

カンキツの水分特性と高品質果実生産に関する研究

薬師寺 博

独立行政法人農業技術研究機構
果樹研究所遺伝育種部
305-8605 茨城県つくば市

Studies on Water Status and Production of High Quality Fruit in Citrus Trees

Hiroshi YAKUSHIJI

Department of Breeding, National Institute of Fruit Tree Science
Tsukuba, Ibaraki 305-8605, Japan

本研究の目的は、カンキツの水分特性を器官レベルで解析するとともに、乾燥ストレスや養液ストレスに対する水分特性と果実品質との関係を水分生理学的に解明することである。

ウンシュウミカン栽培では、高品質果実生産、特に果実糖度を高めるために高畝栽培、マルチ栽培、根域制限栽培、ハウス栽培などを利用して人為的に乾燥ストレスを樹体に与える栽培方法が普及している。植物が水分欠乏状態に順化する時、細胞内に溶存物質を集積することで、細胞の膨圧 (Ψ_p) を維持する浸透圧調節機能が知られている。多くの植物の耐乾性は、浸透圧調節機能と溶存物質の集積による Ψ_p の維持に大きく依存している。しかし、これまでの研究では、葉や果実の水ポテンシャル (Ψ_w) のみを計測し、その構成要素である浸透ポテンシャル (Ψ_s) と Ψ_p の計測はなされていない。このため、水分ストレスを受けた器官レベルでの水分特性に関する知見はほとんどなく、果実肥大、光合成特性および果実品質に対する影響は、水分生理学的な観点から十分に解明されていない。

そこで、本研究では等圧式サイクロメーターを使用し、

カンキツの器官レベルでの Ψ_w , Ψ_s , Ψ_p の計測を試みた。次に、マルチ栽培による乾燥ストレスおよび養液栽培による養液濃度ストレスに対するウンシュウミカンの水分特性、光合成特性ならびに果実品質との関係を検討した。最後に、 ^{13}C 安定同位体を利用して乾燥ストレスによる光合成同化産物の転流・分配への影響を解析した。

1. 等圧式サイクロメーター法によるカンキツの水分特性の計測

等圧式サイクロメーターを使用したカンキツの水分特性の解析の有効性を示すために、等圧式サイクロメーター法による Ψ_w とその構成要素である Ψ_s と Ψ_p の計測について検討した。

1) カンキツの Ψ_w およびその構成要素の特徴

等圧式サイクロメーターで NaCl 溶液の Ψ_w を計測した結果、 -5.0MPa まで直線性が確認された。プレッシャーチャンパーと等圧式サイクロメーターで計測された葉の Ψ_w は、1 : 1 の直線関係が認められた。葉の道管のアポプラスト溶液の Ψ_s を計測した結果、葉の Ψ_w の低

さにかかわらず高い値を示し、葉の道管の Ψ_w の大部分は Ψ_m から成り立つことを示した。凍結・解凍した砂じょうと砂じょうから直接採取した果汁の Ψ_s を比較した結果、1:1の直線関係が認められた。

2) 土壤中の溶質が土壤 Ψ_w に及ぼす影響

土壤の水分特性に及ぼす溶質の影響を検討するために、蒸留水と0.1M NaCl溶液に浸潤させた土壤の含水率と Ψ_w を比較した。その結果、同じ土壤含水率であっても0.1M NaClで浸潤させた土壤は、蒸留水に浸潤させた土壤に比べて明らかに低い Ψ_w を示した。この結果から、土壤に多くの溶質が含まれた場合、土壤の Ψ_w は Ψ_m だけでなく、溶質による Ψ_s の影響が大きくなることを示した。

3) 土壤乾燥条件下におけるウンシュウミカンの葉と果実の水分特性

ウンシュウミカン (*Citrus unshiu* Marc. cv. 青島温州) 樹を使用して、土壤乾燥過程とかん水後の葉と果皮の Ψ_w 、 Ψ_s および Ψ_p を経時的に計測し、水分特性を検討した。土壤乾燥過程では、果皮の Ψ_w 、 Ψ_s および Ψ_p の低下は、葉より早い時期に観察された。かん水後12時間後には、土壤乾燥処理樹の葉および果皮の水分特性は、湿潤栽培樹と同程度まで回復した。葉および果皮における Ψ_w と Ψ_p との関係を検討した結果、葉では $-1.00 \sim -1.50$ MPa 以下、果皮では -0.80 MPa 以下に Ψ_w が低下すると、各器官の Ψ_p が急速に低下した。

4) カンキツ台木実生における耐干性および耐塩性の評価

スンキ (*Citrus sunki* hort. ex Tanaka)、タチバナ (*Citrus tachibana* Tanaka)、シークワシャー (*Citrus depressa* Hayata)、カラタチ (*Poncirus trifoliata* (L.) Raf) およびオオベニミカン (*Citrus tangerina* hort. ex Tanaka) の5品種の台木実生を使用して、土壤乾燥ストレスおよび水耕栽培を利用した塩ストレスに対する水分特性を調査した。土壤乾燥に対して細根の Ψ_w が低い場合でも、カラタチとオオベニミカンの茎の Ψ_p は、他の3品種に比べて高く維持された。 -1.0 MPa に調整した NaCl および CaCl_2 溶液による塩ストレスでは、NaイオンとCaイオンに対し、台木実生の水分特性に品種間で異なった反応が認められた。Ca塩に対してはカラタチとオオベニミカンにおいて、処理120時間後に葉の Ψ_p の回復が認められた。しかし、Na塩では、カラタチの葉の Ψ_p は回復しなかった。台木品種の根の水透過

性は、イオンに対して異なる水透過性を示したが、水分特性との関連は認められなかった。土壤乾燥ストレスと塩ストレスに対する水分特性から、オオベニミカンが最も耐干性や耐塩性に優れていると考えられた。

2. マルチ栽培がウンシュウミカンの水分特性と果実品質に及ぼす影響

マルチ栽培下のウンシュウミカン (*Citrus unshiu* Marc. cv. 南柑20号) における水分特性と果実品質の関係を検討した。マルチ資材は、雨水の浸入を防ぐとともに、土壤からのガスなど蒸発散する透湿防水性不織布を使用し、8月下旬から11月上旬まで樹幹下を被覆した。処理期間中、マルチ栽培区の土壤の Ψ_w は、湿潤栽培区より低かった。マルチ栽培区の土壤乾燥が強くなるに従って、細根および果皮の Ψ_w と Ψ_s は、湿潤栽培区に比べて有意に低下した。マルチ栽培区で両器官の Ψ_w は明らかに低下したが、 Ψ_w の低下の度合い以上に Ψ_s の低下があり、細根と果皮の Ψ_p は、露地栽培区と同程度に維持されていた。このことから、マルチ栽培区のウンシュウミカン樹において、土壤乾燥ストレスに順化した浸透圧調節機能が確認された。露地栽培区の砂じょうの Ψ_w と Ψ_s は、ほぼ横ばいで推移したのに対して、マルチ栽培区の Ψ_w と Ψ_s は、糖度(可溶性固形物含量)の増加に伴って徐々に低下した。同じ屈折計示度の単糖類(果糖、ブドウ糖)およびクエン酸はショ糖に比べて約2倍 Ψ_s を低下させた。マルチ栽培区で収穫した果実では、ショ糖、果糖、ブドウ糖およびクエン酸の濃度が、露地栽培区より有意に高かった。さらに、1果実当たり全糖含量についても、マルチ栽培区の方が湿潤栽培区より明らかに高かった。これらの結果から、乾燥ストレスを受けたウンシュウミカン果実における糖含量の増加は、土壤乾燥に伴う濃縮・脱水作用だけでなく、むしろ乾燥ストレスに順化した浸透圧調節機能で利用された糖類集積に起因したと考えられた。

3. 水耕栽培がウンシュウミカンの水分特性と果実品質に及ぼす影響

9月中旬から収穫まで水耕栽培 (Nutrient film technique) したウンシュウミカン (*Citrus unshiu* Marc. cv. 興津早生) を使用して、養液濃度ストレスが水分特性および果実品質に及ぼす影響を検討した。低濃度養液区(対照)では、水耕養液の Ψ_w を -0.08 MPa ($\text{EC}=0.15\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$) で維持し、高濃度養液区では、徐々に養液濃度を高めて、最終的に Ψ_w を -0.43 MPa ($\text{EC}=1.00\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$) まで低下させた。高濃度養液区の養液 Ψ_w が -0.30 MPa

以下になったとき、葉と砂じょうの Ψ_w と Ψ_s は、低濃度養液区に比べて徐々に低下した。しかし、両器官の Ψ_p は、処理期間中はほぼ同じ値に維持されていた。高濃度養液区の養液 Ψ_w が -0.30MPa 以下になった後、約30日間果実の肥大はほぼ停止したが、処理後55日目以降、果実肥大は再開した。葉の光合成速度の日変化では、高濃度養液区の光合成速度は、低濃度養液区より低く推移した。収穫後の果汁糖度（可溶性固形物含量）は、低濃度養液区で10.4%であったのに対して、高濃度養液区は12.4%まで増加した。高濃度養液区の果実重は、低濃度養液区より小さかったが、果実中のショ糖、果糖およびブドウ糖含量は有意に増加した。1果実当たりの全糖含量と果汁の酸濃度では、処理間に有意な差が認められなかった。これらの結果から、水耕栽培を利用した養液濃度によって、樹体の水分特性と果実肥大の調節だけでなく、高糖度果実生産の可能性が示された。

4. 乾燥ストレスがウンシュウミカンの光合成同化産物の転流・分配に及ぼす影響

ウンシュウミカン (*Citrus unshiu* Marc. cv. 興津早生) の乾燥ストレスに対する果実の糖度増加の機構について、樹体の水分特性と光合成同化産物の転流・分配を解析することで検討した。3年生ポット樹を使用して、無加温ガラス室内で9月上旬から15日間土壌乾燥処理を行った。土壌湿潤区（対照）、乾燥ストレス区として緩乾燥ストレス区および強乾燥ストレス区の3処理区を設定した。早朝時の葉の Ψ_w を比較すると、土壌湿潤区の葉の Ψ_w は約 -0.35MPa 、緩乾燥ストレス区では約 -0.60MPa 、強乾燥ストレス区では約 -1.00MPa であった。緩乾燥ストレス区の果皮の Ψ_p は、乾燥処理直後一

時低下したが、その後徐々に高まり、処理終了時には、土壌湿潤区とほぼ同程度まで回復した。これによって、緩乾燥ストレス区の果実において、浸透圧調節機能が作用したことを確認できた。葉の光合成速度と蒸散速度は、乾燥ストレスの強度に応じて低下した。その要因として、乾燥ストレスによって、気孔拡散抵抗の低下と葉内炭酸ガス濃度の増加が認められた。処理後の果実品質では、土壌湿潤区と緩乾燥ストレス区の果実重には、有意な差を認めなかったが、強乾燥ストレス区で小さかった。両乾燥ストレス区とも、可溶性固形物含量、酸濃度、ショ糖、果糖およびブドウ糖濃度は、土壌湿潤区より増加した。1果実当たりの全糖含量で比較した場合、緩乾燥ストレス区が最も高い値を示した。 ^{13}C ラベルした炭酸ガスを各処理樹に施用し、光合成同化産物の転流・分配特性を解析した結果、緩乾燥ストレス区の果実器官において、特に砂じょうで最も高い ^{13}C 分配率を示した。さらに、緩乾燥ストレス区の果実では、乾物重当たりの ^{13}C 吸収量が、土壌湿潤区と強乾燥ストレス区に比べて明らかに高かった。これらの結果から、乾燥ストレスによるウンシュウミカン果実糖含量の増加は、浸透圧調節機能に関連して果実のシンク能が活性化され、光合成同化産物の分配率が砂じょうで増加することが原因と考えられた。

以上の試験結果をもとにして、本研究は、水分ストレスに対するウンシュウミカンの水分特性と果実の糖集積機構について、水分生理学的な観点から総合的な考察を試みた。得られた成果は、ウンシュウミカンの高品質果実生産に関わる水分管理技術を確立するための重要な基礎的知見として寄与するものと考えられる。