

第7章

夏季の水分ストレスを 簡易に判別する表示シート

この技術の目的

ウンシュウミカンは、夏場から収穫前まで樹を水分ストレス状態にすることにより、果実糖度を高めることができます。しかし過度に強い水分ストレスは、果実肥大や樹の生長に悪影響を及ぼします。したがって、高品質果実の生産のためには、夏秋期において、水分ストレスの強さの的確な判別に基づく灌水のタイミングの判断が重要になります。

一般に水分ストレスの強さの判断は、葉の巻き具合、葉色の低下、旧葉の落葉、あるいは果実の肥大鈍化や軟化などを指標にして、目視により行われます。これらの指標には客観的な基準を定めることが難しいため、判断基準は各生産者の経験に基づく主観的なものとならざるを得ません。従って、不適切な判断により十分な果実品質の向上が得られない場合も多いのが現状です。そのため、適切なかん水管理のために水分ストレスを園地で簡易に判別できる方法が、生産現場から長年強く要望されてきました。

ここで紹介する技術は、シール状の小さなシートを葉に貼り付け、その色の変化から水分ストレスを判別し、灌水のタイミングを判断する手法です。この技術は、葉裏面の気孔から蒸散により放出される水分量と水分ストレスが関連する

ことから、吸湿により色に変化する素材を利用して、その色変化を指標として水分ストレスを判別しようとするものです（特許出願中、特開2007-232572）。

なお、ここで述べる手順（シートの貼り付け時間など）は状況によって変える必要があると思われる、より汎用的な手順について、試用を重ねながら現在検討中です。

表示シートの構造と機能

水分ストレスは、葉の水ポテンシャル（LWP: Leaf Water Potential）の日の出前の値 Ψ_{\max} を指標とするのが一般的です（「コラム①」参照）。また、夏期の日中において直接に日射を受けている新葉の蒸散速度が $3\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ のときに LWP (Ψ_{\max}) が約 -0.8MPa となり、この値を、灌水が必要な水分ストレス状態にあるかどうかの境界とします。（章末「参考」参照）。つまり、これらの値を、水分ストレスを判別するしきい値の日安とします。

一般に、蒸散速度を測定するには特別な機器が必要です。“水分ストレス表示シート”は、吸湿性のある塩化コバルト(II)という物質が、吸湿する水分量に従ってその色に変化する性質を利用しています。塩化コバルト(II)は、吸湿する

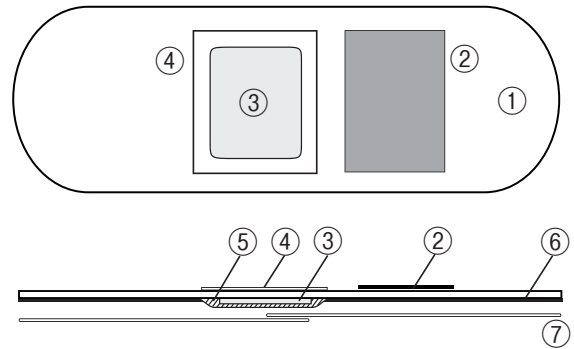
コラム① 水分ストレスと果実品質に関するこれまでの研究

カンキツ、特にウンシュウミカンにおける水分ストレスと果実品質との関係については数々の研究報告がされてきています。一方、作物の水分生理に関する研究では、LWP を指標とした水分ストレスの評価の検討が精力的に行われています。サイクロメータ法やプレッシャーチャンバー法で測定した LWP によって植物の水分ストレスを評価する手法が検討され、カンキツ樹を対象とした評価法としても妥当とされています。また、貝原ら(2006)によれば、‘上野早生’を対象として、7月下旬頃から早朝日の出前の LWP (Ψ_{\max}) が -1.0MPa 程度となる水分ストレス状態にすることにより、高品質果実生産が達成されており、LWP を指標とする高品質果実生産のための知見が示されています。

代表的な文献を章末に示しますので、興味のある方はご参照下さい。

と青色から薄紫色、淡赤色へと変化します。乾燥剤のシリカゲルの色が同じように変化するのは、この物質が添加されているためです。

水分ストレス表示シートの構造を図1に示します。本体が樹脂フィルム製で、表面の中央付近に四角形の表示部があり、塩化コバルトを含んだ紙が取り付けられています。裏面の剥離紙を剥がし、葉の裏面に密着させて貼り付けると、葉裏面から蒸散によって放出された水分が疎水性の不織布を通して塩化コバルト(II)に吸収されます。貼り付けてから一定時間後に表示部の色を確認することにより、色の変化具合から蒸散速度(蒸散による水分量)を把握することができます。色変化を判断する指標とするために、表示部の周囲に色見本が印刷されています。



- ①樹脂フィルム ②色見本 ③塩化コバルト紙
④表示部 ⑤不織布 ⑥接着部 ⑦剥離紙

図1 水分ストレス表示シートの構造と素材

コラム② 水分ストレスの一般的な測定法

コラム①で述べたように、水分ストレスの評価には、一般に早朝日の出前におけるLWP " Ψ_{max} " が指標として用いられます。LWPの単位は、圧力の単位であるMPa(メガパスカル)が用いられ、負の値になります。この値が小さくなる(負の値なので絶対値は大きくなる)ほど、樹は強い水分ストレス(乾燥ストレス)状態であることとなります。

測定の方法は、密閉された容器の内の植物体に圧力を加えて行うプレッシャーチャンバーや試料の水蒸気圧を測定するサイクロメータを使うのが代表的ですが、これらの方法は、非破壊ではない上に機器が高価で取扱いが煩雑であることなどの難点があります。



水分ストレスの測定機器(左:プレッシャーチャンバー、右:サイクロメータ)

水分ストレス判別手順

水分ストレス表示シートに用いている塩化コバルト(II)は、周りの水分が少なくても長時間放置すれば、少しずつ吸湿し続けて最終的には完全に色が変わってしまいます。そのため、葉に貼り付けて蒸散による水分量を評価するためには、貼り付けておく時間の基準を定めなければなりません。

基準の時間を定めるために、水分ストレスの有無による表示シートの色変化の違い調べた結果を図2に示します。これは、水分ストレスのない樹の、蒸散速度が $3.2 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で LWP (Ψ_{max}) が -0.6 MPa の葉と、強い水分ストレス状態にある樹の、蒸散速度が $1.2 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で LWP (Ψ_{max}) が -2.1 MPa の葉の裏面にシートを貼り付けて色の変化を検証した結果です。

水分ストレスのない樹では、シートを貼り付けてから5分後に表示部の色が完全に変化して淡赤色となりましたが、強い水分ストレス状態の樹では、色は少ししか変化しませんでした。このことから、水分ストレス表示シートを貼り付けた後、およそ5分経過した時点における色の変化から

LWP (Ψ_{max}) の判別が可能と考えられます。

なお、LWP (Ψ_{max}) が小さい樹でも水分ストレス表示シートの色が短時間で変化する場合もありました。これはシートの密着不足など貼り付けの不具合が原因と考えられました。また、LWP (Ψ_{max}) が大きくても蒸散速度が低い場合も稀にあります(章末「参考」参照)。従って1樹に対して1枚の葉のテストでは十分ではないと考えられます。このため複数枚(3枚程度)の葉に対してテストを行うとともに、場合によっては翌日あるいは、数日後に同一条件で再度テストを行うことにより、より確実な水分ストレス状態の把握が可能となると考えられます。

また、LWP (Ψ_{max}) との関係が明瞭な蒸散速度を示すのは、夏期の日中に日射が遮られずに十分に当たっている新葉なので(章末「参考」参照)、テストを行う時刻は11~13時頃、シートを貼り付ける葉は、図3に示すようなものとします。

手順の全体の流れを図4に、シートの貼り付け方を図5に示します。

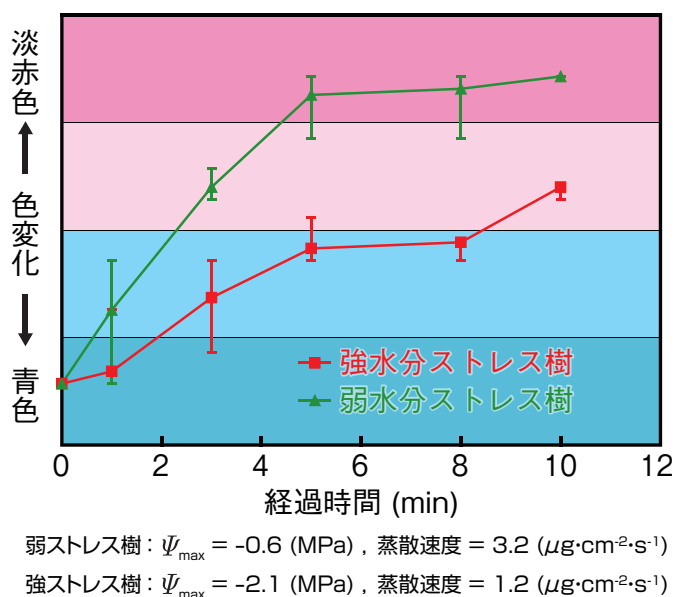


図2 LWP (Ψ_{max}) の異なる葉における水分ストレス表示シートの色変化



- ① 樹冠の赤道周囲付近から選択します。
- ② 南側の日射が十分に当たっている葉を選択します。
- ③ 日陰になっている葉、旧葉、虫食い葉は避けます。

図3 水分ストレス表示シートによるテストを行う葉の選択

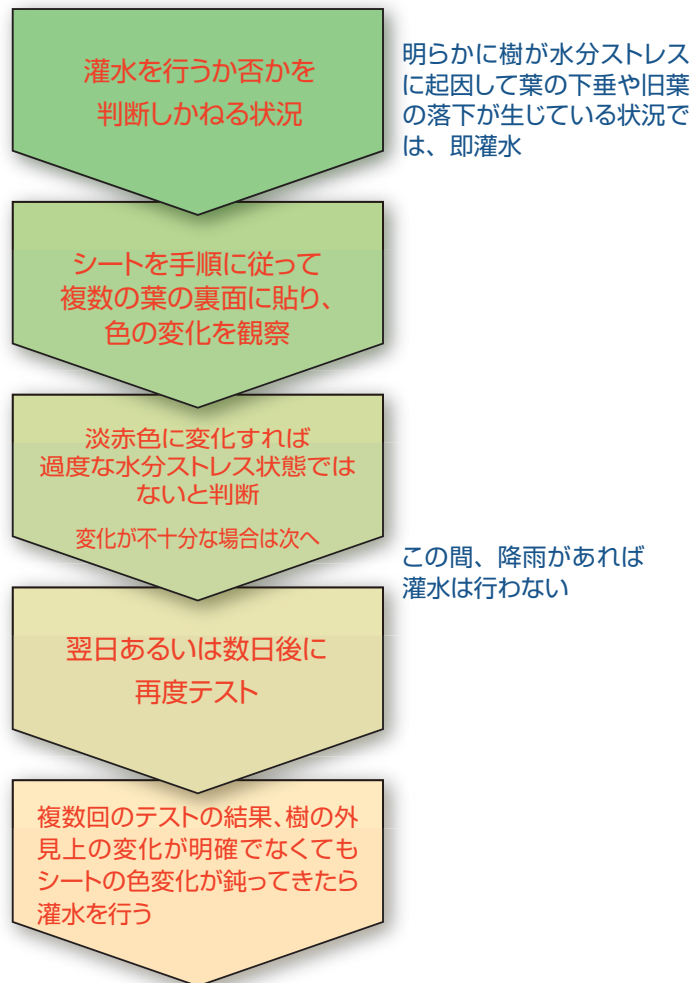


図4 かん水のための水分ストレス判別手順の流れ



シートは銀色の外袋に入っています。

外袋から取り出します。



シート裏面の剥離紙を剥がすと
接着面になっています。



葉の裏側に中肋を避けて密着させます。



貼り付け状態



図5 シートの貼り付け手順

今後の技術の改良

初めに述べたように、この技術は、より完成度を高めるために改良を行っています。

現場で試用して頂いたところ、①反応時間の短縮化、②色変化の判断の個人差の緩和、③接着力の強化、④貼り付け後に見失うことの防止方策、などの要望が出されています。

このため①塩化コバルト(Ⅱ)を含む紙の面積を小さくすることによる反応時間の短縮、②中間的な色変化は評価せず完全に色変化したか否かの判別だけとする、③発泡ブチルゴムを用いた接着力の強化、④シートの裏面の剥離紙を目印代わりに活用する、などの検討を行っています。

さらに、水分ストレス表示シートにより判別した樹の水分状態に基づき、いつ、どのくらい、どのように灌水を行うことが効果的かについても検討を行っています。

おわりに

ここで紹介した水分ストレス表示シートを用いて植物の水分ストレスを把握する方法は、低コストな方法であり、生育期間中何度も迅速簡便に測定を行うことが可能で、植物体を損なうことのない非破壊的な方法です。そのため、実際の生産現場で生産者が作物の水分状態の把握に手軽に用いることのできる手法であるといえます。

この技術に関するこれまでの研究開発では、対象をウンシュウミカンに限定してきました。しかし、シートの構造を少し変更することによってシートの色が変化するまでの時間（感度）を自由に変化させることが可能です。したがって、中晩生カンキツや落葉果樹、さらに他のさまざまな植物体についても、蒸散速度と水分状態の関係が明らかにできれば適用可能と考えられ、この技術の応用範囲は多岐に渡ると考えられます。

参考文献

- 葦沢正義. 温州ミカンの品質と水管理 (1). 農業及び園芸. 46(8). p.1155-1160. 1971.
- 貝原洋平・宮本輝仁・新堂高広. 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. 園芸学会雑誌. 75 (別2). p. 99. 2006.
- 間亭谷 徹・町田 裕. 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. 園芸学会雑誌. 49. p.41-48. 1980.
- 中里一郎・松永茂治・岸野 功. ウンシュウミカンのフィルムマルチ栽培における乾燥ストレスの期間及び程度が果実品質に及ぼす影響. 長崎果樹試報. 3. p.1-10. 1996.
- 高辻豊二. 温州ミカンの水分制御による糖度向上技術. 農業技術. 46. p.398-402. 1991.
- 星 典宏ら. 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(4). p.541-546. 2007.
- 星 典宏ら. 「植物用体内水分ストレスシートと植物水分ストレス測定法」. 特許公開 2007-232572. 2007.

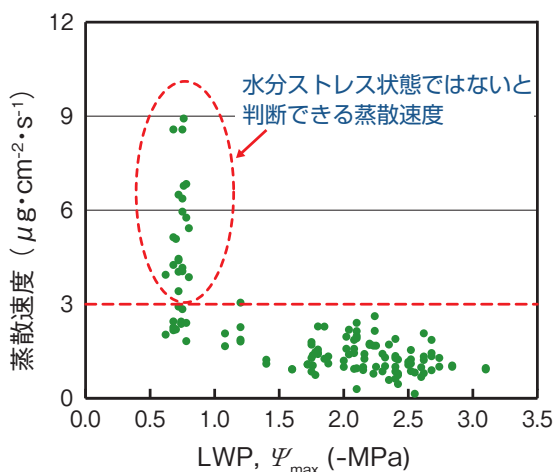
参考 蒸散速度と水分ストレスの関係

‘宮川早生’（カラタチ台、9年生）を供試し、水分ストレスの指標としてのLWP (Ψ_{max}) と日中の蒸散速度との関係を検証しました。LWP (Ψ_{max}) の測定にはプレッシャーチャンバー法（測定器：PMS Instrument Company、Model 600）を用い、早朝日の出前（午前3時から5時）に測定しました。蒸散速度の測定は、11時から13時頃に定常制御型高精度ポロメータ（LI-COR、LI-1600）を用いて行いました。対象とした葉は本文図3に従い、樹冠の赤道周囲付近で、樹の南側の十分に直達日射を受けている春葉とし、旧葉または虫害によって損傷を受けた葉などは除外しました。これらの測定は、平均気温 $30.5 \pm 1.9^\circ\text{C}$ 、平均相対湿度 $40.0 \pm 8.9\text{Rh}\%$ の夏季条件下で行ったものです。

LWP (Ψ_{max}) がおよそ -0.8 MPa 以下では蒸散速度の低下傾向が認められました。LWP (Ψ_{max}) が -0.8 MPa 程度の弱い水分ストレス状態では蒸散速度は $3 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ を超えましたが、それ以下の強い水分ストレス状態の樹では、蒸散速度が $3 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ を大きく超えることはありませんでした。LWP (Ψ_{max}) の低下に従い日中の蒸散速度が減少する明確な関係は得られませんでした。前述した蒸散速度 $3 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ をしきい値とすることにより、LWP (Ψ_{max}) が、 -0.8 MPa 付近の状態とそれ以下の状態を蒸散速度から判別できると考えられます。

つまり、LWP (Ψ_{max}) と蒸散速度との関係から、前述したような条件の部位及び時間帯での葉について、蒸散速度が $3 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上得られていれば、LWP (Ψ_{max}) は -0.8 MPa 以上であったと推測できます。逆に $3 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下であれば、外見の明確な変化が無くとも、およそ LWP (Ψ_{max}) が -0.8 MPa 以下の水分ストレス状態にあると推測できます。

しかし、10月上旬以降、秋季条件での測定として、平均気温 $25.3 \pm 2.6^\circ\text{C}$ 、平均湿度 $37.0 \pm 3.2\text{Rh}\%$ の環境で行った結果、夏季条件での測定時のような特徴的な LWP (Ψ_{max}) と蒸散速度の関係は明確には認められませんでした。したがって、 $3 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ というしきい値は夏季においてのみ用いることができます。



水分ストレスの指標 LWP (Ψ_{max}) と日中の蒸散速度との関係

お問い合わせはこちらへ

近畿中国四国農業研究センター

〒765-8508 香川県善通寺市仙遊町 1-3-1

電話 0877-63-8107

FAX 0877-63-1683

E-Mail www.wenarc@affrc.go.jp