

光度及溫度變化對四種樟科植物之光合成氣體 交換之影響

劉坤樹⁽¹⁾ 林信輝⁽²⁾

摘要

本研究配合福山森林生態系闊葉樹種光合成與蒸散作用之試驗研究，採取台灣雅楠、大葉楠、香楠及紅楠等四種樟科植物為植物材料，於同化箱內進行光合成氣體交換特性對不同光度及溫度之反應性試驗。試驗結果，盆栽植物之葉片光合作用與葉片導度，均於 10 時至 16 時之間呈穩定狀態，淨光合成率、蒸散率及用水效率均隨光度增高而增大，其中香楠具較高之光補償點與較大之暗呼吸率，臺灣雅楠、大葉楠及香楠之光合成最適溫度為 30°C，紅楠之光合成最適溫度為 35°C 左右，四種供試植物最大蒸散率出現於 35°C，略高於光合成最適溫度，其中香楠對高溫(40°C)之忍受力較其它樹種低。四種植物之用水效率均隨溫度之增加而降低。

由於植物栽植之方法以及測試時間、環境條件等均會影響葉片之生理狀態，本研究以盆栽植物為材料，其試驗所得之絕對值應異於野外或群落生長狀態，但種間之反應性差異應可作為參考。(關鍵詞：淨光合成率、用水效率、最適溫度)

Photosynthetic Gas Exchange Responses of Four Laurel Plants to Light Intensity and Leaf Temperature

Kun-Shu Liu

Research Assistant, Soil and Water Conservation Bureau,
Taiwan Provincial Government, Nantou, Taiwan 543

Shin-Hwei Lin

Professor, Department of Soil and Water Conservation,
National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan 402

(1)台灣省政府農林廳水土保持局研究助理

(2)國立中興大學水土保持學系教授

ABSTRACT

This study was to determine the photosynthetic gas exchange response of four dominant trees of Laurel family in the Fu-shan forest ecosystem. Leaf photosynthetic rate, leaf transpiration rate, C_i/C_a value, and water-use efficiency of potted seedlings were measured in an assimilation chamber under various controlled light intensity and leaf temperature. The results indicate that Incense Nanmu has the highest light compensation point and highest dark respiration rate. The optimum temperature for photosynthesis was 30°C for Taiwan Phoebe, Large-leaved Nanmu, and Incense Nanmu, while the temperature optimum for Red Nanmu was 35°C. Taiwan Phoebe was more tolerant of low temperatures, and Incense Nanmu was less tolerant of high temperature (40°C). The water-use efficiency of all 4 species decreased with increases in temperature.

The measured datum is influenced by the growing condition and measured time...etc. Therefore the results should be different to that measured in the field. However, they could be used for comparing relative reference of the responses of different species.

(Keyword: Photosynthetic rate, Leaf conductance, Leaf temperature, Light intensity .)

前言

近年來，由於人類活動範圍日漸擴大，對自然環境的衝擊日益嚴重，而環境的變遷對森林生態系的影響也越來越明顯，其中以海岸線上升、降雨改變及氣候的異常等影響最大。Chiang 等人 (1989) 指出台灣地區氣溫在夏季有增高的趨勢，而在冬季反而有下降之情形；雨量方面，在台灣西南部地區降水量有減少的趨勢，而東部及北部則有增加的趨勢。顯示臺灣之氣候一直在變遷中，使台灣地區水量分配不均，造成中南部連續多年缺水之現象。

台灣森林面積佔全島面積的 58%，為最重要的陸生生態系，而且台灣地形陡峭、高度變化大，由海岸至數千公尺

之高山植被變化很大，構成了不同的生態系，包括紅樹林、常綠闊葉林、針闊葉混交林、針葉林及高山草原生態系等。林地之土壤水分大部分是由森林植物蒸散，以及地面蒸發。被消耗之水分又靠降水來補充，因此森林的蒸發散作用是降低洪水的一大功能。

福山森林生態系具北臺灣典型亞熱帶重濕型氣候之植被特性，目前亦是國科會支助之全球變遷—長期森林生態系之主要地點，相關之水文、氣象及植被特性之研究已有甚多資料可資參考。有關其優勢樹種之光合成率、蒸散率等之實測資料甚少，本研究曾進行其闊葉樹種在野外生長情況下之光合成率與蒸散率之測定但主要環境因子之改變所造成之影響暫無法由野外之資料獲得，因此引發本研究試驗之構想。

材料及方法

1. 植物材料

福山森林生態系之植被特性，依林(1994)調查所得，在福山森林生態系內主要優勢樹種以大葉楠、臺灣雅楠、紅楠、五掌楠、牛樟、香楠、長葉木薑子、鋸葉長尾栲、三斗柯、烏來柯、短尾柯及赤皮桐最為常見，而樟科及殼斗科植物亦為臺灣亞熱帶及暖溫帶闊葉樹林的主要樹種。本研究植物材料選定之臺灣雅楠、大葉楠、香楠及紅楠等四種木本植物，均由福山森林集水區內採取苗木並移植於中興大學水保系三樓網室內栽培，三個月後供為試驗用植物材料。

2. 控制環境下試驗

本試驗於室內同化箱進行光度及溫度兩種處理試驗。光合作用之測定儀器採用美國 DDG 公司之 PAC9900 光合成控制系統，配合 LI-COR 公司之 LI-6252 之紅外線二氧化碳分析儀，並以人工光源提供穩定之光度，光源為東亞公司 M1000 型 1000W 之水銀燈，透過一流動式水槽以減低照光時燈泡所產生之高溫，其最大光度可達 $1900 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，光度測定採用 LI-COR 公司之 LI-185B 光度計。PAC9900 光合成控制系統屬開放式差值測定裝置，由個人電腦控制測定系統及資料計算，以一高濃度與低濃度 CO_2 氣體混合系統，經流量、溫度、濕度及 CO_2 濃度之控制感應，測定同化箱進出氣體之 CO_2 差值並經由個人電腦

計算葉片淨光合成率，及以維持同化箱內濕度穩定所需之氣體流量計算氣孔導度。測定時，為減少植物因生理周期之影響，測定時間均在每日 10 點~下午 4 點間，使用之同化箱為 0.9 公升，除試驗所需控制變因外，維持同化箱內濕度為 60%，葉溫為 30°C ， CO_2 濃度 360ppm，光度為 $700 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。

(1) 對光度變化的反應

於同化箱上方以不同密度之白紗網遮蓋，藉以調整光度。供試植物在各光度下放置 30 分鐘以上，待植物之氣孔穩定後測定之，光度由零開始逐漸增加至光度 $1900 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。每隔 $200 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 為一等級，測定各光度等級之淨光合成率與蒸散率，每種植物測定三株，每株重複三次。

(2) 對不同溫度的反應

葉片溫度控制在 $20\sim 40^\circ\text{C}$ 範圍，每隔 5°C 為一個等級，測定各溫度等級之淨光合成率與蒸散率。各溫度等級控制時，葉片在同化箱內放置 30 分鐘以上，始測定及記錄之。

結果與討論

影響陸生植物生長之環境因子中，生物環境因子間之相互作用較為複雜，不易分析與瞭解，但物理環境因子易於測定與控制，而其中有關環境因子對植物光合成與蒸散作用之影響，則有較多之文獻報導(林,1995;翁,1990;柴田等,1994;Levitt,1980)。依 Kramer(1983)之文

獻指出植物之主要物理環境應力，包括光度、溫度、濕度、土壤水分及風等因素。本研究盆栽試驗時，經由充分的供水，以去除土壤水分之限制因子，並於室外自然光源下，測定植物本身光合作用週期之變化，以減少試驗之誤差。茲就控制光度及溫度等因子下，測定植物之光合成作用與葉片導度等，相關試驗結果分述如下：

(一) 淨光合成率與葉片導度之日變化

植物之生理反應除受到光度及溫度之變化影響，亦受植物本身光合作用週期之影響(林,1987;陳,1994)。為瞭解供試植物葉片之淨光合成率與葉片導度之日變化，將盆栽植物於晴天放置於室外自然光源下，以 LI-6200 光合成測定裝置測定紅楠、大葉楠、香楠及臺灣雅楠等植物在自然條件下之淨光合成率與葉片導度之日變化。測定時間由上午 6 時開始測定至下午 6 時結束。試驗結果淨光合成率於日出後即迅速上升，日光照射一小時後淨光合成率即達高峯值，並維持此高值至下午 4 時，下午 4 時之後淨光合成率迅速下降，於日落前各樹種之光合成率均降至零以下。葉片導度之日變化比淨光合成率較不明顯且變化較大，在清晨時葉片導度較高，此可能由於早晨有露水附著於葉片上，而造成氣孔導度計所測得之導度偏高，Szeicz and Long(1969)曾報導早晨植物之葉片導度大於傍晚之葉片導度。然不同植物葉片導度對環境因子變化之反應模式並不相

同。在上午 10 時至下午 4 時間變化較小，下午 4 時後開始下降。因此可知淨光合成率與葉片導度有一定之日變化規律，在晴天之狀況下上午 10 時至下午 4 時之間，其光合成氣體交換反應之變化較小，因此下述之試驗時，均以上午 10 時至下午 4 時之測值為依據，以減少植物生理週期可能造成之誤差。

(二) 淨光合成率與葉片導度對光度之反應

光度對光合作用之影響可用光-光合成曲線之各關鍵點獲得瞭解，有多位學者曾報導可以下式表示之(林等,1990;徐等,1992)。

$$P_n = bI / (1 + aI)$$

P_n : 淨光合成率 ($\mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

I : 光合成有效日照量 ($\mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

a, b : 常數

由於四種植物之光-光合成曲線具有上式之形式，可依圖 1 導出各植物之淨光合成率之估算式如下：

紅楠 $P_n = 0.0165I / (1 + 0.0037I)$
 $r = 0.9876^{***}$

大葉楠 $P_n = 0.0250I / (1 + 0.0050I)$
 $r = 0.9902^{***}$

香楠 $P_n = 0.0158I / (1 + 0.0038I)$
 $r = 0.9550^{***}$

臺灣雅楠 $P_n = 0.0180I / (1 + 0.0033I)$
 $r = 0.9891^{***}$

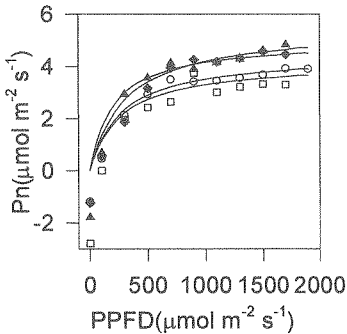


圖 1. 供試植物單葉之光-光合成曲
Fig.1. Effects of light intensity on net photosynthetic rate

種供試植物不同光度下之光合成率均呈一般 C₃ 型植物之雙曲線反應模式 (Marshall & Biscoe, 1980)。當光度為零時淨光合成率呈負值，此值即是暗呼吸率。光度逐漸增強，當光合成率與暗呼吸率相等時，淨光合成率為零，此時之光度即為光補償點。光度大於補償點後，淨光合成率隨光度之增強而急增，但光度增強至某一程度後，淨光合成率增加趨緩，並於光度高達某一特定值以上，淨光合成率不再隨光度增加而增加，而達所謂光飽和點。為便於比較，各供試植物之光飽和點、淨光合成率、光補償點及暗呼吸率列於表 1。

一般常綠木本植物之光飽和點介於

400~1200 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 之間(陳等, 1983; 沈, 1984)，四種供試植物之光飽和點除臺灣雅楠約為 900-1000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 外，其餘均為 700-900 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，四種植物之光飽和點屬中等，其中臺灣雅楠對強光利用效率略高於其它供試植物。香楠之光補償點及暗呼吸率分別為 100 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 及 2.79 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，較其它樹種為高，顯示其低光利用效率較低。

植物葉片外二氧化碳濃度(Ca)固定時，細胞間隙二氧化碳濃度(Ci)可以顯示植物的羧化速率(carboxylation efficiency)。高等植物進行光合作用時極需充分的氣體交換，另一方面卻要防止大量水分的散失，在此兩種互相衝突的情況下，植物經由氣孔導度反應完成幹旋的工作。因此，Ci 常被認為是葉片導度與植物水分狀況的指標。Berry and Downton(1982)在論述氣孔因子阻抗(Rs 與非氣孔因子阻抗(Rm)時曾以下列公式來表示其相互關係：

$$C_i/C_a = r_m / (R_s + R_m)$$

其中 Rm: 葉肉阻抗

Rs: 氣孔阻抗

並以 Ci/Ca 之比值來表示非氣孔因子之

表 1. 各植物之光飽和點、淨光合成率、光補償點及暗呼吸率
Table 1. Light saturation point, net photosynthetic rate, light compensation point and dark respiration rate of tested plants

樹種	光飽和點 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	淨光合成率* $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	光補償點 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	暗呼吸率 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
紅楠	700-900	3.629 ± 0.209	72	-1.18
大葉楠	700-900	4.316 ± 0.341	73	-1.78
香楠	700-900	3.205 ± 0.368	100	-2.79
臺灣雅楠	900-1000	4.294 ± 0.245	68	-1.24

*為飽和光度以上各測值之平均值(35 個測值以上)

影響，光度與 C_i/C_a 之關係如圖 2 所示， C_i/C_a 隨光度的增加而急速下降，當光度達 $500 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上時， C_i/C_a 則趨於一定值，其中臺灣雅楠則有繼續下降之趨勢，顯示在高光下，其餘三種植物之氣孔阻抗與葉肉阻抗之調節則已達平衡，此時光合成率也趨於一定值。蒸散率受光度之影響模式與淨光合成率類似，亦呈雙曲線之反應，如圖 3 所示，其中臺灣雅楠之蒸散率隨光度的增加而增加，與其它三種植物之反應不同，需做進一步之研究以瞭解其原因。光度對用水效率之影響隨光度增加而增加如圖 4 所示，在光度達 $500 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 時趨於穩定，顯示四種供試植物在高光度之下有較高的用水效率。(Knapp,1987)曾指出植物在遮光下因淨光合成率下降快速，而氣孔導度與蒸散率之下降速度較緩故用水效率之下降甚快與試驗結果吻合。

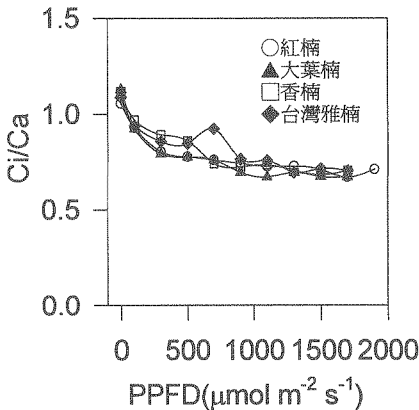


圖 2. 不同光度處理對 C_i/C_a 值之影響

Fig. 2. Effects of light irradiance on C_i/C_a ratio

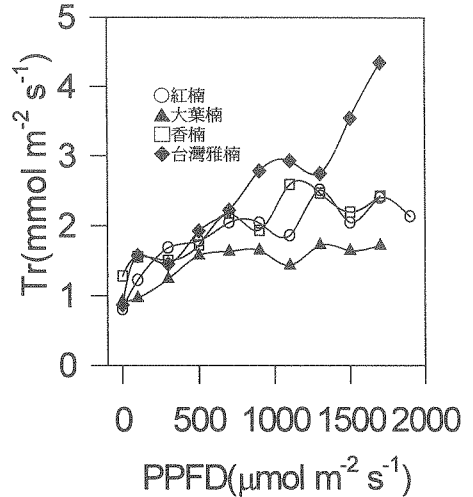


圖 3. 不同光度處理對植物蒸散率之影響

Fig. 3. Effects of light irradiance on transpiration

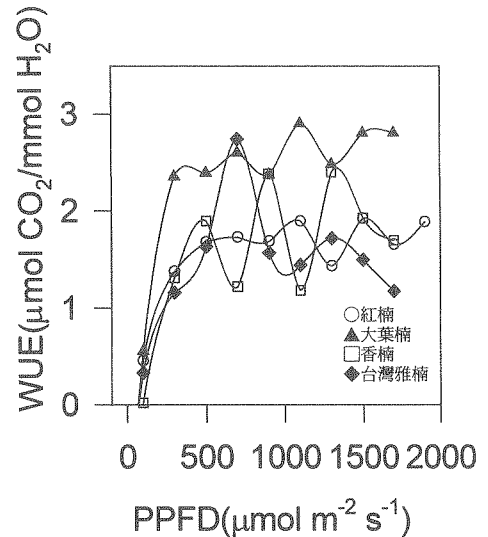


圖 4. 不同光度處理對植物用水效率之影響

Fig. 4. The responses of water use efficiency for vari

(三)淨光合成率與葉片導度對溫度之反應

一般而言，熱帶植物在高溫下生長能有較高的光合成能力，反之屬於寒帶

的植物在高溫時則會出現生理機制降低的現象，在高於 45°C 時大部分葉片中酵素的活性會大幅降低而影響到其光合成能力(Berry and Downtown,1982)。就熱帶或亞熱帶地區之樹種而言，溫度對植物光合成氣體交換反應之影響，均循一般之型式。即當其它因子為非限制因子時，若溫度從略高於 0°C 之低溫增高時，則生理過程之速率亦增加至到一頂點為止，此一頂點約在 20~35°C 之範圍內即可達到此溫度稱為最適溫度，但其確實溫度視植物之種類而定。溫度在增加而超過適當溫度時，其速率會減低，約在 45°C 時，速率即下降至零。生理過程可發生之溫度範圍，即稱為生理範圍，亞熱帶生理範圍約在 10°C~45°C 之間。

供試植物對葉溫之反應性，試驗結果如圖 5 所示，四種供試植物中大葉楠、香楠及臺灣雅楠的淨光合成率均於葉溫 30°C 時最大，因此這三種植物之光合成最適溫度應在 30°C 左右，紅楠的最適溫度則出現於 35°C，亦屬典型亞熱帶植物之最適溫度範圍。葉片導度之反應與淨光合成率之反應趨勢相同(圖 6)，四種植物中僅香楠之葉片導度最高點出現於 25°C。葉片導度對葉溫反應較為敏感，當葉溫接近光合成最適溫度其葉片導度即有降低之情形，主要是植物為防止因高溫所形成之葉片缺水現象。

如以 30°C 時之淨光合成率及葉片導度值為 100% 計算得表 2，在低溫時受測植物之淨光合成率約為 30°C 時之 50

% 左右，其中以臺灣雅楠降幅較小為 28%，顯示該植物在低溫時仍能維持較高的淨光合成率，較能適應低溫之環境。

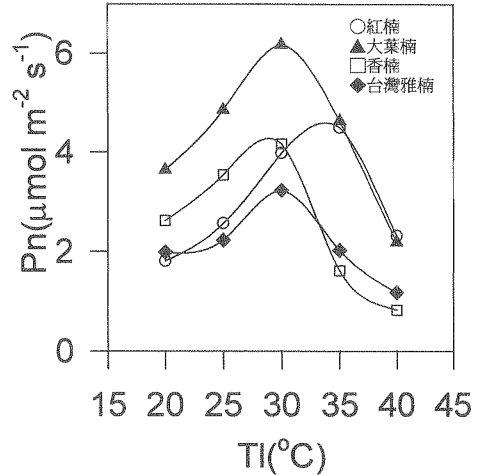


圖 5. 不同溫度處理對植物淨光合成率之影響
Fig. 5. Effects of temperature on net photosynthetic rate

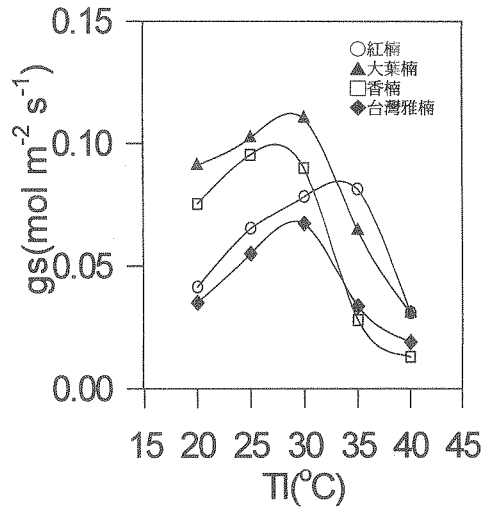


圖 6. 不同溫度處理對植物葉片導度之影響
Fig. 6. Effects of temperature on leaf conductance

表 2. 不同溫度處理相對淨光合成率、葉片導度、蒸散率與用水效率
 Table 2. Net photosynthetic rate, leaf conductance, transpiration rate and water use efficiency under different temperature treatment

樹種	相對淨光合成率(%)			相對葉片導度(%)			相對蒸散率(%)			相對用水效率(%)		
	20°C	30°C	40°C	20°C	30°C	40°C	20°C	30°C	40°C	20°C	30°C	40°C
紅楠	45.40	100	58.42	52.77	100	39.58	29.73	100	89.50	155.81	100	59.74
大葉楠	58.94	100	35.48	82.54	100	27.89	33.27	100	62.43	178.17	100	54.91
香楠	62.82	100	19.85	83.70	100	14.44	36.06	100	44.67	176.16	100	45.85
雅楠	72.57	100	36.45	81.68	100	28.22	41.19	100	79.66	176.31	100	45.06

在高溫時淨光合成率之降幅較大，反應出四種植物對高溫適應力較低溫弱，尤其香楠的降幅高達 80%，顯示香楠對於高溫相當敏感，在 40°C 即有生理障礙出現，曾有試驗指出高溫造成淨光合成率降低之原因，包括高溫造成葉綠體體膜上蛋白結構之傷害而限制之固定反應，高溫使細胞間隙之 CO₂ 濃度增加而促使氣孔關閉，及高溫促進光呼吸作用而減低淨光合成率等 (Berry & Downton, 1982)。Ci/Ca 值隨葉溫升高而降低(圖 7)，顯示光呼吸作用隨葉溫升高而增大。葉溫變化對葉片導度之影響在低溫時較小，其相對葉片導度的降幅有三種植物僅 20%，僅紅楠降幅達 50% 左右，但在高溫之影響除紅楠降幅為 60% 外，其餘三種降幅均在 72% 以上，造成之原因應為植物葉片在高溫下葉肉細胞之蒸氣壓大增，而大氣中之蒸氣壓變動小，造成蒸氣壓差過大，而使蒸散作用大增，導致氣孔之逐漸關閉。四種植物在葉溫 20°C 到 40°C 其蒸散率由小逐漸增加，分別在 30°C 及 35°C 達最大值，到 40°C 時蒸散率因葉片導度降低而減小(如圖 8)，因為氣孔為氣體進出葉

片之門戶，其開度直接影響蒸散作用及光合成作用，由於氣孔為葉片主要之蒸散器官，當葉溫升高而使蒸散大量

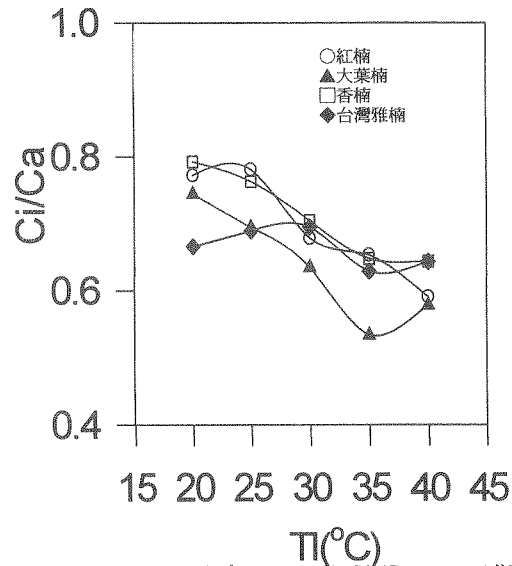


圖 7. 不同溫度處理對植物 Ci/Ca 值之影響
 Fig. 7. Effects of temperature on Ci/Ca ratio

增加時，會造成葉片暫時性之缺水，而至氣孔閉合，可防止由於過度蒸散作用失去水分之不利情形，但蒸散率在 40°C 時其降幅約為 40~50% 之間，不似葉片導度在高溫時的降幅大，其另一原因為葉片導度雖降低，水氣之擴散雖有受到氣孔開度之影響，但蒸氣壓差的影響仍

然很大，所以蒸散率之下降趨勢較為緩和。

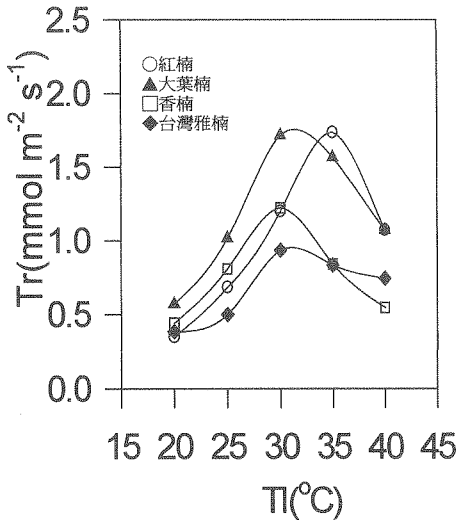


圖 8. 不同溫度處理對植物蒸散率之影響
Fig. 8. Effects of temperature on transpiration rate

用水效率為植物耗水程度的一個指標，以淨光合成率/蒸散率表示，植物之用水效率對乾季時之水分平衡及生長很重要，植物之用水效率越高表示該植物在該時期應付乾旱環境的能力越高(Ni and Pallardy, 1991; Rieger and Duemmel, 1992)。Knapp and Smith(1987)與林(1988)曾指出葉溫降低會有較低之蒸散及高的用水效率。當葉溫高時因淨光合成率之下降程度較葉片導度及蒸散率大，故用水效率下降甚快。在溫度處理下四種供試植物其用水效率有相同之趨勢如圖 9，均隨葉溫增加而逐漸降低，顯示當溫度越高時植物的用水效率越低與(Knapp, 1987)指出葉溫之降低使蒸散較低而保持高的用水效率相同。而以大葉

楠之用水效率略高於其它三種植物，紅楠之用水效率受溫度影響較小。

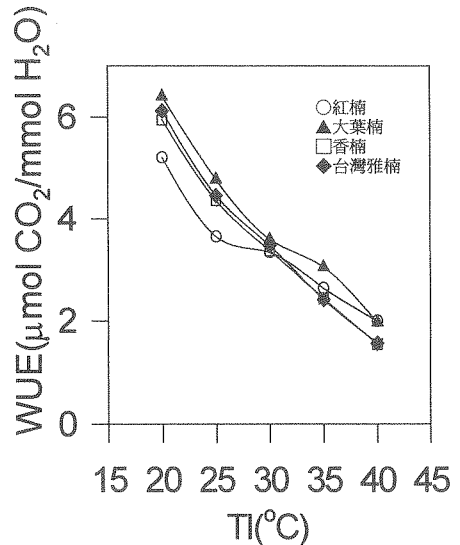


圖 9. 不同溫度處理對植物用水效率之影響
Fig. 9. Effects of temperature on water use efficiency

結 論

在光度試驗中，四種供試植物之光-光合成曲線均具有 $Pn=bl/(1+aI)$ 之雙曲線反應，香楠有較高之光補償點及較大之暗呼吸率，顯示香楠之低光利用效率較低。臺灣雅楠及大葉楠在光度達光飽和點後之淨光合成率高於其它樹種。

光合成最適溫度為 30°C 之植物有臺灣雅楠、香楠及大葉楠，紅楠之光合成最適溫度則為 35°C，臺灣雅楠在低溫下(20°C)仍維持較高之淨光合成率，其對低溫忍耐力較強。香楠在高溫(40°C)之下淨光合成率下降幅度較大，其對高溫之適應力較低。四種供試植物之蒸散率

在低溫時極小，最大蒸散率均出現於 35 °C，略高於光合成最適溫度。光度變化時在光度達光飽和點後，蒸散率即保持一穩定值不再增加。供試植物之用水效率隨葉溫上升而降低，用水效率對光度之反應與蒸散率類似，其中臺灣雅楠在高光度時之用水效率則有下降之現象。

參考文獻

1. 沈秀雀、陳明義、陳清義 (1984) 「五種豆科速生樹種之光合作用及蒸散作用」。中華林學季刊, 17(4):27-30.
2. 林正宏 (1988) 「玉米、高粱及向日葵對缺水之生理反應與旱馴化作用之研究」, 國立中興大學植物學研究所 博士論文, 194P.
3. 林則桐 (1994) 「全球變遷：福山森林生態系研究—福山試驗林植被之研究」, 國科會研究報告 (NSC83-0202-B054-005-A07), 11P
4. 林信輝 (1987) 「三種防風林植物在海岸環境下之生理生態反應」, 國立中興大學植物學研究所 博士論文, 238P.
5. 林信輝、陳明義、陳清義 (1990) 「防風林植物對微氣象因子之生理反應」, 國立中興大學農林學報, 39(2):89-103.
6. 林信輝 (1995) 「山鹽菁、山水柳在石灰石礦區及控制環境下之光合成氣體交換反應」, 中華水土保持學報, 26(2):103-120.
7. 翁仁憲 (1990) 「芒草光合作用特性」, 臺灣牧草研討會專輯, PP.77-91.
8. 陳清義、翁仁憲、方榮坤 (1983) 「木油桐及黃槿生理特性之研究:I 光合成作用及蒸散作用之特性」, 國立中興大學理工學報, 20:29-38.
9. 陳意昌 (1994) 「高爾夫球場常用草類生長及光合成作用對土壤水分逆境之反應」。國立中興大學水土保持研究所 碩士論文, 83P.
10. 徐國林、二宮生夫、狄野和彥 (1992) 「異光環境生育數種樹木光合成能—光-光合成曲線解析」, 日本綠化工學會誌, 17(2):94-101.
11. 柴田昌三、小橋澄治、花山秀文 (1994) 「土壤水分 氣溫常綠廣葉樹 光合成活動 与 影響」, 日本綠化工學會誌, 19(4):245-255.
12. Berry, J.A. and W.J.S. Downton (1982) Environmental Regulation of Photosynthesis, In Govindjee(Ed), Photosynthesis, Vol. II.Development, Carbon Metablism and Plant Productivity.Academin Press, New York, PP.263-343.
13. Chiang, S., H.A.Lo, and M.C. Wu (1989) Reversing the temperture warming in Taiwan, workshop, proceeding international conference on responding to the threat of global warming option for the Pacific and

- Asia, June, 21-27, eastwest center, Hawaii.
14. Knapp, A.K. and W.K. Smith (1987) Stomatal and photosynthetic responses during sun/shade transitions in subalpine plants: influence on water use efficiency. *Oecologia*. 74:62-67.
15. Kramer, P.J. (1983) *Water Deficits and Plant*. Academic Press. 489P.
16. Levitt, J. (1980) *Responses of Plant to Environmental Stresses, Vol.I,Chilling,Freezing and High Temperature Stresses*, 2nd Ed., Academic Press, 497P.
17. Marshall ,B. and P.V. Biscoe (1980) A model for C₃ leaves describing the dependence of net photosynthesis on irradiance. I. Derivation. *J. Exp. Bot.* 31:29-39.
18. Ni, B.R. and S.G. Pallardy (1991) Response of gas exchange to water stress in seedlings of woody angiosperms. *Tree physiol.* 8:1-9.
19. Rieger, M. and M.J. Duemmel (1992) Comparison between two methods of generating pressure-volume curves. *Plant, Cell and Environ.* 8:49-53.
20. Szeicz, G. and I.F. Long (1969) Surface resistance of crop canopies. *Water Res. Resear.* 5(3):622-633.
-

86年09月14日 收稿

86年09月31日 修正

86年10月26日 接受