

添加紅外光之光源對草莓生長與種苗生產之影響

鄔家琪* 許碩庭

國立宜蘭大學園藝學系

摘 要

為研究不同光質對草莓‘豐香’營養生長與種苗生產之影響，利用三種不同光質之發光二極體 (LED)，6R2B1IR (紅光：藍光：紅外光=6：2：1)、7RGB (紅光：藍光：綠光=7：1：1) 與 CW (全波長，冷白光)，栽培草莓植株 6 週，探討紅外光之添加對草莓生長與種苗生產之促進效果。試驗結果顯示添加 10%紅外光之 6R2B1IR 處理下植株葉片厚度較薄，但葉柄數、葉面積、植株生物量、光合作用能力、生理代謝物含量及走莖生成皆較高，同時所產出之走莖苗生長亦較佳，表示添加適當紅外光成分可促進草莓‘豐香’之生長與走莖生成，進而增加種苗生產效益。

關鍵詞：草莓，紅外光，光質，生長，繁殖

*通訊作者。E-mail: angwu@niu.edu.tw

Effects of infrared Added Light on Growth and Runner Propagation in Strawberry

Chia Chyi Wu* Shuo Ting Hsu

Department of Horticulture, National Ilan University

Abstract

This study was aimed at investigating the effects of light quality of Light Emitting Diodes (LED) on plant growth and runner propagation of strawberry 'Toyonoka'. Strawberry plants were cultured under three different light qualities of LED, 6R2B1IR (red: blue: infrared = 6:2:1), 7RGB (red: blue: green = 7:1:1) and CW (full wave length, cool white), for 6 weeks to understand if the addition of infrared in red and blue light could promote strawberry propagation. The greatest leaf number, leaf area, biomass, photosynthesis, photosynthetic pigment content, photosynthate, runner and ramet production were shown in 6R2B1IR treatment (addition of 10% infrared). However, the leaf was thin. The results showed that supplemental infrared light could promote plant growth and runner production of strawberry 'Toyonoka', thus increase the benefit of seedling productivity.

Keywords: strawberry, infrared, light quality, growth, propagation

*Corresponding author. E-mail: angwu@niu.edu.tw

壹、前言

草莓 (*Fragaria ×ananassa* Duch.) 是極具經濟價值之園藝作物，性喜冷涼氣候，臺灣地區以冬季栽培為主，產期為 12 月至隔年 4 月。產季結束後，部分農民會自行育苗，以預備下一年度之草莓種苗。因此草莓定植後不久，植株就感受低溫，進入開花與結果期，由於草莓種苗從定植到收穫時間只有二個月，因此種苗品質成為栽培關鍵。種苗的健康與大小，對於整季的產量與收益有重大影響 (李, 1995; Faby, 1997)。健壯的種苗才能提高定植存活率，加速生長發育，提高早期產量與總產量，以提高收益。臺灣草莓種苗大部分利用田間母株走莖育成，因此種苗的品質深受育苗母株健康狀況影響 (李, 1995; Pertuze *et al.*, 2006)；同時種苗大小因育苗天數而異，直接影響定植後植株生育、花芽分化及果實品質。近年來由於環控技術的進步，利用可調控環境的設備來進行作物繁殖與栽培已經成為一新興趨勢，其尤適合於種苗的繁殖與生產。因為大部分種苗體積小，可利用多層架栽培，節省栽培空間，增加單位面積產量；同時能配合植物不同生長期，提供最適合的溫度與光環境等均一環境，進行產期調節。

光是影響植物生長最重要的環境因子之一，不同的光譜成分及荷爾蒙訊號途徑皆會經由觸發植物的生理反應來影響植物的生長及發育 (Briggs and Olney, 2001)。光合色素葉綠素 a、葉綠素 b 在紅光區 (654-671 nm) 與藍光區 (435-470 nm) 有最大的吸收高峰 (徐與廖, 2009)；綠光之添加可增進某些植物種類的生物量與葉面積 (Kim *et al.*, 2004)；在紅外光的範圍波長，可刺激促進光合系統 II 之光化學活性 (Pettai *et al.*, 2005)。紅光/遠紅光比例也可用來調節植物之形態、莖長度與開花等 (Yamada *et al.*, 2009)。一般植株栽培所需光源，大多以可見光波長範圍內光合色素葉綠素吸收峰之紅光與藍光組合配置，少有加入紅外光之探討。

在人工環控室內使用人工光源可排除外在氣候影響，而穩定作物生產，發光二極體 (Light Emitting Diodes, LED) 因具體積小、壽命長、省電與可準確調整光強度及光質等特性，因此被推薦作為環控室內作物生產的光源 (Mitchell *et al.*, 2012)。不同植物對光譜成分的反應各不相同，一般雙子葉植物較單子葉植物更加敏感 (Deutch and Rasmussen, 1974)，草莓即為雙子葉植物，因此本試驗擬以

三種不同光質栽培草莓，觀察其對草莓生長與種苗繁殖之影響，進一步探討在紅藍光組合下，紅外光的添加對草莓生長與種苗繁殖影響，評估其可否利用於草莓栽培生產，達到人工環控室內高效能之草莓生產。

貳、材料與方法

一、材料與栽培

草莓 (*Fragaria × ananassa* Duch.) 栽培種‘豐香’，購自苗栗縣大湖鄉。挑選大小與生長勢一致，具四片完整展開葉之健壯種苗，移植至直徑 17.8 cm 塑膠硬盆內。土壤介質為泥炭土：珍珠石：蛭石，比例為 1：1：1 (v/v)，放置於日/夜溫 25/18°C、日/夜長 16/8 小時之環控室內進行 6 週之試驗。試驗期間植株每週適量澆灌 1000 倍市售肥料花寶二號 (氮：磷：鉀比例為 20：20：20。台和園藝企業股份有限公司) 稀釋液 2-3 次。

使用層架栽培。每一栽培架具四層層架，每層架放置供試盆栽 12 株。每層架光強度為 175-180 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。使用發光二極體 (光茵股份有限公司，臺灣) 不同光質之光源光譜圖如圖 1：

(一)、6R2B1IR：紅光 (600-700 nm)：藍光 (400-500 nm)：紅外光 (700-800 nm) = 6：2：1。

(二)、7RGB：紅光 (600-700 nm)：綠光 (500-600 nm)：藍光 (400-500 nm) = 7：1：1。

(三)、CW：全波長冷白光 (400-700 nm)。

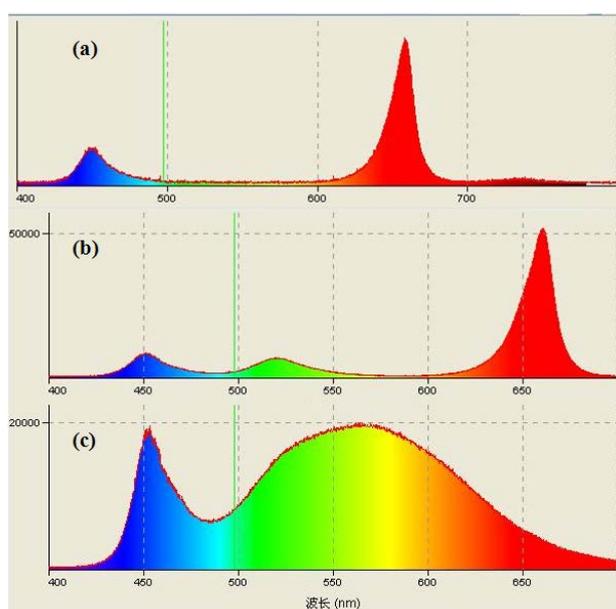


圖 1. 不同光質之參試發光二極體光譜圖。(a) 6R1B1IR；(b) 7RGB；(c) CW。

Fig. 1. Different spectrum of Light Emitting Diodes (LED) light quality. (a) 6R1B1IR; (b) 7RGB; (c) CW.

二、測定項目及分析

於試驗終了時，調查草莓植株葉數、葉長、葉寬、莖冠直徑、光合作用與走莖生成數，走莖長出之走莖苗數量、其莖冠直徑、鮮重及乾重，測量植株地上部與地下部之鮮重、乾重、葉面積，分析植株與走莖苗之葉綠素、類胡蘿蔔素、可溶性碳水化合物與澱粉含量，並製成永久切片，觀察葉片切面組織解剖情形。

三、測量與分析方法

(一)、葉面積

每株植株中選取 3 片完整展開葉，以 LI-3000 葉面積測定儀 (LI-3000 Area Meter, LiCor, USA) 測量之。

(二)、光合作用

選取各處理之供試植株 2 片成熟葉，以 LI-6400 光合作用測定儀 (LI-6400 Portable Photosynthesis System, LiCor, USA) 測定葉片淨光合作用速率、氣孔導度與細胞間隙 CO₂ 濃度等。

(三)、葉綠素與類胡蘿蔔素含量

依鍾等 (2010) 方法進行。選取各處理之供試植株 5 株新鮮葉片各 2 克，加入液態氮，研磨至碎片狀，加入 20 ml 80% 丙酮研磨，再繼續加入丙酮至 100 ml 並研磨。以分光光度計 (Spectrophotometer, Thermo Electron, BioMate3, USA) 於 470 nm、646.6 nm、663.6 nm 及 652 nm 波長下測其吸光值，並以下列公式換算各色素含量

$$\text{葉綠素 a (mg/g)} = (12.25 \times A_{663.6} - 2.55 \times A_{646.6}) \times V/1000 \times W$$

$$\text{葉綠素 b (mg/g)} = (20.31 \times A_{646.6} - 4.91 \times A_{663.6}) \times V/1000 \times W$$

$$\text{類胡蘿蔔素 (mg/g)} = \{ [1000 \times A_{470} - 3.27 (\text{葉綠素 a}) - 104 (\text{葉綠素 b})] / 227 \} \times V/1000 \times W$$

V：80%丙酮萃取液的體積 (ml)；W：葉片鮮重 (g)。

(四)、可溶性碳水化合物與澱粉含量

參考 Morris (1948) 方法。選取各處理之供試植株 5 株，植株地上部分別以 75°C 烘乾後，磨粉，秤取 1 克樣品，加入 50 ml 之 80% 酒精，於 80°C 水浴 30 分鐘，保留殘渣，並以 Whatman No.2 濾紙過濾，於殘渣加入 80% 酒精 20 ml，80°C 水浴 30 分鐘後過濾，殘渣再加入 80% 酒精 20 ml。將三次濾液合併測定可

溶性碳水化合物。過濾後殘渣經烘乾測定澱粉含量。

合併三次濾液後去除濾液中之酒精並通過 PVP，定量至 100 ml。稀釋至適當濃度，取稀釋液 2 ml，加入 4 ml anthron(0.5 g anthron 溶於 250 ml 95% H₂SO₄) 溶液混合均勻後，於 100°C 沸水浴 6.5 分鐘，再於冰浴中急速冷卻後，於波長 625 nm 測其吸光值。

另配置葡萄糖標準液，測其吸光值，繪製吸光值與葡萄糖濃度間相關直線，作為標準曲線。並依下列公式求得可溶性碳水化合物含量。

可溶性碳水化合物含量 = 葡萄糖濃度/乾物重

另過濾後殘渣經烘乾，取 0.5 克加入 2% HCl 25 ml，於 90°C 水浴 3.5 小時，以 Whatman No.2 濾紙過濾後，用 5 M NaOH 中和，以 phthalein 為指示劑，加至淡紅色為止，稀釋至適當濃度，取稀釋液 2 ml，加入 4 ml anthrone (0.5 g anthron 溶於 250 ml 95% H₂SO₄) 溶液，混合均勻後，於 100°C 沸水浴 6.5 分鐘，再於冰浴中急速冷卻，於分光光度計 (Thermo Electron, BioMate3, USA) 波長 625 nm 測其吸光值。同樣以葡萄糖製作標準曲線，依下列公式換算澱粉含量。

澱粉含量 = 葡萄糖濃度 × 0.9 / 乾物重

(五)、永久切片方法

參考蔡 (2000) 修改而得。每株植株取 1-2 片成熟葉，以刀片割取含中脈之長 1 cm、寬 0.5 cm 樣品，進行以下步驟：

1. 固定：將樣品放入體積為樣品 10 倍以上之固定液 (Formalin : Glacialaceticacid : 70%Alcohol=1 : 1 : 18) 中，固定至少 24 小時。
2. 抽氣：以抽氣機進行抽氣至少 24 小時，去除樣品組織細胞間隙的空氣。
3. 脫水：以第三丁醇 (Tertiary-Butyl alcohol, TBA)、95%酒精、蒸餾水，分別調配成 10%、20%、35%、55%、75% 與 100%之 TBA 脫水劑，將抽氣過後之樣品，由低濃度至高濃度依序浸入，每次浸泡時間兩小時，至 100%之 TBA 內時，加入少許 Safranin O，將樣品染色，供埋蠟時辨認。
4. 滲蠟：將樣品浸泡於 100%之 TBA 放置隔夜後，將樣品置入 60°C 烘箱內，將新蠟：舊蠟為 1 : 1 之蠟塊以 M 型紙橋過濾，將蠟融化後滲入樣品內，融化後再加入經過濾並融化的蠟塊，加至原本 100%之 TBA 體積的兩倍後，置於烘箱內放隔夜，使 100%之 TBA 揮發完畢後，作埋蠟用。
5. 埋蠟：將置於烘箱內新蠟：舊蠟為 1 : 1 的液態蠟倒入方形鋼盒中，再將樣品

埋入蠟中，以冰水使其凝固成為固體蠟塊。

- 6.切片：先將蠟塊以手術刀修整後黏在木塊上，將木頭放置於手動迴轉式切片機（Rotary microtome, N.O.W 212, Japan）進行切片，切片厚度為 10 μm ，並將切片後之蠟片平鋪於塗有蒸餾水之玻片上，置於 45°C 烤盤上進行展片。展片完畢後，將玻片放入 45°C 烘箱內烘乾 12 小時。
- 7.染色：將烘乾後的玻片浸入二甲苯（xylene）10 分鐘將蠟溶解，接著依序浸泡入二甲苯：無水酒精為 1：1 之溶液、無水酒精、95%酒精、85%酒精、70%酒精及 50%酒精中，每步驟各 3 分鐘，接著浸入 1% Safranin O 之 50%酒精溶液中 12 時後，以蒸餾水洗清多餘染劑，再將玻片依序浸入 50%酒精、70%酒精、85%酒精及 95%酒精中，每步驟各 3 分鐘，再浸泡於 0.5% Fast Green 之 95% 酒精中 12 小時進行二次染色，接著浸泡入 95%酒精洗清多餘染料，再依序浸入無水酒精、二甲苯：無水酒精為 1:1 溶液及二甲苯，每步驟各 6 分鐘後，滴上巴爾森封片膠（Assistant-Histokitt），並蓋上蓋玻片，待陰乾後，放置於顯微鏡下觀察，並拍照記錄。

四、統計分析

試驗為完全逢機設計，每處理 12 株，試驗結果資料以 SAS 9.1（Statistical Analysis System 9.1）軟體進行鄧肯氏多變域分析（Duncan's Multiple Range Test），比較其 5%之差異顯著性。

參、結果與討論

以三種不同光質栽培草莓 6 週後，添加紅外光之 6R2B1IR 處理下，草莓可達到最多之葉柄數與最大葉長、葉寬、葉面積、莖冠直徑與植株鮮重、乾重（表 1），顯示紅外光之存在可促進草莓‘豐香’地上部生長。Yamada 等（2009）研究顯示高比例之紅外光/紅光有利於地上部的發育與開花，且可促進莖部伸長（Kasperbauer, 2000）。Chung 等（2010）研究顯示，在紅光、藍光與紅外光之混合光下，可顯著促進文心蘭苗葉片擴展、葉數、葉綠素含量與生物量。紅外光也可促進萵苣之鮮重、乾重、莖長度與葉面積（Li and Kubota, 2009）。而 Yanagi 等（2006）研究野生種草莓‘CHI-24-1’，紅外光可誘導其花序分化及增加葉柄長度，但卻會降低走莖數。因此紅外光對不同作物之效果各有不同。雖然本試驗三

種光質處理下，草莓外觀形態無顯著差異，但添加紅外光之 6R2B1IR 處理組能產生最多之走莖（圖 2）。光敏素是植物發育所需的感光蛋白質，其在花創始的光週反應光感受器上扮演著重要角色（Thomas and Vince-Prue, 1997），在紅外光 735 nm 波長與光敏素在紅外光最高吸收範圍相符合（Mancinelli, 1994），因此葉柄延長可能是由光敏素所調節的反應所控制。Franklin（2008）研究指出低比例之紅光/遠紅光為促進地上部伸長的訊號，或許可以增強植株對光搜索（light-foraging）的能力，因此 6R2B1IR 處理下所添加的紅外光可能促使草莓葉片數增加、葉長增長及葉面積增大，而有利於叢生型植物對光之利用。

表 1. LED 光質對草莓‘豐香’母株葉數、中間小葉寬、中間小葉長、葉寬、葉長、葉面積、冠直徑、地上部鮮重與乾重之影響

Table 1. Effect of light quality on leaf number, middle leaf width, middle leaf length, leaf width, leaf length, leaf area, crown diameter, fresh weight and dry weight of shoot in strawberry ‘Toyonoka’ mother plant

Light quality	Leaf number	Middle leaf (cm)		Leaf width (cm)	Leaf length (cm)	Leaf area (cm ²)	Crown diameter (mm)	Shoot fresh weight (g)	Shoot dry weight (g)
		width	length						
6R2B1IR	12.53 a	10.14 a	9.51 a	17.53 a	23.44 a	168.54 a	22.04 a	65.75 a	11.25 a
7RGB	11.00 b	8.87 b	8.46 b	15.39 b	19.33 b	136.80 b	15.73 b	60.18 b	9.81 b
CW	11.40 b	9.16 b	8.50 b	15.75 b	19.61 b	142.86 b	16.71 b	63.16 b	10.33 b

Means followed by the different letters in each column are significantly different at 5% level by Duncan’s Multiple Range Test.

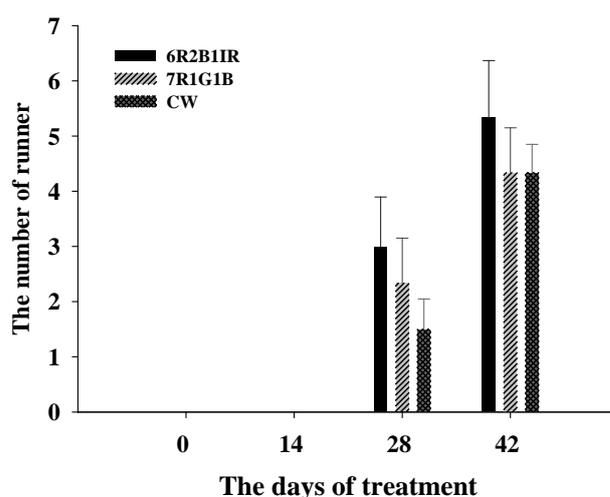


圖 2. 發光二極體光質對草莓‘豐香’走莖生成數之影響。

Fig. 2. Effect of light quality of Light Emitting Diodes (LED) on runner number in strawberry ‘Toyonoka’ mother plant.

6R2B1IR 處理下，草莓有最高之光合作用速率、氣孔導度與細胞間隙 CO₂ 濃度，且其光合作用速率顯著高於其他二種光質處理組。氣孔導度於三種光質處理間呈現顯著差異，但細胞間隙 CO₂ 濃度於 6R2B1IR 與 7RGB 兩處理間無顯著差異（表 2）。不同光質處理之葉綠素含量間具顯著差異，其中以 6R2B1IR 處理之光合色素含量與澱粉含量最高，但可溶性碳水化合物含量則無顯著差異（表 3）。徐等（2005）研究顯示草莓‘豐香’在低紅光/遠紅光比例下含有較高的類胡蘿蔔素含量，本試驗也以添加紅外光之 6R2B1IR 處理組有較高的類胡蘿蔔素含量；但是低紅光/遠紅光比例卻會造成萵苣之類胡蘿蔔素含量降低（Li and Kubota, 2009）。高等植物光合系統 I 之葉綠素光收穫複合體（light harvest complex, Lhca）Lhca 3 與 Lhca 4 多肽類分子可能涉及植株對長波長光照的吸收（Ben-Shem *et al.*, 2004）。Zucchelli 等（2005）表示 735 nm 可能為 Lhca 4 的吸收波長，此或為 6R2B1IR 處理組有較高葉綠素含量的原因之一。而本試驗三種光質處理中，以添加紅外光處理組之光合作用速率顯著高於其他兩處理組，除了可能為不同物種對光譜反應之差異外，本試驗添加之紅外光比例為 10%，可能已足夠對草莓之生長與光合作用產生反應；或是因為 6R2B1IR 處理具有較高的藍光成分，而藍光主要影響植物葉綠體早期發育與葉綠素形成（Senger, 1982），同時也能促進高等植物有效捕捉光能（Kinoshita *et al.*, 2001），或許造成藍光之促進效果大於紅外光；亦或者 CW 處理之綠光成分較多（高於 50 %），一般認為綠光不利植物光合作用與生長（Folta, 2004; Klein, 1992; McCree, 1972），而導致光合作用降低。不同植物種類對紅外光波長的反應各有不同，而此光譜下之組織延伸機制仍尚未完全明瞭（Pettai *et al.*, 2005）。

表 2. 發光二極體光質對草莓‘豐香’母株葉片之光合作用率、氣孔導度與細胞間隙二氧化碳濃度之影響

Table 2. Effects of light quality of Light Emitting Diodes (LED) on photosynthetic rate, stomatal conductance and intercellular CO₂ concentration in strawberry ‘Toyonoka’ mother plant

Light quality	Photosynthetic rate (Uptake CO ₂ μmol · m ⁻² · s ⁻¹)	Stomatal conductance (Gs, mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	Intercellular CO ₂ concentration (Ci, μmol CO ₂ mol air ⁻¹)
6R2B1IR	9.01 a	0.34 a	331.40 a
7RGB	8.43 b	0.30 b	332.60 a
CW	8.08 b	0.25 c	320.60 b

Means followed by the different letters in each column are significantly different at 5% level by Duncan's Multiple Range Test.

表 3. 發光二極體光質對草莓‘豐香’母株葉綠素 a、b、葉綠素總量、類胡蘿蔔素含量、可溶性碳水化合物及澱粉含量之影響

Table 3. Effect of light quality of Light Emitting Diodes (LED) on contents of chlorophyll a, chlorophyll b, chlorophyll content, carotenoid, soluble carbohydrate and starch in strawberry ‘Toyonoka’ mother plant

Light quality	Chlorophyll a (mg · g ⁻¹)	Chlorophyll b (mg · g ⁻¹)	Chlorophyll (mg · g ⁻¹)	Carotenoid (mg · g ⁻¹)	Soluble carbohydrate (mg · kg ⁻¹)	Starch (mg · kg ⁻¹)
6R2B1IR	1.54 a	0.64 a	2.36 a	0.61 a	528.74 a	1682.54 a
7RGB	1.38 b	0.48 b	1.86 b	0.54 ab	549.97 a	1624.88 b
CW	1.41 b	0.50 b	1.86 b	0.51 b	539.90 a	1583.23 b

Means followed by the different letters in each column are significantly different at 5% level by Duncan's Multiple Range Test.

草莓以 6R2B1IR 處理 6 週，可產生最多之走莖數（5.33 條），但在 7RGB 與 CW 處理間則無顯著差異（圖 2）。根據走莖苗（ramet）數量與其生長參數，仍以 6R2B1IR 處理有最多走莖苗與最佳生長（表 4），亦具有較高之光合色素含量（表 5）。較多之走莖與走莖苗生成，可能是由母株較高之生物量、葉面積、光合作用與澱粉含量所造成（Savini *et al.*, 2008）。但可溶性碳水化合物與澱粉含量，則以 7RGB 處理下較高，這或許是 6R2B1IR 處理下走莖苗數高於其他處理組，母株養分分配至數量較多之走莖苗，而導致碳水化合物含量較少。CW 處理組之母株可溶性碳水化合物與澱粉含量較少，因此分配至走莖苗之含量也少於 7RGB 處理組。

添加紅外光之 6R2B1IR 處理其草莓葉片較薄於其他處理組（圖 3 與圖 4），7RGB 與 CW 處理於葉片結構上則無顯著差異（圖 4），但 6R2B1IR 處理組之葉肉柵狀組織細胞層小於其他二種光質處理。Schuenger 等（1997）在甜椒葉片上也發現添加紅外光會使葉片變薄，可能是由於紅外光促進葉面積增大，以爭取較多之光合作用空間所致。本試驗結果也顯示添加紅外光之光質處理可使草莓葉面積較大（表 1）、光合作用速率較高（表 2），也印證此說法。因此紅藍混合光下添加紅外光成分，對於草莓生長及種苗生產，皆有正面之促進效果。

表 4. 發光二極體光質對草莓‘豐香’之走莖苗數、莖冠直徑、地上部鮮重與乾重之影響

Table 4. Effects of light quality of Light Emitting Diodes (LED) on ramet number, crown diameter, fresh weight and dry weight of shoot in strawberry ‘Toyonoka’ runner.

Light quality	Ramets per plant	Crown diameter (mm)	Shoot fresh weight (g)	Shoot dry weight (g)
6R2B1IR	3.17 a	5.65 a	2.30 a	0.35 a
7RGB	3.00 a	4.07 b	1.66 b	0.24 b
CW	1.83 b	4.23 b	1.51 b	0.26 b

Means followed by the different letters in each column are significantly different at 5% level by Duncan’s Multiple Range Test.

表 5. 發光二極體光質對草莓‘豐香’走莖苗之葉綠素 a、b、總葉綠素、類胡蘿蔔素、可溶性碳水化合物與澱粉含量之影響

Table 5. Effects of light quality of Light Emitting Diodes (LED) on contents of ramet chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoid, soluble carbohydrate and starch in strawberry ‘Toyonoka’ runner.

Light quality	Chlorophyll a (mg · g ⁻¹)	Chlorophyll b (mg · g ⁻¹)	Total chlorophyll (mg · g ⁻¹)	Carotenoid (mg · g ⁻¹)	Soluble carbohydrate (mg · g ⁻¹)	Starch (mg · g ⁻¹)
6R2B1IR	1.59 a	0.67 a	2.25 a	0.62 a	319.23 b	1284.93 b
7RGB	1.27 b	0.44 b	1.70 b	0.51 a	347.63 a	1360.43 a
CW	1.40 ab	0.49 b	1.89 ab	0.55 a	303.47 b	1297.52 b

Means followed by the different letters in each column are significantly different at 5% level by Duncan’s Multiple Range Test.

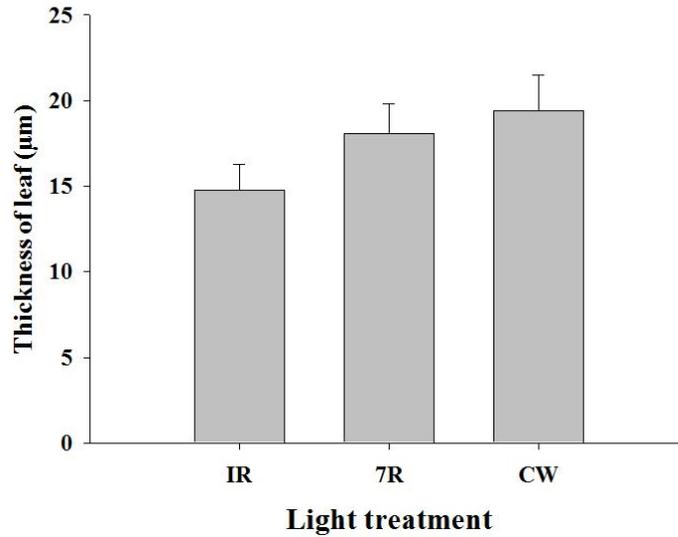


圖 3. 發光二極體光質對草莓‘豐香’母株葉片厚度之影響

Fig. 3. Effect of light quality of Light Emitting Diodes (LED) on leaf thickness in strawberry ‘Toyonoka’ mother plant.

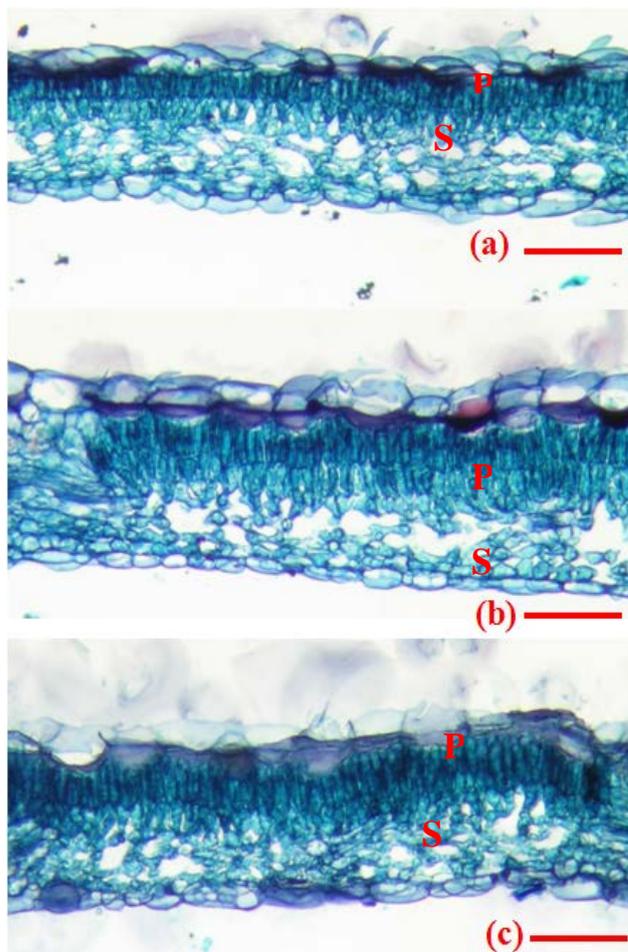


圖 4. 發光二極體對草莓‘豐香’母株葉片解剖構造之影響 (a) 6R2B1IR; (b) 7RGB; (c) CW P：柵狀組織，S：海綿組織 (bar = 100 µm)。

Fig. 4. Effect of light quality of Light Emitting Diodes (LED) on leaf anatomy in strawberry ‘Toyonoka’ mother plant. P: palisade tissue; S: spongy tissue.

肆、結論

以 6R2B1IR（紅光：藍光：紅外光 = 6：2：1）、7RGB（紅光：藍光：綠光 = 7：1：1）與 CW（全波長，冷白光）等三種不同光質 LED 栽培草莓植株，結果以添加 10% 紅外光於混合紅藍光之 6R2B1IR 光質處理下，草莓植株有較高之葉柄數、葉面積、莖冠直徑、鮮重、乾重、光合作用速率、葉綠素與類胡蘿蔔素含量、澱粉含量及走莖數，且所產出之走莖苗數目最多，走莖苗之莖冠直徑、鮮重與乾重最大，葉綠素含量也最高。添加紅外光之 6R2B1IR 處理會使葉肉柵狀組織細胞層少於其他二種光質處理，而造成草莓葉片較薄、葉面積增大，有利於植株對光能之利用。因此，添加適當紅外光於紅藍混合光中，可促進草莓‘豐香’之生長與走莖生成，進而增加草莓走莖苗之生產。

參考文獻

- 李宥明。1995。臺灣草莓種苗繁殖與育種研究。蔬菜育種研討會專刊 p.97-122。桃園區農業改良場編印。
- 徐凱、郭延平、張上隆。2005。不同光質對草莓葉片光合作用和葉綠素螢光的影響。中國農業科學 38（2）：369-375。
- 徐善德、廖玉琬。2009。植物生理學。初版二刷。偉明圖書有限公司。臺北。
- 蔡淑華。2000。植物組織切片技術綱要。茂昌圖書有限公司。臺北。
- 鍾興穎、張明毅、鄔家琪、方煒。2010。光質與照光健化時間對蘿蔔嬰生長與生理之影響。2010 年農機與生機論文發表會論文摘要集。
- Ben-Shem, A., F. Frolov, and N. Nelson. 2004. Light-harvesting features revealed by the structure of plant photosystem I. *Photosynth. Res.* 81: 239-250.
- Briggs, W. R. and M. A. Olney. 2001. Photoreceptors in plant photomorphogenesis to date, five photochromes, two cryptochrome, one phototropin and one superchrome. *Plant Physiol.* 125: 85-88.
- Chung, J. P., C. Y. Huang, and T. E. Dai. 2010. Spectral effects on embryogenesis and plantlet growth of *Oncidium* ‘Gower Ramsey’. *Sci. Hort.* 124: 511-516.
- Deutch, B. and O. Rasmussen. 1974. Growth chamber illumination and photomorphogenetic efficacy I. Physiological action of infrared radiation beyond 750 nm. *Physiol. Plant.* 30: 64-71.
- Faby, R. 1997. The productivity of graded ‘Elsanta’ frigo plants from different origins. *Acta Hort.* 439: 449-455.

- Folta, K. M. 2004. Green light stimulates early stem elongation, antagonizing light-mediated growth inhibition. *Plant Physiol.* 135: 1407-1416.
- Franklin, K. A. 2008. Shade avoidance. *New Phytol.* 179: 930-944.
- Kasperbauer, M. J. 2000. Strawberry yield over red versus black plastic mulch. *Crop Sci.* 40: 171-174.
- Kim, H. H., G. D. Goins, R. M. Wheeler, and J. C. Sager. 2004. Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red- and blue light-emitting diodes. *HortSci.* 39: 1617-1622.
- Kinoshita, T., M. Doi, N. Suetsugu, T. Kagawa, M. Wada, K. I. Shimazaki. 2001. Phot1 and phot2 mediate blue light regulation of stomatal opening. *Nature* 414: 656-660.
- Klein, R. M. 1992. Effects of green light on biological systems. *Biol. Rev.* 67: 199-284.
- Li, Q. and C. Kubota. 2009. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. *Environ. Exp. Bot.* 67: 59-64.
- Mancinelli, A. L. 1994. The physiology of phytochrome action. In: Kendrick, R.E., Kronenberg, G.H.M. (Eds.), *Photomorphogenesis in Plants*. 2nd ed. Kluwer, Dordrecht. p. 211-269.
- McCree, K. J. 1972. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. *Agri. Meteorol.* 10: 443-453.
- Mitchell, C. A., A. J. Both, M. Bourget, J. Burr, C. Kubota, R. Lopez, R. Morrow, and E. Runkle. 2012. LEDs: the future of greenhouse lighting. *Chron. Hort.* 52: 6-11.
- Morris, D. L. 1948. Quantitative determination of carbohydrates with Dreywood's anthrone reagent. *Science* 107: 254-255.
- Pertuze, R., M. Barrueto, V. Diaz, and M. Gambardella. 2006. Evaluation of strawberry nursery management techniques to improve quality of plants. *Acta Hort.* 708: 245-248.
- Pettai, H., V. Oja, A. Freiberg, and A. Laisk. 2005. Photosynthetic activity of far-red light in green plants. *Biochimica et Biophysica Acta.* 1708: 311-321.
- Savini, G., V. Giorgi, E. Scarano, and D. Neri. 2008. Strawberry plant relationship through the stolon. *Physiol. Planta* 134: 421-429.
- Schuerger, A. C., C. S. Brown, and E. C. Stryjewski. 1997. Anatomical features of pepper plants (*Capsicum Annuum* L.) grown under red light-emitting diodes supplemented with blue or far-red light. *Ann. Bot.* 79: 273-282.
- Thomas, B. and D. Vince-Prue. 1997. *Photoperiodism in plants*, 2nd ed. Academic Press, San Diego. p. 63-83.
- Yamada, A., T. Tanigawa, T. Suyama, T. Matsuno and T. Kunitake. 2009. Red: far-red light

- ratio and far-red light integral promote or retard growth and flowering in *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn. *Scientia Hort.* 120: 101-106.
- Yanagi, T., T. Yachi, N. Okuda, and K. Okamoto. 2006. Light quality of continuous illuminating at night to induce floral initiation of *Fragaria chiloensis* L. CHI-24-1. *Sci. Hort.* 109: 309-314.
- Zucchelli, G., T. Morosinotto, F. M. Garlaschi, R. Bassi, and R. C. Jennings. 2005. The low energy emitting states of the *Lhca4* subunit of higher plant photosystem I. *FEBS Lett.* 579: 2071-2076.

107年 7月 23日 投稿
107年 10月 9日 接受