

## 学位論文全文に代わる要約 Extended Summary in Lieu of Dissertation

氏名： 磯山 侑里  
Name

学位論文題目： 蒸散リアルタイムモニタリングに基づいた根圏環境制御に向けた基礎的  
Title of Dissertation 研究

学位論文要約：  
Dissertation Summary

### 第1章 序論

太陽光植物工場における生産性向上を目的として、CO<sub>2</sub>施用や補光、飽差制御などの高度な環境制御装置が広く普及しつつある。高度化した環境制御技術の性能を十分に発揮させるためには、植物の生育状態に合わせて環境制御の設定値を適切に更新し続ける必要がある。光合成と蒸散は植物の生育を支える代表的な環境応答であるため、これらを計測する技術は、多様な植物生体情報計測技術のなかでも極めてプライオリティが高いものとなっている。他方、わが国の施設生産（野菜）は、その大多数が土耕栽培であり、これらの灌水管理は栽培管理者の経験に基づいて行われている。そのため、養液栽培と比較して水利用効率が劣るだけでなく、灌水不足による水ストレスのリスクもある。そこで本研究では、土耕栽培を含む太陽光植物工場で栽培されている作物へ水ストレスがかからない適量の給水制御を実現するために、安価な水蒸気濃度センサを用いた蒸散速度リアルタイムモニタリングシステム（Transpiration Real-time Monitoring System: 以降、TRMS）を開発した。

### 第2章 開放型同化箱法による作物個体を対象とした蒸散速度計測の検討

太陽光植物工場で栽培されているトマト個体群の蒸散速度計測が可能な開放型同化箱法による計測システムを作製した。本システムは、チャンバとセンサユニットで構成されている。チャンバの大きさは、0.5 m [W] × 1.0 m [D] × 2.1 m [H]であり、トマト2個体を内包した状態で栽培を継続することが可能である。チャンバの底面は、チャンバ外の空気（温室内の空気）に対して開かれており、チャンバ上部に取り付けたシロッコファンによりチャンバ内空気を排気することで、チャンバ外空気がチャンバ内に流入し、チャンバ内に上向きの気流を生じる。センサユニットでは、エアポンプとタイマーで制御された三方向電磁弁を用いて、チャンバ底面から流入する空気（Inflow air）とチャンバ上部から排出される空気（Outflow air）を5分間隔で交互にサンプリングし、気温と相対湿度を、デジタル温湿度センサを用いて計測する。チャンバのトマト個体群を計測した際にチャンバ流出空気のH<sub>2</sub>O濃度が流入空気より高くなることを確認した。また、チャンバ周囲と1℃以内の気温差、10%以内の相対湿度差でチャンバ周囲の環境と同様のトレンドをチャンバ内で再現できることを確認した。さらに、総コンダクタンスを計測することで蒸散速度計測では把握できない気孔の開閉の様子をモニタリングできる可能性を示した。

### 第3章 蒸散リアルタイムモニタリングシステムの性能評価

高精度赤外線H<sub>2</sub>O濃度分析計（LI-850, LI-COR, Inc.）とTRMSで使用されている低コストH<sub>2</sub>O濃度センサ（SHT35, SENSIRION AG）のH<sub>2</sub>O濃度差検出能力を比較し、低コストH<sub>2</sub>O濃度センサが高精度赤外線H<sub>2</sub>O濃度分析計よりもH<sub>2</sub>O濃度差を約1割過小評価するものの、H<sub>2</sub>O濃度差の経時変化を把握するには十分な性能を有していることが確認された。また、人工的な結露条件において低コストH<sub>2</sub>O濃度センサの動作確認を行い、結露がセンサ出力値に影響を与えないことを確認した。

### 第4章 蒸散リアルタイムモニタリングシステムを用いた水ストレス検知実験

愛媛大学植物工場研究センターで栽培されているトマト（*Solanum lycopersicum* L., りんか409）を用いて根圏への水ストレス付与（給水を停止することでストレス付与）実験を行った。その結果、TRMSを用いることで個体（個体群）レベルでの総コンダクタンスの低下といった水ストレス検知が可能であることが確認された。さらに、総コンダクタンスを目的変数、屋外日射量・植物工場内気温・飽差を説明変数として重回帰分析を行ったところ、有意（ $F(3, 278) = 146.8, p < 0.001, R^2 = 0.61$ ）

なモデル ( $g_t = -607.23 + 28.95 T_s + 16.22 I - 16.74 VPD$ ) が得られた。この結果は、TRMSで取得される最新のデータ(水ストレスが生じていないと仮定できるデータ)を用いて総コンダクタンスを予測するモデルを作成し、このモデルを用いて気孔閉鎖アラートを発する植物診断システムの構築が可能であることを示していた。

## 第5章 開放型同化箱法による匂い成分放出動態のモニタリング

TRMSに植物由来匂い成分放出動態モニタリング機能を追加し、太陽光植物工場で栽培されているトマト個体群の蒸散速度・総コンダクタンスおよび匂い成分放出量を同時計測した。その結果、本システムを用いることで、昼間に生じた水ストレスによって夜間のVOC放出(*n*-Hexanal,  $\alpha$ -pinene,  $\alpha$ -copaeneおよびMeSA)が促進される可能性が示唆された。また、rNose<sup>®</sup>を用いて匂い成分放出量を連続的に計測するシステムを作成し、チャンバ内の植物体をソフトブラッシングし匂い放出量を計測した。その結果、ソフトブラッシングを行った期間に2-carene,  $\beta$ -caryophyllene, MeSAの放出量の増大が検出された。

## 第6章 総括

本研究では、低コストH<sub>2</sub>O濃度センサを用いた開放型同化箱法の蒸散速度リアルタイムモニタリングシステムを開発し、低コストH<sub>2</sub>O濃度センサはH<sub>2</sub>O濃度差の経時変化を把握するには十分な性能を有していること、および人工的な結露条件において結露が低コストH<sub>2</sub>O濃度センサ出力値に影響を与えないことを確認した。本システムを用いて太陽光植物工場のトマト個体群の蒸散速度および総コンダクタンスによる気孔の開閉の様子(葉温とチャンバ内気温が等しく、かつチャンバ内の気流が定常であり、境界層コンダクタンスが一定であると仮定)を計測することで、個体(個体群)レベルでの総コンダクタンスの低下といった水ストレス検知が可能であることを示した。応用実験として本システムにVOC計測機能を追加することで昼間に生じた水ストレスやソフトブラッシングによるVOC放出を計測可能にした。以上の結果から、本システムを用いて生産農場の蒸散速度・総コンダクタンスを計測する事で灌水制御の最適化に適応できる可能性が示唆された。また、VOC放出動態モニタリングによる水ストレスの自動判定を行うことで、気孔閉鎖アラートのための総コンダクタンス予測モデルの自動更新が可能になることを示しており、より信頼性の高い植物診断システムの構築が可能になると期待される。