

宇宙環境に対する植物反応解明のための実験系構築—宇宙での実験植物育成のための光照射方法の検討

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（浜松市大）、多胡靖宏（環境研）、田山一郎（千代田大学）、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（イ・イー・エス）

Establishment of the Experimental System for Clarifying Plant Responses to Space Environment – Illumination Methods Suitable for Growing Experimental Plants in Space

Yoshiaki Kitaya*, Hiroaki Hirai, 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

*Osaka Prefecture University, Sakai, Osaka 599-8531

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. The thermal situation of the plant reproductive organs as affected by gravity levels was assessed under different light sources during parabolic airplane flight experiments. Temperatures in reproductive organs increased as the gravity level decreased from 1.0 g to 0.01 g even under LED lights. The temperature increase would cause aberration of the reproductive growth in a closed plant culture facilities under microgravity conditions in space.

Key words; Plant reproductive organs, Rice, Space farming, Tomato

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科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。

研究チームの主な目標は、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。

これまでの宇宙実験では、植物の生殖成長や種子形成が正常には行なわれないことが報告されている^{1), 2), 3)}。ここでは、高温ストレスに敏感な植物生殖器官に注目し、生殖異常に及ぼす微小重力の影響を予

測するために、航空機放物線飛行実験により、微小重力下で熱対流が生じない場合の生殖器官微細組織の温度の動態について検討した。

2. 材料および方法

航空機搭載用実験装置の概要を図1に示す。実験装置は、ロックウール培地で育成した植物体、植物用照明装置、熱映像カメラ、データロガーなどから構成される。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。

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(1.8-2.0g)を経て、約20秒間の微小重力飛行(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(図2)。放物線飛行は、1日9-15回、7日間行われた。

3. 結果および考察

熱放射が比較的多いハロゲンランプ光源下での植物生殖器官各部位の表面温度に及ぼす重力の影響を図3に示す。植物体各部位の表面温度は、重力が1gから2gに増加すると低下し、0.01gに低下すると上昇した。1gから0.01gへの重力の低下に伴い、イネの穎花では2℃、オシベの葯では3.6℃温度が上昇し、またトマトの花弁では2.7℃、メシベ柱頭

では2.4℃の温度上昇が生じた。重力の低下に伴う植物体各部位の表面温度の上昇は、イネのオシベ葯のような微細な部位で特に著しくなった。

図4は、熱放射が比較的少ないLED光源下での、異なる重力条件における植物生殖器官各部位の表面温度を示す。イネのオシベ葯（図の丸印）の表面温度は重力が1.8 gに増加すると低下し、0.01 gに低下すると上昇した。

これらのことから、熱放射が比較的少ないLED光源下でも、微小重力下で熱対流が生じない場合には生殖器官微細組織の表面温度が上昇し得ることが確認できた。このことは、微小重力下では、光合成などのガス交換が抑制される^{4),5)}とともに、生殖器官の温度上昇により、不稔などの生殖異常を引き起こす可能性を示唆した（図6）。したがって、宇宙での植物栽培において生殖成長を正常に行わせるためには、気流制御による対流促進は不可欠である。

参考文献

- 1) Mashinsky, A.L., Ivanova I., Derendyaeva T., Nechitailo G.S. & Salisbury F.B. From seed-to-seed experiment with wheat plants under space-flight conditions. *Adv. Space Res.* 14, 13-19, 1994.
- 2) Merckies, A.I. and Laurinavichyus R.S. Complete cycle of individual development of *Arabidopsis Thaliana* Haynh plants at Salyut orbital station. *Doklady AN SSSR* 271, 509-512, 1983.
- 3) Musgrave, M.E., Kuang, A. Plant reproductive development during spaceflight. *Advances in Space Biology and Medicine*, 9, pp.1-23, 2003. Kitaya et al., The effect of gravity on surface temperature and net photosynthetic rate of plant leaves. *Adv. Space Res.* 28, 659-664, 2001.
- 4) Kitaya et al., The effect of gravity on surface temperature and net photosynthetic rate of plant leaves. *Adv. Space Res.* 28, 659-664, 2001.
- 5) Kitaya et al., Heat and gas exchanges between plants and atmosphere under microgravity conditions. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1077, 244-255, 2006.

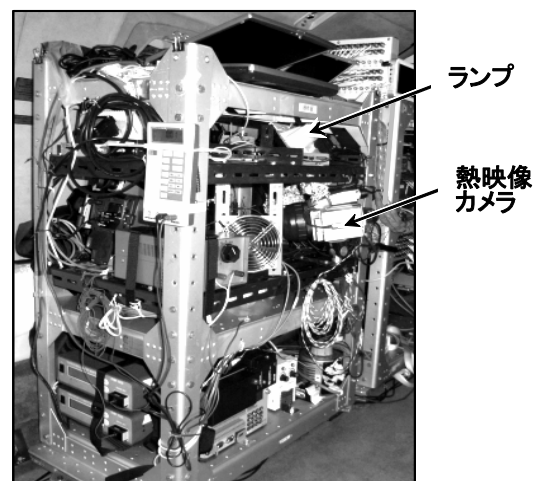


図1. 航空機に搭載した植物器官温度の計測システム

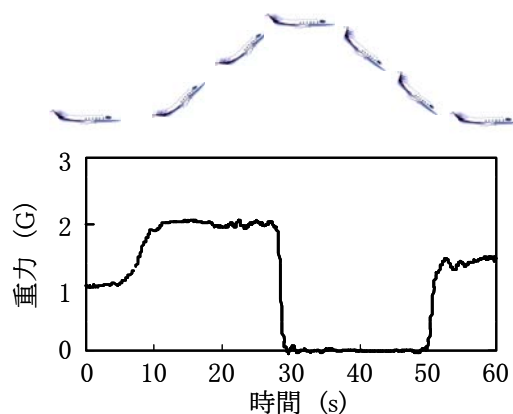


図2. 航空機の放物線飛行に伴う重力の経時変化

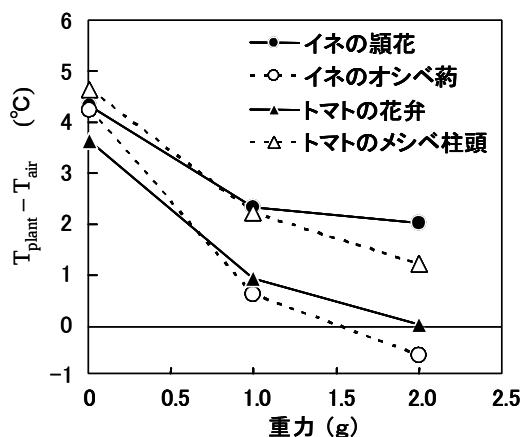


図3 イネのオシベ葯の温度と気温との差 ($T_{\text{plant}} - T_{\text{air}}$) に及ぼす重力の影響

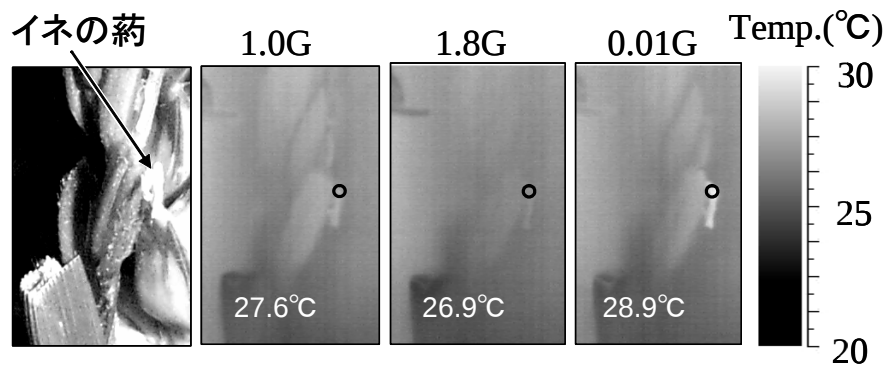


図4. イネ穎花の可視画像、および異なる重力下での熱画像
 図中の温度は、オシベ葯の丸印部位の表面温度を示す。LED光源下で測定、PPFD:315 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、放射照度:53 W m^{-2} 、気温26.1°C

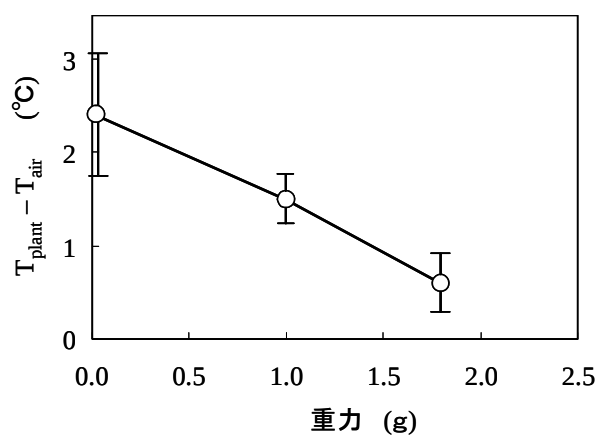


図5. イネのオシベ葯の温度と気温との差 ($T_{\text{plant}} - T_{\text{air}}$) に及ぼす重力の影響

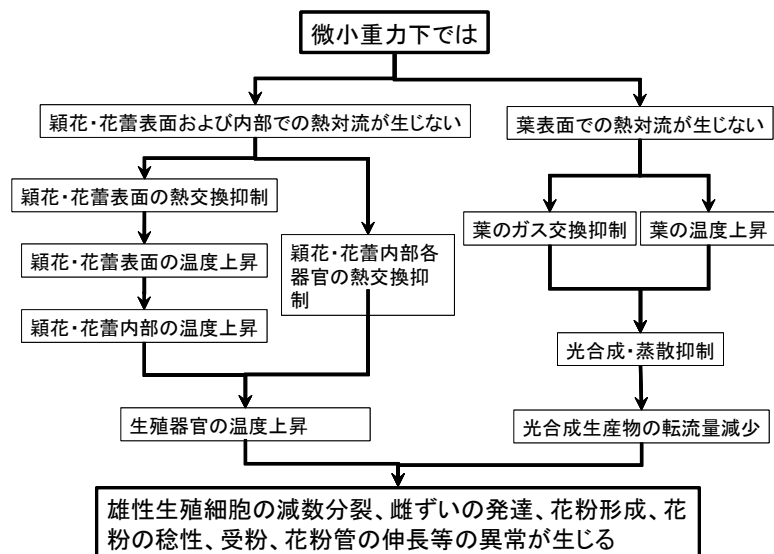


図6. 微小重力下での植物生殖器官における異常発生のメカニズム