

光質對小白菜生長及硝酸根離子含量之影響

陳詩文¹⁾ 宋好²⁾

關鍵字：光質、硝酸根離子、產量、小白菜

摘要：光質會直接影響植物的氮循環系統，為生產低硝酸根離子含量之小白菜，須了解合適其生長之光質。將小白菜分別以紅藍光比例 12:7、3:5 及 1:3 之人工光源進行栽培，試驗結果顯示以紅藍光比例 3:5 效果最佳，其無論是地上部、地下部鮮乾重及葉面積均顯著最高，同時能有效的增加光合作用速率 10-14%，提高總可溶性糖含量 33-36% 並減少硝酸根離子含量 12-14%，提高產量 14-16% 並改善品質。

前 言

光質對植物的生長、形態、光合作用、物質代謝等均有調控作用，通過光質調節以控制植株形態和生長發育是設施栽培領域的一項重要技術。近年來隨著半導體技術的飛速發展，發光二極體 (light emitting diode, LED) 於植物設施栽培上的應用也越趨廣泛，其具有許多傳統電光源技術無可比擬的優點而日益受到關注，其因具備以下優點而成為植物設施栽培人工光源的另一種選擇，光譜性能好，可按照需要組合獲得純正單色光與複合光譜，波長可符合植物光合成和光形態建成的光譜需求；光能有效利用率可達 80%~90%，並能對不同光質和發光強度實現單獨控制；作為冷光源，可以近距離地照射植物，以提高空間的利用效率，可用於多層栽培立體組合系統，實現了低熱負荷和生產空間小型化；此外 LED 耐衝擊不易破碎，不含汞無污染，廢棄物可回收利用，使用壽命是普通光源的數十倍，其耐用性也降低了生產成本 (Barta *et al.*, 1992; Bula *et al.*, 1994; Hoenecke *et al.*, 1992)。

許多前人研究發現，光照不足將會增加蔬菜硝酸鹽的累積，不同光質也會改變硝酸根離子之含量。試驗結果顯示當葉用萵苣置於 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 之紅、藍光 LED 光源下連續光照 32 日，將可減少植體內之硝酸根離子含量 (Wang *et al.*, 2011)。照射紅光及藍光波段比白光更能降低萵苣的硝酸根離子含量，菠菜照射紅光的硝酸根離子含量則為照射白光的 63%

1) 國立中興大學園藝系博士班研究生。

2) 國立中興大學園藝系教授，通訊作者。

(Ohashi *et al.*, 2007)。於採收前於萵苣植株上方提供高光量的紅光 LED 光源，亦可明顯降低其硝酸根離子含量 (Samuolienė *et al.*, 2009; 2011)。蕭等 (2013) 試驗結果指出設施栽培之萵苣若經採收當天日出前進行藍光照射處理，在氣溫 28°C 以下時將可降低植體硝酸根離子含量 13.1-17.3%。因此於本研究透過不同的光條件管理期提高設施內栽培小白菜作物的產量及品質，供作設施栽培生產之參考。

材料與方法

一、供試品種：採用小白菜二品種為'彩玉'及'四季彩'。

二、植株栽培及處理：

試驗於 2013 年 9-11 月，地點為中興大學。將小白菜種子播於 128 格穴盤，育苗期間每週以 1000 倍尿素進行葉面施肥，植株達二片本葉時定植於三吋半黑色塑膠軟盆，一盆一株，栽培介質為泥碳土混合珍珠石及蛭石 (8:1:1)，植株生長達六片葉時進行植株生育性狀調查。植株定植後移置生長箱並分別置於不同 LED (Light-Emitting Diode) (崑正科技股份有限公司) 光源下生長，有白光 (LED-W) 及紅藍光 (LED-RB) 及以 2:6 之比例混合成白紅藍光 (LED-WRB) 為處理光源，以螢光燈 (Fluorescent Lighting) 為對照組，其光譜圖如圖 1 所示。每一光源處理下二品種小白菜各置 9 株，行株距為 5 × 5 cm，共三重複。光強度為 300 ± 50 μmol/m²/s，日夜溫 25/20°C，光週期為 12 小時 (上午 6 點至下午 6 點)，相對濕度 70-80%。取樣時間為上午 8-9 點。

三、調查項目

(一) 植株鮮乾重

分別取植株之地上部及地下部秤其鮮重，置於牛皮紙帶中，置入 70°C 烘三天後秤其乾重，單位：g。

(二) 葉面積

去除葉柄，以 LI-3000A (LI-COR, Lincoln, Neb) 葉面積偵測儀測定葉片面積，並計算其葉比面積 (specific Leaf Area; SLA)。

(三) 光合作用速率

於植株達六片葉時，以 Lci Portable Photosynthesis System (ACD BioScientific Ltd) 光合作用儀夾取成熟展開葉，每個樣品均夾取兩分鐘，紀錄此時間之光合作用速率 (Pn, μmol/m²/s)、蒸散速率 (E, mmol/m²/s) 及氣孔導度 (Gs, mol/m²/s)，測量時附加裝置 PAR 1270 μmol/m²/s 之人工光源，以穩定光源，使測量時不受外在光源而影響測量結果，每處理三重複，每重複三株，每株取一點檢測。

(四) 總葉綠素含量

採用 Lichtenthaler (1987) 法，取新鮮成熟葉片 0.1 g 切細碎置於玻璃試管中，加入 10 ml

萃取液 (以 80% Acetone 及 20% Methanol 配製), 置於黑暗中避光, 24 小時後以分光光度計 (U-2900, HITACHI) 測量 645 nm、652 nm、663 nm 波長下之吸光值, 利用下列公式計算出單位葉重內, 葉綠素 a、葉綠素 b 及總葉綠素含量, 單位以 mg/g 表示, 每處理三重覆, 每重覆三株。

$$\text{Chl.a (mg/g)} = (12.7A663 - 2.69A645) \times V/1000/W$$

$$\text{Chl.b (mg/g)} = (12.7A645 - 2.69A663) \times V/1000/W$$

$$\text{Total Chl. (mg/g)} = (A652 \times 1000/34.5) \times V/1000/W$$

V: 葉綠素萃取液體積(ml) W: 葉片鮮重(g)

(五) 總可溶性糖含量

依據 Yoshida 等 (1976) 之測定方法加以小部份修改, 精秤 0.1 g 乾燥樣品置於離心管中, 加入 10 mL 去離子水, 置於 30°C 水浴振盪 3 小時後以 25°C、11000 rpm 離心 10 分鐘, 抽取 5 ml 上清液加入 1 ml 6N HCl, 振盪均勻後置於 70°C 水浴振盪 15 分鐘, 以冰水浴冷卻終止反應, 取 0.1 ml 萃取液加 1.9 ml 去離子水混合振盪均勻後加入 0.1 ml liquid phenol 及 6 ml 濃硫酸, 振盪均勻後靜置 30 分鐘, 使其呈桃橘色, 以分光光度計 (Hitachi U-2900) 測量 490 nm 波長下之吸光值。每處理三重覆, 每重覆三株。以 0.5 μM D-glucose 配製標準液, 單位: mg/g DW。

(六) 總可溶性蛋白含量

依據 Lowry 等 (1951) 之方法加以部分修改, 精稱 0.05 g 乾燥後樣品, 加入 0.1 M 磷酸緩衝溶液 (pH 7.0), 於 30°C 水浴震盪 2 小時, 以 25°C、11000 rpm 離心 20 分鐘, 取上清液 0.2 ml 加 1.8 ml 去離子水稀釋混合均勻, 加入 5 ml reagent A (2g Na₂CO₃, 1ml K₂C₄H₄O₆ (2% potassium tartrate), 1 ml CuSO₄ (1% CuSO₄ · 5H₂O), 10 ml 1N NaOH, 90ml H₂O) 震盪均勻, 靜置 10 分鐘後再加入 0.5 ml reagent B (folin reagent: H₂O = 1:1) 震盪均勻, 靜置 30 分鐘後, 以分光光度計 (Hitachi U-2900) 測量波長 660 nm 下之吸光值。標準曲線以 0.25 mg/ml BSA 配製。單位: mg/g DW。

(七) 硝酸根離子含量

依據 Cataldo 等 (1975) 方法加以部分修改, 取成熟展開葉將葉片及葉柄分離後各取 2 g, 以液態氮研磨後加入 20 ml 去離子水攪拌均勻, 以 4°C、11000 rpm 離心 25 分鐘後取 0.1 ml 之上清液, 加入 0.4 ml Salicylic acid (5 g Salicylic acid 溶於 95 ml 濃硫酸中), 振盪均勻於室溫下反應 20 分鐘, 再緩慢加入 4.5 ml 的 4.2 N NaOH, 振盪均勻於室溫下反應 30 分鐘, 呈黃色溶液, 以分光光度計 (Hitachi U-2900) 測量 410 nm 波長下之吸光值, 每處理三重覆, 每重覆三株。標準液以 KNO₃ 配製標準液, 單位: mg/kg FW。

四、統計分析

調查所得數據統計採用 SAS 套裝軟體 (SAS Institute) 中的 PROC ANOVA (analysis of variance procedure) 進行變方分析 ($\alpha = 0.05$), 以 Fishers' s LSD 進行各處理間平均值之比較。

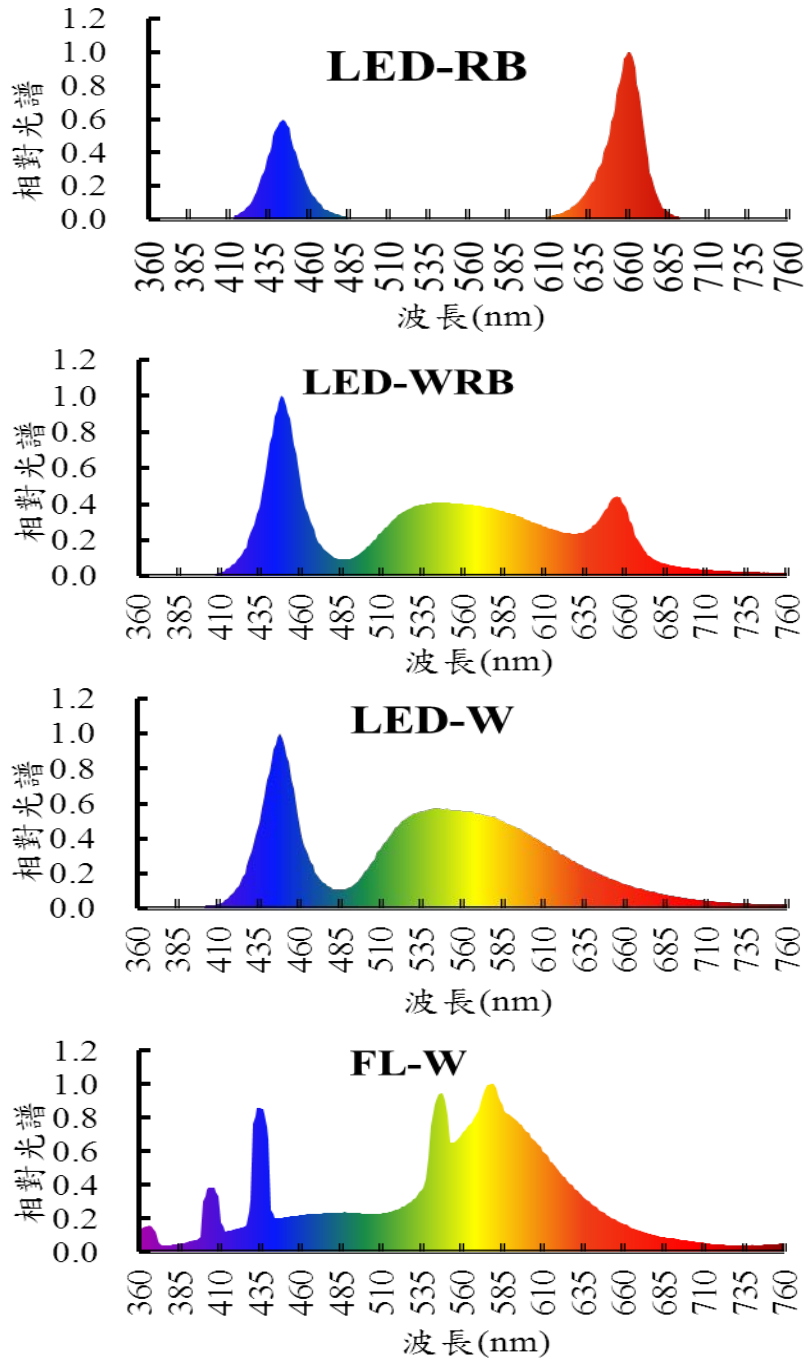


圖 1. 試驗所使用之 LED 及螢光燈光譜圖，紅藍光之 PPF 比分別為 12:7(LED-RB)、3:5(LED-WRB)、1:5(LED-W)、1:3(FL-W)

Fig. 1. The wavelength distribution of LED lamp. The PPF ratio of red to blue light are 12:7(LED-RB), 3:5(LED-WRB), 1:5(LED-W), and 1:3(FL-W), respectively.

結 果

不同光質對小白菜生長之影響結果如圖 2 顯示，'彩玉'及'四季彩'在地上部及地下部鮮乾重均以 RBW 處理下表現最佳，顯著最高，RB 及 FL 處理組間則無顯著差異，其地上部/地下部之比例則介於 9.9-10.5，三處理間無顯著差異，葉面積同樣以 RBW 處理下表現最佳達 712 cm²，顯著高於 RB 及 FL 處理組之 655 及 623 cm²，RB 及 FL 處理組間則無顯著差異，而其葉比面積 (SLA)則介於 15.9-16.2，三處理間均無顯著差異。

測量其葉綠素及光合作用速率結果 (圖 3)顯示，'彩玉'及'四季彩'於 RBW 處理下之 chl a 含量最高達 1864-1933 μg/g，RB 次之而 FL 顯著最低，chl b 含量則三處理間無顯著差異，總葉綠素含量則 RBW 及 RB 處理者顯著高於 FL 處理者，而 chl a/b 則三處理間無顯著差異。測量其光合作用速率 (Pn)以 RBW 處理下介於 18.3-20.1 μmol/m²/s 顯著最高，RB 次之介於 17.5-18.8 μmol/m²/s 而 FL 顯著最低介於 16.6-17.5 μmol/m²/s，氣孔導度 (Gs)則以 RBW 處理之 1.31-1.35 mol/m²/s 顯著最高，FL 處理者次之，介於 1.21-1.19 mol/m²/s，RB 處理者最低，介於 1.14-1.08 mol/m²/s，蒸散作用 (E)則三處理間均無顯著差異。

分析不同光質對二品種小白菜總可溶性蛋白、總可溶性糖及硝酸根離子含量之影響結果 (圖 4)顯示，二品種於此三項均無顯著差異，光質對其有相同影響。總可溶性蛋白以 RBW 處理下最佳，而 RB 及 FL 處理間則無顯著差異，二品種間總可溶性蛋白之含量於三處理下也均無顯著差異，總可溶性糖含量以 RBW 處理下最佳，RB 處理次之而 FL 處理顯著最低，二品種間總可溶性糖含量於三處理下也均無顯著差異，硝酸根離子含量則以 RBW 及 RB 之含量最低，顯著高於 FL 處理者。分析不同光質對地上部鮮乾重、總可溶性糖及硝酸鹽含量之影響百分率如表 1 顯示，生物量、光合作用速率、總可溶性糖含量及硝酸根離子含量均會受到光質影響，在相同光強度下，小白菜植株栽培於 RBW 之光質處理下各項表現均優於 FL 處理者。

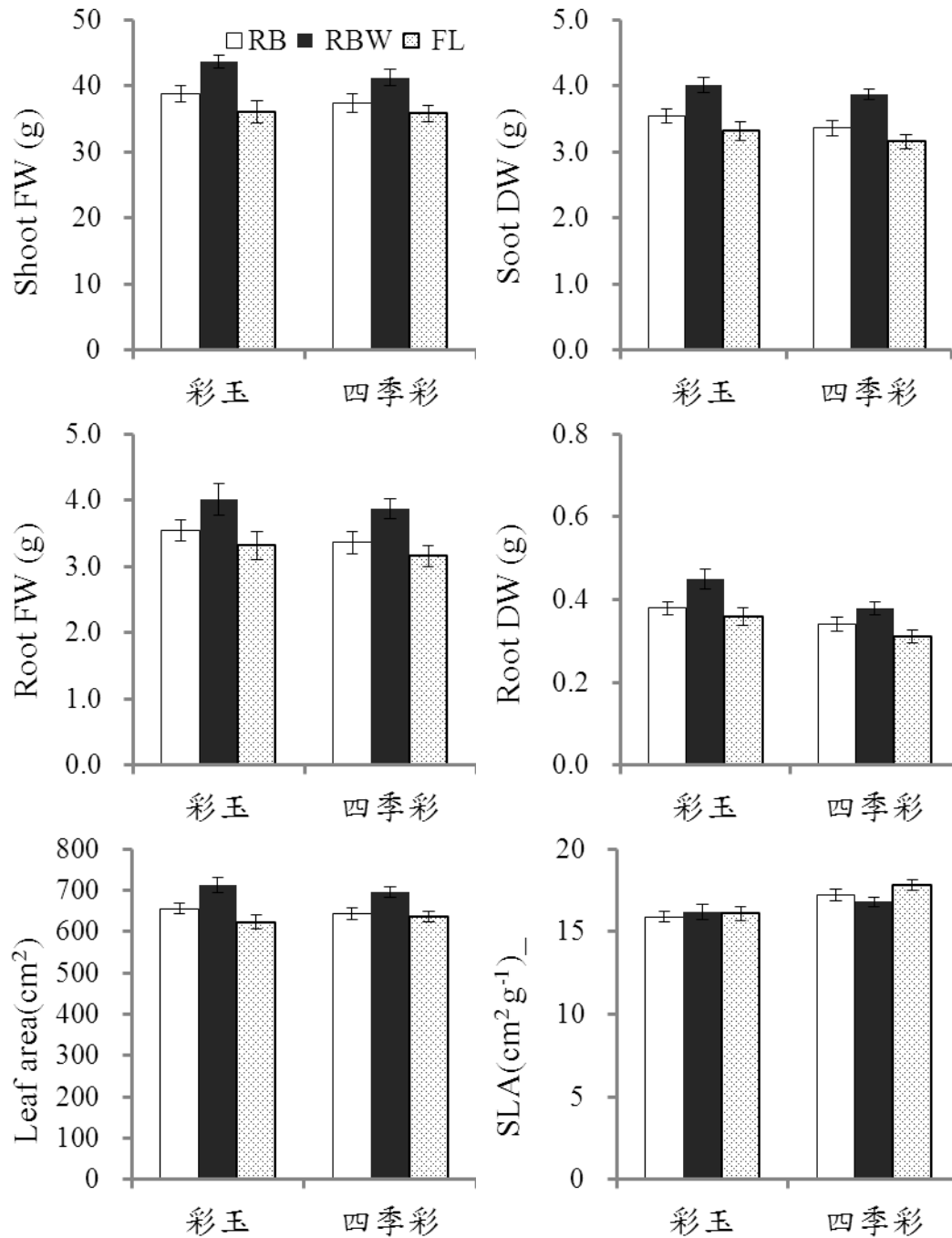


圖 2. 不同光質對二品種小白菜地上部及地下部鮮乾重、葉面積之影響。

Fig. 2. The effect of light quality on fresh and dry weight of shoot and root, leaf areas of two cultivars Pak-choi plants.

I: means \pm SE

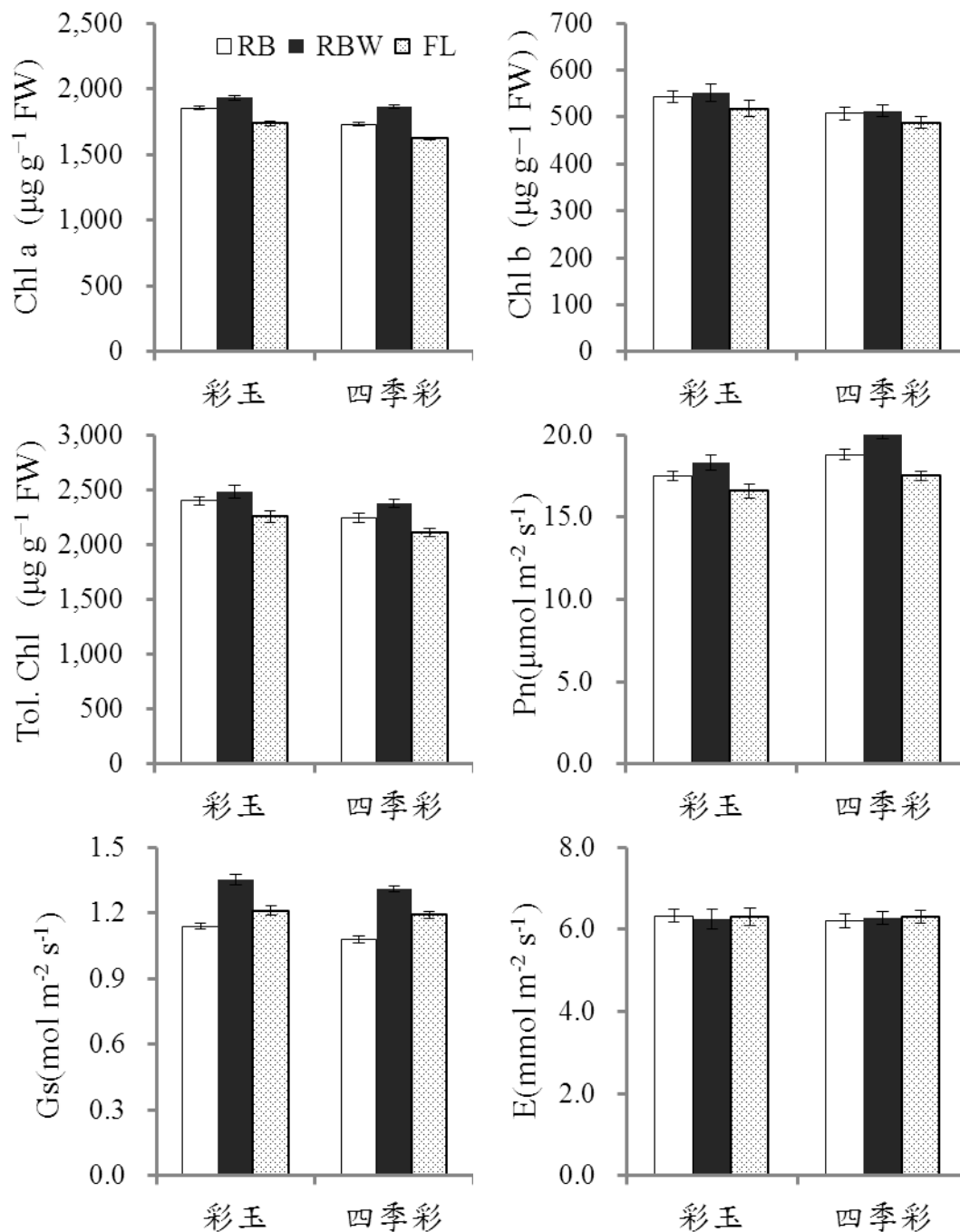


圖 3. 不同光質對二品種小白菜葉綠素 a、b 及總葉綠素含量、光合作用之影響。

Fig. 3. The effect of light quality on chl a, chl b and total chlorophyll content and photosynthesis of two cultivars Pak-choi plants.

I: means \pm SE

Pn: photosynthesis rate, Gs: stomatal conductance, E: Transpiration.

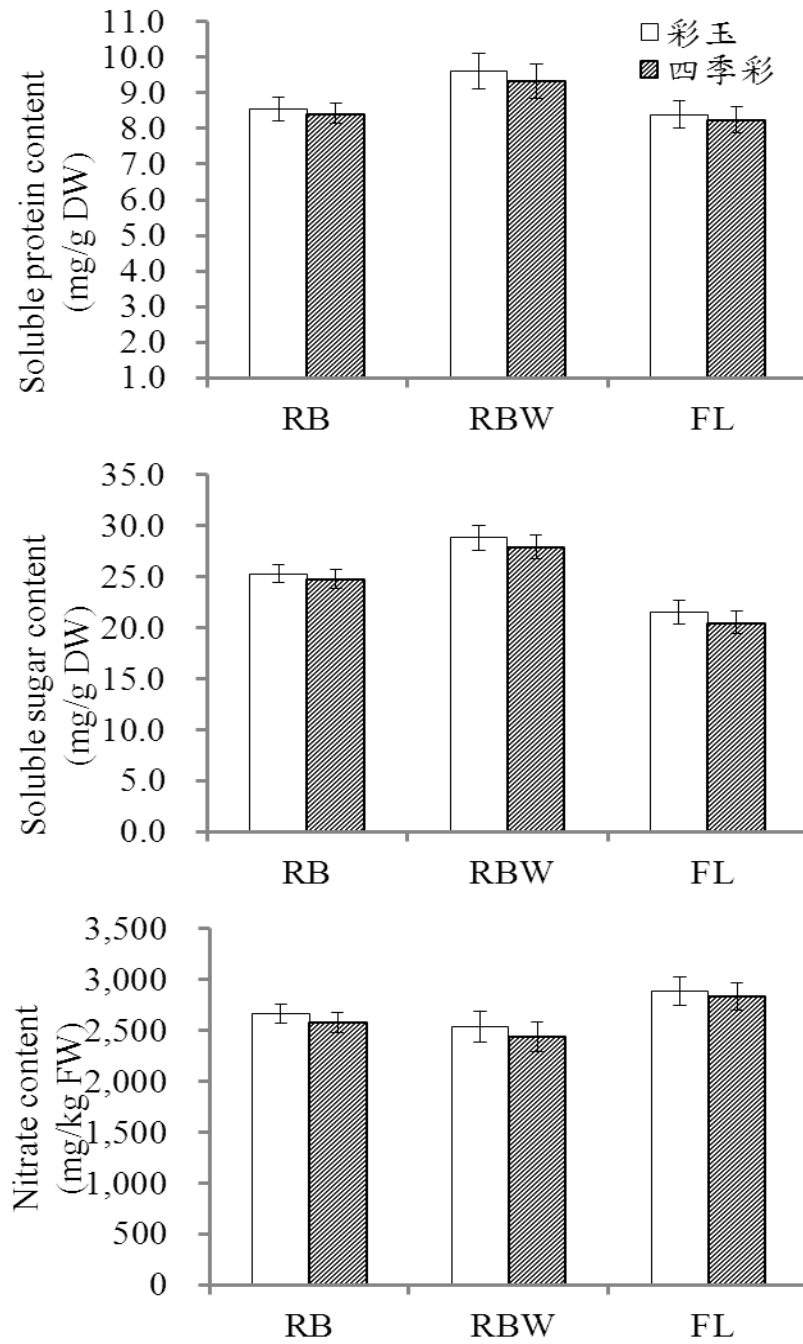


圖 4. 不同光質對二品種小白菜葉可溶性蛋白、可溶性糖及硝酸根離子含量之影響。

Fig. 4. The effect of light quality on soluble protein, soluble sugar and nitrate content of two cultivars Pak-choi plants.

I: means \pm SE.

表 1. 不同光質對地上部鮮重、總可溶性糖及硝酸根離子含量之影響百分率^z。

Table 1. The increase percentage of light quality on shoot fresh and dry weight, total soluble sugar and nitrate content of four varieties Pak-choi.

Light quality	FW	Photosynthesis rate	Nitrate content	Total soluble sugar
FL	100.0	100.0	100.0	100.0
RB	106.0 ± 0.8	106.5 ± 1.1	91.7 ± 1.1	119.3 ± 1.8
RBW	118.3 ± 1.5	112.6 ± 1.5	87.0 ± 0.9	135.0 ± 1.7
light quality	*	*	*	*
cultivar	ns	ns	ns	ns
light quality x cultivar	ns	ns	ns	ns

z：以 FL 光質為基準，各項為二品種減少(增加)之百分比平均

NS,*,**,***：non-significant or significant different at $p \leq 0.05$, 0.01, or 0.001, respectively.

討 論

植物體之色素具有特定之吸收波長稱之為吸收光譜 (absorption spectra)，而生物合作用亦會受到特定光譜而影響，稱之為作用光譜 (action spectra)(Wang et al., 2011)。葉綠素吸收光譜之高峰介於400-500及630-680 nm (Saebo et al., 1995)，其會直接影響植株光合作用之速率，因此當光強度相同時，紅光及藍光能更有效的被植株吸收利用轉換成光合作用所需之能量 (Calatayud et al, 2002；Li and Kubota, 2009)。

Hoenecke等人 (1992)指出萵苣植株於紅光光源下生長，其會有徒長及減產之情形，藍光則對於葉面積及生物量的增加有顯著影響 (Li et al., 2000；Hogewoning et al., 2010；Jarillo et al., 2001)，Yorio等 (2001)研究提出萵苣植株於紅藍光栽培下其乾物重的累積顯著高於紅光栽培下。Lin等 (2013)以不同光質處理對萵苣生長之影響結果亦指出，提高藍光之比例能更有效的增加植株光合作用之能力。本試驗結果顯示小白菜植株於RBW栽培生長下其不論鮮乾重、葉面積及葉綠素含量均顯著高於RB及FL處理者，然而其地上部/地下部之比例 (shoot/root DW)及葉比面積 (specific leaf area)卻不受影響，適量增加紅藍光之比例為3:5能有效的增加小白菜植株之葉面積，增加光合作用之可利用面積，以累積更多之光合產物，進而影響其生物量，其結果與前人研究一致。

在小白菜生產上可溶性糖及硝酸根離子的含量是其品質的重要考量因素之一，利用特定光質以改善其品質在人工光源生產上是可行的，其主要的影響在於葉片醣類的累積及促進氮代謝系統的循環 (Lefsrud et al., 2008)。試驗結果顯示以RBW處理栽培者其可溶性糖含量最高，RB處理者次之，而FL處理者顯著最低，其結果與光合作用速率呈正相關，添

加紅藍光比例為3:5可增加總可溶性糖的累積，進而促進氮循環系統，使其累積之硝酸根離子可有效合成蛋白質。Lillo (2001)研究指出藍光可以促進高等植物總可溶性糖的累積，其含量提高可刺激氮循環酵素之活性進而減少硝酸根離子的累積。在萵苣栽培上添加藍光亦可增加其總可溶性糖的累積並減少硝酸根離子的累積，提高其品質並減少對人體健康之為害 (Lin *et al.*, 2013)。於玻璃溫室下以土耕盆栽之方法栽培生菜，於採收前6天以不同光質之LED進行連續光照處理，結果顯示藍光處理的地上部生物量最大，紅光次之，均顯著高於白光處理。不同光質處理對生菜葉片葉綠素a、葉綠素b和類胡蘿蔔素含量均無顯著影響。紅光及藍光處理可顯著降低生菜地上部硝酸鹽之含量，於採收前以LED紅光或紅藍光進行連續光照處理可提高設施土耕生菜的之產量及品質 (劉等, 2012)。蕭等 (2013)試驗結果指出採收前一日之日射量及日均溫與硝酸鹽含量呈負相關，在低日射量及日均溫下，葉萵苣植體內之硝酸鹽含量較高。於採收當天日出前進行藍光照射處理，在氣溫28°C以下時可降低植體硝酸鹽含量13.1-17.3%。許多的試驗結果均顯示藍光較其它光質更能有效的降低植體硝酸鹽之含量，其可能為硝酸還原酶之輔基包括黃素腺嘌呤二核苷酸 (FAD)及蝶呤 (pterin)，而藍光受體之生色團 (chromophores)就含有黃素及蝶呤，因此其更能誘導硝酸還原酶之活性 (Cambell, 1996)。

參 考 文 獻

- 劉文科、楊其長、邱志平、越嬌嬌。2012。不同 LED 光質對生菜生長和營養品質的影響。蔬菜 11: 63-65。
- 蕭巧玲、楊純明、何佳勳、蔡淑珍、林毓雯。2013。氮肥及氣象環境對設施葉萵苣生長及硝酸鹽含量之影響。環境與生物資訊 10: 284-289。
- Barta, D. J., T. W. Tibbitts, R. J. Bula, and R. C. Morrow. 1992. Evaluation of light emitting diode characteristics for a space-based plant irradiation source. *Adv. Space Res.* 12: 141-149.
- Bula, R. J., R. C. Morrow, T. W. Tibbitts, and D. J. Barta. 1991. Light-emitting diodes as a radiation source for plants. *HortScience* 26(2): 203-205.
- Calatayud, A., J. W. Alvarado, and E. Barreno. 2002. Differences in ozone sensitivity in three varieties of cabbage (*Brassica oleracea* L.) in the rural Mediterranean area. *J. Plant Physiol.* 159:863-868.
- Campbell, D. 1996. Complementary chromatic adaptation alters photosynthetic strategies in the cyanobacterium *Calothrix*. *Microbiology* 142: 1255-1263.
- Hoenecke, M. E., R. J. Bula, and T. W. Tibbitts. 1992. Importance of "Blue" photon levels for lettuce seedlings grown under red-light-emitting diodes. *HortScience* 27(5): 427-430.

- Lefsrud, M. G., A. D. Kopsell, and E. S. Carl. 2008. Irradiance from distinct wavelength light-emitting diodes affect secondary metabolites in kale. *HortScience* 43(7): 2243-2244.
- Li, X. P., O. Björkman, C. Shih, A. R. Grossman, M. Rosenquist, S. Jansson, and K. K. Niyogi. 2001. A pigment-binding protein essential for regulation of photosynthetic light harvesting. *Nature* 403: 391-395.
- Li, Q. and C. Kubota. 2009. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. *Env. Exp. Bot.* 67(1): 59-64.
- Lin, M. T., R. N. Campbell, P. R. Smith, and J. H. M. Temmink. 2013. Lettuce big-vein virus transmission by single-sporangium isolates of *Olpidium brassicae*. *Phytopathology* 60(11): 1630-1634
- Lillo, C. and K. J. Appenroth. 2001. Light regulation of nitrate reductase in higher plants: Which photoreceptors are involved? *Plant Biol.* 3: 455-465.
- Ohashi, K. K., M. Takase, N. Kon, K. Fujiwara, and K. Kurata. 2007. Effect of light quality on growth and vegetable quality in leaf lettuce, spinach and komatauna. *Environ. Control Biol.* 45: 189-198.
- Saebo, A., T. Krekling, and M. Appelgren. 1995. Light quality affects photosynthesis and leaf anatomy of birch plantlets in vitro. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 41: 177-185.
- Samuolienė, G., A. Urbonavičiūtė, P. Duchovskis, Z. Bliznikas, P. Vitta, and A. Zukauskas. 2009. Decrease in nitrate concentration in leafy vegetables under a solid-state illuminator. *HortSci.* 44: 1857-1860.
- Samuolienė, G., A. Brazaitytė, R. Sirtautas, A. Noičkovas, and P. Duchovskis. 2011. Supplementary red-LED lighting affects phytochemicals and nitrate of baby leaf lettuce. *J. Food Agric. Environ.* 9: 271-274.
- Wang, Y. J., Z. Z. Wen, J. Y. Cai, Z. Y. Tan, Y. P. Wang, Y. Q. Liu, and W. Liu. 2011. Study on the photosynthesis characteristics of four species of *Paphiopedilum*. *Modern Agric. Sci. Technol.* 20: 200-203.
- Yorio, N. C., G. D. Goins, H. R. Kagie, R. M. Wheeler, and J. C. Sager. 2001. Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. *HortScience* 36: 380-383.

The Effects of Light Quality on the Growth and Nitrate Content of Pak-Choi

Shih-Wen Chen ¹⁾ Yu Sung ²⁾

Key word: light quality, NO₃⁻, yield, Pak-choi.

Summary

Light directly affects the nitrogen cycle during plant growth. This study investigated the effects of light quality on plant growth and examine the light conditions under which a low nitrate content is obtained in Pak-choi plants. The results showed that the plant growing under artificial light, a 3:5 ratio of red to blue light increased the photosynthesis rate by 10-14% and the total soluble sugar content by 33-36%, but the nitrate content was decreased by 12-14%; the yield was increased by 14-16% and the crop quality was also improved.

1) Student in Ph.D. Program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

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