

LED を利用した イチゴの電照マニュアル



(さまざまな波長の LED による電照の状況)

平成25年10月

農業総合試験場



はじめに

本県は、ガラス温室設置面積が全国一である施設園芸の先進県です。

現在、施設園芸の電照は白熱灯が使われていますが、白熱灯はエネルギー効率が悪く、平成 24 年度以降は生産も中止され入手が困難となるため、代替光源が必要とされています。

このため、愛知県農業総合試験場ではメーカーとともに、平成 22 年度から 24 年度までイチゴの電照栽培で利用可能な LED 光源の開発とその利用法の確立に取り組み、その成果をもとに本マニュアルを作成しました。

基礎編

1 LED(エルイーディー: Light Emitting Diode)とは

LED とは、”発光ダイオードを利用した光源” のことで、蛍光灯や白熱灯など他の多くの光源と異なり、①植物の光合成に不要な紫外線や赤外線を含まない光が簡単に得られる、②入力電流変化に対する光出力の応答が早く、照明に用いた場合は点灯と同時に最大光量が得られる、③点滅を人が認識できない短い周期で繰り返すことで見かけの明るさを調節できる、などの特徴があり、長寿命で消費電力が少なく、必要な波長にしばった光源をつくることができます。



2 明るさの単位と測定法

光の明るさ（強さ）を測定するには、さまざまな光の単位を理解する必要があります。

(1) 明るさの単位

○ 光合成光子束密度(PPFD) [$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$]

光は粒子としての性質をもっていて、その一粒一粒を光子（光量子）といいます。この光量子の単位面積・単位時間当たりの個数を示したのが「光量子束密度（PPFD）」です。さらに、植物が光合成に利用できる光

は、葉緑素が吸収できる 400nm から 700nm の波長領域なので、その波長領域の光量子束密度を「光合成光量子束密度 (PPFD)」といいます。植物の光合成と光の強さの関係を調べる場合は、光合成光量子束密度を測定することが適しています。

○ 放射照度 [W/m²]

光子の数ではなく、単位面積・単位時間あたりの光のエネルギーを表したものが、放射照度です。光子 1 個のエネルギーは、波長によって異なるので、波長が決まっていれば、光子の数（光量子束密度）からエネルギー（放射照度）を換算することができます。

○ 照度 [lx:ルクス]

照度は、単位面積・単位時間当たりの光のエネルギーを表していますが、人間の目の感度に合わせて補正してあります。一般に直射日光が約 10 万ルクス、部屋の窓際で 2,000 ルクス程度、明るいオフィスで 400 ルクス程度の照度があります。

(2) 測定機器について

光の強さと光合成の関係を調べる場合は、光合成光量子束密度 (PPFD) を測定しますが、花芽分化等植物の形態形成との関係を調べる場合は、放射照度を測定する必要があります。しかし、放射照度計は、高価であるという問題があります。このため、放射照度計に比べて安価な光合成光量子束密度測定器や一般に入手し易い照度計（単位：lx）を利用して光の強さを測定し、放射照度に換算することも可能です。

■ 照度と放射照度、PPFDの相関について

LED 光源が同じ場合には、放射照度、照度及び光合成光量子束密度 (PPFD) は互いに計算で求められます。

一つの事例として、N社製 4W 赤色 LED（ピーク波長 620nm）の測定値について、各単位の相関関係を図 1、2 で示しました。

このようにあらかじめ光源の種類ごとに照度、放射照度、PPFD の相関図を作成しておけば、現場で照度計を用いて測定し各単位の換算することが容易にできます。

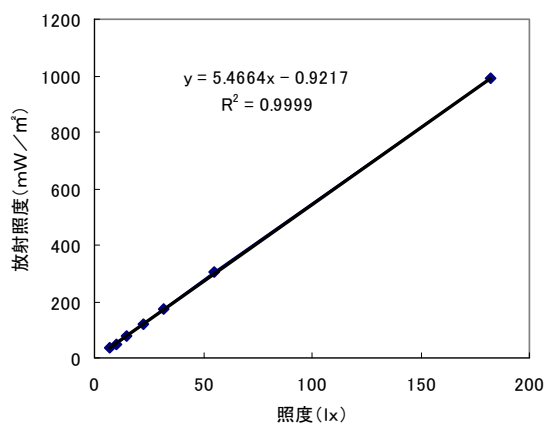


図1 放射照度と照度の関係

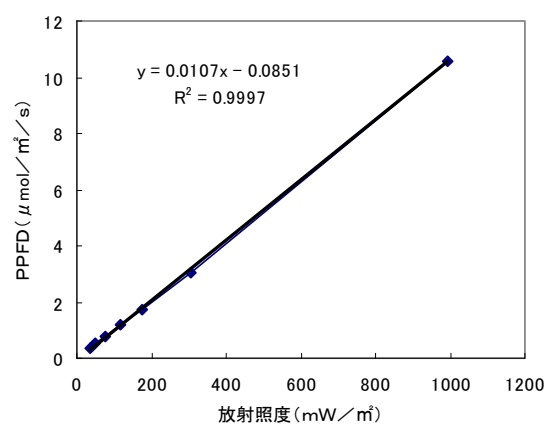


図2 放射照度とPPFDの関係

※照度測定

光源：N社製 4W 電球型 LED（ピーク波長 620nm）

横河 M&C 株式会社製イルミナンスメータ-51002

放射照度、PPFD 測定

デルタオーム社製ポータブル放射照度計 HD2302.0。プローブ（センサー）は、放射照度は LP471RAD、PPFD は LP471PAR を用いた。

3 波長の表記について注意すべき点

照明器具メーカーのLED製品は、一般的に「主波長（λ_d）」が表記されています。主波長は、人間の視感度曲線（人間の目の光に対する感度を表した曲線）で補正した波長です。このため、主波長は、LEDのピーク波長（λ_p：発光強度が最大になる波長）が555nmより短波長ならより短波長側に、長波長ならより長波長側にずれた値になっているので注意が必要です。

応用編

1 電照に有効な波長は？

イチゴの促成栽培では、低温で日長の短い冬期に株の矮化を防ぐため、白熱灯による電照が行われます。そこで、「ゆめのか」、「章姫」、「とちおとめ」を用いて、波長の異なるLEDで電照を行い、イチゴの休眠程度の測定にも使われる葉柄長を調査した結果、620～660nmが適していることがわかりました。

444nmや518nmでは白熱灯に比べて葉柄長が伸びず、電照効果があまり見られません。645nmでは葉柄長が伸び、白熱灯と同等の効果が見られました(図3、4)。

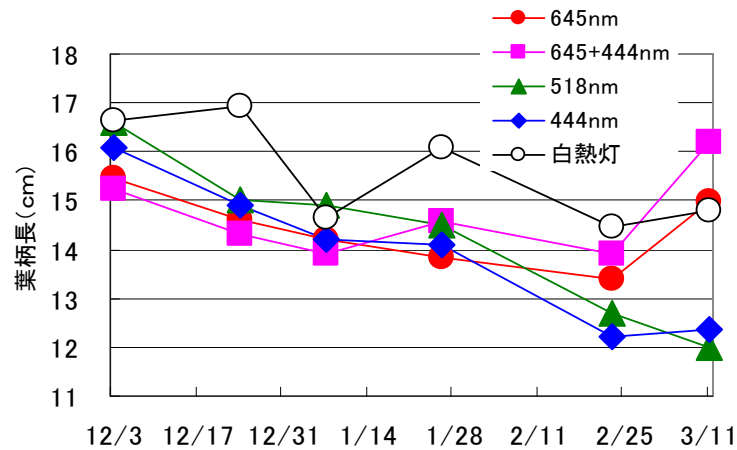


図3 波長が葉柄長に及ぼす影響

(2010年・章姫・放射照度 195mW/m²、白熱灯 1550mW/m²)

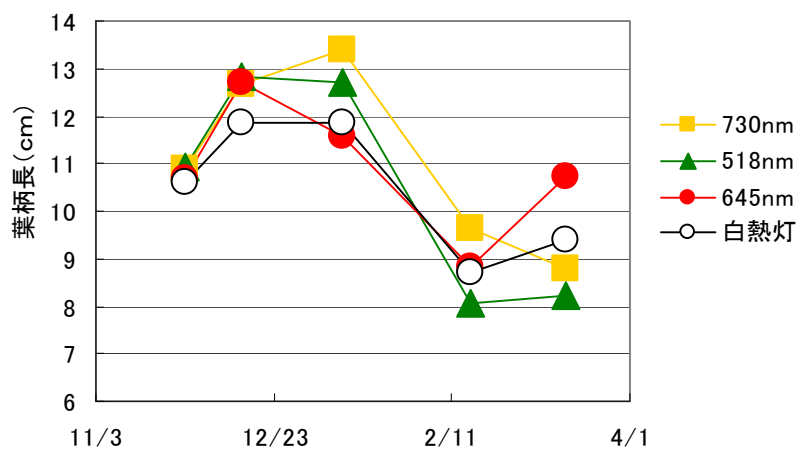


図4 波長が葉柄長に及ぼす影響

(2011年・章姫・放射照度 500mW/m²、白熱灯 1550mW/m²)

2 電照のための光の強さ（照射強度）と時間は？

LEDによる電照でも、同一の照射時間ならば光の強さが強いほうが、また、同一の光の強さならば照射時間が長いほうが効果はより大きくなります。そして、波長 620nm で $45\text{mW}/\text{m}^2$ 程度の弱光でも電照時間を長くすることで十分な効果が得られます（図 5、6、7、8）。

発光ダイオードの定格寿命は 40,000 時間とされていますが、イチゴの電照で 1 日 4 時間、冬季の 3 か月間電照すると 100 年以上使用できる計算になります。一般的に光強度が強い LED は高価になりますので、安価で光強度の弱い LED を使い、電照時間を長くすることが経済的です。

具体的には、 $45\text{mW}/\text{m}^2$ 程度の光強度の場合、「章姫」で 4 時間、「ゆめのか」では 6 時間、「とちおとめ」では 8 時間以上の電照がそれぞれ必要です（表 1）。

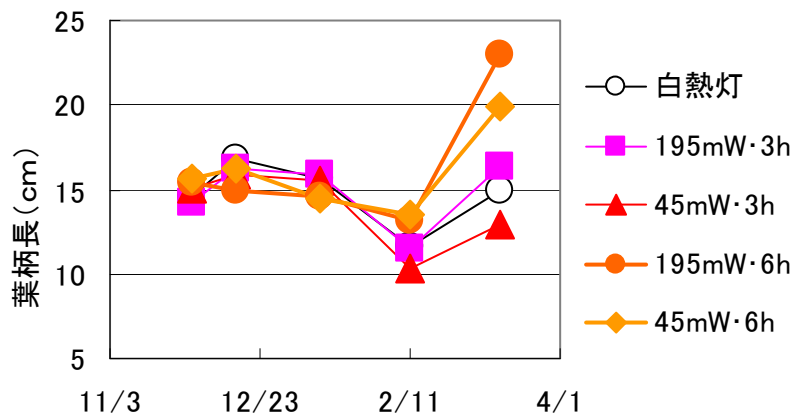


図 5 光強度と電照時間が葉柄長に及ぼす影響
(2011 年・章姫・波長 620nm(赤色))

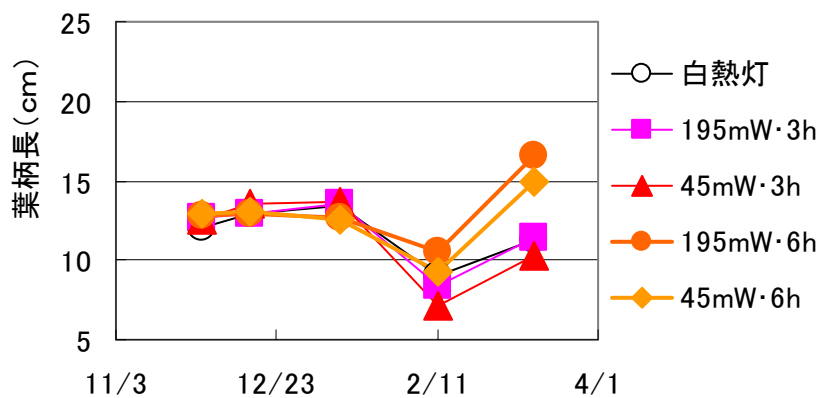


図 6 光強度と電照時間が葉柄長に及ぼす影響
(2011 年・ゆめのか・波長 620nm(赤色))

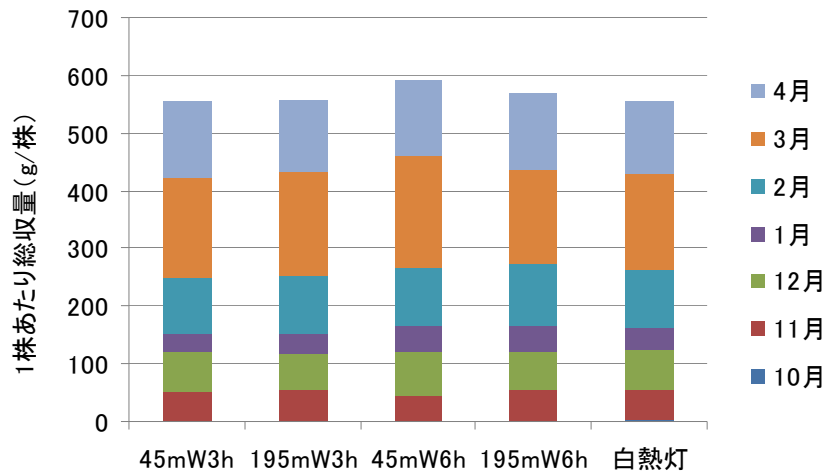


図7 放射照度と電照時間が総収量に及ぼす影響
(2011年・章姫・波長 620nm(赤色))

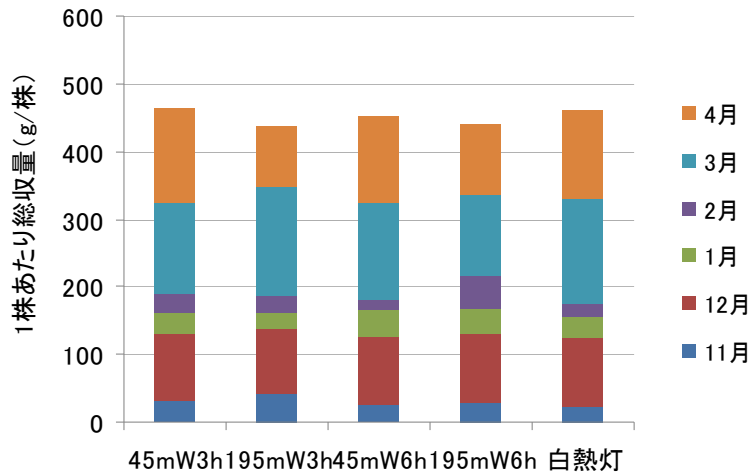


図8 放射照度と電照時間が総収量に及ぼす影響
(2011年・ゆめのか・波長 620nm(赤色))

表1 イチゴ主要品種の赤色 LED (ピーク波長 620nm) の放射照度と電照時間

品種	放射照度 (mW/m ²)	電照時間 (日没からの日長延長)
とちおとめ	195	4時間
	45	8時間以上
ゆめのか	195	3時間
	45	6時間
章姫	195	2時間
	45	4時間

注 白熱灯による電照 (とちおとめ 4 時間、ゆめのか 3 時間、章姫 2 時間の日長延長) と同等の効果を得るための放射照度と電照時間

3 土耕栽培と高設栽培でのLEDの設置方法は？

民間企業と共同開発した9W電球型LED(634nm)は、ライトから2mの距離で直径3mのムラの少ない明るさが得られるように設計されています。

土耕栽培でLEDから植物体まで高さが2m程度確保でき、間口5.4mに対して2列のライトが設置できれば、現在の白熱灯にそのまま9W電球型LED(634nm)を代替しても問題はありません。

高設栽培の場合、既存の白熱灯を9W電球型LED(634nm)に交換すると、LEDと植物体との距離が近く、照度のムラによる生育のムラが懸念されます。より高い位置へのライトの設置や、4W電球型LED(写真：受注生産可能)の利用が有効です。

この4W電球型LEDを間口6mのハウス内で、高設ベッド上面から1.5mの高さに3m間隔で2列、3m間隔に配置すると(図10)、ベッド上面の放射照度は概ね45mW/m²程度となります(図9)。



図9 間口6mの高設栽培ハウスに2列、ベッド上面から1.5mの高さに3m間隔でLEDを配置した場合のベッド上面の放射照度

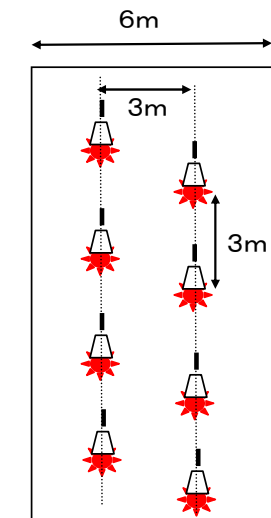


図10 LEDの配置

4 LEDによる電照のコストは？

LEDによる電照のコストを、白熱灯との比較で試算しました（図11）。コスト試算は導入時からの積み上げ式とし、試算条件は表2のとおりです。白熱灯では、積算コストに占める電気の使用料金の割合が大きく、3年ごとの白熱灯の買い換え費用は積算コストに大きな変動を与えませんでした。一方、LEDでは電気の使用料金が非常に小さく、LEDを買い換えるとした11年目に積算コストが跳ね上がりました。試算では、LEDは導入後4年で白熱灯との差がなくなり、5年目以降はLEDのコストが低くなりました。10年目にLEDを交換したとしても、白熱灯の積算コストを上回ることはありませんでした。

なお、試算結果はLEDの購入金額や耐用年数、電照時間により変動しますので、その点を考慮して導入の判断をして下さい。

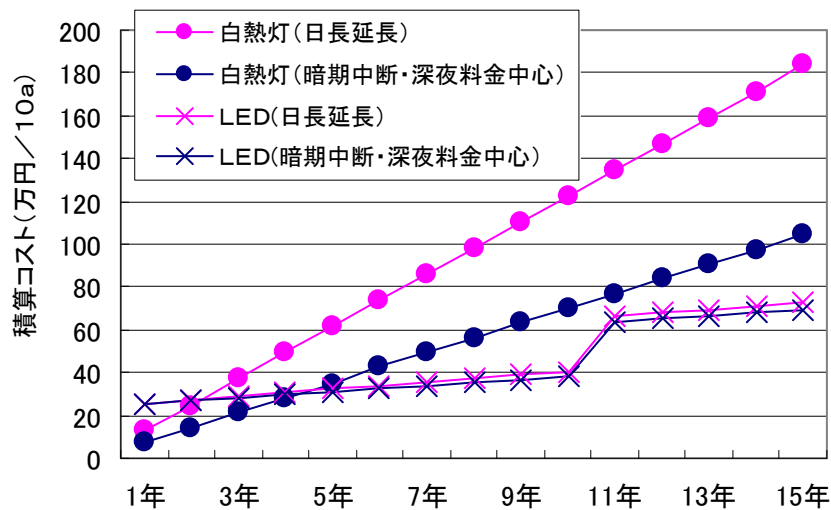


図11 LEDと白熱灯の導入後年数と積算コスト※

※ 積算コストの試算条件

ランプ	消費電力	ランプ単価	寿命	ランプ数	電照時間	電気代
白熱灯	60W	100円	3年	120球/10a	4時間	基本料金含む時間帯別電灯利用料
LED	4W	2000円	10年		8時間	

※電照時間：白熱灯(日長延長)は17:00～21:00、白熱灯(光中断)は22:00～2:00

LED(日長延長)は17:00～1:00、LED(光中断)は20:00～4:00

電気代：23:00～7:00をナイトタイム料金、その他の時間をデイトム料金で試算

5 イチゴ電照栽培での LED 利用の留意点

イチゴの電照栽培に波長 620nm～660nm の赤色 LED を使用した場合、白熱灯による電照栽培に比べ以下のような違いが見られます。

- ①電照開始直後は、白熱灯の場合に見られるような葉柄の伸長や草高の伸びが見られず、ともすると葉柄がやや短く、草高もやや低くなることがあります。
- ②この場合でも、葉の展開速度やその後の収量は白熱灯と同等以上となります。
- ③電照開始後 2～3 カ月して葉柄の伸長や草高の伸びが始まると、白熱灯の場合に比べ一気に草勢が強くなる傾向があるので、緑色の薄い春葉が立ち上がってきたら早めに電照を終了する必要があります。

これらの留意点を参考に、LED をイチゴの電照に利用してください。

発行 愛知県農業総合試験場

〒480-1193 愛知県長久手市岩作三ヶ峯1-1

電話: 0561-62-0085

FAX: 0561-63-0815

E-mail: nososi@pref.aichi.lg.jp