

屋内水耕栽培による根菜の生育に及ぼす気泡とマイクロジェットの影響*

Effect of Bubbling Jet on Growth of Root Vegetables in Indoor Hydroponics

森 きよみ Kiyomi MORI**

平林 大樹 Daiki HIRABAYASHI***

岡田 武仁 Takehito OKADA***

Abstract

In recent years, plant factories with indoor hydroponics come to attract attention with the development of low cost LED lamps. In addition, the fact of low food self-sufficiency rate in Japan makes it important to develop of plant cultivation technology for a stable food supply based on the engineering knowledge and conception. In this study, water remediation technologies utilizing the micro-bubbles and micro jet are applied to cultivate root vegetables in hydroponics. We aim to develop the automated indoor type of food production system with fully controlled environments. In this paper, we represent the results of the effect of dissolved oxygen on growth of root vegetables.

Keywords: 屋内型植物工場, 水耕栽培, 根菜, バブルジェット

1. 緒言

2011年の東日本大震災と原子力発電所の事故,あるいは異常気象現象の影響を受け,安心・安全な食料の確保および食品のトレーサビリティに対する要求が高まっている。食糧自給率の低い我が国においては,現在までに培ってきた工学の知識と技術を背景に,安定した食糧確保のための植物栽培技術の開発は,最も重要な課題であると考えられる。国内のみならず,気候変動により地球全体で屋外農場が生産不良になることも危惧されている昨今,宇宙ステーション等における食糧生産のための完全閉鎖型植物工場は,将来益々期待されることになると思われる。

そこで,本研究においては,特に,人間のエネルギー源となる根菜類およびイモ類の生産用として,完全閉鎖型小型植物プラントの開発を目的とし,まず,水の浄化技術として注目されているマイクロジェットとマイクロバブルを水耕栽培に適用し,水温および溶存酸素を最適な状態に制御し,完全自動化による食料生産の実現を目指す。

2. 資源循環型植物工場の提案

本研究では,収穫物を食料として人間のエネルギー源とすることを念頭に,イモ類と根菜類を人工的な培地と栽培システムにより,屋内完全制御型植物プラントにより安定生産するための基礎的研究を行っている。本研究で提案する資源循環型の屋内型植物工場の概念を図1に示す。将来的には,得られた収穫物をバイオマス燃料として利用し,エネルギーを循環させることも視野に入れている。

3. 屋内型水耕栽培における影響因子

照明光に関しては,葉菜類の生育に光量子束密度 $200\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 程度の光強度が必要とされている¹⁾。また,波長の違いで植物の生育状況が異なり,光合成のアンテナ色素である

クロロフィルは,可視スペクトル中の480nm以下(青色光)と550~700nm(赤色光)の波長領域の光を吸収する。青色光は細胞内のエネルギーレベルを第2励起状態まで上げることができ,赤色光はエネルギーレベルが低いために第1励起状態までしか上がらない²⁾。

イモ類,根菜類の屋内栽培については,照明光の影響について詳細な研究成果が報告されていないが,本研究では,葉菜類の栽培に多く用いられている3波長蛍光灯および近年開発された植物栽培用蛍光灯の2種類を光源として用いた。使

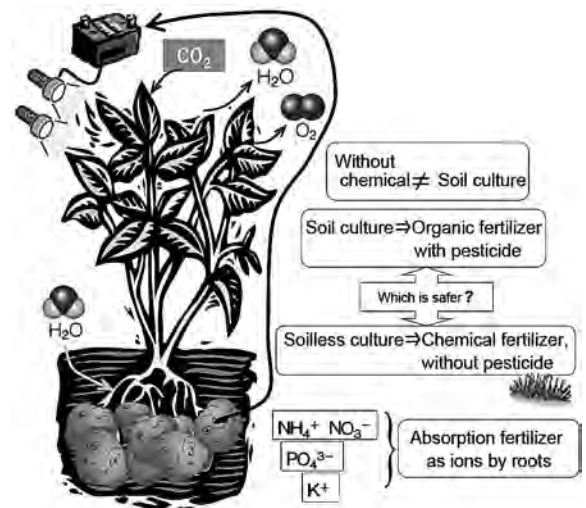


図1 提案している資源循環型植物工場の概念図

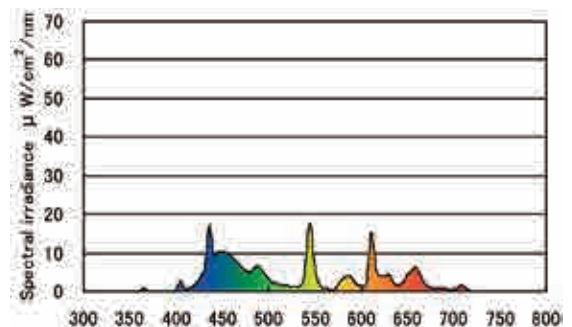


図2 植物栽培用蛍光灯の光源のスペクトル

* 原稿受付 平成28年4月 日
実験力学, Vol.13, No.4, pp.366-371 (2013)
** 工学部機械システム工学科
*** 工学部機械システム工学科 平成24年度卒業生

用した植物栽培用蛍光灯について、光源から300mmの距離におけるスペクトルを図2に示す。植物栽培用蛍光灯は、直管40Wを用い、その光は植物に必要な青色と赤色の波長域の照度を大きくし、光合成には必要ないといわれている緑色の波長域を低く抑えたスペクトルとなっている。

植物は一般に、生長に必要なエネルギーを光エネルギーと空気中の二酸化炭素 CO_2 から光合成により得ている。さらに、植物体を形成するタンパク質は、根から吸収した水とイオン化した肥料から合成している。このとき、根から吸収した水を分解して得られた酸素が、葉から放出される。水耕栽培においては、根が水の中にあるために水を吸収しやすい環境であるが、 O_2 は水中から取り込まなければならない。従って、肥料溶液(養液)の溶存酸素量および根が養液から養分イオンと O_2 を効率よく取り込むための水環境が重要となる。そこで、気泡発生装置を導入し、水槽内の水の浄化と溶存酸素量が、水耕栽培植物の生長に及ぼす影響について検討した。

4. 栽培実験

4.1 溶存酸素量に対するマイクロバブルの影響

自作の栽培装置を用いて根菜およびイモ類の培地を用いた養液栽培を実施した。図3に本研究で用いた水耕栽培装置を

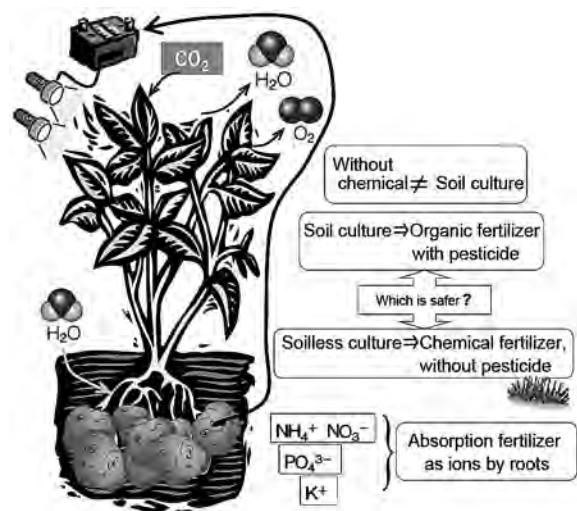


図3 マイクロバブル発生装置付き栽培装置の概略図

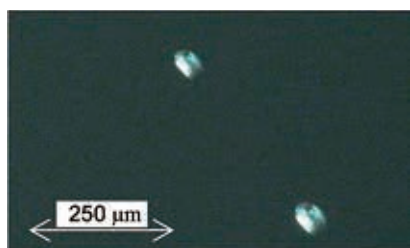


図5 微小気泡の顕微鏡写真

示す。さらに、自作のマイクロバブル発生器を図4に示す。気泡導入のために使用した養液循環用ポンプは、流量 $2.8 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ 、最大消費電力34Wのものを用い、自作したバブル発生器により、流量が $1 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ の空気を吸入させた。水槽内に発生した微小気泡の顕微鏡画像を図5に示す。水中に30秒以上停留した気泡10個の直径を、デジタルマイクロスコープにより測定した結果、平均気泡径は約 $40 \mu\text{m}$ であった。さらに、溶存酸素の測定結果を図6に示す。飽和溶存酸素量は温度によって異なるが、 23°C から 30°C のいずれの場合にも、気泡発生装置の導入により溶存酸素量が増加した。

サンチュの栽培結果から、充分成長したサンチュの養液中の溶存酸素量は、気泡無しの同じ温度における水道水の酸素量よりもかなり低い値となっており、生長により酸素を消費したことが確認できた。従って、生長に伴って減少した溶存酸素を、マイクロバブルを導入することにより補うことができれば、生長の向上が充分期待できる。およそ1ヶ月後に収穫したサンチュの葉は、気泡有りの場合には気泡無しの場合よりも厚みがあり、葉脈も太く、目視では色がわずかに濃くなっていたが、この栽培実験では葉の長さや幅には顕著な差は見られなかった。試食した結果、気泡を入れて栽培した葉は、気泡無しで栽培した葉よりも歯ごたえがあった。現在、収穫部の定量的な寸法測定については準備を進めている。

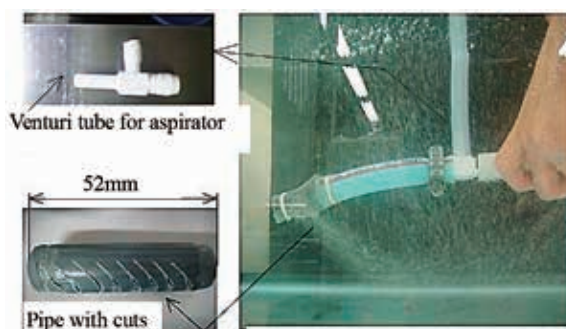


図4 マイクロバブル発生器

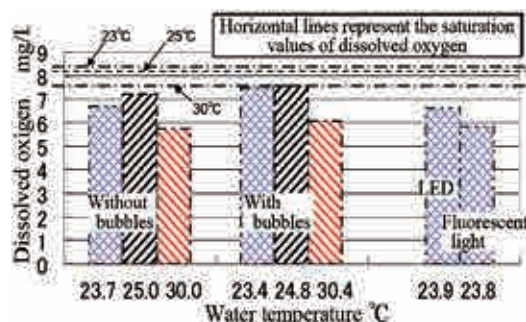


図6 養液中の溶存酸素量に及ぼす気泡の影響

4.2 根菜類とジャガイモの栽培

ジャガイモの栽培実験には図3と同じ栽培装置を用いた。照明には、3波長蛍光灯68Wを使用した。照明時間は、毎日朝5時から夜9時までの16時間とした。不織布を敷いたかごの中に培地としてハイドロコーンを入れ、その中に種イモを埋めた。水はポンプで循環させ、吐出口に自作の気泡発生器を取り付けた。種イモが芽を出してから約2か月半で、小型・少量ながら1株に5個程度の新イモを収穫することができた。栽培実験の結果から、気泡を積極的に導入することにより、マイクロバブルほど微小な気泡ではない場合にも、水の浄化あるいは菌の発生を抑制する効果が十分みとめられた。なお、培地を使わずに、水耕液のみでジャガイモを栽培した場合には、水上の葉および茎は大きく生長したが、新イモの生長はみられなかった。

5. 結 言

本研究により、以下の結論を得た。

- (1) 葉菜類および果菜類においては、水耕栽培の水槽にマイクロバブルを導入することにより、根の健全な生長と葉部の生長に効果があることを確認できた。
- (2) ジャガイモの固形培地耕においては、気泡発生器を水中に設置した結果、わずかではあるが溶存酸素量の増加があ

り、さらに水耕液の腐敗が抑えられ、根の生長も顕著であった。

この結果から、マイクロバブルほど微小気泡ではない場合にも、気泡による水耕液の浄化の効果があることが確認できた。

謝 辞

本研究の一部は拓殖大学理工学総合研究所 平成24年度および25年度共同研究助成の支援により行ったことをここに記し、関係各位に謝意を表します。また、溶存酸素量の測定方法等、本研究を遂行するに当たり、貴重なご助言をいただきました拓殖大学工学部 松永直樹教授に感謝の意を表します。さらに、流量測定にご協力いただきました光明理化学工業株式会社 特機部 小林康晃氏に謝意を表します。

参考文献

- 1) Takatsuji, M.: Kanzen Seigyogata Syokubutukoujyou (in Japanese), Ohmsha (2007), 49.
- 2) Sadava, D., Heller, C., Orians, G. D., Purves, W. K. and Hillis, D. M. (Translated to Japanese by Ishizaki Y. and Maruyama K. from Life 8th): Cell Biology, Blue Backs B-1672, Koudansha (2010), 264-283.