

作物の重力応答

曾我 康一 (大阪市大・院・理), 渡部 優 (大阪市大・院・理), 東山 優花 (大阪市大・院・理), 宮崎 友規 (大阪市大・院・理), 佐伯 悠人 (大阪市大・院・理), 中村 元哉 (大阪市大・理), 有馬 大晴 (大阪市大・理), 若林 和幸 (大阪市大・院・理), 玉置 大介 (富山大・学術・理), 藤井 伸治 (東北大・院・生命科学), 稲富 裕光 (JAXA)

Graviresponses in crops

Kouichi Soga, Yu Watanabe, Yuka Higashiyama, Tomonori Miyazaki, Yuto Saeki, Motoya Nakamura, Taisei Arima, Kazuyuki Wakabayashi, Daisuke Tamaoki, Nobuharu Fujii, Yuko Inatomi*

*Graduate School of Science, Osaka City University, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-8585

E-Mail: soga@osaka-cu.ac.jp

Abstract: Crops need to be grown efficiently in the space environment to achieve long-term manned space activities. The magnitude of gravity in the space environment is different from that on Earth. To grow crops efficiently in the space environment, it is necessary to analyze the graviresponses in crops. In this study, the responses in sweet basil, broccoli, sweet potato, and potato under hypergravity conditions produced by a centrifuge were analyzed.

Key words: Broccoli, Graviresponses, Hypergravity, Potato, Sweet basil, Sweet potato

1. はじめに

月や火星などにおいて、ヒトが長期に滞在し、活動するためには、安定的な食料供給が不可欠である。現在の技術では、すべての食料を地球から運ぶことは、技術的にも経済的にも難しい。そのため、宇宙において、食料を生産する必要がある。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。また、植物は、食料となるだけでなく、私たちのストレスを緩和する効果も持つ。特に、宇宙活動によって生じた強度の肉体的・精神的ストレスの緩和への植物の利用が期待されている。これらのことから、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。

陸生の植物は、重力が存在する環境で、効率的に光や水分を吸収できるように進化を遂げてきた。このことは、陸生の植物の成長や発達が重力の支配下にあることを示唆している。宇宙環境の特徴のひとつは、重力の大きさが地球とは異なることである。植物の成長や発達に対する重力の影響を調べるためには、植物の生育環境の重力の大きさを変化させる必要がある。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、遠心分離機を利用した過重力環境が用いられてきた(Soga 2010, 2013)。

現在までの過重力実験の多くは、茎の成長を植物生理学的観点から解析したもので、ヒトが食料とする植物(作物)やハーブなどの機能性植物の重力応答についての知見は少ない。そこで、本研究では、スイートバジル、ブロッコリー、サツマイモ、ジャガイモを植物材料とし、これらの植物の過重力環境での反応を解析した。

2. スイートバジルの成長と精油生産

明所において生育させたスイートバジルの胚軸と子葉の成長に対する過重力の影響を調べた。その結果、胚軸の長さや太さ、生重量に過重力は影響を与えないことが示された。また、子葉の表面積や生重量にも過重力は影響を与えなかった。すなわち、過重力は、スイートバジルの緑化芽ばえの成長に影響を与えないことが示された。次に、胚軸の細胞壁の伸展性を調べたところ、黄化アズキ上胚軸や黄化シロイヌナズナ胚軸と同様に(Soga 2010, 2013)、過重力により、細胞壁伸展性が低下した。以上の結果から、スイートバジルの緑化芽ばえは、胚軸の細胞壁を強固にすることで、重力に対抗しながら、過重力環境でも、1g環境と同様に成長していると考えられる。

子葉の精油の主成分はメチルオイゲノールである(曾我ら 2021)。メチルオイゲノールは、発芽直後には検出されないが、播種後、4日目から8日目に急激に量が増加する。過重力環境においても、生育とともに、メチルオイゲノール量は増加するが、過重力環境下で生育させた芽ばえの子葉では、1g対照のもの比べて、量が少なかった。過重力により、子葉裏面の腺毛の発達が抑制されたことから(曾我ら 2021)、腺毛発達の抑制がメチルオイゲノール量の減少の一因であると考えられる。

過重力によって、どのような遺伝子の発現が変化しているのかを調べるために、現在、RNA-seq解析を行っている。現在までに得られている結果から、オイゲノールシンターゼやオイゲノール O-メチルトランスフェラーゼなどのメチルオイゲノールの合成に関わる酵素の遺伝子発現が過重力によって低下する可能性が示されている。過重力環境では、これらの酵素遺伝子の発現低下と腺毛発達の抑制によって、

メチルオイゲノール量が低下したと考えられる。宇宙の微小重力環境では、過重力環境の結果とは逆に、メチルオイゲノールなどの精油生産が促進される可能性が考えられる。野口宇宙飛行士による AHiS 宇宙教育実験の様子を紹介した YouTube チャンネル「野口宇宙飛行士の宇宙暮らし 043 さらば、宇宙バジル」において、きぼう実験棟内で栽培したスイートバジルは、嗅覚の感度が悪くなる宇宙であるにもかかわらず、とてもいい香りがしたと報告されている。これは、微小重力環境において、精油生産が促進される可能性を支持する結果であると考えられる。

3. ブロッコリー胚軸の成長

暗所では、スイートバジルの胚軸もブロッコリーの胚軸も、過重力により成長が抑制される。一方、明所では、スイートバジル胚軸の成長は過重力の影響を受けないが、ブロッコリー胚軸の成長は促進される(曾我ら 2020)。過重力により、胚軸の乾重量が増加したことから、過重力により、光合成活性が上昇したと考えられる。このことを確かめるために、光合成の場である子葉を切除した芽ばえの過重力に対する反応を調べたところ、過重力による胚軸の乾重量の増加はみられなかった。したがって、緑化ブロッコリー胚軸の成長促進は、光合成活性の上昇が原因であると考えられる。

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、光合成活性が上昇し、胚軸の成長促進が引き起こされる可能性が考えられる。栽培容器内をファンで攪拌して、栽培したところ、胚軸の成長が促進された。また、容器内の二酸化炭素濃度を上昇させた場合も、胚軸の成長が促進された。したがって、過重力による浮力対流の促進が光合成活性の上昇の一因であると考えられる。

次に、光吸収に関して調べた。過重力環境で生育させた芽ばえの光合成の量子収率は、1g 対照のものと同程度であった。一方、葉緑体の大きさは、過重力によってわずかに小さくなったが、葉緑体の数は過重力によって大きくなった。また、子葉の生重量当たりのクロロフィル量が過重力により増加した。したがって、過重力環境での光合成活性の上昇は、浮力対流の促進と、葉緑体数の増加にともなうクロロフィル量の増加によると考えられる。

4. サツマイモ茎の成長

明所で生育させた植物体から茎のカットを調製し、成長に対する過重力の影響を調べた。カットでは、重力環境にかかわらず、インタクトの茎と比べて、成長速度が大幅に低下した。また、個体差がとても大きかった。そのため、伸長成長の影響を解析するのは困難であった。一方、肥大成長に関しては、過重力によって促進されることが示さ

れた。黄化アズキ上胚軸や黄化シロイヌナズナ胚軸では、過重力により、細胞長軸に平行な(縦向き)表層微小管を持つ細胞の割合が増加することによって、肥大成長が促進される(Soga 2010, 2013)。サツマイモの茎において、表層微小管の配向を解析したところ、黄化アズキ上胚軸や黄化シロイヌナズナ胚軸と同様に、縦向きの表層微小管を持つ細胞の割合が増加した。したがって、過重力により、表層微小管が縦向きになることにより、肥大成長が促進されたと考えられる。明所で生育させた植物体から調製した茎カットでは、伸長成長に対する過重力の影響を調べることが困難であったことから、現在、暗所で生育させた茎を用いる方法を検討している。イモの部分と茎をあわせて切り出すと、茎のみを切り出した場合より、伸長成長が大幅に増加することが確認できている。今後は、この系を用いて、伸長成長に対する過重力の影響を調べていく予定である。

5. ジャガイモの塊茎形成

ジャガイモでは伸長した腋芽(ストロン)の一部が肥大化することで塊茎が形成される。まず、塊茎形成に対するスクロースの影響を調べるため、暗所で徒長させた茎から節を含む切片を調製し、0~16%のスクロース培地上で培養した。0~4%のスクロース培地では、節の部分から伸びたストロンが伸長を続け、肥大は起こらなかった。一方、8~12%のスクロース培地では、ストロンの伸長が途中で止まり、肥大化が見られた。ところが、16%のスクロース培地では、肥大化は起こらなかった。これらの結果から、肥大誘導には最適スクロース濃度があることが示された。次に、8%のスクロース培地を用いて節を含む茎切片を過重力環境において培養し、ストロンの成長を調べた。その結果、過重力環境では、ストロンの伸長・肥大ともに抑制がみられた。すなわち、ジャガイモの塊茎形成が過重力により抑制されることが示された。今後は、過重力による塊茎形成抑制のメカニズムを調べていく予定である。

6. まとめ

本研究によって、重力は、植物に様々な影響を与えることが示された。また、植物種や器官、光環境によって、重力に対する反応が異なることも明らかになった。したがって、将来の宇宙での植物(作物)栽培に向けて、より多くの植物種の重力応答を解析し、その特性を記載する必要があると思われる。

本研究は、2016 年度・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、ならびに、2020 年度・2021 年度 フロントローディング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.; Gravity resistance in plants, *Biol. Sci. Space* 24: 129-134 (2010).
- 2) Soga, K.; Resistance of plants to gravitational force, *J. Plant Res.* 126: 589-596 (2013).
- 3) 曾我康一, 東山優花, 若林和幸, 稲富裕光, 保尊隆享; 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, *宇宙環境利用シンポジウム (第 34 回)* E-01 (2020).
- 4) 曾我康一, 渡部 優, 若林和幸, 玉置大介, 藤井伸治, 稲富裕光; スイートバジル子葉の腺毛発達と精油生産に対する重力の影響, *宇宙環境利用シンポジウム (第 35 回)* F-02 (2021).