

様 式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

科学研究費助成事業

研究成果報告書



平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：33907

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K18125

研究課題名(和文)植物生体電位応答による知的環境モニタリングシステムと生理活性状態の定量的評価

研究課題名(英文)Environmental monitoring system and evaluation of physiological activity status and using plant bioelectric potential

研究代表者

柴田 慎一(Shin-ichi, Shibata)

大同大学・情報学部・講師

研究者番号：50634309

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、植物内部で発生する環境応答による生育評価を行うための環境モニタリングシステムと生理活性状態の定量的評価の機能となる、以下の成果を得た。(1)植物生体電位応答の累積周波数成分の時系列特性とクロロフィル傾向の減少と相関。(2)主成分分析による前処理を植物生体電位応答の周波数成分に対して行うことで次元削除が可能。(3)観葉植物(ポトス)と作物(イチゴ)による生育評価で平均識別率70%以上の精度。(4)サポートベクターマシンを用いた植物の生育状態の識別評価。(5)植物の生育評価における偏りのあるデータに対する学習方法とパラメータ

研究成果の概要(英文)：In this research, we executed the foundation of research of the environmental monitoring system and evaluation of physiological activity status for plant using plant bioelectric potential. The results are as follows. (1) The correlation between time series characteristics for component of the frequency of the plant bioelectric potential and decreasing chlorophyll fluorescence. (2) The Principal component analysis was effective preprocessing method for machine learning. (3) The average discrimination rate was about more 70% in the experiment result about foliage plant and strawberry. (4) The result was obtained using support vector machine for discrimination of plant condition. (5) The unbalanced training data was used with weighted parameter for subjective class label.

研究分野：制御・システム工学

キーワード：植物生体電位 生育評価 環境モニタリング pH クロロフィル蛍光 機械学習

1. 研究開始当初の背景

近年、農業従事者の高齢化や農業就業者数の減少といった課題を抱える中で、植物工場に代表される施設栽培では、IT/ICTを活用したAI農業やアグリセンシングといった農業分野における情報処理に関する取り組みが注目されている。

植物(栽培作物)にとって最適な環境条件を人工的に制御するためには、種々のセンサから収集された環境情報を活用することが必要となる。

しかし、現状では主に温度、湿度、照度、あるいはCO₂などの栽培地における環境情報を用いて栽培環境の制御を行っているのに過ぎず、各センサが独立してセンシングを行っているだけであり、これまでの施設栽培の現場と同様、温度や照度などの栽培環境の環境変化を目視していることと何ら変わらない。

2. 研究の目的

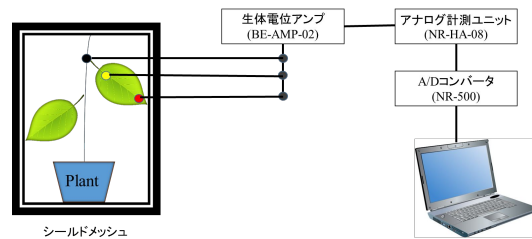
本研究では、最適な生育環境の制御のために『植物の生体情報による環境情報』の取得・評価を目指す。具体的には、植物内部で発生する植物生体電位を用いて<1>知的環境モニタリング、<2>植物生理活性状態の定量的評価を行う。これらの実現により、従来は環境情報のみで行っていた環境制御が、植物内部の生体情報を考慮した環境制御が可能になり、農作物栽培の効率化を実現することが期待される。

本研究で明らかにするのは、植物の生育状況を診断するのに重要な特性や機能の実現である。植物の生育状況に対する診断には生体情報の再現性が重要となるため、本研究課題では各研究目的～を遂行した。植物生体電位の時系列データからの環境推論、pHと植物生体電位の関係、植物生体電位の周波数特性を用いた環境認識に内容について実施した。

3. 研究の方法

本研究では、植物内部で発生する植物生体電位による生育状態の診断手法の確立を試みるために、時々刻々と変化する植物生体電位の交流特性の周波数成分による診断を検討し、診断手法に機械学習による評価モデルを作成する。評価モデルの学習には、植物の光合成の評価指標として用いられるクロロフィル蛍光から生育状態の境界値を設定し、植物生体電位による生育診断を試みる。生体電位の測定は、任意の葉面に対し、心電図モニタ用血電極を貼付して計測した。葉面に2つの電極を取り付け、葉茎を基準電極とした。実験システム図を図1に示す。

研究目的の内容では、植物の生育状態の明確なベンチマークとして光合成阻害作用のある除草剤を散布した植物を対象に研究を進めた。このとき、被験植物には先行研究でも使用されている観葉植物ポトスを用い



ている。一般に、PAM 蛍光法による測定では、健康な植物ではクロロフィル蛍光の値は0.80~0.83程度とされている。

研究目的では、植物の栄養状態の管理において使用されるpH(水素イオン濃度)調整済み培養液栽培下における植物生体電位との関係に関する評価実験を行った。pHは植物の養分濃度と関係があることが知られており、施設栽培において植物の生育環境の制御にも用いられる指標である。通常、pHは5.5~6.5が適正範囲の目安となっている。

本研究では、適正範囲の濃度(pH6.0)から強酸性(pH2.0)・強アルカリ性(pH10.0)と変化させ、各生育環境下における実験を行った。まず、計測した植物生体電位に対して正規化・ハニング窓処理を行い、FFT処理を行った。次に、各50Hzまでの各累積周波数成分を算出し、その各周波数成分を入力データとした。クロロフィル蛍光から設定した2種類の生育状態を学習データとしてラベル付けを行い、汎化性能の高いSVM(サポートベクタマシン)による学習を行った。本実験では、クロロフィル蛍光の値が0.4未満を生育不良、0.4以上を生育良好として解析を行った。使用するカーネルには線形カーネルを用い、leave-one-out cross-validationによる交差検証を行った。

また、研究目的の内容では、学習データの偏りを考慮したモデルの評価ならびに学習データの前処理についても検討を行い、識別精度について検討した。植物生体電位は、測定したデータに対して正規化処理を行った後、FFTによる周波数解析を行った。周波数解析の前処理としてハニング窓関数を使用している。なお、FFTによる解析についてはPCAによる次元削減によるスケーリング処理を行う。累積寄与率が80%以上となる主成分を特徴量として扱った。学習には線形カーネルによる線形識別とRBFカーネルによる非線形識別を確認した。

いずれの研究内容で使用する機械学習のパラメータはデフォルトの値を使用している。

4. 研究成果

主な研究成果は次の通りである。研究目的では、光合成の光阻害の指標となるクロロフィル蛍光をもとに、生育障害時における生体電位の周波数成分に経時的な特徴があることを確認した。図2にクロロフィル傾向を、図3に生体電位を示す。これの結果より、クロロフィル蛍光による学習データの教師ラベルとして使用可能であることが確認でき

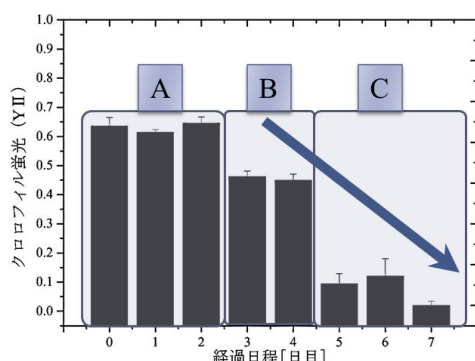


図 2. クロロフィル蛍光の推移 (ポトス)

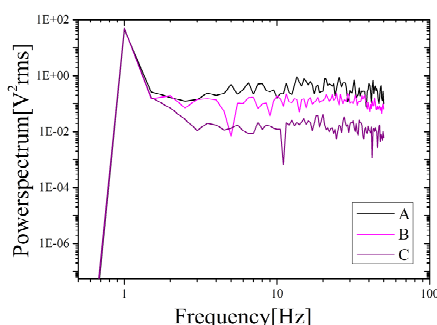


図 3. クロロフィル蛍光 A-C 区間における植物生体電位の周波数スペクトル (ポトス)

表 1. カーネルによる識別結果

	ポトス	イチゴ
線形カーネル	98.6%	81.2%
RBF カーネル	99.0%	86.4%

た。今後は、クロロフィル蛍光の値による生育状態のクラスラベルを設定する。

研究目的 では、ポトスの平均識別結果は 84.2%、小松菜の平均識別結果は 91.6% という結果が得られた。植物生体電を用いて生育状態の診断法を検討することを目的に、施設栽培でも計測制御対象となっている各 pH の生育状態の実験を行った結果、ポトス（観葉植物）、小松菜（作物）といった品種の異なる植物においても、植物生体電位の周波数成分による識別結果はいずれも 80% 以上の平均識別結果を得ることができた。

研究目的 では、線形識別よりも非線形のカーネルを使用した方が良い結果が得られた。その結果を表 1 に示す。今回の学習データの内訳は、ポトスによる実験では、生育良好 (K) は 2385、生育不良 (F) は 25 となっており、イチゴによる実験では生育良好 (K) は 2525、生育不良 (F) は 300 のデータとなっている。いずれの実験においても学習データに生育良好 (K) のデータが多いことがわかる。つまり、各クラスの学習データ

は不均衡データとなっている。また、今回のデータは事例数であるインスタンスの方が素性数よりもはるかに多かったため非線形カーネルを使用した高次元写像が有効だったと考えられる。そのため、線形カーネルよりも RBF カーネルの結果が僅かではあるものの識別率が高くなったと推察される。また、学習にはデータのインスタンス数に対してペナルティを付与することで識別率の僅かな向上も確認した。

以上の成果から、本研究課題では以下の (1) ~ (4) についての成果が確認できた。

- (1) 植物生体電位応答の累積周波数成分の時系列特性とクロロフィル傾向の減少と相関がある。
- (2) 主成分分析による前処理を植物生体電位応答の周波数成分に対して行うことで次元削除が可能である。
- (3) 観葉植物 (ポトス) と作物 (イチゴ) による生育評価で平均識別率 80% 以上の精度が得られた。
- (4) サポートベクターマシンを用いた植物の生育状態の識別評価の精度が高い。
- (5) 植物の生育評価における偏りのあるデータに対する学習方法とパラメータについてはインスタンス数を考慮する。

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 2 件)

柴田慎一, “植物生体電位応答における作物栽培への利活用技術について”, アグリバイオ, Vol.2, No.3, pp.262-265, 2018 (査読なし)。

柴田慎一, “植物生体電位を用いた生理活性状態の評価”, アグリバイオ, Vol.2, No.6, pp.50-53, 2018 (査読なし)。

〔学会発表〕(計 3 件)

柴田慎一, 木村春彦, “植物生体電位を利用した生育状態の推定法に関する検討”, 平成 28 年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, E3-8, 2016-09-13 (査読なし)。

鈴木健人, 村松尚征, 柴田慎一, 木村春彦, “植物生体電位の周波数特性を用いた生育状態の推定法に関する検討”, 電子情報通信学会, 電子情報通信学会総大会講演会論文集 2017 年_情報・システム講演論文集 2 (D-20-9), 144, 2017-03-23 (査読なし)。

青山智明, 加藤毅士, 柴田慎一, “植物生体電位の周波数成分を用いた植物生育診断法の検討”, 電子情報通信学会, 電子情

報通信学会総合大会講演会論文集 2018 年
_情報・システム講演論文集 2(D-20-15),
147 , 2018-03-22 (査読なし).

6 . 研究組織

(1)研究代表者

柴田 慎一 (SHIBATA, Shin-ichi)

大同大学・情報学研究科・講師

研究者番号：16K18125