, 13, 19 日の早朝 5:00 頃と 8 月 8 日は 15 時と 19 時, 8 月 14 日は 19 時, 8 月 21 日は 9 時～ 19 時までの間約 2 時間間隔で以下の測定を行った。1 樹当たりランダムに 3 果採取し、室内で果実硬度ならびに触感硬度を調査した。果実硬度はデュロメータ、触感硬度は 1 ～ 5 までを 0.5 で区切った 9 段階 (握っても殆ど凹まない: 5, わずかに凹む: 3, 大きく凹む: 1 とし、中間値 (2, 4) を設けた) で評価した。

写真 1 シリコン製模造果実

●シリコン製模造果実の試作ならびにこれを利用した葉の最大水ポテンシャルの推測

8 月上旬に平均的な横径 (43 mm) の崎久保早生の果実を採取し、石膏で型どりした後、市販のシリコン 3 種を材料に模造果実を試作した (写真 1)。模造果実の硬さは前項で調査した実際の果実硬度の範囲を基に模造果実の硬さを決め、その中で最も柔らかい硬度 60° 程度のもの (模造果実 C) を硬度スコア 1 とし、最も硬い硬度 80° 程度のもの (模造果実 A) を硬度スコア 5, その中間の硬度 70° 程度 (模造果実 B) を硬度スコア 3 とした。この模造果実の赤道面の硬さをデュロメータで測定した。

次に、試作した模造果実を使い、最大水ポテンシャルとの関係を検討した。マルチ区 (2 水準)、湿潤区、露地区の各 3 樹、計 12 樹を用い、2007 年 8 月 8, 14, 21 日の 3 回、日没後 (18 時～ 19 時) の果実硬度と翌朝 (5 時頃) の最大水ポテンシャルを測定することにより模造果実で推測できる葉の最大水ポテンシャルを検討した。

シリコン製模造果実を指標とした高品質果実生産の実証

●模造果実を指標としてかん水した水管理実証試験 (2008年度)

2008 年 7 月 23 日～ 10 月 10 日の間、透湿性防水シート (デュボン社製シートマルチ) を樹冠下全面に敷設し雨水が進入しないようにした。試作した 3 種のシリコン製模造果実を管理指標 (写真 2) とし、スコア 5 未満の硬さでかん水する弱ストレス区、スコア 3 以下の硬さでかん水する中ストレス区、スコア 1 以下の硬さでかん水する強ストレス区の 3 区を設けた。マルチ敷設後 2 ～ 3 日間隔で 19:00 頃に 1 樹 5 果についてシリコンボールと果実とを握り比べ (写真 3)、基準に達した区では点滴チューブで 40/ 樹のかん水を行った。対照として裸地状態でストレスを与えない湿潤区 (ほぼ毎日 50 l/ 樹をかん水) を設けた。処理の規模は各区 3 樹とした。なお、指標の利用は 8 月末までとし、以後はどの区も晴天が 3 日連続した時点で 50 l/ 樹をかん水した。果実品質は 9 月 18 日、着色歩合は 9 月 25 日、平均果実重、単位収量については 10 月 2 日に調査を行った。

写真2 シリコン製果実硬度指標

写真3 シリコン製果実硬度指標の使用状況

●模造果実を指標としてかん水する期間を変えた 水管理実証試験（2009年度）

2009年7月17日～10月5日の間、同上のシートマルチを樹冠下全面に敷設し雨水が進入しないようにした。前年同様にシリコン製模造果実を管理指標とし、スコア5未満の硬さで8月下旬までかん水する弱ストレス区、スコア5未満の硬さで8月中旬までかん水し、その後8月下旬までスコア3未満でかん水する弱→中ストレス区、裸地状態でストレスをできるだけ与えない湿潤区（雨天以外は毎日57l/樹をかん水）の3区を設けた。処理の規模は各区5樹とした。マルチ敷設後2～3日間隔で19:00頃に1樹5果についてシリコン製模造果実と果実とを握り比べ、基準に達した区では点滴チューブで30l/樹のかん水を行った。なお、指標の利用は8月末までとし、以後はどの区も晴天が3日連続した時点で50l/樹をかん水した。果実品質は9月28日、着色歩合は9月29日、平均果実重、単位収量については10月2日に調査を行った。

結果

水分ストレス指標としての果実硬度の利用可能性

●果実硬度ならびに葉の水ポテンシャルの日変化

果実硬度は日の出とともに徐々に低下し、13:00には最も柔らかくなった。その後、15:00から日没の18:00にかけ急激に回復し、翌朝5:00までは徐々に回復した。これに対し、葉内水ポテンシャルは、日の出とともに急激に低下、9:00から15:00の間はほぼ低いままの状態が続いた。その後15:00から日没後18:00にかけ急激に回復し、翌朝5:00までは徐々に回復した（図1）。

●果実硬度と葉の最大水ポテンシャルの時刻別相関

早朝5:00の葉の最大水ポテンシャルと前日の果実硬度との相関をみたところ、果実硬度が低下していく午前中の相関係数の絶対値は低く、回復していく午後は高くなる傾向にあり、日没頃の18:30が最も高かった（表1）。

●果実硬度、果肉色、着色歩合の時期別変化

水分ストレスがかからないようにした湿潤区において、8月中旬までは果実硬度は高く維持され、下旬頃から徐々に低下、9月に入り果実の着色や果肉が着色するとともに急激に軟化した（図2）。

硬度の異なるシリコン製模造果実の試作

●手の触感で感じる果実硬度と硬度計値との関係

手の触感で感じる果実硬度とデュロメータ値は高い相関（ $r=0.945, n=540$ ）を示し直線で回帰できた（図3）。

●試作した模造果実で推測される葉の最大水ポテンシャル

前項で調査した実際の果実硬度の範囲で、最も柔らかいものを硬度スコア1とし、最も硬いものを硬度スコア5、その中間を硬度スコア3とし、それぞれに相当する模造果実を試作した（表2、写真1）。た方のデュロメータによる果実硬度と翌朝の水ポテンシャルを調査したところ、直線回帰（回帰式： $y=0.0544x-4.7488, r=0.746, 1\%$ 水準で有意）した。この回帰式を用いて推測されるシリコン製模造果実A（果実硬度81.7°）の最大水ポテンシャルは-0.3 MPa程度で、シリコン製模造果実B（果実硬度73.0°）のそれは-0.9 MPa程度、シリコン製模造果実C（果実硬度58.3°）のそれは-1.6 MPa程度であった（図4、写真2）。

シリコン製模造果実を指標とした高品質果実生産の実証

●模造果実を指標としてかん水した水管理実証試験 （2008年度）

7月23日のマルチ敷設後、7月28日にはまとまった降雨があったが、その後8月22日までは晴天が続く、例年になく水分ストレスが強い気象条件となった（図5）。

表3に各処理の8月末までのかん水回数、果実の着色歩合、果実重、収量を示した。シリコン製模造果実を指標に管理した期間のかん水回数は、水分ストレスが強い指標で管理した区ほど少なくなった。着色歩合、果実重において、マルチ処理区間では強ストレス区は劣ったが弱ストレス、

図1 果実硬度と葉内水ポテンシャルの時刻別推移

注) 図中の縦棒は標準誤差を示す (n=3)

調査対象: 2007年8月21~22日, マルチ栽培3果(葉)/樹×3樹

表1 果実硬度と最大葉内水ポテンシャルとの相関

調査日	調査時刻	相関係数	有意性 ^z
8月21日	5:30	0.1324	NS
	9:45	-0.0736	NS
	11:00	-0.6230	*
	13:00	-0.5273	NS
	15:00	-0.6892	*
	18:30	-0.8553	**
8月22日	5:15	-0.3022	NS

^z) *は5%水準, **は1%水準で有意である事を示す。

注) 調査対象: マルチ樹(2水準), 湿潤, 露地の3果(葉)/樹×各3樹, 合計12樹。調査時刻は果実硬度の測定時刻, 最大葉内水ポテンシャルは8月22日5:15に測定。

中ストレス区との間には有意な差は認められなかった。収量はマルチ処理区間では有意な差が見られなかった(表3)。果実品質については, Brix, クエン酸(%)ともにストレスが強まるほど高くなった(表4)。なお, 中ストレス区で8月上旬に, 強ストレス区で8月上旬から中旬に葉の黄化やヤケ症状がみられた。生産目標を9月出荷で果実階級はS以上, 糖度10.5%以上, クエン酸1.2%以下と設定すると, 弱ストレス区では9月18日時点でBrix10.8%, クエン酸1.18%と目標とする高品質果実に到達した。

●模造果実を指標としてかん水する期間を変えた 水管理実証試験(2009年度)

7月17日のマルチ敷設後, 8月12日までは曇雨天日が多かったため, 8月末までの糖度を高める期間に水分ストレスがかかりにくい年であったが, それ以降9月中旬までは晴天が続き乾燥状態で推移した(図6)。シリコン製模造果実を指標に管理した期間のかん水回数は, 後半に水分スト

図2 湿潤管理下における果実硬度, 果肉色, 着色歩合の推移

注) 図中の縦棒は標準誤差を示す (n=3)

調査対象: 多かん水区の3果/樹×3樹, 調査時刻: 5時頃

レスを強めに管理した弱→中ストレス区でやや少なくなった(表5)。果実重は湿潤区に比べて弱→中ストレス区で有意に小さかったが, 弱ストレス区は差が認められなかった(表5)。成熟期の果実品質は, Brixでは湿潤区で低く, ストレス区間には差がなかった。クエン酸ではどの区も有意な差が認められなかった(表6)。ストレス区では果実硬度での水分管理を終えた1週間後の9月7日時点で, 糖度ほぼ10%に達しており, 収穫時にはいずれもBrixが11%を越え, クエン酸1.2%以下の高品質果実が生産された。また, 樹容積あたり収量は処理間に差はなかった(表5)。

図3 手の触感（9段階）と果実硬度（デュロメーター値）の関係

2) 調査対象：マルチ区（2水準）、湿潤区、露地区の各3樹の計12樹を供試
1回1樹3果を採取し、8月8日～9月19日の間に様々な時間帯の計15回調査した。

図4 日没後の果実硬度と最大水ポテンシャルに見る試作模造果実の硬さ

注) 矢印は模造果実（A、B、C）の硬度
調査対象：マルチ樹（2タイプ）、湿潤、露地の3果/樹×各3樹、合計12樹×3回（2007年8/8、8/14、8/21）日没後の果実硬度と翌朝の最大水ポテンシャルを調査

表2 試作模造果実の硬度

硬さ (スコア)	硬度 (デュロメーター)	標準偏差	備考
1	58.3	0.9	模造果実C
3	73.0	0.8	模造果実B
5	81.7	1.2	模造果実A

注) 調査対象：模造果実は各3ヶ。

考察

一般に夏期に乾燥が続くと、ウンシュウミカン果実は日中柔らかくなることが知られている。北園ら（1997）は葉内水ポテンシャル値と果実硬度との関係は相関が高く、樹体の水ストレスを推測できると考えられることを報告している。本報では果実硬度を手軽に、簡単に、低コストで評価できる道具を開発し、これを利用して樹体のストレスを判定する技術を開発した。

樹体にかかる乾燥ストレスの程度を把握する方法として、葉内水ポテンシャルが利用されてきた。間苧谷ら（1980）は早朝（日の出前）の最大葉内水ポテンシャルが樹のストレス状態を的確に反映するとしている。そこで、果実硬度により最大水ポテンシャルを推測するのに適当な時間帯を調査したところ、日没頃（18:30）が最適であることが明らかになった。

また、果実硬度の利用可能期間に関して8月から9月中旬にかけて調査したところ、8月末までは果実硬度が高く推移し、果肉色が濃くなるに従い硬度は急激に低下した。これは、9月以降は液胞の発達に伴い果汁が増加する（松本1973）ことによるものと考えられる。これらのことから、実際に果実硬度で判断できる時期は極早生温州では8月下旬までと判断した。

次に、測定した果実の硬度は手の触感とよく一致することが明らかになった。これらの情報から、果実の横径を8月上旬の平均横径である43mm、硬さを硬い（デュロメーター値81.7°）、中間（73.0°）、柔らかい（58.3°）の3段階に設定した模造果実をシリコンで作成した。硬い模造果実は水分ストレスが殆どないレベル、中間は一般的にかん水が必要と思われるレベル、柔らかいものは強い水分ストレスレベルの指標として考えられる。

シリコン製模造果実を使用し、ほ場での高品質果実生産について実証した。2008年には、上述の硬度の異なる3種の模造果実を基準としてかん水管理を実施したところ、より柔らかい模造果実を指標として管理するほど果実糖度は高くなるが、クエン酸濃度も高くなり、果重も低下、葉は黄化したことから、目標とする高品質で樹体への負担の少ない状態を作るには、硬い模造果実（硬度5）と中間の模造果実（硬度3）の間でかん水管理を実施するのが適切であると考えられた。貝原ら（2006）は根域制限栽培の「上野早生」を用い7月中下旬から最大葉内水ポテンシャル-1.0MPaでの管理が、また、中里ら（1994）は「興津早生」、「久能温州」のシートマルチ栽培において8月上旬から9月中旬に平均-0.6MPa程度の乾燥ストレスが、それぞれ高糖度果実生産に有効と報告している。これらの報告が示唆する水ポテンシャルは、本試験で使用した硬度3の模造果実のそれに近い。しかしながら、本試験結果からはより弱いストレスでの管理で十分であった。かん水判断が2から3日間隔であり、ストレスがかかったり解放されたりの繰り返しが高品質果実の生産と樹体のストレス軽減につながる

図5 2008年水分制御期間中の気温と降水量

注) 気温及び降水量は三重県農業研究所・紀南果樹研究室の気象観測システムにて収集

表3 異なる水ストレスが果実着色と果実重、収量に及ぼす影響

処理区	かん水回数 (回)	着色歩合 (分)	果実重 (g)	単位容積あたり収量 (kg/m ³)
弱ストレス	14	1.2 a ²	93.7 a	2.9 b
中ストレス	10	1.1 ab	78.3 ab	3.6 b
強ストレス	5	0.7 b	73.8 b	2.8 b
湿潤	22	0.9 ab	92.2 a	5.1 a
有意性	—	*	*	*

²⁾ 異なるアルファベットは最小有意差法により (*5%水準) 有意差あり。

注) 着色歩合は2008.9.25調査, 果実重及び収量は2008.10.2調査。

かん水回数はマルチ被覆から8月末までの回数,以降収穫までは各区共通で2回実施。

表4 異なる水ストレスが果実品質に及ぼす影響 (2008年度)

処理区	果実重 (g)	果形指数	果肉率 (%)	果皮厚 (mm)	果皮色 (カラーチャート)	果肉色 (カラーチャート)	Brix (%)	クエン酸 (%)
弱ストレス	79.8	129.1	81.0 a ²	2.19 b	1.2	5.4	10.8 b	1.18 bc
中ストレス	71.9	132.3	80.7 a	2.24 ab	1.1	5.5	11.3 ab	1.34 b
強ストレス	65.4	131.6	78.3 b	2.48 a	0.7	5.5	12.5 a	1.71 a
湿潤	81.6	132.9	81.8 a	2.19 b	1.1	5.6	9.0 c	1.03 c
有意性	—	—	*	*	NS	NS	**	**

²⁾ 異なるアルファベットは最小有意差法により (*5%, **1%水準) 有意差あり。

注) 調査は2008年9月18日。

ものと推察された。この点については、より精密な調査によってさらに優れた管理手法の開発につなげることが可能と考えられる。

また、2009年には、果実硬度が低下し始める8月中旬以降の管理指標を硬度5未満で継続する区と硬度3未満に強化する区に分けて比較したが、大差はなかった。このことから、8月中は硬度5未満を基準にし、5より明らかに柔らかいと感じる時にかん水を行う管理をすれば、収量、果実

重を低下させずに高品質果実が生産できることが明らかとなった。今後、指標として実用性を高めるためには、他の地域で検証を重ねるべきであると考えられる。

本報で得られた結果は極早生ウンシュウを対象にした試験に基づくものである。したがって、成熟期に近い早生温州への適応可能性も期待できるものと思われる。今後の検討課題としたい。

図6 2009年水分制御期間中の気温と降水量

注) 気温及び降水量は三重県農業研究所・紀南果樹研究室の気象観測システムにて収集

表5 水ストレスの程度と期間が果実着色と果実重、収量に及ぼす影響

処理区	かん水回数 (回)	着色歩合 (%)	果実重 (g)	単位容積あたり収量 (kg/m ³)
弱ストレス	8	5.2 a ²	75.5 ab	3.7
弱→中ストレス	5	4.6 a	73.6 b	4.1
湿潤	24	3.3 b	83.4 a	4.2
有意差	—	*	**	NS

²⁾ 異なるアルファベットは最小有意差法により (*5%, **1%水準) 有意差あり。

注) 着色歩合は2009.9.29調査, 果実重及び収量は2009.10.2調査。

かん水回数はマルチ被覆から8月末までの回数, 以降収穫までは各区とも5回実施。

表6 水分ストレスの程度と期間が果実品質に及ぼす影響 (2009年度)

処理区	果実重 (g)	果形指数	果肉率 (%)	果皮厚 (mm)	果皮色 (カラーチャート)	果肉色 (カラーチャート)	Brix (%)	クエン酸 (%)
弱ストレス	76.7	137.1	79.8	2.19	1.2 ab ²	5.4 a	11.4 a	1.06
弱→中ストレス	74.0	136.1	80.5	2.24	1.1 a	5.5 a	11.2 a	1.05
湿潤	78.2	136.4	79.3	2.19	1.1 b	5.6 b	9.8 b	1.05
有意性	—	—	NS	NS	*	**	**	NS

²⁾ 異なるアルファベットは最小有意差法により (*5%, **1%水準) 有意差あり。

注) 調査は2009年9月28日。

引用文献

- 星 典宏・森永邦久・横井秀輔・浜出絵里子・草場新之介・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, 園芸学研究, 6: 541-546.
- 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, 園芸学研究, 75別2: 90.
- 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量の年間変動と水分環

- 境および水管理, 園芸学研究, 7: 517-523.
- 北園国弥・高原利雄・松村 昇・緒方達志・磯部 暁 (1997) ウンシュウミカンの乾燥程度と樹体反応との関係, 九州農業研究, 59: 195.
- 間亭谷徹・町田 裕 (1980) 夏季におけるウンシュウミカン樹の水分管理指標としての葉の水ポテンシャル, 園芸学雑誌, 49: 41-48.
- 松本和夫 (1973) 「柑橘園芸新書」, 養賢堂, 168-169.
- 森永邦久・吉川弘恭・中尾誠司・関野幸二・村松 昇・長谷川美典 (2004) 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, 園芸学研究, 3: 33-37.

中里一郎・松永茂治・岸野 功 (1994) ウンシュウミカンの果実品質に及ぼすフィルムマルチの影響, 九州農業研究, 56: 218.
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量の変化, 園芸学研究, 6: 529-533.
須崎徳高・市ノ木山浩道 (2009) 温州みかんにおける果実硬度に着目した水分ストレス指標の開発, 園芸学研究, 8別2: 143.

高辻豊二 (2009) 高品質・中玉生産のための水分管理指標, 果実日本, 64(9): 51-55.

受付日 2011年 3月24日

受理日 2011年 5月20日

担当分野 工学分野

Agricultural Information Research 20(3) 2011. 102-109

A New Tool for Determining Fruit Hardness for Use in Monitoring Plant Water Deficits in Mulched Satsuma Mandarin Orchards

Noritaka Suzaki^{*1)}, Hiromichi Ichinokiyama¹⁾ and Hitoshi Okuda²⁾

1) Mie Prefecture Agricultural Research Institute, Kinan Fruit Science Branch, 2327 Sihara, Mihama 519-5202, Japan

2) Field Science Center of Kii-Kuroshio Life Area, Mie University, Takano 2027-2, Tsu 514-2221, Japan

Abstract

In commercial orchards of satsuma mandarin in Japan, mulching cultivation has been developed to produce high quality fruit. It is, however, difficult to manage irrigation to produce consistent characteristics such as high fruit quality, fruit productivity, and tree vigor. The principal reason for this is that no simple, easy, and reliable indicator has been developed to evaluate tree water deficits. In this study, we demonstrated that the morning maximum leaf water potential could be estimated using the fruit hardness in the evening of the previous day. To assist farmers in estimating fruit hardness, we developed a set of three silicone rubber balls with different degrees of hardness as a reference tool, and verified their effectiveness. The experiment was performed in 2008 and 2009, and revealed that irrigation management during July and August using the silicone rubber reference balls gave good results, with high fruit quality and high fruit productivity. Fruit hardness estimated using the silicone rubber balls therefore appears to be a good indicator of irrigation management during July and August for mulched citrus orchards.

Keywords

Satsuma mandarin, mulching cultivation, water stress, irrigation indicator, silicone rubber reference balls

* Corresponding Author
E-mail: suzakn00@pref.mie.jp