

## キク類の花芽分化抑制に効果的な波長および光強度 の解明とLED電照装置の開発

嘉島芳井<sup>1)</sup>・渡辺 強・菊地直美<sup>2)</sup>・坂本あすか<sup>3)</sup>  
小倉勝興<sup>4)</sup>・小倉乃里子<sup>4)</sup>・鈴木保彦<sup>4)</sup>・赤澤利明<sup>4)</sup>

**摘要** : キク類の周年栽培に利用する電照光源として、白熱電球と比較して省エネおよび寿命の長さが期待される「Light Emitting Diode (LED)」を代替光源として利用した場合、花芽分化抑制効果の高い光の波長は赤色であり、最低限必要とされる光強度は光量子束密度で $0.2 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ であることを明らかとした。また、本結果に基づいて、現場の生産施設での利用を目的としたキク花芽分化抑制用赤色LED電照装置を開発した。開発した長さ1.0mのライン型の改良普及型赤色LED電照装置は、既存の電照用配線を利用した慣行の設置高さでの使用において、装置間隔2.0mで花芽分化抑制に必要な光量子束密度を確保でき、また切り花の品質も同等である。

**キーワード** : きく, 花芽分化抑制, 電照, LED

## Elucidation of Wavelength and Minimum light intensity for the Suppression of Flower Bud Differentiation in Chrysanthemum and Development of LED Lighting Equipment

Yoshii KAJIMA, Tsuyoshi WATANABE, Naomi KIKUCHI, Asuka SAKAMOTO  
Katsuoki OGURA, Noriko OGURA, Yasuhiko SUZUKI, Toshiaki AKAZAWA

**Summary** : As an alternative to incandescent light bulbs, I confirmed the appropriate wavelength and intensity for the cultivation of Chrysanthemum using an LED DenTeru light source. The wavelength to avoid flower initiation was red of 633nm. And the strength of the light necessary to a minimum was  $0.2 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ . Based on these results, I developed a red LED DenTeru equipment for the suppression of flower bud differentiation in Chrysanthemum. Enough effects for the suppression of flower bud differentiation were provided by installing this device every 2m. The quality of the cut flowers did not decrease with this new lighting system.

**Key words** : chrysanthemum, flower bud differentiation suppression, lighting

## I 結 言

栃木県におけるキク栽培は、鉄骨ハウスでの周年栽培が主流であり、スプレーギクと輪ギクを併せた生産額は約17億円で、花き類全体の約26%を占める。特に、スプレーギクは塩谷および芳賀地域を主産地として総作付面積は約67haで、全国4位の生産量を誇る本県切り花の主力品目である。また、輪ギクは大田原市を中心とした那須地域が主産地であり、総作付面積は約41haである。

キク類の周年栽培を行うにあたっては、日長の制御を行い花芽分化をコントロールする必要があり、花芽分化の抑制を目的とする場合は電照による暗期中断を行う。この電照の光源としては、これまで白熱電球が一般的に使用されてきたが、エネルギー効率が低いこと、また二酸化炭素排出量の削減への世界的な動きを背景として、我が国の主な製造会社での生産は2012年に終了している。そのため近年、生産現場では白熱電球に代わる光源として、消費電力の少ない電球型蛍光灯への転換が図られつつある。また、より省エネルギー効果が高く、使用寿命の長いLEDなどへの関心も高まっている。

白熱電球の代替光源に関する試験研究としては、石倉ら(2009)がキク類の花芽分化抑制に対して、電球型蛍光灯や白色および赤色LEDが高い効果を示すことを確認し、また白山ら(2013)が輪ギクに有効なLEDの波長を明らかにしている。

本研究では、白熱電球の代替光源としてのLEDの利用技術の確立を目的とし、キク類の花芽分化抑制に対して効果の高い光の波長および強さを検討した。また、現場の生産施設における既存の電照用配線を利用し、施設内を均一な光の強さで電照することができるLED電照装置の開発を行ったので報告する。

## II 試験方法

試験は、栃木県農業試験場内のシェード処理が可能なガラス温室で実施した。

### 試験1 波長の異なるLEDのキクの花芽分化抑制効果

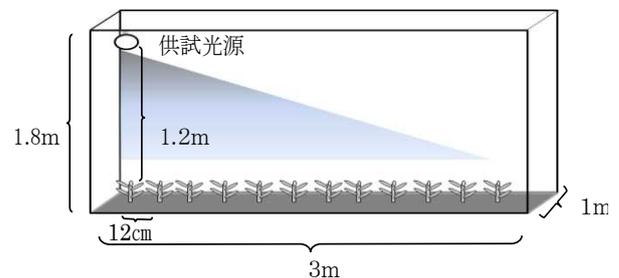
ガラス温室内に試験装置として、シェード機能をもった長さ3.0m、幅1.0m、高さ1.8mのチャンバーを設置し、第1図のように上端の1か所に試験用LEDおよび対照の白熱電球を設置した。試験用LEDとして、赤(633nm)、黄(593nm)、緑(512nm)、青(463nm)を用い、植物体の成長点付近での光量子束密度が光源直下から距離に従って低下する光環境条件をつくった。電照は、深夜4時間(22:00~2:00)の暗期中断とし、直挿しから5週間後まで実施した。なお、光源の高さは成長点付近の光量子束密度が電照開始時と同一になるように成長に合わせて調節した。

試験は、デックモナ(秋咲き系スプレーギク)を供試品種として、10月中旬および2月下旬直挿しの2作型で試験を実施した。10月中旬直挿し作型は、2009年10月16日に直挿しを

行い、11月20日に電照を終了し、電照終了後は自然日長とした。また、2月下旬直挿し作型は、2010年2月25日に直挿しを行い、4月1日に電照を終了し、電照終了後はシェード処理(18:00~6:00)を行い12時間日長とした。

栽植様式はベッド幅50cm、株間12cm、条間12cmの4条植え無摘心栽培とした。基肥は窒素、りん酸、カリウムを10a当たりの成分量で各15kg、追肥は電照終了直後に10a当たり成分量で各5kgを施用し、かん水は $pF$ 1.8~2.2を目標に管理した。温度管理は、換気温度を23℃とし、最低夜温は直挿しから電照終了までの栄養成長期は14℃、電照終了後の花芽分化期は18℃、その後収穫まで14℃とした。

試験開始時に、ネットのマス目(12cm)ごとの光量子束密度を測定した。また、電照終了から発蕾までの日数、80cm以上規格品率を調査した。



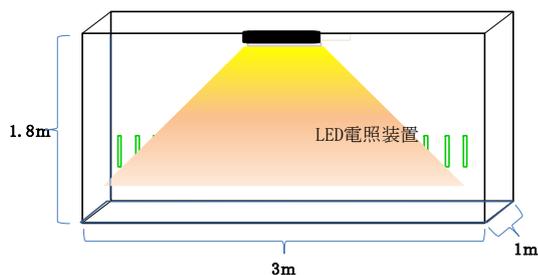
第1図 波長効果試験のチャンバー概要図

### 試験2 キク類の花芽分化抑制に効果的なLED赤の光強度の解明

ガラス温室内に試験装置として、試験1と同様にシェード機能をもった長さ3.0m、幅1.0m、高さ1.8mのチャンバーを設置し、第2図のように上部中央部に試験用赤色LED電照装置(ピーク波長633nm)および対照の白熱電球を設置した。試験用赤色LED電照装置は、植物体の成長点付近の光量子束密度が0.05、0.2、0.5、 $0.7 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ となるように設定した。電照は、深夜4時間(22:00~2:00)の暗期中断とし、直挿しから5週間後まで実施した。なお、光源の高さは成長点付近の光量子束密度が常に処理の値となるように成長に合わせて調節した。

試験は、デックモナ(秋咲き系スプレーギク)を供試品種として、11月中旬および2月下旬直挿しの2作型で試験を実施した。11月中旬直挿し作型は、2010年11月18日に直挿しを行い、12月23日に電照を終了し、電照終了後は自然日長とした。また、2月下旬直挿し作型は、2011年2月24日に直挿しを行い、3月31日に電照を終了し、電照終了後はシェード処理(18:00~6:00)を行い、12時間日長とした。

栽植様式および施肥、かん水、温度管理は試験1と同様とした。各作型における花蕾日および収穫日を調査した。また、収穫時の切り花長、切り花重、80cm調製重、節数、スプレーフォーメーションを調査した。

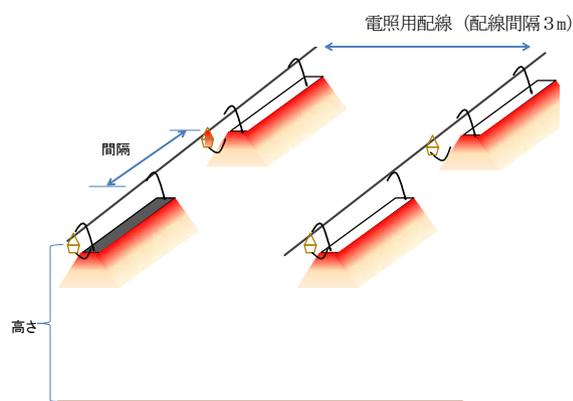


第2図 光強度試験のチャンパー概要図

### 試験3 キク花芽分化抑制用赤色LED電照装置の光量子束密度の分布

試験2において明らかとした花芽分化抑制に最低限必要とされる光量子束密度に基づいて、キク花芽分化抑制用赤色LED電照装置試作機（ピーク波長633nm、長さ1.5m、ライン型）を製作し、照射能力調査を行った。第3図のように、現場の生産施設における電照用配線の配置（配線間隔3.0m）で、設置条件（設置高さおよび間隔）を変えた場合の地面における光量子束密度の分布を調査した。設置の高さは1.5m、2.0m、2.5mとし間隔は1.5m、2.0mとした。

調査は、地表面の地点毎（40cm間隔）の光量子束密度をLI-COR社製の光量子センサーLI-1400により計測した。



第3図 試作機 設置様式

### 試験4 キク花芽分化抑制用赤色LED電照装置の県内主要品種に対する効果

電球型蛍光灯（60W相当、3波長形電球色）を対照として、キク花芽分化抑制用赤色LED電照装置試作機（ピーク波長633nm、長さ1.5m、ライン型）がスプレーギクおよび輪ギクの県内主要品種の花芽分化抑制効果および品質に及ぼす影響を検討した。

#### ①スプレーギク主要品種（夏秋咲き系）

試験は、夏秋咲き系セイエーグ、セイバレット、セイオプティ、セイアイシスピックを供試品種とした。

ガラス温室内に、地面での光量子束密度が $0.4 \sim 0.5 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ となるようLED電照装置を設置した。対照の蛍光灯の高さはLED電照装置と同じ約2.0mとした。

2012年6月18日に直挿しを行い、電照は4時間（22:00～2:00）および6時間（21:00～3:00）の暗期中断とし、直挿し時から草丈30cm程度まで実施した。7月20日に電照を終了し、電照終了後はシェード処理（18:00～6:00）を行い12時間日長とした。

栽植様式はベッド幅50cm、株間12cm、条間12cmの4条植え無摘心栽培とした。基肥は窒素、りん酸、カリウムを10a当たりの成分量で各15kg、追肥は電照終了直後に成分量で各5kgを施用し、かん水はpF1.8～2.2を目標に管理した。温度管理は換気温度を23℃とした。

花蕾日および収穫日を調査した。また、収穫時の切り花長、80cm調製重、茎径、節数、小花数、スプレーフォーメーションを調査した。

#### ②輪ギク主要品種（秋咲き系、夏秋咲き系）

試験は、秋咲き系の神馬、精興光玉および夏秋咲き系の精の一世、精の枕を供試品種とした。

ガラス温室内に地面での光量子束密度が $0.4 \sim 0.5 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ となるようLED電照装置を設置した。対照の蛍光灯の高さはLED電照装置と同じ約2.0mとした。

秋咲き系は、2012年11月22日に直挿しを行い、電照は4時間（22:00～2:00）および6時間（21:00～3:00）の暗期中断とし、直挿し時から草丈65cm程度まで実施した。2013年2月7日に電照を終了し、電照終了後は自然日長とした。

夏秋咲き系は、2012年6月11日に直挿しを行い、電照は4時間（22:00～2:00）および6時間（21:00～3:00）の暗期中断とし、直挿し時から草丈65cm程度まで実施した。8月1日に電照を終了し、電照終了後はシェード処理（18:00～6:00）を行い12時間日長とした。

栽植様式はベッド幅50cm、株間6cm、条間35cmの2条植え無摘心栽培とした。基肥は窒素、りん酸、カリウムを10a当たりの成分量で各15kgを施し、かん水はpF1.8～2.2を目標に管理した。

温度管理は換気温度を23℃とし、秋咲き系栽培時は最低夜温は直挿しから電照終了までの栄養成長期は14℃、電照終了後の花芽分化期は18℃、その後収穫まで14℃とした。

花蕾日および収穫日を調査した。また、収穫時の切り花長、90cm調製重、茎径を調査した。

### 試験5 改良普及型花芽分化抑制用赤色LED電照装置の光量子束密度の分布

電照装置の製作コスト削減のため形状を改良した普及タイプ（ピーク波長633nm, 長さ1.0m, ライン型）を製作し、試験3と同様に設置条件（設置高さおよび間隔）を変えた場合の光量子束密度の分布を調査した。設置の高さは1.8m, 2.3m, 2.8mとし、間隔は1.0m, 2.0m, 3.0mとした。

調査は、地表面の地点毎（40cm間隔）の光量子束密度をLI-COR社製の光量子センサーLI-1400により計測した。

## Ⅲ 結 果

### 試験1 波長の異なるLEDのキクの花芽分化抑制効果

10月中旬直挿し作型での光量子束密度と電照終了から発蕾までの日数の関係を第4図に示した。電照終了から発蕾までの日数は、白熱電球ではチャンバー末端の光量子束密度 $0.09 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ まで17日、LED赤も同様で末端の光量子束密度 $0.06 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ まで17日であった。LED黄は $0.2 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上で17日であったが、それ以下では発蕾は早まった。LED緑は光量子束密度が高いほど白熱電球と同等の17日近づくが、低い場合は発蕾が早まる傾向にあり、株によるバラツキも目立った。また、LED青では光量子束密度が最も強い $2.04 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ を示す光源直下でも電照終了前に発蕾が確認された。

光源からの距離と80cm以上の規格品率の関係を第5図に示した。80cm以上の規格品率は、白熱電球およびLED赤では光源直下からチャンバー末端まで概ね100%であった。LED緑では光量子束密度が $1.32 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上、LED黄では $0.16 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上で100%であった。なお、LED青では80cm以上の規格品は皆無であった。

2月下旬直挿し作型での、光量子束密度と電照終了から発蕾までの日数の関係を第6図に示した。電照終了から発蕾までの日数は、白熱電球では光量子束密度が $0.48 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上で14日であった。LED赤では $0.55 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上、LED黄では $0.84 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上で白熱電球と同じ14日での発蕾となった。LED緑では光量子束密度が最も強い $1.38 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ を示す光源直下でも、14日より前に発蕾が確認され、 $0.4 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以下では電照終了前に発蕾した。LED青では光源直下の光量子束密度が最も強い $2.55 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ でも電照終了前に発蕾が確認された。

光源からの距離と80cm以上の規格品率の関係を第7図に示した。80cm以上の規格品率が100%であったのは、LED赤では $0.55 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上、LED黄では $0.89 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上であった。また、LED緑とLED青では、80cm以上の規格品は皆無であった。

### 試験2 キク類の花芽分化抑制に効果的なLED赤の光強度の解明

11月中旬直挿しおよび2月下旬直挿し作型における発蕾日の結果を第1表に示した。11月中旬直挿し作型での発蕾日は $0.05, 0.2, 0.5, 0.7 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ともに電照終了から約20日後の1月12日前後で、白熱電球との差は認められなかった。

2月下旬直挿し作型での発蕾日は、電照終了翌日の4月1日であった。 $0.05 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ を除いては4月13日前後で、白熱電球と差はなかった。

11月中旬直挿し作型における収穫時の品質調査結果を第2表に示した。収穫日は、全ての光量子束密度で2月15日前後で白熱電球と同様であった。切り花長、切り花重、調製重、節数は、光の強さに関係なく白熱電球と同等で、収穫時の品質への影響は認められなかった。このときの、80cm以上の切り花のスプレーフォーメーション別発生割合を第3表に示した。光の強さにかかわらず白熱電球と同様にAの割合が100%で、全て販売可能であった。

2月下旬直挿し作型における収穫時の品質調査結果を第4表に示した。収穫日は、 $0.2, 0.5, 0.7 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ では白熱電球と差はなく5月19日前後で、 $0.05 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ は約1週間早くなった。切り花長、切り花重、節数において、 $0.05 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ は他より下回ったものの、 $0.2 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上では白熱電球との差は認められなかった。このときの、80cm以上の切り花のスプレーフォーメーション別発生割合を第5表に示した。光量子束密度が $0.2 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上では白熱電球と同様にAが100%で全て販売可能であったが、 $0.05 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ではAおよびBを合わせても10%以下で出荷可能なものが著しく少なかった。

### 試験3 キク花芽分化抑制用赤色 LED電照装置の光量子束密度の分布

キク花芽分化抑制用赤色 LED電照装置の試作機（ピーク波長633nm, 長さ1.5m, ライン型）を第8図に示した。本試作機を、現場の生産施設における電照用配線（配線間隔3.0m）を想定し、設置条件を変えた場合の地面における光量子束密度の分布を第9図に示した。

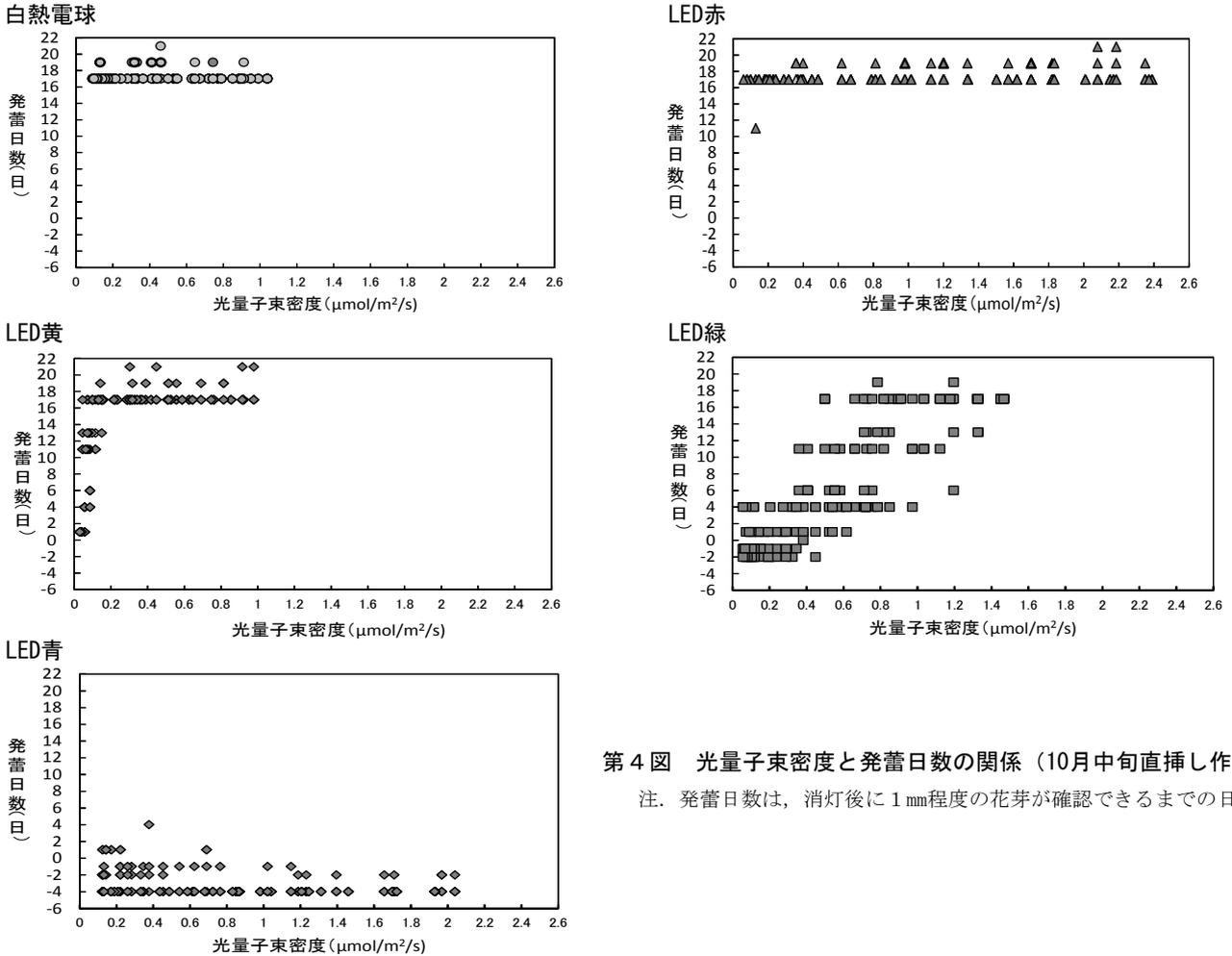
高さ1.5m設置の場合、間隔1.5m, 2.0mとも装置直下の光量子束密度は $0.8 \sim 1.0 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ であった。電照装置4基の中間部付近は、間隔1.5mでは $0.5 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 前後、間隔2.0mでは $0.4 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 前後であった。また、電照装置2基のみが影響する範囲では、装置末端から120cm程度離れた地点まで $0.2 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上であった。

高さ2.0m設置の場合、間隔1.5m, 2.0mとも装置直下が $0.5 \sim 0.7 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ であった。電照装置4基の中間部付近は、間隔1.5mでは $0.5 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 前後、間隔2.0mでは $0.45 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 前後であった。また、電照装置2基のみが影響する範囲では、装置末端から160cm程度離れた地点まで $0.2 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上であった。

高さ2.5m設置の場合、1.5, 2.0mとも装置直下が $0.4 \sim 0.55 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で、高さ1.5m, 2.0mに比べ均一であった。また、電照装置2基のみが影響する範囲では、装置末端から160cm程度離れた地点まで $0.2 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上であった。

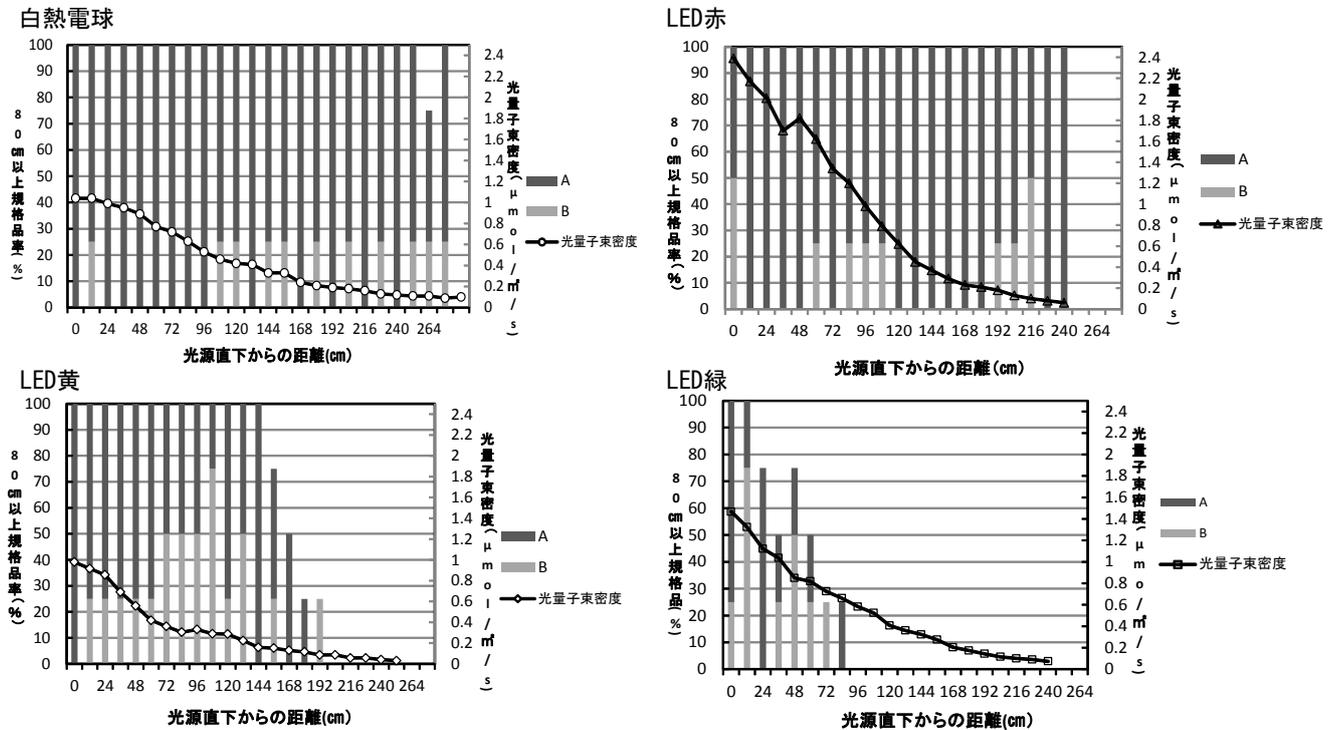
しかし、設置高さに関わらず、電照装置1基および2基のみが影響する範囲では、装置末端から約120cm以上離れると必要とされる光量子束密度を下回った。

キク類の花芽分化抑制に効果的な波長および光強度の解明とLED電照装置の開発



第4図 光子束密度と発蕾日数の関係（10月中旬直挿し作型）

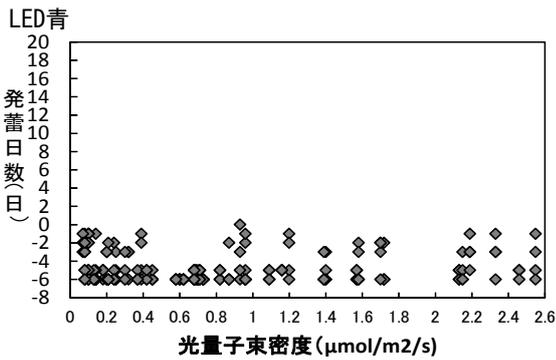
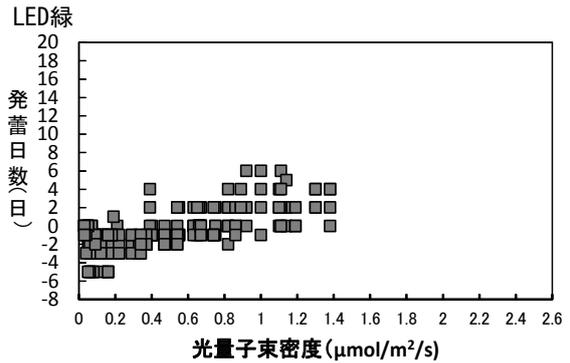
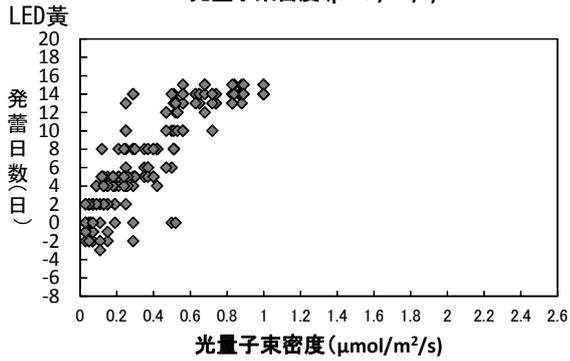
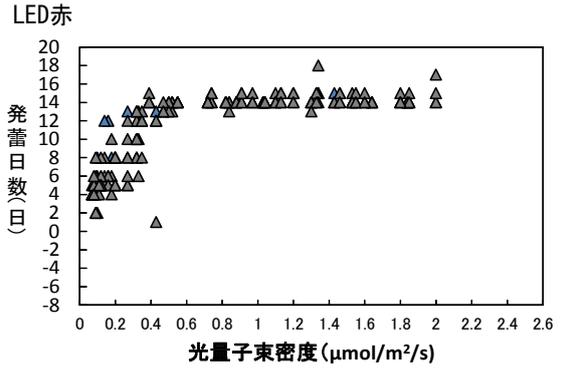
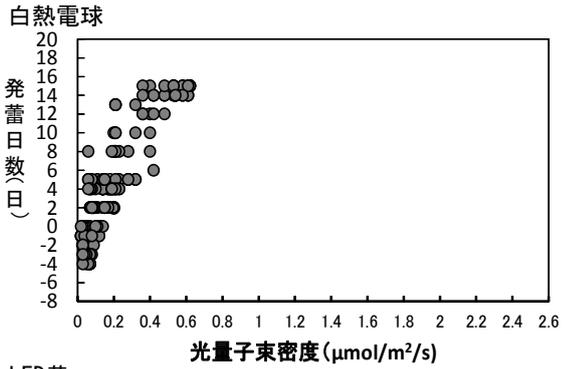
注. 発蕾日数は、消灯後に1mm程度の花芽が確認できるまでの日数。



第5図 光源直下からの距離と光子束密度および80cm以上規格品率の関係（10月中旬直挿し作型）

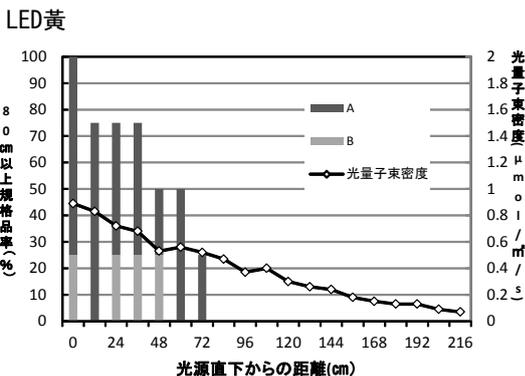
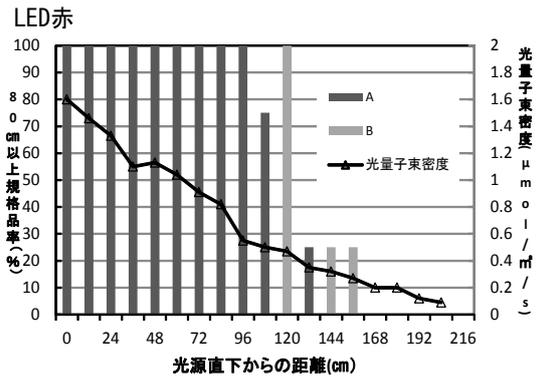
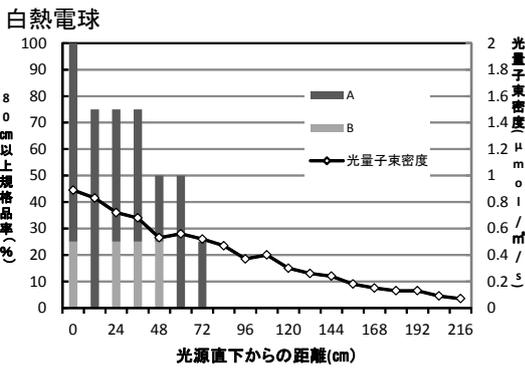
注. 80cm以上規格品は、切り花長が80cm以上でスプレーフォーメーション（参考図）がAまたはBのものとした。

なお、LED青は80cm以上規格品はなかった。



第6図 光子束密度と発蕾日数の関係（2月下旬直挿し作型）

注. 発蕾日数は、消灯後に1mm程度の花芽が確認できるまでの日数。



第7図 光源直下からの距離と光子束密度

および80cm以上規格品率の関係（2月下旬直挿し作型）

注. 80cm以上規格品は、切り花長が80cm以上でスプレーフォーメーション（参考図）がAまたはBのものとした。なお、LED緑およびLED青は80cm以上規格品はなかった。

キク類の花芽分化抑制に効果的な波長および光強度の解明とLED電照装置の開発

第1表 花芽分化抑制時の光強度と発蕾日

光源および光強度	発 蕾 日	
	11月中旬直挿し作型	2月下旬直挿し作型
LED 0.05 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	1月12日 (21日後)	4月1日 (1日後)
LED 0.2 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	1月12日 (21日後)	4月12日 (12日後)
LED 0.5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	1月12日 (21日後)	4月13日 (13日後)
LED 0.7 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	1月13日 (22日後)	4月13日 (13日後)
白熱電球	1月12日 (21日後)	4月13日 (12日後)

注. 発蕾日は, 消灯後に1mm程度の花芽が確認できた日.  
11月中旬直挿し作型の消灯日は12月23日. 2月下旬直挿し作型の消灯日は3月31日.

第2表 収穫時の品質調査 (11月中旬直挿し)

光源および光強度	収穫日 月/日	切花長 cm	切花重 g	調製重 <sup>1)</sup> g	節 数
					節
LED 0.05 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	2月16日	103.7	58.0	35.4	32.8
LED 0.2 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	2月16日	103.2	56.9	35.8	33.0
LED 0.5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	2月15日	103.7	57.5	36.3	33.1
LED 0.7 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	2月16日	97.9	53.0	34.7	31.9
白熱電球	2月15日	94.1	46.8	33.9	30.9
有意性 <sup>2)</sup>		ns	ns	ns	ns

注1. 調製重は, 切り花を長さ80cmに調製し, 下葉15cmを摘葉したものを測定.  
2. 有意性の ns は有意差なし.

第3表 スプレーフォーメーション別発生割合 % (11月中旬直挿し)

光源および光強度	スプレーフォーメーション			
	A	B	C	D
LED 0.05 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	100	0	0	0
LED 0.2 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	100	0	0	0
LED 0.5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	100	0	0	0
LED 0.7 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	100	0	0	0
白熱電球	100	0	0	0

注. スプレーフォーメーションは参考図参照. 「A」および「B」が販売可能なもの

第5表 スプレーフォーメーション別発生割合 % (2月下旬直挿し)

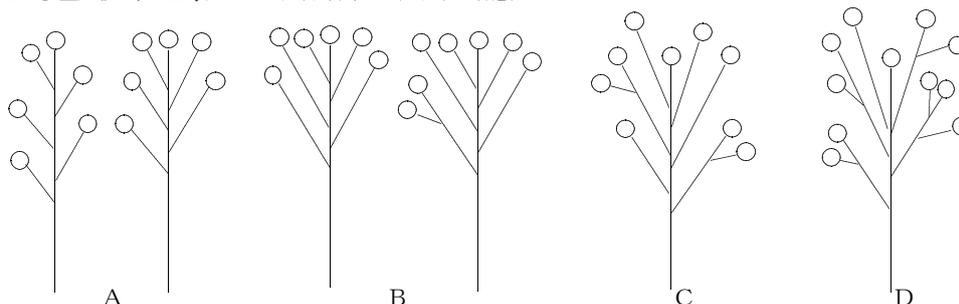
光源および光強度	スプレーフォーメーション			
	A	B	C	D
LED 0.05 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	3.5	3.5	0	93
LED 0.2 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	100	0	0	0
LED 0.5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	100	0	0	0
LED 0.7 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	100	0	0	0
白熱電球	100	0	0	0

注. スプレーフォーメーションは参考図参照. 「A」および「B」が販売可能なもの

第4表 収穫時の品質調査 (2月下旬直挿し)

光源および光強度	収穫日 月/日	切花長 cm	切花重 g	調製重 <sup>1)</sup> g	節 数 節
LED 0.05 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	5月12日	94.8 b <sup>3)</sup>	70.8 b	50.1	25.1 b
LED 0.2 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	5月18日	119.3 a	82.8 a	42.7	34.6 a
LED 0.5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	5月18日	124.0 a	84.4 a	42.5	36.6 a
LED 0.7 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	5月18日	124.3 a	86.1 a	42.1	35.7 a
白熱電球	5月19日	122.4 a	78.8 a	42.3	35.6 a
有意性 <sup>2)</sup>		**	**	ns	**

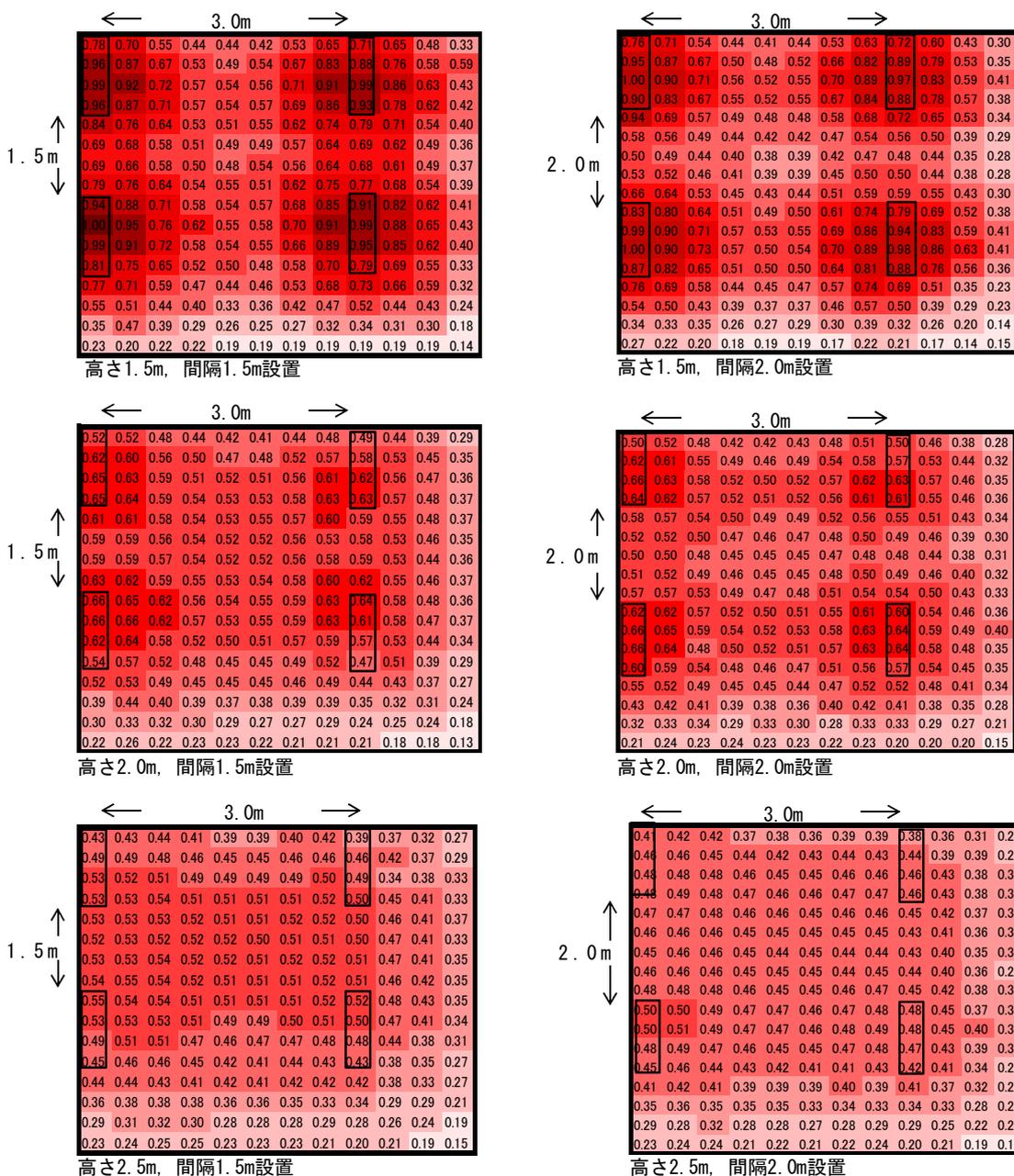
注1. 調製重は, 切り花を長さ80cmに調製し, 下葉15cmを摘葉したものを測定.  
2. 有意性の \*\* は1%, \* は5%水準で有意差あり. nsは有意差なし.  
3. 多重比較は, Tukey法により同符号間で5%水準で有意差なし.



参考図 スプレーフォーメーション



第8図 キク花芽分化抑制用赤色 LED電照装置 試作機



第9図 設置条件と地面での光量子束密度分布

注1. 図中の四角の枠は電照装置の設置位置.

2. 図中の数値は, 40cm四方枠における中心部の光量子束密度の値.

キク類の花芽分化抑制に効果的な波長および光強度の解明とLED電照装置の開発

試験4 キク花芽分化抑制用赤色LED電照装置の県内主要品種に対する効果

①スプレーギク主要品種の花芽分化抑制効果の確認

赤色LED電照装置が、夏秋咲き系スプレーギク主要品種の花芽分化および品質に与える影響を第6表に示した。夏秋咲き系のセイパレット、セイオプティ、セイアイシスピンクともに、発蕾日は赤色LED電照装置と蛍光灯の差は1～2日程度であった。また、切り花長、調製重、茎径、小花数など同等の切り花品質が得られた。一方、セイエーグは両者の差が4～7日と大きかった。

②輪ギク主要品種の花芽分化抑制効果の確認

赤色LED電照装置が、秋咲きおよび夏咲き輪ギク主要品種の花芽分化および品質に与える影響を第7表に示した。秋咲き系の神馬、精興光玉、夏秋咲き系の精の一世、精の枕とともに、発蕾日は赤色LED電照装置と蛍光灯の差は1～2日程度であった。また、切り花長、調製重、茎径など同等の切り花品質が得られた。

試験5. 改良及型赤色LED電照装置の光量子束密度の分布

電照装置の製作コスト削減のため構造および形状を改良し

た普及タイプ（ピーク波長633nm、長さ1.0m、ライン型）を第10図に示した。本試作機を、現場の生産施設における電照用配線（配線間隔3.0m）を想定し、設置条件を変えた場合の地面における光量子束密度の分布を第11図から第13図に示した。

高さ1.8m設置の場合、電照装置4基の中間部付近の光量子束密度は、間隔1.0mでは0.38μmol/m<sup>2</sup>/s前後、2.0mでは0.28μmol/m<sup>2</sup>/s前後であったが、3.0mでは0.19μmol/m<sup>2</sup>/s前後で、花芽分化抑制に最低限必要とされる0.2μmol/m<sup>2</sup>/sを確保できない場所が発生した。

高さ2.3m設置の場合、電照装置4基の中間部付近は、間隔1.0mでは0.36μmol/m<sup>2</sup>/s前後、2.0mでは0.27μmol/m<sup>2</sup>/s前後、3.0mでは0.20μmol/m<sup>2</sup>/s前後で、花芽分化抑制に最低限必要とされる0.2μmol/m<sup>2</sup>/sを下回る場所はなかった。

高さ2.8m設置の場合は、電照装置4基の中間部付近は、間隔1.0mでは0.33μmol/m<sup>2</sup>/s前後、2.0mは0.25μmol/m<sup>2</sup>/s前後であったが、3.0mでは0.19μmol/m<sup>2</sup>/s前後で、花芽分化抑制に最低限必要とされる0.2μmol/m<sup>2</sup>/sを確保できない場所が発生した。

第6表 赤色LED電照装置が夏秋咲き系スプレーギク主要品種の花芽分化および品質に与える影響

品種	処 理	発蕾日 <sup>1)</sup>		収穫日 <sup>2)</sup>		切花長 cm	調製重 <sup>3)</sup> g	茎 径 <sup>4)</sup> mm	小花数 輪
		月/日	月/日	月/日	月/日				
セイエーグ	LED 6 h	8/8	9/3	90.5 a <sup>6)</sup>	78.8	6.5	11.4		
	LED 4 h	8/8	9/4	91.5 a	74.4	6.2	11.5		
	蛍光灯 6 h	8/4	9/1	88.3 a	78.2	6.2	13.5		
	蛍光灯 4 h	8/1	8/30	71.9 b	-	6.2	16.7		
	有意性 <sup>5)</sup>			*	ns	ns	ns		
セイパレット	LED 6 h	8/7	9/7	95.5	77.1	6.4	9.2		
	LED 4 h	8/8	9/8	94.6	69.2	6.4	8.3		
	蛍光灯 6 h	8/6	9/9	90.8	63.3	6.2	8.8		
	蛍光灯 4 h	8/6	9/6	78.3	-	6.4	10.0		
	有意性			ns	ns	ns	ns		
セイオプティ	LED 6 h	8/8	9/3	96.3	67.6	6.1	13.0		
	LED 4 h	8/8	9/4	96.2	67.8	6.1	12.4		
	蛍光灯 6 h	8/7	9/4	93.7	63.6	6.0	11.6		
	蛍光灯 4 h	8/7	9/3	93.7	70.0	6.1	12.3		
	有意性			ns	ns	ns	ns		
セイアイシスピンク	LED 6 h	8/9	9/7	96.1	73.3	7.1	11.5		
	LED 4 h	8/10	9/7	96.2	72.0	7.1	10.6		
	蛍光灯 6 h	8/9	9/7	90.6	68.4	6.8	11.9		
	蛍光灯 4 h	8/9	9/7	92.9	74.8	7.1	12.2		
	有意性			ns	ns	ns	ns		

- 注 1. 発蕾日は、消灯後に3mm程度の花芽が確認できた日（平均値）。  
 2. 収穫日は、第2花が3分の1程度開いた日（平均値）。  
 3. 調製重は、切り花長を長さ80cmに調製し、下葉15cmを摘除したものを測定。  
 （セイエーグおよびセイパレットの蛍光灯4時間区は切り花80cmに満たなくデータなし）  
 4. 茎径は、最上部から30cm程度部分を測定。  
 5. 有意性の\*は5%水準で有意差あり。nsは有意差なし。  
 6. 多重比較は、Tukey法により同符号間で5%水準で有意差なし。

第7表 赤色LED電照装置が秋咲き、夏秋咲き系輪ギク主要品種の花芽分化および品質に与える影響

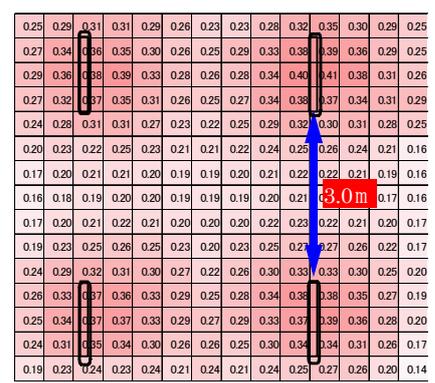
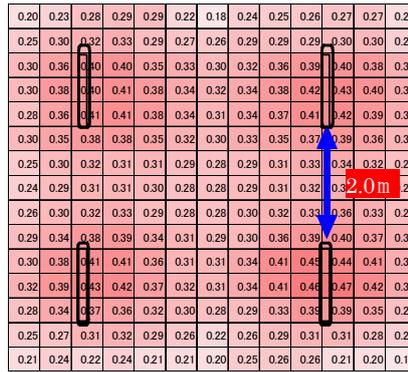
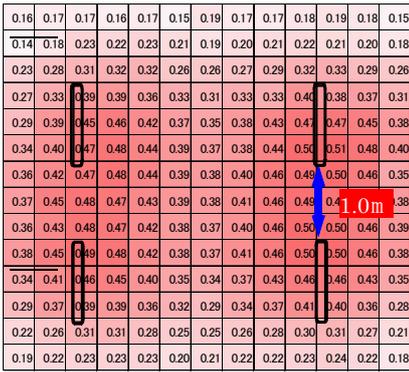
品種	処理	発蕾日 <sup>1</sup>	収穫日 <sup>2</sup>	切花長	調製重 <sup>3</sup>	茎径 <sup>4</sup>
		月/日	月/日	cm	g	mm
秋咲き系	LED 6 h	2/27	3/26	110.5 a <sup>6</sup>	75.5	6.2
	LED 4 h	2/27	3/26	111.1 a	77.9	6.2
	蛍光灯 6 h	2/23	3/23	110.2 a	79.1	6.2
	蛍光灯 4 h	2/15	3/17	90.1 b	-	6.0
	有意性 <sup>5</sup>			*	ns	ns
神馬品種	LED 6 h	2/28	3/29	101.9	70.0	7.0
	LED 4 h	2/27	3/29	107.3	69.0	6.6
	蛍光灯 6 h	2/26	3/29	101.5	71.8	6.8
	蛍光灯 4 h	2/17	3/21	94.9	-	6.1
	有意性			ns	ns	ns
夏秋咲き系	LED 6 h	8/20	9/19	85.9	-	7.1
	LED 4 h	8/18	9/19	87.1	-	6.9
	蛍光灯 6 h	8/18	9/17	84.7	-	7.0
	蛍光灯 4 h	8/19	9/17	84.3	-	7.3
	有意性			ns		ns
神馬品種	LED 6 h	8/20	9/18	99.9	93.9	6.8
	LED 4 h	8/20	9/17	100.7	108.1	7.2
	蛍光灯 6 h	8/19	9/17	95.7	97.2	6.7
	蛍光灯 4 h	8/19	9/16	96.8	100.7	7.0
	有意性			ns	ns	ns

- 注1. 発蕾日は、消灯後に3mm程度の花芽が確認できた日（平均値）。  
 2. 収穫日は、「花の切り前」（誠文堂新光社発行）において、切り前「2」となった日（平均値）。  
 3. 調製重は、切り花長を長さ90cmに調製し、下葉15cmを摘除したものを測定。  
 （神馬、精興光玉の蛍光灯4h区および精の一世の全処理区は切り花90cmに満たなくデータなし）  
 4. 茎径は、最上部から30cm程度部分を測定。  
 5. 有意性の\*は5%水準で有意差あり。nsは有意差なし。  
 6. 多重比較は、Tukey法により同符号間で5%水準で有意差なし。



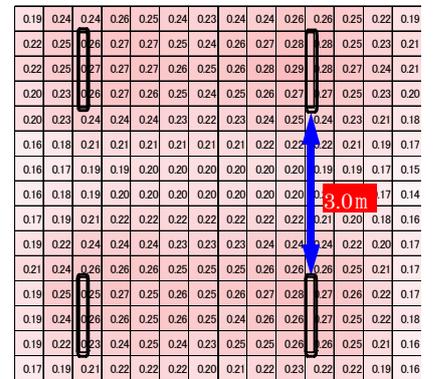
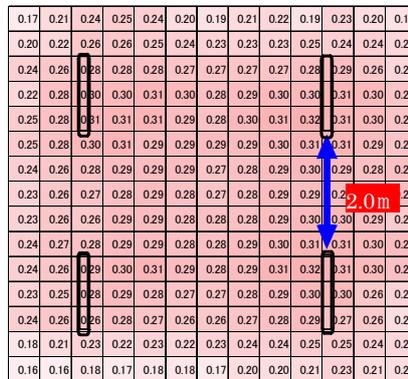
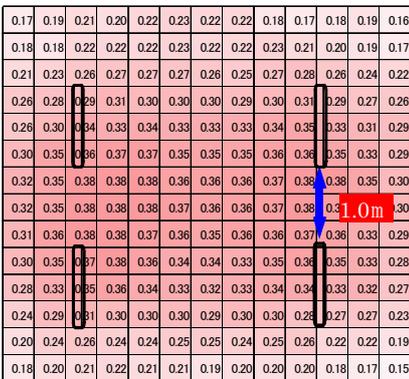
第10図 改良及型赤色LED電照装置

キク類の花芽分化抑制に効果的な波長および光強度の解明とLED電照装置の開発



第11図 電照装置の設置高1.8mでの地表面における光量子束密度の分布

注1. 図中の縦長の枠は電照装置の設置場所。  
 2. 図中の数値は、40cm四方枠における中心部の光量子束密度 ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ) の値で、色の濃淡により光の強さを示した。



## IV 考 察

キク類の周年栽培における花芽分化抑制のための電照栽培では、これまで主として白熱電球が光源として用いられてきた。しかし、二酸化炭素排出量の削減を目的とした白熱電球の製造中止、また節電効果への期待を背景として、生産現場では電球型蛍光灯への転換が急速に進んでいる。

キク栽培における白熱電球を光源とした電照では、花芽分化抑制のために、成長点付近の照度が50lux(約 $1.0 \mu \text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ )以上になるよう確保する必要がある。一般的には、電球を約 $10\text{m}^2$ あたり1球(3.0m間隔に配置した電照用配線に3.0mの間隔)設置し、4～5時間程度の電照を行う。また、電球型蛍光灯を利用する場合は、3波長型で白熱電球の色合いに近い電球色タイプの利用が多く、白熱電球と同様の設置条件で同程度の照度を確保できるものが利用されている。

一方、省エネ効果が非常に高くかつ寿命が極めて長いことから農業関連用途での利用研究が進んでいるLEDは、花き分野においてもキク類などで導入が図られるなど新たな光源として大きな期待がもたれている。

本研究では、単一のピーク波長を持つLEDの特長を活かし、キク類の花芽分化を効果的に抑制するための光の波長および強さを明らかにした。そして、周年栽培における電照光源として生産現場で利用可能なLED電照装置を開発するとともに、生産施設での設置条件を明らかにした。

試験1において、供試したLED赤、黄、緑、青の各波長の花芽分化への反応を確認し、LED赤(633nm)が最も花芽分化抑制効果が高いことを明らかにした。また、花芽分化抑制効果に最低限必要とされる光強度は成長点付近での光量子束密度 $0.5 \mu \text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で、それ以上であれば確実に花芽分化を抑制できるとの結果を得た。しかし、作型による差が認められたこと、また光強度が光源直下から距離に従って低下する条件下での試験であったことから、光強度を一定とした条件での検討が必要とされた。

試験2では、LED赤の均一照射が可能な試験用LED電照装置を用いて、光強度を一定とした条件での花芽分化への反応を確認した。その結果、対照の白熱電球と同様に確実な花芽分化抑制効果および切り花品質が得られるのは、光量子束密度 $0.2 \mu \text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上であることを確認した。LEDを利用してキクの電照を行う場合、赤色(波長633nm)で成長点付近の光量子束密度 $0.2 \mu \text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上を確保できる電照装置であれば、白熱電球の代替光源として使用できると考えられた。

最近になって、様々なメーカーからキクの花芽分化抑制の赤色LED電照装置が発表され、生産現場での導入

事例も増えている。その電照装置の殆どは、生産施設における既存の電照配線を利用することを前提とした電球型LEDである。白熱電球を使用する場合は、約 $10\text{m}^2$ あたり1球の電球の設置が一般的であるが、電球型LEDは指向角が狭いことから、光の強さが不足する場所が発生し、花芽分化の抑制効果に差が出るなどの心配がある。設置する高さに応じて間隔を考慮するなど、花芽分化の抑制に必要なとされる光量子束密度を確保できるように実測して確認する必要があるものと考えられる。

そこで、本研究では生産施設に既に設置されている電照用配線の設定を変更することなく利用でき、電球型LEDで心配される光の強さのばらつきが少ない、ライン型LEDを利用した赤色LED電照装置試作機を製作した。なお、実際の使用にあたっての電照装置の電源は、電照用配線のソケット部にタップを取り付け供給することを前提とした。

製作した試作機は、試験3の結果から生産施設の既存の電照用配線(3.0m間隔)利用を想定した設置間隔(1.5～2.0m)および高さ(1.5～2.5m)において、地面での光量子束密度 $0.2 \mu \text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上を確保でき、キクの花芽分化抑制のための電照装置として十分な能力を有することを証明できた。また、ライン型であることから、光強度のばらつきが懸念される電球型LEDに比べ均一な照射が可能で、安定した効果が得られると考えられる。

このことは、試験4で実施したスプレーギク、輪ギクの県内主要栽培品種での確認試験において、電照時間4時間で確実な花芽分化抑制効果が得られ、また白熱電球と同等の品質を確保できることから実証された。従って、本電照装置はキク類の生産現場において、花芽分化抑制用として効果の高い光源と言える。

本研究によって開発した電照装置は、シリコンゴムでLED発光部(3.7cm間隔で配置)を封入した長さ1.5m、幅1.0cmのライン型LEDを成型加工したアルミニウム製台座に固定したものである。軽量で脱着が容易な扱いやすい構造とした。また、生産施設での使用環境は紫外線、温度変化、湿度、さらには農薬への暴露など極めて過酷であるが、それらの条件にも耐え得ることを確認している。

キクの電照における光源として、白熱電球の代替として効果が実証されたものの、普及を図る上での課題は導入にあたっての初期設備費であり、低価格化のため製作コスト削減が不可欠であった。そこで、装置の長さを1.0mに変更し、接続コードにより3基まで接続可能な形態とすることで、使用するアダプターを削減した改良型を製作した。

## キク類の花芽分化抑制に効果的な波長および光強度の解明とLED電照装置の開発

改良普及型の電照装置の性能を試験3と同様の手法で確認を行ったところ、現場の生産施設での既存の電照用配線の配置（配線間隔3.0m）で、通常の設定高の範囲で設置した場合、装置間隔2.0mでキクの花芽分化抑制に対して十分な効果を有することが明らかとなった。しかし、電照装置1基および2基のみが影響する範囲では設置高が高いほど必要とされる光量子束密度を確保できない場所が発生するため確認が必要である。

本共同研究により開発した改良普及型赤色LED電照装置は、キク類の生産現場における白熱電球の代替光源として十分な能力を発揮できると結論できた。

なお、本装置は意匠登録を行うとともに、saisou®として商標登録を行っている。

### 謝 辞

研究を遂行するにあたり、福田学技術員および湯田利夫技査には試験圃場の管理並びに調査等の補助に多大な協力いただいた。ここに記して厚く深謝の意を表する。

### 引用文献

- 後藤英司ら(2008)アグリフォトニクスーLEDを利用した植物工場をめざしてー。シーエムシー出版 6-9, 127-129
- 石倉 聡・梶原真二・原田秀人・福島啓吾(2009)キクの電照抑制栽培に用いる白熱電球代替光源としての電球形蛍光灯 およびLEDの光エネルギー特性と開花抑制効果。広島農技セ研報. 84:1-6
- 白山 竜次・永吉 実孝(2013)キクの花芽分化抑制における暗期中断電照の波長の影響。園芸研. 12:173-178

