

宇宙における植物の生活環

–シロイヌナズナの生殖器官・根系およびマメ科薬用植物形態への重力影響–

唐原一郎(富山大・理), 澤田綾太(富山大・院・理工), 谷畑昂士郎(富山大・院・理工), 山浦遼平(富山大・理), 黒金智文(富山大・院・理工), 玉置大介(富山大・理), 矢野幸子(JAXA), 谷垣文章(JAXA), 嶋津 徹(JAXA), 笠原春夫(有人宇宙システム), 山内大輔(兵県大・院・生命理学), 上杉健太朗(JASRI), 星野真人(JASRI), 峰雪芳宣(兵県大・院・生命理学), 高尾泰昌(富山大・薬用植物園), 田浦太志(富山大・薬), 黒崎文也(富山大・薬), Chin Piow WONG(富山大・和漢研), 森田洋行(富山大・和漢研), 蒲池浩之(富山大・理), 久米 篤(九大・院・農学), 西内 巧(金沢大・学際科学実験センター), 曾我康一(大阪市大・院・理), 吉田久美(名大・院・情報学), 半場祐子(京工繊大・応用生物), 藤田知道(北大・院・理), 神阪盛一郎(富山大・理)

Life cycle of plants in space

– Effects of gravity on reproductive organs and root system of Arabidopsis, and morphology of leguminous plants–

Ichirou Karahara¹, Ryota Sawada², Koshiro Tanihata², Ryohei Yamaura¹, Tomofumi Kurogane², Daisuke Tamaoki¹, Sachiko Yano³, Fumiaki Tanigaki³, Toru Shimazu⁴, Haruo Kasahara^{4,5}, Daisuke Yamauchi⁶, Kentaro Uesugi⁷, Makoto Hoshino⁷, Yoshinobu Mineyuk⁶, Yasumasa Takao⁸, Fumiya Kurosaki⁹, Chin Piow Wong¹⁰, Hiroyuki Morita¹⁰, Hiroyuki Kamachi¹, Atsushi Kume¹¹, Takumi Nishiuchi¹², Kouichi Soga¹³, Kumi Yoshida¹⁴, Yuko T. Hanba¹⁵, Tomomichi Fujita¹⁶, Seiichiro Kamisaka¹

¹Faculty of Science, University of Toyama, Gofuku, Toyama, 930-8555 Japan ²Graduate School of Science and Engineering, University of Toyama, ³Japan Aerospace Exploration Agency, ⁴Japan Space Forum, ⁵Japan Manned Space Systems Corporation, ⁶University of Hyogo, ⁷Japan Synchrotron Radiation Research Institute, ⁸Experimental Station for Medicinal Plant Research, University of Toyama, ⁹Faculty of Pharmaceutical Sciences, University of Toyama, ¹⁰Institute of Natural Medicine, University of Toyama, ¹¹Kyushu University, ¹²Kanazawa University, ¹³Osaka City University, ¹⁴Nagoya University, ¹⁵Kyoto Institute of Technology, ¹⁶Hokkaido University
E-Mail: karahara@sci.u-toyama.ac.jp

Abstract: Plant cultivation is essential to secure a stable food supply in a long-term manned space exploration as a component of bio-regenerative life support system. It is necessary to clarify effects of different gravity conditions on the life cycle of plants that have evolved on the earth, because effects of different gravity conditions on every process of life cycle of plants are still largely unknown. In this year we have examined effects of long-term hypergravity on pollen production in Arabidopsis and on growth of leguminous medicinal plants, and tested different experimental hutches of BL20B2 of SPring-8 to perform X-ray microCT analysis of Arabidopsis root system.

Key words; Life cycle, Reproductive growth, Plant, *Arabidopsis thaliana*, *Chamaecrista nomame*, Hypergravity, Root system, X-ray microCT

1. はじめに

重力は植物の生活環を通じて常に影響を及ぼすが、植物の生理・形態に重力が与える影響についてで明らかになっていることは、一部に過ぎない。

植物栽培は、人類の宇宙進出を支える生物再生生命維持システムの一部として欠かせない。深宇宙ゲートウェイ構想も動きだし、地球とは異なる重力環境下において、植物栽培を最適化していくことが必須である。また、植物の生理・形態が地球の重力にどのように適

応してきたかを明らかにすることは、陸上植物の進化を探るだけに留まらず、植物から未知の機能を引き出す、あるいは機能強化につながると思われ¹⁾、筆者らは宇宙環境利用専門委員会コミュニティーにおいて「宇宙における植物の生活環」の活動を継続している。本年度は、次の項目について研究を行った。

2. 3 Gの過重力環境がシロイヌナズナの花粉形成に与える影響²⁾

異なる重力環境が植物の生殖成長に与える影響について調べるためには、地上実験としては過重力実験が有力な手段である。そこで、長期の過重力栽培実験の条件検討を行い、3 Gの過重力環境下でシロイヌナズナ (*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.) Col-0 株を45日間生育させ、長期間の過重力環境が生殖成長に与える影響について調べた。

通気性を確保した容器内の寒天培地上に播種し、3日おきに給水しながら1 Gまたは3 G条件下で生育させた。胚珠数を調べたところ、両条件下で有意な差は見られなかった。3 G条件下での雄蕊における顕著な形態の変化から、花粉形成への過重力の影響が考えられたため、3 Gの過重力環境が花粉形成に与える影響を調べた。花粉の成熟を調べるためアレキサンダー染色を行った結果、葯における花粉成熟率が、1 G条件と比べ3 G条件下において有意に減少した。また *in vitro* での花粉管伸長を調べたところ、3 G条件下で生産された花粉の発芽から16時間後の花粉管長は1 G条件と比べ有意に減少した。以上のことから、3 Gの過重力環境下ではシロイヌナズナの生殖成長が影響を受け、特に雄蕊や花粉に対してその影響が強く表れていることが示された。

3. 10 Gの過重力環境がマメ科薬用植物の成長に与える影響³⁾

宇宙農業においては、食糧生産に続く課題として、居住者の健康維持のための薬用植物栽培がある。先行研究ではヒメツリガネゴケにおいて遠心機を用いた過重力処理によるバイオマス増加が示されており⁴⁾、薬用植物においても過重力処理により収量増加の手掛かりを得られる可能性がある。そこで宇宙と漢薬研究の基礎としてまず、過重力環境が薬用植物の成長に対する過重力の影響を調べた。

植物材料としてマメ科のカワラケツメイ (*Chamaecrista nomame* (Makino) H. Ohashi) とモウコモメンヅル (ナイモウオウギ) (*Astragalus mongholicus* Bunge) を選び、無菌栽培を行った。4日間の発芽誘導後、MS培地で30日間1 Gまたは10 Gで生育させた結果、カワラケツメイでは10 G処理によってシュート系の生重量は増加傾向を、根系生重量は有意な増加を示した。モウコモメンヅルでは10 G処理によってシュート系の生重量が増加傾向を、根系生重量、主根長、総根長は有意な増加を示した。10 G下で根の成長が両種ともに促進されたことはオーキシン動態の変化による可能性が考えられる。またカワラケツメイ全草より抽出した不揮発性成分を逆相カラムでHPLC-MSにより分離した全イオン電流プロファイルでは、10 G下でいくつかのピーク変化が認められた。

4. SPring-8におけるX線マイクロCTを用いたシロ

イヌナズナ根系形態解析 - 実験ハッチの検討 - ^{5) 6)}

環境に応答して根系形態が変化する仕組みを明らかにするためには、根系形態の可視化が必要である。筆者らはロックウール中で成長させた後に乾燥させたシロイヌナズナの根を用い、SPring-8のBL20B2ビームラインにおける、屈折コントラストX線マイクロCTに取り組んだ。実験ハッチ3で15.5 μm / pixの屈折コントラスト像を得て、概ね60×60×20 mmのロックウール全体をカバーする領域を再構成したが、細い根はロックウールの束と区別できなかった。次に2.75 μm / pixの像が得られる実験ハッチ1において、概ね5×5×10 mmの領域において個体の根系の再構成を行った結果、根の輪郭が鮮明になり、根の表面の構造や個々のロックウール繊維が確認され、根とロックウールの区別が容易になったことで、より長く根をトレースすることが可能になった。

5. 謝辞

JASRI 利用課題 2014B1225, 2015B1556, 2017B1225, 2018B1182, 2019A1130 で行った。

参考文献

- 1) 唐原一郎, 玉置大介, 久米篤, 蒲池浩之 植物栽培における重力環境制御の試み. *アグリバイオ*, **1**, 76-79 (2017).
- 2) 澤田稜太, 玉置大介, 久米篤, 蒲池浩之, 唐原一郎; 3 G 過重力環境がシロイヌナズナの花粉形成に与える影響, 日本宇宙生物科学会第 33 回大会, 千葉, (2019).
- 3) 谷畑昂士郎, 黒金智文, 玉置大介, 蒲池浩之, 高尾泰昌, 黒崎文也, Piow, W.C., 森田洋行, 唐原一郎; 過重力環境がマメ科薬用植物の生長に与える影響, 日本宇宙生物科学会第 33 回大会, 千葉, (2019).
- 4) Takemura, K., Watanabe, R., Kameishi, R., Sakaguchi, N., Kamachi, H., Kume, A., Fujita, T., Karahara, I., Hanba, Y.T. Hypergravity of 10g changes plant growth, anatomy, chloroplast size, and photosynthesis in the moss *Physcomitrella patens*. *Microgravity Sci Technol*, **29**, 467-473 (2017).
- 5) 黒金智文, 玉置大介, 矢野幸子, 谷垣文章, 嶋津徹, 笠原春夫, 山内大輔, 上杉健太郎, 星野真人, 神阪盛一郎, 峰雪芳宣, 唐原一郎; SPring-8におけるX線マイクロCTを用いたシロイヌナズナ根系形態解析 - 実験ハッチの検討 -, 日本植物形態学会第 31 回大会, 仙台, (2019).
- 6) Kurogane, T., Tamaoki, D., Yano, S., Tanigaki, F., Shimazu, T., Kasahara, H., Yamauchi, D., Uesugi, K., Hoshino, M., Kamisaka, S., Mineyuki, Y., Karahara, I. 3D-Modeling of Arabidopsis Root System Architecture by X-ray Micro-CT at SPring-8: Observation at Different Experimental Hatches. *Microscopy*, **68**, i51-i51 (2019).