

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 14 日現在

機関番号：17201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23780248

研究課題名(和文)作物の生体電位を用いた対話型灌漑手法の確立

研究課題名(英文)Development of interactive irrigation water management using crop bioelectrical potential

研究代表者

弓削 こずえ (Yuge, Kozue)

佐賀大学・農学部・准教授

研究者番号：70341287

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、土壤水分環境の変化および水ストレス状態が作物の生体電位に及ぼす影響を評価し、生体電位を指標とした作物との対話型の灌漑手法を確立することを目的とし、高品質の作物生産を志向した水管理技術の高度化を目指す。まず、様々な種類の作物を生育初期から生育中期段階にかけてポット栽培し、生体電位を連続測定した。ポットの土壤水分状態は、湿潤、適正および乾燥状態に管理し、それぞれの条件下で生体電位を測定した。さらには、時系列解析を導入して各条件下の生体電位の変化の特性を抽出した。その結果、作物の生育ステージや土壤水分状態によって変化する生体電位反応の特徴を明確に評価することができた。

研究成果の概要(英文)：The objective of this study is evaluation of the effect of the soil water condition on crop bioelectrical potential. Pot experiments using various crops were conducted under the various water managements and the bioelectrical potential were measured before and after the irrigation. The results of the pot experiments indicated that the bioelectrical potential variations depend on the soil water condition and the irrigation treatment, and changes with the crop growth stages. To clarify the characteristics of the bioelectrical potential variation with the soil water condition and the crop growth stage, wavelet analysis was introduced. The analysis results indicated that the crop growth stage and the irrigation scheme affect on the crop bioelectrical potential. Crop reactions to the change of the soil water condition can be evaluated using the bioelectrical potential, considering the growth stage.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学，農業土木学・農村計画学

キーワード：消費水量 灌漑スケジューリング 土壤水分 蒸発散 水ストレス 作物の環境応答 SPA

### 1. 研究開始当初の背景

世界的に農業用水の水事情が逼迫する中、節水灌漑のニーズが高まっている。畑地灌漑の分野ではいかに消費水量を精度良く評価し、効率的な灌漑計画を策定するかが急務の課題である。さらに、近年では灌漑の効率化のみでなく、収益性の高い高品質の作物生産を実現するような水管理技術の必要性が高まっている。

作物圃場における効率的な灌漑とは、一般に作物の蒸散および土壌面からの蒸発によって土壌中から失われる水分量を求め、その量を無駄なく補う「補給灌漑」と呼ばれる手法が望ましいと考えられてきた。これまでに、研究代表者は様々な栽培方式の作物圃場で精度良く消費水量を求める手法について研究し、灌漑の効率化に資する多くの研究業績を挙げてきた。一連の研究の中で、「効率的な補給灌漑は節水には有効であるものの、必ずしも高品質の作物生産に直結しない」ということを収穫物の品質分析によって確認した。こうした基礎的研究を経て、「節水を目指しつつ、かつ収益性の高い高品質の作物を生産するためには、作物の状態を綿密にモニタリングし、それを指標にして水分供給を行うことが不可欠ではないか？」との着想に至った。

作物を栽培する際に、作物の状態を綿密にモニタリングすることの重要性は植物生理学や環境調節学の分野では古くから知られており、SPA (Speaking Plant Approach) と呼ばれる概念が提唱されている。これは、「植物との対話」と訳されることが多く、作物の状態を科学的にモニタリングするものであり、モニタリング結果を用いて適切な環境調節を行うための重要な概念である。

「作物と対話」するために用いられる指標のひとつに「生体電位」がある。これは、生物のあらゆる生命維持活動に関わる情報伝達の際に発する電気信号である。動物の生体電位は比較的大きく、既に心電図や脳波測定など医療現場で実用化されている。植物も光合成、呼吸および水分吸収などの生命維持活動を行う際に生体電位が生じるが、動物に比較すると微弱である。そのため、これまで精度良くモニタリングすることが難しく、実用には至っていなかったが、近年では生体電位測定のセンサーやスキャナが発達し、生体電位を用いた環境制御技術に関する研究が飛躍的に進んでいる。特に、光合成速度調節を目指して、光環境と生体電位の関係解明については多くの研究論文が発表されている。しかし、作物の生育および品質にとって最も重要な要因のひとつである土壌水分環境が生体電位に及ぼす影響については、ほとんど研究例が見当たらず未だ解明には至っていない。

土壌水分環境や水ストレスが、作物の品質に大きな影響を与えることは既往の研究で報告されており、高品質の作物を生産するにはストレス・コントロール、すなわち水分管理が重要であると考えられている。土壌水分環境は計測機器の発達により、比較的容易に連続観測ができるが、作物の水ストレス状態を連続してモニタリングするような観測機器は今のところ開発されていない。作物の水ストレス状態を継続的に評価しうるような新たな指標が求められており、生体電位はその指標として高い可能性を有すると期待されている。

### 2. 研究の目的

本研究では、土壌水分環境の変化および水分ストレス状態が作物の生体電位に及ぼす影響を評価し、生体電位を指標とした作物との対話型の灌漑手法を確立することを目的とする。最終的には、高品質の作物生産を実現するような水管理技術の高度化を目指したものである。既往の研究で、作物の播種・移植期、生長期および成熟期などの生育ステージごとに作物の生体電位が異なる傾向を示すことが実験的に明らかになっている。また、作物の水分要求状態は生育段階ごとに異なることが知られている。まず、様々な種類の作物を生育初期から生育中期段階にかけてポット栽培し、生体電位を連続測定した。ポットの土壌水分状態は、湿潤、適正および乾燥状態に管理し、それぞれの条件下で生体電位を測定した。さらには、時系列解析を導入して土壌水分状態の変動による生体電位の変化の特性を抽出する。

### 3. 研究の方法

本研究では主に栽培試験を行って生体電位を測定し、生体電位反応に影響を及ぼす外的要因として土壌水分状態のデータを収集する。水ストレスに対して耐性が高い作物(トマトなど)と低い作物(ナスなど)など、様々な作物をワグネルポットで栽培し、作物の生育段階ごとに生体電位を測定した。プロコリーを供試作物として用いた実験の一例を Fig.1 に示している。作物個体は複数用意し、灌漑のタイミングおよび灌漑の量を変えて、それぞれの個体の土壌水分状態を湿潤～乾燥にして生育した。水分環境以外の外的環境の変化の影響を除去するため、作物の栽培は人工気象機内で昼間および夜間の気温、湿度ならびに日照条件をそれぞれ設定した。昼間および夜間の気象条件はそれぞれ一定の条件を与えて実験を行った。ポット内の土壌水分状態は TDR およびテンショメータで連続測定した。生体電位の変化は短時間に頻発するため、スキャン間隔はマイクロ秒単位とした。生体電位の生データは変化が大きいため、その変動傾向を探ることが困難であるため、スペクトル解析あるいはウェーブレット解析などの時系列解析を行い、土壌水分状

態の変化や水ストレスの度合いに対する生体電位反応の変動傾向を抽出した。

#### 4. 研究成果

Fig.2 および Fig.3 は土壤水分状態を湿潤、適正および乾燥の3段階において栽培した生育初期ならびに中期のプロッコリーの生体電位の測定結果をそれぞれ示している。Fig.2 と Fig.3 を比較すると、生育初期段階は生育中期段階より生体電位の変動幅が小さいことが明らかである。

Fig.2 に示した生育初期段階では、土壤水分状態が湿潤の条件下において測定した作物の生体電位は、土壤水分が適正または乾燥条件下のデータよりと比較すると変動が大きい。湿潤条件下で灌漑を行うと、生体電位の変動幅は減少することが示されている。一方、土壤水分が適正または乾燥の条件下においては、灌漑前後で生体電位の変動傾向に大きな差は見られなかった。

Fig.3 に示した生育中期においては、湿潤状態における生体電位の変動はその他の水分状態のデータと比較すると顕著である。灌漑を行った際の生体電位は、土壤水分状態が湿潤および乾燥の条件下では明確な違いが判断できない。土壤水分状態が適正の条件下では、灌漑前の生体電位の変動幅は灌漑後に比較すると大きいことが示された。

Fig.2 および Fig.3 に示したデータを用いてウェーブレット解析を行った。その結果をFig.4~7に示す。

Fig.4 は生育初期段階における作物個体に灌漑を行う前の結果を示している。この図より、卓越周波数帯は土壤水分状態によって変化することが明らかである。Fig.4(a)より、湿潤状態の解析結果は、他の土壤水分状態と比較すると顕著な特徴を有することが明らかである。Fig.5 は、生育初期段階の作物に灌漑を行った後に測定した生体電位の値を用いて行ったウェーブレット解析の結果である。この図と Fig.4 を比較すると、灌漑前後で解析結果が変化しており、卓越周波数帯の強さは灌漑後に小さくなっている。

Fig.6 は、生育中期の灌漑実施前の解析結果を示したものである。湿潤状態と適正状態の結果を比較すると、強さは若干異なっているが、ほぼ同程度の周波数帯が卓越している。乾燥状態の結果においては、他の水分状態における結果と比較すると低い周波数帯に強く特徴が表れている。Fig.7 は生育中期において灌漑を行った後の生体電位反応のウェーブレット解析結果を示している。湿潤状態と適正状態の周波数帯の特徴は似通っている。しかし、Fig.6(a)および(b)の結果と比較すると、灌水前後で周波数帯の特徴に変化が生じていることが明らかである。また、乾燥状態の結果においては、Fig.6(c)と比較するとその特徴が変化しており、より小さな周波数帯が卓越することが示されている。以上より、ウェーブレット解析によって、作物の生育ステ

ージや土壤水分状態に応じて変化する生体電位反応の特徴を明確に評価することができた。



Fig.1 ポット試験の状況

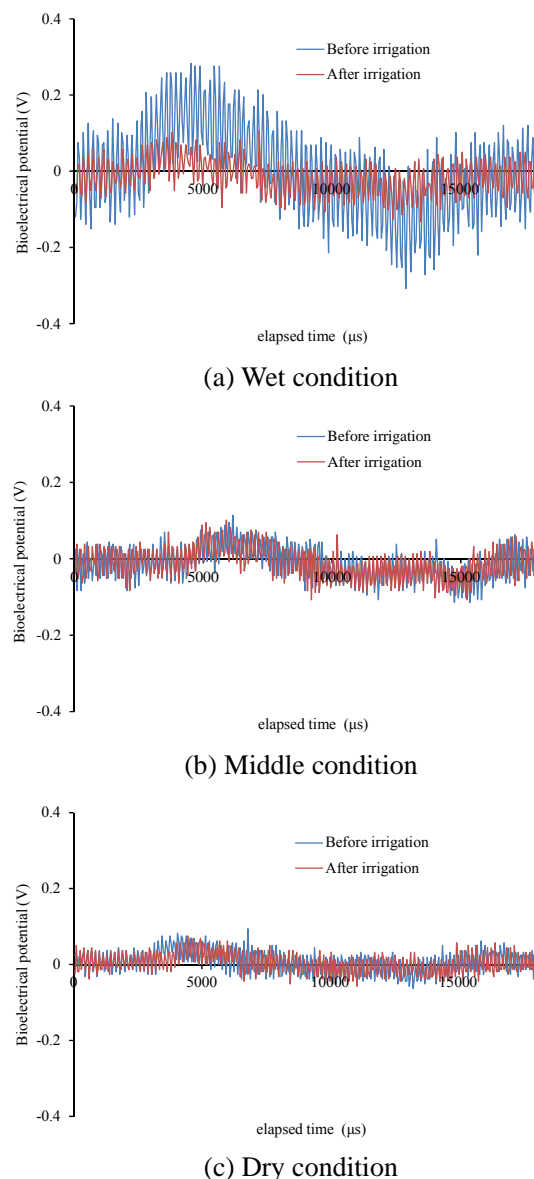
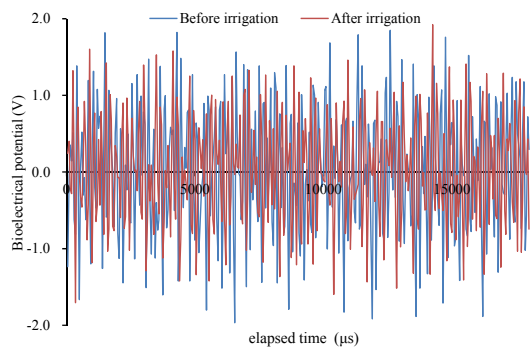
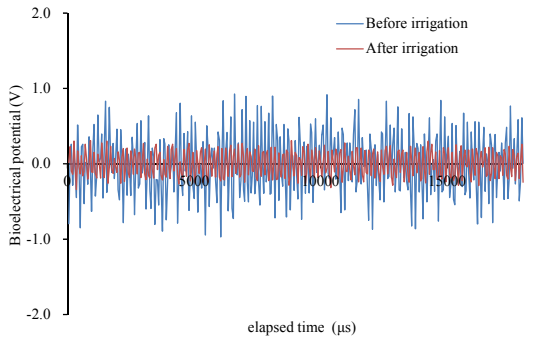


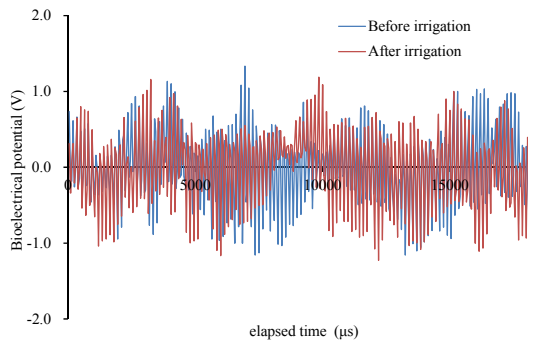
Fig.2 Temporal changes of the bioelectrical potential in the initial growth stage



(a) Wet condition

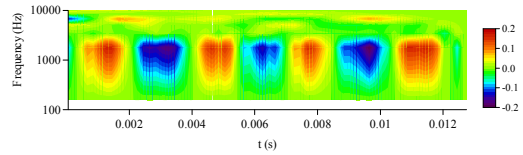


(b) Middle condition

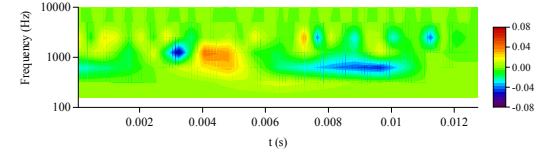


(c) Dry condition

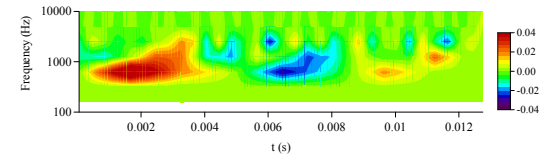
Fig.3 Temporal changes of the bioelectrical potential in the mid growth stage



(a) Wet condition

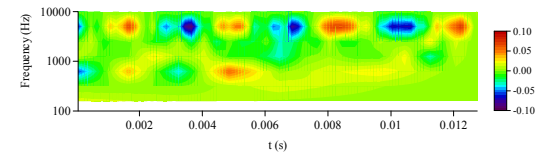


(b) Middle condition

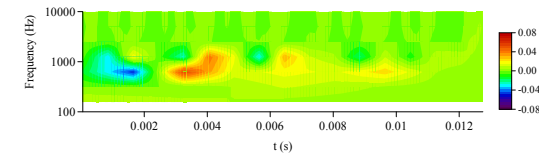


(c) Dry condition

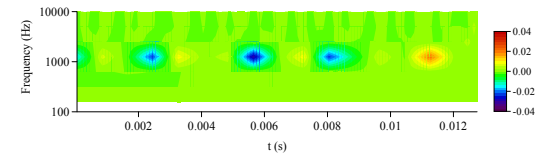
Fig.4 Wavelet conversion chart of the bioelectrical potential in the initial growth stage before the irrigation



(a) Wet condition

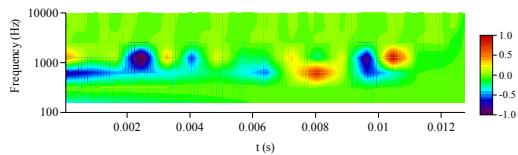


(b) Middle condition

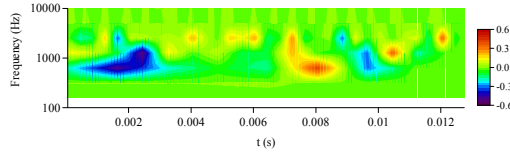


(c) Dry condition

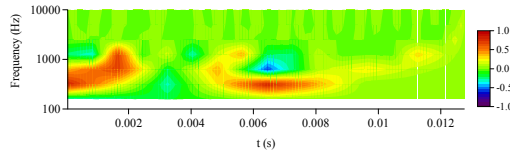
Fig.5 Wavelet conversion chart of the bioelectrical potential in the initial growth stage after the irrigation



(a) Wet condition

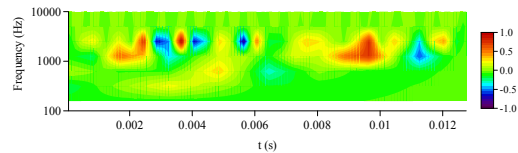


(b) Middle condition

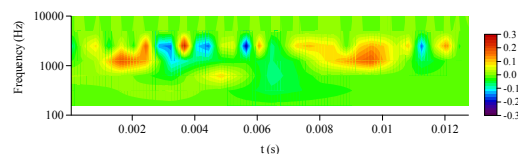


(c) Dry condition

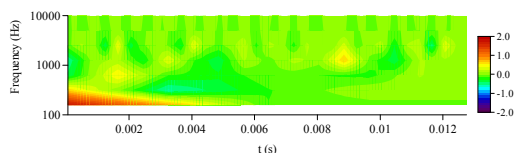
Fig.6 Wavelet conversion chart of the bioelectrical potential in the mid growth stage before the irrigation



(a) Wet condition



(b) Middle condition



(c) Dry condition

Fig.7 Wavelet conversion chart of the bioelectrical potential in the mid growth stage after the irrigation

## 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 10 件)

1. Yuge K., H. Maeda, M. Tanaka, M. Anan, Y. Shinogi: Spatial-uniform application method of methane fermentation digested slurry with irrigation water in the rice paddy field, *Paddy and Water Environment*, 査読有, in press
2. Yuge K., M. Anan, Y. Shinogi: Effects of the micro-scale advection on the soil water movement in micro-irrigated fields, *Irrigation Science*, 査読有, 32, 159-167 (2014)
3. Yuge K., E. Yasunaga, S. Fukuda, W. Spreer, V. Sardud, W. Pattanopo: Evaluation of soil water management difference in mango orchards between Thailand and Japan, *American Journal of Plant Sciences*, 査読有, 4 (1), 182-187 (2013)
4. Fukuda S., W. Spreer, E. Yasunaga, K. Yuge, V. Sardud, J. Müller: Random Forests modelling for the estimation of mango (*Mangifera indica* L. cv. Chok Anan) fruit yields under different irrigation regimes, *Agricultural Water Management*, 査読有, 116, 142-150 (2013)
5. Yuge K., E. Yasunaga, S. Fukuda, W. Spreer, V. Sardud, W. Pattanapo: Evaluation of the effect of the soil water environment in mango fields on the fruit quality, 査読有, *Acta Horticulturae*, 938, 445-451 (2012)
6. Yasunaga E., K. Yuge, S. Fukuda, V. Sardud, W. Spreer, W. Pattanapo : Effect of post-harvest distribution environment on quality deterioration of mango fruits, *Acta Horticulturae*, 査読有, 934, 921-927 (2012)
7. Anan, M., K. Yuge, and Y. Oohira: Evaluation of water intake rate using the diffusive tank model in the low-lying paddy area, 査読有, *Paddy and Water Environment*, 10 (4), 311-319 (2012)
8. Yuge K., K. Shigematsu, M. Anan, Y. Shinogi: Effect of crop root on soil water retentivity and movement, *American Journal of Plant Sciences* 3(12A), 1779-1787 (2012)
9. 弓削こずえ, 山田早桜, 阿南光政, 凌祥之: 風速および土壤水分状態の変化が畑地における土壤飛散量に及ぼす影響評価, *畑地農業*, 査読有, 640, 2-8 (2012)
10. Nomura K., K. Yuge, and Y. Shinogi: Two-Dimensional Analysis of Nitrate Nitrogen Movement under Drip Irrigation, *Journal of Faculty of Agriculture, Kyushu University*, 査読無, 56(2), 389-393 (2011)



〔学会発表〕(計 8 件)

1. Yuge K., M. Anan, Y. Shinogi: Evaluation of effects of soil moisture content and wind condition on wind erosion in bare soil field. 1st CIGR Inter-Regional Conference on Land and Water Challenges, 2013. 09. 12, Bari, Italy
2. Yuge K., J. C. van Dam, J. G. Kroes, M. Anan: Simulation of salt transport and crop yield in a reclaimed area with saline groundwater in Japan. The 5th International Conference; Trends in Agricultural Engineering, 2013. 09. 05, Prague, Czech Republic
3. Yuge K., M. Anan, Y. Shinogi: Evaluation of crop canopy effect on the micro-advective condition and soil water movement in micro-irrigated fields, International Conference of Agricultural Engineering, 2012. 07. 10, Valencia, Spain
4. 弓削こずえ, 阿南光政, 凌祥之: マイクロ灌漑圃場における作物体が小規模移流現象と土壤水分動態に及ぼす影響, 平成 24 年度農業農村工学会大会講演会, 2012. 09. 20, 北海道札幌市
5. 前田浩貴, 弓削こずえ, 田中宗浩, 阿南光政, 凌祥之: 肥培灌漑水田におけるメタン発酵消化液の空間分布と効率的散布手法の検討, 平成 24 年度農業農村工学会大会講演会, 2012. 09. 20, 北海道札幌市
6. 福田信二, Wolfram Spreer, 安永円理子, 弓削こずえ, Vicha Sardud, Joachim Müller: ランダムフォレストを用いたマンゴー果実の収量推定と灌漑管理の影響評価, 平成 24 年度農業農村工学会大会講演会, 2012. 09. 20, 北海道札幌市
7. 弓削こずえ, 阿南光政, 原口智和, 凌祥之: 太陽熱消毒時の施設畑土壌の昇温効果と土壤水分環境, 第 92 回農業農村工学会九州支部講演会, 2011.10.18, 大分県別府市
8. Yuge K., Y.Oohira, M.Anan, Y.Shinogi: Planning of the agricultural land use and water management system for preservation of ecosystem in the rural area, 3rd International Multidisciplinary Conference on Hydrology and Ecology, 2011.05.03, Vienna, Austria

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 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 0 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

弓削 こずえ(Kozue YUGE)

佐賀大学・農学部・准教授

研究者番号：70341287

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし

(4) 研究協力者

濱田 耕佑 (Kosuke HAMADA)

九州大学大学院・生物資源環境科学科・修士課程