

種子発芽後の成長に対するマイクロ波の影響 —画像処理によるハウレンソウ種子の成長計測—

井口 裕之[†] 宮坂 寿郎[‡] 小川 雄一[‡] 清水 浩[‡]
中嶋 洋[‡] 大土井 克明[‡] 篠原 真毅^{*} 三谷 友彦^{*}

[†] 京都大学農学部 〒606-8502 京都市左京区北白川追分町

[‡] 京都大学大学院農学研究科 〒606-8502 京都市左京区北白川追分町

^{*} 京都大学生存圏研究所 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄

E-mail: [†] hiroyuki.i@hy8.ecs.kyoto-u.ac.jp,

[‡] {miyasaka, ogawayu, hshimizu, hiron, ohdoi}@kais.kyoto-u.ac.jp, ^{*} {shino, mitani}@rish.kyoto-u.ac.jp

あらまし 2.45[GHz]のマイクロ波が植物の成長に与える影響の有無, ならびにその影響があるとすれば熱的なものか非熱的なものかを検証するための実験を行なった. 生育チャンバ内に水槽を用意し, 20個の発芽床に各50粒のハウレンソウ種子を播種し, 蒸留水により水耕栽培を行なった. 気温を12°C, 20°C, 30°C, 35°Cに設定し, それぞれの温度でマイクロ波の照射無し/有り (0.4~8.1[mW/cm²]) の条件で96時間の栽培を行なった. 30°C以外の条件ではいずれもマイクロ波照射有りの方が生長量が大きい結果となったが, 影響が熱的なか非熱的なかを断定できる結果には至らなかった. しかし電力密度と生長量の相関が極めて低いことから, 非熱的な影響が示唆された.

キーワード マイクロ波, ハウレンソウ, 発芽, 成長計測, 画像処理

Effects of Microwave on Plant Growth after Germination — Measurement of Spinach Seed Growth by Image Processing —

Hiroyuki IGUCHI[†] Juro MIYASAKA[‡] Yuichi OGAWA[‡] Hiroshi SHIMIZU[‡]
Hiroshi NAKASHIMA[‡] Katsuaki OHDOI[‡] Naoki SHINOHARA^{*} and Tomohiko MITANI^{*}

[†] Faculty of Agriculture, Kyoto University Oiwake-cho Kitashirakawa Sakyo, Kyoto, 606-8502 Japan

[‡] Graduate School of Agriculture, Kyoto University Oiwake-cho Kitashirakawa Sakyo, Kyoto, 606-8502 Japan

^{*} Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University Gokasho Uji, Kyoto, 611-0011 Japan

E-mail: [†] hiroyuki.i@hy8.ecs.kyoto-u.ac.jp,

[‡] {miyasaka, ogawayu, hshimizu, hiron, ohdoi}@kais.kyoto-u.ac.jp, ^{*} {shino, mitani}@rish.kyoto-u.ac.jp

Abstract Experiments were conducted to examine the effects of microwave (2.45[GHz]) on plant growth. The experiments were also designed to investigate whether the effects were thermal or non-thermal. Twenty germination beds with 50 spinach seeds each were placed in distilled water in a tank installed in a growth chamber for 96 hours. Atmospheric control temperature was set to 12, 20, 30, and 35 degrees Celsius with or without microwave exposure (0.0, 0.4 to 8.1[mW/cm²]). Results that showed higher growth under microwave exposure were obtained except at 30 degree Celsius. According to the results, conclusions were not obtained which definitely showed the distinction between thermal and non-thermal effects. However, non-thermal effect was suggested by the very low correlation between microwave power density and the amounts of growth.

Keyword Microwave, Spinach, Germination, Growth Measurement, Image Processing

1. はじめに

筆者らは農業用車両へのマイクロ波送電の研究を行ってきたが, 実際に屋外の圃場でマイクロ波を送電する場合には作物へのマイクロ波の影響を検証する必要がある.

過去に生育チャンバ内での発芽実験を行なった際

には, 発芽勢や平均発芽日数に対する影響が観察された[1][2]. また発芽後の根の伸長がマイクロ波照により促進されるという結果も観察された[3]. しかしこれらの実験ではマイクロ波による種子付近の水温の上昇あるいは植物個体内部の温度上昇による影響という可能性も否定できなかった.

マイクロ波の植物に対する影響を議論するためには、その影響が熱的なものか非熱的なものかを検証する必要がある。

2. 目的

マイクロ波照射下での種子発芽後の成長を計測し、その影響が熱的なものか非熱的なものかを調べる。マイクロ波照射が有る場合と無い場合で、温度を変えながら実験を行ない、成長量を計測する。

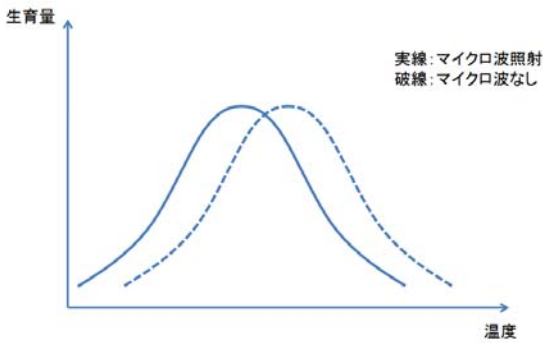


図1 熱的な影響

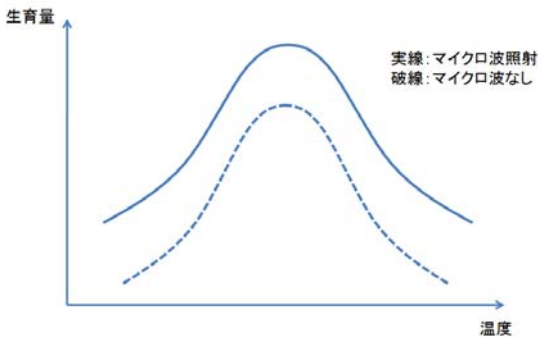


図2 非熱的な影響

図1のような変化が得られれば熱的な影響と考えられ、図2の要なグラフが得られれば非熱的な作用が考えられる(図1と図2の複合した形のグラフが得られることも考えられる)。

3. 実験装置

図3のような装置を準備した。この図3にしたがって装置の説明を行なう。

3.1. 種子および発芽床

発芽床は直径45[mm]、高さ60[mm]の塩ビパイプの上面に18×14メッシュのグラスファイバ製メッシュクロスを使用し、塩ビパイプ側面には水が流れるように穴をあけている。この発芽床を20個用意した。種子はネーキッド処理をしたホウレンソウ「トライ」を使用した。1発芽床あたり50粒の種子を播種した。

3.2. 水槽・生育チャンバ

水槽は560×260×130[mm]のポリプロピレン製コンテナを使用した。発芽床上面と同じ高さまで蒸留水を入れ、実験中はチャンバ外部から給水した。この給水部は水槽の水位がわかるよう透明アクリルパイプを使用した。また給水部に途中で改良を加え、常時給水を行ないオーバーフローにより一定の水位が保たれるようにした。また水流ポンプを設置し、蒸留水を循環させることにより、水槽内の局所的な温度上昇を防いだ。

生育チャンバは高山製作所製人工気象器NS360を使用した。内部の側面および下面にマイクロ波吸収体を設置した。内部の気温は設定温度±1.0℃でコントロールされていた。また水温は(設定温度-0.5)~(設定温度-4.0)℃の値をとり、水温変動は±0.3℃程度の範囲に収まった。図4に播種直後の水槽の写真を示す。

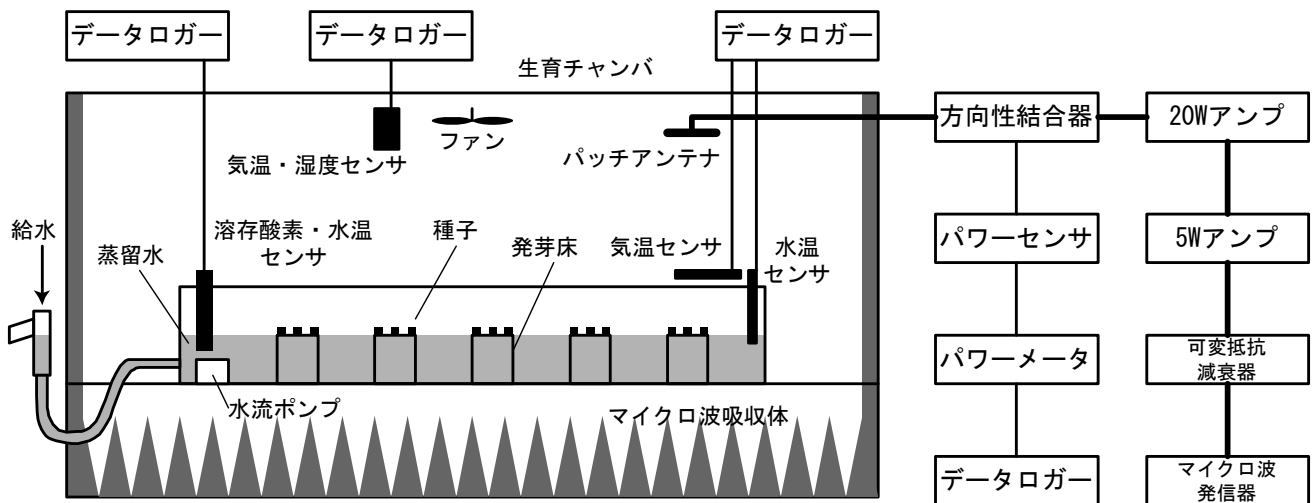


図3 実験装置



図4 播種直後の水槽の様子

3.3. マイクロ波発生装置

発振回路からのマイクロ波出力を可変抵抗減衰器（日本高周波株式会社製 AT-NJ-801）で調節し、5W アンプ（R&K 社製 A250HP-R）、20W アンプ（R&K 社製 A2040-4643-R）により増幅した。この出力を方向性結合器（島田理化工業株式会社製 5D906）を介してチャンバ上面の設置した円パッチアンテナから照射した。

3.4. 計測装置

センサを設置して、水槽の水面付近の温度および水温、チャンバ内上部の気温・湿度、蒸留水の溶存酸素濃度（水温も計測可）を計測した。溶存酸素濃度は、ホウレンソウ種子発芽が溶存酸素濃度に影響されるといふ報告があるため計測した。各温湿度は T&D 株式会社製おんどとり TR-71Ui, TR-72Ui により計測・記録した。また溶存酸素計は佐藤商事株式会社製マルチ水質チェッカー溶存酸素計 DO-17SD を使用して計測と記録を行なった。

またマイクロ波出力は方向性結合器を介してパワーセンサ（Hewlett Packard 社製 8481B）、パワーメータ（Agilent Technologies 社製 E4419B）により計測し、データロガーに記録した。

実験後の個体は Canon 製スキャナ Canoscan8200F により 15～20 個体ずつスキャンし、ビットマップ画像として保存した。得られた画像を C 言語により Microsoft Visual Studio 2010 にて作成したソフトウェアを用いて、成長量を計測した。

4. 実験方法・実験条件

水槽内に 20 個の発芽床を置く位置を決め、それぞれの位置でのマイクロ波の電力密度を計測した。

各発芽床にホウレンソウ種子を 50 粒ずつ播種したものを用意した。水槽に蒸留水を注水しチャンバの温度を設定して気温および水温が安定するまで数時間放置した。その後 20 個の発芽床を決められた位置に設置し、種子が水に浸るくらいの水位に調節した。マイクロ波照射ありの条件の場合にはマイクロ波を出力し、

96 時間放置した。

改良前の給水部では適宜水位を確認し給水を行なった。改良後は自動的に水位が一定に保たれるように給水量を調節した。しかし改良前の給水部では水位が 1～2[mm]下がっていることが観察された。

実験条件をまとめたものを表 1 に示す。

表 1 実験条件

使用品種	ホウレンソウ「トライ」
種子数（1 回分）	1000 粒
1 発芽床の種子数	50 粒
発芽床の数	20 個
実験期間	96 時間
チャンバ設定温度	12℃, 20℃, 30℃, 35℃
光条件	暗黒条件
溶液	蒸留水
マイクロ波電力密度	0.0, 0.4～8.1[mW/cm ²]

実験終了後に得られた発芽後の個体（未発芽ものも含む）はスキャナによりスキャンしビットマップ画像として保存した。スキャンの解像度は 1200[dpi]とした。これらの画像から C 言語による自作ソフトを使用して周囲長、面積、仮想体積（周囲長と面積から計算）を求めた。

5. 結果と考察

5.1. 温度と平均面積、平均周囲長の関係

マイクロ波照射あり／なしの条件下での 4 種の設定温度での個体の平均面積、平均周囲長を図 5 および図 6 に示す。

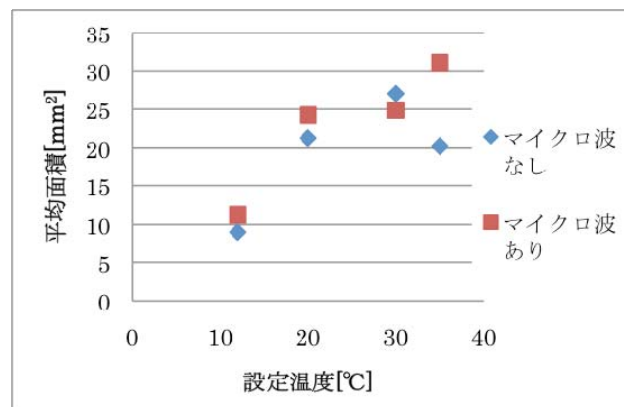


図 5 温度別の個体平均面積

設定温度 10℃, 20℃, 35℃ではいずれもマイクロ波照射ありのほうが大きな成長量を示している。しかし 30℃では逆にマイクロ波照射がないほうが大きな生長量を示した。グラフの傾向から 30℃もしくは 35℃の時の実験が異常値を示している可能性も考えられる。

それぞれの温度におけるマイクロ波照射あり／なしの分散分析を行なったところ、30℃の平均面積の場合を除き、5%の危険水準で有意差が認められた。また発芽床ごとの温度と平均面積、平均周囲長の関係につ

いても図 5, 図 6 と同じような傾向を示した。

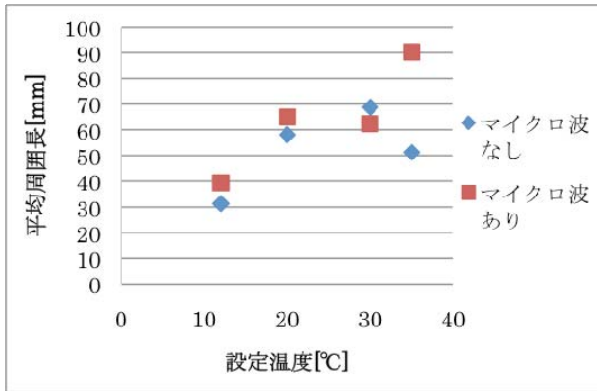
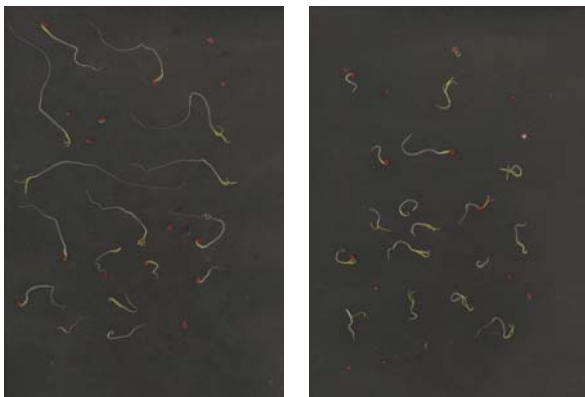


図 6 温度別の個体平均周囲長

これらの結果から図 1 あるいは図 2 のようなグラフは得られず, さらに実験を行なって行く必要がある。

35°C のマイクロ波照射ありの結果は照射なしに比べて非常に大きな差を示している。それぞれのスキャン画像を図 7 に示す。



(a)マイクロ波照射あり (b)マイクロ波照射なし

図 7 設定温度 35°C の個体のスキャン画像例

5.2. 電力密度と成長量の関係

各実験区 (発芽床) の電力密度と成長量の関係を示したのが図 8 と図 9 である。マイクロ波照射ありの条件では電力密度と成長量の間には相関が見られなかった。ただしマイクロ波照射なしとの間には差が見られる (特に 35°C のとき)。

このことからマイクロ波の影響があるとすれば, それは電力密度にあまり依存していないため, 非熱的な作用であることが示唆されると考える。

6. 結言

マイクロ波の影響が熱的なものか非熱的なものかを示す結果は得られなかったが, 実験の不備による可能性もあり, 今後さらに実験を行なう必要がある。

35°C でマイクロ波照射ありの実験では過去の実験 [3] と同様に著しい根の伸長が観察された。

また電力密度と成長量の間には相関は見られず, この点からマイクロ波の影響があるとすれば非熱的なもの

のである可能性が示唆された。

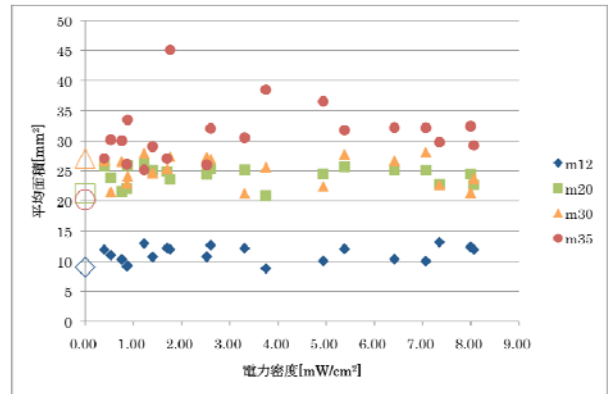


図 8 各実験区の電力密度と平均面積

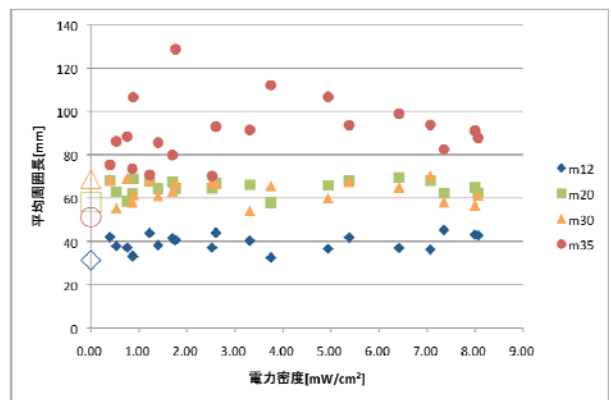


図 9 各実験区の電力密度と平均周囲長

文 献

- [1] 松井康則, “マイクロ波の植物種子発芽への影響について”, 京都大学農学部地域環境工学科卒業論文, 2002.
- [2] 大西晋嗣, “マイクロ波送受電の際の植物種子発芽への影響”, 京都大学大学院農学研究科地域環境科学専攻修士論文, 2003.
- [3] 齋藤英也, “2.45GHz マイクロ波が植物の成長に与える影響について—発芽促進, 根の伸長促進, 葉緑素合成促進の可能性—”, 電子情報通信学会技術研究報告, SPS2006-16(2007-03), 2007.
- [4] M. Tafforeau, M. Verdu, V. Norris, G. J. White, M. Cole, M. Demarty, M. Thellier, and C. Ripoll, "Plant Sensitivity to Low Intensity 105 GHz Electromagnetic Radiation", Bioelectromagnetics Vol. 25(6), pp.403-407, 2004.
- [5] Yi-Ping CHEN, Yong-Jun LIU, Xun-Ling WANG, Zhao-Yu REN and Ming YUE, "Effect of Microwave and He-Ne Laser on Enzyme Activity and Biophoton Emission of *Isatis indigotica* Fort", Journal of Integrative Plant Biology, Vol.47(7), pp.849-855, 2005.
- [6] A. Vian, D. Roux, S. Girard, P. Bonnet, F. Paladian, E. Davies, and G. Ledoigt, "Microwave Irradiation Affects Gene Expression in Plants", Plant Signaling & Behavior, Vol.1(1), pp.67-70, March/April 2006.
- [7] C. Pedrajas, J. Contrino, "Nonthermal Effect of Microwave Irradiation on Nitrite Uptake in *Chlamydomonas reinhardtii*.", Journal of Biological Physics, Vol.17(1), pp.51-56, 1989.