

宜蘭地區冬季補光對大果番茄‘優美’生育與產量之影響¹

林文華²、賴冠融³、謝吉翔⁴、陳季呈⁵、

宣大平⁶、楊大吉⁷

摘 要

宜蘭地區冬季番茄生產常受到光照不足影響，而有植株生育及產量不佳等問題。本研究探討在冬季簡易設施中，利用 LED 補光對大果番茄植株生長及果實產量的影響。試驗結果顯示補光處理能加速植株生長，增加葉片數、葉面積和植株葉片總鮮重，並提早開花及果實採收時間。SLB2（4 支藍光燈管）補光處理能有效提高單顆果實重量，SLR2（4 支紅光燈管）補光處理則可增加每株採收果實數量，而 4 種補光處理皆能顯著提升每株產量。本研究顯示 LED 補光處理在番茄栽培中對植株生長、果實產量和品質有正面效益，但仍需更深入的研究以探討其潛在應用價值。

關鍵詞：番茄、冬季栽培、補光處理、發光二極體

-
1. 農業部花蓮區農業改良場研究報告 313 號。
 2. 農業部花蓮區農業改良場蘭陽分場副研究員。
 3. 農業部花蓮區農業改良場蘭陽分場研究助理。
 4. 農業部花蓮區農業改良場蘭陽分場約僱助理。
 5. 農業部花蓮區農業改良場蘭陽分場分場長。
 6. 農業部花蓮區農業改良場副場長。
 7. 農業部花蓮區農業改良場場長。

前言

番茄 (*Solanum lycopersicum* L.) 屬茄科作物，為宜蘭地區特色農產品之一，栽培時期以冬春季為主。宜蘭地區該期間因下雨日數長，有光照不足之問題，根據中央氣象署 1991-2020 年平均日照資料，對比臺灣番茄重要產區嘉義，12 月的宜蘭日照時數平均僅 63.7 h，而嘉義則為 159.2 h，顯示宜蘭地區冬季日照時數明顯不足。O’Carrigan 等人 (2014) 指出當光強度不足時會使番茄的生物量、光合作用速率、氣孔孔徑和密度以及葉片保衛細胞面積皆下降，並提高葉面積，以捕捉更多的光源。

植物的淨光合作用速率會隨著光強度的變化而有所不同。光強度在光補償點以上時，光合速率的增加與光強度呈現正相關，光強度繼續增加到一定程度後光合速率會趨緩而達到飽和，此現象為光飽和現象 (潘, 2006)。而植物生長環境的光強度過高則會產生光抑制現象，光抑制會使植物光合作用下降 (Khatib and Pauslen, 1989)。Fan 等人 (2013) 研究結果顯示隨著光強度的增加能使番茄幼苗葉片之淨光合作用速率隨之上升。番茄為喜光植物，正常生長情況下需約 550-1,200 $\mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 的光強度，當光強度足夠時花芽分化較早；而光強度弱時生長緩慢，莖蔓徒長且花芽分化較晚且較差，亦有花朵發育不良之情形而較易落花落果 (陳, 2013)。

產業上為解決設施內自然光照不足的問題，發展出使用人工光源對設施內作物進行補光 (Supplemental lighting)，以增加作物的產量及品質。荷蘭為了保持冬季溫室內作物的品質及穩定性，會利用高壓鈉燈 (High Pressure Sodium; HPS) 對作物進行補光。近年發光二極體 (Light-Emitting Diode; LED) 因具備較高效率、較強亮度及耗電較少等特性，相較於傳統農業用人工光源，LED 更具有成為農業用燈的潛力 (Massa *et al.*, 2008)。加拿大地區冬季以藍光 LED 進行株間補光可以提升番茄的果重 (Pepin *et al.*, 2014)。

光質 (Light quality) 意指不同波長範圍的光波。葉綠素的吸收高峰主要在紅光 (625-675 nm) 和藍光 (425-475 nm) 的區域，代表紅光和藍光對光合作用效果最大 (Vanninen *et al.*, 2010)。Wollaeger and Runkle (2014) 研究結果顯示，在不同紅綠藍光比例與螢光燈之間的光照處理下，純紅光 (100%) 的光質處理下能提升番茄的花芽數。另一方面，藍光照射下番茄有正常葉綠體結構和葉解剖構造，並顯著提高淨光合速率和增加每平方毫米的氣孔數量 (Liu *et al.* 2011)。

本試驗因應宜蘭地區冬季番茄慣行種植期低光之問題，設置 LED 株間補光模組，並以紅、藍色兩種慣用補光燈源光質，探討補光對設施內番茄植株生育與著果採收情形影響，以評估冬季補光之效益。

材料與方法

一、參試品種：

番茄‘優美’品種，屬粉紅色桃形之大果番茄，此品系番茄在日本稱為桃太郎番茄，而臺灣稱其為粉柿或白柿番茄 (李, 2009; 鄔等, 2015)，為宜蘭礁溪壯圍地區特色農產品。種子購自宜蘭縣三星鄉好年冬農業資材行，由日本京都丸種株式會社生產。

二、試驗方法：

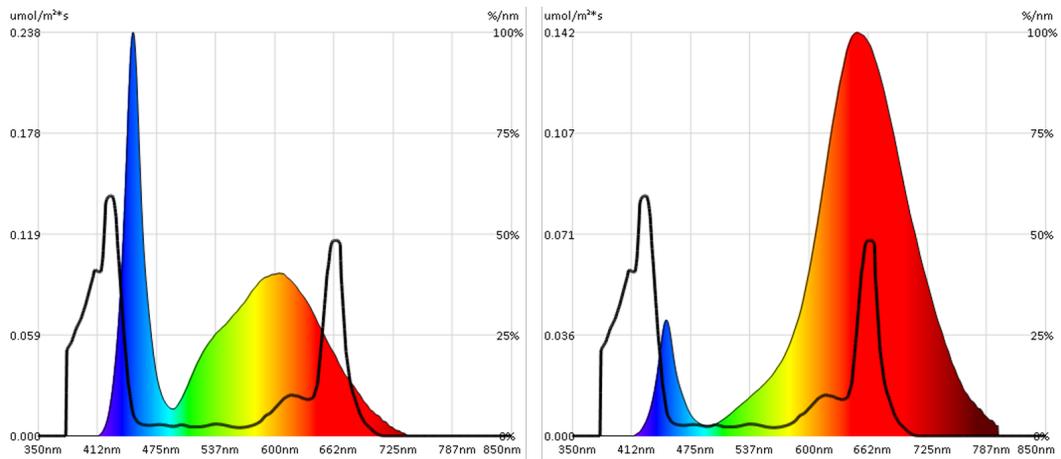
試驗於宜蘭縣壯圍鄉葉啟文農友之簡易型塑膠布溫室中進行，以土耕立蔓方式種植。每株間隔約 45 cm，番茄植株於 2022 年 10 月 18 日定植，基肥配方為每 180 m^2 臺肥 43 號 10 kg、氯化鉀 10 kg 以及硼

500 g，追肥為臺肥 43 號 5 kg、氯化鉀 4 kg 以及尿素 1 kg。栽培方式為單蔓整枝模式，每處理設 3 小區重複，每小區種植 16 株，植株及生育調查每小區逢機調查 4 株，每處理共調查 12 株。開花日期自同年 11 月 17 日至隔年 2 月 3 日，果實採收始於 2023 年 1 月 18 日，最後一果採收日期為 2023 年 3 月 29 日。

植株補光方式為株間補光，每日補光時間為 18:00-22:00，燈源為 LED (Light-emitting diode, 發光二極體)，型式為 60 cm 長 T-8 型燈管，依不同試驗處理給予不同光質及數量燈管，光譜組成如圖一所示，光源離畦面約 120 cm 高，於植株側面以 45 度角向斜下方照射 (圖二)，試驗補光方式分為以下 4 處理，並設一未補光對照組。

1. SLB1: 二支藍光燈管。
2. SLB2: 四支藍光燈管。
3. SLR1: 二支紅光燈管。
4. SLR2: 四支紅光燈管。
5. CK: 無補光處理。

藍色 LED 燈管距離照射面正面 60 cm 處所測得之光量子數為 $18.90 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，紅色 LED 燈管為 $14.78 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，另外自定植日期至果實最後採收日期期間，設置光量子計測量植株環境光度。



圖一、試驗用紅藍燈管之光譜組成 (左圖為藍光燈管、右圖為紅光燈管)

Fig. 1. The spectral composition of the red and blue LED used in the trial (the left picture shows the blue light tube, the right picture shows the red light tube).



圖二、試驗環境補光光源及番茄植株相對位置示意圖。(左邊為 2 支燈管處理，右邊為 4 支燈管處理)

Table 2. The relative location of supplemental light and tomato plants in the experiment. (The left side is treatment of 2 supplemental light tube, and the right side is treatment of 4 supplemental light tube.)

5 種處理累積光量子如下所示(表一)。同數量 LED 燈管的情況下，藍光處理接受到之光量子數較紅光多，整個試驗期間 SLB2 每平方公尺可以較對照組處理多接受 108.9 mol 的光量子莫耳數，約增加了 8.8%；而 SLR2 處理較對照組多接受 64.7 mol，約增加 5.2%。

表一、番茄‘優美’品種 5 種補光處理每日補光光通量密度及定植至採收累積全日總光通量

Table 1. The accumulation light of 5 supplemental light treatments of tomato ‘Yubi’.

Light treatment	Daily supplemental light integral (mol·m ⁻² ·d ⁻¹)	Accumulated photons (mol·m ⁻²)
SLB1	0.45360	1,318.7
SLB2	0.65952	1,352.7
SLR1	0.22752	1,281.4
SLR2	0.39168	1,308.5
CK	0.00000	1,243.8

三、調查項目：

各補光處理分別進行植株生育與果實產量、品質之調查。植株生育部分，分別調查植株各部位鮮、乾重、莖蔓長度、節位數、莖徑、葉面積及植株成活率等；瓜果產量、品質部分則分別調查採收率、可販售率、果肉厚、果長、果寬及可溶性固形物含量等，並計算產量及生產收益。各項調查方法分述如下：

1. 莖蔓長度測量：試驗期間自定植日期每 7 d 調查莖蔓之長度及節位數，至定植後第 14 w 結束。
2. 葉片數、葉面積及葉鮮重：因應番茄種植慣行之去除下位葉防止病害之管理措施，本試驗參試植株下位葉去除約 9 葉，故葉片數等調查採計第 10 節以上葉片。計算全株葉片數量後採取葉片並量取重量，以葉面積分析儀 (LI-3100C, LI-COR, Inc.) 逐葉測量，並計算每株之全株葉面積。
3. 開花所需日數：定植後記錄全株第一串花序第一朵花開之日期。
4. 採收所需日數：記錄每株自定植日至第一果採收所需日數，採收判定基準為茄果發育階段之變色期即採收 (果頂外表由淡黃變為粉紅或紅色未超過全果的 10%)。

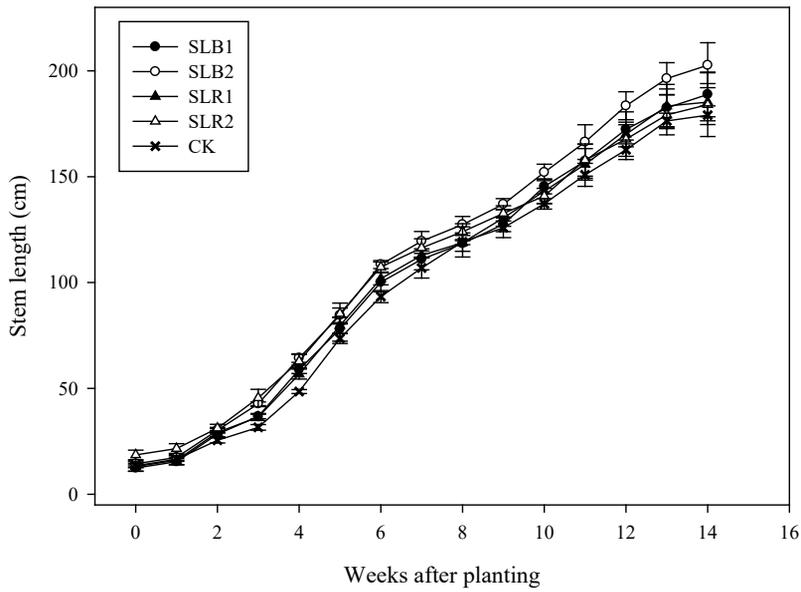
5. 果重：調查各處理採收之每粒果實重量，並除以果數獲得平均果重。
6. 果實數量：調查各補光處理之每株平均果實數量。
7. 果長與果寬：以三角量尺兩支及直尺一支進行測量，直尺平放底部，由兩支三角量尺分別夾住果柄基部與果實尾端，測得果長；果寬量測則與果實縱軸呈 90° 角量測果實寬度，挑選目視較寬之部位量測 5 次，取最大值。
8. 果實周徑：以捲尺量測垂直果蒂至果頂軸線之最大果實周長，量測 5 次取最大值。
9. 可溶性固形物：取整顆果實榨汁，並用可攜式數位糖度計 (ATAGO, Digital Pocket Refractometer, PAL-1) 測量其不含果肉之果汁，所得數值為可溶性固形物含量，單位為 °Brix。
10. 可滴定酸：取整顆果實榨汁，利用酸度計 (TA-70, TOA-DKK, Japan) 進行檸檬酸滴定測量。
11. 單株產量及區域產量估算：單株產量為每株平均收穫果實呈以平均果重；產量為參酌試驗合作農友慣用之種植密度，以 0.1 ha 種植 1,664 株番茄計算，並乘以平均果重。

試驗採逢機完全區集設計 (Randomized Complete Block Design, RCBD)，以 CoStat 6.4 統計軟體進行最小顯著差異檢定 (Least-Significant Difference, LSD)，比較各處理間是否有顯著差異，並利用 SigmaPlot 10.0 (Systat Software Inc., Chicago, Ill. U.S.A.) 繪圖。

結果與討論

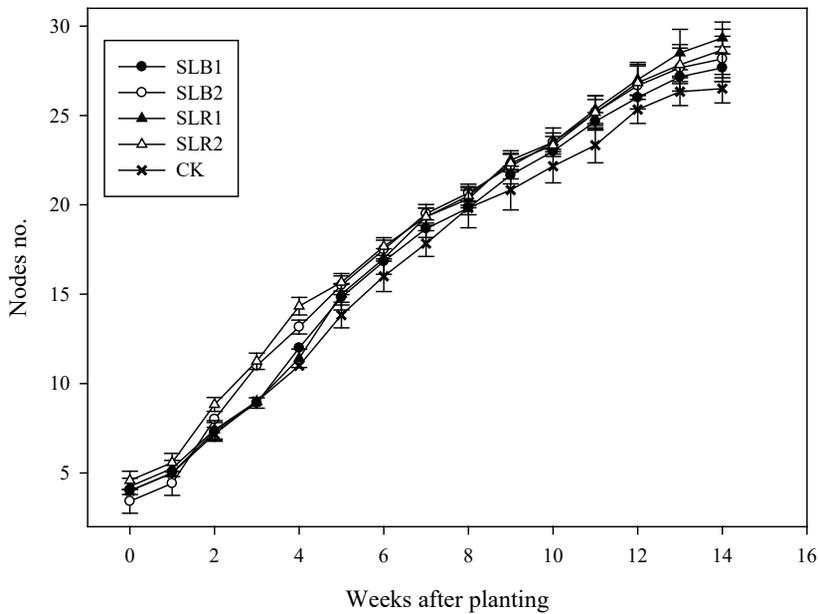
一、不同補光處理對宜蘭地區大果番茄‘優美’植株生育之影響

本試驗於宜蘭縣壯圍鄉之簡易設施中進行，5 種補光處理定植日期均相同。定植後每週紀錄各處理植株生長速度，分別調查蔓長與節數變化。結果顯示生長期間各處理蔓長無明顯差異，但 SLB2 處理蔓長在生長後期第 12-14 w 後較對照組長 (圖三)，SLB2 處理在第 12 w 之蔓長即可達到對照組處理第 14 w 之長度，顯示本試驗四支藍光燈管補光處理能加速番茄植株的莖蔓生長。節數部分，SLB2 及 SLR2 於初期節數增長較快，生育中後期則未補光對照組節數有較少趨勢，顯示各補光處理節數增加較快 (圖四)。



圖三、宜蘭地區不同補光處理之番茄‘優美’品種莖蔓長度生長情形

Fig. 3. The stem length of 5 supplemental light treatment of tomato ‘Yubi’ grown in Yilan. Vertical bars represent standard deviation.



圖四、宜蘭地區不同補光處理之番茄‘優美’品種莖蔓節數變化

Fig. 4. The number of nodes of 5 supplemental light treatment of tomato ‘Yubi’ grown in Yilan. Vertical bars represent standard deviation.

調查各處理第 10 節以上葉片數、葉面積及葉鮮重，CK 處理之葉片數為 15.7 片，而補光處理葉片數落於 17.7-18.7 片間，皆顯著多於 CK 處理；在平均葉面積部分，CK 處理為 538.8 cm²，補光處理落於 575.3-596.1 cm² 之間，皆顯著大於 CK 處理，而補光處理間無顯著差異；葉片鮮重方面，CK 處理為 567.2 g，補光處理皆為 620.3 g 以上，亦皆顯著大於 CK 處理。由上述結果可知，不論是何種補光處理，皆能增加植株葉片數、平均葉面積及植株葉片總鮮重，惟平均單片葉鮮重無顯著差異，皆落於 34.9-36.3 g 間（表二）。Lu 等人（2012）指出，補光處理能顯著增加全株乾重，與本試驗在補光處理下葉片總鮮重較重的情形類似，而 Jiang 等人（2017）亦指出株間補光之番茄植株，相對於 CK 處理，其莖蔓鮮重較重且單葉面積較大，此現象與本試驗結果相符，顯示在補光的環境下莖蔓鮮重及葉面積增加，對於生物量的累積亦有正面效果。

表二、宜蘭地區不同補光處理對番茄‘優美’品種葉數、葉面積及葉片鮮重之影響

Table 2. The leaf number, area and fresh weight of 5 supplemental light treatments of tomato ‘Yubi’ cultivated in Yilan.

Light treatment	Leaf no.	Single leaf area (cm ²)	Fresh wt. (g)	
			Total leaves	Single leaf
SLB1	18.7 a ^z	582.5 a	651.3 a	34.9 a
SLB2	17.7 a	575.3 a	620.3 a	35.2 a
SLR1	18.7 a	595.1 a	665.8 a	35.7 a
SLR2	18.7 a	596.1 a	668.5 a	35.8 a
CK	15.7 b	538.8 b	567.2 b	36.3 a

^z Means within each column followed by the same letters are not significantly different at $P < 0.05$ by Fisher’s protected LSD test.

在植物開花所需日數方面，試驗結果顯示各補光處理皆可顯著提早始花日，SLB1、SLB2、SLR1 及 SLR2 處理分別較未補光對照組提早 5.5、6.0、5.5 及 7.5 d 開花，其中 SLR2 表現最佳，提早日數達 7.5 d（表三）；果實採收所需日數方面，除 SLB1 處理外其它 3 種補光處理相較 CK 皆能顯著提早採收，其中亦以 SLR2 提早日數較多，其較 CK 提早 10 d 採收。SLB1、SLB2、SLR1 及 SLR2 處理分別較未補光對照組提早 5.3、6.3、9.7 及 10.0 d 採收（表三），王（2016）指出番茄以紅光及藍光補光皆能顯著提早始花日及第一果採收日，與本試驗結果相符，顯示在宜蘭地區進行冬季補光，可提早花芽分化、開花、果實發育及轉色，並提早採收。

表三、宜蘭地區不同補光處理對番茄‘優美’品種開花及採收所需日數之影響

Table 3. The days to anthesis and harvest of 5 supplemental light treatments of tomato ‘Yubi’ cultivated in Yilan.

Light treatment	Days	
	To anthesis	To harvest
SLB1	34.3 b ^z	102.6 ab
SLB2	33.8 b	101.6 b
SLR1	34.3 b	98.2 b
SLR2	32.3 b	97.9 b
CK	39.8 a	107.9 a

^z means within each column followed by the same letters are not significantly different at $P < 0.05$ by Fisher’s protected LSD test.

二、不同補光處理對果實性狀、品質與產量表現之影響

加拿大地區冬季以藍光 LED 燈進行株間補光可以提升番茄的果重，但對每植株果實數量無顯著影響 (Pepin *et al.*, 2014)。本試驗藍光補光處理之植株其果實數量亦無顯著提升，SLB1 處理與 CK 處理之果重無顯著差異，但當藍光補光強度提升至 SLB2 時，其果重顯著增加，可提升至 288.0 g，相較於 CK 的 250.2 g，每顆可提升約 30 g 之果重，與 Pepin 等人 (2014) 的補光試驗效果相符。

而紅光補光處理之 SLR1 雖亦無顯著提升果實數量，但較高強度之 SLR2 處理相較 CK 處理有顯著較高的果實數量，CK 處理之每株果實數量為 12.7 顆，而 SLR2 處理之每株果實數量可提升到 16.3 顆，因此推測紅光補光強度足夠的情況下，可增加每株可收穫之果實數量。王 (2016) 試驗結果顯示，隨著補光強度增加，每株可收穫果實數量亦上升，因此補光處理亦需配合光源的強度做調整，以增加植株的果實產量。

在每株可收穫果實總重部分，4 種補光處理皆可以提高單株產量，相較於 CK 處理每株 3,177.5 g，補光處理單株產量落於 3,999.0-4,216.8 g 間，皆可提升 800 g 以上，但 4 種補光處理間無顯著差異。以本次試驗每 0.1 ha 種植 1,664 株番茄計算，未補光處理者每公頃有 52,874.3 kg 的估算產量，而 4 種補光處理每公頃產量為 66,542.7-70,167.7 kg，每公頃可以提升 14,000 kg 以上的產量，約可提升 25.8-32.7% 的產量 (表四)，Jiang 等人 (2017) 採用株間補光處理之番茄植株，其單位面積產量亦顯著大於未補光處理者，與本試驗結果相符。

Lu 等人 (2012) 以螢光燈進行番茄株間補光，結果顯示補光處理能增加全株的鮮果產量，與本試驗 4 種補光處理皆能提升番茄產量之結果吻合，顯示光強度合宜之株間補光模式可作為增加番茄植株產量之方法。

表四、宜蘭地區不同補光處理對番茄‘優美’品種果實產量之影響

Table 5. The fruit yield of 5 supplemental light treatment of tomato ‘Yubi’ grown in Yilan.

Light treatment	Fruit no. per plant	Fruit wt. (g)	Total fruit wt. per plant (g)	Yield (kg·ha ⁻¹)
SLB1	14.7 ab	274.3 ab	4,032.2 a	67,096.0
SLB2	14.2 ab	288.0 a	4,089.6 a	68,050.9
SLR1	14.8 ab	270.2 ab	3,999.0 a	66,542.7
SLR2	16.3 a	258.7 b	4,216.8 a	70,167.7
CK	12.7 b	250.2 b	3,177.5 b	52,874.3

^a Means within each column followed by the same letters are not significantly different at $P < 0.05$ by Fisher's protected LSD test.

在果實長寬與周徑方面，SLR1 處理的果長及果寬顯著大於 CK 處理，然果重與 CK 無顯著差異，而 SLB2 處理之果長果寬雖與 CK 處理無顯著差異，但果重顯著大於 CK 處理。果實周徑部分，各處理間統計上無顯著差異，但補光處理之平均周徑有稍高於 CK 處理之趨勢 (表五)。王 (2016) 的番茄補光試驗結果亦顯示各種光質之補光並未顯著提高單果果長及果寬，顯示植株增產的關鍵應於果實數量上，本試驗 SLR2 處理之單果重雖與 CK 無顯著差異，但其每株果實數量顯著增加，產量因而顯著大於 CK 處理。

表八、宜蘭地區不同補光處理對番茄‘優美’品種果實外觀性狀之影響

Table 8. The fruit appearance measurement of 5 supplemental light treatment of tomato ‘Yubi’ grown in Yilan.

Light treatment	Fruit wt. (g)	Fruit length (cm)	Fruit width (cm)	Fruit perimeter (cm)
SLB1	274.3 ab	8.9 ab	6.6 ab	28.9 a
SLB2	288.0 a	8.9 ab	6.6 ab	28.4 a
SLR1	270.2 ab	9.7 a	6.7 a	26.2 a
SLR2	258.7 b	8.6 ab	6.5 b	25.0 a
CK	250.2 b	8.5 b	6.4 b	24.6 a

於果實採收當日及果實採收後 5 d 調查果實可溶性固形物含量，結果顯示各補光處理間無顯著差異，但除了 SLR1 採收當日之果實外，不論是採收當日或果實採收後 5 d，其可溶性固形物含量皆顯著低於 CK 處理。顯示果實因補光而稍大的情況下，可溶性固形物有較低的趨勢。比較採收當日及果實採收後 5 d，顯示各處理在後熟過程中皆未提升可溶性固形物含量（表九）。

以酸度計測定果實檸檬酸含量，結果顯示隨著後熟過程，果實檸檬酸含量皆顯著降低，而採收當日兩種紅光補光處理其採收當日果實檸檬酸含量皆顯著大於 SLB1 處理，但在採收後 5 d 的檸檬酸含量則為 SLB2 及 SLR1 的補光處理顯著較低。

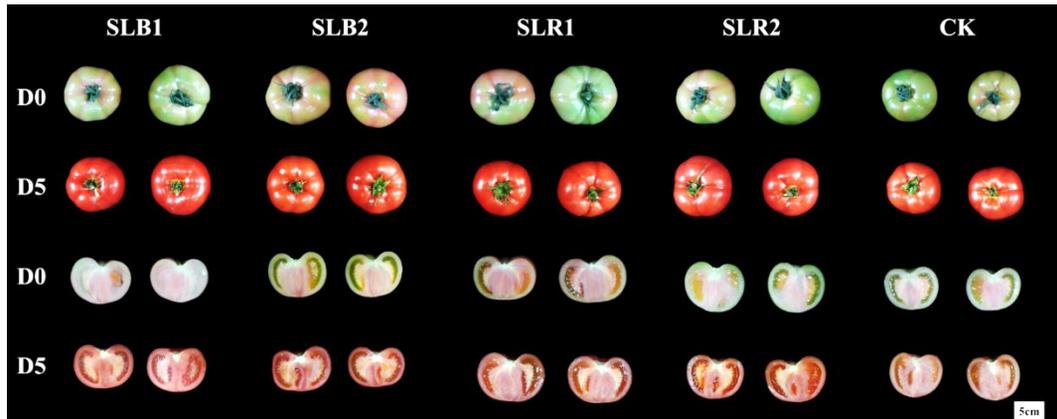
合適的糖酸比影響番茄的品質 (Patric *et al.*, 2008)，各處理之果實糖酸比在後熟過程中皆有顯著提升（表九），且外觀可觀察到表皮變紅的趨勢（圖五），採收當日之果實各處理間無顯著差異，但採後 5 d 果實糖酸比以 SLB2 顯著高於其他處理，劉等人（2010）指出藍光補光處理可以增加櫻桃番茄的糖酸比，與本試驗結果類似。

表九、宜蘭地區不同補光處理對番茄‘優美’品種可溶性固形物、可滴定酸及糖酸比之影響

Table 9. The soluble solids content, citric acid content and sugar-acid ratio of 5 supplemental light treatment of tomato ‘Yubi’ grown in Yilan.

Light treatment	Days after harvest	Soluble solids content (°Bx)	Citric acid content (%)	sugar-acid ratio
SLB1	0	5.80 c ^z	0.77 b	7.55 de
	5	5.77 c	0.54 c	10.73 cd
SLB2	0	5.77 c	0.91 ab	6.46 e
	5	5.80 c	0.24 e	26.36 a
SLR1	0	6.17 bc	1.05 a	6.35 e
	5	5.90 c	0.39 d	15.14 b
SLR2	0	5.93 c	1.03 a	5.76 e
	5	6.13 bc	0.59 c	10.77 cd
CK	0	6.37 ab	0.89 ab	7.69 de
	5	6.73 a	0.48 cd	14.50 bc

^z Means within each column followed by the same letters are not significantly different at $P < 0.05$ by Fisher’s protected LSD test.



圖五、宜蘭地區不同補光處理對番茄‘優美’品種果實外觀之影響。(D0:採收當日果實；D5:採收後 5 d 之果實)

Fig. 5. The fruit appearance of 5 supplemental light treatment of tomato ‘Yubi’ grown in Yilan. (D0:Fruits just harvested. D5: Fruits 5-day after harvested.)

Lu 等人 (2012) 指出於果實發育期補光，相較於植株生長時期補光或果實綠熟至後熟時期補光更能顯著提升果實重量，本研究補光期間為定植至果實發育階段之變色期採收，未來可針對不同番茄生長時期進行補光之研究，以更進一步降低用電成本，增加農民淨收益。

結 論

番茄本身為日中性植物，對光週期的影響並不敏感，因此針對宜蘭冬季低光問題對開花及結果的影響著重於植株本身接收之光量。本研究在宜蘭縣壯圍鄉簡易設施內進行大果番茄的補光試驗，結果顯示 2 種藍光和紅光補光處理對番茄生長具有顯著影響。各補光處理均有助於加快植株生長速度、增加葉片數、提高平均葉面積及植株葉片總鮮重，並能提早開花及果實採收時間。而 SLB2 補光處理能有效提高單顆果實重量，SLR2 補光處理則對於增加每株可收穫果實數量及每株果實總重有明顯效果。總的來說，本研究顯示於宜蘭冬季低光時期以紅、藍兩色 LED 燈進行株間補光處理有助於提早番茄採收並提升產量，未來仍需更深入的研究探討不同生長階段的補光效應以及其潛在應用價值，以期進一步提升宜蘭冬季設施番茄栽培技術。

參考文獻

1. 王靜言 2016 設施補光對番茄生產與光合作用之影響 國立宜蘭大學園藝學系碩士論文 宜蘭 臺灣。
2. 陳正次 2013 番茄品種特性簡介 小果番茄產銷技術與經驗分享研討會專刊 行政院農業委員會臺南區農業改良場 p.3-12。
3. 劉曉英、常濤濤、郭世榮、徐志剛、陳文昊 2010 紅藍 LED 光全生育期照射對櫻桃番茄果實品質的影響 中國蔬菜 22:21-27。
4. 潘瑞熾 2006 植物生理學 新北市 臺灣。
5. 鄔家琪、張明毅、連芳潔 2015 補光光質對番茄‘豐年二號’生長與果實品質之影響 臺灣園藝 61(2):141-152。
6. 李阿嬌 2009 番茄品種介紹 桃園區農業技術專輯 1:8-11。
7. Fan, X.X., Z.G. Xu, X.Y. Liu, C.M. Tang, L.W. Wang, and X.L. Han. 2013. Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. *Scientia Hort.* 153:50-55.
8. Jiang, C., M. Johkan, M. Hohjo, S. Tsukagoshi, M. Ebihara, A. Nakaminami and T. Maruo. 2017. Photosynthesis, plant growth, and fruit production of single-truss tomato improves with supplemental lighting provided from underneath or within the inner canopy, *Sci. Hort.* 222:221-229.
9. Khatib, K.A., and G.M. Paulsen. 1989, Enhancement of thermal injury to photosynthesis in wheat plants and thylakoids by high light intensity. *J. Plant Physiol.* 90:1,041-1,048.
10. Liu, X.Y., S.R. Guo, Z.G. Xu, X.L. Jiao, and T. Takafumi. 2011. Regulation of chloroplast ultrastructure, cross-section anatomy of leaves and morphology of stoma of cherry tomato by different light irradiations of LEDs. *HortScience* 46:217-221.
11. Lu, N., T. Maruo, M. Johkan, M. Hohjo, S. Tsukagoshi, Y. Ito, T. Ichimura and Y. Shinohara. 2012. Effects of supplemental lighting within the canopy at different developing stages on tomato yield and quality of single-truss tomato plants grown at high density. *Environ. Control Biol.* 50(1):1-11.
12. Massa, G.D., H. Kim, R.M. Wheeler, and C.A. Mitchell. 2008. Plant production in response to LED lighting. *HortScience* 43:1,951-1,956.
13. O'Carrigan, A., E. Hinde, N. Lu, X.Q. Xu, H. Duan, G. Huang, M. Mak, B. Bellotti, and Z.H. Chen. 2014. Effects of light irradiance on stomatal regulation and growth of tomato. *Environ. Exp. Bot.* 98:65-73.
14. Patric, R., A. Mikel, and G. Carlos. 2008. Tomato quality is more dependent on temperature than on photosynthetically active radiation. *J. Sci. Food Agr.* 88:158-166.
15. Pepin, S., Fortier, E., Béchard-Dubé, S.A., Dorais, M., Ménard, C. and Bacon, R. 2014. Beneficial effects of using a 3-d led interlighting system for organic greenhouse tomato grown in Canada under low natural light conditions. *Acta Hort.* 1,041:239-246.
16. Vanninen, I., D.M. Pinto, A.I. Nissinen, N.S. Johansen, and L. Shipp. 2010. In the light of new greenhouse technologies: 1. Plant-mediated effects of artificial lighting on arthropods and tritrophic interactions. *Ann. Appl. Biol.* 157:393-414.
17. Wollaeger H.M. and E.S. Runkle. 2014. Growth of impatiens, petunia, salvia, and tomato seedlings under blue, green, and red light-emitting diodes. *Hort. Sci.* 49(6):734-740.