

LED燈源電照用於抑制菊花開花之研究¹

許謙信²

摘 要

試驗以LED10R (10W紅光)、7R3B (7W紅光混合3W藍光)、5R5B (5W紅光混合5W藍光)、5R2B (5W紅光混合2W藍光)及23W 110V、23W 220V黃光省電燈泡為對照進行照度量測。燈泡之架設高度為1.8 m，量測燈下及燈下不同水平距離之照度。10R (10W紅光)的照度高於7R3B (7W紅光混合3W藍光)，更高於5R5B (5W紅光混合5W藍光)。藍光對照度之貢獻度遠不及紅光。10R於燈下之照度高於23W 110V或23W 220V黃光省電燈泡，但是在燈下水平距離2.5 m處，則10R之照度低於23W 110V及23W 220V。於3 m邊長之正方形4頂角架設燈泡，並於夜間10 pm ~ 2 am電照4小時。不同燈泡下之‘芬蘭小粉’到花日數，10R於燈泡正方形中心點為54日。其餘燈泡正方形中心點則為47~51日，相差為3~7日。‘白天星’之到花日數則在42日至44日之間，其10R之紅光抑制開花之效果仍比其他各組佳，其次為23W 220V省電燈泡及LED 7R3B。‘黃精競’之到花日數，亦以10R之結果最好，其次為23W 110V及23W 220V省電燈泡。

關鍵字：菊花、光週期、暗期中斷、光質、LED。

前 言

菊花為短日植物，商業栽培上以夜間電照的方式維持插穗母株頂芽之營養生長。即在切花栽培之前期以電照抑制開花，以達到延長切花花莖之目的，同時可以調節產期^(4,14,21,22)。以鎢絲燈泡電照菊花每公頃栽培電費達4萬元以上，約佔菊花非勞力生產成本之18%^(2,11)，若以臺灣菊花栽培面積多達800 ha以上，則每年耗費之電費成本至少高達3千萬元。

利用夜間電照方式改變光週期以影響植物之開花，為菊花商業栽培經常之管理技術^(5,14,21,22)，同時在很多植物上亦有廣泛研究^(18,27)。對於不同光源之有效性^(3,15,17,18,27)、用電量⁽¹⁵⁾及環境光害污染⁽¹⁸⁾，國外多有研究結果。然而，近年廣泛利用於公共場所及家庭照明之省電燈泡⁽⁹⁾，已經由臺中區農業改良場試驗推廣，廣為栽培農友利用。可以節省下四分之三的電費^(6,7,8)。

不同光源之有效性及用電量常為評斷不同光源效率之重要依據。國外對於多種光源已有研究結果及利用之評估。發光二極體LED燈泡為新一代光源，具有低耗能、高效率、壽命長之優點，為汽車業者作為投射光源之新產品，並廣為做為紅綠燈，亦急待嘗試應用於路燈照

¹行政院農業委員會臺中區農業改良場研究報告第0781號。

²行政院農業委員會臺中區農業改良場副研究員。

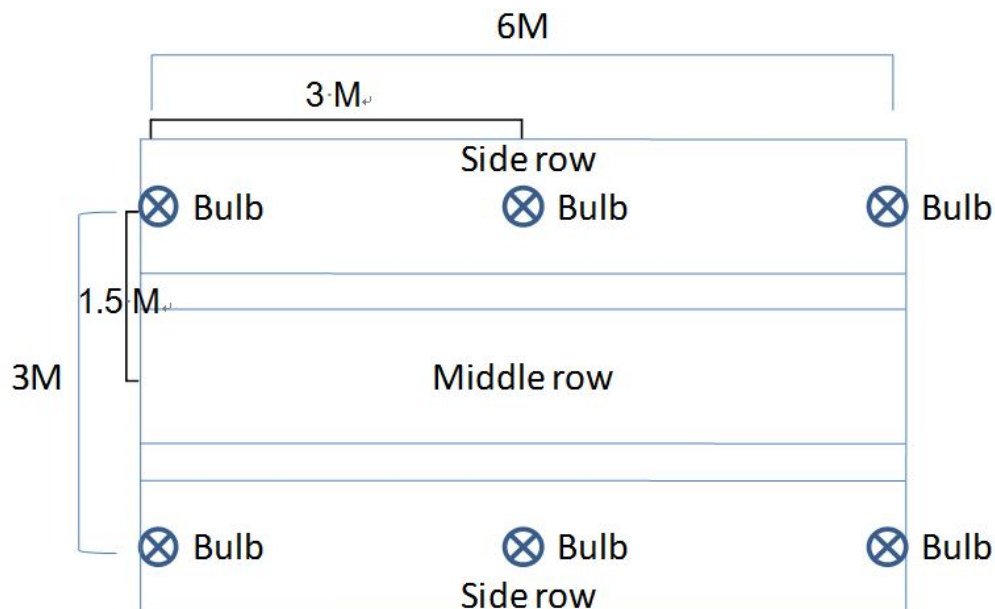
明⁽¹²⁾。應用於植物組織培養之光源，亦獲得良好之結果^(1,13)。測試LED燈泡是否可以應用於菊花電照為本試驗之目的。

材料與方法

菊花品種‘芬蘭小粉’、‘白天星’及‘黃精競’等3個品種扦插發根苗購自彰化縣田尾鄉。2011年7月7日種植於彰化縣大村鄉臺中區農業改良場露地環境，植株長至約0.2 m高，具6~7片展開葉時，於8月3日摘心，電照處理如下所述，並於2011年9月1日熄燈。

電照處理方式採用6種燈泡，菊花產區慣行之二種省電燈泡分別為23W 110V及23W 220V黃光省電燈泡(寶島之光E27 240DV螺旋型省電燈泡，廣翰光源有限公司，苗栗)為對照，另外4種LED燈泡，分別為10W紅光(10R)、7W紅光混合3W藍光(7R3B)、5W紅光混合5W藍光(5R5B)及5W紅光混合2W藍光(5R2B)等(紅光630 nm、藍光460 nm，蓋瑞實業有限公司，新北市)，6種燈泡均試驗連續電照。連續電照法之電照時間為夜間10時至隔日凌晨2時，共4 hrs。

考慮不同電照區之相互影響，每一處理僅試驗一區，共六區。每區種植三畦，畦寬為1.5 m(含畦溝)，不同區間相隔一空畦，並以黑色雜草抑制蓆於燈泡高度往下遮光1.8 m，防止不同區間之光線互相干擾。燈泡高度1.8 m，每區內燈泡架設採雙行，行距3.0 m，架設於左右畦上正中，雙行燈間尚有一畦，每行內之燈距為3 m。每品種於前後兩燈間種植三畦，長度為3 m。每區長6 m，寬3 m，架設燈泡6盞(圖一)。每畦種植採雙行植，行距35 cm，株距12 cm，摘心後每株苗留三分枝。



圖一、六個燈泡之長方形架設於畦上之方法。燈泡離地高度 1.8 m。

Fig. 1. Installation of 6 lighting bulbs in a rectangle on the rows. Height between the bulb and field ground is 1.8 m.

調查項目

- 一、光照強度：每種燈泡依單一燈泡架設高度1.8 m，於種植前以光度計(TES1332 digital Lux meter, Taipei)量測畦面與燈下水平距離每0.5 m位置之光照強度，自燈下畦面上方水平距離0 m至2.5 m共6點，每種燈泡量測4個。量測畦面與燈泡正下方不同水平距離之照度，將照度對距離取指數迴歸曲線，並依據迴歸方程式計算試區中間畦面於邊長中點至正方形中心點各距離0.5 m定點之照度，以為參考。
- 二、不同燈泡之光譜分佈：以10R、5R2B LED燈泡、及23W黃光省電燈泡架設於1.8 m高，以光譜儀(Red Tide, USB650, Ocean Optics, USA)於垂直下方測定。
- 三、熄燈後到花日數：距離燈泡垂直下方之水平距離每0.5 m為一調查區，自0 m到1.5 m共四個距離區，種植之三畦為三重複，每一小區內盛開花株數達一半時，為熄燈後到開花之日數。

結果與討論

6種燈泡量測之照度分佈，各有不同。調查不同燈泡於燈下1.8 m於不同水平距離之照度，結果如表一。其中10R (10W紅光)的照度高於7R3B (7W紅光混合3W藍光)，更高於5R5B (5W紅光混合5W藍光)。藍光處理提供之光度不及紅光。10R於燈下之照度高於23W 110V或23W 220V黃光省電燈泡，但是在距離2.5 m處則10R之照度低於23W 110V及23W 220V。此一量測結果顯示10R之照射分散角度較小，較不適合遠距離之照射(表一)。

表一、6種燈泡於燈下1.8 m於不同水平距離之照度(lux)

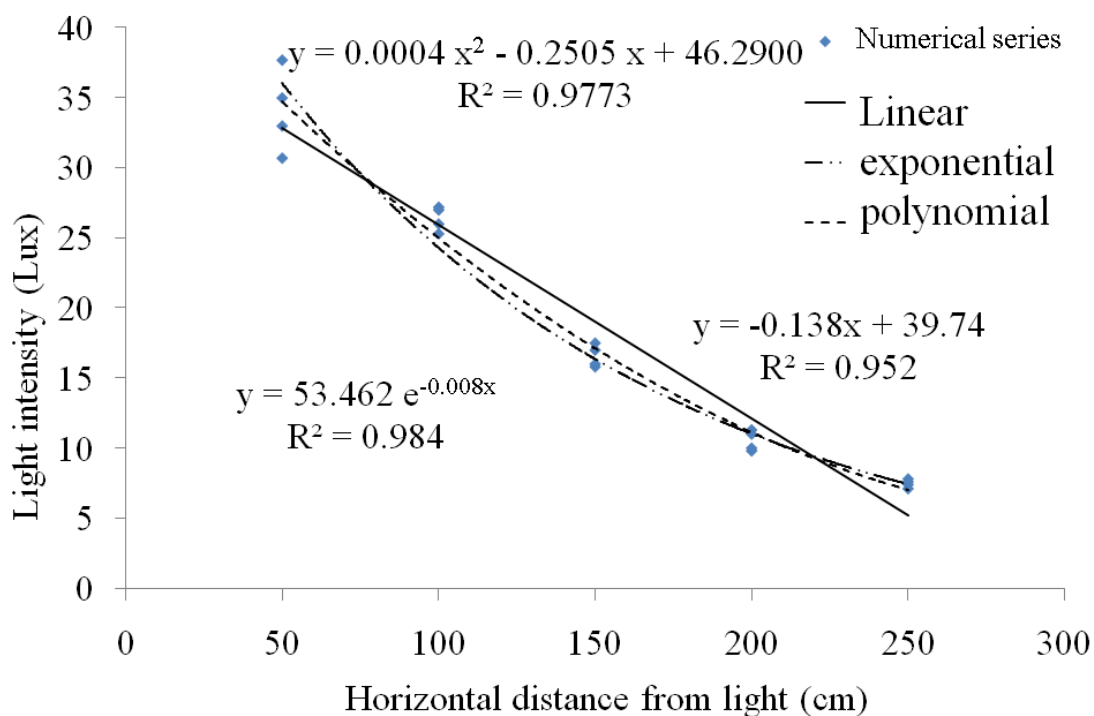
Table 1. Light intensity (lux) of 6 types of bulb in different distance (single bulb)*

Type of bulb	Horizontal distance from light					
	0 m	0.5 m	1 m	1.5 m	2 m	2.5 m
10R	41.0±4.2	36.5±2.5	22.6±2.3	12.6±1.2	6.7±0.7	4.0±0.3
7R3B	32.2±0.3	28.6±0.7	18.5±0.8	10.1±0.6	5.4±0.4	3.0±0.1
5R5B	24.0±1.4	21.0±2.1	12.9±0.8	7.5±0.4	4.0±0.4	2.5±0.1
5R2B	21.5±2.8	18.6±1.7	11.6±1.3	6.6±0.6	3.4±0.3	2.1±0.4
23W110V	25.0±4.6	24.1±4.6	18.6±2.3	11.5±1.1	7.2±1.2	4.9±0.6
23W220V	34.6±5.6	34.2±4.9	26.3±1.3	16.7±1.2	10.6±1.1	7.5±0.5

* Height of installation of lighting bulb was 1.8 m. The light intensity was measured by distance from light in horizontal on ground.

23W 220V省電燈泡之三種迴歸方程式詳如圖二，直線迴歸、二次方程式迴歸及指數方程式迴歸等三種曲線中以指數迴歸之決定係數最高，達0.984。6種燈泡之指數迴歸方程式詳如表二，其迴歸決定係數則介於0.984至0.994之間(表二)。依據各迴歸方程式估算3 m邊長正方形四頂點架設燈泡，於邊長中點(中間畦)至正方形中心間不同距離之估算照度，於距離最

遠之1.5 m處之照度，10 R照度達25.8 lux，7R3B有17.1 lux，23W 110V有24.9 lux，23W 220V有39.1 lux，而5R5B及5R2B則較低(表三)。



圖二、23W 220V 省電燈泡光照強度對地面不同水平距離之迴歸方程式(燈泡高度 1.8 m)。

Fig. 2. The regression equation of light intensity to horizontal distance on ground (height of lighting bulb was 1.8 m) of 23W 220V energy saving bulb.

表二、6 種燈泡架設 1.8 m 高之照度對地面不同水平距離之光度指數迴歸曲線方程式

Table 2. Exponential regression equation of light intensity to horizontal distance on ground from 6 types of bulb installed at 1.8 m height above soil level*

Type of bulb	Regression equation	R ²
10R	$Y=66.73e^{-0.011X}$	0.992
7R3B	$Y=54.65e^{-0.012X}$	0.994
5R5B	$Y=37.07e^{-0.011X}$	0.993
5R2B	$Y=34.09e^{-0.012X}$	0.987
23W110V	$Y=42.08e^{-0.009X}$	0.985
23W220V	$Y=53.46e^{-0.008X}$	0.984

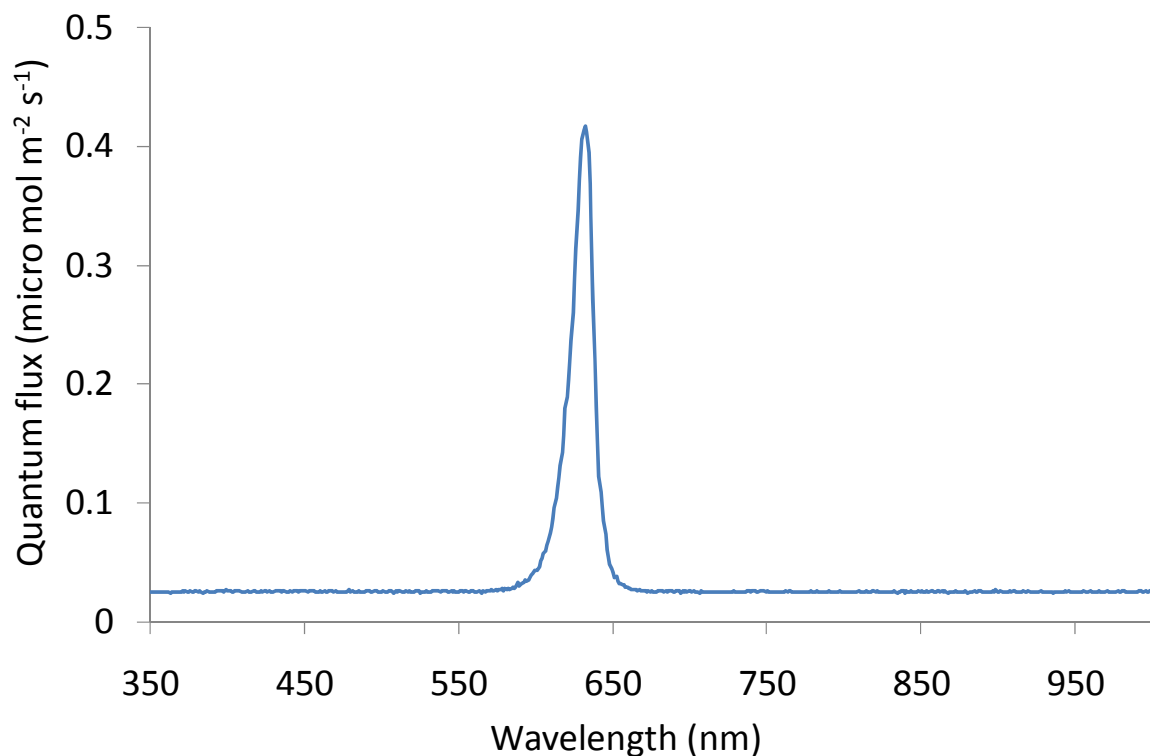
* X: horizontal distance, Y: light intensity.

表三、於 3 m 邊長之正方形四頂角架設燈泡，邊長中點至正方形中心間不同距離依據表二迴歸方程式計算之估算照度

Table 3. Calculated light intensity (Lux) from 6 types of bulb at different horizontal distance by regression equation of table 2 in a 3 m square

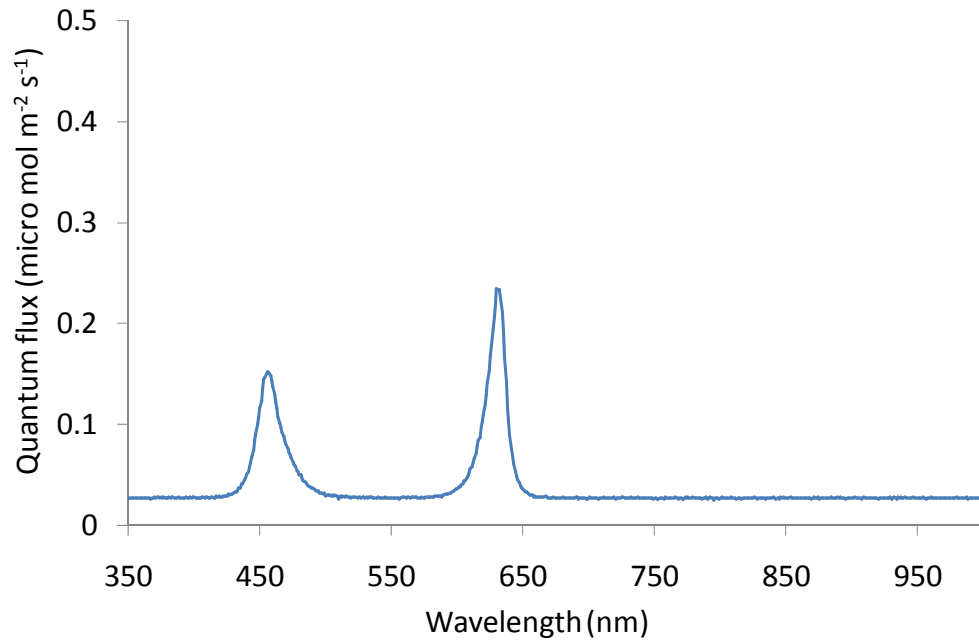
Type of bulb	Horizontal distance from the middle of two bulbs on the side			
	0 m	0.5 m	1 m	1.5 m
10R	28.9	28.8	26.9	25.8
7R3B	22.9	19.6	18.0	17.1
5R5B	16.0	16.0	14.9	14.3
5R2B	14.3	12.2	11.2	10.6
23W110V	20.2	26.3	25.4	24.9
23W220V	27.8	40.5	39.7	39.1

10R LED為紅光，光譜如圖三。有一波峰於630 nm。5R2B LED為紅藍混合光，其光譜如圖四。藍光之波峰於460 nm，紅光之波峰於630 nm。23W黃光省電燈泡之光譜如圖五。有較高之波峰分別於440、550、620 nm。



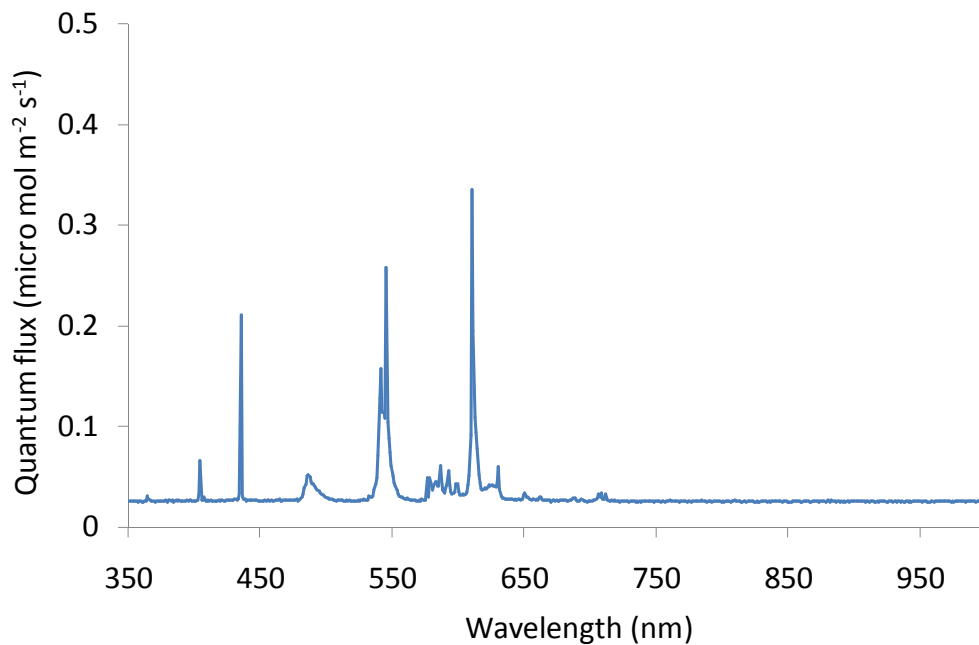
圖三、10R LED 紅光於 1.8 m 高時之光譜分佈。

Fig. 3. Spectral distribution of 10R LED red light bulb under 1.8 m from the light source.



圖四、5R2BLED 紅藍混光燈泡於 1.8 m 高時之光譜分佈。

Fig. 4. Spectral distribution of 5R2B LED mixed red and blue light bulb under 1.8 m from the light source.



圖五、23W 黃光省電燈泡於 1.8 m 高時之光譜分佈。

Fig. 5. Spectral distribution of 23W yellow energy saving fluorescent bulb under 1.8 m from the light source.

不同燈泡下之‘芬蘭小粉’到花日數，10R於燈下至燈下水平距離100 cm處為56日，為各組燈泡中到花日數最長。10R於燈泡正方形中心點之到花日數為54日。其餘燈泡正方形中心點之到花日數則為47至51日，相差為3至7日(表四)，以10R之抑制開花效果最好。‘白天星’之到花日數則在42日至44日之間，其10R之紅光抑制開花之效果仍比其他各組佳，其次為23W 220V省電燈泡及LED燈泡7R3B (表五)。「黃精競」之到花日數之結果與其他兩品種相似，以10 R之結果最好，其次為23W 110V及23W 220V之省電燈泡(表六)。

影響電照技術是否能有效抑制花芽分化的因子有三，一、電照光源之光質^(18,27)，二、電照之照度^(10,14,16,22)，三、電照之時間長短^(5,16,22,26)。本試驗測試慣行之新型省電燈泡及LED燈泡^(6,12)，在不同光源下之最低有效照度。

表四、不同燈泡電照下菊花‘芬蘭小粉’熄燈後之到花日數

Table 4. Days to flowering of Fen-Lan-Xiou-Fen chrysanthemum after light-off in different lighting bulbs treatment*

Type of bulb	Horizontal distance from light				
	0 m	0.5 m	1 m	1.5 m	2.1 m
10R	56.0	56.0	56.0	54.0	54.0
7R3B	54.0	54.0	51.0	51.0	51.0
5R5B	51.0	49.0	49.0	49.0	49.0
5R2B	54.0	51.0	51.0	49.0	49.0
23W110V	49.0	49.0	49.0	49.0	47.0
23W220V	51.0	51.0	51.0	51.0	49.0
LSD (0.05)	0.43	0.54	0.64	0.64	0.66

* Six types of lighting bulb were used after planting on 7/Jul./2011. Light off was on 1/Sep./2011.

表五、不同燈泡電照下菊花‘白天星’熄燈後之到花日數

Table 5. Days to flowering of Bai-Tien-Xing chrysanthemum after light-off in different lighting bulbs treatment*

Type of bulb	Horizontal distance from light				
	0 m	0.5 m	1 m	1.5 m	2.1 m
10R	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0
7R3B	44.0	44.0	42.0	42.0	42.0
5R5B	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0
5R2B	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0
23W110V	44.0	42.0	42.0	42.0	42.0
23W220V	44.0	44.0	42.0	42.0	42.0
LSD (0.05)	0.43	0.43	0.64	0.64	0.64

*: same as Table 4.

表六、不同燈泡電照下菊花‘黃精競’熄燈後之到花日數

Table 6. Days to flowering of Huang-Jin-Jin chrysanthemum after light-off in different lighting bulbs treatment*

Type of bulb	Horizontal distance from light				
	0 m	0.5 m	1 m	1.5 m	2.1 m
10R	54.0	54.0	54.0	54.0	51.0
7R3B	54.0	51.0	51.0	51.0	51.0
5R5B	51.0	51.0	51.0	51.0	51.0
5R2B	54.0	51.0	51.0	51.0	51.0
23W110V	54.0	54.0	51.0	51.0	51.0
23W220V	54.0	54.0	51.0	51.0	51.0
LSD (0.05)	0.58	0.64	0.64	0.54	0.43

*: same as Table 4.

利用電照調節植物開花成功與否和電照時之照度與光量(light amount)有關，如何量測照度以估算各品種所需最低光量，為商業栽培時必須考慮之實務^(10,14,22,24)。本試驗以單一燈泡架設於田間1.8 m高處，量測距燈下不同水平距離之照度與多位學者之研究結果比較，本試驗燈下位置之照度以10R最高，大於23W省電燈泡，藍光對照度之貢獻度遠小於紅光。另一方面，LED燈泡之投射角度小，分散光線之效果較省電燈泡差。

以電照抑制短日植物開花主要受光敏素所影響，光敏素有二型，分別為Pr及Pfr，此二型接受紅光或遠紅光後，彼此可以互相轉換，依二型之含量比(Pfr/Pr)帶動植物荷爾蒙或其他生化反應，以控制開花。Pr轉換為Pfr之最有效光源為紅光(660 nm)，而Pfr轉換Pr之最有效光源為遠紅光(730 nm)。以其他波長之光線照射時，雖效率較差，仍有調控開花之效果。以大豆為例，藍光(480nm)抑制開花之效率僅為紅光(660 nm)之1/20。而介於紅光及藍光間之光源，其效率介於二者之間^(18,27)。本試驗以全紅光及紅藍混合光測試時，以全紅光效果最佳，相同功率下，紅藍光混合抑制菊花開花之效果較全紅光差。然而在組織培養的應用上，同時兼具紅光及藍光之燈源，植株能有較佳的生長^(1,13)。在草莓的栽培上同時具有紅光及藍光亦有較佳之結果，單獨紅光植株有徒長之情形⁽²⁵⁾。藍光有抑制莖伸長之作用⁽¹⁹⁾，然而此一機制與遺傳有關，有些馬鈴薯之品種無此效果⁽²³⁾。本試驗以紅藍混合光夜間電照菊花則無抑制莖長之效果，各處理間之株高沒有顯著差異。

電照時之最低照度為田間架設燈泡時重要之考量，同時關係設置電力設備時之成本⁽²²⁾。因為品種間對照度之需求不同，Accati-gonibaldi以深夜電照4 hr，100w鎢絲燈泡測試5品種，若依Kofranek之測量照度推算，照度需求介於3~13 lux之間⁽²⁰⁾。在未提及電照時間長短下，日本學者測試25個品種，指出照度需求在12~98 lux之間⁽¹⁴⁾，而臺灣之栽培品種依黃及朱之研究，品種間之照度需求亦有差異⁽¹⁰⁾。本試驗使用之三個品種，在不同燈泡之最低照度連續電照4 hr下，三個品種之抑制開花效果顯有差異，以白天星最易電照抑制花芽，而芬蘭小粉則最為困難。

使用紅光LED及省電燈泡在低光度區之照度相似，在紅光LED較低照度下，LED之效果較省電燈泡為佳。利用LED燈泡節約能源，可以節省電量，唯品種間之需光量臨界點不同，必須評估各栽培品種之最低需光量，及依品種提供調整照度及照明時間之方法。

誌 謝

本試驗之完成承農委會100農科-4.2.2-中-D3及101農科-9.2.2-中-D3之經費支持。試驗及文稿之完成承吳素卿小姐、顏汎州及李文宏先生、黃素青小姐之協助，特此致謝。

參考文獻

1. 方煒、饒瑞佶 2004 使用超高亮度LED調整光量及光質與二者對馬鈴薯組培苗生長之影響 植物種苗 6: 57-74。
2. 臺灣農產品生產成本調查報告 2001 冬菊 行政院農業委員會中部辦公室 p.350。
3. 林純瑛、黃益利 1996 電照菊花燈泡好還是日光燈好呢？ 臺灣花卉園藝 110: 32-34。
4. 林慧玲 譯 1990 菊花 p.269-289 設施花卉開花調節技術 臺南區農業改良場。
5. 許謙信、張致盛 1995 菊花 p.525-540 增修訂再版臺灣農家要覽農作篇(二) 豐年社 臺北。
6. 許謙信、魏芳明、田雲生、陳彥睿 2002 菊花電照省電方式之研究:省電燈泡與間歇照明 臺中區農業改良場研究彙報 76: 43-53。
7. 許謙信、洪惠娟 2004 利用省電燈泡與間歇照明節省菊花電照成本 中國園藝 50: 209-218。
8. 許謙信、饒瑞佶、方煒 2004 菊花電照省電方式之研究:不同光質省電燈泡電照抑制開花作用 臺中區農業改良場研究彙報 85: 1-12。
9. 郭華生 1994 旅館業照明省能利器--省電燈泡 能源節約技術報導 13(5): 2-12。
10. 黃敏展、朱建鏞 1984 電照菊標準照明方法之研究 興大園藝 9: 45-49。
11. 葉庭璋 1996 菊花電照光源最適配置與控制之研究 國立中興大學農業機械工程學系碩士論文 pp.91。
12. 劉婉柔 2011 分析新能源產業之產業關聯與投入產出 臺灣經濟研究月刊 34(11): 45-60。
13. 饒瑞佶、方煒、蔡田龍 2003 超高亮度紅、藍光LED應用於蝴蝶蘭組培苗栽培之研究 農業機械學刊 12: 93-100。
14. 船越桂市 1989 開花調節技術 p.28-50 船越桂市編 切り花栽培の新技術 きく(上) 誠文堂新光社 東京。
15. Accati-Garibaldi, E., A. M. Kofranek and R. M. Sachs. 1977. Relative efficiency of fluorescent and incandescent lamps in inhibition flower induction in *Chrysanthemum morofolium* 'Albaltross' Acta Hort. 68: 51-56.

16. Cathey H. M. and H. A. Borthwick. 1961. Cyclic lighting for controlling flowering of chrysanthemum. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 78: 545-552.
17. Cathey, H. M. and H. A. Borthwick. 1970. Photoreactions controlling flowering of *Chrysanthemum morifolium* (Ramat. and Hemfl.) illuminated with fluorescent lamps. Plant Physio. 45: 235-239.
18. Cathey, H. M. and L. E. Campbell. 1975. Effectiveness of five vision-lighting sources on photo-regulation of 22 species of ornamental plants. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 100: 65-71.
19. Folta, K. M. and K. S. Childers. 2008. Lights a growth regulator: controlling plant biology with narrow-bandwidth solid-state lighting system. HortSci 43: 1957-1964.
20. Kofranek, A. M. and M. Robinson. 1973. Tables for calculating desired light flux density for horticultural crops. Scientia Hort. 1: 263-269.
21. Larson, R. A. 1992. Cut chrysanthemum. p.1-42. In: Introduction to Floriculture (2nd ed). Academic Press, San Diego, California.
22. Machin, B. and N. Scopes. 1978. Chrysanthemums year-round growing. p.233. Brandford Press, Poole, Dorset, Illinois. US.
23. Massa, G. D., H. H. Kim, R. M. Wheeler and C. A. Mitchell. 2008. Plant productivity in response to LED lighting. HortSci 43: 1951-1956.
24. Sachs, R. M., A. M. Kofranek and J. Kubota. 1980. Radiant energy required for the night-break inhibition of floral initiation is a function of daytime light input in chrysanthemum. HortSci 15: 609-610.
25. Samuoliene, G., A. Brazaityte, A. Urbonaviciute, G. Sabajeviene and P. Duchovskis. 2010. The effect of red and blue light component on the growth and development of frigo strawberries. Zemdirbyste Agriculture 97: 99-104.
26. Seeley, J. G. and A. H. Weise. 1965. Photoperiodic response of garden and greenhouse chrysanthemum. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 87: 464-471.
27. Vince-Prue, D. 1975. The response to light. p.70-130. In: Photoperiodism in Plants. McGraw-Hill Book, Maidenhead, Berkshire, England.

Effects of LED Light Sources on the Flower Inhibition of Chrysanthemum¹

Chian-Shinn Sheu²

ABSTRACT

LED lights 10W red (10R), 7W red with 3W blue (7R3B), 5W red with 5W blue (5R5B) and 5W red with 2W blue (5R2B) were tested for flowering inhibition of Chrysanthemum. The 23W 110V and 23W 220V yellow energy saving blubs were used as control. The height of light installation was 180 cm. Light intensity of 10R was higher than 7R3B and 5R5B. The input of light intensity of blue light was less than red light. Light intensity on ground under the 10R LED was higher than 23W 110V and 23W 220V blubs, while less than same blubs at the 250 cm away in horizontal. Light bulbs were installed on the 4 corners of a 3 m square and lighting was setup from 10 pm to 2 am. For variety "Fen-Lan-Xiou-Fen", days to flowering of square center of 10R treatment was 54 days, while was 47 - 51 days of the other bulb treatments. For variety Bai-Tein-Xin, days to flowering was from 42 - 44 and the inhibition efforts of 10R treatment was better than others. For variety "Huang-Gin-Gin", it was similar with the other two varieties. The result of 10R was the best.

Key words: Chrysanthemum, photoperiod, night-break, light quality, LED.

¹ Contribution No. 0781 from Taichung DARES, COA.

² Associate Horticulturist of Taichung DAIS, COA.