

花胡瓜光合作用特性之研究¹

陳葦玲²、錢昌聖²、莊佩蓉²

摘 要

本試驗調查光強度、二氧化碳濃度、溫度及設施內環境變化對二品種花胡瓜(*Cucumis anguria* L.)光合作用相關生理反應之影響，以供設施栽培管理之參考。由光反應曲線可知花胡瓜之光補償點、光飽合點及最大淨光合作用值(Pn)分別約為15~30 mol·m⁻²·s⁻¹、1,000~1,200 mol·m⁻²·s⁻¹及12~13 μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹。由CO₂反應曲線可知其CO₂飽合點約為1,000~1,200 mg·L⁻¹，此時之Pn為16 μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹，較正常400 mg·L⁻¹大氣濃度下增加約2倍。於25~40°C下植株Pn介於10~13 μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹，溫度間無顯著差異，45°C下Pn則降低約20%。夏作設施栽培花胡瓜植株Pn於上午6點後顯著上升，12點到達高峰值為18.4 μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹，此時設施內環境光強度約1,300 μmol·m⁻²·s⁻¹、溫度達40°C、相對溼度54.9%、蒸氣壓差4 kPa，12點之後Pn則顯著下降。

關鍵詞：花胡瓜、光合作用、光強度、二氧化碳、溫度、設施環境

前 言

光合作用為植物提供生長能量與碳同化的基本過程，為一種動態的系統，其速率除了受到植體本身生理、組織構造或型態因子影響外，亦受到光線、溫度、蒸氣壓差、大氣二氧化碳(CO₂)濃度等外在環境因子影響。植物體之乾物重有90%以上來自光合作用產物^(1,2,3,16)，因此如何利用環境參數的調整，以提高作物光合作用效率，達到最高產量與品質，為作物栽培管理之要點。

胡瓜(*Cucumis sativus* L.)為葫蘆科胡瓜屬1年生蔓性作物，2016年栽培面積達2,150公頃，可周年栽培，主要分布在高屏、雲林及彰化地區。花胡瓜名源於果實幼嫩時採收，凋謝的花朵仍附著果底，為國人日常重要的蔬菜食材，多利用溫網室栽培。但由於近年來霧霾現象嚴重，又設施內常因遮陰光照不足、通風性較差，再加上夏季日夜溫均高，加劇光合作用同化物的消耗，不利花胡瓜生長發育，成為花胡瓜設施栽培生長限制因素⁽⁷⁾。

本研究以花胡瓜為試驗材料，探討不同光強度及溫度下植株光合作用情形，並透過CO₂濃度改變，瞭解其對花胡瓜光合作用之影響，做為評估設施內CO₂施肥(CO₂ enrichment)之基

¹行政院農業委員會臺中區農業改良場研究報告第 0910 號。本研究承行政院國家科學委員會科發基金【計畫編號：MOST 105-3111-Y-067A-008】計畫補助。

²行政院農業委員會臺中區農業改良場副研究員、助理研究員及研究助理。

礎生理資訊，此外量測夏季設施栽培下，植株光合作用相關生理與環境因子變化，以供栽培管理參考。

材料與方法

一、試驗材料

以花胡瓜‘CU-87’ (和生種子，臺灣)與‘河童盛夏11號’ (全福種苗，臺灣)為試驗品種，種子播種於35格圓孔PE穴盤(穴格容積為150 cm³)，每穴播一粒，播種後將穴盤堆疊覆蓋，於28±2 °C、RH 80±5%之黑暗環境中催芽處理2日，後移至臺中區農業改良場育苗室栽培。植株達本葉2片時移植到內含Peltracom泥炭土介質(Lorry Ltd., Germany)之直徑30 cm、高23.5 cm塑膠圓盆中或寬40 cm、深25 cm之栽培槽內，持續栽培於簡易溫室內。栽培期間視介質狀態給水維持水分充足，並依照慣行栽培方法管理，試驗栽培時間為2016年3月至9月。

二、試驗項目

1.不同光強度對花胡瓜光合作用特性之影響

定植後1個月之植株移入25±2 °C生長箱內，CO₂濃度設為400 mg·L⁻¹，以人工光源(6400-02B LED light source)提供光強度由0 μmol·m⁻²·s⁻¹到2,000 μmol·m⁻²·s⁻¹，每次遞增200 μmol·m⁻²·s⁻¹，待植株狀態穩定10分鐘後，量測植株之光合作用相關生理。

2.不同CO₂濃度對花胡瓜光合作用特性之影響

定植後1個月之植株移入25±2 °C生長箱內，光度設定為800 μmol·m⁻²·s⁻¹，以CO₂鋼瓶提供CO₂濃度由0 mg·L⁻¹~1,800 mg·L⁻¹每次遞增200 mg·L⁻¹，待植株狀態穩定10分鐘後，量測植株之光合作用相關生理。

3.不同溫度對花胡瓜光合作用特性之影響，

定植後1個月之植株分別移入25、40及45±2 °C、光度設定為800 μmol·m⁻²·s⁻¹、CO₂濃度設為400 mg·L⁻¹之生長箱內先行馴化24小時，後量測植株之光合作用相關生理、葉綠素螢光值及其葉片離子滲漏率。

4.夏季設施栽培花胡瓜光合作用日變化

於2016年6月將帶2片本葉之幼苗定植於臺中區農業改良場簡易設施栽培槽中，株距40 cm、採單幹整枝。定植後1個月之植株調查其光合作用相關生理日變化，同時監測環境參數變化。

三、分析項目與方法

1.光合作用相關生理與葉綠素螢光測定

淨光合作用(Pn)、氣孔導度(gs)及蒸散作用(E)等生理數值測定參照Chen等(2014)⁽¹¹⁾之步驟，以可攜式光合作用測定儀LI-COR 6400xt (Li-Cor Inc., Lincoln, NE., USA)量測植株帶幼果節位附近之完全展開葉，量測時間為08:00AM~10:00AM；測定條件基本上溫度設為25 °C，以Li-COR 6400 XT葉室紅藍LED燈提供800 μmol·m⁻²·s⁻¹之光源，CO₂濃度維持在400

$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，流速設定為 $500\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、上下葉片氣孔數比設為0.2，其設定會因應試驗處理調整。葉綠素螢光(Fv/Fm)測定亦以LI-COR 6400xt配合葉綠素螢光葉室LI-COR 6400-40 LCF測量植株第4片完全展開葉，葉片測量前先暗馴化30分鐘。

2. 離子滲漏率測定

參考Yeh和Hsu (2004)⁽²⁹⁾的方法測定，取植株第4片完全展開葉先以去離子水擦拭過，以直徑6 mm之打孔器均勻取樣打下6片葉圓片，放入含有1 mL去離子水之試管，分別置於25°C循環水浴槽中60分鐘後，加入14 mL去離子水，於25°C下震盪24小時後以電導度計SC-120 (SUNTEX Co. Taiwan)測量液體第一次EC值(T_1)，各試管再置於殺菌釜中15分鐘(121°C, $1.2\ \text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$)，試管取出後待溫度降到25°C時，以電導度計測量液體第二次EC值(T_2)，離子滲漏率計算為 $T_1/T_2\times 100\%$ 。

四、試驗設計與統計分析

試驗採用完全隨機試驗設計(completely random design, CRD)，每一處理3重複，每一重複取6株調查。數據則以Costat 6.2 (CoHort Software, Berkeley, CA, USA)進行Fisher's Least Significant Difference test ($P<0.05$)分析各處理間有無顯著差異，並以Sigmaplot 10.0 (SPSS Inc., USA)進行迴歸分析與繪圖。

結果與討論

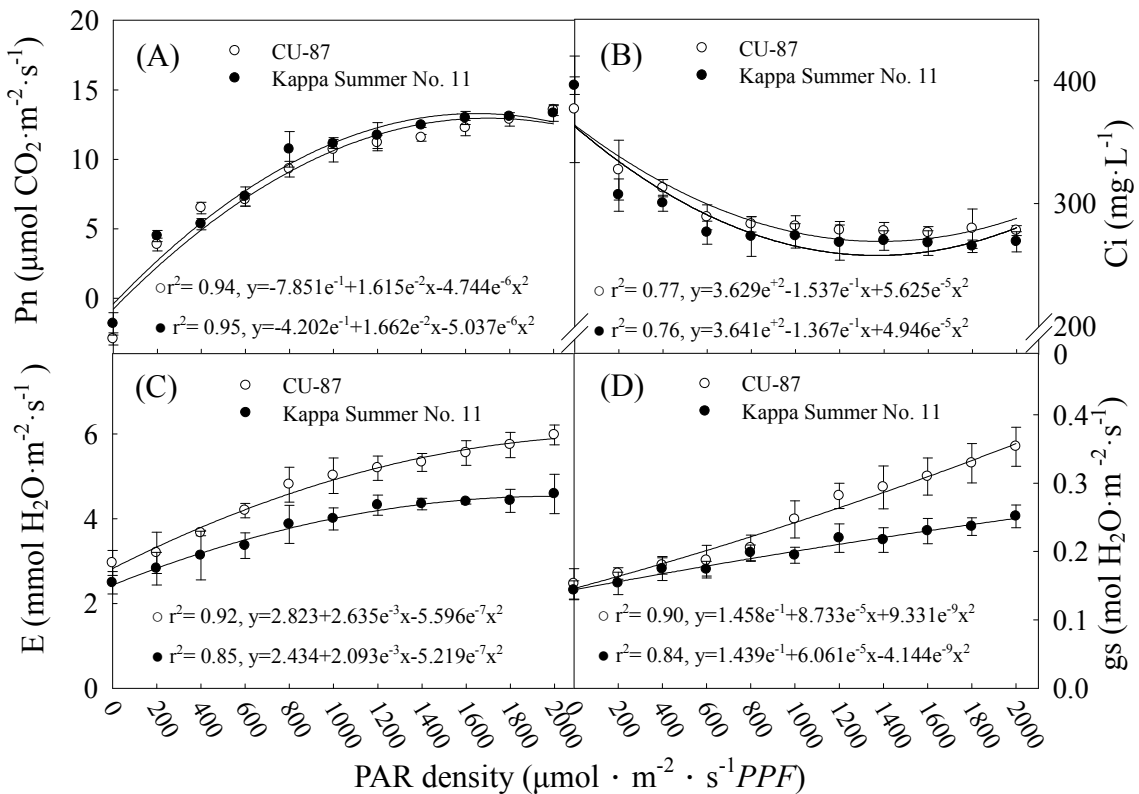
一、不同光強度對花胡瓜光合作用特性之影響

光照為影響作物光合作用的主要因子，其包含光度、光質、光週期等^(1,17)。據中央氣象局的統計資料顯示，臺灣冬春季為一年中日照時數最短時間，北部地區更因為長期陰雨而顯著低於中南部，且近年來空氣懸浮微粒所造成之霧霾現象日趨嚴重，作物栽培易因溫室內光照不足導致葉綠素含量、光合作用效率、植株乾重及果實品質的下降⁽²⁶⁾。

本試驗針對花胡瓜光合作用和光強度間之相關性進行試驗，結果顯示花胡瓜‘河童盛夏11號’及‘CU-87’光反應曲線顯示其光合作用與光度呈二次曲線關係，其暗呼吸率分別為-1.84及-2.93 $\mu\text{mol}\ \text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，光補償點光合作用有效光(Photosynthetically Active Radiation, PAR)為15~30 $\mu\text{mol}\ \text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ， P_n 隨光度增加而遞增，0~800 $\mu\text{mol}\ \text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 區間內其 P_n 上升速率較高，達光飽和點PAR 1,000~1,200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 時 P_n 不再上升，此時 P_n 值為12~13 $\mu\text{mol}\ \text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (圖一A)；葉肉間隙二氧化碳濃度(C_i)隨著光度增加而逐漸下降，趨近於光飽和點時下降速度漸緩(圖一B)，蒸散速率(E)與氣孔導度(g_s)則隨著光度增加而呈現漸增的趨勢(圖一C和一D)。此結果和前人研究中瓜類蔬菜的光補償點介於20.8~66.7 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、光飽和點介於1,021.9~1,421.0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 吻合⁽²⁾。

荷蘭夏季天平均PAR光量約可達1,800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，在冬季平均PAR則降為約200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，對番茄、瓜類等高光需求之蔬菜作物生產而言，光量明顯不足，因此在商業生產中常會利用補光來解決此問題。以高壓鈉燈在溫室上方提供210 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 之光源於胡瓜

生產，年產量可達 $147 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ，且若將一半的光源以LED燈取代進行株間補光，對產量及品質並無影響。溫室甜椒生產上延長光照至20小時或提高人工光源光強度補光至 $188 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 亦可明顯提高其產量^(6,9,10)。從本試驗結果可知，花胡瓜栽培時設施內光強度至少須高於 $30 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，並儘量維持在 $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，以達到最佳的光合作用效率，但光強度增加是否就能提高作物的產量，仍需溫室內二氧化碳濃度、溫度及濕度等環境條件的配合。



圖一、不同光強度下兩花胡瓜品種葉片淨光合作用(A)、細胞間隙 CO_2 濃度(B)、蒸散速率(C)和氣孔導度(D)之變化曲線

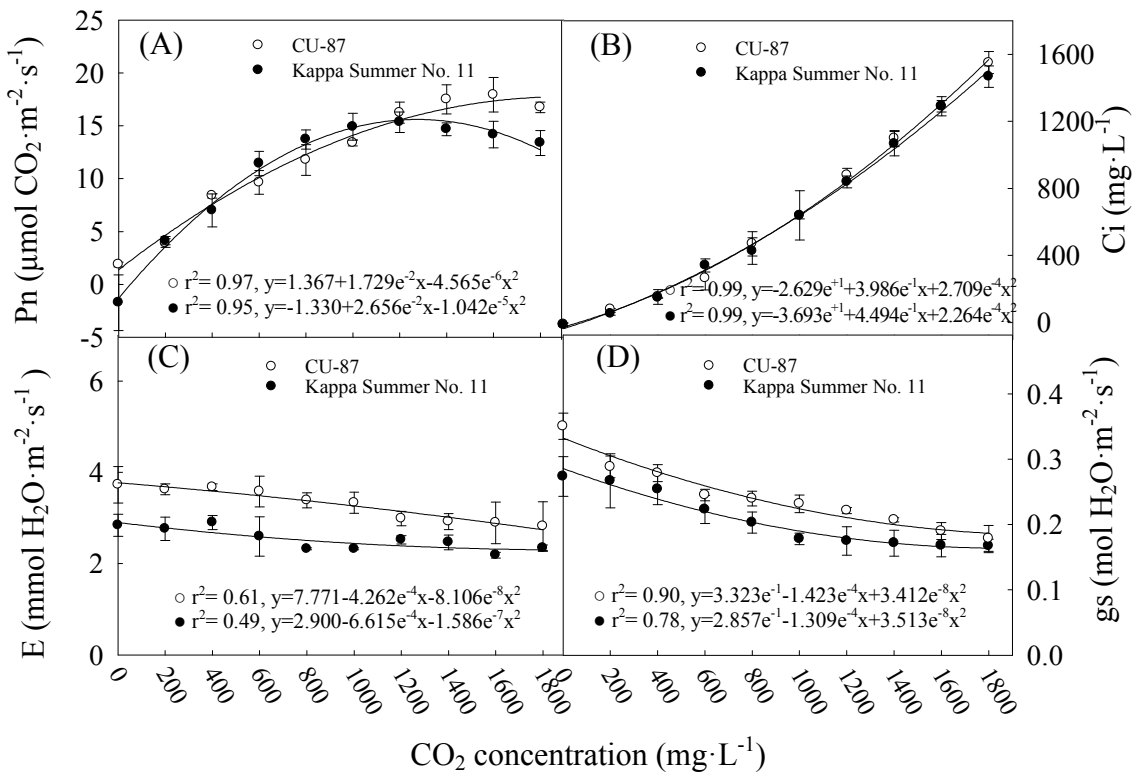
Fig. 1. The curve of net photosynthetic rate, Pn (A), cellular CO_2 concentration, Ci (B), transpiration rate, E (C), and stomatal conductance, gs (D) of two cultivars cucumber leaf under different light density.

二、不同 CO_2 濃度對花胡瓜光合作用特性之影響

CO_2 為光合作用的反應基質，參與碳的同化循環，適當的提升 CO_2 濃度可增加其固定率，此外高濃度的 CO_2 可與氧競爭，間接提高1,5-二磷酸核酮糖羧化酶(Ribulose-1,5-bisphosphate

carboxylase/oxygenase, RuBisCO)效率，葉片中的碳水化合物含量有顯著的增加⁽⁸⁾。兩倍之大氣CO₂濃度處理可分別增加芹菜、萵苣及結球白菜227%、257%和227%的產量⁽²⁰⁾，而對於設施內蔬菜生產而言，增加CO₂濃度至700~900 mg·L⁻¹為適當之建議範圍⁽²¹⁾。

由本試驗CO₂反應曲線可知花胡瓜CO₂飽合點為1,000~1,200 mg·L⁻¹，此時之Pn為16 μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹，較正常400 mg·L⁻¹大氣濃度下增加約2倍(圖二A)，但隨著濃度再提高，其Pn並未提升反而呈現下降的趨勢，此現象可能因於高CO₂濃度下，植體光反應的光捕捉能力下降或因累積大量的碳水化合物所導致負回饋作用所致⁽²⁵⁾。然而E與gs在不同濃度CO₂環境下無顯著差異(圖二C和二D)，顯示花胡瓜氣孔反應對於CO₂濃度增加並不敏感，此結果與Agüera (2006)等人⁽⁸⁾試驗結果相符，雖然多數物種在二氧化碳濃度增加時會關閉氣孔，但植物對高濃度CO₂的反應是多變的，甚至有些物種不會受到影響⁽¹²⁾。



圖二、不同 CO₂ 濃度下兩花胡瓜品種葉片淨光合作用(A)、細胞間隙 CO₂ 濃度(B)、蒸散速率(C)和氣孔導度(D)之變化曲線

Fig. 2. The curve of net photosynthetic rate, Pn (A), cellular CO₂ concentration, Ci (B), transpiration rate, E (C), and stomatal conductance, gs (D) of two cultivars cucumber leaf under different CO₂ concentration.

此外，碳和氮的吸收與同化作用具相互影響，葉部的氮素約有50%用來合成光合作用相關蛋白質，其中可溶性蛋白質主要成分為RuBisCO，因此植物的光合作用速率和葉部氮含量有直接的關係⁽²³⁾。在提高二氧化碳濃度的環境下必須供應足夠的氮養分，才能維持植物的正常生長或提高生質量^(24,27)，若要利用增加CO₂濃度以提高設施花胡瓜光合作用效率、增加植株生育及產量，仍必須配合適當的肥培管理。

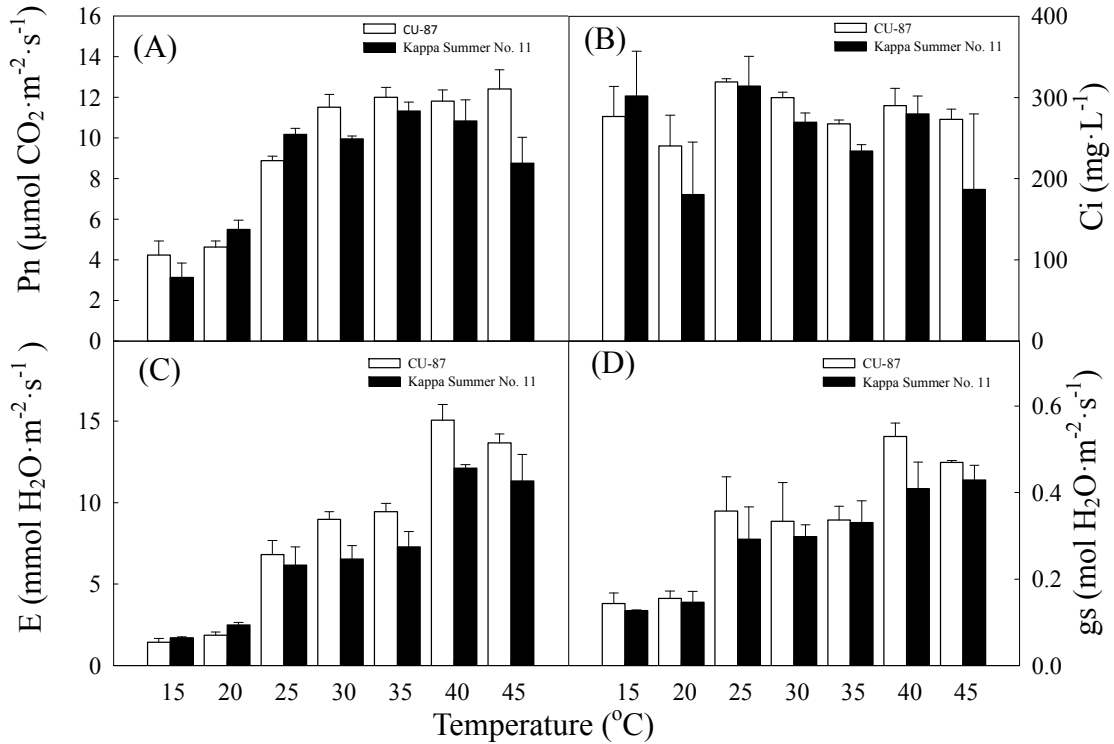
三、不同溫度對花胡瓜光合作用特性之影響

溫度也是影響光合速率的重要因子之一，植物之光合作用有其最適宜的溫度且隨著植物種類不同而異，原產熱帶的植物會有較高的光合作用適溫，一般為25~35℃；C4型植物較高，約為30~40℃；C3型植物較低，約為20~30℃；CAM型植物則約為35℃⁽¹⁴⁾。胡瓜原產於印度喜馬拉雅山南麓，屬C3型植物，植株生育適溫為20~30℃，溫度高於35℃時會造成生理障礙，影響果實形狀及品質；溫度低於10℃時則植株生育受阻⁽⁷⁾。

本試驗結果顯示花胡瓜在15~30℃溫度區間內，Pn有隨溫度上升而逐漸提升的趨勢，在30℃下，‘CU-87’及‘河童盛夏11號’之Pn值分別約為12~14 μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹和11~12 μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹，溫度提高至40℃時，其Pn並無顯著差異，但若再提升至45℃時，‘河童盛夏11號’其Pn和Ci值則顯著下降(圖三A和三B)。在E與gs方面，兩品種花胡瓜皆在40℃處理下較高，25℃、30℃及35℃處理間無明顯差異，45℃下雖有稍許下降但差異不顯著(圖三C和三D)。此數據與Ding等人⁽¹³⁾指出胡瓜葉片在高溫環境下有較高的蒸散作用，以保護葉片光系統避免受到多餘的能量損害之結果相似。

近年來全球暖化，高溫為作物生長之重要限制因子，其往往導致植株形態發育異常、營養元素吸收受阻、呼吸作用提高、淨光合作用能力降低等變化，進而影響作物產量與品質^(15,18,19)。當受到熱逆境時，光系統II (Photosynthetic system II, PSII)扮演著重要的角色，其高敏感度導致光合作用系統比其他細胞功能先受到損害⁽²²⁾。植物在行光合作用時，天線分子(antenna)如葉綠素a和b可將吸收之光能匯集到PSII，並使其激發成PSII*，電荷分離進入電子傳遞鏈。高溫逆境下，類囊體膜受到傷害，造成PSII電子傳遞鏈受抑制，使大部分被激發的能量停在天線分子，激發能量停留時間越長，其釋放出螢光的機會及產量也較高，而葉綠素螢光(chlorophyll fluorescence)檢測主要即是量測PSII所釋放之螢光，並利用PSII之最大光子利用效率(maximum quantum efficiency, Fv/Fm)作為逆境指標。健康植株的Fv/Fm為常數，但在植物感受到逆境時Fv/Fm值降低⁽⁴⁾。

進一步測定兩品種在25℃、40℃及45℃、1天處理下之Fv/Fm及葉片細胞膜離子滲漏率，結果顯示植體Pn和離子滲漏率在45℃高溫環境下與25℃及40℃處理雖無顯著差異，但Fv/Fm在40℃及45℃則明顯下降(表一)。番茄在不同栽培溫度下，栽培溫度與其所測得之Fv/Fm值呈現高度的二次負相關，而馬鈴薯以40.5℃處理下葉綠素螢光可用在各品種耐熱篩選⁽²⁸⁾，本試驗結果可知高溫會直接影響PSII電子的傳導，但短時間的高溫並未造成Pn下降及細胞膜明顯受損，由於Fv/Fm值變化是敏感且立即的，故可建議作為花胡瓜早期受高溫逆境反應之指標。



圖三、不同溫度下兩花胡瓜品種葉片淨光合作用(A)、細胞間隙 CO₂ 濃度(B)、蒸散速率(C)和氣孔導度(D)變化

Fig. 3. Net photosynthetic rate, Pn (A), cellular CO₂ concentration (B), transpiration rate, E (C), and stomatal conductance, gs (D) of two cultivars cucumber leaf under different temperature.

表一、不同品種花胡瓜植株在 25°C、40°C 及 45°C 下淨光合作用、葉綠素螢光及離子滲漏率之表現
Table 1. Net photosynthetic rate (Pn), chlorophyll fluorescence (Fv/Fm), and electrolyte leakage of different cucumber cultivars plant under 25°C, 40°C, and 45°C

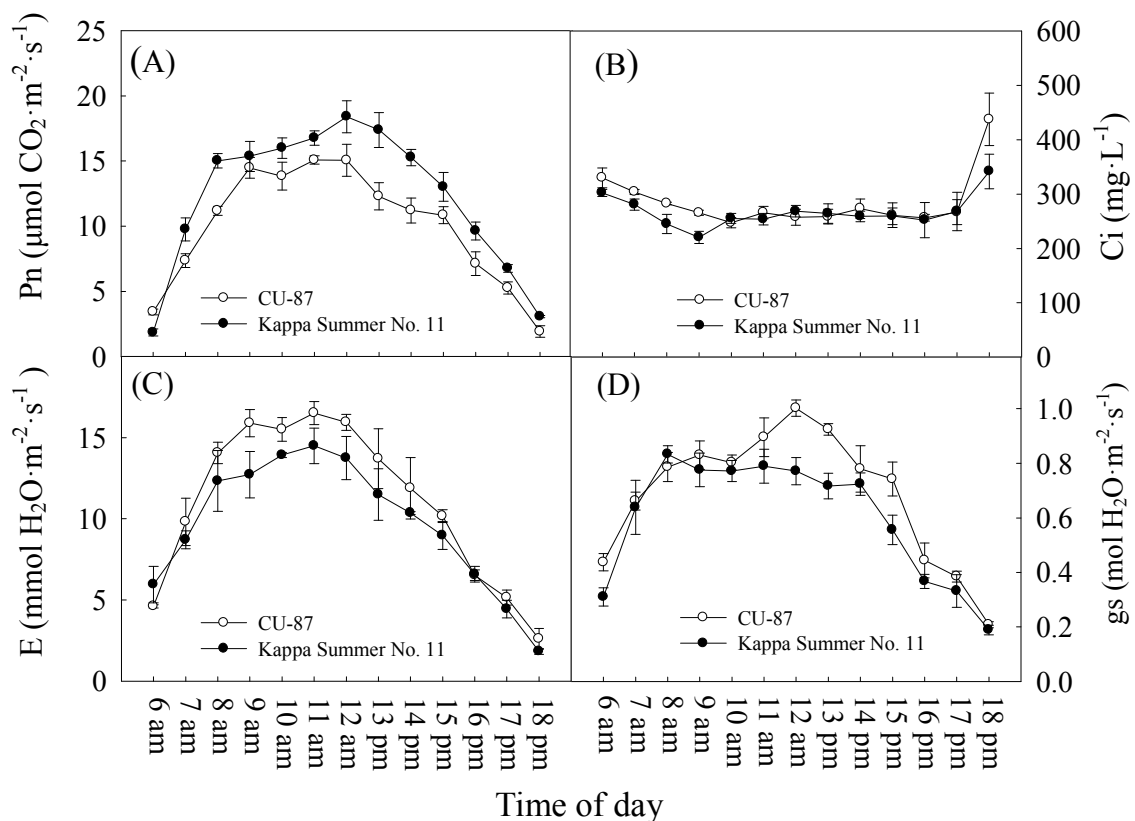
Cultivar	Temperature (°C)	Pn (μmol CO ₂ ·m ⁻² ·s ⁻¹)	Fv/Fm	Electrolyte leakage (%)
Kappa summer No.11	25	10.9 a ¹	0.9 a	8.9 a
	40	11.2 a	0.78 b	9.0 a
	45	9.3 a	0.76 c	10.8 a
Cu-87	25	10.3 a	0.9 a	10.3 a
	40	11.8 a	0.78 b	11.8 a
	45	12.3 a	0.72 c	13.0 a

¹ Lowercase letters indicate significant differences among temperature treatment at each variety by Fisher's least significant difference at $P < 0.05$.

花胡瓜高溫的耐受力為 $35^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ ，高於 40°C 則同化效率下降且同時產生高溫傷害^(7,30)，因此若是高溫時間增加、設施夜溫無法降低，推測仍會造成其Pn下降、碳水化合物同化率降低及因高溫造成呼吸作用增加耗能的情形，而均反應在其產量上。

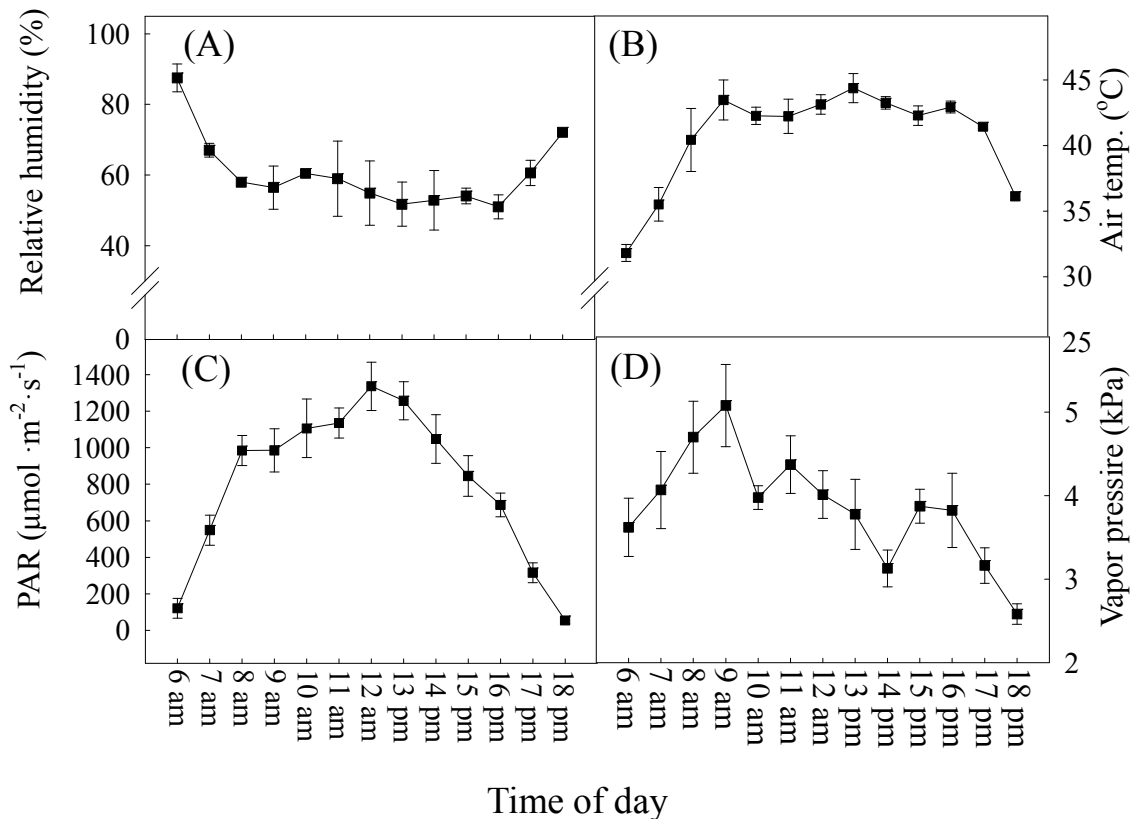
四、夏季設施栽培花胡瓜光合作用日變化

夏作設施栽培花胡瓜‘河童盛夏11號’及‘CU-87’植株Pn日變化呈單峰曲線，光合作用速率自07:00AM時即有明顯的上升，Pn值到 $7.3\sim 9.8\ \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，8~12時緩慢的上升，到12:00AM時達當日最高為 $15.4\sim 18.5\ \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，而後隨著時間逐漸下降，葉片蒸散作用則與光合作用有類似的趨勢，而細胞間隙 CO_2 濃度隨著氣孔導度及光度的下降逐漸上升，在18:00PM時兩品種花胡瓜細胞間隙 CO_2 濃度皆有明顯的增加，此時氣孔已幾乎關閉(圖四)。



圖四、夏作花胡瓜淨光合作用(A)、細胞間隙 CO_2 濃度(B)、蒸散速率(C)及氣孔導度(D)之日變化
 Fig. 4. Daily changes of cucumber net photosynthetic rate, Pn (A), cellular CO_2 concentration, Ci (B), transpiration rate, E (C), and stomatal conductance, gs (D) in summer. Date recorded: 2016.06.02

調查當日環境因子變化，06:00AM設施內光度為 $120 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，已高於其光補償點，12點時最高光度達 $1354 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，而後隨著時間而下降，在08:00AM~14:00PM期間設施光度皆高於其光飽和點(圖五C)。在溫度方面，夏季06:00AM設施內溫度已有 31.7°C ，09:00AM到16:00PM溫度變化並不明顯，介於 $42\sim 45^\circ\text{C}$ ，18:00PM日落前溫度仍有 36.1°C (圖五B)。在相對溼度(relative humidity, RH)方面，06:00AM之RH最高達87.5%，故應即時利用空氣流通而降低RH，以減少病害發生，RH後隨著時間而降低，08:00AM到06:00PM之RH維持在50%~60%，而後隨著日照減少，RH再次升高，下午18:00PM日落前可達71.8% (圖五A)；在蒸氣壓差方面從06:00AM~09:00AM呈上升趨勢而後隨之下降，最高植株出現在09:00AM，其值達5.1 Kpa (圖五D)。就光合作用與環境因子數據進行相關分析，結果顯示葉片Pn和光度溫度、RH和蒸氣壓差均具有相關性，又以光線相關係數較高，各環境因子除蒸氣壓差與溫度、相對濕度無顯著相關外，彼此之間亦存在相關性(表二)。



圖五、夏作花胡瓜栽培設施內相對溼度(A)、溫室內大氣溫度(B)、光度(C)及蒸氣壓差(D)之日變化
 Fig. 5. Daily changes of relative humidity (A), air temperature (B), light density (C), and vapor pressure deficit (D) of protected house planting cucumber in summer. Date recorded: 2016.06.02

表二、花胡瓜光合作用影響參數之間相關性分析

Table 2. Coefficient analysis on cucumber photosynthesis and its effected environmental factors

	Pn	Light density	Air temperature	Relative humidity	VPD
Pn	1				
Light density	0.942***	1			
Air temperature	0.747***	0.803***	1		
Relative humidity	-0.766***	-0.813***	-0.905***	1	
VPD	0.586**	0.568**	0.279 ^{ns}	-0.284 ^{ns}	1

ns, **, *** means non-significant at $p < 0.05$, significant at $p < 0.01$ and 0.001 .

蔬菜葉片光合速率日變化會受外界環境條件的影響，大多數蔬菜植物的光合作用日變化呈雙峰曲線，即在下午1點左右有一光合作用下降的趨勢，稱為光午休現象，多數學者趨向認為低空氣濕度、高蒸氣壓差造成氣孔關閉，其他因素如光合作用產物累積過多、RuBisCO活性降低、光化學系統降低或ABA的累積等亦被認為和其現象有關⁽³⁾。但在本試驗中，設施內花胡瓜並無光合作用午休現象，當下相對濕度雖為54.9%、蒸氣壓差高達5.1 Kpa，但其E和gs亦無降低，顯示並未出現因氣孔關閉導致Pn降低情形，推測因本試驗栽培為利用滴灌給水，所測試之植株水分吸收供應正常，故未出現因缺水所造成上述ABA累積、氣孔關閉之情形。

綜合本試驗結果可知，花胡瓜光補償點為 $15\sim 30 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、光飽合點為 $1,000\sim 1,200 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，且植株Pn與光度呈高度正相關，CO₂飽合點約為 $1,000\sim 1,200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，在高溫45℃下會造成Pn顯著下降。因此，在花胡瓜設施栽培環境應首先著重光線，有足夠的日照再配合日夜溫度的管理，並可評估CO₂濃度增加對其產量增加之效益。此外，花胡瓜在適當的環境栽培下，並無因氣孔限制所造成之光合午休現象發生，又可利用南瓜根砧嫁接其根系生長旺盛之特性，以增加地上部生長之養分及水分供應，減少午間植株萎凋現象，且產期較自根苗提早⁽⁵⁾。

參考文獻

1. 柯勇 2002 植物生理學 藝軒圖書出版社 臺北 臺灣。
2. 艾希珍、張振賢、楊秀華 2000 一些蔬菜作物光合與蒸騰特性研究 園藝學報 27: 371-373。
3. 舒英杰、周玉麗 2005 蔬菜植物光合特性研究進展 長江蔬菜 9: 34-38。
4. 姚銘輝、陳守泓、漆框時 2007 利用葉綠素螢光估算作物葉片之光合作用 臺灣農業研究 56: 224-236。
5. 陳葦玲、錢昌聖、莊佩蓉 2016 提升夏季花胡瓜設施生產效益之研究 臺灣園藝 62: 342-343。
6. 許涵鈞、鍾瑞永 2012 荷蘭溫室人工光源溫室概況 臺南區農業專專訊 85: 14-17。
7. 劉敏莉 2010 夏季高溫對胡瓜生產之影響 高雄區農業專訊 72: 26-27。

8. Agüera, E., D. Ruano, P. Cabello and P. Haba. 2006. Impact of atmospheric CO₂ on growth, photosynthesis and nitrogen metabolism in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants. *J. Plant Physiol.* 163: 809-817.
9. Brazaityte, A., P. Duchovskis, A. Urbonaviciute, G. Samuoliene, J. Jankauskiene, B. Kasiuleviciute, Z. Bliznikas, A. Novickovas, K. Breive and A. Zukauskas. 2009. The effect of light-emitting diodes lighting on cucumber transplants and after-effect on yield. *Zemdirb-Agric.* 96: 102-118.
10. Brazaityte, A., P. Duchovskis, A. Urbonaviciute, G. Samuoliene, J. Jankauskiene, J. Sakalauskaite, G. Sabajeviene, R. Sirtautas and A. Novickovas. 2010. The effect of light-emitting diodes lighting on the growth of tomato transplants. *Zemdirb-Agric.* 97: 89-98.
11. Chen, W. L., W. J. Yang, H. F. Lo and D. M. Yeh. 2014. Physiology, anatomy, and cell membrane thermostability selection of leafy radish (*Raphanus sativus* var. *oleiformis* Pers.) with different tolerance under heat stress. *Sci. Hort.* 179: 367-375.
12. Drake, B. G., M. A. Gonza'lez-Meler and S. P. Long. 1997. More efficient plants: a consequence of rising atmospheric CO₂? *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol.* 48: 609-639.
13. Ding, X., Y. Jiang, T. Hao, H. Jin, H. Zhang, L. He, Q. Zhou, D. Huang, D. Hui and J. Yu. 2016. Effects of heat shock on photosynthetic properties, antioxidant enzyme activity, and downy mildew of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Academic J.* 11: 1-15.
14. Edwards, G. E., Z. Dai, S. H. Cheng and M. S. B. Ku. 1996. Factors affecting the induction of Crassulacean acid metabolism in *Mesembryanthemum crystallinum*. P.119-134. In: *Crassulacean Acid Metabolism: Biochemistry, Ecophysiology and Evolution*. K. Winter and J. A. C. Simth(eds). Springer/Verlag Berlin Heidelberg New York.
15. Faralli, M., C. Lektenu, D. Rosellini and F. Gürel. 2015. Effects of heat shock and salinity on barley growth and stress-related gene transcription. *Biol. Plant* 59: 537-546.
16. Flore, J. A. and A. N. Lasko. 1989. Environmental and physiological regulation of photosynthesis in fruit crops. *Hort. Rev.* 11: 111-157.
17. Gaufreau, L., J. Charbonneau, L. P. Vezina and A. Gosselin. Photoperiod and PPF influence growth and quality of greenhouse-grown lettuce. *HortSci.* 29: 1285-1289.
18. Hasanuzzaman, M., K. Nahar, M. M. Alam, R. Roychowdhury and M. Fujita. 2013. Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *Int. J. Mol. Sci.* 14: 9643-9684.
19. Jerry, L. H. and H. P. John. 2015. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes* 10: 4-10.

20. Jin, C.W., S. Du, Y. Wang, J. Codon, X.Y. Lin and Y.S. Zhang. 2009. Carbon dioxide enrichment by composting in greenhouses and its effect on vegetable production. *J. Plant Nutri. Soil Sci.* 127: 418-424.
21. Leiv, M. M. 1987. Review: CO₂ enrichment in greenhouses. Crop responses. *Sci. Hort.* 33: 1-25.
22. Mathur, S., D. Agrawal and A. Jajoo. 2014. Photosynthesis: response to high temperature stress. *J. Photochem. Photobiol. B. Biol.* 137: 116-126.
23. Murray, M. B., R. I. Smith, A. Friend and P.G. Jarvis. 2000. Effect of elevated CO₂ and varying nutrient application rates on physiology and biomass accumulation of Sitka spruce (*Picea sitchensis*). *Tree Physiol.* 20: 421-434.
24. Prior, S. A., G. B. Runion, R. J. Mitchell., H. H. Rogers and J. S. Amthor. 1997. Effects of atmospheric CO₂ on longleaf pine: productivity and allocation as influenced by nitrogen and water. *Tree Physiol.* 17: 397-405.
25. Sheu, B. H. and C. K. Lin. 1999. Photosynthetic response of seedlings of the sub-tropical tree *Schima superba* with exposure to elevated carbon dioxide and temperature. *Environ. Exp. Bot.* 41: 57-65.
26. Sui, X., J. Sun, S. Wang, W. Li, L. Hu, F. Meng, Y. Fan and Z. Zhang. 2011. Photosynthetic induction in leaves of two cucumber genotypes differing in sensitivity to low-light stress. *Afri. J. Biotech.* 10: 2238-2247.
27. Thomas, R. B., J. D. Lewis. and B. R. Strain.1994. Effects of leaf nutrient status on photosynthetic capacity in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) seedlings grown in elevated atmospheric. *Tree physiol.* 14: 947-960.
28. Wahid, A., S. Gelani, M. Ashraf and M.R. Foolad. 2007. Heat tolerance in plants: An review. *Environ. Expt. Bot.* 61: 199-223.
29. Yeh, D. M. and P. Y. Hsu. 2004. Heat tolerance in English ivy as measured by an electrolyte leakage technique. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 79: 298-302.
30. Yuan, Y., S. Shu, S. Li, L. He, H. Li, N. Du, J. Sun and S. Guo. 2014. Effects of exogenous putrescine on chlorophyll fluorescence imaging and heat dissipation capacity in cucumber (*Cucumis sativus* L.) under salt stress. *J. Plant Growth Regul.* 33: 798-808.

The Studies on Photosynthetic Characteristics of Cucumber¹

Wei-Ling Chen², Chang-Sheng Chien² and Pei-Rung Jhuang²

ABSTRACT

In order to understand the photosynthetic characteristics of cucumber (*Cucumis anguria* L.) for its cultivated management under protected house, two cucumber cultivars 'Kappa Summer No. 11' and 'CU-87' plants were used as experimental materials. The effects of light intensity, carbon dioxide concentration, temperature, and diurnal changes of environment on photosynthetic related responses were studied. Light compensation point, light saturation point and maximum net photosynthetic rates (Pn) of cucumber were 15~30 mol·m⁻²·s⁻¹, 1,000~1,200 mol·m⁻²·s⁻¹, and 12~13 μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹, respectively. The CO₂ response curve showed that the CO₂ saturation point was 1,000~1,200 mg·L⁻¹ while the Pn was 16 μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹ and double higher than Pn was under 400 mg·L⁻¹. The Pn of cucumber plants grown under 25~40°C were not different significantly, but decreasing about 20% under 45°C. The Pn diurnal changes of cucumber plants in protected house during summer cropping started elevated at 6:00AM and reached the peak 18.4 μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹ at 12:00AM. In the meanwhile, the environmental factors was 1,300 μmol·m⁻²·s⁻¹ light intensity, 40°C, 54.9% relative humidity, and 4 kPa vapor pressure deficit. After 12:00 AM, Pn decreased significantly.

Key words: cucumber, photosynthesis, light density, carbon dioxide, temperature, environment in protected house

¹Contribution No. 0910 from Taichung DARES, COA. This project was financially supported by National Science Council (MOST 105-3111-Y-067A-008).

²Associate researcher, assistant researcher, and research assistant of Taichung DARES, COA.

