

ブロッコリースプラウトの生産量と栄養成分に対する過重力の影響

曾我 康一 (大阪市大・院・理), 東山 優花 (大阪市大・院・理), 若林 和幸 (大阪市大・院・理),
稲富 裕光 (JAXA), 保尊 隆享 (大阪市大・院・理)

Effects of hypergravity on production and nutritional components of broccoli sprouts

*Kouichi Soga**, *Yuka Higashiyama*, *Kazuyuki Wakabayashi*, *Yuko Inatomi*, *Takayuki Hosono*
*, Graduate School of Science, Osaka City University, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-8585
E-Mail: soga@sci.osaka-cu.ac.jp

Abstract: We developed a centrifuge equipped with an LED light, to investigate the effects of hypergravity on production and nutritional components of light-grown broccoli sprouts. Under hypergravity conditions, both fresh and dry weights of hypocotyls were increased, thereby those of whole seedlings were increased. Also, hypergravity increased the length and the diameter of hypocotyls. However, hypergravity had no effects on growth of either cotyledons or roots. Accumulation of osmotic solutes in hypocotyls was stimulated by hypergravity. In most nutrient components, the amounts per seedling were increased by hypergravity. Especially, the amounts of carbohydrates and dietary fibers were greatly increased by hypergravity. The increase in the production and nutritional components in light-grown broccoli sprouts under hypergravity conditions may be caused by stimulation of photosynthesis due to stimulation of buoyancy convection by hypergravity.

Key words: Broccoli sprout, Hypergravity, Light-grown, Nutritional components, Production

1. はじめに

長期の有人宇宙活動を行うためには、安定的な食料供給が不可欠である。植物は、光合成を行うことによって、無機物から有機物を合成することが出来ることから、地球上だけでなく、宇宙においても、非常に重要な食料源である。したがって、宇宙環境で効率的に植物(作物)を栽培するための科学的・技術的な基盤を確立する必要がある。

私たちは、宇宙環境の特徴のひとつである重力に注目し、重力が植物の成長や形態に与える影響を植物生理学的な観点から解析してきた。地球上では重力を取り除くことは難しいことから、解析には、過重力環境を利用してきた。暗所・過重力環境下において、アズキやシロイヌナズナなどの芽ばえを生育させたところ、重力の大きさに応じて、茎が太く短くなることが明らかになった(Soga 2010, 2013)。また、このような成長・形態の変化は、細胞壁の物性や微小管の動態の変化によって引き起こされていた。これらの結果をもとに、宇宙実験を行ったところ、微小重力環境では、細胞壁の物性や微小管の動態の変化を介して、茎が細く長くなることが明らかになった(Soga et al. 2002, 2014, 2018a, b)。微小重力で誘導された反応は、過重力によって誘導された反応と逆

であったことから、宇宙環境での植物の反応を推測するために、過重力環境が有効であることが示された。

現在までの過重力に関する研究の多くは暗所で生育させた植物に対する影響を調べたもので、明所で生育させた植物に対する影響についての知見は少ない。また、重力が植物(作物)の生産量や栄養成分に影響を与えるかどうかは明らかではない。そこで、本研究では、光源の付いた過重力栽培装置を新規開発し、明所・過重力環境において、ブロッコリー芽ばえ(スプラウト)を生育させ、生産量と栄養成分に与える影響を解析した。

2. 過重力栽培装置の開発

私たちが利用している植物は、明所で栽培したものがほとんどであることから、明所における植物の成長や栄養成分に対する重力の影響を解析する必要がある。暗所・過重力環境の作出には、市販の遠心分離機を利用してきた。植物を明所で生育しながら、過重力を与えるためには、光源の付いた遠心分離機が必要となるが、市販品は存在しない。そこで、大阪市立大学 システム・計測技術室、ならびに、工作技術センターの協力のもと、光源の付いた過重力裁

培装置を製作することにした。

製作した装置には、W60×D60×H100 mmの栽培容器(プラントボックス CUL-JAR300; AGC テクノグラス)を装着でき、2~200 gの過重力環境を作出することができる。また、光源には、青1球(発光波長: 450 nm)と赤4球(発光波長: 660 nm)のLED(φ8)を用いており、それぞれの光量を独立に調節できる。この光源により、30~200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の光環境を作出できる。また、光源のLEDへは、電磁誘導式のワイヤレス給電によって、非接触で電力伝送を行っている。上記の装置では、遠心分離機の部分も新規製作したが、現在、市販の遠心分離機を利用して、より簡便に製作できないかを検討している。

3. 生産量に対する過重力の影響

1%の寒天培地にブロッコリーの種子を播種し、明所(青: 10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、赤: 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)、25°Cにおいて、2日間生育させた。胚軸が5 mm程度に成長した芽ばえを選び、5~100 gの過重力環境で2日間生育させた。その結果、重力が大きくなるにつれて、胚軸は太く長くなった。暗所で生育させた場合は、アズキ上胚軸やシロイヌナズナ胚軸と同様に、胚軸は太く短くなった。これらの結果は、光環境によって、重力が茎の成長に与える影響が異なっていることを示している。

次に、50 gの過重力環境で生育させた芽ばえを用いて、子葉、胚軸、根の各器官の成長に対する重力の影響を解析した(Fig. 1)。まず、生重量を測定したところ、胚軸では、過重力によって生重量が増加したが、子葉と根の生重量に過重力は影響しなかった。また、過重力によって、胚軸の乾重量は増加したが、子葉と根では対照と同程度であった。胚軸の成長が過重力により促進されることにより、芽ばえ全体の生重量と乾重量は増加した。子葉の面積は、過重力環境で生育させたものも、対照と同程度であった。

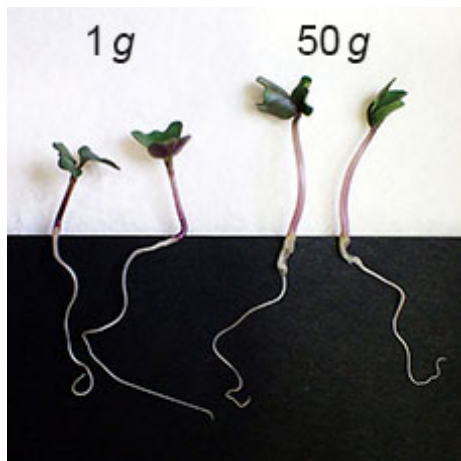


Fig.1 Broccoli sprouts grown at 1g or 50g.

また、子葉中のクロロフィル量にも、過重力は影響しなかった。これらの結果から、胚軸と子葉や根では重力に対する反応性が異なっており、胚軸の成長は重力によって制御されていると考えられる。

植物細胞の成長速度は、細胞壁の伸展性と細胞液の浸透圧によって最も直接的に規定されている。胚軸の成長が過重力によって促進されたことから、胚軸において、細胞壁の伸展性と細胞液の浸透圧を測定した。その結果、過重力は、伸展性に影響を与えず、浸透圧はむしろ低下した。これらの結果から、明所・過重力環境における胚軸の成長促進は、細胞壁の伸展性や細胞液の浸透圧が高く維持されることによって引き起こされている訳ではないことが示された。一方、胚軸の浸透物質量を調べたところ、過重力により、浸透物質の蓄積が促進されていた。したがって、過重力環境では、浸透物質の蓄積促進によって、吸水量が増加し、胚軸の成長が促進されたと考えられる。

4. 栄養成分に対する過重力の影響

50 gの過重力環境下で生育させた芽ばえを用いて、食品表示法・食品表示基準で表示が義務づけられているエネルギー(熱量)、たんぱく質、脂質、炭水化物、食塩相当量(ナトリウム)、ならびに、表示が推奨されている食物繊維の分析を行った。また、ビタミン類のうち、ブロッコリースプラウトにおいて含有量が多いことが知られているビタミンAも定量した。過重力環境下で生育させた芽ばえの生重量当たりの栄養成分の量を見ると、脂質はわずかに減少し、ビタミンAは20%程度減少した。他の成分は、わずかに増加した。一方、芽ばえ当たりのそれぞれの量は、いずれの成分とも増加した。特に、炭水化物や食物繊維の増加率が大きかった。

浸透物質の主成分は、一般に、糖とアミノ酸である。また、浸透物質中の糖から細胞壁やデンプンへ、また、アミノ酸からタンパク質への同化が起こる。上述のように、過重力によって、浸透物質の蓄積が促進されたことから、過重力による栄養成分の増加は、浸透物質の蓄積促進が一因となっている可能性が考えられる。

5. まとめ

光源の付いた過重力栽培装置を製作し、本装置を用いて、ブロッコリースプラウトを生育させ、生産量と栄養成分に与える影響を解析したところ、過重力により胚軸の成長が促進され、芽ばえ全体の生重量と乾重量が増加した。また、過重力環境では、胚軸の浸透物質の蓄積が促進されており、栄養成分が増加した。過重力環境では、浮力対流が促進されることが知られており、その結果、光合成速度が上昇

し、成長促進や栄養成分の増加が引き起こされた可能性が考えられる。今後は、栽培容器内の気流の制御を行い、重力が直接的に、生産量や栄養成分に影響を与えるのかを検証していきたいと考えている。

本研究は、2016 年度、ならびに、2019 年度の大阪市立大学 戦略的研究経費(基盤研究)、および、ISAS 宇宙環境利用専門委員会 2019 年度 萌芽研究による助成を受けて行われたものです。

参考文献

- 1) Soga, K., Wakabayashi, K., Kamisaka, S. and Hoson, T.; Stimulation of elongation growth and xyloglucan breakdown in *Arabidopsis* hypocotyls under microgravity conditions in space, *Planta* 215: 1040-1046 (2002).
- 2) Soga, K.; Gravity resistance in plants, *Biol. Sci. Space* 24: 129-134 (2010).
- 3) Soga, K.; Resistance of plants to gravitational force, *J. Plant Res.* 126: 589-596 (2013).
- 4) Soga, K., Biology Club, Kurita, A., Yano, S., Ichikawa, T., Kamada, M. and Takaoki, M.; Growth and morphogenesis of azuki bean seedlings in space during SSAF2013 program, *Biol. Sci. Space* 28: 6-11 (2014).
- 5) Soga, K., Yamazaki, C., Kamada, M., Tanigawa, N., Kasahara, H., Yano, S., Kojo, K.H., Kutsuna, N., Kato, T., Hashimoto, T., Kotake, T., Wakabayashi, K. and Hoson, T.; Modification of growth anisotropy and cortical microtubule dynamics in *Arabidopsis* hypocotyls grown under microgravity conditions in space, *Physiol. Plant.* 162: 135-144 (2018a).
- 6) Soga, K., Wakabayashi, K. and Hoson, T.; Growth and cortical microtubule dynamics in shoot organs under microgravity and hypergravity conditions, *Plant Signal. Behav.* 13: e1422468 (2018b).