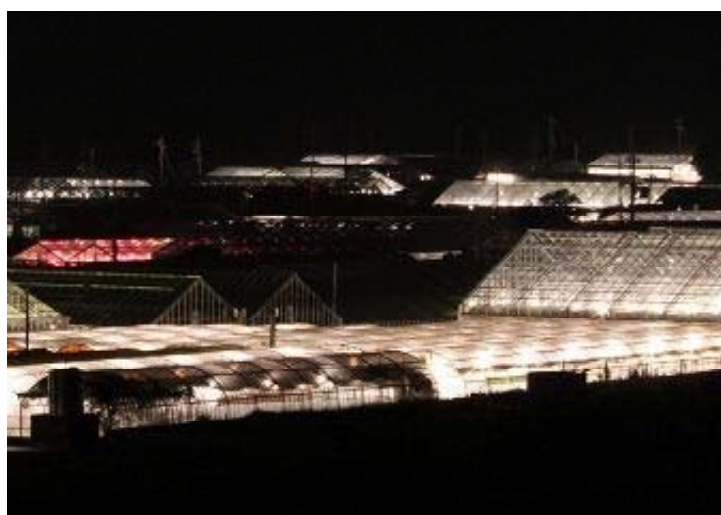


LEDを利用した キクの開花調節マニュアル



(渥美半島のキクの電照施設の風景)

平成25年6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年度までキク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。この光量子の単位時間・単位面積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、単位時間・単位面積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方法も可能です。

■ 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9W赤色LED（ピーク波長634nm）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。

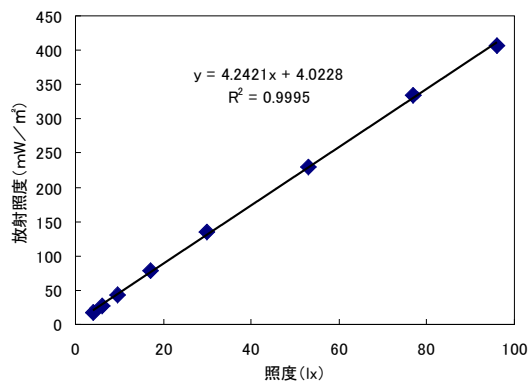


図 1 放射照度と照度の関係

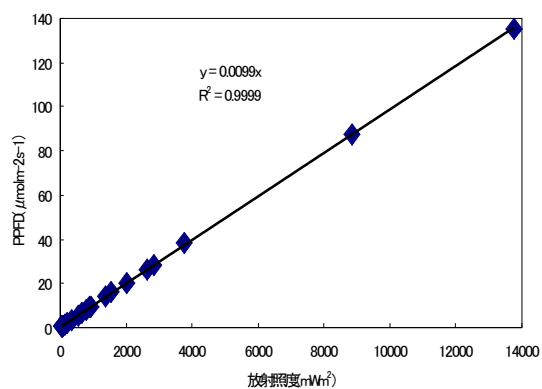


図 2 放射照度とPPFDの関係

※照度測定

横河M&C株式会社製イルミナンスメーター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(λd)」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(λp: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 花芽分化抑制に有効な波長は？

輪ギク3品種について調査した結果、従来言われてきた660nmよりも短い波長が花芽分化抑制に有効であることがわかりました(図3)。

さらに、電照による花芽分化抑制が効きにくい代表である輪ギク品種「岩の白扇」で試験をした結果、試験に用いた光源の中ではピーク波長626nmが最も効果が高いことがわかりました(図4)。

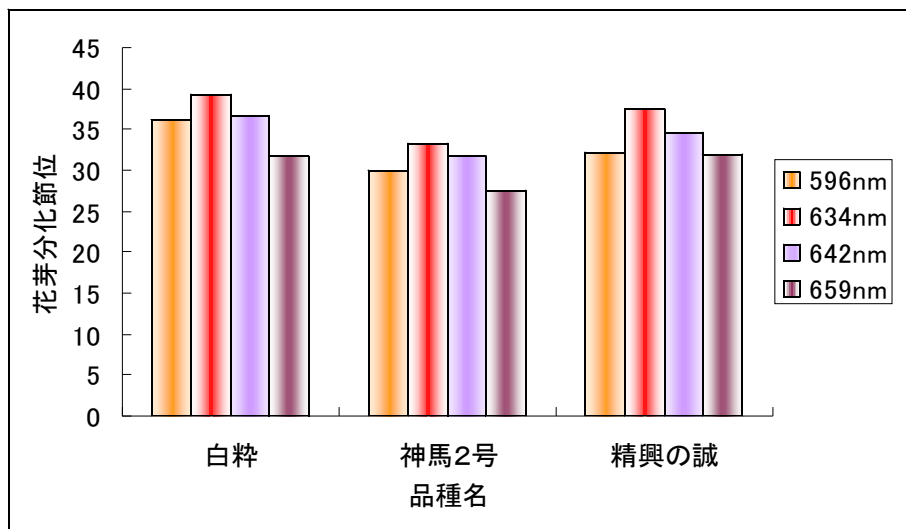


図3 波長の違いと花芽分化節位(秋ギク)

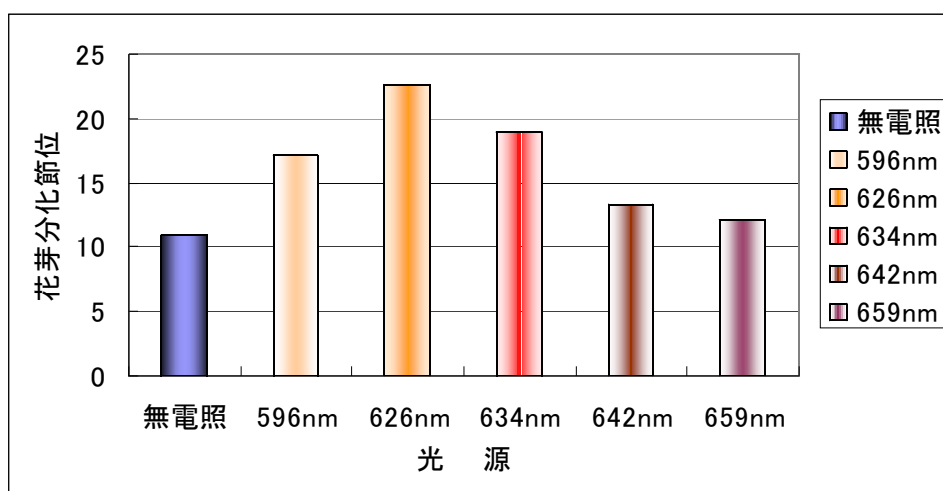


図4 波長の違いと花芽分化節位(岩の白扇)

2 主要品種における花芽分化抑制に必要な光強度

実際にLEDを設置する場合、間口や軒高などハウスの構造によって設置する高さや間隔は異なります。また、キクは品種によって花芽分化抑制ができる光の強さが異なります。このため、キクの花芽分化抑制に必要な光の強さを品種別に明らかにすることにより、LEDを設置する高さや間隔を決めていく必要があります。

表1は、いくつかの試験により得られた成果をもとに、花芽分化抑制に必要な品種別の光強度を示した表です。具体的には、植え付けてから消灯までの間、ここに示した光強度が確保されていれば、花芽分化を抑制することができます。

ただし、キクの花芽分化は苗の由来、親株育成経過、生育温度、栄養状態などにより影響を受けるため、これらの値はLEDを利用する時の一つの目安と考えてください。

表1 品種別花芽分化抑制に必要な赤色LED（ピーク波長634nm）の光の強さ

品目	品種	必要な光の強さ
夏秋系 輪ギク	岩の白扇	110～153mW/m ² (25～35lx)
	フローラル優香	110 mW/m ² (25 lx)
	精の一世	90 mW/m ² (20 lx)
秋系 輪ギク	神馬	68 mW/m ² (15 lx)
夏秋系 スプレーギク	エース	68 mW/m ² (15 lx)
	ユキ	90 mW/m ² (20 lx)
秋系 スプレーギク	レミダス	25 mW/m ² (5 lx)

※「光の強さ」の値は、放射照度値(単位:mW/m²)で、()内は照度値(単位:lx)を示す。

※夏秋系品種は、5時間(21:30～2:30)暗期中断、秋系品種は4時間(22:00～2:00)暗期中断での評価。

※上記の値は、栽培床と水平に計測機器で測定したものである。

3 LED光源からの距離と花芽分化抑制効果

試験場が民間企業と共同で開発したピーク波長 634nm の電球型 LED (9 W) と白熱電球 (90W) を品種「岩の白扇」で比較した結果、直下からの距離が白熱電球は 100cm までしか花芽分化抑制効果がなかったのに対して、LED は直下から 125cm 離れても十分な抑制効果を示しました (図 5)。このため、既設の白熱電球の設置する高さ (電球の間隔は 3 m と仮定した場合) で LED を設置しても、代替光源としては十分効果があります。

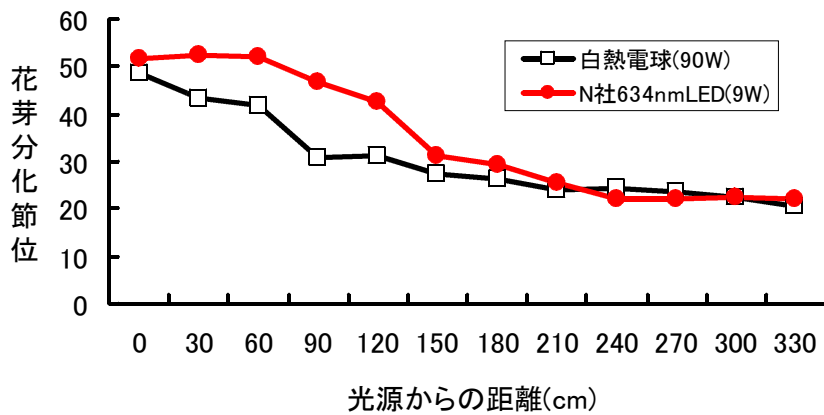


図 5 光源直下からの距離と花芽分化抑制 (岩の白扇)

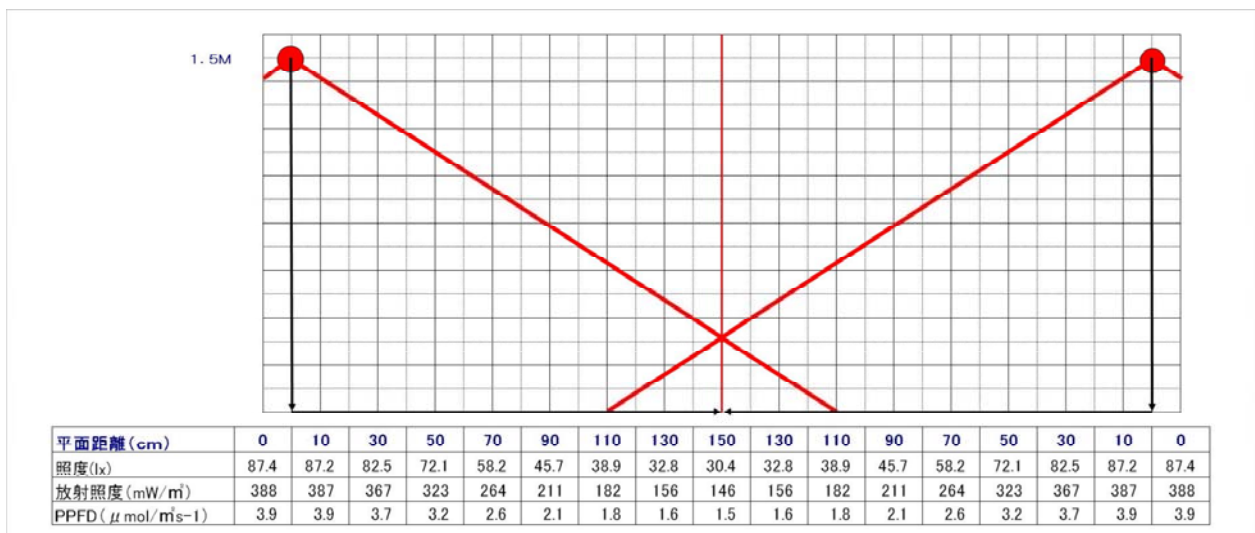


図 6 共同開発した 9W 電球型赤色 LED の光の到達度 (室内測定)

4 キクの花芽分化抑制に適したLED電球に求められる性能

キクの花芽分化抑制に利用できる LED 光源に必要な条件として、①花芽分化抑制効果の高い波長であること、②従来の電照設備がそのまま使えること、の2つの要件を満たす必要があります。さらに、十分な光強度や光照射の均一性、農業場面を想定した防水、防塵性などが求められます（図7、図8）。

波長については、ピーク波長で 620 ~ 640nm のもの（図7）が適しています。ピーク波長 634nm 前後の LED 素子は信号機などに使われ生産量が多いのでコストパフォーマンスに優れています。

また、規格、形状については、既設の電照ソケットに合う口金 E26 の電球型が適しています。

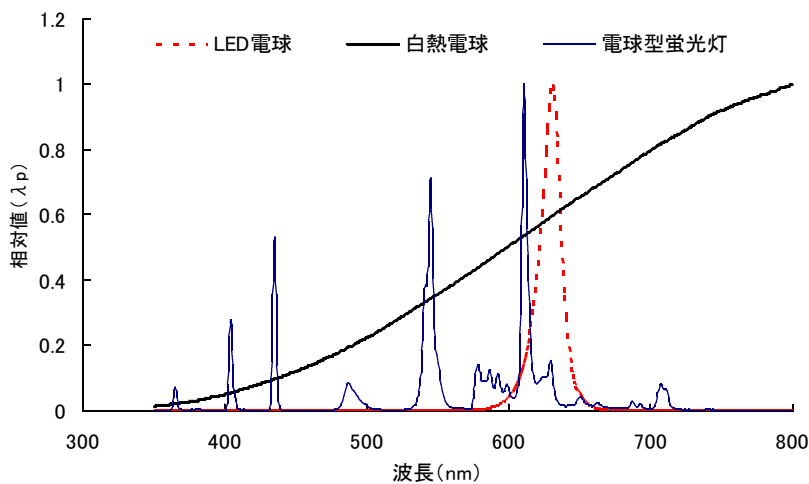


図7 赤色LED電球と電球型蛍光灯、白熱電球との波長の比較

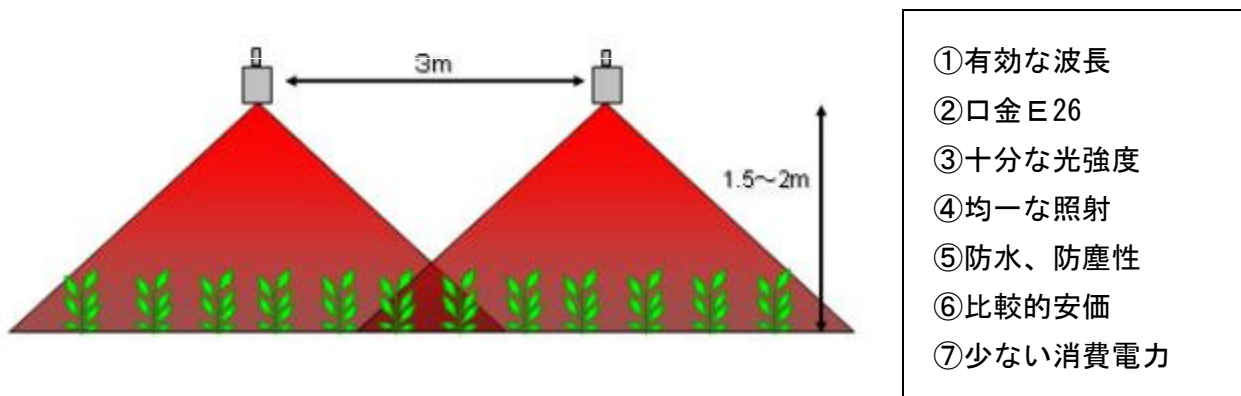


図8 白熱電球に代替可能なLEDの条件

5 LED利用のコスト試算

LED利用のコスト試算について、白熱電球利用の場合と比較しました(図9)。コスト試算にあたって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。このコスト試算では、LEDは、導入時から5年目で白熱灯とのコスト差がなくなり逆転し、10年目でLEDを交換したとしても、以降、白熱電球よりLEDのコストが上回ることはありませんでした。

なお、このような試算結果は、LEDの購入額およびLEDの耐用年数により大きく変動するので、その点を考慮して導入の判断をしてください。

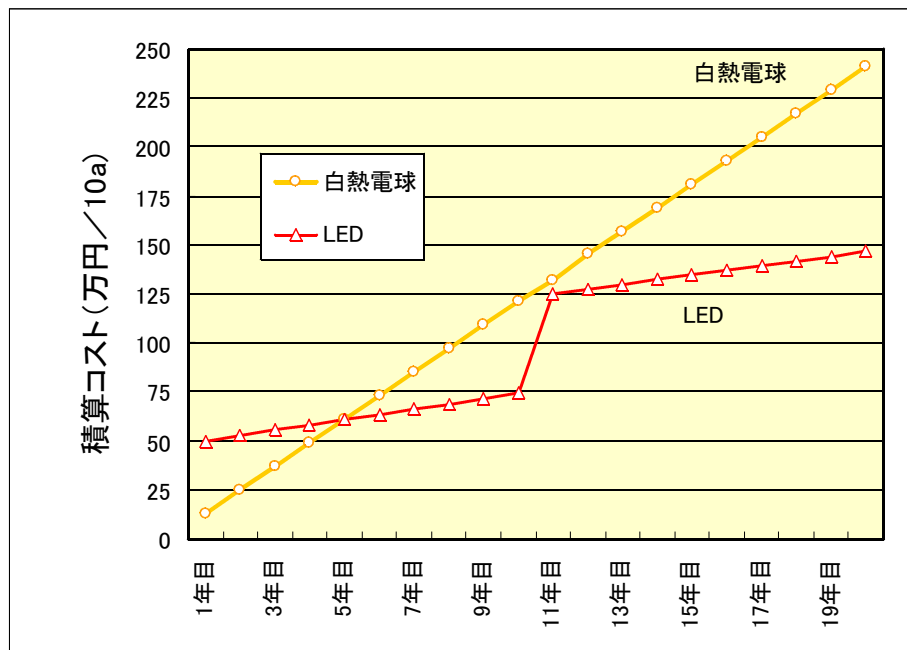


図9 LEDと白熱電球の導入後年数と積算コストの関係

表2 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
白熱電球	100W	100円	17ヶ月	100球/10a	700時間/年	基本料金含む 時間帯別電灯利用料
LED	9W	5,000円	10年			

※電照時間は1日4時間(22:00~2:00)とし、1時間分をデイトタイム料金、3時間分をナイトタイム料金で試算

6 キク栽培におけるLED利用上の留意点

ア 初期導入コスト

LED は、光を出す光源の中では消費電力量が非常に少ないのが特徴です。しかし、白熱電球や蛍光灯とくらべると、光源の値段としてはまだ高価なので、導入するにあたっては、電力使用料金、導入価格、耐久性などを考慮し、総合的に判断してください。

イ 実用上の耐久性

LED の発光素子は非常に耐久性が高く、耐久性は 4 万時間(キクの利用では 57 年分)とも言われています。しかし、実際は LED を発光させる電気回路や LED を覆うカバー部分、防水性や耐塩性などの農業利用による耐久性を考慮する必要があります。

ウ 作業用の照明としては適さない

先にも述べたように、キクの花芽分化抑制効果が高い色は波長域 620 ～ 640nm の赤色です。キクの電照は通常、深夜に行うため電照の色が赤色でも問題ありませんが、定植や収穫作業を電照中に行う場合には、手元が見えにくいため作業用の照明が必要になります。



LED によるキクの電照状況

(参考) 電気使用量をさらに削減する技術

LED は従来の白熱電球に比べ消費電力がおよそ 10 分の 1 程度と省エネルギー効果が高くなります。また、LED には点灯と消灯を頻繁に繰り返しても球切れすることがない利点があるとともに、点灯直後が最も発光エネルギーが強いという特徴があります。このような性質を利用して、キクの間欠電照により電気使用量のさらなる削減技術を研究したところ、一定の成果が得られたので紹介します。

間欠電照とは、栄養成長期間の夜間電照中に点灯と消灯を繰り返す電照方法です、今回の試験では生産者が実施可能な 15 分単位での間欠電照を目指し、間欠電照による花芽分化抑制効果を試験しました（例：夏秋系品種の試験区 図 10）。

間欠電照試験は、夏秋系では「岩の白扇」、「フローラル優香」および「精の一世」について連続 5 時間暗期中断を対照に（8 月開花）、また秋系では「神馬 No.9」について連続 4 時間暗期中断を対照に（1 月開花）行いました。

試験区	21時	22時	23時	0時	1時	2時	電照開始時刻	電照終了時刻	電照始めから終了までの時間	電照のべ時間
30分点灯 -15分消灯	■□	■□	■□	■□	■□	■□	21:30	2:30	5時間	3時間30分
15分点灯 -15分消灯	■□	■□	■□	■□	■□	■□	21:30	2:45	5時間15分	2時間45分
15分点灯 -30分消灯	■□	■□	■□	■□	■□	■□	21:15	2:45	5時間30分	2時間
3時間30分 連続	■	■	■	■	■	■	22:15	1:45	3時間30分	3時間30分
5時間 連続	■	■	■	■	■	■	21:30	2:30	5時間	5時間

※図の1コマは15分間隔を示す。

※図中に示したコマは、■ が点灯中で □ が消灯中を示す。

図10 間欠電照試験の試験区構成

その結果、夏秋系品種の「岩の白扇」、「フローラル優香」については、間欠電照した場合の花芽分化抑制効果は低く間欠電照は不可能であると判断しましたが、「精の一世」では 30 分点灯－15 分消灯の繰り返しによる花芽分化抑制効果が 5 時間連続電照とほとんど差がなかったことから、間欠電照技術が可能であることがわかりました（図 11）。

また、秋系品種「神馬 No.9」については、15 分点灯－15 分消灯の繰り返しによる花芽分化抑制効果が 4 時間連続電照とほとんど差がなかったことから、間欠電照が可能であることがわかりました（図 12）。

以上の結果をもとに、間欠電照試験により明らかになった間欠電照方法と節電率を図 13 に示しました。なお、この結果は、親株育成経過や生育状況などにより影響される可能性もあるので注意してください。

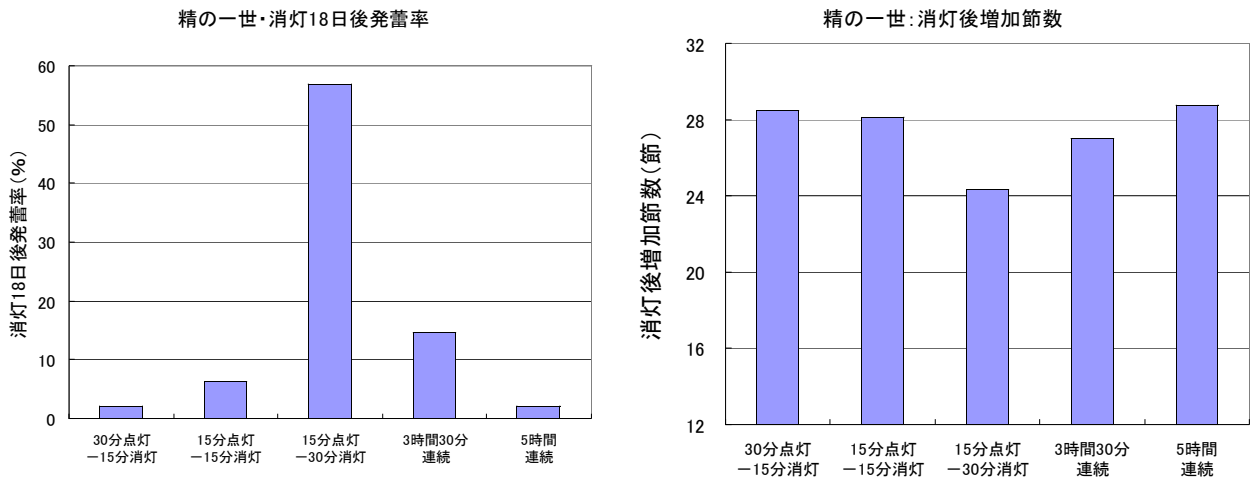


図11 「精の一世」間欠電照試験における消灯18日後発蓄率及び消灯後増加節数

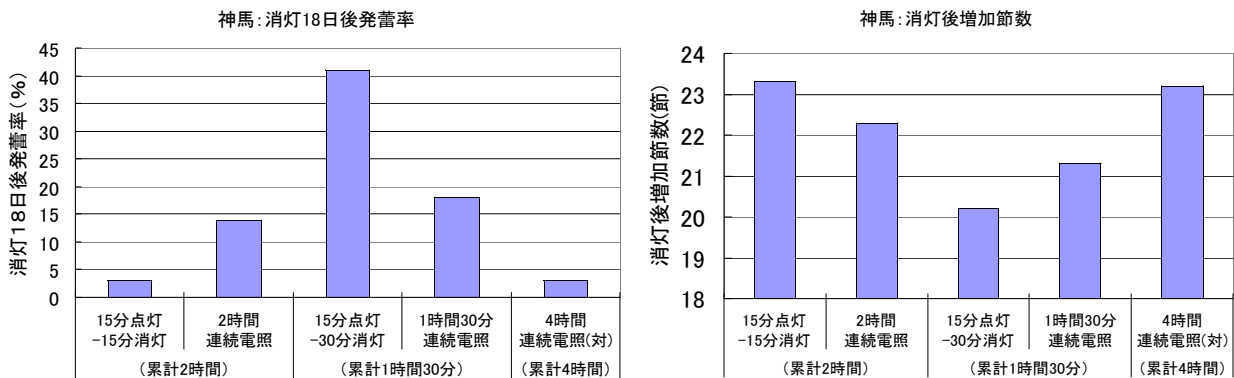


図12 「神馬」間欠電照試験における消灯18日後発蓄率及び消灯後増加節数

品種	試験区	21時	22時	23時	0時	1時	2時	電照始めから終了までの時間	電照のべ時間	節電率
夏秋系 「精の一世」	30分点灯 -15分消灯	点灯	点灯	点灯	点灯	点灯	点灯	5時間	3時間30分	30%
	5時間 連続(慣行)	点灯	点灯	点灯	点灯	点灯	点灯	5時間	5時間	—
秋系 「神馬」	15分点灯 -15分消灯	点灯	点灯	点灯	点灯	点灯	点灯	3時間45分	2時間	50%
	4時間 連続(慣行)	点灯	点灯	点灯	点灯	点灯	点灯	4時間	4時間	—

図13 「精の一世」および「神馬No. 9」における間欠電照方法と電気代の節減率

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