

行道樹水黃皮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 94 年 5 月 6 日、接受日期：民國 94 年 6 月 2 日)

【摘要】本研究利用行道樹栽植 10 年生之水黃皮為材料，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，分別就水黃皮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用速率日平均值為 3.04 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，蒸散速率 0.93 $\text{m mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，氣孔導度 91.89 $\text{m mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，葉片溫度 25.59°C，光度 555.08 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，相對濕度 53%，CO₂ 濃度 340.42 μLL^{-1} ；下部葉片淨光合作用速率日平均值為 2.17 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，蒸散速率 0.72 $\text{m mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，氣孔導度 87.61 $\text{m mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，葉片溫度 24.82 °C，光度 347.5 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，相對濕度 51%，CO₂ 濃度 340.50 μLL^{-1} ，全株每年可固定 CO₂ 量為 18.02 kg。

【關鍵詞】水黃皮、淨光合作用速率、蒸散速率、氣孔導度

THE CARBON DIOXIDE FIXATION EFFICIENCY OF PONGAMIA PINNATA OF SIDEWALK TREE

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

(Received: May 6, 2005; Accepted: June 2, 2005)

【Abstract】 The Carbon Dioxide fixation efficiency of *Pongamia pinnata* which will be a reference for sidewalk trees planning afterward, was analyzed by measuring net photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance rate, air temperature, light intensity, relative humidity and the concentration CO₂, from 8 am to 4 pm, one sunny day of every month. In upper leaf, the mean value of net photosynthetic rate was 3.04 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, transpiration rate was 0.93 $\text{m mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, stomatal conductance rate was 91.89 $\text{m mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, leaf temperature was 25.59°C, light intensity was 555.08 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, relative humidity was 53% and the concentration of carbon dioxide was 340.42 μLL^{-1} . In aspect of lower leaf, the mean value of net photosynthetic rate was 2.17 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, transpiration rate was 0.72 $\text{m mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, stomatal conductance rate was 87.61 $\text{m mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, leaf temperature was 24.82°C, light intensity was 347.5 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, relative humidity was 51% and the concentration of carbon dioxide was 340.50 μLL^{-1} for one year, the carbon dioxide fixation of whole tree estimated was 18.02 kg.

【Key words】 *Pongamia pinnata*, Net photosynthetic rate, Transpiration rate, Stomatal conductance rate

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。

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

I、前言

由於人類活動大量石油、煤炭等石化燃料而釋放大量二氧化碳，根據報導在 1988 年大氣中二氧化碳濃度已超過 350 ppmv，嚴重造成地球之溫室效應，全球溫室氣體大量排放而導致，引發「全球溫暖化」(Global Warming)，其中以二氧化碳排放為形成主要成因，且對全球的生態與經濟造成破壞性的影響。故人類已深深感受其嚴重威脅，目前世界各國已採取如「碳稅」、「排放權交易」、「碳交易」等措施。尤其自 2005 年元月一日起即將施行「京都議定書」更使二氧化碳或吸存方面的研究非常重要。

雖目前國內已有林信輝、劉坤樹(1997)、黃文俊(1999)、王亞男(2000)、郭耀綸(2000)、王亞男與洪儷文(2002)等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。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。桃園縣是僅次於台北都會區之重要城市，轄內分佈多數工業區且交通繁忙，故研究行道樹對淨化空氣、碳吸存之功效值得探討。



圖 1 水黃皮試驗木位置圖
Fig. 1 The location of experiment

台灣經濟快速發展繁榮，如能在都市中利用選擇適當的樹種，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。水黃皮樹型優美、花淡紫色、枝葉濃密、為台灣土生土長的樹木(劉棠瑞, 1994)，花序密集繽紛，亦經由台中縣政府選定為最受青睞之城鄉樹種，本研究即針對桃園市內重要道路行道樹栽植之水黃皮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、材料與方法

(I) 試驗地概況

試驗地位於桃園縣桃園市之交通要道文中路(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 2003 年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。

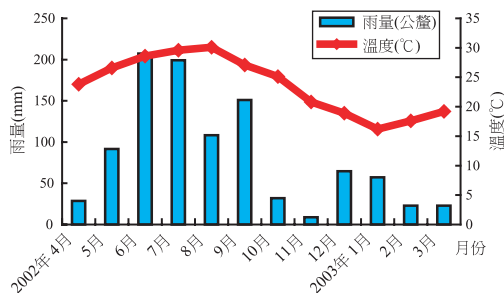


圖 2 試驗期間 2002 年 4 月—2003 年 3 月當地之月均溫及累積降雨量統計圖(中央氣象局, 2003)

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

(II) 試驗植株

本試驗選定之水黃皮為桃園市重要道路文中路所栽植因電線桿故被截幹，其相關資料如下：樹齡約為 10 年，樹高於實驗之初測得樹高 3.92 m，枝下高 1.7 m，胸徑 17.54 cm，基徑 29.08 cm，樹冠幅度平均直徑寬約 1.9 m。

(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 4 m~3.5 m）、下冠層（冠層 3.5 m~3 m），將葉片夾入 CI-301ps 把手 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。

1. 到達樹冠的設施

因行道樹高度約 4 m，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

試驗日期為 2002 年 4 月 27 日、5 月 19 日、6 月 22 日、7 月 14 日、8 月 18 日、9 月 1 日、10 月 20 日、11 月 17 日、12 月 1 日、2003 年 1 月 4 日、2 月 8 日、3 月 15 日，每月以 CI-301ps 光合作用儀分別測量水黃皮上冠層、下冠層各三片的生理活動及其光合作用相

關資料，根據 Koch *et al.* (1994) 及 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率會因微環境的差異而有所不同，本次試驗採平均值的方式來估算。

試驗期間共計收集水黃皮十二天的生理活動相關資料，分別為每日上午 8 時至下午 4 時，測得資料包括樹冠上冠層、下冠層光合作用速率、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，再進行上冠層、下冠層光合作用速率與光度間之比較，並使用 SAS 8.0 版軟體所提供的 proc ttest 檢定上下冠層之差異性，並進行淨光合作用速率日均值與葉溫日均值之迴歸分析，依據葉面積估算二氧化碳的固定量。

4. 葉面積估算

以葉面積測量儀 Laser Area Meter CI-203 測量葉面積，因此種樹種皆屬常綠喬木，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 ($\mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

N ：單日測量次數

P ：單日平均光合作用速率 ($\mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

P_{day} ：一日淨光合作用總量 ($\text{m mol m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)

P_{rday} ：全株日總二氧化碳吸收量 ($\text{kg CO}_2 \text{ stem}^{-1}$)

day⁻¹)
Pr: 全株全年總二氧化碳吸收量 (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 1.45 μ mol m⁻²s⁻¹ (2003 年 1 月 4 日) 至 4.51 μ mol m⁻²s⁻¹ (2002 年 10 月 20 日)(表 1)平均值 3.04 μ mol m⁻²s⁻¹。

2. 蒸散速率

單日平均之蒸散速率介於 0.62 μ mol m⁻²s⁻¹ (2002 年 10 月 20 日)至 1.32 μ mol m⁻²s⁻¹ (2002 年 5 月 19 日、2002 年 8 月 18 日)，平均值為 0.93 μ mol m⁻²s⁻¹。

3. 氣孔導度

單日平均之氣孔導度介於 52.75 mmol m⁻²s⁻¹ (2002 年 10 月 20 日)至 142.2 mmol m⁻²s⁻¹(2002 年 8 月 18 日) (表 1) 平均值為 91.89 mmol m⁻²s⁻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。

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 5 月 19 日、6 月 22 日、7 月 14 日，較為明顯 (圖 6)，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，當時正逢 5、6、7 月，可能為高溫所致。

(II) 下冠層葉

1. 淨光合作用速率

全年淨光合作用速率之日平均值為 2.17 μ mol m⁻²s⁻¹，全年試驗日中平均值之最大值出現於 2002 年 5 月 19 日 3.5 μ mol m⁻²s⁻¹，最小值出現於 2002 年 6 月 22 日 1.09 μ mol m⁻²s⁻¹，

下層葉淨光合作用速率介於 1.09 μ mol m⁻²s⁻¹ 至 3.5 μ mol m⁻²s⁻¹ (表 1)。

2. 蒸散速率

單日平均之蒸散速率介於 0.32 μ mol m⁻²s⁻¹ (2002 年 10 月 20 日)至 1.01 μ mol m⁻²s⁻¹ (2002 年 5 月 19 日、8 月 18 日)，日平均值為 0.72 μ mol m⁻²s⁻¹ (表 1)。

3. 氣孔導度

全年氣孔導度平均值為 87.61 mmol m⁻²s⁻¹，全年試驗日中平均值之最大值出現於 2002 年 4 月 27 日之 112.5 mmol m⁻²s⁻¹，最小值出現於 2003 年 1 月 4 日之 71.9 mmol m⁻²s⁻¹(表 1)。

(III) 水黃皮各測定日不同冠層葉片的差異

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，為進一步了解瞬間淨光合作用速率與葉溫的相關性，故利用迴歸分析來探討。

1. 水黃皮上、下冠層差異分析

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：水黃皮部份以淨光合作用速率、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 當日呈現極顯著差異 (表 1、2)。

2. 葉溫與淨光合作用速率日均值之定量迴歸分析

於 12 個試驗日，針對葉溫及淨光合作用速率日均值進行迴歸分析，以了解二者之間是否有相關性 (圖 4)，經二次方程式迴歸分析後，R² 高達 0.821，結果發現葉溫及淨光合速率日均值的相關性顯著。

表 1 水黃皮樹冠上、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, photo-intensity, relative humidity, and average CO₂ concentration on the upper and bottom canopy of *Pongamia pinnata* during 12-day experimental period

日期	冠層	淨光合作用 速率 ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	蒸散作用 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 ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	二氧化碳 濃度 (μLL^{-1})	相對 濕度 (%)
2002 年 4 月 27 日	上層葉	3.2±1.7	1.24±0.6	102.4±18.9	28.5±2.6	560±37	302±44	57±3
	下層葉	2.25±0.7	0.98±0.3	*112.5±21.7	28.2±2.4	323±45	298±37	56±4
2002 年 5 月 19 日	上層葉	4.26±1.9	1.32±0.7	104.2±17.1	29.4±3.6	672±33	313±28	60±6
	下層葉	*3.5±1.1	0.84±0.3	84.5±13.5	28.2±3.1	378±47	306±39	57±5
2002 年 6 月 22 日	上層葉	3.53±1.2	1.27±0.5	106.8±19.9	31.6±2.9	704±53	299±27	53±7
	下層葉	*1.09±0.5	1.01±0.4	75.3±10.6	31.3±3.3	594±57	297±28	51±10
2002 年 7 月 14 日	上層葉	2.55±1.1	1.01±0.4	100.1±16.9	30.4±2.7	701±45	302±34	59±12
	下層葉	3.4±1.2	0.72±0.2	80.5±8.9	30.1±3.1	425±32	301±36	61±10
2002 年 8 月 18 日	上層葉	3.68±1.8	1.32±0.6	*142.2±22.7	34.6±2.7	694±33	316±45	50±8
	下層葉	1.65±0.9	0.91±0.3	78.5±11.2	33.2±1.9	382±41	317±41	48±9
2002 年 9 月 1 日	上層葉	3.3±1.4	0.67±0.3	64.0±7.5	30.0±1.6	662±49	308±33	63±11
	下層葉	1.62±0.7	0.5±0.1	93.2±18.1	30.0±2.2	319±38	309±19	64±8
2002 年 10 月 20 日	上層葉	*4.51±1.8	0.62±0.4	*52.8±8.8	29.4±2.4	523±58	313±29	47±4
	下層葉	2.56±1.4	0.32±0.1	73.3±12.9	28.2±3.5	249±67	318±27	48±9
2002 年 11 月 17 日	上層葉	4.12±1.5	0.82±0.2	59.4±6.7	23.4±2.2	428±57	409±44	49±7
	下層葉	2.02±1.2	0.75±0.2	102.7±20.9	22.4±2.3	298±59	417±38	48±5
2002 年 12 月 1 日	上層葉	1.86±0.9	0.79±0.2	85.4±14.9	18.8±2.0	440±34	398±45	48±6
	下層葉	1.79±0.9	0.72±0.2	94.6±18.3	17.2±2.5	280±27	412±28	41±7
2003 年 1 月 4 日	上層葉	*1.45±0.8	0.65±0.1	96.5±17.6	13.2±3.6	353±48	423±33	50±6
	下層葉	1.69±0.5	0.47±0.1	*71.9±15.2	13.0±3.7	294±37	416±29	42±7
2003 年 2 月 8 日	上層葉	2.01±1.4	0.7±0.2	90.7±21.3	17.5±3.1	392±31	399±27	48±6
	下層葉	1.87±0.8	0.63±0.1	90.2±18.9	15.9±2.8	188±22	401±35	50±4
2003 年 3 月 15 日	上層葉	2.01±1.1	0.77±0.2	98.3±17.2	20.3±2.4	532±44	303±34	50±5
	下層葉	2.56±1.5	0.75±0.2	94.1±19.4	20.1±2.2	440±32	294±28	51±9
平均值	上層葉	3.04	0.93	91.9	25.6	555.08	340.42	53
	下層葉	2.17	0.72	87.6	24.8	347.5	340.50	51
總平均值		2.605	0.825	89.75	25.2	451.29	340.46	52

註：比較上、下層葉間各參數之差異 **：極顯著 *：顯著

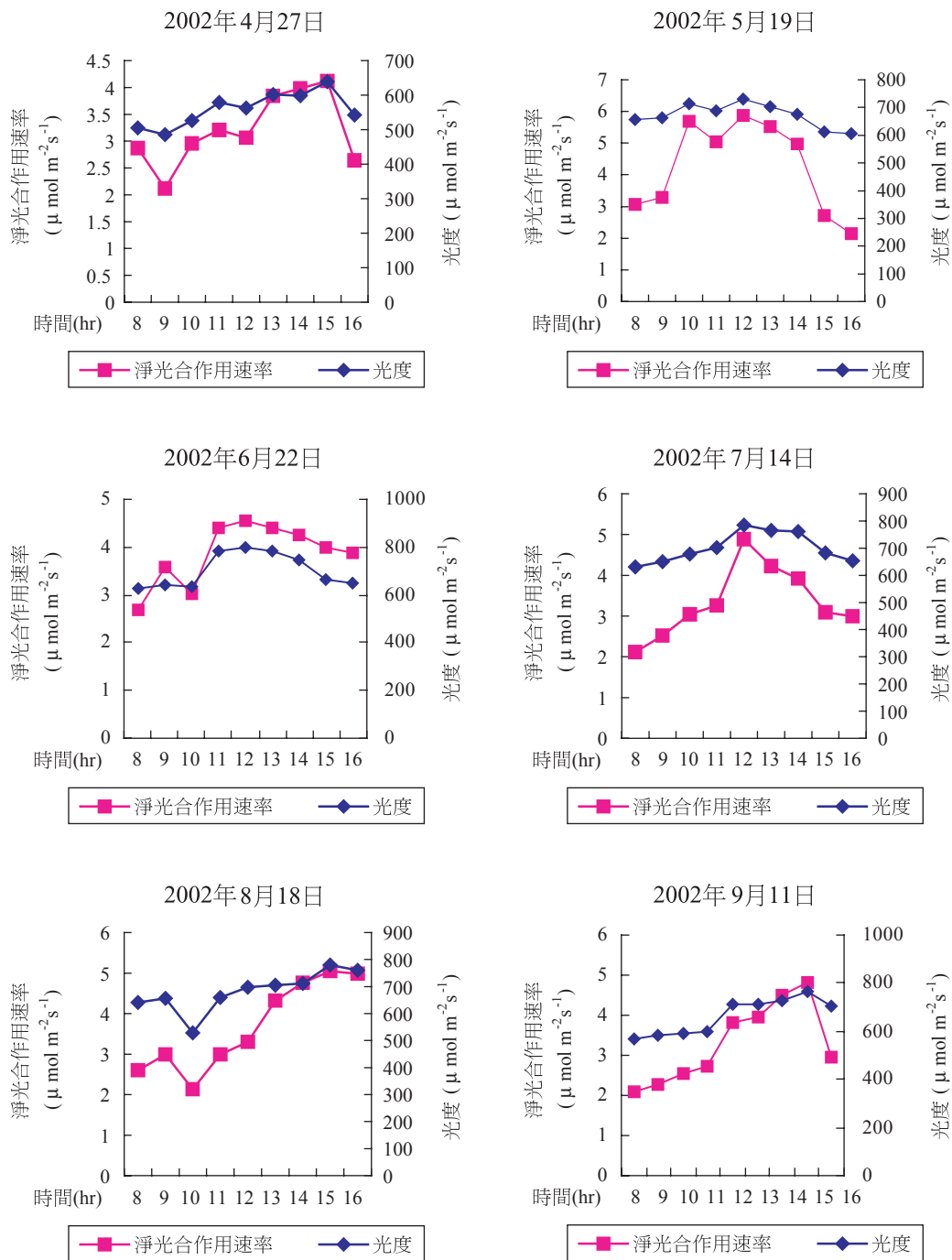


圖3 水黃皮樹冠上層 2002 年 4 月—2003 年 3 月淨光合作用速率與光度變化之相關圖

Fig. 3 The net photosynthetic rate and the change in photo-intensity on the upper canopy of *Pongamia pinnata* from April 2002 to March 2003

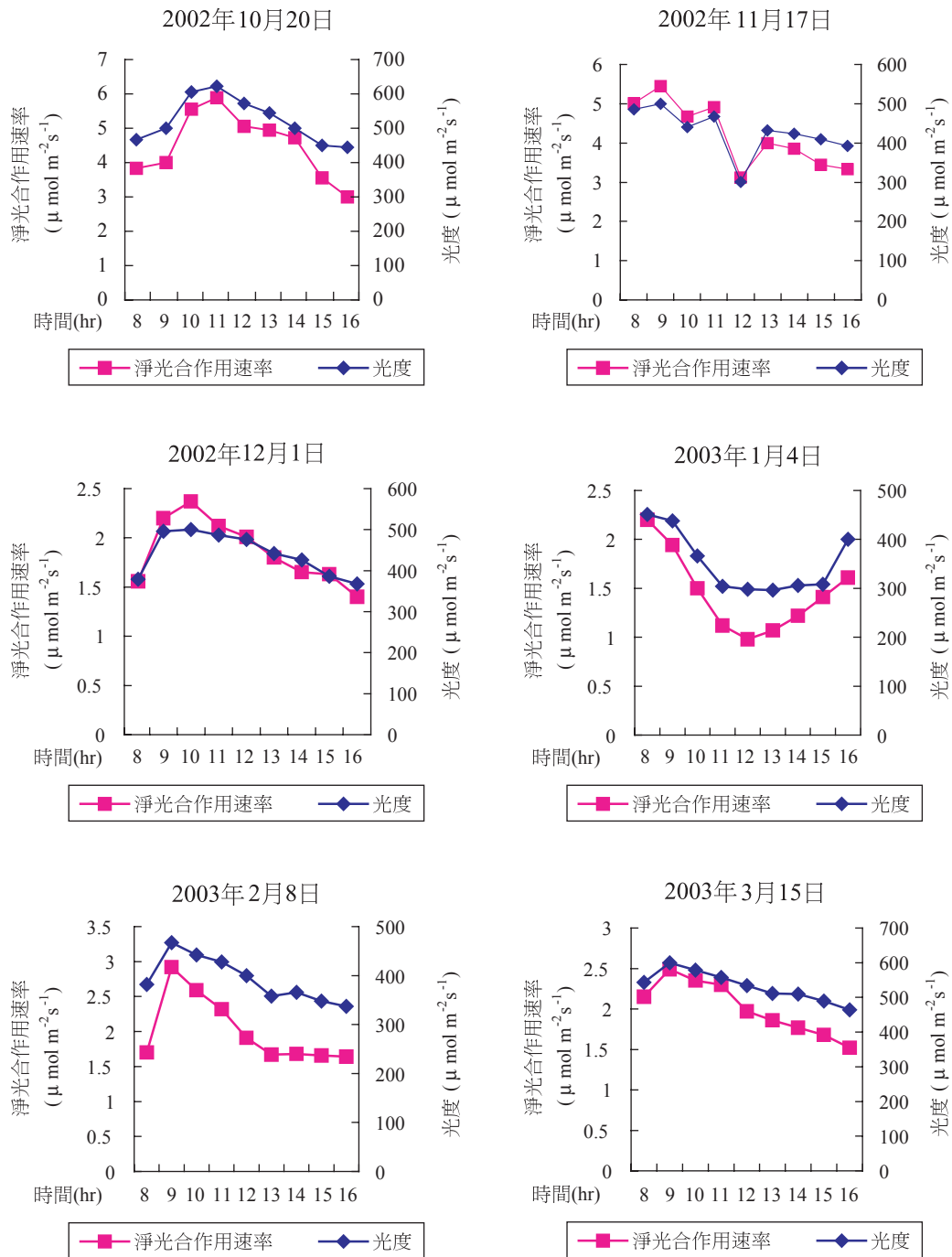


圖3 水黃皮樹冠上層 2002年4月—2003年3月淨光合作用速率與光度變化之相關圖(續)

Fig. 3 The net photosynthetic rate and the change in photo-intensity on the upper canopy of *Pongamia pinnata* from April 2002 to March 2003 (Content)

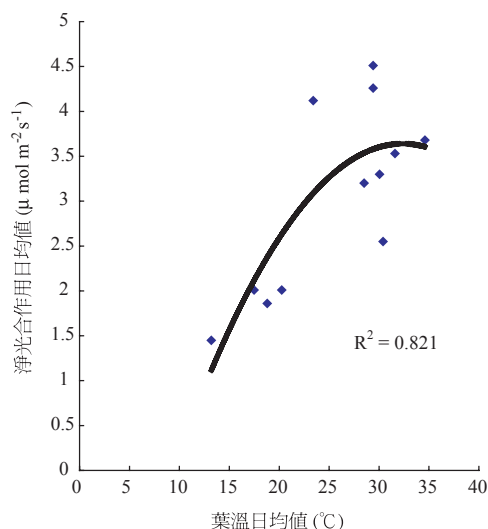


圖 4 水黃皮試驗期間(2002 年 4 月—2003 年 3 月)各試驗日, 葉溫日均值與淨光合作用速率日均值定量迴歸分析圖

Fig. 4 The regression of net daily average photosynthetic rate and daily average leaf temperature of *Pongamia pinnata* from April 2002 to March 2003

(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, 先依巴掌大而大致分為大、中、小型葉, 再分別採集各型新鮮葉各 43、65 與 42 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, 經實地測量黑板樹葉片大型葉片平均葉面積 80.40 cm², 最大葉面積為 83.31 cm², 最小葉面積為 77.49 cm²; 中型葉片平均葉面積 59.13 cm², 最大葉面積為 65.62 cm², 最小葉面積為 52.64 cm²; 小型葉片平均葉面積 22.72 cm², 最大葉面積為 24.28 cm², 最小葉面積為 21.26 cm² (表 3)。

2. 全株葉面積估算

選取相鄰三株, 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。經估算枝幹約 38 支, 每支支幹上葉片約 66 片, 共計約 2,508 片, 其中大型葉片佔 27%、中型葉片佔 58%、小型葉片佔 15%, 故推估全株葉面積為 14.89 m² (表 4)

3. 單位面積碳收穫量及全株二氧化碳固定量的估算

以 12 個測定日所得之平均值, 淨光合作用速率平均值為 2.61 µmol m⁻² s⁻¹, 日淨光合作用速率平均值為 75.05 µmol m⁻² s⁻¹, 換算為單位面積全株二氧化碳吸收量年平均值為 1.21 kg CO₂ m⁻² Year⁻¹, 全年以 2002 年 5 月 19 日平均淨光合作用速率與單位面積碳收穫量最高, 2003 年 1 月 4 日最低 (表 5)。由水黃皮葉片調查結果: 大葉葉數佔 27%, 葉面積 5.44 m²; 中葉葉數佔 58%, 葉面積 8.60 m²; 小葉葉數佔 15%, 葉面積 0.85 m²。以其對 CO₂ 固定量估算全株一年可固定 18.02kg 之 CO₂ (表 6)

IV、結論

本次試驗中水黃皮樹冠上、下冠層各生理、環境因子中, 以淨光合作用速率、光度、二氧化碳濃度有極顯著差異; 黑板樹樹冠上、下冠層各生理、環境因子中, 以淨光合作用速率、光度有極顯著差異, 而淨光合作用速率的差異主要來自環境因子的變異。

依季節比較淨光合作用與葉溫的關係, 明顯發現夏季氣溫高, 淨光合作用速率高; 冬季氣溫低, 淨光合作用速率低, 故冬季低溫是影響淨光合作用的主因, 並表示夏季高溫為影響淨光合作用之主因。

以不同冠層位置而言, 上冠層與下冠層因環境因子 (葉溫、光度) 的不同有所不同, 經試驗得知下冠層受上冠層枝葉遮阻, 故受光率降低, 由此可知遮蔭葉的淨光合作用與光量關係密切。

表 2 水黃皮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， $\alpha = 0.05$) 小數點後 4 位 (四捨五入)

Table 2 The differences between various canopy of *Pongamia pinnata* in terms of net photosynthetic rate, photo-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 (μLL^{-1})

表 3 水黃皮大、中、小型葉平均葉面積

Table 3 The average area of large-, medium- and small-sized leaf of *Pongamia pinnata*

葉 型	葉面積 (cm ²)		
	最小值	平均值	最大值
大型葉	77.49	80.40	83.31
中型葉	52.64	59.13	65.62
小型葉	21.26	22.72	24.28

表 4 水黃皮全株葉面積估算

Table 4 The estimated leaf area of the whole tree of *Pongamia pinnata*

葉 型	佔全株葉面積比率	葉面積 (cm ²)
大型葉	27%	5.44
中型葉	58%	8.60
小型葉	15%	0.85
合 計	100%	14.89

表 5 水黃皮平均淨光合速率、一日淨光合總量、單位面積二氧化碳吸收量及單位面積碳固定量

Table 5 The average net photosynthetic rate, the total amount of net daily photosynthetic, the amount of CO₂ absorption and the amount of carbon fixation of *Pongamia pinnata*

日 期	淨光合速率 μmol m ⁻² s ⁻¹	日淨光合速率 mmol m ⁻² day ⁻¹	單位面積二氧化碳吸收量 kgCO ₂ m ⁻² Year ⁻¹	單位面積碳固定量 kgC m ⁻² Year ⁻¹	排序	
2002年 4月27日	2.73	78.62	1.26	0.34	最高	
5月19日	3.88	111.74	1.79	0.49		
6月22日	2.31	66.53	1.07	0.29		
7月14日	2.98	85.82	1.38	0.38		
8月18日	2.67	76.90	1.23	0.34		
9月01日	2.46	70.85	1.14	0.31		
10月20日	3.54	101.95	1.64	0.45		
11月17日	3.07	88.42	1.42	0.39		
12月01日	1.83	52.70	0.85	0.23		
2003年 1月04日	1.57	45.22	0.73	0.20		最低
2月08日	1.94	55.87	0.90	0.24		
3月15日	2.29	65.95	1.06	0.29		
平 均	2.61	75.05	1.21	0.33		

註：1 μmol m⁻²s⁻¹ = 8*60*60/1000 mmol m⁻²day⁻¹；1 mmol m⁻²day⁻¹ = 44*365/1000/1000 kgCO₂ m⁻²Year⁻¹；1 kgCO₂ m⁻²Year⁻¹ = 12/44 kgC m⁻²Year⁻¹

表 6 水黃皮全株一年二氧化碳固定量之估算

Table 6 The estimated annual amount of CO₂ fixation of the whole tree of *Pongamia pinnata*

葉 型	佔全株葉數比率 (%)	葉面積 (m ²)	二氧化碳固定量 (kgCO ₂ Year ⁻¹)
大型葉	27%	5.44	6.58
中型葉	58%	8.60	10.41
小型葉	15%	0.85	1.03
合 計	100%	14.89	18.02

註：CO₂ 換算：1 μmol CO₂m⁻²s⁻¹ = 0.044mg CO₂m⁻²s⁻¹

本試驗調查之水黃皮行道樹推估一年可固定 18.02 kg 之二氧化碳,較造林木 26 年生之樟樹,全株一年可固定 234 kg 之二氧化碳值低出甚多,即可能與行道樹位於都市中,其土壤水分及有效性養分皆不如造林地之故。

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。
- 王松永 (2001) 木質材料對二氧化碳固存的環境效應。台灣林業研究專訊。38: 1 頁。
- 林信輝、劉坤樹 (1997) 福山試驗林十種闊葉樹種之光合成率、蒸散率及葉片導度與氣象因子之關係。中華林學季刊 30(3): 269-278。
- 林俊成、李國忠、林裕仁 (1999) 柳杉人工林碳儲存效果與適應成本研究。台大實驗林研究報告 13(1): 51-60。
- 易希道 (1983) 植物生理學國編譯館。220-270 頁。
- 柯勇 (2000) 植物生理學。藝軒出版社。209-309 頁。
- 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。
- 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。
- 劉業經、呂福原、歐辰雄 (1994) 台灣樹木誌。國立中興大學農學院出版委員會。108 頁。
- 廖述惠、王亞男 (2002) 樟樹與台灣櫟於林下栽植二氧化碳固定效益之研究。中華林學季刊 35(4): 361-373。
- 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 Physical* 16: 779-85.
- 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: 347-60

