

(様式第 13号)

学 位 論 文 要 旨

氏名:BAIYIN BATEER

題目: 水耕栽培における養液流量が植物生長(*Beta vulgaris* L. ssp. *cicla* 'Seiyou Shirokuki')
に与える影響および養液流れ場の可視化

(Effect of Flow Rate on Plant Growth (*Beta vulgaris* L. ssp. *cicla* 'Seiyou Shirokuki') and
Visualization of Nutrient Solution Flow Field in Hydroponics)

乾燥地にある多くの開発途上国では、食料を安定的に供給できる持続可能な農業生産技術の開発が緊喫の課題である。自然土壌を利用せず、培養液を用いる水耕栽培 (Hydroponics) は、土地劣化が進行する乾燥地における有用技術として認められている。

水耕栽培では、植物の栄養となる無機イオンの移動を促進させるために、栽培水槽内で培養液が流動している。これまでに、水耕栽培の養液流量が植物の生長や養分吸収に影響を与えることが報告されているが、そのほとんどが植物の収量と養液流量との関係に焦点が当てられており、植物の生長要因や養分吸収メカニズムに関する知見は十分に蓄積されていない。また、栽培容器内の培養液の流動状態、根の挙動、根の生長や形態に及ぼす養液流量の影響について検討されていない。したがって、植物の生長や養分吸収に及ぼす養液流量の影響について、その要因やメカニズムについては不明な点が多い。

本研究では、培養液の流動状態や根の形態形成の視点から、水耕栽培における植物の生長および養分吸収に及ぼす養液流量の影響を明らかにすることを目的とした。

まず、水耕栽培における養液流量が植物の生長および養分吸収に与える影響を水耕栽培実験および養液流れ場の可視化により検討した。栽培実験では、フダンソウ (*Beta vulgaris* L. ssp. *cicla* 'Seiyou Shirokuki') を供試作物として、異なる養液流量 (0, 2, 4, 6, 8 L/min) を設定した。葉面積、新鮮重、乾物重、根の長さ、および窒素 (N) 吸収量を調査した。養液流れ場の可視化では、粒子画像流速測定法 (PIV) を用いて、各養液流量における栽培容器内の養液流れ場および根系の挙動を解析し、養液流れ場の平均速度・渦度分布および根の挙動について検討した。これらの結果から、養液流量が2 L/minから6 L/minに増加するにつれて、養液の流動状態が高くなり、根の変形と揺動が認められたものの、根の長さやN吸収量は増加する傾向を示し、新鮮重および乾燥重も増加した。一方で、8 L/minになると、各値は大きく減少した。この要因として、フダンソウの根系が培養液の速い流れに沿うように

浮き上がって揺動しており、このことが根の表面の物理的刺激によるストレスとなり、フダンソウの生長および養分吸収を阻害したと考えられた。根の伸長とN吸収量とを促進し、フダンソウの生長と収量を向上させる適切な養液流量が存在する可能性が示唆された。

次に、屋内栽培室の人工光照明下でフダンソウの水耕栽培を行い、生長量、N吸収量、根系の形態、および細胞壁構成成分量に及ぼす養液流量（2, 4, 6, 8 L/min）の影響を調査した。この場合、養液流量が4 L/minにおいて、乾物重やN吸収量が最大になる傾向を示した。また、新鮮重当たりの根の体積が減少したことから、根のコンパクト化が生じた。植物は物理的刺激を受けると、伸長生長を抑制し、肥大生長を促進すること（接触形態形成）が生じることから、根が培養液の流動状態に対する形態学的応答を示した可能性がある。さらに、高い養液流量（6, 8 L/min）における根のセルロース・ヘミセルロース含有量が、低い養液流量（2, 4 L/min）場合よりも増加した。根の強度はセルロース含有量と高い正の相関関係があることから、高い養液流量における根系は、強度が高くコンパクトな状態にあると考えられる。また、葉面積、新鮮重、乾物重、根の長さ、N、P、およびK吸収量の各項目間において、有意な正の相関関係が認められた。また、N、P、およびK吸収量については、養液流量の増加に伴って4 L/minで最大となった後に減少した。N、P、およびKの養分利用効率は、2 L/minおよび4 L/min場合に比べて、8 L/minの場合が高くなった。このことは、養液流量の増加が、フダンソウの養分利用効率を向上させる可能性を示唆した。各養液流量による収量と養分利用効率の両面から、本研究の範囲においては6 L/minがフダンソウの生長に適切な養液流量であると推定した。

以上のことをまとめると、フダンソウの水耕栽培実験と養液流れ場のPIV可視化によって、本研究の範囲において、根の伸長と養分吸収を促進し、植物の生長を促進する適切な養液流量があることを明らかにした。また、水耕栽培の養液流れが植物の根に対する物理的刺激となり、根の形態形成に影響を与えていることも示した。このことから、適切な養液流量に調節することは、植物の生長に有益なストレスを与え、植物の形態形成と養分吸収を促進し、水耕栽培における植物の収量および養分利用効率を高めることが考えられ、一方で、過剰な養液流量は有害ストレスとなり、根のコンパクト化により、根の養分吸収の減少に伴って、植物の生長が低下する可能性も示唆された。

本研究結果は、水耕栽培における養液流れ場の形成と、それに基づく栽培装置の設計指針を代表する指標（例えば、培養液流量と栽培容器形状および植物根の特性値から構成される無次元数）の提案に有益な知見となる。