

10609

恢復武陵廢耕地之森林生態系：復育對策與實踐

雪霸國家公園管理處委託辦理計畫成果報告(一〇八年度)

恢復武陵廢耕地之森林生態系：
復育對策與實踐

雪霸國家公園管理處委託辦理計畫成果報告

中華民國一〇八年十二月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

恢復武陵廢耕地之森林生態系：
復育對策與實踐

受委託者：國立中興大學

研究主持人：邱清安

執行單位：國立中興大學實驗林管理處

雪霸國家公園管理處委託辦理計畫成果報告

中華民國一〇八年十二月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

摘要

關鍵詞：雪霸國家公園、廢耕地、生態復育造林、出栽處理、種子直播

一、研究緣起

武陵廢耕地共 8.1 公頃，過去曾是長期種植高麗菜之耕地。自 2008 年徵收並廢耕後，由於在早期種植高麗菜時大量施用雞糞及石灰，導致土壤理化性質改變，同時因外來入侵雜草優勢、表土乾旱等多重阻礙，至 2015 仍完全無樹木天然下種更新，逐漸形成由外來草種佔優勢的草生地；本計畫為達成淨化水質、涵養水源、維護生物多樣性等公益性效能，並完成臺灣櫻花鉤吻鮭之棲地復育，分析與解決武陵廢耕地中各種可能阻礙林木定植之限制因子，進行相關試驗，累積監測數據，進一步整合最適武陵廢耕地之生態復育措施，期能將廢耕地回復為原有之健康森林生態系。

二、研究方法及過程

綜合本計畫相關試驗結果及過去相關研究，武陵廢耕地森林恢復的主要阻礙因素包括雜草繁盛(妨礙種子發芽、苗木光合作用、資源競爭)、土壤失衡(土壤水分不足、pH 值過高、養分元素失衡)、種源不足(現地無母樹天然下種、土壤種子庫林木種子貧乏)、動物危害(山豬挖掘破壞、山羌及嚙齒類啃食葉部及枝幹)等問題。唯有阻礙林木更新的多重障礙同時被改善，才能實現生態復育之進展，為此，本計畫擬定武陵廢耕地之森林復育策略，針對林木更新之各種障礙加以解決，除了為提供復育所需之種源而密集進行種子採集、種子處理與儲藏、苗木培育，同時配合於無寒害及充足水分之梅雨季，實施種子直播與苗木出栽，試驗最佳之造林樹種與方法，同時也探究野生動物掠食苗木之控制。

三、重要結果

- (一) 武陵廢耕地之復育造林可同時採行苗木出栽、種子直播。
- (二) 植穴坑栽種法為適用於武陵廢耕地早期階段之苗木出栽方法。
- (三) 打漿及敷蓋之處理措施能改善於廢耕地出栽苗木的存活率。
- (四) 適於武陵廢耕地之生態造林時機為 4 月 15 日至 6 月 30 日梅雨季的陰雨天氣。
- (五) 綜合監測資料分析與現場觀察結果，可歸納出 8 種適合武陵廢耕地早期階段出栽之樹種，殆屬於演替早期樹種，包括：臺灣赤楊、山桐子、檫木、山柿、阿里山榆、朴樹、山枇杷、石楠，但應根據不同樹種特性及環境條件注意其種植相關細節，以提高存活率與生長量。
- (六) 紅楠、大葉石櫟、木荷等偏演替後期之樹種，較難適應廢耕地目前之開闊、劇變的劣化環境，應待臺灣赤楊等演替早期樹種長大後，再於其林下進行演替後期樹種之豐增補植。
- (七) 受限於武陵廢耕地之生物性與非生物性的苗木定殖障礙，目前較適宜採用種子直播復育造林之樹種為臭椿、臺灣胡桃。
- (八) 防止山羌取食苗木：(1) 化學忌避劑無法長期防止山羌取食苗木；在廢耕地周邊設置帶狀圍籬無法阻止野生動物進入廢耕地，而苗木單株圍網則可有效阻止山羌取食苗木。(2) 臺灣蘋果、食茱萸等莖幹具棘刺之苗木，可減少山羌取食苗木。(3) 對於部分山羌偏愛取食之樹種，未來宜培育為較大苗木(枝葉高約 120 cm 以上)再行出栽。

四、主要建議事項

立即可行之建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：相關學術研究機構

國內民眾已常參與一般的植樹活動，雪霸國家公園觀霧地區亦有民眾參與之工作假期，未來武陵廢耕地之生態造林為一難得的復育實作機會，亦可考慮請志工或民眾來共同參與。

中長期建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：相關學術研究機構

近年來世界各國因社經因素轉變、環保意識覺醒，許多的山區耕作地正逐漸被荒廢，而在台灣的中海拔山區，包括丹大、梨山、武陵等地，也已有廣達數百公頃的超限農耕地被強制收回，這些廢耕地本身其實就是不當利用或過度開發的退化地，未來應配合分析此一本土退化生態系之特性，並積極進行生態復育，將已呈嚴重劣化的高山廢耕地恢復為原生的、多樣化的、健康的、多層次的森林生態系。

目次

表次.....	V
圖次.....	VI
第一章 緒論.....	1
第一節 計畫緣由	1
第二節 計畫目標	2
第三節 前人研究	4
第四節 研究地區	27
第二章 研究方法.....	32
第一節 廢耕地之復育分區	32
第二節 問題分析與對策研擬	32
第三節 林木種子及種苗採集	33
第四節 種子處理與種子儲藏	33
第五節 復育樹種之苗木培育	33
第六節 廢耕地環境分析與栽植法設計	34
第七節 苗木出栽造林之試驗	34
第八節 種子直播造林之試驗	35
第九節 野生動物危害之防止	35
第三章 結果與討論.....	36
第一節 廢耕地之復育分區	36
第二節 問題分析與對策研擬	38
第三節 林木種子及種苗之採集	41
第四節 種子處理與種子儲藏	59
第五節 復育樹種之苗木培育	63
第六節 廢耕地環境分析與栽植法設計	77
第七節 苗木出栽造林之試驗	86
第八節 種子直播造林之試驗	148
第九節 野生動物危害之防止	177
第四章 結論與建議.....	181
第一節 結論	181
第二節 建議	183
引用文獻.....	184
附錄 1. 本報告書出現之植物名錄	196
附錄 2. 審查會議回覆辦理情形	202

表次

表 1-3-1. 劣化環境之種類與說明(關秉宗等 2006).....	5
表 1-3-2. 生態復育相關之常見術語與定義(邱清安 2012).....	8
表 1-4-1. 研究區範圍內國家現生植群圖所出現之群系(formation)類別.....	30
表 3-3-1. 已採集種子之樹種名錄，及其座標(TWD97 系統)、海拔等資訊.....	42
表 3-5-1 歷年造林工程出栽苗木數量統計表.....	64
表 3-5-2. 於 2017-03-22 ~ 06-05 出栽苗木種類與數量.....	65
表 3-5-3. 於 2018-04-16 ~ 25 出栽苗木種類與數量.....	67
表 3-5-4. 於 2019-04-22 ~ 05-02 出栽苗木種類與數量.....	69
表 3-6-1. 武陵廢耕地之長期氣候(取自 Chiu et al. 2009 氣候空間推估資料).....	79
表 3-6-2 武陵氣象站 2019-01-01 ~ 2019-07-31 氣象資料.....	83
表 3-7-1. 造林工程出栽苗木之初期存活率(粗體字表示該年出栽株數 ≥ 30 株).....	91
表 3-7-2. 武陵廢耕地造林監測區之基本資訊.....	93
表 3-7-3. 2017 監測區之苗木存活率、生長與表現指數(字體黑色表示苗木樣本數 ≥ 10 株；字體深灰色表示 < 10 株).....	95
表 3-7-4. 2018 監測區之苗木存活率、生長與表現指數(字體黑色表示苗木樣本數 ≥ 10 株；字體深灰色表示 < 10 株).....	98
表 3-7-5. 液肥及土漿之苗木出栽的生長表現.....	105
表 3-7-6. 4 種出栽法苗木存活率之 one-way ANOVA 檢測結果.....	108
表 3-7-7. 15 種樹種苗木存活率之 one-way ANOVA 檢測結果.....	109
表 3-7-8. 15 種樹種、4 種出栽法對苗高之影響 Two-way ANOVA 檢測結果.....	113
表 3-7-9. 15 種樹種、4 種出栽法對地徑之影響 Two-way ANOVA 檢測結果.....	116
表 3-7-10. 15 種樹種、4 種出栽法對冠徑之影響 Two-way ANOVA 檢測結果.....	119
表 3-7-11. 15 種樹種之苗木生長表現指數.....	124
表 3-7-12. 山桐子之生長表現(2017-07-21 ~ 2019-10-23).....	130
表 3-7-13. 臺灣赤楊之苗木生長表現(2017-05-03 ~ 2019-10-23).....	133
表 3-7-14. 臺灣蘋果之生長表現(2018-04-28 ~ 2019-10-21).....	136
表 3-7-15. 打漿與敷蓋對臺灣赤楊苗木之影響監測.....	143
表 3-7-16. 樣株出栽前與不同種植處理 1 年後之形質、生物量比較.....	145
表 3-8-1. 直播試驗樹種之種子形質、儲藏、試驗組之處理方式.....	149
表 3-8-2. 青剛櫟、臺灣胡桃與山柿於 2017-06 ~ 2019-04 月之發芽與生長.....	156
表 3-8-3 臭椿與胡桃不同覆土深度於 2018-04 ~ 2019-10 之發芽情形.....	164
表 3-8-4 臭椿與胡桃不同覆土深度於 2018-04 ~ 2019-10 之成苗情形.....	165
表 3-8-5. 臭椿與臺灣胡桃種子苗生長監測之基本資料.....	170
表 3-8-6. 臭椿種子苗之生長監測記錄(2016-05-21 播種).....	173
表 3-8-7. 臺灣胡桃種子苗之生長監測記錄(2017-03-28 播種).....	173
表 4-1-1. 8 種推薦樹種之種植相關細節.....	182

圖次

圖 1-3-1. 恢復已退化生態系之不同選項，包括復育(restoration)、復建(rehabilitation)、改造(replacement)。生態系之特徵可由功能與結構共同表示，其中，實線圓圈表目前真實生態系情況、虛線圓圈表具有未知可能性的生態系情況；實線箭號表主動或人類介入的過程、虛線箭號表被動或自然的過程(邱清安 2012).....	8
圖 1-3-2. 七家灣溪地形與植群演替關係圖(重繪自郭城孟 1995).....	11
圖 1-3-3. 生態系之退化與恢復是逐步變化的相反過程：當生態系退化之程度愈高，其結構與功能愈低下，將同時面臨非生物的障礙(如土壤理化性質改變)與生物的障礙(如土壤種子庫貧乏)，此時生態恢復(生態復育、自生演替)所需之時間及成本將愈高(邱清安 2012).....	21
圖 1-3-4. 處理退化地之對策須因地制宜，應考量的因素包括生態的、人類觀點的面向，可放任退化地消極的自生演替(如退化地恢復的內在彈性甚佳時)，也可採取主動積極的人工復育(如土地退化程度很強時)，本圖之 9 項因素在未來面對退化地時可逐一檢視審慎考量，俾利制定最佳的退化地恢復策略(邱清安&徐憲生 2015).....	22
圖 1-3-5. 生態篩模型之相關示意圖(Cramer & Hobbs 2007).....	26
圖 1-4-1. 雪霸國家公園及本計畫研究區之位置圖.....	28
圖 1-4-2. 本計畫之研究區為武陵廢耕地附近之環境相似區域.....	28
圖 1-4-3. 研究區之地形、水系(藍線)、道路(紅線)、廢耕地(綠色三角形).....	29
圖 1-4-4. 武陵廢耕地之生態氣候圖.....	29
圖 1-4-5. 研究區之現生植群圖(A 為人工植生、F 為森林、紫色為非林班地、未著色部分即非海拔 1,500~2,500 m 之範圍，以衛星影像顯示).....	31
圖 1-4-6. 武陵廢耕地附近之現生植群圖，主要植群為 AA91 人工林(淡綠色)、FM41 山地針闊葉混淆林(深綠色).....	31
圖 3-1-1. 自然演替觀察區(綠色區塊)、原生景觀植物區(紅色區塊)、森林生態復育區(灰色區塊)等 3 項分區之位置.....	37
圖 3-2-1. 影響武陵廢耕地恢復為森林的思維圖.....	38
圖 3-2-2. 武陵廢耕地之森林復育對策與實踐.....	39
圖 3-2-3. 利用最低限定律的概念改善阻礙林木定殖更新之限制因子.....	40
圖 3-3-1. 復育樹種之種子採集.....	57
圖 3-4-1. 復育樹種之種子處理與儲藏.....	61
圖 3-5-1. 復育樹種之苗木培育作業(2017-01~06).....	71
圖 3-5-2. 復育樹種之苗木培育作業(2017-07~12).....	72
圖 3-5-3. 復育樹種之苗木培育作業(2018-01~06).....	73
圖 3-5-4. 復育樹種之苗木培育作業(2018-07~12).....	74
圖 3-5-5. 復育樹種之苗木培育作業(2019-01~06).....	75
圖 3-5-6. 復育樹種之苗木培育作業(2019-07~12).....	76

圖 3-6-1. 梨山、思源、武陵氣象站之氣溫及降雨資料	80
圖 3-6-2. 廢耕地出栽苗木受天氣影響之情形	81
圖 3-6-3. 苗木出栽方式之改良：植穴坑種植法	85
圖 3-7-1. 九芎之萌芽樁栽種試驗	88
圖 3-7-2. 監測區(6塊地號)之苗木生長表現.....	100
圖 3-7-3. 液肥及土漿之苗木出栽試驗設計	103
圖 3-7-4. 液肥及土漿之苗木出栽及監測過程	104
圖 3-7-5. 4種出栽法之苗木存活率	108
圖 3-7-6. 15種樹種之苗木存活率(英文相同者代表差異未達顯著水準).....	109
圖 3-7-7. 15種樹種、4種出栽法之苗木存活率變化(2017-04~2019-10).....	111
圖 3-7-8. 15種樹種、4種出栽法之苗高變化(2017-04~2019-10).....	114
圖 3-7-9. 15種樹種、4種出栽法之苗木地徑變化(2017-04~2019-10).....	117
圖 3-7-10. 15種樹種、4種出栽法之苗木冠徑變化(2017-04~2019-10).....	120
圖 3-7-11. 地號 97 試驗地之苗木表現.....	125
圖 3-7-12. 山桐子之生長監測	131
圖 3-7-13. 臺灣赤楊之苗木生長監測	134
圖 3-7-14. 臺灣蘋果之生長監測	137
圖 3-7-15. 過篩土與泥漿土出栽臺灣赤楊苗木之示意圖	139
圖 3-7-16. 臺灣赤楊苗木之打漿與敷蓋試驗配置圖(地號 152).....	140
圖 3-7-17. 打漿與敷蓋對臺灣赤楊之存活率與生長表現折線圖	144
圖 3-7-18. 不同出栽方法 1 年後之苗木生物量比較	145
圖 3-7-19. 赤楊出栽之打漿與敷蓋試驗	146
圖 3-8-1. 種子直播試驗之設計：樣格內實心圓表試驗組種子(T)，空心圓表對照 組種子(C)。灰底樣格表有覆蓋稻殼(M)，非灰底樣格表無覆蓋稻殼(N)。	152
圖 3-8-2. 種子直播試驗之相關歷程	157
圖 3-8-3. 臭椿與臺灣胡桃埋種覆土深度試驗之樣區配置圖	161
圖 3-8-4. 不同埋種深度下之臭椿與臺灣胡桃幼苗形質生長盒形圖(監測至 2019- 10).....	167
圖 3-8-5. 臭椿與臺灣胡桃種子覆土深度之試驗	168
圖 3-8-6. 臺灣胡桃與臭椿種子苗形質生長變化盒型圖	174
圖 3-8-7. 廢耕地之臭椿種子苗	175
圖 3-8-8. 廢耕地之臺灣胡桃種子苗	176
圖 3-9-1. 野生動物危害苗木之防止	179
圖 4-1-1. 武陵廢耕地之森林復育策略	182

第一章 緒論

第一節 計畫緣由

武陵地區為臺灣重要生態旅遊地，亦為臺灣櫻花鉤吻鮭之主要棲地，當地早期種植高山蔬菜之耕地為典型的退化土地類型之一(關秉宗等 2006)。此處早期菜地雖然已經廢耕近 10 年，但至今仍無當地樹種天然更新，且已被外來優勢草種所佔據，亟待重建原有的森林生態系。

近年來許多生態系由於非永續耕作、污染、破碎化、外來種等問題而嚴重退化，促使經營管理者期望以復育生態學(restoration ecology)之方法來恢復生態系應有之結構與功能，相關的研究與報告也急速的增加(Cramer & Hobbs 2007; Roberts et al. 2009; McAlpine et al. 2016; 邱清安 2012)。近年來生態系復育的社會需求(societal demand for ecosystem restoration)也正快速增加(Suding 2011)，特別是在某些土地，具耕作遺害(legacy)甚強、持續性沖蝕、毫無原生植群種源、外來種入侵優勢、退化範圍之面積甚大等問題，更必須要主動積極的復育措施(Dorner 2002; Lamb & Gilmour 2003; Stanturf et al. 2012; 邱清安&徐憲生 2015)，以期儘早恢復原有植群，提升環境品質(水資源、碳吸存等)、野生物(食物、棲息地等)、景觀美學、人類健康等多重效益(BWSR 2013)。

在退化的生態系中，有許多農地在近年因生態及社會經濟因素(ecological and socioeconomic reasons)而廢耕，這些廢耕地之生態回復可藉由自然更新或人力介入(human intervention)來達成，復育廢耕地必須被視為回復生態產品與服務的一種投資(viewed as an investment in ecosystem goods and services) (Benayas 2005)。由於廢耕地愈來愈普遍，且社會大眾對生態復育之認同與需求日趨殷切，因此，廢耕地的恢復可謂是目前復育生態學中重大的挑戰之一(Young 2000; Cramer et al. 2008)，緣此，Cramer & Hobbs (2007)也編輯了 *Old Fields: Dynamics and Restoration of Abandoned Farmland* 一書，特別探討廢耕地生態復育之相關議題。

本計畫以武陵地區徵收的 8.1 ha 農地(以下簡稱廢耕地)為生態復育之範圍，廢耕地自 2008 年至今仍無當地樹種之天然更新，並且已被外來優勢草種所佔據，亟

待以人為生態復育方法來促使原生林木之重新定殖，克服外來草種之優勢，以增進水源涵養並改善水質，維護櫻花鉤吻鮭棲地品質，重建原有的健康生態系；簡言之，本計畫之生態復育目標為將現今由外來草種優勢之草生地，恢復為當地原有之森林生態系。

第二節 計畫目標

本計畫之目標係以武陵廢耕地為試驗研究區，將現今之外來草種優勢的草生地，恢復為以當地原生樹種為優勢的森林，藉以涵養水源改善水質，重建應有之森林生態系。

為達成廢耕地恢復為原有森林之目標，有必要逐步研析復育對策並加以實踐，包括：瞭解廢耕地生態復育之生物性、非生物性的障礙，找出適宜的樹種及復育方法，建立未來可供臺灣山區廢耕地復育參考之操作典範，同時將相關的復育策略付諸實踐，促使森林生態系及環境品質恢復。以下為本計畫之主要目標：

- (一) 瞭解高山廢耕地之環境現況與耕作遺害。
- (二) 依據各種樹種於廢耕地之成活與生長情形，篩選可適應於廢耕地之生態復育樹種。
- (三) 整合適地適種原則、種子採種及苗木培育、出栽時機及處理等各項措施，建構高山廢耕地之復育造林知識與技術。
- (四) 逐步恢復武陵廢耕地之原有森林生態系，並作為高山農耕地恢復為森林生態系之生態復育模式及典範。
- (五) 以當地原生植物取代現有之外來種草本植物，恢復原有生態系之結構與功能。
- (六) 參照自然演替之規律，瞭解生態復育之軌跡。

本計畫預期完成之工作項目包括：

1. 持續分析武陵廢耕地之環境及植樹後之狀況。
2. 提出解決阻礙林木更新之對策方案。
3. 瞭解可能適應廢耕地環境之各種樹種的存活與生長。
4. 建構武陵廢耕地生態復育樹種之採種、儲藏、育苗、出栽等知能。
5. 進行種子披衣及促進發芽之處理，協助完成造林地整備及種子直播之生態復育造林。
6. 提供原生樹種苗木至少 25 種共 5,000 株以上，協助完成苗木出栽之生態復育造林。
7. 監測森林生態系復育措施之實施成效。

第三節 前人研究

為瞭解武陵地區廢耕地之森林生態復育的各項前人研究，本計畫以國家公園之研究報告網頁、Google 學術搜尋(scholar search)、國家圖書館碩博士論文網、中文期刊篇目索引、Thomson Reuters (formerly ISI) Web of Knowledge 進行文獻搜尋，及參考研討會論文與專書，其中與本計畫之研究目標較具相關之文獻，已列於相關參考資料中；茲回顧整理與本計畫相關報告之要點如下。

(一) 復育劣化環境之優先順序

森林的退化是一個全球性的議題，代表了生態系功能及人類福祉的重大威脅，經過恰當計畫的重新植林(reforestation)有助於減緩退化，保護生物多樣性，提升森林的產品與服務(goods and services)，且應同時考慮生物多樣性保育的需求、重新植林之生態的可行性(the need for biodiversity conservation and the ecological feasibility of reforestation) (Orsi & Geneletti 2010)。Gkaraveli et al. (2004)在英國 Snowdonia 國家公園，則是同時考量自然保育的觀點以及特殊政策的目標(nature conservation point of view and specific policy aims)，藉由地理資訊系統(Geographical Information System, GIS)來決定復育區的優先順序。

復育劣化環境是行政院「生物多樣性推動方案」的主要工作項目之一，期望將劣化環境加以復育，提昇國土品質，其執行事項包含：(1) 鑑定及排定擬復育劣化環境之優先順序、(2) 進行排定優先順序劣化環境之復育工作；為此，關秉宗等(2006)執行國科會研究計畫曾進行擬復育劣化環境順序之評定，列出須復育之劣化環境計有 7 項，其類別、定義、細項列舉如表 1-3-1 所示；同時經由問卷調查結果之分析，建議應最優先考慮復育之陸域劣化棲地之順序為：(1) 不當利用或過度開發地、(2) 火燒跡地、(3) 土石流區；而其中，高冷蔬菜與果園區即屬於應最優先考慮復育的環境—不當利用或過度開發地。同時關秉宗等(2006)也建議在訂定劣化環境復育之優先順序後，應積極建立優先待復育之劣化環境的參考生態系，亦即於該類環境附近找到參考生態系，以建立復育目標與可能之復育方法，而建立各類劣化環境之潛在植群，可作為建立參考生態系之第一步。

表 1-3-1. 劣化環境之種類與說明(關秉宗等 2006)

劣化環境種類	定義	細項列舉
火燒跡地	經火災干擾過之林地	
邊際農地或荒廢(利用)地	低生產之農地或利用地	荒廢魚塭、荒廢工業區 邊際農地、廢耕地、開礦跡地
不當利用或過度開發地	因不當之人為活動或使用，而導致負面環境效果之區域	超限利用山坡地、檳榔園 溪流高灘地、浮覆地 高冷蔬菜與果園區 濫葬地、濫挖農地 地層下陷區 鹽化地
污染、廢棄物堆積地	受化學、金屬污染物及廢棄物堆放之區域	垃圾掩埋地、礦渣堆積地 廢棄土堆置地、化學污染地
人為破壞或(結構)劣化林地	因人為活動之破壞而結構受損之區域	低產人工林地 退化林地(竹林) 違規使用之林地 人為破壞之海岸林 海岸侵蝕地與沙地 外來種嚴重入侵地
嚴重沖蝕、崩塌地	曾發生沖蝕、崩塌或潛勢地區	
土石流區	曾發生土石流或潛勢地區	

(二) 生態復育之定義與內涵

生態復育(ecological restoration)之概念及實際操作可能已有千年歷史(Anderson 2005)，但直至 Aber & Jordan (1985)才首創復育生態學一詞，因此許多學者提及其為年輕的新興學科(Cairns & Heckman 1996; Young et al. 2005; Roberts et al. 2009)；有些看法(如 Soukhanov 1992)認為生態復育與復育生態學並不同、不可替換混用，前者為復育之一種(a kind of restoration)，後者為科學研究的一種技術(a technique for scientific research)，然目前慣常之用法，殆將復育生態學視為一新興學科，而生態復育即為其內涵與實際操作，相對於其他生態相關學科而言，復育生態學以問題解決為原始出發點，涉及生物、環境、人文等不同學科，而更為著重於應用性與實踐性。

生態復育曾有許多不同的定義，例如，Bradshaw (1987)認為復育是生態學的嚴密試驗(acid test)，在探究生態系自身性質、受損機理及修復過程；Jackson et al. (1995)認為生態復育是修復因人引起而受損之原有生態系的多樣性與動態之過程；Jordan (2003)認為生態復育旨在企圖引導受損生態系回復到其先前(通常是更健康或更自然)的狀況；生態復育依其導向也可概分為強調重建生態系的目標導向復育(goal-oriented restoration)或強調生態系與社會系統之整合性的過程導向復育(process-oriented restoration) (Cairns & Heckman 1996)。近年來生態復育以 SERI 於 2004 年之定義最被廣泛使用，亦即生態復育是指協助已退化、受損或毀壞之生態系復原的過程(the process of assisting the recovery of an ecosystem that has been degraded, damaged, or destroyed)。

由上述生態復育之定義的簡述可知，復育涵蓋了廣泛的概念及做法，且近年來對環境與生態回復之研究漸受重視，甚多相關的術語(如 rehabilitation、recreation、reclamation、revegetation、remediation 等等)極易混淆，雖然許多學者(Jackson et al. 1995; Bradshaw 1997; Krystyna et al. 1997; SERI 2004; Stephanie et al. 2005; Andre & James 2007; 趙哈林等 2009；張新時 2010)嘗試加以釐清、區別，但這些術語之定義彼此間多少有關聯和重疊(overlap in meaning) (如 Grenfell et al. 2007)，甚至有時被當為同義字(synonym)使用(Robinson & Handel 2000; Higgs 2003; Li 2006)，表 1-3-2 為整理與生態復育相關之最常見術語的中文譯名與定義，各術語之涵義可參考

圖 1-3-1 的恢復已退化生態系之不同選項，其中，生態系之主要特徵可用功能(function, 如生物量、營養含量及循環)與結構(structure, 如物種與複雜度)予以表示，實線及虛線圓圈分別表示目前真實生態系及具有未知可能性的生態系情況，實線箭號表主動或人類介入的過程(active or human-intervened process)，包括廣義的生態復育之作為，含狹義的復育(restoration)、復建(rehabilitation)、改造(reclamation)等；虛線箭號表被動或自然的過程(passive or natural process)，有可能依生態系之自然演替(natural succession)發展逐漸復原，也有可能更為退化。因此，對退化生態系之改善可有不同的術語與目標，狹義的生態復育以退化前之生態系統做為參照模型(reference model)，力求完全恢復原先生態系之結構與功能，因此只採用當地原生物種(甚至當地之種源)，以具有完整及健康的生態系為恢復之目標；生態復建(rehabilitation)則指重新獲得原有生態系統生產力或結構，以及部分(而不是全部)原有生物多樣性的情況，復建與復育均在模仿自然(imitation of nature)、模擬生態系自然演替恢復之過程(natural succession process)、均是以退化前或干擾前的生態系統做為參照，但二者之恢復目標及策略並不同，復建後之生態系的完整性(integrity)及健康度(health)等通常比不上狹義的復育後之生態系；生態改造(reclamation)著重於生態系功能、社會與經濟效益(如生產力、服務、景觀等)的恢復，不一定使用當地原生種來恢復原有生態系，可允許使用較單一之種類或甚至採用外來的物種，因此改造後之生態系結構(如物種多樣性、複雜度)將較原有生態系為低，但已能滿足計畫所設定之目標(如綠覆率)，另外，依 Bradshaw (1987, 1997, 2004)之看法，replacement 可視為 reclamation 之同義字。生態復育已成為一日常用語，其定義可分為廣義(sensu lato)及狹義(sensu stricto) (Aronson et al. 1993; Choi 2004)，廣義的生態復育意指生態系結構與功能某種程度的回復，並已包含了前述的復健與改造，甚至與一般表達使用的 recover、repair、recreation、mitigation 等用語類似。

表 1-3-2. 生態復育相關之常見術語與定義(邱清安 2012)

術語及其中文譯名	定義
Ecological restoration 生態復育	協助已退化、受損或毀壞之生態系復原的過程，狹義的復育更強調應用原生種及回復生態系之原始狀況
Ecological rehabilitation 生態復建	恢復已退化生態系之結構與功能，但其結構與功能可能僅部分回復到退化前生態系之狀況
Ecological reclamation/replacement 生態改造	常需先進行物理環境之改善，可恢復已退化生態系之功能與服務，但其物種與複雜度可能僅部分回復到退化前生態系之狀況

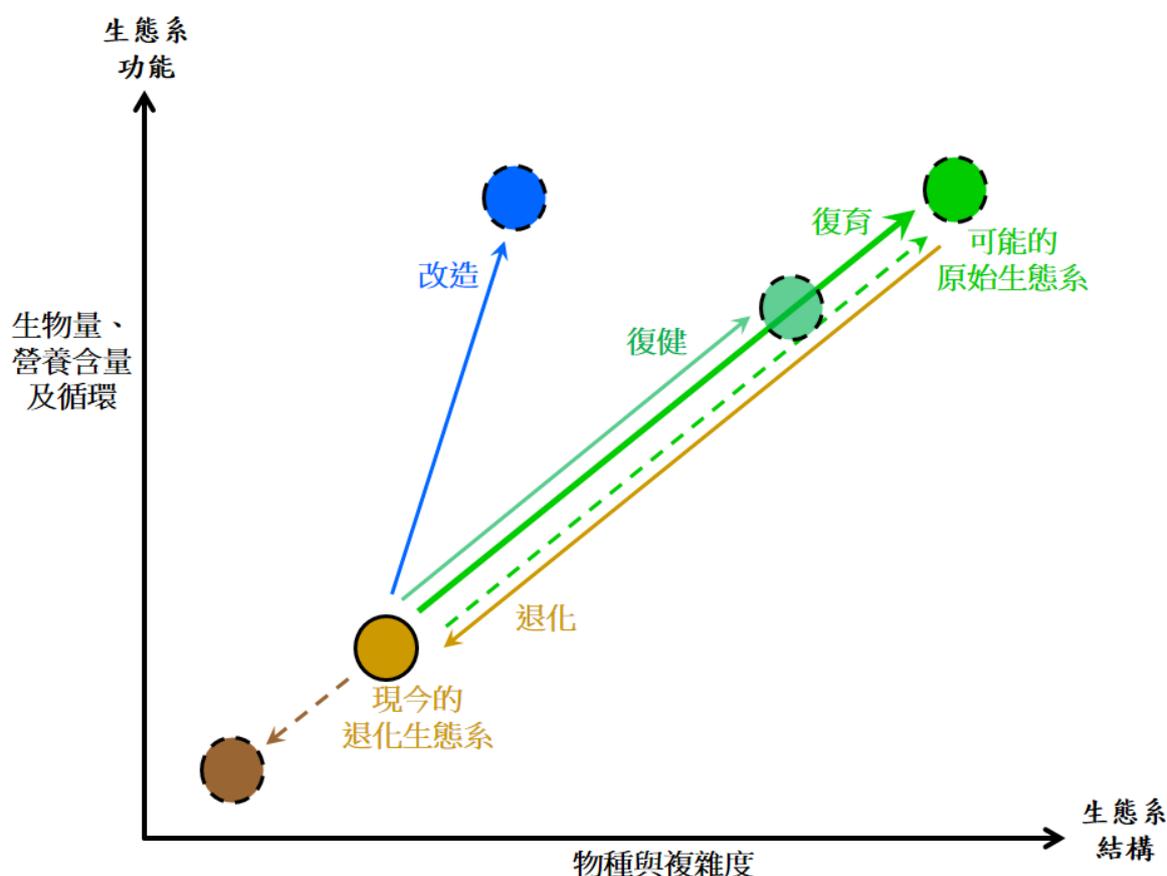


圖 1-3-1. 恢復已退化生態系之不同選項，包括復育(restoration)、復建(rehabilitation)、改造(replacement)。生態系之特徵可由功能與結構共同表示，其中，實線圓圈表目前真實生態系情況、虛線圓圈表具有未知可能性的生態系情況；實線箭號表主動或人類介入的過程、虛線箭號表被動或自然的過程(邱清安 2012)

(三) 參考生態系之重要性

簡單來說，參考生態系即圖 1-3-1 之「可能的原始生態系」，參考生態系的鑑識(identification of a reference ecosystem)是森林復育最重要的工作之一，因參考生態系可做為設計生態復育計畫的模型(model for planning an ecological restoration project)，並做為後期之復育成效評估的基準(benchmark) (Clewell 2000; SERI 2004; Goebel et al. 2005)，亦即參考生態系與復育後的生態系二者之間的屬性是類似的。

理論上，參考生態系所包含的訊息愈多愈有價值，描述參照系統的資料來源包括(SERI 2004)：(1) 計畫立地於受損前的生態描述、物種名錄和地圖；(2) 最近及歷史上的空中和地面圖片；(3) 殘跡資料(remnants)可指示立地受損前的環境條件和生物相；(4) 相似的且完整的生態系之生態描述和物種名錄；(5) 標本館和博物館的標本記錄；(6) 熟悉計畫立地之個人的歷史記錄和口述歷史；(7) 古生態證據，例如化石花粉、碳痕、樹輪史、齧齒動物的糞堆。由於歷史資料常常是無法獲得的，因此許多森林復育研究均是以調查鄰近或殘存的森林來建立參考生態系(王相華&陳正豐 2010)，同時如圖 1-3-2 所示，在討論參考生態系時必然會涉及生態系之結構/組成、功能(structure/composition and function)，以及其間的關係(Cortina et al. 2006)。

據 SERI (2004)對於生態復育之介紹，在生態系之變化歷程的多種可能狀態中，其任一狀態都可被用來當做參考(reference)，最簡單的參考形式可以是一個真實的生態系統、書面描述的生態系統、或者兩者的結合；但簡單參考的問題在於它只描述了生態屬性的單一狀態或表達，而被選擇的參考應該是生態系變化的歷史軌跡中很多潛在狀態的其中之一，反映了生態系發展歷程中許多隨機事件在某一時間點上的特定組合。同樣地，一個經過復育的生態系可以發展成一系列潛在狀態中的任一種，只要能與參考生態系發展的潛在狀態進行比較，復育生態系所表現出來的任何一個狀態都可以認為是恢復；因此，簡單參考系統不能夠充分表達潛在狀態的集合及恢復生態系統的歷史變化範圍，所以，一個好的參考生態系應該是多個參考系統的集合，如果有必要的話，還包括其他資料來源。這種綜合描述為恢復計畫編制提供了一個更實際可行的基礎(more realistic basis)。

(四) 植群帶與潛在植群

武陵地區廢耕地之海拔近 2,000 m，在東亞與臺灣之熱量氣候帶與植群帶的相關研究中，對本區植群屬性之認定包括：溫帶針葉林帶(Wang 1962)、暖溫帶山地針葉樹林群系(柳楮 1968；劉業經等 1994)、重濕山地暖溫帶-準常綠-櫟林、重濕山地-暖溫帶-常綠-針闊葉混交林(沈中桴 1996)、冷溫帶針闊葉混交林地帶(倪健 1997)、暖溫帶常綠落葉闊葉混交林帶(宋永昌 1999, 2001)、溫帶針闊葉混交林(劉春迎 1999)、暖溫帶落葉常綠闊葉混交林帶(方精云 2001)。而依據 Su (1984)之山地植群帶劃分，本區屬於 1,500-2,500 m 的櫟林帶(*Quercus zone*)，最優勢及特徵的闊葉林是橡樹(oak, *Quercus*)，此一櫟林帶根據林木組成及地表植群型可分為上層帶與下層帶，上層櫟林帶海拔約 2,000-2,500 m，相當於溫帶氣候，從生態氣候的觀點(ecoclimatic viewpoints)，可進一步推論出當地之潛在植群，梁玉琦(2004)以生態氣候研究臺灣之生態區分區，認為武陵之氣候分區為山地亞熱帶夏季濕潤涼爽氣候(GCfb)，推測該氣候區應有之植群為針闊葉樹混淆常綠林、針闊葉樹混淆半常綠林；而依據邱清安(2006)應用生態氣候指標預測臺灣潛在自然植群之研究的劃分，本區殆屬於涼溫帶-上層山地-常綠針葉-常綠落葉闊葉混交林(II.C.4.a.)，優勢分類群包括檜屬(*Chamaecyparis*)、香杉(*Cunninghamia konishii*)、森氏桐(*Cyclobalanopsis morii*)、昆欄樹(*Trochodendron aralioides*)、卡氏槲(*Castanopsis cuspidata var. carlesii*)、新木薑子屬(*Neolitsea*)、槭屬(*Acer*)等植物。

一地區若不再有干擾產生，其最終所形成的植物社會就是潛在植被，也就是說當一地區有受到開發，已不是其天然之土地表相時，若欲恢復原有的天然植群，就必須先了解其森林發展之未來潛勢，可由其附近較未受到人為開發之森林及附近殘存植群來了解，郭城孟(1995)沿武陵地區七家灣流域做現有植物生態調查，分析其植群分布，發現與地形及植群演替在時間軸上有相關性，地形可分為山坡地及溪谷地，其演替結果推測如圖1-3-2。而七家灣溪一側的武陵農場內目前尚闢有大面積的果園及菜園，在研究後建議可在果園菜園及溪流間設置一植群緩衝帶，以緩衝其所施用的肥料及農藥直接流入七家灣溪，影響溪流及濱岸生態，其作物區的潛在植被為臺灣黃杉-大葉柯植群，因可在作物區範圍的溪流兩岸設置50公尺此類型的植群緩衝帶，並長期監測為佳。

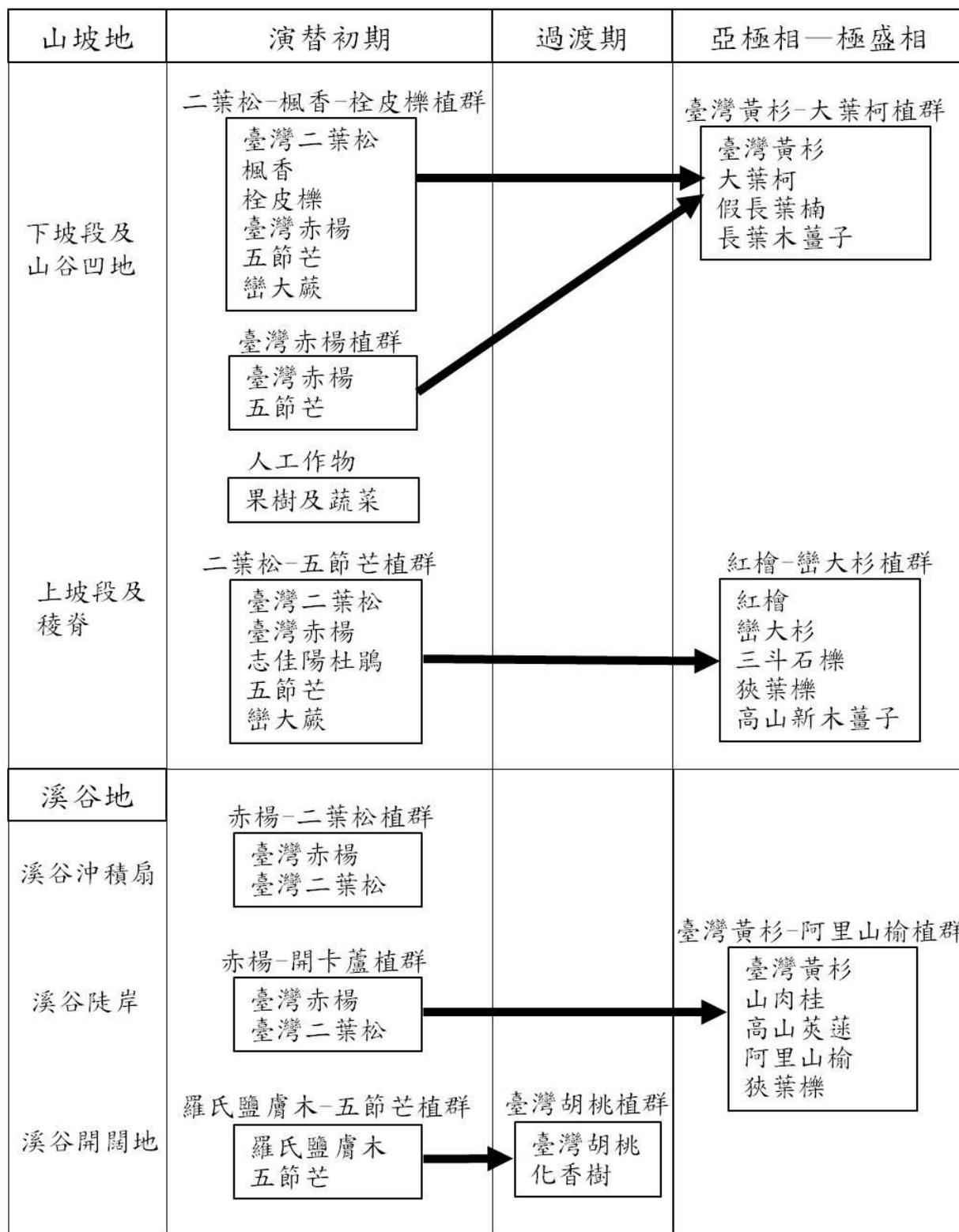


圖 1-3-2. 七家灣溪地形與植群演替關係圖(重繪自郭城孟 1995)

(五) 現生植群圖

依臺灣現生天然植群圖集(邱祈榮等 2009)顯示，武陵地區之主要現生植群除人工林(編碼 AA91)以外，天然植群以山地針闊葉混淆林(編碼 FM41)佔最大面積，主要由殼斗科(Fagaceae)、樟科(Lauraceae)、松科(Pinaceae)、柏科(Cupressaceae)、茶科(Theaceae)、杜鵑花科(Ericaceae)、灰木科(Symplocaceae)、薔薇科(Rosaceae)、昆欄樹科(Trochodendraceae)、冬青科(Aquifoliaceae)等科之樹種佔優勢，常見紅檜(*Chamaecyparis formosensis*)、臺灣鐵杉(*Tsuga chinensis* var. *formosana*)、森氏櫟(*Cyclobalanopsis morii*)、高山新木薑子(*Neolitsea acuminatissima*)、卡氏槲(*Castanopsis cuspidata* var. *carlesii*)、長葉木薑子(*Litsea acuminata*)、臺灣杜鵑(*Rhododendron formosanum*)、日本楨楠(*Machilus japonica*)、昆欄樹(*Trochodendron aralioides*)、錐果櫟(*Cyclobalanopsis longinix*)、毬子櫟(*Cyclobalanopsis sessilifolia*)、墨點櫻桃(*Prunus phaeosticta*)、水絲梨(*Sycopsis sinensis*)、白花八角(*Illicium anisatum*)、臺灣扁柏(*Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*)、臺灣赤楊(*Alnus japonica*)等樹種，並有諸如香杉(*Cunninghamia konishii*)、臺灣葉長花(*Helwingia japonica*)、細葉杜鵑(*Rhododendron noriakianum*)等甚多臺灣特有種。

(六) 武陵周邊植群之調查研究

歐辰雄等(2007)欲建立雪霸國家公園境內植群之生態資料庫，包括植群之組成特徵與分布環境特性，並著手繪製雪霸國家公園之植群分布圖。植群圖(vegetation map)可提供國土規劃、景觀設計、生態系統維護與規劃、野生動物棲地配置、族群動態變遷監測、資源保育、環境影響評估等不同經營管理目的及決策支援之使用，是相當重要而實用的參考資訊。研究中應用潛在群系之試繪結果，探討武陵地區七家灣河流域之潛在分布樹種，提出未來進行生態復育時可選擇之植栽樹種，同時並提供遊憩景觀規劃適用之原生植栽種類清單。有關武陵地區廢耕地之生態復育原生植栽選擇原則，應衡酌該地區之土地區劃及經營管理目標(如遊憩功能)，依造林不同階段分期栽植陽性植物及耐陰樹種，可提高苗木成活率及減少人工管理支出，同時亦可考量營造複層林、使用原生潛在樹種、遊憩景觀資源營造等原則。

有勝溪與七家灣溪於武陵農場匯流，為大甲溪流域之上游溪流，也為中央山脈廊道之一，故陳子英(2007)針對大同地區及有勝溪流域設置了 65 個樣區，另外也對道路兩旁設置了 34 個樣區來調查外來入侵種，其調查結果，共計有 116 科 641 種植物，其中稀有種 59 種，外來種 16 種，而自然及人工植群部份，可分為 13 個植群類型：假長葉楠-大葉石櫟型(*Machilus japonica* var. *japonica*-*Pasania kawakamii* type)、臺灣二葉松-栓皮櫟型(*Pinus taiwanensis*-*Quercus variabilis* type)、通條樹-尖葉槭型(*Stachyurus himalaicusz*-*Acer kawakamii* type)、阿里山灰木-赤柯型(*Symplocos arisanensis*-*Cyclobalanopsis morii* type)、昆欄樹-臺灣扁柏型(*Trochodendron aralioides*-*Chamaecyparis obtusa* var. *formosana* type)、臺灣鐵杉-紅檜型(*Tsuga chinensis* var. *formosana*-*Chamaecyparis formosensis* type)、木荷-西施花型(*Schima superb* var. *superb*-*Rhododendron ellipticum* type)、臺灣鐵杉-臺灣冷杉型(*Tsuga chinensis* var. *formosana*-*Abies kawakamii* type)、臺灣扁柏-臺灣鐵杉型(*Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*-*Tsuga chinensis* var. *formosana* type)、臺灣雲杉型(*Picea morrisonicola* type)、臺灣二葉松型(*Pinus taiwanensis* type)、紅毛杜鵑-南燭型(*Rhododendron rubropilosm*-*Lyonia ovalifolia* type)、臺灣二葉松人工林型(*Pinus taiwanensis* plantation type)；至於道路外來種部分，可分為 8 個植群型：芥藍型(*Brassica oleracea* var. *acephala* type)、羊茅-大扁雀麥型(*Festuca ovina*-*Bromus catharticus* type)、臺灣蘆竹-赤楊型(*Arundo formosana*-*Alnus formosana* type)、艾-芒型(*Artemisia indica*-*Miscanthus sinensis* type)、戟葉蓼-火炭母草型(*Polygonum thunbergii*-*Polygonum chinense* type)、芭花蔓-牛奶榕型(*Geophila herbacea*-*Ficus erecta* var. *beeheyana* type)、短角冷水麻-腎蕨型(*Pilea aquarum*-*Nephrolepis auriculata* type)、野牡丹葉冷水麻-台北附地草型(*Pilea melastomoides*-*Trigonotis formosana* type)。

亦有研究為瞭解濱岸植群之組成、結構變化與地景變遷，故徐憲生(2006)於七家灣溪主河段、桃山西溪、桃山北溪、高山溪及有勝溪濱岸，設立 30 個植群監測樣區，共記錄維管束植物 95 科 209 屬 335 種，依據矩陣群團分析可區分為 7 型：高山藤繡球-臺灣赤楊型(*Hydrangea aspera*-*Alnus formosana* type)、蓮草-臺灣紫珠型(*Tetrapanax papyriferus*-*Callicarpa formosana* type)、屏東木薑子型(*Litsea akoensis*

type)、臺灣二葉松-大頭茶型(*Pinus taiwanensis-Gordonia axillaris* type)、栓皮櫟-臺灣二葉松型(*Quercus variabilis-Pinus taiwanensis* type)、臺灣二葉松-臺灣赤楊型(*Pinus taiwanensis-Alnus formosana* type)及臺灣赤楊型(*Alnus formosana* type)，其中以栓皮櫟-臺灣二葉松型居多，而臺灣赤楊型次之，屬高山藤繡球-臺灣赤楊型、蓮草-臺灣紫珠型、屏東木薑子型、臺灣二葉松-大頭茶型者為少數。又桃山西溪(#2)與繁殖場(#5)測站之濱岸植群較相似，以栓皮櫟、臺灣二葉松混生為主；而桃山北溪(#1)與一號壩(#4)測站之濱岸植群較相似，主要優勢種多為臺灣赤楊。在物種豐富度分析顯示，喬木層植物歧異度差異大，推測與季節性洪水之干擾與局部地形差異所造成之空間異質性所致；而地被層植物歧異度與均勻度均頗高，但彼此差異不大，僅以 8 月濕季略高於 2 月乾季。而蔡尚惠等(2010)將 1995 及 2006 年之兩期各土地利用型整合為 6 類，運用馬可夫模式探討土地利用變遷，結果顯示土地利用以維持原來土地類型為主，維持率由高至低依序為臺灣二葉松、紅檜-鐵杉(*Chamaecyparis formosensis-Tsuga chinensis* var. *formosana*)、果菜園、臺灣黃杉(*Pseudotsuga wilsoniana*)、臺灣胡桃(*Juglans cathayensis*)及臺灣赤楊類型，其各土地利用類型之面積變異小，空間分布卻有明顯變化，主要是受到崩塌、洪水、保護區成立及造林政策影響所致。

蔡尚惠(2008)曾利用馬可夫模式(Markov chain models)分析七家灣溪濱岸之地景變遷；將 2008 年七家灣溪濱岸之土地利用共分為 23 型；而由 1995、2008 年之濱岸地景變遷分析中得知，土地利用之維持率依序為臺灣二葉松型、紅檜-鐵杉型、臺灣黃杉型(PW)、臺灣胡桃型(JC)、果菜園型、臺灣赤楊型(AF)；其中維持率最高之臺灣二葉松型達 78.99%，又最低之臺灣赤楊型為 0.00%，而果菜園型亦僅 5.17%，而於 2010-2011 年針對武陵地區溪流生態系長期監測，每年的春季及秋季共做了四期調查，其結果在線截樣區內共記錄維管束植物 40 科 61 屬 76 種(含種以下分類群)；蕨類植物 8 科 9 屬 9 種，裸子植物 1 科 1 屬 2 種，被子植物中雙子葉植物 29 科 46 屬 59 種，而單子葉植物 2 科 5 屬 6 種，而五節芒型(*Miscanthus floridulus* type)、艾型(*Artemisia indica* type)、臺灣澤蘭型(*Eupatorium formosanum* type)及臺灣赤楊型(*Alnus japonica* type)為四期調查之共同植群型。

七家灣溪是臺灣櫻花鉤吻鮭的重要棲地，為使其族群得以延續，保護森林溪

流生態系乃是當務之急，為了瞭解其濱岸植群之組成與結構變化，於是郭礎嘉(2009)在 2005、2007-2008 年進行喬木、地被層植物之監測調查。研究結果得知 2005、2007-2008 年之物種組成並無太大變化，其群團分析的結果相似；皆可分為蘆草—臺灣紫珠型、栓皮櫟—化香樹型(*Quercus variabilis-Platycarya strobilacea* type)、臺灣二葉松—臺灣赤楊亞型(*Pinus taiwanensis-Alnus japonica* subtype)、臺灣二葉松—栓皮櫟亞型(*Pinus taiwanensis-Quercus variabilis* subtype)以及臺灣二葉松—臺灣赤楊—臺灣紫珠亞型(*Pinus taiwanensis-Alnus japonica-Callicarpa formosana* subtype)等，乾濕季間地被層的種豐富度指數多具有顯著性差異，且濕季的種豐富度多大於乾季。線截樣區的喬木層植物，以臺灣赤楊為最優勢，其次為臺灣二葉松。地被層植物依群團分析可分為五節芒型(*Miscanthus floridulus* type)、臺灣蘆竹型(*Arundo formosana* type)、臺灣澤蘭型(*Eupatorium formosanum* type)、小梣葉懸鉤子型(*Rubus parviaraliifolius* type)、臺灣何首烏型(*Polygonum multiflorum* var. *hypoleucum* type)、小金櫻型(*Rosa taiwanensis* type)、小苗型。另外，蔡尚惠等(2011)以 2005、2007-2008 年之七家灣溪濱岸植群的植群調查資料，進行種豐富度指數分析比較，結果得知 2005 與 2007-2008 年間喬木層植物之多樣性無明顯變化；而以有勝溪測站之多樣性及均勻度最高，又觀魚台測站的多樣性較低，另高山溪測站較不均勻。另僅 2005 年乾季、2007 年濕季之地被層的 Shannon 均勻度指數具顯著差異，即濕季的物種組成較為均勻；而相同季節於不同年度間，其植群的種豐富度指數則無顯著差異，此等顯示二年度間之地被層植物的多樣性變動不大。是故在現今武陵地區相關經營單位管理之下，2005-2008 年七家灣溪濱岸植群多樣性維持穩定。

王偉等(2010)針對雪山主峰沿線植物社會調查研究，研究範圍由武陵七家灣溪億年橋起，沿雪山主峰線步道至海拔 3,886 m 雪山主峰設置，另外並彙整了前人研究共 44 個 250 m² 樣區，記錄 387 種維管束植物。調查分析結果沿線的植物社會依外觀形態可大致區分為森林、灌叢及草原等 3 類植物社會。而森林植物社會依群團分析結果可劃分為臺灣冷杉型(*Abies kawakamii* type)、巒大花楸型(*Sorbus randaiensis* type)、玉山圓柏型(*Juniperus squamata* type)、臺灣二葉松型(*Pinus taiwanensis* type)、臺灣雲杉型(*Picea morrisonicola* type)、狹葉高山櫟型(*Cyclobalanopsis stenophylloides* type)、臺灣紅檜型(*Chamaecyparis formosensis* type)、

臺灣紅豆杉-臺灣灰木型(*Taxus sumatrana-Symplocos formosana* type)、卡氏槲-西施花型(*Castanopsis carlesii-Rhododendron ellipticum* type)、高山櫟-鐵杉型(*Quercus spinosa-Tsuga chinensis* type)、栓皮櫟-化香樹型(*Quercus variabilis-Platycarya strobilacea* type)等 11 個森林植物社會；另有玉山圓柏-玉山杜鵑型(*Juniperus squamata-Rhododendron pseudochrysanthum* type)之灌叢社會及玉山箭竹-高山芒型(*Yushania niitakayamensis-Miscanthus transmorrisonensis* type)、高山芒型(*Miscanthus transmorrisonensis* type)、高山艾-羊茅型(*Artemisia oligocarpa-Festuca ovina* type)等 3 個草本植物社會。

(七) 生態廊道之相關研究

本計畫研究之地點臨近七家灣溪，故其地區環境氣候因子也與溪流環境息息相關，陳坤佐(2000)曾以景觀生態的觀點建立河川廊道評估方法，並由此得知，河川廊道可以提昇破碎化棲地的生態性，增加物種多樣性，在研究中指出景觀生態觀點下的河川廊道，應具備有三種機能：(1) 提供做為野生生物棲息、遷移之廊道；(2) 有效過濾來自廊道周圍基質的污染物；(3) 提供良好景觀美質，改善區域性微氣候。而影響河川廊道機能的因子則包括：植物植被結構、河川廊道寬度、河川廊道連結度、河川連通系統、等級理論等五種。由此研究可知河川溪流附近的植物植被結構對於河川廊道建立是很重要的一環。

夏禹九(2002a)曾於太魯閣、雪霸國家公園生態廊道之研究中，除了整理生態廊道概念與國外案例之相關文獻，並進行有勝溪上游空間資料的初步分析；其指出有勝溪上游大、中尺度的資料，過去曾有部分地理資訊資料庫之建立，然缺乏有勝溪上游小尺度調查資料，而小尺度調查資料則是廊道規劃、棲地重建時之重要依據，另外再針對有勝溪動物、植群、土地利用現況及人為活動的頻率等進行調查，以供分析生態廊道需求之參考；且自調查廊道研究區兩側現有國家公園範圍之植群覆蓋與分布情形，特別是天然混交林、人工林之地被，則可供未來廊道設計時之參考(夏禹九 2002b)。故對於本計畫研究區內果園與造林地之外的天然混交林，更須進行細部植群調查。

吳海音(2002a)曾調查有勝溪上游動物相，以了解各類動物對不同棲地環境的利用情形，作為評估有勝溪兩岸土地利用對動物棲息與族群間交流之影響的依據，其研究中探勘研究區目前土地利用狀況、人為活動形式及頻度、未受干擾地之植群類型，以更新並補充現有土地利用圖上研究區的環境屬性，探討廊道內之主要地景要素與配置適合何種物種活動，以供目標物種選取之參考。並建議依據選定之目標物種，在預設廊道研究區二側現有國家公園範圍內，調查其所需的重要棲地特質，特別是植群覆蓋與分布情形；且於研究區內果園與造林地之外的天然混交林，應進行細部植群調查；以及著重於目標物種的棲地、移動需求，規劃適合該物種活動或穿越的棲地，並對現有可能需進行改變之人為活動區域規劃所需之植群復育措施(Breshears 2006; 吳海音 2002b)。

棲地重建的最大期望，除了就是能為野生動物多創造天然的棲習環境，林志融(2004)以山羌(*Muntiacus reevesi*)及有勝溪流域為例，進行棲地適宜性分析，應用於生態廊道規劃之研究。此外，吳海音(2008)亦針對思源埡口進行野生動物監測，其所有陸、水域調查樣站均集中於有勝溪的 3 站與蘭陽溪的 4 站；蘭陽溪樣站自上游起分別為可法橋、美優溪、則前橋，而有勝溪樣站自上游起分別為思源二號橋、張良橋、臺七甲 51.5K、雪霸界碑；並沿 710 林道、720 林道與米羅產業道路，往溪流兩側山區增設調查樣站，以調查山區各類陸生動物；除調查水域動物，並進行陸域昆蟲、兩生(且區分為溪流兩生類、樹棲性蛙類)爬蟲動物、鳥類以及哺乳動物調查；於有勝溪流域的調查中發現人為活動對野生動物的影響，即近年來有勝溪沿岸的農作陸續停止，果菜園轉為休耕或植木的復育地，在部分休耕或復育地的周邊，已可見山羌與黃鼠狼(*Mustela sibirica*)的出沒；濱岸的廢耕地及道路兩側種植夠寬的綠帶，可建構為另一形式的廊道(Gurnell et al. 2005; Rood et al. 2005)。由此可看出原農地經過休耕復育之後是可以漸漸有成果的。

植群為野生動物賴以為生之棲息地，故需維持其完整而避免不當干擾破壞為首要工作，若已受到破壞或開發之地區，進行棲地重建就是非常重要的事，重建前須更加了解當地植群生態資訊，蔡尚惠等(2009)將雪霸國家公園轄區東部之中央山脈保育廊道內土地利用現況，區分為菜園、果園、人工林、針葉林、針闊葉混交林以及草地，其中造林面積以臺灣二葉松(*Pinus taiwanensis*)純林為最大；其於樣區

內共記錄維管束植物 145 科 440 屬 898 種，其中以薔薇科(Rosaceae)、菊科(Compositae)、蘭科(Orchidaceae)等植物種類為最多；在該研究中，經矩陣群團分析後，將 56 個植群樣區劃分為 13 個林型，即臺灣胡桃林型(*Juglans cathayensis* type)、變葉新木薑子林型(*Neolitsea aciculata* var. *variabilissima* type)、日本槲楠林型(*Machilus japonica* type)、臺灣赤楊林型(*Alnus formosana* type)、臺灣二葉松林型(*Pinus taiwanensis* type)、阿里山榆林型(*Ulmus uyematsui* type)、化香樹林型(*Platycarya strobilacea* type)、楓香林型(*Liquidambar formosana* type)、合歡—長梗紫苧麻—牛奶榕林型(*Albizia julibrissin-Oreocnide pedunculata-Ficus erecta* var. *beeheyana* type)、柳杉林型(*Cryptomeria japonica* type)、臺灣杜鵑林型(*Rhododendron formosanum* type)、森氏櫟林型(*Quercus morii* type)及桂竹林型(*Phyllostachys makinoi* type)，並建議應持續進行植群調查，建立原生樹種立地資料，作為該地區進行當地原生樹種植栽依據。因此，進行動、植物相及相關環境因子之長期監測調查，可瞭解大甲溪上游之潛在臺灣櫻花鉤吻鮭(*Oncorhynchus masou formosanus*)棲地的現況，以做為未來鮭魚放流評估之依據。

(八) 廢耕地生態復育之相關研究

臺灣中、高海拔山區遍佈許多開墾農地，但在經歷地震、風災、水災及土石流災害之慘痛教訓，和全球極端氣候頻率增加之外在環境變遷影響之下，目前都在逐步地將中、高海拔農墾地恢復其森林覆蓋，除了可保護水土外，也可擁有生物多樣性及生態系功能保育的功能，是應該努力的方向。而農地漸次廢耕，目前多為禾本科及蕨類等高草本植物所覆蓋，難以經由天然更新恢復為原有之森林覆蓋，若能配合適當之復舊造林作業，應該有助於將廢耕農地慢慢恢復成林木覆蓋之近天然的植生狀態。

植物為生產者、位居生態系營養層級的最底層，故植生重建是干擾地生態系重建的基礎及首要工作。而干擾地植生重建之先決條件是對演替等生態系運作機制的深入瞭解，王相華&陳正豐(2010)以蓮花池農墾地為例來探討中海拔廢耕地生態復舊作業方式，其探討結果，擬出欲執行中海拔廢耕地生態復舊作業的步驟有:(1)

進行復舊區域之植被組成調查，瞭解廢耕地及周邊森林之植相結構及組成；(2) 進行廢耕地及森林的土壤種子庫取樣及調查，瞭解土壤中潛在的更新材料組成；(3) 進行復舊材料之採集與培育，亦考慮配置一些具景觀特色之原生樹種；(4) 完成復舊作業方式之研擬；(5) 委託造林廠商進行復舊施作，亦可發動志工或在地居民執行復舊作業；(6) 草擬復舊成果之調查監測方式，並執行時程約 3-5 年的調查與監測。

林幸助等(2011)針對武陵地區溪流生態系長期監測與研究時，另外對七家灣溪附近約 8.1 公頃的回收農用地做初部的植群調查監測，發現所有樣區之土壤 pH 值屬中性，主要共記錄維管束植物 21 科 39 屬 51 種(含種以下分類群)；蕨類植物 1 科 1 屬 1 種，被子植物中雙子葉植物 19 科 30 屬 41 種，單子葉植物 1 科 8 屬 9 種。而喬木層植物主要為山櫻花(*Prunus campanulata*)、楓香(*Liquidambar formosana*)、桃(*Prunus persica*)等植栽樹種，而地被層植物以禾本科(Poaceae)種數為最多者，其次為菊科(Compositae)，可將地被層分為大扁雀麥型(*Bromus catharticus* type)、加拿大蓬型(*Conyza canadensis* type)，而秋季另含棒頭草型(*Polypogon fugax* type)。由於 8.1 公頃回收農用地之草本植物生長旺盛，故會影響天然更新或人工栽植樹種之生長狀況，其研究建議可進行刈草植林試驗，植栽物種可先以生長快速之當地原生物種為主，如臺灣赤楊或臺灣胡桃等樹種提供保護，再以本研究所建議之原生木本植栽種植於下；地被層植物可大量撒播臺灣百合(*Lilium formosanum*)，除能改變地被優勢並兼具觀賞價值，並可營造持複層林及生態多樣性。於 2012 年又針對 8.1 公頃回收農用地之臨近森林植群做初部樣區調查，共記錄維管束植物 41 科 60 屬 74 種，其樣區之土壤 pH 值均接近酸性，而喬木層植物主要為栽植的紅檜、臺灣二葉松、香杉(*Cunninghamia konishii*)及木荷(*Schima superba*)，地被層植物以薔薇科(Rosaceae)植物種數最多，其次為菊科及鱗毛蕨科(Dryopteridaceae) (林幸助等 2012)。

因為武陵地區徵收之農地先前經農民長期連續栽植，其土壤性質多遭受改變，以致於林地收回後多年，其造林苗木生長呈現遲滯。而在臺灣中部丹大專業區菜園回收造林地亦出現相同之情形，農民不當施用大量石灰，使其土壤 pH 值上升，約為 7.5，相較於臺灣一般森林土壤為高，導致土壤中有效磷不足供植物吸收利用，

過量的鈣使得土壤內置換性陽離子產生拮抗作用(antagonism)，引起離子失衡，進而導致菜園回收地造林苗木生長不佳。另外針對丹大事業區造林苗木進行菌根(mycorrhizae)調查後發現，有菌根共生之苗木生長情形較未有菌根共生者良好，顯示菌根共生對於苗木在逆境下生存是有一定之正面效益(顏江河 2012)。

潘振彰(2012)調查武陵地區果園回收地之土壤化學性質，以瞭解當地土壤的養分狀態，同時調查回收地土壤內菌根菌孢子(mycorrhizal fungi spore) 的數量及種類，並觀察造林苗木之根部菌根共生的狀態，發現造林地的土壤有效磷因為土壤的酸鹼值過高，而導致土壤有效磷養分遭受限制，雖然造林地土壤中有菌根孢子，但現存的造林苗木菌根感染率極低，菌根孢子可能也只與草本植物共生，導致造林苗木在此逆境下生長不良。

(九) 生態退化與恢復的歷程

生態系退化是指受到人為或/及自然因素之干擾，致使生態系之結構與功能遭受破壞，而表現出生物多樣性、公益服務、生產力、穩定性等下降之特徵；簡言之，退化亦即生態系脫離了原有的健康完整狀態(邱清安 2012)。然而，退化是一個非常主觀的(subjective)術語(Lamb & Gilmour 2003)，暫且不論個人景觀美學之偏好(例如：有些人偏愛高海拔森林火燒後呈現退化狀態之箭竹草生地)，就森林生態環境而言，從生長不佳的次生林，到林木更新遲滯而形成草生地，再到森林完全被伐除且土壤嚴重被沖蝕，都可被視為退化的類型(ITTO 2002)。因此，退化是具有程度性的、逐步下降的過程(King & Hobbs 2006)。

生態恢復(recovery)與生態退化可視為相反的過程(Cramer et al. 2008)，圖 1-3-3 表示生態系之退化與恢復是具有程度性的逐步變化歷程(數字 1~6)，數字 1 表示極為退化的生態系(例如：植群被破壞後產生的沖蝕裸地)，數字 6 表示最為健康的生態系(例如：結構功能完整之原始林)，退化係為 6→1 之過程的表現，而回復係為 1→6 之過程的表現；當生態系退化之程度愈高，其結構與功能愈低下，此時所須之回復的時間及成本將愈高(Chazdon 2008; Cramer et al. 2008; Holl & Aide 2011)。

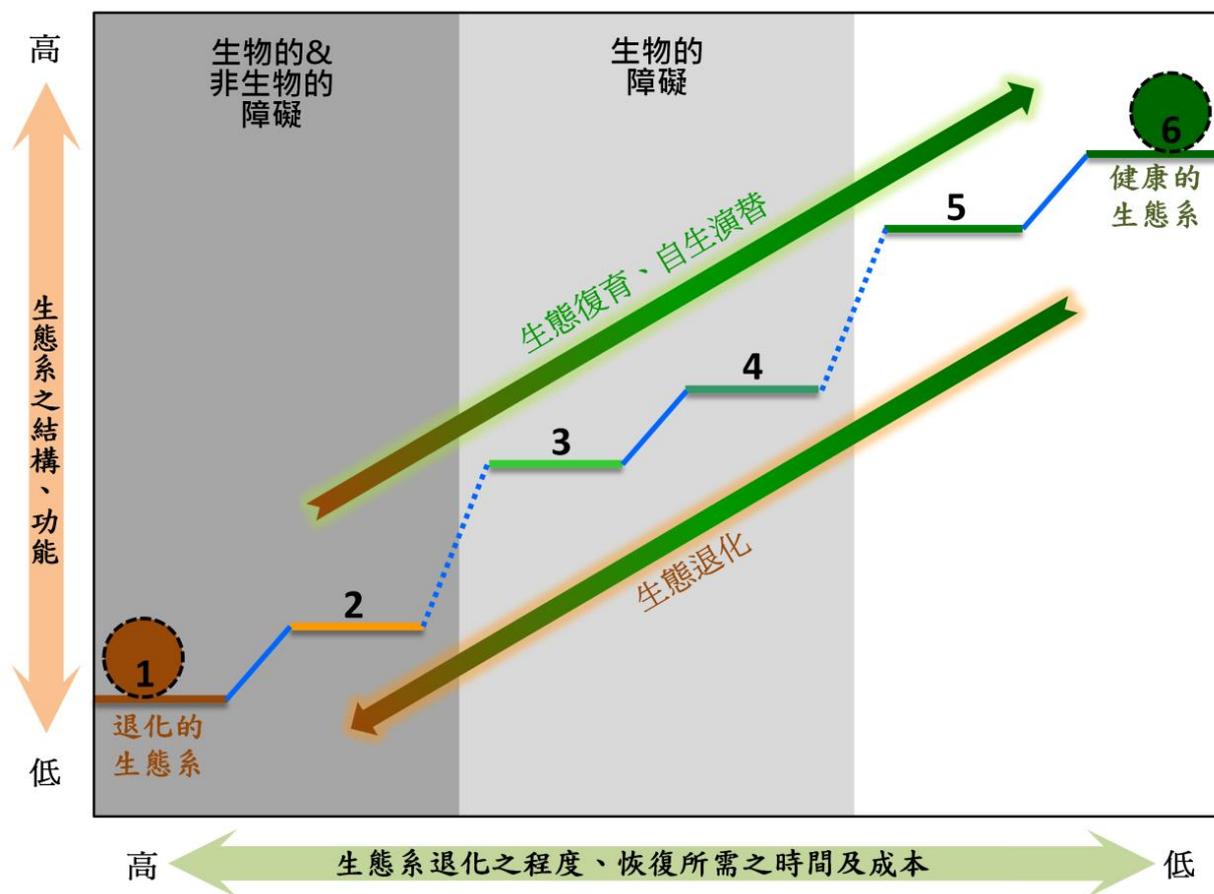


圖 1-3-3. 生態系之退化與恢復是逐步變化的相反過程：當生態系退化之程度愈高，其結構與功能愈低下，將同時面臨非生物的障礙(如土壤理化性質改變)與生物的障礙(如土壤種子庫貧乏)，此時生態恢復(生態復育、自生演替)所需之時間及成本將愈高(邱清安 2012)

(十) 採取自生演替或人工復育之抉擇

各種類型之退化地的回復速度均不同(Jones & Schmitz 2009)，可利用資源及社會期盼也不同，因此應具有其各自的最佳處理對策(Cramer et al. 2008; Suding 2011; Stanturf et al. 2014)。許多報告論及是否應以人為力量介入生態恢復的考量因子，Holl & Aide (2011)將之歸納為：生態系彈性(ecosystem resilience)、土地利用歷史(land-use history)、地景環境(landscape context)、目標(goals)、資源(resources)；除了生態因素的考量，人工復育之必要性也涉及了社會、政策、經濟、文化、美學等多種面向(social, political, economic, and cultural dimensions) (Egan et al. 2011)。圖 1-3-4 為在決定退化地之恢復對策(消極的自然演替 vs. 積極的人工復育)時應考量的因

素(邱清安&徐憲生 2015)。

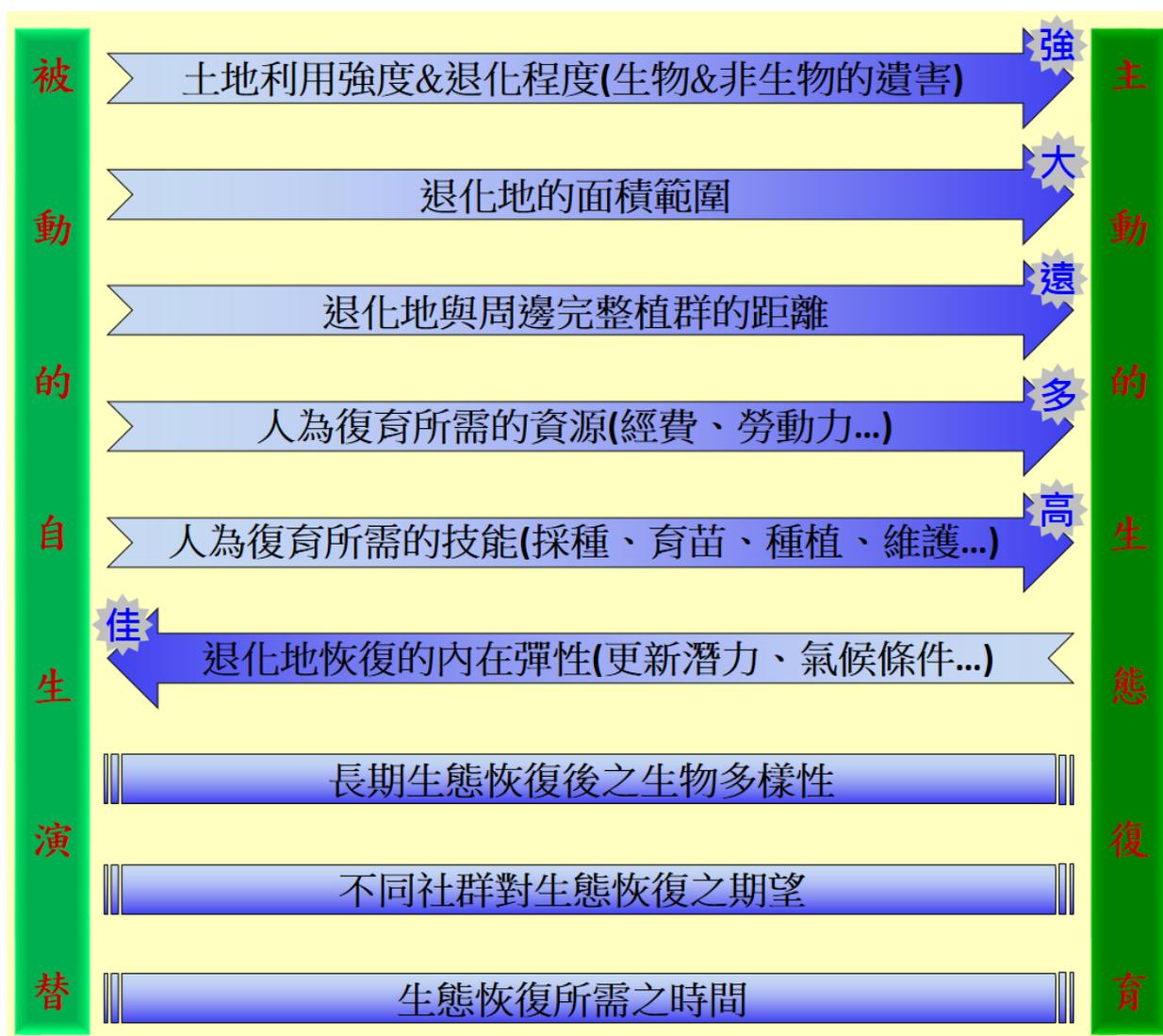


圖 1-3-4. 處理退化地之對策須因地制宜，應考量的因素包括生態的、人類觀點的面向，可放任退化地消極的自生演替(如退化地恢復的內在彈性甚佳時)，也可採取主動積極的人工復育(如土地退化程度很強時)，本圖之 9 項因素在未來面對退化地時可逐一檢視審慎考量，俾利制定最佳的退化地恢復策略(邱清安&徐憲生 2015)

(十一) 其他與本計畫相關之研究

呂金誠(2002)進行武陵火燒樣區之植群變化調查，因為武陵農場之菜園曾於 2001 年發生火燒，其調查結果發現地被層植物是以高山芒與巒大蕨等陽性植物為

優勢，具萌蘖能力的闊葉樹亦排名重要值之前列；各區之覆蓋度介於3.58%~12.16%之間，影響原因有待長期之監測使得予以論；2×2關連表及迴歸分析皆顯示，樣區內之植物皆無相關性，為逢機分佈狀況，為演替同期之植物；種歧異度以中度火燒區最低，初步推測結果與坡向有關；闊葉樹大多具有萌蘖能力，致死率低於臺灣二葉松；在萌蘖能力當中，以地際萌蘖為主，而枝幹萌蘖僅有栓皮櫟與楓香；火燒跡地植物天然更新方式，以萌蘖為主，僅有菊科植物以實生苗方式更新，須等待下一年度生長季開始後才會有較顯著之結果顯現；具萌蘖能力之植物，在火燒後可快速回復生長，對於對於火燒跡地可調節其微環境與防止土壤沖蝕，在演替初期佔有相當重要之角色。

蔡尚惠&鄭麗萍(2007)曾於科學發展期刊文章中寫到，保育的意識日漸高漲，對於臺灣稀有之動植物都要努力去維護，其中武陵農場為保育臺灣櫻花鉤吻鮭的棲地，在資源永續性經營的考量下，退輔會於1978年起把緊鄰七家灣溪6公頃的果園及菜園收回，初期種植山櫻花、青楓、柳杉、臺灣杉等樹種，至今已有良好的植群結構。又另於1995年把七家灣溪濱岸50公尺內化為保護區的核心區，釋出20公頃鄰近濱岸的蔬菜地，供林務局等相關單位造林使用。1997年農委會依據「野生動物保育法」公告，於武陵地區成立「臺灣櫻花鉤吻鮭野生動物保護區」，把原農業用地進行造林植樹，擴大棲地保護的面積；於2001年武陵農場又配合保護區劃定轉型經營，縮減了農地並提供造林面積近40公頃，雪霸國家公園也持續的進行七家灣溪濱岸植群復舊造林，期以涵養水源並改善環境。

依據曾彥學等(2009)蒐集多年來研究人員之成果紀錄，例如：植物資料庫內之植群調查，標本記錄等，統整區內之植物社會型態與物種清單，針對雪霸國家公園維管束植物物種清單做更新，結果整理出2,041個物種，其研究之結果較過去雪霸國家公園園區1987年記錄之維管束植物1,103種增加938個分類群，稀有植物較1994年記錄之56種增加127種，由此可顯示園區內的自然資源豐富，物種歧異度高，保護得宜，亦為野生動物重要之棲息地，因此重建棲地的目標更為重要了。其次是建立各植物資源分布地點之圖資，並配合資料庫之建置工作，提供作為環境、物種保育及經營管理之參考依據。

王志強(2009)針對武陵地區之植物資源進行調查與記錄，並提供綠美化植栽之建議名錄，利用分析階層程序法(AHP, analytic hierarchy process)，其所評估之架構包括三個層級，各層級影響環境綠美化之功能及特性之考量因子分別為：第一層級為機能需求、生物特性等二項；第二層級則為生態特性、美學價值、教育價值、抗逆境潛能、生產管理等；第三層級之影響因子則有：珍稀性、生態幅度、誘蝶、誘鳥、色彩豐富度、物候變化、特殊氣味、自然教育、人文意涵、耐候性、抗惡地、抗病蟲害、苗木培育、栽培撫育等項目。依上述項目不同的權重加總計算以建立適合武陵地區原生植栽利用之參考及決策，並使用資料庫及資料挖掘技術(Data Mining)方式找出各物種間之關聯性，期望建立武陵地區植物資源資料庫、選拔適合當地、展現地區特色及符合生態原則之原生物種、建立原生樹種提供作為綠美化之評選參考、選擇及準則。其評選60種喬木樹種依AHP法中各指標及其權重計算評分，其中以楓香(*Liquidambar formosana*)、化香樹(*Platycarya strobilacea*)、臺灣蘋果(*Malus docmeri*)、石楠(*Photinia serratifolia*)、霧社山櫻花(*Prunus taiwaniana*)、山枇杷(*Eriobotrya deflexa*)、栓皮櫟(*Quercus variabilis*)、山茶(*Camellia japonica*)、大頭茶(*Gordonia axillaris*)及臺灣石楠(*Pourthiaea lucida*)等為評分之前十名樹種。其研究建議完整自然之生態系統或植物群落，必須包含垂直分布之各層次植物，因此，綠美化植栽時，除了選擇喬木為主體外，尚應考慮當地與其伴生之小喬木、灌木、草本植物等之栽植搭配。而園區內已停止耕作之地區，應優先規劃其未來用途，作為擬訂植栽計畫之依據，預先於原生地區採種、育苗，以利該地區生態系提早通過演替前期之草生地階段，減少外來物種入侵之機會，促使其達到較穩定之極盛相或亞極盛相狀態。

吳姍樺(2006)針對雪霸國家公園外來植物入侵及分布之探討，以生態學的調查分析方法、外來植物中較具入侵潛力的歸化植物為主要對象，了解外來植物在國家公園內之組成與分布情形、影響範圍及面積、競爭排除之植物種類、可能造成的影響有初步的了解。其調查結果武陵地區共出現歸化物種65種，其中以菊科最為優勢，其次為禾本科，最優勢的植物種類為大扁雀麥，其次為野苧蒿、白花三葉草、大花咸豐草及多花黑麥草，多出現於主要車道兩旁及其廢耕之空地上。全區歸化植物目前雖然沒有對稀有或是特有植物有任何競爭排除的現象，也沒有造成原生

植物對於歸化植物依賴生存的現象，但仍須做長期監控與建立預警機制。而對於本計畫期望復育之地區也在道路兩旁之回收農地上，故對於外來種亦多加注意。

楊正澤等(2010)於武陵地區七家灣溪一號霸體及棲地改善工程中之調查發現，植群結構與河岸微地形息息相關，而地被層植物對環境變化較為敏感，是故地被層植物分布或可作為微氣候環境的指標，如2010年較2009年溪床受洪氾作用影響甚小，故溪床上植物可穩定生長，其植群主要以演替初期為主，即當河床裸露地剛受破壞時，首先是各種能適應高熱、乾旱的植物小苗進入，形成小苗型的植群；其後於相對光量高的環境則以能快速生長的臺灣澤蘭為優勢，形成臺灣澤蘭型(*Eupatorium formosanum* type)，而相對光量低的環境會形成臺灣何首烏型(*Polygonum multiflorum* var. *hypoleucum* type)；又當環境改變時較適宜其他物種生存，此時會形成五節芒(*Miscanthus floridulus*)與其他物種各佔優勢的情形，如於相對光量低的區域形成五節芒-咬人貓亞型(*Miscanthus floridulus-Urtica thunbergiana* subtype)，另於相對光量高的區域，五節芒大量增長，形成五節芒優勢亞型(*Miscanthus floridulus* subtype)。另當喬木層植物生長遮蔽光線，五節芒逐漸減少，於相對光量高的區域形成五節芒-大葉溲疏-臺灣紫珠亞型(*Miscanthus floridulus-Deutzia pulchra-Callicarpa formosana* subtype)，而相對光量低的區域則形成以五節芒與蔓性灌木為主的五節芒-小柃葉懸鉤子亞型(*Miscanthus floridulus-Rubus parviaraliifolius* subtype)，進而形成以蔓性灌木為主的小柃葉懸鉤子型(*Rubus parviaraliifolius* type)或小金櫻型(*Rosa taiwanensis* type)；此外，若喬木層植物持續增長，在相對光量高的生育地則形成臺灣二葉松-臺灣赤楊亞型(*Pinus taiwanensis-Alnus japonica* subtype)，而在相對光量低的生育地常為蓮草-臺灣紫珠型(*Tetrapanax papyriferus-Callicarpa formosana* type)。

Cramer & Hobbs (2007)在廢耕地生態復育之專書 *Old Fields: Dynamics and Restoration of Abandoned Farmland*，整合過去之研究，圖解有關種類庫(species pool)—生態篩(ecological filter)—實際群落(observed community)之間的關係，以及環境限制(environmental constraint)與散播限制(dispersal constraint)共同塑造出生態種類庫(ecological species pool)，而最後形成的實際群落(圖 1-3-5)。

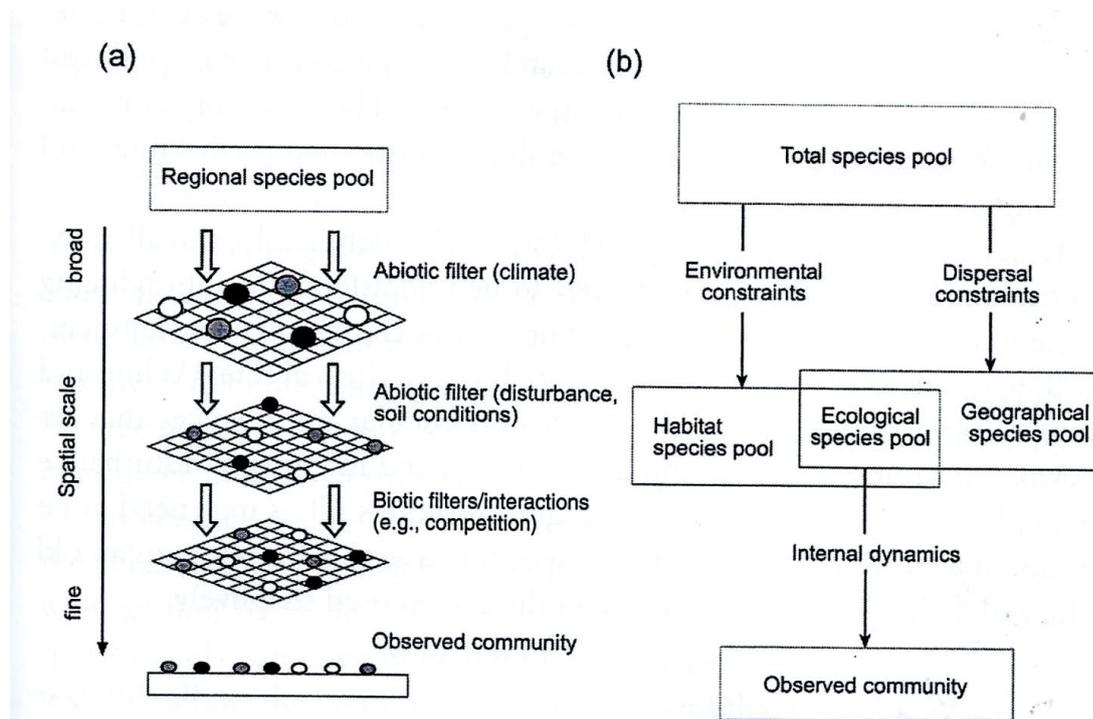


圖 1-3-5. 生態篩模型之相關示意圖(Cramer & Hobbs 2007)

第四節 研究地區

(一) 工作地點及範圍

本計畫之復育區(restoration site)為武陵地區被徵收後廢耕的 8.1 ha 菜園範圍。涉及計畫相關議題之研究區位於雪霸國公園東側(圖 1-4-1)，為武陵廢耕地附近之環境相似區域(圖 1-4-2)，其海拔約 1,500~2,500 m，特別是七家灣溪兩側之殘存森林，另為獲取更多當地之森林組成樹種及結構、復育森林之參照等資訊，對鄰近的有勝溪流域及中橫公路宜蘭支線(台 7 甲)植群資料亦將加以蒐集，研究區同時也是復育樹種主要的種子採集範圍。

(二) 地形、水系、道路

圖 1-4-3 為研究區範圍內之地形、水系、道路圖，綠色三角形為廢耕地之位置，圖 1-4-3 之海拔介於 1,132~3,728 m，由於復育目標區—廢耕地之海拔近 2,000 m，因此將調查其上下 500 m 之範圍；藍色線條代表水系，主要為七家灣溪及有勝溪；紅色線條代表道路，主要有國家公園園區內的武陵路、園區外的中橫公路宜蘭支線(台 7 甲)。

(三) 氣候

氣象觀測資料採用 Chiu et al. (2009)之長期氣候面化資料，擷取武陵廢耕地之各月氣候資料，其最低月均溫為 1 月之 7.3°C，最高月均溫為 7 月之 18.0°C，年均溫為 13.3°C，最小降水量出現於 11 月為 68 mm，最大降水量出現於 8 月為 336 mm，年降水量為 2,136 mm；圖 1-4-4 為武陵廢耕地之生態氣候圖，3~9 月份屬於超濕，全年都在潤濕以上，就大環境之氣候條件而言，武陵廢耕地並不缺水。

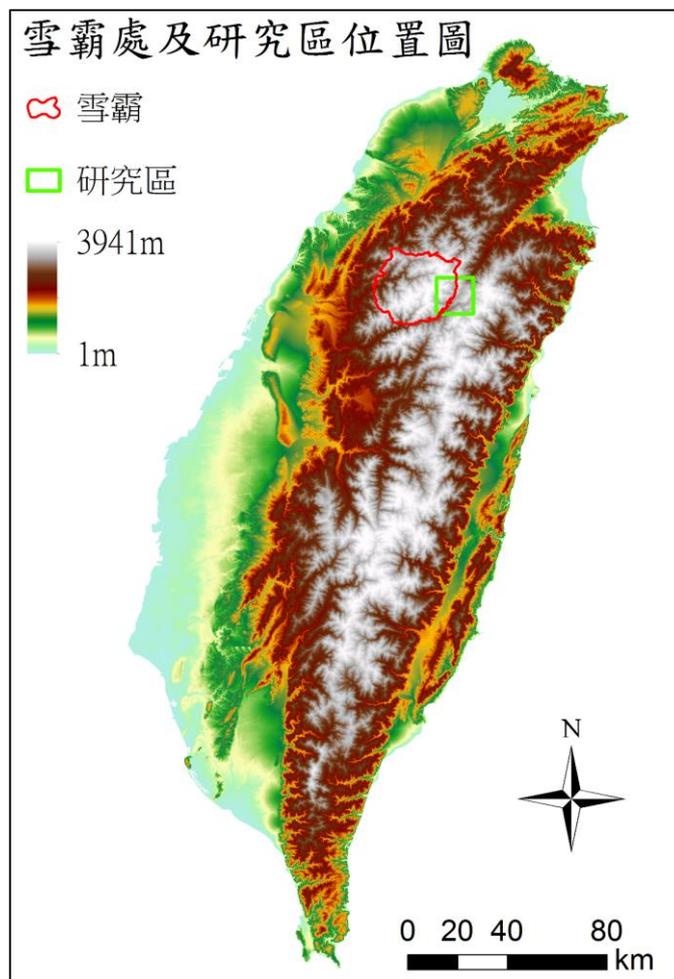


圖 1-4-1. 雪霸國家公園及本計畫研究區之位置圖

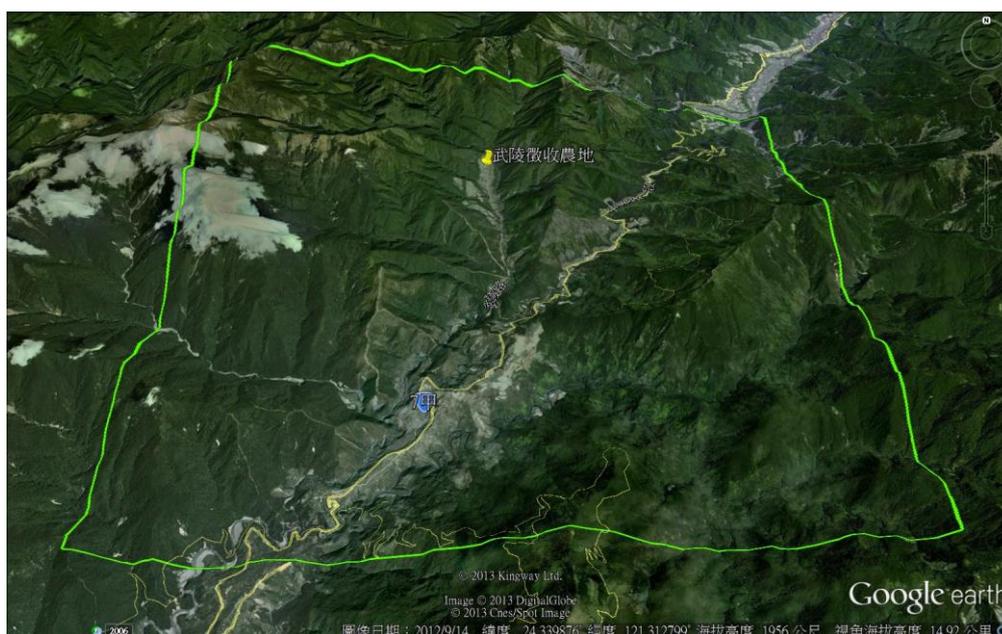


圖 1-4-2. 本計畫之研究區為武陵廢耕地附近之環境相似區域

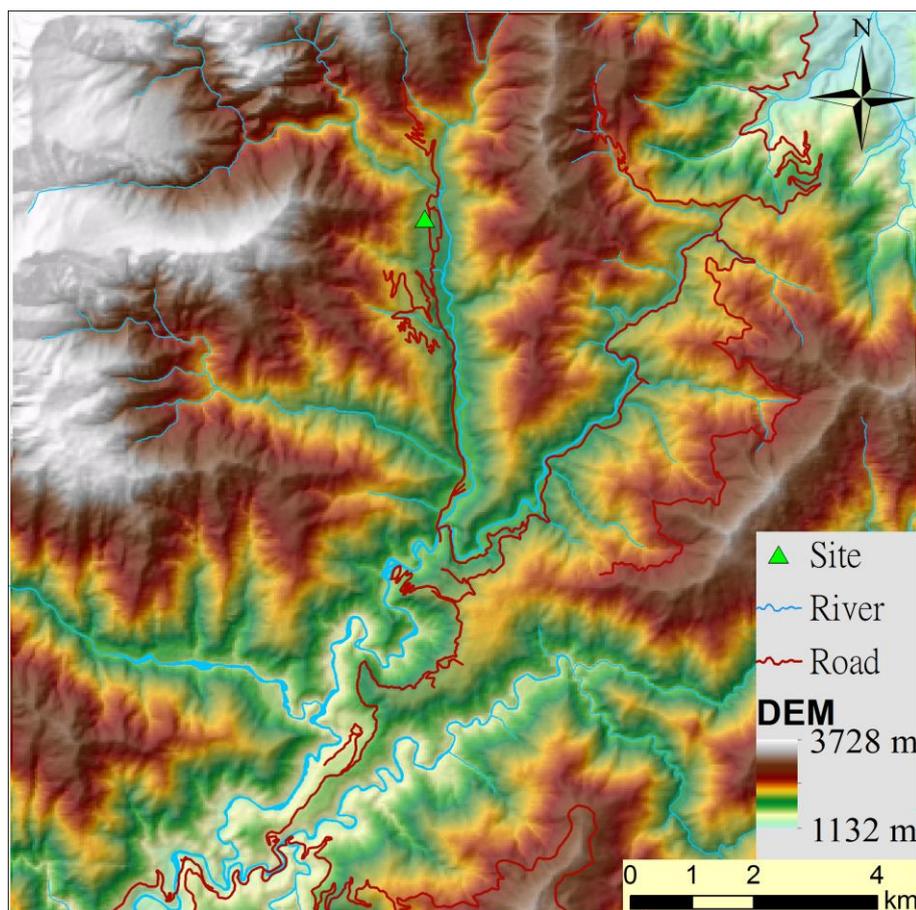


圖 1-4-3. 研究區之地形、水系(藍線)、道路(紅線)、廢耕地(綠色三角形)

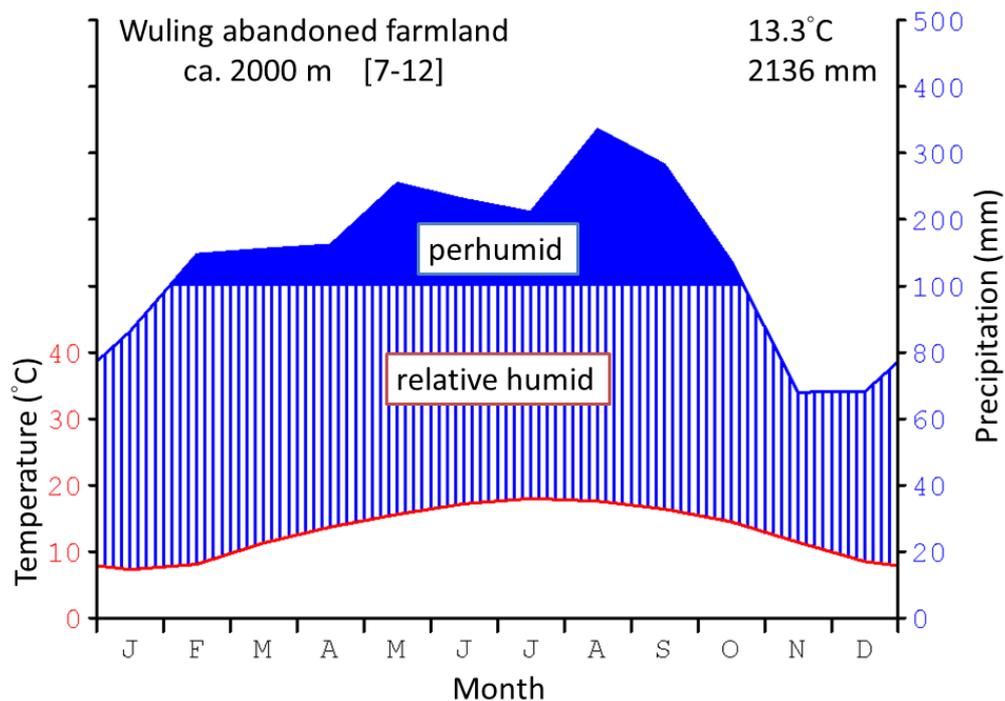


圖 1-4-4. 武陵廢耕地之生態氣候圖

(四) 現生植群圖

現生植群圖之資料來源係取自臺灣現生天然植群圖集(邱祈榮等 2009)，經擷取海拔 1,500~2,500 m 之範圍，除台 7 甲線下半段周邊之非林班地而無資料(紫色部分)外，其餘區域之現生植群如圖 1-4-5 所示(未著色部分即非海拔 1,500~2,500 m 之範圍，以衛星影像顯示)，圖上標示字母為群系綱(class)，A 為人工植生、F 為森林、G 為草本植群，X 為其他，可知本區主要植群為人工植生與森林；其中，細部的群系(formation)資料詳列於表 1-4-1。圖 1-4-6 為武陵廢耕地附近之細部放大圖，綠三角為其位置，即 AA92 耕地，其附近之植群主要為 AA91 人工林(淡綠色)、FM41 山地針闊葉混淆林(深綠色)，在距廢耕地較遠處則有 FC31 上部山地針葉林(橘色)、FC32 上部山地—山地—下部山地次生針葉林(紅色)；這些現生植群資料可以做為本計畫較粗略的參考，其中之 FM41 山地針闊葉混淆林(深綠色)的殘存森林，可能仍保有武陵地區較為豐富且能反映當地環境的樹種，為未來本計畫植群調查之重點區域。

表 1-4-1. 研究區範圍內國家現生植群圖所出現之群系(formation)類別

代碼	群系
FC21	亞高山針葉林
FC31	上部山地針葉林
FC32	上部山地—山地—下部山地次生針葉林
FC41	山地針葉林
FM31	上部山地針闊葉混淆林
FM32	上部山地—山地—下部山地針闊葉次生混淆林
FM41	山地針闊葉混淆林
FB31	上部山地—山地—下部山地崩塌地次生落葉闊葉林
FB41	山地常綠闊葉林
FB44	山地—下部山地—低地次生落葉闊葉林
FB45	山地—下部山地—低地半落葉闊葉林
FB52	下部山地—低地次生常綠闊葉林
GH21	亞高山—上部山地—山地草本植群
AA91	人工林
AA92	耕地
XX91	建地
XX92	天然裸露地
XX93	水域

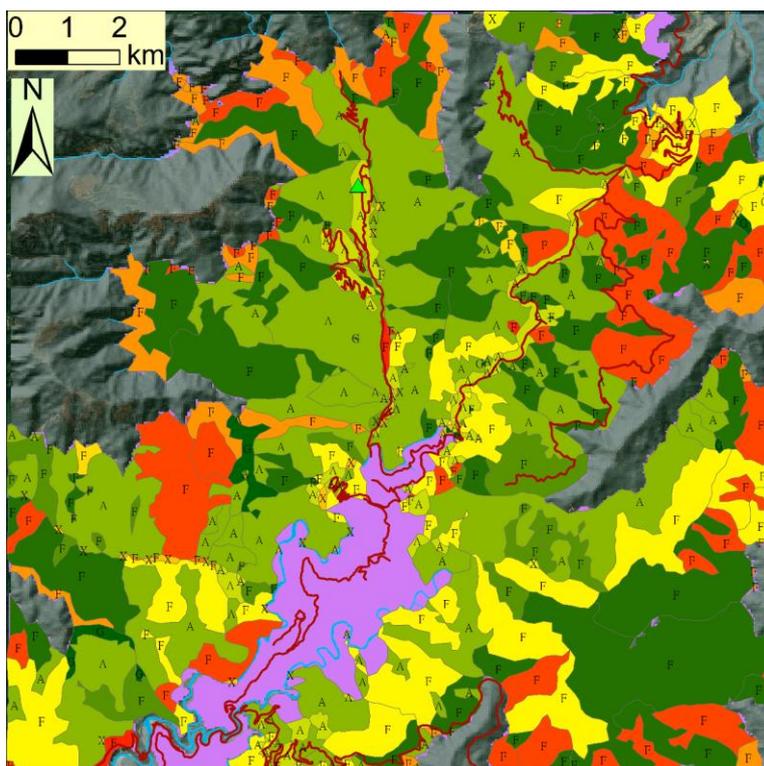


圖 1-4-5. 研究區之現生植群圖(A 為人工植生、F 為森林、紫色為非林班地、未著色部分即非海拔 1,500~2,500 m 之範圍，以衛星影像顯示)

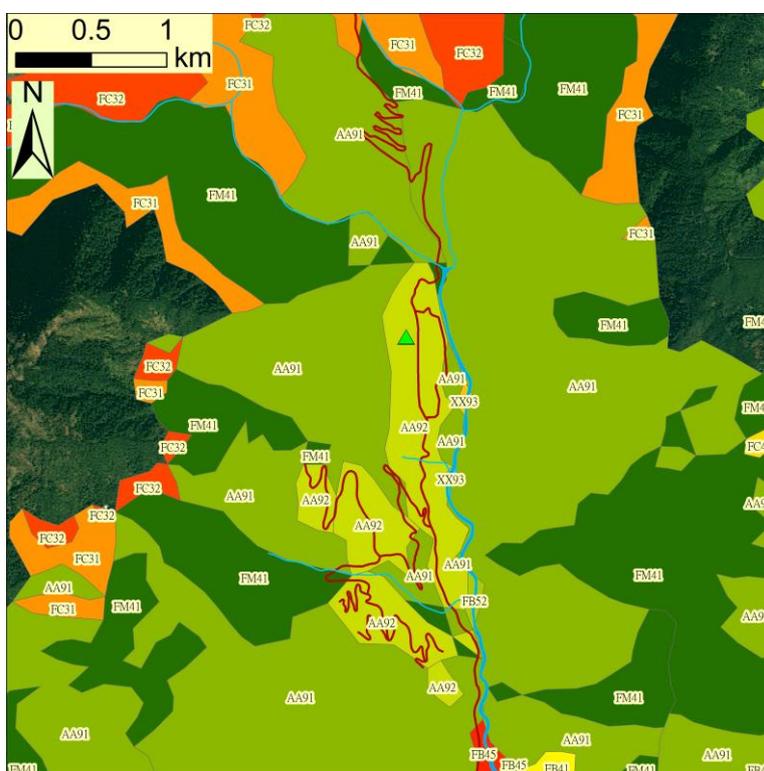


圖 1-4-6. 武陵廢耕地附近之現生植群圖，主要植群為 AA91 人工林(淡綠色)、FM41 山地針闊葉混淆林(深綠色)

第二章 研究方法

第一節 廢耕地之復育分區

武陵廢耕地最重要之目標為恢復原有森林生態系及其結構與功能，然考量武陵地區同時兼具遊憩與保育之雙重發展目標，本計畫將 8.1 ha 廢耕地劃分為自然演替觀察區、原生景觀植物區、森林生態復育區等 3 項利用目標與分區。其中，大部分的廢耕地以森林生態復育為首要努力目標，可施以人力介入，運用有助於森林復育之各類方法，期能加速當地森林之恢復；而自然演替觀察區為不施加任何人為措施，放任廢耕地自然演替，以做為森林生態復育之對照；另，考量武陵地區同時兼具遊憩功能，且當地有許多具有景觀綠美化潛質之種類，因此可規劃部分廢耕地種植景觀樹種。

第二節 問題分析與對策研擬

由原本的廢耕地自然恢復為森林通常需非常久的時間，因此有必要應用人為復育措施促進苗木更新(Florentine & Westbrooke 2004)。本計畫整體目標為恢復武陵廢耕地被破壞前的森林生態系，包含提出森林生態系之復育對策，並加以實踐建造原有之健康森林。在復育森林之前，須先瞭解森林恢復的限制因子，才能進一步擬定復育策略(Holl et al. 2000; Shea 2007; Mendoza et al. 2009; 邱清安&徐憲生 2015)，常見的森林恢復阻礙因子包括：火燒、缺乏種子來源/散播、雜草競爭、種子被掠食及低發芽率、土壤養分缺乏或失衡、乾旱逆境、動物干擾及啃食苗木等(Hardwick et al. 2004; Shono et al. 2007; Valdecantos et al. 2014; Elliott 2016; Stutz et al. 2017)，因此本計畫首先根據相關研究資料、過去試驗結果及現地觀察，分析廢耕地森林恢復可能遭遇的困難，並針對各種可能阻礙林木更新的因素，研擬克服林木更新障礙的方法及整體森林復育之對策，並加以實施及驗證所擬定的復育策略之有效性。

第三節 林木種子及種苗採集

為準備森林復育所需的林木材料，有必要配合種子成熟之適當季節，廣泛進行復育區原生樹種的種子採集。採集種子之目標樹種主要來自於：(1) 結合植群資料及環境因子分析，從中篩選出武陵地區之現生及潛在的植群樹種；(2) 過去在廢耕地苗木種植及種子直播之成效較佳者；(3) 實際上當年度可採集獲取到種子的樹種。另外在武陵周邊道路之邊坡，常可見天然下種更新之林木小苗，此為當地鄉土樹種之最佳種源，這些小苗通常會在每年道路邊坡砍草工程中被砍除，因此本計畫亦會採集道路邊坡上天然更新之林木幼苗至苗圃培育。

第四節 種子處理與種子儲藏

林木種子採集後須進行必要的處理，例如楓香果實經乾燥後將種子從圓球型蒴果中脫出、青剛櫟種子則可利用水選法篩選出沈水而飽滿的種子。而種子採集後至播種前(包括於苗圃播種育苗、於廢耕地種子直播造林)常須先因應不同的種子特性加以儲藏，對武陵當地之林木種子而言，種子儲藏可簡分以下 3 類(簡慶德 2013)：(1) 正儲型種子，如臺灣赤楊、楓香等，應將含水率降至 5%，密封後放在 0°C 以下溫度乾藏；(2) 中間型種子，如櫟木，種子乾燥後放在 5°C 溫度儲藏；(3) 異儲型種子，如殼斗科及大部分樟科樹種，混合濕介質，放在 5°C 溫度濕藏。

第五節 復育樹種之苗木培育

為提供武陵廢耕地苗木出栽造林所需之苗木，利用所採集之種子或枝條進行苗木培育。其中，除少數種類以枝條進行扦插繁殖之外，大部分的種類均以種子進行苗木培育，育苗方式包括種子直播育苗、播種育苗箱後再移植育苗，育苗前必須注意種子是否需要預先層積處理，打破種子休眠後再播種。苗木培育之細節及注意事項等，可參考簡慶德(2013) 18 種重要造林樹種育苗作業規範之制定。

第六節 廢耕地環境分析與栽植法設計

蒐集武陵地區之氣象與地質資料，細部分析以探討影響廢耕地中苗木生長之限制因子，並為改善苗木限制因子設計栽植法，以實驗評估成效。另外，本節將記錄本計畫為增長降雨時水分蒐集及停留的保水效益，所設計之植穴坑種植法；以及於地號 153 設置土壤水分監測器，實際試驗記錄不同的苗木出栽處理法下土壤水分的變化與其對出栽苗木的影響。

第七節 苗木出栽造林之試驗

苗木出栽是傳統的造林方式，也是最常被使用的森林復育方法，可促進植群回復過程，建立更適宜的微氣候環境(Miyawaki 1993; Florentine & Westbrooke 2004; Shoo & Catterall 2013)。由本計畫過去與持續累積之相關試驗及現地觀察(邱清安等 2016)可知，土壤水分不足及養分失衡是武陵廢耕地林木定殖的主要障礙，為此，本計畫將設計苗木出栽之改良試驗，期能提高苗木出栽存活率及改善後續之生長情況。由監測每年造林工程之苗木死亡率，觀察各樹種之生長狀況，針對廢耕地中適應良好或具特色觀賞價值之樹種重點討論；改良法方面由本節記錄萌芽樁試驗情形，及運用改善措施(打漿、敷蓋)於出栽臺灣赤楊之後續生長觀察，此外，亦同時挑選 15 種苗木進行不同的出栽方式，藉以比較不同樹種間、不同出栽處理間的差異。本計畫之試驗苗木均已掛牌並定期測量形質，為瞭解森林復育之苗木的表現(performance)，本計畫記錄樣株之地徑、苗高及枯萎率，並根據 Hoffmann & Poorter (2002)、Inman-Narahari et al. (2014)之方法計算苗木之絕對生長率(absolute growth rate, AGR)，最後將上述調查與統計數據根據 De Steven (1991)、Quintana-Ascencio et al.(2004)、Mangueira et al. (2019)之計算法將監測數據以生長指數(growth index, GI)、表現指數(performance index, PI)呈現，詳細計算公式如下：

$$\text{枯萎率} = \text{苗高縮減之苗木株數} / \text{總株數}$$

$$\text{AGR} = (\text{最終量測值} - \text{一起始量測值}) / (\text{最終量測日} - \text{一起始量測日})$$

$$\text{GI} = \text{地徑年 AGR} \times \text{苗高年 AGR}$$

$$PI = GI \times \text{存活率}$$

其中，量測值為苗木之地徑及株高，預計於每年4月、10月對所有苗木之樣株進行量測。

第八節 種子直播造林之試驗

人為恢復森林生態系的途徑主要可分為種子直播(direct seeding)、苗木出栽(transplanting seedlings) 2種方法，同時結合此2者是促進退化地恢復的最佳方法(Camargo et al. 2002)。苗木出栽是將退化地快速回復為森林的常用方法，但苗木出栽是十分昂貴的(Shoo & Catterall 2013)。種子直播之優點主要為無需育苗成本、較低的種植成本、可應用於大面積造林等(Schmidt 2008)，而其主要弱點為較低的發芽率、較高的苗木死亡率、更嚴苛的雜草競爭(Evans 1982)。由於種子直播成苗率與種子大小、微生育地、種子及播種處理等因子均有關係(Schmidt 2008; Camargo et al. 2002)，因此本計畫綜合考慮上述因子來設計種子直播試驗。依本計畫前期試驗結果篩選出10種於廢耕地中有觀察到發芽之樹種，根據種子大小與性質進行鑽孔、造粒處理，於2017年直播並持續記錄後續生長；針對試驗與觀察結果顯示為武陵初期造林具潛力樹種之臺灣胡桃與臭椿進行種子直播試驗，研究其種子直播之最佳覆土深度、發芽率與種子苗後續生長情形。

第九節 野生動物危害之防止

野生動物常為影響廢耕地造林成效的重要因素，過去武陵廢耕地苗木曾遭受山豬、山羌、嚙齒類之危害。本計畫除持續以紅外線自動相機記錄廢耕地之野生動物出沒、重要環境事件、復育苗木之生長情況之外，同時將架設物理性的動物圍網，觀察其防止效果，並嘗試噴灑化學性的動物忌避劑(repellent) (Nolte 1998; Wagner & Nolte 2001; Stutz et al. 2017)，並評估其防止效果。

第三章 結果與討論

第一節 廢耕地之復育分區

考量武陵地區同時兼具遊憩與保育之雙重發展目標，本計畫僅建議將 8.1 ha 廢耕地大略規劃為自然演替觀察區、原生景觀植物區、森林生態復育區等 3 項利用目標與分區，其分區位置如圖 3-1-1，未來實際之利用與分區則應配合國家公園管理處之經營管理政策。

1. 自然演替觀察區：保留地號 74、89、90、91、129-1 等區塊，其面積小計約為 0.2674 ha，本區未來不進行任何人為復育措施，觀察其自然演替情形，並做為本計畫森林生態復育試驗及措施之對照。
2. 原生景觀植物區：武陵地區雖然開發甚早，但仍可發現十分多樣的原生植物種類，其中不乏具有景觀綠美化潛質之種類，這些原生植物除了可應用於恢復當地森林生態系之外，亦可應用於營造原生植物景觀林。目前選定於地號 99、99-1、100 等區塊種植山桐子以建造景觀林，其面積小計約為 0.2650 ha；山桐子除了具備偏陽性、生長快速、葉形較大、樹冠易鬱閉等生態復育特性之外，同時也具有觀賞紅色果實、誘鳥等功能。
3. 森林生態復育區：武陵廢耕地除了上述自然演替觀察區、原生景觀植物區之外，其餘均屬森林生態復育區，其面積小計約為 7.5676 ha，包含(1) 佔小部分的試驗研究區—地號 96、97、152、153、168-2、169 等區塊，目的在進行種子直播及苗木栽種等各類生態復育方法之試驗，及長期觀察所栽植苗木是否可形成母樹與下種更新，俾利未來擴展應用試驗成果及觀察心得至臺灣中海拔類似的廢耕地；(2) 佔大部分的生態造林區—除了上述的試驗研究區之外，其餘均為生態造林區，目的在以生態造林方法栽植多樣樹種之苗木或撒播多樣樹種之種子，以儘速達成森林形相、生物多樣性、生態系功能之恢復。

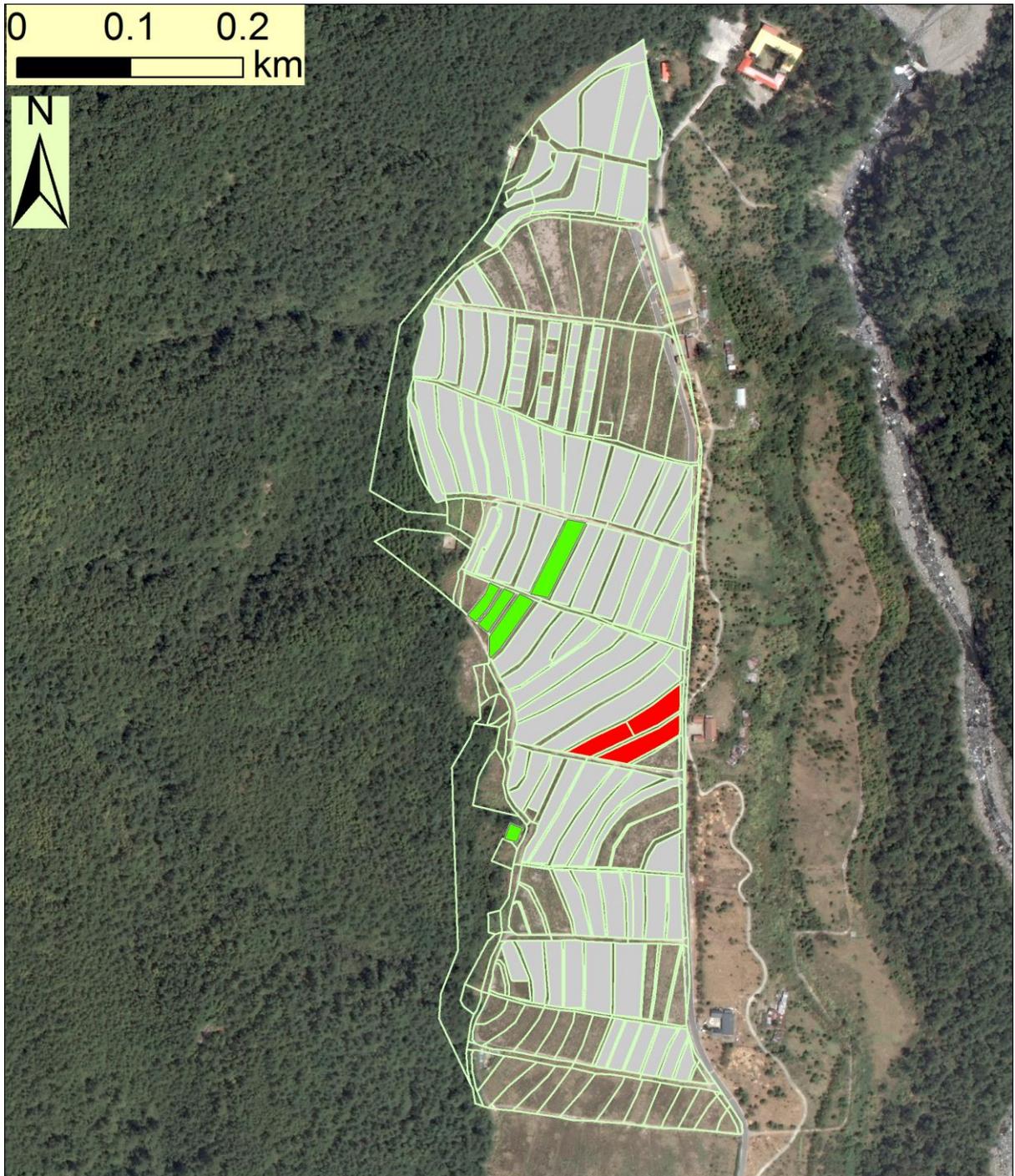


圖 3-1-1. 自然演替觀察區(綠色區塊)、原生景觀植物區(紅色區塊)、森林生態復育區(灰色區塊)等 3 項分區之位置

第二節 問題分析與對策研擬

綜合過去相關研究(Holl et al. 2000; Florentine & Westbrooke 2004; Reid & Holl 2013; Stanturf et al. 2014; 邱清安 2012；邱清安&徐憲生 2015)、本區前期計畫之觀察及試驗(邱清安等 2016)，可歸納出武陵廢耕地森林恢復的主要阻礙因素，包括：雜草繁盛(妨礙種子發芽、苗木光合作用、資源競爭)、土壤失衡(土壤水分不足、pH 值過高、養分元素失衡)、種源不足(現地無母樹天然下種、土壤種子庫林木種子貧乏)、動物危害(山豬挖掘破壞、山羌及嚙齒類啃食葉部及枝幹)等問題；將上述可能阻礙武陵廢耕地恢復為森林的因素予以歸納，如圖 3-2-1 所示，此一影響武陵廢耕地恢復為森林的思維圖(mind map)可有助於理解、探究未來之復育對策與實踐。



圖 3-2-1. 影響武陵廢耕地恢復為森林的思維圖

唯有阻礙林木更新的多重障礙同時被改善，才能實現生態復育之進展(Reid & Holl 2013)，為此，本計畫擬定武陵廢耕地之森林復育策略(圖 3-2-2)，針對林木更

新之各種障礙加以解決，除了為提供復育所需之種源而密集地進行種子採集、種子處理與儲藏、苗木培育，同時配合於無寒害及充足水分之梅雨季，實施第一次的種子直播與苗木出栽，以及後續於適當時機進行種子補播與苗木補植，另外也適時進行抑草撫育、野生動物掠食控制。

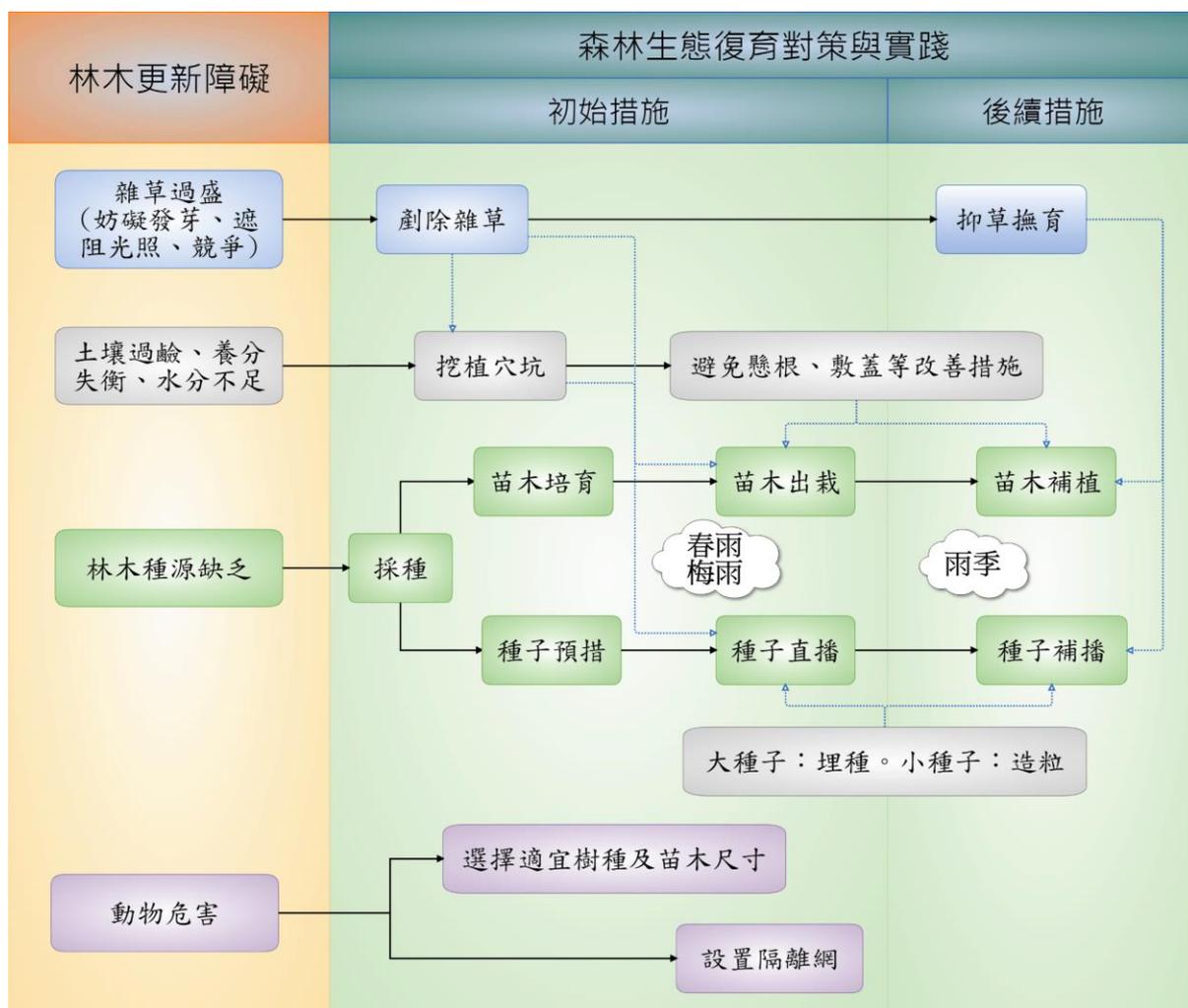


圖 3-2-2. 武陵廢耕地之森林復育對策與實踐

上述之阻礙武陵廢耕地之林木更新的各種因子，可用李比希的最低限定律 (Liebig's Law of the Minimum) 來進一步說明，當植物的某一生長因子或養分不足時，植物的生長將受此一生長因子或養分限制(即便其他所有的生長因子或養分均足夠時)，因此植物的生長可藉由改善或增加此一生長因子或養分限制來促進植物的生長(如圖 3-2-3 上圖)。就武陵廢耕地而言，目前最嚴重的、最先遭遇的林木存活之首要阻礙因子可能是土壤水分缺乏，致使林木無法定殖更新，因此本計畫將

優先對此一限制因子進行改善。而當首要阻礙因子(土壤水分)被改善了，並不意味著林木存活與生長便毫無阻礙，而須再進一步去探究其他的、次要的限制因子(如野生動物危害、養分不均等)，並研擬改善對策(如圖 3-2-3 下圖)，俾利林木可順利生長，使廢耕地能快速恢復為原有之森林生態系。

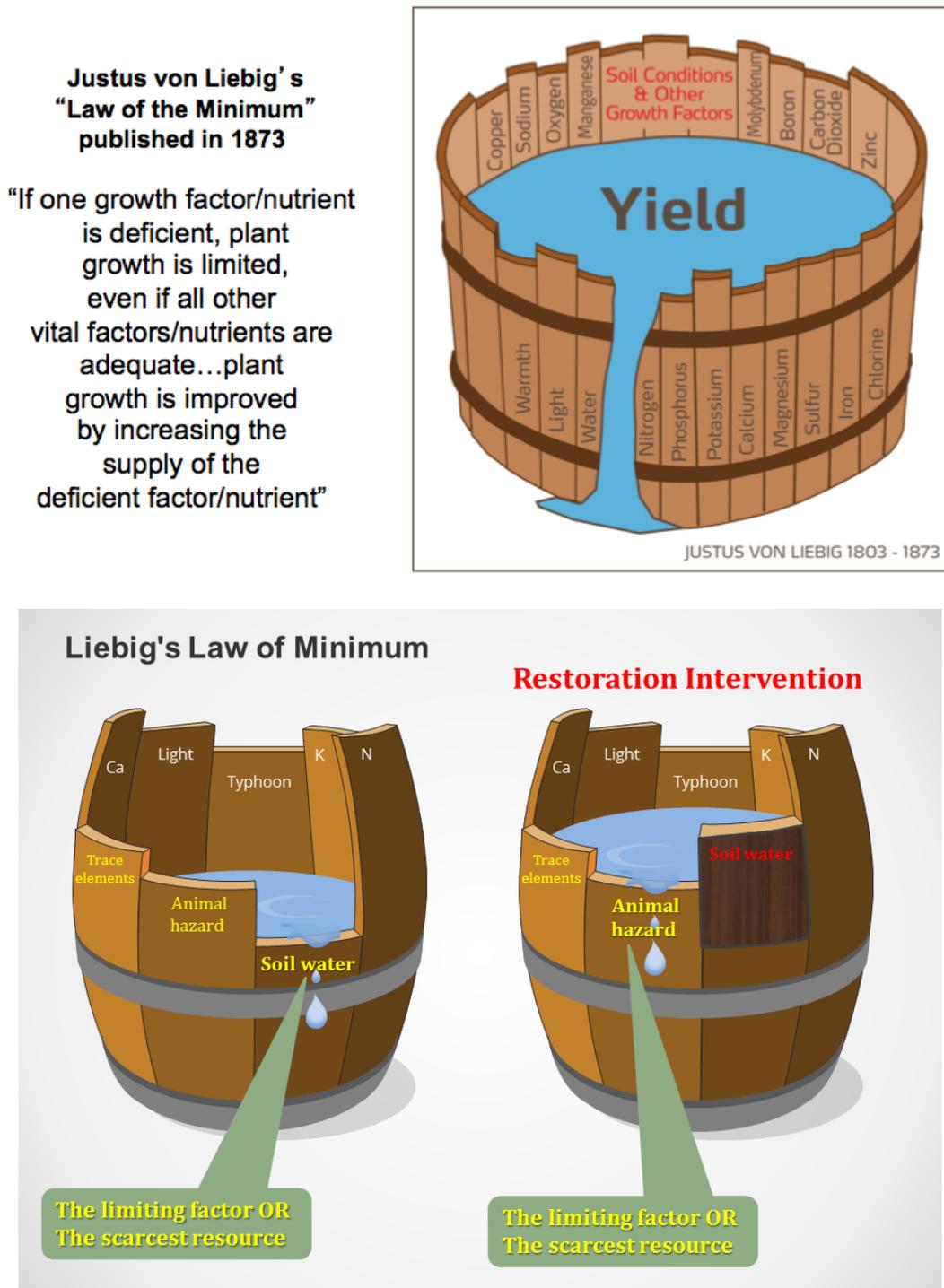


圖 3-2-3. 利用最低限定律的概念改善阻礙林木定殖更新之限制因子

第三節 林木種子及種苗之採集

為爭取復育目標樹種之苗木培育時效及進行各項相關試驗之需，本計畫配合果熟季節於 2016-07 月起陸續在研究區進行種子採集工作。採種方法主要是以高枝剪採取成熟種子為主，有時果熟掉落地面則直接在地面撿拾。

種子在成熟時才採集，成熟度的判別通常依據外表顏色改變、種皮硬度變化和變色、胚和胚乳硬度等性狀。針葉樹種子其結構成熟早在自然掉落之前已完成(林讚標 1996)，因此當毬果仍在枝條上，由綠色轉為黃色過程中即可採收；闊葉樹之果實成熟時通常也會改變顏色，由綠色變為紅色、紫色、黑色、褐色等。採種後需將果實或種子在室內或陰涼處攤開，保持環境通風順暢，避免存放在採集袋中產生高熱引起黴菌滋長，尤其肉質果成熟時的呼吸作用使果肉易腐且發酵，影響種子活力(林讚標 1996；郭幸榮 2006；李明仁 2010)。

本計畫廣泛採集武陵地區之原生樹種的種子，採集種子之目標樹種主要來自於：(1) 結合植群資料及環境因子分析，從中篩選出武陵地區之潛在植群樹種；(2) 過去在廢耕地試驗種植成效較佳者；(3) 實際上可採集獲取到種子的樹種。這些樹種包含臺灣赤楊、臺灣黃杉、阿里山榆、化香樹、山肉桂、大葉石櫟、日本槲楠、朴樹、三斗石櫟、狹葉櫟、塔塔加櫟、臺灣胡桃、木荷、變葉新木薑子、烏心石、楓香、青楓、墨點櫻桃、霧社櫻、臺灣紅榨槭、山桐子、卡氏楮、石楠、山塩青、臭椿、山柿等。

本計畫至 2019-11-15 為止，共針對 106 種、457 株母樹進行種子採集，表 3-3-1 為本計畫已採集種子之樹種名錄及其座標(TWD 97 系統)、海拔等資訊，種子採集之相關作業如圖 3-3-1 所示。此外，部分苗木係直接於野外採集種苗或扦插枝條，包括臺灣老葉兒樹、紅楠、山枇杷、霧社木薑子、長葉木薑子、笑靨花等。另外，出栽苗木中有兩類型苗木不予列入表 3-3-1，一為並非採自武陵周邊之參照森林，為考量該樹種特質可能適合生長於現階段之武陵廢耕地，故少量嘗試出栽，監測其表現；二為向林務局苗圃申請出栽之苗木，例如 2019 年曾向出雲山及烏石坑苗圃申請苗木出栽至廢耕地。

表 3-3-1. 已採集種子之樹種名錄，及其座標(TWD97 系統)、海拔等資訊

編號	樹種序號	母樹序號	樹種名	座標 X	座標 Y	海拔(m)
1	1	1	三斗石櫟	272605	2683482	1662
2	1	2	三斗石櫟	271577	2682871	1687
3	1	3	三斗石櫟			
4	2	1	大葉石櫟	287002	2699592	1717
5	2	2	大葉石櫟	287002	2699592	1717
6	2	3	大葉石櫟	287002	2699592	1717
7	2	4	大葉石櫟	273266	2682134	1775
8	2	5	大葉石櫟	286971	2699634	1720
9	2	6	大葉石櫟	277661	2680853	2140
10	2	7	大葉石櫟	281850	2693114	
11	2	8	大葉石櫟	286963	2699618	
12	2	9	大葉石櫟	287048	2699557	
13	2	10	大葉石櫟			
14	3	1	大葉澹疏	280584	2697831	2036
15	3	2	大葉澹疏			
16	3	3	大葉澹疏			
17	4	1	大頭茶	281326	2693630	1697
18	4	2	大頭茶	281326	2693630	1697
19	4	3	大頭茶	281228	2693580	1729
20	4	4	大頭茶	281545	2695079	1748
21	5	1	小葉鼠李	281337	2697415	1811
22	5	2	小葉鼠李	281255	2697377	1840
23	6	1	小實女貞	281147	2697576	1830
24	6	2	小實女貞	281160	2697535	1834
25	6	3	小實女貞	281151	2697565	1830
26	6	4	小實女貞	281160	2697544	1830
27	6	5	小實女貞	281170	2697479	1824
28	7	1	山肉桂	281246	2693692	1699
29	7	2	山肉桂	287198	2700089	1634
30	7	3	山肉桂			
31	7	4	山肉桂	271577	2682871	1687
32	7	5	山肉桂			

表 3-3-1. 已採集種子之樹種名錄，及其座標(TWD97 系統)、海拔等資訊(續)

編號	樹種序號	母樹序號	樹種名	座標 X	座標 Y	海拔(m)
33	7	6	山肉桂			
34	8	1	山枇杷	282100	2693514	1765
35	8	2	山枇杷	281421	2691546	1583
36	8	3	山枇杷	281474	2693581	1764
37	8	4	山枇杷	267734	2664980	2108
38	8	5	山枇杷	277355	2688031	1515
39	8	6	山枇杷	276918	2687697	1455
40	8	7	山枇杷	281975	2693183	1726
41	8	8	山枇杷	266881	2682802	1489
42	8	9	山枇杷	278518	2687971	
43	8	10	山枇杷	281973	2693183	1768
44	8	11	山枇杷	287010	2699596	1698
45	8	12	山枇杷			
46	8	13	山枇杷			
47	9	1	山芙蓉	271577	2682871	1687
48	10	1	山柿	276499	2684503	1815
49	10	2	山柿	275320	2683351	1909
50	10	3	山柿	276567	2684643	1909
51	10	4	山柿	278833	2688784	1616
52	10	5	山柿	253356	2665030	671
53	10	6	山柿	276588	2684638	1799
54	10	7	山柿	276406	2684382	
55	10	8	山柿			
56	10	9	山柿			
57	11	1	山紅柿	287273	2700163	1631
58	12	1	山桐子	287006	2699734	1674
59	12	2	山桐子	287006	2699734	1674
60	12	3	山桐子	286916	2699609	1717
61	12	4	山桐子	286916	2699609	1717
62	12	5	山桐子	273325	2682297	1764
63	12	6	山桐子	275274	2683250	1952

表 3-3-1. 已採集種子之樹種名錄，及其座標(TWD97 系統)、海拔等資訊(續)

編號	樹種序號	母樹序號	樹種名	座標 X	座標 Y	海拔(m)
64	12	7	山桐子	273325	2682297	1764
65	12	8	山桐子	273325	2682297	1764
66	12	9	山桐子	271136	2683025	1523
67	12	10	山桐子	270691	2683533	
68	12	11	山桐子	287010	2699596	1698
69	12	12	山桐子			
70	13	1	山塩青	278704	2688138	1509
71	13	2	山塩青	278600	2688521	1560
72	13	3	山塩青	273325	2682297	1764
73	13	4	山塩青	277693	2687588	1583
74	13	5	山塩青	278600	2688521	1560
75	13	6	山塩青	278316	2687549	1760
76	13	7	山塩青	278316	2687549	1760
77	13	8	山塩青	278316	2687549	1760
78	13	9	山塩青	278704	2688138	1592
79	13	10	山塩青	278569	2688023	1571
80	13	11	山塩青	278569	2688023	1571
81	13	12	山塩青	278569	2688023	1571
82	13	13	山塩青	278569	2688023	1571
83	13	14	山塩青	278569	2688023	1571
84	13	15	山塩青	278545	2688341	1534
85	13	16	山塩青	278545	2688341	1534
86	13	17	山塩青	278545	2688341	1534
87	13	18	山塩青	278545	2688341	1534
88	13	19	山塩青	278545	2688341	1534
89	13	20	山塩青	278919	2688946	1627
90	13	21	山塩青	278919	2688946	1627
91	13	22	山塩青	276492	2684427	1819
92	13	23	山塩青	279923	2690946	1778
93	13	24	山塩青	278686	2688073	1509
94	14	1	山薔薇	276499	2684503	1815

表 3-3-1. 已採集種子之樹種名錄，及其座標(TWD97 系統)、海拔等資訊(續)

編號	樹種序號	母樹序號	樹種名	座標 X	座標 Y	海拔(m)
95	15	1	山櫻花	281545	2695079	1748
96	16	1	川上氏鵝耳櫪	281523	2696314	1763
97	16	2	川上氏鵝耳櫪	281523	2696314	1763
98	16	3	川上氏鵝耳櫪	281228	2693580	1729
99	16	4	川上氏鵝耳櫪	271642	2682750	1578
100	16	5	川上氏鵝耳櫪	267671	2683117	1517
101	16	6	川上氏鵝耳櫪	271577	2682871	1687
102	16	7	川上氏鵝耳櫪	278897	2688455	1504
103	16	8	川上氏鵝耳櫪	284329	2696407	1828
104	16	9	川上氏鵝耳櫪	281533	2696268	1764
105	16	10	川上氏鵝耳櫪	282479	2693525	1851
106	16	11	川上氏鵝耳櫪	282370	2693644	1773
107	16	12	川上氏鵝耳櫪	282370	2693644	1773
108	16	13	川上氏鵝耳櫪	282459	2693537	1781
109	16	14	川上氏鵝耳櫪	283956	2696534	
110	16	15	川上氏鵝耳櫪	283956	2696534	
111	16	16	川上氏鵝耳櫪	271125	2683020	
112	16	17	川上氏鵝耳櫪			
113	17	1	化香樹	281688	2694514	1723
114	17	2	化香樹	281309	2693629	1696
115	17	3	化香樹	281309	2693629	1696
116	17	4	化香樹	281309	2693629	1698
117	17	5	化香樹	278598	2688523	1558
118	17	6	化香樹	278618	2688007	1543
119	18	1	日本女貞	281229	2699146	1950
120	19	1	日本槿楠			
121	20	1	月橘			
122	21	1	木荷	272648	2683438	1658
123	21	2	木荷	251467	2702139	1870
124	22	1	木蠟樹	278739	2688717	1606
125	22	2	木蠟樹	270000	2683281	1835

表 3-3-1. 已採集種子之樹種名錄，及其座標(TWD97 系統)、海拔等資訊(續)

編號	樹種序號	母樹序號	樹種名	座標 X	座標 Y	海拔(m)
126	23	1	毛果柃木	251483	2702262	1776
127	24	1	水絲梨	261453	2710532	2038
128	25	1	牛奶榕			
129	25	2	牛奶榕			
130	26	1	卡氏楮	274604	2681521	2259
131	26	2	卡氏楮	274604	2681521	2259
132	26	3	卡氏楮	276874	2679151	2004
133	26	4	卡氏楮	251460	2702193	1773
134	27	1	臺灣二葉松			
135	27	2	臺灣二葉松	279854	2689736	
136	28	1	臺灣百合	281280	2693650	1691
137	28	2	臺灣百合	278374	2688049	1502
138	29	1	臺灣石楠	287002	2699592	1717
139	30	1	臺灣赤楊	281348	2693640	1698
140	30	2	臺灣赤楊	281129	2699094	1897
141	30	3	臺灣赤楊	281348	2693640	1698
142	30	4	臺灣赤楊	281775	2694649	1699
143	30	5	臺灣赤楊	281016	2697638	1859
144	30	6	臺灣赤楊	280990	2697677	1867
145	30	7	臺灣赤楊	281596	2694147	1783
146	30	8	臺灣赤楊	281596	2694147	1783
147	30	9	臺灣赤楊	281228	2693580	1729
148	30	10	臺灣赤楊	281229	2699146	1950
149	30	11	臺灣赤楊	282228	2693294	1880
150	30	12	臺灣赤楊			
151	30	13	臺灣赤楊			
152	30	14	臺灣赤楊	277073	2688004	1481
153	30	15	臺灣赤楊	274145	2683893	1760
154	30	16	臺灣赤楊	282302	2693622	1784
155	30	17	臺灣赤楊	269787	2683861	
156	30	18	臺灣赤楊			

表 3-3-1. 已採集種子之樹種名錄，及其座標(TWD97 系統)、海拔等資訊(續)

編號	樹種序號	母樹序號	樹種名	座標 X	座標 Y	海拔(m)
157	30	19	臺灣赤楊			
158	30	20	臺灣赤楊			
159	30	21	臺灣赤楊			
160	31	1	臺灣紅榨槭	284214	2695600	1831
161	31	2	臺灣紅榨槭	284214	2695600	1831
162	31	3	臺灣紅榨槭	282236	2693359	1881
163	31	4	臺灣紅榨槭	287002	2699592	1717
164	31	5	臺灣紅榨槭	282272	2693198	1895
165	31	6	臺灣紅榨槭	281004	2697442	1888
166	31	7	臺灣紅榨槭	284231	2695624	1824
167	31	8	臺灣紅榨槭			
168	31	9	臺灣紅榨槭	287065	2699115	1882
169	31	10	臺灣紅榨槭	287141	2699267	1798
170	31	11	臺灣紅榨槭	287161	2699450	1729
171	31	12	臺灣紅榨槭	287299	2699696	1676
172	32	1	臺灣胡桃			
173	32	2	臺灣胡桃	281532	2696335	1765
174	32	3	臺灣胡桃	281526	2696230	1764
175	32	4	臺灣胡桃	281470	2696427	1819
176	32	5	臺灣胡桃	281306	2696862	1803
177	32	6	臺灣胡桃	281409	2696682	1805
178	32	7	臺灣胡桃	276850	2685772	
179	32	8	臺灣胡桃			
180	32	9	臺灣胡桃	276545	2685282	1697
181	32	10	臺灣胡桃			
182	33	1	臺灣黃杉	282100	2693516	1765
183	33	2	臺灣黃杉	281228	2693580	1729
184	33	3	臺灣黃杉	280670	2697039	1967
185	33	4	臺灣黃杉	280741	2697019	1974
186	33	5	臺灣黃杉	280743	2697017	1978
187	33	6	臺灣黃杉	281288	2693633	1638

表 3-3-1. 已採集種子之樹種名錄，及其座標(TWD97 系統)、海拔等資訊(續)

編號	樹種序號	母樹序號	樹種名	座標 X	座標 Y	海拔(m)
188	33	7	臺灣黃杉	281288	2693633	1638
189	33	8	臺灣黃杉			
190	33	9	臺灣黃杉	281292	2693600	
191	33	10	臺灣黃杉			
192	34	1	臺灣蘋果	251455	2702056	1890
193	34	2	臺灣蘋果			
194	35	1	白珠樹			
195	36	1	白雞油	276903	2686950	1630
196	36	2	白雞油	276970	2686125	1693
197	37	1	石楠	281519	2691546	1922
198	37	2	石楠	282546	2693487	1864
199	37	3	石楠	287002	2699592	1717
200	37	4	石楠	274936	2683557	1913
201	37	5	石楠	278456	2688130	2037
202	37	6	石楠	273892	2682300	1855
203	37	7	石楠	277901	2687703	1516
204	37	8	石楠	278702	2687985	1475
205	37	9	石楠	278702	2687994	1475
206	37	10	石楠	287010	2699596	1698
207	37	11	石楠	277180	2679395	
208	37	12	石楠	271773	2676473	2302
209	38	1	合歡	278739	2688726	1606
210	38	2	合歡	278695	2688649	1577
211	38	3	合歡	280079	2691376	1804
212	38	4	合歡	277045	2687039	
213	39	1	尖葉槭	284396	2696925	1878
214	39	2	尖葉槭	271626	2682668	1576
215	39	3	尖葉槭	287064	2699480	1717
216	39	4	尖葉槭	281295	2696779	1825
217	39	5	尖葉槭	287153	2699186	1830
218	39	6	尖葉槭	282290	2693623	1784

表 3-3-1. 已採集種子之樹種名錄，及其座標(TWD97 系統)、海拔等資訊(續)

編號	樹種序號	母樹序號	樹種名	座標 X	座標 Y	海拔(m)
219	39	7	尖葉槭	284575	2696997	
220	39	8	尖葉槭	251483	2702262	1776
221	40	1	朱紅水木	286440	2700108	1533
222	41	1	朴樹	281244	2693686	1699
223	41	2	朴樹	277255	2687514	1583
224	41	3	朴樹	273321	2682282	1765
225	41	4	朴樹	273308	2682243	1770
226	41	5	朴樹	281244	2693686	1699
227	41	6	朴樹	276807	2685747	
228	42	1	米飯花	281295	2693622	1701
229	42	2	米飯花			
230	42	3	米飯花	281295	2693620	1639
231	42	4	米飯花			
232	43	1	呂宋莢蒾	281283	2693652	1694
233	43	2	呂宋莢蒾	276998	2687786	1464
234	44	1	杏葉石櫟	251496	2702188	1880
235	44	2	杏葉石櫟	251495	2702217	1873
236	44	3	杏葉石櫟			
237	44	4	杏葉石櫟	251451	2702166	1771
238	44	5	杏葉石櫟	251477	2702275	1798
239	44	6	杏葉石櫟			
240	45	1	杜虹花	271620	2682798	1591
241	45	2	杜虹花	281229	2699146	1950
242	45	3	杜虹花	281229	2698553	1850
243	45	4	杜虹花	277016	2687917	1472
244	45	5	杜虹花	279516	2687706	1758
245	45	6	杜虹花	251471	2702260	1891
246	46	1	秀柱花	281477	2696447	1779
247	47	1	昆欄樹	286393	2700086	1532
248	47	2	昆欄樹	286184	2699019	1950
249	47	3	昆欄樹			

表 3-3-1. 已採集種子之樹種名錄，及其座標(TWD97 系統)、海拔等資訊(續)

編號	樹種序號	母樹序號	樹種名	座標 X	座標 Y	海拔(m)
250	48	1	長葉木薑子	281322	2696750	1805
251	48	2	長葉木薑子	287010	2699596	1698
252	48	3	長葉木薑子			
253	49	1	阿里山榆	281519	2691546	1922
254	49	2	阿里山榆	281806	2692561	1955
255	49	3	阿里山榆	281303	2697386	1825
256	49	4	阿里山榆	284536	2696029	1841
257	49	5	阿里山榆	282014	2693173	1773
258	49	6	阿里山榆	284244	2695650	1826
259	49	7	阿里山榆			
260	49	8	阿里山榆	274147	2683156	1875
261	49	9	阿里山榆	284266	2695705	1841
262	49	10	阿里山榆	282014	2693182	1762
263	49	11	阿里山榆	284244	2695659	1832
264	49	12	阿里山榆	284536	2696038	1841
265	49	13	阿里山榆			
266	50	1	青剛櫟	278715	2688681	1605
267	50	2	青剛櫟	278610	2687948	1489
268	50	3	青剛櫟	278374	2688049	1502
269	50	4	青剛櫟	278598	2688523	1558
270	50	5	青剛櫟	278316	2687549	1760
271	50	6	青剛櫟	272652	2683440	1664
272	50	7	青剛櫟	278316	2687549	1760
273	50	8	青剛櫟	278917	2688917	1638
274	50	9	青剛櫟	277125	2688130	1516
275	50	10	青剛櫟	276953	2687569	1461
276	50	11	青剛櫟	276894	2687732	1424
277	50	12	青剛櫟	267728	2683179	1546
278	50	13	青剛櫟	268404	2683253	1488
279	50	14	青剛櫟	280077	2691397	1804
280	50	15	青剛櫟	278523	2687965	1499

表 3-3-1. 已採集種子之樹種名錄，及其座標(TWD97 系統)、海拔等資訊(續)

編號	樹種序號	母樹序號	樹種名	座標 X	座標 Y	海拔(m)
281	50	16	青剛櫟	280075	2691398	1802
282	50	17	青剛櫟	277978	2687899	
283	51	1	青楓	285190	2697602	1896
284	51	2	青楓	282211	2693583	1786
285	51	3	青楓	281545	2695070	1748
286	52	1	南華南蛇藤	273325	2682297	1764
287	53	1	厚葉石斑木	281289	2693608	1695
288	54	1	珍珠花	281228	2693580	1729
289	54	2	珍珠花	281296	2693207	1764
290	55	1	紅子莢蒾	282479	2693451	1848
291	55	2	紅子莢蒾	278481	2687958	1458
292	56	1	紅毛杜鵑	284097	2696442	
293	57	1	紅楠	284092	2696703	1892
294	57	2	紅楠	286916	2699609	1717
295	57	3	紅楠			1646
296	57	4	紅楠	286972	2699567	1721
297	57	5	紅楠			
298	58	1	紅檜	286417	2700107	1539
299	58	2	紅檜	286417	2700107	1539
300	58	3	紅檜	286097	2698979	1926
301	59	1	食茱萸	282111	2693510	1766
302	59	2	食茱萸			
303	59	3	食茱萸	251364	2702194	1891
304	60	1	夏皮楠	284396	2696922	1878
305	60	2	夏皮楠	279020	2697517	2516
306	60	3	夏皮楠	286211	2699031	1953
307	60	4	夏皮楠	286211	2699031	1953
308	60	5	夏皮楠	286103	2698979	1943
309	60	6	夏皮楠	286103	2698979	1943
310	60	7	夏皮楠	280584	2697822	2036
311	60	8	夏皮楠	261639	2711135	2100

表 3-3-1. 已採集種子之樹種名錄，及其座標(TWD97 系統)、海拔等資訊(續)

編號	樹種序號	母樹序號	樹種名	座標 X	座標 Y	海拔(m)
312	60	9	夏皮楠	286207	2699034	1955
313	60	10	夏皮楠	286207	2699034	1955
314	61	1	栓皮櫟	280493	2697767	2085
315	61	2	栓皮櫟	276280	2684157	1825
316	61	3	栓皮櫟	280493	2697767	2085
317	61	4	栓皮櫟	281479	2696347	1801
318	61	5	栓皮櫟	284480	2696097	1862
319	61	6	栓皮櫟	281479	2696356	1801
320	61	7	栓皮櫟	284464	2696443	
321	61	8	栓皮櫟			
322	62	1	烏心石	280494	2697064	1988
323	62	2	烏心石	251519	2702312	1878
324	63	1	狹葉莢蒾	261662	2711145	2104
325	64	1	狹葉櫟	284214	2695605	1831
326	64	2	狹葉櫟	279055	2697539	2517
327	64	3	狹葉櫟	279030	2697563	2530
328	64	4	狹葉櫟	279055	2697539	2517
329	64	5	狹葉櫟	279179	2697673	2481
330	64	6	狹葉櫟	279015	2697516	2470
331	64	7	狹葉櫟	281474	2693581	1764
332	64	8	狹葉櫟	284214	2695600	1831
333	64	9	狹葉櫟	282444	2693492	1860
334	64	10	狹葉櫟	271640	2682752	1578
335	64	11	狹葉櫟	274874	2683507	1895
336	64	12	狹葉櫟	281999	2693151	1733
337	64	13	狹葉櫟	274874	2683507	1895
338	64	14	狹葉櫟	281528	2696236	1764
339	64	15	狹葉櫟	282267	2693623	1779
340	64	16	狹葉櫟	281286	2693680	1633
341	64	17	狹葉櫟	281975	2693183	1726
342	64	18	狹葉櫟	282223	2693614	1767

表 3-3-1. 已採集種子之樹種名錄，及其座標(TWD97 系統)、海拔等資訊(續)

編號	樹種序號	母樹序號	樹種名	座標 X	座標 Y	海拔(m)
343	64	19	狹葉欖	282397	2693588	1776
344	64	20	狹葉欖	282542	2693468	1831
345	64	21	狹葉欖	282223	2693614	1767
346	64	22	狹葉欖	282397	2693588	1776
347	64	23	狹葉欖	281975	2693183	1726
348	64	24	狹葉欖	281247	2693686	1688
349	64	25	狹葉欖	280312	2680349	2280
350	64	26	狹葉欖	284378	2696904	
351	64	27	狹葉欖	284464	2696350	
352	64	28	狹葉欖	271067	2683008	
353	65	1	笑靨花	281255	2697377	1840
354	65	2	笑靨花	281255	2697377	1840
355	65	3	笑靨花	281255	2697377	1840
356	65	4	笑靨花	281179	2697503	1828
357	66	1	臭椿	281305	2696891	1803
358	66	2	臭椿			
359	66	3	臭椿	281172	2697518	1835
360	66	4	臭椿	275958	2683268	2009
361	66	5	臭椿	281494	2696514	1776
362	66	6	臭椿	281291	2696850	1805
363	66	7	臭椿	281500	2695339	1754
364	66	8	臭椿	281494	2696523	1776
365	66	9	臭椿	281479	2696441	1778
366	66	10	臭椿	281179	2697502	1828
367	66	11	臭椿	281327	2696851	1806
368	66	12	臭椿	281477	2696447	1779
369	66	13	臭椿	281179	2697502	1828
370	66	14	臭椿			
371	67	1	馬銀花	281287	2693604	1764
372	67	2	馬銀花			
373	68	1	高山欖			

表 3-3-1. 已採集種子之樹種名錄，及其座標(TWD97 系統)、海拔等資訊(續)

編號	樹種序號	母樹序號	樹種名	座標 X	座標 Y	海拔(m)
374	69	1	假黃楊	273609	2678855	2343
375	69	2	假黃楊	273609	2678855	2343
376	70	1	桶鈎藤	277693	2687588	1583
377	71	1	桫欏木	281518	2695040	1751
378	71	2	桫欏木	281545	2695079	1748
379	71	3	桫欏木	281676	2694649	1728
380	71	4	桫欏木	281749	2694642	1717
381	71	5	桫欏木	281776	2694632	1724
382	71	6	桫欏木	281526	2695027	1768
383	72	1	疏果海桐	281298	2693621	1701
384	72	2	疏果海桐	281228	2693580	1729
385	72	3	疏果海桐	281539	2695168	1747
386	72	4	疏果海桐	281477	2696447	1779
387	73	1	通條樹	281421	2691546	1583
388	74	1	普來氏月桃	271626	2682668	1576
389	75	1	森氏櫟	274874	2683507	1895
390	75	2	森氏櫟	261405	2710546	2055
391	75	3	森氏櫟			2160
392	76	1	短尾葉石櫟			
393	76	2	短尾葉石櫟	271577	2682871	1687
394	77	1	著生珊瑚樹	282147	2692904	1905
395	78	1	圓果青剛櫟	278374	2688049	1502
396	78	2	圓果青剛櫟	277425	2687819	
397	79	1	塔塔加櫟	274874	2683507	1895
398	79	2	塔塔加櫟	281335	2693628	1648
399	79	3	塔塔加櫟	281345	2693631	1650
400	79	4	塔塔加櫟	282448	2693492	1836
401	79	5	塔塔加櫟	279487	2680161	2206
402	79	6	塔塔加櫟	283956	2696534	
403	80	1	奧氏虎皮楠	284247	2695615	1833
404	81	1	楓香	281691	2694505	1723

表 3-3-1. 已採集種子之樹種名錄，及其座標(TWD97 系統)、海拔等資訊(續)

編號	樹種序號	母樹序號	樹種名	座標 X	座標 Y	海拔(m)
405	81	2	楓香	281691	2694505	1723
406	81	3	楓香	279973	2691308	1802
407	81	4	楓香	279973	2691308	1802
408	82	1	毬子櫟	261652	2714005	1519
409	83	1	源一木	284480	2696088	1844
410	84	1	裡白椴木	287014	2699705	1672
412	84	2	裡白椴木	271626	2682668	1576
413	84	3	裡白椴木	276935	2686072	1697
414	84	4	裡白椴木	281062	2697306	1901
415	84	5	裡白椴木	281512	2695105	1751
416	85	1	賊仔樹	281472	2696395	1767
417	85	2	賊仔樹	280417	2691007	1834
418	85	3	賊仔樹	271634	2683200	1634
419	85	4	賊仔樹	276935	2686072	1697
420	86	1	臺灣蝴蝶戲珠花	261662	2711145	2104
421	87	1	墨點櫻桃			
422	88	1	樟葉槭	271634	2683200	1634
423	88	2	樟葉槭	278316	2687549	1760
424	88	3	樟葉槭	278618	2688007	1543
425	88	4	樟葉槭	278422	2687966	1465
426	88	5	樟葉槭	278433	2687977	1465
427	88	6	樟葉槭	278422	2687975	1465
428	88	7	樟葉槭	278517	2687964	1497
429	88	8	樟葉槭	278516	2687975	
430	88	9	樟葉槭			
431	89	1	蓮草	281135	2697639	1833
432	90	1	薯豆	287002	2699592	1720
433	91	1	霧社木薑子	281322	2696750	1805
434	91	2	霧社木薑子			
435	92	1	霧社櫻	281507	2695898	1769
436	93	1	櫟木	278598	2688523	1558

表 3-3-1. 已採集種子之樹種名錄，及其座標(TWD97 系統)、海拔等資訊(續)

編號	樹種序號	母樹序號	樹種名	座標 X	座標 Y	海拔(m)
437	93	2	檫木	278569	2688023	1571
438	93	3	檫木	278569	2688023	1571
439	93	4	檫木	278664	2688380	1465
440	94	1	變葉新木薑子			
441	94	2	變葉新木薑子			
442	94	3	變葉新木薑子	251464	2702005	1886
443	94	4	變葉新木薑子			
444	95	1	山羊耳			
445	96	1	山香圓			
446	97	1	臺灣杜鵑			
447	98	1	臺灣赤楠			
448	99	1	田代氏石斑木			
449	100	1	泛能高山茶			
450	101	1	厚葉衛矛			
451	102	1	紅皮			
452	103	1	香桂			
453	104	1	烏皮九芎			
454	105	1	鬼櫟	268020	2669542	
456	106	1	紫珠葉泡花樹	251466	2702366	1833
457	106	2	紫珠葉泡花樹			

註：部份母株無座標表示當時未定位



石楠之豐年期結實



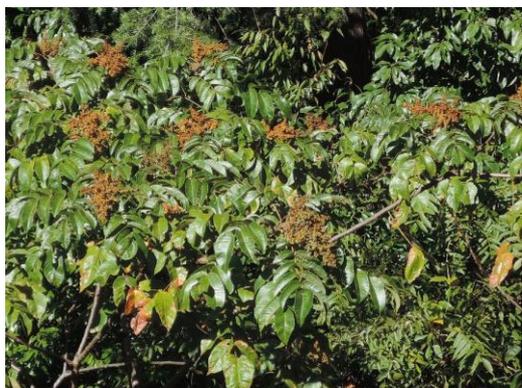
山桐子之紅色果實



白雞油結實情形



尖葉槭結實情形



山塩青之果實



臭椿翅果近照



結實之山柿母樹



卡氏槲之成熟果實

圖 3-3-1. 復育樹種之種子採集



標定採種母樹之座標



吊車採集臭椿翅果



採集工作狀況



臺灣胡桃果實蒐集



阿里山榆果實地面蒐集



臺灣胡桃之種子



由路旁溝渠蒐集之殼斗科果實



利用鋪網蒐集之山櫻花果實

圖 3-3-1. 復育樹種之種子採集(續)

第四節 種子處理與種子儲藏

4.1 種子處理

林木種子採集後須進行必要的處理，例如楓香果實經乾燥後將種子從圓球型蒴果中脫出，青剛櫟、狹葉櫟等殼斗科之種子則可利用水選法篩選出沈水而飽滿的種子。進行種子處理大略可分為肉質果與乾果 2 大類：(1) 肉質果包括核果、漿果和具有假種皮的種子，需先使果肉糜爛，再用清水洗淨；若果實仍然青綠，則使果實保持潮濕，以促進成熟與果肉的崩解。漿果類如山桐子、夏皮楠，因其種子細小，且表面帶有油脂，可將果實包於紗網，再用清水混合中性清潔劑搓揉，洗去果肉。(2) 乾果如毬果、翅果、蓇葖果、蒴果等，則置於通風良好的環境陰乾，使其開裂後取出種子(林讚標 1996；李明仁 2010)。

4.2 種子儲藏

種子儲藏之目的是在需用時能提供有活力的種子，本計畫所採集的種子除了在苗圃育苗外，也計畫在雨季時直接播種於廢耕地，因此種子採集至播種這段期間的儲藏極為重要。種子的儲藏一般可分為正(乾)儲型、異(濕)儲型、中間型(簡慶德 2013)：(1) 正儲型種子，如臺灣赤楊、楓香等，種子含水率降至 5~12% 左右為佳，低含水率可抑制微生物生長，避免傷害種子，降低種子呼吸速率，適合零下溫度保存，乾燥後可長久儲藏常保種子活力(林讚標 1996)。乾燥時可置於通風室內或使用乾燥機，但須注意乾燥處理不可過快，否則種子易外乾內濕，引起乾裂或外皮收縮(李明仁 2010)。(2) 異儲型種子，如殼斗科及大部分樟科樹種，種子不能乾燥儲藏，以即採即播為原則，若要儲存以不超過 6 個月為宜。儲藏時需混合濕水苔、濕沙、濕泥炭土等介質，儲藏於 5°C 左右，由於此類種子對乾燥敏感，因此需以種子成熟時的含水率進行低溫層積濕藏，並維持環境通風良好，保持種子水分(李明仁 2010)。惟南部恆春半島之熱帶樹種例外，如大葉山欖、銀葉樹、毛柿等不能儲藏於 5°C 以下低溫。(3) 中間型種子，如櫟木，種子能耐乾燥，種子含水率降至 10% 依然能保持活性(李明仁 2010)，乾燥後需儲藏於 5°C。但這類種子以低含

水率儲藏於零下溫度時，卻很快喪失活力，此特性與正儲型相異。種子儲藏溫度依不同植物而異，與其生長環境息息相關，一般而言，產於溫帶的中間型種子較耐零下低溫，這類種子的儲藏環境以 5°C 以下為主；產於熱帶的中間型種子則多不耐零下低溫，儲藏溫度應以 10°C 較佳(楊正釗等 2006)。

圖 3-4-1 為本計畫復育樹種之種子處理與儲藏的相關作業。



果實採集後之初步整理



阿里山榆果實之陰乾處理



果實採集後於通風環境陰乾



以清水洗淨種子



以水選法篩選優良殼斗科種子



果實乾燥後取出種子



殼斗科種子混合介質濕藏



低溫層積濕藏

圖 3-4-1. 復育樹種之種子處理與儲藏



種子處理工作情況



臺灣胡桃果實處理作業



以風選法篩選出臭椿種子



臭椿處理後之種子



絞碎山桐子之果實，以取出其內之種子



以清潔劑及紗網洗去山桐子果肉與蠟質



鋪開臭椿翅果放置陰乾



臺灣胡桃種子混入保濕介質

圖 3-4-1. 復育樹種之種子處理與儲藏(續)

第五節 復育樹種之苗木培育

針對適於武陵廢耕地出栽種植的目標樹種進行苗木培育，育苗方式包括種子直播育苗、播種育苗箱後再移植育苗；育苗前必須注意種子是否需要預先層積處理，打破種子休眠後再播種。苗木培育之細節及注意事項等，可參考簡慶德(2013) 18種重要造林樹種育苗作業規範之制定。

本計畫之育苗工作自 2015 年即開始進行，將處理或儲藏後的種子播種在塑膠軟盆或發芽盤內，育苗介質依不同樹種之需求而調配，除了一般壤土外，酌量添加泥炭土、稻殼、蛭石、珍珠石、椰纖，以使育苗介質同時兼具保水、排水。發芽盤主要播種小型種子，萌發的小苗視其密度和生長高度，當苗木的根已分生成主根和側根，但苗木尚未互相接觸，苗莖未抽長，高度約為 5~12 cm 時(郭幸榮 2006；李明仁 2010)，逐步移植至塑膠軟盆，可避免小苗過密及根系過長而影響移植後的生長。苗圃培育之出栽苗木中亦有部分苗木為扦插苗(如笑靨花、小實女貞)或於母樹下現地採集之已發芽小苗(如紅楠)。

剛發芽的小苗均給予適當的遮蔭，隨著小苗成長，可給予較多的日照；幼苗階段採用苗圃的霧狀噴頭澆灌，避免過大的水滴衝擊土壤而飛濺，甚至使土壤顆粒黏附苗木而影響生長(李明仁 2010)。此外，需定期清除軟盆內的雜草，以免雜草與幼苗競爭養分、水分、生長空間。育苗期間每隔一段時日應將軟盆移動或重新排列，避免根系穿越容器底部並定著苗床，排列時將較高大的苗木置於中間，向外依序排列較小的苗木，以免大苗凌壓小苗(郭幸榮 2006)。

為提升出栽苗的品質，提高栽植後的生長潛力，苗木培育中後期應行健化處理，實施時間以秋末為佳，最常用的方法為降低澆水頻率和控制施肥(許原瑞&蔡佳彬 2011)。秋初時降低氮肥比例且減少澆水頻率，逐步誘導苗木對水分逆境的適應，以引發頂芽休眠，積蓄來年生長的潛能(郭幸榮 2006)。出栽時間應視移植當地的氣候，盡量選擇雨季前移植，避免苗木缺水，並注意當地日夜溫差，而影響苗木生長。

本計畫於前期工作中，已自武陵廢耕地週邊採集當地之林木菌根菌(邱清安等

2016)，目前苗木接種菌根菌係採取直接育苗感染之方式，包括預先拌好成堆之大量育苗介質，再於其上種植已有菌根菌之苗木，經約一年後再以此等介質進行育苗及換盆；另外，針對殼斗科等外生菌根菌苗木，則於 12 月左右先將已有菌根菌之苗木置於發芽盤中央，至隔年 3 月再將冷藏層積之殼斗科種子播種於發芽盤，使新萌發之種苗可快速感染菌根菌(如圖 3-5-1 ~ 圖 3-5-6)。

本計畫於 2017-03-22 載運提供武陵廢耕地 2017-03-22~06-05 出栽所需苗木，共計 53 種 5,480 株(表 3-5-2)；2018-04-09 載運提供武陵廢耕地 2018-04-16~25 出栽所需苗木，共計 41 種 5,419 株(表 3-5-3)；2019-04-15 載運提供武陵廢耕地 2018-04-22 ~ 05-02 出栽所需苗木，共計 31 種 5,787 株(表 3-5-4)。2017、2018 與 2019 年三次造林工程共出栽 76 種 16,686 株苗木(表 3-5-1)。

表 3-5-1 歷年造林工程出栽苗木數量統計表

年度	出栽樹種數	出栽株數
2017	53	5,480
2018	41	5,419
2019	31	5,787
總計	76	16,686

為了因應廢耕地後續之出栽及補植的苗木需求，苗圃將繼續積極培育武陵地區原生樹種之苗木，主要種類為生長表現良好者，以及目前較為欠缺的演替後期樹種，或較能抵抗野生動物掠食之樹種，包括：臺灣赤楊、櫟木、尖葉槭、卡氏槭、臺灣蘋果、石楠、山枇杷、川上氏鵝耳櫪、山桐子、山柿、小實女貞、青剛櫟、狹葉櫟、塔塔加櫟、栓皮櫟、朴樹、阿里山榆、三斗石櫟等等。

有關本計畫之苗木培育的相關作業如圖 3-5-1 ~ 圖 3-5-6 所示。

表 3-5-2. 於 2017-03-22 ~ 06-05 出栽苗木種類與數量

序號	種名	不織布	三吋盆	六吋盆	硬膠盆	美植袋	出栽苗齡	數量
1	紅檜	-	146	-	-	-	3	146
2	山塩青	-	38	-	-	-	3	38
3	裡白椴木	-	18	-	-	-	3	18
4	臭椿	-	68	57	-	-	3	125
5	山枇杷	-	-	288	-	-	1	288
6	山柿	-	-	150	-	-	1	150
7	臺灣赤楊	-	62	93	-	-	1	155
8	厚皮香	-	-	63	-	-	3	63
9	假赤楊	-	2	79	-	-	3	81
10	尖葉槭	-	20	103	-	-	2	123
11	化香樹	-	-	101	-	-	3	101
12	木荷	-	-	60	-	-	1	60
13	烏心石	-	92	-	-	-	3	92
14	短尾葉石櫟	-	-	21	-	-	2	21
15	山桐子	-	-	176	-	-	1	176
16	臺灣黃杉	-	-	5	-	-	2	5
17	日本女貞	-	-	7	-	-	1	7
18	山櫻花	-	-	64	-	-	2	64
19	十大功勞	-	-	60	-	-	2	60
20	墨點櫻桃	-	-	3	-	-	2	3
21	狹葉櫟	-	-	217	-	-	1	217
22	毬子櫟	-	-	8	-	-	3	8
23	青剛櫟	-	-	185	-	78	1	263
24	塔塔加櫟	-	-	23	-	-	3	23
25	三斗石櫟	-	-	24	-	-	3	24
26	赤皮	-	-	12	-	-	3	12
27	台東石櫟	-	-	3	-	-	3	3
28	臺灣蘋果	-	-	4	-	12	3	16
29	楊梅	-	-	-	-	11	3	11
30	白雞油	-	-	1112	-	-	3	1112
31	栓皮櫟	-	-	52	-	12	3	64
32	山肉桂	-	-	27	-	-	2	27

表 3-5-2. 於 2017-03-22 ~ 06-05 出栽苗木種類與數量 (續)

序號	種名	不織布	三吋盆	六吋盆	硬膠盆	美植袋	出栽苗齡	數量
33	石楠	450	-	173	-	-	1	623
34	夏皮楠	-	-	142	-	-	1	142
35	長葉木薑子	-	-	16	-	-	3	16
36	長葉木薑子	-	-	8	-	-	1	8
37	小實女貞(扦插)	-	-	21	-	-	1	21
38	臺灣老葉兒樹	-	-	11	-	-	1	11
39	臺灣石楠	-	-	33	-	-	1	33
40	臺灣胡桃	-	-	7	-	-	1	7
41	欖木	-	-	172	-	-	1	172
42	笑靨花(扦插)	-	-	-	71	-	1	71
43	青楓	-	-	38	-	-	2	38
44	阿里山榆	-	-	45	-	-	1	45
45	米飯花	-	-	45	-	-	3	45
46	山胡椒	-	-	2	-	-	1	2
47	霧社木薑子	-	-	2	-	-	1	2
48	紅楠	-	-	144	-	-	1	144
49	日本槿楠	-	-	139	-	-	1	139
50	食茱萸	-	-	4	-	-	3	4
51	九芎	-	-	31	-	-	3	31
52	朴樹	-	-	120	-	-	1	120
53	小葉赤楠	-	-	200	-	-	1	200
54	大頭茶	-	-	50	-	-	1	50
	總計	450	446	4,400	71	113		5,480

表 3-5-3. 於 2018-04-16 ~ 25 出栽苗木種類與數量

序號	種名	三吋盆	六吋盆	硬膠盆	苗高(cm)	出栽苗齡	數量
1	九芎	-	4	-	160	3	4
2	三斗石櫟	150	-	-	15	1	150
3	大葉溲疏	-	3	-	120	3	3
4	大頭茶	-	150	-	60	2	150
5	小花鼠刺	-	2	-	120	3	2
6	山肉桂	-	10	-	60	2	10
7	山柿	10	-	-	30	1	10
8	山柿	-	148	-	120	2	148
9	山柿	-	120	-	60	1	120
10	山枇杷	-	270	-	120	2	270
11	山桐子	110	-	-	30	1	110
12	山桐子	-	200	-	120	2	200
13	木蠟樹	-	8	-	60	1	8
14	木荷	100	-	-	20	1	100
15	木荷	70	-	-	30	1	70
16	卡氏槭	50	-	-	10	1	50
17	台東莢蒾	-	3	-	100	3	3
18	臺灣石楠	-	20	-	30	1	20
19	臺灣蘋果	-	240	-	150	2	240
20	石楠	540	-	-	60	1	540
21	石楠	220	-	-	90	2	220
22	尖葉槭	20	-	-	20	1	20
23	朴樹	165	-	-	30	1	165
24	朴樹	-	110	-	90	2	110
25	朴樹	-	3	-	30	1	3
26	朴樹	-	220	-	60	2	220
27	長葉木薑子	-	3	-	100	2	3
28	臺灣赤楊	61	-	-	60	1	61
29	川上氏鵝耳櫪	120	-	-	30	1	120
30	阿里山榆	-	5	-	60	2	5
31	青剛櫟	704	-	-	60	2	704
32	青剛櫟	-	25	-	30	1	25

表 3-5-3. 於 2018-04-16 ~ 25 出栽苗木種類與數量 (續)

序號	種名	三吋盆	六吋盆	硬膠盆	苗高(cm)	出栽苗齡	數量
33	紅楠	-	196	-	60	2	196
34	臺灣紅榨槭	-	103	-	30	1	103
35	夏皮楠	-	390	-	60	2	390
36	栓皮櫟	104	-	-	15	1	104
37	栓皮櫟	12	-	-	10	1	12
38	栓皮櫟	-	9	-	60	2	9
39	狹葉櫟	250	-	-	60	2	250
40	狹葉櫟	-	41	-	100	3	41
41	桫欏木	-	80	-	60	2	80
42	短尾葉石櫟	100	-	-	20	1	100
43	短尾葉石櫟	-	8	-	150	3	8
44	著生珊瑚樹	-	3	-	100	2	3
45	雲杉	-	100	-	60	3	100
46	圓果青剛櫟	20	-	-	30	1	20
47	圓果青剛櫟	-	4	-	60	2	4
48	塔塔加櫟	37	-	-	30	1	37
49	塔塔加櫟	-	3	-	60	2	3
50	鼠李	-	3	-	60	1	3
51	墨點櫻桃	-	28	-	60	1	28
52	樟葉槭	-	10	-	30	1	10
53	錐果櫟	-	16	-	100	3	16
54	霧社木薑子	-	3	-	100	2	3
55	檫木	-	24	-	150	3	24
56	檫木	-	-	1	180	3	1
57	合歡	10	-	-	10	1	10
	總計	2,733	2,685	1	-		5,419

表 3-5-4. 於 2019-04-22 ~ 05-02 出栽苗木種類與數量

序號	種名	三吋盆	六吋盆	美植袋	苗高(cm)	出栽苗齡	數量
1	臺灣赤楊	805	-	-	100~ 200	1	805
2	山桐子	-	90	-	100	2	90
3	山枇杷	-	-	46	160~ 180	3	46
4	山柿	-	120	-	120	2	120
5	朴樹	260	-	-	120	2	260
6	川上氏鵝耳櫪	-	124	-	150	2	124
7	臺灣蘋果	-	-	22	180	3	22
8	石楠	-	34	-	80	2	34
9	石楠	-	16	-	50	1	16
10	挾木	-	90	-	120	1	90
11	山櫻花	250	-	-	80~ 120	2	250
12	尖葉槭	-	90	-	120	2	90
13	墨點櫻桃	-	20	-	100	2	20
14	大頭茶	350	-	-	120	2	350
15	紅刺蔥	-	24(紅盆)	-	30	1	24
16	檫木	500	-	-	80	1	500
17	青楓	500	-	-	80	1	500
18	臺灣紅榨槭	500	-	-	80	1	500
19	臺灣紅榨槭	-	50	-	100	2	50
20	楓香	500	-	-	80	1	500
21	日本女貞	-	6	-	60	2	6
22	合歡	-	45	-	45~ 80	1	45
23	塔塔加櫟	50	-	-	80	2	50
24	森氏櫟	50	-	-	80	2	50
25	狹葉櫟	250	-	-	80	2	250
26	狹葉櫟	-	30	-	100~ 150	2	30
27	卡氏槲	250	-	-	80	2	250
28	大葉石櫟	50	-	-	80	2	50
29	錐果櫟	50	-	-	80	2	50
30	烏心石	450	-	-	80	1	450
31	三斗石櫟	110	-	-	60~ 80	3	110
32	青剛櫟	-	40	-	100~ 150	2	40

表 3-5-4. 於 2019-04-22 ~ 05-02 出栽苗木種類與數量 (續)

序號	種名	三吋盆	六吋盆	美植袋	苗高(cm)	出栽苗齡	數量
33	青栲櫟	10	-	-	100	1	10
34	構樹	-	5	-	100	1	5
	總計	4,935	760	68	-		5,787



育苗及接種菌根菌之三斗石櫟



育苗及接種菌根菌之栓皮櫟



育苗及接種菌根菌之卡氏櫟



苗圃培育之山枇杷、山桐子



生長快速的山柿苗木



由育苗盤移植至6吋盆之苗木

圖 3-5-1. 復育樹種之苗木培育作業(2017-01 ~ 06)



夏皮楠修枝作業



苗圃培育之山桐子



1.5 年生之山桐子苗木



苗圃培育之木荷



1.5 年生之山枇杷苗木



殼斗科苗木之外生菌根菌

圖 3-5-2. 復育樹種之苗木培育作業(2017-07 ~ 12)



苗圃育苗之臺灣赤楊



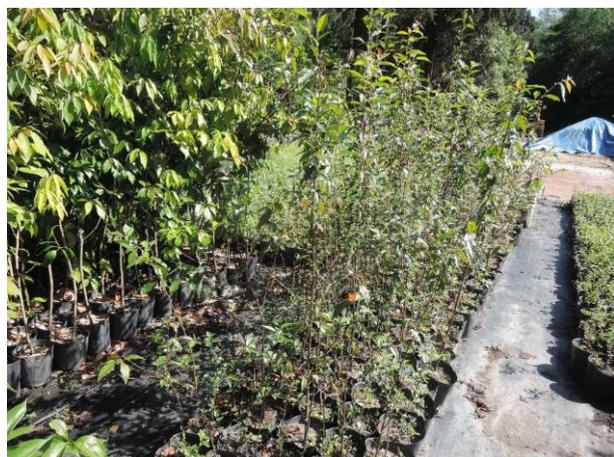
苗圃扦插之笑靨花



待出栽之山枇杷(約 180 cm)



待出栽之檫木(約 200 cm)



苗圃培育之臺灣蘋果



苗圃培育之山柿

圖 3-5-3. 復育樹種之苗木培育作業(2018-01 ~ 06)



臺灣赤楊之播種育苗



提供 2019 出栽之臺灣赤楊(約 180 cm)



移至 1 尺美植袋，培育大型苗木



培育未來出栽之大苗木(約 180 cm)



苗圃育苗之三斗石櫟(約 2 年生)



苗圃育苗之山櫻花、合歡、朴樹

圖 3-5-4. 復育樹種之苗木培育作業(2018-07 ~ 12)



臺灣蘋果育苗



小實女貞育苗



臺灣赤楊根部施加腐植酸之差異



卡氏楮菌根菌接種之差異



惠蓀林場待出栽之苗木 (食茱萸、朴樹、山櫻花)



苗圃培育之椴木

圖 3-5-5. 復育樹種之苗木培育作業(2019-01 ~ 06)



臺灣蘋果育苗



小實女貞育苗



栓皮櫟育苗



烏心石育苗



以不同盆型育苗



以斷根盆育苗之臺灣赤楊

圖 3-5-6. 復育樹種之苗木培育作業(2019-07~12)

第六節 廢耕地環境分析與栽植法設計

從過去的相關研究報告(Nepstad et al. 1996; Devine et al. 2007; Bakker et al. 2012; Valdecantos et al. 2014; Jiménez et al. 2017)及武陵與丹大廢耕地之復育試驗和觀察(顏江河 2012; 邱清安等 2016)可知，土壤水分不足及養分失衡是武陵廢耕地之林木存活的主要障礙，同時苗木出栽之時機亦具有關鍵性的影響。為此，本計畫(1)蒐集武陵地區氣象資料，並綜合現地觀察苗木生長之情況，分析探討苗木出栽的最佳時機；(2) 為提高苗木出栽之存活率及改善後續之生長情況，本研究設計苗木出栽之改良方式—植穴坑種植法，並將植穴坑種植法應用於武陵廢耕地之造林工程與各研究試驗中。

6.1 武陵地區氣象資料分析—苗木出栽之最佳時機

由武陵廢耕地生態氣候資料(圖 1-4-4)可知，冬季(12月～翌年2月)之氣溫最低且降雨最少，此時大部分林木殆處於落葉或生長停止的狀態。新苗木應於每年開春後之適當時機儘早進行出栽作業，藉以(1)提高新苗木的存活率；(2)爭取新苗木在當年有更充足的生長時間。

決定苗木適宜的出栽時機應考量溫度與雨量 2 個關鍵因素，為此本計畫蒐集地理位置及海拔高度均與武陵廢耕地相近之氣象資料，做為武陵廢耕地苗木出栽時機之判斷參考，包括梨山及思源氣象站：

(1) 資料來源：中央氣象局觀測資料查詢系統(<http://e-service.cwb.gov.tw/HistoryDataQuery/index.jsp>)

(2) 測站：梨山(C0F861，經度 121.24，緯度 24.24，海拔高度 2,215 m)、思源(C0U730，經度 121.35，緯度 24.39，海拔高度 1,984 m)、武陵(D2F230，經度 121.36，緯度 24.38，海拔高度 1,734 m)

(3) 資料類型：月均溫、最低氣溫、月降雨量、月降雨日數

(4) 資料年限：梨山測站(2010～2019)、思源測站(2010～2017-11 撤站)、武陵測

站(2000~2019)

苗木出栽的適宜時機必須綜合考慮溫度與降雨，以使新植苗木可適應野地環境、提高其存活率及幫助苗木後續的生長。若苗木太早出栽，則可能因春季晚霜之低溫，以致苗木嫩芽與幼葉因突如其來的低溫而凍傷；然若苗木太晚出栽，則可能因盛夏烈日高溫使得水分蒸發散速度過快，小苗易因缺水而枯死。以下分別檢視各氣象測站之溫度與降雨。

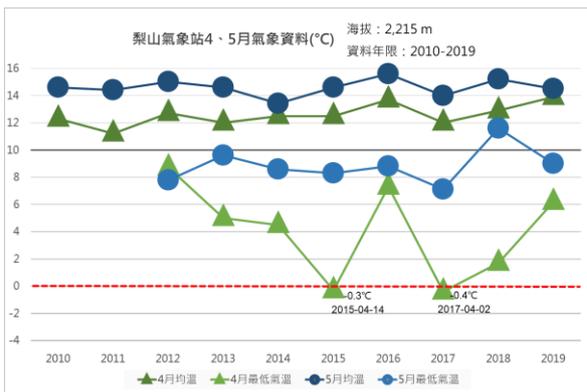
溫度：武陵廢耕地於3月份雖已開始回暖(圖 1-4-4、表 3-6-1)，但仍常有寒流低溫，因此不似臺灣平地於3月已可出栽造林。圖 3-6-1A、圖 3-6-1B、圖 3-6-1E 分別為梨山站、思源站及武陵站4月與5月之月均溫、當月最低氣溫；梨山站4月均溫介於11.2~13.7°C之間，5月均溫介於13.4~15.6°C之間；思源站4月均溫介於10.3~14.3°C之間，5月均溫介於14.2~15.7°C之間；武陵站4月均溫介於12.8~16.2°C之間，5月均溫介於15.1~17.7°C之間，武陵廢耕地至4月氣溫已較3月回暖，植物進入當年度的生長季節。然而進一步由圖 3-6-1A 可知，梨山在2015-04-14及2017-04-02均有晚霜發生之紀錄，最低氣溫分別降至-0.3°C及-0.4°C；由圖 3-6-1B 可知，思源在2017-04-02亦有晚霜發生之紀錄，當日最低氣溫降至-2.1°C；由圖 3-6-1E 可知，武陵在2004-04-05、2005-04-04、2015-04-15、2017-04-02及2018-04-09均有晚霜發生之紀錄，最低氣溫分別降至-0.3°C、-0.5°C、-1.9°C、-1.1°C及-0.2°C。再比對武陵廢耕地出栽苗木之觀察紀錄，在2015-04-14及2017-04-02之清晨均曾因寒流而降至0°C以下，致使苗木凍傷而受損甚或死亡(圖 3-6-2)，特別是對有些剛萌芽展葉之苗木，此時極易對低溫敏感而受凍損害。因此新苗木出栽之適宜時機，須避開春季霜凍(frost)所造成的傷害，以免夜晚氣溫驟降至0°C以下，使得苗木凍傷受損；晚霜(late frost)為在春天溫度逐漸回暖時發生的霜害，此時苗木已進入生長階段，開始萌發嫩芽新葉，晚霜對於苗木的損害常比冬季低溫更為嚴重，植物之開花與結果亦會受其影響(杜長峰&孫建楠 2010)，本計畫即曾觀察記錄到武陵地區之臺灣胡桃受2017-04-02寒害，以致其剛綻放之花部受損，並造成當年度之結實率變得異常的低。整體而論，參考過去鄰近武陵之氣溫資料及武陵廢耕地出栽苗木之實地觀察，綜合考量春天氣溫

的回暖及晚霜發生的可能性，武陵廢耕地復育造林之新苗木出栽的適宜時機最好在 04-15 之後。

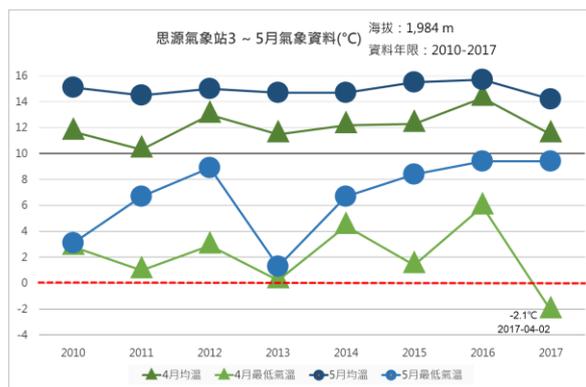
降雨：苗木出栽之適宜時機，亦須考量降雨因素。圖 3-6-1C、圖 3-6-1D 分別為梨山站及思源站之月降雨量、降雨日數，顯示梨山冬半年降雨較少，自 4 月降雨量開始增加，降雨集中於夏半年，尤其在 5、6 月梅雨季時降雨量最多，同時 5、6 月梅雨季之降雨日數也是全年最多的；而思源之各月降雨日數較為均勻，幾乎全年有雨，但以 5、6 月梅雨季與 8~10 月颱風季節之雨量最多；由於武陵地區受山稜(喀拉業山 ~ 羅葉尾山 ~ 馬武佐野郡山)之阻擋，可推論武陵之降雨樣式與思源深受東北季風影響之情況仍有所差異。然而氣象變化多不易預測，如梨山站 2018-04 降雨量僅 80.5 mm、降雨日數 9 日，皆比一般情況低許多(2010~2019 年間 4 月平均降雨量 245.9 mm、平均降雨日數 14 日)，2018 年與過去長期平均值相較，梅雨來得晚且又降雨少。在一般情況下，考量新栽植的苗木需要適宜的溫度與水分，每年春天來臨時，溫度逐漸回升提供苗木生長所需之熱量，接續迎來的春雨 ~ 梅雨季節，可帶來較連續的降雨，可藉由降雨來提供新出栽苗木所需之水分，因此這段時間為苗木出栽的最佳時機。故就雨量之觀點而言，武陵廢耕地復育造林之苗木出栽宜配合 4~6 月之連續雨季。

表 3-6-1. 武陵廢耕地之長期氣候(取自 Chiu et al. 2009 氣候空間推估資料)

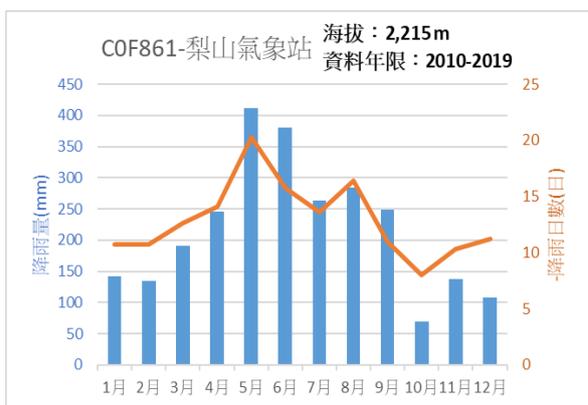
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
月均溫 (°C)	7.3	8.1	11.3	13.7	15.6	17.2	18.0	17.6	16.4	14.5	11.4	8.5	13.3
月降水量 (mm)	86.3	147.3	155.0	161.6	254.4	230.2	210.9	335.6	282.4	136.9	68.0	68.2	2136.7



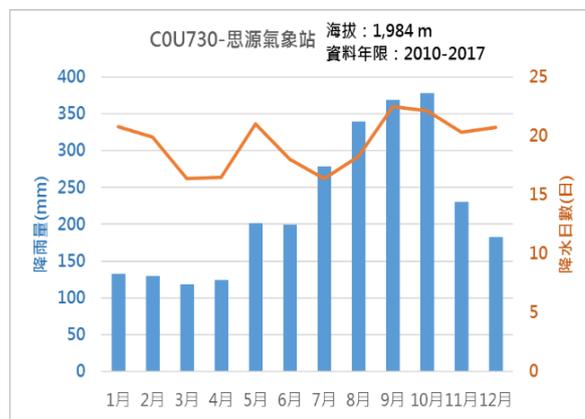
(A) 梨山站 4-5 月均溫、最低氣溫



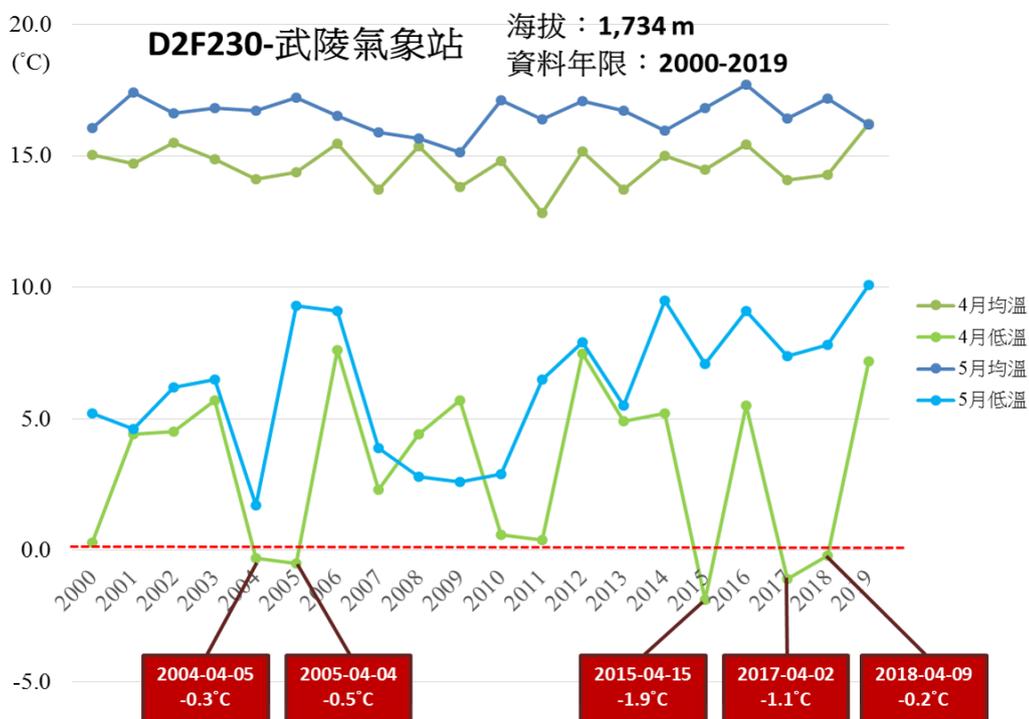
(B) 思源站 4-5 月均溫、最低氣溫



(C) 梨山站月降雨量、降雨日數



(D) 思源站月降雨量、降雨日數



(E) 武陵站 4-5 月均溫、最低氣溫

圖 3-6-1. 梨山、思源、武陵氣象站之氣溫及降雨資料



2017-04-10 待出栽之山柿因晚霜而凍傷



2017-04-08 白雞油因晚霜而凍傷



Acumax CameraName 62F17C 25-01-2016 09:00:01

2016-01-25 武陵廢耕地之降雪情況



2018-04-18 厚皮香晚霜後仍生長良好



2018-04-24 臺灣赤楊因晚霜而葉片枯萎，但氣溫回暖後即再萌芽展葉



2019-04-25 青楓頂芽遭凍傷，但回暖後側芽依然可以健康展葉

圖 3-6-2. 廢耕地出栽苗木受天氣影響之情形

觀察武陵地區主要樹種的生長物候，可發現武陵地區之許多樹種於 3 月開始陸續萌芽展葉、生長，約至 11 月即落葉、停止生長，林木生長旺盛期主要集中於 4~10 月這 7 個月。綜合前述之圖 3-6-1 氣象站資料，及武陵廢耕地之長期氣候資料(表 3-6-1；Chiu et al. 2009)與其生態氣候圖(圖 1-4-4)，可大致歸納出以下武陵廢耕地苗木出栽時機的考量原則：

1. 儘早出栽，爭取更充裕的苗木生長時間

由前述之氣候資料及苗木觀察可知，武陵地區約於 3~4 月開春，氣溫開始逐漸提高，故應於每年開春後之適宜季節儘早實施苗木出栽，且不宜延至盛夏之後才出栽。

2. 避免春季晚霜損害，苗木出栽應在 4 月中旬以後

雖然武陵地區許多樹種在 3 月即開始陸續萌芽、生長，然在 4 月初仍可能面臨因寒流而造成的低溫事件，因此造林雖應於開春後儘早實施，但為避免出栽苗木遭 4 月晚霜凍傷的風險，在實務上仍應等到 4 月中旬且氣象預報確定無寒流低溫後，始可開始實施生態造林工作。

3. 配合雨水供給，苗木出栽應配合春雨~梅雨的連續雨季

苗木出栽除了考量開春後且無低溫霜凍之時機，亦應考量雨水之供應，故苗木出栽之時機應配合春雨~梅雨的連續雨季，並至 6 月底梅雨季結束前完成造林，且至夏季烈日高溫時，即不再適於苗木出栽。

本計畫建議武陵廢耕地之苗木出栽時機，應始於 4 月中旬之後的雨季，而終於 6 月底之前的梅雨季，亦即**每年 04-15 ~ 06-30 陰雨季節是武陵廢耕地苗木出栽的最佳時機**；另外，種子直播之時機亦可參照，但直播之林木種子應先經預措使其縮短播種後之發芽時間。

本計畫自 2018 年開始以前述之最佳出栽時機進行生態造林，然 2018 年梅雨季雨量少且較不連續，無法與 2017 年相較有顯著的效果呈現，2019 本計畫持續於最佳出栽時機進行造林，並蒐集武陵氣象站當年資訊(表 3-6-2)，可以發現從 2019-05-02 造林工程結束後的連續降雨與暖溼氣候，預期此一適宜造林之氣象條件可有助於苗木之存活與生長。

表 3-6-2 武陵氣象站 2019-01-01 ~ 2019-07-31 氣象資料

時間	月均溫°C	月最低溫°C	累積降雨量(mm)
2019-01	10.1	-0.8	41.0
2019-02	12.1	1.0	0.0
2019-03	11.1	3.5	235.0
2019-04	16.2	7.2	44.0
2019-05	16.1	10.1	138.5
2019-06	17.8	8.4	256.5
2019-07	18.8	10.5	46.5

註：2019-03-21 ~ 04-16 因儀器故障，未記錄溫度及降雨資料。

6.2 植穴坑種植法之設計

雖然由圖 1-4-4 武陵廢耕地的生態氣候圖顯示，本地的長期氣候環境並不缺水，然因廢耕地之土壤含石率高達約 70% (邱清安等 2016)，因此土壤保水力不佳，苗木缺水常發生於盛夏高溫烈日時，以及冬季長期無雨時。再者，過去武陵廢耕地種植蔬菜時，土壤翻耕深度約為 30 cm，由廢耕地之土壤剖面及土壤分析結果(邱清安等 2016)可知，具有耕作遺害之土壤主要是位於地表 50 cm 以內之土壤(以下簡稱表土)，其顏色較淡，且 pH 接近 8，表土之下即為較無耕作遺害之土壤(以下簡稱底土)，其顏色較深，且 pH < 7，屬於較接近森林土之土壤，因此若能混合部分底土來種植苗木，或使苗木根部提早接觸底土，將有利於苗木之存活與生長。此外，許多在乾旱地之相關研究(Athy et al. 2006; Hueso-González et al. 2016; Jiménez et al. 2017)建議可採用敷蓋(mulching)之方法，來提高造林之成功率。緣此，本計畫基於改善土壤水分不足及增進苗木存活率等構想，研擬苗木出栽種植之改良方式，本計畫將之稱為「植穴坑種植法」，其步驟及要點如圖 3-6-3 所示：

1. 以怪手或適宜方式挖出寬約 50 cm、深約 30 cm 之植穴坑(可較淺，然以深及底土為佳)，挖出之表土堆置於植穴坑之北緣或可阻擋盛行風之方向。
2. 混合植穴坑內之表土與底土，並使植穴坑土表約低於鄰近地表 15 cm。
3. 小心取出育苗袋內之苗木，勿使苗木根部土團崩解，配合土壤改良需求、水源取得性等現地情況，因地制宜種植苗木，例如，(1) 以細壤土、菌根菌、肥料等製作泥漿水，將苗木根部浸蘸泥漿水，再種植於植穴坑內，並儘量踩實苗木周圍土壤；(2) 若有可用水源，可先將菌根菌、肥料放入植穴坑內，再種植苗木，之後即灌水踩出泥漿，並輕壓苗木基部以擠出根周空氣。因武陵廢耕地土壤含石率甚高，保水力不佳，因此在苗木種植時，務使苗木之根部接觸到土壤，特別注意避免讓苗木產生懸根現象。
4. 於植穴坑內的苗木基部周圍敷蓋厚約 3 cm 的有機質(已腐熟)或其他適宜敷蓋物，以減少土壤水分蒸發及保持土壤濕潤度與溫度。敷蓋物以可補充土壤有機質、改良土壤酸鹼度為佳。
5. 於苗木附近設立竹竿支柱，以棉繩固定苗木，並標示苗木位置。

上述植穴坑種植法之植穴明顯低於周圍的地表，或許可能會有植穴積水之疑慮，然因武陵廢耕地之含石率約為 70% (邱清安等 2016)，植穴內主要是由碎石礫參雜土壤所構成，推測應不致於在豪雨後積水。為進一步確認植穴不會有積水的情況，本計畫嘗試將多達 60 公升的水(20 公升 × 3 桶)倒入植穴坑內(假設於 1 分鐘內，植穴坑接收降雨量 60 公升，則瞬間降雨為 $60000 \text{ cm}^3 / (50 \times 50 \text{ cm}^2) = 24 \text{ cm}$ ，亦即 1 分鐘降雨 240 mm，在實務上不可能有如此強烈之降雨情況)，同時進行錄影計算入滲時間，在倒完水後約經 3 分鐘，60 公升的水已全部入滲，因此可推論植穴坑並不太可能會因雨而積水，以致苗木長期浸水而影響其存活。

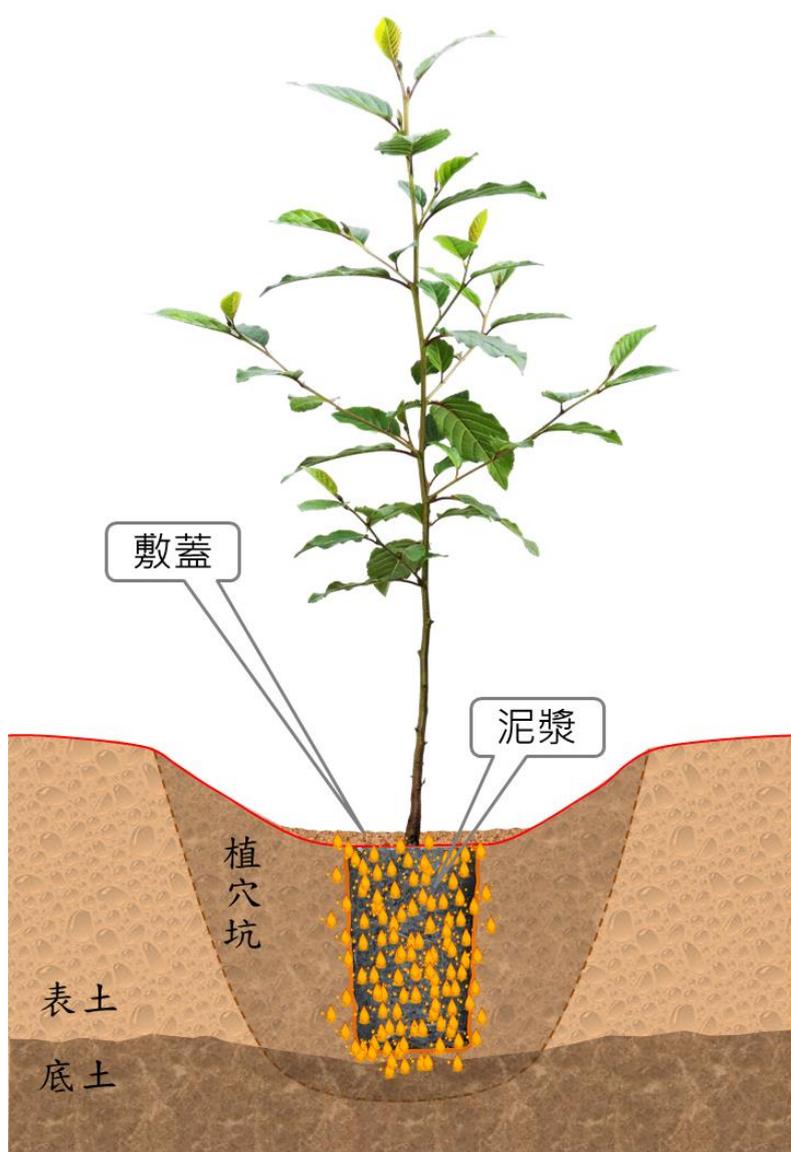


圖 3-6-3. 苗木出栽方式之改良：植穴坑種植法

第七節 苗木出栽造林之試驗

苗木出栽造林是森林復育最常被採用的方法(Miyawaki 1993; Florentine & Westbrooke 2004; Dostálek et al. 2007; Elliott et al. 2013; Florentine et al. 2015)，本計畫之廢耕地因經過長期的耕作，土壤的理化性質已改變，廢耕後外來種雜草入侵，幾乎無週邊原生森林之樹種天然更新，其生態復育造林之成功與否，深受樹木種類本身的生物學特性影響(Knowles & Parrotta 1995; Elliott et al. 2003; Athy et al. 2006; Raman et al. 2009; Guzmán-Luna & Martínez-Garza 2016)。本計畫除了試驗不同出栽方法與改善措施以降低環境因子之限制外，有必要瞭解不同出栽階段之各樹種的存活與生長情形，以調整每年之種子採集對象、出栽樹種與數量之調配。為找出適宜的苗木出栽方法、能適應廢耕地環境的苗木種類，本計畫進行(1) 以九芎為材料，試驗萌芽樁栽種造林之成效；(2) 調查造林工程出栽初期各樹種之存活情形；(3) 選取 6 塊地號，定期監測其中之出栽苗木並記錄之；(4) 以狹葉欖及臺灣赤楊為試驗樹種，監測出栽前(根、葉有無浸泡或噴灑液肥)、中(打漿出栽之土漿是否加入土壤改善之配方土)、後(是否於出栽後以液肥噴灑苗木葉部)之處理對苗木存活率及其後續生長之影響；(5) 選擇 15 種苗木(山柿、紅楠、臺灣赤楊、青剛欖、山桐子、烏心石、朴樹、石楠、欖木、阿里山榆、狹葉欖、夏皮楠、木荷、山櫻花、山枇杷)皆以植穴坑方式種植，並將所有樣株單株圍網，以消除廢耕地可能之水分限制及動物危害，再進行不同的出栽方式試驗(覆稻殼、打漿、覆稻殼+打漿)，藉以比較不同樹種間、不同出栽方式間的存活數量與生長差異；(6) 針對於廢耕地中具良好適應能力或具景觀潛力之重要出栽樹種，如山桐子、臺灣赤楊、臺灣蘋果，記錄與分析其生長情形；(7) 以臺灣赤楊為試驗樹種，監測打漿、敷蓋對苗木存活率及其後續生長之影響。

7.1 萌芽樁栽種試驗

萌芽樁(live stake)是將易生根、萌芽之樹木枝條，插入土壤，以求快速建立植生的無性繁殖栽種方法。在水土保持領域中，萌芽樁已被廣泛的探討及應用(顏正平 1970;吳錫融 2008)，特別是在邊坡植生工法中常使用的打樁編柵(楊宏達 2004;賴彥任等 2007)。成功的萌芽樁能快速生長以儘快達到植生覆蓋，除了常被使用於水土保持工程之外，萌芽樁在熱帶國家也常被用於農地周遭綠帶之建立(Zahawi & Holl 2009)。

傳統的生態復育多採用出栽苗木之方法，有些則採用直播種子之方式，很少涉及萌芽樁之應用，然 Zahawi (2008)、Zahawi & Holl (2009)探討萌芽樁之發芽率、死亡率、生長狀況與栽植成本，結果顯示大部分的萌芽樁之存活率與生長率(樹冠、苗高與地下部生長)均較種子苗更好，因此本計畫也嘗試於武陵廢耕地進行萌芽樁之試驗，期能加速林木覆蓋與森林恢復。

挑選易萌芽、易生根的樹種為萌芽樁應用之首要工作，例如，九芎、榕樹、黃槿(中華水土保持學會 2005)、刺桐(Zahawi & Holl 2009)、柳屬及山茱萸屬(*Salix* and *Cornus*; Burnette & Agouridis 2014)等樹種都是常用的種類。萌芽樁實際操作過程為選擇具優良重新發芽(resprout)能力的母樹採取枝條，視栽植當地的地質條件與坡度，在一定的距離中將木樁打入土中，在打樁的過程中，避免樁頭開裂降低萌芽率，維持萌芽面的新鮮，並待其發芽。

九芎是最常被應用與研究的萌芽樁樹種之一(林信輝等 2005)，且其亦為武陵鄰近地區的樹種，故本計畫選擇九芎做為試驗材料。試驗萌芽樁的大小為直徑 2~5 cm，長度約 100 cm，數量 20 根，採後即泡於水中，於 2017-05-05 將萌芽樁打入廢耕地土中。至 2017-11-30 為止之觀察發現(圖 3-7-1)，全部的萌芽樁無一發芽，且由其外觀判斷應已全部死亡。此一簡要的萌芽樁試驗顯示，常被應用於水土保持工程的萌芽樁方法，並不適合應用於武陵廢耕地之含石率甚高、表土易乾，且變動較劇烈的環境。



2017-05-05 完成九芎萌芽樁栽種



2017-11-30 九芎萌芽樁已完全乾枯

圖 3-7-1. 九芎之萌芽樁栽種試驗

7.2 造林工程出栽苗木之初期存活率

為瞭解武陵廢耕地造林工程出栽苗木之初期表現，本計畫針對 2017~2019 年造林工程調查其出栽後約 4 個月(出栽初期)之苗木存活率，如下所述：

《1st 調查》2017 年之造林工程於 2017-03-22~06-05 進行苗木出栽，本計畫於 2017-07~08 調查當年度出栽苗木之存活率，共調查 41 塊地號，包括地號 1、2、3、4、7、9、10、12、13、17、18、31、32、33、34、52、53、54、55、56、57、58、69、71、72、73、92、93、94、95、115、116、117、136、137、138、139、170、171、172、173，總計調查 52 種樹種，4,420 株出栽苗木。

《2nd 調查》2018 年之造林工程於 2018-04-16~25 進行苗木出栽，本計畫於 2018-08-29~31 調查當年度出栽苗木之存活率，共調查 32 塊地號，包含地號 1、2、3、4、7、9、10、12、13、17、18、31、32、33、34、52、53、54、55、56、57、58、71、72、73、95、117、137、170、171、172、173，總計調查 41 種樹種，2,371 株出栽苗木。

《3rd 調查》2019 年之造林工程於 2019-04-22~05-01 進行苗木出栽，本計畫於 2019-07-29~08-01 調查當年度出栽苗木之存活率，共調查 38 塊地號，包含地號 1、3、4、7、9、12、13、52、53、54、55、56、57、58、59、60、61、62、115、116、117、118、119、120、121、135、136、137、139、140、151、168-2、169、170、171、172、173，總計調查 31 種樹種，2,619 株出栽苗木。

2017 年與 2018 年造林工程出栽苗木之初期存活率如表 3-7-1 所示，就全部出栽苗木之總數而言，2017、2018、2019 苗木初期存活率分別為 95%、98%、91%；另由表 3-7-1 出栽株數 > 30 株之樹種來看，各樹種的存活狀況也顯示藉由出栽苗木名錄的調整、造林工程技術的提升，以及掌握適宜的出栽時機，2017 至 2019 三年的造林工程中初期出栽之存活率均能高於 9 成。

生態復育常以復育區周邊植群做為參照生態系，然參照生態系之樹種並不一定可適應廢耕地之環境。由表 3-7-1 各種出栽苗木之初期存活率可發現，2017 年苗木初期存活率 < 90% 者有：短尾葉石櫟、紅檜、山塩青、日本女貞、狹葉櫟、

日本槲楠、夏皮楠、赤皮、紅楠、小葉赤楠；2018年苗木初期存活率 <90%者有：墨點櫻桃、桫欏、雲杉、長葉木薑子；2019年苗木初期存活率 <90%者有：卡氏楮、狹葉櫟、森氏櫟、紅楠、大葉石櫟，藉由這些監測資料可以了解各樹種在耕地的初期表現，並據以調整後續出栽的苗木種類配置策略，例如2017年出栽後有良好表現的樹種，在2018年亦出栽較多植株，包括：山枇杷、石楠、朴樹、青剛櫟、山柿、臺灣紅榨槭、山桐子；2017年少數量出栽，但現地觀察時發現在廢耕地生長良好之樹種，在2018年則出栽較多株數，如尖葉槭、臺灣蘋果、川上氏鵝耳櫪；而2019年為因應多樣化樹種之需求，栽植多數演替後期樹種，例如各種殼斗科植物，並藉此測試演替後期樹種中是否有適合出栽至廢耕地現階段者，並觀察其環境限制因子。此外，木荷、紅楠等演替後期樹種，出栽於廢耕地之存活與生長表現殆屬不佳，未來將針對這些演替後期樹種培育為大苗木，或將其種植於演替早期樹種之樹冠下方，再監測其出栽後之表現。

本計畫於2017年初次出栽時為解決廢耕地土壤保水力不足之限制，以植穴坑栽種法出栽，同時為了使出栽苗木提前適應武陵廢耕地氣候環境而提早運送，使許多正開展新芽的苗木受晚霜凍傷；2018年經過分析歷年氣象資料選擇適宜時機出栽，可以避免晚霜凍傷及爭取更充裕的生長時間，藉由監測觀察發現苗木初期存活率由2017年的95%提高至2018年的98%，然部分苗木外表型態卻也可觀察到養分不均之病徵，因此本計畫於2019年造林工程苗木出栽後，以特優根與善玉肥1號之混合液肥為全部出栽苗木實施根部澆灌，以補充養分與微量元素，並除了出栽已知的適合出栽廢耕地之樹種外，嘗試更多演替後期樹種已增加廢耕地之多樣性，目前就現地觀察發現塔塔加櫟為殼斗科中於廢耕地存活及形質生長表現最佳之樹種。

表 3-7-1. 造林工程出栽苗木之初期存活率(粗體字表示該年出栽株數≥30 株)

樹種	出栽苗木之初期存活率		
	2017	2018	2019
短尾葉石櫟	67%	-	-
紅檜	75%	-	-
山塩青	76%	-	-
日本女貞	82%	-	-
狹葉櫟	83%	93%	88%
日本槲楠	86%	100%	-
夏皮楠	86%	97%	-
赤皮	89%	100%	-
紅楠	90%	98%	80%
小葉赤楠	90%	-	-
墨點櫻桃	100%	79%	100%
桉木	-	83%	100%
雲杉	-	86%	-
長葉木薑子	93%	90%	-
阿里山十大功勞	91%	-	-
大頭茶	91%	100%	92%
木荷	92%	99%	100%
山枇杷	93%	99%	100%
臭椿	93%	-	-
石楠	93%	98%	100%
朴樹	93%	100%	98%
阿里山榆	94%	100%	-
假赤楊	94%	100%	-
欖木	95%	100%	97%
栓皮櫟	95%	98%	-
三斗石櫟	96%	100%	100%
青剛櫟	96%	95%	100%
山柿	96%	99%	100%
笑靨花	97%	-	-
九芎	97%	-	-
香楠	97%	-	-
臺灣紅榨槭	98%	97%	91%
青楓	98%	-	98%
烏心石	98%	-	92%

表 3-7-1. 造林工程出栽苗木之初期存活率(粗體字表示該年出栽株數≥30 株)(續)

樹種	出栽苗木之初期存活率		
	2017	2018	2019
臺灣杉	99%	100%	100%
山櫻花	99%	100%	95%
白雞油	100%	100%	-
臺灣赤楊	100%	94%	90%
塔塔加櫟	100%	97%	100%
尖葉槭	100%	97%	98%
臺灣蘋果	100%	98%	100%
山桐子	100%	99%	100%
川上氏鵝耳櫟	-	94%	100%
白珠樹	100%	-	-
裡白櫟木	100%	-	-
山肉桂	100%	100%	-
米飯花	100%	-	-
臺灣石楠	100%	100%	-
厚皮香	100%	-	-
大葉石櫟	100%	-	75%
小實女貞	100%	-	-
山胡椒	100%	-	-
化香樹	100%	-	-
臺灣胡桃	100%	-	-
楊梅	100%	-	-
小葉鼠李	-	100%	-
卡氏槭	-	100%	89%
合歡	-	100%	-
著生珊瑚樹	-	100%	-
樟葉槭	-	100%	-
錐果櫟	-	100%	96%
霧社木薑子	-	100%	-
青栲櫟	-	-	100%
森氏櫟	-	-	82%
楓香	-	-	94%
構樹	-	-	100%
平均	95%	98%	91%

7.3 定期監測區(6塊地號)之苗木表現

為了解廢耕地中造林工程各種出栽苗木的長期生長表現，本計畫於 2017 年造林工程後，於廢耕地中挑選 6 塊地號做為監測區(地號 12、55、95、117、137、171)，並於每年 4~5 月及 9~10 月定期調查出栽苗木種類並量測其地徑、苗高、冠幅，以監測出栽苗木於武陵廢耕地之生長變化(表 3-7-2、圖 3-7-2)，且計算各樹種之生長指數(growth index, $GI = \text{地徑年 AGR} \times \text{苗高年 AGR}$)、表現指數(performance index, $PI = GI \times \text{存活率}$)，計算 GI、PI 時，本計畫將苗木之負生長一率以 0 計算，以避免此計算式中負值可能造成的問題。

表 3-7-2. 武陵廢耕地造林監測區之基本資訊

	2017 造林	2018 造林
出栽日期	2017-03-22~ 06-05	2018-04-16 ~ 25
出栽樹種數	43 種	31 種
出栽株數	821 株	413 株
合計	56 種樹種，1,233 株苗木	
1 st 監測	2017-07-20	-
2 nd 監測	2018-04-13 ~ 14、04-24	2018-04-28 ~ 29、05-04
3 rd 監測	2018-09-28、10-11	
4 th 監測	2019-04-23 ~ 24	
5 th 監測	2019-10-18 ~ 21	

2017 造林苗木之監測結果如表 3-7-3 所示，並依完整調查區間之 PI (表現指數)排列。2017 年出栽株數共 821 株，於出栽日至 2019-10 最近一次調查，共 821 日，平均存活率為 38%，平均 GI(生長指數)為 12.23，平均 PI(表現指數)為 4.67，其中 15 種樹種 GI 高於平均值，14 種樹種 PI 高於平均值，PI 較佳之樹種為臺灣赤楊(114.70)、山桐子(72.97)、檉木(25.70)、臭椿(11.15)、山枇杷(8.24)；而監測株數未達 10 株者，表現指數較佳者有小實女貞(94.24)、臺灣石楠(53.74)、山柿(40.50)、臺灣胡桃(38.25)、塔塔加櫟(26.79)、台灣石楠(14.94)、赤皮(9.72)、阿里山十大功勞(8.89)、栓皮櫟(7.70)，顯示其可能具有良好生長表現之潛力，可嘗試提高出栽數量於廢耕地。

2018 造林苗木之監測結果如表 3-7-4 所示，並依完整調查區間之 PI 排列。2018 年出栽株數共 413 株，於出栽日至 2019-10 最近一次調查，共 554 日，平均存活率為 63%，平均 GI 為 11.41，平均 PI 為 7.21，其中 9 種樹種之 GI 高於平均值，10 種樹種之 PI 高於平均值，PI 較佳之樹種為臺灣赤楊(36.87)、山枇杷(22.40)、山柿(21.06)、朴樹(16.22)、石楠(7.24)；而監測株數未達 10 株者，表現指數較佳者有樟葉槭(46.89)、山桐子(25.15)、臺灣石楠(20.69)、大頭茶(20.05)、桉木(15.63)，顯示其可能具有良好生長表現之潛力，可嘗試提高出栽數量於廢耕地。

影響武陵廢耕地苗木生長之因子包含溫度、水分、動物危害、樹種選擇、雜草競爭等等，由 2017、2018 年出栽苗木之定期監測數據資料可以發現，出栽至武陵廢耕地的苗木約需 2 年的時間適應環境，苗木適應環境後，將可觀察到顯著的生長量，例如 2017 年出栽之苗木(表 3-7-3)，於 2019-10 最近一次觀察時正好為其 2 年後的生長季，台灣赤楊、小實女貞、山桐子、台灣石楠於第 4 次至第 5 次監測之 GI 皆已突破 300，以 2017 年苗木監測數據(表 3-7-4)推測可能在 2020 年生長季後，2018 年出栽之苗木將大致適應廢耕地環境，並可觀察到顯著的生長量。根據本計畫持續監測與試驗所累積的資料配合現場觀察，可初步歸納出 7 種適合武陵廢耕地初期造林之樹種，包括：臺灣赤楊、山桐子、檫木、山柿、朴樹、山枇杷、石楠，然而亦需配合不同樹種特性出栽，例如臺灣赤楊(不耐旱)需提高保水措施；山柿(不耐寒)需配合適當出栽時機；朴樹、山枇杷、石楠(易遭動物危害)需以較大苗高出栽，本計畫自 2018 年造林工程出栽苗木開始，已藉由延長及提早育苗時間調整山枇杷、石楠可出栽之苗高(苗高達約 120 cm，方能出栽)，由 2018 年出栽苗木之監測數據可以發現，2017 年造林工程出栽之山枇杷存活率由 63%經 821 日後降至 16%，石楠存活率由 58%經 821 日後降至 21%；2018 年造林工程出栽之山枇杷存活率由 97%經 554 日後降至 83%，石楠存活率由 90%經 554 日後降至 69%，以較大苗高出栽避免動物危害後，克服此環境限制因子後，山枇杷與石楠之存活率可大幅提升。

表 3-7-3. 2017 監測區之苗木存活率、生長與表現指數(字體黑色表示苗木樣本數 ≥ 10 株；字體深灰色表示 < 10 株)

樹種	出栽數	1 st ~2 nd (267日)			2 nd ~3 rd (181日)			3 rd ~4 th (194日)			4 th ~5 th (179日)			1 st ~5 th (821日)		
		存活率	GI	PI	存活率	GI	PI	存活率	GI	PI	存活率	GI	PI	存活率	GI	PI
台灣赤楊	26	92%	31.05	28.66	73%	210.62	153.91	73%	11.30	8.26	65%	962.51	629.33	65%	175.43	114.70
小實女貞	2	100%	0.79	0.79	100%	172.18	172.18	100%	40.30	40.30	100%	480.24	480.24	100%	94.24	94.24
山桐子	13	100%	7.42	7.42	100%	148.19	148.19	100%	0.32	0.32	100%	538.41	538.41	100%	72.97	72.97
台灣石楠	4	75%	1.10	0.83	75%	54.94	41.21	75%	61.87	46.40	75%	414.41	310.81	75%	71.66	53.74
山柿	8	100%	20.93	20.93	100%	47.64	47.64	100%	3.80	3.80	100%	164.35	164.35	100%	40.50	40.50
台灣胡桃	5	80%	4.88	3.91	80%	117.83	94.27	100%	0.80	0.80	100%	188.39	188.39	100%	38.25	38.25
塔塔加櫟	4	100%	0.95	0.95	75%	111.02	83.26	75%	0.00	0.00	75%	295.77	221.83	75%	35.73	26.79
櫟木	18	89%	20.47	18.19	83%	18.38	15.32	78%	10.07	7.84	72%	206.30	148.99	72%	35.58	25.70
台灣石楠	5	100%	1.97	1.97	40%	85.13	34.05	40%	0.00	0.00	40%	125.77	50.31	40%	37.36	14.94
臭椿	19	47%	2.01	0.95	32%	126.94	40.09	32%	0.25	0.08	32%	157.27	49.67	32%	35.31	11.15
赤皮	1	100%	0.00	0.00	100%	4.88	4.88	100%	14.87	14.87	100%	17.46	17.46	100%	9.72	9.72
阿里山十大功勞	2	100%	1.96	1.96	50%	0.00	0.00	50%	0.00	0.00	50%	69.85	34.93	50%	17.79	8.89
山枇杷	38	63%	2.81	1.78	18%	38.32	7.06	18%	15.17	2.79	16%	81.29	12.83	16%	52.22	8.24
栓皮櫟	5	80%	1.37	1.09	60%	14.10	8.46	60%	0.00	0.00	80%	101.87	81.50	60%	12.84	7.70
狹葉櫟	24	79%	1.60	1.27	46%	18.92	8.67	46%	2.99	1.37	33%	46.60	15.53	33%	13.99	4.66
台灣杉	59	100%	1.89	1.89	68%	10.70	7.25	66%	1.71	1.13	63%	27.10	17.00	63%	6.75	4.24
青剛櫟	31	97%	6.66	6.44	71%	4.87	3.46	61%	6.24	3.82	58%	32.41	18.82	58%	6.74	3.92
石楠	80	58%	1.74	1.00	35%	13.43	4.70	28%	8.00	2.20	21%	47.55	10.10	21%	14.71	3.13
朴樹	17	94%	2.58	2.43	59%	20.32	11.95	47%	0.00	0.00	47%	10.79	5.08	47%	5.44	2.56
白雞油	110	100%	1.65	1.65	85%	0.98	0.84	71%	3.32	2.36	65%	72.65	46.89	65%	1.10	0.71
厚皮香	2	100%	0.28	0.28	100%	7.15	7.15	100%	0.24	0.24	100%	1.04	1.04	100%	0.67	0.67

表 3-7-3. 2017 監測區之苗木存活率、生長與表現指數(字體黑色表示苗木樣本數 ≥ 10 株；字體深灰色表示 < 10 株)(續)

樹種	出栽數	1 st ~ 2 nd (267 日)			2 nd ~ 3 rd (181 日)			3 rd ~ 4 th (194 日)			4 th ~ 5 th (179 日)			1 st ~ 5 th (821 日)		
		存活率	GI	PI	存活率	GI	PI	存活率	GI	PI	存活率	GI	PI	存活率	GI	PI
青楓	63	86%	0.25	0.22	43%	4.81	2.06	40%	0.17	0.07	37%	6.68	2.44	35%	1.02	0.36
山櫻花	115	93%	0.37	0.35	48%	0.93	0.45	38%	0.19	0.07	26%	9.98	2.60	26%	1.01	0.26
紅檜	19	53%	0.90	0.47	11%	1.58	0.17	11%	0.00	0.00	11%	7.90	0.83	11%	2.44	0.26
楊梅	2	100%	2.94	2.94	100%	26.42	26.42	100%	0.00	0.00	50%	0.00	0.00	50%	0.42	0.21
山肉桂	12	92%	0.23	0.22	67%	3.79	2.52	25%	0.00	0.00	25%	0.00	0.00	25%	0.79	0.20
木荷	54	78%	0.81	0.63	31%	1.01	0.32	15%	0.00	0.00	11%	0.10	0.01	11%	0.22	0.02
小葉赤楠	21	48%	0.01	0.01	29%	0.04	0.01	19%	0.00	0.00	10%	0.29	0.03	10%	0.00	0.00
烏心石	8	100%	0.67	0.67	63%	0.04	0.02	25%	0.44	0.11	13%	0.00	0.00	13%	0.00	0.00
山鹽青	2	100%	1.17	1.17	50%	99.55	49.77	50%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00
假赤楊	4	50%	0.56	0.28	25%	1.59	0.40	25%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00
夏皮楠	14	50%	0.24	0.12	7%	0.00	0.00	7%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00
阿里山榆	4	100%	0.33	0.33	50%	0.00	0.00	25%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00
台灣紅榨槭	6	83%	0.01	0.01	17%	7.16	1.19	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00
日本槲楠	7	43%	0.12	0.05	14%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00
大頭茶	1	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00
白珠樹	1	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00
米飯花	2	50%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00
長葉木薑子	1	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00
紅楠	2	50%	1.50	0.75	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00
香楠	4	100%	0.04	0.04	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00
短尾柯	4	25%	0.00	0.00	25%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00

表 3-7-3. 2017 監測區之苗木存活率、生長與表現指數(字體黑色表示苗木樣本數 ≥ 10 株；字體深灰色表示 < 10 株)(續)

樹種	出栽數	1 st ~ 2 nd (267 日)			2 nd ~ 3 rd (181 日)			3 rd ~ 4 th (194 日)			4 th ~ 5 th (179 日)			1 st ~ 5 th (821 日)		
		存活率	GI	PI	存活率	GI	PI	存活率	GI	PI	存活率	GI	PI	存活率	GI	PI
裏白椴木	2	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00
總計	821	82%	2.20	1.80	51%	13.35	6.86	44%	2.96	1.29	38%	84.48	32.05	38%	12.23	4.67

表 3-7-4. 2018 監測區之苗木存活率、生長與表現指數(字體黑色表示苗木樣本數 ≥ 10 株；字體深灰色表示 < 10 株)

樹種	出栽數	1 st ~ 2 nd (181 日)			2 nd ~ 3 rd (194 日)			3 rd ~ 4 th (179 日)			1 st ~ 4 th (554 日)		
		存活率	GI	PI	存活率	GI	PI	存活率	GI	PI	存活率	GI	PI
樟葉槭	2	100%	45.83	45.83	100%	12.32	12.32	100%	110.60	110.60	100%	46.89	46.89
台灣赤楊	12	58%	74.49	43.45	58%	1.24	0.72	33%	473.52	157.84	33%	110.62	36.87
山桐子	3	100%	54.28	54.28	100%	0.22	0.22	100%	57.33	57.33	100%	25.15	25.15
山枇杷	29	97%	33.84	32.67	97%	4.41	4.26	90%	47.57	42.65	83%	27.06	22.40
山柿	37	97%	20.82	20.26	86%	1.21	1.04	86%	120.58	104.29	89%	23.62	21.06
台灣石楠	3	100%	43.59	43.59	100%	0.33	0.33	100%	44.72	44.72	100%	20.69	20.69
大頭茶	4	100%	33.29	33.29	100%	0.76	0.76	100%	42.10	42.10	100%	20.05	20.05
朴樹	31	100%	8.97	8.97	84%	1.11	0.93	42%	179.99	75.48	42%	38.67	16.22
挾木	2	100%	11.79	11.79	100%	0.00	0.00	50%	83.16	41.58	50%	31.25	15.63
石楠	100	90%	7.56	6.80	90%	2.08	1.87	73%	37.06	27.05	69%	10.49	7.24
檫木	4	100%	0.66	0.66	100%	0.00	0.00	75%	76.92	57.69	75%	8.18	6.13
九芎	1	100%	5.69	5.69	100%	0.00	0.00	100%	12.47	12.47	100%	4.86	4.86
山肉桂	1	100%	7.16	7.16	100%	0.42	0.42	100%	7.48	7.48	100%	3.99	3.99
紅楠	28	96%	8.61	8.30	96%	0.50	0.48	79%	11.79	9.27	79%	3.77	2.96
青剛櫟	49	92%	3.57	3.28	88%	0.24	0.21	45%	10.78	4.84	45%	4.41	1.98
狹葉櫟	7	86%	8.60	7.37	71%	0.07	0.05	71%	3.29	2.35	71%	1.69	1.21
台灣蘋果	25	96%	2.05	1.97	88%	0.52	0.45	52%	6.99	3.64	52%	2.26	1.18
雲杉	7	86%	1.80	1.55	86%	2.23	1.91	71%	2.00	1.43	71%	1.33	0.95
夏皮楠	5	60%	0.22	0.13	60%	0.00	0.00	60%	8.73	5.24	40%	2.15	0.86
木荷	34	88%	2.64	2.33	82%	0.13	0.11	62%	1.88	1.16	56%	1.18	0.66
錐果櫟	1	100%	0.00	0.00	100%	0.00	0.00	100%	0.00	0.00	100%	0.52	0.52

表 3-7-4. 2018 監測區之苗木存活率、生長與表現指數(字體黑色表示苗木樣本數 ≥ 10 株；字體深灰色表示 < 10 株)(續)

樹種	出栽數	1 st ~ 2 nd (181 日)			2 nd ~ 3 rd (194 日)			3 rd ~ 4 th (179 日)			1 st ~ 4 th (554 日)		
		存活率	GI	PI	存活率	GI	PI	存活率	GI	PI	存活率	GI	PI
三斗石櫟	2	100%	4.88	4.88	100%	0.00	0.00	100%	2.39	2.39	100%	0.39	0.39
川上氏鵝耳壩	9	89%	6.76	6.01	89%	0.07	0.07	78%	0.92	0.71	67%	0.43	0.29
長葉木薑子	1	100%	5.86	5.86	100%	0.00	0.00	100%	0.00	0.00	100%	0.13	0.13
栓皮櫟	1	0%	0.00	0.00	100%	0.00	0.00	100%	43.24	43.24	100%	0.00	0.00
塔塔加櫟	3	100%	15.46	15.46	100%	0.09	0.09	67%	21.83	14.55	0%	0.00	0.00
台灣紅榨槭	5	80%	2.03	1.63	40%	0.00	0.00	20%	2.49	0.50	0%	0.00	0.00
日本槭楠	2	100%	0.00	0.00	100%	0.00	0.00	50%	0.00	0.00	50%	0.00	0.00
尖葉槭	1	100%	0.00	0.00	100%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00
卡氏楮	1	100%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00
墨點櫻桃	3	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00	0%	0.00	0.00
總計	413	91%	9.64	8.78	87%	1.19	1.03	66%	37.69	25.00	63%	11.41	7.21



乾枯之臺灣杉



演替後期樣株生長緩慢、遭雜草掩盖



葉片出現病徵之厚皮香



常受動物啃食之青楓



幼嫩頂芽遭霜害凍傷



生長不佳之紅楠

圖 3-7-2. 監測區(6 塊地號)之苗木生長表現



生長良好之石楠



生長良好之山枇杷



廢耕地中生長良好之山柿



生長良好之櫟木(約出栽1年)



廢耕地中生長良好之樟葉槭



廢耕地之近況

圖 3-7-2. 監測區(6 塊地號)之苗木生長表現(續)

7.4 液肥及土漿之苗木出栽試驗(2019年施作於定期監測區)

武陵廢耕地在早期種植高麗菜時曾大量施用雞糞及石灰，導致土壤理化性質改變，土壤酸鹼度對於健康植物生長所需的必需微量元素的吸收和利用起著至關重要的作用；隨著植物種類的不同，其理想的土壤 pH 值範圍也會有所不同，多數植物可以在 pH 5.0 ~ 7.0 的土壤環境下生長，但在 pH 5.8 ~ 6.2 的弱酸性環境有較好的生長表現(AgroBest 2019)。廢耕地的土壤酸鹼度調查結果在 pH 7.6~7.8 之間，其土壤偏鹼性，且有微量元素缺乏的可能性，本計畫針對武陵廢耕地土壤失衡情形，以收寶富 1 號腐植酸液肥、Peters 易樂施速效肥 16 號、T168 胺基酸以 1:2000 之比例加水稀釋配置液肥，於苗木樣株出栽前浸泡植物根部與噴灑植物葉面，並於出栽中以砂藻土：腐植酸粉：酸性白土：生物炭：亞磷酸鉀：次微量元素=5:5:5:5:1:1 配置土壤改良配方，將配方與過篩土以 1:22 比例再加水打成泥漿，作為填滿植穴坑之土漿介質，期能提高苗木存活率及生長率；相關試驗設計如下：

(1) 樣區：地號 12、55、95、117、137、171 等 6 塊地號定期監測區

(2) 樹種：臺灣赤楊(A)共 256 株、狹葉櫟(C)共 256 株

(3) 出栽前之改善措施：有無以液肥葉噴及浸根(0/1)

出栽中之改善措施：土漿中有無加入配方(S：純土漿；H：配方土漿)

出栽後之改善措施：雙數樣株以每月液肥葉噴乙次

(4) 土壤改善試驗步驟與過程(如圖 3-7-3、圖 3-7-4)

挑選試驗用之均質臺灣赤楊、狹葉櫟苗木各 256 株，出栽前將兩種樹種各分一半以液肥浸泡植株根部，並噴灑於其葉面，另外一半不做液肥葉噴及浸根之處理；出栽時將台灣赤楊與狹葉櫟、出栽前有處理與未處理四種排列組合之樣株各分一半，以當地土壤過篩後排除較大石礫，加入水與配方土打成泥漿，依此配方土漿做為介質填滿植穴出栽苗木，另外一半則使用不加配方土之純土漿；出栽後將雙數之樣株綁上桃紅色緞帶，每月以液肥進行葉噴乙次，單數則為對照組。

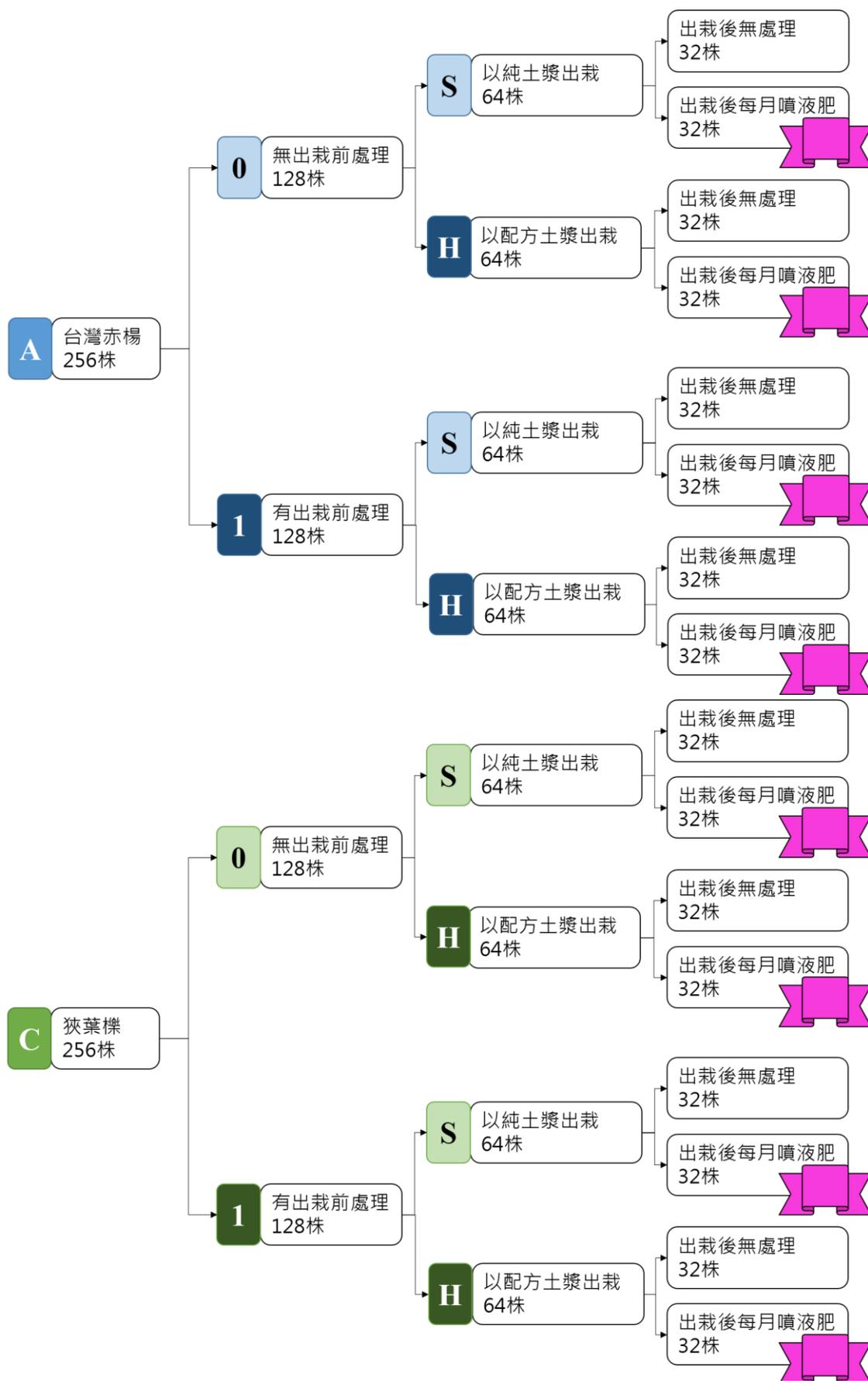
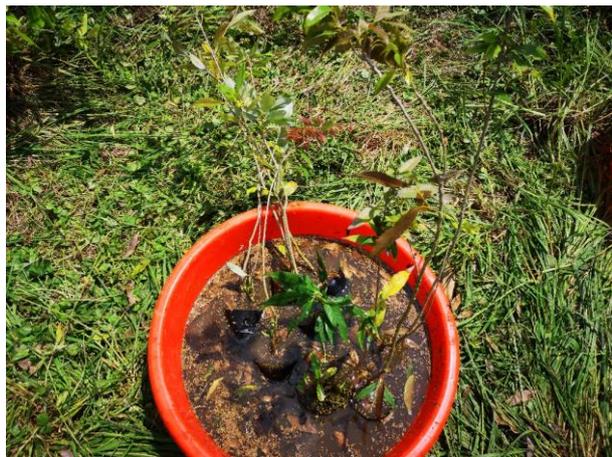


圖 3-7-3. 液肥及土漿之苗木出栽試驗設計



液肥浸根



液肥葉噴



過篩土



打漿栽植



監測區



監測過程

圖 3-7-4. 液肥及土漿之苗木出栽及監測過程

本計畫將 2019-04 出栽(1st 監測)至 2019-10 (2nd 監測)數據整理於表 3-7-5，樹種與出栽前、中、後處理 4 項因子均無顯著差異，但由數據中可排序影響由大至小為樹種 > 出栽前處理 > 出栽中處理 > 出栽後處理。整體看來同樣的出栽方式，臺灣赤楊(演替早期樹種)的存活率相較狹葉櫟(演替中後期樹種)高，然而若不施以出栽前、中處理，臺灣赤楊之存活率與狹葉櫟相同，就臺灣赤楊來說出栽前處理有助於其存活率的提升，狹葉櫟經過出栽前、中、後處理，其樣株存活率則無明顯差異，而生長量則將持續累積資料以供更完整的分析。

表 3-7-5. 液肥及土漿之苗木出栽的生長表現

樹種	出栽前 處理	出栽中 處理	出栽後 處理	總數	1 st ~2 nd (179 日)		
					存活率	地徑生長量 (cm)	苗高生長量 (cm)
臺灣赤楊	未處理 (無液肥)	純土漿	不葉噴	32	69%	0.6±0.4	3.8±36.9
			葉噴	32	75%	0.5±0.4	14.3±28.7
	葉噴及 浸根)	配方土漿	不葉噴	32	78%	0.5±0.3	16.3±14.2
			葉噴	32	75%	0.4±0.4	15.7±27.2
	有處理 (有液肥)	純土漿	不葉噴	32	88%	0.5±0.4	8.9±37.0
			葉噴	32	88%	0.4±0.3	14.7±11.6
	葉噴及 浸根)	配方土漿	不葉噴	32	84%	0.5±0.3	15.6±30.8
			葉噴	32	84%	0.5±0.4	15.2±32.1
狹葉櫟	未處理 (無液肥)	純土漿	不葉噴	32	69%	0.1±0.3	0.3±9.1
			葉噴	32	75%	0.1±0.2	3.0±7.0
	葉噴及 浸根)	配方土漿	不葉噴	32	72%	0.1±0.1	2.8±9.5
			葉噴	32	63%	0.1±0.1	2.4±13.2
	有處理 (有液肥)	純土漿	不葉噴	32	69%	0.1±0.1	1.2±5.8
			葉噴	32	75%	0.1±0.2	-1.2±16.4
	葉噴及 浸根)	配方土漿	不葉噴	32	56%	0.1±0.1	0.1±6.6
			葉噴	32	56%	0.1±0.1	2.9±6.5

7.5 地號 97 試驗地之苗木表現

生態復育造林之成功與否，除了受不同的出栽法之影響，樹木種類本身的生物學特性亦影響苗木之存活與生長(Knowles & Parrotta 1995; Elliott et al. 2003; Athy et al. 2006; Raman et al. 2009; Guzmán-Luna & Martínez-Garza 2016)。本計畫為瞭解不同樹種、不同出栽法對苗木於武陵廢耕地之存活與生長，設計以下之試驗：

1. 地點：地號 97，面積 2,609 m²。
2. 種植配置：完全隨機設計(Completely Randomized Design, CRD)
3. 試驗樹種：計有 15 種，包括樹種代號 01.山柿、02.紅楠、03.臺灣赤楊、04.青剛櫟、05.山桐子、06.烏心石、07.朴樹、08.石楠、09.檫木、10.阿里山榆、11.狹葉櫟、12.夏皮楠、13.木荷、14.山櫻花、15.山枇杷。
4. 出栽法：全部苗木均種植於植穴坑內，分為 4 種出栽法：A.無處理、B.覆稻殼、C.打漿、D.打漿+覆稻殼。配合上述的試驗樹種，同一樹種之同一出栽法均種植 6 株苗木，亦即每一樹種有 4 出栽法 × 6 株 = 24 株苗木；總計試驗苗木有 15 種 × 24 株 = 360 株。
5. 編號規則：結合上述的樹種編號(01 ~ 15)、出栽法(A ~ D)、株數流水號(1 ~ 6)，在種植之前即針對每一株苗木給定唯一編號，即樹種編號+出栽法+株數流水號，例如 09C5 意為檫木、打漿出栽、第 5 株。
6. 掛牌及量測：苗木種植後，即依編號進行掛牌，並量測其地徑、株高、冠幅。
7. 架設鐵絲圍籬，保護苗木免受山羌啃食。
8. 繪製苗木位置圖，以供後續之量測使用。
9. 預計每年 4 月、10 月均進行監測乙次，以瞭解苗木之存活、生長情況。

本項苗木出栽試驗之歷程，以時間依序摘述如下：

《出栽》2017-04-27～28：配合天候，於微雨陰天完成苗木出栽。

《1st 監測》2017-05-01～03：完成出栽苗木之第 1 次監測調查工作。

2017-05-13：經連續幾天烈日後，表土已呈乾燥。出栽時原先因 2017-04-02 而寒害凍傷或落葉的苗木，均已抽芽、展新葉。

2017-06-04：出栽後 1 個月至試驗地觀察，全部 360 株苗木均成活，且展新葉。

2017-09-23：加拿大蓬等雜草已長至約 1.5 m 高，進行除草作業。

《2nd 監測》2017-10-07～10：出栽後 5 個月，本次監測同時刈除圍籬內之雜草。此次觀察到有臭椿、阿里山榆實生苗出現於 97 地號，同時發現覆稻殼之植穴坑內雜草數量明顯少於未覆稻殼之植穴坑。

2018-04-19：進行除草作業。

《3th 監測》2018-04-25：出栽後 12 個月，本次監測同時刈除圍籬內之雜草。前次發現之臭椿、阿里山榆實生苗消失，推測應為死亡。覆稻殼之植穴坑內雜草數量仍明顯少於未覆稻殼者。

《4th 監測》2018-10-10：出栽後 17 個月，本次監測同時刈除圍籬內之雜草。第 3 次監測認為死亡的臭椿僅為落葉休眠，本次監測時生長旺盛，另於其他地方發現新阿里山榆實生苗。覆稻殼之植穴坑內雜草數量仍明顯少於未覆稻殼者。

《5th 監測》2019-04-26：出栽後 24 個月，本次監測同時刈除圍籬內之雜草。天然更新之臭椿生長旺盛，未見阿里山榆實生苗，推測均已死亡。覆稻殼之植穴坑內雜草數量仍明顯少於未覆稻殼者。

《6th 監測》2019-10-21：出栽後 30 個月，本次監測同時刈除圍籬內之雜草。天然更新之臭椿生長旺盛。此次調查雜草生長旺盛，覆稻殼之植穴坑

內雜草數量仍明顯少於未覆稻殼者。稚樹之生長已明顯會受到圍籬限制，建議於 2020 年拆除苗高>2 m 苗木之圍籬。

7.5.1 苗木之存活率監測

本計畫自 2017-04 至 2019-10 止，苗木之平均存活率為 73%。

圖 3-7-5 為 4 種出栽法之苗木存活率比較，苗木存活率依序為 C 打漿 (77%) > D 打漿+覆稻殼(76%) > A 無處理(76%) > B 覆稻殼(62%)，進一步以 one-way ANOVA 檢測，各出栽法間之苗木存活率的差異未達顯著水準 ($F_{3,56}=0.92, p>0.05$) (表 3-7-6)。

表 3-7-6. 4 種出栽法苗木存活率之 one-way ANOVA 檢測結果

	SS	Degr. of	MS	F	p
截距項	24.3866	1.0000	24.3866	429.2078	0.0000
出栽法	0.1570	3.0000	0.0523	0.9212	0.4366
誤差	3.1818	56.0000	0.0568		

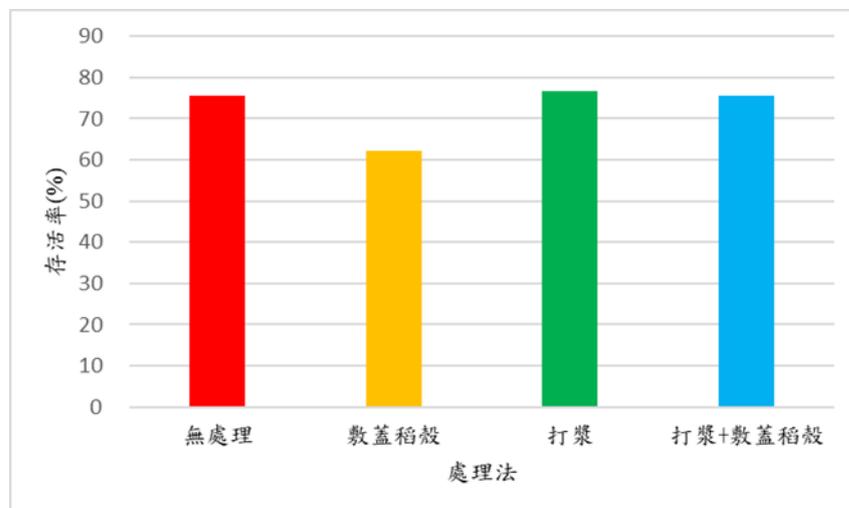


圖 3-7-5. 4 種出栽法之苗木存活率

圖 3-7-6 為 15 種樹種之苗木存活率比較，其中最佳者為山柿(100%)、山桐子(100%)、阿里山榆(100%)，最差者為木荷(17%)，且不同樹種間之存活率則達顯著水準 ($F_{14,45}=6.04, p<0.05$) (表 3-7-7)。

表 3-7-7. 15 種樹種苗木存活率之 one-way ANOVA 檢測結果

	SS	Degr. of	MS	F	p
截距項	24.3869	1	24.3866	947.2245	0.0000
樹種	2.1803	14	0.1557	6.0490	0.0000
誤差	1.1585	45	0.0258		

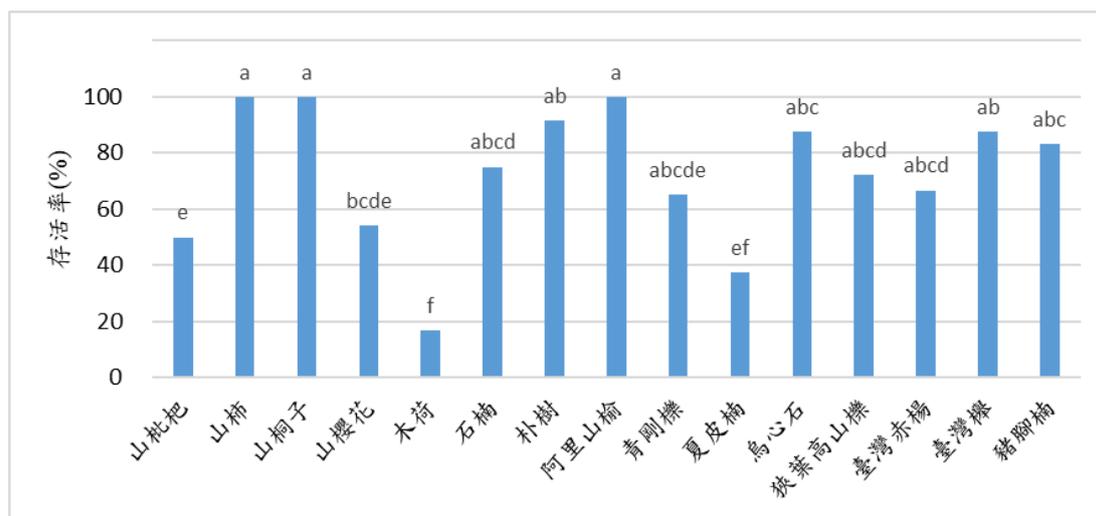


圖 3-7-6. 15 種樹種之苗木存活率(英文相同者代表差異未達顯著水準)

圖 3-7-7 為 15 種樹種以 4 種出栽法於各次監測(2017-04~2019-10)的苗木存活率變化，結果顯示存活率較佳者為山桐子、山柿、阿里山榆、烏心石，而山枇杷、木荷、山櫻花、夏皮楠等存活率較低的種類，其死亡時間大都是在出栽後 1 年內，至 1 年後之存活率下降幅度趨緩或呈現持平，推究其原因是由於苗木出栽後無法適應廢耕地環境，導致苗木死亡，而出栽經過 1 年後，多數苗木已適應廢耕地之環境，故較少有苗木死亡。然細究各樹種之死亡仍有看出差異，例如，而木荷死亡高峰為第 1 年之夏季(4 月 ~ 10 月)，高溫烈日下乾旱缺水可能為其致死主因；山枇杷死亡高峰為第 1 年之冬季(10 月 ~ 4 月)，低溫寒害可能為其致死主因。

圖 3-7-7 亦可顯示 15 種樹種以 4 種出栽法之苗木存活率的差異，山枇杷於打漿、打漿+覆稻殼有較高之存活率(66.7%)，無處理之存活率僅 16.7%；山櫻花於覆稻殼、打漿+覆稻殼有較高之存活率(66.7%)，打漿之存活率(33.3%)則最低；木荷於打漿之存活率最高(50%)，而無處理與覆稻殼之苗木則全數死亡；石楠無處理與覆稻殼苗木的存活率最高(83.3%)，打漿、打漿+覆稻殼之存活率則較低(66.7%)；朴樹於無處理、打漿覆稻殼均無苗木死亡，覆稻殼、打漿之存活率則較低(88.3%)；青剛櫟於打漿無苗木死亡，覆稻殼之苗木則全數死亡；夏皮楠於打漿+覆稻殼有最高之存活率(66.7%)，覆稻殼之存活率則僅 16.7%；烏心石於無處理均無苗木死亡，打漿、覆稻殼、打漿+覆稻殼之存活率則較低(83.3%)；狹葉櫟打漿之苗木均存活最高(100%)，打漿+覆稻殼之存活率則僅 50.0%；臺灣赤楊於無處理之苗木存活率最高(83.3%)，覆稻殼之存活率則最低(50.0%)；檫木僅覆稻殼之存活率降至 50.0%，其餘出栽法則均無苗木死亡；紅楠無處理之苗木存活率為 100.0%，打漿之苗木存活率則最低(66.7%)。綜合上述的訊息，可知不同樹種對廢耕地之適應力具有差異，且每一樹種所適合的出栽法也有所不同；此外，現場觀察可見，覆稻殼之植穴坑確實較為濕潤，然圖 3-7-6 卻顯示覆稻殼未能提升苗木存活率，究其原因，此有可能稻殼未經完全腐熟、帶有雜菌，以致剛出栽之苗木反受其損害(吳正宗 2018)。

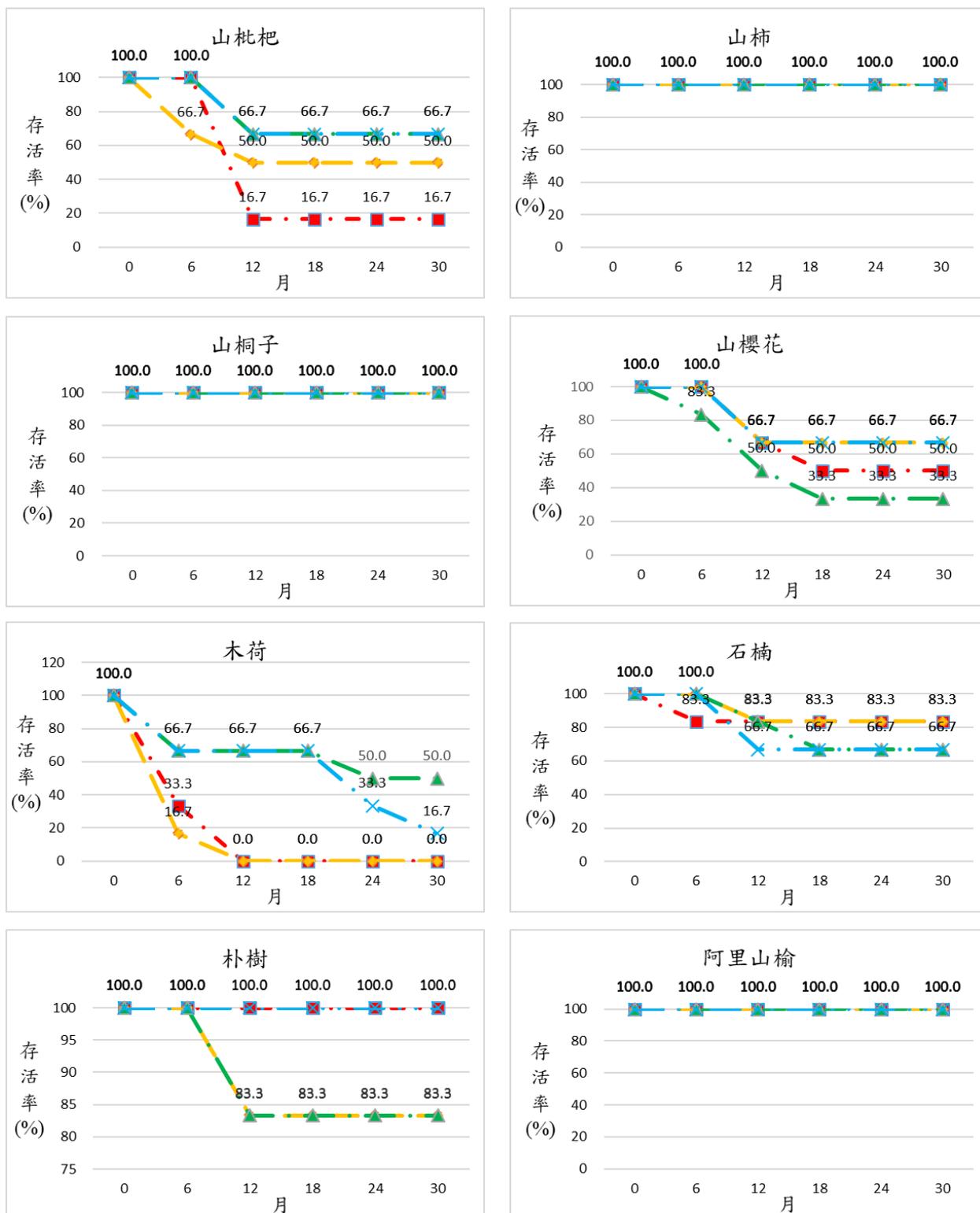


圖 3-7-7. 15 種樹種、4 種出栽法之苗木存活率變化(2017-04 ~ 2019-10)

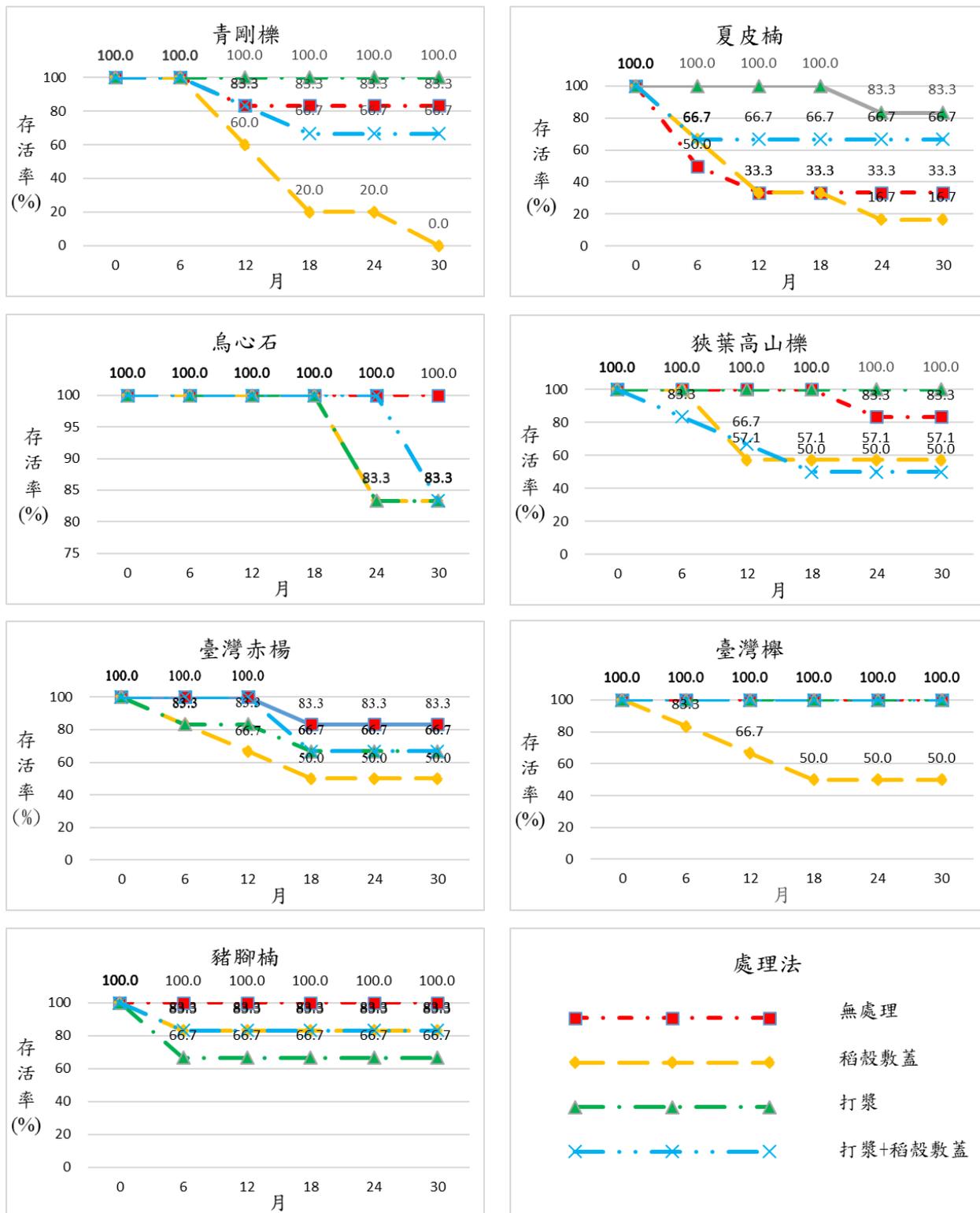


圖 3-7-7. 15 種樹種、4 種出栽法之苗木存活率變化(2017-04 ~ 2019-10) (續)

7.5.2 苗木之生長監測

1. 苗高監測

圖 3-7-8 顯示苗木出栽後，大部分樹種之苗高均呈現增加之趨勢，只有烏心石等少數樹種，因苗木枯梢、斷頭而導致苗高縮減，且木荷、紅楠的苗高生長極為緩慢。

依 2019-10 之監測結果，各樹種之平均苗高依序為：臺灣赤楊 (432 cm) > 檫木 (275 cm) > 阿里山榆 (274 cm) > 朴樹 (260 cm) > 山枇杷 (227 cm) > 青剛櫟 (208 cm) > 山柿 (205 cm) > 山桐子 (200 cm) > 石楠 (192 cm) > 烏心石 (180 cm) > 狹葉櫟 (168 cm) > 山櫻花 (150 cm) > 夏皮楠 (113 cm) > 紅楠 (66 cm) > 木荷 (48 cm)。將 2019-10 監測結果以 Two-way ANOVA 進行檢測，樹種間的差異達到顯著水準 ($F_{14,300}=19.5532, p<0.05$)，然出栽法間則未達顯著水準 ($F_{3,300}=1.8816, p>0.05$)，樹種與出栽法間的交互作用的差異則亦達顯著 ($F_{42,300}=1.4654, p<0.05$) (表 3-7-8)。

表 3-7-8. 15 種樹種、4 種出栽法對苗高之影響 Two-way ANOVA 檢測結果

	SS	Degr. of	MS	F	p
截距項	8453474.0152	1	8453474.0152	927.8203	0.0000
樹種	2494121.5650	14	178151.5404	19.5532	0.0000
處理法	51429.5669	3	17143.1890	1.8816	0.1327
樹種*處理法	560776.7023	42	13351.8262	1.4654	0.0379
誤差	2733333.4226	300	9111.1114		

圖 3-7-8 也顯示苗高之增長，主要出現於出栽後 0~6、12~18、24~30 月，亦即 4 月份 ~ 10 月份是武陵廢耕地苗木主要的生長季。

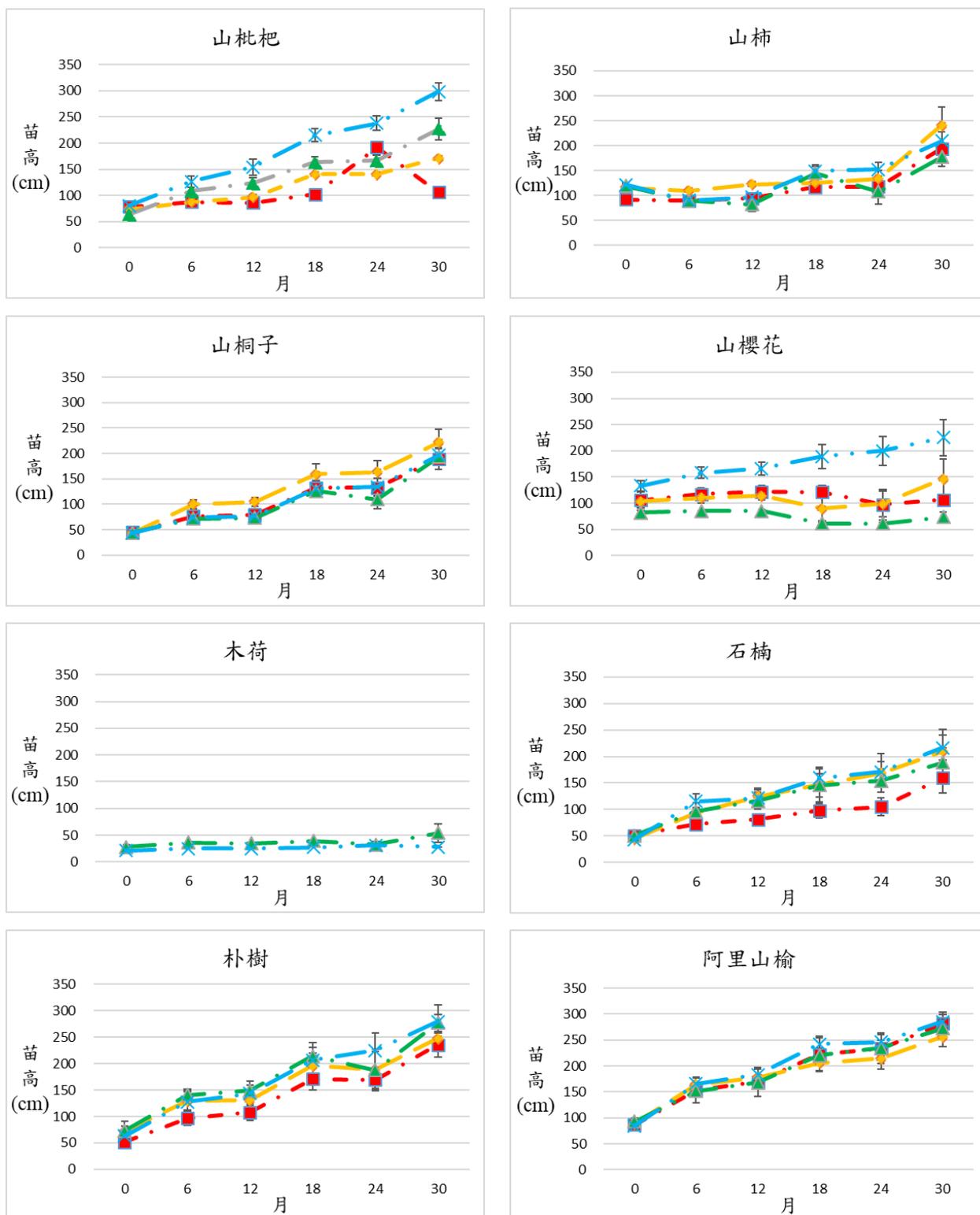


圖 3-7-8. 15 種樹種、4 種出栽法之苗高變化(2017-04 ~ 2019-10)

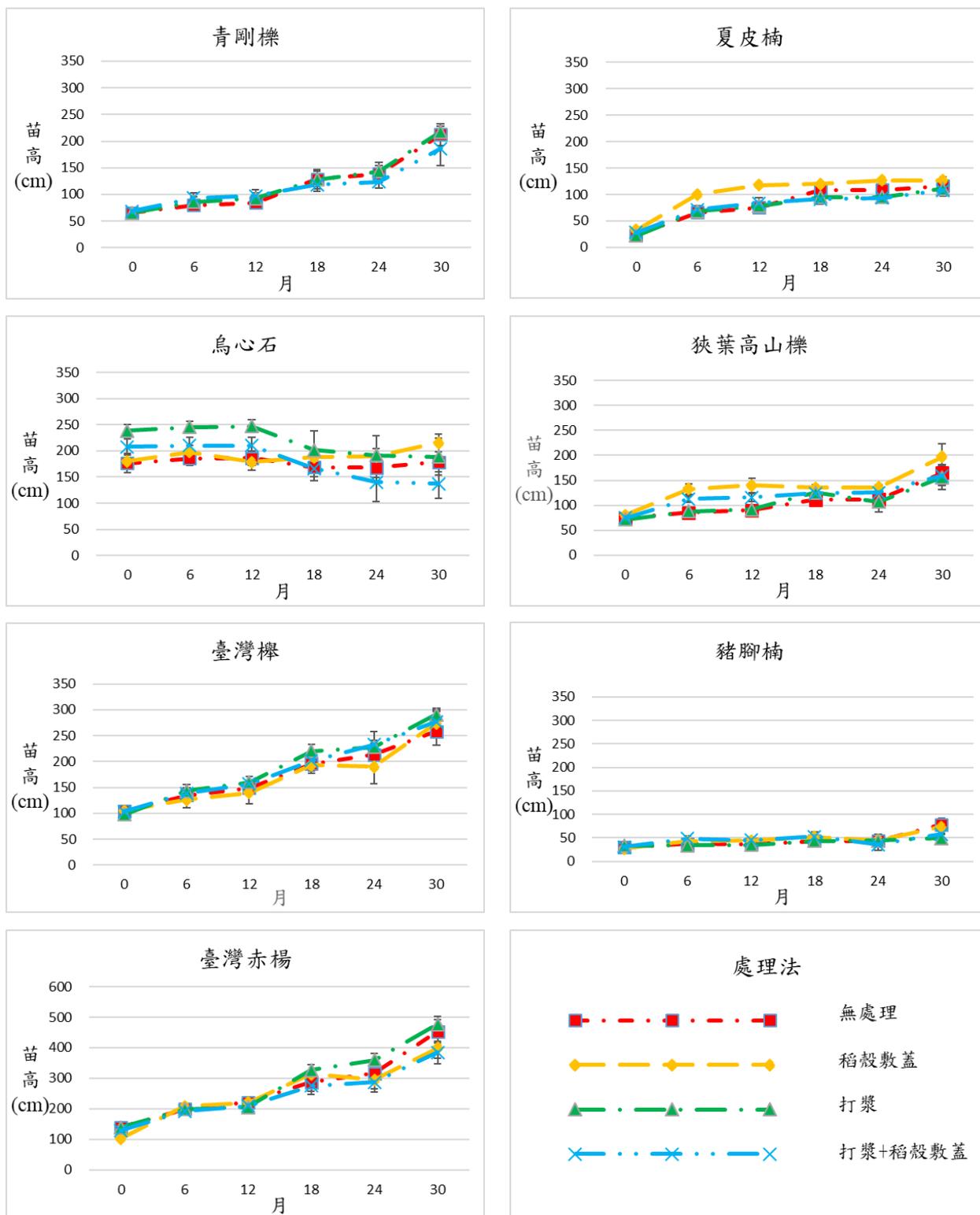


圖 3-7-8. 15 種樹種、4 種出栽法之苗高變化(2017-04 ~ 2019-10) (續)

2. 地徑監測

圖 3-7-9 顯示苗木出栽後，大部分樹種之地徑均呈現增加之趨勢，只有紅楠等少數樹種，可能因乾旱缺水、低溫凍傷、嚙齒動物啃咬等而導致地徑縮減。

依 2019-10 之監測結果，各樹種之平均地徑依序為：臺灣赤楊 (7.7 cm) > 山桐子 (3.6 cm) > 山柿 (3.5 cm) = 檫木 (3.5 cm) > 山枇杷 (3.3 cm) > 阿里山榆 (3.2 cm) => 石楠 (3.1 cm) > 朴樹 (2.8 cm) > 狹葉櫟 (2.4 cm) > 烏心石 (2.2 cm) = 青剛櫟 (2.2 cm) > 山櫻花 (2.1 cm) > 夏皮楠 (2.0 cm) > 紅楠 (1.9 cm) > 木荷 (1.1 cm)。進一步將 2019-1004 監測結果以 Two-way ANOVA 進行檢測，樹種間的地徑達到顯著差異 ($F_{14,300}=16.6464, p<0.05$)，不同出栽法間的地徑則亦達顯著差異 ($F_{3,300}=3.4175, p<0.05$)，然樹種與出栽法間的交互作用則未達顯著水準 ($F_{42,300}=1.2452, p>0.05$) (表 3-7-9)。

表 3-7-9. 15 種樹種、4 種出栽法對地徑之影響 Two-way ANOVA 檢測結果

	SS	Degr. of	MS	F	p
截距項	182287.3112	1	182287.3112	774.6273	0.0000
出栽法	2412.6737	3	804.2246	3.4175	0.0178
樹種	54841.7355	14	3917.2668	16.6464	0.0000
出栽法*樹種	12306.6222	42	293.0148	1.2452	0.1530
誤差	70596.7819	300	235.3226		

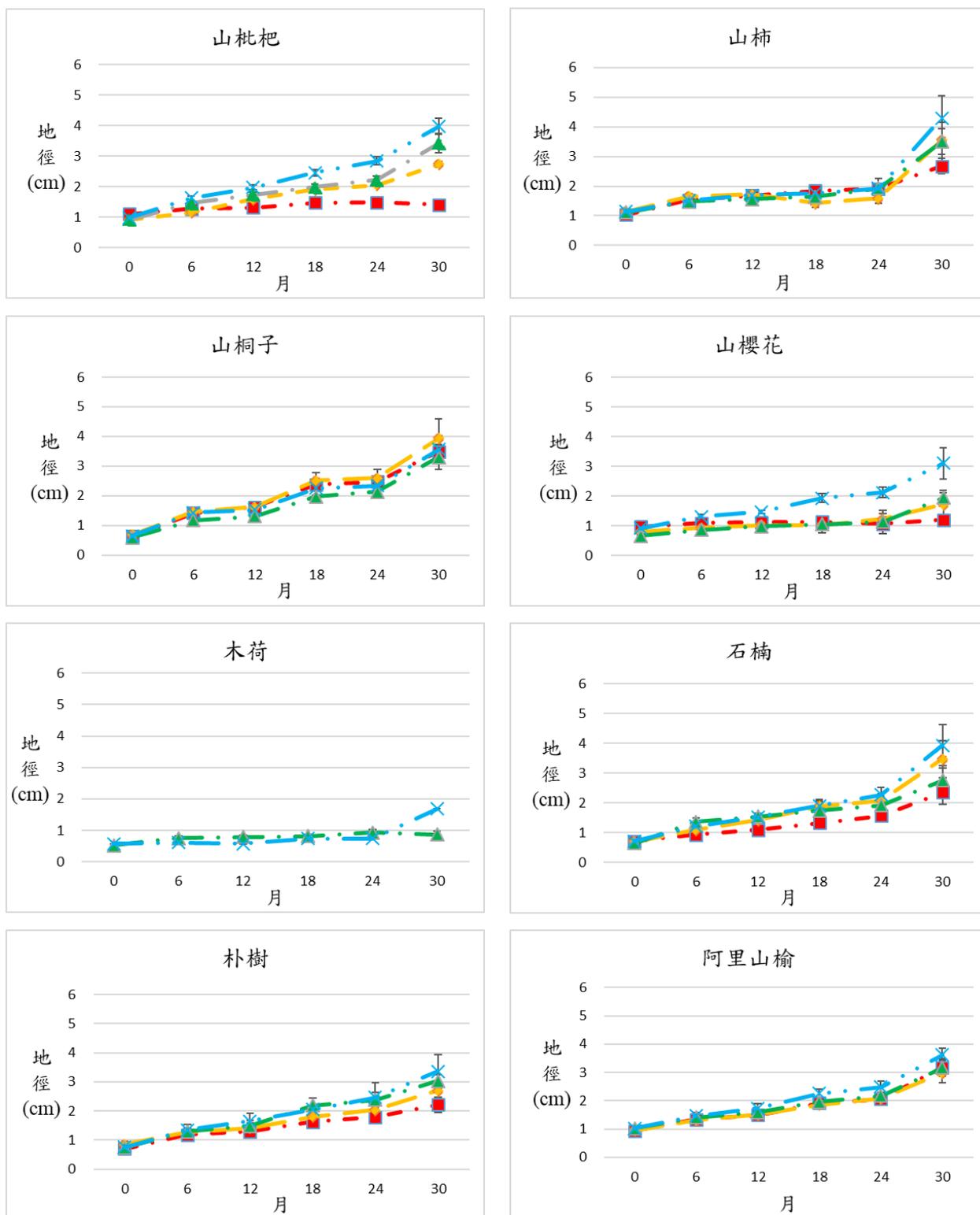


圖 3-7-9. 15 種樹種、4 種出栽法之苗木地徑變化(2017-04 ~ 2019-10)

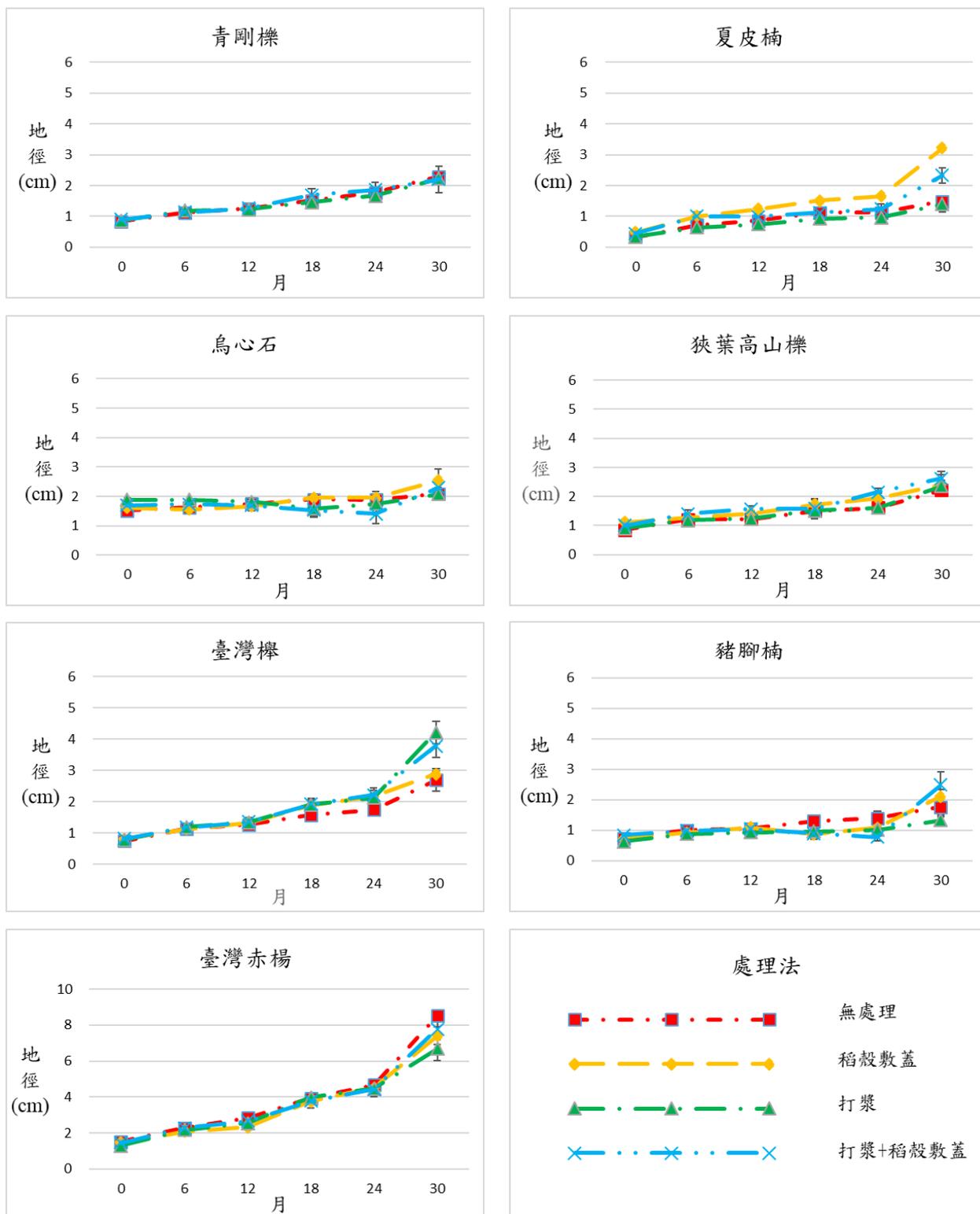


圖 3-7-9. 15 種樹種、4 種出栽法之苗木地徑變化(2017-04 ~ 2019-10) (續)

3. 冠徑監測

圖 3-7-10 顯示苗木出栽後，大部分樹種之苗木冠徑均呈現增加之趨勢，然而部分樹種，在 2018-04、2019-04(出栽後 12 個月與 24 個月)調查時，由於冬季落葉後新葉尚未萌發，或是枝梢枯萎，冠徑呈現下降甚至趨近於 0(如山柿、朴樹、阿里山榆等)。

依 2019-10 之監測結果，各樹種之平均苗木冠徑依序為：臺灣赤楊 (304 cm) > 欖木 (174 cm) > 阿里山榆 (153 cm) > 山柿 (101 cm) > 山桐子 (96 cm) > 山枇杷 (95 cm) > 朴樹 (93 cm) > 青剛櫟 (91 cm) > 石楠 (69 cm) > 狹葉櫟 (63 cm) > 烏心石 (58 cm) > 山櫻花 (56 cm) > 夏皮楠 (41 cm) > 紅楠 (33 cm) > 木荷 (21 cm)。將 2019-10 監測結果以 Two-way ANOVA 進行檢測，樹種間的苗木冠徑達到顯著差異 ($F_{14,300}=22.1377, p<0.05$)，不同出栽法間的苗木冠徑則未達顯著差異 ($F_{3,300}=2.0437, p>0.05$)，然樹種與出栽法間的交互作用亦則未達顯著水準 ($F_{42,300}=1.1896, p>0.05$) (表 3-7-10)。

表 3-7-10. 15 種樹種、4 種出栽法對冠徑之影響 Two-way ANOVA 檢測結果

	SS	Degr. of	MS	F	p
截距項	2003020.9166	1	2003021.0000	567.9258	0.0000
樹種	1093085.3302	14	78078.0000	22.1377	0.0000
出栽法	21624.0925	3	7208.0000	2.0437	0.1078
出栽法×樹種	176210.0103	42	4195.0000	1.1896	0.2066
誤差	1058071.7738	300	3527.0000		

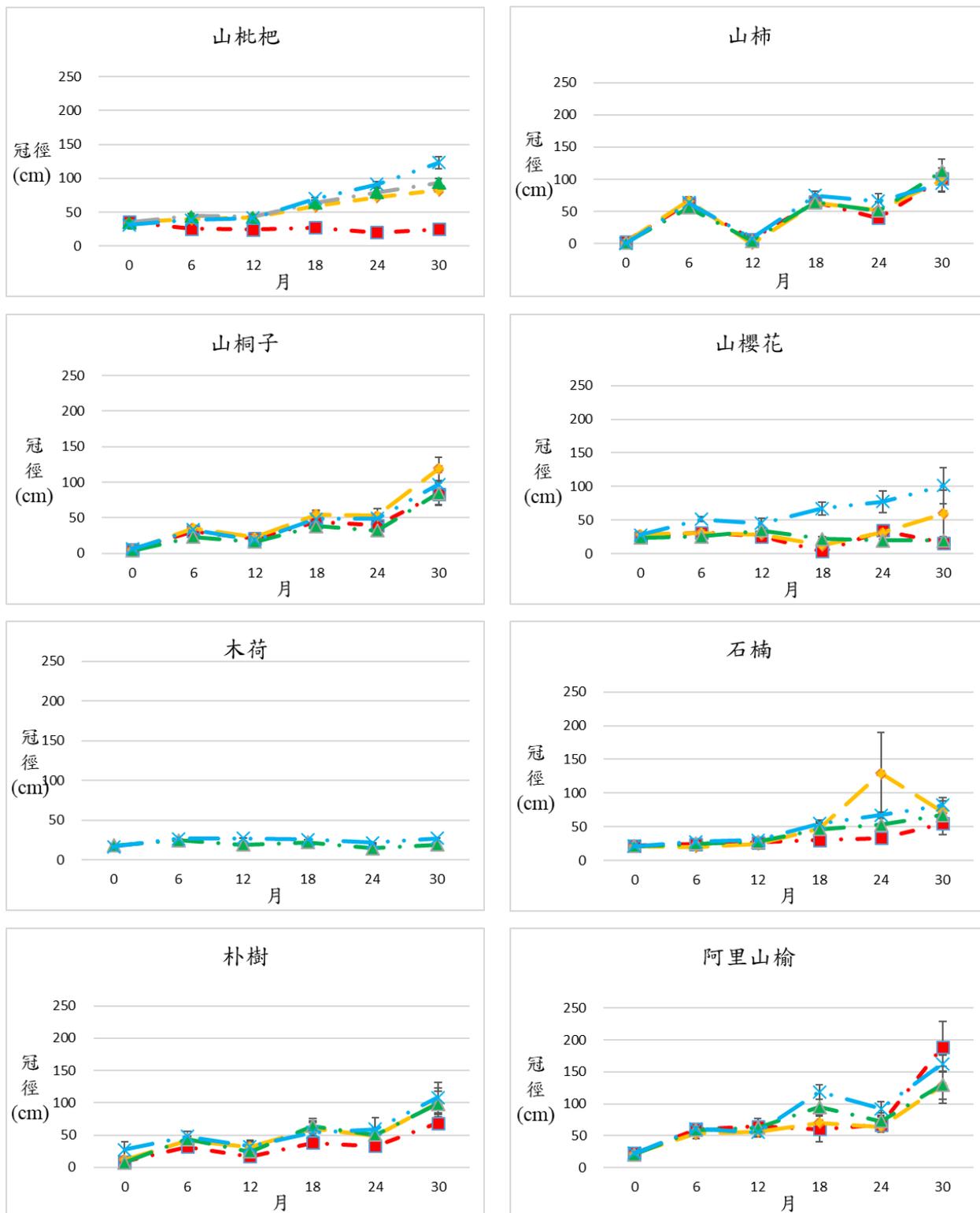


圖 3-7-10. 15 種樹種、4 種出栽法之苗木冠徑變化(2017-04 ~ 2019-10)

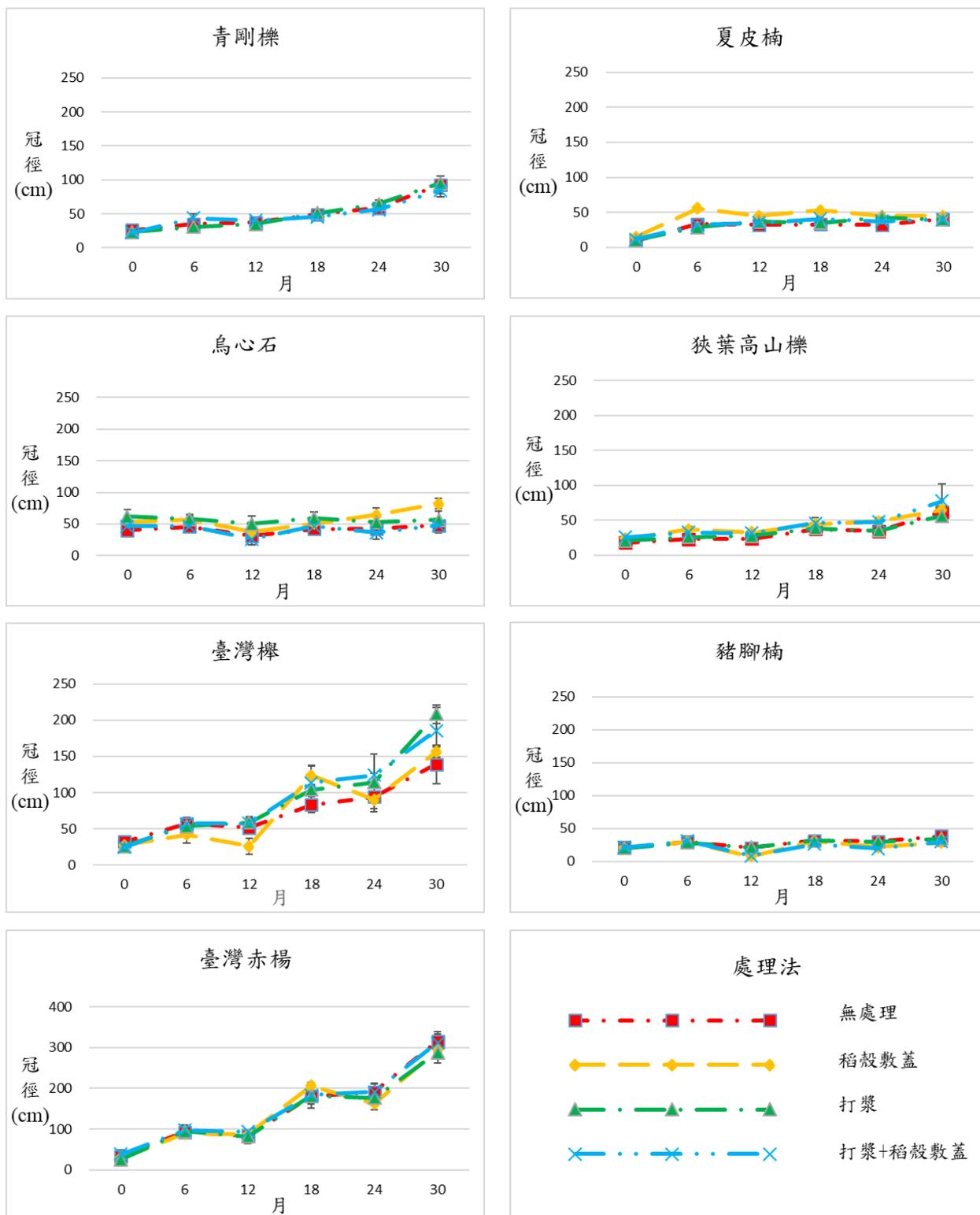


圖 3-7-10. 15 種樹種、4 種出栽法之苗木冠徑變化(2017-04 ~ 2019-10) (續)

7.5.3 苗木之生長表現

表 3-7-11 為地號 97 之 15 種樹種之 GI、PI，就 2019-10 之監測資料顯示，苗木出栽 2.5 年後(2017-04~2019-10 共 901 日)，臺灣赤楊(存活率=67%、GI=308.20、PI=205.46)、山桐子(存活率=100%、GI=75.29、PI=75.29)、阿里山榆(存活率=100%、GI=68.63、PI=68.63)、欖木(存活率=88%、GI=76.04、PI=66.54)、朴樹(存活率=92%、GI=66.21、PI=60.69)、石楠(存活率=75%、GI=57.67、PI=43.25)、山柿(存活率=100%、GI=37.61、PI=37.61)、山枇杷(存活率=50%、GI=58.26、PI=29.13)等 8 種樹種為在武陵廢耕地生態造林可優先採用之種類。

臺灣赤楊之存活與生長均屬最佳，臺灣赤楊為耐高光之陽性樹種，其根系發達，與根瘤菌共生，具土壤改善之功效，郭寶章(1992)、王金錫等(2004)研究指出，臺灣赤楊適應性強，耐貧脊、喜濕而具有一定耐旱能力，然 Nadal-Sala et al. (2017) 也指出赤楊屬於用水效率低的樹種，容易受到乾旱的影響。本項試驗之臺灣赤楊於出栽後第 1 年死亡率雖然不高，然於出栽後 12~18 個月(2018-04~2018-10)臺灣赤楊死亡株數增多，此可能是由於夏季降雨不均以及烈日高溫而導致缺水之故。

青剛櫟、狹葉櫟均為殼斗科植物，表 3-7-11 顯示其生長表現並不突出，其主因為此 2 樹種生長較為緩慢，蕭祺暉&何學哲(2017)認為狹葉櫟與青剛櫟等殼斗科植物適合用於廢耕地復育，李炎壽等(2012)依據防火林帶擴植造林經驗認為欖木、木荷、櫻花、青剛櫟為中度耐旱樹種，且耐旱程度依序為木荷>青剛櫟>欖木，然本試驗則顯示以欖木之存活及生長最佳。雖然目前殼斗科於武陵廢耕地之生態造林表現並不優異，但殼斗科為臺灣中海拔之優勢代表性樹種，因此未來仍有必要進行適當的豐增補植(enrichment planting)。

雖然夏皮楠能夠忍受強日照，且其對於水分要求不高(呂金誠 1999)，而山櫻花為武陵路旁之景觀樹且生長良好，但目前夏皮楠與山櫻花於廢耕地之表現僅屬中下，觀察武陵鄰近地區此 2 樹種之天然下種小苗，其天然更新可能需要較穩定的環境，而不適於廢耕地水熱等劇烈變化的劣化環境。

紅楠為一耐陰樹種(Kuo & Yeh 2015)，對乾旱亦有耐受性(林信輝 2006)，為河川地造林之合適樹種(蕭祺暉&何學哲 2017)，但由於廢耕地為一開闊環境，故強光

可能是導致紅楠幼苗生長不佳之主因，另外根據現場觀察，紅楠多於冬季呈現乾枯狀態(圖 3-7-11)，再於春末(約 4 月)萌蘖，重新生長，造成其形質生長增加甚少；木荷屬於山茶科植物，為 15 種樹種中死亡率最高者，顏江河(2011)表示木荷於鹼性土壤中生長不良，廢耕地土壤為弱鹼性，故現階段尚不適合栽植木荷。

烏心石與山柿均為武陵地區之原生樹種，然出栽於廢耕地後，在冬季常發現有凍傷、枯梢之情形，其中，烏心石為當地老熟林優勢種之一，故可待臺灣赤楊等先驅樹種成林後，再行補植，藉以建造武陵地區極盛相(climax)森林。而山柿在受凍枯梢後，常由其基部萌蘖生長，且可觀察到受邊坡灌叢保護之山柿植株生長良好，此外，山柿為近年武陵鄰近地區嫁接日本甜柿之主要枯木，給予適合環境即能快速生長，故未來宜再尋求適合山柿在廢耕地的造林方法。

比較過去於武陵廢耕地進行之栽植試驗，2015 年利用平植法所栽植之苗木存活率甚低(出栽 1 年後苗木存活率僅 5.6%)(邱清安等 2016)，而本試驗以植穴坑栽植法之苗木平均存活率則達 73%，因此可知植穴坑栽植能夠提升武陵廢耕地苗木之存活率。植穴坑栽植法能夠有效提升苗木存活率之主因在於植穴坑能有效集中水分，增加土壤濕度，克服廢耕地石礫多、土壤孔隙大、保水不易之問題，且有助於苗木之根系更快抵達較無耕作遺害的深層土壤。

就 4 種出栽法而言，由於水分缺乏通常是苗木移植時的主要逆境(Burdett 1990; Haase & Rose 1993)，打漿法能夠大幅提升苗木栽植初期之土壤水分，並且使根球與土壤充分密合，故能提升苗木存活率與生長表現；覆稻殼雖能抑制雜草生長，但苗木生長亦不佳，Hueso-González et al.(2016)認為敷蓋雖能克服水分或養分環障礙，亦有可能引起其他障礙，進而導致苗木生長不良，國外研究指出，過厚的敷蓋物可能會導致水分逆境，降低苗木的存活率(Edward & Jason 2004; Arnold et al. 2005)，倪禮豐(2007)則指出將稻殼作為敷蓋材料時應避免過量施用又與土壤混合過深，否則易造成作物缺氮及缺氧等負面的效果，因此在使用敷蓋作為復育的措施時，應考慮敷蓋是否適合現地與目標樹種(Truax & Gagnon 1993)，同時考量敷蓋材料、敷蓋的厚度(Jiménez et al. 2013)及面積(Allen et al. 1998)。

表 3-7-11. 15 種樹種之苗木生長表現指數

樹種	株數	2017-05~2017-10		2017-10~2018-04		2018-04~2018-10		2018-10~2019-04		2019-04~2019-10		2017-04~2019-10		
		(160 日)		(197 日)		(168 日)		(198 日)		(178 日)		存活率	GI	PI
		GI	PI	GI	PI	GI	PI	GI	PI	GI	PI			
台灣赤楊	24	276.94	276.94	21.90	20.07	521.64	456.43	50.11	33.41	1527.99	1018.66	67%	308.20	205.46
山桐子	24	139.73	139.73	2.32	2.32	194.91	194.91	0.71	0.71	326.04	326.04	100%	75.29	75.29
阿里山榆	24	145.73	145.73	11.32	11.32	94.89	94.89	6.60	6.60	190.33	190.33	100%	68.63	68.63
檫木	24	70.81	70.81	8.71	8.34	121.90	111.74	15.12	13.23	329.71	288.50	88%	76.04	66.54
朴樹	24	156.28	156.28	7.55	7.55	138.11	126.60	9.10	8.34	184.42	169.05	92%	66.21	60.69
石楠	24	103.97	103.97	14.53	13.93	52.29	41.40	10.52	7.89	215.77	161.83	75%	57.67	43.25
山柿	24	8.49	8.49	3.82	3.82	28.26	28.26	5.98	5.98	552.81	552.81	100%	37.61	37.61
山枇杷	24	83.39	83.39	19.02	17.44	71.57	35.79	13.60	6.80	191.49	95.75	50%	58.26	29.13
青剛櫟	23	29.61	29.61	2.28	2.28	48.51	39.62	7.68	5.18	164.37	110.95	65%	32.08	20.92
狹葉櫟	25	42.01	42.01	2.04	1.95	25.02	20.25	1.12	0.86	129.06	93.72	72%	22.06	15.88
夏皮楠	24	110.76	110.76	5.08	3.39	13.25	6.07	0.51	0.23	39.98	14.99	38%	22.96	8.61
紅楠	24	13.35	13.35	0.48	0.40	4.85	4.04	0.83	0.69	88.37	73.64	83%	7.28	6.06
山櫻花	24	19.88	19.88	3.48	3.33	9.92	6.20	3.37	1.83	84.77	45.92	54%	9.93	5.38
烏心石	24	2.74	2.74	0.42	0.42	3.89	3.89	0.32	0.32	30.42	27.89	88%	1.78	1.55
木荷	24	7.03	7.03	0.00	0.00	1.19	0.40	0.29	0.10	15.98	3.33	17%	2.11	0.35
總計/平均	360	76.74	72.13	6.04	5.13	81.81	55.61	5.05	4.66	264.46	176.00	72%	55.91	42.64



2017-04-28 試驗苗木出栽完成



2017-05-13 經幾天烈日，苗木存活且抽芽



2017-06-04 出栽後 1 個月，全部 360 株苗木均成活，且展新葉



2017-10-08 生長良好之山枇杷

圖 3-7-11. 地號 97 試驗地之苗木表現



2018-05-26 山枇杷頂芽凍枯後又快速萌芽



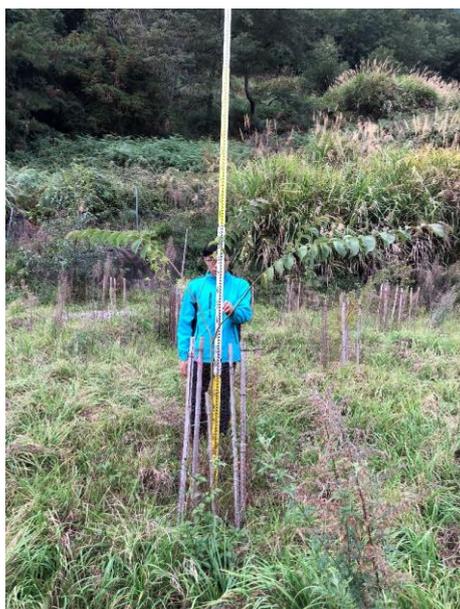
2018-05-26 朴樹頂芽凍枯後又快速萌芽



2018-10-26 生長良好之臺灣赤楊(約 4 m)



2018-10-26 生長良好之朴樹(約 3 m)



2018-10-26 生長良好之阿里山榆(約 2 m)



2018-10-26 生長不佳之木荷

圖 3-7-11. 地號 97 試驗地之苗木表現(續)



2019-04-27 狹葉櫟之生長情形



2019-04-27 石楠之生長情形



2019-04-27 生長良好之山枇杷苗木



2019-04-27 初長新葉的山桐子苗木



2019-04-27 基部損傷後癒合之赤楊



2019-04-27 苗木基部遭齧齒類啃咬

圖 3-7-11. 地號 97 試驗地之苗木表現(續)

7.6 山桐子、臺灣赤楊、臺灣蘋果之生長監測

現地觀察出栽於武陵廢耕地之苗木種類中，山桐子、臺灣赤楊、臺灣蘋果等 3 樹種苗木具有看似良好的生長表現，故擇此 3 樹種進一步做為監測分析之目標樹種，以進一步瞭解其真實之生長表現。

7.6.1 山桐子

山桐子除了具備偏陽性、生長快速、葉形較大、樹冠易鬱閉等生態復育特性之外，同時也具有觀賞紅色果實、誘鳥等功能；因此本計畫選定於地號 99、99-1、100 等區塊種植山桐子，期能以武陵地區原生植物營造出優美之景觀林。以下為山桐子之種植及監測歷程(圖 3-7-12)：

《出栽》2016-05-20：以植穴坑方式種植(未打漿)於地號 99、99-1、100，種植完成後土表覆蓋酸性泥炭土。苗木平均高度約 53.2 cm。

《1st 監測》2017-07-21：出栽經 1.2 年後，量測苗木之高度、2016 渡冬頂芽高度(去年生 vs. 當年生之樹皮顏色不同，可茲判定)。此時，平均苗高已達 123.6 cm，扣除 2016 渡冬頂芽高度後，2017 年開春至 2017-07-21 之平均高生長達 70.4 cm。

《2nd 監測》2017-11-30：出栽經 1.5 年後，進行監測調查，以計算生長量。於 2017-12-01 增測 15 株山桐子之形質，將樣本數據增加至 20 株，山桐子平均苗高為 134.1 cm，較出栽時高出約 80.9 cm。

《3rd 監測》2018-04-13：出栽經 1.9 年後，現地觀察可發現山桐子多凍傷未能展芽，或有嫩芽、嫩葉凍傷，山桐子平均苗高為 138.0 cm，較出栽時高出約 84.8 cm。

《4th 監測》2018-09-27：出栽經 2.4 年後，山桐子之平均苗高為 176.9 cm，較出栽時高出約 123.7 cm。

《5th 監測》2019-04-23：出栽經 2.9 年後，現地觀察有部分植株頂枯，主幹枯死，由側芽或根頸萌蘖再長，使得監測苗高縮減，此次監測數據中山桐子

之平均苗高約 178.1 cm，較出栽時高出約 124.9 cm，GI 為 25.82，PI 為 25.82。

《6th 監測》2019-10-23：出栽經 3.4 年後，此次監測數據中山桐子之平均苗高約 251.1 cm，較出栽時高出約 197.9 cm，GI 為 87.12，PI 為 87.12。

根據歷次監測資料(表 3-7-12)及現地觀察發現，山桐子自 2016-05-20 出栽後約 1 年之苗高生長量可達 70 cm；出栽 2 年多後苗高生長量可達 123 cm。而武陵的植物生長季大約在 4~10 月，非生長季為 11 月~ 翌年 3 月，由表 3-7-6 之 2017-11 ~ 2019-10 監測數據可知，山桐子之平均地徑在生長季增加 0.8 ~ 1.5 cm、非生長季只增加 0.2 cm，平均苗高在生長季增加 38.9 ~ 70.6 cm，非生長季只增加 1.2 ~ 4.0 cm，綜合 1st 監測至 6th 監測，山桐子 GI 為 81.56、PI 為 81.56，所有樣株均存活，並相較其他廢耕地出栽樹種有較佳的生長表現。

本計畫於 2018、2019 年早春觀察山桐子時，常見苗木有凍傷之情形，枝條末端發黑或葉芽凍傷呈黑色，但在該年 4 月中下旬時，大部分的受損山桐子仍可重新萌芽展葉，此外，山桐子為面臨冬季寒流之思源埡口的常見樹種，顯示其對低溫仍具有一定的耐受力，而其在武陵廢耕地之所以常有凍傷受損，可能係因廢耕地之水分不足、養分不均造成植株衰弱之故，因此未來宜探求如何改善山桐子之生育環境條件。

表 3-7-12. 山桐子之生長表現(2017-07-21 ~ 2019-10-23)

	2016-11 (2017 推測)	第 1 次監測 2017-07-21	第 2 次監測 2017-11-30	第 3 次監測 2018-04-13	第 4 次監測 2018-09-27	第 5 次監測 2019-04-23	第 6 次監測 2019-10-23	
株數	5	5	20	20	20	20	18	
平均地徑(cm)	-	-	2.9±0.7	3.1±0.6	3.9±0.9	4.0±1.0	5.7±1.4	
地徑生長量(cm)	-	-	-	0.2	0.8	0.2	1.5	-
平均苗高(cm)	53.2±15.4	123.6±13.9	134.1±19.2	138.0±20.7	176.9±31.2	178.1±39.4	251.1±50.3	
苗高生長量(cm)	-	70.4	10.2	4.0	38.9	1.2	70.6	-
最大苗高(cm)	70	136.0	175.0	184.0	245.0	243.0	331.0	
最小苗高(cm)	30	102.0	95.0	105.0	123.0	110.0	164.0	



2016-05-20 苗木出栽



2017-07-18 當年生枝葉生長快速



2018-04-16 山桐子新芽凍傷



2018-10-25 表現最佳之山桐子出栽經 2.5 年後苗高 > 2 m；2018 年高生長約 80 cm



2019-10-20 山桐子受病蟲害影響



2019-10-20 山桐子出栽經 3.4 年後苗高 > 2.5 m；2019 年平均高生長約 70 cm

圖 3-7-12. 山桐子之生長監測

7.6.2 臺灣赤楊

由監測區(地號 12、55、95、117、137、171)及地號 97 中，分析 63 株臺灣赤楊苗木之生長資料，探討此重要樹種於廢耕地環境中之生長變化。

《地號 97，2017 出栽，單株圍網》：調查地號 97 中單株圍網之臺灣赤楊，共 24 株。共調查 6 次，日期為 2017-05-03、2017-10-07、2018-04-13、2018-10-11、2019-04-26、2019-10-21。

《監測區 6 地號，2017 出栽，未圍網》：調查 2017 年造林工程中未圍網之臺灣赤楊，共 27 株。共調查 5 次，日期為 2017-07-20、2018-04-13、2018-10-11、2019-04-23、2019-10-21。

《監測區 6 地號，2018 出栽，未圍網》：調查 2018 年造林工程中未圍網之臺灣赤楊，共 12 株。共調查 4 次，日期為 2018-04-13、2018-10-11、2019-04-23、2019-10-21。

由表 3-7-13、圖 3-7-13 可明顯看出，臺灣赤楊在廢耕地中之生長情形十分良好，就高生長而言，2017 單株圍網出栽者從 2017-05-03 ~ 2019-04-26 苗高生長 133.1 → 315.8 cm；2017 未圍網出栽者從 2017-07-20 ~ 2019-04-23 苗高生長 106.3 → 194.3 cm；2018 未圍網出栽者從 2018-04-13 ~ 2019-04-23 苗高生長 72.5 → 101.0 cm。另外，赤楊苗木之生長主要集中於 4-10 月的生長季，地號 97、2017 出栽之監測區 6 地號、2018 出栽之監測區 6 地號於 2019-04 ~ 2019-10 之生長季中，分別增長了 116.1、95.5、116.4 cm

然邱清安等(2016)以傳統平植法出栽於武陵廢耕地之臺灣赤楊，於出栽後 4 個月因乾枯而全部死亡，直至改以植穴坑栽植法才提高其成活率，因此可推斷土壤水分為臺灣赤楊生長之最重要限制因子，綜合上述 3 份數據分別計算其地徑與苗高之年生長率，臺灣赤楊 GI 為 147.74、PI 為 108.99，總計存活率為 74%，由此數據可見透過出栽方式的改良，臺灣赤楊相較其他廢耕地出栽樹種有較佳的生長表現。

表 3-7-13. 臺灣赤楊之苗木生長表現(2017-05-03 ~ 2019-10-23)

出栽方式：單株圍網。出栽年度：2017 (N=24)						
	2017-05-03	2017-10-07	2018-04-13	2018-10-11	2019-04-26	2019-10-21
死亡株數	0	2	3	8	8	8
平均地徑(cm)	1.4±0.3	2.2±0.3	2.6±0.4	3.9±0.6	4.5±0.6	7.7±1.3
地徑生長量(cm)	-	0.8	0.4	1.2	0.7	3.1
平均苗高(cm)	133.1±23.6	195.2±21.5	210.1±26.7	298.9±57.1	315.8±64.2	431.9±82.3
苗高生長量(cm)	-	65.8	15.3	84.6	16.9	116.1
最大苗高(cm)	179.0	228.0	269.0	377.0	412.0	595.0
最小苗高(cm)	61.5.0	123.0	130.0	166.5	221.0	284.0
出栽方式：未圍網。出栽年度：2017 (N=27)						
	2017-07-20	2018-04-13	2018-10-11	2019-04-23	2019-10-21	
死亡株數	0	2	7	8	10	
平均地徑(cm)	1.2±0.3	1.9±0.4	2.6±1.1	3.1±1.3	5.2±2.3	
地徑生長量(cm)	-	0.7	0.7	0.5	1.9	-
平均苗高(cm)	106.3±31.6	134.6±31.8	189.6±70.4	194.3±81.5	327.6±118.6	
苗高生長量(cm)	-	24.4	56.4	2.2	116.4	-
最大苗高(cm)	170.0	207.0	300.0	305.0	501.0	
最小苗高(cm)	41.0	93.0	69.0	4.0	72.0	
出栽方式：未圍網。出栽年度：2018 (N=12)						
	-	2018-04-13	2018-10-11	2019-04-23	2019-10-21	
死亡株數	-	0	5	5	8	
平均地徑(cm)	-	0.6±0.3	1.1±0.3	1.3±0.2	2.5±1.0	
地徑生長量(cm)	-	-	0.5	0.2	1.2	-
平均苗高(cm)	-	72.5±27.8	99.9±28.3	101.0±30.4	207.5±59.8	
苗高生長量(cm)	-	-	36.9	1.1	95.5	-
最大苗高(cm)	-	130.0	138.0	138.0	280.0	
最小苗高(cm)	-	30.0	64.0	57.0	147.0	



2017 年出栽前之臺灣赤楊 6 吋盆苗



出栽 2 年後之臺灣赤楊
(2018-10-22 攝)



臺灣赤楊出栽 2 年後地徑可達 5 cm
(2019-04-24 攝)



地號 98 之 3 年生臺灣赤楊
(2019-04-26 攝)

圖 3-7-13. 臺灣赤楊之苗木生長監測

7.6.3 臺灣蘋果

臺灣蘋果樹幹具棘刺可防止山羌掠食，本計畫觀察 2017 出栽之臺灣蘋果大苗(約 2 m 高)生長表現良好(圖 3-7-14 左上)，推測臺灣蘋果可適應廢耕地生長。緣此，本計畫分析監測區(地號 12、55、95、117、137、171)之 25 株臺灣蘋果苗木生長數據，以進一步瞭解臺灣蘋果於廢耕地中之生長表現。

《1st 監測》2018-04-28 ~ 05-04：臺灣蘋果苗木於 2018-04-16 ~ 25 造林工程完成出栽，此時平均苗高為 91.1 cm，平均地徑為 0.6 cm。

《2nd 監測》2018-09-28 ~ 10-11：此時平均苗高約為 93.8 cm，平均地徑為 0.8 cm。

《3rd 監測》2019-04-23：此時平均苗高約為 94.2 cm，平均地徑為 0.8 cm，生長緩慢，但渡冬後其新葉展芽無凍損。

《4th 監測》2019-10-21：此時平均苗高約為 113.2 cm，平均地徑為 1.0 cm。

臺灣蘋果之監測數據及現地觀察，如表 3-7-14、圖 3-7-14 所示，可知臺灣蘋果苗木於 3rd~4th 監測(2019-04~10 之生長季)，生長量有較明顯的增加，苗高平均增加 13.5 cm，佔其出栽至今之生長量的大部分，此次明顯的生長伴隨近半數的臺灣蘋果樣株死亡，亦有可能是因為淘汰生長較差的樣株，使平均值提升。而由數據及現地觀察中可見臺灣蘋果以小苗出栽後之初期生長表現並不佳，且在許多臺灣蘋果小苗上亦可發現山羌攝食之痕跡，但其耐寒害的特性可從頂枯後小苗常有生長良好的側生萌蘖枝上發現(圖 3-7-13)。

本計畫於 2017 出栽之臺灣蘋果大苗木，可觀察到十分良好的生長表現，對照表 3-7-14、圖 3-7-14 之結果，可推論以小型苗木出栽之臺灣蘋果需要更長的適應期，就目前的研究資料而言，臺灣蘋果可能需待出栽 1 年甚至更長的時間方能適應環境，而獲得較好的生長量，臺灣蘋果 GI 為 2.01、PI 為 1.05，無論形質生長或存活率均相較廢耕地表現良好的樹種差，未來應再研討更多演替中後期苗木的出栽改善措施。另一種解決途徑為如同 2017 臺灣蘋果之出栽，先將其培育為高度 > 2.5 m 的大型苗木，再配合適宜季節進行出栽。

臺灣蘋果之花具觀賞潛力、果實可誘鳥、莖部具棘刺可抗動物攝食，實為武陵

廢耕地之一值得復育造林之樹種，緣此，本計畫將培育臺灣蘋果大型苗木再行出栽，同時將持續監測臺灣蘋果生長情形。

表 3-7-14. 臺灣蘋果之生長表現(2018-04-28 ~ 2019-10-21)

	2018-05-04 1 st 監測	2018-10-11 2 nd 監測	2019-04-23 3 rd 監測	2019-10-21 4 th 監測
死亡株數/總株數	25	1/25	6/25	12/25
平均地徑(cm)	0.6±0.3	0.8±0.3	0.8±0.3	1.0±0.5
地徑生長量(cm)	-	0.1	0.1	0.1
平均苗高(cm)	91.1±41.8	93.8±43.9	94.2±46.7	113.2±63.2
苗高生長量(cm)	-	1.5	0.8	13.5
最大苗高(cm)	180.0	191.0	195.0	210.0
最小苗高(cm)	30.0	39.0	35.0	31.0



2017 出栽之臺灣蘋果



2018 出栽之臺灣蘋果



頂枯之臺灣蘋果，仍可見健康側芽



2019-04-23 臺灣蘋果新芽不怕低溫凍傷

圖 3-7-14. 臺灣蘋果之生長監測

7.6 打漿與敷蓋對臺灣赤楊苗木表現之監測

武陵廢耕地之土壤特性為石礫多、孔隙大，故水分流失快速，土壤保水不佳，且栽植時容易造成出栽苗木懸根，不利苗木後續存活；另外，廢耕地環境多為開闊地，水分易由表土蒸發，而不利苗木存活。上述之石礫土壤特性與地表缺乏敷蓋，及其加成作用極可能是廢耕地復育之苗木無法存活的主要原因，特別是對臺灣赤楊等樹種更須營造出初期苗木根系生長所需之較保濕的土壤環境。緣此，本計畫於出栽苗木時以過篩之無石礫土壤加水打成泥漿，將泥漿填入植穴後再置入苗木，以填滿苗木根部與植穴土壤之空隙，而避免苗木懸根的現象；此外，本計畫於土表敷蓋泥炭土(peat)、生物炭(biochar)之介質，期能藉由改善土壤保水力，進而提高苗木存活率。有關本試驗之打漿、敷蓋之設計與操作方法如下：

1. 出栽地點及時間：地號 152，於 2018-04-29 ~ 30 完成出栽。
2. 試驗樹種：臺灣赤楊，選擇 3.5 吋高盆之形質相似苗木出栽。
3. 出栽方法：將試驗地除草整地後，利用 6 吋(15.24 cm)鑽尾之鑽孔機每隔 100 cm 鑽出深約 20 cm 之植穴，以 8 分網目之篩子篩除石礫，剩餘土壤即為過篩土，部分過篩土加水打成泥漿(以下分別簡稱為過篩土、泥漿土)，分組進行苗木出栽：
(1) 對照組(control group, C)—植穴放入適量過篩土，再將苗木置入植穴中，並以過篩土填滿苗木周邊隙縫並壓實土壤，使苗木頸部齊於土表；
(2) 實驗組(test group, T)—植穴放入適量泥漿土，再將苗木置入植穴中，並以泥漿土填滿苗木周邊隙縫，使苗木頸部齊於土表。圖 3-7-15 為本試驗之過篩土、泥漿土出栽方法示意圖。
4. 種植配置與編號規則：苗木分為 C. 對照組過篩土、T. 實驗組泥漿土等 2 種方法出栽，以交叉間隔排列，避免光照或是風向等其他因素影響結果，栽種後進行編號、綁上鋁牌並量測地徑、苗高、冠幅。2 種出栽方法各試驗 90 株樣木，共 180 株。種植配置如圖 3-7-16，在種植後給定苗木唯一編號以表示其出栽處理與相對位置，及樣帶(1 ~ 3)+出栽方法(C、T)+重複樣株流水號，例如 1C35 意為第一條樣帶，對照組，第 35 樣株。

5. 敷蓋方法：均分為 3 組，一組在土壤表層敷蓋泥炭土(peat)，一組敷蓋生物炭(biochar)，一組則為未進行任何敷蓋(2018-06-27 完成敷蓋處理)。3 種敷蓋方法各試驗 60 株樣木，共 180 株，其配置如圖 3-7-16。
6. 定期監測：每季(7 月、10 月、1 月、4 月)定期量測每株臺灣赤楊之地徑、苗高與冠幅。

此外，另選取 4 株苗齡、母樹來源相同且形質大小相似之臺灣赤楊苗木進行地上部與地下部的乾重測量，且依 2 種不同種植方式在實驗地旁各別栽植 5 株臺灣赤楊苗木，均以生物炭敷蓋，於 4th 監測(2019-04)時挖出，測量地上部及地下部乾重與計算其生長量和生長率，並觀察根系的生長狀況。



對照組(C)過篩土	實驗組(T)泥漿土
土壤流動性低，易造成懸根的現象。	土壤流動性高，易填滿栽植穴與根間之細小縫隙。
土壤孔隙過多過大，導致根部較難吸收土壤養分與水分。	土壤孔隙密，根部容易吸收土壤養分及水分。
出栽時土壤水分含量低，導致苗木於出栽前期容易乾枯。	泥漿含有大量水分，提供苗木出栽初期所需之水分，延長苗木存活的時間及降低死亡率。

圖 3-7-15. 過篩土與泥漿土出栽臺灣赤楊苗木之示意圖

主要種植地								
第一道			第二道			第三道		
覆蓋物	苗木編號		覆蓋物	苗木編號		覆蓋物	苗木編號	
無	1C1	1T37	biochar	2C1	2T35	無	3C1	3T18
biochar	1T1	1C37	peat	2T1	2C35	biochar	3T1	3C18
peat	1C2	1T36	無	2C2	2T34	peat	3C2	3T17
無	1T2	1C36	biochar	2T2	2C34	無	3T2	3C17
biochar	1C3	1T35	peat	2C3	2T33	biochar	3C3	3T16
peat	1T3	1C35	無	2T3	2C33	peat	3T3	3C16
無	1C4	1T34	biochar	2C4	2T32	無	3C4	3T15
biochar	1T4	1C34	peat	2T4	2C32	biochar	3T4	3C15
peat	1C5	1T33	無	2C5	2T31	peat	3C5	3T14
無	1T5	1C33	biochar	2T5	2C31	無	3T5	3C14
biochar	1C6	1T32	peat	2C6	2T30	biochar	3C6	3T13
peat	1T6	1C32	無	2T6	2C30	peat	3T6	3C13
無	1C7	1T31	biochar	2C7	2T29	無	3C7	3T12
biochar	1T7	1C31	peat	2T7	2C29	biochar	3T7	3C12
peat	1C8	1T30	無	2C8	2T28	peat	3C8	3T11
無	1T8	1C30	biochar	2T8	2C28	無	3T8	3C11
biochar	1C9	1T29	peat	2C9	2T27	biochar	3C9	3T10
peat	1T9	1C29	無	2T9	2C27	peat	3T9	3C10
無	1C10	1T28	biochar	2C10	2T26	備註： 1.種植地形因現地因素有所調整，無法每列之株數皆相同。 2.底色白色為原質栽植之苗木，淺灰色為打漿栽植之苗木。 3.數蓋物所列之內容為其右側兩株植物地表數蓋何物(biocher 為生物炭，peat 為泥炭土)，如編號1C1之苗木處理為原質栽植且無數蓋、1T1為打漿栽植且數蓋生物炭。		
biochar	1T10	1C28	peat	2T10	2C26			
peat	1C11	1T27	無	2C11	2T25			
無	1T11	1C27	biochar	2T11	2C25			
biochar	1C12	1T26	peat	2C12	2T24			
peat	1T12	1C26	無	2T12	2C24			
無	1C13	1T25	biochar	2C13	2T23			
biochar	1T13	1C25	peat	2T13	2C23			
peat	1C14	1T24	無	2C14	2T22			
無	1T14	1C24	biochar	2T14	2C22			
biochar	1C15	1T23	peat	2C15	2T21			
peat	1T15	1C23	無	2T15	2C21			
無	1C16	1T22	biochar	2C16	2T20			
biochar	1T16	1C22	peat	2T16	2C20			
peat	1C17	1T21	無	2C17	2T19			
無	1T17	1C21	biochar	2T17	2C19			
biochar	1C18	1T20	peat	2C18	2T18			
peat	1T18	1C20						
無	1C19	1T19						

圖 3-7-16. 臺灣赤楊苗木之打漿與數蓋試驗配置圖(地號 152)

本試驗苗木出栽之歷程以時間依序記錄如下及圖 3-7-19：

《出栽》2018-04-30：完成過篩土、泥漿土 2 組出栽方法之試驗配置與赤楊種植作業，綁牌並記錄苗木形質。2018-06-27 完成泥炭土、生物炭、無敷蓋等 3 組敷蓋試驗。

《1st 監測》2018-07-29：調查並記錄臺灣赤楊之形質及生長情形。現地觀察發現臺灣赤楊生長普遍不錯，但許多苗木受風影響彎曲，發現少數苗木被啃食，根據自動相機之拍攝應為山羌所致。

《2nd 監測》2018-10-26：調查並記錄臺灣赤楊之形質及生長情形，發現實施改善措施之組別存活率與苗木生長的情況大致優於無處理，可見篩除石礫、打漿以免懸根是具有一定的改良效果。

《3rd 監測》2019-01-29：監測苗木之樹高、冠幅均有縮減情形，現場觀察推測可能為強風、乾旱、低溫結霜或動物危害等因素導致頂芽、主幹或苗木本身乾枯、折斷、扭曲之緣由。

《4th 監測》2019-04-25：可發現臺灣赤楊於 2019-01-29 監測時受損或生長不良導致形質縮減之樣株恢復情形良好，大部分苗木皆有重新展葉。

《5th 監測》2019-07-29：許多苗木主幹枯死，但皆有從根頸處萌蘖，並無造成苗木大量死亡，此次調查另外發現於 2019-04-25 紀錄為死亡之苗木，少數有萌蘖之新芽，因此打漿栽植並敷蓋泥炭土之組別的存活率上升。

《6th 監測》2019-10-22：從 2018-04-30 出栽後每季的調查，於此季紀錄到最高的生長量，地徑平均約增粗 0.9 cm，樹高則增高約 40 cm，而存活率則無太大變化，可推測為苗木經過一年已適應出栽後環境，並於生長季時大量生長。

不同出栽與敷蓋處理法之存活率與苗木生長量變化如表 3-7-15、圖 3-7-17。2018-04-30 出栽至 2019-10-22 最後一次監測共有 61 株死亡，整體存活率為 66%，從監測數據及現場觀察可看出無論何種栽植方式，臺灣赤楊在 2018-10-26 記錄到較高的死亡率，推測梅雨季節過後的缺水對初出栽至武陵的赤楊可能造成死亡，而打漿的方法能有效降低(2019-10-22 過篩土出栽之苗木存活率 59%，泥漿土出栽之苗木存活率 73%)，探討不同栽植方法會有如此結果之原因，是因為泥漿含水率較高，形狀容易改變，可滲透至根間較小的縫隙，土壤較為密實能讓植株更容易吸收水分與養分，減少環境對於苗木存活之壓力，延緩苗木乾旱逆境而減少其死亡率；相較泥漿土栽植，過篩土栽植因流動性不高，可能仍有部分苗木有懸根的現象，加上土壤水分含量少，因此存活率相對較泥漿土栽植低。

本計畫於 2018-06-27 日完成敷蓋處理，期能保持土壤含水率及改善土壤性質，其結果從表 3-7-15、圖 3-7-17 可看出，無敷蓋物之苗木在 2019-10-22 調查中存活率下降至 60%，而敷蓋生物炭與泥炭土之苗木的存活率分別還有約 70% 與 68%，可看出敷蓋生物炭或泥炭土可提升苗木存活率。

綜合 2 項栽植方法與 3 種敷蓋處理至 2019-10-22 之監測數據來看，存活率最低者為過篩土栽植且無敷蓋物、以及過篩土栽植且敷蓋生物炭者，存活率為 53%；最高者為打漿栽植且敷蓋生物炭者，存活率為 87%，由此可見，經過打漿及敷蓋可增加臺灣赤楊苗木出栽後之存活率，而各種處理法之形質皆有穩定提升，本計畫進一步以獨立樣本 T 檢定分析發現打漿與敷蓋處理對赤楊存活率皆無顯著差異，但由圖 3-7-17 苗木形質生長與存活率折線圖仍可發現其變化。

表 3-7-15. 打漿與敷蓋對臺灣赤楊苗木之影響監測

	株數	1 st 監測 2018-07-29			2 nd 監測 2018-10-26			3 rd 監測 2019-01-29			4 th 監測 2019-04-25			5 th 監測 2019-07-29			6 th 監測 2019-10-22			
		存活率	地徑	苗高	存活率	地徑	苗高	存活率	地徑	苗高	存活率	地徑	苗高	存活率	地徑	苗高	存活率	地徑	苗高	
過篩土出栽	90	93%	0.9	115.2	62%	1.3	129.3	61%	1.5	123.8	60%	1.6	122.4	59%	1.8	159.9	59%	2.6	198.7	
敷蓋處理	biochar	30	87%	0.9	108.6	57%	1.3	117.1	53%	1.4	114.4	53%	1.6	123.0	53%	1.9	153.0	53%	2.6	197.4
	peat	30	97%	0.9	120.8	73%	1.3	136.1	73%	1.5	128.5	73%	1.7	118.0	70%	1.8	166.6	70%	2.6	202.5
	無	30	97%	0.9	115.5	57%	1.3	132.6	57%	1.5	126.7	53%	1.6	127.9	53%	1.9	157.8	53%	2.6	194.8
泥漿土出栽	90	98%	1.0	117.8	81%	1.4	133.5	77%	1.6	130.2	76%	1.8	126.3	76%	2.0	165.3	73%	2.8	209.3	
敷蓋處理	biochar	30	97%	1.0	117.3	90%	1.4	133.6	90%	1.7	127.6	87%	1.8	119.7	87%	2.0	164.7	87%	2.7	201.6
	peat	30	97%	0.9	115.8	77%	1.3	129.3	70%	1.6	131.7	70%	1.8	129.2	73%	2.0	166.1	67%	2.9	216.4
	無	30	100%	1.0	120.2	77%	1.4	137.7	70%	1.6	132.1	70%	1.8	131.7	67%	2.0	165.2	67%	2.9	212.0
總計	180	96%	1.1	116.5	72%	1.3	131.7	69%	1.6	127.4	68%	1.7	124.6	67%	1.9	163.0	66%	2.7	204.6	

註：本表之地徑與苗高皆為平均值，單位皆為 cm。

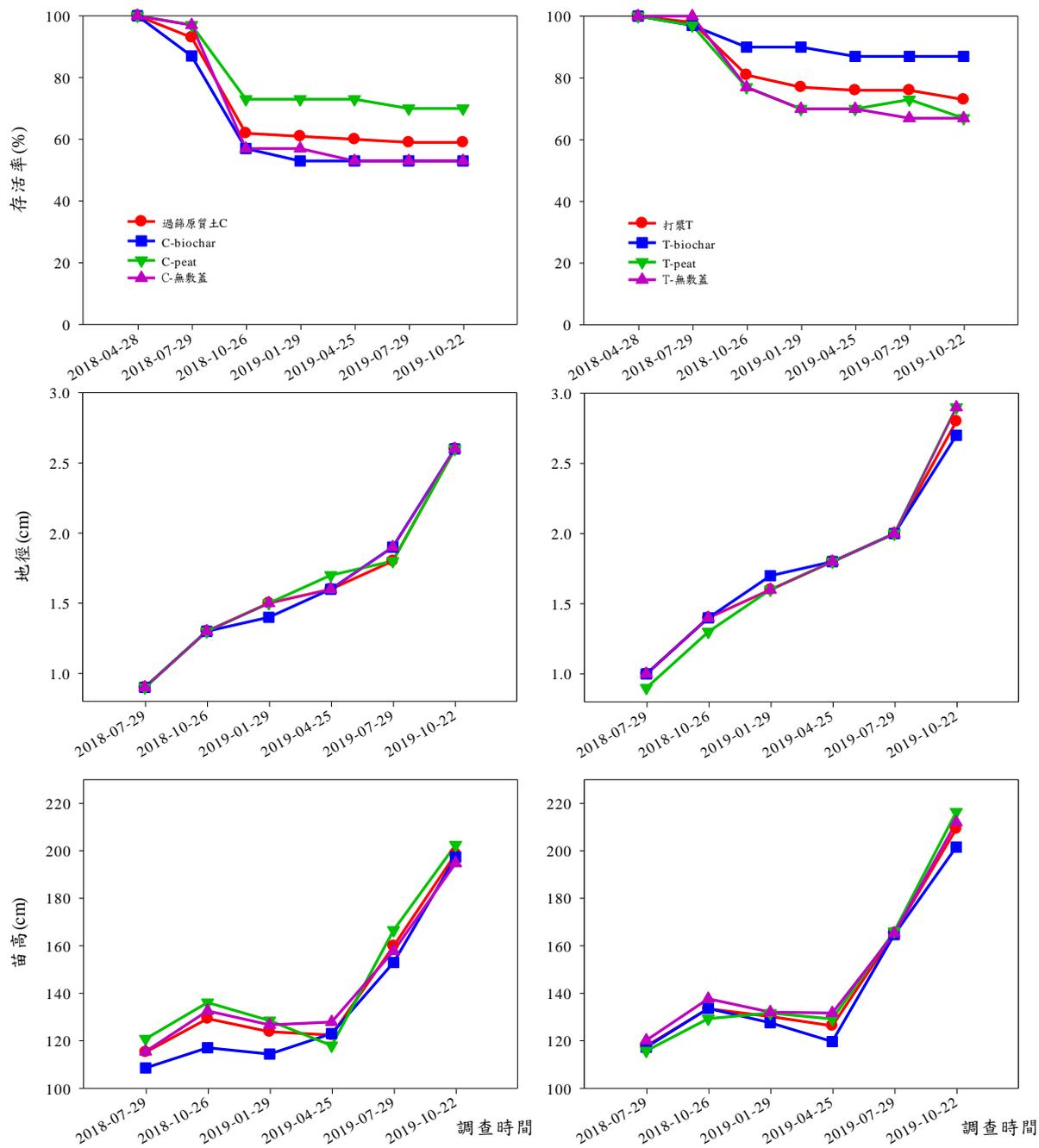


圖 3-7-17. 打漿與敷蓋對臺灣赤楊之存活率與生長表現折線圖

本計畫曾於 2018-05-14 選取 4 株苗木進行形質與生物量測量，並另外栽植 10 株臺灣赤楊(5 株過篩土栽植、5 株泥漿土栽植)，並皆敷蓋生物炭，出栽 1 年後過篩土栽植樣株僅存活 1 株，而泥漿土栽植 5 株皆存活，於 2019-04-25 時挖取 1 株過篩土栽植(C)、3 株泥漿土栽植(T)之樣株進行乾重的測量，將結果製成表 3-7-16，並進行年生長量的比較(圖 3-7-18)。

由表 3-7-16 與圖 3-7-18 可看出，利用泥漿土栽植方式的苗木，無論地徑、苗高、地上部或地下部之生長量皆大於原質栽植，且存活率亦相對較高。

表 3-7-16. 樣株出栽前與不同種植處理 1 年後之形質、生物量比較

		存活率	地徑 (cm)	苗高 (cm)	地上部 乾重(g)	地下部 乾重(g)
出栽前量測 N=4		-	0.8	99.0	9.6	6.1
出栽後量測	過篩土(C) 樣株 N=1	20%	1.6	107.0	42.0	24.0
出栽後量測	泥漿土(T) 樣株 N=3	100%	1.7	129.7	76.8	43.2

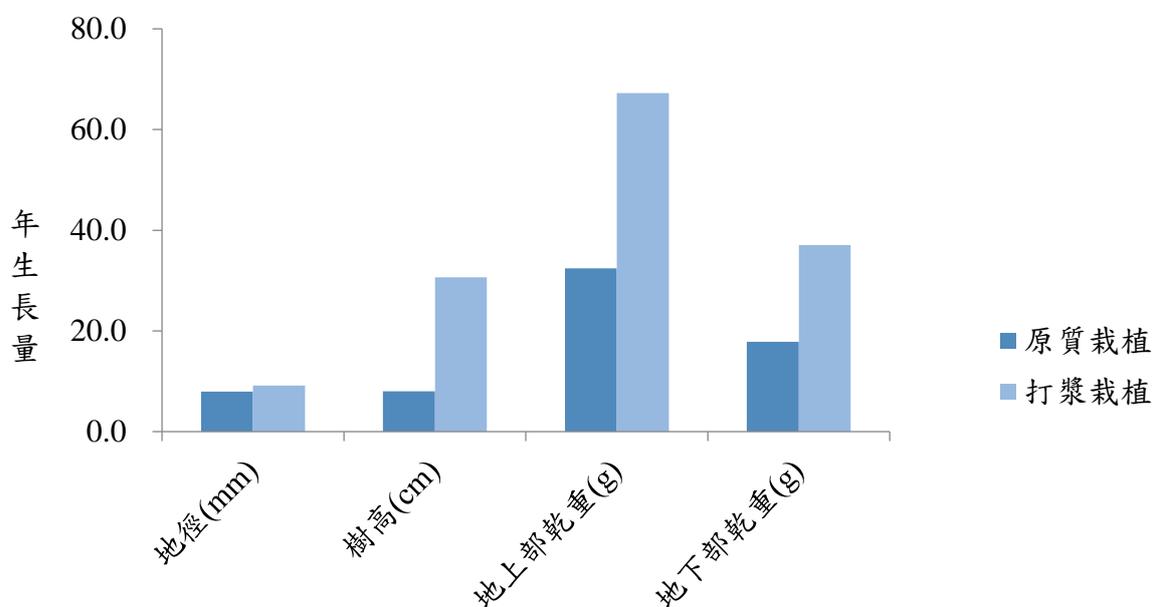


圖 3-7-18. 不同出栽方法 1 年後之苗木生物量比較



2018-04-26 以 6 寸鑽尾機鑽植穴



2018-04-27 無處理 T 之出栽方法，以篩過之原質土壤填入



2018-04-27 以篩過土壤加水攪拌製作泥漿



2018-04-27 試驗配置後之地號 153



2018-04-27 打漿 C 之出栽方法，以泥漿倒入填滿植穴



2018-09-28 無處理 T 中可發現苗木枯死

圖 3-7-19. 赤楊出栽之打漿與敷蓋試驗



2018-10-26 發現臺灣赤楊花序(編號 2C8)



2018-07-29 許多苗木主幹枯死，但具萌蘖



2019-07-29 出栽 1 年後，赤楊苗高 > 2 m



2019-10-22 發現比 2018 年出現更多花序

圖 3-7-19. 赤楊出栽之打漿與敷蓋試驗(續)

第八節 種子直播造林之試驗

8.1 2017 年種子直播試驗

結合種子直播和苗木出栽是促進退化地恢復的最佳方法(Camargo et al. 2002)，種子直播最大的好處是成本較低、可適用於大面積之造林復育；但相較於苗木出栽，種子直播之主要缺點為弱的發芽率、高的苗木死亡率、嚴苛的雜草競爭(Evans 1982)，為了克服以上缺點，本計畫利用各種不同的種子處理方式，以及生育地之改良，藉以了解不同處理方式下種子的發芽率、存活率與生長差異。

8.1.1 種子大小之分類

種子大小是植物的一個關鍵和相對穩定之生活史特徵，種子大小與種子傳播和其它特性如種子散佈、幼苗競爭能力、休眠、萌發、出土、生長率、植物幼苗大小、花的大小、植物壽命以及種子庫的持久性等密切相關(彭閃江等 2004；武高林&杜國禎 2008)。區分種子的大小可利用種子之重量或長度，例如，Bonfil (1998)針對殼斗科櫟屬(*Quercus*)種子區分為小粒(≤ 1.5 g)、中粒(1.5 ~ 2.5 g)、大粒(≥ 2.5 g)，Doust et al. (2006)則將澳洲熱帶雨林樹木之種子區分為小粒(≤ 0.1 g)、中粒(0.1 ~ 4.99 g)、大粒(≥ 5.0 g)；而Woods & Elliott (2004)對泰國北部林木種子區分為小粒(< 5 mm)、中粒(5 ~ 10 mm)、大粒(≥ 10 mm)，Malhado et al. (2015)則將亞馬遜森林樹種之種子區分為非常小粒(≤ 5 mm)、小粒(5 ~ 10 mm)、中粒(10 ~ 20 mm)、大粒(> 20 mm)。因此劃分林木之種子大小可考慮當地樹種種子之質量形體範圍而定之，本計畫檢視武陵地區之林木種子質量形體，將之簡單區分為小粒種子(≤ 0.01 g)、中粒種子(0.01 ~ 1 g)、大粒種子(≥ 1 g)，如表 3-8-1 所示，其種類及說明如下：

1. 大粒種子：即是種子大而不易散播者，單粒均重 ≥ 1 g，包括臺灣胡桃、青剛櫟、三斗石櫟、卡氏槲等。此類種子不易隨風飛散，大多為動物性傳播，常是屬於演替較後期的樹種。

2. 中粒種子：種子大小介於小粒種子與大粒種子之間，單粒均重介於 0.01 ~1 g，包括臭椿、山塩青、朴樹、山柿、臺灣紅榨槭等。此類種子散播力中等，因形態不同可能為風力或動物傳播，屬於演替早期或後期之樹種均有。
3. 小粒種子：即是種子小，單粒均重 ≤ 0.01 g 者，包括臺灣赤楊、山桐子、阿里山榆等，通常散播力較強，大部分為風力傳播，常是屬於演替較早期的樹種。

表 3-8-1. 直播試驗樹種之種子形質、儲藏、試驗組之處理方式

樹種	大小	重量(g/粒)	儲藏	試驗組之種子處理方式
A.臺灣胡桃	大粒	8.96 ~ 11.46	異儲型	全部埋種，試驗組種子鑽透水孔
B.青剛櫟	大粒	1.28 ~ 2.16	異儲型	全部埋種，試驗組種子加忌避劑
C.臭椿	中粒	0.016 ~ 0.024	正儲型	試驗組種子進行造粒
D.山塩青	中粒	0.036 ~ 0.052	中間型	試驗組種子進行造粒
E.朴樹	中粒	0.028 ~ 0.058	正儲型	試驗組種子進行造粒
F.山柿	中粒	0.122 ~ 0.18	中間型	試驗組種子進行造粒
G.臺灣紅榨槭	中粒	0.012 ~ 0.018	中間型	試驗組種子進行造粒
H.臺灣赤楊	小粒	0.0006 ~ 0.0008	正儲型	試驗組種子進行造粒
I.山桐子	小粒	0.0012	中間型	試驗組種子進行造粒
J.阿里山榆	小粒	0.0016 ~ 0.0024	正儲型	試驗組種子進行造粒

8.1.1 種子之儲藏

本項種子直播試驗之種子全部均採集自武陵周邊地區(如圖 1-4-2)，計有 10 種樹種，採集不同樹種之種子後，即進行適當之清理調製，去除不必要雜質，以獲取最大量的純淨種子(郭華仁 2015)。種子採集期大多於秋冬季，至適宜播種期仍有一段時間，有必要依據個別樹種之種子生物學特性進行適當的儲藏；本計畫參考相關文獻(如王世彬等 1995；林讚標 1995；楊正釗 2007)或依實際經驗來判定種子之儲藏性質，表 3-8-1 為種子直播試驗樹種之種子儲藏性質。

8.1.2 種子直播之試驗

影響種子直播造林的原因包括種子之休眠、動物之掠食、發芽率、微生育地環境等。本試驗為綜合檢測不同的種子處理及微生育地處理之成效，共選用 10 種武陵地區之代表樹種(表 3-8-1)，在廢耕地進行種子直播之田野試驗，分別進行種子處理試驗、微生育地處理試驗：

1. 種子之試驗處理：如圖 3-8-1 所示，實心圓表示試驗組(treatment group, T)種子，空心圓表示對照組(control group, C)種子。依大小、樹種進行不同的種子試驗處理：

(1) 大粒種子：包括臺灣胡桃、青剛櫟等 2 種，①臺灣胡桃具有堅硬的種殼，因種殼的物理性壓制或由於種皮不透水、不透氣阻礙胚的生長而呈現休眠(dormancy)，故本研究嘗試以機械破損來促進胡桃種子萌發，所使用的方法為在不傷及胚的情況下，利用鑽孔機將臺灣胡桃種子鑽一小洞，以促使水分和空氣與胚接觸，藉此打破休眠，促進種子發芽，故臺灣胡桃試驗組之種子處理為鑽透水孔，對照組即為無處理。②青剛櫟在先前的直播觀察發現，直播所埋種之青剛櫟有遭到啣齒類動物取食之現象，而關秉宗與林宜靜(2011)於臺灣大學實驗林進行相關復育試驗時，發現種子是否被取食乃為殼斗科能否順利定殖更新的主要限制因子，故本研究嘗試將木醋液作為忌避劑，與水以 1:3 的比例和高嶺土混合造粒，於青剛櫟上包裹約 0.3 ~ 0.5 mm 厚之含忌避劑外層，藉以瞭解可否減少啣齒動物取食殼斗科種子，故青剛櫟試驗組之種子處理為添加忌避劑，對照組即為無處理。大粒種子直播試驗之每一個播種穴均播入 1 粒種子，且播種後覆蓋約種子厚 2 倍的現地土壤。

(2) 中粒種子：包括臭椿、山塩青、朴樹、山柿、臺灣紅榨槭等 5 種，試驗組之種子處理為對種子進行造粒，對照組即為無處理。造粒方式為以高嶺土和水混合造粒，於種子上包裹約 0.1 ~ 0.3 mm 後之外膜。中粒種子直播試驗之每一個播種穴均播入 2 粒種子，且播種後

不再覆蓋土壤。

(3) 小粒種子：包括臺灣赤楊、山桐子、阿里山榆等 3 種，試驗組之種子處理為對種子進行造粒，對照組即為無處理。因小粒種子形質較小，在實務上難以對個別種子完成造粒，為模擬造粒之效果，本試驗將 50 ml 之高嶺土均勻撒在植穴中，將種子均勻放置於高嶺土上並噴水，再以高嶺土覆蓋種子，最後再噴一次水，使種子包夾於高嶺土中，以達模擬種子造粒之效果。小粒種子直播試驗之每一個播種穴均播入 5 粒種子，且播種後不再覆蓋土壤。

2. 微生育地之試驗處理：將 1 m² 之樣格分區為 9 個小格，並於其中間挖出播種穴，每 1 樣格有 9 個播種穴，以供種子直播試驗之用。微生育地之處理主要係要瞭解覆蓋稻殼對種子萌發及後續生長之影響，試驗組為有覆蓋稻殼，大粒及中粒種子於播種後，即於 1/2 樣格覆蓋稻殼，而小粒種子則於種子發芽後，再於 1/2 樣格覆蓋稻殼。覆蓋稻殼的試驗組(mulching group, M)，其樣格位置如圖 3-7-1 灰底所示，而對照組(non-mulching group, N)即為未對種子覆蓋稻殼。

本計畫於武陵廢耕地進行種子直播試驗，相關的試驗設計細節，茲說明如下：

1. 地點：地號 152、153。
2. 試驗樹種：計有 10 種，包括 A.臺灣胡桃、B.青剛櫟、C.臭椿、D.山塩青、E.朴樹、F.山柿、G.臺灣紅榨槭、H.臺灣赤楊、I.山桐子、J.阿里山榆。
3. 種子之試驗處理：如前述及圖 3-7-1 所示，區分為以實心圓表示的試驗組(treatment group, T)種子，以空心圓表示對照組(control group, C)。
4. 微生育地之試驗處理：如前述及圖 3-7-1 所示，區分為覆蓋稻殼的試驗組(mulching group, M)、未覆蓋稻殼的對照組(non-mulching group, N)。

5. 試驗的種子數量：配合上述的種子及微生育地之試驗處理，每一樹種有 2 種子處理 × 2 微生育地處理 × 4 個樣格 × 9 個播種穴 = 144 播種穴，且依種子之大小而有數量上之差異，臺灣胡桃、青剛櫟有 144 播種穴 × 1 粒 = 144 粒種子；臭椿、山塩青、朴樹、山柿、臺灣紅榨槭有 144 播種穴 × 2 粒 = 288 粒種子；臺灣赤楊、山桐子、阿里山榆有 144 播種穴 × 5 粒 = 720 粒種子。
6. 編號規則：結合上述的樹種編號(A~J)、種子處理(T、C)、微生育地處理(M、N)、樣格編號(1~4)，給每個 1 m² 樣格設定唯一編號，再依順序由左至右、由上至下給予每個播種穴編號(1~9)，即樹種編號+種子處理+微生育地處理+樣格編號+播種穴編號，例如 ATM25 意為臺灣胡桃、鑽孔處理、覆蓋稻殼、第 2 樣格、第 5 個播種穴。種子編號則不事先給定，而依發芽順序訂立編號，例如 HCM37-2 則為臺灣赤楊、種子無處理、覆蓋稻殼、第 3 樣格、第 7 個播種穴、第 2 株萌發之小苗。

TN1	TM1	CN1	CM1	TN2	TM2	CN2	CM2
● 1 ● 2 ● 3 ● 4 ● 5 ● 6 ● 7 ● 8 ● 9	● ● ● ● ● ● ● ● ●	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	● ● ● ● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ● ●	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	● ● ● ● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ● ●	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	● ● ● ● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ● ●
CN3	CM3	TN3	TM3	CN4	CM4	TN4	TM4

圖 3-8-1. 種子直播試驗之設計：樣格內實心圓表試驗組種子(T)，空心圓表對照組種子(C)。灰底樣格表有覆蓋稻殼(M)，非灰底樣格表無覆蓋稻殼(N)。

7. 掛牌及量測：種子直播後，即於各 1 m² 樣格進行掛牌，標示樹種及微生育地之處理方式，待種子發芽後記錄其發芽情形，播種後前 30 日每隔 5 日進行小苗萌發率調查，記錄其發芽與否及葉片數，並以竹籤標示種子數>1 之樹種發芽之幼苗。播種第 30 日之後，所有直播試驗之種子，統一於 2017-07-15 及 2017-08-31 調查小苗萌發率，並開始量測小苗之

高度、地徑。

8. 每年 10 月、4 月均調查監測乙次，以瞭解各種苗木之存活及生長情況。

本項種子直播試驗之歷程，以時間依序記錄如下(如圖 3-8-2 所示)：

2016-11~2017-05：配合種子成熟季節，進行採種及後續種子清理與儲藏。

2017-05-20：將臺灣胡桃、青剛櫟依試驗設計方式播種。

2017-05-27~29：將臭椿、山塩青、朴樹、山柿、臺灣紅榨槭、臺灣赤楊、山桐子、阿里山榆依試驗設計方式播種。

2017-06-12：記錄 2 株臺灣胡桃發芽，32 株青剛櫟發芽。

2017-06-19：8 株臺灣胡桃發芽/存活，36 株青剛櫟發芽/存活，1 株死亡。

2017-06-27：9 株臺灣胡桃發芽/存活，39 株青剛櫟發芽/存活，1 株死亡。

2017-07-02：12 株臺灣胡桃發芽/存活，31 株青剛櫟發芽/存活，9 株死亡。

2017-07-11：17 株臺灣胡桃發芽/存活，30 株青剛櫟發芽/存活，5 株死亡。

2017-07-18：19 株臺灣胡桃發芽/存活，33 株青剛櫟發芽/存活，5 株死亡，3 株山柿發芽。

2017-07-25：記錄 20 株臺灣胡桃發芽/存活，22 株青剛櫟發芽/存活，12 株死亡；山柿 2 株存活，1 株死亡。

2017-08-07：記錄 21 株臺灣胡桃發芽/存活，19 株青剛櫟發芽/存活，3 株死亡；山柿 1 株存活，1 株死亡。

2017-08-23：記錄 22 株臺灣胡桃發芽/存活，10 株青剛櫟發芽/存活，9 株死亡；山柿 1 株存活。

2017-08-30：記錄 22 株臺灣胡桃發芽/存活，10 株青剛櫟發芽/存活；山柿皆死亡。

2017-09-07：23 株臺灣胡桃發芽/存活，9 株青剛櫟發芽/存活，1 株死亡。

2017-09-22：記錄 22 株臺灣胡桃發芽/存活，2 株死亡，8 株青剛櫟發芽/存活，1 株死亡。

2017-10-06：22 株臺灣胡桃發芽/存活，7 株青剛櫟發芽/存活，2 株死亡。

2017-10-28：記錄 22 株臺灣胡桃存活，7 株青剛櫟發芽/存活。

2017-12-02：記錄 22 株臺灣胡桃存活，7 株青剛櫟存活。

2018-05-19：記錄 38 株臺灣胡桃發芽/存活，1 株死亡，7 株青剛櫟存活。

2018-10-10：記錄 38 株臺灣胡桃發芽/存活，4 株死亡，4 株青剛櫟存活，3 株死亡。

2019-04-23：記錄 38 株臺灣胡桃存活，2 株青剛櫟存活，2 株死亡。

觀察心得：1. 下凹的播種植穴較能保持土壤濕潤。

2. 播種植穴於豪大雨時可能會積水，並使地表種子浮出。

3. 胡桃自埋種後 1 年仍有新萌芽之記錄，而萌發後之小苗，於 2018-05、2019-04 均可觀察到幼苗可能因降雪與霜凍而受害之現象。

依據監測記錄，此次試驗僅記錄到臺灣胡桃、青剛櫟及山柿發芽，關於此現象，扣除種子本身之發芽力等生物因素外，推測是由於 2017-05 底播種後，遭逢 2017 梅雨季之連續強降雨，導致種子浸泡於植穴中，或種子隨積水上浮而流出植穴，更可能是遭植穴周邊崩落之土石掩埋，致使種子發芽率不佳。另外，山柿僅記錄到少量種子發芽。整體而言，本次試驗並不成功，但由以上的觀察記錄，可獲致一重要現象：**大粒種子(臺灣胡桃)較適宜應用於廢耕地的直播造林**，而殼斗科種子直播可能因啣齒類動物取食，致使降低直播造林之成功率。

依種子處理法而論，臺灣胡桃只有無處理之種子發芽，鑽孔處理則無

任何苗木發芽，此與原先以鑽孔破解種子硬殼加速種子萌發之預想不符，有可能是鑽孔時傷及胚芽而影響其發芽，另此批胡桃係於 2016 秋末採種，之後即加入蛭石保濕置於武陵林下過冬，至 2017 開春時已可發現部分胡桃種子硬殼開裂露白，故此一方式可達到層積之效果而破除其休眠；另外青剛櫟之忌避劑對於苗木之發芽、死亡無顯著影響，稻殼之覆蓋亦然，依據上述觀察記錄之結果，可推論各樹種之種子本身的生物特性才是決定其發芽及存活的最重要因素。

由表 3-8-2 可見青剛櫟、臺灣胡桃與山柿種子苗於 2017-06 ~ 2018-10 間之數量與生長變化，一般而言，大粒種子內儲藏許多養分，因此種子發芽初期是靠胚內部的養分抽芽、生長，之後才是由環境所供給之養分進行發育，臺灣胡桃(31%)與青剛櫟(31%)皆具有一定之發芽率，但青剛櫟發芽率高，死亡率也很高(96%)，推測是由於其初期發芽乃是依賴種子所提供的養分，而並未適應廢耕地之生育環境，又或是發芽之後，遭受某一逆境，而導致大量死亡；至於臺灣胡桃則是具有良好之適應能力，能夠於惡劣的環境中存活，且其生長快速，以 2019-04 測量之數據而論，青剛櫟之平均苗高僅 12.0 cm，而臺灣胡桃之平均苗高則較青剛櫟高(達 20.8 cm)，但由播種(2017-05-27)至最後一次調查 2019-04-23 已監測近 2 年，推測可能是因為養分不足或播種穴較小(為種子直播試驗所設計，約直徑 25 cm 之播種穴)，因此已於 2019-04 時為現存之青剛櫟與臺灣胡桃種子苗施加腐植酸。另外，本計畫於 2018-05 及 2018-10 進行記錄時發現臺灣胡桃於 2017-12 ~ 2018-10 之期間仍有 21 株發芽，由此可知臺灣胡桃種子於播種後一年仍有活力，可長期埋藏於土壤中，故可推論臺灣胡桃為種子直播應用於廢耕地生態復育之良好潛力樹種，然宜進一步探究適合臺灣胡桃種子直播的造林方法。

表 3-8-2. 青剛櫟、臺灣胡桃與山柿於 2017-06 ~ 2019-04 月之發芽與生長

N=144	青剛櫟				
	發芽數(%)	死亡數(%)	存活數	平均地徑(mm)	平均苗高(cm)
2017-06	41 (28%)	0	41		3.2
2017-07	4 (4%)	4 (10%)	41	1.3	4.7
2017-08	0	22 (54%)	19	2.0	5.9
2017-09	0	10 (53%)	9	2.5	6.9
2017-10	0	2 (22%)	7	2.9	6.5
2017-11	-	-	-	-	-
2017-12	0	0	7	2.4	7.5
2018-05	0	0	7	3.1	8.9
2018-10	0	3 (43%)	4	4.0	13.1
2019-04	0	2 (50%)	2	5.1	12.0
total	45 (31%)	43 (96%)	2 (1%)		
N=144	臺灣胡桃				
	發芽數(%)	死亡數(%)	存活數	平均地徑(mm)	平均苗高(cm)
2017-06	9 (6%)	0	9		9.0
2017-07	11 (8%)	0	20	4.2	13.3
2017-08	2 (2%)	0	22	4.1	16.2
2017-09	2 (2%)	2 (9%)	22	6.3	17.2
2017-10	0	0	22	6.8	18.6
2017-11	-	-	-	-	-
2017-12	0	1 (5%)	21	6.9	17.7
2018-05	17 (14%)	0	38	5.8	15.0
2018-10	4 (4%)	4 (11%)	38	6.2	30.9
2019-04	0	0	38	6.4	20.8
total	45 (31%)	7 (16%)	38 (84%)		
N=288	山柿				
	發芽數(%)	死亡數(%)	存活數	平均地徑(mm)	平均苗高(cm)
2017-06	0	0	0	-	-
2017-07	3 (1%)	1 (33%)	2	-	2.2
2017-08	0	2 (100%)	0	-	4.1
total	3 (1%)	3 (100%)	0 (0%)		



臺灣胡桃種子鑽孔



青剛櫟種子包覆忌避劑



中粒種子造粒之相片



現場直播之相片



青剛櫟種子萌發後之小苗(2017-06-27 攝)



胡桃種子萌發後之小苗(2017-06-27 攝)



受嚙齒類動物取食之青剛櫟種子



自動相機拍攝到之嚙齒類動物

圖 3-8-2. 種子直播試驗之相關歷程



臺灣胡桃種子苗 2018-10-10 時葉部病徵



2019-04-25 為青剛櫟小苗施加腐植酸

圖 3-8-2. 種子直播試驗之相關歷程 (續)

8.2 重要直播造林樹種之播種試驗與生長監測

本計畫於 2016、2017 均曾進行大規模的林木種子直播，在所播種的 50 餘種種子中，曾觀察到於廢耕地發芽為小苗者包括：臭椿、臺灣胡桃、楓香、臺灣赤楊、山桐子、石楠、青剛櫟、狹葉櫟、山塩青、阿里山榆、川上氏鵝耳櫪、尖葉槭、檫木、臺灣紅榨槭、山柿、朴樹、合歡等 17 種樹種。然實地觀察，這些種子實生苗在武陵廢耕地之生長情況，以山塩青種子最常見發芽成苗，然可能武陵地區之溫度已接近山塩青適合生育的低溫臨界點，因此山塩青生長速度不若平地之植株，無法與武陵廢耕地之雜草競爭，而不適用於武陵之生態復育造林；綜合 2016、2017 現地觀察所見，僅臭椿與臺灣胡桃直播後之種子苗的生長較為快速，且可與廢耕地之雜草競爭，因此可推測臭椿與臺灣胡桃為適合以種子直播進行造林，為具形成初期森林之潛力樹種。

8.2.1 臭椿、臺灣胡桃種子直播之試驗(地號 96)

種子直播之主要弱點為較低的發芽率、較高的苗木死亡率、嚴苛的雜草競爭(Evans 1982; Florentine & Westbrooke 2004)，本計畫擇定較明顯且可與雜草競爭的臺灣胡桃、臭椿做為試驗對象，此二者能於廢耕地快速生長，並開展羽狀複葉，獲取較大光合作用面積，較具與雜草競爭之優勢，且並無發現山羌取食的情形，因此臭椿與臺灣胡桃具成為武陵廢耕地種子直播的最佳樹種之潛力。本節將針對臭椿與臺灣胡桃試驗之埋種造林方法與成效設計實驗，以探求此兩樹種最佳種子直播造林方式。

本計畫於武陵廢耕地進行臭椿與臺灣胡桃種子覆土深度試驗，相關的試驗設計細節，茲說明如下：

1. 地點：地號 96，本試驗於地號 96 之樣區分配如圖 3-8-3。

2. 試驗樹種：臭椿、臺灣胡桃

(1) 臭椿：

i. 種子之預措處理：選取武陵當地之優良母樹採集種子，翅果採收

後鋪開放置陰乾，並將已乾燥之翅果，去除部分果翅，臭椿種子屬正儲型，置於冰箱內乾燥冷藏。待直播前 1 日泡水 1 晚使種子吸飽水份(但水不可淹過種子)，挑選 216 粒未發芽或發根且形質健康飽滿之種子，做為試驗用種子。

- ii. 微生育地之試驗處理：每隔 100 cm 以手鋤挖一個播種穴，並將播種穴周邊 15 cm 內之雜草去除，依照 6 種覆土處理方式：P(以高嶺土均勻包覆種子造粒)、0、1、2、4、6，將播種穴下挖 0、1、2、4、6 cm 之深度，蒐集該地號週邊之土壤篩除粗石礫後，將臭椿種子放入播種穴內，以鐵尺測量覆土至試驗預定之深度，P(造粒)及覆土深度 0 之臭椿種子播種穴不需下挖亦不需覆土。6 種覆土處理於 6 條樣帶中，每樣帶每種處理方法各 6 重複，共 216 粒($6 \times 6 \times 6 = 216$)臭椿種子覆土試驗樣本。另於此試驗區域外設立大樣格試驗區，將 1m^2 之大樣格以 6 種覆土處理挖掘深度並均勻播種，每一種覆土處理各播 100 粒，共 600 粒($6 \times 100 = 600$)臭椿種子覆土試驗樣本。上述之播種穴與大樣格播種分別簡稱為點播、條播。

(2) 臺灣胡桃：

- i. 種子之預措處理：選取武陵當地之優良母樹採集種子，核果收集後，洗除果肉，臺灣胡桃種子屬異儲型，應混合蛭石保濕，置於 4°C 冰箱內儲藏，直播前 10 日置於武陵常溫下，前 3 日將種子洗淨浸泡使種子吸飽水份並置於半日照處，挑選 144 粒未發芽或發根且形質健康飽滿之種子進行覆土試驗。
- ii. 微生育地之試驗處理：每隔 100 cm 以手鋤挖一個播種穴，並將播種穴周邊 30 cm 內之雜草去除，依照 4 種覆土處理方式 2、4、8、12，將播種穴下挖 2、4、8、12 cm 之深度，蒐集該地號週邊之土壤篩除粗石礫後，將胡桃種子放入播種穴內，以鐵尺測量覆土至試驗預定之深度。4 種覆土處理於 6 條樣帶中每樣帶每種處理方

法各 6 重複，共 144 個(4 × 6 × 6=144)胡桃種子覆土試驗樣本。

3. 種子之試驗處理：如前述所示，以覆土深度做區分，臭椿覆土處理方法共 6 種：P(造粒)、0、1、2、4、6；臺灣胡桃共 4 種：2、4、8、12，其編號方法為處理方法+樣帶順序+樣本重複順序，如 P45 即以造粒處理之第 4 條樣帶的第 5 個樣本。
4. 標記及量測：種子直播時，於各播種穴插上已標記樣本編號之竹籤，標示埋種覆土方法與重複編號。此兩種樹種均於 2018-04-27 完成播種，播種後於每周調查種子情形，自第一顆種子發芽後，如有連續兩周皆未有種子發芽則視為發芽結束，發芽結束前每週計算種子發芽、存活與死亡數量，比較不同處理對於兩樹種之發芽率與發芽日數之影響，自首顆種子發芽後記錄每月種子之發芽、存活及死亡數量，並測量已具真葉之小苗地徑、苗高及葉片數。

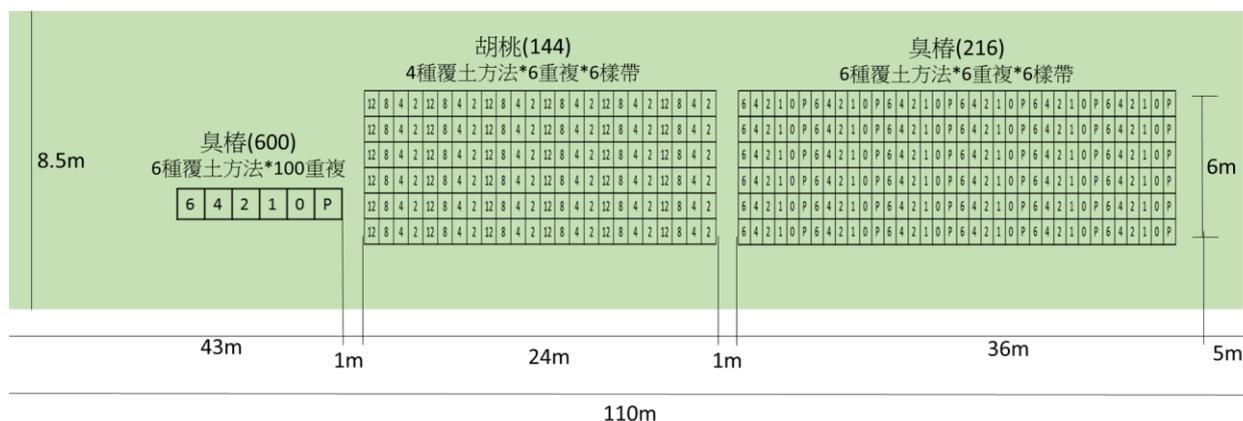


圖 3-8-3. 臭椿與臺灣胡桃埋種覆土深度試驗之樣區配置圖

埋種深度為種子直播造林中十分關鍵的一個步驟，其對種子發芽、苗木後續生長狀況、存活率、造林成本與效益、成林速率等均有直接或間接的影響，張金峰(2018)及謝皓等(2012)研究指出埋種深度過深，則消耗種子營養越多，且造成種子萌發推遲，縮短幼苗的有效生長時間，進而影響後續生長；以武陵長期氣候資料來看，武陵地區有足夠的降雨，乾草原非此地區的環境限制因子，但因廢耕地的土壤小石礫多、孔隙大之特性，使表土保水力甚差，尤其是在7~10月間，強烈的日照、裸露的地被及缺水的表土常使廢耕地出栽苗或種子苗死亡，埋種深度若是太淺，初萌發之幼苗可能因為水分不足而無法存活。

表 3-8-3 為不同覆土深度之發芽情形，在臭椿之點播試驗中，自4月播種後，依序之發芽率為5月7%、6月1%、7月2%、8月4%，至2018-09開始即不再有種子萌發，發芽高峰為播種後1個月，整體發芽率為14%，其中覆土深度2 cm為點播臭椿中之最佳發芽率(22%)；另於表 3-8-3 可發現2018-05記錄有發芽情形之臭椿種子均為有覆土之組別(覆土1、2、4、6 cm均有發芽情形)，無覆土(0 cm)及造粒(P)則至2018-07時才有發芽，有覆土的組別可能因為配合春雨季節播種，土壤中含有水分能促進種子發芽，而無覆土之種子發芽需於空氣中有一定濕度及連續的陰雨天(即此段時間梅雨季)，才能有足夠的水分使沒有土壤覆蓋的種子發芽。然而表 3-8-4 的成苗記錄顯示，在點播的臭椿試驗中，所萌發的30株幼苗至2019-01即全數死亡，整體成苗率為0%，其致死因素由外觀判斷，包括夏季之乾枯死亡與冬季之低溫凍死。再對照表 3-8-4 臭椿大樣格之條播成苗記錄顯示，至2019-10其整體之成苗率為5%，覆土深度1 cm及2 cm均有5%成苗率，覆土深度4 cm可達20%成苗率，並且臭椿直播苗之生長亦以覆土深度4 cm為最佳，同時存活的臭椿幼苗基本上是呈現小區塊狀的群集生長(圖 3-8-5)。因此綜合上述臭椿之播種穴點播與大樣格條播的結果，可知在廢耕地以臭椿進行直播造林，播種方式宜採行小區塊狀的群播，且最佳埋種深度為2~4 cm。

表 3-8-3 為臺灣胡桃不同覆土深度之發芽情形，自 4 月播種後，依序之發芽率為 5 月 1%、6 月 20%、7 月 23%、8 月 3%，至 2018-09 開始即不再有種子萌發，發芽高峰為播種後 2 ~ 3 個月，整體發芽率為 47%，其中覆土深度 4 cm 及 8 cm 均具有最佳發芽率(61%)。臺灣胡桃種子在播種後 2 ~ 3 個月有最佳發芽率，胡桃種子有較堅硬之種殼，需埋種一段時間後待水分進入方能發芽，因此在埋種一段時間後，於 2018-06 ~ 07 之降雨使臺灣胡桃所有覆土深度均達其發芽高峰。表 3-8-4 記錄至 2019-10，臺灣胡桃之整體成苗率為 28%，較佳之成苗率為覆土深度 4 cm (47%)、覆土深度 8 cm (36%)，但於 2018-08 時胡桃試驗區曾遭山豬破壞，有部分種子苗因此受損，因此本次試驗結果對於胡桃種子苗的成苗率有低估之可能；在幼苗後續生長情形方面，胡桃種子以不同埋種深度播種對其後續幼苗之苗高有顯著差異(圖 3-8-4)，大致仍以覆土 4~8 cm 的實生苗表現較佳。因此綜合上述臺灣胡桃之播種結果，可知在廢耕地以臺灣胡桃進行直播造林，播種方式可採行點播，且最佳埋種深度為 4 ~ 8 cm。

表 3-8-3 臭椿與胡桃不同覆土深度於 2018-04 ~ 2019-10 之發芽情形

臭椿發芽數量(發芽率)							
N=216	處理方法/覆土深度(cm)						總計
	P 造粒	0	1	2	4	6	
2018-05	0	0	4	6	3	2	15 (7%)
2018-06	0	0	1	0	2	0	3 (1%)
2018-07	0	2	1	1	0	0	4 (2%)
2018-09	3	4	0	1	0	0	8 (4%)
2018-10	0	0	0	0	0	0	0
2018-11	0	0	0	0	0	0	0
2018-12	0	0	0	0	0	0	0
2019-01	0	0	0	0	0	0	0
2019-02	0	0	0	0	0	0	0
2019-03	0	0	0	0	0	0	0
2019-04	0	0	0	0	0	0	0
2019-10	0	0	0	0	0	0	0
總計	3 (8%)	6 (17%)	6 (17%)	8 (22%)	5 (14%)	2 (6%)	30 (14%)

臺灣胡桃發芽數量(發芽率)					
N=144	處理方法/覆土深度(cm)				總計
	2	4	8	12	
2018-05	0	1	0	0	1 (1%)
2018-06	1	11	12	5	29 (20%)
2018-07	9	10	10	4	33 (23%)
2018-09	4	0	0	1	5 (3%)
2018-10	0	0	0	0	0
2018-11	0	0	0	0	0
2018-12	0	0	0	0	0
2019-01	0	0	0	0	0
2019-02	0	0	0	0	0
2019-03	0	0	0	0	0
2019-04	0	0	0	0	0
2019-10	0	0	0	0	0
總計	14 (39%)	22 (61%)	22 (61%)	10 (28%)	68 (47%)

表 3-8-4 臭椿與胡桃不同覆土深度於 2018-04~2019-10 之成苗情形

臭椿成苗數量(成苗率)							
N=216	處理方法/覆土深度(cm)						總計
	P 造粒	0	1	2	4	6	
2018-05	0	0	0	0	0	0	0
2018-06	0	0	5	6	1	1	13 (6%)
2018-07	0	1	3	3	0	0	7 (3%)
2018-08	0	0	1	1	0	0	2 (1%)
2018-09	3	4	1	2	0	0	10 (5%)
2018-10	3	4	1	1	0	0	9 (4%)
2018-11	3	4	1	1	0	0	9 (4%)
2018-12	3	4	1	1	0	0	9 (4%)
2019-01	3	4	1	1	0	0	9 (4%)
2019-02	0	0	0	0	0	0	0
2019-03	0	0	0	0	0	0	0
2019-04	0	0	0	0	0	0	0
2019-10	0	0	0	0	0	0	0
臭椿大樣格成苗數量(成苗率)							
N=600	處理方法/覆土深度(cm)						總計
	P 造粒	0	1	2	4	6	
2018-05	0	0	1	2	25	11	39 (7%)
2018-06	0	0	0	1	22	7	30 (5%)
2018-07	3	1	4	10	26	1	45 (8%)
2018-08	1	2	5	9	24	1	42 (7%)
2018-09	1	1	5	8	21	1	37 (6%)
2018-10	1	1	5	9	26	1	43 (7%)
2018-11	1	0	5	5	23	1	35 (6%)
2018-12	1	0	5	5	23	1	35 (6%)
2019-01	1	0	5	5	22	1	34 (6%)
2019-02	1	0	5	5	22	0	33 (6%)
2019-03	1	0	5	6	21	0	33 (6%)
2019-04	1	0	5	5	23	0	34 (6%)
2019-10	1 (1%)	0	5 (5%)	5 (5%)	20 (20%)	0	31 (5%)

表 3-8-4 臭椿與胡桃不同覆土深度於 2018-04 ~ 2019-10 之成苗情形(續)

臺灣胡桃成苗數量(成苗率)					
N=144	處理方法/覆土深度(cm)				總計
	2	4	8	12	
2018-05	0	1	0	0	1 (1%)
2018-06	1	12	12	5	30 (21%)
2018-07	9	21	22	8	60 (42%)
2018-08	7	19	16	6	48 (33%)
2018-09	11	20	14	7	52 (36%)
2018-10	11	20	14	7	52 (36%)
2018-11	11	20	14	7	52 (36%)
2018-12	11	20	14	7	52 (36%)
2019-01	11	20	14	7	52 (36%)
2019-02	10	20	14	7	51 (35%)
2019-03	10	20	14	6	50 (35%)
2019-04	10	19	14	6	49 (34%)
2019-10	6 (17%)	17 (47%)	13 (36%)	5 (14%)	41(28%)

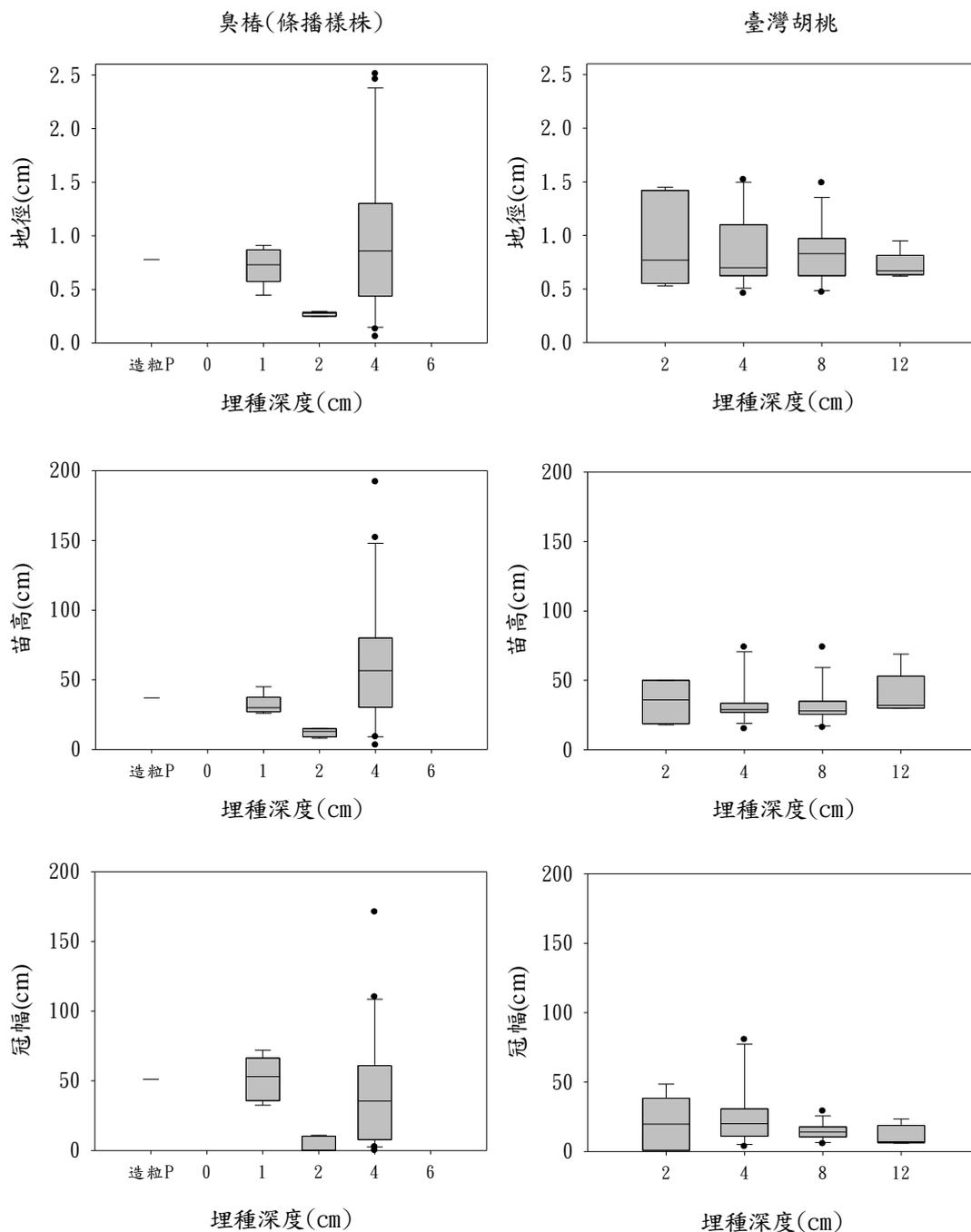


圖 3-8-4. 不同埋種深度下之臭椿與臺灣胡桃幼苗形質生長盒形圖(監測至 2019-10)



2018-04-18 胡桃種子放入蛭石中保濕



2018-04-24 臭椿種子造粒情形



2018-04-26 臭椿與臺灣胡桃浸水情形



2018-04-27 進行胡桃埋種



2018-04-28 清除播種穴周邊雜草



2018-04-28 樣區配置概況



2018-07-29 臺灣胡桃種子苗



2018-07-29 臭椿種子苗

圖 3-8-5. 臭椿與臺灣胡桃種子覆土深度之試驗



2018-08-29 山豬毀壞試驗樣區後之胡桃小
苗狀況



2019-04-23 覆土 4 cm 之臭椿種子苗生長
情形



2019-10-22 臺灣胡桃生長情形



2019-10-22 臭椿大樣格之生長狀況良好

圖 3-8-5. 臭椿與臺灣胡桃種子覆土深度之試驗(續)

8.2.2 臭椿與臺灣胡桃之種子苗生長監測

為進一步瞭解臭椿與臺灣胡桃種子實生苗在廢耕地之生長，本計畫進行以下之量測。表 3-8-5 為臭椿與臺灣胡桃種子苗生長監測之基本資料，其中，臭椿係於 2016-05-21 種子造粒後撒播，而胡桃於 2017-03-28 將已露出胚之種子埋種，圖 3-8-7、圖 3-8-8 為廢耕地內臭椿與臺灣胡桃種子苗之照片。另外，2018 年種子苗調查與造林工程同時進行，因臭椿與臺灣胡桃樣木於 4 月時正處於落葉期、尚未開展新葉，因此工程施作人員誤判使 18 株臺灣胡桃樣木死亡，2018-05 將重新擇選 20 株臺灣胡桃種子苗綁牌並量測形質，記錄其 2018-05 ~ 10 生長季間之形質數據，剩餘 2 株原臺灣胡桃樣木則仍維持記錄生長狀況。

表 3-8-5. 臭椿與臺灣胡桃種子苗生長監測之基本資料

樹種	直播日期及方式	地點及數量	量測日期
臭椿	2016-05-21 種子造粒後撒播	地號 80、81 共 20 樣株	1 st ：2017-08-30 2 nd ：2017-10-28 3 rd ：2018-04-13 4 th ：2018-09-28 5 th ：2019-04-22 6 th ：2019-10-22
臺灣胡桃	2017-03-28 將已露出胚之種子埋種	地號 80 共 22 樣株 原 2 株+新 20 株	1 st ：2017-10-28 2 nd ：2018-04-13 (新) 2018-05-18 3 rd ：2018-09-28 4 th ：2019-04-22 5 th ：2019-10-22

表 3-8-6 為臭椿種子苗之生長記錄，臭椿種子於 2016-05-21 播種後至 2019-10-22 約 3.5 年平均地徑為 4.5 ± 1.7 cm，平均苗高為 178.3 ± 83.5 cm，GI 為 69.24，PI 為 69.24，從數據及現地觀察中可以發現，臭椿為落葉樹種，因季節不同生長差異明顯，其主要於 4 ~ 10 月(即苗木之生長季)進行生長，苗高生長(一次/高/縱向生長)在 8 月底之前殆已完成，落葉之後苗高便幾乎不再生長，但地徑生長(二次/肥大/橫向生長)在 8 ~ 10 月底仍持續發生，由圖 3-8-6 顯示臭椿種子苗於 2018-04 ~ 09、2019-04 ~ 10 時有顯著的形質生長，透過單因子變異數分析臭椿於 6 次監測的生長量變化，其地徑與苗高皆有顯著差異，接著以 scheffe'法多重比較顯示地徑與苗高皆在 5th(2019-04)及 6th(2019-10)監測時有相對顯著的成長，即臭椿在廢耕地播種約 2 年後的生長季能快速抽高、生長成苗。本計畫將現地觀察臭椿種子苗之記錄配合監測資料據以闡述如下：(1) 臭椿種子苗生長快速，播種後一年餘約可生長 33 cm，最高之樣木可達 78 cm；播種後第二年生長季快速抽高，單就該年生長季(約 6 個月)苗高可生長 56.5 cm，最高之植株—編號 12 由 2018-04-13 苗高 71 cm，至 2019-10-22 量測時高達 346 cm，現地生長紀錄如圖 3-8-7；(2) 2018-04-13 可見到臭椿芽部明顯因 2018-04-02 (清晨-1.1 °C)霜凍受損，調查時臭椿種子苗剛萌發新芽或尚無新葉，且頂芽部殆因霜凍受損，故呈現生長緩慢或減少之情況(與 2017-10 相較)，臭椿種子苗之生長，如圖 3-8-7 所示。

表 3-8-7 為臺灣胡桃種子苗之生長記錄，臺灣胡桃種子於 2017-03-28 播種後至 2019-10-22 約 2.5 年平均地徑為 2.1 ± 0.7 cm，平均苗高為 77.1 ± 19.5 cm，GI 為 24.09，PI 為 24.09，從數據及現地觀察中可以發現，胡桃之生長季節與臭椿類似，二者均是於開春時進行高生長，約於 8 月前(落葉後)完成，接著苗木持續進行肥大生長約至 10 月，非生長季時幾乎無變化。由圖 3-8-6 可以觀察到臺灣種子苗於 2019-04 ~ 10 時有顯著的形質生長，透過單因子變異數分析臺灣胡桃於 5 次監測的生長量變化，其地徑與苗高皆有顯著差異，接著以 scheffe'法多重比較顯示地徑與苗高皆在 5th 監測(2019-10)時有相對顯著的成長。由現地觀察臺灣胡桃生長情形與資料分析可發現：(1) 胡桃種子苗生長快速，播種後約 2.5 年約可生長 77.1 cm，最高之樣木可達 100 cm；(2) 2018-04-17 現地觀察發現經怪手挖起的臺灣胡桃實生苗根系發育良好，其地下部根系之發展能大於地上部苗高，如圖 3-8-8，顯示其深根性，此可對照於苗圃中育苗時，臺灣胡桃根甚易伸出盆底；(3) 2018-04-13 可見到胡桃芽部明顯因 2018-04-02 (清晨 -1.1°C) 霜凍受損，調查時種子苗殆於落葉而未萌發新葉，且頂芽部殆因霜凍受損；胡桃種子苗之生長情況，如圖 3-8-6、圖 3-8-8 所示。

綜上所述，臭椿與臺灣胡桃為具形成初期森林之潛力樹種，一年生的高生長約可達 30 cm，且二者均屬羽狀複葉，可開展較大冠幅，獲取較大光合作用面積，苗木亦可於加拿大蓬等高草中生存，根據本計畫直播方法胡桃種子發芽率最高可達 61%、臭椿發芽率最高可達 22%，胡桃種子成苗率最高可達 47%、臭椿成苗率最高可達 20%，未來建議臭椿與臺灣胡桃可採用種子直播之方式造林。

表 3-8-6. 臭椿種子苗之生長監測記錄(2016-05-21 播種)

	2017-08-30 (466 日)	2017-10-28 (525 日)	2018-04-13 (692 日)	2018-09-28 (860 日)	2019-04-22 (1066 日)	2019-10-22 (1249 日)	
株數	20	19	17	19	18	15	
平均地徑(cm)	1.2±0.7	1.5±1.0	1.7±0.9	2.3±1.2	2.8±1.4	4.5±1.7	
地徑生長量(cm)	-	0.3	0.2	0.8	0.4	1.5	-
平均苗高(cm)	33.0±18.1	37.5±20.7	38.3±21.6	87.8±54.9	93.9±62.9	178.3±83.5	
苗高生長量(cm)	-	4.3	-1.5	56.5	6.3	76.2	-
最大苗高(cm)	78.0	91.0	92.0	228.0	256.0	346.0	
最小苗高(cm)	10.0	13.0	19.0	30.0	20.0	47.0	

表 3-8-7. 臺灣胡桃種子苗之生長監測記錄(2017-03-28 播種)

	2017-10-28 (214 日)	2018-04-13 (381 日)	2018-09-28 (549 日)	2019-04-22 (755 日)	2019-10-22 (938 日)	
株數	20	22	22	21	14	
平均地徑(cm)	0.8±0.2	0.9±0.2	1.2±0.3	1.4±0.3	2.1±0.7	
地徑生長量(cm)	-	*0.1	0.3	0.2	0.7	-
平均苗高(cm)	30.2±7.6	32.9±6.5	49.9±7.9	47.0±8.2	77.1±19.5	
苗高生長量(cm)	-	*0.0	17.0	-2.9	29.3	-
最大苗高(cm)	50.0	42.0	65.0	60.0	100.0	
最小苗高(cm)	18.0	18.0	35.0	28.0	30.0	

註：*之樣本數僅 2 株。

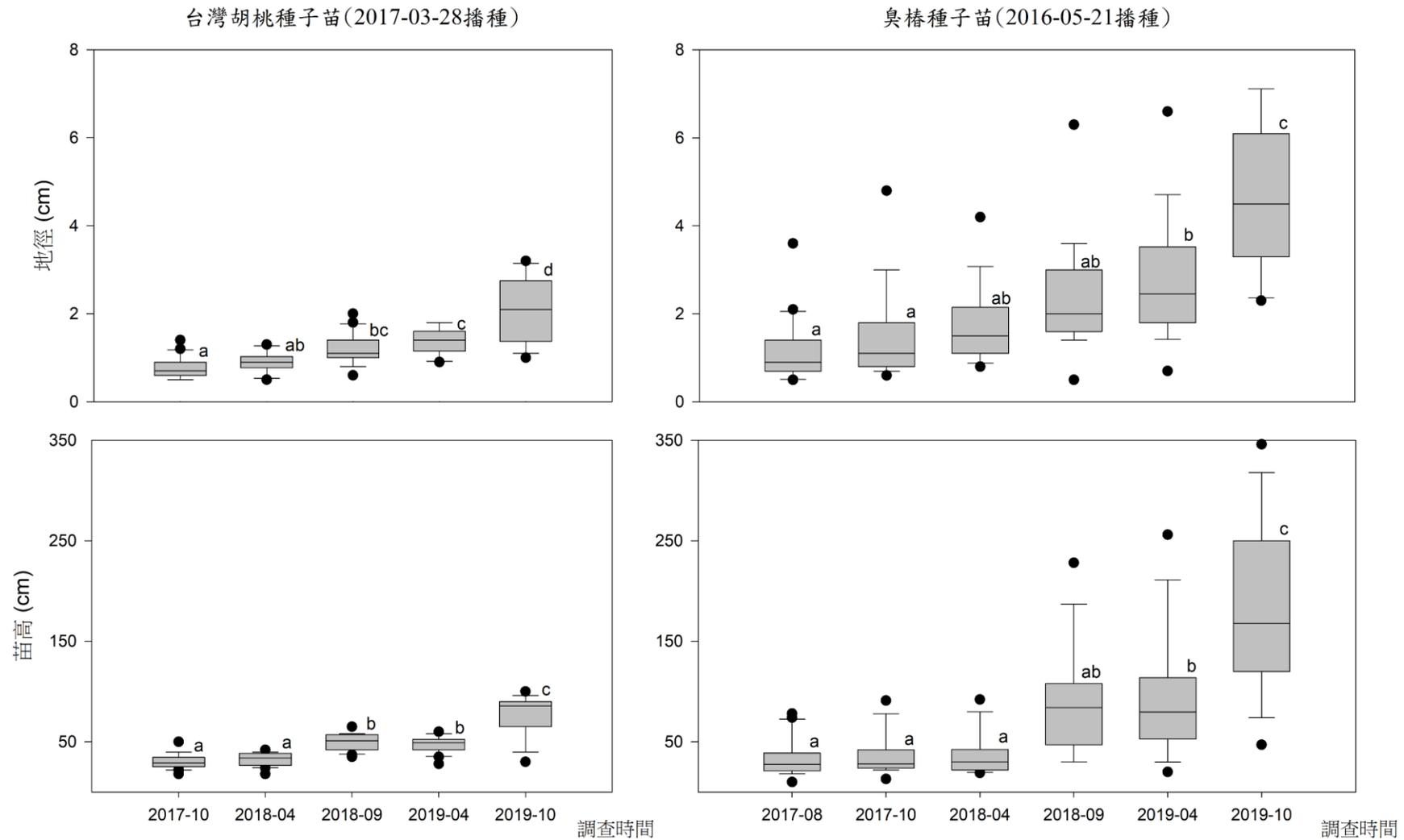


圖 3-8-6. 臺灣胡桃與臭椿種子苗形質生長變化盒型圖



2018-04-28 臭椿頂芽受晚霜凍傷，但仍於頂芽下方再展側芽



2018-05-18 同左植株經 20 日，臭椿側芽之生長十分快速，已超過原先頂芽



2018-05-18 生長良好之臭椿



2018-09-28 直播後第 3 年臭椿樣株，於 2018 年生長季(4~9 月)抽高 136 cm



2018-09-28 被懸鉤子覆蓋之臭椿樣株，在過度蔽陰環境下生長不佳



2019-10-21 臭椿已達苗高 299 cm，然而其中一岔凍傷頂枯

圖 3-8-7. 廢耕地之臭椿種子苗



2017-10-28 生長良好之臺灣胡桃



2017-12-02 臺灣胡桃冬季落葉情形



2018-04-16 臺灣胡桃種子苗具深根性



2018-05-26 生長良好的臺灣胡桃



2018-09-27 胡桃種子苗生長良好且發芽與存活率高



2019-10-21 廢耕地常可見埋種之胡桃種子苗生長良好，可與出栽苗比肩

圖 3-8-8. 廢耕地之臺灣胡桃種子苗

第九節 野生動物危害之防止

本計畫為瞭解野生動物對武陵廢耕地復育造林之影響，設置 Acuman 780、Reconyx XR6、Browning 8FHD 等紅外線自動相機，共 8 部。如圖 3-9-1 所示，至今廢耕地仍不時可見山羌、山豬進入。

有關野生動物之防止方法，可簡單區分為架設物理性的動物圍網、噴灑化學性的動物忌避劑(repellent) (Nolte 1998; Wagner & Nolte 2001; Stutz et al. 2017)，以及評估山羌不愛取食之樹種與植株。

首先在山羌之忌避劑方面，本計畫嘗試以苗高約 30 cm 之山枇杷為材料，分為無處理及噴灑竹酢液(bamboo vinegar)、苯甲地那銨(苦精, denatonium benzoate)、辣椒素(capsaicin)、大蒜精等 5 種處理，每一處理各 3 株樣木於 2017-07-18 種植於地號 80；至 2017-08-29 觀察，各處理之山枇杷苗木均有曾被山羌取食之痕跡，之後苗木殆又因缺水等逆境而枯死。因此，可推論忌避劑無法長期發揮阻止山羌取食苗木之效用，相似地，王穎等(2012)曾於丹大地區利用 Harvahart Deer Off® Deer & Squirrel Repellent (Woodstream corporation)來防治水鹿對苗木的啃食，然而苗木的受損比例仍未下降($\geq 90\%$)。綜合國外相關研究，忌避劑的有效性主要受下列因素影響：(1)忌避劑的濃度(Andelt et al. 1992; Baker et al. 1999)、(2)施用的時間(Andelt et al. 1992; Nolte 1998)、(3)食草的吸引力(Swihart et al. 1991; Nolte 1998; Wagner & Nolte 2001)、(4)鹿隻的飢餓程度(Andelt et al. 1992)、(5)天氣因素(如：降雨)(Sayre & Richmond 1992; Trent et al. 2001)、(6)替代性食物的可得性(Trent et al. 2001)、(7)動物先前的取食經驗與對環境的熟悉度(Trent et al. 2001)。綜上所述，目前在武陵廢耕地上，忌避劑的施用並無法保護山羌偏好取食之苗木種類。

在物理性圍網方面，武陵廢耕地已沿靠森林之邊界架設帶狀圍籬，然由圖 3-9-1 可知，此種帶狀圍籬仍無法阻止山羌進入廢耕地內，相似的情況也可在丹大的廢耕地被觀察到；然本計畫於地號 97 針對 15 種 360 株苗木設置單株圍網，歷經自 2017-04 ~ 2019-04 之 2 年的觀察，並無任何一株苗木因山羌取食而受害，由此可知單株圍網能夠有效避免山羌取食苗木，國外研究亦指出塑膠管和金屬圍籬能有效地隔絕鹿隻(Lavsund 1987; Côté et al. 2004)；李炎壽等(2012)於思源啞口地區

進行造林時，發現苗木發芽時如遭山羌等草食動物取食後，雖罕見死亡，新芽卻無法順利生長，因此其利用繩掛鈴鐺、黑色格網、木樁阻隔三種方法防治山羌，其中以黑色塑膠格網之效果最為顯著，此一方法與本計畫之單株網圍結果相符。因此未來在類似武陵廢耕地之環境下，單株圍網為一可保護苗木免受山羌取食為害之方式，然須注意圍網之大小與材料，以免因單株圍網而影響到苗木之橫向生長。

林美峰等人(2017)於福山地區進行葉片投食試驗結果，推測山羌可能不喜食質地堅硬的葉片(例如殼斗科植物)及富含揮發性精油的葉片(例如樟科植物)，本研究依據實地觀察發現，武陵廢耕地之山羌不喜食殼斗科與山茶科之植物，至於樟科植物，假長葉楠、山肉桂、紅楠等均有部分苗木受取食；而楓樹科之青楓、紅榨槭，榆科之欒木、朴樹，以及薔薇科之山枇杷、夏皮楠、石楠等植物則受到嚴重啃食。因此未來在廢耕地出栽苗木，應避免選用山羌較為偏好的樹種進行栽植，例如山茶科或殼斗科等無偏好或低偏好樹種，即為未來在山羌活動頻繁地區應優先選擇栽植之樹種。

此外，本計畫也發現如臺灣蘋果、食茱萸等苗木，莖幹部具有棘刺，即無山羌取食；同時當苗木之葉部高於地表約 120 cm 以上，即無山羌取食，亦即較高植株可減緩山羌之取食壓力，因此對於部分山羌偏好取食之樹種，宜將苗木培養至枝葉高 120 cm 以上之大苗再行出栽。



2017-12-24 山羌可進入帶狀圍籬之內



2017-07-18 受山羌取食之山枇杷苗木



2018-04-18 單株圍網之苗木未遭山羌取食



2018-04-24 苗木單株圍網之試驗地號



2018-04-17 莖幹具棘刺之臺灣蘋果



2018-05-26 莖幹具瘤刺之食茱萸

圖 3-9-1. 野生動物危害苗木之防止



2018-08-29 地號 96 胡桃種子苗試驗區發現山豬排遺



2018-09-29 受動物危害生長不良的朴樹



2018-09-29 石楠常受山羌取食，無法正常生長(苗高約 60 cm)



2018-10-25 原生長良好之山桐子疑似遭山豬崛起



2019-10-21 地號 12 遭山豬拱過的情景



2019-10-21 山枇杷接近地面之側枝遭山羌啃食至無葉，而較高枝葉健康無損

圖 3-9-1. 野生動物危害苗木之防止 (續)

第四章 結論與建議

第一節 結論

本計畫歷經 3 年之各種試驗與觀察，並綜合苗木存活及生長表現，可將武陵廢耕地之森林復育策略統合如圖 4-1-1，並歸納出以下數點簡要結論：

- 一、武陵廢耕地之復育造林可同時採行苗木出栽、種子直播。
- 二、植穴坑栽種法為適用於武陵廢耕地早期階段之苗木出栽方法。
- 三、打漿及敷蓋之處理措施能改善於廢耕地出栽苗木的存活率。
- 四、適於武陵廢耕地之生態造林時機為 4 月 15 日至 6 月 30 日梅雨季的陰雨天氣。
- 五、綜合監測資料分析與現場觀察結果，可歸納出 8 種適合武陵廢耕地早期階段出栽之樹種：臺灣赤楊、山桐子、檫木、山柿、阿里山榆、朴樹、山枇杷、石楠，但應根據不同樹種特性及環境條件注意其種植相關細節(表 4-1-1)，以提高存活率與生長量。
- 六、紅楠、大葉石櫟、木荷等偏演替後期之樹種，較難適應廢耕地目前之開闊、劇變的劣化環境，應待臺灣赤楊等演替早期樹種長大後，再於其林下進行演替後期樹種之豐增補植。
- 七、受限於武陵廢耕地之生物性與非生物性的苗木定殖障礙，目前較適宜採用種子直播復育造林之樹種為臭椿、臺灣胡桃。
- 八、防止山羌取食苗木：(1) 化學忌避劑無法長期防止山羌取食苗木；在廢耕地周邊設置帶狀圍籬無法阻止野生動物進入廢耕地，而苗木單株圍網則可有效阻止山羌取食苗木。(2) 臺灣蘋果、食茱萸等莖幹具棘刺之苗木，可防止山羌取食苗木。(3) 對於部分山羌偏愛取食之樹種，未來宜培育為較大苗木(枝葉高約 120 cm 以上)再行出栽。

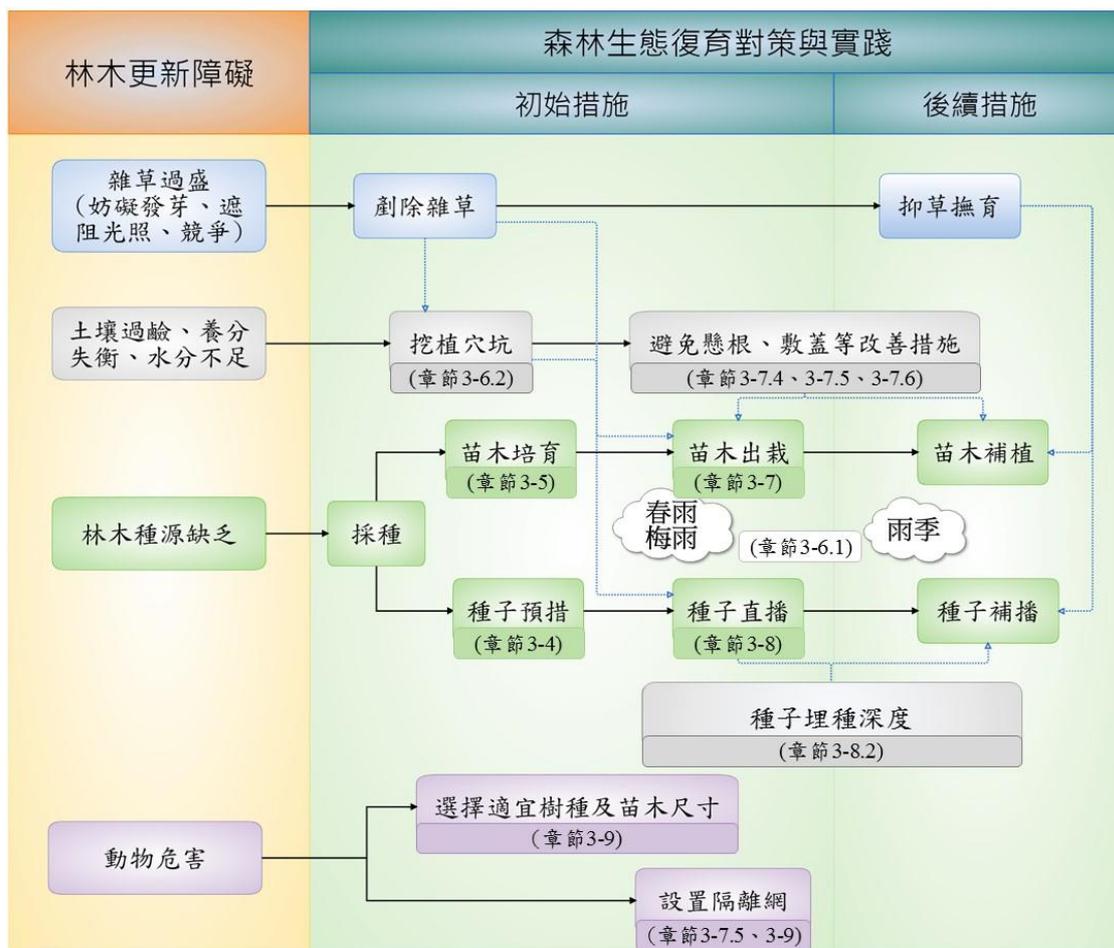


圖 4-1-1. 武陵廢耕地之森林復育策略

表 4-1-1. 8 種推薦樹種之種植相關細節

樹種	適時出栽 (4/15 ~ 6/30 之雨季)	植穴坑	打漿	以大苗出栽	抑草除蔓
臺灣赤楊	✓	✓	✓		✓
山桐子	✓	✓	✓		✓
欖木	✓	✓	✓		✓
山柿	✓	✓	✓		✓
阿里山榆	✓	✓	✓		✓
朴樹	✓	✓	✓	✓	✓
山枇杷	✓	✓	✓	✓	✓
石楠	✓	✓	✓	✓	✓

第二節 建議

立即可行之建議

國內民眾已常參與一般的植樹活動，雪霸國家公園觀霧地區亦有民眾參與之工作假期，未來武陵廢耕地之生態造林為一難得的復育實作機會，亦可考慮請志工或民眾來共同參與。

中長期建議

近年來世界各國因社經因素轉變、環保意識覺醒，許多的山區耕作地正逐漸被荒廢，而在台灣的中海拔山區，包括丹大、梨山、武陵等地，也已有廣達數百公頃的超限農耕地被強制收回，這些廢耕地本身其實就是不當利用或過度開發的退化地，未來應配合分析此一本土退化生態系之特性，並積極進行生態復育，將已呈嚴重劣化的高山廢耕地恢復為原生的、多樣化的、健康的、多層次的森林生態系。

引用文獻

- Aber JD, Jordan III WR (1985) Restoration ecology: an environmental middle ground. *Bioscience* 35: 399.
- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998) Crop Evapotranspiration- Guidelines for Computing Crop Water Requirements-FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Andelt WF, Baker DL, Burnham KP (1992) Relative preference of captive cow elk for repellent-treated diets. *The Journal of Wildlife Management* 56: 164-173.
- Anderson MK (2005) *Tending the Wild: Native American Knowledge and the Management of California's Natural Resources*. University of California Press, Berkeley.
- Andre FC, James A (2007) *Ecological Restoration*. Connecticut Avenue, NW, Suite 300, Washington, DC.
- Arnold MA, McDonald GV, Bryan DL (2005) Planting depth and mulch thickness affect establishment of green ash (*Fraxinus pennsylvanica*) and bougainvillea goldenraintree (*Koelreuteria bipinnata*). *Journal of Arboriculture* 31(4): 163.
- Aronson J, Floret C, Le Floc'h E, Ovalle C, Pontanier R (1993) Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands. I. a view from the South. *Restoration Ecology* 1: 8-17.
- Athy ER, Keiffer CH, Stevens MH (2006) Effects of mulch on seedlings and soil on a closed landfill. *Restoration Ecology* 14: 233-241.
- Baker DL, Andelt WF, Burnham KP, Shepperd WD (1999) Effectiveness of hot sauce and deer away repellents for deterring elk browsing of aspen sprouts. *The Journal of Wildlife Management* 63(4): 1327-1336.
- Bakker JD, Colasurdo LB, Evans JR (2012) Enhancing Garry oak seedling performance in a semiarid environment. *Northwest Science* 86: 300-309.
- Benayas JMR (2005) Restoring forests after land abandonment. In: Mansourian S, Vallauri D (eds.) *Forest Restoration in Landscapes: Beyond Planting Trees*. pp. 356-360. Springer, New York.
- Bonfil C (1998) The effects of seed size, cotyledon reserves, and herbivory on seedling survival and growth in *Quercus rugosa* and *Q. laurina* (Fagaceae). *American Journal of Botany* 85(1):79-87.

- Bradshaw AD (1987) Restoration: An acid test for ecology. In: Jordon WR, Gilpin ME, Aber JD (eds.) *Restoration Ecology: A Synthetic Approach to Ecological Research*. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 23-29.
- Bradshaw AD (1997) What do we mean by restoration? In: Urbanska KM, Webb and NR, Edwards PJ (eds.) *Restoration Ecology and Sustainable Development*. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 8-14.
- Bradshaw AD (2004) The role of nutrients and the importance of function in the assembly of ecosystems. In: Vicky MT, Richard JH, Tim N, Stefan H (eds.) *Assembly Rules and Restoration Ecology*. Connecticut Avenue, NW, Suite 300, Washington, DC. pp. 325-340.
- Breshears DD (2006) The grassland-forest continuum: trends in ecosystem properties for woody plant mosaics? *Frontiers in Ecology and the Environment* 4(2): 96-104.
- Burdett AN (1990) Physiological processes in plantation establishment and the development of specifications for forest planting stock. *Canadian Journal of Forest Research* 20(4): 415-427.
- Burnette MC, Agouridis CT (2014) Streambank Erosion. *Agriculture and Natural Resources Publications* 129. https://uknowledge.uky.edu/anr_reports/129
- BWSR (Minnesota Board of Water and Soil Resources) (2013) *Native Vegetation Establishment and Enhancement Guidelines - Minnesota*. http://www.bwsr.state.mn.us/native_vegetation/Updated_seeding-guidelines_021014.pdf
- Cairns J, Heckman JR (1996) Restoration ecology: the state of emerging field. *Annual Review of Energy and Environment* 21: 167-189.
- Camargo JLC, Ferraz IDK, Imakawa AM (2002) Rehabilitation of degraded areas of central Amazonia using direct sowing of forest tree seeds. *Restoration Ecology* 10: 636-644.
- Chazdon RL (2008) Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *Science* 320(5882):1458-1460.
- Chiu CA, Lin PH, Lu KC (2009) GIS-based tests for quality control of meteorological data and spatial interpolation of climatic data: a case study in mountainous Taiwan. *Mountain Research and Development* 29(4): 339-349.
- Choi YD (2004) Theories for ecological restoration in changing environment: toward 'futuristic' restoration. *Ecological Research* 19: 75-81.
- Clewell AF (2000) Restoring for natural authenticity. *Ecological Restoration* 18(4): 216-217.
- Cortina J, Maestre FT, Vallejo R, Baeza MJ, Valdecantos A, Pérez-Devesa M (2006) Ecosystem structure, function, and restoration success: Are they related? *Journal for Nature Conservation* 14(3): 152-160.

- Côté SD, Rooney TP, Tremblay JP, Dussault C, Waller DM (2004) Ecological impacts of deer overabundance. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 35: 113-147.
- Cramer VA, Hobbs RJ (eds) (2007) *Old Fields: Dynamics and Restoration of Abandoned Farmland*. Island Press, London.
- Cramer VA, Hobbs RJ, Standish RJ (2008) What's new about old fields? Land abandonment and ecosystem assembly. *Trends in Ecology and Evolution* 23: 104-112.
- De Steven D (1991) Experiments on mechanisms of tree establishment in old-field succession: seedling survival and growth. *Ecology* 72(3): 1076-1088.
- Devine WD, Harrington CA, Leonard LP (2007) Post-planting treatments increase growth of Oregon white oak (*Quercus garryana* Dougl. ex Hook.) seedlings. *Restoration Ecology* 15: 212-222.
- Dorner J (2002) An introduction to using native plants in restoration projects. Center for Urban Horticulture, University of Washington, Seattle. Available online < <http://www.nps.gov/plants/restore/pubs/intronatplant>.
- Dostálek J, Weber M, Matula S, Frantík T (2007) Forest stand restoration in the agricultural landscape: the effect of different methods of planting establishment. *Ecological Engineering* 29: 77-86.
- Doust SJ, Erskine PD, Lamb D (2006) Direct seeding to restore rainforest species: Microsite effects on the early establishment and growth of rainforest tree seedlings on degraded land in the wet tropics of Australia. *Forest Ecology and Management* 234:333-343.
- Egan D, Hjerpe EE, Abrams J (2011) *Human Dimensions of Ecological Restoration- Integrating Science, Nature, and Culture*. Island Press/Center for Resource Economics:412.
- Elliott S (2016) The potential for automating assisted natural regeneration of tropical forest ecosystems. *Biotropica* 48: 825-833.
- Elliott S, Blakesley D, Hardwick K (2013) *Restoring Tropical Forests: a Practical Guide*. Kew Publishing, Royal Botanic Gardens, Kew.
- Elliott S, Navakitbumrung P, Kuarak C, Zangkum S, Anusarnsunthorn V, Blakesley D (2003) Selecting framework tree species for restoring seasonally dry tropical forests in northern Thailand based on field performance. *Forest Ecology and Management* 184(1): 177-191.
- Evans J (1982) *Plantation Forestry in the Tropics*. Oxford University Press, Oxford.
- Florentine SK, Pohlman CL, Westbrooke ME (2016) The effectiveness of different planting frameworks for recruitment of tropical rainforest species on ex-rainforest land. *Restoration Ecology* 24(3): 364-372.

- Florentine SK, Westbrooke ME (2004) Evaluation of alternative approaches to rainforest restoration on abandoned pasturelands in tropical north Queensland, Australia. *Land Degradation & Development* 15: 1-13.
- Gkaraveli A, Good JEG, Williams JH (2004) Determining priority areas for native woodland expansion and restoration in Snowdonia National Park, Wales. *Biological Conservation* 115(3): 395-402.
- Goebel PC, Wyse TC, Corace III RG (2005) Determining reference ecosystem conditions for disturbed landscapes within the context of contemporary resource management issues. *Journal of Forestry* 103(7): 351-356.
- Grenfell MC, Ellery WN, Garden SE, Dini J, van der Valk AG (2007) The language of intervention: a review of concepts and terminology in wetland ecosystem repair. *Water SA* 33:43-50.
- Gurnell A, Tockner K, Edwards P, Petts G (2005) Effects of deposited wood on biocomplexity of river corridors. *Frontiers in Ecology and the Environment* 3(7):377-382.
- Guzmán-Luna A, Martínez-Garza C (2016) Performance of 15 tropical tree species recruited or transplanted on restoration settings. *Botanical Sciences* 94: 773.
- Haase DL, Rose R (1993) Soil moisture stress induces transplant shock in stored and unstored 2+ 0 Douglas-fir seedlings of varying root volumes. *Forest Science* 39(2): 275-294.
- Hardwick K, Healey JR, Elliott S, Blakesley D (2004) Research needs for restoring seasonal tropical forests in Thailand: accelerated natural regeneration. *New Forests* 27: 285-302.
- Higgs E (2003) *Nature by Design: People, Natural Processes, and Ecological Restoration*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Hoffmann WA, Poorter H (2002) Avoiding bias in calculations of relative growth rate. *Annals of Botany* 90(1): 37-42.
- Holl KD, Aide TM (2011) When and where to actively restore ecosystems? *Forest Ecology and Management* 261(10): 1558-1563.
- Holl KD, Loik ME, Lin EH, Samuels IA (2000) Tropical montane forest restoration in Costa Rica: overcoming barriers to dispersal and establishment. *Restoration ecology* 8: 339-349.
- Hueso-González P, Martínez-Murillo JF, Ruiz-Sinoga JD (2016) Effects of topsoil treatments on afforestation in a dry Mediterranean climate (southern Spain). *Solid Earth* 7(5): 1479.
- Inman-Narahari F, Ostertag R, Asner GP, Cordell S, Hubbell SP, Sack L (2014) Trade-offs in seedling growth and survival within and across tropical forest microhabitats. *Ecology and evolution* 4(19): 3755-3767.

- ITTO (2002) ITTO guidelines for the restoration, management and rehabilitation of degraded and secondary tropical forests. ITTO Policy Development Series 13:84.
- Jackson L, Lopoukhine N, Hillyard D (1995) Ecological restoration: a definition and comments. *Restoration Ecology* 3:71-75.
- Jiménez MN, Fernández-Ondoño E, Ripoll MÁ, Castro-Rodríguez J, Huntsinger L, Navarro FB (2013) Stones and organic mulches improve the *Quercus ilex* L. afforestation success under Mediterranean climatic conditions. *Land Degradation & Development* 27: 357-365.
- Jiménez MN, Pinto JR, Ripoll MA, Sánchez-Miranda A, Navarro FB (2017) Impact of straw and rock-fragment mulches on soil moisture and early growth of holm oaks in a semiarid area. *CATENA* 152: 198-206.
- Jones HP, Schmitz OJ (2009) Rapid Recovery of Damaged Ecosystems. *PLOS ONE* 4(5): e5653. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0005653>
- Jordan III WR (2003) *The Sunflower Forest: Ecological Restoration and the New Communion with Nature*. University of California Press, Berkeley.
- King EG, Hobbs RJ (2006) Identifying Linkages among Conceptual Models of Ecosystem Degradation and Restoration: Towards an Integrative Framework. *Restoration Ecology* 14(3):369-378.
- Knowles OH, Parrotta JA (1995) Amazon forest restoration: an innovative system for native species selection based on phonological data and field performance indices. *The Commonwealth Forestry Review* 74:230-243.
- Krystyna MU, Nigel RW, Peter JE (1997) *Restoration Ecology and Sustainable Development*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Kuo YL, Yeh CL (2015) Photosynthetic capacity and shade tolerance of 180 native broadleaf tree species in Taiwan. *Taiwan Journal of Forest Science* 30(4): 229-243.
- Lamb D, Gilmour D (2003) *Rehabilitation and Restoration of Degraded Forests*. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK and WWF, Gland, Switzerland. x +110 pp.
- Lavsund S (1987) Moose relationships to forestry in Finland, Norway and Sweden. *Swedish Wildlife Research* 1: 229-244.
- Li MS (2006) Ecological restoration of mineland with particular reference to the metalliferous mine wasteland in China: a review of research and practice. *Science of the Total Environment* 357: 38-53.
- Malhado ACM, Oliveira-Neto JA, Stropp J, Strona G, Dias LCP, Pinto LB, Ladle RJ (2015) Climatological correlates of seed size in Amazonian forest trees. *Journal of Vegetation Science* 26(5):956-963.

- Mangueira JRS, Holl KD, Rodrigues RR (2019) Enrichment planting to restore degraded tropical forest fragments in Brazil. *Ecosystems and People* 15(1): 3-10.
- McAlpine C, Catterall CP, Nally RM, Lindenmayer D, Reid JL, Holl KD, Andrew F Bennett AF, Runtig RK, Wilson K, Hobbs RJ, Seabrook L, Cunningham S, Moilanen A, Maron M, Shoo L, Lunt I, Vesk P, Rumpff L, Martin TG, Thomson J, Possingham H (2016) Integrating plant-and animal-based perspectives for more effective restoration of biodiversity. *Frontiers in Ecology and the Environment* 14(1): 37-45.
- Mendoza I, Gómez-Aparicio L, Zamora R, Matías L (2009) Recruitment limitation of forest communities in a degraded Mediterranean landscape. *Journal of Vegetation Science* 20: 367-376.
- Miyawaki A (1993) Restoration of native forest from Japan to Malaysia. In: Lieth H, Lohmann M (eds.) *Restoration of Tropical Forest Ecosystems*. pp. 5-24. Kluwer Academic, Dordrecht, Netherlands.
- Nadal-Sala D, Sabaté S, Sánchez-Costa E, Poblador S, Sabater F, Gracia C (2017) Growth and wateruse performance of four co-occurring riparian tree species in a Mediterranean riparian forest. *Forest Ecology and Management* 396: 132-142.
- Nepstad DC, Uhl C, Pereira CA, da Silva JMC (1996) A comparative study of tree establishment in abandoned pasture and mature forest of eastern Amazonia. *Oikos* 76: 25-39.
- Nolte DL (1998) Efficacy of selected repellents to deter deer browsing on conifer seedlings. *International Biodeterioration & Biodegradation* 42: 101-107.
- Orsi F, Geneletti D (2010) Identifying priority areas for forest landscape restoration in Chiapas (Mexico): an operational approach combining ecological and socioeconomic criteria. *Landscape and Urban Planning* 94(1): 20-30.
- Quintana-Ascencio PF, Ramírez-Marcial N, González-Espinosa M, Martínez-Icó M (2004) Sapling survival and growth of coniferous and broad-leaved trees in successional highland habitats in Mexico. *Applied Vegetation Science* 7(1): 81-88.
- Raman TR, Mudappa D, Kapoor V (2009) Restoring rainforest fragments: survival of mixed native species seedlings under contrasting site conditions in the western Ghats, India. *Restoration Ecology* 17: 137-147.
- Reid JL, Holl KD (2013) Arrival \neq survival. *Restoration Ecology* 21: 153-155.
- Roberts L, Stone R, Sugden A (2009) The rise of restoration ecology. *Science* 325: 555.
- Robinson GR, Handel SN (2000) Directing spatial patterns of recruitment during an experimental urban woodland reclamation. *Ecological Applications* 10: 174-188.

- Rood SB, Samuelson GM, Braatne JH, Gourley CR, Hughes FMR, Mahoney JM (2005) Managing river flows to restore floodplain forests. *Frontiers in Ecology and the Environment* 3(4): 193-201.
- Sayre RW, Richmond ME (1992) Evaluation of a new deer repellent on Japanese yews at suburb, an homesites. *Proceedings of the Eastern Wildlife Damage Control Conference* 5: 38-93.
- Schmidt L (2008) A review of direct sowing versus planting in tropical afforestation and land rehabilitation. *Museum Tusulanum. Development and Environment*, No. 10-2008.
- SERI (Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group) (2004) *The SER International Primer on Ecological Restoration*. www.ser.org & Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- Shea K (2007) How the wood moves. *Science* 315: 1231-1232.
- Shoo LP, Catterall CP (2013) Stimulating natural regeneration of tropical forest on degraded land: approaches, outcomes, and information gaps. *Restoration Ecology* 21: 670-677.
- Shono K, Cadaweng EA, Durst PB (2007) Application of assisted natural regeneration to restore degraded tropical forestlands. *Restoration Ecology* 15(4): 620-626.
- Soukhanov AH (ed.) (1992) *American Heritage Dictionary of the English Language* (3rd ed). Houghton Mifflin, Boston.
- Stanturf JA, Lamb D, Madsen P (eds.) (2012) *Forest Landscape Restoration: Integrating Natural and Social Sciences*. Springer, New York.
- Stanturf JA, Palik BJ, Dumroese RK (2014) Contemporary forest restoration: a review emphasizing function. *Forest Ecology and Management* 331: 292-323.
- Stephanie M, Daniel V, Nigel D (2005) *Forest Restoration in Landscape: Beyond Planting Trees*. Springer, New York.
- Stutz RS, Croak BM, Leimar O, Bergvall UA (2017) Borrowed plant defences: Detering browsers using a forestry by-product. *Forest Ecology and Management* 390: 1-7.
- Su HJ (1984) Studies on the climate and vegetation types of the natural forests in Taiwan (2) Altitudinal vegetation zone in relation to temperature gradient. *Quarterly Journal of Chinese Forestry* 17(4): 57-73.
- Suding KN (2011) Toward an era of restoration in ecology: successes, failures, and opportunities ahead. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 42: 465-487.
- Swihart RK, Pignatello JJ, Mattina MJI (1991) Aversive response of white-tailed deer, *Odocoileus virginianus*, to predator urines. *Journal of Chemical Ecology* 17(4):767-777.

- Trent A, Nolte DL, Wagner KK (2001) Comparison of commercial deer repellents. Tech Tips 0124-2331-MTDC, United States Department of Agriculture Forest Service.
- Truax B, Gagnon D (1993) Effects of straw and black plastic mulching on the initial growth and nutrition of butternut, white ash and bur oak. *Forest Ecology and Management* 57: 17-27.
- Valdecantos A, Fuentes D, Smanis A, Llovet J, Morcillo L, Bautista S (2014) effectiveness of low-cost planting techniques for improving water availability to *Olea europaea* seedlings in degraded drylands. *Restoration ecology* 22: 327-335.
- Wagner KK, Nolte DL (2001) Comparison of active ingredients and delivery systems in deer repellents. *Wildlife Society Bulletin* 29: 322-330.
- Wang CK (1962) Some environmental conditions and responses of vegetation on Taiwan. *Biological Bulletin (Tunghai University)* 11: 1-19.
- Woods K, Elliott S (2004) Direct Seeding for forest restoration on abandoned agricultural land in northern Thailand. *Journal of Tropical Forest Science* 16(2):248-259.
- Young TP (2000) Restoration ecology and conservation biology. *Biological Conservation* 92: 73-83.
- Young TP, Petersen DA, Clary JJ (2005) The ecology of restoration: historical links, emerging issues and unexplored realms. *Ecology Letters* 8: 662-673.
- Zahawi RA (2008) Instant trees: using giant vegetative stakes in tropical forest restoration. *Forest Ecology and Management* 255(7):3013-3016.
- Zahawi RA, Holl KD (2009) Comparing the Performance of Tree Stakes and Seedlings to Restore Abandoned Tropical Pastures. *Restoration Ecology* 17(6):854-864.
- 中華水土保持學會 (2005) 水土保持手冊。行政院農業委員會水土保持局。
- 方精云 (2001) 也論我國東部植被帶的劃分。植物學報 43(5)：522-533。
- 王金錫、朱萬澤、余長春 (2004) 臺灣檜木生物生態學特性及引種栽培技術。四川林業科技 25(1)：36-41。
- 王世彬、林讚標、簡慶德 (1995) 林木種子儲藏性質的分類。林業試驗所研究報告季刊 10(2)：255-276。
- 王志強 (2009) 武陵地區原生植栽應用名錄調查分析及評選研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 王相華、陳正豐 (2010) 中海拔廢耕地生態復舊作業方式綜合探討—以蓮花池農墾地為例。內政部營建署太魯閣國家公園管理處。

- 王偉、邱清安、蔡尚惠、許俊凱、曾喜育、呂金誠 (2010) 雪山主峰沿線植物社會調查研究。林業研究季刊 32(3)：15-34。
- 王穎 (2012) 丹大地區水鹿活動調查及其對林木之影響。行政院農業委員會林務局託研究計畫系列 100-04-5。
- 吳正宗 (2018) 第三篇栽培介質的種類與特性。取自：<http://web.nchu.edu.tw/pweb/users/jtwu/lesson/140.doc>。
- 吳姍樺 (2006) 雪霸國家公園外來植物入侵及分布之探討-雪見、武陵地區。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 吳海音 (2002a) 太魯閣、雪霸國家公園生態廊道之研究—目標物種的認定與其生物特徵的需求分析。內政部營建署太魯閣、雪霸國家公園管理處。
- 吳海音 (2002b) 太魯閣、雪霸國家公園生態廊道之研究—有勝溪上游動物相的調查。內政部營建署太魯閣、雪霸國家公園管理處。
- 吳海音 (2008) 思源啞口野生動物監測。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 吳錫融 (2008) 臺灣地區應用植生木樁萌芽與根系生長特性之研究。國立中興大學水土保持學系碩士論文。
- 呂金誠 (1999) 武陵地區雪山主峰線植群與植栽應用之研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處八十八年度研究報告。
- 呂金誠 (2002) 武陵火燒後植群之變化。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 宋永昌 (1999) 中國東部森林植被帶劃分之我見。植物學報 41(5)：541-552。
- 宋永昌 (2001) 植被生態學。華東師範大學出版社，上海。
- 李明仁 (2010) 育林實務手冊。行政院農委會林務局。
- 李炎壽、林進龍、陳駿銘、蔡宗穎 (2012) 森保處勝光武陵地區防火林帶擴植造林暨火災劣化地造林之經驗。臺灣林業 38(2)：44-51。
- 杜長峰、孫建楠 (2010) 霜凍的分類與預防方法。現代農業科技 19：271-273。
- 沈中桴 (1996) 臺灣的生物地理：1. 背景。臺灣省立博物館年刊 39：387-427。
- 林志融 (2004) 棲地適宜性分析應用於生態廊道規劃之研究—以山羌及有勝溪流域為例。國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文。
- 林幸助、王筱雯、吳聲海、官文惠、邵廣昭、孫元勳、郭美華、曾晴賢、楊正澤、葉昭憲、蔡尚惠 (2011) 武陵地區溪流生態系長期監測暨整合研究成果報告。內政部營建署雪霸國家公園管理處。

- 林幸助、王筱雯、林鶯熹、吳聲海、官文惠、邵廣昭、孫元勳、郭美華、曾晴賢、楊正澤、葉昭憲、蔡尚惠 (2012) 武陵地區溪流生態系長期監測暨整合研究成果報告。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 林信輝、楊宏達、陳意昌 (2005) 九芎植生木樁之生長與根系力學之研究。中華水土保持學報 36(2)：123-132。
- 林信輝 (2006) 水庫濱水帶植生與其保育功能之研究。經濟部水利署，台北。
- 林美峰、蘇聲欣、黃俐雯、陳建文、鄭美如、王相華 (2017) 樹木葉片營養成分對臺灣山羌攝食選擇的影響。台灣林業科學 32(3)：237-249。
- 林讚標 (1995) 數種殼斗科植物種子之儲藏性質—赤皮、青剛櫟、森氏櫟與高山櫟。林業試驗所研究報告季刊 10(1)：9-13。
- 林讚標 (1996) 林木種子採集、處理、儲藏、休眠與發芽。臺灣省林業試驗所。
- 武高林、杜國禎 (2008) 植物種子大小與幼苗生長策略研究進展。應用生態學報 19(1)：191-197。
- 邱祈榮、陳子英、謝長富、劉和義、葉慶龍、王震哲 (2009) 臺灣現生天然植群圖集。行政院農業委員會林務局。
- 邱清安 (2006) 應用生態氣候指標預測臺灣潛在自然植群之研究。國立中興大學森林學研究所博士論文。
- 邱清安 (2012) 復育生態學之初探。中華林學季刊 45(2)：203-212。
- 邱清安、徐憲生 (2015) 面對退化地之抉擇：被動的自生演替恢復 vs. 主動的人為生態復育。林業研究季刊 37(2)：85-98。
- 邱清安、鄒裕民、吳正宗、顏江河、蔡尚惠 (2016) 武陵廢耕地之森林生態復育。雪霸國家公園管理處委託辦理計畫成果報告。
- 柳楷 (1968) 臺灣植物群落分類之研究(I)：臺灣植物群系之分類。臺灣省林業試驗所研究報告第 166 號，共 26 頁。
- 倪健 (1997) KIRA 指標的拓展及其在中國植被與氣候關係研究中的應用。應用生態學報 8(2)：161-170。
- 倪禮豐 (2006) 稻殼再利用技術。花蓮區農業專訊 61：19-20。
- 夏禹九 (2002a) 太魯閣、雪霸國家公園生態廊道之研究—有勝溪上游土地利用、人為活動與植被現況的調查。內政部營建署太魯閣、雪霸國家公園管理處。
- 夏禹九 (2002b) 太魯閣、雪霸國家公園生態廊道之研究—生態廊道概念與國外案例的整理及有勝溪上游空間資料的分析。內政部營建署太魯閣、雪霸國家公園管理處。
- 徐憲生 (2006) 七家灣溪濱岸植群監測與地景變遷。國立中興大學森林系碩士論文。

- 張新時 (2010) 關於生態重建和生態恢復的思辨及其科學涵義與發展途徑。植物生態學報 34(1)：112-118。
- 梁玉琦 (2004) 臺灣生態區分區之研究。國立臺灣大學森林學研究所碩士論文。
- 許原瑞、蔡佳彬 (2011) 苗圃管理與苗木健化—介質、肥料及水分管理。林業研究專訊 18(6)：11-14。
- 郭寶章 (1989) 育林學各論。國立編譯館，台北。
- 郭幸榮 (2006) 育林手冊。行政院農業委員會林務局。
- 郭城孟 (1995) 七家灣溪潛在植被之研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 郭華仁 (2015) 種子學。國立臺灣大學出版中心。
- 郭礎嘉 (2009) 七家灣溪濱岸植群動態。國立中興大學森林學系碩士論文。
- 張金峰、程繼銘、閔興富、羅永紅、朱雅婷 (2018) 種子特徵和播種深度對遼東櫟種子萌發和幼苗生長的影響。寧夏回族自治區重點發展計畫。
- 陳子英 (2007) 大同地區、有勝河流域植群調查研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 陳坤佐 (2000) 以景觀生態觀點建立河川廊道評估方法之研究。國立中興大學園藝學系碩士論文。
- 彭閃江、黃忠良、彭少麟等 (2004) 植物天然更新過程中種子和幼苗死亡的影響因素。廣西植物 24(2)：113-121。
- 曾彥學、王志強、蔡智勇 (2009) 雪霸國家公園物種清單更新維護—維管束植物。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 楊正釗 (2007) 臺灣十九種原生林木種子儲藏行為之比較研究。臺灣大學森林環境暨資源學研究所學位論文。
- 楊正釗、郭幸榮、林讚標 (2006) 破布子與朴樹種子的儲藏性質與發芽。臺灣林業科學 21(4)：447-459。
- 楊正澤、吳聲海、孫元勳、蔡尚惠 (2010) 七家灣溪一號壩壩體及棲地改善工程先期生態及棲地調查。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 楊宏達 (2004) 九芎植生木樁之生長與根系力學之研究。國立中興大學水土保持學系碩士論文。
- 趙哈林、趙學勇、張銅會、李玉霖 (2009) 恢復生態學通論。科學出版社，北京。
- 劉春迎 (1999) KIRA 指標在中國植被與氣候關係研究中的應用。植物生態學報 23(2)：125-138。

- 劉業經、歐辰雄、呂福原 (1994) 臺灣樹木誌(增補修訂版)。國立中興大學農學院叢書第7號, 31-33頁。
- 歐辰雄、呂金誠、曾彥學 (2007) 雪霸國家公園植群分類及空間分布之研究(二)。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 潘振彰 (2012) 武陵徵收農地土壤性質與菌根對造林苗木生長之關係。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 蔡尚惠 (2008) 武陵地區長期生態監測暨生態模式建立—七家灣溪濱岸植群監測與地景變遷(III)。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 蔡尚惠、徐憲生、呂金誠 (2010) 七家灣溪濱岸植群之組成與結構。林業研究季刊 32(1) : 19-38。
- 蔡尚惠、郭礎嘉、曾喜育 (2011) 2005-2008年七家灣溪濱岸植群之生物多樣性研究。臺灣生物多樣性研究 13(4) : 269-283。
- 蔡尚惠、曾喜育、林信州 (2009) 雪霸國家公園轄區東部之中央山脈保育廊道植群調查。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 蔡尚惠、鄭麗萍 (2007) 武陵花園的濱岸植群。科學發展 417 : 10-14。
- 賴彥任、王亞男、林添源、沈介文、曾建貴、張振生 (2007) 臺大實驗林 921 後崩塌地治理工法的研究。臺灣大學生物資源暨農學院實驗林研究報告 21(4) : 337-347。
- 簡慶德 (2013) 18種重要造林樹種育苗作業規範之制定。行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列 tfbc-1010532。
- 謝皓、賈秀婷、陳學珍、張鑫 (2012) 播種深度和種子大小對大豆出苗率和幼苗生長的影響。農學學報 2(6) : 10-14。
- 蕭祺暉、何學哲 (2017) 劣化地復育造林方法。臺灣林業 43(1) : 12-20。
- 顏正平 (1970) 臺灣中海拔適用護坡植生木樁萌芽試驗。中華水土保持學報 1(1) : 47-59。
- 顏江河 (2011) 臺灣中部中高海拔地區防火樹種之篩選及葉部分解速率之研究。行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列。
- 顏江河 (2012) 高山菜園回收造林地土壤性質與造林苗木生長之研究。行政院農委會林務局南投林區管理處。
- 關秉宗、林宜靜 (2011) 鑑定與減緩森林復育過程中之傳播與重建限制。行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告。
- 關秉宗、夏禹九、林世宗 (2006) 健全陸域生物多樣性監測系統與評定擬復育劣化環境順序。行政院國家科學委員會專題研究計畫(NSC93-2621-B-002-025)研究報告。

附錄 1. 本報告書出現之植物名錄

NO	本報告採用之中文用名	學名	其他中文名稱
1	臺灣冷杉	<i>Abies kawakamii</i> (Hayata) Tak. Itô	
2	樟葉槭	<i>Acer albopurpurascens</i> Hayata	
3	尖葉槭	<i>Acer kawakamii</i> Koidz.	川上氏槭
4	臺灣紅榨槭	<i>Acer morrisonense</i> Hayata	
5	青楓	<i>Acer serrulatum</i> Hayata	
6	臭椿	<i>Ailanthus altissima</i> (Miller) Swingle var. <i>tanakae</i> (Hayata) Sasaki	臺灣樗樹
7	合歡	<i>Albizia julibrissin</i> Durazz.	
8	假赤楊	<i>Alniphyllum pterospermum</i> Matsum.	
9	臺灣赤楊	<i>Alnus formosana</i> (Burkill ex Forbes & Hemsl.) Makino	赤楊
10	普來氏月桃	<i>Alpinia pricei</i> Hayata	
11	裡白椴木	<i>Aralia bipinnata</i> Blanco	
12	艾	<i>Artemisia indica</i> Willd.	
13	高山艾	<i>Artemisia oligocarpa</i> Hayata	
14	臺灣蘆竹	<i>Arundo formosana</i> Hack.	
15	大花咸豐草	<i>Bidens pilosa</i> L. var. <i>radiata</i> Sch. Bip.	
16	芥藍	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>acephala</i>	
17	大扁雀麥	<i>Bromus catharticus</i> Vahl	
18	杜虹花	<i>Callicarpa formosana</i> Rolfe	臺灣紫珠
19	日本山茶	<i>Camellia japonica</i> L.	山茶、茶花、鳳凰山茶
20	川上氏鵝耳櫪	<i>Carpinus kawakamii</i> Hayata	阿里山千金榆
21	卡氏槭	<i>Castanopsis cuspidata</i> (Thunb.) Schottky var. <i>carlesii</i> (Hemsl.) Yamaz.	長尾栲、長尾尖葉槭
22	南華南蛇藤	<i>Celastrus hindsii</i> Benth.	
23	朴樹	<i>Celtis sinensis</i> Pers.	
24	紅檜	<i>Chamaecyparis formosensis</i> Matsum.	
25	臺灣扁柏	<i>Chamaecyparis obtusa</i> Siebold & Zucc. var. <i>formosana</i> (Hayatya) Rehder	
26	山肉桂	<i>Cinnamomum insulari-montanum</i> Hayata	臺灣肉桂
27	加拿大蓬	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronq.	
28	野茼蒿	<i>Conyza sumatrensis</i> (Retz.) Walker	

NO	本報告採用之中文用名	學名	其他中文名稱
29	柳杉	<i>Cryptomeria japonica</i> (L. f.) D. Don	
30	巒大杉	<i>Cunninghamia konishii</i> Hayata	香杉
31	杉木	<i>Cunninghamia lanceolata</i> (Lamb.) Hook.	
32	赤皮	<i>Cyclobalanopsis gilva</i> (Blume) Oerst.	
33	青剛櫟	<i>Cyclobalanopsis glauca</i> (Thunb.) Oerst.	
34	圓果青剛櫟	<i>Cyclobalanopsis globosa</i> W. F. Lin & T. Liu	
35	錐果櫟	<i>Cyclobalanopsis longinux</i> (Hayata) Schottky	
36	森氏櫟	<i>Cyclobalanopsis morii</i> (Hayata) Schottky	赤柯、森氏櫟
37	毬子櫟	<i>Cyclobalanopsis sessilifolia</i> (Blume) Schottky	
38	狹葉櫟	<i>Cyclobalanopsis stenophylloides</i> (Hayata) Kudo & Masam. ex Kudo	
39	錐果櫟	<i>Cyclobalanopsis longinux</i> (Hayata) Schott.	櫟子、錐果櫟
40	奧氏虎皮楠	<i>Daphniphyllum glaucescens</i> Blume subsp. <i>oldhamii</i> (Hemsl.) T. C. Huang var. <i>oldhamii</i> (Hemsl.) T. C. Huang	
41	大葉溲疏	<i>Deutzia pulchra</i> Vidal	
42	山红柿	<i>Diospyros morrisiana</i>	
43	山柿	<i>Diospyros japonica</i> Siebold & Zucc.	日本柿
44	鄧氏胡頹子	<i>Elaeagnus thunbergii</i>	
45	薯豆	<i>Elaeocarpus japonicus</i> Siebold & Zucc.	
46	山枇杷	<i>Eriobotrya deflexa</i> (Hemsl.) Nakai	
47	源一木	<i>Euonymus carnosus</i> Hemsl.	厚葉衛矛
48	臺灣澤蘭	<i>Eupatorium formosanum</i> Hayata	
49	羊茅	<i>Festuca ovina</i> L.	
50	牛奶榕	<i>Ficus erecta</i> Thunb. var. <i>beeheyana</i> (Hook. & Arn.) King	
51	白雞油	<i>Fraxinus griffithii</i> C. B. Clarke	光臘樹
52	白珠樹	<i>Gaultheria cumingiana</i> Vidal	冬青油樹
53	芭花蔓	<i>Geophila herbacea</i> (Jacq.) Kuntze	
54	大頭茶	<i>Gordonia axillaris</i> (Roxb.) Dietr.	
55	臺灣青莢葉	<i>Helwingia japonica</i> (Thunb.) Dietr. subsp. <i>formosana</i> (Kaneh. & Sasaki) H. Hara & S. Kuros.	臺灣葉長花
56	山芙蓉	<i>Hibiscus taiwanensis</i> S. Y. Hu	
57	高山藤繡球	<i>Hydrangea aspera</i> D. Don	

NO	本報告採用之中文用名	學名	其他中文名稱
58	山桐子	<i>Idesia polycarpa</i> Maxim.	
59	朱紅水木	<i>Ilex micrococca</i> Maxim.	
60	白花八角	<i>Illicium anisatum</i> L.	
61	臺灣胡桃	<i>Juglans cathayensis</i> Dode	野核桃
62	香青	<i>Juniperus squamata</i> Buch.-Ham. ex Lamb.	玉山圓柏
63	九芎	<i>Lagerstroemia subcostata</i> Koehne	
64	日本女貞	<i>Ligustrum liukiuense</i> Koidz.	
65	小實女貞	<i>Ligustrum sinense</i> Lour.	
66	臺灣百合	<i>Lilium formosanum</i> Wallace	
67	楓香	<i>Liquidambar formosana</i> Hance	
68	長葉木薑子	<i>Litsea acuminata</i> (Blume) Kurata	竹葉楠
69	屏東木薑子	<i>Litsea akoensis</i> Hayata	
70	山胡椒	<i>Litsea cubeba</i> (Lour.) Pers.	
71	霧社木薑子	<i>Litsea elongata</i> (Wall. ex Nees) Benth. & Hook. f. var. <i>mushaensis</i> (Hayata) J. C. Liao	
72	多花黑麥草	<i>Lolium multiflorum</i> Lam.	
73	南燭	<i>Lyonia ovalifolia</i> (Wall.) Drude	
74	日本槲楠	<i>Machilus japonica</i> Siebold & Zucc.	假長葉楠
75	紅楠	<i>Machilus thunbergii</i> Siebold & Zucc.	豬腳楠
76	香楠	<i>Machilus zuihoensis</i> Hayata	
77	十大功勞	<i>Mahonia japonica</i> (Thunb.) DC.	
78	阿里山十大功勞	<i>Mahonia oiwakensis</i> Hayata	
79	臺灣蘋果	<i>Malus doumeri</i> (Bois.) Chev.	
80	烏心石	<i>Michelia compressa</i> (Maxim.) Sargent	
81	五節芒	<i>Miscanthus floridulus</i> (Labill.) Warb. ex Schum. & Laut.	
82	芒	<i>Miscanthus sinensis</i> Anders.	高山芒
83	楊梅	<i>Myrica rubra</i> (Lour.) Siebold & Zucc.	
84	變葉新木薑子	<i>Neolitsea aciculata</i> (Blume) Koidz. var. <i>variabilissima</i> (Hayata) J. C. Liao	
85	高山新木薑子	<i>Neolitsea acuminatissima</i> (Hayata) Kaneh. & Sasaki	
86	腎蕨	<i>Nephrolepis auriculata</i> (L.) Trimen	
87	長梗紫麻	<i>Oreocnide pedunculata</i> (Shirai) Masam.	長梗紫苧麻

NO	本報告採用之中文用名	學名	其他中文名稱
88	三斗石櫟	<i>Pasania hancei</i> (Benth.) Schottky var. <i>ternaticupula</i> (Hayata) J. C. Liao	
89	短尾葉石櫟	<i>Pasania harlandii</i> (Hance) Oerst.	
90	大葉石櫟	<i>Pasania kawakamii</i> (Hayata) Schottky	
91	台東石櫟	<i>Pasania taitoensis</i> (Hayata) J. C. Liao	
92	夏皮楠	<i>Photinia niitakayamensis</i> Hayata	玉山假沙梨
93	石楠	<i>Photinia serratifolia</i> (Desf.) Kalkman	
94	桂竹	<i>Phyllostachys makinoi</i> Hayata	
95	雲杉	<i>Picea morrisonicola</i> Hayata	臺灣雲杉、玉山雲杉、白松柏
96	短角冷水麻	<i>Pilea aquarum</i> Dunn subsp. <i>brevicornuta</i> (Hayata) C. J. Chen	
97	大冷水麻	<i>Pilea melastomoides</i> (Poir.) Wedd.	中華冷水麻、野牡丹葉冷水麻
98	臺灣二葉松	<i>Pinus taiwanensis</i> Hayata	
99	疏果海桐	<i>Pittosporum illicioides</i> Makino	
100	化香樹	<i>Platycarya strobilacea</i> Siebold & Zucc.	
101	火炭母草	<i>Polygonum chinense</i> L.	
102	臺灣何首烏	<i>Polygonum multiflorum</i> Thunb. var. <i>hypoleucum</i> (Ohwi) T. S. Liu, S. S. Ying & M. J. Lai	
103	戟葉蓼	<i>Polygonum thunbergii</i> Siebold & Zucc.	
104	棒頭草	<i>Polypogon fugax</i> Nees ex Steud.	
105	臺灣老葉兒樹	<i>Pourthiaea beauverdiana</i> (C. K. Schneid.) Hatus. var. <i>notabilis</i> (Rehder & Wilson) Hatus.	
106	臺灣石楠	<i>Pourthiaea lucida</i> Decne.	
107	桃	<i>Prunus persica</i> Stokes	
108	山櫻花	<i>Prunus campanulata</i> Maxim.	
109	墨點櫻桃	<i>Prunus phaeosticta</i> (Hance) Maxim.	
110	霧社櫻	<i>Prunus taiwaniana</i> Hayata	霧社山櫻花
111	臺灣黃杉	<i>Pseudotsuga wilsoniana</i> Hayata	威氏帝杉
112	巒大蕨	<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn subsp. <i>wightianum</i> (Wall.) W. C. Shieh	
113	高山櫟	<i>Quercus spinosa</i> David ex Franch.	
114	塔塔加櫟	<i>Quercus tatakaensis</i> Tomiya	銳葉高山櫟

NO	本報告採用之中文用名	學名	其他中文名稱
115	栓皮櫟	<i>Quercus variabilis</i> Blume	
116	桶鈎藤	<i>Rhamnus formosana</i> Matsum.	
117	小葉鼠李	<i>Rhamnus parvifolia</i> Bunge	
118	厚葉石斑木	<i>Rhaphiolepis indica</i> (L.) Lindl. ex Ker var. <i>umbellata</i> (Thunb.) H. Ohashi	
119	臺灣杜鵑	<i>Rhododendron formosanum</i> Hemsl.	
120	西施花	<i>Rhododendron leptosantherum</i> Hayata	
121	細葉杜鵑	<i>Rhododendron noriakianum</i> T. Suzuki	志佳陽杜鵑
122	馬銀花	<i>Rhododendron ovatum</i> Planch.	
123	玉山杜鵑	<i>Rhododendron pseudochrysantherum</i> Hayata	
124	紅毛杜鵑	<i>Rhododendron rubropilosum</i> Hayata	
125	山塩青	<i>Rhus javanica</i> L. var. <i>roxburghiana</i> (DC.) Rehder & E. H. Wils.	羅氏鹽膚木
126	木蠟樹	<i>Rhus succedanea</i> L.	山漆
127	山薔薇	<i>Rosa sambucina</i> Koidz.	
128	小金櫻	<i>Rosa taiwanensis</i> Nakai	
129	小栲葉懸鈎子	<i>Rubus parviaraliifolius</i> Hayata	
130	木荷	<i>Schima superba</i> Gard. & Champ.	
131	巒大花楸	<i>Sorbus randaiensis</i> (Hayata) Koidz.	
132	笑靨花	<i>Spiraea prunifolia</i> Siebold & Zucc. var. <i>pseudoprunifolia</i> (Hayata) H. L. Li	
133	通條樹	<i>Stachyurus himalaicus</i> Hook. f. & Thomson ex Benth.	通條木
134	椴木	<i>Swida macrophylla</i> (Wall.) Soják	椴木
135	水絲梨	<i>Sycopsis sinensis</i> Oliv.	
136	阿里山灰木	<i>Symplocos arisanensis</i> Hayata	
137	臺灣灰木	<i>Symplocos formosana</i> Brand	
138	小葉赤楠	<i>Syzygium buxifolium</i> Hook. & Arn.	
139	臺灣赤楠	<i>Syzygium formosanum</i> (Hayata) Mori	
140	臺灣杉	<i>Taiwania cryptomerioides</i> Hayata	
141	南洋紅豆杉	<i>Taxus sumatrana</i> (Miq.) de Laub.	臺灣紅豆杉
142	厚皮香	<i>Ternstroemia gymnanthera</i> (Wight & Arn.) Sprague	
143	賊仔樹	<i>Tetradium glabrifolium</i> (Champ. ex Benth.) T. Hartley	臭臘樹

NO	本報告採用之中文用名	學名	其他中文名稱
144	蓮草	<i>Tetrapanax papyriferus</i> (Hook.) K. Koch	通脫木
145	菽草	<i>Trifolium repens</i> L.	白花三葉草
146	台北附地草	<i>Trigonotis formosana</i> Hayata var. <i>elevatovenosa</i> (Hayata) S. D. Shen & J. C. Wang	
147	昆欄樹	<i>Trochodendron aralioides</i> Siebold & Zucc.	雲葉
148	臺灣鐵杉	<i>Tsuga chinensis</i> (Franch.) Pritz. ex Diels var. <i>formosana</i> (Hayata) H. L. Li & H. Keng	
149	阿里山榆	<i>Ulmus uyematsui</i> Hayata	
150	咬人貓	<i>Urtica thunbergiana</i> Siebold & Zucc.	
151	米飯花	<i>Vaccinium bracteatum</i> Thunb.	
152	珍珠花	<i>Vaccinium dunalianum</i> Wight var. <i>caudatifolium</i> (Hayata) H. L. Li	
153	著生珊瑚樹	<i>Viburnum arboricola</i> Hayata	
154	狹葉莢蒾	<i>Viburnum foetidum</i> Wall. var. <i>rectangulatum</i> (Graebn.) Rehder	
155	紅子莢蒾	<i>Viburnum formosanum</i> Hayata	
156	呂宋莢蒾	<i>Viburnum luzonicum</i> Rolfe	
157	臺灣蝴蝶戲珠花	<i>Viburnum plicatum</i> Thunb. var. <i>formosanum</i> Y. C. Liu & C. H. Ou	
158	高山莢蒾	<i>Viburnum propinquum</i> Hemsl.	
159	玉山箭竹	<i>Yushania niitakayamensis</i> (Hayata) Keng f.	
160	食茱萸	<i>Zanthoxylum ailanthoides</i> Siebold & Zucc.	紅刺蔥
161	檫木	<i>Zelkova serrata</i> (Thunb.) Makino	檫、臺灣檫

附錄 2. 審查會議回覆辦理情形

第一次審查會議回覆辦理情形

審查意見	辦理情形
<p>賴國祥委員：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫對於苗木培育、出栽皆考慮周到，經過種種試驗，目前出栽苗木成活率大大提高，值得肯定。 2. 建議後續探討苗木生長之限制，如水分、養分等，儘早思考因應對策，並對出栽所後面對之環境因子(如乾旱、寒害、颱風...)加以防範或克服，以利苗木成長。 3. p46 表 3-31 種子採集之序號編定為何？ 	<p>感謝委員肯定。</p> <p>感謝委員提醒。後續將針對影響苗木之存活、生長的因素，多方面進行試驗及觀察，期能克服森林復育之障礙。</p> <p>採種序號是流水號，為採種母株之編號。</p>
<p>賴鴻裕委員：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 植穴坑所使用之菌根菌是否為市售？所使用之肥料為何？建議於文中可以加以說明。 2. 請補充說明土壤水分監測器目前之監測結果，不同處理間之土壤水分是否有顯著差異？ 3. 建議後續記錄各項資材之用量，如肥料、菌根菌、稻殼等，以利建立未來大面積使用時之 S.O.P。 4. 圖 3-2-2 可以清楚瞭解武陵廢耕地所面臨之問題及解決方式，建議是否可以繪製各項工作之建議時間表，以瞭解何時要採種？何時種子直播？何時補植等。 	<p>使用之菌根菌為市售之產品；相關試驗之肥料仍在初步嘗試中，確定後將於文中說明。</p> <p>土壤水分監測器於今年初剛埋設，將於後續報告時再下載資料並補上分析說明。</p> <p>遵照辦理。</p> <p>感謝委員提醒。本計畫相關工作包含採種、處理、育苗、各項試驗，相關細節較為繁鎖，在時間軸上的工作流程圖，目前仍在瞭解及逐步建立中。</p>

<p>楊國華課長：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 廢耕農地的處理分成三種，包括自然演替、生態復育造林及景觀造林，區分選擇的邏輯為何？ 2. 在生態復育造林的區塊內，樹種的配置狀況為何？ 3. 8.1 公頃農地徵收的原意為減少化肥施作，影響七家灣溪水質，因此若造林尚須要使用肥料或化學忌避劑，則在水質上應予以注意。 4. 種子直播的部分，密度是否過密？抑或後續會再進行移植或其他處理？ 	<p>三種區分主要是按現地狀況，保留少數地號進行自然演替觀察，於武陵路旁選擇 2 地號營造景觀林，其餘則為生態復育造林區域。</p> <p>在生態復育的區塊，樹種的配置為逢機配置。</p> <p>化肥及忌避劑的使用為小區域試驗階段，其使用量都為低劑量。</p> <p>直播的部分未規劃進一步處理，主要為期望短期快速成林，增加林下遮陰以及改良土壤。</p>
<p>胡景程技士：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本案涉及多項專業層面，需跨域合作。以過去墾丁的經驗，梅花鹿的驅趕是以圍網和驅鹿棒同時進行的。 2. 在高度干擾的農地上，若採用自然復育需耗時多久？國外是否有相關資料？ 3. 在森林復育中是否放入地景的概念？ 	<p>感謝委員提供相關訊息。</p> <p>國外資料顯示，耕作地恢復成初期森林須 70-80 年，但武陵農地的耕作遺害強度高過國外的狀況，也許須更久時間。</p> <p>目前武陵廢耕地復育主要目的在於應用在地原生樹種，恢復原有的森林生態系，未來廢耕地順利成林後，可融入在地之地景。</p>
<p>于淑芬課長：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 在自然演替的區域是否進行植群調查，有無出現原生種，例如懸鉤子等。 2. p58 各出栽植物的列表上，是否可補上出栽的年齡？ 	<p>目前廢耕地幾乎未見當地原生樹種自然更新，後續將選擇部分自然演替地號進行實際調查。</p> <p>苗木來自不同母株與育苗期程，後續將直接對出栽苗木拍照記錄。</p>

<p>3. 出現病徵的植株是否為特定種類？未來於培育及補植時可避免使用。</p>	<p>此部分要調查後才能確定。若有特定樹種易受害，將會避免再次育苗及種植。</p>
<p>鍾銘山處長：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究案與造林工程案在性質上不同，須有清楚的區隔。 2. 本計畫為三年度計畫，各年度可採用 1/3、2/3...的方式標註，各次簡報可按次數來標註：第一次簡報、第二次簡報... 3. 可記錄造林成果較佳和不佳的區域，立地環境較佳的區域為後續的重點，部分立地環境可能先天不良，無需投注過量的人力與金錢成本。 4. 撫育工作上，植株的生長表現未必和砍草頻度成正相關，因為自然的地形地物可能有利於遮陽，而植物間彼此的競爭關係有時也會刺激成長。 	<p>本計畫會儘量與造林工程相配合，並予適當協助。</p> <p>遵照辦理。</p> <p>感謝委員提醒。後續復育工作會更著重於生態造林成效較佳的區位及樹種，以促使廢耕地更快速恢復為森林生態系。</p> <p>在國際上推行的 ANR 促進天然更新的做法不同於砍草，係為視狀況環境制宜，例如先驅樹種需要陽光，可能會把周邊的雜草移除，但若是針對演替後期樹種，適度的雜草可幫助遮陽，減少水分散失。</p>

第二次審查會議回覆辦理情形

審查意見	辦理情形
<p>賴國祥委員：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. p40 原生景觀林區，建議除了山桐子外可以考量其他樹種，增加多樣性。 2. p40 圖 3-1-1 配置圖的部分，除了圖說所列的三種顏色所代表的區域外，其他無色區是何種配置？ 3. p46-47 表 3-3-1 有些樹種無座標，請補充；另外請說明植物樹種名稱是依據什麼參考文獻？並於附錄中列出中英文學名對照表。 4. p66 圖 3-5-2 請加強圖說的文字，說明圖片的內容。 5. p84 造林工程苗木監測結果中，針對種植數量多，但死亡率<5%的樹種，可考量列為具有潛力的造林樹種。 6. p87 圖說的"存活率"應更正為"死亡率"。 7. p93 種子直播實驗的時間歷程，建議可以累計資料來表達死亡率於時間軸之變化。 	<p>本計畫曾嘗試於另一區種植尖葉槭，但因成活率不佳才未進一步建造為景觀林。不過目前所栽植之樹種已包含許多景觀樹種，如山櫻花、紅榨槭、夏皮楠等。</p> <p>無顏色的區塊是非雪霸處 8.1 ha 之範圍，不在本計畫之執行範圍內。</p> <p>謝謝委員指正！部分採種之母樹當時未記錄座標，此將於報告書內補充說明。另，下次將補充報告書內所出現之植物名錄，包含中文名、學名等。</p> <p>遵照辦理。</p> <p>感謝委員提醒！死亡率較低的樹種，將列為未來重點造林樹種。</p> <p>感謝委員指正！已立即修正。</p> <p>種子發芽後死亡率的表示方式將於下次報告中進行修正。</p>

<p>賴鴻裕委員：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. p37 提到苗木取得來源包括採種及扦插，但結果的部分以採種為主，扦插的結果如何，請再補充。 2. 相對覆蓋率的監測應於造林後期較有代表性。 3. p43 流程圖建議可依據計畫的結果逐步修正，並納入過往菌根菌的試驗。 4. 計畫內容建議種植苗木的時間為初春 4-5 月，但本年 3 月 30 日種植乙批苗木的原因為何？ 5. 各樹種的地徑與苗高差異大，建議 p77 的表 3-6-3 補充地徑與苗高的標準差。 6. Hobo 土壤水分監測工作與出栽苗木存活率間關連的結果為何？ 7. 試驗上不同組別可能些微影響苗木存活率，但建議須綜合考量各項試驗的人力成本、管理及實際效益。 	<p>本計畫之苗木主要來自種子培育，其餘以扦插、野外採集種苗之部分會在報告書中補充說明。</p> <p>感謝委員建議！待計畫結束前會再評估能否以空拍來計算造林後的相對覆蓋率。</p> <p>本計畫之流程圖將會依各試驗結果適時進行修正。</p> <p>今年 3 月底出栽苗木係基於一般造林的建議時間，並遭遇晚霜危害。而本次報告則是依據近年氣象資料及苗木觀察，首次提出武陵地區苗木出栽之適宜時機的修正。</p> <p>感謝委員指正！將會補充苗木地徑與苗高的標準差。</p> <p>HOBO 監測器將於年底下載數據，屆時會進一步分析土壤水分與苗木存活率之關係。</p> <p>感謝委員的提醒！本計畫最後所建議之生態造林方法，除了苗木存活率外，也會綜合考量成本及維護管理等效益。</p>
<p>潘振彰技正：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 有機農業中會加入碳化的稻殼增加土壤有機質，不知道此種作法是否適用於武陵的廢耕農地？ 	<p>感謝委員意見！因市售碳化稻殼偏屬鹼性，故不建議施用於已屬鹼性土壤的武陵廢耕地。</p>

<p>于淑芬課長：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 武陵地區的潛在植被共有 500 多種，但目前造林的樹種只有 50 餘種，未來是否考量增加造林樹種，例如增加扦插的樹種，使得造林區域成為武陵的植物微觀生態。 2. 國外文獻上，藉由植物逐步改良農耕地土壤所需的時程約需多久？ 	<p>謝謝委員意見！武陵地區植物種類須含草本才可能達到 500 多種，目前武陵生態造林出栽了 50 餘種，已包含大部分的當地原生樹種，其物種多樣性也較一般造林高很多；但武陵森林復育的實際執行措施，以加速成林為首要目標，建議優先採用可於廢耕地存活及生長良好的樹種，且通常種子實生苗會比扦插苗更強健。</p> <p>森林恢復可對土壤性質產生逐步改善的效果，此為連續性的變化過程，目前未見文獻對此提出確切的時程，但相信各地應會有所差異。</p>
--	---

第三次審查會議回覆辦理情形

審查意見	辦理情形
<p>賴國祥委員：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫幾乎所有造林方法及當地樹種都嘗試，也初步得出適宜在本廢耕地造林之方法及樹種成果，值得肯定。 2. P.53 圖說卡氏楮和栓皮櫟請訂正為果實、P.54 圖說山櫻花應為果實、P.55 圖說臭椿應為翅果，請修改圖說。 3. P.59 山桐子圖說相同，右圖可改為絞碎後的山桐子果實包於砂網搓揉以取出種子。 4. P.62 及 P.63 表 3-5-1 部分樹種重複出現，種類數量請再確認。 5. P.64 表 3-5-2 相同樹種且生長條件相同之苗木，為何分開表列？表格樹種數量(40 種)與文中數量(41 種)不符，請校對。 6. P.66 圖說請加強說明接種菌根菌之卡氏楮。 7. P.74 為使苗木有較長的生長期，苗木出栽之最後時機建議是否酌予提前。 8. P.80 山桐子根系旺盛圖片非現地狀況，請考慮必要性。 	<p>謝謝委員的肯定。</p> <p>感謝委員指正！已將相關圖說予以修正。</p> <p>感謝委員指正！已修正。</p> <p>感謝委員指正！部分重複出現之樹種與數量已再次確認及修正。</p> <p>感謝委員指正！部分重複出現之樹種係因採自不同母樹或播種育苗之時程不同，有問題的樹種數量已重新計算及修正。</p> <p>感謝委員指正！已將相關圖說予以修正。</p> <p>因苗木出栽常須與造林工程配合，所以本計畫建議出栽時程應於6月底梅雨季結束前完成，若造林工程能儘早完成，理論上苗木可有較長的生長期。</p> <p>此圖係為表明山桐子具旺盛根系，可較能適應廢耕地之環境，相關圖說已予以補充說明。</p>

<p>9. P.81 表 3-6-2 請調整苗高生長及地徑生長於 2 次調查結果之後，較容易判讀計算，另加入總地徑生長。</p> <p>10. P.83 內文提到 4 種處理法與 P.84 表 3-6-3 顯示 6 種處理法不符。</p> <p>11. P.84 表 3-6-3 各處理方式總株數 (14 株) 與前文試驗株數 (12 株) 不符</p> <p>12. P.95 平均苗高與前文絕對生長值英文皆以 AGR 表示，請確認；註 1 說明日期重複，請修正。</p> <p>13. P.118 表 3-7-2 存活數與死亡數表示方式建議修改累計。</p> <p>14. P.132 有關種子直播試驗，種子發芽之觀察期建議延長。</p> <p>15. P.143 結論最後一點，只針對出栽造林部分，建議可將整個實驗成果生長較佳、適合本廢耕地造林之樹種列出。</p>	<p>感謝委員指正！本表將於下次報告重新計算及調整表示方法。</p> <p>此二部分之試驗略有差異，已於報告書中予以補充、加強說明。</p> <p>本項試驗各處理均種 12 株，再加上 HOBO 監測器旁種植 2 株，使總株數為 14 株。</p> <p>感謝委員指正！此一部份將於後續報告書中一併確認並予修正。</p> <p>感謝委員指正！本表會重新修改。</p> <p>遵照辦理，將延長種子發芽之觀察期。</p> <p>遵照辦理，後續報告書會列出整體試驗及觀察結果中生長較佳、適合武陵廢耕地生態造林的樹種。</p>
<p>賴鴻裕委員：</p> <p>1. P.65 表格出栽之苗木如條件相同，建議相同樹種可以合併，或加註日期以區分。</p> <p>2. 6.3 節及 6.5 節是否可以合併，請考慮。</p> <p>3. 數量請確認：總株數是 72 株 (P.82)，還是 82 株 (P.84)？</p> <p>4. 枯萎並不代表死亡 (P.84)，有些枯萎後仍萌新芽，如何在表中呈</p>	<p>遵照辦理，相同樹種將予以合併，或加註日期以區分。</p> <p>因此二節分屬不同的試驗設計及目的，故放在不同的位置說明。</p> <p>於地號 153 之不同出栽處理法共種植 72 株，再加上配合 HOBO 監測器所種植的 10 株，一共是 82 株。</p> <p>目前表中未能顯示枯萎後再萌芽之現象，將加強文字之補充說明。</p>

<p>現此現象？</p> <p>5. 砂質土建議修改成砂質壤土 (sandy loam)，其 field capacity 約為 20%，HOBO 所記錄的應該是 field capacity 而非有效水份，但多數仍高於 20%，與理論值接近。底土含石率如何？</p> <p>6. P.87 之順序請與 P.84 一致，P.94 表 3-6-8 用詞建議與 P.84 一致。</p> <p>7. 表 3-6-9~表 3-6-10 請加入單位，有效數字請與表 3-6-2 相同。目前之比較方式是以相同時間不同樹種，建議可以相同樹種不同時間來比較。</p> <p>8. 表 3-6-8 所使用之處理如何判斷何者為最佳之處理方式？C 及 D 之處理枯萎及死亡率略低，但需增加處理上之時間如把死亡率高的樹種(木荷及夏皮楠)不列入考量，則處理間之差異可能更低。菌根菌之效果請補充說明。</p>	<p>感謝委員指正！已修正為砂質壤土；表土之含石率約 70%，底土之含石率目前未測定，但由之前開挖之土壤剖面可知，底土仍有甚高之含石率。</p> <p>順序與用詞將於後續報告書中再調整。</p> <p>感謝委員指正！遵照辦理。</p> <p>後續將進一步分析各別樹種之處理方式，以找出最佳之處理方式。本計畫之所有出栽苗木均以森林土或採自當地之菌根菌進行育苗，目前未對菌根菌之效果進一步試驗。</p>
<p>于淑芬課長：</p> <p>1. P.95 及 P.96 分別就將不同處理方式及不同樹種一起統計，是否恰當？不同處理方式間是否有顯著差異？如 P.95 同樹種就各處理方式分開統計，是否影響結果？</p> <p>2. 依據現地條件選擇種植之樹種是以苗木高度或是地徑生長迅速之種類來選擇？</p>	<p>感謝委員指正！後續將進一步分析各別樹種之不同出栽處理方式的差異，以找出最佳之出栽處理方式。</p> <p>健康的苗木除了希望能有快速的高生長之外，也必須配合有足夠的徑生長，以免苗木過於纖細；本計畫</p>

	對二者均進行量測，期能由綜合的結果找出最適於廢耕地的樹種。
<p>潘振彰技正：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 山柿苗木於展葉後送至現地，如改以展葉前即送至武陵地區，並輔以澆灌供應水份、架設圍籬等，應可減少凍害。 2. 根據之前研究森林周邊土壤含水量較高，如架設 HOBO 於森林周邊及道路邊監測土壤水分，應可提供栽植苗木之樹種選擇及位置分佈的參考。 	<p>理論上，出栽苗木可早日運至出栽地點以進行健化，本計畫之苗木亦曾如此操作，然因近年武陵地區常於 2 月出現回溫而促使苗木萌芽，但在 3~4 月卻有晚霜發生，才致使苗木凍傷受損。</p> <p>現地觀察土壤水分狀況確實如委員所言之分布情況，本計畫目前係將 HOBO 監測器設置中間地號，主要目的是為瞭解在不同出栽處理方式下，土壤水分是否具有差異。</p>
<p>陳俊山秘書：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. P.10 提到本區應有植群為針闊葉樹混交林，現地針闊葉樹種比例又為何？本計畫所採集試驗樹種又以針葉樹種比例較少，是否增加以維護生物多樣性。 	<p>一般認為針葉樹較偏好酸性土壤，武陵地區雖屬針闊葉混交林，但針葉樹種類較少，而闊葉樹種類非常多。另，本計畫已採集及出栽了 50 餘種武陵地區之原生樹種，已儘可能提高生物多樣性之要求。</p>
<p>鄭瑞昌副處長</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 現地調查結果應以每公頃多少株數較為合理，各樹種密度應為多少？ 2. 本案已接近園藝化造林作業，其成本概估應為多少？ 	<p>造林株數多介於 1500~2500 株/公頃，本計畫在 8 公頃中僅出栽 1 萬株，其密度仍不算高，但最重要的是苗木之成活率及儘早生長成林。感謝委員意見！本計畫力求落實國家公園嚴格的生態復育要求，由當地原生樹種採種、接種菌根菌育苗、試驗不同出栽方式等等措施，其成本會比一般經濟造林高出許</p>

	<p>多，後續報告會提出國外相關報告之成本比較，然本計畫最終目標在於瞭解如何於嚴苛的廢耕地中達成原有森林生態系之恢復。</p>
<p>鍾銘山處長</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本案屬理論與實務操作結合，是否改為就立地環境之適應性來進行樹種分類，如先驅樹種、中性、陰性樹種，並就分類加強說明，避免混合說明影響結論。 2. 處理方式分類說明，避免因環境因子複雜，影響統計結果。 3. 未來是否改以假植密植臨時苗圃的方式，集中精緻管理，以期提早適應現地環境氣候。 4. 未來可考慮大苗木栽植，以減少現地不良環境因子的影響。 5. 納入自然演替方式，考量各樹種之適應性及立地條件，以縮短自然演替之時間。 	<p>感謝委員指正！後續報告將對樹種進行分類，以瞭解不同樹種對廢耕地環境之適應性。</p> <p>對樹種分類後，會再進行相關的分析統計，並進一步解釋複雜的環境因子之影響。</p> <p>感謝委員意見！能否設置臨時苗圃將視苗圃用地、水源、照護人力、育苗專業人員、成本等再考量。遵照辦理。小苗木對逆境較為敏感，但大苗木之培育須要較長的時間，特別是演替後期樹種的苗木培育期更長，目前本計畫已儘可能培育為大苗木再行出栽。</p> <p>本計畫所持之生態復育理念為學習自然演替之精神，希望能藉由人力正確介入方法，比如提供當地林木種源、改善嚴苛廢耕地遺害等方式，來加速原有森林之恢復，並找出適地適種的最適應樹種，期能縮短演替時間，回復原有森林之結構與功能。</p>

第四次審查會議回覆辦理情形

審查意見	辦理情形
<p>賴國祥委員：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫已逐漸了解廢耕地的狀況及林木建立方式，各項試驗成果值得肯定。 2. p83 土壤水分監測部分，土壤水分含量的差異不大，但一般含量需多少適合苗木生長，是否有相關適合苗木生長的土壤水分含量資料，可加以說明。 3. p98 演替後期樹種，可以叢植+客土方式處理看看。 4. p100 幾個樹種，厚皮香的標準差很大，是立地關係還是其他因素？ 5. p128 打漿雖然有好處，但是否影響土壤結構，影響往後的苗木生長？ 6. 內文有不少錯誤。 <ol style="list-style-type: none"> (1) p53，表 3-3-1 杜鵑是指何種杜鵑？ (2) p87 植穴坑要挖寬 50 公分，深約 30 公分，但又要低於鄰近地表 20-30 公分，所以究竟是挖多深？應該不只 30 公分吧！ (3) p114 與表之間的對照需要再確認。 (4) p118 表 3-7-8 的”平均”所指 	<p>辦理情形</p> <p>謝謝委員的肯定。</p> <p>每種樹種的土壤水分需求不同，在長期不下雨的狀況下，水分含量達到永久萎凋點後就不利苗木生長。苗木可存活的大概土壤含水量將於下次簡報中補充。</p> <p>有關叢植和樹島等栽植方式，日後儘可能安排進行相關試驗。</p> <p>部分樹種及植株可能因受山羌攝食或頂枯後再萌蘖等不同原因，因此其標準差較大。</p> <p>目前數據僅為苗木短期表現，將持續監測打漿對苗木生長之影響。</p> <p>感謝委員指正！已修正為紅毛杜鵑。</p> <p>使用怪手挖掘植穴坑，可先深挖，之後苗木出栽時，則因覆土而使植穴坑略低於鄰近地表。植穴坑相關敘述將予重新說明。</p> <p>感謝委員指正！已修正相關內容。</p> <p>表 3-7-8 與 p117 頁內文中均將試</p>

<p>為何？請敘明。</p> <p>(5) p126 所指的”表 2-7-X”，所指的是表 2-7-13？但找不到這個表。</p> <p>(6) p138 表 3-8-2，2018-05 死亡數是否需往上移一格？</p> <p>(7) p144-146 內文與圖 3-8-4、圖 3-8-5 之間，內文用”發芽株數”，圖用”發芽率”，圖表文字要對應。</p> <p>(8) p147 圖是用 2018 年，文字用 107 年，請統一。</p> <p>(9) p150-151，表 3-8-4，文與表的數值也有一點差別。</p> <p>(10) p150-153 圖表與內文多處對應很亂，請再確認。</p>	<p>驗樹種分為大於及小於平均生長量討論，因此於表 3-7-8 中調整平均生長量的排列順序，排列標準如該表標題：以總苗高 AGR 由大至小排序。</p> <p>係為表 2-7-10 之誤植，已修正。</p> <p>感謝委員指正！已將相關表格內容予以修正。</p> <p>感謝委員指正！已遵照修正內文。</p> <p>感謝委員指正！已將年份統一為西元年。</p> <p>感謝委員指正！已修正表及內文。</p> <p>感謝委員指正！已確認相關內容並修正。</p>
<p>賴鴻裕委員：</p> <p>1. 本計畫已利用多種處理方式進行森林生態之復育，但目前分散在各章節，各種方法各有其優缺點。成果評估時使用存活率、苗高、地徑等指標，未來之成果報告中，能否列表說明及比較這些處理方式應用上之限制及優缺點。</p> <p>2. 覆蓋採用生物炭，報告書中亦建議使泥炭及腐熟堆肥，請補充說</p>	<p>感謝委員指正！未來將配合相關實驗之結果，整理各復育方法，並說明其限制及優缺點。</p> <p>感謝委員提醒！不同覆蓋物之試驗尚在進行中，待有結果時再進行分</p>

<p>明及比較三者之效果，多數 biochar 的 pH 較高，且初期會競爭養分，請注意其應用上之限制。</p> <p>3. 誤植文字請修正：p78 應為 14%；p81 Sand”y” loam；p126 泥”炭”土、生物”炭”、計”畫”等處。</p> <p>4. 本計畫已執行數年，建議可再採集土壤進行 pH 測定，以瞭解 pH 之變化。打漿是否可以以 HOB0 監測土壤水分，來瞭解土壤水分是否為限制因子之一。</p> <p>5. P104 選擇這些重要出栽樹種之依據為何？請補充說明。</p>	<p>析比較，同時本計畫也會注意 biochar 之使用。</p> <p>感謝委員指正！已將相關內文予以修正。</p> <p>將於適時再測定土壤 pH。先前試驗因考慮 HOB0 感測器不適直接放入泥漿中，因此未能以 HOB0 來監測打漿後之土壤水分。</p> <p>遵照辦理。實際出栽苗木之種類除考量其存活與生長，亦與可採種及育苗之種類有關，後續報告書將補充說明。</p>
<p>楊國華課長：</p> <p>1. 本處過往曾執行「武陵地區原生植栽應用名錄」計畫，目前苗木栽植是否使用這個報告中的建議樹種？</p>	<p>該計畫之部分種類於本計畫中已有栽植，例如：山桐子。</p>
<p>潘振彰技正：</p> <p>1. 早期的研究曾提到山鹽青的直播有不錯的存活率，但現在的結果不如預期。報告書中山鹽青只出栽 2 株苗木，它的死亡率是否與環境因子相關？</p>	<p>先前種子直播試驗，顯示山鹽青種子萌芽率尚佳，但可能因武陵已接近其低溫極限，以致後續生長並不佳，故目前已少栽種。</p>
<p>廖林彥主任：</p> <p>1. 退耕還田於林為雪霸重要政績，請受託單位協助規劃一個解說牌示，提供現場人員引導外賓或</p>	<p>將配合管理站之需求，協助規劃本計畫之解說區及相關牌示內容。</p>

<p>遊客瞭解這 20 年來雪霸處在此的努力成果。</p> <p>2. 8.1 公頃是否有空間可提供民眾或遊客參與時，可以辦理植樹活動？8.1 公頃周圍是否規劃栽植具觀賞價值的原生樹種？</p>	<p>國外生態復育工作常結合民眾共同參與，若管理處可舉辦生態植樹活動，將予配合。目前已栽種山桐子、槭樹、櫻花等原生景觀樹種。</p>
<p>于淑芬課長：</p> <p>1. 所有的苗木出栽是否都有接種菌根菌？</p> <p>2. 土壤水分的測量為 15 公分，但植穴坑都超過 30 公分，那麼是否土壤水分的測量上需要往更下層的深度？</p> <p>3. 復育過程是否有留下任何影像紀錄？</p>	<p>本計畫在育苗階段即進行出栽苗木之菌根菌接種。</p> <p>表土水分缺乏易對幼苗產生逆境，若根系往下生長超過 30 公分深，則苗木較不易枯死。同時考慮監測器之數量，目前尚無設置規劃。</p> <p>目前有拍攝採種、育苗、出栽等復育過程相關照片。</p>
<p>陳俊山秘書：</p> <p>1. 8.1 公頃有少數為自然演替觀察區，此部分的情形為何？建議敘明以合乎原先想對照的用意。</p>	<p>將於期末報告中，提出自然演替觀察區之情況，以茲與生態復育區相對照。</p>
<p>鄭瑞昌副處長</p> <p>1. 報告書請加上摘要。</p> <p>2. 文字修正”台”統一為”臺”。</p> <p>3. 報告附錄請附上第三次簡報的意見回應。</p> <p>4. 目前現場每公頃的苗木密度多少？如果明年又要種 5000 株數，那麼要種在哪邊？栽植後密度是否會過於密集？</p> <p>5. 灌溉系統是否正常運作？</p> <p>6. 在 8.1 公頃的範圍，是否有資料</p>	<p>遵照辦理。</p> <p>遵照辦理。</p> <p>遵照辦理。</p> <p>目前出栽之密度仍在林務單位造林的密度範圍內，同時也要考量並非每一株苗木都能在廢耕地惡劣環境下存活，未來的補植仍是需要的。</p> <p>今年度所見尚屬正常。</p> <p>目前在廢耕地中，最高的苗木已長</p>

<p>能支持當地的動植物、微氣候、土壤物理性等在這十幾年來是否有朝正向的反應？</p>	<p>至 4 公尺，顯見已加速演替之進行。然如何評估復育成效乃是一項尚在發展中的議題，將蒐集相關報告及資料再於日後報告中提出。</p>
<p>鍾銘山處長</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 經過多年的試驗，目前已經開始在逐步改善環境，有較適應的植株存活、後續就是需要時間。 2. 請思考未來此區的解說地點與牌示，以及和牌示相對應的現地解說動線，呈現令人有感的復育成果。 3. 請受託團隊盡量留下珍貴的影像紀錄，未來若有拍攝紀錄片，這些都是重要的素材。 4. 植栽上建議可以朝因地制宜、適地適木的方式去執行，以群聚的樹種來種，並考量樹種多樣性，期望未來能形成具有多樣層次的森林。 5. 撫育的部分，明年度包含澆水與適度整理，須儘量因地制宜。不必砍草的部分就不用砍，也可以形成保護帶增加含水量。 6. 監測的部分應該有逐年的數據來做比較。 	<p>感謝委員的肯定與支持，本計畫已大致掌握赤楊等先驅樹種之生態造林方法，未來將持續進行相關試驗，以提出本地生態復育之對策。將配合管理處之需求，協助規劃此區之解說地點、動線、牌示。</p> <p>將儘可能拍攝復育過程之相關影像。</p> <p>感謝委員建議，本計畫致力於因地制宜、適地適木、多樹種等目標，期能儘早恢復本地之森林生態系。</p> <p>將配合管理處之需求，適時提供撫育相關措施之建議與示範。</p> <p>目前正持續進行相關監測中。</p>

第五次審查會議回覆辦理情形

審查意見	辦理情形
<p>賴鴻裕委員：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 考慮出栽後之存活率，是否可以與復育區周邊比較植群之組成百分比？未來出栽之樹種是否會依復育區周邊之植群組成而調整？ 2. p.124 為何挑此三種進行比較？建議未來之比較可以統一利用“表現指數”。或是利用一致化之指標加以比較。 3. 部分文獻並未列入 p.179-191，請修正。 4. p.103 指出阿里山榆推測死亡，但 p.104 之存活率為 100%，請修改或加以說明。 5. 建議 p.60 之種子處理及儲藏方式可以加入表 3-3-1 中，表 3-5-2~3-5-4 苗齡請加入單位，確認圖 3-2-2 是否需要調整，圖 1-4-4 之氣候請更新。 6. p.152 2018~2019 年苗高降低，建議加入標準偏差。用詞請統一，例如 p.116 之冠徑與 p.163 之冠幅。 	<p>目前仍以出栽監測數據生長比較好的樹種為主，但有些演替後期的樹種會配置在演替早期樹種的林下，本計畫之目標希望能營造接近原始林的情況，也會和周遭植群比較。所採用的生長指標，會再做些衡量，如果有單一指標是會比較有一致性。</p> <p>文獻有缺漏的部分，會再檢查修正。</p> <p>p.103 記錄死亡之阿里山榆為 2017-10-07 被發現萌發之實生苗，非試驗出栽苗木，p.104 之存活率為 100% 表示試驗的出栽苗木中的阿里山榆無死亡情形。</p> <p>感謝委員指正！種子儲藏的方式，會再列入採種紀錄表內。相關資料亦將予以調整更新。</p> <p>感謝委員指正！已遵照修正內文。</p>

<p>賴國祥委員：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫歷經幾年嘗試各種試驗，已有明確成果值得肯定。 2. p.95、98 表 3-7-3 及 3-7-4 為增加樹種多樣性，部分表現數據高於平均值，但未達 10 株之樹種，亦建議可採用。 3. 添加菌根菌之植株生長是否較佳？若有調查資料，請加說明。 4. 建議培育適合的針葉樹出栽。 5. p.149 的紀錄方式建議可採用累計：發芽、死亡、存活。 	<p>謝謝委員的肯定。</p> <p>監測數量不到 10 株的樹種，也會納入參考。</p> <p>地號 97 添加之菌根菌是購買的。未來會考量是否將菌根菌苗木納入監測。</p> <p>目前生長情況較好的針葉樹種只有雲杉。</p> <p>感謝委員指正！已遵照修正內文。</p>
<p>楊國華課長：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 目前復育分三區為原生植物景觀區、自然演替觀察區、森林生態復育區，有提到為防範野生動物入侵，會在邊界種植一些植物，目前復育樹種如何選定及配置？ 2. 裡面有規劃一區為原生景觀植物區，如果是單純規劃給遊客欣賞，未來是否有可能再調整，盡可能種植靠近路邊。 	<p>目前整體的復育策略基本上並沒有問題，到年底會再評估是否要再做修正。</p> <p>樹種配置上，景觀區已放置在比較靠近路面，方便遊客觀賞，選擇的山桐子亦是很好的景觀樹種。</p>

<p>潘振彰技正：</p> <p>1. 復育生態學以人為力量縮短演替時間，本報告提及演替後期沒辦法在這階段讓它生長的條件，須從演替早期樹種先栽植，這樣似乎沒辦法抵抗環境、天候等限制之宿命，必須靠研究或技術來縮短期程，似乎成效沒有那麼大，請再補充說明。</p>	<p>以目前技術上，演替早期樹種種植成效快、成本低；反之，演替後期的樹種育苗時間長、存活率低、生長情況較差，在經營管理策略的抉擇，需多方面考量。</p>
<p>廖林彥主任：</p> <p>1. 高麗菜園廢耕後種植原生樹種已掌握部分成功的要素，是否可進行部分茶樹種植試驗，推廣至鄰近部落，讓部落轉型從淺根的蔬菜改種植稍微深根且高經濟的茶樹。</p> <p>2. 菌根菌目前是購買的，是否可以自行培養符合當地土壤的菌根菌，效果更好？</p>	<p>本計畫會配合將復育方法、心得，協助管理處進行復育成效宣傳、製作解說牌示等。</p> <p>97 地號之菌根菌是購買的，而苗圃育苗之菌根菌則是當地菌種，且廢耕地造林樹苗均有接種。</p>
<p>黃奕絲技士：</p> <p>1. 本計畫為三年計畫，建議於報告書第一章敘明本次執行之監測、試驗內容。並於報告書中多加呈現本次監測、試驗之照片。</p> <p>2. p.80 表 3-6-1 武陵廢耕地之長期氣候年平均的月降雨量是否計算錯誤?(未除以 12 個月)或表達方式有誤。</p>	<p>遵照辦理。</p> <p>感謝委員指正！已遵照修正表格。</p>

<p>3. p.132 為何表 3-7-8 臺灣蘋果之生長表現第 3 次監測最小苗高 (35cm)比第 2 次監測最小苗高 (39cm)小?</p>	<p>第 2 次與第 3 次監測最小苗高為同一株苗木，該株苗木於第 3 次監測時發現頂芽有遭野生動物啃食的痕跡，因而苗高縮減。</p>
<p>于淑芬課長：</p> <p>1. p.93 監測各苗木的表現，是用生長指數和表現指數，表 3-7-3 及 3-7-4 請再解釋生長指數和表現指數可以看出樹種的哪些狀況？</p> <p>2. 表 3-7-3 為什麼有些同一樹種生長指數和表現指數差異很大？是否是個體間差異，請再說明。</p> <p>3. p.94 結論為適合初期造林之樹種只有 7 種，但總共種植達 56 種，是經過多次試驗和判斷才歸納出此結論，請再進一步說明？</p> <p>4. p.107-109 各樹種用不同出栽方式的生長情形，前面圖示用虛線呈現，後面用實線呈現，圖示請用統一方式呈現。</p> <p>5. 四月至十月是武陵廢耕地苗木主要的生長季，是溫帶地區苗木比較適合生長的季節嗎？還是在臺灣其他類似海拔的區域適合生長的季節就是四月至十月？</p> <p>6. p.143 有一張照片是赤楊開花，是種植兩年就開花嗎？太早開花</p>	<p>目前評估有 2 種方式，調查高生長和直徑生長是生長指數，生長指數乘以存活率則為綜合表現指數；這 2 種指數代表意義不同，可交互使用來呈現更多訊息。</p> <p>表 3-7-3 中有些數據看起來差異很大，是因為生長季和非生長季的關係。</p> <p>本計畫參照武陵廢耕地週遭森林，蒐集附近原生健康母樹種源，培育後出栽或直播，經過 3 次造林出栽及監測數據的累積，根據現地環境及演替階段，篩選出 7 種適合初期造林之樹種。</p> <p>圖示統一部分會再做修正。</p> <p>武陵地區造林受溫度限制，和低海拔地區有很大的差異，苗木大約只有 4~10 月可以生長，苗木生長速度通常也比不上平地之造林。</p> <p>單株赤楊開花算是特例，後續會再觀察。</p>

<p>是否有問題?有些植物在遇到逆境會提早開花結果，請說明。</p> <p>7. 前期試驗有分離出菌根菌，是否有可能量產？</p>	<p>菌根菌量產並不容易，目前尚無此規畫。</p>
<p>鄭瑞昌副處長</p> <p>1. 廢耕地底下，在武陵地區有進行很多試驗包含七家灣溪水質的試驗，目前水質表現是越來越往正向，報告中對於種植苗木的外表形質有加以說明，惟對於土壤形質、理化是否可以再做分析。</p> <p>2. 2017年苗木存活率約3成、2018年苗木存活率約7成，去年開始本處保育研究課也配合進行武陵廢耕地生態造林補植及撫育計畫，採用比較高強度的撫育措施，是否存活率會比較高？並請於期末提供未來經營管理策略或整體復育策略目標之建議。</p>	<p>後續會針對土壤進行監測比較，以瞭解生態復育造林前與造林後之差異，及添加不同土壤改良介質對土壤之影響。</p> <p>比較高強度的撫育措施有助於苗木生長，但成本會增加很多。未來復育策略將以先驅樹種建造成林，讓森林結構及功能初步達到後，再種植演替後期之樹種。</p>
<p>楊模麟處長</p> <p>1. 廢耕地直播沒有成功是否是撫育的問題？例如給水等等。</p> <p>2. 在研究方法或結果討論中應將水的因子、撫育的方法敘明並納入探討。</p> <p>3. 請於期末將三年的成果於結論與建議或結果與討論中呈現。</p>	<p>目前已實施胡桃及臭椿之直播造林，通常種子直播比苗木出栽更難成功，若能持續給水則會有助於種子直播造林成功。</p> <p>後續報告會再補充水的因子、撫育方法。</p> <p>感謝委員指正！遵照辦理。</p>

第六次審查會議回覆辦理情形

審查意見	辦理情形
<p>潘振彰技正：</p> <p>1. 2017-2019 年調查不同樹種初期存活率，定義初期存活率 <90%，是代表什麼意義？後續液肥和打漿試驗時，所進行狹葉櫟都未達 90%和赤楊做對照，進行液肥和打漿來改善，但成果還是赤楊明顯較好，所以當初定義 90%，有什麼重大意義嗎？</p> <p>2. 每一物種的適應能力，演替初期、陰性樹種、陽性樹種、甚至物候都會有所不同，2017-2019 年調查的物種樹基數卻是不一樣，如果將 3 年相同物種做比較，整體初期存活率比較方式，會更具參考意義!之後再進行其他試驗後，結果可以當作其他地區廢耕地示範物種之推廣，經篩選過後比較合適的物種，因不同地區仍會有不同選擇，可供其他林務單位之參考。</p>	<p>本計畫希望藉由出栽初期的存活率來瞭解不同樹種、該年度之出栽方式是否適合當地環境。定義 90%是因為調查時間設定為出栽約 4 個月後，一般來說，若非樹種或出栽方式不適合，存活率不會太低。後續赤楊與狹葉櫟的液肥和打漿試驗(章節 3-7-4)調查時間為每年的 4 月及 10 月定期調查，此試驗之結果顯示液肥、打漿之改善措施有助於提升台灣赤楊(演替早期樹種)之存活率(69% → 88%)，但對狹葉櫟(演替中後期樹種)目前無明顯效果。</p> <p>本計畫藉由每年的出栽初期監測資料來調整後續出栽的苗木種類配置與出栽策略，因調查設置的目的不同因此使 2017-2019 年的物種數量不一。感謝委員提供意見，本計畫將參考並構思更完善的試驗設計。</p>

<p>黃奕絲技士：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. p.83 表 3-6-2 武陵氣象站 2019-01-01~2019-05-30 氣象資料，內容請再做確認。 2. p.109 圖 3-7-6. 4 種出栽法之苗木存活率，圖表呈現結果與 7.5.1 苗木之存活率監測內容，苗木存活率打漿+覆稻殼>打漿並不符合，綠色 bar 與藍色 bar 之處理法是否誤植？ 3. p.2 重要結果(五)歸納出的 8 種適合武陵廢耕地現階段出栽之樹種，是否可以在報告中以表格或其他方式，來清楚呈現其適合出栽之方法？ 	<p>感謝委員指正！已遵照修正內文。</p> <p>感謝委員指正！已遵照修正內文。</p> <p>感謝委員指正！已遵照修正並呈現於結論中。</p>
<p>于淑芬課長：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. p.63 有提及復育樹種苗木的培育部份但無菌根菌描述等資料，而圖 3-5-2 有加入菌根菌試驗，請將內容加入菌根菌的部份。 2. p.94 定期監測苗木之表現，報告只到 2018 年造林資料，是否有 2019 年觀測資料？ 3. p.106 有關液肥和土壤打漿之表現，從 106 年表 3-7-5 看起來有處理似乎比較差，但文字內容卻說有處理比較好？是誤植嗎？ 4. p.109 四種出栽法對 15 種樹種之比較，已說明不同樹種四種出栽 	<p>感謝委員指正！已遵照修正內文。</p> <p>2019 年定期監測區亦即液肥及土漿之苗木出栽試驗(章節 3-7-4)。</p> <p>不是誤植，於表 3-7-5 中顯示出栽前、後有處理之存活率均優於無處理，雖然出栽中之液肥土漿存活率較差於純土漿，但液肥土漿樣株之生長表現仍比純土漿好。</p> <p>感謝委員提供意見，本計畫將參考並構思更妥善的分析方式。</p>

<p>法的圖，而圖 3-7-8 把所有樹種放在一起分析，然而每種樹種本來就具有差異性，合在一起分析將稀釋資料，建請考量分析方法。</p> <p>5. p.110 圖 3-7-7 15 種樹種苗木存活率，山枇杷不論有沒有經過處理存活率都很差，然而老師建議之 7 種適合在武陵種植之樹種，山枇杷也是其中一種，但是為什麼把四種出栽方式放進來存活率變很差，是什麼原因？</p> <p>6. 建議部分，請依本處建議格式撰寫。</p>	<p>地號 97 試驗結果(章節 3-7-5)之苗木存活率，四種出栽法除了無處理(16.7%)之外，其他三種出栽處理法經 3 年後均有 50%以上樣株存活，並且均有良好的生長表現。山枇杷於出栽第一年的冬季死亡率最高，之後則無死亡情形，可以推測除去動物危害因素後，低溫寒害可能是影響山枇杷最大的限制因子。然而此試驗中其他存活之山枇杷樣株的生長情形十分良好，且本計畫綜合其他試驗之結果考量山枇杷可列為建議樹種之一。</p> <p>遵照辦理。</p>
<p>賴鴻裕委員：</p> <p>1. 圖 3-2-2 列出廢耕地所面臨之問題，建議將所做工作之章節加入格子中，以方便翻閱。部份做法已試過後知道沒有效果可刪除。建議可以在結論前有一章節可以說明出栽或種子之詳細做法或配方或是覆土深度等，並以流程圖說明。</p> <p>2. 誤植請修正：p.168 加入單位(X 軸)，p.103 鉀，p.161 刪除 0，</p>	<p>感謝委員指正！已遵照修正內文。</p> <p>感謝委員指正！已遵照修正內文。</p>

<p>p.83 應為 2019-07，p.84 之含石率請與 p.85 一致，文獻寫法請一致化。</p> <p>3. 演替後期樹種補植，是否有建議之補植方式？</p> <p>4. p.19 土壤鹼化，建議改成土壤 pH 上升。</p> <p>5. p.90 根部澆灌養液之內容，請補充說明及加入內容。生長表現最佳之意思，建議更明確說明。</p> <p>6. p.92-93 建議於表下方標示”-”之意義，粗體之意義為何？圖 3-7-2 為重複之數據繪圖，建議刪除。</p> <p>7. 7-8 種建議之造林樹種是如何決定的，請補充說明。是存活率，GI 還是 PI？</p> <p>8. p.174 種子直播後之苗木調查是否可以計算其 GI 及 PI。目前表 3-7-1 及 3-7-3 似乎是以 PI 之高低排列，但 p.95 7 種摘要，摘要 8 種，請一致化。建議之樹種似乎並未全然是高 PI 之樹種。</p>	<p>建議可以透過以早期出栽之護理樹或將演替後期樹種以樹島方式種植可能可以提高其於武陵廢耕地現階段環境之存活率及生長表現。</p> <p>感謝委員指正！已遵照修正內文。</p> <p>感謝委員指正！已遵照修正內文。</p> <p>”-”之意義為該年度未出栽，粗體之意義已有備註於表標題後，表示該年度出栽株數 ≥ 30 株。</p> <p>本計畫結論中之 8 種建議樹種乃是綜合各項試驗中之苗木生長表現 (GI) 與存活率 (PI) 以及現地觀察所得。</p> <p>感謝委員指正！本計畫結論所推薦之 8 種樹種，係綜合不同試驗與觀察之結果；已遵照修正內文。</p>
<p>賴國祥委員：</p> <p>1. 本計畫對各試驗樹種特性及生長條件觀察透徹，並有具體結論，值得肯定。</p> <p>2. p.65 表 3-5-2、3-5-3、3-5-4 部份</p>	<p>謝謝委員肯定。</p> <p>感謝委員指正！已遵照修正內文。</p>

<p>苗木，如台東石櫟、楊梅、雲杉....未見於自行採種資料(表 3-3-1)，其來源應說明。</p> <p>3. p.89 和 p.64 種植及調查數量應再確認。</p> <p>4. p.98 平均 GI (81.55) 及 PI (31.14)，請再確認。</p> <p>5. p.134、137、174 表 3-7-12、3-7-13、3-8-6 之數值，請再確認。</p>	<p>感謝委員指正！已遵照修正內文。</p> <p>感謝委員指正！已遵照修正內文。</p> <p>感謝委員指正！已遵照修正內文。</p>
<p>陳俊山秘書：</p> <p>1. 將三年的過程及成果，於結論時進行統合。</p>	<p>遵照辦理。</p>