

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2008 ～ 2009
 課題番号：20760257
 研究課題名 (和文) 植物工場における植物生理活動状態モニタリングシステムの開発
 研究課題名 (英文) Developing Monitoring System for Plant Physiological Activity in plant factory
 研究代表者
 長谷川 有貴 (HASEGAWA YUKI)
 埼玉大学・大学院理工学研究科・助教
 研究者番号：90344952

研究成果の概要 (和文)：

本研究では、近年注目を集めている植物工場で利用する植物の生理活性状態モニタリング技術の一つとして、植物の生体電位を利用したシステムの構築を目的とした。特に、植物の生育状態に最も大きな影響を与える環境要因の一つである光照射と生理活性状態との関係を生体電位によって明らかにするために、LED 光源を用い、その照射パターンを変更したときの生体電位応答と光合成活性との関連について検討した。その結果、植物の生体電位応答は、連続光並びに点滅光の照射開始、終了時に大きな応答を示し、照射開始時の応答の大きさが、光合成活性の大きさと相関があることを示した。この成果により、植物の生体電位応答のモニタリングによって、植物の状態を把握することが可能となるとともに、その情報を用いることにより、光合成効率を高めるためにより適切な光条件へとコントロールするシステムへの応用も期待できる。

研究成果の概要 (英文)：

Plant factory which make artificial condition for efficient cultivation become practical use. Monitoring plant activity is necessary in order to detect more effective cultural conditions. Especially, the light irradiation condition is the most important factor for plant growth. In this study, we measured the bioelectric potential and CO₂ consumption of plants under various types of the irradiation. This result showed that the bioelectric potential responses under the blinking irradiation have various behaviors and intensity of the response related to photosynthetic rate. We conclude that photosynthetic reaction under the blinking irradiation can be evaluated by measurement of the bioelectric potential. And we also suggested that the bioelectric potential measurement become useful method for agro-environment control by plant in plant factories.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2009 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：植物生体計測

科研費の分科・細目：電気電子工学・システム工学

キーワード：植物工場、植物生体電位、光電反応、モニタリングシステム

1. 研究開始当初の背景

近年、地球温暖化やオゾン層破壊の影響などによって異常気象が発生しやすくなり、気象災害による農業被害が毎年のように発生している。また、農薬過多による土壌汚染などにより砂漠化が進行し、農作物の栽培が困難な環境も少なくない。このような現状から、農作物の栽培環境を人工的に制御することで、どのような場所でも安定した収量や品質が得られ、安全な農作物の栽培が可能となる植物工場の実用化が進められるようになってきた。これまでの植物工場に関連した研究によって、植物にとって最も重要な環境要因の一つである光の照射時間や照射強度、波長の違いが植物の生育状態に大きな影響を与えることが明らかになってきた。このような光の照射条件が植物に与える影響や、植物の栽培に適した条件や照射処理の安全性について検討するためには、植物体内での生理活動状態を把握する必要があると考えられる。

しかし、植物体内での活動のモニタリング技術は未だ確立された例がほとんどなく、新たな手法や得られたデータの解析手法の確立が必要であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、植物の生体電位計測システムの充実および、植物の生理活性状態モニタリングシステムを開発することで、植物工場で栽培される植物の最適環境条件の評価はもちろん、品質管理や安全性の評価に応用可能なシステムの開発を目的とした。

このために本研究では、具体的に、①植物の生理活動計測システムの構築、②生体活動と生体電位との関連性の評価、③低ノイズ、多チャンネルの生体電位測定システムの構築、④生体電位反応の解析による植物の状態評価のための情報処理手法の確立、⑤植物工場を想定した実空間における最適環境条件、品質、安全性の評価を研究目的とした。

3. 研究の方法

まず、植物の生体活動と生体電位応答との関連について明らかにする必要があるため、蒸散計や光量子センサを組み合わせた植物生理活動モニタリングシステムを構築し、このシステムを用いて種々の環境下における植物の反応を観測する。このとき、生体電位応答

を同時に計測することによって、植物内で起こる現象と生体電位反応との対応付けを図る。また、多チャンネルに対応した生体電位測定システムを構築し、一単位や複数の個体の同時測定可能なシステムとすることで、実験効率の向上を図るとともに、各部位、各個体間で起こる情報の遅延や同期などの現象についても捉えることが可能となる。

さらに、生体電位反応と光合成や蒸散など実際の生命活動との関連について、いくつかの情報処理手法を用いて詳細に解析することで、時系列の観測のみでは得られない周波数特性や非線形性について検討する。最終的には、ここまで蓄積したデータおよびその解析結果を基に、植物工場を想定した実用的な空間で、植物の生体電位応答による植物の生育状態や品質の評価を試み、有用性や問題点についてさらに検討を進めることで、目的としているシステムの実用化を目指す。

4. 研究成果

4.1 実験概要

高インピーダンスである植物の生体電位を測定するため、計測器には高入力インピーダンス対応($>1G\Omega$)のデジタルマルチメータを用いた。また、多チャンネル測定用に計装用アンプとデータロガーを用いた多チャンネル測定装置も開発したが、測定される傾向はチャンネルが増えても同じことから、1チャンネル測定装置で測定した結果を示す。植物生体電位の測定端子には、植物工場などで応用することを考え、植物への取り付けや観測が容易な脳波用皿電極を採用した。

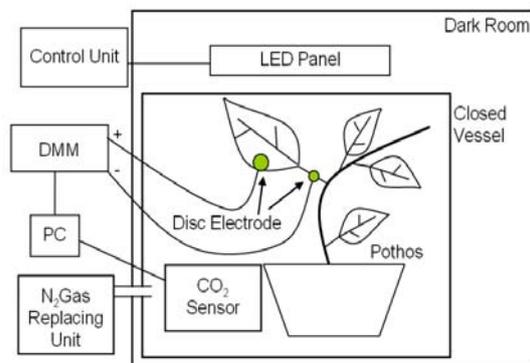


図1 生体電位測定システムの概略図

また、生体電位と同時に CO₂ センサを用いて CO₂ 濃度を測定し、その消費量によって光合成効率を評価した(図 1)。対象植物には、観葉植物の一つであるゴールドンポトスと、植物工場での利用を想定し、コマツナを用いた。しかしコマツナは、電極取付部となる葉のクチクラ層が薄いため、電極取付部から枯死してしまう場合があったため、測定には主にゴールドンポトスを使用した。

光源には、青色光(475nm)、緑色光(525nm)、赤色光(660nm)、遠赤色光(760nm)の4種類の単色光をで構成されたLEDパネルを用い、コントロールユニットによって点滅周期や明期暗期の割合を示すデューティ比などの照射条件を設定、制御した。

4.2 連続光照射に対する応答

まず、コントロールとして連続光の照射と遮断を繰り返した時に観測された生体電位応答例を図2に示す。図から、生体電位が光の照射と遮断に対して敏感に反応していることがわかる。このような光照射に対して現れる応答は、光電反応と呼ばれ、この例のように30分間隔で照射、遮断を繰り返した場合には、照射、遮断時にそれぞれ特有の応答が比較的再現性良く現れることを確認した。

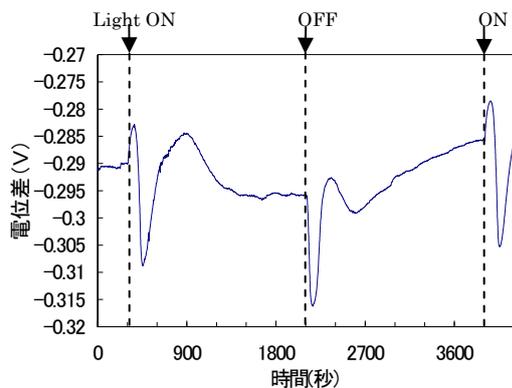


図2 連続光の照射、遮断に対する応答例

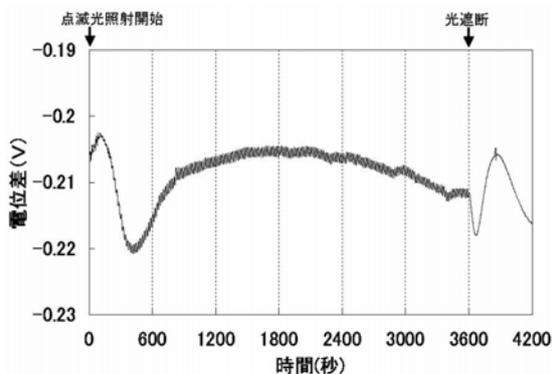


図3 点滅光照射に対する応答例
(点滅周期: 20秒、DT比: 50%)

4.3 点滅光照射に対する応答

これまでの植物生理学分野の研究によって、点滅光の照射が光合成活動の活性化や成長促進に有効であることが明らかになっていることから、点滅周期による影響について検討するため、点滅周期を50 μ 秒から600秒まで変化させたときの応答を観測するとともに、その周期内の明期の割合(DT比)を5%から75%まで変化させた。また、植物の光合成量を評価するために、生体電位と同時に測定容器内のCO₂濃度の変化を測定し、この出力を見かけ上の光合成量の変化として、生体電位応答との関連を検討した。

図3は、点滅周期20秒DT比50%の条件で点滅光を照射したときの応答である。開始直後の図中の線が太くなったように見えるが、これは光の点滅に合わせた細かい振動が観測されたことによるものである。包絡線を見ると、図2で示した連続光照射時の応答と類似した照射直後の大きな反応が見られた。

また、点滅周期に関わらずDT比を小さくすると包絡線に現れる変動幅が小さくなることから、図4のように点滅光照射開始直後から開始される変動の変動幅を Fr と定義し、CO₂消費量との関連について検討した。図5が、 Fr とCO₂消費量との関係をグラフ化した結果である。この図から、 Fr はCO₂消費量の減少と共に減少していることがわかり、その相関係数は0.81と比較的高かった。つまり、点滅光照射に対する電位変動の変動幅 Fr を有効に活用することで、光合成速度の評価が行える可能性が示唆された。

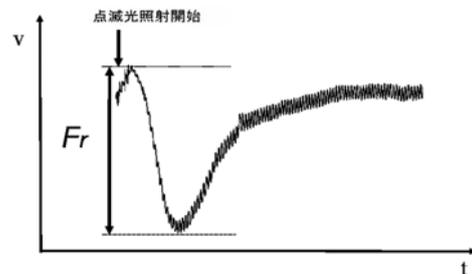


図4 光照射に対する電位変動幅 Fr の定義

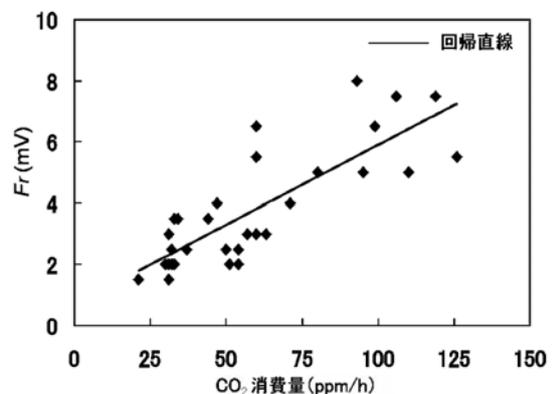


図5 電位変動幅 Fr とCO₂消費量との関係

4.4 まとめ

本研究では、光照射に対する植物の応答を生体電位反応によって捉え、生理活動状態を評価する技術の確立、さらには、植物工場における生育環境制御技術へ応用することを目的として実験を行った。

その結果、植物にとって最も重要な環境要因の一つである光照射に対し、植物は敏感な応答を示し、その電位応答は光合成活動の活性状態と高い相関があることが明らかとなった。このように植物の活性状態をリアルタイムで把握することで、植物の状況を判断し、より最適な光条件へとその都度コントロール可能な制御システムへと応用できるところを示唆した。

今後は、葉菜類に装着する電極の改善や、生体電位応答から得られた情報を活かし、空調や光源の制御を行う一連のシステムの構築を進める予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ①Ki Ando, Yuki Hasegawa, Hitoshi Maekawa and Teruaki Katsube, Analyzing Bioelectric Potential Response of Plants Related to Photosynthesis under Blinking Irradiation, IEICE Trans. Electron., vol. E91-C, No. 12, 2008.

[学会発表] (計 7 件)

- ①Ki Ando, Yuki Hasegawa, Hidekazu Uchida and Tamaki Yaji, Analyzing Relationship between Bioelectric Potential Response and Photosynthesis Reaction, 6th International Symposium on Organic Molecular Electronics Book of Abstract, 06-3, pp.56-57 (2010. 6. 11)
- ②長谷川有貴, 計測自動制御学会北陸支部チュートリアル講演会 (2009. 11. 26)
- ③安藤毅, 長谷川有貴, 内田秀和, 植物生体電位測定による光合成活性の評価, 電子情報津信学会ソサイエティ大会論文集 CS-6-1, S-18, 19 (2009. 9. 15)
- ④長谷川有貴, 安藤毅, 内田秀和, 谷治環, 植物の生育環境制御のための生体電位応答の評価, 照明学会公開研究会資料, AR-09-08, pp.1-4 (2009. 6. 19.)
- ⑤内海沙世子, 長谷川有貴, 内田秀和, 谷治環, 勝部昭明, 複数点同時計測による生体電位応答評価, 平成 21 年電気学会全国大会, 3-167 (2009. 3. 17.)
- ⑥長谷川有貴, 多チャンネル測定による生体電位応答特性の評価, 計測自動制御学会北陸支部平成 20 年度講演会 (2008.11.21)

- ⑦Ki Ando, Yuki Hasegawa, H. Maekawa and T. Katsube, Bioelectric Potential Response Analysis of Plant under Blinking Light Irradiation For Evaluation of Photosynthetic Activity, The International Conference on Electrical Engineering 2008 (2008. 7. 8.)

[図書] (計 2 件)

- ①大森多可志・勝部昭明編 (分担執筆: 長谷川有貴), 植物生体電位とコミュニケーション, 海文堂出版, 2009
- ②ヒューマンサイエンスとセンシング調査研究委員会 (分担執筆: 長谷川有貴), 心とからだのセンシング, 海文堂出版, 2009

[産業財産権]

○出願状況 (計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
長谷川 有貴 (HASEGAWA YUKI)
埼玉大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号: 90344952

(2) 研究分担者 ()

研究者番号:

(3) 連携研究者 ()

研究者番号: