

赤色LEDの光強度および間欠照明がキクの花芽分化抑制効果に及ぼす影響

野村浩二¹⁾・二村幹雄¹⁾・渡邊孝政²⁾・伊藤健二¹⁾・鬼頭温文³⁾

摘要：赤色LED（ピーク波長634 nm）によるキクの花芽分化抑制に必要な光強度を明らかにした。

花芽分化抑制に必要な光強度は品種により明らかに異なり、夏秋系輪ギク「岩の白扇」、
「フローラル優香」及び「精の一世」でそれぞれ35 lx（約153 mW/m²）、25 lx（110 mW/m²）
及び20 lx（90 mW/m²）であり、夏秋系スプレーギクの「エース」では15 lx（68 mW/m²）
であった。秋系輪ギク「神馬」では15 lx（68 mW/m²）、秋系スプレーギク「レミダ
ス」では5 lx（25 mW/m²）であった。

また、短い間隔で点灯と消灯を繰り返す間欠照明が連続電照と同等の花芽分化抑制効果
を示すことを明らかにした。夏秋系輪ギク「精の一世」では30分点灯－15分消灯の繰り返
し、秋系輪ギク「神馬」では15分点灯－15分消灯の繰り返しにより、連続電照とほぼ同等
の花芽分化抑制効果を示し、電照に要する消費電力を削減できることを明らかにした。

キーワード：キク、LED、花芽分化抑制、間欠照明

Effects of Light Intensity and Cyclic Lighting Treatment with Red Light-Emitting Diodes on Inhibiting Flower Bud Initiation in Chrysanthemums

NOMURA Kouji, NIMURA Mikio, WATANABE Takamasa,
ITOU Kenji and KITOU Atuhumi

Abstract: The minimum light intensity of red light-emitting diodes (LEDs; peak wavelength, 634 nm) to inhibit flower bud initiation in chrysanthemums was determined. That intensity varied between cultivars. The intensities for the summer – autumn-flowering single-type cv.Iwa no Hakusen, Floral-Yuuka, Sei no Issei and the splay-type cv.Ace were 35, 25, 20 and 15 lx (approximately 153, 110, 90, and 68 mW/m²). The intensities for the autumn-flowering single-type cv.Jinba and splay-type cv.Remidas were 15 and 5 lx (approximately 68 and 25 mW/m²).

In addition, it was shown that cyclic lighting treatment, i.e., the repeating of a short light:dark cycle had the same inhibitory activity on flower bud initiation as continuous night-break-lighting. Specifically, the light:dark periods of the summer – autumn-flowering single-type cv.Sei no Issei and the autumn-flowering single-type cv.Jinba were 30:15 min. and 15:15 min. It was confirmed that the electricity costs of light culture of chrysanthemums could be reduced by cyclic lighting treatment with red LEDs.

Key Words: Chrysanthemum, LED, Inhibit flower Initiation, Cyclic lighting

本研究は「新農工連携研究促進事業」により実施した。

¹⁾ 東三河農業研究所 ²⁾ 東三河農業研究所（現東三河農林水産事務所）

³⁾ 東三河農業研究所（現愛知県経済農業協同組合連合会）

(2013. 9. 18 受理)

緒言

2008年4月、政府は電力消費の多い白熱電球について2012年までに国内での製造・販売を中止する方針を表明した。これをきっかけに、農業分野でも電力消費量の少ないLED利用への関心が急激に高まってきた。

LEDをキクの花芽分化抑制に用いる場合は、最も効果のある波長域と必要な光の強さを明らかにしておく必要がある。波長域については近年の研究結果により明らかになっており、およそ600～640 nm付近の赤色光であることが明らかになっている^{1, 2)}。しかし、花芽分化抑制に必要な赤色LEDの光強度は、詳しくわかっていない。

電力消費量をさらに削減する技術として、短い間隔で点灯と消灯を断続的に繰り返す「間欠照明技術（サイクリック・ライティング）」がある。連続電照と同等の効果が得られれば、消費電力の削減につながる。間欠照明技術の研究は以前から行われてきた。16時間暗期の中間4時間に、10分ごとに1分ずつ合計24分間（4時間の10%）白熱電球を照射した場合、200 lxで花芽分化を抑制できたとの報告³⁾がある。しかし、白熱電球や蛍光灯では点灯と消灯の繰り返しにより球切れや照度不足をおこすため、実用化されなかった。一方、赤色LEDを用いた試験では、秋系輪ギク「神馬」において、暗期2秒、明期1秒の間欠照明による4～8時間電照で適応性が高いとの報告⁴⁾もある。LEDは点滅に強い特徴があるため、間欠照明用の光源として適していると考えられる。

このように、キクの間欠照明に関しては一定の効果が認められている。しかし、間欠照明を秒単位で行う

には専用の装置が必要であり、普及が困難であるため、生産現場に普及しているタイマーで制御できる15分単位での間欠照明を検討する必要がある。

以上のことから、本研究では花芽分化抑制効果が高く、すでに量産されていて比較的安価な赤色LED（ピーク波長634 nm）について、花芽分化抑制に必要な光強度を数品種で明らかにするとともに、15分単位の間欠照明が花芽分化抑制に及ぼす影響について検討した。

材料及び方法

供試するLEDは、電力消費量が9Wでピーク波長634 nmの赤色LED（鍋清(株)、名古屋）とした。

光強度の測定は、各株の定植位置における地表面の水平照度とした。

測定する光の単位は、植物の光形態形成反応に関しては放射照度（単位：W/m²）を用いるのが合理的であ⁴⁾るが、光源が同じ場合は照度（単位：lx）と互いに相関関係があること（図1）、および生産現場での利便性から、本試験では照度を測定した。

1 赤色LEDによる花芽分化抑制に必要な光強度

(1) 夏秋系輪ギク「岩の白扇」の花芽分化抑制に必要な光強度（2010年試験）

供試品種は夏秋系主力品種「岩の白扇」とした。試験には2畝用い、それらの畝の外側にある通路それぞれの中央に、2.75 mの間隔で電照用ソケットを三つずつ設置し、そのうち連続する二つのソケットにLEDランプを設置した。なお、2畝の両側にある通路の間隔は3mで、ランプの高さは1.8 mとした。試験区の地表面照度は4～48 lxとした。

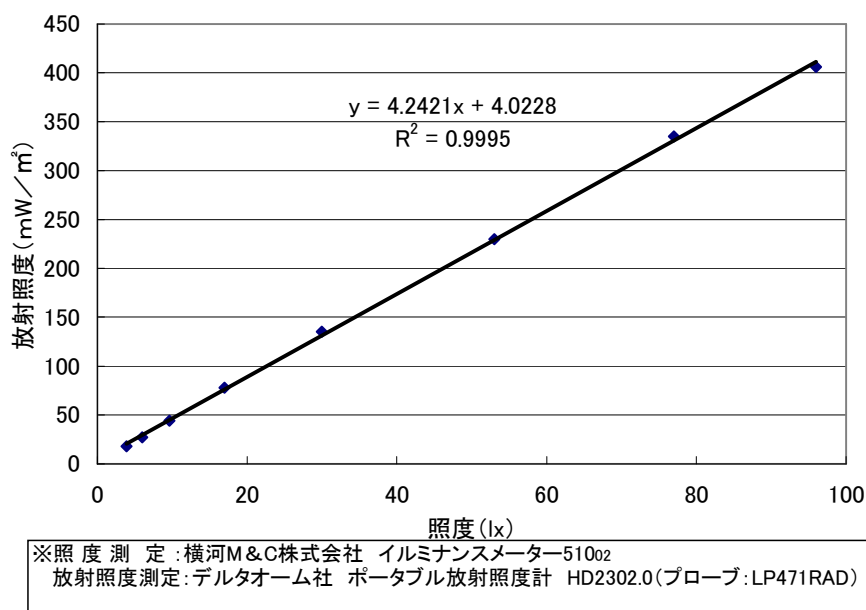


図1 ピーク波長634 nmの赤色LEDにおける照度と放射照度の相関

表 1 試験年度・品種別の栽培概要

年度	品種	定植日	電照打ち切り日	電照打ち切り後日長
2010	岩の白扇	5月12日	6月18日	12時間日長(18時30分～6時30分シェード)
	岩の白扇	5月19日	6月25日	12時間日長(18時～6時シェード)
2011	フローラル優香	5月19日	6月25日	12時間日長(18時～6時シェード)
	精の一世	5月12日	6月25日	12時間日長(18時～6時シェード)
	神馬	10月5日	11月24日	9時間日長(17時～8時シェード)
2012	岩の白扇	5月14日	6月19日	11時間30分日長(17時30分～6時シェード)
	エース	5月24日	6月19日	11時間30分日長(17時30分～6時シェード)
	レミダス	11月9日	12月7日	11時間日長(17時～6時シェード)

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	点灯	消灯	点灯	消灯	点灯	消灯	21:30	2:30	5時間	3時間30分
15分点灯 -15分消灯	点灯	消灯	点灯	消灯	点灯	消灯	21:30	2:45	5時間15分	2時間45分
15分点灯 -30分消灯	点灯	消灯	消灯	消灯	消灯	消灯	21:15	2:45	5時間30分	2時間
3時間30分 連続	点灯	点灯	点灯	点灯	点灯	消灯	22:15	1:45	3時間30分	3時間30分
5時間 連続	点灯	点灯	点灯	点灯	点灯	消灯	21:30	2:30	5時間	5時間

※図の1コマは15分間を示す。

※図中に示したコマは が点灯中で が消灯中を示す。

図 2 夏秋系輪ギクにおける間欠照明試験区

試験区	22時	23時	0時	1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
15分点灯 -15分消灯	点灯	消灯	点灯	消灯	22:00	1:45	3時間45分	2時間
2時間 連続	消灯	消灯	消灯	消灯	23:00	1:00	2時間	
15分点灯 -30分消灯	点灯	消灯	消灯	消灯	22:00	2:00	4時間	1時間30分
1時間30分 連続	消灯	消灯	消灯	消灯	23:15	0:45	1時間30分	
4時間 連続	点灯	点灯	点灯	点灯	22:00	2:00	4時間	4時間

※図の1コマは15分間を示す。

※図中に示した が点灯中で、 が消灯中を示す。

図 3 秋系輪ギクにおける間欠照明試験区

栽培概要を表1に示した。栄養成長期の電照時間は暗期中断5時間(21時~2時)とした。栽植様式は株間7.5 cmの4条植えで、無摘心栽培とし、供試株数は700株とした。

(2) 夏秋系輪ギク「岩の白扇」、「フローラル優香」及び「精の一世」の花芽分化抑制に必要な光強度(2011年試験)

供試品種は「岩の白扇」、「フローラル優香」及び「精の一世」とした。試験区には2畝用い、畝間の通路の中央に、間隔5.5 m、高さ1.9 mでLEDを2球設置した(試験1(3)~(6)も同様)。試験区の地表面照度は、各品種で7~44 lx、6~35 lx及び7~44 lxとした。

栽培概要を表1に示した。栄養成長期の電照時間は暗期中断5時間(21時30分~2時30分)とした。栽植様式は株間12cmの6条植え、無摘心栽培とした(試験1(3)~(6)と試験2も同様)。供試株数は「岩の白扇」が300株、その他品種ではそれぞれ150株とした。

(3) 夏秋系輪ギク「岩の白扇」の花芽分化抑制に必要な光強度(2012年試験)

供試品種は「岩の白扇」とした。試験区の地表面照度は、10~52 lxとした。

栽培概要を表1に示した。栄養成長期の電照時間は暗期中断5時間(21時30分~2時30分)とした。供試株数は150株とした。

(4) 秋系輪ギク「神馬」の花芽分化抑制に必要な光強度(2011年試験)

供試品種は「神馬」とした。試験区の地表面照度は、7~43 lxとした。

栽培概要を表1に示した。栄養成長期の電照時間は暗期中断4時間(22時~2時)とした。夜温は、電照打ち切り前が15℃、花芽分化期は19℃、発蕾後は15℃とした。供試株数は300株とした。

(5) 夏秋系スプレーギク「エース」、の花芽分化抑制に必要な光強度(2012年試験)

供試品種は「エース」とした。試験区の地表面照度は9~50 lxとした。

栽培概要を表1に示した。栄養成長期の電照時間は暗期中断5時間(21時30分~2時30分)とした。供試株数は150株とした。

(6) 秋系スプレーギク「レミダス」の花芽分化抑制に必要な光強度(2012年試験)

供試品種は「レミダス」とした。試験区の地表面照度は7~45 lxとした。栽培概要を表1に示した。栄養成長期の電照は暗期中断4時間(22時~2時)とし、電照打ち切り後は2時間(6時~8時)の補光をした。夜温は、試験1(4)と同様とした。供試株数は150株とした。

2 間欠照明が花芽分化抑制効果に及ぼす影響

(1) 夏秋系輪ギク「岩の白扇」及び「精の一世」の間欠照明と花芽分化抑制効果(2011年試験)

供試品種は「岩の白扇」及び「精の一世」とした。試験区は栄養成長期における電照方法で5区設けた(図

2)。電照方法としては、通常の前期中断の5時間連続電照を対照に、15分単位の間欠照明区を設定した。高さ1.9 mに設置したLED1球を中心に2.5 m×2.3 mの範囲内に供試株を植え付けた。なお、植え付け時および電照打ち切り時の水平照度が25 lx以上の株を調査した。

栽培概要は「精の一世」が定植5月12日、「岩の白扇」が5月19日で、電照打ち切りはいずれも6月25日とした。栄養成長期の電照は試験で設定された電照方法で各区行い、電照打ち切り後は12時間日長(18時~6時シェード)とした。供試株数は「岩の白扇」が300株、「精の一世」は150株とした。

(2) 秋系輪ギク「神馬」の間欠照明と花芽分化抑制効果(2011年試験)

供試品種は「神馬」とした。試験区は栄養成長期における電照方法により5区設けた(図3)。電照方法およびLEDの配置は試験2(1)と同様とした。なお、調査は地表面から電照打ち切り時まで25 lx以上の株を調査した。

栽培概要は定植10月5日、電照打ち切り11月24日とし、電照打ち切り後は9時間日長(17時~8時シェード)とした。供試株数は120株とした。

赤色LEDによる花芽分化抑制効果は、消灯後増加節数により判断した。消灯後増加節数とは、電照打ち切り時の最終展開葉節位から着花節位までに増加した葉数を示し、品種等により差があるものの、通常ではおよそ20~25前後である。消灯後増加節数が少ない場合は花芽分化抑制が不十分であったことを示す。

試験結果

1 赤色LEDによる花芽分化抑制に必要な光強度

夏秋系輪ギク「岩の白扇」については、2010年、2011年及び2012年に試験を行った。

2010年の結果を図4に示した。消灯後増加節数は光強度が強いほど多い傾向があり、25 lx以上でおよそ一定となった。

2011年の消灯後増加節数については、20 lx以上でほぼ一定となった(図5)。2012年の消灯後増加節数は、35 lx以上でほぼ一定となった(図6)。

夏秋系輪ギク「フローラル優香」の試験結果を図7に示した。消灯後増加節数は25 lx以上でほぼ一定となった。

夏秋系輪ギク「精の一世」の試験結果を図8に示した。消灯後増加節数は20 lx以上でほぼ一定となった。

秋系輪ギク「神馬」の試験結果を図9に示した。消灯後増加節数は15 lx以上でほぼ一定となった。

夏秋系スプレーギク「エース」の試験結果を図10に示した。消灯後増加節数は15 lx以上でほぼ一定となった。

秋系スプレーギク「レミダス」の試験結果を図11に示した。消灯後増加節数は光強度に関わらず、ほぼ一定の値を示した。

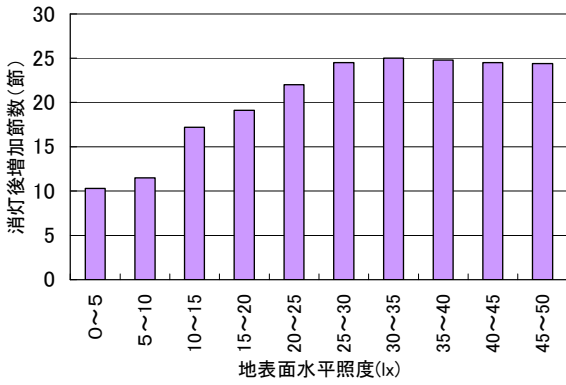


図4 634 nmLEDの照度と「岩の白扇」の消灯後増加節数(2010年)

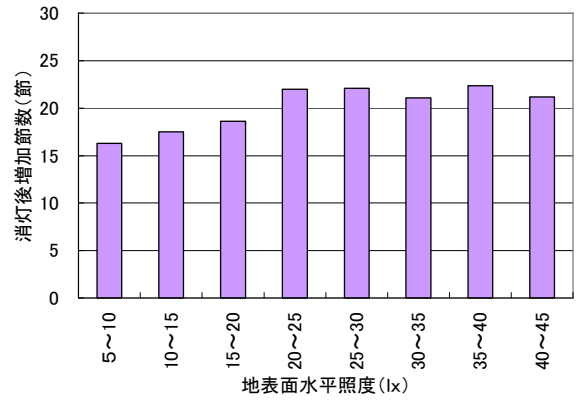


図5 634 nmLEDの照度と「岩の白扇」の消灯後増加節数(2011年)

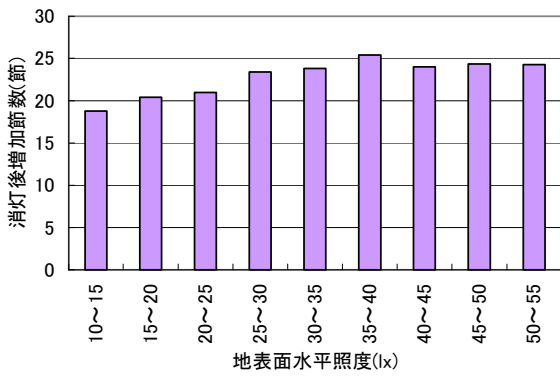


図6 634 nmLEDの照度と「岩の白扇」の消灯後増加節数(2012年)

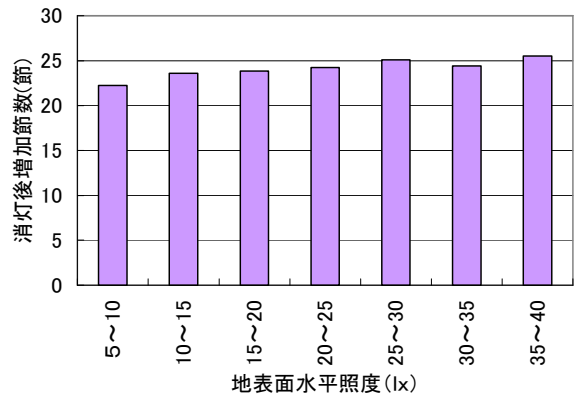


図7 634 nmLEDの照度と「フローラル優香」の消灯後増加節数

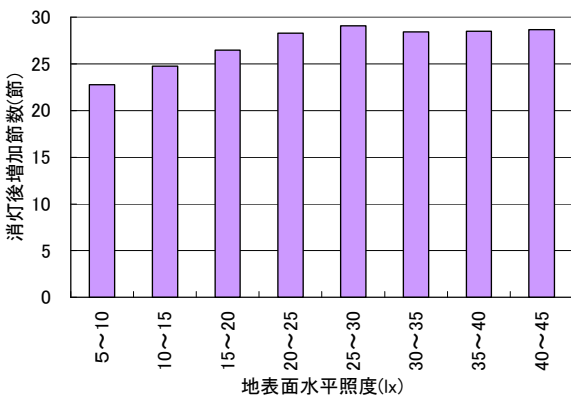


図8 634 nmLEDの照度と「精の一世」の消灯後増加節数

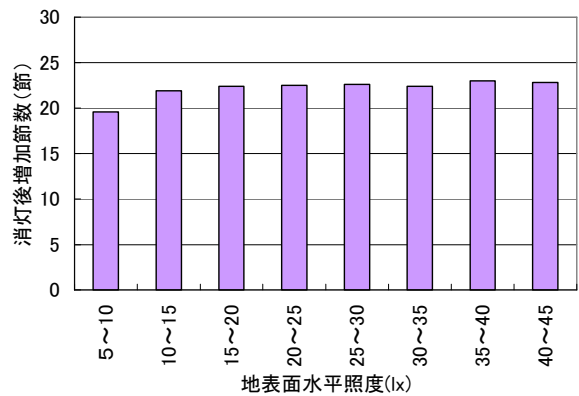


図9 634 nmLEDの照度と「神馬」の消灯後増加節数

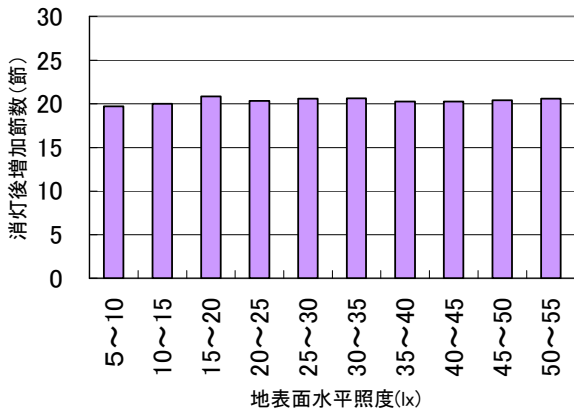


図10 634 nmLEDの照度と「エース」の消灯後増加節数

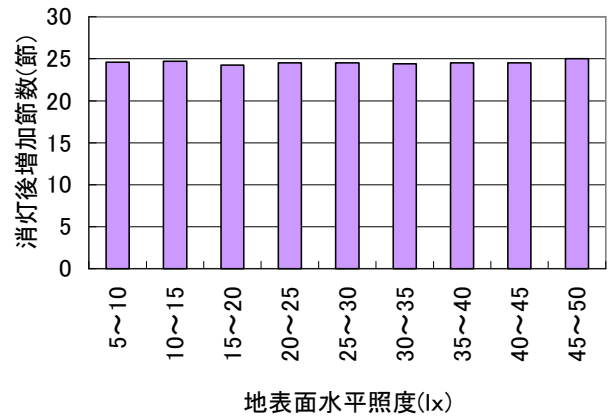


図11 634 nmLEDの照度と「レミダス」の消灯後増加節数

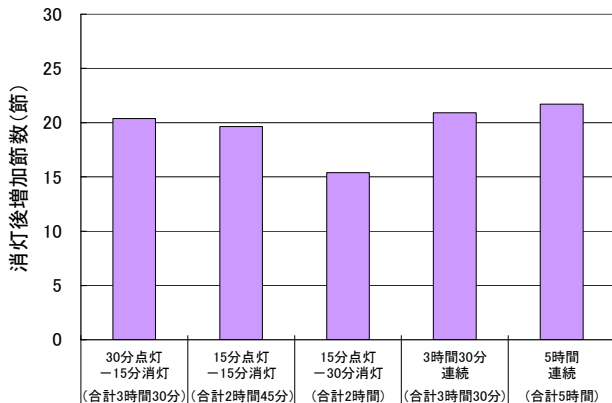


図12 間欠照明による「岩の白扇」の消灯後増加節数

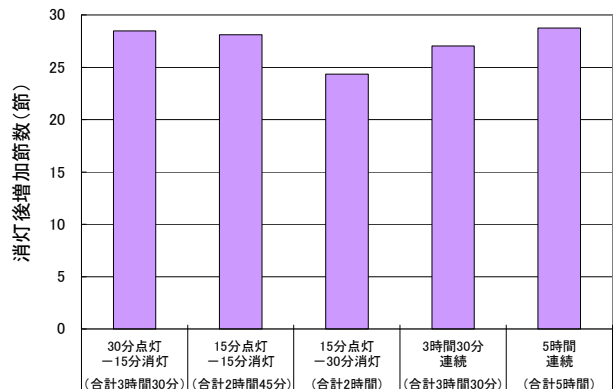


図13 間欠照明による「精の一世」の消灯後増加節数

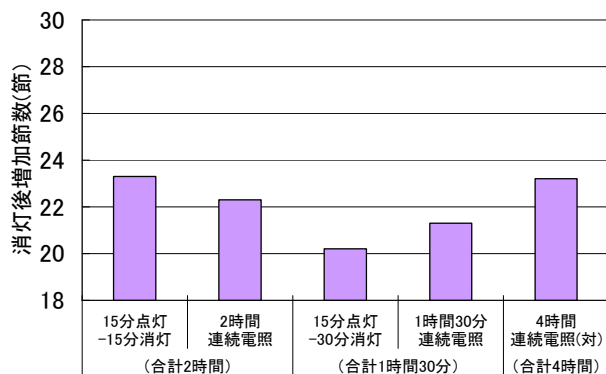


図14 間欠照明による「神馬」の消灯後増加節数

2 間欠照明が花芽分化抑制効果に及ぼす影響

夏秋系輪ギクにおける間欠照明試験の結果を、「岩の白扇」では図12、「精の一世」では図13に示した。

「岩の白扇」において消灯後増加節数が5時間連続電照に比較的近かったのは、30分点灯-15分消灯区及び連続3時間30分電照区であったが、いずれも5時間連続電照より少なかった。

「精の一世」において消灯後増加節数が5時間連続電照に比較的近かったのは、15分電照-15分消灯区及び30分電照-15分消灯区であった。特に30分電照-15分消灯区は5時間連続電照とほとんど差が認められなかった。

秋系輪ギク「神馬」における間欠照明試験の結果を、図14に示した。消灯後増加節数が4時間連続電照に比較的近かったのは15分電照-15分消灯区で、ほとんど差が認められなかった。

考 察

本研究では、キクの花芽分化抑制効果が高い赤色LED（ピーク波長634 nm）を用い、花芽分化抑制に必要な光強度及び間欠照明が花芽分化抑制効果に及ぼす影響について明らかにした。

花芽分化抑制に必要な光強度は、白熱電球では50 lxを実用的な指標としてきた⁵⁾。50 lx以上の光量を確保する電球の設置間隔は、およそ10 m²に1球ほどであり、現在キク農家が使用している電照用コードの多くはソケットの間隔が3m前後となっている。

今回は、生産現場で普及している電照用コードを利用することを想定して、赤色LEDを使用した場合に必要となる光量を数品種で検討した。

その結果、必要な光量は品種により異なり、5～35 lxと品種間差が大きかった。

夏秋系輪ギク「岩の白扇」は、生産現場において花芽分化抑制が特に難しい品種であるため、2010年度、2011年度及び2012年度の3か年にわたって試験を行った。その結果、花芽分化抑制に必要な光強度は試験年度により異なり、それぞれ25 lx以上、20 lx以上及び35 lx以上となった。

このように、栽培時期や栽培様式が同じでも花芽分化抑制程度が異なる現象は、生産現場においても確認されている。これは、株の育成履歴や環境要因などの違いにより花芽分化が影響を受けるためと考えられるが、35 lx以上であれば十分に花芽分化を抑制できるものと判断された。

また、秋系スプレーギク「レミダス」では、消灯後増加節数が光強度に関わらずほぼ一定の値を示したことから、5 lxあれば花芽分化抑制が可能と考えられる。

本試験で供試した品種は、夏秋系品種と秋系品種に分類できるが、花芽分化抑制に必要な光強度は秋系品種より夏秋系品種の方が強い傾向があった。

夏秋ギクは、秋ギク早咲き系統の選抜により、9月咲き品種、8月咲き品種及び7月咲き品種が順次育成されてきた⁶⁾。そのため、夏秋ギクは秋ギクより限界日長が長く、夏秋ギクの花芽分化を十分に抑制するためには、秋ギクよりも長い日長で、且つ強い光が必要であると考えられる。

また、スプレーギクの花芽分化抑制に必要な光強度は、夏秋系と秋系のいずれも輪ギクより明らかに弱かった。これは、スプレーギクにおける茎の伸長性が高く、一般的な切り花栽培での栄養成長期間が輪ギクより短いため、不時発蕾が起こりにくく、花芽分化抑制に必要な光強度が弱かったものと考えられる。

間欠照明については、夏秋系輪ギクでは「岩の白扇」と「精の一世」について、秋系輪ギクでは「神馬」について検討を行った。

その結果、本研究の間欠照明において、「岩の白扇」では連続電照と同等の花芽分化抑制効果は認められなかった。「岩の白扇」の花芽分化抑制には、試験1の結果が示すように比較的強い光が必要であり、点灯と消灯を繰り返す間欠照明では十分な花芽分化抑制効果が認められなかったものと考えられる。

一方、夏秋ギク「精の一世」では、30分点灯－15分消灯の繰り返し、秋ギク「神馬」においては15分点灯－15分消灯の繰り返しにより、連続電照とほぼ同等な花芽分化抑制効果が認められた。

このことから、間欠照明により「精の一世」では30%、「神馬」では50%の消費電力を削減できることが明らかとなった。

間欠照明による花芽分化抑制の効果は、今回の試験の範囲では、電照延べ時間よりも、点灯始めから終了までの時間の方が抑制効果が高いと考えられる。

以上、キクの花芽分化抑制に必要な光強度及び間欠照明が花芽分化抑制効果に及ぼす影響について明らかにしたが、キクの花芽分化は光以外に、温度、幼若性、株の老化、土壌養水分、日中の受光量など多くの要因により影響を受けるため、生産現場では、ここで得られた花芽分化抑制に必要な光強度を参考に勘案していただきたい。

引用文献

1. 大石一史, 新井聡, 犬伏加恵, 中村恵章. キクの花芽分化抑制に有効なLEDの波長、及び花芽分化抑制効果に及ぼす日射量の影響. 園芸学研究. 9(別2), 545(2010)
2. 白山竜次, 永吉実孝. 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. 園芸学研究. 12(2), 173-178(2013)
3. Cathey, H. M. and Borthwick, H. A. Cyclic lighting for controlling flowering of chrysanthemum morifolium. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 78, 545-552(1961)
4. 石倉聡, 村上克介. 赤色光LEDを用いた間欠照明による秋ギクの開花抑制効果. 園芸学研究. 75(別2), 386(2006)
5. 小西国義, 今西英雄, 五井正憲. 花卉の開花調節. 開花調節の手段. 養賢堂. 東京. (1988)
6. 川田譲一. 品種群の開花生態とその調節-夏秋ギク. 農業技術体系花き編6. 農文協. 東京. p.105(1995)