

オホーツク野菜の栽培に必要な光エネルギー量の見積もりとエネルギー変換効率 Estimation of the amount of light energy required for vegetable cultivation of Okhotsk, and energy conversion efficiency

学生会員 ◦依藤 涼太 (北見工大) 正会員 小原伸哉 (北見工大)

Ryota YORIFUJI*¹ Snin`ya OBARA *¹

*¹ Kitami Institute of Technology

Sunlight is used because usual plant is grown by a bare ground. In this case, the plant absorption spectrum is restricted, energy of the limited wavelength band in sunlight is used. Therefore, the energy efficiency of this system is very small. In this study, the spectrum of sunlight and LED for plant cultivation is compared, and the amount of input energies to plant cultivation is clarified. Next time, the difference in the energy conversion efficiency of the LED for plant cultivation and sunlight is investigated from the relation between calorific value of the biomass of cultivated plants, and the amount of light energies required for cultivation.

はじめに

近年、農業就業人口の減少や、後継者不足による高齢化が問題となっている[1]。そこで、安定して栽培ができる植物工場が注目されている。通常植物は、太陽光による露地栽培が行われるが、植物が吸収するスペクトルは限られており、太陽光の限られた波長バンドのエネルギーしか利用されておらず、エネルギー効率は大変小さいことがわかっている[2]。そのため、露地栽培では植物の生育に寄与しないエネルギーが供給されている。一方で、植物工場で使用される植物栽培用LEDは、通常のLEDと異なり植物の生育に有効なスペクトルに限定して放射されている。そこで、本研究では太陽光と植物栽培用LEDのスペクトルを比較することで投入エネルギー量を明らかにする。次に、栽培植物のバイオマスの発熱量と、栽培に要した光エネルギー量から、植物栽培用LEDと太陽光を用いた際のエネルギー変換効率の差を調査する。上で述べた結果を植物工場のエネルギー効率の上昇に役立てることが、本研究の目的である。

1. 植物栽培用 LED を用いた栽培実験

植物栽培用 LED を用いた際の、植物の栽培日数と収穫重量を調査するために栽培を行う。栽培植物は、オホーツク地方に植生を持つモロヘイヤ、ハッカ、水菜、小松菜、チンゲン菜、及び春菊の6種類とする。植物の栽培は暗室で行い栽培方法は水耕栽培とする。また、各植物の栽培時の設定温度は20°C一定である。ただし、ハッカについては種での販売がないため苗から栽培する。1日のLEDの照射時間は植物の明暗周期よりモロヘイヤとハッカは16時間、他4種は12時間とする。また各植物の収穫条件

は実際の出荷を想定して、モロヘイヤは草丈が60cm以上、ハッカは開花始め、水菜と小松菜は草丈が20~25cm、チンゲン菜は草丈が10~20cm、及び春菊は草丈が15~20cmとした。条件を満たしたときの栽培日数と収穫重量は、収穫条件を満たしたときの栽培日数と重量は、モロヘイヤが53日で18.3g、ハッカが60日で96.9g、水菜が32日で27.3g、小松菜が35日で35.6g、チンゲン菜が35日で23.8g、春菊が53日で43.8gとなった。

2. 発熱量測定

2.1 測定方法

発熱量の測定には Rigaku 製 DSC8230 を用いた。測定条件は、昇温速度を15°C/min、加温範囲を室温~600°Cとし、測定雰囲気は空気、基準物質はアルミナ粉末を用いた。基準物質は測定試料との温度差を測定する目的で用いる。試料は乾燥後に粉砕して、各植物5.2mgとした。また、植物ごとに3回測定を行う。

2.2 測定結果

図-1にハッカの測定結果を示す。図に示すように、時間経過に伴い2つの発熱ピークが出現した。1つ目のピークは19分に出現し、2つ目のピークは28分に出現している。植物が燃焼した場合、250°Cを超えると発熱を伴う炭化が始まる。更に温度が上昇すると、最終的に炭が灰となる。従って、1つ目のピークを経て炭が形成され、2つ目のピークを経て灰になっていると考えられる。2つ目のピーク面積は生成した炭素の熱量と考えられる。よって本稿では1つ目のピーク面積を植物の発熱量とする。

各植物の発熱量の実験結果は、モロヘイヤが1524J/g、ハッカが1583J/g、水菜が981J/g、小松菜が655J/g、チンゲン菜が514J/g、春菊は970J/gとなった。

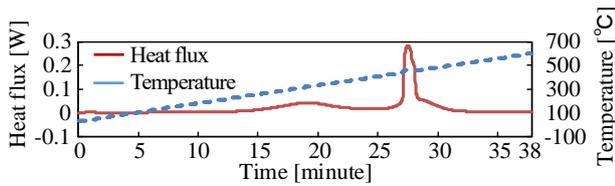


図-1 ハッカの発熱量

3. 栽培における光エネルギー

植物の栽培での太陽光と植物栽培用 LED の波長分布から、各光源の光エネルギー量を調査する。波長分布の測定には日本医化器機製作所製のライトアナライザ LA-105 を用いた。測定範囲は植物の生育に有効な 380 nm~780 nm とした。図-2 に太陽光と植物栽培用 LED の測定結果を示す。図より太陽光は 520 W/m²、植物栽培用 LED は 114 W/m² となった。つまり、植物栽培用 LED を用いることで、太陽光の約 20% の光エネルギーで栽培ができることが知れた。また、図に示すように、太陽光では波長が 450 nm を超えると放射強度が比較的一様に分布しているが、植物栽培用 LED は特定の箇所にピークが表れる。これは、光合成にはクロロフィルが関わっており、450 nm 近辺と 660 nm 近辺の波長帯で、大きな光吸収が生じるためである[3]。したがって、太陽光には植物の生育に寄与しないエネルギーが多く含まれていることが分かる。つまり、植物栽培用 LED を用いると、太陽光に比べて高いエネルギー効率で栽培できる。

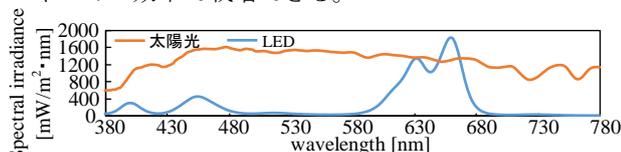


図-2 太陽光と植物栽培用 LED の波長分布

4. 植物のエネルギー変換効率

4.1 計算方法

バイオマスと栽培に必要な光エネルギー量からエネルギー変換効率を求める。植物の発熱量は、測定した発熱量、収穫重量、及び 1m² 当たりの栽培株数から計算する。1m² 当たりの栽培株数は、各植物の栽培面積よりモロヘイヤとハッカが 16 株、水菜、小松菜、及び春菊が 100 株、チンゲン菜が 400 株となる。また、栽培に必要な光エネルギーは 3 章で求めた光エネルギー量と各植物の栽培日数から求める。計算結果を表-1 に示す。

表-1 各植物の発熱量と栽培に必要な光エネルギー

Cultivation plant	Calorific value [MJ/m ²]	Light energy required for cultivation [MJ/ m ²]	
		Sun light	LED for plant cultivation
Corchorus olitorius	0.4	1190.0	260.0
Japanese mint	2.5	1347.2	294.2
Potherb mustard	2.7	718.5	156.9
Japanese mustard spinach	2.3	785.8	171.7
Bok choy	4.9	785.8	171.7
Crown daisy	4.2	1190.0	260.0

4.2 計算結果

式(1)は、エネルギー変換効率の式である。 η_b [%] はエネルギー変換効率、 Q_c [MJ/m²] は栽培植物の 1 m² 当たりの発熱量である。また、 Q_s [MJ/m²] は 1 m² 当たりの栽培に必要な太陽光の光エネルギー量である。植物栽培用 LED の場合は、式(2)を用いる。式(2)の Q_l [MJ/m²] は 1 m² 当たりの栽培に必要な植物栽培用 LED の光エネルギー量である。計算結果を表-2 に示す。表より、植物栽培用 LED を用いることで、太陽光に比べエネルギー変換効率が約 4.6 倍上昇することが分かった。これは、3 章で求めた光源の光エネルギー量の差に起因する。よって、植物栽培用 LED を用いることで、植物により効率的にエネルギーを供給できることが分かった。また、植物工場の多くは栽培棚を多段にしており、露地栽培より少ないスペースで栽培ができる。ただし、光の波長帯によって植物の生育は変わるため(450 nm 近辺の波長帯は葉の成長を促し、660 nm 近辺の波長帯は茎の成長を促進する[4])、人工光型の植物工場の場合は、成長に合わせた光波長を供給する必要がある。

$$\eta_b = Q_c / Q_s \quad (1)$$

$$\eta_b = Q_c / Q_l \quad (2)$$

表-2 各植物の太陽光と植物栽培用 LED のエネルギー変換効率

Cultivation plant	Energy conversion efficiency η_b [%]	
	Sun light	LED for plant cultivation
Corchorus olitorius	0.04	0.17
Japanese mint	0.18	0.83
Potherb mustard	0.37	1.71
Japanese mustard spinach	0.30	1.36
Bok choy	0.62	2.85
Crown daisy	0.36	1.63

6. まとめ

本稿では、太陽光と植物栽培用 LED の投入エネルギー量の差を明らかにした。また、植物の発熱量と、栽培に必要な光エネルギー量から、栽培植物のエネルギー変換効率を調査した。その結果、植物栽培用 LED を用いることで、太陽光の約 20% の光エネルギーで植物を栽培することができ、エネルギー変換効率は太陽光に比べて約 4.6 倍上昇し、植物を効率的に栽培できることがわかった。

参考文献

- 1) 農林水産省, 農林水産省 平成 23 年度 食料・農業・農村白書 第 3 節(2)農業就業者の動向, pp217-218, 2011
- 2) 依藤涼太, 小原伸哉, エネルギー効率から考察したオホーツク野菜による寒冷地植物工場の採算性, 2019 年, 空気調和・衛生工学会北海道支部学術講演会論文集
- 3) 文部科学省, 第 2 章 豊かなくらしに寄与する光 2 光と植物 - 植物工 - <https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushin/attach/1333537.htm>
- 4) Gioia D. Massa, Hyeon-Hye Kim, Raymond M. Wheeler, and A. Mitchell, "Plant Productivity in Response to LED Lighting," <<https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/43/7/article-p1951.xml>>