

称号及び氏名 博士（工学） 長野 将吾

学位授与の日付 2020年3月31日

論文名 「植物工場における概日時計の表現型計測と成長予測
モデルに関する研究」

論文審査委員 主査 福田 弘和
副査 三村 耕司
副査 吉田 篤正

論文要旨

近年、注目を集めている植物工場は、施設内で植物の生育環境(光、温度、湿度、二酸化炭素濃度、養液など)を制御して栽培を行うことにより周年計画栽培をが可能とする栽培施設である。特に外環境を遮断して人工光源を用い制御された室内環境で栽培するものを完全閉鎖型植物工場あるいは人工光植物工場（以後、単に植物工場と記す）と呼ぶ。本論文では、植物工場を対象とし、植物の形態や生理的性質を計測する表現型計測技術と、この表現型計測技術を用いた成長予測モデルを構築した。

本論文は5章構成であり、第1章では研究の背景・目的、第2章ではハイパースペクトルカメラによる概日時計の時刻の推定手法、第3章では大規模植物工場におけるレタス画像を時系列で取得する成長計測システムの開発と概日リズムを考慮した評価指標、第4章ではレタスの展葉に着目した成長予測の手法、第5章では結論を述べている。

本研究では、二次代謝物の濃度変動に伴う農業における主要品目である収穫時刻が重視される大葉の表現型計測を行いにより、植物概日時計の時刻を高い精度で推定可能であることを示した。また、商用の大規模植物工場において時系列画像解析システムを構築し、植物工場における主要品目であるレタスの葉面積を自動取得する手法を提案した。このシステムを用いてレタスの展葉から植物概日時計のリズム成分を取得し、機械学習を用いることで収穫時の生重量を高い精度で予測できる可能性を示した。これによって、概日時計の表現型計測を植物工場へ応用するための基礎技術を構築することができた。

審査結果の要旨

本論文は、植物工場における大規模な植物苗集団を対象とした概日時計の非破壊・非接触での計測手法とそれを利用した成長予測モデルについて研究したものであり、以下の成果を得ている。

(1) 機能性野菜のシソを対象に、ハイパースペクトルカメラを用いた反射光スペクトルから機械学習による概日時計時刻の推定手法を考案した。また、メタボローム解析と RNA-Seq 解析により、代謝物ならびに遺伝子レベルで時間依存の振動パターンを確認し、本手法の生理学的機構を究明することで、精度の高い推定手法を実現した。

(2) 植物工場の育苗室において取得した多数のレタスの画像データから個々の投影葉面積を自動的に取得可能なシステムを構築し、畳み込みニューラルネットワークの一種である U-Net 法と最適化 ExG 法を用いることで、精度良く高速かつ大規模にレタス画像を時系列で取得する成長計測システムの構築と概日リズムの検出を実現した。

(3) 植物工場の育苗室において多数のレタス時系列画像データを用い、レタスの展葉に着目した成長予測の手法について検討した。Optical Flow 手法を用いて展葉のダイナミクスから個々のレタスの地上部生重量を予測するモデルを提案し、高い精度での成長予測を実現した。また、機械学習モデルの特徴量重要度解析から展葉におけるの概日リズムが成長の予測に有用であることを明らかにし、植物苗集団の成長を高精度に予測できる手法を構築することに成功した。

以上の諸成果は、これまで計測が困難であった植物工場における植物体の概日時計計測を大規模に実現し、またそれを利用した成長予測モデルの構築によって、植物工場の栽培コスト削減ならびに植物体の高品質化を実現するものであり、食料生産工学の分野において学術的かつ産業的な発展に大きく貢献するものである。また、申請者が自立して研究活動を行うのに必要な能力と学識を有することを証したものである。学位論文審査委員会は、本論文の審査ならびに最終試験の結果から、博士（工学）の学位を授与することを適当と認める。