

# 閉鎖生態系生命維持システムにおける有力栽培作物候補であるサツマイモ

北宅 善昭 (大阪府大)

Sweetpotato as a leading candidate crop in Controlled Ecological Life Support System in space

Yoshiaki, Kitaya\*

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

Abstract: Life support of crew in long-duration space missions will be highly dependent on amounts of food, atmospheric O<sub>2</sub> and clean water produced by plants. Therefore, the space farming system with scheduling of crop production, obtaining a high yield with a rapid turnover rate, converting atmospheric CO<sub>2</sub> to O<sub>2</sub> and purifying water should be established with employing suitable plant species and cultivars and precisely controlling environmental variables around plants grown at a high density in a limited space. Sweetpotato is one of candidate crops in space farming. Sweetpotato culture has many advantages over the culture of other crops, because sweetpotato grows rapidly with less requirement of fertilizer and water for culture compared with other candidate crops. Sweetpotato has a high yield of edible biomass with high nutritional values allowing a little inedible part as waste, because it can be utilized for the leafy vegetable as an antioxidative functional diet as well as the root crop as a high energy diet.

*Key words*; CELSS, Space agriculture, Sweetpotato

## 1. はじめに

長期間宇宙に滞在する場合、人間の生存に不可欠な食料の生産、空気や水の浄化、物質リサイクルなどを閉鎖環境下で行なう閉鎖生態系生命維持システム (CELSS) が必要となる。CELSS では基本的に、人間の呼吸により排出される CO<sub>2</sub> は植物の光合成で吸収され、その時に発生する O<sub>2</sub> が呼吸に利用される。また排泄物や植物の非可食部分は、酸化されて水と CO<sub>2</sub> およびその他の無機物に変換されるので、その酸化に必要な O<sub>2</sub> の供給および発生する CO<sub>2</sub> の吸収も植物の光合成が担える。さらにヒトに有害な微量ガスや不快臭気の吸収、除去も植物に依存できる。また飲用水には、栽培植物からの蒸散水を凝縮して用いる。さらに、強度の肉体的・精神的ストレスに曝される宇宙飛行士が、生鮮野菜を摂取し、生きた植物と接触することは、ストレス緩和に有効である。したがって CELSS では、食料生産機能に加えて、ガス処理、水処理、アメニティ機能などを併せ持つ多機能型植物栽培システムの構築が重要となる。

これまでの植物を用いた宇宙実験では、開花したもの、種子数や稔性の低下、種子形質の変異が報告されている。種子を食糧とする場合や、種子繁殖の必要性がある場合、生殖過程の異常は重要問題である。そこで、これらの問題点について考察するとともに、食料生産や繁殖に種子形成を必要としないサツマイモの優位性について検討した。ここでは、その検討の中間報告を行う。

## 2. 検討項目

供試植物種としては、栽培の容易さ、栄養価、可食部比率の高さ、成長速度の高さの観点から、まずサツマイモを栽培対象として、宇宙植物工場の小型モデルとなる栽培装置を開発する。宇宙植物工場では、限られた空間容積、エネルギー使用量で最大の光合成効率を得るため、葉面積密度を高め、同時に照明効率 CO<sub>2</sub> 吸収効率を高める。以下の手順で研究を進める。

1) 植物成長、生理応答の重要指標である植物体温、および環境条件のモニタリング技術を地上実験で確立する。植物体温は、蒸散・光合成能の指標、生理異常により生じる局所気孔閉鎖の指標とする。

2) 精密な環境制御により、健全植物が高速で栽培できる装置を含む実験系を確立する。

3) 選定したサツマイモ品種について、成長速度、栄養価、イモ/茎葉部比率などの点から評価し、イモと同時に茎葉部も野菜として食用とするための最適栽培管理・収穫技術を確立する。

4) 国際宇宙ステーション (ISS)「きぼう」に装置を搭載し、食料生産を実証するとともに、宇宙環境の植物影響を細胞、個体、および個体群レベルで評価することを目指す。

5) 微小重力や宇宙放射線といった宇宙特有の環境条件の植物影響を評価するため、地上において同型の栽培装置を用いて宇宙特有環境以外の条件を全く同一にして育てた植物と宇宙で育てた植物の比較研究を行う。

6) さらには、クルーの精神的ストレスが植物の栽培、鑑賞、生鮮野菜の摂取などにより緩和されることを実証する。調査には、脳波、心拍揺らぎ、唾液マーカーなど、複数の方法を用いる。

### 3. 検討結果および考察

宇宙では、イネ、コムギ、ダイズ、サツマイモ、ジャガイモ、ピーナッツ、レタス、ニンジン、トマトなどが候補作物になっている。作物ごとに好適環境条件や栽培日数が異なるので、まずサツマイモを対象として、その栽培装置を開発する。なぜならサツマイモは比較的栽培が容易であり、またイモと同時に茎葉部も野菜として食用となる品種も多く、その可食部比率は 90%以上である。更にビタミン A、C および E、食物繊維、タンパク質などを豊富に含有し、特に茎葉部には、抗酸化物質を豊富に含む。空間容積、エネルギー使用量などが限られる宇宙植物工場において、サツマイモの蔓性の茎を整枝して葉面積密度を高め、同時に葉での受光効率を高める栽培法を確立するための検討結果の概要は以下である。

#### (1) 微小重量下での試作植物栽培実験装置における環境制御・植物情報モニタリングの確認

次の3項目について、航空機実験等で動作確認を行った結果、動作に問題は見られなかった。1) 植物栽培室内の温湿度・CO<sub>2</sub> 濃度制御、2) 葉での光合成、蒸散機能の指標となる気孔開度指数(北宅ら、2015)のモニタリング、3) 植物栽培室内外の CO<sub>2</sub>・H<sub>2</sub>O 濃度差計測による植物ガス交換のモニタリング

#### (2) 茎内蒸散流に及ぼす低重力の影響

サツマイモ茎内の水の移動に及ぼす低重力の影響を調べるため、微小ヒータで加熱された茎の表面を熱画像カメラ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るに伴う熱伝達の状況から検討した。系内の水の流れるが促進される場合には、水の流れる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れるで熱が移動する状況から、水の流れるを解析した(Tokuda et al., 2018a,b)。

その結果、攪拌ファンによる強制気流(植物近傍の気流速度 0.5 ms<sup>-1</sup>)がある場合、微小重力下(0.01 g)と地上重力(1.0 g)下での茎における温度差の分布は、仮説どおりの変化を示し、微小重力下では茎内蒸散流が促進された。また茎内蒸散流の促進は、重力の低下に伴い顕著になった。

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 ms<sup>-1</sup>以下)、低重力は葉での蒸散を抑制し(Hirai and Kitaya, 2009)、茎内の蒸散流を抑制する。しかし今回、強制気流がある場合には低重力下での鉛直上向きの茎蒸散流が促進された。強制気流により蒸散が促進される条件では、低重力は、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されるため、茎内の水の流れるを促進したと考えられる。この現象は、地上での重力影響が従来考えられていた以上に茎内蒸散流を抑制していることを示している。この新規知見のメカニズム解明については、今後の

研究課題である。

#### (3) 宇宙実験用サツマイモ品種の選定および栽培管理技術の確立

人工光環境下でもサツマイモは肥大根を形成した。肥大根、茎葉部ともに良食味で、ビタミン A、C および E、食物繊維、タンパク質などを豊富に含有し、特に茎葉部に抗酸化物質を豊富に含む品種を選定した。また節挿し栽培技術を検討し、側枝収穫時期はバイオマス分配に影響することを確認した。側枝収穫時期の調節によって可食部へのバイオマス分配を促進し、収量を高められることが示唆され、空間容積の制限がある宇宙農場で効率的な生産を行う上で重要な知見となった。今後さらに研究を進めて、ヒトの生命・健康維持を担保できる食料を集約的に高速生産できるシステム構築に繋げていく。

これまでの研究結果に基づく試算では、1 人の生存に必要な栽培面積は 54 m<sup>2</sup>であり、例えば 3×3×3 m<sup>3</sup>の栽培空間に 6 段の栽培棚を設置すると、1 人分の食料生産と同時に、蒸発散により 1 日約 200L の清浄水を回収できる。なお地上の一般農地での作物生産では、この 6 倍以上の耕地面積が必要である

今後、ISS「きぼう」実験棟での実験を目指し、1) 宇宙での植物の長期継代栽培を目指し、生活環を全うさせる過程での一次・二次成長まで、重力が与える影響の分子レベルでの解析を行い、2) 宇宙環境を利用して植物の抗重力反応機構を解明するとともに、3) 抗重力反応の制御による効率的な植物生産技術の開発、4) 植物の形態形成、姿勢制御、ストレス応答に及ぼす重力影響の解析による植物の新たな機能と分子機構の解明、その適用による地上での植物高速高密度成長制御技術の開発、5) 宇宙での食用植物繁殖の安定性・健全性についての基礎・応用生物学的観点からの検証などを行っていく予定である。

新規植物育成装置開発研究によって得られる成果は、持続的物質循環型生命維持システムの構築の重要な基盤技術に繋がる。また、1) 宇宙での食料生産、清浄水の供給 2) 閉鎖系内での物質循環、環境保全、3) ヒトに対する有害ガス、不快臭気の除去、4) 生鮮野菜の供給や植物と接することによる精神衛生の向上などの観点から、宇宙における人類の自立した長期的居住を可能にするための重要な第一歩となることが期待できる。