

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茎内の水の流れ

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（千代田大）、ハンスト・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 fluid and nutrients internally from roots to leaves. In this study, the sap flow in tomato stems was assessed using a heat flow method at 0.01 and 1.0 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 suppressed under a retarded air condition at a wind speed of 0.1 m s^{-1} compared with that at 1 g. No suppression of the sap flow was observed under a stirred air condition at a wind speed of 0.5 m s^{-1} . Suppressed sap flow in stems would be caused by suppression of transpiration in leaves and would cause restriction of water and nutrient uptake in roots. The forced air movement is essential 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ーなどを用いて、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°C、気圧は 0.9 atm であった。

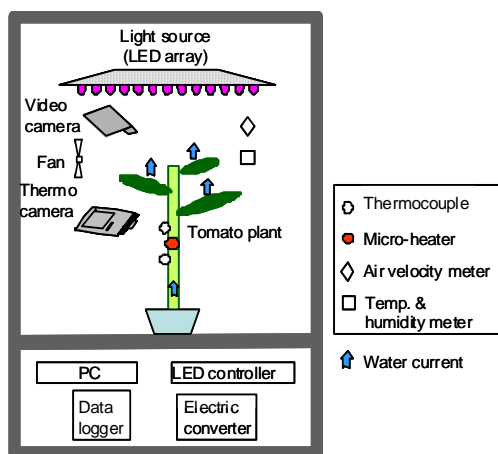


Fig.1. Diagram of experimental set-up

3. 結果および考察

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。一方、微小重力下で水の流れが抑制される場合には、水の流に伴う熱の伝達が抑制される。培地または茎の表面温度をモニターすることにより、培地内の毛管およびトマト茎の道管を通る水の流で熱が移動する様子から、水の流を定性的に解析した。

強制気流がなく（植物近傍の気流速度約 0.1 m s^{-1} ）、葉からの蒸散が抑制される場合、トマト茎における微小重力下と地上重力下との温度差の分布（図 3）は、図 2 の仮説と同様の変化を示し、微小重力下では鉛直上向きの茎内水移動が抑制されることが確認できた。他方、強制気流（植物近傍の気流速度約 0.5 m s^{-1} ）があり、蒸散が促進される場合、微小重力による茎内水移動の抑制は見られなかった。

微小重力下で強制気流がない場合、これまでの航空機実験で明らかにしてきた蒸散抑制が、茎内の水の流を抑制していると考えられる。このことは、微小重力下では根の吸水抑制、ひいては養分吸収抑制が生じ得ることを示唆する。

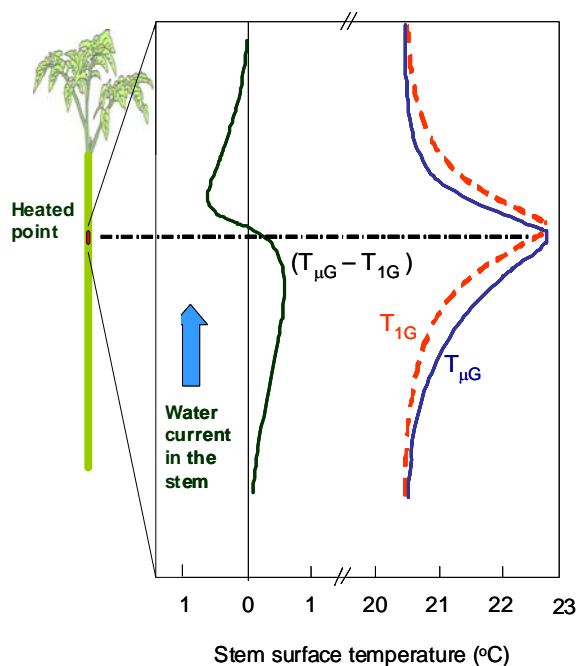


Fig. 2. Hypothesis of temperature distributions around the heated point on the stem under different gravity conditions.

T_{1G} and $T_{\mu G}$ are temperatures at 1g and 0.01 g, respectively.

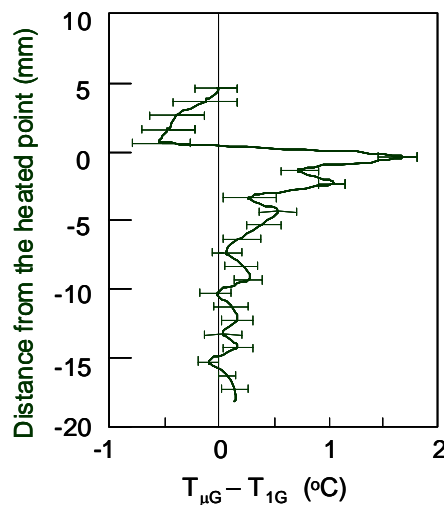


Fig. 3. Distribution of temperature difference ($T_{\mu G} - T_{1G}$) around the heated point on the stem. T_{1G} and $T_{\mu G}$ are temperatures at 1g and 0.01 g, respectively.

4. おわりに

微小重力下では、熱対流（密度対流）が生じにくいため、強制気流が無い場合、放物線飛行中に生じる 20 秒間の微小重力（0.01 g）でも、蒸散抑制によると考えられる茎内水移動の抑制が生じることが確認できた。したがって宇宙での植物栽培において、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、強制気流による対流促進は不可欠である。