温州ミカンの水分均衡に関する研究 (第3報)

地表面かん水または葉面散水处理による葉の W.S.D. の経時的变化

鈴木鉄男・金子 衛・鳥潟博高

(愛知県農業総合試験場, 園芸研究所, 内海試験地) (名古屋大学農学部)

Studies on the water balance in Satsuma orange trees. III.
Changes in leaf water saturation deficit after watering
to the soil or during sprinkling water upon leaf surface.

Tetsuo. SUZUKI, Mamoru. KANEKO and Hirotaka. TORIKATA

Aichi Agricultural Center, Utsumi Branch, Minamichita, Aichi
and Faculty of Agriculture, Nagoya University, Chikusa, Nagoya

Summary

Six~8 years old Satsuma orange (Ôiwa No. 5) plants which were grown in earthen ware pipes (60cm in diameter × 60cm in depth) filled with sandy loam were used in this experiment. Experiments were repeated during July of 1966, August of 1967 and January of 1968 in the dry season. An attempt in the experiments is to decide which watering methods should be taken for keeping water balance in a leaf.

Before experiments, the soil was allowed to dry out gradually by withholding irrigation and keeping out of rainfall until the visible wilting took place. At the beginning of experiments, watering to plants was conditioned by two methods:

1) by supplying to the soil and 2) by sprinkling upon leaf surface. The soil in control plots had been moistened by flooding water near to its field capacity. The water saturation deficits (W. S. D.) in leaves were measured by modified ACKLEY's and RUTTER and SANDS's method. Their results are as follows:

In the summer experiments, decrease in leaf water deficits was apparent at 30 minutes after watering to soil. In one hour after treatment there was little difference in leaf water deficits between treated and control plots. While increase in leaf water contents had occurred in a brief period after treatment. This tendency was also shown in the winter experiments. However, it took more time to reach the same value in water content or W. S. D. as control plants.

W. S. D. and water content in leaves during sprinkling water upon leaf surface reached the same value 3 and 2 hours, respectively, after start of sprinkling water without regard to season.

From these results, watering to plants to correct the water deficit in leaves is better to supply to the soil in summer and to sprinkle upon leaf surface in winter. It may be concluded that the greater efficiency in practice can be obtained by sprinkling water overhead both to soil and upon leaf surface.

I. 緒 言

わが国のカンキツ栽培において、夏秋季の干害がしばしば発生し、大きな障害となっている。冬季の寒害は低温と寒風がおもな原因であるが、いずれの季節においても蒸散と吸水との不均衡が大きく関与している。筆者らは温州ミカン樹の水分不足度をあらわす指標の一つとして、葉の飽和水分不足度 (W. S. D.) を取り上げ、1962年から研究を進めてきた^(17, 18, 21)。

本実験は、砂壤土をつめた大型陶管植えの温州ミカンを用い、夏季と冬季の土壤乾燥時に地表面かん水と葉面散水を行ない、根から吸水させた場合と葉面から吸水さ

せた場合の、高さ 1m 内外に位置した葉の W. S. D. と水分含量の変化を経時的に追跡して、葉内の水分均衡からみた地表面かん水および葉面散水处理の効果を比較したものであり、二、三の結果が得られたので、その概要を報告する。

II. 材料および方法

実験は愛知園試、内海分場 (現在 愛知農総試、内海試験地) 内で、1966 年から '68 年にわたって行なつた。

地表面かん水处理についての実験は、夏季は 1966 年 7 月 20 日に、直径、深さともに 60cm の大型陶管に砂壤土をつめて栽植中の 6 年生温州ミカン (大岩 5 号) を供試して行ない、冬季は 1968 年 1 月 12 日に、夏季

1968 年 7 月 22 日受理

と同様の陶管に栽植中の8年生温州ミカン(大岩5号)を供試して行なつた。方法としては、実験に先だち、一定期間土面をビニール被覆による防雨遮断と無かん水によつて土壌を乾燥させ、枝葉に初期の干害徴候を認めるに至つた乾燥区と、かん水を適宜実施して土壌を適湿に保持した対照区を設けた。各区の供試樹について、9時(午前)になる直前に、不着果枝の春枝中央葉を採葉し、同時に深さ20cmの土層から採土して、葉のW.S.D.と水分含量ならびに土壌水分含量を測定した。9時過ぎに乾燥区に対して40mmの地表面かん水を実施し、それ以降は30分後(9時30分)、1時間後(10時)、2時間後(11時)、3時間後(12時)、5時間後(14時)、7時間後(16時)に、各区について同様に採葉と採土を行ない、葉のW.S.D.と水分含量ならびに土壌水分含量の経時的变化を追跡した。なお、採葉位置の高さは地表面より1m内外である。

葉面散水処理についての実験は、夏季は1967年8月30日に、地表面かん水処理の場合と同様の陶管に栽植中の、7年生温州ミカン(大岩5号)を供試して行ない、冬季は1968年1月18日に、夏季の実験で用いたような陶管植えの8年生温州ミカン(大岩5号)を供試して行なつた。方法としては、地表面かん水処理の場合と同様に、乾燥区と対照区を設けた。各区の供試樹について10時(午前)になる直前に、不着果枝の春枝中央葉を採葉し、同時に深さ10cmの土層から採土して、葉のW.S.D.と水分含量ならびに土壌水分含量を測定した。葉面散水処理は予め準備しておいた乾燥区について、土面をビニール膜で完全に被覆して、水の侵入を防ぎながら、ガーデンホースの先に大型如露の頭部を取り付け、

第1表 陶管内土壌の水分恒数

	pF	土壌水分含量	
		(対乾土)	(容 量)
容 水 量 (W.H.C.)	—	30.2%	39.3%
圃場含水量 (F.W.C.)	1.6	15.7	20.4
水分当量 (M.E.)	2.7	10.0	13.0
萎凋係数 (W.P.)	4.2	5.4	7.0

第2表 処理実施日の気象条件

区	年月日	気 温			湿度	地 温 (30cm)	蒸発	日照	風速	天候	
		平均	最高	最低							
地表面かん水	夏季	1966.7.20	28.8	34.5	23.0	61	25.3	5.1	10.1	2.4	①
	冬季	1968.1.12	4.8	12.0	-2.5	82	5.5	1.0	8.0	0.8	○
葉 面 散 水	夏季	1967.8.30	26.0	29.9	22.0	71	27.1	3.8	4.6	2.0	①
	冬季	1968.1.18	7.1	13.5	0.6	63	5.0	2.3	8.2	10.3	○

10時(午前)に360mm/hrの散水強度で樹上から葉面散水を開始し、16時まで処理を継続した。散水開始の30分後(10時30分)、1時間後(11時)、2時間後(12時)、4時間後(14時)、6時間後(16時)に、各区について同様に採葉と採土を行ない、葉のW.S.D.と水分含量ならびに土壌水分含量の経時的变化を追跡した。その場合、採葉位置の高さは地表面より1m内外とした。

葉のW.S.D.と水分含量の測定方法は既報⁽¹⁸⁾の方法にしたがつたが、W.S.D.についてはACKLEY⁽¹⁾やRUTTER⁽¹⁴⁾の方法を一部変えたものである。土壌水分含量の測定は採土による乾熱法で行なつた。なお、陶管内土壌の水分恒数は第1表に示すとおりである。参考までに、処理実施日の気象条件を第2表に示す。

III. 実験結果

1. 夏季における地表面かん水後の葉のW.S.D.と水分含量の変化

土壌乾燥によつて葉のW.S.D.は明らかに上昇し、葉内水分含量は逆に減少していることが認められたが、かん水による土壌水分含量の増加にともない、比較的短時間のうちに、葉のW.S.D.の下降と、水分含量の増加が認められた。すなわち、葉のW.S.D.は9時のかん水処理後、わずか30分ほどで明らかな下降をみて、1時間後にはほぼ対照区に近い状態まで回復した。葉内水分含量はW.S.D.の変化ほど急速でなかつたが、かん水処理の影響は比較的短時間のうちに認められた(第1図)。なお、対照区における葉のW.S.D.と水分含量の経時的变化は、既報⁽¹⁷⁾の夏季における日変化を調査した結果とほぼ同じ傾向を示すもので、W.S.D.は9時から徐々に上昇して12時にピークとなり、その後は14時から16時にかけて急速に下降し、一方の葉内水分含量は、9時から12時にかけての変化はそれほど大きくないが、14時から16時にかけて明らかに増加することが認められた。

2. 冬季における地表面かん水後の葉のW.S.D.と水分含量の変化

冬季においても、土壌乾燥によつて葉のW.S.D.はかなり上昇し、逆に葉内水分含量は減少していることが認められたが、かん水処理後の土壌水分含量の増加にと

もなう、葉のW.S.D.の下降とか葉内水分含量の増加は比較的緩慢であつた。すなわち、葉のW.S.D.

第1図 温州ミカン樹の、夏季における地表面かん水後の葉の W.S.D. と葉内水分含量ならびに土壤水分含量の経時的变化 (1966 年 7 月 20 日)

第2図 温州ミカン樹の、冬季における地表面かん水後の葉の W.S.D. と葉内水分含量ならびに土壤水分含量の経時的变化 (1968 年 1 月 12 日)

はかん水処理の4時間後によく対照区の程度まで回復し、葉内水分含量も3時間後に対照区と同程度まで回復した(第2図)。なお、対照区における葉の W.S.D. と葉内水分含量の経時的变化は、既報⁽¹⁷⁾の冬季における日変化とはほぼ同じ傾向を示すもので、葉の W.S.D. は9時から12時までにはそれほどの変化がなく、12時付近にピークがあり、その後は14時から16時にかけて次第に下降すること、葉内水分含量は9時から12時にかけてわずかに減少し、その後は14時から16時にかけて著しく増加することが認められた。

3. 夏季における葉面散水後の葉の W.S.D. と水分含量の変化

夏季に、土壤乾燥によつて初期の干害徴候を示すに至った乾燥区の供試樹に対して、土面への水の侵入を防ぎ

第3図 温州ミカン樹における、夏季の葉面散水にともなう葉の W.S.D. と葉内水分含量の経時的变化 (1967 年 8 月 30 日)

ながら葉面散水処理を実施したところ、葉の W.S.D. は散水にともない急速に下降し続け、10時の開始後30分間で4%、1時間後には8%以上も下降がみられ、3時間ではほぼ対照区の数値に接近した。一方の葉内水分含量は短時間のうちに増加して、2時間後には対照区の状態まで回復した(第3図)。このことから、一時的ではあろうが葉の水分不足の状態は、葉面散水処理によつて比較的短時間のうちにかなり回復するようであつた。なお、対照区における葉の W.S.D. と水分含量の経時的变化は、地表面かん水処理の場合とやや異なり、葉の W.S.D. は14時でもかなり高い値を示し、一方の葉内水分含量では、14時以降の増加がほとんど認められなかつた。

4. 冬季における葉面散水後の葉の W.S.D. と水分含量の変化

地表面かん水処理の実験で認められたように、冬季においても土壤乾燥によつて葉の W.S.D. はかなり上昇し、逆に葉内水分含量は減少していることが認められた。乾燥区に対する葉面散水処理によつて葉の W.S.D. は次第に下降し続け、3時間後にはほぼ対照区と同程度まで回復した。一方の葉内水分含量はかなり急速に増加して、2時間後には対照区の状態まで回復した(第4図)。なお、対照区における葉の W.S.D. と水分含量の経時的变化は、既報⁽¹⁷⁾の冬季における日変化の調査結果とはほぼ同じ傾向を示している。

第4図 温州ミカン樹における、冬季の葉面散水にともなう葉の W.S.D. と葉内水分含量の経時的变化 (1968 年 1 月 18 日)

IV. 考 察

夏季に、乾燥区に対して地表面かん水を行ない、土面からはば 1 m の高さで採葉して W.S.D. の経時的变化をみたところ、処理後わずか 30 分で下降し始め、1 時間後にはほぼ正常な状態に回復した。かん水後 30 分から 1 時間にかけて葉の W.S.D. が明らかに変化することは、かん水による水分が葉に到達したことを意味し、流速にして約 1.5 m/hr で根から葉に移動したことが推測できる。これに対して、冬季では地表面かん水後の葉内水分含量は、2 時間後にはかなり増加して、3 時間後にはほぼ正常な状態まで回復したが、葉の W.S.D. の変化は非常に緩慢で、2 時間後にはわずかに低下の傾向を示し、3 時間後からその下降が明らかとなり、4 時間後にはほぼ正常な状態に到達した。このことから、厳寒期における根から葉までの水分上昇の速度は、夏季の 1/4 程度であり、流速にして約 0.38 m/hr 程度と推測される。飯塚⁽³⁾は温州ミカン幼樹を用い、かん水後の葉の含水量の増加に要する時間を測って水分上昇の速度を調べ、夏季は流速にして約 1.0 m/hr であり、冬季は 0.3 m/hr であることを報告しているが、本実験結果とはほぼ一致している。筆者らの前報⁽¹⁷⁾では風処理と蒸騰流の速度について、これらの値より大きい値を得たが、これは鉢植のものを風洞を置いたガラス室内で行なったためと思われる。

冬季の地表面かん水において、葉の W.S.D. からみた水分均衡の回復が遅い理由としては、常緑果樹である温州ミカンは冬季でも葉面蒸散がかなり活発に行なわれる^(3,5,6)のに、地温低下によつて根の吸水機能が減退して吸水量が著しく減少する^(3,5,6,7,19)ことと、樹温が低下

するために枝幹内の水分通過量が減少する⁽³⁾ため、蒸散—吸水の不均衡が是正されにくいという点があげられる。玉井⁽¹⁹⁾によれば、夏橙において 1~3 月の冬季の吸水量は 8 月の約 1/7 に過ぎないという。一般に低温によつて根の吸水作用は著しく減退するが、これは低温により水の粘稠度が増すこと、原形質の水に対する透過性が減少すること、呼吸作用が減退して吸水エネルギーが低下することなどのためと考えられる^(8,11,20)。また、低温期には根が老化してスベリン化し、吸水能が衰えるともいわれている^(9,10)。前報⁽¹⁷⁾において、蒸騰流の速度は、樹体を強風にさらすことによつて速くなり、土壌水分含量が減少するにつれて流速が低下することを報告したが、このような枝幹内の水分上昇の速度は、樹温によつても大きく変化するものとされている⁽³⁾。なお、冬季に枝幹内の水分上昇の速度が鈍る原因の一つとして、冬季は通導管内に空気が気泡となつて入りやすく、これが水分上昇を抑制しているという報告⁽²⁾もある。

近年、果樹園のかん水方法として、スプリンクラーによる散水かんがい法が普及しつつある。したがつて、葉面散水の開始とともに、樹体内とくに葉内の水分状態がどのように変化するかは関心がもたれる。本実験の葉面散水処理においては、夏季、冬季ともに葉の W.S.D. は処理開始後、急速に下降し始め、3 時間ではほぼ正常な状態に回復し、葉内水分含量も 2 時間後には対照区と同程度まで回復がみられた。しかし、葉の機能がただちに正常に回復したかどうかは問題である。SCHNEIDER ら⁽¹⁵⁾はリンゴの幼樹に対し、萎凋係数近くまで乾燥させ、後給水によつて葉の膨潤状態をふたたび獲得させても、正常な光合成率にもどるのに 2~7 日間を要したといっている。これらの点については今後さらに検討する必要がある。冬季は前述のように、低温による根の吸水機能の減退と樹温低下による枝幹内の水分通過量の減少で、地表面かん水の効果はあまり期待できないように思われる。とくに低温で強い寒風があつた場合は、葉内水分の急激な不足をもたらしたり、樹温低下を招くので、それらを直ちに補つたり防止する意味からも葉面散水ははなはだ有効であると考えられる⁽¹⁶⁾。そのような見地から、カンキツ栽培において冬季に葉面散水を積極的に取り入れて、葉からの吸水をはかり、寒風害に対する抵抗力を高め、冬から早春にかけての落葉を軽減させ、樹体生育を順調に導こうとする試みがすでになされ、その効果が確認されている。^(12,13,16,21,22)ところで、飯塚⁽⁴⁾は温州ミカンの切葉の吸水について調査を行ない、葉の上下面で吸水量が異なり、両面>下面>上面の関係にあること、冬季の吸水量は夏季の 1/2 に過ぎないことを認

めている。さらに浸漬水温が 0~5°C ではほとんど吸水が行なわれないが、界面活性剤の添加は吸水を著しく促進することを報告している。このことは、玉井⁽¹⁹⁾が指摘しているように、低温条件下では気孔が開かないこととも関係があろう。したがって界面活性剤を用いれば水分が閉鎖気孔の閉塞細胞の間や表面のクチクラの透過を容易にすることが推察され、冬季の散水かんがいを行なう場合の、考慮すべき点と思われる。

本実験の結果では、葉の水分不均衡をできるだけ速やかに是正することを目的として、地表面かん水によつて根からのみ吸水させた場合と、葉面散水によつて葉面からのみ吸水させた場合の、かん水効果を比較検討したところ、夏季は根から吸水させたほうが葉面から吸水させるよりも比較的短時間でその効果が認められ、冬季は逆に、葉面から吸水させたほうが効果的のようであつた。ただし、これらの点については、夏季、冬季ともに実験を行なつた時点での土壌乾燥や葉の水分不均衡の程度がかなり異なり、さらに葉面散水处理により、葉面からの吸水とともに根からの吸水をも平行的に行なわせた処理区がないのでやや不明確で、十分な考察ができない。今後はかような点についても詳細な調査を行なつてみたい。

もつとも、一般圃場で行なうスプリンクラーによる散水かんがい法では、葉面からの吸水とともに、根からの吸水も平行的に行なわれるので、樹体内の水分不均衡を速やかに正常な状態に回復させる意味からも、かん水効果が高いはずである。とくに夏季の場合、水分不足は葉の呼吸消耗を大きくする⁽¹¹⁾といわれるから、スプリンクラーかんがい法はその意味からも有意義であると思われる。

V. 摘 要

砂壤土をつめた大型陶管植の温州ミカンを用い、夏季と冬季の土壌乾燥時に、地表面かん水と葉面散水を行ない、根から吸水させた場合と、葉面から吸水させた場合の、高さ 1m 内外に位置した葉の W.S.D. と水分含量の変化を経時的に追跡して、葉内の水分均衡からみたかん水および散水处理の影響を調査した。

1. 夏季の地表面かん水により、葉の W.S.D. は 9 時のかん水处理後 30 分で明らかに下降し、1 時間後には適湿に保持した対照区に近い状態まで回復した。葉内水分含量の変化は W.S.D. のように急速ではなかつたが、短時間のうちに認められた。

2. 冬季においても地表面かん水すると、葉の W.S.D. の下降と葉内水分含量の増加が認められたが、それらの変化は夏季の場合よりも非常に緩慢であつた。すな

わち、葉の W.S.D. はかん水处理の 4 時間後によりやく対照区の程度まで回復し、葉内水分含量は 3 時間後にはほぼ回復した。

3. 夏季に、土面への水の侵入を防ぎながら葉面散水を行なつたところ、葉の W.S.D. は 10 時の散水開始後急激に下降し始め、3 時間ではほぼ対照区の状態まで回復した。葉内水分含量は 2 時間後には対照区の状態まで回復した。

4. 冬季においても葉面散水すると、葉の W.S.D. は次第に下降し続け、3 時間後にはほぼ対照区と同程度まで回復した。一方の葉内水分含量はかなり急速に増加して、2 時間後には対照区の状態まで回復した。

以上の結果からみて、葉の水分不均衡を是正する意味では、夏季は根から吸水させる方法で十分な効果が得られ、冬季は逆に葉面から吸水させる方法が効果的である。ただし、一般圃場で行なう散水かんがい法では、葉面からの吸水とともに根からの吸水も同時に行なわれるので、かん水効果が高いものと考えられる。

謝辞 本研究の一部は昭和 41~42 年度文部省科学研究費交付金(試験研究)の補助をうけた。研究の遂行にあたり、愛知園試場長二井内清之博士よりご援助と激励の言葉をいただいた。また成績のとりまとめに当たつて、名大農学部助教授高野泰吉博士より有益な助言とご協力をいただいた。ここに謝意を表する。

引 用 文 献

1. ACKLEY, W.B. 1954. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 64: 181—185.
2. DIXON, H.H. and J. JOLY 1895. Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. B., 186: 563—576 (飯塚一郎 1967. カンキツ樹の水分収支に関する研究. 愛媛大学教育学部. より)
3. 飯塚一郎. 1967. カンキツ樹の水分収支に関する研究. 愛媛大学教育学部.
4. ———. 1968. 昭和 43 年度. 春季園芸学会研究発表要旨: 52—53.
5. 河崎佳寿夫・松野 弘・小松鉄夫. 1964. 宮崎農試研究報告. 3: 1—9.
6. 小中原実・谷口哲微・井口 功・久保祐雄. 1965. 静岡柑試研究報告. 5: 19—30.
7. 久保祐雄. 1966. 農技研報告. A 13: 1—80.
8. KRAMER, P.J. 1942. Amer. Jour. Bot. 29: 828—832.
9. ———. 1946. Plant Physiol. 21: 37—41.
10. ———. and H. C. BULLOCK. 1966. Amer. Jour. Bot. 53: 200—204.
11. MEYER, B.S., D.B. ANDERSON, and R.H. BÖHNING. 1960. Introduction to plant physiology. D. Van Nostrand Co., Princeton, New Jersey.
12. 野呂徳男. 1960. 昭和 33, 34 年度 果樹試験研究年報: 190—191.

13. NORRIS, R. E. 1963. California Citrograph 48 : 326—328.
14. RUTTER, A. J. and K. SANDS. 1958. New Phytol. 57 : 50—65.
15. SCHNEIDER, G. W. and N. F. CHILDERS. 1941. Plant Physiol. 16 : 565—583.
16. 鈴木鉄男・金子 衛. 1967. 昭和 42 年度秋季園芸学会研究発表要旨 : 60—61.
17. ———・———・鳥潟博高・八田洋章. 1968. 園学雑. 37(1) : 37—44.
18. ———・———・———. 1968. 園学雑. 投稿中.
19. 玉井虎太郎. 1962. 環境制御研究室を利用した生理生態研究成績. 愛媛大学農学部.
20. 戸刈義次ほか共編. 1955. 作物の生理生態. 朝倉書店. 東京.
21. 鳥潟博高・鈴木鉄男・金子 衛・安藤豊彦. 1965. 畑かん研究集録. VIII : 141—144.
22. 吉村不二男. 1964. 農及園. 39(1) : 29—34.