

令和 元年 6 月 25 日現在

機関番号：12401

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）

研究期間：2016～2018

課題番号：15KK0228

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（国際共同研究強化）

研究課題名（英文）Development of environmental management and control in plant factory using plant bioelectric potential response (Fostering Joint International Research)

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） 9,100,000円

渡航期間：12ヶ月

研究成果の概要（和文）：本研究では、植物工場における植物生育のための栽培環境管理・制御システムの構築を目的として、作物の生体電位計測および栽培環境測定用ガスセンサの開発、評価を行った。実験では、植物の生長や成熟に関わる植物ホルモンの一つであるエチレン用として開発したSiC-FETガスセンサについて、電極材料や動作温度の最適条件を明らかにし、エチレンガスに対して高い感度が得られることを示した。また、収穫後果実の生体電位応答を測定し、熟度評価の可能性を示唆した。さらに、国際共同研究による成果の実用化に向けた意見交換や、スウェーデンや日本国内の数社との面談を行い、本課題の今後の発展に寄与する体制を強化した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、植物工場などの施設栽培環境を省エネルギーで効率よく制御するシステムの構築を目的として、植物生体電位測定および、植物ホルモンの一つであるエチレンが作物や収穫後果実に与える影響を詳細に観測、管理するための高感度ガスセンサの開発とその評価を行った。生体電位測定によって、環境変化やエチレンガスの導入に対する植物の応答をリアルタイムで捉えるとともに、植物の生理活性に応じて微小に変化するエチレンガスの影響を観測可能なガスセンサの開発に成功したことは、学術的に大きな意義がある。また、今後直面する食糧不足への対策研究として、社会的にも大きな意義がある。

研究成果の概要（英文）：We have aimed to develop a cultivation environment management and control system for plant growing at cultivation facilities such as plant factory. Therefore, we developed and evaluated gas sensors for measuring cultivation environment atmosphere gases and bioelectric potential responses of crops and fruits were measured. In our experiment, we observed that our developed sensor for ethylene gas, which is one of the plant hormones to effect to plant growth and mature, has high sensitivity for ethylene under optimal conditions of electrode material of SiC-FET and operating temperature. We also measured the bioelectrical potential responses and indicated that the measurement will become a useful method for evaluating maturity of post-harvest fruits. In addition, we have discussed with collaborate researchers for practical use of results by our research and interviewed with several companies in Sweden and Japan to strength our system that contributes to the future development.

研究分野：計測工学

キーワード：植物生体電位 環境計測 ガスセンサ 植物ホルモン 植物工場

1. 研究開始当初の背景

世界的な人口増加、農業用地の縮小や異常気象による被害などから、将来的に世界規模での食糧不足となる可能性が示唆され、植物工場などの施設栽培を利用した周年栽培技術に高い関心と期待が寄せられている。植物工場では、農業に不適切な環境、気候や市街地でも作物の栽培を実現することができ、塩害を受けやすい沿岸部や砂漠化の進む地域でも安定した栽培が可能であることや、市街地にあるビルの地下などに設置することで、運搬コストを削減することができるなどメリットが多い。一方で、栽培に関わるすべての環境要因を人工的に管理、制御する必要があることから、導入コストや運用コストが莫大であることが課題となり、より効率かつ低コストな栽培システムの確立が急務となっていた。

効率的で低コストな栽培システムを確立するためには、栽培する植物の状態を正確に、かつリアルタイムで把握し、植物の状態に応じた環境制御が必要である。また、作物の食感や糖度などの品質を向上することで付加価値を上げること重要で、作物をある程度のストレス状態に置くことで品質が向上することも知られているが、ストレスのコントロールも経験則によるものが多く、植物の状態に応じた灌水方法や養液制御、雰囲気ガス制御などのためのセンシングシステムの確立が求められていた。

2. 研究の目的

本国際共同研究では、これまで研究代表者が行ってきた植物生体電位の測定技術による栽培支援システム構築に関する研究と、北欧で進められてきた最先端のセンシング技術を融合することで、省エネルギーで付加価値が高く、かつ低コストで生育状況に適した栽培環境を実現可能とする画期的な栽培支援システムを構築することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、植物工場の環境制御や収穫後果実の保管管理など、施設内における栽培支援のための環境制御システムの構築を目的として、生体電位測定およびガスセンシングによる環境モニタリングを試みた。これまでの研究において、栽培中のさまざまな植物（作物）の生体電位測定を行うとともに、生体電位応答と光合成活性との関係について明らかにしているが、その他の生理活性や、収穫後果実の熟度管理にもこれらの知見を生かすことができると考え、ガスセンサと組み合わせた測定システムを構築し、果実の生育や熟度と密接に関わりのある植物ホルモンの一つであるエチレンガスの影響について検討した。

そのため、実験では、さまざまな可燃性ガスに高い感度を示し、その動作温度や材料によって選択性を付与可能な SiC-FET トランジスタ型ガスセンサを用い、植物の生長や収穫後果実の追熟に影響があることが知られる植物ホルモンの一つであるエチレンガスを測定対象としたガスセンサの開発を試み、最適条件について検討した。また、エチレンガス雰囲気中の植物あるいは収穫後果実の状態を生体電位によってモニタリングし、エチレンガスによる生長への影響や追熟効果と生体電位応答との関連について評価した。

図1に、本研究で用いたエチレンガスセンシングシステムを示す。エチレンガスが生長や成熟に影響を及ぼす最低濃度は、1 ppm 以下とも言われていることから、0.5~2.5 ppm の低濃度範囲と、栽培施設や果実保管庫内にある大量の植物が排出あるいは吸収するエチレン濃度の大きな変化を捉えるため、5~40 ppm の濃度を測定範囲として、標準的な空気と近づけるため、N₂ と O₂ をおよそ 8:2 でガス流路に流し、エチレンガス濃度を窒素ガスの量で調整して開発したガスセンサを設置したセンサチャンバに 100ml/l で流してセンサ応答を観測した。

また、エチレンガスは植物や果物自体からも発生するため、エチレンガスポンベを取り除いた流路とセンサチャンバの間に果物を静置したデシケータを挿入し、そこから発生するエチレンガスの様子を観測するとともに、生体電位との関連についても検討した。

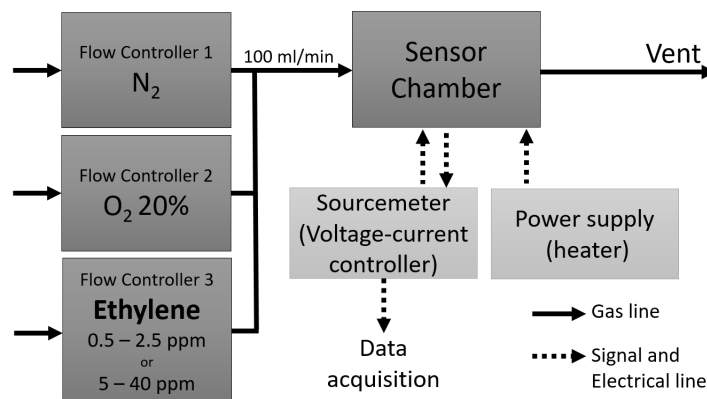


図1 エチレンガス測定システムのガス流路と電気信号系の概略図

4. 研究成果

研究協力者である Anita 教授らとともに、エチレンガスのセンシングに適した SiC-FET トランジスタ型のガスセンサの材料や動作温度について検討した結果、SiC-FET ガスセンサのゲート材料には、白金よりもイリジウムを用いたセンサが適しており、動作温度を 200 としたときに、もっともエチレンガスに対する感度がよいとともに、濃度依存性が得られ、その再現性も高いことが明らかになった（図 2, 3）。

ただし、低濃度範囲における感度は十分得られていないため、ゲート金属材料の変更や動作温度、測定時のガスセンサ周囲の湿度などのパラメータによる影響について、今後も引き続き検討を進める必要があることが課題となった。

また、従来から我々がやっている生体電位応答測定と関連して、有機電気化学トランジスタを用いた生体計測にも着手したが、渡航期間の後半からの取り組みであったこともあり、デバイスの作製や周囲の温湿度モニタリングシステムの構築など、実際の測定に先駆けた実験の準備を主に行うにとどまったものの、作製したデバイスや生体電位応答によって、エチレンガス以外にも果実の熟度や、休眠打破に関連し、傷害ストレスなどによって発生するジャスモン酸など、その他の植物ホルモンに対する生体応答についても検討し、その応答を捉えられる可能性が示唆された。

現在、本研究によって得られた成果の再現性やその他のパラメータとの関連などについて引き続き検討を進めているとともに、国内外の企業を含めた研究グループを立ち上げ、より実用的な活用に向けた協議を進めており、今後も国際共同研究体制を強化、継続して研究、検討を進める予定である。

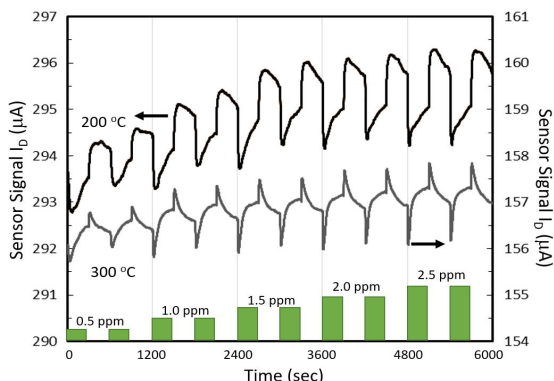


図 2 エチレンガスに対するガスセンサ応答例

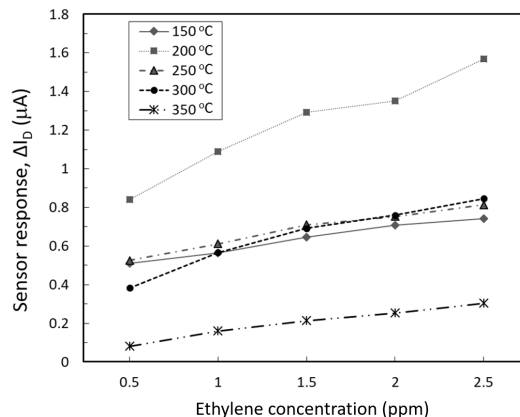


図 3 動作温度による濃度依存性の比較

5. 主な発表論文等

(研究代表者は下線)

[雑誌論文](計 5 件)

Fumiya Murohashi, Hidekazu Uchida, Yuki Hasegawa, Evaluation of photosynthetic activity by bioelectric potential for optimizing wavelength ratio of plant cultivation light, International Journal of Biosensors & Bioelectronics, 査読有 vol. 4, pp. 281-287 (2018)
DOI:10.15406/ijbsbe.2018.04.00141

石田 亮太, 内田 秀和, 長谷川有貴, 庵原 啓司, 小泉 大輔, 植物生体電位を用いた収穫後果実の熟度評価, 電気学会論文誌 E, 査読有, vol. 138, pp.423-429 (2018)

Yuki Hasegawa, Donatella Puglisi, Anita Lloyd Spetz, Development of Agriculture Support System Using Plant Bioelectric Potential Responses and Gas Sensor, International journal of Food and Biosystems Engineering, 査読有, Vol. 5, No. 1, pp. 44-51 (2017)
https://fabe.gr/images/fabe_2017/journal/ifbevol5.pdf

Yuki Hasegawa, Fumiya Murohashi, Hidekazu Uchida, Plant physiological activity sensing by bioelectric potential measurement, Procedia Engineering, Vol. 168, pp. 603-633 (2016)
DOI:10.1016/j.proeng.2016.11.231

〔学会発表〕(計 12 件)

Ryota Ishida, Yuki Hasegawa, Evaluation Ripeness of Postharvest Fruits Using Electric Methods, Asia-Pacific Conference on Engineering and Applied Sciences (APCEAS) 2018 (201812)

佐竹 優志, 内田 秀和, 長谷川 有貴, 植物生体電位と AE 測定を用いた果菜類の水ストレス診断, 第 35 回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム 予稿集, 31pm2-PS-146 (201810)

Yuki Hasegawa, Evaluation of Plant Physiological Activities Using Plant Bioelectric Potential Response for controlling cultivation environment, Abstract of International Conference for Leading and Young Computer Scientists (201802)

Yuki Hasegawa, Fumiya Murohashi, Anita Lloyd SPetz, Donatella Puglisi, Novel Agriculture Support System Using Plant Bioelectric Potential and Gas Sensor Response, Book of Abstracts AMRS, p.152 (201712)

室橋 郁也, 長谷川 有貴, 内田 秀和, 植物生体電位による栽培環境制御に向けたリアルタイム生理活性評価, 第 34 回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム 予稿集, 01pm4-PS-162 (201711)

Yuki Hasegawa, Anita Lloyd Spetz, Donatella Puglisi, Ethylene Gas Sensor for Evaluating Postharvest Ripening of Fruit, Proceedings of 2017 IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics, pp. 159-162 (201710)

Yuki Hasegawa, Ryota Ishida, Donatella Puglisi, Anita Lloyd Spetz, Development of ethylene gas sensor for evaluating fruit ripening, Abstracts of European Advanced Materials Congress 2017, pp. 1-2 (201708)

〔図書〕(計 1 件)

暮らしと人を見守る水センシング技術研究調査委員会監修, シーエムシー出版, 暮らしと人を見守る水センシング, 総 222 ページ, (長谷川有貴, 3.3 節 分担執筆)

〔その他〕

ホームページ等

6 . 研究組織

研究協力者

〔主たる渡航先の主たる海外共同研究者〕

研究協力者氏名：アニータ・ロイド・スペッツ

ローマ字氏名： Anita Lloyd Spetz

所属研究機関名：Linköping University

部局名：応用物理部門

職名：教授

〔その他の研究協力者〕

研究協力者氏名：ドナテッラ・プグリシ

ローマ字氏名：Donatella Puglisi

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。