

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 27 日現在

機関番号：12401

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2012～2015

課題番号：24686049

研究課題名(和文)植物生体電位応答を利用した植物工場内の環境管理・制御システムの開発

研究課題名(英文)Development of environment control system for plant factory using plant bioelectric potential response

研究代表者

長谷川 有貴 (HASEGAWA, Yuki)

埼玉大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：90344952

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、植物生体電位応答を用いた植物工場などの施設栽培の環境管理、制御システムの開発を目的として、葉菜類や果菜類を対象として、さまざまな波長のLED光源の照射に対する生体電位応答と光合成活性との関連を明らかにし、植物の種類によって異なる最適波長の組み合わせを生体電位によって選定可能であることを示唆した。

また、この関係をパラメータとした光強度制御システムを開発し、植物の状態に応じて変化する生体電位応答によって最適な光強度へと制御することで、光合成活性が向上するとともに、電力消費量も抑えられることを示唆した。

研究成果の概要(英文)：The plant bioelectric potential responses are correlated with the physiological activity. Thus, we considered that the cultivation environment operating system will be improved by using the bioelectric potential response as an evaluation index. In this study, we aimed to develop the cultivation environment control system using plant bioelectric potential.

At first, we observed the bioelectric potential response when single wavelength and plural wavelengths were irradiated on the plant. These results showed that the difference in potential response and photosynthetic rate depended on the light intensity rate of plural wavelengths.

Second, we developed the light intensity control system using plant bioelectric potential. Our developed system can operate correctly depending on the feedback signal made from the plant bioelectric potential. We suggested that the system contribute to the improvement of the cultivation environment control system and the energy saving effect.

研究分野：生体計測工学

キーワード：植物生体電位 植物工場 環境制御 野菜 省電力化

### 1. 研究開始当初の背景

研究を開始した 2012 年頃、植物工場の普及が進められていたものの、工場内の環境をさまざまなセンサで計測し、空調や光源などを制御する必要があるため、電気代などの莫大な維持管理費がかかることが植物工場の普及の妨げとなっていた。

そのため、最低限の計測機器で、省電力、低コストかつ高効率な植物工場の実現が大きな課題であった。

研究代表者は、これまでに植物の持つ環境認識能力に着目し、植物体内での生命活動に応じて生じる細胞内外のイオン濃度差によって発生する植物生体電位測定システムを開発し、植物の生体電位が光の照射および遮断に対して大きく変動し、その変動の振幅(図 1 中  $V_{on}$ )が、光合成速度と相関があることを明らかにするなど( ), 植物生体電位測定による生理活性状態のモニタリング技術を確立するための基礎的データの蓄積を行っていた。

植物工場の省電力化、低コスト化の重要性は叫ばれているものの、具体的な解決案は見いだされていなかった。そこで研究代表者は、この状況を解決する技術として植物の生体電位応答の利用を提案した。植物の生体電位を施設栽培で活用しようとする研究は、菌類を対象としての報告があるのみで( ), 植物を対象とした研究報告はなかった。

植物は、種類や品種によって光合成活性の促進に有効な光の波長の組み合わせや光阻害を受ける光強度に違いがあることが知られている( )。また、生長段階によっても最適な光条件は異なることから、植物にとって最適な栽培環境を整えるためには、対象植物の種類や生育状態に合わせた光源の制御が必要となるが、現状では、長期間に渡って実験的に得られたデータや経験則を基にした制御が行われることがほとんどで、リアルタイムに観測した植物の状態から環境を制御可能な手法は確立されていなかった。

### 2. 研究の目的

本研究では、発光ダイオード(LED)を光源として用いた光照射による生理活性へ影響と生体電位応答との関連を明らかにし、この関係から、植物の生体電位応答を用いた栽培環境モニタリングおよび環境制御システムの開発を目的とした。

空調や光源、環境制御のための各種センサ類が必要となる植物工場では、電気代のコスト削減が課題となっている。

そこで本研究では、植物の生理活性状態を植物の生体電位情報から読み取り、その情報に基づいて最適な環境を作ること、各種センサの配置数を削減するとともに、生長効率を上げ、かつ低消費電力下での栽培環境管理を実現することが可能となる。

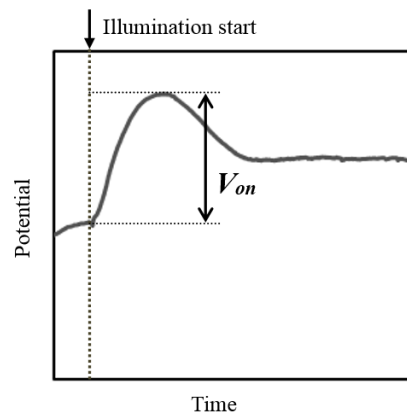


図 1 生体電位応答例と応答値  $V_{on}$  の定義

### 3. 研究の方法

本研究では、栽培期間が短く、栽培効率が良いため、植物工場野菜として一般的に市販されているサラダナなどの葉菜類のほか、気温や日照時間が、生長や花芽形成に影響するため細かい環境管理が必要で、さらに栽培期間が長いことから、植物工場での栽培が進んでいない、トマトやイチゴなどの果菜類を対象植物として選定して研究に用いた。

植物生体電位測定用の電極には、脳波用電極を用い、測定する植物の形状によって皿型あるいは針型電極を使用した。基本的に、植物の葉表面と茎の根元に電極を設置し、電極間の電位差を測定した。

さまざまな照射条件の光源に対する植物の生理活性と生体電位応答との関連を調べるため、光源として単色光 LED を組み合わせた LED 光源パネルを用いた。

本研究ではまず、生理活性と生体電位応答との関連について詳細に調べ、環境制御用フィードバック条件決定のためのデータの蓄積を目的とした実験を行った。

この実験では、植物育成チャンバーと光合成や呼吸による二酸化炭素の増減を計測する  $CO_2$  センサを用い、実験的に植物の光合成活性と生体電位の関係性を評価可能な測定系(図 2)を構築して用いた。本システムの光源は、青、緑、赤、遠赤の LED を含んでおり、照射する波長を組み合わせで照射したときの生体電位応答および  $CO_2$  濃度変化の計測によって、光合成活性と生体電位応答との関連について検討した。

さらに、実際に生体電位応答を用いた環境管理システムとして、マイコンによる光強度制御システムを開発した。図 3 に、マイコンによる光強度制御システムに用いた LED 光源パネルの配置パターンを示す。

従来の研究で、光の照射と遮断時の生体電位応答の振幅が、光合成速度と関連している可能性が報告されていることから、マイコンによる光強度制御システムでは、対象植物に合わせた制御信号を測定し、フィードバック制御を行うための閾値と光源の光強度変更条件について検討を行った。

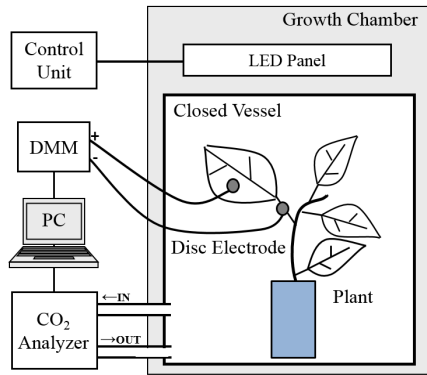


図2 植物生体電位およびCO<sub>2</sub>測定システム

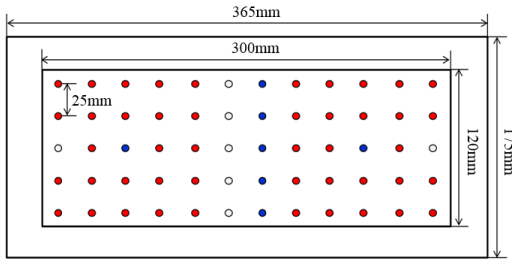


図3 光強度制御システム用光源パネル  
(●: blue, ●: red, ○: white)

#### 4. 研究成果

まず、光源の波長を組み合わせ、植物生体電位応答と光合成活性との関連について検討した実験は、イチゴ(品種: エラン)を対象に行った。イチゴを含む多くの植物は、品種によって最適温度や最適な光波長が異なることが知られていることから、生体電位応答とともにCO<sub>2</sub>濃度変化を測定し、光合成活性に最適な光条件について検討した。

図4, 5に、赤色LEDと青色LEDの光強度の比率を0~100%まで25%ずつ変えて組み合わせさせて照射したときの、生体電位応答の振幅 $V_{on}$ (図4)と、同条件でCO<sub>2</sub>濃度を計測し、光合成速度に換算した値(図5)と光強度比との関係を示す。この結果から、どちらの図も赤100%の時に最も高い値を示し、赤色の比率が下がるにつれて値が小さくなる傾向が見られた。この結果から、今回の対象植物であるエランでは、赤色光のみの照射によって光合成が活性化され、その様子が生体電位応答の計測からも読み取ることが可能であることが示唆された。

次に、生体電位応答を用いた環境制御システムとして、栽培用LED光源の光強度を生体電位応答によって自動制御可能なシステムを構築した。本システムでは、前述の $V_{on}$ とさらにその前に光照射したときの応答 $pre\_V_{on}$ をパラメータ(図6)とし、2つのパラメータの差分から、光阻害によって光合成の活性化が抑制されない範囲で、最も効率の良い光強度に常にコントロールするプログラムとした。

本プログラムを実行した際の生体電位応答、 $V_{on}$ 、光強度の変化を図7に示す。

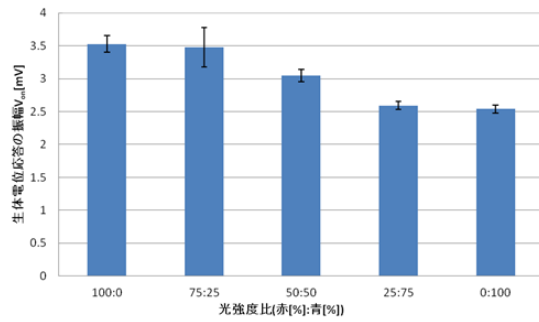


図4 光強度比と生体電位の振幅との関係

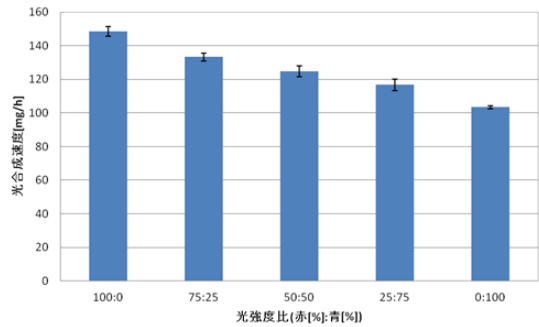


図5 光強度比と光合成速度との関係

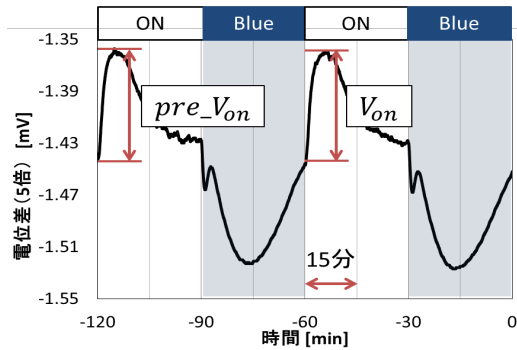


図6 光強度制御に用いるパラメータの定義

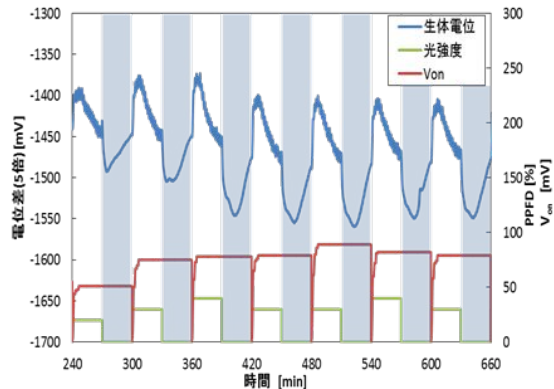


図7 光強度制御システムの実行例

この図のように、 $V_{on}$ の値によって、光強度を強めすぎず、光合成活性を促進する最適な光量への制御を可能としている。また、開発したシステムを用いた場合と、本システムを用いず、単純に30分毎にon, offを繰り返した場合の電力消費量を比較したところ、制

御を行わない場合に比べて約 32%電力消費量を削減することができ、植物工場の普及の妨げとなっている光熱費の削減にも寄与できることが示唆された。

以上の結果から、本研究によって、生体電位応答を用いた環境制御システムの可能性が示され、今後さらに実証実験を重ね、データを蓄積することで、植物工場などの施設栽培における最適な栽培環境を実現する画期的なシステムとして利用可能であることが期待される。

#### <引用文献>

安藤毅,長谷川有貴,内田秀和,谷治環,光合成反応に起因する植物生体電位応答の研究,電気学会論文誌 E, Vol.131, 2011, pp.337-342

柳橋秀幸,松田真人,原田健一,平間淳司,宮本紀男,西堀耕三,大平安夫,光刺激による茸の生体電位反応(第3報)-周囲温度と生体電位との関係-,植物工場学会誌, Vol.15, 2003, pp.94-97

松本拓也,伊藤博通,白居祐希,白石斉聖,宇野雄一,光質がレタス成長と野菜中硝酸イオン濃度に及ぼす影響,植物環境工学, Vol.22, 2010, pp.140-147

#### 5. 主な発表論文等

##### [雑誌論文](計 5 件)

Yuki Hasegawa, Ryuichi Hoshino, Hidekazu Uchida, Development of Cultivation Environment Control System Using Plant Bioelectric Potential, 2015 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications Abstracts, 査読無, 2015, pp. 860-863

Yuki Hasegawa, Ki Ando, Hidekazu Uchida, Analysis of bioelectric potential response of plant, 2014 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications Abstracts, 査読無, 2014, pp. 454-457

Yuki Hasegawa, Genta Yamanaka, Ki Ando, Hidekazu Uchida, Ambient Temperature Effects on Evaluation of Plant Physiological Activity Using Plant Bioelectric Potential, Sensors and Materials, 査読有, Vol. 26, 2014, pp. 461-470

Ki Ando, Yuki Hasegawa, Hidekazu Uchida, Akinori Kanasugi, Analysis of Plant Bioelectric Potential Response to Illumination by Curve Fitting, Sensors and Materials, 査読有, Vol. 26, 2014, pp. 471-482

安藤毅,長谷川有貴,内田秀和,谷治環,光合成過程中の光化学反応と炭素固定反応に起因する植物生体電位応答の研究,電気学会論文誌 E, 査読有, 2012, 132 巻, pp. 159-165

##### [学会発表](計 16 件)

室橋郁也,長谷川有貴,内田秀和,植物生体電位応答による植物育成光源の最適化,平成 28 年電気学会全国大会,2016 年 3 月 18 日,東北大学川内北キャンパス(宮城県・仙台市)

Yuki Hasegawa, Ryuichi Hoshino, Hidekazu Uchida, Development of Cultivation Environment Control System Using Plant Bioelectric Potential, 2015 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, 2015 年 12 月 4 日,香港(中国)

長谷川有貴,星野龍一,高岡明弘,内田秀和,植物生体電位による植物育成光源の自動制御,第 32 回「センサ・マイクロシと応用システム」シンポジウム,2015 年 10 月 28 日,朱鷺メッセ(新潟県・新潟市)

長谷川有貴,内田秀和,シミュレーションによる植物育成用光源の最適化に関する研究,照明学会全国大会,2014 年 9 月 6 日,埼玉大学(埼玉県・さいたま市)

安藤毅,長谷川有貴,金杉昭徳,点滅光照射に対する植物生体電位応答の周波数特性の解析,電気学会 センサマイクロマシン部門総合研究会,2014 年 5 月 28 日,東京大学生産技術研究所(東京都・目黒区)

##### [図書](計 1 件)

長谷川有貴 他 70 名,植物工場生産システムと流通技術の最前線,出版社エヌ・ティ・エス,2013,566 ページ,pp. 113-122

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

長谷川 有貴 (HASEGAWA, Yuki)  
埼玉大学・理工学研究科・准教授  
研究者番号: 9 0 3 4 4 9 5 2