

平地造林試驗研究監測

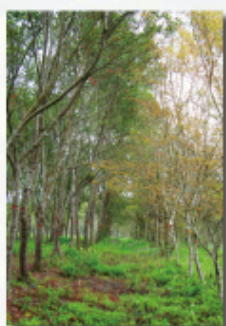
研討會論文集

時 間：2012年11月1日(四)

地 點：行政院農業委員會林業試驗所 森林保育大樓12樓國際會議廳

主辦單位：行政院農業委員會林業試驗所

協辦單位：行政院農業委員會林務局、台灣糖業股份有限公司



平地造林試驗研究監測研討會 論文集

時 間：2012 年 11 月 1 日(星期四)

地 點：行政院農業委員會林業試驗所 森林保育大樓 12F 國際會議廳

主辦單位：行政院農業委員會林業試驗所

協辦單位：行政院農業委員會林務局、台灣糖業股份有限公司

行政院農業委員會林業試驗所 編印

平地造林試驗研究監測研討會

時間：101 年 11 月 1 日（星期四）

地點：林業試驗所 森林保育大樓 12F 國際會議廳

議程

時間	議程	演講者
08:30-09:20	報到	
09:20-09:30	貴賓致詞	
Session 1 主持人	林國銓副所長	
09:30-09:55	平地造林重要樹種林分密度與生長特性	邱志明組長
09:55-10:20	速生桉樹品系抗蟲與生長之表現	鍾振德博士
Break 10:20-10:40		
Session 2 主持人	何政坤組長	
10:40-11:05	平地造林土壤之監測	杜清澤
11:05-11:30	屏東林後平地造林調節溫度特性	盧惠生組長
11:30-11:55	大農大富平地森林園區道路景觀視覺偏好分析	謝漢欽主任
Lunch 11:55-13:30		
Session 3 主持人	林俊成組長	
13:30-13:55	綠色造林對森林生態系服務價值之效益評估	吳俊賢主任秘書
13:55-14:20	平地造林與毗鄰農地病蟲害監測分析	吳孟玲組長
14:20-14:40	花蓮平地森林鳥類群聚及廊道利用研究	葛兆年博士
14:40-15:00	從鼠種組成與相對數量探討大農、大富農場人工林之生態經營	陳一銘
Break 15:00-15:15		
Session 4 主持人	黃國雄組長	
15:15-15:40	造林木之綜合工藝應用	王瀛生博士
15:40-16:00	以台灣檫平地造林修枝材開發工藝產品	陳垣璋
16:00-16:20	平地造林修枝條運用於學童教具開發之探討－以台灣檫造林木為例	龔琮勝
16:20-16:45	花蓮縣林農參與平地造林之態度分析	王培蓉博士
綜合討論 16:45-17:20		黃裕星所長

【目錄】

平地造林重要樹種林分密度與生長特性·····	1
(邱志明、鍾智昕、唐盛林、呂明倫、王慈憶)	
速生桉樹品系抗蟲與生長之表現·····	20
(鍾振德、許原瑞、蔡佳彬、魏濟昀、石鳳嬌、葉翠華)	
平地造林土壤之監測·····	28
(杜清澤、王巧萍、曾聰堯、黃菊美、林國銓)	
屏東林後平地造林調節溫度特性·····	40
(盧惠生、林介龍、林壯沛)	
大農大富平地森林園區道路景觀視覺偏好分析·····	55
(謝漢欽、汪大雄、李靜怡)	
綠色造林對森林生態系服務價值之效益評估·····	63
(吳俊賢、王培蓉、陳溢宏)	
平地造林與毗鄰農地病蟲害監測分析結果·····	71
(吳孟玲、莊鈴木)	
花蓮平地造林之鳥類群聚比較及鳥類移地返家研究·····	80
(葛兆年、許詩涵、鄭惟仁、山馥嫻)	
從鼠種組成與相對數量探討大農大富人工林生態經營·····	95
(陳一銘、葉文琪、鄭浩鈞)	
造林木之綜合工藝應用·····	103
(王瀛生)	
以台灣櫟平地造林修枝材開發工藝產品·····	116
(陳垣璋、王瀛生、黃俊傑、林錦盛)	
平地造林修枝材運用於學童教具開發之探討－以台灣櫟造林木為例·····	125
(龔琮勝、王瀛生、江吉龍、黃俊傑)	
花蓮縣林農參與平地造林之態度分析·····	135
(王培蓉、黃名媛)	

平地造林重要之樹種林分密度與生長特性

邱志明^{1*} 鍾智昕² 唐盛林² 呂明倫² 王慈憶²

【摘要】

調查花蓮大富大農地區 9-10 年生，12 種樹種 83 個樣區及屏東地區 6-9 年生，10 個樹種，74 個樣區之胸徑、樹高及材積總生長。檢測兩地區 16 種樹種 157 個樣區，發現不同生長性狀，不同地區，樹種、地區和樹種之交感效應差異皆極顯著，顯示不同樹種在不同地區各有其最適之生長。進行樹木 7-10 年或 6-9 年間，3 年之平均連年生長及枯死率分析，地區間、樹種間及地區和樹種之交感效應，各性狀及枯死率差異亦皆極顯著。花蓮地區材積連年生長，以杜英最高 9.26 m³/ha/yr，苦楝和檫木最差 1~3 m³/ha/yr。枯死率則以檫木和苦楝最高達 4~5 %/yr，最低者為楠木、陰香、光蠟樹、楓香、茄苳，皆在 1 %/yr 以下。屏東地區材積連年生長則以桃花心木生長最佳，達到 18.4 m³/ha/yr；株數年枯死率以杜英最高達到 17.4 %，最低者為印度紫檀、光蠟樹、黃連木 1 %左右。

花蓮地區 9 或 10 年生，12 種樹種胸徑連年生長量均已超過最大期，而低於平均生長量，但材積生長，除苦楝外，連年生長均大於平均生長量，顯示材積連年生長量尚在上升中。屏東地區，胸徑除杜英及檫木外，平均生長量均已超過連年生長量，而材積除苦楝、楓香、烏心石外，其餘樹種連年生長仍在上升中。另由完整 3 年之材積生長趨勢可發現花蓮地區之赤楊、楓香，屏東地區之桃花心木之生長趨勢有後來居上之勢，而花蓮之杜英生長趨勢已有下降之勢。另由不同林分密度胸徑和材積之總生長可做為一指標，瞭解造林木樹冠是否鬱閉，是否產生競爭，是否該進行疏伐及瞭解立地環境變異之狀況。

【關鍵詞】平地造林、林分密度、生長性狀、枯死率

^{1*}行政院農業委員會林業試驗所森林經營組研究員兼組長，台北市南海路 53 號，*通訊作者。

²行政院農業委員會林業試驗所森林經營組助理研究員，台北市南海路 53 號。

一、前言

政府為因應我國加入 WTO 後，國內農業產業結構調整，針對釋出農地，輔導農民及農企業造林，配合獎勵與補貼，紓解農產品產銷失衡現象，於 2002（民國 91 年）起，推動「平地景觀造林及綠美化計畫」。2007 年亞太經濟合作組織會議決議，在 2020 年前會員體區域森林覆蓋面積要增加 2,000 萬公頃，期能藉由造林來減緩大氣二氧化碳上升的速度。同時，政府在擘劃「台灣經濟新藍圖系列」時，於 97 年度起推動「愛台 12 建設」，其中第 10 項即為綠色造林，期望 8 年內造林 6 萬公頃，增加平原地區森林覆蓋率，植林減碳，增加碳吸存效益，並提升木材自給潛力，落實自然生態保育、生態景觀及生活環境之維護，兼顧公益性、經濟性與社會性，使綠資源生生不息永續利用。

為減緩氣候暖化的現象，其方法可由 CO₂ 減量(CO₂ mitigation)及環境保護(environmental protection)著手。在減量方法上，可從調整產業結構，積極評估能源使用效率，抑制能源不當消耗來進行，但此種方法將可能對國家整體經濟產生較大的衝擊，同時減量所需成本也較高。因此，促進可持續的森林管理策略，加強造林和再造林以吸存大氣 CO₂ 之環境適應方法，便成為一個值得重視的課題。全球森林面積逐漸減少、氣候變遷、極端氣候為常態和物種滅絕都是未來人類生存環境所需面對嚴苛之挑戰。對全球大部份的國家而言，森林是它們重要的自然資源，也是環境保護的最佳屏障。隨著人們生活水準的提升，社會環境的變遷，台灣森林的角色也逐漸改變，故研擬綠色造林計畫之願景，據以增加全台森林覆蓋面積，提升環境品質，營造自然美麗的綠色鄉野，結合生態、生活、生產活動於一體之農林業經營方式，發展平地綠境休閒產業，活絡綠資源產業生機。

台糖公司為配合政府政策，規劃釋出生產效益低之邊際土地造林，累計至民國 100 年已達 12,101 公頃，在全台 8 區處中，造林面積最大 2 區處為屏東區處 3,949 公頃及花蓮區處 2,118 公頃（黃錦宗，2011）。目前這些是林地已開始面臨林分密度適當控制，需要疏伐，以及收穫利用等問題。同時，林木栽植初期以成活率為檢驗標準之考量，已經無法符合現況需求。本計畫目的為調查監測重要平地造林樹種、不同地區（立地環境）、不同林分密度、不同林齡之林木各項生長動態，以建立林木生長與林齡、林分密度及地位間，各項生長性狀間之關係，提供林木中後期撫育經營管理、平地碳吸存估算及平地造林政策檢討修正之參據。

二、材料方法

（一）總生長

調查造林面積最大之花蓮及屏東地區，針對平地造林面積最多之 16 種重要造林樹種，杜英(*Elaeocarpus sylvestris* (Lour.) Poir.)、光蠟樹(*Fraxinus griffithii*)、楓香(*Liquidambar formosana* Hance)、牛樟(*Cinnamomum kanehirae*

Hayata)、黃連木(*Pistacia chinensis* Bunge)、烏心石(*Michelia compressa* (Maxim.) Sargent)、欖木(*Zelkova serrata* (Thunb.) Makino)、苦楝(*Melia azedarach* Linn.)、樟樹(*Cinnamomum camphora* (L.) Presl.)、印度紫檀(*Pterocarpus indicus* Willd.)、桃花心木(*Swietenia mahagoni* (L.) Jacq.)、楠木(*Machilus japonica* Sieb. & Zucc. var. *kusanoi* (Hayata) Liao)、茄苳(*Bischofia javanica* Bl.)、陰香(*Cinnamomum burmannii* (Nees) Bl.)、台灣欒樹(*Koelreuteria henryi* Dummer)、赤楊(*Alnus formosana* (Burkill) Makino)。不同林分密度、立地環境設置樣區，造林年度為 91 及 92 年，樣區面積為 0.05 ha (20x25 m²)，樣區數配合樹種造林面積而定，共進行花蓮地區 12 種樹種 83 個樣區(表 1)，屏東地區 10 個樹種，74 個樣區之設置與調查(表 2)。調查項目如下：

1. 單木生長：胸徑、樹高、枝下高、樹冠幅、樹冠長。
2. 林分生長：每公頃株數、斷面積、材積、成活率或枯死率。

(二) 淨生長與枯死率

調查 98 年樣區設置，經 99、100、101 年 3 年之生長，滿 3 年，共完成 4 次調查，花蓮地區共 12 樹種，53 個樣區，屏東地區 10 種樹種，39 個樣區，兩地區合計 92 個樣區，調查項目為(一)之 1 及 2 項。

(三) 連年生長與平均生長

1. 連年生長量(current annual increment)：一般以(2)式定期平均生長量取代(1)式。

$$c.a.i = G_{n+1} - G_n \quad \text{..... (1)}$$

式中之 G_{n+1} ：第 $n+1$ 年生之大小

G_n ：第 n 年生之大小

2. 定期平均生長量(periodic annual increment)：定期生長量被定期年數所除得之商。

$$p.a.i = \frac{G_{n+p} - G_n}{p} \quad \text{..... (2)}$$

式中之 G_{n+p} ：第 $n+p$ 年生之大小

G_n ：第 n 年生之大小

P ：定期年數

由於連年生長量僅為一年間之生長量，數量微小，測定困難，一般多使用定期平均生長量代替連年生長量。

3. 總平均生長量(mean annual increment)：簡稱平均生長量。

$$m.a.i = \frac{G_n}{n} \quad \text{..... (3)}$$

式中之 G_n ：第 n 年生之大小

n ：林木林齡

(四) 胸徑與樹高關係式

實測樣區樣木胸高直徑，並以測高桿實測樹高，因林木尚屬幼齡 10 年生以下，故以無截距之直線式，進行樹高與直徑關係式之推估， $H=aD$ ，(H 為樹高，D 為胸高直徑，a 為參數)。

三、結果與討論

(一) 總生長

1. 花蓮地區

完成花蓮縣光復鄉台糖大富和大農農場 9 或 10 年生，12 種樹種，83 個樣區(不含疏伐樣區)之調查。每一樹種樣區之多寡，原則上依不同樹種造林面積之大小而設置，其中以櫟木 24 樣區及光蠟樹 22 樣區最多，再次為杜英、楓香。結果如表 1 及圖 1~4 所示。

(1) 每公頃成活株數：不分樹種，目前每公頃成活株數 620~1430 株，平均每公頃株數為 1123 株，標準差 236 株，經變異分析，不同樹種成活株數差異極顯著(F 值 4.1， $P<0.01$)，其中以楠木每公頃 1430 株最高，陰香及杜英 1300 株以上，台灣欒樹、光蠟樹、烏心石、茄苳、楓香、櫟木在 1000~1300 株間；再次為苦楝及樟樹，分別為 833 株及 920 株；最差為赤楊 620 株。另由標準差大小及變異係數(標準差/平均值)發現，楓香、櫟木、茄苳、苦楝之變異係數皆在 20 % 以上，顯示不同樹種不同立地環境影響其每公頃成活株數甚鉅(陳明義等，2004)。

(2) 胸徑：不分樹種，樣區平均胸徑範圍 7.9~13.5 cm，平均胸徑 10.7 ± 2.01 cm；經變異分析顯示，各樹種生長差異極顯著，F 值 16.1；進一步以鄧肯測驗檢測，以杜英、赤楊、茄苳胸徑生長最快，皆在 13.0 cm 以上，烏心石 12.4 cm，樟樹、楓香約 11.0 cm，最小為櫟木及苦楝約在 8.0 cm 左右，其餘樹種 8.7~10.3 cm 間。另由樣區數較多樹種櫟木、光蠟樹、杜英、楓香之標準差及變異係數知，光蠟樹、櫟木變異係數在 18 % 左右，杜英及楓香變異係數在 9~10 %，即光蠟樹及櫟木不同樣區之生長狀況較不均整。

(3) 樹高：不分樹種，樣區平均樹高範圍 5.7~9.3 m，平均 7.2 ± 1.19 m，各樹種經變異分析，F 值 16.6， $P<0.01$ ，差異極顯著，進一步以鄧肯測驗檢測，以赤楊及杜英最高，9.0 m；光蠟樹、楓香、樟樹 7.5~7.8 m，櫟木、茄苳、楠木最低為 5.7~5.9 m，其餘樹種在 6.3~7.2 m 間。由樣區數較多之櫟木、光蠟樹、杜英、楓香發現，其變異係數同胸徑一樣，光蠟樹及櫟木分別為 13.7 % 及 12.3 %，杜英 7.8 %，楓香 7.1 %。另樣區變異係數之高低，受限樣區數之多寡，樣區分散或集中及立地環境之變異所造成。

(4) 材積：12 種樹種，每公頃材積範圍 15.2~73.2 m^3 ，不同樹種每公頃

材積生長差異較大，達到 5 倍之多，平均為 $37.47 \pm 15.33 \text{ m}^3$ 。變異分析 F 值 13.9， $P < 0.01$ ，以杜英 $73.19 \text{ m}^3/\text{ha}$ 最大，烏心石、楓香、陰香、赤楊、茄苳次之，約 $40.0 \sim 50.0 \text{ m}^3/\text{ha}$ ；櫟木及苦楝最低約 $15.2 \text{ m}^3/\text{ha}$ ，其餘樹種在 $30 \sim 35 \text{ m}^3/\text{ha}$ 之間。另由標準差及變異係數，光蠟樹及櫟木變異係數均在 40 % 以上，楓香 36.2 %、杜英 23.7 %，顯現其變化同胸徑及樹高一樣，且變化更大。由此可知，雖同為花蓮光復鄉大富大農地區，不但不同樹種有差異，相同樹種、相同樹齡其生長狀況差異亦很大，主因為選種、撫育及立地環境所造成，唯若前二者選種及撫育方法相同，則差異之主因，即為立地環境(Nyland,2002)。

2. 屏東地區

屏東縣四林、萬隆及泰和農場 9 年生(92 年造林)平地造林，共調查造林面積最多之 10 種樹種，不含疏伐樣區共 74 個樣區，不同樹種每公頃成活株數及各項生長性狀如表 2，圖 1~4 所示。

- (1) 每公頃成活株數：10 種樹種，每公頃成活株數範圍 685~1405 株，最低和最高差距 2 倍，不分樹種平均每公頃株數 1098 ± 203 株。變異分析 F 值 4.57，以光蠟樹、楓香最高在 1300 株/ha 以上，黃連木 1227 株/ha，印度紫檀、杜英、苦楝約 1100 株/ha，牛樟最低 685 株/ha，其餘樹種約在 1000 株/ha 左右。另由樣區數較多之 6 以上樹種，印度紫檀、桃花心木、苦楝及櫟木，標準差和平均值換算成變異係數發現，印度紫檀 10.3 %、桃花心木 24.2 %、苦楝 16.2 %、櫟木 26.8 %。可發現櫟木及桃花心木不同樣區成活株數差異較大，而印度紫檀較均整。
- (2) 胸徑：10 種樹種樣區平均胸徑範圍 8.4~14.1 cm，平均 11.0 ± 2.02 cm，變異分析 F 值 28.6， $P < 0.01$ ，差異極顯著。以牛樟及桃花心木最高，分別為 14.1 及 13.5 cm，烏心石、苦楝、杜英及光蠟樹約在 11.1~12.3 cm，最低為櫟木 8.4 cm，楓香 8.5 cm，印度紫檀及黃連木 9.0~9.5 cm。上述樹種生長快慢趨勢和廖宜緯等(2011)對屏東地區平地造林樹種印度紫檀、桃花心木、光蠟樹、苦楝生長快慢趨勢一致。
- (3) 樹高：10 種樹種，樣區樹高範圍 5.7~9.8 m，不分樹種平均 7.8 ± 1.5 m，變異分析 F 值 43.8， $P < 0.01$ ，差異極顯著。以苦楝、桃花心木及光蠟樹最高 9.5~9.9 m，杜英、烏心石、楓香及印度紫檀 7.3~7.9 m，牛樟最低 5.7 m，其次為黃連木及櫟木 6.4 m。
- (4) 材積：10 種樹種每公頃材積範圍 $20.55 \sim 73.45 \text{ m}^3$ ，高低差距約 3.5 倍。平均每公頃材積 $42.28 \pm 17.88 \text{ m}^3$ ，變異分析 F 值 16.7， $P < 0.01$ ，樹種生長差異極顯著。桃花心木最高達 $73.45 \text{ m}^3/\text{ha}$ ，光蠟樹及苦楝約 $61 \text{ m}^3/\text{ha}$ ，杜英及烏心石居中 $43 \sim 46 \text{ m}^3/\text{ha}$ ，最低為櫟木 20.55

m^3/ha ，其餘楓香、牛樟、黃連木、印度紫檀在 $26\sim 32 \text{ m}^3/\text{ha}$ 。另由圖 4 標準差及變異係數知，杜英、光蠟樹、欖木、桃花心木變異係數皆在 30%以上，可見不同立地環境林分生長差異頗大。

3. 兩地區比較

花蓮及屏東地區共完成 9 或 10 年生 16 種樹種 157 個樣區，如表 1，表 2，圖 1~4 所示。經變異數分析顯示，表 3 在不同地區每公頃成活株數，胸徑、樹高、材積之 F 值分別為 3.0，33.1，78.9 及 27.1，除每公頃成活株數之 $P = 0.084$ ，不顯著，其餘均 $P < 0.01$ ，達極顯著水準；不同樹種間，每公頃成活株數，胸徑、樹高、材積 F 值分別為 4.9，23.9，30.4，16.6，亦均達極顯著水準；地區和樹種間之交感效應，每公頃成活株數、胸徑、樹高、材積之 F 值分別為 2.5，8.1，12.5 及 10.5，除每公頃成活株數差異顯著外，亦均達極顯著水準。由此可知，不同樹種在不同地區，各有其最適生長環境。不同樹種、不同生長特性之比較，如表 4，以胸徑為例，大致分為五群，以牛樟、桃花心木、赤楊、茄苳、杜英最高 13.1 cm 以上，烏心石、樟樹、苦楝約 11~12 cm，欖木最低 8.0 cm，其餘樹種介於 9~10 cm。材積生長，鄧肯測驗大致可分為五群，以桃花心木、杜英最高 $67 \text{ m}^3/\text{ha}$ 以上，其次為苦楝、烏心石、陰香、赤楊、茄苳為 $40\sim 52 \text{ m}^3/\text{ha}$ ，最低為欖木約 $16 \text{ m}^3/\text{ha}$ ，其餘樹種介於 $30\sim 37 \text{ m}^3/\text{ha}$ ；兩地區皆有之樹種為杜英、光蠟樹、楓香、烏心石、欖木及苦楝，6 種樹種，102 個樣區，以材積為例，杜英、楓香、烏心石，花蓮地區大於屏東地區；光蠟樹、苦楝、欖木則屏東地區大於花蓮。

表 1. 花蓮地區不同樹種之生長特性

樹種	株數(株/ha)	胸徑(cm)	樹高(m)	材積(m^3/ha)	樣區數	林齡
杜英	1312 ± 109	13.5 ± 1.34	9.0 ± 0.70	73.19 ± 17.37	10	10
光蠟樹	1244 ± 171	8.7 ± 1.57	7.8 ± 1.07	32.39 ± 15.42	22	10
楓香	1131 ± 277	10.9 ± 1.00	7.8 ± 0.55	41.73 ± 15.09	7	10
烏心石	1233 ± 90	12.4 ± 1.00	6.9 ± 0.19	49.79 ± 9.64	3	9
欖木	1024 ± 243	7.9 ± 1.38	5.7 ± 0.70	15.21 ± 6.23	24	9
苦楝	833 ± 180	8.4 ± 0.21	6.3 ± 0.12	15.29 ± 3.36	3	9
樟樹	920 ± 40	11.1 ± 0.49	7.5 ± 0.35	30.45 ± 3.19	3	10
楠木	1430 ± 14	9.7 ± 0.38	5.9 ± 0.09	33.48 ± 4.48	2	10
茄苳	1125 ± 273	13.2 ± 1.20	5.8 ± 0.38	39.26 ± 14.49	4	10
陰香	1350 ± 184	10.3 ± 2.96	6.6 ± 0.73	43.05 ± 30.57	2	10
台灣欖樹	1250 ± 99	9.1 ± 2.50	7.2 ± 1.17	34.30 ± 23.65	2	10
赤楊	620	13.3	9.3	41.55	1	10
平均	1123 ± 236	10.7 ± 2.01	7.2 ± 1.19	37.47 ± 15.33		

表 2. 屏東地區不同樹種之生長特性

樹種	株數(株/ha)	胸徑(cm)	樹高(m)	材積(m ³ /ha)	樣區數	林齡
杜英	1127 ± 387	11.5 ± 0.10	7.9 ± 0.60	45.98 ± 17.53	3	9
光蠟樹	1405 ± 237	11.1 ± 0.51	9.5 ± 0.47	61.85 ± 21.24	4	9
楓香	1327 ± 110	8.5 ± 0.09	7.4 ± 0.17	26.88 ± 1.16	3	9
牛樟	685 ± 143	14.1 ± 1.88	5.7 ± 0.58	28.61 ± 6.45	4	9
黃連木	1227 ± 129	9.1 ± 0.37	6.4 ± 0.19	29.55 ± 0.86	3	9
烏心石	953 ± 153	12.3 ± 2.23	7.8 ± 1.12	43.44 ± 13.82	3	9
欖木	1027 ± 275	8.4 ± 1.24	6.4 ± 0.68	20.55 ± 8.63	6	9
苦楝	1082 ± 175	11.7 ± 0.73	9.9 ± 0.63	60.74 ± 7.14	12	9
印度紫檀	1135 ± 117	9.5 ± 0.77	7.3 ± 0.64	31.79 ± 7.53	24	9
桃花心木	1010 ± 244	13.5 ± 1.02	9.8 ± 0.57	73.45 ± 23.25	12	9
平均	1098 ± 203	11.0 ± 2.02	7.8 ± 1.50	42.28 ± 17.88		

表 3. 花蓮及屏東地區不同樹種成活株數及生長性狀之變異分析

來源		每公頃成活株數	胸徑	樹高	材積
地區	<i>F</i>	3.0	33.1	78.9	27.1
	<i>p</i> value	0.084	<.0001	<.0001	<.0001
樹種	<i>F</i>	4.9	23.9	30.4	16.6
	<i>p</i> value	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
地區*樹種	<i>F</i>	2.5	8.1	12.5	10.5
	<i>p</i> value	0.0338	<.0001	<.0001	<.0001

自由度：地區 1，樹種 15，地區×樹種 15，機差 135

表 4. 花蓮及屏東地區不同樹種成活株數及生長性狀之比較

樹種	樣區數	株數(株/ha)	胸徑(cm)	樹高(m)	材積(m ³)
杜英	13	1269 ^{ab}	13.1 ^a	8.8 ^{ab}	67.4 ^{ab}
光臘樹	26	1269 ^{ab}	9.0 ^{de}	8.1 ^{bc}	36.9 ^{cde}
楓香	10	1190 ^{abc}	10.2 ^{cd}	7.7 ^{bcd}	37.3 ^{cde}
牛樟	4	685 ^{de}	14.2 ^a	5.7 ^f	28.6 ^{de}
黃連木	3	1227 ^{abc}	9.1 ^{cde}	6.4 ^{ef}	29.6 ^{cde}
烏心石	6	1093 ^{bc}	12.3 ^{ab}	7.4 ^{cde}	46.6 ^{cd}
欖木	30	1025 ^{bc}	8.0 ^e	5.9 ^f	16.3 ^e
苦楝	15	1032 ^{bc}	11.0 ^{bcd}	9.2 ^a	51.7 ^{bc}
樟樹	3	920 ^{cd}	11.1 ^{bc}	7.5 ^{cde}	30.4 ^{cde}
印度紫檀	24	1135 ^{abc}	9.5 ^{cde}	7.3 ^{cde}	31.8 ^{cde}
桃花心木	12	1010 ^{bc}	13.5 ^a	9.8 ^a	73.5 ^a
楠木	2	1430 ^a	9.7 ^{cde}	5.9 ^f	33.5 ^{cde}
茄苳	4	1125 ^{abc}	13.2 ^a	5.8 ^f	39.3 ^{cd}
陰香	2	1350 ^{ab}	10.3 ^{cd}	6.6 ^{def}	43.1 ^{cd}
台灣欒樹	2	1250 ^{abc}	9.1 ^{cde}	7.2 ^{cde}	34.3 ^{cde}
赤楊	1	620 ^e	13.3 ^a	9.3 ^a	41.6 ^{cd}

註：同一列字母相同代表差異不顯著，字母不同代表 Duncan's test 差異顯著 ($P < 0.05$)

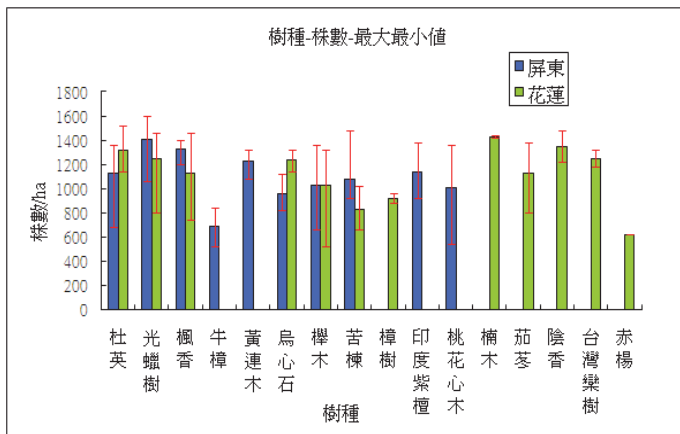


圖 1. 花蓮及屏東地區平地造林不同樹種每公頃成活株數之比較

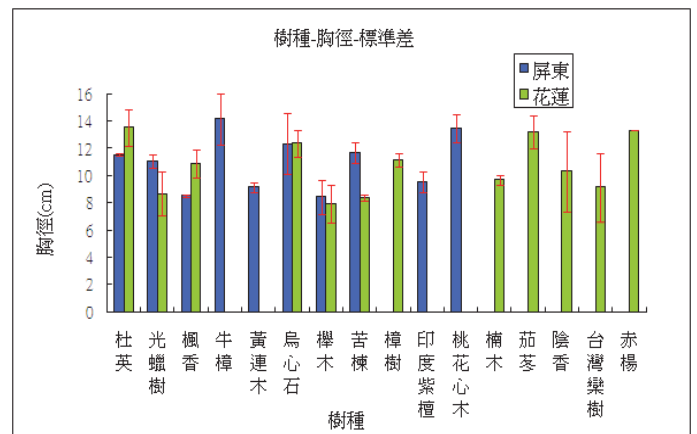


圖 2. 花蓮及屏東地區平地造林不同樹種胸徑生長之比較

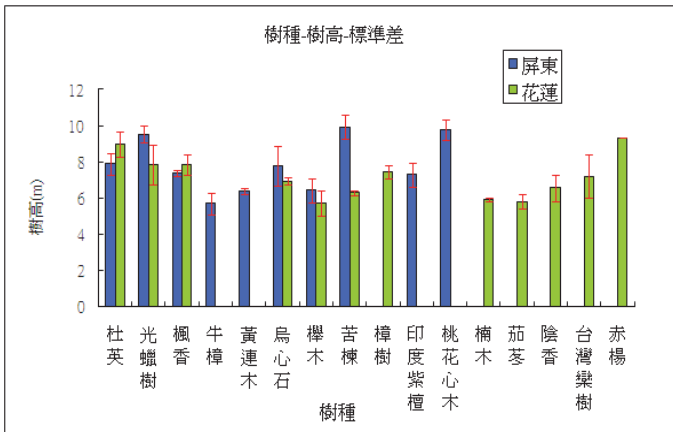


圖 3. 花蓮及屏東地區平地造林不同樹種樹高之比較

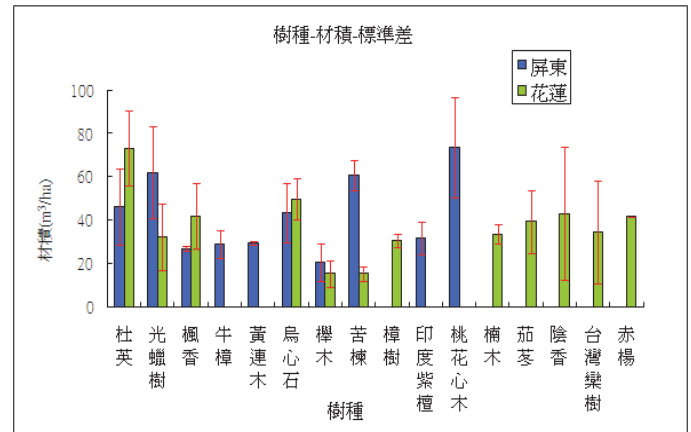


圖 4. 花蓮及屏東地區平地造林不同樹種材積之比較

(二) 淨生長與枯死率

1. 花蓮地區

樣區于 2009 年，民國 98 年設置，歷經 99、100、101 年，4 次地面實際每木調查，共 12 種樹種，53 個樣區，滿 3 年期間(7 年生-10 年生)之淨生長，除以年數，即為定期平均生長量，簡稱連年生長，如表 5。經變異數分析顯示，胸徑、樹高、材積之連年生長及平均枯死率之 F 值分別為 5.6，3.2，5.0 及 4.0， P 均小於 0.01，亦即不同樹種各種性狀連年生長差異均極顯著。如圖 5~6 所示。

7-10 年生以胸徑之連年生長為例，以赤楊、楓香、烏心石最高，達 1.0 cm/yr 以上，陰香、楠木、杜英約 0.7~0.8 cm/yr，最小為苦楝 0.4 cm/yr，其餘樹種介於中間約 0.5~0.6 cm/yr。樹高，不同樹種之變化趨勢大致和胸徑一致。材積連年生長以杜英、楓香及烏心石最大，達 8~9 m^3/yr ，其次為赤楊、陰香、楠木在 6~7 m^3/yr ，最小為苦楝、欖木、樟樹約 1~3 m^3/yr ，其餘樹種在 4~6 m^3/yr 之間。7~10 年生平均年枯死率，以欖木、苦楝最高，4~5%，其次為樟樹、台灣欒樹、赤楊約 3% 左右，枯死率最低為楠木、光蠟樹、楓香皆在 1% 以下，其餘樹種居中約 2%，其中欖木和光蠟樹枯死率和沈柔含(2011)之研究一致。

2. 屏東地區

同花蓮地區，屏東地區于 98 年設置，歷經 99、100、101 年，經 4 次調查，滿 3 年(6 年生-9 年生)之淨生長，換算連年平均生長，共 10 種樹種，39 個樣區，如表 6。經變異分析顯示其胸徑、樹高、材積及年枯死率，F 值分別為 16.0、8.4、13.2 及 9.1， P 值均小於 0.01，極顯著水準。

6-9 年生胸徑連年生長為以牛樟、杜英、桃花心木最高，達 1.4 cm/yr 以上，其次為烏心石及欖木約 1.0 cm/yr，最小為楓香 0.43 cm/yr，其餘樹種介於 0.6~0.8 cm/yr。樹高生長則以杜英最大，達 1.3 m/yr，桃花心木 0.78 m/yr 次之，最小為印度紫檀 0.27 m/yr，其餘樹種介於 0.4~0.6 m/yr。材積平均連年生長以桃花心木最大，達 18.4 m^3/yr ，最低為楓香

及櫟木約 3.0~3.5 m³/yr，其餘樹種介於 5.0~8.0 m³/yr 間。年平均枯死率以杜英最高，達 17.4%，烏心石、櫟木、牛樟約 7~11%，光蠟樹、印度紫檀及黃連木最低，在 1% 左右，其餘樹種在 3~4% 間。

表 5. 花蓮重要平地造林樹種定期生長量

樹種	樣區數	林齡	胸徑(cm/yr)		樹高(m/yr)		材積(m ³ /ha/yr)		枯死率 (%)
			平均生長	連年生長	平均生長	連年生長	平均生長	連年生長	
杜英	6	10	1.42	0.68	0.93	0.39	8.45	9.26	1.6
光蠟樹	12	10	0.91	0.50	0.82	0.44	3.63	4.92	0.5
楓香	7	10	1.09	1.02	0.78	0.59	4.17	8.22	0.8
烏心石	3	9	1.37	0.98	0.77	0.43	5.53	8.32	1.8
櫟木	10	9	0.97	0.67	0.69	0.37	2.01	2.64	4.8
苦楝	3	9	0.93	0.39	0.70	0.24	1.70	1.33	4.4
樟樹	3	10	1.11	0.57	0.75	0.46	3.04	3.28	2.9
楠木	1	10	0.99	0.74	0.59	0.29	3.66	6.09	0.0
茄苳	3	10	1.28	0.62	0.58	0.36	4.28	5.37	0.9
陰香	2	10	1.03	0.78	0.66	0.31	4.31	6.70	0.3
台灣欒樹	2	10	0.91	0.57	0.72	0.38	3.43	5.23	3.0
赤楊	1	10	1.33	1.12	0.90	0.64	3.50	6.90	2.9

表 6. 屏東重要平地造林樹種定期生長量

樹種	樣區數	林齡	胸徑(cm/yr)		樹高(m/yr)		材積(m ³ /ha/yr)		枯死率 (%)
			平均生長	連年生長	平均生長	連年生長	平均生長	連年生長	
杜英	1	9	1.38	1.42	0.85	0.87	3.64	4.88	17.4
光蠟樹	4	9	1.23	0.72	1.06	0.43	6.87	8.06	1.0
楓香	1	9	0.95	0.43	0.81	0.42	3.04	3.12	3.2
牛樟	4	9	1.57	1.52	0.63	0.56	3.18	5.31	7.1
黃連木	2	9	1.03	0.79	0.71	0.58	3.31	5.85	1.4
烏心石	2	9	1.51	1.14	0.94	0.56	5.66	5.43	11.4
櫟木	5	9	0.87	0.94	0.65	0.54	2.11	3.45	10.1
苦楝	7	9	1.32	0.64	1.13	0.42	6.67	6.59	3.1
印度紫檀	9	9	1.14	0.64	0.88	0.27	4.19	5.16	1.0
桃花心木	4	9	1.46	1.37	1.08	0.78	9.93	18.40	3.5

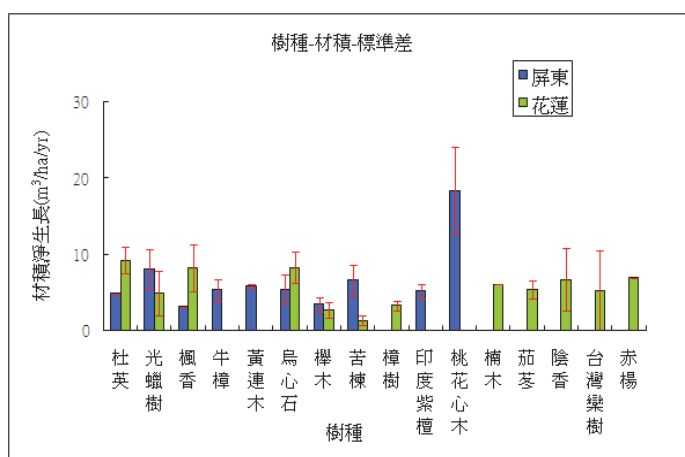


圖 5. 兩地區不同樹種材積連年生長之比較

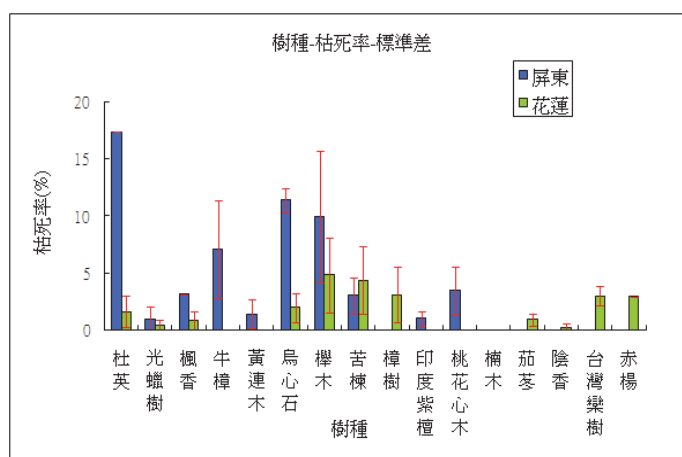


圖 6. 兩地區不同樹種年枯死率之比較

3. 兩地區比較

不同地區、不同樹種連年生長及年枯死率之變量分析如表 7 所示，不論地區、樹種或地區和樹種之交感，其各項生長性狀胸徑、樹高、材積及年枯死率皆差異極顯著。進一步以鄧肯測驗，結果如表 8 所示，以材積生長為例，可分三群，桃花心木最高達 $18.4 \text{ m}^3/\text{yr}$ ，杜英、楓香、烏心石約 $7\sim 9 \text{ m}^3/\text{yr}$ ，最小為檫木及樟樹約 $3 \text{ m}^3/\text{yr}$ ，其餘樹種介於中間約 $5.0\sim 7.0 \text{ m}^3/\text{yr}$ 。年枯死率以牛樟、檫木、烏心石最高 $6\sim 7\%$ ，楠木、陰香、光蠟樹、茄苳、印度紫檀、楓香、黃連木約在 1.4% 以下，其餘樹種介於 $2\sim 4\%$ ，兩地區皆有之樹種有 6 種，杜英、楓香、烏心石，花蓮地區材積生長大於屏東，而光蠟樹、苦楝和檫木則屏東地區材積生長大於花蓮，如圖 5。年枯死率，除苦楝花蓮大於屏東外，其餘樹種屏東地區皆大於花蓮地區，尤其是杜英、烏心石和檫木枯死率最高，其原因除了颱風為害外，主要原因為屏東地區乾旱季明顯，尤其 10 月至翌年 4 月分間在台灣南部為明顯乾季，一些常綠樹種枯死率明顯高於落葉樹種(陳明義等，2004；邱志明等，2010)。

表 7. 不同地區不同樹種不同生長性狀連年生長之變異分析

來源		胸徑	樹高	材積	枯死率
地區	<i>F</i>	33.9	7.2	7.7	23.3
	<i>p value</i>	<.0001	0.009	0.0071	<.0001
樹種	<i>F</i>	11.6	5.6	10.0	6.7
	<i>p value</i>	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
地區*樹種	<i>F</i>	5.2	8.6	4.5	9.6
	<i>p value</i>	0.0004	<.0001	0.0014	<.0001

自由度：地區 1，樹種 15，地區×樹種 5，機差 75

表 8. 不同地區不同樹種不同生長性狀連年生長之鄧肯測驗

樹種	樣區數	胸徑(cm)	樹高(m)	材積(m ³)	枯死率(%)
杜英	7	0.79 ^{def}	0.52 ^{bcde}	8.58 ^b	3.9 ^{abc}
光蠟樹	16	0.56 ^f	0.44 ^{bcdef}	5.71 ^{bc}	0.6 ^c
楓香	8	0.95 ^{cde}	0.57 ^{abc}	7.58 ^{bc}	1.1 ^c
牛樟	4	1.52 ^a	0.56 ^{abcd}	5.31 ^{bc}	7.1 ^a
黃連木	2	0.80 ^{def}	0.59 ^{abc}	5.85 ^{bc}	1.4 ^{bc}
烏心石	5	1.04 ^{cd}	0.49 ^{bcdef}	7.14 ^{bc}	5.7 ^{ab}
欖木	15	0.76 ^{def}	0.43 ^{bcdef}	2.92 ^c	6.5 ^a
苦楝	10	0.57 ^f	0.37 ^{cdef}	5.01 ^{bc}	3.5 ^{abc}
樟樹	3	0.59 ^f	0.46 ^{bcdef}	3.27 ^c	3.1 ^{abc}
印度紫檀	9	0.64 ^{ef}	0.27 ^f	5.16 ^{bc}	1.0 ^c
桃花心木	4	1.37 ^{ab}	0.78 ^a	18.40 ^a	3.5 ^{abc}
楠木	1	0.73 ^{def}	0.29 ^{ef}	6.06 ^{bc}	0.0 ^c
茄苳	3	0.63 ^{ef}	0.36 ^{cdef}	5.37 ^{bc}	0.9 ^c
陰香	2	0.79 ^{def}	0.31 ^{def}	6.70 ^{bc}	0.3 ^c
台灣欒樹	2	0.57 ^f	0.39 ^{cdef}	5.23 ^{bc}	3.0 ^{abc}
赤楊	1	1.12 ^{bc}	0.64 ^{ab}	6.90 ^{bc}	2.9 ^{abc}

註：同一列字母相同代表差異不顯著，字母不同代表 Duncan's test 差異顯著 ($P < 0.05$)

(三) 平均生長與連年生長

1. 花蓮地區

將花蓮地區 12 種樹種胸徑與材積 9 或 10 年生時之總生長量除以林齡，即得總平均生長量，以平均生長量稱之(楊榮啟、林文亮，2003)。而將 7-10 或 6-9 年生期間之淨生長量，除以期間，即得定期平均生長量，以連年生長稱之(楊榮啟、林文亮，2003)。9 或 10 年生時胸徑連年生長量與平均生長量如圖 7 所示，發現平均生長均大於連年生長，由連年生長與平均生長之特性，顯示不同造林樹種至 9 或 10 年生時，胸徑連年生長量已超越最大時期並開始下降；胸徑連年生長量除楓香及赤楊外，均低於 1.0 cm。材積連年生長量與平均生長量如圖 8 所示，發現除苦楝外，材積連年生長量均大於總平均生長量，顯示材積連年生長量尚在上升，未達最高點。

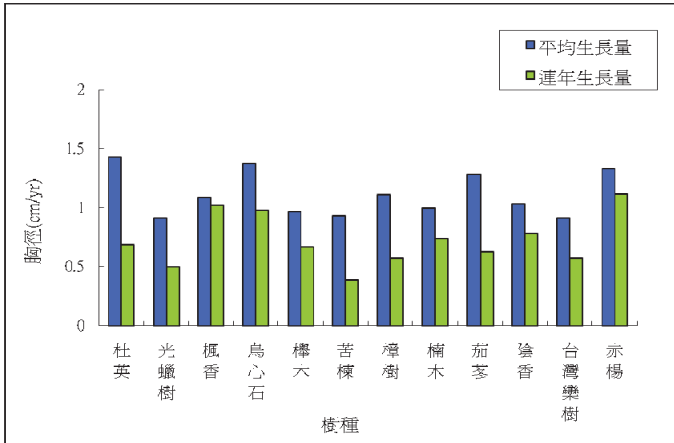


圖 7. 花蓮地區不同樹種 9 或 10 年生時，胸徑連年生長量與平均生長量

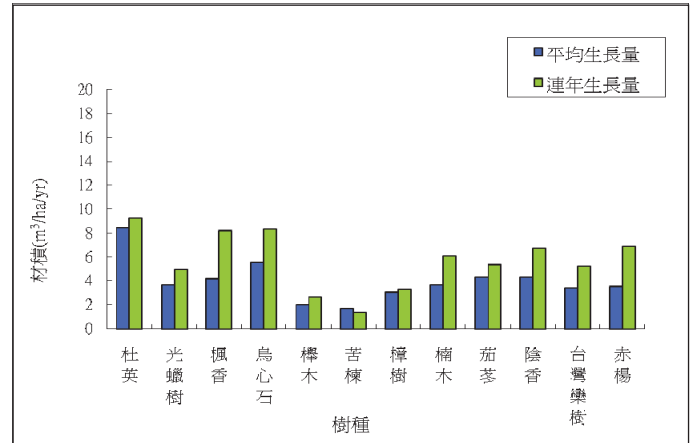


圖 8. 花蓮地區不同樹種 9 或 10 年生時，材積連年生長量與平均生長量

2. 屏東地區

胸徑連年生長量與平均生長量如圖 9 所示，除杜英及檳榔，連年生長量稍大於平均生長量外，牛樟及桃花心木平均生長量剛超越連年生長量，連年生長量約 1.5 cm/yr，其餘樹種平均生長量均已超過連年生長量，此亦顯示大部分樹種胸徑連年生長已超越最大時期並開始衰退。材積連年生長量與總平均生長量如圖 10 所示。楓香、苦楝及烏心石材積連年生長與平均生長相近，其餘樹種，連年生長量均大於總平均生長量，此顯示上述三種樹種每公頃材積連年生長量，已達最大時期，並會開始下降，其餘樹種仍在上升之中，尚未達最大時期。

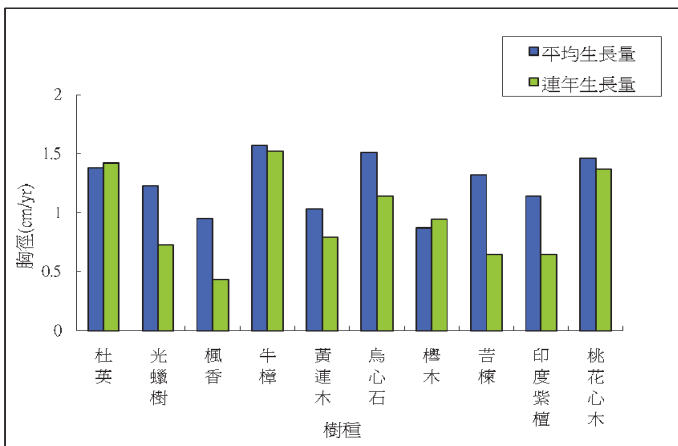


圖 9. 屏東地區不同樹種 9 年生時，胸徑連年生長量與平均生長量

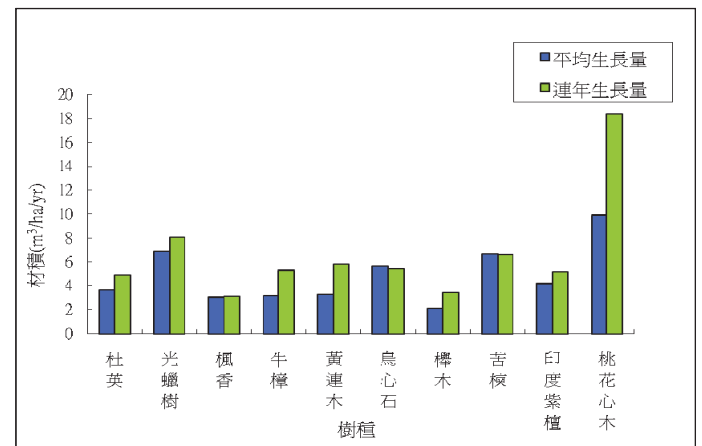


圖 10. 屏東地區不同樹種 9 年生時，材積連年生長量與平均生長量

(四) 生長趨勢之變化

1. 花蓮地區

選取造林面積較多之 6 種造林樹種進行分析，3 年間，4 次調查之胸徑總生長，如圖 11 所示。由圖 11 可明顯得知，生長大小趨勢：杜英 > 烏心石 > 楓香 > 光蠟樹、檳榔及苦楝，而杜英胸徑生長已開始下

降，而楓香 7 年生以前和光蠟樹、苦楝、櫟木不相上下，但 8 年生以後，已明顯超越其他 3 種樹種。而材積亦發現有相同趨勢(圖 12)。另杜英及烏心石之 7 年生材積生長明顯低於 6 年生，原因為台灣南部 11 月至翌年 4 月之乾旱及 99 年 9 月凡那比及 10 月梅姬颱風所造成(邱志明等，2010)。

2. 屏東地區

同花蓮地區一樣，屏東地區選取造林較多之 5 種樹種進行不同林齡之生長分析，如圖 13 所示。可發現桃花心木從 6 年時，生長速度竄起，已明顯超越其他樹種。若以材積生長趨勢觀之更明顯，如圖 14。

(五) 不同林分密度生長之變化

以林分之發育過程，相同立地環境下，苗木造林後，樹冠未鬱閉前，林木均有足夠之生長空間，不需競爭水分、陽光及養分，此時林木樹冠尚未產生競爭，故每株林木均為優勢木，未分級，尚未形成優勢木、中勢木及劣勢木；此時，每公頃林分株數和胸徑生長無明顯關係，但單位面積每公頃材積則會隨林分密度增加而增加(姚榮鼎，1993；邱志明、羅卓振南，2002；Oliver and Larson, 1996)，林分樹冠鬱閉後，林木彼此間開始產生競爭，優生劣敗，產生林冠分級，每公頃株數即林分密度愈少，一般單株林木平均胸徑會愈大，林分密度愈高則競爭愈激烈，單木平均胸徑則愈小，此即所謂競爭密度效果法則(Ando, 1968；Drew and Flewelling, 1977, 1979)，但單位面積之材積在林分樹冠鬱閉後，並不會隨著林分密度之增加而改變，大致維持一定值之波動，但若林地肥沃度不同，生育地條件不同，則單位面積之蓄積量則會產生變動，立地條件佳者，單位面積之材積量則較高，立地條件差者，蓄積量低。故由不同林分密度之單木平均胸徑及單位面積材積之變化，即可解析林分生長狀況及立地環境之變化(Curtis, 1971; Fujimori, 2001；Hunter, 2001；Kikuzawa, 1983)。

花蓮地區以 10 年生杜英、光蠟樹及 9 年生櫟木為例，杜英樣區平均胸徑隨林分每公頃株數之增加而下降，而林分每公頃材積和林分密度則無明顯關係(圖 15)，此顯示杜英 10 年生造林地林分樹冠鬱閉，並產生競爭，應該可進行疏伐。光蠟樹胸徑及材積均隨著林分密度之增加而上升，如圖 16，此意味著立地環境變異很大。櫟木胸徑之生長不因林分密度之增加而改變，而材積則隨密度之增加而增加，但相同林分密度，胸徑及材積變異很大，尤其每公頃株數 1000 株以上之樣區，此亦意味著 9 年生櫟木造林地，林分樹冠尚未鬱閉，且立地環境變異很大，如圖 17。

屏東地區以 9 年生苦楝及桃花心木為例，由圖 18 知，苦楝造林地，胸徑隨林分密度增加而下降，而每公頃材積並未隨著林分密度之增加而增加，顯示 9 年生苦楝造林地，林分樹冠已鬱閉，並產生競爭，應可進行疏伐作業。桃花心木胸徑不隨林分密度之增加而下降，但每公頃材積則隨林

分密度之增加而增加，圖 19，顯示 9 年生桃花心木造林地，林分樹冠尚未產生競爭，不需進行疏伐。

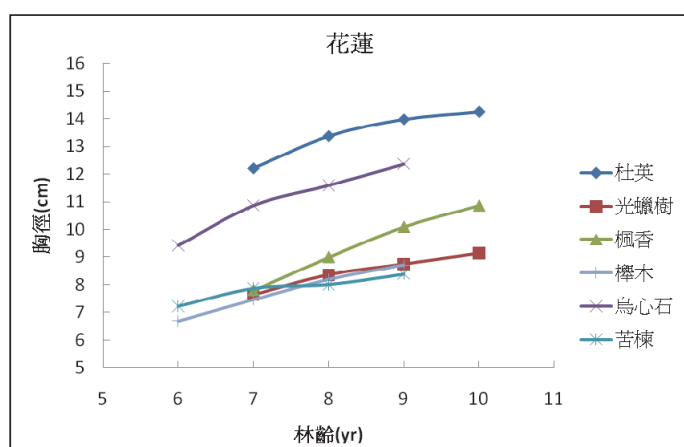


圖 11. 花蓮地區不同樹種、不同林齡胸徑之總生長趨勢

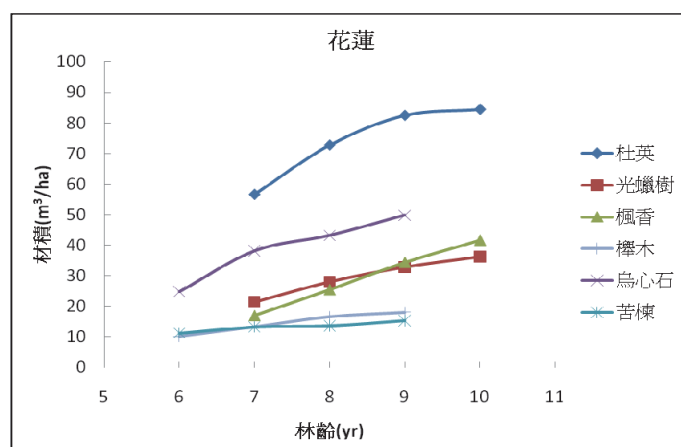


圖 12. 花蓮地區不同樹種、不同林齡材積之總生長趨勢

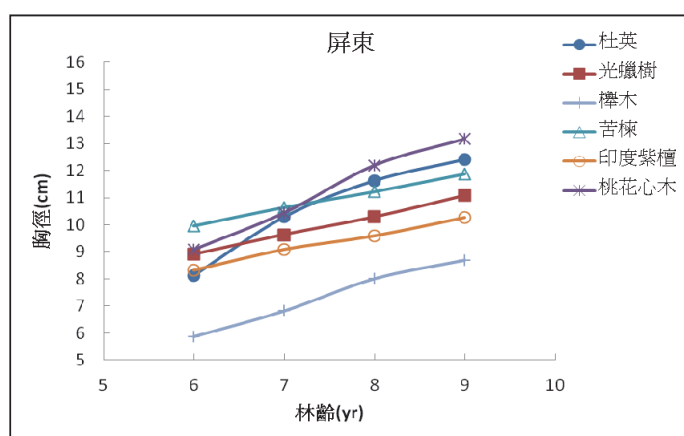


圖 13. 屏東地區不同樹種、不同林齡胸徑之總生長趨勢

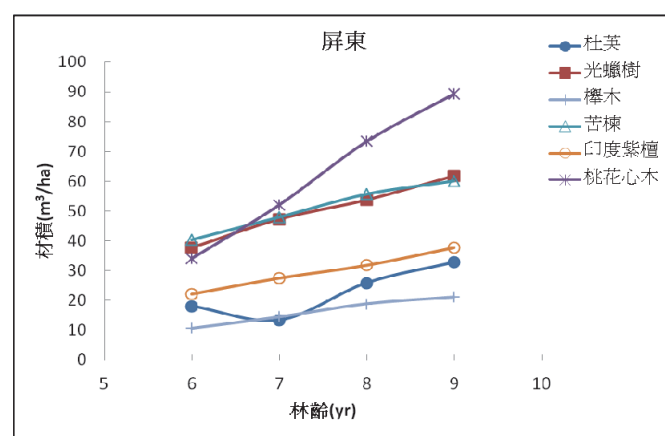


圖 14. 屏東地區不同樹種、不同林齡材積之總生長趨勢

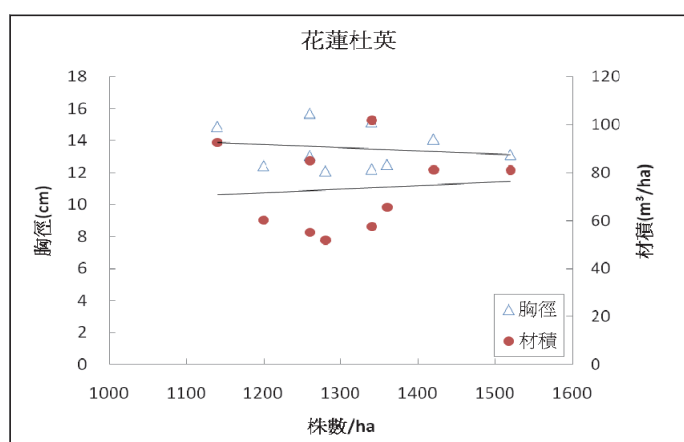


圖 15. 花蓮地區杜英不同林分密度與胸徑、材積之關係

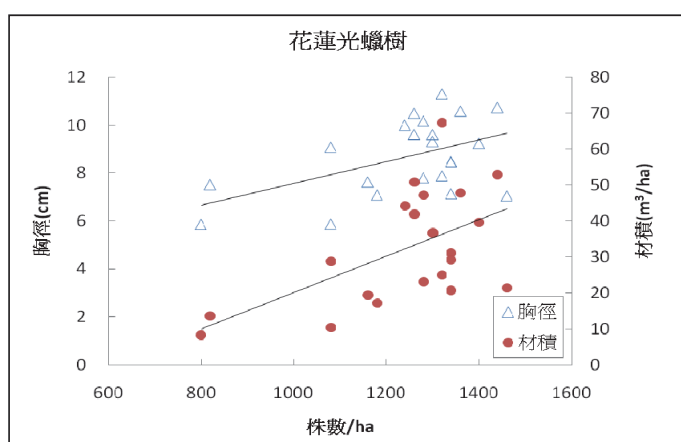


圖 16. 花蓮地區光蠟樹不同林分密度與胸徑、材積之關係

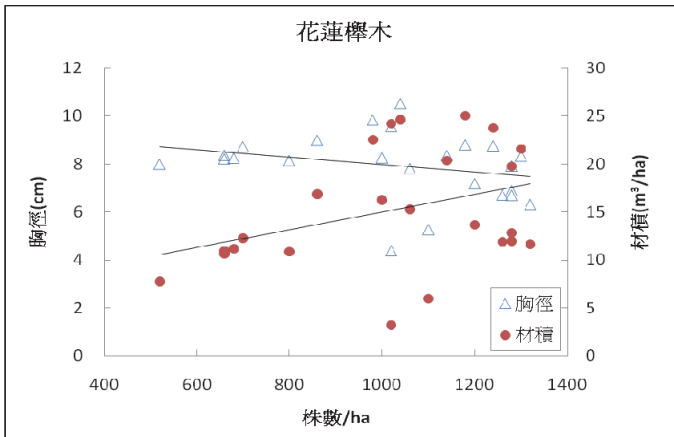


圖 17. 花蓮地區檫木不同林分密度與胸徑、材積之關係

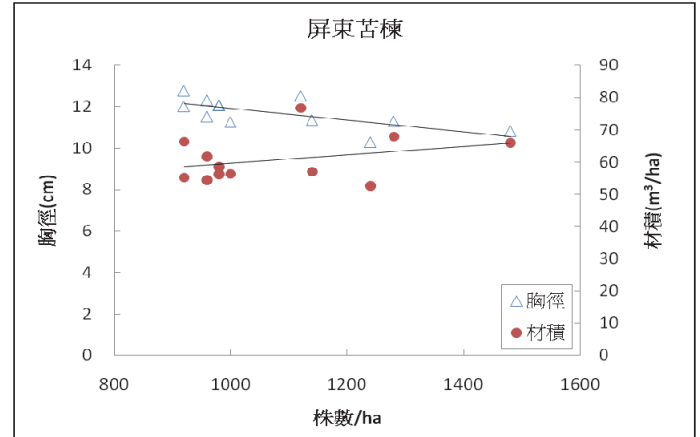


圖 18. 屏東地區苦楝不同林分密度與胸徑、材積之關係

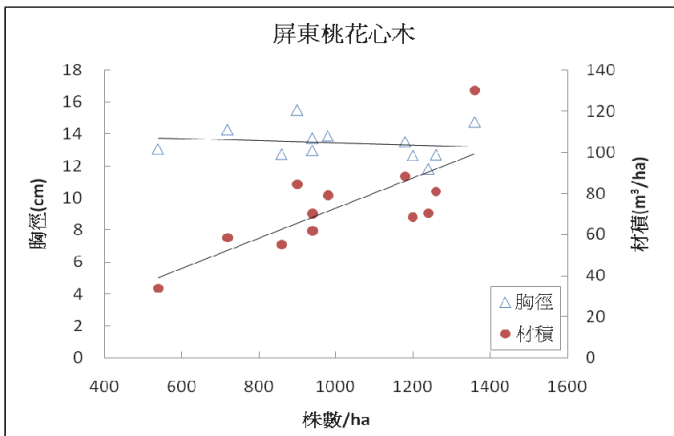


圖 19. 屏東地區桃花心木不同林分密度與胸徑、材積之關係

(六) 胸徑和樹高關係式

本試驗地平地造林，於 2002(民國 91 年)開始造林，林木尚屬幼齡階段，因此，其初期胸徑與樹高生長關係，大致為一直線式，但隨著林齡之增加，此關係為曲線式(Philip, 1994)。本報告為了讓林農及相關公司法人便於利用，去除直線式之截距，進行迴歸 ($H=aD$ 。H：樹高，D：胸徑；a 為參數)；在林齡 10 年生以內，胸徑 15 cm 以內，迴歸關係式如表 9 所示，決定係數 R^2 均達到 0.95 以上， P 值均達 0.001，極顯著水準。a 值最低到 0.646，杜英最高為 0.907，其餘樹種皆在此範圍內，此數據可做為胸徑與樹高之轉換值。當樣區或每木調查時，只需量測胸徑，即可利用不同樹種之 a 值，轉換為樹高，如桃花心木 $H=0.780D$ (表 9)，即胸徑如為 10cm，樹高為 7.8m，如此可節省許多調查時間及成本，不會降低調查精度，因一般樹高量測較困難，誤差亦較大。

表 9. 樹高和胸徑關係式 $H=aD$

地區	樹種	參數 a 值	R^2	p value
花蓮	杜英	0.646	0.965	<.0001
	光蠟樹	0.887	0.962	<.0001
	楓香	0.741	0.973	<.0001
	欖木	0.733	0.955	<.0001
屏東	杜英	0.691	0.955	<.0001
	光蠟樹	0.907	0.968	<.0001
	楓香	0.846	0.973	<.0001
	欖木	0.784	0.951	<.0001
	苦楝	0.839	0.959	<.0001
	印度紫檀	0.771	0.956	<.0001
	桃花心木	0.780	0.968	<.0001

H：樹高（m），D：胸徑（cm）

四、結論

調查花蓮大富大農地區 9-10 年生，12 種樹種 83 個樣區之胸徑、樹高及材積總生長，差異極顯著；每公頃成活株數範圍 620~1430 株，平均 1123 株/ha，差異極顯著。材積生長以杜英最高 73.19 m³/ha，其次為烏心石、陰香、赤楊、楓香，在 41~50 m³/ha，最差者為苦楝及欖木，約 15 m³/ha。屏東地區 10 個樹種，74 個樣區，不同樹種間每公頃成活株數 685~1405 株，平均 1098 株/ha，差異極顯著；胸徑、樹高、材積亦皆差異極顯著，以桃花心木材積最高達 73.45 m³/ha，光蠟樹、苦楝材積生長次之，約在 61 m³/ha，其次杜英及烏心石，43~46 m³/ha，最差為欖木約 20 m³/ha，其餘樹種介於 26~32 m³/ha。若不分地區，將兩地區 16 種樹種 157 個樣區，進行檢測，發現不同生長性狀不同地區，樹種、地區和樹種之交感效應差異皆極顯著，顯示不同樹種與不同地區各有其最適之生長。以兩地區皆有之樹種材積生長為例，杜英、楓香、烏心石以花蓮地區大於屏東地區，而光蠟樹、苦楝及欖木則以屏東地區大於花蓮地區。

花蓮地區從 7-10 年生或屏東地區 6-9 年生，3 年間之平均連年生長及枯死率分析，地區間、樹種間及地區和樹種之交感效應，各性狀及枯死率差異皆極顯著。花蓮地區材積連年生長以杜英最高 9.26 m³/ha/yr，其次為烏心石、楓香、陰香、楠木、赤楊最佳，在 6~8 m³/ha/yr，苦楝和欖木最差 1~3 m³/ha/yr；枯死率則以欖木和苦楝最高達 4~5 %/yr，其次為台灣欒樹、赤楊和樟樹約 3 %/yr，枯死率最低者為楠木、陰香、光蠟樹、楓香、茄苳，皆在 1 %/yr 以下。屏東地區材積連年生長則以桃花心木生長最佳，年生長達到 18.4 m³/ha/yr，其次為光蠟樹、苦楝、黃連木、烏心石、印度紫檀及牛樟 5~8 m³/ha/yr，其餘樹種皆在 5 m³/ha/yr 以下。株數年枯死率以杜英最高達到 17.4 %，其次為牛樟、欖木、烏心石 7~11 %；再次為桃花心木、楓香及苦楝在 3%左右，最低者為印度紫檀、光蠟樹、黃連木 1 %

左右。

花蓮地區 9 或 10 年生，12 種樹種胸徑連年生長量均已超過最大期，而低於平均生長量，但材積生長，除苦楝外，連年生長均大於平均生長量，顯示材積連年生長量尚在上升中。屏東地區，胸徑除杜英及櫟木外，平均生長量均已超過連年生長量，而材積除苦楝、楓香、烏心石外，其餘樹種連年生長仍在上升之中。

另由完整 3 年之材積生長趨勢發現，花蓮地區楓香，屏東地區桃花心木生長趨勢有後來居上之勢，而花蓮之杜英生長趨勢已有下降之勢。另由不同林分密度胸徑和材積之總生長可做為一指標，瞭解造林木樹冠是否鬱閉，是否產生競爭，是否該進行疏伐及瞭解立地環境變異之狀況。

五、參考文獻

- 沈柔含 2011 地景階層林地碳儲存量之估算-以花蓮光復鄉平地造林為例。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 79 pp.
- 邱志明、羅卓振南 2002 紅檜幼齡人工林密度試驗。台灣林業科學 17(2): 205-217。
- 邱志明、鍾智昕、林謙佑、唐盛林、林振榮 2010 重要平地造林樹種林木生長特性之研究。林業研究專訊 17(6):10-16。
- 榮鼎 1993 台灣杉人工林生長與林分密度關係之研究。國立台灣大學農學院實驗林研究報告 7(4):1-12。
- 陳明義、呂福原、洪富文、張彬、陳秀雄、陳阿興、陳啟峰、羅紹麟 2004 平地造林樹種之研究。財團法人中正基金會 77 pp.。
- 黃錦宗 2011 台灣糖業公司綠色造林簡介。傾聽人民心聲-綠色造林撫育作業講習與座談 p.1-15。
- 楊榮啟、林文亮 2003 森林測計學。國立編譯館 309 pp.。
- 廖宜緯、陳美光、陳羽康、鍾玉龍、吳守從 2011 台糖公司屏東縣平地造林碳貯存量調查。中華林學季刊 44(3): 56-66。
- Ando T. 1968. Ecological studies on the stand density control in even-aged pure stand. Bull Gov For Exp Sta 210:1-153.
- Curtis R.O. 1971. A tree area power function and related stand density measure for Douglas fir. For Sci 17:146-59.
- Drew T.J., Flewelling JW. 1977. Some recent Japanese theories of yield-density relationships and their application to Monterey pine plantations. For Sci 23(4):517-34.
- Drew T.J., Flewelling JW. 1979. Stand density management: an alternative approach and its application to Douglas fir plantations. For Sci 25(3):518-32.
- Fujimori T. 2001. Ecological and silvicultural strategies for sustainable forest management. Elsevier, Tokyo. 398pp.

- management. Elsevier, Tokyo. 398pp.
- Hunter M.G. 2001. Management in young forests: the young stand thinning and diversity study. Cascade Center for Ecosystem Management. [Http://www.fsl.orst.edu/ccem/yst](http://www.fsl.orst.edu/ccem/yst). 28 p.
- Kikuzawa K. 1983. Yield-density diagram: compactness indexes for stands and stand components. *For Ecol Mgmt* 7:1-10.
- Nyland R. D. 2002. Silviculture concepts and applications. McGraw-Hill. New York. 682 pp.
- Oliver C. D., Larson B. C. 1996. Forest stand dynamics. John Wiley & sons, Inc. New York 520pp.
- Philip M. S. 1994. Measuring trees and forests. Department of Forestry. CAB International, Wallingford, UK, 310 pp.

速生桉樹品系抗蟲與生長之表現

鍾振德^{1*} 許原瑞² 蔡佳彬³ 魏濟昀⁴ 石鳳嬌⁴ 葉翠華⁴

【摘要】

以抗桉樹枝癭姬小蜂雜交桉品系 GUT5 為基礎，在不同雜交組合後裔之流動，探討抗姬小蜂特性，試驗以 100%受害之品系 CG43 與 GUT5 互為父母本，結果後裔各有 25~50%具有抗姬小蜂特性。經由育種方式可以獲取生長量優且具抗蟲之品系，GUT5 x C48 後裔，有單株 5 個月生，樹高 352 cm，胸徑 1.6 cm。花蓮大農試區檢測不同營養系生長，結果 1.5 年生最好品系為 CG43 與 GU37 兩者，樹高分別為 801.3 與 801.5 cm，胸徑分別為 5.7 與 6.3 cm，但 GU37 不耐風。赤桉系列品系以 K10 與 K46 生長最佳，1.5 年生平均高生長分別為 748.8 與 781.9 cm，平均胸徑為 6.1 與 5.6 cm。

¹林業試驗所育林組副研究員，台北市南海路53號，*通訊作者。

²林業試驗所中埔研究中心主任，嘉義市文化路 432 巷 65 號。

³林業試驗所六龜研究中心助理研究員，高雄縣六龜鄉中興村 198 號。

⁴林業試驗所育林組研究助理，台北市南海路 53 號。

一、前言

台灣造紙工業依照造紙公會資料顯示，總產值每年約為新台幣 1000 億元以上，2012 年台灣現有造紙廠 91 家，其中 2 家兼生產紙漿。紙漿產量每年約 36.8 萬噸，原料主要為進口的人造林木片，約 80 萬噸，佔 99.5%，其餘則是國內的邊皮，殘材，約 0.43 萬噸。桉樹類為短伐期速生樹種，因品系及生育地差異，一般造林後 6 - 10 年即可伐採利用，可供小徑木工業用材及短纖製漿原料。在台灣菇菌業者以桉樹代替相思樹做為太空包原料，伐木業者自行採運之收購單價最近 2 年間由 400 元/噸上升至 856 元/噸。

台灣自 1896 年開始引入桉樹類，引種試驗的結果顯示玫瑰桉(*E. grandis*)、尾葉桉(*E. urophylla*)及赤桉(*E. camadulensis*)較適合台灣低海拔淺山坡地及邊際農地的造林(陳正豐等, 1990)。1987 年林試所自澳洲引進 20 種桉樹，分別在台灣四個地區進行造林適應性試驗(陳正豐等, 1995)，此結果對於桉樹類在台灣之樹種適應、生長表現、風害、蟲害等有更深入的了解。花蓮的邊際農地，在集約管理下的桉樹林分，2.5 年生尾葉桉林分生產量可達 39 ton/ha/yr(Horng, 1992)；另外玫瑰桉 3 年生林分年平均生產量估算，最高可達 34 m³/ha(陳振榮等, 1997)。1992 年桉樹類全台造林面積達 3000 ha(黃耀熙, 1992)，造林地以台糖公司的低生產力土地，農場邊際土地、坡地、丘陵地、溪邊、畜殖場週邊及管理不易之畸零地等為主。

桉樹屬(*Eucalyptus* spp)多數生長快速，許多熱帶和亞熱帶國家都引進大規模造林，並進行育種，以獲得生長更快速的營養系。巴西在 1940 年代引進桉樹類造林，主要用途為纖維及生質能源，2009 年巴西人工林面積 6.3 百萬公頃，其中 70%為桉樹，30%為松樹。巴西為桉樹育種最成功的國家之一，巴西桉樹伐期短(2-6 年)，營養系造林地具高生產力，年生產量達 40-80m³，平均年生產量(含樹皮)達 60m³/ha/yr，木材爐乾比重約 0.45-0.5，因樹齡及營養系而異(Laercio et al., 2011)。

1955 年全世界人工造林面積僅有 70 萬公頃(Stephen and Gary, 2006)。自 1990 年起開始重視纖維樹種的開發，FAO 統計 1990 年熱帶亞洲、美洲、非洲等地區的人工造林面積有 43.9 百萬公頃，其中工業用材自 1980 年的 7.1 百萬公頃，增加到 1990 年的 15.6 百萬公頃；1990 各類造林樹種中桉樹類造林面積達 10.06 百萬公頃，佔全熱帶地區人工造林面積的 23% (Pandey, 1992)。2005 年全世界的桉樹類造林面積增加到 18 百萬公頃(FAO, 2005)，漿紙業預測今後桉樹類原木的生產將逐年增加。

桉樹枝癭姬小蜂(*Leptocybe invasa*)，2000 年首次發現於中東及地中海沿岸國家，2007 年於中國廣西發現。此蟲在桉樹的嫩枝、嫩莖、葉柄及葉脈上產卵，形成蟲癭，導致植株枝葉變形、矮化，嚴重影響桉樹生長(王偉等 2012)。2010 年台灣桉樹亦發現此蟲為害。目前，對於桉樹枝癭姬小蜂的化學防治，以益達胺粒劑或液劑交互使用為主，但苗圃尚可以有效防治，但於造林地防治效果不理

想，應用抗蟲品系對付此蟲為害是最經濟有效的防治措施。抗蟲品系對於桉樹枝瘿姬小蜂的防禦機制，表現在不同品系間的防禦酶活性的大小所致，其中 SOD(superoxide dismutase), POD(peroxidase), PPO(polyphenol oxidase)三者在抗蟲品系之酶活性大於高感染品系(王偉等 2012)。此三種酶是普遍存在植物體內，與植物抗逆境酵素有密切關連，與植物的抗病蟲能力亦有密切的關係。

全球能源危機，促使化石原料以外的新能源的開發受到重視，短伐期速生桉樹作為生質能源原料更受到重視(Rockwood et al., 2008)。林業試驗所多次引進桉樹優良品系在台灣造林，依據各品系生長表現結果選取 MAI 品系 30 m³/ha/yr 進行繁殖作為進一步篩選之依據。

二、材料與方法

(一) 試驗品系

速生桉樹品系參試包括：

GU3524：*E. grandis* × *urophylla*

UG3229：*E. urophylla* × *grandis*

GUT5：*E. grandis* × *urophylla*

CG43：*E. camadulensis* × *grandis*

TG47：*E. tereticormis* × *grandis*

C48：*E. camadulensis*

K xx：*E. camadulensis* (21 clones)

P xx：*E. camadulensis* (2 clones)

(二) 枝瘿姬小蜂之觀察與品系受害率調查

取受姬小蜂為害之桉樹枝條，於解剖顯微鏡下觀察拍照，由枝條上不同的性狀，包括叮咬後、尚未有蟲瘿、蟲瘿期、蟲瘿內已見有黑色點狀等時期。依照觀察結果於田間調查不同品系間的受害比率，以蟲瘿的數量多寡做為受害之依據。

(三) 田間試驗與調查

試驗地包括於花蓮大農栽植一處全部為桉樹營養系繁殖之造林地，以及雲林古坑抗蟲品系之栽植試驗地。

1. 花蓮大農桉樹營養系栽植試驗

(1) 參與試驗品系與苗木培育

參與桉樹品系主要包括 CG43 與 赤桉 K xx, P xx 等系列品系，所有品系以扦插培育，苗木高度約 25 cm 時出栽。

(2) 試驗設計與生長調查

苗木栽植株行距為 2 x 2 m，以 10 x 10 = 100 株為一小區，其中 CG43 有 32 小區，赤桉 K xx, P xx 等系列品系則依照苗木數量，各有 1~2 區不等比率小區，不足 1 區則兩品系合併成一小區。

生長調查以小區為單位，各小區調查 100 株中間之 16 株桉樹，不足一區之品系則所有植株全部調查。

2. 雲林古坑桉樹抗姬小蜂品系試驗

(1) 參與試驗品系與苗木培育

參與桉樹品系主要以完全抗蟲的 GUT5 為主，再以其為父母本，進行雜交控制授粉，得到後裔種子培育成苗，出栽進行抗蟲與生長檢測。雜交組合包括 CG43 x GUT5, GUT5 x CG43, GUT5 x TG47, GUT5 x C48 等組合，並以其親本 CG43, GUT5, TG47, C48 等為比較對象，同時加入 GU3524 與 UG3229 兩個品系參與試驗。

(2) 試驗設計與生長調查

苗木栽植株行距為 2 x 2 m，以 5 x 5 = 25 株為一小區，各組合有 2 小區，部分雜交後裔苗木不足 1 區，則幾個品系合併成一小區。生長調查以小區為單位，各小區苗木全數調查，調查包括受姬小蜂叮咬後成癭比率，樹高與胸徑生長等。

表 1. 桉樹造林試區基本資料

試區地點	完成日期	面積(ha)	營養系或樹種
花蓮大農	2010/01/30	2.68	CG43, GU37、赤桉 K xx, P xx等21個品系
雲林古坑	2012/05/01	0.3	GUT5, CG43, TG47, GU3524, UG3229, C48, GUT5 x CG43, CG43 x GUT5, GUT5 x TG47, GUT5 x C48

三、結果與討論

(一) 枝癭姬小蜂之觀察

桉樹品系對於枝癭姬小蜂的抗性，表現在成癭與否，成癭造成葉柄的腫大，影響桉樹生長甚鉅。GUT5 為完全不成癭品系，受姬小蜂叮咬後葉柄可看見叮咬後癒合痕跡(圖 1a)，但受害嚴重的品系則葉柄腫大，姬小蜂成蟲後飛出，尚有一個個的孔洞(圖 1b)。姬小蜂叮咬產卵後，於葉柄內孵化，幼蟲於癭中成長，此時蟲癭的大小約 0.5 mm(圖 1c)，形成蟲癭；蟲歷經蛹期(圖 1d)，後漸漸轉為成蟲(圖 1e)，此時期蟲癭已經達 0.75 mm，於電子顯微鏡下觀察(圖 1f)，可見其孔洞造成的傷害甚大。

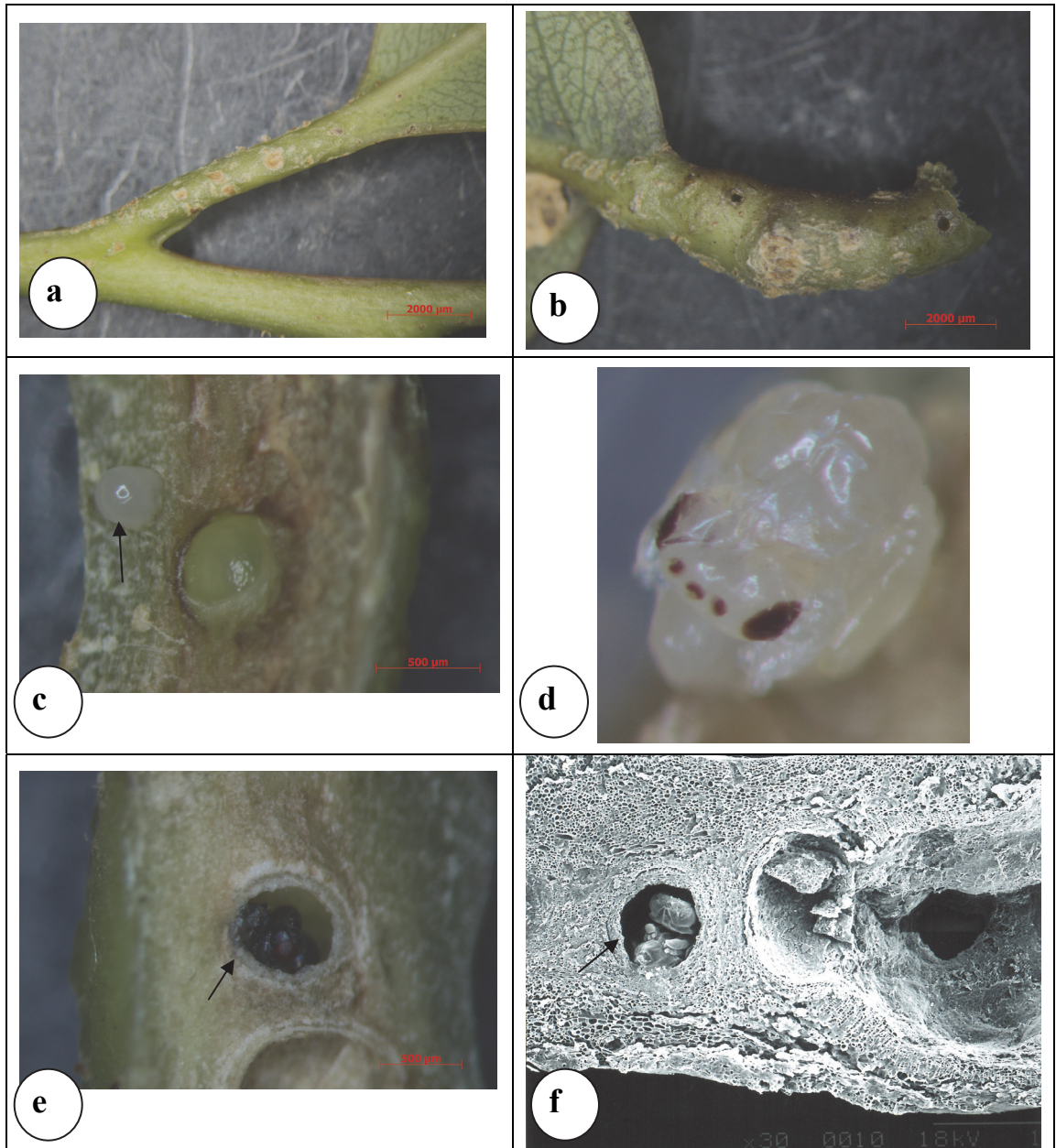


圖 1. a. 抗姬小蜂品系 GUT5 被叮咬但成蟲癭。b. 受害品系葉柄成蟲癭，黑色小點為姬小蜂成蟲後飛出。c. 姬小蜂叮後產卵孵化從孔洞中挖出(箭頭)。d. 姬小蜂逐漸從蛹期轉變成蟲期。e. 箭頭所指為已經成蟲準備飛出的姬小蜂。f. 掃描式電子顯微鏡觀察姬小蜂即將成蟲(箭頭)，右側為蟲癭所造成的孔洞。

(二) 品系間與雜交後裔抗姬小蜂之能力

試驗獲得 GUT5 與 GU3524 兩個雜交品系為抗枝癭姬小蜂，兩者皆為 *E. grandis* × *urophylla* 雜交種。表 1 可以看出 GUT5 與 GU3524 兩個品系的受害比率皆為 0，另外三個品系包括 CG43, TG47 與 C48 等三個品系為 100%受害之品系，另取於中國大陸廣泛栽植的耐蟲品系 UG3229 參與

比較，其在本試驗中有 33.3%植株受害，91%存活(表 1)，因此其為相對耐蟲，但還不到 GUT5 與 GU3524 兩個品系達到百分之百的抗性。

將抗姬小蜂品系 GUT5 為親本，與 100%受害之品系 CG43, TG47 與 C48 等三個品系進行雜交，觀察其後裔，結果顯示其後裔約有 50%具有抗性，以此比率推估其親本的抗姬小蜂遺傳符合孟德爾遺傳定率，只有 50%具有抗性基因遺傳至其後裔。

品系之間的生長明顯的受到姬小蜂影響，以 CG43 影響最大，表 1 顯示其 5 個月的高生長僅 43 cm，但與 GUT5 雜交互為父母本之雜交品系，CG43 x GUT5 與 GUT5 x CG43 高生長分別為 172.7 與 181.3 cm，胸徑則分別為 0.9 與 0.8 cm，雜交後裔的生長甚至高於抗姬小蜂 GUT5 (表 1)。相同的結果也呈現在 GUT5 x TG47，其高生長 166.1 cm，胸徑 0.8 cm，但 TG47 高生長僅 50.9 cm (表 1)。

品系之間的生長，表現在抗蟲的能力與雜交之優勢，表 1 顯示 GUT5 x C48 生長最優，5 個月高生長與胸徑分別為 216.4 cm 與 1.0 cm，但後裔受害率達 71.4%(表 1)，單株之間的抗蟲能力差異很大，生長亦然，但生長最佳單株完全不受姬小蜂影響，讓後續有選種的機會。

表1. 抗姬小蜂品系與受害嚴重品系雜交後裔，五個月之生長與受害比率

品系	受害比率(%)	存活率(%)	生長	
			樹高(cm)	胸徑(cm)
CG43	100	22	43	-
CG43 x GUT5	75	100	172.7	0.9
GUT5 x CG43	50	81.8	181.3	0.8
GUT5	0	78	118	-
GUT5 x TG47	50	80	166.1	0.8
TG47	100	87.5	50.9	-
GUT5 x C48	71.4	84	228.9	1.5
GU3524	0	100	216.4	1.0
UG3229	33.3	91	164.5	0.9

(三) 花蓮大農校樹營養系造林地之生長

花蓮大農校樹營養系最主要以 CG43 為主，並有 21 個赤桉(K xx 與 P xx)與 1 個雜交桉 GU37(*E. grandis* × *urophylla*)優良品系參與試驗，造林後 1.5 年生以 CG43 與 GU37 兩品系生長最佳，平均樹高分別 801.3 與 801.5 cm，平均胸徑為 5.7 與 6.3 cm (圖 2)，GU37 生長雖優異，但卻不耐風，因此在今年八月颱風過後風倒嚴重接近 100%，這個結果也呈現在屏東四林試區與花蓮大富兩試驗地。赤桉系列品系以 K10 與 K46 生長最佳，1.5

年生平均高生長分別為 748.8 與 781.9 cm，平均胸徑為 6.1 與 5.6 cm (圖 2)。

CG43 營養系依照表 1 為姬小蜂很敏感的品系，在雲林古坑受姬小蜂為害影響，生長明顯得受到影響，但在花蓮大農地區則影響輕微。歸結原因可能為姬小蜂為害密度較低，冬季栽植時姬小蜂尚未影響，東部多雨使姬小蜂密度明顯較低。赤桉 21 個品系都會受害，但受害程度明顯的低於 CG43。由圖 2 可以瞭解，桉樹所追求的為快速的生長量，若在一個姬小蜂為害輕微的地方，選用生長量高的品系遠比抗姬小蜂特性重要，但在一個危害嚴重的區域，則需選用抗姬小蜂品系。目前育種則聚焦篩選得到抗姬小蜂且生長快速品系，而由表 1 中篩選得到的 GUT5 x C48 具有這兩者的優勢，最優單株 5 個月高生長 352 cm，胸徑 1.6 cm，進一步將予以大面積的檢測。

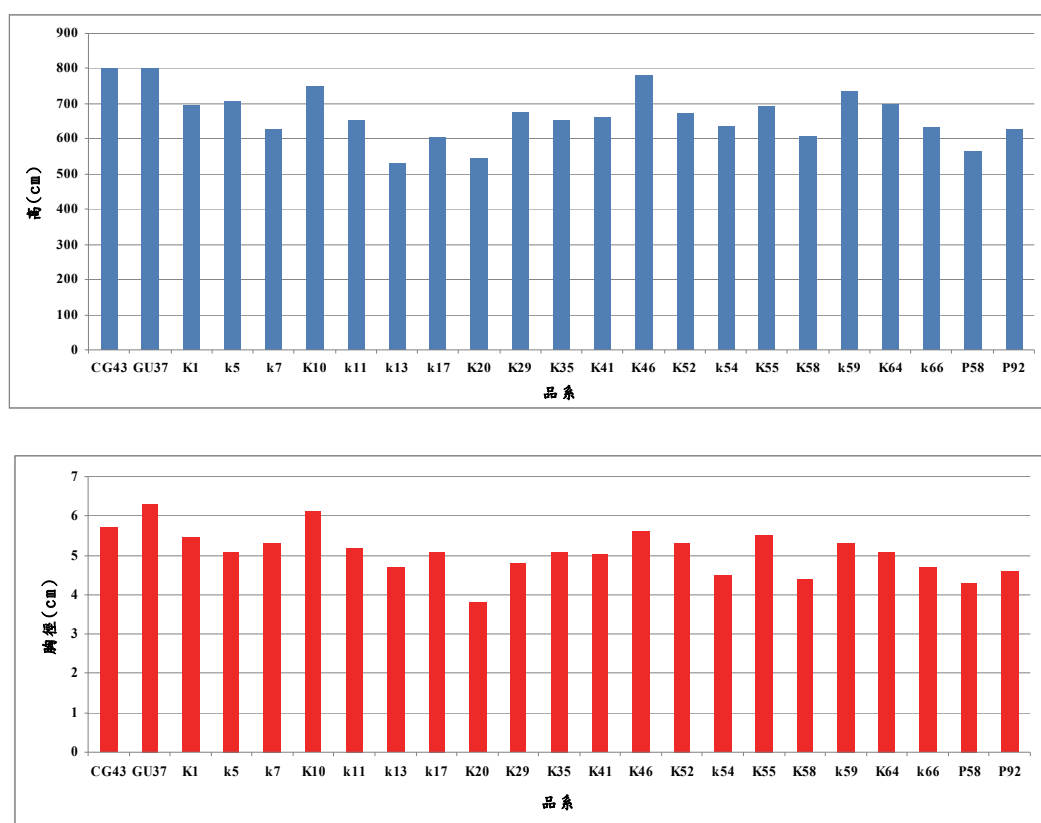


圖 2. 花蓮大農不同桉樹營養品系 1.5 年生之高生長與胸徑

四、參考文獻

- 王 偉、徐建民、李光友、韓 超、吳世軍、陸釗華 2012 24個桉樹品系遭受桉樹枝瘿姬小蜂危害後防禦酶活性變化。中南林業科技大學學報32(6):24-28。
- 陳正豐、楊政川、洪富文、張添榮 1990 桉樹類實用造林手冊。台灣省林業試驗所印行，林業叢刊第34號，26頁。
- 陳正豐、楊政川、張添榮、洪富文 1995 二十種桉樹類在台灣造林適應性試驗。台灣省林業試驗所研究報告季刊 10(3):283-92。
- 陳振榮、楊政川、洪富文、游漢明、鍾振德 1997 速生高品質纖維樹種經營。林業試驗所主編。育林與森林撫育技術研究。農委會出版 24頁。
- 黃耀熙 1992 桉樹類育林 現代育林 8(1)：14-22。
- Encouraging Industrial Forest Plantations in the Tropics, Report of a Global Study, , 2009, ITTO Technical Series No 33)
- FAO. Global forest resource assessment. 2005- main report. FAO forestry paper, 2005 available online : [//ftp.fao.org/docrep/fao/008/A0400E/A0400E00.pdf](http://ftp.fao.org/docrep/fao/008/A0400E/A0400E00.pdf).
- Horng F.W., 1992 Current status of the silviculture of fast-growing *Eucalyptus* plantation in Taiwan. In: Horng F.W., Yang J.C. editors. Proceeding of the symposium on current development of fast-growing plantation silviculture and management in South-East Regin.
- Laercio Couto, Jan Nicholas & Lynn Wright, 2011, Short rotation eucalyptus plantations for energy in Brazil IEA Bioenergy Task 43:2011:02
- Pandey, D. 1992. Assessment of Tropical Forest Plantation Resource. Institutionen for Skogstaxering 1992, Swedish University of Agricultural Sciences. Umea, Sweden. To be published within the framework of Forest Resource Assessment, 1990, FAO.
- Rockwood , D.L.; Rudie, A.W.; Ralph, S.A.; Zhu, J.Y., and Winandy, J.E. 2008 Energy product options for *Eucalyptus* species grown as short ration woody crops *Int. J. Mol. Sci.* 9, 1361-1378.
- Stephen M, and Gary W, 2006 *Eucalyptus* have become the new global tree resource. Australian forest grower 23-25

平地造林土壤之監測

杜清澤¹ 王巧萍² 曾聰堯¹ 黃菊美¹ 林國銓^{3*}

【摘要】

台灣自 2001 年開始推動平地造林，種植樹種總計超過 30 種，因我們在樹種與土壤碳循環的瞭解仍非常有限，為有助於更精確評估造林地整體之碳吸存量，本研究於花蓮大富農場平地造林地進行 6-7 種造林樹種土壤碳氮含量、林地土壤腐植質含量及土壤呼吸作用之監測。研究結果顯示：一、大富農場地區平均碳氮比在 20 以下，顯示分解已達穩定狀態。比較土壤平均碳含量以草生地平均值 11.45g kg⁻¹ 最大，而各造林樹種之平均值為 5.54g kg⁻¹，略大於農地的平均值 5.15g kg⁻¹。二、各造林地之土壤碳含量杜英在各不同深度都是最高，而 0-45cm 土壤中碳含量平均值依次為杜英(7.68g kg⁻¹)>苦楝(6.17g kg⁻¹)>光蠟樹(5.93g kg⁻¹)>樟樹(5.84g kg⁻¹)>烏心石(4.7g kg⁻¹)>檳木(4.3g kg⁻¹)>楓香(4.14g kg⁻¹)。三、樟樹造林地的腐植質、腐植酸碳含量、芳香性化合物最高；樟樹造林地腐植酸中醌含量最多，其芳香化程度高，腐植酸穩定性相對也高。四、各造林樹種中每月最低土壤呼吸量為檳木及台灣欒樹，而每月最高土壤呼吸量為烏心石及杜英。四、造林木斷根後 1 年內，因大量死根及土壤微生物的分解，根的呼吸作用相對於土壤總呼吸量而言顯得非常低。

【關鍵詞】 土壤碳含量、土壤腐植質、土壤呼吸、平地造林

¹ 行政院農業委員會林業試驗所育林組助理研究員，100 台北市南海路 53 號。

² 行政院農業委員會林業試驗所育林組副研究員，100 台北市南海路 53 號。

³ 行政院農業委員會林業試驗所副所長，100 台北市南海路 53 號，*通訊作者。

一、前言

化石燃料燃燒和土地利用的改變是大氣中 CO₂ 增加的主要來源之一 (Houghton et al. 2001)，而造林可用來抵消各國承諾的溫室氣體減量指標，是 IPCC 承認可降低大氣 CO₂ 排放的少數人為活動之一。台灣自 2001 年開始推動平地造林，以增加平原地區之森林覆蓋率，提升都會區的環境品質與生態景觀，並生產用材以提高木材自給潛力及碳吸存量。平地造林樹種包括光蠟樹、桃花心木、印度紫檀、小葉欖仁、台灣欖樹、欖木、苦楝、楓香、水黃皮、樟樹、杜英、烏心石等總計超過 30 種(何坤益等 2010)。目前用來評估這些新植造林地可為台灣碳匯提供了多少的貢獻及它們的碳蓄積潛能的研究並不多，尤其是土壤碳庫的研究這一部份。

土壤腐植質(Humus)是地球上的生物有機體進入土壤後，腐化分解後轉變的聚合形態，土壤腐植質經腐植化作用後其有機碳相對穩定，也較不易分解，有助於土壤中碳的蓄存；而持續的農業栽植會降低土壤腐植物質含量，所產生的腐植酸(Humic acid, HA)，比在森林覆蓋的條件下更缺烷基碳(-alkyl)成分，較易溶於水(Spaccini et al. 2006)。平地造林後土壤腐植物質含量是否會有不同，而不同的造林樹種，其土壤腐植物質含量及成分是否不同，這些都可能會影響土壤之碳匯變化。

土壤呼吸為土壤和枯枝落葉層碳代謝、林木地下碳分配以及生態系統生產力、土壤肥力等資訊的良好指標(Bowden et al. 1993, Raich and Nadelhoffer 1989, Ram et al. 2001)，也是陸地生態系統的重要組成部分，其動態變化將對全球碳平衡產生深遠的影響。由於森林的各類樹種組成、林木的空間分佈及樹冠結構等影響根系的分佈及微生物的數量與活動(Stoyan et al. 2000, Savin et al. 2001, Wardle et al. 2004)，加以林木地上部與地下部的生理作用互為關聯，使得土壤呼吸與光合作用的關係更為密切(Höberg et al. 2001, Tang et al. 2005)。因此，為評估氣候變遷下森林經營對土壤碳吸存的衝擊或尋求提高森林碳匯功能之經營施業方式，土壤呼吸之監測實為不可或缺的一環(Peng et al. 2008)。

鑑此，本研究於花蓮大富農場以 6-7 種主要造林木及其旁之其他土地利用類型為對象如農地、草生地、草藥田等，調查其土壤的碳氮含量、腐植物質及呼吸作用之變化，藉以瞭解不同造林樹種對土壤碳庫之影響，評估各樹種之碳吸存能力，更重要的是希望藉此可提供植林減碳之決策者在樹種選擇時所需之科學實測數據之參考依據。

二、材料與方法

(一) 試驗地與樣區概述

本研究地區位於花蓮光復鄉台糖大農及大富農場，北緯 23°37'00"；東經 121°24'00"左右，海拔高約 100 m(a.s.l.)，年平均氣溫約攝氏 23.5 度，

年平均降雨量約 2,000 mm，氣候分類上屬亞熱帶常溼型氣候(Subtropic monsoon climate)，夏季常遭受颱風及暴雨的侵襲，全年無顯著旱季，平均相對濕度達 85%(Central Weather Bureau, 2007)。該處是由河川運積物發育之黃棕色壤質砂土或砂質壤土，土壤深度約 60-90cm，含石量 10-40%，土層下方有多次之堆積；依美國土壤分類系統(USDA, Keys to Soil Taxonomy)屬於典型低鹽基濕潤弱育土(Typic Dystrudepts)。

(二) 試驗設計與採樣方法

台糖大富農場自 2002 年起實施辦理平地造林，樹種包括茄苳、欖木、台灣欖樹、楓香、烏心石、光蠟樹、杜英、茄苳及樟樹等 10 餘種，每樹種以行距 3 m、樹距 2 m 種植 6 至 8 排不等，迄今累計造林面積達 1,250 公頃。本研究在此區域進行土壤碳、氮含量、腐植質碳蓄存量及土壤呼吸之監測。

1. 土壤碳含量監測

2009 年選擇在杜英(*Elaeocarpus sylvestris*)、光蠟樹(*Fraxinus griffithii*)、楓香(*Liquidambar formosana*)、烏心石(*Michelia compressa*)、欖木(*Zelkova serrata*)、苦楝(*Melia azedarach*)、樟樹(*Cinnamomum camphora*)等 7 種樹種，及草生地與農地各 0.05ha 樣區，然後依 0-15cm、15-30cm、30-45cm 三種深度，每種深度各採集 5 樣點，均勻混合成 1 混合樣品後帶回實驗室，以元素分析儀直接測定樣品之碳、氮含量。

2. 土壤腐植質監測

另於前述土壤碳、氮、有效性營養要素含量監測樣區取光蠟樹、楓香、烏心石、欖木、苦楝、樟樹等 6 種樹種再增加草生地、天然林土壤、草藥田共 9 個樣區進行土壤腐植質抽出(Soil humic substances extraction)：

- (1) 腐植酸萃取：參照國際腐植質學會(International Humic Substances Society, IHSS)所描述方法萃取腐植酸及黃酸(fulvic acid)。首先將土壤樣品和 0.1 M NaOH 以 1：10 比例(10 mL liquid/1 g sample)萃取腐植酸及黃酸，去除懸浮固體雜質後，將沉澱態的腐植酸移至透析膜中透析之(Membrane weight cut off, MWCO：1,000 daltons)，直至透析水中不再有氯離子(Cl⁻)(以 Silver nitrate(AgNO₃)檢測不再有氯離子反應)，冷乾稱重腐植酸及黃酸(Swift, 1996; Stevenson, 1994)。再將剩餘的殘土以攪拌機分散均勻，以虹吸法抽取腐植素(Humin)，洗淨後冷乾稱重。
- (2) 固態偏極化魔角旋轉碳同位素核磁共振圖譜分析：將前述 7 個造林樹種之樣品乾燥過篩後以固態核磁共振儀(Solid State Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer)測定烷基碳(Alkyl-C)、含氮烷基碳(N-Alkyl-C)、含氧烷基碳(O-Alkyl-C)、乙縮醛基碳(Acetal-C)、

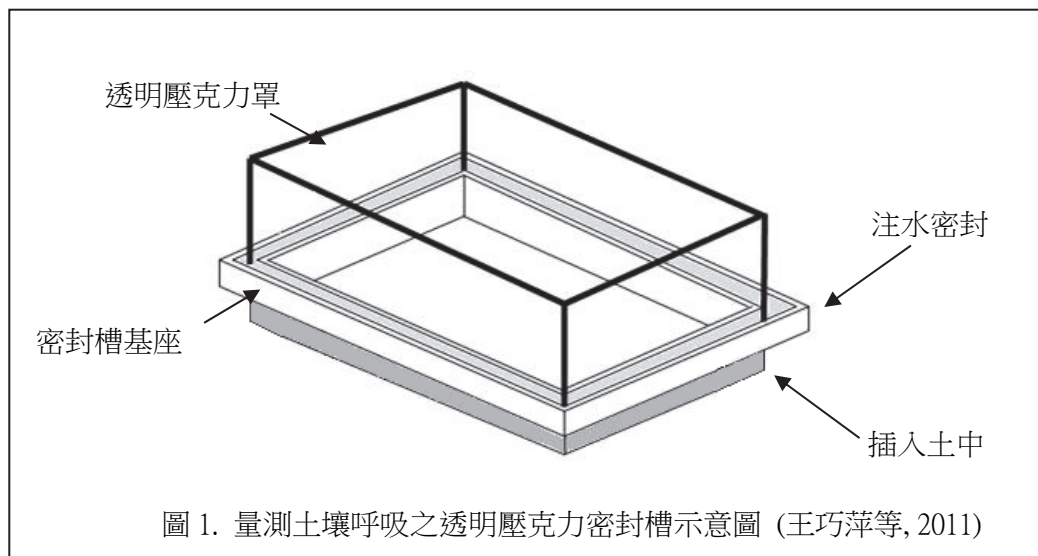
芳香基碳(Aromatic-C)、酚基碳(Phenolic-C)及羧基碳(Carboxyl-C)等七種有機官能基相對含量及其百分比。

3. 土壤呼吸之監測

(1) 樣區之設置：於 2010 年 2 月於該造林地設立樣區，依林木之冠層結構與落葉特性分為下列三類進行試驗，每類選擇兩個樹種，每樹種選擇三個樣區共計 18 個樣區，自 2010 年 3 月開始進行土壤呼吸之監測試驗。其中第一類為鬱閉度較低且冬季明顯全株落葉者，以樺木與台灣欒樹為代表；第二類為中度鬱閉且不明顯落葉(季節性換葉與新葉發芽同時進行)的楓香與光蠟樹；第三類則為林分終年鬱閉而無明顯落葉期的烏心石與杜英。另為比較森林與草生地之土壤呼吸速率，於 2010 年 9 月起於臨近造林地之廢耕地增設草生地樣區。

(2) 土壤呼吸測量(王巧萍等, 2011)

- a. 每樣區安裝 3 個(即每樹種設立 9 個固定樣點)內側 40 cm 長、27 cm 寬(面積 1080 cm²)的 1 cm 厚壓克力密封槽基座(圖 1)，共計 54 個。



每個月以靜態鹼吸收法(Static Alkali Method, Anderson 1982)測定一次，進行土壤呼吸量測。由空白組及測試樣本組間滴定量的差異，以下列公式求得土壤呼吸量。

$$\text{CO}_2\text{-C} = (\text{B}-\text{V})\text{NE}$$

CO₂-C 為每天釋放出碳的毫克數(mg CO₂-C/day)

B 為空白組滴定至終點的酸量(ml)

V 為樣本組滴定至終點的酸量(ml)

N 為 HCl 之當量莫耳濃度(N)= 1

E 為克當量數，即 CO₂ 或 C 的分子量/2 =22 或 6

- b. 土壤異營性呼吸之監測：2011 年 4 月份開始進行前期斷根處理，計完成 6 個樹種、每樹種 4 樣點，共 24 個 0-60cm 斷根處理樣點。因斷根處理後凋萎死根(root litter)於初期快速分解所導致的 CO₂ pulse 需半年以上之時間，為利區分對照組之根系呼吸及處理組之土壤異營性呼吸，斷根樣點 CO₂ 之監測工作於 9 月後開始為期一年之監測。

三、結果與討論

(一) 土壤碳、氮含量監測

杜英、光蠟樹、楓香、烏心石、欖木、苦楝、樟樹等 7 種樹種及草生地與農地之碳、氮含量及碳氮比如表 1。

表 1. 各樣區不同深度之碳、氮含量及碳氮比

單位：g kg⁻¹

樹種	0-15			15-30			30-45			mean		
	TN	TC	C/N	TN	TC	C/N	TN	TC	C/N	TN	TC	C/N
杜英	1.08	11.24	10.46	0.78	7.12	9.14	0.58	4.69	8.02	0.81	7.68	9.45
光蠟樹	0.82	8.53	10.40	0.53	5.19	9.76	0.45	4.08	9.01	0.60	5.93	9.86
楓香	0.76	6.41	8.49	0.51	3.71	7.24	0.39	2.31	5.90	0.55	4.14	7.49
烏心石	0.78	7.32	9.38	0.55	4.16	7.61	0.43	2.62	6.05	0.59	4.70	8.01
欖木	0.69	6.24	9.07	0.47	3.72	7.90	0.38	2.95	7.74	0.51	4.30	8.38
苦楝	0.86	7.55	8.78	0.73	6.53	8.99	0.57	4.44	7.74	0.72	6.17	8.58
樟樹	0.80	8.44	10.60	0.51	5.49	10.86	0.36	3.61	9.95	0.55	5.84	10.54
平均	0.82	7.96	9.60	0.58	5.13	8.79	0.45	3.53	7.77	0.62	5.54	8.90
草生地	1.17	14.43	12.32	0.95	11.38	11.98	0.73	8.53	11.73	0.95	11.45	12.05
農地	0.96	8.89	9.22	0.63	4.68	7.43	0.36	1.86	5.12	0.65	5.15	7.88

註：TN:全氮量；TC：全碳量

一般而言，碳氮比高的樹葉、枯草等有機物掉落後開始分解，其碳氮比逐漸降低，最後達到穩定狀態。本研究中大富農場地區平均碳氮比在 20 以下，顯示分解已達穩定狀態。比較土壤平均碳含量以草生地平均值 11.45g kg⁻¹ 最大，而各造林樹種之平均值為 5.54g kg⁻¹，略大於農地的平均值 5.15g kg⁻¹。

各造林地之土壤碳含量杜英在各不同深度都是最高，而 0-45cm 土壤中碳含量平均值依次為杜英(7.68)>苦楝(6.17)>光蠟樹(5.93)>樟樹(5.84)>烏心石(4.7)>欖木(4.3)>楓香(4.14) g kg⁻¹。

(二) 土壤腐植質碳蓄存量監測

1. 腐植質萃取：不同土地利用類型之土壤腐植質含量如下表 2。

表 2. 不同土地利用類型之土壤腐植質含量

		單位：g kg ⁻¹ soil			
類 別	造 林	地 天	然 林	草 生	地 藥 草 田
腐 植 質 重 量	光臘樹	0.237			
	楓香	0.199			
	烏心石	0.236			
	欖木	0.146	0.824	0.712	0.734
	苦楝	0.195			
	樟樹	0.412			
	平均	0.238			

依土地使用類型，天然林最高(0.824 g kg⁻¹ soil)、造林地最低(0.238 g kg⁻¹ soil)。研究顯示熱帶條件下持續的農業栽植會降低土壤腐植物質含量(Piccolo et al. 2004)，造林地含量最低可能原因是以前曾經農作耗地力，廢棄農作轉作造林，需長時間方能回復。而農作地(草藥田)因持續有加入有機肥，所以腐植質較造林地高。

2. 各樹種不同土壤腐植酸碳含量如下表 3。

表 3. 各樹種不同土壤腐植酸碳含量

樹 種	HA	FA	HU	HS	HA	FA	HU
	----- C-g kg ⁻¹ soil -----				----- % -----		
光臘樹	1.02	0.02	0.04	1.44	70.72	1.71	27.56
楓香	0.82	0.02	0.24	1.07	76.17	1.51	22.32
烏心石	1.03	0.02	0.26	1.31	78.55	1.38	20.07
欖木	0.64	0.13	0.32	1.09	58.44	12.17	29.39
苦楝	0.86	0.01	0.43	1.29	66.21	0.78	33.00
樟樹	1.80	0.02	0.55	2.36	75.99	0.78	23.23

註：HA(腐植酸 Humic acid), FA(黃酸 Fulvic acid), HU(腐植素 Humin), HS(Sum of HA, FA, and HU)

(1) 不同樹種造林地土壤腐植酸碳蓄存量依序為樟樹(2.36)>光臘樹(1.44)>烏心石(1.31)>苦楝(1.29)>欖木(1.09)>楓香(1.07)C-g kg⁻¹ soils，以樟樹造林地最高。

- (2) 腐植素碳蓄存量依序為樟樹(0.55)>苦楝(0.43)>光蠟樹(0.40)>櫟木(0.32)>烏心石(0.26)>楓香(0.24)C-g kg⁻¹ soils，以樟樹造林地最高。
- (3) 腐植酸碳蓄存量依序為樟樹(1.80)>烏心石(1.03)>光蠟樹(1.02)>苦楝(0.86)>楓香(0.82)>櫟木(0.64)C-g kg⁻¹ soils，也是以樟樹造林地最高。
- (4) 黃酸碳蓄存量依序為櫟木(0.13)>光蠟樹(0.02)≈楓香(0.02)≈烏心石≈樟樹(0.02)>苦楝(0.01)C-g kg⁻¹ soils，反而以櫟木造林地最高，與腐植酸正好相反。
- (5) 整體而言，碳蓄存量以腐植酸為主(約佔 71%)，腐植素次之(約佔 26%)，黃酸最低(約佔 3%)。

3. 以固態碳十三核磁共振分析結果如表 4。

表 4. 花蓮大農、大富農場 6 種樹種土壤腐植酸之 7 種有機官能基含量百分比

樹種	Alkyl-C	N-Alkyl-C	O-Alkyl-C	Acetal-C	Aromatic-C	Phenolic-C	Carboxyl-C	Ar	Al	Ar/Al
	----- % -----									
光蠟樹	31.43	13.9	13.8	5.95	15.05	6.46	13.35	24.83	75.17	33.03
楓香	30.09	12	11.5	6.76	16.89	7.95	14.9	29.2	70.8	41.24
烏心石	31.72	12.3	10.7	4.82	18.67	6.65	15.2	29.87	70.13	42.58
櫟木	32.29	13.2	10.7	5.28	16.39	7.61	14.56	28.09	71.91	39.05
苦楝	31.93	11.9	11.4	6.92	20.35	6.39	11.04	30.06	69.94	42.97
樟樹	28.21	12.2	10.2	5.45	20.33	8.34	15.33	33.86	66.14	51.2

註：Alkyl-C(烷基碳)、N-Alkyl-C(含氮烷基碳)、O-Alkyl-C(含氧烷基碳)、Acetal-C(乙縮醛基碳)、Aromatic-C(芳香基碳)、Phenolic-C(酚基碳)及Carboxyl-C(羧基碳)、Ar(芳香性化合物 Aromaticity)、Al(脂肪性化合物 Aliphaticity)、Ar/Al(高芳香化程度 high degree of aromaticity)

- (1)腐植酸中芳香性化合物(Aromaticity)以樟樹(33.86%)造林地腐植酸最高，光蠟樹(24.83%)最低，表示樟樹腐植酸中醌(Quinones)含量較多。
- (2)脂肪族化合物中，碳原子以直鏈、支鏈或環狀排列，分別稱為直鏈脂肪烴、支鏈脂肪烴及脂環烴，脂肪性化合物(Aliphaticity)以光蠟樹(75.17%)最多，樟樹(66.14%)最低。
- (3)微生物再合成的化合物(re-synthesis compounds)以 Alkyl-C(烷基碳)及 Carboxyl-C (羧基碳)結構為主，依序為烏心石(46.92%)≈櫟木(46.85%)> 楓香(44.99%)≈光蠟樹(44.79%)>樟樹(43.54%)≈苦楝(43.00%)。
- (4)高芳香化程度(high degree of aromaticity)表示其穩定性相對較高，疏水性(hydrophobic)較高，芳香化程度依序為樟樹(51.20)>苦楝(42.97)≈烏心石(42.58)≈楓香(41.24)>櫟木(39.05)>光蠟樹(33.03)，顯

示樟樹林下土壤腐植酸芳香化程度高，其穩定性相對較高，不易被分解釋放至大氣中。

(三) 土壤呼吸之監測

1. 不同造林樹種與草生地之土壤總呼吸量

自 2011 年 9 月開始，我們量測了 6 種造林樹及近造林地之廢耕地草生地樣區的土壤呼吸量，結果如下表 5。

表 5. 6 個造林樹種與草生地之土壤總呼吸量

單位：(kg-CO₂/ha/day)

	光度高且冬天落葉		光度中		光度低，全年較鬱閉		草生地
	台灣欒樹	櫟木	楓香	光蠟樹	烏心石	杜英	
2011/9 月	43.25	36.89	45.94	50.38	51.23	56.11	36.67
2011/10 月	32.47	29.93	35.83	38.78	39.07	52.18	31.48
2011/11 月	31.72	27.09	29.32	33.70	37.64	46.77	27.55
2011/12 月	25.12	25.79	27.95	28.72	30.85	35.18	23.94
2012/1 月	29.23	28.98	25.37	29.93	32.33	33.38	21.68
2012/2 月	29.55	28.03	27.86	29.53	35.36	33.21	21.06
2012/3 月	34.24	35.50	36.63	36.75	40.39	44.33	33.31
2012/4 月	41.79	46.26	48.49	51.77	54.54	54.21	34.05
2012/5 月	54.51	52.91	52.26	57.33	61.32	58.83	39.14
2012/6 月	34.07	35.13	57.42	53.78	48.92	53.20	44.61
2012/7 月	47.84	50.06	52.46	52.48	56.99	58.40	36.09
2012/8 月	42.01	31.20	50.65	48.76	55.25	52.02	—
2012/9 月	34.17	30.16	40.65	34.66	46.05	39.24	—
平均	36.92	35.23	40.83	42.04	45.38	47.47	31.78

由表 5 資料顯示，草生地除 2011 年 10, 11 月及 2012 年 6 月外，各月份的呼吸量比造林樹種低，此與 Raich 比較不同植被類型下的土壤呼吸速度差異草地的土壤呼吸量最大，其次是森林，最後是農田 (Raich and Wtufekcioglu 2000) 的結果不同，推測原因可能是此草生地為暫時廢耕之農地，故其土壤呼吸速度較林地為小。

各造林樹種中每月最低土壤呼吸量則出現在櫟木及台灣欒樹兩樹種，而每月最高土壤呼吸量則出現在烏心石及杜英兩樹種，此與王巧萍等於前一年度觀察之資料相符(王巧萍等, 2011)，但最大呼吸量出現在 5 及 6 月份卻與王等資料出現在 9 月之情況不同。另將各月份之土

壤呼吸量改以各季節平均值(春：3, 4, 5 月；夏：6, 7, 8 月；秋：9, 10, 11 月；冬：12, 1, 2 月)表示如下圖 2；可發現各樣區的土壤呼吸速率的變化與季節有關，冬天時土壤呼吸量最低，春天和夏天時最高。

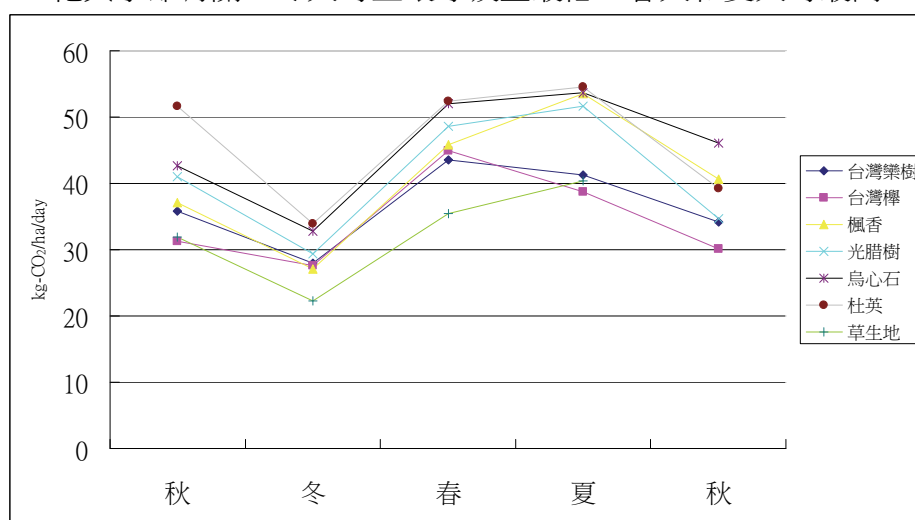


圖 2. 不同季節各樹種造林地的土壤呼吸量

2. 不同造林樹種土壤異營性呼吸之監測

2011 年 4 月各造林樹種經斷根後，9 月份開始測量土壤異營性呼吸量，結果如表 6。

表 6. 各造林樹種之土壤異營性呼吸量

單位：(kg-CO₂/ha/day)

	最亮且冬天落葉			光度中		全年較鬱閉	
	台灣欖樹	櫟木	楓香	台灣欖樹	櫟木	楓香	
2011/9 月	48.20	38.30	37.17	50.72	47.96	48.69	
2011/10 月	36.24	30.53	29.83	40.99	36.08	42.24	
2011/11 月	30.26	30.02	30.51	33.65	30.13	44.12	
2011/12 月	25.77	23.08	27.99	26.31	27.95	31.98	
2012/1 月	30.55	26.81	26.30	33.04	31.00	26.65	
2012/2 月	32.02	27.27	28.96	34.06	31.53	28.42	
2012/3 月	32.28	29.22	32.52	44.40	40.62	35.90	
2012/4 月	43.94	41.32	44.52	51.69	48.19	42.38	
2012/5 月	58.73	51.48	52.85	58.08	56.88	42.63	
2012/6 月	37.45	27.35	49.09	47.23	46.42	38.37	
2012/7 月	54.83	45.06	50.84	55.24	53.36	38.54	
2012/8 月	43.45	33.50	48.35	44.29	51.45	37.16	
2012/9 月	36.03	29.70	46.40	29.47	39.98	30.64	

以表 5 之總呼吸量減去表 6 之異營性呼吸量後即為斷根處理所推估之根呼吸量，結果如表 7。

表 7. 各造林樹種斷根處理後所推估之根呼吸量

單位：(kg-CO₂/ha/day)

	最亮且冬天落葉		光度中		全年較鬱閉	
	台灣欒樹	櫟木	楓香	光蠟樹	烏心石	杜英
2011/9 月	-4.95	-1.41	8.77	-0.34	3.27	7.42
2011/10 月	-3.77	-0.60	6.00	-2.21	2.99	9.94
2011/11 月	1.46	-2.93	-1.18	0.05	7.51	2.65
2011/12 月	-0.65	2.71	-0.04	2.41	2.90	3.20
2012/1 月	-1.32	2.17	-0.93	-3.11	1.33	6.72
2012/2 月	-2.47	0.76	-1.10	-4.53	3.82	4.79
2012/3 月	1.97	6.28	4.11	-7.65	-0.23	8.43
2012/4 月	-2.15	4.94	3.97	0.07	6.35	11.83
2012/5 月	-4.21	1.43	-0.59	-0.75	4.43	16.20
2012/6 月	-3.38	7.79	8.33	6.55	2.50	14.83
2012/7 月	-6.98	5.00	1.61	-2.77	3.63	19.86
2012/8 月	-1.44	-2.31	2.30	4.47	3.79	14.86
2012/9 月	-1.85	0.46	-5.75	5.19	6.07	8.60

由斷根後的土壤呼吸監測值可知，造林木斷根後 1 年內，因大量死根及土壤微生物的分解，根的呼吸作用相對於土壤總呼吸量而言顯得非常低。大富農場之土壤呼吸監測因不同樹種因細根生物量之差異及其細根分解速率之不同，以至由根處理所測得的根呼吸量受到明顯的干擾，加以樣區內土壤動物豐富，且空間變異度高，造成量測上的不確定。

四、結論

- (一) 農地經造林後 6-7 年間，土壤之碳氮比皆在 20 以下，顯示枯落物分解已達穩定狀態。雖然目前造林地的含碳量只略高於農地，但在未來林地枯落物持續的累積下，土壤的含碳量將會逐漸增加，有增加碳匯的功能。
- (二) 樟樹造林地的腐植酸碳含量及芳香性化合物最高，樟樹造林地腐植酸中醌含量最多，其芳香化程度高，腐植酸穩定性相對也高。本區造林地土壤有機碳是否會隨著樹木的持續生長而增加或變動，值得後續持續進行監測研究。

- (三) 大富農場造林木斷根後 1 年內，不同樹種因細根生物量之差異及其細根分解速率之不同，以至由根處理所測得的根呼吸量受到明顯的干擾。加以樣區內土壤動物豐富，且空間變異度高，造成量測上的不確定。

五、參考文獻

- 王巧萍、林元祥、蔡佳雯、杜清澤、蘇德忠、林國銓 2011 不同樹種對大富平地造林地土壤呼吸之影響. 行政院農業委員會林業試驗所 2011 森林資源保存與利用研討會論文集 pp. 233 -245
- 何坤益、陳威廷、張藝馨、黃文正、平薇鈴 2010 平地造林地區林分調查及樹種篩選. 行政院農業委員會林務局. 80 頁.
- Anderson JPE. 1982 Soil respiration. In: Page AL, Miller RH, Keeney DR (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Biological Properties. Agronomy Monograph No. 9. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA, pp. 831–871.
- Bowden R. D, Nadelhoffer K J, Boone R D. et al., 1993 Contributions of above ground litter, Below ground litter, and root respiration to total soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Canadia. Journal of Forest Research*, 23(7): 1402-1407.
- Central Weather Bureau. 2007 Climatological data annual report 2006: Part I-surface data. Central Weather Bureau, Ministry of Transportation and Communications. Taipei, Taiwan. p.15. (In Chinese) (中央氣象局編。2007。氣候資料年報。第一部份-地面資料。交通部中央氣象局。台北市。)
- Höberg P, Nordgren A, Buchmann N, Taylor AFS, Ekblad A, Höberg MN, Nyberg G, Ottosson-Lofvenius M, Read DJ. 2001 Large-scale forest girdling shows that current photosynthesis drive soil respiration. *Nature* 411:789 -792.
- Houghto J T, Ding Y, Griggs D J et al. 2001 Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge: Cambridge University Press.
- Peng Y, Thomas SC, Tian D. 2008 Forest management and soil respiration: implications for carbon sequestration. *Environmental Review* 16:93 - 111.
- Piccolo, A, P Conte, R Spaccini, JSC Mbagwu. 2005 Influence of land use on the characteristics of humic substances in some tropical soils of Nigeria. *European J Soil Science* 56:343 - 52.
- Raich J W, K. J. Nadelhoffer. 1989 Belowground carbon allocation in forest ecosystems: Global trends. *Ecology* 70:1346 - 1354.
- Raich J W, Wtufekcioglu A. 2000 Vegetation and soil respiration: Correlations and Controls. *Biogeochemistry* 48:71-90.

- Ram Oren, David S. Ellsworth, Kurt H Johnsen, et al. 2001 Soil fertility limits carbon sequestration by forest ecosystems in a CO₂-enriched atmosphere. *Nature* 411:469 - 472.
- Savin MC, Gorres JH, Neher DA, Amador JA. 2001 Biogeophysical factors influencing soil respiration and mineral nitrogen content in an old field soil. *Soil Biology Biochemistry* 33:429 - 438.
- Spaccini R., J.S.C. Mbagwu, P. Conte, A. Piccolo 2006 Changes of humic substances characteristics from forested to cultivated soils in Ethiopia *Geoderma* vol 132 pp.9 - 19
- Soil Survey Staff. 2003 Keys to soil taxonomy. 9th edition. US Department of Agriculture, Washington, DC: Soil Conservation Service. p 332.
- Stevenson, FJ. 1994 *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. (2nd ed.). John Wiley & Sons, Inc, New York, USA. 189 pp.
- Stoyan H, De-Polli H, Bohm S, Robertson GP, Paul EA. 2000 Spatial heterogeneity of soil respiration and related properties at the plant scale. *Plant and Soil* 222:203 - 214.
- Swift, RS. 1996 Organic matter characterization. In D. L. Sparks et al. (Eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods—SSSA Book Series No. 5*. (3rd Ed.) Mardison, WI, USA. p 1011- 69.
- Tang J, Baldocchi DD, Xu L. 2005 Tree photosynthesis modulates soil respiration on a diurnal time scale. *Global Change Biology* 11:1298-1304.
- Wardle DA, Bardgett RD, Klironomos JN, Setälä H, van der Putten WH, Wall DH. 2004 Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science* 304:1629-1633.

屏東林後平地造林調節溫度特性

盧惠生^{1*} 林介龍² 林壯沛³

【摘要】

本文以熱敏電阻式溫度計，於屏東林後農場造林地與草生地，進行地表氣溫與土壤深度 5 cm、20 cm、35 cm、50 cm 溫度測定。氣溫、土深 5 cm、20 cm、35 cm、50 cm 的年平均溫度，林地比草生地低 1.6 °C、2.8 °C、2.8 °C、2.5 °C、2.3 °C。氣溫、土深 5 cm、20 cm、35 cm、50 cm 的年平均日最高溫度，林地比草生地低 3.6 °C、3.3 °C、3.0 °C、2.6 °C、2.2 °C。氣溫、土深 5 cm、20 cm、35 cm、50 cm 的年平均日最低溫度，林地比草生地低 0.0 °C、1.7 °C、2.0 °C、1.9 °C、2.0 °C。林地對於年平均溫度調節降溫的效果，氣溫的調降最小，土深較淺時土溫調降最大，土深愈深時土溫調降減少。林地對於年平均日最高溫度調節降溫的效果，氣溫的調降最大，土深較淺時土溫調降較大，土深愈深時土溫調降減少。林地對於年平均日最低溫度調節降溫的效果，氣溫以年平均而言無調降，4-9 月較暖的月份，有調節降溫的效果，但 10-3 月較冷的月份，有調節增溫的效果；至於土溫調降，土深較淺時土溫調降較小，土深愈深時土溫調降較大。

【關鍵詞】熱敏電阻式溫度計、造林、屏東

¹ 農業委員會林業試驗所集水區經營組研究員兼組長，*通訊作者。

² 農業委員會林業試驗所集水區經營組助理研究員。

³ 農業委員會林業試驗所集水區經營組副研究員。

一、前言

受到全球氣候變遷影響，台灣本島環境暖化促使夏季炎熱高溫逐年上昇，晴朗無雨之夏季暑熱更為嚴重，都會地區夏季冷氣機用電量逐年上昇。由於森林具有日間降低氣溫，夜晚緩和氣溫下降的功能（Brooks and Kyker-Snowman, 2008；Denyer et al., 2006；Delgado et al., 2007；Hamada and Ohta 2010；Meleason and Quinn, 2004；Pohlman et al., 2009；Taniguchi et al., 1998）。政府為改善自然環境，冀希借助森林減緩暑夏高溫，以調節氣溫，增進土地的公益功能，林務機構大力推動平地造林政策，減緩環境暖化。

本計畫乃從事屏東台糖林後農場茄苳 90 年造林地與草生地的地表氣溫與土壤深度 5 cm、20 cm、35 cm、50 cm 溫度測定，釐清平地造林比農地可調節多少溫度，以緩和極端氣溫，借助森林增進土地的公益功能，達成改善平地自然環境。

二、材料與方法

於屏東林後農場茄苳 90 年造林地與草生地(圖 1)，至少深入造林地與草生地超過 40 m 地點，以減少周圍不同土地利用的邊緣效應(edge effect)影響溫度量測 (Denyer et al., 2006；Meleason and Quinn, 2004)，使用熱敏電阻式溫度偵測器 (thermistor)，進行地表氣溫與土壤深度 5 cm、20 cm、35 cm、50 cm 溫度測定。量測土壤溫度先將土壤剖面挖掘孔穴，再分別將熱敏電阻式溫度偵測器插入土深 5 cm、20 cm、35 cm、50 cm 之土壤剖面內，立刻將土壤回填壓實，另外一根熱敏電阻式溫度偵測器置於地表 1 m 處的非金屬管內，此管需保持通風良好，且熱敏電阻式溫度偵測器不被太陽輻射直接照到。熱敏電阻式溫度偵測器量測溫度時，溫度變化範圍在-50 °C 至+50 °C 間，精確度為 0.1 °C，並使用 HL-20 的資料記錄器，每半小時記錄一筆溫度資料(Trolander, 1972；盧等, 2000)。



圖 1. 屏東潮州林後農場造林地與草生地的氣溫與土溫測點位置

三、結果與討論

(一) 屏東林後農場造林特性

台糖公司為配合政府綠色造林政策，以協助二氧化碳排放減量，將台糖公司現有農地釋出，積極配合綠色造林計畫，以吸收大氣中二氧化碳，達成京都議定書協定，同時有益於涵養水源，減緩洪水災害，調節微氣候，降低溫室效應，舒緩熱島效應，達到生態環境永續的境界。台灣糖業公司於屏東縣潮州鎮的林後農場造林樹種，計有桃花心木、台灣欒木、光蠟樹、茄苳、印度紫檀、苦楝、水黃皮、無患子、土肉桂、欖仁、樟樹、檉柳、白千層、欒樹、毛柿、青剛櫟等。林後農場位於屏東縣潮州鎮的潮義路南端，地形平坦。

(二) 日平均氣溫與土壤溫度特性

2011 年 3 月-2012 年 2 月，每隔半小時進行氣溫、土深 5 cm、20 cm、35 cm、50 cm 的溫度監測。

以每日氣溫、土深 5 cm、20 cm、35 cm、50 cm 的年平均溫度值(圖 2)，茄苳造林地為：23.4 °C、23.7 °C、23.8 °C、24.0 °C、24.1 °C，草生地為：25.0 °C、26.4 °C、26.7 °C、26.5 °C、26.4 °C。茄苳造林地年平均溫度與草生地年平均溫度差異：林地比草生地低 1.6 °C、2.8 °C、2.8 °C、2.5 °C、2.3 °C。林地調節降溫的效果，氣溫的調降最小，土深較淺時土溫調降最大，土深愈深時土溫調降減少。

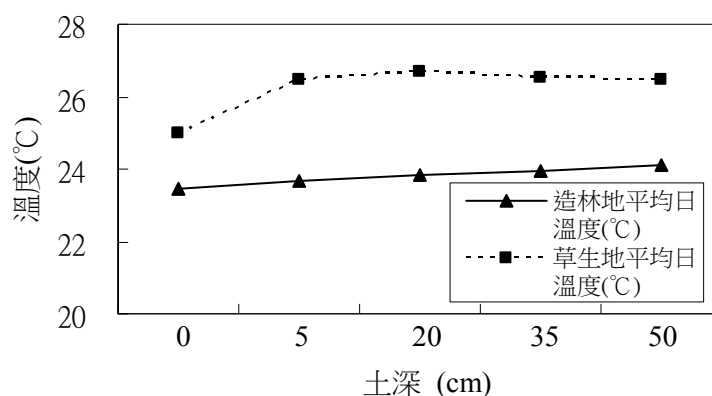


圖 2. 屏東潮州林後造農場林地與草生地年平均氣溫與土溫

由於白天林木的樹冠，可阻隔而減少太陽輻射的穿透，林地樹冠下層接收的太陽輻射比沒有樹冠的草生地為少，夜晚林木的樹冠可阻隔而減少地面長波輻射的散失，林地樹冠下層散失的長波輻射比沒有樹冠的草生地為少，接收的太陽輻射部分轉為空氣的敏感熱，溫度的高低係顯示空氣的敏感熱大小，亦可謂溫度乃量測空氣的敏感熱，故林地樹冠下層的溫度自然比沒有樹冠的草生地為低，這就是熱帶與亞熱帶地區林木調節降溫的原因。

土壤溫度的來源主要依賴空氣熱能經土壤的傳導作用至土壤中，土壤傳導作用比較緩慢。白天太陽輻射產生的空氣熱能經傳導作用至土壤，土壤溫度緩慢上升；夜晚因地面長波輻射的散失，土壤中的熱能經傳導而散失，土壤溫度緩慢下降，土壤溫度的變化比空氣溫度為小且緩慢。因而白天土壤溫度比空氣溫度低，夜晚土壤溫度比空氣溫度高。由於林木的樹冠下層的溫度比沒有樹冠的草生地為低，因而林木的土壤溫度亦較草地的土壤溫度為低。

各月間日平均溫度監測比較，各月間每日氣溫的平均溫度值(圖 3)，茄苳造林地日平均氣溫(°C)在 18.5-28.6 °C，草生地日平均氣溫(°C)在 19.4-29.7 °C，林地比草生地低 0.2-4.2 °C；其中 3 月份差異最小，林地比草生地低 0.2 °C；5 月份差異最大，林地比草地低 4.2 °C。

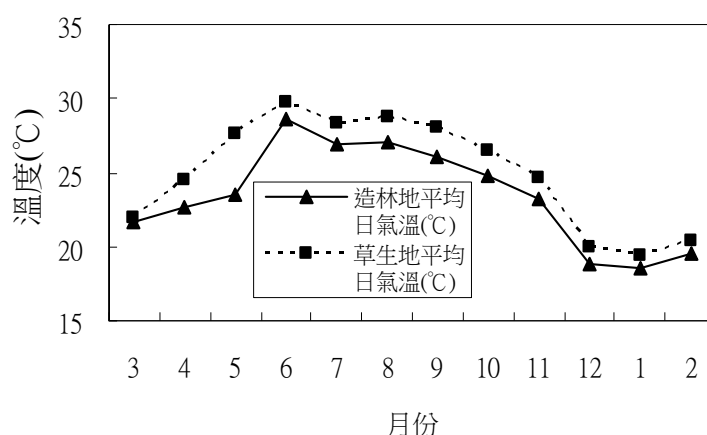


圖 3. 屏東潮州林後農場造林地與草生地月平均氣溫

土壤 5 cm 深之各月間每日土溫平均溫度值(圖 4)，茄苳造林地土壤 5 cm 深之日平均土溫(°C)在 18.9-27.9 °C，草生地土壤 5 cm 深之日平均土溫(°C)在 21.3-30.9 °C，林地比草生地低 1.5-5.9 °C；其中 11 月份差異最小，林地比草生地低 1.5 °C；5 月份差異最大，林地比草生地低 5.9 °C。

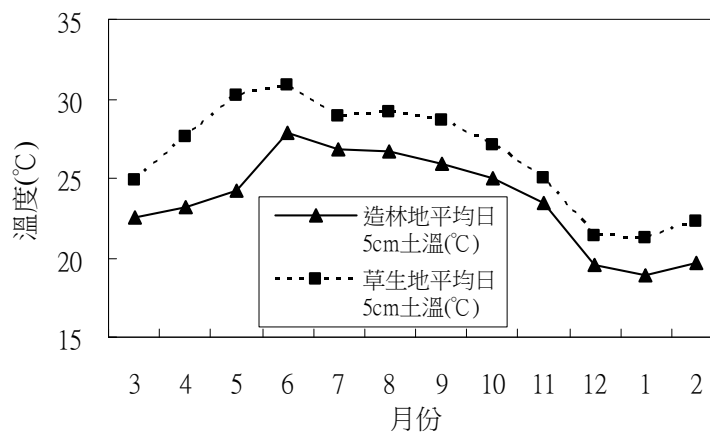


圖 4. 屏東潮州林後農場造林地與草生地 5 cm 深土壤月平均土溫

土壤 20 cm 深之各月間每日土溫平均溫度值(圖 5)，茄苳造林地土壤 20 cm 深之日平均土溫(°C)在 19.4-27.8 °C，草生地土壤 20 cm 深之日平均土溫(°C)在 21.5-30.9 °C，林地比草生地低 1.6-5.8 °C；其中 11 月份差異最小，林地比草生地低 1.6 °C；5 月份差異最大，林地比草生地低 5.8 °C。

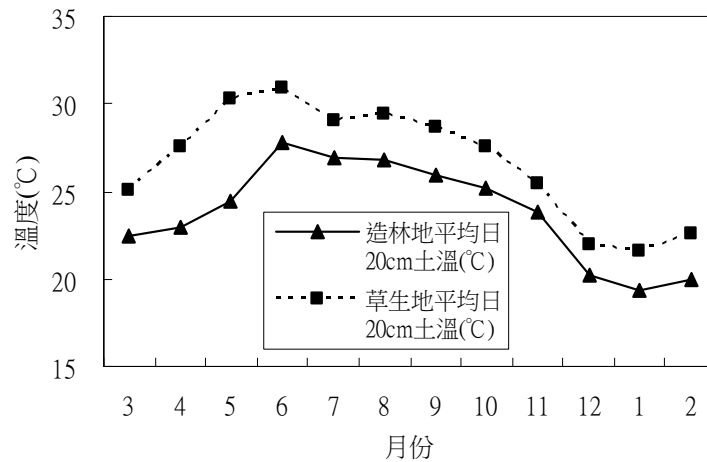


圖 5. 屏東潮州林後農場造林地與草生地 20 cm 深土壤月平均土溫

土壤 35 cm 深之各月間每日土溫平均溫度值(圖 6)，茄苳造林地土壤 35 cm 深之日平均土溫(°C)在 19.8-27.6 °C，草生地土壤 35 cm 深之日平均土溫(°C)在 21.5-30.5 °C，林地比草生地低 1.2-5.2 °C；其中 12 月份差異最小，林地比草生地低 1.2 °C；5 月份差異最大，林地比草生地低 5.2 °C。

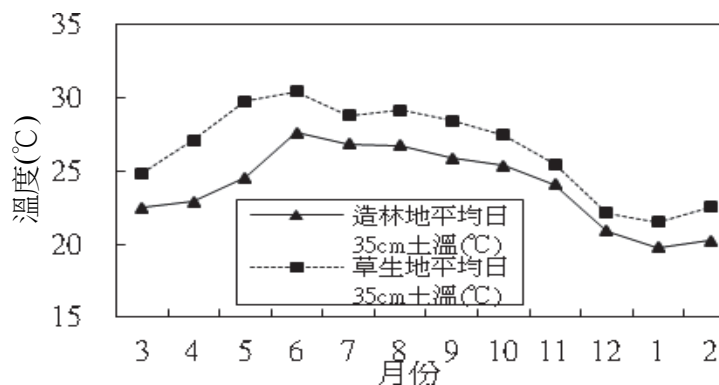


圖 6. 屏東潮州林後農場造林地與草生地 35 cm 深土壤月平均土溫

土壤 50 cm 深之各月間每日土溫平均溫度值(圖 7)，茄苳造林地土壤 50 cm 深之日平均土溫(°C)在 20.2-27.5 °C，草生地土壤 50 cm 深之日平均土溫(°C)在 21.7-30.0 °C，林地比草生地低 1.2-4.6 °C；其中 12 月份差異最小，林地比草生地低 1.2 °C；5 月份差異最大，林地比草生地低

4.6 °C。

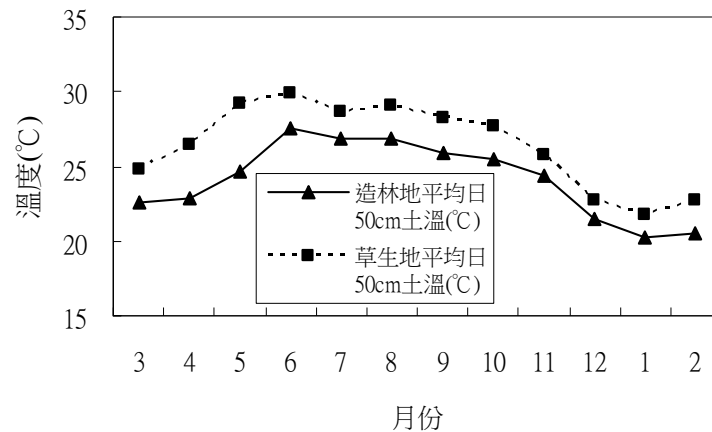


圖 7. 屏東潮州林後農場造林地與草生地 50 cm 深土壤月平均土溫

各月間日平均氣溫的最低氣溫及 5 cm-50 cm 深土壤的日平均土溫的最低土溫，林地與草生地均以 1 月最低。至於各月間日平均氣溫的最高氣溫及 5 cm-50 cm 深土壤的日平均氣溫的最高土溫，林地與草生地均以 6 月最高。

各月間日平均氣溫，於 3 月的初春，林地僅比草生地低 0.2 °C；於 5 月的春末，林地比草生地低 4.2 °C；4 月開始林地降溫效果逐漸發揮，至 5 月達到降溫效果最高峰，以後降溫效果參差不齊的下降，至 3 月降溫效果下降至最低谷。各月間 5 cm-20 cm 深土壤的日平均土溫，於 11 月的秋末，林地僅比草生地低 1.5-1.6 °C；於 5 月的春末，林地比草生地低 5.8-5.9 °C；12 月開始林地降溫效果逐漸發揮，至 5 月達到降溫效果最高峰，以後降溫效果參差不齊的下降，至 11 月降溫效果下降至最低谷。各月間 35 cm-50 cm 深土壤的日平均土溫，於 12 月的初冬，林地僅比草生地低 1.2 °C；於 5 月的春末，林地比草生地低 4.6-5.2 °C；1 月開始林地降溫效果逐漸發揮，至 5 月達到降溫效果最高峰，以後降溫效果參差不齊的下降，至 12 月降溫效果下降至最低谷。

溫度較高的季節，造林地的林木樹冠阻隔以減少白天太陽輻射的穿透，造林地樹冠下層白天接收太陽輻射比沒有樹冠的草生地為少，林木的樹冠阻隔以減少夜晚地面長波輻射的散失，造林地樹冠下層散失的長波輻射比沒有樹冠的草生地為少，接收的太陽輻射部分轉為空氣的敏感熱，造林地樹冠下層的溫度自然比沒有樹冠的草生地為低，此為熱帶與亞熱帶地區於高溫季節林木調節降溫的原因。溫度較低季節的白天太陽輻射量較少，造林地的林木樹冠減少太陽輻射的穿透也少，而造林地樹冠減少夜晚地面長波輻射散失效果較大，致低溫季節造林地降溫作用微弱，甚至具有保溫作用。

(三) 日最高氣溫與土壤溫度特性

以每日氣溫、土深 5 cm、20 cm、35 cm、50 cm 的年平均日最高溫度值(圖 8)，茄苳造林地為：30.5 °C、25.4 °C、24.7 °C、24.5 °C、24.5 °C，草生地為：34.2 °C、28.7 °C、27.7 °C、27.2 °C、26.6 °C。茄苳造林地年平均日最高溫度與草生地年平均日最高溫度差異：林地比草生地低 3.6 °C、3.3 °C、3.0 °C、2.6 °C、2.2 °C。林地調節降溫的效果，氣溫的調降最大，土深較淺時土溫調降較大，土深愈深時土溫調降減少。

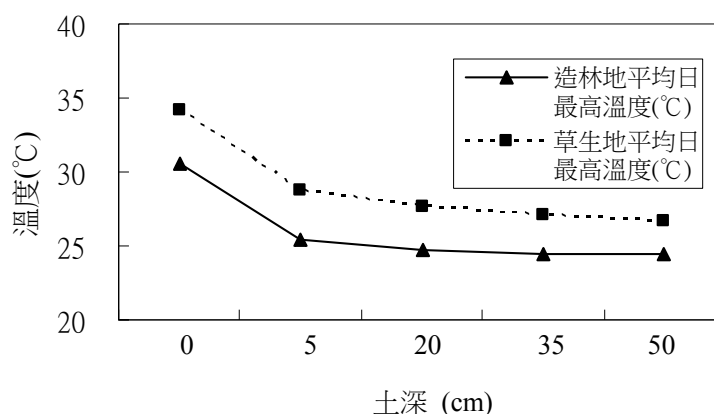


圖 8. 屏東潮州林後造農場林地與草生地年平均日最高氣溫與土溫

各月間每月平均日氣溫最高溫度值(圖 9)，茄苳造林地月平均日最高氣溫(°C)在 24.4-36.3 °C，草生地月平均日最高氣溫(°C)在 28.3-39.9 °C，林地比草生地低 0.4-6.6 °C，其中 4 月份差異最小，林地比草生地低 0.4 °C，9 月份差異最大，林地比草生地低 6.6 °C。

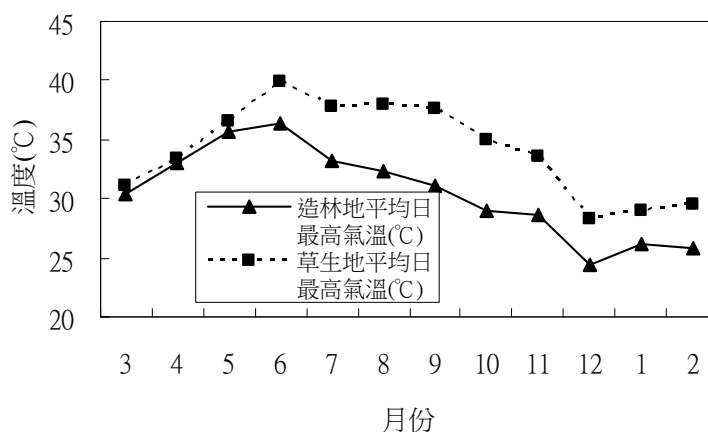


圖 9. 屏東潮州林後農場造林地與草生地月平均日最高氣溫

土壤 5 cm 深之各月間月平均日最高土溫值(圖 10)，茄苳造林地土壤 5 cm 深之月平均日最高土溫(°C)在 20.7-29.7 °C，草生地土壤 5 cm 深之月平均日最高土溫(°C)在 22.7-33.5 °C，林地比草生地低 1.4-4.8 °C，其中 11 月份差異最小，林地比草生地低 1.4 °C，4 月份差異最大，林地比草生地低 4.8 °C。

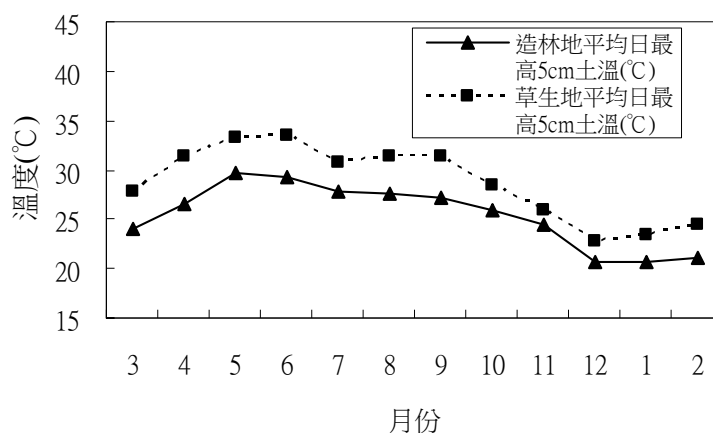


圖 10. 屏東潮州林後農場造林地與草生地 5 cm 深土壤月平均日最高土溫

土壤 20 cm 深之各月間月平均日最高土溫值(圖 11)，茄苳造林地土壤 20 cm 深之月平均日最高土溫(°C)在 19.5-28.3 °C，草生地土壤 20 cm 深之月平均日最高土溫(°C)在 22.5-32.3 °C，林地比草生地低 1.8-4.2 °C，其中 11 月份差異最小，林地比草生地低 1.8 °C，4 月份差異最大，林地比草生地低 4.2 °C。

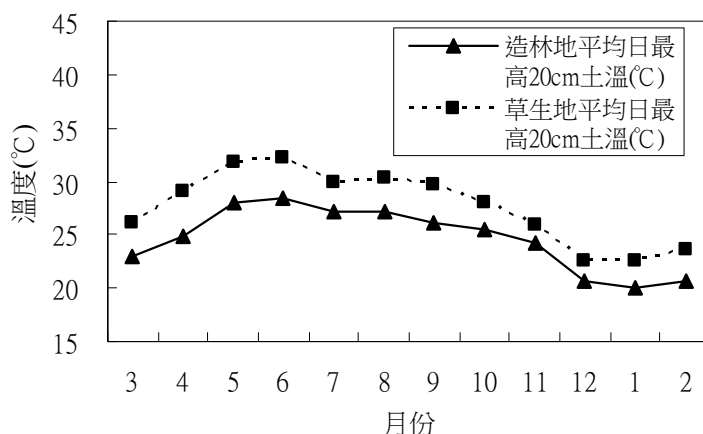


圖 11. 屏東潮州林後農場造林地與草生地 20 cm 深土壤月平均日最高土溫

土壤 35 cm 深之各月間月平均最高日土溫值(圖 12)，茄苳造林地土壤 35 cm 深之月平均日最高土溫(°C)在 20.0-27.8 °C，草生地土壤 35 cm 深之月平均日最高土溫(°C)在 22.1-31.4 °C，林地比草生地低 1.4-3.7 °C，其中 12 月份差異最小，林地比草生地低 1.4 °C，4 月份差異最大，林地比草生地低 4.2 °C。

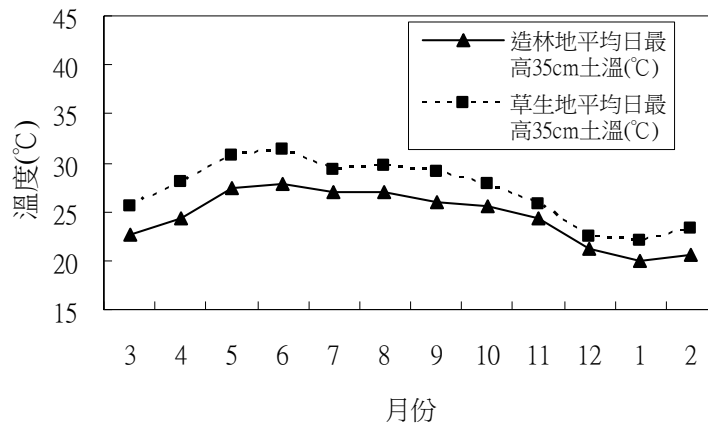


圖 12. 屏東潮州林後農場造林地與草生地 35 cm 深土壤月平均日最高土溫

土壤 50 cm 深之各月間月平均日最高土溫值(圖 13)，茄苳造林地土壤 50 cm 深之月平均日最高土溫(°C)在 20.3-27.6 °C，草生地土壤 50 cm 深之月平均日最高土溫(°C)在 21.9-30.2 °C，林地比草生地低 1.3-2.8 °C，其中 12 月份差異最小，林地比草生地低 1.3 °C，4 月份差異最大，林地比草生地低 2.4 °C。

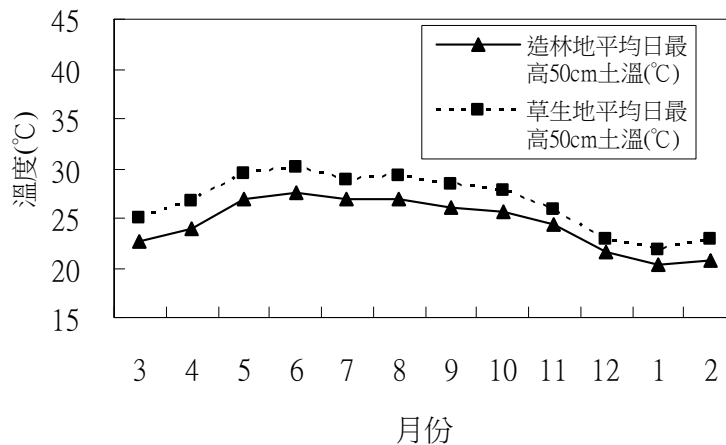


圖 13. 屏東潮州林後農場造林地與草生地 50 cm 深土壤月平均日最高土溫

各月間月平均日最高氣溫，林地與草生地均以 12 月最低，各月間 5 cm 深土壤的月平均日最高土溫，林地與草生地均以 12 月最低，各月間 20 cm-50 cm 深土壤的月平均日最高土溫，林地與草生地均以 1 月最低。至於各月間月平均日最高氣溫及 5 cm-50 cm 深土壤的月平均日最高土溫，林地與草生地均以 6 月最高。土壤深度愈深，月平均日最高土溫的最低月份呈現延後趨勢，顯示土壤降溫時，隨著土壤深度增加，需較長的時間經過熱傳導作用，才能達到散溫效果。然土壤增溫時，雖然土壤深度增加，可不需較長的時間經過熱傳導作用，即能達到增溫效果。

各月間月平均日最高氣溫，於 4 月的春天，林地僅比草生地低 0.4 °C；

於 9 月的初秋，林地比草生地低 6.6 °C；5 月開始林地降溫效果逐漸發揮，至 9 月達到降溫效果最高峰，以後降溫效果參差不齊的下降，至 4 月降溫效果下降至最低谷。各月間 5 cm-20 cm 深土壤的月平均日最高土溫，於 11 月的秋末，林地僅比草生地低 1.4-1.8 °C；於 4 月的春天，林地比草生地低 4.2-4.8 °C；12 月開始林地降溫效果逐漸發揮，至 4 月達到降溫效果最高峰，以後降溫效果參差不齊的下降，至 11 月降溫效果下降至最低谷。各月間 35 cm-50 cm 深土壤的月平均日最高土溫，於 12 月的初冬，林地僅比草生地低 1.3-1.4 °C；於 4 月的春末，林地比草生地低 2.8-3.7 °C；1 月開始林地降溫效果逐漸發揮，至 4 月達到降溫效果最高峰，以後降溫效果參差不齊的下降，至 12 降溫效果下降至最低谷。

(四) 日最低氣溫與土壤溫度特性

以每日氣溫、土深 5 cm、20 cm、35 cm、50 cm 的年平均日最低溫度值(圖 14)，茄苳造林地為：19.9 °C、22.9 °C、23.8 °C、24.1 °C、24.3 °C，草生地為：19.9 °C、24.6 °C、25.8 °C、26.0 °C、26.3 °C。茄苳造林地年平均日最低溫度與草生地年平均日最低溫度差異：林地比草生地低 0.0 °C、1.7 °C、2.0 °C、1.9 °C、2.0 °C。

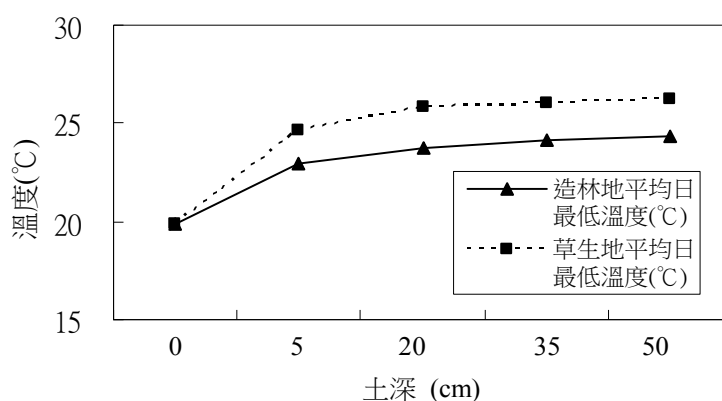


圖 14. 屏東潮州林後造農場林地與草生地年平均日最低氣溫與土溫

各月間每月平均日氣溫最低溫度值(圖 15)，茄苳造林地月平均日最低氣溫(°C)在 14.5-23.7 °C，草生地月平均日最低氣溫(°C)在 13.9-23.9 °C，林地比草生地低 0.4 °C 至高 0.6 °C 間，其中 1-3 及 10-12 月較冷的月份，林地月平均日最低氣溫比草生高 0.1-0.6 °C 間；4-9 月較暖的月份，林地月平均日最低氣溫比草生低 0.2-0.4 °C 間。其中 3 月與 10 月差異最小，林地比草生地高 0.1 °C，1 月份差異最大，林地比草生地高 0.6 °C。

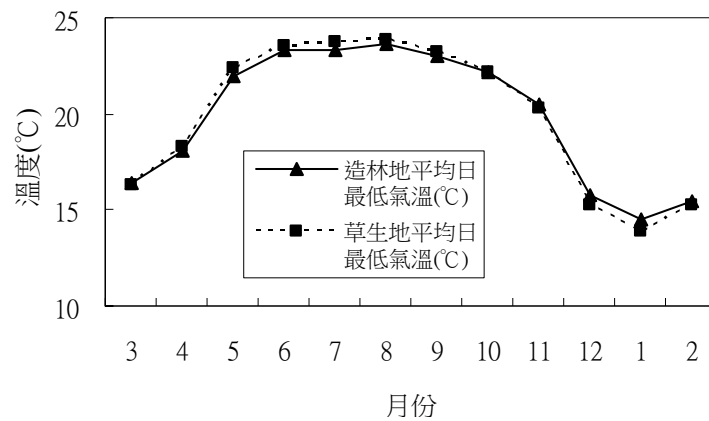


圖 15. 屏東潮州林後農場造林地與草生地月平均日最低氣溫

土壤 5 cm 深之各月間月平均日最低土溫值(圖 16)，茄苳造林地土壤 5 cm 深之月平均日最低土溫(°C)在 17.7-26.6 °C，草生地土壤 5 cm 深之月平均日最低土溫(°C)在 19.6-28.5 °C，林地比草生地低 1.3-2.2 °C，其中 3 月份與 7 月份差異最小，林地比草生地低 1.3 °C，2 月份差異最大，林地比草生地低 2.2 °C。

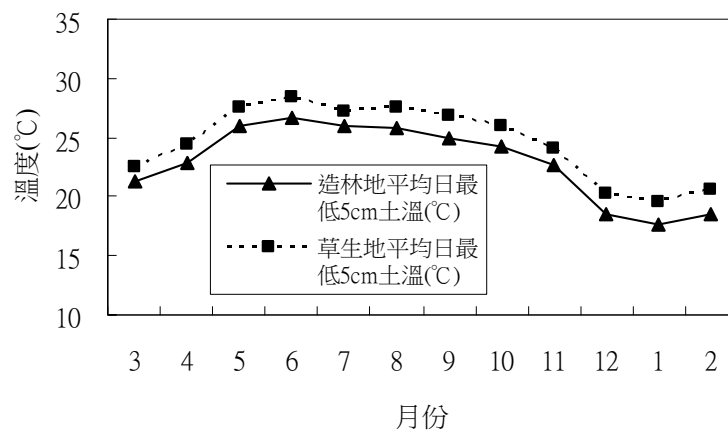


圖 16. 屏東潮州林後農場造林地與草生地 5 cm 深土壤月平均日最低土溫

土壤 20 cm 深之各月間月平均日最低土溫值(圖 17)，茄苳造林地土壤 20 cm 深之月平均日最低土溫(°C)在 18.9-27.3 °C，草生地土壤 20 cm 深之月平均日最低土溫(°C)在 20.7-29.5 °C，林地比草生地低 1.5-2.4 °C，其中 11 月份與 12 月份差異最小，林地比草生地低 1.5 °C，6 月份差異最大，林地比草生地低 2.4 °C。

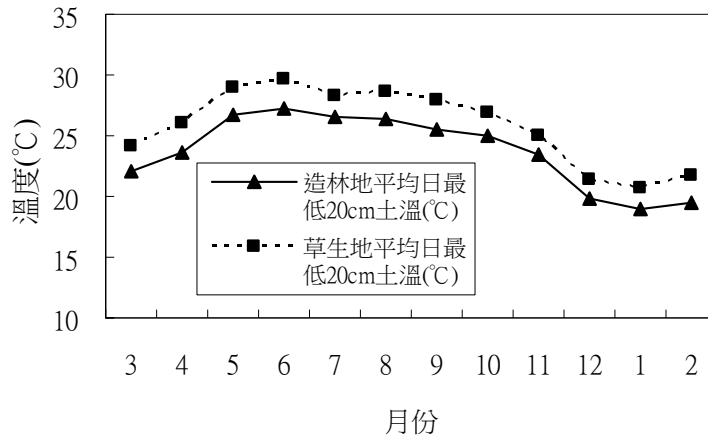


圖 17. 屏東潮州林後農場造林地與草生地 20 cm 深土壤月平均日最低土溫

土壤 35 cm 深之各月間月平均日最低土溫值(圖 18)，茄苳造林地土壤 35 cm 深之月平均日最低土溫(°C)在 19.6-27.5 °C，草生地土壤 35 cm 深之月平均日最低土溫(°C)在 21.1-29.8 °C，林地比草生地低 1.0-2.4 °C，其中 12 月份差異最小，林地比草生地低 1.0 °C，4 月份與 6 月份差異最大，林地比草生地低 2.4 °C。

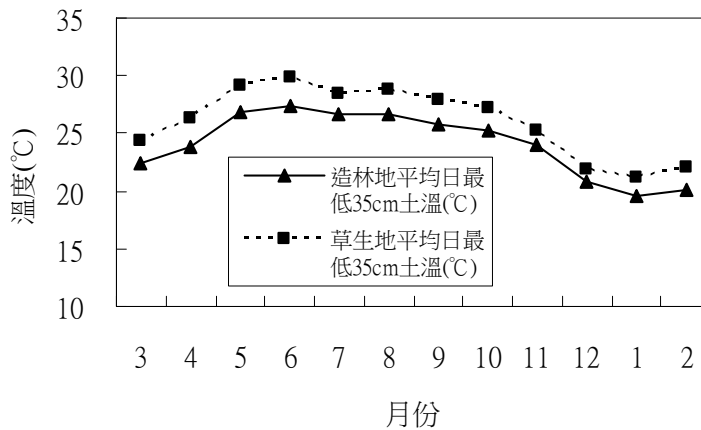


圖 18. 屏東潮州林後農場造林地與草生地 35 cm 深土壤月平均日最低土溫

土壤 50 cm 深之各月間月平均日最低土溫值(圖 19)，茄苳造林地土壤 50 cm 深之月平均日最低土溫(°C)在 20.1-27.4 °C，草生地土壤 50 cm 深之月平均日最低土溫(°C)在 21.6-29.7 °C，林地比草生地低 1.2-2.5 °C，其中 12 月份差異最小，林地比草生地低 1.2 °C，4 月份差異最大，林地比草生地低 2.5 °C。

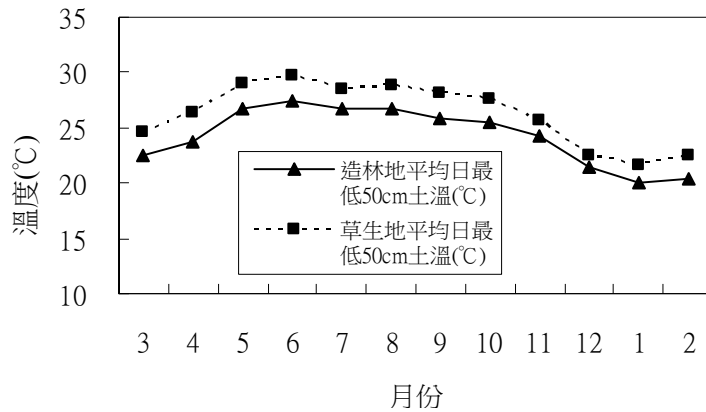


圖 19. 屏東潮州林後農場造林地與草生地 50 cm 深土壤月平均日最低土溫

各月間月平均日最低氣溫及 5 cm-50 cm 深土壤的月平均日最低土溫，林地與草生地均以 1 月最低。至於各月間平均日最低氣溫，林地與草生地均以 8 月最高；各月間 5 cm-50 cm 深土壤的月平均日最低土溫，林地與草生地均以 6 月最高。土壤對於月平均日最低土溫的最高月份呈現提前趨勢，顯示土壤對月平均日最低土溫增溫時，由於土壤已儲存熱容量的作用，僅需較短的時間經過熱傳導作用，即可達到最大溫度效果。然土壤對於月平均日最低土溫的最低月份並無呈現延後趨勢。

各月間月平均日最低氣溫，於 3 月初春及 10 月的秋天，林地僅比草生地高 0.1 °C；於 1 月的冬天，林地比草生地高 0.6 °C；4 月開始林地開始發揮降溫效果，至 9 月降溫效果結束，10 月以後林地開始發揮增溫效果，至 3 月增溫效果結束。故月平均日最低氣溫，林地降溫主要於氣溫較高的季節 4-9 月，氣溫較低的季節 10-3 月，林地不但不降溫，反而有保溫效果。

各月間 5 cm 深土壤的月平均日最低土溫，於 3 月的初春，林地僅比草生地低 1.3 °C；4 月至 6 月林地降溫效果逐漸增加；7 月夏天，林地降溫效果又低至 1.3 °C；8 月降溫效果參差不齊的上升，至 2 月降溫效果達最高峰 2.2 °C。各月間 20 cm 深土壤的月平均日最低土溫，11-12 月的秋冬之際，林地僅比草生地低 1.5 °C；其它月份降溫效果參差不齊的上升；4 月與 6 月降溫效果達最高峰 2.4 °C。各月間 35 cm 深土壤的月平均日最低土溫，於 12 月的初冬，林地僅比草生地低 1.0 °C；其它月份降溫效果參差不齊的上升；4 月與 6 月降溫效果達最高峰 2.4 °C。各月間 50 cm 深土壤的月平均日最低土溫，於 12 月的初冬，林地僅比草生地低 1.2 °C；其它月份降溫效果參差不齊的上升；4 月降溫效果達最高峰 2.5 °C。

四、結論

氣溫、土深 5 cm、20 cm、35 cm、50 cm 的年平均溫度，林地比草生地低 1.6 °C、2.8 °C、2.8 °C、2.5 °C、2.3 °C。氣溫、土深 5 cm、20 cm、35 cm、50 cm 的年平均日最高溫度，林地比草生地低 3.6 °C、3.3 °C、3.0 °C、2.6 °C、2.2 °C。氣溫、土深 5 cm、20 cm、35 cm、50 cm 的年平均日最低溫度，林地比草生地低 0.0 °C、1.7 °C、2.0 °C、1.9 °C、2.0 °C。林地對於年平均溫度調節降溫的效果，氣溫的調降最小，土深較淺時土溫調降最大，土深愈深時土溫調降減少。林地對於年平均日最高溫度調節降溫的效果，氣溫的調降最大，土深較淺時土溫調降較大，土深愈深時土溫調降減少。林地對於年平均日最低溫度調節降溫的效果，氣溫以年平均而言無調降，4-9 月較暖的月份，有調節降溫的效果，但 10-3 月較冷的月份，有調節增溫的效果；至於土溫調降，土深較淺時土溫調降較小，土深愈深時土溫調降減大。

五、謝誌

本研究承行政院農業委員會 101 農科-13.3.5-森-G2 及 101 公共建設-13.1-務-01(6)計畫經費提供，傅鶴翹、李聖餘、王德華、邱之偉先生協助，謹此致謝。

六、參考文獻

- 盧惠生、林壯沛、黃良鑫 2000 蓮華池地區天然闊葉林不同土壤深度的溫度日週期變化。中華水土保持學報 31(4)：267-278。
- Brooks, R.T., and T. D. Kyker-Snowman 2008. Forest floor temperature and relative humidity following timber harvesting in southern New England, USA. *Forest Ecology & Management* 254 (1)：p65-73
- Delgado, J. D., N. L. Arroyo, J. R. Arevalo and J. M. Fernandez-Palacios 2007. Edge effects of roads on temperature, light, canopy cover, and canopy height in laurel and pine forests (Tenerife, Canary Islands). *Landscape & Urban Planning* 81(4)：328-340.
- Denyer, K., B. Burns, and J. Ogden 2006. Buffering of native forest edge microclimate by adjoining tree plantations. *Austral Ecology* 31(4)：478-489.
- Hamada, S., and T. Ohta 2010. Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas. *Urban Forestry & Urban Greening*; 9 (1)：15-24.
- Meleason, M. A., and J. M. Quinn 2004. Influence of riparian buffer width on air temperature at Whangapoua Forest, Coromandel Peninsula, New Zealand. *Forest Ecology & Management* 191(3)：359-365.

- Pohlman, C. L., S. M. Turton and M. Goosem 2009. Temporal variation in microclimatic edge effects near powerlines, highways and streams in Australian tropical rainforest. *Agricultural & Forest Meteorology* 149(1) : 84-95.
- Taniguchi, M., A. J. Peck, and D. R. Williamson 1998. Estimations of surface temperature and subsurface heat flux following forest removal in the south-west of Western Australia. *Hydrological Processes* 12 (13) : 2205-2215.
- Trolander, H. W. 1972. The current state of electrical thermometry for biological applications. pp.2035-2050. In: *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*. H. H. Plumb (ed.) Instrument Soc. of Am., Pittsburgh, Pa.

大農大富平地森林園區道路景觀視覺偏好分析

謝漢欽^{1*} 汪大雄² 李靜怡³

【摘要】

本研究以花蓮縣大農大富平地森林園區為試驗區域，以 Kaplan 景觀認知偏好理論向度，設計兩階段受測者問卷。首先拍攝規劃前及第一期規劃建置後園區的各類景觀步道兩旁全景照片，從中選取代表照片 50 張先進行問卷預測。針對 4 個認知向度及 2 個形式向度設計每張照片之 16 個項目評分量表，共取得 68 份有效問卷。將個別照片之每一項目所有受測者之平均評分轉換為常態化 SBE 分數，以去除因不同受測對象之不同評分量尺的影響。50 張照片之 16 個項目常態化 SBE 分經因素分析後，可得 4 個明確認知向度，以個別向度的 SBE 因素分析得點分數分成 5 個等級分數，從每個分級中選出 1 張代表照片，共選取 20 張照片；此外從自然度形式向度常態化 SBE 之 5 個等級各選出 5 張照片，加上逢機選取 5 張代表照片，共 30 張照片。第二階段為普測，此時只以所選取之 30 張景觀相片讓受測者針對每一照片之喜好程度進行評分。普測階段係針對全台一般民眾進行問卷調查，共得 837 份有效問卷。以 30 張照片受測者第一階段之 4 個因素得點分數及個別照片之常態化 SBE 分數排序及百分等級分數，建立步道景觀偏好向度組合分數指標。以全部受測者對照片的偏好分析結果而言，得知若能提高大農大富平地森林園區景觀的新奇度及易讀性，可降低景觀的複雜度及自然度，如此可引起一般大眾對景觀的喜好；以各個向度偏好分數及不同受測背景差異性比較，可供未來綠色造林園區道路景觀規劃及道路兩旁森林等造景元素設計與配置的參考。

【關鍵詞】景觀評估、環境心理學、視覺偏好、平地森林園區

¹ 林業試驗所太麻里研究中心副研究員兼主任，台東縣太麻里鄉大王村橋頭 6 號，*通訊作者。

² 林業試驗所森林經營組研究員，台北市南海路 53 號。

³ 林業試驗所森林經營組研究助理，台北市南海路 53 號。

一、前言

農委會承接馬總統愛台十二建設計劃，2008 年起要開發 3 個面積 1000 公頃以上的平地森林園區，決定選擇在台糖農場地先後發展花蓮大農大富、嘉義鰲鼓溼地及屏東林後四林 3 大平地森林園區。由於開發土地上已有過去 10 年以來綠海及綠色獎勵造林計畫所種植的幼齡人工林，在人工林區塊間建設景觀道路，究竟幼齡人工林道路兩旁景觀元素要如何布局或設計，維持現狀或增加人工設計或增加何種景觀元素之配置，以吸引一般遊客。

本研究為了瞭解上述問題，2010 年選擇花蓮大農大富平地森林園區為試驗區域。以該園現有台糖農場綠色造林地，規劃之大型森林園區及其周邊造林地各類觀景道路為對象。使用大眾環境心理學資訊處理認知之景觀偏好理論為基礎，應用地理資訊輔助拍照地點的取樣位置，據以拍攝規劃建置前後的各類景觀步道全景照片。以 Kaplan 景觀認知偏好理論向度，設計兩階段受測者問卷。先以第一段問卷預測分析結果，客觀選取各個向度的分級代表性照片，使用各個向度分級代表照片，針對一般民眾進行第二階段景觀相片偏好問卷普測，分析受測者對各個向度代表性照片的偏好分數，建立步道景觀偏好向度組合分數指標；以各個向度偏好分數之各類統計分析，期望所得結果能提供一般使用對綠色造林平地森林園區的道路景觀偏好趨向之有利資訊，具以提供未來綠色造林園區道路景觀規劃及道路兩旁森林等造景元素設計與配置的參考。

二、材料與方法

(一) 試驗地區與材料

以花蓮光復鄉大富大農平地森林園區及其周邊私有造林地步道兩旁景觀為研究試區。以開園前兩年道路景觀及第一期 3 種主要道路規劃之地理資訊作為景觀拍照取樣的依據。

(二) 道路兩旁造林景觀照片拍攝

以大眾景觀視覺認知理論為基礎，進行園區各種步道（含規劃前後的步道），道路以每 300 公尺拍攝現有造林道路景觀及 3 種主要遊憩道路（主要汽車環道、自行車道及步道）。以單眼相機標準鏡頭，依據景觀視覺與攝影原理，拍攝高度為 150cm，橫向視野 120 度之全景照片，全景照片以 Photoshop 影像處理軟體相接處理完成。

(三) 問卷設計與預測

以 Kaplan 景觀認知偏好理論的一致性、複雜性、易讀性及神秘性 4 個資訊為處理景觀照片向度(如表 1)，依心理學反應變數，設計兩階段受測者問卷。先從取樣拍攝之 2217 張照片中選取 50 張具代表性照片，當作以第一段預測問卷的受測照片，問卷內容設計係針對 4 個認知向度及開闊度與地被質地 2 個形式向度設計每張照片之 16 個項目評分量表(如表

2)，以林試所台北總所員工為受測對象。將個別照片之每一問項平均評分，以美國林務署洛磯山脈實驗站 1990 年發展之 RMRATE 評分分析軟體轉換為常態化 SBE (standardized Scenic Beauty Estimate)分數，以去除因不同受測對象之不同評分量尺的影響。以 SBE 轉換對受測者感受程度分數進行常態化處理，以各個變數(問項)的 SBE 分數，使用因素分析法，產生個別照片之 4 個向度的變數組合及其變數線性加權組合得點分數。以個別向度的常態化 SBE 因素分析得點分數分成 5 個等級分數，從每個分級中選出 1 張代表照片，共選取 20 張照片；此外從自然度形式向度常態化 SBE 之 5 個等級各選出 5 張照片，隨機選取 5 張代表照片，共 30 張照片(如 Fig 1)。據以客觀選取各個向度 5 等分級代表性照片，作為第二階段普測之偏好調查的代表照片。

表 1. 預測環境偏好的資訊因素矩陣

	理解(Understanding)	探索(Exploration)
直接、立即 (Immediate)	一致性(Coherence)	複雜性(Complexity)
推論、預測 (Inferred)	易讀性(Legibility)	神秘性(Mystery)

From The experience of nature: A psychological perspective (p. 53),
by R. Kaplan, and S. Kaplan, 1989, NY: Cambridge University Press.

(四) 景觀偏好問卷調查

使用上述各個向度分級 30 張代表照片，設計景觀照片偏好調查問卷，以一般民眾為受測對象，進行第二階段景觀相片偏好問卷普測。此時只以所選取之 30 張景觀相片之喜好程度讓受測者針對每一照片進行評分。普測階段係針對一般民眾進行問卷調查，取得有效問卷。以 30 張照片受測者第一階段之 4 個因素得點分數及個別照片之常態化 SBE 分數排序及百分等級分數，建立步道景觀偏好向度組合分數指標。分析受測者對各個向度代表性照片的偏好分數，以相關分析、相關樣本平均值差異比較分析、無母數等級序差異比較分析檢測不同受測背景及地域區隔之照片偏好之差異性；以及應用多元線性迴歸分析，建立步道景觀偏好向度組合分數指標及顯著的線性組合估測模式。

(五) 偏好指標分析與建議提供

以全體受測者或不同受測背景之差異對喜好及厭惡的照片各個向度偏好分數，分析結果用於提供一般使用對綠色造林平地森林園區的道路景觀偏好趨向之有利資訊，據以提供未來綠色造林園區道路景觀規劃及道路兩旁森林等造景元素設計與配置的參考。

三、結果與討論

(一) 平地森林園區道路景觀照片拍攝

從 2010 年 11 月起至 2011 年 9 月期間，完成花蓮光復鄉台糖大富大農農場及附近農地造林景觀拍照 2117 張，依據景觀偏好資訊處理認知模式 4 個向度及兩個形式物理向度，主觀選取第一期開發的 3 種主要景觀道路有關之 50 張 120 度全景拍攝照片，當作園區預測問卷調查的景觀認知受測的照片。

(二) 預測問卷設計與問卷調查

1. 依據景觀偏好資訊處理認知模式 4 個向度及 2 個形式心物理變數(開闊度與自然度)，針對花蓮光復鄉台糖大富大農農場，及附近農地於平地園區尚未開工前之造林景觀選取的 25 張林道景觀照片，加上大農大富平地森林園區 5 月後已經規劃建造之設施及主要環道、自行車道及步道兩旁造林景觀全景照片 25 張，兩者共 50 張，進行景觀照片 16 個屬性，設計預測問卷。
2. 以本所經營、經濟、育林、集水區經營、利用組及收發室、秘書室、植物園志工及屏科大生資所學生為受測對象，進行問卷預測，對 16 個道路景觀屬性變數，進行照片分級及選取，以作為後續普測的代表的景觀視覺美質偏好調查的照片。
3. 本次預測問卷共取得 67 份有效問卷，針對預測問題量表分數以 SBE 常態化分析轉換，可去除受測對象不同量尺的影響，使得評量尺度可以均化及變數可量化計算。以轉換後標準常態化 SBE 進行，經因數分素分析轉換後，以個別照片的 4 個因素(如表 3)得點分，進行從高到低的 5 等級分類，產生各項屬性分級後之照片成果。針對 4 向度的分數及照片，審視問卷調查結果與 Kaplan 的景觀認知偏好理論的符合度。結果發現由於本次照片以未規劃前的景觀照片進行預測結果能驗證符合 Kaplan 的理論。

(三) 景觀偏好問卷普查

普測階段係針對一般民眾進行問卷調查，調查時間為 2011 年 11 月起至 2012 年 6 月止，在花東地區及屏東森林遊樂區、鄉公所及大富大農平地森林園區，公家機構等地進行，受測對象以不同居住區域及當地民眾與台糖員工為主，獲得問卷 1103 份，經過濾無效問卷，共取得 837 份有效問卷。

針對全體受測者，以受測之 30 張照片第一階段所得之 4 個因素得點分數及個別照片之常態化 SBE 分數排序及百分等級分數，以最受喜好排名前 5 名及最不受喜好排名在後 5 名的照片，分析兩組相片在 4 個向度的平均等級及百分分數，得知在喜好照片組織新奇度及易讀性分數為高，在不喜好照片組的複雜度及自然度很高，因此若能提高大農大富平

地森林園區景觀的新奇度及易讀性，降低可景觀的複雜度及自然度，如此可引起一般大眾對景觀的喜好。應用多元線性迴歸分析，建立步道景觀偏好向度組合分數指標，結果發現 4 個向度中及自然度共 5 個獨立變數，顯著選入的變數，可用於本平地森林園區估測的向度為正向的新奇度與正向的易讀性及負向的複雜度，可解釋變異達 52%；結果可進一步解釋上述結論。

進一步分析不同背景受測者對各個向度代表性照片的偏好分數，應用相關分析、相關樣本平均值差異比較分析、無母數相依等級序差異比較分析檢測，皆發現男性、女性及全體受測者之背景之差異性並不顯著，3 組織間兩組 10 張照片重複度達 90% 以上。其他不同背景及地域性差異分析結果，將於後續研究中詳述之。

表 2.16 個項目的評分量表

- 請受訪者對於照片中的感受於下列空格勾選感受程度
1. 連貫 _____ 不連貫
 2. 重複的元素、區域 _____ 多樣化的元素、區域
 3. 層次分明 _____ 沒有層次
 4. 明確區分的元素 _____ 無法區分出不同元素
 5. 不易迷失 _____ 易迷失方向
 6. 有突出或醒目的標的物 _____ 毫無明顯目標
 7. 錯綜複雜 _____ 簡單明瞭
 8. 豐富 _____ 單調
 9. 沒規則、秩序 _____ 有規則、秩序
 10. 變化多端 _____ 沒有變化
 11. 吸引人進一步探險 _____ 興趣缺缺
 12. 迂迴(沒有立即實現) _____ 一目了然
 13. 幽深、神秘 _____ 明朗
 14. 新奇的 _____ 無趣的
 15. 開闊 _____ 不開闊
 16. 自然程度高 _____ 自然程度低

表 3. 16 個問項因素分析結果

Rotated Component Matrix^a

問題變項	量尺化成分			
	1 神秘性	2 複雜性	3 易讀性	4 新奇性
豐富	-.128	.917	.268	.015
明確區分元素	-.430	-.002	.792	.174
不易迷失	-.489	-.050	.816	.161
突出明顯目標	-.226	.260	.894	.065
多樣化元素區域	.065	.879	.017	.394
變化多端	.159	.919	-.107	.263
吸引人探尋	.078	.247	.119	.917
迂迴	.829	.205	-.459	-.063
幽深、神秘	.840	.092	-.416	.272
新奇的	.065	.222	.139	.930
不開闊	.941	-.129	-.229	.085
變異百分比 (%)	25.5	24.6	24.6	18.9

*從 16 個問項取互相獨立之 11 個問題變項，轉軸後得 4 個主因素佔總變異的 93.03%，4 個主因素內部一致性 α 信度皆大於 0.90 以上。

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

a. Rotation converged in 7 iterations.

四、結論

本研究以大富大農平地森林園區為對象，完成了道路景觀全景照片的取樣拍攝工作，共計 120 度全景照片拍攝 2117 張。於預測階段完成 5 個向度的照片選取及 4 個有效主 SBE 分數因素得點及順位資訊，於普測階段，以所選取之 30 張景觀相片之喜好程度讓受測者針對每一照片進行評分。以 30 張照片受測者第一階段之 4 個因素得點分數及個別照片之常態化 SBE 分數排序及百分等級分數，建立步道景觀偏好向度組合分數指標。以全部受測者對照片的偏好分析結果而言，得知若能提高大農大富平地森林園區景觀的新奇度及易讀性，可降低景觀的複雜度及自然度，如此可引起一般大眾對景觀的喜好；以各個向度偏好分數及不同受測背景差異性比較，可供未來綠色造林園區道路景觀規劃及道路兩旁森林等造景元素設計與配置的參考。



圖 1. 普測使用受測的 30 張照片：為 4 個主因素及 2 個變項分 5 個等級

五、參考文獻

- Bell, P. A., J D. Fisher and R. J. Loomis 1984. Environmental psychology 2nd Ed. Publisher: Holt, Rinehart, and Winston (New York). 472 pp.
- Bourassa. S. C. 1988. Toward a theory of landscape aesthetics. Landscape and Urban Planning Vol.15, issues 3-4: 241-252.
- Brown, T. C. and T. C. Daniel 1990. Scaling of ratings: Concepts and methods. Res. Pap. RM2-293. Fort Collins, CO:U.S.D.A, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 24 pp.
- Brown, T. C., T. C. Daniel, H. W. Schroeder and G. E. Brink 1990. Analysis of rating: a guide to RMRATE. Gen. Tech. Rep. RM-195. For Collins, CO: U.S.D.A., Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 40 pp.
- Daniel, T. C. and R. S. Boster 1976. Measuring landscape aesthetics: The scenic beauty estimation method (U.S.D.A. Forest Service research paper 167). Ft. Collins, CO: Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 39 pp.
- Daniel, T. C. 1990. Measuring the quality of the environment. American Psychologist Vol.45 5:633-637.
- Kaplan, R., S. Kaplan 1989. The Experience of Nature: a psychological perspective. Cambridge University Press. 352 pp.
- Kaplan, R., S. Kaplan and T. Brown 1989. Environmental Preference: a Comparison of Four Domains of Predictors. Environment and Behavior vol. 21. 5: 509-530.

- Kaplan, S. 1987. Aesthetics, affect and cognition: Environmental preference from an evolutionary perspective. *Environment and Behavior* 19:3-32.
- Kaplan, S. 1979. Perception and landscape: conceptions and misconceptions. In: Elsner, Gary H., and Richard C. Smardon, technical coordinators. 1979. *Proceedings of our national landscape: a conference on applied techniques for analysis and management of the visual resource* [Incline Village, Nev., April 23-25, 1979]. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-35. Berkeley, CA. Pacific Southwest Forest and Range Exp. Stn., Forest Service, U.S. Department of Agriculture: p. 241-248
- Schroeder, H. W. 1984. Environmental perception rating scales: a case for simple methods of analysis. *Environmental and Behavior*. 16:573-598

綠色造林對森林生態系服務價值之效益評估

吳俊賢^{1*} 王培蓉² 陳溢宏²

【摘要】

森林生態系服務功能乃指森林生態系維持人類賴以生存的自然環境條件與效用，其評估方法可分為市場價格法、市場替代法、顯示性偏好法、敘述性偏好法、及商議或參與式評估法，如果未對森林生態系之經濟價值做評估，可能會導致森林資源被漠視、浪費或破壞，以及減少政府對林業建設、森林保育之公共投資。本研究目的在評估台糖屏東及花蓮平地造林生態系服務價值，包括涵養水源、保育土壤、固定二氧化碳釋放氧氣、營養物質累積、淨化大氣環境、生物多樣性保護和森林遊憩等方面提供的生態服務功能，研究結果能提供具體數據給政策制定者，以便其在未來擬定政策與推廣計畫時有所依據。

【關鍵詞】生態系服務、經濟價值

¹ 農委會林業試驗所林業主任秘書台北市南海路 53 號 *通訊作者。

² 農委會林業試驗所林業經濟組 台北市南海路 53 號。

一、前言

森林生態系服務功能乃指森林生態系維持人類賴以生存的自然環境條件與效用。主要包括森林涵養水源、保育土壤、固定二氧化碳釋放氧氣、營養物質累積、淨化大氣環境、生物多樣性保護和森林遊憩等方面提供的生態服務功能。

近年來，森林生態系統服務價值評估受到國際組織的高度重視。聯合國 2005 年「世紀生態系統評估」(Millennium Ecosystem Assessment; MA)、聯合國糧農組織(Food and Agriculture Organization; FAO)的「全球森林資源評估」以及「聯合國氣候變化框架公約」(United Nations Framework Convention on Climate Change; UNFCCC)、「生物多樣性公約」(Convention on Biological Diversity; CBD)等均定期對森林生態系統進行監測評估。聯合國環境規劃署(UNEP)為能彰顯生態系與生物多樣性的價值，於 2007 年起開展「生態系暨生物多樣性經濟學」(The Economics of Ecosystems and Biodiversity, TEEB)研究計畫，並於 2010 年時公佈其估算結果。這項跨國研究中，針對全球 12 種棲地類型，包括海洋、沿海地帶、濕地、森林等，彙整國際相關研究，針對其生態系服務的貨幣價值加以量化。而所謂的生態系服務，是指生態系對於人類福祉直接及間接的貢獻，可分成供給、調節、棲息地、文化及生活安適性等四大類。依據此項研究成果，於 2010 年第十屆生物多樣性公約締約國大會(COP 10)上通過了「2020 年前，各締約國應將生物多樣性的價值，納入全國與地方政策規劃之中，且須與國家會計系統加以整合」之政策目標。TEEB 特別著重於提出現存或逐漸成形的適當解決方案，期待這些方案可以更加廣為運用，例如透過付費與市場機制進行利益回饋；生態系服務的付費(Payment for Ecosystem Services; PES) 機制可以是地方範圍的，如飲水的供應，也可以是全球性的，例如降低碳排放量與更新造林。要管制與維護這些能提供生態系服務且具有公共財性質的自然資源如森林，首先就要對此等自然資源之生態系服務價值予以量化評估。

2002 年時，政府為因應加入 WTO 國際農產貿易自由化所帶來的衝擊，實施平地景觀造林，輔導農民及農企業進行造林，配合獎勵與補助，以提高農民造林意願。為達成亞太經濟合作會議(Asia-Pacific Economic Cooperation, APEC)會員國之承諾且顧及政策一致性，因此政府於 2008 年實施「綠海計畫」。2009 年，因政府實施「愛台 12 項建設」，「綠海計畫」併入「綠色造林」政策。林務局自 2008 年起推動綠色造林計畫，至今累計新植造林面積已達 16,881 公頃。平地造林所提供的生態系服務(碳吸存、水源涵養、生物多樣性、遊憩)至為重要，但目前國內相關森林生態系服務的效益分析仍不足，導致民眾忽略森林生態系所扮演的重要角色。因此本研究的目的即期望藉由經濟方法評估平地造林的森林生態系服務價值，包括涵養水源經濟效益、固定二氧化碳釋放氧氣經濟效益、淨化空氣經濟效益、棲地保護及景觀和遊憩服務經濟效益等。研究結果能提供具體數據給政策制定者，以做為在未來擬定政策與推廣計畫時之依據。本研究選擇平地造林評估之地點為台糖屏東林後與四林農場 1,019.78 公頃及花蓮大農與大富農場 1,294.64

公頃。

二、材料與方法

(一) 樣區位置

台糖屏東及花蓮將不具生產效益之邊際土地釋出造林共栽植 2,314.42 公頃，前十名之樹種為光蠟樹、桃花心木、印度紫檀、台灣欒木、白千層、無患子、茄苳、水黃皮、苦楝及楓香(林業試驗所，2011)。

(二) 研究方法

依據 MA 評估架構(圖 1)，對台糖屏東及花蓮平地造林的森林生態系服務價值，包括涵養水源經濟效益、固定二氧化碳釋放氧氣經濟效益、淨化空氣經濟效益、生物多樣性保護及景觀和遊憩服務經濟效益等進行評估。

1. 涵養水源之效益評估

用市場替代法來評估涵養水源之效益，以生產函數法先求出水的影子價格，再依土壤粗孔隙率算出土壤儲水量，據以求出涵養水源之效益。

2. 保育土壤之效益評估

(1) 固土

$$U_{固土} = AC_{\pm} (X_2 - X_1) / \rho$$

$U_{固土}$ 為林分年固土價值，單位：元/年； X_1 為林地之土壤沖蝕程度，單位：公噸/公頃年； X_2 為無林地之土壤沖蝕程度，單位：公噸/公頃年； C_{\pm} 為挖取和運輸每立方公尺土方所需費用，單位：元/立方公尺； A 為林分面積，單位：公頃； ρ 為林地土壤容重，單位：公噸/立方公尺。

(2) 保肥

$$U_{肥} = A (X_2 - X_1) (NC_1/R_1 + PC_1/R_2 + KC_1/R_3 + MC_2)$$

$U_{肥}$ 為林分年保肥價值，單位：元/年； N 為林分土壤平均含氮量，單位：%； P 為林分土壤平均含磷量，單位：%； K 為林分土壤含鉀量，單位：%； M 為林分土壤有機質含量，單位：%； R_1 為 1 號複合肥料含氮量，單位：20%； R_2 為 1 號複合肥料含磷量，單位：5%； R_3 為 1 號複合肥料含鉀量，單位：10%； C_1 為 1 號複合肥料價格，單位：元/公噸； C_2 為有機質價格，單位：元/公噸。

3. 固碳釋氧

(1) 固碳

$$U_{碳} = A \times C_{碳} \times (1.63 \times R_{碳} \times B_{年} + F_{土壤碳})$$

$U_{碳}$ 為林分年固碳價值，單位：元/年； $B_{年}$ 為林分淨生產力，單位：公噸/公頃年（ $1.63 B_{年}$ 以林份每年每公頃固定二氧化碳量取

代)； $C_{\text{碳}}$ 為固碳價格，單位：元/公噸； $R_{\text{碳}}$ 為 CO_2 中碳的含量，為 27.27%； $F_{\text{土壤碳}}$ 為單位面積林分土壤年固碳量，單位：公噸/公頃年； A 為林分面積，單位：公頃。

(2) 釋氧

$$U_{\text{氧}} = 1.19 \times C_{\text{氧}} \times A \times B_{\text{年}}$$

$U_{\text{氧}}$ 為林分年釋氧價值，單位：元/年； $B_{\text{年}}$ 為林分淨生產力，單位：公噸/公頃年； $C_{\text{氧}}$ 為氧氣價格，單位：元/公噸； A 為林分面積，單位：公頃。

4. 營養物質累積

$$U_{\text{營養}} = AB_{\text{年}}(N_{\text{營養}}C_1 / R_1 + P_{\text{營養}}C_1 / R_2 + K_{\text{營養}}C_1 / R_3)$$

$U_{\text{營養}}$ 為林分年營養物質積累價值，單位：元/年； $N_{\text{營養}}$ 為林木含氮量，單位：%； $P_{\text{營養}}$ 為林木含磷量，單位：%； $K_{\text{營養}}$ 為林木含鉀量，單位：%； R_1 為 1 號複合肥料含氮量，單位：20%； R_2 為 1 號複合肥料含磷量，單位：5 %； R_3 為 1 號複合肥料含鉀量，單位：10 %； C_1 為 1 號複合肥料價格，單位：元/公噸； $B_{\text{年}}$ 為林分淨生產力（由 1.63 倍二氧化碳吸存量取代），單位：公噸/公頃年； A 為林分面積，單位：公頃。

5. 生物多樣性保護

$$U_{\text{生物}} = S_{\text{生}}A$$

$U_{\text{生物}}$ 為林分年物種保育價值，單位：元/年； $S_{\text{生}}$ 為單位面積年物種損失的機會成本，單位：元/公頃年； A 為林分面積，單位：公頃。

三、結果與討論

(一) 涵養水源之效益評估

根據吳俊賢等(2010)研究指出，台糖公司屏東與花蓮等農場之每年每公頃涵養水源之經濟效益為 23,003 元。

(二) 保育土壤之效益評估

1. 固土

森林地土壤沖蝕最小值為 0.02 公噸/公頃年，耕作地為 10 公噸/公頃年（盧惠生，1985），台糖公司屏東與花蓮平地造林地之土壤容重平均為 0.9 公噸/立方公尺，挖取和運輸每立方公尺土方所需費用（短程）為 3,815 元/立方公尺，則台糖公司屏東與花蓮平地造林地之固土價值每年每公頃為 $(10 \text{ 公噸/公頃年} - 0.02 \text{ 公噸/公頃年}) \times 3,815 \text{ 元/立方公尺} \times 0.9 \text{ 公噸/立方公尺} = 34,266 \text{ 元}$ 。

2. 保肥

由林試所土壤研究團隊 4 年來所調查的資料（尚未發表）得知，台糖公司屏東與花蓮平地造林地土壤深度 15 公分之有機氮含量平均為 0.124%，磷含量平均為 0.776%，鉀含量平均為 0.422%，林分土壤有機質含量為有機碳含量(重量%) $\times 1.724 = 0.889\% \times 1.724 = 1.533\%$ 。

由行政院農業委員會農糧署提供之 101 年 8 月份最新化學肥料出廠基準價格，1 號複合肥料（含氮量 20%、含磷量 5%、含鉀量 10%）每公噸 12,075 元，中華紙漿公司有機質價格為每公噸 2,000 元（有機質 60%），台糖公司屏東與花蓮平地造林地保肥價值為（10 公噸/公頃年 -0.02 公噸/公頃年） $\times 12,075$ 元/公噸 $\times (0.124/20 + 0.776/5 + 0.422/10) + 2,000$ 元/公噸 $\times 1.533/60 = 24,584$ 元。台糖屏東及花蓮平地造林每年每公頃固土與保肥之經濟效益為 34,266 元 $+ 24,584$ 元 $= 58,850$ 元。

(三) 固碳釋氧

1. 固碳

由本所土壤研究團隊 4 年來所調查的資料得知，台糖公司屏東與花蓮平地造林地土壤深度 15 公分之每公斤土壤有機碳含量平均為 8.11 公克，得知土壤單位面積每年固碳量為 $10,000 \times 0.15 \times 8.11 \div 1,000 = 12.17$ 公噸/公頃。根據王亞男等(2011)研究指出，從二氧化碳濃度及通量的日夜週期變化，就所得數據換算之二氧化碳固定量，屏東地區平地造林地近三年之平均每天每公頃林地可以從空氣中固定約 39.68 公斤的二氧化碳，則每年每公頃可固定二氧化碳 14.48 公噸。最近的 CDM 市場每公噸吸存的碳價值 5 美元至 15 美元，平均價值是 10 美元，台糖公司屏東與花蓮全造林面積每年每公頃之固定二氧化碳價值 $= 10$ 美元/公噸 $\times 30$ 元/美元 $\times (14.48$ 公噸/公頃年 $\times 27.27\% + 12.17$ 公噸/公頃年) $= 4,836$ 元。

2. 釋氧

依光合作用反應式 $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ ，則每生產 1 公噸生物量，可吸收二氧化碳 1.63 公噸及釋放 1.19 公噸的氧氣。台糖屏東及花蓮平地造林每年每公頃釋放氧氣量為： 14.48 公噸/公頃年 $\div 1.63 \times 1.19 = 28.09$ 公噸。若以市場價格法將氧氣以市價交易方式估算，目前市面上所販售存放於儲槽之氧氣價格為 9,000 元/公噸，台糖屏東及花蓮平地造林每年每公頃釋放氧氣的經濟效益為 28.09 公噸 $\times 9,000$ 元/公噸 $= 252,810$ 元。台糖屏東及花蓮平地造林每年每公頃之固定二氧化碳及釋放氧氣經濟效益為 $4,836$ 元 $+ 252,810$ 元 $= 257,646$ 元。

(四) 營養物質累積

根據劉恩好等（2008）研究指出，相思樹等 9 種闊葉樹之枝條平均含氮量為 1.34%。由行政院農業委員會農糧署提供之 101 年 8 月份化學肥料出廠基準價格，1 號複合肥料（含氮量 20%、含磷量 5 %、含鉀量 10 %）每公噸 12,075 元得知，台糖公司屏東與花蓮平地造林地營養物質累積價值每年每公頃為 $12,075 \text{ 元} \times (1.34 / 20) = 809 \text{ 元}$ 。

(五) 生物多樣性保護

根據 Shannon-Wiener 指數計算物種保育價值，共劃分為 7 級：（范欣婷等，2012）

（單位：新台幣元）

等級	$H' < 1$	$1 \leq H' < 2$	$2 \leq H' < 3$	$3 \leq H' < 4$	$4 \leq H' < 5$	$5 \leq H' < 6$	$H' \geq 6$
價值 (元/公頃年)	13,779	22,965	45,930	91,860	137,790	183,720	229,650

備註：H' 代表物種保育程度

如以最低等級計算，則台糖屏東及花蓮平地造林每年每公頃之生物多樣性保護經濟效益為 13,779 元。過去評估生態系之生物多樣性保護價值，大多從條件評估法評估其願付價值(Bateman et. al., 2010)，且效益皆為正面，然因受訪者易與景觀和遊憩服務效益混淆，本研究以 Shannon-Wiener 指數來評估生物多樣性保護效益，將來再以條件評估法來評估景觀和遊憩服務經濟效益。

四、結論

- (一) 淨化空氣及景觀和遊憩服務等經濟效益尚待評估。以上生態系服務價值（表 1），雖然無法反映台糖公司屏東與花蓮等農場之所有森林生態系服務的價值，但也是具有極高的經濟意義。
- (二) 若未來欲落實生態系服務付費機制，勢必需提出產官學界均能接受的評價方式及訂價策略，以俾建立可運行的操作機制。

五、參考文獻

- 王亞男。2011。屏東地區造林樹種生長監測及碳吸存效益分析。行政院農業委員會 林務局委託研究計畫系列編號100-00-5-16。36p。
- 吳俊賢、陳溢宏。2010。綠色造林對水資源涵養之效益評估。林業研究專訊17(6):56-59。

- 王培蓉、林俊成。2010。買賣自然－淺論為生態系統服務付費。林業研究專訊 17(1):23-27。
- 林業試驗所。2011。綠色造林撫育作業講習與座談會資料。94p。
- 劉恩好、劉瓊靄。2008。利用混沉降物的收集以推估林木對空氣污染物的截留能力。林業研究季刊 30(3):1-12。
- 盧惠生。1985。坡地開發與水文環境變化。中華水土保持學報 16(1)：24-34。
- 李蘭英、王飛、吳英俊、龔笑飛、黃文靜、萬超偉。2011。基於 MA 的縣域森林生態系服務價值評價－以浙江省遂昌縣為例。中國第九屆林業經濟論壇論文集 P. 367-373。
- 范欣婷、郭雪豔、達良俊。2012。上海環城綠帶生態系統服務價值研究。第三屆海峽兩岸森林保育經營學術論壇 P. 118-129。
- Ian J. Bateman, Georgina M. Mace, Carlo Fezzi, Giles Atkinson, Kerry Turner. 2010. Economic Analysis for Ecosystem Service Assessments. Environ. Resource Econ. DOI 10.1007/s10640-010-9418-x pp42.
<http://uknea.unep-wcmc.org/LinkClick.aspx?fileticket=0sKywIVUSuM%3d&tabid=38>
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being : Synthesis. Island Press, Washington DC. pp137.
- UNEP. 2010. The TEEB Synthesis Report Mainstreaming the Economics of Nature.
<http://www.teebweb.org/InformationMaterial/TEEBReports/tabid/1278/Default.aspx>

供給服務	調節服務	文化服務
從生態系統獲得的各種產品 ■ 食物 ■ 淡水 ■ 薪材 ■ 生化藥劑 ■ 遺傳資源	從生態系統過程的調節作用中獲得的各種收益 ■ 氣候調節 ■ 疾病調控 ■ 水資源調節 ■ 淨化水質 ■ 授粉	從生態系獲得的各種非物質收益 ■ 精神與宗教 ■ 消遣與生態旅遊 ■ 美學 ■ 靈感 ■ 教育 ■ 地方感 ■ 文化遺產
支持服務 對於所有其他生態服務的生產必不可少的服務 ■ 土壤形成 ■ 養分循環 ■ 初級生產		

圖 1. 生態系服務評估架構

表 1. 平地造林之森林生態系服務價值

功能類別	指標	經濟效益（元/公頃）
涵養水源		23,003
保育土壤	固土	34,266
	保肥	24,584
固碳釋氧	固碳	4,836
	釋氧	252,810
累積營養物質	林木營養累積	897
淨化大氣環境		
生物多樣性保護	物種保育	13,779
森林游憩	森林游憩	
總計		354,175

平地造林與毗鄰農地病蟲害監測分析結果

吳孟玲^{1*} 莊鈴木¹

【摘要】

本研究主要為針對毗鄰平地造林之農地及獨立農地分別進行病蟲害監測，藉由監測科學數據分析造林地對毗鄰農地病蟲害危害是否有影響，以解決農民對平地造林病蟲交互感染之疑惑。本研究團隊於 2009 年起分別在花蓮及屏東平地造林地，針對造林地已栽植之農作物，進行毗林農地及獨立農地樣區建置及病蟲相監測。目標農作物 2009 年度以柑桔為主，2010 年度為水稻及鳳梨，2011 年度為香蕉及西瓜，2012 年為混農林業(香蕉、鳳梨、咖啡以及山茶分別與光臘樹及土肉桂混植)。四年計畫執行期間，藉由國內造林地大面積栽種之不同農作物種類（過去之柑桔、香蕉、西瓜、鳳梨及近日混農林地之咖啡、山茶），分別在毗林及獨立農地樣區進行病蟲相監測，並將監測科學數據資料整理分析，來評估是否有農林地病蟲害交叉感染問題。監測調查結果發現：(1) 柑桔病害發生和毗林造林地並無共通性感染風險，但是部份柑桔昆蟲和林木昆蟲是有共通性，以柑桔為毗林農作物之考量要小心蟲害互通危害，以及藉由蟲害引發煤煙病大發生風險。尤其未來國內雲林地區在啟動大面積平地造林後，由於雲林地區亦為柑桔大面積栽植地，未來在毗林柑桔健康管理要更用心。(2) 水稻、鳳梨、香蕉及西瓜，其農地病蟲害發生與毗林則無直接共通性；其中鳳梨病蟲害發生在毗林農地表現非常低，以及國內推動健康無毒蕉苗種植非常成功，因此由監測資料結果顯示及病蟲害管理上考量，鳳梨及香蕉皆為毗林值得推薦之農作物。(3)在屏東混農試驗林地監測結果資料分析，咖啡栽植地有褐眼病及黃綠介殼蟲的發生，但為咖啡非重要病蟲害，對咖啡生產經濟危害不大；山茶因樣區調查樣本數過少無法當成參考；鳳梨及香蕉在混農林地樣區中則依然表現低病蟲害。此結果皆也呼應毗林農地病蟲害監測結果分析，鳳梨及香蕉二者皆是容易健康管理之農作物，將來可做為毗林及混農林業之農作物選擇考量。

【關鍵詞】 平地造林、混農林業、病蟲害交叉感染。

¹ 行政院農業委員會林業試驗所森林保護組，台北市南海路 53 號，*通訊作者，mlw@tfri.gov.tw。

一、前言

推動平地造林以及休耕農地再利用(農地造林)為達到節能減碳之實際行動，然而農民對於農地造林之後，對毗林農地之病蟲害是否有加重影響，卻充滿疑惑不解。經本計畫收集農委會之相關單位，主要回應來自改良場轉知農民之回應資料統計，大部份農民皆非常關心，農林地病蟲害是否有交叉感染問題，諸如東方果實蠅及茶角盲椿象是否有共通性農林蟲害。面對農民提出之問題雖可從造林樹種並不含果樹樹種來解釋，以及果樹病蟲害常有寄主喜好性之特性，因此目前國內造林樹種尚不構成東方果實蠅喜好之寄生；而茶角盲椿象喜好棲息於茶樹寄主。雖可暫解除農民擔心，然而造林後是否對毗林農地病蟲害管理有影響？是需經監測調查後才能解明。平地造林地成林後，是否可能提供更多昆蟲的棲息？昆蟲種類如是有害昆蟲，是否會造成交叉感染？還是反而間接增加昆蟲的多樣性（益蟲增加），增加天敵族群量，而降低病蟲害威脅？以及成林後，農地蟲害因為農地施藥造成可能遷移至鄰近的樹林中逃避，對於毗林農地健康管理，是否增加農作物防治上的困難？以及是否有合適農作物種類，可提供建議在毗林農地內栽植，將農林病蟲害互通交叉感染發生機率降低等等。

由於農民對參加平地造林之農林病蟲交互感染疑惑，會影響農民參加平地造林之意願，進而無法達到藉由休耕農地造林來提升增加碳吸存量。面對農民對參加平地造林之裹足不前，本研究主要擬針對毗鄰平地造林之農地及獨立農地分別進行病蟲害監測，藉由監測科學數據，進而解明造林地對毗鄰農地病蟲害危害是否有影響，以解決農民對平地造林之疑惑。本研究團隊於 2009 年起分別在花蓮及屏東平地造林地，針對造林地已栽植之農作物，進行毗林農地及獨立農地樣區建置及病蟲相監測，目標農作物 2009 年度以柑桔為主，2010 年度為水稻及鳳梨，2011 年度為香蕉及西瓜，2012 年為混農林業(香蕉、鳳梨、咖啡以及山茶分別與光臘樹及土肉桂混植)。藉由不同目標農作物在毗林及獨立農地樣區進行病蟲相監測，進行資料整理分析，來評估是否有農林地病蟲害交叉感染問題。進而也可藉由此調查資料分析，提出適合在毗林農地栽植之農作物種類；以及本研究建立之病蟲害監測資料庫，可提供農林地發病生態及年防治日誌建立，供未來農民參加平地造林時，農林地健康管理日誌訂定；同時也可由資料分析評估列出毗林農作物栽植種類建議參考清單。

二、材料與方法

- (一) 設立各目標作物主要病蟲害（圖 1~5）調查清單。例如：柑桔黃龍病、稻熱病、鳳梨萎凋病、香蕉萎縮病、西瓜白粉病、咖啡褐眼病、茶枝枯病等；柑桔潛葉蛾、電光葉蟬、鳳梨粉介殼蟲、蕉蚜、瓜實蠅、東方果實蠅、小綠葉蟬等。詳見附表一。

- (二) 製作各農作物病蟲害發病月誌，及訂定各目標農作物病蟲害發生期之調查時間表。
- (三) 毗林農地/毗農林地/純林地/混農林地病蟲害樣區規劃及建置。毗林農地意為緊鄰造林地之農地、毗農林地意為緊鄰農地之造林地。每一種目標農作物病蟲害樣區規劃皆有 6 塊樣區。每塊樣區之大小皆大於 30×30 公尺。
- (四) 2009 及 2010 年之毗林農地/毗農林地/純林地樣區皆位於花蓮縣大富鄉大農，造林地皆為單一樹種（5~7 年之樟樹及光臘樹）；2011 及 2012 年之毗林農地/毗農林地/純林地/混農林地樣區位於屏東縣內埔鄉四林/林後農場，造林地皆為單一樹種（5~7 年之桃花心木及無患子），混農林地則是 1~2 年之光臘樹及土肉桂。
- (五) 各毗林農地/獨立農地樣區病害調查取樣方式說明如下：每一種目標農作物每塊樣區沿著農地周圍固定間隔，共設立 60 樣點進行病害調查。共計調查至少 3 次以上之資料來進行分析。
- (六) 各毗林農地/獨立農地樣區蟲害調查取樣方式說明如下：每一種目標農作物每塊樣區，在農地裡固定間隔選 6 或 3 定點各放置一黃色黏蟲板，(36 或 18 片黏蟲板)，懸掛 24 小時之後，收集帶回實驗室進行分類及蟲口數之統計。共計調查至少 3 次以上之資料來進行分析。
- (七) 各毗農林地/混農林地及獨立林地各個樣區病害調查的取樣方式說明如下：毗農林地於最靠近農地之面設立一穿越線，共設立 60 樣點進行調查；獨立林地則是隨機設立一穿越線，亦設立 60 樣點進行調查。
- (八) 各毗農林地/混農林地及獨立林地各個樣區蟲害調查的取樣方式說明如下：在穿越線上固定間距選定 6 或 3 點，各放置一黃色黏蟲板，懸掛 24 小時之後，收集帶回實驗室進行蟲之分類及蟲口數之統計。

三、結果與討論

- (一) 2009 年間在花蓮樣區進行毗林柑桔與獨立柑桔農地病蟲害相調查分析。對影響柑桔經濟生產之重要病害黃龍病及萎縮病（圖 1）其監測資料作分析，發現黃龍病在獨立柑桔(海梨仔)農地發生情形較為嚴重，而毗林農地(海梨仔)並沒有，主要原因是獨立柑桔(海梨仔)農地並未施行農藥管理，而毗林柑桔(海梨仔)農地有進行農藥管理。另外，萎縮病之發生情形在毗林柑桔(柚)農地與獨立柑桔(柚)農地兩樣區之間沒有明顯差異，數據顯示毗林並沒有影響柑桔黃龍病與萎縮病發生與否，反而是跟田間媒介昆蟲的管理(施藥)具有較密切關係。柑桔常見次要病害（潰瘍病、瘡痂病、煤煙病及黑點病）之監測資料顯示：潰瘍病在毗林及獨立柑桔農地之發病率皆很嚴重，分析潰瘍病之發生原因發現與農地是否毗林並沒有關係，造成其高發生率原因為 8~9 月颱風來襲，使得柑桔作物傷口數增加，又

加上雨水飛濺方便病原菌傳播。另煤煙病方面，在毗林及獨立農地皆有煤煙病發生，其原因主要與毗林農地蟲口數較高(如潛葉蛾、柑桔鳳蝶及蚜蟲)有關係。瘡痂病及黑點病則無明顯發生，在毗林與獨立柑桔農地也無顯著差異性。在柑桔蟲害調查資料分析，柑桔鳳蝶、潛葉蛾及蚜蟲皆有較高發生率(圖 2)，獨立柑桔農地與毗林柑桔農地之間，有明顯差異存在。由於此三種昆蟲皆可棲息於林地及農地，為農林地共通性昆蟲，其原因極有可能是毗林農地之造林地可提供此三種昆蟲棲息地及庇護所，導致毗林農地昆蟲族群數亦上升，當然此上升原因亦有可能與農地田間管理(施藥)有密切關係。

(二) 2010 年間繼續在花蓮樣區進行毗林水稻田與獨立水稻田樣區病蟲害相調查分析。在花蓮地區水稻田栽植共分為二期，多為有機樣區，因此在調查分析上亦加上有機為本研究分析因子。在一期(或二期)水稻的九塊樣區調查結果顯示，不論是毗林或獨立水稻田(以及有機與否)，其病害皆以稻熱病最為嚴重。分析一期有機毗林與有機獨立水稻田監測資料，其稻熱病(圖 4)發病率更高達 95.6%及 98.5%(二期為 72.2%及 63.9%)，兩者間無明顯差異，此現象顯示本病害與水稻田毗林與否並無直接關係，其原因為水稻之病害病原有寄主專一性，因此造林地不會成為這些病原的棲息地。而觀察其餘水稻病害(稻苗徒長病及白葉枯病)(圖 4)，在毗林與獨立兩樣區的發生率，亦得到相同的結論。另一方面，比較有機獨立水稻田以及非有機獨立水稻田，稻熱病及稻苗徒長病的發病率在非有機獨立樣區其發病率明顯較低，顯示田間管理(如施用農藥)對於病蟲害發生的影響較為顯著。毗林與獨立水稻田的蟲害相資料調查顯示，一期水稻的蟲害部分，皆以白翅葉蟬居首；二期水稻的蟲害部分，則以電光葉蟬居首。其中又以有機毗林水稻田較有機獨立水稻田發生情形嚴重(一期及二期皆是如此)，然在毗水稻田之平地造林地進行蟲相調查，並未有水稻害蟲發現，因此有機毗林水稻田之葉蟬害蟲高於有機獨立水稻田與毗林因子無關。另在非有機獨立農地的平均蟲口數則近乎於零，此現象可知應與農藥施用有關。

(三) 2010 年間在花蓮平地造林樣區進行造林地對鳳梨農作物影響評估，主要以鳳梨重要病蟲害萎凋病以及粉介殼蟲為調查目標(圖 5)。在未結果實期(5~6、8 月)的鳳梨樣區調查資料顯示，鳳梨萎凋病以及鳳梨粉介殼蟲在毗林鳳梨農地發生情形極低，平均發生率為 6.5%及 6.6%，皆稍微高於獨立鳳梨田(1.8 %及 1%)，但其值皆很低並未造成鳳梨田經濟損失。在已結果實期(9~11 月)的鳳梨樣區，鳳梨萎凋病在毗林農地與獨立農地亦無明顯差異。分析未結果實期之鳳梨萎凋病的病害發生率較已結果實的略高，其原因在於農夫於結果實期時，會進行農地管理將發病嚴重之鳳梨植株移除。由於鳳梨萎凋病的發生病因與鳳梨粉介殼蟲的吸食危害有關，因此毗林與獨立鳳梨樣區粉介殼蟲的發生情形(蟲口數)與萎凋病發病

率結果亦為相似。

- (四) 2011 年間本研究樣區建置在屏東造林地，主要針對香蕉與西瓜作物為評估目標。以國內香蕉農地重要病害包括萎縮病、嵌紋病、條紋病、黃葉病及重要蟲害或媒介昆蟲(蕉蚜、棉蚜及花薊馬)為調查目標。在毗林與獨立香蕉農地病蟲害年監測資料顯示，僅香蕉嵌紋/條紋病輕微發生，黃葉病僅一例，未發現萎縮病，由此可見國內建立之香蕉無毒苗體系是非常成功。在香蕉害蟲方面，包括蕉蚜、棉蚜及花薊馬的調查亦顯少發現其蹤跡。經現場詢問農民，發現現地蕉農用藥情形非常普遍，而本研究資料顯示亦鮮少病蟲害發生，因此國內香蕉也一直是在盛產之中，顯示香蕉病蟲害發生與是否毗林並無關，而與田間施藥有密切關係。在屏東地區西瓜栽植期非常短期(約 60 天)，一年種植 2~3 期，本研究以西瓜三種重要病害(白粉病、炭疽病及嵌紋病)，分別在其大發生期前往屏東樣區進行病害發生資料調查，在屏東毗林及獨立西瓜田僅發現有炭疽病，且毗林西瓜與獨立西瓜農地的發病率差異極小。西瓜害蟲調查資料分析，棉蚜在毗林及獨立西瓜田的發生率差異極小；在毗農林地也可發現瓜實蠅少許蹤跡，主要為瓜實蠅本身活動範圍較大，研判是因為毗農林地其所在地靠近西瓜田，屬於瓜實蠅的正常活動範圍，而非因為造林地提供其棲息場所。
- (五) 2012 年間本研究樣區建置在屏東混農林地，主要針對香蕉、鳳梨、咖啡及山茶分別與光臘樹及土肉桂混植做為評估目標。香蕉與光臘樹及土肉桂混植之病害發生皆屬輕微且發病率與造林樹種無相關性(萎縮病最高 4.2%，黃葉病最高 1.2%，嵌紋/條紋病最高 0%)，且完全未捕捉到香蕉害蟲(蕉蚜及花薊馬)。鳳梨與光臘樹及土肉桂混植之鳳梨萎凋病發生輕微，發病率與造林樹種無相關性。咖啡與光臘樹及土肉桂混植之病害僅發現咖啡褐眼病，發生情形普遍，且兩造林樹種間之發病率不相上下；有發現些許東方果實蠅(平均每片黏蟲紙 0.1 隻)，以及黃綠介殼蟲。山茶僅發現赤葉枯病，由於樣區存活樣本數目過少(光臘樹區僅 5 株，土肉桂區僅 8 株)，調查結果僅供參考。林木病蟲害部分，光臘樹混農林地之發病率/發生率極低，幾乎是 0，昆蟲相之分布與純光臘樹林地相比並無太大差異，且純林地未發現農作害蟲；土肉桂混農林地之褐斑病發病率較純林地高、角斑病則是純林地較為嚴重，昆蟲相之分布則無太大差異，且純林地未發現農作害蟲。

四、結論

本研究藉由不同農作物在毗林及獨立農地樣區進行病蟲相監測，依據監測資料整理分析，來評估是否有農林地病蟲害交叉感染(共通性)問題。本研究所選訂目標農作物包括柑桔、水稻、鳳梨、香蕉及西瓜五種，為目前在花蓮及屏東平地

造林地常見之毗林農作物。

柑桔初步評估結果，由於柑桔為果樹類，在柑桔上重要之黃龍病及萎縮病監測結果，柑桔病害發生和毗林造林地並無病害共通性感染危險。但在柑桔上常見之柑桔鳳蝶、潛葉蛾、木蝨及蚜蟲，這些昆蟲是會尋求於毗林林地棲息庇護。若毗林柑桔園未施行媒介昆蟲的管理（施藥），其煤煙病發生也會比獨立柑桔園嚴重。

由於柑桔為多年生木本，有部份柑桔昆蟲和林木昆蟲是有共通性，以柑桔為毗林農作物之考量要更小心，尤其雲林地區在啟動大面積平地造林後，由於雲林地區亦為柑桔大面積栽植地，未來在毗林柑桔健康管理要更用心。其餘四種農作物包括水稻、鳳梨、香蕉及西瓜，其病蟲害發生與毗林則無共通性，其中以鳳梨及香蕉，更為毗林農作物最佳選擇，其中鳳梨較少病蟲害，而香蕉國內已有無毒健康蕉苗生產體系，二者皆是容易健康管理之農作物，將來可做為混農林業之農作物選擇考量。

在屏東混農試驗林地監測資料分析，咖啡栽植地有褐眼病及黃綠介殼蟲的發生，但對咖啡生產並非重要病蟲害，經濟危害不大；山茶因樣區調查樣本數過少無法當成參考；鳳梨及香蕉在混農林地樣區中則依然表現低病蟲害。此結果皆也呼應毗林農地病蟲害監測結果分析，鳳梨及香蕉二者皆是容易健康管理之農作物，將來可做為毗林及混農林業之農作物選擇考量。

本研究已建立監測資料亦可提供毗林農地或混農林地之健康管理應用，而未來更應持續毗林農地病蟲害監測（成林後對毗農病蟲害影響，將過去監測樣區精再追蹤評估，及新增雲林地區），評估成林後及雲林新造林林地對毗林農作物病蟲害是否具交叉感染問題及防治影響，藉此科學數據更可解明成林後造林地對毗林農地病蟲害之影響。以及進行平地造林各重要樹種病蟲害監測及防治研究，建立其發病生態及防治管理日誌，並出版各重要樹種病蟲害健康管理手冊，以提供林農平地造林健康管理之需要，及提高強化林地病蟲害防治成效。此外，混農林地之病蟲害監測及評估，提出合宜混農林業之農作物及病蟲害健康管理，皆為未來本團隊研究進行方向。

表 1. 各目標作物主要病蟲害調查清單

作物	病害	蟲害
柑桔	柑桔黃龍病(Citrus Greening) 柑桔萎縮病(Citrus tristeza) 柑桔瘡痂病(Citrus scab) 柑桔煤煙病(Citrus Sooty mold) 柑桔黑點病(Citrus Melanose) 柑桔潰瘍病(Citrus canker)	柑桔有殼介殼蟲類 (黑點介殼蟲 (<i>Parlatoria ziziphi</i>)、褐圓介殼蟲 (<i>Chrysomphalus aonidum</i>)、黃點介殼蟲 (<i>Parlatoria pergandei</i>) 等) 柑桔蚜蟲類 (捲葉蚜 (<i>Aphis spiraeicola</i>)、大桔蚜等 (<i>Toxoptera citricida</i>)) 柑桔潛葉蛾 (<i>Phyllocnistis citrella</i>) 柑桔星天牛 (<i>Anoplophora macularia</i>) 柑桔鳳蝶 (<i>Papilio xuthus</i>) 台灣大蝗 (<i>Chondracris rosea</i>)
水稻	稻苗徒長病(Bakanae disease of rice) 稻熱病(Rice blast) 稻白葉枯病(Bacterial leaf blight of rice)	褐飛蝨 (<i>Nilaparvata lugens</i>) 黑條黑尾葉蟬 (<i>Nephotettix nigropictus</i>) 斑飛蝨 (<i>Laodelphax striatellus</i>) 電光葉蟬 (<i>Recilia dorsalis</i>) 白翅葉蟬 (<i>Typhlocyba subrufa</i>)
鳳梨	鳳梨萎凋病(Wilt of pineapple)	鳳梨粉介殼蟲 (<i>Dysmicoccus brevipes</i>)
香蕉	萎縮病(Banana Bunchy Top) 嵌紋/條紋病(Banana mosaic) 黃葉病(Panama disease)	蕉蚜 (<i>Pentalonia nigronervosa</i>) 花薊馬 (<i>Thrips hawaiiensis</i>)
西瓜	白粉病(Powdery mildew of watermelon) 炭疽病(Anthracnose of watermelon) 嵌紋病(Watermelon mosaic)	瓜實蠅 (<i>Bactrocera cucurbitae</i>) 棉蚜 (<i>Aphis gossypii</i>)
咖啡	銹病(Coffee rust) 炭疽病(anthracnose of coffee) 褐眼病(<i>Cercospora</i> leaf spot of coffee)	潛葉蠅 (<i>Tropicomyia</i> sp.) 黃綠介殼蟲 (<i>Coccus viridis</i>) 東方果實蠅 (<i>Bactrocera dorsalis</i>) 咖啡果小蠹 (<i>Hypothenemus hampei</i>)
山茶	茶枝枯病(Branoches blight) 茶餅病(Blister blight) 茶赤葉枯病(Brown blight) 茶褐色圓星病(Brown round spot)	小綠葉蟬 (<i>Jacobiasca formosana</i>) 刺粉蝨 (<i>Aleurocanthus spiniferus</i>) 咖啡木蠹蛾 (<i>Zeuzera coffeae</i>) 茶姬捲葉蛾 (<i>Adoxophyes</i> sp.) 茶黃薊馬 (<i>Scirtothrips dorsalis</i>) 茶避債蛾 (<i>Eumeta minuscula</i>)

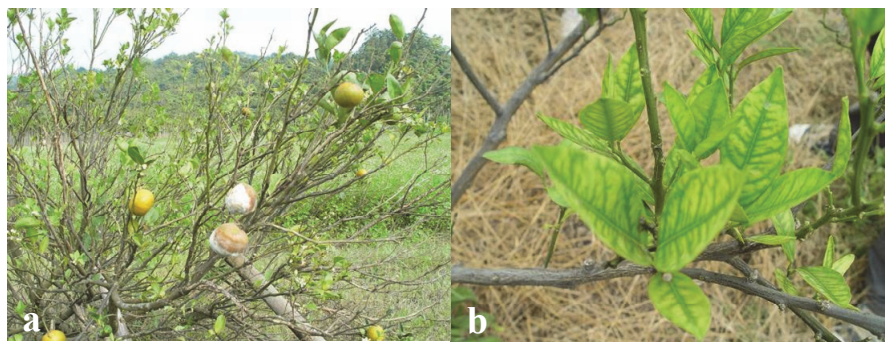


圖 1. 柑桔黃龍病病害。(吳孟玲 攝)

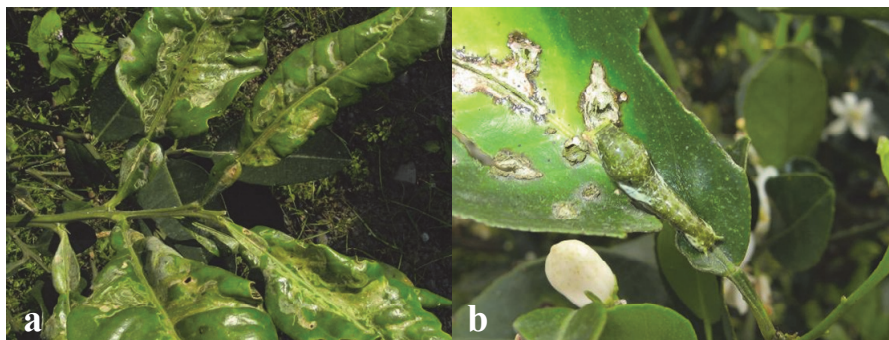


圖 2. 柑桔常見蟲害。a. 潛葉蛾。b. 柑桔鳳蝶。(莊鈴木 攝)

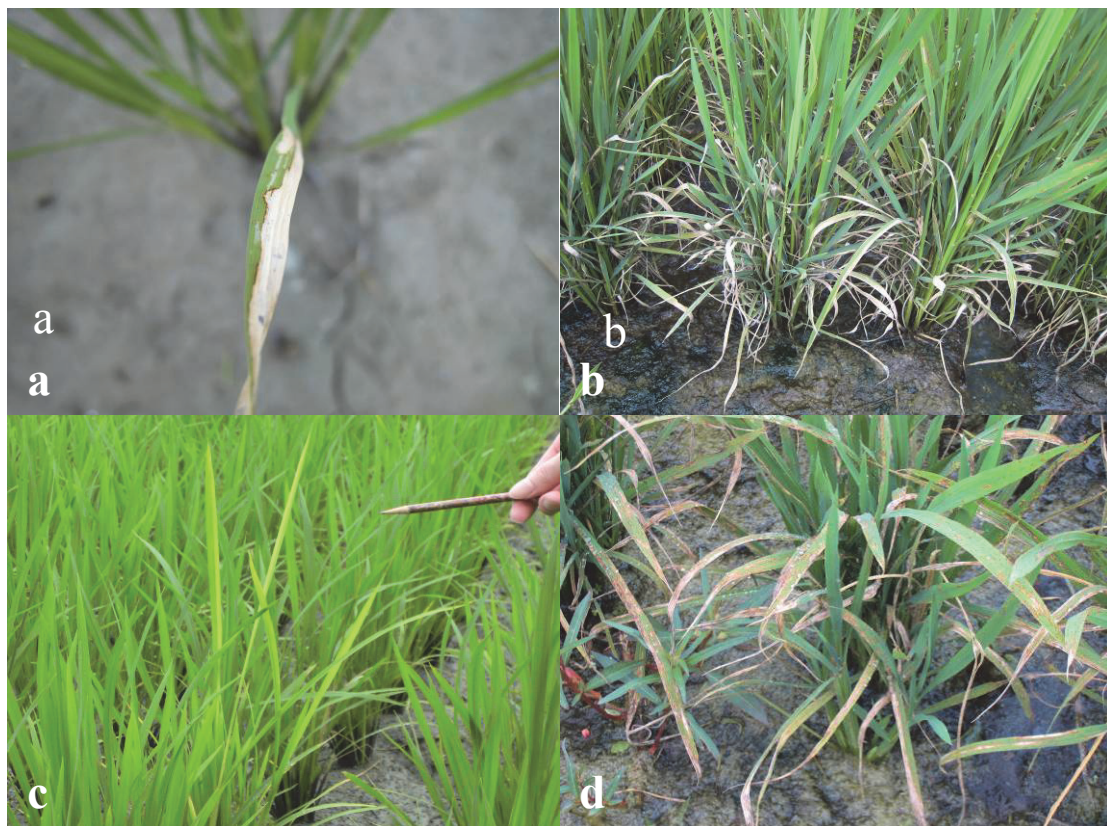


圖 3. 水稻常見病害。a、b. 水稻白葉枯病。c. 稻苗徒長病。d. 稻熱病。(吳孟玲 攝)

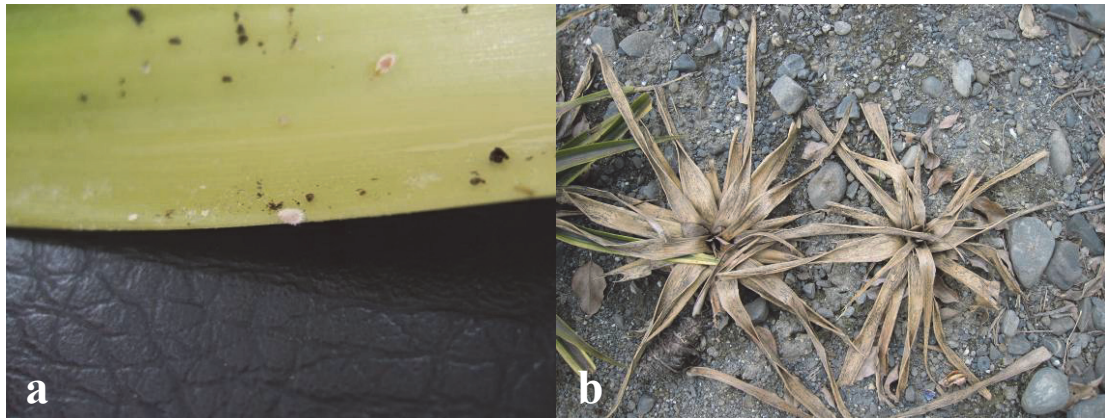


圖 4. 鳳梨常見病蟲害。a. 鳳梨粉介殼蟲。b. 鳳梨萎凋病。(吳孟玲 攝)

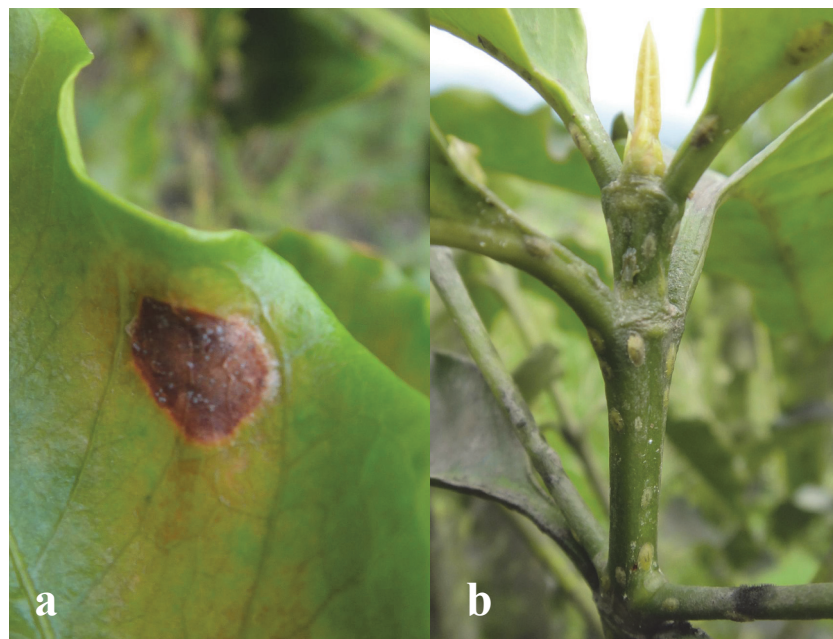


圖 5. 咖啡病蟲害。a. 咖啡褐眼病。b. 黃綠介殼蟲。(吳孟玲 攝)

花蓮平地造林鳥類群聚之比較及鳥類移動廊道之評估研究

葛兆年^{1*} 許詩涵² 鄭惟仁² 山馥嫻³

【摘要】

本研究首先評估花蓮平地造林對原有當地鳥類群聚及多樣性的影響，2009-2010 年在光復鄉之大農大富平地造林區及周邊之農地與闊葉次生林地，選取農地、造林旁農地、造林地及次生林地等 4 種類型棲地進行鳥類調查。從鳥類群聚組成發現，造林地之鳥類群聚明顯有別於農地，故為原有農地景觀帶來不同的鳥類群聚，已提高了當地原有生物多樣性，且農地未成為林地鳥類的棲地。造林地與海岸山脈次生林地的鳥類群聚尚存在極明顯差異，後者較偏向台灣低海拔森林鳥類群聚，不論是鳥類的種豐富度、數量或歧異度皆高於前者。目前造林地仍然無法吸引低海拔森林鳥類進入，可能與造林樹種及棲地結構單純有關；在無法改變上層樹種結構的限制下，建議可增加中下層植被覆蓋度，營造結構多樣性較高的棲地，希望能藉此增加地被層的鳥類多樣性，進而豐富整個造林地的鳥類多樣性。

本研究繼而評估大農大富平地造林是否可能成為鳥類的移動廊道，2011-2012 年在大農大富平地造林區與 193 縣道旁之闊葉次生林之間進行鳥類移地返家的操控性試驗，獲得鳥類在人工林移動的路徑與時間。發現冠層活動鳥類的移動速度及移動效率最高，亦有最高的返家成功率，成功返家個體亦以上層活動鳥類所需返家時間較少。平地造林可以提供鳥類移動廊道之用，但下層活動的鳥類在造林區移動所面臨的風險可能高於上層鳥類。鳥類在回家的路上較傾向飛越有樹林的地景，此外，死亡個體皆在沒有樹林遮蔽或枝條稀疏之處遭捕食，說明鳥類在開闊地或不夠茂密的樹林活動，可能有較高的被捕食風險，故可能避免飛越開闊地，而鳥類在開闊地之移動速度加快應與降低被捕食風險有關。因此，茂密成林的造林，相對來說可能是較安全的移動廊道。

【關鍵詞】 鳥類群聚、多樣性、平地造林、農地、廊道、花蓮

¹ 林業試驗所森林保護組副研究員，台北市南海路 53 號，*通訊作者。

² 林業試驗所森林保護組研究助理，台北市南海路 53 號。

³ 國立台灣師範大學環境教育研究所碩士班研究生，台北市和平東路 1 段 162 號。

一、前言

台糖企業為響應政府推動之平地造林運動，自 2002 年起陸續在廢棄或生產力不良的甘蔗農地進行造林工作，其中又以花蓮縣光復地區大農大富農場最具代表性。大農大富農場佔地 1250 ha，原種植甘蔗生產蔗糖，2002 年停止產糖並陸續造林，迄今造林面積已達 1000 ha (花蓮大農大富平地森林遊樂區整體規劃成果報告書，2010)，平均栽植密度約 1500 株/ha，造林樹種共 24 種，計有台灣欒樹、台灣櫟、土肉桂、楓香、光臘樹、樟樹、茄苳、杜英、烏柏、苦楝、青楓、赤楊、大葉楠、烏心石、無患子、水黃皮、青剛櫟、欖仁、刺桐、桃花心木、肖楠、肯氏蒲桃、楠木、印度紫檀，其中光臘樹、台灣櫟及楓香為造林面積之前 3 名。大農大富農場已於 2011 年開放為平地森林園區，以達到生態保育、教育及休憩等功能。

雖然此區域已大部分進行造林，但其周邊的私有土地仍然維持栽種農作物的經營方式，因此在農場及週遭農田，形成了樹林與農地鑲嵌的地景型式。為了解大農大富農場內造林地、大農大富農場周邊農地及海岸山脈次生林地的鳥類多樣性及群聚的異同，以及評估造林是否影響鄰近農地之鳥類群聚，本研究於 2009-2010 年間，在花蓮大農大富農場及其週遭，進行不同棲地的鳥類群聚調查。故本研究可了解鳥類與環境間的關係，並藉由不同棲地鳥類群聚的比較，評估農地造林是否干擾影響原有農地耕作，以及是否達到預期的生態功能，所得結果將提供推動造林相關單位參考，咸信有助於綠色造林之工作。

土地利用的變遷是影響生物多樣性的主要原因(Sala et al. 2000)，而維持地景連接性則被視為降低棲地變遷對生物不良影響的重要方法，其中廊道是目前經常建議提供的地景元素(Desrochers and Hannon 1997, Hadda 1999, Berggren et al. 2002)。廊道具有遷移傳播、傳遞能量等功能，以往研究指出廊道可以幫助一些物種的移動(Dunning et al. 1995, Rosenberg et al. 1997, St. Clair et al. 1998, Gobeil and Villard 2002, Gillies and St. Clair 2008)。在東部海岸山脈與中央山脈間之花東縱谷，其土地利用型態以農耕為主，對兩山脈森林中的動物族群而言，彼此可能因無法跨越縱谷農地而難以互相交流，兩地之地方族群因而可能有較高的滅絕機會。從台灣府志對花蓮的地景描述中，說明從前這片縱谷是茂密森林覆蓋的區域(康德培，1999)，因此推測當時東部海岸山脈與中央山脈間的動物應該是可以互相交流的。目前在縱谷中建造的大農大富平地森林園區是否有可能在地景上成為野生動物的移動廊道，甚至促進或恢復兩地物種基因交流，這項課題十分重要。本研究利用鳥類移地返家的操控性試驗了解鳥類在人工林移動的行徑與時間，以評估花東縱谷人工林是否成為鳥類移動的廊道，不僅是對平地造林生態功能評估的指標，也可能影響未來平地造林的事先規劃及後續經營。

二、材料與方法

(一) 鳥類群聚調查

1. 研究樣區及調查點的設置

研究地點位於花蓮縣光復地區，樣區設於大農大富平地造林區、周邊之農地，以及附近次生林地，共選取農地、造林地邊農地(以下簡稱林邊農地)、造林地及次生林地等 4 種類型棲地(圖 1)，進行鳥類調查。每 1 種棲地選取 3 塊樣區，每個樣區設置 3 個樣點。由於大農大富農場內已大面積造林，因此農地類型棲地的選取上，採取位於大農大富農場周邊玉米田作為樣區。造林地樣區位於大農大富農場第 41、45 及 50 號地，造林樹種有台灣肖楠、烏心石、光臘樹、台灣櫟、楓香、茄苳、大葉楠、樟樹、陰香、杜英、台灣欒樹、台灣赤楊、無患子、苦楝、水黃皮與烏柏。林邊農地則分別為地瓜田、玉米田及廢耕地，次生林樣區位於大農大富平地造林區旁 193 縣道之 73.4K、74.3K、76.6K 次生林內，植群型為血桐-構樹型，亦常見小葉桑、稜果榕、樹杞、紫珠、九芎等樹種。

本區在氣候上屬熱帶常濕型氣候，夏季炎熱，且各季降水量較為均勻。依據中央氣象局花蓮氣象站 1981-2010 年間之氣象資料顯示，平均氣溫為 23.4℃，月均溫最低為 1 月的 18.0℃，最高為 7 月的 28.5℃；平均年降水量為 2176.8 mm，平均月降水量為 181.4 mm，月降水量最低為 1 月 62.2 mm，最高為 9 月的 399.2 mm。



圖 1. 2009-2012 花蓮光復大農大富平地造林區及周邊(包括農地、林邊農地、造林地及次生林地)之鳥類群聚調查及廊道利用(捕捉及放飛)樣點圖

2. 鳥類調查

分別於 2009 年進行了農地及林邊農地樣區調查，2010 年則是進行造林地及次生林地樣區調查，調查時間為鳥類繁殖季 (4-6 月) 及非繁殖季 (9-11 月)，每月調查 1 次，故每樣點在繁殖季與非繁殖季各有 3 次調查記錄。鳥類調查採用穿越線法，每個月至各調查點調查鳥類種類及隻次，調查只在天氣良好時進行，於日出後 3 小時內完成，每 1 樣點停留 6 分鐘，依序紀錄目擊或聽到的種類及數量 (丁宗蘇, 1993)。

3. 資料處理與分析

鳥類調查資料以 Microsoft Excel 建檔，群聚變數中的鳥類歧異度指數以 Shannon-Wiener diversity index (H') 計算， $H' = -\sum (P_i \ln(P_i))$ (Shannon & Weaver, 1949，引自 Magurran, 2004)。均勻度以 Pielou's Evenness Index (J') 計算， $J' = H' / H_{\max} = H' / \ln S$ (Pielou, 1975，引自 Magurran, 2004)。利用 SAS v.8 統計程式採取變方分析 (ANOVA) 及 Duncan's Multiple Range Test 檢定各樣區間及兩兩樣區間之鳥類群聚變數有無差異。鳥類群聚分析 (Cluster analysis) 則以 PRIMER 5.2 軟體 (Clarke & Warwick 1994) 進行分析，分析前先將僅有 1 次紀錄的鳥種刪除，再將各鳥種調查隻次取平方根轉換，以非計

量多元尺度法 (MDS, nonmetric multidimensional scaling) 及群集分析 (CLUSTER), 比較 4 種類型棲地的鳥類群聚組成在空間上的分布型態。此外, 將取平方根轉換後的資料算出 Bray-Curtis 相似性矩陣, 再進行相異度分析 (ANOSIM test), 求出相異度係數值 (Global R), 來代表各種棲地鳥類群聚間的相異度, 鳥類群聚之代表種則以 (SIMPER test) 來分析。

(二) 鳥類移動廊道研究

1. 研究樣區選取設置

花東縱谷之光復鄉大農大富農場原為甘蔗田及其他農地型態, 台糖公司花蓮區處自 2002 年起陸續大面積改植樹林, 形成樹林及農地鑲嵌地景。其地形平坦且鄰近海岸山脈次生闊葉林, 適於進行鳥類移地返家試驗, 故在此區設置研究樣區。

2. 鳥類移地返家試驗

移地返家試驗是將動物由發現地移至試驗地, 再觀察動物在試驗地被放出後是否返家及返家方式, 以評估其如何利用地景移動。以往曾用於評估動物跨越地景間斷區 (Bright 1998, Bowman and Fahrig 2002)、返家路徑 (B'elisle and St. Clair 2001, Bakker and Van Vuren 2004)、返家時間 (B'elisle et al. 2001, Gobeil and Villard 2002) 等。我們曾於 2009-2010 在大農大富農場邊鄰近 193 縣道之此次生林調查鳥類群聚, 選取常見於生林但少見於大農大富農場造林地的鳥種如繡眼畫眉等, 做為鳥類移地返家試驗之目標鳥種。每個月至少 1 次, 於次生林架設霧網捕捉繡眼畫眉等鳥類, 將捕獲個體視為棲住於該次生林。測量其體重等形質並繫上腳環與發報器後再帶至大農大富農場造林地中放飛, 捕捉點與放飛點相距 $1238.7 \pm 277.6\text{m}$ (圖 1)。受限於捕獲個體可背負的重量需小於個體體重 5%, 使用 0.63 g 的 BD-2 model 無線電發報器 (Holohil System, Ltd., Canada)。初期使用 Perma-type surgical cement 將發報器直接黏著於個體腰部皮膚上, 由於容易脫落, 後改採背包式背負法, 將發報器以彈性魚線繞經雙腳背負於腰部。放飛後由 2 組人持天線及無線電接收器進行三角定位, 每 30-60 min 定位 1 次至其夜棲, 以此方式持續追蹤至個體返回次生林 (以下簡稱返家) 為止。獲得每放飛個體之返家成功與否, 以及返家之時間及路徑。移動路徑總長=個體移動所有路徑長度總和, 移動距離總長=每日個體起點與終點之最短距離總和, 移動速度=移動路徑總長/追蹤時間總和, 移動效率=移動距離總長/移動路徑總長, 成功返家時間=個體活動時間總和。

3. 定位資料處理與分析

定位資料藉由現場經驗與 Google earth 衛星圖像輔助, 判斷每個定位點所在之棲地類型及移動路徑上的環境類型。將定位點棲地類型

分為 4 個類別：開闊地、人工林、溝渠邊灌叢及次生林，檢視個體返家路徑上對不同類型的停棲點是否有所偏好。另將移動路徑上的環境類型分為開闊地、人造林及溝渠邊灌叢共 3 種棲地類型，比較個體返家在不同棲地類型中之移動速度及效率是否有差異。將全部物種依其於自然環境中的棲位高度區分成 3 個類別：冠層、中層、底層，比較不同棲位高度的物種移動速度及效率是否有差異。以 one-way ANOVA 及 Tukey test 分析不同棲位高度鳥種之移動速度及效率差異，個體在返家路徑所利用的棲地類型差異，以及不同環境類型中之移動速度及效率差異。

三、結果與討論

(一) 鳥類群聚調查

欲了解花蓮光復地區鳥類，主要棲地的群聚組成及異同和繁殖季節鳥類分布之變動，在 2009 年的農地、林邊農地及 2010 年的造林地及次生林地之繁殖季 (4-6 月) 及非繁殖季 (9-11 月)，共記錄到鳥類 63 種、1,956 隻次。其中列名於野生動物保護法的野生動物保育類名錄中，包含了珍貴稀有保育類的蛇鵒 (*Spilornis cheela*) (造林地)、紅隼 (*Falco tinnunculus*) (林邊農地)、環頸雉 (*Phasianus colchicus*) (次生林地以外的其他棲地)、朱鷀 (*Oriolus traillii*) (次生林地)、烏頭翁 (*Pycnonotus taivanus*) (所有棲地) 及台灣畫眉 (*Garrulax canorus*) (次生林地) 等 6 種；其他應予保育類的台灣山鷓鴣 (*Arborophila crudigularis*) (次生林地) 及紅尾伯勞 (*Lanius cristatus*) (次生林地及林邊農地) 等兩種。

1. 不同棲地之鳥類豐量及多樣性

合併繁殖季及非繁殖季兩季鳥類調查資料，農地共記錄到 25 種 668 隻次，林邊農地共記錄到 30 種 348 隻次，造林地共記錄到 24 種 361 隻次，次生林地共記錄到 34 種 579 隻次 (表 1)。以上 4 種類型棲地，以次生林地的物種豐富度最高，造林地最低；數量上以農地最多，林邊農地最低；歧異度指數以次生林地最高，最低為造林地；在均勻度上最高為林邊農地，最低為農地。利用 SPSS 軟體中的 Duncan's Multiple Range Test 進行兩兩棲地間族群變數的比較，可發現 4 種類型棲地，在種豐富度、隻次及歧異度指數皆達到顯著差異 (p 皆 < 0.01)，其中在種豐富度上，次生林地顯著大於其他 3 種棲地，從隻次來看，農地顯著大於林邊農地及造林地，而歧異度指數則是次生林地與林邊農地達到顯著大於農地與造林地，因林邊農地不但包含農地鳥類如環頸雉、黃頭鷺等，周邊也有樹林性的鳥類，造成其地的鳥種歧異度高於農地與造林地，甚至次生林地。

表 1. 2009-2010 年花蓮光復大農大富平地造林區繁殖季及非繁殖季之農地、林邊農地、造林地及次生林地等 4 種類型棲地之鳥類種豐富度、豐量、Shannon-Wiener 指數及均勻度(n=3)

棲地類型	種豐富度	豐量	Shannon-Wiener 指數	均勻度
農地	15.7±2.2	222.7±20.9	1.99±0.14	0.73±0.01
林邊農地	19.3±0.7	116.0±26.6	2.56±0.09	0.87±0.03
造林地	15.00±0.6	120.3±30.6	2.12±0.25	0.79±0.11
次生林地	22.00±0.0	193.0±22.1	2.63±0.05	0.85±0.01
F	7.73	4.41	13.19	3.55
p	0.01	0.04	0.002	0.067

4 種棲地中以農地的鳥類數量最多，是因為主要在此活動的文鳥科及鷺科鳥類具有結群的習性，尤其在農作翻土時期，農作物結果吸引大量的昆蟲，也會吸引大批鳥類前來覓食，所以造成農地的鳥類數量遠多於其他棲地。而多樣性及物種豐富度仍以次生林較高，應與其有較多樣的植被結構及植種有密切關係。

2. 不同棲地之鳥類群聚組成

對 4 種類型棲地進行 MDS 及 CLUSTER 分析，從 MDS 得到的鳥類群聚分布，其中次生林地之鳥類群聚明顯自成一群，與其他 3 種棲地差異最大，林邊農地主要介於農地及造林地之間（圖 2），從 CLUSTER 分析來看亦得到同樣結果（圖 3）。利用 ANOSIM 分析不同棲地鳥類群聚間相異度，可發現次生林地分別與其他 3 種棲地的相異度係數皆為 1 (Global R = 1, $p < 0.01$)，而其他 3 種棲地亦有顯著差異，以造林地及農地之相異度最大(Global R = 1, $p < 0.01$)，因此從以上 3 種鳥類群聚分析方式，皆可得到一樣的結果，即次生林地的鳥類群聚最為獨特，明顯有別於其他 3 種棲地，但這 3 種棲地之鳥類群聚亦互有明顯差異。以 SIMPER 分析方法，分別得到 4 種類型棲地的代表性鳥種分別為：農地-斑文鳥及黃鵲鴝，林邊農地-棕背伯勞與環頸雉，造林地-烏頭翁及綠繡眼，次生林地-小彎嘴、烏頭翁及山紅頭。

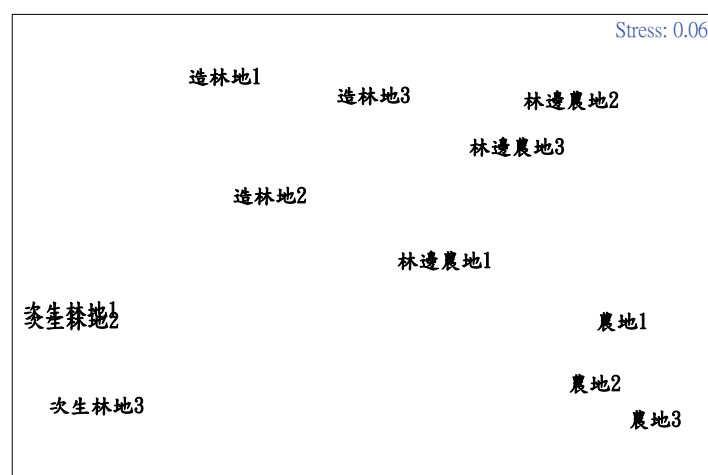


圖 2. MDS 分析 2009 及 2010 年 4-6 月及 9-11 月 花蓮光復大農大富平地造林區之農地、林邊農地、造林地及次生林地之鳥類群聚分布圖

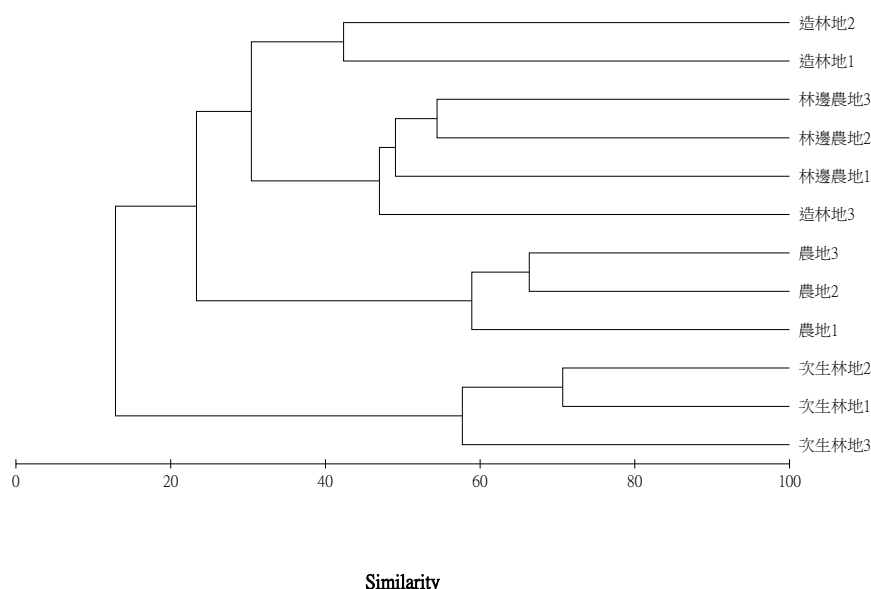


圖 3. 2009 及 2010 年 4-6 月及 9-11 月花蓮光復大農大富平地造林區之農地、林邊農地、造林地及次生林地之鳥類群聚樹狀圖

4 種棲地中以次生林地的鳥類群聚組成皆明顯有別於其他棲地，從 MDS、CLUSTER 及 ANOSIM 分析中，均得到相同之結果，可見次生林地的鳥類群聚在 4 種棲地中最為獨特。造成原因為次生林活動的鳥種偏向於台灣低海拔森林常見的鳥類群聚，主要以小彎嘴、山紅頭及台灣東部常見的鳥種烏頭翁等為主。次生林地與同屬林地的造林地達到最大相異度值，代表次生林地與造林地對鳥類來說是很不同的兩種棲地。從鳥類功能群來看，次生林地的灌叢活動覓食者較造林地為多，主要因為造林地缺乏下層灌叢及地表植被，所以無法提供適合闊葉林內下層常見鳥類活動的棲地，即使造林地的上層樹木，可提供鳥

類棲息及食物資源，其種類、數量及物種歧異度皆較次生林地低，鳥類群聚組成也較單純，代表目前造林地所能提供的生態功能可能較為匱乏。

造林地與農地的鳥類群聚有明顯不同，前者以樹林活動鳥類如烏頭翁、綠繡眼等為主，後者則以取食農作物的地面及灌叢鳥類如黃鸝、斑文鳥等為主。由於兩地的植被結構及周邊環境完全不同，鳥類群聚達到最大相異度應屬合理，因此大農大農大富地區的平地造林提供了不同於農地的棲息環境，一些樹林鳥類出現於平地造林中，這些鳥類與農地鳥類不同，故平地造林為原先單一的農地景觀帶來了不同的物種，提高了當地的生物多樣性。

造林地旁的農地與造林地的鳥類群聚差異不大，可能因為在造林地活動的綠繡眼、烏頭翁等樹林鳥種，會在農地邊際活動，使得兩棲地中皆有共同的樹林鳥種。惟就現場觀察，這些樹棲性鳥種並未進入農地取食、棲息或停留，應不會影響農作。

雖然大農大富農場已造林數年，但從鳥類觀點來看，目前造林地仍然無法吸引低海拔森林鳥類進入，可能與造林樹種及棲地結構單純有關，在無法改變上層樹種結構的限制下，建議可增加中下層植被覆蓋度，營造結構多樣性較高的棲地，希望能藉此增加地被層的鳥類多樣性，進而豐富整個造林地的鳥類多樣性。

(二) 鳥類移動廊道研究

1. 追蹤個體狀況

自 2011 年 5 月至 2012 年 2 月共進行 12 次調查，在 193 縣道旁次生林共捕捉 116 隻鳥類，陸續有 28 隻裝置無線電發報器並載運至大農大富農場造林區放飛，其餘測量基本形質後在原地放回。除了發報器很快脫落及配帶發報器後狀況不佳拔除取消放飛的 8 隻以外，共獲得 8 種、20 隻鳥類之無線電追蹤結果，分為：1. 返抵次生林，2. 死亡，3. 疑似被吃，4. 失去訊號，5. 放棄追蹤(表 2)。放棄追蹤乃因追蹤放飛個體(即樹鵲)約 53 hr，發現其快速來回穿越於次生林地與造林地之間，追蹤 5 天中每天傍晚前最後定位點皆在造林地，推測其對造林地的依存性較高於次生林，與其他個體從造林地進入次生林地後即不再往造林地移動的型態不同，故認定其活動型態不符本研究所謂之返家行為，因此中止追蹤。

結果共有 9 隻個體從造林地回到次生林地，包含小卷尾 3 隻、繡眼畫眉 2 隻，以及小彎嘴、五色鳥、黑枕藍鶯及頭烏線各 1 隻。死亡 4 隻，疑似被吃 2 隻(發報器現場遺留鳥羽)，失去訊號 4 隻，及放棄追蹤 1 隻。針對失去訊號的個體，在最後訊號點之方圓半徑約 1.5 km 內密切蒐尋仍未收到任何訊號，並且發報器在失去訊號前沒有任何故障跡象，故推測有可能發報器連同個體被捕食者帶走。

表2. 2011-2012花蓮光復大農大富平地造林區鳥類放飛追蹤結果

(單位：個體數)

鳥種	放飛追蹤結果							總計	成功比例*
	返抵次 生林	死亡	疑似被 吃	失去訊 號	拔除	放棄 追蹤	發報器 脫落		
大彎嘴				1				1	0.00
小卷尾	3			1				4	0.75
小彎嘴	1						3	4	0.25
五色鳥	1							1	1.00
黑枕藍鶇	1	1						2	0.50
樹鵲						1		1	0.00
頭烏線	1	1		1				3	0.33
繡眼畫眉	2	2	2	1	3		2	12	0.20
總計	9	4	2	4	3	1	5	28	0.32

*註：成功比例=返抵次生林個體數 / 總個體數

2. 鳥類棲位高度 vs. 移動表現

由無線電追蹤之定位資料(表 3)得知，不同鳥種移動速度各異，由快至慢依序為五色鳥(1132 m/hr)、小卷尾(695 m/hr)、黑枕藍鶇(219 m/hr)、樹鵲(211 m/hr)、小彎嘴(186 m/hr)、繡眼畫眉(121 m/hr)、大彎嘴(41 m/hr)及頭烏線(30 m/hr)，棲位較高的鳥種，有移動較快的趨勢。除五色鳥、小彎嘴、大彎嘴及樹鵲之樣本數太少無法檢驗差異之外，其他鳥種之移動速度有顯著差異，即小卷尾>黑枕藍鶇>繡眼畫眉>頭烏線，各鳥種之移動效率亦有相同結果。將 8 鳥種依其棲位高度分為 3 類：冠層(小卷尾、五色鳥、樹鵲)、中層(黑枕藍鶇、小彎嘴、繡眼畫眉)及底層(大彎嘴、頭烏線)，則可發現棲位高度越高，移動速度也越快，亦即冠層 685.9 m/hr > 中層 146.9 m/hr > 底層 32.8 m/hr ($p < 0.001$)。移動效率則是冠層最高(67.7%)，中(32.6%)及底層(26.6%)未達顯著差異($p < 0.01$)。返家成功率(不返家的樹鵲未列入統計)亦發現棲位高度在冠層的鳥種有最高成功率(87.5%)，中層鳥種次之(59.7%)，底層鳥種最低(16.7%)，惟差異不顯著($p = 0.17$)。將成功返家的 9 隻個體依其棲位高度分為上層(小卷尾、五色鳥、黑枕藍鶇)及下層(小彎嘴、繡眼畫眉、頭烏線)，則上層鳥類返家所需之時間(2.7 hr)顯著少於下層鳥類(58.9 hr, $p < 0.05$)。

表 3. 2011-2012 花蓮光復大農大富平地造林區鳥類放飛表現

物種	追蹤結果	移動路徑 總長(m)	移動距離 總長(m)	移動效率 (%)	平均速 度(m/hr)	成功所需 時間(hr)	成功 點位數
大彎嘴	失去訊號	839.48	383.54	45.69	41.08		40
小卷尾 A	返抵次生林	2166.90	1330.20	61.39	339.46	6.42	21
小卷尾 B	返抵次生林	1253.60	959.70	76.56	1157.17	0.33	6
小卷尾 C	返抵次生林	883.60	673.40	76.21	589.07	0.92	9
小彎嘴	返抵次生林	1718.90	512.30	29.80	186.16	10.33	25
五色鳥	返抵次生林	1245.60	1041.60	83.62	1132.36	1.755	16
黑枕藍鵲 A	返抵次生林	1726.10	653.32	37.85	333.01	3.92	24
黑枕藍鵲 B	死亡	993.69	453.80	45.67	228.43		11
樹鵲	放棄追蹤	11174.70	1065.71	9.54	211.18		64
頭烏線 A	失去訊號	1997.80	26.98	1.35	21.14		120
頭烏線 B	疑似被吃	645.60	149.48	23.15	29.61		33
頭烏線 C	返抵次生林	2493.70	897.7	36.00	39.18	126.60	127
繡眼畫眉 A	返抵次生林	6567.00	939.74	14.31	153.37	57.67	88
繡眼畫眉 B	死亡	214.38	136.40	63.63	149.57		5
繡眼畫眉 C	死亡	971.69	125.76	12.94	43.97		45
繡眼畫眉 D	返抵次生林	4770.69	488.19	10.23	135.15	40.83	69
繡眼畫眉 E	疑似被吃	852.28	356.53	41.83	118.37		15
繡眼畫眉 F	疑似被吃	617.23	256.15	41.50	135.65		10
繡眼畫眉 G	失去訊號	4057.72	1152.72	28.41	109.08		8

成功所需時間：追蹤起始至進入次生林間之實際活動時間(扣除夜間 18:30~05:30)

移動效率：路段長/總路徑長*100 (樹鵲除外，為每日之移動效率平均)

雖然目前研究樣本數有限，但初步可以看出以下趨勢：棲位越上層的鳥種，移動速度越快，移動效率越高，且返家成功率也越高，再從成功返家個體來看花費時間，也是上層鳥類較快回到家。這樣的結果可能與不同的移動方式有關，若體型大小類似，上層鳥類移動時穿越林間較少停留，但下層鳥則多採用時跳時飛的方式在底層行進，故上層鳥類的移動速度較快。鳥類對地景的判斷力是另一項可能影響的因素，上層鳥類應較下層鳥類能看到較遠地景，較能判斷回家方向而較少走錯路，故有較佳的移動效率，並花費較少時間回家，而鳥類在陌生區域停留時間越短，遭受攻擊的風險越低，成功返家的機率因而增加。因此，平地造林可以提供鳥類移動廊道之用，但對下層活動的鳥類來說，移動表現包括速度及效率皆較差，花費時間較多，故推測其在造林區移動所面臨的生命風險高於上層鳥類。再從死亡及疑似被吃的案例來看，亦以中下層活動的繡眼畫眉及頭烏線為主，大致支持以上假說。

3. 棲地 vs. 移動表現

成功返家的鳥類所經過路徑，其定位所在棲地多為人工林或雜木林，大部份鳥類在開闊地停留的定位點少於 10%(表 4)，亦即這些鳥類在回家的路上較傾向飛越有樹林的地景，而少飛越缺乏樹林的開闊地。在 1 處放飛區的東側有 1 塊廢耕的開闊地，雖然鳥類穿越東側可以較接近原來的次生林捕捉點，即穿越此廢耕地應可較迅速返家，但所有放飛鳥類皆未向東移動而是向南在造林地內移動，代表造林地可以提供為鳥類移動的廊道，而開闊地相較之下鳥類較少使用，猜測前者的安全性高於後者，亦即開闊地較危險。較例外的 3 隻鳥在回家的路徑上有 20-38%的定位點在開闊地，其中 1 隻於開闊地中死亡，另兩隻則在接近次生林的家時才穿越開闊地，故這 3 個案例並不排斥開闊地是較危險棲地的假說。

表 4. 2011-2012 花蓮光復大農大富平地造林區鳥類放飛個體選擇棲地類型比例(%)

個體	開闊地	人工林	溝渠邊灌叢	次生林
大彎嘴	0.00	100.00	0.00	0.00
小卷尾 A	6.67	86.67	6.67	0.00
小卷尾 B	0.00	100.00	0.00	0.00
小卷尾 C	20.00	60.00	20.00	0.00
小彎嘴	4.17	62.50	33.33	0.00
五色鳥	0.00	90.00	10.00	0.00
黑枕藍鶇 A	0.00	57.14	42.86	0.00
黑枕藍鶇 B	20.00	50.00	30.00	0.00
樹鵲	17.19	51.56	25.00	6.25
頭烏線 A	0.00	100.00	0.00	0.00
頭烏線 B	0.00	100.00	0.00	0.00
頭烏線 C	38.00	55.00	7.00	0.00
繡眼畫眉 A	3.49	90.70	5.81	0.00
繡眼畫眉 B	0.00	75.00	25.00	0.00
繡眼畫眉 C	0.00	100.00	0.00	0.00
繡眼畫眉 D	0.00	30.88	69.12	0.00
繡眼畫眉 E	0.00	100.00	0.00	0.00
繡眼畫眉 F	0.00	100.00	0.00	0.00
繡眼畫眉 G	0.00	32.86	67.14	0.00

為排除不同鳥種在習性及移動速度的差異，以下僅針對同種個體比較不同棲地環境的移動速度。7 隻繡眼畫眉在各種不同棲地類型中的移動速度有顯著差異($p < 0.05$)，在開闊地的移動速度最快(352.5

m/hr)，而在次生林中的移動速度最慢(74.4 m/hr)。而 3 隻小卷尾雖然可能由於樣本數較少而造成差異不顯著($p = 0.34$)，但其在開闊地的移動速度(1856.8 m/hr)也較造林地(1361.4 m/hr)與次生林(390.1 m/hr)中快。2 隻黑枕藍鶯的結果與以上物種不同，在開闊地的個體移動速度較慢，但該個體在成功返回次生林之前便於開闊地附近的果樹上遭到伯勞捕食，此案例顯示在開闊地中活動較可能被天敵捕食。再者，本研究中死亡個體皆是在沒有樹林遮蔽或枝條稀疏之處遭捕食，且小型肉食性猛禽棕背伯勞在現場的目擊頻率高，故判斷這些個體可能因隱密性不足，而遭受棕背伯勞或其他掠食者捕食。以上兩項案例說明鳥類在開闊地或不夠茂密的樹林活動，可能有較高的被捕食風險，故推測鳥類為了降低被捕食風險而提高在這種環境的移動速度。綜合以上各項案例，鳥類較少穿越開闊地，穿越時速度較快，再加上死亡個體皆是在沒有樹林遮蔽或枝條稀疏之處遭捕食的結果，顯示鳥類穿越開闊地應有較高危險，相對來說，茂密成林的造林會是較安全的移動廊道。目前平地造林區尚未達到茂密成林的林相，應非鳥類頻繁使用的移動廊道，但未來此平地造林若能朝連續且茂密的森林形態發展，甚至恢復 17 世紀此處森林密布的景象(康德培，1999)，將提高中央山脈與海岸山脈森林物種交流的可能性。

四、結論

造林地之鳥類群聚明顯有別於農地，故為原有農地景觀帶來不同的鳥類群聚，已提高了當地原有生物多樣性，且農地未成為林地鳥類的棲地。

造林地與海岸山脈次生林地的鳥類群聚尚存在極明顯差異，後者較偏向台灣低海拔森林鳥類群聚，不論是鳥類的種豐富度、數量或歧異度皆高於前者。目前造林地仍然無法吸引低海拔森林鳥類進入，可能與造林樹種及棲地結構單純有關；在無法改變上層樹種結構的限制下，建議可增加中下層植被覆蓋度，營造結構多樣性較高的棲地，希望能藉此增加地被層的鳥類多樣性，進而豐富整個造林地的鳥類多樣性。

平地造林可以提供鳥類移動廊道之用，但下層活動的鳥類在造林區移動所面臨的風險可能高於上層鳥類。

鳥類穿越開闊地應有較高危險，相對來說，茂密成林的造林會是較安全的移動廊道。但目前造林區尚未形成連續茂密的林相，故仍非鳥類頻繁使用的移動廊道。

五、致謝

本研究承蒙林務局綠色造林計畫補助，台糖公司花蓮區處協助維護研究樣區及提供樹種栽植資料，林業試驗所森林經營組行政協調，太麻里研究中心謝漢欽主任提供植生指數分布圖，特此一併感謝。

六、參考文獻

- 丁宗蘇 1993 玉山地區成熟林之鳥類群聚生態。國立台灣大學動物學研究所碩士論文。
- 花蓮大農大富平地森林遊樂區整體規劃成果報告書 2010 行政院農業委員會林務局。
- 康德培 1999 殖民接觸與帝國邊陲：花蓮地區原住民 17 至 19 世紀的歷史變遷。稻鄉出版社。
- B'elisle, M., A. Desrochers, and M. J. Fortin 2001. Influence of forest cover on the movements of forest birds: a homing experiment. *Ecology* 82:1893–1904.
- B'elisle, M., and C. St. Clair 2001. Cumulative effects of barriers on the movements of forest birds. *Conservation Ecology* 5(2):9.
- Bakker, V. J., and D. H. Van Vuren 2004. Gap-crossing decisions by the red squirrel, a forest-dependent small mammal. *Conservation Biology* 18:689–697.
- Berggren, A., B. Birath, and O. Kindvall 2002. Effect of corridors and habitat edges on dispersal behavior, movement rates, and movement angles in Roesel's Bush-Cricket (*Metrioptera roeseli*). *Conservation Biology* 16:1562–1569.
- Bowman, J., and L. Fahrig 2002. Gap crossing by chipmunks: an experimental test of landscape connectivity. *Canadian Journal of Zoology* 80:1556–1561.
- Bright, P. W 1998. Behavior of specialist species in habitat corridors: arboreal dormice avoid corridor gaps. *Animal Behaviour* 56:1485–1490.
- Clarke, K. R. and R. M. Warwick 1994. *Change in Marine Communities*. Plymouth Marine Laboratory, 144 pp.
- Clarke, K. R. and R. N. Gorley 2001. *PRIME v5: User Manual/ Tutorial*. Plymouth
- Desrochers, A., and S. J. Hannon 1997. Gap crossing decisions by forest songbirds during the post-fledging period. *Conservation Biology* 11:1204–1210.
- Dunning, Jr., J. B., Jr., R. Borgella, K. Clements and G. K. Meffe 1995. Patch isolation, corridor effects, and colonization by a resident sparrow in a managed pine woodland. *Conservation Biology* 9: 542-550
- Gillies, C. S. and C. C. St. Clair 2008. Riparian corridors enhance movement of a forest specialist bird in fragmented tropical forest. *Proceedings of National Academic Science*. 105:19774-19779.

- Gobeil, J.-F., and M.-A. Villard 2002. Permeability of three boreal forest landscape types to bird movements as determined from experimental translocations. *Oikos* 98:447–458.
- Hadda, N. M 1999. Corridor and distance effects on interpatch movements: a landscape experiment with butterflies. *Ecological Applications* 9:612–622.
- Magurran, A. E. 2004. Measuring biological diversity. Malden, MA: Blackwell Publishing. Marine Laboratory, 91 pp.
- Pielou, E. C. 1975. Ecological diversity. New York: Wiley InterScience.
- Rosenberg, D. K., B. R. Noon, and E. C. Meslow 1997. Biological corridors: form, function, and efficacy. *Bioscience* 47: 677-687.
- Sala, O. E, et al. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287:1770–1774.
- Shannon, C. E. and W. Weaver 1949. The mathematical theory of communication. Urbana, IL: University of Illinois Press.

從鼠種組成與相對數量探討大農大富人工林生態經營

陳一銘^{1*} 葉文琪¹ 鄭浩鈞¹

【摘要】

為評估大農大富農場人工林之棲地現況，2010 年 4 月~10 月選擇人工林地設置 6 條樣線、鄰近之海岸山脈次生林設置 3 條樣線進行鼠類捕捉試驗。結果顯示，3 條次生林樣線之鼠種組成以森林性種類—刺鼠(*Niviventer coninga*)為絕對優勢，捕獲隻次佔 92.9%；草原性種類—小黃腹鼠(*Rattus losea*)及月鼠(*Mus caroli*)各佔 6.2%及 0.9%。6 條造林地樣線則全為草原性鼠種，捕獲隻次以小黃腹鼠佔 54.8%、月鼠佔 42.9%為優勢，鬼鼠(*Bandicota indica*)佔 2.3%，未捕獲刺鼠。次生林之刺鼠平均捕獲率為 14.3%，各樣線之間沒有差異(ANOVA, $p=0.53$)。人工林的月鼠平均捕獲率為 15.1%，各樣線之間有極顯著差異(ANOVA, $p<0.001$)；小黃腹鼠的平均捕獲率為 12.0%，各樣線之間有極顯著差異(ANOVA, $p=0.007$)。2010 年 11 月~2011 年 4 月另設置人工密林樣線與人工疏林樣線各 6 條。結果為月鼠之平均捕獲率於人工密林為 19.3%、人工疏林為 22.2%，棲地間無顯著差異(t-test, $p=0.52$)；小黃腹鼠之平均捕獲率於人工密林為 11.0%、人工疏林為 16.5%，棲地間無顯著差異(t-test, $p=0.26$)。大農大富造林地之棲地利於草原鼠類群聚，無跡象顯示本區人工林於短期內可適於森林鼠類與其他哺乳類立足。鄰近之次生林經調查共發現陸生哺乳動物 6 目 10 種，顯示野生動物資源並不匱乏。建議應進行相關研究、加強生態經營，以增加平地森林園區之生物多樣性，提高遊憩、教育與生態保育價值。

【關鍵詞】野鼠、平地造林、鼠種組成、生態營林、棲地評估

¹ 行政院農業委員會林業試驗所森林保護組，台北市南海路 53 號，*通訊作者。

一、前言

平地造林為我國林業政策--綠色造林項下重要的一環，綠色造林政策提出的願景包括：提昇整體環境品質，營造生態環境完整性及自然美麗的綠色鄉野，以及營造安全、生態及優質家園。其計畫目標第五項即為：維護完整綠色資源，建立生物多樣性生態系。因此，對於平地造林的實質生態效益，我們有必要加以監測、評估。目前在台糖大農大富農場平地造林超過 10 年，且造林面積廣大達 1000 公頃，除人為干擾較低之外，該農場造林地在許多地點都與原生次生林接壤，這為我們提供了檢視平地造林對涵養野生動物效益的機會。一般而言，陸棲哺乳類的直接觀察研究在台灣相對地較為困難(裴家騏，1998)，尤其在動物族群密度較低的淺山或平地，必須視研究目的及對象選擇適當的方法。經實地觀察與參考本區過去所做的調查(楊懿如，2010)，我們認為中、大型哺乳類目前在本區人工林中可能沒有分布或出現機率極低，並不適合當做監測評估指標。因此我們以最易於操作的鼠類為調查對象，藉其在林地的種類組成與族群豐量變化來評估人工林、次生林之棲地功能。台灣常見的鼠類中，刺鼠分布全島中、低海拔，為典型的森林物種，且為低海拔森林中的唯一鼠種(Yu，1994)。其他在花蓮平原地區曾做過的鼠類相關研究中曾發現的種類有月鼠、小黃腹鼠、鬼鼠、赤背條鼠、家鼯鼠、溝鼠與緬甸小鼠(李玲玲，1992；朱惠菁，2001；洪麗慧，2002；吳海音、楊子欣，2005；楊大吉、李豐在，2006)共 7 種，屬於居家、農耕地或草原性種類。刺鼠與其他非森林性鼠類的分布常有明顯區隔，例如在苗栗淺山森林中，以赤腹松鼠和刺鼠為主要鼠種，其他鼠類幾乎無法入侵(王豫煌，2008)。此外關渡草澤地共域的 4 種鼠類、以及花蓮地區的 2 種鼠類也都有不同程度的棲地或微棲地區隔(朱惠菁，2001；李宜娟，2001)，杉木造林地內刺鼠捕獲隻次與林下植被棲地因子也有顯著的相關(蔡錦文，2001)。可見鼠類可做為為良好的棲地評估指標。

二、材料與方法

(一) 次生林與人工林之鼠類群聚調查

2010 年 4 月~10 月於花蓮台糖大農大富農場鄰近之海岸山脈選取 3 處次生林(F1-F3)，以及大農大富農場區內選取 6 處人工林地(P1-P6)，各設置樣線進行鼠類捕捉試驗(圖 1)。次生林樣區之地貌為淺山丘陵，森林組成樹種種類多樣，下層灌叢發達，結構複雜，構成種類多為木本灌木或爬藤植物；人工林樣區為地勢起伏平緩的平原或小丘陵，造林地呈區塊狀，多為單一樹種，常見樹種如光臘樹、台灣欖、楓香、陰香、杜英等，林下因定期除草，灌叢結構簡單，構成種類多屬草本植物。每處樣線各放置台製捕鼠籠(27x17x14cm)12 個，鼠籠之間隔為 10m。每月進行調查 1 次，每次 3 夜，並避開雨量過大的天候。捕鼠籠以番薯切塊沾花

生醬為誘餌，並覆蓋塑膠布以避免動物可能因淋雨而失溫，鼠籠於傍晚前設置完成，天亮後約 2 個小時內巡視完畢，為避免誤捕日行性之鳥類及其他動物，所有鼠籠皆於巡視後關閉，俟傍晚時再行開啟。每月調查完成後鼠籠放置原地，次月調查期再整理啟用。捕獲之動物紀錄其種類、性別、成熟度後於原地釋放。計算當月捕獲率時以特定鼠種之捕獲隻數除以該樣線之有效捕捉籠次(籠夜)，並視為代表該鼠種的相對豐量。由於捕獲率為比率資料，故進行統計前都先經反正弦函數轉換(arcsine transformation)處理。部分鼠籠可能會因機件故障或其他不明原因造成陷阱關閉或誘餌被食卻無捕獲之情形，這些都視為無效之捕捉，不列入分析。



圖1. 2010年4月~2011年4月各樣線與編號分布情形

△ 次生林(F1-F3)；□ 人工林(P1-P6)；○ 人工林(H4-H9、O4-O9)

(二) 造林地鬱閉度與鼠類豐量調查

於 2010 年 11 月~2011 年 4 月，參考遙測植生指數轉化分級影像之分級情形與可見光衛星影像(Google Earth)之影像特徵並配合現場勘查，於大農大富農場選取選取人工密林 6 處(H4-H9)與人工疏林 6 處(O4-O9)(圖 1)，各設置樣線進行鼠類捕捉試驗，以比較人工林成林鬱閉狀態變化下野鼠的群聚或豐量是否改變，方法與前項調查相同。

(三) 次生林地棲性野生動物相調查

以被動式紅外線(passive infrared, P.I.R.)感應自動相機為調查工具，於次生林地選取獸跡明顯或地形通道適合之處設置自動相機。自動相機設置於離地約 0.5~1m 高之處，固定於樹幹、木樁等物體上，當動物進入感應範圍之內，即因體溫與動作啟動相機。自動相機為數位式，正常之感應速度約為 1.2 秒，設定啟動後錄影 4 秒，拍攝事件完成後延遲啟動時間為 1 分鐘。自動相機每 1~3 個月收取資料，並視需要移動位置。除自動相機調查外，其他於研究期間發現之野生動物或跡象也一併列入。

三、結果與討論

(一) 次生林與人工林之鼠類群聚調查

2010 年 4 月~10 月，兩種棲地共捕獲 4 種鼠類分別為刺鼠、小黃腹鼠、月鼠與鬼鼠。3 條次生林樣線共完成 733 有效籠夜，捕獲鼠類 210 隻次，其中以刺鼠為絕對優勢，佔 92.9%、小黃腹鼠及月鼠僅各佔 6.2%及 0.9%，沒有捕獲鬼鼠；次生林各樣線之刺鼠月捕獲率相當接近，分別為 13.0%、13.1%、16.8%，平均 14.3(表 1)，樣線之間沒有顯著差異(ANOVA, $p=0.53$)。6 條人工林樣線共完成 1464 有效籠夜，捕獲鼠類 485 隻次，其中以月鼠與小黃腹鼠為優勢種類，各佔 54.8%與 42.9%，鬼鼠僅佔 2.3%，沒有捕獲刺鼠(表 1)。人工林樣線的月鼠平均捕獲率為 15.1%，各樣線之間有極顯著差異(ANOVA, $p<0.001$)；小黃腹鼠的平均捕獲率為 12.0%，各樣線之間有極顯著差異(ANOVA, $p=0.007$)；鬼鼠的平均捕獲率為 0.4%，而且只出現在林木鬱閉度較低的 3 條樣線。

表1. 2010年4月~2010年10月次生林與人工林樣線鼠類捕獲情形

鼠種 Species	有效籠次 Trap night	刺鼠 <i>Niviventer coninga</i>		月鼠 <i>Mus caroli</i>		小黃腹鼠 <i>Rattus losea</i>		鬼鼠 <i>Bandicola indica</i>	
		隻次 No.	捕獲率 Trap. rate	隻次 No.	捕獲率 Trap. rate	隻次 No.	捕獲率 Trap. rate	隻次 No.	捕獲率 Trap. rate
棲地型 Habitat									
次生林(n=3) Secondary F.	733	199	14.3%	1	0.1%	10	1.0%	0	0%
人工林(n=6) Plantation	1464	0	0%	266	14.8%	208	12.0%	11	0.4%
小計(sum)	2197	199		267		218		11	

刺鼠為典型的森林性鼠類，調查結果顯示本地次生林為刺鼠之適合棲地，而且其條件可能相當穩定，故刺鼠的相對數量也很穩定。而除了靠近農耕地的交會地帶，次生林中幾無草原性鼠種棲息。相反地，人工林之調查結果未發現任何刺鼠，而是以常見的草原鼠種--月鼠、小黃腹鼠為主要種類(圖 2)，而這兩種野鼠在人工林的相對豐量變異很大，在不同的樣線間具有顯著的差異，透過對各個樣區的觀察與比較，我們認為這種差異或許暗示當造林地達成鬱閉，將不利於草原鼠種棲息，例如鬼鼠數量雖然較少，卻很明顯的僅出現在鬱閉度較低的 3 條樣線。因此我們於 2010 年 11 月~2011 年 4 月接續進行不同鬱閉度之鼠類豐量比較試驗。

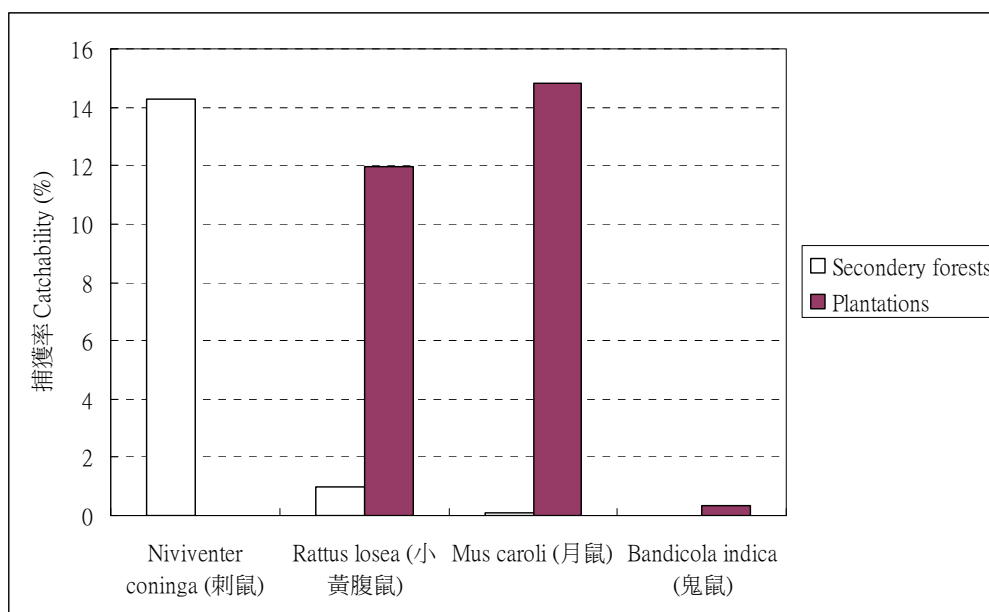


圖2. 次生林與人工林鼠種組成與月捕獲率比較

(二) 人工林不同鬱閉度之鼠類豐量

12 條樣線總共完成 2492 個有效籠夜，捕獲 1156 隻次，其中月鼠佔 57.4%、小黃腹鼠佔 41.4%、鬼鼠佔 1.1%，組成比例與 2010 年 4 月~10 月人工林之調查結果非常接近，特別值得注意的是這次調查曾在人工密林 H5 樣線捕獲刺鼠 1 隻次(表 2)。6 處人工密林樣線(H4-H9)月鼠之平均捕獲率為 19.3%、人工疏林樣線(O6-O9)為 22.2%，2 種棲地間無顯著差異(t-test, $p=0.52$)；小黃腹鼠之平均捕獲率於人工密林為 11.0%、人工疏林為 16.5%，2 種棲地間無顯著差異(t-test, $p=0.26$)。鬼鼠的出現情形與前期調查結果類似，其捕獲率仍然較低，在人工密林僅捕獲 2 隻次，月捕獲率為 0.2%，但是在人工疏林則有 0.9%的捕獲率(表 2)。

表2. 2010年11月~2011年4月人工密林與人工疏林樣線鼠類捕獲情形

鼠種		刺鼠		月鼠		小黃腹鼠		鬼鼠	
Species		<i>Niviventer coninga</i>		<i>Mus caroli</i>		<i>Rattus losea</i>		<i>Bandicola indica</i>	
棲地型 Habitat	有效籠次 Trap night	隻次	捕獲率	隻次	捕獲率	隻次	捕獲率	隻次	捕獲率
		No.	Trap. rate	No.	Trap. rate	No.	Trap. rate	No.	Trap. rate
人工密林(n=6) Dense plant.	1248	1	0.1%	311	19.3%	191	11.0%	2	0.2%
人工疏林(n=6) Sparse plant.	1244	0	0%	352	22.2%	288	16.5%	11	0.9%
小計(sum)		2492	1	663		479		13	

調查結果顯示月鼠與小黃腹鼠兩種優勢種的相對豐量並沒有如我們所預期，隨著人工林的鬱閉度增加而降低。也就是說，人工林林齡或林分生物量變大後，改變了林分外觀，主觀的說較接近「成林」，但是林間棲息的草原性鼠類族群並沒有明顯的消退或不適生存的現象，從另一方面來說，可能也不表示更適於森林性動物棲息。這應該與營林施作方式關係較大，最明顯的是定期除草使林下植被維持在初期演替，致缺乏中、下層結構，不利於樹棲動物移動、躲避。此外各樣線的捕獲率變異很大，最極端者為人工密林的 H8 樣線，在長達 6 個月的調查期間僅捕獲 1 隻月鼠。此樣線為陰香(*Cinnamomum burmannii*)造林地，由於遮蔽度極高，林下雜草受到抑制，可能使鼠類失去遮蔽所(shelter)而移出，這樣的情形在本區其他樹種造林地並不多見。一般而言森林演替會改變地被植物組成，也因此應會影響鼠類族群(蔡錦文，2001)。而大農大富農場多以單一樹種營林，林下微氣候條件可能因造林樹種的特性而有很大差異，因此也會造成林下居留鼠類的族群量差異加大。雖然刺鼠在人工密林有一次捕獲紀錄，但出現率太低，我們仍認為人工林目前並無穩定維持的刺鼠族群。不過這顯示鄰近之森林物種並不缺乏播遷通道以進入人工林。本地區的人工林在許多地點都鄰接次生林，此外農場管理人員、農場周邊居民都提供直接或間接了解包括野豬、山羌進入造林地中活動的訊息(訪談資料)。只是從鼠類的研究結果我們間接地了解，目前哺乳類野生動物應該還難以在本地區人工林立足。

(三) 次生林之地棲野生動物調查

調查期間自動相機共累計 13718 工作小時，除刺鼠外尚發現野生動物包括嚙齒目之赤腹松鼠(*Callosciurus erythraeus*)、大赤鼯鼠(*Petaurista philippensis*)共 2 種；偶蹄目山羌(*Muntiacus reeves*)、野豬(*Sus scrofa*)共 2 種；食肉目鼬獾(*Melogale moschata*)、白鼻心(*Paguma larvata*)、食蟹獾(*Herpestes urva*)共 3 種；鱗甲目穿山甲(*Manis pantadactyla*)1 種與靈長目台灣獼猴(*Macaca cyclopis*)1 種。故可知本區次生林具有足夠之哺乳動物資源(表 3)。

表3. 大農大富鄰近次生林野生動物紀錄列表

物種\方式	自動相機*	目擊	叫聲	痕跡	排遺
Species\method	Auto-cam.*	witness	sound	sign	dropping
山羌 <i>Muntiacus reeves</i>	11.46		●		●
台灣獼猴 <i>Macaca cyclopis</i>	5.17	●	●		●
<i>Macaca cyclopis</i> 鼠類(刺鼠)	2.80	●			
野豬 <i>Sus scrofa</i>	0.33			●	
白鼻心 <i>Paguma larvata</i>	0.19				
鼬獾 <i>Melogale moschata</i>	0.17				
食蟹獾 <i>Herpestes urva</i>	0.12				
松鼠 <i>Callosciurus erythraeus</i>	0.06	●			
大赤鼯鼠 <i>Petaurista philippensis</i>			●		
穿山甲 <i>Manis pantadactyla</i>				●	

*=動物照片數/ 1000 相機工作小時；=no. pics/1000hrs.

四、結論

從次生林與人工林之鼠類群聚調查，我們發現本地區刺鼠與其他非森林性鼠類無法共域。大農大富人工林在棲地功能上仍有利於草原鼠類群聚，即使許多林分已漸趨鬱閉成林，但以目前慣行之造林撫育方式下，沒有跡象顯示本區人工林在短期內將能提供適合森林性鼠類立足之環境，推測對其他野生哺乳類之效益可能也同樣不足。在極鬱閉的陰香人工林內，草原性鼠類族群可能因失去草本層掩蔽所而受到抑制，但其族群移出後並沒有任何物種填補，形成了空缺的生態棲位(niche)。因此，這類人工林的生物多樣性涵養功能不佳。就刺鼠來說，本種有相當明顯的樹棲特性，林下灌叢可能為刺鼠之掩蔽所與攀爬到上層植被的通路(蔡仲執，1997)，本區人工林普遍缺乏灌叢構造，這應該是我們難以在此發現森林性物種居留的原因之一。根據於鄰近次生林之調查結果，野生動物資源並不匱乏，目前雖已知有極少數的刺鼠、山羌、野豬曾進入園區內活動，但其族群並未在人工林中立足。我們建議應於本區積極進行野生動物棲地改善、生態復舊、與近自然林經營(邱志明，2010)之研究，現行人工林經營則應容納更多天然演替之空間，適度改變撫育作業方式，以營造優質棲地，增加平地森林園區之生物多樣性，提高其遊憩、教育與生態保育價值。

五、致謝

研究執行期間承蒙台糖農場辦公室提供現場相關資訊及置物空間、花蓮林管處提供平地森林園區相關資料，以及林試所經營組謝漢欽博士提供植生指數分級影像為樣線規劃參考，於此一併申謝。

六、參考文獻

- 王豫煌 2008 苗栗淺山地區破碎化林地內小型齧齒目動物遺傳多樣性與其保育策略之研究。林務局保育系列研究 96-00-8-03 號。農委會林務局。
- 朱惠菁 2001 花蓮地區月鼠與赤背條鼠之棲地利用研究。東華大學自然資源管理所碩士論文。
- 李宜娟 2001 關渡草澤地共域小獸類的棲地利用。台灣大學動物學研究所碩士論文。
- 李玲玲 1992 太魯閣國家公園齧齒類動物相調查。太魯閣國家公園管理處。
- 吳海音、楊子欣 (2005) 花蓮縣志自然篇第九章。花蓮縣政府。
- 邱志明 2010 台灣人工林經營新思維—師法自然，近自然林的經營。林業研究專訊 vol.17(5): 7-12
- 洪麗慧 2002 花蓮地區兩共域鼠類-赤背條鼠與月鼠之食性研究。東華大學自然資源管理所碩士論文。
- 陳彥君 1986 嘉義地區農地野鼠之族群動態研究。東海生物所碩士論文。
- 楊大吉、李豐在 (2006) 農田野鼠之監測與防治。花蓮區農業專訊 56: 2-4。
- 楊懿如 2010 大農大富平地造林地生態資源調查。花蓮林管處。
- 蔡執仲 1997 大漢山及南仁山地區刺鼠 (*Niviventer coxingi*) 族群動態與微棲地利用關係。中山大學生物科學研究所碩士論文。
- 裴家騏 1998 利用自動照相設備紀錄野生動物活動模式之評估。台灣林業科學 13(4): 317-324。
- 蔡錦文 2001 杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 造林地疏伐對鳥類群聚及刺鼠 (*Niviventer coxingi*) 族群之影響。臺灣大學森林研究所碩士論文。
- Yu, H. T. 1994 Distribution and abundance of small mammals along a subtropical elevational gradient in central Taiwan. J. Zool. 234: 577-600.

造林木綜合工藝應用之探討

王瀛生^{1*}

【摘要】

本文從國產造林樹種中挑選包括樹葉、樹皮、枝幹、種實等各部位具工藝美感之樹種進行綜合利用評估，開發美藝加工處理技術，製作成 DIY 美勞工藝材料及委請工藝家製作成具裝飾價值之工藝成品，並尋求廠商技轉，期能將原屬廢棄之部位形塑成有用資材，創造潛在工藝經濟利用用途，技轉至林農閒置人力資源，提升就業人口，期能開創林農收益。

【關鍵詞】樹葉、樹皮、枝幹、種實、工藝利用

¹ 行政院農業委員會林業試驗所技術服務組研究員，台北市南海路 53 號，*通訊作者。

一、前言

我國近年來每年木材需求量均超過 600 萬立方公尺，大部分由外國進口，國產材自給率不及 1 %。然因國際環保意識高漲，逐漸訂定規範，限制木材出口，我國自 1989 年起天然林也全面禁伐，對我民生用材及林產工業發展影響甚大。惟山區林木以生態保育為主，生產規模較小，經營成本偏高，未來如能配合農產減產，釋出低產農地大規模造林，在機械化作業及降低環境衝擊之條件下，應可適度提高國產材生產潛能及自給率，並降低國際輿論壓力。

行政當局為達成「營造安全、生態及優質家園」目標，整合並擴大辦理相關綠色造林計畫，8 年內造林面積預定增加 6 萬公頃，平地造林獎勵金核發標準由 20 年 180 萬元提高至 240 萬元，短期內雖可提高國產材生產潛能及自給率，但因工資逐年高漲，林農在如期領取造林獎勵金之餘，是否有意願認真依序執行修枝撫育，期能取得日後優質良材的期望價值，值得懷疑。如不認真選擇適當樹種及執行修枝撫育，屆臨輪伐時，因材性不佳、樹型不良、品質低劣，必將無法滿足木材加工業需求，形成資源嚴重浪費。況且依傳統木材利用方式而言，30 年生造林木不但未成熟材比例偏高，經製材後，製材率低，廢材率高且木材物理性質較不穩定，除非開發全材利用途徑，否則將有利不及費之憾。本計畫擬從經濟利用觀點，從林木全株木質部主幹材以外包括樹葉、樹皮、枝幹、種實等各部位進行綜合利用評估，選擇具美感資材開發具工藝利用價值之用途，期能將原屬廢棄之部位形塑成有用資材，在主幹材達經濟利用徑級前，可持續將上述可增值資材之簡易備料技術技轉至林農閒置人力資源，提升就業人口，增加經濟誘因，從而依重要性建立推薦造林清單，期能在有限的造林空間栽植較具經濟效益樹種，並提供林業執行業務單位選擇造林樹種之參考。

二、材料與方法

(一) 試驗材料

從造林樹種中挑選具樹葉、樹皮、枝幹、種實工藝美感之樹種（優先配合現有平地造林樹種執行修枝撫育作業之素材）。

(二) 試驗方法

1. 樹葉

(1) 開發葉片工藝利用之加工處理技術

a. 製作不含葉綠素之黃色乾燥葉片：

以 95% 乙醇浸泡去除部份葉綠素（3~5 天），以清水漂洗乾淨後加壓乾燥，同時嘗試使用其他藥劑處理之效果。

b. 製作透明之乾燥葉片：

以 95% 乙醇去除部份葉綠素，以清水漂洗乾淨後，以次氯酸鈉漂白水在光照下進行漂白作業此時可經由不同漂白處理選擇全透

明、部份透明或霧狀葉片，進行加壓乾燥。

c.製作網狀脈明顯之乾燥葉片：

直接將新鮮葉片浸入 12~18%氫氧化鈉水溶液中，溶蝕葉肉部份保留木質化之葉脈。

(2) 製作成具裝飾價值之工藝成品

2. 樹皮

(1) 開發樹皮之工藝利用加工處理技術

a.以銳利工具於樹液旺盛之生長季節（春夏間）剝取完整樹皮，以報紙被覆再以夾具固定展平，待氣乾後備用。選用樹種為山櫻花及肯氏南洋杉。

b.選擇皮孔鮮明美感但樹皮較厚、取薄片樹皮不易者，取疏伐或修枝之連皮幹材加工製作工藝成品。選用樹種為福州杉、柳杉、櫟木及樟木。

c.單位材積樹皮工藝利用加工製作成本之經濟效益評估。以樹高 18m、胸徑 46cm 之肯氏南洋杉為例。

(2) 製作成具裝飾價值之工藝成品

3. 枝幹

(1) 開發枝幹之工藝利用加工處理技術

a.修枝撫育枝條(5cm 以下徑級)

(a)將各徑級枝條鋸製成 0.2cm 厚圓盤薄片，供進一步加工之素材。

(b)將各徑級枝條鋸製成 100cm 長，側面膠合成 100cm X 100cm 正方體，供進一步製作成品之素材。

b.疏伐幹材(5cm 以上徑級)

(a)鋸製正切 2-3cm 厚（含心邊材）之圓盤。

(b)鋸製斜切 2-3cm 厚（含心邊材）之圓盤。

(2) 製作成具裝飾價值之工藝成品

4. 種實

(1) 開發種實工藝利用之加工處理技術

a.分類：外型美感及結構堅實適合工藝利用之種實可歸納為五類

(a)毬果類

(b)蒴果類

(c)莢果類

(d)翅果類

(e)堅果類

b.依據外型、數量及具加工潛力等條件，試作標本型及工藝型成品，期能以額外加工收入提高林農參與平地造林之誘因。

(2) 製作成具裝飾價值之工藝成品

三、結果與討論

(一) 樹葉

1. 依葉形、葉質、葉色從木本植物中挑選適合供加工工藝美感之樹種，如下述：
 - (1) 葉形優美：如構樹、銀杏、菩提樹、烏桕、青楓、楓香、三角楓、洋紫荊、羊蹄甲、血桐、黃槿、海葡萄、白匏仔、麵包樹等。
 - (2) 葉脈明顯：如印度栲、山櫻花、青楓、菩提樹、構樹、海欖果、山枇杷、青岡櫟、第倫桃、檫木、野牡丹、香桂、桂花、細葉欖仁、欖仁、海桐、海葡萄、木槿等。
 - (3) 葉厚質：如大頭茶、茄冬、榕樹、桉樹、福木、印度橡膠樹、蓮葉桐等。
 - (4) 變色老葉：如大頭茶、錫蘭橄欖、樟樹、烏桕、杜英、血桐等。
2. 不含葉綠素之黃色乾燥葉片之製作處理：完成樹種包括印度栲（圖1）、青岡櫟（圖2）、杜英、楓香、台灣檫等。



圖1. 印度栲之黃色乾燥葉片



圖2. 青岡櫟之黃色乾燥葉片

3. 透明之乾燥葉片之製作處理：完成青楓（圖3）、櫻花（圖4）、菩提樹、構樹等。



圖3. 青楓之透明乾燥葉片



圖4. 山櫻花之透明乾燥葉片

4. 網狀脈乾燥葉片之製作處理：完成樹種包括菩提樹（圖5）、印度栲、櫻花、青楓、構樹等。

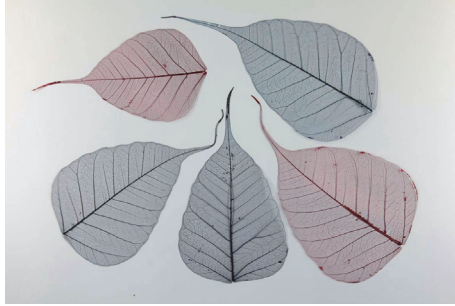


圖 5. 菩提樹之網狀脈乾燥葉片

5. 製作成具裝飾價值之工藝成品

(1)以金色葉片之金新木薑子（圖 6）、網狀脈之青楓及黃色葉脈之菩提樹製作成立體之貓頭鷹造型（圖 7），並裱框成掛飾。



圖 6. 具天然金色光澤之金新木薑子 圖 7. 以金新木薑子製作之貓頭鷹

(2)以去葉綠素網狀脈明顯之乾燥葉片製作裝飾袋及檯燈燈罩（圖 8）。

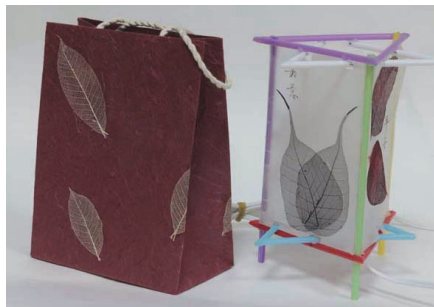


圖 8. 以網狀脈之乾燥葉片製作裝飾袋

(3)以楓香葉配合陶土燒製具明顯葉形之磁碗（圖 9）。



圖 9. 楓香配合陶土燒製具明顯葉形之磁碗

(4)以葉形漂亮之葛藤與三色堇壓製成具設計美感之押花作品(圖 10)。



圖 10. 具生命活力及設計美感之押花作品(曾琬婷製作)

(二) 樹皮

1. 剝取完整薄片樹皮之處理技術：

- (1)選擇具鮮明水平皮孔及古銅色光澤之山櫻花及肯氏南洋杉為素材。
- (2)胸徑以 30cm 以上為佳（取得面積較大），剝皮季節以春夏之間樹液流動旺盛之生長季節為宜，以銳利工具剝取完整樹皮薄片（圖 11）。
- (3)以報紙被覆樹皮薄片再以夾具固定及展平，待氣乾後備用。



圖 11. 手工剝取肯氏南洋杉樹皮

2. 櫟木因屬環孔材年輪清晰、心邊材分明、樹皮具明顯水平皮孔，頗具工藝利用價值（圖12），含樹皮枝條或疏伐幹材利用兼收撫育之效，對林農營收有激勵作用。



圖12. 顯現樹皮、木紋美感之含皮櫟木

3. 樟木因年輪線、心邊材稍分明、樹皮具縱向深溝裂，亦具工藝利用價值，木材具怡人香氣，可開發含樹皮圓盤之工藝利用（圖 13）。



圖 13. 含樹皮樟木手雕圓盤(吳重禧作品)

4. 含樹皮心邊材分明的柳杉疏伐木製作生活器具（圖 14），可達全材利用之效。



圖14. 含樹皮柳杉溫度計

5. 製作成具裝飾價值之工藝成品

(1)以山櫻花（圖 15）及肯氏南洋杉（圖 16）樹皮薄片被覆性質穩定之木材或層積竹材，可製作系列樹皮精緻工藝成品。



圖 15. 櫻花樹皮作品



圖 16. 肯氏南洋杉樹皮作品

(2)雷射雕刻機製作含樹皮疏伐幹材（圖 17），提供造林木疏伐之誘因。



圖 17. 含樹皮柳杉雷雕圓盤

6. 樹皮工藝利用加工製作成本之經濟效益評估：以樹高 18m、胸徑 46cm 之肯氏南洋杉為例，3 工人 1 天工資 3000 元可剝取生立木 6.4 平方公尺樹皮薄片，如取自伐倒木，更可取得 9.6 平方公尺樹皮薄片，每平方公尺生產成本雖高達 312 元，但如改進剝皮技術或熟練工，還有降低成本空間。

(三) 枝幹

1. 調查目前適合開發枝幹工藝利用之平地造林樹種

適合開發枝幹工藝利用之平地造林樹種之選擇條件，諸如材質緻密、紋理清晰、色澤高雅、心邊材分明或氣味怡人等。理想開發枝幹工藝利用之樹種如：台灣檫、烏心石、光蠟樹、桃花心木、樟木、棟樹、台灣肖楠、檜木、杉木、柳杉及台灣杉等。

2. 開發枝幹採收及集送處理步驟

- (1)修枝撫育枝條-採取直徑 5cm 以下枝條，含分叉及曲折部位依需要修剪為 100cm 以內任意長度，通直枝條則修剪為 100cm 長，以方便打包及運送。

(2)疏伐幹材-通直部位以鋸製成 100cm 長為原則，曲折部位則鋸製成 100cm 以下採彈性處理，以方便集送。

3. 開發枝幹之工藝利用加工處理技術

(1)修枝撫育枝條(5cm 以下徑級)

小徑修枝撫育枝條有先天上的限制，如彎曲不定、粗細不一、樹皮加工不易保存等，處理宜採「規格化」與「幾何化」。本系列材料以供 DIY 童玩系列設計為主（圖 18），製作成規格化單元，可提供更大之創意空間。

a.規格化：以英文單字表示枝條徑級，數字表示枝條裁切長度(cm)（圖 19）分為 1cm 以下-A、1.1-1.5cm-B、1.6-2cm-C、2.1-2.5cm-D、2.6-3cm-E、3.1-4cm-F、4.1-5cm-G。

*A 因直徑較小，只能利用於少數特定地方，如動物眼睛。BCDE 是 5cm 以下枝條最常用的範圍，故以 0.5cm 為單位區分。FG 則以 1cm 為單位區分。裁切長度是可以人為的，故以數字標明確切長度加以區分。另有剖半也常利用於組合玩具上，以/2 來區分。

*例如橫切面直徑 2.8cm，裁切長度 3cm，剖半則標明 E3/2，若四分之一則標明 E3/4。

b.幾何化：枝條因無法規格化，保留枝條天然造型，可應用於組合玩具之特殊造型。



圖 18. DIY 創意作品

圖 19. 規格化枝條單元

c.將各徑級枝條鋸製成 0.2cm 圓盤薄片，以膠合劑貼覆於基板、紙粘土或保力龍塑型之基材上，完成各式作品如創意蘋果（圖 20）、創意貓頭鷹（圖 21）。



圖 20. 創意蘋果



圖 21. 創意貓頭鷹

d.將各徑級枝條鋸製成 100cm 長，側面膠合成 100cm X 100cm 正方體之束狀集成材，在低度加工耗能及全材利用原則下製作供室內裝置藝術品（圖 22）。



圖 22. 小徑級組合裝置藝術

(2) 疏伐幹材(5cm 以上徑級)

- a.鋸製正切 2-3cm 厚圓盤，供開發較大徑級組合裝置藝術展品。
- b.斜切 2-3cm 厚圓盤，供開發雷雕機刻製勵志格言或圖案斜切圓盤（圖 23）



圖 23. 斜切雷雕機刻製勵志格言或圖案圓盤

4. 評估單位材積枝幹材工藝利用之經濟效益

- (1)枝幹採收及集送成本包括：單位重量之雇工工資及運送費用
- (2)製作工藝成品之成本包括：製作人員工資、耗材及成品管銷費用
- (3)製作工藝成品之販售收入經濟效益評估：(3)須大於(1)+(2)始具經濟效益。本計畫係利用森林經營疏伐撫育作業採收之材料，因採收成本在少量基礎上顯現偏高，且林況及交通狀況亦有顯著差異性，應依個案斟酌。

(四) 種實

1. 開發種實工藝利用之加工處理技術

- (1) 分類：外型美感及結構堅實適合工藝利用之種實可歸納為五類

a 毬果類：如松（圖 24）、杉木、柳杉、木麻黃、楓香。



圖 24. 松果

圖 25. 台灣梭羅樹

b.蒴果類：如台灣梭羅樹（圖 25）、銀葉樹、大花紫薇、藍花楹、桃花心木。

c.莢果類：如直幹相思（圖 26）、耳莢相思、洋紫荊、阿勃勒、水黃皮。



圖 26. 直幹相思

圖 27. 印度紫檀

d.翅果類：如印度紫檀（圖 27）、青楓、馬尼拉欖仁、廣葉南洋杉。

e.堅果類：如青岡櫟（圖 28）、小西氏石櫟（圖 29）、大葉校櫟、子彈石櫟。



圖 28. 青岡櫟吊飾



圖 29. 小西氏石櫟

(2)種實前處理

a.除塵、篩選及修整。

b.乾燥及貯存

2. 製作種實之工藝成品

(1)原素材型：原貌利用、簡易上手。

如黃花夾竹桃（圖 30）、楓香（圖 31）、青剛櫟、大花紫薇、香椿等。



圖 30. 黃花夾竹桃吊飾



圖 31. 楓香吊飾

(2)組合創作型：藝術組合、巧思無限、高商品價值。如桃花心木及松果的組合（圖 32）、藍花楸和松果的創意組合（圖 33）。



圖 32. 桃花心木及松果組合



圖 33. 藍花楸和松果的創意組合

四、結論

為激勵林農修枝撫育意願，藉以養成日後可預期之優質木材資源，本計畫如能帶動風潮，除可達減廢目的、充分利用資源外，更可促進就業並進而提升林農經濟收益，實乃一舉數得，值得林業執行機構參考採行。

在主幹材達經濟利用徑級前，可持續將包括樹葉、樹皮、枝幹、種實等各部位可增值資材之簡易備料技術技轉至林農閒置人力資源，提升就業人口，增加經濟誘因，從而依重要性建立推薦造林清單，期能在有限的造林空間栽植較具經濟效益樹種，並提供林業執行業務單位選擇造林樹種之參考。

五、參考文獻

- 劉業經、呂福原、歐辰雄 1994 臺灣樹木誌，國立中興大學農學院。
- 張碧員 2005 賞葉、葉生活&葉形圖鑑，城邦文化事業股份有限公司。
- 呂蘭婷 2009 撿木枝玩手創，雅事文化事業有限公司。
- 三采文化 2004 生活美勞 DIY-木玩篇，三采文化出版事業有限公司。

以台灣欒平地造林修枝材開發工藝產品

陳垣璋¹ 王瀛生^{2*} 黃俊傑³ 林錦盛³

【摘要】

台灣(自 2009 年起)推動綠色造林計畫，人工林的面積逐年增加。在造林過程中林木必須經過修枝撫育的過程，使得人工林達成預計目標生長成材。而經由此過程遺留的材料可開發為有經濟價值的商品。本文以屏東縣台糖林後農場第十區六年生台灣欒(*Zelkova serrata* Hay.)造林木修枝材開發吊飾產品。使修枝材由棄置轉化為商品。材料選擇修枝材橫切面，融入十二生肖意象，應用操作簡單，危險程度低的木工線鋸切割成形，期望以此方式使修枝材由棄置轉化為商品得以增加林農收入。

【關鍵詞】平地造林、台灣欒、修枝材、線鋸

¹ 國立屏東科技大學木材科學與設計系研究生。

² 行政院農業委員會林業試驗所技術服務組研究員，台北市南海路 53 號，*通訊作者。

³ 國立屏東科技大學木材科學與設計系副教授。

一、前言

原始森林逐年減少，木材的取得也趨向人工種植，因此政府規劃綠色造林計畫，以增加台灣林地覆蓋面積，而在造林過程林木經過修枝撫育產生的修枝材現今大多以廢棄物作處理，而這些也是屬於自然資源的一種，可以轉化為有經濟價值的素材來使用，使修枝材由棄置轉化為商品得以增加林農收入。

經濟林地、造林地修枝的目的，在促使林木在生長早期即生產無節材及控制枝節之大小，並避免死節及腐節之產生，以提升造林木製材率及品等，此外對於環境亦有正面效果(邱志明，2000)。一株林木要在一片森林中有良好的競爭力，必須經由修枝撫育的過程中以長成期望的上材，一株成長良好的人工造林樹木基本訴求，應兼具通直、圓滿、枝下高大等特色，期能獲取高品質及高製材率之用材。

修枝材直徑都比樹幹小，因此在製材應用上與製材品不同。原木鋸切成一片片板材或一支支角材的工作稱為製材(吳彥彰，2003)，原木經由鋸切後的製材品都是有一平整的面，且較可製作較大型的產品，而修枝材直徑較小不適合進行製材作業。

在現今以工業技術為導向製作木製品，會優先選擇機械加工為主。雖然在生產原則上，是以機械化優於手工，但在若干種情形仍需使用手工(龔肇鑄，1978)。木工機械的設計都是由材料的基準面為依準進行加工的動作，使木材能貼緊推板及檯面(徐特雄，1985)。

工業製程大多有資料可參考，例如有系統模組化的概念進行產品量產作業等。而手工藝創作尚無系統化整理資料。本文嘗試使用木材科學、林產業界較生疏的質性研究方式將修枝材應用於產品開發，並補充不足的資料期望有助於後續的相關研究進行。

本文所使用素材，台灣欒，學名：*Zelkova serrata* Hay.。榆科 欒屬，又稱光葉欒；通稱雞油、欒木等。落葉大喬木，樹幹通直，樹皮為鱗片狀剝落，葉紙質、互生、長卵型、單鋸齒緣，花與新葉共開，時在農曆節立春前後(郭寶章，1990)。

台灣欒木材性狀其邊心材分界明顯，邊材淡紅色，心材紅褐色或黃褐色。生長輪明顯，間隔整齊。春材向秋材移行急變。環孔材，春材管孔大，移行向秋材急速變小。木質線微細，木理通直。木肌粗不均勻，在縱切面有環孔紋理。材質堅硬，強韌而耐衝擊摩擦，富彈性。耐朽及耐候性極強。其加工性質，吸水性小，乾燥後性狀穩定，不易翹曲開裂。材質硬重切削加工困難，塗裝性佳(王松永，1983)。

本研究中選用的台灣欒皆屬於 6 年生(如圖 1)，樹幹生長較不通直，而枝條縱向多成彎曲狀態(如圖 2)，其橫切面近於圓形，若欲使用修枝材作為工藝產品要注意此特性。實地勘查林地與林場人員討論，根據林農說法，修枝後的枝條多棄置於林園中，任其腐化或供燃料使用；而現今台灣木材的自給率低，而修枝材也是木材資源的一種，因此可以將這些原屬丟棄的修枝材加以應用，可開發出更

有價值的產品。



圖 1. 林後農場台灣欒造林地



圖 2. 台灣欒修枝材

二、材料與方法

(一) 試驗材料與機械設備

1. 台灣欒修枝材，取自屏東縣林後農場第十區造林地六年生台灣欒修枝材(如圖 1)。
2. 亞麻仁油(漢聲教育用品製作)購自屏東縣涵馥堂美術材料社。
3. 木工機械設備：鑽孔機、氣動式截斷機(圖 3)、線鋸機(圖 4)、砂磨機。



圖 3. 氣動式截斷機



圖 4. 線鋸機

- (二) 材料選擇與製備：修枝材皆是為彎彎曲曲圓柱狀的材料。在使用上可採用垂直於木理的平切法，亦可使用平行於木理的縱切法。兩種切法產生的木紋皆不同，使用的機械有不同，因此選擇方便操作且安全性高的方法進行。
- (三) 開發方向：經由第一步驟材料選擇製備後，評估材料的尺寸再進行開發的方向。此步驟最重要的是設定開發適合修枝材應用的產品。
- (四) 加工方法：在開發產品後會進行產品的製作。而修枝材與一般製材品不同，選擇適合修枝材的加工技術來製作產品。仍以加工的方便性及機械操作的安全性為要。

廣義的木工製作流程則為選用材料、工序規畫、材料備製、零件製作、零件組裝、表面塗裝。則每個步驟內皆含有相當多的技巧在其中，而步驟則有先後順序，也會因要製作的產品需求而有不同的調整。有關後三項流程另說明如下：

1. 零件製作：不同的產品皆是由多種的零件組成，而每種零件皆是由多

道工法製作而成，因此工序的規畫在此步驟就相當重要。

2. 零件組裝：各部位零件製作後，則要將零件組裝成產品，因此在此步驟則要規劃組裝流程。依照組裝流程的順序將各零件依序組裝。
3. 表面塗裝：整個產品表面整修完畢後，會在於產品表面塗上一層保護的塗料層保護木材及展現木材的質感突顯木紋。

三、結果與討論

現今對於修枝材的研究大多是為樹木的修枝撫育的觀念，對於修枝材的應用及性質相當的少，因此應用的觀念在本文是建立於木工技術的操作上與材料的特性可應用的限制，而進行質性的討論。根據上述的方法進行以下的討論：

(一) 材料選擇與製備

修枝材是為樹木修枝撫育後的所遺留材料，形狀相似於圓柱狀(直徑約為 6cm 長度不等，粗鋸為 100cm)，與一般市面上的製材品不同，在材料堆疊放置上不同一般製材品有平整的面可放置整齊，因此在乾燥時也較不穩定，不易控制含水率。

使用大原木製材者由貯木場進入工廠後，再經由中割機，然後再送入小割機以製成所需要製品。若原木直徑很小，有直接從小割機製成板材、角材者，然後再以縱切、橫切機予以修邊，端切等(吳順昭、鍾達雄，1983)。製材品在取材時分為平行木理的縱切法及垂直木理的橫切法(如圖 5)，而兩種切法使用的方法都不同，則修枝材也套用此方法進行討論，評估兩種方式，選擇安全性高且操作方便性的方式。

1. 縱切法：鋸路平行於木理，可取得弦切面及徑切面 (枝松信之、森捻，1963)，如圖 6 所示。在木工作業常使用帶鋸機、自動縱剖機這類縱切機械及手鋸。在製材作業上原木會放置在送材車上，並以夾具(銅人座)將原木固定，使製材縱切時較為安全亦可取得材料的基準面。而修枝材大多是彎彎曲曲的材料不適合使用圓鋸機，這類需要有平整的基準面，硬是要取得縱切面，則是使用帶鋸機或是手鋸進行加工較為適當。
2. 橫切法：鋸路垂直於木理，可取得橫切面 (枝松信之、森捻，1963)，如圖 7 所示。進行橫斷加工的機械有圓鋸機、氣動式截斷機、鏈鋸機、角度裁斷機、懸臂鋸機、帶鋸機及手鋸等。修枝材是相似於圓柱狀的材料，沒有基準面可做為基準。



圖 5. 縱切法與橫切法



圖 6. 縱切面

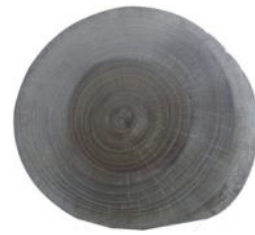


圖 7. 橫切面

使用圓鋸機、角度裁斷機及懸臂鋸機進行橫切，加工時必須有平整的基準面可貼平在檯面及推板上，在鋸切時較為安全。而修枝材使用圓鋸機鋸切時，沒有平整的基準面貼平於檯面及推板上(如圖 8)，及材料在橫切斷裂的瞬間會因沒有平面貼平於機械檯面上會使材料夾住鋸片而產生危險。

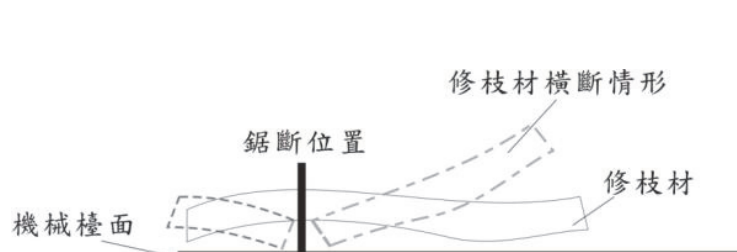


圖 8. 修枝材使用圓鋸機橫切情形



圖 9. 氣動式截斷機夾具

氣動式截斷機在進行鋸切時，在材料的上方會有安全夾具可將材料夾住(如圖 9)，此夾具可夾住不規則形狀的材料，在鋸切時使材料不會晃動，是屬於操作方便且安全性高的機械。在鋸切時操作者的手部不須碰觸或固定材料，而會有夾具將材料固定住，因此在操作會較安全，修枝材在進行橫切時，使用氣動式截斷機是最安全且操作性方便的方法，但此機械因在材料上方設置有夾具會因夾具大小的關係限制預加工材料的尺寸。本研究所使用的機械最大可切直徑 8cm 左右的修枝材。大於 8cm 以上的材料則是使用手鋸或是鏈鋸機進行加工較為適當。本研究選擇縱切的帶鋸機與橫切的氣動式截斷機進行性質比較如表 1。

表 1. 修枝材備料方式質性之比較

加工機械	切法	準確性	操作性	安全性
帶鋸機	縱切	低	繁雜，不便	低
圓鋸機	橫切、縱切	高	繁雜，不便	低
角度裁斷機	橫切	高	簡單，方便	低
懸臂機	橫切	高	簡單，方便	低
氣動式截斷機	橫切	高	簡單，方便	高

根據表 1 修枝材使用帶鋸機縱切加工準確性較低，不易控制尺寸，且安全性低；圓鋸機可做橫切、縱切加工，但安全性較低；角度裁斷機及懸臂機，可做橫切加工且精準性高，但安全性較低；考量安全性則是使用氣動式截斷機較為適當。因此本研究選擇操作方便及安全性高的氣動式截

斷機進行備料加工；又該機械之夾具開口最大距離為 8cm，故直徑小於 8cm 的修枝材皆可做為產品開發的材料。

(二) 開發方向

經由第一步驟後，取得橫切面直徑約 6cm 左右厚度為 1.5cm 的材料。因材料大小的限制，欲開發簡單而不複雜的產品，且欲使用木工機械進行產品加工，必須顧慮加工的便利性、安全性及可推廣修枝材的應用。經由上述幾點評估思考後，認為吊飾適合作為本研究所要開發之產品。吊飾要件說明如下：

1. 吊飾：可掛吊的飾品。具有可掛可吊的功能性及裝飾性的產品。因此必須使用繩子掛掉於物品上，而需要將修枝材橫切面與繩結做結合，因此在橫切面上必須有孔洞可讓繩結穿越。且吊飾具有裝飾性，因此需在橫切面上設計圖騰使產品更具有吸引力。
2. 繩結：吊飾必須結合繩結。繩子的選擇會使產品的風格改變，例如：使用有中國結的繩結會讓產品有東方風格。使用皮繩會讓產品較有現代感。在本文繩結並不是主要討論的重點，因此選擇上則是選擇市售的有中國結的繩結做為案例，中國結為東方的一種古老的技藝，本研究案例是設計開發具有東方風格的吊飾為主題。
3. 圖騰：吊飾具有裝飾性，且裝飾的圖騰是為產品的主角。而設計開發的方向希望要開發整套的產品，不是只有單一樣產品，可供多數人選擇，也方便推廣修枝材的應用。因此選擇有多數的圖案，有代表意義的圖騰來做為開發的主角。常見整組系列的圖騰有西方的十二星座、東方的十二生肖、金木水火土、花語等相當多的圖騰可做為使用，在此分析西方十二星座及東方的十二生肖這兩種大多數人都知道的圖騰如表 2。

表 2. 十二星座與十二生肖之屬性比較

	區分	源自	起源地區	圖騰
十二生肖	年份	干支紀年法	中國	動物
十二星座	黃道帶(月份)	西洋占星學	西洋	星象

根據表 2 分析結果後，而十二生肖圖騰是十二種動物，而台灣每個人有屬於自己的生肖，而即使不是自己的生肖，也可以選擇喜愛的動物。而十二星座的圖騰是星像，雖然每個人都有屬於各自的星座，但試以在台灣推廣，因此選擇十二生肖做為圖騰代表案例(如圖 10)，爾後若要推廣到不同對象亦可選擇十二星座或設計其他圖騰。



圖 10. 十二生肖圖稿

(三) 加工方法：



在木材的橫斷面進行加工，切削加工屬於切削方式中的橫斷面切削(黃彥三，1983)，此種切削方式利用刀具與纖維呈平行而進行切削，刀具將纖維切割分離，而可使用的木工機械，如：花鉋機、線鋸機均可得到橫斷面外形的產品，比較二者的操作性質如表 3。

表 3. 線鋸機與花鉋機之機械特性比較

	加工目的	夾具	刀具	運動方式	轉速	安全性
線鋸機	外型(shape)	免	鋸條	上下往復	慢	高
花鉋機	外型及剖面 (profile)	需	銑刀	旋轉	快	低

根據表 3 花鉋機為旋轉運動，因此在操作時有方向性，又轉速快，要是方向性搞錯容易造成危險。故本研究選擇安全性高的線鋸機作為對象。吊飾與橫切面需要有孔洞穿線加以固定，方可讓產品可掛吊於物體上，因此再表 4 探討孔洞貫穿與不貫穿的不同。

表 4. 鑽孔及穿繩屬性之比較

	鑽頭長度	繩結穿越情形	鑽孔位置	鑽孔數量
貫穿	長		橫切面側邊	1 孔
不貫穿	短		橫切面上	2 孔

根據表 4，橫切面上鑽孔與繩結結合，不貫穿的孔洞需要兩個孔洞、兩條繩結及鑽孔位置在橫切面上，中間內部圖騰晃動且內圖有脫落之虞。貫穿的孔洞則只需一條繩結，穿越中間圖騰與整個橫切面可發揮

固定內部圖形，因此選擇使用貫穿整個橫切面的鑽孔型式。

由上述質性討論結果，選擇使用氣動式截斷機進行備料作業；以十二生肖為主要圖騰；利用線鋸機鋸切外形；及鑽貫穿孔並以繩結結合橫切面，故規畫製作流程如下：

1. 將繪製好的十二生肖圖騰列印在紙上，使用膠水黏貼在橫切面上。



圖 11. 橫切面側邊鑽孔

2. 在橫切面的側邊鑽一貫穿整體的孔，並注意鑽孔的位置，位置會影響吊飾內部的圖案呈現的方向(如圖 11)。
3. 由於線鋸鋸條寬度約為 1mm，故選擇 2mm 的鑽頭(如圖 12)，在圖案的外框線上鑽一小孔，供鋸條穿越之用，以保留內部圖騰及整個橫切面的完整性。
4. 將鋸條穿過孔洞(如圖 13)後，將鋸條安裝於線鋸機上，再進行圖案鋸切(如圖 14)；整組十二生肖鋸切成型後成品如圖 15 所示。

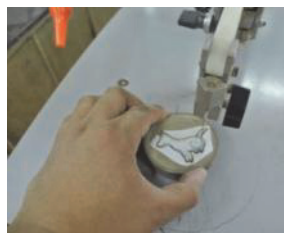


圖 12. 圖案外框上鑽孔 圖 13. 鋸條穿越孔洞 圖 14. 線鋸鋸切情形

5. 鋸切外形後，選擇 1mm 的鑽頭鑽製十二生肖動物的眼睛，鑽頭的長度應大於橫切面的厚度。
6. 砂磨修飾：整個橫切面上的十二生肖圖案鋸切完畢及所有孔洞鑽製完畢後進行砂磨作業，將鋸切產生的毛邊使用砂紙處理，而取料時在橫切面產生的鋸痕進行砂磨處理，在此可先使用砂磨機砂磨橫切面順便將貼在橫切面上的十二生肖圖紙磨掉，砂磨機安裝 120 號砂磨；再使用 150 號、180 號、240 號砂紙依序手工砂磨並倒角。
7. 表面塗裝：使用亞麻仁油施以髹油塗裝。
8. 零件組裝：塗裝完成後，依個人喜好挑選各種中國繩的吊繩，及各色小珠佐以不同的繩結組裝之。由於中國結的吊繩從的側邊穿越整個橫切面吊飾，因此中間的十二生肖圖案不會因為懸掛晃動而掉落(如圖 15)。



圖 15. 十二生肖吊飾



圖 16. 吊飾懸掛情形

四、結論

本研究利用林木修枝撫育後所遺留的修枝材轉化開發為有經濟價值的產品，現今對於修枝材的性質探討較無數據資料，而本文主要探討修枝材應用的質性分析歸納出以下幾點：

- (一) 平地造林修枝撫育後的修枝材大多棄置於林地當中或是焚燒處理，這些自然的材料宜轉化為有經濟價值的產品對於環境、林農收入有良好的益處。
- (二) 台灣櫟修枝材橫切面，具環孔材、生長輪明顯、間格明顯等特徵；開發為工藝產品，可展現木材橫切面之美。
- (三) 以在台灣的普及率和辨識度最高的十二生肖為圖騰；開發有經濟價值之修枝材工藝產品，並可達到宣導及推廣之目的。
- (四) 選用氣動式截斷機，可提高林農在修枝材的裁切應用上更為安全及方便。
- (五) 在設計時，規劃操作簡單且安全性高的線鋸機及鑽孔機，讓產品的工序工法不複雜，可使上手容易，操作容易。

五、參考文獻

- 王松永 1983 商用木材。中華民國林產事業協會。109-111 頁。
- 邱志明 2000 林木的修剪觀念與技術。行政院農業委員會林業試驗所。6 頁。
- 吳彥彰 2003 家具材料。正元圖書公司。39 頁。
- 吳順昭 鍾達雄 1983 製材作業。林產工業叢書。220 頁。
- 徐特雄 1985 木工機具下冊。正文書局。165 頁。
- 黃彥三 1983 木工刀具。林產工業叢書。
- 郭寶章 1990 育林學各論。國立編譯館。449 頁。
- 龔肇鑄譯 蔡庚鈴增訂 1978 木材及木工。徐氏基金會出版。220 頁。
- 枝松信之 森捻 1963 製材と木工。日本森北出版株式會社。

平地造林修枝材運用於學童教具開發之探討

—以台灣櫟造林木為例

龔琮勝¹ 王瀛生² 江吉龍^{3*} 黃俊傑⁴

【摘要】

正值全材利用、節能減碳的環保觀念下，為讓參與平地造林之林農，開創在造林期間取得枝條利用兼收撫育之財政營收，以激勵林農提高造林與修枝撫育之意願。本研究乃選用屏東縣潮州鎮台糖林後農場第10區6年生直徑級60 mm以下之台灣櫟(*Zelkova serrata* Hay.)枝梢材為材料，經修枝材性質與材質特色分析，以及配合裁切與接合工藝技巧之探討，嘗試選擇具主題性教材，製作學童造型教具材料包，評估其結合木材教育、環保知識與邏輯組合運用等創意多元教學與環境教育之意涵。

經以動物造形、建築物造形、交通運輸造形與文具造形等主題性教材，嘗試運用台灣櫟枝條裁切特徵之造形式樣，配合接合的工藝技巧，示範製作出木馬、蜻蜓、長頸鹿、摩天輪、台北101大樓與高雄85大樓等造型教材，初步評估除能提高該枝條素材的有效利用之外，尚能分享木質產品的美感與溫潤質感的手工藝創作樂趣，又具寓意與裝飾性的「木育」觀念產品，應可加深學童對環境友善環保材料的利用形態與價值之印象，落實環境教育的推廣，以及豐富藝術與人文領域的課程多元化之教具材料包開發。

【關鍵字】 平地造林、枝梢材、台灣櫟、教具。

¹ 國立屏東科技大學木材科學與設計系碩士班研究生。

² 行政院農業委員會林業試驗所技術服務組研究員，台北市南海路 53 號。

³ 國立屏東科技大學木材科學與設計系副教授兼系主任，*通訊作者。

⁴ 國立屏東科技大學木材科學與設計系副教授級專業技術人員。

一、前言

政府為使農民在台灣加入 WTO 後，農產品開放進口的衝擊下，能將地況不佳的低生產力閒置農地轉作造林之用，以打造綠色造林，推出一系列的平地造林獎勵措施。這些造林所選擇的經濟性樹種，諸如台灣櫟、光蠟樹、桃花心木、烏心石、印度紫檀、土肉桂、無患子等，林木也已進入中後期的疏伐與修枝之必要撫育作業，期能獲致「通直圓滿枝下高大」之高品質幹材及最佳經濟收入，當然對環境與生態亦有正面效益(邱志明，2004)。然大部分參與綠色造林的林農，均不足以形成經濟規模，若須額外負擔高昂工資的造林成本，又生產出原屬廢料的枝梢材與小徑材，可能會依往昔任憑棄置在林地或集中焚燒，除增加廢棄物與空氣污染之外，對環境生態也造成傷害，甚感可惜。又正值全材利用、節能減碳的環保觀念下，若能讓這些枝梢材與修枝材得以適材適所的合理運用，兼收撫育之多元收益，實為林農取代現行平地造林獎勵辦法的另一種思維取向(王瀛生，2011)。

台灣在林木枝條的推廣運用由來已久，林務局早在 2003 年即推動的「森活巧思」，將自然素材 DIY 融入生態創作，體會自然的奧秘與尋回兒時的童趣(張譽馨，2003)，也在各森林遊樂區展開活動，造成人潮。2007 年屏東科技大學木材科學與設計系學生，曾以「枝條工藝於童話寓意屋之應用創作」為題，將自然素材枝條應用於童話故事設計運用(江吉龍等，2007)。台南楊原昌老師亦投入樹枝創作，將被丟棄的枯木裁切設計，作品呈現出濃濃原木風格，尤其黑面琵鷺造型更是維妙維肖，筆者於 2011 年參觀楊原昌老師展出的「樹枝傳奇」並進行訪談，得到許多枝條創作的相關資訊。林業試驗所更於 2012 年與高雄大學傳統工藝與創意設計學系合作，嘗試開發國小低年級與幼稚園中大班學童為對象的木工藝玩具(王培蓉等，2012)。雖然政府、學術單位與民間都曾大力推廣，但大都沒有系列性產品的呈現，熱度往往僅持續一陣子後又漸漸消聲匿跡。

木材使用在人類的生活周遭隨處可見，但在國民小學六年教育課程裡完全沒有提及與木材相關的介紹，鑒於民國 99 年立法院通過的環保教育法第 16 條—「各級教育主管機關應督導所屬學校運用課程教學及校園空間，研訂環境學習課程或教材，並實施多元教學活動，進行學校教職員工及學生之環境教育」(教育部，2010)。因而，如何將林木枝條好好利用，設計出一系列有關木材教育、環保知識與邏輯組合運用等教學目標的教具，枝條可說是一個非常良好的「木育」媒介。

基於前述緣由，本研究乃選用台灣平地造林樹種中，栽植面積屬第二大的台灣櫟(*Zelkova serrata* Hay.)自然素材修枝條為原料，利用其材料的性質與材質特色，配合裁切與接合的工藝技巧，選擇正確而有趣的主題去貫穿教材，結合木材教育、環保知識與邏輯組合運用等創意多元教學與環境教育，設計製作學童造型教具材料包，期盼藉由枝條素材的有效利用，分享木質產品的美感與溫潤質感的手工藝創作樂趣，製作出具寓意且裝飾性的產品，加深學童對環境友善環保材料的利用形態與價值之印象，落實環境教育的推廣，以及豐富藝術與人文領域的課

程多元化之教具開發，同時也使林農在造林期間取得枝條利用兼收撫育之多元收益，提高林農的財政營收，激勵造林及修枝撫育意願。

二、材料與方法

(一) 試驗材料

本研究基於材質紋理、原料方便取得的考量下，選擇了闊葉樹中最優良木材之一的台灣櫟為教具開發主要材料，因為枝徑 1~6 cm 佔所有修枝量 90%(邱志明，2002)，故藉撫育修枝，直徑級 60 mm 以下枝條，配合輔助材料的相互運用，來開發國小學童相關造型教具。

1. 主要材料

本研究採自屏東縣潮州鎮台糖林後農場第 10 區平地造林 6 年生，經疏伐修枝所取得之台灣櫟枝條為材料。又為便於教具取材，直徑級不宜過大，而採用直徑 60 mm 以下枝條運用，並將枝徑依 10 mm 以下、11~20 mm、21~30 mm、31~40 mm、41~50 mm 與 51~60 mm 等加以分類，經 2 個月氣乾後做為材料使用。

2. 輔助材料

(1) 膠合劑

係做為枝條間或與異材料間之黏合膠著用，本研究所使用的膠合劑有瞬間接著劑、聚醋酸乙烯樹脂膠合劑、環氧樹脂膠合劑(AB 膠)、熱熔膠等。

(2) 組裝連接材料

主要做為枝條間與異材料間組裝之架橋連接材料，本研究所使用的組裝連接材料有竹籤、竹筷或牙籤、木釘、鋁線材等。

(3) 可活動材料

本材料係指有些造型教具設計成可替換拆卸的，或連結單元零件後可以活動的連接材料，本研究所使用的可活動材料有磁鐵、魔鬼氈、釣魚線、鬆緊帶等。

3. 機具

本研究所使用的裁切、鑽孔、研磨機具有圓鋸機、小型帶鋸機、震盪砂磨機、垂直與水平鑽台、線鋸機、尖嘴鉗等。

(二) 試驗步驟與方法

1. 枝條外觀形態與材質特徵之觀察

將取回之枝條材依其枝條樣式、分枝開叉、樹皮、樹節的外觀形態，以及經裁切木質部觀察材面性狀，並加以歸類描述記錄特徵。

2. 枝條裁切產生的形態特徵

依前項歸類的特徵性狀，選取鋸切、鉋削、磨削、鑽削等木材加

工機具，甚至以不同的切削角度方向施工，觀察彙整各類加工後產生的單元零件之外觀形態與材面特徵，同時按照造型教具應有的元素，分類歸納並描述其特徵，記錄單元零件的適用範圍。

3. 教具造形型態之分析與運用元素之選材

教具造形依動物造形、建築物造形、交通運輸造形與文具造形等為主題性教材，各遴選出具代表性的造型教材，根據形態分析方法，邏輯組合該教材的元素單元，接著從前項分類歸納的單元零件中，挑選適宜單元零件套用，完成組合並檢討之。

4. 造型教具成品之製作與檢討

將前項各造形教材的單元零件，經組裝成袋的材料包，同時也考慮結合木材教育、環保知識與邏輯組合運用等創意多元教學與環境教育等目標，檢討組裝成完整的造型教具成品特性，以及商品化之可行性探討。

二、結果與討論

樹枝乃為樹幹之連續，形態、構造及生理功能與樹幹相同，不規則的拓展主要讓樹葉得到充分陽光行光合作用製造養分，以延續本身之生命力。是故修枝材形態幾乎很難通直圓滿。透過本研究方法，將修枝材分解成各種形狀的單位零件，加以設計組合成各種產品。

(一) 枝條外觀形態與材質特徵之觀察

台灣檫屬環孔材，年輪線清晰，心邊材分明，枝條大多呈現鹿角狀，樹皮具明顯水平皮孔，雖是未成熟材卻材質堅硬，頗具工藝利用價值。枝幹依直徑級分類為六類；若有枝節處，依照二分叉、三分叉標記裁切並分類；樹皮保存完整與破損來區分；橫斷裁切面幾乎是圓形，但也會有一些較為特殊的形狀，收集並歸類；形態特殊的枝條歸為一類，以供特殊設計需要。

(二) 枝條裁切產生的形態特徵

為瞭解枝條應用之造型形態，擬藉由不同的鋸切角度與不同的木工機具鋸切後所形成之特徵與基本造型，幫助有效的形態分類：

1. 圓片、圓柱體之運用：

圓片是枝條創作最基本的應用單位形態，直徑大於高度的枝條圓片，依其枝徑、厚薄不同，分別可運用在動物的臉部、鼻子、耳朵、尾巴等。另外，利用較大且厚的圓柱體狀，用來製作動物身體部分是最恰當不過了。除了完整的圓片外，也可運用切片將木片裁成 1/2 片、1/4 片及切角的圓片等，來增加造型的變化。

(1) 圓片：枝條與圓鋸垂直鋸切，端看枝條形狀可得近圓形之切面，依造型需求而定。圓片是枝條利用最常用到的零件單位，因為它

適用所有的造型，也最能表現木材紋理的特質。如圖 1 所示。

- (2) 圓柱體:枝條與圓鋸垂直鋸切，端看枝條形狀可得近圓形之切面。枝條切削長度不同，可成不同型態之圓柱體，常常用於動物的頭部、眼睛、身體、四肢、脖子等造型。依枝條直徑(1~6 cm)與切削長度不同，來進行編碼，即有多種不同之組合。如圖 2 所示。



圖 1. 枝條圓片



圖 2. 枝條圓柱

- (3) 其它切片：1/2 片、1/4 片、切角圓片等，運用在不同造型設計上，例如魚尾巴、動物耳朵和螃蟹的螯等。如圖 3 所示。



圖 3. 各種枝條切片

2. 斜切的運用：

枝條的斜切，大致可以分為單面斜切、雙面斜切與平行斜切。單面斜切就是枝條的兩端切面，一端與枝條樹皮表面呈垂直狀，另一端為斜切面，可用於動物四肢；雙面斜切即是兩端都是斜切面，且斜切角度依造型需求而定，常常用於貓頭鷹的臉部；平行斜切則是兩端斜切面為平行線，透過不同直徑與不同角度切削得知，切削的角度越大，橢圓的長寬比也越大，最常用於動物的翅膀造型，其次是花瓣或其他特殊造型。如圖 4 所示。



圖 4. 各種枝條斜切

3. 縱切造型的運用：

將枝條用帶鋸或線鋸向枝條生長方向裁切，縱切的枝條切面，能表現木材的徑切面與弦切面，別具特色，將其運用在造型上，可達成另一種效果，更富變化，在橋接可活動性的零件，或需要附加功能的地方，徑切面與弦切面的紋理明顯，展現不同的質感。如圖 5 所示。

4. 枝條枝節的應用：

修枝條常常會有枝節，且枝節延伸的枝條枝徑常常不同，枝節的生長最具自然原味，在製作時如果能適當的保留，加點巧思運用於造型上，便可達到木玩趣味之處。如圖 6 所示。



圖 5. 枝條縱切



圖 6. 枝條枝節

5. 特殊造型枝條應用：

小徑木枝條常會有形狀彎曲過大，無法規格化加工利用，保留其天然造型，依設計進行裁切，將此特殊造型運用在特定之處以增添藝術性。至於要如何搭配，則依個人喜好來運用，畢竟枝條造型的製作是以創意為出發點。如圖 7 所示。



圖 7. 特殊形態枝條

(三) 教具造形型態之分析與選材之運用

依教具造型之肌理型態，以型態觀察法分解目標物之特徵構造，並將其結果依系列類別統整各目標物之組成元素列表，將分解構造之造型特徵，比對配置於枝條鋸切的形態分類資料庫，隨著設計越多系列的造型教具，資料庫就越完整。

1. 動物造型：

目前市面上枝條的運用，最多使用在動物造型上。而動物的造型特徵可分解為頭部、身體、四肢或雙腳、尾巴、斑點與紋路、眼睛、鼻子、耳朵、嘴巴、觸角、翅膀等。依照各部位不同之形態，選取合適的枝條單位零件作配對。

2. 建築物造型：

以著名地標或建築物為設計目標，運用枝條鋸切將其堆砌成具有特色的作品，最能與地方文化特色結合。

3. 交通運輸造形：

以生活周遭最常見的交通用品為題材，讓學童更能觀察身邊事物。如腳踏車、機車、汽車、巴士、火車、飛機、直升機及船...等。

4. 造型文具：

用枝條做出獨特的文具用品，不但有特色，更具實用性。而且所有造型只需多加點巧思，便可以成為附加功能的文具用品。

(四) 造型教具成品之製作與檢討

找出各成品合適之枝條單位零件元素，依其造型數量加上輔助材料、組裝說明書與平地造林台灣檺介紹，組合成完整的教具材料包。除了能讓學童瞭解平地造林的意義與修枝撫育的重要性，更重要的是期望學童能主動重視環境保護，以達到節能減碳的目的。()為枝徑大小。

1. 木馬：

從小陪伴我們長大的玩具，有著父母給我們滿滿的愛，藉由木馬來喚回兒時記憶的點滴。利用二分叉枝節(30 mm)X 1、圓片(50 mm)X 10、圓片(10 mm)X 2、圓柱(20 mm)X 5、縱切板(50 mm)X 1，再利用鋁線、木釘、AB 膠，做連接與膠合材料，將縱切板鑽洞以供插筆，讓枝條造型也可以既美觀又實用。如圖 8 所示。



圖 8. 木馬筆座

2. 蜻蜓：

是學校操場裡最常見的昆蟲，藉由蜻蜓的飛翔來感受最自在的自己。利用平行斜切(30 mm)X 4、200 mm 長圓柱(25 mm)X 1、30 mm 長圓柱(15 mm)X 1、圓片(20 mm)X 2、圓片(50 mm)X 1、60 mm 長縱切

板(25 mm)X 2、80 mm 長縱切板 X 1，使用鬆緊帶將翅膀與身體結合成可上下擺動，釣魚線綁在翅膀上連接到天花板，另一端釣魚線連接身體與圓片(50 mm)枝條，方便下拉使翅膀產生上下擺動，組裝後成為會飛會動、並隨風擺動的蜻蜓，是相當有趣的教室佈置用品。如圖 9 所示。



圖 9. 會飛會動的蜻蜓造形枝條

3. 長頸鹿：

集合高大、溫馴又可愛的特點於一身，是動物園裡最受歡迎的明星之一。使用二分叉枝條(60 mm)X 1、二分叉枝條(10 mm)X 1、二分叉枝條(20 mm)X 1、三分叉枝條(20 mm)X 1、400 mm 長圓柱(60 mm)X 1、500 mm 長圓柱(30 mm)X 1、圓片(40 mm)X 10，使用木釘與白膠接合，充分利用特殊形態的修枝條，設計來做更自然的運用。如圖 10 所示。



圖 10. 特殊枝條之利用

4. 摩天輪：

對小朋友往往有著無法抗拒的吸引力，結合音樂盒，讓枝條作品不但會動，還能發出優美的音樂。取用相同枝條圓片(50 mm)X 9、圓片(10 mm)X 8、200 mm 長圓柱(20 mm)X 8、50 mm 長圓柱(20 mm)X 2、350 mm 長縱切板(50 mm)X 1、底座 X 1、音樂盒機芯，利用音樂盒的旋轉鈕使摩天輪轉動，附上筆座，讓產品功能性加強。如圖 11 所示。

5. 建築物：

利用每個學童所熟悉的台北 101 與高雄 85 大樓，簡單的圓柱與圓片，鋸切成建築物的形狀，用木釘與白膠組合而成，除了提高組裝者的興趣，也可以學習到基本的樺接，並鼓勵小朋友，自己都能建造台北 101 大樓了，還會有甚麼困難無法克服。如圖 12 所示。



圖 11. 可旋轉的摩天輪枝條

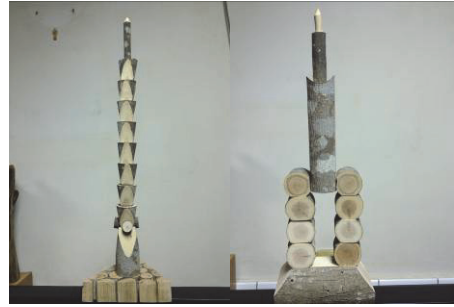


圖 12. 台北 101，高雄 85 大樓

四、結論

本研究經以動物造型、建築物造型、交通運輸造型與文具造型等主題性教材，嘗試運用台灣樺枝條裁切特徵之造型式樣，配合接合的工藝技巧，示範製作出木馬、蜻蜓、長頸鹿、摩天輪、台北 101 大樓與高雄 85 大樓等造型教材，初步獲得成果如下：

- 1.台灣樺枝條做為教具開發，除能提高該枝條素材的有效利用之外，尚能分享木質產品的美感與溫潤質感的手工藝創作樂趣，又具寓意與裝飾性的「木育」觀念產品。
- 2.台灣樺枝條做為教具開發，可加深學童對環境友善環保材料的利用形態與價值之印象，強化邏輯組合創意多元造型運用。
- 3.若能編撰加入木材教育與環保知識等教育解說內容，必有助於環境教育的推廣，以及豐富藝術與人文領域的課程，強化了對樹枝材開發商品化學童教具材料包的可能性。

五、參考文獻

- 三采文化編企部 1997 生活美勞 DIY—木玩篇。三采文化出版事業有限公司。第 14-19 頁。
- 王培蓉、賴廷鴻、孫銘源 2012 消費造林：以小徑材與枝梢材產品做為平地造林的推手。林業研究專訊 19(3)：33-36。
- 王瀛生 2011 綠色造林樹種潛在利用價值。林業研究專訊，18(2)：43—48。
- 江吉龍、文敬茹、黃貞綺、黎巧鈺 2007 枝條工藝於童話寓意屋之應用創作。國立屏東科技大學九十五學年度實務專題成果報告 42 頁。

- 邱志明 2004 造林木修枝作業技術。林業研究專訊 11(3)：9-13。
- 邱志明、羅卓振南、孫銘源 2002 台灣櫟修枝方法與傷口癒合解析之研究。台灣林業科學 17(4): 503-13。
- 張譽馨 2003 森活巧思-自然素材製作 DIY。行政院農業委員會林務局 110 頁。
- 教育部 2010 「環境教育法」條文。擷取日期 2012.9.17
http://www.edu.tw/bulletin.aspx?populace_sn=8&bulletin_sn=6488

花蓮縣林農參與平地造林之態度分析

王培蓉^{1*} 黃名媛²

【摘要】

為提高台灣之森林覆蓋率及森林碳匯成效，政府自 2002 年起即推出一系列獎勵農民參與平地造林的計畫，除大幅提高獎勵金外，並放寬最小申請面積與造林成活率等規定。雖已提出諸多政策誘因，卻未能全面達成預期目標。對此，本文擬研析實際參與平地造林的林農特質、其經營狀況，與對政策的接受度，俾供未來制定相關政策之參據。本研究選取花蓮縣為調查區域，由花蓮縣政府於 2002-2008 年間參與平地造林之林主清冊，發送問卷進行訪查。調查內容包括：參與狀況、林地管理情形、樹種選擇，以及對於平地造林政策的支持等。回收問卷計 208 份，回收率為 86%。研究結果顯示：林農參與平地造林的主要原因為：老年無力、農作收入有限或地力不佳，以及非經濟因素考量等三者；造林獎勵金的高低，雖會影響造林意願，卻非投入造林之主因；大多數林農認為現行之獎勵辦法限制頗多，有必要予以調整；由於新手林農對於樹種之認識有限，舉凡未來林木價值與處分方式等相關資訊，反而被其視為迫切需要。故本文建議：現行政策的執行成本既然過高，為提升地方政府與小農地主的參與意願，中央主政機關宜從調整產業政策著手，同時應加強輔導林農，建立有效之諮詢管道。

【關鍵詞】綠色造林、林農、造林獎勵、問卷調查

¹ 行政院農業委員會林業試驗所助理研究員，*通訊作者。

² 國立嘉義大學森林暨自然資源學系助理教授。

一、前言

台灣的造林獎勵政策，因時代背景與社經變遷而有不同的思維與做法。從早期以農養工、出口替代，到後期經濟轉型的階段，林產物價值也由高轉低，相對的造林事業也愈趨乏人問津。現階段營林目的大都著眼於森林的公益價值而非林木收穫價金，此類公共財的提供，非政府投資不能成事，故獎勵民間投資造林成為重要的政策手段。然而，獎勵辦法對參與資格的限制、獎勵金的多寡、執行與監督機制的落實，即成為政府能否吸引農地主投資造林的重要前提考量。復以獎勵造林政策採漸進式政策的調適策略，邊做邊修，不但逐步放寬參與資格、延長獎勵年限，亦不斷提高獎勵金額，結果反倒使農民對現行政策採取觀望的心態，形成有興趣者眾、實際參與者少的現象。本研究首先簡介獎勵造林辦法的更迭與相關研究結果，再針對國際間農地轉作造林地之相關文獻做一回顧。

自 1951 年，政府即針對已荒蕪保安林地推動獎勵造林辦法，公布「台灣省營造保安林獎勵辦法及施行細則」，以免納租金、無價採取主副產物為條件，鼓勵民間投資營造保安林。然於 1980 年代之前，私人營林仍有利可圖，民間不需獎勵亦會從事造林；1980 年代以後，由於工資高漲、材價低迷等社經情況改變，造林事業相對之下愈形不利，故政府獎勵愈發積極(任憶安、林俊成，1997)。

1990 年代為獎勵造林辦法從山坡地延伸至平地的重要轉捩點，時值台灣經濟起飛，為避免長期休耕的土地造成資源浪費，1992 年由農委會主導推行「獎勵農地造林計畫」，於造林投資最多的前 6 年給予基本補助。

1996 年因賀伯颱風侵台造成嚴重損失，為強化山坡地的水土保持和水源涵養等生態服務，政府推動「全民造林政策」，針對私有土地造林之個人或團體等，以 20 年為期，總計獎勵金每公頃 53 萬元。

基本上全民造林政策，主要獎勵對象為山坡地。在推動全民造林政策期間，由於立地條件的規定與主事者便宜行事心態，令學者專家與環保團體俱對政策效果相當質疑。既有的研究即指出，私有林主參與全民造林政策的主要動機在於領取造林獎勵補助金，而非從事林業生產、土地的永續經營及配合政府政策(李久先、顏添明，2001；李久先等，2003)。環保團體則質疑全民造林的獎勵政策，可能導致人民砍大樹、種小樹、引火整地以及種植外來種苗木等情事(劉宜珊，2008)。後又因造林檢測工作部份未能落實，引發諸多弊端(蕭白雪，2006)。政府在各方壓力之下，於 2004 年度停辦全民造林政策。自此以後，政府對獎勵私人造林政策轉向以平地農地為主，山坡地已非補助之重點項目。實際上，山坡地所面臨的問題複雜，如土地超限利用、濫墾或租地超限制用等情事，相較於平地造林更須多予關注。林國慶等(2009)即指出在優先造林地實施造林與解決山坡地超限利用等問題方面，全民造林政策之執行成效有限；但未來針對山坡地超限利用的問題，仍是造林政策不可忽略的重點。

在全民造林政策之後，政府為因應台灣加入 WTO 對農業造成的衝擊，推出一系列的平地造林獎勵政策，鼓勵林農投入造林工作，將平地造林獎勵金額提高

到空前的高額。2002-2007 年之平地景觀造林政策，係針對私有農地每公頃 20 年補助 161 萬元。然因農地休耕經申請合格即可領每公頃每年(二期)9 萬元的對地補貼，20 年即有 180 萬。之後 2008 年所提出綠海計畫，即將私有農地造林再提高為每公頃 20 年補助 180 萬元。同時將 2004 年停辦的山坡地造林獎勵，每公頃 20 年提高到 60 萬元。但綠海計畫實施後未久，適逢政黨輪替，行政院著手規劃「綠色造林計畫」，即自 2009 年起私有農地 20 年每公頃可領取補助 240 萬元。

表 1. 1991 年後政府推動各項獎勵民間造林政策之比較

	獎勵農地 造林計畫	農地造林 計畫	全民造林	平地景觀 造林	綠海計畫	綠色造林
實施期限	1991~1993	1994~1996	1996~2004	2002~2007	2008	2009 迄今
獎勵年限		6 年	20 年	20 年	20 年	20 年
獎勵對象		平地農地	山坡地	平地農地	平地農地	平地 山 坡 地
總獎勵金 額(註 1)	13.1~18 萬 元(註 2)	24.9~29.8 萬元(註 3)	53 萬元/ha	161 萬元 /ha	180 萬元/ha	240 萬 元/ha
最小面積		10 ha	毗連 2ha 或同一地 段毗鄰 5 ha 以上	應毗連 2ha 或在同一 地段毗鄰 5ha 以上	0.5 ha	毗連 0.5 ha
政策目標	10 萬公頃為上限目標		無	原為 25,100ha， 後修為 10,000ha	5 年 2 萬公頃	8 年 6 萬 ha
樹種選擇	列舉 32 種，但可接受縣市市樹		海岸造林 30 種 一般林地 44 種 保安林 25 種 竹類 5 種	海岸造林 30 種 一般林地 44 種 保安林 25 種	海岸造林 8 種 一般農地 25 種	海岸造林 29 種 一般農地 40 種 保安林 23 種
苗木供應	無償提供		1. 政府無償提供 2. 得自備苗木，每公頃最高補助金額新台幣 2 萬元。		政府無償配撥	政府無償配撥
栽植密度 (視樹種而定)	1000-2500 株/ha		海岸造林與保安林 2000 株/ha；一般林地 1500 株/ha；竹類 200-600 株/ha	海岸造林與保安林 2000 株/ha；一般農地 1500 株/ha	海岸造林 2000 株/ha 一般農地 1500 株/ha	1500-2000 株/ha
緩衝帶 成活率	10 m 70%		無規定 70%，且自造林第 7 年起，每年可扣除自然枯死率 2%。	無規定 70%；自造林第七年起，每年得扣除自然枯死率 2%。	3 m 1-6 年 70%，且自造林第七年起，每年得扣除 16-20 年 40%	70% 且自造林第七年起，每年得扣除

資料來源：本研究整理

註 1：此部分所臚列獎勵金額係針對私有土地造林，不含國有租地造林或退輔會及國營事業造林獎勵部分。

註 2：此欄上/下分別為不符合/符合稻田轉作後續計畫認定基準的農地之補貼。

註 3：同註 2。

近年來國內學者對獎勵造林政策的相關文獻約有兩種，一由政策分析的角度了解執行成效，如林國慶(2003)曾針對平地景觀造林政策進行政策執行成果與實證分析，研究發現地方政府推動私有農地造林之執行率偏低，大約僅為 32%，就平地景觀政策為達到減少農地休耕面積與紓解農產品產銷失衡現象之政策目的而言，政策執行績效有待改善，因此政府對執行率偏低的問題應積極調整政策設計與研擬配套措施。之後，林國慶與柳婉郁(2007)亦就實證面向採問卷調查法詢問農民、學者與官員對平地景觀造林的政策見解，結果顯示大多認同該政策目標，然而在政策規定方面，仍有許多值得改善之處。二則從經濟面向分析，如廖述誼等(2010)利用模型建構，分析綠色造林對台灣土地利用、農業、能源、環境以及經濟可能產生之影響。研究結果發現，由於台灣受限於可利用的土地資源，因此無法透過大規模綠色造林來大幅降低二氧化碳減量排放成本；但對於提升農民收益、改善休耕農地土地使用效益、增加國產木材供給量以及減輕二氧化碳排放減量帶來的經濟衝擊方面，確實有顯著的效果。

國際間，有關農地造林政策的研究，在許多國家或區域皆有實施(Harrison *et al.*, 2002; Uri *et al.*, 2002)。例如，美國政府在 20 世紀中期，亦曾針對位於邊際區域或生產力較弱的農地，以經濟誘因的手段，提出新植造林或復舊造林的政策，逐漸將農地恢復成林地，使部分農民轉變身為林主，也因此造就私有林主的人數逐漸增加的趨勢(Zhang *et al.*, 2005)。台灣在大規模推動平地造林後，亦有農民身份大幅轉為林農的趨勢，使得現有林戶數增加了 32.8%，值得林業輔導/管理部門多予重視(黃裕星，2011)。在美國密西西比流域，原是廣袤的濕地，因市場價格關係而大面積開闢種植大豆，之後又因價格滑落，大豆田亦轉作造林之用。Stanturf *et al.* (1998)以該區農地造林進行研究，發現包括林木種植後林地乾旱或積水、苗木品質、野生動物破壞，或鄰近農地殺草劑擴散等皆對造林成敗有決定性的影響。Niu and Duiker (2006)則評估美國中西部利用邊際農地造林對溫室氣體的效用，結果發現新植林地對於碳吸存有極高潛力的效果。另外，在歐盟方面包括西班牙、英國、愛爾蘭與德國等各國為改善環境，於 1993~1997 年間，在農地上共新植將近 519,350 公頃的林木(European Commission, 1997)。然而類文獻並未明確指出是新植造林地或復舊造林地，抑是針對山坡地或平地，是以多不能將農地造林視為京都議定書下二氧化碳減量額度的一項舉措。

綜觀台灣政府鼓勵民間參與造林已逾十五年，含括農地造林、全民造林、平地景觀造林、綠海計畫、綠色造林等計畫，雖平地政策名稱與內容規定隨政黨輪替而有所變更，但基本上平地造林政策仍有其延續性。而政策實施期間，實際參與的林農面臨許多問題且對政策多所意見。因此本研究即欲從過去各項造林政策施行時所遭遇的問題、可能的改善方案以及如何強化制度設計的監督考核，做一回顧及評估，未來提供當前綠色造林政策之參考依據。

二、研究方法

目前台灣平地造林面積之區域性分布而言，以花蓮縣與屏東縣之造林面積最大，遠優於其他縣市之推廣成效。據林國慶與柳婉郁(2007)整理，花蓮縣與屏東縣至 2005 年底，總計兩縣平地景觀造林執行面積占私有林地總造林面積之 72%。故本研究擇取花蓮縣為調查區域，針對已申請核可之林農進行全面性的問卷普查。

根據花蓮縣的平地造林資料顯示，計有 822 件申請案共造林 352 ha。平均各筆申請面積為 0.43 ha，最小申請面積為 0.01 ha (其中有 772 筆小於 1.0 ha)，最大申請面積為 8.73 ha，標準差為 0.55 ha。

本研究首先就花蓮縣政府提供 2002~2008 年間的造林清冊 (包括農地造林、平地景觀造林、綠海計畫及綠色造林等)，建立造林戶之基本資料。花蓮縣於其間共計申請案件數為 822 筆。造林戶經實際面訪後，重新整理資料，去除同一造林人分年申請多筆造林獎勵、土地轉賣、家人或多人共同造林等情事，調整實際母體數為 242 筆。本研究採用問卷調查的方式，以面訪方式於 2010 年 7 月 19 日到 8 月 13 日進行全面施測。實際結果因造林人無法取得聯絡、拒絕受訪等情況，回收問卷數 208 筆，回收率為 86%。

問卷設計主要分為五大項目，分述如下：

- (一) 參與狀況：包括參與原因、農地持有狀況、擴大意願、管理及收益、期滿處理方式等。
- (二) 管理情形：針對林農自行(或委託)對於其造林地的苗木、肥料、灌溉、支架、中耕、災害損失、病蟲害等管理情形等進行詢問調查。
- (三) 樹種選擇：針對海岸造林 12 種樹種與景觀造林 30 種樹種進行調查，以了解已栽植樹種、樹種喜好程度、適應性、生長表現以及經濟性，並依喜好程度進行排序。
- (四) 政策支持：關於政策設計、政策執行、專業諮詢與政策持續性的滿意度調查。
- (五) 個人基本統計資料：包括性別、年齡、教育程度、家計所得等。

三、結果與討論

本節將問卷回收結果進行統計分析，依林農參與狀況對林地管理情形、樹種選擇、政策支持、受訪人統計資料進行討論。

(一) 參與綠色造林政策造林戶問卷結果分析

分析在造林經驗方面，僅有少數林農在參加造林計畫前有經驗 (17.22%)，且只有 26.31%的林農認為造林經驗對造林工作有影響。會加入平地造林計畫的主要原因依次為：(1)農作物價格不穩定，常有虧損 (41%)；(2)美化並改善環境(31%)；以及(3)年老無力務農(29%)；至於獎勵

金額高選項則排在第 6 順位，亦非主要原因。有 40%的造林人表示，目前平地造林的獎勵金占其家戶所得比例僅 10%以下，有 23%的受訪者表示獎勵金占所得 30%-10%，也有 12%造林人的獎勵金占所得 90%以上。詳見表 2 所示。

表 2. 參與平地造林計畫主要原因

問項	人數	百分比
1. 農作物價格不穩定，常有虧損	86	40.8%
2. 美化並改善環境	64	30.3%
3. 年老無力務農	61	28.9%
4. 喜歡種樹	54	25.6%
5. 土地地質不佳，收成不好	48	22.7%
6. 獎勵金額高	46	21.8%
7. 受邀聯合造林	37	17.5%
8. 受到他人造林的影響	34	16.1%
9. 其他	33	15.6%
10. 繼承農地	25	11.8%

在問及是否願意將剩餘的農地再加入綠色造林計畫，僅將近 28%的受訪者表示會願意再投入，而不願再參加綠色造林的原因，主要為面積不夠或沒有剩餘土地等。在管理狀況，高達 93%的造林人平常是由自己管理林地，38%的人會僱工幫忙管理，其主要是幫忙除草或施肥等，而僅 19%的林農會請配偶協助管理；且占大多數的造林戶(89.6%)認為其平地造林地由自己管理最合適。關於造林最迫切需要解決的問題，依照林農反映依序為(1)期滿後林木處理問題(50%)；(2)病蟲害處理諮詢(40%)；以及(3)終止契約的賠償問題(18%)，可參見表 3。

表 3. 造林最迫切需要解決的問題

問項	人數	百分比
1. 期滿後林木處理問題	105	49.8%
2. 病蟲害處理諮詢	84	39.8%
3. 終止契約的賠償問題	37	17.5%
4. 木材價格	35	16.6%
5. 其他	35	16.6%
6. 樹種諮詢	34	16.1%
7. 土地轉讓所產生契約問題	29	13.7%
8. 造林作業方法諮詢	22	10.4%
9. 地籍測量錯誤問題	12	5.7%

在造林規定是否有需要調整的部分(如表 4 所示)，有 5 成以上的受訪者認為，造林面積限制應該放寬，或是不應限制，有土地應該就可以申請。有 47%的人認為樹種選擇不須限制，可以提供審查機制，讓林農申請種想種的樹；否則林務局應依照林農的要求，索取到他們想種的樹苗，且希望提供健壯、成活率高的樹苗。而 44%的受訪者認為造林株數及成活率的規定需要調整，大部分認為規定的株數太多，有些反應希望可以疏伐。除此之外，亦有 42%的受訪者認為在栽植的過程，應可開放種植短期蔬菜或飼養雞鴨等。

表 4. 對平地造林各項規定建議需要修改規定之造林人建議

現行規定	人數	百分比	造林人之建議
造林面積的限制(0.5 公頃)	107	51%	放寬
造林樹種的限制(36 種)	98	47%	不必限制
造林株數及成活率的規定	93	44%	太密
不能兼做農作或其他用途	88	42%	不影響林木生長及可間作或放牧
自備苗木不予現金補助	85	41%	需提供補助
終止契約要追賠已發放的獎勵金	80	38%	不必追賠或部分追賠
苗木均由林務局來供給	76	36%	可自備苗木
造林契約 20 年	74	35%	10~40 年
須與鄰近農地間隔 3 公尺	69	33%	視情況或樹種而定

有關期滿處理方式，當詢問造林地於 20 年約滿後要如何處理時，有 54%的林農表示會等待政府是否有延長補助方案(如圖 1)，17%的受訪者則表示尚未考慮期滿後要如何處理，同時也有 13%的造林人表示會留給後代決定。當詢問造林人，政府於造林合約 20 年期滿後，應採取什麼措施對其最有利時，有高達 64%的造林人認為，延長補助方案是對其最有利的，而受訪林農者認為合理的延長補助金額，則從每年每公頃 2~24 萬元不等；接著有 16%的受訪者表示希望由林主自己決定要如何處理林木，也有 14%的林農認為政府統一保價收購最為有利。

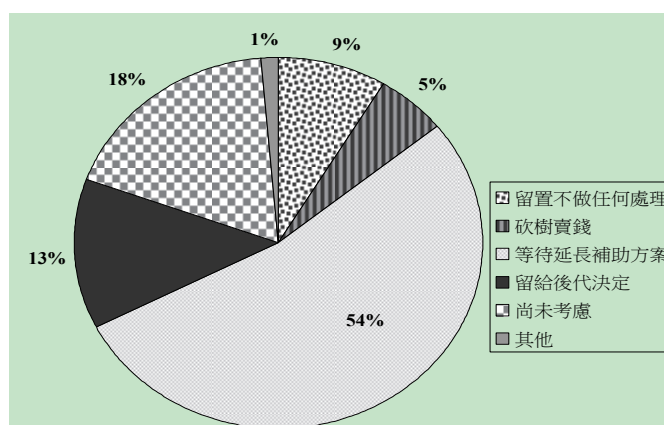


圖 1. 造林人對平地造林期滿後處理方式分布圖

對於林地管理情況，顯示如表 5。有 4 成以上表示需要經常、有時或偶爾需要自行購買苗木；各有 8 成以上的受訪者在造林初期採用中耕培土或使用殺草劑；同時也各有 9 成以上的造林人有在其造林地施肥料、進行刈草或修剪樹木分枝；各有 5 成左右的林農在造林初期會使用支架、定期灌溉或鋪塑膠布；有 7 成 5 的受訪者表示他們的平地造林有病蟲害的問題，但只有 4 成 5 的造林人有使用殺蟲劑；而關於災害損失，有 9 成以上的平地造林每年都會遇到颱風災害的損失，同時也有 7 成 4 的林農表示其林木有乾旱枯死的問題。可見得農民在造林時仍貫常採用集約經營，投資許多人力物料，對於林木為害的風險管理亦過度重視，導致參與林農多不能體會林業粗放經營與長期性風險分散等優點。

表 5. 林地育林作業管理情形(%)

	經常	有時	很少	沒有
1. 造林之前採用中耕培土	25.1	41.7	17.5	13.7
2. 造林初期有使用肥料	24.6	48.8	14.2	10.4
3. 造林初期有使用支架	13.3	21.8	15.2	47.9
4. 造林初期有定期灌溉	19.4	18.0	20.9	39.8
5. 造林地有進行刈草	47.9	37.9	9.5	2.8
6. 造林地有使用殺蟲劑	8.1	30.8	35.1	19.0
7. 造林地有鋪塑膠布	8.5	23.7	9.5	55.9
8. 有病蟲害問題	14.7	17.1	41.7	24.2
9. 造林地有使用殺蟲劑	4.7	13.7	23.7	51.2
10. 樹木有修剪分枝	34.6	54.5	7.1	1.9
11. 每年都有遇到颱風災害	29.9	28.9	30.3	8.5

本研究由各別林農自行提出已栽植與個人有意願栽植樹種數，進行分析。結果如圖 2 所示。由圖 2 可發現，現行綠色造林列舉出 36 種平地造林樹種，然而大多數林農已有栽植或有意願栽植的樹種為數不多。大多數參與林農只能舉出 1-2 種樹種，能指出 9 種以上者幾稀。由此可見，林農欠缺樹種選擇的資訊，林業主管機關與其提供大量樹種供其選擇，不如詳予規劃適地適木的分區規劃，可能更符合所需。

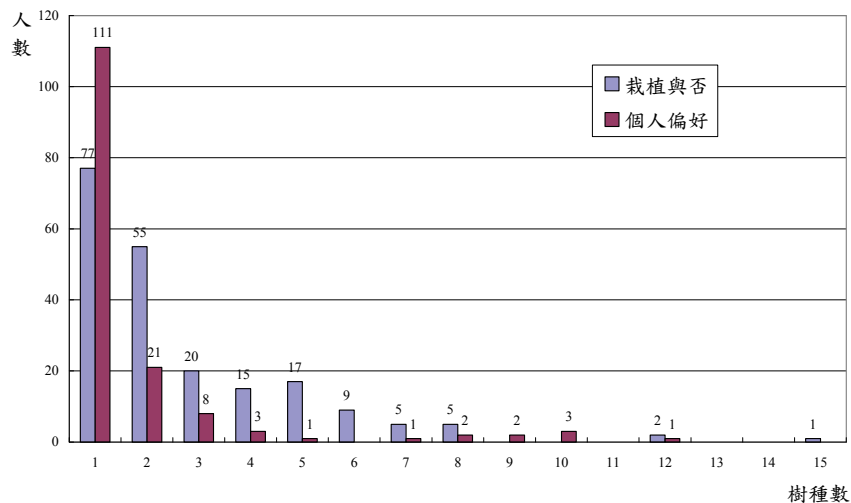


圖 2. 林主之樹種栽植與偏好次數圖

在樹種選擇方面，花蓮地區種植的樹種，依序為：(1)樟樹(83.73%)、(2)肉桂(36.36%)、(3)台灣欒(30.62%)、(4)烏心石(27.75%)、(5)光臘樹與茄冬(各為 21.53%)。樹種選擇的考量因素方面，分別為存活率高(32.35%)、他人建議(20.59%)以及經濟價值(20.10%)(如圖 3 所示)。

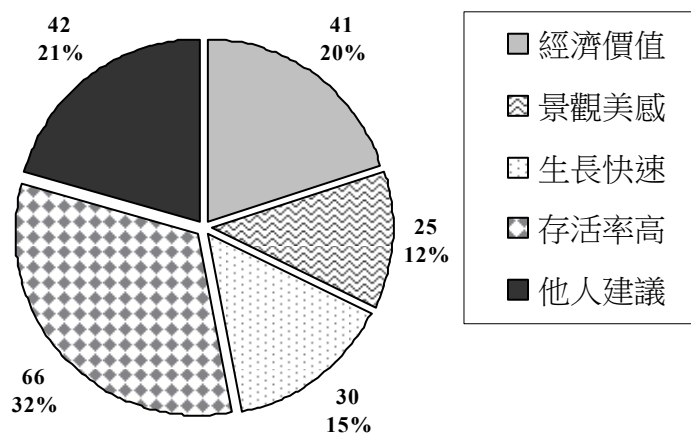


圖 3. 林農選擇栽植樹種之原因

在政策支持方面包括了政策設計、政策執行、專業諮詢與政策持續性的調查，其中詢問同意與不同意等採用 Likert 氏五點尺度衡量，1 代表對這一說法極不同意，2 代表不同意，3 代表普通，4 代表同意，5 代表極同意。結果如表 6 所示。對政策支持的調查結果顯示，有關病蟲害問題的諮詢、林務單位對平地造林的宣導和輔導以及樹種選建議，同意與極同意在 4~5 成左右。可能由於花蓮縣鄉鎮公所承辦人與林農的接觸頻繁，能及時因應林農的問題，而使造林人感到滿意。受訪人在目前所選用的樹種以及能夠領取到指定樹種方面，同意與極同意達 5 成左右。但在「平地造林期滿後，政府的政策已有周延設計」，則有高達 6 成 7 的林農表達極不同意。在獎勵金額方面，有 4 成 1 的受訪者滿意或極滿意，此結果亦與之前獎勵造林金是否為參加造林的主因之問項有高度相關。雖僅有 2 成 8 的受訪者認為當發生問題時，政府有設計有效的解決管道與方法，但仍有高達 7 成 2 的林農表示對於現在的平地造林辦法很合理且清楚可行。可見造林人對此一政策仍抱持相當正面肯定的態度。

表 6. 林農對政策支持的情形

題目		極不同意	不同意	普通	同意	極同意
1. 我知道要去哪裡諮詢平地造林的病蟲害問題	N	28	11	41	41	85
	%	13.3	5.2	19.4	19.4	40.3
2. 目前林務單位對平地造林有充分的宣傳和輔導	N	17	22	49	44	64
	%	8.1	10.4	23.2	20.9	30.3
3. 我很滿意目前所選用的樹種	N	35	23	27	57	62
	%	16.6	10.9	12.8	27.0	29.4
4. 我能夠領取到我所指定的樹種	N	43	30	30	41	62
	%	20.4	14.2	14.2	19.4	29.4
5. 我對要種什麼樹有疑問時，能從林務單位得到滿意的建議	N	33	14	56	52	50
	%	15.6	6.6	26.5	24.6	23.7
6. 我認為平地造林政策對期滿後的處理已有周延的設計	N	115	27	39	9	15
	%	54.5	12.8	18.5	4.3	7.1
7. 我對現在的造林獎勵金額感到滿意	N	26	26	66	37	51
	%	12.3	12.3	31.3	17.5	24.2
8. 我認為平地造林在發生問題時有設計有效的解決管道及辦法	N	38	20	75	34	27
	%	18.0	9.5	35.5	16.1	12.8
9. 我認為整體而言現在的平地造林辦法很合理且清楚易行	N	7	8	38	52	100
	%	3.3	3.8	18.0	24.6	47.4

(二) 受訪人之結構

本研究整理花蓮縣登記參與平地造林之林農，進行全面普查的調查工作，最後完成之有效問卷的受訪人結構如表 7 所示。在所有受訪林農當中，大部分以男性為主，男女性別百分比分別 71.15%與 28.85%。參加平地造林的林農年齡，均集中在 50-70 歲以上的年齡層，其中多數為 70 歲以上的林農，佔 37%。在教育程度方面，小學肄業、小學畢業與國初中學歷者即已約七成人數。家庭收入方面，平均月收入偏低，2 萬以下者佔 43.30%。總體而言，花蓮地區之造林人的社經背景呈現高齡、所得與教育程度偏低的狀況。

表 7. 受訪林農基本資料表

類別		花蓮縣	
		人數	百分比
性別	男	148	71.15
	女	40	28.85
年齡	39 歲以下	6	2.88
	40-49 歲	13	6.25
	50-59 歲	54	25.96
	60-69 歲	59	28.37
	70 歲以上	76	36.54
教育程度	國小以下	103	49.52
	國中	38	18.27
	高中	28	13.46
	專科與大學	35	16.83
	研究所以上	4	1.92
家庭月平均收入	2 萬元以下	84	43.30
	2-4 萬元	56	28.86
	4-6 萬元	18	9.28
	6-8 萬元	16	8.25
	8-10 萬元	8	4.13
	10-20 萬元	11	5.67
	20 萬元以上	1	0.52

四、結論

綠色造林政策是平地造林的延續，雖然在獎勵金額、實施辦法與查驗程序歷年來均有小幅度修改，但整體結構與模式並無太大的變動。故本研究採用前期花蓮縣參與平地造林林農為調查對象，以了解此一政策推行對象特質、辦法的接受程序、面臨的問題與政策支持等面向，大體而言，花蓮地區參與綠色造林之林主對造林政策大多表示肯定，但對於樹種選用、獎勵金、諮詢管道、以及造林期滿之後續處理，呈現較為分歧的意見，可能受到鄉鎮公所承辦人認知差距的影響。

就樹種選擇與偏好而言，調查結果顯示大多數林農對造林樹種並不熟悉，能列舉出的樹種相當有限，選擇樹種受他人建議的情況頗多。由於目前苗木是由林務局提供，就現實面觀之，樹種限制實無必要，針對區位與未來市場供需做長期規劃，可能更為重要。其次在造林諮詢方面，許多林農都反映希望能獲得樹種用途或經濟價值等相關資訊；對疏伐修枝與病蟲害處理，大多數人亦是彼此問詢或

赴縣政府或鄉公所尋求協助。是以對私有林主與獎勵造林林主的後續諮商輔導，應落實獎勵輔導造林辦法第 17 條規定：「主管機關得每年不定期舉辦造林技術研習，提供私人、原住民族或團體相關造林技術指導及病蟲害防治之建議。」，以增進林主專業技能與提高造林品質。最後在林木產銷的問題，一直是投入長期造林、低收益的林農最關心的議題，未來主管機關可朝企業認養、延長補助、碳權交易或是契作等方案規劃，以提供林主更多保障與選擇。

概言之，綠色造林政策立意甚佳，亦累積可觀的成效，然而獎勵辦法過於繁瑣，造成地方政府執行與監督成本過高，間接降低小農戶的參與意願。若能從制度設計的觀點思考，將獎勵或補貼手段由生產端－是否有足夠的林木成活率，轉為從消費端－林農營林的木材與非木材產品的銷售補貼，或可鼓勵良好的森林撫育作為、預期最終產品的產出，以及強化林農組織的設置，同時並可降低各級政府部門在過程中執行與監督的成本。

五、參考文獻

- 李久先、顏添明 2001 全民造林運動造林樹種之經濟價值探討。林業研究季刊 23(2): 35-46。
- 李久先、顏添明、曾聰堯 2003 全民造林運動私有林主滿意度之研究--以台中縣為例。林業研究季刊 25(3): 11-26。
- 任憶安、林俊成 1997 台灣私有林造林獎勵方式效果的評估--林農反應調查報告。台灣林業科學 12(4): 393-402。
- 林國慶 2003 平地造林政策之分析。農業經濟叢刊 8(2): 111-140。
- 林國慶、柳婉郁 2007 平地景觀造林政策之執行成果與實證分析。法制論叢 96(7): 175-211。
- 林國慶、柳婉郁 2009 全民造林停止後山坡地造林政策之分析。中華林學季刊 42(4): 577-594。
- 黃裕星 2011 小規模林業的重要課題。林業研究專訊 18:1-4。
- 廖述誼、陳吉仲、游蕙華、鄭鈺慧、黃茂隆 2010 綠色造林對台灣土地利用、農業、能源、環境及經濟之影響分析。行政院國家科學委員會專題研究計畫 NSC 98-2410-H-005-041。
- 劉宜珊 2008 台灣造林政策與政策分析。國立中正大學政治學研究所碩士論文。
- 蕭白雪 2006 官民勾結，詐 2 億造林獎金砍大樹、種小樹，虛報範圍，重複領取，至少 12 縣市冒領。聯合報 2005 年 8 月 30 日第 A8 版台北報導。
- European Commission 1997. Forestry measures under the common agricultural policy. Accessed on March 16, 2011 from the website, http://ec.europa.eu/agriculture/envir/report/en/forest_en/report.htm.
- Harrison, S., J. Herbohn and A. Niskanen 2002. Non-industrial, smallholder, small-scale and family forestry: what's in a name? Small-scale Forest Economics,

Management and Policy 1(1): 1-11.

Niu, X. and S. W. Duiker 2006. Carbon sequestration potential by afforestation of marginal agricultural land in the Midwestern U.S. *Forest Ecology and Management* 223: 415-427.

Stanturf, J. A., C. J. Schweitzer and E. S. Gardiner 1998. Afforestation of marginal agricultural land in the lower Mississippi River Alluvial Valley, U.S.A. *Silva Fennica* 32(3): 281-297.

Uri, V., H. Tullus and K. Löhmus 2002. Biomass production and nutrient accumulation in short-rotation grey alder plantation on abandoned agricultural land. *Forest Ecology and Management* 161: 169-179.

Zhang, Y., D. Zhang and J. Schelhas 2005. Small-scale non-industrial private forest ownership in the United States: rationale and implications for forest management. *Silva Fennica* 39(3): 443-454.

平地造林試驗研究監測研討會論文集 / 邱志明主編.-

臺北市：農委會林試所，民101.11

面；公分

ISBN 978-986-03-4163-8 (平裝)

1. 造林 2. 文集

436.207

101021719

平地造林試驗研究監測研討會論文集

發行人：黃裕星

主編：邱志明

編輯：鍾智昕、唐盛林、張鈞媛

發行單位：行政院農業委員會林業試驗所

地址：台北市中正區(10066)南海路53號

電話：(02)2303-9978

傳真：(02)2314-2234

網址：<http://www.tfri.gov.tw>

印刷：麥克馬林有限公司

展售處：國家書店

10455台北市松江路209號1樓 02-2518-0207

五南文化廣場：台中總店

40042台中市中山區中山路6號3樓 04-2226-0330

出版年月：中華民國101年11月

工本費：新台幣210元整

ISBN：978-986-03-4163-8

GPN：1010102401