

根域制限栽培したウンシュウミカン樹における水分ストレス程度と果実品質

誌名	佐賀県果樹試験場研究報告
ISSN	03852822
著者	貝原, 洋平 宮本, 輝仁 新堂, 高広
巻/号	17号
掲載ページ	p. 29-33
発行年月	2012年3月

根域制限栽培したウンシュウミカン樹における水分ストレス程度と果実品質

貝原洋平^{1,2}・宮本輝仁³・新堂高広¹

キーワード：水分ストレス，果実品質，葉の水ポテンシャル，土壤水分

Water stress and quality of Satsuma mandarin under root zone restriction

Youhei KAIHARA^{1,2}, Teruhito MIYAMOTO³ and Takahiro SHINDO¹

¹Higashimatsuura Agricultural Extension Station, Karatsu, Saga 847-0861

²National Institute for Rural Engineering, Tsukuba, Ibaraki 305-8609

³Saga Prefectural Fruit Tree Experiment Station, Ogi, Saga 845-0014

Summary

Water stress is often applied to fruit trees during their growing season to produce high quality fruits. Root zone restriction is a convenient method of regulating water content in the root zone. To establish an optimal controlling method of water stress condition under root zone restriction, we investigated the relationship between water stress and quality of Satsuma mandarin. Leaf water potential (LWP), volumetric water content in the root zone, meteorological quality and fruit quality were measured at limited irrigation and control sites. On initiation of water stress at the beginning of July, LWP decreased to -1 MPa and volumetric water content decreased to approximately 30% until early August. From August to mid-October, LWP fluctuated between -0.5 MPa and -1.5 MPa corresponding with the temporal changes in evapotranspiration. The fruit quality improved significantly under limited irrigation. Based on these results we conclude that it is appropriate to maintain LWP over -1 MPa by limited irrigation using root zone restriction. In addition, the results also suggest that water content in the root zone and evapotranspiration can be useful indicators for water management in Satsuma mandarin orchards.

Key Words : water stress, fruits quality, leaf water potential, volumetric water content

緒言

近年、ウンシュウミカン産地では品質に応じて果実が区分出荷される体制となっており、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壤表面を被覆して降雨を遮断することにより、夏秋季に土壤を乾燥させ、樹体に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(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。また、園地土壤の乾燥程度や夏秋期の気象条件によっては過度に強い水分ストレスが付与され、果実の

減酸不良や樹勢の低下といった問題が生じる事例もみられる。そこで、気象条件に左右されずに樹体への水分ストレスをコントロールしやすい栽培法として、根域制限栽培が導入され始めている(新堂ら, 2006; 川崎ら, 2006)。しかし、根域制限栽培したウンシュウミカン樹の水分ストレス付与特性や、どの程度の水分ストレスが品質向上に適切なかが明らかとなっておらず、現場での水管理が問題となっている。

本研究では、根域制限栽培したウンシュウミカン樹の水分ストレス付与特性を明らかとするため、葉の水ポテンシャルと土壤水分および気象環境との関連性について検討した。さらに、葉の水ポテンシャルと果実品質との関係について検討し、水分ストレス程度と果実品質との関連性について検討した。

¹佐賀県果樹試験場 〒845-0014 佐賀県小城市小城町晴氣91

²現在 東松浦農業改良普及センター 〒847-0861 佐賀県唐津市二タ子3-1-5

³(独)農研機構農村工学研究所 〒305-8609 茨城県つくば市観音台2-1-6

1. 根域制限栽培樹における水分環境

2005年、2006年に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’3樹を供試した。根域制限栽培圃場は、不透水性の遮水シートを畝部(幅1.5m)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1.5mで植栽したもので、1樹当たりの培土容量は約600Lである(夏秋ら, 2004)。供試樹は樹高が1.5m程で樹容積が2.5m³程の樹を選び、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を試験期間とし、地表面を白黒ポリのマルチ資材で被覆し降雨を遮断した。試験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、試験期間の1~3日おき(無降雨日)に、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(Model600, pms製)を用いて測定した。葉の水ポテンシャルが-1MPa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10~20L(約4~8mm)を灌水した。

葉の水ポテンシャルの測定日に合わせて、地表面から深さ20cmまでの土壌水分の測定を行った。20.5cm長の測定プローブを5cm間隔で20cmまで土壌内に埋設し、TDR100(Campbell製)を用いてTDR法による誘電率の測定を行い、試験圃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(登尾, 2003, Orら, 2004)。

試験期間における当該試験場の日単位の平均気温(°C)、平均風速(m・s⁻¹)、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(可能蒸発散量)(mm)を算出した(三浦, 1992)。

2. 水分ストレス程度と果実品質との関連

2005年、2006年の7月上旬から10月中旬に、上に述べた試験圃地の‘上野早生’6樹を供試して、葉の水ポテンシャルと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-1MPa程度で灌水する乾燥区と-0.6MPa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樹とした。

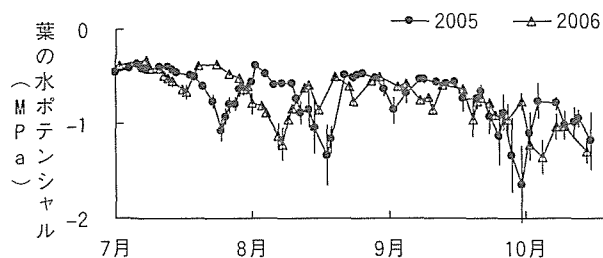
果実品質は、2005年、2006年ともに8月上旬より約10~14日おきに各樹3果の果実を採取して、糖酸度分析機(NH-2000, HORIBA製)を用いて糖度(Brix値)、クエン酸含量(%)を測定した。

1. 根域制限栽培樹における水分環境

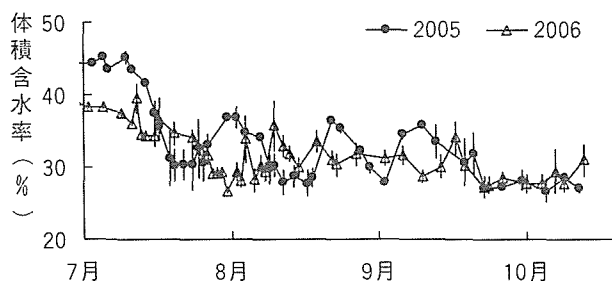
‘上野早生’の葉の水ポテンシャルは、2005年は7月中旬以降に低下し始め、7月下旬に-1MPa程まで低下した。その後は8月上中旬、9月初旬、9月下旬から10月初旬、10月中旬の各時期に-1MPa程からそれ以下まで低下しながら推移した。2006年は、7月中旬に値がやや低下し始めたが、-1MPa程まで低下したのは8月上旬になってからであり、2005年より値の低下時期がやや遅れた。その後は8月中旬、9月中下旬、10月上旬の各時期に-1MPa程からそれ以下まで低下しながら推移した(第1図)。

土壌水分は、各年とも葉の水ポテンシャルの低下とよく対応して推移した。葉の水ポテンシャルが-1MPa程まで低下したときの土壌の体積含水率は、30%前後の値まで低下していた。また、葉の水ポテンシャルが-1.5~-2MPa程まで低下したときの土壌の体積含水率は、25~27%程まで低下していた(第2図)。

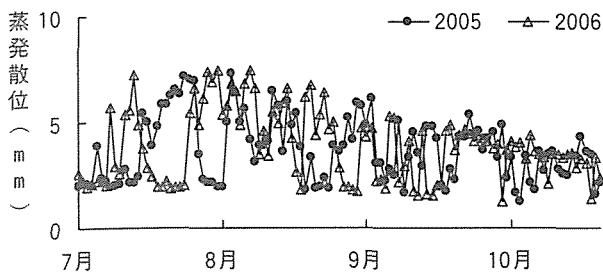
ペンマン法により算出した蒸発散位は、葉の水ポテンシャル、土壌水分と類似な変動を示した(第3図)。例えば、2005年7月中下旬においては、蒸発散位の上昇に反応して葉の水ポテンシャル、土壌水分も低下したように見えるなど、夏秋期における蒸発散位は葉の水ポテンシャル、土壌水分と似た変化を示した(第1, 2, 3図)。



第1図 ‘上野早生’における葉の水ポテンシャルの推移
誤差線は、標準誤差(n=3)を表す



第2図 ‘上野早生’における土壌水分の推移
誤差線は、標準誤差(n=3)を表す

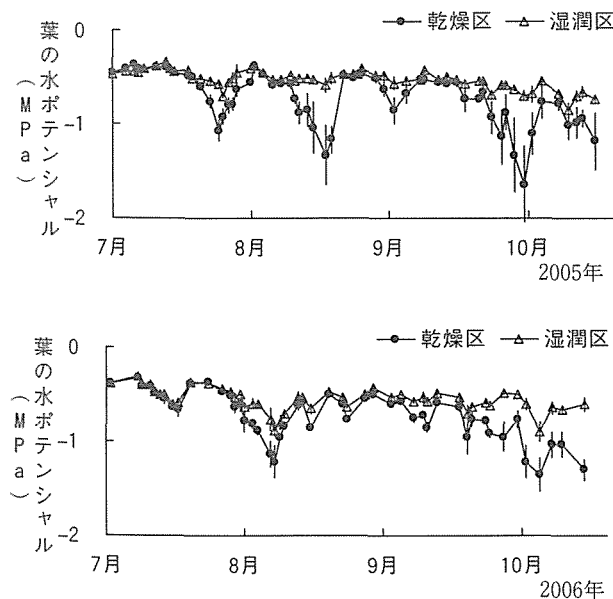


第3図 2005年、2006年の7月から10月における蒸発散位の推移

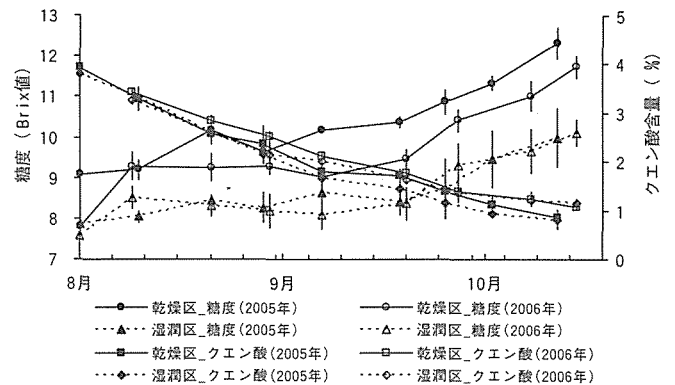
2. 水分ストレス程度と果実品質との関連

葉の水ポテンシャルは、2005年は7月下旬から、2006年は8月上旬から乾燥区が湿潤区より低い値で推移した。湿潤区は両年ともにほぼ-0.5MPa前後の値で推移したが、2006年の8月上旬と両年の10月はやや低い値を示した（第4図）。

果実糖度は、両年とも8月上旬時点で乾燥区が湿潤区より高い値を示したが、2006年は試験区間の差が小さかった。その後乾燥区においては、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（第5図）。湿潤区は、両年ともに8月上旬から9月中旬まではほぼ横ばいで推移し、9月下旬以降に上昇して収穫期の糖度は約10であった（第5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5図）。



第4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
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

考 察

1. 根域制限栽培樹における水分環境

本研究では、葉の水ポテンシャルと土壤水分の関連を明らかにした。マルチ栽培における土壤水分は果実品質との関連などについてこれまで調査されているが（村本ら、2007）、葉の水ポテンシャルとの関連について詳細に調査された事例は少なく、土壤と樹体の乾燥の関係がはっきりしていなかったことから適切な水管理が困難になっていた。本研究で得られた樹体と土壤の乾燥パターンは、現場での水管理を行ううえでの基礎資料になるだろう。さらに葉の水ポテンシャルを現場で測定することは容易ではないが、土壤の体積含水率が測定できればよりの確な水管理を行うことも可能である。本研究で用いたTDR100は、高価で電源や操作用のPCが必要なため現場での土壤水分測定には不向きだが、同じくTDR法を用いた携帯型のTDR土壤水分計等を用いれば簡易に土壤の体積含水率を測定することも可能である。

また、根域制限栽培では同一樹の根圏における土壤水分のばらつきは小さいが、一般のマルチ栽培では同一樹であっても土層の深さや測定箇所による土壤水分の違いが観察されている（藤田ら、2011）。そのため、マルチ栽培で土壤水分を水管理の指標とするためには、水分ストレスと関連する土壤水分について把握する必要がある。

葉の水ポテンシャルが-1MPa程となったときの土壤の体積含水率は30%程であった。別途分析した土壤のpF-水分曲線では、含水率が30%程のときにpFは3.8程を示した（未発表）。さらに、葉の水ポテンシャルが-1.5MPa程からそれ以下まで低下したときには、土壤の体積含水率は25~27%程まで低下しており、その含水率はpF-水分曲線においてpF4.2からそれ以下に換算された。pFを水ポテンシャルに

換算すると、 $pF3.8 \sim 4.2$ は $-0.63 \sim -1.58\text{MPa}$ となる(野並、2003)。土壌の水ポテンシャルが $pF3.8$ 相当の -0.63MPa 程まで低下したときの葉の水ポテンシャルが -1MPa 程であったことは、土壌から葉までの水ポテンシャル勾配を考慮して妥当な数値と考えられる。土壌の水ポテンシャルが $pF4.2$ 相当の -1.58MPa 程まで低下したときの葉の水ポテンシャルが -1.5MPa からそれ以下であったことは、土壌と樹の水ポテンシャル勾配が崩れ、樹は水分を保持できなくなっていることを示している。

実際に達観による樹の観察では、葉の水ポテンシャルが -1.5MPa 以下となると樹は葉や果実が著しく萎れて果実肥大は停止し、樹に過度の水分ストレスが付与された状態となる。よって、葉の水ポテンシャルで -1MPa 程の値は、樹への過度の水分ストレスとならずに果実品質向上にとって一定の水分ストレスが付与されたときの値と考えられる。

本研究では葉の水ポテンシャル、土壌水分と蒸発散位との間の関連についても把握できた。蒸発散位は、気温や日照時間、降雨量といった複数の気象要因を反映させたもので、樹体の乾燥程度を表す指標になり得ると考えられる。ただし、現時点での蒸発散位の計算のパラメータは草地を仮定したものであるため、今後の研究によりウンシュウミカン樹の蒸発散量と整合するようなパラメータの設定などができれば、気象データからの水分ストレスの予測等も可能となってくるかもしれない。

2. 水分ストレス程度と果実品質との関連

乾燥区の果実糖度は葉の水ポテンシャルの低下に対応して上昇し、2005年は8月上旬より、2006年は8月中旬以降に湿潤区より明らかに高い値で推移した。乾燥区の果実品質は、両年とも10月中旬の収穫期において糖度が約12、クエン酸が約1%となった。10月中旬における佐賀県のブランド果実の出荷基準は、糖度11以上、クエン酸1%未満とされており、乾燥区の果実はブランド果実の基準を十分に満たしている。よって、乾燥区の灌水の基準とした葉の水ポテンシャルの -1MPa 程の値は、高品質果実生産を達成するための水管理の基準として適していると考えられた。

一方、湿潤区の糖度の推移をみると、9月下旬頃まではほぼ横ばいの推移であったが、その後収穫期にかけては1.5程の上昇がみられた。この期間は葉の水ポテンシャルもやや低下したが、灌水管理はそれ以前の期間と同様に実施している。これは、夏季に比べると気温が低下して根の活動が弱まったことや、根域制限栽培が品質向上しやすい条件であることなどが糖度上昇に寄与していると考えられる。

また、Yakushijiら(1996, 1998)はマルチ栽培で灌水区と乾燥区の比較調査を行っており、土壌の水ポテンシャル

が高く維持された灌水区も成熟期近くになると乾燥区同様に果皮の浸透ポテンシャルを低下させることを確認しており、本研究と同様に灌水区の糖度も成熟期に上昇している。プレッシャーチャンバーは圧ポテンシャルを測定しており、本研究における浸透ポテンシャルは不明であるが、成熟に伴い浸透ポテンシャルを高めることで糖の集積が起こったことも要因として考えられる。一方、乾燥区の糖度は9月下旬以降において2程上昇しており、圧ポテンシャルと浸透ポテンシャルの低下の相乗効果が考えられる。

乾燥区と湿潤区の収穫期の糖度差は約2であり、9月下旬頃までの糖度差が収穫期の糖度差に大きく影響していた。このことは、目標とする高品質果実生産のためには、成熟期前までに目標とする糖度まで上昇させておくことの重要性を示しており、そのためには夏秋期に一定の水分ストレスを付与させることが必要である。特に蒸発散位が高く安定しやすい時期となる梅雨明け以降に樹体の乾燥を進行させ、7月下旬から8月上旬に樹へ一定の水分ストレスを付与させることで糖度を上昇させることは、成熟期の早い極早生ウンシュウミカンにおいて連年安定した高品質果実生産のための水管理のポイントとして重要と考えられた。

摘 要

根域制限栽培したウンシュウミカン樹における水分ストレス付与特性および水分ストレス程度と果実品質との関係を明らかとするため、葉の水ポテンシャルと土壌水分、気象環境、果実品質との関連を調査した。7月上旬から節水管理を開始した場合、葉の水ポテンシャルは7月下旬から8月上旬頃に -1MPa 程まで低下し、その時の土壌の体積含水率は30%前後まで低下していた。その後の葉の水ポテンシャルは、蒸発散位の変化に対応しながら時折 -1MPa 程まで低下しながら推移した。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を -1MPa 程とした乾燥区と -0.6MPa 程とした湿潤区では、乾燥区で果実糖度が明らかに高く、ブランド果実の品質基準を満たした果実が生産できた。よって、根域制限栽培においては、夏秋季に -1MPa 程を灌水点とする水管理を行うことで高品質果実生産を達成できた。また、土壌水分や蒸発散位を利用することで、現場での水管理指標に活用できる可能性も示唆された。

引用文献

- 藤田絢香・中村元一・亀岡孝治. 2011. 生産現場における高品質ミカン生産のためのICT利用に向けた土壌水分計測手法の確立. 農業情報研究. 20 : 86-94.
- 川崎敦之・新堂高広. 2006. ウンシュウミカンにおける根域制限栽培の経営評価 第2報 収益性及び省力性について. 九農研. 69 : 210.
- 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.
- 村本晃司・大倉英憲・井樋昭宏・牛島孝策. 2007. TDR土壌水分計を用いた簡易診断による極早生ウンシュウミカンの高糖度化. 九農研. 70 : 221.
- 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.
- 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法活用ー土壌中の水分・塩分量の同時測定ー. 土壌の物理性. 93 : 57-65.
- 野並 浩. 2003. 第2章 水ポテンシャルの概念と計測法. p. 13-69. 植物水分生理学. 養賢堂. 東京.
- 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.
- 新堂高広・川崎敦之. 2006. ウンシュウミカンにおける根域制限栽培の経営評価 第1報 果実品質及び収量について. 九農研. 69 : 209.
- Yakushiji, H., Morinaga, K., Nonami, H. 1998. Sugar accumulation and partitioning in Satsuma mandarin tree tissues and fruit in response to drought stress. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 123: 719-726.
- Yakushiji, H., Nonami, H., Fukuyama, T., Ono, S., Takagi, N., Hashimoto, Y. 1996. Sugar accumulation enhanced by osmoregulation in Satsuma mandarin fruits. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121: 466-472.