

高感度な植物蒸散量計の開発

グリーンニューディール技術開発支援室 室長 兵頭 竜二

植物緑葉の裏面に多くある気孔は、明るいところでは植物の渇き具合の影響を受けて開閉する。一方、高品質な果実の生産では、植物の乾き具合（水分ストレス）などを把握して水管理を徹底することが要求される。このため、柑橘栽培などの農業現場では灌水管理の判断材料として、気孔の開閉状況の把握などが望まれる。

そこで本研究では、光計測技術を活用した新規の蒸散量測定デバイスとして、柑橘緑葉からの蒸散速度を計測可能なデバイスを試作開発し、柑橘緑葉の気孔からの水分蒸散量を実用精度で計測する安価な装置を開発することを目的とした。

研究事業の第3年度目となる平成26年度、本事業では、緑葉の気孔からの水分蒸散量を実用精度で計測する安価な装置を実現するのに必要な、光計測技術を活用した新規の蒸散量測定デバイスを開発した。そして、この測定デバイスを用いた蒸散量計を試作し、それらの評価実験を行った。試作した蒸散量計は、測定結果を6段階に分け、表示器にストレス0からストレス5までの範囲で結果を簡易表示する機能を有しているものである。

1. 緒言

果実育成期間中の水分ストレスの適切な管理は、収穫果実の糖度の上昇に有効に働く^[1]。このため、高品質果実の生産では水分ストレスを指標とした灌水管理が必要とされる^[1]。

また一方で、植物緑葉の裏面に存在する気孔は、明るいところでは植物の渇き具合の影響を受けて開閉する。このため柑橘栽培などの農業現場では、灌水管理の判断材料とすることが可能な、緑葉気孔からの蒸散量を簡便かつ高感度に測定する測定器が望まれている。

そこで本研究では、光計測技術を活用した新規の測定デバイスとして、柑橘緑葉からの蒸散速度を計測可能なデバイスを試作開発すること。そして、柑橘緑葉の気孔からの水分蒸散量を実用精度で計測する安価な装置を開発すること、を目標とした。

研究事業の第3年度目となる平成26年度は、植物緑葉の裏面から蒸散する水分をペルチェ素子で冷却したガラス板上に連続して強制的に結露させ、その結露量の時間変化を読みとることで、気孔からの蒸散量、あるいは蒸散速度を測定する、新規の計測デバイスを試作開発した。そして、この計測デバイスを用いた蒸散量計を試作し、評価実験を行った。

2. 蒸散量の計測技法と試作した簡易型蒸散量計

2.1 蒸散量測定デバイス

本研究で試作した蒸散量測定デバイスの基本構成を図1に、動作原理を図2示す^{[2],[3],[4]}。

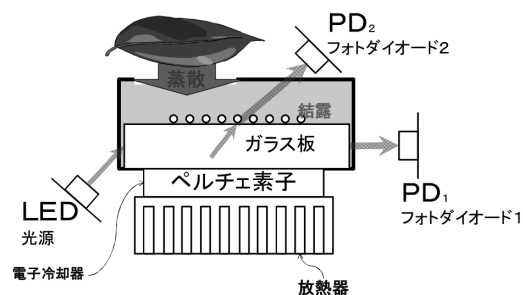


図1 蒸散量測定デバイスの基本構成

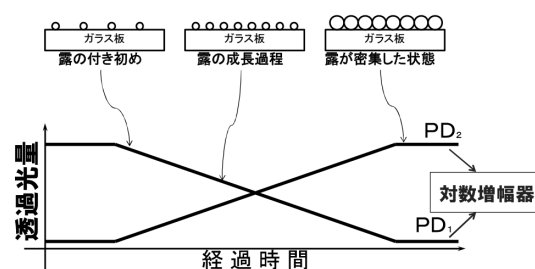


図2 蒸散量測定デバイスの動作原理

このデバイスは、植物緑葉の裏面から蒸散する水分をペルチェ素子で冷却したガラス板上に連続して強制的に結露させる。そして、ガラス板の片方の端面から光を入射し、ガラス板を長手方向に全反射を繰り返しながら透過する光量と、ガラス板表面の結露によって全反射の条件が崩れて表面に飛び出す光量を捉える。図2に例示するように、結露量が時間とともに増加する場合、PD₂が捉える表面に飛び出す光量は時間とともに増加し、PD₁が捉える長手方向に透過する光は時間とともに減少する。捉えられた2つの光量に相

当する電気的な値は、対数増幅器でその比率に変換されて、結露量に対応する値として出力される。

2.2 試作した簡易型蒸散量計

図3に試作した簡易型蒸散量計の外観を示す。この試作機には独立した2つの測定デバイスが実装されている(図4を参照)。片方の測定デバイスは、対照データとして雰囲気気をそのまま測定する。もう片方の測定デバイスは、緑葉などの測定対象物を保持し、サンプルから蒸散する水分を取り込みながら測定する。そして両者の測定結果の差異を比較演算することで、測定対象物である緑葉からの蒸散量あるいは蒸散速度を評価するものである。

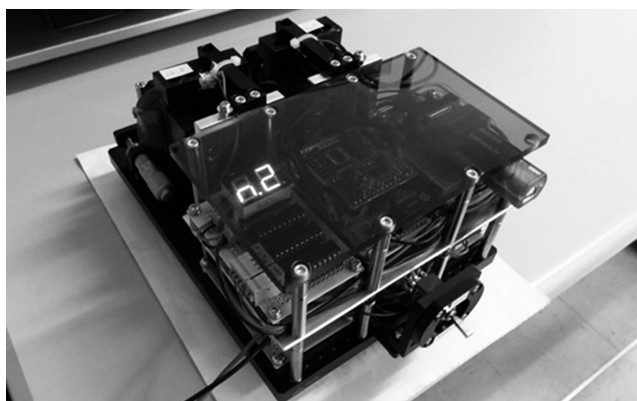


図3 試作した簡易型蒸散量計

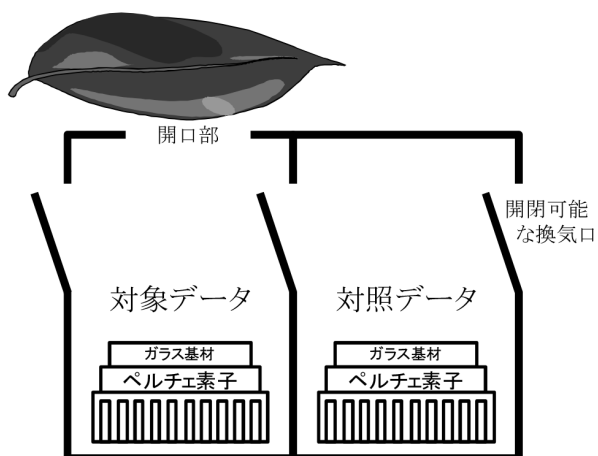


図4 試作した簡易型蒸散量計の構成概要

3. 評価実験の方法

本研究で開発する簡易型蒸散量計の測定対象はウンシュウミカンなど、柑橘類の緑葉である。しかし、研究室での実験の容易性を考慮して、評価実験に

は身近にある観葉植物であるポトスの葉を用いた。

評価実験ではまず、市販のリーフ・ポロメータ(SC-1, Decagon Devices, Inc 製)を用いて、測定対象である緑葉の気孔コンダクタンスを測定した。その後、図3に示した試作機で、結露量に対応する測定結果として、前述の対数増幅器からの出力値の時間変化を記録した。そして、その最大値や微分値などを気孔コンダクタンスと組み合わせて評価した。

4. 結果と考察

4.1 蒸散量測定デバイス

図5は、測定デバイス内の2つの光検出器が受光量の計測を開始してから、12.5秒後から25.0秒後までの12.5秒間だけ、ペルチェ素子に通電してガラス板を冷却した時の対数増幅器からの出力の時間変化を示している。サンプルとして用いた緑葉は予めリーフ・ポロメータで気孔コンダクタンスを測定した緑葉である。なお、図中で気孔コンダクタンスが0.0 [$\text{m mol} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$]と示されたプロットは、サンプル葉を把持せずに雰囲気のみを計測した時のものである。

この結果から、雰囲気のみを計測した場合でも、空気中の水分が結露して対数増幅器の出力値が上昇することが分かる。そして、気孔コンダクタンスが大きな値を呈するサンプル葉を計測すれば、その出力値が早くに上昇を始め、最大値も大きくなることが確認できる。また、気孔コンダクタンスが大きなサンプル葉の場合、ペルチェ素子への電流を止めた後も、対数増幅器の出力値が大きい期間が続くことや、出力値が元の状態に戻るまで、言い換えればガラス板上の結露が消失するまで、長い時間を要することも見て取れる。

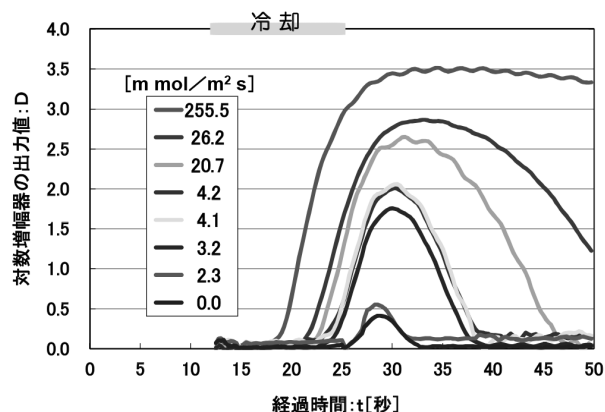


図5 蒸散量測定デバイスの出力例

4.2 試作した簡易型蒸散量計

本研究で開発する簡易型蒸散量計の測定対象はウンシュウミカンなどの柑橘類の緑葉である。通常の栽培においてその気孔コンダクタンスは0～10[$\mu\text{g}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$]程度であり¹⁾、0～5.6[mol/m²·s]程度に相当する。そこで、この領域について、試作開発した簡易型蒸散量計での計測結果とリーフ・ポロメータによる気孔コンダクタンスの測定値とを比較検証した結果例が図6である。

図6は、図5に示した対数増幅器の出力値が上昇を始める時間、最大値の50%となるときの微分係数、および最大の値を用いて、回帰分析によってリーフ・ポロメータで測定した気孔コンダクタンスとの関係を求めたものである。この結果、決定係数： r^2 が0.94の良好な相関関係を示すことが確認できた。

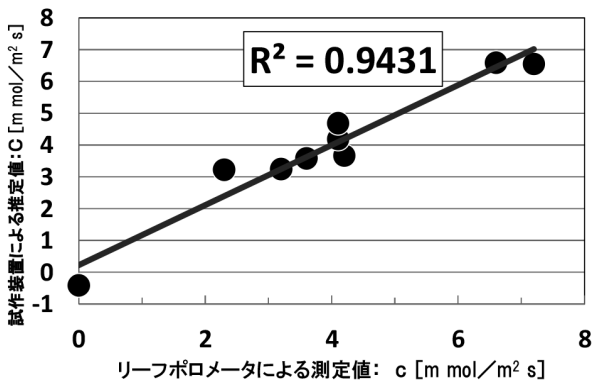


図6 簡易型蒸散量計による気孔コンダクタンスの推定例

試作した簡易型蒸散量計は、現場ニーズを考慮して、極力、構成を簡単なものとしている。また、測定結果についても、気孔コンダクタンスなどの難解な物理的数値で表示するよりも、ストレス強、中、弱、などの段階的な指標を表示することが望ましい、との現場の声もある。

このため、外部とのインタフェースとしては、測定の起動スイッチ、ならびに2桁分の7セグメント表示器のみを搭載している。

測定操作については、サンプルとなる緑葉を測定チャンバに把持した後、測定起動スイッチを操作することで、測定が開始される。現時点では、測定と数値解析に1分程を要するが、数値解析の終了後、ストレス0からストレス5までの6段階で表示器に簡易表示される。

5. 結 言

本研究事業では、ガラス板と簡単な電子回路などで構成して試作開発した簡易型蒸散量計を用いて、柑橘類の通常の栽培において観測される気孔コンダクタンスの値を十分な精度で推定できる見通しを得た。

今後は、県内企業への技術移転を行う中で、実際の果実栽培現場での検証実験や、推定精度の確認なども進め、果実栽培に利活用可能な簡易型測定器の実現を目指す予定である。

参考文献

- [1] 野並, 2001. 植物水分生理学, pp.236 - 257.
- [2] 兵頭, 2013. 植物水分蒸散量の計測方法および装置, 公開特許広報, 特開 2013-050444, 特許庁.
- [3] 兵頭, 2014. 高感度な植物蒸散量計の開発, 平成 25 年度 長崎県工業技術センター研究報告, No.43, 長崎県工業技術センター, pp.29 - 31.
- [4] 兵頭, 2014. 樹木水分ストレス推定の補完に用いる簡易型蒸散量計の開発, システム農学会 2014 年度秋季大会 シンポジウム・一般研究発表会 講演要旨集, システム農学会, pp.33 - 34.
- [5] 星・ほか, 2007. 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, 園学研, 6(4), pp.541 - 546.