

平成30年6月10日現在

機関番号：32621

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K14856

研究課題名(和文) マイクロ波刺激を利用した植物の有効育成法に関する研究

研究課題名(英文) Study on Effective Growth Method of Plants Using Microwave Stimulation

研究代表者

堀越 智 (HORIKOSHI, Satoshi)

上智大学・理工学部・准教授

研究者番号：50424784

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：半導体式発振器を有した高精度マイクロ波照射装置を試作した。この装置を用いてシロイヌナズナ(モデル植物)に対するマイクロ波の最適条件を探索した。幼若期、成熟栄養成長期および生殖成長期のシロイヌナズナにマイクロ波を照射した結果、マイクロ波照射は幼若期に照射することが最適であることが分かった。さらに葉緑素やアントシアニンなどの色素量が変化することが分かった。マイクロアレイ分析を駆使して、種々の遺伝子に対する分析を行ったところ、一部の遺伝子がマイクロ波によって活性化されることを突き止めた。マイクロ波における熱的な影響ではなく電磁波としての影響が植物育成に影響していることを明確にした。

研究成果の概要(英文)：A high precision microwave irradiation device having a semiconductor type oscillator was prototyped. Using this apparatus, the optimum condition of microwave for *Arabidopsis thaliana* (model plant) was searched. As a result of irradiating microwaves to immature, mature vegetative and reproductive *Arabidopsis thaliana*, microwave irradiation was found to be most suitable for irradiation in juvenile stage. Furthermore, it was found that the amount of pigment such as chlorophyll and anthocyanin changed. Analysis on various genes by using microarray analysis revealed that some genes are activated by microwaves. It was clarified that the influence as electromagnetic waves influences plant growth rather than thermal influence in microwave.

研究分野：マイクロ波化学

キーワード：マイクロ波 植物育成 遺伝子解析 シロイヌナズナ 電磁波効果

1. 研究開始当初の背景

植物は動物と異なり、自身で自由に移動ができないため、体が環境に適応することで個体数を増やしてきた。すなわち、外部刺激に迅速に応答できる能力を有しており、人類はこの性質を逆手に利用し、環境ストレス応答機構を解明・利用することで有益性の高い植物の育成を行ってきた。申請者らは、電磁波の一種であるマイクロ波の加熱制御研究を行う過程で、温度上昇を伴わない微弱なマイクロ波の短時間照射が植物の生育を著しく促進することを偶然に発見した(図1、特願2015-155184、論文投稿準備中)。本現象は、近年議論されているマイクロ波の加熱以外の特殊効果(非熱的効果)による応答であることを示唆している。本研究では、マイクロ波の微弱照射を植物に対する刺激と捉え、植物の応答を解析・制御することで、様々な植物の育成法開発へと応用する。

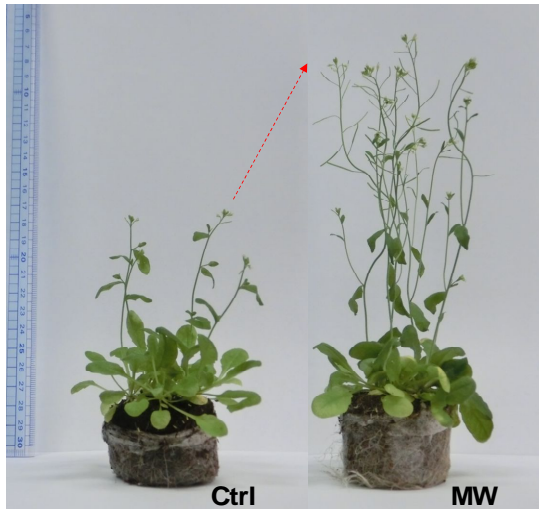


図1 コントロール(Ctrl)とマイクロ波(MW)処理を行ったシロイヌナズナの成長速度の比較

2. 研究の目的

食品加熱などで使用されているマイクロ波を、植物へ短時間微弱照射するだけで、生育が促進することを発見した。本研究ではこの現象を制御し、植物の有効育成プロセスを確立することを目的とする。申請研究の目的：植物の有効育成の最適条件をマイクロ波および植物の観点から明確にする。また、本方式が人類に有用な植物の育成に対しても利用できることを証明する。これを実践するために、マイクロ波刺激装置を試作し、マイクロ波と生育の促進の関係を生育特性の調査および生理学、分子生物学的手法により解明し、最適条件を断定し、本方式の適応可能性および最適化を検討する。

3. 研究の方法

(A) マイクロ波刺激装置の開発：植物に高精度なマイクロ波を照射できる装置を開

発する。具体的には半導体式発振器を使用することで、マイクロ波の条件(周波数、出力、時間、その他)を厳密に制御することを可能とした。また、アプリケーションをシングルモード方式にしたことで、照射されたマイクロ波エネルギーを損失することなく植物へ照射した。このような高精度な装置の試作を行ったため、マイクロ波出力の厳密な調整も必要となり、パワーセンサーを設置した。また、アプリケーションの設計には電磁気解析シミュレーションを駆使し、ある程度の理論解析を行った後、試作を進めた。本技術の基礎は代表者が平成21年度の科研費研究(研究課題番号：21750210)で報告した技術を利用した。また、アプリケーションの特徴は、マイクロ波の構成因子(電場、磁場)を制御することができることを電場センサーで確認した。また、装置にセットした植物の温度管理を厳密に行うため、サーモグラフィーおよび光ファイバー式温度計を併用することでモニターした。

(B) マイクロ波刺激応答の解析と最適条件の断定：(A)で開発した装置を用いて、シロイヌナズナをモデル植物としたマイクロ波の植物の生育に及ぼす影響を以下の項目について検討した。(i)幼若期(発芽後10日以内)、成熟栄養成長期(発芽後2~3週間程度、開花前)および生殖成長期(開花以降)のシロイヌナズナにマイクロ波を照射し、根、葉および生殖器官への影響を調査する。根および葉への影響は根長や葉の直径、生体重、乾物重により評価する。また、生殖器官への影響は種子数により評価した。(ii)上記の異なる生育段階のシロイヌナズナにマイクロ波を照射し、葉緑素やアントシアニンなどの色素、ビタミン等の抗酸化物質の生成量を分析機器により定量し、その含量変動により合成経路の制御を解析した。(iii)異なる生育段階または器官のマイクロ波照射に対する応答を制御するメカニズムを明らかにするため、環境刺激応答性遺伝子およびタンパク質の発現を調査する。上記と同様の異なる生育段階のシロイヌナズナにマイクロ波を照射し、環境刺激により影響を受けやすいことが知られている光合成および呼吸、活性酸素生成、植物ホルモンの制御に関与する遺伝子の発現を調査した。また、他の環境刺激への応答に重要な遺伝子の発現もマイクロ波によって引き起こされるかについて解析し、マイクロ波刺激と他の環境刺激との類似点を明らかにした。

(C) トマトやレタスなどの有用植物を用いた、本技術の確認試験を行った。

4. 研究成果

半導体式発振器を用いた高精度マイクロ波照射装置を試作した。シロイヌナズナ(モデル植物)へマイクロ波の条件(出力や時間など)を変えて照射を行い、その特徴を観察した。この時の植物に対するマイクロ波照射

状況を実験的に観測することは困難であったため、電磁気解析シミュレーションを用いて理論的に可視化を行った。その結果、正確で均一にマイクロ波が植物に照射できることを証明した。また、マイクロ波照射出力に対しては、植物の応答が敏感であるため、パワーセンサーを導入し、0.1W レベルでの制御を行った。

本技術では、マイクロ波における熱的な影響ではなく電磁波としての影響が植物育成に影響していると仮説を立てたため、サーモグラフィや光ファイバー式温度計を用いて正確な温度測定を行うことでこの仮説が正しいことを証明した。さらにヒートショックプロテインの定量を行ったところ、その結果からも同様な結論を得ることができた。また、幼若期（発芽後 10 日以内）、成熟栄養成長期（発芽後 2~3 週間程度、開花前）および生殖成長期（開花以降）のシロイヌナズナにマイクロ波を照射し、根、葉および生殖器官への影響を調査し、マイクロ波照射時期によって大きな変化が現れることを明確にした。特に、最適時期を外してマイクロ波照射を行っても、その効果は少ないことが明確になった。さらに葉緑素やアントシアニンなどの色素を調べたところ、その含有量が変化することが分かった。マイクロアレイ分析を駆使して、種々の遺伝子に対する分析を行ったところ、一部の遺伝子がマイクロ波によって活発化されることを突き止めた。一方、マイクロ波を照射した植物は成長促進以外の様々な、育成にプラスとなる効果も出ることが分かった。例えば、44 の環境条件下で植物を育成しても生存率が 1.5 倍以上向上することが分かった(図 2)。

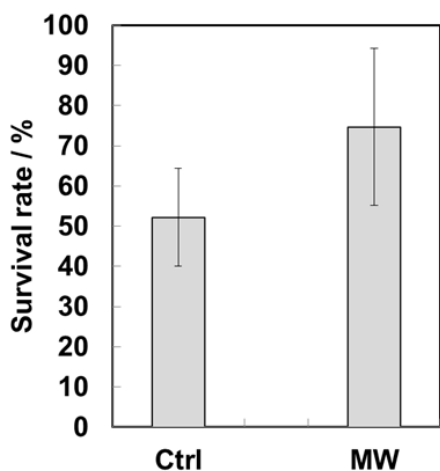


図 2 コントロール(Ctrl)とマイクロ波(MW)処理を行ったシロイヌナズナの 44 環境下における生存率

トマトやレタス、ルッコラなどの実用植物を実践した結果、本技術を用いることで、成長促進効果が観察された。

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)

- 1) 堀越 智、マイクロ波刺激による植物の有効育成、農業電化、査読なし、Vol.70、2017、pp.13 - 16
- 2) 堀越 智、マイクロ波加熱の特徴を生かした化学合成、環境保全、水素エネルギー、植物有効育成、パワー半導体式電子レンジへの研究、鉱山、査読なし、Vol.70、2017、pp.3 - 13

〔学会発表〕(計 3 件)

- 1) 発表者名：S. Horikoshi (依頼講演)
発表表題：Microwave-induced growth acceleration in plants
学会名：3rd Global Congress on Microwave Energy Applications (国際学会)
発表年月日：2016 年 07 月 25 日~2016 年 07 月 29 日
発表場所：Universidad Politecnica de Cartagena (カルタヘナ・スペイン)
- 2) 発表者名：S. Horikoshi (招待講演)
発表表題：Growth stimulation system of plants using microwave irradiation and elucidation of its molecular mechanisms
学会名：IMPI 's 50th Annual Microwave Power Symposium (国際学会)
発表年月日：2016 年 06 月 21 日~2016 年 06 月 23 日
発表場所：オーランド・フロリダ・アメリカ
- 3) 発表者名：長谷川泰彦、鈴木伸洋、浅野麻美子、堀越 智
発表表題：植物に対するマイクロ波の影響とそのメカニズムに関する研究
学会名：第 10 回日本電磁波エネルギー応用学会シンポジウム
発表年月日：2016 年 11 月 25 日~2016 年 11 月 27 日
発表場所：東北大学 (宮城県・仙台市)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 2 件)

- 1) 名称：Vegetable upbringing method
発明者：S. Horikoshi, N. Suzuki, Y. Hasegawa

権利者：Sophia University
種類：国内移行済特許(日本、米国、欧州)
番号：日本国：特許第 6210581 号、
2017.9.22、特許設定登録済、米国：
PLANT CULTIVATION METHOD, 15/888,363,
国内移行日 2018.2.5、欧州：PLANT
CULTIVATION METHOD, 16832842.5, 国内
移行日 2018.2.26
出願年月日：2016.7.26
国内外の別：国外

- 2) 名称：マイクロ波照射による植物の苗の
生産方法及びそれにより得られた苗
発明者：堀越智、鈴木伸洋、長谷川泰彦
権利者：学校法人上智学院
種類：国内移行済特許(日本、米国、欧州)
番号：日 PCT/JP2018/003536
出願年月日：2018.2.2
国内外の別：国内

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://pweb.cc.sophia.ac.jp/horikosi/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

堀越 智 (HORIKOSHI, Satoshi)

上智大学・理工学部・准教授

研究者番号：50424784

(2) 研究分担者

鈴木 伸洋 (SUZUKI, Nobuhiro)

上智大学・理工学部・助教

研究者番号：50735925

浅野 麻実子 (ASANO, Mamiko)

理化学研究所・生命システム研究センター・

研究員

研究者番号：20582133