

宇宙環境に対する植物反応解明のための実験系構築

大阪府大 北宅善昭、東北大学 高橋秀幸、JAXA 山下 雅道、千葉大学 後藤英司、宇都宮大学 齋藤高弘、東海大学 谷晃、浜松ホトニクス 土屋広司、環境科学技術研究所 多胡靖宏、千代田アドバンスト・ソリューションズ 田山一郎、富山大学 神阪盛一郎、大阪市立大学 保尊隆享、東北大学 東谷篤志、JAXA 高沖宗夫、JAXA 矢野幸子、JAXA 鎌田源司

Establishment of the Experimental System for Clarifying Plant Responses to Space Environment

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

Corresponding to: Graduate School of Life and Environmental Sciences, Osaka Prefecture University, Gakuen-cho, Sakai, Osaka 599-8531, Japan E-Mail: kitaya@envi.osakafu-u.ac.jp

Abstract: In order to develop the experimental system for carrying out experiments with plants in space successfully, a working group was organized. The main objective is to clarify the effects of space environment on vegetative growth and reproductive growth of plants in their life cycles.

Key words; Experimental system, Plant experiment, Space utilization

はじめに

植物の宇宙実験は、植物の宇宙実験は、生物学の基礎的問題を解明して、地球上の生物および生態系を理解するためだけでなく、将来的な宇宙における植物生産に関わる諸問題を解決するためにも重要である。とくに数世代にわたる植物の生活環と遺伝的変異に対する宇宙環境の影響を解明することは、生物学的に重要なだけでなく、長期の有人宇宙活動にとって不可欠な生命維持システムを確立するためにも重要である。

アメリカやロシアがこれまでに行ってきた宇宙実験で、コムギやシロイヌナズナの生殖過程が解析されているが、いずれの場合も開花したものの、稔性種子の形成率が著しく低下した。またカラシナでは、ほぼ地上と等しい種子数を採取できたが、形質や成熟過程に差異が現れた。このように、植物種によっては、一世代の生殖過程は進行する可能性が示されている。しかし同時に、微小重力に起因する熱対流の欠如による植物葉面でのガス交換(光合成と蒸散)の抑制および閉鎖環境内でのエチレン蓄積が生殖器官の生理に大きく影響すること、また植物種によっては重力に依存する受粉過程が存在することが指摘されている。さらに、植物種間の差異や、世代を重ねた場合の生殖能力やその種間変異については未解明である。

これらの現象解明において、とくに宇宙での実験環境では、各種の要因による環境の変化や異常が成長と生殖に及ぼす影響が大きく、それが微小重力

や宇宙放射線による影響と区別しにくい点が問題となる。この問題を解決するためには、1)植物体を取り巻く環境制御を厳密に行い、その変化が成長や生殖に及ぼす影響を詳細に調べること、2)微小重力や宇宙放射線による影響か他の要因による影響かを判断するために、植物の異常や変化が何に起因するのかを診断するマーカー(分子マーカー)を用いること、3)複数の植物種を用いて、それら変動環境要因への感受性や長期宇宙環境の影響の種間差異を明らかにすることなどに焦点を当てた研究が必要である。これらは重要な課題であるが、その解明のための植物実験は長期間を要するため、装置内環境を安定的に制御すること必須となる。すなわち、植物の生殖成長、種子生産、世代交代に伴った遺伝的変異を解析するためには、宇宙環境における適切な植物体の生育が前提となる。さらに、植物に対する微小重力・宇宙環境の影響を、分子、細胞、組織、器官の応答・変化としてとらえ、遺伝子発現、生理、形態レベルでモニタリングし、複合的に解析する手法の導入が不可欠である。

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の実験系を構築することを目指して、「宇宙環境に対する植物反応解明のための実験系構築」のためのワーキンググループを組織した。

目的とする研究課題

主に以下の2項目の内容を開発および確立する

ことを目的とする。

(1) 宇宙環境が植物の生活環を通じた栄養成長過程に及ぼす影響を解明する宇宙実験のために、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。

これらの実験系を用いて、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を解明することにより、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。また、本プロジェクト研究で開発する植物栽培・モニタリング装置の各要素技術は、生命維持システムや宇宙農場構築のための要素技術として応用できる。以上、ハードとソフトの両面から、生命維持システムや宇宙農場システムの構築を図ることを最終目標とする。

これまでの成果

ワーキンググループメンバーの一部グループは、これまでに以下の成果を得ている。JSF 宇宙環境利用に関する地上研究で採択されたフェーズ 1 研究（代表：高橋秀幸）において、微小重力場植物実験装置を試作し、オオムギ栽培の実証試験を行い、その環境制御性能など当初の計画を達成した。また航空機を用いた放物線飛行実験により、短時間の微小重力でも光合成と蒸散が抑制され、葉温が上昇することを明らかにし、微小重力下における環境制御の重要性を明らかにした。さらに微小重力下での植物の水吸収特性、培地内水分の挙動、および各種センサーの応答特性を解明し、照明システム、水分供給システムおよび水蒸気回収システムの検討結果とともに、今後の宇宙実験用の植物育成装置開発に資する重要な知見を得た。また実験材料に最適なオオムギの超おい性品種（草丈 15-20 cm）を見だし、さらに光と温度制御による草丈制御に成功した。そしてオオムギを完全人工環境下で育成し、生殖成長の各発生段階をモニターする系を構築した。さらに数日間の高温処理により、100%雄性不稔を引き起こす人為的条件を見だし、生殖成長における環境ストレスの分子マーカー作成のモデル系を確立した。

この実験系を用いて、宇宙環境が植物の生殖と遺伝的変異に及ぼす影響を明らかにしてきた。さらに植物の重力形態形成や成長・細胞壁構造に対する重力作用を解明するための宇宙実験系を確立し、STS-95 宇宙実験を行い、「重力による形態形成のネガティブコントロール」や「成長制御のためのメカノセンサー」という新概念を発見した。

今後の課題

植物栽培システムにおいて、照明システム、水分供給システム、水蒸気回収システム、ガス制御システムの高効率化、小型化および軽量化を図る。また、植物成長モニタリングシステムにおいて、植物体からの微弱光放射を用いた植物活性評価技術を開発する。また、生殖器官等の極微小部分の植物生体反応（ガス交換、熱交換等）を検知するためのセンサー技術を開発する。さらに宇宙実験のための 3 次元画像取得センサー技術および画像処理技術を開発する。

宇宙環境が植物の生殖と遺伝的変異に及ぼす影響を解明するために、オオムギを用いて、生殖成長（幼穂の発生段階）を 1) 幼穂の分化初期（花芽形成期）、2) 穎花の分化期（花器官形成期）3) 花粉母細胞の減数分裂期、4) 出穂期の大きく 4 段階にわけ、全 RNA を抽出精製し、各生殖成長の発生分化過程における遺伝子発現の全体像の解析を行う。また、穎花の分化期に高温処理を行って、以降の花粉形成を阻害した条件下で、高温障害時や不稔になる時に遺伝子発現が誘導または抑制される生殖成長関連遺伝子群を解明する。さらに、発現に特異性が認められた遺伝子の構造を明らかにするとともに、生殖成長過程の分子マーカーとしての利用を図る。

これらの研究成果を基礎に、国内外での関連研究成果を再検討して、宇宙環境に対する植物反応解明のための実験系構築をさらに進展させるための研究課題を選定し、今後のプロジェクト研究に位置づける。これらのプロジェクト研究について、地上研究、地上微小重力研究、短期宇宙ステーションを用いた研究、さらには将来の長期宇宙ミッションでの応用研究に分類し、それらの実行スケジュールを確定する。とくに「宇宙環境に適用できる植物育成装置と成長制御法」の開発は、植物の宇宙実験できわめて重要である。適切な環境制御によって宇宙実験の結果の評価がはじめて可能になり、また、それが「宇宙における生命維持や農業生産のシステム」の基盤となるものである。