

宇宙環境に対する植物反応解明のための実験系構築－微小重力が植物茎内の蒸散流に及ぼす影響

北宅善昭、平井 宏昭（阪府大）、高橋秀幸（東北大）、山下雅道（JAXA）、東谷篤志（東北大）、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（浜松大）、多胡靖宏（環境研）、田山一郎（千代田アト・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（E-I-E）

Establishment of the Experimental System for Clarifying Plant Responses to Space Environment – Sap Flow in Plant Stems under the Microgravity Condition

Yoshiaki Kitaya, Hiroaki Kirai, Hideyuki Takahashi, Masamichi Yamashita, Atsushi Higashitani, 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. Sap flow in plant stems plays an important role to transport water and nutrients internally from roots to leaves. In this study, the sap flow in tomato stems was assessed using a simple heat flow method at 0.01, 1.0 and 2.0 g for 20 seconds each during parabolic airplane flights in order to clarify the effect of microgravity on the sap flow in stems. Heat generated with a small heater installed in the stem was transferred upstream and downstream by conduction and upstream by convection with the sap flow through xylems of the vascular tissue. Thermal images of stem surfaces near heated points were captured using infrared thermography and the internal heat convection corresponding to the sap flow was analyzed. In results, the sap flow in stems at 0.01 g was shown to promote under a stirred air condition at a wind speed of 0.5 m s^{-1} compared with that at 2.0 g. The promoted sap flow under the stirred air condition would be caused by removal of negative gravity effects for upward water flow under the microgravity conditions. The forced air movement is important to grow healthy plants under microgravity condition in space.

Key words: Tomato, Heat convection, Microgravity, Parabolic airplane flights, Sap flow, Space

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」研究チームを組織している。

ワーキンググループの主な目標は、以下の2項目である。

(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植物体内での根から葉に向かう蒸散流抑制の検討結果について報告する。

2. 材料および方法

植物材料には、トマト (*Solanum lycopersicum* L.) を用いた。植物は、植物育成室内で約1ヶ月間、ロックウール培地を用いて養液栽培した。

茎内の水の移動に及ぼす微小重力の影響を調べるため、微小ヒータで加熱されたトマト茎の表面を熱画像カメラ(サーモトレーサーTH9800、NEC 三栄(株))を用いて連続撮影した。茎内を通る水の動きについては、茎表面温度分布画像を用いて、微小ヒータで加熱された部位周辺の水の流れに伴う熱伝達の状況から解析した。

航空機搭載用実験システムの概要を図1に示す。実験システムは主に、ロックウール培地で育成したトマト植物体、植物固定台、茎加熱用の微小ヒータ、

デジタルビデオカメラ、熱画像カメラ、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、加熱用の微小ヒータから構成される。その他、環境計測装置として、気温、湿度、気流速度的計測器を取り付けた。

1回の放物線飛行において、重力 1g での水平飛行から約 20 秒間の上昇加速飛行（重力 2g）を経て、約 20 秒間の微小重力飛行（重力 0.01g）を行ない、その後水平飛行に戻るまでの約 30 秒間は 1.5g の重力を受けた。実験期間中、機内の温度を約 20℃、気圧は 0.9 atm、葉近傍の風速は 0.5 m s⁻¹であった。

図 2 に示す仮説のように、植物の茎内や培地内の水の流によって、微小ヒータにより加えられた熱の伝達が促進され、加熱部近傍の温度分布が変形する。水の流が促進される場合には、水の流に伴う熱の伝達が促進される。放物線飛行中において茎の表面温度をモニターすることにより、茎の道管を通る水の流で熱が移動する状況から、水の流を定性的に解析した。

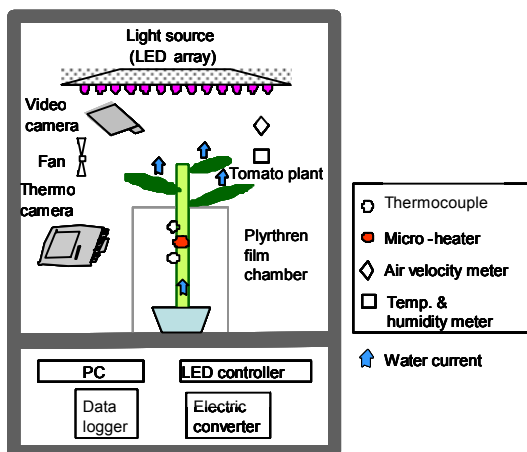


図 1. 航空機放物線飛行実験に用いた実験システム

3. 結果および考察

攪拌ファンによる強制気流（植物近傍の気流速度 0.5 m s⁻¹）がある場合、微小重力下（0.01 g）と過重力（2.0 g）下での茎における温度差の分布（図 3）は、図 2 の仮説と同様の変化を示し、微小重力下では茎内蒸散流が促進された。

これまでの航空機実験で明らかにしてきたように、強制気流がない場合（植物近傍の気流速度 0.1 m s⁻¹ 以下）、微小重力は葉での蒸散を抑制し、茎内の蒸散流を抑制する。しかし今回の実験により、強制気流があり葉での蒸散が促進される場合には、微小重力下での鉛直上向きの茎蒸散流が促進されることが確認できた。このことは、強制気流により葉での蒸散が維持され、根の吸水が維持される条件では、微小重力は、上向きの蒸散流に対して

抑制的に働く重力の影響を除去するため、茎内の水の流を促進したと考えられる。したがって宇宙の微小重力下における植物栽培では、根での吸水、根から葉に向かう水移動を促進して健全な植物を育成するためには、強制気流が重要である。

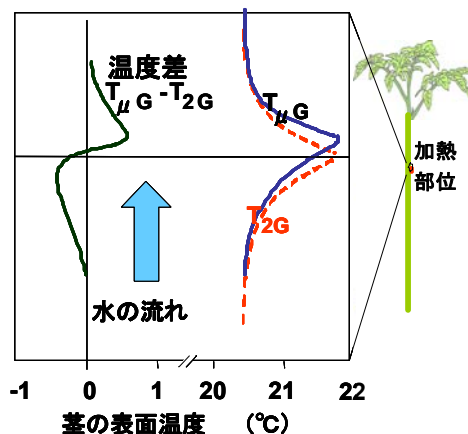


図 2. 茎蒸散流の挙動に伴う茎表面温度分布の変化

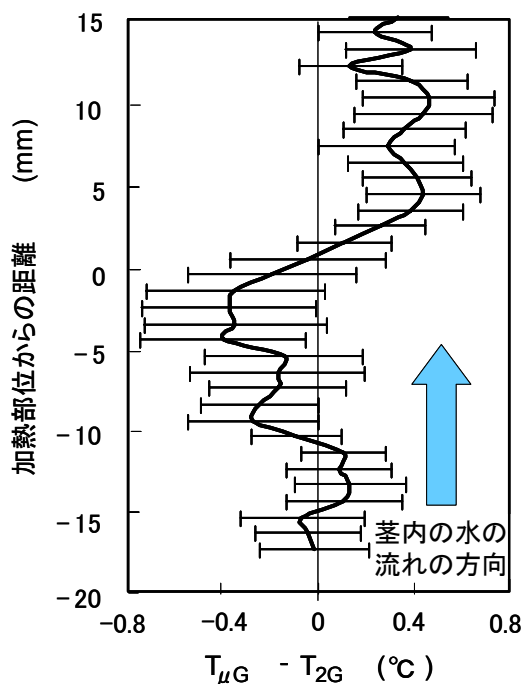


図 3. 加熱部位周辺における微小重力(0.01 g)下と過重力(2.0 g)下での茎表面温度の差の分布 誤差線は標準偏差 (n=4)