

乾旱與澆灌頻度對蝴蝶蘭‘V3’光合作用、 生長與開花之影響¹

楊颺²

摘 要

楊颺。2025。乾旱與澆灌頻度對蝴蝶蘭‘V3’光合作用、生長與開花之影響。臺南區農業改良場研究彙報 86：86-101。

蝴蝶蘭是臺灣重要的外銷花卉，栽培期長、水分澆灌耗費大量人力及資源，但目前尚未有可供栽培以及水分管理的參考指標。本研究探討乾旱逆境（25～35 天）及澆灌頻度對不同營養生長階段的蝴蝶蘭種苗的光合作用、生長以及後續開花之影響。蝴蝶蘭 Sogo Yukidian ‘V3’ 苗齡 9 個月之中苗（7.5 cm 盆徑）及苗齡 11 個月之大苗（10.5 cm 盆徑），分別在停止澆灌後第 15 天及第 25 天，當介質水分含量降到 10% 以下時，葉片 CO₂ 同化率與氣孔導度顯著下降，再次澆灌後可回升，此現象又以成熟葉較新葉、中苗較大苗顯著，乾旱後生物量亦是以中苗下降較明顯。而常用的逆境指標葉綠素螢光值 Fv/Fm 在蝴蝶蘭中對乾旱反應較不敏感。將大苗分為四種不同澆灌頻度處理，分別為乾旱、慣行澆灌、CO₂ 同化率下降前澆灌、CO₂ 同化率下降後澆灌，比較其 CO₂ 同化率、生長及後續開花表現。結果顯示在 CO₂ 同化率下降前恢復澆灌與慣行澆灌兩處理，在 CO₂ 同化率、生物量及後續開花品質無顯著差異，而在 CO₂ 同化率下降後恢復澆灌者後續開花率顯著較低。本研究結果顯示營養生長階段乾旱會影響蝴蝶蘭光合作用、生長及後續開花，中苗較大苗不耐乾旱。成熟葉片的 CO₂ 同化率與氣孔導度對乾旱反應敏感，建議可作為蝴蝶蘭水分澆灌管理之參考模式。

現有技術：蝴蝶蘭介質水分與光合作用測量儀器。

創新內容：釐清介質水分含量與澆水頻度對蝴蝶蘭營養生長期之光合作用、生長與後續開花之影響。

對產業影響：本研究結果可用於蝴蝶蘭節水栽培與外銷乾旱海運時的水份管理參考、提高水資源利用效率。

關鍵字：蘭花、光合作用、二氧化碳同化率

接受日期：2025 年 9 月 3 日

1. 農業部臺南區農業改良場研究報告第 592 號。

2. 農業部臺南區農業改良場助理研究員。712009 臺南市新化區牧場 70 號。

前言

蝴蝶蘭是臺灣外銷花卉的領航作物，根據農業部統計 2024 年外銷金額超過 1.5 億美元，外銷品項包括種苗、切花與盆花，其中又以種苗為大宗占總金額 80% 以上⁽¹⁾。臺灣蝴蝶蘭多以水苔為介質、生產期程長，種苗栽培大致分為三個階段：剛出瓶種於 1.5 寸盆 (4.5 cm)，稱為小苗。栽培 3 ~ 4 個月後換至 2.5 寸盆 (7.5 cm) 此階段為中苗。中苗栽培 3 ~ 4 個月後換至 3.5 寸盆 (10.5 cm)，稱為大苗，一般來說種苗至少要種 7 ~ 8 個月至中苗以上才能進行催花⁽²⁾。介質水分管理不僅直接影響植物光合作用與生長，也會影響後續開花品質⁽²⁾，然而目前蝴蝶蘭栽培水分澆灌多倚靠人員經驗判斷，澆灌頻度尚無客觀指標，另外，蝴蝶蘭種苗在外銷海運時經常 25 ~ 50 天無法澆灌，但較少針對研究苗期乾旱或水分管理對後續生理及開花表現之影響。本研究選用蝴蝶蘭中、大苗，測定介質水份含量及 EC 值變化，並與葉綠素螢光值、二氧化碳同化率、氣孔導度等光合作用生理參數作連結，期釐清蝴蝶蘭在不同乾旱期間的生理反應，並探討水分供應頻率對植株生長與後續開花表現之影響。未來可作為蝴蝶蘭苗株節水栽培，以及外銷長期乾旱貯運的水分管理依據，建立科學化的蝴蝶蘭澆灌指標並應用於商業栽培。

材料與方法

植物材料購自臺南市後壁臺糖公司，包含不同苗齡與盆徑的蝴蝶蘭 Sogo Yukidian ‘V3’ 分生苗，分為出瓶 9 個月之 2.5 寸盆 (7.5 公分盆) 中苗與出瓶 11 個月之 3.5 寸盆 (10.5 公分盆) 大苗，栽培介質為水苔，種於透明塑膠軟盆內。植株購入後置於臺南區農改場 GA7 蘭花溫室，具風扇水牆、雙層黑網遮陰系統，內部環境大致控制在日溫 25 ~ 35°C、夜溫 23 ~ 28°C、相對濕度 75 ~ 100%、光度 200 ~ 600 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

試驗一、乾旱對蝴蝶蘭中苗及大苗光合作用與生長之影響

以 2.5 寸中苗與 3.5 寸大苗為材料，試驗期間共 25 天，分為乾旱組與澆灌組，每組各 6 株，所有植株於試驗開始時先充分澆灌，讓水苔介質完全濕透到盆底孔洞滴水，之後乾旱組即不再給水，澆灌組方面，2.5 寸中苗於試驗開始後 16 天再次澆灌、3.5 寸大苗於試驗開始後 21 天再次澆灌。

於第 1、5、8、12、15、20、25 天以水份測量儀 (WET-2, Delta-T, Cambridge, United Kingdom) 測量介質水份含量與電導度 (electric conductivity, EC)。並以葉綠素螢光儀 (Mini Pam, Heinz Walz, Effeltrich, Germany)，於 9:00 ~ 11:00 分別測量植株新葉 (第 1 對完全展開葉) 及成熟葉 (第 2 對完全展開葉) 的葉綠素螢光值 F_v/F_m ，測量方式為在待測葉片夾上金屬葉夾進行 30 分鐘暗馴化，暗馴化後照射測量光與飽和光後測得最小螢光值 (F_0) 與最大螢光值 (F_m)、計算最大光化學效率 (maximal quantum efficiency of PS II, F_v/F_m)。並以攜帶式光合作用測定儀 (LI-6800, LICOR, Lincoln, USA) 於 19:00 ~ 22:00 測量新葉、成熟葉之淨二氧化碳同化率 (CO_2 assimilation rate) 以及氣孔導度 (stomatal conductance)。經 25 天試驗結束後每處理各取 3 株，調查地上部與地下部之鮮、乾重。

試驗二、澆灌頻度對蝴蝶蘭大苗 CO_2 同化率及生長開花之影響

為進一步了解乾旱期間對蝴蝶蘭生長之影響，以 3.5 寸大苗為材料，試驗期間 35 天，

分為乾旱、慣行澆灌、提早恢復澆灌，以及延遲恢復澆灌 4 種澆灌頻度，每處理 12 株。所有處理試驗開始時先完全澆透，並參考試驗一的 CO_2 同化率變化，乾旱組整個試驗期間不再澆灌，慣行澆灌組於第 13、25 天再次澆灌，提早恢復澆灌組在 CO_2 同化率顯著下降前（第 20 天）再次澆灌，延遲恢復澆灌組則於 CO_2 同化率顯著下降後（第 27 天）再次澆灌。於試驗開始後第 1、8、15、21、26、29、35 天，以水份測量儀測量介質水分含量與 EC 值，以攜帶式光合作用測定儀測量成熟葉（第 2 對完全展開葉）的 CO_2 同化率與氣孔導度，測量儀器、時間與方式同試驗一。

35 天試驗結束後，每處理各取 4 株，調查地上部與地下部之鮮、乾重，其餘 8 棵植株恢復慣行澆灌、種植 1 個月後移至 $25/20^\circ\text{C}$ 冷房催梗，等大部分植株抽梗且花梗長度超過 10 cm 後（約催梗開始後 8 週）移出冷房，待花梗上的花朵開放過半後（約催梗後 22 ~ 23 週），調查花梗長度、花朵數與花朵直徑。

試驗皆採完全隨機試驗設計 (completely randomized design, CRD)，以 CoStat 6.4 統計軟體分析各處理間有無顯著差異。百分比數據均先進行角度轉換 (arcsine square root-transformed) 後再進行統計分析，並以 Sigma Plot 10.0 軟體作圖，標列平均值與標準誤差。

結 果

試驗一、乾旱對蝴蝶蘭中苗及大苗光合作用與生長之影響

蝴蝶蘭中苗與大苗第 1 天剛澆完水的介質水分含量約 40%，EC 約 $0.7 \sim 0.8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ，之後水分含量隨天數逐漸下降、EC 值持續上升，中苗第 12 天時介質水分含量約 10%、EC 約 $1.2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ，第 15 天時介質水分含量降到 5%、EC 上升到 $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ，乾旱組最終的介質水分含量約 2 ~ 3%，EC 值則因太乾量測不到（圖 1A、B）。大苗第 15 天時水分含量約 15%、EC 約 $1.1 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ，第 20 天水分含量下降到 10%、EC 上升到 $1.3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ，乾旱組最終水分含量約 5%，EC 值則因太乾測不到（圖 1C、D）。中苗與大苗澆灌組分別於第 16 天、第 21 天再次澆灌後，水分含量都回升到 30% 以上、EC 值降至 $0.75 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 以下（圖 1）。

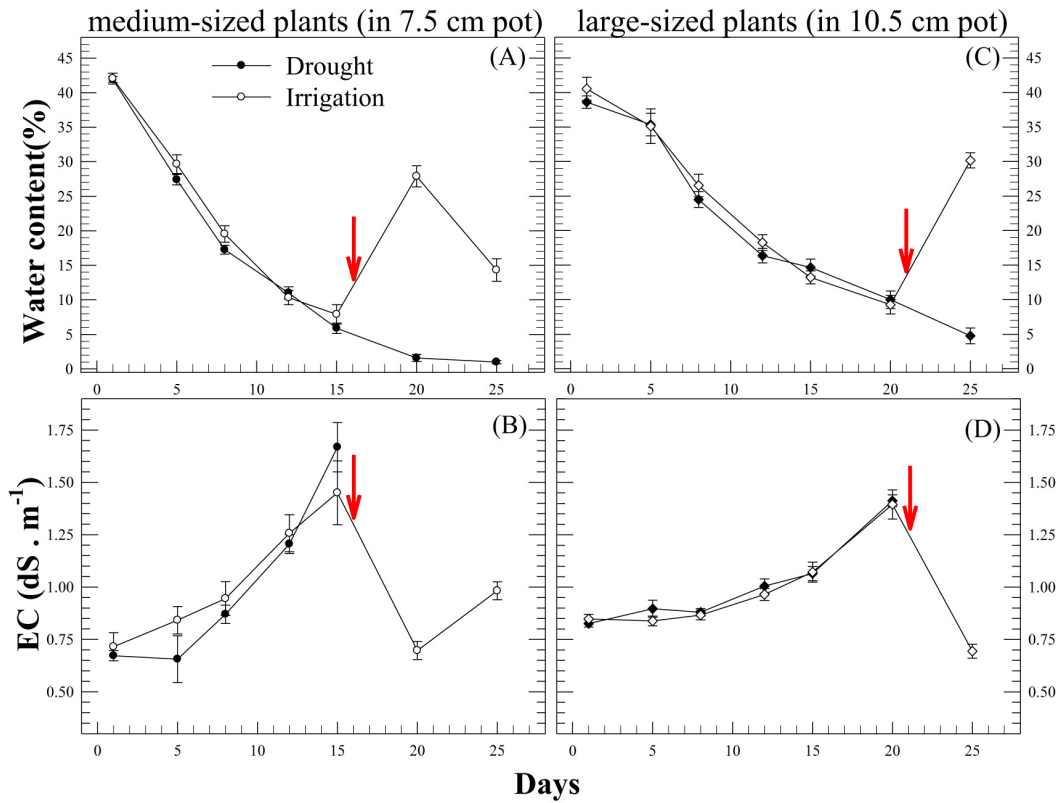


圖 1. 乾旱對蝴蝶蘭 *Sogo Yukidian* ‘V3’ 中苗 (7.5 cm 盆徑) 及大苗 (10.5 cm 盆徑) 介質水分含量 (A、C) 及電導度值 (B、D) 之影響。箭頭為澆灌組澆灌時間。線段為標準誤差 (n = 6)

Fig. 1. Effects of drought on water content (A, C) and EC (B, D) of the substrate in medium-sized (in 7.5 cm pot) and large-sized (in 10.5 cm pot) *Phalaenopsis Sogo Yukidian* ‘V3’. Arrows indicate watering times for the irrigation treatment. Bars indicate SEs (n = 6)

中苗的葉綠素螢光值 F_v/F_m 約 0.75 ~ 0.80，乾旱組 F_v/F_m 在第 25 天顯著降至 0.7 以下、澆灌組 F_v/F_m 則全程維持無顯著變化，(圖 2A、B)；大苗葉片 F_v/F_m 約 0.74 ~ 0.82，在 25 天試驗期間無明顯變化，乾旱組與澆灌組於亦無顯著差異 (圖 2C、D)。

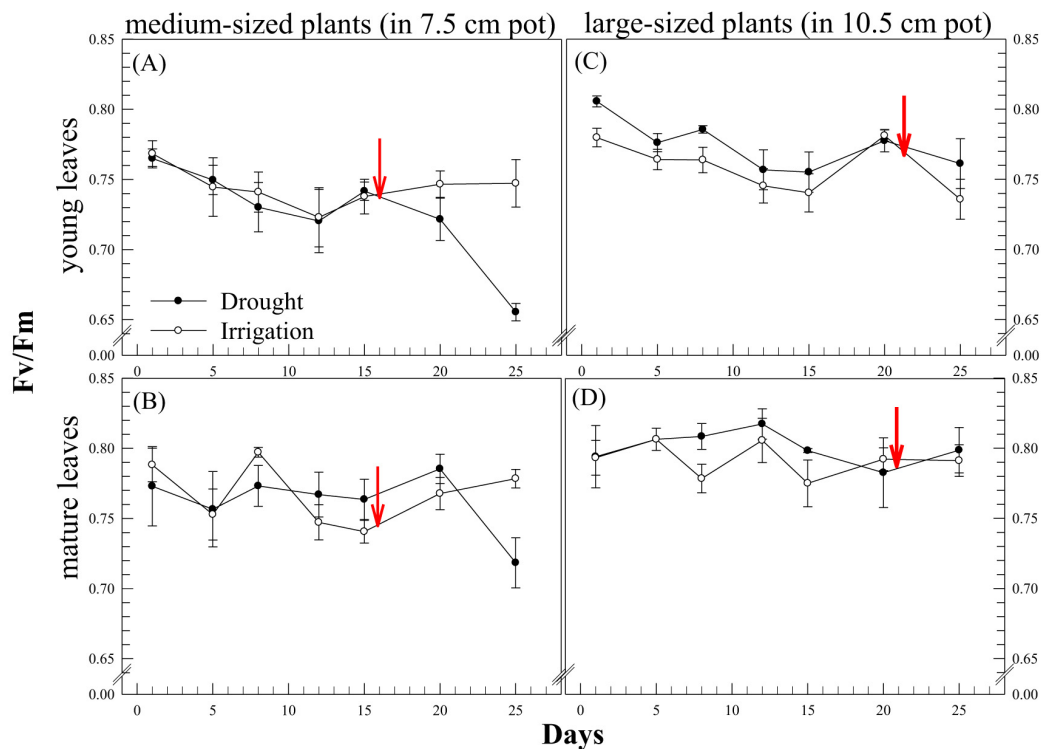


圖 2. 乾旱對蝴蝶蘭 Sogo Yukidian 'V3' 中苗 (7.5 cm 盆徑) 新葉 (A)、成熟葉 (B)，以及大苗 (7.5 cm 盆徑) 新葉 (C)、成熟葉 (D) 葉綠素螢光值 F_v/F_m 之影響。箭頭為澆灌組澆灌時間。線段為標準誤差 (n = 6)

Fig. 2. Effects of drought on chlorophyll fluorescence values (F_v/F_m) in young leaves (A) and mature leaves (B) of medium-sized plants (in 7.5 cm pot), and in young leaves (C) and mature leaves (D) of large-sized plants (in 10.5 cm pot) of *Phalaenopsis* Sogo Yukidian 'V3'. Arrows indicate watering times for the irrigation treatment. Bars indicate SEs (n = 6)

試驗開始時中苗的 CO_2 同化率約 $2.0 \sim 2.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，新葉在第 15 天顯著下降至約 $1.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、成熟葉顯著下降至約 $0.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，澆灌組於第 16 天再次澆灌後，新葉的 CO_2 同化率於第 20 天後回升至約 $2.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、成熟葉回升至 $1.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (圖 3A、B)。試驗開始時大苗新葉的 CO_2 同化率約 $1.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、第 8 ~ 20 天約維持在 $1.5\text{-}2.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，澆灌組在第 21 天再次澆灌後，新葉 CO_2 同化率於第 25 天顯著增加至 $3.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、高於乾旱組 (圖 3C)。大苗成熟葉前 20 天的 CO_2 同化率都在 $0.5 \sim 1.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，澆灌組在第 21 天再次澆灌後， CO_2 同化率於第 25 天顯著上升至 $2.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，乾旱組則下降至接近 0 (圖 3D)。

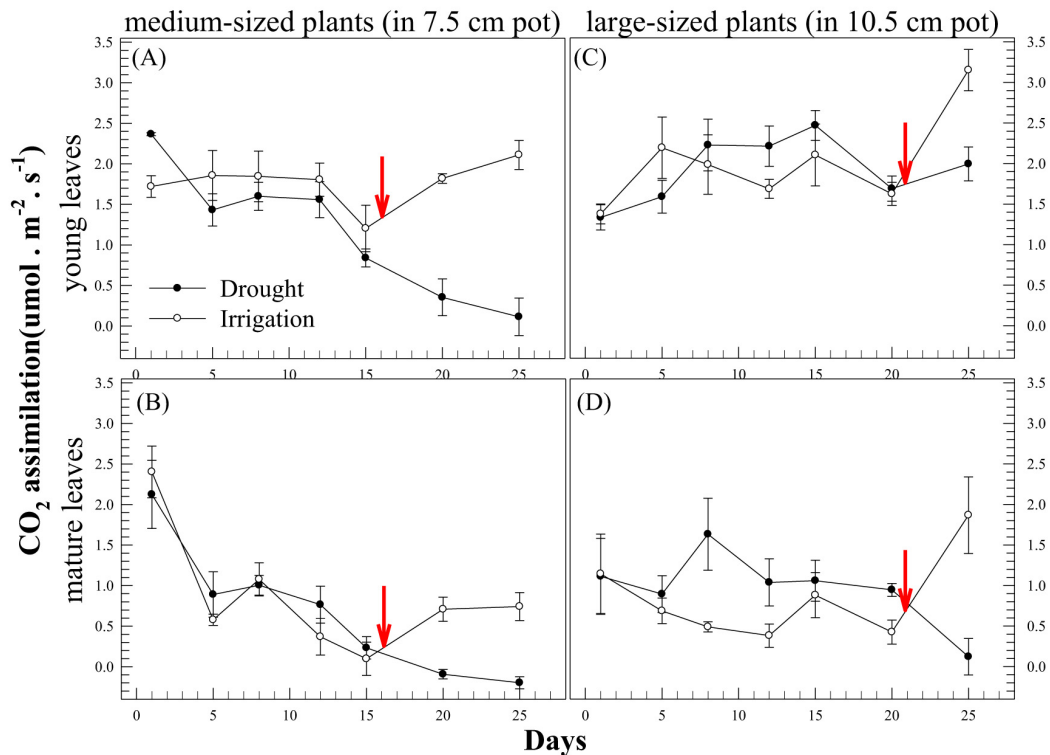


圖 3. 乾旱對蝴蝶蘭 *Sogo Yukidian* ‘V3’ 中苗 (7.5 cm 盆徑) 新葉 (A)、成熟葉 (B)，以及大苗 (7.5 cm 盆徑) 新葉 (C)、成熟葉 (D) 二氧化碳同化率之影響。箭頭為澆灌組澆灌時間。線段為標準誤差 (n = 6)

Fig. 3. Effects of drought on CO_2 assimilation rate in young leaves (A) and mature leaves (B) of medium-sized plants (in 7.5 cm pot), and in young leaves (C) and mature leaves (D) of large-sized plants (in 10.5 cm pot) of *Phalaenopsis Sogo Yukidian* ‘V3’. Arrows indicate watering times for the irrigation treatment. Bars indicate SEs (n = 6)

試驗開始時中苗新葉的氣孔導度約 $0.005 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，第 8 ~ 12 天上升至 $0.01 \sim 0.015 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、第 15 天又降回 $0.005 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，之後乾旱組持續降低至接近 0，澆灌組則於第 16 天再次澆灌後，新葉氣孔導度於第 20 天後回升至約 $0.015 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (圖 4 A)。中苗成熟葉初期氣孔導度約 $0.003 \sim 0.005 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、在第 15 天顯著下降至接近 0，澆灌組於第 16 天再次澆灌後回升至 $0.005 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，乾旱組則持續下降 (圖 4 B)。大苗初期的氣孔導度約 $0.005 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，新葉在第 5 ~ 20 天上升到 $0.01 \sim 0.015 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、成熟葉則維持 $0.005 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，第 25 天時乾旱組的新葉氣孔導度降至 $0.005 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、成熟葉則下降到接近 0，澆灌組於第 21 天再次澆灌後，新葉氣孔導度上升到 $0.02 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、成熟葉回升到 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，在第 21 天再次澆灌後，澆灌組新葉與成熟葉的氣孔導度都顯著高於乾旱組 (圖 4 C、D)。

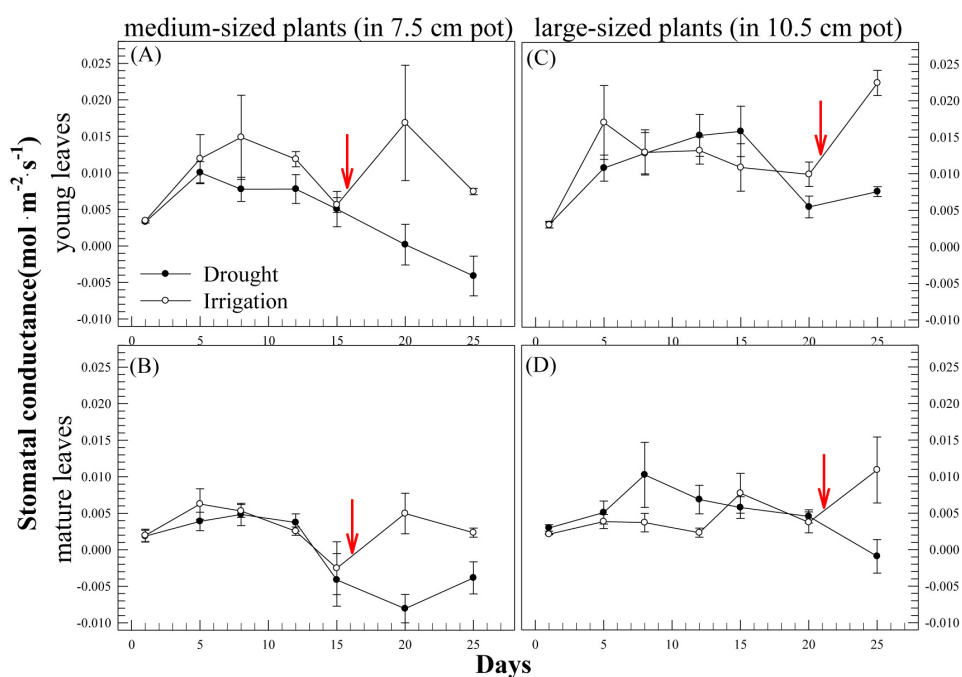


圖 4. 乾旱對蝴蝶蘭 *Sogo Yukidian* 'V3' 中苗 (7.5 cm 盆徑) 新葉 (A)、成熟葉 (B)，以及大苗 (10.5 cm 盆徑) 新葉 (C)、成熟葉 (D) 氣孔導度之影響。箭頭為澆灌組澆灌時間。線段為標準誤差 (n = 6)

Fig. 4. Effects of drought on stomatal conductance in young leaves (A) and mature leaves (B) of medium-sized plants (in 7.5 cm pot), and in young leaves (C) and mature leaves (D) of large-sized plants (in 10.5 cm pot) of *Phalaenopsis Sogo Yukidian* 'V3'. Arrows indicate watering times for the irrigation treatment. Bars indicate SEs (n = 6)

試驗結束後，中、大苗乾旱組的下位葉出現癱軟下垂，又以中苗的下位葉較為明顯，但上位葉仍都維持挺立（圖 5）。中苗乾旱組的地上部乾重、鮮重、乾鮮重比以及根部鮮重、根部乾鮮重比，都顯著較澆灌組低，大苗乾旱組與澆灌組相比，地上部鮮重及根部鮮重較低，乾重部分都無顯著差異（表 1）。

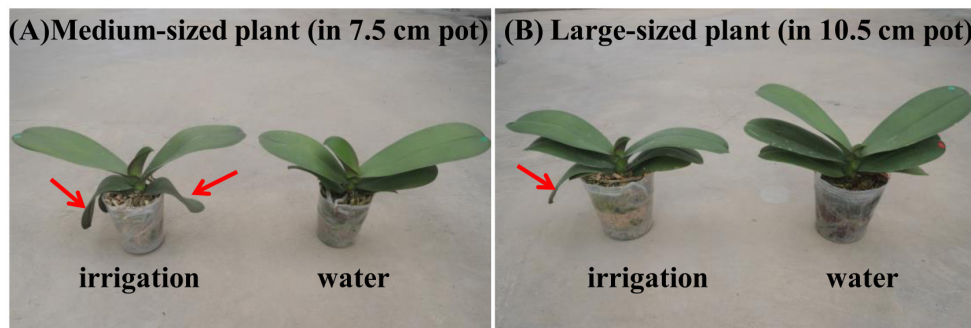


圖 5. 蝴蝶蘭 Sogo Yukidian ‘V3’ 中苗 (7.5 cm 盆徑) (A) 以及大苗 (10.5 cm 盆徑) (B) 停止澆灌 25 天後之照片。箭頭為下位葉失水下垂

Fig. 5. Photos of the medium-sized (in 7.5 cm pot) (A) and large-sized (in 10.5 cm pot) (B) *Phalaenopsis* Sogo Yukidian ‘V3’ after drought for 25 days. Arrows indicate that lower leaves drooping due to water loss

表 1. 蝴蝶蘭 Sogo Yukidian ‘V3’ 中苗 (7.5 cm 盆徑) 及大苗 (10.5 cm 盆徑) 乾旱 25 天後之乾、鮮重

Table 1. Fresh and dry weight in the medium-sized plants (in 7.5 cm pot) and in large-sized plants (in 10.5 cm pot) of *Phalaenopsis* Sogo Yukidian ‘V3’ after drought for 25 days

Plant size	Treatments	Shoot FW (g)	Shoot DW (g)	Shoot DW/FW (%)	Root FW (g)	Root DW (g)	Root Dw/Fw (%)
Medium (in 7.5 cm pot)	drought	32.6	2.9	9.1	22.4	3.4	15.0
	irrigation	53.0	3.7	7.0	28.9	3.3	11.3
Significance ^y		**	**	**	**	NS	**
Large (in 10.5 cm pot)	drought	85.3	6.5	7.6	46.9	5.7	12.9
	irrigation	112.3	7.3	6.5	60.8	5.5	9.1
Significance ^y		*	NS	NS	*	NS	**

^z 依照欄目與植株大小列出平均值

Means separated within sizes within columns.

^yNS, *, ** 分別代表 t-test 檢定後不顯著、顯著 ($P < 0.05$) 與極顯著 ($P < 0.01$) ($n = 3$)。

^{NS}, *, ** Nonsignificant or significant at $P < 0.05, 0.01$ by t-test ($n = 3$).

試驗二、澆灌頻度對蝴蝶蘭大苗 CO_2 同化率及生長開花之影響

介質含水量與 EC 變化受澆灌頻度影響顯著，試驗開始時介質含水量約 35 ~ 40%，隨乾旱日數持續降低，乾旱組第 12 天約 25%、第 15 天約 15%、第 21 天約 12%、第 26 天約 10%、35 天後低至 5%。慣行澆灌組於第 13 與 25 天再次澆灌後介質水分含量再次上升、試驗期間穩定維持在 25 ~ 40%。提早恢復澆灌組前期與乾旱組一致，第 20 天再次澆灌後恢

復至 35%、之後又持續下降、至第 35 天時降至 15%。延遲恢復澆灌組第 26 天的介質含水量與乾旱組一致約為 10%，於第 27 天再次澆灌後回升至 30%，至第 35 天時降至 20% (圖 6A)。試驗開始時的介質 EC 約 $0.9 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ，隨乾旱天數逐漸上升。乾旱組第 12 天約 $1.0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 、第 15 天時為 $1.1 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 、第 21 天時達 $1.2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 、第 26 天 $1.3 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 、第 29 天時達 $1.4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 、到第 35 天時因太乾無法讀取 EC 值。慣行澆灌組的 EC 在試驗期間穩定維持在 $0.9 \sim 1.0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ，僅在第 35 天稍微升高至 $1.1 \sim 1.2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 。提早恢復澆灌組前期 EC 與乾旱組一致、第 15 天稍微升高至 1.1，第 20 天再次澆灌後下降回 $0.9 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ，之後再逐漸上升，至第 35 天時約 $1.3 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 。延遲恢復澆灌組第 26 天的 EC 與乾旱組一致約為 $1.3 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ，第 27 天再次澆灌後稍微降至 1.2 並維持至試驗結束 (圖 6B)。

試驗開始 15 天內各處理 CO_2 同化率約 $3.0 \sim 5.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，乾旱組與延遲恢復澆灌組的 CO_2 同化率從第 21 天開始下降、第 26 天時降低至 $0.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、顯著低於慣行澆灌組與提早恢復澆灌組，之後乾旱組持續下降、延遲恢復澆灌組於第 27 天再次澆灌後又回升到 $2.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。慣行澆灌組與提早恢復澆灌組在試驗期間的 CO_2 同化率則相對穩定，僅在試驗後期出現略微下降 (圖 7A)。試驗開始 15 天內各處理氣孔導度約 $0.015 \sim 0.03 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，乾旱組與延遲恢復澆灌組的氣孔導度從第 21 天明顯下降，顯著低於慣行澆灌組與提早恢復澆灌組，第 26 天氣孔導度顯著降低至 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，之後乾旱組的氣孔導度繼續下降、延遲恢復澆灌組於第 27 天再次澆灌後回升到 $0.025 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。慣行澆灌組與提早恢復澆灌組在試驗期間的氣孔導度相對維持穩定、僅在試驗後期出現略微下降 (圖 7B)。

試驗結束後，乾旱組的地上部乾、鮮重以及根部鮮重較其他處理顯著為低 (表 2)。4 種處理的植株後續經冷房催花後都能 100% 抽梗，但移出冷房後部分乾旱組) 與延遲恢復澆灌組花梗生長發育停滯、無法開花、開花率分別為 37.5% 與 62.5%，而慣行澆灌組與提早恢復澆灌組都可 100% 開花，不同處理開花的植株之花朵數、花徑大小與花梗長度無顯著差異 (表 3)。

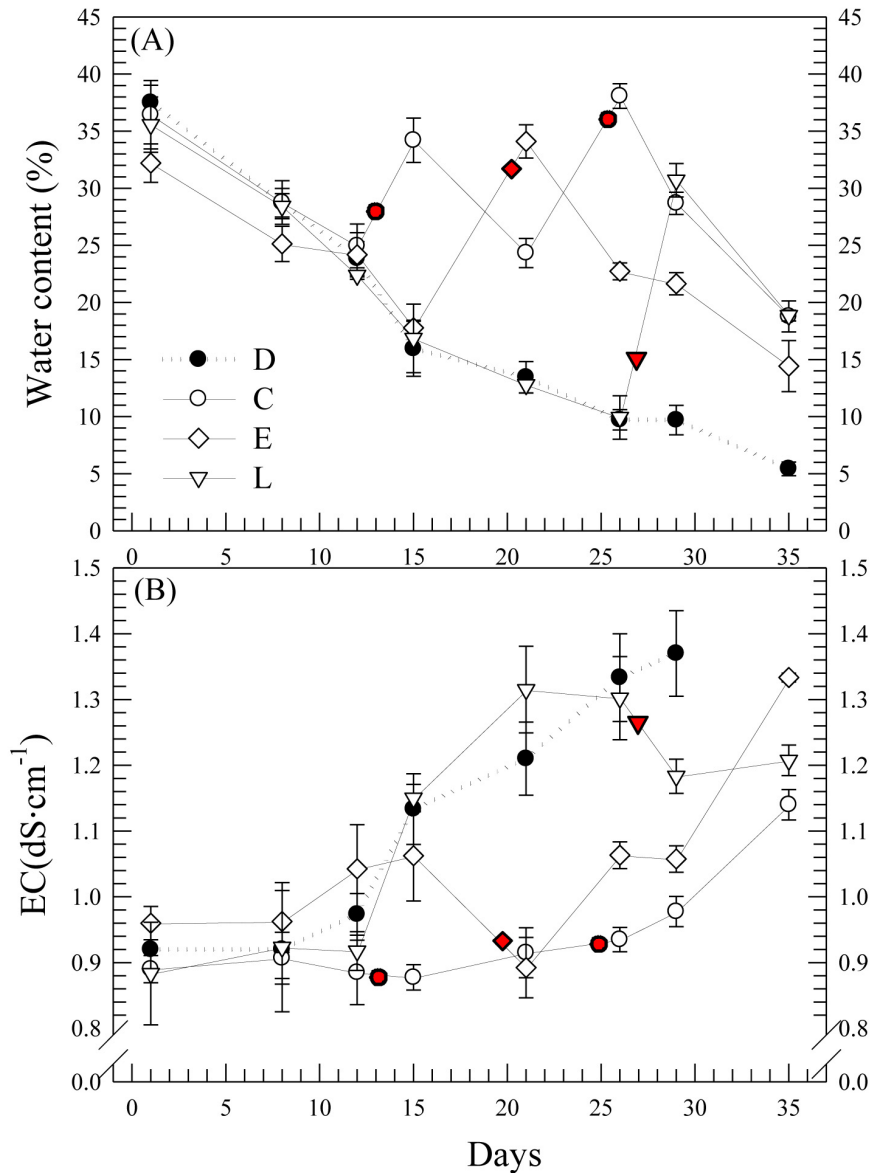


圖 6. 不同澆灌頻度對蝴蝶蘭 Sogo Yukidian ‘V3’ 大苗 (10.5 cm 盆徑) 的介質含水量 (A) 與電導度 (B) 之影響。D：乾旱；C：慣行澆灌 (第 13、25 天澆)；E：提早恢復澆灌組，在 CO_2 同化率顯著下降前恢復澆灌 (第 20 天澆)；L：延遲恢復澆灌組，在 CO_2 同化率顯著下降後澆灌 (第 27 天澆)。紅色標記表示各處理澆灌時間。線段為標準誤差 (n = 8-12)

Fig. 6. Effects of different irrigation frequencies on substrate water content (A) and EC (B) in large-sized plants (in 10.5 cm pot) of *Phalaenopsis Sogo Yukidian* ‘V3’. D: drought; C: normal irrigation (irrigated on days 13 and 25); E: early irrigation, rewatering before a significant decline in CO_2 assimilation rate (on day 20); L: Late irrigation, rewatering after a significant decline in CO_2 assimilation rate (on day 27). Red markers indicate the timing of irrigation for each treatment. Bars indicate SEs (n = 8-12)

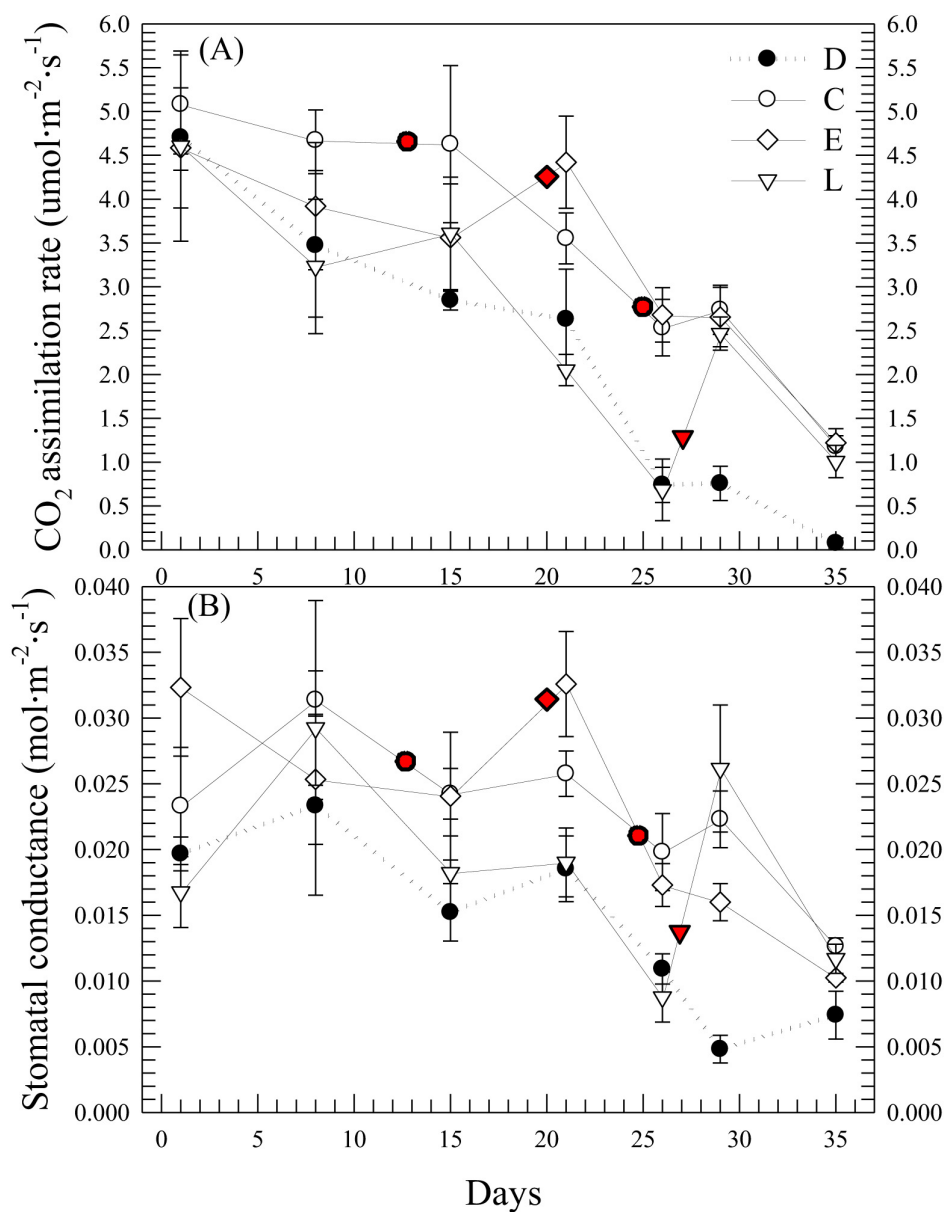


圖 7. 不同澆灌頻度對蝴蝶蘭 *Sogo Yukidian* 'V3' 大苗 (10.5 cm 盆徑) 的 CO₂ 同化率 (A) 與氣孔導度之影響 (B)。D：乾旱；C：慣行澆灌 (第 13、25 天澆)；E：CO₂ 同化率顯著下降前澆灌 (第 20 天澆)；L：CO₂ 同化率顯著下降後澆灌 (第 27 天澆)。紅色標記表示各處理澆灌時間。線段為標準誤差 (n = 8-12)

Fig. 7. Effects of different irrigation frequencies on CO₂ assimilation rate (A) and stomatal conductance (B) in large-sized plants (in 10.5 cm pot) of *Phalaenopsis Sogo Yukidian* 'V3'. D: drought; C: normal irrigation (irrigated on days 13 and 25); E: early irrigation, rewatering before a significant decline in CO₂ assimilation rate (on day 20); L: Late irrigation, rewatering after a significant decline in CO₂ assimilation rate (on day 27). Red markers indicate the timing of irrigation for each treatment. Bars indicate SEs (n = 8-12)

表 2. 不同澆灌頻度對蝴蝶蘭 Sogo Yukidian 'V3' 大苗 (10.5 cm 盆徑) 乾、鮮重之影響

Table 2. Effects of different irrigation frequencies on fresh and dry weight in the large-sized plants (in 10.5 cm pot) of *Phalaenopsis* Sogo Yukidian 'V3'

Treatments ^z	Shoot FW (g)	Shoot DW (g)	Shoot DW/FW (%)	Root FW (g)	Root DW (g)	Root DW/FW (%)
D	143.3 c ^y	11.1 c	7.8 a	82.7 b	10.9 a	13.1 a
C	164.2 b	11.7 b	7.2 a	111.4 a	11.2 a	10.0 b
E	179.5 a	13.5 a	7.3 a	117.4 a	11.8 a	10.1 b
L	168.8 ab	12.9 ab	7.6 a	105.1 a	10.6 a	9.3 b

^z D: 乾旱; C: 慣行澆灌 (第 13、25 天澆); E: CO₂ 同化率顯著下降前澆灌 (第 20 天澆); L: CO₂ 同化率顯著下降後澆灌 (第 27 天澆)

D: drought; C: normal irrigation (irrigated on days 13 and 25); E: early irrigation, rewatering before a significant decline in CO₂ assimilation rate (on day 20); L: Late irrigation, rewatering after a significant decline in CO₂ assimilation rate (on day 27).

^y 以 LSD 檢定法 (P < 0.05) 進行各欄位平均值差異檢定 (n = 4).

Mean separation within columns by LSD test at P < 0.05 level (n = 4).

表 3. 不同澆灌頻度對蝴蝶蘭 Sogo Yukidian 'V3' 大苗 (10.5 cm 盆徑) 開花之影響

Table 3. Effects of different irrigation frequencies on flowering performance in the large-sized plants (in 10.5 cm pot) of *Phalaenopsis* Sogo Yukidian 'V3'

Treatments ^z	Spiking (%)	Flowering (%)	Flower no.	Flower diameter (cm)	Stalk length (cm)
D	100 (8/8)	37.5 (3/8)	10.7 a ^y	11.4 a	89.6 a
C	100 (8/8)	100.0 (8/8)	11.3 a	11.7 a	90.8 a
E	100 (8/8)	100.0 (8/8)	10.9 a	11.5 a	87.6 a
L	100 (8/8)	62.5 (5/8)	10.8 a	11.5 a	87.8 a

^z D: 乾旱; C: 慣行澆灌 (第 13、25 天澆); E: CO₂ 同化率顯著下降前澆灌 (第 20 天澆); L: CO₂ 同化率顯著下降後澆灌 (第 27 天澆)

D: drought; C: normal irrigation (irrigated on days 13 and 25); E: early irrigation, rewatering before a significant decline in CO₂ assimilation rate (on day 20); L: Late irrigation, rewatering after a significant decline in CO₂ assimilation rate (on day 27).

^y 以 LSD 檢定法 (P < 0.05) 進行各欄位平均值差異檢定 (n = 8).

Mean separation within columns by LSD test at P < 0.05 level (n = 8).

討 論

夏季蝴蝶蘭慣行栽培，中苗約 1 週澆 1 次水、大苗約 2 週澆 1 次水，此澆灌耗費大量資源卻缺乏生理參數佐證，試驗一為突顯植株在乾旱及恢復澆灌後的反應，並測試中、大苗對乾旱天數的耐受上限，將中、大苗澆灌組的再次澆灌時間分別拉長至 15 及 21 天後。蝴蝶蘭停止澆灌後隨著水苔介質水分含量下降、EC 值上升，剛澆灌完介質 EC 約 0.7 ~ 0.8 dS·m⁻¹，到停止澆灌後 20 天已升高至 1.3 ~ 1.5 dS·m⁻¹，種於 2.5 寸盆的中苗水分含量下降與 EC 值上升的速度都較種於 3.5 寸盆的大苗快 (圖 1)。介質 EC 過高會對蝴蝶蘭造成逆境，蝴蝶蘭

對介質 EC 值的耐受上限約為 $1.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ⁽²¹⁾，本試驗中 EC 值都在此範圍內，因此推測影響本試驗中光合作用與後續生長的主要因子為乾旱。

葉綠素螢光常用於評估植物逆境，常用的參數包括最大光化學效率 F_v/F_m ⁽¹⁷⁾，正常植物的 F_v/F_m 值約 $0.75 \sim 0.85$ ⁽⁴⁾，逆境會使 F_0 上升、 F_m 下降而導致 F_v/F_m 下降 ^(13,18)。但試驗一中，蝴蝶蘭中苗及大苗 F_v/F_m 對乾旱的反應皆不敏感，中苗直到停止澆灌後 25 天 F_v/F_m 才有明顯下降 (圖 2A、B)，而大苗的 F_v/F_m 在 25 天的乾旱期間都無顯著變化，且再次澆灌後與乾旱處理者亦無顯著差異 (圖 2C、D)，顯示葉綠素螢光值 F_v/F_m 不適合作為蝴蝶蘭乾旱逆境及澆灌指標。

蝴蝶蘭中苗與大苗乾旱 15 ~ 25 天後， CO_2 同化率與氣孔導度開始下降，又以中苗較早開始下降、成熟葉的數值下降較新葉明顯 (圖 3、4)。乾旱會造成植物 CO_2 同化率與氣孔導度下降 ⁽⁶⁾，例如腰豆 (*Phaseolus vulgaris*) 停止澆灌後 2 天即嚴重下降 ⁽¹⁴⁾。葡萄 (*Vitis berlandieri* × *Vitis rupestris*) 缺水 4 ~ 8 天的 CO_2 同化率值與氣孔導度都較每天澆灌者低 ⁽⁸⁾。鼠尾草 (*Salvia splendens* 'Bonfire Red') 與長春花 (*Catharanthus roseus* 'Cooler Peppermint') 乾旱 7 ~ 14 天後 CO_2 同化率趨近於零 ⁽¹⁵⁾。蝴蝶蘭明顯較其他植物耐乾旱，中、大苗 25 天不澆灌都可有一定的 CO_2 同化率與氣孔導度，尤其是新葉 (圖 3、4)。前人研究指出蝴蝶蘭的新葉的光合作用能力高於成熟葉 ⁽⁹⁾，而遭遇乾旱逆境時也是下位成熟葉的 CO_2 同化率與氣孔導度下降較新葉顯著，顯示成熟葉較適合作為乾旱反應的測量部位。

蝴蝶蘭中、大苗經 25 天乾旱後，僅下位葉出現失水下垂 (圖 5)，中苗乾旱組的地上部鮮、乾重以及根部鮮重都顯著較澆灌組低，而大苗乾旱組只有鮮重降低、乾重無顯著差異 (表 1)。乾旱除降低植物 CO_2 同化率外，亦會使細胞分裂與細胞增大降低 ⁽¹¹⁾，最終使作物生長量減少 ^(20,22)。綜合光合作用與生長量結果 (圖 3、圖 4、表 1)，顯示 25 天的乾旱已對蝴蝶蘭中苗造成傷害、抑制其光合作用與生長，而大苗較中苗耐乾旱、停止澆水 25 天後仍可行光合作用、生物量累積較不受影響。

蝴蝶蘭是 CAM 植物，白天進行光反應，晚上才打開氣孔進行 CO_2 同化率 ^(3,9,16)，試驗一中葉綠素螢光值、 CO_2 同化率、氣孔導度對乾旱反應不一致 (圖 2、3、4)，在文獻中也有類似情形，蝴蝶蘭 'Edessa' 乾旱 6 週後 CO_2 同化率已降至 0 而 F_v/F_m 無顯著變化 ⁽⁵⁾。蝴蝶蘭 'V3' 植株經 21 天黑暗乾旱模擬貯運後 CO_2 同化率與氣孔導度顯著降低，但葉綠素螢光卻與正常植株無異 ⁽¹⁰⁾。葉綠素螢光值 F_v/F_m 代表光反應中心 PS II 的最大效率，本試驗結果顯示 25 天乾旱雖使蝴蝶蘭氣孔關閉、 CO_2 同化率下降，但或許尚無損光系統 II 的功能。

由於試驗一中直到乾旱 25 天後 CO_2 同化率與氣孔導度才有變化，試驗二以較耐乾旱的大苗為材料，進一步拉長乾旱期至 35 天，並參考試驗一結果設定不同澆灌時間，偵測對乾旱反應較顯著的成熟葉之 CO_2 同化率與氣孔導度。與試驗一結果類似，介質 EC 值隨水分含量下降而上升、再次澆灌後降低，試驗結束時澆 2 次水的慣行澆灌組的水分含量，與只澆 1 次水的提早恢復澆灌組及延遲恢復澆灌組差不多，各處理 EC 值雖有差異但都還在正常範圍 $1.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 以下 (圖 6)。

與其他作物乾旱後恢復澆灌的反應類似 ⁽¹⁴⁾，蝴蝶蘭大苗乾旱 12、19、25 天後恢復澆灌， CO_2 同化率與氣孔導度都可再次回升，慣行澆灌組、提早恢復澆灌組以及遲恢復澆灌組最終值差異不顯著 (圖 7)，試驗後期所有處理 (包括慣行) 的 CO_2 同化率和氣孔導度都較初期有所下降，推測可能是因為本場溫室的溫、光、濕度並無精確控制維持恆定，使光合作用因天氣變化而有所下降。本試驗結果顯示澆 2 次水的慣行澆灌組，與只澆 1 次水的提早恢復

澆灌組及延遲恢復澆灌組相比，在植株乾、鮮重上差異不大(表2)，顯示蝴蝶蘭大苗十分耐乾旱，乾旱超過25天雖會使其氣孔關閉、CO₂同化率下降，但只要及時恢復澆灌對植株的生長影響有限。

值得注意的是，儘管慣行澆灌組、提早恢復澆灌組與延遲恢復澆灌組在植株乾物量上無顯著差異(表2)，但恢復澆灌的時機卻會影響後續開花。於CO₂同化率下降前(第20天)提早恢復澆灌處理，與慣行澆灌處理一樣都能100%開花，而於CO₂同化率下降後(第26天)延遲恢復澆灌處理的開花率卻僅有62.5%(表3)，許多延遲恢復澆灌的植株低溫處理後雖能抽梗，但花梗生長發育遲緩、無法正常開花(數據未呈現)。本研究結果可為蝴蝶蘭大苗經長期乾旱貯運後的開花品質提供評估參考，大苗長時間(>25天)乾旱後恢復澆灌雖可恢復光合作用、氣孔功能與生長也正常，但會降低抽梗後的開花率。文獻指出蝴蝶蘭‘V3’經30~50天低溫乾旱模擬貯運後再行催梗，花梗發育速度顯著降低⁽¹²⁾，可能長期乾旱已造成某些不可逆的生理傷害，例如有機酸累積減少、活性氧族(reactive oxygen species, ROS)增加以及氧化逆境等^(7,19)。

結 論

本研究顯示蝴蝶蘭葉綠素螢光對乾旱逆境較無反應，而二氧化碳同化率及氣孔導度對介質水分含量下降敏感、可作為澆灌指標，在成熟葉的CO₂同化率嚴重下降前即時恢復澆灌，以確保後續生長與開花。本研究結果可用於蝴蝶蘭節水栽培與外銷長期乾旱貯運的水份管理參考。

引用文獻

1. 行政院農業部農業貿易統計 <https://agrstat.moa.gov.tw/sdweb/public/trade/tradereport.aspx>。
2. 沈再木。2007。蝴蝶蘭栽培介質種類及物化特性。p. 19-28。刊於：沈再木等編著。蝴蝶蘭栽培。國立嘉義大學。嘉義。
3. 羅聖賢。2008。臺灣原生蝴蝶蘭碳代謝及光合特性之研究。臺東區農業改良場研究彙報18：15-44。
4. Bolha'r-Nordenkamp, H. R., S. P. Long, N. R. Baker, G. O. Quist, U. Schreiber, and E. G. Lechner. 1989. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: A review of current instrumentation. *Funct. Ecol.* 3: 497-514.
5. Ceusters, N., R. Valcke, M. Frans, J. E. Claes, W. Van den Ende and J. Ceusters. 2019. Performance index and PSII connectivity under drought and contrasting light regimes in the CAM orchid *Phalaenopsis*. *Front. Plant Sci.* 10: 1012.
6. Chaves, M. M., J. Flexas and C. Pinheiro. 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annu. Bot.* 103: 551-560.
7. Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita and S. M. A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. In *Sustainable agriculture*. p. 153-188. Dordrecht: Springer Netherlands.

8. Flexas, J., M. Barón, J. Bota, J. M. Ducruet, A. Gallé, T. Galmés and M. Tomàs. 2009. Photosynthesis limitations during water stress acclimation and recovery in the drought-adapted *Vitis* hybrid Richter-110 (*V. berlandieri* × *V. rupestris*). *J. Exp. Bot.* 60: 2361-2377.
9. Guo, W. J. and N. Lee. 2006. Effect of leaf and plant age, and day/night temperature on net CO₂ uptake in *Phalaenopsis amabilis* var. formosa. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 31: 320-326.
10. Hou, J. Y., T. L. Setter, and Y. C. A. Chang. 2010. Effects of simulated dark shipping on photosynthetic status and post-shipping performance in *Phalaenopsis* Sogo Yukidian 'V3'. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 135: 183-190.
11. Hsiao, T. C. 1973. Plant responses to water stress. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 24: 519-570.
12. Jeong, J. H. and W. Oh. 2021. Drought and darkness during long-term simulated shipping delay post-shipping flowering of *Phalaenopsis* Sogo Yukidian 'V3'. *Horticulturae*. 7: 483.
13. Laing, W., D. Greer, O. Sun, P. Beets, A. Lowe and T. Payn. 2000. Physiological impacts of Mg deficiency in *Pinus radiata*: Growth and photosynthesis. *New Phytol.* 146: 47-57.
14. Miyashita, K., S. Tanakamaru, T. Maitani, and K. Kimura. 2005. Recovery responses of photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance in kidney bean following drought stress. *Environ. Exp. Bot.* 53: 205-214.
15. Nemali, K. and M.W. van Iersel. 2019. Relating whole-plant photosynthesis to physiological acclimations at leaf and cellular scales under drought stress in bedding plants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 144: 201-208.
16. Sayed, O.H. 2001. Crassulacean acid metabolism 1975-2000, a check list. *Photosynthetica* 39: 339-352.
17. Souza, R. P., E. C. Machado, J. A. B. Silva, A. M. Lagôa and J. A. G. Silveira. 2004. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. *Environ. Exp. Bot.* 51: 45-56.
18. Val, J., M. Sanz, L. Montañés and E. Monge. 1995. Application of chlorophyll fluorescence to study iron and manganese deficiency in peach tree. *Acta Hort.* 383: 201-209.
19. Vitale, L., E. Vitale, G. Costanzo, A. De Maio and C. Arena. 2020. Photo-protective mechanisms and the role of poly (ADP-ribose) polymerase activity in a facultative CAM plant exposed to long-term water deprivation. *Plants* 9: 1192.218: 1-14.
20. Wang, Wangxia, B. Vinocur and A. Altman. 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta* 218.1: 1-14.
21. Yen, W. Y., Y. T. Wang and Y. C. A. Chang. 2011. The acidification of sphagnum moss substrate during *Phalaenopsis* cultivation. *HortScience*. 46: 1022-1026.
22. Zhang, Y. J., Z. K. Xie, Y. J. Wang, P. X. Su, L. P. An and H. Gao. 2011. Effect of water stress on leaf photosynthesis, chlorophyll content, and growth of oriental lily. *Russian J. Plant Physiol.* 58: 844-850.

Effects of drought and irrigation frequencies on photosynthesis, growth, and flowering in *Phalaenopsis* ‘V3’¹

Yang, Y.²

Abstract

Phalaenopsis is one of the most important exported floral crops in Taiwan. Its production requires a long cultivation period and consumes a large amount of labor and resources for irrigation. However, there has been little research focusing on the physiological responses to irrigation frequency and its subsequent effects on flowering, and there is a lack of indicators for water management in *Phalaenopsis*. This study investigated the effects of drought stress (25~35 days) and irrigation frequency on the CO₂ assimilation rate, growth, and subsequent flowering performance of *Phalaenopsis* at different vegetative growth stages. Medium-sized plants (9 months old, grown in 7.5 cm pots) and large-sized plants (11 months old, grown in 10.5 cm pots) of *Phalaenopsis* Sogo Yukidian ‘V3’ were used. When the substrate water content dropped below 10%, observed on day 15 in medium-sized plants and day 25 in large-sized plants, the leaf CO₂ assimilation rate and stomatal conductance declined significantly, but recovered after rewatering. This reduction was more pronounced in mature leaves than in young leaves, and in medium-sized plants than in large-sized plants. After drought stress, biomass was also more significantly reduced in medium-sized plants. Chlorophyll fluorescence parameter Fv/Fm, a normally used stress indicator, was relatively insensitive to drought in *Phalaenopsis*. Furthermore, large-sized plants were subjected to four different irrigation frequencies: drought, normal irrigation, rewatering before the decline in CO₂ assimilation, and rewatering after the decline in CO₂ assimilation, to compare their CO₂ assimilation rate, growth and subsequent flowering performance. Results showed that plants rewatered before the decline in CO₂ assimilation and those with normal irrigation had no significant differences in CO₂ assimilation rate, biomass, or subsequent flowering quality. However, plants rewatered after the CO₂ assimilation rate had declined exhibited significantly lower flowering rates. In conclusion, drought stress during the vegetative growth stages significantly affects photosynthesis, growth and subsequent flowering in *Phalaenopsis*, with medium-sized plants being more susceptible. The CO₂ assimilation rate and stomatal conductance of mature leaves were sensitive to drought and may serve as indicators for irrigation management in *Phalaenopsis*.

What is already known on this subject?

Instruments for measuring substrate moisture content and photosynthesis in *Phalaenopsis*.

What are the new findings?

This study clarified the effects of substrate moisture levels and irrigation frequencies on photosynthesis, growth and subsequent flowering in *Phalaenopsis* at vegetative growth stage.

What is the expected impact on this field?

The results observed in this study may serve as a reference for water management in water saving cultivation and long-term drought shipment in *Phalaenopsis*, and may contribute to improved water use efficiency.

Key words: Orchid, Photosynthesis, CO₂ assimilation

Accepted for publication: September 3, 2025

1. Contribution No. 592 from Tainan District Agricultural Research and Extension Station.

2. Assistant Researcher, Tainan District Agricultural Research and Extension Station. 70 Muchang, Hsinhua, Tainan 712009, Taiwan, R.O.C.