

ホウレンソウの吊り下げ寒締め加工に関わる空調エネルギーの解析

Analysis of the air conditioning energy in regard of low-temperature treatment of a hanging spinach

学生会員 ○村上拓杜（北見工大） 正会員 小原伸哉（北見工大）

Takuto MURAKAMI*¹ Shin'ya OBARA*¹

*¹ Kitami Institute of Technology

Development of a plant factory at aims control of supply stability and employment cost has a problem of the running cost and facilities expense. Therefore, these studies are concerned with reduction of the running cost of the plant factory, and are aimed at reduction of air-conditioning energy. The low-temperature treatment of a spinach by a plant factory does not have an example in the past. The increase in sugar and vitamin by the low-temperature treatment of a spinach is known well. Cooling of a root area and hanging cultivation are assumed in this study, the reduction of about 50% energy consumption was clarified by our numerical analysis to the traditional air-conditioning method.

はじめに

本研究は、通年でホウレンソウの寒締め栽培が行える省エネルギーな植物工場の冷却システムの開発を目的とし、新たな寒締め方法による空調エネルギーの削減効果について調査する。植物工場のエネルギー消費の削減方法として、室内全体を冷却する方法（以下「全体冷却」と述べる）ではなく、根域のみを冷却する方法（以下「局所冷却」と述べる）がある。ホウレンソウの周囲が寒締めに適さない高温でも、根域の温度が4～8℃の低温条件であれば、寒締め栽培を行えるという報告がある[1]。本稿では、ホウレンソウの根を冷却した際の温度変化を Dassault Systemes SolidWorks Corporation の SOLIDWORKS 2015 x64 Edition を用いて解析する。

植物工場の栽培方式は、水耕栽培、噴霧耕などが主流である。噴霧耕とは、植物の根を空中に垂らし、溶液を根に直接噴霧する栽培方式であり、他の水耕栽培に比べて使用する水量が抑えられる。また、植物の葉を下向きに吊るした状態で栽培を行う吊り下げ栽培についても提案する。この栽培方法では、重力により葉の広がりを抑えることができ、通常の栽培方式に比べて、栽培面積を少なくすることができる。本稿では、噴霧耕及び吊り下げ栽培について、局所冷却と全体冷却を行った場合の温度変化を解析し、冷却エネルギー(ホウレンソウを寒締めするために必要な投入冷熱量)を計算して比較をする。

1. ホウレンソウの寒締め加工

1.1 提案するシステムの概要

図-1 は、提案する霧により根域を局所冷却する植物工場のシステム構成図である。このシステムでは、ホウレン

ソウの寒締め栽培を想定する。寒締め栽培は、野菜やを収穫前に低温条件で栽培することで、糖度などを上昇できる方法[2]である。寒締め可能な温度（4～8℃）にするため、ホウレンソウの根域に5℃の霧を噴出して冷却する。

1.2 解析条件

図-2 の (a), (b) は、図-1 の提案システムを簡略化して、ホウレンソウ 1 株当たりの温度解析をするモデルである。局所冷却では、各解析モデルの根域部分の左側側面から5℃の霧を噴出させて、噴出面の反対側から流出させる。全体冷却では、ホウレンソウ全体の左側側面から5℃の霧を噴出させ噴出面の反対側から流出させる。噴霧耕に使われる霧の比熱を 1012.84 J/(kg・K)、熱伝導率を 0.0252 W/(m・K)、密度を 0.025 kg/m³ とする[3]。式

(1) は、供給冷熱量の式であり、左辺は供給冷熱量 P [kWh]、右辺は比熱 c [J/(kg・K)]、密度 ρ [kg/m³]、流量 Q [m³/h]、温度差 ΔT [K] である。式 (1) に、噴霧の物性値を代入することで、噴霧耕及び吊り下げ栽培によってホウレンソウを寒締めする際に必要な投入冷熱量を計算する。表-1 に、噴霧により5分間、局所冷却と全体冷却を行った際の投入冷熱量を示す。この時の初期固体温度及び環境温度は 20℃ とする。

寒締めホウレンソウは、収穫に適したサイズ（草丈 200 mm 前後）のホウレンソウを低温環境で栽培する方法[2] であるため、草丈 200 mm とする。また、吊り下げ栽培モデルでは葉の広がりが抑えられることから、噴霧耕の葉の株径より直径を 100 mm 抑える。根の長さは 150 mm とする。ホウレンソウの物性値は表 2 に示す。

光源は、株式会社アイテックシステム社製の LED 照明

(幅・奥行 450 mm, 厚さ 30 mm, 消費電力 37.8 W) を基準として, ホウレンソウの株径に合わせて幅・奥行, 消費電力を変更する. 容器は光源から葉の上部までの距離は 10 mm, 容器は断熱材, 培地の厚さは 10 mm とする.

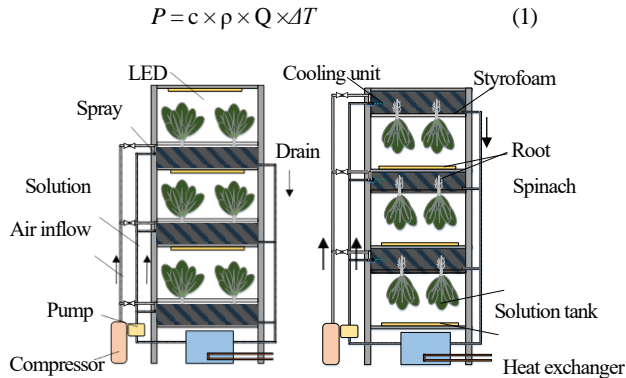


図-1 提案する植物工場のモデル

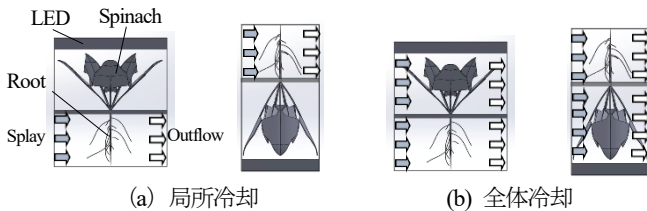


図-2 解析モデル

表-1 投入冷熱量

	噴霧耕	吊り下げ栽培
局所冷却	0.553 kWh	0.369 kWh
全体冷却	1.187 kWh	0.899 kWh

表-2 ホウレンソウの物性値

水分	92 %
密度	918.16 kg/m ³
比熱	3851 J / (kg · K)
熱伝導率	0.5917 W / (m · K)

2. 解析結果

図-3, 4 及び表-3, 4 に噴霧耕と吊り下げ栽培に噴霧を 5 分間噴出した時の解析結果を示す. 全体冷却よりも局所冷却の方がホウレンソウの根の平均温度は若干 (0.4℃前後) 上昇することが判明した. しかし, 両システムともに根の平均温度が寒締め効果のある 6℃付近となるため, 局所冷却による寒締め栽培が可能である. また, 表-1 より, 局所冷却の方が全体冷却よりも投入冷熱量を 55%程度削減することができる. また, 噴霧耕と吊り下げ栽培を比較した場合では, 吊り下げ栽培の方が投入冷熱量を約 33%削減できる. さらに表-4 より, 根の平均温度差が 0.24℃と小さいことに加え, 吊り下げ栽培の方がホウレンソウの 1 株当たりの栽培面積が小さく, より多くのホウレンソウを栽培することが可能である. 以上のことか

ら, 噴霧耕に代わって, 吊り下げ栽培を用いた局所冷却によるホウレンソウの寒締め栽培を行うことで, エネルギー消費抑えつつ, 多くのホウレンソウを寒締めすることが可能である.



図-3 噴霧耕における解析結果

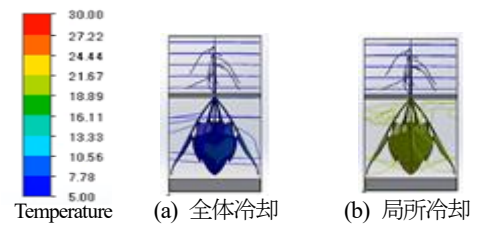


図-4 吊り下げ栽培における解析結果

表-3 全体冷却におけるホウレンソウの温度変化

	噴霧耕	吊り下げ栽培
葉の平均温度	7.67℃	7.67℃
根の平均温度	5.74℃	6.00℃

表-4 局所冷却におけるホウレンソウの温度変化

	噴霧耕	吊り下げ栽培
葉の平均温度	20.28℃	20.35℃
根の平均温度	6.19℃	6.43℃

3. まとめ

本稿では, 植物工場におけるエネルギー削減案として栽培容器の根域部分のみを局所冷却をした場合の温度変化の解析を行った. 噴霧耕と吊り下げ栽培の 2 パターンを用いて解析を行ったところ, 両システムともに寒締め効果のある 6℃付近となった. 局所冷却は全体冷却に比べ, 投入冷熱量が約 50%抑えられるため, 植物工場における寒締め栽培は, 局所冷却を用いる事でエネルギー消費を削減することが可能である. また, 吊り下げ栽培は噴霧耕に比べて, 投入冷熱量が約 33%少なく, よりエネルギー消費を抑えられることが明らかになった.

参考文献

- 1) 独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構 東北農業研究センター地域基盤研究部 連携研究第 2 チーム 農業気象研究室 2004
- 2) 旭川市農業センター, 旭川市における寒締めホウレンソウの年内どり栽培マニュアル, pp.6-7, (2014).
- 3) スプレーイングシステムスジャパン合同会社
<https://www.spray.co.jp/spray_nozzles/jp_humidify_nozzles.aspx>