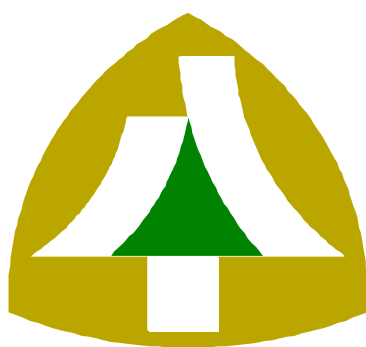


臺灣杉及紅檜人工林中後期撫育作業之 綜合效益評估

成果報告



計畫主持人：國立屏東科技大學森林系 陳建璋 副教授

共同主持人：國立屏東科技大學森林系 陳朝圳 教授

國立屏東科技大學森林系 魏浚紘 助理教授

冠昇生態有限公司 黃上權 執行長



中 華 民 國 110 年 3 月 31 日

摘要

疏伐(Thinning)作業為人工林經營中重要的撫育作業之一，其可改善林分結構(Stand structure)，營造健康的立木生長空間，提升留存木的材積生長率及林木品質，且對於森林的生態環境、經濟效益及碳吸存量皆有正面效益。疏伐作業屬於技術性高的森林作業法，作業期間會造成暫時性的生態衝擊，為確認作業所產生的效益與影響，本計畫於美隴山林道沿線(荖濃溪事業區第 98-101 林班)，經疏伐作業後之紅檜 (*Chamaecyparis formosensis*) 及臺灣杉 (*Taiwania cryptomerioides*) 人工林林分中，設立監測樣區，研究疏伐作業對於人工林林木生長、林分結構、樹冠鬱閉度、林分健康度、林道或作業道土壤沖蝕與生物多樣性之影響，並整合計畫監測成果與前人文獻資料，分析建立美隴山地區紅檜及臺灣杉人工林林分密度管理圖、樹高與材積曲線式、以及疏伐作業工時成本。

本計畫以具高精度性及再現性之地面光達掃描系統進行資料調查，結果顯示：疏伐後之人工林，其樹冠鬱閉度經過 5 年後，與未疏伐之人工林分無顯著差異；疏伐後之紅檜人工林，其胸徑及材積生長皆大於未疏伐樣區，顯示疏伐有助於林木生長，而臺灣杉人工林疏伐與未疏伐林分之胸徑及材積生長皆呈現下降，推測係因疏伐強度不足所致；紅檜人工林經疏伐 10 年後、臺灣杉人工林經疏伐 5 年後，其林分結構皆呈現近常態分布，顯示疏伐作業能改善林分結構至理想狀態；經疏伐 5 年後，不同坡度、疏伐作業與否之人工林分，土壤沖蝕量皆無顯著差異。

本計畫採用目視評估法、敲擊式林木內部檢測及數位探針式木材強度檢測等非破壞性方法檢測林木健康度，結果顯示目視評估法雖可判斷林木外觀葉部、主幹及根部狀態，但較無法得知林木內部腐朽狀況，故可搭配其他非破壞性檢測儀器一同進行林木健康度之評估，以確認林木材質狀態。

生物多樣性監測結果顯示：疏伐林分之地被植物種數多於未疏伐林分，且物種組成較為均勻(多樣性指數高)，顯示疏伐作業有助於地被植群之生長；哺乳類動物之種類及數量在有無疏伐作業之林分間，無顯著差異，鳥類數量則以疏伐 5 年後之林分顯著較多，推測其原因係為部分鳥種喜好林相較開闊之林分，且疏伐後林地微環境改變增加鳥類食物來源，故產生此差異。

依監測成果，本計畫區域內紅檜人工林之樹高曲線式為 $H = \exp(3.18906 - 5.33329/D)$ 、立木材積式為 $V = 0.100445 + 0.000028 \cdot D^2 \times H$ ，臺灣杉樹高曲線式為 $H = \exp(0.015650 + 0.015650/D)$ 、立木材積式為 $V = 0.000039 \times D^{2.279882} \times H^{0.596517}$ (H 為樹高(m)、D 為胸徑(cm)、V 為材積量(m^3))。另為可有效率大面積推估林分蓄積，本計畫亦利用無人載具之拍攝影像，與地面光達之調查成果進行迴歸分析，推估出空中材積式，紅檜空中材積式為： $V = 7.6021 \times H^{1.269013} \times D^{0.072924}$ ，臺灣杉空中材積式為： $V = 0.17399H + 0.23553D - 2.896$ (V 為蓄積量(m^3/ha)、H 為平均林分高度(m)、D 為樹冠密度(樹冠面積/總面積))。

本研究團隊於計畫期間連續三年辦理教育訓練，內容涵蓋永久監測樣區(含地被與野生動物調查)、地面光達調查作業以及林木非破壞性檢測等三項主要調查技術，目的在於藉由學習理論基礎與實作體驗操作儀器，使屏東林區管理處同仁可建立調查正確觀念與技術，瞭解人工林撫育作業期間高科技調查對於森林資源調查與其他森林經營管理應用之可能性。本計畫提出一套多向度之疏伐效益監測模式，對於疏伐作業、疏伐效益評估提供監測及分析方法，並於最後針對疏伐作業進行簡單問答紀錄，供管理單位未來調查監測以及向社為大眾說明參考使用。

關鍵字：土壤沖蝕、生物多樣性、光達掃描系統、林木健康、林分結構、非破壞性檢測、樣區調查

目錄

摘要	I
目錄	III
圖表目錄	V
壹、前言	1
一、計畫緣起	1
二、計畫目標	2
三、計畫預期效益	2
貳、文獻回顧	3
一、疏伐理論與疏伐對林分及林木之影響	3
二、高科技量測儀器於林木性態值及環境之監測	9
參、重要工作項目及方法	14
一、第一年工作項目	14
二、第二年工作項目	14
三、第三年工作項目	14
四、計畫執行方法	16
(一)計畫區概況	17
(二)臺灣杉及紅檜人工林永久監測樣區設置	20
(三)動物監測	23
(四)應用地面光達系統監測單木生長量及土壤沖蝕程度	25
(五)藉由非破壞性檢測技術監測單木健康程度	27
(六)建立臺灣杉及紅檜之單木及林分層級之收穫預測模式	33
(七)評估疏伐撫育作業之綜合效益評估	36
(八)教育訓練	42
(九)額外承諾項目	43
肆、期末報告成果	45
一、永久監測樣區之設置與監測成果	45
二、不同疏伐年度其樹冠鬱閉度監測分析成果	47
三、應用光達掃瞄技術監測林木生長量及林分結構	50
四、應用光達掃瞄技術於試驗區及作業道之土壤沖蝕監測	53
五、森林健康分析成果	64
六、評估疏伐撫育作業之綜合效益評估	69

七、人工林單木及林分層級之收穫模式	78
八、生物多樣性監測分析成果.....	90
九、教育訓練成果.....	100
(一)永久監測樣區教育訓練	100
(二)地面光達調查作業教育訓練	103
(三)林木非破壞性檢測教育訓練	106
十、額外承諾項目-UAV 影像分析成果.....	109
十一、疏伐作業問與答	112
伍、結論與建議.....	118
一、結論.....	118
二、建議.....	120
陸、參考文獻.....	122
柒、重要工作時程.....	137
附件一、服務建議書評審會議委員意見與書面答覆	140
附件二、期初報告評審會議委員意見與書面答覆	147
附件三、第一次期中報告評審會議委員意見與書面答覆.....	155
附件四、第一次工作會議會議紀錄.....	165
附件五、第二次工作會議紀錄	169
附件六、第二次期中報告評審會議委員意見與書面答覆.....	171
附件七、第三次期中報告評審會議委員意見與書面答覆.....	178
附件八、期末報告評審會議委員意見與書面答覆	190
附件九、計畫區植物名錄.....	199
附件十、樣區重要值指數	219
附件十一、樣區地被資料.....	226
附件十二、計畫區動物名錄	256

圖表目錄

圖 1 紅檜人工林平均年輪寬度趨勢圖	4
圖 2 Weibull 的 3 個參數圖形	6
圖 3 <i>Quercus pyrenaica</i> 之林分密度管理圖	8
圖 4 地面光達掃瞄示意圖	11
圖 5 日本落葉松林之精度 8 mm 地面光達假色資料	12
圖 6 地貌變動分布圖	13
圖 7 本計畫三年之中後期撫育作業綜合評估	15
圖 8 本計畫研究流程圖	16
圖 9 荖濃溪事業區第 98-102 林班位置圖	17
圖 10 小關山生態氣候圖	18
圖 11 荖濃溪事業區第 98-101 林班各年度疏伐界線	20
圖 12 地被植物監測樣區設置示意圖	22
圖 13 立木位置空間分布圖	23
圖 14 地面光達三維雷射掃瞄儀	25
圖 15 土壤沖蝕監測樣區示意圖	27
圖 16 立木生長量檢測器及阻抗分布曲線	28
圖 17 音頻快速傳立葉轉換	29
圖 18 樹木內部音頻傳導路徑	29
圖 19 根部狀態判定示意圖	30
圖 20 樹冠密度及透視度評分標準	31
圖 21 樹冠密度及透視度透明卡	31
圖 22 評估冠層狀態之標準	32
圖 23 葉有無退色示意圖	32
圖 24 Huber 公式區分求積法圖解	33
圖 25 <i>Quercus pyrenaica</i> 之林分密度管理圖	37
圖 26 高解析度航空照片	43
圖 27 計畫區臺灣杉及紅檜永久地面監測樣區設置位置圖	45
圖 28 LAI-2200 儀器示意圖	47
圖 29 永久監測樣區三年 LAI 值變化圖	48
圖 30 紅檜及臺灣杉不同疏伐年度之林分結構圖	52
圖 31 計畫區土壤沖蝕監測樣區位置圖	53
圖 32 樣區內設置 1 m × 1 m 大小之土壤沖蝕樣區	54
圖 33 樣區內 3 處土壤沖蝕小樣區之三維空間分佈圖	55
圖 34 土壤沖蝕小樣區濾除地上物	55

圖 35 利用三維點雲高程資訊內插出數位高程模型.....	56
圖 36 計畫區第 98 林班作業道掃瞄監測位置圖	59
圖 37 計畫區第 102 林班作業道掃瞄監測位置圖	59
圖 38 作業道監測掃瞄之控制點設置.....	60
圖 39 作業道之原始點雲資料.....	61
圖 40 經點雲分類後之作業道地表情況.....	61
圖 41 第 98 林班與第 102 林班作業道濾除非目標點雲圖.....	61
圖 42 前後期地形變化之土方量計算示意圖	62
圖 43 本計畫紅檜人工林樣區敲擊 DFr 值分布	66
圖 44 臺灣杉樣木阻抗分布圖.....	67
圖 45 平均生長量與連年生長量關係圖	69
圖 46 紅檜人工林胸徑及材積連年生長量變化圖	70
圖 47 臺灣杉人工林胸徑及材積連年生長量變化圖.....	70
圖 48 2018-2020 年紅檜及臺灣杉人工林材積生長率	71
圖 49 紅檜人工林林分密度管理圖.....	74
圖 50 臺灣杉人工林林分密度管理圖.....	74
圖 51 紅檜人工林林分結構圖.....	82
圖 52 臺灣杉人工林林分結構圖.....	83
圖 53 各疏伐強度之平均淨現值.....	86
圖 54 計畫區紅外線自動照相機設置位置圖	93
圖 55 第一次教育訓練參加人員簽到表	100
圖 56 教育訓練課程過程照片記錄.....	101
圖 57 第二次教育訓練參加人員簽到表	103
圖 58 網路媒體報導本計畫第二年度教育訓練資訊.....	105
圖 59 第三次教育訓練簽到表.....	107
圖 60 第三次教育訓練學員操作儀器紀錄	108
圖 61 永久監測樣區 UAV 空拍影像結果.....	109
表 1 不同種類動物監測方法說明.....	23
表 2 監測被傷害留存木調查表.....	30
表 3 人工林直徑級林分表	35
表 4 本計畫三年技術轉移教育訓練課程表	42
表 5 植生指數計算之公式	44
表 6 紅檜不同疏伐年度之監測樣區基本資料表	46
表 7 臺灣杉不同疏伐年度之監測設置樣區基本資料表.....	46
表 8 2020 年不同疏伐年度單因子變異數分析成果表.....	48
表 9 紅檜人工林各疏伐年度之 Weibull 函數參數.....	51

表 10 臺灣杉人工林各疏伐年度之 Weibull 函數參數.....	51
表 11 計畫區樣區土壤沖蝕量表.....	57
表 12 不同疏伐年度土壤沖蝕量單因子變異數分析表.....	58
表 13 計畫區土壤沖蝕量與洪峰流量表.....	58
表 14 第 98 林班作業道 DEM 比對後之土方變化量.....	63
表 15 森林健康調查永久監測樣區資料表.....	64
表 16 不同樣區目視評估法健康度變異數同質性檢定分析表.....	65
表 17 不同樣區目視評估法健康度 Tukey 事後檢定分析表.....	65
表 18 敲擊式林木內部檢測樣區樣木株數腐朽率比例.....	67
表 19 數位探針式木材強度檢測樣區樣木株數腐朽率比例.....	68
表 20 三種不同非破壞性檢測林木健康調查方式之相關性矩陣.....	68
表 21 紅檜及臺灣杉人工林林分密度管理圖初步分析表.....	72
表 22 紅檜及臺灣杉人工林林分密度管理參數表.....	73
表 23 紅檜人工林與臺灣杉人工林之碳儲存量表.....	76
表 24 各林班地加總移出林地材積量碳儲存量之比較表.....	77
表 25 紅檜人工林與臺灣杉人工林之樹高曲線式列表.....	78
表 26 各變數對林分材積之多迴歸分析迴歸式.....	80
表 27 紅檜人工林直徑級林分表.....	82
表 28 臺灣杉人工林直徑級林分表.....	83
表 29 疏伐作業林務單位人力配置及預估費用表.....	87
表 30 伐木造材工作比較表.....	88
表 31 行列疏伐及下層疏伐之及材作業每人每日工作量表.....	88
表 32 樣區草本地被調查成果.....	91
表 33 地被調查生物多樣性指數結果表.....	92
表 34 計畫區紅外線自動照相機設置代碼表.....	93
表 35 紅外線自動照相機蒐集照片工作時間表.....	94
表 36 各年度多樣性指標整理表.....	95
表 37 各別年度哺乳類動物監測結果之單因子變異數總表.....	95
表 38 不同疏伐年度後哺乳類動物多樣性監測結果之單因子變異數總表.....	96
表 39 哺乳類動物與鳥類動物總數量於不同疏伐年度之變異數分析表.....	97
表 40 鳥類動物變異數分析之 Scheffe 事後檢定表.....	97
表 41 第一年度監測之哺乳動物 OI 值列表.....	98
表 42 第二年度監測之哺乳動物 OI 值列表.....	98
表 43 第三年度監測之哺乳動物 OI 值列表.....	98
表 44 紅檜及臺灣杉空中材積式.....	110
表 44 應交付文件期限.....	137

壹、前言

一、計畫緣起

人工林永續經營與天然林生態保育，為森林經營的兩大主軸。臺灣人工林約佔森林總面積的 20.17% (行政院農業委員會林務局，2016)，適當之經營方式可使其以發揮良好之功能價值，如木材利用、坡地保育、水源涵養、減緩暖化、森林育樂及生物多樣性保育等。臺灣人工林之經營因過去受到環保意識高漲，被認為伐採會對生態環境產生衝擊，並於 1991 年天然林禁伐政策，未能本於學理積極撫育，使部分人工林生長停滯，其林分生長量與枯死量相抵，呈現老化、劣化現象(李桃生，2016)，反而造成更大之影響。

經過多年來的試驗研究，已證明適當的疏伐撫育與經營管理，對於生態環境不會造成不可恢復性的影響，且對於生物多樣性、碳吸存及水文循環等，皆可帶來正面之效益(謝欣怡等，2005；汪大雄，2007；蔡錦文等，2010；陳朝圳，2014；蔡和蓁，2017; Sullivan *et al.*, 2008)。以森林經營之長遠利益目標，人工林之經營策略，應以長伐期之間伐方式，定期伐木收穫，以持續生產原木，提升木材的自給率(李桃生等，2014)。

本計畫試驗地於荖濃溪事業區之美瓏山地區，主要林相為人工針葉林，為使林木有最佳的生長空間，林務局分別於 2007-2009 年、2012-2017 年執行數次中後期撫育疏伐作業，冀望取得最適密度的林木生長環境。惟進行疏伐作業後，微環境的變化、疏伐對生態保育之影響及疏伐對林木生長效益，必須設置監測樣區，定期進行調查監測，如此才能累積疏伐作業經驗，以取得最適疏伐強度，驗證疏伐對林木生長的正面效益，並可提供疏伐對生物多樣性保育的影響資訊，以利於人工林經營決策之參考。

前計畫(2014-2015 年)於荖濃溪事業區第 98-100 林班內之疏伐區域以不同疏伐程度設置監測樣區，並利用高精度儀器—地面光達掃描系統及非破壞性檢測儀器進行留存木生長及林分結構進行分析，以及針對樣木進行健康度評估。在減低調查人力及物力的前提下，以創新技術進行人工林疏伐監測，評估疏伐前後林分及生態變化。

二、計畫目標

本計畫以屏東林區管理處轄區荖濃溪事業區第 98-101 林班之紅檜(*Chamaecyparis formosensis*)及臺灣杉(*Taiwania cryptomerioides*)人工林為計畫執行範圍，以三年為計畫執行期。本研究計畫全程目標如下：

- (一)設置永久監測樣區，引入地面光達、非破壞性立木材質檢測技術、野生動物自動化調查技術等新科技，建立林分撫育作業之有無立木生長及生育環境之監測方式。
- (二)探討紅檜及臺灣杉人工林不同經營目的之中後期撫育之作業模式。
- (三)建立紅檜及臺灣杉人工林之中後期撫育之收穫模式。
- (四)建立紅檜及臺灣杉人工林之中後期撫育綜合效益評估方法。

三、計畫預期效益

- (一)評估臺灣南部中海拔地區紅檜、臺灣杉人工林中後期撫育作業之效益。
- (二)引入新科技建立人工林中後期撫育效益評估之監測樣區調查模式及資料分析方法。
- (三)人工林疏伐試驗地中後期撫育對於物種多樣性效益評估。
- (四)建立臺灣南部中海拔地區紅檜、臺灣杉人工林中後期撫育之收穫模式及作業成本分析。
- (五)建構兼具經濟性、生態性及永續性之人工林中後期撫育之綜合效益評估模式。

貳、文獻回顧

一、疏伐理論與疏伐對林分及林木之影響

(一)疏伐定義

疏伐(Thinning)亦稱間伐，為人工林經營之重要撫育作業，依據不同撫育作業方式，以達成促進林木生長之目的，例如下層疏伐，其作業方式係將受害木、被壓木與生長狀態不佳之林木伐除，以利留存木生長，並透過間伐獲得主伐以外之部份收益。透過疏伐保留生長良好之林木，使單木材積量增加、木材形質提升，並建立健康的森林環境，提高林木生產力及提升各種天然危害的抵抗力等(顏添明，1993；林世宗等，2013；Amateis *et al.*, 1996)。

疏伐作業可分為二層次，其一為定量疏伐，主要配合定性疏伐所訂定之伐採質與量而實行，疏伐方式可依照株數、胸高直徑、林木間距、樹高、胸高斷面積來訂定(顏添明，1993；吳學平，2001)；定性疏伐主要係以森林經營之策略選定應伐除何種類型之林木，再決定伐除量，主要依照樹冠級與胸高直徑級來實行，依疏伐木種類之選定可分為下層疏伐(Thinning from Below)，依照樹冠級較低之林木，如被壓木、傷害木、枯死木、瀕死木與生長狀態不佳等予以伐除；上層疏伐(Thinning from Above)主要是促進下層中庸木生長良好，故伐採中等或中上樹冠級與胸高直徑級之立木；選擇疏伐(Selective Thinning)依照經營策略進行疏伐；機械疏伐(Mechanical Thinning)依照一定之栽植距離，選擇伐採與保留之立木，形成條帶狀之疏伐方式。

(二)疏伐對於留存木之效益

疏伐之目的主要是依經營目的，伐除林木使留存木在充足的空間生長，降低枯死率，促進胸高直徑生長，提高立木形質(邱志明等，2007)。未疏伐林分其林木間常因生長空間不足，產生林木競爭，將影響林木健康、生長趨緩。適當疏伐可減少林木競爭，促使留存木之樹冠增長，增加光合作用率，有助於連年生長，增加林木的碳吸存量。有關疏伐對於留存木之生長效益，可從林木性態值、碳吸存、林分結構及林分密度管理加以論述。

1. 林木性態值

人工林皆以固定距離栽植，林木初期生長空間較大，但當生長一段時間後，相鄰樹冠交錯，林木生長空間減少，林木開始產生生長競爭，此時如進行適當的疏伐，將可有效促進留存木之生長，提升林分的生長潛力(顏添明，2006；陳涓婷，2010；李隆恩，2010)。國內針對人工林疏伐的試驗研究，已有豐碩成果，如林世宗等(2013)以樹輪學分析方法，評估 45 年生之柳杉(*Cryptomeria japonica*)於不同行列疏伐處理，結果顯示有疏伐樣區之年輪生長，皆比未疏伐樣區明顯增加。然而疏伐後 20 年，林木徑向生長已再次衰退，需再次疏伐調整林分結構，才能改善柳杉之生產力。蘇柏羽(2014)針對紅檜人工林，探討疏伐前後之林木效益，顯示疏伐與未疏伐的平均樹輪寬度有顯著差異，強度與中度疏伐木之年輪寬度與未疏伐木有顯著差異，如圖 1 所示。邱志明等(2017)探討臺灣扁柏(*Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*)疏伐後 12、17 與 20 年的生長效應，研究結果顯示，疏伐對於胸高直徑與樹高淨生長皆有顯著差異，但斷面積與材積無顯著差異，而立木平均胸徑大小與保留木株數多寡成反比，樹高亦有同樣趨勢，然而當林齡增加，不同密度之生長或株數之差異會減少。由疏伐效益之文獻得知，疏伐與未疏伐的林木性態值會有所差異，本計畫以林木之胸徑與材積連年生長量與生長率，作為疏伐與未疏伐林木性態值效益評估之影響變數。

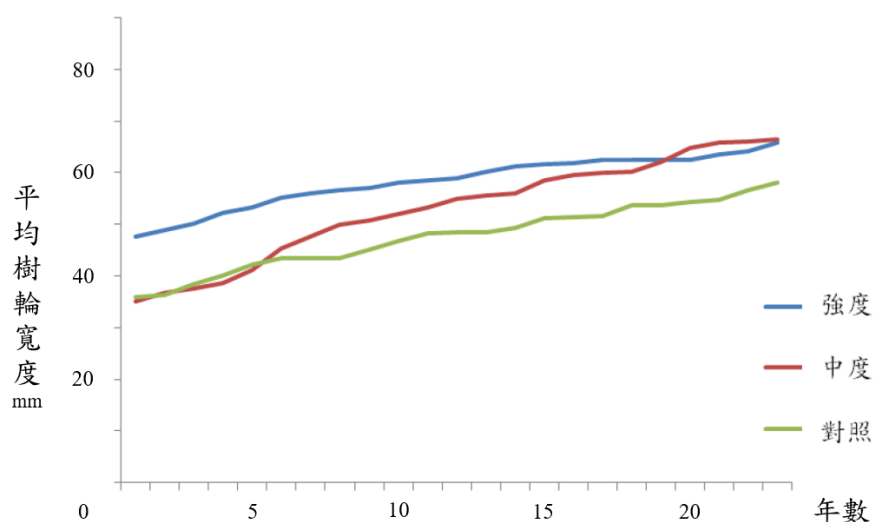


圖 1 紅檜人工林平均年輪寬度趨勢圖(蘇柏羽，2014)

2. 碳吸存

林木在未達壯齡期之前，其碳吸存能力，隨林齡之增加而增加；壯齡期之後，林木生命力逐漸衰退，碳吸存能力逐年下降。適當的疏伐一方面可以延長立木的壯齡期，另一方面疏伐木如能有效利用，木材加工成林產品，則可將碳保留於木材中，延長固態碳釋放於大氣中之時間(陳瑩達等，2011)，且疏伐後留存木的最大收穫輪伐期將延後，將增加森林碳儲存量(邱志明，2006)。有關疏伐對於碳吸存之相關研究，國內亦有多篇研究，例如林世宗等(2007)分析柳杉疏伐對於碳儲存量的影響，結果顯示疏伐區之碳儲存量高於未疏伐區。邱志明等(2011)探討紅檜人工林疏伐之效益，其結果顯示，疏伐經過 5、20、25 年，林分的總材積仍以未疏伐最多，強度疏伐最少，但若以淨生長量來看呈相反趨勢，表示疏伐有助於留存木碳吸存能力的提升，而疏伐木搬出利用，可增加林分的碳儲存量。

3. 林分結構

在林木調查中，胸徑為一容易測量之介量，此介量在生長收穫之研究上具有重要意義，如其與樹高或材積間具正相關，透過胸徑-樹高曲線式與胸徑-材積式之推估，可由胸徑求得樹高及材積，而各別樹種之胸徑分布可描述族群消長，若能歸納林分胸徑分布之變化，於人工林可闡述疏伐度對材積生長之影響(陳朝圳，1985)及未來蓄積量的預估(顏添明，1997)；對於混淆林各樹種之林分結構，可解釋樹種間之消長(劉瑋育，2008)。疏伐強度會對林分樹冠之冠層結構造成改變，因而改變林分胸高直徑之分布(汪大雄，2007)。有關疏伐對於林分結構之影響與應用，前人研究結果顯示，當林分施行下層疏伐時，因伐除小徑木會使林分之平均直徑增加，而致使林分結構形成偏態分布(李久先、陳朝圳，1985；李久先、陳朝圳，1990；顏添明，1993；李久先等 1997)。李隆恩(2010)探討疏伐對紅檜人工林林分層級之影響，其中林分結構主要以 Weibull 機率密度函數，模擬不同疏伐處理，於 2004 年疏伐前、後及 2008 年複查時之林分直徑分布，其中，以最大概似法所得之模擬效果較佳，其函數參數於不同時期之變化，可有效解釋疏伐及生長對於林分直徑分布之影響。

Weibull 機率密度函數在林業上最常應用於直徑分布模擬，由於 Weibull 機率密度函數具有高度適應性，能模擬倒 J、左偏、右偏及常態分布，模式之參數容易求解及預估，且 3 個參數值於森林學意義明顯(圖 2)，並能廣泛適應於同齡及異齡林各類型林分結構(Bailey and Dell, 1973; Mabvurira *et al.*, 2002; Cheng *et al.*, 2017)。

$$\text{Weibull}(x, b, c, a) = \frac{c}{b} \times \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} \times \exp - \left(\frac{x-a}{b}\right)^c \dots\dots\dots(\text{式 } 1)$$

a 為位置介量，指調整林分之最小直徑值，人工林林分 a 值會大於 0，人工林疏伐後 2-3 年，因空間增大獲取天然資源的機會增加，促使小徑木之直徑成長，因此 a 值遞增，而若林地經疏伐後小徑木被移除，a 值亦會有所變動(劉浚明，1996)，如 A，當 b=30、c=3.6 時，越大的 a 值使曲線的起始點越大。b 為尺度介量，值為正值，假設 a=0、c=3.6 固定不變時，隨著林齡之增加，直徑級之右移而增大，最大頻度變小，即林齡愈大，徑級愈大，故 b 值愈大(邱志明，2007)。c 值則決定曲線形狀，稱形狀介量，亦為正值。當 c 值 ≤ 1 時為倒 J 型曲線，出現於異齡天然林之直徑分布(王成泰，2007)。當 1 < c < 3.6 為右偏分布，一般同齡人工純林為右偏至常態分布，c 值大於 1 且趨近 3.6(顏添明，1997)，而未疏伐林分 c 值則隨林齡增加而遞減呈右偏分布(陳朝圳，1985)，c=3.6 時為常態分布，c > 3.6 時為左偏分布。

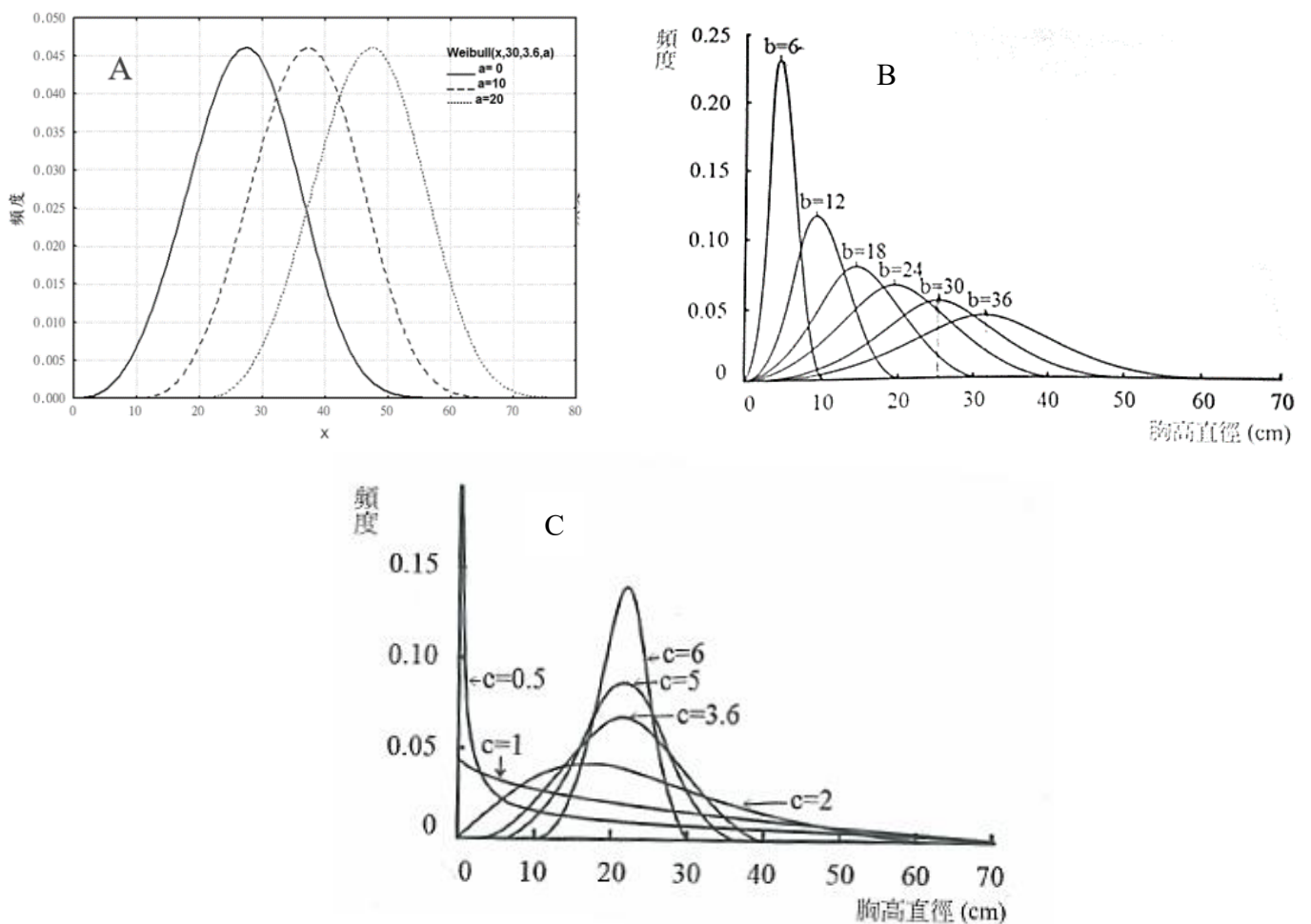


圖 2 Weibull 的 3 個參數圖形(A) a 參數(B) b 參數(C) c 參數

4.林分密度管理

林分密度為一定面積之林分內林木利用林地生長空間之程度，亦指林分之疏密程度，其取決於現存林木株數、大小以及空間分布等。林分密度可表示林木在該地位的生長狀態以及林木彼此的競爭程度(Davis and Johnson, 1986)。林分密度管理圖是根據林分密度與生長的關係導出競爭指數後，其繪製的圖形，可供為疏伐理論基礎與實際作業的參考依據(蔡信峰，1996)。林分密度管理為早期使用於柳杉、日本扁柏(*Chamaecyparis obtusa*)及松類(Pinaceae)等，以林分密度管理圖調整疏伐作業之實施(顏添明，2006)。

楊榮啟等(1972)依林分密度與生長之關係，導出林分密度效果(Competition Density Effect)，繪製柳杉人工林林分密度管理圖(Stand Density Management Diagram)，作為決定柳杉由栽植至伐期所應保持最適密度、疏伐方法及收穫預測之決策，其由平均樹高曲線、平均胸徑曲線、最大密度線、自然疏伐線以及收穫比數曲線所構成。Penner *et al.* (2006)針對 *Abies balsamea* 繪製林分密度管理圖，將跨越相對密度指數，並在林齡 35 年與 3,100 株/ha 時脫離最適生長區域，當林齡到達 55 年，林分將接近 1,800 株/ha 以及平均立木材積 0.19 m³；若此林分於林齡 35 年疏伐減至 1,000 株/ha (相當於相對密度指數 0.32)，使其保持在最適生長區域內，到林齡 55 年，林分將接近 780 株/ha 以及平均立木材積 0.38 m³。Castaño-Santamaría *et al.* (2013)為一 *Quercus pyrenaica* 林分建立林分密度管理圖，最初林分密度為 2,200 株/ha、林分高 9 m 以及空間指數 24%，造成較低蓄積量，若將疏伐設定以空間指數 32%為目標，持續以每林分高長高 3 m 進行疏伐一次，至生長至林分高為 20 m 時，林分蓄積將可到達 175 m³/ha，如圖 3。故透過林分密度管理圖，可給予明確參考依據，林分密度管理圖的建立有其必要性(顏添明，2006)。

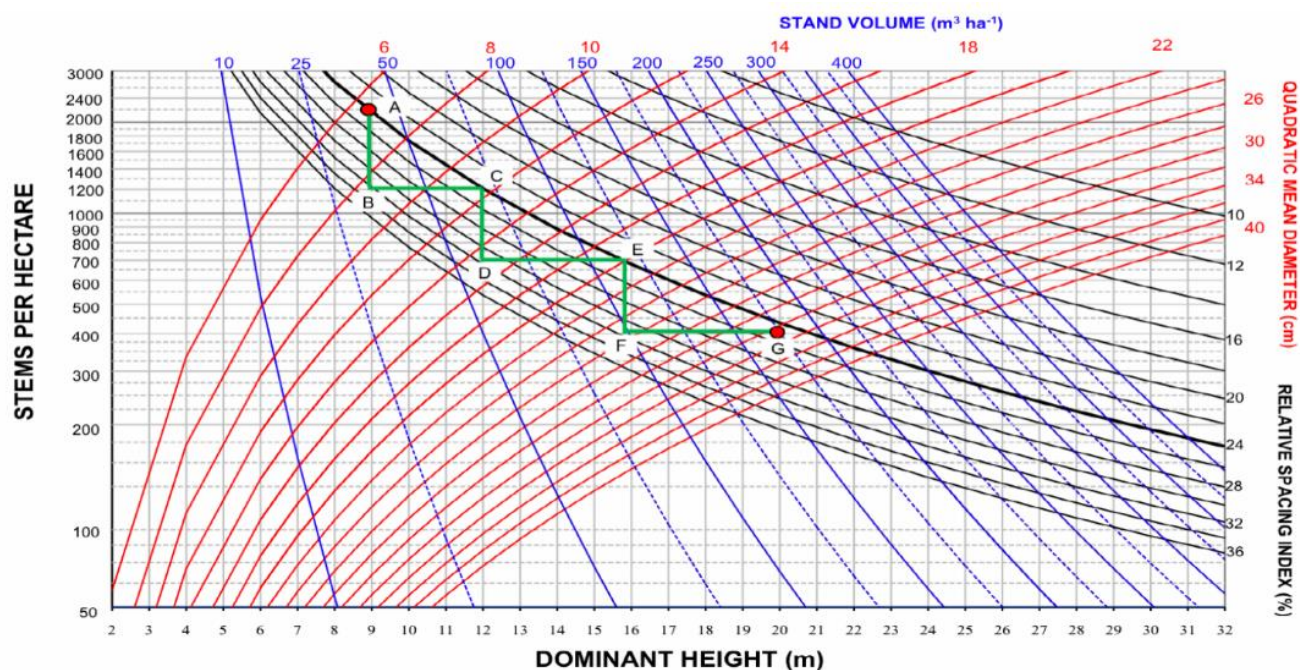


圖 3 *Quercus pyrenaica* 之林分密度管理圖(Castaño-Santamaría *et al.*, 2013)

(三)疏伐作業對於生物多樣性之影響

隨著全球對於森林生態的意識增加，森林經營也逐漸導入生物多樣性之概念，林務局於 2001 年，為加強生態系經營工作，開始進行人工林疏伐中後期撫育作業，適當林分密度的管理除能促進林分質與量提升外，且對於生物歧異度、水土保持及改善動物棲息環境方面，均有許多正面效果(邱志明等，2007；蘇柏羽，2014；Hunter, 2001)。

許多研究針對疏伐作業後環境之影響進行評估，例如野生動物、地被狀況、微環境影響等，探討其物種組成及歧異度，疏伐後因為林分密度之不同，將改變林下光度、空氣、溫度和相對濕度等微環境，間接影響地被組成與動物種類(汪大雄，2007；Otto *et al.*, 2012; Hedwall *et al.*, 2013)。孫義方(2010)研究不同疏伐強度之下，地被層的改變對原生樹種小苗生長及存活之影響，瞭解疏伐程度之不同對於原有小苗之存活率是否有差異，結果得知疏伐度越高，小苗物種歧異度越高。蔡和蓁(2017)探討疏伐九年後之林下光照環境以及植物多樣性是否能恢復，結果發現疏伐 9 年後之結果與疏伐前相比仍有差異，但此差異與小於剛疏伐之差異。翁世豪(2004)亦探討不同強度疏伐對於微環境之影響，提到疏伐強度越高，林下之 R/FR 值(紅光與遠紅光的比值)較高，土壤溫度與氣溫在生長季較高，土壤水勢亦提高，並且相對濕度較低。而林下原生小苗部分，強度疏伐的小苗數量最多。

野生動物在森林生態系亦扮演著重要角色，其為花粉、種子或是菌類之傳播者，此對於土壤能量與養分循環之貢獻大，並且多種野生動物建構較穩固之食物鏈，使生態系維持穩定狀態(Hamilton, 2005)，故野生動物之出現亦可作為一指標。謝欣怡等(2005)提到人工林因疏伐後林分結構的改變在短期(1-2 年)所帶來的影響為物種歧異度低、優勢種增加、物種轉換率增加；以長期(5 年以上)而言，因疏伐使林分光度增加，下層植被覆蓋度增加，因此提供野生動物較佳的棲地與食物資源，研究顯示，以鳥類角度切入，中度疏伐之鳥類種數與豐富度明顯高於未疏伐與弱度疏伐，故適度之疏伐確實能增加棲地內的鳥類歧異度，文中更提及紅尾鶇(*Muscicapa ferruginea*)、煤山雀(*Periparus ater ptilosus*)、青背山雀(*Parus monticolus insperatus*)、臺灣叢樹鶯(*Locustella alishanensis*)、小翼鶇(*Brachypteryx montana goodfellowi*)和褐鶇(*Pyrrhula nipalensis uchidae*)皆偏好出現於疏伐過的樣區中。

生物多樣性的探討一般須進行動、植物野外調查，並且建立名錄(李培芬，2012)。樣區之動、植物種類，以 Simpson 指數(Dominance Index, C)、Shannon-Wiener 多樣性指數(Shannon Diversity, H')、Margelef 指數(Species Richness Index, SR)、Pielou 均勻度指數(J')以及 Shannon-Wiener 均勻度指數(E)，分析生物多樣性指標(邱祈榮，2001；魏浚紘，2017)，而地被植物社會則計算植物社會之頻度(Frequency)、覆蓋度(Cover)與重要值(Importance Value Index, IVI)，可供為地被植物社會動態之探討(楊國禎，2011)。

二、高科技量測儀器於林木性態值及環境之監測

(一)光達於林木性態值之應用

林分蓄積與生長是經營木材生產最重要項目之一，亦是森林經營計畫擬定重要依據，在一定生育地條件下，林分密度為影響木材產量與品質最重要之因子，故在森林撫育作業中，疏伐作業之實施方式與獲得效益格外重要，透過疏伐作業控制林分密度為森林經營之重要技術之一。傳統森林皆以二維的方式呈現，而二維資料的表達方式是有限的，並無法再次的測量林木性態值。近年三維技術進步快速，許多專業皆利用三維技術進行立體掃描。

地面光達(Light Detection And Ranging, LiDAR)可依照拍攝距離大致分成近程、中程與遠程三類，使用者可依照研究需求選定，近程地面光達拍攝距離為 200

m 以內，適合對短距離之目標物進行拍攝，可增加點雲數量，更容易反應物體現況，對於建物之雕塑、壁畫、碑碣等進行快速精密之掃瞄工作；中程地面光達拍攝距離約 200-800 m，適合進行農林業相關研究與公共管線等需中距之研究使用。

光達(雷射掃瞄)測量原理係透過三維空間中已知之坐標與該點至地面點之向量(距離與角度)，透過飛行時間法(Time of Flight, ToF)，即可計算出其距離，再透過架站的已知點(X_1, Y_1, Z_1)，即可求出未知點坐標(X_2, Y_2, Z_2)。光達點雲主要由許多點構成，每筆資料均由非常密集之點所形成，數量數以萬計，故亦稱點雲(point cloud)，資料中每個掃瞄點均離散分布，任意一點均具有準確坐標，若點雲密度越高，則越能完美反應物體形狀，故可提供建立精確度較高之林木資訊，如樹高、胸高斷面積、樹冠幅與立木材積等。

三維雷射掃瞄技術為主動式偵測系統，依照雷射光測量物體距離之原理，透過飛行時間法，應用光速固定的特性，與雷射光脈衝發射至返回的時間，即可推算出距離與方位資料(Alharthy and Bethel, 2002; Persson *et al.*, 2002)。拍攝光達時，需要透過共軛目標(Target for Registration)，進行資料串連，串連時最少需要三個共軛目標(圖 4)，且三個共軛目標在空間上不可成一直線，以避免資料產生錯誤。共軛目標可分為平面規標與立體規標，規標會影響到資料串連時的準確性，平面規標在掃瞄時，若不是以腳架的方式架設在空間上，即黏貼於其他物體上，僅只能提供 180° 以內的掃瞄視野，而立體規標則可提供多角度的掃瞄視野，尤其是球形規標，除了可提供多角度掃瞄視野外，在解算球心也較為簡便(魏浚紘, 2014)。

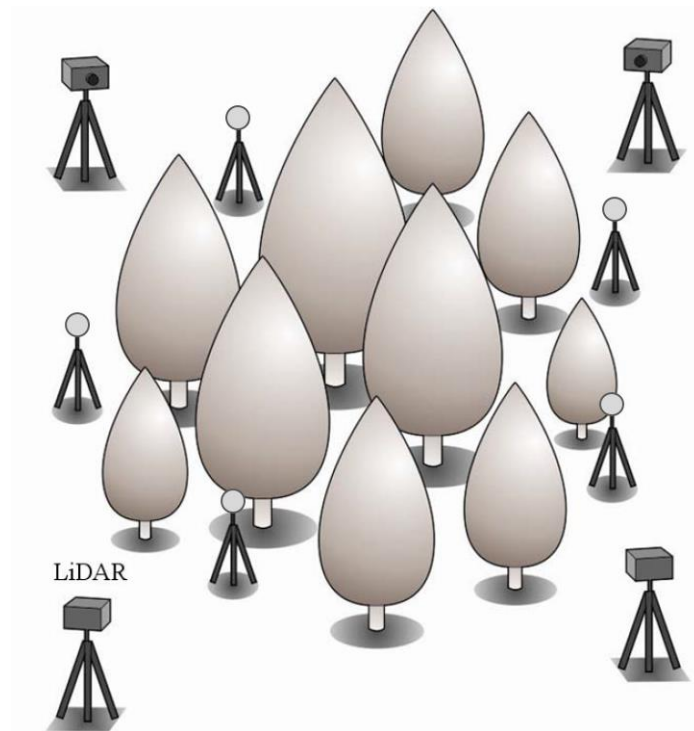


圖 4 地面光達掃瞄示意圖(魏浚紘，2014)

光達技術可以運用高解析度影像以及光達資料獲取出單株立木位置，配合立木屬性資料，用於立木位置圖、樹冠形狀自動繪製與評估、樹冠孔隙偵測、林型分類、森林健康、空間與時間對疏伐與森林火災影響、林分高度估測、葉面積指數、林分材積(陳月淑，2007；彭炳勳、陳朝圳，2008；彭炳勳等，2008；謝依達，2008；彭炳勳等，2009；羅時凡等，2009；魏浚紘等，2010；魏浚紘等，2012; Pouliot *et al.*, 2002; Souza *et al.*, 2005)。

地面光達高精度的測量技術亦用於樹幹測量，透過實際測量的結果與地面光達所獲得的資料相較之下，其結果與均方根誤差範圍約為 1.5-3.3 cm (Maas *et al.*, 2008; Tansey *et al.*, 2009)。陳永寬等(2005)運用地面雷射掃瞄系統，進行樹高估算，發現量測樹高最佳準確度，可達全株實測高度之誤差在 5%以下，並建議未來能進一步發展適合的演算法。Omasa *et al.* (2002)透過地面光達，拍攝日本落葉松林(圖 5)，以獲得該區之點雲資料，進行立木距離、立木位置、植被分布與植被生長狀態之探討。Sanz *et al.* (2013)透過地面光達，進行林木幾何特徵偵測，結果顯示光達量測而得之林木體積，與實測體積有高度相關，並可透過光達所推測之林木體積，建立林木競爭之空間推估模式。

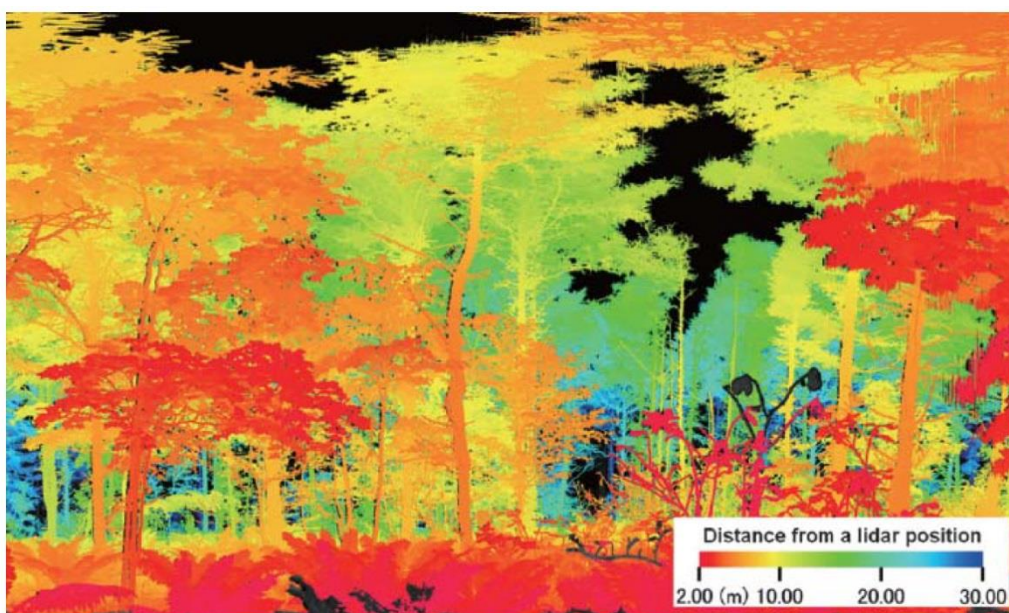


圖 5 日本落葉松林之精度 8 mm 地面光達假色資料(Omasa *et al.*, 2002)

(二)光達於地表偵測之應用

光達技術具有高精度、高解析度、高自動化，且高效率的優勢，近年已成為世界各國進行大面積三維地面資料測製之主流與趨勢，而其產製之高精度、高解析度數值地形模型(史天元等，2005；Hodgson *et al.*, 2003)，廣泛應用於地理資訊系統、工程建設規劃、都市計畫管理、數碼城市(賴彥中等，2005；Brenner, 2000)、土地利用所應用(Koetz *et al.*, 2008)、地球科學(Vosselman and Maas, 2010)。

吳孟珊等(2013)利用地面光達掃瞄於 2013 年 7 月和 10 月進行屏東來社溪上游掃瞄，建立 0.5 m 的數位高程模型(Digital Elevation Model, DEM)，兩年間共有 194,437.93 m³ 的侵蝕量。Eltner and Baumgart (2015)利用地面光達測量一山坡多

時期的土壤侵蝕情形，在一冬季期間以及一降雨事件，分別推估出侵蝕率 10 ha^{-1} 以及 2.4 ha^{-1} ，文中亦提及透過定義穩定的參考系統，多時期掃描結果精準度將小於 7 mm 。Neugirg *et al.* (2016) 於面積 $125,000 \text{ m}^2$ 進行為期一年的無人飛行載具 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) 與地面光達監測，光達掃描顯示地表的侵蝕和沉積會有季節性差異。而 UAV 掃描結果表示因為有 8.70 m^3 的侵蝕以及 2.0 m^3 的沉積，故整合結果地表為 6.70 m^3 的流失量。此外這一年的監測當中，可以看到崩塌、坡面沖刷和平移的現象(圖 6)。而地面光達與 UAV 掃描之差異在於計算流動物的體積不同，其差異來自於地面光達的陰影效應以及地點雲密度的關係。

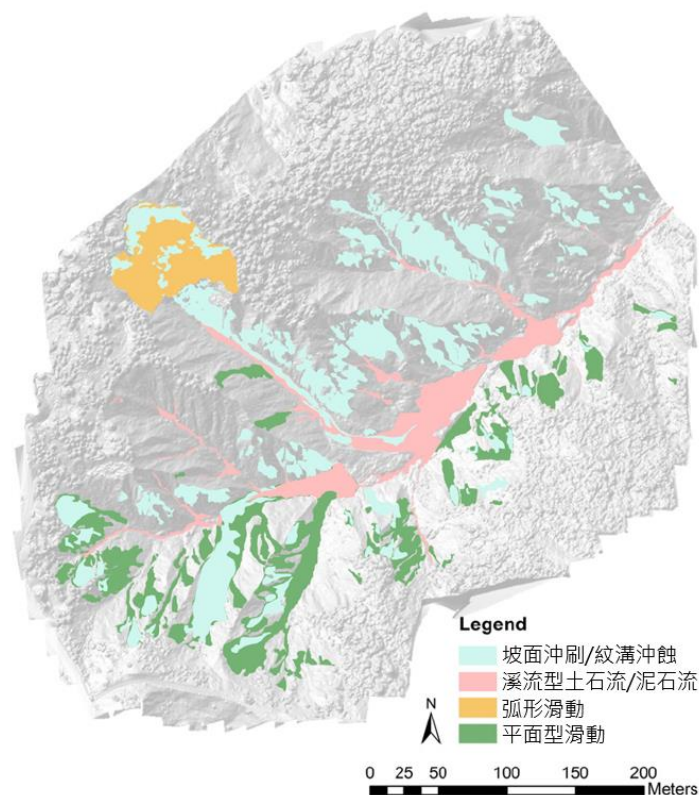


圖 6 地貌變動分布圖(Neugirg *et al.*, 2016)

參、重要工作項目及方法

一、第一年工作項目

- (一)於屏東林區管理處荖濃溪事業區第 98-101 林班，依據不同疏伐程度分別設立臺灣杉及紅檜人工林永久地面監測樣區計 30 個，探討疏伐試驗區之力木狀態及生育環境狀態，以及建立永久樣區內之木本植物、地被植物名錄。
- (二)於永久地面監測樣區內設置紅外線自動照相機監測物種多樣性，並建立調查之動物名錄。
- (三)以地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)建立永久監測樣區之各項調查資料。
- (四)以地面光達於不同疏伐程度之臺灣杉與紅檜人工林永久地面監測樣區內監測疏伐試驗地內之土壤沖蝕程度。
- (五)永久監測樣區調查技術教育訓練(包含室內及室外課程)。

二、第二年工作項目

- (一)以地面光達於不同疏伐程度之臺灣杉及紅檜人工林永久地面監測樣區內監測疏伐試驗地內之土壤沖蝕程度。
- (二)以地面光達技術監測不同徑級之單木連年生長量、疏伐後樹冠鬱閉程度，評估疏伐撫育作業之效益。
- (三)於永久地面監測樣區內設置紅外線自動照相機監測物種多樣性，並建立調查之動物名錄。
- (四)地面光達監測土壤沖蝕教育訓練(包含室內及室外課程)。

三、第三年工作項目

- (一)以光達掃描技術監測不同徑級之單木連年生長量、樹冠鬱閉程度，評估疏伐撫育作業之效益。
- (二)於不同年度之疏伐作業區域，透過地面調查樣區之林分結構分析評估疏

伐撫育作業之效益。

(三)藉由數位探針式木材強度檢測及敲擊式立木內部檢測之非破壞性檢測技術分析木材力學強度及木材內部腐朽暨中空程度。

(四)進行地被監測樣區調查，建立木本與地被植物動物名錄。

(五)於永久地面監測樣區內設置紅外線自動照相機監測物種多樣性，穿越線動物調查，並建立調查之動物名錄。

(六)以光達掃瞄技術於不同疏伐程度之永久監測樣區內及作業道監測土壤沖蝕程度。

(七)建立紅檜及臺灣杉之單木及林分層級之收穫預測模式，並針對疏伐撫育作業進行工作程序及工時之成本分析。

(八)利用永久地面監測樣區與地面光達掃瞄之資料收集與分析模式，建立臺灣杉及紅檜人工林疏伐試驗地撫育前後之單木生長情況、生物多樣性、環境影響等綜合性效益評估及其動態變化(圖 7)。

(九)林木非破壞性檢測與中後期撫育作業模式教育訓練(包含室內外課程)。

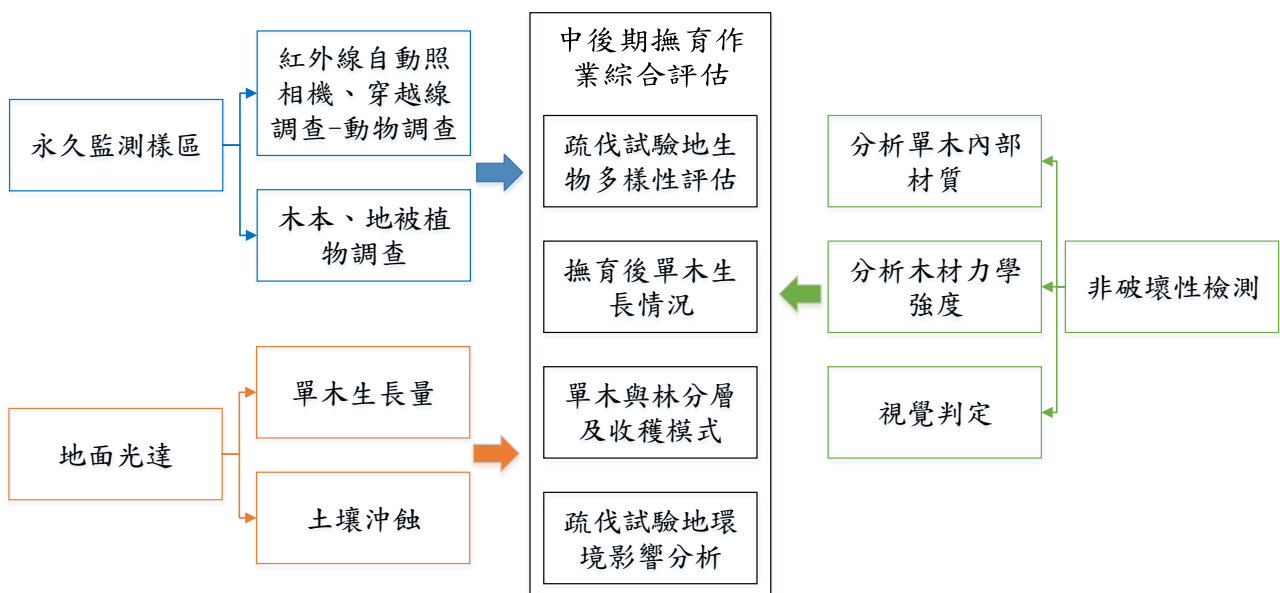


圖 7 本計畫三年之中後期撫育作業綜合評估

四、計畫執行方法

近年來臺灣人工林之經營，因受到環保意識高漲，被認為疏伐會對生態環境產生衝擊，然而為達到永續性經營森林所生產木材為目標，本計畫藉由設置永久地面監測樣區，收集臺灣杉與紅檜人工林之立木生長狀態及其生育環境資料，並利用先進的林業調查技術輔佐分析人工林疏伐撫育作業之效益評估，建立人工林中後期撫育之標準作業程序。本計畫以三年為期，本計畫研究流程，主要研究工作及方法如下圖 8：

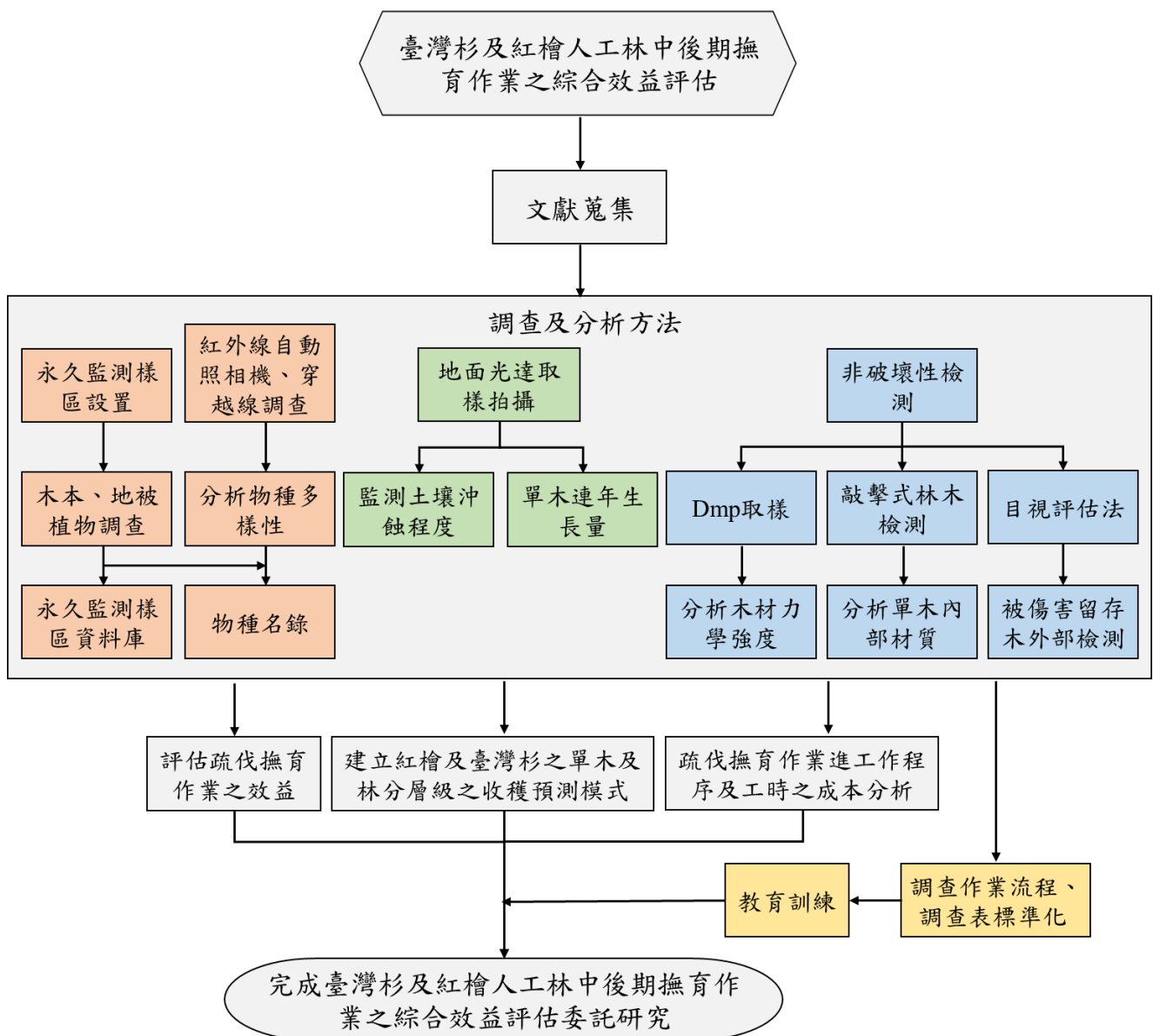


圖 8 本計畫研究流程圖

(一)計畫區概況

本計畫區域為屏東林區管理處管轄之荖濃溪事業區美瓏山林道第 98-102 林班(圖 9)。荖濃溪主要由唯金溪、拉克斯溪、寶來溪、邦腹溪、濁口溪、馬里山溪、萬山溪等匯集而成，地勢由東向西逐漸緩降，呈現險緩斜型，主要山脈為關山(3,668 m)、小關山(3,249 m)、卑南主山(3,294 m)、出雲山(2,772 m)、遙拜山(2,415 m)、東藤枝山(1,805 m)、新集山(1,560 m)。研究區域內高低起伏較大，最低處第 102 林班為 614 m，最高處為第 98 林班 2,579 m。

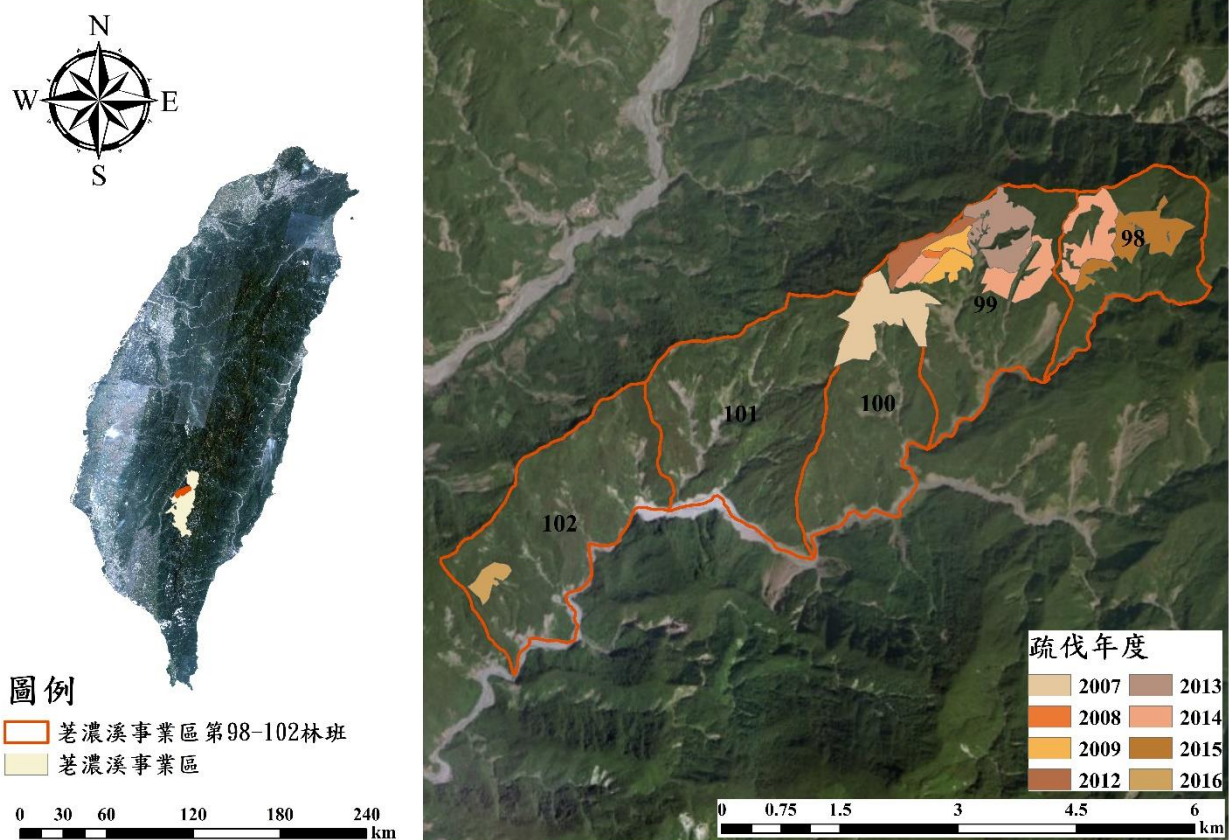


圖 9 荖濃溪事業區第 98-102 林班位置圖

美瓏山林道位於高雄市東北部的六龜區，東鄰桃源區、茂林區，西鄰甲仙區、杉林區、美濃區，南接屏東縣高樹鄉，位居屏東平原與中央山脈之丘陵交會地，地處六龜地塹帶，荖濃溪縱谷西岸河階上，南北狹長。本區在氣候上屬亞熱帶型氣候，如圖 10，年均溫為 16.7°C，年降雨量約為 3,357 mm，雨量相當集中，降雨分布不均，每年 3-10 月為特濕期(Perhumid)，而 11 月至翌年 2 月為相對潮濕期(Period of Relative Humid)。

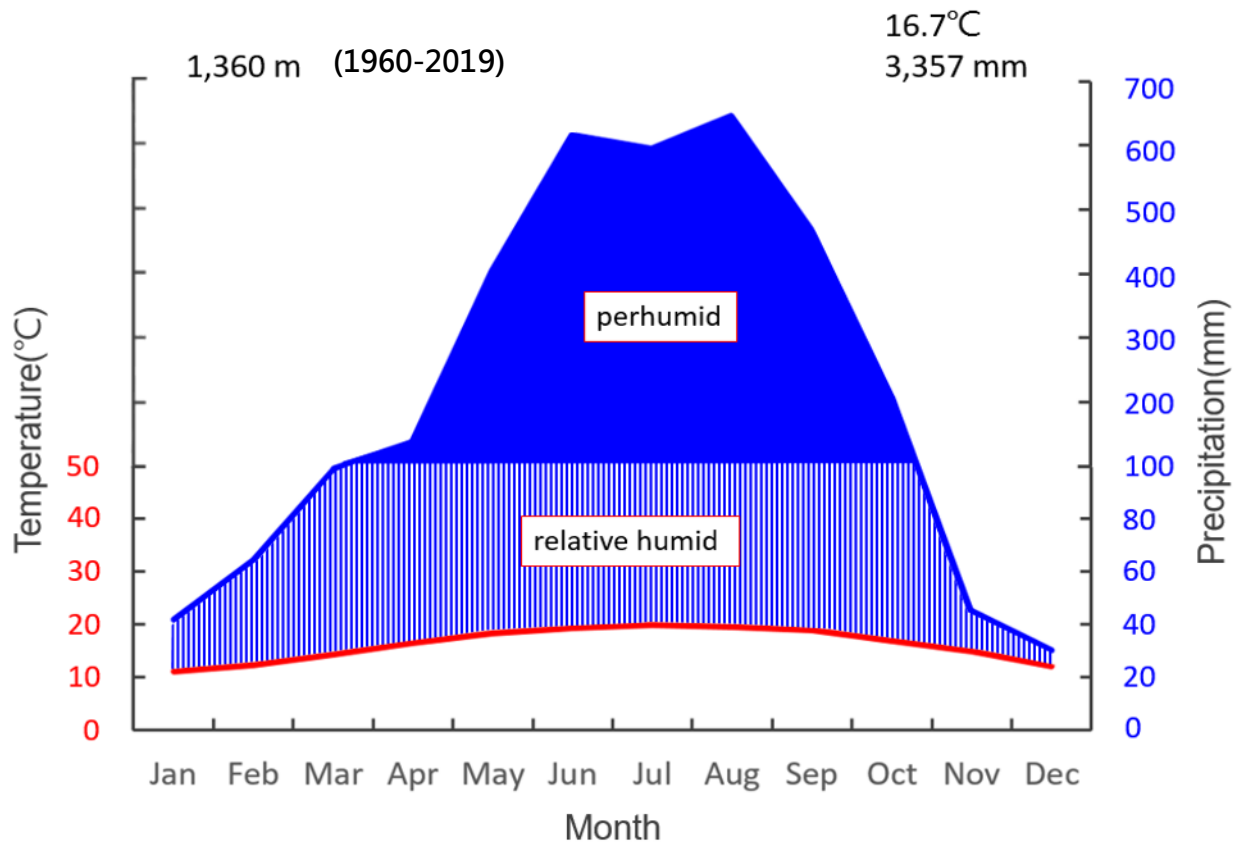


圖 10 計畫區域生態氣候圖(資料來源：臺灣氣候變遷推估與資訊平台 TCCIP)

荖濃溪事業區第 98-102 林班內有源自於卑南主山北側的寶來溪，由東向西匯流至荖濃溪，其屬於高屏溪水系，為荖濃溪第二大支流；荖濃溪事業區第 98-102 林班距離約 2 km 之荖濃溪，源自於玉山東峰，至高雄嶺口與旗山溪合流成高屏溪。

研究區之土壤以砂壤土(sandy loam)為主，壤土(loam)次之，土壤深度及濕度均適中，計畫區域以北地勢急峻，表土淺，多以石礫為主，計畫區域以南濕度高、坡度緩。海拔高 2,500 m 以上區域除了棕色森林土以外，有乾性、濕性灰化土及石質土。其中灰化土出現在 2,800-3,000 m，其特性為土壤表面之枯枝落葉層產生有機酸，隨雨水滲入土壤中，將土中鐵、鋁離子析出，而沉積在酸性較弱之 B 土層中，並氧化成顏色鮮艷之鐵鏽色，顏色鮮艷，而表土中之 A2 層溶脫後，存留矽化合物呈灰白色。

荖濃溪事業區海拔高度差異較大，依照臺灣植物垂直分布區分，包括熱帶林、暖帶林、溫帶林與寒帶林等天然林與人工林，熱帶林分布範圍為海拔 500 m 以下，主要樹種包括楠木類(*Phoebe*)、榕類(*Ficus*)、茄苳(*Bischofia javanica*)、九芎(*Lagerstroemia subcostata*)、無患子(*Sapindus mukorossi*)、木棉(*Bombax malabarica*)、

油桐(*Aleurites fordii*)、野桐(*Mallotus japonicus*)、山黃麻(*Trema orientalis*)、竹類與其他闊葉樹等；暖帶林分布範圍為海拔 500-1,800 m，主要樹種包括松類、臺灣櫟(*Zelkova serrata*)、紅檜、臺灣肖楠、臺灣杉、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、柳杉、竹類等人工林，天然林則以樟科(*Lauraceae*)、楠木類與殼斗科(*Fagaceae*)等混交林為主，松類、紅檜、鐵杉(*Tsuga chinensis* var. *formosana*)等混交林為次要；溫帶林分布範圍為海拔 1,800-3,000 m，主要天然林林相以樟科、楠木類與殼斗科為主，次要為松類、紅檜、鐵杉與臺灣杉等所組成，珍貴樹種包括紅豆杉(*Taxus sumatrana*)與牛樟(*Cinnamomum kanehirae*)，人工林則為紅檜、臺灣杉、松類與雲杉(*Picea morrisonicola*)等；寒帶林分布範圍為海拔 3,000 m 以上，以臺灣冷杉(*Abies kawakamii*)、松類為主，鐵杉、樟楠類、殼斗科與其他針葉樹次之，目前積極進行復育造林、人工林疏伐及林下栽植試驗。

(二)臺灣杉及紅檜人工林永久監測樣區設置

1.樣區設置數量與大小

本計畫於荖濃溪事業區第 98-101 林班內，2007-2009 年、2012-2015 年之疏伐林分設置永久監測樣區(圖 11)，其位置根據主管單位提供之疏伐資料，選定合適之永久地面監測樣區進行調查及資料分析，分別收集木本植物與地被植物之資料。本計畫參考林務局第四次全國森林資源調查-事業區外地面樣區設置與調查工作手冊，及過去本計畫團隊在小關山臺灣杉與紅檜人工林疏伐相關研究及現場勘查之經驗，考慮試驗地人工林之結構及樹種組成較為均質，因此以 0.05 ha 之矩形樣區(25 × 20 m)作為監測樣區之大小。本計畫在第 98-101 林班臺灣杉及紅檜人工林中，分別設置 15 個永久監測樣區，共計 30 個永久監測樣區，因應不同海拔、疏伐之鬱閉程度，平均分配永久監測樣區的位置。

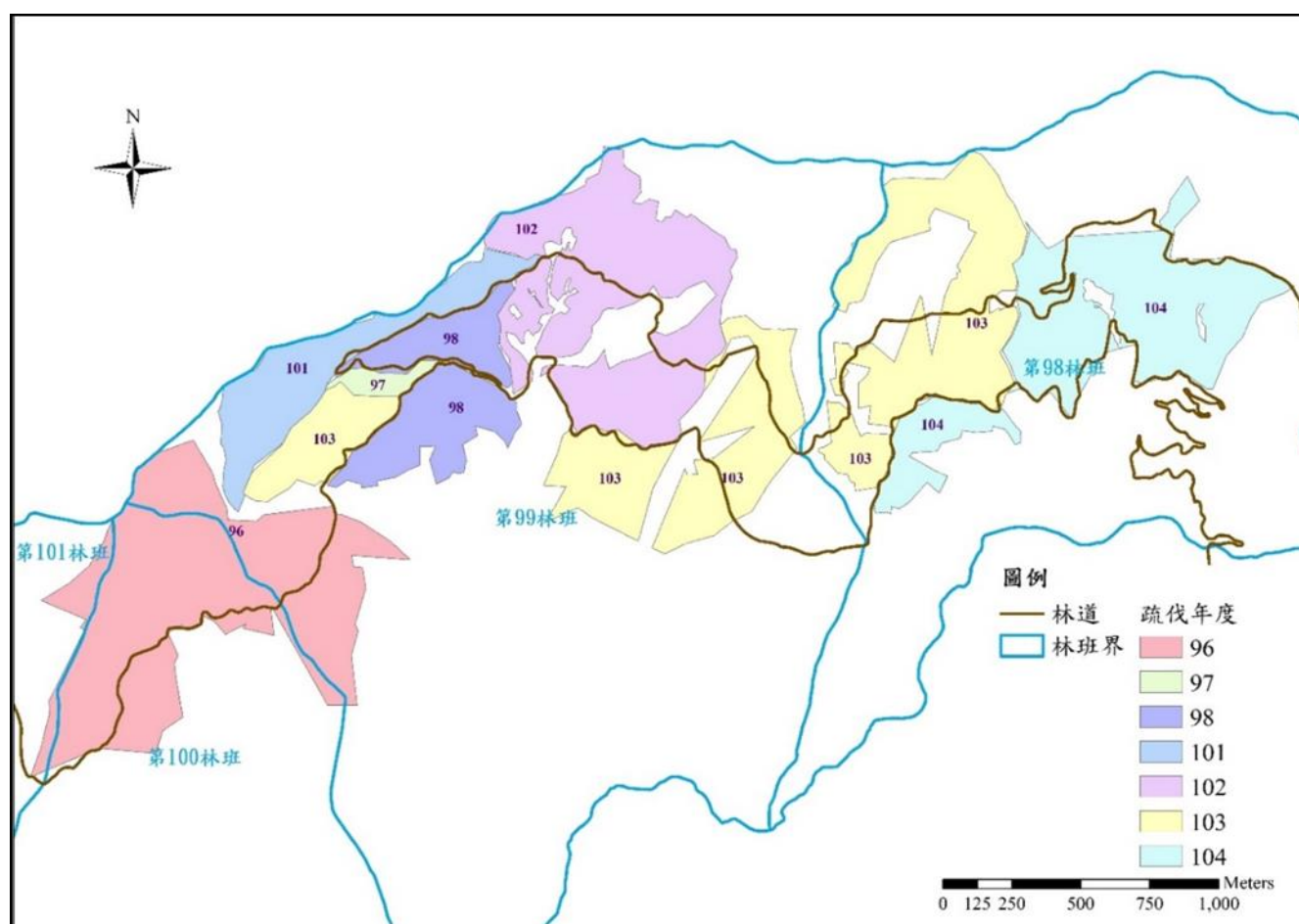


圖 11 荖濃溪事業區第 98-101 林班各年度疏伐界線

2.樣區資料監測項目

永久監測樣區資料監測項目分為樣區環境資料、樣區林木資料、樣區地被資料、建立永久監測樣區調查資料庫以及作業道評估樣區設置五大項：

(1)樣區環境資料監測

監測樣區環境資料監測項目包括樣區記敘資料(樣點編號、林區代碼、事業區代碼、林班、調查日期與樣區面積)、坐標系統(GPS 橫坐標、GPS 縱坐標與坐標系統)、位置資料(海拔高、坡度、坡向、地形、造林年度)、DEM 取得本計畫區域之坡度、坡向、海拔高及方位等資料，並以 LAI2200 蒐集各樣區之鬱閉度。

氣候資料將透過科技部之臺灣氣候變遷推估與資訊平台(Taiwan Climate Change Projection and Information Platform, TCCIP)建置計畫，該平台為統整及產製過去長期完整的臺灣氣候資料及推估未來之氣象資料以供政府、學校以及研究單位作氣候分析，其氣象資料整理最新供應資料為 1960-2015 年全臺灣 5 km 解析力之月降雨、平均溫度、最高溫與最低溫之網格化資料。選擇 TCCIP 資料之優勢為全臺灣網格化之資料，相較於各氣象站的數據，可節省資料收集以及整理的時間，並且避免掉部分氣象站間距離太大所造成的誤差。2016-2019 年之氣候資料則以計畫區域周邊中央氣象局所設置之小關山氣象站資料為分析依據。

(2)樣區立木資料

本計畫參考 2006 年林務局所發表的森林永久樣區調查工作手冊，部份樣木資料納入調查項目，包括樣木號碼、樣木狀態、記錄類型、立木位置 X 與 Y 坐標、樹種中名、胸高直徑、樹高等資料。

(3)地被植物樣區

小苗的建立與生長受地被層微環境的篩選，影響樹冠層樹種的更新、結構及空間分布，進而影響著森林的演替趨勢。本計畫之地被植物監測樣區設置於永久監測樣區附近，透過逢機取樣法進行樣區篩選，每一永久監測樣區內共設置 4 個 (1 × 1 m) 的地被植物監測樣區，以監測維管束植物為主，監測內容包括有植物種類及覆蓋度，並對每一個地被植物監測樣區，進行拍照記錄(圖 12)。



圖 12 地被植物監測樣區設置示意圖

(4)建立永久監測樣區調查資料庫

本計畫將參考國土資訊系統(National Geographic Information System, NGIS)生態資源資料庫之標準格式，以 GIS 軟體建置造林木的立木位置及量測之屬性欄位，建立造林木生長及其生長環境資料庫。而物種調查資料，將以 TaiBNET 資料庫之學名資料做為比對校正之參考，並依據 NGIS 生態資源資料庫之標準格式建立物種名錄並進行物種統計及生物多樣性分析。

樣區立木資料係透過地面光達之點雲資料，求解立木位置、胸高直徑、樹高資料並配合地理資訊系統(GIS)軟體，建置立木位置空間分布圖，透過坐標進行樣區內每木屬性(樹種、胸高直徑、樹高、材積等)，串連到立木位置圖之屬性表欄位，即可透過 GIS 之空間分析功能，探討立木空間位置之相互關係，並可快速查詢立木屬性資料，如圖 13。

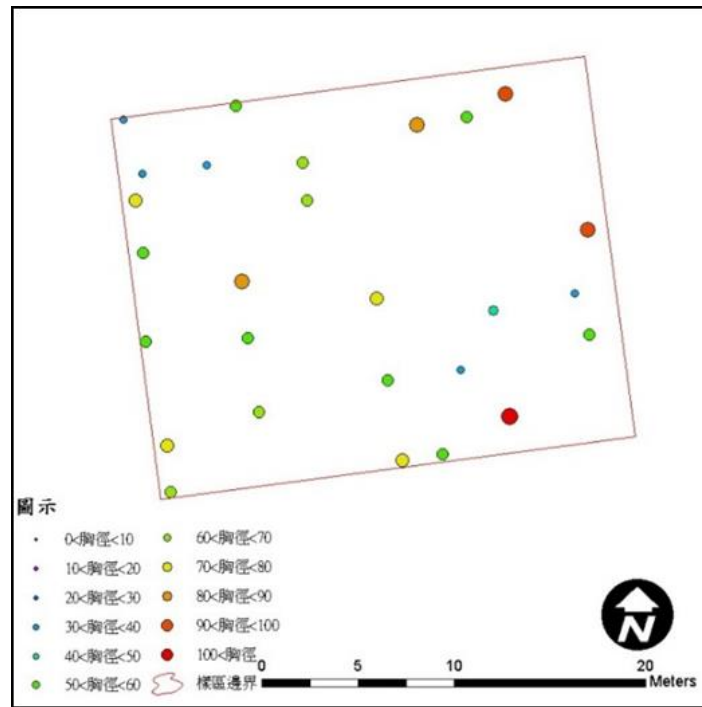


圖 13 立木位置空間分布圖

(三)動物監測

本計畫將於未疏伐與不同疏伐度之樣區進行動物調查並作比較，其動物監測種類包括哺乳類、鳥類，計畫中採用沿線調查法、設置紅外線自動照相機等方式進行監測(表 1)。因經費限制，故監測頻度為 1 年 1 次，共 3 次，並註明調查日期，調查時間則依照物種之生活習性不同而做調整，而後調查結果以相關文獻佐證。

表 1 不同種類動物監測方法說明

監測類群	調查方法	調查方法說明
鳥類	沿線調查法	於監測樣區範圍內設置等長的監測樣線，以8-10倍的雙筒望遠鏡觀察沿線鳥類，輔以鳴叫聲音辨別，記錄未疏伐與不同疏伐度樣區之棲地類型中看到和聽到的鳥類種類。
哺乳類	紅外線自動照相機	於8個永久監測樣區100 m範圍內架設紅外線自動照相機，進行連續性拍攝，每季至少有30天以上之記錄，並每月進行巡視確保照相機作業無誤。

透過所收集之野生動物出現種類及出現次數資料，並透過標準化活動指標亦稱出現頻度指數 (Occurrence Index, OI)，可作為族群豐富度指標，其計算公式如下：

$$OI = \frac{\text{一物種在該樣點的有效影片或照片總數量}}{\text{該樣點的相機總工作時數}} \times 1000 \text{ hr} \dots\dots\dots (\text{式 2})$$

相機工作時數為相機開機後至最後1張照片拍攝時間的間隔時間，以小時為計算單位，總工作時數則是各次工作時數的加總。有效照片為1 hr內同一隻個體的連拍，只視為1張有效照片記錄；不同個體，即使同1 hr內連拍，也當作不同的有效記錄，若1張內有2隻以上個體，每隻都視為1筆有效記錄。

(四)應用地面光達系統監測單木生長量及疏伐試驗地、作業道土壤沖蝕程度

本計畫針對不同疏伐年度試驗樣區導入先進之地面光達技術，地面三維雷射掃瞄(圖 14)可測繪精細之數位地表模型(Digital Surface Model, DSM)、DEM 與數位地形模型(Digital Terrain Model, DTM)，並建立出林分高度模型(Canopy Height Model, CHM)。對於垂直變化較大之區域可提供更密集且細緻之測量資料，因此地面光達之點雲資料可充分分析疏伐試驗地內單木生長量。



圖 14 地面光達三維雷射掃瞄儀

本計畫預定在 2007-2009 年、2012-2015 年疏伐區於 2017 年 9 月至 2020 年 2 月進行光達掃瞄，以地面光達點雲資料分析樣區內單木及林分之性態參數，包括：單木胸徑、樹高、材積、林分密度、蓄積量等。樣區林分蓄積量係以樣區每木材積之總和除以樣區面積求得每公頃蓄積量。

地面光達之林地立木點雲資料，以 $0.1\text{ m} \times 0.1\text{ m}$ 之運算視窗，尋找視窗範圍內高程最低點之點雲，將其分類為地面點，其餘則為林木點；根據點雲空間分布狀態，以人工判釋方式選取每株林木位置，再依照點雲之自然色，去除樹葉與多餘的枝條，篩選出立木幹材。以地面點為基準，利用電腦自動化之方式切取離地 1.3 m 處之光達點雲橫切面，三維立體立木模型幹材部份之胸徑圓盤點雲，並測量圓盤直徑與立木位置中心；立木樹高之測量亦依據相同方式進行。

最大外切圓擬合法透過已知的各項坐標值(X, Y)，求空間中未知三點 a_1 、 a_2 、 a_3 坐標，以線性代數分離未知已知項目再用最小平方迴歸法求出擬合 a_1 、 a_2 、 a_3 ，擬和圓求中心後 再求各點半徑最大值即可求最大外切圓。

$$x^2 + y^2 + a_1x + a_2y + a_3 = 0$$

$$\Rightarrow \left(x^2 + a_1x + \frac{a_1^2}{4}\right) - \frac{a_1^2}{4} + \left(y^2 + a_2y + \frac{a_2^2}{4}\right) - \frac{a_2^2}{4} + a_3 = 0$$

$$\Rightarrow \left(x + \frac{a_1}{2}\right)^2 - \frac{a_1^2}{4} + \left(y + \frac{a_2}{2}\right)^2 - \frac{a_2^2}{4} + a_3 = 0$$

$$\Rightarrow \left(x + \frac{a_1}{2}\right)^2 + \left(y + \frac{a_2}{2}\right)^2 = \frac{a_1^2 + a_2^2}{4} - a_3 \Leftrightarrow (x - a)^2 + (y - b)^2 = R^2$$

$$\therefore circle_x = -\frac{a_1}{2}, circle_y = -\frac{a_2}{2}, circle_r = \sqrt{\frac{a_1^2 + a_2^2}{4} - a_3} \dots \dots \dots (式 3)$$

註：X、Y：已知的各項坐標值；a₁、a₂、a₃：未知解算值；circle_x：圓中心 x 坐標值；circle_y：圓中心 y 坐標值；circle_r：圓半徑值。

土壤沖蝕監測部分，預定挑選 6 個不同疏伐鬱閉度與未疏伐，並且坡度相近的永久監測樣區，於樣區內設置 3 個 1×1 m 的監測小樣區(圖 15)，共計 18 個小樣區，並於小樣區的 4 個角落設置 1 m 之水管，圓直徑約 10 cm，作為光達掃描之控制點，分別製作極端事件前後 DEM 計算土壤沖蝕量，此外將探討累積降雨與林地土壤沖蝕之關係。而監測樣區之土壤沖蝕結果將與水土保持技術規範提供之逕流量合理化公式作對照，其合理化公式如下，其中逕流系數將採用逕流係數 C 值參考表，得知陡峻山地、丘陵地或森林之 C 值為 0.75，並用地面光達觀察每年的土壤沖蝕量與公式所估算的逕流量是否有一致性之趨勢。

$$Q_p = \frac{1}{360} \times CIA \dots \dots \dots (式 4)$$

註：Q_p：洪峰流量(m³/sec)；C：逕流係數；I：降雨強度(mm/hr)；A：集水區面積(ha)



圖 15 土壤沖蝕監測樣區示意圖

作業道土壤沖蝕監測部分，美瓏山林道近期因疏伐而整修作業道，該區域將會受到人為干擾，尤以作業運輸車可能影響較大。本計畫將於第 98 林班及第 102 林班疏伐區域之作業道進行土壤沖蝕監測，利用地面光達掃瞄不同鬱閉度之作業道，其土壤沖蝕量之變化。亦於作業道兩側設置水管作為控制點，於極端降雨事件前後利用地面光達掃瞄分別製作降雨事件前後 DEM 計算土壤沖蝕量。

(五)藉由非破壞性檢測技術監測單木健康程度

森林經營之中後期撫育其目的在於改變林分結構，增加林地空間促使留存木有更好的生育環境，而改變林分結構是否將影響留存木之內部性質，透過非破壞性檢測技術即可在立木狀態下進行檢測，本計畫將挑選 8 個永久監測樣區進行每木檢測，藉由此技術以探討未疏伐與各不同疏伐度在同一徑級樣木之木材力學強度差異及木材內部腐朽暨中空程度。

此外，在疏伐過程中，因伐木作業而受傷害之留存木，本計畫將針對第 98、99 林班因疏伐作業損傷之留存木以目視評估法評估健康度，再以數位探針式與敲擊式樹內腐朽簡易診斷裝置功能作樣木內部之檢測，並且探討三種檢測方法之相關性，其介紹如下：

1.數位探針式木材強度檢測

立木生長量檢測器 DmP 如圖 16，該儀器係利用配備馬達搭配手動推進，使探針鑽入林木中，測得林木對探針之鑽孔阻抗強度，並記錄阻抗強度之曲線分布，

藉由阻抗強度分布曲線，探究林木材質變化。其儀器長 70 cm，探針頭為扁平匙狀，長度為 250-1,000 mm(本計畫採用 375 mm)。其配備包含充電式鋰電池及金屬電流探測器等，儀器須與電腦進行連線才能運作，並以 1:1 比例表示出腐朽的空洞及木材年輪寬。

本計畫所使用之 DmP 非破壞檢測系統，是利用配備的馬達驅動探針鑽入立木樹幹中，測得立木樹幹對探針的鑽孔阻抗強度。其探針頭為扁平匙狀，藉助此儀器與電腦連線，可瞭解立木樹幹劣化之程度與損壞位置，當探針遇到密度較高的部分時，鑽孔阻力增加，探針旋轉的次數就會增加，相對的當探針遇密度較低之木材時(如腐朽)，鑽孔阻力下降，探針旋轉的次數便會減少。樣木取樣位置位於 1.3 m 處。

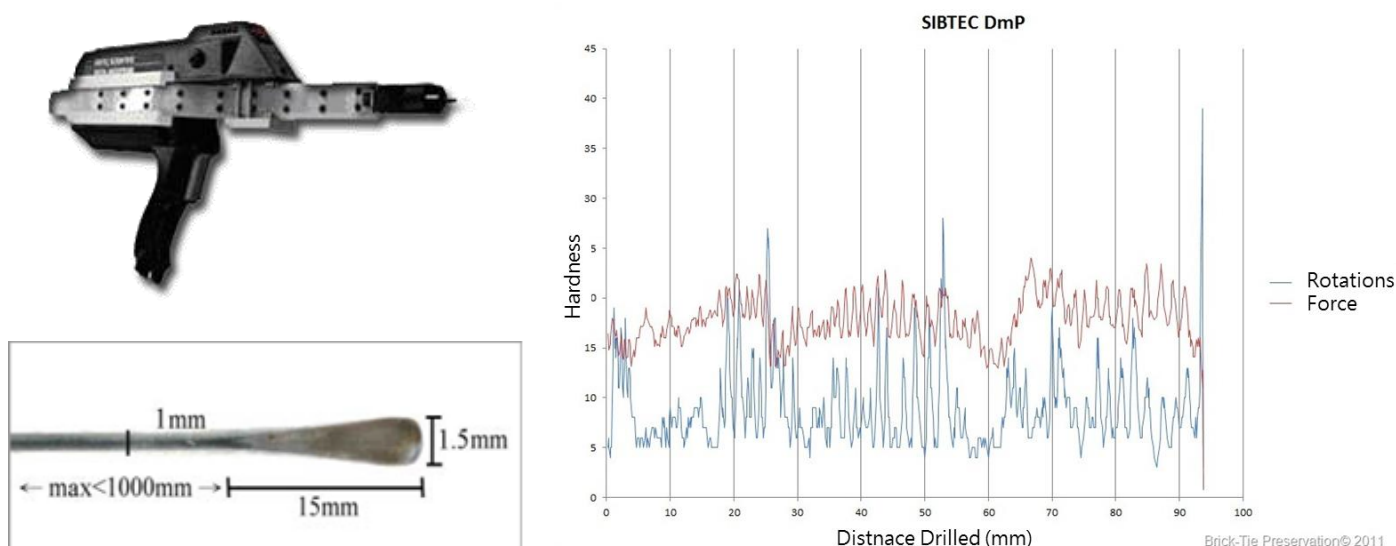


圖 16 立木生長量檢測器及阻抗分布曲線(資料來源：DmP 儀器使用說明書)

2. 敲擊式林木內部檢測

敲擊式樹內腐朽簡易診斷裝置功能是一種透過敲擊林木樹幹所產生的音波，進行林木內部腐朽程度的判斷，其特點是能快速、簡易、輕便及不用破壞林木就能檢測出林木內部腐朽程度情況。本儀器是利用橫向敲擊共振法之測定原理來進行林木腐朽程度判定，測定方法是利用敲擊林木後所產生的音波進行錄音，並將聲音波型透過快速傅立葉轉換(FFT)進行聲頻分布分析。聲頻分布中頻率最大的峰值分析出來後，經由和林木直徑數據及調查樹種健康林木的標準值進行比較，判斷林木內部異常現象。音頻在經快速傅立葉轉換(FFT)將波形放大後，呈現如下圖 17 所示，其中波段中最高的波峰(為紅線所表示的 1.55 kHz 部份)。

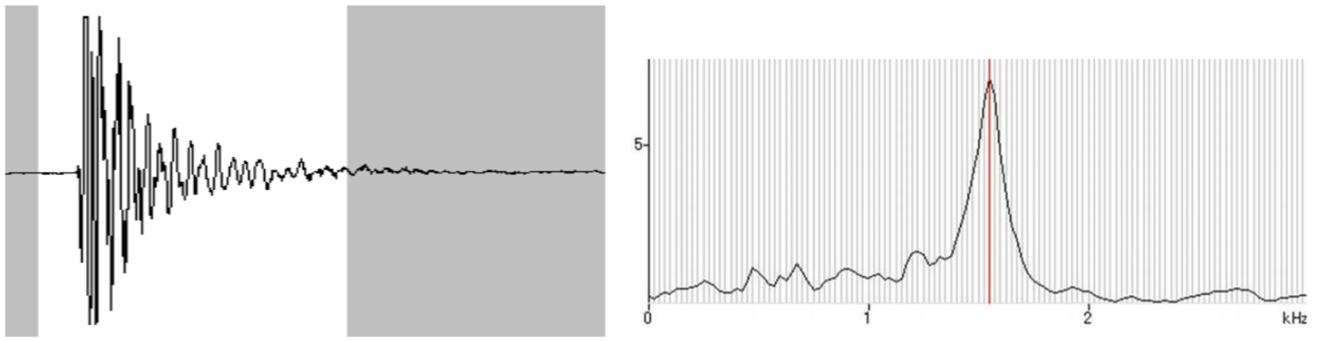


圖 17 音頻快速傅立葉轉換(資料來源：敲擊式林木內部檢測儀器說明書)

例如敲擊健康的樹木時，音波能用最短距離通過林木內部；反之不健康的樹木內部產生空洞(腐朽)造成音波傳導延遲。即無異常現象之健康的林木，共振波長呈現出最短直徑長度方向；如果林木出現內部異常的情況，由於異常部並不會傳導振動，音波振動會繞過異常的部份，造成共振波長出現變長的情況，使共振頻率產生較低的現象(圖 18)。樣木取樣位置位於 1.3 m 處，若訊號不明確，則增加敲擊次數或於 0.3-1.3 m 端增加敲擊及記錄。

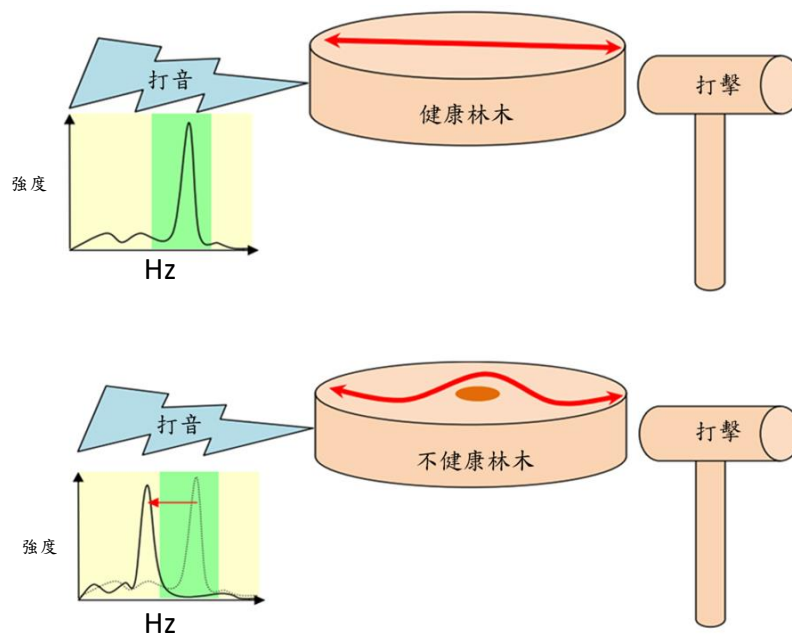


圖 18 樹木內部音頻傳導路徑(資料來源：敲擊式林木內部檢測儀器說明書)

3.目視評估法

依調查項目可分為根部、樹幹、樹枝和葉，本計畫團隊依過去執行臺北市政府《104 年度臺北市受保護樹木樹籍資料複查工作》、金門縣林務所《2015 行道樹新十年計畫暨全島生態綠廊樹籍普查》等計畫，所採用之調查檢測項目檢查被

傷害留存木主要受傷情形，如表 2。該調查項目係整合國內外森林健康之相關文獻後，所規劃出適用於國內樹木健康檢測之規則。

表 2 留存木監測調查表

樣區編號：_____ 樣區坐標：_____

林分密度：_____ 紀錄日期：_____ 調查人員：_____

項目 編號	整體	根	主幹	冠層		
	傾斜	根部狀態	裂開	樹冠密度	冠層狀態	葉子退色
	0-1 分	0-3 分	0-2 分	0-10 分	0-6 分	0-1 分

根據調查表之檢測項目詳述如下：

(1)傾斜

當樹木傾斜，將可能因為重心偏移、遇到強風，而形成倒木，在倒塌過程可能會撞擊其他留存木造成傷害。此項目是觀察被傷害留存木主體是否有傾斜，若有傾斜則給予 0 分，無傾斜為 1 分。

(2)根部狀態

根部裸露甚至受傷將影響林木養份與水份，故列入評估項目，其生長於土中根部之受損情形，無法以肉眼判釋，但如根部有受損則易反應於冠層上。依據根部狀況不同將其分為 4 種等級如圖 19。

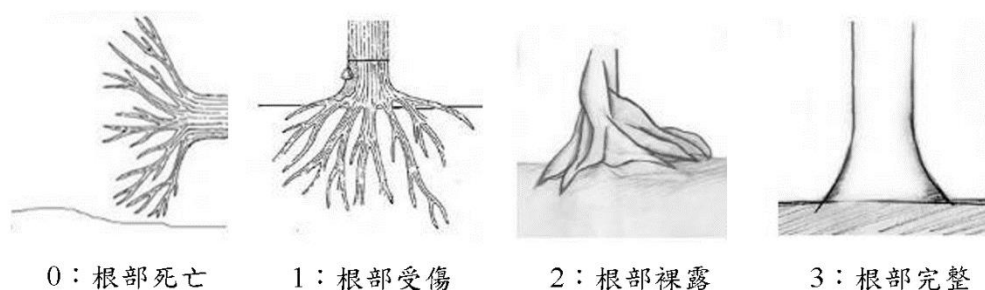


圖 19 根部狀態判定示意圖

(3)主幹裂開

疏伐過程在放倒疏伐木時，可能因撞擊其他留存木，使留存木主幹裂開，其將增加病蟲害感染風險，未來可能影響林木價值。以目視監測被傷害留存木主幹是否裂開，若主幹有因人為因素裂開給予 0 分，因天然因素裂開給予 1 分，無裂開為 2 分。

(4)樹冠密度

樹冠葉量的高低會影響光合作用的效率，進而影響樹木的生長，樹冠葉量可用樹冠密度加以量測。依圖 20 調查比例所示，95%=10，5%=1，樹冠枯死=0，為光線無法穿透部分之樹冠面積的百分比，包括樹木側枝以及樹冠葉子部分，即全樹冠視域之樹木側枝和葉的面積百分比。

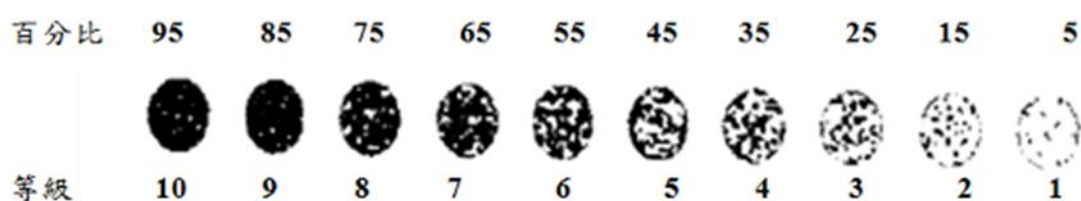


圖 20 樹冠密度及透視度評分標準

樹冠密度量測方法可由 10×10 的網格(圖 21)套疊到冠層上，每一網格代表 1%，總共 100%，並依樹冠空隙所佔的網格計算百分比。

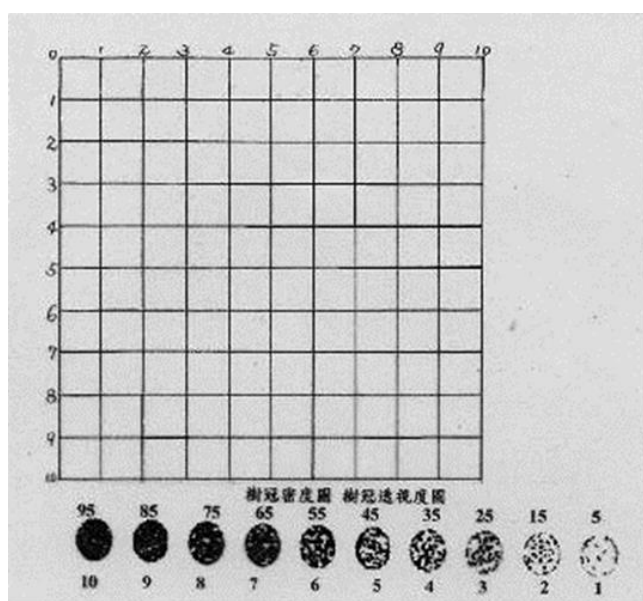


圖 21 樹冠密度及透視度透明卡

(5)冠層狀態

當樹木生長環境不良或樹木遭受病蟲危害時，樹木冠層的生長狀態會受到生長逆境的影響，而造成活冠層以上的落葉，因此樹木的活冠層之落葉狀況，常被用來評估樹木健康度之指標。樹木依據不同的落葉情形給予評分，可分成 6 級(圖 22)，無落葉給予最高分 6 分，落葉少於 25%為 5 分，26-50%落葉為 4 分，51-75%落葉為 3 分，76-90%落葉為 2 分，超過 90%落葉則為 1 分，樹木枯死則為 0 分。

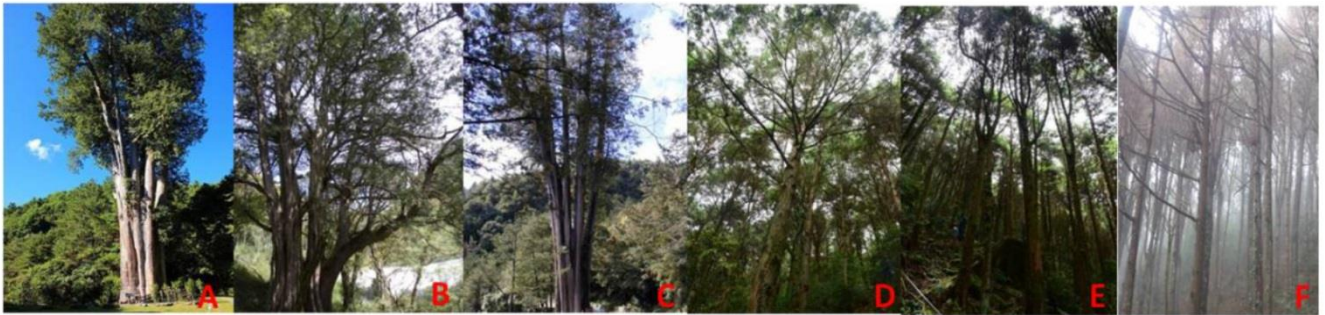


圖 22 評估冠層狀態之標準(A)無落葉(B)落葉 25%(C)落葉 26-50%(D)落葉 51-75%(E)落葉 76-90%(F)落葉超過 90%

(6)葉有無退色

枝條退色有無將反應樹木是否正常運送水分、養分，若有退色則給予 0 分，無退色為 1 分，示意如圖 23。



圖 23 葉有無退色示意圖(A)正常無退色(B)退色

(六)建立臺灣杉及紅檜之單木及林分層級之收穫預測模式

本研究以地面光達進行樣區掃瞄為 3D 點雲資料，利用點雲資料，進行樣木測計，精確量測樣木之胸徑與樹高資料，以供為建立臺灣南部地區紅檜及臺灣杉之單木及林分層級之最佳收穫預測模式。而針對不同強度之疏伐作業，調查其疏伐撫育作業之工作程序及工時成本，以利建立疏伐作業規範。

1.單木收穫預測模式

收穫預測模式之建立須先由單株材積之測計開始，得知材積即可進行立木材積式、樹高曲線式以及樹冠與胸徑關係式之推估。本計畫利用光達所掃瞄之單木 3D 點雲資料，量測胸徑、樹高及材積，而材積以 Huber 公式區分求積法(圖 24)，估算 30 株以上之不同徑級樣木之材積，其公式如下：

$$v = (r_1 + r_2 + \cdots + r_n) \times l + v_t \dots \dots \dots (\text{式 } 5)$$

式中 v_t 為梢端材積，以圓錐體之公式求得：

$$v_t = \frac{1}{3} g_n \times l' \dots \dots \dots (\text{式 } 6)$$

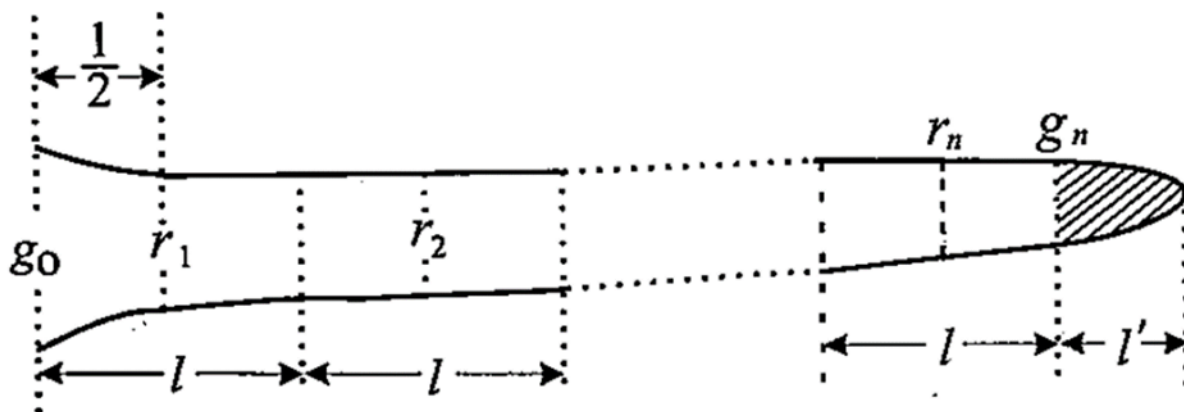


圖 24 Huber 公式區分求積法圖解

a.樹高曲線式

樹高曲線是以樣木之樹高與胸徑數據，利用適當之模式進行曲線式之建立，其中樹高為依變數，胸徑為獨立變數。一般常用之樹高曲線模式如下：

$$H = a \times D^b \dots\dots\dots(\text{式 } 7)$$

$$H = a \times D^b + 1.3 \dots\dots\dots(\text{式 } 8)$$

$$H = \left(\frac{D}{a+b \times D} \right)^2 \dots\dots\dots(\text{式 } 9)$$

$$H = \left(\frac{D}{a+b \times D} \right)^2 + 1.3 \dots\dots\dots(\text{式 } 10)$$

$$H = \exp \left(a + \frac{b}{D} \right) \dots\dots\dots(\text{式 } 11)$$

$$H = \frac{D}{a \times D + b} \dots\dots\dots(\text{式 } 12)$$

註：H：樹高(m)；D：胸徑(cm)；a、b：模式參數。

b. 立木材積式

立木材積式之建立係以樣木材積與胸徑、樹高等因子，以適當的關係模式，利用迴歸分析所建立而成，其中材積為依變數，胸徑與樹高為獨立變數。以下為4種常用立木材積推估模式：

$$V = a + b \times D^2 \times H \dots\dots\dots(\text{式 } 13)$$

$$V = a + b \times D^2 + c \times H + d \times (D^2 \times H) \dots\dots\dots(\text{式 } 14)$$

$$V = a \times D^b \times H^c \dots\dots\dots(\text{式 } 15)$$

$$V = a \times b \times D^c + H^d \dots\dots\dots(\text{式 } 16)$$

註：V：材積(m³)；H：樹高(m)；D：胸徑(cm)；a、b、c、d：模式參數

2. 林分層級收穫預測模式

(1) 直徑級林分表

林分表之組成係以直徑級別統計其株數分布(表3)，其用於陳述森林各部分之結構與林分蓄積量。

表 3 人工林直徑級林分表

直徑級(cm)	株數	胸高斷面積(cm ²)	材積(m ³)	合計
5				
10				
15				
20				
25				
30				
合計				

(2)全林分模式

以 Weibull 機率密度函數，模擬胸徑頻度分布，作為林分結構項目之評估，以 Weibull 機率密度函數參數，進行疏伐作業對直徑分布變化之影響。Weibull 機率密度函數公式如下：

$$\text{Weibull}(x, b, c, a) = \frac{c}{b} \cdot \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} \cdot e^{-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c} \dots\dots\dots(\text{式 1})$$

註：x：胸高直徑；a, b, c：模式參數

再以樣區每公頃收穫量為依變數，以林分材積具密切關係之 Weibull 機率密度函數之林分屬性 b、c 值為獨立變數(李久先、陳朝圳，1990)，利用多元迴歸建立林分蓄積量預測模式。本計畫利用以下公式進行全林分模式之推估：

$$\ln(V) = \alpha_0 + \alpha_1 \times b + \alpha_2 \times c \dots\dots\dots(\text{式 17})$$

註：α₀、α₁、α₂：模式參數。

3.疏伐作業程序規劃及工時之成本分析

疏伐之工作項目包含招標、擬定合約、伐木、造材、集材、運輸與疏伐木標售，而本計畫將利用屏東林區管理處所提供之資料，伐木工人以日計算，監工、檢尺、驗收及基地檢查人員以次計算，將其納入工時成本，並分析不同經營目的之中後期撫育作業模式之差異。

(七)評估疏伐撫育作業之綜合效益評估

以人工林之中後期撫育目標之經濟性、生態性及永續性為前提，利用計畫所設計之監測樣區之資料收集與分析模式，建立臺灣杉及紅檜人工林之中後期撫育之綜合效益評估模式，分析疏伐撫育前後之之效益評估及其動態變化。

1.林木性態值分析

透過地面光達所得之資料，以瞭解撫育作業前後林木性態值之變化，並以不同疏伐強度進行比較分析，本計畫將胸高直徑、材積之生長率列為疏伐效益評估之參考依據。

(1)連年生長量

$$\text{連年生長量} = X_{a+1} - X_a \dots\dots\dots(\text{式 } 18)$$

註： X_a ：a 年生之胸高直徑或材積； X_{a+1} ：a+1 年生之胸高直徑或材積。

(2)生長率

$$\text{生長率} = \left(\sqrt[n]{\frac{X_{a+n}}{X_a}} - 1 \right) \times 100 \dots\dots\dots(\text{式 } 19)$$

註： X_a ：a 年生之胸高直徑或材積； X_{a+n} ：a+n 年生之胸高直徑或材積； n ：生長經過期間。

2.林分結構

疏伐作業可加速留存木的徑級生長，藉由林分結構(徑級株數分佈)分析，解釋疏伐前後樣區內胸徑大小分布狀態。本計畫以 Weibull 機率密度函數，模擬胸徑頻度分布，作為疏伐前後林分結構項目之評估，以 Weibull 機率密度函數參數，進行疏伐作業對直徑分布變化之影響。Weibull 機率密度函數公式如下：

$$\text{Weibull}(x, b, c, a) = \frac{c}{b} \cdot \left(\frac{x-a}{b} \right)^{c-1} \cdot e^{-\left(\frac{x-a}{b} \right)^c} \dots\dots\dots(\text{式 } 1)$$

註： x ：胸高直徑； a, b, c ：模式參數

3.林分密度管理圖(Stand Density Management Diagrams, SDMD)

林木經營會藉由疏伐調整最適生長空間，而疏伐之時間與疏伐度之抉擇，將會影響疏伐效果，透過空間管理制訂一套疏伐準則有其必要。林分密度管理圖(圖 25)係根據林分密度與林木生長等參數之關係所繪製之圖形，該圖可反應林分之立木大小、密度、地位之關係性及林分之自我疏伐曲線，以供疏伐時間及疏伐度之判定。

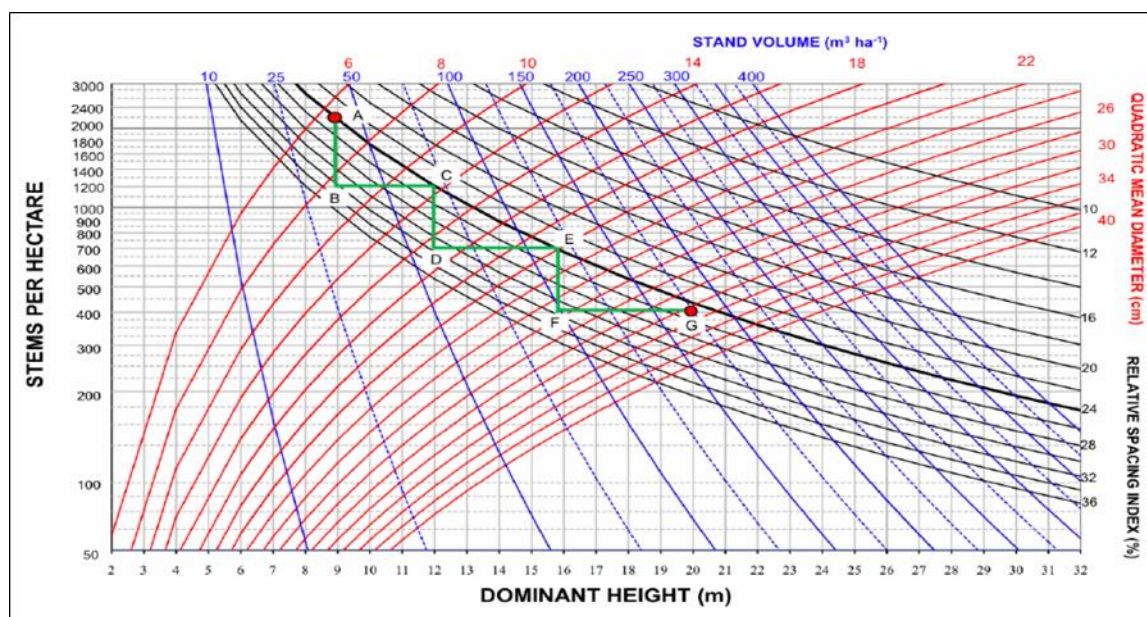


圖 25 *Quercus pyrenaica* 之林分密度管理圖(Castaño-Santamaría *et al.*, 2013)

林分密度管理圖所需之參數計算公式如下：

(1)相對空間(Relative Space, RS)

$$RS = \frac{100}{\sqrt{N} \times H_d} \times 100 \dots \dots \dots (\text{式 } 20)$$

註：N：每公頃株數； H_d ：優勢木樹高。

(2)林分密度管理圖之建立

林分密度管理圖由下列方程式與相對空間組成，將以下方程式透過非線性迴歸擬合，其中 N 和 H_d 為獨立變數， V 為依變數， d_g 為工具應變量。

$$d_g = a_1 \times N^{a_2} \times H_d^{a_3} \dots \dots \dots (\text{式 } 21)$$

$$V = a_4 \times d_g^{a_5} \times H_d^{a_6} \times N^{a_7} \dots\dots\dots(\text{式 } 22)$$

註： a_1 至 a_7 ：模式參數； d_g ：二次平均胸徑(cm)； H_d ：平均優勢木高(m)； N ：每公頃株數； V ：每公頃蓄積。

林分密度管理圖繪製步驟如下：

- A.以對數繪製優勢木樹高作為 X 軸、每公頃株數作為 Y 軸。
- B.繪製相對空間指數。
- C.利用通過一定範圍優勢木樹高內之二次平均胸徑等比例線，計算每公頃株數。
- D.利用式(23)帶入式(24)-(25)中的 d_g 並通過設定之 V 解出優勢木樹高範圍中每公頃株數。

本研究將利用第四次森林資源調查之紅檜及臺灣杉人工林之樣區調查資料，試圖建立兩樹種之林分密度管理圖。

4.林分碳吸存分析

人工林是否可藉由疏伐作業，增加碳吸存與碳儲存，亦為疏伐效益之重要評估項目。本計畫以政府間氣候變遷小組(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)之估算林業部門二氧化碳與碳貯存量方法為計算原則，其公式如下：

$$C_{plant}=(V_{stem/ha})\times V_{whole/stem} \times W_0/V_g \times C_{con}.....(式 23)$$

註： C_{plant} ：單株碳貯存量(ton/株)， $V_{stem/ha}$ ：每公頃林木材積， $V_{whole/stem}$ ：全株材積與幹材材積擴展係數， W_0/V_g ：重量與材積轉換係數， C_{con} ：碳含量轉換係數。

C_{plant} 為單株碳貯存量，欲推估每公頃碳貯存量，則須將 0.05 ha 樣區內單株碳貯存量加總，再將 0.05 ha 樣區碳貯存量推算為每公頃碳貯存量，以上所述之公式如下：

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_{plant}}{0.05}.....(式 24)$$

註：C：每公頃碳貯存量(ton/ha)， C_{plant} ：單株碳貯存量(ton/株)。

單位碳吸存量計算公式：

$$\text{單位碳吸存量} = C_{a+1} - C_a.....(式 25)$$

註： C_a ：a 年之每公頃碳貯存量(ton/ha)， C_{a+1} ：a+1 年之每公頃碳貯存量(ton/ha)。

5.生物多樣性評估

本計畫將調查樣區資料以重要值指數(Importance Value Index, IVI)、優勢度指數(Dominance Index, C)、Shannon 種歧異度指數(Shannon Diversity, H')、改良式 Hill 均勻度指標(Evenness Index 5, $E5$)及物種豐富指數(Species Richness Index, SR)，進行生物多樣性分析與評估，地被草本植物則計算各物種之相對覆蓋度。

(1)重要值指數(IVI)

$$IVI = (\text{相對密度} + \text{相對面積} + \text{相對頻度}) \times 100 \div 3 \dots\dots\dots(\text{式 } 26)$$

$$\text{相對密度} = \frac{\text{某一物種的個數}}{\text{所有樣區內全部物種的個數}} \times 100 \dots\dots\dots(\text{式 } 27)$$

$$\text{相對面積} = \frac{\text{某一物種的面積}}{\text{所有樣區內全部物種的面積}} \times 100 \dots\dots\dots(\text{式 } 28)$$

$$\text{相對頻度} = \frac{\text{某一物種出現的樣區數}}{\text{所有物種出現的樣區數}} \times 100 \dots\dots\dots(\text{式 } 29)$$

(2)優勢度指數(C)

$$C = \sum \left(\frac{n_i}{N} \right)^2 \dots\dots\dots(\text{式 } 30)$$

註： n_i ：某種個體數， N ：所有種個體數。

n_i/N 為機率，表示在一樣區內同時選出兩個體，其同屬於同一種的機率是多少。其最大值是 1；如果優勢度集中於少數種時， C 值愈高。

(3) Shannon 物種歧異度指數(H')

此指數受種數及個體數影響，種數愈多，種間的個體分布愈平均，則值愈高。但相對的，較無法表現出稀有種。

$$H' = - \sum \left[\left(\frac{n_i}{N} \right) \times \ln \left(\frac{n_i}{N} \right) \right] \dots\dots\dots(\text{式 } 31)$$

註： n_i ：某種個體數， N ：所有種個體數。

(4)改良式 Hill 均勻度指標($E5$)

$$N_1 = e^{H'} \dots\dots\dots(\text{式 } 32)$$

註： H' ：Shannon 物種歧異度指數(H')。

$$N_2 = \frac{1}{C} \dots \dots \dots (式 33)$$

註：C：優勢度指數。

$$E5 = \frac{N_2-1}{N_1-1} \dots \dots \dots (式 34)$$

此指數可以明顯的指示出社會組成的均勻程度。指數愈高，則組成愈均勻：反之，如果此社會只有一種時，指數為 0。

(5)物種豐富指數(SR)

係利用種數及組成生物之介量關係，以表示之。

$$d = \frac{S}{N} \dots \dots \dots (式 35)$$

註：d：物種豐富度，S：種數，N：個體數。

(6)草本植物之相對覆蓋度

$$\text{相對覆蓋度} = \frac{\text{某一物種的覆蓋度}}{\text{所有物種的覆蓋度}} \times 100 \dots \dots \dots (式 36)$$

(八)教育訓練

本計畫為期三年，本計畫團隊，本計畫針對成果每年規劃一次技術轉移教育訓練，將所有調查作業流程及表格標準化。教育訓練內容涵蓋永久監測樣區(含地被與野生動物調查)、地面光達調查作業以及林木非破壞性檢測等三項主要調查技術逐年教育訓練。每場教育訓練皆包含室內 3 小時之課程及戶外實習 4 小時課程，總計三場教育訓練，如下表 4：

表 4 本計畫三年技術轉移教育訓練課程表

年度/月份 時間	2018/05/31	2019/05/03	2020/05/22
3 小時 (室內課程)	1. 永久監測樣區設置原則 2. 紅外線自動相機設置	1. 光達掃描技術應用於林業調查 2. 手持式光達點雲資料處理 3. 地面光達操作基本介紹 4. 地面光達點雲資料處理	1. 疏伐作業對於森林健康之效益 2. 林木健康之非破壞性檢測原理
4 小時 (室外課程)	1. 調查作業流程教學 2. 實際樣區設置實習 3. 木本、地被植物調查	1. 手持式光達點雲資料處理 2. 地面光達點雲資料處理	1. 數位探針式木材強度檢測應用與實務操作 2. 敲擊式林木內部檢測及林木健康調查之應用與實務操作

(九)額外承諾項目

近年來無人飛機的航攝技術突飛猛進，其量測製圖的技術已達測量等級，且因其載台感應器(Sensor)更換方便，可快速、即時量測調查區的多樣式資料，如二維空間的數位彩攝影像、多光譜影像。因 UAV 採低空飛行受氣候影響較小，能夠取得 10-30 cm 的高空間解析力影像；且其拍攝具有高機動性，可配合地面樣區調查，同步拍攝樣區的空中資料，因此可取得完全對位與對時的空中與地面資料，同時獲得二維的遙測影像，對於未來多元化的森林經營，將可提供精準性、即時性與多向性的決策資訊。

本研究團隊規劃使用先進遙測技術 UAV 進行本區高解析度影像之拍攝如圖 26，結合 UAV 影像與樣區地面光達資料，建構以 UAV 影像所推衍之林分性態值為獨立變數之林分蓄積量推估模式。而 UAV 採低空飛行受氣候影響較小，可取得高解析度影像，高機動性，可同時配合地面光達的地面樣區調查，同步取得樣區之冠層屬性資料，解決過去使用遙航測進行二階段取樣調查時，所產生的對位與對時的困難。



圖 26 高解析度航空照片

利用 UAV 影像之光譜建立林分蓄積量推估模式，本計畫使用的感測器為紅光(R)、綠光(G)、藍光(B)三波段，近年許多研究發展出 R、G、B 的植生指標，如 Woebbecke *et al.* (1995)之 ExG、Louhaichi *et al.* (2001)之 GLA、Gitelson *et al.* (2002)之 NGRD、Ketaoka *et al.* (2003)之 CIVE、Neto *et al.* (2004)之 GxGR、Hague *et al.* (2006)之 VEG、Guijarro *et al.* (2011)之 COM 等指標，未來將利用上述指標依其相關性，建立最佳之林分蓄積量之推估模式，其指標公式如表 6。

表 5 植生指數計算之公式

植生指標名稱	計算公式	參考文獻
Green Leaf Algorithm	$GLA = (2 * G - R - B) / (2 * G + R + B) \dots \dots \dots (式 37)$	Louhaichi <i>et al.</i> (2001)
Normalized Green Red Difference Index	$NGRD = (G - R) / (G + R) \dots \dots \dots (式 38)$	Gitelson <i>et al.</i> (2002)
Excess Green Index	$ExG = 2 * G - R - B \dots \dots \dots (式 39)$	Woebbecke <i>et al.</i> (1995)
Excess Green Minus Excess Red Index	$GxGR = ExG - 1.4 * R - G \dots \dots \dots (式 40)$	Neto <i>et al.</i> (2004)
Color Index of Vegetation	$CIVE = 0.441 * R - 0.881 * G + 0.385 * B + 18.78745 \dots (式 41)$	Ketaoka <i>et al.</i> (2003)
Vegetativen	$VEG = G / (R^a B^{(1-a)}) \dots \dots \dots (式 42)$ $a = 0.667$	Hague <i>et al.</i> (2006)
Combination	$COM = 0.25 * ExG + 0.3 * ExGR + 0.33 * CIVE + 0.12 * VEG \dots \dots \dots (式 43)$ 式中 $ExGR = ExG - ExR$; $ExR = 1.4 * R - G$	Guijarro <i>et al.</i> (2011)

肆、計畫執行成果

一、永久監測樣區之設置與監測成果

本計畫於荖濃溪事業區第 98-101 林班之臺灣杉及紅檜人工林，分別設置 15 個永久地面監測樣區(共計 30 個)，樣區設置位置如圖 27 所示，各樣區基本資料表如表 6 及表 7。樣區設置完成後建置單位面積株數、鬱閉度、環境因子等更詳細之基本資料，再以地理資訊系統通用之檔案格式(Shpfile)進行歸檔，以利往後資料流通及便利性。計畫區自 1970 年代起實施造林作業，造林面積約 1,200 ha，造林樹種主要以紅檜、臺灣杉、二葉松、香杉、臺灣肖楠等樹種為主，目前積極復育造林、人工林疏伐作業，於 2009 年至 2016 年間陸續實施，疏伐作業面積約 324 ha，疏伐方式以下層疏伐為主。

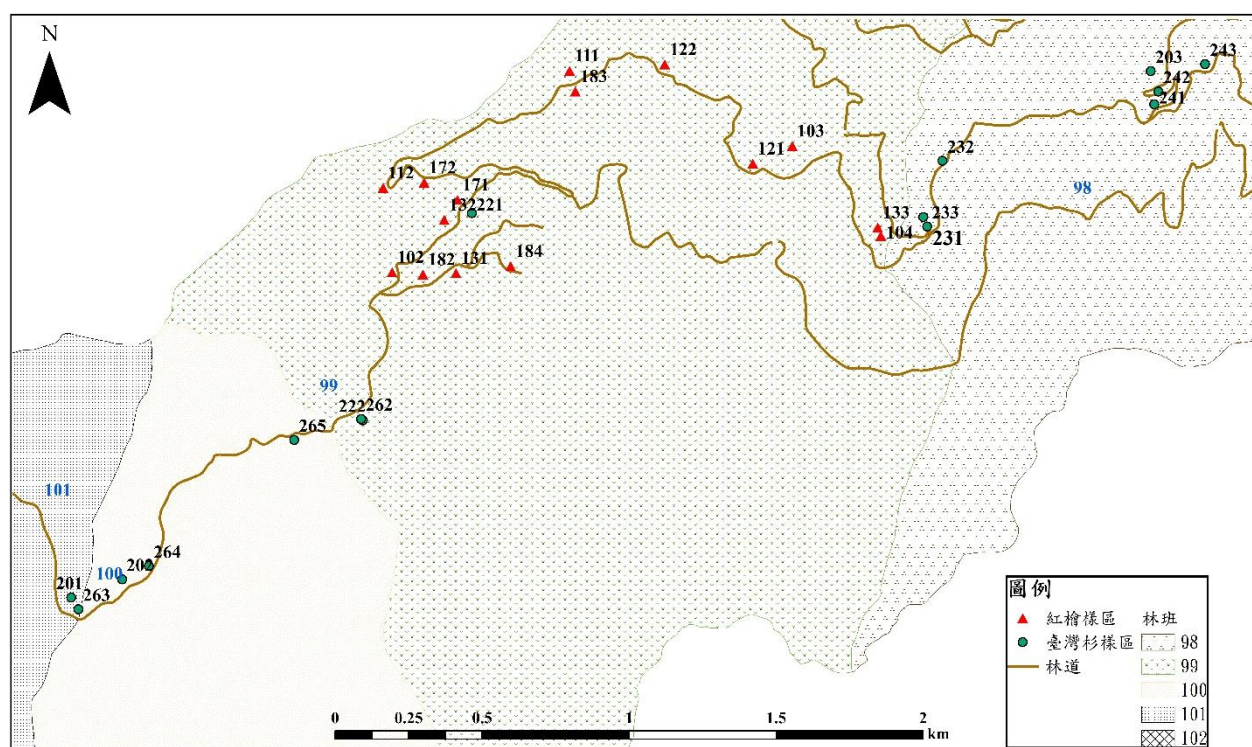


表 6 紅檜不同疏伐年度之監測樣區基本資料表

樣區編號	102	103	104	111(前)	112	121	122(前)	131	132(前)	133	171	172	182	183	184
坐標 X	230284	231645	231946	230888	230254	231511	231212	230501	230462	231936	230507	230393	230389	230907	230687
坐標 Y	2561124	2561554	2561248	2561809	2561411	2561494	2561831	2561122	2561303	2561277	2561371	2561429	2561117	2561739	2561145
疏伐年度	2014	未疏伐	2014	2012	2012	2013	2013	2009	2014	2014	2008	2008	2009	2009	2009
疏伐強度(株數疏伐率)	27.4	0	27.4	33.0	33.0	29.9	29.9	33.0	27.4	27.4	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0
林班	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
2020 年平均胸徑(cm)	33.79±2.17	27.25±2.19	30.34±4.15	32.29±4.17	26.70±1.87	34.29±3.11	30.31±2.73	40.85±5.90	36.82±4.41	32.44±3.03	32.54±2.85	32.24±2.86	35.13±4.02	36.42±2.02	38.26±4.95
株數(N/ha)	760	820	400	480	600	440	560	440	420	460	660	420	440	580	400
2020 年蓄積(m³/ha)	677.33	409.51	236.14	377.20	305.85	328.34	374.79	549.75	408.41	312.29	515.41	303.84	408.20	502.39	415.84
地被覆蓋度(%)	60	85	85	85	80	85	80	85	85	80	80	70	85	80	85
坡度(度)	15-20	20-25	15-20	15-20	25-30	25-30	20-25	25-30	20-25	20-25	20-25	10-15	10-15	20-25	10-15
坡向	東	南	西	南	東南	西南	西南	南	東南	西	南	東南	南	南	南
葉面積指數(LAI)	3.70	4.02	3.83	3.74	3.46	3.71	3.76	3.74	3.86	3.94	3.80	4.02	3.66	3.78	3.87

表 7 臺灣杉不同疏伐年度之監測設置樣區基本資料表

樣區編號	201	202	203	221	222	231	232	233	241	242	243	262(前)	263	264	265
坐標 X	229193	229367	232865	230556	230185	232091	232157	232105	232877	232891	233049	230179	229218	229458	229952
坐標 Y	2560018	2560080	2561808	2561325	2560620	2561312	2561503	2561279	2561695	2561738	2561832	2560625	2559978	2560125	2560554
疏伐年度	未疏伐	未疏伐	2015	2009	2007	2014	2014	2014	2015	2015	2015	2007	2007	2007	2007
疏伐強度(株數疏伐率)	0	0	48.7	33.0	33.0	18.2	18.2	18.2	48.7	48.7	48.7	33.0	33.0	33.0	33.0
林班	101	100	98	99	99	98	98	98	98	98	98	99	101	100	100
2020 年平均胸徑(cm)	27.52±2.58	24.48±2.17	32.07±3.50	41.58±9.75	23.04±2.09	25.49±3.27	34.50±4.50	30.75±3.35	39.90±3.22	40.77±4.31	33.20±2.77	27.93±2.59	27.56±2.15	30.62±3.59	36.64±2.88
株數(N/ha)	960	1,200	780	240	800	760	420	460	520	440	680	840	880	680	760
2020 年蓄積(m³/ha)	502.52	487.01	567.01	373.10	266.66	321.22	358.84	279.20	634.12	565.51	516.14	424.28	427.76	396.98	683.94
地被覆蓋度(%)	65	70	75	75	75	40	60	40	85	85	80	75	70	70	75
坡度(度)	20-25	20-25	25-30	20-25	10~15	15-20	35-40	30-35	20-25	30-35	10~15	15-20	15-20	15-20	20-25
坡向	西南	東南	東南	東南	東南	東南	東南	東南	東南	南	東南	東南	西南	東南	南
葉面積指數(LAI)	3.66	3.69	4.20	3.30	3.55	3.81	3.83	3.55	3.81	3.94	3.80	3.70	3.57	3.80	3.82

二、不同疏伐年度其樹冠鬱閉度監測分析成果

樹冠鬱閉度為樹冠垂直投影所佔地面之比例，又稱為樹冠覆蓋度、樹冠疏密度、樹冠密度、林冠密度等，樹冠鬱閉度與林內之光度、雨量以及植被生長有密切之關係，亦可用來推估林分材積與林分密度，在疏伐控制、天然更新時疏開林冠及上層樹冠密度控制等經營管理上可做為參考依據(林子玉等，1987)。葉面積指數(Leaf Area Index, LAI)為每單位土地面積上植物葉片之投影面積，可用以表達植物葉量之多寡，是一重要之植被特徵介量(彭炳勳、陳朝圳，2008)，藉由 LAI 的量測，可了解植物冠層中物質與能量的循環情形，得知森林之生長現況(Wasseige *et al.*, 2003)。前人研究顯示，樹冠鬱閉度與 LAI 之間具有正相關的特性，Riaño *et al.* (2004)利用空載光達針對不同森林研究 LAI 與樹冠覆蓋面積之間關係，結果顯示葉面積指數及樹冠覆蓋面積與魚眼鏡頭所得之影像結果具有相當高的關聯性，因此本計畫利用 LAI-2200(圖 28)植物冠層分析儀量測樣區的 LAI 值，透過單因子變異數分析不同疏伐年度之林分其葉面積指數平均值是否有差異，進一步探討不同疏伐年度林分樹冠鬱閉度的變化，評估疏伐撫育作業之效益與影響。



圖 28 LAI-2200 儀器示意圖

本計畫連續三年監測各樣區之 LAI 變化，結果顯示第二年度監測樣區之 LAI 值普遍下降(圖 29)，推測因 LAI-2200 植物冠層分析儀是透過儀器上的魚眼鏡頭量測全天光的光度以及樣區內林下的光度，將兩者光度進行計算分析以得到該樣區之 LAI 數值，而第二年度進行資料收集時當天天氣變化較為劇烈，故部分區域全天光光度值較低，以致於與林下光度差異較小，間接影響該年度其 LAI 值計算結果，但整體而言 LAI 趨勢屬林冠以完整覆蓋狀態。

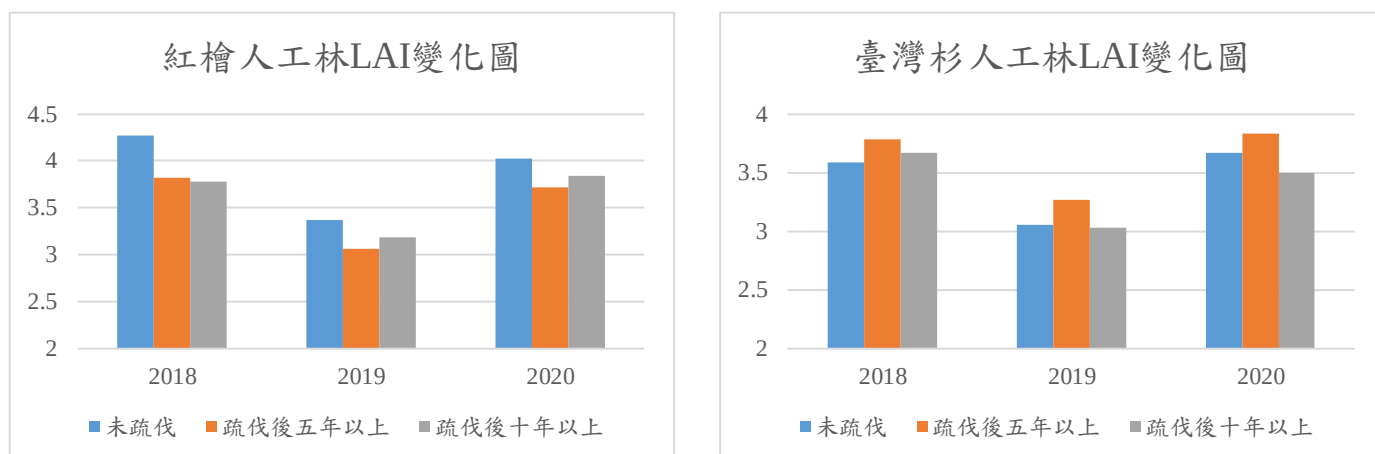


圖 29 永久監測樣區三年 LAI 值變化圖

本計畫將 2020 年各樣區的 LAI 依不同疏伐年度將樣區分成未疏伐、疏伐後五年以上與疏伐後十年以上三類，進行單因子變異數分析，探討不同疏伐年度之葉面積指數平均值是否有差異。本計畫的虛無假設(H_0)是不同疏伐年度的 LAI 平均值沒有顯著差異，對立假設(H_1)則是至少有一疏伐年度林分的 LAI 平均值與其他林分不同，分析結果如表 8，本計畫不同疏伐年度的單因子變異數分析的 p 值(顯著性) >0.05 ，顯示不同疏伐年度的 LAI 平均值並無顯著差異，又樹冠鬱閉度與 LAI 兩者具正向關係(林登秋、江智民，2002；彭炳勳、陳朝圳，2008；Riaño *et al.*, 2004，顯示不同疏伐年度的樹冠鬱閉度並無顯著差異。

表 8 2020 年不同疏伐年度單因子變異數分析成果表

	平方和	自由度	平均平方和	F 值	顯著性
組間	0.078	2	0.039	0.286	0.755
組內	2.055	15	0.137		
總和	2.134	17			

疏伐作業之目的在於疏開林分，下層疏伐作業將林下被壓木及枯死木移除，增加留存木生長空間，使樹冠得以生長(Kerr, 1996)。陳涓婷(2010)在人倫疏伐示範區研究柳杉人工林疏伐後林木生長變化，林分於疏伐作業完成後，因發生競爭之林木及其枝葉已被移除，故林冠疏開使留存木獲得較佳生長空間，隨著疏伐作業後五年再次量測樹冠投影面積，結果顯示林分經下層疏伐 45%，其單木平均樹冠投影面積較未疏伐林分大，顯示於疏伐五年後其樹冠發育之相關效益已逐漸呈現。本計畫連續三年監測臺灣杉及紅檜人工林未疏伐樣區與疏伐樣區之 LAI，統計分析結果顯示疏伐後五年、疏伐後十年與未疏伐林分三者間並無顯著差異，而疏伐後因林分內林木株數變少，因此可以推測平均單木樹冠投影面積應較未疏伐林分大，與陳涓婷(2010)年研究結果相符，顯示疏伐作業有助於促進單木樹冠之生長。

疏伐作業因移除部分林木，將使林冠疏開，固作業後初期樹冠鬱閉度會下降，然林冠疏開將增加林下光照，地被植物受到光照後族群數會增加進而覆蓋地被形成地表保護層，又對於野生動物而言，地被植物的增加代表食物量提高，因此亦可提供野生動物食物的來源，林下的生物多樣性得以提高，而隨著作業後時空的變化，留存木亦隨之生長，林冠將再度鬱閉(洪富文，2003；汪大雄，2008；翁世豪等，2010；鍾智昕等，2016；Chan *et al.*, 2006; Weng *et al.*, 2007)。從 2018 年-2020 年間的 LAI 監測資料顯示，疏伐後因生長空間增加，留存木之樹冠得以擴張，於疏伐撫育作業執行過後五年，疏伐林分之樹冠鬱閉度即能恢復至疏伐前之 LAI 值。

三、應用光達掃瞄技術監測林木生長量及林分結構

過去林木生長量查定可使用樹幹解析法、生長錐鑽取木芯法、永久樣區連續性調查法等方式進行，其中樹幹解析、生長錐查定係於造林地選定標準木，伐倒樣木或以生長錐鑽取生長木芯，藉由年輪寬度的量測取得立木連年生長量，而光達掃瞄系統因精確度高可量測出連年之生長變化，且資料可於電腦中重複檢視，與生長錐具有相似之監測效果，故可做為替代之監測工具，另光達掃瞄系統可以量測不同高度之圓盤直徑，亦可達到以樹幹解析進行區分求積法所得之效果，因此本計畫從第一年直接導入光達掃瞄技術，監測樣區單木及林分之連年生長變化。對於林木性態值之獲取，因光達對於樹高及胸徑之量測，已有許多文獻證實其準確度及可靠性(管立豪，2007；魏浚紘等，2011；魏浚紘，2014；魏浚紘、陳朝圳，2016；Omasa *et al.*, 2002; Stovall *et al.*, 2017; Zhao *et al.*, 2018)，且依本團隊之前承接之疏伐監測計畫研究成果，已證實光達技術可精確應用於量測林木生長資料。利用光達掃瞄監測疏伐樣木之胸徑資料，其目的在於精密監測立木年生長量，由於過去傳統調查進行測計時，受限於胸徑量測位置及樹高之精度，往往會造成測計誤差過大，而無法在短期間內取得精準之立木生長資料。以光達掃瞄技術進行各樣區內林木之胸徑及樹高性態值量測，並利用各別樹種之材積式，推估各單木之材積量。藉由加總樣區內各單木之材積量，獲得樣區之總材積量，再以樣區面積之總材積量，求得單位面積之蓄積量。

林分胸徑資料可計算蓄積量之外，亦可計算樣區之林分結構。所謂林分結構(Stand Structure)是指林分之各直徑級之株數分布，對於人工林而言，因林分屬於同齡林，理論上假設林木生長特性相同、不具有生長競爭情況下，林分結構應呈現均一分布(Uniform Distribution)。但同一林分之樹種仍有先天不同之遺傳基因，會產生不同特性，再加上提供林木生長的環境資源有限，於立木生長期間會產生林木之間之競爭作用，造成物競天擇(Natural Selection)現象，因此在人工林生長一段時間後，則會產生優勢木、次優勢木、中庸木及被壓木之林分結構。利用此生長特性，林分結構可利用林分內不同的胸高直徑級及株數分布來表達生長情況，Bailey and Dell (1973)運用 Weibull 機率密度函數模擬林分結構，乃因其具有高度的彈性，可敘述不同型態林分之結構狀態，其參數能有效表示林分生長狀態之意義，且參數值求取容易，因此利用 Weibull 直徑分布推估不同強度疏伐之人工林，對於降低立木競爭之效益，為一快速簡便之方法。

本計畫設置 30 個樣區所模擬出不同疏伐年度之 Weibull 函數之林分結構參

數結果如表 9、表 10，參數模擬結果，c 參數決定曲線形狀，可以解釋人工林生長競爭之情況，一般同齡人工林其 c 值會大於 1，當 c 值介於 1 至 3.6 時，分布形態呈現正偏歪分布，表人工林立木間產生生長競爭；當 c 值等於 3.6 時，呈現常態分布；而當 c 值大於 3.6 時，呈現負偏歪分布；b 值為尺度參數，b 值越大表示林分之變異越大，故形狀越為扁平；a 值為位置參數，代表人工林之最小直徑(Bailey and Dell, 1973)。

表 9 紅檜人工林各疏伐年度之 Weibull 函數參數

疏伐年度	Weibull			K-S test		結果
	a 參數	b 參數	c 參數	D _n	D _{0.01}	
未疏伐	8.5	19.12958	2.23023	0.066522	0.177848	通過
疏伐後 5 年	15.1	17.16061	1.91349	0.079126	0.103297	通過
疏伐後 10 年	12.4	24.40984	2.96268	0.101247	0.131349	通過

表 10 臺灣杉人工林各疏伐年度之 Weibull 函數參數

疏伐年度	Weibull			K-S test		結果
	a 參數	b 參數	c 參數	D _n	D _{0.01}	
未疏伐	6.9	20.13803	1.98161	0.062046	0.142960	通過
疏伐後 5 年	6.3	27.12136	2.27637	0.053707	0.101479	通過
疏伐後 10 年	5.7	26.02590	2.58971	0.089150	0.105436	通過

利用 Weibull 機率密度函數所模擬的林分直徑分布結果，需透過適合度檢定比對林分之實際觀測值。K-S 適合度檢定(Kolmogorov-Smirnov Test)因無需常態分布作為前提，且過去相關研究多以 K-S 檢定進行適合度測試(張鈞媛，2008；李隆恩、顏添明，2010；魏浚紘，2014)，故本計畫以 K-S 檢定進行 30 個永久監測樣區直徑分布適合性之測試。此檢測統計值 D_n 為最大絕對偏差(Maximum Absolute Deviation)，是計算模擬所得之 Weibull 函數之累計分布函數和觀測值之累計頻度的最大差異量。本計畫採用 $\alpha=0.01$ 為臨界值，將 D_n 與臨界值(D_α)進行比較，若 $D_n < D_\alpha$ 表示林分實際值符合 Weibull 直徑分布，反之則不符合 Weibull 直徑分布未通過適合度檢定，表示林分直徑分布非常態分布，樣區林分胸徑生長差異大而呈不均質性(李久先、顏添明，1994)。本計畫將紅檜及臺灣杉人工林林分結構分析結果分成未疏伐、疏伐後 5 年以上(2010 年後疏伐)及疏伐 10 年以上(2010 年前疏伐)三類，探討疏伐對於林分結構影響，以 Weibull 機率密度函數模擬之林分直徑分布，經 K-S 統計檢定後適合度皆為通過者，表示 Weibull 機率密度函數所推算之三參數值能有效描述林分結構，可進一步進行研究探討。

紅檜及臺灣杉人工林林分結構圖如圖 30 所示，紅檜及臺灣杉人工林未疏伐的林分結構皆呈現正偏歪，且林分平均胸徑偏小，顯示林分內分布以小徑木為主，為增加林木生長空間使林分胸徑生長，需進一步進行疏伐作業調整林分結構。過去學者研究結果表示，進行下層疏伐之林分，a、b 值隨之增加，表示林分直徑分布之平均值隨著下層疏伐之實施而增加，因此疏伐時使 Weibull 三參數值增加，將可得到較佳之林分結構(張鈞媛，2008；李隆恩、顏添明，2010)，本計畫紅檜人工林經疏伐後十年以上、臺灣杉人工林經疏伐後五年以上及經疏伐後十年以上之林分結構皆呈現近常態分布，三參數值皆較未疏伐時增加，顯示疏伐作業能改善林分結構至理想狀態。

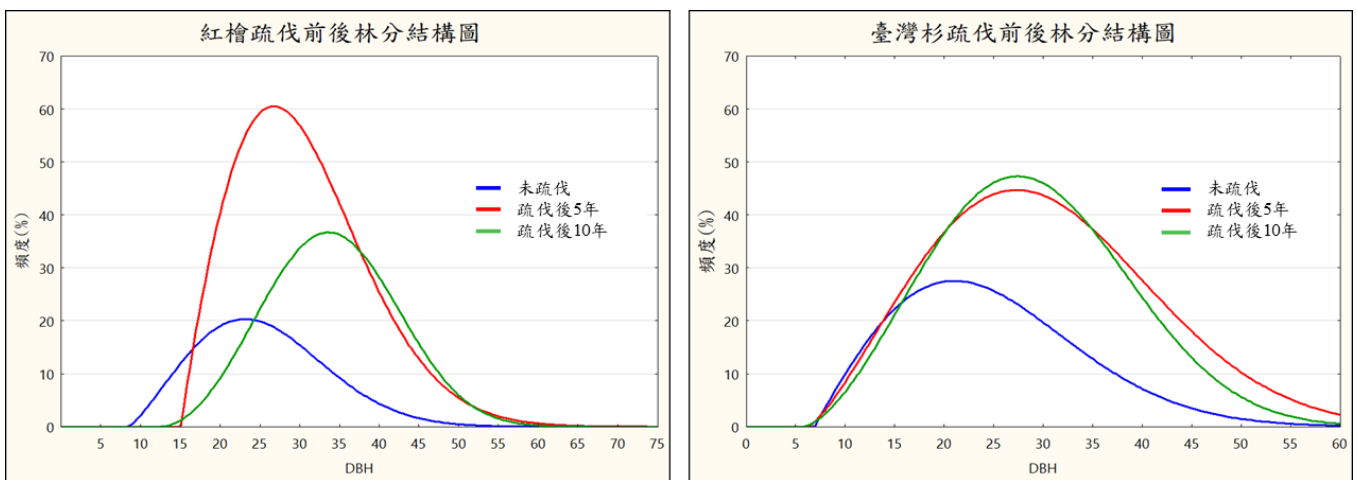


圖 30 紅檜及臺灣杉不同疏伐年度之林分結構圖

四、應用光達掃瞄技術於試驗區及作業道之土壤沖蝕監測

(一)試驗區土壤沖蝕監測

本計畫依據疏伐年度及坡度進行樣區土壤沖蝕之監測作業，其樣區位置圖如圖 31 所示。於未疏伐、疏伐後五年、疏伐後十年區域分別設置土壤沖蝕監測樣區(未疏伐：103、201；疏伐後五年：232、242；疏伐後十年：183、265)，針對相同坡度有無疏伐、不同坡度皆有疏伐以及不同疏伐年度之土壤沖蝕量進行統計分析。

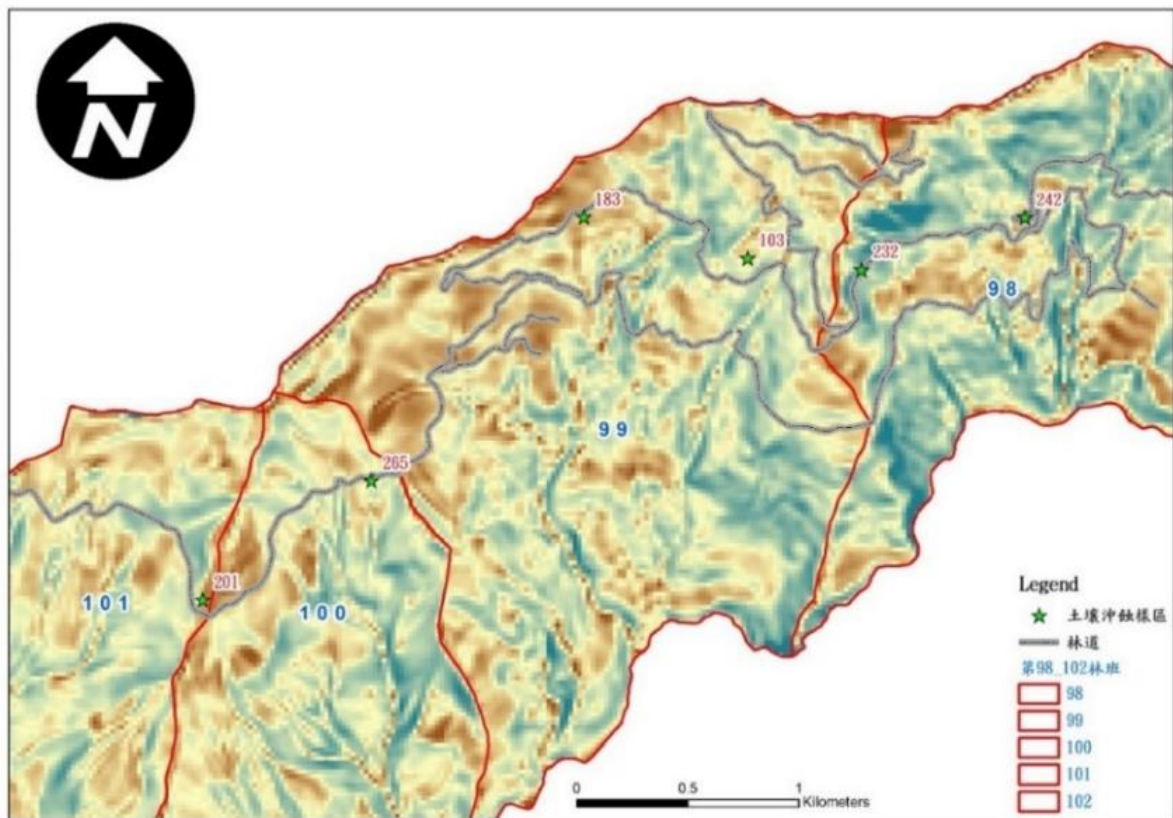


圖 31 計畫區土壤沖蝕監測樣區位置圖

本計畫透過在樣區內設置以 4 根 1 m 長及孔徑 10 cm 大小的塑膠水管圍成的方形樣區(圖 32 所示)，一個樣區分別會設置 3 個 1 m×1 m 的區域進行土壤沖蝕的評估分析，利用光達之高精準測量特性進行前後期的變化比較。在樣區內架設水管之原因，乃作為前後期 3D 立體影像測量比對之控制點，如此才能固定於同一個維度下，並以一個平面標準進行土壤沖蝕變異分析。



圖 32 樣區內設置 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 大小之土壤沖蝕樣區

透過地面式光達掃瞄土壤沖蝕樣區後，獲得三維空間的巨量點雲資料，可獲取地形與地貌資料，並可將地面點數據與地表物體點的數據分離，分別產製高精度且高密度之解析 DSM，如此則能獲得該期土壤沖蝕樣區之前期地表高程狀況。楊濟豪等(2014)曾利用地面光達應用於露頭不連續面調查，結果顯示光達較傳統的調查方式更加縮減現地調查時間，且能有效使用在該領域上。

以樣區 103 作為土壤沖蝕樣區分析結果之範例(圖 33)，掃瞄獲得的資料為精準分析地表的變化，地表剖面以外的部分可進行過濾點雲移除作業如圖 34 所示，最後將各時期的地表剖面以重疊分析，呈現出地表變化及計算土方量。

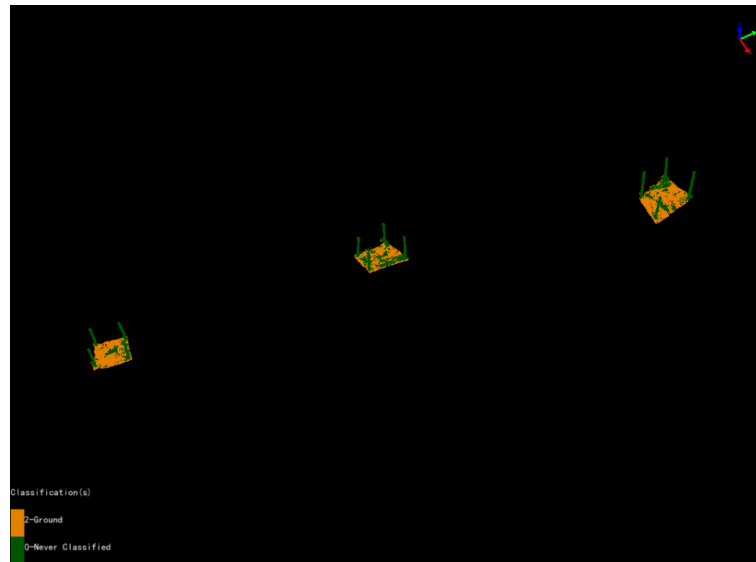


圖 33 樣區內 3 處土壤沖蝕小樣區之三維空間分佈圖

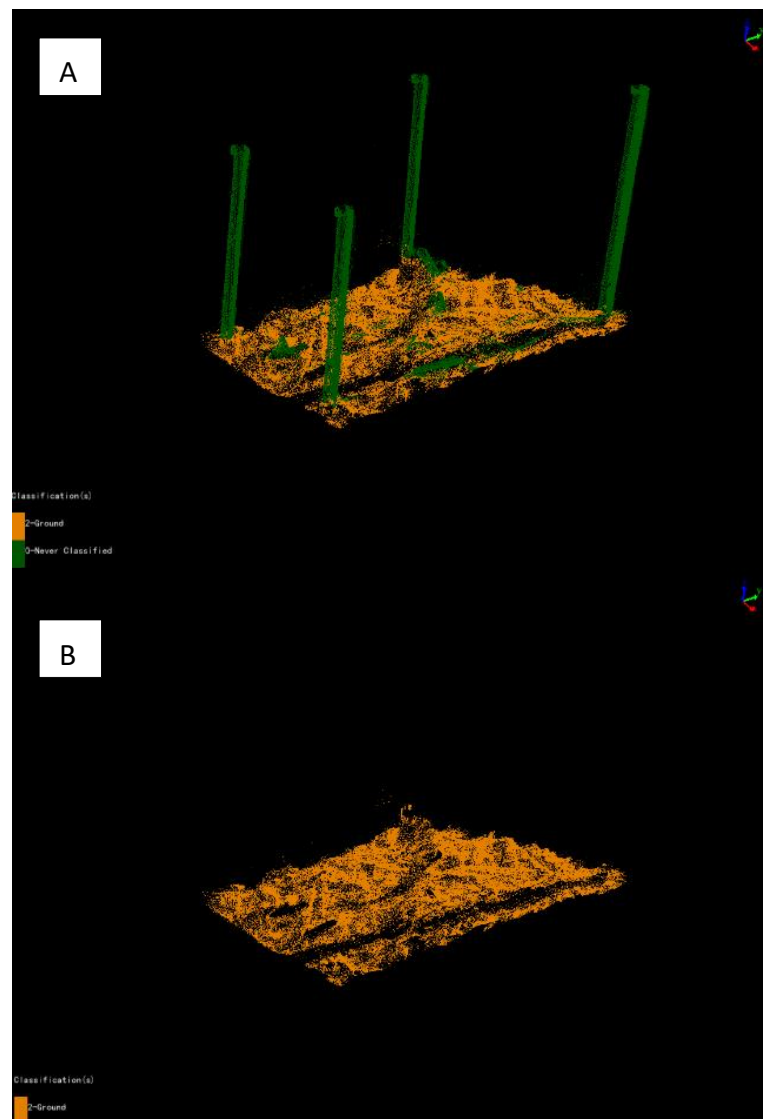


圖 34 土壤沖蝕小樣區濾除地上物

*A 土壤沖蝕小樣區原始模樣(地表+地上物)、B 經點雲處理分類後之沖蝕樣區地表

數位高程模型是為了在短時間內取得大量客觀的地表資料，取代過往人工判讀與地圖繪製方法，以數值代表地球表面並用來解決特定問題而製成的電腦模型(Yanalak, 2003)，濾除之小樣區地表點雲因具有三維特性(X,Y,Z)之坐標系統，故在高度 Z 值上可藉由地形分析等方式來進行數位高程模型之建立，可藉由各種內插法等(包含 Kriging, IDW 及 TIN)特性及點雲密度分布密度來產生品質較好之 DEM。Erdogan (2009)在其研究中指出 IDW 產生最大誤差且認為此方法無法處理丘陵地形中較陡的部分，除了誤差外，也發現 IDW 內插製成的新圖層無法有效表現真實地表狀態；最後研究結果推斷 Kriging 為較佳的內插方法，但其缺點是所需資料量而導致運行處理的時間較長。因本計畫所掃描點雲範圍不大，處理資料時間不長，故本計畫將採 Kriging 內插法作為 DEM 產製之方法。其計算出的結果如下圖 35 呈現。而因掃描點雲的解析度為公分等級之精度，故使用內插法所算出之 DEM 具有高精度的測量環境，能作為前後期差異之比較。

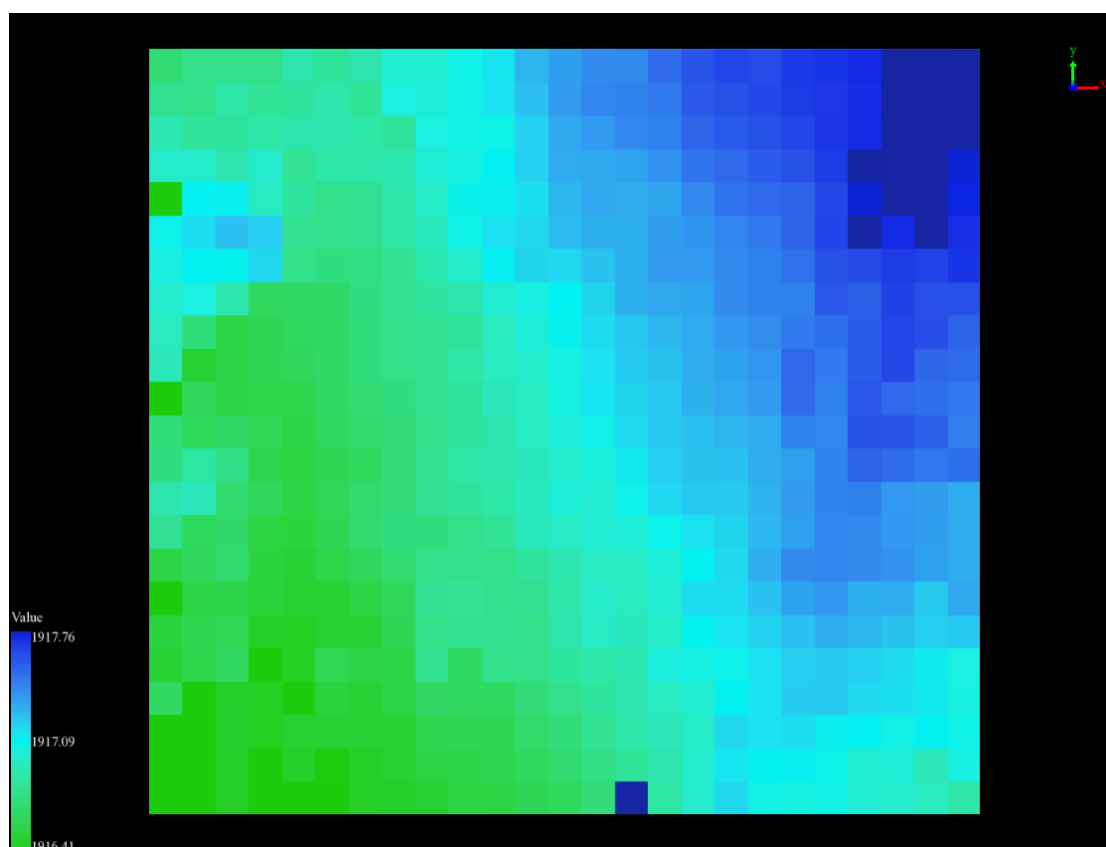


圖 35 利用三維點雲高程資訊內插出數位高程模型

本計畫為了解疏伐及坡度是否會影響林下土壤沖蝕情形，以光達掃瞄技術監測樣區之土方沖蝕量，兩期掃瞄資料時間間隔一年，監測結果如表 11。將測定結果進行 t 檢定，在 95% 的顯著水準下，103 樣區與 183 樣區(紅檜人工林)的 $t = -2.525$ 、 $p = 0.065$ ；201 樣區與 265 樣區(臺灣杉人工林)的 $t = -2.030$ 、 $p = 0.112$ ，檢定結果 p 值皆大於 0.05，表示在坡度相似的情況下並沒有足夠的證據可以顯示有無進行疏伐對於土壤沖蝕有顯著的差異。而在坡度不同皆有疏伐的 183 樣區與 232 樣區，一樣在 95% 的顯著水準下， $t = -2.233$ ， $p = 0.089 > 0.05$ ，根據此結果所得出結論：不同坡度下有無進行疏伐並沒有足夠的證據可以證明其對於土壤沖蝕有顯著的差異。

表 11 計畫區樣區土壤沖蝕量表

試驗設計	樹種(樣區編號)	疏伐年度	坡度(度)	土方沖蝕量(m ³)
相同坡度，有無疏伐	紅檜(103)	未疏伐	20-25	0.003412
				0.014186
				0.021565
	紅檜(183)	2009	20-25	0.042185
				0.048942
				0.021734
相同坡度，有無疏伐	臺灣杉(201)	未疏伐	20-25	0.018421
				0.011243
				0.021322
	臺灣杉(265)	2007	20-25	0.052147
				0.019634
				0.068412
不同坡度，皆有疏伐	紅檜(183)	2009	20-25	0.042185
				0.048942
				0.021734
	臺灣杉(232)	2014	35-40	0.121496
				0.072648
				0.058210

而將土壤沖蝕樣區分成未疏伐、疏伐後五年及疏伐後十年三類進行單因子變異數分析，其分析成果如表 12， $p = 0.160 > 0.05$ ，由此分析結果可得知不同疏伐年度及有無疏伐區域，在坡度 20-40 度之土壤沖蝕量無顯著差異。

表 12 不同疏伐年度土壤沖蝕量單因子變異數分析表

	平方和	自由度	平均平方和	F 值	顯著性
組間	0.004	2	0.002	2.074	0.160
組內	0.013	15	0.004		
總和	0.016	17			

另外土壤沖蝕結果與水土保持技術規範提供之逕流量合理化公式計算洪峰流量比較(表 13)，探討監測樣區土壤沖蝕量是否與該地區之逕流量有相關性。本計畫收集中央氣象局設置於小關山之自動雨量站 2019 年 9 月-2020 年 9 月之降水量資料，帶入逕流量合理化公式計算計畫區內各林班之洪峰量。

$$Q_p = \frac{1}{360} \times CIA \dots\dots\dots (式 44)$$

註：Qp：洪峰流量(m³/sec)；C：逕流係數；I：降雨強度(mm/hr)；A：集水區面積(ha)

將所有樣區之土方沖蝕量與洪峰流量進行皮爾森相關係數(Pearson correlation coefficient)分析，在 95%的顯著水準下，其 $r = -0.374$, $p = 0.465 > 0.05$ ，分析結果顯示土方沖蝕量與洪峰流量兩者間無相關，代表該地區之洪峰量與計畫區之土方平均沖蝕量並無相關。根據相關研究分析，疏伐會使樹冠產生孔隙，增加樹冠層下的日照量，因此會改變森林內輻射量，促使氣溫、土溫上升，熱流增加，以及促進地被植物的生長(Carlson *et al.*, 1997；Aussenac, 2000；汪大雄，2007；陳明杰等，2010)。而本計畫執行光達前後期掃瞄作業係為疏伐後至少 5 年以上，因此有充裕的時間使林下的地被植物生長，而當地被表有植被覆蓋時，會使林地表面形成一隔離層，使雨滴不會直接衝擊地表亦可增加地表之滯留容量(surface detention storage)外，讓土壤滲透率增加，減緩逕流與土壤沖蝕(鄭皆達等，2002；陸象豫，2011)。

表 13 計畫區土壤沖蝕量與洪峰流量表

樣區編號	103	183	201	232	242	265
土方沖蝕量(m ³)	0.0392	0.1129	0.0510	0.2524	0.0274	0.1402
洪峰量(m ³ /sec)	5.2538	11.3197	14.1548	2.6019	5.1042	8.2187

(二) 作業道土壤沖蝕監測

本計畫於第 98 林班及(2015 年疏伐區域)第 102 林班(2016 年疏伐區域)進行作業道評估，詳細位置如圖 36 及圖 37 所示，作業道監測長度皆為 600 m，並於極端事件前後以光達掃描收集現地資料，評估土壤沖蝕量之變化。

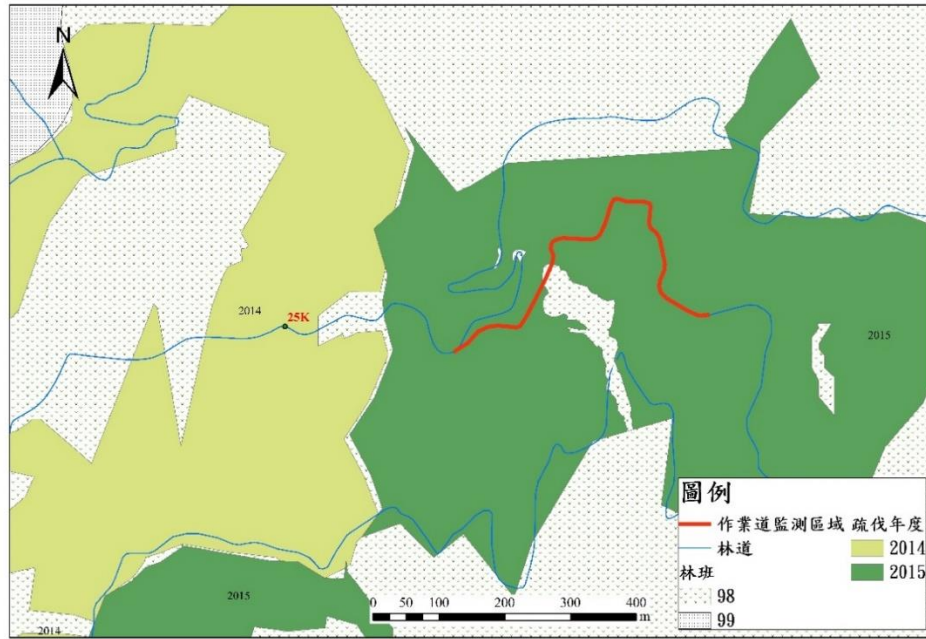


圖 36 計畫區第 98 林班作業道掃描監測位置圖

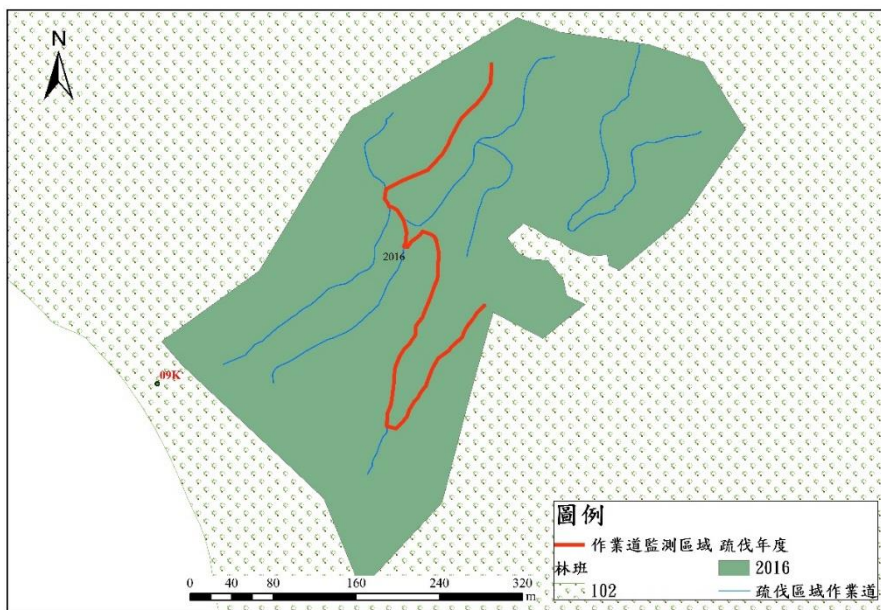


圖 37 計畫區第 102 林班作業道掃描監測位置圖

因手持式光達系統只具自身定義之相對位置坐標系統，故在進行掃瞄前置作業需在作業道上找上下具空曠之地點進行多點控制點之架設工作。本計畫採用塑膠水管作為工具使用，如圖 38 顯示，其控制點設置數量必須大於 3 個以上，以方便日後進行坐標對位之使用，其水管必須固定牢固於作業道上，以利往後前後期掃瞄作業有共同的基準進行對位程序。



圖 38 作業道監測掃瞄之控制點設置

掃瞄點雲資料，因地面光達系統規格，在雷射光能量強度有所不同，如本計畫所使用之 HML 在原廠規格書中說明掃瞄最遠距離有 30 m 長，但實際應用會受到環境影響而效益大受折扣；但因作業道掃瞄範圍不大，且主要掃瞄目標為作業道之地面，依據人工林作業道設計規範其路寬不得超過 3 m 長，所以本掃瞄系統在應用上是可接受其資料品質。受到掃瞄距離的影響，所獲得光達原始點雲資料，必須經過影像預處理作業，利用點雲三維空間特性，點雲彼此之間具相對位置關係，利用高度方式作為篩選條件，進行點雲分類動作，將其資料依據目的分成所需類別，例如本計畫中就只將其分類群分成地表及地上物兩種類型，如圖 39 所示。接著利用分類後之影像進行點雲編修作業，依據現場照片及影片並配合點雲資料中之特徵點進行刪除及濾除動作，最後則能呈現作業道之地表資料，如圖 40 所示。

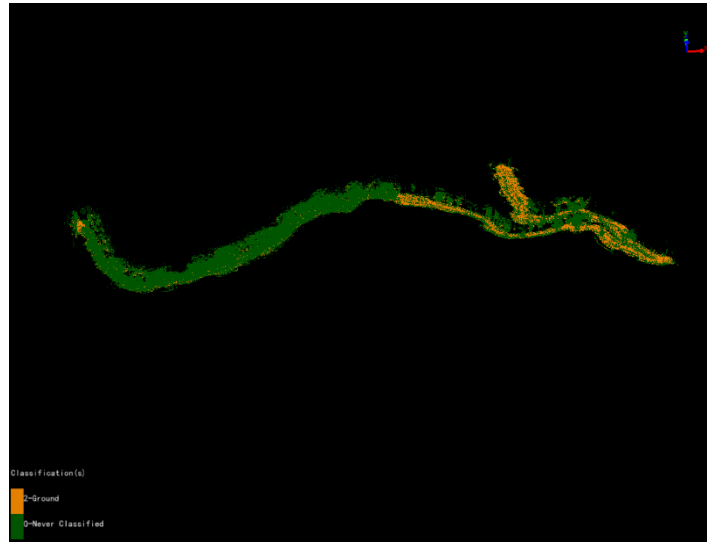


圖 39 作業道之原始點雲資料(包含地上物及地表)

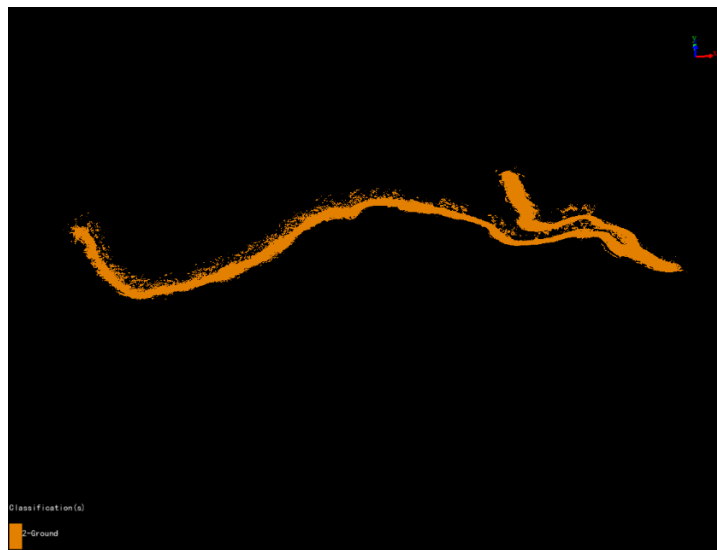


圖 40 經點雲分類後之作業道地表情況

濾除非目標點雲類別後(圖 41)，處理後之作業道地表點雲資料則能進行空間內插法演算來產製 DEM，作為監測地表變化之依據。

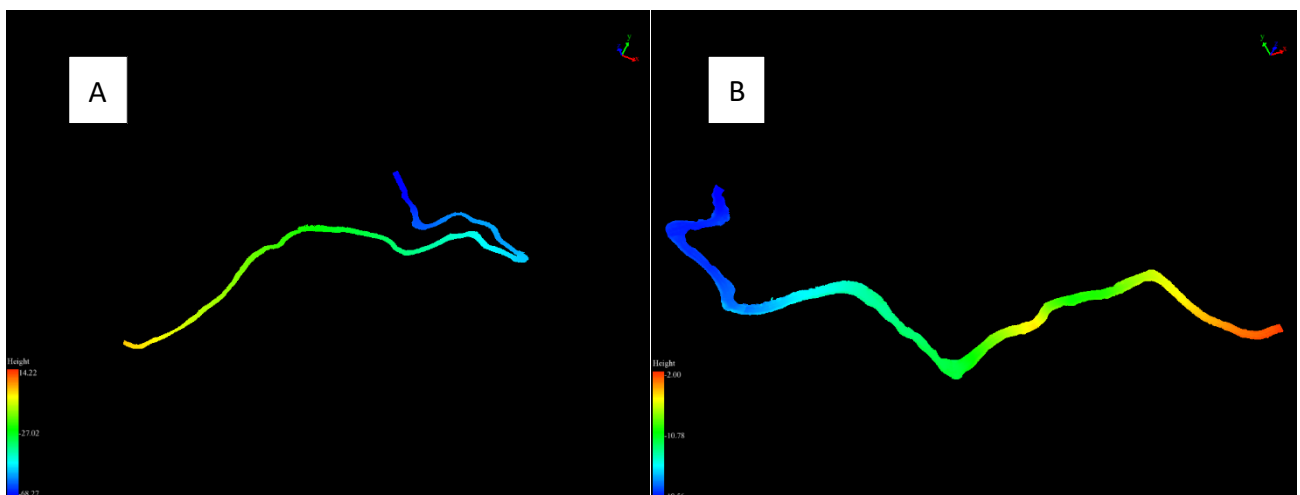


圖 41 第 98 林班(A)與第 102 林班(B)作業道濾除非目標點雲圖

林道沖蝕之量化主要是評估同一地區沖蝕與堆積前後的土方量，實際上即為計算體積，無論採用何種方法進行體積計算，都必須有兩個基本條件，即沖蝕與堆積前地面的起伏情況及沖蝕與堆積後地面的起伏情況，土方變量實際上是原始地表與設計地表間的體積值。因此只需在土方計算的範圍建立兩個 DEM，一個為原始地表 DEM，另一個為發生降雨或極端事件後之 DEM，根據兩個 DEM 的差即可求出計算區的土方量，其計算方式為：假設原始地表之 DEM 與發生降雨或極端事件後之 DEM 於相同坐標條件下，將兩期 DEM 進行套疊，可取得一新的 DEM，及為該地區之土方變量(圖 42)，其公式為：

$$\Delta Z(i,j) = Z_b(i,j) - Z_a(i,j) \dots \dots \dots (\text{式 21})$$

註： $Z_b(i,j)$ 為原始地表 DEM 網格點高程； $Z_a(i,j)$ 為發生降雨或極端事件後之 DEM 的網格點高程。



圖 42 前後期地形變化之土方量計算示意圖

對任一網格高程 $Z(i,j)$ 來說，若 $\Delta Z(i,j) > 0$ 則該網格為沖蝕方，若 $\Delta Z(i,j) < 0$ 則該網格為堆積方。設網格面積為 $A = d_x \times d_y$ ，則該網格之土方變量 $V(i,j)$ 為 $\Delta Z(i,j) \times A$ ，分別對網格之土方變量進行累加，即可取得該區域的土方變化量。

第 98 林班作業道土方變化量與第 102 林班作業道土方變化量如表 14 所示。經掃描作業時所拍之影像與現地調查資料比對發現，位於第 98 林班之作業道係位於 2015 年疏伐區域(距今為疏伐後五年)，疏伐方式屬下層疏伐，材積疏伐率 10.76%，疏伐作業後無其他經營活動擾動林地，其監測結果土方流失量與堆積量相較下偏少，與試驗地樣區分析成果對照，疏伐後五年之土方沖蝕變化量與未疏伐林分無顯著差異，可相互說明疏伐作業後如無其他活動擾動之前提下，林地土壤沖蝕變化可恢復至與未疏伐無明顯差異。

第 102 林班位於 2016 年疏伐區域(距今為疏伐後四年)，疏伐時間前後僅差一年，疏伐方式以上下層疏伐並行進行，材積疏伐率 46.44%，而現場作業區域

現況第 102 林班作業道上方邊坡有許多剛種植之小苗，且目前尚在進行造林撫育作業，林地還處於擾動狀態，建議持續監測至作業結束後，造林木長成、地被植群亦覆蓋於林地形成保護層後，觀測土方流失量應會減少，並與第 98 林班作業道監測結果相似，以堆積為主。

表 14 第 98 林班作業道 DEM 比對後之土方變化量

作業道		體積(m ³)	面積(m ²)	體積變化量(m ³)
98 作業道	沖蝕	82.93	1,278.52	128.96
	堆積	211.89	1,382.16	
102 作業道	沖蝕	437.79	2,444.30	-285.18
	堆積	152.61	1,401.50	

根據國內外相關研究顯示，影響山區道路之土壤沖蝕與程度差異的原因，除了與道路的寬度及所在地之差異有密切關係外，各道路沿線之環境因子之差異，包括植被、坡度(含部道路坡度與兩側邊坡的坡度)、坡長、土壤質地、降雨等因素，均為可能影響的因子(Hammitte and Cole, 1998；Leung and Marion, 1999；劉如淵，2000；劉如淵，2004)。

五、森林健康分析成果

森林經營之中後期撫育其目的在於改變林分結構，增加林地空間促使留存木有更佳的生育環境，而改變林分結構是否將影響留存木之內部性質，透過非破壞性檢測技術即可在立木狀態下進行檢測，此外，在疏伐過程中，因伐木作業不慎或無法避免而傷害留存木，本計畫於第 98、99 林班疏伐地本計畫挑選 8 個永久監測樣區進行每木檢測，如表 15 所示，藉由此技術以探討未疏伐與各不同疏伐度在同一徑級樣木之木材力學強度差異及木材內部腐朽暨中空程度，另以目視評估法評估健康度，探討三種檢測方法之相關性。

表 15 森林健康調查永久監測樣區資料表

樣區編號	疏伐年度	樣區坡度	林分密度(株/ha)	平均胸徑(cm)
紅檜				
103	未疏伐	20-25	880	27.25±2.19
112	2012 年	25-30	600	26.70±1.87
122	2013 年	20-25	560	30.31±2.73
132	2014 年	20-25	420	36.82±4.41
臺灣杉				
222	2007 年	10-15	800	23.04±2.09
232	2014 年	35-40	420	34.50±4.50
241	2015 年	20-25	520	39.90±3.22
262	2007 年	15-20	840	27.93±2.59

目視評估法針對林木整體外觀是否傾斜、根部狀態、主幹是否因疏伐作業影響而受到人為傷害、冠層生長狀態包含葉色及樹冠密度等因子，加權平均計算後獲得每木之目視評估法健康度得分。本計畫將八個樣區的每木健康度分數進行統計分析，分析成果如下表 16，本次統計之擬說(H_0)係為有無疏伐作業對於目視評估法所得平均值無顯著差異，而本次分析結果為八個樣區的健康度存在顯著差異。透過 Post Hoc 多重比較中的 Tukey 法進行事後檢定，可以發現這八個樣區共分成 3 個類群，其中紅檜未疏伐樣區為一群、臺灣杉樣區編號 241 及臺灣杉樣區編號 232 為一群，剩餘五個樣區為一群，顯示前三者樣區之每木健康與後五者樣區有差異，計畫團隊細部分析資料，發現紅檜未疏伐樣區之樣木大部分的葉部都有明顯退色，因此此項健康得分皆為較低，進而影響最終目視評估加權

分數，而臺灣杉樣區編號 241 及臺灣杉樣區編號 232 皆為疏伐樣區，細部分析資料發現其中部分林木主幹有人為損傷、根部狀態亦有裸露無傷及裸露有傷之情形，故使整體目視平均健康度下降。

表 16 不同樣區目視評估法健康度變異數同質性檢定分析表

Levene 檢定的結果	決定	結論
$p > 0.05$	不能拒絕 H_0	各樣區之目視評估法健康度平均值沒有顯著差異
$p \leq 0.05$	拒絕 H_0	至少有一樣區之目視評估法健康度平均值與其他樣區不同
本計畫分析資料成果		
$p = 0.003$; $0.003 < 0.05$	拒絕 H_0	至少有一樣區之目視評估法健康度平均值與其他樣區不同

表 17 不同樣區目視評估法健康度 Tukey 事後檢定分析表

樣區編號	樣本個數	$\alpha = 0.05$ 的子集		
		子集 1	子集 2	子集 3
103	44	66.5404		
241	26		76.9444	
232	20		79.7778	
122	26			83.5256
112	30			87.6296
262	42			88.9947
222	40			89.1389
132	21			90.6878
顯著性		1.000	0.168	0.098

除目視評估法外，計畫團隊針對八個樣區中進行每木非破壞性檢測，包含敲擊式林木內部檢測及數位探針式木材強度檢測，敲擊式林木內部檢測儀器標準編制有標準值及計算值兩種方式，後者會收到實測的 DFr 值不同而有所差異，而各樹種標準值為儀器公司收集的樣本資料所統計之數值、計算值則根據現場調查所設定的資料，統計所有樣本所計算出來的數值。以所有樣本區間為全部範圍，9 以下為紅色區間，表示明顯腐朽或變質，9-18 及 40 以上之黃色區間表示可能發生腐朽或變質，18-40 之綠色區間為正常材質(圖 43)。而後可將敲擊式林木檢測儀器所得之 DFr 值帶入公式轉成動彈性係數，做為一般木材利用或機械強度參考使用，其公式為 $MOEd(\text{dyne/cm}^2)=4 \times DFr^2 \times \rho / g$ 。 ρ 為試材密度(g/cm^3)， g 為重力加速度($980 \times 10^3 / \text{sce}^2$)。

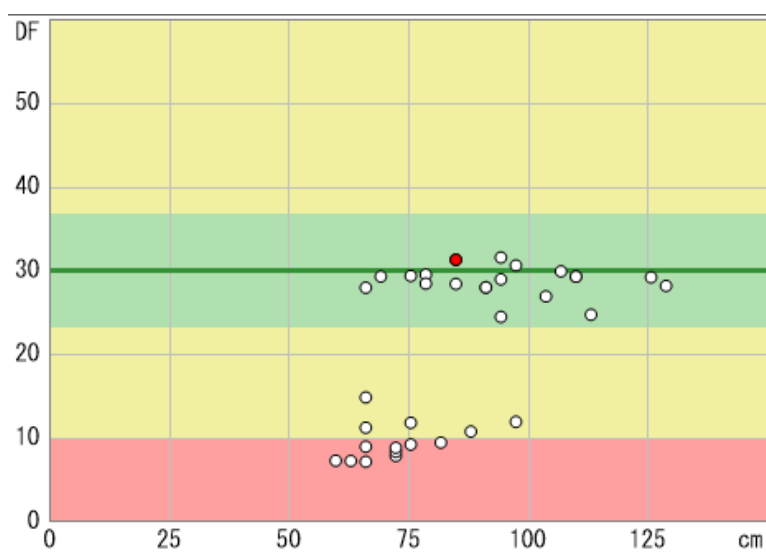


圖 43 本計畫紅檜人工林樣區敲擊 DFr 值分布

數位探針式木材強度檢測係採用探針進行檢測，其傷口相對較小，造成立木侵入式病害之機會較小。計畫團隊探鑽樣木樹高 1.3 m 的位置，依照探鑽阻抗分布結果圖腐朽分布比例來判斷該樣木之腐朽率，以圖 44 臺灣杉樣木為例，紅框處係為腐朽部分，以比例計算該樣木內部腐朽率為 23%。

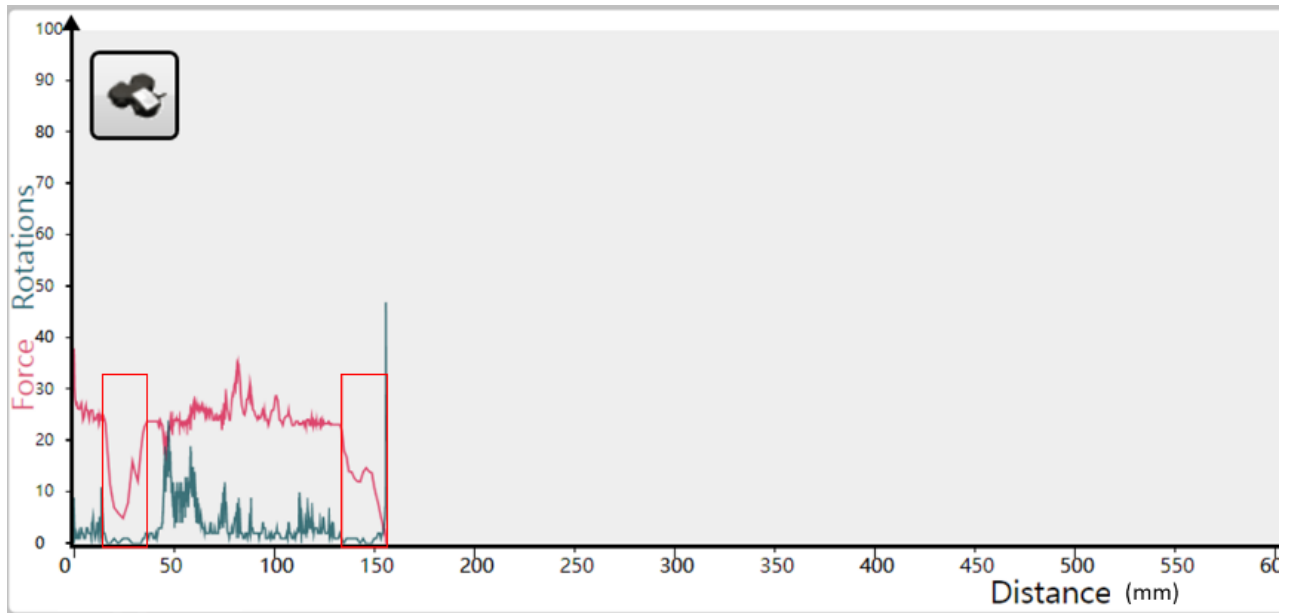


圖 44 臺灣杉樣木阻抗分布圖

表 18 及表 19 為本計畫利用敲擊式林木內部檢測儀器及數位探針式木材強度檢測儀器收及各樣區樣木株數腐朽率比例，而計畫團隊於執行過程中，亦發現使用敲擊式林木內部檢測儀器進行樣木檢測，樣木胸徑小於 20 cm 時，收集敲擊因容易受到周遭回音影響而造成樣木腐朽率高估，故建議該儀器使用對象應為胸徑 20 cm 以上之林木，而由於數位探針式木材強度檢測儀器因屬於現行鑽探結果，故僅能呈現鑽探路徑之材質，如需更完整檢測林木內部腐朽狀態，建議需進一步鑽探不同高度，以獲得更多林木內部資料。

表 18 敲擊式林木內部檢測樣區樣木腐朽率株數

樣區編號 腐朽率(%)	103	112	122	132	222	232	241	262
0-10	17	18	22	14	26	15	24	40
11-20	1	0	0	3	0	3	1	0
21-30	3	1	1	0	0	0	0	0
31-40	4	2	3	2	1	0	0	0
41-50	10	1	0	1	3	0	1	0
50 以上	9	8	0	1	10	2	0	2
合計	44	30	26	21	40	20	26	42

表 19 數位探針式木材強度檢測樣區樣木腐朽率株數

樣區編號 腐朽率(%)	103	112	122	132	222	232	241	262
0-10	19	19	22	18	36	19	26	42
11-20	3	1	0	0	0	1	0	0
21-30	8	4	0	0	2	0	0	0
31-40	12	5	3	1	1	0	0	0
41-50	2	1	1	1	1	0	0	0
50 以上	0	0	0	1	0	0	0	0
合計	44	30	26	21	40	20	26	42

從上二表結果可發現，部分樣區樣木株數腐朽率有所差異，以未疏伐樣區 103 為例，以敲擊式林木內部檢測儀器腐朽率 40% 以上佔樣區樣木株數的 43.2%，亦即該樣區中近一半的樣木內部檢測結果有腐朽情形發生，然以數位探針式木材強度檢測腐朽率 40% 以上僅佔樣區樣木株數的 4.5%，計畫團隊細究其差異，來自於上述所提使用敲擊式林木內部檢測儀器進行樣木檢測，樣木胸徑小於 20 cm 時，收集敲擊因容易受到周遭回音影響而造成樣木腐朽率高估，故本計畫將三項調查成果進行相關性分析，分析樣本資料剔除胸徑小於 20 cm 者進行，分析成果如下表所示。從分析結果可知數位探針式木材強度檢測及敲擊式林木內部檢測檢測立木內部狀況的結果具高度相關性的，而目視評估法調查人員須先進行相關訓練方可使調查成果具有客觀性，且此法因僅從林木外觀進行健康度之評估，部分內部有腐朽狀況之林木無法從外觀得知林木內部狀況，故未來建議管理單位進行健康度評估時，除利用目視評估法進行森林健康調查，亦可搭配數位探針式木材強度檢測儀器或敲擊式林木內部檢測儀器進行林木內部之檢測。另腐朽率超過 41% 以上之林木，於現場作業觀察多為被壓木，故建議疏伐作業時優先選擇為疏伐木進行伐除。

表 20 三種不同非破壞性檢測林木健康調查方式之相關性矩陣

	目視評估法	敲擊式林木內部檢測	數位探針式木材強度檢測
目視評估法	1		
敲擊式林木內部檢測	-0.123	1	
數位探針式木材強度檢測	-0.115	0.928**	1

註：**在顯著水準為 0.01 時 (雙尾)，相關顯著。

六、評估疏伐撫育作業之綜合效益評估

(一)林分性態值分析

1.連年生長量

連年生長量係指林木一年的生長量，即為 $V_{a+1}-V_a$ ，在過去的調查中，要測定林木一年的生長量，在技術上有測定誤差，往往窒礙難行，因此多以 5 年生長量平均之，然平均生長量雖可代替連年生長量，但二者變化狀態不同，因連年生長量事逐漸上升，達到最高點時會開始下降，不過此時的平均生長量仍在上升，待期達到最高點與連年生長量相等時才開始緩慢下降，如下圖所示，當平均生長達最高點與連年生長相等時，林木材積平均生長之最大成熟期，故計算連年生長量仍有其必要性。光達掃描系統因其高精度之特性，可以量測出林木胸徑值及樹高的年差異，因此可作為林木連年生長量分析的工具使用。

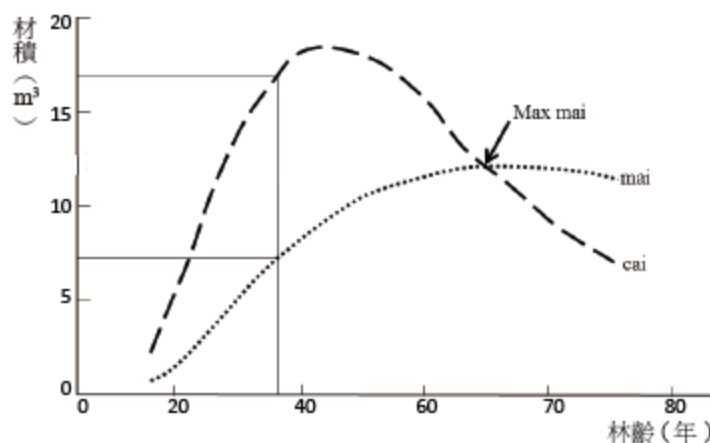


圖 45 平均生長量(mai)與連年生長量(cai)關係圖

圖 46 為紅檜人工林胸徑與材積連年生長量的變化圖，從圖中可以得知未疏伐之林分單木連年生長量是下降的，而疏伐林分單木連年生長量是上升的，顯示疏伐作業有助於林木胸徑及材積之生長；然圖 47 臺灣杉人工林胸徑及材積連年生長量的變化圖中，不論是疏伐處理與否，其單木胸徑及材積之連年生長量皆呈現下降，調查過去臺灣杉林分疏伐資料，2014 年第 98 林班之臺灣杉人工林株數疏伐率僅 18.2%，而紅檜株數疏伐率則達到 27.4%，另 2007 年-2009 年間第 99-101 林班間株數疏伐率雖高達 33%，但其伐採樹種亦包含紅檜、臺灣櫟、柳杉等樹種，臺灣杉所佔其疏伐木之比例並無法確認，本計畫推測可能為臺灣杉林分過去疏伐強度對其來說仍有不足，故林木生長無法提升。

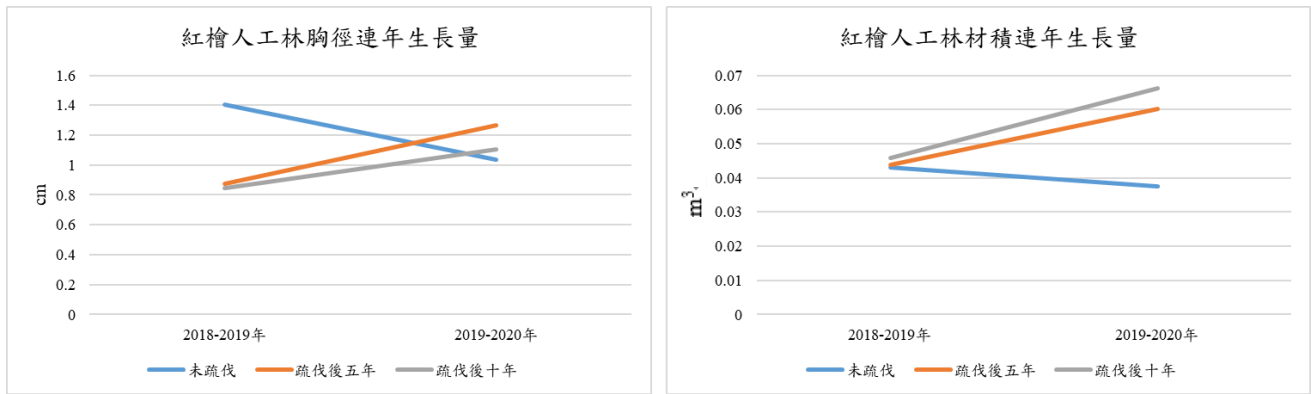


圖 46 紅檜人工林胸徑及材積連年生長量變化圖

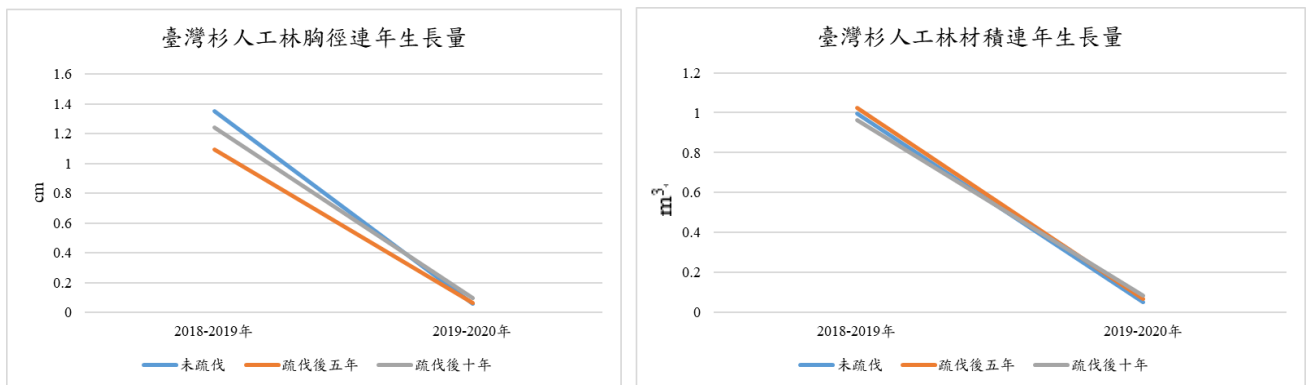


圖 47 臺灣杉人工林胸徑及材積連年生長量變化圖

2. 生長率

立木之連年生長量與當時之林木材積比即為生長率，常以百分比表示，下圖為紅檜及臺灣杉人工林不同疏伐年度材積生長率圖，從圖中可以發現，研究分析成果紅檜人工林疏伐的連年生長量是增加的，其林分材積量亦大於未疏伐林分，顯示疏伐有助於留存木材積之生長，然疏伐後十年之材積生長率卻略低於疏伐後五年，顯示林分之經營管理隨著林木之生長亦應持續監測，在主伐收穫前當生長率下降至與未疏伐林地接近時，應再次進行疏伐管理；而臺灣杉人工林林分之材積生長率分析結果疏伐林分皆低於未疏伐林分，本計畫團隊探究其原因除過去疏伐強度對其來說仍有不足，故林木生長無法提升，另因礙於林地地勢較為陡峭，且部分臺灣杉樹種栽植面積不集中，多為臺灣杉與紅檜人工林混合栽植地區，難以尋覓合適樣區進行監測調查，故部分疏伐年度之樣區數量較少，可能導致其生長率推估成果變異性較大，另環境因子(如土壤性質)及地位之差異亦可能影響林木生長之結果，然因本計畫以樣區之分布位置討論，紅檜樣區周遭亦有臺灣杉樣區之生長，應可排除土壤所產生之影響，惟未來仍可將土壤因子納入疏伐作業

後，監測及討論之對象。

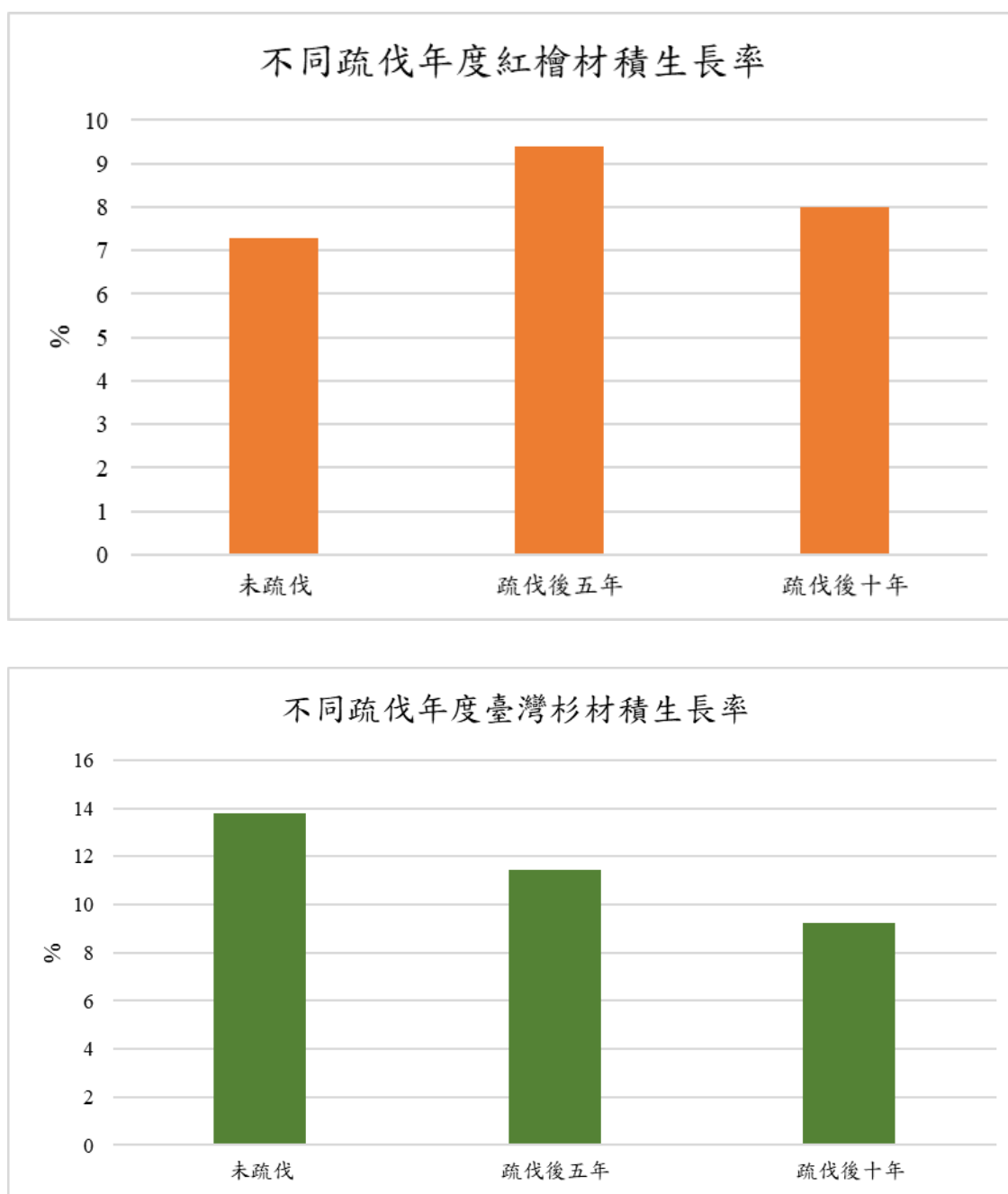


圖 48 2018-2020 年紅檜及臺灣杉人工林材積生長率

(二)林分密度管理圖

林木經營會藉由疏伐調整最適生長空間，而疏伐之時間與疏伐度之抉擇，將會影響疏伐效果，透過空間管理制定一套疏伐準則有其必要。因此本計畫針對紅檜人工林及臺灣杉人工林，進行林分密度管理圖之繪製。

本計畫為繪製紅檜及臺灣杉人工林之林分密度管理圖，根據本計畫之調查樣區加上永久樣區，其樣區資料分別為 89 筆及 58 筆樣區資料，並透過初步分析得表，得知紅檜及臺灣杉人工林之林分變量，以利後續林分密度管理圖之繪製。

表 21 紅檜及臺灣杉人工林林分密度管理圖初步分析表

紅檜					
林分變量	樣本數	最小值	最大值	平均	標準差
平均胸徑 (cm)	89	6.43	68.08	17.91	8.21
二次平均胸徑 (cm)	89	6.54	75.06	19.01	9.48
每公頃株數 (株 ha ⁻¹)	89	200	1220	524.75	191.45
平均樹高 (m)	89	2.01	21.40	9.71	3.66
優勢木樹高 (m)	89	3.2	35	12.83	4.90
蓄積量 (m ³ ha ⁻¹)	89	3.42	904.44	106.28	179.05
臺灣杉					
變量	樣本數	最小值	最大值	平均	標準差
平均胸徑(cm)	58	8.44	31.55	19.65	5.11
二次平均胸徑 (cm)	58	10.16	34.87	21.32	4.77
每公頃株數 (株 ha ⁻¹)	58	370	3,200	1,200	577.62
平均樹高 (m)	58	3.46	21.31	10.50	4.01
優勢木樹高 (m)	58	6.31	28.10	16.21	4.53
蓄積量 (m ³ ha ⁻¹)	58	8.23	872.33	275.12	232.17

並依據上表之林分變量，分別帶入二次平均胸徑及林分蓄積量之迴歸式中，進行非線性迴歸分析，並分別導出紅檜及臺灣杉 a_1 、 a_2 、 a_3 至 a_7 ，其結果如下表。

表 22 紅檜及臺灣杉人工林林分密度管理參數表

紅檜					
係數				df	R ²
a ₁ =10.949(5.20) a ₂ =-0.339(0.064) a ₃ =1.028(0.063)				89	0.635
a ₄ =0.000089(0) a ₅ =2.051(0.019) a ₆ =0.585(0) a ₇ =0.991(0.011)				89	0.810
臺灣杉					
係數				df	R ²
a ₁ =7.821(2.51) a ₂ =-0.052(0.037) a ₃ =0.498(0.078)				58	0.616
a ₄ =0.000038(0) a ₅ =2.124(0.055) a ₆ =0.613(0.03) a ₇ =1.102(0.018)				58	0.973

而本計畫透過相對位置指數、二次平均胸徑與林分蓄積量，以上三種公式進行等值線之繪製，並以縱軸為每公頃株數，橫軸為林分高度，建構紅檜及臺灣杉人工林之林分密度管理圖。相對位置指數可用來表示林分內林木的稀疏程度。二次平均胸徑越大者，其每公頃株數相對降低，反之二次平均胸徑越小，相對每公頃株數較高。林分蓄積受林分高度之增加成正比，因此林分高度越高，林分蓄積相對越大。

相對位置指數可用來表示林分內林木的稀疏程度，其範圍為 12-56%，且等值線從左向右下傾斜與其他研究類似(Barrio-Anta, 2006; Castedo-Dorado *et al.*, 2007)。二次平均胸徑等值線從左向右上傾斜，表示二次平均胸徑對於每公頃株數是相對敏銳(Schnell *et al.*, 2012)，二次平均胸徑越大者，其每公頃株數相對降低，反之二次平均胸徑越小，相對每公頃株數較高。林分蓄積量等值線從左向右下傾斜，是因林分蓄積受林分高之增加成正比，因此林分高越高，林分蓄積相對越大。

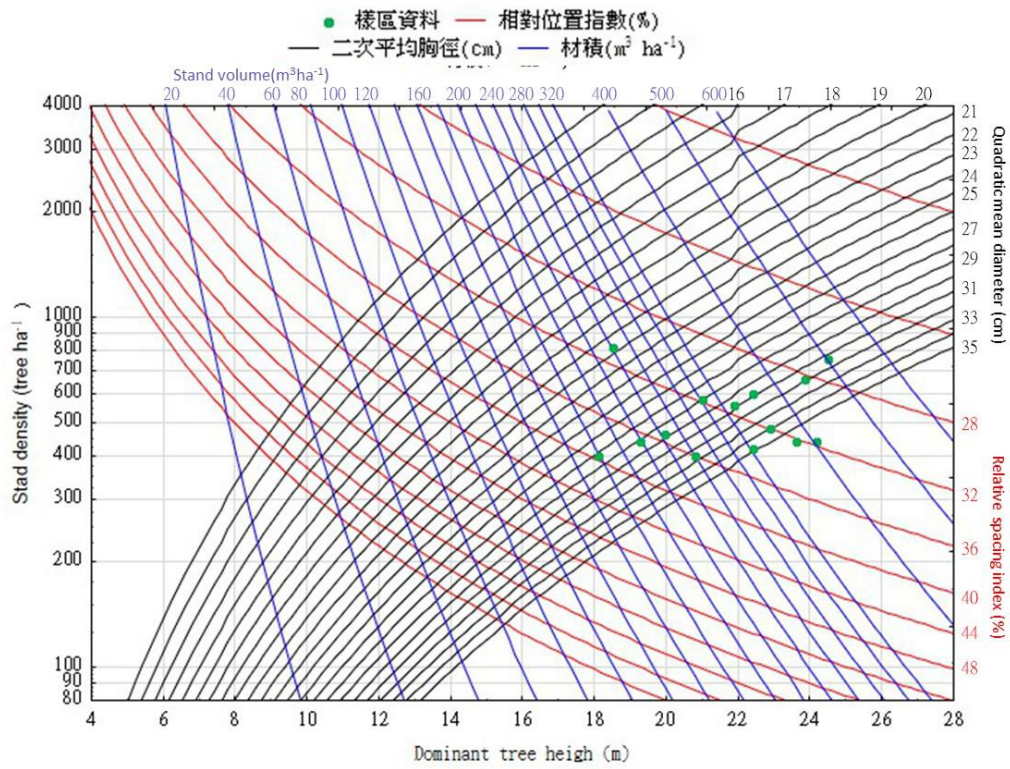


圖 49 紅檜人工林林分密度管理圖

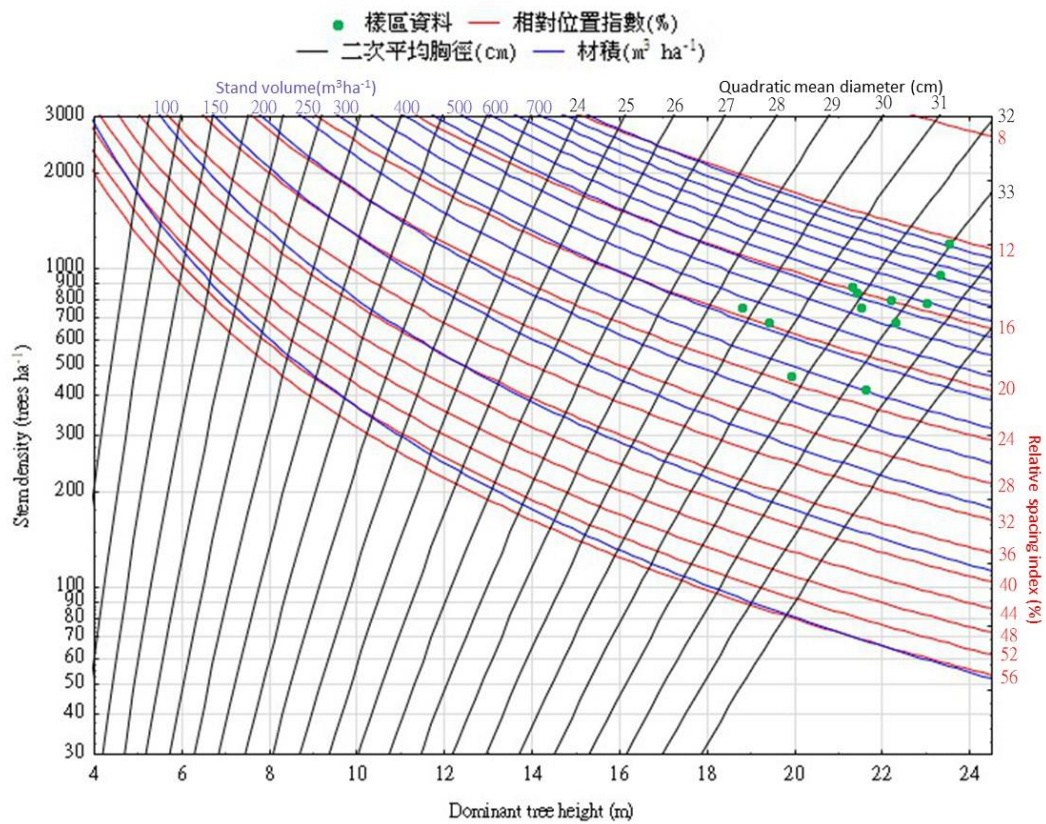


圖 50 臺灣杉人工林林分密度管理圖

而本計畫繪製圖 49 及圖 50 兩張林分密度管理圖，分別為紅檜及臺灣杉林分密度管理圖，當應用林分密度管理圖來描述疏伐時間時，可有兩個假設，第一個假設為在第一次疏伐之後的期間沒有發生死亡。如果最大蓄積與最小蓄積可確定不在自我疏伐率下發生，則該假設近乎合理，其中不包括風、雪、冰或雷等天然災害造成林木死亡。而為了解決這些問題，林分密度管理圖中可包括死亡率模型(Castedo-Dorado *et al.*, 2009 ; Pérez-Cruzado *et al.*, 2011)。不過由於本研究中缺乏此訊息，未考慮死亡率無關密度，因此第二個假設是密度對林分高沒有影響。

本計畫將監測樣區結果套入其中，以樣區編號 103(未疏伐)為例，每公頃株數約 880 株、優勢木高約 18.5 m、二次平均胸徑約為 25.9 cm 及每公頃蓄積約為 409 m³，然在林分密度管理圖理論上相關參數為每公頃株數約 880 株、優勢木高約 18.5 m 者，二次平均胸徑約為 22 cm 及每公頃蓄積約為 240 m³，觀測值及理論值兩者之間每公頃蓄積有所差異，表示在林分密度管理圖中此的林分蓄積量應不該如此高，其中可能造成原因係在森林經營管理的處理可能使林分結構實際生長變化與理論產生差異，例如在相同林分密度下，未疏伐的林分與曾經疏伐的林分間，其各項參數就會不同，因此林分密管理圖之使用過程，會假設這些林分差異是屬短期的(Drew and Flenelling, 1979)。

所以使用林分密度管理圖之前應考慮上述差異所帶來的限制，另外亦應多加參考不同疏伐處理後林分結構的變化以及不同疏伐處理對留存木所產生之影響等資料(Newton, 2003)，因為林分密度管理圖並未考慮到林分疏伐後幾年內，林木可能受到環境因子的影響另留存木的生長變化(Mitchell, 2000; Wonn and O'Hara, 2001; Cameron, 2002)，因此建議使用林分密度管理圖進行造林畫或疏伐規劃時，亦因考量其他環境因子如氣候、地形、土壤等以進行評估(Stathers *et al.*, 1994; Castedo-Dorado *et al.*, 2007)。

(三)林分碳儲存量分析

針對各疏伐年度之紅檜人工林與臺灣杉人工林進行碳儲存量監測，因未疏伐林分現存林木株數較多，故其碳儲存量高於以疏伐林分，建議未來管理單位應於疏伐前做一次疏伐木之調查，計算疏伐木之碳儲存量，並於疏伐後持續監測留存木碳蓄積的變化量及變化幅度，方能以科學方法向大眾驗證疏伐實際效益，更能以此做為是否需要調整相關森林經營管理之決策。針對目前監測連年生長量所換算之碳儲存量，紅檜人工林目前已儲存 1139.22 ton 碳量，而臺灣杉人工林目前已儲存 1391.85 ton 碳量。紅檜人工林碳儲存量與臺灣杉人工林碳儲存量見表 23。

表 23 紅檜人工林與臺灣杉人工林之碳儲存量表

紅檜人工林		臺灣杉人工林	
疏伐年度	碳量(ton/ha)	疏伐年度	碳量(ton/ha)
未疏伐	215.825	未疏伐	404.319
2008 年疏伐區域	158.227	2007 年疏伐區域	236.952
2009 年疏伐區域	220.307	2009 年疏伐區域	227.572
2012 年疏伐區域	151.600	2014 年疏伐區域	184.370
2013 年疏伐區域	209.556	2015 年疏伐區域	338.640
2014 年疏伐區域	183.709		

上表 23 內容為單純計算目前林地現況之林木碳儲存量，並不足以代表所有由林木所吸固的碳儲存量，必須加上已搬出之疏伐木之碳儲存量用以加總，方能代表整體林分所儲存之碳量。本團隊針對第 99-101 林班比較未疏伐與有疏伐之兩項林分經營管理方式，對於碳儲存量是否有影響。結果如下表 24。

表 24 各林班地加總移出林地材積量碳儲存量之比較表

	未疏伐碳量(ton/ha)	疏伐碳量(ton/ha)
第 99 林班	197.42	328.08
第 100 林班	234.79	260.55
第 101 林班	242.26	206.22

結果顯示，較密集經營管理並疏伐之 99 林班(於 2008-2009 年、2012-2014 年皆有進行疏伐作業)，透過較為密集的疏伐行為，不但提昇林地內之留存木生長速度使碳儲存量提高，移出之疏伐木材積之碳循環時間也延長，足見疏伐對於林地之重要性。

七、人工林單木及林分層級之收穫模式

(一)單木收穫預測模式

1.樹高曲線式

本計畫分別將所調查之 394 棵紅檜與 521 棵臺灣杉進行樹高曲線式之建立，所使用之曲線式如下表所式：

表 25 紅檜人工林與臺灣杉人工林之樹高曲線式列表

紅檜人工林	a	b	R^2	RMSE(%)	式
1 $H=a \times D^b$	11.19188	0.17349	0.803174	11.6	7
2 $H=a \times D^b + 1.3$	10.06285	0.18517	0.803533	11.7	8
3 $H=(D/(a+b \times D))^2$	0.59629	0.20206	0.784464	7.5	9
4 $H=(D/(a+b \times D))^2 + 1.3$	0.65950	0.20744	0.785882	7.8	10
5 $H=\exp(a+b/D)$	3.18906	-5.33329	0.776866	5.9	11
6 $H=D/(a \times D + b)$	0.04041	0.26618	0.790854	8.9	12
臺灣杉人工林	a	b	R^2	RMSE(%)	式
1 $H=a \times D^b$	9.59908	0.210209	0.81577	24.6	7
2 $H=a \times D^b + 1.3$	8.51009	0.225396	0.815409	24.3	8
3 $H=(D/(a+b \times D))^2$	0.59721	0.204665	0.797628	6.2	9
4 $H=(D/(a+b \times D))^2 + 1.3$	0.66714	0.210104	0.800488	8.9	10
5 $H=\exp(a+b/D)$	3.15796	0.015650	0.783402	2.6	11
6 $H=D/(a \times D + b)$	0.04120	0.000833	0.807123	15.3	12

註：H 為樹高(m)、D 為胸徑(cm)

針對不同兩個樹種，進行六個樹高曲線式的分析，依照最小二乘法(Least Squares)篩選，並以均方根誤差(RMSE)進行模式推估之準確性評估，選出最適合之迴歸模型。針對紅檜人工林最佳樹高曲線式為式 11，其 RMSE 為 5.9%，而臺灣杉人工林同樣也選擇式 11，其 RMSE 為 2.6%。建議使用胸徑範圍紅檜及臺灣杉皆為 15-55 cm，而適用的林齡皆為 40-50 年生人工林。

紅檜：樹高曲線式 $H=\exp(3.18906-5.33329/D)$

臺灣杉： $H=\exp(0.015650+0.015650/D)$

2.立木材積式

收穫預測模式之建立須先由單株材積之測計開始，得知材積方可進行立木材積式、樹高曲線式以及樹冠與胸徑關係之推估。過去建立立木材積式的方式是透過將立木伐倒進行樹幹解析，所需耗費的人力與時間較多，本計畫利用光達掃描系統進行樣木資料的收集，其點雲資料可以提供立木的 3D 資訊，可獲得立木不同高度的圓盤並進行圓盤直徑的量測，即運用非破壞性的方式進行樹幹解析。地面光達所進行之林木掃描，利用光達點雲測量由 0.3 m 為基準，每 2 m 為單位之分段圓盤直徑與樹高，應用 Huber 公式區分求積法，以獲得準確之幹材材積。

立木材積式係以材積、胸徑與樹高等因子，以適當的關係模式利用迴歸分析所建立，本計畫以區分求積法所獲之材積為依變數、地面光達所測得之樹高與胸徑為自變數，進行非線性迴歸分析，並依照最小二乘法篩選最適合之迴歸模型，藉以建立以地面光達為基礎之紅檜與臺灣杉人工林之地方材積式。最後針對紅檜人工林與臺灣杉人工林進行推估值與真值之準確度評估，並以均方根誤差進行模式推估之準確性評估。

表 26 各變數對林分材積之多迴歸分析迴歸式

紅檜人工林					
模型	迴歸式	R^2	RMSE(%)	式	
$V=a+b \times D^2 \times H$	$V=0.100445+0.000028 \times D^2 \times H$	0.9973	1.60	13	
$V=a+b \times D^2+c \times H+d \times (D^2 \times H)$	$V=0.250736+0.001176 \times D^2-0.013594 \times H-0.000027 \times (D^2 \times H)$	0.9148	16.69	14	
$V=a \times D^b \times H^c$	$V=0.0118 \times D^{2.056} \times H^{-1.05128}$	0.8989	15.31	15	
$V=a \times b \times D^c+H^d$	$V=0.000038 \times 0.000038 \times D^{-0.252602}+H^{0.02682}$	0.1538	48.26	16	
臺灣杉人工林					
$V=a+b \times D^2 \times H$	$V=-0.04533+0.000033 \times D^2 \times H$	0.9974	5.26	13	
$V=a+b \times D^2+c \times H+d \times (D^2 \times H)$	$V=0.290136+0.00022 \times D^2-0.021721 \times H+0.000027 \times (D^2 \times H)$	0.9961	4.36	14	
$V=a \times D^b \times H^c$	$V=0.000039 \times D^{2.279882} \times H^{0.596517}$	0.9981	3.82	15	
$V=a \times b \times D^c+H^d$	$V=-0.8252 \times (-0.8252) \times D^{-13.4831}+H^{-0.0223}$	0.0583	41.99	16	

註：D 為地面光達胸高直徑(cm)；H 為地面光達樹高(m)；V 為林木材積(m³)

由表 26 可之，對紅檜人工林而言，雙因子推估式之式 13 具有較高的解釋能力，其 R^2 值達到 0.9973；對臺灣杉人工林而言，雙因子推估式則是式 15 具較高的解釋能力，其 R^2 值達到 0.9981。另本計畫進行紅檜人工林與臺灣杉人工林推估值與真值之準確度評估，針對兩樹種推估值及準確值之殘差分析，將殘差分析結果計算均方根誤差(RMSE)評估本計畫所推估之地方材積式之準確性，分析結果與非線性迴歸分析結果相符，以紅檜人工林而言，式 13 的 RMSE 為最低，是為 1.60%，表示以本計畫推估之紅檜地方材積式以 $V=0.100445+0.000028*D^2 \times H$ 為佳；而臺灣杉人工林則以式 15 的 RMSE 3.82%為最低，臺灣杉地方材積式以 $V=0.000039 \times D^{2.279882} \times H^{0.596517}$ 為佳。而本計畫建立立木材積式係使用計畫範圍內不同直徑階之樣木進行區分求積法所得資料求得，故有建議使用範圍，紅檜之立木材積式建議使用胸徑範圍為 15-50 cm，臺灣杉立木材積式建議使用胸徑範圍為 15-55 cm，而適用的林齡皆為 40-50 年生人工林。

過去已有許多研究將光達掃瞄系統應用於森林資源調查之中，其中研究結果顯示使用光達掃瞄系統可獲得準確之林分性態值，本計畫團隊過去承接行政院農業委員會林務局所辦理之委託研究計劃亦有進行地面光達掃瞄系統所獲材積與人工實際區分求積之材積之 T 檢定與相關性分析，其成果證實兩者材積之間無顯著差異且兩者間距高度相關性，因此於荖濃溪事業區 40 年生之紅檜及臺灣杉人工林，若可獲得正確之胸徑及樹高，本計畫團隊建議可使用本次計畫執行成果所獲得之雙因子推估式做為地方立木材積式使用。

(二)林分層級收穫預測模式

1.直徑級林分表

針對本研究計畫所設立之樣區進行林分表統計，林分表以不同直徑級，代表不同徑級之分配，可藉由林分表了解該樹種人工林之林分結構。

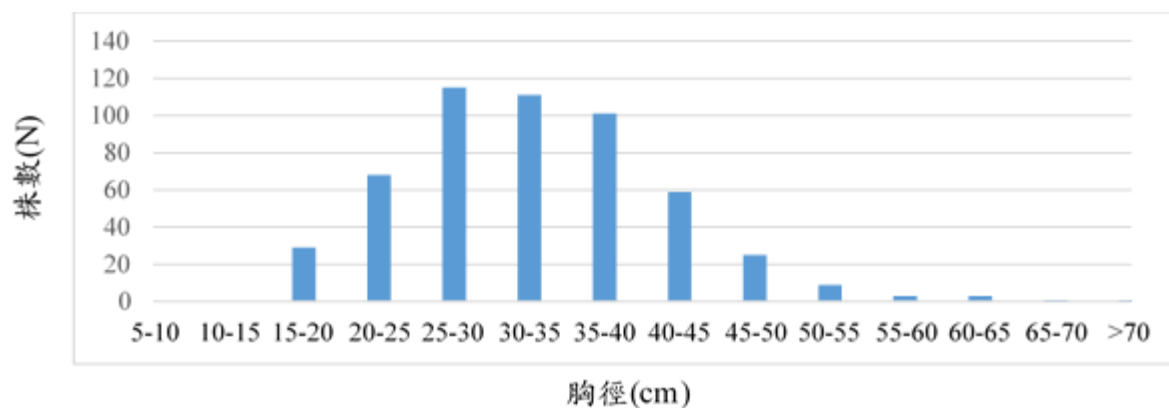


圖 51 紅檜人工林林分結構圖

表 27 紅檜人工林直徑級林分表

直徑級(cm)	每公頃株數	每公頃胸高斷面積(m ² /ha)	每公頃材積(m ³ /ha)
0-5	0	0	0
5-10	0	0	0
10-15	29	0.78	8.06
15-20	68	2.81	25.99
20-25	115	6.91	60.84
25-30	111	9.11	77.39
30-35	101	11.11	94.60
35-40	59	8.21	68.60
40-45	25	4.33	35.98
45-50	9	1.96	16.09
50-55	3	0.70	5.51
55-60	3	0.77	6.40
60-65	1	0.45	3.74
65-70	1	0.64	5.16
>70	0	0	0
合計	525	47.79	408.35

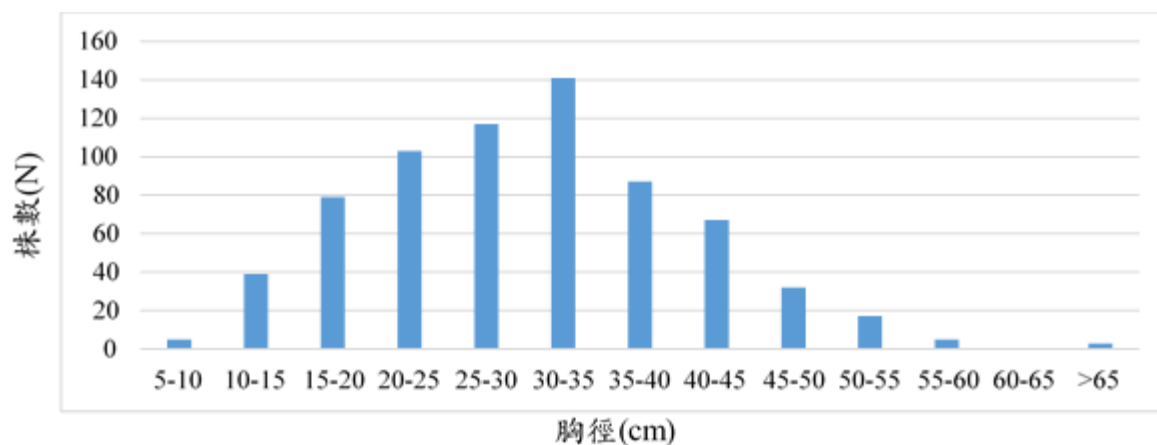


圖 52 臺灣杉人工林林分結構圖

表 28 臺灣杉人工林直徑級林分表

直徑級(cm)	每公頃株數	每公頃胸高斷面積(m ² /ha)	每公頃材積(m ³ /ha)
0-5	5	0.03	0.14
5-10	39	0.52	2.84
10-15	79	1.94	11.80
15-20	103	4.15	28.39
20-25	117	7.05	52.08
25-30	141	11.52	90.08
30-35	87	9.56	80.38
35-40	67	9.25	78.85
40-45	32	5.63	49.71
45-50	17	3.64	35.17
50-55	5	1.37	13.80
55-60	0	0	0
60-65	3	0.72	10.41
>65	5	0.03	0.14
合計	695	55.63	453.63

從前一章節林木連年生長量、生長率之分析成果，以及本章節直徑級林分表分析成果可發現，紅檜人工林生長顯示疏伐之效益，留存木之生長獲得提升，於胸徑及材積連年生長量皆有所表現，材積生長率亦顯示疏伐林分高於未疏伐林分，林分直徑結構分布圖亦呈常態分布，建議未來管理單位針對紅檜人工林持續監測，如疏伐後十年之林分之生長率略低於疏伐後五年之林分，當疏伐後十年之林分生長率近未疏伐林分或低於未疏伐林分時，可再次進行二次疏伐進行調整。

臺灣杉人工林從前一章節林木連年生長量、生長率之分析成果得知，其胸徑及材積生長量不論有無疏伐作業皆是下降狀態，而在材積生長率表現上疏伐林分生長率甚至低於未疏伐林分，計畫團隊研究過去疏伐資料推測可能為臺灣杉林分過去疏伐強度對其來說仍有不足，故林木生長無法提升。而本章節林分直徑結構分布結果來看，計畫區域內臺灣杉林分胸徑 0-20 cm 之中小徑木分布偏多，且依計畫團隊於現場觀察樣木外觀，其枝下高多偏低，且留存木枯枝偏多，整體林分生長狀況不似紅檜人工林佳，故計畫團隊建議予以疏伐管理，經計畫團隊分析建議未來以下層疏伐為主，伐除林下所有小於 10 cm 之林木，10-15 cm 及 15-20 cm 之林木選擇株數之 63%及 39%作為疏伐木，為了使林分結構能更近於常態分布，25-30 cm 亦選擇株數之 20%作為疏伐木，選木方式皆以下層疏伐為目的，以枯死木、受害木、傾斜木、被壓木及分叉木為主，由各徑級不同疏伐率平均而得整體建議之株數疏伐率為 24%、材積疏伐率為 4.5%。另建議管理單位針對留存木將修枝作業列入撫育作業項目中，因枯死的枝條如不妥善處理掉落時可能對立木造成較大之傷口，對於林木侵入式病害風險會提高，而枝下高過低會使木材內部材質「節」之產生，未來收穫時木材強度及品質亦會受到影響，故建議管理單位進行修枝撫育。

2.全林分模式

利用 Weibull 機率密度函數所取得之 b 、 c 值，Weibull 機率密度函數內部融合不同林分之直徑級概念，同時包含株數與林分狀態等，與林分蓄積量具備相關密切關係(李久先、陳朝圳，1990)，不同的 b 、 c 值代表不同的林分現狀，以此現狀資料分布樣態進行全林分蓄積量之推估。因此藉由本計畫研究所取得之 b 、 c 值進行森林蓄積量推估，將紅檜人工林與臺灣杉人工林分開，各別進行多元迴歸分析(Multiple Regression)進行迴歸分析，紅檜人工林與臺灣杉人工林分析結果如下。

紅檜人工林結果顯示， $R = 0.89$, $R^2 = 0.79$, $N = 45$ ， b 值與與常數項對於此迴歸式呈現顯著狀態($p < 0.05$)，證明此迴歸式針對小關山紅檜人工林之蓄積量推估具備推估能力，紅檜人工林蓄積量推估迴歸式如下。

$$\text{紅檜蓄積量 } \ln(V) = 4.600111 + 0.074853b + 0.0010293c$$

臺灣杉人工林結果顯示， $R = 0.79$, $R^2 = 0.63$, $N = 45$ ， b 值與常數項對於此迴歸式呈現顯著狀態($p < 0.05$)，證明此迴歸式針對小關山臺灣杉人工林之蓄積量推估具備推估能力，然而臺灣杉蓄積量迴歸式之推估能力較低於紅檜蓄積量推估迴歸式，原因在於臺灣杉之不同徑級樣區可及性較低，位處較深山區域導致不易前往，也因此較無法呈現較佳之推估能力，未來若能加入更多徑級之樣區，將可獲得更加完整之推估模式，臺灣杉人工林蓄積量推估迴歸式如下。

$$\text{臺灣杉蓄積量 } \ln(V) = 5.223892 + 0.024979b + 0.0013485c$$

3.疏伐作業程序規劃及工時之成本分析

臺灣過去造林以生產木材為主要目的，因此對於疏伐研究，大部份以疏伐對林木生長收穫，以及林分結構之改變為主要研究對象。以經濟層面來說，疏伐所需考慮的因子包括栽植密度、疏伐種類、疏伐量、疏伐林齡及主伐林齡(Optimal Clear-Cutting Age)等，主要目的為增加林木直徑生長，提高主伐木品質，進而使疏伐的淨現值最大(陳瑩達等，2003)。在陳瑩達等(2003)針對柳杉人工林進行疏伐成本效益分析，其結果顯示疏伐木搬出林地者其淨現值優於不搬出者、疏伐後15年實施主伐者優於疏伐後30年者；以疏伐強度而言，平均淨現值最高為強度疏伐，接著依序為中度疏伐、不疏伐，最後淨現值最低為弱度疏伐(圖 53)。

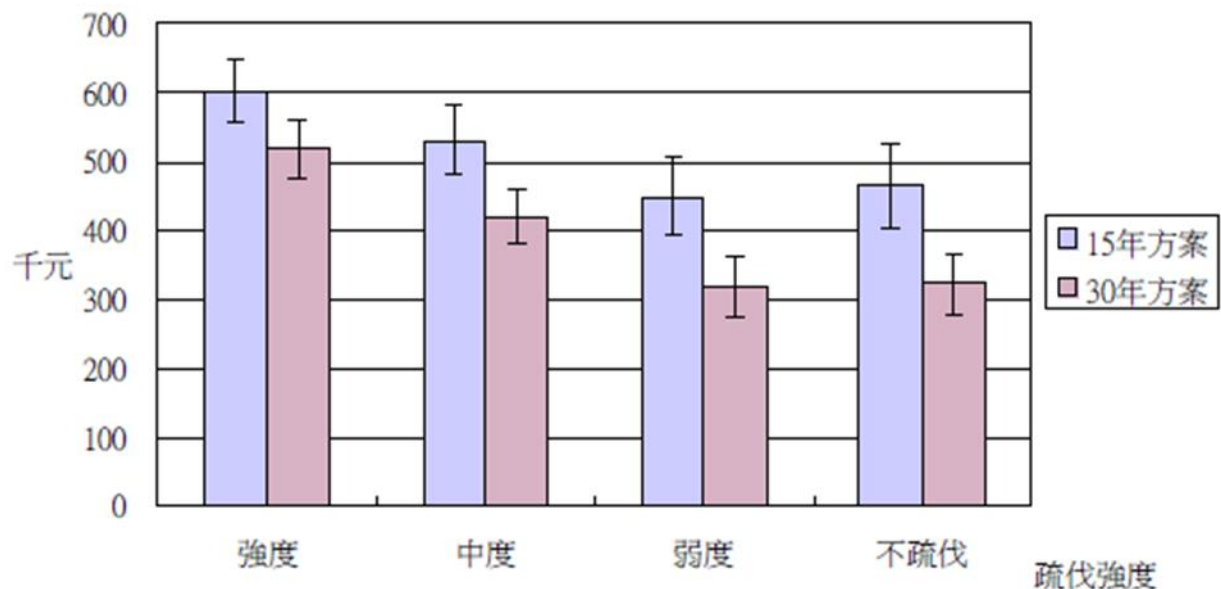


圖 53 各疏伐強度之平均淨現值(陳瑩達等，2003)

然而除了淨現值之外，還須根據投資之成本效益決定是否實施疏伐及如何實行，是可謂經濟疏伐。因此，除了樹種、地位及、林分密度及疏伐種類之外，利率、伐木費用(設備、人力等)、木材市價等成本與經濟因子也應一併考量(蘇柏羽，2014)。吳學平(2001)新竹林區柳杉人工林疏伐作業之研究中，利用下層疏伐作業各項工作以及作業時間的測計分析，推算標準工作量及作業生產成本。研究結果顯示，疏伐作業動作可分為伐木、打枝造材、集材及裝車運材等四階段勤務，各工作組的日標準工作量分別為伐木 8.89 m³、打枝造材 7.16 m³、集材作業 15.85 m³、裝車運材 19.95 m³，經過推估疏伐作業之生產成本及收益後，仍有 18.1%之利潤。

疏伐之工作項目包含招標、擬定合約、伐木、造材、集材、運輸與疏伐木標售，而本計畫利用屏東林區管理處所提供之資料，伐木工人以日計算，監工、檢尺、驗收及跡地檢查人員以次計算，將其納入工時成本，分析不同經營目的之中後期撫育作業模式之差異。根據國有林林產物處分規則第 7 條及國有林林產物處分作業要點第 5 條規定，林區管理處編具年度採伐計畫前須先進行林產物處分前調查，而依照屏東林區管理處所提供給計畫團隊的資料，貴處於 106 年至 109 年共編列 10 案，總計採伐面積為 223.61 ha，預估收穫為 10,886 m³，依據貴處提供資料同仁出差 1 天(1 工)以平均 600 元進行計算，林務單位人力配置基準及預估費用如下表所示，平均每公頃所花費人力為 9.48 人次、平均每立方公尺生產經費為 116.84 元。

表 29 疏伐作業林務單位人力配置及預估費用表

工作項目	人力配置 (工)	每日工作量	預估工作 天數	費用
拉界	3	3 人為一組，每組拉界 5 ha/天	45	81,000
選木	3	3 人為一組，每組選木 0.8 ha/天	280	504,000
監工	1	1 天 1 人次計算，以 90 天工期為 計算依據	90	54,000
押運材車	1	1 天 1 人次計算，以每日載運 15 m ³	725	435,000
驗收	4	每案預計需 1-2 天進行驗收	8	19,200
跡地檢查	2	2 人為一組，每日約檢查 1.5 ha	149	178,800

上表為本計畫團隊根據屏東林區管理處所提供之 106 年-109 年度編列的採伐計畫案進行經費之估算，然因外業調查常需露宿野地，另拉界、選木及押運材車所預估的每日工作量與預估完成之工作天數亦會依現地狀況有所差異而需調整，因此預估總人力費用僅供參考使用。

吳學平(2001)的研究中針對疏伐與皆伐作業伐木造材進行比較，由於疏伐作業於伐木時須注意伐倒木的方向，避免伐倒木或掛勾傷及保留木，故需二人配合作業，由一人持鏈鋸、一人協助倒向正確方向(表 21)，且伐木造材平均工作量隨著胸徑之增加亦增加(吳順昭、李金福，1968)，另外疏伐作業相較於皆伐作業亦包含移動尋找疏伐木、製作倒口及控制倒向、砍除雜草灌木及藤蔓等時間。

表 30 伐木造材工作比較表(吳學平，2001)

作業別	伐木造材工程(工)		備註
	株數(株)	材積(m ³)	
疏伐	112	6.16	疏伐作業需二人一組
皆伐	235	12.90	每株利用材積 0.055m ³

集材作業受到地形、地況、單株材積、單位面積蓄積量、集運距離集方式等因子影響，即使在同一疏伐區內林況及地況亦會影響其工作時間，卓志隆等(2009)於太平山試驗區進行太平山事業區進行混合林疏伐作業效率研究，其研究結果表示一組 6 位集材作業人員平均每回集材實際作業時間為 805.8 秒，並以樹高、胸徑、材積、集材距離等因子與個別作業時間進行迴歸分析，以預估疏伐作業集材作業的時間，經由標準工時法所推估之集材作業每工日標準工作量为 1.18 m³。湯適謙等(2019)針對柳杉、杉木、香杉、臺灣杉及紅檜人工林等作業區域為對象，進行不同疏伐作業之集材作業研究，其研究結果因每個作業區域的條件不同，以每迴集材為單位，平均作業時間為 373-1,464 秒，平均為 673 秒。作業效率來說，行列疏伐集材作業每工日平均工作量为 4.68 m³，下層疏伐為 3.32 m³，各作業地之每工日平均工作量为 1.70-8.34 m³(表 31)，並根據平均日工作量为及重要度分析結果求得疏伐作業集材之日標準工作量为方程式。

表 31 行列疏伐及下層疏伐之及材作業每人每日工作量为表(湯適謙等，2019)

作業方式	行列疏伐					平均	總 平均
林班	竹東 第 87 林 班	鑾大 第 113 林班	埔里 第 35 林 班	阿里 山 第 4 林班	林田山 第 126 林班	4.68	
平均每人每日工作量为(m ³)	3.92	5.68	3.63	8.34	1.99		
作業方式	下層疏伐					平均	3.99
林班	竹東 第 2 林 班	鑾大 第 59 林 班	鑾大 第 90 林 班	荖濃 第 98 林班	關山 第 5-6 林班	3.32	
平均每人每日工作量为(m ³)	1.70	2.72	3.81	5.39	4.47		

疏伐木裝車運材的部分亦有地區性的差異，林地越偏遠運材成本越高(鄭欽龍，2000)，單木尺寸、林地面積及林況亦會影響裝車運材之成本(Keegan *et al.*, 1995)，吳學平(2001)針對柳杉人工林研究分析裝車運材的過程以及所後費之工時成本，運材前首要工作係為檢尺與點材，集材車司機配合疊材解索、檢尺點材與網綁原木各需兩人，因此一次裝車集材作業工作人員為四人一組，藉由標準作業時間索求出裝車運材工作組之日標準工作量为 19.94 m^3 ，每工日標準工作量为 4.99 m^3 。而林道的交通狀況以及疏伐後更新作業的方式也都會影響到人力的成本，如若採伐地點需要另開闢作業便道則需另外估算經費進行作業到之開設，而如若更新方式可使用天然下種更新，且主要道路可達採伐計畫實施地點，則可大量降低人力成本。

八、生物多樣性監測分析成果

(一)木本及草本植物監測

本計畫以荖濃溪事業區第 98-101 林班為範圍，進行植物資源調查，共調查 102 科 239 屬 316 種植物，其中 82 種喬木，51 種灌木，44 種藤本，135 種草本，224 種皆為原生種，共包含 82 種特有種。植物鑑定係以臺灣植物誌(Flora of Taiwan, 2ed)引以為據，並透過「臺灣維管束植物紅皮書名錄」將植物危險等級分成 9 類，包括滅絕(EX)、野外滅絕(EW)、極危(CR)、瀕危(EN)、易危(VU)、近危(NT)、無危(LC)、數據缺乏(DD)、未評估(NE)，而本次調查包括瀕危(EN)植物—臺灣杉(1 種)、易危(VU)植物—土肉桂(*Cinnamomum osmophloeum*)(1 種)、紅檜、臺灣鐵線蓮(*Clematis formosana*)、山桔(*Glycosmis parviflora*)等近危(NT)植物(3 種)及等粉背蕨(*Cheilanthes mexicana*)、著生珊瑚樹(*Viburnum arboricolum*)、西施花(*Rhododendron latoucheae*)、臺灣矢竹(*Sinobambusa kunishii*)等數據缺乏(DD)植物(4 種)，植物名錄如附件九。另外，計畫區研究範圍雖為紅檜及臺灣杉人工林，然生長過程中亦有其他非目標樹種植物生長，故計畫團隊調查樣區內木本植物樹種、數量以及胸徑等資料，計算各樣區重要度指數，結果呈現各樣區仍以紅檜及臺灣杉等目標樹種為主，假長葉楠、卡氏楮、臺灣二葉松、長葉木薑子、大葉石櫟、烏心石、杏葉石櫟等樹種亦分布其中，由以前三者居多，各樣區重要度指數結果如附件十所示。

各疏伐年度之樣區皆會進行林下地被植群覆蓋度調查，由疏伐過後之林分結構與樹冠鬱閉度，可知是否會對地被覆蓋度造成影響，其結果顯示如表 32(以樣區 104 為範例呈現)，各樣區之草本地被資料如附件十一所示。

表 32 樣區草本地被調查成果(以 104 樣區為例)

樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
104 (2014 年疏伐)	1	稀子蕨 73% 珠砂根 18% 糙莖菝葜 9%	
	2	珠砂根 33% 稀子蕨 42% 斜方複葉耳蕨 8% 紅果薹 8% 骨碎蒲 8%	
	3	稀子蕨 76% 糙莖菝葜 6% 爬牆虎 18%	
	4	糙莖菝葜 22% 小月桃 33% 紅果薹 11% 稀子蕨 33%	

本計畫以地被相對覆蓋度作為介量進行 Shannon's diversity index (H')計算，分析未疏伐區與疏伐區的物種群落生物多樣性。該指數係用以估算群落生物多樣性高低，當群落中僅有一族群存在時，指數達最小值 0；當群落中有兩個以上族群存在，且每族群中個體數相等時，指數達最大值 $\ln S$ 。本計畫分別計算臺灣杉及紅檜監測樣區之地被生物多樣性，將樣區分類成未疏伐區、疏伐後五年及經疏伐後十年三類，其結果如表 33 所示。疏伐作業之實施影響林分內之開闊度，光度、溫度、相對濕度等為環境亦會隨之改變，疏伐作業增加林下透光量，有利地被植群更新及生長，亦能增加林地內地被覆蓋度，進而減少林內土壤沖蝕(汪大雄，2007)。本計畫分析調查結果顯示，經疏伐區域其物種數較未疏伐區域多，物種組成較為均勻(多樣性指數高)，表示疏伐作業有助於地被群落之生長。

表 33 地被調查生物多樣性指數結果表

	紅檜		臺灣杉	
	物種數	H'	物種數	H'
未疏伐	15	0.96	14	0.85
疏伐後五年	60	1.40	43	1.35
疏伐後十年	27	1.16	28	1.11

(二)動物資源監測分析成果

本計畫將紅外線自動照相機架設於樣區距離 100 m 附近，並於較大型動物曾出現路徑周邊進行長期的動物監測。8 台紅外線自動照相機設置完成，分別位於紅檜未疏伐、2008 年、2012 年疏伐區域以及臺灣杉未疏伐、2007 年、2013 年及 2015 年疏伐區域，各相機設置位置及代號如圖 54 及表 34 所示。依每 3 個月為一季之調查頻度進行 8 個區域內相機電池及記憶卡更換，以持續進行監測調查。

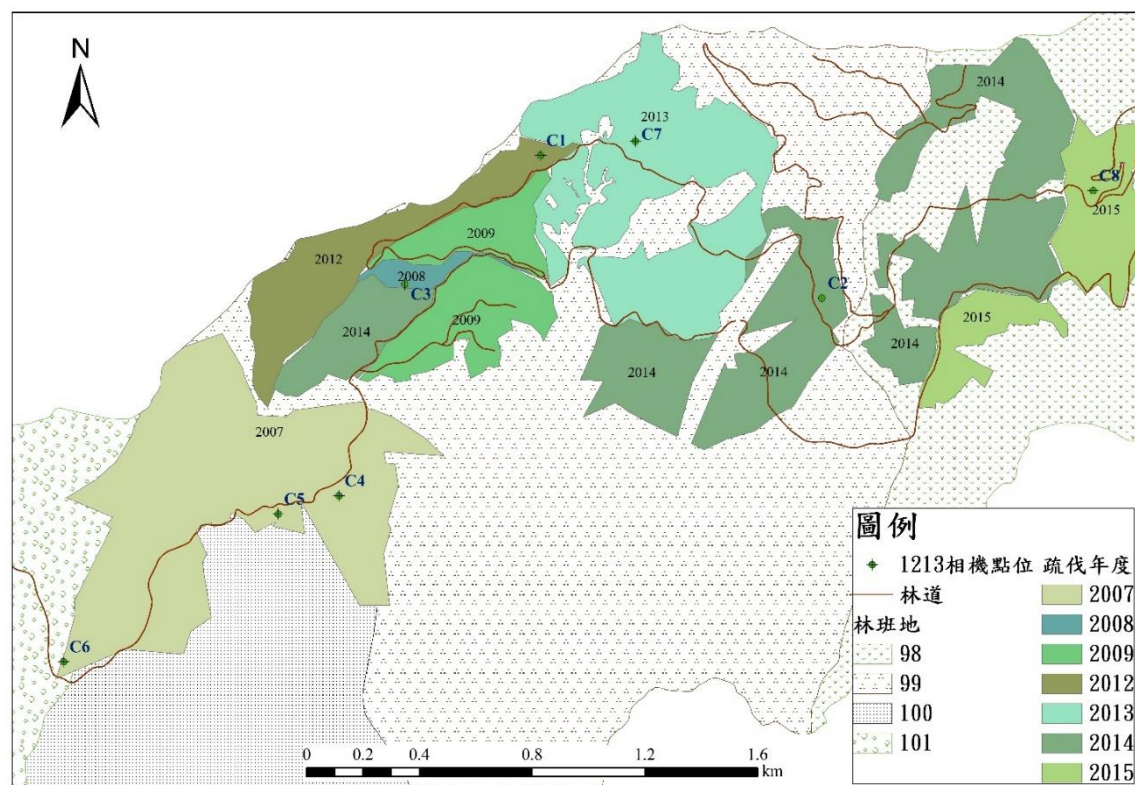


圖 54 計畫區紅外線自動照相機設置位置圖

表 34 計畫區紅外線自動照相機設置代碼表

設置位置	紅檜				臺灣杉			
	2012 年 疏伐	未疏伐	2008 年 疏伐	2007 年 疏伐	2007 年 疏伐	未疏伐	2013 年 疏伐	2015 年 疏伐
相機代號	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8

經過近三年之動物資源監測，利用紅外線自動照相機針對不同區域進行架設，結合拍照與錄影方式進行動物監測，紅外線自動照相機資料收集時間如表 35 所示。針對物種種數(Species Number)、物種數量(Species Quantity)、Simpson 指標、Shannon-Wiener 多樣性指標以及均勻度指標(Evenness Index)進行分析，Simpson 指標值越高代表該區域物種趨向單一化，Shannon-Wiener 指標值越高代表該區域物種多樣性高，Evenness Index 值越高代表該區域物種數量均勻，與 Simpson 指標互相對立。本計畫針對上述五種參數進行計算(表 36)，並且使用單因子變異數分析(One-way ANOVA)討論三個年度監測動物資料使否具備顯著差異，結果顯示，除了第二年度監測之 Species Number 與第一年度有顯著差異，其餘指標於各年度之分析結果，皆顯示無顯著差異。而第二年度監測結果具備顯著差異，推測原因在於因汛期所導致道路坍方，使得研究團隊無法進入監測之工作區域，進行紅外線自動照相機更換電池與記憶卡，以及原定穿越線監測工作，使得 Species Number 與第一年度有顯著差異($p\ value = 0.039$)(表 37)。

表 35 紅外線自動照相機蒐集照片工作時間表

收相機資 料時間	備註
2017/9/21	架設
2017/11/23	第一年度第一季
2018/3/17	第一年度第二季
2018/9/14	第一年度第三季+第四季，因為汛期影響，5-6 月無法進入收資料
2018/11/11	第二年度第一季
2019/3/3	第二年度第二季
2019/11/8	第二年度第三季+第四季、第三年度第一季，因為汛期影響以及道路崩塌，5-10 月無法進入收集資料
2020/1/16	第三年度第二季
2020/4/15	第三年度第三季
2020/8/3	第三年度第四季

表 36 各年度多樣性指標整理表

多樣性指標	年度	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
物種種數	1	7	8	16	13	15	10	7	19
	2	4	9	6	6	10	7	5	11
	3	8	12	8	10	14	10	6	12
物種數量	1	94	270	442	443	208	11	8	19
	2	27	147	34	152	206	91	124	420
	3	227	216	47	378	148	131	74	418
Simpson 指數	1	0.31	0.39	0.42	0.47	0.30	0.48	0.31	0.28
	2	0.45	0.39	0.34	0.45	0.21	0.62	0.41	0.36
	3	0.61	0.38	0.36	0.37	0.24	0.36	0.24	0.36
Shannon-Winner 多樣性指數	1	0.62	0.62	0.49	0.53	0.53	0.49	0.64	0.58
	2	0.57	0.55	0.62	0.67	0.59	0.38	0.68	0.62
	3	0.39	0.54	0.57	0.66	0.53	0.55	0.63	0.65
Shannon-Winner 均勻度指數	1	0.32	0.30	0.18	0.21	0.19	0.21	0.33	0.20
	2	0.41	0.25	0.35	0.37	0.25	0.20	0.42	0.26
	3	0.19	0.22	0.27	0.29	0.20	0.24	0.35	0.26

表 37 各別年度哺乳類動物監測結果之單因子變異數總表

		平方和	df	平均值平方	F value	顯著性
物種種數	組間	88.583	2	43.292	3.846	0.038*
	組內	236.375	21	11.256		
	總計	322.958	23			
物種數量	組間	12,459.000	2	6,229.500	0.276	0.761
	組內	473,324.625	21	22,539.268		
	總計	485,783.625	23			
Simpson 指標	組間	0.008	2	0.004	0.342	0.714
	組內	0.231	21	0.011		
	總計	0.239	23			
Shannon- Wiener 指標	組間	0.002	2	0.001	0.176	0.840
	組內	0.137	21	0.007		
	總計	0.140	23			
均勻度 指標	組間	0.024	2	0.012	2.654	0.094
	組內	0.095	21	0.005		
	總計	0.119	23			

註：*為 $p < 0.05$ ，具備顯著差異

另外本研究團隊針對自動照相機所監測林分疏伐年度不同進行分析比較，將相機分為三個組別，第一組同時為對照組 C2、C6 為未疏伐之動物監測結果，第二組為 2012 年、2013 年與 2015 年皆有進行疏伐工作之 C1、C7、C8 動物監測資料，第三組則為 2007 年、2008 年進行疏伐作業之 C3、C4、C5 動物監測資料，同樣透過單因子變異數分析進行平均數差異比較，結果顯示，三組之間並無顯著差異，因此可推論，針對林分進行疏伐作業操作，無論時間遠近，疏伐作業執行當下，機具與人工噪音會為林地帶來暫時性的人為干擾無可厚非，然而對於疏伐後五年、疏伐後十年之林分而言，其動物監測結果與未疏伐林分之間並無顯著差異，足見疏伐作業並未對動物之棲地造成破壞，也未對動物行為有所影響，反之疏伐作業所附加之林冠距離增加效益而言，能為林地帶來更充足的陽光，促進地被草本植物生長，林下植被物種多樣性增加，有機會促使動物之食源增加而不致破壞其生存環境。

表 38 不同疏伐年度後哺乳類動物多樣性監測結果之單因子變異數總表

		平方和	df	平均值平方	F value	顯著性
物種種數	組間	21.181	2	10.590	0.73700	0.491
	組內	301.778	21	14.370		
	總計	322.958	23			
物種數量	組間	33,792.736	2	16,896.368	0.785	0.469
	組內	451,990.889	21	21,523.376		
	總計	485,783.625	23			
Simpson 指標	組間	0.029	2	0.015	1.475	0.252
	組內	0.209	21	0.010		
	總計	0.239	23			
Shannon- Wiener 指標	組間	0.022	2	0.011	1.931	0.170
	組內	0.118	21	0.006		
	總計	0.140	23			
均勻度 指標	組間	0.019	2	0.009	1.974	0.164
	組內	0.099	21	0.005		
	總計	0.117	23			

註：*為 $p < 0.05$ ，具備顯著差異

透過沿線調查法與紅外線自動照相機拍攝之哺乳類動物與鳥類動物進行整合，利用單因子變異數分析比較不同疏伐年度，於本計畫三年期間所監測之動物數量是否有顯著差異，結果顯示，鳥類動物於不同疏伐年度樣區監測之數量有顯著差異(表 39)，透過 Scheffe 法事後檢定表(表 40)得知，鳥類動物於疏伐後五年

之監測數量，與未疏伐之監測數量具備顯著差異，推測原因可能為部分鳥類動物喜好較林相相對開闊之區域，且陽光進入林間提供爬蟲類動物出沒增加食物來源，故疏伐後五年之鳥類動物監測數量較多。

表 39 哺乳類動物與鳥類動物總數量於不同疏伐年度之變異數分析表

		平方和	df	平均值平方	F value	顯著性
哺乳動物 總數量	組間	237,388.67	2	118,694.33	1.532	0.290
	組內	464,885.33	6	77,480.89		
	總計	702,274.00	8			
鳥類動物 總數量	組間	266.00	2	133.00	7.528	0.023*
	組內	106.00	6	17.67		
	總計	372.00	8			

註：*為 $p < 0.05$ ，具備顯著差異

表 40 鳥類動物變異數分析之 Scheffe 事後檢定表

		不同疏伐年度	平均差異	平均值平方	顯著性
Scheffe 法 事後檢定	未疏伐	疏伐後五年	-13.00	3.432	0.026*
		疏伐後十年	-4.00	3.432	0.542
	疏伐後五年	未疏伐	13.00	3.432	0.026*
		疏伐後十年	9.00	3.432	0.101
	疏伐後十年	未疏伐	4.00	3.432	0.542
		疏伐後五年	-9.00	3.432	0.101

註：*為 $p < 0.05$ ，具備顯著差異

此外透過出現指數(Occurrence Index)比較監測期程近三年，動物出現頻度差異，比較各年度監測結果，是否於哺乳類動物之 OI 值有所差異，結果顯示，計畫期程監測時間內，OI 值最高者皆為臺灣山羌，次高者為臺灣獼猴，第三高者為臺灣野山羊，依序排出每年 OI 值前 7 高之物種。

表 41 第一年度監測之哺乳動物 OI 值列表

物種名稱	卡 1	卡 2	卡 3	卡 4	卡 5	卡 6	卡 7	卡 8	排序
臺灣山羌	5.023	16.781	31.735	32.763	12.100	12.900	4.680	14.155	1
臺灣獼猴	2.626	9.247	4.338	10.388	2.968	2.968	6.621	8.790	2
臺灣野山羊	1.598	1.826	1.370	2.055	1.370	0.913	1.370	2.397	3
鼬獾	0.228	1.142	2.968	1.712	1.712	0.342	0.228	0.685	4
臺灣野豬	0.685	0.571	1.027	2.169	1.598	1.027	0.571	0.114	5
黃喉貂	0.342	0.913	1.142	0.228	0.228	0.342	0.228	0.799	6
臺灣水鹿	0.228	0.114	1.370	0.228	0.228	0.114	1.256	0.457	7

表 42 第二年度監測之哺乳動物 OI 值列表

物種名稱	卡 1	卡 2	卡 3	卡 4	卡 5	卡 6	卡 7	卡 8	排序
臺灣山羌	1.941	9.932	1.941	7.192	8.105	8.105	6.050	24.201	1
臺灣獼猴	0.571	2.968	1.027	9.132	4.680	1.142	6.621	15.411	2
臺灣野山羊	0.342	0.342		0.342	0.685	0.228	1.027	2.854	3
臺灣野豬		1.256	0.342	0.342	1.484	0.571	0.342	0.114	4
臺灣水鹿	0.228			0.228	0.228		0.114	0.799	5
麝香貓			0.114	0.114	1.027	0.114		0.114	6

表 43 第三年度監測之哺乳動物 OI 值列表

物種名稱	卡 1	卡 2	卡 3	卡 4	卡 5	卡 6	卡 7	卡 8	排序
臺灣山羌	19.977	14.269	2.968	17.580	7.534	8.447	1.256	20.662	1
臺灣獼猴	3.196	4.224	1.027	19.178	2.511	1.598	3.311	19.178	2
臺灣野山羊	0.799	0.457	0.114	2.626	0.114	0.799	1.484	3.425	3
臺灣野豬	0.228	2.511	0.228	2.169	1.598		0.913	0.799	4
臺灣水鹿	1.027	1.142		0.457	0.114		1.370	1.484	5
鼬獾	0.342	0.114		0.114	1.370	2.397			6
黃喉貂	0.228	0.457		0.228	0.685	0.114	0.114	0.571	7

前兩年結果顯示，OI 值前三名皆依序為臺灣山羌、台灣獼猴與臺灣野山羊，而第一年度位居第四之鼬獾與第六黃喉貂，則由臺灣水鹿與臺灣野豬所取代。透過第三年之資料蒐集可發現，臺灣山羌、臺灣獼猴、臺灣野山羊、臺灣野豬與臺灣水鹿等中大型哺乳類為三個年度 OI 值最高之五項物種，卡 1 至卡 8 之分布海拔廣泛，而中大型哺乳類動物移動效率較高，符合廣泛分布於不同海拔之間之現況。

其中較特別之監測結果為臺灣黑熊有出現於第一年度與第三年度之紅外線自動照相機照片，兩次照片拍攝皆為臺灣黑熊經過拍攝範圍內，且皆出現於 2015 年執行疏伐之 C8，足見疏伐過後之林相並未影響動物前往之意願，雖無法確認兩次照片之臺灣黑熊屬於同一個體，但也可證明疏伐工作的執行，應不會使臺灣黑熊永久離開其原有之棲息地。

九、教育訓練成果

(一)永久監測樣區(含地被與野生動物調查)教育訓練

本計畫於 2018 年 5 月 31 日於屏東科技大學森林系辦理本計畫第一年之教育訓練課程，活動之主要目的在於訓練屏東林區管理處及其所屬工作站人員，具備疏伐作業之生態檢核、疏伐監測樣區設置、監測樣區之動植物調查、及疏伐作業之效益評估等知能與技術。教育訓練係以臺灣杉及紅檜人工林之中後期撫育作業為例，進行有系統的理論與實務操作訓練，並透過課程研習、經驗分享及實際操作，使學員瞭解先進科技如何實際應用於監測樣區調查及瞭解人工林撫育作業之生態監測對於疏伐作業效益評估的重要性。

本次教育訓練課程室內課分別有：疏伐作業之生態檢核、紅外線自動相機應用於疏伐作業之野生動物調查及疏伐作業生態檢核之野外作業。操作實習課程則有以下：地面光達應用於疏伐監測(包含實際調查)及疏伐監測樣區之木本及地被植物調查。並分別邀請了屏東科技大學森林系陳朝圳教授及陳建璋副教授及冠昇生態有限公司執行長魏浚紘博士來進行課程講授及實習操作。本次教育訓練課程主要受訓學員對象主要來自林務局及屏東林區管理處相關人員，本次共有 27 位學員報名參加此訓練課程其簽到表如下圖 55 呈現，其資料涉及到個人隱私部分，故在身分證欄位有進行模糊處理，以避免個資外洩。

臺灣杉及紅檜人工林後期中後期撫育作業之綜合 效益評估教育訓練					
活動日期：05/28(一)					
活動時間：9:00-17:00					
活動地點：國立屏東科技大學森林系 RE202 教室					
編號	單位	職別	姓名	身分證字號	簽到處
1	林務局	科長	蕭振輝	40001717	蕭振輝
2	林務局	技正	陳雅浩	40001717	陳雅浩
3	林務局	技士	謝國廷	40001717	謝國廷
4	屏東林區管理處	技正	李國華	40001717	李國華
5	屏東林區管理處	技士	李國華	40001717	李國華
6	屏東林區管理處	技士	李國華	40001717	李國華
7	屏東林區管理處	技士	李國華	40001717	李國華
8	屏東林區管理處	均推助理	楊順帆	40001717	楊順帆
9	屏東林區管理處	技正	黃復明	40001717	黃復明
10	屏東林區管理處	均推森林護管員	鄭國廷	40001717	鄭國廷
11	屏東林區管理處	均推森林護管員	周克儒	40001717	周克儒
12	屏東林區管理處	均推森林護管員	彭緯銘	40001717	彭緯銘
15	屏東林區管理處	均推森林護管員	潘國正	40001717	潘國正
14	屏東林區管理處	技士	陳瑞均	40001717	陳瑞均

臺灣杉及紅檜人工林後期中後期撫育作業之綜合 效益評估教育訓練					
編號	單位	職別	姓名	身分證字號	簽到處
15	屏東林區管理處	技衛士	許文輝	40001717	許文輝
16	屏東林區管理處	技衛士	李偉民	40001717	李偉民
17	屏東林區管理處	技衛士	吳添壽	40001717	吳添壽
18	屏東林區管理處	均推森林護管員	李寶田	40001717	李寶田
19	屏東林區管理處	技佐	何松理	40001717	何松理
20	屏東林區管理處	技衛士	邱永鏡	40001717	邱永鏡
21	屏東林區管理處	技衛士	陳維昌	40001717	陳維昌
22	屏東林區管理處	均推森林護管員	李國華	40001717	李國華
23	屏東林區管理處	均推森林護管員	何志偉	40001717	何志偉
24	屏東林區管理處	技士	陳致豪	40001717	陳致豪
25	屏東林區管理處	均推森林護管員	李國華	40001717	李國華
26	屏東林區管理處	均推森林護管員	李國華	40001717	李國華
27	屏東林區管理處	均推森林護管員	簡益忠	40001717	簡益忠
28	屏東林區管理處	均推森林護管員	陳麗鳳	40001717	陳麗鳳
29			謝國廷	40001717	謝國廷
30			李國華	40001717	李國華
31			李國華	40001717	李國華
32					
33					

圖 55 第一次教育訓練參加人員簽到表



學員進行簽到流程



主持人開場介紹及課程概述



陳朝圳教授進行授課講解



魏浚紘博士進行授課講解



陳建璋副教授進行操作講解



學員認真學習地面光達系統操作



魏浚紘博士進行操作講解



綜合討論問與答

圖 56 教育訓練課程過程照片記錄

課程結束後之綜合討論時間，學員提到疏伐作業是否為生態工程的一部分，本團隊對於該問題，回覆解釋疏伐作業過程中包含了作業道維護及新建作業，伐除時也將有大型機具進入施工區域進行作業，因此在進行過程中還是有包含到工程的範疇。故在進行疏伐作業時，必須先建立一套基本關於疏伐作業的生態檢核規範，以利未來執行相關作業時能更順利進行。此外，學員也提及本局所提供有關生態友善工程之網站已經正式上線(<http://basinadmin.forest.gov.tw/Public.aspx>)，其中內容提到生態保育治理工程之理念與操作流程，供未來疏伐作業作為參考。

除此之外，也提到對於疏伐後的計畫監測目的是為讓其數據結果具有公信力、能使外界信服的聲音，亦為本計畫的主要目的。此外本次教育訓練所說明之調查方法及使用儀器工具上，學員希望未來教育訓練能以實做為主，加強現場監測人員操作經驗，並整合過去監測人員以往的經驗與本計畫操作監測方法進行統整作業。目前計畫所使用的光達系統工具，因具有公分級之測量精準度，故設置樣區數量可減少，相較於傳統樣區調查數量，藉由統計方式將其測量誤差降低。光達系統之高精準測量能力，在樣區設置上實則無需太多，故在操作上應具更省時，且資料更加詳細及客觀，也能妥善保存紀錄資料。監測人員操做儀器方面藉由機器自動化操作流程，更能輕易學習調查方式及操作。

本計畫執行第1年教育訓練課程，並講解相關監測作業之過程，透過本執行單位與現場人員相互討論及分享經驗，以建立一套完善的監測流程方法，在未來則能有效地提出數據，以證明疏伐作業對於環境影響是不顯著，且能有效協助經營林木生長及健康，及具經濟效益。

(二)地面光達調查作業教育訓練

本計畫於 2019 年 5 月 3 日於國立屏東科技大學森林系辦理本計畫第二年度之教育訓練課程，活動主要目的在於訓練屏東林區管理處及其所屬工作站人員，具備光達掃描系統應用於林業資源調查及監測等知能與技術。教育訓練係以臺灣杉及紅檜人工林之中後期撫育作業為例，進行有系統的理論與實務操作訓練，並透過課程研習、經驗分享及實際操作，讓學員體驗如何以光達掃描儀進行調查作業，建立永久資料以利後續經營管理。藉由學習理論基礎與實作體驗操作儀器，建立調查者在進行野外作業之信心與正確觀念，瞭解人工林撫育作業期間光達掃描系統對於森林資源調查與其他森林經營管理應用之可能性。

本次教育訓練課程分別進行固定式地面光達及手持式光達，兩種光達掃描儀之操作訓練，室內課程包含光達掃描技術應用於森林調查及光達點雲資料處理之介紹，室外課程分別帶領學員進行光達掃描儀之實際操作。本次教育訓練分別邀請國立屏東科技大學森林系陳朝圳教授、陳建璋副教授及魏浚紘助理教授進行課程講習及實習操作。

本次教育訓練課程主要受訓學員來自屏東林區管理處及工作站相關人員，共 26 名報名參加此次教育訓練課程，簽到表如下圖 57 呈現，因部分資料涉及個人隱私，故於身分證及簽名欄位進行模糊處理，以避免個資外洩。

編號	單位	職別	姓名	身分證字號	簽到處
1	屏東林區管理處作業課	課長	張智強		
2	屏東林區管理處作業課	均備助理	楊順帆		
3	屏東林區管理處作業課	技士	陳永明		
4	屏東林區管理處作業課	技師	賴嘉憲		
5	屏東林區管理處作業課	技師	林文敏		
6	屏東林區管理處恆春工作站	技師	何昭輝		
7	屏東林區管理處恆春工作站	技師	吳國嶺		
8	屏東林區管理處恆春工作站	技師	張順源		
9	屏東林區管理處恆春工作站	均備森林護管員	何允熾		
10	屏東林區管理處恆春工作站	均備森林護管員	黃松府		
11	屏東林區管理處麟山工作站	技士	楊楚憲		
12	屏東林區管理處麟山工作站	均備森林護管員	陳怡安		
13	屏東林區管理處麟山工作站	技師	王信勝		
14	屏東林區管理處麟山工作站	技正	黃尚義		
編號	單位	職別	姓名	身分證字號	簽到處
15	屏東林區管理處麟山工作站	技師	李立賢		
16	屏東林區管理處麟山工作站	均備森林護管員	鍾鼎生		
17	屏東林區管理處潮州工作站	技士	陳瑞均		
18	屏東林區管理處潮州工作站	均備森林護管員	張詒賓		
19	屏東林區管理處潮州工作站	技師	許文卿		
20	屏東林區管理處潮州工作站	技師	李偉民		
21	屏東林區管理處潮州工作站	均備森林護管員	王聖捷		
22	屏東林區管理處六龜工作站	技士	劉怡亨		
23	屏東林區管理處六龜工作站	均備森林護管員	周克儒		
24	屏東林區管理處六龜工作站	均備森林護管員	郭國廷		
25	屏東林區管理處六龜工作站	均備森林護管員	吳尚鴻		
26	屏東林區管理處六龜工作站	均備森林護管員	劉冠宏		
27	國立屏東科技大學森林系	教授	陳朝圳		
28	國立屏東科技大學森林系	副教授	陳建璋		
29	國立屏東科技大學森林系	助理教授	魏浚紘		
30	屏東林區管理處麟山工作站	均備森林護管員	黃松府		
31	屏東林區管理處麟山工作站	技士	王信勝		
32					
33					

圖 57 第二次教育訓練參加人員簽到表

課程結束後進行綜合座談，陳朝圳教授特別向學員們說明，手持式光達應用於樣區調查中的優點為資料收集時間較固定式光達短，且儀器移動過程中便攜性較高。但如果要獲取較精準之樹高資料，以進行樹幹解析或發展地方材積式時，應以固定式光達作為樣區調查之主要調查儀器，因手持式光達受限於儀器之掃瞄範圍，故樹高資料之收集略為不足，而本計畫所使用之固定式光達其掃瞄範圍可達 330 m，故可獲取林木之樹高資料，以作為後續區分求積、立木材積式之研究。因此本次教育訓練中所介紹之兩種光達掃瞄儀，在往後的利用應視調查目的不同，選擇符合調查需求的儀器，以發揮資料應用之最大效益。

在伐木收穫前，需建立地方材積式以進行全林蓄積之推估，在過去的作業方式是先於伐區選取不同徑級之樣木，伐倒後以固定長度切取倒木之圓盤，量測各圓盤進行區分求積以得實測材積，再透過迴歸模式計算出該地區之地方材積式。但上述的方式並非野外調查人員可進行作業，往往需要透過委外作業的方式進行，而這樣的作業模式(包含選木、伐倒、切取圓盤、區分求積及迴歸分析等)約需耗時一年，才能夠得到地方材積式。而利用固定式光達掃瞄儀，約一個星期的時間即可獲取約 30-50 株樣木，掃瞄的資料於內業處理時，即可進行區分求積獲得各樣木之材積資料，後續再透過迴歸分析推導出地方材積式，外業掃瞄時間加上內業資料處理時間，約一個月即能獲得精準之地方材積式，相較於過去的作業方法節省了大量的資源及成本。

在過去的二、三十年間鮮少有進行立木材積式的研究，其原因在於傳統立木材積式之建立需耗費大量的人力、物力及時間，且其學術研究價值不似其他研究高，但立木材積式為蓄積量推估之基礎，因此發展精確之立木材積式有其必要性，而固定式光達掃瞄儀即具備可短時間內節省大量成本以建立立木材積式的優點。未來林業管理單位如規劃伐採計畫，可利用這類儀器於短時間內推估伐採區域的材積量，而光達的點雲資料亦可分離主幹及枝梢材，因此可進行枝梢材可利用之材積量推估，以進行商用木材之應用。

而手持式光達資料因其機動性高，進行作業道沖蝕監測時，可用來獲取地物點雲資料，透過前後期資料比較可作為作業道變化監測之研究；在獲取樣區調查林木性態值資料時，也可縮短樣區調查時間，惟其受限於儀器特性，需依靠固定式光達掃瞄儀之資料所建立精確之樹高曲線式、立木材積式等資料，方可使調查結果最佳化。兩種光達掃瞄儀各有不同優缺點、精度及用途，透過本次教育訓練之課程介紹，期望學員們具備光達掃瞄系統應用於中後期撫育作業效益評估之

基礎概念，並透過實際操作建立學員們在該儀器於野外調查時使用之正確觀念，以及了解光達掃描系統於森林資源經營管理應用之可行性，在未來也期待本計畫區域可作為此種新興調查技術之示範區。

在最後本計畫承辦林家駿技士提及每一個新的技術推出時都會有一段適應期，光達掃描技術或許於現今並非現場作業人員所了解，但可能在未來幾年後此項技術會發展為大家的基本技能，透過本次教育訓練可以讓大家對於光達掃描技術之應用有初步的認識及瞭解，如果大家認為有其可行性，課長也提到林管處可以購入應用於調查作業中，也希望大家多多利用這類教育訓練的機會好好學習這樣的新興調查技術。

大多數的社會大眾對於林業的認識，多停留在很傳統如需要耗費大量人力到山林裡調查，對於智慧林業一詞是陌生的，「光達掃描系統」對民眾來說或許在其他產業的應用有所耳聞，但對於將其應用於森林調查可能也是目所未睹。本次光達掃描技術應用於森林調查之教育訓練，透過網路媒體的報導(圖 58)，使得民眾有機會能夠認識光達掃描技術於林業資源調查之應用，也能藉此了解臺灣的林業目前正在朝向智慧化的目標發展。



圖 58 網路媒體報導本計畫第二年度教育訓練資訊(節錄)

(三)林木非破壞性檢測教育訓練

本計畫於 2020 年 5 月 22 日於國立屏東科技大學森林系辦理本計畫第二年度之教育訓練課程，活動主要目的在於訓練屏東林區管理處及其所屬工作站人員，了解臺灣針葉樹人工林中後期撫育作業期間，疏伐作業對於林木生長健康之效益，並透過課程研習、經驗分享及體驗活動，實際操作林木健康之非破壞性檢測儀器，學習如何以先進技術進行林木健康狀況調查與評估。教育訓練除了疏伐作業對於森林生長健康之效益說明外，亦包括林木健康之非破壞性檢測原理、以數位探針儀與敲擊式立木檢測器檢測林木內部健康狀態、以及觀察立木外部的目視評估法進行林木健康調查作業，藉由學習理論基礎與實作操作儀器，建立學員在進行野外作業之信心與正確觀念，讓學員激發更多的想法及交流，也經由瞭解人工林撫育作業期間林木的健康狀態，作為調整林分之參考依據。

本次教育訓練課程分別進行數位探針儀及敲擊式立木檢測儀，兩種非破壞性立木內部檢測之操作訓練，室內課程包含疏伐作業對於森林生長健康之效益以及林木健康非破壞性檢測之介紹，室外課程分別帶領學員進行非破壞性檢測儀器之實際操作。本次教育訓練分別邀請國立屏東科技大學森林系陳朝圳教授、陳建璋副教授及林業試驗所彭炳勳助理研究員進行課程講習及實習操作。

本次教育訓練課程主要受訓學員來自屏東林區管理處及工作站相關人員，共 14 名報名參加此次教育訓練課程，簽到表如下圖 59 呈現，因部分資料涉及個人隱私，故於身分證及簽名欄位進行模糊處理，以避免個資外洩。

臺灣杉及紅檜人工林中後期撫育作業 之綜合效益評估教育訓練					
活動日期：109 年 5 月 22 日(五)					
活動時間：9:00-17:30					
活動地點：國立屏東科技大學森林系 RE202 教室					
編號	單位	職別	姓名	身分證字號	簽到處
1	屏東林區管理處作業課	技正	陳永明	761373361	陳永明
2	屏東林區管理處作業課	技佐	趙清源	871236448	趙清源
3	屏東林區管理處作業課	技士	林家驊	510376165	林家驊
4	屏東林區管理處恆春工作站	護佐	吳國雄	820451865	吳國雄
5	屏東林區管理處恆春工作站	技術士	吳國雄	812046388	吳國雄
6	屏東林區管理處恆春工作站	技術士	陳建輝	712150302	陳建輝
7	屏東林區管理處恆春工作站	約僱森林護管員	吳國雄	812150302	吳國雄
8	屏東林區管理處旗山工作站	約僱森林護管員	鍾麗娟	822151871	鍾麗娟
9	屏東林區管理處旗山工作站	約僱森林護管員	曾紹軒		曾紹軒
10	屏東林區管理處旗山工作站	約僱森林護管員	汪榮發		汪榮發
11	屏東林區管理處六龜工作站	技士	邱立鈞		邱立鈞
12	屏東林區管理處六龜工作站	約僱森林護管員	周克儒		周克儒
13	屏東林區管理處六龜工作站	約僱森林護管員	李易承		李易承
14	屏東林區管理處六龜工作站	約僱森林護管員	潘國正		潘國正

編號	單位	職別	姓名	身分證字號	簽到處
15	屏東林區管理處六龜工作站	約僱森林護管員	劉冠宏	822015713	劉冠宏
16	屏東林區管理處潮州工作站	約僱森林護管員	張銘賢	712123018	張銘賢
17	屏東林區管理處潮州工作站	技術士	李偉民	712123018	李偉民
18	屏東林區管理處潮州工作站	約僱森林護管員	王聖捷	712123018	王聖捷
19	屏東林區管理處潮州工作站	約僱森林護管員	陳觀堂	822153548	陳觀堂
20	林業試驗所	助理研究員	彭炳勳		彭炳勳
21	國立屏東科技大學森林系	名譽教授	陳朝訓		陳朝訓
22	國立屏東科技大學森林系	副教授	陳建輝		陳建輝
23	國立屏東科技大學森林系	助理教授	陳建輝		陳建輝
24	國立屏東科技大學	助理教授	詹子豪	詹子豪	詹子豪
25	"	博士班	詹子豪	詹子豪	詹子豪
26	"	碩士生	戴名輝	戴名輝	戴名輝
27	"	碩士生	李明偉	李明偉	李明偉
28	"	助理	陳建輝	陳建輝	陳建輝
29	"	助理	吳榮發	吳榮發	吳榮發
30	"	助理	黃文彬	黃文彬	黃文彬
31					
32					
33					

圖 59 第三次教育訓練簽到表

實務操作過程中，學員們分別使用不同的非破壞性檢測儀器進行立木腐朽的檢測，雖然當天天氣不佳卻也不減大家嘗試操作新儀器的熱情，圖 60 為屏東林區管理處作業課同仁使用不同型號之數位探針儀進行立木內部腐朽檢測，彭炳勳助理研究員則是向大家示範敲擊式立木檢測儀之使用。



圖 60 第三次教育訓練學員操作儀器紀錄

課程結束後陳建璋副教授特別向學員們說明，一般目視評估法與使用非破壞性檢測儀器之重要性，因為目視評估法僅透過林木外觀進行健康判釋，往往內部腐朽狀況是無法察覺的，因此將目視評估法及非破壞性檢測儀器搭配使用能建立更完整之森林健康資訊，另外於課程結束後計畫團隊請參與同仁填寫問卷，以了解課程結束後同仁們是否了解森林健康的調查項目以及非破壞性檢測儀器種類與使用方式，結果呈現 93% 的同仁於課程後了解非破壞性檢測儀器的基本資訊及操作，另有同仁表示雖然因天氣因素無法到外面進行戶外課程十分可惜，但是講師及計畫團隊準備的教材以及讓大家都能夠輪流使用儀器操作，讓他們可以實際體驗也對於課程內容更能加深其印象。

此外，本次教育訓練活動亦透過網路媒體的報導，讓大眾可以一同接觸森林健康的調查方式以及非破壞性檢測儀器於林業調查上面的應用，讓大眾對於森林調查有更不同的認識，看見林業的新一面。

十、額外承諾項目-UAV 影像分析成果

近年來無人飛機的航攝技術突飛猛進，其量測製圖的技術已達測量等級，因此透過無人飛機之特性，且 Wahyuni *et al.* (2016)研究中使用 UAV 進行樹冠面積之量測，並進行林分材積之推估，亦得到良好之結果，本研究團隊於計畫區域針對 30 個樣區設置範圍以 UAV 進行高解析影像之拍攝(圖 61)，並結合地面光達資料，建構以 UAV 影像所推衍之林分性態值為獨立變數之林分蓄積量推估式。因山區天候多變，以及起飛及拍攝地點須要地形慎重選擇，故拍攝具有一定難度；且拍攝結果也會因天候而有所影響(高山地區霧氣重及雲層厚，會造成照片光線不一致)，故在 UAV 空拍任務規劃時，相片解析度將會設定至 20-30 cm 大小，以一定空拍高度進行拍攝，拍攝航向之重疊率設定前後重疊(Overlap)為 80%，左右重疊(Sidelap)為 80%，以確保拍攝過程及資料能順利取得。

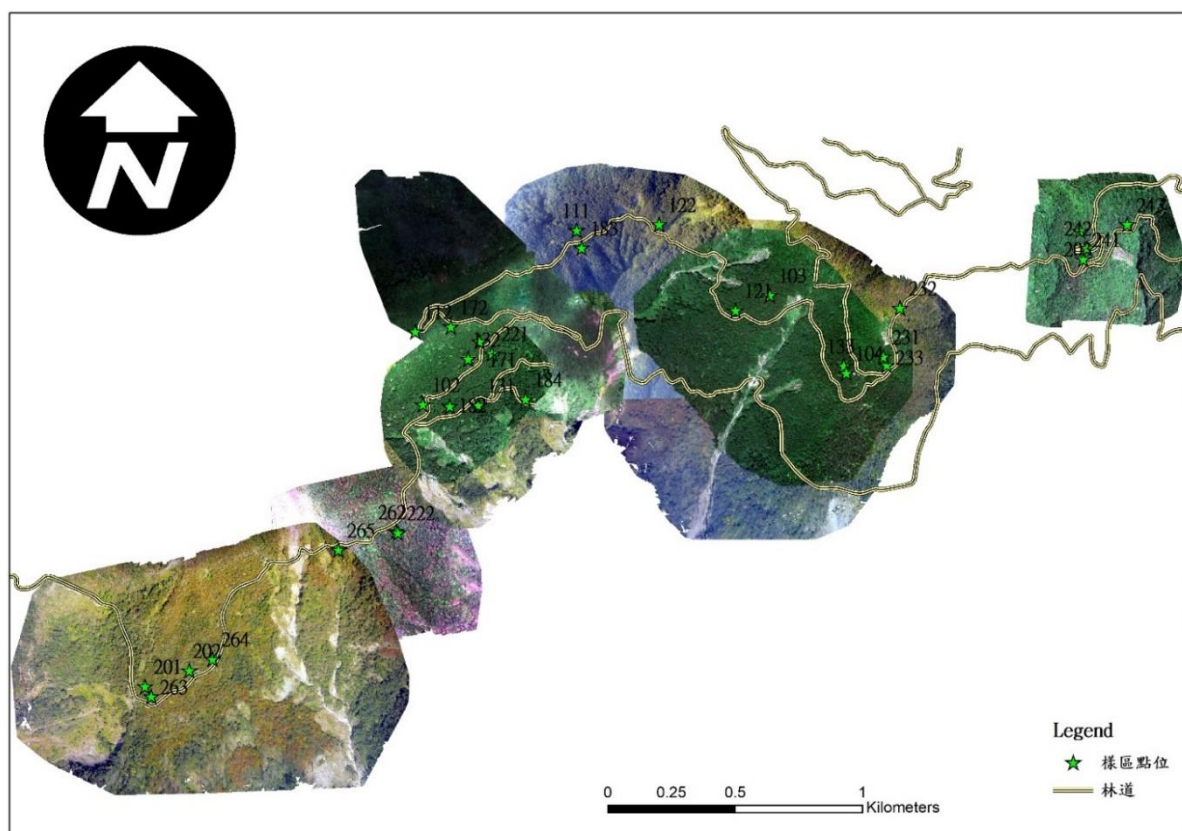


圖 61 永久監測樣區 UAV 空拍影像結果

本計畫以林分平均高度、林分平均樹冠面積等相關因子作為自變數，並以林分蓄積量作為應變數，利用逐步迴歸(Stepwise Regression)分析法，建立紅檜及臺灣杉人工林之林分蓄積量推估式。

在本計畫中，紅檜及臺灣杉人工林地面光達資料分別各 15 筆，透過地面光達資料進行迴歸分析，其迴歸分析如下表。得知紅檜人工林之林分蓄積量推估式 R^2 為 0.56，臺灣杉人工林之林分蓄積量推估式 R^2 為 0.72。

表 44 紅檜及臺灣杉空中材積式

樹種	N	迴歸式	<i>p</i> value	R^2
紅檜	15	$V=7.6021H^{1.269013}D^{0.072924}$	0.00	0.56
臺灣杉	15	$V=0.17399H+0.23553D-2.896$	0.00	0.72

註：V 為每公頃蓄積量(m^3/ha)；H=平均林分高(m)；D=樹冠密度(樹冠面積/總面積)。

無人飛行載具在林業上運用於森林資源調查、分類、環境監測、天然災害處理等方面，因其所拍攝之數位化影像具有波譜特性、拍攝時間具有彈性，解析力高的相片可清晰地進行地物判釋，可協助調查者快速的瞭解林地現況(Dunford *et al.*, 2009; Wallace *et al.*, 2012)。透過具三維資訊的高解析力航空相片，調查者可以測繪樹冠幅與林分高並推估林分蓄積量(魏浚紘等，2012)。朱宗威等(2014)屏東台糖人工造林地利用高解析力之無人飛行載具數位影像進行林分蓄積量之推估，針對大葉桃花心木(*Swietenia macrophylla* King)、臺灣櫟(*Zelkova serrata* (Thunb.) Makino)及光臘樹(*Fraxinus griffithii* Hayata)三個樹種各設置 30 個 10 m × 20 m 的樣區，進行每木調查與拍攝航空照片，探討即時無人空中載具影像與實測的林木性態值之相似性。研究實驗將航照量測與地面調查之平均樹冠幅與林分高進行迴歸分析，其中桃花心木與光臘樹所得之迴歸分析結果 R^2 高，顯示航照量測樹冠幅之推估成果佳，而臺灣櫟之 R^2 值為 0.6341，推估成果相對差。由結果可以知道可運用航空照片推估樹冠幅與林分高，唯其準確度會因樹種而異。再利用平均樹冠幅、平均林分高與樹冠鬱閉度等因子，以多元迴歸分析式可建立三中樹種的空中材積式，進而進行林分蓄積量之推估。

無人飛行載具所拍攝的航空照片不同於以往傳統的航空與衛星影像，能夠提供三維空間資訊，調查者可以透過空拍相片推估樹冠幅及林分高，且經前人研

究由空拍影像推估之林木性態值其迴歸分析推估成果佳，利用平均樹冠幅、平均林分高與樹冠鬱閉度等因子建立空中材積式以推估林分蓄積量，若應用於疏伐後林分監測，即可計算林分蓄積量之平均生長量，做為疏伐效益評估。而空拍相片亦可清晰呈現樹冠孔隙與樹冠分布，可用來監測疏伐後冠層的動態變化，了解保留木之樹冠生長。過去計畫團隊承接行政院農業委員會林務局所辦理之委託研究計畫亦建立紅檜人工林之空中材積式，其計畫執行成果證實藉由無人飛行載具為基礎的遙測模式應用於人工林森林資源調查分析確實可行，然本計畫為紅檜及臺灣杉人工林，林況結構較天然林單純，此調查模式所建立之空中材積式是否適用於天然林相尚有待研究。

十一、疏伐作業問與答

依據第四次全國森林資源調查，臺灣地區(含金門、連江縣)的森林覆蓋總面積為 2,197,090 ha，覆蓋度為 60.71%(林務局，2016)，顯現臺灣蘊含著豐富的森林資源，且因森林的垂直分布具有高度的生物多樣性，其為臺灣森林資源的重要特徵。臺灣一年進口 600 萬 m^3 木材，自給率僅 0.8%，2017 年林務局提倡「國產材元年」，宣告重啟林業。經一年盤點，總計國內有將近 70,000 ha 人工林適合經營，林務局已訂出 2018 年伐採量目標，國有林預計伐採 600 ha，加上林務局輔導的私有林也將陸續伐採，預計 10 年內將國內木材自給率提升到 5%(臺灣木材網，2020)。然外界目前對於疏伐作業對於環境所產生之影響尚未有共識，故計畫團隊針對社會大眾對於疏伐作業可能存在之疑慮進行釋疑，盼能協助行政單位對外說明時作為參考依據。



疏伐作業跟濫砍樹木的差別在哪？

疏伐

- 1) 有計畫的、適當的移除生長較差林木之作業。
- 2) 使保留的林木有更佳的生長空間。

P.S. 有計畫的疏伐作業：作業前，依照森林狀態、經營目標與水土保持等資訊，分析評估制訂作業計畫；作業後進行監測，了解作業產生的影響，並依監測成果重新調整未來作業方式。

濫砍

- 1) 濫砍是指未經計畫的、過度的砍伐林木，
- 2) 導致森林健康、生態多樣性、水土保持功能的降低。
- 3) 是林務局極力遏止的破壞行為。





疏伐作業有什麼好處?為什麼要疏伐砍掉樹木?

疏伐作業的好處

- 維持森林健康，增進林木生長品質。
- 增加森林生物多樣性，提供野生動物良好生長環境。
- 將大氣中的碳固定於木材或植物體中，減緩溫室效應。
- 提供經營區域周邊社區就業機會，增加社會助益。
- 提升國內木材自給率，避免過度仰賴進口。



法規已全面禁止砍伐原始林，因此疏伐作業只會施行於人工林中。



NPUST
Research



疏伐作業有什麼好處?為什麼要疏伐砍掉樹木?

(一)維持森林健康，增進林木生長品質

- 人工林多為同齡純林，因生長空間有限，林木自小苗長成大樹的過程中，會因空間不足而產生競爭，導致生長受限，影響木材品質與森林健康。
- 疏伐作業會將部分生長較差的林木移除，使留存木可獲得更多的生長空間，進一步成長茁壯，提升進林木品質並維持整體人工林之健康。



疏伐作業



疏伐作業後的
林木生長較為
粗壯，人工林
也比較健康

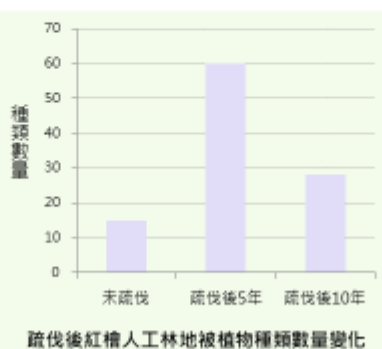
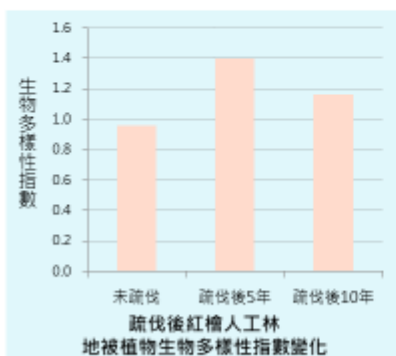


NPUST
Research



疏伐作業有什麼好處?為什麼要疏伐砍掉樹木?

(二)增加地被植物種類及生物多樣性指數。



生物多樣性指數
越高，表示物種
數量越多、組成
越均勻。



NPUST
Research



疏伐作業有什麼好處?為什麼要疏伐砍掉樹木?

(續二)提供野生動物更多的食物來源及棲息地。

疏伐作業後，因林內空間增加，可提供野生動物更多棲息空間，同時也因地被植物的增加，野生動物可獲的更多食物來源。



臺灣水鹿



臺灣野山羊



藍腹鷓鴣

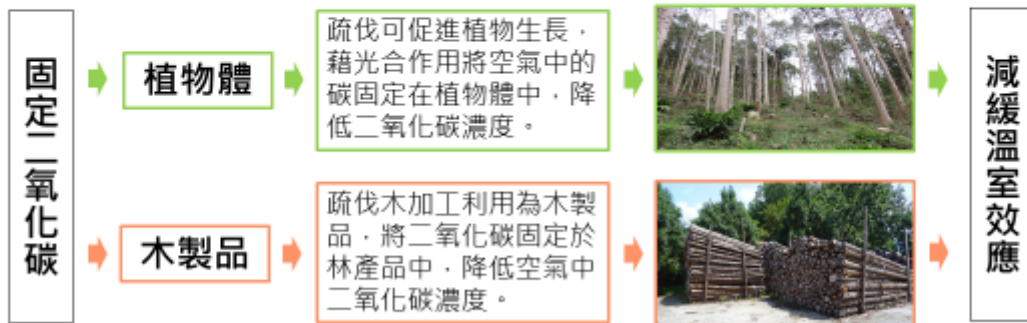


NPUST
Research



疏伐作業有什麼好處?為什麼要疏伐砍掉樹木?

(三)將大氣中的碳固定於木材或植物體中，減緩溫室效應。



NPUST
Research



疏伐作業有什麼好處?為什麼要疏伐砍掉樹木?

(四)疏伐作業為森林經營的項目之一，透過良好的規劃及執行，能提供周邊社區一定比例的工作機會。



其實不只有疏伐作業能提供地區更多工作機會！
森林經營本身就是一個產業鏈！

NPUST
Research



疏伐作業有什麼好處?為什麼要疏伐砍掉樹木?

(五)提升國內木材自給率，避免過度仰賴進口。

- 目前臺灣使用之木材，超過99%自國外進口，**木材自給率的提升**，是新興環保概念，也是應負的社會責任。
- 人工林疏伐作業不僅可提升木材品質，也可適度提升木材自給率，供給國內市場木材需求。



NPUST
Research



疏伐作業會不會造成土石流?

小關山第98-101林班土壤沖蝕量之監測結果顯示，疏伐作業完成5年後，疏伐與未疏伐林地的土壤沖蝕量無顯著差異。

可藉高精度之地面光達掃描系統監測地表土壤沖蝕的變化。



土壤沖蝕監測樣區

疏伐會促進地被植物生長，且留存木樹冠也會逐漸鬱閉，形成保護層，降低雨水沖蝕土壤，因此作業不會造成林地土石沖蝕量的增加。



NPUST
Research



最佳的疏伐時間點是什麼時候？

- 當林木樹冠已鬱閉而彼此開始競爭、樹冠下側枝條枯死脫落、被壓木已枯死或林地光度減弱致地被植群減少甚至死亡時，即可規劃疏伐作業。



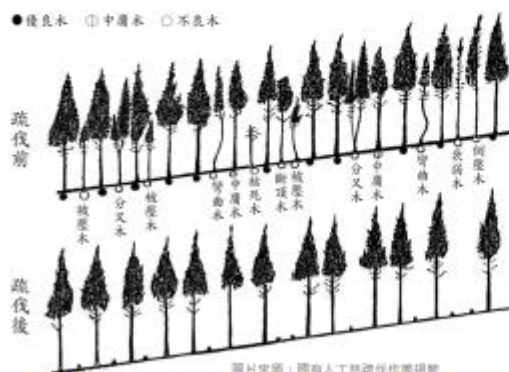
圖片來源：森林經營學(陳朝圳，陳建璋，2015)

NPUST
Research



疏伐率及被疏伐的林木如何決定？

- 依造林類別、經營目標、樹種、生育地條件及林齡決定。



圖片來源：國有森林疏伐作業規範

下層疏伐選木之順序：

- 1) 枯死木、瀕死木
- 2) 受害木
- 3) 傾斜木、彎曲木
- 4) 被壓木
- 5) 分叉木
- 6) 擁擠之中庸木
- 7) 次優勢木
- 8) 優勢木。



NPUST
Research

伍、結論與建議

一、結論

- (一)疏伐作業將林分疏開，留存木生長空間增大，經監測分析成果，於疏伐作業完成五年後，疏伐林分之樹冠鬱閉度即與未疏伐林分之樹冠鬱閉度無顯著差異；為了有效掌握林分生長情形，須了解林分平均胸徑之發展，本計畫使用地面光達掃描技術量測林木胸徑，再藉由 Weibull 機率密度函數模擬林分直徑分布之狀態，結果顯示經疏伐後林分結構呈現近常態分布，表示疏伐作業確能改善林分結構。
- (二)疏伐作業將林分疏開後，會對林地產生短暫性之擾動，然林冠疏開後增加樹冠層下日照量，會促使地被層之生長，於地表形成保護層，減緩地表逕流及土壤沖蝕。本計畫土壤沖蝕監測結果顯示，在無人為干擾、坡度 20-40 度之情況下，不同坡度、是否有疏伐作業或是不同疏伐年度(未疏伐、疏伐後五年、疏伐後十年)監測樣區之土壤沖蝕量皆無顯著差。作業道土壤沖蝕監測成果顯示，疏伐作業所開闢使用之作業道，因仍在進行造林撫育作業，沖蝕量受人為擾動而影響，建議於造林撫育作業完成後持續監測作業道土壤沖蝕之變化。
- (三)使用地面光達所量測而得之胸徑，經本計畫進行單木收穫預測收穫模式，樹高曲線式之求取紅檜為 $H=\exp(3.18906-5.33329/D)$ 、臺灣杉為 $H=\exp(0.015650+0.015650/D)$ ，建議使用胸徑範圍皆為 15-55 cm。計畫使用地面光達所蒐集之樣木 3D 點雲資料進行區分求積法，獲取精準幹材材積後求取紅檜及臺灣杉立木材積式，紅檜為 $V=0.100445+0.000028\times D^2\times H$ ， R^2 為 0.9973，臺灣杉為 $V=0.000039\times D^{2.279882}\times H^{0.596517}$ ， R^2 為 0.9973，建議使用胸徑範圍紅檜為 15-50 cm、臺灣杉為 15-55 cm，樹高曲線式與立木材積式適用之林齡皆為 40-50 年生人工林。
- (四)林分層級收穫模式分成單木收穫、林分收穫及疏伐作業程序規劃及工時成本分析三部分進行分析探討，單木收穫方面計畫團隊透過直徑及林分表分析計畫區域林分直徑分布狀況，紅檜主要徑級分布於 20-35 cm、臺灣杉主要徑級分布於 15-30 cm；林分收穫則利用全林分模式，計畫團隊

利用計畫範圍樣木模擬 Weibull 機率密度函數所得之 b 、 c 參數進行紅檜及臺灣杉蓄積量模式之推估，紅檜結果為 $\ln(V)=4.600111+0.074853b+0.0010293c$ 、臺灣杉為 $\ln(V)=5.223892+0.024979b+0.0013485c$ ；疏伐作業程序規劃及工時成本分析，係利用屏東林區管理處提供之疏伐作業資料及相關文獻研究整理分析呈現，針對疏伐作業各項工作項目所需花費之工時整理後成果，疏伐作業於林務單位每公頃所花費人力為 9.48 人次、平均每立方公尺所花費之生產成本為 116.84 元，工作項目包含疏伐前之調查以及疏伐作業後驗收及跡地檢查，伐木造材之因不同作業模式會有所差異，整理文獻成果疏伐作業需兩人一組，每工材積為 6.16 m^3 、皆伐作業每工為 12.90 m^3 ，集材作業受到地形、地況、單株材積、單位面積蓄積量、集運距離方式等因子影響，整理相關文獻研究成果行列疏伐每日每工 4.68 m^3 、下層疏伐每日每工 3.32 m^3 ，總平均集材作業每日每工平均 3.99 m^3 ，裝車運材作業林地越偏遠，其運材成本越高，單木尺寸、林地面積及地況亦會影響裝車運材成本，經整理相關文獻研究成果裝車運材每日每工為 4.99 m^3 ，以上分析成果可供管理單位於疏伐規劃參考使用。

(五)森林經營之中後期撫育作業目的在於改變林分現況，為留存木營造更佳之生育環境，計畫團隊使用目視評估法、敲擊式林木內部腐朽檢測及數位探針式木材強度檢測等三種非破壞性檢測林木健康，並將三種非破壞性檢測技術進行相關性分析，計畫執行成果未疏伐林分目視健康度平均分數為 66.5 分，疏伐林分平均為 85.2 分，敲擊式林木內部腐朽檢測及數位探針式木材強度檢測結果未疏伐林分林木內部腐朽率 20% 以上株數較疏伐林分多，三種非破壞性檢測林木健康相關性分析成果敲擊式林木內部腐朽檢測及數位探針式木材強度檢測兩者具顯著相關，因目視評估法僅能從林木外觀判斷健康度，無法得知林木內部腐朽狀況，故與其他兩種非破壞性檢測結果相關性較低。

(六)計畫團隊從林分性態值分析、林分密度管理圖及林分碳儲存量分析進行疏伐撫育作業之綜合效益，紅檜人工林中未疏伐林分之胸徑及材積連年生長量皆是下降的，疏伐區域則是上升的，材積生長率為疏伐區域低於疏伐區域，結果顯示疏伐作業有助於留存木之生長；臺灣杉人工林無論有無疏伐胸徑及材積連年生長量皆是下降的，材積疏伐率為疏伐林分低

於未疏伐林分，計畫團隊推究其原因可能為過去疏伐強度對其林木生長可能仍有不足，故林木生長無法提升，且部分疏伐年度樣本數較少，亦可能導致生長成本推估成果變異性較大。計畫團隊繪製紅檜及臺灣杉林分密度管理圖，並將調查之樣區套入其中，林分密度管理圖最大蓄積與最小蓄積可確定不在自我疏伐率下發生，則該假設近乎合理，其中不包括天然災害所造成林木死亡，為了解決天然災害所帶來之問題，林分密度管理圖中可包括死亡率模型，不過由於本研究中缺乏此訊息，未考慮死亡率無關密度，因此第二個假設是密度對林分高沒有影響。計畫團隊針對林分碳儲存量進行分析，結果顯示，較密集經營管理並疏伐之 99 林班(於 2008-2009 年、2012-2014 年皆有進行疏伐作業)，透過較為密集的疏伐行為，不但提昇林地內之留存木生長速度使碳儲存量提高，移出之疏伐木材積之碳循環時間也延長，足見疏伐對於林地之重要性。

(七)生物多樣性監測成果經疏伐區域其地被物種數較未疏伐區域多，物種組成較為均勻(多樣性指數高)，表示疏伐作業有助於地被群落之生長。動物監測結果哺乳類動物之種類及數量於有無疏伐林分間分析成果無顯著差異，鳥類動物則是未疏伐與疏伐後五年具顯著差異，推測係因部分鳥類喜好林相開闊之林地，且疏伐後林地為環境改變增加鳥類食物來源所致。

(八)計畫團隊以計畫執行重要工作項目規劃辦理教育訓練，包含永久監測樣區(含地被與野生動物調查)、地面光達調查作業以及林木非破壞性檢測等三項主要調查技術，期望藉由學習理論基礎與實作體驗操作儀器，建立調查者在進行野外作業之信心與正確觀念，瞭解人工林撫育作業期間高科技調查對於森林資源調查與其他森林經營管理應用之可能性。

二、建議

(一)計畫團隊分析所得之樹高曲線式及立木材積式係為荖濃溪事業區第 98-101 林班所用之地方材積式，但仍有其胸徑及適用林齡，建議管理單位未來使用時參考計畫團隊所建議適用範圍使用。

(二)計畫團隊所監測之林木、土壤沖蝕、森林健康及生物多樣性，係於疏伐作業過後幾年進行，故無法呈現疏伐後當下狀況，僅能以目前為疏伐林地及疏伐林地之現況進行分析，建議未來管理單位如欲了解疏伐作業後

各項效益之動態變化，應於疏伐前設置監測樣區，並於疏伐後持續監測，方能更完整呈現疏伐後為森林帶來之效益。

- (三)計畫團隊所分析之非破壞性檢測結果，目視評估法應與數位探針式木材強度檢測或敲擊式林木內部檢測等非破壞性檢測儀器搭配使用，且目視評估法調查人員須先進行相關訓練方可使調查成果具有客觀性。
- (四)經營管理之處理可能使林分結構實際生長變化與理論產生差異，如在相同林分密度下，未疏伐林分與曾經疏伐之林分間，其各項參數就會受到影響，因此林分密度管理圖之使用過程會假設林分間差異屬短期影響，故使用林分密度管理圖之前建議應考慮上述差異所帶來的限制，另外亦建議應多加參考不同疏伐處理後林分結構的變化以及不同疏伐處理對留存木所產生之影響等資料如氣候、地形、土壤等以進行評估。
- (五)疏伐作業目的雖主要在於伐除疏伐木，為留存木增加生育空間，然因計畫團隊於現場狀況觀察留存樣木狀態，臺灣杉枝下高多偏低，且留存木枯枝偏多，上述問題會於主幹產生「節」之發生進而影響立木材質，故計畫團隊建議留存木應加以撫育，建議將修枝作業列入留存木撫育作業中。
- (六)經由計畫團隊之直徑級林分表及連年生長量、生長率等研究分析成果，臺灣杉人工林林分現況確需要進行改善，其疏伐與未疏伐林分生長皆呈現下降，且從臺灣杉林分結構圖中可看到計畫區域臺灣杉林分中可看到胸徑 0-20 公分之中小徑木偏多，故建議管理單位未來可針對計畫區域內臺灣杉林分進行疏伐作業，以下層疏伐作業為主，疏伐木伐除林下所有小於 10 cm 之林木，10-15 cm 及 15-20 cm 之林木選擇株數之 63%及 39%作為疏伐木，為了使林分結構能更近於常態分布，25-30 cm 亦選擇株數之 20%作為疏伐木，由各徑級不同疏伐率平均而得整體建議之株數疏伐率為 24%、材積疏伐率為 4.5%。
- (七)本計畫使用光達掃瞄系統進行林木生長量之監測，然其技術門檻及軟硬體設備成本較高，國外也有除了光達以外的儀器，可做到自動監測及資料記錄回傳，但以現況而言，管理處未來的監測方式可能以委外或暫仍依傳統人力監測較合適。

陸、參考文獻

- 王成泰 (2007) 大雪山地區天然林林分結構及動態生長之研究。國立中興大學森林所碩士論文。83 頁。
- 史天元、彭焱祥、吳水吉、吳麗娟 (2005) 農委會空載光達臺灣地區測試。航測及遙測學刊 10(1): 103-128。
- 朱宗威、陳建璋、陳朝圳 (2014) 無人空中載具數位影像應用於林分蓄積量之推估。臺大實驗林研究報告 28(1): 45-54。
- 任憶安、陳宛君 (1996) 六龜試驗林疏伐作業個案採運成本及疏伐效率分析。台灣林業科學 11(4): 475-480。
- 余尚鈺、王相華 (2017) 福山植物園山羌緣。林業研究專訊 24(3):52-55。
- 吳順昭、李金福 (1968) 伐木造材作業之工作研究。台大實驗林研究報告第 57 號 22pp。
- 吳學平 (2001) 新竹林區柳杉人工林疏伐之工作研究。國立臺灣大學森林學研究所碩士論文。99 頁。
- 李久先、陳朝圳 (1985) 大雪山地區紅檜幼齡人工林之疏伐—疏伐對直徑分布之影響。中華林學季刊 18(1): 19-28。
- 李久先、陳朝圳 (1990) Weibull 機率函數應用於人工林疏伐作業之研究。中華林學季刊 23(2): 9-15。
- 李久先、顏添明 (1994) 人工林分生長之探討-疏伐對林分結構及其生長的影響。國立中興大學實驗林研究報告 16(1): 103-113。
- 李久先、顏添明、陳朝圳 (1997) 間接推估模式在紅檜人工林林分結構適用性之探討。中華林學季刊 30(2): 87-96。
- 李久先、顏添明、鍾昇興 (1996) 森林經營理念及林木資訊相關問題之研究。台灣林業 22(6): 22-26。

- 李桃生 (2016) 接軌國際，深耕林業。臺灣林業 105(2): 2-15。
- 李桃生、邱立文、楊駿憲、黃群修 (2014) 臺灣人工林產業發展之芻議。臺灣林業 40(3): 3-14。
- 李培芬 (2012) 臺北市生物多樣性指標調查計畫成果報告書。臺北市委託專業服務案。臺北市動物保護處。391 頁。
- 李隆恩 (2010) 疏伐對紅檜人工林單木及林分層級之影響-以臺灣中部疏伐示範區為例。國立中興大學森林學系所碩士論文。86 頁。
- 汪大雄 (2007) 疏伐作業對人工林組成、生長、結構和林地微環境之影響。林業研究專訊 14(1): 8-9。
- 汪大雄、湯適謙、劉景國 (2008) 六龜試驗林台灣山人工林疏伐後四年對微環境和地被植群影響之分析。台灣林業科學 23(2): 191-198。
- 卓志隆、許育倫、郭秉書、何邵濬、高士堯 (2009) 太平山事業區混合林疏伐作業效率之研究。林產工業 28(3): 149-166。
- 林子玉、馮豐隆、陳道正 (1987) 地面照片估算樹冠鬱閉度之方法及其應用。中華林學季刊 20(3):9-27。
- 林世宗、林亨勳 (2010) 疏伐對太平山柳杉紅檜林地上部淨初生產力與碳吸存效應。人工林疏伐對生物多樣性與生態系功能影響研討會論文集，行政院農業委員會林業試驗所主辦。臺中：東海大學。261-275 頁。
- 林世宗、林振榮、林謙佑、林進龍、巫智斌、鍾智昕 (2013) 行列疏伐對柳杉保留帶之樹輪生長影響。中華林學季刊 46(3): 293-310。
- 林世宗、蔡呈奇、張瑀芳、林亨勳、李思佳 (2007) 臺灣東北部柳杉林疏伐對林分生物量生產、碳吸存與土壤養分之效應。林業叢刊 179: 190-209。
- 林登秋、江智民 (2002) 半球面影像在森林生態研究的應用。台灣林業科學 17(3): 387-400。
- 林務局 (2016) 第四次森林資源調查報告。行政院農業委員會林務局。80 頁。

- 林春富、楊正雄、林瑞興 (2017) 2017 臺灣兩棲類紅皮書名錄。行政院農業委員會特有生物研究保育中心、行政院農業委員會林務局。南投。31 頁。
- 林瑞興、呂亞融、楊正雄、曾子榮、柯智仁、陳宛均 (2016) 2016 臺灣鳥類紅皮書名錄。行政院農業委員會特有生物研究保育中心、行政院農業委員會林務局。南投。39 頁。
- 邱志明 (2006) 疏伐撫育經營策略對森林碳吸存之影響。林業研究專訊 13(1): 6-9。
- 邱志明、唐盛林、林振榮 (2007) 疏伐對臺灣杉及紅檜人工林生長與材質效應。林業叢刊 179: 160-189。
- 邱志明、唐盛林、彭炳勳、蔣華蕾 (2017) 疏伐與修枝對臺灣扁柏天然更新林生長效應之研究。臺灣林業科學 32(1): 31-42。
- 邱志明、唐盛林、鍾智昕、林振榮 (2011) 紅檜人工林生物量和不同疏伐策略對二氧化碳吸存之反應。中華林學季刊 44(3): 385-400。
- 邱志明、鍾智昕、唐盛林、劉錦坤 (2010) 孔隙疏伐對柳杉人工林材質與碳吸存量影響之研究。人工林疏伐對生物多樣性與生態系功能影響研討會論文集，行政院農業委員會林業試驗所主辦。臺中：東海大學。277-306 頁。
- 邱祈榮 (2001) 評量臺灣地區生態永續發展指標-以野鳥族群為例調查計畫期末報告。行政院環境保護署。115 頁。
- 洪富文 (2003) 人工複層林的現況與檢討。林業研究季刊 25(4): 97-99。
- 孫義方 (2010) 人工林疏伐之地被植物監測與分析。行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列 99-00-5-03。行政院農業委員會林務局。18 頁。
- 翁世豪 (2004) 觀霧地區柳杉人工林不同強度疏伐後微環境及植群之比較。國立臺灣大學森林學研究所碩士論文。88 頁。
- 翁世豪、沈介文、游啟皓、林謙佑、鍾年鈞、陳柏因、郭幸榮 (2010) 疏伐對柳杉林分生長及結構之影響。人工林疏伐對生物多樣性與生態系功能影響研討會論文集。行政院農業委員會林業試驗所主辦。臺中：東海大學。1-14 頁。

- 陳元龍、林德恩、林瑞興、楊正雄 (2017) 2017 臺灣陸域爬行類紅皮書名錄。行政院農業委員會特有生物研究保育中心、行政院農業委員會林務局。南投。35 頁。
- 陳月淑 (2007) 以光達與數位影像資料進行建物與樹木重疊區的地物特徵提取之研究。國立中山大學海洋環境及工程學系研究所碩士論文，111 頁。
- 陳永寬、詹進發、葉堃生、鄭祈全、施瑩瑄 (2005) 應用地面雷射掃瞄儀測算樹高之研究。航測及遙測學刊 10(4): 327-336。
- 陳明杰、莊智婷、洪志遠、林奐慶 (2010) 人工林不同疏伐強度作業對林地微環境與土壤沖蝕之影響，2010 人工林疏伐對生物多樣性與生態系功能影響研討會，林業試驗所、林務局、國科會、東海大學主辦，93-100 頁。
- 陳洳婷 (2010) 柳杉人工林樹冠特性及疏伐效益之研究—以人倫疏伐示範區為例。國立中興大學森林學系所碩士論文。70 頁。
- 陳朝圳 (1985) 大雪山地區紅檜人工幼齡林生長模式之研究。國立中興大學森林研究所論碩士論文。125 頁。
- 陳朝圳 (2014) 臺灣杉及紅檜人工林疏伐作業之綜合效益評估委託研究成果報告。林務局屏東林區管理處。118 頁。
- 陳瑩達、鄭欽龍、陳重銘 (2011) 柳杉疏伐減碳效果之成本效能與不確定性評估。中華林學季刊 44(2): 207-216。
- 陸育誠 (2015) 臺灣檜木人工林生產經營模式之建立及其利用。國立屏東科技大學森林系碩士學位論文。76 頁。
- 陸象豫 (2011) 坡地土壤流失量估算簡介與植生覆蓋之效益。林業研究專訊 18(4): 63-66。
- 彭炳勳、陳朝圳 (2008) 應用空載光達資料推測林木樹高與葉面積指數。航測及遙測學刊 13(2): 85-100。
- 彭炳勳、謝依達、陳朝圳 (2008) 空載光達雷射穿透率指數與柳杉林葉面積指數之關係探討。臺灣林業科學 23: 63-73。

- 彭炳勳、魏浚紘、陳朝圳 (2009) 應用空載光達資料推測阿里山地區單木樹高與林分高度之研究。中華林學季刊 42(1): 167-180。
- 湯適謙、邱志明、陳瑋旋、黃冠理 (2019) 人工林疏伐集材作業影響因子重要度分析與標準工作量訂定。林產工業 38(1): 15-30。
- 楊國禎 (2011) 合歡山臺灣冷杉林永久樣區地被植物組成與長期動態變化之研究。太魯閣國家公園管理處委託研究報告。國科會。72 頁。
- 楊榮啟 (1972) 柳杉人工林林分密度管理之研究。中華農學會報 80: 42-51。
- 楊濟豪、曹孟真、詹尚書、李亮瑩、王泰典、許宗傑、柯承宏、陳怡頻 (2014) 地面光達應用於露頭不連續面調查與岩體工程特性評估探討。中華水土保持學報 45(1): 1-18。
- 管立豪 (2007) 光達技術在林業經營管理應用。台灣林業 33(6): 25-29。
- 劉如淵 (2000) 塔塔加地區步道土壤沖蝕及其監測之研究(二)。臺北，臺大實驗林研究報告 14(4): 201-219。
- 劉如淵 (2004) 合歡山區登山步道土壤沖蝕之研究。國家公園學報 14(1): 55-73。
- 劉知妤、王兆桓 (2008) 以林齡--蓄積量模式估算柳杉及檜木人工林的碳吸存量。宜蘭大學生物資源學刊 4(1):35-45。
- 劉浚明 (1996) 臺灣杉人工林林分結構之預測模式。中華林學季刊 29(1): 87-97。
- 劉瑋育 (2008) 新化林場林型特性分析之研究。國立中興大學森林研究所論碩士論文。82 頁。
- 蔡和蓁 (2017) 柳杉人工林小區域皆伐式疏伐九年後林下光照環境和植物組成之變化。國立臺灣師範大學生命科學系碩士論文。74 頁。
- 蔡信峰 (1996) 林分密度管理圖與競爭指數在林木疏伐作業之應用。國立中興大學森林學研究所碩士論文。80 頁。
- 蔡錦文、袁孝維、李思瑩、洪崇航、范中衍、丁宗蘇、盧道杰 (2010) 杉木造林

地疏伐對林下植被之影響。中華林學季刊 43(4): 581-592。

鄭皆達、陳家暉、葉正霖 (2002) 臺灣中部南湖溪集水區水文特性之研究。水土保持學報 34(2): 97-108。

鄭欽龍 (2000) 再造林成本與林木伐採決策之分析。中華林學季刊 33(1): 81-87。

鄭錫奇、張簡琳玟、林瑞興、楊正雄、張仕緯 (2017) 2017 臺灣陸域哺乳類紅皮書名錄。行政院農業委員會特有生物研究保育中心、行政院農業委員會林務局。南投。35 頁。

賴彥中、陳良健、饒見有 (2005) 整合光達點雲與空照影像重建三維建物模型。航測及遙測學刊 10(1): 27-46。

謝依達 (2008) 應用空載光達於林型分類。國立屏東科技大學熱帶農業暨國際合作系研究所碩士論文，53 頁。

謝欣怡、袁孝維、丁宗蘇 (2005) 疏伐作業對野生動物多樣性之影響。臺灣林業 31(1): 17-20。

鍾智昕、邱志明、謝漢欽、陸聲山、王豫煌 (2016) 無人空拍機在林業上的應用。林業研究專訊 23(6): 74-78。

顏添明 (1993) 不同間伐強度對紅檜人工林生長之影響。國立中興大學森林所碩士論文，77 頁。

顏添明 (1997) 臺灣大雪山地區紅檜人工林生長收穫系統之研究。國立中興大學森林所博士論文。178 頁。

顏添明 (2006) 由疏伐示範區的成立談疏伐作業的重要性及未來遠景。臺灣林業 32(5): 17-23。

魏浚紘 (2014) 應用光達技術於人工林之經營與監測。國立屏東科技大學生物資源研究所博士論文。208 頁。

魏浚紘 (2017) 浸水營野生動物重要棲息環境資源調查評估計畫成果報告。林務局屏東林區管理處。239 頁。

- 魏浚紘、吳守從、彭炳勳、陳朝圳 (2010) 應用空載光達建立阿里山地區柳杉人工林之林分材積式，地理學報 59: 67-80。
- 魏浚紘、吳守從、黃韋傑、謝依達、鍾玉龍、陳朝圳 (2012) 影像二值化在空載光達影像樹冠孔隙分類上之應用。地理學報 66: 53-66。
- 魏浚紘、陳朝圳 (2016) 光達技術應用於人工林之經營與監測。航測與遙測學刊 20(4): 231-250。
- 羅時凡 (2008) 遙測技術應用於森林健康監測。國立屏東科技大學森林系碩士學位論文。85 頁。
- 羅時凡、魏浚紘、李崇誠、陳朝圳 (2009) 遙測技術應用於溪頭地區柳杉人工林之森林健康調查。林業研究季刊 31(1): 37-54。
- 蘇柏羽 (2014) 臺灣中部大雪山紅檜人工疏伐林之林木健康效益。國立屏東科技大學森林系碩士論文。100 頁。
- 小林正吾 (1978) カラマツ人工林の林分生長モデルに関する研究。北海道立林業試験場報告。15: 1-164。
- Alharthy, A., and J. Bethel (2002) Heuristic filtering and 3D feature extraction from LiDAR data. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing 33: 29-35.
- Amateis, R. L., P. J. Radtke, and H. E. Burkhart (1996) Growth and yield of thinned and unthinned plantation. Journal of Forestry 94(12): 19-23.
- Aussenac, G. (2000) Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. Annals of Forest Science 57: 287-301.
- Bailey, R. L., and T. R. Dell (1973) Quantifying diameter distributions with the Weibull function. Forest Science 19: 97-104.
- Barrio-Anta M, M. A. Balboa-Murias, F. Castedo-Dorado, U. Diéguez-Aranda, J.G. Álvarez-González (2006) An ecoregional model for estimating volume, biomass

and carbon pools in maritime pine stands in Galicia (northwestern Spain). *For. Ecol. Manage.* 223: 24-34.

Bosse, M., R. Zlot, and P. Flick. (2012) Zebedee: design of a spring-mounted 3-D range sensor with application to mobile mapping. *IEEE Transactions On Robotics* 28(5): 1104-1119.

Brenner, C. (2000) Towards fully automated generation of city models. *ISPRS*, vol. XXXIII, Amsterdam.

Cameron, A. D. (2002) Importance of early selective thinning in the development of long-term stand stability and improved log quality: a review. *Forestry* 75: 25-35.

Carlson, D. W., and A. Groot (1997) Microclimate of clear-cut, forest interior, and small openings in trembling aspen forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 80: 313-329.

Castedo-Dorado, F., U. Diéguez-Aranda, J. G. Alvarez-González (2007) A growth model for *Pinus radiata* D. Don stands in northwestern Spain, *Ann. For. Sci* 64: 453-465.

Castaño-Santamaría, J., M. Barrio-Anta, and P. Álvarez-Álvarez (2013) Regional-scale stand density management diagrams for Pyrenean oak (*Quercus pyrenaica* Willd.) stands in north-west Spain. *iForest - Biogeosciences and Forestry* 6: 113-122.

Chan, S. S., D. J. Larson, K. G. Maas-Hebner, W. H. Emmingham, S. R. Johnston, and D. A. Mikowski. (2006) Overstory and understory development in thinned and underplanted Oregon Coast Range Douglas-fir stands. *Canadian Journal of Forest Research* 36: 2696-2711.

Cheng C. P., W. Chiang, M. J. Tsai, and T. M. Tsao (2017) A Weibull model of the impact of thinning and a typhoon event on the stand structure of *Cryptomeria japonica* in Central Taiwan over 100 years. *Journal of Forest Research* 22(1): 22-29.

- Clutter, J. L., J. C. Fortson, L. V. Pienaar, G. H. Brister and R. L. Bailey (1983) Timber management a quantitative approach. John Wiley & Sons. pp63-105.
- Davis, L. S., and K. N. Johnson (1986) Forest Management. 3rd McGraw-Hill, Inc. P.95-145.
- Deal, R. L., J. C. Tappeiner (2002) The effects of partial cutting on stand structure and growth of western hemlock–Sitka spruce stands in southeast Alaska. *Forest Ecology and Management* 159: 173-186.
- Dobbertin, M., and P. Brang (2001) Crown defoliation improves tree mortality models. *Forest Ecology and Management* 141(3): 271-284.
- Drew, T.J. and J.W. Flewelling (1979) Stand density management: an alternative approach and its application to Douglas-fir plantations. *For. Sci.* 25, 518–532.
- Dunford, R., K. Michel, M. Gagnage, H. Piégay, and M. L. Trémelo (2009) Potential and constraints of unmanned aerial vehicle technology for the characterization of Mediterranean riparian forest. *International Journal of Remote Sensing* 30: 4915-4935.
- Durrant-Whyte, H., and T. Bailey (2006a) Simultaneous localization and mapping(SLAM): Part I. *IEEE Robotics & Automation Magazine* 13(2): 99-108.
- Durrant-Whyte, H., and T. Bailey (2006b) Simultaneous Localization and Mapping(SLAM): Part II. *IEEE Robotics & Automation Magazine* 13(3): 108-117.
- Eltner, A., and P. Baumgart (2015) Accuracy constraints of terrestrial Lidar data for soil erosion measurement: Application to a Mediterranean field plot. *Geomorphology* 245: 243-254.
- Erdogan, S. (2009) A comparison of interpolation methods for producing digital elevation models at the field scale. *Earth Surface Processes and Landforms* 34(3):366-376.

- Eriksson, E. (2006) Thinning operations and their impact on biomass production in stands of Norway spruce and Scots pine. *Biomass and Bioenergy* 30: 848-854.
- Gren, I. M., and A. Z. Aklilu (2016) Policy design for forest carbon sequestration: a review of the literature. *Forest Policy and Economics* 70: 128-136.
- Hamilton, A. J. (2005) Species diversity or biodiversity? *Journal of Environmental Management* 75(1): 89-92.
- Hammit, W. E. and D. N. Cole (1998) *Wildland recreation: Ecology and management*. John Wiley & Sons, New York.
- Hanbali, N. A., J. Hutton, M. M. R. Mostafa, and R. Hill (2009) Mobile mapping for earthwork monitoring: a case study on the convergence of photogrammetry with advanced positioning techniques for maximum productivity and accuracy. 2019/05/19 : <https://phowo.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo09/210Al-Hanbali.pdf>
- Hedwall, P.O., J. Brunet, A. Nordin, and J. Bergh (2013) Changes in the abundance of keystone forest floor species in response to changes of forest structure. *Journal of Vegetation Science* 24: 296-306.
- Hodgson, M. E., J. R. Jensen, L. Schmidt, S. Schill, and B. Davis (2003) An evaluation of LIDAR and IFSAR-derived digital elevation models in leaf-on conditions with USGS Level 1 and Level 2 DEMs. *Remote Sensing of Environment* 84(2): 295-308.
- 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 pp.
- Keegan III, C., C. Fiedler and D. Wichman (1995) Costs associated with harvest activities for major harvest systems in Montana. *Forest Products Journal* 45 (7/8): 78-82.
- Kerr G. (1996) The effect of heavy or 'free growth' thinning on oak (*Quercus petraea*

and *Q. robur*). *Forestry* 69(4): 303-317.

Koetz, B., F. Morsdorf, S. van der Linden, T. Curt, and B. Allgöwer (2008) Multi-source land cover classification for forest fire management based on imaging spectrometry and LiDAR data. *Forest Ecology and management* 256: 263-271.

Leung, Y. L. and J. L. Marion (1999) The influence of trampling interval on the accuracy of trail impact assessment. *Landscape and Urban Planning* 43: 167-179.

Liu, W. Y., C. C. Liu, and K. H. Su (2017) Modelling the spatial forest-thinning planning problem considering carbon sequestration and emissions. *Forest Policy and Economics* 78: 51-66.

Ludwig, J. A. and J. F. Reynolds (1988) *Statistical Ecology: A Primer on Methods and Computing*. Wiley-Interscience Pub., New York.

Maas, H. G., A. Bienert, S. Scheller, and E. Keane (2008) Automatic forest inventory parameter determination from terrestrial laser scanner data. *International Journal of Remote Sensing* 29: 1579-1593.

Mabvurira D., M. Maltamo, A. Kangas (2002) Predicting and calibrating diameter distributions of *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden plantations in Zimbabwe. *New Forests* 23: 207-223.

Mitchell S. (2000) *Forest Health: Preliminary Interpretations for Wind Damage*. Stand Density Management Diagrams, Victoria, British Columbia Forestry Practices Branch, British Columbia Ministry of Forestry

Mosca, E., L. Montecchio, L. Sella, and J. Garbaye (2007) Short-term effect of removing tree competition on the ectomycorrhizal status of a declining pedunculate oak forest (*Quercus robur* L.). *Forest Ecology and Management* 244(1-3): 129-140.

Neugirg, F., A. Kaiser, A. Huber, T. Heckmann, M. Schindewolf, J. Schmidt, M. Becht, F. Haas (2016) Using terrestrial LiDAR data to analyse morphodynamics on steep unvegetated slopes driven by different geomorphic processes. *Catena* 142: 269-

- Newton, P.F. (1997) Yield prediction errors of a stand density management program for black spruce and consequences for model improvement. *Can. J. For. Res.* 33, 490-499.
- Newton, P. T., Y. Lei, and S. Y. Zhang (2005) Stand-level diameter distribution yield model for black spruce plantations. *Forest Ecology and Management* 209: 181 - 192.
- Olivka, Petr., M. Krumnikl, P. Moravec, and D. Seidl (2016) Calibration of short range 2D laser range finder for 3D SLAM usage. *Hindawi Publishing Corporation Journal of Sensors* 13 pp.
- Omasa, K., Y. Urano, H. Oguma, and Y. Fujinuma (2002) Mapping of tree position of *Larix leptolepis* woods and estimation of diameter at breast height (DBH) and biomass of the trees using range data measured by a portable scanning lidar. *Journal of Remote Sensing Society of Japan* 22: 550-557.
- Otto, R., E. García-del-Rey, J. Méndez, and J. M. Fernández-Palacios (2012) Effects of thinning on seed rain, regeneration and understory vegetation in a *Pinus canariensis* plantation (Tenerife, Canary Islands). *Forest Ecology and Management* 280: 71-81.
- Penner, M., D. E. Swift, R. Gagnon, and J. Brunswick (2006) A stand density management diagram for balsam fir in New Brunswick. *The Forestry Chronicle* 82(5): 700-711.
- Persson, A., J. Holmgren, and U. Soderman (2002) Detecting and measuring Individual trees using an airborne laser scanner. *Photogrammetry Engineering and Remote Sensing* 68(9): 925-932.
- Pouliot, A., D. J. King, F. W. Bell, and D. G. Pitt (2002) Automated tree crown detection and delineation in high-resolution digital camera imagery of coniferous forest regeneration. *Remote Sensing of Environment* 82(2-3): 322-334.

- Proctor, E., and G. McCarthy (2015) Changes in fuel hazard following thinning operations in mixed-species forests in East Gippsland, Victoria. *Australian Forestry* 78: 195-206.
- Riaño D., F. Valladares, S. Condés, E. Chuvieco (2004) Estimation of leaf area index LPI and covered ground from airborne laser scanner (LiDAR) in two contrasting forests. *Agricultural and Forest Meteorology* 124:269-275.
- Sanz, R., J. R. Rosell, J. Llorens, E. Gil, and S. Planasa (2013) Relationship between tree row LiDAR-volume and leaf area density for fruit orchards and vineyards obtained with a LIDAR 3D Dynamic Measurement System. *Agricultural and Forest Meteorology* 171-172: 153-162.
- Schnell, S., C. Kleinn, and J. G. A. Gonzalez (2012) Stand density management diagrams for three exotic tree species in smallholder plantations in Vietnam. *Small-scale Forest* 11: 509-528.
- Souza, Jr., C. M., D. A. Roberts, and M. A. Cochrane (2005) Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires. *Remote Sensing of Environment* 98(3): 329-343.
- Stovall, A. E. L., A. G. Vorster, R. S. Anderson, P. H. Evangelista, and H. H. Shugart (2017) Non-destructive aboveground biomass estimation of coniferous trees using terrestrial LiDAR. *Remote Sensing of Environment* 200: 31-42.
- Sullivan, B. W., T. E. Kolb, S. C. Hart, J. P. Kaye, S. Dore, and M. Montes-Helu (2008) Thinning reduces soil carbon dioxide but not methane flux from southwestern USA ponderosa pine forests. *Forest Ecology Management* 255: 4047-4055.
- Tansey, K., N. Selmes, A. Anstee, N. J. Tate, and A. Denniss (2009) Estimating tree and stand variables in a Corsican Pine woodland from terrestrial laser scanner data. *International Journal of Remote Sensing* 30: 5195-5209.
- Thysell, D. R., and A. B. Carey (2001) Manipulation of density of *Pseudotsuga menziesii* canopies: preliminary effects on understory vegetation. *Canadian*

Journal of forest Research 31: 1513-1525.

- Volkova, L., H. Bi, J. Hilton, and C. J. Westona (2017) Impact of mechanical thinning on forest carbon, fuel hazard and simulated fire behaviour in *Eucalyptus delegatensis* forest of south-eastern Australia. Forest Ecology and Management 405: 92-100.
- Vosselman, G., Maas, H.-G., 2010. Airborne and Terrestrial Laser Scanning. Whittles Press, Caithness. 336 pp.
- Wallace, L., A. Lucieer, C. Watson, and D. Turner (2012) Development of a UAV-LiDAR system with application to forest inventory. Remote Sensing 4(6): 1519-1543.
- Wasseige C. D., D. Bastin, P. Defourny (2003) Seasonal variation of tropical forest LAI based on field measurements in Central African Republic. Agricultural and forest meteorology 119:181-194.
- Weng, S. H., S. R. Kuo, B. T. Guan, T. Y. Chang, H. W. Hsu, and C. W. Shen (2007) Microclimatic responses to different thinning intensities in a *Japanese cedar* plantation of northern Taiwan. Forest Ecology and Management 241: 91-100.
- Williams, J. R., and H. D. Berndt (1977) Sediment yield prediction based on watershed hydrology. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 20(6): 1100-1104.
- Wilson, D. S., and K. J. Puettmann (2007) Density management and biodiversity in young Douglas-fir forests: challenges of managing across scales. Forest Ecology and Management 246: 123-134.
- Wilson, J. S., C. D. Oliver (2001) Stability and density management in Douglas-fir plantations. Can. J. For. Res. 30: 910-920.
- Yanalak, M. (2003) Effect of Gridding Method on Digital Terrain Model Profile Data Based on Scattered Data. Journal of Computing in Civil Engineering 17(1): 58-67.

Zhao, K., J. C. Suarez, M. Garica, T. Hu, C. Wang, and A. Londo (2018) Utility of multitemporal lidar for forest and carbon monitoring: Tree growth, biomass dynamics, and carbon flux. *Remote Sensing of Environment* 204: 889-897.

Zhu, J. J., T. Matsuzaki, F. Q. Lee, and Y. Gonda (2003) Effect of gap size created by thinning on seedling emergency, survival and establishment in a coastal pine forest. *Forest Ecology and Management* 182: 339-354.

臺灣木材網 (2020) 國產的材好 永續林業 安心木材
(<https://www.taiwanwood.org.tw/>)。

臺灣物種名錄(2020) <https://taibnet.sinica.edu.tw/chi/iucncode.php>

The IUCN Red List of Threatened Species (2020) <https://www.iucnredlist.org/>

柒、重要工作時程

(一)交付項目及交付時程

表 45 應交付文件期限

期別	應交付文件	成果繳交日期	經費撥付
I	函文提出細部計畫書 10 份	決標次日起 40 日內	撥付總經費 25%
II	第一次期中報告及疏伐教育訓練書面紀錄等相關資料	2018 年 6 月 30 日前	撥付總金額 20%
III	第二次期中報告及疏伐教育訓練書面紀錄等相關資料	2019 年 6 月 30 日前	撥付總金額 20%
IV	第三次期中報告及疏伐教育訓練書面紀錄等相關資料	2020 年 10 月 30 日前	撥付總金額 25%
	期末報告及疏伐教育訓練書面紀錄等相關資料	2020 年 12 月 31 日前	
V	成果報告書 20 份(含光碟電子檔)	期末審查會通過後並依機關修正意見修改完竣	撥付總金額 10%

(二)工作時程及重要查核點

年度重要工作項目	完成進度																						
	107 年		108 年												109 年								
	9-10 月	11-12 月	1-2 月	3-4 月	5-6 月	7-8 月	9-10 月	11-12 月	1-2 月	3-4 月	5-6 月	7-8 月	9-10 月	11-12 月	1-2 月	3-4 月	5-6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
細部計畫書繳交	※																						
永久地面監測樣區調查作業	※	※	※	※	※																		
地被監測樣區調查	※	※	※	※	※																		
紅外線自動照相機監測物種多樣性	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※		※		※	
木本與地被植物名錄建立					※																		
動物名錄建立					※						※						※						
永久監測樣區資料庫建置				※	※																		
第一期教育訓練					※																		
第一期期中報告					※																		
地面光達監測地面沖蝕程度			※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※			※		※			
地面光達技術監測不同徑級之單木連年生長量、疏伐後樹冠鬱閉程度	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※			※		※			
第二期教育訓練											※												

第二期期中報告											※												
非破壞性檢測技術分析木材力學 強度及木材內部腐朽暨中空程度												※	※	※	※	※							
藉由不同徑級之樣木建立紅檜及 臺灣杉之單木及林分層級之收穫 預測模式												※	※	※	※	※							
臺灣杉及紅檜人工林疏伐試驗地 撫育前後之單木生長情況、生物 多樣性、環境影響等綜合性效益 評估及其動態變化												※	※	※	※	※							
第三期教育訓練																					※		
第三期期中報告																					※		
期末報告																							※

註：紅底係為受到汛期影響無法進入調查之時間點，黃底係為計畫團隊申請展延後契約變更之時間；另 109 年 7 月因美瓏山林道 15K 處道路修繕計畫團隊無法進入計畫區域。

附件一、服務建議書評審會議委員意見與書面答覆

一、本案非為單純的研究計畫，應視為技術服務，監測結果分析之資料應能提供林管處作為施政決策之依據，惟有關研擬適當疏伐撫育作業模式，在簡報報告描述較少。

Ans：不同疏伐撫育作業模式將以不同鬱閉度進行探討林木生長及疏伐地環境的效益評估。

二、請說明為何僅選擇荖濃溪事業區第 98、99 林班進行疏伐後綜合效益評估，如該區域未來無進行疏伐撫育作業，則相關植物、動物與水文等評估該如何進行？是否能符合本委託服務之計畫目標。

Ans：研究團隊會將第 100 林班列入監測範圍中。而會設置未疏伐監測樣區，同樣與疏伐監測樣區作林木生長、地被、動物以及水文等評估。

三、投標團隊於 103 年曾承接類似委託服務，監測範圍為荖濃溪事業區第 98、99、100 林班，請說明該次委託服務與本次委託服務兩者間之重疊性，或本次為前次計畫之延續。

Ans：該計畫是前次計畫之延續，並已在文獻回顧(P13)加上前次計畫之重要成果。

四、光達技術應用於林地有其地形限制，是否有相關公式可說明，在坡度多少以上的林地，應設置多少點位之掃瞄站，其數據才足以採信。

Ans：光達主體架設於三腳架上，故在坡度上之限制，只要能架設好腳架，即可進行光達掃瞄。以 0.05 ha 建議掃瞄站應設 4-5 站，其掃瞄之資料會較為齊全。透過文獻回顧說明光達掃瞄之資料在測量級的應用結果是良好的。

五、以紅外線自動照相機監測調查動物相，僅哺乳類較為適用，其餘兩棲、鳥類、昆蟲似乎不易監測，請說明以何種方式驗證紅外線照相機監測之動物數據，是準確可信的。

Ans：研究團隊除了架設紅外線自動照相機，在調查當中也會請動物專家進行哺乳類、鳥類、蝶類以及爬蟲類的穿越線調查。

六、團隊既有進行樣區地表逕流的調查，應可加以比對光達與樣區調查之土壤沖蝕結果，呈現其數據之可信度；又樣區監測時，團隊亦有進行野生動物之調查，應於建議書內說明，讓大家了解動物相之調查非僅限於紅外線照相機。

Ans：研究團隊會利用水土保持技術規範所提供的地表逕流合理化公式作為地表逕流，其地表逕流合理化公式以一年為單位，其計算結果將會與光達監測之土壤沖蝕一年的量作比較，提升地面光達監測之可信度。野生動物調查已加入報告書 P30。

七、投標團隊已有承接類似本案之委託服務，但服務建議書內並未描述先前之成果。

Ans：已在文獻回顧(P13)加上前次計畫之重要成果。

八、簡報內容提及本次委託服務將採用較新型科技儀器(手持式光達設備、木材強度監測儀器)，請說明其信度為何？是否有相關研究數據足以佐證。

Ans：有關服務建議書內提到的新儀器之可信度，本次所用儀器其實在其他相關研究單位均有使用，具有一定可信度，如 DmP 之鑽頭，在林試所已有使用，另林務局曾查核地面光達的測量成果，其誤差為公分級，幾乎沒有誤差。

九、服務建議內容有包括生態多樣性的監測，然而投標團隊中多為森林經營領域之學者，缺乏動物領域背景之專才人員，建議書規劃將監測之動物照片與農委會之資料網進行比對，惟如發現無法判釋比對之物種，是否具有相關團隊可予以支援？

Ans：研究團隊如發現無法判釋比對之物種，將會請動物專業調查背景的成員進行辨識。

十、本案為 3 年計畫，但每年僅有一次的成果交付，頻度較低，是否有額外相關監測機制或工作會議之存在。

Ans：本計畫每年將進行一次的工作會議。

十一、林木調查自第計畫二年起才利用地面光達做單木生長量之監測，是否第一年無規劃進行監測？是否從應自第一年起就開始進行監測較為合適。

Ans：於服務建議書的工作時程(P58)即提到 106 年(第一年)至 109 年(第三年)執行地面光達技術監測單木連年生長量。

十二、林管處在小關山疏伐之區域並非僅有荖濃溪事業區第 98、99 林班，投標團隊既已有承接類似計畫的經驗，應就小關山沿線有疏伐之區域，將先前已監測之資料，併同本次計畫結果加以整合，以確認疏伐效益之數據。

Ans：研究團隊將於本次監測計畫中，一併納入前期監測資料。

十三、計畫書內人工林直徑級林分表係以 5 公分為一級，然現實狀況應無法剛好以 5 公分為一級，該分級是否再加以考量。

Ans：人工林直徑級林分表以 5 公分為一級為示意說明，未來將依林木徑級狀況，予以適當分級。

十四、有關逕流量的測量，因係受天候影響極大，如遇颱風豪雨氣候時，該事件應獨立紀錄或分析。

Ans：研究團隊利用水土保持技術規範所提供的地表逕流合理化公式，該公式以一年為單位，其計算結果將會與光達監測之土壤沖蝕一年的量作比較。

十五、林管處歷年來在小關山沿線之林班已辦理多次疏伐作業，爰本次委託服務計畫範圍不僅限於荖濃溪事業區第 98、99 林班，應為小關山沿線所有疏伐作業區域。

Ans：研究團隊因應計畫目標，於小關山沿線設置紅檜與臺灣杉共 30 個永久監測樣區，其設置範圍多分布於荖濃溪事業區第 98-100 林班。

十六、另為辦理疏伐作業，林管處有不少經費係用於林道整修，因此本計畫應將林道列入監測範圍。

Ans：研究團隊將於荖濃溪事業區第 102 林班民國 105 年之疏伐區域進行作業道之評估。

十七、對於單木材質調查項目，請一併調查在疏伐過程中，因人為作業疏失，造成留存木的損傷之影響，如對該留存木之形質或生長的破壞等。

Ans：關於疏伐過程中因人為作業疏失，造成留存木的損傷之影響，研究團隊將以目視評估法與非破壞性檢測進行被傷害留存木評估，其內容加入於 P37。

十八、本委託服務既已有前期計畫辦理相關監測，想請投標團隊說明在疏伐區及非疏伐區是否皆有設置監測樣區，以比對疏伐撫育作業施作之效益。

Ans：研究團隊會設置未疏伐監測樣區，同樣與疏伐監測樣區作林木生長、地被、動物以及水文等評估。

十九、服務建議書所列生物多樣性之監測，雖有規劃相關動物名錄及數量之建置，然疏伐作業後，受擾動生態系之物種變化也是大家關注的部分，相關數據分析的結果，應於後續報告加以呈現。

Ans：研究團隊會將調查結果疏伐與未疏伐出現動物物種呈現於報告中。

二十、投標團隊中缺乏調查動物背景之專才，請再補充說明。

Ans：研究團隊有調查動物背景之專業人才，如 P62、63。

二十一、共同計畫主持人有 2 位，但未見其同意書，應加以補充。

Ans：研究團隊已補上 2 位共同主持人之合作同意書，如 P71、72。

二十二、水文資料的調查與建立，該項目是否納入本服務建議書內。

Ans：已加入研究區域概況，如 P24。

二十二、服務建議書設置了 30 個永久監測樣區，在建議書第 13 頁敘述將於 107、108、109 年度各進行光達掃瞄，但第 31 頁工作進度表所列為每 2 個月進行掃瞄一次，實際掃瞄頻度為何？

Ans：光達樣區掃瞄的頻率為：每年度每個樣區至少都會有 1 筆光達掃瞄資料，因林木生長速度較緩慢，單年度內高頻度的掃瞄資料不易看出其差異性，但如每年都有進行監測，經比對監測資料，即可得知林木之年平均生長量，並可經係數轉換計算為碳吸存量，做為對外說明的依據。

二十三、監測樣區在疏伐區與未疏伐區是否有做相關對照組的設計，如何設計。

Ans：研究團隊預計設置 6 個未疏伐永久監測樣區，其餘依疏伐年度與樹種盡量平均分配。

二十四、有關建議書第 11 頁提及若永久監測樣區內無植被，則將設計 50 公尺之穿越線，並於穿越線每 2 公尺設置 1 植被樣區，爰此，植被調查樣區將有 25 個；但建議書內亦提及另一種植被樣區設置方式，係在永久監測樣區內各設置 4 個植被調查樣區，如此一來，植被監測樣區總數將有 120 個，請問植被樣區之設置是固定的，或是會有變動。

Ans：已更正為另設置 50 m 長之穿越線，以 2 m 為間隔設置 4 個(1 m × 1 m)地被草本植物樣區。

二十五、僅以紅外線自動照相機作為生物多樣性監測之工具，所得數據稍嫌不足，請再補充說明。

Ans：研究團隊除了架設紅外線自動照相機，在調查當中也會請動物專家進行哺乳類、鳥類、蝶類以及爬蟲類的穿越線調查，如 P30。

二十六、非破壞性檢測單木性質部分，受檢之單木，其挑選標準為何？如受檢測單木具有腐朽、損害，該如何確認其受損原因？

Ans：本計畫將挑選 8 個永久監測樣區進行每木檢測，藉由此技術以探討未疏伐與各不同疏伐度之樣區林木之木材力學強度差異及木材內部腐朽暨中空程度。被傷害留存木部分，以民國 105 年疏伐區域進行非破壞性檢與目視評估法作樣木內部之檢測，其挑選標準以靠近疏伐區塊為優先，其次為外表異常之林木。

二十七、前期研究成果，疏伐後對生態系之擾動，需要多久時間才可恢復為原茂密之林分，相關數據應提供給管理處，以作為對外解釋撫育措施之依據，此部分請團隊說明。

Ans：前期計畫提到剛疏伐葉面積指數(LAI)下降，爾後會逐漸恢復；疏伐一年後，地被會恢復 82%的覆蓋，兩年後可恢復至 85-95%；整體而言，疏伐對林地的傷害屬短期可立即恢復。

二十八、光達掃瞄頻度為 1 年 1 次，那單一年度內土壤逕流該如何呈現？

Ans: 光達監測土壤沖蝕量會在極端事件前後，而後與一年度內土壤逕流比較時，將光達監測之土壤沖蝕量彙整為一年再與土壤逕流作比較。

二十九、服務建議書第二頁之緣起無說明事項。

Ans: 以補上計畫緣起，如 P2。

三十、服務建議書第一年工作重要項目於不同疏伐程度之人工林內設置樣區，疏伐程度區分之標準為何。

Ans: 疏伐程度區分之標準將以鬱閉度進行區分，亦以疏伐年度探討林木生長與周邊環境之變化。

三十一、執行程序說明於計畫執行之三年期間均有以地面光達監測疏伐試驗地內之土壤沖蝕，其第一年及第二年均列為工作項目，但第三年則未列入，有不一致之情形。

Ans: 以作更改將地面光達監土壤沖蝕列入第三年工作項目。

三十二、第三年教育訓練課程是否包含中後期撫育作業模式。

Ans: 該計畫目標為中後期撫育後之效益評估，故研究團隊著重效益評估之技術課程，故無包含中後期撫育作業模式。

三十三、本計畫目標探討不同經營目的之中後期撫育作業模式，及建立紅檜及臺灣杉人工林中後期撫育之收穫模式，二者間能否做關聯性之探討。

Ans: 收穫模式是以徑級與株數推估胸高斷面積與材積等林木性態值，其亦是中後期撫育作業評估效益的一種方法。

三十四、地面及地被監測樣區僅於 106-107 年間規畫調查，後期未見複查規畫，是否會影響最終評估結果。

Ans: 地被監測期程更正為民國 106 年 11 月至民國 108 年 8 月，為期兩年，每季調查乙次。

三十五、服務建議書內第 35 頁所列之計畫組織架構表，與第 36 頁組織分工表

所列之人員工作項目有不一致之現象。

Ans：已更正，如 P62、63。

三十六、計畫共同主人魏浚紘職稱改以博士是否較為合適。

Ans：已更正，如 P62。

三十七、預算細目 25-00 之說明，電腦周邊耗材應已包含碳粉匣、墨水，請檢視預算細目說明部分是否有重複列舉。

Ans：為使校方能核銷方便，故於細項說明明確列出。

三十八、關於野外調查租車費用，僅編列 30 日，是否足以支應三年調查計畫。

Ans：礙於經費限制，且其他經費亦編列其他必要支出，故僅編列 30 日。

三十九、有關監測地之海拔高度，應就本委託計畫範圍加以調整，以符實際。

Ans：已將監測海拔高依照 30 m× 30 m 之 DEM 套疊荖濃溪事業區第 98-102 林班，以區域統計萃值最低海拔高，其結果為 614 m。

附件二、期初報告評審會議委員意見與書面答覆

一、臺灣杉和紅檜人工林為荖濃溪事業區、小關山區域之主要造林樹種，由 2007 年開始，直至 2017 年皆繼續進行疏伐，因此一系列時間序列之變化，必須聚焦，如主要以造林之生長變化、水土沖蝕、野生動物、植群覆蓋度、及林分健康、碳吸存之變化，才能說服相關環保團體或人員。

Ans：研究的重點會著重於疏伐作業得到的經濟效益或生態效益，或取得兩者間之平衡。

二、由於監測項目眾多，是跨領域的工作，建議團隊可邀請不同背景、領域的學者一同參與。

Ans：水土保持專業已邀請本校水土保持系李錦育教授參與，野生動物已邀請本校野生動物保育研究所陳貞志助理教授參與。

三、成本效益分析中，疏伐最大作業費用為集材、運材，佔整體費用 70%以上，且會受到不同的作業方式而影響，因此必須和管理處合作，收集相關成本。

Ans：疏伐作業成本已由管理處提供，將透過材積疏伐率、疏伐方式、運出材積、搬運距離以及實際作業費用進行疏伐作業之成本分析。

四、非破壞檢測方面，重點應在林分層級，而非單木層級，且取樣方式為何，必須說明，另林分健康方面，必須加強未疏伐區與疏伐區之造林木枯死與健康之變化。

Ans：研究會依據委員建議，將林木健康度鎖定在林分層級。研究中最一開始將以視覺判斷各單木之健康情形，再進一步進行非破壞性檢測後，推估全林分的健康情形，並可藉空拍機、光達的資料，計算出疏伐與未疏伐林分的枯死率或孔隙等。

五、舊有及新設樣區之基本資料必須說明清楚，方可作為基線比對之依據。

Ans：將在 P.60 目標樣區基本資料加上說明。

六、疏伐後不同監測項目(接近 10 種項目)變化，建議可參考人倫柳杉人工林近 10 年之監測報告。

Ans：研究團隊會參考人倫柳杉人工林近 10 年的監測報告的評估方法，比較結果並作討論。

七、文獻回顧中，部分名詞的中英文對照及定義，請重新檢驗確認，如下層疏伐一般採用 thinning from below，另外上層疏伐的定義應是考慮林分空間配置，先從下層木進行作業，但仍會伐採至部份上層木(一般形質較不良者)。

Ans：文獻回顧有關疏伐之定義及相關內容已修改。

八、研究區域概況，未來建議將調查期間加入新的氣象資料，因相關氣象資料與林木生長有關。

Ans：未來會再更新氣象資料。

九、未來研究建議可稍區分單木、林分層級分別進行探討，以了解疏伐之效益。

Ans：於本報告書 P.45 提到單木以及林分層級之收穫預測模式，故在結果呈現會區分單木與林分層級進行探討。

十、參考文獻請依作者姓名排列。

Ans：依據委員意見，已作修正，如 P.105-112。

十一、年代建議民國和西元要一致，如報告書第 49 頁為西元，然其他大部分為民國。

Ans：依據委員意見，皆統一改為西元年，為方便對照故於括號內備註民國之年度。

十二、建議所有公式要編碼，如報告書第 6、33、46、47 頁。

Ans：依據委員意見，已將每個公式加入編碼。

十三、本計畫做中後期撫育作業綜合效益評估，在目標是可期，但使用中後期撫育這個名詞仍須審慎，因其內容有太多的模糊地帶。

Ans：作業課計畫承辦表示本研究計畫契約名稱之中後期撫育一詞係因為需與原招標文件相同而訂定，惟因森林中後期撫育項目眾多，為能讓委員或外界容

易了解本計畫之中後期撫育為疏伐作業，未來在函請委員或計畫報告，會採用備註、括號等方式註明。

十四、本計畫既已用疏伐過之林分，其背景資料及前期資料間的變化紀錄及分析亦應有所說明，以強調計畫執行之必要性與正當性。

Ans：疏伐背景資料將會補齊，前期計畫之資料分析於文獻回顧之前期計畫重要成果作說明，並在該章節最後說明前期計畫與本計畫之關聯性，以瞭解本計畫執行之必要性與正當性。

十五、前述已執行完成的計畫成果，未引用於此工作計畫中，使得此工作計畫是否合理，讓人質疑。

Ans：本計畫報告將執行完成的計畫(前期計畫)成果列於文獻回顧第三節，如 P.14。

十六、共同主持人魏博士是以個人或公司參與合作？

Ans：魏博士是以冠昇生態有限公司身份擔任共同主持人參與本計畫。

十七、報告書所述疏伐起始時間點為 2008 年，簡報報告為 2007 年，請確認；另疏伐結束時間點應為 2017 年、而非 2016 年，請一併確認。

Ans：依據委員意見，已作修正。

十八、報告書第 19 頁之研究地點，應為 98-102 林班，非僅 98-100 林班。

Ans：依據委員意見，已作修正。

十九、有關作業道的設置，因本處第 102 林班疏伐作業屬強度疏伐，而其他林班之疏伐作業強度相對較弱，因此作業道監測僅設置於第 102 林班是否代表性較為不足，本處另於第 98 林班設有作業道，建議應同時監測該作業道與林區內之作業道，以確認不同作業道設置的方式所造成之影響，作為未來政策。

Ans：本計畫將以第 98 林班之作業道作為主要監測。

二十、本計畫所進行調查的項目已涵括疏伐林地的植物相、動物相、土壤沖蝕等

三大項，建議後續計畫案能在撰寫上更清楚呈現這三大項目的調查分析資料，其他調查項目則可歸納在第四大項來加以論述。

Ans：因計畫報告架構是將疏伐之影響對象分為留存木與環境，故未來報告書亦以此架構呈現。

二十一、計畫書第 19 頁重要工作項目中，今年所要架設的 30 個調查樣區，是否包含前期計畫所設置之 8 個樣區？又是否有包含到疏伐前與疏伐後之樣區？建議將樣區的試驗設計之部分再加強敘明。

Ans：為冀望資料具完整性，以前期計畫之 8 個樣區均列為本計畫之監測目標樣區，但距前期計畫時間已久，於近期只找到 4 個前期計畫樣區，故本計畫設置之 30 個樣區，其中 4 個樣區為前期計畫樣區。並於 30 個樣區會設置一定比例數的未疏伐樣區作對照。

二十二、計畫書第 15 頁林木健康度較低的部分，為什麼是以前 24%之部分作為列入伐除林木的標準，請補充說明。

Ans：林木健康度之評估可供為疏伐選木之參考，第一次疏伐之林相，約有 24%之林木被列為健康度不佳，如欲進行第二次疏伐時，可列為優先伐除之對象。

二十二、計畫書第 6 頁第三段引用文獻(王成泰，2007)及第 51 頁表 7 所列之參考文獻，在計畫書後面所附參考文獻皆有漏列情形、第 7 頁顏添明 2005 文獻引用年份有誤，請再全文檢視文獻漏列及誤列情形。

Ans：依據委員意見，已作修正，並前後確認。

二十三、計畫書第 36 頁圖 24 中之上下兩張圖，請加上健康林木及不健康林木之標示。

Ans：依據委員意見，已將圖標示健康林木及不健康林木。

二十四、本計畫將辦理 3 場教育訓練，建議計畫最後交付成果含括教育訓練之影音光碟，以供同仁可再重複參閱。

Ans：教育訓練會依委員建議，增加目視評估法的課程，訓練過程也會提供影像

資料光碟，方便管理處同仁重複閱覽。

二十五、計畫書內有錯字部分，例如第 4 頁林木逕向，應修正為林木徑向；生長或株樹，應修正為株數；第 16 頁 DmP 和 DFr 及第 17 頁 LAI，請加註英文全文。

Ans：依照委員建議，已修正內文。

二十六、設置樣區之相關背景資料(例如林況、伐採面積、伐採方式、疏伐率等)，設立標準也未敘述，無法判定是否具代表性，請再予以補充。

Ans：會將疏伐背景資料加入至研究樣區概況，並於 30 個樣區基本資料補充伐採方式以及疏伐後鬱閉度。

二十七、作業課同仁應向本處治山課蒐集林道維修金額、地點等背景資料後，再與執行單位確認林道、作業道應監測及具代表性之位置；另有關監測樣區之設置位置，也請作業課和執行單位再確認是否合適。

Ans：林道、作業道的監測將配合管理處需求，依必要性而增設監測樣區以及位置。

二十八、有關動物調查，是否可以增加蜂類的監測。

Ans：因本區域為高山海拔區域，蜂的種類不多，動物調查時會一併採穿越線調查，列入紀錄。

二十九、動物照相機監測過程中如有遺失，是否會再補足。

Ans：動物自動照相機在監測過程中，如有遺失，會再加以補足，維持總數 8 台。

三十、計畫執行過程中，會以非破壞方式進行單木材質檢驗，是否有規劃樣本數量需要幾棵？又是否能實際操作確定破壞性方法檢驗的成果？

Ans：有關單木測定之樣本選定數量部分，會再跟管理處確認後再執行。非破壞性檢測之準確性，依據林試所在金門進行之研究經驗，其準確性可達 100%。

三十一、報告書中提及立木健康度有以視覺與儀器等方式判定，但以實際選木而

言，本處同仁多採用目視評估法方法，是否可將此部分納入教育訓練內。

Ans：依照委員意見，本研究團隊將立木健康度之目視評估法方法納入第三年度教育訓練之課程。

三十二、TCCIP 氣候變遷資料僅提供 1960-2012 年，是否主持團隊應再加入新年度氣象資料推估？因 2012 年後全球氣象有急速惡化的趨勢。

Ans：依照委員意見，本研究團隊會再更新至近年氣候資料。

三十三、報告書中第 27 頁永久樣區立木資料其中一項「樣木狀態」是指健康度或是其他項目，並無清楚敘述。

Ans：依照委員意見，多做描述，樣木狀態分為六種，分別為 1 生立木；2 風折、斷梢；3 病害、蟲害、腐朽；4 枯立木；5 風倒、死亡；6 分叉木合併為一木。

三十四、動物監測頻度 1 年 1 次，共計 3 次，但報告書中並無敘述明確調查日期、時間，是否具代表性？或有前人研究資料可相比對，請在後續報告中補充。

Ans：因經費有限，故一年進行一次動物調查，動物調查將在樣區於光達掃描時同時進行，而後會在報告內標註調查日期，並於整理完動物名錄再透過前人研究資料進行比對與討論。

三十五、報告書第 28 頁第 1 段文字，似乎有錯置，不應出現在此。

Ans：依照委員意見，已做修正。

三十六、圖 3 與圖 31 一樣，應合併。

Ans：依照委員意見，已做修正。

三十七、報告內文及圖範圍 98-100 林班應改為 98-101 林班(含 101 林班少部分)，如第 18、19、25 頁。

Ans：依照委員意見，已做修正。

三十八、第 26 頁第 3 行，三大項應為五大項，另第 2 行之敘述文字應加入第(4)項之建立永久監測樣區與第(5)項作業道評估樣區設置。

Ans：依照委員意見，已做修正。

三十九、報告書第 32 頁之圖 21 置於文中何處。

Ans：依照委員意見，已做修正。

四十、報告書第 39 頁第 5 行，25-50%落葉應修正為落葉 26-50%，圖 28 之(C)應一併修正為 26-50%。

Ans：依照委員意見，已做修正。

四十一、報告書第 49 頁課程規劃，下午室外課程至現場時間是否足夠？

Ans：未來會慎選教育訓練地點，以符合適合上課並具有適合實際教學操作的地點。

四十二、報告書第 50 頁第 12 行，可取得高空間解析力影像，建議修改為高解析度影像。

Ans：依照委員意見，已做修正。

四十三、報告書第 52 頁樣區基本資料應要有坐標資料，如表 1。

Ans：依照委員意見，已將坐標資料加入樣區基本資料表格。

四十四、報告書第 53 頁之圖 33，2013 年疏伐地之臺灣杉▲尚未設置，其中 3 點是否過於集中，另紅檜●尚未設置(前)之意義為何？

Ans：2013 年(民 102)疏伐地之臺灣杉的預設樣區點將重先挑選；紅檜●尚未設置(前)表示為前期計畫樣區點，但尚未設置。

四十五、前期研究成果中，立木健康調查利用目測與非破壞性立木檢測(探針與敲擊式)，各方法彼此之間的相關性是否可以加以呈現。

Ans：於三種非破壞性檢測之結果，會做討論並呈現其結果之相關性。

四十六、報告書第 19 頁所述第一年重要工作項目第一段之說明與圖 11 不符，建議修正。

Ans：依照委員意見，已做修正。

四十七、因疏伐作業受損之留存木較嚴重之區域係位於荖濃溪事業區第 98、99 林班，關於留存木受損之監測位置，建議不要僅限定於 105 年施作之疏伐地點(報告書第 34 頁)。

Ans：依照委員意見，本研究團隊將著重於第 98、99 林班之留存木受損，並與管理處確認嚴重損害之林木位置。

附件三、第一次期中報告評審會議委員意見與書面答覆

邱志明委員 1. 目視林木健康度之 8 項外觀評估指標，如樹冠枯梢落葉比例、樹冠枯梢落葉狀態、冠層密度等，建議應明確定義區別，以便將來應用方便 2. 非破壞檢測立木，使用 2 種儀器：探針式鑽孔抵抗和敲擊式林木內部檢測來評估立木材質，其結果之表示應明確易懂，如木材密度和音速大小來評估材質或立木腐朽情形。 3. 永久樣區之評估以樣區別建立數據，但最後應以統計分析，處理別、年度別之木本、草本、動物多樣性、林木生長、蓄積之變化。 4. 紅檜及臺灣杉各 15 樣區之 Weibull 模擬林分直徑分布，由於線條太多，不易理解，建議把其歸類為處理別、年度別，較易理解。 5. 草本、野生動物之調查亦應和處理及年度建立關聯性。 6. 林分密度管理圖之建立，立意很好，但其有地域別、樹種別之限制，30 個樣區應不足以建立。若以第四次資源調查之數據，需有自我疏伐之門檻及最大密度曲線，故必須審慎。	1.遵照委員意見，將在第三年度作業中，明確定義各項評估指標加以區別。 2.遵照委員意見，非破壞性立木檢測於報告呈現時，會將評估材質活力木腐朽情形與儀器監測分析結果以圖表呈現，使報告分析成果明確易懂。 3.第一年度之報告呈現，因計畫所收集資料僅有一期，故依樣區別建立數據，第二年度之報告因有兩期資料進行分析比較，成果將依照目的不同以不同處理別、年度別進行統計分析。 4.遵照委員意見，將 Weibull 機率密度函數所模擬之林分結構依照未疏伐、疏伐 8 年以下及疏伐 8 年以上進行分類說明，如 P70。 5.遵照委員意見，將草本、野生動物調查資料與不同疏伐年度建立關聯性，如 P59、P61。 6.林分自我疏伐線或自我枯死線確實需要極大的累積數據才有辦法確立，目前係以模擬的方式，嘗試是否可訂出管理密度，惟確實有可能因數據不足導致訂定的密度無法實際應用，故我們會謹慎考慮是否要做這方面的推估。
---	--

7. 疏伐作業之工時分析、調查方法宜在材料與方法中，說明更清楚。 8. 疏伐作業之效益評估宜配合經營目標、不同經營目的，監測重點及項目應不同，甚至可將 FSC 認定之精神列入考慮。 9. 圖 41 不同樹種之圖示建議可用不同顏色表示。	7.遵照委員意見以於 p44 進行說明。 8.後續報告或期末報告會以一章節專門論述有關疏伐效益與經營目的兩者間之關係。 9.本計畫所繪製之立木位置圖係去除非目標樹種之資料，故樣區內僅有單一樹種，並以不同顏色區別不同徑級資料。
顏委員添明 1. 第 3 頁文獻回顧第 2 段提及「疏伐作業可分為二大類...」，建議修正為「疏伐作業可分為兩個層面...」。 2. 第 7-8 頁提及林分密度管理圖，應稍敘述此圖建立之後要如何應用或與現行的計畫有無可能建立。 3. 第 19 頁，第一段最後之處「整體而言，疏伐對林地的傷害屬短期且可立即恢復，...」建議將「傷害」修正為「影響」較合宜。 4. 第 29 頁，疏伐界線在圖中應要明顯標示。 5. 第 87 頁第 1 行，林班前要加「第」，原句應修正為「...本計畫選擇第 98 林班內...」，另第 96 頁第一行、第 61 頁之文句，亦同。 6. 第 97 頁(一)評估台灣...之必要性。建議將「必要性」，修正為效益。 7. 第 181 頁，樣木狀態的代碼應註記，另外 DBH、H、材積也要列單位。	1. 遵照委員意見修正。 2.遵照委員意見修正，林份密度管理圖之建立將以第四次森林資源調查之數據建立。 3.遵照委員意見修正。 4.遵照委員意見修正。 5.遵照委員意見修正。 6.遵照委員意見修正。 7.樣木狀態的代碼 1 是代表活木、6 是代表枯立木或風倒，相關代表意義會在後續報告中補註。

8. 在疏伐效益的評估應檢視本區域人工林經營的主要目的為何?而疏伐的效益是否可以對應到經營目的。 9. 第 39-41 頁所列之圖是否為本計畫的研究人員自行繪製?如否應列出資料來源。 10. 第 77 頁，蓄積量在不同年間的變化應稍解釋(蓄積量 m^3 的 3 要上標)。 11. 第 79 頁，K-S 檢定無顯著差異，表示林分直徑分布符合 Weibull 分布，表示 Weibull 機率密度函數可有效量化實際之林分結構，但量化代表何種意義應加以說明。 12. 第 77 頁，Weibull 機率密度是 Weibull(1951)所提出，Bailey and Dell 於 1973，首次用於林分直徑分布模擬。	8. 後續報告或期末報告會以一章節專門論述有關疏伐效益與經營目的兩者間之關係。 9.文中所列之儀器結果圖為前期計畫之結果。 10.遵照委員意見修正，蓄積量於不同年間之變化已於內文加以解釋，如 P67。 11. 遵照委員意見修正，Weibull 機率密度函數所量化之意義已於內文加以說明，如 P68-70。 12.遵照委員意見修正。
林委員敏宜 1. 團隊中增加水土保持及野生動物保育方面專家，請列入團隊陣容，以了解其在本計畫中擔任之項目。 2. 參考文獻「00 學校研究所論文」為舊式寫法，請更正為「00 森林所學位論文」。 3. 第 30 頁氣象資料仍建議須加入最新中央氣象資料，科技部 TCCIP 所供應 1960-2015 與計畫現在年代仍有落差，近年氣候變遷太快速，文	1.水土保持專業已邀請本校水土保持系李錦育教授參與，野生動物已邀請本校野生動物保育研究所陳貞志助理教授參與。 2.遵照委員意見修正。 3.TCCIP 的氣象資料亦來自於中央氣象局，惟若有部分氣象資料(如 1998 年 12 月的雨量)無法取得，會以前後的資料模擬推估當時的氣象，故 TCCIP 的

中仍不清楚光達技術分析與氣候變化相關性。 4. 樹木健康度使用目視評估法、數位探針及敲擊式音波是否會有一致結果？若無如何設立可信度？第 42 頁中所述「選出國內鄉村及平地樹木健康監測的一套規則」，無法理解其意義。 5. 第 53 頁重要值指數公式有筆誤，第 60 頁平均胸徑數值請在確認是否有誤，如 21.4 ± 11.5 不符合科學符號使用原則。 6. 第 61 頁「台灣維管束植物紅皮書初評名錄」請使用最新 2017 版本。 7. 第 59 頁樣區圖有重疊現象，請再修正，否則內文無法對應閱讀。 林委員弘基： 1. 第 65 頁植物地被的部分，第 2 與第 3 象限的照片看起來是一樣的，但說明卻不一樣，請再檢視確認；另野牡丹葉冷水麻與圓果冷水麻雖類似，但還是可藉葉片全緣與否判釋，請再確認圖說是否一致。 2. 第 146 頁附件四的表標題項次未標示，可能是在排版時疏漏；另在照片圖說部分，有些地方無法對應，如 148 頁的第 2 象限照片應該是稀子蕨，但說明沒有，而第 3 象限似乎沒有，卻出現稀子蕨的說明，麻煩請團隊在照片排版說明上，再重新全免檢視。	氣象資料應有足夠的可信度。本計畫中 2015 年以後的氣象資料將會補足。 4.前期計畫成果中已目測檢視法、DmP 及敲擊式立木檢測等非破壞性檢測之結果具相關性，使用儀器進行木材之力學強度及單木內部材質分析，可作為疏伐選木之參考。第 42 頁所述之內容已修正如 P38。 5.P49 重要值指數公式遵照委員意見修正。 6.遵照委員意見，已使用 2017 年台灣維管束植物紅皮書名錄。 7.遵照委員意見修正。 1.地被植物照片誤植部分已修正。 2.遵照委員意見已全面重新檢視修正。
--	---

3. 報告內動物名稱應引用最新的說法，如山豬應寫台灣野豬。 4. 第 72 頁表 15 標題是寫哺乳類動物，但山鷓、藍腹鷓等也列名其中，建議再修正標題表達方式。 5. 圖 38 的數值，建議加入單位，以了解是表達蓄積量或胸徑；另外內文應就數值的波動加以解釋，俾利了解疏伐作業對林木產生的影響。 6. 圖 55 的圖示建議調整，與空拍影像區隔，較易於辨識。 7. 第 81 頁圖 41 立木空間位置圖的製作方式，建議加入教育訓練，讓管理處同仁可學習應用於調查、選木作業。	3.遵照委員意見修正，已將報告內文各動物名稱修改為最新說法。 4.P72 表 15 為哺乳類動物 OI 值分析表，故山鷓、藍腹鷓等非哺乳類動物已移除。 5.遵照委員意見修正。 6.遵照委員意見修正。 7.遵照委員意見，未來將規劃入第三年度教育訓練課程中。
張委員智強 1. 計畫報告內撰寫之標的林班，應確認範圍是自荖濃溪事業區第 98 林班到第幾林班？ 2. 前期計畫有 8 個樣區，但為何僅選取其中 4 個持續進行監測？先前審查會時應該是希望所有舊有樣區均進行監測，並藉這些樣區表示出這幾年疏伐作業對林木產生的蓄積、生長等變化。 3. 計畫預計進度表內所述地面光達掃瞄於 2017 年 9 月施作，應係誤植，當時計畫應尚未開始施行。 4. 圖表內各符號的單位、或代表意義應列出來及說明。 5. 第 68 頁之調查照片是否為舊照片	1.研究計畫標的範圍確認是荖濃溪第 98 林班到 102 林班，已遵照委員意見修正。 2.為冀望資料具完整性，原定前期計畫之 8 個樣區均列為本計畫監測之目標樣區，但據前期計畫時間已久，部分樣區因疏伐作業而受到影響，故本計畫配置之 30 個樣區僅包含 4 個前期計畫樣區。 3.遵照委員意見修正。 4.遵照委員意見修正。 5.P65 頁照片為本期計畫拍攝照片，惟

而非本次新調查之照片？ 6. 第 78 頁 K-S 檢定未通過之 133 樣區，表示該樣區林木生長差異較大，應再詳細說明原因。 7. 預算的部分，裡面有提到聘請一位碩士生，但研究團隊名冊內有多位碩、博士生，建議名冊寫法應對應到預算表，以符合審計的規定。 許委員碧如 1. 本計畫既然已經有前期報告，是否可就現有的資料先進行分析，讓本處了解轄內應再進行疏伐之林班區域，以預先規劃作業。如可在計畫執行過程即可確定應需再進行疏伐的林分，或許可藉光達等先進的調查技術，減輕本處疏伐調查作業之人力負擔。 2. 過去舊有的樣區應持續監測，以蒐集、比較更多時間所造成的影響。 3. 第 66 頁動物監測內文提到的種類有大赤鼯鼠、鼯鼠等，但接續的表 13 哺乳類欄位卻未見到相關資料，有不一致的情形；另後續第 67 頁的文字也無法對應到表 13 的資料，請再確認。	圖說部分可能造成閱讀上誤解，已修正圖說。 6.K-S 適合度檢定可用來檢視林分資料是否符合 Weibull 機率密度函數所模擬的直徑分布，未通過適合度檢定表示林分直徑分布非常態分布，樣區林分胸徑生長差異大而呈不均質性，報告內文已遵照委員意見詳細說明。 7.遵照委員意見修正。 1.團隊將蒐集小關山區域的林班造林台帳資料，並進行整合分析後，提出需要第二輪疏伐區域之建議。 2.本計畫 30 個監測樣區中包含前期計畫 4 個樣區，未來報告將分析兩期計畫資料以比較疏伐後對林分之影響。 3.遵照委員意見，已交叉確認修正。
---	---

廖委員天賜(書面審查) 1. 當此期中報告為正式執行的第一期成果雖豐，但閱讀之後，感覺似乎少了應有計畫目標的內涵，因為：(1)試驗地背景未交代，如原林分建立之資訊、疏伐方法及強度；(2)疏伐作業後詳情及之後的變動資料；(3)目前林分現況、取樣標準及分布情形、永久樣區詳細調查資料。 2. 上述資訊未在報告中公開發告，只呈現生態調查結果，此結果對閱聽聞者而言，很像在看流水帳。 3. 林分材積生長資料，若以現在建立的永久樣區推算，如何和過去的調查相比較？未來引入地面光達技術又如何整合、比較評估？至少要先行交代，以為審查之要素，否則，未來有疑義時，恐怕亡羊補牢又要大費周章彌補缺憾。 4. 生態監測之樣區是否含蓋對照區？過去是否亦有相似的監測成果，供比對評估疏伐的成效？在本次期中成果亦應提出交代，否則，要如何讓人理解疏伐的效應？ 5. 建議團隊蒐集的資料要在報告中陳述，這亦是成果的一部分，報告才有整體性，審查方有意義。 作業課 1. 期初報告第四十五點提到將前期研究成果中，利用目測與非破壞性	1.試驗地之背景及疏伐方法、強度及疏伐後變動之敘述，將與作業課取得資料後補上；本計畫永久監測樣區之取樣標準，係依不同疏伐年度取 2-3 個不同坡度之 0.05 ha 之樣區，以分析不同疏伐年度對於林木生長之影響，及不同疏伐處理及坡度對土壤沖蝕之影響。 2.遵照委員意見修正。 3.本計畫所採用地面光達掃描技術於永久樣區調查，可獲取樣區精準之林木性態值以估算林分生長量，進而可與過去調查資料進行生長量之比較。而光達掃描資料可建立永久樣區之立木位置圖，未來更可精確比較單木連年生長量，以推估全林之蓄積生長。 4.本計畫生態監測之樣區包含對照區，對照區的資料將會納入討論。 5.遵照委員意見，團隊的蒐集資料會在報告內找適當的章節說明清楚。 1 前期計畫成果中，目視法與非破壞性立木檢測等方法間的結果討論以於
---	--

立木檢測等方法彼此間之相關性加以呈現，惟本次報告中似乎未見到。 2. 荖濃溪第 102 林班疏伐作業道的水土監測資料並未呈現，建議補上。 3. 第 5 頁之(2)碳吸存段落：「林木在未達狀齡期之前，…」，狀為錯字，請更正。 4. 表 8(第 60 頁)是以民國表示，圖 38(第 77 頁)則以西元表示，希望能統一，以便對照閱讀 5. 表 10、11(第 61、62 頁)，相關的指數代號(H'、E5)建議以備註說明其代表意義。 6. 表 10、11(第 61 頁)每監測樣區內有 4 個草本樣區，直接表列陳述似乎過於冗長，建議以用統計方式整理後再呈現，詳細調查數據則可列為附件。 7. 第 64 頁的文字敘述：「...表 11 顯示台灣杉樣區內以 241 及 242 樣區為最高...」是何種意義？另為何敘述方式特別取「歧異度最低、均勻度最高」？希望團隊可以初步探討影響歧異度差異產生的原因，因為看起來不僅是時間因素造成。 8. 第 65 頁地被覆蓋度監測結果，建議可嘗試用已覆蓋面積及土壤裸露面積表示，並應整理統計後，將調查成果呈現於內文中，因本項目是計畫重點監測項目之一。	p16.17 頁中呈現。 2.本次報告中尚未建立第 102 林班疏伐作業道之監測資料，將於第二年年期中報告中呈現。 3.遵照委員意見修正。 4.遵照委員意見，已將疏伐年度統一以西元年呈現。 5.遵照委員意見，已於報告內容中加以敘述生物多樣性指數(H'、E5)代表意義。 6.遵照委員意見修正。 7.前次期中報告以歧異度呈現地被調查之結果，與專家討論後此次報告中進行修正，以 Shannon-Winner diversity index 指數進行地被調查結果分析，其結果如 P60。 8.地被監測樣區調查時已物種覆蓋面積及土壤裸露面積之比例進行記錄，再加以計算相對覆蓋度進行分析，未來報告呈現會將原始數據加入討論土壤裸露情形。
---	--

9. 第 70 頁圖 36，希望可以直接標註時間，而非寫第 1 季或第 2 季。 10. 第 76 頁林木生長量與林分結構之監測段落的第 6 行：「...，但樣區的平均胸徑則相對較低，...」平均胸徑就圖面並未特別明顯偏低，建議可用文字直接敘述，如其他年度疏伐樣區之平均胸徑最低值為何、而該年度疏伐樣區之平均胸徑則為多少。 11. 第 77 頁圖 38 胸徑的監測結果與預期的趨勢似乎不太一樣，疏伐年度似乎不是造成影響的主要因子，是否以冠層開闊度或亮度加以分析？希望圖面可加上標準誤差。 12. 第 59 頁圖 33 的臺灣杉跟紅檜圖示的顏色可否互換？紅檜以紅色圖徵表示似乎較為直觀。 13. 研究團隊成員名單請再確認。	9.遵照委員意見修正，於每季調查資料附註上調查時間。 10.遵照委員意見修正，以文字輔助圖面資料敘述。 11.監測結果與預期趨勢之差異，經檢視調查分析資料，發現為分析資料之物質導致，已修正為正確結果。 12.遵照委員意見修正，已經紅檜圖示顏色更換為紅色、臺灣杉圖示更換為綠色，如圖 27。 13.遵照委員意見，已將研究團隊成員名單修正。
六龜工作站： 1. 小關山疏伐作業主要伐除對象是林分內的不良木，不良木的選取是否會與林分開闊度或疏伐強度會產生相關的連結。 2. 林務局近年來常被質疑疏伐作業造成的後續影響，因此希望在土壤沖刷等方面的說明，可以再多補充一些，以便未來對外說明。	1.下層疏伐作業伐除對象主要為林分中生長不良之立木，將其伐除後會增加林下之生長空間，而即使僅伐除林分內之不良木，隨著疏伐強度不同，所決定之疏伐株數亦有所影響。 2.本計畫將於第二年度期中報告呈現土壤沖蝕樣區監測分析結果。

附件四、第一次工作會議會議紀錄

「臺灣杉及紅檜人工林中後期撫育作業之綜合效益評估委託專業服務案」

第 1 次工作會議會議紀錄

- 一、 會議時間：107 年 10 月 16 日下午 2 時
- 二、 會議地點：屏東科技大學森林系館
- 三、 主持人：屏東林區管理處作業課張課長智強
- 四、 出席單位：如簽到表。
- 五、 事由：屏東科技大學執行本處「臺灣杉及紅檜人工林中後期撫育作業之綜合效益評估」委託研究計畫，因降雨導致美瓏山林道中斷，影響資料蒐集與分析，爰依契約規定申請召開工作會議研擬對策。
- 六、 執行單位簡報資料：略。
- 七、 決議：
 - (一)因高雄地區自 107 年 6 月至 9 月期間，有發生連續強降雨之情形，導致山區小關山林道中斷，導致屏東科技大學無法執行契約規定 107 年 7 月至 10 月之「紅外線自動照相機監測物種多樣性」、「地面光達監測地面沖蝕程度」與「地面光達技術監測不同徑級之單木連年生長量、疏伐後樹冠鬱閉程度」等項目，符合契約規定第十二條第(五)項第 13 點：「經機關認定確屬不可抗力」之規定，學校得以遲延履約。
 - (二)本案無法執行之項目為汛期之生物、環境資料，屬本委託研究計畫之重要監測項目，為使補調查之資料具足夠代表性，爰將未執行之項目，展延調整至 109 年 7 月至 11 月期間執行，並依契約第十四條規定辦理契約變更。
 - (三)另為避免未來調查作業再受汛期影響，請屏東科技大學未來排定調查時間後，請預先聯繫屏東林區管理處，使可進行道路搶通作業。
- 八、 散會：107 年 10 月 16 日下午 3 時。

簽到表

107 年 10 月 16 日

姓名	姓名	姓名	姓名
張常隆			
林亮勇			
林宗毅			
林國夏			
陳建祥			
張建華			
詹于晏			

勞務契約變更議定書

工作名稱：「臺灣杉及紅檜人工林中後期撫育作業之綜合效益評估」

契約案號：Po107CTR01

議定日期：107年11月 日

議定文號：

變更項目	單位	原契約/總價	經辦單位建議方式	核定施工方式	廠商施工方式	契約施工方式變更議定後結果	契約價金變更議定後總價	備註
			變更項目	變更項目	變更項目			
契約工項執行期程調整	元	新臺幣2,450,000元	因汛期強降雨導致林道中斷，執行單位無法執行107年7月至10月之「紅外線自動照相機監測物種多樣性」、「地面光達監測地面沖蝕程度」與「地面光達技術監測不同徑級之單木連年生長量、疏伐後樹冠鬱閉程度」等調查項目，故將前揭項目調整展延至109年7月至11月期間執行，並連動調整第三期教育訓練、第三期期中報告與期末報告等工期與價金給付條件(如附件1、2)。	同左			新臺幣2,450,000元(無變更)	
追(加)減工期	日	自106年9月2日至109年9月30日止	自106年9月2日至109年12月31日止	同左				

1.上列各項業經雙方同意議定,作為原契約之附件,得標廠商並同意按變更後工作內容履約。

2.本議定書須經雙方簽訂後生效,未議定事項悉依原契約規定辦理。

立協議書人：

機關：屏東林區管理處

處長 張偉顥

執行單位：國立屏東科技大學

負責人：戴昌賢

地址：屏東縣內埔鄉學府路1號

臺灣杉及紅檜人工林中後期撫育作業之綜合效益評估委託專業服務工作時程表(第1次契約變更)

[illegible]

附件五、第二次工作會議紀錄

林務局屏東林區管理處

「臺灣杉及紅檜人工林中後期撫育作業之綜合效益評估」委託專業服務

第二次工作會議會議紀錄

壹、會議時間：108 年 10 月 17 日(星期四)下午 2 時 00 分

貳、會議地點：國立屏東科技大學森林系館 RE202 會議室

參、出席單位：如簽到表。

肆、事由：國立屏東科技大學執行本處「臺灣杉及紅檜人工林中後期撫育作業之綜合效益評估」委託研究計劃，因受天候影響作業進度，爰依契約規定申請召開工作會議研擬對策

伍、執行單位簡報資料：略

陸、討論事項：

案由一、小關山林道因汛期造成路況不佳，影響調查進度。

說明：小關山林道因汛期，造成部分路段坍方，而後因修路工程，導致調查無法完成進而影響本計畫進度；經 10/15 去電檢查詢問路況表示目前已可通行，唯先前 7 月-9 月之調查資料恐空缺。

柒、決議：

一、+15K 斜坡路段請治山課協助整治，以減緩路段坡度；另林道因修路工程車經過，造成部分路面車溝過深處，亦請治山課一併整平。本處將派員與執行團隊於 108 年 11 月 8 日一同前往計畫樣區，以了解執行團隊作業遭遇之困境

二、+另為避免未來調查作業再受汛期及林道路況不佳影響，請執行團隊未來排定調查時間後，預先聯繫屏東林區管理處，俾利預先辦理道路搶通作業。

捌、散會：下午 3 時 00 分

臺灣杉及紅檜人工林中後期撫育作業之綜合效益評估

工作會議簽到表

壹、時間：2019.10.17(四) 14:00

貳、地點：國立屏東科技大學森林系 RE202 會議室

參、主持人：陳副教授建璋

紀錄：詹于萱

肆、出(列)席單位及人員：

單位	人員	簽名
屏東林區管理處 治山課技正	林秀勇	林秀勇
屏東林區管理處 作業課技士	林家駿	林家駿
國立屏東科技大學 森林系副教授	陳建璋	陳建璋
國立屏東科技大學 森林系助理教授	魏浚紘	魏浚紘
國立屏東科技大學 森林系研究助理	詹于萱	詹于萱
國立屏東科技大學 森林系博士生	張起華	張起華

附件六、第二次期中報告評審會議委員意見與書面答覆

邱委員志明	1.有關立木材質、健康度之檢測，是未來第三年的工作項目，報告內呈現的檢測表格，是引用目前樹醫師針對單木評估所使用的表格，樹幹裂開、葉色的評分方式大概都是用「0」或「1」來表示有無，但並無程度的差異，未來本團隊將再修正，給予更明確的定義，以供實際操作。 2.遵照委員意見，第三年度木材材質檢測成果，將會轉換成密度、音波、比重等容易讓人了解的方式呈現。 3.遵照委員意見，疏伐區域作業道示意圖已加入等高線圖層呈現，如 P57 之圖 29、圖 30。。 4.如委員意見，僅從本計畫中所設置的監測樣區，確實不可能計算出林分密度管理圖，惟本團隊規劃係想利用第四次森林資源調查的資料，一併與監測資料進行分析計算，嘗試建立林分密度管理圖，並於第三年度成果中呈現。 5.遵照委員意見，第三年度報告成果將參考委員建議進行分析。
顏委員添明	1.遵照委員意見，已於 P20 所列之第二年度工作項目中，加註其所對應之內容頁數。

(如從第幾頁至第幾頁...), 以便審查。 2. 第 3 頁有關疏伐的描述, 建議先論述定性, 再討論定量。 3. 內文中年度的表示方式, 將西元與民國並列, 建議擇一即可, 一般主要會以西元為主; 第 4 頁、第 26 頁學名重複出現; 第 58 頁, 稀子蕨 42% 少列了%; 第 89 頁, 林班前應加入「第」, 應修改為第 102 林班。 4. 表 1(第 14 頁)所列資料, 紅檜「預定 2015 疏伐」, 目前已 2019 年, 請查證是否已施行疏伐, 另株數 1008(496)括號數值的意義, 應稍作解釋。 5. 表 1 中疏伐年度迄調查年度應稍行整理, 以利瞭解疏伐後經過之年度。另表 1(第 14 頁)和第 68 頁表的關聯性, 應稍加說明。	2. 遵照委員意見, 已將 P3 疏伐作業敘述內容修正。 3. 遵照委員意見, 報告書中年度表示方式已統一以西元表示、林班號前加入「第」, 並將重複出現之學名、地被植物相對覆蓋率之單位進行修正。 4. 表 1 為前期(2014 年)計畫成果, 該監測區域已於 2015 年施行疏伐, 為清楚呈現前期成果, 已於 P14 表中將該疏伐年度修正為當時樣區設置之未疏伐; 而株數括號數值中意義, 為預計疏伐後留存株數。 5. 表 1 為前期計畫調查成果, 已於報告書中標示調查日期, 而第 68 頁之表為本期計畫調查成果, 因部分樣區有沿用, 故於沿用樣區編號後方進行標記。
廖委員天賜 1. 建議將本期工作內容、前期審查意見與回覆, 表列於報告書前面。 2. 前人研究引用資料及文獻請再檢查及修正, 如第 4 頁、第 93 頁。 3. 請註明疏伐樣區之基礎資料來源。另如地被樣區的選擇, 有些林地用方框法, 但遇到光禿的地表則用穿越線法, 惟兩者間應無法進行比較, 應該用一致性的取樣方式, 如遇到有無法分析的樣區, 再以統計方式說明清楚或排除, 否則數據被人質	1. 遵照委員意見, 於修正報告中調整內容順序。 2. 遵照委員意見重新檢視並修正。 3. 地被植物的取樣確實應保持一致, 惟本計畫中, 林地光禿的現象較少見, 故地被植物樣區的設置仍以方框法為主, 以期具有足夠代表性。

疑有選擇性。

4. 土壤沖蝕監測是否以單一光達測量？在樣區內有植被覆蓋如何解決解析度問題？

5. 疏伐對地被覆蓋度之影響，以時間序列而言，如何取得此動態資料？

6. 林木健康度監測中，以葉色判斷的項目，是否有考慮葉色因季節而改變的問題？

7. 是否要嚴謹界定撫育性疏伐及以林木更新為目的的上層疏伐？

林委員敏宜

1. 植物名錄：請說明引用出處或植物分類系統，例如「臺灣紅榨楓」為楓樹科或無患子科？第 146 頁有植物名錄屬性代碼，但附件五中，又有夾雜紅皮書標準，請統一。

2. 附件六、重要值指數：(1)單一樹種為何要計算重要值？(2)重要值指數，3 個相加除平均數，加總常非為 100%，是否要改用 300 進行計算。

3. 附件七：(1)無各表格欄位說明。(2)樣區植被資料加總非 100%之部分，應用「其他」代表加總，照片應補上

4.光達因為有解析度高、誤差小的特性，故在汛期前後，針對同一個點進行掃描，可以看出土壤被沖蝕的情形。而目前光達的穿透率已經可以穿透地被，所以可以在電腦上，排除掉地被的影響。

5.本計畫中試驗設計變因並非完全是依照學術試驗的方式所設計，而是依照管理處已完成的疏伐林地進行設置，故時間序列而言係以疏伐年度為主。

6.本計畫監測樹種為常綠喬木，故季節因素非葉色改變之考慮影響範圍。

7.本計畫的疏伐作業主要是希望讓留存木生存的更好，所以其目標是明確的撫育性質。

1.本計畫植物鑑別係以臺灣植物誌為參考，並參考特有生物中心發表之臺灣維管束植物紅皮書名錄進行分類，已於報告書中附上說明及引用。

2.重要值指數係以監測樣區為單位進行計算，故出現單一樹種有重要值。而為直觀呈現重要值指數，故採用平均數呈現，附件六中附上各樹種之相對密度、相對頻度及相對優勢度之資料。

3.遵照委員意見，以將附件七資料進行修正，如 P134-163。

說明。 4. 附件八：(1)生物多樣性分析 C1...C8 代號需註解。(2)數據值偏到另一行的原因目的為何？較難判讀 5. 附件十：單位及代號皆無註解，非良好呈現方式。 6. 附件十一：樣區立木位置圖，若要用黑白呈現，請用不同符號。 7. 圖 33(第 55 頁)，樣區少了 231 點(臺灣杉樣區)。 8. 教育訓練為顯示效益，必須提出成效評估方式。	4.遵照委員意見，代號已附上註解，數值偏右係為對其小數點位，已調整排版。 5.遵照委員意見，已修正附件呈現方式，如 P177-207。 6.修正報告將以彩頁呈現立木位置圖，如 P208-215。 7.已將樣區編號加上，如 P34 之圖 15。 8.教育訓練是以分組方式，進行外業與內業實習，因契約還有第三次教育訓練，會考慮以委員建議的方式，進行評估訓練的成效。
林委員弘基 1. 第 1 頁目錄漏「參、前期計畫重要成果」(第 13 頁)。 2. 第 59 頁，樣區分類以 8 年為界線分為三類，為何是以 8 年作區分？ 3. 第 60 頁，第二行哺乳類 3 字建議刪除，以呼應表 12。表 12 松「鴨」，錯字應改為「鴉」。 4. 第 65 頁，圖 36 說明 C3 樣區拍攝到山羌(公)(母)有誤，應為臺灣野山羊。 5. 第 68 頁，圖 38 紅檜不同疏伐年度，應調整順序為未疏伐、疏伐後 4 年、5 年、6 年、9 年、10 年；圖 39 臺灣杉不同疏伐年度，應調整順序為未疏伐、疏伐後 3 年、4 年、9 年、11 年。	1.遵照委員意見，已重新檢視目錄內容。 2.監測分析過程中，發現林地疏伐 8 年後，地被植物的多樣性會有下降的情形，因此才以 8 年當作界線分群。 3.已遵照委員意見進行修正，如 P39 及 P41。 4.圖片說明為誤植，已修正如 P44。 5.該圖內容橫軸呈現已修正為疏伐年度，如 P47 之圖 19 及 P48 之圖 20。

6. 第 76 頁，表 17，試驗設計請修正為相同坡度，紅檜未疏伐 103(1-3)，臺灣杉未疏伐 201(1-3)；不同坡度，台灣杉有疏伐 242(1-3)。 7. 第 82 頁表 20，有關 102 林班之沖刷量，有可能受到現有的造林整地因素而影響，非全部是雨水沖刷所導致。	6.已遵照委員建議修正，試驗設計內容修正如 P55 表 11 所示。 7.遵照委員意見，報告書中分析將此影響因素列入說明，如 P47。
作業課 1. 第 16 頁，有關立木健康度的調查，研究團隊已呈現相關非破壞性檢測方法之調查成果，惟本處目前無相關機器與技術，想了解非破壞性立木檢測方法與目測林木健康度方法兩者間之相關性是否足夠，未來在野外的選木，是否能依賴目視法進行判斷。 2. 第 59 頁，疏伐分類之群落以 8 年為界線，想請教團隊，依據為何？疏伐 8 年以上之造林地，地被多樣性降低，是否代表 8 年為地被多樣性降低的時間點？ 3. 第 61 頁，倒數第 11 行之敘述「第一年度資料分析結果可發現，疏伐區域的 H'指數多大於未疏伐區」，但紅檜未疏伐區 C2 之 H'值為 8 個樣點中的第 2 高，是否不應忽略這個數值；另同頁倒數第 5 行之文字「疏伐作業有無與動物多樣性高低無關」，此文字敘述似乎與倒數第 11	1.非破壞性立木檢測方法係檢測立木之木材材質，以補足目視法所無法檢測之林木內部材質之資料，前期計畫成果中目視法健康度較低之林木，使用非破壞性立木檢測方法所得結果亦為異常狀態，顯示兩者間具相關性。本計畫第三年度進行立木健康度調查，亦會將兩者資料進行相關性分析，以供未來執行單位使用目視法進行選木之參考。 2.監測分析過程中，發現林地疏伐 8 年後，地被植物的多樣性會有下降的情形，因此才以 8 年當作界線分群。 3.本段分析成果呈現，係表示疏伐樣區之多樣性大於未疏伐區，但經統計分析為無顯著差異，且有相關文獻佐證疏伐對於動物多樣性無顯著影響，與本計畫分析成果相符。

行文字敘述有所矛盾，建議再確認研究成果之論述。 4. 第 67 頁，第一段末文字提到「過去傳統上以直徑尺進行測計時，受限於位置及直徑尺之精度，往往會造成測計誤差過大」，傳統認知上，測計誤差多來自於樹高判斷，故想請教是否有相關直徑尺造成誤差的相關數據。 5. 第 68 頁，因受樣區最初之胸徑及蓄積量影響，因此從現有樣區的胸徑及蓄積量值，似乎並無法顯示疏伐作業產生之影響(圖 38)，建議嘗試以胸徑生長量、蓄積量生長量進行分析。 6. 第 79 頁，表 17 上半部變因應為疏伐作業之施行，但 201 樣區之坡度為 15-20 度，265 之坡度尚有 25-30 度，兩者間應仍有受到坡度的影響；表下半部變因應為坡度，但 232 與 265 樣區之坡度差異較大，是否應比較此兩樣區之結果，而非比較 232 與 242。 7. 第 77 頁，表 18 洪峰量數據的代表意義為何？應於文字多敘述，以便了解其與土方沖蝕量之連結。另是否可以嘗試將疏伐作業與土壤沖蝕量進行相關性分析，以了解疏伐作業的影響。 8. 建議圖表的資訊盡量完整呈現，以	4.本段文字係想表達立木胸徑的誤差，主要來自人為量測胸徑位置的不同而產生，利用光達掃描資料，在電腦上進行分析，則可消除這樣的誤差，已於 P46 修正敘述方式。 5.遵照委員之意見，第三年度成果之分析將參考委員建議之方式呈現計畫成果。 6.表 17 因為有考慮到樹種的因素，因此最後才把 242 與 232 樣區配對進行分析，但看起來確實不太合理，因此第三年度會再考慮是否有其他資料可加入分析，或排除這項資料。 7.由於本計畫係第一次利用光達進行林道土壤沖蝕量的監測，因此與本校李錦育老師討論後，最後決定以洪峰量與光達掃描資料來表示林道沖蝕的情況。洪峰量為水土保持技術規範中逕流量合理化公式所得，其估計之值本計畫用以比較土壤沖蝕量與洪峰量之相關性，分析成果如 P57 所示。 8.遵照委員意見，以重新檢視本次報告
--	--

便各圖、表可獨立進行判讀。 9. 建議團隊在分析成果的呈現上，可直接於圖表內顯示變因(如葉面積、或光量)的程度，而不是樣區的編號，可能會比較直觀。 10.林道的名稱，就以目前官方公布的名稱，統一為「美瓏山林道」。 六龜工作站 1. 有關作業道的監測，請說明 A1、A2、A3 的路段位於哪個區域。 2. 計畫中林道的名稱，一般口語是說「小關山林道」，但法定名稱是「美瓏山林道」，是否應統一。	書中圖表的資訊並進行調整。 9.本計畫中，樣區的變因並非完全是依照學術試驗的方式所設計，而是依照管理處已完成的疏伐林地進行設置，所以監測數據的分析與呈現較不容易讓人理解，本團隊會更細膩地去說明、描述這些監測的成果，以便讓人更容易理解。 10.已將報告中名稱統一修正為美瓏山林道。 1.作業道監測長度接為 600 m，因光達收集資料於內業分析時資料量龐大，為方便處理故將作業道資料分段，已於報告中標示分段位置，如 P57 所示。 2. 已將報告中名稱統一修正為美瓏山林道。
---	--

附件七、第三次期中報告評審會議委員意見與書面答覆

邱委員志明： 1. 第 36 頁，全林分材積模式，是由團隊自創或引用，若為引用請註明引用文獻。 2. 林分碳吸存分析(式 28)，是單株林木碳貯存量或每公頃碳貯存量？ 3. 重要度指數(IVI)是以相對密度、相對頻度、相對面積進行分析，但附錄各樣區之 IVI 卻為相對優勢度，請確認。 4. 第 49 頁，永久樣區葉面積指數(LAI)值變化，建議表述方法，以疏伐前後經過年度表示應更具焦，表 15(第 60 頁)亦同。 5. 第 65 頁，第 98 及 102 林班沖蝕量之分析，要和疏伐之有無及年度進行分析較有意義。	1.全林分材積模式係參考李久先、陳朝圳(1990)Weibull 機率密度函數應用於人工林疏伐作業之研究中之研究成果，已於報告中註明參考文獻，詳見 P34。 2.本計畫林分碳吸存分析係以每公頃碳貯存量作為計量單位。 3.謝謝委員意見，附件所寫之相對優勢度係為誤植，已參照委員意見進行修正，詳見附件九、樣區重要度指數。 4.謝謝委員意見，已參照委員意見，將永久樣區葉面積指數以及計畫樣區土壤沖蝕量(原第三次期中報告表 15)以未疏伐、疏伐後五年及疏伐後十年作為分類進行討論，詳見 P47、P56-57。 5.計畫中第 98 及 102 林班沖蝕量之分析係為針對疏伐作業使用之作業道進行分析，故無法進行疏伐有無之分析，而位於第 98 林班之作業道係位於 2015 年疏伐區域(距今為疏伐後 5 年)；第 102 林班位於 2016 年疏伐區域(距今為疏伐後 4 年)，疏伐時間前後僅差一年，然第 98 林班疏伐區域疏伐方式屬下層疏伐，材積疏伐率 10.76%；第 102 林班疏伐區域疏伐方式以上下層疏伐並行進行，材積疏伐率 46.44%，兩條作業道於疏伐方式與疏伐率上有較明顯之差異，故計畫團隊將分析結果與此一同進行討論，詳見 P61-62。
--	--

6. 第 70、71 頁，表 20、21，直徑級林分表，每公頃株數，不應有小數。 7. 第 82 頁，表 28，紅檜及臺灣杉林分密度管理圖分析表和實際有出入，如平均胸徑和平均樹高差異頗大。 8. 第 29 頁，DMP 鑽孔非破壞檢測健康度，木構件應修正為立木樹幹，成果應有實際值而非僅統計表。 9. 多樣性分析(表 32)，分為疏伐 8 年以上、以下進行分析，建議以實際疏伐年度如表 37，以疏伐度 5 年、10 年進行分析。 10. 疏伐經費(表 23)，建議不要以發包總經費呈現，建議以每立方公尺生產經費表示。 11. 目視評估、視覺判定名詞混用，應統一，是否使用視覺判定之一部份目視評估？ 12. 林分密度管理圖所引用之參數，式 23 之 RS 參數，在式 24 至式 27 中，卻無此參數之應用，請再確認相關公式之參數是否正確。	6. 參照委員意見已進行修正，詳見 P81-82。 7. 參照委員意見，已重新檢視計畫團隊分析紅檜及臺灣杉林分密度管理圖之基礎資料，將兩樹種之林分密度管理圖重新繪製，並於該章節說明如何應用該林分密度管理圖。 8. 參照委員意見，已將報告中木構件一詞修正為立木樹幹，並現場調查結果作為範例說明 DMP 鑽孔非破壞性檢測健康度分析之實際值，詳見 P65-66。 9. 參照委員意見修正，已將地被植物多樣性分析以未疏伐、疏伐後五年及疏伐後十年進行分析，詳見 P91。 10. 參照委員意見，將疏伐做頁林務單位人力配置及預估費用以平均每公頃所花費人力及每立方公尺生產經費進行表示。 11. 謝謝委員意見，報告中所使用的是視覺判定中的目視評估法，以於報告中進行統一修正。 12. 參照委員意見，已重新檢視報告中各相關公式之參數之使用，並將無使用之參數予以修正。
廖委員天賜： 1. 報告內容符合執行項目。 2. 樣區疏伐背景資料請再簡明敘述。	1. 謝謝委員的肯定。 2. 參照委員意見，已於 P44 中針對樣區疏伐背景資料進行敘述，並於 P45 表 6 及表 7 說明各樣區之疏伐率。

3. 樣區之疏伐屬性與林分變異間的相關性，仍須釐清。	3. 謝謝委員意見，本次計畫執行範圍之疏伐作業模式分為擇伐與下層疏伐兩類，株數疏伐率為 33% 或近 30%，唯各林分間明顯差異係為疏伐年度之不同，故計畫團隊已疏伐年度之不同進行分析研究。
4. 植被樣區設置說明，請再核對統一。	4. 參照委員意見，已於報告 P21 針對植被樣區設置進行統一說明。
5. 作業道沖蝕監測，作業道是臨時作業道，亦或是林道？	5. 計畫團隊所進行之作業道沖蝕監測，係針對疏伐作業進行時所使用之臨時作業道，而非原有之林道。
6. 林木健康檢測，其意義何在？若屬作業時之人為傷害，則應以目測為主，並須有傷害程度或復原之紀錄	6. 林木健康檢測係為監測疏伐作業之有無對於林木健康度之影響，相關分析成果如 P74-78 所示。另因疏伐作業進行時誤傷可能部分留存木，故本次目視評估針對主幹裂開之部分給予分級，如主幹因人為因素裂開則該項因子評分給予 0 分，然計畫團隊係於疏伐五年後進行林木健康度監測，而非於疏伐後當年進行監測，故無進行傷害程度或復原紀錄之分析。
7. 建議不同疏伐處理，用生長錐探討比較其年輪變化與生長變化。	7. 謝謝委員意見，生長錐確實可以精確分析林木各年度之生長量，但因計畫最初設計是希望以光達來蒐集數據，故未將生長錐納入調查之考量。
8. 成本分析是機關的管理成本或作業成本？由機關提供之費用，分析時建議先予判定釐清其支出成本為何？	8. 謝謝委員意見，原期中報告中乃參考屏東林區管理處所提供之 106-109 年度疏伐預定案資料進行成本分析，其表中所列成本皆為林務單位所需花費

顏委員添明： 1. 計畫目標應列出報告屬三年計畫中之第幾年及審查標準。 2. 部分學名或圖表有重複，內文請再行檢核，如圖 3 與圖 26，以及部分學名。另第 14 頁，林份應為「林分」；第 9 頁，最後一段末文字...「則供為」，不太通順，建議改為「可供為」。 3. 第 29~30 頁，圖 17~19，如為引用，應加入引用文獻。 4. 第 36 頁，式 17 和式 18 是否有關連性，和第 72 頁的相關性？ 5. 第 49 頁，LAI 於 2019 年明顯下降的原因？如果僅是現象，可以文字	之作業成本。本次期末報告中除上述資料外，亦參考多位前人研究成果進行整理，說明於疏伐作業伐木造材、集材及裝車運材等作業所需花費之工時成本，以供管理單位做為參考使用，詳見 P85-88。 1.參照委員意見，於本次期末報告中將各年度審查標準列出，詳見報告 P13-14。 2.參照委員意見，已重新檢視本次期末報告內容，並依照委員意見進行修正。 3.圖 17-19 係為該儀器說明書中所提供之儀器說明圖片，已於報告中說明資料來源。 4.原第 36 頁所列之式 17 與式 18 係原計畫所設計計算全林分模式之模型，然執行計畫後所蒐集之資料並無法以此模型完成全林分模式之計算，故最後採用李久先、陳朝圳(1990)Weibull 機率密度函數應用於人工林疏伐作業之研究中之研究成果進行全林分模式之估算，本次期末報告已將計畫執行方法中全林分模式計算公式進行更換並加上參考文獻，詳見 P34。 5.2019 年度 LAI 值下降原因，團隊推測係因 2019 年團隊蒐集資料之天氣並
---	---

說明即可。 6. 樹高曲線式或材積式的適用範圍，如林齡或 DBH 之範圍。 7. 第 70 頁，林分結構建議採長條圖，另圖之標題採直徑分布較適宜。表 20、21 中之胸高斷面積單位應為 m^2/ha。 8. 請檢核報告第 73 頁，全林分模式之 a、b、c 所代表的意義。 9. 第 78 頁，請說明相關性相關分析的意義。 10. 第 83 頁，圖 50 在文字上可稍再做解釋；第 85 頁，表 30 亦同。另第 84 頁林分密度管理圖要如何應用，可稍再著墨。第 86 頁，林班前要加上「第」。 林委員敏宜 1. 本年度計畫目標太簡略及語意不清	非晴天，使得全天光度值較低，以致於與林下光度差異較小，間接影響其 LAI 值計算結果，文字說明的部分已於本次期末報告中敘述，詳見 P47。 6. 參照委員意見，已於該章節中補述樹高曲線式及立木材積式所適用之林齡及胸徑範圍，詳見 P77、P80。 7. 參照委員意見，已於本次期末報告中修正，詳見 P81-82。 8. 本計畫所使用之全林分模式係使用 Weibull 機率密度函數之參數進行推估，故全林分模式之 a、b、c 三者所代表係為林分進行 Weibull 機率密度函數模擬後之三參數。 9. 第 78 頁三種不同非破壞性檢測林木調查方式之相關性矩陣係為表示目視評估法、敲擊式林木內部檢測及數位探針式木材強度檢測三者於健康度調查中之相關性，以探討未來健康度調查中可以如何搭配使用，分析結果與建議詳見 P67 中內文之敘述。 10. 參照委員意見，已於本次期末報告中進行修正，詳見 P69-74、89。
1. 本年度計畫目標太簡略及語意不清	1. 謝謝委員意見，年度計畫目標及重要

(第 2 頁)，重要工作項目及方法也有相同錯誤(第 13 頁)，請修正。 2. 敲擊式林木內部檢測如何實施？以圖 19 是否只有一次橫向徑面敲擊，若腐朽在較淺層如何判定？ 3. 圖 28，圖點有問題，如 233 樣區有 2 點，但 222、262 只有 1 點。 4. 監測第二年 LAI 值普遍下降(第 48 頁)，在第 49 頁說明有氣象因子之影響，LAI 值用虛無假設說明不同年度疏伐對 LAI 無顯著差異，請問是否有理論依據，可用虛無假設推論？ 5. 林木性態值之萃取，萃取式利用溶劑將物質分離或精製，不能用在此報告中。 6. 目視評估法分數不夠客觀(第 76 頁)，可能是部分林木有人為損傷，請說明數量多少、位置及傷害大小？ 7. 第 86 頁，木本及草本植物監測語意不清，土肉桂列為瀕危，還是近危，	工作項目係依照契約書上所訂定之內容撰寫，團隊將依委員意見將內容再詳述。 2.敲擊式林木內部檢測實施方式如圖敲擊方式進行，但計畫團隊係於樹高 1.3 m 處敲擊三次進行紀錄，而該儀器僅能記錄木材內部腐朽程度，並無法呈現內部腐朽之分布。 3.樣區位置分布圖中樣區編號係使用 ArcGIS 製圖呈現，為將所有樣區呈現於圖中致部分點位可能過於接近而互相遮蔽，亦或是樣區編號沒有顯示出來，已參照委員意見進行修正。 4.虛無假設之設定係因本計畫團隊統計方式採用單因子變異數分析結果探討各疏伐年度之 LAI 平均值有無顯著差異，進而判斷疏伐作業對於樹冠鬱閉度是否有影響。 5.謝謝委員意見，已將報告中不適用之文字進行修正。 6.林木外部之人為損傷係因疏伐作業過程誤傷所造成，而目視評估法中所判定之人為損傷即為觀察主幹外部是否有非天然因素所造成之裂開，位置與傷害大小並非本計畫評估分數之考量，數量方面樣區 241 有 58%之樣木受到人為損傷，樣區 232 有 70%樣木受到人為損傷。 7.謝謝委員意見，計畫團隊原使用之紅皮書係為 2017 年所出版之資料，參照
--	---

無法理解？但正確危險等級應是易危。紅皮書在 2019 年 1 月已有新版本，請再確認資料。 8. 圖表說明須再重新修正，如第 81 頁應是不同疏伐年度，人工林林木材積生長率。 9. 因為經費，動物調查一年一次，請說明 3 個年度之調查過程，例如紅外線自動照相機如何架設與架設時間、如何蒐集資料監測結果，還有穿越線調查季節、日期，也需詳述，較易預判結果及論述。	委員意見已於報告中使用 2019 年新出本之資料進行檢視。 8. 謝謝委員意見，已於本次期末報告中修正，詳見 P70。 9. 動物調查部分於每年 6 月進行動物調查，包含各樣區之穿越線調查，以及於 18K-25K 林道進行沿線調查記錄以製作計畫區動物名錄，如遇汛期至道路崩塌無法進入計畫區時，則待道路修繕完畢後方能進入調查。紅外線自動照相機之架設時間於 2017 年 9 月計畫開始執行時架設，於 8 個永久監測樣區 100 m 範圍內架設紅外線自動照相機，進行連續性拍攝，每季至少有 30 天以上之記錄(詳見 P22-23 表 1)，原訂收集資料頻度為 3 個月 1 次，但有幾次調查時間受到天災等外力因素影響，致林道無法通行與蒐集資料，因此於計畫執行進度之甘特圖中，有註明受到影響之時間。
林委員湘玲： 1. 計畫目的在於對外界說明疏伐效益，相關的數據分析目前分散於各章節中，希望能在報告中能做綜整性的摘要。 2. 第 73 頁，目前的疏伐較偏向於經濟性疏伐，因此作業的淨現值獲益應該是要高於成本，但在本章節中並未分析現有的作業模式是否有達成	1. 謝謝委員意見，本次期末報告中已進行綜整性摘要。 2. 疏伐作業規畫與工時成本分析章節係參考屏東林區管理處所提供之資料以及參考多位前人研究成果進行整理呈現，因此部分內容呈現結果有限，計

經濟疏伐之目標。

3. 報告中第 74 頁有提到以屏東林區管理處題提供的資料，進行不同中後期撫育作業內容之成本分析，然而文章中並未出現相關的分析或表格之敘述。如不同中後期撫育作業的為何？另疏伐作業程序之規劃，從選木、伐採、集運過程之規劃，在文章中並無明確的說明，建議加以補足。
4. 第 79 頁，連年生長量的分析，係以光達在固定時間取得的調查數據加以計算而得，未來計畫結束後，管理處是否有技術可以持續進行分析，請團隊提供建議供管理處作為參考。
5. 報告第 97 頁與第 72 頁之公式所推估之林分蓄積量，兩者應於報告中進行比較分析，以了解空中材積式之推估能力。

張委員智強：

1. 試驗區及作業道之土壤沖蝕監測，結果顯示在坡度相似的情況下，並沒有足夠的證據可以顯示有無進行疏伐對於土壤有顯著差異(第 59

畫團隊僅能依現有資料進行分析敘述。

3. 參照委員意見，已將相關資料補進該章節中，該章節係參考屏東林區管理處資料以及多位前人相關研究整理呈現，詳見 P85-88。

4. 光達調查及分析技術，因為設備以及技術成本要求較高，關理處現階段應尚無法應用。

5. 空中材積式跟地面調查成果兩者間之相關性是可以計算的，依照計畫執行團隊在枋山溪林地調查相思樹人工林的經驗，兩者之調查成果相符，故可以用空中材積式來推估林分蓄積量。報告中提出的空中材積式，也是希望未來可幫助管理處，以較低成本的方式，推估出林分的蓄積。

1. 謝謝委員意見，計畫分析成果洪峰量與土壤沖蝕量之相關性分析比較已試加入樣區氣候資料分析之成果，詳見 P57 土壤沖蝕與洪峰量分析成果。

頁)，建議納入樣區氣象資料加以分析。

2. 報告中顯示不論有無疏伐，其胸徑及材積連年生長量變化圖皆呈下降，推測可能疏伐強度不足，林木生長無法提升，且本計畫監測時間不足亦是原因之一(第 79 頁)，如併前期計畫資料進行分析，是否得到相同結果？
3. 林分碳儲存量分析，實際調查資料之計算方式建議於報告中呈現。
4. 林道與作業道之定義不同，在報告中文字應作區分。

翁委員儷忖：

1. 各委員所提之審查意見，請執行團隊務必納入期末報告中做修正。
2. 外界對於疏伐作業對環境所產生的影響，目前看法上仍未有共識，本計畫目的在於透過執行團隊的研究成果，協助機關進行作業機制的推進，與對外界社會民眾疑慮的說明，因此在期末報告的內容上，希望團隊不僅是呈現最後一期調查成果，也要清楚地把過去 2 年、前期研究室調查成果與前人文獻研究成果，整合進行比較討論。
3. 建議可在報告中增加一個專章，列舉社會民眾對於疏伐作業的疑慮，並做簡單的回應，讓行政單位可有

2.參照委員意見，因不可抗力因素影響，前期調查樣區僅有部分樣區於本次計畫中得以延用，因此前期資料僅有部分資料能延用，而可延用部分已加入本次分析成果。

3.謝謝委員意見，已於本次期末報告中呈現，詳見 P38 林分碳吸存分析。

4.謝謝委員意見，本計畫所監測之作業道為過去疏伐作業所使用之臨時作業道，已於本次報告成果中加以說明。

1.謝謝委員意見，計畫團隊於本次期末報告以參照各位委員意見進行修正。

2.謝謝委員意見，計畫團隊第三期期中報告其實已將過去兩年所蒐集之資料以及前期研究資料整合分析呈現，然文字敘述上恐不夠清楚，故使各位委員於閱讀上有理解上之疑慮，計畫團隊以參照各位委員意見予以修正。

3.參照委員意見，於本期期末報告增加一章節(十一、疏伐作業問與答)列舉社會大眾對於疏伐作業可能存在之疑

專業的學術理論依據來對外說明。 作業課： 1. 第 44 頁，第 2 段第 1 行文字末所述圖 32 與下方圖片之標題編號不同，請更正。 2. 第 48 頁，圖 29 在文字中並無相對應的說明，是否要補加註，或是將圖片移除？ 3. 第 49 頁，單因子變異數分析已顯示不同疏伐年度之 LAI 並無差異，是否還需要進一步進行 Tukey 檢驗？ 4. 第 51 頁，文字前半段是生物多樣性之說明解釋，與 LAI 似乎無直接關係，建議增加說明解釋與試驗結果之關聯性。下半段文字(本計畫於疏伐過後幾年...)，先說明資料無法完成呈現疏伐前後冠層動態，然而後方的文字卻又在說明冠層作業後可能之動態，建議僅就客觀事實進行敘述。 5. 第 55 頁表 14，201、265 之坡度並不相同，坡度差異甚至比 232、242 之組別還大，故 201、265 組別之土壤沖蝕變因可能同時包含坡度與疏伐作業，請確認該試驗設計之敘述是否誤植。另樹種是否為影響土壤沖蝕度之變因，為何需區分樹種分析？ 6. 第 59 頁，倒數第 3 行，242 與 232	慮，並給予簡單回應，期望未來能提供行政單位作為對外說明之依據。 1.參照委員意見修正，詳見 P42。 2.參照委員意見修正，已於內文中加註說明，詳見 P46。 3.單因子變異數分析已顯示不同疏伐年度之 LAI 並無顯著差異，故不須進一步進行 Tukey 檢驗，已將相關表格移除。 4.謝謝委員意見，以參照委員意見修正，就客觀事實進行敘述，並輔以相關文獻研究成果加以說明。 5.參照委員意見，已重新檢視試驗設計並進行統計分析，詳見 P56 分析成果。 6.疏伐作業剛結束時，因林冠開闊且林
--	---

樣區之比較， $P=0.062$ 已接近顯著差異，是否有疏伐作業的情況下，坡度仍可能會是造成土壤沖蝕的原因。

7. 第 60 頁，文字第 4 行， P 值應該是表示顯著差異與否，而非相關性，但文字中僅呈現 P 值來表示土方沖蝕量與洪峰量無明顯相關，建議要再補充相關性分析之資料；又以 P 值而言，土方沖蝕量應該是會依洪峰量而有顯著差異的，請再確認。

8. 第 66 頁，表 18 建議要標註 D (胸徑)與 H (樹高)分別代表的意義與單位，另建議可增列一張表，簡易列出臺灣杉、紅檜較常出現之胸徑(如 10~30 公分)與樹高的對照表。

9. 第 74 頁，表 22 之人力成本僅為本處之調查、監工成本，非完全作業成本，另建議成本計算應以單位面積做比較，而非總價格。

10. 第 75 頁，表 23 規劃之預訂表為 106 年所制定，但目前本處並未完全依該表實施作業，建議應就目前之調查成果，如依照林分密度管理圖，分析本處未來應進行疏伐作業之面積與數量，並計算所需之成本。

地受到擾動，確有可能對土壤沖蝕造成影響，不同坡度之林地土壤沖蝕變化亦會有所差異，而在疏伐後幾年林下地被植物恢復後地表受到覆蓋，於降水時對於土壤沖蝕影響便不顯著。計畫團隊所監測之土壤沖蝕樣區地表上方皆有植被覆蓋，故即使在不同坡度下有疏伐作業之林地土壤沖蝕亦不明顯。

7. 參照委員意見，於土壤沖蝕之相關分析以重新檢視確認修正，詳見 P56-57。

8. 參照委員意見修正，將各代碼分別代表意義及單位標註，詳見 P77。

9. 謝謝委員意見，已以文獻回顧整理方式將伐木造材、集材、裝車運材等工時成本列於該章節之中，另成本計算亦遵照委員意見以單位面積及每立方公尺呈現。

10. 疏伐作業規畫及工時成本分析章節除參照屏東林區管理處所提供之資料外，計畫團隊亦整理相關文獻研究成果呈現，進行伐木造材、集材、裝車運材等疏伐作業過程進行工時成本之整理呈現。

11.第 78 頁，表 27 的結果是否代表目視在實際林地的應用上還是有一定的難度。 12.第 84 頁，依圖 51、圖 52，是否可連結說明小關山人工林目前的狀態，以及該進行何種措施？ 13.第 85 頁，因作業皆有疏伐率，建議應利用疏伐率推估伐採搬出之碳量，併於疏伐區域計算，以確認實際碳存量。 14.第 92 頁，建議重新擬定統計分析之表格，以便於閱讀。可以在類似表 38 的調查數值上，加上星號，代表有顯著差異即可，相關統計表格可列於附件。	11.三種不同非破壞性檢測林木健康調查方式之相關性矩陣成果顯示目視評估法因僅從林木外觀進行健康度之評估，部分內部有腐朽狀況之林木無法從外觀得知林木內部狀況，故未來建議管理單位進行健康度評估時，除利用目視評估法進行森林健康調查，亦可搭配非破壞性儀器進行林木內部之檢測。 12.參照委員意見，以於 P74 中進行相關說明。 13.謝謝委員意見，於本次期末報告中已推估伐採所搬出之碳量併入疏伐區域之計算，詳見 P76。 14.謝謝委員意見，參照委員意見進行修正，詳見 P95-97。
六龜工作站： 1. 請於報告中說明樹高曲線式與立木材積式適用範圍及使用限制。	1.參照委員意見，已於 P77、P80 中附上樹高曲線式及立木材積式適用胸徑範圍及林齡作為參考使用。

附件八、期末報告評審會議委員意見與書面答覆

邱委員志明 1. 建議將報告中內文圖放大，因圖中說明字體太小，閱讀困難，如圖 2、16、31、34、44 等。 2. 第 28 頁圖 18，橫坐標及縱座標，請補上說明。 3. 林分密度管理圖之建立有地區性，有無紅檜或臺灣杉最大密度曲線或自我疏伐曲線，此為管理圖之基本。第 71 頁，表 21，初步分析和實際值差異頗大，可再進行討論說明。 4. 第 45 頁，地面覆蓋度和每公頃材積、葉面積指數關係為何？表 6 中數值有些矛盾，請確認或說明。 5. 第 50 頁，表 9，weibull 函數 a 值為位置參數，疏伐後或疏伐時間愈長，理論值應變大，若變小可能實際矛盾，故求解 3 參數時必須注意。 6. 第 49 頁，weibull 函數 b 值為尺度參數，b 值越大，尺度越大，應表示為變異越大或越扁平，而報告中之	1.遵照委員意見，已檢視並調整報告內文圖片大小比例。 2.遵照委員意見修正，詳見本期修正報告 P29。 3.遵照委員意見，已於內文中針對初步分析及實際值差異之原因進行討論，詳見本期報告 P75。 4.經本計畫分析成果，葉面積指數越高代表樹冠鬱閉度越高，而當樹冠開闊鬱閉度較低時，光照易進入林下至地被植群生長，地被多樣性與 LAI 有其相關性，因疏伐後林分孔隙較高，故地被多樣性增加，五年過後則因孔隙減少，導致地被多樣性降低，數值上有矛盾及疑慮之處，已重新確認如 P46 表 6、7。 5.本計畫研究成果，疏伐後 a 值數值較未疏伐小，係因計畫分析研究係以樣區平均進行分析，且對照組與實驗組係為未疏伐樣區與不同疏伐年度樣區，並非過去學術研究所設置之對照組為未疏伐樣區與各種不同疏伐度之樣區，故分析上之成果與過去研究會有所差異。 6.遵照委員意見，已於本期報告 P50 進行修正。
--	--

表示方法為直徑越大，有語病。 7. 第 64 頁，表 17，不同樹種，目視評估應分開統計分析。 8. 以敲擊 DFr 值表示木材強度不常用，建議換算為動彈性係數，較容易被接受(一般木材利用或機械強度，易受 DBH 或幹形影響)。 9. 第 78 頁，立木材積式之真值，應以點雲資料、Huber 區分求積法求得之材積為真值，不應以 1973 年之材積式為真值。 10. 生產成本分析，可否以小關山歷年疏伐發包經費估算每立方公尺生產成本，包含調查、伐造集運、驗收等。 11. 第 69 頁，圖 47，每公頃林木生長量之數據偏低，請確認是否為單木之生長量。	7. 過去團隊曾嘗試以不同樹種進行統計分析，然因樣本數不足，故將紅檜及臺灣杉兩樹種之目視評估結果一同進行統計分析。 8. 遵照委員意見，已於報告內文中說明 DFr 值換算為動彈性係數之方式，詳如 P66。 9. 遵照委員意見，已將本次計畫立木材積式之真值以點雲資料區分求積法所求得之值為真值，並以均方根誤差(RMSE)進行模式推估之準確性評估，詳細分析成果如 P79-81 所示。 10. 成本分析方面，因為林管處提供的標案資料，較難獨立計算出單一樹種之作業成本，故才以文獻資料分析的方式，將作業成本供林管處作參考。 11. 圖 46、47 係為單木之連年生長量，已參照委員意見進行修正。
顏委員添明 1. 本計畫歷經三年的努力，對於展現臺灣杉及紅檜人工林中後期撫育不同層面的效益，可做為人工林經營的參考，本人對於本計畫的成果表示肯定。 2. 報告中年度把西元與民國並列，應統一其中一種即可。	1. 謝謝委員的肯定。 2. 報告中年份將西元與民國並列，是因為擔心會與報告中樣區的編號數字作混淆，本次修正報告已統一改以西元作表示。

3. 本計畫所附之學名多有重複，建議全文能再予以檢核，如第 4 頁的柳杉、紅檜...等。 4. 第 6 頁的圖 2，標題可以再詳細些，如 weibull 函數 3 參數不同值域的變化。另對於 a 參數的解釋一般疏伐後小徑木被移除，所以 a 參數在疏伐後會增加。而隨時間的增加，不論疏伐與否，a 參數均會增加。 5. 第 64 頁，擬說建議可以「H0 兩種方式所得之平均值無顯著差異」文字作簡要敘述。 6. 第 77 頁，表 25 之標準誤差應不會有負值，請檢核數據，另較優之樹高曲線式應採用 RMSE 或 R 作判斷，第 77 頁材積式建立的真值，不宜採用葉楷勳(1973)進行計算，應探討理論值與觀測值的差異量即可。 7. 疏伐對生長量的影響如不顯著，可嘗試改分析生長速率，如仍不顯著，或許代表生長已過遲；另如以林分層級進行分析，不易看出疏伐的效益，也可嘗試以單木層級作分析。 8. 第 75 頁，表 23 碳貯存量不應加總，分別表示或改以平均值表示或許較為合理。	3.謝謝委員意見，學名會在第一次出現的時候撰寫，後面就不再重複撰寫。 4.遵照委員意見，已於報告內文中新增說明，詳見本期報告 P6。 5.謝謝委員意見，已於本期報告內文新增說明如 P64。 6.參照委員意見已進行修正，詳見本期報告 P78。 7.本次計畫針對為未疏伐及不同疏伐年度之林分進行生長量與生長率之研究分析，於紅檜人工林分析成果顯示疏伐是有助於整體林分內林木生長，而在臺灣杉人工林單木確有隨著時間生長，惟生長幅度較未疏伐林分小，故進一步探討原因可能係為疏伐強度不足，詳見本期報告 P69-71。 8.遵照委員意見修正，詳見本期報告 P76。
---	--

林委員敏宜

1. 摘要需再修正，例如「測計儀器本身...準確度有限」，是否對過往調查產生質疑；「本計畫採用高科技儀器」，應將儀器名稱寫出，關鍵字所列之光達掃描系統，在內文中並未書寫。
2. 第 44 頁，監測樣區，231 點未標示。
3. 林木健康度檢測，敲擊式及數位探針在第 67 頁統計顯示兩方法呈高度相關性，但在腐朽率 41~50%、及 50%以上之腐朽率差距大，請問樣木各為多少株？另敲擊式腐朽率超過 41%以上之林木，後續建議該如何處理？
4. 第 72 頁，林分密度管理圖中，用語請修正。例如「林分高越高」、「林分蓄積受林分高之增加成正比」，請修正為林分高度。
5. 臺灣杉在疏伐效應不顯著，除了疏伐強度，是否與土壤因子相關(文中敘述臺灣杉生長在陡峭處)，樣區無土壤資料，故無法判定是否只有疏伐單一因子影響。
6. 表 35，多樣性指標，需再說明清楚。例如 C1、C2...C8 分別代表是何種樹種？未疏伐 C2 及 C6 之結果完

1. 遵照委員意見修正，詳見本期報告摘要內容所示。
2. 遵照委員意見已進行修正，詳見本期報告 P45 圖 27。
3. 部分樣區樣木株數腐朽率有所差異，其原因來自於使用敲擊式林木內部檢測儀器進行樣木檢測，樣木胸徑小於 20 cm 時，收集敲擊因容易受到周遭回音影響而造成樣木腐朽率高估，因此進行相關性分析時，分析樣本資料剔除胸徑小於 20 cm 者進行，各樣區之樣本株數如 P67 表 18、P68 表 19 所示。另腐朽率超過 41%以上之林木，多為被壓木，故建議疏伐作業時優先選擇為疏伐木進行伐除。
4. 遵照委員意見進行用語修正，詳見本期報告 P73。
5. 在本監測計畫中，紅檜樣區周遭亦有臺灣杉分布，故推測土壤對於臺灣杉之生長影響不大，然未來仍可將土壤因子納入監測及討論之對象，已於本期報告 P70 進行文字說明。
6. 多樣性指標所代表之意義及計算方式於計畫執行方法一章 P41 進行說明，C1-C8 係為設置相機之代號，其對應之

全不同。

樹種、疏伐年度及相對位置已補於本期報告 P93，未疏伐 C2 及 C6 之結果完全不同原因係為 C6 相機設置位置為美瓏山林道土地公廟附近，遊客及車輛之人為擾動較多，故動物出現頻率較低(總隻數較少)，但詳見其物種種數差異相對是小的。

林委員湘玲

1. 有關碳貯存量的計算，是否可以用留存木生長量變化計算？目前是用一定時間一定範圍內的林木碳貯存量作比較，所以會得出被疏伐的林木碳貯存量少於未被疏伐的林分的結果。

1. 碳貯存量是以管理處疏伐木標售的資料來作換算，但因標售資料含有多種樹種，無法就單一樹種作分析，因此碳貯存量資料的呈現看起來會較不合理，故團隊於報告中建議未來作業前先記錄搬出之疏伐木材積，以便未來回溯計算。

2. 株數疏伐率 24% 及材積疏伐率 4.5% 的數字，是由各徑級不同疏伐率平均而得，容易被誤解為全林份的疏伐率，建議應予特別說明，否則未來作業容易被誤用。

2. 遵照委員意見，已於本期報告 P84 進行說明，建議臺灣杉人工林未來以下層疏伐為主，伐除林下所有小於 10 cm 之林木，10-15 cm 及 15-20 cm 之林木選擇株數之 63% 及 39% 作為疏伐木，為了使林分結構能更近於常態分布，25-30 cm 亦選擇株數之 20% 作為疏伐木，由各徑級不同疏伐率平均而得整體建議之株數疏伐率為 24%、材積疏伐率為 4.5%。

3. QA 內容過於艱澀，請再儘量科普化或口語化，或製作圖卡(如本處 2 樓中庭海報)，並儘量以本計畫成果融入圖卡內容。

3. 遵照委員建議，針對疏伐作業問與答一節計畫團隊嘗試搭派白話文及圖說進行，並配合本計畫成果進行說明，詳見 P113-115。

4. 樹高曲線式、樹高材積式等用詞，請全文檢視是否一致；摘要內容未敘及空中材積式之結果及應用，請

4. 遵照委員意見，已針對用詞進行全文檢視，空中材積式之結果已補充於摘要中，詳見摘要內文。

補充。

5. 第 80 頁，未說明立木材積式最後決定的計算式，請補充。
6. 第 114 頁，「林分層級收穫模式分三部分」之語意不明，請與計畫目標對應，勿簡化文字內容。
7. 第 116 頁，如管理處無能力分析光達技術，請團隊補充未來連年生長量之監測方式之具體建議。

張委員智強

1. 本計畫樣區基本資料如造林台帳資料、造林年度樹種、每公頃栽植株數，輪伐期、疏伐作業...等，建議列表補附分析。
2. 據報告參考文獻顯示，經下層疏伐 45% 林分，其單木平均樹冠投影面積較未疏伐林分大(報告第 48 頁)，本次計畫單木平均樹冠投影面積有無相呼應，其效益呈現與疏伐強度是否關聯？建議加以分析。土壤沖蝕與林道沖蝕是否亦受疏伐強度所影響。
3. 第 66 頁，利用儀器檢測樣區樣木腐朽率，據表 18、19 顯示 241、262 等樣區樣木腐朽率極高，原因為何？

5. 遵照委員意見，已將立木材積式最終決定之計算式於內文中說明，詳見 P81。

6. 謝謝委員指正，已將結論中語意不明之部分，與計畫目標相互對應進行內文撰寫，詳見 P116-117。

7. 生長量的監測，國外也有除了光達以外的儀器，可做到自動監測及資料記錄回傳，但以現況而言，管理處未來的監測方式可能以委外或暫仍依傳統人力監測較合適。

1. 遵照委員意見，計畫範圍之基本資料已於報告內文中進行文字敘述，詳見 P45。

2. 因本次計畫並無針對單木平均樹冠投影面積進行分析，然就 LAI 監測結果顯示，疏伐作業完成 5 年後，其 LAI 值與未疏伐林分無顯著差異，而疏伐林分內林木株數變少，因此理論上可以推測平均單木樹冠投影面積應較未疏伐林分大。作業道沖蝕量之差異經計畫團隊分析可能來自於造林撫育作業區域之人為擾動，建議持續監測至作業結束後，相關內容及後續建議詳見 P62-63。

3. 此部分係為計畫團隊於內文撰寫時語意不贏，造成閱讀者有所誤解，已將該表標題更正為「樣區樣木株數腐朽率比例」，係表示於腐朽率 0-10% 的情

4. 第 69 頁，未疏伐(臺灣杉)林分材積生長率低於疏伐後，應請比較樹種之疏伐強度是否有具體證據顯示林木生長。 5. 本次三年研究與前次(2014 年)成果有否異同，建議應予以連貫。 6. 有關報告中的文字，請再確實檢視校稿，如第 74 頁內文的圖 51、圖 52，應修正為圖 49、圖 50；第 89 頁，第一段倒數第二行文字，分布其「鐘」，應為「中」；第 110 頁，第一段倒數第二行文字，「書」伐，應修正為「疏」。	形下，樣區內樣木株數之比例，以此類推。 4.未疏伐林分材積生長率低於疏伐區域係為紅檜人工林林分，顯示疏伐作業有助於林木胸徑及材積之生長，臺灣杉疏伐後之生長未達顯著，可能與疏伐強度不足或疏伐時間太遲有關，故無法看出疏伐之效益，詳細計畫執行成果請參照 P69-71。 5.遵照委員意見，2014 年之研究計畫，仍有部分樣區沿用在本次計畫中，兩次計畫的資料是有相連結的，樣區的基本資料在前期報告中有作過說明。 6.謝謝委員指正，計畫團隊已進行校稿修正。
廖委員天賜 1. 以高科技設備進行調查，是時代進步的象徵，但最初基礎資料若未能取得，也非沿用最初的永久樣區，故結果呈現的只是計畫期間現況調查及分析的成果，如何推估疏伐後連年的變化，以及對不同林齡、樹種之效益？所以樣區背景資料未取得台帳或疏伐當時建立的基本資料，例如立木基本的胸徑、樹高及林分林分的疏伐度或密度，儀器能	1.光達因精確度高且具重複性，故與生長錐有相同監測效果，可作為替代之監測工具，詳見本期修正報告 P50，計畫範圍相關基本資料於報告內文中進行文字敘述，詳見 P45。

推估疏伐後之直徑及樹高生長的變化？又未能進行生長錐取樣供分析，更無法得知疏伐後經年的年輪或材積生長的變化，尤其是較長期的變化，只有目前計畫三年間調查疏伐區與對照區的結果，對不同樹種及不同疏伐度的經年變化無法充分掌握，如何建立收穫模式？以林業經營而言，這應該是最重要的成果。所以有關要求樣區背景資料的描述補充，以及提醒使用生長錐，執行團隊是否掌握了問題的核心？

2. 地被植物種數的變化，前五年是大幅度增加，但再經五年又急遽減少，此部份建議與 LAI 的變化連結討論。

作業課

1. 第 67 頁，在林木健康度之比較上，目視評估與敲擊、探針等機械評估之相關性低，然 3 種方式卻都一樣評估出未疏伐樣區之林木材質健康度較低，想請教可能造成 3 種評估方式相關性低之原因，或是檢測方式有其各自適用之範圍？

2. 第 76 頁，表 24，第 99 林班疏伐碳

2. 謝謝委員意見，地被多樣性與 LAI 有其相關性，因疏伐後林分孔隙較高，故疏伐後五年地被多樣性增加，而再經五年過後(疏伐後十年)則因孔隙減少，導致地被多樣性降低。

1. 目視評估法因僅從林木外觀進行健康度之評估，部分內部有腐朽狀況之林木無法從外觀得知林木內部狀況，故造成其與其他兩項評估方法相關性較低，而敲擊式林木內部檢測儀器因容易受到周遭回音影響而造成樣木腐朽率高估，建議該儀器使用對象應為胸徑 20 cm 以上之林木，數位探針式木材強度檢測儀器因屬於現行鑽探結果，故僅能呈現鑽探路徑之材質，如需更完整檢測林木內部腐朽狀態，建議需進一步鑽探不同高度，以獲得更多林木內部資料。

2. 謝謝委員指正，此部分確為團隊誤植數值，已進行修正。

量數據明顯較高，請再確認是否誤植。 3. 第 110 頁，QA 中，建議除了文獻引用外，建議加入本次計畫成果。 4. 第 114 頁，結論(一)，第一行，計畫結果顯示的應是疏伐不造成樹冠鬱閉影響，而非促進樹冠生長之正面效益；結論(二)，文字前後出現矛盾，請再確認修正。	3.遵照委員建議，針對疏伐作業問與答一節計畫團隊嘗試搭派白話文及圖說進行，並配合本計畫成果進行說明，詳見 P113-115。 4.謝謝委員指正，已針對語意不明或文字矛盾之處進行修正。
---	---

附件九、計畫區植物名錄

1. Pteridophyte 蕨類植物

1. Adiantaceae 鐵線蕨科

1. *Coniogramme fraxinea* (D. Don) Fée ex Diels 全緣鳳了蕨 (H, V, LC)

2. Aspleniaceae 鐵角蕨科

2. *Asplenium nidus* L. 臺灣山蘇花 (H, V, LC)

3. Athyriaceae 蹄蓋蕨科

3. *Athyriopsis japonica* (Thunb.) Ching 假蹄蓋蕨 (H, V, LC)

4. *Diplazium dilatatum* Blume 廣葉鋸齒雙蓋蕨 (H, V, LC)

4. Cyatheaceae 桫欏科

5. *Alsophila spinulosa* (Wall. ex Hook.) R.M. Tryon 臺灣桫欏 (T, V, LC)

5. Davalliaceae 骨碎補科

6. *Davallia divaricata* Blume 大葉骨碎補 (H, V, LC)

7. *Davallia mariesii* T. Moore ex Baker 海州骨碎補 (H, V, LC)

6. Dennstaedtiaceae 碗蕨科

8. *Dennstaedtia scandens* (Blume) T. Moore 刺柄碗蕨 (H, V, LC)

9. *Histiopteris incisa* (Thunb.) J. Sm. 栗蕨 (H, V, LC)

10. *Microlepia speluncae* (L.) T. Moore 熱帶鱗蓋蕨 (H, V, LC)

11. *Microlepia strigosa* (Thunb.) Presl 粗毛鱗蓋蕨 (H, V, LC)

12. *Monachosorum henryi* Christ 稀子蕨 (H, V, LC)

7. Dryopteridaceae 鱗毛蕨科

13. *Arachniodes aristata* (G.Forst.) Tindle 細葉複葉耳蕨 (H, V, LC)

14. *Arachniodes pseudoaristatum* (Tagawa) Ohwi 小葉複葉耳蕨 (H, V, LC)

15. *Dryopteris varia* (L.) Kuntze 南海鱗毛蕨 (H, V, LC)

16. *Polystichum parvipinnulum* Tagawa 尖葉耳蕨 (H, E, LC)

8. Gleicheniaceae 裏白科

17. *Diplopterygium chinensis* (Rosenst.) De Vol 中華裏白 (H, V, LC)

9. Lycopodiaceae 石松科

18. *Lycopodium clavatum* L. 石松 (H, V, LC)

10. Oleandraceae 蓀蕨科

19. *Nephrolepis auriculata* (L.) Trimen 腎蕨 (H, V, LC)

11. Polypodiaceae 水龍骨科

20. *Colysis wrightii* (Hook.) Ching 萊氏線蕨 (H, V, LC)

21. *Lepisorus thunbergianus* (Kaulf.) Ching 瓦葦 (H, V, LC)

22. *Polypodium formosanum* Bak. 臺灣水龍骨 (H, V, LC)

23. *Pseudodrynaria coronans* (Mett.) Ching 崖薑蕨 (H, V, LC)

24. *Pyrrosia lingua* (Thunb.) Farw. 石葦 (H, V, LC)

12. Pteridaceae 鳳尾蕨科

25. *Cheilanthes mexicana* Fee 粉背蕨 (H, V, DD)

26. *Pteris biaurita* L. 弧脈鳳尾蕨 (H, V, LC)

27. *Pteris wallichiana* Ag. 瓦氏鳳尾蕨 (H, V, LC)

13. Schizaeaceae 海金沙科

28. *Lygodium japonicum* (Thunb.) Sw. 海金沙 (H, V, LC)

14. Selaginellaceae 卷柏科

29. *Selaginella mollendorffii* Hieron. 異葉卷柏 (H, V, LC)

15. Thelypteridaceae 金星蕨科

30. *Christella dentata* (Forsk.) Brownsey & Jermy 野小毛蕨 (H, V, LC)

31. *Christella parasitica* (L.) Lev. 密毛小毛蕨 (H, V, LC)

2. Gymnosperm 裸子植物

1. Cupressaceae 柏科

32. *Chamaecyparis formosensis* Matsum. 紅檜 (T, E, NT)

2. Pinaceae 松科

33. *Pinus taiwanensis* Hayata 臺灣二葉松 (T, E, LC)

34. *Tsuga chinensis* (Franch.) Pritz. var. *formosana* (Hayata) H.L. Li & H. Keng 臺灣鐵杉 (T, E, LC)

3. Taxodiaceae 杉科

35. *Cryptomeria japonica* (Thunb. ex L. f.) D. Don 柳杉 (T, D, NT)

36. *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. 杉木 (T, D, LC)

37. *Taiwania cryptomerioides* Hayata 臺灣杉 (T, V, E3;EN)

3. Dicotyledon 雙子葉植物

1. Acanthaceae 爵床科

38. *Hypoestes purpurea* (L.) R. Br. 六角英 (H, V, LC)

39. *Justicia procumbens* L. 爵床 (H, V, LC)

40. *Strobilanthes flexicaulis* Hayata 曲莖馬藍 (H, E, LC)

2. Aceraceae 楓樹科

41. *Acer albopurpurascens* Hayata 樟葉槭 (T, E, LC)

42. *Acer insulare* Makino 尖葉槭 (T, V, LC)

43. *Acer morrisonense* Hayata 臺灣紅榨楓 (T, E, LC)

3. Actinidiaceae 獼猴桃科

44. *Actinidia chinensis* Planch. var. *setosa* Li 臺灣羊桃 (C, E, LC)

45. *Actinidia rubricaulis* Dunn 紅莖獼猴桃 (C, V, LC)

4. Alangiaceae 八角楓科

46. *Alangium chinense* (Lour.) Rehder 華八角楓 (T, V, LC)

5. Amaranthaceae 莧科

47. *Achyranthes aspera* L. var. *indica* L. 印度牛膝 (H, V, LC)

48. *Achyranthes bidentata* Blume 牛膝 (H, V, LC)

6. Anacardiaceae 漆樹科

49. *Rhus chinensis* Mill. var. *roxburgii* (DC.) Rehd. 羅氏鹽膚木 (T, V, LC)

50. *Rhus succedanea* L. 山漆 (T, V, LC)

7. Apiaceae 繖形花科

51. *Hydrocotyle nepalensis* Hook. 乞食碗 (H, V, LC)

52. *Hydrocotyle setulosa* Hayata 阿里山天胡荽 (H, E, LC)

53. *Oenanthe javanica* (Blume) DC. 水芹菜 (H, V, LC)

8. Apocynaceae 夾竹桃科

54. *Ecdysanthera rosea* Hook. & Arn. 酸藤 (C, V, LC)

9. Aquifoliaceae 冬青科

55. *Ilex asprella* (Hook. & Arn.) Champ. 燈稱花 (S, V, LC)

10. Araliaceae 五加科

56. *Aralia bipinnata* Blanco 裏白蔥木 (T, V, LC)

57. *Aralia decaisneana* Hance 刺蔥 (S, V, LC)

58. *Fatsia polycarpa* Hayata 臺灣八角金盤 (T, E, LC)

59. *Hedera rhombea* (Miq.) Bean var. *formosana* (Nakai) H.L. Li 臺灣常春藤 (C, E, LC)

60. *Schefflera octophylla* (Lour.) Harms 鵝掌柴 (T, V)

61. *Tetrapanax papyriferus* (Hook.) K. Koch 通草 (T, V, LC)

11. Asclepiadaceae 蘿藦科

62. *Marsdenia tinctoria* R. Br. 絨毛芙蓉蘭 (C, V, LC)

12. Asteraceae 菊科

63. *Adenostemma lavenia* (L.) Ktze. 下田菊 (H, V, LC)

64. *Ageratina adenophora* (Spreng.) R. M. King & H. Rob. 假霍香薷 (H, R, NA)

65. *Ageratum houstonianum* Mill. 紫花霍香薷 (H, R, NA)

66. *Aster taiwanensis* Kitamura 臺灣馬蘭 (H, E, LC)

67. *Bidens pilosa* L. var. *minor* (Blume) Sherff 咸豐草 (H, R, LC)

68. *Bidens pilosa* L. var. *radiata* Sch. 大花咸豐草 (H, R, NA)

69. *Blumea mollis* (D. Don) Merr. 柔毛艾納香 (H, V, LC)

70. *Blumea riparia* (Blume) DC. var. *megacephala* Randeria 大頭艾納香 (H, V, LC)

71. *Chromolaena odorata* (L.) R. M. King & H. Rob. 香澤蘭 (H, R, NA)
72. *Conyza japonica* (Thunb.) Less. 日本假蓬 (H, V, LC)
73. *Conyza sumatrensis* (Retz.) Walker 野塘蒿 (H, R, NA)
74. *Crassocephalum crepidioides* (Benth.) S. Moore 昭和草 (H, R, NA)
75. *Dendranthema arisanense* (Hayata) Y. Ling & C. Shih 阿里山油菊 (H, E, LC)
76. *Dichrocephala integrifolia* (L. f.) Kuntze 茯苓菜 (H, V, LC)
77. *Elephantopus mollis* H. B. K. 毛蓮菜 (H, R, NA)
78. *Erechtites valerianifolius* (Link ex Spreng.) DC. 飛機草 (H, R, NA)
79. *Eupatorium cannabinum* L. subsp. *asiaticum* Kitam. 臺灣澤蘭 (H, E, LC)
80. *Eupatorium clematideum* (Wall. ex DC.) Sch. Bip. 田代氏澤蘭 (S, E, LC)
81. *Gnaphalium adnatum* Wall. ex DC. 紅面番 (H, V, LC)
82. *Gnaphalium luteoalbum* L. subsp. *affine* (D. Don) Koster 鼠麴草 (H, V, LC)
83. *Microglossa pyrifolia* (Lam.) Ktze. 小舌菊 (S, V, LC)
84. *Mikania micrantha* Kunth 小花蔓澤蘭 (C, R, NA)
85. *Myriactis humilis* Merr. 矮菊 (H, V, LC)
86. *Pluchea carolinensis* (Jacq.) G. Don 美洲闊苞菊 (S, R, NA)
87. *Pterocypsela indica* (L.) C. Shih 鵝仔草 (H, V, LC)
88. *Senecio scandens* Buch. -Ham. ex D. Don 蔓黃苑 (C, V, LC)
89. *Siegesbeckia orientalis* L. 豨薟 (H, V, NA)
90. *Youngia japonica* (L.) DC. 黃鵪菜 (H, V, LC)

13. Begoniaceae 秋海棠科

91. *Begonia laciniata* Roxb. 巒大秋海棠 (H, V)

14. Betulaceae 樺木科

92. *Alnus formosana* (Burkill ex Forbes & Hemsl.) Makino 臺灣赤楊 (T, V, LC)

15. Boraginaceae 紫草科

93. *Ehretia acuminata* R. Br. 厚殼樹 (T, V, LC)

94. *Ehretia dicksonii* Hance 破布烏 (T, V, LC)

95. *Thyrocarpus sampsonii* Hance 盾果草 (H, V, LC)

96. *Trichodesma calycosum* Collett & Hemsl. 假酸漿 (H, V, LC)

16. Brassicaceae 十字花科

97. *Cardamine flexuosa* With. 蔊菜 (H, R, LC)

17. Campanulaceae 桔梗科

98. *Codonopsis javanica* (Blume) Miq. subsp. *japonica* (Maxim. ex Makino) Lammers 金錢豹 (H, V, LC)

99. *Lobelia nummularia* Lam. 普刺特草 (H, V, LC)

18. Caprifoliaceae 忍冬科

100. *Lonicera hypoglaucula* Miq. 裏白忍冬 (S, V, LC)

101. *Sambucus chinensis* Lindl. 有骨消 (S, V, LC)

102. *Viburnum arboricolum* Hay. 著生珊瑚樹 (S, V, DD)

103. *Viburnum luzonicum* Rolfe 呂宋莢蒾 (T, V, LC)

104. *Viburnum taitoense* Hayata 台東莢蒾 (T, E, LC)

19. Caryophyllaceae 石竹科

105. *Stellaria arisanensis* (Hayata) Hayata 阿里山繁縷 (H, E, LC)

20. Celastraceae 衛矛科

106. *Euonymus tashiroi* Maxim. 菱葉衛矛 (S, V, DD)

107. *Perrottetia arisanensis* Hayata 佩羅特木 (T, E, LC)

21. Chloranthaceae 金粟蘭科

108. *Chloranthus oldhami* Solms. 臺灣及己 (H, V, LC)

22. Convolvulaceae 旋花科

109. *Ipomoea indica* (Burm. f.) Merr. 銳葉牽牛 (C, R, NA)

23. Cucurbitaceae 瓜科

110. *Gynostemma pentaphyllum* (Thunb.) Makino 絞股藍 (C, V, LC)

111. *Trichosanthes cucumeroides* (Seringe) Maxim. ex Fr. & Sav. 王瓜 (C, V, LC)

112. *Zehneria mucronata* (Blume) Miq. 黑果馬蛟兒 (C, V, LC)

24. Elaeagnaceae 胡頹子科

113. *Elaeagnus thunbergii* Serv. 鄧氏胡頹子 (S, E, LC)

25. Elaeocarpaceae 杜英科

114. *Elaeocarpus sylvestris* (Lour.) Poir. 杜英 (T, V, LC)

26. Ericaceae 杜鵑花科

115. *Rhododendron latoucheae* Fr. 西施花 (T, V, DD)

27. Euphorbiaceae 大戟科

116. *Breynia officinalis* Hemsl. 紅仔珠 (S, V, LC)

117. *Glochidion rubrum* Blume 細葉饅頭果 (T, V, LC)

118. *Mallotus japonicus* (Thunb.) Muell. -Arg. 野桐 (T, V, LC)

119. *Mallotus paniculatus* (Lam.) Muell. -Arg. 白匏子 (T, V, LC)

120. *Mallotus philippensis* (Lam.) Muell. -Arg. 粗糠柴 (T, V, LC)

121. *Sapium discolor* Muell.-Arg. 白白 (T, V, LC)

122. *Sapium sebiferum* (L.) Roxb. 烏白 (T, R, CR)

28. Fabaceae 豆科

123. *Acacia confusa* Merr. 相思樹 (T, V, LC)
124. *Albizia julibrissin* Durazz. 合歡 (T, V, LC)
125. *Bauhinia championii* Benth. 菊花木 (C, V, LC)
126. *Derris laxiflora* Benth. 疏花魚藤 (C, E, LC)
127. *Desmodium sequax* Wall. 波葉山螞蝗 (S, V, LC)
128. *Dumasia villosa* DC. subsp. *bicolor* (Hayata) Ohashi & Tateishi 臺灣山黑扁豆 (C, E, LC)
129. *Hylodesmum laterale* (Schindl.) H. Ohashi & R. R. Mill 琉球山螞蝗 (H, V, LC)
130. *Millettia pachycarpa* Benth. 臺灣魚藤 (S, V, LC)
131. *Mucuna macrocarpa* Wall. 血藤 (C, V, LC)
132. *Pueraria montana* (Lour.) Merr. 山葛 (C, V, LC)
133. *Tephrosia noctiflora* Boj. ex Baker 黃花鐵富豆 (H, R, NA)

29. Fagaceae 殼斗科

134. *Castanopsis carlesii* (Hemsl.) Hayata 長尾栲 (T, V, LC)
135. *Castanopsis formosana* (Skan) Hayata 臺灣栲 (T, V, LC)
136. *Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst. 青剛櫟 (T, V, DD)
137. *Cyclobalanopsis longinux* (Hayata) Schott. 錐果櫟 (T, V, LC)
138. *Lithocarpus amygdalifolius* (Skan ex Forbes & Hemsl.) Hayata 杏葉石櫟 (T, V, LC)
139. *Pasania kawakamii* (Hayata) Schott. 大葉石櫟 (T, E, LC)

30. Flacourtiaceae 大風子科

140. *Idesia polycarpa* Maxim. 山桐子 (T, V, LC)

31. Gesneriaceae 苦苣苔科

141. *Rhynchoetechum discolor* (Maxim.) Burt 同蕊草 (S, V, LC)

32. Hamamelidaceae 金縷梅科

142. *Liquidambar formosana* Hance 楓香 (T, V, LC)

33. Lamiaceae 唇形花科

143. *Clinopodium gracile* (Benth.) Kuntze 塔花 (H, V, LC)

144. *Leucas chinensis* (Retz.) R. Br. 白花草 (H, V, LC)

145. *Melissa axillaris* Bakh. f. 山薄荷 (H, V, LC)

146. *Paraphlomis javanica* (Blume) Prain 假糙蘇 (H, V, LC)

34. Lardizabalaceae 木通科

147. *Akebia longeracemosa* Matsum. 臺灣木通 (C, V, LC)

148. *Stauntonia obovatifoliola* Hayata 石月 (C, V)

35. Lauraceae 樟科

149. *Cinnamomum insularimontanum* Hayata 臺灣肉桂 (T, E, LC)

150. *Cinnamomum osmophloeum* Kanehira 土肉桂 (T, E, NT)

151. *Litsea acuminata* (Blume) Kurata 長葉木薑子 (T, V, LC)

152. *Litsea akoensis* Hayata 屏東木薑子 (T, E)

153. *Litsea hypophaea* Hayata 小梗木薑子 (T, E, LC)

154. *Machilus japonica* Sieb. & Zucc. var. *kusanoi* (Hayata) Liao 大葉楠 (T, E, LC)

155. *Machilus konishii* Hayata 小西氏楠 (T, E, LC)

156. *Machilus thunbergii* Sieb. & Zucc. 紅楠 (T, V)

157. *Machilus zuihoensis* Hayata 香楠 (T, E, LC)

158. *Neolitsea aciculata* (Blume) Koidz. var. *variabilissima* (Hayata) J. C. Liao 變葉新木薑子 (T, V, LC)

159. *Neolitsea konishii* (Hayata) Kanehira & Sasaki 五掌楠 (T, V, LC)

36. Lythraceae 千屈菜科

160. *Lagerstroemia subcostata* Koehne 九芎 (T, V, LC)

37. Magnoliaceae 木蘭科

161. *Michelia compressa* (Maxim.) Sargent 烏心石 (T, V, DD)

38. Malpighiaceae 黃禱花科

162. *Hiptage benghalensis* (L.) Kurz 猿尾藤 (C, V, LC)

39. Malvaceae 錦葵科

163. *Hibiscus taiwanensis* Hu 山芙蓉 (S, E, LC)

164. *Sida acuta* Burm. f. 細葉金午時花 (S, V, LC)

165. *Sida rhombifolia* L. 金午時花 (S, V, LC)

166. *Urena lobata* L. 野棉花 (S, V, LC)

40. Melastomataceae 野牡丹科

167. *Melastoma candidum* D. Don 野牡丹 (S, V, LC)

168. *Sarcopyramis napalensis* Wall. var. *delicata* (C. B. Robinson) S. F. Huang & T. C. Huang
東方肉穗野牡丹 (H, V, LC)

41. Meliaceae 楝科

169. *Melia azedarach* L. 楝 (T, V, LC)

42. Menispermaceae 防己科

170. *Cyclea ochiaiana* (Yamamoto) S. F. Huang & T. C. Huang 臺灣土防己 (C, E, LC)

43. Moraceae 桑科

171. *Ficus ampelas* Burm. f. 菲律賓榕 (T, V, LC)

172. *Ficus erecta* Thunb. var. *beeheyana* (Hook. & Arn.) King 牛乳榕 (T, V, LC)

173. *Ficus pumila* L. var. *awkeotsang* (Makino) Corner 愛玉子 (C, E, LC)

174. *Ficus superba* (Miq.) Miq. var. *japonica* Miq. 雀榕 (T, V, LC)

175. *Maclura cochinchinensis* (Lour.) Corner 臺灣柘樹 (S, V, LC)

44. Myrsinaceae 紫金牛科

176. *Ardisia cornudentata* Mez subsp. *morrisonensis* (Hayata) Yuen P. Yang 玉山紫金牛 (S, E, LC)

177. *Ardisia virens* Kurz 黑星紫金牛 (S, V, LC)

178. *Embelia laeta* (L.) Mez 藤木槲 (S, V, NA)

179. *Embelia lenticellata* Hayata 賽山椒 (S, E, LC)

180. *Maesa perlaria* (Lour.) Merr. var. *formosana* (Mez) Yuen P. Yang 臺灣山桂花 (S, V, LC)

45. Oleaceae 木犀科

181. *Fraxinus griffithii* C. B. Clarke 白雞油 (T, E, LC)

46. Oxalidaceae 酢醬草科

182. *Oxalis corniculata* L. 酢漿草 (H, V, LC)

183. *Oxalis corymbosa* DC. 紫花酢漿草 (H, R, NA)

47. Passifloraceae 西番蓮科

184. *Passiflora suberosa* L. 三角葉西番蓮 (C, R, NA)

48. Piperaceae 胡椒科

185. *Piper kadsura* (Choisy) Ohwi 風藤 (C, V, LC)

49. Plantaginaceae 車前草科

186. *Plantago asiatica* L. 車前草 (H, V, LC)

50. Polygonaceae 蓼科

187. *Polygonum chinense* L. 火炭母草 (H, V, LC)

188. *Polygonum multiflorum* Thunb. var. *hypoleucum* (Ohwi) Liu, Ying & Lai 臺灣何首烏 (C, E, LC)

189. *Polygonum senticosum* (Meisn.) Fr. & Sav. 刺蓼 (H, V, LC)

51. Ranunculaceae 毛茛科

190. *Clematis formosana* Ktze. 臺灣鐵線蓮 (C, E, NT)

191. *Clematis gouriana* Roxb. ex DC. subsp. *lishanensis* T. Y. Yang & Huang 梨山小簕衣藤 (C, E, LC)

192. *Clematis grata* Wall. 串鼻龍 (C, V, LC)

193. *Clematis henryi* Oliv. 亨利氏鐵線蓮 (C, V, LC)

194. *Clematis uncinata* Champ. ex Benth. 柱果鐵線蓮 (C, V, LC)

195. *Ranunculus cantoniensis* DC. 水辣菜 (H, V, LC)

52. Rhamnaceae 鼠李科

196. *Rhamnus formosana* Matsum. 桶鉤藤 (S, E, LC)

197. *Rhamnus nakaharai* (Hayata) Hayata 中原氏鼠李 (S, E, LC)

53. Rosaceae 薔薇科

198. *Duchesnea indica* (Andr.) Focke 蛇莓 (H, R, LC)

199. *Eriobotrya deflexa* (Hemsl.) Nakai 山枇杷 (T, E, LC)

200. *Prunus campanulata* Maxim. 山櫻花 (T, V, LC)

201. *Rosa sambucina* Koidz. 山薔薇 (S, V, LC)

202. *Rubus croceacanthus* Levl. 虎婆刺 (S, V, LC)

203. *Rubus formosensis* Ktze. 臺灣懸鉤子 (S, V, LC)

204. *Rubus niveus* Thunb. 白絨懸鉤子 (S, V, LC)

205. *Rubus parviaraliifolius* Hayata 小蔥葉懸鉤子 (S, E)

206. *Rubus pectinellus* Maxim. 刺萼寒莓 (S, V, LC)

207. *Rubus swinhoei* Hance 斯氏懸鉤子 (S, V, LC)

208. *Rubus taitoensis* Hayata var. *aculeatiflorus* (Hayata) H. Ohashi & Hsieh 刺花懸鉤子 (S, E, LC)

209. *Rubus trianthus* Focke 苦懸鉤子 (S, V, LC)

210. *Rubus wallichianus* Wight & Arnott 鬼懸鉤子 (S, V, LC)

211. *Spiraea prunifolia* Sieb. & Zucc. var. *pseudoprunifolia* (Hayata) Li 笑靨花 (S, V, LC)

54. Rubiaceae 茜草科

212. *Mussaenda pubescens* Ait. f. 毛玉葉金花 (S, E, VU)

213. *Ophiorrhiza japonica* Blume 蛇根草 (H, V, LC)

55. Rutaceae 芸香科

214. *Boenninghausenia albiflora* Reichenb. 臭節草 (H, V, LC)

215. *Glycosmis parviflora* (Sims) Kurz. 山桔 (S, V, NT)

216. *Murraya euchrestifolia* Hayata 山黃皮 (S, E, LC)

217. *Tetradium meliaefolia* (Hance) Benth. 賊仔樹 (T, V, LC)

218. *Toddalia asiatica* (L.) Lam. 飛龍掌血 (C, V, LC)

219. *Zanthoxylum scandens* Blume 藤花椒 (C, V, LC)

56. Sabiaceae 清風藤科

220. *Meliosma rhoifolia* Maxim. 山豬肉 (T, V, LC)

221. *Meliosma rigda* Sieb. & Zucc. 筆羅子 (T, V, LC)

57. Sapindaceae 無患子科

222. *Euphoria longana* Lam. 龍眼 (T, R, NA)

223. *Koelreuteria henryi* Dummer 臺灣欒樹 (T, E, LC)

224. *Sapindus mukorossii* Gaertn. 無患子 (T, V, LC)

58. Saururaceae 三白草科

225. *Houttuynia cordata* Thunb. 蕺菜 (H, V, LC)

59. Saxifragaceae 虎耳草科

226. *Astilbe longicarpa* (Hayata) Hayata 落新婦 (H, E, LC)
227. *Deutzia pulchra* Vidal 大葉溲疏 (S, V, LC)
228. *Hydrangea angustipetala* Hayata 狹瓣八仙花 (S, V, LC)
229. *Hydrangea aspera* Don 高山藤繡球 (S, V, LC)
230. *Hydrangea chinensis* Maxim. 華八仙 (S, V, LC)
231. *Pileostegia viburnoides* Hook. f. & Thoms. 青棉花 (S, V, LC)

60. Schisandraceae 五味子科

232. *Schisandra arisanensis* Hayata 阿里山五味子 (C, E, LC)

61. Scrophulariaceae 玄參科

233. *Ellisiophyllum pinnatum* (Wall. ex Benth.) Makino 海螺菊 (H, V, LC)
234. *Mazus pumilus* (Burm. f.) Steenis 通泉草 (H, V, LC)
235. *Torenia concolor* Lindley 倒地蜈蚣 (H, V, LC)

62. Solanaceae 茄科

236. *Lycianthes biflora* (Lour.) Bitter 雙花龍葵 (H, V, LC)
237. *Lycianthes lysimachioides* (Wall.) Bitter 蔓茄 (C, V, LC)
238. *Solanum peikuoensis* S. S. Ying 白狗大山茄 (T, E, LC)
239. *Tubocapsicum anomalum* (Fr. & Sav.) Makino 龍珠 (H, V, LC)

63. Staphyleaceae 省沽油科

240. *Turpinia formosana* Nakai 山香圓 (T, E, LC)

64. Styracaceae 安息香科

241. *Styrax formosana* Matsum. 烏皮九芎 (T, E, LC)

65. Symplocaceae 灰木科

242. *Symplocos formosana* Brand 臺灣灰木 (T, E, LC)

66. Theaceae 茶科

243. *Eurya gnaphalocarpa* Hayata 毛果柃木 (T, V, LC)

244. *Eurya loquaiana* Dunn 細枝柃木 (T, V, LC)

245. *Gordonia axillaris* (Roxb.) Dietr. 大頭茶 (T, V, LC)

67. Trochodendraceae 昆欄樹科

246. *Trochodendron aralioides* Sieb. & Zucc. 昆欄樹 (T, V, LC)

68. Ulmaceae 榆科

247. *Aphananthe aspera* (Thunb. ex Murray) Planch. 糙葉樹 (T, V, LC)

248. *Celtis formosana* Hayata 石朴 (T, E, LC)

249. *Trema orientalis* (L.) Blume 山黃麻 (T, V, LC)

250. *Ulmus uyematsui* Hayata 阿里山榆 (T, E, LC)

251. *Zelkova serrata* (Thunb.) Makino 欒 (T, V, LC)

69. Urticaceae 蕁麻科

252. *Chamabainia cuspidata* Wight 蟲蟻麻 (H, V, LC)

253. *Debregeasia edulis* (Sieb. & Zucc.) Wedd. 水麻 (S, V, LC)

254. *Elatostema lineolatum* Forst. var. *major* Thwait. 冷清草 (H, V, LC)

255. *Girardinia diversifolia* (Link) Friis 蠍子草 (H, V, LC)

256. *Gonostegia hirta* (Blume) Miq. 糯米團 (H, V, LC)

257. *Lecanthus peduncularis* (Wall. ex Royle) Wedd. 長梗盤花麻 (H, V, LC)

258. *Oreocnide pedunculata* (Shirai) Masamune 長梗紫麻 (T, V, LC)

259. *Pilea melastomoides* (Poir.) Wedd. 大冷水麻 (H, V, LC)

260. *Pilea plataniflora* C. H. Wright 西南冷水麻 (H, V, LC)

261. *Pilea rotundinucula* Hayata 圓果冷水麻 (H, E, LC)

262. *Pouzolzia elegans* Wedd. 水雞油 (S, V, LC)

263. *Urtica thunbergiana* Sieb. & Zucc. 咬人貓 (H, V, LC)

70. Verbenaceae 馬鞭草科

264. *Callicarpa formosana* Rolfe 杜虹花 (T, V, LC)

265. *Callicarpa pilosissima* Maxim. 細葉紫珠 (S, E, LC)

266. *Callicarpa randaiensis* Hayata 巒大紫珠 (S, E, LC)

267. *Clerodendrum trichotomum* Thunb. 海州常山 (T, V, LC)

268. *Lantana camara* L. 馬櫻丹 (S, R, NA)

71. Violaceae 堇菜科

269. *Viola confusa* Champ. ex Benth. 短毛堇菜 (H, V, LC)

270. *Viola diffusa* Ging. 茶匙黃 (H, V, LC)

271. *Viola formosana* Hayata var. *stenopetala* (Hayata) Wang, Huang & Hashimoto 川上氏堇菜 (H, E, LC)

72. Vitaceae 葡萄科

272. *Ampelopsis glandulosa* (Wall.) Mom. var. *hancei* (Planch.) Mom. 漢氏山葡萄 (C, V, LC)

273. *Cayratia corniculata* (Benth.) Gagnepain 角花烏斂莓 (H, V)

274. *Parthenocissus dalzielii* Gagnep. 地錦 (C, V, LC)

275. *Tetrastigma formosanum* (Hemsl.) Gagnep. 三葉崖爬藤 (C, V, LC)

276. *Tetrastigma umbellatum* (Hemsl.) Nakai 臺灣崖爬藤 (C, E, LC)

4. Monocotyledon 單子葉植物

1. Araceae 天南星科

277. *Alocasia odora* (Roxb.) C. Koch 姑婆芋 (H, V, LC)

278. *Arisaema consanguineum* Schott 長行天南星 (H, V, LC)

2. Arecaceae 棕櫚科

279. *Calamus quiquesetinervius* Burret. 黃藤 (C, E, LC)

3. Commelinaceae 鴨跖草科

280. *Commelina paludosa* Blume 大葉鴨跖草 (H, V, LC)

281. *Polia japonica* Thunb. 杜若 (H, V, LC)

282. *Polia miranda* (H. Lev.) Hara 小杜若 (H, V, LC)

4. Cyperaceae 莎草科

283. *Carex baccans* Nees 紅果苔 (H, V, LC)

284. *Carex filicina* Nees 紅鞘苔 (H, E, LC)

285. *Carex macrandrolepis* Lev. 和平菱果苔 (H, V, LC)

286. *Carex makinoensis* Franch. 牧野氏苔 (H, V, LC)

287. *Carex transalpine* Hayata 大武宿柱苔 (H, E, LC)

288. *Mariscus sumatrensis* (Retz.) J. Raynal 磚子苗 (H, V, LC)

5. Dioscoreaceae 薯蕷科

289. *Dioscorea japonica* Thunb. 薄葉野山藥 (C, V, LC)

6. Juncaceae 燈心草科

290. *Juncus tenuis* Willd. 阿里山燈心草 (H, V, LC)

7. Liliaceae 百合科

291. *Tricyrtis formosana* Baker var. *lasiocarpa* (Matsum.) Masam. 毛果油點草 (H, E, LC)

8. Orchidaceae 蘭科

292. *Galeola falconeri* Hook. f. 小囊山珊瑚 (C, V, LC)

293. *Phaius flavus* (Blume) Lindl. 黃鶴蘭 (H, V, LC)

9. Poaceae 禾本科

294. *Arundo formosana* Hack. 臺灣蘆竹 (H, V, LC)

295. *Axonopus compressus* (Sw.) P. Beauv. 地毯草 (H, R, NA)

296. *Cyrtococcum patens* (L.) A. Camus 弓果黍 (H, V, LC)

297. *Dendrocalamus latiflorus* Munro 麻竹 (T, R, NA)

298. *Eleusine indica* (L.) Gaertn. 牛筋草 (H, V, LC) *Miscanthus sinensis*

299. *Ichnanthus vicinus* (F. M. Bail.) Merr. 距花黍 (H, V, LC)

300. *Lolium perenne* L. 黑麥草 (H, R, NA)

301. *Miscanthus floridulus* (Labill.) Warb. ex Schum. & Laut. 五節芒 (H, V, LC)

302. *Miscanthus sinensis* Anders. 芒 (H, V, LC)

303. *Oplismenus compositus* (L.) P. Beauv. 竹葉草 (H, V, LC)

304. *Oplismenus hirtellus* (L.) P. Beauv. 求米草 (H, V, LC)

305. *Panicum maximum* Jacq. 大黍 (H, R, NA)

306. *Panicum notatum* Retz. 心葉稷 (H, V, LC)

307. *Poa annua* L. 早熟禾 (H, V, LC)

308. *Setaria palmifolia* (J. König) Stapf 棕葉狗尾草 (H, R, LC)

309. *Sinobambusa kunishii* (Hayata) Nakai 臺灣矢竹 (S, E, DD)

310. *Thysanolaena latifolia* (Roxb. ex Hornem.) Honda 棕葉蘆 (H, V, LC)

10. Smilacaceae 菝葜科

311. *Smilax bracteata* Presl 假菝葜 (C, V, LC)

312. *Smilax bracteata* Presl var. *verruculosa* (Merr.) T. Koyama 糙莖菝葜 (C, V, LC)

313. *Smilax lanceifolia* Roxb. 臺灣土伏苓 (C, V, LC)

314. *Smilax sieboldii* Miq. 臺灣山馬薯 (C, V, LC)

11. Stemonaceae 百部科

315. *Stemona tuberosa* Lour. 百部 (C, V, LC)

12. Zingiberaceae 薑科

316. *Alpinia pricei* Hayata var. *sessiliflora* (Kitanura) J. J. Yang & J. C. Wang 阿里山月桃 (H, V, LC)

欄 A - T: 木本, S: 灌木, C: 藤本, H: 草本

屬性代碼(A, B, C)對照表 欄 B - E: 特有, V: 原生, R: 歸化, D: 栽培

欄 C - EX: 滅絕, EW: 野外滅絕, CR: 極危, EN: 瀕危, VU: 易危,

NT: 近危, LC: 無危, DD: 數據缺乏, NE: 未做評估

(若欄 C 經查詢後尚無資料者, 則該欄為空白)

附件十、樣區重要值指數

紅檜

樣區 102

樹種	株數	相對密度	相對頻度	相對面積	重要值指數
紅檜	24	100.0	100.0	100.0	100.0
合計	24	100.0	100.0	100.0	100.0

樣區 103

樹種	株數	相對密度	相對頻度	相對面積	重要值指數
紅檜	84	100.0	100.0	100.0	100.0
合計	84	100.0	100.0	100.0	100.0

樣區 104

樹種	株數	相對密度	相對頻度	相對面積	重要值指數
紅檜	29	80.6	50.0	97.8	76.1
假長葉楠	6	16.7	37.5	1.8	18.7
卡氏槲	1	2.8	12.5	0.4	5.2
合計	36	100.0	100.0	100.0	100.0

樣區 111

樹種	株數	相對密度	相對頻度	相對面積	重要值指數
紅檜	27	100.0	100.0	100.0	100.0
合計	27	100.0	100.0	100.0	100.0

樣區 112

樹種	株數	相對密度	相對頻度	相對面積	重要值指數
紅檜	45	100.0	100.0	100.0	100.0
合計	45	100.0	100.0	100.0	100.0

樣區 121

樹種	株數	相對密度	相對頻度	相對面積	重要值指數
紅檜	29	76.3	44.4	86.6	69.1
山豬肉	1	2.6	11.1	3.5	5.7
長葉木薑子	1	2.6	11.1	0.1	4.6
台灣赤楊	7	18.4	33.3	9.9	20.5
合計	38	100.0	100.0	100.0	100.0

樣區 122

樹種	株數	相對密度	相對頻度	相對面積	重要值指數
紅檜	38	100.0	100.0	100.0	100.0
合計	38	100.0	100.0	100.0	100.0

樣區 131

樹種	株數	相對密度	相對頻度	相對面積	重要值指數
紅檜	23	100.0	100.0	100.0	100.0
合計	23	100.0	100.0	100.0	100.0

樣區 132

樹種	株數	相對密度	相對頻度	相對面積	重要值指數
紅檜	23	100.0	100.0	100.0	100.0
合計	23	100.0	100.0	100.0	100.0

樣區 133

樹種	株數	相對密度	相對頻度	相對面積	重要值指數
紅檜	24	96.0	80.0	99.6	91.9
假長葉楠	1	4.0	20.0	0.4	8.1
合計	25	100.0	100.0	100.0	100.0

樣區 171

樹種	株數	相對密度	相對頻度	相對面積	重要值指數
紅檜	35	100.0	100.0	100.0	100.0
合計	35	100.0	100.0	100.0	100.0

樣區 172

樹種	株數	相對密度	相對頻度	相對面積	重要值指數
紅檜	21	100.0	100.0	100.0	100.0
合計	21	100.0	100.0	100.0	100.0

樣區 182

樹種	株數	相對密度	相對頻度	相對面積	重要值指數
紅檜	21	100.0	100.0	100.0	100.0
合計	21	100.0	100.0	100.0	100.0

樣區 183

樹種	株數	相對密度	相對頻度	相對面積	重要值指數
紅檜	30	76.9	50.0	93.5	73.5
假長葉楠	3	7.7	12.5	0.2	6.8
烏心石	4	10.3	12.5	1.1	8.0
長葉木薑子	1	2.6	12.5	1.7	5.6
大葉石櫟	1	2.6	12.5	3.5	6.2
合計	39	100.0	100.0	100.0	100.0

樣區 184

樹種	株數	相對密度	相對頻度	相對面積	重要值指數
紅檜	23	100.0	100.0	100.0	100.0
合計	23	100.0	100.0	100.0	100.0

臺灣杉

樣區 201

樹種	株數	相對密度	相對頻度	相對面積	重要值指數
臺灣杉	51	96.2	80.0	95.4	90.5
假長葉楠	2	3.8	20.0	4.6	9.5
合計	53	100.0	100.0	100.0	100.0

樣區 202

樹種	株數	相對密度	相對頻度	相對面積	重要值指數
臺灣杉	62	84.9	50.0	80.3	71.7
臺灣二葉松	1	1.4	12.5	9.2	7.7
紅檜	10	13.7	37.5	10.6	20.6
合計	90	100.0	100.0	100.0	100.0

樣區 203

樹種	株數	相對密度(%)	相對頻度	相對面積	重要值指數
臺灣杉	58	100.0	100.0	100.0	100.0
合計	58	100.0	100.0	100.0	100.0

樣區 221

樹種	株數	相對密度	相對頻度	相對面積	重要值指數
臺灣杉	17	81.0	57.1	78.0	72.0
假長葉楠	2	9.5	14.3	0.2	8.0
香杉	1	4.8	14.3	9.6	9.5
紅檜	1	4.8	14.3	12.3	10.4
合計	21	100.0	100.0	100.0	100.0

樣區 222

樹種	株數	相對密度	相對頻度	相對面積	重要值指數
臺灣杉	42	91.3	66.7	60.4	72.8
臺灣二葉松	4	8.7	33.3	39.6	27.2
合計	46	100.0	100.0	100.0	100.0

樣區 231

樹種	株數	相對密度	相對頻度	相對面積	重要值指數
臺灣杉	56	31.3	21.1	61.2	37.8
杏葉石櫟	24	13.4	21.1	3.7	12.7
假長葉楠	2	1.1	5.3	0.3	2.2
卡氏櫛	68	38.0	21.1	30.1	29.7
山桐子	1	0.6	5.3	0.2	2.0
小實女真	20	11.2	10.5	2.6	8.1
米飯花	2	1.1	5.3	0.3	2.2
粗毛柃木	5	2.8	5.3	0.6	2.9
青楓	1	0.6	5.3	1.1	2.3
合計	179	100.0	100.0	100.0	100.0

樣區 232

樹種	株數	相對密度(%)	相對頻度	相對面積	重要值指數
臺灣杉	22	100.0	100.0	100.0	100.0
合計	22	100.0	100.0	100.0	100.0

樣區 233

樹種	株數	相對密度	相對頻度	相對面積	重要值指數
臺灣杉	33	60.0	30.8	81.5	57.4
木荷	1	1.8	7.7	1.0	3.5
卡氏槲	7	12.7	15.4	11.3	13.2
杏葉石櫟	3	5.5	7.7	0.6	4.6
紅楠	1	1.8	7.7	0.3	3.3
假長葉楠	3	5.5	7.7	0.6	4.6
粗毛柃木	1	1.8	7.7	0.3	3.3
臺灣蘋果	6	10.9	15.4	4.3	10.2
合計	55	100.0	100.0	100.0	100.0

樣區 241

樹種	株數	相對密度(%)	相對頻度	相對面積	重要值指數
臺灣杉	26	100.0	100.0	100.0	100.0
合計	26	100.0	100.0	100.0	100.0

樣區 242

樹種	株數	相對密度(%)	相對頻度	相對面積	重要值指數
臺灣杉	30	100.0	100.0	100.0	100.0
合計	30	100.0	100.0	100.0	100.0

樣區 243

樹種	株數	相對密度(%)	相對頻度	相對面積	重要值指數
臺灣杉	36	100.0	100.0	100.0	100.0
合計	36	100.0	100.0	100.0	100.0

樣區 262

樹種	株數	相對密度	相對頻度	相對面積	重要值指數
臺灣杉	47	97.9	80.0	89.5	89.1
假長葉楠	1	2.1	20.0	10.5	10.9
合計	48	100.0	100.0	100.0	100.0

樣區 263

樹種	株數	相對密度	相對頻度	相對面積	重要值指數
臺灣杉	57	83.8	40.0	83.6	69.1
紅檜	7	10.3	40.0	15.5	21.9
海州常山	1	1.5	10.0	0.0	3.8
假長葉楠	3	4.4	10.0	0.9	5.1
合計	68	100.0	100.0	100.0	100.0

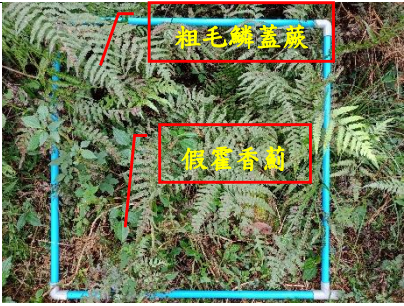
樣區 264

樹種	株數	相對密度	相對頻度	相對面積	重要值指數
臺灣杉	36	80.0	40.0	61.6	60.5
紅檜	1	2.2	10.0	2.8	5.0
香杉	3	6.7	20.0	25.8	17.5
臺灣二葉松	3	6.7	20.0	8.9	11.8
臺灣山香圓	2	4.4	10.0	1.0	5.1
合計	45	100.0	100.0	100.0	100.0

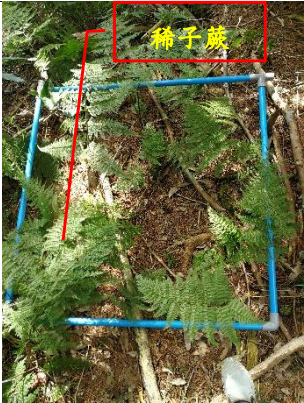
樣區 265

樹種	株數	相對密度(%)	相對頻度	相對面積	重要值指數
臺灣杉	42	100.0	100.0	100.0	100.0
合計	42	100.0	100.0	100.0	100.0

附件十一、樣區地被資料

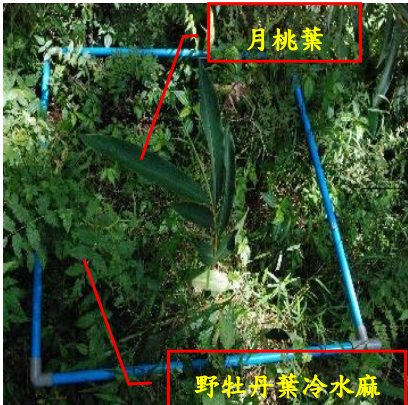
樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
102 (2014 年疏伐)	1	粗毛鱗蓋蕨 91% 巒大紫珠 5% 月桃 4%	
	2	粗毛鱗蓋蕨 64% 假蘆香薷 18% 巒大紫珠 14% 紅果薹 5%	
	3	冷青草 27% 臺灣菝葜 18% 野牡丹葉冷水麻 14% 粗毛鱗蓋蕨 18%	
	4	弧脈鳳尾蕨 90% 紅果薹 4% 月桃 6%	

樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
103 (未疏伐)	1	斜方複葉耳蕨 14% 珠砂根 7% 小月桃 36% 山素英 7% 紅果薹 21% 白絨懸鉤子 14%	
	2	白絨懸鉤子 8% 紅果薹 56% 野牡丹葉冷水麻 4% 求米草 12% 山桔梗 8% 海螺菊 12%	
	3	糙莖菝葜 16% 剪葉鐵角蕨 37% 小月桃 16% 紅果薹 11% 海螺菊 21%	
	4	紅果薹 18% 尖葉耳蕨 14% 臺灣灰木 9% 海螺菊 50% 阿里山天胡荽 9%	

樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
104 (2014 年疏伐)	1	稀子蕨 73% 珠砂根 18% 糙莖菝葜 9%	
	2	珠砂根 33% 稀子蕨 42% 斜方複葉耳蕨 8% 紅果薹 8% 骨碎蒲 8%	
	3	稀子蕨 76% 糙莖菝葜 6% 爬牆虎 18%	
	4	糙莖菝葜 22% 小月桃 33% 紅果薹 11% 稀子蕨 33%	

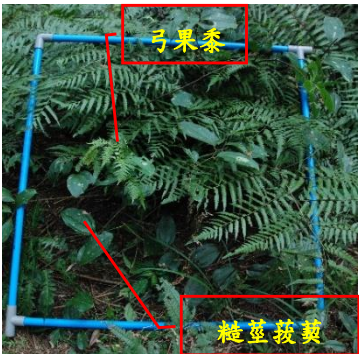
樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
111 (2012 年疏伐)	1	求米草 24% 臺灣崖爬藤 53% 稀子蕨 6% 小月桃 6% 斜方複葉耳蕨 12%	
	2	求米草 30% 小月桃 20% 臺灣崖爬藤 35% 斜方複葉耳蕨 15%	
	3	斜方複葉耳蕨 33% 臺灣崖爬藤 13% 求米草 13% 山何首烏 3% 小月桃 13% 糙莖菝葜 3%	
	4	斜方複葉耳蕨 13% 粗毛鱗蓋蕨 13% 弧脈鳳尾蕨 9% 野牡丹葉冷水麻 13% 臺灣崖爬藤 28% 稀子蕨 6% 求米草 19%	

樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
112 (2012 年疏伐)	1	刺萼寒梅 30% 小月桃 9% 求米草 52% 斜方複葉耳蕨 9%	
	2	小月桃 1% 刺萼寒梅 28% 臺灣崖爬藤 4% 粗毛鱗蓋蕨 11% 求米草 56%	
	3	糙莖菝葜 11% 求米草 4% 臺灣崖爬藤 4% 粗毛鱗蓋蕨 13% 刺萼寒梅 67%	
	4	求米草 33% 刺萼寒梅 36% 野牡丹葉冷水麻 5% 臺灣崖爬藤 5% 紅果薑 21%	

樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
121 (2013 年疏伐)	1	刺萼寒莓 53% 水麻 6% 野牡丹葉冷水麻 31% 硃砂根 9%	
	2	刺萼寒莓 38% 野牡丹葉冷水麻 38% 月桃葉 15% 求米草 8%	
	3	月桃葉 52% 野牡丹葉冷水麻 24% 刺萼寒莓 14% 臺灣菝葜 3% 求米草 7%	
	4	月桃葉 15% 刺萼寒莓 30% 野牡丹葉冷水麻 30% 求米草 15% 粗毛鱗蓋蕨 9%	

樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
122 (2013 年疏伐)	1	紅果薔 8% 小月桃 10% 懸鉤子 3% 臺灣懸鉤子 46% 巒大紫珠 13% 臺灣崖爬藤 13% 裡白蔥木 8%	
	2	海螺菊 51% 阿里山天胡荽 19% 臺灣崖爬藤 4% 斜方複葉耳蕨 1% 野牡丹葉冷水麻 8% 臺灣澤蘭 1% 巒大紫珠 1% 求米草 13% 白絨懸鉤子 1%	
	3	紅果薔 35% 臺灣崖爬藤 6% 求米草 20% 野牡丹葉冷水麻 18% 曲莖馬藍 8% 臺灣澤蘭 6% 蔓黃菀 4% 巒大紫珠 4%	
	4	野牡丹葉冷水麻 19% 小月桃 4% 求米草 47% 臺灣崖爬藤 12% 白絨懸鉤子 5% 曲莖馬藍 9% 屏東鐵線蓮 1% 阿里山天胡荽 1% 山何首烏 2%	

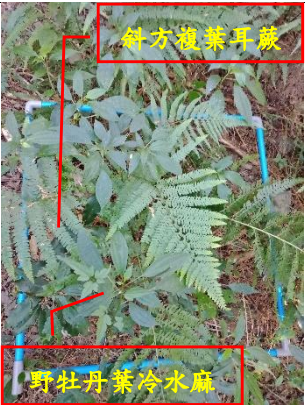
樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
131 (2009 年疏伐)	1	冷青草 94% 山桔梗 3% 野牡丹葉冷水麻 3%	
	2	冷青草 86% 山桔梗 9% 野牡丹葉冷水麻 5%	
	3	野牡丹葉冷水麻 36% 粗毛鱗蓋蕨 54% 紅果薹 5% 竹葉草 5%	
	4	紅果薹 19% 冷青草 26% 野牡丹葉冷水麻 38% 山桔梗 13% 竹葉草 4%	

樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
132 (2014 年疏伐)	1	黃鶴頂蘭 38% 竹葉草 29% 臺灣崖爬藤 19% 蔓茄 10% 愛玉 2% 絞股藍 1% 野牡丹葉冷水麻 1%	
	2	廣葉鋸齒雙蓋蕨 61% 臺灣崖爬藤 24% 臺灣土防己 1% 竹葉草 6% 阿里山疏花苔 1% 蛇根草 2% 野牡丹葉冷水麻 1% 俄氏鐵角蕨 2%	
	3	臺灣崖爬藤 52% 竹葉草 10% 弓果黍 21% 山何首烏 2% 糙莖菝葜 5% 風藤 2% 香楠 1% 長梗盤花麻 2% 假糙蘇 1% 蔓茄 2% 阿里山月桃 1% 阿里山天胡荽 1%	
	4	廣葉鋸齒雙蓋蕨 33% 小葉複葉耳蕨 13% 黃鶴頂蘭 13% 臺灣崖爬藤 13% 竹葉草 7% 小杜若 7% 蜜蜂花 1% 阿里山疏花苔 1% 山何首烏 1% 風藤 3% 細葉碎米薺 4% 絨毛芙蓉蘭 1% 塔花 1%	

樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
133 (2014 年疏伐)	1	稀子蕨 22% 野牡丹葉冷水麻 8% 刺萼寒梅 16% 巒大紫珠 14% 珠砂根 5% 海螺菊 5% 竹葉草 14% 紅果薹 3% 山桔梗 5% 灰木 8%	
	2	稀子蕨 30% 粗毛鱗蓋蕨 15% 曲莖馬藍 15% 弧脈鳳尾蕨 40%	
	3	懸鉤子 15% 稀子蕨 22% 斜方複葉耳蕨 15% 曲莖馬藍 15% 紅果薹 7% 竹葉草 7% 求米草 4% 山桔梗 4% 蔓黃菀 11%	
	4	稀子蕨 55% 巒大紫珠 9% 粗毛鱗蓋蕨 18% 斜方複葉耳蕨 9% 曲莖馬藍 5% 山桔梗 5%	

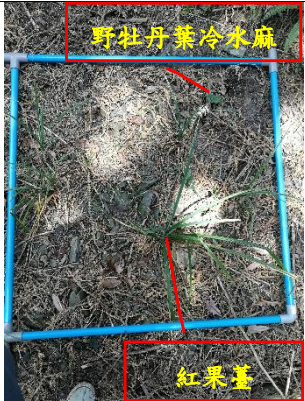
樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
171 (2008 年疏伐)	1	月桃 85% 竹葉草 15% 臺灣崖爬藤 5% 山何首烏 5%	
	2	粗毛鱗蓋蕨 25% 弧脈鳳尾蕨 25% 斜方複葉耳蕨 25% 竹葉草 15% 臺灣崖爬藤 10%	
	3	弧脈鳳尾蕨 70% 竹葉草 15% 臺灣崖爬藤 5% 紅果薹 10%	
	4	冷清草 78% 粗毛鱗蓋蕨 13% 竹葉草 4% 臺灣崖爬藤 5%	

樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
172 (2008 年疏伐)	1	斜方複葉耳蕨 32% 求米草 19% 臺灣崖爬藤 14% 紅果薑 27% 野牡丹葉冷水麻 8%	
	2	臺灣崖爬藤 23% 阿里山天胡荽 14% 糙莖菝葜 9% 小月桃 9% 求米草 27% 斜方複葉耳蕨 14% 火炭母草 5%	
	3	斜方複葉耳蕨 21% 紅果薑 14% 臺灣崖爬藤 21% 糙莖菝葜 19% 求米草 12% 臺灣灰木 9% 山何首烏 5%	
	4	斜方複葉耳蕨 9% 臺灣灰木 7% 臺灣崖爬藤 16% 紅果薑 19% 求米草 26% 刺萼寒梅 2% 糙莖菝葜 9% 山桔梗 12%	

樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
182 (2009 年疏伐)	1	野牡丹葉冷水麻 86% 紅果薹 14%	
	2	小梗木薑子 20% 野牡丹葉冷水麻 31% 斜方複葉耳蕨 41% 臺灣崖爬藤 5% 紅果薹 3%	
	3	野牡丹葉冷水麻 74% 臺灣崖爬藤 21% 竹葉草 3% 臺灣拔莖 2%	
	4	臺灣崖爬藤 46% 竹葉草 13% 月桃 20% 山桔梗 4% 野牡丹葉冷水麻 13% 求米草 4%	

樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
183 (2009 年疏伐)	1	小月桃 17% 臺灣崖爬藤 14% 求米草 38% 稀子蕨 3% 巒大紫珠 28%	
	2	臺灣崖爬藤 33% 糙莖菝葜 4% 斜方複葉耳蕨 8% 弧脈鳳尾蕨 4% 小月桃 29% 巒大紫珠 8% 野牡丹葉冷水麻 13%	
	3	稀子蕨 8% 臺灣灰木 8% 巒大紫珠 20% 咬人貓 10% 糙莖菝葜 3% 臺灣崖爬藤 18% 求米草 30% 野牡丹葉冷水麻 5%	
	4	小月桃 5% 巒大紫珠 63% 斜方複葉耳蕨 11% 求米草 21%	

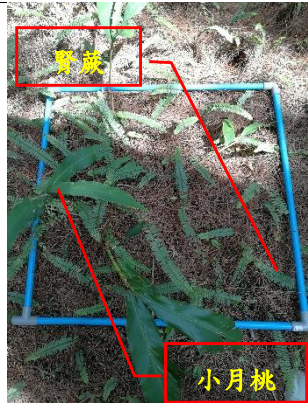
樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
184 (2009 年疏伐)	1	臺灣崖爬藤 25% 竹葉草 8% 孤脈鳳尾蕨 50% 月桃 13% 大葉石櫟 4%	
	2	野牡丹葉冷水麻 55% 臺灣崖爬藤 22% 阿里山天胡荽 7% 腎蕨 11%	
	3	臺灣崖爬藤 26% 孤脈鳳尾蕨 42% 臺灣拔莖 21% 山何首烏 5% 阿里山天胡荽 5%	
	4	腎蕨 64% 臺灣崖爬藤 14% 阿里山天胡荽 5% 硃砂根 18%	

樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
201 (未疏伐)	1	紅果薑 53% 求米草 29% 野牡丹葉冷水麻 12% 粗毛鱗蓋蕨 6%	
	2	小月桃 9% 颱風草 14% 腎蕨 51% 紅果薑 6% 臺灣崖爬藤 17% 小梗木薑子 3%	
	3	求米草 77% 紅果薑 10% 小梗木薑子 1% 野牡丹葉冷水麻 3% 腎蕨 6% 生芽鐵線蕨 1% 臺灣崖爬藤 3%	
	4	颱風草 5% 紅果薑 14% 斜方複葉耳蕨 3% 臺灣崖爬藤 14% 求米草 61% 腎蕨 5%	

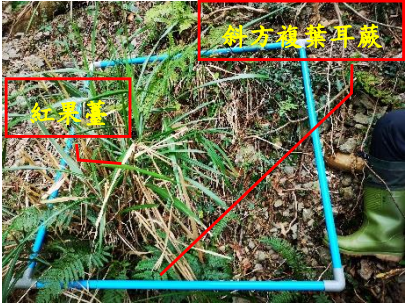
樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
202 (未疏伐)	1	紅果薹 14% 圓果冷水麻 43% 腎蕨 32% 臺灣菝葜 11%	
	2	腎蕨 45% 圓果冷水麻 33% 紅果薹 12% 粗毛鱗蓋蕨 10%	
	3	腎蕨 35% 斜方複葉耳蕨 42% 圓果冷水麻 17% 竹葉草 6%	
	4	圓果冷水麻 22% 腎蕨 73% 竹葉草 5%	

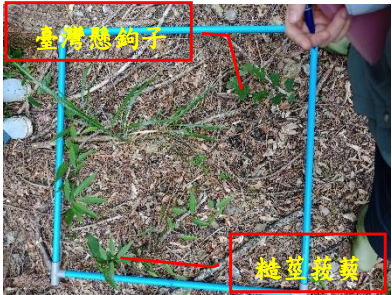
樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
203 (2015 年疏伐)	1	月桃 80% 小梗木薑子 7% 竹葉草 3% 斜方複葉耳蕨 10%	
	2	粗毛鱗蓋蕨 100%	
	3	粗毛鱗蓋蕨 76% 硃砂根 12% 臺灣崖爬藤 10% 竹葉草 2%	
	4	海螺菊 78% 竹葉草 6% 硃砂根 11% 臺灣崖爬藤 4%	

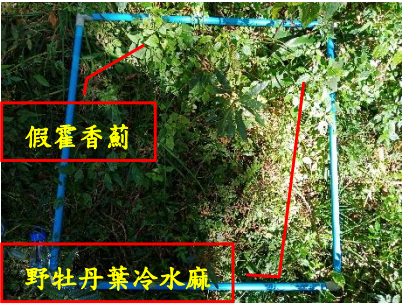
樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
221 (2009 年疏伐)	1	紫花藿香薊 20% 阿里山天胡荽 51% 山桔梗 7% 蛇莓 7% 野牡丹葉冷水麻 11% 水麻 2% 斜方複葉耳蕨 2%	
	2	斜方複葉耳蕨 3% 小月桃 5% 野牡丹葉冷水麻 30% 臺灣崖爬藤 32% 山桔梗 5% 求米草 11% 紅果薔 11% 屏東鐵線蓮 3%	
	3	紅果薔 5% 臺灣崖爬藤 7% 求米草 52% 野牡丹葉冷水麻 11% 山桔梗 25%	
	4	野牡丹葉冷水麻 68% 山桔梗 13% 求米草 19%	

樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
222 (2007 年疏伐)	1	粗毛鱗蓋蕨 12% 野牡丹葉冷水麻 81% 山何首烏 8%	
	2	腎蕨 75% 臺灣崖爬藤 8% 野牡丹葉冷水麻 9% 蔓黃菀 4% 弧脈鳳尾蕨 4%	
	3	粗毛鱗蓋蕨 19% 腎蕨 57% 野牡丹葉冷水麻 14% 求米草 10%	
	4	小月桃 25% 腎蕨 64% 蔓黃菀 4% 樟 4% 野牡丹葉冷水麻 4%	

樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
231 (2014 年疏伐)	1	麥門冬 13% 珠砂根 13% 糙莖菝葜 65% 燈稱花 9%	
	2	燈稱花 88% 糙莖菝葜 12%	
	3	臭辣樹 25% 斯氏懸鉤子 25% 紅果薔 50%	
	4	山茶科 67% 芒草 33%	

樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
232 (2014 年疏伐)	1	曲莖馬藍 94% 巒大紫珠 6%	
	2	白絨懸鉤子 5% 紅果薔 29% 斜方複葉耳蕨 14% 蔓黃菀 3% 曲莖馬藍 14% 稀子蕨 19% 竹葉草 10% 臺灣崖爬藤 3% 山何首烏 3%	
	3	臺灣菝葜 38% 紅果薔 % 臺灣崖爬藤 14% 巒大紫珠 10% 曲莖馬藍 10% 竹葉草 5%	
	4	月桃 8% 臺灣菝葜 24% 臺灣灰木 16% 大葉石櫟 16% 臺灣懸鉤子 8% 紅果薔 5% 珠砂根 24%	

樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
233 (2014 年疏伐)	1	糙莖菝葜 100%	
	2	糙莖菝葜 70% 珠砂根 30%	
	3	紅果薹 9% 臺灣懸鉤子 18% 糙莖菝葜 45% 芒草 27%	
	4	山茶科 50% 臺灣懸鉤子 33% 紅果薹 17%	

樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
241 (2015 年疏伐)	1	紅果薑 7% 山何首烏 2% 長葉木薑子 2% 粗毛鱗蓋蕨 5% 野牡丹葉冷水麻 11% 懸鉤子 14% 阿里山天胡荽 14% 假霍香薊 9% 斜方複葉耳蕨 9% 月桃 5% 火炭母草 1% 臺灣崖爬藤 5% 海螺菊 18%	
	2	野牡丹葉冷水麻 12% 薄葉艾納香 18% 懸鉤子 18% 紅果薑 9% 阿里山天胡荽 9% 海螺菊 12% 斜方複葉耳蕨 9% 臺灣崖爬藤 6% 山桔梗 3% 風藤 3%	
	3	長葉木薑子 8% 野牡丹葉冷水麻 11% 斜方複葉耳蕨 13% 懸鉤子 3% 紅果薑 5% 海螺菊 21% 阿里山天胡荽 5% 山桔梗 5% 求米草 1% 臺灣崖爬藤 16% 火炭母草 3% 粗毛鱗蓋蕨 5%	
	4	澤蘭 5% 海螺菊 27% 弧脈鳳尾蕨 14% 刺萼寒梅 19% 臺灣崖爬藤 16% 蒔蘿 1% 紅果薑 3% 阿里山天胡荽 5%	

樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
242 (2015 年疏伐)	1	紅果薑 25% 圓果冷水麻 25% 臺灣崖爬藤 7% 海螺菊 11% 蔓黃菀 4% 小梗木薑子 8% 竹葉草 12% 懸鉤子 8%	
	2	紅果薑 22% 刺萼寒梅 34% 蔓黃菀 11% 圓果冷水麻 9% 竹葉草 2% 海螺菊 11% 臺灣崖爬藤 9% 斜方複葉耳蕨 4%	
	3	圓果冷水麻 10% 刺萼寒梅 34% 斜方複葉耳蕨 4% 海螺菊 33% 硃砂根 19%	
	4	圓果冷水麻 25% 臺灣圓腺蕨 10% 紅果薑 13% 刺萼寒梅 25% 臺灣菝葜 13% 懸鉤子 2% 臺灣崖爬藤 3% 竹葉草 7% 蔓黃菀 2%	

樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
243 (2015 年疏伐)	1	曲莖馬藍 86% 長葉木薑子 5% 臺灣崖爬藤 10%	
	2	曲莖馬藍 45% 稀子蕨 9% 斜方複葉耳蕨 9% 臺灣崖爬藤 27% 海螺菊 9%	
	3	曲莖馬藍 82% 斜方複葉耳蕨 5% 臺灣崖爬藤 10% 竹葉草 3%	

樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
	4	曲莖馬藍 82% 臺灣崖爬藤 9% 山桔梗 9%	
262 (2007 年疏伐)	1	月桃 86% 臺灣崖爬藤 6% 野牡丹葉冷水麻 4% 白絨懸鉤子 4%	
	2	野牡丹葉冷水麻 57% 斜方複葉耳蕨 29% 阿里山天胡荽 11% 紅果薑 2%	
	3	野牡丹葉冷水麻 15% 月桃 85%	

樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
263 (2007 年疏伐)	4	弧脈鳳尾蕨 53% 野牡丹葉冷水麻 27% 粗毛鱗蓋蕨 20%	
	1	曲莖馬蘭 75% 粗毛鱗蓋蕨 25%	
	2	腎蕨 83% 臺灣崖爬藤 11% 風藤 6%	
	3	芒萁 37% 粗毛鱗蓋蕨 56% 臺灣崖爬藤 7%	

樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
264 (2007 年疏伐)	4	腎蕨 79% 紅果薹 16% 竹葉草 5%	
	1	腎蕨 51% 斜方複葉耳蕨 22% 紅果薹 15% 野牡丹葉冷水麻 7% 竹葉草 4%	
	2	腎蕨 71% 臺灣崖爬藤 12% 香楠 5% 野牡丹葉冷水麻 12%	
	3	颱風草 16% 腎蕨 53% 月桃 26% 野牡丹葉冷水麻 5%	

樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
	4	腎蕨 84% 颱風草 12% 香楠 4%	
265 (2007 年疏伐)	1	小月桃 18% 斜方複葉耳蕨 7% 求米草 32% 臺灣崖爬藤 43%	
	2	臺灣崖爬藤 96% 野牡丹葉冷水麻 4%	
	3	臺灣懸鉤子 15% 求米草 78% 野牡丹葉冷水麻 7%	

樣區	編號	物種相對覆蓋度	調查樣區圖
	4	野牡丹葉冷水麻 40% 紅果薑 10% 求米草 27% 山桔梗 7% 臺灣崖爬藤 13% 裡白蔥木 3%	

附件十二、計畫區動物名錄

1. Insecta 昆蟲類

1. Hesperidae 弄蝶科

1. *Notocrypta curvifascia* 黑弄蝶 (V)

2. Lycaenidae 灰蝶科

2. *Jamides bochus formosanus* Fruhstorfer 琉璃波紋小灰蝶 (V)
3. *Zizeeria maha okinawana* Matsumura 沖繩小灰蝶 (V)

3. Nymphalidae 蛱蝶科

4. *Euploea mulciber barsine* Fruhstorfer 端紫斑蝶 (V)
5. *Junonia lemonias* Fruhstorfer 眼紋擬蛱蝶 (V)
6. *Kaniska canace drilon* Fruhstorfer 琉璃蛱蝶 (V)
7. *Lethe verma* Fruhstorfer 玉帶黑蔭蝶 (V)
8. *Melanitis phedima polishana* Fruhstorfer 黑樹蔭蝶 (V)
9. *Mycalesis francisca* Fruhstorfer 小蛇目蝶 (V)
10. *Neptis hylas* Fruhstorfer 琉球三線蝶 (V)
11. *Symbrenthia lila formosanus* Fruhstorfer 黃三線蝶 (V)

12. *Ypthima baldus* Fruhstorfer 小波眼蝶 (V)

13. *Ypthima multistriata* Butler 臺灣波紋蛇目蝶 (V)

4. Papilionidae 鳳蝶科

14. *Byasa polyeuctes termessus* Fruhstorfer 大紅紋鳳蝶 (V)

15. *Graphium sarpedon connectens* Fruhstorfer 青帶鳳蝶 (V)

16. *Papilio protenor protenor* Fruhstorfer 黑鳳蝶 (V)

5. Pieridae 粉蝶科

17. *Eurema blanda* Fruhstorfer 臺灣黃蝶 (V)

18. *Eurema hecabe* Linnaeus 荷氏黃蝶 (V)

19. *Gonepteryx amintha* Fruhstorfer 紅點粉蝶 (V)

20. *Ixias pyrene* Butler 雌白黃蝶 (V)

21. *Pieris canidia* Linnaeus 臺灣紋白蝶 (V)

22. *Pieris rapae* Boisduval 紋白蝶 (V)

2. Aves 鳥類

1. Accipitridae 鷹科

23. *Accipiter trivirgatus formosae* Temminck 鳳頭蒼鷹 (E, LC)

24. *Spilornis cheela* Latham 大冠鷲 (E,LC)

2. Aegithalidae 長尾山雀科

25. *Aegithalos concinnus* Gould 紅頭山雀 (V,LC)

3. Campephagidae 山椒鳥科

26. *Pericrocotus solaris* Blyth 灰喉山椒鳥 (V,LC)

4. Cettiidae 樹鶯科

27. *Abroscopus albogularis fulvifacies* Hodgson 棕面鶯 (V,LC)

5. Columbidae 鳩鴿科

28. *Columba pulchricollis* Blyth 灰林鴿 (V,LC)

29. *Treron sieboldii* Temminck 綠鳩 (E,LC)

6. Corvidae 鴉科

30. *Corvus macrorhynchos colonorum* Wagler 巨嘴鴉 (V,LC)

31. *Garrulus glandarius* Linnaeus 松鴉 (E,LC)

32. *Urocissa caerulea* Gould 臺灣藍鵲(E,LC)

7. Cuculidae 杜鵑科

33. *Hierococcyx sparveroides* Vigors 鷹鵑 (V,LC)

8. Dicaeidae 啄花科

34. *Dicaeum concolor* Jerdon 綠啄花 (E,LC)

9. Leiothrichidae 噪眉科

35. *Alcippe morrisonia* Swinhoe 繡眼畫眉 (E,LC)

36. *Heterophasia auricularis* Swinhoe 白耳畫眉 (V, LC)

37. *Liocichla steerii* Swinhoe 藪鳥 (E,LC)

38. *Ianthocincla ruficeps* Gould 臺灣白喉噪眉(E, NT)

10. Monarchidae 王鷓鴣科

39. *Hypothymis azurea* Boddaert 黑枕藍鷓鴣 (E,LC)

11. Muscicapidae 鷓鴣科

40. *Brachypteryx montana goodfellowi* Ogilvie-Grant 小翼鷓鴣 (E,LC)

41. *Ficedula hyperythra innexa* Swinhoe 黃胸青鷓鴣(E,LC)

42. *Myiomela leucura* Hodgson 白尾鷓鴣 (E, LC)

43. *Myophonus insularis* Gould 臺灣紫嘯鷓鴣 (E,LC)

44. *Niltava vivida* Swinhoe 黃腹琉璃 (E, LC)

12. Oriolidae 黃鸝科

45. *Oriolus traillii ardens* Swinhoe 朱鸝(E, LC)

13. Paridae 山雀科

46. *Parus holsti* Seebohm 黃山雀 (E, NT)

47. *Parus monticolus insperatus* Swinhoe 青背山雀 (E, LC)

14. Pellorneidae 雀眉科

48. *Schoeniparus brunnea brunnea* Gould 頭烏線 (E, LC)

15. Phasianidae 雉科

49. *Arborophila crudigularis* Swinhoe 深山竹雞 (E, LC)

50. *Bambusicola sonorivox* Gould 臺灣竹雞 (E, LC)

51. *Lophura swinhoii* Gould 藍腹鵒 (E, NT)

16. Picidae 啄木鳥科

52. *Dendrocopos canicapillus kaleensis* Blyth 小啄木 (V,LC)

17. Pnoepyidae 鷓眉科

53. *Pnoepyga albiventer* Hodgson 臺灣鷓鷀 (E,LC)

18. Pycnonotidae 鶇科

54. *Hypsipetes leucocephalus nigerrimus* J. F. Gmelin 紅嘴黑鶇 (E,LC)

55. *Pycnonotus sinensis formosae* J. F. Gmelin 白頭翁 (E,LC)

19. Ramphastidae 鬚鴛科

56. *Megalaima nuchalis* Gould 五色鳥 (E,LC)

20. Scolopacidae 鶇科

57. *Scolopax rusticola* Linnaeus 山鶇 (V,LC)

21. Sittidae 鴉科

58. *Sitta europaea sinensis* Verreaux 茶腹鵲(E,LC)

22. Timaliidae 畫眉科

59. *Megapomatorhinus erythrocnemis* Gould 大彎嘴畫眉 (E, LC)

60. *Pomatorhinus musicus* Swinhoe 小彎嘴畫眉 (E,LC)

61. *Stachyris ruficeps* Blyth 山紅頭 (E,LC)

23. Turdidae 鶇科

62. *Zoothera dauma* Latham 虎鶇 (V,LC)

24. Vireonidae 綠鶇科

63. *Erpornis zantholeuca* Blyth 綠畫眉 (V,LC)

25. Zosteropidae 繡眼科

64. *Yuhina brunneiceps* Ogilvie-Grant 冠羽畫眉 (E, LC)

3. Mammalia 哺乳類

1. Bovidae 牛科

65. *Naemorhedus swinhoei* Gray 臺灣野山羊 (E, LC)

2. Cercopithecidae 獼猴科

66. *Macaca cyclopis* Swinhoe 臺灣獼猴 (E, LC)

3. Cervidae 鹿科

67. *Muntiacus reevesi micrurus* Sclater 臺灣山羌 (E, LC)

68. *Rusa unicolor swinhoei* Sclater 臺灣水鹿 (E, VU)

4. Mustelidae 貂科

69. *Martes flavigula chrysospila* Swinhoe 黃喉貂 (E, LC)

70. *Melogale moschata subaurantiaca* Swinhoe 鼬獾 (E,LC)

71. *Mustela sibirica taivana* Thomas 黃鼠狼 (E, LC)

5. Sciuridae 松鼠科

72. *Callosciurus erythraeus taiwanensis* Pallas 赤腹松鼠 (V, LC)

73. *Tamias maritimus formosanus* Bonhote 條紋松鼠 (E, LC)

6. Suidae 豬科

74. *Sus scrofa taiwanus* Swinhoe 臺灣野豬 (E, LC)

7. Ursidae 熊科

75. *Ursus thibetanus* subsp. *formosanus* Swinhoe 臺灣黑熊 (E, VU)

8. Viverridae 靈貓科

76. *Paguma larvata taiwana* Swinhoe 白鼻心 (E, LC)

4. Amphibia 兩生類

1. Bufonidae 蟾蜍科

77. *Bufo bankorensis* Barbour 盤古蟾蜍 (E, LC)

2. Rhacophoridae 樹蛙科

78. *Kurixalus eiffingeri* Boettger 艾氏樹蛙 (V, LC)

79. *Rhacophorus moltrechti* Boulenger 莫氏樹蛙 (E, LC)

欄 A - E: 特有, V: 原生, R: 歸化, D: 栽培

屬性代碼(A, B)對照表 欄 B – EX: 滅絕, EW: 野外滅絕, CR: 極危, EN: 瀕危, VU: 易危,
NT: 近危, LC: 無危, DD: 數據缺乏, NE: 未做評估(若無符合欄 B
者, 該欄位代碼為空白)