

令和 6 年 5 月 2 日現在

機関番号：33302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04083

研究課題名(和文) 葉面電位データからわさびの「気持ち」を聞き入れた植物工場の環境制御

研究課題名(英文) Environmental control of a plant factory that knows to "Wasabi feelings" from surface bio-potential data

研究代表者

平間 淳司 (Hirama, Junji)

金沢工業大学・工学部・教授

研究者番号：40181185

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は完全閉鎖系の水耕栽培に基づいた栽培環境調整が非常に困難とされるワサビ工場において、ワサビ葉の葉面電位計測データに連動したSPA(Speaking Plant Approach)型の生育環境制御方式を導入した、至適栽培制御パラメータの生育条件の確立である。本研究の最大の特色は、わさび工場において外的刺激環境にする葉面電位答特性から「わさびの気持ち知り」生育速度の向上を目指している。これまでに小規模ワサビ工場で得てきた環境パラメータや葉面電位データやクロロフィル蛍光特性等の基礎資料を踏襲して、最終年度には中規模型冷蔵コンテナを用いて、約300株の栽培実証試験を行っている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

野菜類の露地栽培は労働者の高齢化や若者の減少、異常気象や災害等で国内では安定生産が困難となり食料確保が喫緊の課題である。そこで、安全・安心・安定供給が見込まれる植物工場が大変注目されている。本研究は特に栽培が困難であるわさびを新規対象とした水耕栽培型植物工場にIoT・ICT技術を導入した至適生育環境制御技術の実用化研究である。「わさびの気持ちを生体電位」から知ることで生育環境制御に活用し高効率栽培技術を確立する。この技術をわさび栽培に新たに応用して近未来には地域連携・地場産業の活性化、高機能(薬効成分)付加、地元農家と連携して地元産わさびのブランド化を目指し大規模わさび工場の提案を行う。

研究成果の概要(英文)：This research is to establish optimal growth conditions for cultivation control parameters based on SPA (Speaking Plant Approach) type growth environment control method linked to leaf surface bio-electric potential measurement data of Wasabi leaves in a wasabi plant, where cultivation environment control based on hydroponic cultivation in a completely closed system is considered extremely difficult. The most distinctive feature of this research is that it aims to improve the growth rate of "wasabis feeling" based on the characteristics of the leaf surface bio-electric potential response to external stimuli in a wasabi plant. Following the basic data on environmental parameters, leaf surface bio-electric potential data, chlorophyll fluorescent characteristics obtained in small-scale wasabi factories to date, a cultivation demonstration test of approximately 300 plants is being conducted in a medium-sized refrigerated container in the final year.

研究分野：生体情報工学

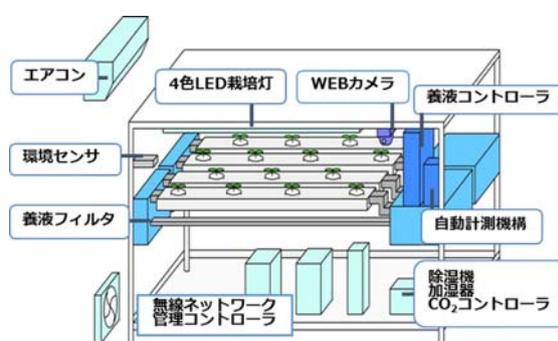
キーワード：植物工場 ワサビ水耕栽培 生体電位 環境制御 生長促進

1. 研究開始当初の背景

近年、野菜類の露地栽培は労働者の高齢化や若者の減少、また異常気象や災害等で国内では安定供給が困難となり食料確保が喫緊の課題である。人出不足の解消や気象変動の影響を受けにくく、安全・安心・安定供給が見込まれる植物工場が大変注目されている。現在、植物工場野菜は一般の露地栽培に比べて設備投資やランニングコストが高く採算性の低さが問題視されている。植物の至適生育要素技術(生育環境調節)は栽培現場において、植物生理学的側面からはほぼ確立しているが、電気生理・工学的側面からの検討は遅れている。特に本研究のように、根菜類のわさびの人工栽培は葉物類に比べて非常に難しく、国内では数カ所程度であるが栽培期間が長く、やはり採算性が低いことが厄介な課題である。本研究ではいち早くIoTやICT技術を導入し、小規模型植物工場での水耕栽培試験を実施してきた。これまでに得られた栽培技術を新たに応用することで、近未来には地域連携・地場産業の活性化、高機能(薬効成分増強)付加、地元農家と連携して地元産わさびのブランド化を目指して大規模わさび工場の提案を行う。

2. 研究の目的

本研究では、既に図1に示す様な小規模型わさび植物工場での水耕栽培試験を本学に設置して実施してきた。8年前に葉物類から根菜類のわさび栽培に切替えた。これまでに、わさび以外の植物や茸の生長の活性化と関係がある生体電位信号(誘発電位は約数mV)を数千株で計測し、その電位変動を指標とすることで、人工栽培における至適生育条件に関して工学的側面から検討(ビッグデータからのアプローチで、いわゆる逆問題に相当)をしてきた。「生き物」から誘発する生体電位は、人間に例えれば、心電図や脳波に相当し、その電位波形から健康診断ができる計測技術の確立にほぼ成功し、これまでに生産性向上に業績を残してきた。特に、各種外的刺激条件(光刺激の波長、輝度、照射方法、温度、湿度、CO₂濃度など)と生育状況(形態形成)や生理活性度の関係を明らかにしてきた。ちなみに、25年前から植物と同様なアプローチで茸栽培にも活用し、「茸の気持ちを生体電位」から知ることで生育環境制御により高効率栽培技術を確立し、一部の茸工場での実証試験で実用化にも成功してきた。本研究では、この技術をわさび栽培に新たに応用して、わさびの「気持ちを理解しながら」生育条件の決定を目指す。国内の大学でわさびの人工栽培の研究は数カ所であるが、いずれも生体電位計測は含まれず生育環境条件の検討のみで、実用化計画までは視野に含めていないことが多い。



至適環境条件の調査に特化した植物工場

- ・クラウド管理(IoT)で遠隔操作が可能
- ・無線接続されたセンサ・アクチュエータ(ICT)を搭載
- ・環境パラメータが自由変更可能

栽培記録例 (石川県産 在来種)



わさびの栽培状況

図1 IoT・ICT 活用の小規模わさび工場

3. 研究の方法

(1) 初年度は、SPA(Speaking Plant Approach: 生体計測(草丈や葉の発達など(形態形成)、葉緑素、光合成活性など)に基づく栽培技術)方式による栽培管理に加えて、本研究では新たに葉面の葉面電位(生体電位)応答特性から植物体を健康診断する技術を追加して実験系の整備を強化する。本構想を達成するには小規模栽培システム

のハード面の要素技術の完成度を高める必要があり、葉面電位計測系のハード設計と製作と駆動ソフトの新規追加や改修を行う。

(2) 2年度以降は、植物の葉面電位計測データに連動した生育環境制御方式導入した至適栽培制御パラメータの確立である。

(3) 機能性成分分析の実施

6ヶ月毎の収穫後に、わさび芋の薬効成分（アリルイソチオシアネートなど）等の成分分析の評価などの実施に向けて、反復栽培実験を実施する。生育環境プロファイルを自由に設定できる植物工場ならではの特色を生かし、例えば薬効成分の機能性増強の条件も決定する。

(4) 完全閉鎖系植物工場の特色である養液調節、光環境や空気組成の自動調節を活かすことで、わさびの食感・味覚の向上を目指す。ちなみに、これらの官能検査を含めた検定での評価を予定する。

以上の特色は、研究を遂行する上で閉鎖系水耕栽培の独自の栽培プロファイル制御の一部改修で、基本システムの環境制御の完成度を高める。

4. 研究成果

(1) 初年度：

研究実施計画に基づき以下の事項を実施した。SPA (Speaking Plant Approach: 生体計測(草丈や葉の発達など(形態形成)、葉素、光合成活性など)に基づく栽培技術)方式による栽培管理に加えて、本研究では新たに葉面の葉面電位(生体電位)応答特性から植物体を健康診断する技術を追加して実験系の整備を強化した。すなわち、葉面電位計測系のハード設計と製作と駆動ソフトの新規追加や改修した。具体的には、栽培期間中に連続して葉面電位を計測し、特定の分析区間に電位のゆらぎ成分のエネルギー(RMS)やバイオリズム/サーカディアンリズム(FFT)の変動特性を計算して、わさびの健康診断のための基礎資料を収集した。そして、養液調整や周囲環境条件にする更なる栽培速度の増加を目指した制御パラメータの最終決定や、わさび芋の成分分析などを実施した。

(2) 2年目：

試験運用中の小規模わさび工場において、外的刺激環境に対する葉面電位応答特性から「わさびの持ちを知り」、「これが欲しい要らない」の環境状態も常時推定して、生育速度向上を目指した。この時点では、予備的な基礎データはあるが解析に必要なビッグデータは、本研究では未だに不足しているので継続実験を実施した。これにより、今後も栽培システムをわさび生育環境に特化し、主として葉面電位データも含めた生育環境制御パラメータの最終決定を目指して、今後の植物工場の実用化に向けた。

また、光合成活性度診断技術であるクロロフィル蛍光計測も同時実施したが、わさびに適用した例がないものの、「健康診断」としての利活用性には十分見込まれた。併せて芋の成分分析結果も統合して、わさびの機能性成分の増強に役立つ栽培環境制御のプロファイルデータの閾値決定も目指した。しかし、当該年度では、機能性成分分析の実施に関して、栽培期間の一時期において、環境パラメータの設定の不具合により、一部の栽培ワサビの生育不良が発生したことから、芋に含まれる薬効成分（アリルイソチオシアネートなど）等の十分な評価の実施はできなかった。芋の食感や味覚に関して官能試験を実施したところ、特記すべきことがらは発生しなかった。

最終年度である令和5年度は、ワサビ工場の中規模わさび栽培の実証試験をある企業と共同研究を新規にスターする見込みがあった。これまでは20株程度の小規模ワサビ工場では、ほぼ本研究目的の達成は十分見込まれたことから、今後実用化に向けた中規模実証試により栽培株数を約300株として、完全閉鎖系の大型コンテナ栽培を新規に実施する予定である。この時の至適栽培環境パラメータは、これまでに小規模ワサビ工場で得てきた環境パラメータや葉面電位データやクロロフィル蛍光特性等の基礎資料を踏襲しての実証試験を目指している。



金沢工業大学扇ヶ丘キャンパス内に設置した大型(40 フィートタイプ)のコンテナ利用による水耕栽培方式の完全閉鎖系ワサビ工場
コンテナ内部の栽培棚で育っているワサビの様子(苗を定植後、約3ヶ月)

図2 冷蔵コンテナ利用による中規模水耕栽培方式の完全閉鎖系ワサビ工場

(3) 最終年度 :

最終年度では、当初の予定より一歩前進した中規模わさび栽培の実証試験を、ある企業と共同研究で令和5年9月に新規にスタートできた。これまでの20株程度の小規模わさび工場での栽培ノウハウを踏襲しての最終年度での中規模実証試験がスタートした。

図2に冷蔵コンテナ利用による中規模水耕栽培方式の完全閉鎖系ワサビ工場の様子を示す。

現在も実証試験中で有り、実用化に向けた中規模栽培により栽培株数を約300株として、完全閉鎖系の中型冷蔵コンテナ栽培である。すなわち、この時の至適栽培環境パラメータは、これまでに小規模ワサビ工場で得てきた環境パラメータや葉面電位データやクロロフィル蛍光特性等の基礎資料を踏襲しての実証試験である。本試験では、1回目の栽培期間において、育苗期間は1ヶ月、生育期間は6ヶ月を1クールとして、のべ4クールを見込んでいる。現在は1クール目が進行中で、収穫は令和6年6月頃を予定している。

収穫後に各種生体計測、葉面電位、クロロフル光などの各種SPAデータを収集して解析を予定している。また、当初からの研究計画書の案件である機能生性分のアリルイソチオシアネートの成分分析および食味等の官能試験の実施も予定している。最終成果結果は、本報告書の提出期間には記載できない。今後、学会発表や学術論文等で公開する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 平間淳司	4. 巻 34(1)
2. 論文標題 「本学会のパラダイムと学術用語」(第6回)「その後の生体電位計測」	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 植物環境工学	6. 最初と最後の頁 66-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 吉田喜貴, 中西郁樹, 飯沼忠也, 武田雄太, 平間淳司, 柳橋秀幸
2. 発表標題 小型多機能型クロロフィル蛍光測定装置の開発
3. 学会等名 日本生物環境工学会 東海支部・北信越支部合同による2022年度「学生のための研究発表会」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 武田雄太, 平間淳司, 柳橋秀幸, 松井良雄, 坂 實
2. 発表標題 ワサビのクロロフィル蛍光特性と水耕栽培生育環境因子との関係
3. 学会等名 日本生物環境工学会2022年福岡大会、講演要旨集OS1-6
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柳橋秀幸, 樋谷友紀, 平間淳司, 松井良雄
2. 発表標題 SPA方式の栽培工場に向けた草の生体電位計測に関するこれまでの取り組み
3. 学会等名 日本生物環境工学会2022年福岡大会、講演要旨集OS1-5
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小山虹大、平間淳司、柳橋秀幸、松井良雄、坂 實
2. 発表標題 ワサビ葉面電位応答特性に基づくSPAの至適生育環境因子
3. 学会等名 日本生物環境工学会北信越支部大会学生のための研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小山虹大、平間淳司、柳橋秀幸、松井良雄、坂 寛
2. 発表標題 ワサビの葉面電位応答特性と水耕栽培生育環境因子との関係
3. 学会等名 令和3年度電気関係学会北陸支部連合大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関