

# 孟宗竹在不同冠層二氧化碳固定效益之研究

杜大治<sup>1</sup>、王亞男<sup>2</sup>、蕭英倫<sup>3</sup>

【摘要】以台灣大學實驗林管理處溪頭營林區（北緯 23°40'，東經 120°53'）栽植的孟宗竹（*Phyllostachys pubescens*）為試驗材料，自 2001 年 5 月至 2002 年 4 月每月分別測定上層葉及下層葉淨光合作用速率、蒸散速率、及氣孔導度三項生理因子以及光合作用有效輻射、葉溫、相對濕度及二氧化碳濃度等環境因子的日變化，藉以探討孟宗竹對二氧化碳的固定量及其影響因子。於 12 個測定日測得孟宗竹之日平均淨光合作用速率在上層葉為  $4.55 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，蒸散速率為  $0.39 \text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，氣孔導度為  $32.24 \text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ；下層葉則分別為  $2.23 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ， $0.04 \text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ， $0.96 \text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。累計 8 小時孟宗竹上層葉平均每  $\text{m}^2$  葉面積可固定  $6.49 \text{g CO}_2$ ，下層葉為  $3.19 \text{g CO}_2$ 。整株每日可固定  $\text{CO}_2$  278.69g，全年可固定  $\text{CO}_2$  102kg。

【關鍵詞】孟宗竹、淨光合作用速率、蒸散速率、氣孔導度。

## Efficiency of Carbon Dioxide Fixation by *Phyllostachys pubescens*

Ta-Chih Tu<sup>1</sup>, Ya-Nan Wang<sup>2</sup> and Eng-Lun Shiau<sup>3</sup>

【Abstract】 *Phyllostachys pubescens* growing in the Experimental Forest Station, College of Bio-resources and Agricultures, National Taiwan University (N 23°40', E 120°53') was selected for this study. The efficiency of carbon dioxide fixation was analyzed using the monthly measurements of net photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance and other environmental factors in the study site. The mean values of net photosynthetic rate, transpiration rate and stomatal conductance in the leaves of the upper crown were  $4.55 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ,  $0.39$  and  $32.24 \text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , respectively, and those in the leaves of the lower crown were  $2.23 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ,  $0.04$  and  $0.96 \text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  respectively. The mean carbon dioxide fixation rates for the leaves of upper- and lower-crown were  $6.49$  and  $3.19 \text{g m}^{-2}\text{d}^{-1}$ , respectively. The fixation rate for a whole bamboo plant is near 278.69g per day and 102 kg per year.

【key words】 *Phyllostachys pubescens*, net photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance.

- 
1. 國立台灣大學森林系研究助理。  
Assistant Researcher, Department of Forestry, National Taiwan University.
  2. 國立台灣大學森林系教授，通訊作者。  
Professor, Department of Forestry, National Taiwan University. Corresponding Author.
  3. 行政院農委會林務局輔導科科長。  
Division Chief, Forest Guidance, Taiwan Forestry Bureau, Council of Agriculture.

## 一、前言

森林樹冠層 (Canopy) 是一個森林生態系統中最先接觸到太陽光的地方，也是將太陽輻射能量轉變成生質能及藉由光合作用固定二氧化碳之重要角色。但在亞熱帶森林中的竹類，人們對其冠層的光合作用、蒸散作用及氣孔傳導率的日變化與季節變化所知甚少，對這些生理活動受環境因子的影響及其反應也少有研究，這主要是因為很難有適當的方式使研究人員到達冠層進行研究。Mauna Loa observatory 指出，大氣中的二氧化碳濃度由 1958 年的 315ppm 至 1988 年已升至 350ppm，預測在 2050 年時，將達到 600ppm。而抑制二氧化碳排放的主要策略，就是設法減少大氣中的二氧化碳，亦即利用森林，吸取大氣中過多的二氧化碳。在陸地生態系中，森林對二氧化碳吸收與固定最具重要性，因為森林可進行光合作用吸收二氧化碳，並將二氧化碳轉化為有機碳貯存於木材之內。國內已有林信輝及劉坤樹 (1997)、黃文俊 (1999)、王亞男 (2000) 及郭耀綸 (2000) 等人針對本省幾種闊葉樹及針葉樹柳杉進行葉片光合作用及氣孔導度的直接測定，並對各種林木之二氧化碳固定速率進行詳細的估算。

以往有關溫帶竹類之研究以我國及日本為主，但偏重於形態、分類、分布、收穫及利用等之探討，目前仍未有關於二氧化碳固定量的研究。孟宗竹為我國之特產，生長迅速，年年發筍，故其對二氧化碳之固定效益頗值得探討。

本研究即針對台灣中部溪頭地區栽植的孟宗竹進行光合作用及其相關的測定，以瞭解孟宗竹在不同冠層的光合作用情形，並推估其二氧化碳固定量，以供評估台灣竹類對二氧化碳固定效益之參考。

## 二、材料與方法

### (一) 試驗地概況

試驗地區位於南投縣鹿谷鄉國立台灣大學生農學院實驗林溪頭營林區 (北緯 23°40'，東經 120°53')，

該營林區之海拔介於 500-2025 公尺間。試驗地為西北坡向，年雨量 2,057 公厘，年平均氣溫 17°C，土壤分類屬於極育土綱 (Ultisols) (張，1987)。選擇竹籬上方柳杉和孟宗竹相間生長之孟宗竹林為樣區。

### (二) 試驗樣木及試驗設施

選取生長於柳杉林內之一年生的孟宗竹為樣木，即以孟宗竹當年初生時接近地面竹桿上附生的竹籜來決定，如果竹籜尚未脫落則定義為一年生。為了測定孟宗竹不同竹冠層高度葉片的生理活動及光合作用，於孟宗竹四周搭建高約 10 公尺的竹製鷹架，並於竹架 6 公尺及 8 公尺高處分別搭設工作用木板平台，可到達孟宗竹竹冠上層 (冠層上方 1 公尺) 及下層 (冠層 1 公尺以下)，分別測定該處葉片生理活動。

### (三) 光合作用測定

儀器採用美國 CID 公司之 CI-310 攜帶式光合作用儀，試驗自 2001 年五月至 2002 年四月共一年期間，每月選定一天測量孟宗竹，分別為 2001 年 5 月 28 日，6 月 11 日，7 月 12 日，8 月 26 日，9 月 25 日，10 月 21 日，11 月 25 日，12 月 30 日，2002 年 1 月 28 日，2 月 4 日，3 月 29 日，4 月 14 日，一共 12 日。

因試驗樣木為 1 年生之孟宗竹，孟宗竹之冠層長度約為 2.0m，樹冠寬幅約為 1.5m，故將孟宗竹各分為上層葉 (冠頂至 1 公尺處) 及下層葉 (即冠頂 1 公尺以下) (樹冠長 1/2) 進行測定。上下二層各隨機選取三片葉片 (因為 1 年生孟宗竹，多數葉片較小，而試驗所使用的最小葉箱面積為 6.25cm<sup>2</sup>，故所選取的葉片以葉箱可以夾滿為原則)，每葉片測定三次，每個小時輪流一回，先測定上層葉，再測定下層葉。每個月選擇晴天 1 天，分別由上午 8 時至下午 4 時測定 8 小時。

### (四) 葉面積測定

儀器使用 Laser Area Meter CI-203 葉面積測定儀，將葉片直接放入儀器內即可讀出面積值 (mm<sup>2</sup>)。

收集落葉將其分為大、中、小型葉三群，再各取 100 片葉片以儀器直接測量葉面積，讀值記錄後取平均值，然後以人工計算估測著生枝條數及每枝條約有多少的大、中、小型葉片，推估整株樹的葉面積。

#### (五) 統計分析

以微軟公司 Excel 2000 版軟體之皮耳森相關係數 (Pearson product-moment correlation coefficient) 來檢定不同位置葉片的淨光合作用速率與環境因子之相關性並計算 R-square；另使用 SAS 8.0 版軟體進行變異數分析 (Analysis of variance) 以檢定不同季節變化的差異。

有關 CO<sub>2</sub> 換算為： $1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1} = 0.044 \text{ mgCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。

### 三、結果與討論

#### (一) 淨光合作用速率與蒸散速率、氣孔導度之測量結果

孟宗竹竹冠上層葉在 12 個測定日其平均值結果如表 1，淨光合作用速率為  $4.55 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，蒸散速率為  $0.39 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，氣孔導度為  $32.24 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。

淨光合作用速率平均值  $4.55 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  比王亞男 (2000) 在宜蘭縣棲蘭山地區樟樹陽葉 ( $5.08 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) 及南投縣和社地區樟樹陰葉 ( $4.83 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) 為低。

蒸散速率平均值  $0.39 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  比黃文俊 (1999) 在宜蘭縣福山常綠闊葉樹 ( $0.5-0.8 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) 為低，但與王亞男 (2000) 研究之台大校園樟樹陰葉測值較為接近。

將上層葉淨光合作用速率、蒸散速率與氣孔導度以皮耳森相關係數檢定後，12 個測定日平均相關係數為 0.40 及 0.42 (表 2)，並未出現顯著相關性。比郭耀綸 (2000) 的白榕光合作用速率與氣孔導度 R<sup>2</sup> 值 0.91 低，可能為栽植地區一般接受的光度不同所致。

#### (二) 光合作用速率與光合作用有效輻射、葉溫、相

對濕度、CO<sub>2</sub> 濃度之關係

孟宗竹上層葉的光合作用有效輻射平均值為  $336 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，葉溫平均值  $20.1^\circ\text{C}$ ，相對溼度平均值為 91.4%，CO<sub>2</sub> 濃度平均值為 307ppm (表 3)。

比較孟宗竹 12 個測定日竹冠上層葉淨光合作用速率與當日其他參數之變化，發現平均的光合作用速率多隨著 PAR 改變。PAR 約在上午 10 時開始上升 (夏季時上升時間提前且上升幅度較快)，至下午 2 時下降，而淨光合作用速率也有相同的趨勢。兩者以皮耳森相關係數檢定，其相關係數在 0.75-0.93 間，平均值為 0.87，顯示有顯著的相關性。

上層葉其他參數中與淨光合作用速率相關係數較高的另一個因子是 CO<sub>2</sub> 濃度，其相關係數除了 5 月 28 日為 0.52 外，其餘的測定日皆在 0.66 以上，最高的為 10 月 21 日的 0.88。葉溫的變化與淨光合作用速率之相關係數為 0.40-0.78，平均值 0.63，亦有一定程度之相關性。而光合作用速率與相對濕度之相關係數則為負相關 (-0.29)。

竹冠下層葉的淨光合作用速率平均值  $2.23 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，蒸散速率平均值  $0.04 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，氣孔導度平均值  $0.96 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  (表 1)。

淨光合作用速率平均值  $2.23 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  與黃文俊 (1999) 在宜蘭的長葉木薑子 ( $2.91 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )、王亞男 (2000) 在台大樟樹陰葉 ( $3.03 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) 及郭耀綸 (2000) 在南仁山白榕樹冠中層葉 ( $2.09 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) 之測值相近。

蒸散速率平均值  $0.04 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  與黃文俊 (1999) 在宜蘭縣福山地區常綠闊葉樹 ( $0.5-0.8 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) 相較為低、氣孔導度平均值  $0.96 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，比洪儷文 (2001) 在和平測得樟樹之氣孔導度 ( $0.004 \sim 0.177 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) 為高。

孟宗竹下層葉的光合作用有效輻射平均值  $135 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，葉溫平均值  $15.64^\circ\text{C}$ ，相對溼度平均值 94.2%，CO<sub>2</sub> 濃度平均值 351ppm (表 3)。

孟宗竹竹冠下層葉因有竹冠上層葉的遮阻，故下層葉所接受到的 PAR 低至  $52-204 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  的範

圍，日平均受光量為竹冠上層葉的 38%，一日平均淨光合作用速率只有  $2.23 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，為上層葉淨光合作用率的 49%。

下層葉白天的淨光合作用速率與 PAR 及 CO<sub>2</sub> 濃度的關係較密切，12 個測日平均之相關係數分別為 0.82 及 0.69，而葉溫者則為 0.60。

表 1 2001-2002 年 12 個月淨光合作用速率、蒸散速率和氣孔導度的平均測值\*

Table 1 The mean value of net photosynthetic rate, transpiration rate, and stomatal conductance measured in 2001-2002.

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
UNP	2.61± 1.98	2.05± 1.62	2.30± 2.22	3.07± 2.96	4.96± 3.02	9.39± 8.92	10.13± 5.09	11.58± 4.59	5.52± 4.66	1.68± 1.78	1.14± 1.09	0.23± 0.18	4.55
LNP	0.95± 1.01	0.66± 0.74	0.82± 0.93	1.06± 0.95	1.97± 1.26	3.74± 3.50	5.17± 3.28	7.48± 3.34	3.83± 4.27	0.66± 0.65	0.41± 0.37	0.01± 0.01	2.23
UTR	0.11± 0.04	0.25± 0.03	0.30± 0.08	0.40± 0.16	0.19± 0.06	0.21± 0.08	0.69± 0.42	1.25± 1.07	0.93± 0.76	0.13± 0.04	0.16± 0.06	0.10± 0.04	0.39
LTR	0.03± 0.02	0.09± 0.01	0.01± 0.01	0.11± 0.06	0.02± 0.02	0.04± 0.01	0.03± 0.01	0.04± 0.02	0.07± 0.04	0.03± 0.02	0.02± 0.01	0.01± 0.01	0.04
USCR	21.00± 4.36	21.49± 2.16	34.70± 6.22	34.35± 4.17	35.30± 7.61	37.08± 6.95	38.91± 5.83	48.15± 3.88	38.90± 6.72	33.95± 4.11	32.13± 6.11	10.90± 2.42	32.24
LSCR	1.08± 0.08	0.90± 0.41	1.24± 1.16	0.90± 0.07	1.00± 0.40	0.83± 0.35	0.75± 0.42	0.79± 0.34	0.92± 0.04	1.03± 0.67	1.00± 0.31	1.06± 0.37	0.96

註：\*Data are expressed as mean ± SD.

UNP：上層葉淨光合作用速率 ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )，LNP：下層葉淨光合作用速率 ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )，UTR：上層葉蒸散速率 ( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )，LTR：下層葉蒸散速率 ( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )，USCR：上層葉氣孔導度 ( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )，LSCR：下層葉氣孔導度 ( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )。

表 2 2001 至 2002 年 12 個月淨光合作用速率與蒸散速率、氣孔導度、光合作用有效輻射、葉溫、相對濕度及 CO<sub>2</sub> 濃度的皮耳森相關係數

Table 2 Pearson's correlation coefficient between net photosynthetic rate and transpiration rate, PAR, leaf temperature, relative humidity and CO<sub>2</sub> concentration measured in 2001-2002.

R <sup>2</sup>	net photosynthetic rate												
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
UTR	0.33	0.28	0.16	0.44	0.46	0.58	0.31	0.59	0.17	0.18	0.64	0.52	0.40
LTR	0.51	0.13	0.62	0.03	-0.39	0.25	0.34	0.64	0.63	-0.08	-0.15	0.01	0.21
USCR	-0.01	0.03	0.49	0.73	0.50	0.40	0.31	0.63	0.71	0.36	0.47	0.36	0.42
LSCR	0.38	-0.16	-0.01	0.49	-0.15	0.95	0.88	0.69	0.73	0.10	0.29	-0.11	0.34
UPAR	0.87	0.85	0.84	0.79	0.75	0.85	0.93	0.92	0.91	0.93	0.90	0.92	0.87
LPAR	0.78	0.80	0.72	0.91	0.92	0.90	0.79	0.83	0.88	0.59	0.93	0.83	0.82
ULT	0.48	0.49	0.65	0.70	0.78	0.59	0.63	0.62	0.77	0.40	0.78	0.68	0.63
LLT	0.69	0.60	0.41	0.60	0.47	0.75	0.85	0.75	0.66	0.24	0.59	0.54	0.60
URH	-0.09	-0.14	-0.25	0.03	-0.45	-0.32	-0.59	-0.21	-0.46	-0.34	-0.26	-0.39	-0.29
LRH	-0.33	0.16	0.04	-0.07	0.18	-0.12	-0.37	-0.29	-0.28	0.01	-0.02	0.18	-0.08
UCO <sub>2</sub>	0.82	0.66	0.85	0.83	0.52	0.77	0.70	0.80	0.81	0.88	0.83	0.87	0.78
LCO <sub>2</sub>	0.59	0.60	0.70	0.69	0.81	0.69	0.60	0.72	0.77	0.52	0.76	0.88	0.69

註：UTR：上層葉蒸散速率 ( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )，LTR：下層葉蒸散速率 ( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )，USCR：上層葉氣孔導度 ( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )，LSCR：下層葉氣孔導度 ( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )，UPAR：上層葉光合作用有效輻射 ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )，LPAR：下層葉光合作用有效輻射 ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )，ULT：上層葉溫 (°C)，LLT：下層葉溫 (°C)，URH：上層葉相對濕度 (%)，LRH：下層葉相對濕度 (%)，UCO<sub>2</sub>：上層葉 CO<sub>2</sub> 濃度 (ppm)，LCO<sub>2</sub>：下層葉 CO<sub>2</sub> 濃度 (ppm)。

表 3 2001-2002 年 12 個月光合作用有效輻射 (Photosynthesis Active Radiation, PAR)、葉溫、相對濕度、CO<sub>2</sub> 濃度平均測值\*

Table 3 The mean value of Photosynthesis Active Radiation (PAR), leaf temperature, relative humidity and CO<sub>2</sub> concentration measured in 2001-2002.

R <sup>2</sup>	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	平均
UPAR	138± 82.00	312± 184	382± 151	391± 129	406± 164	478± 179	479± 180	616± 164	349± 189	185± 117	154± 97	143± 90	336
LPAR	52± 29.00	112± 69	145± 80	149± 82	158± 78	168± 93	169± 100	204± 113	150± 93	150± 93	107± 63	59± 35	135
ULT	10.90± 0.38	10.37± 0.34	29.93± 0.81	21.87± 0.88	24.95± 0.97	24.83± 0.99	23.22± 0.91	25.85± 1.00	21.46± 0.84	20.38± 1.21	13.89± 0.54	13.67± 0.53	20.1
LLT	4.67± 0.14	4.45± 0.10	15.48± 0.35	16.50± 0.38	18.45± 0.42	22.91± 0.52	22.30± 0.65	21.58± 0.49	19.02± 0.43	19.13± 0.44	13.35± 0.31	12.88± 0.30	15.6
URH	91.84± 1.21	89.55± 0.73	92.99± 1.00	95.82± 0.90	88.55± 1.30	93.18± 1.54	96.85± 1.42	90.58± 1.12	93.75± 0.82	87.87± 0.77	88.18± 1.02	87.35± 0.68	91.4
LRH	97.53± 3.46	94.03± 2.79	95.37± 3.04	96.95± 3.23	89.72± 3.61	96.95± 2.96	97.51± 3.14	92.68± 3.57	95.50± 3.42	91.23± 3.14	91.38± 2.92	91.91± 2.83	94.2
UCO <sub>2</sub>	302± 11	302± 11	301± 12	304± 11	307± 12	328± 12	302± 11	325± 15	311± 12	302± 11	302± 11	300± 11	307
LCO <sub>2</sub>	295± 8	296± 8	301± 8	295± 8	296± 8	317± 9	296± 8	322± 9	303± 9	304± 7	295± 8	296± 8	351

註：\*Data are expressed as mean ± SD

UPAR：上層葉光合作用有效輻射 ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )，LPAR：下層葉光合作用有效輻射 ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )，ULT：上層葉溫 ( $^{\circ}\text{C}$ )，LLT：下層葉溫 ( $^{\circ}\text{C}$ )，URH：上層葉相對濕度 (%)，LRH：下層葉相對濕度 (%)，UCO<sub>2</sub>：上層葉 CO<sub>2</sub> 濃度 (ppm)，LCO<sub>2</sub>：下層葉 CO<sub>2</sub> 濃度 (ppm)。

在 12 個測定日中，孟宗竹的光合作用並未發現中午有抑制現象，可能是測定日的 PAR 均未超過而使光合作用受到抑制，另亦有可能是葉溫較低所致；根據郭耀綸 (2000) 研究指出，當光量高於  $1600 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  時，在溫度較低的測定日，白榕的光合作用速率在強光下仍能保持不降，但在溫度高的測定日，光合作用速率在光度高於  $1600 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  時即明顯下降，而光合作用速率在強光維持不降時的測定日，其日平均葉溫多不超過  $26^{\circ}\text{C}$ 。

本試驗的 12 個測定日中，葉溫平均值高於  $26^{\circ}\text{C}$  的有 2001 年 3 月 29 日  $29.9^{\circ}\text{C}$ 、另 8 月 26 日為  $25.8^{\circ}\text{C}$ 。此二天中僅於 8 月 26 日下午 1 時，光量 (PAR) 升高至  $632 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  時，淨光合作用速率由原來的  $17.8 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  降至  $17.0 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，而當時的葉溫為  $27.9^{\circ}\text{C}$ ，其他測日當光量最大時，葉溫皆低於  $26^{\circ}\text{C}$ ，並未出現光合作用中午受抑制的現象。

綜合孟宗竹竹冠上層葉與下層葉的 12 個測定日

之變化資料，以淨光合作用速率與環境因子 CO<sub>2</sub> 濃度及光合作用有效輻射 (PAR) 作分析，當 CO<sub>2</sub> 濃度增加時，淨光合作用速率也隨之增加 (圖 1、2)。當光合作用有效輻射 (PAR) 增加時，淨光合作用速率也有隨之增加的趨勢 (圖 3、4)。分析 12 個測定日出現最大淨光合作用速率的時段，多在下午 1 時 (除 8 月 24 日為中午 12 時以外)，且其中有 10 個測定日光合作用有效輻射之最大值也在同時段出現，此結果反應出一天中出現最大淨光合作用速率的時段不受季節變化的影響，且光的強度影響光合作用的效率。

### (三) 一日的平均光合作用速率與 CO<sub>2</sub> 固定量

孟宗竹竹冠上層葉各測定日的平均光合作用速率介於  $0.23\text{--}11.58 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  之間，日總平均為  $4.55 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。累計白天 8 個小時的碳收穫量，12 個測定日的平均值為  $148 \text{mmol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ，換算成重量則為  $6.49\text{g m}^{-2}\text{d}^{-1}$ 。下層葉平均光合作用速率介於

0.01~7.48  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  間，日總平均為 2.23  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，累計白天 8 小時的碳收穫量 12 個測定日的平均值為 72mmol  $\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$  換算成重量為 3.19  $\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ (表 4)

以 12-2 月冬季，3-5 月春季，6-8 月夏季，9-11 秋季，將此 4 個季節的一日碳收穫量進行變異數分析，結果除了春季與秋季無顯著差異外，其他季節皆呈現顯著差異，其中以夏季之一日碳收穫量最大，冬季最少。

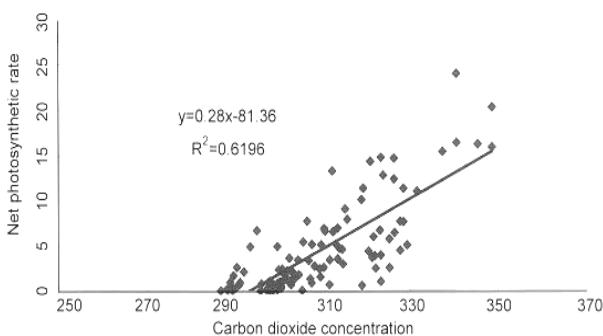


圖 1. 孟宗竹竹冠上層葉淨光合作用速率與 CO<sub>2</sub> 濃度變化之相關圖

Fig1. Relation between net photosynthetic rates and CO<sub>2</sub> concentrations on the upper leaves of bamboo canopy.

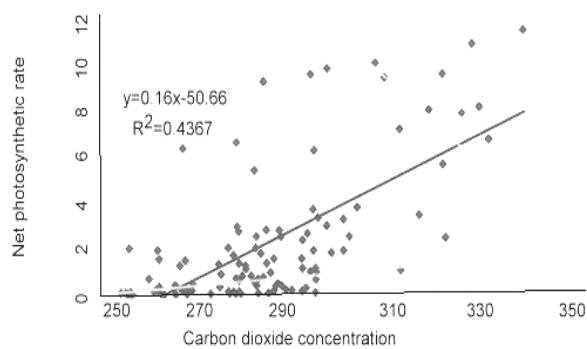


圖 2. 孟宗竹竹冠下層葉淨光合作用速率與 CO<sub>2</sub> 濃度變化之相關圖

Fig2. Relation between net photosynthetic rates and CO<sub>2</sub> concentrations on the lower leaves of bamboo canopy.

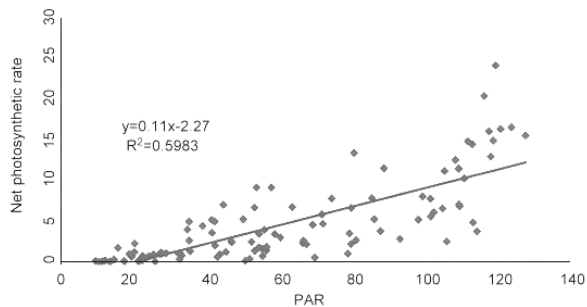


圖 3. 孟宗竹竹冠上層葉淨光合作用速率與光合作用有效輻射變化之相關圖

Fig3. Relation between net photosynthetic rates and PAR on the upper leaves of bamboo canopy.

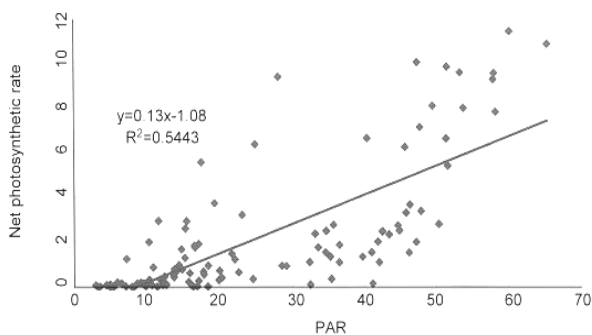


圖 4. 孟宗竹竹冠下層葉淨光合作用速率與光合作用有效輻射變化之相關圖

Fig4. Relation between net photosynthetic rates and PAR on the lower leaves of bamboo canopy.

(四) 以葉面積推算全株 CO<sub>2</sub> 固定量

1. 全株葉面積

測得孟宗竹大型葉片平均葉面積為 30.02cm<sup>2</sup>，中型葉片平均葉面積為 12.77 cm<sup>2</sup>，小型葉片平均葉面積為 5.79 cm<sup>2</sup>。計算總枝條樹為 170 條，平均每一枝條之葉片數量約為 234 片，大型葉片佔 20%，中型葉片佔 55%，小型葉片則佔 25%，推算全株葉面積約為 57.58m<sup>2</sup>。

表 4 孟宗竹 12 個測定日竹冠上下層葉 CO<sub>2</sub> 固定量

Table 4 The carbon dioxide fixation rates on the upper and lower leaves of bamboo canopy.

	淨光合作用率日平均值		CO <sub>2</sub> 固定量			
	$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$		$\text{mmol m}^{-2}\text{d}^{-1}$		$\text{g m}^{-2}\text{d}^{-1}$	
	上層葉	下層葉	上層葉	下層葉	上層葉	下層葉
91 年 1 月 28 日	2.61	0.95	85	31	3.72	1.36
91 年 2 月 4 日	2.05	0.66	67	22	2.93	0.94
91 年 3 月 29 日	2.30	0.82	75	26	3.28	1.17
91 年 4 月 14 日	3.07	1.06	99	34	4.37	1.51
90 年 5 月 28 日	4.96	1.97	161	64	6.36	2.80
90 年 6 月 11 日	9.39	3.74	304	121	4.38	5.33
90 年 7 月 12 日	10.13	5.17	329	167	14.45	7.36
90 年 8 月 26 日	11.58	7.48	375	242	16.52	10.67
90 年 9 月 25 日	5.52	3.83	179	124	7.87	5.46
90 年 10 月 21 日	1.68	0.66	55	22	2.40	0.94
90 年 11 月 25 日	1.14	0.41	37	14	1.63	0.59
90 年 12 月 30 日	0.23	0.01	7	0	0.33	0.01
平均	4.55	2.23	148	72	6.49	3.19

## 2. 全株 CO<sub>2</sub> 固定量

累計一天 8 小時單位葉面積平均 CO<sub>2</sub> 固定量約為 4.84 g m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>，整株一日 8 小時之 CO<sub>2</sub> 固定量為 278.69 g。一年可固定 CO<sub>2</sub>102kg。

## 四、結論

以本實驗推估，1 年生的孟宗竹，每株一年約可固定 102 kg 的二氧化碳，比洪儷文測得樟樹一年可固定 234kg 二氧化碳值小，但竹子之更新速率較快，故仍具相當潛力。下層葉日平均受光量為竹冠上層葉的 38%，一日平均光合作用率為上層葉淨光合作用率的 49%。但是由於上層葉與下層葉的淨光合作用速率呈顯著差異，就全株生產力而言，上層葉仍然較下層葉多貢獻了 34%，而淨光合作用速率的差異主要來自環境因子的變異，其中最主要的因子為光度與葉溫。以不同冠層位置而言，上層竹冠與下層竹冠間在環境因子（光度、葉溫）及生理因子（淨光合作用速率、蒸散作用速率、氣孔導度）的比較上並無顯著差異；而在上層葉與下層葉間，幾乎所有測定日的葉溫、光度、淨光合作用速率及蒸散作

用速率皆呈顯著差異。

## 五、致謝

本研究承蒙行政院農委會「氣候變遷對林業適應策略在育林之研究」（90 農科-1.4.3-林-R1-4）計畫之經費補助，台灣大學實驗林管理處前溪頭營林區陳主任栢蒼及張承志先生之協助，台大森林系碩士班江凱楹及廖述惠協助野外調查，特此致謝。

## 六、參考文獻

1. 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 41pp。
2. 洪儷文 2001 樟樹不同冠層位置之光合作用淨生產力 國立台灣大學農學院森林學研究所碩士論文。
3. 張仲民 1987 普通土壤學 國立編譯館出版 茂昌圖書公司印行 p106-108。
4. 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 國立台灣大學森林研

- 究所碩士論文 49pp。
5. 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。
  6. Baure,H., W. Larcher and R.B. Walker 1975 Photosynthesis and productivity in different environments. Cambridge University Press, pp557-589。
  7. Brown,S., A.E. Lugo, and J. Chaman 1986 Biomass of tropical tree plantations and its implications for the global carbon budget. Can. J. For. Res.16 : 390—394。
  8. Constabel,A.J. 1996 Seasonal patterns of light transmission through boreal mixedwood canopies. Can. J. For. Res.26 : 1008—1014。
  9. Drake,B.G., M.A.Gonzalez-Meler and S.P. Long 1997 More efficient plant : A consequence of rising atmospheric CO<sub>2</sub>. Ann .Rev.Plant Physiol. Plant Mol.Biol. 48 : 609—639。
  10. Farquhar,G.D. and T.D. Sharkey 1982 Stomatal conductance and photosynthesis. Ann. Rev. Plant Physiol. 33 : 317—345。
  11. Grodzinski,B., J. Jiao and E.D. Leonardos 1998 Estimating photosynthesis and concurrent export rate in C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> species at ambient and elevated CO<sub>2</sub>. Plant Physiol. 117 : 207—215。
  12. Kozlowski,T.T., P.J. Kramer and S.G. Pallardy 1991 The physiological ecology of woody plants.: Academic Press New York. pp376-400。
  13. Kramer,P.J. 1981 Carbon dioxide concentration, photosynthesis and dry matter production. Bio-Science 31:29-33。
  14. Sakisbury,F.B. and C.W. Ross 1992 Plant physiology. 4th edition. The Wadsworth Publishing Company, Inc. pp. 207-244。
  15. Sedjo,R.A. 1989 Forest to offset the greenhouse effect. Journal of Forestry 87 ( 7 ) :12-15。
  16. Sionit,N., B.R. Strain, H. Hellmers, G.H. Riechers and C.H. Jaeger 1985 Long-term atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment affects the growth and development of Liquidambar styraciflua and Pinus taeda seedlings. Can. J. For. Res. 15 : 468-471。
  17. Tolbert,N.E. and J. Preiss 1994 Regulation of atmospheric CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> by photosynthetic carbon metabolism : Oxford University Press New York pp8-33。
  18. Williams,T.G. and L.B. Flanagan 1998 Measuring and modelling environmental influences on photosynthetic gas exchange in *Sphagnum* and *Pleurozium*. Plant Cell and Environment 21: 555-564。
  19. Whitehead,D., J.R. Leathwick and A.S. Walcroft 2001 Modelling annual carbon uptake for the indigenous forest of New Zealand. Forest Science 47(1) : 9-19。