

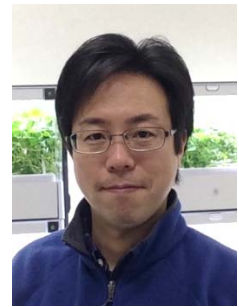
植物工場における超高速環境パラメータ最適化手法の開発

研究代表者

福田弘和 大阪府立大学 大学院工学研究科 機械系専攻

共同研究者

永野 惇 京都大学生態学研究センター



1. 研究の背景と達成目標

本研究では、食料や薬用植物の安定供給を実現する「人工光型植物工場」の生産効率を高める新規手法を開発する。植物工場の基本命題は、「エネルギーコストを最小にする最適栽培法の開発」であることから、代謝状態を直接的・包括的に高速測定できる RNA-Seq 解析を利用して最適な環境パラメータを超高速で探索する新規手法の開発を目指す。具体的には、①紫蘇(シソ)をターゲットとし、植物工場内にて栽培する。②本研究で用いる植物工場は、多色 LED 光と温度、肥料濃度等を複合的かつ動的に制御できる特別仕様とし、理論に基づいて算出された無相関多元環境条件を実現する。③提案者らが独自に開発した超多検体 RNA-Seq 法を用いて、植物工場で栽培した多数のサンプルを解析し、さらに体内時計制御を駆使して、最適パラメータの探索シミュレーターを開発することを最終目的とする。これによって、6次産業を担う新技術として期待が高まっている「人工光型植物工場」の高度化と普及に貢献することを目指した。

2. 主な研究成果と社会、学術へのインパクト

- ・探索用栽培システム（無相関多元環境の植物工場システム）の開発：
このシステムを使うことで、個々の遺伝子の環境応答特性を様々な環境パターンから割り出すことができ、これにより高速で最適条件を見出す手法「超高速環境パラメータ最適化法」の検証を行うことができる。
- ・薬用植物の植物工場における栽培と解析：
薬用植物の網羅的な遺伝子発現情報(トランスクリプトーム)を解析できる研究環境を構築した。これにより、植物工場における薬用植物生産のモデル研究基盤を整備できた。
- ・探索手法の高度化に成功：
探索アルゴリズムの核となる「時系列トランスクリプトームデータにおける植物体内時計の解析と制御」の手法を高め、データ科学・数理科学に基づいた新たな最適化手法の基盤を構築できた。

3. 研究成果

本研究では、まず探索用栽培システム（特別仕様の植物工場システム）を開発した(左図)。このシステムは栽培環境を自由に設定でき、動的で複雑な環境パターンを植物に与えることができる。これにより、屋外の自然環境下で見られるような複雑な変動パターンを再現できるだけでなく、自然界では実現しないような条件(例えば光量変化と温度変化が無相関に変動する条件)を実現することができる。このシステムを使うことで、個々の遺伝子の環境応答特性を様々な環境パターンから割り出すことができ、これにより高速で最適条件を見出す手法「超高速環境パラメータ最適化法」の検証を行うことができるようになった。次に、薬用植物のモデル作物として紫蘇を選定し、LED 光環境下において安定して生産できる手法を確立した(右図)。また、紫蘇の *de novo* シーケン

ス解析によるリファレンス配列の取得、150 検体を超える時系列トランスクリプトーム解析 (RNA-Seq 解析)、時系列網羅的代謝産物解析 (11,125 種類) を行い、超多検体のデータベースを構築した。さらに、データベースの充実と探索アルゴリズムの汎用性を高めるため、レタスとトマトについても時系列トランスクリプトーム解析を行った。

さらに、探索アルゴリズムの核となる「時系列トランスクリプトームデータにおける植物体内時計の解析と制御」の手法を高め、膨大な生物データ (オミクスデータ) と機械学習 (人工ニューラルネットワークモデル) を基礎とした予測システムを構築した。

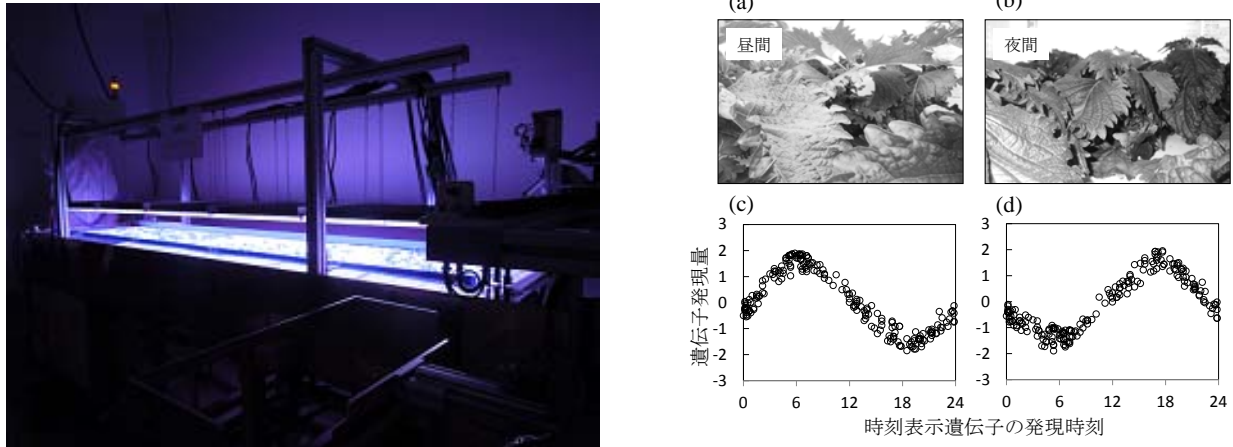


図 (左)探索用栽培システム。(右)紫蘇栽培(a, b)と時系列トランスクリプトームデータ(c, d)。

4. 今後の展開

本研究の成果は、葉物野菜や薬用植物の栽培条件の最適化に対する画期的な手法となるだけでなく、伝統農業の継承技術、ゲノムレベルの品種改良、遺伝子組換え体を利用した有用物質生産、太陽光利用型植物工場における植物生理センシング制御、開花制御技術、フィールドにおけるイネ等の ICT 生産管理に至る幅広い分野での利用が可能であり、これらを支援できるツールとなる。より汎用的な手法として広く活用されるように、技術化ならびにサービスコンテンツの考案も重要である。本研究成果の展開により、科学技術による農業の高度化と、魅力ある農産物の発展に大きく貢献するものと期待される。

5. 発表実績

- [1] Takanobu Higashi, Akiko Kamitamari, Nobuya Okamura, Kazuya Ukai, Kenichi Okamura, Takahiro Tezuka, Hirokazu Fukuda: Characterization of circadian rhythms through a bioluminescence reporter assay in *Lactuca sativa* L. *Environmental Control in Biology*, 52 (1), 21-27, 2014.
- [2] Takanobu Higashi, Shuhei Nishikawa, Nobuya Okamura and Hirokazu Fukuda: Evaluation of Growth under Non-24 h Period Lighting Conditions in *Lactuca sativa* L. *Environmental Control in Biology*, 53 (1), 7 -12, 2015.
- [3] Takayuki Ohara, Hirokazu Fukuda, Isao T. Tokuda: Phase Response of the *Arabidopsis thaliana* Circadian Clock to Light Pulses of Different Wavelengths. *Journal of Biological Rhythms*, 30 (2), 95-103, 2015.
- [4] 福田弘和: 最先端科学技術を駆使した新世代大規模植物工場の開設植物を制御する最先端科学技術「植物の体内時計と制御理論」, 月刊機能材料, シーエムシー出版, 2014年10月5日.
- [5] 「「時計遺伝子」効率よく野菜量産」, 産経新聞, 2013年8月1日.
- [6] 福田弘和: 「時計遺伝子研究の太陽光植物工場への適用可能性」, 日本学会会議公開シンポジウム「太陽光植物工場の高精度環境調節を可能にする植物生体情報計測」, 2014年3月18日.