

計畫名稱：湖山水庫及鄰近地區棲地復育及改善方法試驗研究

英文名稱：Experimental habitat restoration and improvement of a lowland forest ecosystem in the Hushan Reservoir Area

計畫編號：150

全程計畫期間：2008年1月1日至2013年12月31日

本年計畫期間：2012年1月1日至2012年12月31日

計畫主持人：林瑞興

研究人員：簡錕榮、鍾雨岑、宋心怡

一、摘要

本計畫欲藉由實地調查及試驗操作，探討湖山水庫周邊的森林演替模式，尋找符合森林動態及經濟成本的復育策略，以提供未來森林生態系統復育規劃之參考。本計畫工作內容包括：(1) 推估研究地區植物群落現況及其演替階段；(2) 了解麻竹林的自然更新狀況；(3) 主動移除麻竹(*Dendrocalamus latiflorus*)及補植原生樹種，建立監測指標，瞭解復育過程可能遭遇的困難；(4) 調查不同種類及試驗環境下之苗木生長狀況。研究及試驗範圍位於湖山水庫北側的「自然生態保留及復育區」以及林務局阿里山事業區第61-73林班地。

本年度研究重點為苗木在不同環境的生長狀況，以及主動移除麻竹林的處理樣區的生態指標變動。本計畫試驗苗木共8種900棵，至本年度存活率67%。苗木於伐竹樣區之生長量明顯高於其他試驗樣區，但存活率略低。伐竹樣區中，水同木(*Ficus fistulosa*)、無患子(*Sapindus mukorossii*)及稜果榕(*Ficus septica*)逐漸成為上層或中層樹種。在鬱閉的次生林中，軟毛柿(*Diospyros eriantha*)、刺杜密(*Bridelia balansae*)及無患子(*Sapindus mukorossii*)則停留在底層樹種階段，而水同木逐漸成為中層樹種。在各種處理樣區中，軟毛柿、刺杜密及無患子的存活率皆能維持在八到九成以上，適合成為底層及中層補充頂層的儲備樹種。2008年底開始於3個1ha試驗樣區減少0.2ha麻竹林面積，4年後各樣區喬木層種類及密度初期增加幅度大；鳥類密度與竹林覆蓋度顯著負相關。短期監測以地景覆蓋度、外來種植物覆蓋度、喬木層密度、喬木層種類數、鳥類密度、狩獵壓力等指標較能即時反應管理成效。選擇監測指標時，應就棲地改善目的進行調整。

關鍵字：生態指標、森林復育、原生苗木

Abstract

The ongoing construction of the Hushan Reservoir dam in central-western

Taiwan will inevitably result in the loss of wildlife habitats. The purpose of this study proposes possible restoration strategies considering current habitat status and forest dynamics. To gather the relevant information, we firstly developed the potential succession stages in the study area. Secondly, we surveyed Ma Bamboo (*Dendrocalamus latiflorus*) plantations which have been abandoned for some time to evaluate the levels of ecological recovery. We also evaluated the effects of felling Ma Bamboo and planting native saplings to accelerating the recovery. Finally, we developed ecological indicators to understand how wildlife communities respond to different restoration actions.

The Ficus-Machilus forest habitat is believed to be the climax vegetation of the study area. We found that the abandoned bamboo plantations are now in the early phase of succession. CA and DCA analysis classified the plantations into three types: the *Machilus zuihensis-Mallotus paniculatus* type, the *Euphoria longana-Macaranga tanarius* type and the *Ficus septica-Ficus fistulosa* type. The vegetation types are known to be influenced by terrain and human activities. the *Euphoria longana-Macaranga tanarius* type, which is the dominate type at mid-slope, has the lowest succession index and seedling species. We suggest that beside remove the competition form the bamboo, additional plantation is needed to accelerate natural regeneration at mid-slope.

In 2012, the research focuses on seedling growing and ecological indicators in different plots. We observed that the growth rate of seedlings in the clear-cut area was the highest but their survival rate was lower than seedling in the non-cut area, possibly due to the lack of shade. *Diospyros eriantha*, *Bridelia balansae* and *Sapindus mukorossii* have the best survivorship regardless of plots. And *Ficus fistulosa*, *Sapindus mukorossii* and *Ficus septica* have the best growing increment and become the canopy layer of clear-cut plot. Ecological indicators reveal that removing bamboo can accelerate natural regeneration in the area. Species number and community density increase significantly in the canopy layer of clear-cut area within three years.

二、計畫目的

計畫自 2008 年執行至今，已有的重要成果：(1) 本研究利用演替趨勢圖 (圖 2)，建立適用於研究區域內之植物物種的演替分數，2010 年調查顯示「自然生態保留及復育區」植群演替階段處於初期與中期；(2) 2010 - 2011 年於斗六丘陵進行植群調查，將當地植群分為：香楠 - 白孢子型、龍眼 - 血桐型、稜果榕 - 水

同木型等三型（圖 3），植群分型與地形及人為干擾有關（圖 4）。下坡溪谷植群的演替分數最高，稜線植群次之、中坡最低。中坡喬木層種數及小苗種數也低於另外兩型，推測多數樹種在中坡無法與麻竹競爭，此型林下以龍眼小苗數量最多，建議經營管理時在中坡處伐除麻竹及大徑級龍眼，並補植適宜樹種；陵線及溪谷地形，因原生種小苗種類較多，僅移除麻竹競爭即可；（3）本計畫於 2008 - 2009 年於 3 個 1ha 試驗樣區減少 0.2ha 麻竹林並補植原生樹苗，並設置控制樣區（圖 5）。至 2011 年為止各樣區之喬木層種類及密度有明顯增加，以伐竹樣區增加的幅度較大；（4）本計畫共種植 8 種 900 棵苗木，進行存活率與生長量調查。發現伐竹樣區之人工栽植苗木地徑、高度與冠幅成長高於其他試驗樣區，但苗木存活率略低。不同苗木在不同環境下的生長特性各異（表 1）。

生態系統退化將會對人類生活造成負面影響，生態復育即為啟動生態系統恢復，使該系統回復良好的穩定性及生態系服務功能（Rapport *et al.* 1998; Clewell 2004; Cairns 1990; Henry and Amoros 1995）。湖山水庫工程計畫用地位於雲林縣斗六市東側丘陵地，面積約 400ha，該用地範圍已知為臺灣西部低海拔具有高度生物多樣性的地點之一，且為保育鳥類八色鳥（*Pitta nympha*）的重要分布地，水庫開發必然對當地生態造成負面影響。為因應水庫開發造成的生態損失與負面影響，衍生有湖山水庫工程計畫生態保育措施的擬定與施行（經濟部水利署中區水資源局 2005）。「湖山水庫工程計畫生態保育措施」中「森林生態系統」的研究方向即為在水庫須興建的前提下，如何透過生物多樣性補償（biodiversity offset）來降低水庫興建的負面效應（ten Kate *et al.* 2004）。

雲林低海拔丘陵地區的植被類型為低地常綠闊葉林（劉 2003），原生樹種主要為榕屬及楠木類植物之榕楠林帶（Su 1984）。因此，湖山水庫森林生態系復育計畫初步以「森林生態系」為復育的主體，在瞭解當地演替過程及控制因子後，增加原生低海拔闊葉樹林的覆蓋面積，期望能增加森林性物種所需的核地面積，並減少該類物種在不同棲地區塊間移動的障礙。斗六丘陵今多為栽種麻竹（*Dendrocalamus latiflorus*）為經濟作物（呂等 1997），部分早年耕作的麻竹林，因為地處偏僻而遭廢棄（楊 2008）。但麻竹生長快速、能長久佔據生育地、具有毒性、落葉量多、引發底層煤煙病等諸多效應，影響底層苗木萌發與生長（Chou and Hou 1981; Griscom *et al.* 2007; 張及范 1989; Nelson 2008）。在生態系中，只有當竹子開花結束生活史之後，底層的植被才能開始由先驅樹種開始演替（Griscom and Ashton 2003）。斗六丘陵除因湖山水庫興建的壓力外，也面臨棲地退化壓力。本試驗計畫目的之一，即欲嘗試以人力處理代替自然的過程，經由主動伐除麻竹及種植原生苗木的過程，來加速闊葉林演替，並評估復育過程所須

之成本及成效。

森林生態的復育是相當艱難且長期的工作，復育過程中，應建立監測指標展現復育成效，同時對阻礙因子進行提前預警。森林生態系的運作十分的複雜，監測指標應涵蓋不同層次與面向，包括棲地結構、物種多樣性與生態功能等都應考量，並顧及各類群的生物。除了生態系各面向之外，也應包含社會經濟之指標，以供未來決策時進行考量 (Lawton *et al.* 1998; Vallauri *et al.* 2002)。優良的指標要能反映環境狀況，且與復育的目的或決策項目有關，並有易理解、易測量、能預測、對改變具敏感性、在相同環境間具有一致性等特點 (Dale and Beyeler 2001)。依照美國環境保護署訂立的指標選擇的指導方針 (Jackson *et al.* 2000)，在選定指標後應建立標準的作業程序以減低誤差，以利進行長期監測。

本計畫欲藉由實地調查及試驗操作，探討湖山水庫周邊的森林演替模式，欲尋找符合森林動態及經濟成本的森林復原策略，以提供未來森林生態系統復育規劃之參考。工作內容包括：(1) 分析研究地區植物群落現況及推估其演替模式；(2) 調查麻竹林的自然更新狀況，瞭解影響其演替方向的環境因子；(3) 藉移除麻竹林及補植原生樹種，同時建立生態監測指標，以瞭解復育的成效與困難；(4) 調查不同處理環境下各試驗苗木生長狀況。

本年度(2012)延續歷年調查，研究重點包括：不同種類苗木在不同試驗環境下成長與存活狀況，以及試驗樣區之監測指標趨勢。

三、重要工作項目及實施方法

研究地區

本計畫執行地點為雲林縣林內鄉及斗六市東側丘陵地，為臺灣重要野鳥棲地之一 (中華民國野鳥學會 2001)。主要屬林務局阿里山事業區第 61 至 73 林班，林務局於 2008 年公告為「雲林湖本八色鳥野生動物重要棲息環境」；主動更新之試驗範圍則位於湖山水庫北側「自然生態保留區與復育區」(舊稱培厚區 A，以下簡稱復育區) 中(圖 1)。區域內海拔高度多在 300m 以下，最高點位於斗六市南側與古坑鄉、竹山鎮交界的木瓜潭山 (海拔高度 519m)。稜線西側為北港溪上游集水區，主要由砂岩、頁岩及礫岩所組成，溪流上游近山稜處形成許多邊坡陡峭的侵蝕山溝 (林及周 1974)。

本計畫主要調查樣區依其各自試驗目的、所在位置及層級區分為：(1) 廢棄麻竹林樣區，(2) 位於復育區內的試驗樣區，及 (3) 位於試驗樣區內的植物永久樣區等 3 種樣區。廢棄麻竹林樣區位於 61 至 73 林班地及其周遭，沿既有道

路、農路、林徑及溪谷河床尋找，選取 35 個不同人為干擾程度之麻竹林樣區及 15 個次生林樣區進行植群調查，各樣區距離 100m 以上。主動更新伐竹試驗之樣區則位於湖山水庫北側的復育區，於 2008 年已設置 8 個 1ha (編號為 No.1、No.4 - No.10)、1 個 1ha 檳榔園及 1 個 0.25ha (編號為 No.3) 的試驗樣區 (圖 5)。植物永久樣區則有 24 個，每個試驗樣區內各設置 3 個，每個面積為 250m²。

(一) 植群調查

草本植物永久樣區

目前試驗樣區的 3 種試驗處理方式為：第 1、6、7 樣區為降低麻竹密度並補植原生樹種 (B-T+)，第 3、4、9、10 樣區為不降低麻竹密度但補植原生闊葉樹種 (B0T+) 及第 5、8 樣區為不做處理的控制組 (B0T0)。喬木層調查頻度每三年 1 次，地被層草本植物出現因季節而異，調查頻度為每年春季調查 1 次，用以監測不同試驗處理下物種變化與植群演替情形。

(二) 主動更新試驗

麻竹對苗木影響之試驗

本研究為了解麻竹對於原生林木發育的影響，以及不同苗木之生長特性。於不同試驗環境 (伐竹環境、麻竹林環境、次生林環境) 栽植苗木，並測量苗木生長量變化差異情形。砍竹開闢地為上層麻竹清除後之較大面積開闢地。竹闊混合林為有 60% 以上面積為麻竹所生長之均勻林相，且以主竹叢根部生長位置邊界以外之 5m 距離範圍內為影響區域。次生林環境則為麻竹潛在影響範圍外之闊葉林。

本試驗延續 2008 年的樹苗栽植工作，於 2009 年 4 月份繼續進行第一期試驗苗木栽種，選取當地優勢樹種，計有香楠 (*Machilus zuihensis*)、杜英 (*Elaeocarpus sylvestris*)、稜果榕 (*Ficus septica*)、水同木 (*Ficus fistulosa*)、菲律賓饅頭果 (*Glochidion philippicum*) 等 5 種共 450 棵，2009 年 7 至 12 月份每月除草撫育 1 次。於 2010 年 7 月再續種第二期苗木 450 棵，包含杜英、刺杜密 (*Bridelia insulana*)、香楠、軟毛柿 (*Diospyros eriantha*)、無患子 (*Sapindus mukorossii*) 五種，兩次栽植之試驗苗木共 8 種 900 棵 (表 3)。2010 年 5 至 9 月份每月除草撫育 1 次。

在復育初期，種植苗木時即記錄種植的數量。並於每年 4 月及 11 月時觀測下列項目。2009 年 11 月為第一次苗木調查，作為該苗木生長之基值。另於各永久樣區內尋找林下生長小苗，選擇主幹枝條皆完整、地徑小於 1cm 且苗高 30cm 以下之實生苗，量測項目與時間同人工栽植苗木。永久樣區林下實生苗則以 2011

年4月觀測植作為該批苗木生長基準。記錄項目如下：

1. 苗木存活狀況（存活或死亡）。
2. 高度(cm)：苗木從地際至生長點之高度。
3. 覆蓋面積(cm²)：測量苗木垂直投影（長×寬）覆蓋面積。
4. 地徑或胸徑(cm)：利用游標尺測量苗木地際之地徑。若樹高於 1.3m 處已有 >1cm 的胸徑，即開始改測量胸徑。
5. 煤煙病：記錄苗木有或無煤煙病。
6. 竹葉厚度(cm)：利用魯班尺測量並記錄苗木地際被覆蓋竹葉厚度。

上述調查所得數據，分別進行下列分析：

1. 苗木存活率：分別計算不同樣區內不同物種之苗木存活率。

$$\text{苗木存活率}(\%) = (\text{苗木存活株數} / \text{樣區試驗總株數}) \times 100$$

2. 苗木高度變化：以第一年生長季結束後（冬季）所調查之高度為基準，於次年調查記錄高度後，比較年間不同物種之高度差異，及不同樣區內不同物種之苗木每年之平均高度生長量。
3. 覆蓋面積變化：以第一年生長季結束後（冬季）所調查之覆蓋面積為基準，於次年調查記錄覆蓋面積後，計算前後兩年之面積變化，並計算不同樣區內不同物種之苗木每年之平均覆蓋面積擴增量。
4. 地徑或胸徑變化（cm）：以第一年生長季結束後（冬季）所調查之數據為基準值，之後每年4月及10月調查記錄地徑或胸徑，比較年間不同物種之生長差異，及不同樣區內不同物種之苗木每年之平均地徑或平均胸徑增加量。

以所得數據進行差異分析，了解伐竹環境、麻竹林環境、次生林環境等不同試驗處理，影響苗木存活率、高度、覆蓋面積及地徑的差異情況，找出不同環境下適合種植的樹種。

（三）演替推估與復育指標

演替分數

演替分數（successional index）為評估演替階段常用的方法之一，以樣區中耐陰性樹種的優勢度，探討植群的演替進程（Petriere *et al.* 2004）。藉以在未來

瞭解復育處理是否能有效促進復育區之演替速度，及預期植群演替之方向。湖山水庫及周邊地區，依據近年於斗六丘陵及鄰近的八卦山區進行的植群研究所得之演替趨勢圖為背景（陳 2007；楊 2008），已經建立各植物物種之演替等級分配。外來物種及人為栽植之經濟作物或不易評定級分之物種計為0分，以1分代表演替初期，5分代表演替中前期的植物物種，10分代表演替中後期及15分代表演替後期：

- 0分：** 柑橘、馬拉巴栗、樹薯、龍眼、檳榔、九重葛、千年桐、芒果、柚木、荔枝、鳳凰木
- 1分：** 小葉桑、山黃麻、白匏子、血桐、烏皮九芎、野桐、構樹
- 5分：** 九芎、土密樹、牛奶榕、白白、呂宋莢迷、烏白、無患子、菲律賓饅頭果稜果榕、裡白蔥木、蓮草、龍船花、蟲屎、苦楝、華八仙、薄姜木
- 15分：** 九節木、大葉木犀、大葉釣樟、大葉楠、山柚、天仙果、水冬瓜、火筒樹、玉山紫金牛、江某、米碎柃木、杜英、刺杜密、狗骨仔、金銀花、紅楠、香楠、茜草樹、軟毛柿、黑星紫金牛、圓葉雞屎樹、臺灣朴樹、樟樹、樹杞、燈秤花、薄葉玉心花、雞屎樹、臺灣山香圓、臺灣雅楠、頷垂豆、澀葉榕

演替分數建議每三至五年於永久樣區調查1次。評估演替分數時，建議以喬木層（3m以上）為主，調查僅計數胸高直徑(DBH)大於1cm之植株。本研究同時建立地被層各種類植物之演替分級，如附錄1，但地被層種類較多，較花時間並仰賴專業人力，如欲進行監測，應視人力調整。

本計畫評估自然生態保留及復育區中24個植物永久樣區之演替級分，以瞭解棲地現況。統計喬木層每一種植物之株數、胸高直徑及覆蓋度，再轉換為相對密度、相對優勢度及相對覆蓋度，而後加總為重要值指數（important value index，IVI），當得知一樣區中各物種之IVI值，即可計算其演替分數，其公式如下：

$$\text{密度 (density)} = \frac{\text{某種植物株數之總和}}{\text{所調查之總樣區面積}}$$

$$\text{頻度 (frequency)} = \frac{\text{某種植物出現之總樣區數}}{\text{所調查之總樣區數}}$$

$$\text{喬木層優勢度 (dominance)} = \frac{\text{某種植物胸高斷面積面積總和}}{\text{所調查之總樣區面積}}$$

$$\text{相對密度 (relative density)\%} = \frac{\text{某種植物株數之總和}}{\text{所有植物密度之總和}} \times 100\%$$

$$\text{相對頻度 (relative frequency)\%} = \frac{\text{某種植物株數之總和}}{\text{所有植物頻度之總和}} \times 100\%$$

各物種IVI=相對密度+相對頻度+相對優勢度

演替分數=(\sum 物種IVI×級分) / \sum 物種IVI

復育指標

2009年建立了復育監測指標，欲以各種生態指標(ecological indicators)來監測復育試驗區的棲地結構、物種多樣性與生態功能，涵蓋了植物、無脊椎動物、鳥類、外部指標類別，並建立操作標準流程。指標架構建立之後，每年持續以執行之實際經驗，考量成本、人力與棲地狀況，調整調查或分析方法。本年度(2011)完成蒐集四大類(植物、無脊椎動物、鳥類、外部壓力)共20項監測指標之數值(表2)，並對2008-2011年所蒐集的數據進行整合，比較各樣區指標之年變化，及探討各種復育處理之間的差異，以及樣區特性對森林復育成效之影響。

1.植物指標

- 麻竹覆蓋度：依照正射化影像圖進行分析。計算時係將1ha樣區劃分為100個10m×10m小方格，若小方格內麻竹覆蓋超過80%則予權重值為1，而若為麻竹覆蓋度介於20%至80%之間歸類為混合林，給予麻竹覆蓋權重值為0.5，其餘類型給予權重值0。各樣區麻竹覆蓋度為前述權重值的總和。
- 闊葉林覆蓋度：依照正射化影像圖進行分析。計算時係將1ha樣區劃分為100個10m×10m小方格，若小方格內闊葉林覆蓋超過80%則給予權重值為1，而若為闊葉林覆蓋度介於20%至80%之間歸類為混合林，給予闊葉林覆蓋權重值為0.5，其餘類型給予權重值0。各樣區闊葉林覆蓋度為前述權重值的總和。
- 喬木層種類數：各樣區植物永久樣區所調查到的所有喬木種類數進行總計。
- 喬木層密度：各樣區各植物永久樣區的喬木數量平均，換算成每公頃密度。
- 喬木層植物多樣性指數：調查植物永久樣區內喬木層種數及數量，進行Shannon多樣性指數分析。
- 喬木層演替分數：各樣區各植物永久樣區之演替分數平均。
- 小花蔓澤蘭覆蓋度：估計永久樣區小花蔓澤蘭的覆蓋度，換算成百分比。
- 大花咸豐草覆蓋度：估計永久樣區大花咸豐草的覆蓋度，換算成百分比。

2.昆蟲指標

- 昆蟲生物量：成蟲燈光誘集於 8 月進行調查，燈光誘集於農曆月初及月末，任選 2 天進行。將燈光誘集器放置在 8 個樣區的中心點，並於 19:30 - 20:00、20:30 - 21:00、21:30 - 22:00、22:30 - 23:00，4 個誘蟲效果最好時段進行誘集。使用乙酸乙酯約 30 ml 放入燈光誘集器內。於隔天 7:30 - 9:00，將燈光誘集器中的昆蟲放入保鮮盒中蓋上蓋子，帶回研究室進行鑑定。各樣區每次所誘得昆蟲，依其不同目分類，秤量乾重，每一樣區成蟲採合併測量，進行生物量之分析。以定量採集方法所獲得的總數，秤其乾重量進行年間的比較分析。
- 蛾類成蟲生物量：挑出鱗翅目成蟲。各樣區鱗翅目成蟲乾重採合併測量（精確至 0.1g）。將相同型態的成蟲編號並計算數量，製作成標本。保存每一表型種之證據標本，再依據檢索表鑑定。
- 蛾類成蟲數量：計算每樣區蛾類隻數，各月份相加。
- 蛾類成蟲種類數：每樣區蛾類種類數，因鑑種不易，採各月份種類數平均。

3. 鳥類指標

- 鳥類族群密度：以固定半徑定點計數法（point count）進行樣區內鳥類族群密度調查，於 8 個樣區的中心點進行地查，另選檳榔園樣區及 3 個耕作中的麻竹林樣區（C1、C2、C3）作為比較樣點。於繁殖季 3 至 5 月，每兩週 1 次，由 2 名調查員分別由調查樣線的兩端對向而行。調查時間為日出前 15 min 至日出後 3hr。每個樣點停留時間為 6min，記錄停留時間內所看到或聽到的鳥種、數量、與調查者間的水平距離。距離分為 <30m，>30m 兩個間距，飛行而過或空中盤旋者亦記為 >30m。各樣區之鳥類密度僅以 30m 內之紀錄進行估算。密度計算公式如下： $D = n \times 10^4 / (\pi r^2 C)$ ，單位為每公頃隻數。其中 n 為特定基礎半徑內記錄的總隻數；r 為特定基礎半徑(m)，本計畫固定為 30m；C 則是調查次數。
- 總鳥種數：對位於樣區中心點 <30m 以內的所有類數進行總計。
- 森林性鳥種比例：為瞭解復育森林生態系的成效，以森林性鳥種數的變化作為監測指標，預期隨著闊葉林的演替成長，因食物或棲地增加，森林性鳥種數與比例也將提高。分析由定點計數法，採 30m 以內紀錄之鳥種所得之鳥種資料，參考翟（1977）對於森林性鳥種之界定以及本計畫歷年之調查經驗，計算該樣區森林性鳥種比例如下：森林性鳥種數/全部鳥種數。
- 保育類雉科相對密度：雉科鳥類是對森林依存性較高的類群，本計畫選用保

育類雉科藍腹鵲(*Lophura swinhoii*)與臺灣山鷓鴣(*Arborophila crudigularis*)的相對密度做為監測指標。採用紅外線自動照相機拍攝之張數，進行OI值(Occurrence Index)計算： $OI = \text{有效隻數} / \text{相機工作時數} \times 1000$ 。

- 鳥類族群結構：主要在 No.4 - No.10 等 7 個試驗樣區內進行，調查時間為繁殖季(3 - 9 月)。繁殖季每月進行 2 次調查，每次調查共架設 18 張霧網(12m x 4 層)，作業時間由天亮至天亮後 6hr；每次平均覆蓋於 7 個試驗樣區。藉由繫放所得資料，計算復育區整體鳥類成幼鳥比例作為繁殖狀況之指標。

4. 外部指標

- 水庫開發程度：依照正射化影像圖，分析水庫開發區中裸露地及草生地的比例，瞭解水庫區開發的進程，及推測對於復育區生物多樣性的可能影響。
- 狩獵壓力：以訪談調查人員及當地居民，詢問其發現狩獵跡象的次數與狀況。藉以瞭解復育區整體及鄰近區域遭受狩獵壓力的程度。以發現狩獵跡象的次數及陷阱樣式，評估其影響的物種及範圍，以及對當地野生動物多樣性造成的影響。
- 劇烈天候次數：至中央氣象局颱風資料庫搜尋當年颱風個數及陸上颱風警報發布個數。

四、結果與討論

(一) 植群調查

草本植物永久樣區

維管束植物組成方面，本季(2012年4月)植物永久樣區喬木調查共記錄有維管束植物 25 科 60 種，其中物種數最多的科為大戟科 14 種，其次依序為桑科 6 種、樟科 4 種、紫金牛科 4 種、馬鞭草科 3 種等。

伐竹開闢環境為 1、6 及 7 號樣區，其中 1 及 7 號樣區地處陽光充足的中上坡，次級層及灌木層皆為大量的蘆草成為調查樣區內的優勢植被。6 號樣區位於溪谷的中坡，地被多為生長旺盛且快速的大花咸豐草(*Bidens pilosa* var. *radiata*)、觀音座蓮(*Angiopteris lyodiigolia*)、密毛毛蕨(*Cyclosorus parasiticus*)、大葉鴨跖草(*Commelina paludosa*)、龍船花及小花蔓澤蘭等所覆蓋。其中，大花咸豐草、小花蔓澤蘭在這 3 樣區大量生長攀爬於苗木之上，常完全遮蔽苗木樹冠，甚至使苗木枯折。

麻竹與闊葉林混生的 3、4、9 及 10 號樣區，涵蓋乾燥稜線、上坡、中坡，及近溪谷的潮濕環境。中國穿鞘花、觀音座蓮、廣葉鋸齒雙蓋蕨、密毛毛蕨、熱帶鱗蓋蕨(*Diplazium dilatatum*)及三葉五加(*Eleutherococcus trifolius*)為主要優勢地被，此四區常有大量大花咸豐草、小花蔓澤蘭攀附林木上。

闊葉林環境為 5 及 8 號樣區，屬潮濕的中下坡闊葉林環境，灌層也出現較多其他樣區較少或沒有出現之物種，如：燈稱花(*Ilex asprella*)、樹杞(*Ardisia sieboldii*)及米碎柃木(*Eurya chinensis*)。地被以觀音座蓮最為常見，其他覆蓋度較為優勢之種類為中國穿鞘花、密毛毛蕨、大線蕨及姑婆芋等植物。

(二) 主動更新試驗

麻竹對苗木影響

900 株試驗苗木樹苗，截至本年度 10 月為止，共計 601 棵試驗苗木存活，存活率 67%。前 3 種存活率最高的苗木，分別為軟毛柿(92%)、刺杜密(88%)及無患子(85%)。各樣區樹種存活率，仍以麻竹樣區最高(81%)，伐竹樣區及闊葉林樣區則略降低，介於 65 - 70%之間(表 4)。伐竹樣區存活率最高為無患子及刺杜密(皆為 90%)，菲律賓饅頭果及杜英之存活率則低於 50%；麻竹林中存活率在 95%以上者為菲律賓饅頭果及軟毛柿，而水同木雖存活率偏低但仍維持在 60%以上；闊葉林樣區之軟毛柿仍維持最高存活率(100%)，水同木、香楠及菲律賓饅頭果則普遍偏低(皆在 50%以下)。

樣區間年總平均地徑增加量最高為伐竹樣區(0.274cm)，其次為麻竹林樣區(0.139cm)與闊葉林樣區(0.074cm)。8 種苗木之年平均地徑增加量以無患子及稜果榕最高，而水同木及菲律賓饅頭果增長幅度有限(表 5)。各處理環境中又以香楠、無患子及軟毛柿在伐竹樣區增長較顯著(香楠：one-way ANOVA $F=11.5$, $p<0.001$ ；無患子：one-way ANOVA $F=8.0$, $p<0.01$ ；軟毛柿：one-way ANOVA $F=3.3$, $p<0.05$)；稜果榕則在麻竹樣區有較顯著的生長量(稜果榕：one-way ANOVA $F=3.6$, $p<0.05$)；而 8 種苗木在次生林生長量皆偏低。本年度由地徑晉級為胸徑之苗木(表 6)，以水同木及稜果榕之平均胸徑增加量最高(皆為 2.2cm)，最小為軟毛柿及菲律賓饅頭果(皆為 1.1cm)；3 種處理樣區中，以次生林的苗木晉級地徑最緩慢，截至今年僅 1 株菲律賓饅頭果達測量胸徑標準(表 7)。而各樹種之平均增加高度(表 8)及平均冠幅增加量(表 9)最高與最低，皆分別為水同木與軟毛柿；其中水同木、軟毛柿及無患子在伐竹樣區之高度(one-way ANOVA 水同木： $F=18.1$, $p<0.001$ ；軟毛柿： $F=9.6$, $p<0.001$ ；無患子： $F=17.7$, $p<0.001$)與冠幅(one-way ANOVA 水同木： $F=5.5$, $p<0.01$ ；軟

毛柿： $F=7.2$ ， $p<0.01$ ；無患子： $F=4.2$ ， $p<0.05$ ）生長變化較另兩種處理樣區明顯。麻竹樣區內的苗木生長量不若伐竹樣區顯著，但水同木的增長仍高於其他 7 種苗木（高度 111.9cm；冠幅 2.3 m²）。次生林樣區 8 種苗木之樹高與冠幅之增長量，則明顯低於另外兩種環境，其中杜英、刺杜密、菲律賓饅頭果及稜果榕因環境鬱閉，處在無法取得光照及生長空間資源的劣勢下，苗木凋萎、枯折情形普遍，以致樹高與冠幅出現負測量值。

選植的 8 種樹種中，伐竹樣區種植的水同木及無患子有較佳的高生長，稜果榕則有較佳的冠幅及地徑生長表現；水同木、稜果榕在開闊環境能快速生長，無患子則稚樹階段較為緩慢，但經過撫育之後能穩定且快速生長，3 種苗木如今成為伐竹開闊地上層或中層樹種。竹闊葉混合林的稚樹，上半年因有許多枯倒麻竹產生局部樹冠孔隙增加光照，使水同木及菲律賓饅頭果倖存之苗木，胸徑、樹高與冠幅增長量優於其他樹種，逐漸成為樹冠中、上層物種，然老化枯倒的竹木常使週遭苗木收凌壓，也因孔隙增加使雜草、藤蔓進駐，大量覆蓋纏繞使苗木矮小而脆弱易斷。軟毛柿、刺杜密及無患子在環境鬱閉的次生林，存活率在本季略降但仍維持八成以上，然歷經 4 年仍全數停留在底層樹種階段，而原本在鬱閉林下存活率低且生長狀況不佳的水同木，藉由冠幅成長優勢，逐漸成為中層樹種。軟毛柿、刺杜密及無患子，儘管 4 年來地徑及高生長普遍偏低，但在 8 種苗木中存活率能在雜草、藤蔓叢生的開闊地維持八成以上，於鬱閉環境中亦能維持在八到九成，顯示此 3 種植物對逆境耐受度頗佳，可成為底層及中層補充頂層樹種的儲備更新用植栽。

（三）演替推估與復育指標

主動更新試驗樣區指標監測

本年度(2012)持續指標監測調查，比較伐竹樣區($n=3$)與非伐竹樣區($n=5$)的差異。此外，於喬木層植物相關指標中，納入斗六丘陵廢棄麻竹林的植群調查做為對照，依干擾程度分為耕作竹林組($n=11$)、廢棄竹林組($n=24$)及次生林組($n=15$)。鳥類多樣性指標中納入周邊耕作竹林做為對照樣區($n=3$)。文中數值皆以平均±標準誤(SE)表示。分析過程中發現，試驗處理間如使用 Two-way ANOVA 統計檢定皆無顯著差異，可能是受到樣本數過少、試驗範圍過小、樣區距離過近、樣區演替發展時間過短的影響。但如僅檢視某些特定年份可顯示出統計差異，短期監測則以地景覆蓋度、外來種植物覆蓋度、喬木層密度、喬木層種類數、鳥類密度等指標較能看出試驗樣區處理後的生態變動。本年度並就執行經驗，討論各指標的優缺點。各指標成果說明如下：

1. 植物指標

(1) **竹林覆蓋度與闊葉林覆蓋度**：航照圖於 2011 年底拍攝，本年度(2012)進行分析。伐竹樣區的竹林覆蓋度從 2008 年平均 $52\pm 5\%$ 下降至平均 $34\pm 6\%$ ，達到每樣區降低 20% 竹林覆蓋度的預期成效；非伐竹樣區竹林覆蓋度由平均 $40\pm 4\%$ 緩慢上升至 $51\pm 5\%$ (圖 6a)。闊葉林覆蓋度部分，伐竹樣區由 2008 年平均 $28\pm 5\%$ 提升至 2012 年平均 $49\pm 12\%$ ；非伐竹樣區歷年則維持 40% 左右 (圖 6b)。竹林的消長短期內即可見到地景改變，若不伐除竹林，則數年內其擴張趨勢反而有增無減，並不會自然下降。覆蓋度指標之計算仰賴航照圖及地理資訊軟體，建議在經費與人力穩定且充足的前提下，將地景覆蓋度的指標列為優先選擇。

(2) **喬木層種類與密度**：伐竹樣區喬木層種類數從 2008 年 14 ± 4 種，在 2011 年達到高峰 22 ± 4 種，2012 年略微下降到 19 ± 4 種；非伐竹樣區種類數從 17 ± 2 種緩慢下降到 14 ± 1 種 (圖 7a)。對照組中耕作竹林組 7 ± 1 種明顯少於廢棄竹林組 13 ± 1 種 (one-way ANOVA, $F=4.73$, $P<0.5$; Tukey's Multiple Comparison Test, $q=4.25$, $p<0.5$) (圖 7b)，次生林組則是 12 ± 1 種，且有許多當地少見的種類出現。可見伐竹處理後，喬木層種類數會快速提升，但後續因演替競爭使種類數緩慢下降，目前處在擾動後的過渡期。非伐竹處理樣區，喬木層種類數也隨著演替競爭緩慢下降，種類數已似廢棄竹林及次生林。種類數僅能推估演替階段，無法顯示物種組成，並非數值越高越好。

伐竹樣區喬木層密度從 2008 年 449 ± 132 棵/ha 上升至 2012 年 2487 ± 271 棵/ha；非伐竹樣區種類數從 707 ± 151 棵/ha，上升到 1868 ± 97 棵/ha，兩種處理的樣區平均有 500 棵/ha 的差異 (圖 7c)。對照組中，耕作竹林組為 1022 ± 214 棵/ha，明顯低於廢棄竹林組 2463 ± 292 棵/ha 及次生林組 2680 ± 335 棵/ha (one-way ANOVA, $F=6.33$, $P<0.01$; Tukey's Multiple Comparison Test, $q=4.41$, 4.66 , $p<0.01$) (圖 7d)。伐竹樣區的平均密度已經類似於廢棄竹林及次生林，非伐竹樣區因有廢棄竹林佔據原生苗木生長空間，密度上升速度較慢。密度容易調查，是少數可短期內見到試驗處理成效的指標，建議優先選擇。

(3) **喬木層多樣性指數與演替分數**：伐竹樣區的喬木層生物多樣性指數從 2008 年 1.5 ± 0.3 上升至 2012 年 2.2 ± 0.3 ；非伐竹樣區種類數從 2.0 ± 0.1 上升至 2.4 ± 0.1 ，以伐竹樣區上升幅度較大，但差異不明顯 (圖 8a)。伐竹樣區喬木層演替分數 2012 年為 6.4 ± 1.7 ，非伐竹樣區 2012 年為 8.6 ± 0.7 ，約為演替早期與中期，歷年上升幅度不大 (圖 8b)。可能是伐竹樣區多為陽性植物，需多年後冠層鬱閉，才會逐漸被陰性植物取代，因此短期內演替分數不會有太大變化。此兩項指標之監測，需由植群專長人員進行調查與分析，因過程耗時故建議於長期充足的人力與經費狀

態下進行。

(4) 小花蔓澤蘭與大花咸豐草覆蓋度：小花蔓澤蘭覆蓋度在試驗處理之間沒有差異，平均維持在 10% 以下（圖 9a）。控制組的耕作竹林、廢棄竹林及次生林的覆蓋度平均也都在 10% 以下（圖 9b）。大花咸豐草在伐竹樣區中覆蓋度達到 $17 \pm 8\%$ ，比起非伐竹樣區 $2 \pm 1\%$ 高（圖 9c），也比耕作竹林、廢棄竹林及次生林等控制組平均覆蓋度在 1% 以下高出許多（圖 9d），顯示外來種草本已大量入侵開闢地。建議在伐竹處理後加以撫育當地林木，藉除草長期控管大花咸豐草之增長，避免其佔據苗木或林木的生長空間。外來種植物指標因種類辨認容易、方法簡單，可即時反應管理成效，適合優先選用並長期執行。

2. 昆蟲與鳥類指標

(1) 昆蟲生物量與蛾類成蟲生物量、數量與種類：昆蟲生物量 2012 年伐竹樣區平均為 $9.8 \pm 1.3\text{g}$ ，非伐竹樣區為 $6.5 \pm 1.1\text{g}$ ，伐竹樣區的昆蟲生物量略多於非伐竹樣區（圖 10a）。蛾類生物量、種類在樣區間的變異大，使得兩處理間沒有明顯差異（圖 10b、圖 10c）。蛾類種類也有相同狀況，2012 年伐竹樣區平均為 18 ± 3 種，非伐竹樣區為 23 ± 3 種，雖然非伐竹處理環境的蛾類種類略多，但差異不大（圖 10d）。蛾類指標需仰賴專業人員與器材進行種類鑑定與分析，維持長期監測較困難。此外，蛾類生態背景資料較為缺乏，又受天候影響使族群波動較大，因此在本計畫的操作尺度中並非建議選用的指標。

(2) 鳥類密度與種類數：鳥類密度隨年份劇烈波動，伐竹樣區的鳥類密度歷年平均在 15 - 40 隻/ha 間，非伐竹樣區平均在 15 - 48 隻/ha 間，耕作竹林控制組的平均僅在 8 - 31 隻/ha 之間，於 2008 年明顯低於試驗樣區（圖 11a）。伐竹樣區鳥種數歷年平均 11 - 22 種，非伐竹樣區平均 14 - 22 種，僅有 2009 年因伐竹操作使伐竹樣區鳥種低於非伐竹樣區，耕作竹林控制組的平均則在 9 - 16 隻/ha 之間（圖 11b）。注意不是每個年份都有明顯差異，例如森林性鳥種數及森林性鳥種比例在各組間就沒有差異（圖 11c、圖 11d），因此在棲地結構差異不大的情況下較不推薦使用。另在多項鳥類相關指標中，某些年份的鳥類密度與竹林覆蓋度呈顯著負相關，並與闊葉林覆蓋度呈顯著正相關（表 10），顯示鳥類密度與地景間相關性較強，有必要長期監測，建議大尺度的棲地改善範圍，以鳥類密度與種類作為監測指標。

(3) 保育類雉科相對密度、鳥類族群結構：2011 - 2012 年，藍腹鷓出現機率維持穩定，OI 值在 0.8 - 0.9 之間（圖 12a）。2012 年臺灣山鷓鴣在樣區中沒有被拍攝到，在鳥類定點調查中僅有 1 次在 No.4 樣區聽到遠方的臺灣山鷓鴣鳴叫，應

持續監測，判斷是否為機率影響，或是已於樣區中絕跡。鳥類族群結構則呈波動變化，可能受天候影響較大，近兩年的數值尚稱穩定（圖 12b、圖 12c）。

3. 外部指標

(1) 狩獵壓力：2009 年庫區內有 6 筆通報，含槍聲與獸夾；2010 年庫區內有 1 起槍響聲通報；2011 年發現數個鐵線索套，經通報後，中水局已加標示與宣導。2012 年狩獵通報減少，但試驗區中的永久樣區圍繩多次遭蓄意破壞。此外，發現有民眾前往復育區內採集植物，欲做為中藥販賣，建議加強禁止採集植物的宣導。整體而言，中水局巡山員及社區巡守隊互相配合，已使庫區內狩獵壓力減輕。然而因山豬、白鼻心、食蛇龜市場價格良好，盜獵者頻繁於庫區外圍捕獵，嚴重威脅於交界處活動之野生動物族群。但礙於取締與執法困難、執法人力不足及經濟力量支持，使得庫區外圍的狩獵壓力不易降低。

(2) 水庫開發程度及劇烈天候次數：2007 年庫區裸露地只佔 8.12%，但是 2008 年裸露地或短草地所佔面積已達 31.01%，2011 年則已高達 44.51%，在未來淹沒區面積共有 235ha，使 2014 年水庫完工後，裸露地及水域面積百分比會達到 54% 以上（圖 13a）。颱風生成次數歷年變動不大（圖 13b）。

五、結論與建議

1. 8種試驗苗木在不同試驗區的存活率、生長量結果顯示，能快速增加地徑或高生長的樹種，較能與開闊地的雜草與灌木藤蔓競爭；生長緩慢卻能耐遮蔭與病害的樹種，則適合種植鬱閉的復育基地，或作為補充頂層樹種的儲備植栽。開闊或遮蔽環境中，各有存活率高而生長快慢各異的適合樹種，因此在規劃棲地復育時，可依照環境條件及其他考量，選擇適合復育基地之樹種。
2. 原生苗木及栽植苗木，在初期除需要與當地藤蔓、雜草競爭，後期則因樹冠逐漸成長，彼此之間產生資源競爭。建議苗木栽植的3年內，進行除蔓及除草撫育，確保存活率。而在苗木栽植3年後，存活良好者枝葉逐漸擴展，並加入當地資源競爭行列，未來出現自我疏伐情況亦屬自然現象，往後不建議進行疏伐管理，且存活率不宜作唯一評估成效指標，應再加入生長量加以檢視。
3. 生態監測指標以地景覆蓋度、外來種植物覆蓋度、喬木層密度、喬木層種類數、鳥類密度等較易執行，並在短期內看出試驗樣區的生態變動趨勢。狩獵指標則能追蹤當地遭受狩獵壓力的情形。其他雖然指標沒有明確結果，

但仍有其重要的層次與意義，可能是需要有更大範圍處理以及長期監測才能看出趨勢。建議選擇監測指標時，應就棲地改善目的及現有資源人力進行調整。

六、參考文獻

- 中華民國野鳥學會。2001。臺灣重要野鳥棲地手冊。中華民國野鳥學會。
- 呂錦明、陳春雄、吳國伍。1997。竹類種子苗造林試驗—麻竹。臺灣林業科學 12: 269 - 278。
- 林務局。2008。公告「雲林湖本八色鳥野生動物重要棲息環境」之類別及範圍。
- 林朝榮、周瑞燉。1974。臺灣地質。臺灣省文獻委員會編印。
- 楊迪嵐。2008。斗六丘陵植群生態之研究。國立中興大學森林系研究所碩士論文。臺中。
- 張玉珍、范義彬。1989。臺灣樹木重要害蟲調查。林試所林業叢刊 32: 45。
- 經濟部水利署中區水資源局。2005。湖山水庫工程計畫生態保育措施。經濟部水利署中區水資源局。
- 陳鳳華。2007。八卦山臺地植群分類與製圖。國立中興大學生命科學系碩士論文。臺中。
- 劉崇瑞、蘇鴻傑。2000。森林植物生態學。臺灣商務印書館。臺北。
- 劉靜榆。2003。臺灣中西部氣候區森林植群分類系統之研究。國立臺灣大學森林學研究所博士論文。臺北。
- 翟鵬。1977。臺灣鳥類生態區隔的研究。東海大學碩士論文。臺中。
- Cairns, J. Jr. 1990. The prediction, validation, monitoring and mitigation of anthropogenic effects on natural systems. Environmental Auditor 2: 19-25.
- Clewell, A., J. Aronson, and K. Winterhalder. 2004. The SER International primer on ecological restoration. Society for Ecological Restoration International, Tucson, Arizona, USA.
- Chou, C.H. and M.H. Hou. 1981. Allelopathic research in subtropical vegetation in Taiwan. I. Evaluation of allelopathic potential of bamboo vegetation. Proceedings of the National Science Council. 5: 284-292.

- Dale, V. H., and S. C. Beyeler. 2001. Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecological Indicators* 1: 3-10.
- Editorial Committee of the Flora of Taiwan 2nd. Ed. 2003. *Flora of Taiwan*, Vol. 6. Taiwan, Republic of China: Department of Botany, National Taiwan University, Taipei.
- Griscom, B. W. and P. M. S. Ashton. 2003. Bamboo control of forest succession: *Guadua sarcocarpa* in Southeastern Peru. *Forest Ecology and Management* 175: 445-454.
- Griscom, B. W., D. C. Daly, and M. S. Ashton. 2007. Floristics of bamboo-dominated stands in lowland terra-firma forests of southwestern Amazonia. *Journal of the Torrey Botanical Society* 134: 108-125.
- Henry, C. P., and C. Amoros. 1995. Restoration ecology of riverine wetlands: I. A scientific base. *Environmental Management* 19: 891-902.
- Jackson L.E., J. Kurtz, and W.S. Fisher. 2000. Evaluation guidelines for ecological indicators. US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Research Triangle Park, North Carolina, USA.
- Janzen, D. H. 1988. Tropical ecological and biocultural restoration. *Science* 239: 243-244.
- Lawton, J. H., D. E. Bignell, B. Bolton, G. F. Bloemers, P. Eggleton, P. M. Hammond, M. Hodda, R. D. Holt, D. S. Srivastava, and A. D. Watt. 1998. Biodiversity inventories, indicator taxa and effects of habitat modification in tropical forest. *Nature* 391: 72-76.
- Marquis, R. J., and C. J. Whelan. 1994. Insectivorous birds increase growth of white oak through consumption of leaf-chewing insects. *Ecology* 75: 2007-2014.
- Nelson, S. 2008. Sooty mold. *Plant disease* 52: 1-3.
- Peres, C. A. 2000. Effects of subsistence hunting on vertebrate community structure in Amazonian forest. *Conservation Biology* 14: 240-253.
- Peres, C. A. 2001. Synergistic effects of subsistence hunting and habitat fragmentation on Amazonian forest vertebrates. *Conservation Biology* 15: 1490-1505.

- Petrere, M. Jr., L. C. Giordano, and P. De Marco, Jr.. 2004 Empirical diversity indices applied to forest communities in different succession stages. *Brazilian journal of biology* 64: 841-851.
- Rapport, D. J., R. Costanza, and A. J. McMichael. 1998. Assessing ecosystem health. *Trends in Ecology and Evolution* 13: 397-402.
- Su, H. J. 1984. Studies on the climate and vegetation types of the natural forests in Taiwan (II): Altitudinal vegetation zones in relation to temperature gradient. *Quarterly Journal of Chinese Forestry* 17(4): 57-73.
- ten Kate, K., J. Bishop, and R. Bayon. 2004. Biodiversity offsets: Views, experience, and the business case. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK and Insight Investment, London, UK.
- Vallauri, D. R., J. Aronson, and M. Barbero. 2002. An analysis of forest restoration 120 years after reforestation on badlands in the Southwestern Alps. *Restoration Ecology* 10: 16-26.

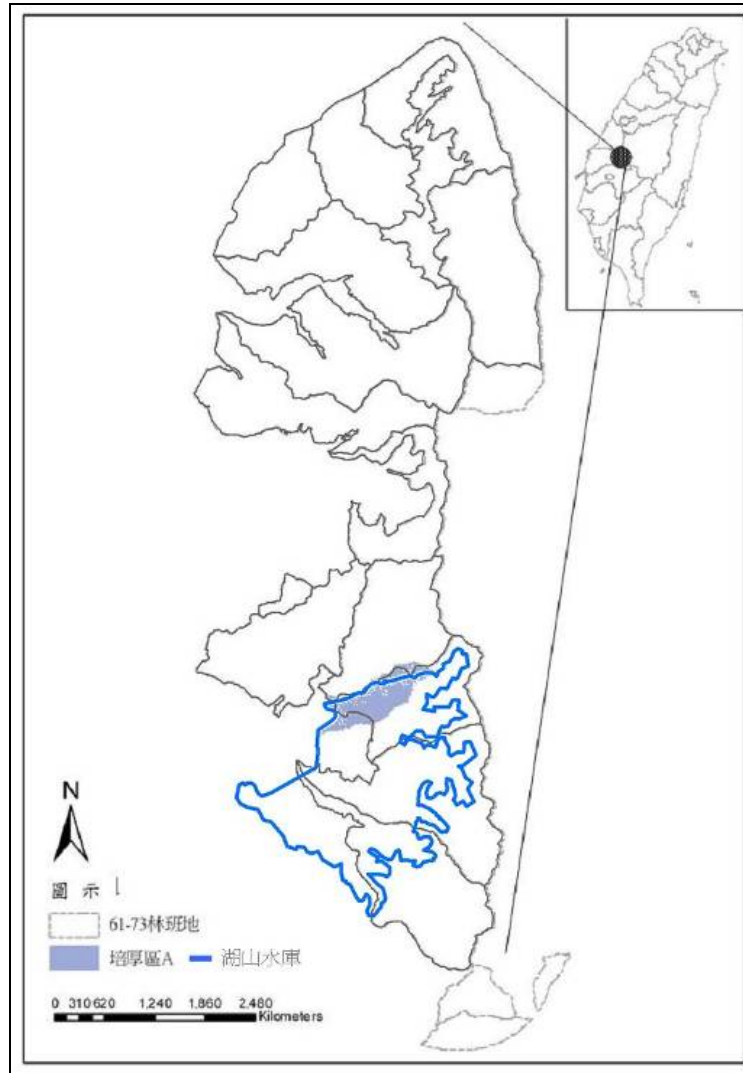


圖 1. 湖山水庫及鄰近地區棲地復育及改善方法試驗之研究範圍，「培厚區 A」為「自然生態保留與復育區」之舊稱。

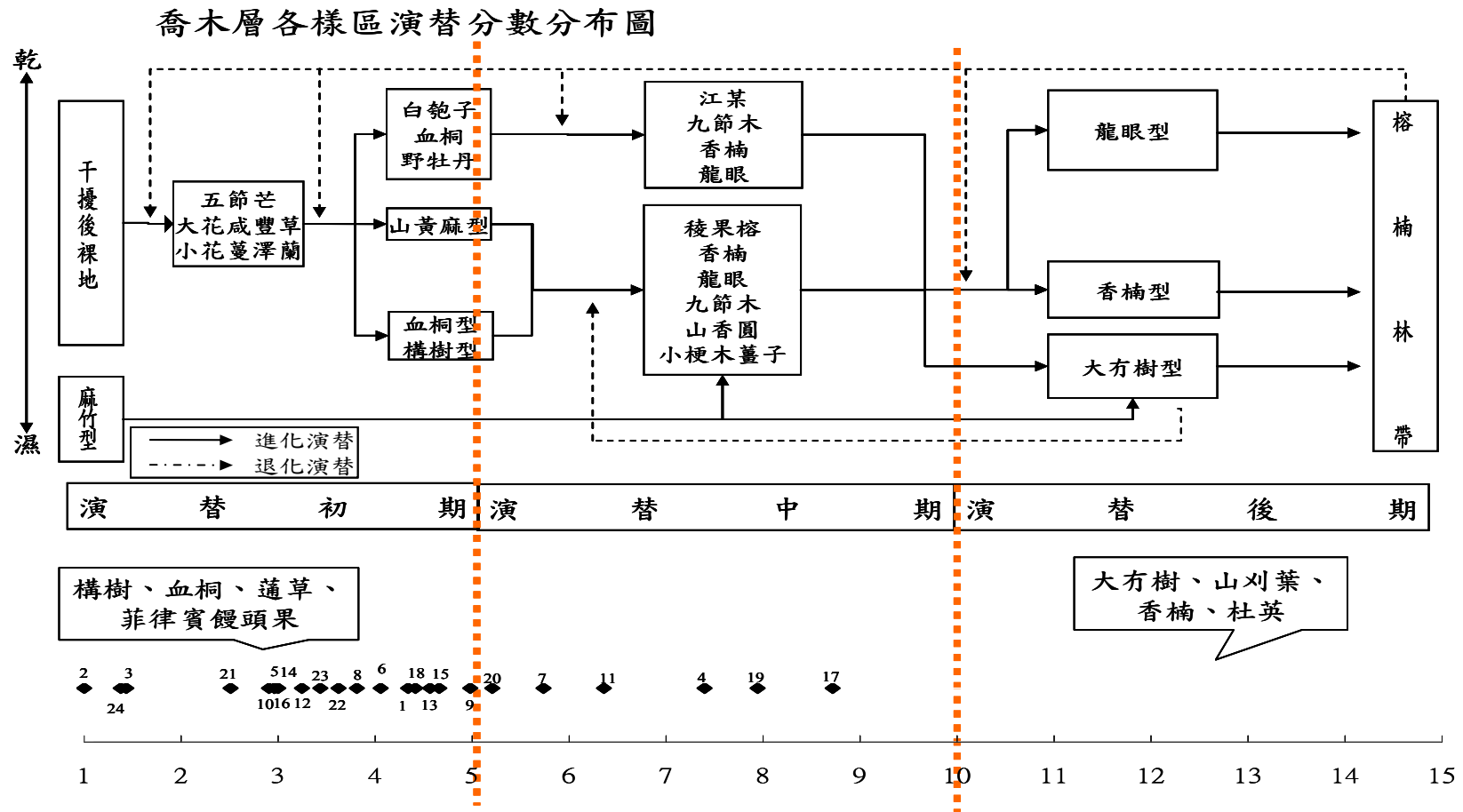


圖 2. 斗六丘陵喬木層演替推估圖及演替現況。下方橫軸為演替分數(1 - 15 分)，分數越高表示演替越接近後期，上方的黑點為 2009 年復育區中植物永久樣區所在之演替階段。

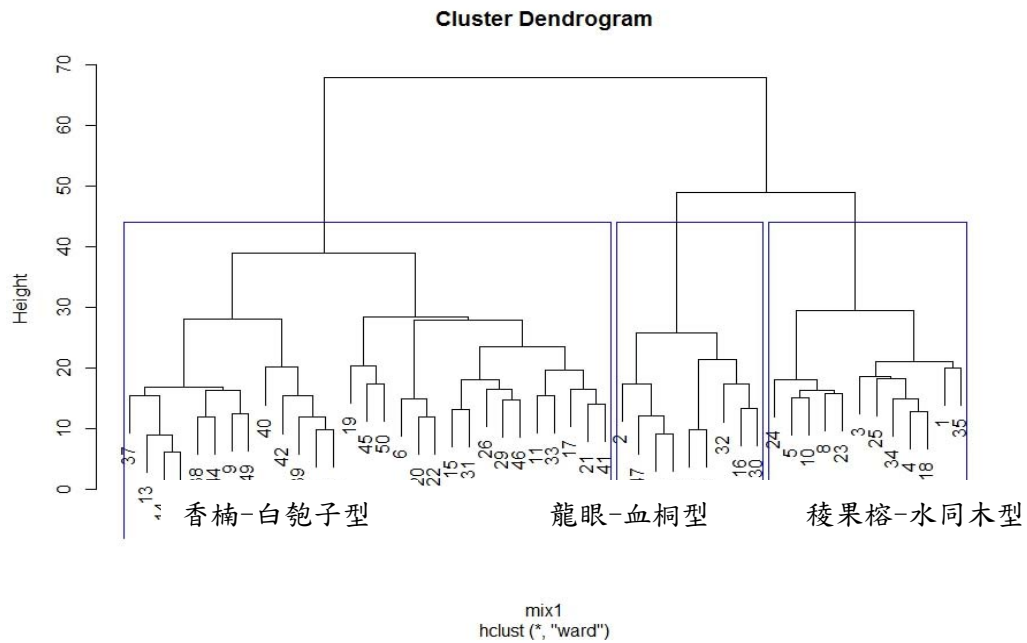


圖 3. 斗六丘陵廢棄麻竹林(n=35)及次生林(n=15)整合之植群群團分析樹狀圖。

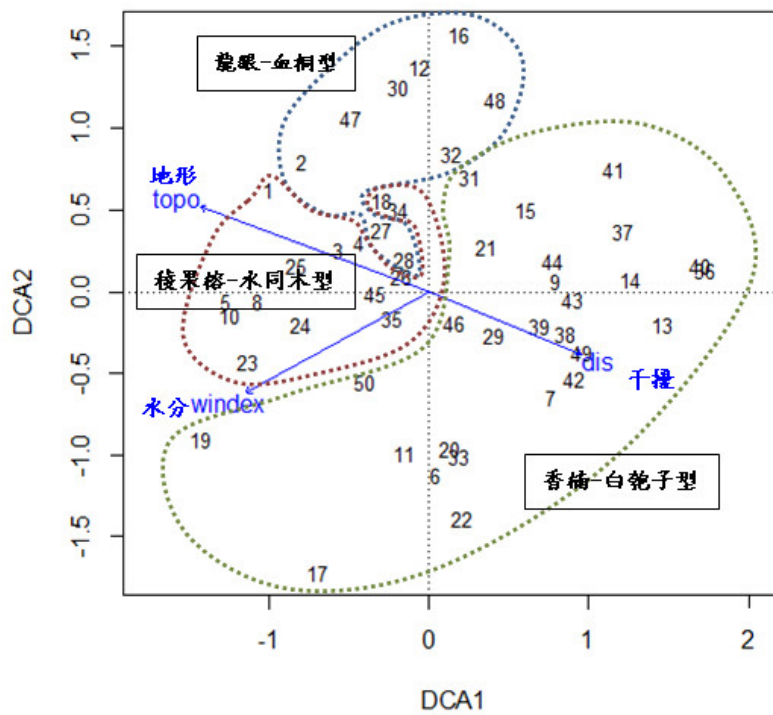


圖 4. 斗六丘陵廢棄麻竹林(n=35)及次生林(n=15)樣區整合，與環境因子變異在 DCA 序列軸上之分布



圖5. 湖山水庫自然生態保留與復育區中8個1ha試驗樣區之分布圖。No.1 - No.10為該試驗樣區編號；各種操作處理代號的意義為B-降低麻竹密度，及B0不處理麻竹；T+種樹、T0不種樹。底圖為2009年庫區航照圖。

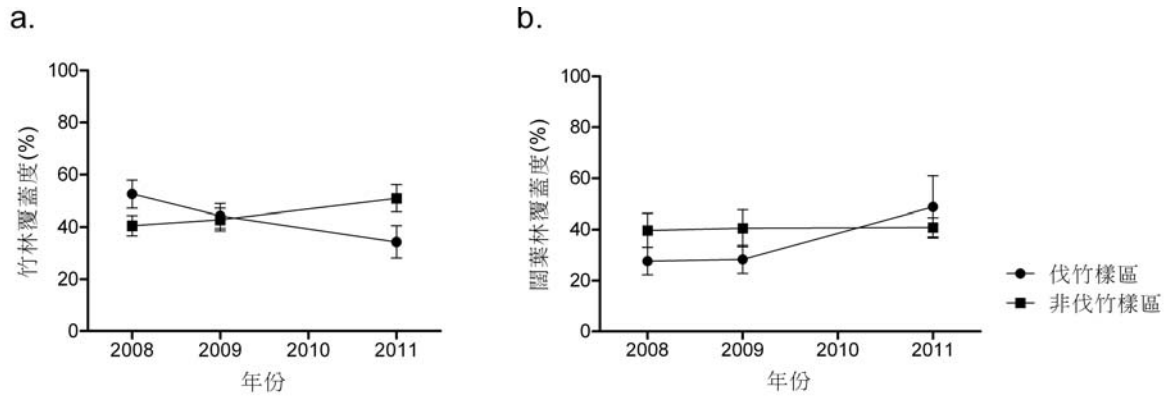


圖 7. 2008 - 2011 年伐竹樣區與非伐竹樣區的地景指標之變化：a.闊葉林平均覆蓋度 (%)；b.竹林平均覆蓋度(%)

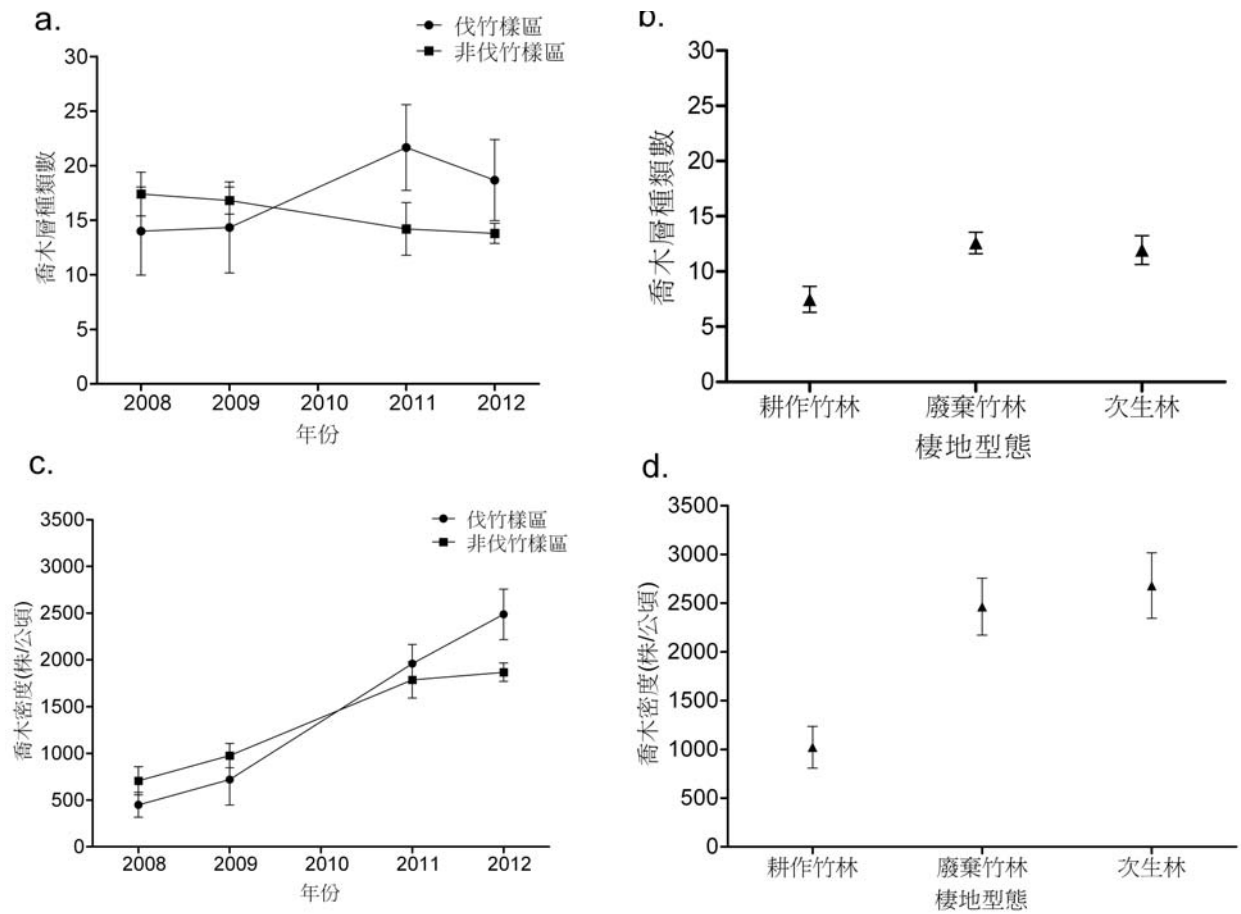


圖 8. 2008 - 2012 年試驗樣區(伐竹樣區與非伐竹樣區)及對照組(耕作竹林、廢棄竹林、次生林)的喬木層結構：a. 試驗樣區種類數；b. 對照組種類數；c. 試驗樣區密度(株/公頃)。；d.對照組密度(株/公頃)。

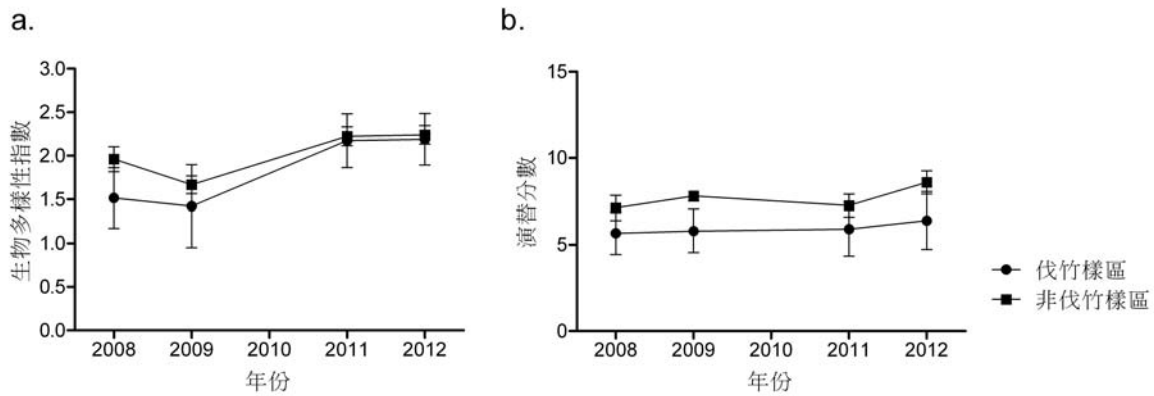


圖 9. 2008 - 2012 年伐竹樣區與非伐竹樣區的多樣性指數及演替分數：a. 多樣性指數；b. 演替分數。

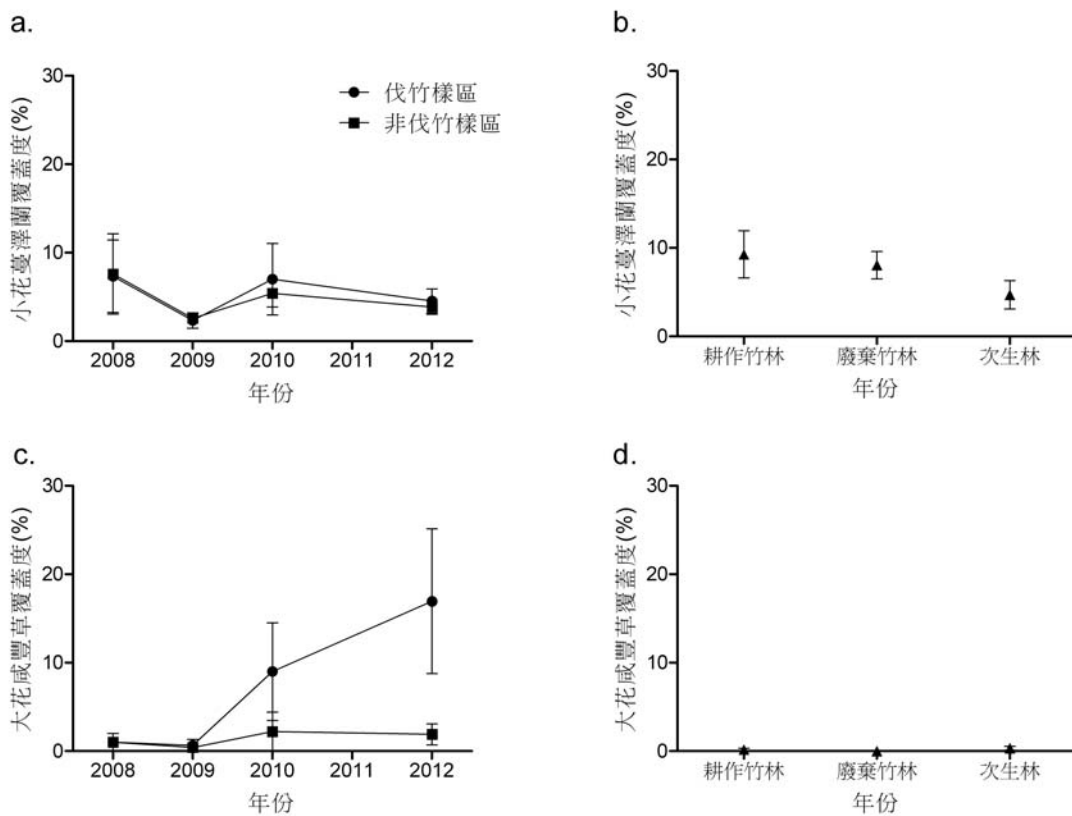


圖 10. 2008 - 2012 年試驗樣區(伐竹樣區與非伐竹樣區)及對照組(耕作竹林、廢棄竹林、次生林)的外來種植物覆蓋度：a. 試驗樣區小花蔓澤蘭覆蓋度(%)；b. 對照組小花蔓澤蘭覆蓋度(%)；c. 試驗樣區大花咸豐草覆蓋度 v。；d. 對照組大花咸豐草覆蓋度(%)。

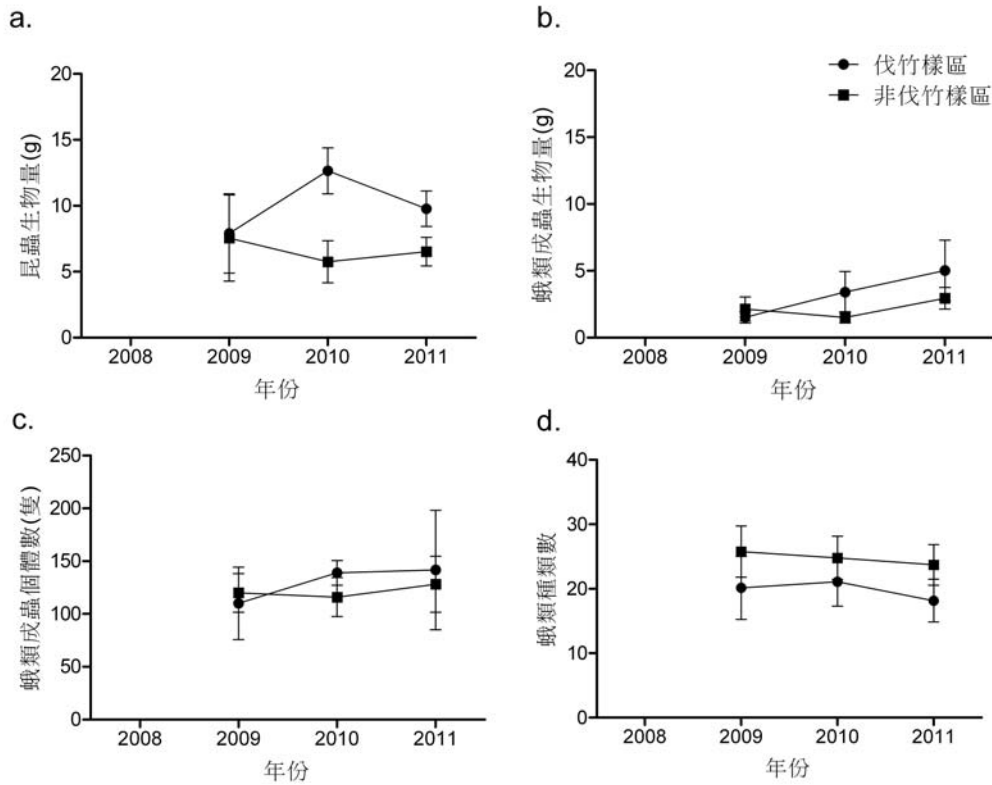


圖 11. 2008 - 2011 年伐竹樣區與非伐竹樣區的昆蟲及蛾類指標變化：a. 昆蟲生物量 (g)；b. 蛾類成蟲生物量(g)；c. 蛾類成蟲數量(隻)；d. 蛾類種類數。

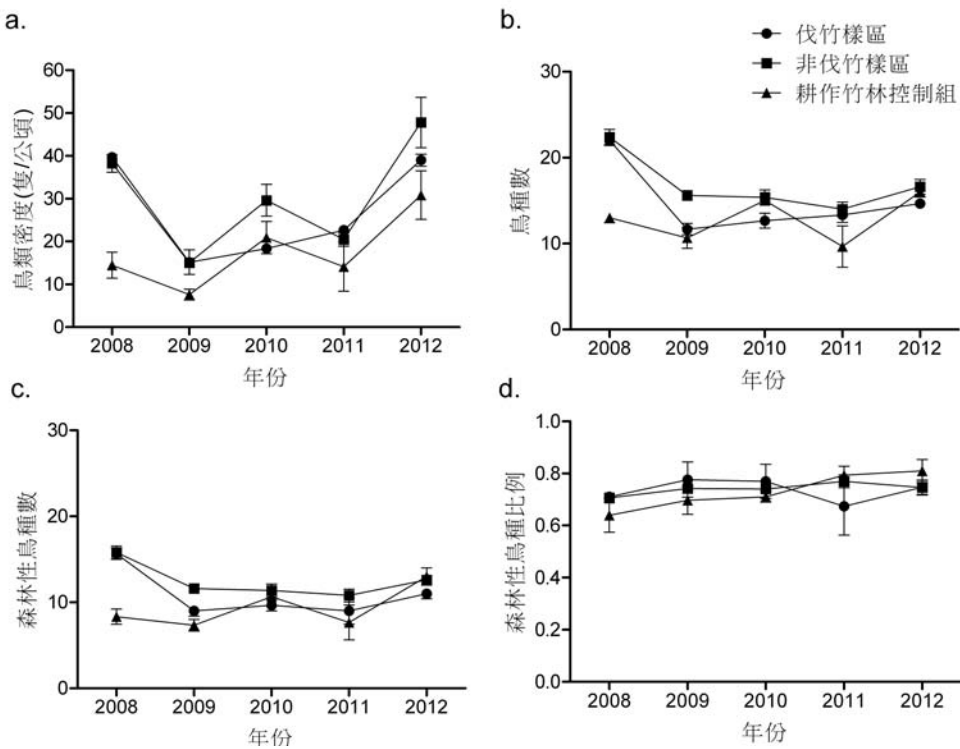


圖 12. 2008 - 2012 年伐竹樣區與非伐竹樣區以及耕作竹林控制組的鳥類指標變化：a. 鳥類密度(隻/ha)；b. 鳥種數；c. 森林性鳥種數；d. 森林性鳥種比例。

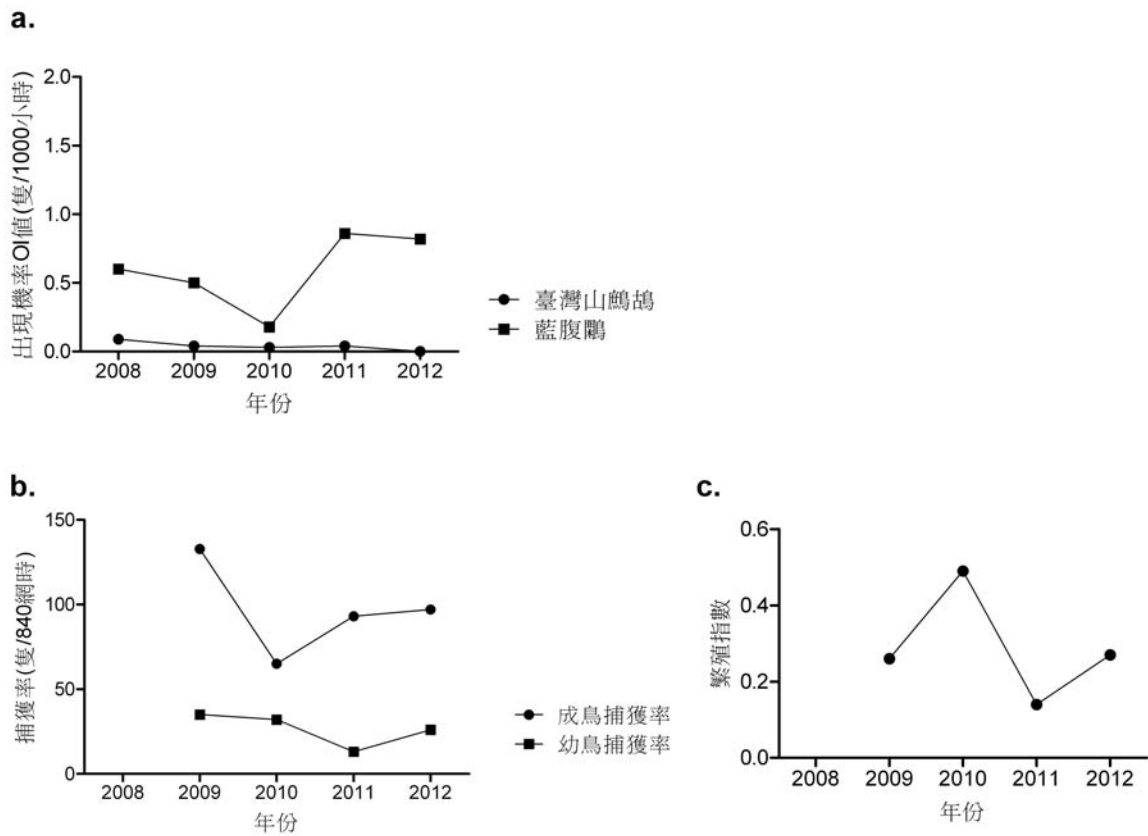


圖 13. 2008 - 2012 年伐竹樣區與非伐竹樣區：a. 保育類鷓鴣科鳥類出現機率(隻/1000hr)；b. 成鳥及幼鳥捕獲率(隻/840 網時)；c. 繁殖指數。

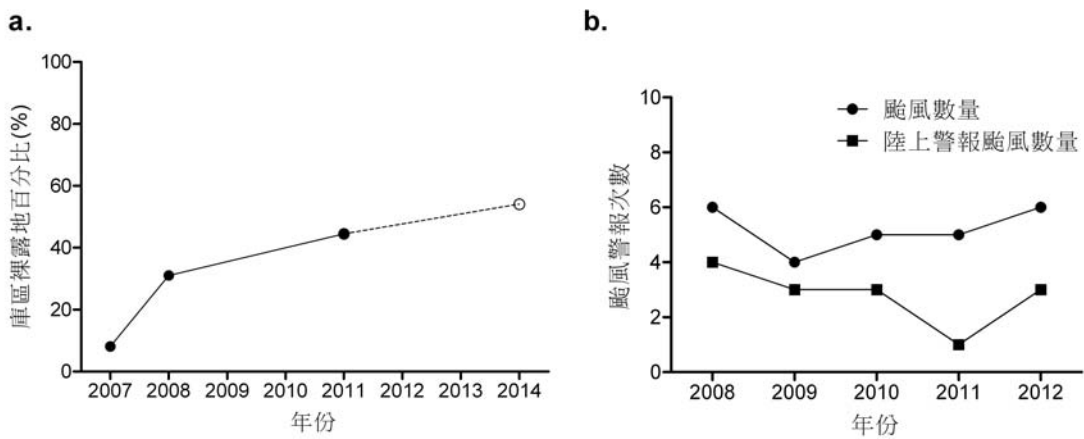


圖 14. 外部指標：a. 2008 - 2011 年庫區裸露地百分比(%)以及 2014 年淹沒後裸露地/水域百分比

表 1. 適合種植於 3 種不同試驗環境之苗木

植物名稱	伐竹環境	麻竹林環境	次生林環境
香楠	◎	◎	
杜英	◎	●	●
菲律賓饅頭果	◎	●	
稜果榕	●	◎	
水同木	●	●	
無患子	◎		◎
軟毛柿		◎	●
刺杜密			◎

- ：最適合當地環境的苗木
 ◎：次級適合當地環境的苗木

表 2. 2012 年棲地復育試驗研究之 20 項監測指標列表，及各監測指標在生態系中的意義內涵和監測的層次

類別	指標名稱	監測層次		
		棲地結構	物種多樣性	生態系功能
植物	麻竹覆蓋度	V		
	闊葉林覆蓋度	V		
	喬木層種類數		V	
	喬木層密度	V		
	喬木層植物多樣性指數		V	
	喬木層演替分數	V		
	小花蔓澤蘭覆蓋度	V		V
	大花咸豐草覆蓋度	V		V
昆蟲	昆蟲生物量			V
	蛾類成蟲生物量			V
	蛾類成蟲數量		V	
	蛾類成蟲種類數		V	
鳥類	鳥類族群密度			V
	總鳥種數		V	
	森林性鳥種比例		V	
	保育類雉科相對密度		V	
	鳥類族群結構			V
外部	水庫開發程度	V		
	狩獵壓力		V	
	劇烈天候次數	V		

表 3. 2009 年及 2010 年栽植試驗用苗木共 8 種 900 棵，本計畫將試驗中對這些苗木進行存活率與生長量之調查與分析。

樹種	學名	環境型態與年份						總計
		伐竹環境		麻竹林環境		闊葉林環境		
		2009	2010	2009	2010	2009	2010	
香楠	<i>Machilus zuihoensis</i>	30	30	30	30	30	30	180
杜英	<i>Elaeocarpus sylvestris</i>	30	30	30	30	30	30	180
菲律賓饅頭果	<i>Glochidion philippicum</i>	30		30		30		90
稜果榕	<i>Ficus septica</i>	30	30	30	30	30	30	180
水同木	<i>Ficus fistulosa</i>	30		30		30		90
無患子	<i>Sapindus mukorossii</i>		20		20		20	60
刺杜密	<i>Bridelia balansae</i>		20		20		20	60
軟毛柿	<i>Diospyros eriantha</i>		20		20		20	60

表 4. 麻竹對苗木影響試驗，栽植於不同環境苗木存活率 (n=601, 單位:%)

	水同木	杜英	刺杜密	香楠	軟毛柿	無患子	菲律賓饅頭果	稜果榕	各樣區苗木平均存活率
伐竹樣區	60	45	90	62	80	90	43	63	67
麻竹樣區	63	67	90	78	95	85	97	77	81
次生林區	43	62	85	47	100	80	43	62	65
各樹種平均存活率	56	58	88	62	92	85	61	67	

表 5. 麻竹對苗木影響試驗，試驗苗木於不同環境間地徑生長量，並進行不同環境間 one-way ANOVA 檢測 (n=546,單位: cm)。

	水同木	杜英	刺杜密	香楠	軟毛柿	無患子	菲律賓 饅頭果	稜果榕	各樣區平均 增加地徑
伐竹樣區		0.133	0.180	0.340	0.267	0.460		0.264	0.274
麻竹樣區	0.057	0.236	0.153	-0.053	0.161	0.159	0.114	0.288	0.139
次生林區	0.038	0.092	0.118	0.107	0.080	0.038	0.017	0.103	0.074
各樹種平均增 加地徑	0.048	0.154	0.150	0.131	0.169	0.219	0.065	0.218	
one-way ANOVA	0.016	4.941	0.436	11.511	3.292	7.963	0.522	3.627	
<i>F</i> 值		*		***	*	**		*	

表 6. 麻竹對苗木影響試驗，試驗苗木於不同環境間胸徑生長量，並進行不同環境間 one-way ANOVA 檢測 (n=149,單位: cm)

	水同木	杜英	刺杜密	香楠	軟毛柿	無患子	菲律賓 饅頭果	稜果榕	各樣區平均 增加胸徑
伐竹樣區	1.4	1.5	1.2	1.2		1.3	0.6	1.8	1.3
麻竹樣區	2.2	1.4		1.2			1.4	1.0	1.4
次生林區							1.0		1.0
各樹種平均 增加胸徑	1.8	1.5	1.2	1.2		1.3	1.0	1.4	
one-way ANOVA	2.145	0.009		0.009			3.390	1.529	
<i>F</i> 值									
<i>P</i> 值							*		

表 7. 麻竹對苗木影響試驗，試驗苗木於不同環境間平均胸徑 (n=55,單位: cm)

	水同木	杜英	刺杜密	香楠	軟毛柿	無患子	菲律賓饅頭果	稜果榕	各樣區平均胸徑
伐竹樣區	2.5	1.2	1.4	1.7	1.0	1.4	1.2	1.6	1.5
麻竹樣區	1.9	1.4	1.0	1.3	1.2		1.2	2.7	1.5
次生林區							1.0		1.0
各樹種平均胸徑	2.2	1.3	1.2	1.5	1.1	1.4	1.1	2.2	

表 8. 麻竹對苗木影響試驗，試驗苗木於不同環境間樹高增加量，並進行不同環境間 one-way ANOVA 檢測 (n=601,單位: cm)。

	水同木	杜英	刺杜密	香楠	軟毛柿	無患子	菲律賓饅頭果	稜果榕	各樣區平均增加高度
伐竹樣區	160.6	95.7	75.6	83.6	59.3	123.7	85.8	92.7	97.1
麻竹樣區	111.9	58.5	23.9	50.8	31.8	22.3	85.8	51.0	54.5
闊葉林區	12.2	5.9	-2.5	-11.7	22.5	11.5	55.0	5.0	12.2
各樹種平均增加高度	94.9	53.4	32.3	40.9	37.9	52.5	75.5	49.6	
one-way ANOVA F 值	18.073	12.057	15.551	16.348	9.636	17.689	0.422	17.427	
P 值	***	***	***	***	***	***		***	

表 9. 麻竹對苗木影響試驗，試驗苗木於不同環境間冠幅增加量，並進行不同環境間one-way ANOVA檢測 (n=601,單位: m²)。

	水同木	杜英	刺杜密	香楠	軟毛柿	無患子	菲律賓饅頭果	稜果榕	各樣區平均增加冠幅
伐竹樣區	3.825	1.401	0.551	1.020	0.311	0.515	0.360	2.743	1.341
麻竹樣區	2.349	0.739	0.452	0.487	0.245	0.143	1.737	0.525	0.835
闊葉林區	0.097	0.019	0.083	0.022	0.101	0.030	-0.079	-0.002	0.034
各樹種平均增加冠幅	2.090	0.720	0.362	0.510	0.219	0.229	0.673	1.089	
one-way ANOVA	5.453	7.476	4.920	8.546	7.223	4.171	3.709	15.816	
<i>F</i> 值									
<i>P</i> 值	**	***	**	***	**	*	*	***	

表 10. 湖山地區各項鳥類指標與竹林覆蓋度及闊葉林覆蓋度之間的相關性(n=11)

	年份	鳥類密度 (隻/ha)		鳥種數		森林性 鳥種數		森林性 鳥類比例	
		r	p	r	p	r	p	r	p
竹林覆蓋度	2008	-0.90	***	-0.92	***	-0.88	***	0.31	ns
	2009	-0.83	**	-0.54	ns	-0.65	*	-0.30	ns
	2011	-0.60	0.05	-0.60	0.05	-0.35	ns	0.37	ns
闊葉林覆蓋度	2008	0.59	0.06	0.71	*	0.71	*	-0.01	ns
	2009	0.72	*	0.45	ns	0.53	ns	0.25	ns
	2011	0.56	ns	0.50	ns	0.50	ns	0.07	ns

*: P<0.05 ; **: p<0.01 ; ***: p<0.001 ; ns>0.05

附錄 1. 地被層(<3m)植物演替級分參考

0 分 -百香果、風車草、麻竹、平原菟絲子、木鼈子、刺竹、長穗木、洋落葵、美人蕉、美洲含羞草、馬櫻丹、瑪瑙珠、綠竹

1 分 -一枝香、大花咸豐草、大莞草、大黍、大葉金星蕨、大葉鴨跖草、大頭艾納香、小毛蕨、小花蔓澤蘭、山苦瓜、五節芒、毛西番蓮、火炭母草、加拿大蓬、光果龍葵、印度牛膝、地毯草、竹仔菜、艾納香、兩耳草、虎葛、金腰箭、青牛膽、青芋麻、青菴、青箱、垂果瓜、昭和草、紅腺懸鉤子、香澤蘭、倒地蜈蚣、剛莠竹、粗毛金星蕨、野牡丹、棕葉狗尾草、紫花藿香薊、菁芳草、菜欒藤、菟絲子、象草、酢醬草、碗仔花、落葵、漢氏山葡萄、臺灣何首烏、臺灣葛藤、銳葉牽牛、頭花香苦草、鴨跖草、龍葵、雞屎藤、藿香薊、鷓鴣蔓、升馬唐、多子漿果菴、虱母草、金午時花、長序木通、臭杏、葉下珠、臺灣青芋、臺灣蘆竹、槭葉牽牛、盤龍木

5 分 -三角葉西番蓮、三葉五加、千金藤、土防己、大青、大線蕨、山素英、山菅蘭、天門冬、月桃、木防己、毛玉葉金花、王瓜、冇骨消、全緣卷柏、地錦、地膽草、多花油柑、竹葉草、串鼻龍、求米草、芋葉括樓、走馬胎、波氏星蕨、虎婆刺、穿山龍、紅果薑、飛龍掌血、海金沙、密毛毛蕨、粗毛鱗蓋蕨、莎草、稀毛蕨、筆筒樹、絨毛芙蓉蘭、紫莖牛膝、絡石、華南芋麻、黑果馬絞兒、菝契、絹毛鳶尾、過山龍、過溝菜蕨、臺灣魚藤、臺灣紫珠、臺灣圓腺蕨、臺灣澤蘭、酸藤、德氏雙蓋蕨、熱帶鱗蓋蕨、翼莖粉藤、隱鱗藤、蕺菜、雙花龍葵、雙面刺、獨黃、大葉南蛇藤、山芙蓉、日本金粉蕨、毛葉腎蕨、水竹葉、扛香藤、冷飯藤、芒萁、長葉芋麻、長葉鳳尾蕨、南投涼喉茶、島田氏澤蘭、假蹄蓋蕨、淡竹葉、瓶蕨、細圓藤、野苧蒿、鹿藿、麥氏鐵線蓮、腎蕨、華南薯蕷、菊花木、猿尾藤、腺果藤、裡白葉薯榔、臺灣矢竹、廣葉星蕨、擬鴨舌廣、薄瓣懸鉤子、藤竹草

10 分 -三葉崖爬藤、中國穿鞘花、毛果竹葉菜、百部、老荊藤、金狗毛蕨、長梗紫麻、雨傘仔、細葉複葉耳蕨、雀梅藤、紫金牛、華九頭獅子草、距花黍、間型沿階草、黃藤、圓果冷水麻、臺灣鱗球花、箭葉鳳尾蕨、錫蘭饅頭果、糙莖菝契、薄單葉鐵線蓮、藤崖椒、光果翼核木、大錦蘭、珍珠蓮、紅點忍冬、書帶蕨、疏花魚藤、蛇根草、傅氏三叉蕨、短柄卵果蕨、華茜草樹、愛德氏肋毛蕨、臺灣海棗、臺灣溲疏

15 分 -三奈、小杜若、山月桃、山棕、平柄菝契、瓜馥木、生根卷柏、光滑菝契、同蕊草、杜若、姑婆芋、拎樹藤、南五味子、南投三叉蕨、屏東擬肋毛蕨、柚葉藤、觀音座蓮、苗栗崖爬藤、風藤、海南實蕨、斜方複葉耳蕨、細葉麥門冬、單邊鐵角蕨、紫柄三叉蕨、萊氏線蕨、臺灣山蘇花、臺灣杪欏、臺灣鱗毛蕨、廣葉鋸齒雙蓋蕨、

附錄 2. 伐竹與種樹復育措施的人事成本(a)、器材成本(b)與步驟流程(c.d.)。成本以每 0.1ha (或 200 株樹苗) 為單位。

a. 工作機會與人事成本

工作內容	工作份量	薪資/天	人	天	人-天	成本
伐竹處理						
目標竹叢的選定與標示	中等	1,250	1	1	1	1,250
伐除麻竹及現場整理	重	1,700	7	5	35	59,500
伐竹後的修飾與維護	稍重	1,500	2	1	2	3,000
總計					38	63,750
補植原生苗木						
栽植苗木收集	稍重	1,500	3	1	3	4,500
苗圃設置與培育(一個月)	輕	800	1	8	8	6,400
植栽作業(掘穴)	重	1,700	3	1	3	5,100
植栽作業(種植及搬運)	重	1,700	7	2	14	23,800
植栽作業(撫育)	稍重	1,500	1	1	1	1,500
總計					29	41,300

b. 器材成本

內容	器材	單位	成本	內容	器材	單位	成本
伐竹處理				補植原生苗木			
目標竹叢的選定與標示				栽植苗木收集			
	噴漆	1 罐	100		鏟子	2 把	400
	砍刀	1 把	250		圓鋤	1 把	400
伐除麻竹及現場整理					修枝剪		3 把
	電鋸	具	9,900		塑膠軟盆	200 個	200
	電鋸保養維修	1 次	300		租車與油資		3,000
	鏈條	1 條	600	苗圃設置與培育			
	機油	5 罐	600		水電費	1 個月	700
	混合油	1 罐	500	植栽作業(掘穴)			
	汽油	4 公升	100		5 吋鋤頭	4 把	2,200
	汽油桶(8 公升裝)	1 具	80		十字鎬	2 把	900
	手工鋸子	4 把	800		鐮刀	2 把	200
	手套	5 雙	100	植栽作業(種樹及搬運)			
伐竹後的修飾與維護					租車與油資		1,000
	農藥(嘉磷塞)	1 罐	400				
	農藥(塗刷)	2 把	40				
	農藥(勺子)	2 具	40				
總計			13,810	總計			9,600

c. 伐竹流程步驟及注意事項

- 一、目標竹叢的選定與標示：由樣區劃定後，選擇所要處理之麻竹叢，以生長單叢密度高且單株數多者，或是影響其他闊葉樹生長者和形質為劣者優先伐除。被伐竹叢用削皮或噴漆標示，而標誌於麻竹叢上方向一致，以便作業者清楚且便於作業。於每年十月至二月份乾季時實施伐除，此時多數草本多為乾枯，可避免對原生育地過多之干擾。
- 二、伐除麻竹及現場整理：使用工具伐倒，伐除時由樣區下坡向上坡依序砍除，每株均須主幹分枝分離，並截取適當長度整齊放置於適當位置處，並整理散落區域之竹枝殘體。每次砍除後必須立即整理分枝，以免大量伐倒竹子整理困難。竹子伐倒方向應注意切口，且貼近地際植株節處，使生長機會降低，其倒向及伐倒後之位置，考量降低被壓林木之損害及與堆置棄竹之距離，以節省人力搬運時間和對林地之干擾。竹子應逐枝切除並整理，因竹林梢端多為糾纏，避免梢端捆綁成群，待支撐不力時，一併倒下，唯恐重力落下及橫枝節飛，傷及無辜。
- 三、伐竹後的修飾與維護：竹叢砍除後，可再進行切口修飾，避免留下過長竹節若因下雨累積雨水，造成病媒蚊滋生。選擇施用農藥嘉磷塞，以塗抹方式直接處理竹體，嘉磷塞為對於禾本科植物效果較佳之除草劑，可降低藥劑對環境的影響程度，1至2次塗抹於植株切口，以加速後續造林作業或復育措施，若不施用藥物，則待伐除竹叢每兩星期，加以工時，重覆再將其所新生長的竹芽再予以清除，直至原竹叢之能量消耗迨盡為止。塗藥後，竹叢尚未死亡，仍然會有新芽長出，須約每個月固定清除及塗抹農藥，使其加速死亡。

d. 種植原生苗木執行流程步驟及注意事項

- 一、栽植苗木之蒐集：採用當地原生闊葉樹苗木，作業前須對作業人員進行作業訓練，包含原生苗木鑑識及挖掘注意事項等。挖掘時保持根系與其周圍土壤完整性以提高存活率，且避免於同一母株下將苗木挖掘殆盡。取苗後即置入塑膠容器內，搬運至苗圃再以當地苗圃土壤將塑膠容器填實，區分種類排至整齊，以方便估算苗木數量。
- 二、苗圃設置：本試驗臨時苗圃設置於當地果園農地內，除節省遮蔭費用，並可與當地村民合作。若於開闢之苗圃地，則需搭置紗網等降低陽光照射量，隨苗木長大而改用透光率較大之材料。在夏天因陽光有時至少要用透光率約75%遮蔭網，避免日灼傷害。
- 三、苗木培育：育苗的土壤呈飽水狀態或太乾燥都會限制根系生長。當手持土壤時可感覺到濕氣且握緊時可形成土球，但以手指輕敲則會散開，即為適當水分狀態。澆水方法利用自動撒水器方式視土壤現況進行。育苗之土壤常含有大量雜草種子，移植後隨之發芽生長，應於雜草種子發芽後即連根拔起，避免生長旺盛而影響苗木健康。且蒐集苗木至開始移植需要數個月時間，當苗木根系發展超出塑膠容器，必須進行斷根處理，以促進容器內之根系健全發展。育苗期間每隔一段時間應將塑膠容器移動或重新排列，同時淘汰不良或已死苗木。移植前進行斷水及日曬處理，使苗木習慣缺水及日曬狀態。將所需出栽之苗木移至光量較大之地，第一週為每兩天澆水1次，第二週則為每三天澆水1次，直到出栽前澆水使其溼潤，即可預備進行出栽作業。
- 四、栽植作業：選擇當地多樣的原生樹種種類進行植栽，選用10種以上當地原生或潛在植被類型之物種。苗木栽植距離密度一般在2,500株/ha至2,000株/ha之間，採三角形栽植方式。在移植至植樹地點前，可先就目的地點之環境狀況，包括坡度、坡面、山溝位置等，以適合之陽性、陰性樹種分別配置，腹地會較為空曠處可先選擇陽性物種，而原地樹種旁具遮蔭處可栽種陰性樹種。栽植其方法採用掘穴栽植法，於梅雨季節左右完成，可於下雨時期充分溼潤穴洞。掘穴之深度與直徑需較苗木根系稍大。苗木垂直置入穴內後填平表土，再輕微提苗木使根系開展不盤結，再填入土壤，覆土壓緊後略低於周邊地面。苗木須穩定，栽植深度要適當，勿深植而使側根低於地面10cm，也勿過淺而使側根露出地表，否則造成根系生長不良。
- 五、苗木撫育：若栽植區的草本植物大量生長，應定期將苗木周邊位置的雜草適當清除，減少初期根系對資源的競爭。但不必完全移除。留下部份周圍草本