

行道樹黑板樹二氧化碳固定效益之研究

王亞男¹ 劉秀卿² 蕭英倫³

(收件日期：民國 93 年 11 月 17 日、接受日期：民國 94 年 7 月 19 日)

【摘要】本研究利用行道樹栽植 10 年生之黑板樹為材料，自 2002 年 4 月至 2003 年 3 月，每月選擇晴天一天，自上午八時至下午四時，分別就黑板樹冠層之上部及下部葉片進行光合作用速率、蒸散速率、氣孔導度及其相關因子葉溫、光度、相對濕度與 CO₂ 濃度之測定。結果上部葉片淨光合作速率日平均值為 3.53 μ mol m⁻²s⁻¹，蒸散速率 0.69 mmol m⁻²s⁻¹，氣孔導度 48.46 m mol m⁻²s⁻¹，葉片溫度 24.40°C，光度 282.92 μ mol m⁻²s⁻¹，相對濕度 54%，CO₂ 濃度 352.68 μ LL⁻¹，全株每年可固定 CO₂ 量為 56.76 kg。

【關鍵詞】黑板樹、淨光合作用速率、蒸散速率、氣孔導度

THE CARBON DIOXIDE FIXATION EFFICIENCY OF *ALSTONIA SCHOLARIS* OF SIDEWALK TREE

Ya-Nan Wang¹ Show-Ching Liou² Ing-Luen Shiau³

(Received: November 17, 2004; Accepted: July 19, 2005)

【Abstract】 The Carbon Dioxide fixation efficiency of *Alstonia scholaris* which will be a reference for sidewalk trees planning afterward 10, was analyzed by measuring net photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance rate, leaf temperature, light intensity, relative humidity and the concentration of CO₂, from 8 am to 4 pm, one sunny day of every month. The results showed that: the mean value of net photosynthetic rate was 3.53 μ mol CO₂ m⁻²s⁻¹, transpiration rate was 0.69 mmol H₂O m⁻²s⁻¹, stomatal conductance rate was 48.46 mmol m⁻²s⁻¹, leaf temperature was 24.40°C, light intensity was 282.92 μ mol m⁻²s⁻¹, relative humidity was 54% and the concentration of carbon dioxide was 352.68 μ LL⁻¹. For one year, the carbon dioxide fixation of whole tree estimated was 56.76 kg.

【Key words】 *Alstonia scholaris*, Net photosynthetic rate, Transpiration rate, Stomatal conductance

¹ 台大森林環境暨資源學系教授，通訊作者。

Professor, School of Forestry and Resource Conservation, National Taiwan University, Corresponding author.

² 台大森林環境暨資源學系碩士，本文為作者碩士論文之一部份。

Master, School of Forestry and Resource Conservation, National Taiwan University.

³ 林務局造林生產組輔導科科長。

Section Chief, Forest Guidance, Taiwan Forestry Bureau, Council of Agriculture.

I、前言

森林陸地面積佔地球的 35%，其生產力佔陸地淨生產力的 70%，而且在陸地生態系中佔有優勢的地位 (Kramer, 1981)。林木是一種生命體，其會藉光合作用吸收固定二氧化碳，一般樹木為生產 1 噸之植物質（纖維素、碳水化合物等），需吸收 1.6 噸二氧化碳，釋出 1.2 噸氧 (王亞男, 2000)，面對「全球溫暖化」(Global warming) 之問題探討各種林木對二氧化碳不同之固定效益值得深入研究。尤其對於 2005 年元月一日起即將執行的「京都議定書」更顯得此方面研究的重要性。

由森林冠層氣體交換作用的日變化及季節變化，可了解在某特定環境條件下限制冠層葉光合作用的外在及內在過程，並可由冠層葉一天、一季或一年次測定之淨生產力得知 (Zotz and Winter, 1993)。目前國內已有若干學者針對本島在不同地點、不同樹種之森林冠層對二氧化碳的固定量及其與相關環境因子進行研究分析。如黃文俊 (1999) 台灣東北部六種闊葉樹冠層與二氧化碳固定之研究、廖述惠等 (2000) 進行林下栽植之樟樹與台灣欖對二氧化碳固定效益之研究，王亞男等 (2003) 進行樟樹不同冠層之光合作用淨生產力。然森林冠層在森林生態系能量流動與物質循環扮演著重要角色 (郭耀綸, 2000)，但在森林中之林木與都市行道樹因環境差異很大，即使同一樹種其生理表現亦不同，故對碳吸存所扮演之角色與發揮之效益有很大差異。

台灣在經濟快速發展繁榮下，在都市中利用行道樹「營造綠色環境」，除達到

降低空氣污染、美化環境、減少噪音外，如能同時考慮其對二氧化碳之吸收與固定效率，選擇適當的樹種，進行行道樹栽植，除能改善我們的生活品質，亦能對減緩溫室氣體效應貢獻一份力量。據台北市政府統計，黑板樹屬常綠喬木為台北市行道樹數量前十名，其花白色、樹勢強健、耐風、生育狀況極佳，為優良之行道樹。本研究即針對桃園市內重要道路行道樹栽植之黑板樹進行戶外光合作用及相關因子的測定，以推估其對二氧化碳之固定量。

II、試驗材料及方法

(I) 試驗地概況

試驗地位於桃園縣桃園市之交通要道大興西路二段 (圖 1)。桃園縣之地形以台地為主。氣候溫和，全年降雨量集中於七至九月，為台灣之颱風季節。根據中央氣象局 2002 年 4 月至 2003 年 3 月之調查資料顯示年雨量約為 1,082 mm (圖 2)，平均相對濕度約為 78%，當地溫度最高出



圖 1 黑板樹試驗木位置圖

Fig. 1 The location of experimental *Alstonia scholaris*

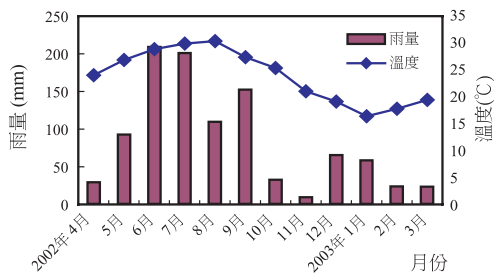


圖 2 試驗期間 2002 年 4 月—2003 年 3 月當地之月均溫及累積降雨量統計圖 (中央氣象局, 2003)

Fig. 2 The average monthly temperature and accumulative rainfall from April 2002 to March 2003 (data from the Central Meteorology Bureau, 2003)

現在 2002 年 8 月, 當月累積降雨量為 108 mm, 最低溫度出現在 2003 年 1 月, 當月累積降雨量為 60 mm。

(II) 試驗植株

本試驗選定之黑板樹為桃園市重要道路大興西路二段路旁所栽植之黑板樹樹旁並未有任何大型建築物, 故不會因遮蔭所產生之干擾而影響測量結果。此株黑板樹: 樹齡約為 10 年, 樹高 2.9 m, 枝下高 1.8 m, 胸徑 12 cm, 基徑 25 cm, 樹冠幅度平均直徑寬約 1.8 m (圖 3)。

(III) 方法

本試驗每月選擇一日於晴天或無雨時進行, 由上午八時至下午四時, 分上冠層 (冠層 2.9m~2.4m)、下冠層 (冠層 2.4m~1.8m), 將葉片夾入 CI-301ps chamber 中測定, 每一冠層測定三個葉片, 利用儀器測得之數據, 計算淨光合作用速率、蒸散作用速率、氣孔導度、葉溫、大氣溫度、相對濕度及二氧化碳濃度變化。



圖 3 黑板樹試驗木照片

Fig. 3 The picture of experimental *Alstonia scholaris*

1. 到達樹冠的設施

因行道樹高度約 3m, 為準確測得樹冠上、下冠層之葉片生理活動資料, 利用一般家用鋁梯以便測得上、下冠層之葉片生理活動等資料。

2. 儀器

使用 CI-301 (CID, Inc, Vancouver, Washington 生產之攜帶型光合作用分析儀), 其主要組成由紅外線 CO₂ 氣體分析系統 (CI-301) chamber 的把手 (CI-301CA) 及一個可換式的 chamber, 其為一個獨立的 CO₂ 分析儀, 其中的可替換式 chamber 可處理不同形態及大小葉片, 儀器系統主要功能如下: 1. 吸收系統; 2. 雙孔道系統; 3. 特定量測系統; 4. 調整系統; 5. 資料擷取系統。

3. 試驗期間及資料分析

試驗日期由 2002 年 4 月至 2003 年 3

月止，其測定日期為 2002 年 4 月 28 日、5 月 26 日、6 月 23 日、7 月 28 日、8 月 15 日、9 月 7 日、10 月 27 日、11 月 24 日、12 月 8 日、2003 年 1 月 5 日、2 月 9 日及 3 月 22 日。根據 Koch *et al.* (1994) 與 Ishida *et al.* (1996) 在熱帶森林冠層的研究顯示各樹種間的瞬間淨光合作用率並不是固定不變的，同一測定日不同葉片之瞬間淨光合作用速率會因微環境的差異而有所不同，故本次試驗採平均值來估算。

試驗期間，除測得樹冠上冠層、下冠層之淨光合作用速率、蒸散速率、氣孔導度、葉溫、大氣溫度、相對濕度及二氧化碳濃度變化，並進行上冠層、下冠層淨光合作用速率與光度、葉溫及 CO₂ 濃度間之迴歸分析，另外使用 SAS 8.0 版軟體進行 T-test 檢定上、下冠層間之差異性。

4. 葉面積估算

以葉面積測量儀 Laser Area Meter CI-203 測量葉面積，因樹種屬常綠喬木，落葉量不如一般落葉樹多，將收集到的葉片區分成大、中、小三型，各類型取約 50 片，以儀器直接掃描，讀取資料後再求取平均葉面積。有關全株葉面積之推估，是先估測著生枝條主幹、支幹之葉片數及各型葉片所佔的比率再行推估全株葉面積。

5. CO₂ 年吸收量估算

平均瞬間淨光合作用速率，配合所測得的葉面積，依 CO₂ 的換算方式計算葉部年生產力，其計算公式如下：

$$\sum P_n \div N = P$$

$$P \times 60 \times 60 \times 8 \div 1000 = P_{\text{day}}$$

$$P_{\text{day}} \div 1000 \times 44 \times A \div 1000 = P_{\text{rday}}$$

$$P_{\text{rday}} \times 365 = Pr$$

P_n: 單日第 n 次測量之光合作用速率 (μ mol m⁻² s⁻¹)

N: 單日測量次數

P: 單日平均光合作用速率 (μ mol CO₂ m⁻² s⁻¹)

P_{day}: 一日淨光合作用總量 (m mol CO₂ m⁻² day⁻¹)

P_{rday}: 全株日總碳收穫量 (kg CO₂ stem⁻¹ day⁻¹)

Pr: 全株全年總碳收穫量 (kg CO₂ stem⁻¹ year⁻¹)

A: 全株總葉面積 (cm²)

III、結果與討論

(I) 上冠層葉

1. 淨光合作用速率

單日平均淨光合作用速率介於 1.04 μ mol m⁻² s⁻¹ (2003 年 1 月 5 日) 至 10.96 μ mol m⁻² s⁻¹ (2002 年 8 月 25 日) 之間，其 12 個測定日之平均值為 4.77 μ mol m⁻² s⁻¹ (表 1)。此與王亞男等 (2002) 的南投和社樟樹蔭葉之值 (4.83 μ mol m⁻² s⁻¹) 相近 (表 1)。

2. 蒸散速率

單日平均之蒸散速率介於 0.55 mmol m⁻² s⁻¹ (2002 年 9 月 7 日) 至 0.95 mmol m⁻² s⁻¹ (2002 年 7 月 28 日) 之間，其 12 個測定日之平均值為 0.73 mmol m⁻² s⁻¹ (表 1，此與黃文俊 (1999) 福山常綠闊葉樹 (0.5~0.8 mmol m⁻² s⁻¹) 之值相近 (表 1)。

3. 氣孔導度

單日平均之氣孔導度介於 38.20 mmol

m^2s^{-1} (2002年9月7日) 至 $63.90 \text{ mmol m}^2\text{s}^{-1}$ (2002年12月8日) 之間, 其12個測定日之平均值為 $50.32 \text{ mmol m}^2\text{s}^{-1}$ (表1), 皆比其他地區, 其他樹種高, 此可能與當年氣候乾燥相對濕度低有關係 (表1)。

4. 淨光合作用速率與光度、溫度之關係

在光合作用特性方面黑板樹上層葉日變化之淨光合作用速率與光度日變化趨勢, 以2002年6月23日中午12時及9月7日下午1時, 較為明顯 (圖4), 其淨光合作用速率隨光度升高而升高, 而特別是在中午時段特別明顯, 當時亦為夏季, 可能為高溫所致 (表1)。

(II) 下冠層葉

1. 淨光合作用速率

全年淨光合作用速率平均值為 $2.28 \mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$, 全年試驗日中平均值之最大值出現於2002年9月7日 $5.02 \mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$, 最小值出現於2002年11月24日 $0.87 \mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$, 下層葉淨光合作用速率介於 $0.87 \mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$ 至 $5.02 \mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$ (表1)。

2. 蒸散速率

全年蒸散速率日平均值為 $0.65 \mu\text{mol m m}^2\text{s}^{-1}$, 單日平均之蒸散速率介於 $0.23 \text{ mmol m m}^2\text{s}^{-1}$ (2002年9月7日) 至 $0.92 \text{ mmol m m}^2\text{s}^{-1}$ (2002年8月25日) (表1)。

3. 氣孔導度

全年氣孔導度日平均值為 $46.59 \text{ mmol m}^2\text{s}^{-1}$, 全年試驗日中最大值出現於2003年2月9日 $61.22 \text{ mmol m}^2\text{s}^{-1}$, 最小值出現

於2002年7月28日 $34.6 \text{ mmol m}^2\text{s}^{-1}$ (表1)。

由於所探討之二氧化碳固定量以全株為單位, 故將上層葉與下層葉所測之值平均做為參考參數。

(III) 各測定日不同冠層葉片光合參數的差異

分別將試驗樹種, 於試驗期間 (2002年4月至2003年3月) 各日實地測得之上、下冠層淨光合作用速率、光度、蒸散作用速率、氣孔導度、二氧化碳濃度的日平均值, 並使用 SAS.8.0 所提供的 T test 檢定方法, 來分析各試驗日中兩者之間是否存在顯著性差異, 並利用迴歸分析來探討瞬間淨光合作用速率與葉溫的相關性。

於12個試驗日中, 在樹冠上、下層淨光合作用速率、光度、蒸散作用速率、氣孔導度、二氧化碳濃度的差異性如下: 以淨光合作用速率、光度皆呈極顯著差異共為7日、10日, 蒸散作用速率僅2002年9月7日當日呈現極顯著差異 (表2)。Raykuman 等人在1998年曾以三年生茶樹進行不同葉齡對光合作用速率的影響, 本試驗分別以上層葉與下層葉進行其對光合作用速率的影響, 大多呈顯著或極顯著差異。

上冠層、下冠層淨光合作用速率與光度、葉溫及 CO_2 濃度間之迴歸分析結果如表3, 可明顯看出無論是上層葉或下層葉, 其相關係數 (R^2) 皆不高, 但下層葉均大於上層葉。

(IV) 單片葉面積估算及全株葉部固碳量推估

1. 單片葉面積及全株葉面積估算

本次試驗樹種是桃園市政府之公有財產，為避免有礙市容，因此全株葉面積的葉片收集是以冬季落葉期間，先依葉長大

致分為大、中、小型葉，再分別採集各型新鮮葉各 48、58 與 44 片，經由 Lasera Meter CI-203 (葉面積測量儀) 以掃描方式測量，再求取各型葉片平均葉面積，經實

表 1 黑板樹樹冠上、下層 12 個測定日淨光合作用速率、蒸散速率、氣孔導度、葉溫、光度、相對濕度、CO₂ 濃度之平均值

Table 1 The net photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance, leaf temperature, light intensity, relative humidity, and average CO₂ concentration on the upper and bottom canopy of *Alstonia scholaris* during 12-day experimental period

日期	冠層	淨光合作用速率 ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	蒸散速率 ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	氣孔導度 ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	葉溫 ($^{\circ}\text{C}$)	光度 ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	相對濕度 (%)	二氧化碳濃度 (μLL^{-1})
2002 年 4 月 28 日	上層葉	2.28±3.4	0.77±0.2	38.32±6.6	22.7±1.6	432±41	50±11	342±44
	下層葉	1.12±2.5	0.74±0.3	40±0.4.8	21.4±2.3	128±29	58±2	338±22
2002 年 5 月 26 日	上層葉	2.89±4.6	0.73±0.1	43.23±8.8	27.3±3.3	450±26	54±19	354±27
	下層葉	2.29±2.4	0.68±0.3	41.25±7.6	26.8±4.1	142±33	58±10	348±19
2002 年 6 月 23 日	上層葉	5.02±3.3	0.85±0.4	42.6±8.1	31.1±2.9	502±52	56±9	322±19
	下層葉	3.5±1.7	0.69±0.1	43.7±7.8	30.9±3.3	162±21	55±14	315±21
2002 年 7 月 28 日	上層葉	8.95±4.2	0.95±0.2	47.8±2.3	31.1±2.9	732±41	57±13	316±19
	下層葉	3.94±2.9	0.61±0.3	34.6 ⁺ ±4.6	29.3±1.7	242±26	63±4	292±29
2002 年 8 月 25 日	上層葉	10.96 ^{**} ±1.3	0.84±0.1	46.8±5.5	32.3±2.9	750±33	60±6	309±18
	下層葉	3.06±2.3	0.92±0.3	36.2±5.9	31.0±1.8	238±49	65±7	294±24
2002 年 9 月 7 日	上層葉	6.04±2.7	0.55±0.3	38.2 [*] ±5.9	32.5±2.8	732±88	61±8	323±34
	下層葉	5.02 ⁺⁺ ±5.5	0.23±0.1	38.3±5.4	31.9±1.7	272±47	63±4	306±28
2002 年 10 月 27 日	上層葉	3.85±1.9	0.78±0.3	48.95±9.9	26.1±2.2	628±59	48±5	313±29
	下層葉	2.04±1.9	0.63±0.2	51.15±10.8	22.7±2.9	142±19	48±8	312±33
2002 年 11 月 24 日	上層葉	7.76±4.2	0.65±0.2	54.2±11.2	25.7±1.8	328±16	51±4	419±31
	下層葉	0.87 ⁺ ±0.2	0.45±0.3	52.8±9.8	22.9±1.9	102±28	50±3	403±32
2002 年 12 月 8 日	上層葉	4.97±2.3	0.68±0.2	63.9 ^{**} ±13.6	21.1±2.2	209±19	52±2	411±32
	下層葉	1.12±0.5	0.64±0.4	59.65±5.9	17.1±2.6	101±17	51±9	406±27
2003 年 1 月 5 日	上層葉	1.04 [*] ±0.9	0.58±0.3	58.71±7.8	16.5±2.8	171±34	51±4	409±19
	下層葉	0.9±0.3	0.62±0.3	57.06±4.6	15.6±2.4	119±46	51±6	400±19
2003 年 2 月 9 日	上層葉	2.28±1.2	0.69±0.3	60.25±5.9	14.0±2.6	157±12	42±4	402±24
	下層葉	2.06±1.5	0.72±0.4	61.22 ⁺⁺ ±11.5	13.7±4.1	120±22	44±6	399±22
2003 年 3 月 22 日	上層葉	1.21±0.7	0.70±0.3	60.91±4.9	21.8±3.3	306±34	48±7	372±21
	下層葉	1.42±0.8	0.83±0.5	48.26±7.9	20.2±1.9	225±28	50±7	370±20
平均值	上層葉	4.77	0.73	50.32	25.17	449.75	52	356.83
	下層葉	2.28	0.65	46.59	23.63	116.08	55	348.53
平均		3.53	0.69	48.46	24.4	282.92	53.75	352.68

註：比較上、下層葉間各參數之差異 **：表上層葉最大值，*表上層葉最小值；++表下層葉最大值，+表下層葉最小值。

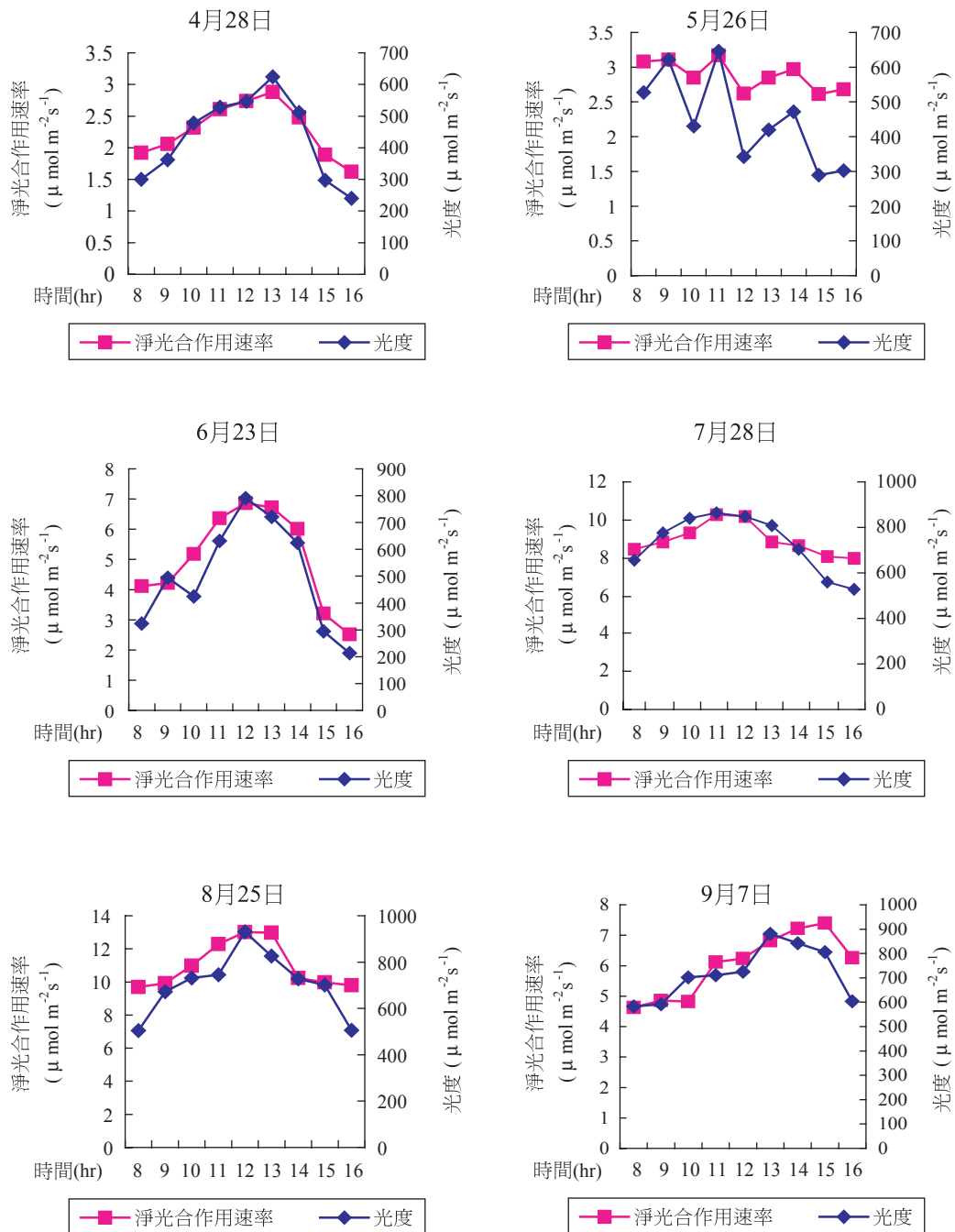


圖 4 黑板樹樹冠上層 2002 年 4 月—2003 年 3 月淨光合作用速率與光度變化之相關圖

Fig. 4 The net photosynthetic rate and the change in photo-intensity on the upper canopy of *Alstonia scholaris* from April 2002 to March 2003

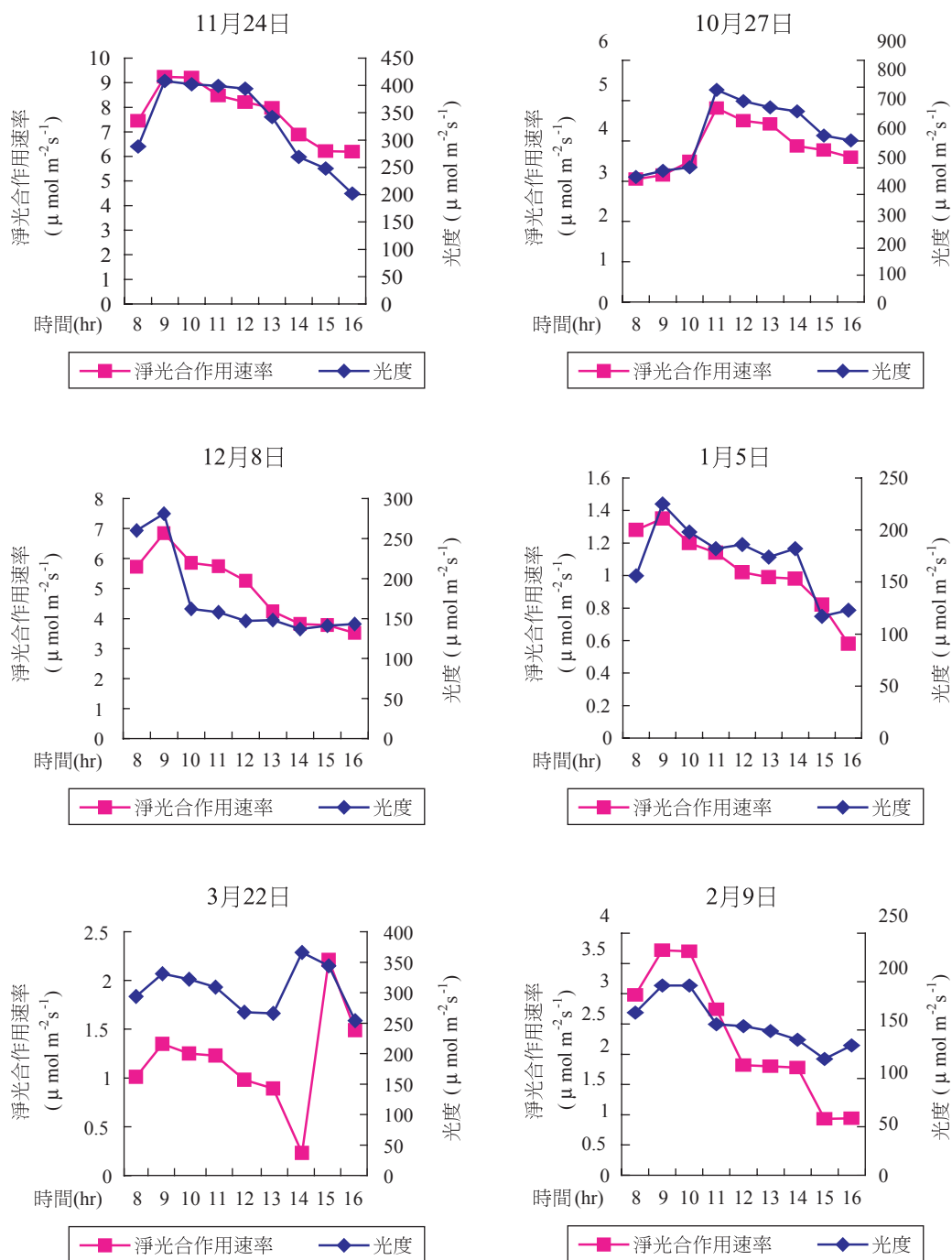


圖 4 黑板樹樹冠上層 2002 年 4 月—2003 年 3 月淨光合作用速率與光度變化之相關圖(續)
 Fig. 4 The net photosynthetic rate and the change in photo-intensity on the upper canopy of *Alstonia scholaris* from April 2002 to March 2003 (Continued)

表 2 黑板樹各測定日淨光合作用速率、光度、氣孔導度、蒸散作用速率、二氧化碳濃度在不同冠層的差異 (P 值: 成對樣本 T 檢定, $\alpha=0.05$)Table 2 The differences between various canopy of *Alstonia scholaris* in terms of net photosynthetic rate, light-intensity, stomatal conductance, transpiration rate, and CO₂ concentration. (p value: paired sample T test, $\alpha=0.05$)

日期	上層葉-下層葉	日期	上層葉-下層葉
2002/4/28		2002/9/7	
淨光合作用速率	**<0.0001	淨光合作用速率	0.0809
光度	**<0.0001	光度	**<0.0001
氣孔導度	0.8493	氣孔導度	0.4370
蒸散作用速率	0.6385	蒸散作用速率	**0.4370
二氧化碳濃度	0.8532	二氧化碳濃度	0.9815
2002/5/26		2002/10/27	
淨光合作用速率	**0.0018	淨光合作用速率	**0.0001
光度	**<0.0001	光度	**0.0001
氣孔導度	0.8150	氣孔導度	0.9632
蒸散作用速率	0.4988	蒸散作用速率	0.1834
二氧化碳濃度	0.7796	二氧化碳濃度	0.5977
2002/6/23		2002/11/24	
淨光合作用速率	*0.0244	淨光合作用速率	**<0.0001
光度	**<0.0001	光度	0.2106
氣孔導度	0.6736	氣孔導度	0.8509
蒸散作用速率	0.2992	蒸散作用速率	0.7071
二氧化碳濃度	0.8855	二氧化碳濃度	0.7342
2002/7/28		2002/12/8	
淨光合作用速率	**<0.0001	淨光合作用速率	**<0.0001
光度	**<0.0001	光度	0.2106
氣孔導度	0.5012	氣孔導度	0.8509
蒸散作用速率	*0.0223	蒸散作用速率	0.7017
二氧化碳濃度	0.0955	二氧化碳濃度	0.7342
2002/8/25		2003/1/5	
淨光合作用速率	**<0.0001	淨光合作用速率	0.2005
光度	**<0.0001	光度	0.9785
氣孔導度	0.4600	氣孔導度	0.6932
蒸散作用速率	0.6895	蒸散作用速率	0.6220
二氧化碳濃度	*0.0351	二氧化碳濃度	0.4921
2003/2/9		2003/3/22	
淨光合作用速率	0.6565	淨光合作用速率	0.2901
光度	**0.0020	光度	**0.0001
氣孔導度	0.2820	氣孔導度	0.9153
蒸散作用速率	0.8694	蒸散作用速率	0.1410
二氧化碳濃度	0.8448	二氧化碳濃度	0.0191

註: ** 表極顯著、* 表顯著

※單位: 淨光合作用速率 ($\mu \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)、光度 ($\mu \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)、氣孔導度 ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)、蒸散作用速率 ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)、二氧化碳濃度 ($\mu \text{ LL}^{-1}$)

地測量黑板樹葉片大型葉片平均葉面積 54.83 cm²，最大葉面積為 56.23 cm²，最小葉面積為 53.42 cm²；中型葉片平均葉面積 25.54 cm²，最大葉面積為 27.06 cm²，最小葉面積為 24.02 cm²；小型葉片平均葉面積 8.46 cm²，最大葉面積為 9.02 cm²，最小葉面積為 7.89 cm²（表 4）。

2. 全株葉面積估算

選取相鄰三株黑板樹，分別計算各株之著生枝幹，並各實際隨機摘取一枝幹計算葉片數，再加上測得之單片葉面積進而計算全株葉面積。黑板樹經估算平均枝幹為 46 支，最多為 55 支，最少為 40 支；單支枝幹平均葉片 248 片，最多為 279 葉片，最少為 221 葉片；共計 11,408 片，其中大型葉片佔 20%、中型葉片佔 60%、小型葉片佔 20%，故推估全株葉面積為 34.93 m²（表 5）

3. 單位面積碳收獲量及全株二氧化碳固定量的估算

平均 12 個測定日之測量結果：淨光合作用速率平均值為 3.53 μmol m⁻²s⁻¹，日淨光合作用速率年平均值為 101.07 μmol m⁻²s⁻¹，換算成單位面積碳固定量年平均值為 1.631 kg CO₂ m⁻²year⁻¹，全年以 2002 年 8 月 25 日平均淨光合作用速率與單位面積碳固定量最高，2003 年 1 月 5 日最低（表 6）。由黑板樹葉片調查結果：大葉葉數佔 20%，葉面積 13.7 m²；中葉葉數佔 60%，葉面積 19.15 m²；小葉葉數佔 20%，以其對 CO₂ 固定量估算全株一年可固定 56.76 kg 之 CO₂（表 7）。

IV、結論

行道樹—黑板樹的上、下冠層葉分析得知以平均值而言，上冠層葉的淨光合作用

表 3 黑板樹 2002 年 4 月—2003 年 3 月上、下冠層淨光合作用速率與光度、葉溫及 CO₂ 濃度間之迴歸分析

Table 3 The regression analysis between the net photosynthetic rate and leaf temperature, light intensity and CO₂ concentration on the upper and bottom canopy of *Alstonia scholaris* from April 2002 to March 2003

項目	冠層	葉溫 (°C)	光度 (μmol m ⁻² s ⁻¹)	二氧化碳濃度 (μLL ⁻¹)
淨光合作用速率 (μmol m ⁻² s ⁻¹)	上層葉	0.5215	0.4477	0.162
	下層葉	0.632	0.6177	0.6007

表 4 黑板樹大、中、小型葉平均葉面積

Table 4 The average area of large, medium and small sized leaf of *Alstonia scholaris*

葉型	葉面積 (cm ²)		
	最小值	平均值	最大值
大型葉	53.42	54.83	56.23
中型葉	24.02	25.54	27.06
小型葉	7.89	8.46	9.02

表 5 全株黑板樹葉面積估算

Table 5 The estimated leaf area of the whole tree of *Alstonia scholaris*

葉 型	佔全株葉數比率	葉面積 (cm ²)
大型葉	20%	13.70
中型葉	60%	19.15
小型葉	20%	2.12
合 計	100%	34.97

表 6 黑板樹平均淨光合作用速率、單日淨光合作用總量及單位面積碳固定量

Table 6 The average net photosynthetic rate, the total amount of net daily photosynthetic and the amount of Carbon fixation of *Alstonia scholaris*

日期	平均淨光合作用速率 $\mu \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	日淨光合作用速率總量 $\text{mmol m}^{-2}\text{day}^{-1}$	單位面積年碳固定量 $\text{kgCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{Year}^{-1}$	排序
4 月 28 日	1.70	48.96	0.786	
5 月 26 日	2.59	74.59	1.198	
6 月 23 日	4.26	122.69	1.970	
7 月 28 日	6.45	185.76	2.983	
8 月 25 日	7.01	201.89	3.242	最高
9 月 07 日	5.53	159.26	2.558	
10 月 27 日	2.95	84.96	1.364	
11 月 24 日	4.32	124.42	1.998	
12 月 08 日	3.05	57.84	1.411	
1 月 05 日	0.97	27.94	0.449	最低
2 月 09 日	2.17	62.50	1.004	
3 月 22 日	1.32	38.01	0.610	
平均	3.53	101.57	1.631	

註：CO₂ 換算：1 $\mu \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1} = 0.044 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$

表 7 黑板樹全株一年二氧化碳固定量之估算

Table 7 The estimated annual amount of CO₂ fixation of the whole tree of *Alstonia scholaris*

葉 型	佔全株葉數比率 (%)	葉面積 (m ²)	二氧化碳固定量 ($\text{kgCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{Year}^{-1}$)
大型葉	20%	13.70	22.23
中型葉	60%	19.15	31.10
小型葉	20%	2.12	3.43
合 計	100%	34.97	56.76

用速率比下冠層葉大，並且於夏天具有最大的二氧化碳固定量，相對於冬天反而是最少的。另外淨光合作用速率日平均值為 $3.53 \mu \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、蒸散速率 $0.69 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、氣孔導度 $48.46 \text{ m mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、葉溫 24.40°C 、光度 $282.92 \mu \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、相對濕

度 54%，估算黑板樹冠層全株全年的可固定 CO₂ 量為 56.76 kg。CO₂ 濃度平均為 $352.68 \mu \text{ LL}^{-1}$ ，但在 2002 年 11 月至 2003 年 2 月，濃度均達到 $400 \mu \text{ LL}^{-1}$ 以上，應是環境影響。

V、參考文獻

- 王亞男 (2000) 柳杉、樟樹對溫室氣體效益之研究。八十九年度國科會／環保署科技合作研究計畫期末報告。41 頁。
- 王亞男、洪儷文 (2002) 樟樹不同冠層位置之光合作用淨生產力。中華林學季刊 36(1) : 27-38。
- 郭耀綸 (2000) 南仁山熱帶低地雨林白榕冠層及林下植物的光合作用。台灣林業科學 15(3) : 351-363。
- 黃文俊 (1999) 台灣東北部六種闊葉樹種冠層二氧化碳固定功能之研究。國立台灣大學森林系研究所碩士論文。49 頁。
- Ishida A, T. Toma, Y. Matsumoto, S. K. Yap and Y. Maruyama (1996) Diurnal change in leaf gas exchange characteristics in the uppermost canopy of a rain forest tree, *Dryobalanops aromatica* Gaerth. F. Tree Physiology 16: 779-785.
- Koch G. W., J. S. Amthor and M. L. Goulden (1994) Diurnal patterns of leaf photosynthesis, conductance and water potential at the top of a lowland rain forest canopy in Cameroon: measurements from the Radeau des Cimes. Tree Physical 14: 347-360.
- Pearcy R. W. (1987) Photosynthetic gas exchange responses of Australian tropical forest trees in canopy, gap and understory micro-environments. Functional Ecology 1: 169-178.
- Raykuman R., L. Manivel and S. Marimuthu (1998) Longevity and factors influencing photosynthesis in tea leaves. Photosynthetica 35(1): 41-46.
- Zotz G. and K. Winter (1993) Short-term photosynthesis measurement predict leaf carbon balance in tropical rain-forest canopy plants. Planta 191: 409-412.
- 氣象資料。2003 年，取自「中央氣象局全國資訊網」：
<http://www.cwb.gov.tw/index-f.htm>