

(続紙 1)

京都大学	博士 (農 学)	氏名	Indrawan Cahyo Adilaksono
論文題目	Experimental Study of Fine Bubble Application on Lettuce Growth in Hydroponic Nutrients Solution at Plant Factory (植物工場における水耕養液中のレタス生育に対するファインバブル適用の実験的研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>人工光型植物工場 (PFAL) は、人工的に制御された環境を作り出し、植物に最適な環境条件を提供する閉鎖型農業施設である。PFALの初期投資と運転コストは高く、電気代は生産コスト全体の約18~20%を占めることから、植物の生産性を向上させる研究が期待されている。一方で、ウルトラファインバブル (UFB) 水を適用することで、種子の発芽期間の短縮や植物の生長促進の可能性が確認されており、UFBの適用の知見をPFAL生産システムに組み込むことは有益と考えられる。しかしながら、先行研究では、植物工場内の湛液型水耕 (ディープフローテクニック : DFT) システムにおいて、複数品種のレタスの栽培に向けたUFBの適用は十分に検討されていない。また、培養方法を改善して最適なレタス品種を選択することは、PFALにおける運営コストの削減に繋がるが、PFAL内でのUFBの適用に対するレタスの品種間差や、植物生育に及ぼす影響については明らかになっていない。</p> <p>本論文では、作物の収量とコスト効率を高めるために、PFALにおけるUFBの応用技術を探求した。特に、UFBがレタスの生育に及ぼす影響に焦点を当て、UFBへの反応についてのレタスの品種間差、UFBの適用による養液条件の変化、植物体の酸化ストレスの影響を調査し、PFALにおける曝気方法を比較検討した。</p> <p>本論文は5章で構成され、第1章では、PFALの概要を説明し、運用コスト削減のための潜在的解決技術としてのUFBを紹介した。UFBの定義、特徴、標準化、応用について調査するとともに、UFBの適用が植物の生育に及ぼす影響について、先行研究から得られた結果に一貫性がないことに言及した。</p> <p>第2章では、PFALで複数品種のレタスを栽培するために、空気によるUFBの適用を検討した。その結果、栽培した全6品種のレタスのうち、グリーンリーフ、フリルレタス、ロメインレタスの3品種では、UFBの適用により生育が促進されたが、残りの3品種では同様の効果は確認できなかった。一部の品種のレタスで生長促進効果が観察された要因として、養液温度の上昇や高レベルの溶存酸素など、UFB水に特有の特性があることが示唆された。また、UFBの濃度が作物の生長に対する促進効果、あるいは抑制効果をもたらす場合があることから、最適なUFBの濃度も作物種によって異なる可能性が示された。しかしながら、UFBの適用に対するレタスの品種による生育反応の違いについての原因究明は今後の課題となった。</p> <p>第3章では、レタス栽培における最適なUFBの適用を目的として、PFALのDFTシステムにおけるUFBの適用条件について検討した。UFB発生装置への水の繰り返し通過回数とUFB水と水との希釈比率の積を表すUFB含量指数と、一定容量の水に含まれるUFBの粒子数を表すUFB濃度を導入し、温度と溶存酸素を制御した条件下での実験を行った。その結果、UFB含量指数7.5~30.0の育苗期間およびUFB含量指数18.8~30.0の定植期間においてレタスの生長促進が観察された。UFB濃度$6.2 \times 10^6 \sim 1.1 \times 10^7$ 粒子/mL-waterの範囲がレタス栽培の最適濃度であり、UFB濃度3.4×10^7 粒子/mL-water付近ではレタスの生長阻害となることが確認された。レタス葉におけるスーパーオキシドラジカルの増加を測定することにより酸化ストレスの影響を調べた結果、高濃度UFB処理下では、UFB誘発ストレスに応答した抗酸化防御能の向上が明らかとなった。</p> <p>第4章では、PFALにおけるレタスの生育について、様々な曝気方法の比較分析を行った。マイクロバブルとUFBの適用により、収量が向上するとともに、定植期間の</p>			

短縮が可能となった。UFBの適用は、非曝気条件と比較して、エネルギー消費量を41.0%増加させたにもかかわらず、収穫量におけるUFBのエネルギー効率は28.6%優れていた。さらに、UFBは肥料使用量を最大25%削減できることから、PFALにおける収量増加、生長促進、経営コスト削減のための有望な技術であることが明らかとなった。

第5章では、本論文の総括と今後の展望について論じた。PFALにおけるUFBの適用について、レタス栽培を中心に包括的に検討した結果、品種に依存した生長促進が明らかになるとともに、観察された効果に寄与する養液温度の上昇や溶存酸素レベルの上昇が特定された。また、養液中のUFBの密度を示すUFB含量指標を導入するとともに、レタス栽培に最適なUFBの適用法を提案し、生育段階ごとに特定の指標と濃度を考慮することの重要性が強調された。さらに、通気方法の比較分析から、UFBの適用がレタスの収量の向上、定植期間の短縮、エネルギー効率の向上、肥料使用量の大幅な削減に対して有望である可能性が示された。これらの成果は、植物工場の生産管理エネルギーの削減効果だけでなく、植物の生産速度や可食部の生産量の増加につながる技術としてまとめられている。

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本研究は、人工光型植物工場 (PFAL) におけるウルトラファインバブル (UFB) の技術応用を目的として、作物の収量とコスト効率の向上に焦点を当て、UFBの適用がレタスの生育に及ぼす影響を明らかにするとともに、UFBへの反応についてのレタスの品種間差、UFBの適用による養液条件の変化、植物体の酸化ストレスに対する影響、PFALにおける曝気方法の違いを比較したものである。評価できる点は以下のようにまとめられる。

1. UFBが植物の生育に及ぼす影響の品種間差を調査するために、PFAL内で複数品種のレタスを用いた栽培実験を行い、品種によってUFBの適用により収量の向上が期待できることを明らかにした。また、その要因は、養液温度の上昇と溶存酸素レベルの上昇であることを結論付けた。

2. レタスの生長促進に対するUFBの影響を、養液中のUFBの濃度を指標として、植物の酸化ストレス反応に關与するスーパーオキシドラジカルと抗酸化力を測定した結果、養液中の溶存酸素と温度が一定となる栽培条件下では、植物の生長促進の効果があることを実証した。また、過剰なUFBの濃度によって酸化ストレスが増大し、レタスの生育の鈍化を引き起こすことを見出した。

3. PFALにおけるUFBと他の曝気技術を比較し、UFBの適用が有望である可能性を明らかにした。比較分析により、UFBの適用を行うことで非適用時よりもレタスの収量 (地上部生重量) が81.2%向上、定植期間が5日短縮、エネルギー効率が28.6%向上、肥料使用量が25%削減できることが明らかとなった。

以上のように、本論文は、UFBの適用によって、PFALにおける作物の生産性と作業効率を向上させる革新的で費用対効果の高い技術としての実現可能性を示している。したがって、植物工場の効率的なエネルギー運用管理への貢献だけでなく、植物工場内で生育が行われる植物の生理学的活性化を促す技術として期待される。このことから、農業システム工学、フィールドロボティクス、生物センシング工学の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士 (農学) の学位論文として価値あるものと認める。

なお、令和6年1月18日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士 (農学) の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。

また、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

注) 論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。

ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日：2024年 月 日以降 (学位授与日から3ヶ月以内)