

宇宙環境に対する植物反応解明のための実験系構築—微小重力下での植物葉からの蒸散の動態および植物育成チャンバー内の環境変動の解明

北宅善昭（阪府大）、高橋秀幸（東北大）、山下雅道（JAXA）、東谷篤志（東北大）、平井 宏昭（阪府大）後藤英司（千葉大）、齋藤高弘（宇都宮大）、谷晃（静岡県大）、土屋広司（浜松ホトニクス）、多胡靖宏（環境研）、田山一郎（千代田アドバンス・ソリューションズ）、神阪盛一郎（富山大）、保尊隆享（阪市大）、高沖宗夫、矢野幸子（JAXA）、鎌田源司（エイ・イー・エス）

Establishment of the Experimental System for Clarifying Plant Responses to Space Environment – Transpiration from Leaves and Performance of Environmental Control in a Plant Growth Chamber under Microgravity Condition

Yoshiaki Kitaya, Hideyuki Takahashi, Masamichi Yamashita, Atsushi Higashitani, Hiroaki Kirai, Eiji Goto, Takahiro Saito, Akira Tani, Hiroshi Tsuchiya, Yasuhiro Tako, Ichiro Tayama, Seiichiro Kamisaka, Takayuki Hoson, Muneo Takaoki, Sachiko Yano, Genji Kamata

E-Mail: kitaya@envi.osakafu-u.ac.jp

Abstract: A fundamental study was conducted to develop the experimental system to investigate effects of space environment on vegetative and reproductive growth of plants in their life cycles. In this study, the transpiration rate of plant leaves were evaluated at 0.01, 1.0 and 2.0 g for 20 sec each during parabolic airplane flights in order to clarify effects of microgravity on the water vapor exchange between plants and the ambient air. The transpiration rate of leaves was suppressed by increasing the water vapor transfer resistance due to restricted free air convection under microgravity conditions. Planning for evaluating performance of the water recycle system in a plant growth chamber under microgravity conditions is also described.

Key words; Microgravity, Space experiment, Strawberry, Transpiration, Water recycle

1. はじめに

宇宙環境が数世代にわたる植物の生活環と遺伝的変異に及ぼす影響の解明は、宇宙生物学に資する重要な情報を得ると同時に、長期の有人宇宙活動を支援するための、植物を中心とした生命維持システムや宇宙農場の構築に不可欠な生物学的情報を得るために重要である。そこで長期間にわたる宇宙での植物実験を科学的に遂行するため、「宇宙環境に対する植物反応解明のための実験系構築」ワーキンググループを組織した。

ワーキンググループの主な目標は、以下である。

(1) 植物の生活環を通じた成長過程に及ぼす宇宙環境の影響を解明するために、精密な環境制御の下で植物を育成し、全生育ステージにおけるガス交換、乾物生産、形態形成などを個体・組織のレベルでモニタリングする植物栽培・モニタリング装置を開発する。

(2) 宇宙環境が植物の生殖成長と遺伝的変異に及ぼす影響を解明する宇宙実験のために、環境ストレスが誘導する生殖成長不全の分子マーカなどを用いて、植物の生殖成長過程を遺伝子発現のレベルでモニタリングする実験系を確立する。

ここでは(1)について、航空機実験を中心に、微小重力場で起こり得る葉での蒸散抑制の検討結果、および植物育成チャンバー内の環境に及ぼす微小重

力の影響評価の計画について報告する。

2. 微小重力場で起こり得る葉での蒸散抑制

2-1. 材料および方法

宇宙の微小重力場では温度差による熱対流が生じないため、熱およびガスの交換が抑制される。今回の航空機実験では、重力の変動に伴う植物葉から周辺大気への水蒸気輸送抵抗(実験1)および蒸散速度(実験2)の動態を

調べた(Hirai and Kitaya, 2009)。航空機搭載用実験装置の概要を図1に示す。実験装置は、ロックワール培地で育成した植物体、絶対湿度計、ポロメータ、植物用照明装置、データロガー等から構成される。その他、環境計測装置として、植物体近傍に、気温、相対湿度、気流速度計測器を取り付けた。

2-2. 結果および考察

実験1の結果、閉鎖型ポロメータで測定した植物模擬葉から周辺大気への水蒸気輸送抵抗は、航空機放物線飛行中の重力の変動に追従して変動した

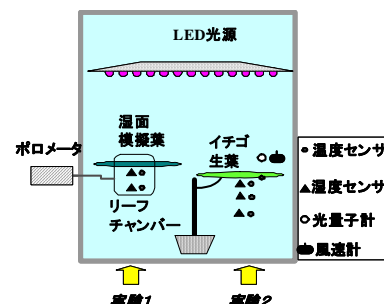


図1. 植物葉から周辺大気への水蒸気輸送抵抗(実験1)および蒸散速度(実験2)測定システムの概要

(図2)。1 g から 0.01 g への重力低下に伴い、水蒸気輸送抵抗は 40% 低下した(図3)。また重力が 1 g から 2 g に増加すると、水蒸気輸送抵抗は増加する傾向が見られた。

実験2の結果、イチゴ葉から 3-8 mm 離れた位置での絶対湿度は、航空機放物線飛行中の重力の変動に追従して変動した(図4)。イチゴ葉面から 3 mm 離れたと、絶対湿度は急激に低下した。その低下量は、1 g から 0.01 g への重力低下に伴い、小さくなった(図3)。イチゴ葉の蒸散速度は、重力が 1 g から 0.01 g に低下すると 45% 低下し、1 g から 2 g に増加すると 30% 増加した(図5)。

微小重力下では、熱対流が生じないため、蒸散が抑制されることが確認できた。蒸散速度を高めて、植物を健全に生育させるためには、植物周辺において強制的に空気を流動させ、葉でのガス交換を促進させる必要がある。

3. 微小重力下での植物育成チャンバー内の環境変動評価の計画

今回の航空機実験では、植物育成装置の基幹要素である水循環システムに注目し、微小重力下で水の移動方向が定まらない条件における、水分供給装置や水蒸気回収装置の性能評価を行う。

実験システムはおもに、水タンク、親水性繊維状培地から成る試作の水分供給装置、ペルチェ素子および親水性繊維布から成る水蒸気回収装置、水分センサー、デジタルビデオカメラ、熱画像取得装置、照明装置、微細熱電対を用いた温度計測システム、データロガーから構成される。その他、環境計測装置として、気温、湿度、気流速度計測器を取り付ける(図6)。

培地内の水の移動、および植物育成室内の水蒸気回収速度に及ぼす微小重力の影響を評価し、微小重力下におけるシステム全体の水の流れが地上重力下と同様に生じることを航空機実験で確認する予定である。

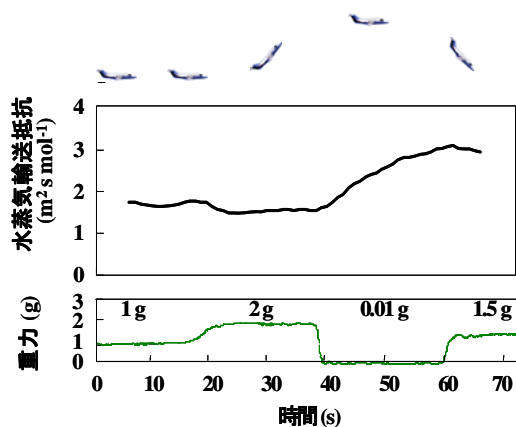


図2. 重力の変動に伴う植物模擬葉から周辺大気への水蒸気輸送抵抗の変動

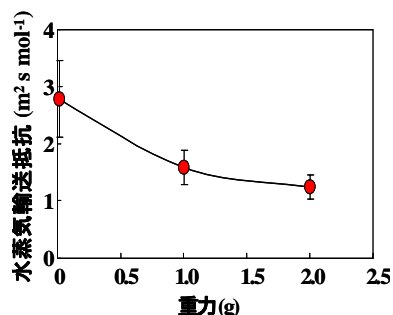
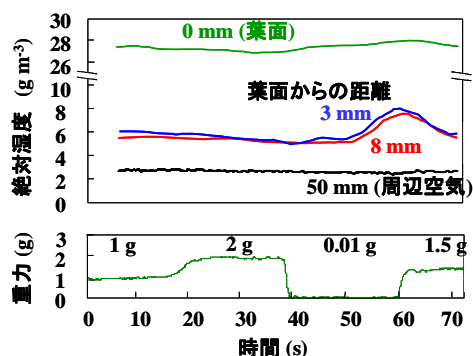


図3. 植物模擬葉から周辺大気への水蒸気輸送抵抗に及ぼす重力の影響



(気温: 28°C, 風速: 0.05 m s⁻¹, 照射放射量: 60 W m⁻²)

図4. 重力の変動に伴うイチゴ葉下面の絶対湿度の変動

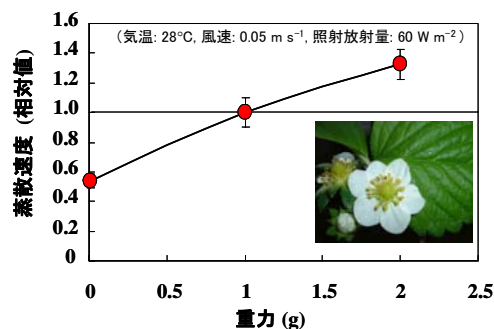


図5. イチゴ葉の蒸散速度に及ぼす重力の影響

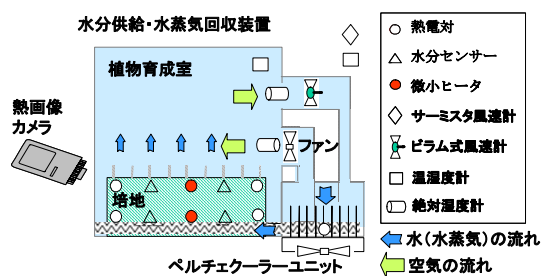


図6. 植物育成装置の水循環システムの性能に対する微小重力の影響を評価するための実験の概要

引用文献.

Hirai, H. and Kitaya, Y., Effects of Gravity on Transpiration of Plant Leaves. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 2009. (in press)