LED の温度上昇が光合成有効光量子束に及ぼす影響 および送風による除熱の試み

田中逸夫・石井征亜

岐阜大学農学部 501-1193 岐阜市柳戸 1-1

Effect of Temperature Rise in LED on Photosynthetic Photon Flux and an Attempt of Heat Removal by Ventilation

Itsuo TANAKA and Yukitsugu ISHII

Faculty of Agriculture, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu 501-1193, Japan

Abstract

Recently, LED is being used as a light source for the cultivation of plants. However, the temperature rise of LED due to heat generation reduces the photosynthetic photon flux (PPF) of LED. Therefore, it is important to develop a method for heat removal. We report the effects of temperature rise in LED and heat removal by passing air either to the LED lamps or to the space between two circuit boards on PPF.

We found that the PPF of LED is reduced by more than 30% in half an hour after lighting under the condition without heat removal. Thus, the method of heat removal attempted in this study seems to be effective for small scale light sources.

Keywords : LED, reduction of PPF, temperature rise, method of heat removal

緒 言

最近、各種発光ダイオード(LED)の開発や高光束化が進み、LEDを用いた植物栽培の研究¹⁻³⁾や実用化に向けての検討も行われ、LEDを用いた植物育成装置も販売されている。植物栽培用のLEDの種類や特徴については、高辻⁴⁾に詳細に述べてあるのでここでは割愛するが、実用化を促進する上での課題として、LEDの大幅なコストダウンと一層の高光束化が挙げられている。さらに、LEDは発光素子での発熱に伴う温度上昇によって出力が低下するため、除熱法の検討も必要となっている。そこで、本研究では、LED点灯後の光合成有効光量子束(PPF)と温度の経時変化を計測するとともに、送風による除熱を試みたので報告する。

材料および方法

使用したパネルLEDの概要をFig.1に示した。このパネルLEDは、プリント基板上の145mm×145mmの範囲に24×24個のLEDが使用されており、一列毎に赤色、青色および緑色LEDが交互に配列されている。なお、全てのLEDを点灯した場合(駆動電流20mA)、パネル下20cmの位置での点灯直後のPPFDは、Fig.2に示した●、▲、■印の位置における測定点で各々196, 205, 198 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\text{s})$ である。また、赤色、青色、緑色LEDをそれぞれ単独で点灯した場合のPPFの割合は、0.68:0.29:0.03である。実験にはこのパネルLEDを6枚組み合わせ、縦465mm×横310mmの大きさにしたものをを用いた。Fig.2に温度およびPPFDの測定点を示した。計測は、縦方向に配置した3枚のパネルのそれぞれ中央において行った。なお、LEDの発光素子の温度を直接測るのは困難なので、LEDの近く

2000年2月24日受付

2000年6月21日受理

Fig. 1 Tested panel-LED.

Fig. 2 Measuring points of air temperature and PPFD, and locations of ventilation (A: ventilation to the space between circuit boards, B: ventilation to LED lamps).

の気温を計測した。計測には熱電対および光量子センサー(LI-190 SB, Li-cor 社)を用い、データロガー(DL 1200, NEC 三栄(株))で記録した。実験は、10°C に保たれた暗室内で行った。光源下の周囲は開放した状態とした。LED の温度と出力の関係を調べる実験では、全ての LED を点灯した直後から 2 分間隔で計測を行い、それらの経時変化を調べた。送風による除熱の効果を調べる実験は、吹き出し口長さ 300 mm のクロスフローファン(MF 930 B-BC, オリエンタルモーター(株))を用い、吹き出し口幅を 10 mm に調節して行った。風速は印加電圧を可変抵抗器で調節して設定した。送風箇所は、Fig. 2 に示したプリント基板間(A)およびランプ(B)とした。この実験での計測は、定常状態に達するまで行った。なお、パネル LED は、水平に設置される場合と垂直に設置される場合があるので、両方の場合について上記の二つの実験を行った。ただし、パネルを垂直に設置した実験では、下部から送風した。

結果 および 考察

1. パネル LED を水平に設置した場合

Fig. 3 に LED 点灯後の各測定点の PPFD(ただし、

Fig. 3 Changes of PPFD and air temperatures after lighting in the case of the panel-LED set horizontally. Data points(●, ▲, ■) in this figure relate to the values measured at the identical positions shown in Fig. 2.

点灯直後の PPFD の値に対する相対値)と LED 付近および基板間の気温の経時変化を示した。図中のプロットマークは、Fig. 2 の上部に示した同一マークの位置での値を表している(以下の図においても同様)。PPFD および温度は指数関数的な変化を示し、28 分後の PPFD の値は点灯時の 7 割以下にまで減少している。特に中央のパネル LED 下における値は 6 割にまで減少している。この時の LED 付近の気温は 60°C 以上にも達しており、中央のパネル LED の場合には、自然対流による除熱が少ないため、90°C を越えている。LED の発光素子の温度はこれらの値以上になっていることは容易に推測され、したがって、その温度に対応して出力の低下が起きていると考えられる。2 枚のプリント基板間の気温は、LED 固定用のプリント基板(エポキシ樹脂製、厚さ 1.7 mm)を熱伝導で伝わる熱に加え、LED の電極につながるリード線を伝わる熱の影響を強く受け、LED 付近の気温より若干低めで推移しているが、測定位置による相

違はあまり見られない。

Fig. 4 に LED への直接の送風が PPF および LED 付近の気温へ及ぼす影響を示した。ただし、風速 0 m/s の場合の値は Fig. 3 に示した 28 分後の値である。風上側の位置では、5 m/s の風速で温度は約 13°C にまで低下し、出力は約 95 パーセントにまで回復している。しかし、それよりも風下側の位置では、10 m/s 以上の送風でも温度低下は十分ではなく、出力も 90 パーセントにまでしか回復していないことがわかる。Fig. 5 にプリント基板間への送風が出力および LED 付近の気温へ及ぼす影響を示した。Fig. 4 に示した結果とほぼ同じ結果が得られているが、当然のことながら、LED への直接の送風の場合より気温は若干高く、それに対応して出力も若干低くなっている。栽培装置の光源として設置された LED への直接の送風は、他の栽培環境に影響を与えるので現実的ではないことを勘案すると、プリント基板間への送風は有効な除熱法であると言える。

2. パネル LED を垂直に設置した場合

Fig. 6 に LED 点灯後の各測定点の PPFD の相対値と LED 付近およびプリント基板間の気温の経時変化を示した。PPFD および温度は、水平に設置した場合と同

Fig. 4 The effect of wind speed in ventilation to LED lamps on PPF and air temperature in the vicinity of LED lamps when the panel-LED is set horizontally. Data points(●, ▲, ■) in this figure relate to the values measured at the identical positions shown in Fig. 2.

Fig. 5 The effect of wind speed in ventilation to the space between circuit boards on PPFD and air temperature in the vicinity of LED lamps when the panel-LED is set horizontally. Data points(●, ▲, ■) in this figure relate to the values measured at the identical positions shown in Fig. 2.

様に、指数関数的な変化を示すが、これらの値の経時変化は水平に設置した場合より小さい。特に下部(●印)および中央部(▲印)では、28分後の PPFD の値は Fig. 3 の場合より約 10 パーセント大きく、また温度については 15~20°C 低くなっている。これは、パネルを垂直にすることにより自然対流が強まる⁵⁾ことに起因している。他方、プリント基板間の温度は、空気が下部から上部へ一方向に流れることに伴って上部ほど高温となる。その結果、低温空気の入り口に近い下部の温度は、水平に設置した場合の Fig. 3 の結果に比べて約 20°C 低くなっているが、出口に近い上部の温度は逆に約 12°C 上昇している。Fig. 7 にプリント基板間への送風が測定点の PPFD および LED 付近の気温に及ぼす影響を示した。10 m/s の風速で送風すれば、いずれの測定点の PPFD の相対値も約 90 パーセントにまで回復しているが、それ以上の風速では PPF も気温もほとんど変化がないこともわかる。

Fig. 6 Changes of PPFD and air temperatures after lighting when the panel-LED is set vertically. Data points (●, ▲, ■) in this figure relate to the values measured at the identical positions shown in Fig. 2.

Fig. 7 The effect of wind speed in ventilation to the space between circuit boards on PPFD and air temperature in the vicinity of LED lamps when the panel-LED is set vertically. Data points (●, ▲, ■) in this figure relate to the values measured at the identical positions shown in Fig. 2.

除熱法の開発が必要であると思われる。

おわりに

今回行った実験結果から、供試した LED の PPF は、発光素子の発熱による温度上昇に伴って、短時間で 30 パーセント以上の低下が生じることが明らかとなった。また、10°C の空気をプリント基板間に送風することによって、PPF の低下を 90 パーセントに抑えることが可能であった。しかし、パネル(栽培)面積が大きくなると送風のみでは PPF の低下を十分に抑えることは不可能であると思われる。現在、栽培用のパネル LED は三菱化学(株)をはじめとして実用化されつつあるが、パネルの構造やプリント基板の材質等の検討も含めた効率的な

引用文献

- 1) 辻 貴之, 関 善範, 星 岳彦, 高辻正基: 可視発光ダイオードによる植物栽培実験, 植物工場学会誌, 9(3): 163-165(1995)
- 2) 高辻正基, 釜谷慎太郎, 榎本岳夫: LED 栽培における光周期の効果, 植物工場学会誌, 8(2): 119-121(1996)
- 3) 森 康裕, 高辻正基: LED と LD 光がサラダナ生育に及ぼす影響, 植物工場学会誌, 11(1): 46-49(1999)
- 4) 高辻正基: 植物工場の基礎と実際, 裳華房, pp. 1-164(1996)
- 5) Holman, J. P.: Heat transfer, McGraw-Hill Kogakusha, pp. 1-530(1976)