

南仁山森林苗木更新動態、破收支及植物物候之研究(二)

墾丁國家公園管理處委託研究報告(91年度)

南仁山森林苗木更新動態、碳收支
及植物物候之研究(二)

墾丁國家公園管理處委託研究報告

中華民國九十七年十二月

PG9702-0161

南仁山森林苗木更新動態、碳收支 及植物物候之研究(二)

受委託者：國立屏東科技大學

研究主持人：郭耀綸

研究員：彭世賢、林志輝、彭俊瑚、高曼菁、
李平季、周昭瑩、楊雅萍

墾丁國家公園管理處委託研究報告

中華民國九十七年十二月

目次

表次	III
圖次	V
摘 要	VII
第一章 緒 論	1
第二章 材料與方法	5
第一節 試驗地概述	5
第二節 小苗更新動態	6
第三節 小苗一日碳收支	7
第四節 斑光對樹苗一日光合作用貢獻	8
第五節 照光後小苗光合作用誘發所需時間	9
第六節 苗木淨光合作用率對 CO ₂ 提高的反應	9
第七節 林地土壤呼吸	10
第八節 植物物候調查	10
第三章 結果與討論	17
第一節 小苗更新動態	17
第二節 小苗一日碳收支	28
第三節 光合作用誘發試驗	39
第四節 斑光對林下樹苗一日光合作用總量的貢獻	45
第五節 樹苗淨光合作用率對 CO ₂ 提高的反應	58
第六節 林地土壤呼吸	63
第七節 物候表現	64

第四章 結論與建議	75
第一節 結論	75
第二節 建議	77
附錄一 97 年度「南仁山森林苗木更新動態、碳收支及植物物候之研究(二)」服務企畫書評審會議紀錄	79
附錄二 97 年度「南仁山森林苗木更新動態、碳收支及植物物候之研究(二)」委託研究期中簡報審查會議紀錄	83
附錄三 97 年度「南仁山森林苗木更新動態、碳收支及植物物候之研究(二)」委託研究期末簡報審查會議紀錄	89
參考書目	95

表次

表 2-1 南仁山古湖樣區迎風坡森林物候調查之樹種及樣木株數	11
表 2-2 本物候調查分級與說明	14
表 3-1 南仁山 2008 年 7 月調查到所有小苗的數量及密度	18
表 3-2 南仁山迎風坡森林 2005 年至 2008 年不同月份樹苗出生及死亡株數	19
表 3-3 南仁山迎風坡森林小苗樣區 2008 年各月不同樹種新生苗株數	20
表 3-4 南仁山迎風坡森林小苗樣區 2008 年各月份不同樹種死亡株數	21
表 3-5 南仁山森林新生樹苗在不同齡期之存活率	24
表 3-6 南仁山森林新生樹苗在不同齡期之死亡率	25
表 3-7 南仁山森林新生樹苗高生長之動態變化	27
表 3-8 供試樹種各月平均一日淨光合作用率及光量	30
表 3-9 供試 9 樹種於夏、秋、冬及春季之一日碳收穫、葉面積及單株一日碳收支	35
表 3-10 供試樹種誘發 50%、90%所需時間及 100%誘發之淨光合作用率	40
表 3-11 供試樹種於誘發 2、5、10 及 20 分鐘時的淨光合作用率及誘發程度	43
表 3-12 斑光對小葉樟及大頭茶一日光合作用總量的貢獻	53
表 3-13 斑光對台灣八角及台灣蕘花一日光合作用總量的貢獻	54

表 3-14 斑光對恆春石斑木及長尾尖葉櫨一日光合作用總量的貢獻	55
表 3-15 各測定日斑光出現時間、累積光量及光合作用總量之比例	57
表 3-16 不同天候下斑光對樹苗一日淨光合作用量的貢獻	57
表 3-17 供試樹種於二種光量及三種 CO ₂ 濃度時之淨光合作用	58
表 3-18 供試樹種於兩種光條件下對 CO ₂ 的利用效率 ...	60
表 3-19 南仁山小苗更新動態樣區土壤呼吸測定	63
表 3-20 南仁山 22 種樹木 2007 年 10 月至 2008 年 10 月展葉、花盛開及果熟的物候高峰期	71
表 3-21 南仁山 22 種樹木各月物候表現甘梯圖	72

圖次

圖 2-1	台灣長期生態研究南仁山古湖樣區位置	5
圖 2-2	南仁山小苗及物候調查樣區	6
圖 2-3	南仁山步道物候觀察樣木配置示意圖	12
圖 2-4	步道 3.5 k 南側樣區物候觀察樣木配置示意圖 ...	13
圖 3-1	供試 9 種樹苗 2008 年 4 月 9 日淨光合作用率及光量之日變化	28
圖 3-2	供試 9 種樹苗淨光合作用率隨瞬間光量之變化 .	32
圖 3-3	供試 9 種樹苗在低光條件下淨光合作用率隨光量的變化.....	33
圖 3-4	供試 9 種樹苗白天碳收穫與白天累計光量的關係	36
圖 3-5	供試 9 種樹種單株一日碳收支與光量、葉面積及淨光合作用率的關係.....	37
圖 3-6	供試 5 種樹苗相對高生長與一日碳收支的關係 .	38
圖 3-7	供試 6 種耐蔭樹種苗木於光量 300 條件下之誘發情形.....	41
圖 3-8	供試 9 種樹苗各單株誘發時間與相對光量之關係	44
圖 3-9	小葉樟在不同測定日淨光合作用率及光量之日變化.....	47
圖 3-10	大頭茶在不同測定日淨光合作用率及光量之日變化.....	48

圖 3-11	台灣八角在不同測定日淨光合作用率及光量之日變化	49
圖 3-12	台灣蕘花在不同測定日淨光合作用率及光量之日變化	50
圖 3-13	恆春石斑木在不同測定日淨光合作用率及光量之日變化	51
圖 3-14	長尾尖葉櫨在不同測定日淨光合作用率及光量之日變化.....	52
圖 3-15	斑光對提高苗木白天光合作用總量的貢獻	57
圖 3-16	供試 9 樹種於光量 50 及 300 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 下淨光合作用隨 CO_2 濃度之變化.....	59

摘要

關鍵詞：墾丁國家公園、小苗更新、物候、光合作用、碳收支、斑光

一、研究緣起

生態學是研究生物與其環境交互作用的科學，需對該生態系的物理環境與生物環境有所瞭解，而小苗更新動態及植物物候現象的觀察，是瞭解森林生態系組成與功能不可或缺的項目。生長在森林樹冠下層低光環境的植物，其光合作用光補償點通常很低，會低於植物生長處微環境的盛行光量，如此在白天葉片所固定的碳水化合物始能供應植物全株代謝所需的能量，若有剩餘的能量，才能使植株長出新的組織，逐漸成長。本研究目標為瞭解南仁山迎風坡森林內樹苗出生、死亡及生長之更新動態，並探討森林內的光資源與二氧化碳濃度如何影響更新苗的光合作用表現。藉由量測樹苗的碳收支情形，可瞭解該樹苗健康狀況，由此推測其是否能在林下存活或將死亡，並推估其生長潛力。藉由測定斑光在白天出現的時間及累積光量情形，可計算斑光對提高林下樹苗光合作用產物的貢獻程度。藉由觀察 22 種林木一年間的物候現象，可解釋不同林木更新動態的原因。由上述調查可提供南仁山森林在未受擾動，以及將來遭受到自然或人為擾動後，在森林更新上的調適及反應，可增進我們對該森林生態系功能方面的瞭解。

二、研究方法及過程

小苗更新動態的調查，有助於瞭解森林的組成、結構及演替過程。本研究於墾丁國家公園南仁山生態保護區，步道 3.4 K 南北側森林共設置 45 個面積 1 m^2 的樣區，觀察樹高小於 1 m 植株的高生長，以及小苗每個月的出生死亡動態變化，並在南側森林測定 9 種樹苗，包括 6 種耐陰樹種的小葉樟、大頭茶、台灣八角、台灣蕘花、恆春石斑木及長尾尖葉槲，

另為 3 種為非耐陰性的白柏、白匏仔及野牡丹，各 4 株的光合作用率日變化，計算樹苗葉部的一日碳收支，測定各種樹苗在兩種光量條件下對不同二氧化碳的利用效率，並測定各樹種苗木在照射到直射斑光時光合作用率的反應。本研究也在步道 3.4 K 南側森林調查 22 種迎風坡森林樹種，共 121 株樹木每個月的物候表現。

三、重要發現

2008 年 7 月記錄到動態樣區內共有 69 種植物，共計 1535 株，密度平均為 34.9 株 m^{-2} ，以日本賽衛矛、台灣八角及恆春石斑木的小苗密度最高，平均 1 m^2 面積分別有 5.1、3.7 及 2.8 株。由出生到苗高大於 10 cm，恆春石斑木、九節木、大頭茶、小葉赤楠等耐陰性樹苗需有三年的生長。2008 年至 11 月止記錄到新生苗 257 株，死亡小苗 254 株，死亡株數與出生株數接近。在小苗一日碳收支方面，9 個樹種的日平均光合作用率在 $1.1\sim 2.3 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 之間，各種樹苗淨光合作用率隨著葉部照到的光量而增加。本研究計算得知各種樹苗在林下環境的一日碳收支均為正值，供試 9 樹種中長尾尖葉槭單株一日碳收支為最高者，一日可淨收穫 87 mg 的 CO_2 。供試種 9 樹種由黑暗開始照 $300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 光量，光合作用 90% 誘發所需時間以台灣蕘花、野牡丹及恆春石斑木需時較短(12~16 分鐘)，而台灣八角與小葉樟需時 35 分鐘以上最長。另一項試驗在 50 及 $300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 兩種光量下測定苗木光合作用率隨 CO_2 濃度(390 、 420 及 $450 \mu\text{LL}^{-1}$) 提高的反應，結果發現 9 種樹苗的淨光合作用率均會隨 CO_2 濃度的提高而增大，且在較高光量條件下此 CO_2 利用效率提高更顯著。以林內自然光條件，連續測定 6 種樹苗各 3 株淨光合作用率的日變化，發現有斑光照射的時間僅佔白天的 1~53%，但該期間所固定的 CO_2 量可達總量的 2~77%，此結果說明斑光提高可用的光能，對林下樹苗的光合作用有很大貢獻。2008 年物候調查的 22 種樹種均有結果的物候，但結果量都不多。

四、主要建議事項

小苗更新動態、植物物候，以及植物生理對環境適應的反應等，都需長期監測才能得到生態系運作的面貌，國家公園管理處應有長期經費支持。

立即可行之建議-生態保護區基礎生態資訊需長期監測，供了解氣候變遷或人為擾動對此生態系運作過程有何影響。

主辦機關：墾丁國家公園管理處

協辦機關：大學或研究機構

- (一) 本計畫所監測的小苗更新動態、植物物候表現，以及各種樹苗在林下環境的一日碳收支，這三項都是生態系重要的基礎資訊，也都需要長期的監測才能看出變化趨勢，只有短期間的調查是無法了解生態現象的全貌，因此上述監測項目需要長期的經費支持。
- (二) 由小苗更新動態的數據發現，南仁山迎風坡的森林，小苗組成及數量都比台灣北部的福山森林多，值得重視。此種豐富且珍貴的生物多樣性現況是國家公園設立保護區始能維持的結果。由此可見生態保護區的設立對本國的生物資源的保存與永續利用具有正面的價值，應持續維持南仁山生態保護區目前良好的遊客人數管制及警力巡守，並增加教育宣導措施。

ABSTRACT

Keywords: Kenting National Park, regeneration, plant phenology, photosynthesis, carbon budget, sun flakes.

There were totally 1535 seedlings of 69 species recorded in the seedling plots on July, 2008. The average density of these seedlings was 35 seedlings per m² with *Microtropis japonica*, *Illicium arborescens*, and *Rhaphirolepis indica* var. *hiiranensis* having higher density, which were 5.1, 3.7, and 2.8 seedlings per m², respectively. It took three years for new recruits of *R. indica* var. *hiiranensis*, *Psychotria rubra*, *Gordonia axillaris*, and *Syzygium buxifolium* to grow from germination to more than 10 cm in height. We recorded 257 new recruits and 254 deceased seedlings from January to November 2008. In the aspect of daily carbon budget, the 9 tested species showed a daily photosynthesis of 1.1~2.3 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Net photosynthesis of each species increased as light received by leaves increased. The carbon budgets of each seedling were all positive in our study, where *Castanopsis cuspidata* among the 9 species fixed the most carbon in a day (87 mg). We applied 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ of light to the 9 tested species in darkness, and then measured the time needed to induce 90% of photosynthesis. *Wikstroemia taiwanensis*, *Melastoma candidum*, and *R. indica* needed shorter time (12-16 min) while *I. arborescens* and *Cinnamomum brevipedunculatum* needed the longest time (> 35 min). We also monitored the response of seedlings' photosynthesis as it increased with various CO₂ concentrations (390, 420, and 450 μLL^{-1}) under both 50 and 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ of light. Results showed that the net photosynthetic rates of the 9 species all increased with elevated CO₂ concentrations. This effect was more significant under higher light condition. Results from diurnal courses of photosynthesis in 3 seedlings, each of 6 species, under natural light environment of canopy showed that although the time of sun flakes occurrence only accounted for 1-53% of daylight, the amount of CO₂ being fixed during that period accounted for 2-77% of total CO₂ being fixed. This result indicates that sun flakes could contribute greatly to the photosynthesis of seedlings under canopy. Phenological monitoring of 22 tree species revealed that all species bore fruits in 2008 but the amount of fruit were not abundant.

第一章 緒 論

墾丁國家公園陸域的南仁山生態保護區，保存著台灣僅存的低海拔原始森林，蘊育極高的物種多樣性，蘇鴻傑教授認為此區是全台灣生物多樣性的熱點(hot spot)，應予以高度的保護，並應積極在此區進行監測和研究，建立本土獨特的生態知識，提供人民永續利用。

南仁山生態保護區位於台灣南端恆春半島東側，每年 10 月至翌年 3 月有東北季風吹襲。因受風力影響程度不同，南仁山區迎風和背風區森林有著不同的微氣象，生育著組成種類極為不同的植物，植群形相(physiognomy)也截然不同。因為東北季風對南仁山區不同方位、不同地形、不同海拔高的生育地有不同的影響程度，造成此區極多樣化的微生態系，因此造就本區有極多樣化的植物組成，故成為全台灣生物多樣性最高的熱點。此區迎風生育地因受季風直接影響，冬季溫度較低，因此有許多可忍受風吹的溫帶樹種在此生育，而背風區溫度較高，生育著熱帶樹種。南仁山區目前已記錄的植物有 1238 種之多，木本植物包括喬木和灌木多達 200 種以上，其中有 20 種樹種為台灣特有且稀有的樹種，例如希蘭灰木、恆春山茶、恆春楨楠、台灣柯、烏心石舅、細葉茶梨、小葉樟等。若能瞭解此區優勢種及稀有種的更新動態及其物候表現，則可增加我們對此區森林如何維持其動態平衡，以及各樹種更新特性的知識。

植物的更新是森林演替的一個重要因素，原有樹種能否在當地持續的佔有優勢，新樹種能否進入當地佔有一席之地，或取代當地的樹種，關鍵於每一樹種子代是否能在該地順利的建立。植物子代的建位有幾個重要的時期：開花結果的物候分化、果實(種子)掉落與傳播、種子發芽，小苗存活與生長至成樹，每個時期都可能是一個重要瓶頸。在這些一連串的過程中，受到許多外在因素的影響，因此也成就了植群未來的命運。對許多植物而言，由種子萌芽至建立階段，是植物族群對干擾和環境變化最敏感的時候，因此也是植群最脆弱的時期。此時期不同樹種產生的不同更新策略，使不同種小苗在

不同生育地的組成和分布產生了明顯的差異。因此，林下小苗的組成、豐富度和分布，可能影響到該森林組成結構的動態變化。

小苗季節性的出生死亡與生長，可能受到不同的生物和非生物因子的影響。生物因子中如高的小苗死亡率常與高的小苗密度，或同種母樹的距離有相關。其它生物因子包含病原菌、草食動物的吃食、地被植物的競爭等。非生物因子中有乾旱、雨水與地表逕流沖蝕、颱風機械干擾、光資源不足等。雖然大部分的耐陰樹種的種子可以在林下低光環境萌芽，但小苗的生長量與存活率經常受限於光資源的不足，因此林下小苗的成長很慢，只有在林隙產生，光資源增加時才會有較快的生長，也會有較高的存活率。至於那些樹種的更新苗能成活成長，那些樹種的更新苗在種子萌發後短期間內即會死亡，這與該樹種小苗的生理特性有很大的關係。

生長在森林樹冠下層低光環境的植物，其光合作用光補償點通常很低，會低於植物生長處微環境的盛行光量，如此在白天葉片所固定的碳水化合物始能供應植物全株代謝所需的能量，若有剩餘的能量，才能使植株長出新的組織(根、莖、葉)，逐漸成長。要瞭解林下苗木一天中碳收支是否平衡，需測定該植株一天的碳支出(呼吸率)與碳收穫(淨光合作用率)，兩者的差值若為正值，則該植株一天的碳收支為正值，植物可生長。植物葉部的碳支出與碳收穫是可藉光合作用測定儀器在森林現地量測，但莖部與根部一天的碳支出量，目前在測定儀器及技術上仍有困難，學界多以活組織的生物量，來推估單位時間該部位維持生存所需耗用的能量，進而估算其碳支出量。若能在森林現地測得某植株單位時間葉部的碳收支情形，再以少數破壞取樣法精確計算同種植株活體組織的生物量，則可估算其碳收支是否平衡。由此估算值可預測該植株是否能繼續存活，是否能有顯著的生長量。

本研究目標為瞭解南仁山迎風坡森林內樹苗出生、死亡及生長之更新動態，並探討森林內的光資源與二氧化碳濃度如何影響更新苗的光合作用表現。藉由量測樹苗的碳收支情形，可瞭解該樹苗健康狀況，由此推測其是否能在林下存活或將死亡，並推估其生長潛力。藉由測定斑光在白天出現的時間及累積光量情形，可計算斑光對提高林下樹苗光合作用產物的貢獻程度。藉由觀察 22 種林木一年間的物候現象，可解釋不同林木更新動態的原因。由上述調查可提供南仁山森林在未受干擾及受干擾後，在森林更新上的調適及反應，可增進我們對該森林生態系功能方面的瞭解。

第二章 材料與方法

第一節 試驗地概述

本研究小苗更新動態調查於墾丁國家公園南仁山生態保護區內進行。根據本研究室設於南仁湖邊的氣象站，由1996年至2004年的氣象監測顯示，南仁山年雨量約3000 mm，年均溫在迎風坡與背風坡分別為22.7°C及24.0°C；每年10月至翌年3月此地盛行東北季風，風季時迎風與背風生育地的平均風速分別達5.2及1.7 m。本研究所調查的小苗樣區，位於南仁山森林長期生態研究(LTER)團隊所設立的古湖永久樣區(Fan et al. 2005)¹ (圖2-1、圖2-2)東方，其森林形象與組成與古湖永久樣區的迎風陡坡森林極為類似，是南仁山區典型的受東北季風影響顯著的森林。

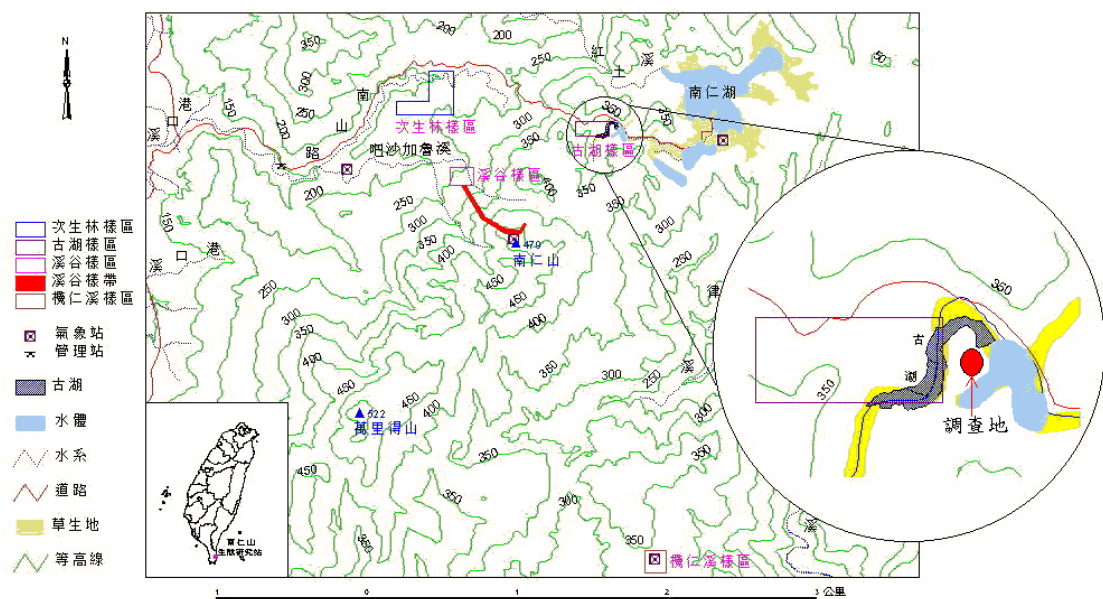


圖 2-1. 台灣長期生態研究南仁山古湖樣區位置

(資料來源：本研究)

¹ Fan, S.W., Chao W.C., Hsieh C.F., Woody Floristic Composition, Size Class Distribution and Spatial Pattern of a Subtropical Lowland Rainforest at Nanjen Lake, Southernmost Taiwan (Taiwania 50(4): 307-326, 2005)

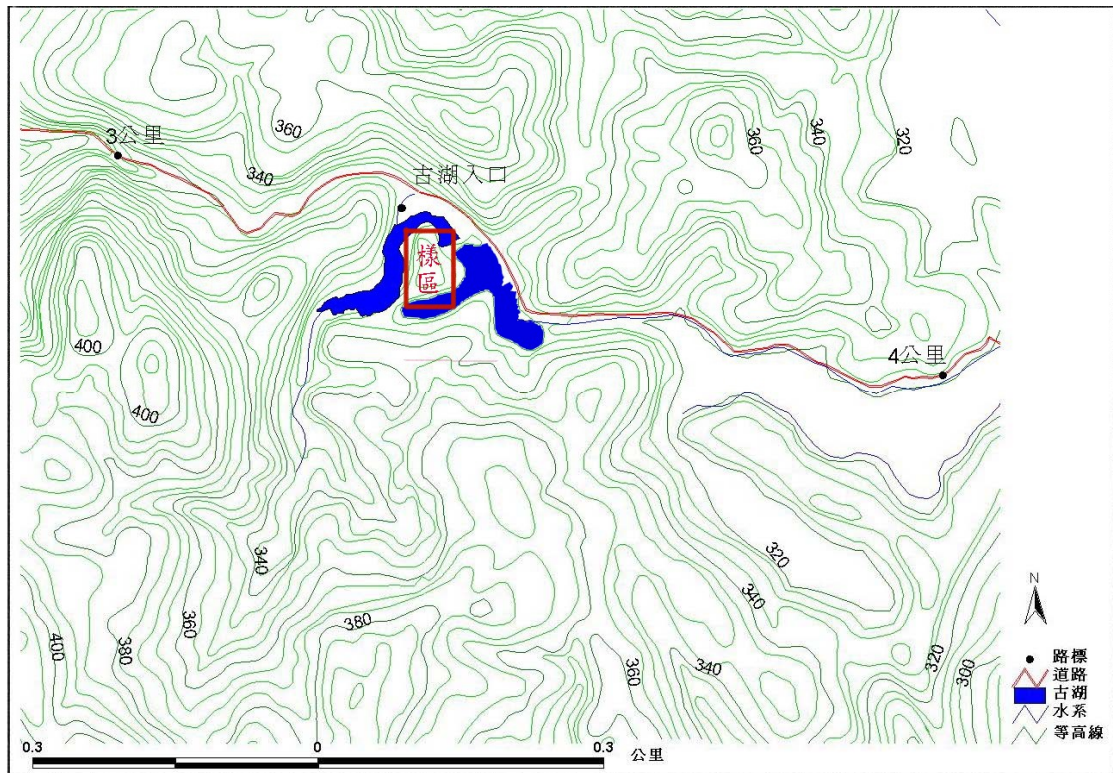


圖 2-2. 南仁山小苗及物候調查樣區

(資料來源：本研究)

第二節 小苗更新動態

於 2002 年 7 月在南仁山路步道 3.4 K 南側樣區森林，設置 20 個小苗樣區，樣區長、寬分別為 2 m 及 0.5 m，面積 1 m²。初設置時樣區周圍在林床上以黃色尼龍繩圍繞，但因凋落物常遮蓋住繩子，難以辨認樣區邊界，故於 2004 年 8 月將所有樣區邊界以市售灰色 PE 塑膠水管(直徑 30 mm)組合連接成長方形框，並離地 5 cm 架高，如此可方便の確認樣區位置及邊界。小苗樣區位置的選定是依本研究目的「了解更新苗的生長及出生死亡動態變化」，原則上要選取較多種類及苗木豐量較高的樣區，因此樣區位置的選定是以主觀的方式在面積約 3000 m² 的森林內，選擇苗木物種豐度與豐量較高之處設置小苗樣區。此法雖然犧牲了此森林小苗組成數量的代表性(非逢機選取)，

但可得到較多種類的小苗，可監測其生長量及死亡情形，具有生態意義。2003年9月3日杜鵑颱風侵台，南仁山森林遭受極大損害，倒木斷枝隨處可見，研究區的森林形成許多倒木孔隙，長出許多陽性樹種小苗，因此在10月於孔隙地增設4個小苗樣區觀察孔隙更新情形。2004年2月於步道3.4 K北側森林，依同樣方式另設10個小苗樣區，同年8月再增設11個樣區，共21個樣區。北側森林的森林形相與林木組成均與南側森林類似，但海拔較南側森林高約30 m，位於稜線側面，也會受到東北季風直接衝擊。至2004年8月，南側森林有24個小苗樣區，北側森林有21個樣區，合計45個小苗更新動態監測樣區。初設置時樣區內所有高度低於1 m的木本植物均以書寫編號的塑膠牌標定，記錄樹種、植株高度及葉片數。葉片數超過10片的植株只記錄葉片多。初次調查時所標定的植株視為老苗，之後才長出的小苗視為新生苗。原則上每月均複查一次，遇有新生苗則鑑定樹種後編號掛牌標定，並記錄高度與葉片數。調查時若發現苗木已死亡，即回收塑膠編號掛牌。有時候小苗與標示牌均失蹤，則暫時不列入死亡，若連續兩次均找不到則視為死亡。由於林木在小苗階段葉部型態與成熟葉片不同，也有部分樹種在小苗階段型態很類似，難以區分，例如白匏仔與蟲屎，小葉木犀與鐵雨傘，有時候在初次標定時會有認錯情形，待稍長大可正確辨認時即予更正。由上述調查可得知一年中那些月份有較多新生苗出現，不同林木在何時有較高的出生、死亡事件，並可得知不同植株高度級的小苗一年的淨高生長量有何不同。

第三節 小苗一日碳收支

為了解生長在迎風坡森林內不同樹種的小苗，一天中葉片吸收CO₂總量(碳收穫)是否能超過呼吸作用時CO₂的釋出量(碳支出)，使其碳收支能達正值，本研究選取樣區內小苗株數較多的9種樹苗，包括6種耐陰樹種的小葉樟、大頭茶、台灣八角、台灣蕘花、恆春石斑木及長尾尖葉楮，另為3種為非耐陰性的白柏、白匏仔及野牡丹，每種選取4株，原則上是選照到光的程

度差異較大的 4 個單株，苗高約在 30~50 cm 之間。

碳收支的測定是以攜帶式光合作用測定系統(LI-6400, LI-COR, USA)，將 CO₂ 濃度設定在 400 ppm，光量與葉溫則不予控制，測定各苗木接受到林下實際光量情況下的淨光合作用率。每個測定日於上午 7:00 開始，每隔 90 分鐘進行一輪的測定，至 17:00 截止，一天測定 7 輪的光合作用日變化情形。研究開始時(2007 年 5 月至 7 月)供試 9 種樹苗是分兩天測定，第一天測定 5 種，第二天測定 4 種。自 2007 年 8 月至 11 月，因操作已熟練，可在一天內測定所有的 9 種樹苗的光合作用日變化。2007 年 9 月因下雨頻繁，影響現地的測定工作，因此該月未能成功的進行光合作用測定。於本年 7 月對每個樹種測定光量為零時的 CO₂ 釋出率(暗呼吸率)，由此計算碳支出率。所有樹種各個單株每個月均量測其苗高及葉片數，於 2007 年 7 月時並量測各單株所有葉片的長度與寬度，並摘取同種但不供碳收支研究的其它樹苗的葉片供計算葉面積標準曲線，由此計算各樹苗單株的總葉面積。

第四節 斑光對樹苗一日光合作用貢獻

本試驗測定小葉樟、大頭茶、台灣八角、台灣蕘花、恆春石斑木及長尾尖葉槭等六種樹苗，在照射到直射斑光時光合作用碳收穫量佔白天一日總碳收穫量的比例。試驗方法為在南仁山迎風坡森林，觀察這六樹種的小苗是否有機會接受斑光照射，選定有機會照到斑光的樹苗每種各 3 株，共計 18 株供試驗。於 2008 年 7 月至 11 月進行測定。使用的儀器為 LI-6400 光合作用系統，將葉箱上方的人工光源設施取下，改用可讓自然光照射到葉片的裝置。測定時葉溫設定為 30℃，CO₂ 濃度 390 μLL⁻¹。測定日當天於上午 8:00 將待測葉片夾入葉箱，設定每 5 秒記錄一筆瞬間的光合作用率、當時的光量及其他環境因子參數，如此一直測定至約 16:00 結束。在同一測定日是以三部 LI-6400 光合作用系統分別測定。

第五節 照光後小苗光合作用誘發所需時間

供試材料為與碳收支研究所用者相同。試驗前一日下午以鋁箔紙將待測樹苗之葉片包覆，使其在測定之前均不照到光。試驗當日清晨在低光條件下取下鋁箔紙，將葉片夾入光合作用系統(LI-6400)之葉箱內，系統設定 CO_2 濃度 $390 \mu\text{LL}^{-1}$ ，葉溫 28°C ，前面 5 分鐘不打開人工光源，先量測光量為 0 時的光合作用率，之後以 $300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的人工光源照射葉片，每 5 秒鐘記錄一筆光合作用率，連續記錄直到該葉片的淨光合作用率達穩定值，不再明顯升高為止。上述測定所得資料可繪製該葉片淨光合作用率隨照光開始後不同時間的變化圖。以該葉片最大淨光合作用率當作 100%誘發時的淨光合作用率，之後分別求出淨光合作用率在 50%及 90%誘發時所需的時間。此外，依據上述數據可比較不同種樹苗在照光後不同時間淨光合作用率之差異。

第六節 苗木淨光合作用率對 CO_2 提高的反應

供試樹苗在不同光量條件下，光合作用率對 CO_2 濃度提高的反應於 3.4 K 樣區選取與碳收支試驗相同 9 種樹種的苗木各 3 株，藉 LI-6400 光合作用系統，將 LED 紅藍光源分別設定在光量 50 及 $300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 兩種光照強度， CO_2 濃度則分別設定在 390、420 及 $450 \mu\text{LL}^{-1}$ 。上述光量分別代表本樣區白天林下遮陰為生育地的背景光量，以及有斑光照射時的中等光量值。在 CO_2 濃度方面，於 2008 年大氣平均 CO_2 濃度為 $385 \mu\text{LL}^{-1}$ ，而本樣區林下大氣 CO_2 濃度約為 $390 \mu\text{LL}^{-1}$ ，因此以此為 CO_2 濃度背景值，再以增加 30 及 $60 \mu\text{LL}^{-1}$ 的 CO_2 濃度代表林下樹苗可能接觸到的 CO_2 自然提高條件。在森林現地測定時，是將待測樹苗葉片夾入葉箱後，先設定光量為 $50 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ， CO_2 濃度 $390 \mu\text{LL}^{-1}$ ，以此條件觀測待測葉片的淨光合作用率變化情形，達穩定狀況後

將 CO₂ 提高至 420 μLL⁻¹，光合作用率達穩定後記錄讀數，再將 CO₂ 提高至 450 μLL⁻¹，穩定後讀取數據，然後將葉箱的光量提高到 300 μLL⁻¹，且 CO₂ 降至 390 μLL⁻¹，依序再將 CO₂ 濃度提高到 420 及 450 μLL⁻¹，完成一個葉片的測定。依照上述方法 9 個樹種各測定 3 株苗木各 1 片的數值。此項測定是在 2008 年 3 月進行，在同一測定日是以兩部 LI-6400 光合作用系統分別測定。

第七節 林地土壤呼吸

本研究藉美國 LI-COR 公司出產的土壤 CO₂ 通量分析儀(Automated soil CO₂ flux system, LI-8100, LI-COR, USA)，配合監測箱(Survey chamber)進行土壤地表 CO₂ 濃度及土壤 CO₂ 釋出通量(Soil CO₂ flux)的研究。每測點以手動方式設定測定項目，包括測量時間、循環次數、每秒紀錄資料等，並以掌上型電腦(PDA)控制，測定時間為 120 秒。每個月測定試驗地 20 個測點的土壤 CO₂ 通量及土壤溫度與含水量。

第八節 植物物候調查

一、研究材料

(一) 樣木的選取

在古湖樣區邊，南仁山步道 3.5 km 南側的迎風坡森林選取 18 種樹種，另在步道 1 km 至 3.1 km 於近溪谷之步道邊緣選取 5 種，總計 16 科 22 種 121 株供物候觀察。監測的樹種包括迎風優勢樹種：嶺南青剛櫟、長尾尖葉櫟、錐果櫟、捲斗櫟、杏葉石櫟、大頭茶、日本賽衛矛等 7 種；迎風特徵種：大明橘、小葉赤楠、恆春石斑木、唐杜鵑、珊瑚樹、恆春楨楠及武威山新木薑子等 7 種；廣泛分布種：台灣八角及奧氏虎皮楠；台灣特有且稀有樹種：細葉茶梨、希蘭灰木、松田氏冬青、南仁山柃木及銹葉野牡丹等 5 種，以及稀有樹種欖仁舅，合計 22 種。所調查之樹種學名與觀察株數如表 2-1 所示。

表 2-1. 南仁山古湖樣區迎風坡森林物候調查之樹種及樣木株數

科名	樹種	學名	株數
殼斗科	長尾尖葉櫛	<i>Castanopsis cuspidata</i>	5
	錐果櫛 ³⁾	<i>Cyclobalanopsis longinux</i>	5
	捲斗櫛	<i>Cyclobalanopsis pachyloma</i>	6
	嶺南青剛櫛	<i>Cyclobalanopsis championii</i>	8
	杏葉石櫛	<i>Lithocarpus amygdalifolius</i>	5
八角茴香科	台灣八角 ³⁾	<i>Illicium arborescens</i>	6
茶科	細葉茶梨 ¹⁾	<i>Anneslea lanceolata</i>	5
	南仁山柃木 ²⁾	<i>Eurya nitida</i>	6
	大頭茶	<i>Gordonia axillaris</i>	5
薔薇科	恆春石斑木 ³⁾	<i>Rhaphiolepis indica</i>	6
冬青科	松田氏冬青 ²⁾	<i>Ilex lonicerifolia</i>	4
衛矛科	日本賽衛矛	<i>Microtropis japonica</i>	6
灰木科	希蘭灰木 ¹⁾	<i>Symplocos shilanensis</i>	5
虎皮楠科	奧氏虎皮楠	<i>Daphniphyllum glaucescens</i>	5
樟科	恆春楨楠 ¹⁾	<i>Machilus obovatifolia</i>	5
	武威新木薑子	<i>Neolistsea buisanensis</i>	5
茜草科	欖仁舅	<i>Neonauclea reticulata</i>	7
桃金娘科	小葉赤楠	<i>Syzygium buxifolium</i>	5
杜鵑花科	唐杜鵑	<i>Rhododendron simsii</i>	6
忍冬科	珊瑚樹	<i>Viburnum odoratissimum</i>	6
野牡丹科	銹葉野牡丹 ²⁾	<i>Astronia formosana</i>	5
紫金牛科	大明橘	<i>Myrsine seguinii</i>	5

¹⁾保育等級為受威脅之台灣特有種；²⁾稀有之台灣特有種；³⁾台灣特有種

(資料來源：本研究)

(二) 樣木配置

在每一株樣木上繫掛標有樹種名稱與序號之蘭花牌，並目視繪出步道、觀測鐵塔與樣木間之相對位置(圖 2-3 及圖 2-4)。

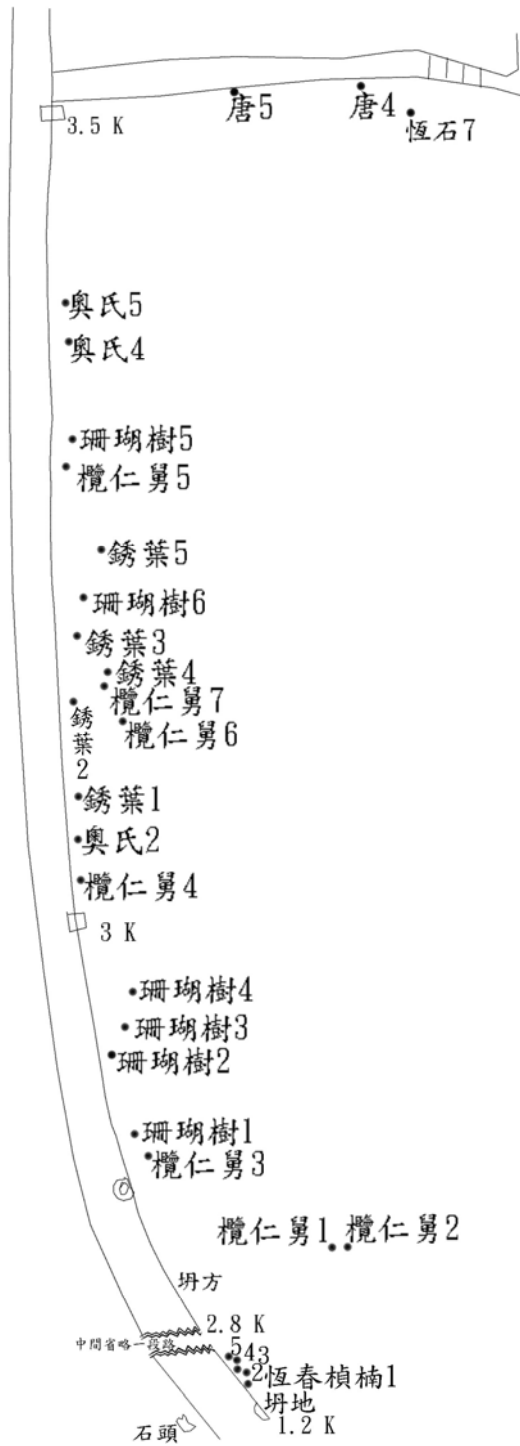


圖 2-3. 南仁山步道物候觀察樣木配置示意圖

(資料來源：本研究)

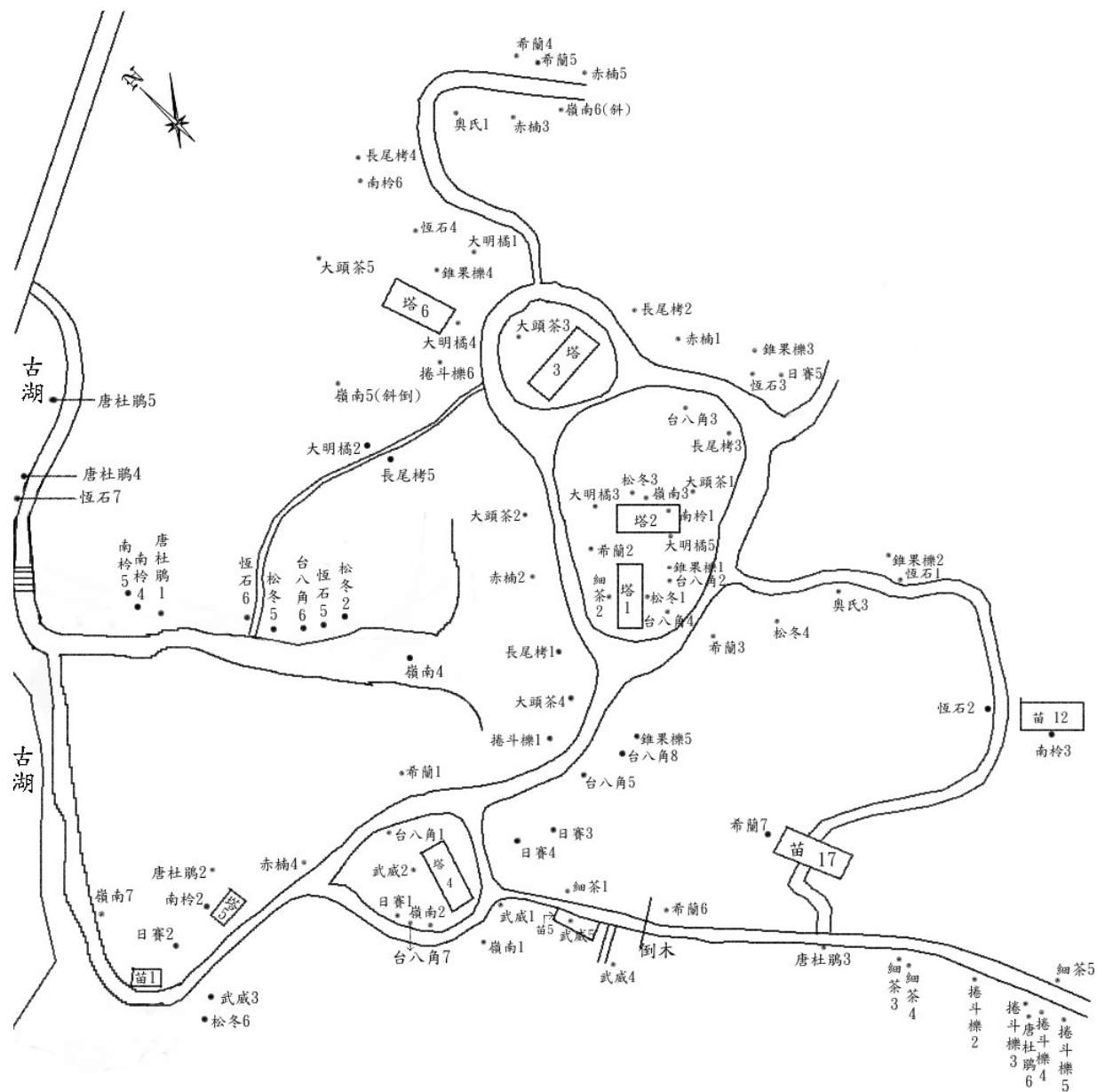


圖 2-4. 步道 3.5 k 南側樣區物候觀察樣木配置示意圖

(資料來源：本研究)

二、研究方法

(一) 調查項目

觀察的物候現象包括落葉、抽芽、展葉、開花、結果、落果等重要項目之開始及持續的時間。

表 2-2. 本物候調查分級與說明

	分級	代碼	說明
芽	芽膨大期	B	芽苞鱗片有淡綠色或是頂芽開裂
	芽開放期	B'	已見嫩芽間或是新生苞片伸長
葉	始展葉期	BL	新生葉 1~2 片平展
	展葉盛期	NL	新生葉半數以上平展
	生活期	L	樣木營養生活期間
	始落葉期	OL	葉片老化，葉片呈現紅、黃或褐色
花	落葉末期	XL	葉片完全凋落，剩枝條
	花出現期	fB	花蕾或花序明顯出現
	開花始期	f	1~2 朵花開
	開花盛期	f	半數以上花開
果	開花末期	f'	少許花+幼果+宿存花萼
	著果期	F	果實已成形但未成熟
	果成熟期	F'	半數以上果實為成熟顏色
	果落始期	F''	種子開始飛散或掉落
	果落末期		種子幾乎飛散或掉落

(資料來源：本研究)

(二) 計量方式

物候現象呈明顯表現者(例如新葉、落葉、大量開花、結果等)，以表現狀態佔樹冠面積之百分比定量記錄，給予 0 到 100 之百分等級。

其中樹冠面積百分比之計量方式，初次記錄參照台灣長期生態研究樣區之『闊葉樹林物候調查作業準則』中調查方法內『樹冠可通視』狀況下處理方式如下：

記錄植物各物候期出現豐度的方法，可透過畫有 100 個 2 cm × 2 cm 小正方形框的正方形透明壓克力板，觀測樹木樹冠與各物候期，觀測時調

整樹木、壓克力板與觀測者之間的距離，使觀測之樹冠頂部及底部，或是冠幅之左右兩側，與壓克力板上的正方框之上下邊緣或側緣切齊。計算樹冠範圍所佔的方格數(a)，及各項物候期所佔之方格數(b)與顏色，以公式 b/a 作為該物候期之出現風度百分比。當所觀察的物候期對象所佔的位置未填滿 $2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ 小正方框格(不足一格)時以一格為計算。

(下載文件網站：台灣長期生態研究網 <http://lter.npust.edu.tw/>)

之後記錄以首次記錄數據為基準，每次觀察再加以增減表現量值，如遇到大規模物候變化或歷經半年記錄時間，再以透明壓克力板觀測修正記錄量值。

(三) 觀測方法

於樣區內有 6 座鋁管鷹架，鷹架 1.8 m，其中 4 座為 2 層高，其餘 2 座為單層，以肉眼直接觀望樹冠層之物候變化。由於較高倍率的望遠鏡只能視及一定距離外之物體，此視距會造成鷹架上觀測近距離樣木時之限制，而若干距離鷹架較遠之樣木，則使用 10×25 倍數之望遠鏡觀測。逐月記錄該樣木所表現物候之豐富度，以單一植株為單位，記錄時間軸上各物候所出現之豐富度變化。

(四) 調查週期

物候觀察記錄以一個月為調查週期，但在春夏季時每月做 2 次調查。第一次調查於 2007 年 10 月，最後一次調查為 2008 年 11 月，研究時間有 14 個月，總計有效調查次數為 20 次。

第三章 結果與討論

第一節 小苗更新動態

南仁山迎風坡森林 45 個面積各 1 m^2 的小苗更新動態樣區，在 2008 年 5 月時有一個小區因被沙勒竹完全覆蓋，無法進行調查，因此總樣區數剩下 44 區。在 2008 年 7 月時記錄到可鑑定的植物共 69 種，株數達 1535 株，平均密度為 34.9 株 m^{-2} ，株數最多的前三種為日本賽衛矛、台灣八角及恆春石斑木，每 m^2 密度分別有 5.1、3.7 及 2.8 株。密度在 1 株 m^2 以上的另有鐵雨傘、大頭茶、小葉赤楠、細脈赤楠及金平氏冬青(表 3-1)。密度在 0.1 株 m^2 以下的有革葉冬青、軟毛柿、綠樟 26 種，佔總物種數的 37%。

本年度 1~11 月新生苗合計有 257 株，而死亡的植株為 254 株(表 3-2)。2006 及 2007 年 1~1 月，2 年度分別死亡 216 及 218 株(表 3-2)，本年度苗木死亡的株數與過去 2 年類似。長出新生苗的植物共有 32 種，以日本賽衛矛 65 株最多(表 3-3)。2008 年 1~11 月小苗樣區總共記錄到 254 株苗木死亡，有死亡的樹種高達 40 種，死亡植株最多的樹種也是日本賽衛矛 (48 株)，其次依序為台灣八角、九節木及恆春石斑木(表 3-4)。本區少數幾種陽性樹苗，如白匏仔及白柏分別也有 9 及 5 株死亡(表 3-4)。在 44 個小苗樣區中，以南側第 19 號樣區共死亡 19 株最多，該區上方樹冠被破壞嚴重，下方地被植物多已枯死，樣區內仍存活的 22 株小苗生長狀況也不好，落葉嚴重，可能會逐漸死亡。

表 3-1. 南仁山 2008 年 7 月調查到所有小苗的數量及密度(株 m⁻²)

樹種	株數	密度(株 m ⁻²)	樹種	株數	密度(株 m ⁻²)
日本賽衛矛	225	5.11	捲斗櫟	7	0.16
台灣八角	163	3.70	嶺南青剛櫟	7	0.16
恆春石斑木	121	2.75	南仁五月茶	6	0.14
九節木	101	2.30	細葉饅頭果	6	0.14
鐵雨傘	70	1.59	楊桐葉灰木	6	0.14
大頭茶	68	1.55	樹杞	6	0.14
小葉赤楠	56	1.27	福建賽衛矛	5	0.11
細脈赤楠	55	1.25	銳脈木薑子	5	0.11
金平氏冬青	49	1.11	蟲屎	5	0.11
小葉木犀	47	1.07	革葉冬青	4	0.09
大明橘	44	1.00	軟毛柿	4	0.09
長尾尖葉槲	39	0.89	綠樟	4	0.09
武威山新木薑子	33	0.75	錐果櫟	4	0.09
白匏仔	27	0.61	薄葉玉心花	4	0.09
白柏	27	0.61	大錦蘭	3	0.07
奧氏虎皮楠	27	0.61	台灣黃杞	3	0.07
野牡丹	25	0.57	烏來冬青	3	0.07
山黃梔	24	0.55	小葉樹杞	2	0.05
台灣蕘花	24	0.55	唐杜鵑	2	0.05
領垂豆	21	0.48	桃葉珊瑚	2	0.05
江某	20	0.45	烏心石舅	2	0.05
紅果金粟蘭	20	0.45	臭辣樹	2	0.05
山豬肝	15	0.34	港口木荷	2	0.05
毛雞屎樹	15	0.34	三叉虎	1	0.02
南仁山柃木	15	0.34	山紅柿	1	0.02
廣東瓊楠	14	0.32	希蘭灰木	1	0.02
雞屎樹	13	0.30	恆春紅豆	1	0.02
竹柏	12	0.27	烏心石	1	0.02
紅楠	12	0.27	疏花紫珠	1	0.02
福木	11	0.25	細葉茶梨	1	0.02
杜英	10	0.23	壺冠木	1	0.02
狗骨仔	10	0.23	菲律賓饅頭果	1	0.02
小葉樟	9	0.20	黃杞	1	0.02
香楠	8	0.18	鐵冬青	1	0.02
台灣天仙果	7	0.16			
株數合計				1535	
平均密度				34.9	

(資料來源：本研究)

表 3-2. 南仁山迎風坡森林 2005 年至 2008 年不同月份樹苗出生及死亡株數

	月 份												小計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2005 年													
出生	-	-	10	19	41	70	-	52	42	40	15	11	350
死亡	-	-	12	7	19	9	-	44	22	34	20	12	179
2006 年													
出生	27	42	36	13	5	10	9	24	28	28	8	6	236
死亡	19	10	23	14	10	10	21	84	11	11	3	35	251
2007 年													
出生	-	-	78	49	54	45	28	20	42	34	40	16	406
死亡	25	23	10	3	20	5	40	23	43	15	11	16	234
2008 年													
出生	3	29	24	24	27	15	43	34	15	28	15		257
死亡	11	33	27	15	29	28	56	13	7	12	23		254

(資料來源：本研究)

表 3-3. 南仁山迎風坡森林小苗樣區 2008 年各月不同樹種新生苗株數

樹種	月 份												小計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
日本賽衛矛			1	10	7	4	21	7	6	5	2		63
恆春石斑木		3	1	1	2	2				1			10
台灣八角		10	1	2	1	2	2			2	2		22
大頭茶				5	1	1	1			3			11
金平氏冬青	1		3			3	5	4	1	5	1		23
九節木		2						1	2	1	2		8
細脈赤楠								1					1
小葉木犀		1	1		8			2					12
鐵雨傘			2										2
江某		1	1										2
小葉赤楠							1	1					2
大明橘			1	1	1						1		4
台灣蕘花							1						1
白匏仔								1					1
竹柏				1					1		1		3
野牡丹			2				5	1					8
毛雞屎樹		1					1	3					5
領垂豆	1						1		1		1		4
台灣天仙果				1									1
長尾尖葉槿				1				1					2
小葉樟							2						2
捲斗櫟		1											1
山黃梔								1	1	3			5
紅果金粟蘭								1	2	1			4
山豬肝										1			1
杜英										1			1
綠樟										1			1
奧氏虎皮楠					1			1	1				3
細葉茶梨					1								1
銳脈木薑子					1								1
樹杞								1					1
未知	1	10	11	2	4	3	1	8	1	5	5		51
合計	3	29	24	24	27	15	43	34	15	28	15		257

(資料來源：本研究)

表 3-4. 南仁山迎風坡森林小苗樣區 2008 年各月份不同樹種死亡株數

樹種	月份												小計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
日本賽衛矛	2	8	8	3	5	5	12	1	2		3		49
恆春石斑木		5	1	3	2	2	8	3					24
台灣八角	3	4	5		6	7	3		1	1			30
大頭茶		2	1					1		2	1		7
金平氏冬青					2	2	5						9
九節木	3	1	2		4	2	7	1	1		5		26
細脈赤楠	1	1	2				3			2	2		11
小葉木犀			1	1		1							3
鐵雨傘		2			1						1		4
江某			1				2						3
小葉赤楠						2	2				1		5
大明橘				1	2						2		5
台灣蕘花		1				1							2
白匏仔			1	2	1	1	1	1		1	1		9
白柏		2	1		1		1						5
山黃梔						2	1				1		4
竹柏			1		1	1					1		4
毛雞屎樹				1	1			1		1			4
紅果金粟蘭		2	2				1		1				6
台灣天仙果		1											1
錐果櫟							1						1
長尾尖葉槭		1							1				2
南仁山矜木				1									1
樹杞			1		1		1						3
山豬肝							1						1
小葉樟											2		2
奧氏虎皮楠							2						2
廣東瓊楠				1				1					2
紅楠							1	1					2

(資料來源：本研究)

表 3-4 (續). 南仁山迎風坡森林小苗樣區 2008 年各月份不同樹種死亡株數

樹種	月份												小計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
大錦蘭									1		1		2
武威山新木薑子				1			2						3
雞屎樹				1		1		1		3	1		7
三叉虎	1												1
革葉冬青						1							1
薄葉玉心花					1								1
山菜豆							1						1
蟲屎								1			1		2
恆春福木	1	1											2
烏來冬青		1											1
狗骨仔								1					1
未知		1			1		1			2			5
合計	11	33	27	15	29	28	56	13	7	12	23		254

(資料來源：本研究)

整理北側森林 24 個小苗樣區自 2002 年 7 月至 2008 年 7 月，6 年期間新生樹苗的存活死亡情形。在上述六年期間，總共記錄到 817 株新生苗(表 3-5)，同一期間這些新生苗共有 362 死亡，因此這些新生苗的總計存活率為 55.7%。然而這 817 株新生苗並不是同一時間出生的，因此該存活率的樣區，每年每月都有新生苗的出現，這 817 株的新生苗齡分別有 1 個月到超過 6 年，需要區分不同齡期來計算新生苗成活率才有生態意義。以新生苗株數較多的 17 種做記錄，發現其中有 6 種新生苗的苗齡可達 60 個月(滿 5 年)，其中只有長尾尖葉槲苗齡滿 5 年的植株，成活率仍達 20%，其餘 5 種的成活率都低於 5%(表 3-5)，所統計的 17 種樹苗中，苗齡超過 3 個月而無死亡的樹種有 7 種，但白柏與日本賽衛矛苗齡 3 個月時，其成活率都不足 80%(表 3-5)。從新生到滿一年，只有小葉木犀能維持 100%的成活率，細脈赤楠與長尾尖葉槲可維持 90%以上的存活率；從新生到苗齡二年時(24 個月)，已有 15 種的成活率低於 50%，只有長尾尖葉槲仍有 70%的成活率；從新生到苗齡 3、4 年，仍以長尾尖葉槲的成活率最高(表 3-5)。若以新生苗由出生到只存活 50%來看，日本賽衛矛與大頭茶在苗齡 6~12 個月之間即低於 50%的成活率，17 種有 10 種是在 12 個月至 18 個月的期間，鐵雨傘、小葉赤楠及蟲屎是在 18~24 個月之間到達，細脈赤楠在 24~26 個月間到達，而長尾尖葉槲要到 4~5 年間才到達 50%以下的存活率(表 3-5)。在 2002 年 7 月至 2008 年 7 月，六年期間共記錄到新生苗有 362 株死亡，新生苗最多的前三種死亡株數也是最多的前三種(表 3-6)。計算新生苗在不同齡期的各別死亡率，以苗木株數超過 8 種而言，白柏在苗齡 3 個月時即有較高的死亡率(32%)。

台灣八角與蟲屎是在苗齡 6 個月時有較高的死亡率；日本賽衛矛、恆春石斑木及大頭茶是在苗齡 12 個月時死亡率較高；九節木及細脈赤楠則是分別在苗齡 18 個月及 24 個月時有較高的死亡率(表 3-6)。由表 3-6 可發現，新生苗出生後在何時有較高死亡率，是因樹種而異，但在出生後的一年內，幼苗植株的死亡機率會較高。

表 3-5. 南仁山森林新生樹苗在不同齡期之存活率(%)。調查期間為 2002 年 7 月至 2008 年 7 月，共 24 個 1 m² 樣區

	新生苗 總株數	苗齡(月)							
		3	6	12	18	24	36	48	60
台灣八角	107	88	68	59	31	19	7.5	4.7	2.8
日本賽衛矛	175	78	71	38	19	10	5.7	4.6	3.4
恆春石斑木	101	85	78	55	31	22	9.9	-	-
九節木	88	83	76	63	48	43	10	6.8	1.1
細脈赤楠	60	95	93	75	62	53	1.7	1.7	1.7
大頭茶	52	79	67	44	21	13	7.7	-	-
鐵雨傘	27	96	85	70	56	44	26	7.4	3.7
白柏	24	75	71	54	46	46	33	13	-
紅果金粟蘭	23	96	87	61	30	30	-	-	-
小葉赤楠	19	84	74	58	58	21	5.3	-	-
蟲屎	18	100	67	61	50	33	-	-	-
金平氏冬青	13	100	77	54	23	23	-	-	-
江某	11	100	82	55	27	27	-	-	-
領垂豆	11	100	82	55	36	18	-	-	-
長尾尖葉櫨	10	100	90	80	70	70	60	60	20
小葉木犀	10	100	100	70	40	30	-	-	-
台灣蕘花	9	100	89	56	44	33	-	-	-
其他樹種	59	88	75	41	22	12	1.7	-	-

(資料來源：本研究)

表 3-6. 南仁山森林新生樹苗在不同齡期之死亡率(%)。調查期間為 2002 年 7 月至 2008 年 7 月，共 24 個 1 m² 樣區

	死亡 總株數	苗齡(月)								
		3	6	12	18	24	36	48	60	72
日本賽衛矛	118	16	3.4	33	31	8.5	4.2	0	1.7	2.5
恆春石斑木	55	22	9.1	33	11	15	11			
台灣八角	53	21	25	17	17	11	5.7	0	1.9	1.9
九節木	40	20	10	18	23	7.5	13	10		
白柏	19	32	5.3	16	11	0	11	26		
蟲屎	17	0	35	5.9	12	12	35			
細脈赤楠	15	20	6.7	20	6.7	27	20			
大頭茶	10	20	20	30	20	10				
小葉赤楠	9	22	44	0	0	33				
鐵雨傘	6	17	17	50	0	0	0	0	17	
紅果金素蘭	6	17	33	17	0	0	33			
南仁山柃木	3	67	0	33	0					
白匏仔	3	33	0	33	33					
金平氏冬青	2	0	100							
領垂豆	2	0	50	0	0	50				
長尾尖葉槿	2	0	0	50	0	0	0	0	50	
台灣蕘花	2	0	50	50						
三叉虎	2	0	50	50						
華河瓊楠	2	0	50	0	50					
武威山新木薑子	1	0	0	100						
山黃梔	1	0	0	0	100					
樹杞	1	0	0	100						
錐果櫟	1	0	0	100						
杜英	1	0	0	100						
華八仙	1	0	0	100						

(資料來源：本研究)

在 2002 年 7 月至 2008 年 7 月，6 年的調查期間，每種新生苗在不同齡期的高度，整理如表 3-7。供分析的 17 種樹苗中，出生當時的苗高多在 4.0~6.0 cm 範圍，只有鐵雨傘與領垂豆苗高在 8.0 cm 以上(表 3-7)。新生苗生長屆滿 1 年時，金平氏冬青與小葉木犀的淨高生長低於 1 cm，有 6 種淨高生長在 1.0~2.0 cm 範圍，超過 3 cm 的有 6 種，其中以陽性樹種的白柏一年淨高生長達 10 cm，其次為台灣蕘花約 6 cm，江某及領垂豆則可長高 4 cm 以上。由苗齡 1 年至 2 年這段期間，白柏可長高 17 cm，台灣八角與蟲屎可長高 4 cm 以上，然而日本賽衛矛、恆春石斑木及九節木在這一年中淨高生長分別只有 1.2、1.3 及 0.8 cm，實際高度分別為 8.2、8.1 及 6.2 cm (表 3-7)。由苗齡第 2 年到第 3 年期間，台灣八角及恆春石斑木均可長高約 9 cm，白柏則可增加 20 cm 的高度，但日本賽衛矛淨高生長只有 0.9 cm，實際苗高僅為 9.1 cm，生長很慢。新生苗在成長過程中有些樹種隨著苗齡增加，實際高度可能反而有減少的現象。例如台灣八角苗齡 3 年時，8 株樹苗平均高度為 20 cm，但至苗齡 4 年時，存活的 5 株樹苗實際高度反而減低至 14 cm (表 3-7)。此現象一方面可能是因原本高度較高的植株死亡，使平均高度降低，或者可能是仍存活的植株遭受外力折損，致平均高度降低。綜合上述不同齡期的苗高資料，得知本研究南仁山迎風坡森林新生樹苗的高生長很緩慢，除了陽性樹種有機會在出生後 4 年長至 100 cm 以上之外，大多數耐陰樹種新生苗在苗齡 2 年時，高度多在 8~15 cm 之間，長至 3 年時高度也少能超過 15 cm。

表 3-7. 南仁山森林新生樹苗高生長(cm)之動態變化。括弧內數字為樣本株數。調查期間為 2002 年 7 月至 2008 年 7 月，共 24 個 1 m² 樣區

	初始	苗齡(年)						
	苗高	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0
台灣八角	4.4±0.2 (107)	5.8±0.4 (73)	7.8±0.7 (63)	9.8±1.6 (33)	11.9±3.0 (20)	20±10 (8)	14±4 (5)	8.4±0.9 (3)
日本賽衛矛	5.3±0.2 (175)	6.1±0.2 (124)	7.0±0.4 (67)	8.2±0.7 (33)	8.2±0.9 (18)	9.1±1.1 (10)	8.5±1.5 (8)	8.7±2.4 (6)
恆春石斑木	5.6±0.2 (101)	6.0±0.3 (79)	6.8±0.4 (56)	7.1±0.7 (31)	8.1±0.9 (22)	17±4 (10)	-	-
九節木	4.0±0.2 (88)	4.4±0.2 (67)	5.4±0.4 (55)	5.3±0.3 (42)	6.2±0.4 (38)	5.4±0.6 (9)	6.8±1.0 (6)	7.0 (1)
細脈赤楠	7.6±0.4 (60)	8.3±0.3 (56)	9.5±0.5 (45)	11±0.7 (37)	12±0.9 (32)	15 (1)	19 (1)	21 (1)
大頭茶	5.3±0.3 (52)	6.3±0.4 (35)	7.9±0.7 (23)	9.5±1.5 (11)	8.4±0.8 (7)	12±2.1 (40)	-	-
鐵雨傘	8.0±1.0 (27)	8.2±1.0 (23)	10±1.6 (19)	8.1±1.4 (15)	8.2±1.4 (12)	12.4±2.8 (7)	13±2.5 (2)	13.0 (1)
白柏	7.4±1.1 (24)	9.9±1.6 (17)	17±3.3 (13)	23±4.2 (11)	34±8.6 (11)	54±15 (8)	117±49 (3)	-
紅果金粟蘭	4.6±0.3 (23)	4.9±0.4 (20)	5.9±0.6 (14)	5.4±0.7 (7)	5.5±0.6 (7)	-	-	-
小葉赤楠	5.6±0.5 (19)	6.6±0.5 (14)	7.8±0.7 (11)	8.1±0.9 (11)	7.3±1.5 (4)	15 (1)	-	-
蟲屎	5.1±0.4 (18)	8.3±0.7 (12)	8.6±1.1 (11)	10±2.0 (9)	13±2.6 (6)	-	-	-
金平氏冬青	6.5±1.2 (13)	7.1±1.4 (10)	7.3±1.8 (7)	9.7±4.3 (3)	10±3.4 (3)	-	-	-
江棗	5.3±1.1 (11)	5.3±0.8 (9)	9.8±3.7 (6)	8.8±1.6 (3)	11±2.1 (3)	-	-	-
領垂豆	8.1±1.4 (11)	8.5±1.6 (9)	12.4±5 (6)	12±6.4 (4)	7.5±0.5 (2)	-	-	-
長尾尖葉槿	5.9±0.6 (10)	7.1±0.9 (9)	7.6±1.1 (8)	9.9±2.6 (7)	11±1.9 (7)	15±2.4 (6)	19±5.1 (6)	31±5.5 (2)
小葉木犀	4.0±0.7 (10)	4.4±0.6 (10)	4.3±0.5 (7)	4.3±0.3 (4)	5.3±0.9 (3)	-	-	-
台灣蕘花	6.3±0.8 (9)	12±4.0 (8)	12±3.9 (5)	11±5.1 (4)	14±8.3 (3)	-	-	-

(資料來源：本研究)

第二節 小苗一日碳收支

為了解迎風坡森林，林下樹苗白天碳收穫與夜間碳支出，兩者的收支是否會平衡，故選取 9 種樹種，每種 4 株，測定各樹種各株樹苗白天不同時段的光合作用日變化。已於 2007 年 5~12 月以及 2008 年 1~4 月，共測計一年，每個測定日於 7:00 至 17:00 測定此 9 種樹苗的光合作用日變化一天，2008 年 4 月 9 日最後一次個測定日，各樹種各時段的平均光合作用率及光量的日變化示如圖 3-1。由該圖可知在清晨 7:00~8:00，以及下午 15:00 以後，林內光量均很低，因此各樹種的淨光合作用率亦在 $0\sim 1.0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 之間，中午期間會有較高的光量，使各樹種苗木的淨光合作用率提高，尤其是白柏可有高達 $6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 的淨光合作用率(圖 3-1)。小葉樟、大頭茶及台灣八角苗木白天能照到的光量較低，致光合作用率均低。

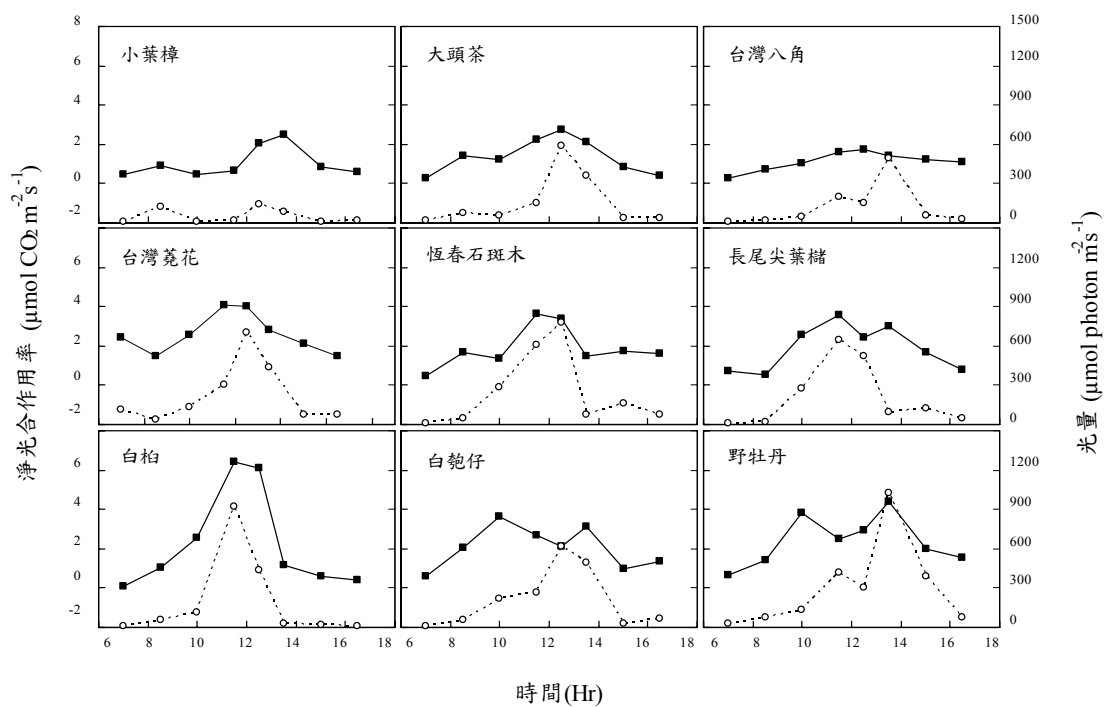


圖 3-1. 供試 9 種樹苗 2008 年 4 月 9 日淨光合作用率(■)及光量(O)之日變化
(資料來源：本研究)

供試 9 種樹苗在 2007 年 5 月至 2008 年 4 月，每個月的光合作用率及光量日平均值如表 6 所示。2007 年 9 月因雨日較多，影響野外測定工作，故無法獲得數據。在一年 11 次的測定過程，只有 4 個測定日是遇到陽光強的晴日，使樹苗白天照到的平均光量可達 $100 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上，尤其是 2007 年 7 月的測定日，有 3 種樹苗可照到高於 $300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的日平均光量(表 3-8)。然而在同一測定日，因不同植株生長處的位置不同，白天所獲得的光資源也會有很大的差異，例如本研究的小葉樟都只在林下低光微生育地更新，小苗沒有出現在光量較強的孔隙環境，因此一年的日平均光量僅為 $39 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，大頭茶與台灣八角樣木所處位置的全年日平均光量亦僅有 69 及 $98 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，因此這 3 種的全年日平均光合作用率亦是 9 種供試數種中較低者(表 3-8)。此 9 種樹苗全年日平均光量的高低排序與全年日平均淨光合作用率的排序是一致的，均以恆春石斑木最高，白柏次之，依序分別為長尾尖葉櫨、台灣蕘花、野牡丹、白匏仔、台灣八角及大頭茶，而以小葉樟最低(表 3-8)。

表 3-8. 供試樹種各月平均一日淨光合作用率($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)及光量($\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

月份	樹種								
	小葉樟	大頭茶	台灣八角	台灣蕘花	恆春 石斑木	長尾 尖葉槲	白柏	白匏仔	野牡丹
2007 年									
5 月	1.58 (29)	0.99 (49)	1.01 (47)	2.02 (84)	1.75 (79)	2.49 (57)	1.34 (90)	0.88 (52)	0.71 (50)
6 月	1.02 (33)	0.85 (22)	1.40 (99)	1.19 (74)	1.94 (56)	1.58 (77)	2.75 (126)	1.99 (70)	2.19 (107)
7 月	0.91 (69)	1.14 (109)	1.44 (191)	2.20 (238)	3.88 (422)	3.50 (397)	2.19 (326)	2.08 (232)	1.72 (154)
8 月	0.98 (27)	1.27 (195)	1.24 (241)	2.34 (298)	2.64 (222)	1.82 (197)	3.36 (244)	1.31 (60)	2.76 (233)
10 月	0.93 (50)	0.76 (25)	1.04 (56)	1.37 (62)	1.48 (66)	1.2 (46)	2.54 (97)	2 (119)	2.06 (165)
11 月	1.25 (39)	1.48 (36)	1.96 (58)	2.7 (60)	2.66 (69)	2.56 (80)	2.25 (77)	1.95 (89)	1.77 (60)
12 月	1.04 (33)	0.96 (20)	1.12 (30)	1.43 (55)	1.65 (42)	1.91 (47)	1.3 (45)	1.26 (61)	1.49 (54)
2008 年									
1 月	1.14 (48)	1.29 (58)	1.51 (71)	1.9 (81)	2.17 (88)	1.97 (78)	1.49 (84)	1.33 (106)	1.58 (76)
2 月	1.28 (33)	1.65 (57)	1.73 (137)	2.59 (102)	3.29 (195)	2.74 (146)	1.67 (162)	1.36 (125)	2.19 (89)
3 月	0.80 (18)	0.98 (23)	0.89 (25)	1.32 (39)	1.67 (40)	1.12 (30)	1.82 (54)	1.45 (73)	1.23 (35)
4 月	1.05 (50)	1.41 (167)	1.14 (127)	2.61 (235)	1.93 (257)	1.91 (217)	2.29 (200)	2.07 (219)	2.41 (306)
平均	1.09±0.07 (39±5)	1.16±0.08 (69±18)	1.32±0.10 (98±21)	1.97±0.17 (121±27)	2.28±0.23 (140±37)	2.07±0.21 (125±33)	2.09±0.19 (137±27)	1.61±0.13 (110±19)	1.83±0.17 (121±26)

註：括號內數值為光量
(資料來源：本研究)

合併同樹種 4 個植株在一年間所有測定日的數據，將各單株各時段測得的瞬間淨光合作用率及當時的瞬間光量，共約 350 筆數據繪圖，結果如圖 3-2 所示。在供測 9 個樹種中，除了小葉樟之外，其餘 8 個樹種的淨光合作用率與光量均有顯著直線或對數正相關，各樹種迴歸式的決定係數(r^2)在 0.50~0.73 之間。小葉樟、大頭茶及台灣八角在 $150 \mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上的光量時，其淨光合作用率均並沒有明顯增加的趨勢，此現象與其它 8 種樹苗不同。

供試 9 種樹種中，恆春石斑木、白柏及白匏仔苗木的淨光合作用率與測定時的瞬間光量兩者間具有極顯著的直線正相關。其餘 6 種是呈對數或二次曲線(小葉樟)關係(圖 3-2)。此現象表示上述 3 種樹苗在測定的光量範圍內，其光合作用率對光資源的利用效率很好，可充分利用提高的光資源。此 3 種樹苗中又以恆春石斑木與白柏利用光資源的效率較高，迴歸式的斜率均為 0.026，均大於白匏仔。此事實亦與表 6 呈現的，恆春石斑木與白柏為此 9 種樹種中全年一日平均淨光合作用率最高及次高者，其是一致的。進一步比較此 9 種樹苗合併全年的測定值在 $100 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以下低光條件，其光合作用率與光量的關係，因為此兩項參數間的關係成直線正相關(圖 3-3)，可藉迴歸線的斜率來比較各樹種的光子利用效率。結果發現該斜率以長尾尖葉楮(0.0454)最大，依序分別為台灣蕘花(0.0398)、恆春石斑木(0.0357)、野牡丹(0.034)及大頭茶(0.0338)，小葉樟、白柏、白匏仔及台灣八角的光合作用對低光的利用效率較上述 5 種低，斜率均在 0.03 以下(圖 3-3)。小葉樟與台灣八角都是耐陰樹種，在 $100 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以下光量條件下，其光子利用效率與陽性樹種的白柏、白匏仔類似，顯示這兩種樹苗在林下低光條件的競爭優勢並不高，可能是以忍耐低光的策略緩慢生長，維持生存。

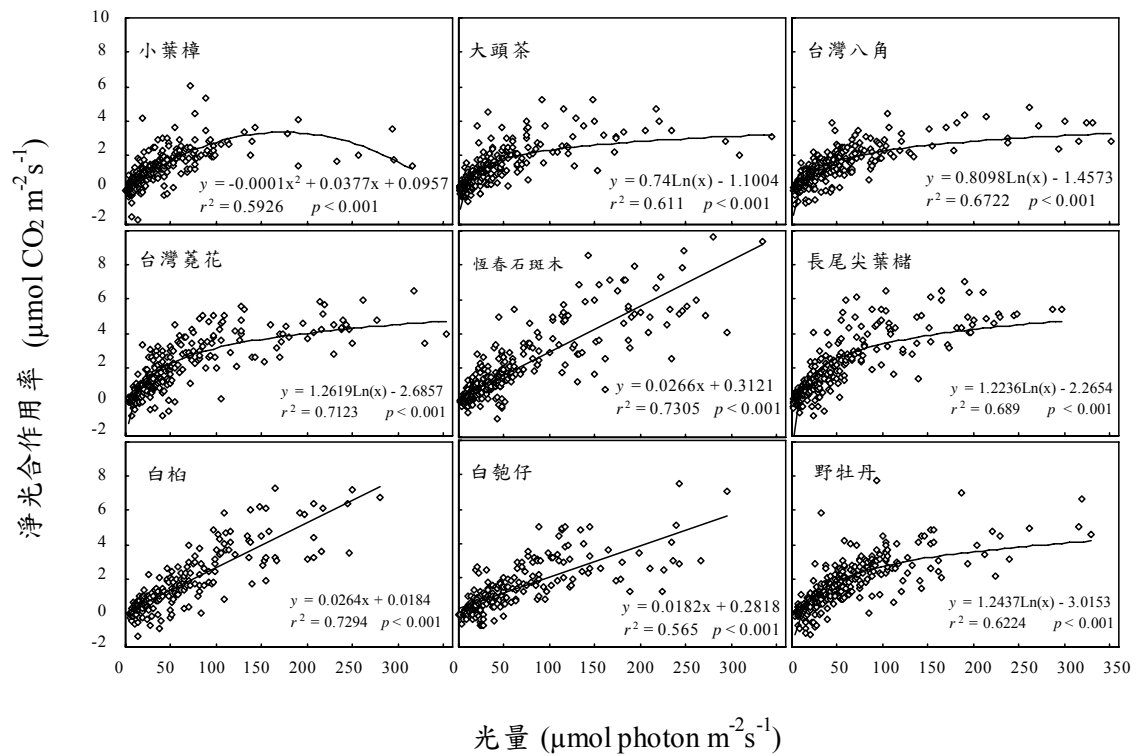


圖 3-2. 供試 9 種樹苗淨光合作用率隨瞬間光量之變化。測定期間為 2007 年 5 月至 2008 年 4 月。

(資料來源：本研究)

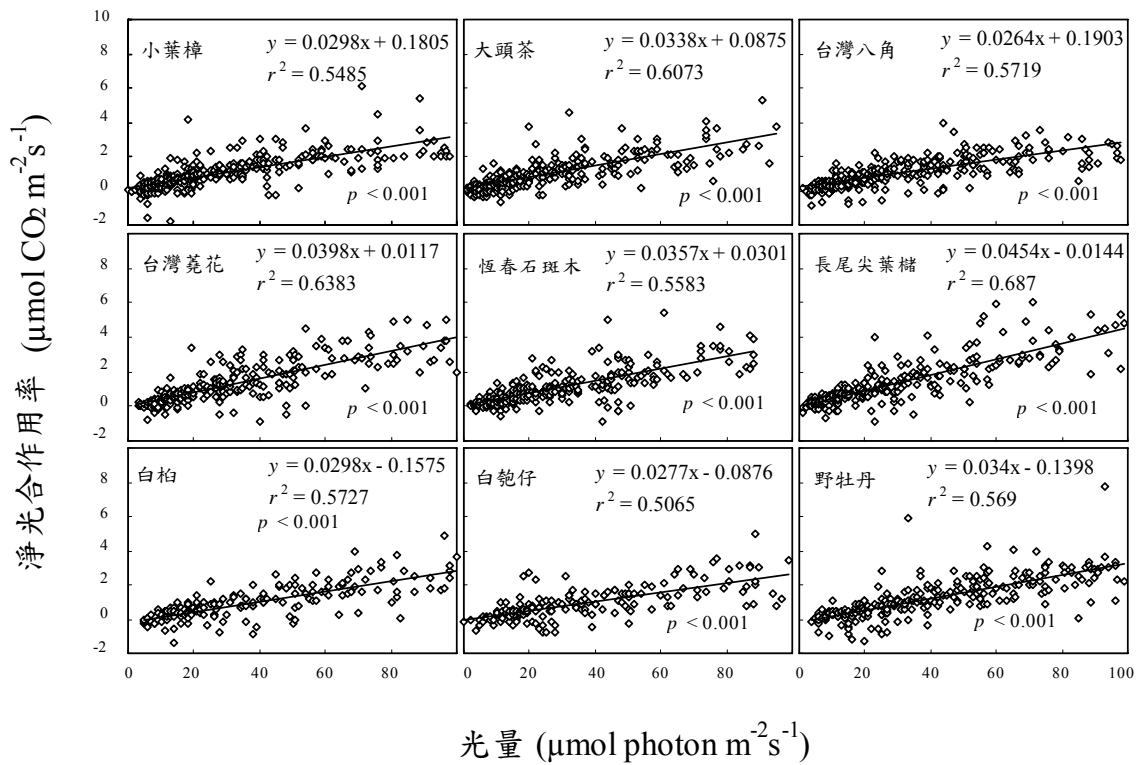


圖 3-3. 供試 9 種樹苗在低光條件下淨光合作用率隨光量的變化。測定期間為 2007 年 5 月至 2008 年 4 月。直線迴歸式的斜率大小可代表各種樹苗光合作用對光量的使用效率。

(資料來源：本研究)

將同一種樹苗不同單株在 2007 年 5 月至 2008 年 4 月期間，同一個測定日累加的一日碳收穫(白天 10 小時)，與該單株白天測定時累加的光量進行迴歸分析，結果發現所有 9 種供試樹苗此兩參數間均具顯著正相關，除了白柏為直線正相關之外，其餘 8 種為指數正相關(圖 3-4)，且迴歸式的決定係數以恆春石斑木最大($r^2=0.6712$)，且在相同的一日累積光量下，本樹種也會較其他樹種高的一日碳收穫。由表 3-8 得知，在以相同單面積為基準的條件下，恆春石斑木在測定一年間每個測定日的平均一日碳收穫也是供試 9 種樹苗最大者。綜合考量圖 2 及圖 4 的結果，獲知南仁山迎風坡森林林下樹苗的一日碳收穫受植株白天能照到的光量所決定，同一樹種有機會照到較強光的植株即會有較大的碳收穫，進而可能影響其光何產物的分配，因此影響了該株苗木的生長及在森林內長期存活的機會。

將 9 種供試樹苗以單株為單位，分別將各單株白天 10 小時的碳收入累積量減去夜間(以 14 小時計)的累積碳支出，求得一日碳收穫量，再將此數據乘以各單株各月的全株葉面積，計算得到該植株的一日碳收支數值。各樹種各月 4 個植株的一日碳收支予以平均，再依不同測定月份區分為各季的平均值，以及一年四季的平均值，結果如表 3-9 所示。以全年平均的一日碳收穫(未乘上全株葉面積)而言，恆春石斑木有最大的數值，不過在單株全年平均一日碳收支(碳收穫乘上單株葉面積)方面卻是以長尾尖葉櫛 $86.8 \text{ mg CO}_2 \text{ d}^{-1}$ 最高，此數值與野牡丹的 $85.1 \text{ mg CO}_2 \text{ d}^{-1}$ 極為接近(表 3-9)。此二樹種的單株一日碳收支遠高於其他 7 種供試樹苗的原因在於兼有較高的一日碳收穫以及較高的單株葉面積。恆春石斑木與台灣蕘花的一日碳收穫均很高，但其單株葉面積均很低，因此其單株一日碳收支就很低(表 3-9)。

表 3-9. 供試 9 樹種於夏、秋、冬及春季之一日碳收穫($\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)、葉面積(cm^2)及單株一日碳收支($\text{mg CO}_2 \text{ d}^{-1}$)

季節	樹種								
	小葉樟	大頭茶	台灣八角	台灣薨花	恆春石斑木	長尾尖葉槲	白柏	白匏仔	野牡丹
夏季(5、6、7、8月)									
碳收穫	1.49	1.26	1.45	2.29	3.22	3.01	2.72	1.46	2.24
葉面積	234	301	206	70	78	293	164	228	358
碳收支	34.0	30.7	28.2	18.8	24.2	104.9	46.3	41.8	78.7
秋季(10、11月)									
碳收穫	1.42	1.37	1.82	2.51	2.60	2.39	1.82	1.70	2.13
葉面積	232	332	247	106	106	277	170	212	422
碳收支	35.35	43.42	44.85	26.36	34.96	82.73	36.94	35.93	92.10
冬季(12、1、2月)									
碳收穫	1.52	1.65	1.75	2.42	3.07	2.91	0.72	0.84	2.09
葉面積	234	302	254	122	96	285	80	172	365
碳收支	35.5	45.6	47.0	30.5	31.4	96.3	7.1	14.2	83.5
春季(3、4月)									
碳收穫	1.16	1.48	1.06	2.40	2.16	1.80	1.50	1.17	2.19
葉面積	260	351	271	144	112	296	110	172	344
碳收支	32.6	53.7	28.2	37.3	30.9	63.4	17.3	20.4	86.1
平均									
碳收穫	1.4±0.1	1.4±0.1	1.5±0.2	2.4±0.1	2.8±0.2	2.5±0.3	1.7±0.4	1.3±0.2	2.2±0.1
葉面積	240±7	322±12	245±14	110±16	98±8	288±4	131±22	196±14	372±17
碳收支	34.4±0.7	43.4±4.8	37.1±5.1	28.2±3.9	30.4±2.2	86.8±9.1	26.9±8.9	28.1±6.5	85.1±3

(資料來源：本研究)

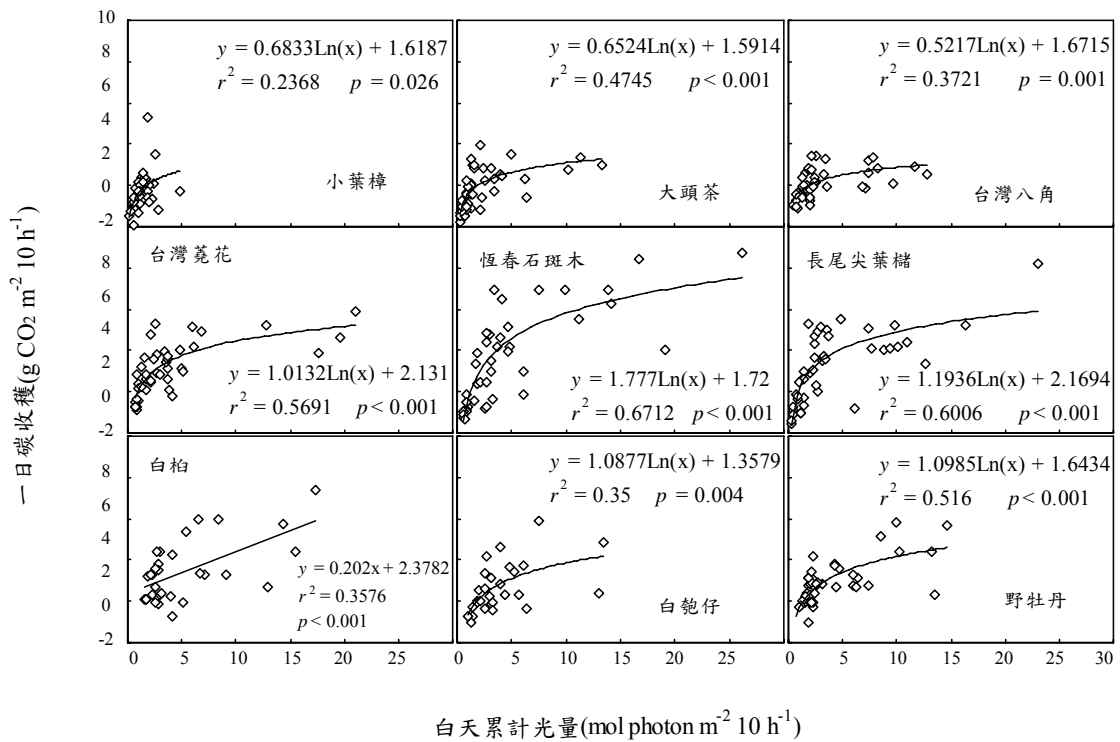


圖 3-4. 供試 9 種樹苗白天碳收穫與白天累計光量的關係。圖上各點為單株在不同月份測定日此 2 項目的累計值。

(資料來源：本研究)

為進一步了解各樹種全年平均一日碳收支數值大小受該樹種各單株所處環境的光量、單株葉面積、以及日平均淨光合作用率的影響程度，將上述各參數分別配對進行迴歸分析。結果發現 9 種供試樹種中，台灣八角與白柏的單株一日碳收支並不隨單株照射到的量而增加，而野牡丹、小葉樟及長尾尖葉槲單株一日碳收支隨光資源的提高而有極敏銳的反應，迴歸式斜率都大於 1.0 (圖 3-5)。在葉面積方面，只有大頭茶單株一日碳收支並不隨單株葉面積的提高而顯著增大(圖 3-5)。在日平均淨光合作用率方面，白柏單株一日淨光合作用率的提高並不會顯著增大其一日碳收支，而野牡丹此方面的反應極為敏銳。由上述的分析可知，影響不同樹種單株一日碳收支的因子相當複雜，單株苗木生長處的光資源程度、單株的總葉面積，以及單株的光合作用能力均可能決定該植株的一日碳收支，將來需對同一樹苗做較多的單株來檢驗不同因子的影響程度。

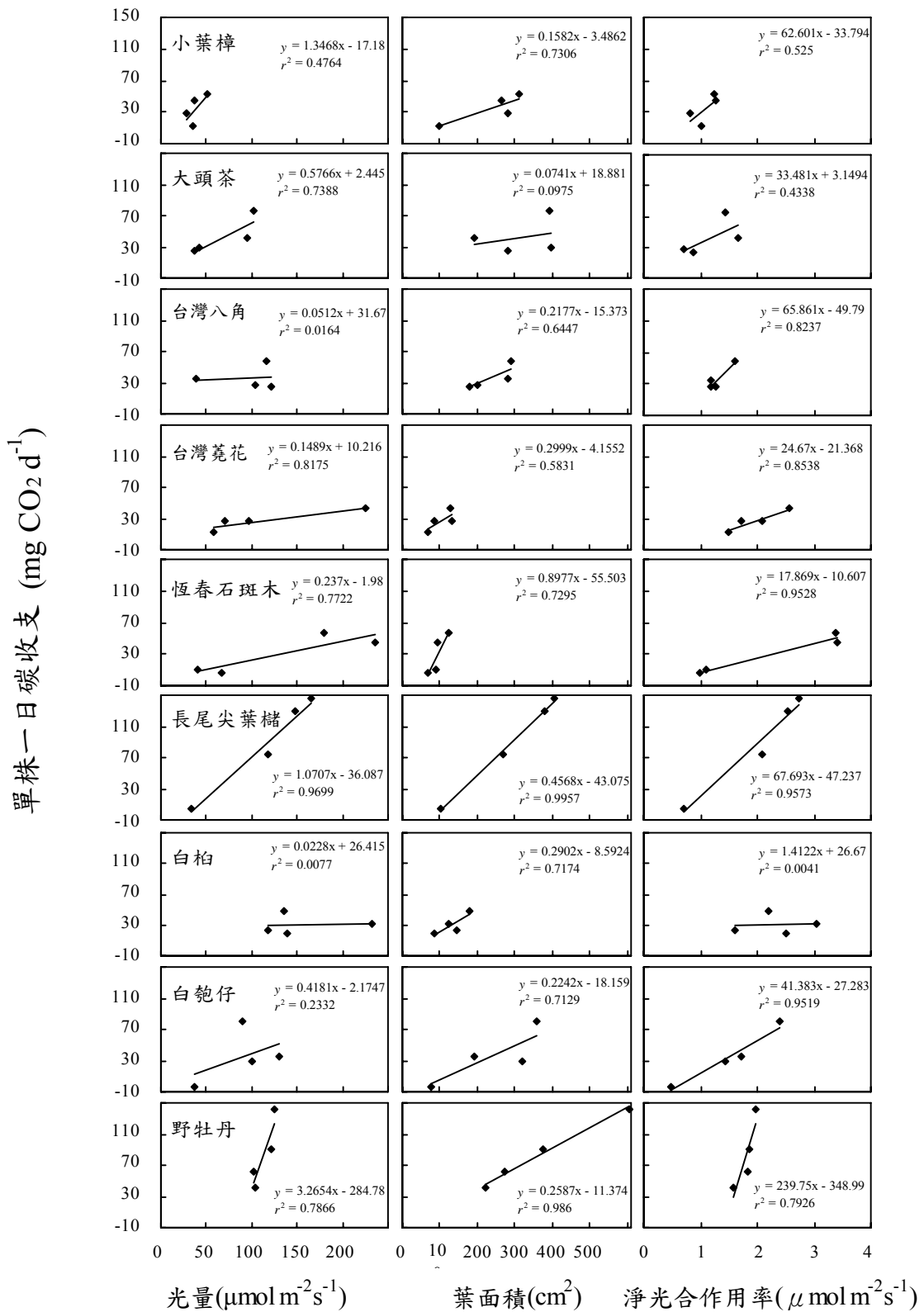


圖 3-5. 供試 9 樹種單株一日碳收支與光量、葉面積及淨光合作用率的關係

(資料來源：本研究)

本研究計算不同樹種 4 株苗木的一日碳收支，其目的是想藉此生理數據評估其在此森林生長及生存的潛力。將各樹種各單株一年期間的淨高生長量除以試驗開始時的苗高，求得各單株一年內的相對高生長率，再與各單株的年平均一日碳收支進行迴歸分析，結果發現各樹種此兩因子間並不具顯著相關性(圖 3-6)。該圖並未包含白柏與白匏仔，因為此兩種樹苗在研究期間各有 2 株莖部遭上方斷落的枝幹折損，不列入分析。各樹種單株一日碳收支與其苗高相對生長率不具顯著相關的結果，表示各植株固定的碳並不一定會全數分配到苗高生長方面，可能優先分配到葉面積的生長或根系的生長。

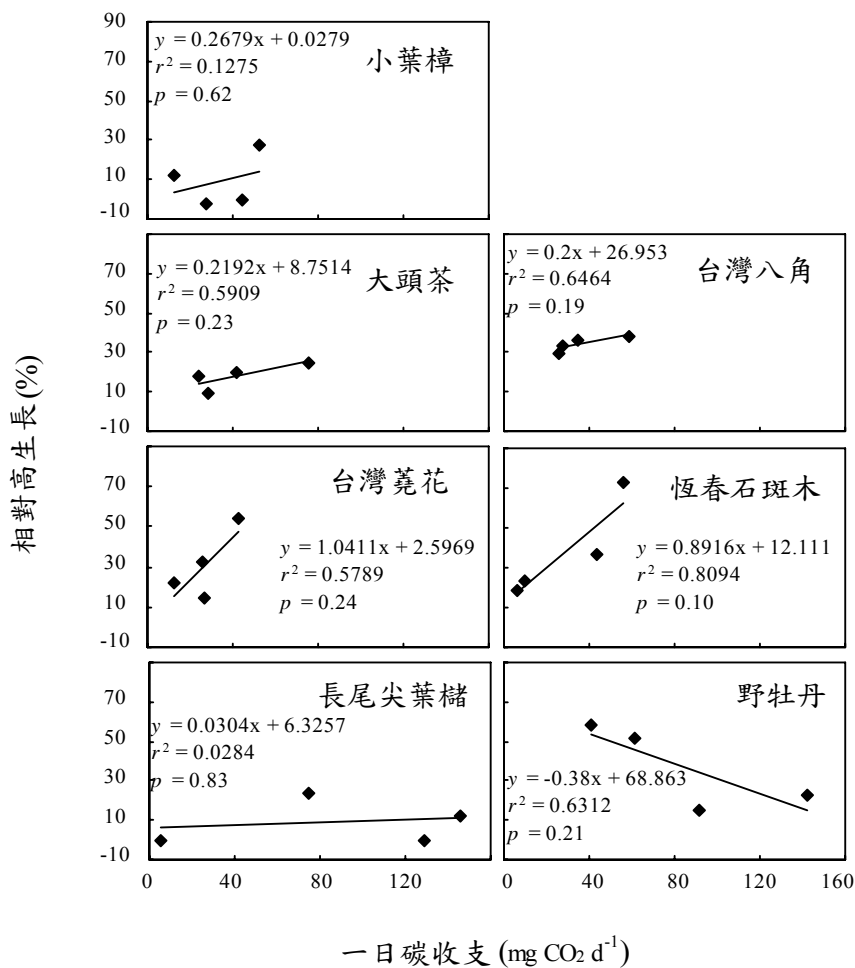


圖 3-6. 供試 5 種樹苗相對高生長與一日碳收支的關係

(資料來源：本研究)

第三節 光合作用誘發試驗

一、光合作用率隨照光時間的變化

經測定 9 種樹苗各 3 株的光合作用隨照光時間的誘發情形，發現大多樹種苗木在開始照光的最初 10 分鐘內，其淨光合作用率會有快速上升的表現，以耐陰種的大頭茶、台灣薨花、長尾尖葉槲，以及非耐陰種的野牡丹上升最明顯，而台灣八角上升的趨勢最緩(圖 3-7)，隨著照光時間的增加，各試驗植株光合作用的增加幅度會減低，終至趨於平穩。

二、充分誘發的最大光合作用率

此九種供試樹苗照予 $300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的光量，光合作用機構充分誘發時的最大淨光合作用率，以恆春石斑木、長尾尖葉槲及台灣薨花最高，分別達 8.00 及 6.51 及 $6.38 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，而台灣八角僅為 $3.38 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (圖 3-7); 三種非耐陰樹苗的最大光合作用率並不高，僅在 $4.43\sim 4.64 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 範圍(圖 3-7)。比較此九種樹苗經斑光照射後，光合作用率分別達 50%。

三、光合作用誘發時間

誘發時所需的時間，以台灣薨花及恆春石斑木需時最短，分別僅需 3.8 及 4.3 分鐘，而野牡丹、白柏及大頭茶此 3 樹種亦僅需 5~8 分鐘，上述 5 種樹苗光合作用 50% 誘發所需時間並無顯著差異，而這九種樹苗中以台灣八角及小葉樟誘發時間最長(表 3-10)。比較光合作用 90% 誘發所需時間，仍以台灣薨花、恆春石斑木、野牡丹、白柏、白匏仔此 5 樹種，以及長尾尖葉槲共 6 種所需時間最短，在 12~22 分鐘範圍，其餘 3 種，大頭茶、台灣八角及小葉樟則需 29~39 分鐘光合作用才能達 90% 誘發。由以上結果顯示，耐陰樹種中的台灣薨花與恆春石斑木，其光合作用 50% 或 90% 誘發所需時間很短，而同樣是非耐陰種，其它 4 種的誘發所需時

間即比上述 2 種需時較久，有顯著區隔。就 3 種非耐陰樹種而言，其光合作用誘發所需時間多與台灣蕘花及恆春石斑木類似，但 90%誘發所需時間是顯著短於小葉樟、大頭茶及台灣八角此 3 種耐陰樹苗(表 8)。本研究也發現台灣蕘花及恆春石斑木此 2 樹種不但誘發時間最短，其最大光合作用率也是此 9 樹種中最高的 2 種(表 3-10)。然而此 9 樹種的最大光合作用率分別與光合作用 50%及 90%兩者間並無顯著相關性($p > 0.05$)。

表 3-10. 供試樹種誘發 50%、90%所需時間(分鐘)及 100%誘發之淨光合作用率(A_{max} , $\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)

樹種	誘發 50%	誘發 90%	A_{max}
小葉樟	13.5±1.6 ^{ab}	38.5±5.1 ^a	3.70±0.32 ^b
大頭茶	7.7±2.9 ^{cd}	28.8±3.8 ^{bc}	5.78±0.32 ^{ab}
台灣八角	16.3±0.8 ^a	35.8±3.0 ^{ab}	3.35±0.39 ^b
台灣蕘花	3.8±0.6 ^d	12.8±0.4 ^d	6.38±0.28 ^{ab}
恆春石斑木	4.3±0.6 ^d	15.5±4.1 ^d	8.00±1.48 ^a
長尾尖葉槿	9.8±1.7 ^{bc}	21.5±2.6 ^{cd}	6.51±0.16 ^{ab}
白柏	6.8±1.4 ^{cd}	19.2±2.1 ^d	4.64±2.13 ^b
白匏仔	9.5±1.8 ^{bc}	18.8±0.6 ^d	4.49±1.42 ^b
野牡丹	5.2±0.2 ^{cd}	12.5±1.6 ^d	4.33±0.49 ^b

註：同一誘發程度不同樹種間有不同英文字母者，具顯著差異($p < 0.05$)，雪菲氏檢定。

(資料來源：本研究)

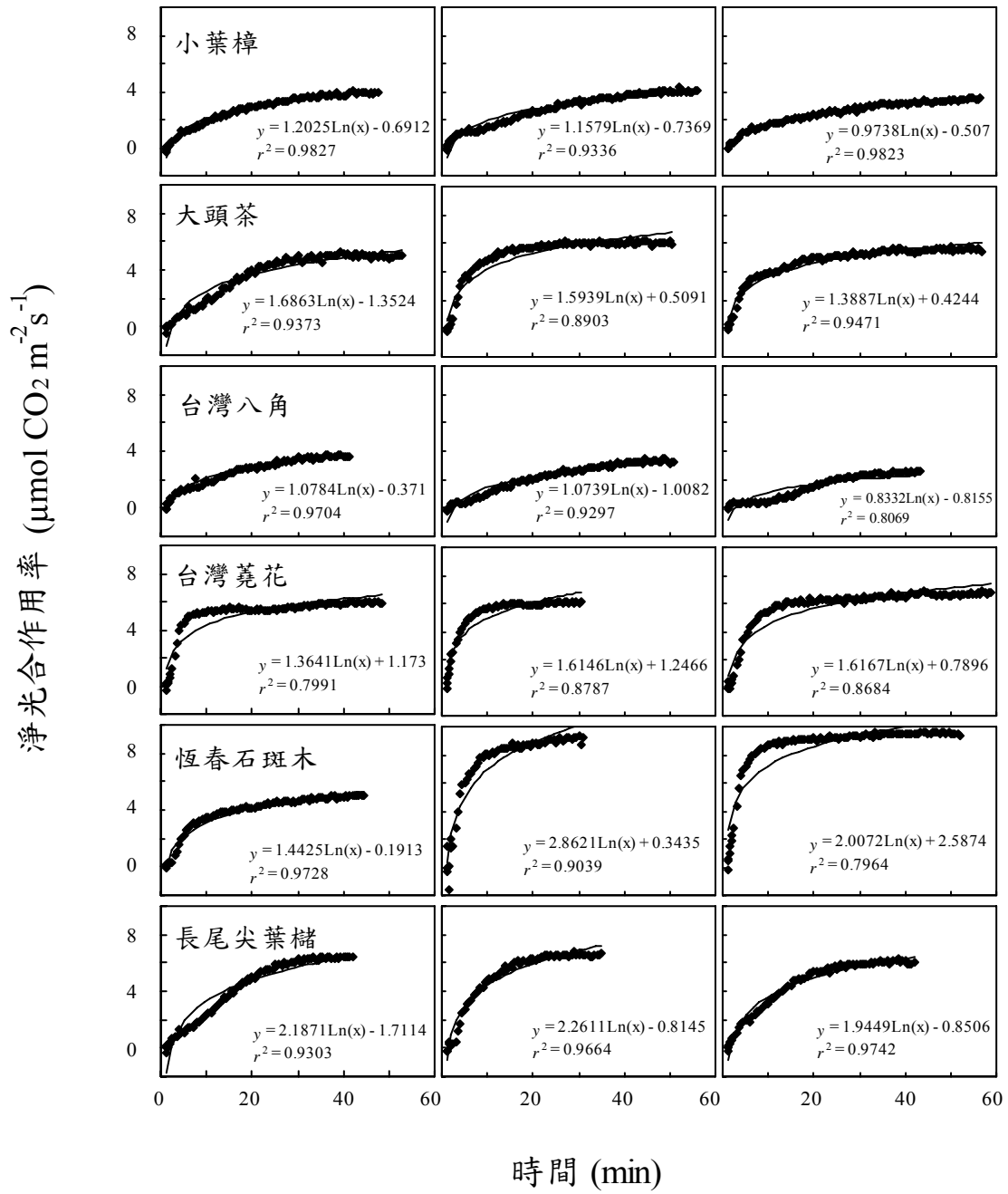


圖 3-7. 供試 6 種耐蔭樹種苗木於光量 $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 條件下之誘發情形
(資料來源：本研究)

四、照光過程淨光合作用率及誘發程度的改變

供試 9 種樹苗在開始照光處理後 2 分鐘，台灣薨花及恆春石斑木的淨光合作用率已超過 $1.0 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，其光合作用誘發程度有可達 20% 以上；照光後 5 分鐘上述 2 樹種的淨光合作用率已達 $4\sim 5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，顯著較其他 6 種樹種高，光合作用誘發程度也超過 50% 以上；照光 10 分鐘後，台灣八角淨光合作用率仍低於 $1.0 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，誘發程度亦低於 30%，是供試 9 樹種中最低者；照光後 20 分鐘已有 5 種樹種光合作用誘發程度已達 70% 以上，唯有台灣八角僅 50%，其誘發程度與小葉樟無顯著差異，而顯著低於其他 7 種(表 3-11)。

比較 9 種供試樹苗在照 $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 光量後，各樹種不同誘發程度與其最大光合作用率的關係，發現最大光合作用率較高的樹種，光合作用誘發所需時間會較短，兩者呈負相關，然而只有 50% 誘發所需時間與該樹種的最大光合作用率呈顯著負相關，90% 誘發與最大光合作用率間並不具顯著相關性(圖 3-8)。此結果表示，具較大光合作用率的樹種，當照到斑光時在較短時間內，其光合作用機構即可有一定程度的誘發。進一步比較同一樹種不同單株間，照斑光後光合作用 90% 誘發所需時間與各單株所處微生育地的光量是否有相關。圖 9 顯示上述兩項大致上呈現直線負相關，若植株生長在光資源較高的微生育地，則此植株照到斑光後在較短時間內可完成光合作用誘發。然而因為同一樹種測定的株數較少，上述關係只有台灣八角是達顯著相關($p=0.026$)，其餘 8 種誘發時間與植株生長環境光量均未具顯著相關性(圖 3-9)。

表 3-11. 供試樹種於誘發 2、5、10 及 20 分鐘時的淨光合作用率($\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)及誘發程度(%)

樹種	2 分鐘		5 分鐘	
	淨光合作用率	誘發程度	淨光合作用率	誘發程度
小葉樟	0.56±0.12 ^{abc}	22.8±3.4 ^{ab}	1.38±0.23 ^c	38.3±5.6 ^{bc}
大頭茶	0.56±0.18 ^{abc}	17.5±3.05 ^{ab}	2.60±0.83 ^{bc}	40.9±7.7 ^{abc}
台灣八角	0.36±0.05 ^{abc}	19.1±1.1 ^{ab}	0.47±0.12 ^c	21.6±2.2 ^d
台灣蕘花	1.28±0.57 ^{ab}	25.9±6.7 ^a	4.24±0.29 ^{ab}	55.2±4.2 ^a
恆春石斑木	1.33±0.58 ^a	22.0±4.4 ^{ab}	5.15±1.50 ^a	51.6±5.3 ^{ab}
長尾尖葉槿	0.44±0.14 ^{abc}	14.7±2.7 ^{ab}	1.93±0.47 ^c	32.6±4.4 ^{cd}
白柏	0.25±0.14 ^c	12.4±1.0 ^b	1.67±0.49 ^c	40.1±3.6 ^{abc}
白匏仔	0.27±0.12 ^c	12.3±3.6 ^b	0.91±0.11 ^c	29.7±6.3 ^{cd}
野牡丹	0.32±0.02 ^{bc}	15.9±0.4 ^{ab}	2.09±0.50 ^c	43.2±3.4 ^{abc}

樹種	10 分鐘		20 分鐘	
	淨光合作用率	誘發程度	淨光合作用率	誘發程度
小葉樟	1.73±0.21 ^{cd}	44.0±5.7 ^{cd}	2.60±0.14 ^{bc}	58.38±6.0 ^{bc}
大頭茶	3.54±0.86 ^{bc}	51.0±7.1 ^{bc}	4.86±0.52 ^{abc}	66.5±3.4 ^{ab}
台灣八角	0.85±0.19 ^d	29.8±2.2 ^d	1.99±0.28 ^c	50.2±1.3 ^c
台灣蕘花	5.41±0.11 ^{ab}	67.7±3.5 ^a	5.80±0.23 ^{ab}	72.9±2.4 ^a
恆春石斑木	6.73±1.63 ^a	65.3±4.7 ^{ab}	7.41±1.61 ^a	73.5±3.9 ^a
長尾尖葉槿	3.41±0.70 ^{bc}	46.3±5.7 ^c	5.54±0.37 ^{ab}	67.7±3.5 ^{ab}
白柏	2.66±0.98 ^{cd}	52.5±3.8 ^{bc}	4.13±1.83 ^{abc}	75.7±7.2 ^a
白匏仔	1.96±0.37 ^{cd}	43.6±3.7 ^{cd}	4.17±1.42 ^{abc}	73.2±3.7 ^a
野牡丹	3.55±0.59 ^{bc}	64.4±3.3 ^{ab}	4.11±0.54 ^{abc}	76.9±2.4 ^a

註：同一項目不同樹種間有不同英文字母者，具顯著差異($p < 0.05$)，雪菲氏檢定。
(資料來源：本研究)

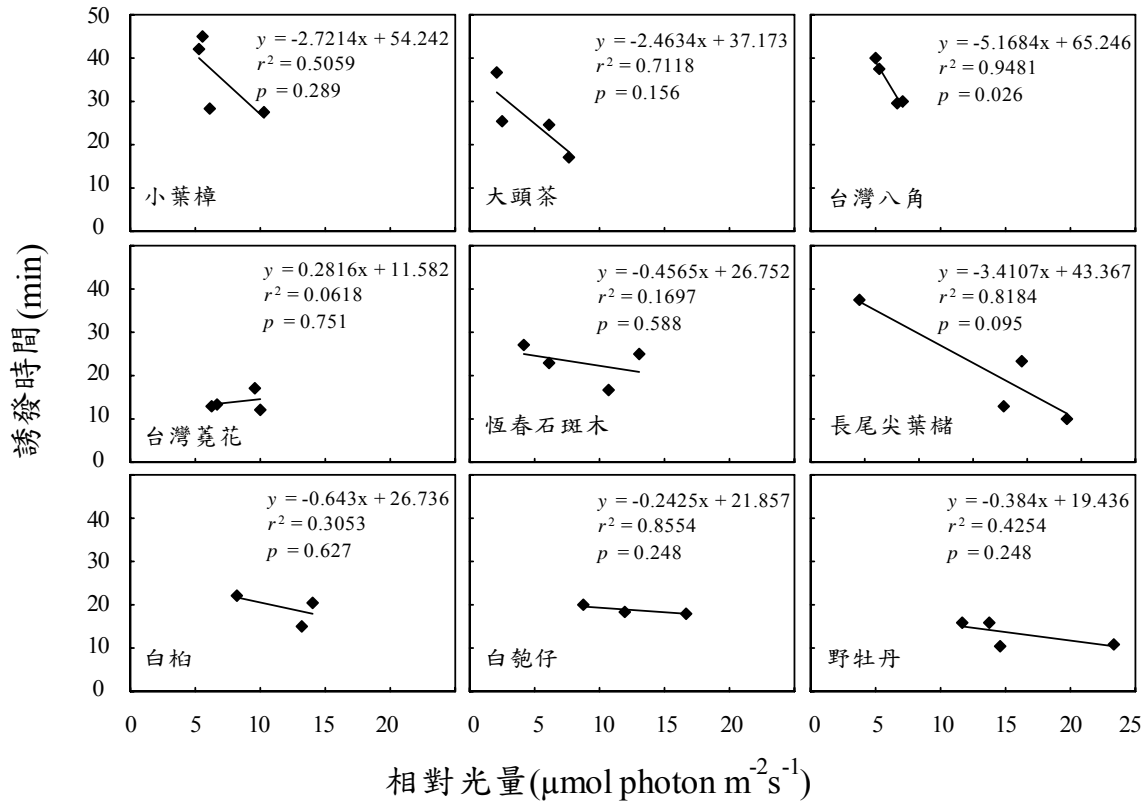


圖 3-8. 供試 9 種樹苗各單株誘發時間與相對光量之關係

(資料來源：本研究)

第四節 斑光對林下樹苗一日光合作用總量的貢獻

為了解南仁山迎風坡森林，斑光對林下小苗光合作用生產力的貢獻，本研究已於 2008 年 7 月至 11 月在現地測得小葉樟(圖 3-9)、大頭茶(圖 3-10)、台灣八角(圖 3-11)、台灣蕘花(圖 3-12)、恆春石斑木(圖 3-13)及長尾尖葉櫨(圖 3-14)共 6 種耐陰性樹苗，每種各 3 株，約在 8:00~16:00 期間的光合作用率隨光強度的改變情形，由此可計算該期間各株樹苗在斑光出現時對提升淨光合作用率的貢獻(表 3-12, 3-13, 3-14)。本研究所定義的斑光，是當供測葉片接受到的光量比測定當時前後幾筆背景光量值高出 50%以上，即定義為有斑光出現。測定期間 7 月 24、25 日及 10 月 31 日三天為晴天，除了小葉樟樣木所處位置上林冠較鬱閉，白天所能接受到的光量較低之外，其餘供測樹苗白天接受到的累積光量都可超過 $100 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，例如大頭茶在 7 月 25 日所測定的樹苗接受到的總光量為 $217 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (表 3-12)，長尾尖葉櫨在 10 月 31 日測定的樹苗白天接受到 $178 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，為光量最高的兩株(表 3-14)。測定期間 2008 年 11 月 6、7 兩日及 11 月 13 日共 3 天為多雲時晴的天候，11 月 14 日則為陰天。供測 6 種樹苗光量與淨光合作用率日變化的情形，同一樹種不同株樹苗因所處位置的不同，照到斑光的機會也不一樣。此外，不同測定日的天候狀況也會影響當天斑光出現的頻度與光強度。因此，同一樹種 3 株樹苗光量-淨光合作用率日變化呈現的樣式差異很大。

由圖 3-9 到圖 3-14 可知，當樹苗葉部未照到斑光時，光量多在 $20\sim 50 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，此即為該葉片的背景光量值。此背景光量值在白天不同時段並非固定不變，而是在清晨與黃昏時較低，在 10:00~14:00 較高。表 3-12, 3-13 及 3-14 列出各樹種苗木在不同測定日的背景光量值範圍。在晴日中午，林內背景光量可達 $50\sim 70 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ；在多雲的測定日，背景光量最高值約為 $40\sim 50 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ；在陰天該值約只有 $20\sim 30 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。在未照到斑光，葉片僅接受到較低的背景光量時，各樹苗的淨光合作用率多在 $1.0\sim 3.0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 範圍，視背景光量高低而異。當照到同樣的背景光量時，台灣八角有較低的淨光合作用

率(圖 3-11),而恆春石斑木(圖 3-13)與長尾尖葉櫨(圖 3-14)的淨光合作用率較高。

供試 18 個樹苗照到斑光時,其淨光合作用率會因光資源的提高而立即增高,在圖 3-9 至圖 3-14 中呈現明顯的波峰。在晴天的天候下,有少部份斑光的光量可達 $1400 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$,例如大頭茶在 2008 年 7 月 25 日中午時的情況(圖 3-10)。當天該植株照到約 20 次的斑光,但光量高於 $1000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的強度斑光,只在中午時出現 3 次,其餘斑光的光量多在 $200\sim 500 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (圖 3-10)。長尾尖葉櫨 11 月 7 日測定的植株在上午 9:27 以前只照到光量約 $30 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的背景光量,當時的淨光合作用率僅為 $0.5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$,但在 9:27~9:39 期間照到光量 $500\sim 700 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的斑光,最大光合作用率可達 $4.2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$,之後恢復原先的背景光量值;但該葉片經過 12 分鐘的斑光照射,其光合作用機構可能已充分誘發,淨光合作用率可提升至約 $1.2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$,較斑光照射前提高了 140% (圖 3-14)。此種因斑光照射,使樹苗淨光合作用率在斑光過後顯著提升的現象,普遍出現在本研究的各植株。

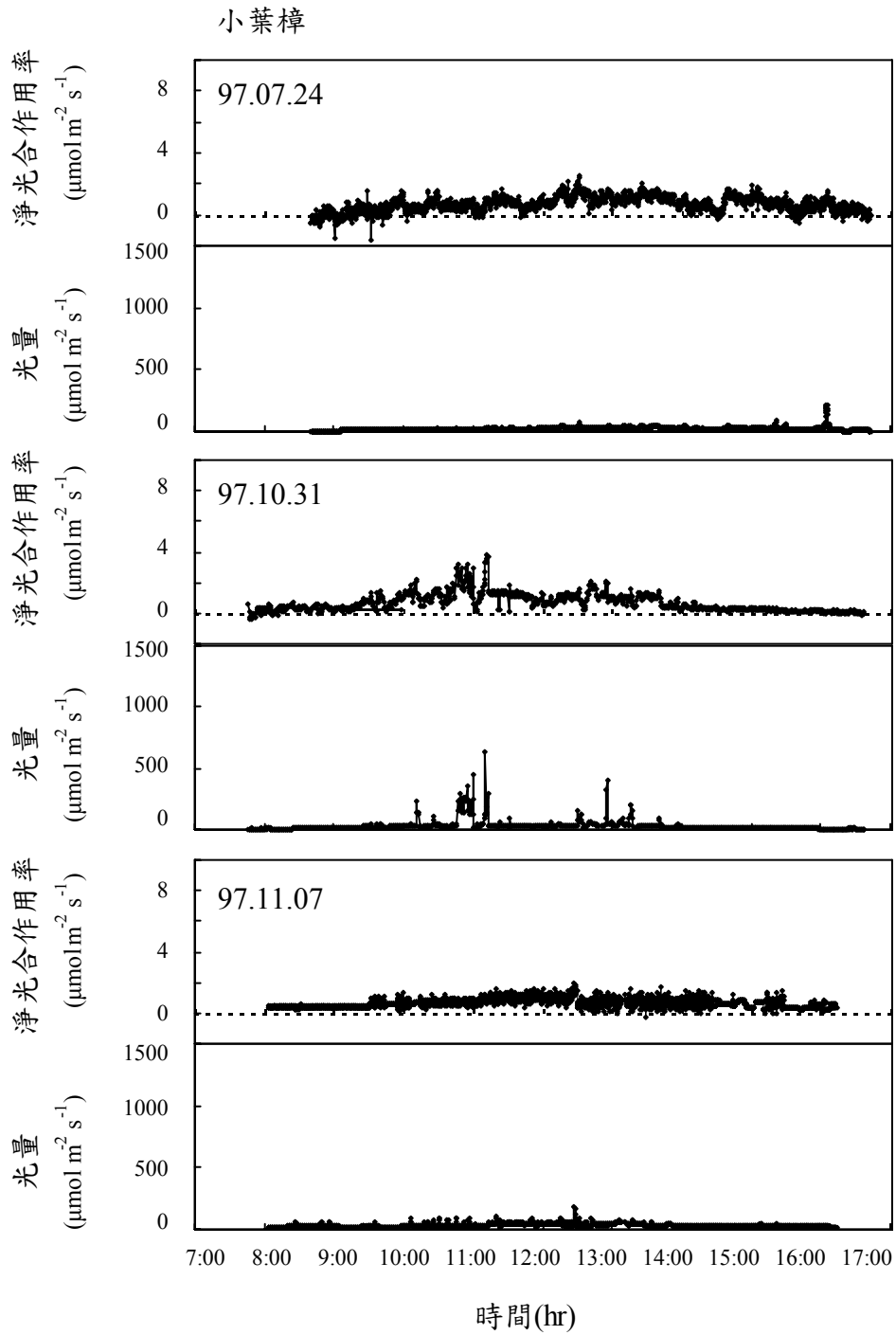


圖 3-9. 小葉樟在不同測定日淨光合作用率及光量之日變化
(資料來源：本研究)

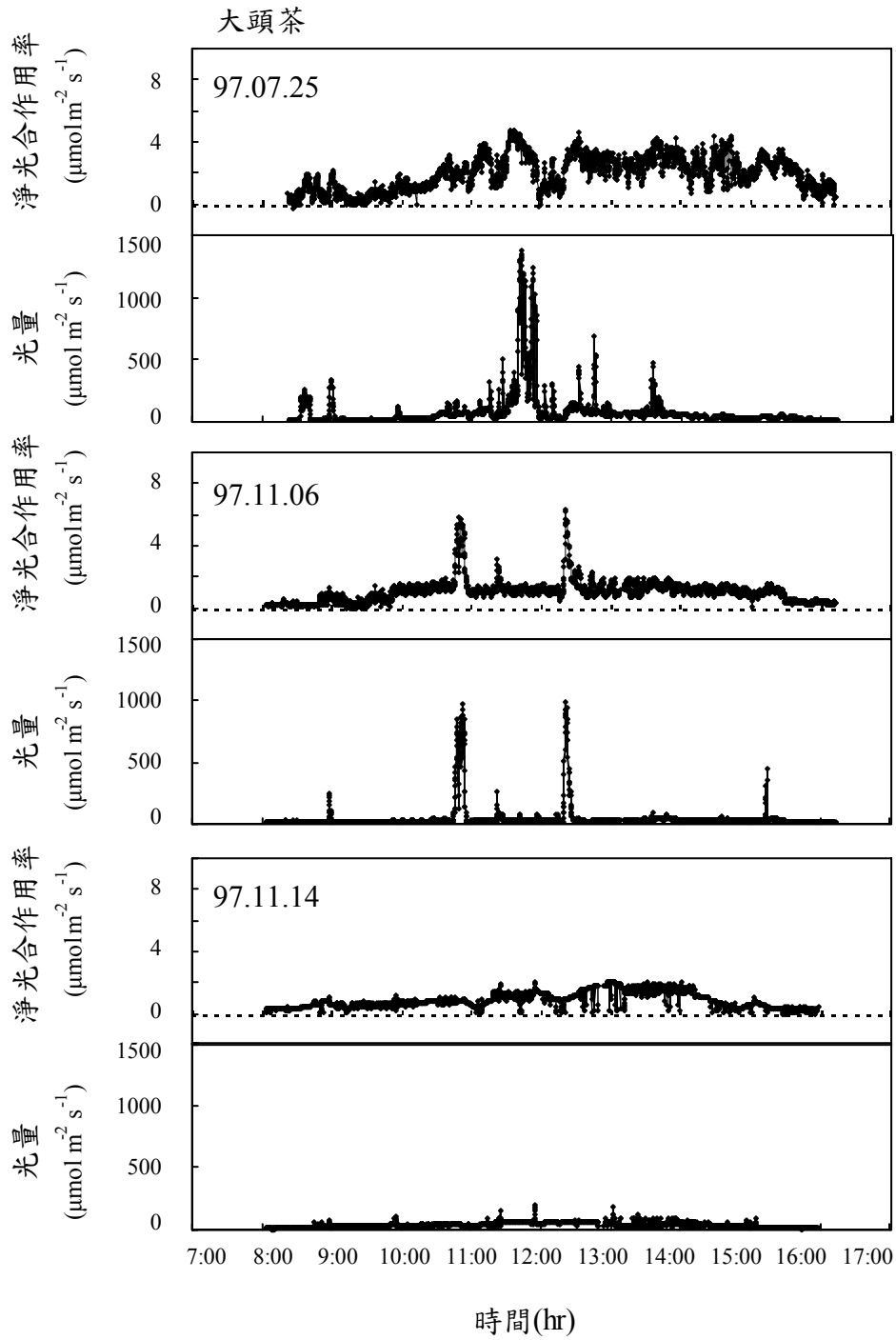


圖 3-10. 大頭茶在不同測定日淨光合作用率及光量之日變化
(資料來源：本研究)

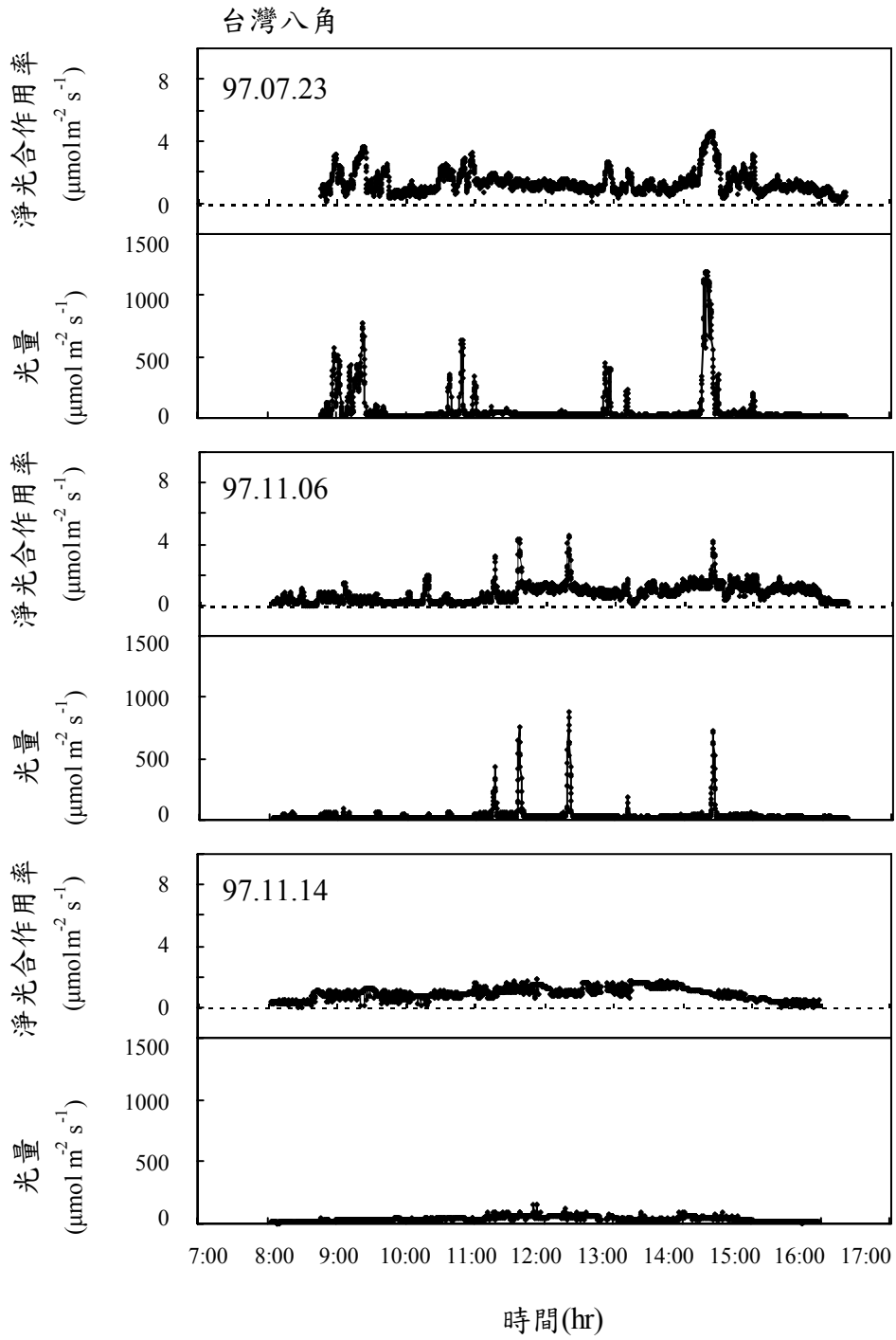


圖 3-11. 台灣八角在不同測定日淨光合作用率及光量之日變化
(資料來源：本研究)

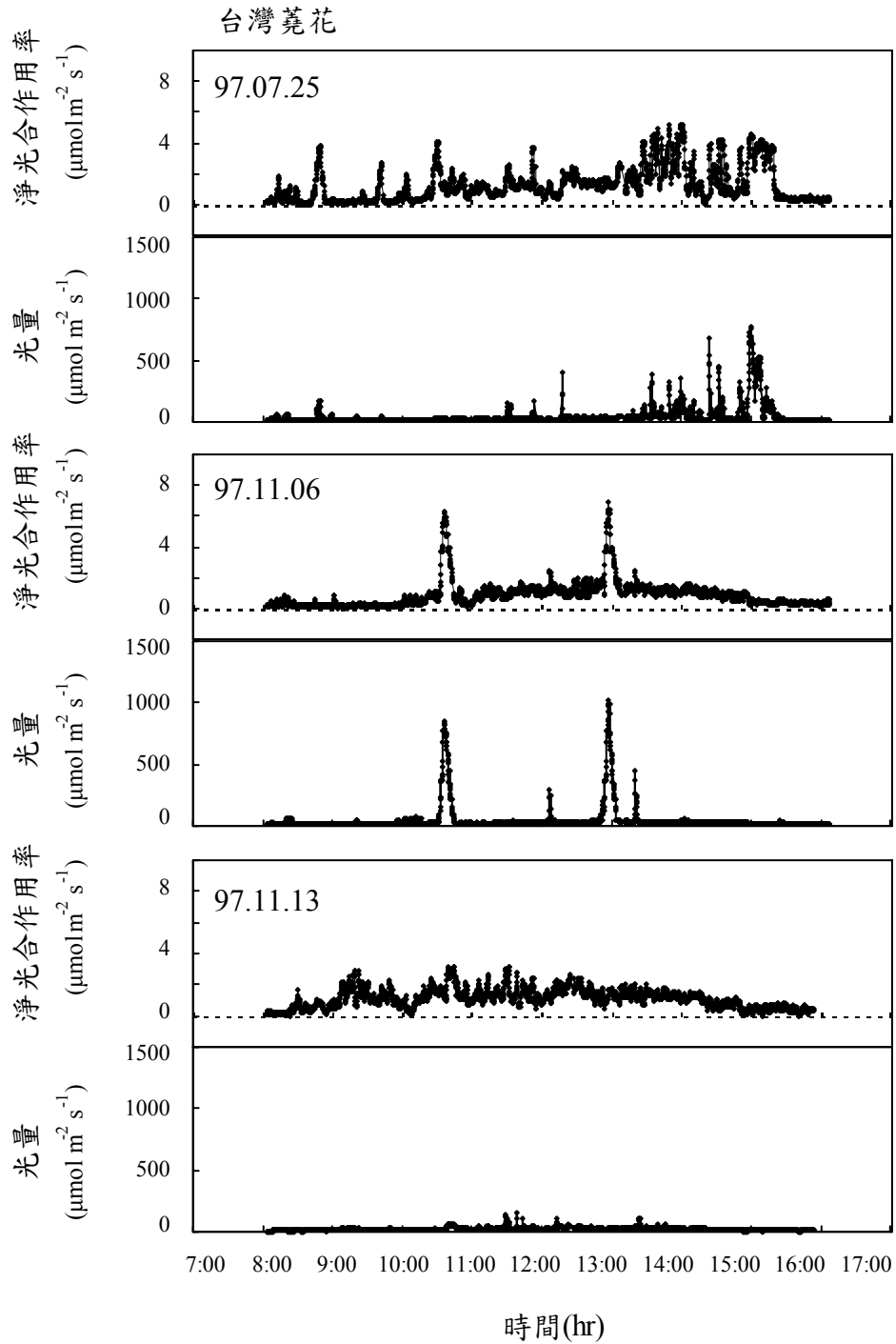


圖 3-12. 台灣蕘花在不同測定日淨光合作用率及光量之日變化
(資料來源：本研究)

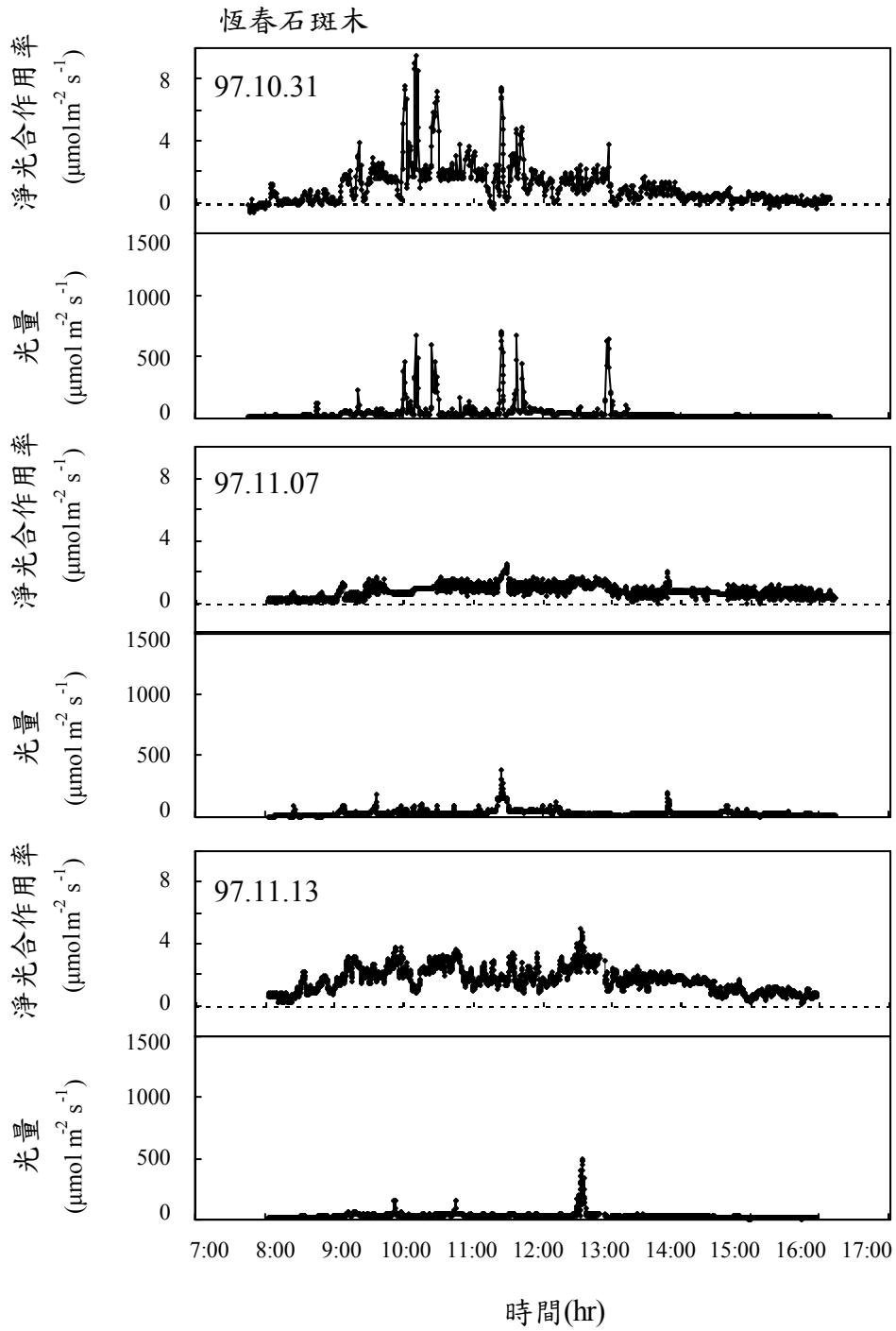


圖 3-13. 恆春石斑木在不同測定日淨光合作用率及光量之日變化
(資料來源：本研究)

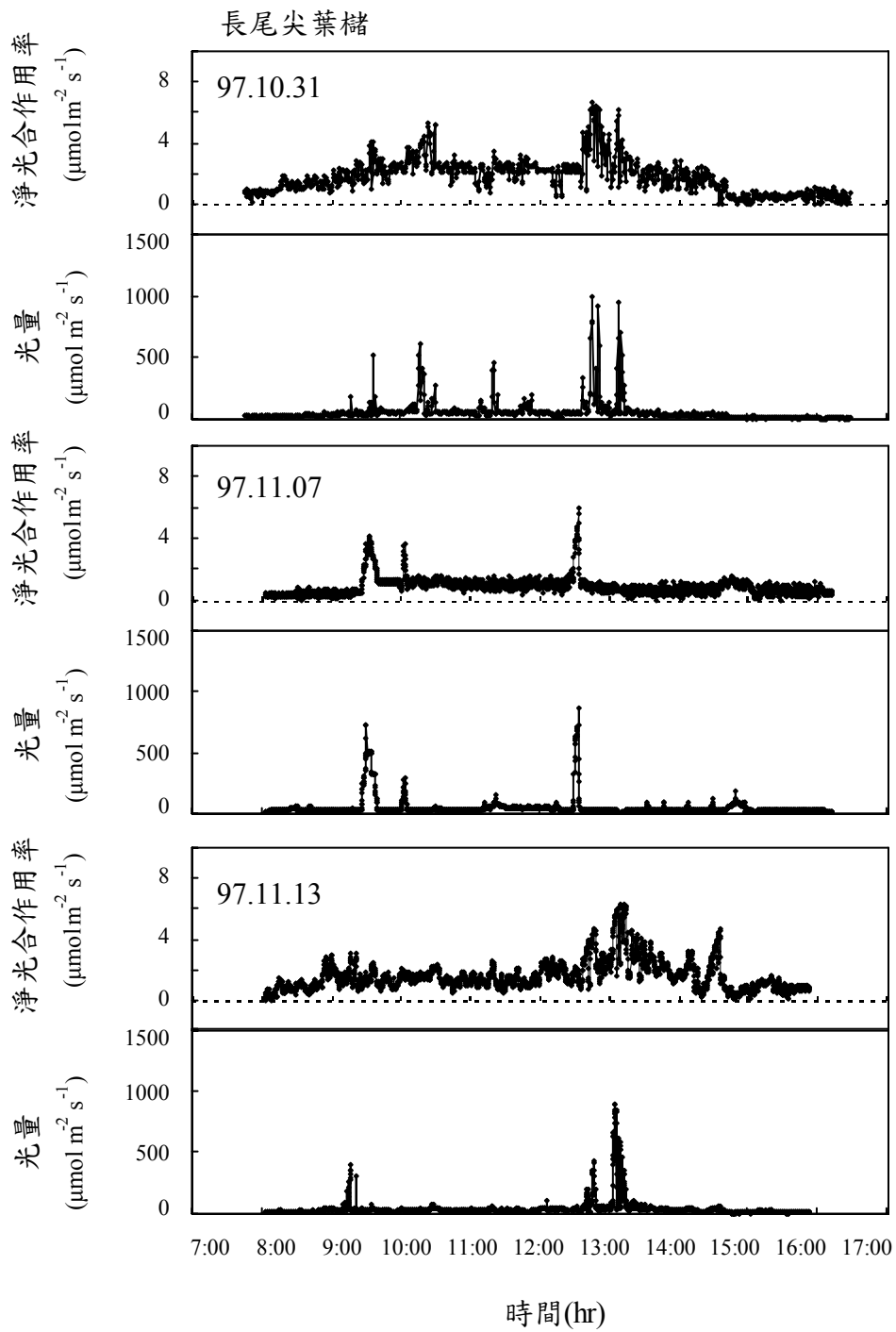


圖 3-14. 長尾尖葉櫨在不同測定日淨光合作用率及光量之日變化
(資料來源：本研究)

表 3-12 至 3-14 整理本研究各樹種各樣木光量與淨光合作用率日變化的結果。就白天約 8 個小時的測定期間而言，高於背景光量 50% 的斑光，累積出現時間在 4 分鐘(小葉樟第 1 株)至 233 分鐘(大頭茶第 1 株)範圍，以累積出現 60 分鐘以內的情況較常見(n=11 株)，其中有 5 株是少於 30 分鐘；斑光累積出現時間超過 2 小時的只有 3 株。在沒有出現斑光時，林內背景光量累積值在 29~83 mmol m⁻²d⁻¹ 範圍，以 40~50 mmol m⁻²d⁻¹ 較多。斑光出現時的累積光量在 3~188 mmol m⁻²d⁻¹ 範圍，超過 100 mmol m⁻²d⁻¹ 者僅有 4 株，而低於 30 mmol m⁻²d⁻¹ 者有 7 株，其中有 3 株是低於 10 mmol m⁻²d⁻¹，包括小葉樟第 1 及第 3 株(表 3-12)，台灣蕘花第 3 株 (表 3-13)。

表 3-12. 斑光對小葉樟及大頭茶一日光合作用總量的貢獻

	小葉樟			大頭茶		
	Jul. 24(s)	Oct. 31(s)	Nov. 7(pc)	Jul. 25(s)	Nov. 6(pc)	Nov. 14(c)
累積時間(分鐘)及比例						
無斑光	447 (99%)	416 (80%)	433 (95%)	205 (47%)	377 (83%)	406 (92%)
有斑光	4 (1%)	103 (20%)	23 (5%)	233 (53%)	79 (17%)	33 (8%)
全程時間	451	519	456	438	456	439
背景光量(μmol photon m ⁻² s ⁻¹)						
	25~50	30~60	10~30	30~70	20~40	10~25
累積光量值(mmol photon m ⁻² d ⁻¹)及比例						
無斑光	56 (95%)	41 (44%)	80 (94%)	29 (13%)	52 (43%)	82 (85%)
有斑光	3 (5%)	53 (56%)	5 (6%)	188 (87%)	70 (57%)	15 (15%)
全日累積	59	94	85	217	122	97
淨光合作用累積值(mmol CO ₂ m ⁻² d ⁻¹)及比例						
無斑光	1.77 (98%)	1.23 (59%)	1.73 (96%)	1.17 (23%)	1.96 (68%)	1.97 (89%)
有斑光	0.04 (2%)	0.87 (41%)	0.07 (4%)	3.93 (77%)	0.91 (32%)	0.24 (11%)
全日累積	1.81	2.10	1.80	5.10	2.87	2.21
斑光對提高全日淨光合作用量的貢獻(%)						
	1.4	36.8	1.2	104.0	21.1	3.7

(資料來源：本研究)

表 3-13. 斑光對台灣八角及台灣蕘花一日光合作用總量的貢獻

	台灣八角			台灣蕘花		
	Jul. 23(s)	Nov. 6(pc)	Nov. 14(c)	Jul. 25(s)	Nov. 6(pc)	Nov. 13(pc)
累積時間(分鐘)及比例						
無斑光	345 (82%)	407 (88%)	412 (94%)	342 (76%)	401 (89%)	413 (94%)
有斑光	78 (18%)	57 (12%)	27 (6%)	108 (24%)	49 (11%)	25 (6%)
全程時間	423	464	439	450	450	438
背景光量($\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$)						
	30~60	20~50	15~30	20~55	20~40	10~30
累積光量值($\text{mmol photon m}^{-2} \text{d}^{-1}$)及比例						
無斑光	54 (29%)	49 (53%)	83 (87%)	42 (33%)	51 (41%)	47 (85%)
有斑光	132 (71%)	44 (47%)	12 (13%)	84 (67%)	73 (59%)	8 (15%)
全日累積	186	93	95	126	124	55
淨光合作用累積值($\text{mmol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$)及比例						
無斑光	2.12 (64%)	1.70 (80%)	2.12 (92%)	1.46 (44%)	1.66 (71%)	2.54 (88%)
有斑光	1.21 (36%)	0.42 (20%)	0.18 (8%)	1.88 (56%)	0.67 (29%)	0.35 (12%)
全日累積	3.33	2.12	2.30	3.34	2.33	2.89
斑光對提高全日淨光合作用量的貢獻(%)						
	28.1	9.4	1.8	73.9	25.1	7.3

(資料來源：本研究)

供測 18 株樹苗白天無斑光時也在進行光合作用碳固定，但白天累積的光合產物多在 1.2~2.5 mmol CO₂ m⁻²d⁻¹，只有 3 株可超過 3.0 mmol CO₂ m⁻²d⁻¹，其中以恆春石斑木第 3 株的 4.12 mmol CO₂ m⁻²d⁻¹ 最高(表 3-14)；長尾尖葉櫨有 2 株在無斑光時的累積光合產物也很高(表 3-14)。

表 3-14. 斑光對恆春石斑木及長尾尖葉櫨一日光合作用總量的貢獻

	恆春石斑木			長尾尖葉櫨		
	Oct. 31(s)	Nov. 7(pc)	Nov. 13(pc)	Oct. 31(s)	Nov. 7(pc)	Nov. 13(pc)
累積時間(分鐘)及比例						
無斑光	350 (71%)	410 (90%)	427 (97%)	388 (76%)	396 (87%)	389 (89%)
有斑光	144 (29%)	46 (10%)	12 (3%)	123 (24%)	60 (13%)	49 (11%)
全程時間	494	456	439	511	456	438
背景光量(μmol photon m ⁻² s ⁻¹)						
	30~60	20~40	15~40	40~70	20~40	15~40
累積光量值(mmol photon m ⁻² d ⁻¹)及比例						
無斑光	45 (30%)	61 (71%)	70 (85%)	72 (40%)	68 (53%)	60 (58%)
有斑光	105 (70%)	25 (29%)	12 (15%)	106 (60%)	60 (47%)	44 (42%)
全日累積	150	86	82	178	128	104
淨光合作用累積值(mmol CO ₂ m ⁻² d ⁻¹)及比例						
無斑光	1.17 (37%)	1.71 (85%)	4.12 (94%)	3.12 (58%)	1.78 (75%)	3.15 (76%)
有斑光	2.03 (63%)	0.31 (15%)	0.25 (6%)	2.29 (42%)	0.58 (25%)	1.00 (24%)
全日累積	3.2	2.02	4.37	5.41	2.36	4.15
斑光對提高全日淨光合作用量的貢獻(%)						
	93.8	6.2	3.2	31.7	15.1	17.0

(資料來源：本研究)

在有斑光出現時，因照到斑光的頻度及光強度是隨樹苗位置及天候而異，因此照到斑光時所累積的光合產物量也有很大的變異，由 0.04 至 3.93 $\text{mmol m}^{-2}\text{d}^{-1}$ 不等(表 3-12, 3-13, 3-14)。斑光出現時累積的光合產物佔各樹苗全日光合產物總量的 2~77%(表 3-15)。進一步分析斑光的出現，對各樹苗白天光合作用總量的貢獻程度。假設該樹苗白天都沒有接受到任何直射斑光，測定期間均只接受到散射的背景光量，則其白天累積光合產物總量以 A 表示；若某樹苗某時段有照到斑光，使其光合產物量增加，此增加量即為斑光在該期間對光合作用的貢獻。例如在某段時間背景光量下，某樹苗的光合作用率是 $1.0 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，但照到斑光時光合作用率由 1.0 提高至 $3.0 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，增加了 $2.0 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，此提高的總量以 B 表示，則一天中因有斑光出現而對該樹苗光合作用提升的貢獻以 $(B \div A) \times 100\%$ 表示之。本研究供測 18 株樹苗斑光對提高全日淨光合作用量的貢獻在 1~104%(表 3-15)，若將其分布頻度繪圖，則得圖 3-15 之結果。該圖顯示有 8 株樹苗斑光對提高光合作用總量的貢獻是少於 10%，但貢獻高於 70% 的有 3 株。再將此貢獻程度依天候來區分，結果發現在晴天時斑光的貢獻平均為 52.8%，多雲的天候下斑光提高光合產物的貢獻平均僅有 11.7%(表 3-16)，下降甚多。

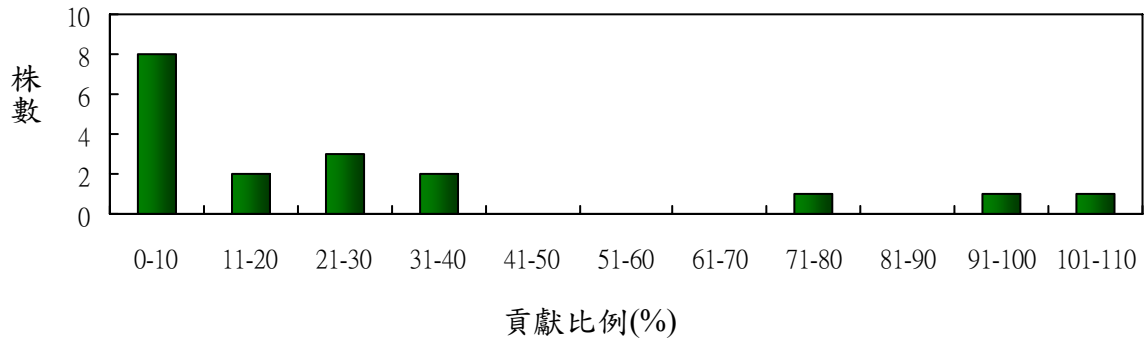


圖 3-15. 斑光對提高苗木白天光合作用總量的貢獻

(資料來源：本研究)

表 3-15. 各測定日斑光出現時間、累積光量及光合作用總量之比例

	範圍	中位數	平均	SE
斑光佔測定時間比例(%)	1~53	12	15	3
斑光光量佔全日光量比例(%)	5~87	47	42	6
斑光光合作用量佔全日比例(%)	2~77	24	28	5
斑光貢獻比例(%)	1~104	16	27	8

(資料來源：本研究)

表 3-16. 不同天候下斑光對樹苗一日淨光合作用量的貢獻

天候 (n)	斑光對一日淨光合作用量的貢獻 (%)								平均	中位數
晴天 (n=7)	104.0	93.8	73.9	36.8	31.7	28.1	1.4		52.8	36.8
多雲 (n=9)	25.1	21.1	17.0	15.1	9.4	7.3	6.2	3.2	11.7	9.4
陰天 (n=2)	3.7	1.8							2.8	-

(資料來源：本研究)

第五節 樹苗淨光合作用率對 CO₂ 提高的反應

在光量分別為 50 及 300 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的條件下，比較 9 種樹苗淨光合作用率對 CO₂ 提高的反應。結果發現 CO₂ 濃度由 390 μLL^{-1} 提高到 420 μLL^{-1} 及 450 μLL^{-1} ，各植株的淨光合作用率都有上升的趨勢(表 3-17)，且淨光合作用率隨 CO₂ 濃度而提高的程度在較高光量條件下(300 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)比低光條件(50 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)更為顯著，此趨勢可由圖 3-16 各樹種淨光合作用率與 CO₂ 濃度的直線迴歸式的斜率可得知。

表 3-17. 供試樹種於二種光量($\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$)及三種 CO₂ 濃度(μLL^{-1})時之淨光合作用率($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

	光量 50			光量 300		
	390	420	450	390	420	450
小葉樟	2.27±0.14 ^{bc}	2.53±0.11 ^{ab}	2.73±0.07 ^{ab}	3.55±0.13 ^e	3.90±0.16 ^d	4.28±0.19 ^d
大頭茶	2.21±0.21 ^{bc}	2.51±0.26 ^{ab}	2.78±0.26 ^{ab}	4.20±0.58 ^{cde}	4.57±0.58 ^{cd}	4.92±0.65 ^{cd}
台灣八角	2.03±0.29 ^c	2.18±0.36 ^b	2.47±0.34 ^b	3.13±0.70 ^e	3.48±0.75 ^d	3.97±0.63 ^d
台灣蕘花	2.21±0.15 ^{bc}	2.34±0.10 ^{ab}	2.36±0.11 ^b	5.81±0.63 ^{bcd}	6.24±0.67 ^{bc}	6.77±0.68 ^{bc}
恆春石斑木	2.61±0.14 ^{ab}	2.69±0.18 ^{ab}	2.82±0.17 ^{ab}	6.38±0.89 ^b	7.07±0.95 ^b	7.53±0.95 ^b
長尾尖葉槿	1.91±0.06 ^c	2.14±0.13 ^b	2.30±0.12 ^b	4.05±0.96 ^{de}	4.44±0.92 ^{cd}	4.99±0.95 ^{cd}
白柏	2.84±0.13 ^a	2.96±0.13 ^a	3.14±0.16 ^a	9.41±0.51 ^a	10.11±0.66 ^a	10.81±0.82 ^a
白匏仔	2.60±0.04 ^{ab}	2.86±0.04 ^a	3.10±0.01 ^a	9.29±0.42 ^a	9.86±0.34 ^a	10.61±0.34 ^a
野牡丹	2.29±0.09 ^{bc}	2.57±0.02 ^{ab}	2.80±0.02 ^{ab}	6.22±0.14 ^{bc}	6.77±0.27 ^b	7.17±0.18 ^b

註：同一種 CO₂ 濃度不同樹種間有不同英文字母者，具顯著差異($p < 0.05$)，雪菲氏檢定。
(資料來源：本研究)

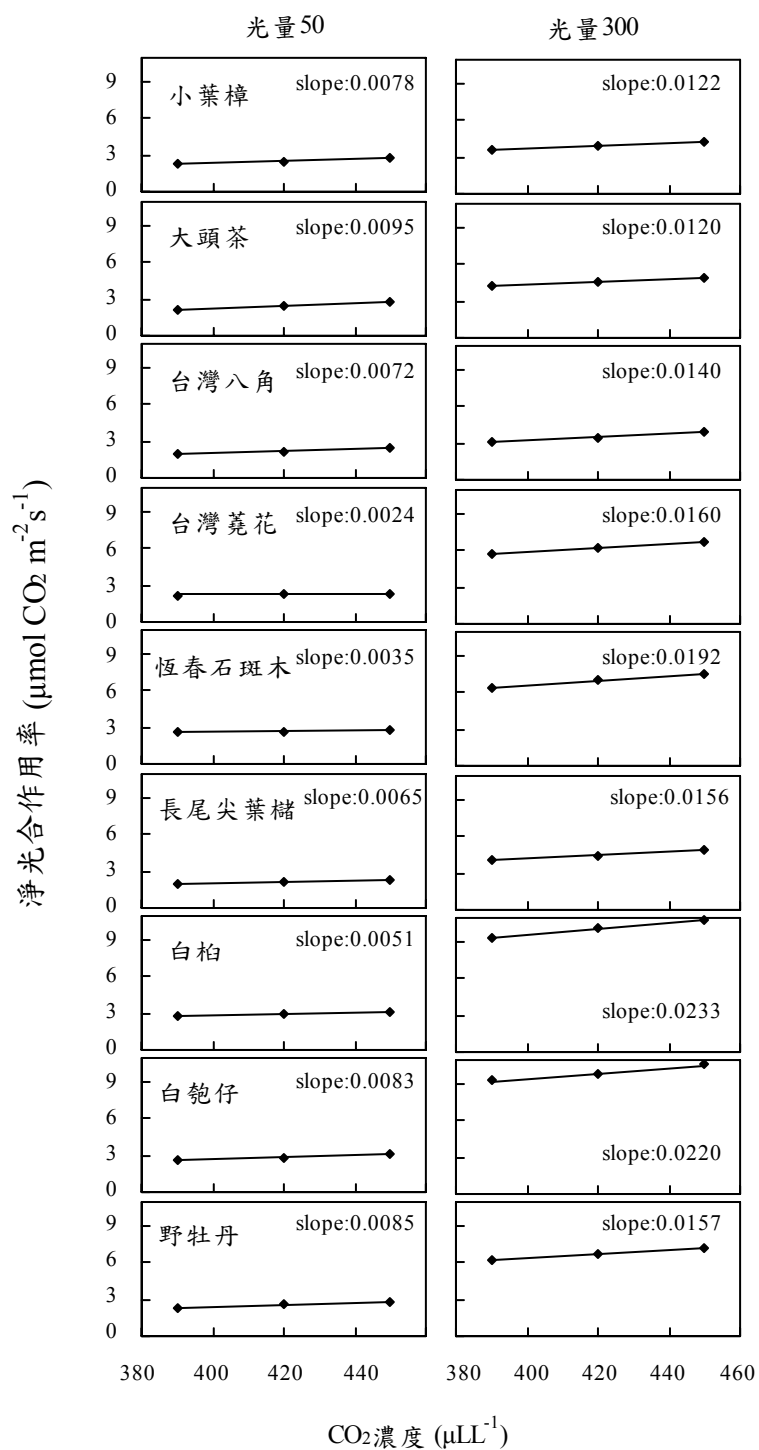


圖 3-16. 供試 9 樹種於光量 50 及 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 下淨光合作用隨 CO_2 濃度之變化

(資料來源：本研究)

將上述斜率整理成表 3-18，發現各種樹苗在光量 $50 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的低光條件下，其淨光合作用率隨 CO_2 濃度增加的斜率以大頭茶最高，但在統計上與小葉樟、台灣八角、白匏仔、長尾尖葉槿及野牡丹等 5 種的斜率並無顯著差異，而以台灣蕘花及恆春石斑木該斜率較低(表 3-18)。在光量為 $300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的條件下，各種樹苗淨光合作用率隨 CO_2 濃度而提高的直線迴歸式斜率都較低光時提高，為低光時之 126~667% (表 3-18)，以台灣蕘花及恆春石斑木提高的幅度最大。在低光時各樹種該斜率都未超過 0.01，而在 $300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 光量條件下，各樹種該斜率均已大於 0.01，白柏與白匏仔甚至已達 0.02 以上，顯著高於小葉樟、大頭茶及台灣八角(表 3-18)。此結果表示陽性樹種的白柏與白匏仔的光合作用在此較高光量下，對 CO_2 濃度提高的反應比小葉樟、大頭茶及台灣八角等耐陰性樹苗敏銳，對 CO_2 的利用效率極高。

表 3-18. 供試樹種於兩種光條件下($50, 300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)對 CO_2 的利用效率

樹種	光量		300/50(%)
	50	300	
小葉樟	0.0078 ± 0.0013^{ab}	0.0122 ± 0.0012^c	156
大頭茶	0.0095 ± 0.0011^a	0.0120 ± 0.0012^c	126
台灣八角	0.0072 ± 0.0017^{abc}	0.0140 ± 0.0014^c	194
台灣蕘花	0.0024 ± 0.0010^d	0.0160 ± 0.0027^{bc}	667
恆春石斑木	0.0035 ± 0.0012^c	0.0192 ± 0.0016^{abc}	549
長尾尖葉槿	0.0065 ± 0.0014^{abc}	0.0156 ± 0.0020^{bc}	240
白柏	0.0051 ± 0.0010^{bc}	0.0233 ± 0.0051^a	459
白匏仔	0.0083 ± 0.0010^{ab}	0.0220 ± 0.0027^{ab}	265
野牡丹	0.0085 ± 0.0013^{ab}	0.0157 ± 0.0016^{bc}	185

註：同一光量條件各樹種有不同英文字母者具顯著差異($p < 0.05$)，雪菲氏檢定。

(資料來源：本研究)

過去本研究室在南仁山背風坡林下曾測定過 30 種植物小苗在光量 $15 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的條件下，淨光合作用隨 CO_2 濃度提高的反應，結果發現當 CO_2 濃度由 360 上升至 $400 \mu\text{LL}^{-1}$ 後，耐陰樹種小苗的光合作用對 CO_2 利用效率(即本研究的直線迴歸式斜率)為非耐陰樹種小苗的 3 倍。該研究測定時的光量($15 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)比本研究所使用的光量更低，該研究 24 種耐陰種小苗與 6 種非耐陰種上述斜率平均值分別為 0.0069 及 0.0024，而本研究 6 種耐陰種及 3 種非耐陰種在光量 $50 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的條件下，斜率平均值分別為 0.0062 及 0.0073，兩研究的耐陰種的斜率平均值相似，而本研究非耐陰種的斜率較該研究提高約 2 倍。本研究在光量 $300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的條件下，耐陰種與非耐陰種的斜率平均值分別為 0.0148 及 0.0203，兩類樹種的斜率較 $50 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 光量條件下的斜率分別提高 139 及 178%，以非耐陰種提高程度較大。以上的分析說明了耐陰種小苗在極低光條件下(例如 $15 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 光量)，淨光合作用率隨 CO_2 濃度提高的幅度會高於非耐陰種，但是在較高光量條件下，非耐陰種的淨光合作用率對 CO_2 濃度提高的反應不會低於耐陰種。然而上述現象可能會因樹種而異(species specific)，因為本研究的 6 種耐陰樹種中，小葉樟與大頭茶在低光時的淨光合作用率隨著 CO_2 濃度而提高的反應敏感，但在 $300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 光量條件下提高幅度卻不大。此外，陽性樹種中白柏的反應在低光時並不特別高，在較高光量時反應幅度卻顯著增大(表 3-18)。此結果也說明了該森林樹冠層若一直保持鬱閉，林下光量若一直處於 $50 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以下，則耐陰種樹苗是比非耐陰性樹苗有較大的競爭優勢，因為一方面其淨光合作用率並不比非耐陰性樹苗低(表 3-17)，另一方面這些耐陰性樹苗對林床額外增加的 CO_2 有良好的利用效率，可使植株保持正常的碳收穫。本研究也發現台灣蕘花與恆春石斑木在同樣的 CO_2 濃度條件下，當光量由 50 升高到 $300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，此 2 種樹苗的淨光合作用率有很大幅度的增加。例如在 CO_2 濃度 $390 \mu\text{LL}^{-1}$ 的條件下，台灣蕘花與恆春石斑木在光量 $50 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 時的淨光合作用率分別為 2.21 及 $2.61 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，而在光量 $300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 時，淨光合作用率分別提高至 5.81 及 $6.38 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (表 3-17)，提高的幅度分別為 163% 及 144%。而陽性樹種白柏與白匏仔在相同的兩光量條件下，淨光合作用率的提高幅度更大，分別達 231 及 247%，比上述兩種耐陰

樹苗提高幅度更大。此結果表示陽性樹種遺傳上較高的光合作用潛力在較高的光量條件下會顯現出來，競爭優勢比耐陰種樹苗大。

綜上所述，本研究九種供試樹苗的淨光合作用率，均會因光合作用原料 CO₂ 供應量的增加(CO₂ 濃度提高)而增加，也會因光量的提高而提高。光合作用原料及驅動此過程的能量的供應提高，均會使植株的淨光合作用率提高，且此兩者間可能具有交感作用。不同植物種類對此兩項環境因子的反應也不同，有待進一步試驗。

第六節 林地土壤呼吸

南仁山步道 3.5 K 南側森林，土壤呼吸的測定從 2008 年 4 月至 11 月共 9 次測定的數據顯示，林地土壤 CO₂ 通量介於 3.8~6.4 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，地表 CO₂ 濃度在 385~406 $\mu\text{L L}^{-1}$ 的範圍內，土壤溫度以 9 月 20 日的 26.2 °C 為最高 (表 3-19)。土壤溫度的提高可以促進土壤中微生物的活動，而使土壤 CO₂ 通量增加，由表 3-19 可看出從 2008 年 4 月至 9 月隨著溫度的升高，土壤 CO₂ 通量也有增加的趨勢。影響土壤 CO₂ 通量的環境因子，不僅只有溫度，土壤含水率也是項重要的因素，土壤含水率過低，會使土壤中植物的根系及微生物的活動降低，進而導致土壤 CO₂ 通量減少。土壤含水率達飽和時亦有此情形發生，因土壤孔隙全為水佔據，使得土壤中 CO₂ 的釋出受阻，且因缺氧的關係使土壤生物及根系的呼吸量減少。目前的資料仍無法看出此森林林地土壤 CO₂ 通量季節間或年度間的變化，還需長期的監測。

表 3-19. 南仁山小苗更新動態樣區土壤呼吸測定

測定日期	土壤 CO ₂ 通量 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	地表 CO ₂ 濃度 ($\mu\text{L L}^{-1}$)	土壤溫度 (°C)	土壤含水率 (%)
2008 年				
4 月 8 日	4.6±0.4	406±8	22.9±0.1	28.4±1.4
4 月 26 日	3.8±0.3	386±2	20.6±0.1	42.6±2.2
5 月 17 日	4.3±0.2	390±5	22.1±0.1	33.8±2.0
6 月 21 日	4.9±0.4	393±6	25.1±0.1	49.5±1.9
7 月 12 日	5.3±0.4	393±4	25.5±0.1	45.2±2.0
8 月 15 日	5.9±0.6	387±2	25.4±0.1	44.0±2.4
9 月 20 日	6.4±0.4	385±3	26.2±0.1	30.9±1.8
10 月 18 日	5.8±0.5	389±4	24.2±0.1	32.9±0.8
11 月 24 日	3.9±0.7	391±3	22.2±0.1	46.7±1.2

(資料來源：本研究)

第七節 物候表現

一、各樹種物候表現各論

於 2007 年 10 月至 2008 年 10 月間，觀察南仁山 22 樹種樹木的物候現象，各樹種的展葉、落葉、花與果的物候表現說明如下。

1. 恆春槿楠

葉叢生於小枝先端，倒卵形或長橢圓形，圓頭，基部楔形，長 3~5 cm，寬 1~1.5 cm，兩面平滑，羽狀脈，網脈表面顯著；柄甚短，黑紫色，幼葉淡綠色，葉期 1 月至 4 月，6 月至 8 月。花兩性，聚繖狀圓錐花序頂生或近頂生，花期 6 月至 12 月。果實壓縮球形，肉質，具宿存反捲之花被片，果期 8 月至 12 月。花與果常混和出現，無明顯間隔性。

2. 武威山新木薑子

葉橢圓形，簇生小枝端，長 4~6.5 cm，先端鈍基部鈍或略楔形，幼葉背灰白色，疏生白毛，老則淡褐色，平滑；三出脈，葉期 2 月至 5 月。花梗及花被外面密被金黃色毛，花單性，雌雄異株，繖形花序單生或合成無梗花叢，花期不固定，6 月至翌年 2 月。果球形，熟時紅色，果期分 3 月至 4 月、6 月至 7 月兩期，樣木 2 號結果數量較多。

3. 恆春石斑木

葉長橢圓形至披針形，長 4~5 cm，先端圓鈍，幼葉與老葉同淡紅色，易混淆，不易區別，葉期 1 月至 4 月；落葉期 3 月至 5 月。花聚繖花序頂生，花冠白色，開花於枝幹頂端，不易發現，花期 5 月。果球形，果期 5 月至 9 月。

4. 希蘭灰木

幼葉淡綠色，葉革質，橢圓形，長 2~5 cm，寬 1.5~2.5 cm，先端銳形、漸尖形或短尾狀，基部鈍楔形，邊緣常反捲，全緣或波浪狀，兩面光滑，葉期 1 月至 4 月。壓縮穗狀花序或簇生花序腋生，分枝短；花

冠白色，花期 6 月及 9 月。果熟時藍黑色，圓筒柱狀，花萼裂片宿存，果期 10 月至翌年 3 月。

5. 珊瑚樹

葉肉革質，長橢圓形，兩端均銳或鈍，全緣或上部略作波浪狀鋸齒緣，長 6~10 cm，表面深綠色，有光澤，葉期 10 月至 11 月。圓錐狀聚繖花序頂生，花冠白色，花期 12 月至翌年 1 月。核果橢圓形，熟時呈珊瑚狀紅色，在變為暗紫褐色，果期 2 月至 8 月，每一樣木都有大量結果的現象。花與果間期區分明顯。

6. 長尾尖葉櫪

葉長橢圓形，先端長尾狀漸尖，長 4~10 cm，寬 1.5~4.5 cm，全緣或先端具 1~5 鋸齒，表面光滑，暗綠色，背面銀灰色或銀褐色，疏生短毛，葉期 3 月至 5 月。穗狀花序多單性，直立，花期 4 月至 5 月。總苞略球形，具短柄，完全包被堅果，外被三角型不整齊短刺，熟時開裂，於 2007 年 11 月 10 日發現樣木 4 號有結果一顆，結果位置於樹冠層內，不易發現有結果現象，果期 10 月至翌年 5 月。至 2008 年 10 月，沒有再發現結果現象。

7. 嶺南青剛櫪

幼葉密被黃褐色毛，葉厚革質，長橢圓狀倒卵形，長 4~10 cm，鈍頭，全緣或先端有波齒，邊緣反捲，被面密生黃褐色毛，葉期 1 月至 3 月。雄花序下垂葇荑狀；雌花單生或 2~多花成穗狀花序，花期 3 月至 5 月。殼斗碗狀，堅果長圓形，果期 6 月至 10 月，結果量不多，2007 年 10 月至 2008 年 10 月受八個颱風的侵襲，未熟果實多數被掃落，目前已見成熟的堅果。

8. 錐果櫪

葉長橢圓狀披針形，長 6~8 cm，革質，漸尖頭，銳腳，上半部有銳鋸齒，背面灰白色，葉期為 3 月至 5 月。殼斗鐘狀；堅果圓錐形，長 1.7~2.2 cm，過去調查僅 2002 年觀察到花期與果期，2007 年 11 月 10 日發現樣木 1 號有結果約 10%，2008 年 5 月 17 日在同一樣木 1 號同一

樹冠位置有果實，但未發現開花，結果位置於樹冠層內，不易發現有結果現象。

9. 捲斗櫟

幼葉被紫色或金黃色綿毛，葉革質，披針形，長 7~14 cm，先端漸尖或尾狀，基部楔形，中部以上疏生鋸齒，葉期 12 月至翌年 4 月。雄花序下垂葉叢狀；雌花單生或 2~多花成穗狀花序，花期 3 月至 5 月。殼斗熟時邊緣展開，被金黃光澤絹毛；堅果長橢圓形或倒卵形，徑 1.2~1.6 cm，長 2~3 cm，幼時被毛，果期 6 月至翌年 1 月、翌年 3 月至 9 月，樣木 2、3、4 及 5 號因為樹形高大，不易發現果實，唯樣木 1 與 6 號可於高塔觀察，其中 6 號結果量最多，但於 2008 年 1 月疑似遭人盜採，樹上及地上都沒發現果實殘留，2007 年 10 月至 2008 年 9 月受八個颱風的侵襲，少部分樹枝折損，不少未熟果實吹落。

10. 杏葉石櫟

葉披針形，長 10~15 cm，有尾，全緣，革質，背面褐色，葉期 2 月至 4 月。雄花為直立單一或分歧的穗狀花序，雌花生於雄花穗基部或另成一花序，花期 4 月至 5 月。堅果殆全為殼斗所包被，近球形，徑 1.7~1.9 cm，果期 6 月至 12 月。2007 年 10 月至 2008 年 10 月受八個颱風的侵襲，果實多數被掃落。至 2008 年 10 月，沒有再發現結果現象。

11. 細葉茶梨

幼葉淡紅色，葉聚生於小枝頭，革質，橢圓形，先端銳尖，不明顯鈍鋸齒緣，光滑，背面有多數深褐色或黑色小點，葉期 2~6 月。花粉紅色至紅色，因為枝葉茂密，不易發現開花與結果，沒有固定花期，2 月至 4 月、5 月至 6 月及 10 月至 11 月。2008 年 6 月開始有結果現象，結果量極少。

12. 南仁山鈴木

葉厚革質，闊倒卵形至長橢圓狀倒卵形，長 3~5 cm，寬 1.5~2.5 cm，先端圓鈍，凹頭，基部楔形，表面光滑，邊緣反捲，略鈍齒緣，中肋表面下凹，側脈略不明顯，葉期 2 月至 4 月。花 1~3 朵簇生葉腋，

花期 12 月至翌年 2 月。果卵狀球形，2008 年 5 月開始有結果現象，結果期 5 月至 8 月。

13. 大頭茶

葉披針形或倒披針形，革質，長 6~13 cm，寬 2~4 cm，先端圓鈍，罕銳，微凹頭，基部楔形，厚革質，表面平滑，背面平滑或近平滑，全緣或上半部有波狀疏鋸齒，葉期 3 至 6 月。花無柄，花期 10 月至翌年 2 月。蒴果長橢圓形，成熟後開裂，會宿存樹枝上，長約 3 cm，種子具翅，果期 5 月至 12 月、翌年 5 月至 9 月。2008 年 10 月，發現果實遭受蟲害蛀蝕。

14. 小葉赤楠

幼葉朱紅色，葉橢圓形或廣卵形，長約 3.5 cm，寬約 1.5 cm，先端鈍而常凹形，基部銳形或漸尖，側脈不明顯，葉期 1 月至 3 月。頂生聚繖或圓錐花序，在 2007 年 10 月只發現樣木 2 與 3 號有開花約 20%，花期 7 月至 9 月及 10 月。果實球形，成熟黑色，於 2007 年 10 月至 11 月樣木 2、3 及 5 號有少量結果，果期 8 月至 11 月、翌年 7 月至 9 月。

15. 臺灣八角

葉長橢圓形或倒卵狀橢圓形，長 6~12 cm，芽葉期 2 月至 4 月。花被片紅色，杯狀圓形，花期 3 月至 4 月。蓇葖果尖頭，成熟後開裂，種子會彈出，種子黃褐色，果期 6 月至 11 月，2008 年 5 月 17 日發現樣木 2 號有結果一顆，其他樣木尚未發現，樣木 4 與 7 號自 2007 年 10 月觀察開始已經死亡，果期 10 月至 11 月、翌年 6 月至 9 月。

16. 松田氏冬青

芽葉紅色，葉廣橢圓形或卵狀廣橢圓形，長 7~9.5 cm，先端銳形，銳頭銳基，全緣，頂生繖房花序，平滑，花期 5 月至 6 月，樣木 1、2 及 5 號有發現開花。果橢圓形，熟時紅色，平滑，樣木 1 號與 2 號有少量結果。樣木 4 號自 2007 年 10 月觀察開始已經死亡，3 號於 2008 年 2 月確認死亡，果期 6 月至 9 月。

17. 日本賽衛矛

葉革質，卵狀披針形至菱形，長 6~10 cm，寬 2~5 cm，先端鈍、銳尖或圓，或具微凹頭，花期長，沒有固定，10 月至翌年 3 月，5 月再次開花至 9 月，樣木 1、2 及 3 號有發現開花。果橢圓形，果皮綠色，成熟後開裂，種子鮮紅色，果期相同延長，10 月至翌年 5 月，自 2007 年 10 月觀察至今，1、2 及 4 號有發現結果，其中樣木 1 號結果次數較多。

18. 奧氏虎皮楠

葉倒卵狀橢圓形、橢圓形或長卵形至卵狀橢圓形，長 8~15 cm，先端漸尖，偶圓鈍而具短突尖，基部楔形，具乳點，芽葉期呈 6 月及 12 月雙峰現象。花雌雄異株，腋生總狀花序，於 2008 年 4 月初觀察到樣木 2、4 及 5 號有開花。果橢圓狀球形，被瘤點，僅 2、4 及 5 號有發現結果，果期 4 月至 9 月。

19. 唐杜鵑

葉橢圓狀披針形至卵狀橢圓形，變異甚大，長 2~5 cm，略紙質，兩面被剛毛，葉期 1 月至 6 月。花磚紅色，花冠漏斗狀，花期 1 月至 4 月。蒴果圓錐形，成熟後開裂，會宿存樹枝上，果期延長，無一定週期。樣木 4 號在樹冠裂縫處生長良好，其他樣木位於鬱閉樹冠層下，生長不良，多枝條枯枝，果期 1 月至 9 月。

20. 銹葉野牡丹

葉橢圓形，革質，長 8~18 cm，寬 5~7 cm，先端短尾狀，基部楔形，背面暗紫色密被銹色柔毛及秕糠，葉期 2 月至 5 月。圓錐花序頂生，被銹色柔毛，花期於 2008 年 3 月開始開花。自 2007 年 10 月觀察至 2008 年 6 月並沒有發現結果，於 2008 年 7 月開始結果，果期 7 月至 9 月。

21. 大明橘

葉叢生枝端，略革質，長橢圓狀披針形或倒披針形，長 6~15 cm，寬 1.5~3 cm，先端鈍形，基部銳形，全緣，葉期 2 月至 6 月。雌雄異

株，花簇生葉腋，花冠白色，自 2007 年 10 月觀察至 2008 年 6 月，花苞一直閉合不開，2008 年 3 月 15 日有發現樣木 5 號開花 1%，2008 年 4、5 及 6 月雖有看見一二朵枯萎花朵，但還是沒發現其他剛盛開的花，樣木 2 號枝幹受山林頭纏繞，生長不良。

22. 欖仁舅

葉對生，殆無柄，橢圓形或闊倒卵形，長約 25 cm，寬約 12 cm，先端鈍或截形，基部圓鈍，全緣，葉期 2 月至 6 月。頭狀花序具長梗，頂生，花期延長，無一定週期。自 2007 年 10 月觀察至 2008 年 6 月並沒有發現結果，2008 年 8 月觀察雖有結果現象，部分受到病蟲害而蛀蝕。

二、整體物候表現

於 2007 年 10 月至 2008 年 11 月間，觀察南仁山 22 種林木，每種 4-8 株，總計 121 株樣木的物候表現。在此期間整體而言，展葉高峰期集中在 2 月至 4 月，各樹種平均展葉量約佔整體樹冠的 10 至 40% 之間（表 3-20，3-21）。

觀測期間有明顯開花的物種共 21 種（表 3-20，3-21），包括恆春楨楠、武威山新木薑子、恆春石斑木、希蘭灰木、珊瑚樹、長尾尖葉槲、嶺南青剛櫟、捲斗櫟、杏葉石櫟、細葉茶梨、南仁山柃木、大頭茶、小葉赤楠、臺灣八角、松田氏冬青、日本賽衛矛、奧氏虎皮楠、唐杜鵑、鏽葉野牡丹、大明橘、欖仁舅，只有錐果櫟沒有開花的物候表現。開花高峰期在 1 月至 4 月的有奧氏虎皮楠、唐杜鵑 2 種；3 月至 6 月的有恆春石斑木、長尾尖葉槲、嶺南青剛櫟、捲斗櫟、杏葉石櫟、臺灣八角、松田氏冬青、奧氏虎皮楠、鏽葉野牡丹、大明橘、欖仁舅 13 種；開花盛期在 5 月至 8 月的恆春楨楠、武威山新木薑子、恆春石斑木、希蘭灰木、松田氏冬青、欖仁舅 4 種；7 月至 10 月的有小葉赤楠 1 種；9 月至翌年 2 月的有武威山新木薑子、南仁山柃木、大頭茶、日本賽衛矛、欖仁舅。

觀察期間所有樹種均出現結果的物候（表 3-20，3-21），此現象在過去不曾發生。此次調查期間結果主要發生在 1 至 4 月間的樹種包括武威山新木薑子與大明橘；主要結果期在 5 至 8 月間者有：武威山新木薑子、恆春石斑木、嶺南青剛櫟、錐果櫟、捲斗櫟、杏葉石櫟、細葉茶梨、南仁山柃木、大頭茶、小葉赤楠、臺灣八角、松田氏冬青、奧氏虎皮楠、鏽葉野牡丹、欖仁舅等 15 種；結果期在 9 月至 12 月的樹種包括：恆春楨楠、希蘭灰木、長尾尖葉槲、嶺南青剛櫟、錐果櫟、捲斗櫟、杏葉石櫟、細葉茶梨、日本賽衛矛、唐杜鵑、大明橘、欖仁舅等 12 種。結果的時期較開花時期不一致，其中恆春楨楠、恆春石斑木、希蘭灰木、珊瑚樹、長尾尖葉槲、嶺南青剛櫟、錐果櫟、捲斗櫟、杏葉石櫟、細葉茶

梨、南仁山柃木、大頭茶、松田氏冬青、奧氏虎皮楠及唐杜鵑等 15 種的結果期較長，果期持續 4 個月以上。結果量方面，恆春楨楠、珊瑚樹、嶺南青剛櫟、捲斗櫟、南仁山柃木、小葉赤楠、日本賽衛矛、奧氏虎皮楠、唐杜鵑、鏤葉野牡丹等 10 種結果量較高，平均結果量約佔整體樹冠 20 至 40%，其中珊瑚樹結果量高達 40 至 60%，為所有調查樹種中結果量最高者；其它 9 種樹種的結果量，僅佔整體樹冠的 5 至 25%，結果量零星。在觀測期間未發現開花現象但有結果表現的樹種為錐果櫟（表 3-20）。

表 3-20. 南仁山 22 種樹木 2007 年 10 月至 2008 年 10 月展葉、花盛開及果熟的物候高峰期（月）

樹種	芽葉期	花期	果期
恆春楨楠	1~4、6~8	*10~*12、6~	*10~*11、8~
武夷山新木薑子	2~5	*10~2、6~11	3~4、6~7
恆春石斑木	1~4	5	5~9
希蘭灰木	1~4	6~9	*10~2
珊瑚樹	10~11	*12~1	2~8
長尾尖葉櫛	3~5	4~5	*10~5
嶺南青剛櫟	1~3	3~5	6~11
錐果櫟	3~5		6~11
捲斗櫟	3~5	3~5	*10~1、5~11
杏葉石櫟	2~4	4~5	*12、6
細葉茶梨	2~6	2~11	6~10
南仁山柃木	2~4	*12~2	5~8
大頭茶	3~6	*10~2	*10~*12、5~
小葉赤楠	1~3	*10、6~8	*10~*11、7~
臺灣八角	1~3、5	3~4	*10~*11、6~
松田氏冬青	4~6	5~6	6~11
日本賽衛矛	1、3~4、6、12	1、3、10~11	*10~5
奧氏虎皮楠	2~4	4	4~11
唐杜鵑	1~6	1~4	1~11
秀葉野牡丹	2~5	3~6	7~9
大明橘	2~6	*10~8	3~4、10~11
攬仁舅	2~6	5~6、10~11	*10~*12、8~

*：2007 年。

(資料來源：本研究)

表 3-21. 南仁山 22 種樹木各月物候表現甘梯圖

樹種及物候表現		2007 年			2008 年										
		10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
恆春楨楠	葉	—————													
	花	▨	▨	▨							▨	▨	▨	▨	▨
	果	▨	▨	▨											▨
武威山新木 薑子	葉	—————													
	花	▨	▨	▨	▨	▨	▨							▨	▨
	果		▨	▨											▨
恆春石斑木	葉	—————													
	花										▨	▨			
	果														▨
希蘭灰木	葉	—————													
	花														▨
	果	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨
珊瑚樹	葉	—————													
	花		▨	▨											
	果														▨
長尾尖葉櫨	葉	—————													
	花														▨
	果	▨	▨	▨											▨
嶺南青剛櫟	葉	—————													
	花		▨	▨											▨
	果	▨	▨	▨											▨

(資料來源：本研究)

表 3-21(續). 南仁山 22 種樹木各月物候表現甘梯圖

樹種及物候表現		2007 年			2008 年										
		10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
錐果櫟	葉	—————													
	花	—————													
	果	—————													
捲斗櫟	葉	—————													
	花	—————													
	果	—————													
杏葉石櫟	葉	—————													
	花	—————													
	果	—————													
細葉茶梨	葉	—————													
	花	—————													
	果	—————													
南仁山柃木	葉	—————													
	花	—————													
	果	—————													
大頭茶	葉	—————													
	花	—————													
	果	—————													
小葉赤楠	葉	—————													
	花	—————													
	果	—————													

(資料來源：本研究)

表 3-21(續). 南仁山 22 種樹木各月物候表現甘梯圖

樹種及物候表現		2007 年			2008 年										
		10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
臺灣八角	葉	—————													
	花	.....												
	果	- - - - -													
松田氏冬青	葉	—————													
	花	.....												
	果	- - - - -													
日本賽衛矛	葉	—————													
	花	.....												
	果	- - - - -													
奧氏虎皮楠	葉	—————													
	花	.....												
	果	- - - - -													
唐杜鵑	葉	—————													
	花	.....												
	果	- - - - -													
銹葉野牡丹	葉	—————													
	花	.....												
	果	- - - - -													
大明橘	葉	—————													
	花	.....												
	果	- - - - -													
註：	%	5	10	15	20	25	30								
	葉	—————		—————		—————		—————		—————					
	花	.....		.....		.....		.....		.....		.....
	果	- - - - -		- - - - -		- - - - -		- - - - -		- - - - -		- - - - -			

(資料來源：本研究)

第四章 結論與建議

第一節 結論

本研究調查南仁山迎風坡森林的小苗更新動態、樹苗高生長、苗木一日碳收支、斑光對林下樹苗光合作用的貢獻、物候觀察等項目所獲重要結果如下。

- (1) 2008 年 7 月的調查資料顯示小苗組成共有 69 種，平均每個 1 m² 樣區有 14 種木本植物，小苗密度平均為 35 株 m⁻²。
- (2) 小苗動態樣區中以日本賽衛矛、台灣八角及恆春石斑木的小苗密度最高，平均 1 m² 面積分別有 5.1、3.7 及 2.8 株。九節木、鐵雨傘、大頭茶、小葉赤楠、細脈赤楠、金平氏冬青、小葉樟及大明橘小苗的密度也在每 m² 面積 1 株以上。小苗密度每 10 m² 面積少於 1 株的有 25 種，包括台灣特有及稀有的烏心石舅、恆春紅豆樹、細葉茶梨及希蘭灰木等 4 種。
- (3) 在小苗出生死亡方面，2008 年至 11 月止記錄到新生苗 260 株，死亡小苗 406 株，死亡株數大於新生株數。新生苗以日本賽衛矛(65 株)、台灣八角(24 株)及金平氏冬青(23 株)等 3 種最多。新生苗株數以 1 月較少，7 月較多。本年度小苗在 2~4 月死亡較多，共有 209 株(51%)，此現象與過去兩年不同。
- (4) 統計北側森林 24 個小苗樣區自 2002 年 7 月至 2008 年 7 月，6 年期間新生樹苗的存活死亡情形，發現共有 817 株新生苗，其中有 362 株新生苗死亡。從新生到滿一年，只有小葉木犀能維持 100% 的成活率，細脈赤楠與長尾尖葉槲可維持 90% 以上的存活率，日本賽衛矛與大頭茶在苗齡 6~12 個月之間成活率即低於 50%。
- (5) 新生樹苗出生時的苗高多在 4.0~6.0 cm 範圍，除了陽性樹種有機會在出生後 4 年長至 100 cm 以外，大多數耐陰樹種新生苗在苗齡 2 年時，高度多在 8~15 cm 之間，長至 3 年時高度也少能超過 15 cm，高生長很遲緩。

- (6) 南仁山迎風坡森林林下 9 種樹苗的光合作用日變化，當林內可用光資源提高時，苗木的淨光合作用率均會顯著提高，尤其是恆春石斑木及白柏樹苗，其淨光合作用率隨光量增加而提高的表現甚為顯著。
- (7) 樹苗有較高的一日碳收穫以及較高的單株葉面積，則可以有較高的一日碳收支。恆春石斑木與台灣蕘花的一日碳收穫很高，但其單株葉面積很低，因此一日碳收支並不高。長尾尖葉槲與野牡丹單株葉面積很大，全年平均單株一日碳收支分別可高達 87 及 85 mg CO₂ d⁻¹。
- (8) 九種供試樹苗照到連續斑光，光合作用機構充分誘發時的最大淨光合作用率，以恆春石斑木、長尾尖葉槲及台灣蕘花最高。比較光合作用 90% 誘發所需時間，台灣蕘花、恆春石斑木、野牡丹、白柏、白匏仔、長尾尖葉槲在 12~22 分鐘範圍，大頭茶、台灣八角及小葉樟則需 29~39 分鐘。具較大光合作用率的樹種，當照到斑光時在較短時間內，其光合作用機構即可有一定程度的誘發。
- (9) 南仁山迎風坡森林林下樹苗未照到斑光時，光量多在 20~50 μmol m⁻²s⁻¹，斑光出現時可顯著提高苗木的淨光合作用率。有斑光照射的時間僅佔白天的 1~53%，但該期間所固定的 CO₂ 量可達總量的 2~77%。斑光提高可用的光資源，對林下樹苗的光合作用量有很大貢獻。
- (10) 九種供試樹苗的淨光合作用率均會隨 CO₂ 濃度的提高而增大，且在較高光量條件下此 CO₂ 利用效率提高更顯著。
- (11) 2008 年物候調查的 22 種樹種均有結果的表現，但結果量都不多。過去幾年嶺南青岡櫟的堅果都不能長至成熟，本年度則發現有成熟堅果。

第二節 建議

生態保護區基礎生態資訊需長期監測-立即可行之建議

主辦機關：墾丁國家公園管理處

協辦機關：大學或研究機構

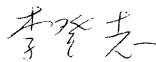
- (一) 本計畫所監測的小苗更新動態、植物物候表現，以及各種樹苗在林下環境光合作用生產力對光資源及二氧化碳的反應，此三項都是生態系重要的基礎資訊，也都需要長期的監測才能看出變化趨勢，只有短期間的調查是無法了解生態現象的全貌，因此上述監測項目需要長期的經費支持。
- (二) 由小苗更新動態的數據發現，南仁山迎風坡的森林，小苗組成及數量都比台灣北部的福山森林多，值得重視。此種豐富且珍貴的生物多樣性現況是國家公園設立保護區始能維持的結果。由此可見生態保護區的設立對本國的生物資源的保存與永續利用具有正面的價值，應持續維持南仁山生態保護區目前良好的遊客人數管制及警力巡守，並增加教育宣導措施。

附錄一 97 年度「南仁山森林苗木更新動態、碳收支及植物物候之研究(二)」
服務企畫書評審會議紀錄

開會日期：中華民國 97 年 02 月 04 日下午 2 時 0 分 記錄：陳玄武


開會地點：墾丁國家公園管理處大型會議室

主持（召集）人：李委員登志

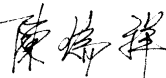


評審委員：

國立中興大學 王委員升陽



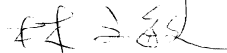
國立嘉義大學 陳委員瑞祥



墾丁國家公園管理處 馬委員協群

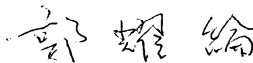


墾丁國家公園管理處 林委員文敏



出列席單位及人員：

服務廠商



墾丁國家公園管理處



參選單位簡報：郭教授耀倫簡報（詳如服務建議書）

評審委員提問及參選單位回應：

陳委員瑞祥

1. 在斑光之研究部分，當初如何選擇所列 9 種樹種？
2. 是否考慮作覆蓋率？
3. 二氧化碳離地 20 公分濃度最高，往上逐漸減少，故苗木在不同高度所獲得二氧化碳均不同，如何處理此一問題？

郭教授耀倫

1. 所選定的樹種包括陽性樹種及耐陰性樹種，以數量較多、較具代表性為主。每種選定 4 株，每單株測 2 片葉子，以不同單株作為重複。同株不同葉片年齡不同，故所取為長在上面第 3 片葉子。有關葉子年齡，依據先前研究成果，葉子自葉芽至成熟約 50-60 天，可達生理最高峰；茄苳葉子壽命約 240 天、大葉楠約 550 天、殼斗科植物則可能 5 年以上。
2. 因屬現場調查，故不考慮作覆蓋率，條件不同為生態因素。
3. 測量葉片附近二氧化碳濃度後，依據所測得數據，用儀器調控二氧化碳濃度，以符合現況。

王委員升陽

1. 本研究之成果對管理處是寶貴的資料，管理處如解說課可善用此資料進行解說教育，整理物候資料等，寫成一般民眾可閱讀的文章。
2. 測量二氧化碳的原理，是否與測光合作用速率相同？小苗葉片附近二氧化碳的濃度是否為 chamber 內的濃度或是環境之濃度？
3. 是否可根據本研究所得二氧化碳消耗量，推算單株扣除呼吸作用後，整年二氧化碳的消耗量？

郭教授耀倫

1. 於期末報告時，可把近幾年研究成果寫成幾編小文章，但本人專精於科學文章，不擅長通俗有趣文章，建議由管理處有此專才的人撰寫。
2. 二氧化碳濃度係採用儀器接收不同高度或位置來測得的濃度。
3. 由於植物之呼吸作用不僅於葉片，尚有根、莖等呼吸作用，故無法估算單株整年度淨二氧化碳消耗量。

馬委員協群

1. 本處委託研究計畫目標不外乎生態資料搜集、保育宣導，可供解說教育及出海報，以及對南仁山之經營管理有何建議？
2. 斑光同一物種受斑光與正常光，對斑光敏感度有何不同？
3. 二氧化碳對光合作用影響為正面，如果太多是否有負面作用？

郭教授耀倫

1. 二氧化碳濃度過高，只會呈飽和狀態，光合作用不會下降，飽和點約700-800ppm，目前林下大約300，故離飽和尚有一段距離。在其他條件均正常狀態下，二氧化碳提高對植物生長是正面，二氧化碳加倍，則生產量多40%。
2. 斑光與正常光是一樣的，林下清晨光度暗，氣孔較慢開啟，斑光是有累加性，可以間隔一小段時間，但間隔時間不能太長。
3. 研究成果應用於南仁山之經營管理則較弱，僅能提供生態資料及解說教育素材。

林委員文敏

1. 光為影響光合作用之重要因子，在北半球冬天光較弱，是否光合作用減低，造成二氧化碳濃度？
2. 本案是否可於期末作出南仁山森林對全球暖化貢獻的數據？

郭教授耀倫

1. 影響不大，因為大部分為常綠樹種不會落葉，無明顯形象上的轉變。殼斗科植物冬天光合作用速率較高，茄冬則相反。
2. 本計畫屬小尺度之研究，故無法作出對全球暖化的貢獻數據。

會議決議：本案評審結果：合格，請續辦議價事宜。

散會時間：97年2月4日下午16時00分。

附錄二 97 年度「南仁山森林苗木更新動態、碳收支及植物物候之研究(二)」
委託研究期中簡報審查會議紀錄

開會日期：中華民國 97 年 7 月 25 日上午 10 時 00 分 記錄：陳玄武

開會地點：墾丁國家公園管理處大型會議室

主持（召集）人：林秘書欽旭

評審委員：

國立中興大學 王委員升陽

國立嘉義大學 陳委員瑞祥

墾丁國家公園管理處 李委員登志（請假）

墾丁國家公園管理處 馬委員協群（請假）

墾丁國家公園管理處 林委員文敏

出席單位及人員：

國立屏東科技大學：郭教授耀綸

墾丁國家公園管理處 陳松茂 余光輝 郭曉嫻 黃靖玉 陳玄武

受委託單位簡報：郭教授耀倫簡報（詳如期中報告書）

評審委員提問及參選單位回應：

王委員升陽-問

1. 成果提供未來生態教育及經營豐富的資料，教科書上常談的陽性樹種及陰性樹種，無明確的數據；此研究可提供生理上之數據，作為陽性樹種與陰性樹種最新的論述。
2. 南仁山對二氧化碳的利用率，其樹種間的差異性，可提供造林之參考及生態上之貢獻。
3. 2008年死亡明顯增多，其判定死亡的依據為何？是否有影響？

郭教授耀倫-答

1. 每一棵小苗從小到大都有掛牌，死亡的判定有：明顯枯死、找不到、被水沖走、土壤覆蓋及枯枝落葉覆蓋等。
2. CO₂利用情形，林業界迷思，樹木會固定CO₂，但樹木會死亡，分解後CO₂仍釋放。栽植速生樹種，效果很快呈現，但後續分解的問題仍需解決。故造林應選擇長壽命的樹種，本研究係針對小苗，故有所不同。
3. 小葉樟、紅花八角之光合作用誘發時間較長，與誘發時間短的樹種，如果能找出真正的原因，並配合生化活性及解剖研究，對科學將是一大貢獻。
4. 耐陰性與非耐陰性之定義，非常有意思；研究中發現白孢子可以存活，颱風後大量發生，但很快就死亡，部分能存活下來的原因是，它已經長到某種程度，長大的主要原因是有斑光；光合作用所測得數據，在耐陰性與非耐陰性樹種並無明顯差異，事實上耐陰還是有範圍的，其差別是可以撐多久。生態上不能點來看，需長時間觀察。

陳委員瑞祥-問

1. 為何今年苗木死亡與往年差異大、出生數較多者死亡亦多，依往年資料是否一致？
2. 有些樣區較暗，其死亡之情形為何？

郭教授耀倫-答

出生數多死亡多，此問題是比率問題，往年資料亦同。

目前分析所建立 1500 株苗木，其出生與死亡之時間均有紀錄，目前已累計 3000 餘株。死亡率部分，特別新生樹苗較易死亡，有分析 10 公分以下，其死亡率 64%、10-20 公分者 20%、20-30 公分者 7%、30-40 公分者 4%。較大的樹苗不易死亡，其比率要精算，但小苗之死亡率較高，主要原因是物理性傷害較多。

幾個較暗的樣區，其死亡率特別高；但因未整理，等期末再分析。為何今年比往年死亡特別多，目前無法得原因。

林委員文敏-問

今年之死亡率高，是否因雨水較多，土壤水分過高，造成根系腐爛而死亡。

郭教授耀倫-答

3 月份雨量比平常高出許多，大約有 80mm，平常只有 20-30mm，其中以 6 月份大約 600 餘 mm。1, 2, 4, 5 月雨量並無特別多，是否有累積效應，有可能但無直接證據，故無法回復這樣的問題。

陳課長松茂

p13 之表格標題錯置；p39 為空白頁。另於南仁山之經營管理請老師指導，南仁山最近因林務局租地造林案，預定要收回，其中涉及補償問題，以及是否對栽植檳榔是否砍除？或順應自然演替？

郭教授耀倫-答

建議分批砍除，栽植原生樹種，此一案件可當作生態教育之案例，用合乎學理生態原則，進行復育工作，國外已有案例；若不進行復育，可能需長時間，若輔以人工方式，循自然原則進行。可先行小面積施作，以免造成輿論壓力。

林秘書欽旭

此議題涉及許多層面，且此計畫在經營管理層面較關連，應是在生態及解說教育方面可發揮。本案以另一議題處理，其涉及林務局林地管理、林班地經營，以及本處是否辦理撥用等等問題，可參考郭教授之建議。

郭技佐暉嫩-問

p22 單株 1 日碳收支，樣本 4 株，這樣的樣本數是否具代表性？

郭教授耀倫-答

1. 樣本數較少，較不具代表性，但可以看出趨勢，p 值不顯著，趨勢可以參考。

陳技士玄武

1. 有關苗木死亡之問題，請問老師是否將明顯枯死及找不到等其他因素分別紀錄，並與先前資料進行分析。另外，老師是否有測量樣區的光度，個人認為苗木之死亡，可能與光度有關。因今年度雨水充足，樹木生長良好，葉子生長茂密，林下光度不足，造成苗木因光度不足而死亡，所以可以分析苗木死亡與光度之相關性。
2. 單株 1 日碳收支之樣本數偏低，因研究進行人力與時間等問題，老師認為樣本數少，仍可看出趨勢，但就科學的角度，代表性卻不足；老師可以斟酌所要的目的為何，在同樣的人力與時間下，若要所得資料具代表性，將種數變少、樣本數增多。

郭教授耀倫-答

1. 光量每季均有測定，可以分析小苗死亡之關連性，推論可能上層光度問題，期末可呈現分析結果。
2. 補充說明解說資料部分，今年國科會辦理國科會 50 年之旅，已申請此一專案計畫，由謝桂楨小姐主持，名稱為落山風國度之自然生態尋旅。明年會有南仁山及高位珊瑚礁，預計有 4 場民眾參加，利用此一計畫編寫教材、科普資料等解說素材，會將本研究成果加入，活動將由國科會主辦管處協辦。感謝管處 4 年來的支持，將幾年來在南仁山的研究發現，讓民眾有所瞭解；如果編寫的不錯，可以編成手冊或摺頁。

林秘書欽旭-問

1. 老師有 3 項的建議，第 1 點南仁山長期資料監測需 10 年以上，目前本案進行 4 年，是不是表示必需持續進行，請陳課長將南仁山長期監測納入以後計畫編擬參考。
2. 生態導覽解說資源部分，謝小姐之素材變成教材之後，回歸南仁山研究站及解說教育課參辦。
3. 建議遊客管制，目前仍有遊客人數管制，人數管控苦無依據，請保

育課參卓相關研究。

4. 書面報告與簡報有出入部分，請納入書面報告中，並加入照片。
5. 苗木掛牌之照片及苗木位置圖等。
6. 本案應用於南仁山之經營管理層面較弱，老師是否建議什麼樣的研究
7. 有關由同仁撰寫解說素材部分，老師剛剛所提國科會計畫部分，是否就已足夠。
8. 本計畫屬小尺度的研究，無法針對全球暖化的議題作論述，請教老師是否建議其他方法可執行。

郭教授耀綸-答

1. 有關解說撰寫，目前約 70%資料，謝小姐已有；後來最新發現及資料可再補充即可。
2. 可以用遙測，對碳吸存的貢獻，已有模式及套用已有之參數，可粗估大尺度的碳吸存。

會議決議：本案評審結果一修正通過。

散會時間：97年7月25日上午11時50分。

附錄三 97 年度「南仁山森林苗木更新動態、碳收支及植物物候之研究(二)」
委託研究期末簡報審查會議紀錄

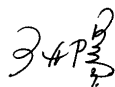
開會日期：中華民國 97 年 12 月 1 日下午 2 時 00 分 記錄：陳玄武

開會地點：墾丁國家公園管理處大型會議室

主持（召集）人：林處長青

評審委員：

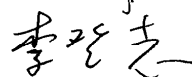
國立中興大學 王委員升陽



國立嘉義大學 陳委員瑞祥



墾丁國家公園管理處 李委員登志



墾丁國家公園管理處 馬委員協群



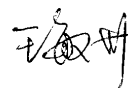
墾丁國家公園管理處 林委員文敏（請假）

出席單位及人員：

國立屏東科技大學：



墾丁國家公園管理處

 謝桂禎

受委託單位簡報：郭教授耀綸簡報（詳如期末報告書）

評審委員提問及參選單位回應：

王委員升陽-問

1. 建議物候資料可以提供一般民眾觀看並做為解說資料。
2. 建議於報告書中研究方法部分，詳細說明統計分析方法，比如信賴區間等。
3. 斑光之淨光合作用似乎會有延遲現象，過去文獻是否有紀錄時間差，應查明；光量多少時可以啟動光合作用？
4. 期中審查時討論苗木之更新時，今年的死亡率特別高，原因至今仍不明，是否與樹種、氣候或其他可能的原因。

郭教授耀綸-答

1. 統計方法確實應寫入，依委員意見已在報告書內容補充。
2. 斑光與光合作用時間差，由所得的資料可以判定，應無問題。誘發時間的關係，發現斑光具有累積效應。多少光能夠啟動，以這樣的數據無法證明，需在控制環境下方能檢驗。學理上，誘發 50%與兩斑光間隔時間有關，是一個非常複雜的現象。
3. 經詳細查證原始資料，發現在計算時有誤，今年度小苗死亡總數 1-11 月共 254 株並不比往年多。
4. 物候提供解說，至目前為止物候情況相當亂，若要表明豐年與欠年，時間仍嫌不足。最容易呈現的是花果形狀以及開花結果時間等。

陳委員瑞祥-問

1. 調查結果的資料，比郭教授所呈現的還要多，如何用一般大眾可以瞭解的方式呈現，在學術上有其價值，但一般大眾恐無法

瞭解。結果呈現的方式能夠引起民眾的興趣。

2. 在報告書中，衛星定位資料可以標示出時間、空間的相關性，是否因位置與環境因子有關？所調查的 44 個樣區死亡情形是否相同？
3. 經過 4-5 年的調查資料，無法看出環境變遷，未來可以持續進行。
4. 最後所提的試驗，是否於野外執行，那麼 CO₂ 濃度可以人為調控？光量也是人為控制？所選定的光量為 50 與 300，不知與現地的光量有關？

郭教授耀綸-答

1. 有關 CO₂ 資源對小苗碳收支影響相關的測定，所用的測定儀器可以控制 CO₂，也可以控制光量。光量 50 是背景值，一般森林底層的光量約 100 至 300 間，所以選擇 50 與 300，以瞭解不同光度，其光合作用的變化。
2. 研究生曾做過相關的試驗，發現耐蔭性樹種比陽性樹種 CO₂ 利用率較高；不同樹種間亦有所差異。
3. 物候資料呈現的方式，可以請大家集思廣意，建議比較好的呈現方式。

陳技士玄武

1. 經過多年的調查所得的資料非常多，將來可以作一些細部的分析。有關今年苗木死亡特別多，由簡報中資料死亡最多的月份為 2、3、4 月，推估可能是延續去年的乾旱所造成的。
2. 第 13 頁的圖，陽性樹種與蔭性樹種的呈現，並無絕對性，未來能否依據光合作用與不同光量之曲線作為判定陽性樹種或蔭性樹種？

3. 有關斑光的試驗，區分為陰天與晴天，是否有其意義？陰天已無陽光，是否仍有斑光？

郭教授耀綸-答

1. 晴天為有太陽的天氣，陰天則無太陽；如此區分欲明瞭不同的天候對植物光合作用的影響。而陰天是否有斑光，就斑光的定義為依目的而而，一般來說光量高於背景光量的 50%即為斑光。
2. 在生態學上，不叫陽性或陰性樹種，而是先驅樹種、非先驅樹種，其判定方法為在森林底層能天然更新的樹種，稱之為非先驅樹種。以本研究為例，白柏、白孢子均發生於孔隙產生之後，野牡丹亦是。恆春石斑木從生理學來看，它是可以耐強光的，但它卻是耐陰性樹種。

馬委員協群

1. 有關物候甘特圖之線條種類與粗細不同，是否代表不同的狀態？應詳加說明。
2. 投影片 P6 不同幼齡期之存活率，長尾栲第 5 年存活率 20% 與第 7 頁有所出入；請老師說明。
3. 投影片第 29、30 頁，斑光對光合作用的貢獻，區分為晴天、陰天，是否有何含義？

郭教授耀綸-答

1. 物候甘特圖將依委員的意見修改補充線條粗細的量化數據。
2. 第 6 頁與第 7 頁之存活率的基準不同，所以會產生不同的結果。
3. 晴天與陰天光量不同，一般來說苗木會希望獲得充足的光，這樣處理的原因是想瞭解其中的差別，以凸顯晴天的斑光對植物生長的重要。

王技士敏州

p57 斑光的貢獻其中有超過 104% ，是什麼植物？以及為何會超過 100%？

郭教授耀綸-答

該筆資料為大頭茶，之所以會超過 100% ，主要因計算基準的問題。本研究計算方式為：因斑光所增加的光合作用與無斑光之光合作用之比值。

李委員登志-問

1. 早期南仁山長期生態研究由國科會資助，目前僅剩下本計畫以及今年度新增的兩棲類之研究。對於南仁山氣象站的設立與維護，一直以來都無法適時提供研究者該區的背景氣象資料，請保育研究課研擬可行辦法，以提供研究的背景資料。
2. 厚殼樹小苗於樹蔭下較強光下之生長佳，為什麼？
3. 目前節能減碳的議題，相當受重視，是否有資料顯示種一棵樹，胸徑多少可以減碳多少？
4. 本處目前陸域長期監測的研究經費偏低，請保育研究課加強陸域方面的相關研究。

郭教授耀綸-答

1. 有關紅厚殼生長的問題，可能因小苗原本生長於低光的環境，後來移植到不同的高光環境，而未經適應期所造成。
2. 一棵樹可以固碳的量，依材積量、比重等資料來計算。一般 1 公斤的木材約有 0.5 公斤的碳，若換算成 CO₂ 的量，則乘以 3.7 倍。

林處長青-問

1. 本研究共設立 45 個樣區，為何樣區面積為 44 平方公尺？

2. 小苗樣區及小苗是否有進行衛星定位？
3. 對南仁山相關的研究，有何研究計畫建議可以進一步執行？

郭教授耀綸-答

1. 所設的樣區其中一個為莎勒竹所覆蓋，所以最後不列入調查。
2. 小苗之樣區均有定位資料，各小苗位置則因相距太近，已超過定位的誤差範圍，故無定位之必要，但均有詳細的位置圖。
3. 台大謝長富老師於南仁山，有設立 3 個永久樣區，共約 10 公頃，目前已無預算支應，僅由學生進行複查的工作；此一工作必需持續進行。南仁山生態保護區外來入侵植物相當嚴重，特別在步道上。應投入相關的研究，以瞭解其為害的情形，以及防治的方法。除了植物之外，應包括動物的研究，如南仁湖水生生物相的調查。最後，建議應設法解決電力之問題，以利於相關研究的進行。

會議決議：本案評審結果—修正通過。

散會時間：97 年 12 月 1 日下午 4 時 50 分。

參考書目

- 李松柏，1995，南仁山區亞熱帶雨林小苗更新之研究，國立台灣大學植物學系碩士論文。
- 郭耀綸、吳祥鳴，1997，黃心柿、毛柿及大葉山欖苗木光合作用與型態對不同光量的可塑性，中華林學季刊 30(2):165-185。
- 郭耀綸、范開翔，2003，南仁山森林倒木孔隙三年間的更新動態，台灣林業科學 18:143-151。
- 賴宜鈴，1996，南仁山亞熱帶雨林小苗更新及地被層植物之研究，國立台灣大學植物學系碩士論文。
- 鄭鈞騰、郭耀綸，2004，南仁山森林內的二氧化碳濃度梯度及其對林下小苗光合作用的影響，台灣林業科學 19(2):143-152。
- Fan, S.W., Chao W.C., Hsieh C.F. 2005. Woody Floristic Composition, Size Class Distribution and Spatial Pattern of a Subtropical Lowland Rainforest at Nanjen Lake, Southermost Taiwan. *Taiwania* 50(4): 307-326.