

## 摘要

台灣海岸林之造林樹種多以木麻黃為主，因其抗風、耐鹽及抗旱性極佳，且生長迅速，為最重要之海岸造林樹種，由於缺乏長期維護管理，加上壽命短早衰，病、蟲危害猖獗，故難以營造永續防風之機能。為改善木麻黃純林之林分結構，許多學者提出複層林之營造，以達到海岸林穩定林相之目的。

本研究以新竹縣新豐鄉後湖段-新豐段海岸林地作為研究之試驗組，台中市霧峰區中興大學北溝實習苗圃為海岸林野外研究之對照組。以瓊崖海棠、海欖果、欖仁、福木、棟樹及台灣海桐為試驗材料，觀察其直播發芽率、測定直播苗之生理參數與形態參數。試驗結果顯示，六種苗木之種子於苗圃試驗地發芽率皆高於現場試驗地，二試驗地中又以福木的發芽率為最低。在生理參數方面，其最大光合速率皆隨所處光度的提高而上升，當中又以欖仁為最高，可達  $19.24 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，高光度處理下僅苗圃試驗地欖仁與現場試驗地之海欖果之  $F_v'/F_m'$  於傍晚時可回復至 0.7 以上，顯示其 PSII 效率下降只是暫時性。其葉綠素含量於不同光度處理之變化類似，皆呈現隨光度降低葉綠素含量會增加、葉綠素 a/b 會下降，類胡蘿蔔素/葉綠素 a+b 則隨光度增加而提高，以達到增加光保護之能力。在形態生長參數方面，二地試驗苗木之比葉面積 (SLA) 皆有隨處理光度降低而遞增的趨勢。

綜合上述生理參數之結果，欖仁於海岸林分應可栽植或直播於大孔隙或空曠處，海欖果及瓊崖海棠則較適合用於相對光度 20 %-40 % 間的小孔隙處。惟目前仍為試驗期間，仍待進一步試驗以及收集資料釐清。

**【關鍵字】** 木麻黃類、海岸林、複層林

## 【Abstract】

Main costal plantation species is *Casuarina equisetifolia* in Taiwan. Not only its wind, salt and drought resistance but also fast in growth. However, owing to lack of long term maintains and management, short life span, serious insect pest and disease, it's difficult to maintain its wind break function. To improve the stand structure of *Casuarina equisetifolia* pure forest, many scholars proposed the building of multi-stories stand to obtain the purpose of stabilizing costal forest stand.

We selected coastal forest plots in Xinfeng section, Hsinchu county and in the different light intensities in nursery as the control group, and selected seeds of the *Calophyllum inophyllum*、*Cerbera manghas*、*Terminalia catappa*、*Garcinia suubelliptica*、*Melia azedarach* and *Pittosporum pentandrum* as experimental materials then sowed the seeds in the different canopy openness. The experiment results indicated that sowing seedlings in the nursery is higher than Xinfeng section. *G. suubelliptica* show the lowest germination rate in two sites. In physiological section, net photosynthetic rate of the saplings all decreased as light decreased. *T. catappa* showed the grater net photosynthetic rate,  $19.24 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . In the full light, only *T. catappa* in the nursery and *C. manghas* in the Xinfeng section of  $F_v/F_m$  &  $F_v'/F_m'$  recover above 0.7 at afternoon, showed that the decreasing of PSII effcicent is temporary. The leaf pigments were increase with light intensity, and improve cha/b and caro/chl, to adapt to different lights. The morphologically Parameter showed the saplings in order to adapt low light environment, the increase of specific leaf area (SLA) were parallel to light decrease.

Summarizing the above results, *T. catappa* was suitable for planting or seeding to large cap or open site at coastal forest which were in the relative light of 40 % to full light. *C. manghas* and *C. inophyllum* were suitable for small gap which were in

the relative light of 20 % to 40 %. But it 's still in an experimental period and need more data to understand

**【Keyword】** *Casuarina* spp., costal forest, multi-stories stand

## 一、前言

台灣四面環海，具有沙岸、岩岸、珊瑚礁及紅樹林等多樣性的海岸環境，孕育了豐富的生態資源。其中海岸防風林帶為海洋與陸地之間的主要屏障，具有護堤、防止風沙和鹽霧侵蝕等功能，是海岸環境的主角，同時也是海岸地帶野生動物的庇護所。回顧台灣海岸造林，早年因海岸原生林完整未被開發，有寬廣的林帶，外緣稍有天災，內緣地區受害甚微，故造林工作未被重視(鄭石先，2006)。其後因沿海居民農業生產、內陸養殖所需而陸續解除，近幾年再隨著工業發展、港灣建設、遊憩設施開闢、道路擴幅、風力發電設施用地等多種公共需要，海岸林帶不僅逐漸縮減且被切割成破碎化分布，目前多數地區已喪失其整體性之防風及防潮等機能。在目前分布狹窄之海岸林帶內，要求現存之海岸林帶能發揮防風防潮等機能，且期待主林帶林木能達成自我更新、永續海岸林防災機能之目的，形成極具挑戰性之艱困任務(陳財輝，2008)。

木麻黃類(*Casuarina* spp.) 自1897年引入台灣迄今雖僅百餘年，但因其對飛砂具有強固之能力，且兼具耐旱、耐鹽及耐貧瘠等特性，遂成為本島主要的海岸防風樹種而被大量推廣栽植。然而木麻黃林分由於長期面對風災、鹽霧、乾旱及病蟲害等惡劣環境的侵襲，往往20-30年生，即呈現衰退現象(鄧書麟等，2007)，且又欠缺天然更新之能力，故難以永續經營，而必須不斷重複造林(鄧書麟等，2005)。據野外的觀察，於鬱閉的木麻黃林下，雖可見到下種小苗，或由根系發育之萌蘖苗，惟一段時間後，上木如未疏開，此些小苗均無法在鬱閉環境下成林，然而林緣開闊地卻可見其天然下種之幼苗，因此孔隙的大小應與木麻黃能否更新有關，但濱海地區若以較大的孔隙來促進木麻黃更新，對海岸林帶而言卻是極嚴苛的考驗(鄧書麟等，2007)。

有鑑於此，林業界早有提倡混合造林，或林下更新等措施，利用木麻

黃林下或空隙處栽植台灣海岸鄉土樹種，期望所種植之海岸樹種，在有上層木麻黃保護下，能順利成活生長，改善海岸林之林分結構，只是目前確實運用於造林策略上者較少，或者所栽植之林木只限於少數種類，而未施行全面之推廣(鄧書麟等，2005)。由於混合造林或林下更新時栽植樹種，易受到快速生長之上木木麻黃凌壓，而影響其生長，且由林下植樹更新試驗中，發現林分內之光度值變化實為重要影響因子。因此實施混合造林作業上，探究林分結構及林下光度情形以選擇適生樹種實屬重要(李威震、王兆桓，2007)。鑑此，本計畫選擇新竹及桃園之海岸林為試驗地，以調查其林分現況及冠層孔隙之開闢程度，並以中興大學霧峰北溝苗圃為對照地點，探求較具適應性的樹種，以提供造林作業選擇樹種之參考，對於育成混合林的目標上，亦可營造穩定之生態林相。

## 二、擬解決問題

海岸防風林之營造，除了面臨人為因素之衝擊外，首要面對的就是其複雜之立地環境特性，不但生育地貧瘠，且經年遭受強風、飄鹽、飛砂、高溫、海潮侵蝕等多項不利因子危害，為海岸防風林營造上最大問題。因此欲在其林分內進行局部之更新，在更新作業上缺乏一可遵循之作業模式，致使此等工作陷入兩難之窘態，故本計畫針對此問題進行研究，擬以三年之時程研訂一可行之作業規範，提供現場作業之參考依據。

### 三、計畫目標

全程之總目標為經由文獻蒐集、現場調查分析現有木麻黃林分之孔隙規模與更新紀錄，再加上本計畫之孔隙更新試驗及結果，以擬定海岸木麻黃防風林林分受不同干擾後之更新模式，供未來制定海岸防風林更新作業之規範。

本年度(100年)之目標：

1. 蒐集文獻、現場調查分析現有木麻黃林分之孔隙規模與更新紀錄。
2. 調查分析不同立地之環境因子及其干擾因素。
3. 訂定孔隙分級之準則。
4. 研擬不同孔隙之更新方法、更新樹種選定。
5. 試區之選定、規劃設計及造林材料之準備。

### 四、預期效益

1. 制定海岸林不同孔隙更新作業之規範。
2. 技術轉移海岸林經營管理單位。

## 五、文獻回顧

### (一)西北部海岸林

西北部海岸林的保安林類別主為飛沙防止林，主要為木麻黃構成之林帶，黃槿林帶次之，或為木麻黃與黃槿混交構成，其中有二段分布較連續且完整之海岸林，分別為桃園縣蘆竹鄉至新竹縣新豐鄉，以及新竹縣竹南鎮至苗栗縣苑裡鎮。此區域海岸林夏秋兩季常受颱風侵襲，冬季則受東北季風影響甚鉅，東北季風常攜帶海水鹽霧及造成飛砂內移之情形嚴重，導致海岸造林地被掩埋、沿海道路、屋舍及溝渠被埋沒之危害，海岸林帶前緣因受季風強烈吹襲、鹽霧、潮害等因素影響，致使前緣之樹種生長不佳、成活率低，每年需定期補植，亦增加了管理上之困難(陳財輝，2007c；陳財輝、韓明琦，2010)。

目前桃竹苗海岸的定砂作業不夠周全，無法有效抑制移動性飛砂，以致飛砂逐漸內侵而埋沒內緣林分，降低整個海岸林分的防災功能。在此狹窄的海岸林帶幅內，為使林木能健全生長，海岸側人工沙丘地帶的飛砂安定作業極為重要，須每年檢討防風定沙效果，若移動性飛砂有內向陸側侵入現象，須立即施行架設堆砂籬、植草、種植定砂植物及造林等措施，可有效覆蓋地表，以避免飛砂之危害(陳財輝，2008；陳財輝、韓明琦，2010)。

### (二)海岸林更新作業

海岸林林下栽植目前多認為宜以育成混合林為目標(鄧書麟等，2005；何坤益，2006；李威震、王兆桓，2007)，利用可自行更新之適生樹種，營建歧異性高且具生態穩定性之林相。就生物多樣性的角度而論，選拔鄉土樹種混合栽植實具有增加植群變異，提昇林分之保護功能(李威震、王兆桓，2007)。

林下更新有兩種作業方式：1.將小苗栽種在木麻黃林分內的孔隙處，由於木麻黃的衰老枯立，逐漸釋放出環境資源，如陽光、養分、水分等提

供小苗生長，逐由栽植小苗取代木麻黃林分，達成林相更新的目的。2. 利用樹種苗期耐陰的特性以種子直播造林方式，將原生海岸樹種的種子適時直接播撒或淺埋於地，播撒種子可自行發芽生長，形成林下植物，隨環境資源的釋出及苗木成長，取代原有林分，達成更新目的，此種節省人力、物力的更新方式，目前以海欖果、欖仁及繖楊的成效最佳(王志斌等, 2008)。

一般在立地條件極度惡劣之地，可選用的樹種本已極少，再加上多樹種之混合造林，由於各樹種的生長速度快慢不一，以及樹種耐陰性能力皆有不同，造成大部分海岸混合林木生育不佳(陳財輝, 2001)，可嘗試及早在木麻黃林孔隙下直播福木、銀葉樹、海欖果等海岸原生樹種，由於直播工作僅需攪動地表即可，減少木麻黃林帶疏伐量不易訂定、現有林分被過度破壞等缺點，並同時以整理伐除掉木麻黃被壓木，減少海岸林病蟲害及火災等危險，建立海岸複層之多樹種林分(陳財輝, 2008)。陳財輝和黃隆明(2006)即曾在七星潭木麻黃林隙處，以紅厚殼、福木、欖仁及繖楊等試驗直播，結果以紅厚殼及銀葉樹之成活生長結果最佳。

### (三)冠層孔隙對植物的影響

林分常因各種不同干擾原因，造成林分孔隙的產生(Rankin and Tramer, 2002)，孔隙的產生，改變了原來環境中氣候、土壤、位置、生物因子的穩定性，隨著孔隙尺度的不同和地域性的差異，各環境因子在孔隙中所佔的重要性也不相同(Watt, 1947)。隨著各種干擾的持續或加劇，會使林分孔隙持續擴大而有不同植物進入林分內，逐漸形成有異於原本林分樹種組成的植物社會，故孔隙的形成對森林樹種的組成、結構及功能有重要的影響，而孔隙大小與孔隙內更新物種的組成有相關，陽性樹種傾向在孔隙大的環境下進行更新，而耐陰性樹種出現在孔隙小的環境機率高於孔隙大的環境(邱祈榮等, 2007；Rankin and Tramer, 2002)。

因孔隙造成多變的光環境下，植物在形態與生理兩方面的調節適應能力將是其生長與存活的關鍵(Taiz and Zeiger, 2002)。若植物能夠隨光照強度



而改變形態與生理機能者，一般較能夠捕捉孔隙光度並使光合作用速率很快進入穩定狀態，而可以快速生長並佔據空間，競爭能力也高於其他樹種，此將有助於其成為一林分的主要組成樹種。因此，對林下小苗而言，其對光的利用能力將是影響其存活的關鍵因子之一(朱珮綺、許博行，2005)。

#### (四)冠層孔隙的量測

估定冠層孔隙大小有許多方法可依循，Masoud 等(2005)以孔隙邊緣樹木的冠層垂直投影來決定孔隙大小，選擇 3 個鄰近的橢圓孔隙面積分別約為 50 m<sup>2</sup>、200 m<sup>2</sup>、600 m<sup>2</sup> 以及空曠地，所量測到的光度分別有全光光度的 15 %、35 %、75 %、100 %。Albanesi 等(2005)研究位於義大利北方的歐洲冷杉(*Abies alba*)人工林分，以人工伐除產生的 2 種規模孔隙，定為小孔隙(185 m<sup>2</sup>) 和中孔隙(410 m<sup>2</sup>)，並另外求得孔隙直徑/樹高的比值分別為 0.5 和 0.75，測得之相對光度約為 20 % 及 40 %。Gray 等(2002) 於美國試驗針葉林成熟林分的孔隙狀況也以孔隙直徑/樹高來訂定孔隙大小，取得 4 個不同大小孔隙的比值分別為 0.2、0.4、0.6、1.0，實測林下及 4 個孔隙的相對光度分別有 3、6、18、20、47 %。以比值方式定義的孔隙大小相對於光度來看，不同研究較有相似情形，比起單以孔隙面積定義孔隙大小，以孔隙直徑與樹高的比值來界定應用上或許較為客觀。

另外近期林冠結構也常以半球面影像來記錄，藉由拍攝之影像也可以計算出林冠的孔隙率(gap fraction)，即孔隙在影像中所佔的比率(林登秋、江智民，2002)。張照群(2007)於溪頭柳杉人工林試驗中即利用半球面影像分析冠層孔隙大小，以 GLA (gap light analyzer)軟體估算半球面影像中的孔隙率，進而得到冠層開闊度。對於孔隙大小的範圍無法清楚界定者，如林木生長稀疏的林分，應用冠層影像之方法在估定上有相當的精準性及便利性。

#### (五)光度對種子發芽之影響

林木種子能否在林床上順利發芽，種子苗能否存活下去，繼而發展成冠層植物，是森林組成份子在森林內分佈及林相結構形成的主要因子。影響林床內種子發芽的因子很複雜，而光照效應是其中較重要的一個因子，光照對種子發芽的控制一般是藉著光敏素(phytochrome) 的兩種存在形式來傳達，及吸收紅光(r)的 Pr 和吸收紅外光(fr)的 Pfr，紅光較具優勢的全光環境會使光敏素具活性，可令種子發芽。先驅樹種種子的發芽受光敏素控制，因此需在陽光較充足的環境下才能順利發芽(張乃航，1996；廖玉琬、徐善德，1999；郭耀綸，2009)。

大部分耐陰樹種的種子都可在林下發芽，但小苗的生長與存活率通常都很低，當森林形成樹冠孔隙使光量提高時，林下耐陰小苗才能有較高的存活率，並加快生長(彭世賢等，2007)。Swaine and Whitmore (1988)也指出，先驅樹種及非先驅樹種在種子發芽及幼苗建立上對環境有不同的需求，先驅種種子能在冠層疏開的林地上發芽，非先驅種的種子則能在鬱閉林下及冠層疏開環境下發芽。

#### (六)光度對苗木生長及形態之影響

同一樹種的不同個體間，因為生長在不同強度的光照下，會將生理活性、形態性狀及生長表現作調節以求生存，例如形態性狀的改變及光合作用產物在各器官分配的比例就是植物因應光度減弱其中之一的策略，因此用單一特性的可塑性來判斷一植物在演替序列中所扮演之角色是不足的，傳統生物量的測定工作仍是必須的，而依實用觀點而言，形態上的表現是較容易調查的特性。在低光度環境，光合作用產物分配給根系的比例會降低，以減少根系呼吸作用的耗損；在莖部方面，則延伸節間長度，增加高生長，期望能突破周圍或上面其他植物的遮蔭(王相華，1995；郭幸榮，2003)。一般而言光量對先驅種的高生長有較明顯的影響，對耐蔭種則較不具影響力(王相華，1995)。

在葉片形態方面，同一樹種長在低光環境的植株會將較多的生物量分配在葉部，減少莖部和根部的生物量。在低光下形成的葉子通常只有單層的柵狀細胞跟海綿細胞，因此葉片也較薄使得葉面積率增大，可補償因低光而降低的單位葉面積光合速率，每單位面積使用較少的代謝能量即能捕捉光合作用所需的光量；也就是說，此種植物常擁有較佳的光量捕捉效率，致光合作用之光量子效率也較高，如此可增加全株光合率與呼吸率的比例，因而在低光環境仍可維持正值碳平衡而對生長有貢獻(郭耀綸等，1999；沈介文等，2004；Naramoto *et al.*, 2006)。一般可以比葉面積(SLA)來衡量葉片之厚薄或內容物之多寡，其為葉片面積與其乾重之比。對於耐陰樹種和非耐陰性樹種而言，SLA 都會隨遮蔭增加而增加，但耐陰種有較大的 SLA 值(張安邦，2000)。

#### (七)光度對植物光合特性之影響

環境中光量的提高可造成植物形態及全株生長的變化，光合作用潛力也可能產生馴化，使植物增加碳收穫，維持生長及生存。當孔隙出現時，許多植物可利用孔隙的高光量資源進行同化作用，快速生長而佔據空間；但如果空隙太大造成高光量直射林床，嚴重改變林內微氣候，許多適應林下之耐陰性小苗也可能因為照到直射強光過久以及強光引起的高溫和水分的逆境而受到傷害。因此不同植物能馴化的光量範圍並不相同，若光量在該植物遺傳決定上的範圍以外環境，則無法做馴化的反應(郭幸榮，2003；林文智、郭耀綸，2007)。

一般而言，同一樹種生長在較低光環境下的植株，其淨光合作用速率較低，而且也會有較低的光補償點(light compensation point, LCP)，光補償點為 CO<sub>2</sub> 的吸收與釋出達平衡時的光量值，即此時暗呼吸作用造成的 CO<sub>2</sub> 釋出率會等於光合作用的 CO<sub>2</sub> 吸收率(廖玉琬、徐善德，1999)。光補償點若較低便能在較少的光量下達到正值的 CO<sub>2</sub> 吸收速率，因此可有效的利用低光資源來製造碳水化合物，有利苗木的生存(郭耀綸、賴幸榆，2008)。

因此植物光補償點之大小是影響其存活的關鍵點之一，若植物長期處於光度低於光補償點的環境下，將無法繼續生存(朱珮綺、許博行，2005)。

另外在低光環境下的植株，其光合作用之光飽和點也會下降以及光量子效益較大，同樣可使植物在低光環境時能維持碳的平衡(王智弘，1997)。光量子效率即低光下的光反應曲線所得直線迴歸之斜率，斜率愈大則對光的捕捉能力愈強，也代表低光照下對光的敏感性，較敏感者越能立即反應在光合作用能力上以促進生長(朱珮綺、許博行，2005)。暗呼吸率則為光量為  $0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  時葉片  $\text{CO}_2$  的交換速率，即無光照時細胞釋出  $\text{CO}_2$  的速率(郭耀綸、賴幸榆，2008)，其值主要受光合作用相關之酵素的影響，在低光下，這些酵素的濃度通常較低，致  $R_d$  較弱，以減少光合產物的消耗(游智偉等，2009)。

比較不同演替階段的樹種，郭耀綸與陳海琳(2010)測定將  $\text{CO}_2$  濃度提高至  $400 \mu\text{l L}^{-1}$  的程度，獲得 80 種台灣原生闊葉樹種陽葉的光合作用性狀，在此條件下推論台灣亞熱帶非耐陰性闊葉樹種之  $A_{\text{sat}}$  應在  $23\text{-}24 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，中等耐陰樹種可能在  $13\text{-}22 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  範圍，耐陰樹種的陽葉則有  $7\text{-}12 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  的光飽和光合作用率。而光補償點陽性樹種一般約在  $10\text{-}20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，陰性樹種則約為  $1\text{-}5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (朱珮綺、許博行，2005)。Matsuki 等(2003)指出，演替後期之耐陰樹種在低光環境下會有較高的光量子利用效率，且具較低的暗呼吸速率，及較低的光補償點，可幫助維持其全株植物體碳的平衡，致有較良好之適應低光能力(廖天賜等，2002；游志偉，2009)。

#### (八)光度對植物光合色素與可溶性蛋白之影響

植物需藉由光合色素(photosynthetic pigments) 來吸收光能以進行光合作用，光合色素亦即能捕捉光能以驅動光合作用光化學反應有關的色素。植物葉片內的光合色素包括葉綠素(chlorophyll, Chl)和類胡蘿蔔素

(carotenoids, Car) (林安秋, 1984; 許明晃, 2003), 兩者在葉片內同存於葉綠體(劉賢祥, 1996)。

光合系統中的光合色素依功能可分為捕光色素(light-harvesting pigments)及反應中心色素(reaction center pigments)。捕光色素又稱天線色素, 沒有光化學活性, 主要是將吸收的光能傳至反應中心色素, 組成包含葉綠素及類胡蘿蔔素。反應中心色素則以葉綠素 a 分子為主, 具有光化學活性, 可將光能轉換為化學能以供利用(劉賢祥, 1996; 廖玉琬、徐善德, 1999; 黃淑清等, 2008; Taiz and Zeiger, 2002)。

植物葉片的葉綠素含量通常會隨生長環境的遮蔭程度增加而增加, 其有利於植物在低光環境下提高對光能的吸收能力(Gardiner *et al.*, 2009), 另外葉綠素 b 皆分布在光合系統中的捕光複合體(light-harvesting complex, LHC), 因此在低光下葉綠素 a/b 也會降低, 使葉綠素 b 的比例較高因而使光合系統有較高比例的 LHC, 可提高植物光捕捉的效率(葉韋欣, 2007; Naramoto *et al.*, 2006)。正常植物在強光下, 其 Chl a/b 稍高於 3, 在弱光下則小於 3。陰性植物因長期處於弱光環境, 其 Chl a/b 低於 3, 而陽性植物因處於較強光環境通常高於 3。因此, Chl a/b 也可作為植物適應光環境的指標(黃秀鳳等, 2004)。

類胡蘿蔔素在植物中是擔任葉綠素光合作用的輔助色素並保護葉綠素免受強光破壞(黃彬城等, 2006), 其可將葉綠素吸收的過多能量以熱的形式消散掉(郭耀綸等, 2003), 因此 Car/Chl 可作為光保護之指標。若過多的能量經由葉綠素傳至氧, 容易產生活性氧(reactive oxygen species, ROS)造成光氧化傷害(Müller *et al.*, 2001), 使光合系統 II 的 D1 蛋白質受傷, 更嚴重時會使類囊體膜崩解, 並使葉綠素氧化, 葉片呈現漂白狀(郭耀綸等, 2003)。

光合作用受環境影響的情況下, 光化學的反應部分對光合作用的影響較葉綠素的改變來的明顯且迅速, 亦即酵素的含量或活性將扮演最重要的

角色。因此，葉部可溶性蛋白的含量佔有相當比率的指示功能(廖天賜等，2002)。主要在於葉片中主要的蛋白質為 Rubisco，大約佔葉片可溶性蛋白的 50 % (廖玉琬、徐善德，1999)，因此 Rubisco 含量與可溶性蛋白含量呈正相關(翁仁憲等，2003)，而 Rubisco 濃度又與 Amax 有關，高濃度的 Rubisco 會導致較有效率的羧化作用(Mitamura *et al.*, 2008)。Valladares (2002) 認為陰性樹種一般 rubisco 活性會較低，因為在低光下的植物較不需做過多的功在羧化作用上。

#### (九)光度對植物葉綠素螢光之影響

葉綠素吸收光能後會由基礎態跳到能階較高的激發態，隨後藉光化學消散(photochemical quenching, qP)、非光化學消散(nonphotochemical quenching, NPQ)以及釋放螢光三種路徑將光能消散。光化學消散是指天線系統吸收光能後將能量傳給 PSII 反應中心，反應中心再射出電子經電子傳遞鏈產生 ATP 及 NADPH 供暗反應使用。非光化學消散為天線系統以熱的型式消散過多的能量。經由上述三種路徑無法消散的過剩能量會產生活性氧，易引起膜組織傷害(游智偉等，2009)。一般葉片所吸收之輻射光能約有 80-90 % 應用於光化學過程，5-15 % 以熱量型式散失，0.2-2 % 則以螢光(fluorescence)或磷光型式散失(范貴珠，2002)。此三者路徑具相互競爭的關係(Heraud and Beardall, 2000)，通常植物生長在逆境下 PSII 光量子利用效率會降低，熱消散及葉綠素螢光的效能就會提高(Martinez-Carrasco *et al.*, 2002)，因此可透過葉綠素螢光的量測間接得知光合系統的效能情形。

基本之葉綠素誘導測量會將植物經過暗適應及光適應測得螢光參數，經由這些參數可推估 PSII 的最大潛能及實際效能。在暗適應下先給予植物測量光時可得到電子傳遞鏈未啟動時的暗適應最小螢光量  $F_0$ ，以及暗適應之最大螢光量  $F_m$ ， $F_v(F_m - F_0)$  則代表用於光合作用的最大能量(徐邦達，2002)。在光照下， $F_0$  及  $F_m$  會隨著光強度及葉片變化而改變，一般以  $F_0'$  及  $F_m'$  來表示光照下之測定值，分別為光適應下最小螢光值及最大螢光

值，Fs 表示光照時達穩定態之螢光，Fm' 會比 Fm 來的低，表示該能量用於光化學消散或非光化學消散的途徑中(張桓顥，2007；范貴珠等，2002；Roháček and Barák, 1999)。經此二者量測後最少可得 Fo、Fm、Fo'、Fm'、Fs 五個螢光參數，利用這些螢光參數可以計算出許多有關植物生理的參數(徐邦達，2002)：

(1) Fv/Fm：代表暗適應下 PSII 最大光化學潛能(maximum photochemical efficiency)，Fv/Fm 值為 PSII 之光抑制最佳指標，可得知葉片在逆境下光合系統受傷害之程度(徐邦達，2002)。植物在適宜環境下，Fv/Fm 的範圍是在 0.75-0.85 之間，當植物生存於逆境時，Fv/Fm 下降，故為逆境的良好指標(游智偉等，2009)。另外許多研究也顯示，冬季之低溫逆境下，在黎明未照光前所測得之 Fv/Fm 值均會隨季節性之溫度下降而降低(翁仁憲，2010)。

(2) Fv'/Fm'：為光適應下 PSII 的最大光化學效率，其可用來觀察 PSII 效率的日變化(李安翔，2010)。

(3) qP：即為光化學消散(photochemical quenching)，公式為  $(Fm' - Fs)/(Fm' - Fo')$ ，一般數值是 0-1，表示 PSII 呈開放態所佔的比例(游智偉等，2009)。

(4) NPQ：即非光化學消散(non-photochemical quenching)，計算公式為  $NPQ = (Fm - Fm')/Fm'$ ，一般數值是 0-10。表示天線系統以熱型式消散的能量，為過多光能的指標。

(5)  $\Phi_{PSII}$ ：代表光適應下 PSII 的實際光化學效率(effective photochemical efficiency)，即光照下 PSII 所吸收的光能中實際被利用的比例。其計算公式為  $(Fm' - Fs)/Fm'$ ，常用於日變化之觀察(葉韋欣，2007；Roháček and Barák, 1999)。

Demmig-Adams 等(1996)也指出植物吸收光能後的分配情形，可以 P (photosynthetic electron transport)、D (thermal energy dissipation)、E (excess) 表示，假設葉片吸收的全部光能為 1 (P+D+E)，則 P 為  $(F_m' - F_s)/F_m'$ ，表光化學消散佔全部吸收光能的比例，D 為  $1 - F_v'/F_m'$ ，表熱消散佔全部吸收光能的比例，E 為  $1 - P - D$ ，表過多能量佔全部吸收光能的比例。



## 六、研究項目及方法

### (一)100 年度研究之項目

本年度(100 年)計畫擬進行的重要工作項目及流程如圖 1 所示；期藉由 99 年度所調查之資料及材料供 100 年度所試驗及監測，於 101 年度分析其試驗結果以挑擇適合海岸防風林不同大小孔隙之更新樹種，並搭配所舉辦海岸防風林更新技術研討會之各專家學者意見以訂定海岸林孔隙更新作業之標準及程序規範。

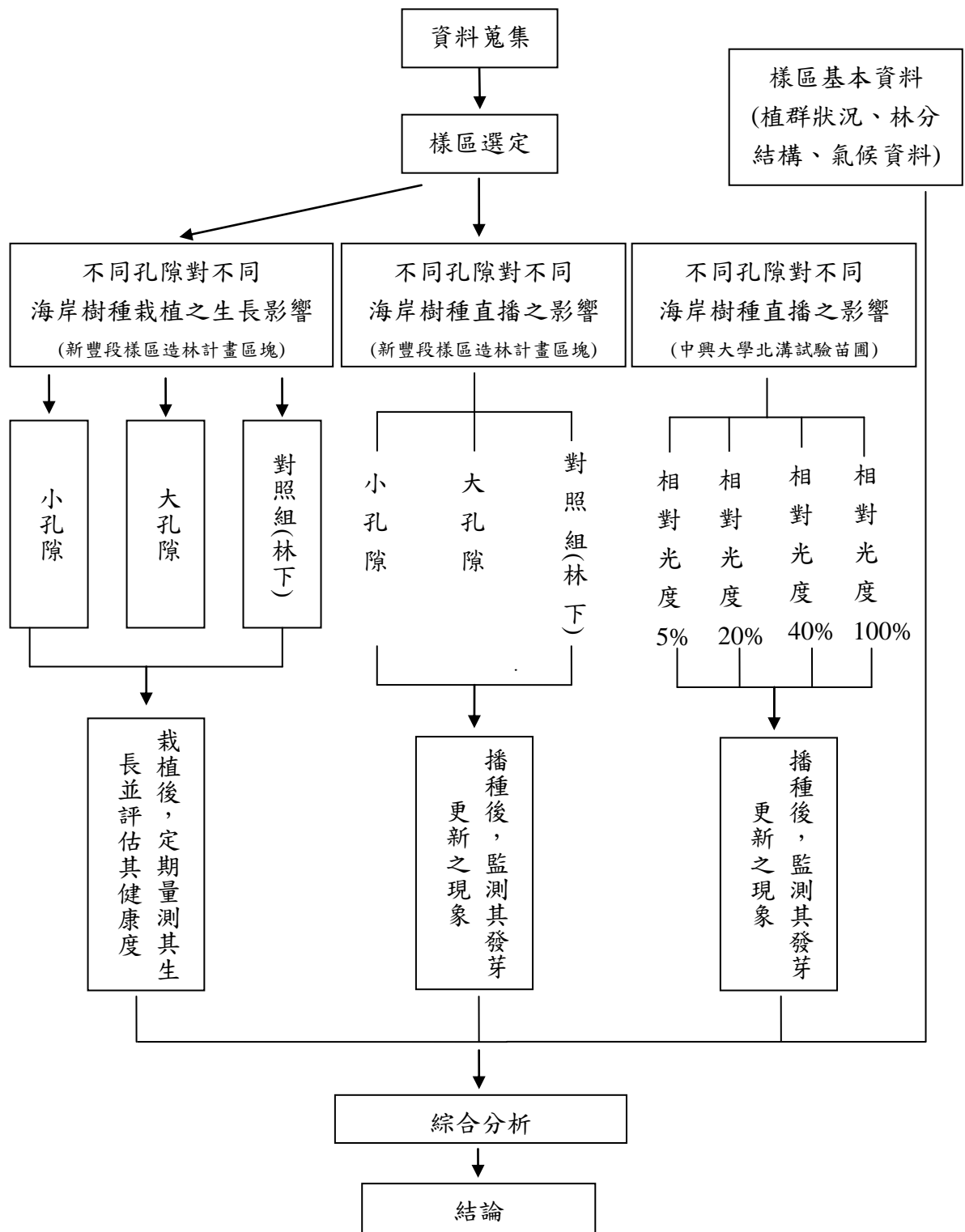


圖 1. 試驗研究流程圖

## (二)研究方法

### 1.樣區設置及調查

#### (1)現場試驗地點概述

##### I.現場試驗地位置

試驗地位於新竹縣新豐鄉後湖段-新豐段(以下簡稱新豐段) 以及桃園縣新屋鄉蚵殼港段的海岸林地(圖 2)，以此作為研究之試驗組。新豐段配合新竹林區管理處 2011 年海岸造林計畫的新栽植苗木地，以新植地作為試驗樣區，蚵殼港段則選取 2008 年一帶狀栽植地作為試驗樣區，栽植帶寬度約 20 m，二地段栽植地約 20 m × 10 m 即設置一防風網。

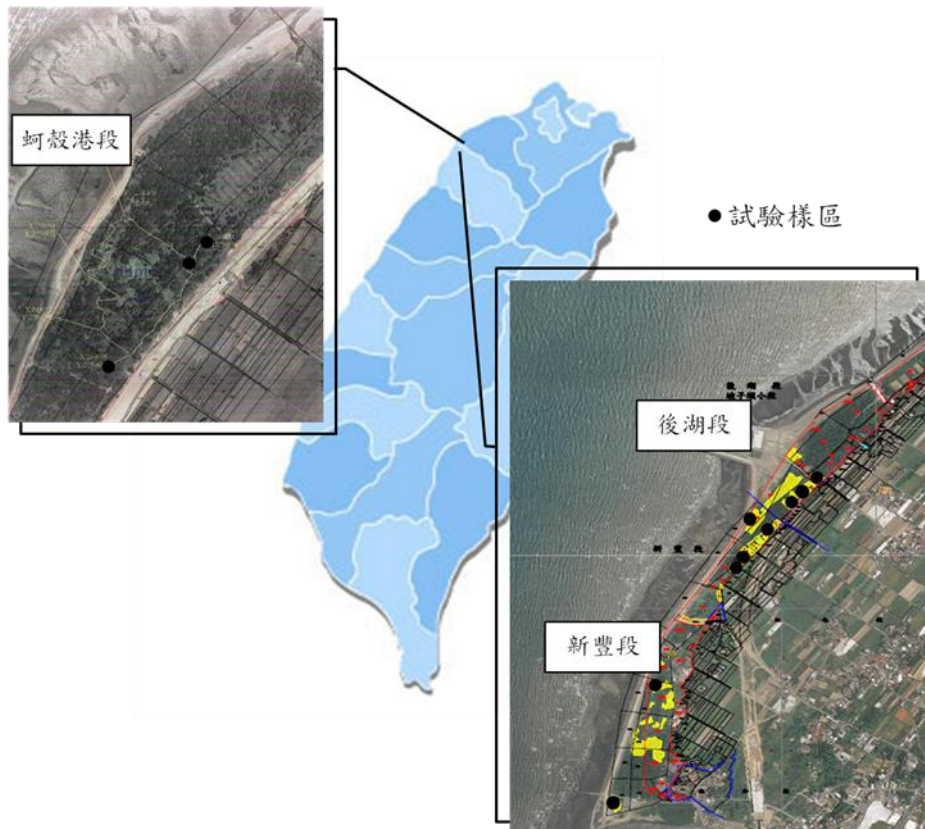


圖 2. 新竹縣新豐鄉後湖段-新豐段及桃園縣新屋鄉蚵殼港段試驗地位置圖

## II. 現場試驗地氣候概況

自中央氣象局新竹測站取得試驗期間之氣象，月均溫約 16-29 °C，降雨較集中在 5-8 月，降雨量最高在 5 月為 220 mm (圖 3)。

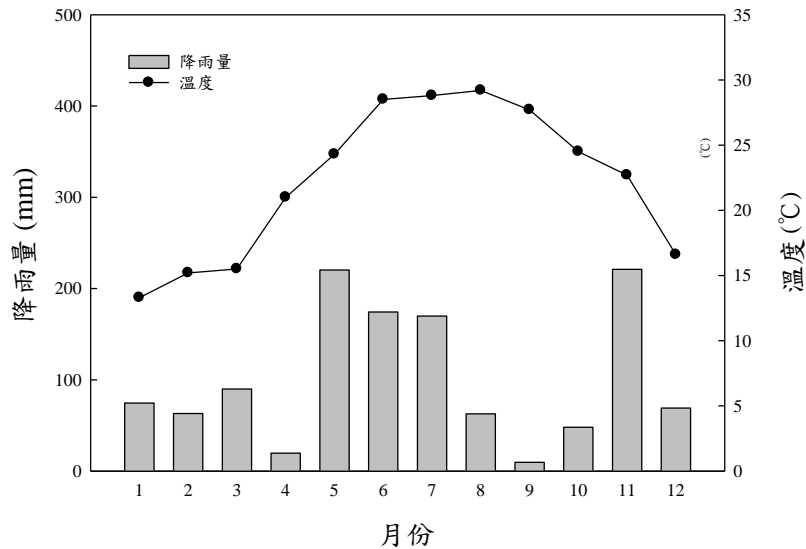


圖 3. 新竹測站 2011 年測得之月均溫及月平均雨量(數據資料取自中央氣象局)。

### (2) 樣區設置

#### I. 孔隙大小之選定方法

由Denslow所作的孔隙區分觀念指出，森林中小孔隙較大孔隙頻繁，而小孔隙的更新也較大孔隙的更新來的常見，因為苗木的建立有一特別的尺度範圍，當孔隙大於這個尺度時，更新即降低(Yamamoto, 1992b)。Yamamoto(1992a)的研究中，小孔隙(< 80 m<sup>2</sup>)比大孔隙多，而超過400 m<sup>2</sup>的孔隙極為稀少。馬復京和張乃航(1996)對福山地區森林所作調查結果顯示小孔隙(< 20 m<sup>2</sup>)佔了全部孔隙的55.9 %。而本試驗是以量測試區內之孔隙開闊度來予以區分大、小以及林下(表5)(姚曉文，2010)。

#### II. 新豐段

2011年5月底於新豐段樣區造林計劃之新植地範圍，隨機選擇位於不同冠層開闊度規模下的新植地，選取大、小孔隙及林下三種規模之樣區各三重複，共9個樣區，每個樣區設40 m × 40 m定為大樣區，於中央定樁標

定中心點，調查大樣區內的林分結構。

### III. 蚵殼港段

2011 年 4 月初，在冠層開闊度較大之蚵殼港段帶狀栽植地，隨機選取 3 個樣區將其視為大孔隙樣區，同樣設 40 m × 40 m 定為大樣區，調查大樣區內的林分結構。以大樣區中央為中心點，於內部設 20 m × 20 m 小樣區，將小樣區內之 4 年生栽植苗作為本試驗苗木，栽植樹種為黃槿、木麻黃、海欖果、草海桐、欖仁、朴樹、棟樹、白千層。

#### (3) 樣區調查

##### I. 林分結構調查及族群結構分析

於 2011 年 4 月初，在新豐段及蚵殼港段大樣區內進行每木調查，紀錄木本植物之種類名稱、樹高、枝下高及胸徑(diameter at breast height, DBH)，並藉由樹種胸徑及株數的關係分析主要樹種的族群結構。

##### II. 冠層開闊度量測

為得知林分冠層的孔隙規模情形，於新豐段及蚵殼港段大樣區內中心以數位相機魚眼鏡頭（接近 180°之超廣角鏡頭）拍攝半球面影像，垂直高度約 70 cm，拍攝之相片以 GLA 軟體計算冠層開闊度 (%) 表示之，其測定值為天空面積占全部半球面影像面積的百分比 (Frazer *et al.*, 1999)。為使林冠枝葉與天空有最大的對比以增加分析準確性，必須盡量降低林冠反射光線的情形，因此在天空狀態較為均值的陰天或傍晚時拍攝影像 (林登秋和江智民，2002)。

##### III. 相對光度量測

利用光度計 (LL-189 quantum meter, LI-COR USA) 於中午時量測新豐段及蚵殼港段各小樣區的中心及四邊邊界線中點離地 0.5 m 高度的光量

值，同時也在林外空曠處測量全光光量作為對照，計算大、小孔隙及林下的相對光度。

### (1) 苗圃試驗地點概述

#### I. 苗圃試驗地點

試驗地位於台中縣中興大學北溝實習苗圃，以此作為海岸林野外研究之對照組。

#### II. 苗圃試驗地氣候概況

自中央氣象局台中測站取得試驗期間之氣象，月均溫約 18-29 °C，降雨多集中在 5-9 月，降雨量最高在 7 月為 300 mm (圖 4)。

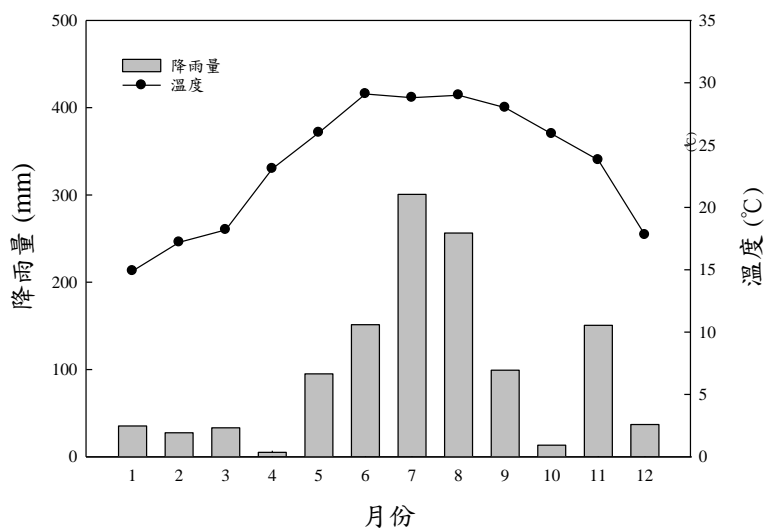


圖 4. 台中測站 2011 年測得之月均溫及月平均雨量(數據資料取自中央氣象局)。

### (三) 試驗項目及方法

#### 1. 種子生活力檢驗

由林業試驗所中埔分所四湖工作站所提供之瓊崖海棠、海欖果、欖仁、福木、棟樹以及台灣海桐共六種樹種種子，以發芽試驗方式，用 3 號蛭石作為介質種於生長籃內以檢測種子生活力，每樹種設四重複，每重複種子

10 顆，每 1-3 天記錄一次種子發芽情形，若連續 6 週未再有種子發芽則視為發芽結束(王相華，1997)，於發芽結束後計算發芽率。於 2011 年 8 亦自新竹縣新豐段試驗地採集朴樹以及自林業試驗所中埔研究中心植物園採集之福木、毛柿、象牙樹，以上述之方式進行發芽試驗方式觀察之。

## 2. 直播試驗

### (1) 現場試驗地

於新豐段樣區造林計劃之新植地範圍，以所設置各孔隙 40 m × 40 m 之大樣區中央為中心點，於內部設置 12 × 12 m 之小樣區，於 2011 年 5 月直播上述所提及由林業試驗所中埔分所四湖工作站所提供之六種樹種種子。每一樹種依東西向方位設 6 個植穴，植穴間距為 2 × 2 m (播於新植苗木中間)，一個植穴大粒種子三顆，小粒種子五顆。播種後，於其周圍插上噴有紅色噴漆之竹篾以標示其位置，並定期觀察其發芽情形及除草。一植穴內直播 3 顆種子。因其現場發芽率不高，故於 2011 年 8 月中再補種朴樹、福木、毛柿以及象牙樹 4 種樹種種子。

### (2) 北溝苗圃試驗地

於 2011 年 3 月初，由林業試驗所中埔分所四湖工作站所提供之瓊崖海棠、海欖果、欖仁、福木、棟樹以及台灣海桐共六種樹種種子，各遮蔭處理下播植大粒種子(瓊崖海棠、海欖果、欖仁、福木)一重覆 10 粒種子，小粒種子(棟樹及台灣海桐)一重覆 25 粒種子，各三重覆。於 2011 年 9 月中再補種朴樹、福木、毛柿以及象牙樹 4 種樹種種子。將其直播於北溝苗圃地，苗圃上方以不同密度之黑色遮光網設置不同遮蔭處理，利用光度計 (LI-189 quantum meter, LI-COR USA) 在中午量測遮蔭網架內離地 0.5 m 的光度，分別設置相對光度 5 %、20 %、40 % 及全光四種光度處理。

各樹種於各個光度處理下設三重複做播種試驗，每重複下依種子預浸水 2 天及無浸水之對照二組作發芽促進比較，每組直播區塊大小設為 40 cm × 40 cm，試驗期間定期除草並充分供水。

### 3.生理參數之測定

生理參數之測定項目包含以下 3 項：

#### (1)光合作用速率

**現場試驗地之測定**--於 2011 年 10 月，於新豐段各孔隙下隨機選取 3-5 株苗木，每株取 1 片自頂梢向下第 3-5 片且為向陽成熟葉測定。

**苗圃試驗地**--於 2011 年 7 月-8 月間，各樹種在每個處理下隨機選取 3 株苗木，每株取 1 片自頂梢向下第 3-5 片之向陽成熟葉片測定光合作用速率。

以攜帶式光合作用系統測定儀(HCM-1000, Walz, Germany)測定，儀器置工作環境中後，進風口遠離人為活動處，系統參數將空氣流量設定在 600  $\mu\text{mol s}^{-1}$ ，溫度設定在 25  $^{\circ}\text{C}$ ，待  $\text{CO}_2$  交換量達穩定時，將葉片置於 5  $\text{cm}^2$  的葉室中，設定光量 0、10、20、30、50、75、100、200、400、600、800、1200、2000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  PPFD (photosynthetic photon flux density) 共 13 種光量等級依序測定，每一光量級待光合速率穩定後變換，約 3-5 min，將測得之光合速率值繪成光合光反應曲線。曲線中之最高光合速率值即為最大淨光合速率(Amax)，另外利用光量 0-50  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  所測得之光合速率作迴歸分析，得光量為 0  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  時的  $\text{CO}_2$  釋出速率、光合速率為 0  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  時的光量值及斜率，分別為暗呼吸率 (Rd)、光補償點 (LCP) 及光量子效率 (Qy)。

#### (2)葉綠素螢光日變化



**現場試驗地之測定**--於 2011 年 10 月，於各孔隙下隨機選取 3-5 株苗木，每株取 1 片自頂梢向下第 3-5 片且為向陽成熟葉測定。單日測定時間為黎明 6:00、中午 12:00、下午 17:00 之時間點

**苗圃試驗地**--於 2011 年 7 月間，各樹種每個處理下隨機選取 3 株苗木，每株取 3 片頂梢之成熟葉片測定葉綠素螢光之日變化情形，單日測定時間為黎明 6:00、9:00、12:00、15:00、17:00 共 5 個時間點。

以野外螢光監測系統(field fluorescence monitoring, FMS 2, Hansatech, Inc. UK)測定螢光參數  $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_s$ 、 $F_v'$ 及  $F_m'$ ，計算 6:00 的暗適應之 PSII 最大光化學潛能( $F_v'/F_m$ )(先以葉夾將葉片置於黑暗 20 min)及其他時間點的光適應之 PSII 最大光化學效率 ( $F_v'/F_m'$ )，以及 PSII 實際光化學效率 ( $\Phi_{PSII}$ ) 與非光化學消散(non-photochemical quenching, NPQ)。另外利用 Demmig-Adams 等(1996)提出之能量分配公式計算光化學消散(P)、熱消散(D)及過剩能量(E)，各計算公式如下：

$$F_v'/F_m = (F_m - F_o)/F_m$$

$$F_v'/F_m' = (F_m' - F_o')/F_m'$$

$$NPQ = (F_m - F_m')/F_m'$$

$$\Phi_{PSII} = (F_m' - F_s)/F_m'$$

$$P = (F_m' - F_s)/F_m'$$

$$D = 1 - F_v'/F_m'$$

$$E = 1 - P - D$$

### (3) 葉綠素含量

**現場試驗地之測定**--2011 年 10 月於各孔隙下隨機選取 3-5 株苗木，每株取 3 片自頂梢向下第 3-5 片之成熟葉測定。

**苗圃試驗地**--於 2011 年 8 月各樹種在每個處理隨機選取 3 株苗木，每株取 3 片頂梢之成熟葉測定色素含量。

色素測定依據 Arnon (1949) 方法，將葉片鮮重 0.05 g 的葉片研磨至粉狀後以丙酮定量至 5 ml，再以 3,000 rpm 離心 10 min 使懸浮物沉澱，取上清液同樣以分光光度計測定波長 440.5 nm、645 nm、663 nm 之吸光值，各色素計算公式如下：

$$\text{Chl a (mg)} = (12.7 \times \text{OD}_{663} - 2.69 \times \text{OD}_{645}) \times V / 1000W$$

$$\text{Chl b (mg)} = (22.9 \times \text{OD}_{645} - 4.68 \times \text{OD}_{663}) \times V / 1000W$$

$$\text{Chla + b (mg)} = (20.2 \times \text{OD}_{645} + 2.69 \times \text{OD}_{663}) \times V / 1000W$$

$$\text{Carotenoids (mg)} = (4.689 \times \text{OD}_{440.5} - 0.682 \times \text{OD}_{663}) \times V / 1000W$$

$\text{OD}_\lambda$ ：表示該波長之吸光值；V：色素稀釋體積量；W：葉片鮮重。

#### 4. 形態參數之測定

##### (1) 現場試驗地

##### I. 生長調查及健康度評估

新豐直播苗於 2011 年 12 月底，各樹種於每個處理下隨機選取 3-5 株苗木測量苗高及地徑的生長量情形。並於試驗結束前以目視診斷法(Visual Tree Assessment, VTA)觀測新豐段新植苗與蚵殼港段 4 年生苗木之健康度，以比較兩者之差異，將各個調查項目健康程度分為 4 等級，調查項目包括：

##### a. 樹冠梢枯情形：

觀察樹冠枝條梢枯程度：1 級為枝條 75-100 % 生長健康無枯萎，2 級為 50-75 % 健康多下方有枯萎，3 級為 25-50 % 健康多上下皆有枯萎，4 級為 0-25 % 健康多大部分枯萎。

##### b. 枝葉茂密程度：

調查整體樹冠的枝葉茂密程度：1 級表枝葉茂密程度為 75-100 %、葉子為普通到大葉，2 級為 50-75 %、稍有些小葉，3 級為 25-50 %、有許多小葉，4 級為 0-25 %、全株幾乎均為小葉。

c. 枝葉生長均勻度：

以枝葉生長於樹冠的均勻程度分級：1 級為均勻程度 75-100 %，2 級為 50-75 %、枝葉微偏向一側，3 級為 25-50 %、枝葉大部分偏向一側，4 級為 0-25 %、枝葉完全偏向一側。

e. 樹幹健康程度

觀察樹幹的損傷程度：1 級為 75-100 % 健康、多無損傷無腐朽，2 級為 50-75 % 健康、樹皮稍微粗糙，3 級為 25-50 % 健康、樹皮多部分有損傷，4 級為 0-25 % 健康、樹皮有裂痕並脫落。

## II. 比葉面積

於 2011 年 10 月，將二個試驗區各樹種於每處理下皆隨機選取 3-5 株苗木，每株苗木取 3 片頂梢之成熟葉片測定，將葉片以打孔器取下直徑 0.6 cm 之葉圓片，以 70 °C 烘乾 72 hr 後秤其乾重，計算比葉面積(specific leaf area, SLA，葉面積/葉乾重,  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ )。

### (2) 苗圃試驗地

#### I. 生長量

於 2011 年 12 月底，各樹種在每個處理下隨機選取 3-5 株苗木，測量苗高及地徑的生長量情形。

#### II. 比葉面積

2011 年 8 月，各樹種於每處理下隨機選取 3 株苗木，每株苗木取 3 片頂梢之成熟葉片，量測方法同現場試驗地。

## 5. 統計分析

實驗數據以統計套裝軟體 SAS10.0 進行單因子變異數分析 (ANOVA) 檢驗，並以鄧肯氏多變異分析 (Duncan's new multiple range test) 檢驗差異性 ( $p < 0.05$ )，實驗數據圖示則以 SigmaPlot10.0 進行繪圖。

## 七、目前執行之結果與討論

### (一)現場試驗地林分結構調查及族群結構分析

新豐段林分調查結果整段海岸林帶最寬處約有 175 m，樣區總計樹種共有 15 種，平均密度  $775 \pm 131$  株  $\text{ha}^{-1}$ ，主要樹種以木麻黃為主，佔全部樣木總數約 32.2 %，其次以灌木的林投(*Pandanus odoratissimus*)較多佔 28.9 %，棟樹(*Melia azedarach*)以及朴樹(*Celtis sinensis*)則分別各有全部樣木的 12.4 % 及 7.0 %。以林帶高度來看以木麻黃平均高度最高約有  $9.4 \pm 0.3$  m，其次棟樹及朴樹分別有  $7.3 \pm 0.3$  m 及  $4.0 \pm 0.3$  m，胸徑仍以木麻黃平均  $18.5 \pm 0.5$  cm 最高，苦楝  $14.1 \pm 0.7$  cm、林投  $8.4 \pm 0.5$  cm 次之(表 1)。

整體而言喬木層以木麻黃最具優勢，為構成防風林帶最主要樹種，其次則為棟樹，灌木層的林投株數僅次於木麻黃也極具生長優勢。此結果類似李威震和王兆桓(2007) 調查東北部海岸的林分情形，其調查結果木麻黃及林投的株數與胸徑都高於其他樹種，顯見 2 者極符合海岸生態環境生長，惟木麻黃常因位居海岸第一線，最易受季風、颱風等的影響。目前西海岸第一線防風林適生樹種不多，仍以木麻黃類為主，尤以木賊葉木麻黃分佈最廣，桃園飛砂保安林則以黃槿(*Hibiscus tiliaceus*)較佔優勢，至於海岸林緣或林間孔隙處與木麻黃混植者，主要為黃槿、林投、草海桐(*Scaevola sericea*)及白水木(*Messerschmidia argentea*)等(鄧書麟等，2005)。林投或草海桐等灌木若能與木麻黃於第一線建立成複層林的結構應可提高海岸林分防風及阻擋飛砂之效能。

蚵殼港段調查結果因其位於林帶內緣與道路間且為一段帶狀栽植區，周圍幾乎沒有上木，平均密度僅  $100 \pm 59$  株  $\text{ha}^{-1}$ ，樹種以木麻黃及朴樹為主，木麻黃平均高度  $10.5 \pm 1.1$  m，與新豐段的木麻黃高度類似，但平均胸徑較大有  $22.4 \pm 3.9$  m，可能是因為僅存的上木多是大徑級的立木(表 2)。

#### 1. 族群結構分析

在一樹種族群中，常以胸徑與株數關係表示族群的齡級結構，可顯示出樹種的族群動態，預測該族群過去與未來消長之情形，亦可指示其天然更新之狀態(劉崇瑞和蘇鴻傑，2005)。新豐段林帶分析木麻黃和棟樹的族群結構圖皆呈現常態分布的情形(圖 5A、B)，顯示已呈現老化的趨勢，與鄧書麟等(2007) 調查四湖海岸林的木麻黃族群結構相似，其調查木麻黃族群自 1995 年由幼、壯齡林組成的反 J 形曲線，到 2004 年已漸次轉變為老齡化林分組成的常態分布曲線，小徑木明顯有大幅縮減。本研究木麻黃胸徑 < 5 cm 的小徑木僅佔總數 7.5%，顯見幼齡木也呈現稀少的情況，若任其生長應無法自行達到天然更新。

朴樹族群則是小徑木株數較多成反 J 型的結構(圖 5C)，顯示朴樹小苗可在林下存活，為耐蔭性樹種的特性，可成為一穩定生長的族群，於營造複層林或空隙地補植時，栽植於木麻黃林下或小孔隙處應能適應良好，惟目前朴樹總株數不多，且於海岸環境的貧瘠地，初期仍需先藉由部分人力輔助樹種更新，因此造林作業上可考量先行整地再以栽植或直播方式種植以促進其更新。另外朴樹平均高度僅  $4.0 \pm 0.3$  m，防風功能上較不足，於第二線海岸林內緣處實施林下更新作業應較佳，以漸進方式逐漸取代木麻黃上木。鄧書麟等(2007) 調查四湖海岸木麻黃林下海欖果(*Cerbera manghas*)的更新也呈現反 J 型的曲線，對於族群的拓展具發展潛力，但就林帶高度來看，成木高度也僅約 4 m 左右，就防風考量上還是遠低於木麻黃上木的功效，因此建議第一線更新仍應以木麻黃建造為主。

## (2) 栽植苗木調查

蚵殼港段栽植區於 2008 年時栽植，出栽時為 3 年生苗木，苗高至少有 0.5 m。目前調查樣區結果有 8 個樹種共 268 株，栽植密度平均約  $2,225 \pm 475$  株  $\text{ha}^{-1}$ ，栽植樹種以黃槿和木麻黃較多約佔總栽植數 29.9 和 25.8%，灌木則以草海桐最多約 13.8%。苗木目前平均高度最高不超過 4 m、胸徑除黃槿平均有 6 cm 以外其餘皆低於 5 cm 以下，因此仍多為小徑木的情形，但

是形質大致上良好，無傾斜、折損等情形，枝梢多是在樹冠下方有枯萎，枝葉生長均勻較無偏向一側惟多稀疏。黃槿和草海桐生態習性上樹冠比和冠幅較大，量測得冠幅也分別有 3.5 m<sup>2</sup> 及 1.3 m<sup>2</sup>，於海岸環境可提供較佳的防風效能，惟黃槿成木易萌蘖出許多植株，雖可提高林分鬱閉度但生長型態多雜亂，林相景緻性功能較差(表 3)。所調查表 3 之資料，為基礎資料，以便將來可與新豐段栽植區之栽植苗及播種苗來予以比對。

新豐段栽植區於 2011 年時栽植，出栽時為 1-2 年生苗木，苗高介於 0.3-1 m 之間。目前調查樣區結果有 6 個樹種共 836 株，栽植密度為 2\*2 m，栽植樹種以黃槿、水黃皮、木麻黃、白千層、繖楊等五種樹種為主，其各栽植樹種之基本性狀如表 4 所示。

完成各栽植區域之苗木基本調查後，會於試驗結束前進行各樣區中苗木之健康度之調查。並比較栽植 4 年及當年栽植之苗木健康度之差異。

表 1. 新豐段樣區主要樹種木麻黃 (*Casuarina* spp.)、林投 (*Pandanus odoratissimus*)、楝樹 (*Melia azedarach*) 及朴樹 (*Celtis sinensis*) 之樣木株數、占總株數比例、樹高及胸徑

樹種	林分密度 (trees ha <sup>-1</sup> )	占總株數 比例	樹高 (m)	胸徑 (cm)
木麻黃	249	32.2 %	9.4 ± 0.3*	18.5 ± 0.5
林投	224	28.9 %	2.6 ± 0.2	8.4 ± 0.5
苦楝	96	12.4 %	7.3 ± 0.3	14.1 ± 0.7
朴樹	54	7.0 %	4.0 ± 0.3	7.7 ± 0.8

\* ±: SE

表 2. 蚵殼港段樣區主要樹種木麻黃 (*Casuarina* spp.) 及朴樹 (*Celtis sinensis*) 之樣木株數、占總株數比例 (%)、樹高及胸徑

樹種	林分密度 (trees ha <sup>-1</sup> )	占總株數 比例	樹高 (m)	胸徑 (cm)
木麻黃	38	37.5 %	10.5 ± 1.1*	22.4 ± 3.9
朴樹	31	31.3 %	6.6 ± 0.7	10.2 ± 0.9

\* ±: SE

表 3. 蚵殼港段樣區栽植樹種黃槿(*Hibiscus tiliaceus*)、木麻黃(*Casuarina* spp.)、草海桐(*Scaevola sericea*)(地徑)及海欒果(*Cerbera manghas*)(地徑)之樣木株數、占總株數比例(%)、樹高及胸徑(地徑)

樹種	林分密度 (trees ha <sup>-1</sup> )	占總株數 比例	樹高 (m)	胸徑(地徑) (cm)
黃槿	667	29.9 %	2.6 ± 0.1*	6.1 ± 0.3
木麻黃	575	25.8 %	3.7 ± 0.2	4.5 ± 0.6
海欒果	317	14.2 %	1.4 ± 0.1	3.1 ± 0.3
草海桐	308	13.8 %	1.2 ± 0.1	3.7 ± 0.2

\* ±: SE

表 4. 新豐段樣區新植樹種木麻黃 (*Casuarina* spp.)、繖楊 (*Thespesia populne*)、水黃皮 (*Pongamia pinnata*)、白千層 (*Melaleuca leucadendra*) 及黃槿 (*Hibiscus tiliaceus*) 之樣木株數、占總株數比例 (%)、樹高及地徑

樹種	林分密度 (trees ha <sup>-1</sup> )	占總株數 比例	樹高 (cm)	地徑 (mm)
木麻黃	1825	26.2 %	71.9 ± 0.9	7.6 ± 0.1
繖楊	1475	21.2 %	77.4 ± 1.2	12.7 ± 0.2
水黃皮	1450	20.8 %	78.5 ± 1.5	11.7 ± 0.2
白千層	1225	17.6 %	65.1 ± 0.8	8.7 ± 0.2
黃槿	983	14.1 %	43.4 ± 0.8	7.7 ± 0.2

\* ±: SE。

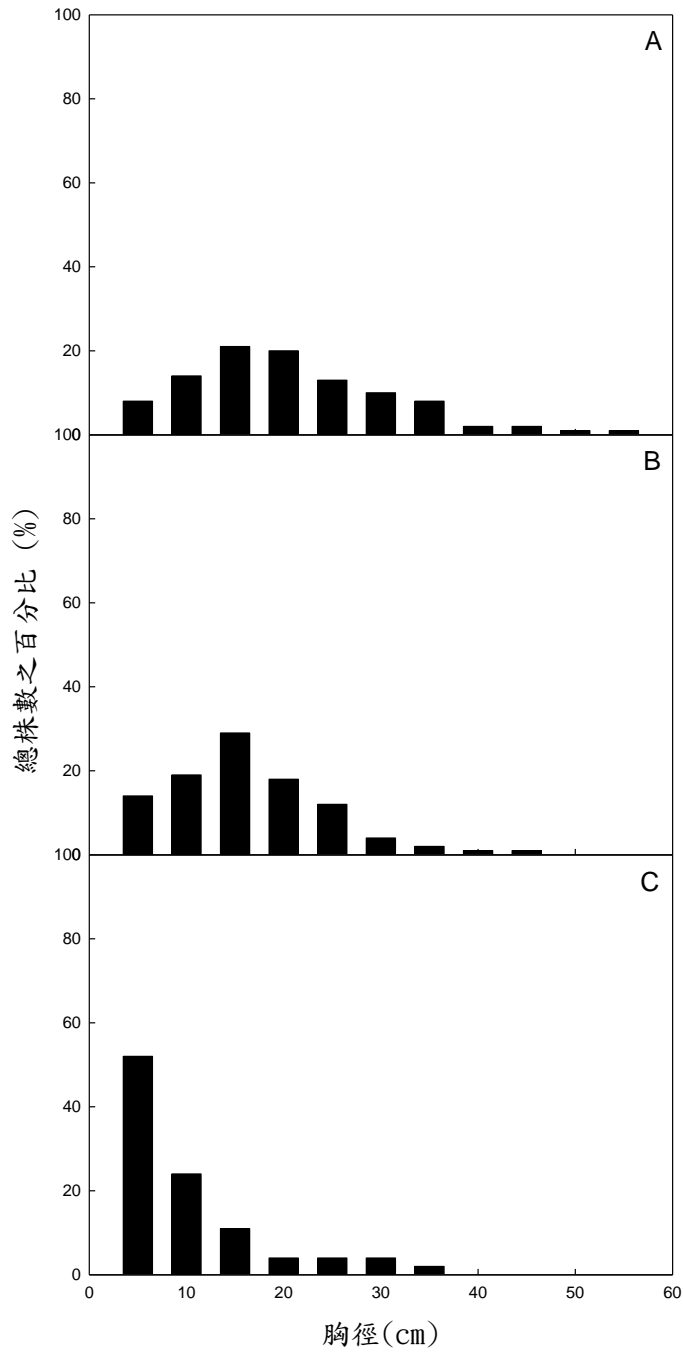


圖 5. 新豐段樣區之族群結構。(A)木麻黃(*Casuarina* spp.)、(B)棟樹(*Melia azedarach*)、(C) 朴樹(*Celtis sinensis*)。



## (二)冠層開闊度及相對光度測量

為得知林分冠層的孔隙規模情形，於新豐段樣區中心以數位相機魚眼鏡頭(接近 180°之超廣角鏡頭) 拍攝半球面影像，垂直高度約 70 cm，拍攝之相片以 GLA 軟體計算冠層開闊度(%) 表示之，其測定值為天空面積占全部半球面影像面積的百分比(Frazer *et al.*, 1999)。為使林冠枝葉與天空有最大的對比以增加分析準確性，必須盡量降低林冠反射光線的情形，因此在天空狀態較為均值的陰天或傍晚時拍攝影像(林登秋和江智民，2002)。

利用光度計(LL-189 quantum meter, LI-COR USA)於中午時量測 9 個樣區的中心點離地 0.5 m 高度的光量值，同時也在林外空曠處測量全光光量作為對照，計算大、小孔隙及林下的相對光度。

表 5 為新豐段樣區測得大孔隙冠層開闊度約 65%，相對光度約 80%，小孔隙和林下開闊度分別為約 40%及 20%左右，然其相對光度則差異不大，與陳財輝(2007)測定雲林四湖木麻黃成熟林分的冠層開闊度有 26%-45%類似，其相對光度約在 10-19% 間，認為在此開闊度的冠層下極適合海岸原生樹種以直播種子方式進行海岸複層林營造工作。

表 5. 不同處理樣區之開闊度與相對光度之變化

項目	處理		
	大孔隙	小孔隙	林下
開闊度(%)	65.33±1.89	39.18±5.08	22.77±3.02
相對光度(%)	80.61±8.90	42.13±15.20	19.22±6.11

## (二)種子發芽力檢驗

表 6 為由林業試驗所中埔分所四湖工作站所提供之瓊崖海棠、海欖果、欖仁、福木、苦楝以及台灣海桐共六種樹種之種子生活力檢驗之發芽率，由結果中可得知其發芽率以海欖果、瓊崖海棠以及台灣海桐為最高，表示其種子品質應無不良，當中以福木之發芽率最低只有 13.81 %，猜測可能是種子取得時，因保存不善，故有發霉之象。故於 2011 年 8 月自林業試驗所中埔研究中心植物園採集當年生之福木，以上述之方式進行發芽試驗方式觀察並探其原因。

表 6. 海欖果 (*Cerbera manghas*)、欖仁 (*Terminalia catappa*)、瓊崖海棠 (*Calophyllum inophyllum*)、福木 (*Garcinia subelliptica*)、楝樹 (*Melia azedarach*) 及台灣海桐 (*Pittosporum pentandrum*) 之種子發芽率(%)檢驗

	樹種					
	海欖果	欖仁	瓊崖海棠	福木	楝樹	台灣海桐
發芽率 (%)	46.44±2.76*	21.58±7.36	40.67±1.44	13.83±4.61	24.20±0.57	62.35±3.15

\*±: SE。

## (三)直播試驗

表 7 為苗圃試驗地六樹種在不同光度處理下種子有浸水之促進處理及無浸水之對照二組的發芽率，結果顯示六樹種不論在不同光度間或是相同光度下有無浸水處理間，其發芽率幾乎無顯著差異，僅海欖果在相對光度 40 % 處理下，種子發芽促進處理間有顯著差異，無浸水種子的發芽率顯著較高。

六樹種在不同光度處理間之發芽率結果，除楝樹於高光度處理下與台灣海桐於低光度處理下較高外，其餘之樹種則無顯著差異(表 7)，顯示另 4 種樹種發芽較不受光照差異影響，與張照群(2007) 試驗台灣雅楠(*Phoebe formosana*)在不同冠層開闊度下之發芽率結果有相同情形。Whitmore(1983)認為非先驅種的種子能在鬱閉林下及樹冠疏開環境下發芽，可推估本研究

四樹種應為非先驅樹種。王相華(1997) 研究不同森林鬱閉度對 20 種樹木種子發芽的影響，也觀察到發芽率差異並不顯著者大多為演替後期的主要組成種類，顯示演替後期樹種的種子發芽對林地微環境較無選擇性，可在林下陰暗的環境下發現天然更新的小苗。六樹種發芽率中又以棟樹、台灣海桐、海欖果、欖仁及瓊崖海棠為較高，然因棟樹與台灣海桐於發芽後之生長狀況並不佳，故於往後之生理試驗項目中，則將其剔除之。

六樹種在發芽促進處理間幾乎無明顯差異(表 7)，前人研究指出非硬粒種子可浸冷水處理 7-14 天促進發芽(林讚標，1996)，蔡忠勳等(1998)試驗水黃皮(*Pongamia pinnata*)浸水處理 5-20 天也有良好促進效果，本研究無差異情形可能與浸水天數過少有關。

在本試驗中，種子之有無浸水之發芽率差異不大，故為把握現場直播之時間點，現場試驗地所直播之種子為無浸水處理者。表 8 為現場試驗地直播種子之發芽率，結果中可得知六樹種中，除福木與台灣海桐於各處理下皆無發芽外，其餘皆有發芽之現象，當中又以棟樹與海欖果之發芽率較高。惟目前之結果對照苗圃試驗地之發芽率來看，其現場試驗地之種子發芽情形不甚理想，此結果仍持續觀察、討論之。試驗期間擔憂其於 2011 年 3 月初，取自由林業試驗所中埔分所四湖工作站所提供之福木種子品質不佳，故於 2011 年 8 月自林業試驗所中埔分所植物園區採集當年生新鮮種子，而再以補種之。同時段亦採取適宜海岸生長之朴樹、毛柿以及象牙樹之當年生種子，加以補種並持續觀察之。

表 7. 福木(*Garcinia subelliptica*)、棟樹(*Melia azedarach*)、台灣海桐(*Pittosporum pentandrum*)、海欖果(*Cerbera manghas*)、欖仁(*Terminalia catappa*) 及瓊崖海棠(*Calophyllum inophyllum*) 在不同光度處理及發芽促進處理之種子發芽率(%)

樹種	發芽促進	光度處理			
		100 %	40 %	20 %	5 %
福木	浸水	6.15±6.15	15±7.86	0	6.15±6.15
	對照	0	0	0	12.29±6.15
棟樹	浸水	50.98±3.34	40.66±1.23	33.92±6.31	7.63±2.02
	對照	44.28±5.67	48.77±4.00	38.24±5.06	10.9±2.64
台灣海桐	浸水	5.48±5.48	24.57±1.00	29.72±4.73	31.63±4.09
	對照	14.45±2.91	21.48±5.24	21.48±5.24	27.61±5.64
海欖果	浸水	49.14±8.76 <sup>Aa*</sup>	37.22±2.01 <sup>Ba</sup>	39.15±3.40 <sup>Aa</sup>	45±15.33 <sup>Aa</sup>
	對照	42.99±5.17 <sup>Aa</sup>	48.85±1.92 <sup>Aa</sup>	19.92±10.14 <sup>Ab</sup>	48.85±1.92 <sup>Aa</sup>
欖仁	浸水	12.29±6.15 <sup>Aa</sup>	8.85±8.85 <sup>Aa</sup>	15±7.86 <sup>Aa</sup>	18.44±0 <sup>Aa</sup>
	對照	12.29±6.15 <sup>Aa</sup>	23.85±13.06 <sup>Aa</sup>	21.15±13.06 <sup>Aa</sup>	11.07±11.07 <sup>Aa</sup>
瓊崖海棠	浸水	76.92±13.08 <sup>Aa</sup>	81.15±8.85 <sup>Aa</sup>	75±7.86 <sup>Aa</sup>	61.92±6.05 <sup>Aa</sup>
	對照	83.85±6.15 <sup>Aa</sup>	72.29±8.85 <sup>Aa</sup>	64.92±16.73 <sup>Aa</sup>	70.08±10.14 <sup>Aa</sup>

\*不同大小寫字母表示相同光度不同發芽促進處理間及相同樹種不同光度間鄧肯氏多變異分析達顯著差異 ( $p < 0.05$ )。± : SE。

表 8. 福木(*Garcinia subelliptica*)、棟樹(*Melia azedarach*)、台灣海桐(*Pittosporum pentandrum*)、海欖果(*Cerbera manghas*)、欖仁(*Terminalia catappa*)及瓊崖海棠(*Calophyllum inophyllum*) 在不同孔隙下之種子發芽率 (%)

樹種	孔隙處理			
	大孔隙	小孔隙	林下	
福木	0 <sup>ns</sup>	0 <sup>ns</sup>	0 <sup>ns</sup>	
台灣海桐	0 <sup>ns</sup>	0 <sup>ns</sup>	0 <sup>ns</sup>	
發芽率 (%)	棟樹	3.45±1.45 <sup>a</sup>	3.97±1.55 <sup>a</sup>	3.28±0.91 <sup>a</sup>
	海欖果	3.65±0.86 <sup>a*</sup>	4.23±0.56 <sup>a</sup>	5.25±0.31 <sup>a</sup>
	欖仁	0.79±0.79 <sup>a</sup>	1.11±1.11 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>
	瓊崖海棠	0.79±0.79 <sup>a</sup>	0.79±0.79 <sup>a</sup>	1.57±1.57 <sup>a</sup>

\*不同字母表示相同樹種不同孔隙間鄧肯氏多變異分析達顯著差異 ( $p < 0.05$ )。± : SE。

#### (四)生理參數之測定

苗圃試驗地中，雖六樹種發芽率中，雖以棟樹、台灣海桐、海欖果、欖仁及瓊崖海棠為較高，然因棟樹與台灣海桐於發芽後之生長狀況並不佳，故於生理試驗項目中，則將其剔除之，其生理參數之測定項目中，只測取海欖果、欖仁以及瓊崖海棠三種樹種。

現場試驗地中，雖以棟樹與海欖果之發芽率較高。然為對照苗圃試驗地所試驗樹種之結果，故目前只挑選海欖果進行生理參數之測定。

##### 1.不同光度對淨光合作用之影響

於苗圃試驗地中，三樹種不同光度處理下的光合光反應曲線結果如圖 6 所示。海欖果之最大淨光合速率( $A_{max}$ )在全光、相對光度 40 % 及 20 % 三者處理間無顯著差異，其值約為  $10-11 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，相對光度 5 % 處理則顯著較低，其值為  $6.22 \pm 1.32 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。欖仁最大淨光合速率以全光處理下最佳有  $19.24 \pm 1.59 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，其他光度間則無顯著差異約在  $7-10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  間。瓊崖海棠以相對光度 40 % 及 20 % 處理下的最大之淨光合速率顯著較高，其值為  $11-14 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  間，相較之下全光及相對光度 5 % 則略偏低，其值在  $9-10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  間。三種樹種之光補償點、暗呼吸率( $R_d$ )及光量子效率( $Q_y$ )皆於各光度間皆無顯著差異(表 9)。

在現場試驗地中，礙於野外試驗地之因素，故只測其海欖果之最大光合速率、光補償點、暗呼吸率以及光量子效益，其結果為表 10 所示。表中可得知，除最大光合速率於各孔隙下無顯著性差異外，其餘之光合參數皆以大孔隙下為最高。

苗圃試驗地中之三樹種光合光反應研究結果隨處理光度不同各有不同趨勢(圖 6)。海欖果之最大淨光合速率( $A_{max}$ ) 以全光、相對光度 40 % 及 20 % 處理顯著較高，數值為  $10-11 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，欖仁以全光處理顯著高於其他光度處理，其值為  $19.24 \pm 1.59 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，瓊崖海棠則以相對光度 40

%及 20 % 處理顯著較高，數值為 11-14  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  左右。無論苗圃試驗地或是現場試驗地之海欖果 Amax(表 9、表 10)整體而言與許立勳(2006) 研究 2 年生海欖果容器苗相比稍偏高，可能是由於其研究之苗木是以容器苗為主，或是測定季節於冬季因而受低溫影響產生光抑制所致。然本試驗中之海欖果苗木無論於苗圃試驗地或現場試驗地之光合值皆與郭耀綸等(2004)對三十種闊葉樹陽葉氣體交換能力之研究及王志斌(2006)對四湖海岸木麻黃林下海欖果之研究結果有所差異，推測可能是因試驗種子來源及試驗地區之氣候因子不同所導致。郭耀綸(2009) 認為過去使用容器苗進行遮陰試驗，探討各樹種在不同光資源下的型態表現，有可能因容器空間的限制，無法發揮各樹種的生長潛力而影響試驗結果。若要使用盆栽苗供試驗，必須考慮試驗期間供試樹苗是否因生長過大發生盤根，致影響生長勢。若能以較大體積的容器進行試驗，此方面的影響應可延遲發生。欖仁全光處理有最高之最大淨光合速率與王志斌(2006) 研究四湖海岸木麻黃林下 1 年生欖仁有極類似結果，其試驗同樣在全光有最高之 Amax 且其值相近為 19.75  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。

對照郭耀綸與陳海琳(2010) 測定台灣原生闊葉樹種陽葉的光合作用性狀，推論台灣亞熱帶非耐陰性闊葉樹種之 Amax 應在 23-24  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，中等耐陰樹種可能在 13-22  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  範圍，耐陰樹種的陽葉則有 7-12  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，以此為依據推估欖仁應為中等耐陰至陽性樹種，海欖果及瓊崖海棠較偏為耐陰樹種。

苗圃試驗地中三樹種隨處理光度不同，其光補償點 (LCP)、暗呼吸率 (Rd)及光量子效率(Qy)皆在各光度間無顯著差異(表 9)。此結果與黃佩瑜(2010)試驗白千層(*Melaleuca leucadendra*)各光度處理間之 LCP 及 Rd 無差異類似，顯示三樹種之 LCP 及 Rd 可塑性低，對低光的調適能力較差(廖天賜等，2002)。Qy 結果同樣也顯示在低光下對光的敏感性較低，未能提高光量子效益因而無法立即反應在光合作用能力上以促進生長(朱珮綺、許博行，2005)，與游智偉等(2009)試驗演替後期樹種三斗石櫟(*Pasania*

*ternaticupula*)、青剛櫟 (*Cyclobalanopsis glauca*) 及樟樹 (*Cinnamomum camphora*) 之  $Q_y$  也未受環境光度改變有顯著影響相同。在現場試驗地中，海欖果之光補償點會隨孔隙相對光度的降低而下降(表 10)，此與郭幸榮等 (1999) 研究指出，林木的光合能力不全然受到遺傳控制而具有可塑性，可隨生長環境光量而調整，在低光環境之陰葉通常會有較低的光合能力、光補償點及光飽和點光度是相符合的，顯示海欖果苗木在低光下會經由生理之馴化，以減緩呼吸速率而使光補償點隨相對光度降低而降低，以適應低光環境。

同一樹種在不同光量下有不同的光補償點的現象很普遍。此現象表示林木的光補償點並不是受遺傳控制，而是具可塑性可隨生長環境光量而調整，因此僅由林木的光補償點及對其耐蔭性下定論是不適當的。一般情況下雖然非耐蔭種的光補償點會比耐蔭種高，但有研究指出耐蔭的極相種光補償點並不一定比先驅種低，演替早期及中期樹種若生長在 1-5 % 低光下其光補償點也可低至  $10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  以下。因此在判斷林木耐蔭性時應同時考慮葉部及非光合部位的呼吸量，且藉光飽和點或光合作用潛力來判斷耐蔭性可能比用光補償點恰當(郭耀綸等，1999)。

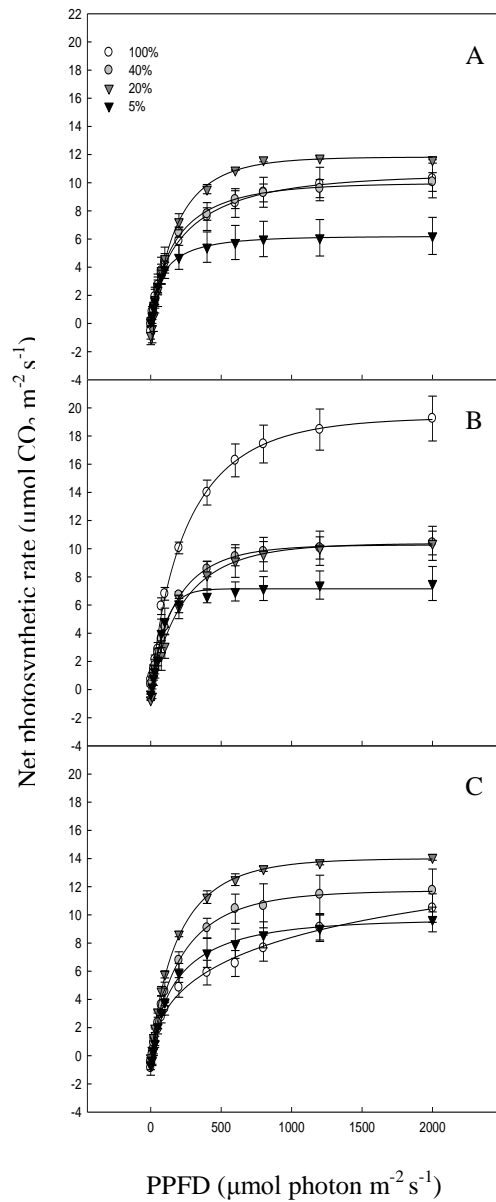


圖 6. 苗圃試驗地中不同光度處理下 (A)海檬果(*Cerbera manghas*)、(B)欖仁(*Terminalia catappa*) 及(C)瓊崖海棠(*Calophyllum inophyllum*)之淨光合作用速率曲線。I=SE。n=3。



表 9. 苗圃試驗地海檬果(*Cerbera manghas*)、欖仁 (*Terminalia catappa*) 及瓊崖海棠(*Calophyllum inophyllum*)在不同光度處理之最大光合速率( $A_{max}$ )、光補償點 (LCP)、暗呼吸速率(Rd)與光量子效率(Qy)

參數		光度處理			
		100 %	40 %	20 %	5 %
$A_{max}$ ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	海檬果	10.28±1.35 <sup>a*</sup>	10.05±0.66 <sup>a</sup>	11.62±0.23 <sup>a</sup>	6.22±1.32 <sup>b</sup>
	欖仁	19.24±1.59 <sup>a</sup>	10.41±0.84 <sup>b</sup>	10.38±1.21 <sup>b</sup>	7.53±1.21 <sup>b</sup>
	瓊崖海棠	10.49±1.01 <sup>b</sup>	11.73±1.52 <sup>ab</sup>	14.09±0.20 <sup>a</sup>	9.68±0.88 <sup>b</sup>
LCP ( $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	海檬果	5.31±2.11 <sup>a</sup>	6.36±3.69 <sup>a</sup>	18.23±8.53 <sup>a</sup>	2.76±1.52 <sup>a</sup>
	欖仁	3.99±1.59 <sup>a</sup>	3.67±1.96 <sup>a</sup>	10.38±5.85 <sup>a</sup>	5.57±1.77 <sup>a</sup>
	瓊崖海棠	9.31±4.81 <sup>a</sup>	8.13±3.45 <sup>a</sup>	2.13±0.06 <sup>a</sup>	12.86±4.10 <sup>a</sup>
Rd ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	海檬果	0.35±0.18 <sup>a</sup>	0.31±0.17 <sup>a</sup>	1.12±0.51 <sup>a</sup>	0.14±0.07 <sup>a</sup>
	欖仁	0.19±0.01 <sup>a</sup>	0.18±0.09 <sup>a</sup>	0.49±0.22 <sup>a</sup>	0.27±0.08 <sup>a</sup>
	瓊崖海棠	0.51±0.28 <sup>a</sup>	0.42±0.15 <sup>a</sup>	0.13±0.02 <sup>a</sup>	0.75±0.26 <sup>a</sup>
Qy	海檬果	0.056±0.013 <sup>a</sup>	0.052±0.003 <sup>a</sup>	0.068±0.007 <sup>a</sup>	0.054±0.004 <sup>a</sup>
	欖仁	0.049±0.008 <sup>a</sup>	0.051±0.001 <sup>a</sup>	0.059±0.010 <sup>a</sup>	0.049±0.001 <sup>a</sup>
	瓊崖海棠	0.053±0.003 <sup>a</sup>	0.057±0.005 <sup>a</sup>	0.062±0.005 <sup>a</sup>	0.056±0.004 <sup>a</sup>

\*不同字母表示不同孔隙間鄧肯氏多變異分析達顯著差異 ( $p < 0.05$ )。± : SE。n=3。

表 10. 現場試驗地海檬果(*Cerbera manghas*)在不同孔隙下之最大光合速率 ( $A_{max}$ )、光補償點 (LCP)、暗呼吸速率 (Rd) 與光量子效率 (Qy)

樹種	光合參數	孔隙處理		
		大孔隙	小孔隙	林下
海檬果	$A_{max}$ ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	12.95±1.60 <sup>a*</sup>	7.19±1.97 <sup>a</sup>	9.15±1.65 <sup>a</sup>
	LCP ( $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	28.54±3.78 <sup>a</sup>	7.24±3.93 <sup>b</sup>	9.76±6.09 <sup>b</sup>
	Rd ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	2.66±0.58 <sup>a</sup>	0.41±0.23 <sup>b</sup>	0.14±0.26 <sup>b</sup>
	Qy	0.092±0.008 <sup>a</sup>	0.050±0.005 <sup>b</sup>	0.036±0.011 <sup>b</sup>

\*不同字母表示不同孔隙間鄧肯氏多變異分析達顯著差異( $p < 0.05$ )。± : SE。n=3-5。

## 2.不同光度對螢光日變化之影響

苗圃試驗地之三種樹種葉綠素螢光日變化如圖7所示，海欖果之 $F_v/F_m$ 在凌晨的基準值以相對光度 40 %、20% 及 5 % 處理顯著較高，數值介於 0.86-0.87 間，全光處理最低為 0.82。其餘時間 $F_v/F_m$ 之日變化在低光處理(相對光度 20 %及 5 %)下變動幅度不大，數值介在 0.73-0.81 間，高光處理(全光及相對光度 40 %)則有隨整日之環境光量變化而變動，數值介在 0.54-0.76 間，在 9:00-11:00 的高光時間 $F_v/F_m$ 值有明顯下降，下午則隨光量減弱而逐漸上升，以全光下降幅度最大，其值於高光時間(9:00-11:00)降至 0.54，於 5 點時仍無恢復至基準值 0.7 以上。 $\Phi_{PSII}$  變化與 $F_v/F_m$  &  $F_v'/F_m'$ 變化類似，除低光處理(相對光度 20 %及 5 %)無明顯變動外，高光處理(全光及相對光度 40 %)皆有隨環境光量增加而下降，並於下午光量減弱後上升，且仍以全光為最低於下午 5 點無恢復至基準值 0.7 以上。 $NPQ$ 之日變化同樣為低光處理(相對光度 20 % 及 5 %)無明顯變動，高光處理(全光及相對光度 40 %)在高光時間(9:00-11:00)時有明顯上升，以全光上升幅度最大，其值為 0.70。

苗圃試驗地之欖仁苗木，其各光度處理間之 $F_v/F_m$ 凌晨基準值無顯著差異，皆介於 0.83-0.85 間。其餘時間 $F_v'/F_m'$ 之日變化在低光處理(相對光度 20 % 及 5 %)下變動幅度不大，介於 0.69-0.80 間(相對光度 20%稍低於 7)，高光處理(全光及相對光度 40 %)則較明顯隨環境光量增加而下降，數值介在 0.45-0.75 間，在中午 12 點最高光時降至最低，以全光下降幅度最大，其值為 0.45，但有於下午 5 點時恢復至 0.74 以上。 $\Phi_{PSII}$  變化與 $F_v/F_m$  &  $F_v'/F_m'$ 變化類似，除低光處理(相對光度 20 %及 5 %)無明顯變動外(相對光度 20%稍低於 7)，高光處理(全光及相對光度 40 %)皆有隨環境光量增加而下降，且仍以全光為最低，同樣於下午 5 點時皆有恢復至 0.72 以上。 $NPQ$ 日變化在低光處理(相對光度 20 % 及 5 %)無明顯提升，高光處理(全光及相對光度 40%)在中午 12 點時明顯上升，以全光上升幅度最大達 1.64。

至於苗圃試驗地之瓊崖海棠葉綠素螢光在各光度處理間之  $F_v/F_m$  凌晨基準值無顯著差異，皆介於 0.83-0.84 間。其餘時間  $F_v'/F_m'$  之日變化在低光處理(相對光度 20 % 及 5 %) 下變動幅度不大，數值皆有 0.70-0.79，高光處理(全光及相對光度 40 %) 則有隨環境光量增加而下降，介在 0.54-0.74 間，以全光在中午 12 點時有最低值 0.54，且於 5 點時無恢復至基準值 0.7 以上。 $\Phi PSII$  變化仍與  $F_v/F_m$  &  $F_v'/F_m'$  變化類似，除低光處理(相對光度 20 % 及 5 %) 外，高光處理(全光及相對光度 40 %) 較明顯隨環境光量增加而下降，仍以全光在中午 12 點時有最低值，同樣於 5 點時無恢復至基準值 0.7 以上。 $NPQ$  日變化同樣為低光處理(相對光度 20 % 及 5 %) 無明顯變動，高光處理(全光及相對光度 40 %) 在中午 12 點時有明顯上升，以全光上升幅度最大達 1.06。

葉綠素螢光日變化在現場試驗地方面(圖 8)，其海欖果之  $F_v/F_m$  在凌晨的基準值以林下孔隙顯著較高，大孔隙最低。中午時間  $F_v'/F_m'$  亦以大孔隙為最低。 $\Phi PSII$  變化與  $F_v/F_m$  &  $F_v'/F_m'$  變化類似，皆於下午光量減弱後上升，且仍以大孔隙為最低。 $NPQ$  之日變化則以林下無明顯變動，小孔隙則於正午時有較大孔隙之明顯上升之情形。

無論在苗圃試驗地之三樹種在各光度處理或在現場試驗地之不同孔隙下海欖果之螢光參數，其  $F_v/F_m$  &  $F_v'/F_m'$  及  $\Phi PSII$  日變化情形類似：均以低光處理(相對光度 20 % 及 5 %) 及林下之日變化大致無明顯變動，高光處理(全光及相對光度 40 %) 與大孔隙下則皆於中午 12 點時有下降趨勢(圖 7、圖 8)。 $NPQ$  日變化在二試驗地之情形也相同，除低光處理(相對光度 20 % 及 5 %) 與林下無明顯變化外，苗圃試驗地中之高光處理(全光及相對光度 40 %) 與現場試驗地之小孔隙皆於 12 點時有明顯上升。

在中午光度提高時  $F_v'/F_m'$  下降表示苗木光合系統 II( $PSII$ ) 之光化學效率降低，造成吸收之光能實際用於光化學的比例連帶降低，即  $\Phi PSII$  的

下降(Demming-Adams *et al.*, 1996)，致過剩光能開始增加進而提高 NPQ 非光化學消散之比例，主要以熱消散形式消散過多能量。

比較二試驗地之高光度處理下(全光與大孔隙)之  $F_v/F_m$  &  $F_v'/F_m'$  日變化僅苗圃試驗地之欖仁與現場試驗地之海欖果  $F_v'/F_m'$  於下午 5 點有恢復至 0.7 以上，與 Katahata 等(2005)研究 *Daphniphyllum humile* 常綠植物在林下及林分邊緣兩地  $F_v'/F_m'$  及 NPQ 的日變化情形類似，其  $F_v'/F_m'$  同樣於下午即能恢復至基準值，顯示苗圃試驗地之欖仁與現場試驗地之海欖果對中午突然增加的光度造成其 PSII 效率下降只是暫時性的光抑制，對高光有較高的馴化能力(Cai *et al.*, 2005)。苗圃試驗地之瓊崖海棠黎明之  $F_v/F_m$  有 0.83 以上，顯示苗木仍處於健康狀態(徐邦達，2002)，惟下午 5 點  $F_v'/F_m'$  尚無恢復至 0.7 以上顯示其對中午高光的調適能力比欖仁稍偏低。

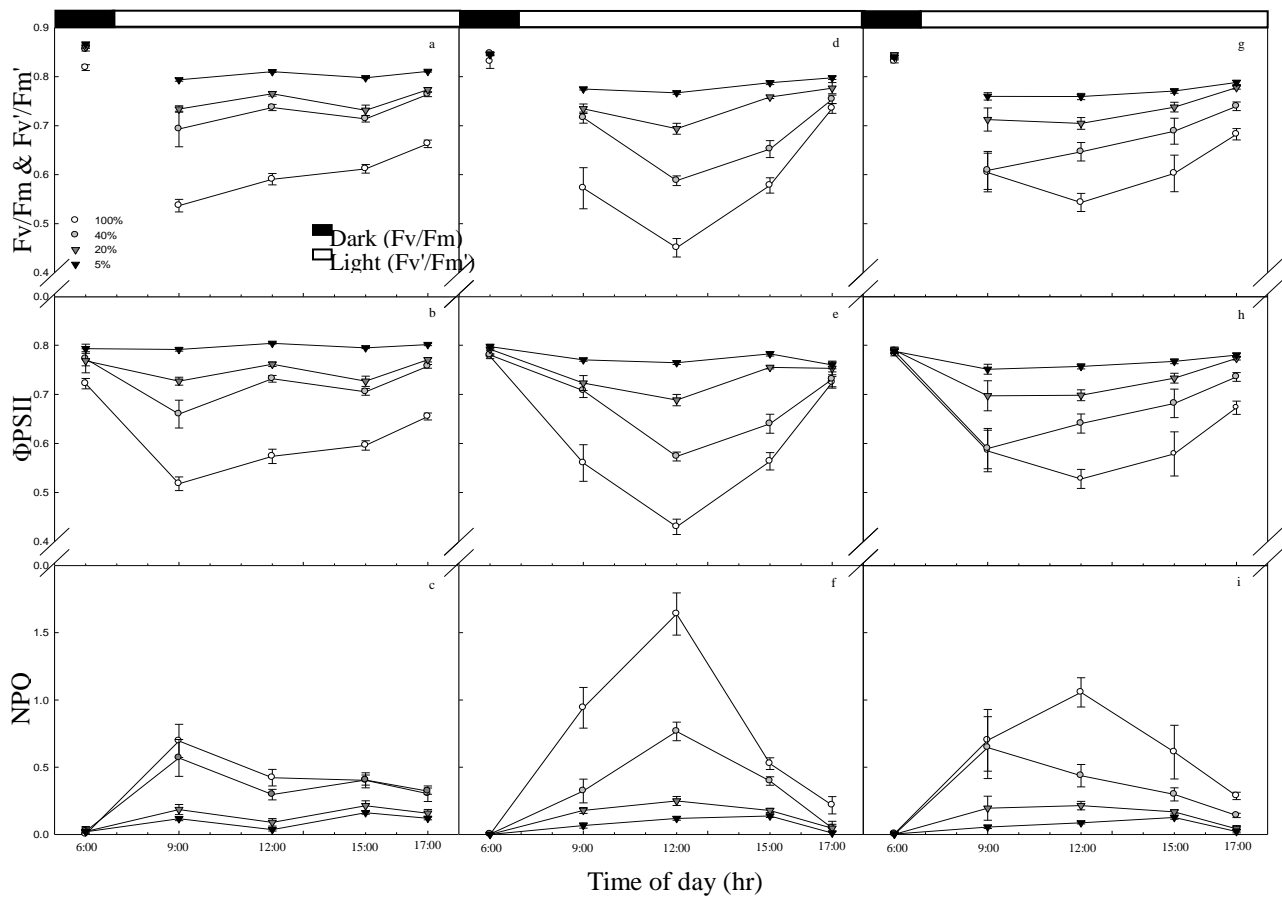


圖 7. 苗圃試驗地海檬果(*Cerbera manghas*)、欖仁(*Terminalia catappa*)及瓊崖海棠(*Calophyllum inophyllum*)在不同光度處理之螢光參數(a、d、g)  $F_v/F_m$  &  $F_v'/F_m'$ 、(b、e、h)  $\Phi_{PSII}$  及 (c、f、i) NPQ 日變化。I=SE。n=3。

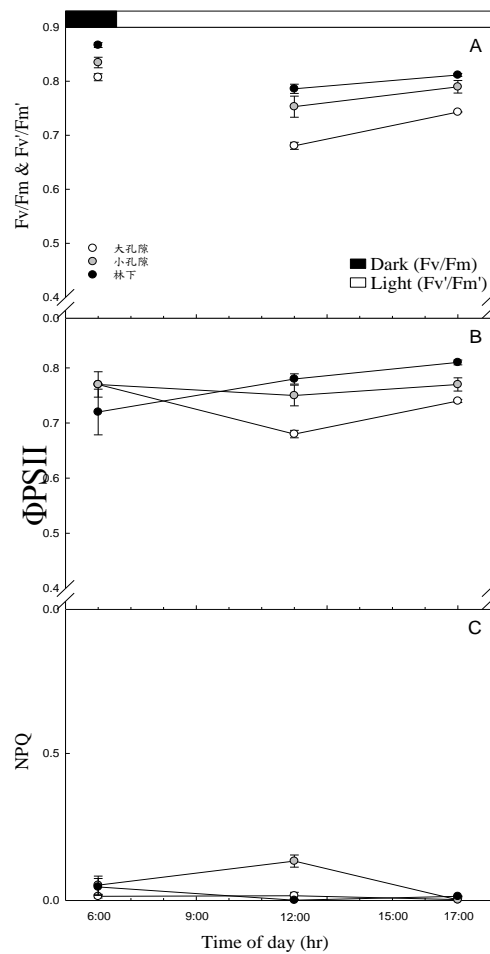


圖 8. 現場試驗地海檬果(*Cerbera manghas*)在不同孔隙處理之螢光參數：(A)  $F_v/F_m$  &  $F_v'/F_m'$ 、(B)  $\Phi_{PSII}$  及 (C) NPQ 日變化。I=SE。n=3-5。

### 3.不同光度對色素含量之影響

表 11 為苗圃試驗地三樹種在各光度處理下葉片色素之含量變化，結果顯示三樹種葉綠素 (chl a、chl b、chl a+b) 含量皆有隨光度降低而增加的情形。海檬果除相對光度 5 % 處理含量顯著較高外，其他光度處理間無顯著差異。表 12 為現場試驗地海檬果在不同孔隙下葉片色素含量之變化，其結果與苗圃試驗地類似，其值均隨所處環境光度的下降而提高。

各光度處理間類胡蘿蔔素(carotenoid)含量變化方面，無論是苗圃試驗地或是現場試驗地之海檬果在較高光處理下均有顯著較高的值，苗圃試驗地之欖

仁在相對光度 20 % 處理有較高值，瓊崖海棠則是在相對光度 40 %、20 % 及 5 % 處理有較高值。

試驗苗木之葉綠素 a/b (chl a/b) 及類胡蘿蔔素/葉綠素 a+b (caro/chl a+b) 在各光度及孔隙處理間大致隨光度增加而增加，惟苗圃試驗地之欖仁葉綠素 a/b 在光度處理間皆無顯著差異。

試驗苗木之葉綠素含量於不同光度處理之變化類似，皆呈現隨光度降低葉綠素(chl a、chl b、chl a+b)增加、葉綠素 a/b (chl a/b)降低的情形，僅苗圃試驗地之欖仁葉綠素 a/b 在光度處理間皆無顯著差異(表 11)。Valladares 等(2005)試驗 *Ilex aquifolium* 幼苗在不同相對光度下之葉綠素含量也有類似結果，顯示低光下會藉由增加葉綠素含量來加強對光的吸收能力，全光下較低也可能因葉綠素的合成受限或是光的降解破壞了葉綠素而導致(Valladares *et al.*, 2005)。葉綠素 a/b 降低表示在低光環境下會提高葉綠素 b 以提升較高比例的光捕捉複合體，因而有提高捕捉光能的效率(Senevirathna *et al.*, 2003)。

試驗苗木之類胡蘿蔔素(caro) 含量分別在不同之光度處理有最高值(表 11、12)。二試驗地之海欖果苗木在較高光處理下，欖仁在相對光度 20 %處理，瓊崖海棠則是在相對光度 40 %、20 %及 5 %處理有較高值。顯示欖仁及瓊崖海棠在低光下單位葉重的類胡蘿蔔素濃度增加，與葉韋欣(2007)試驗青剛櫟(*Cyclobalanopsis glauca*) 及錐果櫟(*C. longinux*)之結果類似，葉綠素與類胡蘿蔔素同為吸光色素分子(許明晃，2003)，其濃度上升皆有助於光能的捕捉，此乃遮蔭處理之植物會有較高的捕光效率的原因之一(葉韋欣，2007；Taiz and Zeiger, 2002)。

試驗苗木之類胡蘿蔔素/葉綠素 a+b(caro/chl) 在各光度孔隙處理間大致隨光度增加而增加(表 11、12)，顯示在強光下三樹種皆會提升 caro/chl 比值，以達到增加光保護之能力。

表 11. 苗圃試驗地海檬果(*Cerbera manghas*)、欖仁(*Terminalia catappa*)及瓊崖海棠(*Calophyllum inophyllum*)在不同光度處理之可溶性蛋白含量(Soluble protein)、葉綠素 a (chl a)、葉綠素 b (chl b)、葉綠素 a+b (chl a+b)、葉綠素 a/b (chl a/b)、類胡蘿蔔素 (caro) 及類胡蘿蔔素/葉綠素 a+b (caro/chl a+b)

參數		光度處理			
		100 %	40 %	20 %	5 %
chl a (mg g <sup>-1</sup> )	海檬果	0.77±0.05 <sup>b*</sup>	0.92±0.13 <sup>b</sup>	1.08±0.15 <sup>b</sup>	2.20±0.18 <sup>a</sup>
	欖仁	0.65±0.07 <sup>c</sup>	0.81±0.03 <sup>bc</sup>	0.96±0.07 <sup>b</sup>	1.87±0.12 <sup>a</sup>
	瓊崖海棠	0.61±0.02 <sup>c</sup>	1.10±0.18 <sup>b</sup>	1.21±0.04 <sup>b</sup>	1.62±0.01 <sup>a</sup>
chl b (mg g <sup>-1</sup> )	海檬果	0.25±0.01 <sup>b</sup>	0.34±0.05 <sup>b</sup>	0.38±0.06 <sup>b</sup>	1.00±0.13 <sup>a</sup>
	欖仁	0.27±0.03 <sup>c</sup>	0.34±0.02 <sup>bc</sup>	0.45±0.05 <sup>b</sup>	0.80±0.05 <sup>a</sup>
	瓊崖海棠	0.19±0.01 <sup>c</sup>	0.39±0.09 <sup>b</sup>	0.43±0.02 <sup>b</sup>	0.66±0.01 <sup>a</sup>
chl a+b (mg g <sup>-1</sup> )	海檬果	1.03±0.06 <sup>b</sup>	1.26±0.16 <sup>b</sup>	1.46±0.21 <sup>b</sup>	3.19±0.31 <sup>a</sup>
	欖仁	0.92±0.10 <sup>c</sup>	1.15±0.04 <sup>bc</sup>	1.41±0.08 <sup>b</sup>	2.67±0.17 <sup>a</sup>
	瓊崖海棠	0.80±0.02 <sup>c</sup>	1.50±0.27 <sup>b</sup>	1.64±0.06 <sup>b</sup>	2.28±0.02 <sup>a</sup>
chl a/b	海檬果	3.09±0.06 <sup>a</sup>	2.72±0.12 <sup>b</sup>	2.86±0.07 <sup>ab</sup>	2.25±0.13 <sup>c</sup>
	欖仁	2.39±0.07 <sup>a</sup>	2.44±0.07 <sup>a</sup>	2.24±0.16 <sup>a</sup>	2.35±0.09 <sup>a</sup>
	瓊崖海棠	3.34±0.03 <sup>a</sup>	2.91±0.15 <sup>b</sup>	2.83±0.06 <sup>b</sup>	2.46±0.04 <sup>c</sup>
caro (mg g <sup>-1</sup> )	海檬果	0.30±0.01 <sup>a</sup>	0.29±0.01 <sup>ab</sup>	0.31±0.01 <sup>a</sup>	0.25±0.02 <sup>b</sup>
	欖仁	0.28±0.01 <sup>b</sup>	0.29±0.01 <sup>b</sup>	0.31±0.00 <sup>a</sup>	0.29±0.01 <sup>b</sup>
	瓊崖海棠	0.28±0.00 <sup>b</sup>	0.31±0.01 <sup>a</sup>	0.31±0.00 <sup>a</sup>	0.30±0.01 <sup>a</sup>
caro/chl a+b	海檬果	0.29±0.01 <sup>a</sup>	0.24±0.02 <sup>ab</sup>	0.22±0.03 <sup>b</sup>	0.08±0.02 <sup>c</sup>
	欖仁	0.32±0.02 <sup>a</sup>	0.25±0.00 <sup>b</sup>	0.22±0.01 <sup>b</sup>	0.11±0.01 <sup>c</sup>
	瓊崖海棠	0.35±0.01 <sup>a</sup>	0.22±0.03 <sup>b</sup>	0.19±0.00 <sup>b</sup>	0.13±0.00 <sup>c</sup>

\*不同字母表示不同孔隙間鄧肯氏多變異分析達顯著差異 ( $p < 0.05$ )。±: SE。n=3。

表 12. 現場試驗地海檬果(*Cerbera manghas*)葉片在不同孔隙下之可溶性蛋白含量 (Soluble protein)、葉綠素 a (chl a)、葉綠素 b (chl b)、葉綠素 a+b (chl a+b)、葉綠素 a/b (chl a/b)、類胡蘿蔔素(caro)及類胡蘿蔔素/葉綠素 a+b (caro/chl a+b)

參數	孔隙處理			
	大孔隙	小孔隙	林下	
海檬果	chl a (mg g <sup>-1</sup> )	1.01±0.10 <sup>c</sup>	1.74±0.07 <sup>b</sup>	2.10±0.08 <sup>a</sup>
	chl b (mg g <sup>-1</sup> )	0.32±0.03 <sup>c</sup>	0.62±0.03 <sup>b</sup>	0.80±0.06 <sup>a</sup>
	chl a+b (mg g <sup>-1</sup> )	1.33±0.13 <sup>c</sup>	2.36±0.09 <sup>b</sup>	2.91±0.14 <sup>a</sup>
	chl a/b	3.17±0.13 <sup>a</sup>	2.82±0.08 <sup>b</sup>	2.66±0.09 <sup>b</sup>
	caro (mg g <sup>-1</sup> )	0.32±0.01 <sup>a</sup>	0.31±0.00 <sup>a</sup>	0.27±0.01 <sup>b</sup>
	caro/chl a+b	0.25±0.02 <sup>a</sup>	0.13±0.01 <sup>b</sup>	0.10±0.01 <sup>c</sup>



### (五)形態參數之測定

表 13、表 14 為苗圃試驗地之三樹種與現場試驗地之海欖果苗木比葉面積變化，結果顯示試驗苗木皆有隨光度降低而遞增的情形。二試驗地之海欖果在低光環境下有最高之比葉面積，其他光度間無顯著差異。欖仁也以相對光度 5 % 處理有最高值，全光則最低。瓊崖海棠則以相對光度 20 % 及 5 % 處理顯著高於其他光度處理。

試驗苗木之比葉面積(SLA)皆有隨處理光度降低而遞增的趨勢(表 13、表 14)，顯示在低光下單位葉重的葉面積會提高。Wang 與 Bauerle(2006)研究 *Quercus alba* 和 Valladares 等(2002)研究 *Quercus robur* 在不同遮陰環境下的比葉面積變化也有相同情形，在低光下提高葉面積表可提高光資源的截取，可補償因低光而降低的單位葉面積光合速率，如此可增加全株光合率與呼吸率的比例，因而在低光環境仍可維持正值碳平衡而對生長有貢獻 (郭耀綸等，1999)。

表 13. 苗圃試驗地海欖果(*Cerbera manghas*)、欖仁(*Terminalia catappa*)及瓊崖海棠 (*Calophyllum inophyllum*)在不同光度處理之比葉面積(specific leaf area, SLA)變化

	樹種	光度處理			
		100 %	40 %	20 %	5 %
SLA (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	海欖果	204.77±17.06 <sup>b*</sup>	263.67±45.92 <sup>b</sup>	252.43±18.98 <sup>b</sup>	659.74±47.12 <sup>a</sup>
	欖仁	157.19±14.64 <sup>c</sup>	215.83±20.97 <sup>bc</sup>	268.85±42.61 <sup>b</sup>	409.53±32.12 <sup>a</sup>
	瓊崖海棠	80.92±2.38 <sup>b</sup>	91.26±6.65 <sup>b</sup>	130.9±16.30 <sup>a</sup>	141.61±4.09 <sup>a</sup>

\*不同字母表示相同樹種不同光度間鄧肯氏多變異分析達顯著差異 ( $p < 0.05$ )。±：SE n=3。

表 14. 現場試驗地海欖果(*Cerbera manghas*)在不同孔隙下之比葉面積(specific leaf area, SLA)變化

樹種	SLA (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	孔隙處理		
		大孔隙	小孔隙	林下
海欖果	SLA (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	90.62±18.02 <sup>a*</sup>	120±41.81 <sup>a</sup>	125.10±5.83 <sup>a</sup>

\*不同字母表示不同孔隙間鄧肯氏多變異分析達顯著差異 ( $p < 0.05$ )。±：SE。n=3-5。

## 八、未來執行進度與項目

### (一)直播苗與栽植苗之生長調查

將於 2011 年 12 月底，對現場試驗地與苗圃試驗地之直播苗，隨機選取 3-5 株苗木測量苗高及地徑的生長量情形並調查其存活率。並於試驗結束前，調查新豐段樣區新植樹種木麻黃、繖楊、水黃皮、白千層及黃槿之樹高及地徑，以比較栽植期間之生長量與存活率。

### (二)健康度評估

於試驗結束前以目視診斷法 (visual tree assessment, VTA) 觀測新豐段新植苗與蚵殼港段 4 年生苗木之健康度，以比較兩者之差異。

### (三)持續監測種子發芽與生長之狀況

持續監測於 2011 年 9 月所播種之朴樹、福木、毛柿以及象牙樹之發芽現象，並對已發芽之苗木持續之監測其生長情形。

### (四)生理參數之測定

持續對已發芽並生長健壯之苗木，進行生理參數之測定，做為將來苗木直播或栽植時之參考依據。

## 九、結論

本研究目前試驗結果顯示以瓊崖海棠、海欖果、欖仁、福木、苦楝以及台灣海桐為試驗材料，六種苗木之種子於苗圃試驗地發芽率皆高於現場試驗地，二試驗地中又以福木的發芽率為最低。在生理參數方面，其最大光合速率皆隨所處光度的提高而上升，當中又以欖仁為最高，可達  $19.24 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，高光度處理下僅苗圃試驗地欖仁與現場試驗地之海欖果之  $F_v'/F_m'$  於傍晚時可回復至 0.7 以上，顯示其 PSII 效率下降只是暫時性。其葉綠素含量於不同光度處理之變化類似，皆呈現隨光度降低葉綠素含量會

增加、葉綠素 a/b 會下降，類胡蘿蔔素/葉綠素 a+b 則隨光度增加而提高，以達到增加光保護之能力。在形態生長參數方面，二地試驗苗木之 SLA 皆有隨處理光度降低而遞增之趨勢。

綜合上述生理參數之結果，欖仁於海岸林分應可栽植或直播於大孔隙或空曠處，海欖果及瓊崖海棠則較適合用於相對光度 20 %-40 % 間的小孔隙處。惟目前仍為試驗期間，對於苗木種子之品質良窳與直播苗之生長情形及生理現象仍待進一步試驗以及收集相關資料予以釐清，以提昇林分之保護功能，現存海岸林之更新宜以育成混合樹種之複層林為目標，利用原生或已馴化且可天然更新之多樣樹種，並搭配下年度所舉辦海岸防風林更新技術研討會之各專家學者之意見，以營建歧異性高且具生態穩定性之海岸林林相。

## 十、研究團隊說明

<u>機關名稱</u>	<u>單位名稱</u>	<u>主持人</u>	<u>職稱</u>
國立中興大學	森林系	廖天賜	副教授

<u>機關名稱</u>	<u>單位名稱</u>	<u>研究人員</u>	<u>職稱</u>
國立中興大學	森林系	廖天賜	副教授
國立中興大學	森林系	陳宜敏	助理
國立中興大學	森林系	張皓甯	研究生
國立中興大學	森林系	洪淑婷	研究生
國立中興大學	森林系	陳奐存	研究生
國立中興大學	森林系	張佳文	研究生
國立中興大學	森林系	鍾一榮	研究生
國立中興大學	森林系	林亮君	研究生

## 十一、參考文獻

- 王相華。1995。不同光度對四種季風雨林樹種幼苗生長及形態之影響。林業試驗所研究報告季刊 10(4)：405-418。
- 王相華、郭耀綸、潘順勇。1997。墾丁高位珊瑚礁森林樹冠疏開對二十種樹木種子發芽的影響。台灣林業科學 12(3)：299-307。
- 王志斌、許原瑞、陳財輝。2008。營造四湖海岸生態園區。環境綠化 48: 56-61。
- 朱木生。1995。台東木麻黃海岸林現況(三)木麻黃之天然更新介紹。台灣林業。21(7): 36-41。
- 朱珮綺、許博行。2005。次生林下小苗對光能的利用與耐陰性之探討。林業研究季刊 27 (2)：23-34。
- 何坤益。2006。台灣海岸林造林之撫育管理。台灣林業 32(1): 40-43。
- 林登秋、江智民。2002。半球面影像在森林生態研究的應用。台灣林業科學 17(3): 387-400。
- 李威震、王兆桓。2007。東北部海岸保安林木麻黃林分調查分析。台灣林業。33(5): 15-24。
- 邱祈榮、趙明君、林朝欽、陳財輝。2007。林分孔隙分布圖之繪製及其應用探討：以花蓮德燕海岸林為例。台灣林業科學。22(2): 159-172。
- 林睿思。2007。台中港區木麻黃天然更新可行性之研究。中興大學碩士論文。
- 洪富文、游漢明、馬復京、張慧玲。1994。福山次生樟櫨林的果實雨。林業試驗所研究報告季刊。9(4)：339-347。
- 姚曉文。2010。冠層孔隙下之微環境變化及闊葉樹苗木之反應。國立台灣大學生物資源暨農學院森林環境暨資源學系。碩士論文。
- 范貴珠、許博行、張峻德。2002。土壤鹽度對欖李苗木葉綠素螢光反應及

- 呼吸作用之影響。台灣林業科學 17(3)：323-35。
- 唐勇、曹敏、張建侯、盛才余。1998。西雙版納白背桐次生林土壤種子庫、種子雨研究。植物生態學報。22(6)：505-512。
- 馬復京、張乃航 (1996) 福山天然闊葉林的更新。林試所簡訊。3(5)：3-6。
- 許博行。2006。海岸木麻黃林分易衰老原因之探討。台灣林業。32(2): 40-44。
- 許立勳。2008。不同光度環境對三種海岸林樹種苗木生理之反應。中興大學森林學系碩士論文。58 頁。
- 張乃航、馬復京、游漢明、許原瑞。1998。福山地區次生闊葉林土壤種子庫及幼苗動態。台灣林業科學。13(4): 279-289。
- 張乃航。1996。光照效應對台灣赤楊、山黃麻及構樹種子發芽的影響。台灣林業科學 11(2)：195-199。
- 張照群。2007。溪頭地區柳杉人工林不同冠層結構開闊度之微環境變化、種子發芽及苗木之生長表現。國立臺灣大學森林環境暨資源學系碩士論文。9-10 頁。
- 張桓顥。2007。紅檜及台灣扁柏苗木在不同光度及養分及下馴化之生長、光合作用及葉綠素螢光表現。國立台灣大學森林環境暨資源學系碩士論文。
- 彭世賢、曾繁絢、郭耀綸。2007。南仁山迎風坡森林小苗短期更新動態及其受颱風的影響。國家公園學報 17(2)：15-25。
- 黃秀鳳、黃文達、許明晃、楊志維、趙璧玉、張新軒、蔡養正、楊棋明。2004。三種不同顏色甘藷葉片葉綠素合成能力之分析。作物、環境與生物資訊 1:47-54。
- 郭耀綸、楊月玲、吳祥鳴。1999。墾丁熱帶森林六種樹苗生長性狀及光合作用對光量的可塑性。台灣林業科學。14 (3): 255-273。
- 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 (2): 143-151。
- 郭幸榮。2003。植物在逆境下的生存策略。科學發展 366 期。
- 郭耀綸、賴幸榆。2008。南仁山森林不同耐陰性樹苗光合作用性狀及其對光量的可塑性。國家公園學報 18(1)：11-21。
- 郭耀綸。2009。光資源對林木生長及光合作用性狀的影響。種苗與造林技術之研究與挑戰研討會。99-116 頁。
- 游智偉、劉興旺、楊正釗、郭幸榮。2009。生長在不同光度及施肥量下闊葉樹苗木之光合作用及葉綠素螢光表現。中華林學季刊 42(2): 267-282。
- 陳財輝。2001。桃園縣飛砂防止保安林應加強的措施。現代育林 16(2): 31-35。
- 陳財輝、黃隆明。2006。花蓮海岸防風保安林功能及營造對策。台灣林業 32(1): 17-25。
- 陳財輝。2007。桃園海岸飛砂之移動及其安定對策探討。第二屆環境保護林經營管理研討會論文集。4-18 頁。
- 陳財輝。2007。海岸木麻黃林演替及人工更新技術之研究。行政院農委會林業試驗所 96 年度自辦科技計畫。7-9 頁。
- 陳財輝。2008。人工海岸保安林復舊。林業研究專刊。15 (1): 18-21。
- 陳財輝、韓明琦。2010。台灣的海岸林。第五屆環境保護林經營管理研討會論文集。3-16 頁。
- 鄭石先。2006。台灣海岸砂地造林實務經驗談。台灣林業。32(1): 36-43
- 廖玉琬、徐善德。1999。植物生理學。啟英文化。434-435 頁。
- 廖天賜、張安邦、翁仁憲。2002。遮陰對大葉楠與香楠苗木光合作用及生理的影響。林業研究季刊 24(1)：1-10。
- 鄧書麟、何坤益、陳財輝、王志斌、高銘發。2005。台灣西海岸防風林造林策略與樹種之選介。台灣林業。31(1): 62-67。

- 鄧書麟、沈勇強。2006。台灣海岸林經營面臨之困境與對策探討。台灣林業。32(4): 3-8。
- 鄧書麟、沈勇強、何坤益、呂福原、李玟樑。2007。四湖海岸木麻黃林下海欖果天然更新特性之研究。第二屆環境保護林經營管理研討會論文集。151-175 頁。
- 劉崇瑞、蘇鴻傑。1992。森林植物生態學。臺灣商務出版社。共 462 頁。
- 劉賢祥。1996。植物生理學。徐氏基金會出版。
- Albanesi, E., O. I. Gugliotta, I. Mercurio and R. Mercurio. 2005. Effects of gap size and within-gap position on seedlings establishment in silver fir stands. *Forest* 2(4): 358-366.
- Rankin and Tramer . 2002. The gap dynamics of canopy trees of a *Tsuga canadensis* forest community. *Northeastern Naturalist* 9(4): 391-406.
- Brodribb, T. J, T. S. Feild and G. J. Jordan. 2007. Leaf maximum photosynthetic rate and venation are linked by hydraulics. *Plant Physiology* 144:1890-1898.
- Demmig-Adams, B., W. W. Adams III, D. H. Barker, B. A. Logan, D. R. Bowling and A. S. Verhoeven. 1996. Using chlorophyll fluorescence to assess the fraction of absorbed light allocated to thermal dissipation of excess excitation. *Physiologia plantarum* 98: 253-264.
- Dalling, J. W., M. D. Swaine and N. C. Garwood. 1997. Soil seed bank community dynamics in seasonally moist lowland tropical forest, Panama. *J. Trop. Ecol.* 13: 659-680.
- Farmer, N. E. 1997. *Seed Ecophysiology of Temperate and Boreal Zone Forest Trees*. St. Lucie Press, Delray Beach, Florida. P.
- Frazer, G. W., C. W. Canham and K. P. Lertzman. 1999. Gap light analyzer (GLA), vers. 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap

- light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation. Burnaby, British Columbia: Simon Fraser University and Millbrook, New York: Institute of Ecosystem Studies. p. 21.
- Guo, L. B. and R. E. H. Sims. 2001. Effects of light, temperature, water and meatworks effluent irrigation on eucalypt leaf litter decomposition under controlled environmental conditions. *Applied Soil Ecology*. 17:229-237.
- Gray, A. N., T. A. Spies and M. J. Easter. 2002. Microclimatic and soil moisture responses to gap formation in coastal douglas-fir forest. *Canadian Journal of Forest Research* 32: 332-343.
- Gyimah, R. and T. Nakao. 2007. Early growth and photosynthetic responses to light in seedlings of three tropical species differing in successional strategies. *New Forests* 33: 217-236.
- Heraud, P. and J. Beardall. 2000. Changes in chlorophyll fluorescence during exposure of *Dunaliella tertiolecta* to UV radiation indicate a dynamic interaction between damage and repair processes. *Photosynthesis Research* 63(2): 123-134.
- Kozlowski, T. T. 2002. Physiological ecology of natural regeneration of harvested and disturbed forest stands: implications for forest management. *Forest Ecology and Management* 158:15-221.
- Matsuki, S., K. Ogawa, A. Tanaka and T. Hara. 2003. Morphological and photosynthetic response of *Quercus crispula* seedlings to high-light conditions. *Tree physiology* 23:769-775.
- Masoud, T., F. Payam, E. Kambiz, S. Jeroen and N. Lieven. 2005. Response of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) seedlings to canopy gap size. *Forestry* 78(3): 1-8.
- Martinez-Carrasco, R., J. Sanchez-Rodriguez and P. Perez. 2002. Changes in



- chlorophyll fluorescence during the course of photoperiod and in response to drought in *casuarina equisetifolia* forst. *Photosynthetica* 40(3): 363-368.
- Marijke van Kuijk, A N. P. R. Anten A R. J. Oomen A D. W. van Bentum A M. J. A. Werger. 2008. The limited importance of size-asymmetric light competition and growth of pioneer species in early secondary forest succession in Vietnam. *Oecologia*. 157: 1-12.
- Müller, P., X. P. Li and K. K. Niyogi. 2001. Non-photochemical quenching. A response to excess light energy. *Plant physiology*. 125:1558-1566.
- Naramoto, M., S-I Katahata, Y. Mukai and Y. Kakubari. 2006. Photosynthetic acclimation and photoinhibition on exposure to high light in shade-developed leaves of *Fagus crenata* seedlings. *Flora* 201: 120-126.
- Ibáñez, I. and E. W. Schupp. 2002. Effects of litter, soil surface conditions and microhabitat on *Cercocarpus ledifolius* Nutt. Seedling emergence and establishment. *J. Arid Environ.* 52:209-221.
- Roháček, K. and M. Barák. 1999. Technique of the modulated chlorophyll fluorescence: basic concept, useful parameters, and some applications. *Photosynthetica* 37(3): 339-363.
- Smith, A. P., K. P. Hogan and J. R. Idol. 1992. Spatial and temporal Patterns of light and canopy structure in a lowland tropical moist forest. *The association for tropical biology and conservation* 24(4):503-511.
- Sanchez-Gomez, D., F. Valladares and M. A. Zavala. 2006. Functional traits and plasticity in response to light in seedlings of four Iberian forest tree species. *Tree Physiology* 26: 1425-1433.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2002. *Plant Physiology*. 3rd ed. Sinauer Associates, Sunderland. PP. 227-249.
- Watt, A. S. 1947. Pattern and process in the plant community. *Journal of*

Ecology 35: 1-2.

Wang, G. G. and W. L. Bauerle. 2006. Effects of light intensity on the growth and energy balance of photosystem II electron transport in *Quercus alba* seedlings. *Annals of Forest Science* 63: 111-118.

Yamamoto, S. I. 1992a. Gap characteristics and gap regeneration in primary evergreen broad-leaved forests of western Japan. *Bot. Mag. Tokyo* 105:29-45.

Yamamoto, S. I. 1992b. The gap theory in forest dynamics. *Bot. Mag. Tokyo* 105:375-383.

## 十二、附錄一 現場試驗地



定樣區中心點量取林分結構並量測魚眼計算樣區開闊度



於新植苗木間直播種子之情況





量測新植苗木之基本性狀



現場試驗地直播苗生長狀況





現場試驗地雜草生長情形



現場試驗地量測生理性狀之情況



## 苗圃試驗地



苗圃試驗地之直播情形

## 附錄二

### 100 年度委託研究計畫期中報告委員審查意見辦理情形表

計畫編號：100-00-5-02

計畫名稱：台灣西部海岸防風林更新作業法之研究(2/3)

審查意見	意見回覆
種子在室內的發芽檢驗及林地的播種試驗是否為同一批種子？請增加室內發芽檢驗之重覆數。	是為同一批種子。並遵照辦理。謝謝。
孔隙內光度變化大，測定困難，本研究如何測定？	本試驗於樣區內逢機選取 15 個樣點，予以平均之。
大孔隙與小孔隙之定義為何？	已補於內文 p20，謝謝。
表 1、2、3 之林木株數請換算成每公頃株數？	遵照辦理。謝謝。
周遭小草要掃除以免妨害。避免除草作業傷害林木。	遵照辦理。謝謝。

## 100 年度委託研究計畫期末報告委員審查意見辦理情形表

計畫編號：100-00-5-02

計畫名稱：台灣西部海岸防風林更新作業法之研究(2/3)

審查意見	意見回覆
大孔隙、小孔隙之定義為何？	已補於內文 p20，謝謝。
P. 31(表 5)開闊度與相對光度之檔線建議刪除。	遵照辦理。謝謝。
P. 21 是否補種柿樹之種子？	是的，已於 2011 年 9 月補種之，謝謝。
P. 20 現場播種時間為何？	直播時間為 2011 年 5 月，謝謝。
圖 3(P. 18)與圖 4(P. 20)圖片文字不清楚，建議以 1 整年為期間，表示 2010 年 12 月到 2011 年 11 月的氣象資料？	遵照辦理。謝謝。
引用文獻有遺漏者請補填	遵照辦理。謝謝。
P. 32(二)「種子生活力檢驗」所列結果(表 6)為發芽率，建議改成「種子發芽率檢驗」	遵照辦理。謝謝。
有關新植苗木的生長表現(表 3、4，P. 29)，建議改以淨生長或相對生長來表示。	此數據為試驗前之基礎資料。謝謝。
P. 19 大小孔隙的相對光度測量及計算方式並不妥適，此累積光量來比較較為正確，而且要說明測點在孔隙位置	未來會遵照委員之意見予以辦理。謝謝。