根域に対する灌水域の割合がカンキツ樹の乾燥ストレスに及ぼす影響

吉田純也^{1a}・岩崎光徳^{2*}

¹ 香川県農業試験場府中果樹研究所 762-0024 香川県坂出市府中町 6117-1

² 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 果樹研究所カンキツ研究口之津拠点 859-2501 長崎県南島原市口之津町乙 954

Influence of the Ratio of the Irrigation Zone to Root Zone on Drought Stress of Citrus Trees

Junya Yoshida^{1a} and Mitsunori Iwasaki^{2*}

¹Fuchu Fruit Research Institute of Kagawa Agricultural Experiment Station, Sakaide, Kagawa 762-0024

²Kuchinotsu Citrus Research Station, National Institute of Fruit Tree Science, Minamishimabara, Nagasaki 859-2501

Abstract

In order to determine the drip irrigation zone adequate to control drought stress, we investigated the influence of drought stress under different ratios of the irrigation zone on citrus trees. The results showed that there was a clear correlation between the irrigation zone and drought stress of trees. It was indicated that, in the case of young trees, a greater than 50% irrigation zone out of the root zone was required in order to protect them from overdryness. In the case of adult trees, over 19.5% was necessary for 13-year-old ‘Shiranui’, and over 14.2% for 21-year-old ‘Haraguchi-wase’. Drip tubes should be placed within 100 cm from trunks where fine roots are densely distributed. An appropriate irrigation time was estimated to be 20 minutes in granite soil, 20–60 minutes in basalt soil, and 60 minutes in andesite and volcanic ash soils. In addition, it was indicated that the dripper interval should be more than 20 cm in granite soil and more than 30 cm in the three other kinds of soil to reduce water wastage.

Key Words : drip irrigation, high-quality fruit, leaf water potential, soil texture

キーワード : 土性, 高品質果実, 点滴灌水, 葉内水ポテンシャル

緒 言

近年, ウンシュウミカン (*Citrus unshiu* Marcow.) のシートマルチ栽培における乾燥ストレスの調節を目的として, 点滴灌水チューブを利用した栽培法が普及している. 点滴灌水チューブは, 低い水圧下でも均一に灌水できることから, 傾斜地が多く水圧の確保が困難なカンキツ産地においても導入しやすく, 高品質果実生産につながる技術として生産現場からの期待は大きい (草場ら, 2007).

しかし, 点滴灌水チューブを用いた灌水方法には概算の指標 (森永ら, 2005) があるのみで, 品質の安定化には, 樹体の乾燥ストレスに基づいた知見が必要である. また, 点滴灌水の利用は, ウンシュウミカンだけでなく, 中晩生カンキツへ拡大していることから, 品種, 樹のサイズおよび高品質化に必要な乾燥ストレスの程度に応じた導入方法が求められている (草場ら, 2007).

点滴灌水チューブの灌水域には制限があるため, 導入には, 根域に対する灌水域の容積割合が樹体の乾燥ストレス

に及ぼす影響を明らかにする必要がある. これまでにも土壌の水分含量とカンキツ樹の乾燥ストレスとの関係について調査した報告は多いが (貝原ら, 2008; 間苧谷・町田, 1980; 高木ら, 1981), 根域に対する灌水域の割合に着目した報告は少ない. 間苧谷ら (1976) は, 鉢植えの3年生‘杉山温州’を用いて, 一定割合の根域への灌水で樹体水分を維持できると報告している. しかし, 樹の大きさや品種による違いは明らかでない.

そこで, 早生ウンシュウミカンと中晩生カンキツの主要品種である‘不知火’ (‘清見’ × ‘中野3号’ ポンカン) の幼木および成木を供試し, 根域に対する灌水域の割合が樹体の乾燥ストレスに及ぼす影響について調査した. また, カンキツ園に多い土壌別の点滴灌水の浸潤域と, カンキツ樹の根群分布域を調査することで, 樹体の乾燥ストレスのコントロールに必要な点滴灌水チューブの導入方法について検討した.

材料および方法

試験1 灌水域の割合が幼木の乾燥ストレスに及ぼす影響

一辺 80 cm の正方形のブロック枠 (安山岩質土壌, 有効土層: 20 cm, 底面: 防草シート, 台: プラスチックパレット) に植栽したカラタチ台6年生‘不知火’およびカラタ

2013 年 11 月 18 日 受付. 2014 年 5 月 14 日 受理.

* Corresponding author. E-mail: iwanori@affrc.go.jp

^a 現在: 農林水産省 食料産業局 新事業創出課

第1図 ‘不知火’の25%灌水区の状況

チ台5年生‘興津早生’ウンシュウミカンを供試した(第1図)。試験を開始する数か月前の植え付け時に、灌水域と非灌水域の根量割合が異なる5つの処理区を達観により作成した。処理区は、灌水域を100%とした100%灌水区、同75%灌水区、同50%灌水区、同25%灌水区、同0%灌水区とした。なお、試験終了後、全樹の根の解体調査により、実際の灌水域と非灌水域の細根の割合を算出し、当初達観により配分した割合とほぼ同じであることを確認した。反復数は100%灌水区および0%灌水区が各区1樹、その他は各区2樹とした。

‘不知火’は、樹冠拡大を想定し果実を全摘果した後、2012年7月10日に全処理区を全域湿潤状態にした。その後、湿潤状態を維持できる3日に1回の間隔で、7月30日まで処理区別に灌水域のみ十分量の手灌水を行った。樹体水分測定は、岩崎ら(2012)の方法によるTDR計(CS616, ロッド長300 mm, (株) Campbell Scientific)を用いた枝内水分と、Sholanderら(1966)によるプレッシャーチャンバー(Model1000, (株) PMS)を用いた葉内最大水ポテンシャル(以下 ψ_{max})を測定した。枝内水分は、各樹の主幹部を1か所測定し、岩崎ら(2012)は、その標準誤差を枝内体積含水率に換算して $\pm 0.30 \sim 0.46\%$ ($n=5$)と報告している。 ψ_{max} の測定は夜明け前の午前4時頃に、各樹1枚の葉を採取して行った。 ψ_{max} の測定精度は、永田(2003)のサンプルサイズ設計方法を用いた結果、有意水準 α を0.05、検出力 $1-\beta$ を0.90に設定した場合の1樹1葉の精度は ± 0.08 MPa、2樹各1葉は ± 0.06 MPaであった。‘興津早生’は、葉果比30程度に着果を調整した後、8月30日に全処理区を全域湿潤状態にした。その後、‘不知火’と同様の処理を行いながら、9月24日まで枝内水分および

ψ_{max} を測定した。なお、降雨時にはハンドリフトを用いてブロック枠を屋根下へ移動し、降雨を防いだ。

試験 2-1 点滴灌水チューブの土壌別灌水域

大型ポット(直径60 cm)に安山岩、玄武岩、花崗岩、火山灰をそれぞれ母材とする乾燥土壌を深さ35 cmとなるように詰め、各鉢の中央部において点滴灌水チューブ(ユニラム RC, 点滴孔間隔30 cm, 吐出量2.3 L/h, ネタフィム(株))の点滴孔1孔による灌水を行った。灌水時間の違いにより、5分、10分、20分、30分、60分(灌水量はそれぞれ0.19 L, 0.38 L, 0.77 L, 1.15 L, 2.30 Lに相当)の5区を設け、灌水終了直後に土壌を5 cmずつ掘り下げながら、深度別に灌水の浸潤半径を測定した。なお、浸潤半径に影響すると考えられる土壌の粒径組成は、土壌環境分析法(土壌環境分析法編集委員会編, 1997)を参考に調査した。

試験 2-2 灌水域の割合が成木の乾燥ストレスに及ぼす影響

玄武岩質の植壤土である果樹研究所カンキツ研究口之津拠点ほ場に植栽されたカラタチ台13年生‘不知火’およびカラタチ台21年生‘原口早生’ウンシュウミカンを供試した。両品種ともに、点滴灌水チューブ(前述に同じ)の設置本数が異なる、4本区、3本区、2本区、1本区の計4区を設けた。灌水チューブは植栽列に対して平行に設置し、1～2本目は主幹から約40 cm(2本目は逆側)、3～4本目は約80 cmの位置(4本目は逆側)に敷設した。反復数について、‘不知火’は1区3樹、‘原口早生’は1区5樹とした。‘不知火’は2012年7月4日に、‘原口早生’は同年6月28日に、全処理区の土壌を湿潤状態にした後、透湿性シートマルチ(タイベック, ソフトタイプ, 幅3 m, デュポン(株))被覆を行った。その後は、予備試験により灌水域を湿潤状態で維持できる3～5日に1回の間隔で、30分間(1孔当たりの吐出量約1.15 L)の点滴灌水を行い、試験1と同様の方法で経時的に ψ_{max} を測定した。摘果は7月上旬に行い、葉果比は‘不知火’が100程度、‘原口早生’が25程度とした。その他の肥培管理および病害虫の防除は、両品種ともに慣行の方法に従った。試験終了後の10月上旬に、‘不知火’および‘原口早生’の試験樹各1樹(4本区を使用)の根域(本試験においては細根域と同義とする)を、主幹を中心とした水平方向に半径60 cm, 100 cm, 150 cm, 200 cm, 250 cmの同心円と、地表より垂直方向に0～10 cm, 10～20 cm, 20～30 cm, 30～40 cm, 40～50 cm, 50～60 cmとに区分して掘り取り、各区分における細根重を調査した。なお、解体調査に用いた試験樹のサイズは‘不知火’が樹冠幅3.3 m, 樹高2.7 m, 幹周44.3 cmであり、‘原口早生’が樹冠幅3.0 m, 樹高2.0 m, 幹周51.2 cmであった。

結 果

試験 1

‘不知火’および‘興津早生’の100%灌水区の ψ_{max} は、

第2図 異なる灌水域が‘不知火’および‘興津早生’幼木の葉内最大水ポテンシャルに及ぼす影響

第3図 ‘不知火’および‘興津早生’幼木における根域に対する灌水域の容積割合と葉内最大水ポテンシャルとの相関関係
 r は Pearson の相関係数を示し、** は 1%水準で有意である
 各灌水域は、試験終了後の解体調査により実測した細根量の比率を示す
 ‘興津早生’の9月24日の0%灌水区は、樹体が枯死したため測定できていない

期間を通じて -0.6 MPa程度までに、75%灌水区の $\psi_{\max}$ は、期間を通じて -0.9 MPa程度までに維持された(第2図)。25～50%灌水区では、期間を通じて -1.2 MPa程度までに維持されたが、‘不知火’の25%灌水区においては、最終的に -2.0 MPaまで低下した。0%灌水区においては、‘不知火’で試験開始20日後、‘興津早生’で15日後に $\psi_{\max}$ が -4.0 MPaを下回り、その後、樹は枯死した。根域に対する灌水域の割合と $\psi_{\max}$ との相関分析を行った結果、‘不知火’で試験開始約2週間後から、‘興津早生’で試験開始約1週間後から試験終了時まで相関係数0.9程度の高い相関関係が見られた(第3図)。

TDR計を用いて測定した樹体の体積含水率は、 $\psi_{\max}$ と同様の推移をたどり、灌水域が大きいほど体積含水率も高く維持されていた(第4図)。「不知火」においては50～100%灌水区の体積含水率の減少幅が約0～2%内で維持されたのに対し、25%灌水区では最終的に約4%、0%灌水区では約7%の減少が認められた。「興津早生」においては、75～100%灌水区の体積含水率の減少幅が約0～2%内で維持され、50%灌水区では最終的に約4%、25%灌水

区では約5%、0%灌水区では約11%の減少が認められた。

試験 2-1

1点滴孔からの点滴灌水の土壌別浸潤域について、水平方向への浸潤性は、火山灰土壌と安山岩質土壌が高く、60分の灌水による深さ15 cmまでの浸潤半径の平均値は、火山灰土壌が15.2 cm、安山岩質土壌が14.5 cmであり、玄武岩質土壌が11.5 cm、花崗岩質土壌が8.3 cmであった(第5図)。垂直方向への浸潤性は、花崗岩質土壌が最も高く、10分で深さ30 cmまで、30分で35 cmまで浸潤した。次いで、玄武岩質土壌が20分で30 cmまで、60分で35 cmまで浸潤した。安山岩質土壌と火山灰土壌はほぼ同等で、いずれも60分の灌水で25 cmであった。深さ30 cm程度までをほぼ均一に灌水するために要する灌水時間は、花崗岩質土壌や玄武岩質土壌において20～30分、安山岩質土壌や火山灰土壌においては約60分であった。

試験 2-2

‘不知火’および‘原口早生’のいずれの処理区においても、時間の経過に伴い $\psi_{\max}$ の低下が認められ、その程度はチューブの敷設本数が少ないほど大きくなった(第6

第4図 異なる灌水域が‘不知火’および‘興津早生’幼木の樹体の体積含水率（VWC）に及ぼす影響
 ‘興津早生’の0%灌水区のVWC値は測定器の接触不良のため一部データ欠損

第5図 異なる土壌における点滴灌水の灌水時間別浸潤半径
 土壌母材下の括弧内は各土壌の粒径組成を表し、荒砂：細砂：微砂：粘土の比率を示す

図). 両品種の4本区および‘原口早生’の3本区の $\psi_{\max}$ の低下は比較的少なく、‘原口早生’においては、一度低下した $\psi_{\max}$ が、期間終盤にやや回復する傾向も認められた。 $\psi_{\max} -1.2$ MPa程度で樹の衰弱が見られはじめたことから、‘不知火’の3本区は灌水開始後約66日、2本区および1本区は約45日、‘原口早生’の2本区は約

60日、1本区は約53日で測定を中止した。

根群調査の結果から、細根の垂直分布では、地表から30 cmまでの深さに‘不知火’で全細根の94.7%が、‘原口早生’で94.2%が分布していた。水平分布では、いずれの品種においても主幹から半径60～100 cmまでの位置に最も多くの細根が分布していた。細根密度は‘不知火’、‘原

第6図 灌水チューブの設置本数が‘不知火’および‘原口早生’成木の葉内最大水ポテンシャルに及ぼす影響
図中の縦棒は標準誤差を示す (n=3)

第1表 ‘不知火’ 成木における細根密度 (DWg・m⁻³) 分布

土壌の深さ	主幹からの水平距離				
	0–60 cm	60–100 cm	100–150 cm	150–200 cm	200–250 cm
0–10 cm	459.8	645.3	371.1	251.9	24.8
10–20 cm	222.5	236.0	59.0	30.7	20.3
20–30 cm	294.9	167.5	28.2	14.7	
30–40 cm	161.2	104.3			

第2表 ‘原口早生’ 成木における細根密度 (DWg・m⁻³) 分布

土壌の深さ	主幹からの水平距離				
	0–60 cm	60–100 cm	100–150 cm	150–200 cm	200–250 cm
0–10 cm	164.5	420.0	268.1	144.8	21.8
10–20 cm	247.4	205.5	186.9	67.4	14.2
20–30 cm	182.8	180.9	129.1	41.1	12.8
30–40 cm		35.0	23.1		
40–50 cm		41.7	19.9		
50–60 cm		33.5

第7図 ‘不知火’ および ‘原口早生’ 成木における根域に対する灌水量の容積割合と葉内最大水ポテンシャルとの相関関係
相関係数は Pearson の相関係数を示し、黒塗りのプロットは5%水準で有意である (n=12)

‘原口早生’ ともに、地表から 10 cm までの深さで、主幹から 60 ~ 100 cm の位置において最も高かった (第1, 2表)。

なお、根群調査の結果をもとに根域に配置される点滴孔数を算出し、試験 2-1 で得られた玄武岩質土壌における点

滴灌水の浸潤域を用いて、根域に対する点滴灌水の浸潤域割合を容積比で算出すると、‘不知火’ の 1 本区は根域の 5.5% に相当し、2 本区は 11.0%, 3 本区は 15.3%, 4 本区は 19.5% に相当した。また、‘原口早生’ については、1 本区は根域の 4.9%, 2 本区は 9.7%, 3 本区は 14.2%, 4 本区は 18.6% に相当した。この浸潤域割合と ψ_{max} との相関分析を行った結果、両品種ともに灌水開始後 2 週間頃から測定中止時まで相関係数 0.8 程度の高い相関関係がみられた (第7図)。

考 察

1. 灌水割合に対する幼木樹および成木樹の乾燥ストレス

間苧谷ら (1976) は、鉢植えの 3 年生 ‘杉山温州’ において適湿土壌中の細根比率が 10 % で葉の ψ_{max} が -0.8 MPa 程度、30 % で -0.7 MPa 程度、50 % で -0.6 MPa 程度に保たれることを明らかにしている。本試験のブロック枠で栽培した幼木およびほ場で栽培した成木において、

根域に対する灌水域の割合と $\psi_{\max}$ との相関分析を行った結果、ともに相関係数 0.8 程度の高い相関関係が見られたことから、根域に対する灌水域の割合を、樹体の乾燥ストレスの目安として利用できると考えられる。

岩崎ら (2012) は、 $\psi_{\max}$ が -1.2 MPa 以下で、ウンシュウミカンの旧葉が落ち始めることを報告している。本試験の幼木の場合、 -1.2 MPa 以上を維持するには、‘不知火’、‘興津早生’ともに根域の約 50% 以上の灌水域が必要であり、樹冠の拡大を考慮すると、乾燥ストレスが小さい 75% 以上が望ましい。これに対して、成木の場合は、 -1.2 MPa 以上を維持するには、‘不知火’で灌水チューブ 4 本（根域に占める灌水割合 19.5% 以上）、‘原口早生’で 3 本以上（根域に占める灌水割合 14.2% 以上）が必要であった。Taylor・Klepper (1973) は、トウモロコシにおいて、湿潤土壌にある 19% の根が 71% の吸水を行っているとして報告している。また、Smart ら (2005) は、ブドウにおいて、灌水域の根から乾燥域の根への水の再配分を確認している。これらのことから、カンキツにおいても、樹体を維持するうえで、すべての根に灌水する必要がないと考えられる。また、幼木は成木に比べて、 -1.2 MPa 以上を維持するために必要な、根域に占める灌水割合が高かった。これは、水の貯留器官である幹や枝が細いことから、乾燥ストレスが付与されやすいためであると考えられる。

ウンシュウミカンは夏秋季に乾燥ストレスを付与することで、果汁内の糖度が上昇し（間苧谷・町田，1980）、 $\psi_{\max}$ を -1.0 MPa 程度に維持することで樹体にダメージを与えずに、増糖効果が期待できる（貝原ら，2008；岩崎ら，2012）。‘不知火’においても夏秋季の乾燥ストレスによる増糖効果が確認されており、乾燥ストレスの目安は $\psi_{\max} -0.7 \sim -0.9$ MPa 程度とされている（岩崎ら，2012；吉田ら，2013）。試験 2-2 では、‘原口早生’で灌水チューブ 3 本区以上（湿潤域 14.2% 以上）、‘不知火’でチューブ 4 本区（湿潤域 19.5% 以上）で、期間を通じて $\psi_{\max} -0.9$ MPa 以上を維持できた。

2. 点滴灌水チューブの導入方法

点滴灌水の土壌中における浸潤傾向については、土壌母材による水の拡散程度の差異が調査されており、土壌の密度が高いほど浸潤はより横方向に広がるとの報告がある（農林水産省構造改善局，1994）。本試験においても、密度が小さく荒砂の比率が高い花崗岩質土壌は、垂直方向へ、荒砂の比率が低い火山灰土壌は、水平方向へ浸潤しやすい傾向が認められた。また、花崗岩質土壌について、阿部ら (2014) は、吐出力 2.3 L/h の点滴灌水の浸潤をプロファイル土壌水分計を用いて調査し、垂直方向への浸潤範囲は 7 分間で約 20 cm、14 分間で約 30 cm、28 分間で約 40 cm 広がり、水平方向へは 7 分間で半径約 4 cm、14 分以降は半径約 9 cm までしか広がらないと報告している。これは、本試験の花崗岩質土壌における傾向と一致している。よって、吐出力 2.3 L/h のチューブを用いる場合、花崗岩質土

壌において過剰水が少ない 1 回当たりの灌水時間は 20 分以内、チューブの点滴孔間隔は 20 cm 以上がよいと考えられた。他の 3 種類の土壌では、1 回当たりの灌水時間は 60 分程度までとし、点滴孔間隔は 30 cm 以上確保することが望ましいと思われる。

ウンシュウミカンの根群分布については、これまでに調査が行われており、10 年生以上のウンシュウミカンでは主幹から約 2 m 以内、深さ約 30 cm 以内に多くの細根が存在し、細根密度は主幹から約 90 cm 以内で高いという報告が多い（富士岡ら，1969；駒村・関谷，1985；宮本・前田，2010；奥地ら，1962；小野ら，1986）。本試験における‘原口早生’と‘不知火’の根量調査の結果、吸水器官である細根は、主幹から 60 ～ 100 cm を中心に多く、深さ 30 cm までに 90% 以上分布することが明らかになった。これらのことから、土壌の物理性、品種および樹齢などによる差は考えられるが、カンキツ成木樹の根域を効率的にカバーするための灌水チューブの敷設位置は、主幹から 100 cm 付近までが適当であると考えられる。また、大部分の細根が分布する深さ 30 cm までの範囲をほぼ均一に灌水するための 1 回当たりの灌水時間は、試験 2-1 の結果より、吐出力 2.3 L/h の灌水チューブを用いる場合、乾燥条件下の花崗岩質土壌や玄武岩質土壌において 20 ～ 30 分、安山岩質土壌や火山灰土壌においては 60 分程度必要である。これを満たす灌水を行えば、根域に対する灌水域の割合を平面的に考えることができる。試験 2-2 の結果から、玄武岩質土壌において‘不知火’は 4 本区（湿潤域は 19.5%）、‘原口早生’は 3 本区（湿潤域は 14.2%）で樹体の乾燥ストレスをコントロールできた。すなわち、主幹を中心とした半径 2 m の円の面積（根域面積）のうち、‘不知火’で 19.5% 以上、‘原口早生’で 14.2% 以上の点滴灌水浸潤面積を確保することで、樹体の乾燥ストレスをコントロールできると推察される。

以上の結果から、カンキツ樹における点滴灌水チューブの導入に際して、夏秋季の過乾燥を防ぐためのチューブの設置本数は、玄武岩質土壌の 13 年生‘不知火’で 4 本以上（根域に占める灌水割合 19.5% 以上）、21 年生‘原口早生’で 3 本以上（根域に占める灌水割合 14.2% 以上）を目安とし、細根密度の高い主幹から 100 cm 以内にチューブを設置することで根域を効率的にカバーできる。また、細根域を無駄なく灌水するための 1 回当たりの灌水時間は、吐出力 2.3 L/h のチューブを用いる場合、乾燥条件下の花崗岩質土壌で 20 分以内、玄武岩質土壌で 20 ～ 60 分、安山岩質土壌や火山灰土壌においては 60 分程度が適当であると考えられる。灌水間隔日数は、予備試験の結果、3 ～ 5 日で湿潤状態を維持できたが、着果量が多い場合は、間隔を短縮する必要がある（中谷ら，2010）。また、点滴灌水による水管理を連年継続した場合、点滴孔付近に細根が増加することから（草場ら，2004）、根域に占める灌水割合は高くなると考えられる。

摘 要

樹体の乾燥ストレスをコントロールするために必要な点滴灌水域を明らかにするため、灌水域の割合が幼木および成木の樹体の乾燥ストレスに及ぼす影響について調査した。その結果、根域に対する灌水域の容積割合と樹体の乾燥ストレスとの間には高い相関関係が認められ、夏秋季の過乾燥を防ぐためには、幼木の場合、根域の約 50% 以上の灌水域が必要であった。これに対して、成木の場合は、玄武岩質土壌の 13 年生「不知火」で根域の 19.5% 以上（本試験の灌水チューブ 4 本以上）、21 年生「原口早生」で根域の 14.2% 以上（本試験の灌水チューブ 3 本以上）の灌水域が目安となることが明らかとなった。チューブは細根密度の高い主幹から 100 cm 以内に設置し、1 回当たりの灌水時間を、乾燥条件下の花崗岩質土壌で 20 分以内、玄武岩質土壌で 20～60 分、安山岩質土壌や火山灰土壌においては 60 分程度とすることで、細根域を効率的に灌水できると考えられた。また、灌水チューブの点滴孔間隔は花崗岩質土壌では 20 cm 以上、他の 3 種類の土壌では 30 cm 以上とすることで無効水を減らすことができると考えられた。

引用文献

- 阿部政人・豊嶋貴司・吉田純也・森末文徳. 2014. 花崗岩風化土壌のカンキツ園における土壌水分動態に基づく点滴かん水方法. 香川農試研報. 64: (印刷中).
- 土壌環境分析法編集委員会. 1997. 土壌環境分析法. p. 24–29. 博友社. 東京.
- 富士岡義一・海田能宏・中川泰男. 1969. ミカン園散水カンガイの研究 (I) —土壌水分の消費機構について—. 農業土木学会論文集. 27.
- 岩崎光徳・深町 浩・今井 篤・平岡潔志・奥田 均. 2012. ウンシュウミカンと「不知火」における TDR 計を用いた枝内水分測定法の有用性と水管理方法の検討. 園学研. 11: 327–335.
- 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率の年間変動と水分環境および水管理. 園学研. 7: 517–523.
- 駒村研三・関谷宏三. 1985. 土壌母材、有効土層の差異とウンシュウミカン樹の生育及び根群分布. 果樹試報 A. 12: 79–92.
- 草場新之助・森永邦久・星 典宏・島崎昌彦. 2007. カンキツ等におけるマルチおよび点滴灌水施肥法の導入の現状と課題 ～カンキツ生産地における高品質果実生産に関する調査報告～. 近中四農研資. 4: 1–20.
- 草場新之助・森永邦久・島崎昌彦・星 典宏・村松 昇. 2004. 周年マルチ点滴同時施肥法で栽培されたウンシュウミカンにおける細根の割合と呼吸活性. 根の研究. 13: 111–115.
- 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.
- 宮本久美・前田隆昭. 2010. 有田ミカン産地の表層地質による地帯区分と土壌保水性. 和歌山農林水技セ研報. 11: 35–43.
- 森永邦久・島崎昌彦・草場新之助・星 典宏. 2005. カンキツ生産の新しい技術 マルドリ方式—その技術と利用—. p. 33–36. 近中四農業研究叢書. 広島.
- 永田 靖. 2003. サンプルサイズの決め方. p. 39–41. 朝倉書店. 東京.
- 中谷 章・宮本久美・田嶋 皓・山田芳裕・山本浩之. 2010. 着果負担の違いがウンシュウミカンの細根量に及ぼす影響. 園学研. 9 (別 1) : 52.
- 農林水産省構造改善局. 1994. 土地改良事業計画指針 マイクロかんがい. p. 60. 農業土木学会. 東京.
- 奥地 進・薬師寺清司・圓木忠志・船上和喜. 1962. 柑橘の根群に関する研究 (第 1 報). 温州ミカンの根群分布. 愛媛果試研報. 2: 11–24.
- 小野祐幸・岩垣 功・高原利雄. 1986. カンキツの根群分布と葉の着生との関係. 果樹試報 D. 8: 25–36.
- Sholander, P. F., E. D. Brandstreet, H. T. Hammel and E. A. Hemmingsen. 1966. Sap concentrations in halophytes and some other plants. Plant Physiol. 41: 529–532.
- Smart, D. R., E. Carlisle, M. Boebel and B. A. Nunez. 2005. Transverse hydraulic redistribution by a grapevine. Plant, Cell and Environment 28: 157–166.
- 高木敏彦・加藤信夫・鈴木鉄男・岡本 茂. 1981. 温州ミカン樹における水ストレスが葉中水ポテンシャル、光合成及び呼吸に及ぼす影響. 静岡大学農学部研究報告. 31: 21–25.
- Taylor, H. M. and B. Klepper. 1973. Rooting density and water extraction patterns for corn (*Zea Mays* L.). Agron. J. 65: 965–968.
- 吉田純也・豊嶋貴司・阿部政人・森末文徳. 2013. 無加温施設栽培の「不知火」および「せとか」における時期別乾燥ストレスと果実品質との関係. 近畿中国四国農研. 23: 35–40.