

## 光質處理對番茄苗株光合作用與碳水化合物之影響

紀佳慧<sup>1)</sup> 李文汕<sup>2)</sup>

關鍵字：番茄、光質、紅光、藍光、螢光燈、光合作用、碳水化合物

**摘要：**本試驗以番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.) '花蓮亞蔬五號'為材料，探討不同光質處理對番茄苗株光合作用速率與碳水化合物之影響。材料自播種後至五週苗齡，分別以 660 nm 紅光、435 nm 藍光、紅光+藍光及 400 ~ 700 nm 螢光燈四種光質處理。試驗結果顯示，苗株生育顯著受到光質處理的影響。葉片光合作用速率的日變化，明期初期，以紅光處理最高，且隨著光照時間的增加，而有上升的趨勢，尤以下午 15:00 光合作用速率達最高峰，而明期後期即下降。氣孔導度以紅光+藍光處理最高，為  $0.44 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。Rubisco 活性以紅光處理者最高，為  $0.17 \text{ nmol RuBP carboxylated mg protein}^{-1} \text{ min}^{-1}$ 。葉片全可溶性醣含量以紅光和螢光燈處理顯著高於藍光和紅光+藍光處理。葉片澱粉含量以螢光燈處理最高，為 9.3 %，藍光處理澱粉含量最低，只有 3.05 %。

### 前 言

日光是地球生命之所繫，同時也是植物進行光合作用的能量來源。園藝作物的生產有賴於充足的日光，然而在栽培過程中往往因光度不足而影響植物的生長，例如溫室初期育苗環境、切花的栽培控制與花期調節、組織培養環控生長室人工光源的使用以及高緯度地區因光照不足需使用人工光源，以補充足夠光強度供植物正常生長與發育，使得許多作物均能於溫室內週年生產，克服了季節及地理上的限制因素，延長栽培時期與提高作物的品質。

過去的研究報告指出，不同光質對作物生長與開花有顯著影響；以波長 660 nm(紅光)處理最具光合作用效果，其次為 450 nm (藍光)，而綠色光波對光合作用速率之效果最小

---

1) 國立中興大學園藝系碩士班研究生。

2) 國立中興大學園藝系副教授，通訊作者。

(易, 1974)。以往有關光質的試驗研究因為光柵範圍的限制，無法使用或進行在大面積的試驗，近年，發光二極體(Light-emitting diodes, LED)作為植物光源的開發研究逐漸受到重視，其特性為光質精確、體積小、壽命長、耗電量低、發熱少(Bula *et al.*, 1994; Okamoto *et al.*, 1996; Tennessen *et al.*, 1994) ，但在實際的利用仍有許多無法克服的問題，且造價昂貴、光強度不足等因素，因此無法使業界廣泛地被利用。目前，在光質的應用研究主要仍是以螢光燈作為人工光源的使用。

番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)為茄科、番茄屬之重要蔬果兩用園藝作物。根據台灣農業年報統計，民國 91 年全國番茄栽培面積為 5200 公頃，總產量達 153,081 公噸，平均每公頃之番茄產量為 29,461 公斤。番茄適於溫暖氣候，生育適溫以 19 ~ 24 °C 為宜，光合作用飽和點介於 600 ~ 800  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，在光照不足之地易引起徒長，植株衰弱、落花落果等現象(Jones, 1999)。

同時前人研究顯示，番茄植株之生長與發育亦受到不同光源之影響(Wang, 1963)。因此，本試驗以番茄'花蓮亞蔬 5 號'為試驗材料，利用不同人工光源，探討不同光質處理對番茄苗株生長與發育之影響，並調查不同光質處理對番茄苗株生理反應與形態解剖之差異，以期能了解適合的光質處理時間，進而提高番茄苗株品質。

## 材料與方法

### 一、試驗材料

植物材料'花蓮亞蔬 5 號'番茄種子(購自種苗改良繁殖場)，播種在 3 吋塑膠盆，育苗介質採用 BVB(BAS VAN BUUREN, substrate Holland) No.4，播種後至 5 周齡。本試驗光質處理所使用之光源廠牌型號詳見表 1。

表 1. 本試驗光質處理所使用之光源廠牌型號

Table 1. Manufacture brands and types of light sources used in the study.

光質	波長範圍	廠牌	型號
紅光	660 nm	旭光牌螢光燈管	FL-40SR / 38
藍光	432 nm	旭光牌螢光燈管	FL-40SB / 38
螢光燈	400 ~ 700 nm	Sylvania cool white fluorescent lamp	115W F48T12/CW/VHO/LT

### 二、試驗方法

#### (一) 光質處理

將種子播種於 3 吋紅色塑膠盆後分成四組，置於生長箱內育苗。並各別進行紅光、藍光、紅光 + 藍光及螢光燈四種光質處理，光照週期設定為日夜各 12 小時，日夜溫度

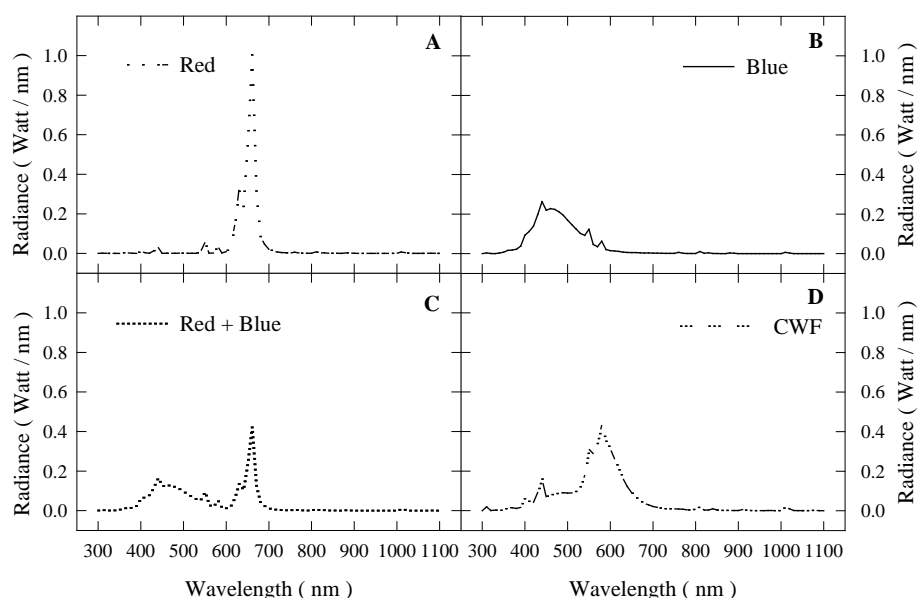


圖 1. 光譜分佈(A：紅光，B：藍光，C：紅光+藍光，D：螢光燈)

Fig. 1. Spectral distribution(300~1100 nm)of light from A: Red light; B: Blue light; C: Red + Blue; D: CWF(cool white fluorescence). Spectral scans were recorded at the top of the plant canopy with a spectroradiometer.

則控制在 26 / 22 °C、相對溼度 70 / 75 %。試驗開始前及進行期間定期使用光合作用光量子密度(photosynthetic photon flux density, PPF)感測器(LI-189; LI-COR, Lincoln, Neb.)，量測植株冠層位置之光強度，並隨株高調整燈管與植株距離，以維持光強度為 180  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。另外利用可攜式光譜輻射計(spectroradiometer, LI-1800; LI-COR, Lincoln, Neb.)量測波長範圍 300 ~ 1100 nm 的光譜分佈(圖 1)。當植株達五週苗齡時分別進行下列試驗調查工作：

#### 1. 葉片光合作用速率、氣孔導度、蒸散速率及細胞間隙 $\text{CO}_2$ 濃度

本試驗以 Lci Portable Photosynthesis System (ADC BioScientific Ltd)之光合作用儀測量最年輕完全展開葉片之光合作用速率( $P_n, \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )、氣孔導度( $G_s, \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )、蒸散速率( $T_r, \text{m mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )、細胞間隙  $\text{CO}_2$  濃度。當日明期調查時間分別為 07:00、09:00、12:00、15:00、18:00。

#### 2. Rubisco 酵素活性測定

Rubisco 酵素活性的測定是參考 Usuda 等人(1985)的方法，取樣之葉片為頂端完全展開葉片 0.2 克。樣品加入液態氮研磨成粉狀，再加入 1 mL 的萃取液研磨。萃取液含有 100 mM HEPES-KOH(pH 8.0)、5 mM 1,4-dithiothreitol、10 % glycerol、5 % PVP、0.1 %

Triton-x100、1 mM EDTA, 20 mM MgCl<sub>2</sub>、以及 20 mM NaHCO<sub>3</sub>。萃取後放入離心機中，於 4 °C 下，以 12000xg 離心 10 分鐘後，取上層澄清液 50µl 加入 850µl 反應液中，充分混合。反應液中含有 50 mM HEPES-KOH(pH 8.0)、100 mM KCl、1 mM EDTA、20 mM MgCl<sub>2</sub>、5 mM creatine phosphate、5 mM DTT、20 mM NaHCO<sub>3</sub>、3 units creatine phosphokinase、15 units 3-phosphoglyceratekinase、6 units glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase，以及 5 mM ATP，其中 5 mM DTT 需新鮮配置。將樣品放入 23 °C 的水浴槽中照光，待反應八分鐘後，先加入 0.5 mM ribose-5-phosphate 50µl，再加入 0.2 mM NADH 50µl，稍加搖晃後快速放入分光光度計(UV-1201, SHIMADZU)測定波長 340 nm 吸光值的變化量，以求得 NADH 的氧化速率，再代入下列公式，藉以換算 Rubisco 的活性。 $(\Delta A_{340} / \text{min}) / [6.22 \times (\text{mg protein} / \text{ml assay})] = \mu\text{mole RuBP carboxylated mg protein}^{-1} \text{ min}^{-1}$ 。上述公式中，蛋白質含量之分析方法如下：取上述離心後之上層澄清液，加入 5 ml 染劑[Protein Assay Dye Reagent Concentrate(Bio-Rad; catalog no. 500-0006)：去離子水 = 1 : 4]。震盪均勻後靜置 10 分鐘，依 Bio-Rad(1976)方法，以分光光度計測定 595 nm 波長之吸光值；另以小牛血清蛋白為標準樣品(BSA, 1.4 mg / ml)，測定吸光讀值換算蛋白質含量。

### 3. 碳水化合物含量之測定

將採收之葉片烘乾磨粉，取 0.1 克置於 30 ml 離心管中，加入 10 ml 蒸餾水以 30 °C 恆溫水浴震盪 3 小時，隨後以 10,000 rpm 室溫下，離心 10 分鐘，取上層澄清液測定全可溶性糖含量，離心的沉澱物，置於 80 °C 烘箱過夜，以供澱粉含量測定(Yoshida *et al.*, 1976)。

#### (1) 全可溶性糖測定：

取上述離心後上層澄清液 0.2 ml 加入去離子水 4.8 ml 後振盪均勻，由稀釋液中取出 2 ml 加入 0.1 ml 液態石碳酸(liquid phenol)及 6 ml 濃硫酸，振盪均勻，靜置 30 分鐘後，利用分光光度計測定 490 nm 波長吸光值。本測定法以 2µmole<sup>-1</sup> ml D-glucose 為標準液，以內差法計算樣品全可溶性糖含量。

#### (2) 澱粉之測定：

將前述已烘乾之殘渣置於 30 ml 離心管中，加入 2 ml 去離子水，沸水中煮 15 分鐘，取出後迅速冷卻，加入 2 ml 9.2 N HClO<sub>4</sub> 室溫下振盪 15 分鐘，且其間不時攪拌。加水至 10 ml 以 10,000 rpm 於室溫下離心 10 分鐘。取離心後之上層澄清液 0.2 ml 加入 4.8 ml 去離子水稀釋，振盪均勻，由稀釋液中取出 2 ml 加入 0.1 mL 液態石碳酸(liquid phenol)及 6 ml 濃硫酸，振盪均勻。靜置 30 分鐘後，利用分光光度計測定 490 nm 波長吸光值。標準液同步驟(1)。

#### (3) 果糖、葡萄糖及蔗糖分析：

稱取葉片烘乾樣品 0.1 克置於 30 ml 離心管中，加入 80 % 乙醇 15 ml，置於水浴槽中以 70 °C 水浴振盪 45 分鐘後以 10,000 rpm 離心 15 分鐘，取上層澄清液。以減壓濃縮機在 50 °C 下，減壓濃縮除去乙醇至 1 ml 左右，並定量至 1.5 ml，經小型離心機 10000 rpm 離心 10 分鐘，其後利用孔隙 0.45µm、直徑 13 mm PVDF(polyvinylidene fluoride)之 millipore

過濾膜去大分子雜質。濾液供 HPLC 分析果糖、葡萄糖及蔗糖含量，每一處理為三重複。

HPLC 分析系統包括 Shimadzu LC-9A pump、RID-6A detector、Shimadzu C-R6A 積分儀、Merck LiChrospher 100 NH<sub>2</sub>(5μm)column，以氘甲烷(acetonitrile)與二次純水的比例為 86:14(v/v)混合均勻，經孔隙 0.45μm(NO.41, Waterman filter)過濾後作為流動相，流速設定為 1.0 ml/min，每樣品流動時間為 35 分鐘。以果糖、葡萄糖及蔗糖混合液 500 ppm 及 5000 ppm 做標準樣品檢量線，由積分儀所記錄標準樣品各成份的停滯時間及積算面積，藉此標準樣品之定量即可求得樣品的成分及相對含量。

## 結 果

### 一、光質處理對番茄葉片光合作用速率、氣孔導度、蒸散速率、細胞間隙 CO<sub>2</sub> 濃度及 Rubisco 酵素活性之影響

光質處理對番茄葉片光合作用速率、氣孔導度、蒸散速率及細胞間隙 CO<sub>2</sub> 濃度日變化之影響，調查結果如圖 2 顯示。葉片光合作用速率於明期開始時以紅光處理最高，且隨著光照時間的增加而有上升的趨勢，尤以下午 15:00 光合作用速率達最高峰，為 6.63μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>，而到明期後期即下降，另外藍光、紅光+藍光及螢光燈各處理間光合作用速率日韻律趨勢相似，變化幅度不大；葉片氣孔導度日韻律變化於明期初期以藍光處理氣孔導度最高，隨著光照時間的增加，四種處理以中午 12:00 達最高，其中又以紅光+藍光處理者氣孔導度最高，為 0.44 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>，其次為藍光及紅光處理者，螢光燈處理則最低。氣孔導度以紅光+藍光混合光處理者相較於單獨紅光或藍光處理者有加乘的效果。下午 15:00 各處理間氣孔導度均呈下降趨勢，尤以明期後期 18:00 氣孔導度下降趨勢最大，各處理間下降趨勢一致，只有 0.1 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>。在蒸散速率方面，藍光處理者較其他處理高，螢光燈處理則最低。四種處理間於明期開始時蒸散速率呈些微地上升，於明期結束前蒸散速率亦隨之下降。因此，光質處理對番茄葉片蒸散速率日變化趨勢與氣孔導度結果一致。細胞間隙 CO<sub>2</sub> 濃度日變化，以藍光處理者中午 12:00 有較高的趨勢，於明期結束前四種處理間細胞間隙 CO<sub>2</sub> 濃度均呈上升的趨勢，此結果與氣孔開啟時細胞間 CO<sub>2</sub> 濃度的變化相符合。

### 二、光質處理對番茄葉片 Rubisco 酵素活性的影響

番茄葉片 Rubisco 酵素活性以紅光處理最高(圖 3)，為 0.17 nmol RuBP carboxylated mg protein<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>，與其他處理之間呈顯著差異(LSD<sub>0.05</sub> = 0.073)；其次為紅光+藍光和螢光燈處理者，為 0.07 及 0.06 nmol RuBP carboxylated mg protein<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>，藍光處理則最低，為 0.4 nmol RuBP carboxylated mg protein<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>。

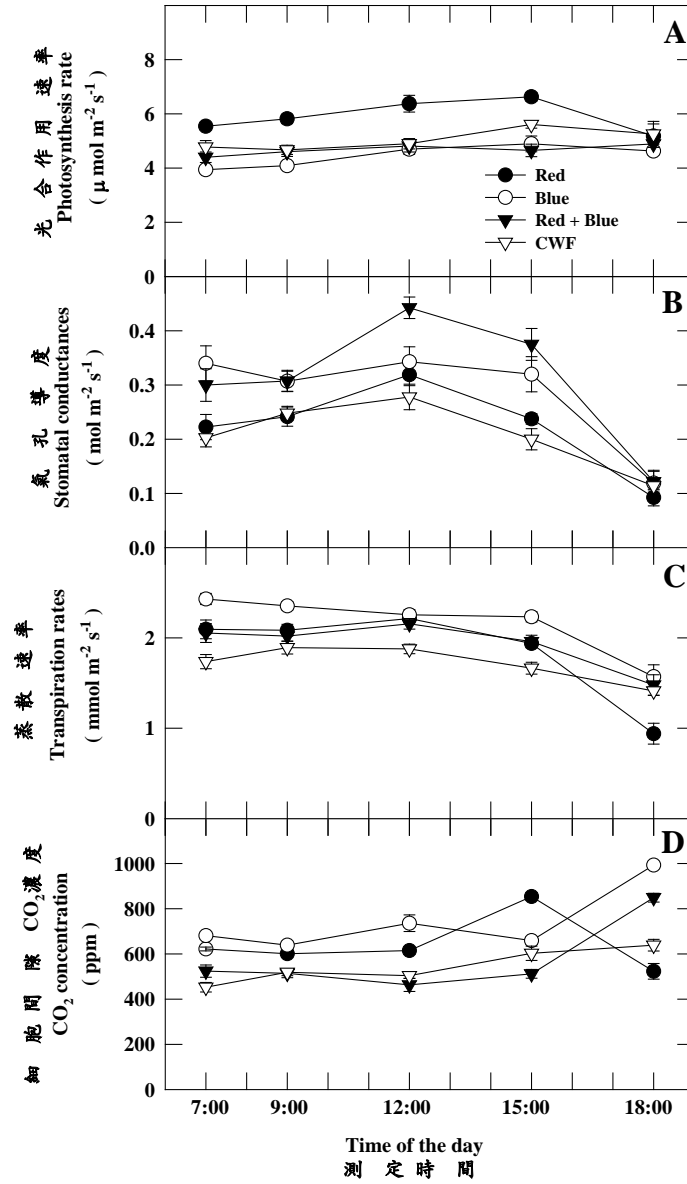


圖 2. 光質處理對番茄植株光合作用速率(A)、氣孔導度(B)、蒸散速率(C)及細胞間隙  $\text{CO}_2$  濃度(D)日變化之影響

Fig. 2. Diurnal change of the photosynthesis rates (A), stomatal conductances (B), transpiration rates (C) and internal  $\text{CO}_2$  concentration (D) at various light quality of the tomato plants.

### 三、光質處理對番茄葉片碳水化合物含量之影響

#### (一) 光質處理對番茄葉片全可溶性糖和澱粉含量的影響

分析番茄葉片碳水化合物含量之影響結果如圖 4。葉片全可溶性糖含量以紅光和螢光燈處理者顯著高於藍光和紅光+藍光處理者，並呈顯著差異(LSD<sub>0.05</sub> = 0.315)。葉片澱粉含量以螢光燈處理最高為 9.3 %，其次為紅光和紅光+藍光處理，分別為 8.3 % 和 5.2 %，藍光處理則最低只有 3.05 %，處理間呈顯著性差異(LSD<sub>0.05</sub> = 1.194)，澱粉含量以螢光燈處理顯著較藍光處理高 3 倍。

#### (二) 光質處理對番茄葉片果糖、葡萄糖及蔗糖含量的影響

光質處理對番茄葉片全可溶性糖的確有顯著影響。針對糖類含量進一步地以 HPLC 分析果糖、葡萄糖、蔗糖含量，結果如表 2 所示。果糖含量以紅光處理最高，為 2.81 %，螢光燈處理則最低，為 2.04 %，處理間達顯著水準(LSD<sub>0.05</sub> = 0.537)。葡萄糖含量以螢光燈處理最高，為 1.63 %，次高為紅光處理者，為 1.53 %，第三高為紅光+藍光處理，為 1.26 %，藍光處理則最低，為 1.105 %；蔗糖含量於處理之間差異呈現不顯著。

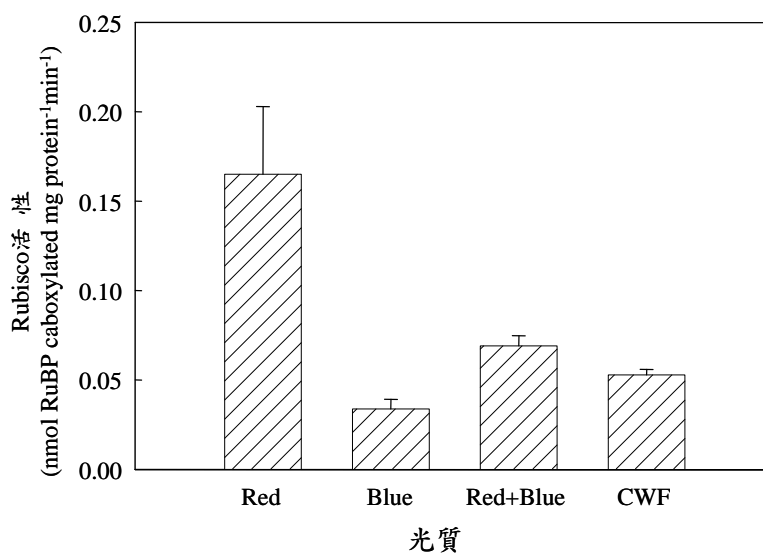


圖 3. 光質處理對番茄苗株 Rubisco 酵素活性的影響

Fig. 3. Effects of light quality on enzyme activity of Rubisco in tomato seedling leaves.

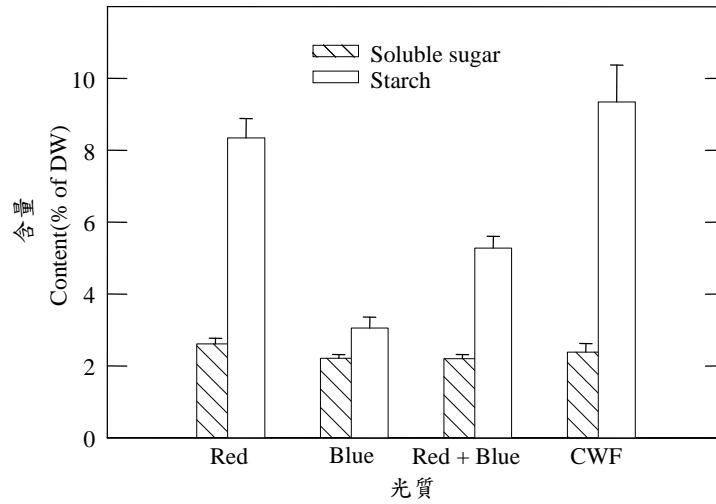


圖 4. 光質處理對番茄葉片全可溶性糖和澱粉含量之影響

Fig. 4. Effects of light quality on total soluble sugar and starch content of tomato seedlings.

表 2. 光質處理對番茄葉片糖類含量之影響

Table 2. Effects of light quality on the sugar content in tomato leaves.

處理 Treatment	果糖 Fructose	葡萄糖 Glucose (%)	蔗糖 Sucrose
紅光	2.81	1.53	0.42
藍光	2.34	1.11	0.50
紅光+藍光	2.60	1.27	0.69
螢光燈	2.05	1.63	0.57
LSD <sub>0.05</sub>	0.54	0.46	0.40

## 討 論

一、光質處理對番茄葉片光合作用速率、氣孔導度、蒸散速率、細胞間隙 CO<sub>2</sub> 濃度及 Rubisco 酵素活性之影響

光質處理顯著影響許多作物光合作用速率(Brown *et al.*, 1995; Goins *et al.*, 1997; Yorio *et al.*, 2001)。Goins 等人(1997)的研究報告指出，小麥以紅光處理光合作用速率較日光燈、



紅光 + 10 % 藍光及紅光 + 1 % 藍光處理者低。Yorio 等人(2001)也指出胡蘿蔔以紅光處理葉片光合作用速率較冷白螢光燈及紅光+藍光處理者低；學者推測紅光處理光合作用速率較低的原因可能與氣孔導度降低有關(Farquhar and Sharkey, 1982)，因氣孔主要是由藍光調控開閉，紅光較少(Sharkey and Raschke, 1981)。本研究試驗的結果與上述略有不同，光合作用速率以紅光處理者最高，且隨著光照時間的增加而呈上升的趨勢，明期後期即下降。推測可能原因紅光為驅動植物進行光合作用之主要光波長(易, 1974; McCree, 1972)，因此紅光最有利於番茄葉片光合作用進行。Yanagi 等人(1996)的研究也顯示，草莓以紅光處理其葉片平均光合作用速率較藍光處理者高出 2.5 倍，此與 McCree(1972)和 Inada(1976)的研究報告相符合，即植物光合作用速率以紅光處理者較藍光處理者更有效。

本試驗結果顯示以螢光燈、紅光+藍光及藍光處理間，光合作用速率日韻律波動幅度不大且趨於一致，推測其原因可能為番茄苗株於生長箱中，以固定的光強度、光週期、日夜溫度及相對溼度環境之下，生長發育仍維持一穩定的狀態，不受環境因子干擾，因此不同光質處理間光合作用速率差異較不顯著，但仍以紅光處理者顯著較其他處理高，其可能為植物進行光合作用最適波長為紅光，因此本研究結果符合前人研究所提出之論點；另外學者也推測其原因可能為，植物光合作用速率主要是依 400 ~ 700 nm 的光子數目，而非光質，光質主要的影響為植物形態發生(Mortensen and Stromme, 1987)。

氣孔為植物進行氣體交換的主要途徑，控制 CO<sub>2</sub> 吸收和蒸散作用進行(Lawson *et al.*, 2002)。氣孔的開閉主要受內外因子所調節，氣孔的開啟是藉由低 CO<sub>2</sub> 濃度、藍光和其他光合作用有效的波長所刺激，反之氣孔的關閉主要是對環境因子的反應，主要為黑暗、低相對溼度和高溫環境(Assmann, 1993)。本試驗結果顯示，藍光及紅光+藍光處理可提高番茄葉片氣孔導度，其中以紅光+藍光處理者最為明顯；因此，藍光刺激葉片氣孔張開(氣孔導度增加)(Kaufman, 1993; Zeiger *et al.*, 1985)，較高的氣孔導度則可促使葉片蒸散速率的增加，調節植物的體溫，加強植物與外界進行氣體交換。

## 二、Rubisco 酵素活性之影響

前人研究報告指出，大豆植株以藍光處理可促進 Rubisco 的合成較紅光處理有效能，然而這結果的差異，當藍光或紅光提供遠紅光時，卻不明顯(Eskins *et al.*, 1991)。但本研究的結果卻與學者的結果略有不同，番茄苗株以紅光處理 Rubisco 酵素活性最高，藍光處理 Rubisco 活性最低，推測可能因為，依據本研究結果顯示，紅光處理確實可提高光合作用速率，然而，光合作用速率與植物葉片 CO<sub>2</sub> 同化量有關，CO<sub>2</sub> 為 Rubisco 催化的基質，因此紅光處理 Rubisco 活性高，致光合作用速率高。

## 三、光質處理對番茄葉片碳水化合物含量之影響

許多研究報告指出，光質處理顯著影響葉片全可溶性糖的合成及澱粉含量(Szasz and Barsi, 1971; Voskresenskaya, 1972; Warrington and Mitchell, 1976)。本研究亦發現相同的結果，以紅光和螢光燈處理番茄葉片全可溶性糖含量皆較藍光及紅光+藍光處理高；葉片澱粉含量以螢光燈和紅光處理最高；藍光處理最低。學者亦指出紅光刺激蠶豆葉片糖類累積

而藍光則減少蔗糖、果糖及澱粉含量(Szasz and Barsi, 1971)。Warrington 和 Mitchell(1976)也有相同的結果，大豆和高粱植株以紅光處理可較藍光及日光處理增加葉片碳水化合物濃度。學者進一步地研究顯示藍光處理下會促使澱粉裂解，造成澱粉含量減少(Tallman and Zeiger, 1988)，這主要原因是由於藍光照射下會促進細胞內葉綠體內的澱粉裂解成葡萄糖 6 磷酸(glucose-6-phosphate)再經代謝成 DHAP(dihydroxyacetone 3-phosphate)釋出至細胞質，進而促進蘋果酸的生成，有利於氣孔的開啟；紅光處理可增加光合作用碳還原路徑中 CO<sub>2</sub> 的固定，促進卡爾文循環(Calvin cycle)的作用，進而更有利於糖類的生成(Talbott and Zeiger, 1998)。此論點與本試驗(圖 4)的結果相符合。由以上得知，以不同光質處理會對澱粉及糖類的含量有影響，因此再進一步分析糖類的種類(表 2)，其結果無明顯差異。

### 參 考 文 獻

- 易希道。1974。生殖作用。最新植物生理學。pp.240-241。
- 農業統計年報。2002。行政院農業委員會出版。
- Assmann, S. M. 1993. Signal transduction in stomatal guard cells. *Annu. Rev. Cell Biol.* 9: 345-375.
- Bio-Rad Laboratories. 1976. Bio-Rad protein assay. *Tech. Bull.* 1051. Bio-Rad Lab. Richmond, CA.
- Brown, C. S., A. C. Schuerger, and J. C. Sagar. 1995. Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120: 808-813.
- Bula, R. J., R. C. Morrow, T. W. Tibbitts, D. J. Barta, R. W. Ignatius, and T. S. Martin. 1991. Light emitting diodes as a radiation source for plant. *HortScience* 26: 203-205.
- Eskins, K., C. Z. Jiang, and R. Shibles. 1991. Light-quality and irradiance effects on pigments, light-harvesting proteins and Rubisco activity in a chlorophyll and light-harvesting deficient soybean mutant. *Physiol. Plant.* 83: 47-53.
- Farquhar, G. D. and T. D. Sharkey. 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 33: 317-345.
- Goins, G. D., N. C. Yorio, M. M. Sanwo, and C. S. Brown. 1997. Photomorphogenesis, photosynthesis, and seed yield of wheat plants grown under red light-emitting diodes (LEDs) with and without supplemental blue lighting. *J. Expt. Bot.* 48: 1407-1413.
- Inada, K. 1976. Action spectra for photosynthesis in higher plants. *Plant Cell Physiol.* 17: 355-365.
- Jones, J. B. Jr. 1999. Tomato plant culture: In the field, greenhouse, and home garden. CRC Press. Florida, USA.

- Kaufman, L. S. 1993. Transduction of blue-light signals. *Plant Physiol.* 102: 333-337.
- Lawson, T. K. Oxborough, J. I. L. Morison, and N. R. Baker. 2002. Responses of photosynthetic electron transport in stomatal guard cells and mesophyll cells in intact leaves to light, CO<sub>2</sub>, and humidity. *Plant Physiol.* 128: 52-62.
- McCree, K. J. 1972. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. *Agric. Meteorol.* 10: 443-453.
- McCree, K. J. 1972. The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agric. Meteorol.* 9: 191-216.
- Mortensen, L. M. and E. Stromme. 1987. Effects of light quality on some greenhouse crops. *Sci. Hortic.* 33: 27-36.
- Okamoto, K., T. Yanagi, and S. Takita. 1996. Development of plant growth apparatus using blue and red LED as artificial light source. *Acta Hort.* 440: 111-116.
- Sharkey, T. D. and K. Raschke. 1981. Effect of light quality on stomatal opening in leaves of *Xanthium strumarium* L. *Plant Physiol.* 68: 1170-1174.
- Szasz, K. and E. Sz. Barsi. 1971. Stimulatory effect of red light on the polysaccharide accumulation in the leaves. *Photosynthetica* 5: 71-73.
- Talbott, L. D. and E. Zeiger. 1998. The role of sucrose in guard cell osmoregulation. *J. Exp. Bot.* 49: 329-337.
- Tallman, G. and E. Zeiger. 1988. Light Quality and Osmoregulation in *Vicia* Guard cells. *Plant Physiol.* 88: 887-895.
- Tennessen, D. J., E. L. Singaas, and T. D. Sharkey. 1994. Light-emitting diodes as a light source for photosynthesis research. *Photosynth. Res.* 39: 85-92.
- Usuda, H., S. B. Ku Maurice, and G. E. Edwards. 1985. Influence of light intensity during growth on photosynthesis and activity of several key photosynthetic enzymes in a C<sub>4</sub> plant (*Zea mays*). *Physiol. Plant.* 63: 65-70.
- Voskresenskaya, N. P. 1972. Blue light and carbon metabolism. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 23: 219-234.
- Warrington, I. J. and K. J. Mitchell. 1976. The influence of blue-and red-biased light spectra on the growth and development of plants. *Agr. Meteorol.* 16: 247-262.
- Wang, J. Y. 1963. *Agricultural Meteorology*. Pacemaker Press, Milwaukee, WI.
- Yanagi, T., K. Okamoto, and S. Takita. 1996. Effect of blue and red light intensity on photosynthetic rate of strawberry leaves. *Acta Hort.* 440: 371-376.
- Yorio, N. C., G. D. Goins, and H. R. Kagie. 2001. Improving spinach, radish and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. *HortScience* 36: 380-383.

- Yoshida, S., F. Dpuglosa, C. Janosh, and G. Gwaachai. 1976. Laboratory manual for physiological studies of rice. International Rice Research Institute, Los Banos, Phillipines pp. 46-49.
- Zeiger, E., M. Iino, and T. Ogawa. 1985. The blue light response of stomata: Pulse kinetics and some mechanical implications. *Photochem. Photobiol.* 42: 759-763.

## Effect of Light Quality on Photosynthesis and Carbohydrate Contents of Tomato Seedlings

Chia-Hui Chi <sup>1)</sup>

Wen-Shann Lee <sup>2)</sup>

Key word: Tomato, Light quality, Red light, Blue light, Fluorescent lamp, Photosynthesis, Carbohydrate content

### Summary

The objective of this study was to investigate the effects of light quality on the growth and development of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seedlings. Seeds were sown in 5" pot and grown in growth chamber under different light quality (660 nm red light, 435 nm blue light, red light + blue light, 400~700 nm cool white fluorescent lamp). The photosynthesis rates of plants grown in all treatments increased with time of day and descended after 15:00, especially those grown in red light. Stomatal conductance was the highest when seedlings exposed to red light + blue light but was the lowest under fluorescent lamp. Rubisco activity was found the highest under red light and the lowest under blue light. Plants treated with red light had the highest soluble sugar content and followed by fluorescent lamp, red light + blue light and blue light, respectively. However, seedlings grown under fluorescent lamp accumulated the highest starch content at 9.3 % of dry weight base.

---

1) Graduate student in MS. program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

2) Associate professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.  
Corresponding author.

