

氏 名 (本 国 籍)	Ahmad Tusi (インドネシア共和国)
学 位 の 種 類	博士 (農学)
学 位 記 番 号	農博甲第 7 4 9 号
学 位 授 与 年 月 日	令和 2 年 9 月 3 0 日
研 究 科 及 び 専 攻	連合農学研究科 生物生産科学専攻
研究指導を受けた大学	岐阜大学
学 位 論 文 題 目	Real-time Monitoring of Ventilation Rate for Measuring Tomato Plants Photosynthetic Rate using CO ₂ Balance Method in a Naturally Ventilated Greenhouse (自然換気温室における CO ₂ 収支法を用いたトマト植物群 落の光合成速度算定のための換気率のリアルタイム測定)
審 査 委 員 会	主査 岐阜大学 教授 山 田 邦 夫 副査 岐阜大学 教授 嶋 津 光 鑑 副査 静岡大学 教授 鈴 木 克 己 副査 岐阜大学 助 教 落 合 正 樹

論 文 の 内 容 の 要 旨

温室内の栽培植物の光合成速度の経日データは、生育評価や栽培管理の有益な情報となる。温室の CO₂ 収支式に CO₂ 供給量、内外 CO₂ 濃度差、土壌呼吸量、温室の換気率などの測定値を入力すると、温室内群落の光合成速度をリアルタイムでモニタリングできる。

ところが、自然換気温室は強制換気温室と異なり、換気率は日射・風向風速・内外気温差などの気象条件や窓開度により時々刻々変化する。温室換気率は、トレーサーガス法、熱収支法、水蒸気収支法などで測定される。CO₂、N₂O、SF₆ ガスなどを用いるトレーサーガス法は、再現性と信頼性が高く、温室の換気特性の評価には有効であるが、CO₂ ガスは植物に吸収されるため栽培温室での利用は不適である。また、N₂O や SF₆ ガスは高価な上に、大換気量の温室では、大量のガスが必要となるため、栽培温室での長期的な換気率測定の手段として実用的ではない。

これに対して、温室内の気象データを使用する熱収支法は換気量の大きな温室に適しているが、測定項目が多いためその解析は煩雑となる。また、水蒸気収支法は、蒸発散のプロセスで生じる水蒸気の温室外への輸送量から換気率を算定するが、蒸散量の測定精度に依存する。トマト施設栽培の作型は、初秋から翌年の夏までという長期であり、温度管理を目的とした温室の換気状態も変化する。よって、その期間の熱収支法および水蒸気収支法による換気率の測定値が妥当であるかどうかは十分に検討されていない。

本研究では、自然換気温室における初秋から翌年の初夏までの長期栽培となるトマト植物群落の光合成速度のリアルタイムモニタリングに適した換気率測定法を評価するために、無植栽での

CO₂ トレーサーガス法で測定した換気率を基準として、栽培温室の同一時間の換気率を熱収支法と水蒸気収支法により同時に算定した。そして、信頼性の高い測定法で求めた換気率を CO₂ 収支法に適用して自然換気温室内のトマト群落光合成速度を求め、その妥当性を LI-6400 による測定値から評価した。

実験は岐阜大学研究圃場の単棟ガラス温室を使用した。換気率は、CO₂ トレーサーガス法、熱収支法、および水蒸気収支法から算定した。実験期間中、それらの測定に必要なパラメータである温度、湿度、日射量、CO₂ 濃度、蒸散量、風速を連続測定した。また、上記の CO₂ 収支法で算定した光合成速度は、LI-COR 6400 ポータブル光合成装置で得られた値を比較して、その妥当性を検証した。

CO₂ トレーサーガス法による換気率の値は既往の研究と一致しており、さまざまな開口条件下の換気率を測定する上での基準値として信頼性は高かった。熱収支法および水蒸気収支法により測定された植栽温室の換気率は、外気象が変化しても同様の経時変化を示した。なお、両方法で算定された値は、同一開口面積だが無植栽の温室において CO₂ トレーサーガス法で測定した換気率と比較して値はやや小さくなったが、それは群落のガス拡散抵抗によるものであり妥当な値であった。

熱収支法による換気率は、開口部が最大するときだけでなく中程度でも正確に測定できた。特に、温室内の吸収日射量が 200 W m⁻² 以上でかつ開口面積が大きな条件下で良い結果が得られた。しかし、吸収日射量が 200 W m⁻² 以下で換気口が閉鎖されたとき、トレーサーガス法で求められた換気率から推定される値よりも低くなった。これは換気窓が閉鎖されると、吸収日射量のうち換気で排出される熱の割合が低下し、熱収支法の精度が悪くなるためと考えられた。

茎流センサーを使用した蒸散量の測定は短時間の応答もよく、その値を水蒸気収支法に用いて得られた換気率は、一年を通して、さまざま開口条件下でも信頼できる算定値となった。水蒸気収支法は熱収支法と比較して測定項目が少ない（内外の絶対湿度、蒸散速度の測定）上に、開口条件が小さくなくても精度が悪化しないため、栽培が長期間となるトマト群落の光合成速度の算定に必要となる換気率の連続測定に適していると結論した。水蒸気収支法で得られた換気率を CO₂ 収支法に用いて算定された温室内群落の光合成速度は同一環境での LI-6400 による短時間での光合成速度の値と一致し、リアルタイムなモニタリング法としての有効性を示すことができた。

審 査 結 果 の 要 旨

本研究では、自然換気温室における初秋から翌年の初夏までの長期栽培となるトマト植物群落の光合成速度のリアルタイムモニタリングに適した換気率測定法を評価するために、無植栽での CO₂ トレーサーガス法で測定した換気率を基準として、栽培温室の同一時間の換気率を熱収支法と水蒸気収支法により同時に算定した。そして、信頼性の高い測定法で求めた換気率を CO₂ 収支法に適用して自然換気温室内のトマト群落光合成速度を求め、その妥当性を LI-6400 による測定値から評価した。

実験は岐阜大学研究圃場の単棟ガラス温室を使用した。換気率は、CO₂ トレーサーガス法、熱収支法、および水蒸気収支法から算定した。実験期間中、それらの測定に必要なパラメータである温度、湿度、日射量、CO₂ 濃度、蒸散量、風速を連続測定した。また、上記の CO₂ 収支法で算定

した光合成速度は、LI-COR 6400 ポータブル光合成装置で得られた値を比較して、その妥当性を検証した。

CO₂ トレーサーガス法による換気率の値は既往の研究と一致しており、さまざまな開口条件下の換気率を測定する上での基準値として信頼性は高かった。熱収支法および水蒸気収支法により測定された植栽温室の換気率は、外気象が変化してもそれに応答して同様の経時変化を示した。なお、両方法で算定された値は、同一開口面積だが無植栽の温室において CO₂ トレーサーガス法で測定した換気率と比較すると値はやや小さくなったが、それは温室内の群落の有無がガス拡散抵抗に影響するためであり、妥当な値であった。

熱収支法による換気率は、開口部が中程度から最大のときに正確に測定できた。特に、温室内の吸収日射量が 200 W m² 以上でかつ開口面積が大きな条件下では良い結果が得られた。しかし、吸収日射量が 200 W m² 以下で換気口が閉鎖されたとき、トレーサーガス法で求められた換気率と比較すると値は低くなった。これは換気窓が閉鎖されると、吸収日射量のうち換気で排出される熱の割合が低下し、熱収支法の精度が悪くなるためと考えられた。

水蒸気収支法による換気率の測定において、蒸発散量は、茎流センサー、重量法、液位法、流量計による培地への給液量の測定などにより評価し、茎流センサーを使用した蒸散量の測定が短時間の応答と精度にすぐれることを明らかにした。その値を水蒸気収支法に用いて得られた換気率は、一年を通して、さまざま開口条件下でも信頼できる算定値となった。水蒸気収支法は熱収支法と比較して測定項目が少ない（内外の絶対湿度、蒸散速度の測定）上に、開口条件が小さくなくても精度が悪化しないため、栽培が長期間となるトマト群落の光合成速度の算定に必要な換気率の連続測定に適していると結論した。

水蒸気収支法で得られた換気率を CO₂ 収支法に用いて算定された温室内群落の光合成速度は同一環境での LI-6400 による短時間での光合成速度の値と一致し、リアルタイムなモニタリング法としての有効性を示すことができた。

以上の結果より、自然換気温室での長期トマト栽培において、水蒸気収支法を用いて換気率を連続的に算定すれば、CO₂ 収支法を利用した光合成速度のリアルタイムモニタリングは可能であることを明らかにできた。

基礎となる学術論文

- 1) Tusi, A. and T. Shimazu: The Essential factor of ventilation rate in prediction of photosynthetic rate using the CO₂ balance method. *Reviews in Agricultural Science*, (in press)
- 2) Tusi, A., T. Shimazu, M. Ochiai and K. Suzuki: Continuous measurement of greenhouse ventilation rate in summer and autumn via heat and water vapor balance methods. *Environmental Control in Biology*, (in press)
- 3) Tusi, A., T. Shimazu, M. Ochiai and K. Suzuki: Comparison of three ventilation rate measurement methods under different window apertures in winter and spring. *Environmental Control in Biology*, (in press)