

行政院農業委員會林務局主管科技計畫：106 農科-11.7.1-務-el

因應氣候變遷生物多樣性回復力之研究  
A study on the resilience of biodiversity under  
long-term climate change

106 年度研究報告



主辦機關：行政院農委會林務局

執行機關：國立宜蘭大學

台灣生物多樣性保育學會

國立嘉義大學

國立臺灣師範大學

中華民國 106 年 12 月

# 目 錄

目錄.....	1
<b>第一章 因應氣候變遷生物多樣性回復力之研究計畫說明 .....</b>	<b>5</b>
一、前言 .....	5
二、計畫目標.....	6
三、計畫架構與分工.....	11
四、參考文獻.....	12
<b>第二章 維管束植物殘存地點分布與保育策略之分析 .....</b>	<b>14</b>
摘要.....	14
一、前言 .....	16
1.1 氣候變遷下的生物遷徙與現象與可能的衝擊 .....	16
1.2 擬解決問題 .....	17
1.3 計畫目標 .....	19
1.4 本（106）年度目標.....	21
二、材料及方法 .....	21
2.1 植物分布資料蒐集與資料庫建置 .....	21
2.2 高解析度氣候模式建置(ClimateAP) .....	23
2.3 高解析度氣候模式建置(temp.regression) .....	25
2.4 temp.regression降尺度模組精度驗證.....	27
2.5 植群範圍、分布預測及衝擊程度分析 .....	29
三、計畫成果 .....	32
3.1 ClimateAP模式準確度驗證 .....	32
3.2 temp.regression模組準確度驗證 .....	35
3.3 temp.regression.future對未來氣候降尺度推估結果 .....	47
3.4 植群範圍、分布預測及衝擊度分析.....	50
四、績效指標與期末評核標準達成情形 .....	65
五、參考文獻 .....	66
<b>第三章 以大白山至大南澳嶺與雙溪、頭城山區為例 .....</b>	<b>68</b>

摘要.....	68
一、前言.....	71
二、前人研究.....	72
(一) 避難所在氣候變遷下的重要性.....	72
(二) 保育標的物之適應性經營.....	75
(三) 粗、細篩網的保育.....	79
(四) 台灣水青岡的敏弱度與評估.....	81
三、材料及方法.....	86
(一) 研究地區概述.....	86
(二) 研究地區之植物與植群調查.....	89
(三) 研究地區之植群圖繪製.....	91
(四) 適應性經營之研究流程.....	91
四、結果與討論.....	92
(一) 大白山至大南澳嶺地區的結果.....	92
1.大白山至大南澳嶺地區的植群調查結果.....	92
2.大白山至大南澳嶺地區保育標的物之適應性經營(ACT).....	95
(二) 雙溪-頭城山區的結果.....	103
1.雙溪-頭城山區的植物資源.....	103
2.木本質群分析結果(粗濾網之生態系尺度).....	106
3.植群製圖結果.....	116
4.稀有植物的保育評估.....	118
5.適應性經營之研究流程-以四照花和黃楊為例.....	119
五、結論與建議.....	126
六、參考文獻.....	127
附錄3-1、本(106)年度目標.....	136
附錄3-2、期末暨成果效益報告.....	138
附錄3-3、研究報告.....	147
<b>第四章 以南仁山植群及新豐鄉榭櫟為例.....</b>	<b>155</b>
摘要.....	155
一、前人研究.....	156
1.1 現今氣候的變化.....	156

1.2 長期森林變化.....	160
1.3 物種分布的變化情況.....	161
1.4 物種脆弱度評估.....	166
1.5 森林小苗監測.....	166
1.6 生態系或物種面臨氣候變化之敏感適應能力與因應對策.....	167
1.7 植物繁殖體的保存.....	175
1.8 臺灣的現況.....	175
1.9 擬解決問題.....	180
1.10 計畫目標.....	181
1.11 本(106)年度目標.....	183
<b>二、材料及方法.....</b>	<b>183</b>
2.1 研究地點.....	183
2.2 物種保育急迫性及優先順序分析.....	187
2.3 櫟櫟分布模式與預測.....	189
2.4 監測生育地之小苗調查方法.....	190
2.5 小苗分析方法.....	191
<b>三、結果與討論.....</b>	<b>192</b>
3.1 南仁山區物種保育急迫性及優先順序分析.....	192
3.2 南仁山保育急迫物種人為繁殖方式.....	193
3.3 南仁山小苗監測.....	197
3.4 櫟櫟原生地監測.....	205
3.5 新竹櫟櫟之分布地預測評估與實地栽植.....	207
3.6 指標物種之異地復育.....	208
3.7 櫟櫟種子培育與區外植栽監測.....	208
3.8 櫟櫟遮陰度相關試驗.....	212
<b>四、結論與建議.....</b>	<b>214</b>
<b>五、績效指標與期末評核標準達成情形.....</b>	<b>215</b>
<b>六、參考文獻.....</b>	<b>217</b>
附錄4-1、欖仁溪樣區物種脆弱度評估表.....	228
附錄4-2、陸軍裝甲兵訓練指揮部回文.....	231
<b>第五章 以台灣水青岡與櫟櫟森林的昆蟲為例.....</b>	<b>232</b>

摘要.....	232
一、前言.....	233
二、前人研究.....	234
三、材料與方法.....	237
(一) 研究地區.....	237
(二) 研究方法.....	238
四、研究結果.....	239
(一) 以台灣水青岡為食的鱗翅目昆蟲調查.....	239
(二) 新竹榲欖樣區昆蟲調查.....	244
(三) 台灣水青岡的開芽物候與春季同時期各樣區的開芽率與物候差異.....	246
(四) 台灣水青岡的鱗翅目昆蟲飼育狀況.....	246
(五) 以DNAbarcode資料庫比對於臺灣山毛櫸鱗翅目種類鑑定之探討.....	248
五、討論.....	249
六、執行進度.....	250
(一) 執行情形.....	250
(二) 執行情形概述.....	250
七、參考文獻.....	251
附錄5-1、台灣水青岡植食性鱗翅目昆蟲食性整理.....	255
附錄5-2、以DNAbarcode之分析方法所採用之樣本.....	259
附錄一、工作會議紀錄.....	261
附錄二、期中審查意見及回復說明.....	271
附錄三、期末審查意見及回復說明.....	280

# 第一章 因應氣候變遷生物多樣性回復力之研究

## 計畫說明

### 一、前言

全球氣候變遷與極端事件的普遍化現象，近年已受到世界各國重視，有關生物多樣性及生態系可能遭受之衝擊與後續效應，也已引發相當程度的研究及討論。目前已知的衝擊除了生物多樣性的流失之外，最大的影響可能是稀有、特有及脆弱的生物族群及生態體系結構受到破壞。此外，外來物種的入侵現象，似乎也隨著全球氣候變遷而加劇，間接造成原生物種消失及原生生態系失衡。先進國家已展開許多研究，企圖瞭解族群、物種、群落社會等層級對氣候變遷的敏感程度、脆弱度及反應能力；此外，為了避免特稀有物種及其棲地的滅絕消失，亦已依據現有知識基礎及風險程度，針對評估屬氣候變遷影響之高風險物種及族群，擬定適宜之保育策略，並進行保育工作的實質推動。

依據我國科技部 2011 年發佈之「臺灣氣候變遷報告」，指出臺灣地區近 50 年及 30 年來降水強度與頻率有逐漸增加趨勢，且趨於兩極化，即雨季越濕、乾季越乾；極端日雨量至 21 世紀末則將增加約 10% 至 30%。該研究顯示極端氣象事件之發生頻率與強度將與日俱增，使本島山區自然環境在氣候變遷與極端事件衝擊下益形脆弱。氣溫方面，發現臺灣暖化現象十分明顯，不論是 100 年、50 年和 30 年的平均溫度變化都有顯著上升趨勢。在季節變化方面，近 30 年的變化以冬季增溫幅度大於其他三季；高溫日數百年變化呈現增加的趨勢，以臺北增加幅度最大，約為每 10 年增加 1.4 天，近 50 年與 30 年的極端高溫日數分別增加為每 10 年 2 天與 4 天（許晃雄等，2011）。從上述數據顯示，無疑地，臺灣正與全球多數地區相同，正面臨著氣候暖化趨勢的影響。

氣候變遷對於生物多樣性的衝擊是漸進、深遠而難以迅速回復的，為減緩氣候變遷的衝擊，2008 至 2012 年美國推動一系列研究，探討氣候變遷對生物多樣性、生態系及生態系功能服務的影響，利用科學方法預測衝擊的趨勢與規模，進一步提出可行的調適作為。整體而言，其研究架構係以物種或生育地對氣候變遷的暴露程度為基礎，實施脆弱度與風險評估，根據評估結果，從政策面、社會面或法規制訂面推動調適作為，達到減緩、降低或預防災害發生的目標（Staudinger *et al.*, 2012）。

因應上述趨勢與國內保育工作需要，林務局 2012 年推動「建立氣候變遷對

生物多樣性風險與脆弱度評估模式及因應策略規劃」研究計畫，針對植物紅皮書物種、保育類物種以及各林帶特徵物種進行氣候變遷脆弱度及風險之評估，結果顯示多數物種在氣候變遷衝擊下，皆有從低海拔向高海拔、西南向東北方向遷移的趨勢，且多數紅皮書及保育類物種之棲地範圍均大幅限縮，增加滅絕風險（林務局，2012）。此外，林務局亦於 2013 至 2015 年推動「因應氣候變遷之生物多樣性脆弱度評估與風險管理研究」計畫（下稱「前期計畫」），透過該局累積多年的植物調查資料庫及國內各大植物標本館資訊整合，分析並提出全台灣維管束植物在長期氣候變遷影響下可能的殘存分布區域，主要包含恆春半島東側、壽卡至牡丹、南澳山區及東北角山區等 14 處地點，該研究進一步指出，當暖化持續發生，建議上述地點之窄域分布物種及生態系將可能面臨較明顯之衝擊；該計畫同時以南仁山植群、南澳山區臺灣水青岡植群及福山長期植物花果物候監測為案例，從生態系層級探討氣候變遷的可能衝擊與影響（林務局，2015）。

依據科技部「臺灣氣候變遷報告」的分析結果，已可確認短期（30 年）與長期（100 年）趨勢均顯示臺灣地區存在氣候暖化現象。分布預測模式或大尺度植物地理研究結果均顯示植物的分布範圍將隨氣候變遷產生推移，且某些地區受特殊植群聚集及局部地形影響，在氣候變遷衝擊下可能更容易導致物種與族群的滅失；前期計畫的案例研究中，則顯示某些敏感物種的族群有縮減現象（例如臺灣水青岡、臺灣柯、唐杜鵑等），但仍需更多佐證資料，以證實該現象與氣候暖化現象或極端氣候事件的因果關係。

## 二、計畫目標

本計畫將延續前期計畫成果，利用高精度氣候模式及完整的全臺植物分布資料庫，更嚴謹地確認臺灣地區可能遭受氣候變遷衝擊的生態系及其地點，依據不同地區之衝擊程度及自然條件特性，建議合理的保育優先次序。此外，選定二至三處易受衝擊地點為調查監測範圍，從生態系及物種層級探討氣候變遷的影響；對於區域內易受衝擊的窄域分布物種，預計以輔助更新、協助遷徙或移地保存等不同方法，建立實質的苗木繁殖培育技術、保育作業流程與案例示範。本計畫主要包含下列四項目標。

- (一) 瞭解易受衝擊地點生態系及物種之保育急迫性，並提出優先順序：

一處地區植物相或物種之特殊性與不可替代性，為衡量該地區生態系或特稀有植物應受保育優先順序重要因素之一。若地區植物相極為特殊，又或孕育有稀有且侷限分布之物種，且於其他地點難以覓得相似或可替代之植物社會組成，則本地區必須受到較高的保育關注程度。一旦此地區面臨氣候變遷或其他環境因子之衝擊時，更容易造成棲地與物種多樣性的流失，因此必須優先擬定保護對策，必要時則應預先採取稀有物種之遷地保存等措施。

澳洲學者 Gunnar Keppel 在 2015 年針對氣候變遷議題，提出決定氣候變遷避難所保育優先次序之概念框架（圖 1.1），認為政策管理者應從物種、氣候變遷趨勢、地理分布及土地利用管理等資料進行彙整分析，選定適宜之時空間尺度後，據以分析評定可能之微避難所位置與容納量，進一步依據相關環境因子，進行各微避難所之保育優先次序評定工作。

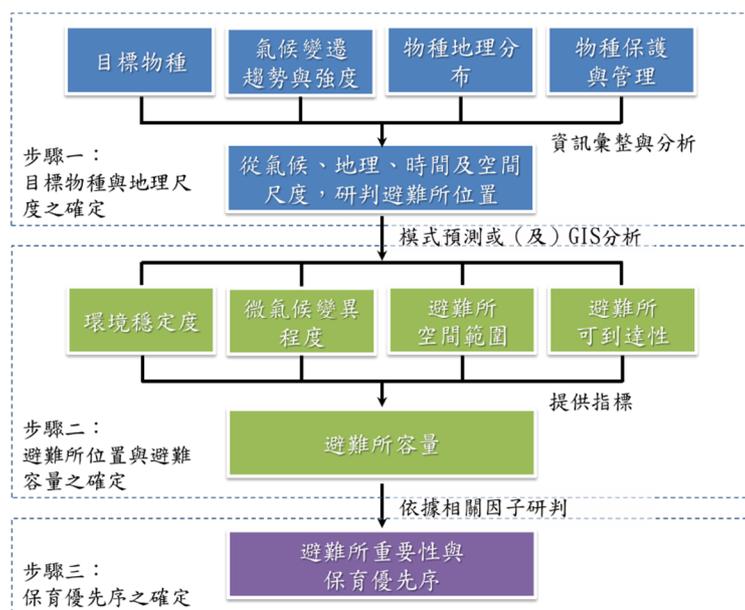


圖1.1 Gunnar Keppel繪製的概念圖，顯示微避難所 (micro refugia)、堅守點 (holdouts) 及遷徙跳石 (stepping stones) 的差異。微避難所與堅守點為固定的空間地點，但前者具有較高的容受力，在暖化情境下可維持長久的冷涼微氣候；遷徙跳石則為物種遷徙的前端族群，空間地點會隨著時間改變。

Keppel 進一步指出，「氣候變遷避難所」因環境穩定度及區域容受力之差異，因而可再細分為「遷徙跳石」、「堅守點」與「微避難所」3類（圖 1.2）。其中「堅守點」及「遷徙跳石」兩類區域內之物種及生態系較易因避難容量不足而導致滅絕，建議必須列為保育的優先對象。

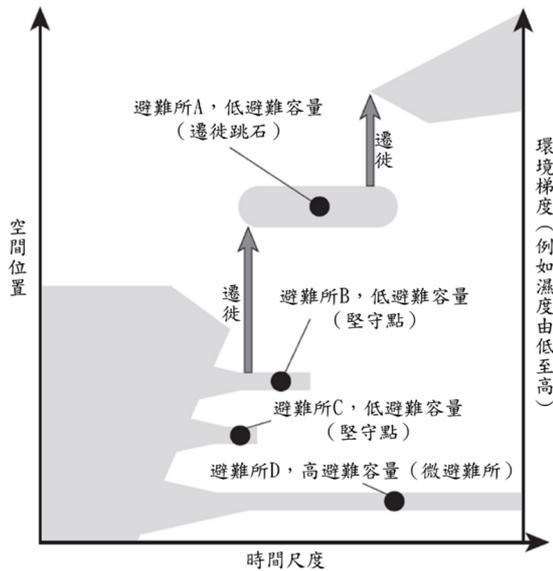


圖1.2 Gunnar Keppel繪製的概念圖，顯示微避難所 (micro refugia)、堅守點 (holdouts) 及遷徙跳石 (stepping tones) 的差異。微避難所與堅守點為固定的空間地點，但前者具有較高的容受力，在暖化情境下可維持長久的冷涼微氣候；遷徙跳石則為物種遷徙的前端族群，空間地點會隨著時間改變。

本計畫認為，Keppel 研究框架下的「堅守點」概念與前期計畫提出之「易受氣候變遷衝擊地點」極為近似。且澳洲團隊已完成氣候變遷下的微避難所之案例研究，證實該架構具有實務應用性。因此，本計畫擬以 Keppel 的研究框架為基礎，利用臺灣現有之資料與知識基礎進行修正，據以推動本土性之分析與評估。

(二) 規劃監測調查機制，瞭解易受衝擊地點生態系及物種的退化或遷徙情形：

選定 2 至 3 處已知易受氣候變遷衝擊地點之高風險生態系及物種(如恆春半島東側植群生態系、新竹地區榲欖植群、南澳山區台灣水青岡植群及東北角山區近山頂植群生態系等)，規劃監測調查機制，透過長期資料累積，瞭解該生態系及物種的退化或遷徙情形。並可利用 GIS 系統及多期航測圖資之比較，瞭解生態系邊界及物種分布的推移情性。其研究結果可做為研擬對應之保育措施之參考。

(三) 依據生態系及物種之保育急迫性，提出可能的保育對策及具體作法：

2009 年國際生態復育學會(Society for ecological restoration international)報告指出，面對氣候變遷所帶來的威脅，以生態系復育及稀有種的管理觀點而言，可以採取如下的應變方法：(1)增加棲地面積，維持原有棲地的生物多樣性；(2)透過棲地復育方法，增加原有的片斷化生育地之連結，提供物種適宜的遷徙廊道；(3)針對遷徙能力較差的物種，或是遷移能力趕不上氣候及土地利用變遷推移速率的物種，採用人工輔助遷徙(Assisted migration)的方式，協助物種新族群的異地建立；(4)針對危險程度最高、缺乏抵抗力及適應力，或遷徙能力低弱的物種，則必須考慮透過遷地保育(*ex situ* conservation)方式進行物種多樣性的保存。

2013 年 Shoo 等人表明氣候變化對生物多樣性產生嚴重的影響，這些影響可能無法通過傳統的保護方法得到充分解決，因此提出了一個全面性的決定框架(decision framework) (圖 1.3)。Shoo 等人認為，生態系及物種面臨不同程度的氣候變遷脆弱度時，可採用的因應對策包含(現有棲地保護管理(habitat or landscape management)、物種的現地保護管理(species-specific management)、協助遷徙或營造棲地廊道、協助異地族群重建(Reestablishment or rewilding)以及遷地保育等，然而這些不同程度的保育措施所需之經費規模不同，因此，保育機關應依照政策方向與生態系及物種的風險暴露程度因子，選擇恰當之保育措施，方能以最有效率的方式，強化生態系及物種對於氣候變遷風險的抵抗能力。

臺灣因應可能的氣候變遷情境，目前已完成生物多樣性風險與脆弱度評估模式及因應策略規劃，並完成大尺度之維管束植物地理分布，以及臺灣水青岡及南仁山低地雨林生態系統之案例研究評估，然而尚未針對高風險生態系及物種部分，擬定適宜之保育策略與實務方法。因此，本計畫擬參照 Shoo 等人之決策流程，針對臺灣易受氣候變遷衝擊地點之生態系及物種，擬定合宜之保育決策及行動，並建立可操作的範例提供林務局實務參考。

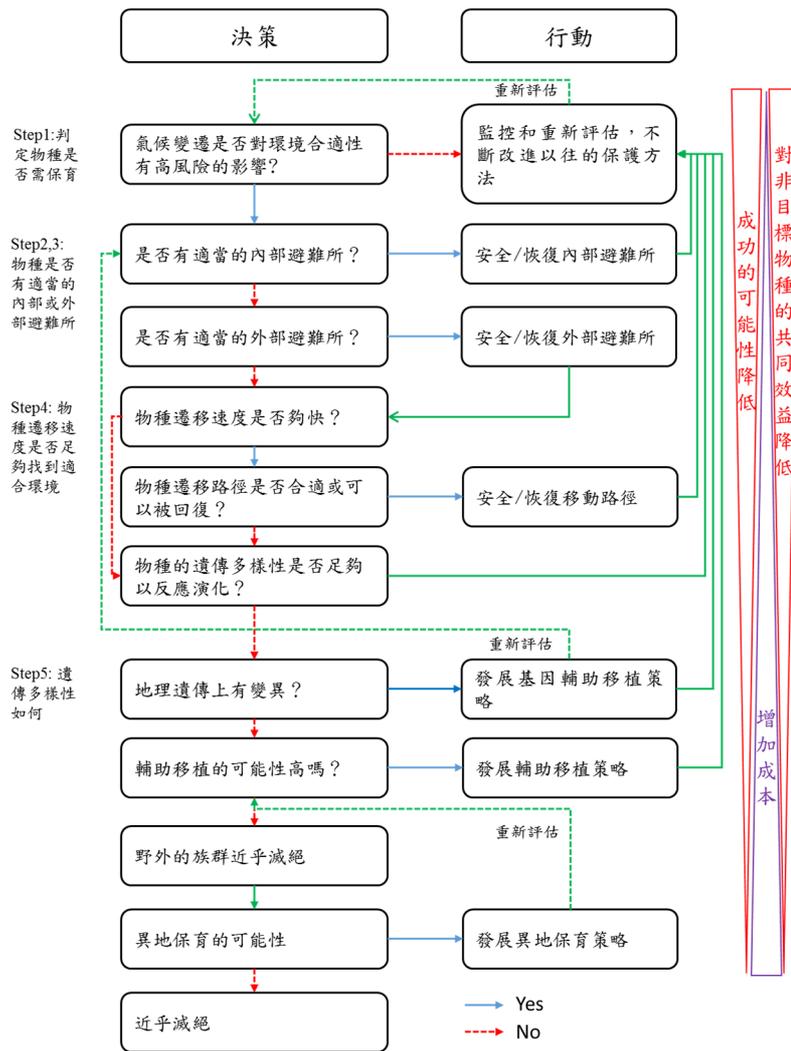


圖 1.3 針對氣候變遷下野外原生物種保護之管理行動決策方式。(修改自 Shoo *et al.*, 2013)

#### (四) 應用適應性規劃架構 (The Adaptation for Conservation Targets, ACT) 檢視並檢討計畫執行成果：

Cross 等人認為面臨氣候變遷情境的保育工作推動，在規劃階段必須能彈性配合變遷情境模擬結果，確認保育工作介入點、經營行動與優先次序，同時在執行階段必須設定有效的監測與評估方法，隨時反饋或修正原有的規劃內容，提高保育策略對於變遷環境的調適能力 (圖 1.4)。前期計畫大致已完成 ACT 架構內的步驟一至三，亦即確認臺灣地區可能遭受氣候變遷衝擊之地點與生態系；因此，本計畫將延續前期成果，針對不同地點的保育優先次序，以地區案例方式實際執

行物種監測、保育及成效評估。並循 ACT 架構動態評估整體計畫之規劃準確性，必要時進行反饋與調整。

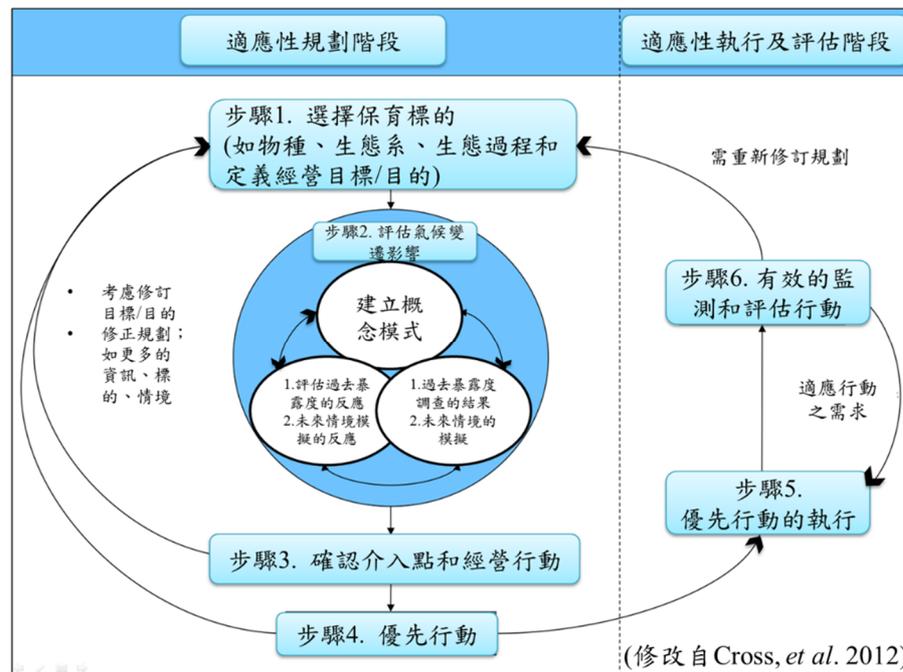


圖1.4 Cross等人提出的應用適應性規劃架構 (The Adaptation for Conservation Targets, ACT)。

### 三、計畫架構與分工

本案係以 1 個統籌計畫，下屬 4 個細部計畫方式執行。執行單位包含臺灣生物多樣性保育學會、國立宜蘭大學、國立嘉義大學及國立師範大學。各計畫名稱與分工架構如下 (圖 1.5)：

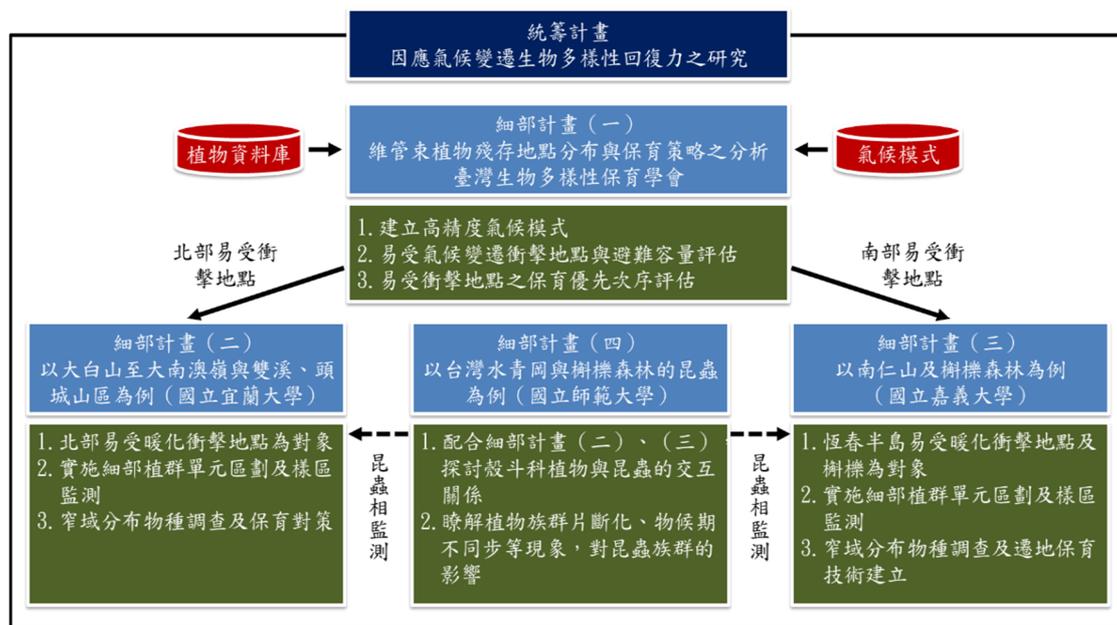


圖1.5 「因應氣候變遷生物多樣性回復力之研究」統籌計畫項下各細部計畫及其分工。藍色框格表示細部計畫名稱及執行單位，綠色框格則為各細部計畫負責推動的工作項目。

#### 四、參考文獻

林務局 2012 「建立氣候變遷對生物多樣性風險與脆弱度評估模式及因應策略規劃」成果報告書。

林務局 2015 「因應氣候變遷之生物多樣性脆弱度評估與風險管理研究」成果報告書。

許晃雄、吳宜昭、周佳、陳正達、陳永明、盧孟明 (2011) 臺灣氣候變遷科學報告。「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫」計畫辦公室、國家災害防救科技中心。

Cross, M.S., E.S. Zavaleta, D. Bachelet, M.L. Brooks, C.A.F. Enquist, E. Fleishman, L.J. Graumlich, C.R. Groves, L. Hannah, L. Hansen, G. Hayward, M. Koopman, J.J. Lawler, J. Malcolm, J. Nordgren, B. Petersen, E.L. Rowland, D. Scott, S.L. Shafer, R.M. Shaw and G. Tabo (2012) The Adaptation for Conservation Targets(ACT)framework: a tool for incorporating climate change into natural resource management. *Environmental Management* 50:341-351.

Shoo, L.P., A.A. Hoffmann, S. Garnett, R.L. Pressey, Y.M. Williams, M. Taylor, L. Falconi, C.J. Yates, J.K. Scott, D. Alagador and S.E. Williams (2013) Making decisions to conserve species under climate change. *Climatic Change* 119(2): 239-246.

Keppel, G. and Wardell-Johnson, G.W. (2015) Refugial capacity defines holdouts, microrefugia and stepping-stones. *Trends Ecol. Evol.* 20:1–22.

Staudinger, M.D., N.B. Grimm, A. Staudt, S.L. Carter, F.S. ChapinIII, P. Kareiva, M. Ruckelshaus, B.A. Stein. 2012. Impacts of Climate Change on Biodiversity, Ecosystems, and Ecosystem Services: Technical Input to the 2013 National Climate Assessment. Cooperative Report to the 2013 National Climate Assessment. 296 pp.

## 第二章 維管束植物殘存策地點分布與保育略之分析

### 摘要

本計畫於 105 年度完成國內多項調查計畫及不同植物標本館之植物分布資料收集，並以一致之學名標準進行資料庫建置，目前已收集且通過學名統整、地理座標檢核、採集時間檢核之植物資料計有 1,432,173 筆，涵蓋原生維管束植物 4,596 種。利用前述植物空間分布資料，配合氣候模式進行 TCCIP 發布之五公里氣候資料進行降尺度計算，產生各種維管束植物之溫度最適區間及耐性限度。針對位處耐性上界以上之物種及其個體，利用 GIS 軟體進行密度分布分析，獲得可能易受暖化衝擊之地點。綜合各易受暖化衝擊地點涵蓋之特有種及瀕危物種名錄進行評估，顯示恆春-滿州、頭城-雙溪-坪林、浸水營、大武-達仁-牡丹及南澳山區等地為多數特稀有物種之棲地，是需要優先關注保護的地點。此外，本研究發現恆春-滿州及頭城-雙溪-坪林兩處地點位居山頂區位，物種缺乏持續上遷尋找冷涼棲地之避災廊道，可能是暖化衝擊下物種與生態系容易發生劇烈變化的地點，建議應優先擬定適當的監測與因應方法。

本（106）年度與加拿大英屬哥倫比亞大學合作，完成氣候降尺度推估軟體 ClimateAP 於台灣地區的優化，並自行於 R 軟體內撰寫功能相同之降尺度推估模組 temp.regression，可針對台灣地區產製精度更優於 ClimateAP 的氣候資料；此外，已依 105 年度審查委員建議，利用 15 處測站樣本完成前述降尺度模式的精度驗證。有關易受暖化衝擊地點之分析，則採用隨機森林法結合高解析度氣候推估資料，建立以 13 種天然現生森林型為單元之隨機森林分類器，據以分析現生及未來不同森林類型的適生範圍變化情形。結果顯示，北台灣有 2 種森林型、南台灣有 3 種森林型至 2100 年之適生範圍將縮減至現生範圍的 30% 以下，可能是最首先遭到氣候變遷衝擊的生態系。如北台灣的水青岡森林、南台灣的低地風衝矮林、東北山區的冬季季風森林、衣丁山至浸水營的石櫟森林、高海拔的冷杉及香青森林等，皆是分析結果顯示為衝擊程度最高、需要優先關注的地點。

**關鍵詞：**氣候變遷、生物多樣性、生態系、物種分布、群落、氣候變遷衝擊與調適

## Abstract

Taiwan Forestry Bureau (TFB) has achieved a study of biodiversity vulnerability and risk assessment under climate change and established workflows for delineating geographical boundary of global warming sensitive forest ecosystem. However, the adaptive conservation strategies for recovering ecosystems and species from the impacts of climate change are still insufficient.

For achieving the goal of strengthening the resilience of biodiversity under long-term climate change, this project focused on the following issues:

1. Introduce and validate a high-accuracy climate model for application in the mountain area of Taiwan: It is a highly challenge to implement bioclimatic modelling in forest ecological research in Taiwan because the lack of superior climate data. We have modified a well-developed model, ClimateAP, which is designed by University of British Columbia for Asia-Pacific Forestry Network (APFNet), and improved its performance to make it adequate for ecological application in mountain area of Taiwan.
2. Evaluate conservation priorities of ecosystem that sensitive to global warming: For revealing the impact of climate change to global warming sensitive ecosystems, we evaluated the vulnerability and risk of each forest type based on following factors: (1) floral composition; (2) endemic rate and the percentage of threatened species; (3) history of land use and land use change; (4) environmental stress from anthropogenic activities.
3. Make adequate strategies for monitoring and protecting high-risk ecosystems and species: Adequate conservation action will be suggested to conserve high-risk ecosystems and species. Some practicable methods such as in-situ conservation, building corridors, assisting migration and ex-situ conservation are included.

**Key words:** Risk assessment, Adaption of forest ecosystem, Climate change, Biodiversity.

## 一、前言

### 1.1 氣候變遷下的生物遷徙與現象與可能的衝擊

在溫度及雨量的快速上升及下降之下，許多物種均會改變其分佈範圍。以歐洲為例，根據 1905 年至 2005 年的長期調查資料，研究指出歐洲大陸植物的最適分布海拔平均升高了 66 公尺，且草本植物敏感度高於木本植物、狹域分布物種之敏感度高於廣域物種(Lenoir, *et al.*, 2008)。全球高山環境觀測研究計畫(Global Observation Research Initiative in Alpine Environments, GLORIA) 研究成果亦指出，2001 年至 2008 年進行歐洲暖溫帶山地森林調查發現，隨著觀察時間增加，植物有向高海拔遷徙的現象，且山峰頂部物種數量明顯增加，證實物種有向高海拔遷移與擠壓聚集的現象 (Pauli *et al.*, 2012)。但也有相反的例子，如美國加州自 1930 年代以來，許多維管束植物因氣候濕度的改變，分布移動至低海拔(Crimmins *et al.*, 2011)。台灣部分，林務局「建立氣候變遷對生物多樣性風險與脆弱度評估模式及因應策略規劃」研究計畫曾對植物紅皮書物種、保育類物種以及各林帶特徵物種進行氣候變遷脆弱度及風險之評估，結果顯示多數物種在氣候變遷衝擊下，皆有從低海拔向高海拔、西南向東北方向遷移的趨勢，且多數紅皮書及保育類物種之棲地範圍均大幅限縮，增加滅絕風險(林務局，2012)。

台灣地形多山，當物種隨著長期氣候暖化趨勢不斷向上、向北遷移時，極可能受地形隔離與播遷阻礙等影響，在特定區域形成殘存族群，例如獨立的山塊頂部，在暖化情境下即為阻礙生物向高海拔遷徙的地理條件，具有較高的機會形成殘存族群(圖 2.1)。當暖化持續且再無廊道供物種遷移退縮時，殘存地點之生物族群已無法再透過遷徙尋得適宜之棲地，因此殘存地點之環境條件常已臨界這些物種之生理耐受限度邊緣，殘存族群則多蝸居於較小地理尺度之局部棲地內。林務局「因應氣候變遷之生物多樣性脆弱度評估與風險管理研究」計畫(以下稱「前期計畫」)即依據上述概念，分析並提出全台灣維管束植物在長期氣候變遷影響下可能的殘存分布區域，主要包含恆春半島東側、壽卡至牡丹、南澳山區及東北角山區等 14 處地點，該研究進一步指出，當暖化持續發生，上述地點之窄域分布物種及生態系將可能面臨較明顯之衝擊(林務局，2015)。前期計畫使用之氣溫資料係以線性迴歸模型為基礎，根據已知測站的記錄資料，以逐步迴歸方法挑選出影響各月份氣溫的重要因子，包含經緯度座標、海拔及距海距離等因子等，並分別建立 12 個月的全台氣溫迴歸式(邱祈榮等，2004)。然而，該方法係以固定迴歸式進行全台的適配分析，雖能獲取各月份的平均氣溫狀態，但卻難

以反映局部地點的氣候差異特性。台灣南北兩端分處熱帶及亞熱帶，東西兩側又受不同季風系統影響，加以山區地形起伏多變，如欲精確評估氣候變遷對台灣現有生物多樣性的影響程度，則首先必須建置精準且能反映不同地點局部差異的氣候模型，方能取得高品質之氣候資料。

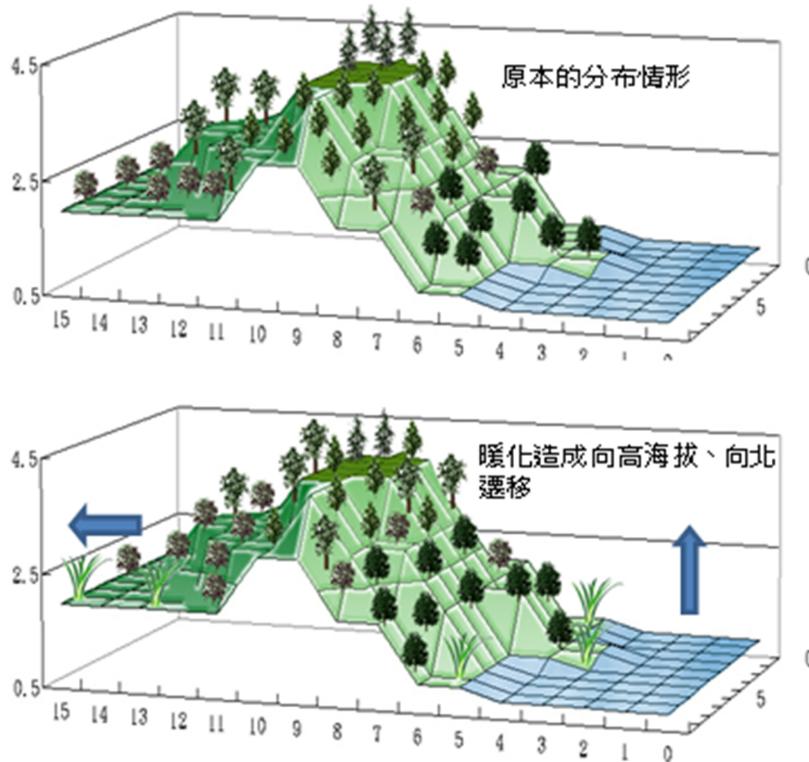


圖2.1 長期暖化趨勢下，北半球植物呈現向高海拔或向北遷移情形，以尋求最適棲地。當族群遷移途徑出現障礙時（例如山塊頂部），除氣候改變導致適應性降低外，亦將遭受後續物種強烈擠壓與競爭，導致殘存族群之滅絕。殘存族群所在之地點，則常伴隨物種密度上升及地形隔離等特徵。

## 1.2 擬解決問題

為降低氣候變遷對於生態環境及生物多樣性的衝擊，針對高風險地區之脆弱物種推動保育工作，是急切且必要的。國際研究認為，保育策略必須依據已知生態系及物種所暴露之風險程度進行擬定，再根據應受保護對象之特性，選擇就地保護、廊道規劃、協助遷徙及遷地保育等不同對策，政府機關方能在最有效率之

經費及人力運用下，發揮最高的保育成效。有關保育策略制訂之研究，近期已有文獻案例可供參考，例如 2015 年 Keppel 等人以澳洲塔斯馬尼亞 (Tasmania) 為案例，提出一系列研究架構，進行氣候變遷下微避難所之尺度與位置判定、避難容納量 (capacity) 分析，最終達成各避難所風險程度與保育優先次序評估之目標 (Keppel *et al.*, 2015)。該團隊認為，避難所之容納量由環境穩定度、微氣候異質性、棲地面積與可到達性等因子共同決定。依 Keppel 之架構進行研究分析，該團隊發現塔斯馬尼亞多處冷涼、潮濕且地形複雜之地區可能是暖化效應下未來可提供生物避難的場所，並依各區域之條件因子，排定各地點之保育優先序 (圖 2.2)。

本計畫認為，Keppel 等人發展之研究架構與「殘存地點」概念頗為近似，且澳洲團隊已完成氣候變遷下的微避難所之案例研究，證實該架構具有實務應用性；因此，台灣應可利用現有之資料與研究基礎，仿其架構推動本土性之分析與評估。本計畫擬解決問題如下：

1. 透過國際研究單位合作，取得高精度之氣候推估模式軟體，經台灣地區觀測資料校正後，做為本計畫使用之資料基礎，改善我國目前遭遇氣候資料空間解析度不足之問題。
2. 利用高精度氣候模式及可信的統計預測方法，進一步評估前期計畫獲得之可能受暖化衝擊地點之準確性。另選定重新評估後之 2 至 3 處地點，暫定台灣東北部山區、南澳地區及南仁山植群為案例，依 2015 年 Keppel 所提之研究架構，利用台灣現有之植物空間分布資料庫，從植物相特殊性、物種稀有性及專有性、週邊環境潛在威脅等因子，評估前述各地點生態系及物種之保育急迫性，並提出保育優先次序。
3. 針對分析所得之可能受暖化衝擊地點，以及該範圍內具保育急迫性之物種，整理其生態特性及分布現狀資料，提出可能的保育對策及具體作法。

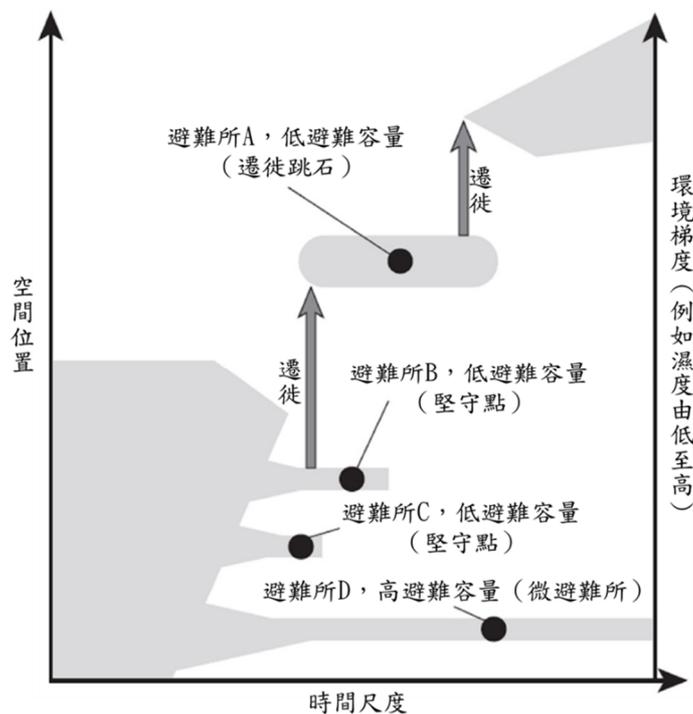


圖2.2 Gunnar Keppel繪製的概念圖，顯示微避難所 (micro refugia)、堅守點 (holdouts) 及遷徙跳石 (stepping tones) 的差異。微避難所與堅守點為固定的空間地點，但前者具有較高的容受力，在暖化情境下可維持長久的冷涼微氣候；遷徙跳石則為物種遷徙的前端族群，空間地點會隨著時間改變。

### 1.3 計畫目標

本計畫預定期程 3 年，全程計畫目標如下：

#### 1. 提升氣候推估與預測資料之精度與品質：

亞太森林復育與永續經營網絡 (The Asia-Pacific Network for Sustainable Forest Management and Rehabilitation, APFNet) 目前已完成亞洲太平洋地區氣候推估模式 (ClimateAP) 之開發，可將 PRISM 及 WorldClim 現有全球 4 公里網格解析度之網格化觀測資料，經分析運算予以細緻化處理，最終獲得無固定尺度 (scale-free) 之高解析氣候資料 (Wang *et al.*, 2016a, Wang *et al.*, 2016b)。本計畫擬以該模式為基礎，利用台灣既有之長期氣象站觀測資料進行 ClimateAP 模式驗證與校正，修正為適用於台灣地區之高解析度氣候推估模式，做為本計畫後續研究與分析之資料來源。

#### 2. 瞭解各易受暖化衝擊地點生態系及物種之保育急迫性，並提出優先序：

(1) 一處地區植物相或物種之特殊性與不可替代性，為衡量該地區生態系或特稀有植物應受保育優先順序重要因素之一。若地區植物相極為特殊，又或孕育稀有且侷限分布之物種，且於其他地點難以覓得相似或可替代之植物社會組成，則本

地區必須受到較高的保育關注程度。一旦此地區面臨氣候變遷或其他環境因子之衝擊時，更容易造成棲地與物種多樣性的流失，因此必須優先擬定保護對策，必要時則應預先採取稀有物種之遷地保存等措施。

(2) 前期計畫已針對全台可能為長期氣候變遷下的 14 處易受暖化衝擊地點，依物種特殊性、稀有性及專有性等因子，參考週邊環境的潛在威脅，提出 132 物種為優先關注之清單。本計畫擬承接並確認前期計畫之研究成果，再依據台灣植物紅皮書初評名錄所列之受威脅物種（CR、EN、VU），進行生態特性及分布現狀之整理。並特別以南澳山區、東北部山區及南仁山植群為案例，針對前述應關注之物種進行生態特性及分布現狀整理，配合植群計畫成果資料，瞭解前述應關注物種之現生環境特性與伴生物種，進一步評估其可能受衝擊之程度，並依物種及地區特性研提適宜之保育對策與具體作法

3. 依據生態系及物種之保育急迫性，提出可能的保育對策及具體作法：

(1) 現有棲地及物種的保護管理：對於現狀分布於保護留區系統內，且保護留區面積足可涵蓋其潛在棲地之物種，面臨氣候變遷之風險程度較低，可朝就地保育以及維持棲地品質與物種族群之方式進行管理。

(2) 協助遷徙或營造棲地廊道：對於棲地未能完全為保護留區涵蓋，或棲地週邊已為人工植群包圍的應保護物種，面臨長期氣候變遷之影響，在向北或向高海拔遷徙過程中，需克服跨越棲地或生態系的阻力，或須與其他植群競爭，可能導致物種遷徙過程中適存度降低，進而提高滅絕之風險。針對此類物種，應朝向檢討現行保護留區範圍、營造棲地廊道或協助散播遷徙等方式，提高其適存能力。本項目預計提出研究成果及政策建議，供其他研究計畫推動實務監測調查之參考。

(3) 協助異地族群重建：對於分布範圍限縮，且現狀觀察已呈族群逐步下降之物種，可能已難以倚賴物種本身的自力遷徙與競爭能力，尋得適宜之活存地點，將導致該物種在遷徙過程面臨極高的滅絕風險。針對此類物種，應朝向人工協助建立異地族群之方式，檢討週邊氣候因子適宜之原生棲地或人工林，輔助其種原建立異地族群，提高氣候變遷下的適存度；本項目將提出研究成果及政策建議外，供其他研究計畫推動實務試驗操作之物種選擇參考。

(4) 遷地保育及方法建議：對於分布範圍極度現縮且野外族群稀少的物種，一旦氣候變遷或極端氣候事件發生，極容易因少數個體死亡或棲地流失，即導致母族

群數量與遺傳歧異度的急遽減損，因此有進行遷地保育的立即必要。本研究計畫可協助提供遷地保育物種清單，針對易受暖化衝擊地點生態系及物種之生態特性，建議適宜之遷地保育地點。

## 1.4 本（106）年度目標

依據全程目標，訂定本（106）年度預定可達成之成果如下：

1. 105年度已完成ClimateAP模式引入，並整合TCCIP資料進行該模式之調整。106年度將再加強該模式於臺灣地區的精度驗證，確認此模式工具在臺灣山區的應用可行性。
2. 易受暖化衝擊地點範圍內特有及受威脅物種名錄整理，彙整出亟需保護的物種對象清單，並建議可能的調適作法。
3. 引入分布預測方法，探討在不同暖化情境下，易受衝擊地點之位置及其上部植群之變化。
4. 針對已知之易受暖化衝擊地點，協助本統籌項下其他細部計畫推動植群類型調查與監測工作。

## 二、材料及方法

### 2.1 植物分布資料蒐集與資料庫建置

以「台灣植物資訊整合查詢系統—植物名彙及基本資訊」學名資料庫為基礎，彙整台灣大學植物標本館（TAI）、林業試驗所植物標本館（TAIF）、中央研究院生物多樣性研究中心植物標本館（HAST）、國立自然科學博物館植物標本館（TNM）、國家植群多樣性調查野外及文獻樣區、外來入侵植物調查計畫野外樣區、台灣植物紅皮書及其他標本館已記載之植物分布資料。各植物資料經學名及異名比對後，建立一致之物種代碼，據以串接各植物資料庫之分布資料，以利各物種之垂直分布、水平分布之整理與分析。同時，根據植物誌及紅皮書之記載，建置各物種之來源屬性（原生、特有或歸化）、受威脅程度及區系來源，分析探討這些屬性因子與物種分布現況的關係。

本計畫使用之植物資料來自多項調查計畫及不同的植物標本館，各來源資料雖均具備植物名稱、分布地點及觀測時間等記錄，惟資料屬性、計畫目的及資料產製時間不同，導致欄位一致性、資料關聯度及空間精度均有差異，難以直接應用。例如各植物標本館與植群計畫使用之植物學名不完全一致，導致相同物種在不同資料庫內給予不同的命名；又例如歷史標本之空間定位精度較差，常僅記錄地名而無座標，若要與近年野外調查之 GPS 定位資料整合運用，則需經精度檢核與適當取捨，以確保空間資料之品質。本計畫已完成上述整合作業，並完成植物資料庫架構規劃及建置(圖 2.3)，以「台灣植物誌第二版」及「台灣植物名彙」之學名為依據，透過一致之學名標準，進行不同來源之植物分布資料整合；各來源資料庫則仍保留其原始資料內容及資料庫架構，必要時仍可追溯各筆植物分布資料之原始來源。目前已收集且通過學名統整、地理座標檢核、採集時間檢核之植物資料計有 1,432,173 筆，涵蓋原生維管束植物 4,596 種(表 2.1)。

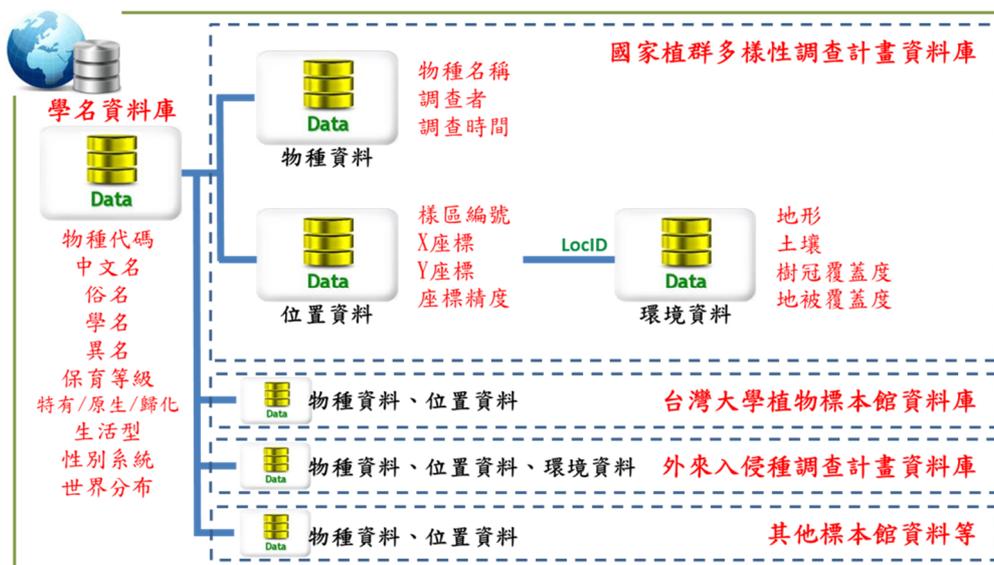


圖 2.3 本研究採行之資料庫架構示意圖。透過學名資料庫內統一的物種代碼，關聯至國家植群多樣性調查計畫、台灣大學植物標本館及外來入侵種調查計畫等大型植物資料庫。本架構優點為不需更動各原始資料庫內容，僅透過「物種代碼」欄位即可進行各大型資料庫間資料串接與所需資訊之撈取。

表 2.1 本研究完成彙整之植物資料筆數統計

資料來源	資料總數	特有種 資料筆數	各保育評估等級植物資料筆數			
			CR	EN	VU	其他
神奈川縣立博物館	107	34	6	8	11	82
京都大學植物標本館	556	236	9	22	40	485
台灣大學森林系植物標本館	960	254	5	26	63	866
台灣植物紅皮書	3,140	1,138	394	728	2,018	
台灣大學植物標本館	134,825	22,085	707	1,643	4,413	128,062
林業試驗所植物標本館	105,745	12,453	1,289	2,369	5,872	96,215
東京大學植物標本館	556	236	9	22	40	485
美國賓州科學院植物標本館	5,004	1,125	23	86	196	4,699
國家植群多樣性調查計畫	742,808	178,324	111	2,543	6,545	733,609
外來入侵植物調查計畫	264,486	8,191	365	4,195	17,436	242,490
中央研究院植物標本館	78,265	13,525	525	928	1,538	75,274
國立自然科學博物館	95,721	14,645	427	753	1,304	93,237
合計	1,432,173	252,246	3,874	13,328	39,494	1,375,504

## 2.2 高解析度氣候模式建置 (ClimateAP)

台灣地區之氣候觀測記錄雖已有百年歷史，然而大部分氣象站均設置於平地，山區設站歷史較久者僅有玉山、阿里山、鞍部等地，1980 年以後測站數量雖有增加，但僅能構成點狀之氣象觀測記錄，對整體山區而言資料仍然貧乏。台灣科技部於 2010 年起，推動「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置」(Taiwan Climate Change Projection and Information Platform, TCCIP)，運用中央氣象局、經濟部水利署與台灣電力公司，合計 1,614 個測站產製之氣象觀測數據，推估產生全台 5

公里解析度之月降雨、平均溫度、最高溫及最低溫網格資料，涵蓋期間為 1960-2012 年（翁叔平等，2012）。該網格式資料為山區提供了基本的氣候參考數據，然而就生態研究需求及山區地形與微氣候變化程度而言，5 公里解析度仍然過粗，無法呈現微氣候的局部差異。

山區氣候觀測資料缺乏的問題不僅發生在台灣，而是全球各國皆面臨的相同問題。近 10 年來，全球各大氣候資料庫經過整合及空間推估與降尺度分析，產生了多種氣候資料圖集（如 WorldClim 資料庫）提供地圖測繪、物種分布預測及大尺度氣候研究等相關領域使用，其空間解析度包含 30 弧度-秒、2.5 弧度-分、5 弧度-分不等（Hijmans *et al.*, 2005）；從大尺度研究角度而言，全球氣候資料庫確實彌補了山區資料不足的缺口，然而資料空間解析度的提升，仍是所有研究人員致力改善的目標。

本計畫 105 年度與加拿大英屬哥倫比亞大學（UBC）建立合作研究關係，引入該校開發之亞太地區氣候降尺度推估軟體 ClimateAP 軟體；106 年度則與該校合作進行 ClimateAP 於台灣地區的優化。該軟體係以 WorldClim 及 PRISM 氣候資料庫 4 公里解析度圖層為原始資料，透過目標網格及相鄰 8 網格構成之局部區域，利用水平方向雙線性插值（bilinear interpolation）（圖 2.4）結果，再利用 9 網格重複取樣之局部動態迴歸分析（dynamic local regression）（圖 2.5）獲得氣溫海拔遞減率校正值，產生無固定尺度（scale-free）之氣候推估數據。由於該模式具備無固定尺度之特性，使用者可依據持有之座標點位產生對應之氣候資料，適合氣候變遷領域內有關生態學及植物地理分布研究者使用（Wang *et al.*, 2016a）。105 年度本研究發現 ClimateAP 對臺灣山區氣候降尺度推估效果不理想，誤差可達 4°C 左右，推測應為 PRISM 模式未能反映臺灣山區氣候特性所致。因此，本計畫以 TCCIP 發佈之五公里解析度溫度雨量資料為基礎，計算台灣地區 1960-1990 期間之平均氣候值，提供 UBC 進行 ClimateAP 基線資料校正。UBC 已於 106 年 1 月完成台灣地區的推估優化，並由本計畫利用 TCCIP 資料庫以外的獨立氣象測站樣本，協助進行 ClimateAP 的精度驗證。驗證結果詳述於本期末報告「三、計畫成果-3.1 節」，顯示 ClimateAP 已可反映臺灣地區逐月氣候變化的趨勢細節。依 2017 年 ClimateAP 於科學期刊正式發表的精度驗證結果，顯示本模式預測值的平均絕對誤差（MAE）為 0.88-1.13°C（Wang *et al.* 2017）。

UBC 目前最新發布之 ClimateAP 軟體為 2.2 版本，已包含臺灣地區之驗證結果，並開放全球使用者申請下載（<http://climateap.net/>）。

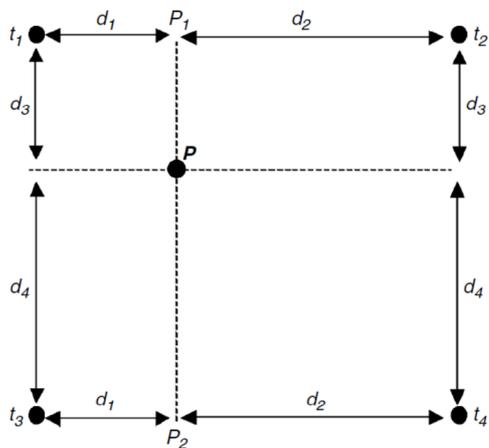


圖2.4 ClimateAP使用的水平方向雙線性插值法，採用目標點位P與鄰近的四個網格中心點之水平距離作為權重，依據四個網格中心點的氣溫數值，以簡單線性方法推算P點的水平方向氣溫推估值。

1	2	3
4	目標網格	5
6	7	8

$C(9,2)=36$  pairs

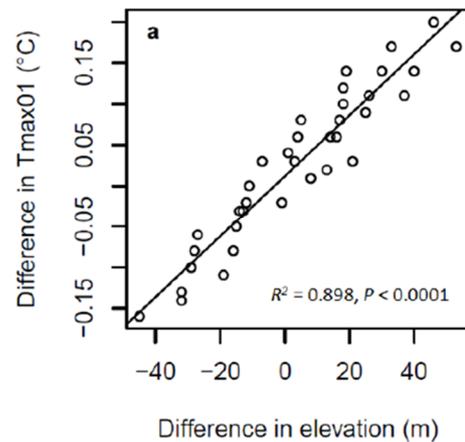


圖2.5 ClimateAP使用的局部動態迴歸分析方法，將P所在位置定為目標網格，再從氣候資料庫內抽出目標網格及其相鄰之8網格，組成9個樣本。9樣本經兩兩重複取樣，計算每次取樣結果之海拔差值及氣溫差值，共得36組數對。所有數對利用簡單線性迴歸計算斜率，即為局部地區（9網格）之氣溫海拔遞減率。該遞減率用以修正水平方向雙線性插值法所得P點氣溫推估值。

### 2.3 高解析度氣候模式建置 (temp.regression)

由於 TCCIP 資料授權限制，5 公里網格原始資料無法提供國外團隊使用，因此本計畫僅能以原始資料計算臺灣地區 30 年基線平均值，提供 UBC 進行 ClimateAP 之調校。為使 TCCIP 原始資料的價值獲得充分發揮，本計畫仿照

ClimateAP 之演算方法，以 R 軟體為環境，開發具有相同功能的程式模組 temp\_regression。temp\_regression 模組可直接讀取 TCCIP 公告之臺灣地區 1960 年至 2012 年五公里網格歷史氣候資料，依據使用者指定之空間座標與年期，動態產生該地點特定年份之氣候降尺度推估數據，輸出成果共包含 73 組氣候資料變量（表 2.2）。

此外，TCCIP 目前已依據 IPCC 第五次評估報告（AR5）公布之多種代表濃度途徑（Representative concentration pathways, RCPs），將 49 種 AR5 大氣海洋環流模式之未來氣候推估結果降尺度至 5 公里解析度，包含 2020 年至 2100 年不同未來時期之溫度及雨量變化率。本研究依據 TCCIP 提供之未來氣候推估資料格式，利用 R 語言完成 temp\_regression\_future 模式開發，可進一步針對山區產製自由尺度化（scale-free）之未來氣溫及雨量推估數據。

本研究依據 105 年度期末審查委員建議，利用獨立於 TCCIP 母體資料以外的 5 處林業試驗所氣象測站，以及 10 處中央氣象局氣象測站歷史資料，進行 temp\_regression 的精度驗證，以確定這個氣候降尺度模式於臺灣的適用性。

表 2.2 temp\_regression 模組產生之 73 組氣候變量。

環境及氣候變數		變數細項
降水量		月平均降水量 (12) 季平均降水量 (4) 年均降水量 (1) 夏季 (May-Sep) 平均降水量 (1)
溫度	最低溫	月平均最低溫 (12) 季平均最低溫 (4)
	平均溫	月平均溫 (12) 季平均溫 (4) 年均溫 (1)
	最高溫	月平均最高溫 (12) 季平均最高溫 (4)
熱濕指數		年溫差 (TD) 夏季熱濕比 (SHM, summer heat:moisture index) 年熱濕比 (AHM, annual heat:moisture index) 溫濕指數 (WI) 潛在蒸發散量 缺水指數

TD：最暖月均溫與最冷月均溫差值 (°C)

SHM：夏季熱濕比 (最暖月均溫)/(夏季平均降水量/1000)

AHM：年熱濕比 (年均溫+10)/(年均降水量/1000)

以阿里山 (120.81°E, 23.51°E, 2413m) 為例，利用 temp.regression 計算 1980 年至 1990 年 (共 11 年) 之平均氣候狀態。Temp.regression 程式執行情形如下：

```
tmean = read.csv("TCCIP_tmean_1960-2009.csv", header=T, sep=",")
source("climateTaiwan.r")
temp.regression(tmean, 120.81, 23.51, 2413, from=1980, to=1990)
# 指令格式 : temp.regression = function( dataset, x, y, z, from= strat.year, to=
end.year)
$ p.elev # 依周圍四網格高程，以距離加權法獲得阿里山測站之海拔
[1] 1819.39
$ lapse.rate # 依據周圍九網格，獲得阿里山測站所在網格每個月的氣溫遞減率
[1] -0.006174162 -0.005993390 -0.005852672 -0.005929112 -0.006125580
[6] -0.006205962 -0.006545454 -0.006417899 -0.006493850 -0.006539094
[11] -0.006380588 -0.006362394
$ p.temp # 未經海拔校正的 p 點氣溫推估值
[1] 8.939004 10.117540 11.802626 13.978553 15.626220 16.877907 17.342523
[8] 17.170932 16.406934 14.880441 12.840888 9.971530
$ p.temp.adj # 利用實際高度與 p.elev 差異，配合當月氣溫遞減率校正的推估值
[1] 5.273962 6.559806 8.328423 10.458975 11.990016 13.193988 13.457079
[8] 13.361205 12.552122 10.998771 9.053309 6.194751
```

## 2.4 temp.regression 降尺度模組精度驗證

TCCIP 發布之五公里解析度溫度雨量網格資料，係依據全臺 1,614 個氣象測站的歷史資料空間插值推估而得。由於 temp.regression 降尺度模式使用 TCCIP 五公里網格為原始資料，因此 105 年度期末審查時委員提出建議，認為進行氣候模式精度驗證時，必須使用前述 1,614 個氣象測站以外的觀測資料，以避免母體資料自我驗證的問題。

林業試驗所福山苗圃、蓮華池研究中心、六龜研究中心及太麻里研究中心、畢祿溪研究站等 5 處地點，均設置長期氣象測站，且測站資料未曾交與中央氣象局及國家防災科技中心，可確定是與 TCCIP 五公里氣候網格互為獨立的歷史氣象觀測資料，可作為 temp.regression 降尺度氣候模式精度驗證使用。此外，本研

究另選用中央氣象局直屬之高雄、台東、玉山等 10 處測站長期資料進行相同的驗證程序，據以比較獨立於 TCCIP 以外樣本及中央氣象局監測資料之模式推估誤差。驗證方式係依據各驗證測站座標位置，利用 temp.regression 產生連續年度之各月份氣溫及雨量推估數據，並當期之氣候實測數值進行差異比較。驗證項目包含：月平均氣溫、月平均高溫、月平均低溫及月累積降雨等 4 項。

15 處測站的基本資料如下 (表 2.3)：

表 2.3 驗證 temp.regression 降尺度模式採用的 15 處氣象測站及歷史資料期間。

Subordinate	Station	Longitude	Latitude	Altitude	Data period
CWB	Kaohsiung	120.3157	22.5660	2	1961-1990
	Taitung	121.1546	22.7522	9	
	Hualien	121.6133	23.9751	16	
	Hengchun	120.7463	22.0039	22	
	Keelung	121.7405	25.1333	27	
	Taichung	120.6841	24.1457	84	
	Anbu	121.5297	25.1826	826	
	Sunmoon Lake	120.9081	23.8813	1018	
	Alishan	120.8132	23.5082	2413	
	Yushan	120.9595	23.4876	3845	
TFRI	Taimali	120.9800	22.6000	120	1980-2009
	Liukuei	120.6333	23.0000	230	1999-2009
	Fushan	121.5959	24.7554	634	1992-2003
	Lienhuachih	120.9000	23.9333	666	1999-2009
	Piluhsi	121.3086	24.2270	2150	1991-2009

## 2.5 植群範圍、分布預測及暖化衝擊程度分析

大尺度帶狀植群 (Zonal vegetation) 的分化，經常是受到氣候影響而造成。蘇鴻傑教授研究認為台灣山地植群之分化主要受到溫度及水分梯度的影響，形成沿海拔垂直分化的帶狀植群系統；至局部區域內，則可能再因區域性土壤、坡向及演替階段等因子差異，形成小尺度的非帶狀植群分化 (Azonal vegetation)。台灣已完成全島國有林事業區之現生天然植群圖繪製，除現場設置近 4000 個森林樣區外，另完成 6000 餘個歷史樣區資料收集；配合本計畫已開發之高解析度氣候降尺度模型，可針對不同植群之生育範圍，產製巨量之「植群類別-氣候變量」數據組合，據以描述各植群分布範圍之溫度及雨量條件。

由於電腦運算速度及儲存能力的高度進展，巨量資料被認為是實施資料探勘 (Data mining) 及歸納趨勢的重要材料。尤其在人工智慧技術及機率統計等方法輔助下，電腦系統可快速從巨量資料內歸納出造成特定趨勢或特定分類之關鍵因子群，進一步建構預測模式。生物分布預測研究領域近年同樣受到人工智慧及機器學習技術影響，已引入相關技術進行應用。隨機森林 (Random Forest) 是一種機器學習 (Machine learning) 方法，以決策分類樹 (Classification and regression tree, CART) 為基礎，利用大量數據及重複隨機取樣，使電腦在大樣本內學習並記錄 Y 與 X 之關係，據以形成統計模型。模式建立後，即可依據不同時期及不同暖化情境下的氣候推估資料，預測不同年度的潛在植群分布，據以探討不同年間的植群推移狀況。研究報告顯示隨機森林法的預測準確率較傳統的決策分類樹 (Prasad et al., 2006)、多元迴歸法 (MARS)、類神經網路法 (ANN) (Benito Garz'on et al., 2008) 等為高，並且可解決樣本共線性及少量樣本導致的統計偏誤問題；然而，隨機森林法需要完整的物種出現/不出現紀錄，造成本方法在使用時較大的限制。加拿大學者曾利用此技術，完成卑詩省在氣候變遷情境下的植群推移預測，並找出易受衝擊的地點 (圖 2.6)。

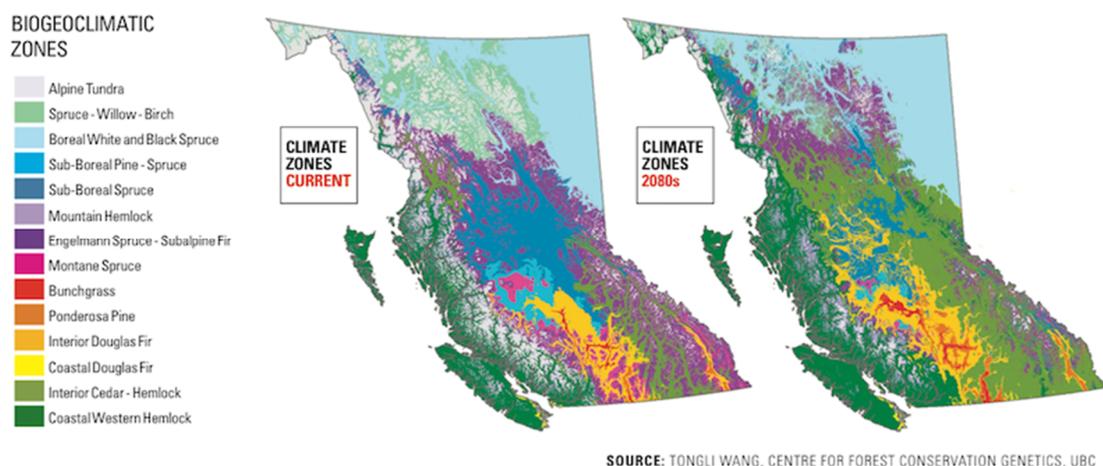


圖 2.6 應用隨機森林法進行生物氣候帶推移預測的例子，以加拿大卑詩省 14 種生物氣候帶為對象，利用隨機森林建立各生物氣候帶與現行氣候的統計關係後，據以預測 2080 年這些生物氣候帶的可能分布範圍。

李靜峰等依據臺灣現生天然植群調查計畫 8804 個森林樣區的物種組成，認為可利用專家知識及系統分類方法，完成其中 6574 個森林樣區的明確植群分類 (Li et al. 2013)。該研究顯示，全臺現生植群可區分為 21 個主要森林型，並以各森林型之優勢組成物種進行命名，其中 11 個帶狀植群及 2 個非帶狀植群之分布與氣候明顯相關，其餘森林型受到氣候的影響程度較低，主要為地形、地質或演替階段影響，例如海岸植群、演替前中期的赤楊、二葉松等森林類型。本計畫以李靜峰提出之 13 種氣候相關之森林型為原始資料 (包含 4021 個森林樣區)，利用 temp.regression 計算各樣區之 AR5 基線期間 (baseline, 1986 年至 2005 年) 溫度、雨量資料，並依據各樣區的森林型歸類，建立「森林型-氣候變量」資料表。利用此資料表作為隨機森林模型之訓練樣本，以各森林型的出現與不出現 (presence/absence) 做為應變數 Y，以各網格的 73 組氣候變量作為自變數 X，利用機器學習過程，建立森林型出現與否與氣候變量的相關性，最後獲得 13 種氣候相關森林型之適生棲位模型。

而後針對北台灣 (苗栗縣及宜蘭縣以北) 及南台灣 (嘉義縣及花蓮縣豐濱鄉以南) 地區，以 100 公尺解析度，利用 temp.regression.future 進行兩種暖化情境 (RCP 2.6 及 RCP 4.5) 及三個未來階段 (2035, 2065 及 2100 年) 的氣候降尺度推估。由於 AR5 提供之大氣海洋環流模式 (GCM) 眾多，本研究依據 2017 年

Lin & Tung 對 TCCIP 提供之 20 種 GCM 的評估結果，選擇與台灣氣候資料擬合程度最高的 6 種大氣海洋環流模式預測結果 (Lin and Tung 2017)，包含 CSIRO-Mk3-6-0、HadGEM2-AO、CESM1-CAM5、MIROC5、CCSM4、GISS-E2-R，作為 temp.regression.future 實施降尺度推估的資料來源。再將所有網格的不同未來階段之氣候推估資料送入前一階段建立之 13 種森林型之適生棲位模型，經 100 次「隨機取樣-建模-預測」的重複程序，計算各網格中心 13 種森林型的適存機率，擇機率最高者，做為判定不同未來階段該網格適存林型的依據 (圖 2.7)。

利用相同網格於不同階段的潛在森林型變遷程度比較，即可推測該地點在暖化情境下的生態系轉換幅度，其中屬於變化程度劇烈的網格，則為承受暖化衝擊程度較高的地點。

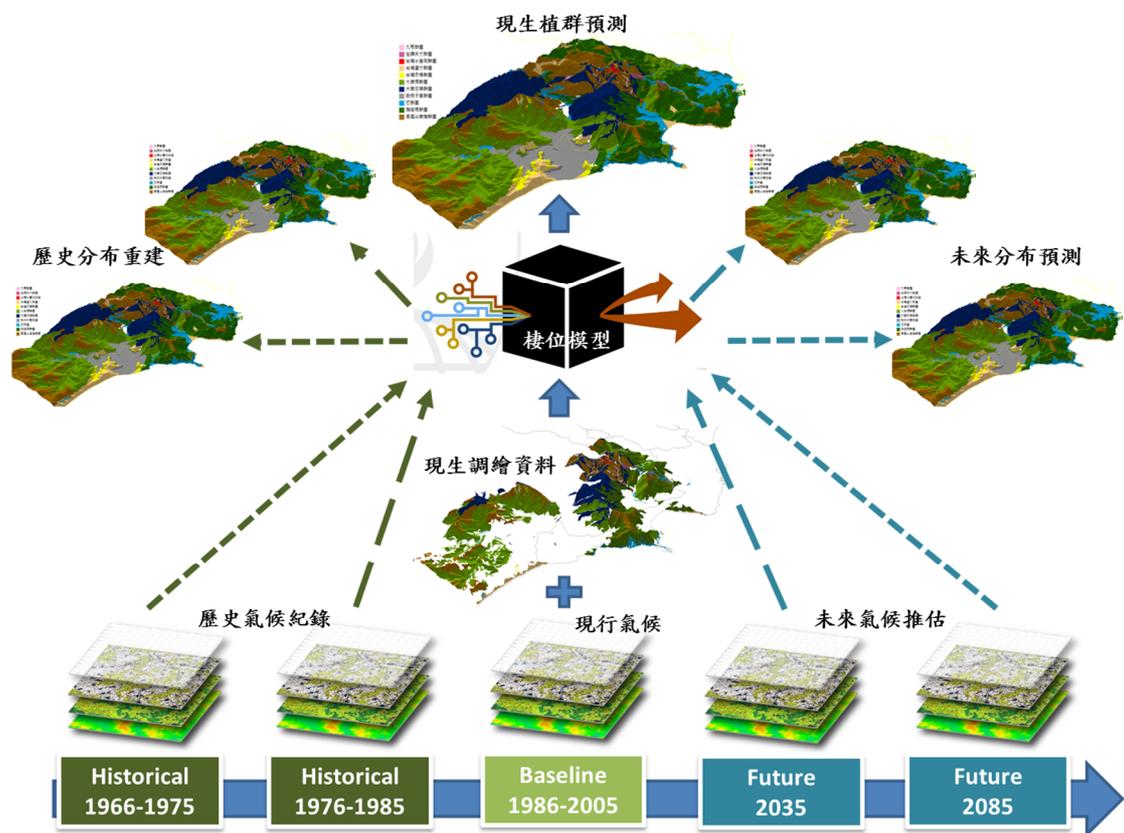


圖 2.7 本研究利用隨機森林棲位模型及不同時期氣候資料進行植群適生範圍預測之流程示意圖。

### 三、計畫成果

#### 3.1 ClimateAP 模式準確度驗證

本計畫 105 年度曾利用 8 處中央氣象局局屬測站(淡水、基隆、台中、台南、鞍部、日月潭、阿里山、玉山)資料，進行 ClimateAP 1.1 模式之精度驗證，結論以：ClimateAP 1.1 模式對於平地地區的預測精準度高，由淡水、基隆、台南、台中等 4 處測站驗證結果來看，誤差平均值多在  $0.5^{\circ}\text{C}$  以內；然而，ClimateAP 1.1 在山區(鞍部、日月潭、阿里山、玉山)的預測結果與實測資料有明顯誤差，最高可達  $4.3^{\circ}\text{C}$ 。105 年度亦曾針對 ClimateAP 1.1 預測差異的空間分布情形進行分析，結果顯示 ClimateAP 1.1 對陽明山北麓、雪山山脈、中央山脈東側、海岸山脈等地之氣溫估計通常高於實測值；對於玉山山塊、高雄、屏東山區之氣溫估計則較實測值為低；平原地區之估計值則與實測值相近。由於 ClimateAP 1.1 使用之原始資料來自於 WorldClim 及 PRISM 全球氣候資料庫，推測可能因全球性氣候資料庫尺度較大，且該資料庫缺乏完整的台灣測站資料進行降尺度分析與資料校正，導致原始資料圖層未能反映台灣島內的東西向差異。此外，圖 2.11 顯示之明顯差異地區約與東北季風影響範圍相當，推測 WorldClim 及 PRISM 原始資料未能完整反映季風系統對台灣氣候之影響。

經本計畫團隊協助，UBC 於 106 年 1 月發佈修正後的 ClimateAP 2.0 版本，已大幅改善上列缺點。本計畫以 TCCIP 五公里網格的所有中心點座標為準，分別利用 ClimateAP 1.1 與 2.0 產生相同點位的氣候推估資料，以 TCCIP 資料為真值，分別進行與 ClimateAP 1.1 及 2.0 的差異值比較(圖 2.8)。結果顯示，ClimateAP 1.1 除臺灣平地地區以外，於各海拔段的預測數值通常有高估情形，尤其在冬季，估測誤差平均均在  $+2^{\circ}\text{C}$  以上(圖 2.8，上)。校正後的 ClimateAP 2.0 則於各海拔段預測值與真值的差異則均控制在  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  以內(圖 2.8，下)，顯示模式校正後已大幅提昇在臺灣山區的應用價值。

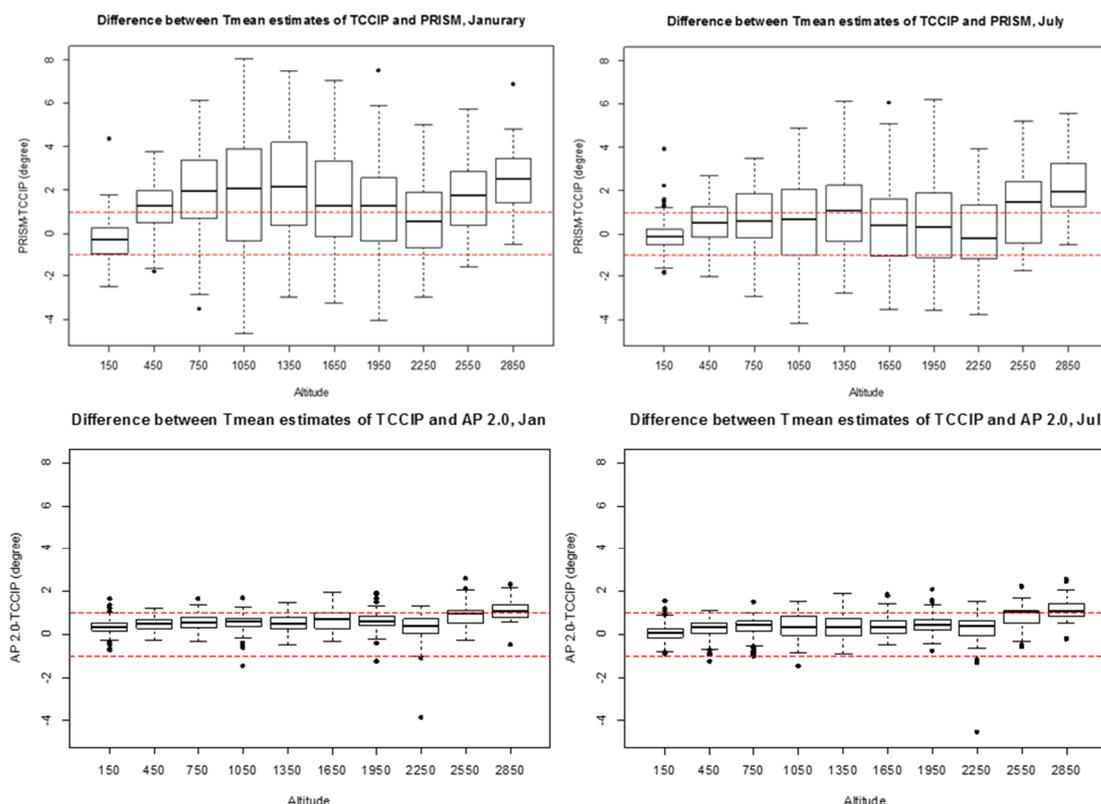


圖 2.8 依據不同海拔分段，以 TCCIP 網格中心點數值為真值，比較 ClimateAP 1.1 及 ClimateAP 2.0 的預測精度。ClimateAP 2.0 在不同海拔段的預測精度均較 ClimateAP 1.1 大幅改善，且與實際溫度的差值均控制在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以內。

另外以福山苗圃、蓮華池研究中心、六龜研究中心等三測站之座標，利用 ClimateAP 2.0 產生歷年各月份氣候資料，並與該三測站之歷史紀錄資料進行成對比較。結果顯示，依據福山地區連續 132 個月的預測資料與實測值比較，兩者誤差平均值 (ME) 為  $0.92^{\circ}\text{C}$ 、標準差則為  $0.72^{\circ}\text{C}$ ；蓮華池地區連續 144 個月的預測資料與實測值比較，兩者誤差平均值 (ME) 為  $1.25^{\circ}\text{C}$ 、標準差則為  $0.57^{\circ}\text{C}$ ；六龜地區連續 132 個月的預測資料與實測值比較，兩者誤差平均值 (ME) 為  $0.04^{\circ}\text{C}$ 、標準差則為  $0.63^{\circ}\text{C}$ 。整體而言，ClimateAP 2.0 確實可反映逐月氣候變化的趨勢細節，同時獲得誤差平均值 (ME) 約在  $1^{\circ}\text{C}$  以內的氣候預測資料 (表 2.4，圖 2.9)。

表 2.4 針對福山、蓮華池、六龜等三測站的歷史平均氣溫資料，比較 ClimateAP 2.0 預測值與測站實際觀測資料的差異。

Station	Data records (months)	prediction – observation (°C)		
		Median	Mean	SD
Fushan	132	1.01	0.92	0.72
Lienhuachih	144	1.29	1.25	0.57
Liukuei	132	0.05	0.04	0.63

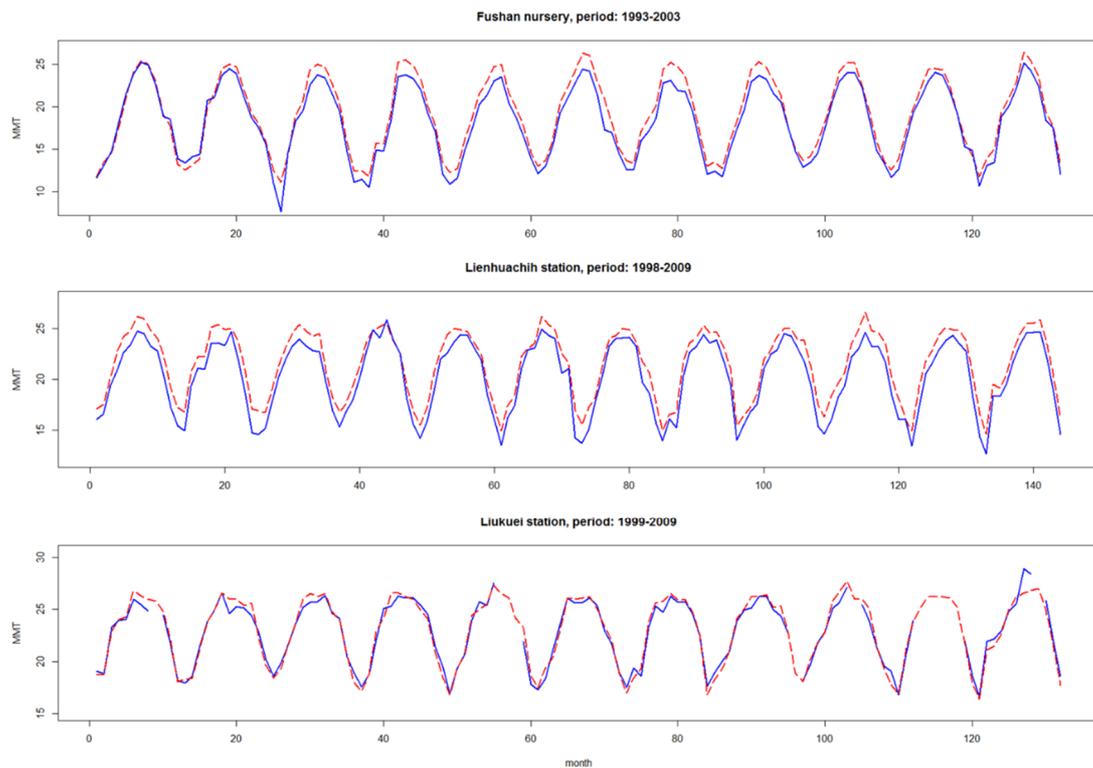


圖 2.9 針對福山、蓮華池、六龜等三測站的歷史平均氣溫資料，比較 ClimateAP 2.0 預測值（紅色虛線）與測站實際觀測資料（藍色實線）的差異。

針對前述三個測站，以預測值與實測值資料繪製成對散布圖（圖 2.10），觀察數據組的線性關係，並計算其簡單直線迴歸（紅色虛線）。結果顯示，各測站數對之迴歸係數約介 0.96 至 0.97 間，顯示具有高度集中的迴歸趨勢；此外，除蓮華池地區略有高估現象外，福山苗圃及六龜地區之迴歸線與斜率為 1、截距為 0 的直線（藍色實線）吻合程度甚高，顯示模式預測效果良好。

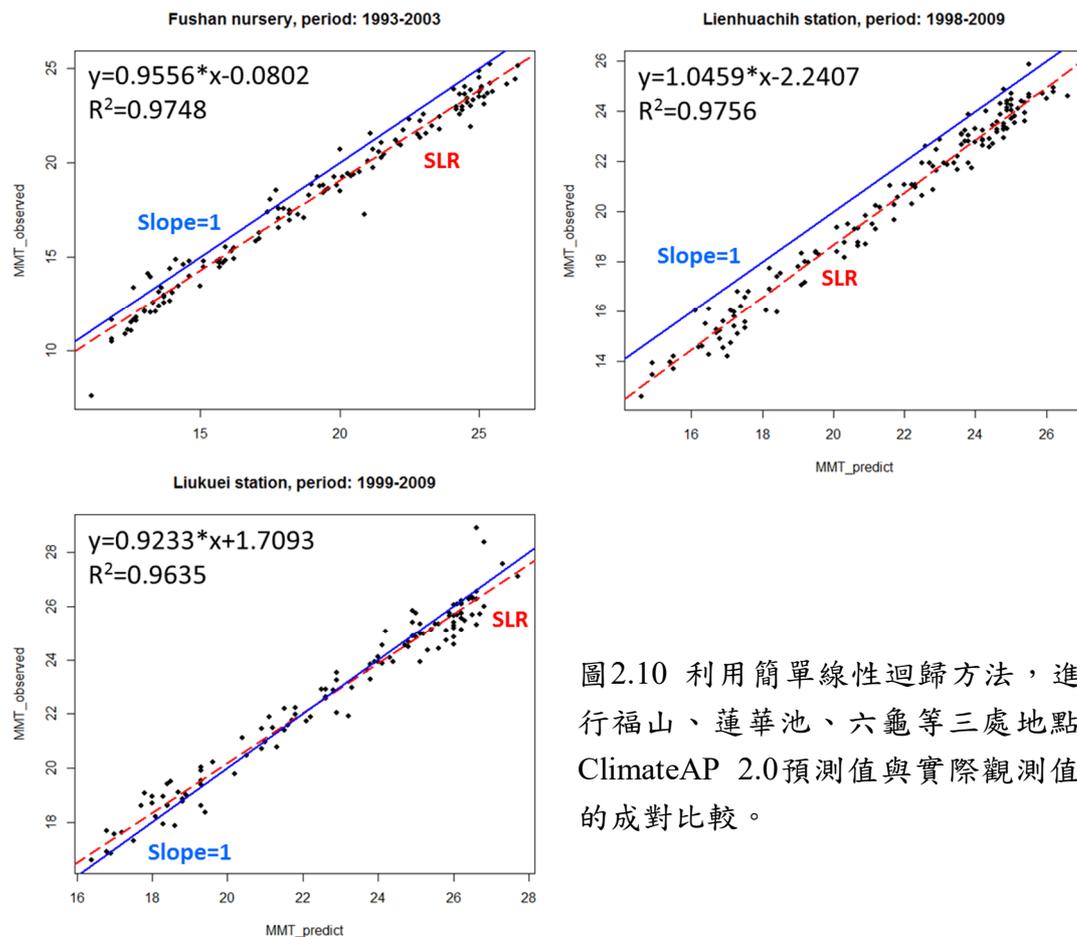


圖2.10 利用簡單線性迴歸方法，進行福山、蓮華池、六龜等三處地點 ClimateAP 2.0預測值與實際觀測值的成對比較。

### 3.2 temp.regression 模組準確度驗證

依據前一節之分析，本研究認為 ClimateAP 1.1 對台灣山區出現推估誤差之原因來自於 WorldClim 及 PRISM 原始氣候資料圖層，而非模式演算方法不佳，若以品質較佳之網格氣候資料替代，應可提高模式推估值的準確度。由於台灣 TCCIP 氣候網格資料係以 5 公里為單元，且該資料係由全台 1,614 個測站推估而得，準確度應遠高於 WorldClim 及 PRISM 資料庫；本計畫利用 TCCIP 資料計算

基線氣候平均值後，提供 UBC 抽換 ClimateAP 1.1 採用的原始氣候圖層，顯示獲得良好的結果，並大幅改善 ClimateAP 2.0 在臺灣的預測精度。

為使 TCCIP 原始資料價值獲得最大的發揮與應用，本研究參考 ClimateAP ClimateAP 原始發表文獻 (Wang, *et al.*, 2016)，以 R 程式語言編寫相同功能之氣候模式 temp.regression，temp.regression 採用之原始數據為 TCCIP 發表之 5 公里網格資料，包含月平均氣溫、月平均最高溫、月平均最低溫及月平均降水量，涵蓋期間為 1960 年至 2009 年。temp.regression 利用 TCCIP 原始網格資料，依輸入地點之座標，同樣經過「水平方向雙線性插值」及「局部動態迴歸分析」兩步驟，產生目標地點之氣候推估數據，包含逐月之平均氣溫、平均最高溫、平均最低溫及月平均降水量及相關衍生變量（共 73 個輸出值）。以恆春半島為例，5 公里原始資料讀入 temp.regression 後，首先產生水平雙線性內插數值，而後再經局部動態迴歸產生之氣溫垂直遞減率修正，即可獲得全面性之氣候推估資料（圖 2.11、圖 2.12）。

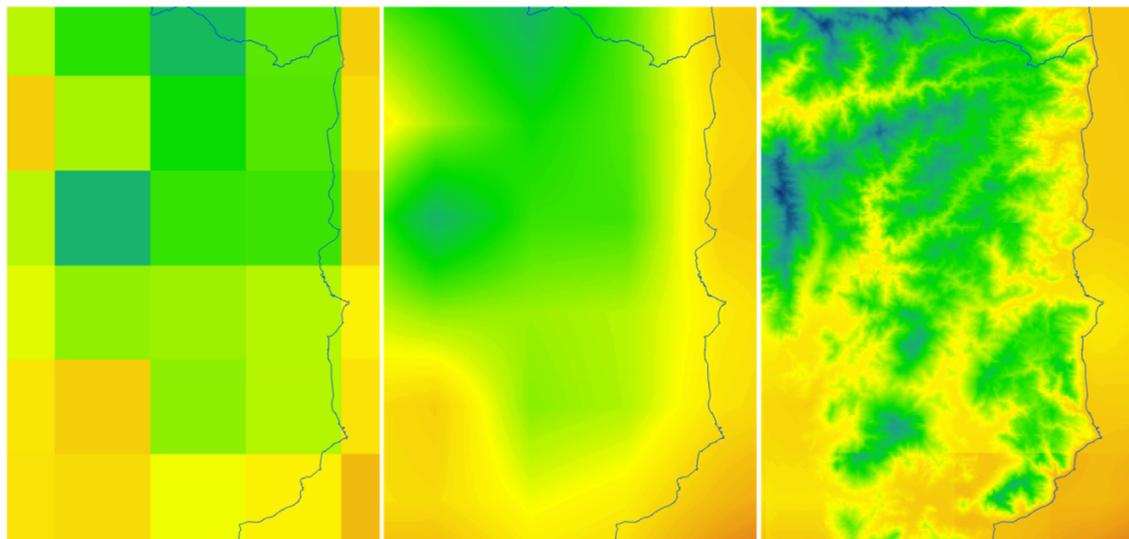


圖 2.11 temp.regression 產生之氣候推估結果。左圖為 TCCIP 五公里原始氣候圖層，中圖係以 100 公尺網格為單位進行水平雙線性插值計算之結果，右圖則為再經局部動態迴歸分析獲得各網格之氣溫垂直遞減率後，依據數值高程模型進行垂直校正的結果。

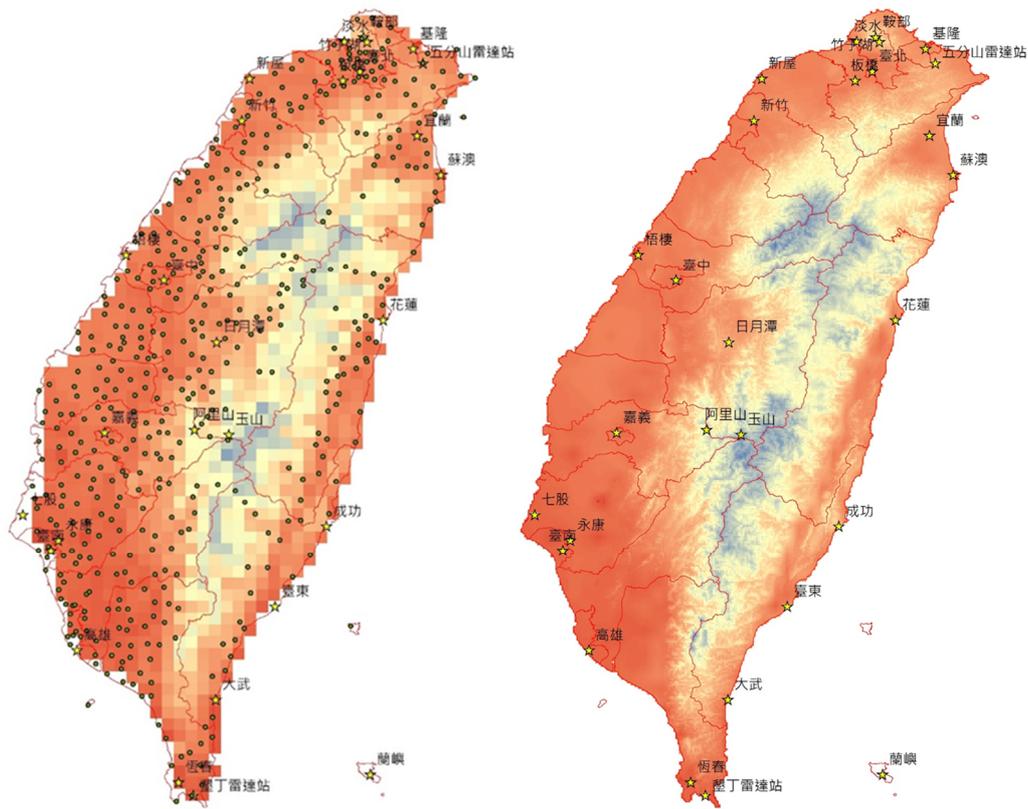


圖 2.12 利用 temp.regression 模式，將 TCCIP 之 5 公里網格氣候圖層（左圖）經降尺度運算，可提高氣候資料解析度並符合微地形變化（右圖）。

為驗證 temp.regression 之準確性，本研究使用了 15 處氣象測站（表 2.3）之歷史觀測資料，與 temp.regression 之降尺度推估結果進行比較，結果如表 2.5 至表 2.8。就各測站分別驗證的結果，以阿里山為例，月累積降雨預測結果的絕對誤差平均值（MAE）為 31.25mm、誤差平均值（ME）為 -28.08mm，月均溫 MAE 為 0.49°C、ME 為 -0.27°C，月高溫 MAE 為 0.66°C、ME 為 -0.42°C，月低溫 MAE 為 0.40°C、ME 為 0.15°C。以蓮華池為例，月累積降雨預測結果的 MAE 則為 30.96mm、ME 為 -11.36mm，月均溫 MAE 為 0.56°C、ME 為 0.46°C，月高溫 MAE 為 0.35°C、ME 為 -0.15°C，月低溫 MAE 為 0.53°C、ME 為 0.40°C。高海拔地區的預測效果最差，以玉山為例，月累積降雨的 MAE 為 45.90mm、ME 為 -3.12mm，月均溫 MAE 為 1.16°C、ME 為 -0.37°C，月高溫 MAE 為 1.44°C、ME 為 0.18°C，月低溫 MAE 為 1.41°C、ME 為 -1.05°C。

表 2.5 利用 15 處氣象觀測站歷史月均溫資料，對 temp.regression 推估數值的驗證結果。( \*: 林業試驗所氣象測站，以下同)

測站	樣本數	ME (°C)	MAE (°C)	RMSE (°C)	迴歸係數	截距	r square
Alishan	360	-0.2709	0.4923	0.5969	1.0631	-0.3783	0.9765
Anbu	360	-0.3853	0.3949	0.4444	1.0199	0.0635	0.9984
Fushan*	241	0.1660	0.5160	0.6985	0.9230	1.2554	0.9822
Hengchun	360	-0.1825	0.1948	0.2185	1.0007	0.1641	0.9983
Hualien	360	-0.0432	0.2557	0.3279	0.9744	0.6317	0.9938
Kaohsiung	360	-0.3435	0.4317	0.5594	0.9376	1.8460	0.9905
Keelung	360	-0.5252	0.5255	0.5577	1.0017	0.4894	0.9985
Lienhuachih*	241	0.4610	0.5583	0.6256	0.9527	0.5133	0.9886
Liukuei*	132	-0.4067	0.6393	0.8313	0.8339	4.1225	0.9816
Piluhsi*	300	0.3876	0.6325	0.7837	0.9694	-0.0015	0.9656
Sunmoonlake	360	-0.7228	0.7270	0.7934	0.9510	1.6279	0.9929
Taichung	360	0.5472	0.5597	0.6200	0.9714	0.1193	0.9969
Taimali*	353	-0.3294	0.4844	0.6698	1.0057	0.1933	0.9714
Taitung	360	-0.1503	0.3342	0.4290	0.9727	0.8051	0.9879
Yushan	360	-0.3673	1.1552	1.4681	0.9141	0.6593	0.8381

表 2.6 利用 15 處氣象觀測站歷史月平均高溫資料，對 temp.regression 推估數值的驗證結果。

測站	樣本數	ME (°C)	MAE (°C)	RMSE (°C)	迴歸係數	截距	r square
Alishan	360	-0.6194	0.6609	0.8097	1.0162	0.3776	0.9679
Anbu	360	0.2812	0.3295	0.3901	1.0146	-0.5728	0.9974
Fushan*	241	-0.4884	0.7870	1.1472	0.9695	1.1650	0.9567
Hengchun	360	-0.3291	0.3313	0.3633	1.0018	0.2784	0.9971
Hualien	360	0.0834	0.3577	0.4485	0.9671	0.7903	0.9891
Kaohsiung	360	0.4071	0.5960	0.7471	1.0428	-1.6210	0.9661
Keelung	360	-0.2265	0.2533	0.3076	0.9971	0.2978	0.9984
Lienhuachih*	241	-0.1525	0.3549	0.4534	1.0036	0.0595	0.9834
Liukuei*	132	-0.3765	0.5443	0.6890	0.8853	3.5709	0.9745
Piluhsi*	300	-2.7178	2.7234	2.8918	0.9278	4.0029	0.9293
Sunmoonlake	360	-1.0887	1.0923	1.1637	0.9803	1.5453	0.9831
Taichung	360	0.1934	0.3499	0.4362	0.9906	0.0719	0.9912
Taimali*	353	-1.2959	1.2967	1.4348	1.0203	0.7355	0.9711
Taitung	360	-0.1691	0.4113	0.5035	0.9798	0.7267	0.9822
Yushan	360	0.1812	1.4433	1.8433	0.9991	-0.1734	0.7887

表 2.7 利用 15 處氣象觀測站歷史月平均低溫資料，對 temp.regression 推估數值的驗證結果。

測站	樣本數	ME (°C)	MAE (°C)	RMSE (°C)	迴歸係數	截距	r square
Alishan	360	0.1476	0.4031	0.5937	1.0681	-0.6102	0.9777
Anbu	360	-0.0761	0.1927	0.2392	1.0212	-0.2246	0.9983
Fushan*	241	0.1520	0.4289	0.7032	0.9529	0.5757	0.9748
Hengchun	360	-0.1932	0.2199	0.2775	0.9996	0.2018	0.9952
Hualien	360	-0.3357	0.3883	0.4908	0.9971	0.3928	0.9911
Kaohsiung	360	-1.3385	1.3391	1.4580	0.9704	1.9315	0.9811
Keelung	360	-0.8159	0.8159	0.8408	1.0045	0.7310	0.9981
Lienhuachih*	241	0.4015	0.5320	1.1461	0.9709	0.0840	0.9260
Liukuei*	132	-1.2624	1.2624	1.4057	0.8687	3.5564	0.9895
Piluhsi*	300	1.3739	1.3870	1.5205	1.0300	-1.6140	0.9695
Sunmoonlake	360	-1.1530	1.1530	1.2177	0.9522	1.8656	0.9898
Taichung	360	-0.2209	0.4146	0.5117	1.0336	-0.4081	0.9921
Taimali*	353	0.1743	0.5447	0.7879	0.9671	0.5111	0.9442
Taitung	360	-0.4869	0.5656	0.7239	0.9864	0.7690	0.9762
Yushan	360	-1.0525	1.4090	1.7811	0.8556	0.9506	0.8467

表 2.8 利用 15 處氣象觀測站歷史月累積降雨溫資料，對 temp.regression 推估數值的驗證結果。

測站	樣本數	ME (mm)	MAE (mm)	RMSE (mm)	迴歸係數	截距	r square
Alishan	360	-28.0802	31.2468	56.5438	1.1190	-7.8562	0.9944
Anbu	360	-8.9174	53.3525	88.9291	1.0358	-5.4579	0.9355
Fushan*	241	-45.4766	86.1450	165.7707	1.3005	-37.1548	0.7963
Hengchun	360	-27.9120	46.3053	86.4166	1.0488	21.2807	0.8507
Hualien	360	2.5815	34.2048	50.3722	0.9725	2.4800	0.9288
Kaohsiung	360	15.6538	27.4757	47.3998	0.9565	-9.1033	0.9464
Keelung	360	12.0118	32.3653	57.4319	0.9120	15.9173	0.9202
Lienhuachih*	241	-11.3570	30.9576	50.8382	1.1291	-13.6274	0.9774
Liukuei*	132	38.7796	63.2942	147.8814	0.8508	-8.1844	0.7891
Piluhsi*	300	-1.3600	38.1305	68.9771	1.0747	-15.2118	0.9133
Sunmoonlake	360	-4.2602	24.5483	41.3139	1.0206	0.2990	0.9621
Taichung	360	-1.1450	15.9623	27.5993	1.0164	-1.0230	0.9714
Taimali*	353	-14.5393	35.6026	64.2348	1.0295	10.0371	0.8976
Taitung	360	-15.5800	29.2178	49.0394	1.0290	11.5725	0.9338
Yushan	360	-3.1246	45.9024	70.5147	0.9840	7.2712	0.9234

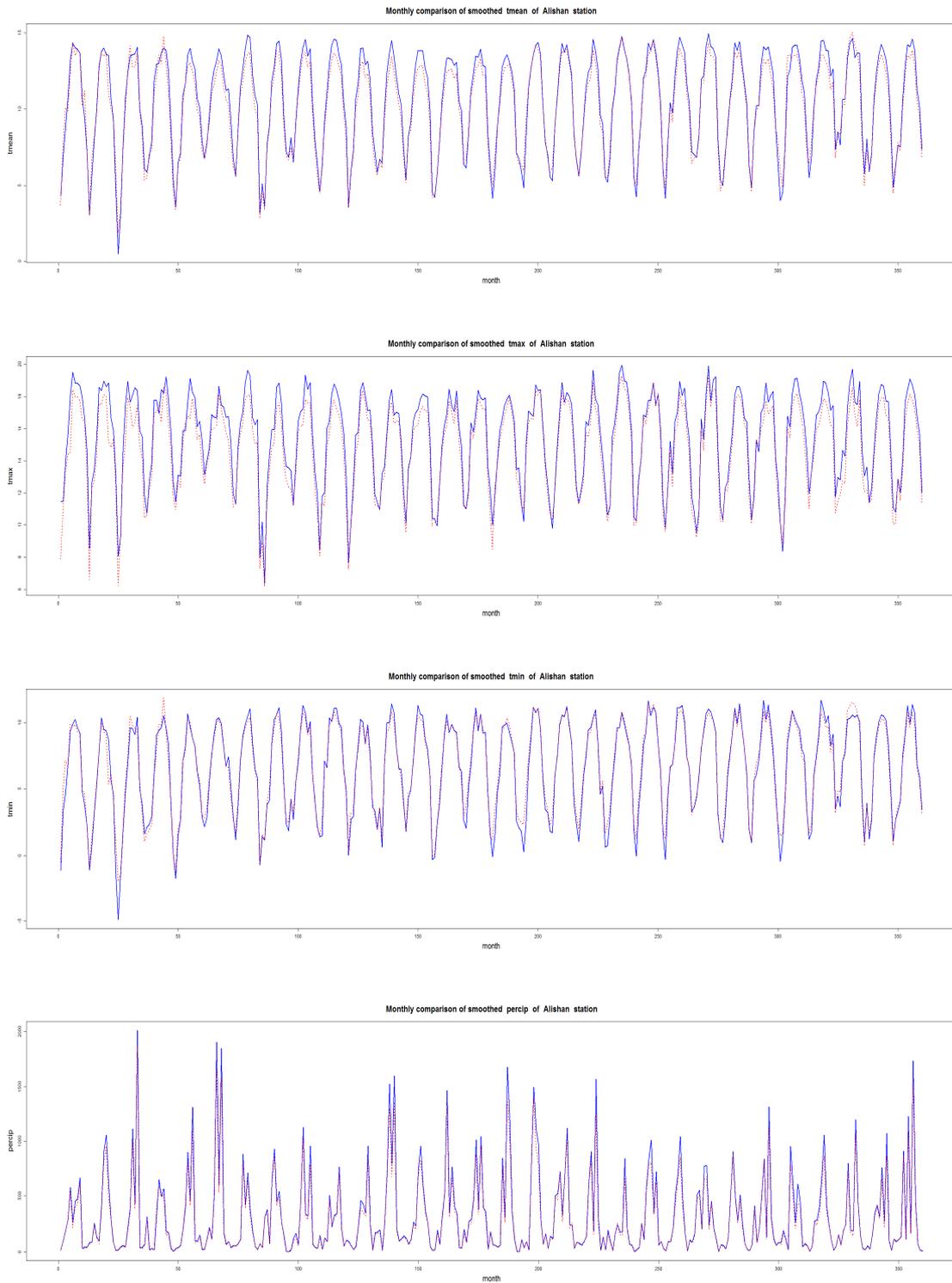


圖 2.13 以中央氣象局阿里山測站為例，顯示 temp.regression 推估值(紅色虛線)對當月氣象觀測資料(藍色)的擬合情形。由上至下分別為月均溫、月平均高溫、月平均低溫及月累積降雨。

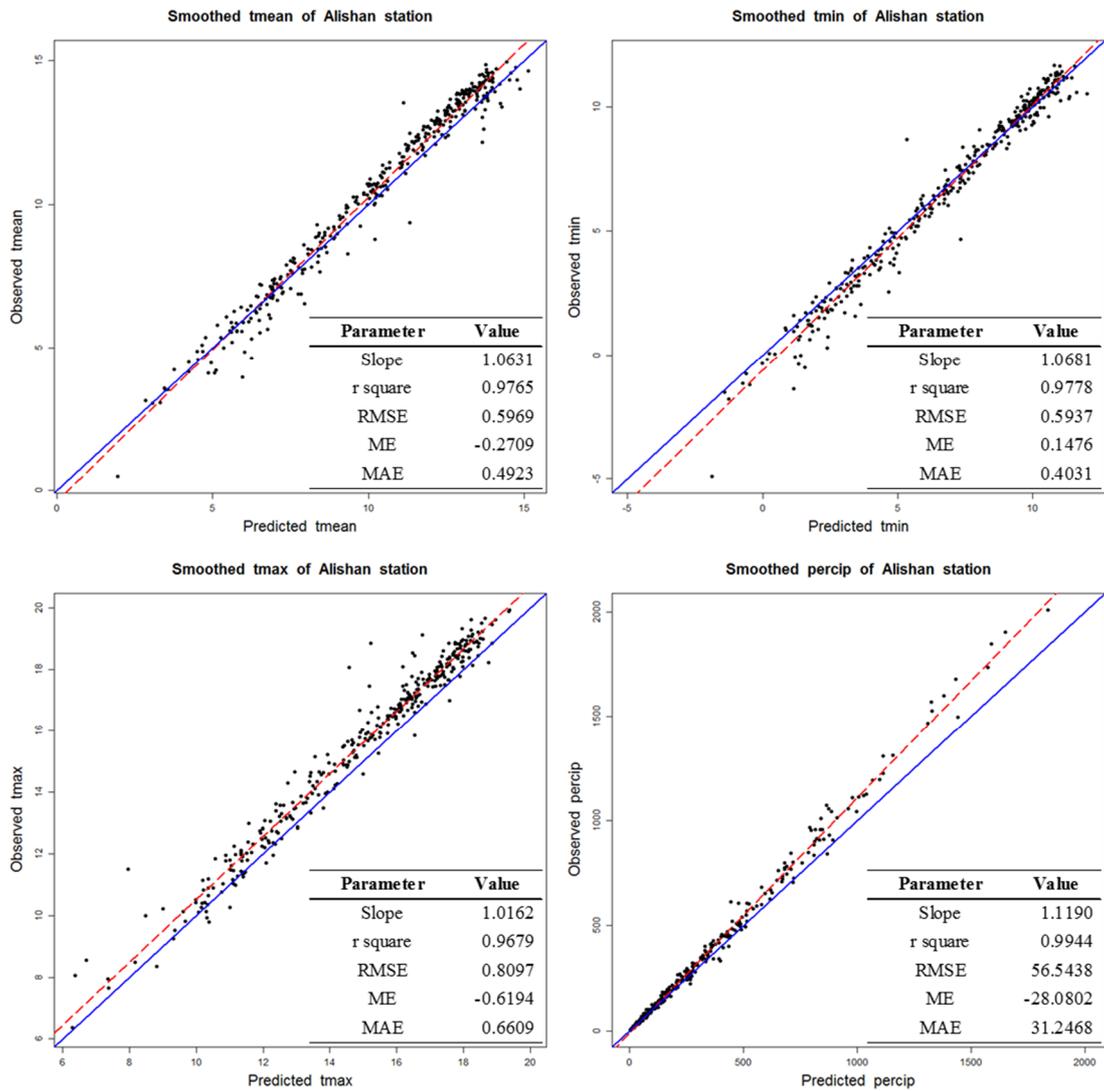


圖 2.14 以中央氣象局阿里山測站為例，以每個月份的歷史觀測值對 temp.regression 推估值繪製成對散佈圖。紅色虛線為成對散佈點之直線迴歸，藍色實線為斜率 1 之直線。各圖分別為月均溫（左上）、月平均高溫（左下）、月平均低溫（右上）及月累積降雨（右下）。

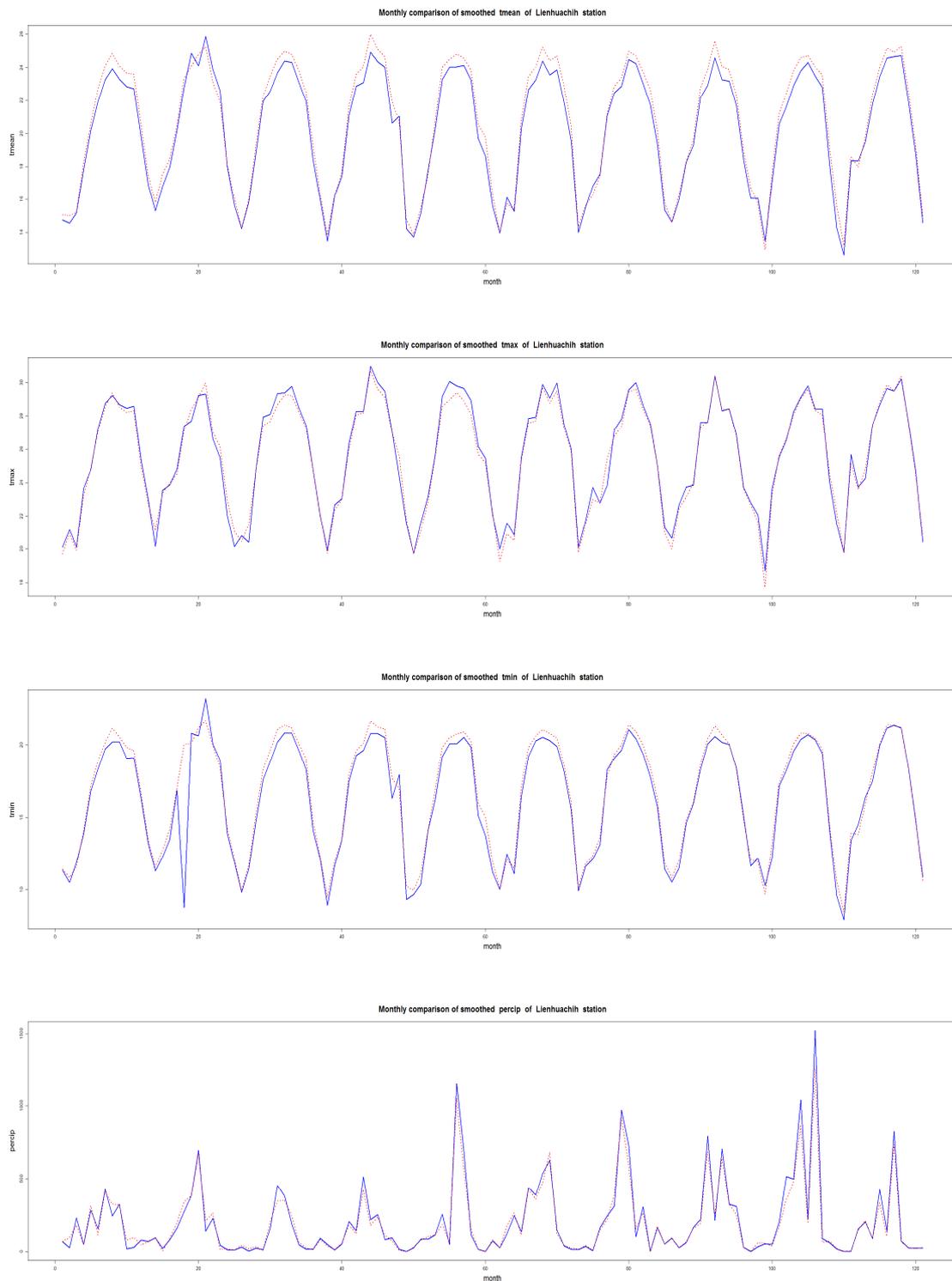


圖 2.15 以林業試驗所蓮華池研究中心測站為例，顯示 temp.regression 推估值（紅色虛線）對當月氣象觀測資料（藍色）的擬合情形。由上至下分別為月均溫、月平均高溫、月平均低溫及月累積降雨。

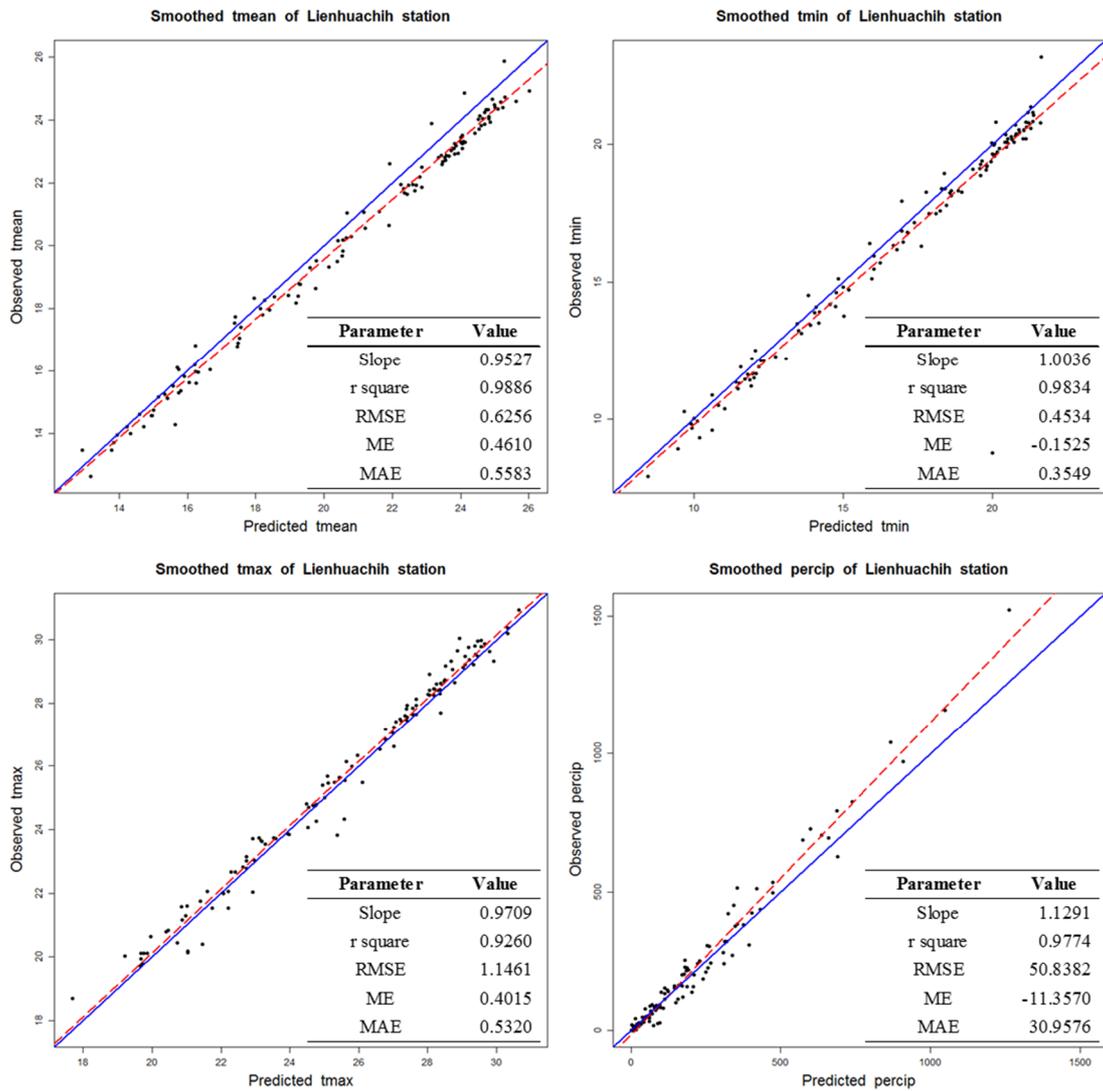


圖 2.16 以林業試驗所蓮華池研究中心測站為例，以每個月份的歷史觀測值對 temp.regression 推估值繪製成對散佈圖。紅色虛線為成對散佈點之直線迴歸，藍色實線為斜率 1 之直線。各圖分別為月均溫（左上）、月平均高溫（左下）、月平均低溫（右上）及月累積降雨（右下）。

另將 15 處氣象測站驗證結果進行彙總，按中央氣象局所屬測站（TCCIP 母體資料）及林業試驗所所屬測（與 TCCIP 母體資料相獨立之樣本）分別計算預測誤差，並依測站海拔，探討預測誤差值隨海拔的變化情形。

表 2.9 結果顯示，temp.regression 推估結果與中央氣象局所屬測站之同期歷史資料之誤差較小，對月均溫的估測絕對誤差(MAE)為 0.51°C、平均誤差(ME)為-0.24°C，對月累積降雨的估測 MAE 為 34.06mm、ME 為-5.88mm；如以林業試驗所所屬測站進行降尺度模式驗證，則月均溫的估測絕對誤差(MAE)為 0.57°C、平均誤差(ME)為-0.06°C，對月累積降雨的估測 MAE 為 50.83mm、ME 為-6.80mm。由於林業試驗所所屬測站並非 TCCIP 建置台灣地區五公里網格氣候資料之參照測站，故可視為獨立樣本，其驗證結果應較中央氣象局測站資料為客觀。然而，林試所測站之維護頻率不若中央氣象局主要測站頻繁，且測站間數據亦缺乏定期校準，準確率及資料穩定度可能較中央氣象局稍差。不論如何，temp.regression 利用兩組不同來源的氣象測站資料進行驗證，所得氣溫估測平均誤差(ME)介於-0.24°C至 0.06°C間，平均絕對誤差(MAE)則介於 0.51°C至 0.57°C間；月累積降雨估測平均誤差(ME)介-6.79mm至-5.88mm間，平均絕對誤差(MAE)則介 34.06mm至 50.83mm間，均可確定 temp.regression 預測精度優於 ClimateAP (ClimateAP 2.0 驗證之 ME 為 0.74°C)，且應已達生態研究應用之水準。

表 2.9 利用 15 處氣象觀測站之每月降雨及溫度觀測資料，對 temp.regression 降尺度模式的驗證結果。

Subordinate	Climate variables	ME	MAE	RMSE	r square
CWB (10 stations)	Percip (mm)	-5.8772	34.0581	57.5561	0.9367
	Tmax (°C)	-0.1286	0.5825	0.7013	0.9661
	Tmean (°C)	-0.2444	0.5071	0.6015	0.9772
	Tmin (°C)	-0.5525	0.6901	0.8134	0.9746
TFRI (5 stations)	Percip (mm)	-6.7907	50.8260	99.5404	0.8747
	Tmax (°C)	-1.0062	1.1412	1.3232	0.9630
	Tmean (°C)	0.0557	0.5661	0.7218	0.9779
	Tmin (°C)	0.1679	0.8310	1.1127	0.9608
Average (15 stations)	Percip (mm)	-6.1817	39.6474	71.5509	0.9160
	Tmax (°C)	-0.4212	0.7688	0.9086	0.9651
	Tmean (°C)	-0.1443	0.5268	0.6416	0.9774
	Tmin (°C)	-0.3124	0.7371	0.9132	0.9700

另依 temp.regression 對 15 處測站之預測誤差，配合該測站海拔進行迴歸分析。結果顯示，降尺度模型對於雨量實測資料的 r square 約為 0.9 左右，而同一模型對於溫度實測資料的 r square 通常可達 0.95 以上，顯示雨量的準確預測較氣溫來得困難許多。然而，在隨海拔增加的過程中，雨量實測值對預測值的 r square 及誤差量均無明顯變化，表示海拔變化對於雨量預測的誤差並沒有太大的影響；相反的，氣溫實測值對預測值的 r square 隨著海拔有明顯的降低趨勢，預測 temp.regression 的氣溫預測誤差量會隨著海拔升高而逐漸擴大，此現象說明了高海拔地區（尤其是海拔 3000 公尺以上）的氣溫預測較低海拔地區困難。另分析「觀測值-預測值」之平均絕對誤差（MAE）及誤差均方根（RMSE）對海拔的關係，亦顯示氣溫預測誤差有隨著海拔遞增的現象，雨量之預測誤差則與海拔沒有顯著關係（圖 2.17）。

但目前無法確定究竟是高海拔氣候環境變異程度較高，或是因為高海拔地區測站資料稀少所致，有待取得更多高海拔地區氣候實測數據，以釐清此一預測誤差擴大現象的確實原因。

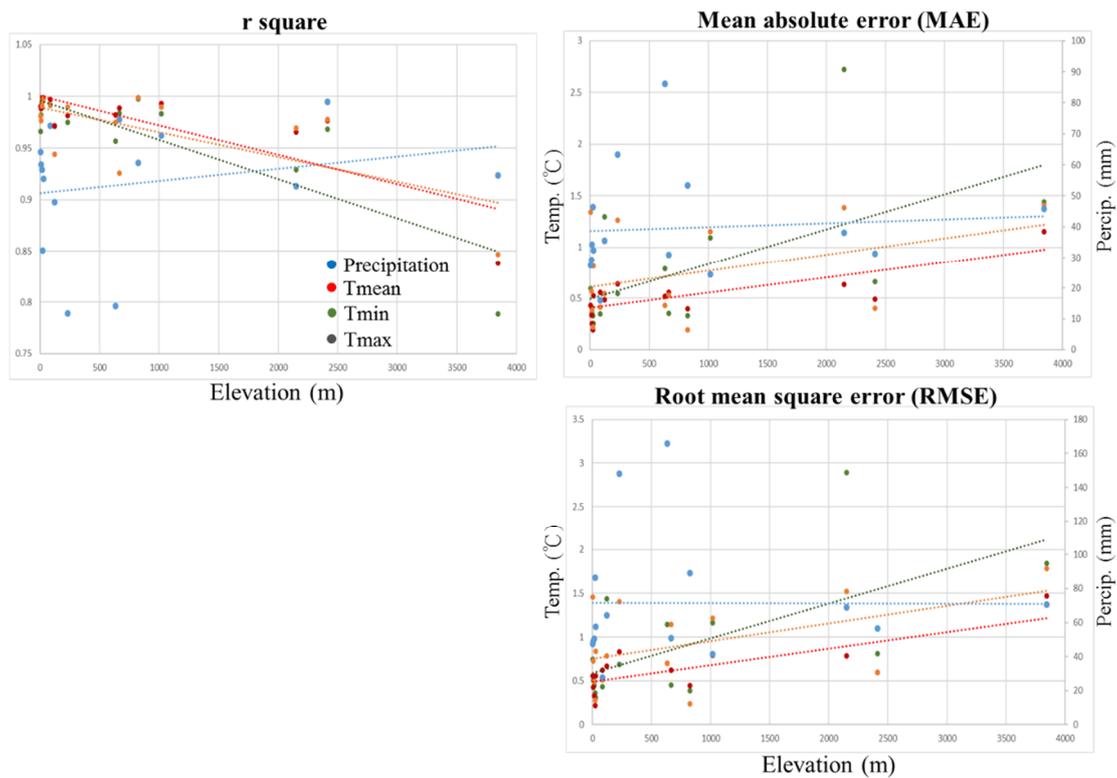


圖 2.17 利用「觀測值-預測值」線性迴歸 r square 對海拔作圖（左上）；利用「觀測值-預測值」之平均絕對誤差（MAE）及誤差均方根（RMSE）對海拔作圖（右上、右下）。

整體而言，15 處測站實測資料驗證後顯示 temp.regression 結合 TCCIP 提供之五公里網格資料進行氣候降尺度推估，確實值得作為山區生態研究應用之氣候資料來源，且可獲得與實測資料精度相近的溫度雨量推估值。邱清安及林博雄於 2004 年曾利用全台 219 個氣溫站及 877 個雨量站資料，結合數值高程模型，將資料對數轉換後進行一般克利金推估，取得高解析度的氣溫及降水推估資料，該研究經交叉驗證後以誤差均方根（RMSE）比較，誤差量約在 1.54-1.74 之間。本對 temp.regression 交叉驗證所得之 RMSE 為 0.64，顯示動態局部迴歸方法確可大幅提昇對氣溫及雨量資料推估的準確性。

此外，ClimateAP 軟體具有應用於亞洲太平洋廣泛地區的優勢。本計畫認為，若研究議題係以臺灣及亞洲地區為對象，ClimateAP 極適合作為大尺度範圍下的歷史及未來氣候推估工具；若研究議題侷限於臺灣本島，則可利用 temp.regression 產製更高精度的氣候資料，以提升分析成果的品質。

### 3.3 temp.regression.future 對未來氣候降尺度推估結果

TCCIP 對外提供之未來推估時序變化資料，係以 5 公里網格為解析度，以 1986 年至 2005 年為比較年(基線期間)，暖化情境 IPCC 第五次評估報告(AR5) 所定義出來的 4 個代表濃度途徑 Representative Concentration Pathways (RCPs)，其中 RCP2.6 是個暖化減緩的情境；RCP4.5 與 RCP6.0 是屬於穩定的情境；RCP8.5 則是個溫室氣體高度排放的情境。本計畫向 TCCIP 申請取得之未來推估資料涵蓋多達 49 種大氣海洋環流模式 (GCMs) (表 2.10)，Lin & Tung 於 2017 年曾利用加權平均排序法 (Weighted average ranking, WAR) 及系統缺失點位法 (Demerit point system, DPS) 進行各種 GCM 於台灣地區的適用程度評估，篩選出六種與台灣歷史觀測資料最相符的模式。本研究即依據 Lin & Tung 之結論，採行該研究建議之 6 種 GCM 模式，推估期間為 2035、2065 及 2100 年，作為台灣森林生態系遭受氣候變遷衝擊評估之未來氣候資料來源。

由於 TCCIP 提供之未來氣候推估資料網格解析度為 5 公里，資料內容為相對基線年度之溫度及雨量變化量，且格式與 1960 年至 2012 年歷史氣候資料相近。因此，本研究對 temp.regression 程式略加調整，先將基線期間資料與未來年度變化量依網格加總，再經由水平雙向插值計算及動態局部迴歸方法，進行未來年期的溫度、雨量的降尺度運算。此一資料處理程序另以 temp.regression.future 命名，最終產製資料之格式則與 temp.regression 相同 (圖 2.18)。

表 2.10 TCCIP 提供 AR5 各種未來情境之 GCM 資料，以及 Lin & Tung 對各 GCM 在台灣的適用性評估結果。

GCM	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5	Assessment by WAR	Assessment by DPS
10th-percentile	V	V	V	V		
25th-percentile	V	V	V	V		
75th-percentile	V	V	V	V		
90th-percentile	V	V	V	V		
ACCESS1-0		V		V		
ACCESS1-3		V		V		
bcc-csm1-1	V	V	V	V		
bcc-csm1-1-m	V	V	V	V		
BNU-ESM	V	V		V		
CanESM2	V	V		V		
CCSM4	V	V	V	V	3rd	5th
CESM1-BGC		V		V		
CESM1-CAM5	V	V	V	V	2nd	3rd
CESM1-CAM5-1-FV2		V		V		
CMCC-CESM				V		
CMCC-CM		V		V		
CMCC-CMS		V		V		
CNRM-CM5	V	V		V		
CSIRO-Mk3-6-0	V	V	V	V		1st
EC-EARTH				V		
ensemble	V	V	V	V		
FGOALS-g2	V	V		V		
FIO-ESM	V	V	V	V		
GFDL-CM3	V	V	V	V		
GFDL-ESM2G	V	V	V	V		
GFDL-ESM2M		V	V	V		
GISS-E2-H	V	V	V	V		
GISS-E2-H-CC		V		V		
GISS-E2-R	V	V	V	V	5th	
GISS-E2-R-CC		V		V		
HadGEM2-AO	V	V	V	V	1st	2nd
HadGEM2-CC		V		V		
HadGEM2-ES	V	V	V	V		
inmcm4		V		V		
IPSL-CM5A-LR	V	V	V	V		
IPSL-CM5A-MR	V	V	V	V		
IPSL-CM5B-LR		V		V		
maximum	V	V	V	V		
media	V	V	V	V		
minimum	V	V	V	V		
MIROC5	V	V	V	V	4th	4th
MIROC-ESM	V	V	V	V		
MIROC-ESM-CHEM	V	V	V	V		
MPI-ESM-LR	V	V		V		
MPI-ESM-MR	V	V		V		
MRI-CGCM3	V	V	V	V		
MRI-ESM1				V		
NorESM1-M	V	V	V	V		
NorESM1-ME	V	V	V	V		

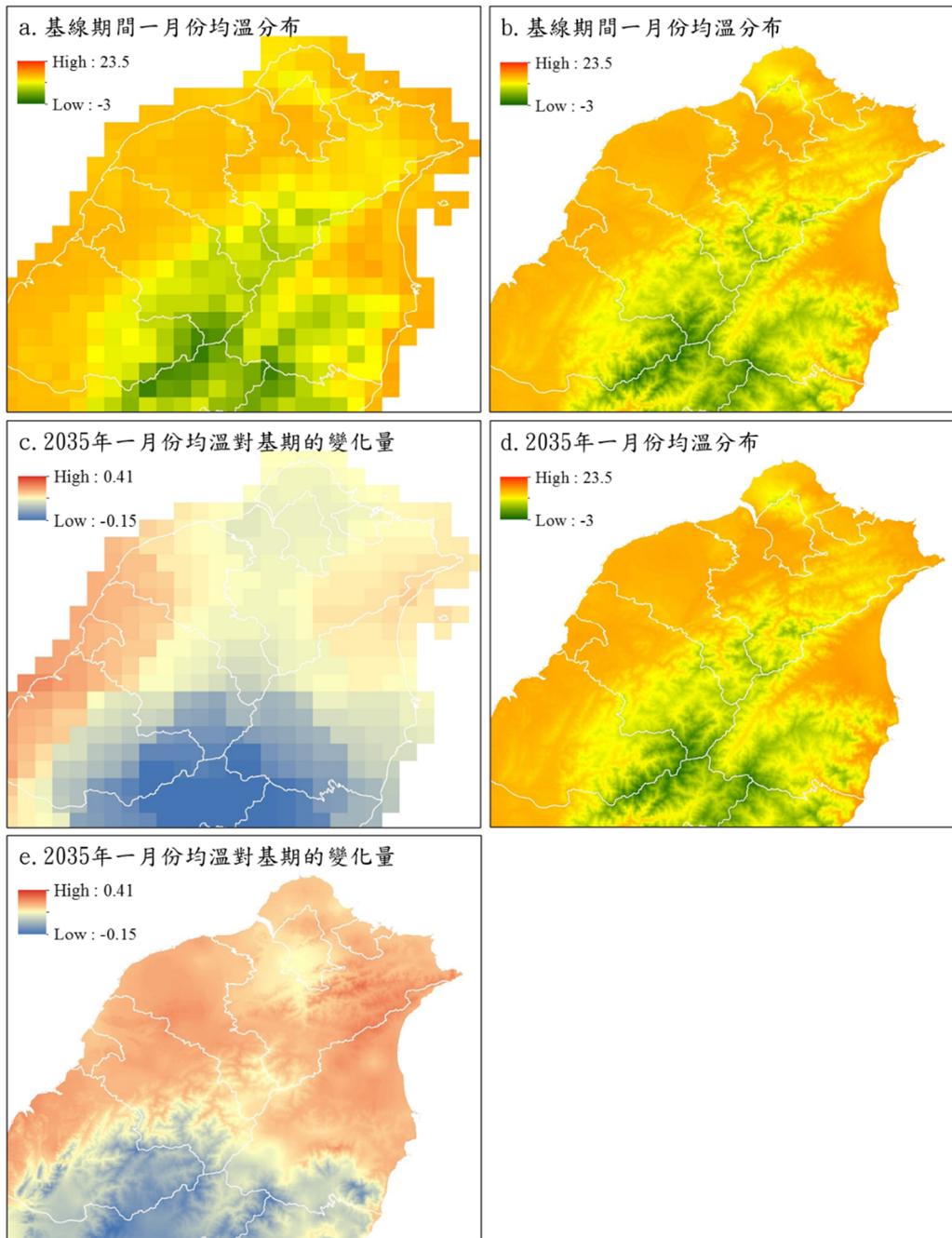


圖 2.18 以台灣北部為例，顯示基線期間及未來年度氣候資料降尺度結果。  
 (a)TCCIP 五公里網格基線資料；(b)經 temp.regression 降尺度為 100m 之基線氣溫；(c)TCCIP 提供之 2035 年一月份均溫推估資料(CSIRO-Mk3-6-0, RCP 4.5)；(d) 經 temp.regression.future 降尺度為 100m 之 2035 年一月份均溫分布情形；(e)計算 d 圖與 b 圖差值，顯示不同地點的一月份均溫變化幅度。單位均為攝氏度。

### 3.4 植群範圍、分布預測及衝擊程度分析

森林植群的分布，主要受到大尺度氣候環境的影響，當氣候變遷導致環境溫度及雨量分布改變，除了對原生物種的生理條件形成衝擊以外，亦可能造成原生植群與生態系分布範圍的改變，進而對生態系組成及結構產生影響，導致某些脆弱種的滅絕。因此，許多研究均認為，氣候變遷情境下容易發生上部植群或生態系變化的地點，極可能是衝擊最劇烈的地點；相反的，若一處區域在氣候變遷影響下仍能維持上部植群及生態系的長時間穩定，則此地區有較高機會成為該生態系相關物種的避難所。基於上述原理，本計畫擬利用高解析度氣候模型，配合已收集的台灣現生植群及物種分布資料，以優勢物種組成之森林型（forest type）為單元，建構主要森林型之氣候適生棲位，瞭解不同森林型對氣候因子的耐性範圍；而後再利用不同暖化情境下的氣候資料，經棲位模式預測，獲得各森林型現生與未來的適生區域。透過現生及未來適生範圍的比較，即可計算不同地點的潛在植群轉變程度，據以評估氣候變遷對於不同地區植群與生態系的衝擊程度。

本研究依據李靜峰 2013 年正式發表之臺灣 21 種天然生森林植群分類成果（表 2.11），萃取其中與氣候相關的 13 種森林型（C1A01-C3A11、C5A13、C6A15）4021 個森林樣區，利用 temp.regression 產生各網格中心點位之基線期間（1986 年至 2005 年）氣候資料，每個樣區均包含 73 組氣候變量（圖 2.19）。

Spatial coordinate			Vegetation	Climate variables				
X	Y	Z	Alliance	Precip.	Tmin	Tmean	Tmax	others
X <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	Z <sub>1</sub>	<i>Juniperous</i>	...	...	...	...	...
X <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	<i>Abies-Tsuga</i>	...	...	...	...	...
			<i>Chamaecyparis</i>					
			<i>Quercus</i>					
			<i>Chamaecyparis</i>					
			<i>Abies-Tsuga</i>					
4,021 plots			13 forest types	73 climate variables from temp.regression				

圖 2.19 以國家現生天然植群計畫樣區，產生「森林型-氣候因子」資料表之格式示意圖。

表2.11 李靜峰等於2013年完成的台灣21種天然生森林型分類結果。

Zonal forest types	Azonal forest types
<p><b>C1</b> High-mountain coniferous woodlands and forests</p> <p><b>C1A01</b> <i>Juniperus</i> subalpine coniferous woodland and scrub</p> <p><b>C1A02</b> <i>Abies-Tsuga</i> upper-montane coniferous forest</p> <p><b>C2</b> Subtropical mountain zonal forests</p> <p><b>C2A03</b> <i>Chamaecyparis</i> montane mixed cloud forest</p> <p><b>C2A04</b> <i>Fagus</i> montane deciduous broad-leaved cloud forest</p> <p><b>C2A05</b> <i>Quercus</i> montane evergreen broad-leaved cloud forest</p> <p><b>C2A06</b> <i>Machilus-Castanopsis</i> sub-montane evergreen broad-leaved forest</p> <p><b>C2A07</b> <i>Phoebe-Machilus</i> sub-montane evergreen broad-leaved forest</p> <p><b>C2A08</b> <i>Ficus-Machilus</i> foothill evergreen broad-leaved forest</p> <p><b>C3</b> Tropical mountain zonal forests</p> <p><b>C3A09</b> <i>Pasania-Elaeocarpus</i> montane evergreen broad-leaved cloud forest</p> <p><b>C3A10</b> <i>Drypetes-Helicia</i> sub-montane evergreen broad-leaved forest</p> <p><b>C3A11</b> <i>Dysoxylum-Machilus</i> foothill evergreen broad-leaved forest</p> <p><b>C4</b> Tropical forests of Green Island and Orchid Island</p> <p><b>C4A12</b> <i>Aglaiia-Ficus</i> foothill evergreen broad-leaved forest</p>	<p><b>C5</b> Tropical mountain azonal forests</p> <p><b>C5A13</b> <i>Illicium-Cyclobalanopsis</i> tropical winter monsoon forest</p> <p><b>C5A14</b> <i>Diospyros-Champereia</i> tropical rock-outcrop forest</p> <p><b>C6</b> Subtropical mountain azonal woodlands and forests</p> <p><b>C6A15</b> <i>Pyrenaria-Machilus</i> subtropical winter monsoon forest</p> <p><b>C6A16</b> <i>Zelkova-Quercus</i> subtropical rock-outcrop forest</p> <p><b>C6A17</b> <i>Pinus</i> successional woodland</p> <p><b>C6A18</b> <i>Alnus</i> successional woodland</p> <p><b>C6A19</b> <i>Trema-Mallosus</i> successional woodland</p> <p><b>C7</b> Seashore woodlands and mangroves</p> <p><b>C7A20</b> <i>Scaevola-Hibiscus</i> seashore woodland</p> <p><b>C7A21</b> <i>Kandelia</i> mangrove</p>

隨機森林分析流程為：逐森林型設定該型之所有樣區為「出現」，再從剩餘樣區內隨機撈取「出現」之 3 倍數量資料為「不出現」樣本，再隨機抽取 30 個氣候因子、總計建立 500 組決策樹之方式，完成隨機森林模型之建置；各森林型分別重複 100 次隨機森林分析程序，以計算每個空間網格的森林型適存機率及氣候因子重要性排序。根據前述方式建立之隨機森林分類器，將全臺 100m 解析度網格之不同時期氣候因子作為分類器輸入資料，進而獲得不同時期氣候條件下的森林型適生範圍預測；由於每種森林型均各自重複 100 個隨機森林建模與預測程序，因此各網格均具備 13 種森林型的適生機率值，再以「機率最高」的森林型，做為判定該地點潛在植群的依據。

經前述方法，以基線期間氣候資料建立全臺 13 種森林型之潛在分布圖（圖 2.20）後，將該圖與 4021 個來源樣區資料套疊，將來源樣區資料作為地真資訊、潛在分布圖作為預測資訊，利用混淆矩陣（Confusion matrix）進行模式預測準確率評估（表 2.12）。

表 2.12 針對北部（上）及南部地區（下），進行隨機森林模型預測準確率評估的結果。

north		predicted forest type										TOTAL	error rate
		C6A15	C2A07	C2A08	C2A06	C2A04	C2A05	C2A03	C1A02	C1A01			
actual forest type	C6A15	<i>Pyrenaria-Machilus</i>	482	41		1	4	1	1			530	9.06%
	C2A07	<i>Phoebe-Machilus</i>	37	201	7	4		2				251	19.92%
	C2A08	<i>Ficus-Machilus</i>		2	11							13	15.38%
	C2A06	<i>Machilus-Castanopsis</i>	3	12	13	27	6	1				62	56.45%
	C2A04	<i>Fagus</i>		1	1		49		2			53	7.55%
	C2A05	<i>Quercus</i>	2			3	16	161	15	2		199	19.10%
	C2A03	<i>Chamaecyparis</i>	1		1		1	26	186	2		217	14.29%
	C1A02	<i>Abies-Tsuga</i>					1		4	70	5	80	12.50%
	C1A01	<i>Juniperous</i>								3	61	64	4.69%
	TOTAL		525	257	33	35	77	191	208	77	66	1469	15.04%

south		predicted forest type											TOTAL	err rate	
		C3A11	C2A08	C2A07	C2A06	C2A05	C2A03	C1A02	C1A01	C5A13	C3A10	C3A09			
actual forest type	C3A11	<i>Dysoxylum-Machilus</i>	17	2	2	2	1						24	29.17%	
	C2A08	<i>Ficus-Machilus</i>	1	59	2			1					63	6.35%	
	C2A07	<i>Phoebe-Machilus</i>		3	65	12	5	2	4	1		3	95	31.58%	
	C2A06	<i>Machilus-Castanopsis</i>		1	5	105	16	7	12	3	2	6	157	33.12%	
	C2A05	<i>Quercus</i>			1	17	536	21	2	2	1	5	585	8.38%	
	C2A03	<i>Chamaecyparis</i>					14	167	4				185	9.73%	
	C1A02	<i>Abies-Tsuga</i>						4	92	6			102	9.80%	
	C1A01	<i>Juniperous</i>							1	28			29	3.45%	
	C5A13	<i>Illicium-Cyclobalanopsis</i>									23	14	2	39	41.03%
	C3A10	<i>Drypetes-Helicia</i>		2	1	4	7	4	9	7	19	362	11	426	15.02%
	C3A09	<i>Pasania-Elaeocarpus</i>										7	48	55	12.73%
		TOT	18	67	76	140	579	206	124	47	45	397	61	1760	14.66%

模式驗證結果顯示，本研究建立之隨機森林分類器之平均預測錯誤率約為 15%。對於垂直海拔帶狀分化較明顯的森林型及物種群而言，本模型的分類準確率佳，例如對高海拔的 *Juniperus*、*Abies-Tsuga*，中海拔的 *Fagus*、*Chamaecyparis*，受東北季風影響的 *Pyrenaria-Machilus* 等森林型，平均預測錯誤率均低於 10%；但對於物種垂直分布現象較不明顯、植群過渡現象明顯、或受微地形及微氣候影響的森林型而言，分類精度較差，例如低海拔的 *Machilus* 林型、恆春半島的 *Illicium-Cyclobalanopsis* 林型等。觀察現生與未來不同時期的各森林型的適生範圍變化，可發現未來確實可能發生低海拔林型逐步向高海拔推移現象，低海拔林型適生範圍的南北分布亦產生變化；部分森林型的現生適存範圍則受到其他林型的推移擠壓，導致原有的適存範圍發生在地滅絕 (Local extinction)。本研究將基線期間各森林型之適生範圍面積逐一表列，並經由不同未來年代圖層比較，計算各森林型適生範圍的相對增減百分率。依據「適生面積縮減時間越早、適生面積縮減量越大」為評估暖化衝擊程度之原則，探討不同森林型及地點未來可能承受的氣候變遷衝擊量。針對北臺灣及南臺灣的分析結果，說明如下。

#### 對北臺灣植群範圍、分布預測及衝擊程度分析

本研究針對北臺灣地區，依據 CSIRO-Mk3-6-0 環流模型的 RCP 2.6 及 RCP 4.5 情境，針對未來三階段 (2035 年、2065 年及 2100 年) 分別完成 13 種森林型的適生範圍預測分析。圖 2.21 至圖 2.24 則是以 RCP 4.5 情境為例，展示現生及未來不同時期的適生範圍分布圖。各圖層於不同年代間的面積增減變化量則計算於表 2.13 (RCP 2.6 情境) 及表 2.14 (RCP 4.5 情境)。分析結果呈現趨勢如下：

- 1、高海拔地區以柏屬植物 (*Juniperus*) 為優勢的森林型 (C1A01) 將發生明顯的適存面積縮減現象。在 RCP 2.6 情境下，此森林型至 2100 年的適存面積損失將達到 89.97%，RCP 4.5 情境模擬結果則損失量更將高達 99.67%。顯示此一高海拔森林型承受之暖化衝擊量極高。
- 2、以臺灣水青岡 (*Fagus*) 為主的落葉闊葉林，在不同暖化情境下均觀察到明顯的適存範圍面積縮減情形。RCP 2.6 情境模擬結果顯示其適存面積縮減量為 71.27%、RCP 4.5 情境下的縮減量則高達 90.79%。依據不同時期預測分布圖的比較觀察，顯示 2035 至 2065 年期間，中央山脈以西的現生棲地的環境條件將不利於水青岡生存，導致拉拉山系及烏嘴山一帶的棲息地點消失；中央山脈主稜以東的地點，如阿玉山、大白山、蘭炭山等地的現存棲地環境亦將變得嚴苛，形成極為零碎的適生棲地；僅存銅山小部分地點及太平山以西較

高的山區，為僅存適合臺灣水青岡生存的區域。至 2100 年，則銅山棲地亦近完全消失，僅太平山以西、加羅湖至大同鄉部分稜線，具備適合水青岡生存的氣候環境條件。此模擬結果顯示，臺灣水青岡的適存範圍在未來 80 年內可能由銅山朝翠峰湖、太平山至加羅湖方向移動，可作為管理單位預先擬定森林經營管理計畫及擬定遷徙廊道的參考。

- 3、東北部貢寮、雙溪、平溪、坪林及頭城一帶山區，受到東北季風的影響，現生森林型係以烏皮茶及槲楠屬植物 (*Pyrenaria-Machilus*) 為主。此區域的潛在森林型可能在 2035 年左右隨氣候條件發生變化，形成較適合雅楠及槲楠類植物 (*Phoebe-Machilus*) 生存的棲地，就生態特性而言，可能代表著東北山區冷涼特性的逐漸消失，朝向較潮濕、溫度變化穩定的雅楠植物棲地條件發展。
- 4、不管在 RCP 2.6 或 RCP 4.5 情境下，皆發現現存於南部的熱帶山地森林型有朝向北部發展的趨勢。分析結果顯示，2035 或 2065 年以後，苗栗、新竹至桃園之低緩平地，氣候條件將朝類似台灣南部的控木及槲楠屬優勢森林之棲地環境發展，至 2100 年更顯示此熱帶山地森林型有朝向東北山區溪谷環境推移的趨勢，代表從苗栗、新竹、桃園及新北平地的大漢溪流域至烏來坪林的山區溪谷，可能是南部熱帶森林型朝北部推移的路徑。
- 5、臺灣水青岡及東北部山區的風衝森林已納入宜蘭大學團隊執行之「以大白山至大南澳嶺與雙溪、頭城山區為例」計畫研究範圍，將與本計畫合作進行小尺度的保育策略探討。惟高海拔的圓柏、刺柏及冷杉森林型未納入本團隊計畫範圍，建議林務局仍應將此林型列入後續關注對象。

#### 對南臺灣植群範圍、分布預測及衝擊程度分析

本研究針對南臺灣地區，依據 CSIRO-Mk3-6-0 環流模型的 RCP 2.6 及 RCP 4.5 情境，針對未來三階段（2035 年、2065 年及 2100 年）分別完成 13 種森林型的適生範圍預測分析。圖 2.25 至圖 2.28 則是以 RCP 4.5 情境為例，展示現生及未來不同時期的適生範圍分布圖。各圖層於不同年代間的面積增減變化量則計算於表 2.15 (RCP 2.6 情境) 及表 2.16 (RCP 4.5 情境)。分析結果呈現趨勢如下：

- 1、與北部地區的分析結果一致，高海拔地區以柏屬植物 (*Juniperus*) 為優勢的森林型 (C1A01) 將發生明顯的適存面積縮減現象，惟南部地區的縮減量略

低於北部地區。在 RCP 2.6 情境下，此森林型至 2100 年的適存面積損失將達到 80.01%，RCP 4.5 情境模擬結果則損失量將高達 95.50%。顯示南部地區高海拔森林型承受之暖化衝擊量亦高，但受威脅程度略低於臺灣北部。此趨勢與科技部「台灣氣候變遷科學報告」所提結論「至本世紀末北台灣較南台灣的增溫幅度略高」相符。

- 2、南臺灣地區承受暖化衝擊量最高的森林型為現生分布於衣丁山南側至出雲山及浸水營一帶的石櫟屬及杜英屬植物優勢的森林（C3A09, *Pasania-Elaeocarpus* forest type），孕育許多珍稀植物種類如柳葉石櫟、浸水營石櫟等。在暖化程度趨緩的 RCP 2.6 情境下，此森林型的適生棲地縮減量已高達 97.72%；在 RCP 4.5 情境下，其適存範圍將於 2100 年完全消失。就各時期分布預測圖比較，發現 *Pasania-Elaeocarpus* 森林型的消失主要來自於下部植群的擠壓（C3A10, *Drypetes-Helicia* forest type），同時高海拔端無法朝向櫟林（C2A05, *Quercus* forest type）及檜木林（C2A03, *Chamaecyparis* forest type）順利擴張，導致適生棲地的縮減與在地滅絕。由於本森林型在臺灣的現生範圍狹窄，且育有許多特有及稀有物種，建議應為保育行動的優先對象。
- 3、現存於南仁山區、壽卡及達仁山區，以八角茴香及桐屬植物優勢的森林型（C5A13, *Illicium-Cyclobalanopsis* forest type），是另一個易受暖化衝擊的森林類型。本森林型形相低矮，為東北季風影響所形成的非帶狀植群。模擬結果顯示，恆春半島現生適存棲地至 2035 年有更朝向迎風的海岸地區推移的趨勢，然而其適生棲地於 2035 年至 2065 年間將出現明顯的縮減，至 2100 年之適存棲地將僅餘目前的 86.75%，且空間出現大幅變化，恆春半島僅餘牡丹鄉女仍山、獅子鄉草埔後山稜線等零碎地點適合本森林型生存。根據目前對於南仁山迎風型森林的研究與瞭解，已知本森林型為許多特有種及稀有種的生育環境，且為東北季風影響下形成的特殊的生態系統，建議應為推動保育工作的優先對象。

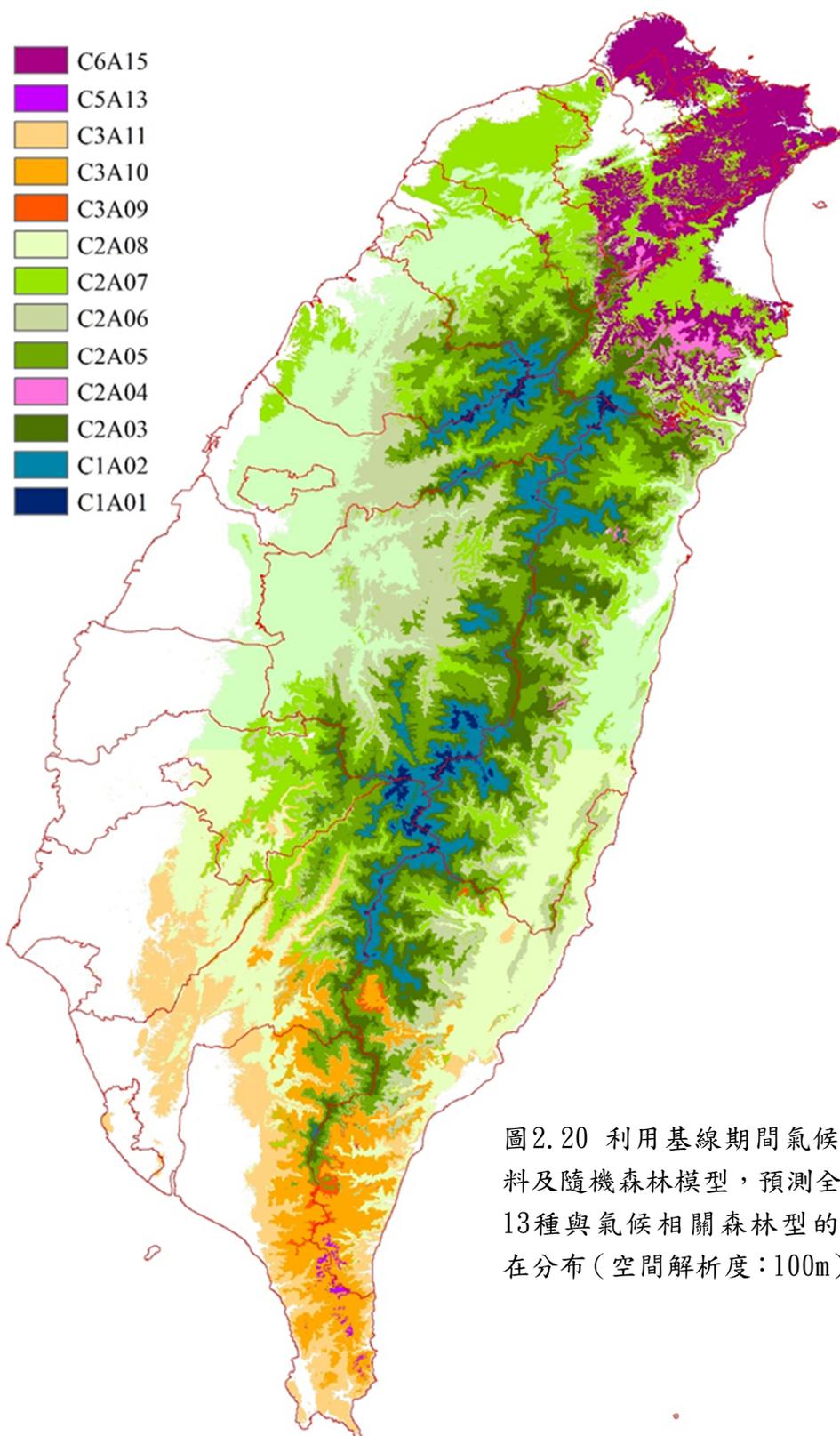


圖2.20 利用基線期間氣候資料及隨機森林模型，預測全臺13種與氣候相關森林型的潛在分布(空間解析度:100m)。

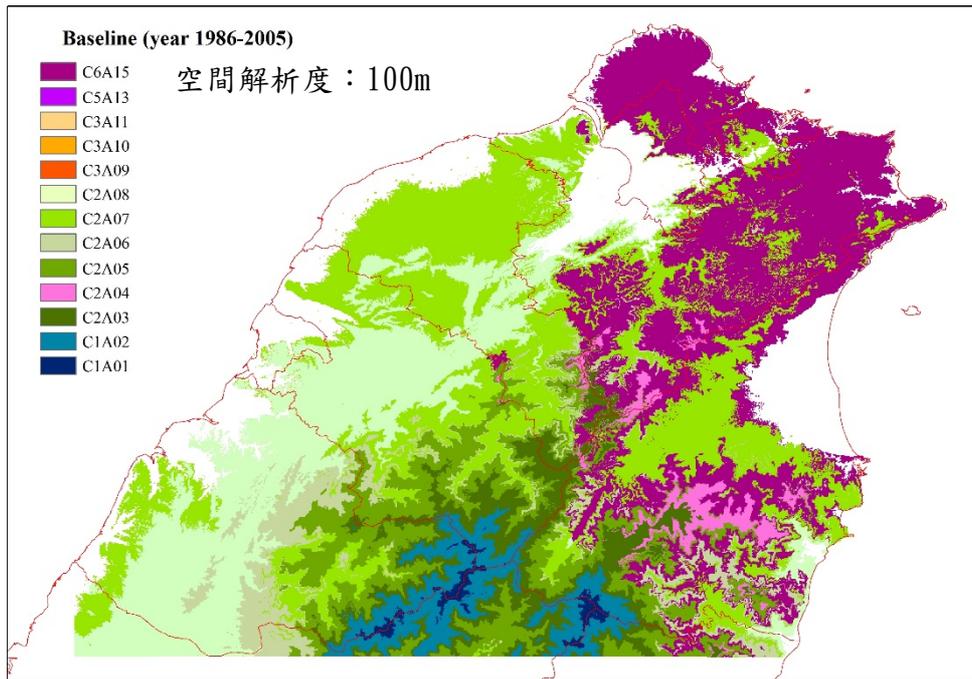


圖 2.21 以基線期間氣候資料，預測 13 種森林型在北臺灣的適生分布。

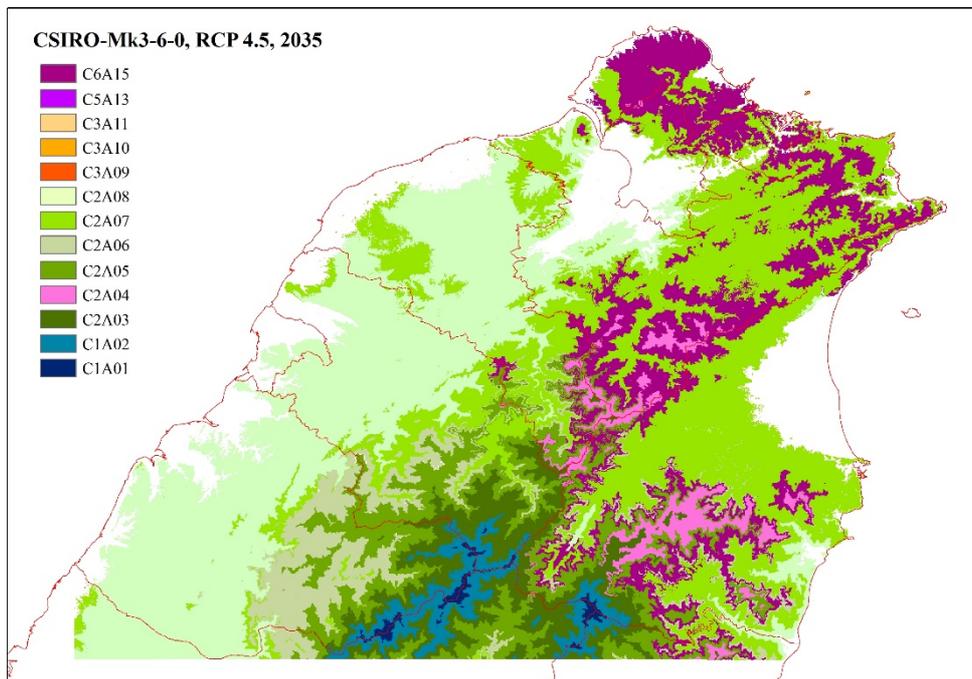


圖 2.22 以 CSIRO-Mk3-6-0 模式的 RCP 4.5 情境，預測 13 種森林型 2035 年在北臺灣的適生分布。

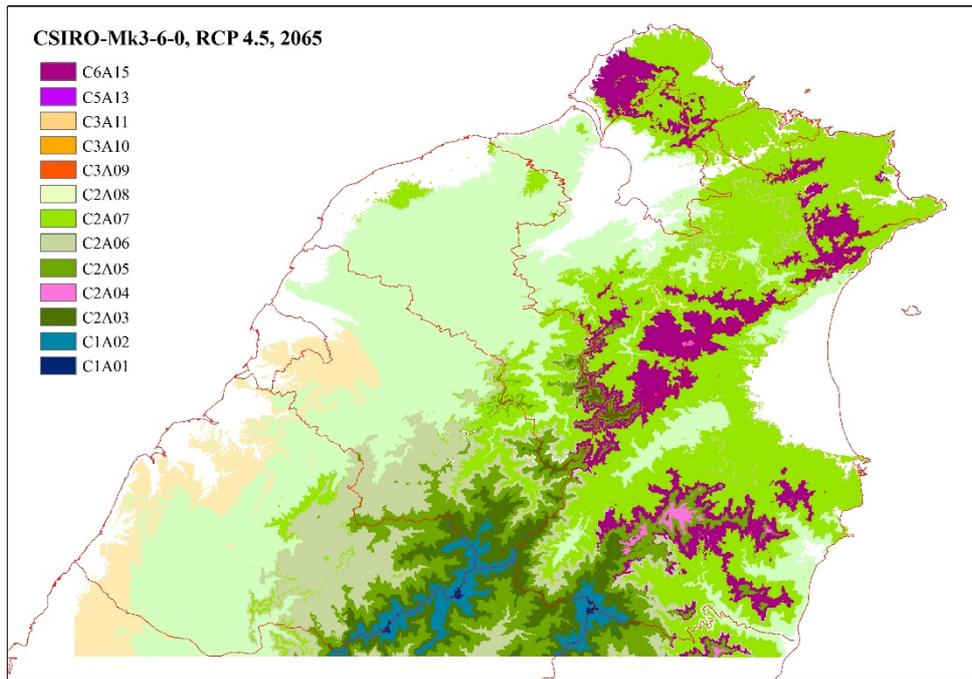


圖 2.23 以 CSIRO-Mk3-6-0 模式的 RCP 4.5 情境，預測 13 種森林型 2065 年在北臺灣的適生分布。

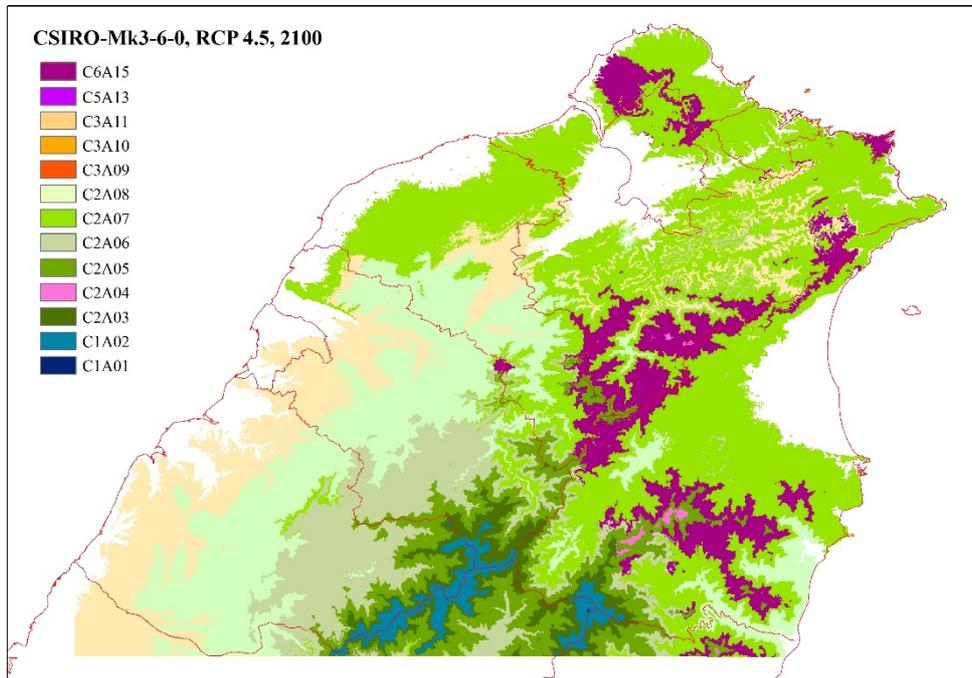


圖 2.24 以 CSIRO-Mk3-6-0 模式的 RCP 4.5 情境，預測 13 種森林型 2100 年在北臺灣的適生分布。

表 2.13 CSIRO-Mk3-6-0 的 RCP 2.6 情境下，北臺灣森林型適生棲地的可能變化。

Code	Forest type	Baseline (ha)	Year 2035 (relative %)	Year 2065 (relative %)	Year 2100 (relative %)
C1A01	<i>Juniperus</i>	6,160	-55.25%	-82.48%	-89.97%
C1A02	<i>Abies-Tsuga</i>	41,037	-31.50%	-44.35%	-40.07%
C2A03	<i>Chamaecyparis</i>	56,795	4.98%	-27.53%	-32.88%
C2A04	<i>Fagus</i>	17,088	-37.80%	-59.28%	-71.27%
C2A05	<i>Quercus</i>	89,115	-18.10%	-20.86%	-20.70%
C2A06	<i>Machilus-Castanopsis</i>	54,707	11.78%	55.90%	71.57%
C2A07	<i>Phoebe-Machilus</i>	235,340	1.77%	17.93%	0.79%
C2A08	<i>Ficus-Machilus</i>	165,750	62.27%	54.63%	51.19%
C3A09	<i>Pasania-Elaeocarpus</i>	-	-	-	-
C3A10	<i>Drypetes-Helicia</i>	-	-	-	-
C3A11	<i>Dysoxylum-Machilus</i>	-	2,396	33,750	29,676
C6A15	<i>Pyrenaria-Machilus</i>	212,928	-37.65%	-61.05%	-39.74%

表 2.14 CSIRO-Mk3-6-0 的 RCP 4.5 情境下，北臺灣森林型適生棲地的可能變化。

Code	Forest type	Baseline (ha)	Year 2035 (relative %)	Year 2065 (relative %)	Year 2100 (relative %)
C1A01	<i>Juniperus</i>	6,160	-30.84%	-89.48%	-99.67%
C1A02	<i>Abies-Tsuga</i>	41,037	-35.07%	-53.81%	-55.78%
C2A03	<i>Chamaecyparis</i>	56,795	-5.10%	-29.20%	-52.86%
C2A04	<i>Fagus</i>	17,088	34.60%	-83.69%	-90.79%
C2A05	<i>Quercus</i>	89,115	-6.67%	-19.70%	-27.28%
C2A06	<i>Machilus-Castanopsis</i>	54,707	8.40%	53.34%	70.39%
C2A07	<i>Phoebe-Machilus</i>	235,340	5.30%	6.69%	31.95%
C2A08	<i>Ficus-Machilus</i>	165,750	56.81%	70.55%	-0.87%
C3A09	<i>Pasania-Elaeocarpus</i>	-	-	-	-
C3A10	<i>Drypetes-Helicia</i>	-	-	-	-
C3A11	<i>Dysoxylum-Machilus</i>	-	-	58,758	120,034
C6A15	<i>Pyrenaria-Machilus</i>	212,928	-43.21%	-68.13%	-63.47%

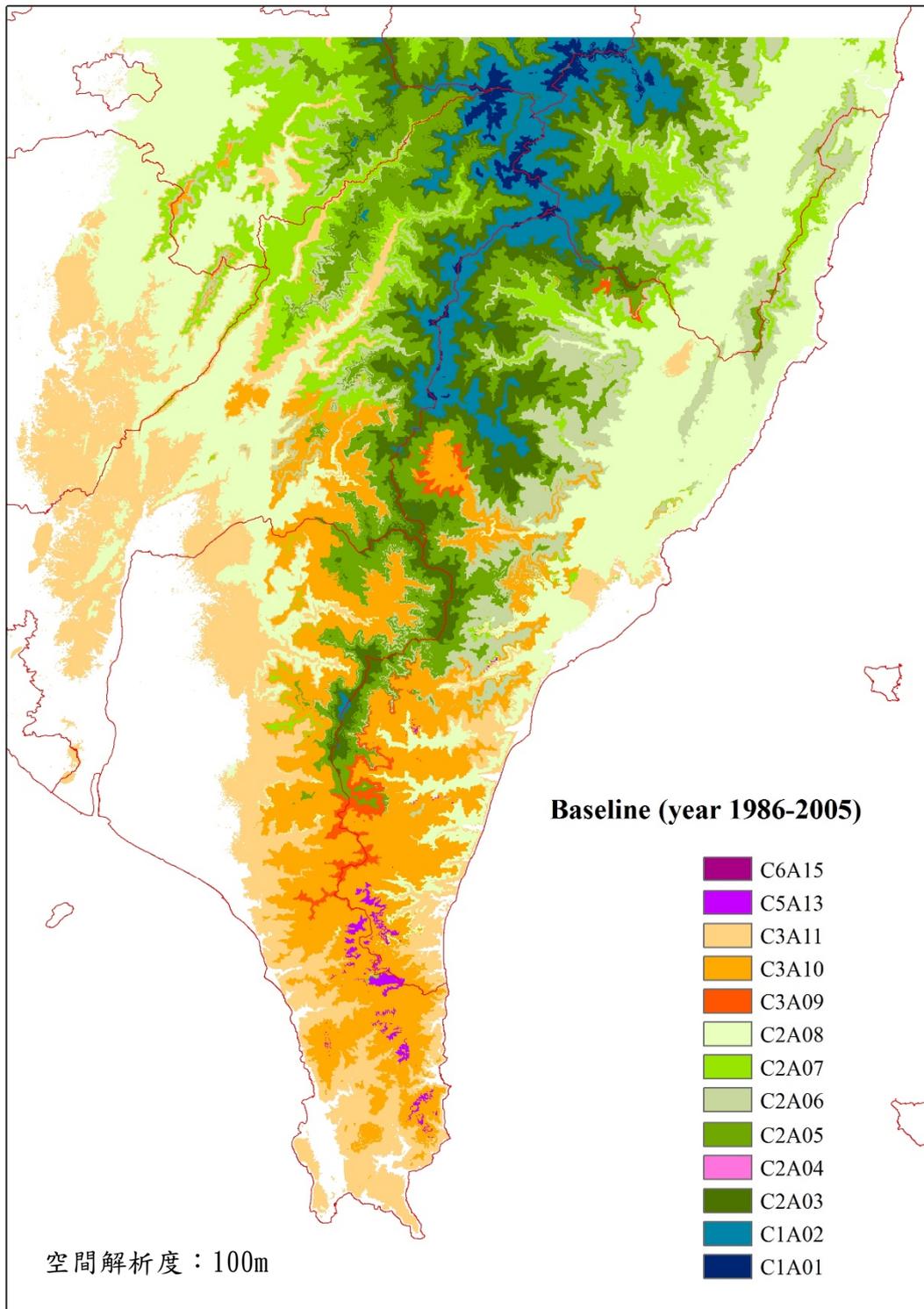


圖 2.25 以基線期間氣候資料，預測 13 種森林型在南臺灣的適生分布

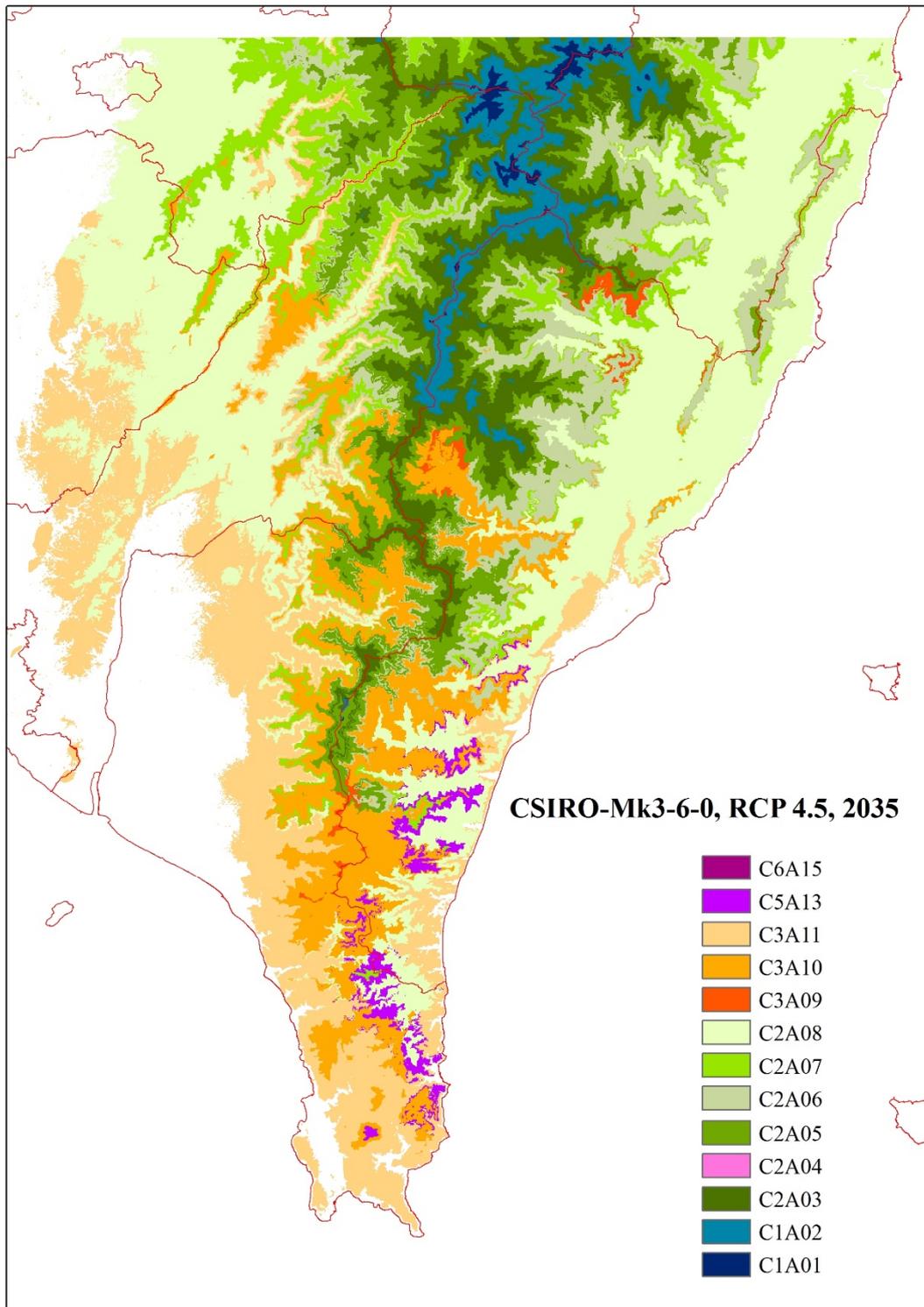


圖 2.26 以 CSIRO-Mk3-6-0 模式的 RCP 4.5 情境，預測 13 種森林型 2035 年在南臺灣的適生分布。

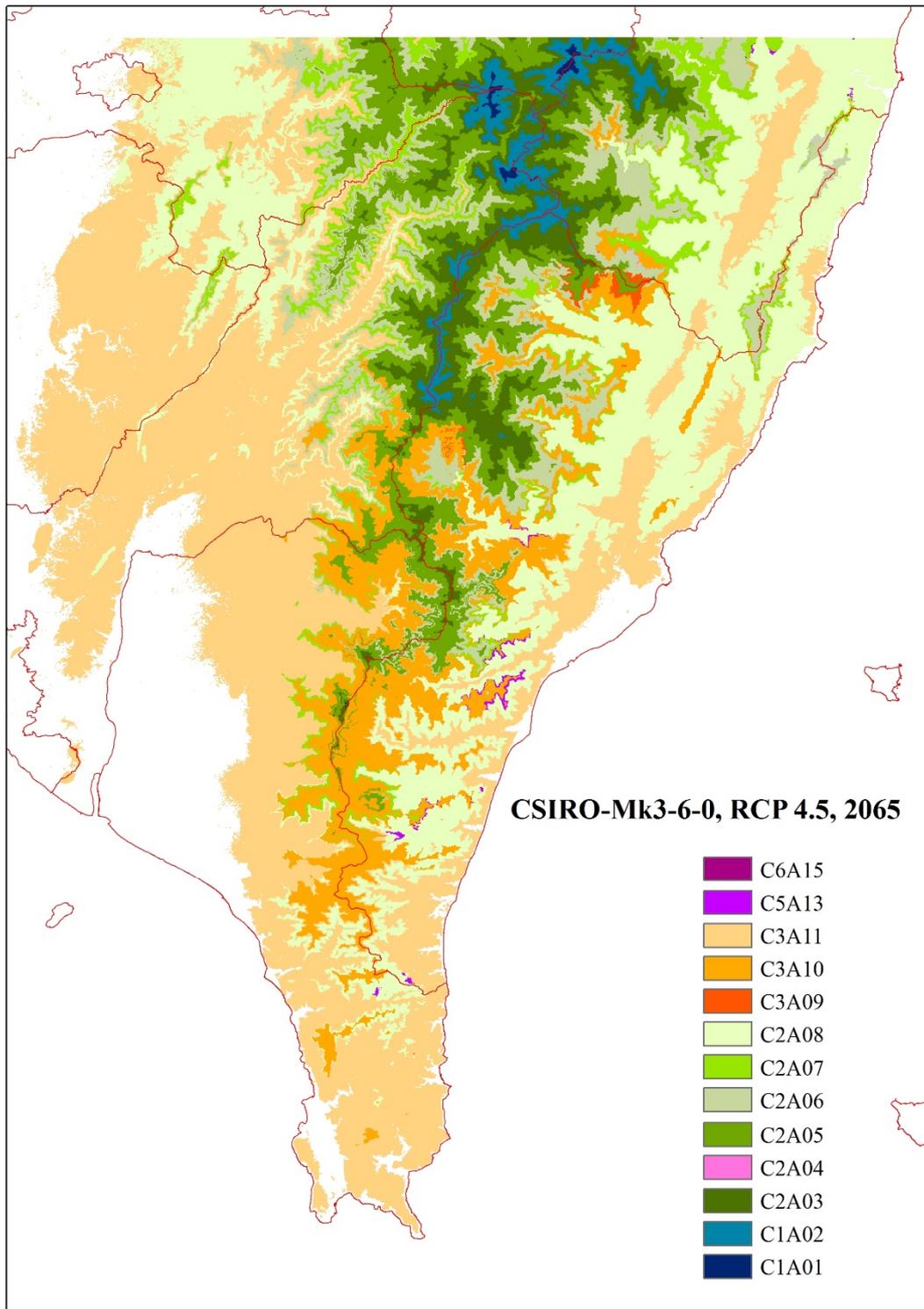


圖 2.27 以 CSIRO-Mk3-6-0 模式的 RCP 4.5 情境，預測 13 種森林型 2065 年在南臺灣的適生分布。

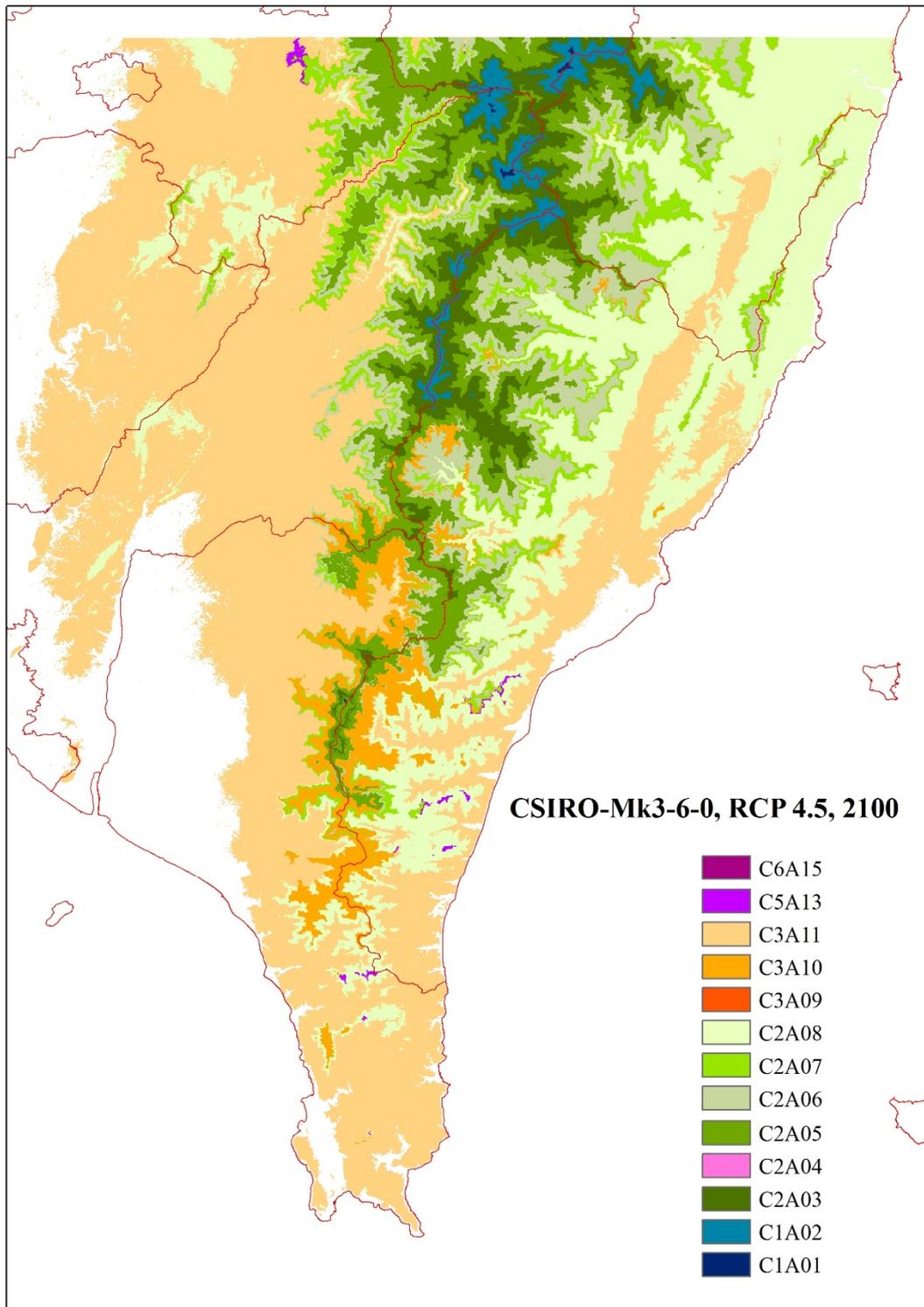


圖 2.28 以 CSIRO-Mk3-6-0 模式的 RCP 4.5 情境，預測 13 種森林型 2100 年在南臺灣的適生分布。

表 2.15 CSIRO-Mk3-6-0 的 RCP 2.6 情境下，南臺灣森林型適生棲地的可能變化。

Code	Forest type	Baseline (ha)	Year 2035 (relative %)	Year 2065 (relative %)	Year 2100 (relative %)
C1A01	<i>Juniperus</i>	9,316	-63.09%	-74.40%	-80.01%
C1A02	<i>Abies-Tsuga</i>	54,799	-36.37%	-50.59%	-51.50%
C2A03	<i>Chamaecyparis</i>	66,444	-0.33%	-16.61%	-28.83%
C2A04	<i>Fagus</i>	-	-	-	-
C2A05	<i>Quercus</i>	124,289	-31.00%	-16.21%	-11.35%
C2A06	<i>Machilus-Castanopsis</i>	86,647	-16.07%	13.62%	47.40%
C2A07	<i>Phoebe-Machilus</i>	83,856	-27.90%	-35.58%	-56.93%
C2A08	<i>Ficus-Machilus</i>	260,055	-4.68%	15.30%	-10.31%
C3A09	<i>Pasania-Elaeocarpus</i>	8,019	27.66%	-91.63%	-97.72%
C3A10	<i>Drypetes-Helicia</i>	137,141	-26.67%	-45.48%	-66.61%
C3A11	<i>Dysoxylum-Machilus</i>	198,117	75.92%	60.42%	104.72%
C5A13	<i>Illicium-Cyclobalanopsis</i>	11,810	-23.76%	-51.47%	-50.49%

表 2.16 CSIRO-Mk3-6-0 的 RCP 4.5 情境下，南臺灣森林型適生棲地的可能變化。

Code	Forest type	Baseline (ha)	Year 2035 (relative %)	Year 2065 (relative %)	Year 2100 (relative %)
C1A01	<i>Juniperus</i>	9,316	-47.54%	-83.91%	-95.50%
C1A02	<i>Abies-Tsuga</i>	54,799	-35.96%	-63.22%	-70.46%
C2A03	<i>Chamaecyparis</i>	66,444	8.53%	-28.73%	-34.58%
C2A04	<i>Fagus</i>	-	-	-	-
C2A05	<i>Quercus</i>	124,289	-17.54%	-25.95%	-23.81%
C2A06	<i>Machilus-Castanopsis</i>	86,647	2.83%	-6.76%	-4.76%
C2A07	<i>Phoebe-Machilus</i>	83,856	-10.68%	-48.06%	-30.02%
C2A08	<i>Ficus-Machilus</i>	260,055	23.10%	-9.83%	-20.61%
C3A09	<i>Pasania-Elaeocarpus</i>	8,019	-29.49%	-72.70%	-100.00%
C3A10	<i>Drypetes-Helicia</i>	137,141	-26.28%	-30.77%	-72.20%
C3A11	<i>Dysoxylum-Machilus</i>	198,117	-3.26%	121.79%	135.90%
C5A13	<i>Illicium-Cyclobalanopsis</i>	11,810	17.56%	-85.44%	-86.75%

#### 四、績效指標與期末評核標準達成情形

##### (一) 績效指標：

	細項指標	預估量化值	實際達成數	說明
學術著作發表	國內研討會論文	1	2	(1) 106 年森林資源永續發展研討會發表「運用動態局部迴歸方法建置高解析度氣候模式及其生態應用」。 (2) 2017 年植物多樣性與系統分類研討會發表「利用局部動態迴歸方法產製臺灣山區高解析度氣候數值及其生態應用」。
	國際研討會論文	1	1	XIX International Botanical Congress 發表「The warmest habitat where plants linger on?」
技術/產品/器資材研發改良	新技術/引進項數	1	1	完成 ClimateAP 模式調整及重新驗證，可於網路下載使用。 ( <a href="http://climateap.net/">http://climateap.net/</a> )

##### (二) 期末評核標準：

評核標準	達成情形
針對至少 3 處易受暖化衝擊地點，完成各植群類型關鍵氣候因子分析與篩選，進行未來分布預測分析。	本年度利用現生天然植群圖及高解析氣候資料，分別完成 13 種森林型在臺灣北部及南部的 2 暖化情境、3 未來時期的適生區域模擬，並依年間適生區域之差異程度，篩選出北部 3 種森林型、南部 3 種森林型為可能最先遭受衝擊之地點。
整理易受暖化衝擊地點範圍內特有及受威脅物種的分布特徵及面臨暖化影響可能產生的反應，彙整亟需保護的物種對象清單，並建議可能的調適作法。	針對前項易受暖化衝擊之森林型現生分布位置，配合植群計畫樣區，篩選出範圍內之特有及受威脅維管束植物，作為後續檢討亟需保護物種對象清單之資料來源。

## 五、參考文獻

- 邱祈榮、梁玉琦、賴彥任、黃名媛 (2004) 台灣地區氣候分區與應用之研究。台灣地理資訊學刊 第一期:41-62。
- 邱清安、林博雄 (2004) 由測站資料推估台灣之氣溫與降水之空間分布。大氣科學 32(4): 329-350。
- 林務局 (2012) 「建立氣候變遷對生物多樣性風險與脆弱度評估模式及因應策略規劃」成果報告書。
- 林務局 (2015) 「因應氣候變遷之生物多樣性脆弱度評估與風險管理研究」成果報告書。
- 翁叔平、楊承道 (2012) 臺灣地區月降雨及溫度 1 公里網格資料庫之建立 (1960-2009)及其在近未來(2015-2039)的氣候推估應用。大氣科學, 第四十期第四號。
- 許晃雄、吳宜昭、周佳、陳正達、陳永明、盧孟明 (2011) 台灣氣候變遷科學報告。國家科學委員會。
- Crimmins, S.M., S.Z. Dobrowski, J.A. Greenberg, J.T. Abatzoglou and A.R. Mynsberge (2011) Changes in climatic water balance drive downhill shifts in plant species' optimum Elevations. *Science* 331:324-327.
- Fang, J.Y., Z. Wang, Z. Tang (2011) *Atlas of Woody Plants in China*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis (2005) Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25:1965-1978.
- Keppel, G. and G.W. Wardell-Johnson (2015) Refugial capacity defines holdouts, microrefugia and stepping-stones. *Trends Ecol. Evol.* 20:1-22.
- Lenoir, J., J.C. Gégout, P.A. Marquet, P. de Ruffray and H. Brisse. (2008) A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. *Science* 320:1768-1771.

- Li, Ching-Feng *et al.* (2013) Classification of Taiwan forest vegetation. *Applied Vegetation Science*. 16: 698-719.
- Lin, Chia-Yu and Ching-Ping Tung (2017) Procedure for selecting GCM dataset for climate risk assessment. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 28, 43-55, doi: 10.3319/TAO.2016.06.14.01(CCA)
- Pauli, H., *et al.* (2012) Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits. *Science* 336:353-355.
- Wang, T.L., A. Hamann, D.L. Spittlehouse, S.N. Aitken (2006) Development of scale-free climate data for western Canada for use in resource management. *International Journal of Climatology* 26:383-397.
- Wang, T.L., A. Hamann, D.L. Spittlehouse, T.Q. Murdock (2012) ClimateWNA – High-resolution spatial climate data for western North America. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 51:16-29.
- Wang, T.L., A. Hamann, D. Spittlehouse, C. Carroll (2016a) Locally downscaled and spatially customizable climate data for historical and future periods for North America. *PLOS ONE*. DOI: 10.1371/journal.pone.0156720.
- Wang, T.L., G.Y. Wang, J. Innes, C. Nitschke and H.J. Kang (2016b) Climatic niche models and their consensus projections for future climates for four major forest tree species in the Asia-Pacific region. *Forest Ecology and Management* 360:357-366.
- Wang, T.L., G.Y. Wang, J. Innes, B. Seely and B. Chen (2017) ClimateAP: an application for dynamic local downscaling of historical and future climate data in Asia Pacific. *Front. Agr. Sci. Eng.* <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2017172>.

### 第三章 以大白山至大南澳嶺與雙溪、頭城山區為例

#### 摘要

近年來全球氣候變遷造成溫度增加與降雨型態改變，極端氣象事件時有所聞，再再地衝擊著脆弱的生態系統。許多資料顯示，暖化影響物種分布模式，生物出現向高海拔、兩極遷徙的趨勢；因此，物種避難所(refugia)的重要性在氣候變遷上，也漸漸被許多文獻提及。依據農委會林務局 104 年度計畫分析結果顯示，目前臺灣有 14 處可能的長期氣候變遷下之殘存地點；其中，大白山至大南澳嶺地區和頭城至雙溪部分山區兩個地區即包含在此。研究期望選取可能存在稀有物種的植群型或稀有植物，作為氣候變遷的保育評估。

宜蘭縣的大白山至大南澳嶺地區 105 年已初步完成植群與稀有物種再調查，然為因應未來情境所需的現生植群圖尚未完備，因此於本年完成植群圖的繪製，提進一步的潛在氣候變化情境模擬之用，同時依照 ACT 的例子對台灣水青岡目前所遇到的問題，建構管理行動之優先順序並初步提出相對應的策略。

蒐集及調查頭城-雙溪山區的植群資料，共計 103 個樣區，主要可分成 5 個群團，6 個群叢及 7 個亞群叢：1. 樹杞群團；下含(1)大葉楠群叢和(2)豬腳楠群叢；2. 芒群團；3. 包籜矢竹群團；4. 山露兜群團；5. 地毯草群團，並進行該區域的植群繪圖；根據臺灣維管束植物紅皮書初評名錄，尚有 38 種稀有植物，其中包含竹柏、台灣三角楓、胡氏肉桂、四照花、十大功勞、長葉杜虹花、水團花(梨仔)、土肉桂、耿氏虎皮楠、台灣香檬、檳梧、光葉柃木等 12 種木本植物面臨瀕危、易危或近危物種，亦散布於此 7 種亞群叢內；同時也初步提出四照花及黃楊老齡灌叢的保育策略。

**關鍵字：**殘存地點、頭城-雙溪地區、大白山至大南澳嶺地區、稀有物種、保育評估

## Abstract

In recent years, global climate change has resulted in increased temperatures and changes in rainfall patterns, as well as the occasional extreme weather events that once again impact fragile ecosystems. Many sources indicate that warming affects species distribution patterns and the tendency for organisms to migrate to high elevations and poles; hence, the importance of species refugia in climate change has also been gradually documented in many papers. According to the results of the 104-year plan of the Forestry Bureau, there are currently 14 possible sites under long-term climate change in Taiwan. Among them, the areas from Dabaishan to Dainaoling area and Toucheng to Shuangxi that was included here. The study looked forward to selecting rare species or vegetation types as a conservation assessment of climate change.

In 105 years we have been preliminary completed surveys of the vegetation types and rare species of the Dabaishan to Dainaoling area in Yilan County. However, since the existing vegetation map for the future situation is not yet completed, In the meantime, according to the ACT process, the current problems encountered by beech in Taiwan that proposed the priority of management action and strategy initially.

A total of 103 sample plots were collected and surveyed in the Toucheng-Shuangxi area. They can be divided into 5 alliance, 6 associations and 7 sub-associations: include 1. *Ardisia sieboldii* ALL. there are (1) *Machilus japonica* var. *kusanoi* Ass. and (2) *Machilus thunbergii* Ass.; 2. *Miscanthus sinensis* ALL.; 3. *Arundinaria usawai* ALL.; 4. *Freycinetia formosana* ALL.; 5. *Paspalum conjugatum* ALL., and vegetation mapping in the region. According to the preliminary assessment of Taiwan's Vascular Red List, there are 38 species of rare plants, including *Nageia nagi*, *Acer buergerianum* var. *formosanum*, *Cinnamomum macrostemon*, *Benthamidia japonica* var. *chinensis*, *Mahonia japonica*, *Callicarpa formosana* var. *longifolia*, *Sinoadina racemosa*, *Cinnamomum osmophloeum*, *Daphniphyllum glaucescens* var. *kengii*, *Citrus depressa*, *Elaeagnus oldhamii* and *Eurya nitida* of 12 woody plants are endangered, vulnerable or near-endanger species, also scattered in this seven types of sub-associations; At the same time, the strategies of conservation of *Benthamidia japonica* var. *chinensis* and *Buxus microphylla* were also proposed.

**Keywords:** relic area · Shuangxi to Toucheng mountain area, Dabaishan to Dananao ridges, rare species, conservation evaluation.

## 一、前言

近年來全球氣候變遷造成溫度增加與降雨型態改變，極端氣象事件頻繁，導致生態系遭受衝擊而變得更為脆弱，並影響森林生態系的經營管理 (IPCC, 2007; Joyce *et al.*, 2014)。全世界的科學家、管理者和決策者，均提倡創新手法的發展，以減少氣候變遷對於物種、生態系統和生態功能的影響，需要一個實際的工具可以在這些行動和策略中選擇，為在特定地區的特定物種發展一個量身訂做的管理手法。

研究報告指出，避難所或微避難所容易出現在地景起伏變化較大、氣候潮濕及冷涼的環境下 (Keppel *et al.*, 2015; Olson *et al.*, 2012)，許多研究也致力找出這些微避難所的可能地點，並進行區域內生態系統及周邊適冷涼物種 (cold-adapted species) 的保育 (Olson *et al.*, 2012, Stein *et al.*, 2013, Keppel *et al.*, 2015, 陳子英等, 2015)。目前一些報告指出間冰期之避難所的保育在劃定動態的氣候變遷保護區時是非常重要的工作，這種微避難所 (micro refugium) 可能可以保有物種的存續，一些報告指出避難所有些是殘存在一些山頭地區形成堅持點，這些堅持點可能在預測時不易發現，形成隱性的避難所，但在物種的遺傳上卻是非常重要的 (Skov and Svenning, 2004, Rull, 2009, 2010, Stewart *et al.*, 2010, Ashcroft, 2010; Tzedakis *et al.*, 2013, Kimura *et al.*, 2014; Hannah *et al.*, 2014, Keppel and Wardell-Johnson, 2015)。依據農委會林務局 104 年度「因應氣候變遷之生物多樣性脆弱度評估與風險管理研究」計畫之分析結果，共獲得 14 處可能的長期氣候變遷下之殘存地點；其中，頭城-雙溪山區即包含在此。而最新的研究方法是結合粗濾網 (生態系尺度) 和細濾網 (物種尺度) 兩種尺度進行保育，例如優先選定較可能受危害的避難所物種進行生態尺度的保存，在針對對棲地環境有特殊需求的易滅絕物種採細濾網的方式保育 (Tingley *et al.*, 2014)。

以保育標的物為目標的適應性經營架構 (The Adaptation for Conservation Targets, ACT) 在氣候變遷下，對於特定物種、生態系統及生態功能的管理可做為維持自然系統的工具。ACT 架構可以被用在任何層級已發生的正式保育規劃，並考量到多重未來情境 (scenario) 以提出不確定性。ACT 可以具有獨立的規劃功能，也可用以被整合進入現存氣候變遷的決策和策略規劃過程。國際研究認為，保育策略必須依據已知生態系及物種所暴露之風險程度進行擬定，再根據應受保護對象之特性，選擇就地保護、廊道規劃、協助遷徙及遷地保育等不同對策 (Dawson, *et al.*, 2011)。

宜蘭縣的大白山至大南澳嶺地區為臺灣 14 個間冰期避難所之一，而前人的報告中也顯示本區的台灣水青岡所面臨的危害度（暴露度）較銅山與插天山高，且族群的脆弱度也比銅山與插天山高，由此可知本區森林受氣候變遷影響的程度更勝於別區，105 年已初步完成植群與稀有物種再調查，然為因應未來情境所需的現生植群圖尚未完備(陳子英等，2015)，因此擬於本年完成繪製，並提供給生物多樣性學會團隊作為潛在氣候變化情境模擬之用，同時依照 ACT 的例子對台灣水青岡目前所遇到的問題，建構管理行動之優先順序並初步提出相對應的策略。

臺灣之東北角(頭城-雙溪山區)，屬於恆濕型氣候(蘇鴻傑，1985)，其位置受東北季風影響深重，使得植物的種類及分布上有著獨特的型態，尤其臨海山區，更出現特別的風衝矮林景觀，許多稀有物種亦零星分布於此區域，如台灣三角楓(*Acer albopurpurascens* var. *formosanum*)、四照花(*Benthamidia japonica* var. *chinensis*)、黃楊(*Buxus microphylla* subsp. *sinica*)、艷紅鹿子百合(*Lilium speciosum* var. *gloriosoides*)、綿棗兒(*Barnardia japonica*)等(陳子英等，2004,于幼新，2004)。本年度結合前人調查資料及新設樣點資料進行整合分析，繪製群團或群叢的現生植群圖，找出稀有物種所在的植群型，預測植群型在氣候變遷下可能的情境變化，以供作為探討氣候變遷下，建構管理行動之優先順序，提供進一步保育規劃及調適。

整體目標是以大白山至大南澳嶺地區及頭城-雙溪山區為例，配合台灣植物紅皮書初評名錄所列之受威脅物種(CR、EN、VU)及受到氣候暖化影響殘存於低海拔山頭且無遷徙廊道之物種，依據兩個區域需保育的植群型及物種之保育急迫性，預測植群型在氣候變遷下可能的情境變化，瞭解這兩個殘存地點生態系及物種的退化或遷徙情形，進行生態特性及分布現狀之整理，建構管理行動之優先順序提保育規劃。

## 二、前人研究

### (一) 避難所在氣候變遷下的重要性

氣候的變遷在氣溫方面，地球升溫造成熱浪發生機會升高，部分地區將變得更乾旱；此外，熱帶氣旋發生的機會升高，加上全球海平面上升，都可能造

成嚴重的災害。在未來災害的趨勢推估上，聯合國政府間氣候變遷委員會(以下簡稱 IPCC)的第五次評估報告指出，氣候暖化影響下，未來極端事件(如熱浪、豪大雨、乾旱、颱風強度增加、海平面升高)發生的機率偏高。另一方面，全球強降水的強度和頻率也有逐漸增加的趨勢，而且趨於兩極化，即雨季越濕、乾季越乾(IPCC, 2007)。

過去第四紀冰川—間冰期的溫度振盪也造成物種族群的滅絕與遷移，並形成目前的植物物種分布類型。然而過去溫度的變化，不像目前人為形成的氣候變遷這樣迅速，影響的尺度及強度如此巨大，各國莫不尋求解決之道，也因此運應巴黎氣候協定。物種會適應特定的環境條件，當這些環境條件改變，若要避免滅亡(extinction)，族群就得遷徙、適應或進行局部微調至合適的微生育地，隨著遷徙追隨(track)更合宜的環境條件，族群就會做分布範圍的轉換(range shift) (Keppel and Wardell-Johnson, 2015)，然而如果氣候變遷的頻度加多或時間變快，物種不易適應。因此有獨特且相對穩定微氣候的避難所，對於促進族群存活的重要性益發受到重視(Hannah, 2015, Hannah, *et al.*, 2005, 2007, 2008)。

生物的棲息環境除了受到大尺度氣候影響以外，由於局部地形或區域的微氣候條件差異，使得某些小尺度地點可能出現暖化趨勢較緩的現象，例如陡峻山區的谷地、冷涼的迎風地點或高原的冷袋(cold-air drainage)地形等，生物在這些地點有較高的機會躲避暖化威脅、降低滅絕風險(Skov and Svenning, 2004)。因此，科學界將暖化架構下的潛在冷涼棲地稱為「間冰期避難所(interglacial refugia)」或「微避難所(microrefugia)」(Rull, 2009, 2010, Stewart *et al.*, 2010, Ashcroft, *et al.*, 2010, Tzedakis *et al.*, 2013, Kimura *et al.*, 2014, Shimokawabe *et al.*, 2015)。

目前已有許多文獻探討避難所及其如何運用於保育規劃。最初避難所的識別，乃是藉由孢粉學、生物地理學、遠古 DNA 及其他模式過程予以推斷這些避難地點(Keppel *et al.*, 2012, Chung *et al.*, 2017)。例如朝鮮半島白頭大幹山系(Baekdudaegan, BDDG)以遺傳證據、古生態學證據-重建冰川時期古植被地圖對照現生植群圖之證據。遺傳證據上，來自東北亞(區域層級)與當地(朝鮮半島)對於某些植物的遺傳研究，有採葉綠體 DNA 之方式、亦有採粒線體 DNA 或微衛星、AFLP、RAPD 等分子標記技術，Chung *et al.* (2015)匯整了多數集中分布於 BDDG 山系植物物種的遺傳研究後認為，BDDG 其中一些支稜也在末次冰川極盛期(LGM)作為合適的冰川避難所。在古生態學證據方面，Chung *et al.* (2017)繪製出末次冰川極盛期(LGM)的可能植群，並與現行植群作比較。由孢粉紀錄及植群圖(圖)發現，北方針葉林於間冰期後侷限於朝鮮半島北端，但 BDDG 中

南部山系區塊仍有小部分的北方針葉林殘存在內，BDDG 將成為「南方」避難所。但另外尚有一種「隱形北方避難所」存在的可能性，亦即冰期的溫帶樹種，除向南退卻外，還以斑塊化小種群狀態存活於(原來被認為無法生存的)高緯度北方地區(Chung *et al.*, 2017)。同時也以現生植群圖或物種多樣性高的地方來定義出目前的避難所。

南阿帕拉契山脈和 BDDG 具有相似的植物相豐富度，前者約 1,400 分類群，而後者超過 1,500 分類群(Chung *et al.*, 2017)。除了物種豐富度外，兩者主要是溫帶混合或溫帶林。南阿帕拉契山脈目前以溫帶落葉林為優勢，以櫟屬植物為主，但在南端有櫟屬—松屬混生林(這通常被解釋為落葉林和亞熱帶常綠闊葉林的過渡帶)而北端的混合林(槭樹、樺木、水青岡、松屬、鐵杉)(落葉林和北方針葉林的過渡帶)，也被認為是植物和動物的主要氣候避難所(Soltis *et al.*, 2006)，山脈主要以北方針葉林(如傑克松(*Pinus banksiana*) 或混合林構成，而不具溫帶落葉林或僅存在最南端的地區；又或者，這些山脈本來是以溫帶落葉林為優勢，而針葉樹只位於最北端。苔原過去可能覆蓋了這個山脈的北段(在落朗第冰蓋南部)，但也可能出現在低緯度的高海拔地區(Chung *et al.*, 2017)。

目前南歐的山區半島以及阿帕拉契山脈的南部和在美國 (US) 東南部相關的山脈也許是植物避難所研究最多的地區。同時也藉由這些研究對這些地區進行保護區劃設、生態系的復育或物種的遷地保存等措施(Chung *et al.*, 2017)。

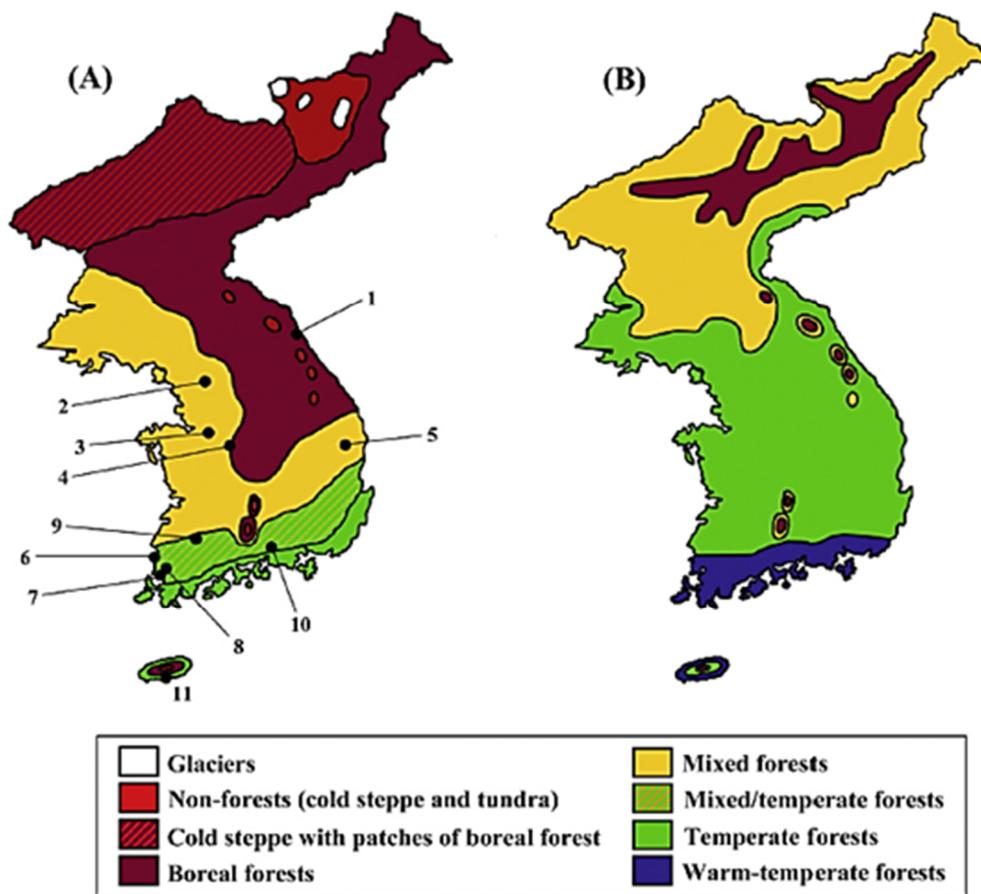


圖 3.1 (A)為末次冰川極盛期(LGM)朝鮮半島的暫定植被圖，(B)朝鮮半島的現生植被圖(摘自 Chung *et al.*, 2017)。

## (二) 保育標的物之適應性經營

全球的科學家、管理者和決策者，均在提倡創新手法的發展，以減少氣候變遷對於物種、生態系統和生態功能的影響(Mitchell *et al.*, 2007, US-GAO, 2007, Campbell, 2008)。Cross *et al.* (2012) 提出了保育標的物適應性經營的架構。其新穎的貢獻是透過一個簡單的過程，鼓勵多個公共和私人轄區參與，以地方為基礎，對特定物種、生態系統和生態功能的推導之適應行動。ACT 架構可以被用在任何層級已發生的正式保育規劃，並考量到多重未來情境 (scenario) 以提出不確定性，也可以具有獨立的規劃功能，也可用以被整合進入現存氣候變遷的決策和策略規劃過程。

ACT 架構設計來激勵多學科小組之參與者，在替地景、海景做科學性辯護規劃和決策用。參與者擁有廣泛或在地專業、或被授權，將會對於在這個過程的管理決策上相當重要。這個架構是簡單的，但架構性的方法為將所有相似的自然資源規劃構築起來（例如地方性知識、概念模型、和適應性經營）（圖 3.圖）。

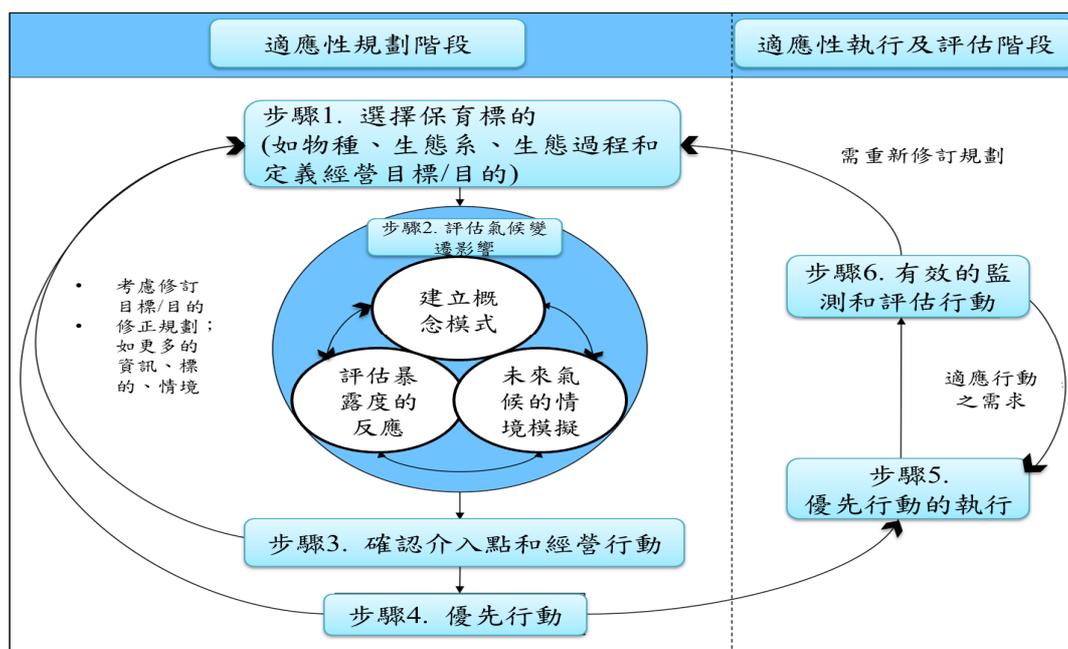


圖3.2 保育標的物之適應性經營架構概念圖（譯自Cross *et al.*, 2012）。

ACT 步驟可重覆監測、在管理上情境的改變和優先的事項，氣候軌跡（climate trajectories）和生態回應。在整個過程中信息需求的確認（identified）可以得到優先研究議程，但不需避免實施管理行動的進展。儘管這個架構包含了規劃和實行及評估兩個階段，但著重在規劃階段（步驟 1-4）。這裡以大黃石公園生態系統為例說明其規畫階段的試驗。

步驟一：確認保育標的物（例如：物種、生態系或生態功能），並明確說明未來的經營目標。在大黃石生態系的研究樣地的研究重點在黃石河上游的水流量因子，標的物為維持溪流的水流量條件適合在地的黃石山鱒（*Oncorhynchus clarkii bouvieri*）生存。

步驟二：建構概念模式、發展一套模擬的氣候變遷情境，檢驗功能特徵（feature）

對於情境之回應。大黃石生態系的研究樣地若區域氣候變得更暖和更乾，預期積雪會減少，黃石河春季流量和洪水波動的峰值會更早，夏季基流減少、且晚夏的水溫會升高。所以預期增加或減少降水的情境去驅動水流的變化將會負面的影響黃石山鱒（圖 3.3）。

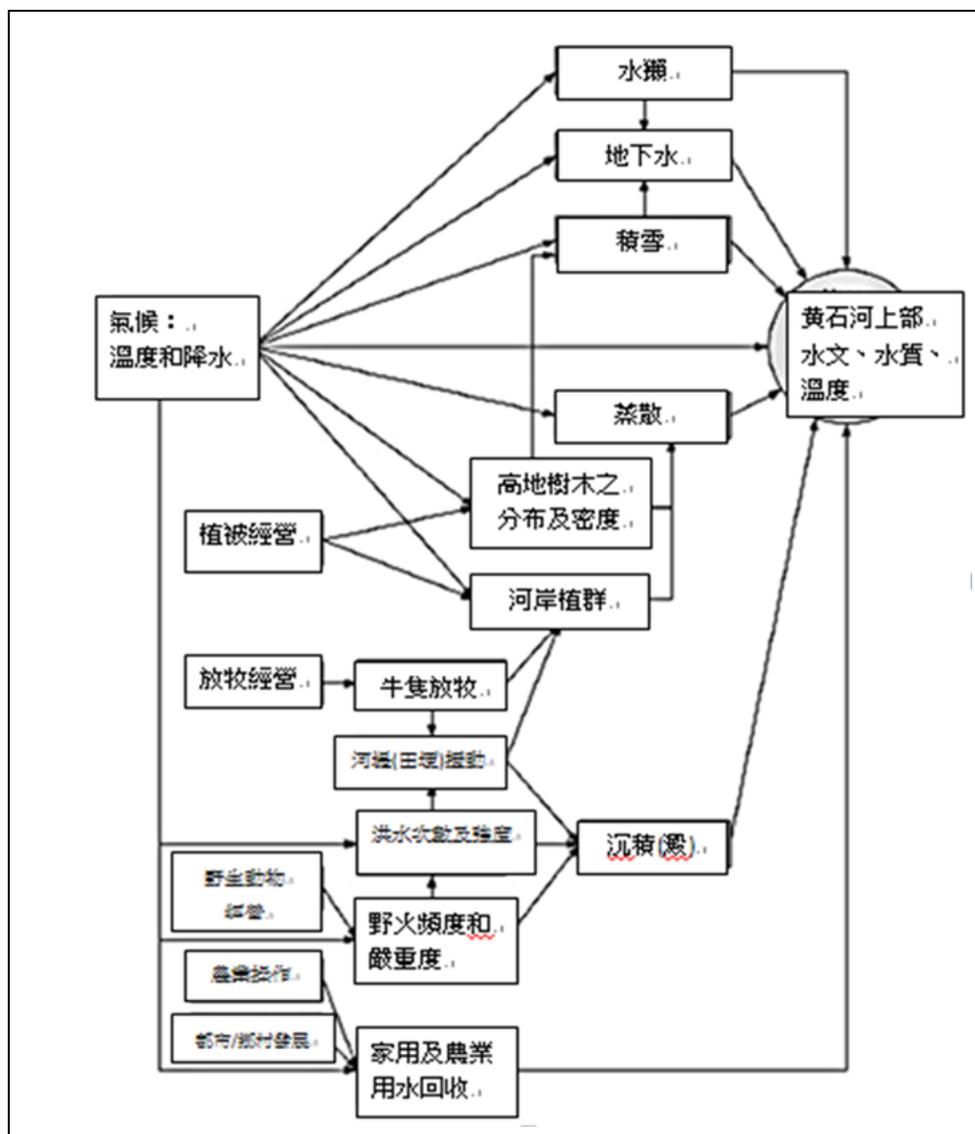


圖 3.3 建構可能影響黃石河上游水流的氣候及其他驅動因子。

步驟三：以概念模式確立經營管理行動，實現每一個情境下陳述的目標。以減少非氣候的壓力因子進入到經營黃石河水流的特定行動，例如減少河岸地區牛隻放牧密度、減少農業及住宅用水。這個步驟的另一個目標為確立該行動在多數或所有情境下是有效的。因為預期（對山鱒的）水流狀況

不管是在降水量適度增加或減少都有負面影響，所以識別出的行動也考慮到氣候情境。

步驟四：訂出管理行動之優先順序。在大黃石生態系定性的評估三個為維持黃石河水流的潛在行動之利益和花費：設立雪柵欄、建造攔沙壩和增加水獺出現率及豐富度（圖 3.4）。

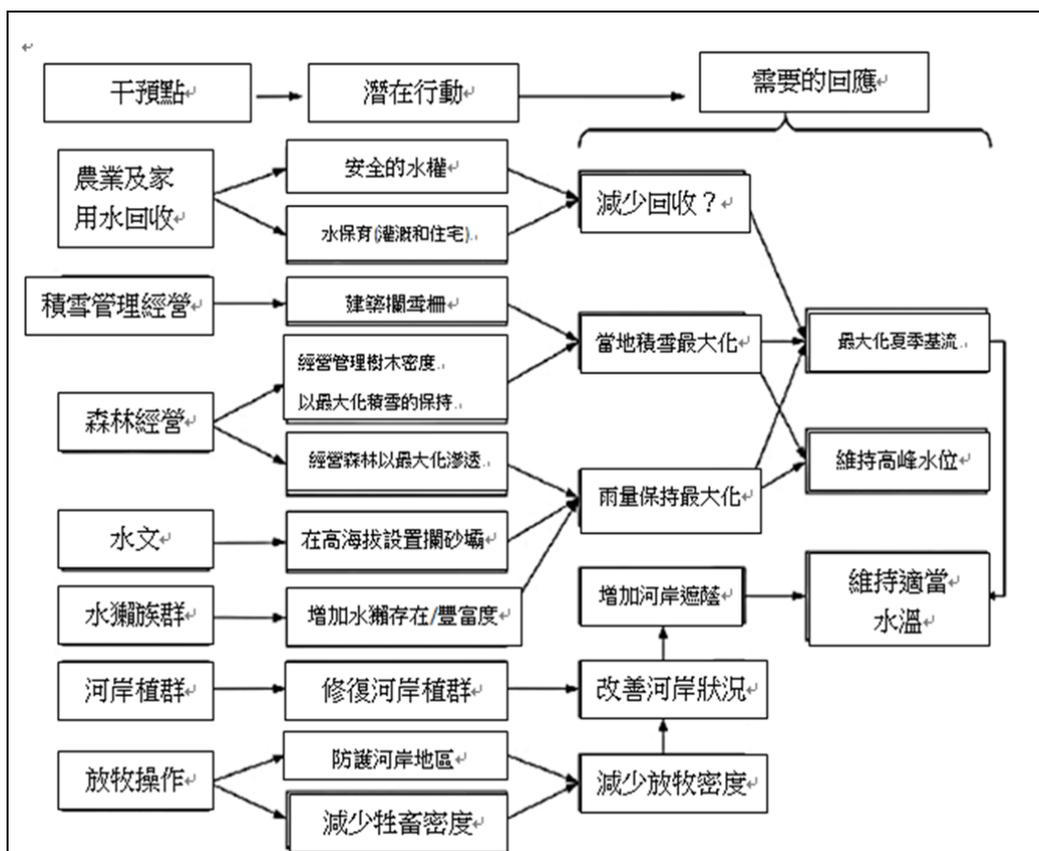


圖 3.4 建構管理行動之優先順序。

步驟五：實行優先順序的管理行動；例如增加水獺出現率及豐富度為保育了當地的生物多樣性，同時花費較少，因此被選為優先的行動。

步驟六：監測行動有效性及目標物之進展，調整無效率的行動或隨需要修正計畫。

ACT 的架構考量了氣候變遷下，對於特定物種、生態系統及生態功能（保

育標的物)的管理行動之發展，是基於一個前提：氣候變遷下有效的適應性經營，可依賴「生態系統的地方性知識 (local knowledge)」以及「不一定需要對於氣候變遷或它的影響有鉅細靡遺的預測 (projections)」。

藉由將 ACT 的架構套用於位於大黃石公園生態系統 (Greater Yellowstone Ecosystem; Montana, Wyoming, and Idaho, USA) 的生態功能上—黃石河上游的水流。並建議這個架構是一個實際的工具，無論是對初始的適應性規劃或是逐漸變化且不確定的氣候，在特定的管理干預上進行。

### (三) 粗、細篩網的保育

傳統上細濾網和粗濾網的保育策略分別是關注物種和地景，如今為了因應全球氣候變遷，部分專家提出利用細濾網評估物種的脆弱度，並將最脆弱的物種優先保育；粗濾網則可選定未受到氣候變遷影響的關鍵生育地，或是預測在氣候壓力下會產生物種組成變化之避難所進行保存。而最新的研究方法是結合細濾網和粗濾網兩種尺度進行保育，例如優先選定較可能受危害的避難所物種進行大尺度的保存，在針對對棲地環境有特殊需求的易滅絕物種採細濾網的方式保育 (Tingley *et al.*, 2014)。

Tingley 等人 (2014) 指出傳統的保育策略目的在於保育生物多樣性，通常分為針對尺度較大連同特定生態系保育或特定的物種保護兩種。其中粗濾網策略注重以最少的資源和成本保育生態系和其中相對重要的物種；細濾網策略則是著眼於個別物種的保護需求。

#### 1. 粗濾網保育策略

粗濾網保育主要是維持完整的生物多樣性因子，故依照氣候、土壤、母岩和地形的交互作用來規劃處理生物多樣性的優先順序。美東 17 州曾使用地質分類、緯度、海拔區間和石灰岩地形分布 4 種變量進行預測動植物豐富度 ( $R^2=0.94$ )，顯示非生物變量可以準確預測大尺度的粗濾網保育模型，可供未來保護區使用非生物變量進行保護區經營管理的空間規劃 (Anderson and Ferree, 2010)。

粗濾網保育中維持棲地之環境因子主要目的是保護該生育地內的關鍵種

(keystone species) 及傘護種 (umbrella species)，藉此穩定生態系中大多數物種族群的穩定。因此在面對氣候變遷下，找出避難所設立保護區，進行環境因子之維護，確認關鍵種及傘護種有一定的族群數量，便足以維持整個生態系穩定。

## 2. 細濾網保育策略

利用細濾網方法進行保育，第一步是優先考慮哪些物種需要進行保育。由於氣候變遷對物種帶來新的風險，因此保育生物學家需要調整受保育物種的分類等級，包括廣泛使用的國際自然保育聯盟 (IUCN) 紅皮書。最新的方法是融入氣候變遷，優先對單一物種進行定量的脆弱度評估。在此，脆弱度定義是物種遭受氣候衝擊時對外界反應之敏感性、行為和演化的組成，以應對不斷變化的環境。

在全球近 17,000 種的調查中有 25-50% 的鳥類、兩棲動物和珊瑚極易受到氣候變遷威脅 (Foden *et al.*, 2013)，其原因為對特定或稀有環境的需求亦或是物種間存在特殊的依賴關係。優勢物種中擴散往往是重要特徵，可以讓物種跟隨氣候變化的趨勢以及棲地改變。

經由保育標的生物社會，透過粗濾網可保存全球 85-90% 的物種多樣性，不可避免地會讓少部分物種造成滅絕風險，但絕大多數的物種可以保留下來，而細濾網保育策略，會被運用在保護粗濾網所遺漏的物種上。從經濟角度來看，單一物種保育管理往往是相當昂貴，而粗濾網是以許多物種為標的物，能較為有效使用有限的資源。

舉例來說，烏干達的布恩迪國家公園屬於大型保育區，可以協助保育獨特的生態系，如非洲艾伯特裂谷 (Albertine Rift) 的山地森林，但實際上仍有少數物種對於棲地有特殊的要求，如山地大猩猩 (*Gorilla beringei* ssp. *beringei*) 可能是通過粗的濾網篩選後，被要求進行單一物種的保護管理。粗濾網為保育的真正的重點，保育粗濾網 (森林) 才得以保護細濾網 (大猩猩)，但細濾網可以做為保育評估的指標，因為在一森林生態系中辨認出稀有的大猩猩比較容易，同時也比較好向人們解釋生態保育的重要性。而面對氣候變遷的粗濾網保育策略所能應用的範圍則包含土地資源、氣候變遷時的避難所、物種遷徙或是關鍵棲息地的復育等；生態廊道的建立、生態跳島的保育則屬細濾網保育的策略 (圖 3.5)。

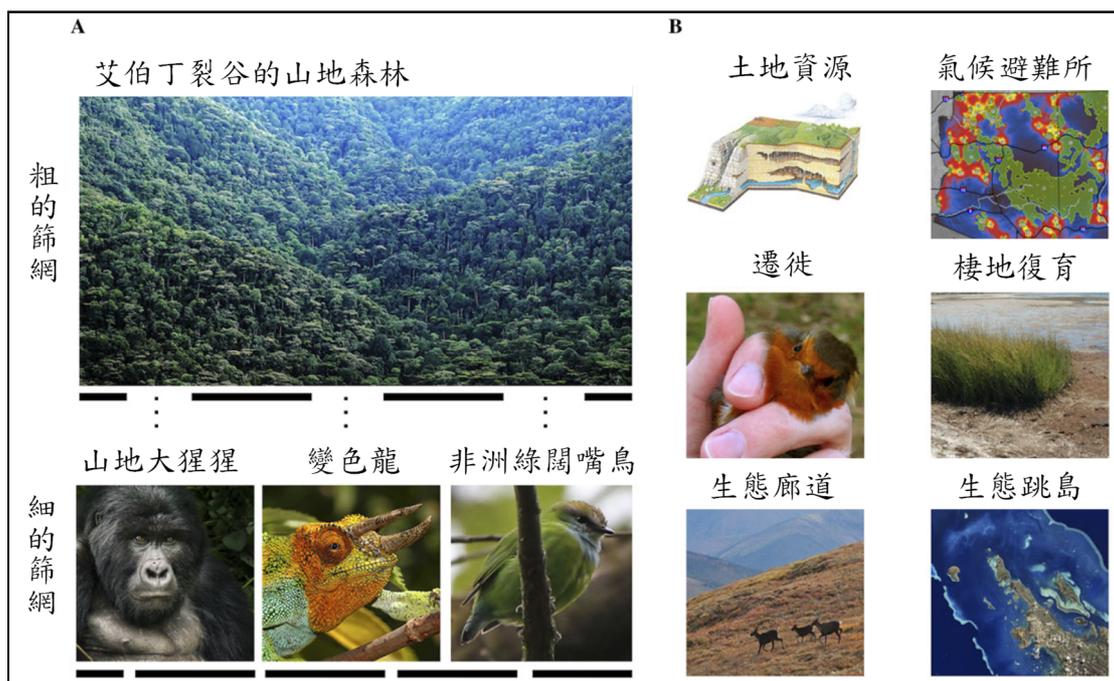


圖3.5 氣候變遷上的細濾網和粗濾網保育策略示意圖。

#### (四) 台灣水青岡的敏弱度與評估

判定風險性評估的方法有許多種，但都由危害程度和森林或其內物種的脆弱性來考量，同時也會顧及人為衝擊的因素，就過去的因子中有使用人為衝擊的因素如外來物種的衝擊、遊憩、採集和開礦使得族群或生育地減少，這些因子可使用如景觀利用、植株功用、易取程度、外來種多寡同時也會反應在棲地脆弱性因子上；但這些與氣候衝擊並未有相關性，然而可能會加速或累加到氣候的衝擊上(Kingston, 2005, Hoffmann *et al.*, 2015, 邱淑宜, 2010)，而真正與氣候上升或衝擊有關的因子一般會使用受衝擊的生育地、物種群的改變、族群數量的增減、分布範圍的改變、族群的恢復力(如傳播能力、更新能力等)(Chen *et al.*, 2009, Chen *et al.*, 2011, Forister *et al.*, 2010, Pauli *et al.*, 2012, Lenoir *et al.*, 2008, Vittoz *et al.*, 2013, Grytnes *et al.*, 2014, 陳子英等, 2014)。

累計過去三年的研究，以地景的尺度探討台灣水青岡森林從過去 30 年迄今的變化，各地區不同面積大小的水青岡森林之災害潛勢分級以崩塌、植被枯亡、上層枯損的災害程度百分比代表受到極端氣候衝擊的實際暴露度影響，初步建

立災害風險評估公式(風險=危害 x 脆弱度)，並依台灣各地的水青岡森林建立其危害，及評估脆弱度指標，以整合出不同地區水青岡森林的災害風險階級。其結果有顯示水青岡族群從過去 30 年航照圖資料中並無明顯向上遷徙情形；而災害潛勢分級得到的結果，可知台灣水青岡林各分布地受到氣候的衝擊程度，以崩塌、植被枯亡與上層枯損為分級，合計所受災害潛勢的面積佔各地區水青岡森林面積都不到 10%，但災害潛勢面積最高為大白山在 2011 年度所占面積達 7.42%，阿玉山在 1980 年度之前為 5.36%次之，第三高是蘭崁山地區在 2011 年度為 4.82%，代表水青岡森林會略受到極端氣候衝擊的影響。而風險性評估以危害與脆弱度兩大層面探討，危害層面有自然因子的要素(如溫度、雨量或颱風)與災害潛勢分級(暴露度；崩塌、植被枯亡或上層枯損)；生育地因子、調適力(面積、族群和不同世代比例等)和回復力(幼苗更新、豐歉年)來代表脆弱度層面，共計有 14 個評估指標。綜合風險性評估的結果，各地區水青岡森林依風險程度由高至低排序：蘭崁山是非常高風險、阿玉山是高風險、大白山是中等風險、鳥嘴山是低風險、銅山與插天山是非常低風險。未來要依災害風險的程度訂定管理計畫，進而規劃風險管理、減緩與調適的策略，以因應氣候變遷之衝擊，以確保台灣水青岡森林的生物多樣性之永續經營(陳子英等，2015)(圖 3.6)。

# 生育地的氣候變遷的敏弱度分析



圖 3.6 生育地的氣候變遷敏弱度分析流程圖。

各地區台灣水青岡森林的風險性評估結果以蘭崁山地區屬於非常高風險，是位於較低海拔，其族群數量僅存 40 棵且分布面積最小，很容易受到極端氣候的影響而迅速消失；阿玉山地區屬於高風險，是位於較低海拔，族群數量不多且更新不佳，氣候變遷持續的影響下很可能在未來會逐漸的衰退；大白山地區屬中等風險，其族群數量雖然不少，但是在山頭呈現群聚分布而在稜線與邊坡呈現零星分布，加上有礦場在附近開發的威脅，受到的干擾程度頻繁而需要更加的關注，需要定期監測調查；其他地區的族群數量較多，分布面積範圍較大，族群狀態較為穩定，較能抵抗氣候變遷的衝擊。

各地區水青岡森林受到暴露度與脆弱度衝擊下分布於四個象限（圖 3.7），氣候變遷的影響可視為暴露度，水青岡森林族群的動態可視為脆弱度。蘭崁山、阿玉山與大白山位於暴露度高、脆弱度高的象限；鳥嘴山位於暴露度低、脆弱度高的象限；銅山與插天山位於暴露度低、脆弱度低的象限，各地區水青岡森

林可根據四個象限進行不同類型的保育措施。

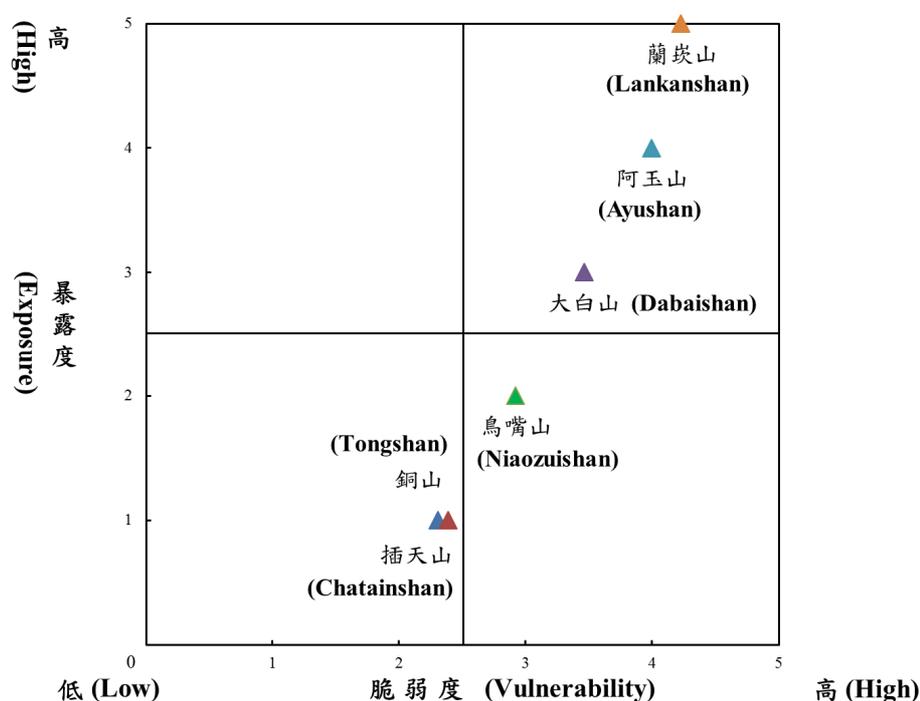


圖 3.7 氣候變遷下各地區台灣水青岡森林之衝擊程度(陳子英等，2015)。

Hoffmann *et al.* (2015)提出將遺傳演化與生物多樣性保育及管理結合的架構流程，可以套用在各地區水青岡森林的風險管理進行決策方針與實際行動。其主要架構為實際評估物種透過遷移、物理耐受性或演化適應，以因應氣候變遷之流程導引與建議適合的經營管理方針，可以避免物種滅絕與維持遺傳多樣性的長期生存。本研究提出台灣水青岡森林的保育方針架構(圖 3.8)，並嘗試配合 Hoffman *et al.* (2015)的遺傳演化與生物多樣性保育及管理結合的架構流程，因本研究沒有遺傳多樣性的相關研究資料，需要進行台灣水青岡森林遺傳多樣性的研究才能瞭解整個決策流程著重於遺傳多樣性的資訊，藉由此流程可以對台灣水青岡森林未來因應氣候變遷衝擊之下，依據風險性評估及遺傳多樣性的研究採取適合的經營管理決策。

應對氣候變化最重要的是抵抗力(resistance)和回復力(resilience)，前者指的是在地景中是獨特的微氣候所庇護的地方，而後者則是指位點具有較高種子產量或族群數量較多的地方，應對氣候變遷是找出目前受氣候變遷威脅下，具有威脅的地區和獨特的微氣候庇護所(Hannah, 2015)。因此本團隊以全台灣資料找

出其受威脅的植群排序及分析找出可能的獨特微氣候庇護所，了解抵抗力和受衝擊的地區。另外基於幾個不同地區的殘存點可依當地的條件進行細部植群型和稀有物種的調查(生物多樣性的了解)，找出受氣候變遷威脅而回復力弱的物種進行遷地保存。各地區水青岡森林若以物種避難所來探討，銅山、插天山目前仍有大量開花結實的豐年，也有紀錄到小苗或幼樹的回復像是大尺度的氣候變遷下回復力較高的避難所 (refugium)，保存數量眾多的水青岡族群，因此適合作為氣候變遷下回復力高的生態系保護區，烏嘴山、大白山像是子遺的微避難所 (micro refugium)，族群面積不大，但能維持一定的族群數量；蘭炭山、阿玉山較像隱蔽的殘存族群，數量稀少且更新不佳，由於過去幾年受極端氣候的影響，族群枯死率高，除持續監測外，如遺傳有獨特性則可能須考慮進行區外復育。

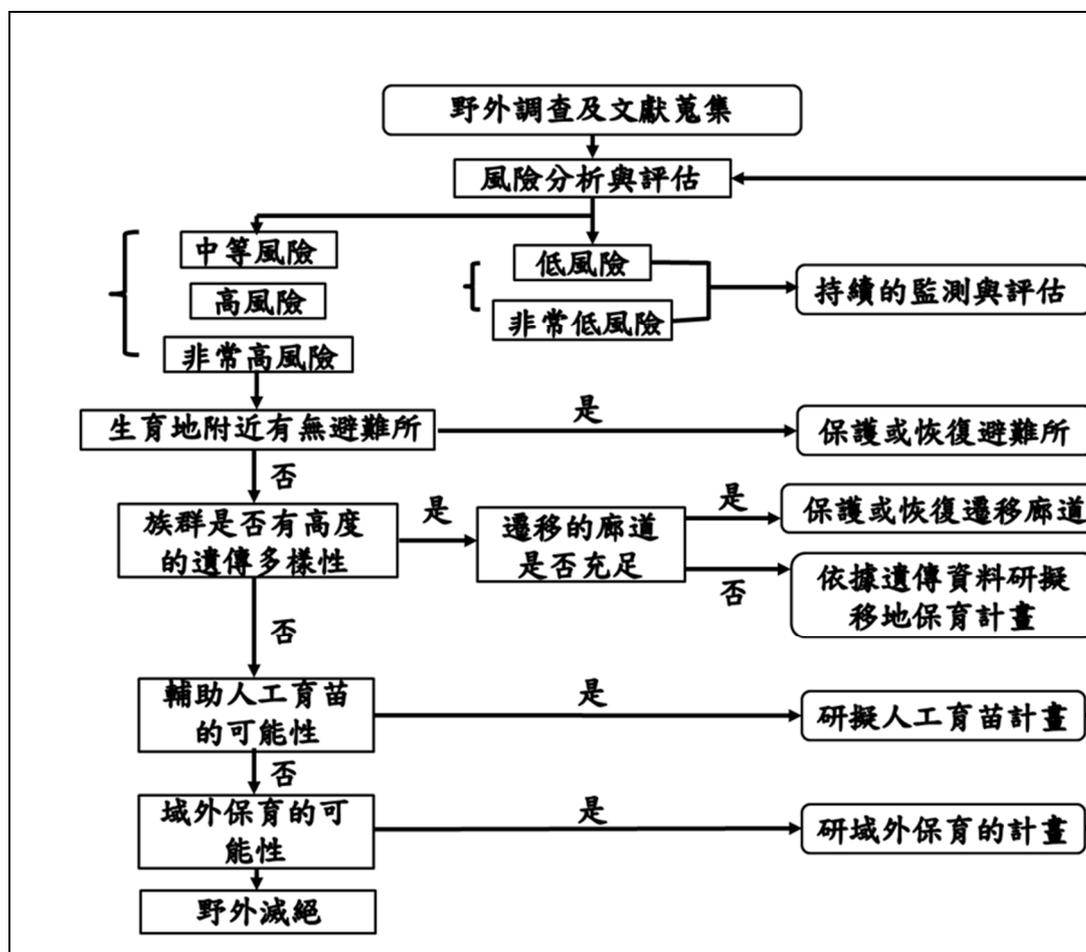


圖 3.8 台灣水青岡森林的保育方針架構(依 Hoffmann *et al.* 的流程加以修改)。

### 三、材料及方法

#### (一) 研究地區概述

以林務局 104 年完成的「因應氣候變遷之生物多樣性脆弱度評估與風險管理研究」計畫成果所提 14 處可能殘存地點中，選擇大白山至大南澳嶺及頭城山區二地區，配合台灣植物紅皮書初評名錄所列之受威脅物種(CR、EN、VU)(王震哲等, 2012)及受到氣候暖化影響殘存於低海拔山頭且無遷徙廊道之物種，進行植群生態特性及分布現狀之整理。並特別以上述二地區植群為案例，配合植群計畫成果資料，瞭解前述應關注物種之現生環境特性與伴生物種，進一步評估其可能受衝擊之程度，並依物種及地區特性研提適宜之保育對策與具體作法。

#### 1. 大白山至大南澳嶺

本區以東澳以南、南澳以北之大南澳嶺及烏石鼻山區為重點地區，海拔約 100-1,000 m，以桑科和樟科植物為主的低海拔森林，由於受東澳南溪及南澳北溪切割影響，本處山區地形與周邊山區相對隔離。另一應關注之地點為蘇澳南方西帽山至大白山山區，此地平均拔約 1,000-1,300 m，森林相以樟科與殼斗科為優勢，同時此區為蘇澳及南澳多條河川源頭地區(圖 3.9)(邱宗儀, 2008)。

本區大致為於東北季風之要衝，從海面上帶來大量水氣，故氣候上屬冬季多雨的東北氣候區，年均溫為 22.6 °C，年均降雨量為 4,439.8 mm (蘇鴻傑, 1992)(圖 3.10)。

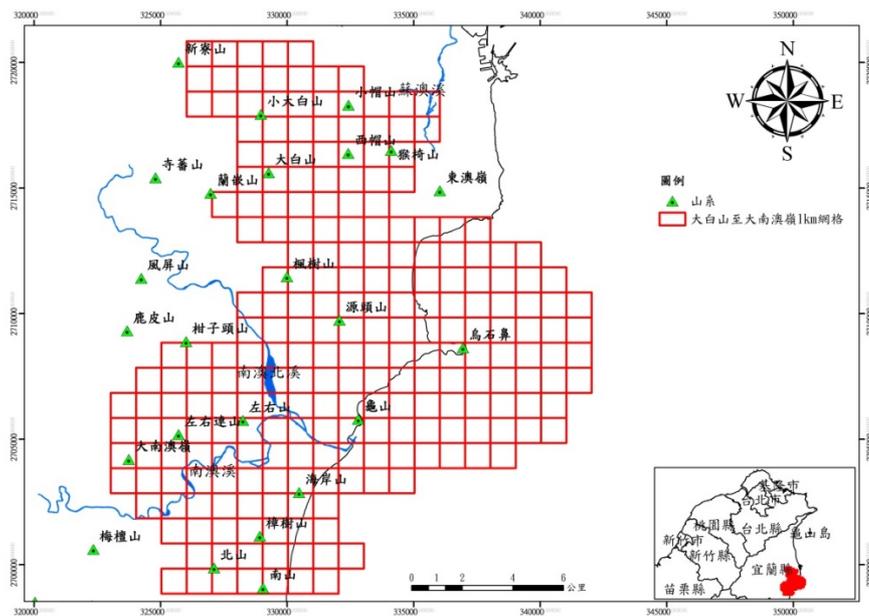


圖 3.9 大白山至大南澳嶺 1 km 網格。

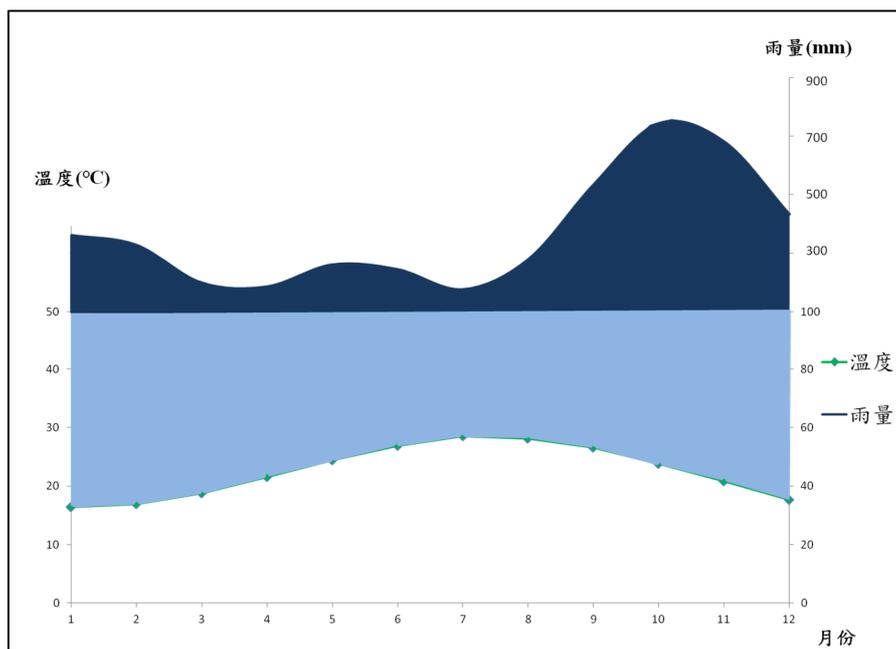


圖 3.10 大白山至大南澳嶺地區生態氣候圖(註：深色為特溼期，淺色為潮濕期)。

## 2. 頭城山區

本區包含坪林至頭城間之山區，行政區的劃分上主要位於宜蘭縣頭城鎮以及新北市雙溪區的大部分區域，頭城鎮以草嶺桃源谷步道為最東北端，接續一系列群山圍繞：灣坑頭山、蕃薯寮山、內寮山、大溪山、橫山、窖寮山、鶯子嶺、鷹嘴嶺。一般山地海拔在 200 m 至 1,000 m 之間，主要山嶺走向為東北向。山地由西向東急遽下降，平均傾斜度達 65 度，山勢相當陡峭(陳子英等, 2002)。有許多海拔 800-1,000 m 之低矮山頭，區域內最高點為宜蘭頭城交界之鶯子嶺山，海拔僅 1,000 m，顯示物種退卻空間極為有限(圖 3.11)。氣候區的劃分上，研究區域大部分位於東北近海區，灣潭河流域屬於東北內陸區。本區為低海拔環境使植物以樟科為主，配合強勁的東北風盛行，在稜線等風衝環境也常見到茶科植物分布，且呈風衝林林相(陳子英等, 2002)。

相較於大白山至大南澳嶺地區，本區秋冬兩季同樣面迎東北季風，屬於冬雨偏多的東北氣候區，年均溫為 22.5 °C，但是整體雨量較少，約只有大白山至大南澳嶺地區整體雨量的一半為 2837.7 mm (圖 3.12)。

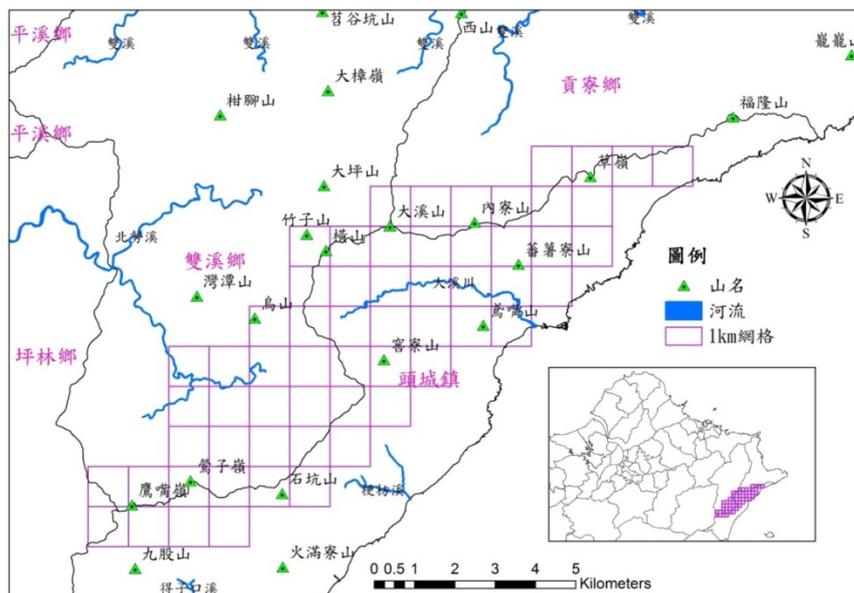


圖 3.11 坪林至頭城山區 1 km 網格。

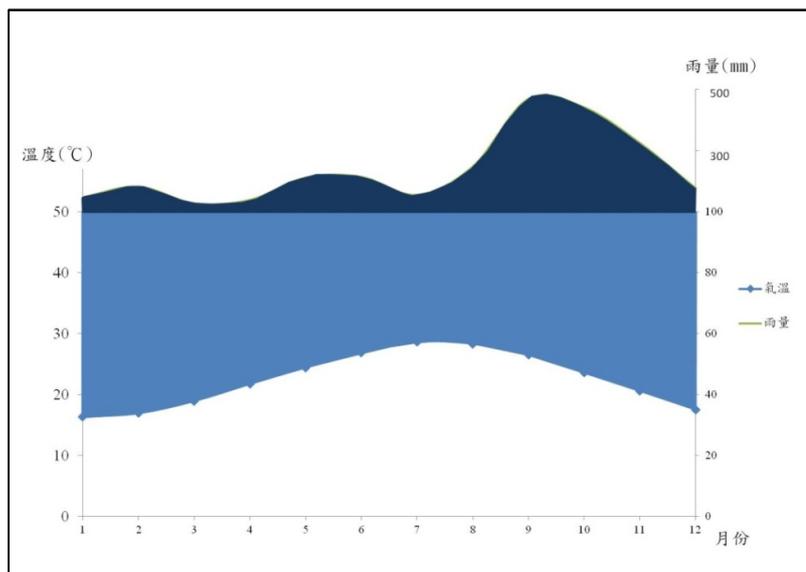


圖 3.12 坪林至頭城山區生態氣候圖(註：深色為特溼期，淺色為潮濕期)。

## (二) 研究地區之植物與植群調查

氣候變遷下所需保育的稀有種如同細的濾網，植群可以反映當地生態，因此本研究以植相的群叢和最高單元-群團來做為生態單元，也就是粗濾網的單元，並將每個群叢出現的稀有物種視為有潛力在該單元中出現，由於群叢不容易在一個地區進行繪製，如果群叢在野外判識則以群叢行之，若無法判識則以調查所得的生態單元-群團進行繪製。細濾網所調查得到的稀有物種可使用其生育的植群型(粗濾網)代表，細濾網(稀有物種)可能出現的區域就比較能夠經由繪製的植群圖顯現其出現的潛在生育地位置、範圍及面積大小，同時也可與環境因子相結合，方便作為氣候變遷的情境模擬(Molloy *et al.*, 2016)。

由於大白山至大南澳嶺地區的稀有植群型以水青岡森林為主，水青岡屬於落葉闊葉樹，因此詳細的植群圖可以做為未來地景監測的良好因子，並方便大暴雨或颱風等極端氣候衝擊後的迅速監測，並可由這些監測的資訊作為模式的選擇的考量，或去修改或彌補情境模擬上的不足；由於氣候變遷的情境模擬對於極端氣候衝擊的反應是無法做良好的預測，而台灣又位於大暴雨或颱風好發的地區，由前期的研究也顯示蘭炭山、大白山或銅山30年來都有受到颱風侵擾，尤其大白山的西北稜線近來所受的干擾極為嚴重。因去年的調查已完成植群型調查與分型，今年度修正去年的植群圖，比較植群的層級，繪出群叢層級的植

群圖，供進一步的氣候變遷的情境模擬做使用，以了解粗濾網（植群）未來遷移的方向、減少的面積和區域，同時進行詳盡的監測，以擬定相關的對應策略 (Cross *et al.*, 2012)。

雙溪-頭城山區因過去在新北市部分樣區較少，也並未調查其內的稀有物種，因此由去年到今年到野外增加調查樣區，做植群型分析及植相等級的植群圖繪製(粗濾網)，並尤其內抽出前在受氣候變遷影響的稀有植物(細濾網)，進行野外族群的調查與位置的標定，最後整合植群型在氣候變遷的情境模擬，未來各主要植群型遷移的方向、減少的面積和區域，以及監測稀有物種族群的殘存狀況，進行保育標的物評估，以擬定保育策略(Cross *et al.*, 2012)。

## 1. 樣區設置

本研究設置的樣區分布，今年以頭城山區一帶為主，調查主要沿著稜線或溪谷進行蒐集資料並確認調查的範圍，在此範圍中尋找不同植群型並選取均質樣區進行調查。以多樣區法 (Multiple plot method) 進行取樣，每個樣區木本樣區大小為 400 m<sup>2</sup>，記錄木本樣區中的木本植物和草本植物。

另外，針對裸露地、崩塌地等無木本植物且具有特殊草本植群型之地區劃設草本樣區，草本樣區為 5 m×5 m 之正方形樣區，面積為 25 m<sup>2</sup>，記錄樣區內草本植物種類與其在樣區中的覆蓋度。

## 2. 環境因子調查

調查 (1) 海拔高度 (altitude)、(2) 坡度 (slope)、(3) 方位 (aspect)、(4) 地形位置 (topographic position)、(5) 全天光空域 (whole light sky space, WLS)、(6) 直射光空域 (direct light sky space, DLS)、(7) 含石率 (stone)、(8) 岩石率 (rock) (劉崇瑞、蘇鴻傑，1983)。

## 3. 統計分析

將本次及前人樣區資料以 Microsoft Office Excel 2007 建檔，利用 PC-ORD 5.0 套裝軟體進行分布序列法 (Ordination) 與分類法 (Classification) 二種分析方法，分布序列法採用降趨對應分析 (Detrended Correspondence Analysis, DCA)，並依照 TWINSpan 及 DCA 之結果區分頭城山區的植群型 (蘇鴻傑，

1987)。

### (三) 研究地區之植群圖繪製

植群圖在繪製時，一般製圖程序是最常被使用於研究且在應用上也是最廣泛的方式。一般製圖程序的製圖步驟可以歸納成三個重點，分別是(1)植群調查資料、(2)植群分類系統建立及(3)圖層影像判識等三個部分(田連恕, 1993; 宋永昌, 2001; The Nature Conservancy, 1994; California Department of Parks and Recreation, 2002)。本研究依上述三部分的規劃如下：

1. 進行植群之野外調查，結合地面樣區之資料來取得足夠的資訊，以對於研究地區之植群型進行鑑定與描述，並提供影像判識所需之資訊。
2. 分析樣區資料並建立研究地區之植群分類系統，以便於野外快速識別出植群類型，提高植群圖之精確性。
3. 野外調繪點 (observer point) 之調繪：完成室內植群圖初繪及野外勘查的作業後，即可開始進行野外調繪點收集的工作。野外調繪點利用航照圖、植群樣區和野外調繪點來進行植群區塊之判識，將研究地區之植群邊界劃分出來，並於野外進行植群之確認與判識，並給予正確之屬性與邊界之修正。

### (四) 適應性經營之研究流程

ACT 的架構可協助一開始的規劃，在沒有新模式或研究的情況下可以較早整合標準程序，使用以專家為基礎的相對定性資訊，可簡化經營規劃之過程。本研究針對適應性經營的架構，研擬適合保育標的物的研究流程並修改，依據步驟一從選擇保育標的物開始進行適應性規劃階段的流程，步驟二評估氣候變遷的影響，透過以保育標的物過去的暴露度與未來的情境模擬，了解物種在地景、生態系與族群尺度下的現生情況，以步驟三確認介入點和經營行動是否要針對目標進行步驟四的優先行動策略、訂定保育方針，接續進入到適應性執行及評估階段步驟五，實施保育策略後步驟六要有效的監測和評估行動是否需要修改，在執行方面有無任何需求，若執行後無法達到保育的目標則需要重新再

做修訂。

#### 四、結果與討論

##### (一) 大白山至大南澳嶺地區的結果

##### 1. 大白山至大南澳嶺地區的植群調查結果

大白山至大南澳嶺地區，可分為天然林地與人為干擾地兩大類，野外取樣的 104 個樣區經分析後可劃分為三群系、8 群叢和 4 個高草及矮竹灌叢及一個受人為干擾的次生林，8 群叢和 4 個高草及矮竹灌叢的檢索表如下所列：

##### A1 木本

B1 演替早期——台灣赤楊群叢

B2 演替中後期

C1 多分布於溪谷地形

D1 海拔分布在 500m 以下——大葉楠群叢

D2 海拔分布可高於 500m——九芎群叢

C2 多分布於中坡至稜線地形

E1 在坡面上較為優勢

F1 烏石鼻以北，海拔 1,000m 以下呈現優——豬腳楠群叢

F2 海拔分布可高於 1,000m，烏石鼻以南有較明顯降遷分布——長尾尖葉槲群叢

E2 在稜線上較為優勢

G1 近海稜線與山頭較為優勢——大頭茶群叢

G2 距海較遠之稜線

H1 林相以大喬木為主——台灣水青岡群叢

H2 林相以小喬木為主——大葉石櫟群叢

##### A2 高草與灌叢

I1 近海岩壁環境優勢——台灣蘆竹群叢

I2 非近海岩壁環境

J1 近海山頭裸露地——包籜矢竹群叢

J2 非近海山頭裸露地

K1 僅分布淡水溪床裸露地——甜根子草群叢

K2 除淡水溪床外，於其他類型裸露地呈優勢——芒群叢

這 8 個森林群叢分別為長尾尖葉櫛群叢、大葉楠群叢、九芎群叢、大葉石櫟群叢、台灣水青岡群叢、豬腳楠群叢、大頭茶群叢、台灣赤楊群叢及。其中天然林以長尾尖葉櫛群叢為主，其次為大葉楠群叢，其中長尾尖葉櫛群叢主要為於中高海拔地區的山坡或山脊，大葉楠群叢則在低海拔地區的下坡與溪谷，九芎群叢和大葉石櫟群叢分別零星分布在各溪谷與山脊中，九芎群叢偏好出現在溪谷，相對地大葉石櫟群叢偏好出現在中海拔霧林帶的稜線；台灣水青岡群叢目前僅在大白山附近被記錄到，分布區域非常狹隘又集中在山頭與稜線上方，非常容易受到氣候變遷與極端氣候影響，在本研究區中相對屬於脆弱的植群。台灣赤楊群叢屬於演替早期的植物社會，常於天然崩塌地、人為干擾地等地的林緣成為優勢。人為干擾地及次生林，多因人為開發後，陽性樹種侵入的荒地或是陽性樹種入侵未經妥善管理的人工林內所形成的次生林。

4 個高草及矮竹灌叢為包籜矢竹群叢、芒群叢、甜根子草群叢及臺灣蘆竹群叢，其中包籜矢竹群叢出現在大南澳嶺一帶，芒群叢多出現於靠海岸的崩蹋地與河岸邊，例如烏石鼻海岸地區，甜根子草群叢則多分布於南澳溪的河床，而臺灣蘆竹群叢則分布於蘇花沿岸及烏石鼻一帶的陡峭山壁。

其他圖例中則有耕地、裸露地和水域等三種(圖 3.13)。

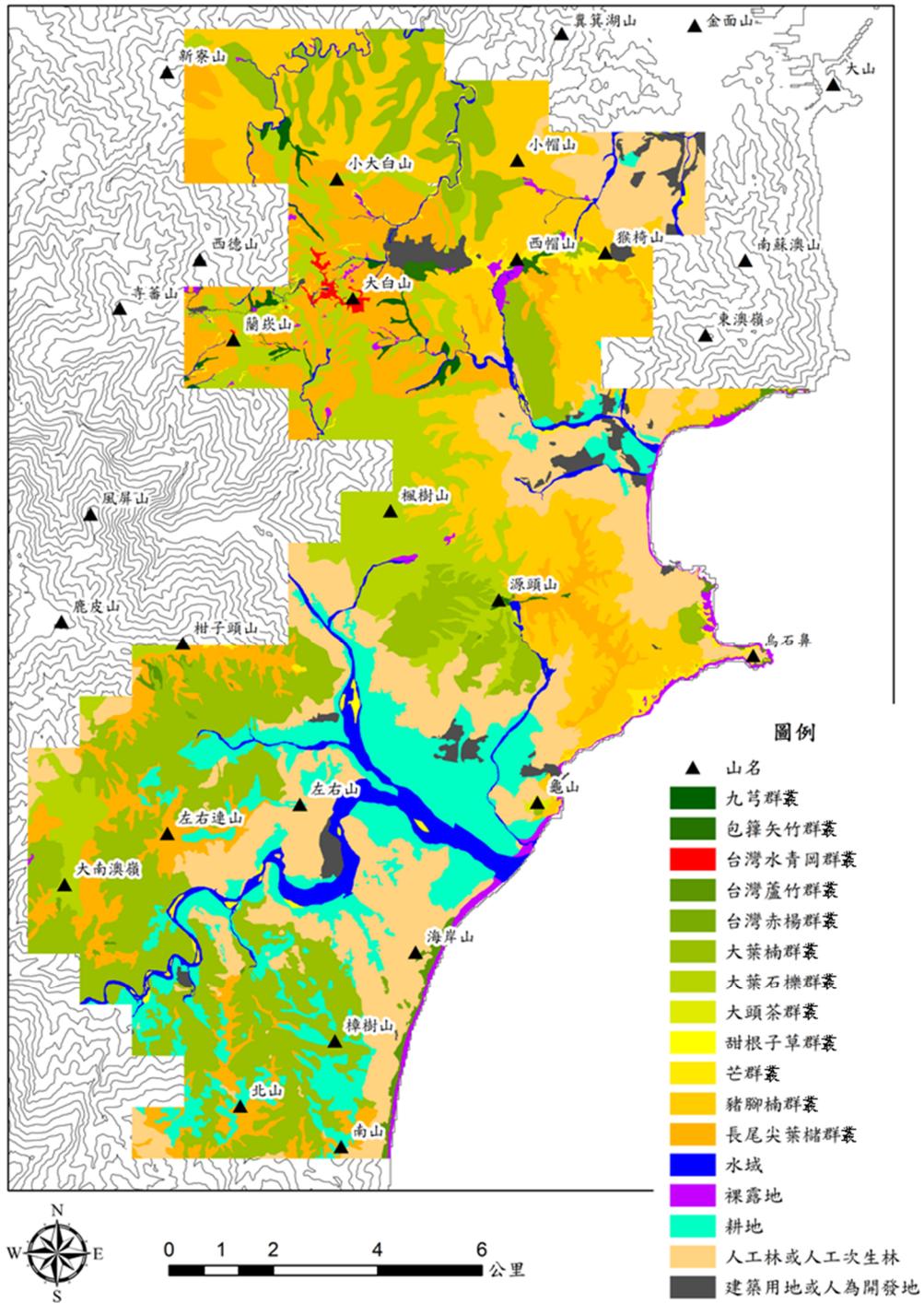


圖 3.13 大白山-大南澳嶺地區植群圖。

表 3.1 大白山-大南澳嶺地區各群叢和地景面積與比例。

植群名	面積(ha)	比例
九芎群叢	84.04	0.49
包籜矢竹群叢	39.19	0.23
台灣水青岡群叢	30.82	0.18
台灣蘆竹群叢	79.04	0.46
台灣赤楊群叢	16.38	0.10
大葉楠群叢	3,459.75	20.35
大葉石櫟群叢	1,771.82	10.42
大頭茶群叢	8.63	0.05
甜根子草群叢	25.48	0.15
芒群叢	210.81	1.24
豬腳楠群叢	2,961.67	17.42
長尾尖葉櫟群叢	2,313.02	13.61
水域	585.75	3.45
裸露地	193.98	1.14
耕地	1,771.64	10.42
人工林或人工次生林	3,109.57	18.29
建築用地或人為開發地	337.68	1.99
<b>總計</b>	<b>16,999.28</b>	<b>100</b>

植群繪圖面積為 16,999 ha，其中非天然植群為 5,998.63 ha，佔 35.29%。其餘 64.71%屬天然植群，其中大葉楠群叢 3,459.75 ha(20.35%)，為分布面積最廣的群叢；豬腳楠群叢次之，有 2,961.67 ha(17.42%)；長尾尖葉櫟群叢從第三，面積 2,313.02 ha(13.61%)。此三大天然群叢面積總和為 8,734.44 ha(51.38%)，約佔本研究調查範圍的一半面積。文資法保育的台灣水青岡林面積為 30.82 ha，佔整個調查範圍的 0.18%(如表 3.1)。

## 2. 大白山至大南澳嶺地區保育標的物之適應性經營(ACT)

目前國外許多研究以地理空間建立模式來預測氣候變遷對物種或植群的遷移後的分布範圍及大小，並做為自然資源產管理的參考(Dawson *et al.*, 2011)，

植群圖的應用上，如同繪出粗濾網，許多生育在該棲地的物種，尤其是稀有物種，就可以預測在氣候變化後稀有動植物的生存面積及可留存的數量，例如本區的稀有植群型-台灣水青岡森林及其內伴生的夸父瓘灰蝶等稀有動植物(細濾網)就可應用植群中植群型面積增減或移動方向來預測其族群的命運，此可仿照澳大利亞西南部殘存的地中海型植群的分析案例，可將本區繪出的植群圖配合本地區的重要氣候因子，來建立分析的模型(Tingley *et al.*, 2014, Molloy *et al.*, 2016)，了解整個水青岡森林在未來氣候變遷下之分布範圍及大小，進行 ACT 步驟二的模式建構、發展一套模擬的氣候變遷情境，檢驗功能特徵(feature)對於情境之回應(Cross *et al.*, 2012)。則俟情境的回應及概念模式來確立經營管理行動，實現每一個情境下陳述的目標。以減少非氣候的壓力因子進入到台灣水青岡森林的特定行動，例如減少開礦及遊憩所產生的踐踏。這個步驟的另一個目標為確立該行動在多數或所有情境下是有效的。在氣候變化下訂出管理行動之優先順序，以維持台灣水青岡之族群。

仿照 ACT 的模式，對黃石公園河流中黃石山鱒的保育(Cross *et al.*, 2012)，於此也簡略提出大白山一大南澳嶺地區與台灣其他地區之台灣水青岡族群的管理行動優先順序(圖 3.14)，並考慮保育的成本大小由上而下，做討論(Shoo *et al.*, 2013)。整體而言，大致可分成一、就地保育的評估及監測 二、人為開發的活動及公眾之參與 三、異地及就地保存。其中在一、就地保育的評估及監測這部份，台灣水青岡族群經由 30 年來的航測資料，並未有出現氣候溫度上升而向上遷移現象，但卻由於颱風、暴雨等極端事件而導致族群減少(陳子英，2015)；同時在族群遺傳上，目前已了解鳥嘴山、銅山地區與插天山地區的葉綠體 DNA 是有差異，幾個低海拔，如大白山、蘭炭地區，阿玉山、鳥嘴山等則在 DNA 有差異(胡哲明，2015)；但詳盡的族群遺傳尚待最後的分析(江友中，2017)。

植群圖(粗濾網)上除針對該地區的植群型做清查外，對於個植群型中生育在該棲地的物種，尤其是稀有物種(細濾網)，了解各稀有植群(粗漏網)和稀有物種的分布範圍、大小之外，並設置長期動態及小型樣區的監測網，並配合地景的航拍及地面樣區的複查外，同時以不同的氣候模式推估未來的變化趨勢，一旦監測上發現出現植群或族群的減少加劇可啟動異地的保存。而族群遺傳上經由不同族群間遺傳變異的差異，了解哪些是遺傳分化較高的地區，或需急迫做異地保存的族群，至於細部作法描述於 105 年的報告(陳子英等，2016)。

在人為開發活動及公眾之參與上，開礦對水青岡的衝擊是目前較大的，是否可在環評或其他方式加以限制，而銅山地區和北插天山的棧道及步道的開設

對水青岡的根系是有影響的，應如何做策略上的減緩或防止，而防治的部分或許可藉由公眾的生態解說和未來民眾對台灣水青岡的野外監測所提供的資料作為氣候變遷資訊的參考資訊(陳子英等，2016)。

而異地及就地保存上，尚依賴散殖體的繁殖技術，台灣水青岡在森林建造時所可提供的生態資訊和移地時廊道的設計和地點的選定；以協助遷移或營造棲地廊道；當然最重要的可能是由先前的資訊評估目前保護區的適切性，如此才可進行保護區網和異地保存的作法(陳子英等，2016)。

由於目前台灣水青岡族群遺傳的分析指出以葉綠體區分遺傳類型可分成 15 型其中台灣的族群與中國大陸的族群有明顯的差異存在，而台灣地區在烏嘴山、插天山地區及銅山地區也存在不同的類型(Ying *et al.*, 2016)；由最近的遺傳研究 (表 3.2)，依據 STRUCTURE 分析結果顯示，可將微衛星體基因型劃分成 K1-K8 共 8 個分群，結果可發現銅山地區和插天山都具有 8 個分群，但在銅山 K3、K4、K6 及 K7 的量較少，但鄰近較低海拔的大白山 1、大白山 2 和蘭坎山則在 K6、K4 和 K7 有較高的量，因此如果要增加銅山地區族群遺傳的多樣性，有必要保留這三個地區的族群(江友中，2017；胡哲明、孔祥璿，2011)。

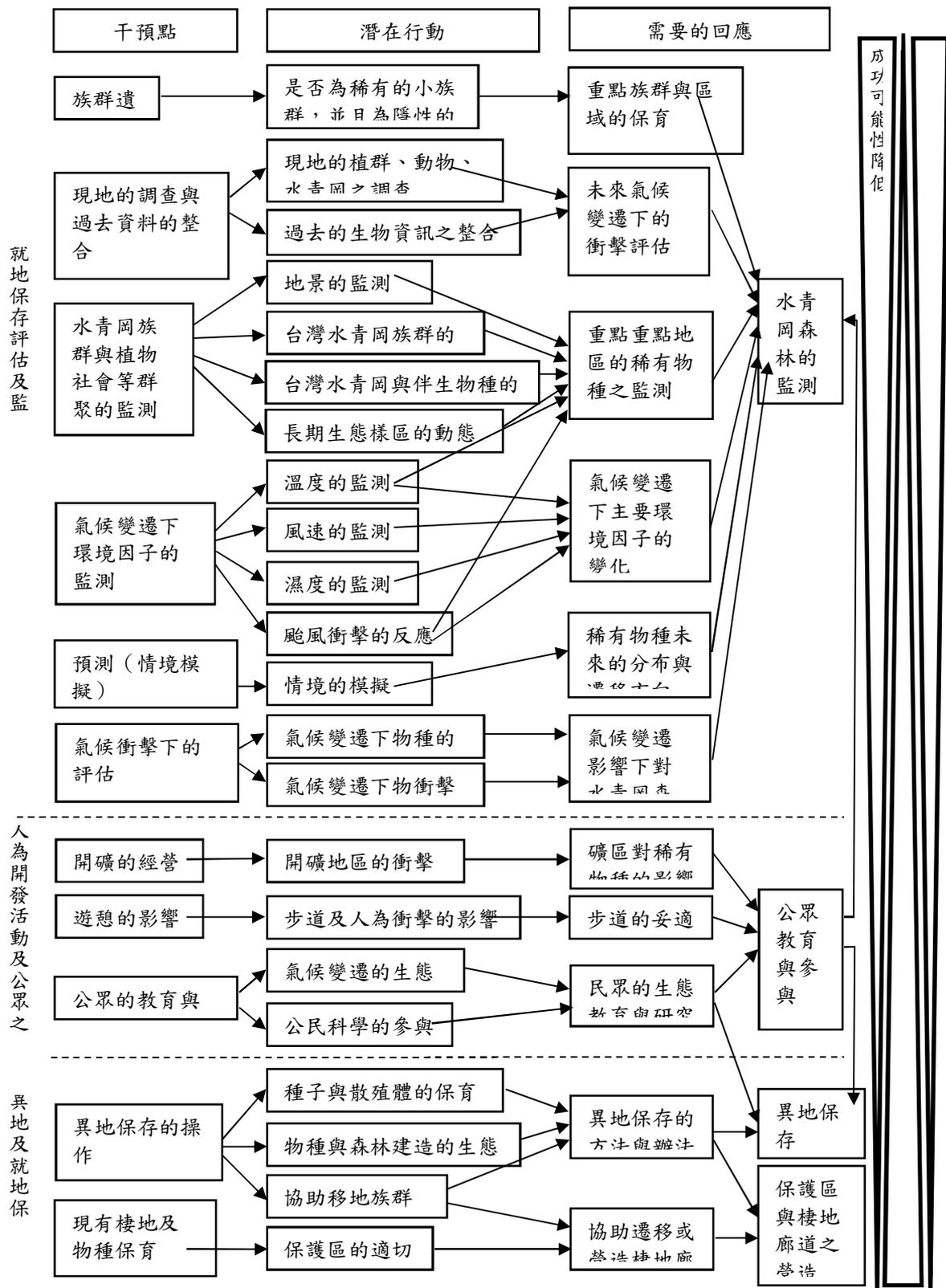


圖 3.14 大白山-大南澳嶺地區管理行動之優先順序。

表 3.2 依據 STRUCTURE 分析結果之 8 分群劃分 K1 至 K8 微衛星體基因型，進行 8 台灣水青岡族群各基因型分布比例結果(摘自江友中，2017)。

代碼	中名	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
DLNZ-1	大白山 1	7.0%	-	11.6%	2.3%	4.7%	<b>72.1%</b>	2.3%	-
DLNZ-2	大白山 2	24.1%	-	10.3%	<b>58.6%</b>	-	3.4%	3.4%	-
LC	蘭炭山	38.5%	-	12.8%	-	2.6%	2.6%	<b>41.0%</b>	2.6%
DB	大白山	11.8%	5.5%	18.2%	9.1%	29.1%	15.5%	10.9%	-
TS	銅山	19.6%	32.4%	5.9%	4.9%	12.7%	1.0%	6.9%	16.7%
AS	阿玉山	-	-	6.3%	6.3%	-	6.3%	25.0%	<b>56.3%</b>
NZ	鳥嘴山	<b>23.8%</b>	-	28.6%	-	<b>28.6%</b>	9.5%	9.5%	-
PCTS	插天山	2.3%	34.1%	15.9%	2.3%	2.3%	6.8%	15.9%	20.5%

#### (1) 水青岡的遷地保育

種子來播種育苗雖是域外保存(*ex situ*)的最好方式，但如果無法取得適量的種子加以儲存，尤其如果植物有急迫性者，就應以其他無性株繁殖(扦插、嫁接、高壓或微體繁殖)的方式來進行(Guerrant *et al.*, 2013, Larkin *et al.*, 2016)。水青岡由最近銅山地區發現(1999 年)至今所記錄的豐年間隔為 3-5 年，但在蘭炭山與大白山地區的水青岡較少發現結實，僅在 2013 年有發現空粒，因此保留這些區域的種質，可能要考量植物採種的可行性，如無法迅速保存就需要用扦插、嫁接與高壓來進行(趙偉村、廖宇賡，2016)。由於近幾年來發現小族群有獨特的基因存在，而野外的調查與監測也發現，最近的颱風仍使得某些在蘭炭山與大白山地區山頭的水青岡樹木多有枯亡或折斷，如由五年來設立的蘭炭山樣區，族群其內 40 株，短短五年內，就枯損了 5 株，枯損率達 12.5%(5/40 株)，因此這些獨特的族群種質正在逐步流失中，遷地保育的材料是需要進行妥善保存。

## (2) 扦插、嫁接與高壓

扦插、嫁接與高壓也是維持種質的方式，扦插、嫁接與高壓可妥善保存植株的遺傳特性，尤其在植物遇到病害或蟲害時，相同的如果植株遇到極端天氣，如颱風、暴雨的侵襲導致植株枯損或瀕鄰死亡或是目前遺傳種質與其他區域不同的小族群，都可進行此種方法保留下來(Watanabe, *et al.*, 2009, Loo, *et al.*, 2005)，目前對蘭崁山和大白山母樹的研究，所得的資料，發現遷地的扦插效果不好，而嫁接也只有 66.7% 的成活率，但可快速保留一些受損的植株，研究期間就保存了一株垂死的植株之種質；在樹木的高壓上只要找到直立的枝條，可以達到 100% 的成活率，但側出的枝條則無法成長；目前也保存了蘭崁山族群所有的個體(鍾振德，2016)。

由這些得到的材料可初步在苗圃進行健化，迄找到新的地點進行種子園或採穗園的建立，由於水青岡仍需以種子苗之栽植才方便進行野外異地族群的重建，因此在苗圃內需要有遮蔭的生理研究，以及野外長期生態樣地的資料，這些資訊在苗圃的幼苗健化、生長的研究及未來森林的建造是極為重要的；此外，目前已有部分採自銅山地區的種子，可在往太平山地區或翠峰湖附近進行棲地廊道的栽植，可做為輔助族群向上遷移的試驗研究。大白山與蘭崁山異地族群的重建，宜配合羅東林區管理處，目前不宜因水青岡種回原生育地，同時也必須配合採穗園與種子園的建造，解決種子生產的問題，由取得的種子進行播種，再找適合地區的栽植(Thomas *et al.*, 2014, Oldfield and Newton, 2012)。

## (3) 台灣水青岡森林氣候調適的建議

台灣水青岡是冰河時期分布到台灣的稀有子遺樹木，同時也是目前在台灣擁有較大片面積的溫帶夏綠林；由於過去溫度的升降及地理的區隔，目前片斷化的分布在台灣六個分散的地區，由之前的生態與遺傳的研究，這幾個地區內插天山及銅山地區是族群最大的，依目前的遺傳研究，這兩地區的葉綠體基因是不同的，而其他小族群的地區則有特殊的微衛星體基因型(Ying *et al.*, 2016, 江友中，2017, 胡哲明、孔祥睿，2011, 胡哲明，2015)，但在各區域的水青岡都有豐歉年不一、種子不稔和種子在玉山箭竹下不易發芽及幼苗不易更新的生態問題(歐辰雄等，1996, 歐辰雄、呂金城，2000, 楊正釗，2011, 林世宗，2011，2016)；同時也發現隨著水青岡森林面積大小的不同，專食性昆蟲和蛾蝶類的物種數量隨面積越小，數目越少(徐堉峰，2011，2016)。由近年來氣候變遷對其森林增減的影響研究(陳子英等，2015, 陳子英等，2016)及與國外對 ACT 的評估所提出的建議流程(Stein *et al.*,

2014)，初步提出對六個地區氣候調適的建議(表 3.3)。

銅山及插天山地區的台灣水青岡族群數量和遺傳上有較大的多樣性，但兩者的葉綠體基因型絕然不同，並與大陸的葉綠體基因型也不盡相同，有必要同時進行保存(Ying *et al.*, 2016, 江友中, 2017)，並適合做為氣候變遷下台灣水青岡森林在台灣地區的避難所。目前二個地區都有開放一部份地區供民眾做生態遊憩之用，建議可以持續進行未來氣候變遷的模擬以了解其未來的推移方向，同時並應每隔五年做地景的調查研究，以了解極端氣候對二地的影響狀況，並在該二地中擇一地區設立長期動態樣區，觀察其動態，同時並應針對因生態遊憩所造成的人為衝擊進行評估，部分的觀察與研究項目可停供給民間登山團體或志工共同參與。

大白山目前受到附近人為開礦的影響，應定期以地景方式拍攝植群受到開礦或極端氣候對台灣水青岡森林的影響；由於大白山的族群有其獨特性，含有銅山地區基因型較少的 K6、K4 的微衛星體基因型(江友中, 2017)，而開礦地區也在大白山 2 區的上方，一旦開礦勢必影響台灣水青岡的族群造成遺傳基因型的流失，而在大白山地區近年也有受極端氣候影響(陳子英等, 2015)，因此除了設立樣區監測其族群變化外，也可使用無人載具(UAV)，每隔一次極端事件就進行普查，除可了解衝擊的面積和地面族群受損的狀況外，並可作為氣候變遷情境模擬的參考；同時如果極端事件已造成族群迅速衰減，則有必要做遷地保存其獨特的基因型個體(江友中, 2017)。

烏嘴山有獨特的葉綠體基因型(Ying *et al.*, 2016, 江友中, 2017)，但近年來受極端氣候的影響較少(陳子英等, 2015)，可進行整體氣候變遷情境模擬，了解其變動與推移方向，並可以每隔五年做地景的調查研究，同時設立生態樣區，觀察其動態，以了解極端氣候對該地的影響狀況，同時物候動態的觀察與持續監測確保水青岡的特殊遺傳基因與族群。

蘭炭山和阿玉山是台灣水青岡族群最少的區域，由於蘭炭山有銅山較少的 K8 微衛星體基因(江友中, 2017)，而近年來受極端氣候的影響，由 40 株減少到 35 株，族群減少率達 12.5 %，是急待保育的族群，目前羅東林區管理處已有做區外的護育，未來可就保護下來的植株進行高壓、扦插或建置可供採穗的採穗園，由此除可做為景緻林園外，並可進行更詳細的物候和授粉生物學的研究。

表 3.3 氣候調適的建議。

地區	銅山及插天山	大白山	鳥嘴山	蘭炭山	阿玉山
調適性行動	保護台灣水青岡的避難所(保護區)	部分樹木的高壓、扦插及採穗園之建置及採礦活動的遏止	持續監測；物候動態的觀察	高壓、扦插及採穗園之建置；物候動態的觀察	高壓、扦插及採穗園之建置
描述	銅山及插天山可視為台灣水青岡在氣候變遷下的避難所，但可監測未來遷移的方向，如銅山是否往太平山方向推移；同時設立長期生態樣區，觀察其動態。	確保特殊的水青岡遺傳基因，同時確保水青岡的族群；同時定期以地景方式拍攝植群動態並設立長期生態樣區，觀察其族群動態。。	確保水青岡的特殊遺傳基因；同時設立長期生態樣區，觀察其動態。	確保水青岡的特殊遺傳基因；同時設立長期生態樣區，觀察其動態。	確保水青岡的特殊遺傳基因；同時設立長期生態樣區，觀察其動態。
主要氣候關注及人為衝擊壓力	氣候的暖化及極端氣候，生態遊憩的壓力	氣候的暖化及極端氣候和開礦	氣候的暖化及極端氣候	氣候的暖化及極端氣候	氣候的暖化及極端氣候
調適機制	減少人為衝擊及暖化的暴露度對水青岡生態系的影響	減少人為衝擊及提高水青岡生態系對極端氣候及暖化的調適力	提高水青岡族群遺傳對氣候暖化的調適力	提高水青岡族群遺傳對氣候暖化的調適力	提高水青岡族群遺傳對暖化的調適力
預期結果	持續(持久)導向	持續(持久)導向	持續(持久)導向	轉換(過渡)導向	轉換(過渡)導向

由於過去的研究主要在過去 30 年的暴露度與敏弱度的研究(陳子英等, 2015), ACT 的評估流程(Stein *et al.*, 2014), 則強調在未來氣候情境下的暴露度減少情形, 以作為變遷下管理的參考, 明年團隊將會針對水青岡做進一步的情境模擬, 並由過去各區域的水青岡族群分布、受極端氣候影響下的狀況, 做更進一步的氣候調適的建議。

## (二) 雙溪-頭城山區的結果

### 1. 雙溪-頭城山區植物資源

#### (1) 植物資源統計

綜合前人資料(陳俊銘, 2003)、新設樣區共 103 個樣區及調查行經路線觀察結果, 紀錄植物 128 科 608 種, 蕨類植物 25 科 78 屬 140 種, 裸子植物 2 科 2 種(含一種外來種), 單子葉植物 17 科 97 種, 雙子葉植物 84 科 369 種; 特有 93 種, 原生 594 種, 稀有 38 種, 外來 14 種(表 3.4)。

表 3.4 雙溪-頭城山區之植物資源。

分類群	蕨類植物	裸子植物	單子葉植物	雙子葉植物	合計
科	25	2	17	84	128
種	140	2	97	368	607
特有	1	0	16	76	93
原生	140	1	95	357	594
歸化	0	0	2	8	10
栽培	0	1	0	3	4
稀有	8	1	8	21	38

#### (2) 稀有種植物

目前調查的稀有物種共 38 種, 其中包含薄葉大陰地蕨等蕨類植物共 8 種, 裸子植物 1 種, 雙子葉植物共 20 種, 單子葉植物共 8 種。其中木本稀有物種有 12 種(表 3.5), 分別為竹柏、台灣三角楓、胡氏肉桂、四照花、十大功勞、長葉

杜虹花、水團花(梨仔)、土肉桂、耿氏虎皮楠、台灣香檬、檳梧、光葉柃木。其中台灣三角楓為植物生態評估技術規範保護之稀特有植物；另根據臺灣維管束植物紅皮書初評名錄；另外根據臺灣維管束植物紅皮書初評名錄，尚有四照花、長葉杜虹花、水團花(梨仔)、土肉桂、竹柏、耿氏虎皮楠、台灣香檬此 1 種面臨瀕危、易危或近危物種(Endangered, EN)、易受害(Vulnerable, VU)、接近威脅(Near Threatened, NT)或無適當資料(Data Deficient, DD)之物種(王震哲等，2012)，木本稀有植物以網格方式呈現分布情況(圖 3.15)。

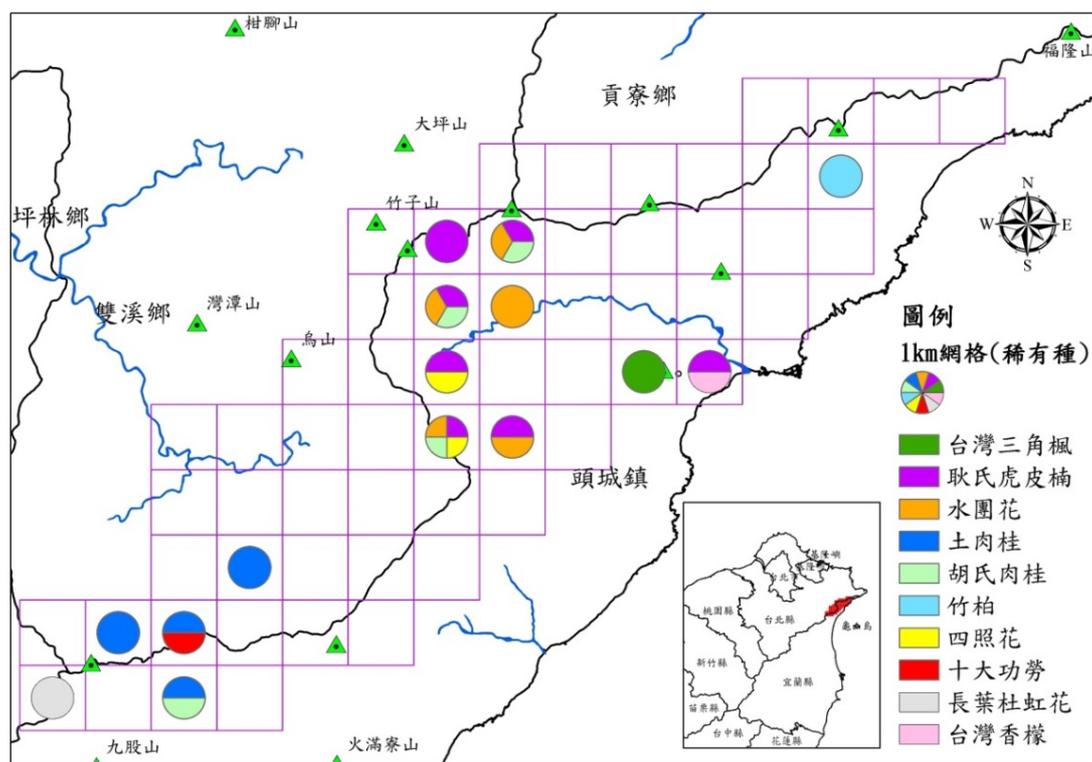


圖 3.15 頭城至雙溪地區之木本稀有物種分布。

表 3.5 頭城至雙溪山區稀有植物列表。

科名	物種中文名	學名	保育等級
鐵角蕨科	黑鱗鐵角蕨	<i>Asplenium pseudolaserpitiifolium</i>	DD
烏毛蕨科	哈氏狗脊蕨	<i>Woodwardia harlandii</i>	NT
烏毛蕨科	細葉狗脊蕨	<i>Woodwardia kempii</i>	VU
膜蕨科	厚壁蕨	<i>Meringium denticulatum</i>	NT
膜蕨科	叢葉落蕨	<i>Hymenophyllum fimbriatum</i>	VU
石松科	千層塔	<i>Lycopodium serratum</i>	DD
瓶爾小草科	薄葉大陰地蕨	<i>Botrychium daucifolium</i>	NT
瓶爾小草科	大陰地蕨	<i>Botrychium ternatum</i>	EN
羅漢松科	竹柏	<i>Nageia nagi</i>	EN
天南星科	宜蘭天南星	<i>Arisaema ilanense</i>	VU
天門冬科	臺灣黃精	<i>Polygonatum altelobatum</i>	VU
天門冬科	綿棗兒	<i>Scilla sinensis</i>	VU
水玉簪科	紫水玉簪	<i>Burmannia itoana</i>	NT
百合科	豔紅鹿子百合	<i>Lilium speciosum</i> var. <i>gloriosoides</i>	CR
蘭科	細花根節蘭	<i>Calanthe graciliflora</i>	NT
蘭科	小花羊耳蒜	<i>Liparis cespitosa</i>	EN
禾本科	臺灣矢竹	<i>Sinobambusa kunishii</i>	DD
爵床科	早田氏爵床	<i>Justicia procumbens</i> var. <i>hayatae</i>	VU
冬青科	密毛假黃楊	<i>Ilex pubescens</i>	NT
菊科	山菊	<i>Farfugium japonicum</i>	NT
菊科	臺灣蒲公英	<i>Taraxacum formosanum</i>	EN
小蘗科	八角蓮	<i>Dysosma pleiantha</i>	NT
小蘗科	十大功勞	<i>Mahonia japonica</i>	EN
山茱萸科	四照花	<i>Benthamidia japonica</i> var. <i>chinensis</i>	DD
虎皮楠科	耿氏虎皮楠	<i>Daphniphyllum glaucescens</i> var. <i>kengii</i>	DD

胡頹子科	椴梧	<i>Elaeagnus oldhamii</i>	DD
苦苣苔科	槲果苣苔	<i>Cyrtandra umbellifera</i>	VU
唇形科	長葉杜虹花	<i>Callicarpa formosana</i> var. <i>longifolia</i>	VU
唇形科	地筍	<i>Lycopus lucidus</i>	EN
木通科	白木通	<i>Akebia trifoliata</i> subsp. <i>australis</i>	NT
樟科	胡氏肉桂	<i>Cinnamomum macrostemon</i>	植物生態評估技術規範環評等級 3, DD
樟科	土肉桂	<i>Cinnamomum osmophloeum</i>	NT
五列木科	光葉柃木	<i>Eurya nitida</i>	NT
茜草科	水團花(梨仔)	<i>Sinoadina racemosa</i>	NT
芸香科	台灣香檬	<i>Citrus depressa</i>	VU
芸香科	秦椒	<i>Zanthoxylum armatum</i>	DD
無患子科	臺灣三角楓	<i>Acer buergerianum</i> var. <i>formosanum</i>	植物生態評估技術規範環評等級 1, CR

註：EN，Endangered 瀕臨滅絕；VU，Vulnerable 易受害；NT，Near Threatened 接近威脅；DD，Data Deficient 無適當資料。

## 2. 木本植群分析結果（粗濾網之生態系尺度）

### (1) 降趨對應分析結果

研究上森林樣區共調查有 83 個樣區，215 種木本植物，植物之中名及學名則依據臺灣植物誌(Flora of Taiwan)第 2 版第 6 卷(Huang *et al.*, 2003)。進行降趨對應分析(DCA)及雙向指標種分析(TWINSPAN)，經 DCA 算出三個變異軸，第一軸軸長為 3.168，與海拔呈現顯著相關，第二軸軸長為 4.031，第三軸軸長為 2.401，與地形指數呈現正相關(表 3.6)。本區的主要環境因子為海拔，第一軸與海拔呈正相關，表示第一軸右側屬於高海拔，向左屬於低海拔之植物社會(圖 3.16)。

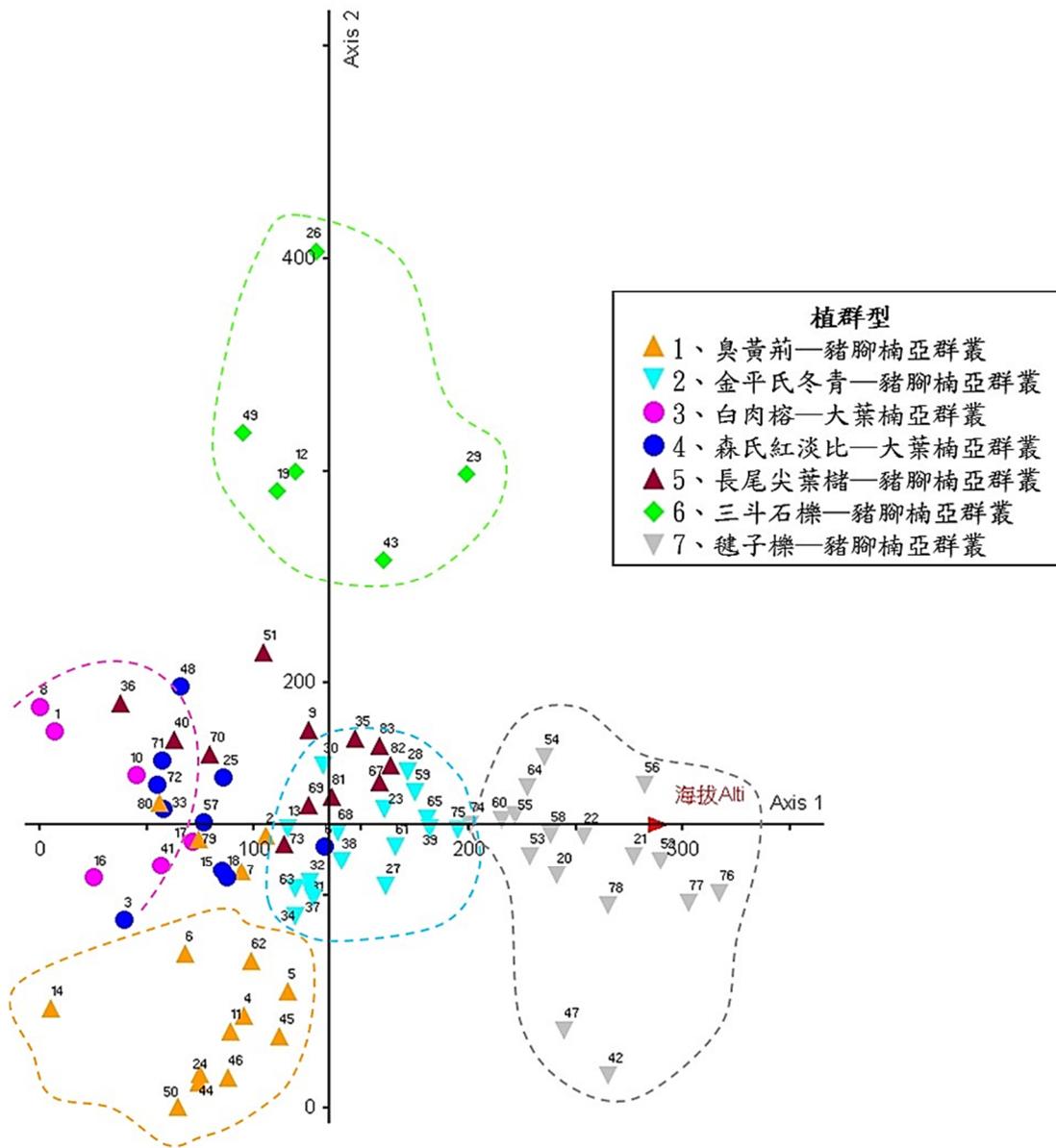


圖 3.16 頭城至雙溪山區木本樣區在 DCA 在第一軸與第二軸之分布圖。

表 3.6 降趨對應分析三軸與環境因子的相關矩陣。

	Axis 1	Axis 2	Axis 3
軸長	3.168	4.031	2.401
特徵值	0.355	0.262	0.147
海拔	0.795**	-0.004	0.082
地形指數	-0.113	0.099	0.231*
坡向	0.098	-0.123	0.025

註：\*表示 P=0.05 水準上之顯著；\*\*表示 P=0.01 水準上之顯著。

## (2) 木本植群型分型結果

本研究之植群分型結果，是將資料經降趨對應分析 (DCA) 和雙向指標種分析法 (TWINSPAN) 分析後，在以列表比較法稍加重新排列樣區及物種次序之結果，分成本區植群分為 2 個群叢(7 個亞群叢)和 2 個植群型，2 個群叢為(A)、豬腳楠群叢(B)、大葉楠群叢(表 3.7)(圖 3.17)；植物之中名及學名依據臺灣植物誌 (Flora of Taiwan) 第 2 版第 6 卷(Huang *et al.*, 2003)。

表 3.7 頭城-雙溪地區的植群與環境一覽表。

植群型	a. 臭黃荊 —豬腳楠 亞群叢	b. 金平 氏冬青— 豬腳楠亞 群叢	c. 長尾尖 葉楮—豬 腳楠亞群 叢	d. 三斗石 櫟—豬腳 楠亞群叢	e. 毬子櫟 —豬腳楠 亞群叢	f. 白肉榕 —大葉楠 亞群叢	g. 森氏紅 淡比—大 葉楠亞群 叢
樣區	15 個	17 個	12 個	6 個	17 個	6 個	10 個
1. 海拔	123-560m	409-737m	424-703m	364-957m	560-1008 m	110-470m	50-460m
2. 地形	支稜及中 坡	主稜、支 稜及上坡	中坡及下 坡	支稜、中 下坡及乾 溝	山頂、主 稜及支稜	下坡及溪 谷	中、下坡
3. 氣候區	東北近海 區	東北近海 區及內陸 區皆有分 布	東北近海 區及內陸 區皆有分 布	東北內陸 區	東北近海 區及內陸 區	東北近海 區為主	東北近海 區及內陸 區

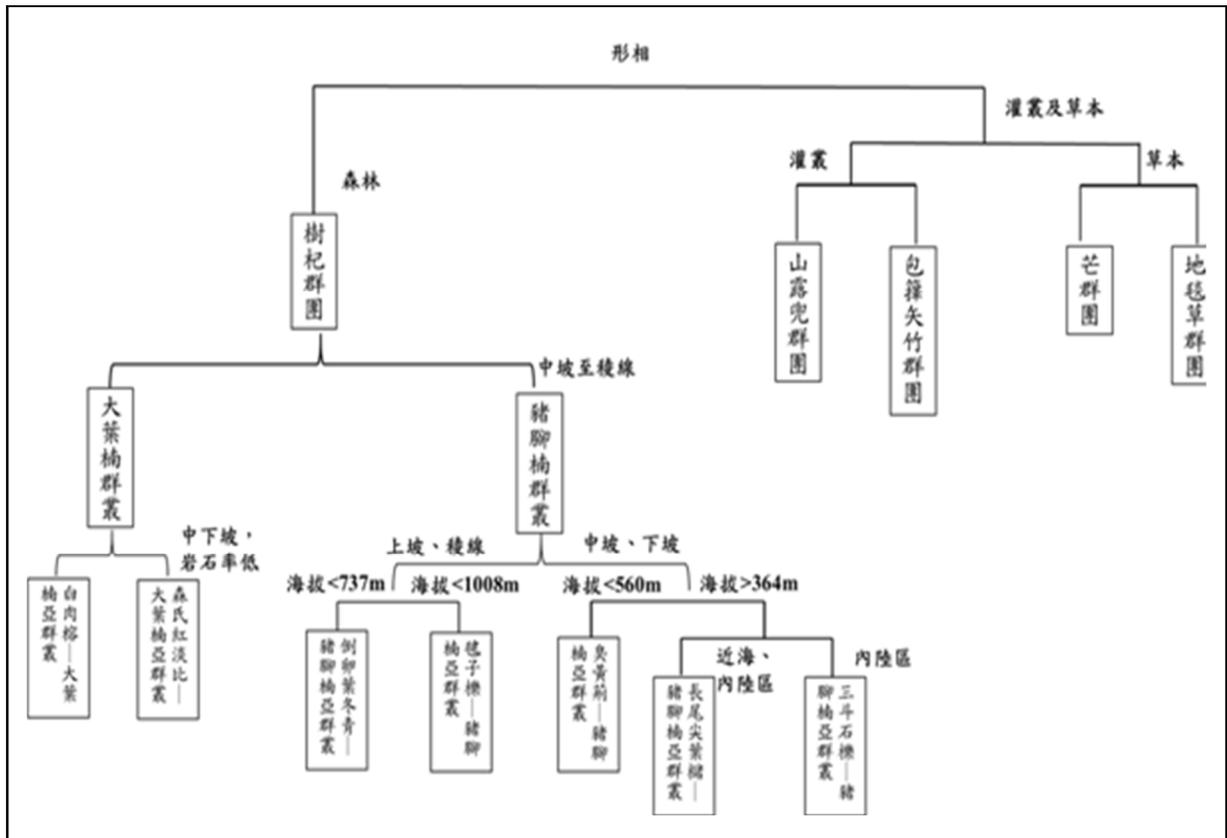


圖 3.17 頭城—雙溪山區植群與環境的分類。

## A. 山地常綠闊葉林

### (A). 豬腳楠群叢

#### a. 臭黃荊—豬腳楠亞群叢 (*Premna microphylla*—*Machilus thunbergii* SUBASS.)

此型有 15 個樣區，樣區分布於桃源谷灣坑頭山及鷹嘴嶺一帶的支稜及中坡，以東北近海區為主，多出現在迎風坡，海拔約 123-560m。特徵種為臭黃荊 (*Premna microphylla*)，上層優勢種為豬腳楠 (*Machilus thunbergii*)、樹杞 (*Ardisia sieboldii*)、豬母乳 (*Ficus fistulosa*)；中層優勢種為黃肉樹 (*Litsea hypophaea*)、細葉饅頭果 (*Glochidion rubrum*)、米碎柃木 (*Eurya chinensis*)；下層優勢種為野牡丹 (*Melastoma candidum*)、九節木 (*Psychotria rubra*)、鼠刺 (*Itea oldhamii*)、山桂花 (*Maesa japonica*)、檳梧 (*Elaeagnus oldhamii*)。地被優勢種有冷清草 (*Elatostema lineolatum* var. *majus*)、廣葉鋸齒雙蓋蕨

(*Diplazium dilatatum*)、芒(*Miscanthus sinensis*)、全緣卷柏(*Selaginella delicatula*)、竹葉草(*Oplismenus compositus*)、臭黃荊等。

b. 金平氏冬青—豬腳楠亞群叢(*Ilex triflora* var. *kanehirai*—*Machilus thunbergii* SUBASS.)

此型包括 17 個樣區，分布於窰寮山及橫山一帶山系的主稜、支稜及上坡，東北近海區及內陸區皆有分布，多出現在迎風坡，海拔約 409-737 m。此型特徵種為金平氏冬青(*Ilex triflora* var. *kanehirai*)、長葉木薑子(*Litsea acuminata*)。上層優勢種有豬腳楠、大明橘(*Myrsine seguinii*)、奧氏虎皮楠(*Daphniphyllum glaucescens* subsp. *oldhamii* var. *oldhamii*)、鵝掌柴(*Schefflera octophylla*)、樹杞、香楠(*Machilus zuihoensis*)、烏心石(*Michelia compressa*)；中層優勢種為山龍眼(*Helicia formosana*)、山豬肝(*Symplocos theophrastifolia*)、山紅柿(*Diospyros morrisiana*)、臺灣楊桐(*Adinandra formosana*)；下層優勢種為山桂花、九節木、紅子英蓀(*Viburnum formosanum*)、狹瓣八仙花(*Hydrangea angustipetala*)、柏拉木(*Blastus cochinchinensis*)、草珊瑚(*Sarcandra glabra*)。地被優勢種有冷清草、黃藤(*Calamus quiquisetinervius*)、菝葜(*Smilax china*)、山月桃(*Alpinia intermedia*)、生根卷柏(*Selaginella doederleinii*)、波氏星蕨(*Microsorium buergerianum*)、斜方複葉耳蕨(*Arachniodes rhomboides*)及廣葉鋸齒雙蓋蕨等。

c. 長尾尖葉槲—豬腳楠亞群叢(*Castanopsis cuspidata* var. *carlesii*—*Machilus thunbergii* SUBASS.)

此型包括 12 個樣區，分布於內大溪產業道路往雙溪及灣潭溪、打鐵寮山之中坡及下坡，東北近海區及內陸區皆有分布，主要出現於背風坡，海拔約 424-703 m。特徵種為長尾尖葉槲(*Castanopsis cuspidata* var. *carlesii*)、四照花(*Benthamedia japonica* var. *chinensis*)、烏來冬青(*Ilex uraiensis*)。上層優勢種有綠樟(*Meliosma squamulata*)、鵝掌柴、樹杞、豬腳楠、大葉楠(*Machilus japonica* var. *kusanoi*)；中層優勢種有香葉樹(*Lindera communis*)、厚殼桂(*Cryptocarya chinensis*)、水冬瓜(*Saurauia tristyla* var. *oldhamii*)、山香圓(*Turpinia formosana*)、水金京(*Wendlandia formosana*)；下層優勢種有琉球雞屎樹(*Lasianthus fordii*)。地被優勢種為風藤(*Piper kadsura*)、柚葉藤

(*Pothos chinensis*)、黃藤、拎壁龍(*Psychotria serpens*)、抱樹蕨(*Lemmaphyllum microphyllum*)、冷清草、生根卷柏、全緣卷柏、觀音座蓮(*Angiopteris lygodiifolia*)、斜方複葉耳蕨、烏毛蕨(*Blechnum orientale*)、山月桃、波氏星蕨等。

d. 三斗石櫟—豬腳楠亞群叢(*Pasania hancei* var. *ternaticupula*—*Machilus thunbergii* SUBASS.)

此型有 6 個樣區，主要出現於背風坡處的支稜、中下坡及乾溝，出現於東北內陸區，海拔約 364-957 m。特徵種為三斗石櫟(*Pasania hancei* var. *ternaticupula*)，上層優勢種為大香葉樹(*Lindera megaphylla*)，中層優勢種為大葉木犀(*Osmanthus matsumuranus*)、小西氏灰木(*Symplocos konishii*)、大頭茶(*Gordonia axillaris*)、山黃梔(*Gardenia jasminoides*)；下層優勢樹種為山豬肉(*Meliosma rhoifolia*)。

e. 毬子櫟—豬腳楠亞群叢(*Cyclobalanopsis sessilifolia*—*Machilus thunbergii* SUBASS.)

此型有 17 個樣區，主要分布於鶯子頂山至鶯子嶺山頂、主稜及支稜，東北近海區及內陸區皆有，迎風、背風處皆有出現，海拔約 560-1,008 m。特徵種為毬子櫟(*Cyclobalanopsis sessilifolia*)，上層優勢種有豬腳楠、倒卵葉冬青、長葉木薑子、台灣樹參(*Dendropanax dentiger*)；中層優勢為山龍眼、墨點櫻桃(*Prunus phaeosticta*)、小葉石楠(*Pourthiaea villosa* var. *parvifolia*)、烏皮茶(*Pyrenaria shinkoensis*)、短柱山茶(*Camellia brevistyla*)、細葉山茶(*Camellia tenuifolia*)；下層優勢樹種為狹瓣八仙花、東瀛珊瑚(*Aucuba japonica*)、尾葉灰木(*Symplocos caudata*)、日本女貞(*Ligustrum liukiense*)、假柃木(*Eurya crenatifolia*)等。地被優勢種為山蘇花(*Asplenium antiquum*)、冷清草、廣葉鋸齒雙蓋蕨、山桂花、斯氏懸鉤子(*Rubus swinhoei*)、紅鞘薹(*Carex filicina*)、珠砂根(*Ardisia crenata*)、稀子蕨(*Monachosorum henryi*)、台灣鱗毛蕨(*Dryopteris formosana*)等。

## (B).大葉楠群叢

### f. 白肉榕—大葉楠亞群叢(*Ficus virgata*—*Machilus japonica* var. *kusanoi*)

此型包括 6 個樣區，分布含石率高的下坡及溪谷，以東北近海區為主，出現於背風坡，海拔高約 110-470 m，特徵種為白肉榕(*Ficus virgata*)，上層優勢樹種為樹杞、鵝掌柴、豬母乳、大葉楠；中層優勢種有山香圓、刺杜密(*Bridelia balansae*)、山刈葉(*Melicope semecarpifolia*)、九重吹(*Ficus nervosa*)、菲律賓榕(*Ficus ampelas*)；下層優勢種有九節木、長梗紫麻(*Oreocnide pedunculata*)、密毛雞屎樹(*Lasianthus appressihirtus*)等。地被優勢種有山棕(*Arenga tremula*)、華八仙(*Hydrangea chinensis*)、抱樹蕨等。

### g. 森氏紅淡比—大葉楠亞群叢(*Cleyera japonica* var. *morii*—*Machilus japonica* var. *kusanoi* SUBASS.)

此型有 10 個樣區，分布於中、下坡，主要出現於東北近海區背風坡，海拔高約 50-460 m，特徵種為森氏紅淡比(*Cleyera japonica* var. *morii*)。上層優勢種為森氏紅淡比、青剛櫟(*Cyclobalanopsis glauca*)、樹杞、鵝掌柴；中層優勢種有烏皮九芎(*Styrax formosana*)、紅皮(*Styrax suberifolia*)、細枝柃木(*Eurya loquaiana*)、水金京；下層優勢種有九節木、頷垂豆(*Archidendron lucidum*)、糊樗(*Ilex formosana*)、圓葉雞屎樹(*Lasianthus wallichii*)等。地被優勢種為台灣山菊(*Farfugium japonicum* var. *formosanum*)、黃藤、拎壁龍、海金沙(*Lygodium japonicum*)、淡竹葉(*Lophatherum gracile*)、斜方複葉耳蕨、細柄雙蓋蕨(*Diplazium donianum*)等。

## B. 山地高草地

位於山頂或主稜上，主要由芒(白背芒；*Miscanthus sinensis*)所組成，在台灣各地是森林遭砍伐或火災之後，首先恢復的植被景觀。然而在本區，應是盛行之東北季風形成的極盛相植物社會。

### h. 台灣胡頹子—芒型(*Elaeagnus formosana*—*Miscanthus sinensis* type)

此型有 9 個樣區，位於海拔 477–977 m，主要出現於山頂或主稜，樣區分布在桃源谷、往七兄弟山稜線、窖寮山山頭及鷺子頂山。平均植物高度約 2.5 m，形成高草區植物社會，特徵種為台灣胡頹子(*Elaeagnus formosana*)；優勢種為芒。伴生有細葉饅頭果、森氏紅淡比、細枝柃木(*Eurya loquaiana*)、牛奶榕、杜虹花(*Callicarpa formosana*)、金平氏冬青、臭黃荊、豬腳楠、樹杞、野牡丹(*Melastoma candidum*)等，這些喬木或灌木都形成灌叢狀，在頂稍出現有風剪的現象，地被植物有廣葉鋸齒雙蓋蕨(*Diplazium dilatatum*)、斜方複葉耳蕨(*Arachniodes rhomboides*)、腎蕨(*Nephrolepis auriculata*)、生根卷柏(*Selaginella doederleinii*)、三葉崖爬藤(*Tetrastigma formosanum*)、山菊(*Farfugium japonicum*)、淡竹葉草(*Lophatherum gracile*)、海金沙(*Lygodium japonicum*)、過山龍(*Lycopodium cernuum*)、玉葉金花(*Mussaenda pubescens*)、芒萁等，都混生於芒中。

### C. 暖熱性矮竹灌叢

包籜矢竹群團，只出現在草嶺至灣坑頭山稜線、鷹子嶺山頂，包籜矢竹(*Arundinaria usawai*)自成一型。

#### i. 包籜矢竹型(*Arundinaria usawai* type)

此型有 3 個樣區，位於海拔 554–618 m，位於山頂或主稜，平均植物高度約 2 m，特徵種與主要優勢種為包籜矢竹(*Arundinaria usawai*)。伴生有豬腳楠、臭黃荊等，地被植物有山月桃、中國穿鞘花(*Amischotolype chinensis*)、芒、伏牛花(*Damnacanthus indicus*)、赤車使者(*Pellionia radicans*)、淡竹葉草、廣葉鋸齒雙蓋蕨、三葉崖爬藤、生根卷柏、綠花肖頭蕊蘭(*Cephalantheropsis gracilis*)等。

### D. 闊葉灌叢

山露兜群團(*Freycinetia formosana* ALL.)

#### j. 山露兜型(*Freycinetia formosana* type)

此型有 7 個樣區，分布於桃源谷稜線、往外大溪山及內大溪產業道路往上各支稜、上坡，海拔 203-509 m，又可區分為迎風處與背風處。迎風處因風的關係，喬木或灌木受到風剪呈現灌叢狀，物種平均高約 1.2 m。上層之優勢種以豬腳楠為主，地被層有雙扇蕨(*Dipteris conjugata*)、台灣山菊、鼠刺、竹葉草、異葉卷柏等。背風處上層植群平均高約 5.8 m，下層植群平均高約 1 m。上層之優勢種為豬腳楠、樹杞、鵝掌柴、森氏紅淡比、細葉饅頭果；下層優勢種為烏皮九芎、九節木、鼠刺、野牡丹、烏來月桃(*Alpinia uraiensis*)、台灣山桂花、山棕、黃藤；地被層有山月桃、姑婆芋、拎壁龍、風藤等。

## E. 山地短草地

地毯草群團位於桃源谷、草嶺附近山頂或主稜上，其形成原因一方面受強風的吹襲，另一方面為牛之踐踏及吃食。平均植物高度小於 50 cm，植物種類以兩耳草(*Paspalum conjugatum*)為主。

### k. 兩耳草型(*Paspalum conjugatum* type)

此型有 5 個樣區，分布於桃源谷一帶，海拔 467-621 m，植群平均高小於 0.5 m，受牛隻踐踏吃食及東北季風或海風吹拂影響大。植物種類以兩耳草(*Paspalum conjugatum*)為主，其他伴生物種如類地毯草(*Axonopus affinis*)、腺花毛蓼(*Polygonum pubescens*)、石薺萼(*Mosla scabra*)、法氏狗尾草(*Setaria faberi*)、牛筋草(*Eleusine indica*)、柳葉箬(*Isachne globosa*)、窄翅莎草(*Cyperus tenuispica*)、燈心草(*Juncus effusus* var. *decipiens*)、糯米糰(*Gonostegia hirta*)、虎婆刺(*Rubus croceacanthus*)、栗蕨(*Histiopteris incisa*)、腎蕨(*Nephrolepis auriculata*)、廣葉鋸齒雙蓋蕨等。

參考美國植群分類系統的做法，其高階單位採用形相及環境因子為準則；低階之單位則宜用植相準則作更細膩之分類的植被類型將區域內的植群依形相區分成：山地常綠闊葉林、山地高草地、暖熱性矮竹灌叢、山地短草地等四個植被型(蘇鴻傑，1992；俞秋豐，2003；宋梧魁等，2005)。同時並製作頭城-雙溪山區的植群型檢索表供野外製圖之用(表 3.8)。

表 3.8 頭城—雙溪山區植群型檢索表。

1. 出現於海拔 50-1008m，以常綠闊葉樹為主之森林-----  
-----下部山地闊葉林和次生植群以及低地風衝闊葉林
2. 出現於海拔 50-470m 之溪谷至中坡，物種組成以大葉楠為主----大葉楠群叢
3. 出現於海拔 110-470m，岩石率較高之下坡及溪谷，特徵種為白肉榕-----  
-----白肉榕—大葉楠亞群叢
3. 出現於海拔 50-460m，岩石率較低之中坡及下坡，特徵種為森氏紅淡比----  
-----森氏紅淡比—大葉楠亞群叢
4. 出現於海拔 50-460m 之東北近海區-----森氏紅淡比—大葉楠型
4. 出現於海拔 450-525m 之東北內陸區背風下坡或溪谷源頭-----四照花型
2. 出現於海拔 123-1008m 之中坡至稜線，物種組成以豬腳楠為主--豬腳楠群叢
3. 出現於海拔 410-1008m 之上坡、稜線
4. 出現於海拔 410-737 之上坡、稜線，多在迎風坡，特徵種以倒卵葉冬青  
為主-----金平氏冬青—豬腳楠亞群叢
4. 出現於海拔 560-1008 之稜線，迎、背風均有之，特徵種以毬子櫟為主  
-----毬子櫟—豬腳楠亞群叢
3. 出現於海拔 123-957 之中坡、下坡及乾溝
4. 出現於海拔 123-560m 之東北近海區，以迎風的中坡為主，特徵種為臭  
黃荊-----臭黃荊—豬腳楠亞群叢
4. 出現於海拔 364-957m，以背風為主的中坡、下坡及乾溝
5. 出現於海拔 424-703m 的中坡、下坡，東北近海區內陸區皆有分布，  
特徵種為長尾尖葉櫟-----長尾尖葉櫟—豬腳楠亞群叢
6. 出現於海拔 424-703m，東北近海區內陸區皆有分布-----  
-----長尾尖葉櫟—豬腳楠型
6. 出現於海拔 450-525m 之東北內陸區背風下坡或溪谷源頭-----四照  
花型
5. 出現於海拔 364-957 的乾溝、中坡及下坡，主要分布在東北內陸區，  
特徵種為三斗石櫟-----三斗石櫟—豬腳楠亞群叢
1. 出現於海拔 203-977m 之灌叢或草本植群-----闊葉灌叢及草本植群
2. 闊葉灌叢
3. 出現於海拔 203-510m 的風衝稜線及背風---森林，坡度陡峭，物種組成以  
山露兜為主-----山露兜型
3. 出現於海拔 554-618m 的風衝稜線，物種組成以包籜矢竹為主--包籜矢竹  
型
2. 草本植群
3. 出現於海拔 477-977m 之稜線，植群平均高 1.5m，物種組成以芒為主-芒  
群團
4. 物種組成以芒為主，鮮有木本植物-----台灣胡頹子—芒型
4. 出現於海拔 560-1008m，位於森林與芒的交界帶-----黃楊型
3. 出現於海拔 436-518m 之山頭，植群平均高小於 0.5m，物種組成以地毯草  
為主-----兩耳草型

### 3. 植群製圖結果

本研究共繪製 7 類天然植群，即豬腳楠群叢、大葉楠群叢、芒群團、山露兜群團、包籐矢竹群團、黃楊型、四照花型；5 類造林地或人為干擾的次生植群：人工或人工次生林、竹闊混次生林、竹闊針混次生林、竹類造林地，另因地毯草群團受牛隻吃食與踐踏，故亦置於此類；還有其他 4 類，即耕地、建地或人為開發地、水域、海岸地，共計 16 類，總面積為 5981.3ha，全區植群及各植群之分布詳圖 3.18。

#### (1) 天然植群

豬腳楠群叢面積約 1,372ha，佔研究區域面積的 22.95%，主要分布於中坡至稜線；大葉楠群叢面積約 1,835ha，佔研究區域面積 30.68%，主要分布於溪谷至中坡或上坡避風處；芒群團面積約 115ha，佔研究區域面積 1.93%，主要布於稜線；山露兜群團面積約 18ha，佔研究區域面積 0.31%，主要分布於風衝稜線或背風森林；包籐矢竹群團面積約 34ha，佔研究區域面積 0.57%，主要分布於桃源谷灣坑頭山一帶、橫山及鶯子嶺之山頂；黃楊型面積約 35.1ha，佔研究區域面積 0.59%，主要分布於鶯子頂山至鶯子嶺山森林與芒的交界；四照花型面積約 35.6ha，佔研究區域面積 0.60%，分布區域破碎，主要為宜 1 鄉道(大溪產業道路)至雙泰產業道路沿線山頭避風處之下坡、溪谷。

#### (2) 造林地或人為干擾的次生植群

人工或人工次生林面積約 1,919ha，佔研究區域面積 32.09%，竹闊混次生林面積約 292ha，佔研究區域面積 4.88%；竹闊針混次生林面積約 49.7ha，佔研究面積 0.83%；竹類造林地面積 6ha，佔研究區域面積 0.11%；地毯草群團面積 67ha，佔研究區域面積 1.13%。

#### (3) 其他

耕地面積為 127ha，佔研究區域面積 2.14%；建地或人為開發地面積約 40.6ha，佔研究區域面積 0.68%；水域面積 25ha，佔研究區域面積 0.42%；海岸地面積 6.6ha，佔研究區域面積 0.11%(表 3.9)。

表 3.9 頭城—雙溪山區植群分布面積及比例。

植群類型	面積(ha)	比例(%)
豬腳楠群叢	1372.494016	22.95%
大葉楠群叢	1835.093037	30.68%
芒群團	115.2181473	1.93%
山露兜群團	18.34271904	0.31%
包籐矢竹群團	34.04202338	0.57%
黃楊型	35.15247348	0.59%
四照花型	35.62396155	0.60%
人工或人工次生林	1919.379398	32.09%
竹闊混次生林	292.1584441	4.88%
竹闊針混次生林	49.7613749	0.83%
竹類造林地	6.418518771	0.11%
地毯草群團	67.36870866	1.13%
耕地	127.8992644	2.14%
建地或人為開發地	40.60629238	0.68%
水域	25.09239708	0.42%

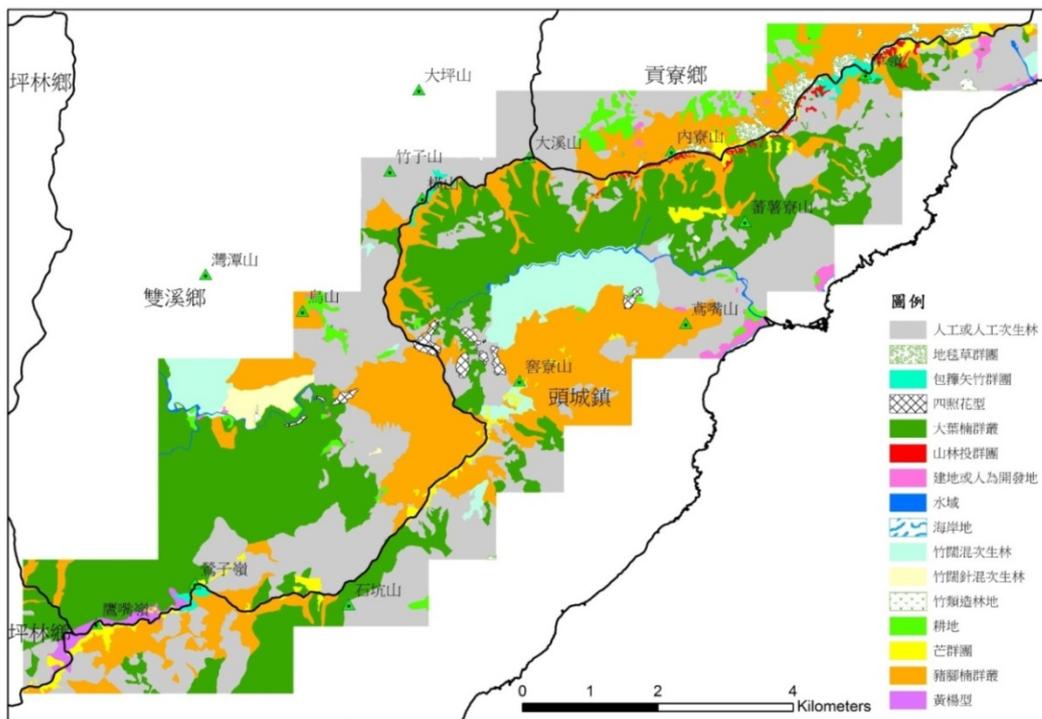


圖 3.18 頭城—雙溪山區現生植群圖。

#### 4. 稀有植物的保育評估

經調查分析之結果，台灣胡頹子—芒型、包籜矢竹型、山露兜型、兩耳草型、三斗石櫟—豬腳楠亞群叢、白肉榕—大葉楠亞群叢無稀有木本植物的分布，其它亞群叢皆有稀有植物的分布；其中台灣三角楓位於臭黃荊—豬腳楠亞群叢，胡氏肉桂則在金平氏冬青—豬腳楠亞群叢、毬子櫟—豬腳楠亞群叢及森氏紅淡比—大葉楠亞群叢的植群皆有出現。另外，根據臺灣維管束植物紅皮書初評名錄，尚有四照花、十大功勞、台灣三角楓、黃楊、長葉杜虹花、水團花(梨仔)、土肉桂、竹柏、耿氏虎皮楠、台灣香檬此 10 種面臨瀕危、易危或近危物種，亦散布於此 5 種植群型內(表 3.10)。亦可發現部分稀有植物僅出現於特定的植群型，如四照花出現於長尾尖葉櫟—豬腳楠亞群叢和森氏紅淡比—大葉楠亞群叢，黃楊則出現在毬子櫟—豬腳楠亞群叢和台灣胡頹子—芒型的邊緣，這是一個對粗細濾網保育評估上的重要依據，也是繪製植群進行情境模擬很好的依據。

表 3.10 各植群型與稀有木本種分布之關係。

植群型(粗濾網)	稀有植物(細濾網)
1. 臭黃荊—豬腳楠亞群叢	台灣三角楓
2. 金平氏冬青—豬腳楠亞群叢	耿氏虎皮楠、胡氏肉桂、水團花(梨仔)
3. 長尾尖葉櫟—豬腳楠亞群叢	四照花
4. 三斗石櫟—豬腳楠亞群叢	(無)
5. 毬子櫟—豬腳楠亞群叢	黃楊、土肉桂、胡氏肉桂、十大功勞、八角蓮
6. 白肉榕—大葉楠亞群叢	(無)
7. 森氏紅淡比—大葉楠亞群叢	四照花、竹柏、耿氏虎皮楠、胡氏肉桂
8. 台灣胡頹子—芒型	(無)
9. 包籜矢竹型	(無)
10. 山露兜型	(無)
11. 兩耳草型	(無)

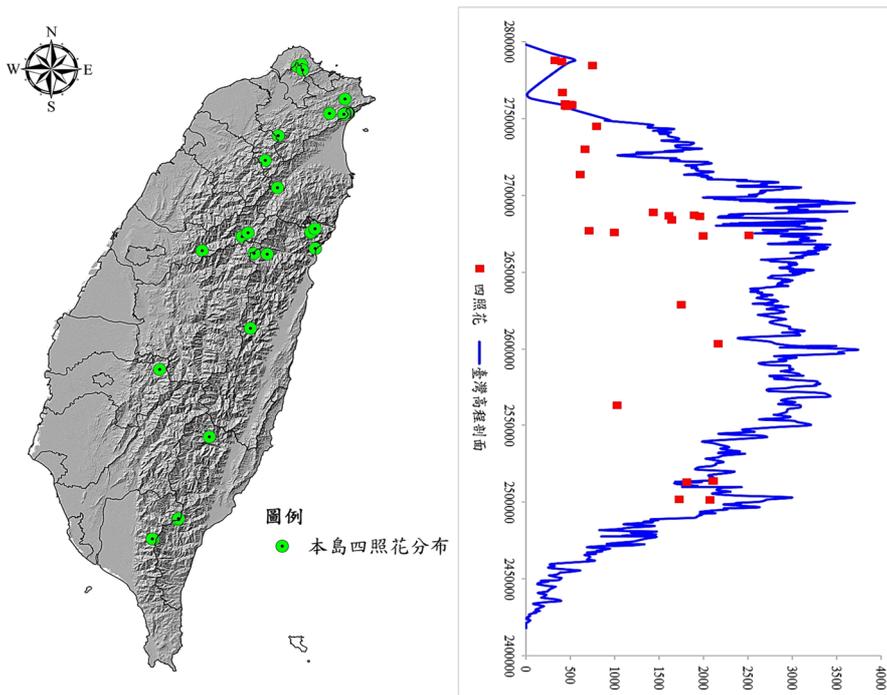
## 5. 適應性經營之研究流程-以四照花和黃楊為例

經過研究調查的結果，雙溪-頭城山區的植群調查及分析結果，其中並無珍稀的植群型需優先進行研究行動，但若考量稀有的物種進行保育，則有分別為竹柏、台灣三角楓、胡氏肉桂、四照花、十大功勞、長葉杜虹花、水團花(梨仔)、土肉桂、耿氏虎皮楠、台灣香檬、檳梧、光葉柃木、老齡的黃楊灌叢等，初步選擇以四照花和老齡的黃楊灌叢為氣候變遷適應性規劃的保育標的物，進行保育研究的流程與行動策略。

### (1) 四照花：

屬於山茱萸科，於臺灣維管束植物紅皮書初評名錄裡屬無適當資料(Data Deficient, DD)等級，在日本部分庭園栽植這種植物供觀賞，目前台灣地區、南韓或中國尚未列入重要的庭園植物之列，但早在 15 年前福山植物園和特生中心已有陸續栽種東北角採得的低海拔族群，近年福山植物園已有開花之記錄，並有許多遊客詢問這種植物的分布及栽植資訊。

由該種的生態分布資料，其在全世界的分布主要位於日本(含琉球)、中國大陸及南韓，台灣是該物種分布的南界，從前人文獻可發現其分布點位少(劉崇瑞，1960)。四照花(*Benthameidia japonica* var. *chinensis*)為山茱萸科四照花屬植物，屬多年生落葉喬木，此屬台灣僅有 1 種，又以大武及清水山區較為常見台灣中部，見之於花蓮清水山、北部文山及南部見晴之闊葉樹混合林內，產量稀少，應屬於廣泛分佈但稀有(呂福原等，2006；劉崇瑞，1960)。本種在中國大陸廣布於長江流域及河南、陝西南部、甘肅南部等地，生於海拔 2,000 m 以下之林中及山谷溪旁，常被作為觀花植物種植(管華財等，2016)。查閱台灣的標本館採集紀錄，四照花之分布區域為北部(鹿角坑溪、魚路古道、大溪產業道路至雙泰產業道路一帶、北插天山)、花蓮縣(千里眼山、和平林道、萬榮林道)、中部(梨山、松茂、畢祿溪一帶)、南部(北大武山、知本主山、霧頭山)(圖 3.19a)。從標本館及野外調查資料發現，生長於北部的四照花族群，相較台灣各地四照花族群分布海拔來的低，平均海拔低於 800 m，形成特殊的殘存現象(圖 3.19b)。從標本館的資料及野外調查資料，均可發現四照花有北降現象(圖 3.20)，也就是有一些族群殘存於東北部地區，出現在宜蘭縣與新北市交界的頭城山區和台北市的陽明山一帶，這兩個地區也是前一階段計畫所分析得出的 14 個殘存點，如果這些殘存點一旦氣候升高或是遇到極端氣候將會使位在這兩地區的族群受到衝擊。



(a) 四照花在台灣地區的分布 (b) 四照花在不同海拔的位置

圖 3.19 四照花在台灣地區的分布及不同海拔的位置(資料來源:中研院生物多樣性中心、林業試驗所標本館、科博館植物標本館與過去資源調查資料)(a) 四照花在台灣地區的分布(b)四照花在不同海拔的位置。

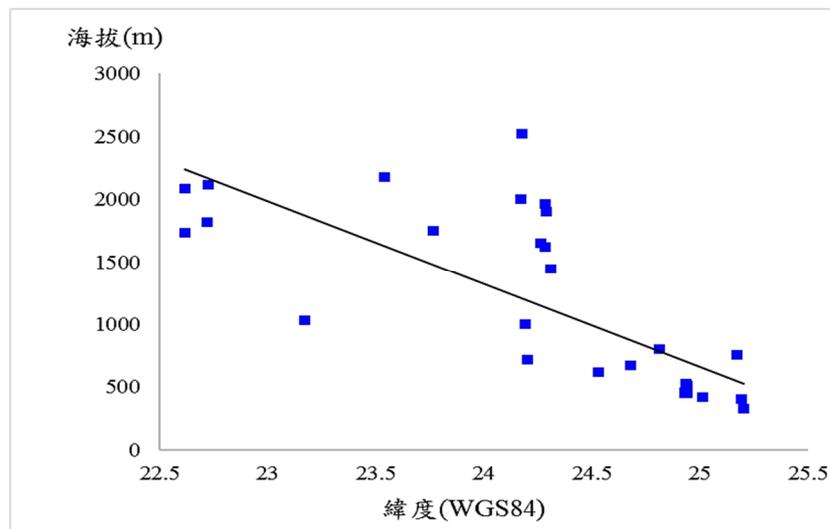


圖 3.20 四照花在台灣地區海拔與緯度之迴歸圖(資料來源:中研院生物多樣性中心、林業試驗所標本館、科博館植物標本館與過去資源調查資料)。

從野外的植群型調查可發現四照花在頭城東北角地區多分布於面海的第一道山稜之後(圖 3.21)，同時並位於流域的中坡或下坡，由樹構型可約略看出各物種對颱風的耐受力，四照花屬於 Fagerlind 型(Halle *et al.*, 1978)，這一型以無限生長的直軸構件為主，枝條節律式生長在樹幹上，枝條構件由有限生長的合軸斜生，花序頂生於枝條構件頂端。推測其並不耐強颱，但生長於東北角地區應是過去殘存的族群，因此未來如果其所生育的植群型向上推移，雖然族群的散殖體可以在海拔上持續上升至稜線，但樹木本身可能無法承受由東邊來的颱風，在強風的吹襲下導致樹幹或枝條折斷，因此未來也會持續針對這一區域，該物種在野外的健康情形加以追蹤與監測。

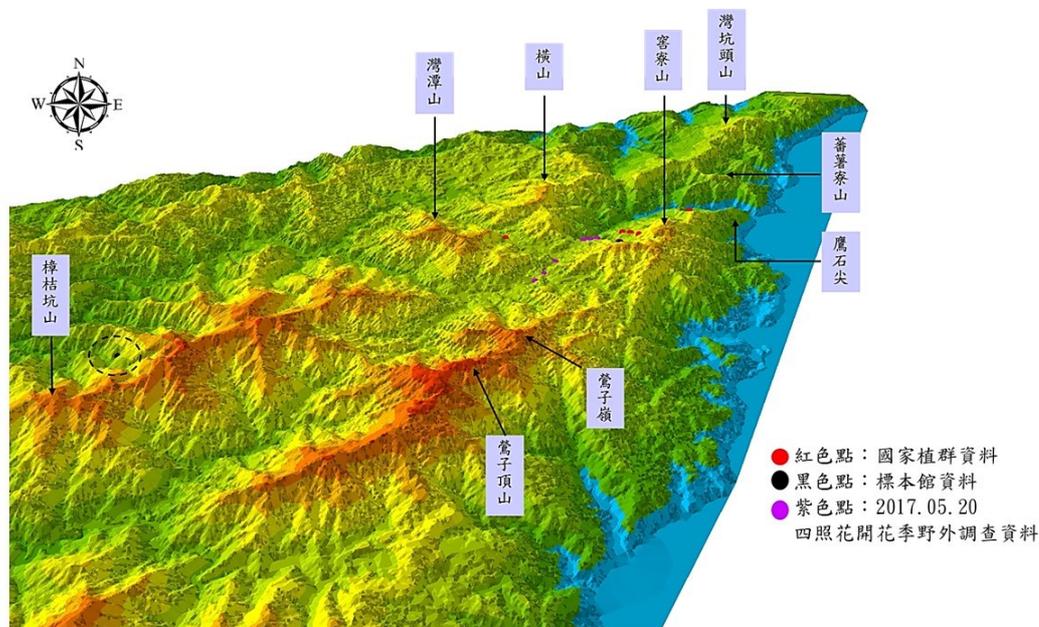
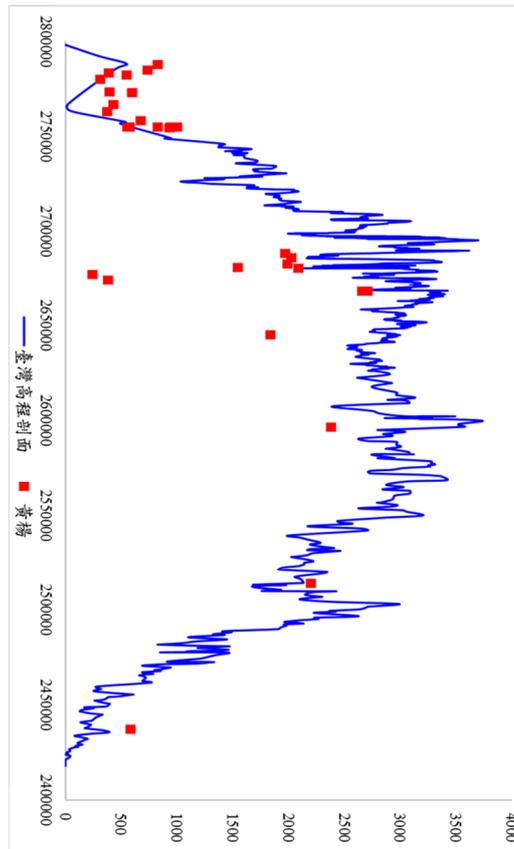
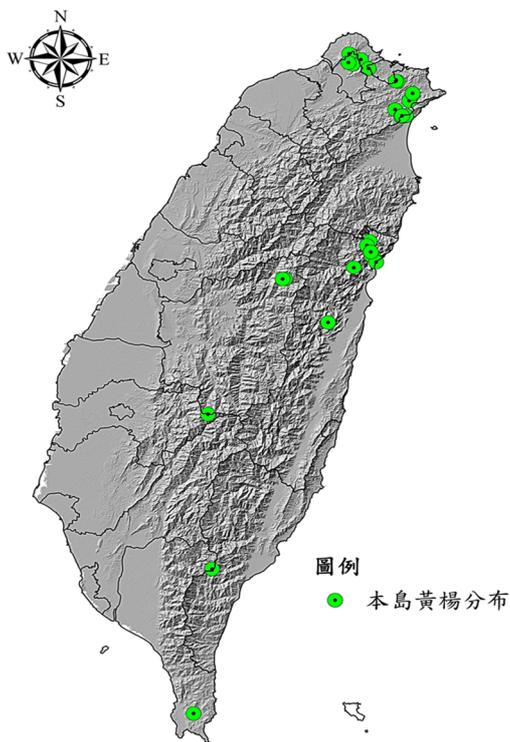


圖 3.21 四照花在東北角的分布。

## (2) 黃楊

黃楊科(Buxaceae)植物主要產於熱帶及亞熱帶，全球有 6 屬約 100 種，其中黃楊屬有 32 種，主要為多枝灌木，分布於舊世界至西印度半島(呂福原等，2006)。目前台灣的黃楊屬植物有 3 種(Huang *et al.*, 2003)，為黃楊(*Buxus microphylla* subsp. *sinica*)、琉球黃楊(*Buxus liukuensis*)及太魯閣黃楊(*Buxus*

*microphylla* subsp. *sinica* var. *tarokoensis*)。本文以黃楊(*Buxus microphylla*)做討論，以全球生物多樣性資料庫(Global Biodiversity Information Facility, GBIF)所顯示之黃楊全球分布，其主要分布於中國及琉球；台灣則產於中、北、東部的森林內，從平地至海拔 2,300 m 之山谷均有，常為散生狀態。黃楊木材細緻，質緻密堅硬，多用為雕刻、製造樂器及其他器具，樹可供觀景，生長極為緩慢(劉崇瑞，1960；呂福原等，2006)。查閱標本館現有採集紀錄，位於北部區域新北市(陽明山、竹子湖、鹿角坑溪、五分山、新山夢湖)、新北市及宜蘭縣交界鶯子嶺，東部區域花蓮縣(錐麓古道、清水山、立霧主山、小清水、秀林木瓜山、和平林道)、台東縣知本主山、中部區域台中惠蓀林場、南部區域(高雄十八羅漢山、墾丁國家公園、屏東縣老佛山)、綠島過山古道、蘭嶼(天池、小天池、奧本嶺)等處(圖 3.22)，於全台零星分布且數量不多；並呈現中間海拔較高，南北兩端下降的趨勢(圖 3.23)；除外島的分布外，在海拔較低的地區如屏東的南仁山及老佛山、北部的陽明山和宜蘭地區許多都是演替早期的風衝林型或石灰岩地區。



(a) 黃楊在台灣地區的分布

(b) 黃楊在不同海拔的位置

圖 3.22 黃楊在台灣地區的分布及不同海拔的位置(資料來源:中研院生物多樣性中心、林業試驗所標本館、科博館植物標本館與過去資源調查資料)(a)黃楊在台灣地區的分布(b)黃楊在不同海拔的位置。

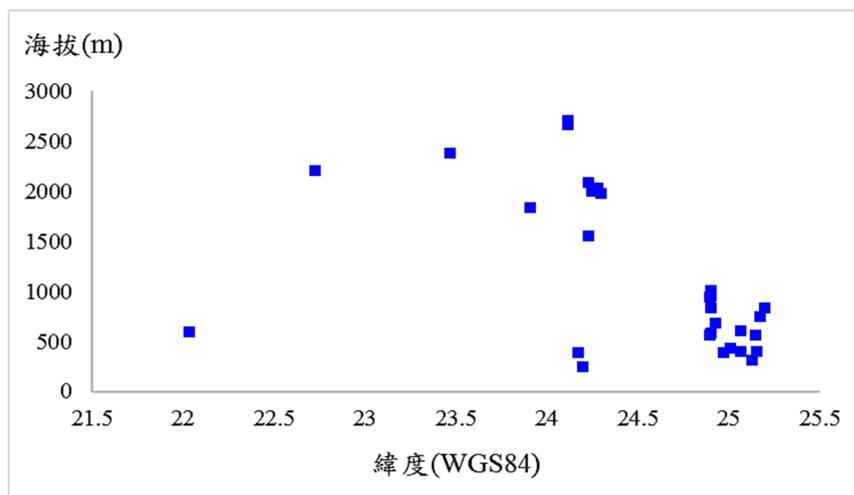


圖 3.23 全台灣的黃楊在緯度與海拔上的分布。

### (3) 四照花和黃楊老齡灌叢保育標的物之適應性經營(ACT)

第一步驟透過適應性經營之研究流程確定保育目標或標的物，經評估後，竹柏、台灣三角楓、胡氏肉桂、十大功勞、長葉杜虹花、水團花(梨仔)、土肉桂、耿氏虎皮楠、台灣香檬、檳梧、光葉柃木等都屬於稀有種，但沒有族群分成兩部分，一部分的族群出現在中海拔，另一部分族群殘存在 800 m 以下的狀況，推測並未有族群在間冰期隨氣候變化向上推移，而另一部份族群殘存在低海拔的現象。但四照花則有一部分的族群向上分布到中海拔，另一部分族群殘存在 600 m 以下的狀況；因其具有園藝栽培之價值，一旦低海拔的基因喪失，會使可供栽培於低海拔的族群不復存在。而黃楊屬於低海拔風衝地區的物種，黃楊老齡植株具有園藝栽植及可供雕刻之用，本區有出現老齡的植株，因此將這二種植物及其出現的植群型列為保育標的物；同時預計於明年進行下一步的情境模擬，以了解未來氣候變遷下對這二種物種的衝擊。因此第一步驟選擇四照花和黃楊其位處的植群，蒐集前人文獻、野外的研究調查與室內的資料整理(圖 3.24)。

第二步驟開始進行如同水青岡做進一步的情境模擬，ACT 的評估流程(Stein *et al.*, 2014)，評估氣候變遷影響在未來氣候情境下的暴露度減少情形，以作為變遷下管理的參考。明年團隊將會針對四照花和黃楊的位置及植群型進行情境模擬，再透過植群型與族群尺度來探討氣候變遷對四照花和黃楊之影響；此外並針對四照花和黃楊族群在區域內的分布做監測，了解受極端氣候影響下的四照花和黃楊族群受衝擊的狀況，以便做更進一步的氣候調適的建議。

第三步驟是確認介入點與經營行動，以持續的進行監測、散殖體的復育此兩種策略為主。監測的策略在生態系尺度以植群調查與植群繪圖可知道四照花在東北角的頭城地區所處的森林內的伴生稀有植物的資源；在族群的尺度以調查可瞭解母樹的位置與健康程度。散殖體的復育有多種方式可以進行，先看種子採種可否育苗，優先以種子的方式培育，或需以無性繁殖的方式來進行人工撫育，如扦插、嫁接或高壓的方法。

第四步驟為優先的行動，針對東北角頭城地區低海拔的四照花族群進行保育方式的持續監測調查、保育行動包括就地保育或遷地保育。就地保育有限制採集、棲地復育等；遷地保育以種子培育等方式，建立植物採種園等。

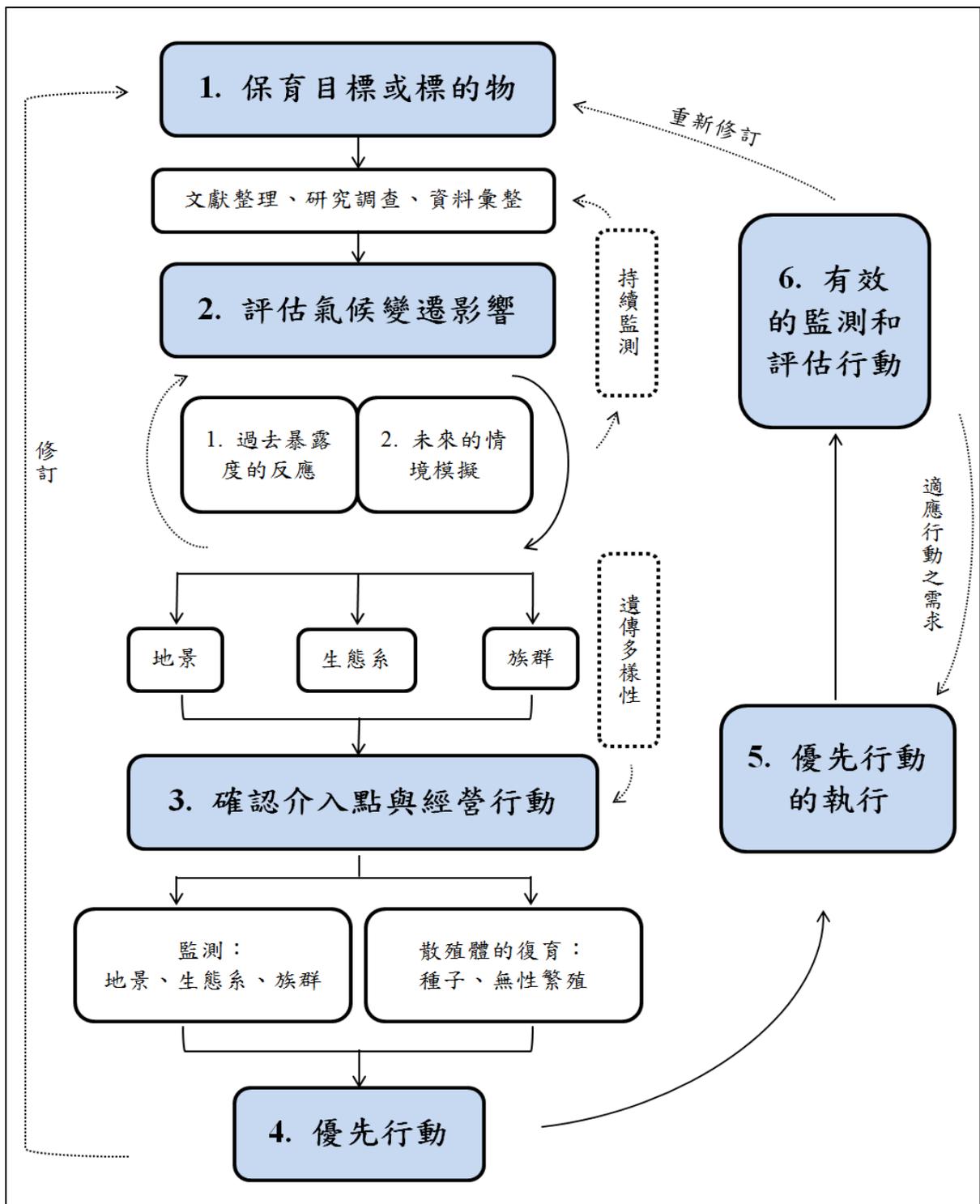


圖 3.24 適應性經營之研究流程-以四照花及黃楊為例。

## 五、結論與建議

- (一) 頭城—雙溪山區調查至今的 103 個樣區和樣區外所記錄的植物，共有植物 128 科 607 種，蕨類植物 25 科 78 屬 140 種，裸子植物 2 科 2 種(含一種外來種)，單子葉植物 17 科 97 種，雙子葉植物 84 科 368 種；特有 93 種，原生 593 種，稀有 38 種，外來 14 種。
- (二) 頭城—雙溪山區依降趨對應分析結果，並參考雙向指標種分析法結果後對森林區分成二個群叢、七個亞群叢、一個芒群團、一個山林投群團、一個低草群團及一個包籜矢竹群團。
- (三) 頭城—雙溪山區稀有植物在樹杞群團中有最多種類，其中包含豔紅鹿子百合等共 36 種稀有植物；其內包含竹柏、台灣三角楓、胡氏肉桂、四照花、十大功勞、長葉杜虹花、水團花(梨仔)、土肉桂、耿氏虎皮楠、台灣香檬、檀梧、光葉柃木等 12 種木本植物。
- (四) 頭城—雙溪山區出現的臺灣特有物種在未來是否也會面臨氣候變遷的威脅，或是有其他保育價值，可以比照 Kingston (2005) 針在皮特凱恩群島之研究，將稀有、特有物種一同納入保育評估之中。
- (五) 頭城—雙溪山區在四堵往鷹嘴山的稜線有發現黃楊老齡灌叢，因離道路較近，會有民眾採取之虞，需注意其族群。
- (六) 在蘭崁山及大白山西北區的台灣水青岡死亡株數最高，同時存在高暴露度與高脆弱度的情況，建議最優先要採取介入點與經營行動的地區。
- (七) 提出台灣水青岡森林及大白山—蘭崁山水青岡森林適應性經營之研究流程並修改為適合保育標的物之架構，並提出適應性經營的架構及操作方式。
- (八) 過去的研究主要在過去 30 年的暴露度與敏弱度的研究，ACT 的評估流程，則強調在未來氣候情境下的暴露度減少情形，明年團隊將會針對蘭崁山及大白山的森林和東北角地區做進一步的情境模擬，做更進一步的氣候調適的建議。
- (九) 今年初步提出頭城雙溪植群的評估、氣候變遷之調適的目標物種的選定，明年會配合不同的氣候模式推估變化趨勢，並做調適性經營架構的研究。

## 六、參考文獻

- 于幼新 (2004) 宜蘭東北區天然植群分析。國立臺灣大學森林學研究所碩士論文。91 頁。
- 王震哲、邱文良、張和明 (2012) 臺灣維管束植物紅皮書初評名錄。行政院農業委員會特有生物研究保育中心。104 頁。
- 田連恕 (1993) 植被製圖。西安地圖出版社。172 頁。
- 江友中 (2017) 台灣水青岡遺傳物質資源調查計畫。行政院農業委員會林務局羅東林區管理處 105-731-01-11。
- 宋永昌 (2001) 植被生態學。上海：華東師範大學出版社。673 頁。
- 宋梧魁、程宗德、李智群、陳子英、鹿兒陽 (2005) 宜蘭縣東北區現生植群圖之繪製。第三屆台灣植群多樣性研討會論文集。173-187 頁。
- 呂福原、歐辰雄、陳運造、祁豫生、呂金城、曾彥學 (2006) 臺灣樹木圖誌第二卷。國家圖書館。500 頁。
- 林世宗、巫智斌 (2011) 台灣水青岡的物候與繁殖更新。84-95 頁。摘自陳子英 (2011) 冰河子遺的夏綠林—台灣水青岡。271 頁。
- 邱宗儀 (2008) 宜蘭縣南澳河流域之植群分類與製圖。國立宜蘭大學森林暨自然資源學系碩士論文。200 頁。
- 邱淑宜 (2010) 台灣本土性海岸脆弱度指標之建立與應用碩士論文。國立臺灣海洋大學河海工程學系研究所碩士論文。215 頁。
- 胡哲明 (2015) 第六章 台灣維管束植物遺傳多樣性探討。26pp. 摘自陳子英等 2015 因應氣候變遷之生物多樣性脆弱度評估與風險管理研究(3/3)。行政院農業委員會林務局保育研究系列 104 農科-13.7.5-務-e3(Z)。275 頁。
- 胡哲明、孔祥璿 (2011) 台灣水青岡的遺傳變異。150-163 頁。摘自陳子英 (2011) 冰河子遺的夏綠林—台灣水青岡。271 頁。
- 俞秋豐 (2003) 臺灣東北氣候區植群分類系統之研究。國立臺灣大學森林學研究

- 所博士論文。362 頁。
- 陳子英、俞秋豐、宋梧魁、程宗德 (2002) 宜蘭東北區之山地植群多變數分析。國立臺灣大學農學院實驗林研究報告 16(3):201-214。
- 陳子英、于幼新、王立志、宋梧魁 (2004) 區域調查個案分析-以宜蘭縣東北角地區為例。行政院農委會第二屆台灣植群多樣性研討會論文集。55-86 頁。
- 陳子英、胡哲明、趙偉村、宋國彰、趙國容、謝長富、徐堉峰 (2015) 因應氣候變遷之生物多樣性脆弱度評估與風險管理研究(3/3)。行政院農業委員會林務局科技計畫 104 農科-13.7.5-務-e3(Z)。275 頁。
- 陳子英、許驊、郭嘉宜 (2015) 氣候變遷對台灣水青岡森林之衝擊評估。2015 氣候變遷對生物多樣性的衝擊研討會論文集。
- 陳子英、謝長富、趙偉村、徐堉峰 (2016) 因應氣候變遷之生物多樣性回復力之研究(1/3)。行政院農業委員會林務局科技計畫 105 農科-12.7.4-務-e2。289 頁。
- 陳俊銘 (2003) 臺灣東北部北勢溪上游之植群分析。國立臺灣大學森林學研究所碩士論文。95 頁。
- 楊正釗 (2011) 台灣水青岡種實的發芽—儲藏與育苗。96-111 頁。摘自陳子英等 (2011) 冰河子遺的夏綠林—台灣水青岡。271 頁。
- 趙偉村、廖宇庚 (2016) 因應氣候變遷生物多樣性回復力之研究-以南仁山及檜櫟森林為例。
- 劉崇瑞 (1960-1962) 臺灣木本植物圖誌 (卷上、卷下)。國立臺灣大學農學院。1388 頁。
- 劉崇瑞、蘇鴻傑 (1983) 森林植物生態學。臺灣商務印書館。
- 歐辰雄、呂金誠、邱清安、王志強、張美瓊、曾喜育 (1996) 插天山自然保留區植被調查研究(II)。臺灣省農林廳林務局保育研究系列 85-08 號。143 頁。
- 歐辰雄、呂金誠等 (2000) 插天山自然保留區臺灣山毛櫸天然更新與繁殖之可行性研究(二)。農委會林務局保育研究系列 89-5 號。151 頁。

- 鍾振德、葉翠華、李玉珍、簡慶德 (2017) 台灣水青岡無性繁殖。森林資源保存與利用研討會論文集。9-12 頁。
- 蘇鴻傑 (1985) 臺灣天然林氣候與植群型之研究(III)地理氣候區之劃分。中華林學季刊 18(3):33-44。
- 蘇鴻傑 (1987) 植群生態多變數分析法之研究Ⅲ：降趨對應分析及相關分布序列法。中華林學季刊 20(3):45-68。
- 蘇鴻傑 (1992) 臺灣之植群：山地植群帶與地理氣候區。臺灣生物資源調查及資訊管理。39-53 頁。
- Anderson, M.G. and C.E. Ferree (2010) Conserving the Stage: Climate Change and the Geophysical Underpinnings of Species Diversity. PLoS ONE 5(7):e11554. doi: 10.1371/journal.pone.0011554
- Ashcroft, M.B. (2010) Identifying refugia for climate change. Journal of Biogeography 37(8):1407-1413.
- California Department of Parks and Recreation (2002) Vegetation Mapping. A Primer for The California State Park System. California Department of Parks and Recreation. California, USA. 54pp.
- Campbell, A. (2008) Managing Australian landscapes in a changing climate: a climate change primer for regional natural resource management bodies. Report to the Department of Climate Change, Canberra. 60pp.
- Chen, I.C., H.J. Shiu, S. Benedick, J.D. Holloway, V.K. Chey, H.S. Barlow, J.K. Hill and C.D. Thomas (2009) Elevation increases in moth assemblages over 42 years on a tropical mountain. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. Vol. 106(5):1479-1483.
- Chen, I.C., J.K. Hill, R. Ohlemüller, D.B. Roy and C.D. Thomas (2011) Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. Science. Vol. 333:1024-1026.
- Chung, M.Y., J. López-Pujol and M.G. Chung (2017) The role of the Baekdudaegan (Korean Peninsula) as a major glacial refugium for plant species: A priority for

- conservation. *Biological Conservation* (206):236-248.
- Chung, M.Y., J. López-Pujol, Y.M. Lee, S.H. Oh and M.G. Chung (2015) Clonal and genetic structure of *Iris odaesanensis* and *Iris rossii* (Iridaceae): insights of the Baekdudaegan Mountains as a glacial refugium for boreal and temperate plants. *Plant Systematics and Evolution* 301(5):1397-1409.
- Cross, M.S., E.S. Zavaleta, D. Bachelet, M.L. Brooks, C.A.F. Enquist, E. Fleishman, L.J. Graumlich, C.R. Groves, L. Hannah, L. Hansen, G. Hayward, M. Koopman, J.J. Lawler, J. Malcolm, J. Nordgren, B. Petersen, E.L. Rowland, D. Scott, S.L. Shafer, R.M. Shaw and G.M. Tabor (2012) The Adaptation for Conservation Targets (ACT) framework: a tool for incorporating climate change into natural resource management. *Environmental Management* 50(3):341-351.
- Dawson, T.P., S.T. Jackson, J.I. Prentice and G.M. Mace (2011) Beyond predictions: Biodiversity conservation in a changing climate. *Science* 332(6025):53-58.
- Foden, W.B., S.H.M. Butchart, S.N. Stuart, J.C. Vié, H.R. Akçakaya, A. Angulo, L.M. DeVantier, A. Gutsche, E. Turak, L. Cao, S.D. Donner, V. Katariya, R. Bernard, R.A. Holland, A.F. Hughes, S.E. O'Hanlon, S.T. Garnett, C.H. Sekercioglu and G.M. Mace (2013) Identifying the World's Most Climate Change Vulnerable Species: A Systematic Trait-Based Assessment of all Birds, Amphibians and Corals. *PLoS ONE* 8(6):e65427. doi: 10.1371/journal.pone.0065427
- Forister M.L., A.C. McCall, N.J. Sanders, J.A. Fordyce, J.H. Thorne, J. O'Brien, D.P. Waetjen, A.M. Shapiro and M.R. Berenbaum (2010) Compounded effects of climate change and habitat alteration shift patterns of butterfly diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107(5):2088-2092.
- Grytnes, J.A., J. Kapfer, G. Jurasinski, H.H. Birks, H. Henriksen, K. Klanderud, A. Odland, M. Ohlson, S. Wipf and H.J.B. Birks (2014) Identifying the driving factors behind observed elevational range shifts on European mountains. *Global Ecology and Biogeography* 23(8):876-884.

- Guerrant E.O., K. Havens and P. Vitt (2013) Sampling for effective ex situ plant conservation. *International Journal of Plant Sciences* 175(1):11-20. doi: 10.1086/674131.
- Hannah, L., G.F. Midgley, T. Lovejoy, W.J. Bond, M.L. Bush, J.C., D. Scott, and F.I. Woodward (2002) Conservation of biodiversity in a changing climate. *Conservation Biology* 16:11–15.
- Hannah, L., G.F. Midgley, G. Hughes, and B. Bomhard (2005) The View from the Cape: Extinction risk, protected areas and climate change. *BioScience* 55:231–242.
- Hannah, L., G. Midgley, S. Andelman, M. Araujo, G. Hughes, E. MartinezMeyer, R. Pearson, and P. Williams (2007) Protected area needs in a changing climate. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5:131–138.
- Hannah, L., et al. (2008) Climate change adaptation for conservation in Madagascar. *Biology Letters* 4:1–5.
- Hannah, L., L. Flint, A.D. Syphard, M.A. Moritz, L.B. Buckley and I. M. McCullough (2014) Fine-grain modeling of species' response to climate change: holdouts, stepping-stones, and microrefugia. *Trends in Ecology and Evolution* 29(7):390-397.
- Hannah, L. 2ed. (2015) *climate change biology*. Elsevier. AP.
- Halle, F., R.A.A. Oldernan.and. P.B. Tomlinson (1978) *Tropical Trees and Forests*, Springer-Verlag.
- Hoffmann, A., P. Griffin, S. Dillon, R. Catullo, R. Rane, M. Byrne, R. Jordan, J. Oakeshott, A. Weeks, L. Joseph, P. Lockhart, J. Borevitz and C. Sgro (2015) A framework for incorporating evolutionary genomics into biodiversity conservation and management. *Climate Change Responses*. Vol. 2(1):1-24.
- Huang, T.C., D.E. Boufford, H. Ohashi, C.F. Hsieh, C.S. Kuoh, C.I. Peng, J.L. Tsai and K.C. Yang (2003) *Flora of Taiwan* Vol. VI. 2nd ed., Botany Dept. NTU. Taipei, Taiwan. 343pp.

- IPCC. (2007) *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp.
- IPCC. (2007) *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R.K and A.Reisinger (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 104 pp.
- Joyce, L.A., S.W. Running, D.D. Breshears, V.H. Dale, R.W. Malmshemer, R.N. Sampson, B. Sohngen and C.W. Wood-all (2014) Ch. 7: Forests. *Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment*, Melillo J.M., Terese (T.C.) Richmond, and G. W. Yohe (Eds.), U.S. Global Change Research Program. pp. 175-194. doi:10.7930/J0Z60KZC.
- Keppel, G. and G.W. Wardell-Johnson (2015) Refugial capacity defines holdouts, microrefugia and stepping-stones: a response to Hannah et al. *Trends in Ecology and Evolution* 30(5):233-234.
- Keppel, G., K. Mokany, G.W. Wardell-Johnson, B.L. Phillips, J.A. Welbergen, and A.E. Reside (2015) The capacity of refugia for conservation planning under climate change. *Frontiers in Ecology and the Environment* 13(2):106-112.
- Keppel, G., K.P. Van Niel, G. W. Wardell-Johnson, C.J. Yates, M. Byrne, L. Mucina, A.G.T. Schut, S.D. Hopper, and S.E. Franklin (2012) Refugia: identifying and understanding safe havens for biodiversity under climate change. *Global Ecology and Biogeography* 21(4):393-404.
- Kimura, M.K., K. Uchiyama, K. Nakao, Y. Moriguchi, L.S. Jose-Maldia and Y. Tsumura (2014) Evidence for cryptic northern refugia in the last glacial period in *Cryptomeria japonica*. *Annals of botany* 114(8):1687-1700.
- Kingston, N. and S. Waldren (2005) A conservation appraisal of the rare and endemic vascular plants of Pitcairn Island. *Biodiversity and Conservation*. Vol. 14(4):781-800.

- Larkin, D.J., S.K. Jacobi, A.L. Hipp and A.T. Kramer (2016) Keeping all the PIECES: Phylogenetically informed ex situ conservation of endangered species. *PLoS ONE* 11(6): e0156973. doi:10.1371/journal.pone.0156973
- Lenoir, J., J.C. Gégout, P.A. Marquet, P.D. Ruffray and H. Brisse (2008) A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. *Science*. Vol. 320(5884):1768-1771.
- Loo, J, M. Ramirez, M. Krasowski (2005) American Beech Vegetative Propagation and Genetic Diversity. In: Evans, Celia A., Lucas, Jennifer A. and Twery, Mark J., eds. *Beech Bark Disease: Proceedings of the Beech Bark Disease Symposium; 2004 June 16-18; Saranak Lake, NY. Gen. Tech. Rep. NE-331. Newtown Square, PA: US. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station: 106-112.*
- Mitchell, R.J., M.D. Morecroft, M. Acreman, H.Q.P. Crick, M. Frost, M. Harley, I.M.D. Maclean, O. Mountford, J. Piper, H. Pontier, M.M. Rehfisch, L.C. Ross, R.J. Smithers, A. Stott, C.A. Walmsley, O. Watts and E. Wilson (2007) *England biodiversity strategy -towards adaptation to climate change. Final Report to the Department for Environment, Food, and Rural Affairs. 194pp.*
- Molloy, S.W., R.A. Davis and E.J.B. Van Etten (2016) An evaluation and comparison of spatial modeling applications for the management of biodiversity: a case study on the fragmented landscapes of south-western Australia. *Pacific Conservation Biology* 22(4):338-349.
- Oldfield, S. and A.C. Newton (2012) *Integrated conservation of tree species by botanic gardens: a reference manual. Botanic Gardens Conservation International, Richmond, United Kingdom* Published by Botanic Gardens Conservation International Descanso House, 199 Kew Road, Richmond, Surrey, United Kingdom.
- Olson, D., DellaSala, D.A., Noss, R.F., Strittholt, J.R., Kass, J., Koopman, M.E. and T.F. Allnutt (2012) Climate change refugia for biodiversity in the Klamath-Siskiyou ecoregion. *Natural Areas Journal* 32(1):65-74.
- Pauli, H., M. Gottfried, S. Dullinger, O. Abdaladze, M. Akhalkatsi, J. L. Benito

- Alonso, G. Coldea, J. Dick, B. Erschbamer, R. Fernández Calzado, D. Ghosn, J. I. Holten, R. Kanka, G. Kazakis, J. Kollár, P. Larsson, P. Moiseev, D. Moiseev, U. Molau, J. Molero Mesa, L. Nagy, G. Pelino, M. Puşcaş, G. Rossi, A. Stanisci, A. O. Syverhuset, J. P. Theurillat, M. Tomaselli, P. Unterluggauer, L. Villar, P. Vittoz and G. Grabherr (2012) Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits. *Science* 336(6079):353-355.
- Rull, V. (2009) Microrefugia. *Journal of Biogeography* 36(3):481-484.
- Rull, V. (2010) On microrefugia and cryptic refugia. *Journal of Biogeography* 37(8):1623-1625.
- Shimokawabe A., Y. Yamaura, T. Akasaka, T. Sato, Y. Shida, S. Yamanaka, F. Nakamura (2015) The distribution of cool spots as microrefugia in a mountainous area. *PLoS ONE* 10: e0135732.
- Shoo, L.P., A.A. Hoffmann, S. Garnett, R.L. Pressey, Y.M. Williams, M. Taylor, L. Falconi, C.J. Yates, J.K. Scott, D. Alagador and S.E. Williams (2013) Making decisions to conserve species under climate change. *Climatic Change* 119(2): 239-246.
- Skov, F. and J.C. Svenning (2004) Potential impact of climatic change on the distribution of forest herbs in Europe. *Ecography*. 27(3):366-380.
- Soltis, D.E., A.B. Morris, J.S. McLachlan, P.S. Manos and P.S. Soltis. (2006) Comparative phylogeography of unglaciated eastern North America. *Molecular Ecology* 15: 4261-4293.
- Stein, B.A., A. Staudt, M.S. Cross, N.S. Dubois, C. Enquist, R. Griffis, L.J. Hansen, J.J. Hellmann, J.J. Lawler, E.J. Nelson and A. Pairis (2013) Preparing for and managing change: climate adaptation for biodiversity and ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11(9):502-510.
- Stewart, J.R., A.M. Lister, I. Barnes and L. Dalén (2010) Refugia revisited: individualistic responses of species in space and time. *Proc. R. Soc. B: Biol. Sci.* 277(1682):661-671.

- The Nature Conservancy (1994) USGS/NPS Vegetation Mapping Program: Finaldraft, standardized national vegetation classification system. The Nature Conservancy. Virginia, USA. 89pp.
- Thomas, E., R. Jalonen, J. Loo, D. Boshier, L. Gallo, S. Cavers, S. Bordács, P. Smith and M. Bozzano (2014) Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. *Forest Ecology and Management* 333:66-75.
- Tingley, M.W., E.S. Darling and D.S. Wilcove (2014) Fine- and coarse-filter conservation strategies in a time of climate change. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1322(1):92-109.
- Tzedakis, P.C., B.C. Emerson and G.M. Hewitt (2013) Cryptic or mystic ? Glacial tree refugia in northern Europe. *Trends in ecology and evolution* 28(12):696-704.
- US-GAO (2007) Climate change: agencies should develop guidance for addressing the effects on federal land and water resources. U.S. General Accounting Office. GAO-07-863. 184pp.
- Vittoz P., D. Cherix, Y. Gonseth, V. Lubini, R. Maggini, N. Zbinden and S. Zumbach (2013) Climate change impacts on biodiversity in Switzerland: a review. *Journal for Nature Conservation* 21(3):154-162.
- Watanabe, J., H. Ozawa, N. Miyamoto, T. Suda, T. Hiruta, I. Imai, M. Takahashi (2009) Cutting propagation of aged *Fagus crenata* trees. *Journal of the Japanese Forest Society* 91(5) : 344-347.( in Japan with English summary)
- Ying L.X, T.T.Zhang, C.A. Chiu, Chen TY, S.J. Luo, X.Y. Chen, Z.H. Shen (2016) The phylogeography of *Fagus hayatae* (Fagaceae): Genetic isolation among populations. *Ecology and Evolution* 6: 2805–2816.

## 附錄 3-1、本（106）年度目標

### （一）期中評核標準

1. 完成雙溪-頭城山區的殘存地點之土地利用變遷資料及多期航遙測影像資料收集，以及殘存地點週邊之植群及土地利用圖資數化作業。
2. 針對氣候變遷高風險之殘存地點，進行雙溪-頭城山區植群調查並將資料整理呈現於期中報告。
3. 初步提出氣候變遷保育標的物之適應性架構及流程。

### （二）研究團隊執行情形：

1. 已完成雙溪-頭城山區長期氣候變遷殘存地點資料的整理並彙整後進行分析，初步提出生態系及物種的保育急迫性與優先次序。
2. 已初步進行雙溪-頭城山區的樣區設置與調查，並彙整國家植群資料庫的樣區資料，目前合計有 126 個樣區中，共記錄植物 126 科 346 屬 618 種，並將植群分型後繼續進行植群圖的繪製。
3. 將大白山至大南澳嶺地區適應性經營之研究流程修改為適合保育標的物之架構，未來會持續的修正以完成大白山至大南澳嶺地區適應性經營之規劃。

### （三）期末評核標準

1. 彙整雙溪-頭城山區長期氣候變遷殘存地點資料，依植物相特殊性、物種稀有性及專有性、週邊環境潛在威脅等因子，瞭解各殘存地點生態系及物種之保育急迫性，並提出優先次序。
2. 針對氣候變遷高風險之殘存地點，完成雙溪-頭城山區植群調查並繪製現生植群圖。
3. 提出修正後的大白山至大南澳嶺地區整體氣候變遷下生物多樣性之適應性經營的架構與操作流程。

### （四）研究團隊執行情形：

1. 完成雙溪—頭城山區長期氣候變遷殘點的植物相、稀有性等因子，並找出四照花、黃楊老齡灌叢二種在本區有保育的急迫性具優先應關切的物種。
2. 使用新的雙溪—頭城山區範圍圖，完成植群調查共計有 103 個樣區，主要可分成 5 個群團，6 個群叢及 7 個亞群叢：1.樹杞群團；下含(1)大葉楠群叢和(2)豬腳楠群叢；2. 芒群團；3. 包籐矢竹群團；4. 山露兜群團；5. 地毯草群團，並進行該區域的植群繪圖；根據臺灣維管束植物紅皮書初評名錄，尚有 38 種稀有植物，並繪製現生植群圖。
3. 提出修正後的大白山至大南澳嶺地區的植群圖及台灣地區整體水青岡森林和在氣候變遷下生物多樣性之適應性經營架構與操作方式。

## 附錄 3-2、期末暨成果效益報告



本計畫執行機關識別碼：110701e102

### 行政院農業委員會林務局補助研究期末暨成果效益 報告

計畫主管機關 行政院農業委員會林務局

計畫執行機關 國立宜蘭大學

計畫名稱 因應氣候變遷生物多樣性回復力之研究-以大  
白山至大南澳嶺與雙溪、頭城山區為例 (第2年  
/全程3年)

審議編號 1062101011009-110701e1

農委會  
計畫編號 106農科-11.7.1-務-e1(2)



# 106年度行政院農業委員會林務局科技計畫期末暨成果效益報告

## 因應氣候變遷生物多樣性回復力之研究-以大白山至大南澳嶺與雙溪、頭城山區為例

### 一、基本資訊

計畫名稱：因應氣候變遷生物多樣性回復力之研究-以大白山至大南澳嶺與雙溪、頭城山區為例	
計畫編號：106農科-11.7.1-務-e1(2)	
主管機關：行政院農業委員會林務局	執行機關：國立宜蘭大學
計畫主持人：陳子英	電話：(03)9357400-7675
期程： 全 程：自 105年1月1日 至 107年12月31日 本年度：自 106年1月1日 至 106年12月31日	
經費：全程：2,490 仟元；本年度：830 仟元	
報告頁數：53；使用語言：中文 全文處理方式：二年後可對外提供參考	

### 二、執行成果中文摘要

近年來全球氣候變遷造成溫度增加與降雨型態改變，極端氣象事件時有所聞，再再地衝擊著脆弱的生態系統。許多資料顯示，暖化影響物種分布模式，生物出現向高海拔、兩極遷徙的趨勢；因此，物種避難所(refugia)的重要性在氣候變遷上，也漸漸被許多文獻提及。依據農委會林務局104年度計畫分析結果顯示，目前臺灣有14處可能的長期氣候變遷下之殘存地點；其中，大白山至大南澳嶺地區和頭城至雙溪部分山區兩個地區即包含在此。研究期望選取稀有植群型或稀有植物，作為氣候變遷的保育評估。

宜蘭縣的大白山至大南澳嶺地區105年已初步完成植群與稀有物種再調查，然為因應未來情境所需的現生植群圖尚未完備，因此於本年完成植群圖的繪製，提進一步的潛在氣候變化情境模擬之用，同時依照ACT的流程對台灣水青岡目前所遇到的問題，建構管理行動之優先順序並初步提出策略。

蒐集及調查頭城-雙溪山區的植群資料，共計103個樣區，主要可分成5個群團，6個群叢及7個亞群叢：1. 樹杞群團；下含(1)大葉楠群叢和(2)豬腳楠群叢；2. 芒群團；3. 包籐矢竹群團；4. 山露兜群團；5. 地毯草群團，並進行該區域的植群繪圖；根據臺灣維管束植物紅皮書初評名錄，尚有38種稀有植物，其中包含竹柏、台灣三角楓、胡氏肉桂、四照花、十大功勞、長葉杜虹花、水團花(梨仔)、土肉桂、耿氏虎皮楠、台灣香檬、棺梧、光葉柃木等12種木本植物面臨瀕危、易危或近危物種，亦散布於此7種亞群叢內；同時也初步提出四照花及黃楊老齡灌叢的保育策略。





### 三、執行成果英文摘要

In recent years, global climate change has resulted in increased temperatures and changes in rainfall patterns, as well as the occasional extreme weather events that once again impact fragile ecosystems. Many sources indicate that warming affects species distribution patterns and the tendency for organisms to migrate to high elevations and poles; hence, the importance of species refugia in climate change has also been gradually documented in many papers. According to the results of the 104-year plan of the Forestry Bureau, there are currently 14 possible sites under long-term climate change in Taiwan. Among them, the areas from Dabaishan to Dainaoling area and Toucheng to Shuangxi that was included here. The study looked forward to selecting rare species or vegetation types as a conservation assessment of climate change.

In 105 years we have been preliminary completed surveys of the vegetation types and rare species of the Dabaishan to Dainaoling area in Yilan County. However, since the existing vegetation map for the future situation is not yet completed, In the meantime, according to the ACT process, the current problems encountered by beech in Taiwan that proposed the priority of management action and strategy initially.

A total of 103 sample plots were collected and surveyed in the Toucheng- Shuangxi area. They can be divided into 5 alliance, 6 associations and 7 sub- associations: include 1. *Ardisia sieboldii* ALL. there are (1) *Machilus japonica* var. *kusanoi* Ass. and (2) *Machilus thunbergii* Ass.; 2. *Miscanthus sinensis* ALL.; 3. *Arundinaria usawai* ALL.; 4. *Freycinetia formosana* ALL.; 5. *Paspalum conjugatum* ALL., and vegetation mapping in the region. According to the preliminary assessment of Taiwan's Vascular Red List, there are 38 species of rare plants, including *Nageia nagi*, *Acer buergerianum* var. *formosanum*, *Cinnamomum macrostemon*, *Benthamidia japonica* var. *chinensis*, *Mahonia japonica*, *Callicarpa formosana* var. *longifolia*, *Sinoadina racemosa*, *Cinnamomum osmophloeum*, *Daphniphyllum glaucescens* var. *kengii*, *Citrus depressa*, *Elaeagnus oldhamii* and *Eurya nitida* of 12 woody plants are endangered, vulnerable or near-endanger species, also scattered in this seven types of sub-associations; At the same time, the strategies of conservation of *Benthamidia japonica* var. *chinensis* and *Buxus microphylla* were also proposed.





#### 四、中英文關鍵詞

適應性經營；Adaptive management；氣候變遷；Climate change；脆弱度；Vulnerability；台灣水青岡；Fagushayatae；風險管理；Riskmanagement

#### 五、計畫目標

- (1) 針對雙溪-頭城山區長期氣候變遷殘存地點資料，依植物相特性、物種稀有性及特有性、週邊環境潛在威脅等因子，瞭解各殘存地點生態系及物種之保育急迫性，並提出優先次序。
- (2) 針對氣候變遷高風險之殘存地點，完成雙溪-頭城山區植群調查並繪製現生植群圖。
- (3) 提出修正後的大白山至大南澳嶺地區整體氣候變遷下生物多樣性之適應性經營的架構與操作流程。

#### 六、主要內容

##### 重要工作項目1：

針對雙溪—頭城地區氣候變遷殘點的植物相作調查並以稀有性等因子作分析，並比對稀有植物清單及面臨瀕危、易危或近危物種，並找出而四照花及黃楊老齡灌叢在本區有保育的急迫性具優先應關切的物種。

##### 重要工作項目2：

規劃監測調查機制，針對先前的研究擇定頭城、雙溪區域設立樣區。樣區以400 m<sup>2</sup>分散樣區方式進行，使用新的雙溪—頭城山區範圍圖，完成植群調查共計有103個樣區，主要可分成5個群團，6個群叢及7個亞群叢，並進行該區域的植群繪圖；根據臺灣維管束植物紅皮書初評名錄，尚有38種稀有植物，並繪製現生植群圖。

##### 重要工作項目3：

依據生態系及物種之保育急迫性，提出可能的保育對策及具體作法對規模較大的殘存地點可朝就地保育進行管理，提出修正後的大白山至大南澳嶺地區的植群圖及台灣地區整體水青岡森林和在氣候變遷下生物多樣性之適應性經營架構與操作方式。

#### 七、計畫執行情形

##### (一) 進度比較

	預定進度%	實際進度%	比較%
當年	100.00	100.00	0.00
全程	66.67	66.67	0.00

##### (二) 資源使用情形

###### 1. 經費支用

	預定經費(仟元)	實際經費(仟元)	支用率%
--	----------	----------	------



1060809\_106/12/15  
2017030608471816918



當年	830	830	100.00
全程	1,830	1,830	100.00

## 2. 經費明細

單位：千元

	106年度				107年度 預算數	108年度 申請數	備註	
	預算數 (a)	初編決算數						執行率(%) (d/a)
		實支數 (b)	保留數 (c)	合計 (d=b+c)				
總計	830.00	830.00	0.00	830.00	100			
一、經常門小計	830.00	830.00	0.00	830.00	100			
(1)人事費	551.00	551.00	0.00	551.00	100			
(2)材料費	5.00	5.00	0.00	5.00	100			
(3)其他經常支出	274.00	274.00	0.00	274.00	100			
二、資本門小計	0.00	0.00	0.00	0.00	0			
(1)土地建築	0.00	0.00	0.00	0.00	0			
(2)儀器設備	0.00	0.00	0.00	0.00	0			
(3)其他資本支出	0.00	0.00	0.00	0.00	0			

與原計畫規劃差異說明：  
符合

## 3. 人力

姓名	計畫職級	投入人月數及 工作重點	學、經歷及專長	
			學歷	專長
陳子英	研究員級	(4.0) 計畫主持人	學歷	博士
			經歷	國立宜蘭大學森林暨自然資源學系教授
			專長	林業類
許秀英	助理研究員級	(2.0) 協助分析	學歷	碩士
			經歷	國立宜蘭大學森林暨自然資源學系講師
			專長	林業類
張佳玉	研究助理級	(3.0) 計畫執行及資料彙整	學歷	專科
			經歷	專任助理
			專長	林業類
洪宗泰	研究助理級	(2.0) 計畫調查及分析	學歷	碩士
			經歷	研究助理
			專長	林業類



1060809\_106/12/15  
2017030608471816918



廖庭毅	研究助理級	(2.0) 計畫調查	學歷	碩士
			經歷	研究助理
			專長	林業類
黎光泰	研究助理級	(3.0) 計畫調查	學歷	碩士班研究生
			經歷	學生
			專長	林業類
吳盟慧	研究助理級	(2.0) 計畫調查	學歷	碩士班研究生
			經歷	學生
			專長	自然生態保育
劉芳萍	研究助理級	(2.0) 計畫調查	學歷	碩士班研究生
			經歷	學生
			專長	林業類
劉懿慧	研究助理級	(2.0) 計畫調查	學歷	碩士班研究生
			經歷	學生
			專長	林業類
江志安	技術人員	(2.0) 計畫調查	學歷	其他
			經歷	學生
			專長	林業類
莫于凌	技術人員	(2.0) 計畫調查	學歷	其他
			經歷	學生
			專長	林業類
李宗育	技術人員	(2.0) 計畫調查	學歷	其他
			經歷	學生
			專長	林業類
蔡孟松	技術人員	(2.0) 計畫調查	學歷	其他
			經歷	學生
			專長	林業類

與原計畫規劃差異說明：  
符合

(三) 期末評核標準達成情形：

序號	期末評核標準	是否已達成	辦理情形
1	彙整雙溪、頭城山區長期氣候變遷殘存地點資料，依植物相特殊性、物種稀有性及專有性、週邊環境潛在威脅等因子，瞭解各殘存地點生態系及物種之保育急迫性，並提出優先次序。	是	完成雙溪—頭城山區長期氣候變遷殘存的植物相、稀有性等因子，並找出四照花、黃楊老齡灌叢二種在本區有保育的急迫性具優先應關切的物種。
2	針對氣候變遷高風險之殘存地點，完成雙溪、頭城山區植群調查並繪製現生植群圖。	是	使用新的雙溪—頭城山區範圍圖，完成植群調查共計有103個樣區，主要可分成5個群團，6個群叢及7個亞群叢：1. 樹杞群團；下含(1)大葉楠群叢和(2)豬腳楠群叢；2. 芒群團；3. 包攆矢竹群團；4. 山露兜群團；5. 地毯草群團，並進行該區域的植群繪圖；根據臺灣維管束植物紅皮書初評名錄，尚有38種稀有植物，並繪製現生植群圖。



1060809\_106/12/15  
2017030608471816918



3	提出修正後的大白山至大南澳嶺整體氣候變遷下生物多樣性之適應性經營的架構與操作流程。	是	提出修正後的大白山至大南澳嶺地區的植群圖及台灣地區整體水青岡森林和在氣候變遷下生物多樣性之適應性經營架構與操作方式。
---	---	---	--

## 八、計畫已獲得之主要成就與量化成果(output)

【表一】初級產出、效益及重大突破

績效指標構面：試驗研究產出構面

共通性指標項目	細項指標	預估量化值	實際量化值	效益說明	重大突破
學術著作發表	國內研討會論文	1篇	2篇	發表研究架構初步成果。	初步提出氣候變遷衝擊的對應流程。
研究團隊養成	機構內跨領域合作團隊數	4個	4個	完成合作團隊的建構。	完成台灣尺度與區域四個殘存點的研究架構。

績效指標構面：推廣/服務產出構面

共通性指標項目	細項指標	預估量化值	實際量化值	效益說明	重大突破
技術或器資材供應服務	技術或器資材供應服務	1件	1件	建立氣候變遷高風險物種之監測及遷地保存流程建議與操作範例	
	技術或器資材供應服務單位數	0家	1家		

研討會論文(國內、外)				
國內/國外	文章名稱	研討會名稱	研討會年月	報告方式
國內	氣候變遷下的天然植群保育評估—以頭城、雙溪山區為例	國立宜蘭大學生物資源學院壁報論文競賽	106年5月	書面張貼
國內	宜蘭縣大蘭炭地區台灣水青岡適應性經營與保育	106年森林資源永續發展研討會	106年10月	口頭報告

名稱	類型	人數	專長
台灣生物多樣性保育學會	機構內跨領域		
臺灣師範大學	機構內跨領域		
國立嘉義大學	機構內跨領域		
國立宜蘭大學	機構內跨領域		

廠商名稱	技術服務名稱	件數	服務收入(千元)
	建立氣候變遷高風險物種之監測及遷地保存流程建議與操作範例	1	

## 九、計畫主要成就及成果之價值與貢獻度 (outcome)

### (一)、學術成就(科技基礎研究)

完成研討會報告與的學術交流。

### (二)、技術創新(科技整合創新)



1060809\_106/12/15  
2017030608471816918



無

(三)、 經濟效益(產業經濟發展)

無

(四)、 社會影響(民生社會發展、環境安全永續)

無

(五)、 其它效益(科技政策管理及其它)

無

## 十、與相關計畫之配合

無

## 十一、後續工作構想之重點

- (1) 依據監測調查結果及相關資料之收集，及情境模擬資料檢討大白山至大南澳嶺與雙溪、頭城山區殘存地點生態系及物種之保育急迫性及其優先順序。
- (2) 依據大白山至大南澳嶺與雙溪、頭城山區殘存地點，提出相關稀有物種或生態系的研究之規劃，並針對應實施測試研究之地區或物種，進行試驗操作。
- (3) 依據監測調查機制的結果，完成雙溪、頭城山區之所有樣區之設置與調查；依據調查結果建置GIS圖資，與歷史資料進行比對，瞭解物種之遷徙擴散情形，同時探討回復力的操作。
- (4) 持續針對應協助遷徙、營造棲地廊道或協助異地族群建立之生態系或物種，以大白山至大南澳嶺與雙溪、頭城山區2個案例之研究，進行族群遷徙與建立之試驗調查，說明人為協助遷徙或建立異地族群之成效，提出遷地保育之具體作法，包含物種清單、野外保存圈設置地點、技術規範等。

## 十二、檢討與展望

- (1) 持續加強團隊內部的整體研究與野外調查和資訊的互換與共享。
- (2) 持續加強與外部團隊(加拿大、日本)的整體研究與野外調查和資訊的互換與共享。
- (3) 持續加強氣候變遷的模式預測,尤其在大白山至大南澳嶺山區的台灣水青岡和與雙溪、頭城山區的四照花及黃楊老齡灌叢上。 持續加強氣候變遷的調適與對應流程,尤其在大白山至大南澳嶺與雙溪、頭城山區2個案例之研究上。





以下欄位請於期末評核(審查)後，由主辦專家至系統考評作業填寫列印，並請單位主管簽章。

主辦專家簽章

單位主管簽章



## 附錄 3-3、研究報告



公開  
 密件、不公開

執行機關(計畫)識別碼：110701e102

### 行政院農業委員會林務局106年度科技計畫研究報告

計畫名稱： 因應氣候變遷生物多樣性回復力之研究-以大  
白山至大南澳嶺與雙溪、頭城山區為例 (第2年  
(英文名稱) A study on the resilience of  
biodiversity under long-term climate  
change(2/3) - a case study of Dabaishan  
to Dananao ridges and Shuangxi to  
Toucheng shan area

計畫編號： 106農科-11.7.1-務-e1(2)

全程計畫期間：自 105年1月1日 至 107年12月31日  
本年計畫期間：自 106年1月1日 至 106年12月31日

計畫主持人： 陳子英  
研究人員： 許秀英、張佳玉、洪宗泰、廖庭毅、黎光秦、吳盟慧、劉  
芳萍、劉懿慧、江志安、莫于凌、李宗育、蔡孟耘  
執行機關： 國立宜蘭大學





## 一、執行成果中文摘要：

近年來全球氣候變遷造成溫度增加與降雨型態改變，極端氣象事件時有所聞，再再地衝擊著脆弱的生態系統。許多資料顯示，暖化影響物種分布模式，生物出現向高海拔、兩極遷徙的趨勢；因此，物種避難所(refugia)的重要性在氣候變遷上，也漸漸被許多文獻提及。依據農委會林務局104年度計畫分析結果顯示，目前臺灣有14處可能的長期氣候變遷下之殘存地點；其中，大白山至大南澳嶺地區和頭城至雙溪部分山區兩個地區即包含在此。研究期望選取稀有植群型或稀有植物，作為氣候變遷的保育評估。

宜蘭縣的大白山至大南澳嶺地區105年已初步完成植群與稀有物種再調查，然為因應未來情境所需的現生植群圖尚未完備，因此於本年完成植群圖的繪製，提進一步的潛在氣候變化情境模擬之用，同時依照ACT的流程對台灣水青岡目前所遇到的問題，建構管理行動之優先順序並初步提出策略。

蒐集及調查頭城-雙溪山區的植群資料，共計103個樣區，主要可分成5個群團，6個群叢及7個亞群叢：1. 樹杞群團；下含(1)大葉楠群叢和(2)豬腳楠群叢；2. 芒群團；3. 包籜矢竹群團；4. 山露兜群團；5. 地毯草群團，並進行該區域的植群繪圖；根據臺灣維管束植物紅皮書初評名錄，尚有38種稀有植物，其中包含竹柏、台灣三角楓、胡氏肉桂、四照花、十大功劳、長葉杜虹花、水團花(梨仔)、土肉桂、耿氏虎皮楠、台灣香檬、檀梧、光葉柃木等12種木本植物面臨瀕危、易危或近危物種，亦散布於此7種亞群叢內；同時也初步提出四照花及黃楊老齡灌叢的保育策略。

## 二、執行成果英文摘要：

In recent years, global climate change has resulted in increased temperatures and changes in rainfall patterns, as well as the occasional extreme weather events that once again impact fragile ecosystems. Many sources indicate that warming affects species distribution patterns and the tendency for organisms to migrate to high elevations and poles; hence, the importance of species refugia in climate change has also been gradually documented in many papers. According to the results of the 104-year plan of the Forestry Bureau, there are currently 14 possible sites under long-term climate change in Taiwan. Among them, the areas from Dabaishan to Dainaoling area and Toucheng to Shuangxi that was included here. The study looked forward to selecting rare species or vegetation types as a conservation assessment of climate change.

In 105 years we have been preliminary completed surveys of the vegetation types and rare species of the Dabaishan to Dainaoling area in Yilan County. However, since the existing vegetation map for the future situation is not yet completed, In the meantime, according to the ACT





process, the current problems encountered by beech in Taiwan that proposed the priority of management action and strategy initially.

A total of 103 sample plots were collected and surveyed in the Toucheng- Shuangxi area. They can be divided into 5 alliance, 6 associations and 7 sub- associations: include 1. *Ardisia sieboldii* ALL. there are (1) *Machilus japonica* var. *kusanoi* Ass. and (2) *Machilus thunbergii* Ass.; 2. *Miscanthus sinensis* ALL.; 3. *Arundinaria usawai* ALL.; 4. *Freycinetia formosana* ALL.; 5. *Paspalum conjugatum* ALL., and vegetation mapping in the region. According to the preliminary assessment of Taiwan's Vascular Red List, there are 38 species of rare plants, including *Nageia nagi*, *Acer buergerianum* var. *formosanum*, *Cinnamomum macrostemon*, *Benthamidia japonica* var. *chinensis*, *Mahonia japonica*, *Callicarpa formosana* var. *longifolia*, *Sinoadina racemosa*, *Cinnamomum osmophloeum*, *Daphniphyllum glaucescens* var. *kengii*, *Citrus depressa*, *Elaeagnus oldhamii* and *Eurya nitida* of 12 woody plants are endangered, vulnerable or near-endanger species, also scattered in this seven types of sub-associations; At the same time, the strategies of conservation of *Benthamidia japonica* var. *chinensis* and *Buxus microphylla* were also proposed.

### 三、計畫目的：

- (1) 針對雙溪-頭城山區長期氣候變遷殘存地點資料，依植物相特性、物種稀有性及特有性、週邊環境潛在威脅等因子，瞭解各殘存地點生態系及物種之保育急迫性，並提出優先次序。
- (2) 針對氣候變遷高風險之殘存地點，完成雙溪-頭城山區植群調查並繪製現生植群圖。
- (3) 提出修正後的大白山至大南澳嶺地區整體氣候變遷下生物多樣性之適應性經營的架構與操作流程。

### 四、重要工作項目及實施方法：

重要工作項目1：

針對雙溪—頭城地區氣候變遷殘點的植物相作調查並以稀有性等因子作分析，並比對稀有植物清單及面臨瀕危、易危或近危物種，並找出而四照花及黃楊老齡灌叢在本區有保育的急迫性具優先應關切的物種。

重要工作項目2：

規劃監測調查機制，針對先前的研究擇定頭城、雙溪區域設立樣區。樣區以400 m<sup>2</sup>分散樣區方式進行，使用新的雙溪—頭城山區範圍圖，完成植群調查共計有103個





樣區，主要可分成5個群團，6個群叢及7個亞群叢，並進行該區域的植群繪圖；根據臺灣維管束植物紅皮書初評名錄，尚有38種稀有植物，並繪製現生植群圖。

重要工作項目3：

依據生態系及物種之保育急迫性，提出可能的保育對策及具體作法對規模較大的殘存地點可朝就地保育進行管理，提出修正後的大白山至大南澳嶺地區的植群圖及台灣地區整體水青岡森林和在氣候變遷下生物多樣性之適應性經營架構與操作方式。

## 五、結果與討論：

共在雙溪—頭城地區設立103個樣區，紀錄植物128科608種，蕨類植物25科78屬140種，裸子植物2科2種(含一種外來種)，單子葉植物17科97種，雙子葉植物84科369種；特有93種，原生594種，稀有38種。經分析結果後可區分為可分成5個群團，6個群叢及7個亞群叢：1. 樹杞群團；下含(1)大葉楠群叢和(2)豬腳楠群叢；2. 芒群團；3. 包籜矢竹群團；4. 山露兜群團；5. 地毯草群團，並進行該區域的植群繪圖；此為保育經營上粗濾網的架構。透過分類層級圖和檢索表大致完成本區植群繪圖(圖1)。

本研究透過所區分的植物群團和稀有植物分布位置圖，完成保育經營上的細濾網架構——即找出稀有植物可能分布的植群型，針對這些植群型進行保護，同時也初步提出四照花及黃楊老齡灌叢是急迫需保育之標的物。

本研究也對全台灣水青岡森林的分布及研究，並參考遺傳的分析結果提出適應性經營規劃，第一、銅山及插天山地區的台灣水青岡族群數量和遺傳上有較大的多樣性，有必要同時進行保存(Yinget al ., 2016; 江友中, 2017)，並適合做為氣候變遷下台灣水青岡森林在台灣地區的避難所。第二、大白山目前受到附近人為開礦的影響，應定期以地景方式拍攝植群受到開礦或極端氣候對台灣水青岡森林的影響；除了設立樣區監測其族群變化外，也可作氣候變遷情境模擬；同時如果極端事件已造成族群迅速衰滅，則有必要做遷地保存其獨特的基因型個體(江友中, 2017)。第三、鳥嘴山有獨特的葉綠體基因型，但近年來受極端氣候的影響較少(陳子英等, 2015)，可進行整體氣候變遷情境模擬，每隔五年做地景的調查研究，持續監測確保水青岡的特殊遺傳基因與族群。第四、蘭炭山和阿玉山是台灣水青岡族群最少的區域，但蘭炭山有銅山較少的K8微衛星體基因，是急待保育的族群，未來可就保護下來的植株設置採穗園，並可進行更詳細的物候和授粉生物學的研究(表1)。

## 六、結論：

(一)頭城—雙溪山區調查至今的103個樣區和樣區外所記錄的植物，共有植物128科607種，蕨類植物25科78屬140種，裸子植物2科2種(含一種外來種)，單子葉植物17科97種，雙子葉植物84科368種；特有93種，原生593種，稀有38種，外來14種。

(二)頭城—雙溪山區依降趨對應分析結果，並參考雙向指標種分析法結果後對森林區分成二個群叢、七個亞群叢、一個芒群團、一個山林投群團、一個低草群團及一





個包籜矢竹群團。

(三)頭城一雙溪山區稀有植物在樹杞群團中有最多種類，其中包含豔紅鹿子百合等共36種稀有植物；其內包含竹柏、台灣三角楓、胡氏肉桂、四照花、十大功勞、長葉杜虹花、水團花(梨仔)、土肉桂、耿氏虎皮楠、台灣香檬、椴木、光葉柃木等12種木本植物。

(四)頭城一雙溪山區出現的臺灣特有物種在未來是否也會面臨氣候變遷的威脅，或是有其他保育價值，可以比照Kingston (2005) 針在皮特凱恩群島之研究，將稀有、特有物種一同納入保育評估之中。

(五)頭城一雙溪山區在四堵往鷹嘴山的稜線有發現黃楊老齡灌叢，因離道路較近，會有民眾採取之虞，需注意其族群。

(六)在蘭炭山及大白山西北區的台灣水青岡死亡株數最高，同時存在高暴露度與高脆弱度的情況，建議最優先要採取介入點與經營行動的地區。

(七)提出台灣水青岡森林及大白山一蘭炭山水青岡森林適應性經營之研究流程並修改為適合保育標的物的架構，並提出適應性經營的架構及操作方式。

#### 七、參考文獻：

林奐宇 (2015) 從臺灣維管束植物地理分布談氣候變遷之衝擊。2015氣候變遷對生物多樣性的衝擊研討會論文集。

陳子英、許驊、郭嘉宜 (2015) 氣候變遷對台灣水青岡森林之衝擊評估。2015氣候變遷對生物多樣性的衝擊研討會論文集。

王震哲、邱文良、張和明 (2012) 臺灣維管束植物紅皮書初評名錄。行政院農業委員會特有生物研究保育中心。104頁。

江友中 (2017) 台灣水青岡遺傳物質資源調查計畫。行政院農業委員會林務局羅東林區管理處 105-731-01-11。

宋梧魁、程宗德、李智群、陳子英、鹿兒陽 (2005) 宜蘭縣東北區現生植群圖之繪製。第三屆台灣植群多樣性研討會論文集。173-187頁。

陳子英、胡哲明、趙偉村、宋國彰、趙國容、謝長富、徐琦峰 (2015) 因應氣候變遷之生物多樣性脆弱度評估與風險管理研究(3/3)。行政院農業委員會林務局科技計畫104農科-13.7.5-務-e3(Z)。275頁。

Chung, M. Y., J. López-Pujol and M.G. Chung (2017) The role of the Baekdudaegan (Korean Peninsula) as a major glacial refugium for plant species: A priority for conservation. *Biological Conservation* (206):236-248.

Cross, M. S., E. S. Zavaleta, D. Bachelet, M. L. Brooks, C. A. F. Enquist, E. Fleishman, L. J. Graumlich, C. R. Groves, L. Hannah, L. Hansen, G. Hayward, M. Koopman, J. J. Lawler, J. Malcolm, J. Nordgren, B. Petersen, E. L. Rowland, D. Scott, S. L. Shafer, R. M. Shaw and G. M. Tabor (2012) The Adaptation for Conservation Targets(ACT) framework: a





- tool for incorporating climate change into natural resource management. *Environmental Management* 50(3):341-351.
- Hannah, L. 2ed. (2015) *climate change biology*. Elsevier. AP.
- Keppel, G., K. Mokany, G. W. Wardell-Johnson, B. L. Phillips, J. A. Welbergen, and A. E. Reside (2015) The capacity of refugia for conservation planning under climate change. *Frontiers in Ecology and the Environment* 13(2):106-112.
- Shoo, L. P., A. A. Hoffmann, S. Garnett, R. L. Pressey, Y. M. Williams, M. Taylor, L. Falconi, C. J. Yates, J. K. Scott, D. Alagador and S. E. Williams (2013) Making decisions to conserve species under climate change. *Climatic Change* 119(2): 239-246.
- Stewart, J. R., A. M. Lister, I. Barnes and L. Dalén (2010) Refugia revisited: individualistic responses of species in space and time. *Proc. R. Soc. B: Biol. Sci.* 277(1682):661-671.
- Tingley, M. W., E. S. Darling and D. S. Wilcove (2014) Fine- and coarse-filter conservation strategies in a time of climate change. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1322(1):92-109.
- Ying L.X, T.T.Zhang, C.A. Chiu, Chen TY, S.J. Luo, X.Y. Chen, Z.H. Shen (2016). The phylogeography of *Fagus hayatae*(Fagaceae): Genetic isolation among populations. *Ecology and Evolution* 6: 2805 - 2816.



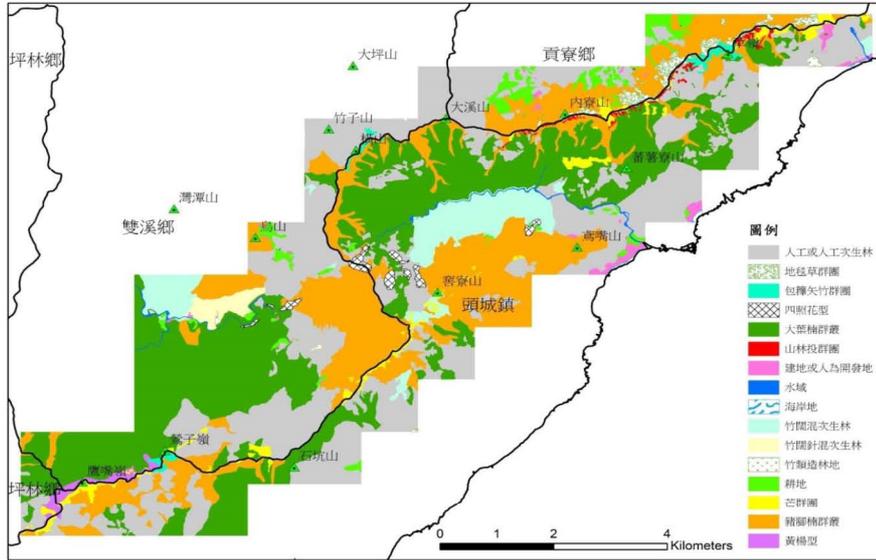


圖 1 頭城—雙溪山區現生植群圖





表 1 台灣水青岡氣候調適的建議

地區	銅山及插天山	大白山	烏嘴山	蘭炭山	阿玉山
調適性行動	保護台灣水青岡的避難所(保護區)	部分樹木的高壓、扦插及採穗園之建置及採礦活動的遏止	持續監測；物候動態的觀察	高壓、扦插及採穗園之建置；物候動態的觀察	高壓、扦插及採穗園之建置
描述	銅山及插天山可視為台灣水青岡在氣候變遷下的避難所，但可監測未來遷移的方向，如銅山是否往太平山方向推移；同時設立長期生態樣區，觀察其動態。	確保特殊的水青岡遺傳基因，同時確保水青岡的族群；同時定期以地景方式拍攝植群動態並設立長期生態樣區，觀察其族群動態。。	確保水青岡的特殊遺傳基因；同時設立長期生態樣區，觀察其動態。	確保水青岡的特殊遺傳基因；同時設立長期生態樣區，觀察其動態。	確保水青岡的特殊遺傳基因；同時設立長期生態樣區，觀察其動態。
主要氣候關注及人為衝擊壓力	氣候的暖化及極端氣候，生態遊憩的壓力	氣候的暖化及極端氣候和開礦	氣候的暖化及極端氣候	氣候的暖化及極端氣候	氣候的暖化及極端氣候
調適機制	減少人為衝擊及暖化的暴露度對水青岡生態系的影響	減少人為衝擊及提高水青岡生態系對極端氣候及暖化的調適力	提高水青岡族群遺傳對氣候暖化的調適力	提高水青岡族群遺傳對氣候暖化的調適力	提高水青岡族群遺傳對暖化的調適力
預期結果	持續(持久)導向	持續(持久)導向	持續(持久)導向	轉換(過渡)導向	轉換(過渡)導向



## 第四章 以南仁山植群及新豐鄉榭櫟為例

### 摘要

自工業革命以來，由於排放大量的CO<sub>2</sub>，使得氣候逐漸暖化與極端化。這些氣候因子的改變，造成了森林組成的變化，降低了生物多樣性，也造成了物種的向北或向上遷移。而每一物種對此快速的氣候變化反應不一，有些物種因為無法順利遷移而造成植株數量減少。本計畫初步探討了南仁山生態系與物種保育之順序流程，採用Shoo *et al.* (2013)所提出之針對氣候變遷下野外原生物種保護之管理行動決策方式來進行物種回復力之行動參考方案，並參考其他學者對此方案之探討而稍微修正其步驟流程。另以榭櫟為指標物種，以及南仁山區族群數量減少且瀕危的臺灣石櫟(*Pasania formosana*)、希蘭灰木(*Symplocos shilanensis*)與唐杜鵑(*Rhododendron simsii*)為案例物種進行本計畫之生育地成樹小苗監測以及繁殖試驗，並探討榭櫟進行區外栽植所產生之問題，以為將來瀕危物種栽植參考。在這些案例物種進行異地保育時須考量到遺傳多樣性與種源材料收集，亦在本計畫中有初步執行流程，以利進行異地保育之策略。在南仁山區小苗監測上，案例物種中臺灣石櫟僅在出風山監測到兩株小苗，目前仍存活；希蘭灰木則出現於欖仁溪與出風山樣區中，且小苗均維持存活；唐杜鵑則於欖仁溪樣區出現，但僅存活10個月即消失。而在案例物種的繁殖試驗上，三者皆採到少數種子與扦插之條進行繁殖試驗。榭櫟大樹則自2013年調查到149個植株後，到2017年底僅存活101株，小苗監測亦僅有2015年有大量小苗，但是受颱風以及林下光照不足影響，其存活率很低。但是在每年採種復育後，目前已有207株榭櫟小苗種植於區外各地，苗圃有1,179株小苗可進行移植。207株區外栽植苗木大多生存良好，但各地均受到除草作業影響，將來須檢討栽植作業。本計畫參照各種風險模式評估，積極對南仁山之物種進行繁殖試驗與小苗監測，以了解氣候變遷對南仁山區特稀有物種之影響，並以榭櫟成功繁殖且區外栽植經驗，提供南仁山區特稀有物種之繁殖與異地復育之參考。

**關鍵詞：**氣候變遷、異地保育、管理決策、遺傳多樣性、種源材料收集

## Abstract

Since the Industrial Revolution, more and more carbon dioxide had been released into the atmosphere and that had caused the weather warmer and more extremely. These changes made the biodiversity loss and the composition, structure, and ecological processes of the forest ecosystem different, and even made the species migrate to the norther or higher space. However, species have very mixed reactions to the unpredictability climate. Some species can overcome the varied weather. Some species can not adapt the changes and do not have any good refugia to move in, so the population are getting declining. Our research preliminary discussed how the Nanjenshan ecosystem change and which native species need to protect priority under the climate change. We referred to the decision framework from Shoo *et al.* (2013) and other researchers to make the conservation strategies carefully. Therefore, we chose the *Quercus aliena* to be the indicator species and review the problems in order to improve the next *ex situ* conservation plans. Also, choosing the *Pasania formosana*, *Symplocos shilanensis* and *Rhododendron simsii* to be the case species which the population were less than before in Nanjenshan area. For these four species, we not only had regular survey of adult trees and woody seedlings but also did the propagation. In the Nanjenshan area, we only found two *Pasania formosana* seedling in Mt. Chufeng and they are still alive now. The seedlings of *Symplocos shilanensis* were found and still alive in both Lanjenchi plot and Mt. Chufeng. The seedlings of *Rhododendron simsii* were only found in Mt. Chufeng but just survived for ten months. Now, we are trying to do the propagation of these three case species by seed, branch and sprout which collected from different place to maintain the genetic diversity. Moreover, the adult trees of *Quercus aliena* had died almost 60 individuals between 2012 to 2017 and we surmised that the typhoon had seriously impact on them. There were lots seedling of *Quercus aliena* recruitment in 2015 ,but the survival rate

was low because of the typhoons and the low light environment. Until now, we had germinated thousands individuals of *Quercus aliena* by seed propagation and had grown 207 individuals in Hsinchu area. Most of these 207 individuals grew up well but the biggest problem - “weeding” affected the individuals a lot. This problem must be consider into the *ex situ* conservation plans in the future. To sum it up, our study used kinds of vulnerability and risk assessments model to understand the effect of climate change to threatened species in Nanjenshan area. Besides, we monitored the woody adult trees and seedlings to know these species population, and did the propagation to avoid these species going extinct. Last but not least, we learned the experience from the story of *Quercus aliena* and try to make better conservation strategies for these case species.

**Key words:** Climate change, decision framework, ex situ conservation, genetic variation, plant propagation.

## 一、前人研究

### 1.1 現今氣候的變化

自從工業革命以來，人類的工業與日常活動大量使用化石燃料，製造了大量的CO<sub>2</sub>與含氮廢氣，並將之排放至大氣之中，使得大氣中的溫室氣體濃度增加，造成全球氣候異常，影響了地球上各種生態系統的維持。IPCC(跨政府氣候變化專門委員會, Intergovernmental Panel on Climate Change)的歷年報告中提到了全球暖化是無庸置疑的，許多自然系統正受到因為溫度升高所造成的區域氣候變化，造成對生物有深遠與多樣的影響(Parmesan, 2007; Colwell *et al.*, 2008)。目前的結果顯示北半球中高緯度因溫度上升速度較快，而導致所受影響最大 (IPCC, 2007; Parmesan, 2007; Dillon *et al.*, 2010)。現今之氣候變化除了全球暖化外，另外也造成了氣候極端化現象。

氣候為長期的平均氣象狀況，包括溫度、降雨、風速與風向等等，而根據IPCC對於氣候變化的定義為長期氣候狀態的改變(如氣候的特性或是氣候平均值)(IPCC, 2007)，其影響的因子可能是大自然內在的擾動，如火山爆發、地球軌跡改變、板塊運動等(張強等，2005；李國琛，2008)，或是受到外在壓力的影響，如溫室氣體排放(Houghton *et al.*, 1992; Fankhauser, 1995; Fearnside, 2000)、臭氧層破洞(Hartmann *et al.*, 2000; Sitch *et al.*, 2007; McLandress *et al.*, 2011)以及森林砍伐 (Fearnside, 1996; Berbet and Costa, 2003)等。而在1994年通過的氣候變化綱要公約 (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)對於氣候變化的定義為：人類活動直接或間接影響目前的全球氣候，其影響程度遠大於自然的變動。其定義裡特別強調人為活動為目前氣候變化的主因，是因為工業革命後大量排放CO<sub>2</sub>以及其他溫室氣體使得地球溫度增加(Fuhrer, 2003; IPCC, 2007)，在過去100年裡地球溫度已經上升0.74°C(圖4.1)。若不控制現今溫室氣體的排放速率，則21世紀的CO<sub>2</sub>濃度將會比1980年代以前高出兩倍，而依據大氣環流模式(General circulation models, GCMs)的預估，未來地球的平均溫度還會上升1.9 - 4.6 °C，最高可以增加至6.4 °C (IPCC, 2007)。然而氣候變化不僅僅只有氣溫改變，大氣濕度、降雨以及整個大氣循環都是環環相扣 (IPCC, 2007)，全球暖化將造成雲量、潛熱通量(Latent heat fluxes)以及大氣含水量(Water-holding capacity)增加(IPCC, 2007; Karl and Trenberth, 2003)，影響到降雨的型式、強度、頻度、持續時間以及雨量大小(IPCC, 2007; Trenberth, 2011)，如年雨量和降雨日數的增減等(Walther *et al.*, 2002)；而長期氣候變化會導致短期氣候變異增強，即增加極端事件(Extreme event)的發生機會，如暴雨與乾旱等，這些氣候的改變將會影響物種個體適存度、族群動態、分布範圍和生物多樣性(Parmesan *et al.*, 2000)。由於溫

度變化是較明顯且較容易觀察的氣候因子(IPCC, 2007)，因此目前已經有許多關於生物受到氣候暖化衝擊之反應的研究，結果顯示物種為了適應氣候暖化會改變其分布範圍並遷移到較適合生存的地區，不僅有動物、昆蟲等往高緯度地區或高海拔地區移動，連植物都有此現象發生，但倘若物種未能遷移至適合生存的地區，則物種的分布範圍將會縮小甚至是有滅絕的危機(Parmesan, 2006; Feeley *et al.*, 2011; Feeley *et al.*, 2013)。

過去生態研究認為熱帶森林處於一個長期平衡穩定的狀態，近期則有許多研究指出森林受到全球尺度的因子影響而產生組成和結構改變(Colwell *et al.*, 2008; Laurance *et al.*, 2009; Bai *et al.*, 2011; Zhou *et al.*, 2014)，藉由長期森林動態研究可以了解森林隨時間所發生的變化(葉定宏，2006; Condit *et al.*, 1995; Laurance *et al.*, 2009)。而氣候變遷的現象已逐漸被證實，IPCC(2013)指出自1950年起，全球多數地區呈現溫度上升、豪大雨頻度和強度有增加的趨勢；北半球降雨量多為增加，以及部分地區的乾旱現象更為嚴重。與全球趨勢相近，臺灣氣候變化方面，溫度逐漸升高、降雨量集中、乾旱事件增加(盧孟明等，2012)，東北季風亦呈現持續減弱的現象(Hung and Kao, 2010；韓宛容等，2014)。而氣候通常是一地區森林組成和結構的主要影響因子，其改變亦造成森林植群的變化(Condit *et al.*, 1995; Laurance *et al.*, 2009; Bai *et al.*, 2011; Zhou *et al.*, 2014)，且隨著生長於不同生育地類型的植群反應(Condit *et al.*, 1995)或土壤環境(Knapp *et al.*, 2008)也有所差異。

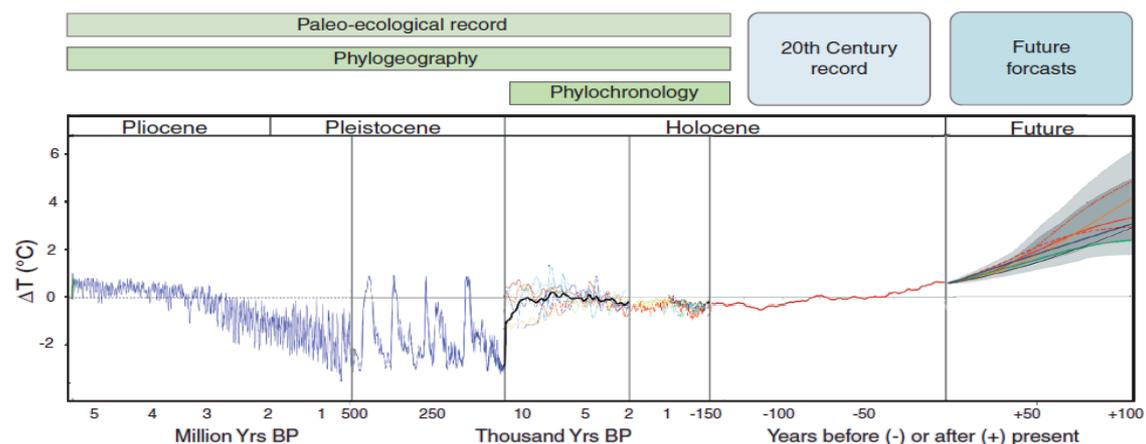


圖 4.1 全球年平均溫度-歷史紀錄、現在與未來變化趨勢圖。(Moritz and Agudo, 2013)

## 1.2 長期森林變化

從長期研究可以了解森林動態變化的趨勢。近期熱帶、亞熱帶森林的長期研究多指出由於外在因子影響，森林發生了長期或短期的變化。如巴拿馬BCI森林受到聖嬰現象所造成的嚴重乾旱(Condit *et al.*, 1995)，與馬來西亞婆羅洲濕潤雨林受到乾旱期的影響(Potts, 2003)，兩者都使得其樹木死亡率增加。Laurence *et al.* (2009)在亞馬遜森林的長期研究中，將影響森林動態變化的因子分為全球和區域尺度，並探討其對森林帶來長期趨勢和短期環境波動變化的差異。此研究推測森林受到全球溫度上升、CO<sub>2</sub>濃度增加的影響，使得23年間森林總體胸高斷面積持續成長、林木之間競爭增強，因此，長期以來樹木死亡率、新增率、生長量和胸高斷面積均呈現逐漸升高的情形。另一方面，短期環境波動屬於非常態性的異常現象，為森林所帶來的影響較為短暫、強烈。在亞馬遜森林動態變化亦受到乾旱的影響造成死亡率大幅上升、新增率接續上升，生長率、胸高斷面積和植株數量減少。然而，區域尺度因子的波動亦可能受到全球氣候變遷長期影響所驅動而發生干擾強度、頻度的改變。

全球氣候變遷及氣候的極端化的衝擊除了生物多樣性的流失之外，最大的影響可能是稀有、特有及脆弱的生物族群及生態體系結構受到破壞(IPCC, 2007; Joyce *et al.*, 2014)。許多國家已展開許多研究，企圖瞭解物種、族群、動植物社會等對氣候變遷的敏感程度、脆弱度、及反應能力；此外，為了避免特稀有物種及其棲地的滅絕消失，亦已依據現有知識基礎及風險程度，針對評估在氣候變遷影響下的高風險物種及族群，擬定適宜之保育策略，並進行保育工作的實質推動(Staudinger *et al.*, 2012)。

許多研究顯示氣候變化，不論是長期變化或極端事件皆對植物組成造成影響。在長期變化上，非洲的塞內加爾地區的長期雨量趨勢為減少的狀態，其結果造成濕地植物大量死亡(Gonzalez, 2001)；而在極端事件上，則法國於2003年夏天遭受熱浪襲擊以及乾旱的影響，造成麻櫟屬植物死亡率上升；澳洲北部多年的乾旱使得尤加利樹的死亡率大增；在中國，乾旱增加油松(*Pinus tabulaeformia*)的死亡率，甚至乾旱的範圍擴大至雲南松(*Pinus yunnanensis*)的棲息地，造成雲南松的死亡率上升。

當然氣候變化也不全然一定會造成植物社會之影響，而挪威中南部的龍達訥國家公園，Schei *et al.* (2015)分析光度、土壤酸鹼度、溫度、濕度、土壤養分以及積雪持續時間與植物分布範圍之關係，並利用置換試驗(permutation tests)來檢測是否有顯著影響，結果顯示，物種分布範圍的改變與光度、土壤酸鹼度、土壤養

分以及積雪持續時間有顯著相關，其中以土壤酸鹼度的影響程度較大，然而相較於其他研究，氣候暖化對於龍達訥國家公園植物的分布範圍並不是最大的影響主因，推測為龍達訥國家公園植物多是廣泛分佈種，其具有寬廣的生態幅度，因此生物對於環境的變化反應較小。

### 1.3 物種分布的變化情況

目前有許多研究針對不同地區與不同分類群進行氣候變化對物種遷移的影響研究，其中在鳥類方面，Hitch and Leberg (2007)利用美國東部1967-1971年與1998-2002年的56種鳥類資料，並將這56種鳥類區分成北方鳥類(29種)與南方鳥類(26種)，檢測鳥類的分布範圍是否有所變化。結果顯示北方鳥類整體沒有顯著向南遷移的情形，而大部分的南方鳥類其分布北界確實有向北擴張的趨勢，平均每年向北遷移2.35 km。其研究結果也呼應了Thomas and Lennon (1999) 在大不列顛島(Great Britain)鳥類遷徙研究，其結果為鳥類平均每年向北遷移0.95 km，因此認為兩個不同研究地點之鳥類遷移方向皆是向北遷移之情形是因為氣候的暖化，而非是人類活動範圍的擴張、土地利用的改變或是不同的調查方法等。

在昆蟲的研究方面，位於東南亞熱帶地區的婆羅洲島(Borneo)是世界上生物多樣性的熱點之一，同時生理學研究認為熱帶昆蟲對於溫度變化是特別敏感。因此Chen *et al.* (2009)在島上的京那巴魯山(Mount Kinabalu)之樣帶進行尺蛾科(Geometridae)昆蟲的研究，其研究海拔範圍介於1,885 m到3,675 m，總共調查到102種尺蛾，並利用三種不同計算方法來分析1965年與2007年之尺蛾分布海拔範圍是否有改變。三種方法皆顯示尺蛾科蛾類有顯著向上遷移之情形，平均每年向上遷移1.6 m，而在這42年期間，京那巴魯山溫度上升0.7 °C，因此推測氣候暖化可能是造成蛾類遷移的原因之一。

在植物的研究方面，秘魯(Peru)東南邊之生物多樣性極高的安地斯山脈(Andes)自1975年起平均每年溫度增加0.03-0.04 °C，Feeley *et al.* (2011)分析14個海拔介於950-3,400 m的1 ha樣區，資料選用2003年4月至2007年8月的森林調查成果，並利用樹木的株數與胸高斷面積作為兩種加權分析方法，試了解氣候暖化是否造成安地斯山脈中38個屬的林木海拔分佈範圍改變。研究結果以株數來看，平均每年向上遷移距離為2.5 m，而使用胸高斷面積之分析結果為平均每年向上遷移距離為3.5 m，兩種結果皆顯示大部分安地斯樹屬的植物有向上改變其分佈範圍，且發現較低海拔物種為主要向上遷移的物種，同時其豐富度也增加；這些結果皆與其所提出的物種向上遷移之假說相符，但是所觀察到平均遷移速度卻是少

於預測值(5.5-7.5 m yr<sup>-1</sup>)，除了推測主要因為氣溫之暖化，亦可能是溼度或是非氣候因子之影響(如土壤基質、物種相互作用、木本植物社會延遲反應現象等)造成遷移距離受到限制。另外，Kelly and Goulden (2008)比較1997年以及2006-2007年美國加利福尼亞州的聖羅莎山(Santa Rosa Mountain)之樣帶植物覆蓋度資料，其調查海拔範圍從244-2,560 m，此地區氣候為乾旱至半乾旱。兩次共調查到141種物種，但是多數物種分布在2個或是僅分布在1個海拔範圍上，因此作者挑出10種分布範圍較廣的物種進行討論。研究結果為在10年間，這10種植物整體平均海拔上升約64.7 m，除了分布海拔範圍轉變之外，也連帶影響植物社會之組成以及植物功能性狀。此地區的溫度在1997-2007年間約增加0.63 °C；而在1990-2000年間有場嚴重的乾旱，這場乾旱造成多植物死亡，也發現許多物種在乾旱發生前就已經死亡，有趣的是，在乾旱之後這些物種在其原分布範圍較高海拔處的覆蓋率增加，即表示在乾旱後新長出來的植株僅分布在其較高的海拔；同時在1978-1983年、1993-1995年和2005年為罕見之潮濕多雨的氣候，因此推測物種遷移是因為當地氣候改變所造成的結果，而溫度變化也是其中的原因之一。

除了在美洲有物種遷移的實例之外，歐洲也有物種遷移的相關研究，在西歐橫跨地中海氣候以及溫帶氣候的六座森林中，目前有四年的調查資料：1905年、1985年、1986年與2005年，其海拔從0-2,600 m，選擇171物種作為分析目標，在過去100年的時間裡，物種平均每年海拔上升2.9 m，尤其在20世紀末其海拔上升的物種數量遠多於1905-1985年的物種數量，有超過2 / 3的物種都是分布海拔上升的情形，此速度與這些地區之高山植物向上遷移的速度相同，也因為如此，林木界線(Forest tree line)也是不斷地向上推移。而這在調查期間，溫度平均上升0.6 °C，甚至某些年的溫度上升幅度高達1 °C，因此推論氣候暖化為物種遷移的重要原因之一 (Lenoir *et al.*, 2008)。

不僅有木本大樹有遷移情形，同時木本小苗也有向高緯度地區或是高海拔地區遷移的趨勢。Woodall *et al.* (2009)利用美國森林調查與分析系統(Forest inventory and analysis, FIA)在美國東邊30個州所調查的森林資料，共有65,953個調查樣區，能了解北方及南方的小苗(胸高直徑 ≤ 2.5 cm)分布的地理位置，並與Little在1971年的研究做比較，以了解物種分布範圍的情況。每個物種機皆會進行200次的隨機抽樣(Bootstrap)，每次隨機抽取出200個樣本而此200個樣本會有個平均值，最後這200次的隨機抽樣平均值會有個總平均值，即為此物種的平均分布海拔。此研究將小苗區分成北方苗木(15種)、南方苗木(15種)與普遍分布苗木(10種)，北方苗木之平均緯度偏北的現象(> 20 km)；而南方苗木雖然有10種分布緯度偏北，但是整體並沒有明顯的遷移狀況；普遍種卻有往南方擴張的情形。猜測可能因為在高緯度地區有較好的苗木更新狀態因此向北遷移，而普遍種可能要填

補空出的生態棲位，才會向南方遷移，並認定氣候變化已經對美國東部植物造成影響。

而在法國也有植物小苗遷移的實證例子，法國在1986-2006年有氣溫暖化的情形(約增加0.9°C)，Lenoir *et al.* (2009)利用法國北方溫帶地區到南部地中海地區的森林調查資料，其每個森林的組成林相為低地到亞高山地區植群帶(約50-2,250 m)；分析17種皆有成熟苗木(苗高 > 8 m)與小苗(苗高 ≤ 50 cm且苗齡 > 1年)的原生種植物資料，同時可以從成熟苗木資料得知先前較冷時期到現在(暖化)的反應，以了解20年間的物種分布海拔分布差異；除了了解物種分布最上限與最下限並利用模型去推算最佳的分布範圍(即分布範圍的中位數)。結果發現小苗最低海拔下限明顯比成熟苗木還要高出29 m，而在最高分布上限也有相同的趨勢只是不明顯，且大多數小苗最佳分布範圍都比成熟苗木還要高，平均相差69 m，整體來說目前小苗的分布海拔範圍是比成熟苗木還要高，推測可能為在1986年-2006年期間快速的氣候變化所導致的，然而也可能還有受到其他可能潛在因子影響，但是氣候暖化應該是最主要的原因之一。

Breshears *et al.* (2008)與Lenoir and Svenning (2015)將目前已證實物種遷移情形依照物種的遷移速率與對不良環境的忍受續存程度分為六種類型，其中物種若續存度高，而其遷移速度緩慢，則此物種可能有族群崩毀(Crash)的情況，雖然其整體分佈範圍與平均分佈範圍沒有變化，但是其族群量明顯下降，代表此物種死亡率增高，未來極有可能有滅絕的危機；若物種遷移速率稍快，則可能造成族群傾斜(Lean)，主要為物種整體分佈範圍不變，但平均分佈範圍是往高海拔移動，主要是因為其族群在較低海拔植株數量減少而導致的；而當物種遷移速度夠快，則物種可能有族群擴增(Expand)的情況，代表族群有擴散的現象。但若物種在面臨不良環境時的續存度低，即對不良環境較無法忍受，則這些物種可能有下列三種情況：族群滅絕(Extinct)是物種遷移速度還慢，因此族群數量急遽減少並且沒有遷移或是擴張範圍的趨勢，此類型的物種不易建立新族群，因此有滅絕的危機；若物種遷移速度稍快，則可能造成族群退縮(Retract)的情況，意即物種分布範圍縮小，族群數量有減少的情形；若物種遷移速度跟得上氣候變化，則該物種可能可以族群平移(March)，即其整體分佈範圍與平均分佈範圍皆是往高海拔或高緯度移動，主要是因為其族群在較低海拔植株數量減少(即死亡率增高)，同時較高海拔之植株數量增加，即物種小苗新增率增高且存活率增高(圖4.2)。

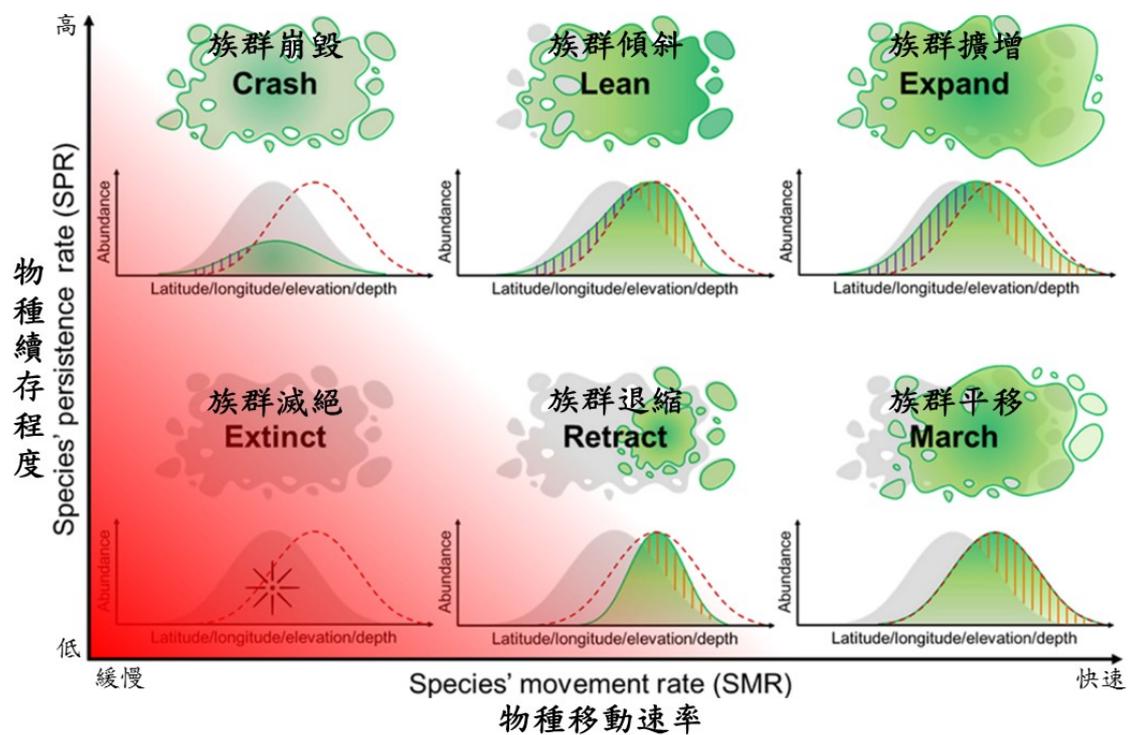


圖 4.2 世界物種遷移類型。(改自 Lenoir and Svenning, 2015)

然而並非目前所有研究之物種遷移結果皆是往高海拔或是高緯度遷移。Harsch and HilleRisLambers (2016)利用美國與加拿大的森林調查資料庫，以了解北美洲西北部山區過去40年至今的植物其沿海拔梯度的分布概況，其選擇分析之地區南北緯度橫跨 $25^{\circ}$ ，北至加拿大洛磯山脈北部與南部(Northern Canada Rockies and Southern Canada Rockies)，南至猶他州的瓦薩奇山脈(Wasach Range in Utah)，其中也包含華盛頓區的喀斯喀特山脈(Washington Cascade region)、蒙大拿州的西洛磯山脈(western Rockies around Montana)、加利福尼亞州的喀斯喀特山脈(Cascade Range within California)與內華達山脈(Sierra Nevadas)，其是否有往高低海拔遷移之情形以移動速率  $0.25 \text{ m yr}^{-1}$ 為基準，若移動速率小於  $0.25 \text{ m yr}^{-1}$ 則不算有遷移情形。結果也發現過去40年間其北美洲西北部溫度平均有上升的現象，而冬季降雪量也漸少，雨量則並無任何明顯趨勢；分析資料結果總共發現有293種植物(41種樹木、51種灌木、173草本植物與29種草類)，有50.9%的物種是往高海拔遷移，另外則有45.3%是往低海拔遷移；又更進一步發現，物種在不同地區

不同海拔高度下會有不同的遷移反應，在較高海拔之物種，當夏季雨量較多時，物種多為向上遷移，而雨量較少時則多為向低海拔遷移，推測雖然冬季降雪量減少會造成物種生長季加長以及縮短冬季低溫的危害期，但是因為隔年的夏季融雪量無法提供足夠的水分，因而物種無法順利往較高海拔生長並建立族群，僅能試往低海拔遷移，而低海拔的遷移現象則反之，其主要是受到雨量多寡之影響。因此物種遷移的現象不僅只會受到溫度的影響，水分也是個很重要的影響因子之一，尤其在此份研究中，水分則是決定物種遷移方向的重大因素。

在歐洲也有物種向低海拔遷移的研究結果，義大利的斯泰爾維奧國家公園(Stelvio national park)涵蓋三個不同海拔高度的植群帶：亞高山帶(2,200-2,400 m)、高山帶(2,400-2,800 m)和積雪帶(2,800-3,094 m)，Cannone and Pignatti (2014)利用1953年的調查資料將植物進行植群分類，而在2003年以相同方法進行分析並比較物種是否有改變分布範圍之情形。結果發現經過50年的時間，各植群的物種豐富度平均每十年增加6.48%，植群中新增物種數比消失的物種數多，而各植群的優勢種比例也逐漸再下降，也發現在分析的25種物種中，僅有8種物種有向高海拔遷移的情形，卻有15種物種的分布範圍往低海拔遷移的趨勢，但是大部分物種都尚分布於原本的植群帶裡，主要推測有此現象的原因可能有兩個原因，一是自1953-2003年溫度上升1°C，造成山頂永凍土退化而有融雪的現象，因此較高海拔的土壤表層較容易滑動與雪塊崩落，而不容易建立小苗並生長，第二個原因則為當相同植群帶中有生態孔隙(ecological gap)時，物種會因為環境相似度高而容易在相同植群帶的孔隙內生長。

Song *et al.* (2016)也發表了關於亞洲地區的物種遷移情形，研究地點位於中國西南方的西雙版納自然保護區之沿海拔梯度而有不同熱帶森林類型的樣帶，其高溫、多雨且乾濕季交替的氣候使得此地區植物類型豐富，其主要在800 m、1,000 m、1,200 m與1,400 m進行成樹(DBH ≥ 5 cm)與小苗(DBH < 1 cm)的調查，在2012年時每個海拔共設立5個20 × 20 m的成樹樣區，並於2013年底在每個成樹樣區的四個角落各設立1 × 1 m的小苗樣區，藉由不同海拔的指標性成樹與小苗作為物種是否有遷移現象之依據；並在成樹樣區附近的樹木之1.3 m處架設氣象儀器，以收集2013年5月到2014年4月不同海拔下每小時的溫度資料，同時在2013年乾季結束(12月)與2014年濕季結束(4月)時，於每個小苗樣區量測土壤底下5 cm處的土壤濕度。研究結果共調查到成樹156種總計1,034株，而小苗則是調查到156種共計1,105株，並以20種成樹與16種小苗作為指標物種，其中有10種成樹與12種小苗僅分布在特定海拔的樣帶中，其餘的成樹與小苗其分布範圍則有橫跨兩條不同海拔的樣帶，但是沒有任何指標物種存活於3個或是4個不同海拔的樣帶。四條森林樣帶的物種豐富度以1,000 m - 1,200 m為分界，海拔1,200 m與1,400 m的物種豐富度

比800 m與1,000 m低；而海拔800 m的樣帶，其9-12月及1-4月的月均溫分別為四條樣帶中的最高值以及最低值，同時其在乾濕季結束所測量的土壤濕度也都是高於其他三條樣帶；但有發現2種物種原先分布海拔僅介於1,200-1,400 m，但在海拔1,000 m處有發現其小苗的蹤跡，代表此種物種有往低海拔遷移的趨勢，推測可能是因為較低海拔之水分較充足，因此比較有利物種存活並生長，然而大部分物種僅分布在特定海拔中沒有遷移現象，可能因為海拔梯度造成的環境差異，限制物種無法順利擴張其分布範圍。

#### 1.4 物種脆弱度評估

海島型氣候的台灣對於氣候變化十分敏感，不論是氣候情形改變或是天氣驟變，抑或是極端氣候的強度及頻度增加，皆會影響到生態系的運轉，尤其以生物多樣性受到的衝擊最為強烈，物種可能滅絕或是改變其分布範圍以適應環境的變化。然而隨著溫度升高及降雨量大增會使得脆弱度趨於嚴重(陳朝圳等，2009)。

陳巧霖(2014)以物種現有分布對應氣候，並以情境模擬探討氣候變遷對台灣櫟林帶之影響。其研究結果顯示，假柃木(*Eurya crenatifolia*)、台灣扁柏(*Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*)、狹葉櫟(*Cyclobalanopsis stenophylloides*)、赤柯(*Cyclobalanopsis morii*)及假長葉楠(*Machilus japonica*)屬於脆弱度較高的物種，但是前兩物種分布範圍多集中在北部，若是為適應氣候改變而向北緯遷移的範圍就相較後三種物種來的少，因此假柃木及台灣扁柏滅絕機率高於狹葉櫟、赤柯及假長葉楠，意即假柃木及台灣扁柏的整體脆弱度高於狹葉櫟、赤柯及假長葉楠)。

#### 1.5 森林小苗監測

木本植物群落的結構往往取決於歷史事件，而不是調查當時的資源和競爭者所造成，在每次的小苗新增加上當時有罕見的有利小苗建立生長的環境時，多年之後才是我們看到成熟植群的組成(Bond *et al.*, 1984)。因此小苗的物種組成在森林更新中扮演重要的角色(Teketay, 1997; Bace *et al.*, 2012)，原有樹種能否在該地持續順利的更新，以及新的樹種是否能進入當地森林，這都可能影響將來的森林物種組成(Connell *et al.*, 1984)。Grime (1979)指出，在成熟的熱帶和溫帶森林中，有些樹種的小苗可以長期存活在陰暗的林下，這是植物的一個常見的更新策

略。小苗庫可能因照射到地被層的光量增加而使小苗快速成長，最終影響森林各分層的樹種組成。而亦有許多研究指出小苗的存活受乾旱嚴重程度的影響，強烈的水分逆境可能是導致許多森林小苗的高死亡率的主因(Engelbrecht *et al.*, 2005; Comita and Engelbrecht, 2009; Slot and Poorter, 2007)。雖然小苗死亡率高，但林冠之下的木本小苗仍然表明了森林結構的潛在變化(Perez-Ramos and Maranon, 2012)。因此，監測森林植群內的木本植物小苗可以協助我們預測森林對環境變化的影響(Pedersen, 1998; Capers *et al.*, 2005)。

## 1.6 生態系或物種面臨氣候變化之敏感適應能力與因應對策

### 1.6.1 面對氣候變化之應變方法

國際生態復育學會(Society for Ecological Restoration International) 2009年的報告中指出，面對氣候變遷所帶來的威脅，以生態系復育及稀有種的管理觀點而言，可以採取如下的應變方法：(1)增加棲地面積，維持原有棲地的生物多樣性；(2)透過棲地復育方法，增加原有的片斷化生育地之連結，提供物種適宜的遷徙廊道；(3)針對遷徙能力較差的物種，或是遷移能力趕不上氣候及土地利用變遷的物種，採用人工輔助遷徙(assisted migration)的方式，協助物種新族群的異地建立；(4)針對危險程度最高、缺乏抵抗力及適應力，或遷徙能力低弱的物種，則必須考慮透過異地保育(*ex situ conservation*)方式進行物種多樣性的保存。除此以外，仍應針對高風險生態系設立監測系統，瞭解生態系及物種的持續變化，方能及時擬訂有效的因應對策。

Shoo *et al.* (2013)針對生態系及稀有物種面臨氣候變遷的威脅，提出更具體的保育因應方法，其決策包含物種是否需要保育，物種是否有適當的內部或外部避難所為考量，並參考其遺傳多樣性之組成，而一步步地去討論行動方案。Dawson *et al.* (2011)指出，物種面臨到氣候變化時，其可以採取的方式有忍受、適存於棲地的改變、遷移與滅絕四種。而生態系及物種面臨不同程度的氣候變遷脆弱度時，可採用的因應對策隨著物種對應氣候變化的脆弱度與敏感度升高，與適應能力降低，對策就必須由低度介入處理到強力介入，包含：現有棲地保護管理(*habitat or landscape management*)、物種的現地保護管理(*species-specific management*)、協助遷徙或營造棲地廊道、協助族群重建(*reestablishment or rewilding*)、異地保育等(圖4.3)。然而這些不同程度的保育措施所需之經費規模不同，因此，保

育機關應依照政策方向與生態系及物種的風險暴露程度因子，選擇恰當之保育措施，方能以最有效率的方式，強化生態系及物種對於氣候變遷風險的抵抗能力。

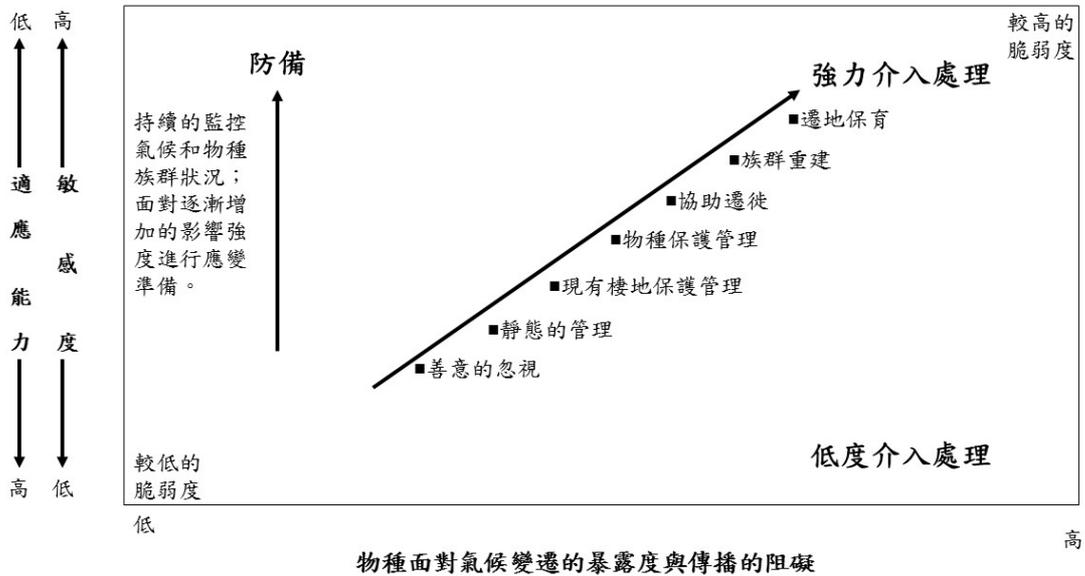


圖 4.3 生態系或物種面臨不同程度的氣候變遷與其敏感度與適應能力之因應對策。(修改自 Dawson *et al.*, 2011)

森林隨著氣候變化而致使其組成與動態等發生改變，此稱為森林退化 (forest degradation)，在低到中水平的森林退化上，由於母樹或土壤種子庫的存在，仍可提供下一代足夠的種源，此時天然更新仍為最好的選擇 (Chazdon, 2008)。因為天然更新可以避免一些外來引入之種源問題，也可以維持其遺傳多樣性與確保苗木的生存 (Thomas *et al.*, 2014)。然而，有些地區因為天然的種源缺乏或不足；或是種源遭受到遺傳流失 (genetic erosion) 而無法在變化的環境下生存，此時，對於物種進行異地復育與活體保存是全球植物保護的主要策略 (Larkin *et al.*, 2016)，主要可以避免物種滅絕，並且其活體材料可為將來重新種植的來源 (Guerrant *et al.*, 2004; Guerrant *et al.*, 2013)。一般來說，在進行異地復育時，必須要兼顧到族群內的遺傳多樣性。若是以種子為繁殖材料，則在採種上的策略為由許多母樹上，每一株選取少量的種子會比僅由少數母樹採集大量種子來的好 (Brown and Hardner, 2000)。

植物園自然保護國際機構(Botanic Gardens Conservation International, BGCI)整合了各方的研究成果，提出在進行重新建立或回復等相關計畫之前，有幾點是必須要考量與了解的，主要包含先確認物種消失之原因，要考慮重新建立的區域大小與其目前情況，並且須以遺傳學(即基因多樣性)為基礎進行，著重到將來的演替，盡可能使用當地的種源或種子，以及注意遺傳因子是否足夠等。當然，在回復之時也要注意鄰近區域的同一物種遺傳汙染(genetic contamination)的可能性與其影響。

而Oldfield and Newton (2012) 更為實際的說明執行異地復育的步驟與原則主要為 (1)確定行動的優先順序。Maunder *et al.* (2004) 建議要選定異地復育的物種可以依照物種之瀕危等級、特有性、經濟上的價值、生態上的維持功能與象徵性的物種等來決定其順位。(2)計劃和實施異地保護方法，(3)最後計劃並實施物種的再度引入。

## 1.6.2 全面性的決策框架

Shoo *et al.* (2013)表明氣候變化對生物多樣性產生嚴重的影響(Thomas *et al.*, 2004; Chen *et al.*, 2011; Hannah, 2012; Warren *et al.*, 2013)，這些影響可能無法通過傳統的保護方法得到充分解決，且目前全球正在考慮採取更多的管理行動，而此類行動需要系統性的物種保護決策框架。因此，Shoo *et al.* (2013) 提供了一個全面性的決定框架(decision framework)，以一個二元決策流程圖協助選擇保護行動，其目的主要為面臨氣候變遷下的保護物種策略，包含原生地與區外之保育方式的全部可能的行動。在框架中也明確認識到，進行特定行動保護資源可能受到一些因素的控制，例如成功的可能性，成本和對非目標物種的可能的共同利益以及個體物種的脆弱性。因此，可使用專家判斷資源分配中的關係，以對所提出的管理的順序進行評估。類似的物種保護之呼籲於同年也有IUCN (2013)與 Schwartz and Martin (2013)所提出，並且也提供了涉及特定的保護措施的決策框架。

由於人為排放溫室氣體使全球氣溫更加溫暖以及造成21世紀氣候系統的相關變化 (Meehl *et al.*, 2007)。這些系統變化也預期了全球的生物多樣性，無論現在是否要採取政策干預措施來減少排放，仍會造成其損失(Thomas *et al.*, 2004)。當然現有的保護策略仍然該持續，但也應該考慮採取額外的管理行動來改善氣候變化對物種的影響，因為這些影響不能通過傳統的保護方法來抵消，而目前保護方法通常集中在現有的位置(Heller and Zavaleta, 2009)。然而因為管理者缺乏一個明確的框架，來規定特定物

種可以實施的行動，與不同行動之間成功相對成本和可能性，以及對非目標物種的潛在共同利益等，因此Shoo *et al.* (2013)提供了決策框架，其中保護行動與物種的遺傳適應性和潛力的評估相關聯，調整其範圍以應對氣候變化，以朝著優化氣候變化下保護物種的資源分配邁出的重要的第一步。其詳細流程圖見圖4。

整體框架第一個挑戰是確定那些物種是脆弱物種，高風險物種可能因為適當生存環境面積逐漸減少或是其他因素使得物種族群下降。接著，脆弱物種確認好，即尋求物種可能的反應情境與可能有助於這些調整的干預措施進行匹配，從低水平干預開始，逐步推遲到更高水平的干預。當然Shoo *et al.* (2013)假設更高水平的干預可能更昂貴，成效更不確定，對非目標物種的共同利益較少，並且社會價值觀將增加影響到哪些物種將被保存或被遺棄。此流程圖雖然對特定物種可能存在不確定性和異常現象，但這種結構化的方法可用於評估不同適應行動的必要性和適當性。

與物種生存空間調整有關的行動從對潛在避難所的評估開始。避難所最初用於描述物種在最後一次冰期後存活的位置，但後來越來越多將之用於稱呼緩和當代氣候變化影響的地區(Ashcroft, 2010; Keppel *et al.*; 2011)。這些地區的保護已成為面對氣候變化的生物多樣性管理的優先事項(Heller and Zavaleta, 2009)。目前已有越來越好的分析工具被用於識別重要的避難所，這些工具可以以越來越精細的規模迅速擴大和生成，以將保護投資（例如土地保護和恢復）用於針對物種在氣候變化下最可能持續存在的現有位置(Shoo, 2010)。當然評估避難所的充分性是困難的，主要因為氣候變化對物種反應的預測有很大的不確定性。

內部避難所是指在目前種類範圍內的，提供最確定的據點，並且需要最少的干預。然而，在一些情況下，若當前和未來氣候預測的合適環境存在很少或沒有空間重疊，此時需要尋找外部避難所，即在物種現有範圍之外的氣候適宜的地區進行，此時須使用物種分佈模型來識別氣候適宜但未被佔用的地區，以促進物種的遷移。

下一個決定是需要移動的那些物種是否能足夠快地跟上合適的氣候，物種移動到外部避難所的途徑需要被管理。然而，有一些物種不能以與氣候變化速率相當的速度移動其範圍，或是其遷移途徑經過人為佔領區(如都市或農田)時，此時，管理者可能需要想辦法將可用的遷移路徑之棲息地聯繫起來，以達到物種可順利到達外部避難所。

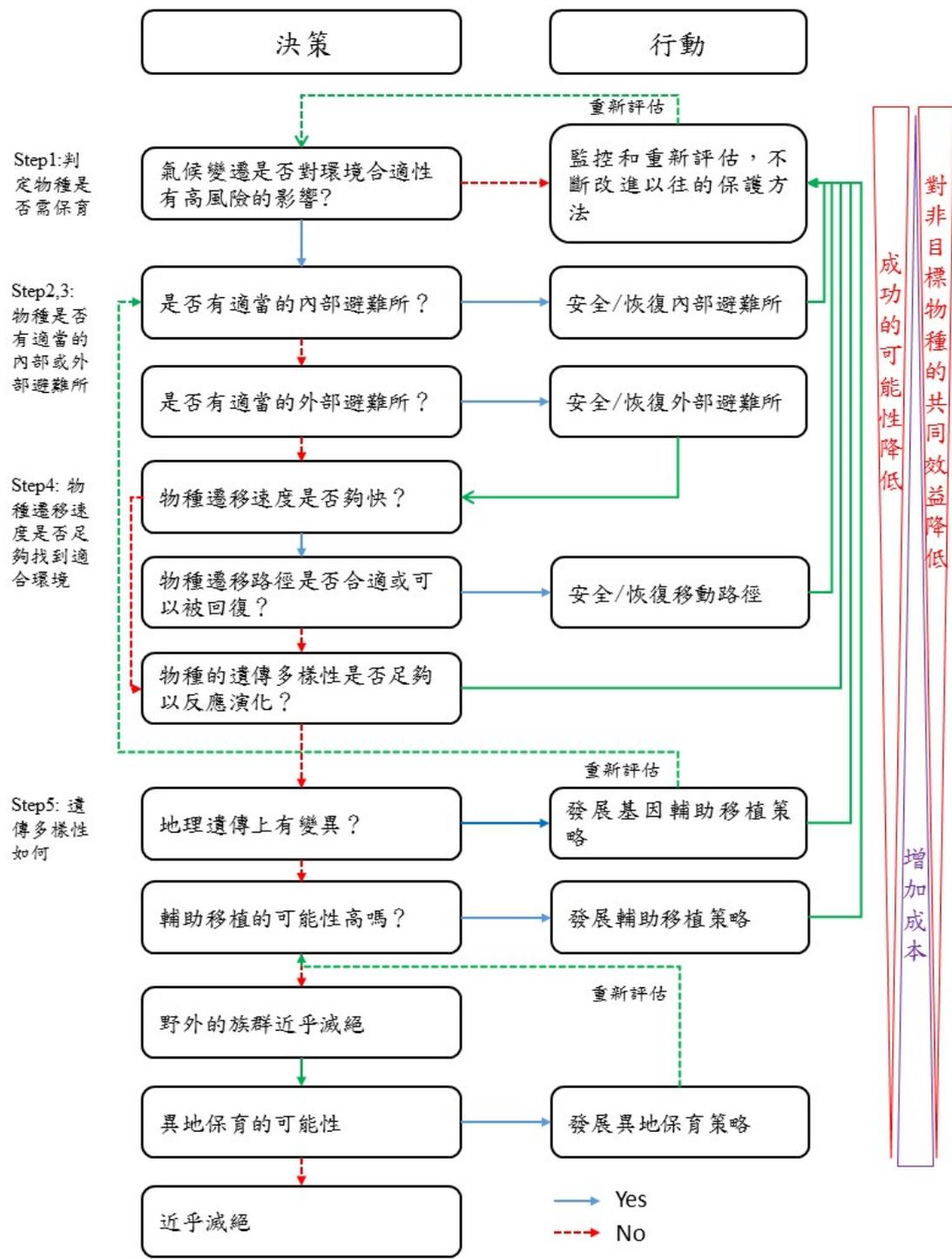


圖 4.4 針對氣候變遷下野外原生物種保護之管理行動決策方式。(修改自 Shoo et al., 2013)

對於高度破碎的棲息地或其遷移途徑被河流，城市等所阻礙的物種，使其自然遷移到外部避難所可能無法實現。如果有充分理由相信一個物種具有適應氣候變化的進化能力，最好持續監測與重新評估，盡量不要干預。否則，只好發展基因輔助移植策略或輔助移植以防止該物種於野外滅絕。

基因輔助移植策略主要是增加物種的適應性和進化潛力，其可能涉及兩個族群間的遺傳物質引入。基因輔助移植的其中一種形式涉及遺傳拯救，主要是引入遺傳物質以拯救現有種群由於近親繁殖或有害等位基因的積累而喪失適應性。當然外界引入之個體不宜太多，以維持族群中的局部適應的等位基因（即保護原先族群的基因不被外部基因流淹沒）。

在物種層面，發展輔助移植策略仍然是一個有爭議的行動(Ricciardi and Simberloff, 2009)，主要是擔心風險可能超過利益。另外，所有的策略都不能防止物種的消失，若是物種無法隨著氣候變化而演化，則該物種可能會滅絕，此時只能使用異地保護，例如動物園，植物園，種子庫和組織儲存，以防止滅絕。然而，干預越密集，可能的成本越高。這可能會增加管理人員做出一些艱難的決定，此壓力取決於社會有多少資金可用於應對這些新挑戰。在任何情況下，對於成功保持圈養的物種，最好定期重新評估重返回野外的機會。

### 1.6.3 對全面性框架後續探討

Ahteensuu *et al.* (2015) 針對 Shoo *et al.* (2013) 的文章提出了四個問題，並且提出解決這些問題的方法。主要為

#### 1. 二元式的決策往往是不合適的

在 Shoo *et al.* (2013) 主要以二元的決策流程圖表示，而此類流程圖需要是/否之答案，這點在大多數的保護決策中並不合適。除了少數有進行完善研究的物種，研究者才有信心直接以是/否回應，大多數的物種無法知道確實的答案，而僅能以或許，或是可能性來回應，但整體決策應該要優先考量定量的因子以為行動指導。

Rout *et al.* (2013) 提出了定量決策框架，主要用於評估輔助移植此保

護行動的成本，風險和收益。其框架主要是將預期價值與成本效益分析結合探討。該文提到對一物種是否進行輔助移植主要是先識別和量化兩個決策選項的所有不同的可能結果，即正和負效應，其次將量化結果與它們各自的概率加權，然後選擇具有最高概率加權結果的決策選項。關於引入的具體策略，其移植地點和移植物種通過計算其預期價值，然後之除以執行費用（即業績和監測）來決定。

而目前許多物種處於瀕危狀態，在處理此類物種若我們因某些因素而延遲決策，則可能導致瀕危物種的滅亡。因此不論是定性，定量或混合性的決策，一個可能的決策框架還是要在關鍵訊息不確定或缺失下提供指導，此框架應該允許我們回應不知道，而非停止保護，整體決策應遵循避免瀕危物種滅絕的措施。因此，我們要特別強調，目前我們要確保風險規避，此風險規避可能會與Rout *et al.* (2013)之實施具有最高成本效益比的保護項目有所衝突，盡量防止物種滅絕。

## 2. 決策優先順序與補充行動。

Shoo *et al.* (2013)所提出的決策流程強加了決策時的先後順序，且不同的流程沒有可以同時進行的作為。一個可行的行動方案應該能有多種的保護行動，並且能在不同的保護行動做為中實施最佳的分配。決策框架中的管理行動順序反映了自然是靜態的概念，應該在決策中以選擇包括各種原位保護行動為第一優先要務，而最後的步驟即最不可取的選項則是非原生境保存。

Ahteensuu *et al.* (2015)認為為什麼管理行為應該具有先後優先順序。相反的，每個行動都應該考慮其成本和能力，以提高目標物種的保護狀態，這可能實際上導致同時使用幾種補充策略。保護行動應以成本效益比率而不是通過剛性預定義順序為優先。這就是說，預期價值不僅需要包括量化的生物效應，而且還包括對社會影響的估計，如文化，娛樂和經濟意義。

另一個問題是線性序列決策框架指導其用戶選擇第一合適的選項，並且不支持同時應用多個保護策略。然而，與任何單一策略相比，多個策略可能導致成功結果的可能性更高。如果一個物種滅絕，因為只有一個具體的行動被執行，後來證明是不夠的，我們不能再試一次，滅絕是不可逆轉的。因此，應當要允許促進採用多種行動同時進行。Rout *et al.* (2013)的廣

義決策框架意味著允許不同管理方案之間按比例分配資源，而不是在不同保護項目之間進行簡單的優先排序。

### 3. 成本，共同效益和成功之間的過分簡化關係

成功的概率，對非目標物種的共同利益和成本在各分類群之間不可能具有簡單，一致的關係。如Shoo *et al.* (2013)架構中提到，異地保護是最後與最昂貴的選擇，也具有最低的成功概率與對非目標的物種共同效益降低。Ahteensuu *et al.* (2015)與Shoo *et al.* (2013)的觀點相反，對於瀕危物種來說，非原生境保護應該是第一個選擇，至少對種子植物，並儘可能多地進行該物種的備份，並能使用到任何其他保護行動。實際上，異地保護在物種保護策略中是重要的，甚至是強制性的步驟，例如重新引入或協助移徙。此外，非原生境保存的成本在很大程度上取決於所使用的分類群和方法。例如，在種子庫中保存大量種子對於許多物種可以以最小的成本非常成功。植物材料在植物園或苗圃中的大規模繁殖與常規工作一起進行也可能僅引起較小的額外成本。這些費用應與有效的原生境保存相比較，這可能需要詳細的年度普查或密集的棲息地管理，既費力又昂貴。如果需要分配可用於社區發展的土地，維持分散走廊也可能帶來高額間接成本。

### 4. 忽視社會觀點

決策框架忽視了與決策有關的法律，社會和道德方面的問題。Shoo *et al.* (2013)沒有考慮到環境立法(environmental legislation)，如環境保護法(environmental protection law)和自然保護法。一個可行的決策框架需要在現行立法的限制範圍內適用，而一個物種的保護措施的範圍可能受到定義的管理目標和行動的法律的限制。而在輔助移植與保護廊道目前在環境立法中沒有得到承認。因此，我們目前有兩種方式可以處理此類問題，第一種是在開始時排除法律不允許的管理行動，並將精簡的成本效益比框架應用於其餘的選擇。另一個選擇是應用框架，然後檢查法律是否允許執行建議。如果不行，可以根據法律採取管理行動，或根據新的保護措施的科學和倫理論點修改立法。

## 1.7 植物繁殖體的保存

隨著氣候變遷、棲地退化及人為干擾等因素影響，植物同其他生物一樣面臨物種多樣性及遺傳歧異度的急遽衰減，此種遺傳侵蝕的發生，不論是野生物種甚至是企業化栽培之作物都存在於瀕臨滅絕之威脅中。因此，各物種之種質資源的保存，有迫切執行的必要性。在移地保育中，以種子保存為最簡單且便宜的長期保存法，但大多數以營養繁殖的經濟作物，其種子無法形成或為異儲型種子無法保存，欲進行上述種子類型之保存是無法實行的(Keller *et al.*, 2006)。而在此類具種子保存障礙的物種上，最被廣泛應用的保存方式為採集該類植物的多種基因品系，並透過無性繁殖法將之種植在田間進行管理，如同田間基因庫般持續地維持其種質資源的保存。雖然此法容易實施且繁殖材料方便取得，不過其於施行時需要足夠的空間及密集的勞力，此外，將植株直接暴露在可能具病害、蟲害、非生物逆境及天然災害的風險下，實屬不佳(Martin *et al.*, 2013)。

為屏除前述兩者缺點，Westcott *et al.* (1977)利用組織培養進行生體外保存(*in vitro* conservation)以儲存馬鈴薯之種質，不僅排除種子儲存的障礙，也解除母株材料受到病蟲害感染而喪失的危機，建立一節省空間需求且無菌的保存系統。另外，若以組織培養進行無性繁殖，對於具觀賞價值之園藝物種、經濟價值之農作物及有特殊藥用或木材價值的商業物種而言，不失為一種極具效率的繁殖方式。組織培養的特點即在於增殖速度快，能使培養者在短時間內獲得大量植株，也能藉此進行優良基因型之篩選，以維持其高利用價值。

然而，組織培養的快速增殖及培養期間高頻率的繼代培養，不僅無法符合商業生產節省人力和耗材花費的期望，也會提高培植體汙染的風險(Westcott *et al.*, 1977)。倘若能減緩培植體的增殖速度，使其生長減緩甚至是暫停，便可降低繼代培養的次數以延長繼代週期。而延緩生長保存法則是藉由調整培養環境條件以減緩培植體之生長，進而達到減少繼代培養次數之目的。

## 1.8 臺灣的現況

從歷史資料來看(圖4.5)，臺灣溫度整體在1980年代之後則是趨於暖化的現象，在1911年至2009年平均增溫速度為每10年上升0.14℃，四個季節的氣溫皆有上升的趨勢，而以春季的增溫幅度最大，但是在近30年(1980-2009)的增溫速度約為百年氣候的2倍，變化幅度則是以冬季為最大暖化程度，整體來說四季皆有暖化的現象(陳雲蘭，2008；盧孟明等，2012)；而在降雨方面，年雨量的變化趨勢

並不明顯，但是降雨日數呈現減少的趨勢，尤其是四季變化，然而小雨日數(日雨量 $< 1.0 \text{ mm}$ )為近30年降雨日數減少的主因，因而乾旱的發生頻率也為增加的傾向，同時降雨強度趨向增強的狀態及降雨延時為縮短的現象，因此容易造成豪雨的發生(圖5)(陳雲蘭，2008；盧孟明等，2012)。而離屏東南仁山最靠近的恆春氣象站其擁有百年氣象資料，相較於其他五個百年測站(臺北、臺中、臺南、臺東、花蓮)，恆春地區不論是百年氣候(增加 $0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )、50年氣候(增加 $0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )或是30年氣候(增加 $0.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )皆是暖化幅度最小的，最高的暖化幅度是在臺北地區(盧孟明等，2012)。

雖然盧孟明等(2012)以全台灣測站比較認為恆春測站之暖化幅度是最小的，若我們比較中央氣象局南部的恆春測站與大武測站之近三年與1950-2010年之長期氣象資料，結果顯示此兩測站近三年之月均溫於夏季到冬季多數明顯高於以往長期平均，尤以恆春測站，自5月到隔年1月之月均溫均明顯高於以往長期資料(圖4.6)。因此氣候變化對於台灣南部之森林動態產生何種影響，則是本計畫所關切的。

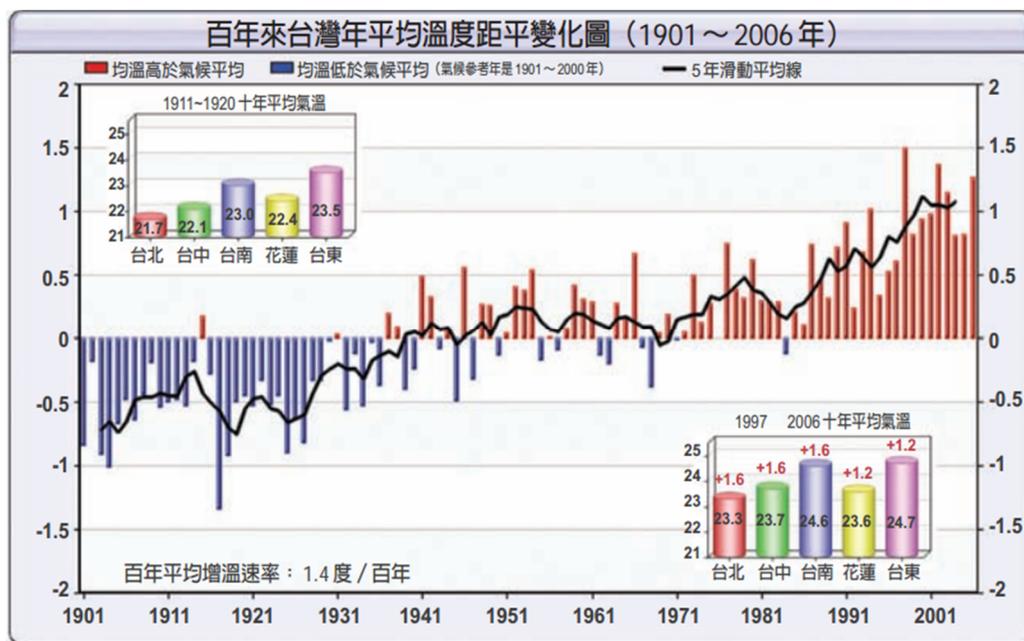


圖 4.5 百年來臺灣年平均溫度距平變化圖 (陳雲蘭，2008)

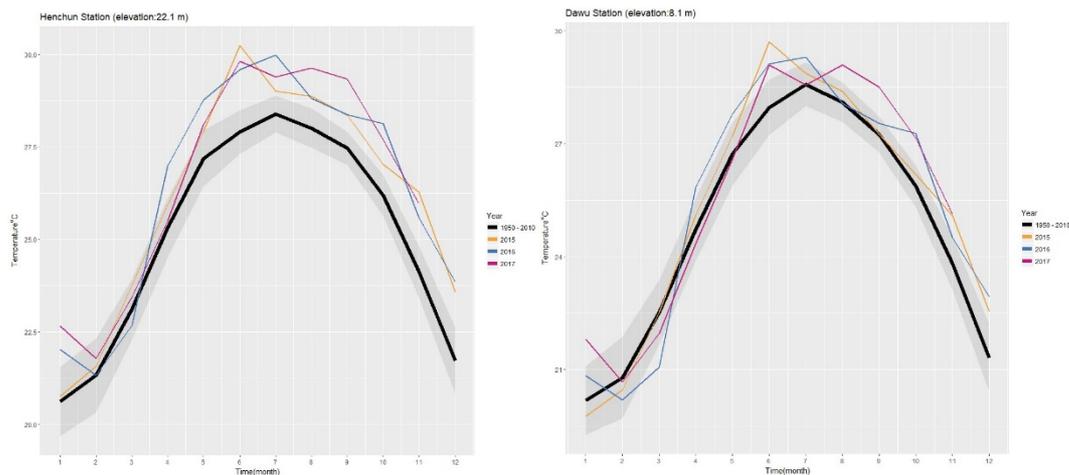


圖 4.6 台灣中央氣象局恆春測站(左)與大武測站(右)近三年月均溫與 1950-2010 年平均月均溫比較圖。圖中灰色表示信賴區間。

臺灣目前氣候變遷相關計畫之研究成果，顯示極端氣象事件之發生頻率與強度將與日俱增，使本島山區自然環境在氣候變遷與極端事件衝擊下日益脆弱(許焜雄等，2011)。為減緩氣候變遷對於生物多樣性之衝擊，研究建議應根據暴露度、敏感度及調適能力，先依照物種或地區的狀況評估其脆弱度，再針對所產生的衝擊程度與脆弱度進行政策、社會或法令上的調適以減緩、降低或預先防止災害的產生，並永續的維持整個社會或生態系(童慶斌，2012)。

根據邱祈榮(2013)及本團隊先前執行林務局2013至2015年「因應氣候變遷之生物多樣性脆弱度評估與風險管理研究」計畫之成果，已初步瞭解全臺灣維管束植物在長期氣候變遷影響下可能的殘存分布地點，亦初步提出風險較高且應積極保育之物種與族群；小尺度方面，則已針對臺灣水青岡及南仁山植群等案例地點，對於生物社會以物種層級可能遭受氣候變遷之衝擊與影響部分，完成初步的研究與評估。

林務局2013至2015年「因應氣候變遷之生物多樣性脆弱度評估與風險管理研究」計畫已完成臺灣多處氣候暖化下殘存地點之研判，另外亦已針對南仁山跨海拔樣帶及迎風型生育地植群進行深入分析，初步瞭解氣候變遷及極端氣象事件對於植群動態的可能影響。就前述計畫研究架構而言，所稱「殘存地點」即類似於 Hannah *et al.* (2014)年所提之堅守點概念，南仁山植群則可視為其實際案例。

而本團隊先前執行的計畫中，有三部分與本計畫相關，分述如下：

### 1.8.1 大尺度受衝擊地區

以先前計劃學會團隊成果中顯示牡丹至南仁山、壽卡等地屬放射狀水系或河川源頭，易受影響地點中心多位於山塊頂部或近頂部，評估這些地點的現生植群在暖化影響下缺乏向高海拔遷徙之空間，可能遭受到立即而明顯的衝擊，造成生態系組成的劇烈改變。前述7處地點中，又以牡丹至南仁山、壽卡地區易受影響之物種密度最高，應受到最優先之關注與保護。

### 1.8.2 小尺度的樣區複查動態與樣區物種評估

除了大尺度的結果支持南仁山區是受到氣候暖化最易受到衝擊的地區，在小尺度本團隊研究中也以南仁山樣區與樣帶實際複查資料顯示，整個南仁山森林動態與受到東北季風影響程度，與物種分佈類型有關。南仁山欖仁溪森林動態樣區歷經四次複查，結果顯示此森林結構上產生變化，其中以迎風型生育地變化最大，由近期生物量之快速累積，物種數量與植株數量的減少，顯示植株個體生長而向較大徑級推移，並產生林木自我疏伐的現象。但此現象可能為森林朝向穩定的老熟林成長，或是森林產生變化。由於迎風植群型之物種數量與生物多樣性顯著降低，此森林產生變化的可能性是較高的。另一方面，背風植群型之森林變化較小，在植株數量、胸高斷面積、死亡率和新增率僅有些微波動，但長期以來無明顯變化趨勢，與同樣位於南仁山區、但處於背風環境的溪谷樣區之動態相似，歷次調查之株數和胸高斷面積僅呈略為波動或穩定狀態。溪谷樣區在物種數、胸高斷面積與植株密度等均變化不大，由此可知，各生育地的動態變化幅度由大至小大致符合受季風影響之程度。而對於迎風型生育地內植株數降低，而生物量增高之現象，可能為植群演替、全球暖化或極端氣候所單獨或綜合性影響，此點尚無法以操作實驗驗證。

但是在族群數量調查結果中，欖仁溪樣區四次調查中，物種植株數量逐年顯著增加之種類與溪谷所佔比例相似(10%)，但欖仁溪樣區植株數量顯著減少之物種約佔40%，為溪谷樣區之3倍，其中欖仁溪樣區顯著減少之物種有一半的物種為迎風植群分布型之物種，其可能受到東北季風減弱的影響。造成其競爭勢的改變，原先這些物種可以在東北季風的逆境下存活，因少有物種可與其競爭，但整個季風減弱後，則這些迎風植群分布型物種

受到他種的種間競爭而死亡。當然並非所有的迎風植群分布型物種皆有一致的結果，嶺南桐則仍處於族群數量增加的情況。在族群逐漸減少的物種中，臺灣石櫟(*Pasania formosana*)、菲島福木(*Garcinia subelliptica*)與希蘭灰木(*Symplocos shilanensis*)分別屬於『臺灣維管束植物紅皮書初評名錄』中嚴重瀕臨滅絕物種(CR)、瀕臨絕滅(EN)和易受害(VU)等級，其族群數量顯著持續減少，可能有瀕臨滅絕的危險，且臺灣石櫟與希蘭灰木為臺灣特有種，因此亟須進行保育政策之評估，以避免物種消失。而我們參考Kingston and Waldren (2005)之評估法，分8個影響指標進行南仁山各個物種之脆弱度評估，其結果顯示攬仁溪有較多物種之脆弱度較高，如唐杜鵑，臺灣蕘花，臺灣石櫟等植物，此類物種則需進行回復力之研究。

### 1.8.3 南仁山樣帶大樹動態

在森林中的植物，自種子發芽到小苗建立，一直到生長成大樹的過程中要克服許多困難，如微環境的變化(Gatherum *et al.*, 1963; Schmidt, 2000)、種間競爭(Denslow *et al.*, 2006; Aline *et al.*, 2011)等，才能順利存活於大自然中(Deba, 2008)。南仁山樣帶於1995年設立後，至2013年進行第一次複查，其結果物種組成上，兩次調查到之物種數分別為127與116種，淨減少11種；在植物株數上，則2013年之植株數量增加許多，此株數增加，亦造成半數以上的物種之植株數量在2013年增加超過10%。在族群顯著增加的物種中，蟲屎(*Melanolepis multiglandulosa*)為此次調查新增之物種，且新增植株高達22株；而植株數量增加幅度最大的為白匏子(*Mallotus paniculatus*)，目前植株數量較最初植株數量增加3.00倍；其次為桃葉珊瑚(*Aucuba chinensis*)，增加株數較最初植株數量高出1.91倍；第三名為咬人狗(*Dendrocnide meyeniana*)，族群增加約為1.65倍；增加幅度第十的高士佛赤楠(*Syzygium kusukusense*)則為臺灣特有種；而族群顯著增加的前十名中，前八名的物種目前植株數量增加了1倍。族群顯著減少的前十名物種中有6種物種為臺灣特有種：小葉白筆(*Symplocos modesta*)、蓮花池山龍眼(*Helicia rengetiensis*)、細脈赤楠(*Syzygium euphlebium*)、臺灣八角(*Illicium arborescens*)、南仁山柃木(*Eurya nitida* var. *nanjenshanensis*)、猴歡喜(*Sloanea formosana*)，其中小葉白筆與蓮花池山龍眼為減少幅度最高的第一名及第二名，分別減少幅度為80%及45%；減少幅度最高的第三名為日本賽衛矛(*Microtropis japonica*)，其減少幅度為最初植株數量的40%。

以兩次調查資料進行物種沿著海拔梯度之物種轉換率之研究，其結果為物種相似度與海拔差異之關係在這兩次調查結果改變並不顯著。在物種百分之百轉換(即相似度為0)所需之海拔差異上，1995年資料之計算為315.6 m，而2013年則為323.1 m，其間之差異不大。而同一海拔高度的樣方植物組成相似性，兩次的調查資料均顯示相似性僅有0.505與0.549。在經由重覆取樣以測定其顯著性，結果為不顯著。

## 1.9 擬解決問題

臺灣雖已針對氣候變遷情境完成生物多樣性風險與脆弱度評估模式及因應策略規劃，並完成大尺度之維管束植物地理分布，以及南仁山低地雨林生態系統之案例研究評估，然而尚未針對可能遭受暖化衝擊之地點及可能受影響之生態系與物種部分，擬定適宜之保育策略與實務方法。因此，本細部計畫擬針對上述議題，解決問題如下：

1. 依據已知之長期氣候變遷殘存地點，以臺灣南仁山植群為案例，配合臺灣植物紅皮書初評名錄所列之受威脅物種(CR、EN、VU)，進行生態特性及分布現狀之整理，並瞭解前述應關注物種之現生環境特性與伴生物種，進一步評估其可能受衝擊之程度，並依物種及地區特性研提適宜之保育對策與具體作法。
2. 依據生態系及物種之保育急迫性，在參閱大量之政策性期刊論文後，歸納並提出可實行於臺灣的保育對策及具體作法，並選定二至三個生態系統(如恆春半島東側植群生態系、新竹地區槲欏植群等)，配合目前已完成之殘存地點優先保育物種名單，以野外實務調查監測檢討該物種清單之適切性，並選定適當案例物種進行實務性的試驗操作。預計研提之保育對策項目包含如下：

- (1)現有棲地及物種的保護管理。
- (2)協助遷徙或營造棲地廊道。
- (3)協助異地族群重建。
- (4)異地保育及方法建議。

選定二至四處已知殘存地點之高風險生態系及物種，規劃監測調查機制，亦即試圖瞭解「遷徙跳石」之存在與變化情形。透過長期資料累積，瞭解該生態系

及物種的退化或遷徙情形，依研究結果提出對應之保育措施建議。

## 1.10 計畫目標

臺灣南仁山區長期受到東北季風與地形遮蔽影響，其生育地可分為迎風型、背風型與溪谷型生育地(Chao *et al.*, 2010)。其中，迎風型生育地為受到每年東北季風影響最大者，而致使部分分布於中海拔之物種可生存於此，因此迎風型生育地應可視為微避難所。Hung and Kao (2010)提出，臺灣的東北季風受到冬季溫度增高的影響，因此風力顯著的減弱中，林務局在2015年完成的「因應氣候變遷之生物多樣性脆弱度評估與風險管理研究」結果中，亦討論到可能因為東北季風的減弱，造成迎風型生育地在物種數量，植株密度以及生物多樣性逐漸減少，相對的在背風型生育地與溪谷樣區則無顯著之變化，顯示南仁山森林可能受東北季風減弱影響而使得迎風型生育地產生變化；在物種層級上，也以攬仁溪樣區迎風型生育地有較高比例之物種族群持續下降，並建議迎風分布型的臺灣石櫟與希蘭灰木為極待後續保育之物種。

本計畫預定期程為3年，全程計畫目標如下：

### 1. 瞭解各殘存地點生態系及物種之保育急迫性，並提出優先序：

一處地區植物相或物種之特殊性與不可替代性，為衡量該地區生態系或特稀有植物應受保育優先順序重要因素之一。若地區植物相極為特殊，又或孕育有稀有且侷限分布之物種，且於其他地點難以覓得相似或可替代之植物社會組成，則本地區必須受到較高的保育關注程度。一旦此地區面臨氣候變遷或其他環境因子之衝擊時，更容易造成棲地與物種多樣性的流失，因此必須優先擬定保護對策，必要時則應預先採取稀有物種之異地保存等措施。

「因應氣候變遷之生物多樣性脆弱度評估與風險管理研究」計畫已針對全台可能為長期氣候變遷下的14處殘存地點，依物種特殊性、稀有性及專有性等因子，參考週邊環境的潛在威脅，提出132種物種為優先關注之清單。本計畫擬承接前期計畫之成果，配合臺灣植物紅皮書初評名錄所列之受威脅物種(CR、EN、VU)，進行生態特性及分布現狀之整理。並特別以新竹新豐鄉及南仁山植群為案例，針對前述應關注之物種進行生態特性及分布現狀整理，配合植群計畫成果資料，瞭解前述應關注物種之現生環境特性與伴生物種，進一步評估其可能受衝擊之程度，並依物種及地區特性研提適宜之保育對策與具

體作法。

## 2. 依據生態系及物種之保育急迫性，提出可能的保育對策及具體作法。

### (1) 現有棲地及物種的保護管理。

對於現狀分布於保護留區系統內，且保護留區面積足可涵蓋其潛在棲地物種，面臨氣候變遷風險程度較低，可朝就地保育以及維持棲地品質與物種族群方式進行管理。

### (2) 協助遷徙或營造棲地廊道。

對於棲地未能完全為保護留區涵蓋，或棲地週邊已為人工植群包圍的應保護物種，面臨長期氣候變遷之影響，在向北或向高海拔遷徙過程中，可能需克服跨越棲地或生態系的阻力，或須與其他植群競爭，可能導致物種遷徙過程中適存度降低，進而提高滅絕之風險。針對此類物種，應朝向檢討現行保護留區範圍、營造棲地廊道或協助散播遷徙等方式，提高其適存能力。本項目除提出研究成果及政策建議外，可選定2至3物種為案例，進行實務性的試驗操作。

### (3) 協助異地族群重建。

對於分布範圍限縮，且現狀觀察已呈族群逐步下降之物種，可能已難以倚賴物種本身的自力遷徙與競爭能力，尋得適宜之活存地點，將導致該物種在遷徙過程面臨極高的滅絕風險。針對此類物種，應朝向人工協助建立異地族群之方式，檢討週邊氣候因子適宜之原生棲地或人工林，輔助其種原建立異地族群，提高氣候變遷下的適存度；惟引種工作需考量族群遺傳多樣性之維持，亦應納本研究之工作項目辦理。本項目除提出研究成果及政策建議外，可選定2至3物種為案例，進行實務性的試驗操作。

### (4) 異地保育及方法建議。

對於分布範圍極度限縮且野外族群稀少的物種，一旦氣候變遷或極端氣候事件發生，極容易因少數個體死亡或棲地流失，即導致母族群數量與遺傳歧異度的急遽減損，因此有進行異地保育的立即必要。林務局為業務需要，常於所管林地選定氣候適宜、澆灌作業方便及周邊交通便利之處設置苗圃，由於各苗圃已具備苗木撫育所需之設備，且周邊常為平坦的造林地，如腹地許可，將是受威脅植物蒐集、培育並發展成為野外基因保存園

的良好場所。

本研究計畫可協助提供異地保育物種清單，針對氣候變遷殘存地點生態系及物種之生態特性，建議適宜之異地保育地點。後續則建議林務局利用異地保育地點鄰近之苗圃及周邊林地，利用氣候、交通、作業腹地為考量條件，發展野外基因保存園，以培育及保存當地高滅絕風險物種為長遠目標。

### 1.11 本（106）年度目標

1. 依據監測調查結果及相關稀有資料之收集，動態檢討南仁山區殘存地點生態系及物種之保育急迫性及其優先次序。
2. 完成遷地保育物種清單及適合地點之篩選。
3. 持續進行南仁山及槲櫟植群之研究，以及以文獻或實例資料說明人為協助繁殖之成效。
4. 實際提出協助遷徙、營造棲地廊道或協助異地族群建立之生態系或物種，完成範例物種的試驗操作。並依試驗調查結果，說明人為協助遷徙或建立異地族群之成效。

## 二、材料及方法

### 2.1 研究地點

本計畫主要以新竹縣新豐鄉的槲櫟分布地點與屏東縣滿州鄉的南仁山自然保留區為主要研究地點。

槲櫟分布區域主要在新竹縣新豐鄉與竹北市交界處之牛牯嶺山區，為鳳山連營區軍方所管理的範圍內，因此一般民眾不能隨意進入，也使得槲櫟族群不遭到過度破壞。目前針對槲櫟分布劃為四區(圖4.7)

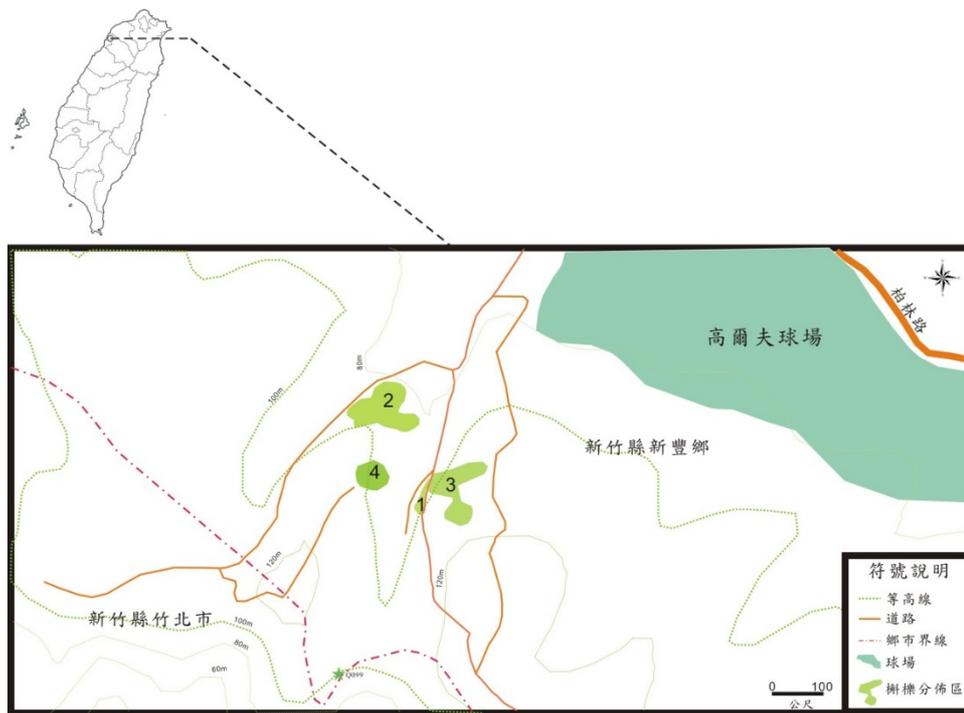


圖 4.7 研究區域圖。圖中淺綠色區塊為櫟櫟分布之生育地位置。

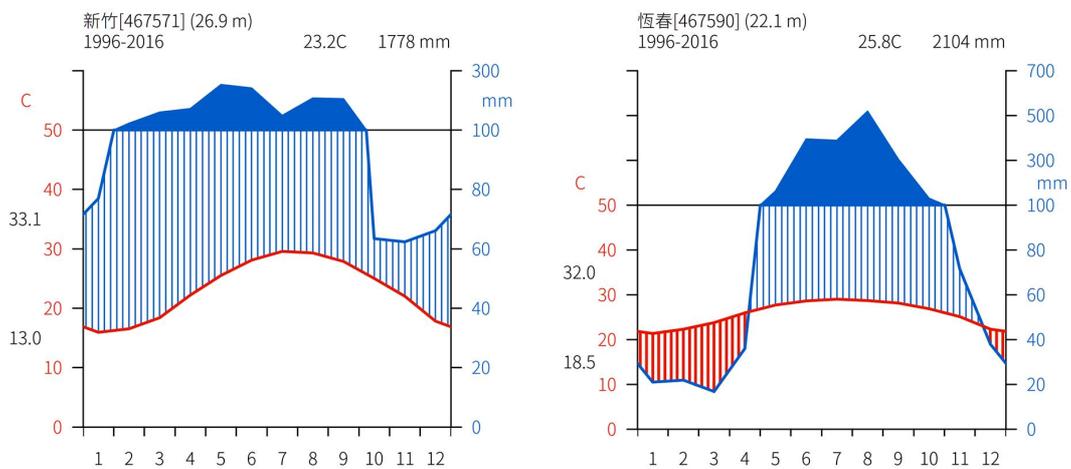


圖 4.8 新竹與恆春地區 1996-2016 年間生態氣候圖。(資料來源：中央氣象局)

當地氣候以中央氣象局自1996-2016年之觀測資料顯示，年均溫為23.2 °C，而年雨量為1,778 mm，除了十月到隔年一月為較乾燥之氣候外，其餘月份雨量均高(圖4.8左)。櫟櫟生長在厚壤土，且其分佈的區域十分狹窄，森林組成多為九節木(*Psychotria rubra*)、相思樹(*Acacia confusa*)、江某(*Schefflera octophylla*)等樹種

外，還有許多菝葜(*Smilax china*)、雙面刺(*Zanthoxylum nitidum*)等蔓藤植物，櫛櫟可能因為附近的植株競爭資源養分而導致生長受到限制。

南仁山生態保護區位於臺灣南部恆春半島東側，屬於墾丁國家公園的範圍。研究區域之氣候狀況以中央氣象局的恆春測站資料來看，年平均溫度為25.8 °C，在雨量方面，夏季受到梅雨季的滯留鋒面、熱帶性低氣壓、颱風、颱風過後所引進的西南氣流以及冬季的東北季風影響，年雨量為2,104 mm(圖4.8右)。

南仁山生態保護區內依據不同研究目的共設置五個樣區與一個樣帶，即為攬仁溪樣區，南仁山溪谷樣區I，II，南仁湖樣區，次生林樣區與南仁山樣帶(圖4.9)。其中攬仁溪樣區為美國史密森熱帶研究所(Smithsonian Tropical Research Institute, STRI)轄下的熱帶森林科學中心(Center for Tropical Forest Science, CTFS)，其所推動的國際性森林動態樣區(Forest Dynamics Plot, FDP)研究網之一。而本計畫使用攬仁溪樣區，南仁山溪谷樣區I，與南仁山樣帶之資料進行研究，以下分項敘述。

### 2.1.1 攬仁溪樣區

攬仁溪森林動態樣區位於萬里得山東側支稜一處朝東緩坡上，海拔高度為284至341 m，總面積5.88 ha，由南北兩塊為不同時期調查的樣區所組成，北邊3 ha，東西向長300 m，南北向寬100 m，南邊2.88 ha則於1997-2000年間設立，東西向長240 m，南北向寬120 m，緊鄰北邊3 ha樣區(Chao *et al.*, 2007)。在風速方面，每月平均風速為3.0 m s<sup>-1</sup>，而冬季有東北季風的吹拂，使平均風速最高到達為8.4 m s<sup>-1</sup>。目前已於1991年、1997年、2005年以及2013年完成每木調查。

樣區內植群受到東北季風及颱風雙重影響，造成了迎風、背風之不同的植被類型(Chao *et al.*, 2010)(圖4.10A)，過去研究發現東北季風長時間的強風逆境對植物社會具有相當大的影響，造成迎風區域低矮林相、彎曲樹幹和破裂林冠等現象。

### 2.1.2 南仁山溪谷樣區

南仁山溪谷樣區位於南仁山山腳處，約在港口溪支流之巴沙加魯溪旁。其海拔高度224 - 275 m，總面積為2.1 ha，樣區東西向長150 m，南北

向寬140 m (圖4.10B)，樣區設置於1993年並同年進行第一次的每木調查，而目前也於2000年、2008年及2013年進行完成複查。由於樣區東側與北側受南仁山阻隔，因此冬天之東北季風對此樣區影響較小，森林物種組成上與攬仁溪樣區差異頗大，此樣區的植物社會有熱帶雨林之特徵，如幹生花及支柱根。

### 2.1.3 南仁山樣帶

有鑒於恆春半島區域植群的特殊性，即於墾丁國家公園南仁山保護區設立永久樣區對臺灣僅存之低地闊葉林進行監測，並於1994年建立以研究植被帶轉換為目的的南仁山樣帶 (圖4.10C)。樣帶長約300 m、寬10-20 m，橫跨熱帶地區常見之低地常綠闊葉林及溫帶地區之下部山地常綠闊葉林，正是典型的熱帶及亞熱帶森林的交會帶，因此樣帶為植群交會帶對氣候變遷反應的最佳實驗地。目前僅於1995年及2013年完成兩次的每木調查。

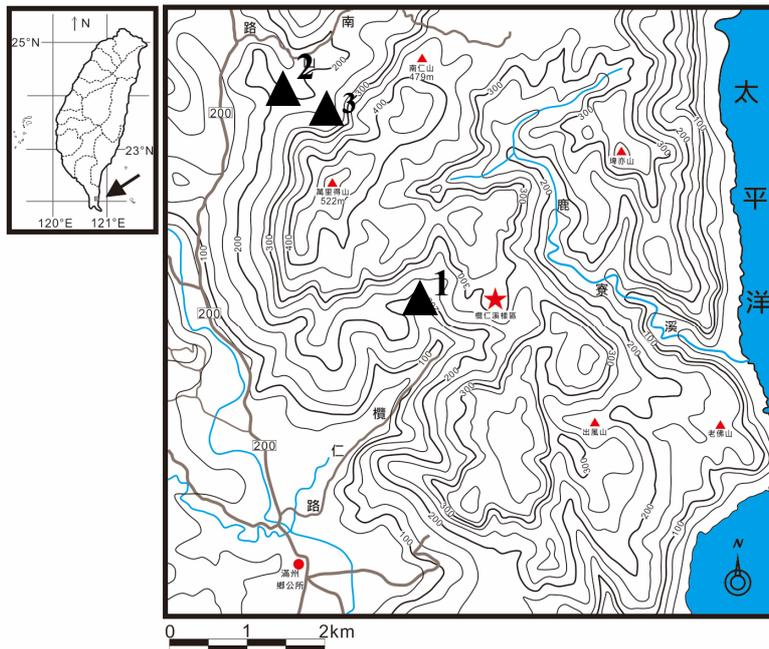


圖 4.9 試驗地位置。

三角形符號為本研究試驗地：1 為攬仁溪樣區，2 為溪谷樣區，3 為樣帶。

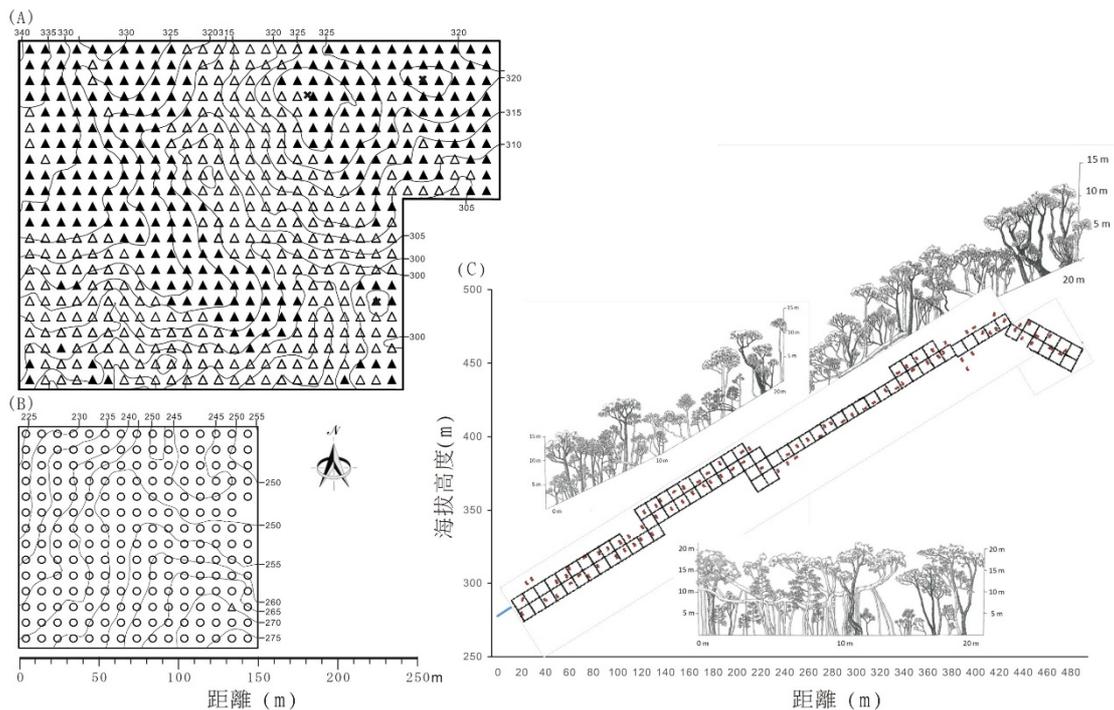


圖 4.10 南仁山森林動態樣區地形與植物社會分佈圖。

圖中每一個方格為 10 m×10 m 樣方，三角形屬於亞熱帶楠櫨森林帶（實心三角形為林帶之迎風型，空心三角形則為背風型）；圖中空心圓形為熱帶的榕楠森林帶（Chao et al., 2010）。(A) 欖仁溪樣區；(B) 溪谷樣區；(C) 樣帶。

## 2.2 物種保育急迫性及優先順序分析

本計畫主要以執行多年新竹縣新豐鄉的櫨欒(*Quercus aliena*)為範例物種，以對該物種的繁殖與區外種植經驗探討南仁山的指標物種將來的復育方式。

南仁山的指標物種則先經由樣區物種脆弱度評估，再依照物種之特稀有性質與該物種主要分布是否在易受暖化衝擊地點此三項指標，來決定其保育急迫性與優先順序。最後得出指標物種選取以臺灣石櫨、唐杜鵑、希蘭灰木為本次計畫執行物種，詳細說明於結果。

### 2.2.1 樣區物種脆弱度評估

本團隊參考Kingstone and Waldern (2005)並參酌Harter *et al.* (2015)之

評估方法，依照物種易受害程度、棲地脆弱性與物種適存度來進行計算。整體分為8個影響指標進行評估，其數字代表受害程度，再將指標值總和，即為總脆弱度。總脆弱度值越高代表受害程度越高，最高值為22，最低值為0。本次分析南仁山各樣區之物種，共計254種，指標與評估方法詳述如下：

1. 現有族群量：以該物種於樣區中的族群量來評估，其於攬仁溪樣區配分如下。

表 4.1 脆弱度評估表中，族群量的評估分數。

分數	每公頃株數	攬仁溪樣區 (5.88 ha)
0	族群量>200株	族群量> 1176株
1	族群量介於101-200株	族群量介於589-1175株
2	族群量介於21-100株	族群量介於119-588株
3	族群量介於11-20株	族群量介於60-118株
4	族群量介於1-10株	族群量介於1-59株

2. 族群增減趨勢：參考複查資料，若族群顯著增加，則此部份分數為0，若族群無顯著變化，則分數為1，若族群顯著減少，則分數為3。
3. 全島分佈範圍：先計算該物種於全臺分佈之比例(p)， $p = \frac{\text{該物種全臺分佈的網格數}}{\text{全臺網格數}}$ ，再計算其分數。分數的算法為

$$\text{score} = \frac{[2(1 - p)]^3}{2}$$

4. 景觀利用價值：以有無明顯的花朵或是景觀觀賞價值評估。有的話分數給1，沒有則給0。
5. 植株是否為資源植物：以功能有無評分，若是無功能或局部有潛在功能，則評0分。若是有些許潛在功能或為次要的植物資源，則評1分。若為當地主要植物資源，則評2。
6. 棲地多樣性：依據植物棲地分佈程度評分，我們將樣區依照受風影響分為三區，若為廣佈種則給0分，與兩個生育地有正相關，則給1分，若僅與一個生育地有正相關，則給2分。
7. 棲地脆弱性：以植株與棲地關係評分。若植株能穩定的生存在棲地中，則給予0分，若棲地在未來可能不穩定或受到威脅，則給1分。若棲地目前不

穩定或受到威脅則給2分。若棲地在短期內不能保持現有結構則給3分。攬仁溪樣區迎風分佈型物種給2分，背風植群型給1分，溪谷樣區給0分。

8. 傳播能力：以有無因子干擾物種的傳播計分，若沒有任何因子影響物種傳播0分，有一些因子會限制物種傳播1分，有因子嚴重干擾物種傳播或是物種停止傳播2分。

### 2.2.2 物種特稀有性

在物種特有性上，依據臺灣植物誌第二版之資料判定；而在物種稀有性上，則依據林旭宏(2017)年所上傳之臺灣維管束植物紅皮書初評學名索引之評定等級。

### 2.2.3 物種分布地是否受暖化衝擊

在物種分布與受暖化衝擊上，本研究參考學會團隊使用隨機森林(random forest)分類器所產生之植群變化來推估。而依據學會團隊之目前推估結果，生長於低地風衝長綠闊葉矮林，即本研究所指的迎風坡植群型於2035年只退縮到萬里德山稜線附近，而進一步的可能於2055年消失，因此若物種僅生存於此類植群型者，都須考慮其未來可存性。

## 2.3 櫟欒分布模式與預測

此部分由學會團隊進行，主要方法為先利用GBIF資料庫，獲取中國、臺灣、日本的櫟欒現生分布點，而韓國資料則由tropicos資料庫抓取。在櫟欒不出現資料上，北界依據任良宰的WI index計算，訂出中國北方、北韓及日本北海道的分布北界，另外中國的不出現資料，加入中國植物誌上的分布圖以外的點，判定為不出現，最後根據植物誌記載，將中國、臺灣、日本、南北韓以外的區域，判定為不出現。

最後搭配ClimateAP產生現生氣候資料，再用隨機森林建立預測模式，以500公尺解析度預測櫟欒在臺灣的分布機率。得到的結果機率高於60%的地區標示於圖。

## 2.4 監測生育地之小苗調查方法

本計畫分別在南仁山樣帶、欖仁溪樣區與出風山設立小苗樣區，以監測生育地之小苗更新狀況。

### 2.4.1 南仁山樣帶

本調查在南仁山樣帶上設置90個 $1 \times 2 \text{ m}^2$ 的木本小苗樣方(圖4.11)。樣方初次設置於1995年(賴宜鈴, 1996)，而2015年開始本研究維持20年前所設立之樣方，主要調查項目為樣方內的所有木本植物的小苗(胸高直徑  $< 1 \text{ cm}$  或苗長  $< 1.3 \text{ m}$ )，每株小苗會給予編號並辨識物種，並調查小苗的存活，每季調查一次。本研究至目前所調查次數共有9次，分別於2015年與2016年的2月、5月、9月與12月以及2017年的2月與9月進行調查。

### 2.4.2 欖仁溪樣區

從欖仁溪樣區中選取橫跨不同生育地的東西向木本植物樣方，以系統取樣的方式進行設點，在木本植物樣方西南角設立 $2 \times 1 \text{ m}^2$ 的小苗樣方，共15個小苗樣方。另從樣區中選取海拔梯度變化最大之南北向木本植物樣方，同樣以系統取樣設點，共成立11個小苗樣方，總計26個小苗樣方。調查時間在2015年為每季調查1次，分別為2015年1月、2015年5月、2015年9月、2016年1月；而2016-2017年則是每個月調查一次。

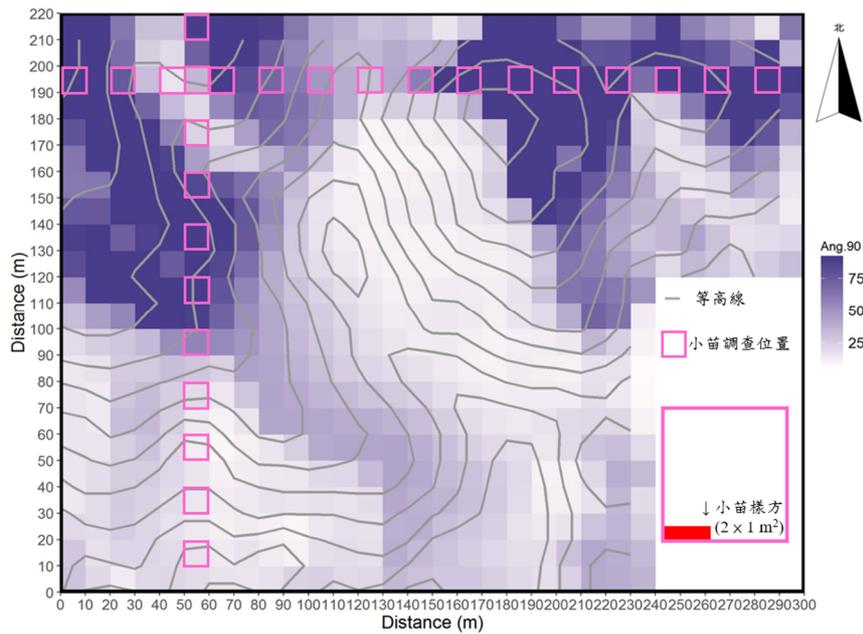


圖 4.11 南仁山攬仁溪樣區東北季風暴露度分布圖、等高線圖、小苗樣區位置圖。

### 2.4.3 出風山

本計畫在出風山有臺灣石櫟分布區設立 5 個  $10 \times 10 \text{ m}^2$  的樣方，並於每個樣方的四個角落設立  $1 \times 2 \text{ m}^2$  的小苗樣方，總計共 20 個小苗樣方。調查時間為 2017 年 1 月與 7 月，為半年調查 1 次。

## 2.5 小苗分析方法

在木本小苗的動態上，本研究將統計所有調查過的物種數量以及植株數量，並統計不同年份不同季節的小苗總植株數量，以計算單位面積下的小苗密度以及年平均小苗密度，其計算公式如下：

$$\text{小苗密度(株/m}^2\text{)} = \text{總植株數量(株)} / \text{總樣方面積(m}^2\text{)}$$

物種遷移的分析方法是將同物種之不同年份的分佈海拔範圍做比較，木本植物與木本小苗的資料選取標準是一致的，僅選取在不同年份中皆有調查到的物種且其中一年之植株數量  $\geq 5$  株者才會列入分析。根據 Chen *et al.* (2009) 之分析方法，

利用1,000次bootstrap進行抽樣分析，若是 $p \text{ value} \leq 0.05$ 則為有顯著遷移情形，再將不同年份之分佈海拔做比較，若是近年物種分布海拔高度高於過去之海拔高度，則判定此物種有往高海拔遷移之現象，反之則為往低海拔遷移，而 $p \text{ value} > 0.05$  則為無顯著遷移。所有的分析以R 3.2.2 (<https://www.r-project.org/>)進行。

### 三、結果與討論

本計畫結果在地點上因牽涉到新竹新豐的榭櫟族群，與南仁山區的攬仁溪樣區、南仁山樣帶與出風山，而各地點所進行之分析不一，因此結果呈現以各樣方為主要順序，再依照各個樣方於計畫內之研究分析分項說明。

#### 3.1 南仁山區物種保育急迫性及優先順序分析

在脆弱度評估中，最後評估結果於附錄1，其中，現有族群量是以2013年調查資料為依據，族群增減趨勢中，則使用南仁山攬仁溪動態樣區四次調查資料，經由線性迴歸分析87種植物發現，包含竹柏(*Nageia nagi*)等7種物種(8.0%)之植株數量在這四次調查中顯著成長，而大葉羅漢松(*Podocarpus macrophyllus*)等46個物種(52.9%)之族群無顯著變化，而臺灣石櫟(*Pasania formosanus*)等34種(39.7%)則為族群數量隨著每次調查而下降者(圖4.12)。全島分布範圍則使用學會團隊資料進行分析，在景觀價值與資源植物上，則搜尋網頁資料，若有資料顯示其有景觀價值或資源植物使用，且有人為栽採，則依情況給分，網頁上無明顯資料者則不給分。棲地多樣性則是使用棲地分析(Species-habitat association)來看物種有無明顯棲地關聯現象。

由物種脆弱度評估中，經評估脆弱度高的物種依序為唐杜鵑、臺灣石櫟、綠樟、臺灣蕘花、假赤楊、灰莉、恆春石斑木、希蘭灰木、瓊崖海棠與攬仁舅等。這些物種當中，特有種有臺灣石櫟、臺灣蕘花、恆春石斑木與希蘭灰木。而依據稀有植物名錄中，極危(Critically Endangered, CR)物種有臺灣石櫟，易危(Vulnerable, VU)物種有灰莉與希蘭灰木，而接近受威脅(Near Threatened, NT)物種有唐杜鵑，其他物種則為暫無危機(Least Concern, LC)。最後考量其分布區域受氣候變化影響程度，因此本計畫選取極危特有物種的臺灣石櫟，易危的特有物種希蘭灰木與接近受威脅的唐杜鵑。而灰莉雖為易危等級植物，且主要分布於壽卡與南仁山區，其評比上與唐杜鵑接近，但因在大陸上此物種大量扦插，且繁殖技術較為成熟，因此未將之列入急迫名單內。

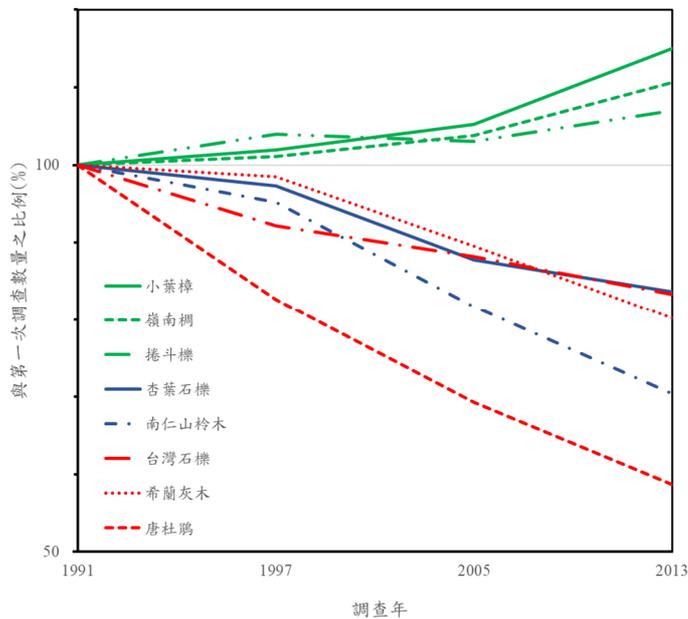


圖 4.12 南仁山攬仁溪樣區部分物種之族群變化。

### 3.2 南仁山保育急迫物種人為繁殖方式

由先前計畫成果中，南仁山之物種保育主要應以迎風生育地分布型物種為優先保育物種，配合上特稀有性，則主要依序為唐杜鵑，綠樟，臺灣蕘花，臺灣石櫟，假赤楊，灰莉，恆春石斑木，希蘭灰木，瓊崖海棠與攬仁舅等。這些物種中，本團隊已經開始進行唐杜鵑，臺灣石櫟與希蘭灰木的保育策略。

#### 3.2.1 唐杜鵑

唐杜鵑主要分布於金門，大屯山與南仁山。陳硯茹(2005)以 9 個 ISSR 引子檢視唐杜鵑臺灣南、北及金門三個地區之 8 個樣點 82 個個體之區別，結果顯示唐杜鵑可分為臺灣南部、北部及金門三大群，南部樣點又可再分為南仁山及攬仁溪與壽卡兩個不同小族群，南仁山與攬仁溪之間亦有較小程度的分化，在北部樣點間則無顯著遺傳分化。由於其在南部遺傳變異較高，因此在需更加考慮將來異地復育時，南部地點之植株是否可以種在一起，此須再深入了解其遺傳變異。在繁殖策略上，王昶升(2013)以不同光強度與光週期促進杜鵑種子之發芽，結果顯示在 3,200、1,400 與 700 lux 下唐

杜鵑之發芽率可高達 85% 以上。顯示種子發芽上應不成問題。而廖宇賡與莊琬婷(2015)則是對金門原生之唐杜鵑進行了微體繁殖之研究，獲得不錯之成果。在物候上，本團隊於 10 月觀察到壽卡族群有一植株開花，以及產生不少花芽，11 月時則仍有不少花芽存在，而到 12 月調查時，已有許多蒴果存在。

本團隊目前於欖仁溪樣區採集到之蒴果中，取得 11 顆種子，最後有 7 顆發芽。這些發芽的小苗於 4-6 週後長成具有 6-10 片葉子的無菌苗，取小苗頂梢為培植體，以 2ip 誘導多芽體發生。2017 年 3 月於壽卡地區採到唐杜鵑種子，經播種，4-5 週後種子萌芽，移盆後實生苗共有 63 株。2017 年尚未在欖仁溪樣區與出風山發現開花或蒴果。

### 3.2.2 臺灣石櫟

本團隊依照文獻資料、標本資料以及當地居民訪談，得知臺灣石櫟的分布點，主要有出風山。本團隊目前已於出風山設立樣區以監測臺灣石櫟族群。

在文獻收集上主要為蔣鎮宇教授的國科會報告中，利用葉綠素 DNA 片段與 RAPD 指紋證據來探討臺灣石櫟與柳葉石櫟(*Pasania dodoniifolia*)之區別，由此兩證據均顯示兩者族群因選擇不同環境而致高度分化，最終形成種化。在其無性繁殖上，洪昆源等(2009)指出臺灣石櫟為難以發根物種之一，在選取 1-2 年生的枝條扦插，則只有 35% 發根。而在種子發芽率上，洪昆源等(2009)亦指出在水選後，以日溫 30°C 與夜溫 20°C 之交替處理下，其種子發芽率僅有 1%，但若是先低溫層積 3 個月，在進行同上之處理方式，則發芽率可達 65%。

本團隊於 2016 年年底與 2017 年 6 月與 9 月於欖仁溪樣區與出風山採集。以臺灣石櫟枝條的莖節作為培植體，在採集後即浸泡 0.2% 的安期-A 消毒液(Anti-A Solution)並以低溫運送至實驗室進行表面殺菌及建立無菌繁殖系統。目前進行到取根株萌蘖為材料進行表面殺菌，並以 2.22  $\mu$ M BAP 誘導側芽生長。

在種子採集方面，先前已購買的種子進行試驗，採集後即去除總苞，於 4°C 的環境下進行濕冷層積 6 個月，之後去除種子外部，僅留下胚

及子葉於水苔中使種子浸潤，期間溫度維持  $21 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ，並以冷白螢光燈作為光源，光週期為 16/8 hr，待其下胚軸明顯伸出時將其移至珍珠石：蛭石：泥炭土=1:1:1 的介質中，並於溫室中待其上胚軸生長，期間以白熾燈泡延長自然光照週期，使每日有 20 h 光照期。

種子採集上今年 9 月 29 日前往採集種子，卻發現出風山與欖仁溪樣區外之種子被大量採集(圖 4.13)，因此本團隊僅能找到殘存的 12 顆種子回實驗室進行冷層積。



圖 4.13 出風山之臺灣石櫟。左圖為 6 月所拍攝臺灣石櫟幼果，右圖為 9 月底時，果實被採光，留下因採集果實而斷折的枝條。

### 3.2.3 希蘭灰木

希蘭灰木分布於屏東楓港溪以及台東大武以南地區，以滿州鄉(包含南仁山)地區為其主要分布地點。在郭耀綸(2009)對於希蘭灰木的物候觀察中，認為該物種每年在 1 至 4 月間會結果，但其所附之表格中顯示該種之結果期較為混亂，基本上全年都有可能結果。因此本團隊於每月均前往察看結果狀況，待有成熟果，即記下母樹編號並採集，以利進行種子發芽。在種子發芽相關研究中，目前並未看到有此類研究，而在無性繁殖上簡慶德(2001)的研究指出，希蘭灰木扦插發根率依不同母株，在老佛山採集為 38.6-78.6 %；欖仁溪採集之發根率為 19.5-21 %。因此，若種子繁殖不易，則此物

種可以扦插進行繁殖。

在希蘭灰木的光合生理上，郭耀綸與陳瑄培(2005)的研究指出，本物種其特性為耐蔭樹種，且冬季在較低溫環境下光合效率較佳，此為將來選取異地復育之參考資料。

南仁山區的希蘭灰木果實於 9 月中大量落果，團隊此次僅採到一個熟果，預定明年 9 月初進行採集。希蘭灰木於 12 月調查時已有幼果，待明年採集。另外，本團隊亦自王志強老師研究室獲得 1 盆植株，並於 9 月份開始至出風山與欖仁溪樣區進行枝條採集，已經開始進行繁殖研究。

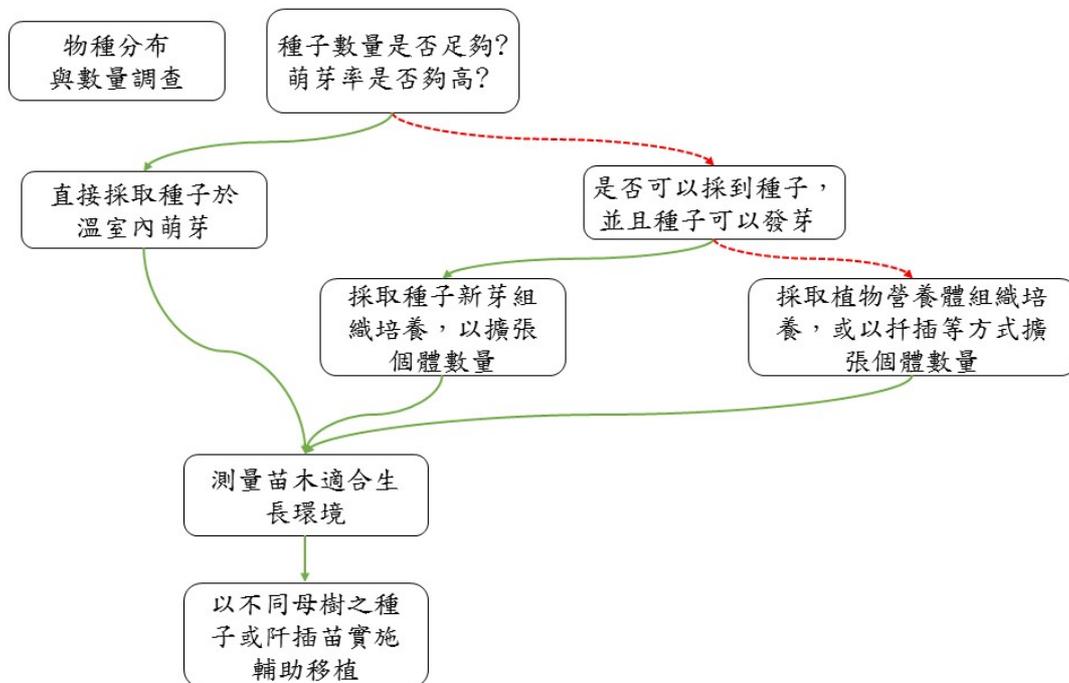


圖 4.14 指標物種繁殖策略之選取流程。

綜合以上結果，本團隊將可行之繁殖策略彙整於圖 4.14，若能採集到足夠數量且發芽率高之種子，則直接以種子繁殖，依照文獻，榲欖，唐杜鵑可能以此途徑進行；臺灣石櫟則因為植株數量少，種子稀少且萌芽不易，因此可能要進行種子芽的組織培養或是扦插法，以擴張族群數量。至於希蘭灰木，視種子採集與發芽狀況，再選取策略。

### 3.3 南仁山小苗監測

#### 3.3.1 攬仁溪樣區小苗監測

攬仁溪木本小苗自 2015 年 1 月至 2017 年 11 月間共進行 20 次調查，調查期間共記錄到 26 科 45 屬 59 種 598 株的小苗。三年調查期間有超過 50 株小苗的物種僅有九節木(65 株)、臺灣八角(51 株)與華河瓊楠(50 株)，其中以九節木佔所有植株數量中的最高比例(10.87%)，而其次的兩傘仔、日本賽衛矛、小葉赤楠、南仁五月茶與野牡丹目前調查到 35-40 株，所佔之比例約為 6-6.5%，植株數量排名第九名的小葉木犀目前調查到 32 株，所佔比例為 5.3%，其餘各物種之植株數量所佔全部物種之比例不到 5%，目前統計植株數量前九名的物種，其植株數量已佔全部小苗約 65%(圖 4.15)。攬仁溪樣區小苗在這 3 年的調查中植株死亡數量較低，可能因為東北季風影響，導致種子萌芽不易，但只要能萌芽，即可以存活(表 4.2)。

而在 2015 年 1 月份第一次調查的老苗組成中，則是以臺灣八角數量最多，佔總量的 11.07%，其次是兩傘仔(9.23%)，再者是華河瓊楠佔總量 8.12%，第四名則是日本賽衛矛(7.75%)，第五名為野牡丹與九節木並列，其皆佔總量 6.27%，小葉木犀與南仁五月茶各別佔總量之 4.80%與 4.06%，其餘物種所調查到的數量皆不到 3%，目前累計數量前 9 名之物種小苗其佔全部小苗比例已高達 58%(圖 4.15)。

調查至今仍有 46 種的小苗植株數量不到 10 株，包含本計畫重要物種希蘭灰木與唐杜鵑等，而臺灣石櫟則仍無小苗出現。；而全部的 59 種小苗中，有 14 種的小苗為臺灣特有種，包含臺灣八角(51 株)、兩傘仔(36 株)、南仁五月茶(38 株)、香楠(11 株)、細脈赤楠(9 株)、臺灣蕘花(8 株)、小葉樟(6 株)、南仁山柃木(6 株)、南仁新木薑子(6 株)、疏花紫珠(3 株)、恆春石斑木(2 株)、希蘭灰木(2 株)、高士佛紫金牛(2 株)、錐果櫟(2 株)與小葉白筆(1 株)。而樣區小苗物種的受害風險程度中，依據臺灣維管束植物紅皮書初評名錄索引，攬仁溪小苗受害風險程度最高的等級為瀕危等級(EN)，屬於這等級的物種有大葉羅漢松與竹柏，目前所調查的小苗數量分別為 15 株與 5 株；其次屬於易危等級(VU)的物種有小葉樟(6 株)、希蘭灰木(2 株)、南仁新木薑子(6 株)與高士佛紫金牛(2 株)；而南仁山柃木(6 株)、南仁五月茶(38 株)、唐杜鵑(1 株)、疏花紫珠(3 株)和賽赤楠(9 株)是屬於低風險物種中的近危等級(NT)；其他有 47 種物種目前是屬於無危等級(LC)，如華河瓊楠、十

子木與武威新木薑子；另外，細脈赤楠因數據缺乏(DD)，故目前無法評斷其生存是否受到威脅。攬仁溪僅發現兩株希蘭灰木，皆屬於老苗，皆於201501 調查即發現，至今年 11 月皆存活(34 個月)；而唐杜鵑調查到更新苗，僅發現一株存活 10 個月(2015 年 09 月到 2016 年 06 月)。

表 4.2 攬仁溪木本小苗樣區 2015 年 1 月至 2017 年 11 月小苗動態表

年份	2015			2016					
	01	05	09	01	06	07	08	11	12
存活植株(株)	271	284	296	319	338	358	370	364	391
新增植株(株)	-	18	24	32	29	26	19	30	37
死亡植株(株)	-	5	12	9	10	6	7	36	10

年份	2017										
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
存活植株(株)	399	405	401	401	403	402	404	404	412	418	423
新增植株(株)	21	13	3	3	9	5	8	8	14	12	18
死亡植株(株)	13	7	7	3	7	6	6	8	6	6	13

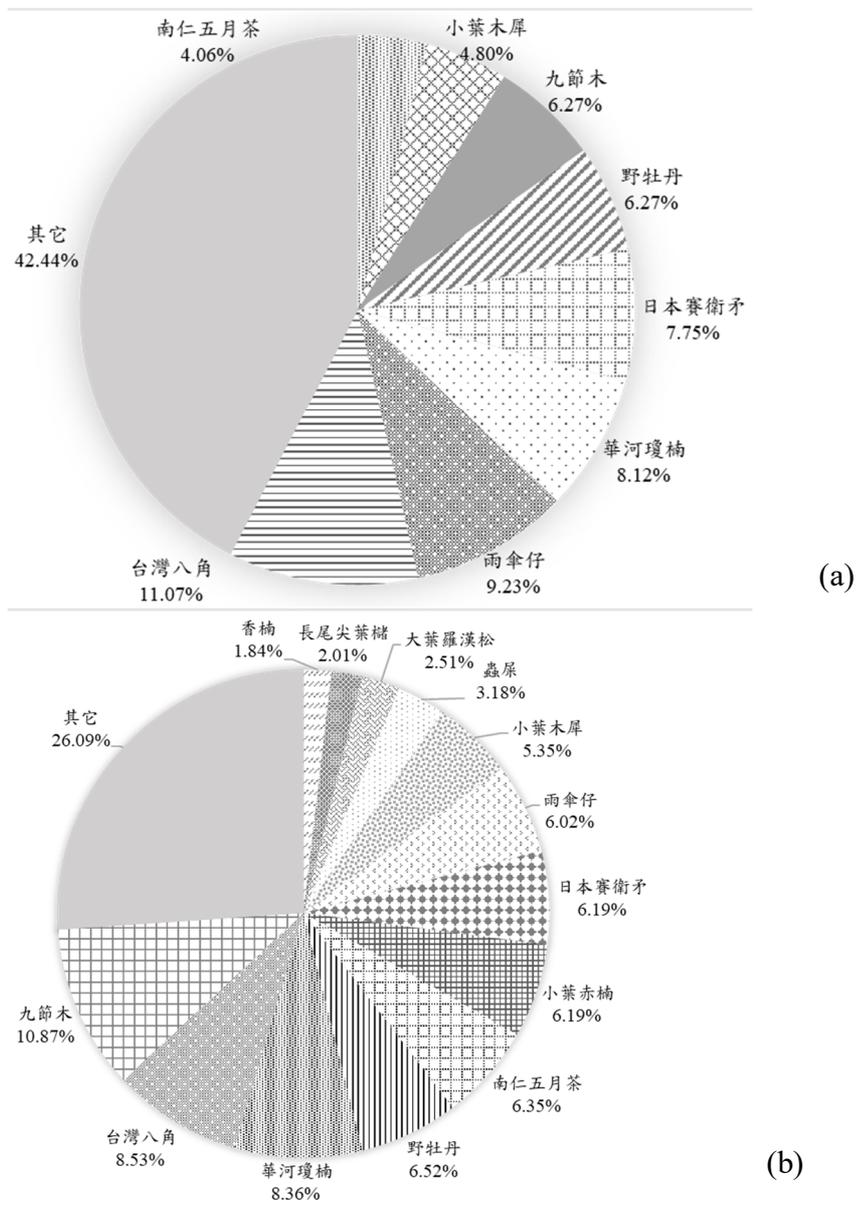


圖 4.15 欖仁溪小苗監測樣區之主要組成物種比例圖。(a)2015 年 1 月之老苗 (b) 所有出現過的物種比例。

### 3.3.2 南仁山樣帶小苗監測

本研究至今共調查到 26 科 47 屬，物種數量 67 種，小苗植株數量共 1,222 株，其中以山茱萸科的桃葉珊瑚數量最多，共有 124 株(11.12%)，其次是交力坪鐵色，數量共有 99 株(8.88%)，革葉冬青與九節木皆各有 96 株(8.33%)併列第三名，數量第四名的樹杞(*Ardisia sieboldii*)有 59 株(5.29%)，而第五名與第六名則是賽赤楠(*Acmena acuminatissima*)與茄冬，分別各有共有 56 株(5.02%)與 51 株(4.57%)，其餘物種所調查到的數量少於 50 株。而前六名的 7 個物種約共調查期間所調查小苗數量的 52.1%，約有 10 種物種植株數量僅有 1 株 (圖 4.16)。

小苗密度則是在不同季節而有差異，在 2015 年的小苗四季調查中，小苗密度自春季至冬季有微幅增加的現象，春季的小苗密度為 3.04 株  $m^{-2}$ ，而冬季則為 4.63 株  $m^{-2}$ ，年平均小苗密度為 3.26 株  $m^{-2}$ ；而在 2016 年的四次調查中，小苗密度最低於春季 (4.13 株  $m^{-2}$ )，而冬季則有 4.65 株  $m^{-2}$ ，年平均小苗密度為 4.38 株  $m^{-2}$ 。整體來說，2016 年的年平均小苗密度高於 2015 年的年平均小苗密度，但是春季與冬季皆各別為當年度最低與最高之小苗密度的季節，若以本研究共 9 次的調查來看，則是於 2017 年春季調查有最高小苗密度(4.82 株  $m^{-2}$ )。

而在本研究的調查期間中，有 30 株小苗之 DBH 已經超過 1 cm；其中 12 株小苗為 1995 年以前即已經存活之植株，至今存活超過 20 年；而有 9 株小苗則為 1995-1996 年調查新增之小苗，存活到本研究調查長成成樹；另外有 8 株小苗是在這未調查的 20 年間所新增長的，而有 1 株大青小苗為本研究調查時萌芽成長，並於數個月成長後其 DBH > 1 cm。

樣帶木本小苗目前調查到的特有種有 18 種：大葉楠(7 株)、小葉白筆(1 株)、台灣山香圓(3 株)、交力坪鐵色(99 株)、南仁山新木薑子(11 株)、南仁五月茶(31 株)、屏東木薑子(2 株)、恆春紅豆樹(16)、恆春紫珠(27 株)、紅花八角(4 株)、香楠(28 株)、倒卵葉山龍眼(8 株)、倒卵葉楠(10 株)、高士佛赤楠(20 株)、高士佛紫金牛(15 株)、疏花紫珠(5 株)、猴歡喜(6 株)與錐果櫟(1 株)。

而樣區小苗物種的受害風險程度中，依據台灣維管束植物紅皮書初評名錄索引，樣帶木本小苗易受害風險程度最高等級為易危等級(VU)，目前共調查到 4 種小苗是歸類於此：南仁山新木薑子(11 株)、南仁雞屎樹(4 株)、

恆春紅豆樹(16株)與高士佛紫金牛(15株)；而南仁五月茶(31株)、高士佛赤楠(20株)、疏花紫珠(5株)與賽赤楠(56株)目前是處於接近受威脅等級(NT)；其餘49種物種是屬於無危等級(LC)，如目前調查數量較多的桃葉珊瑚、革葉冬青與九節木；另外，交力坪鐵色因為目前資料不足，故無法歸類為何種程度的受易害等級。

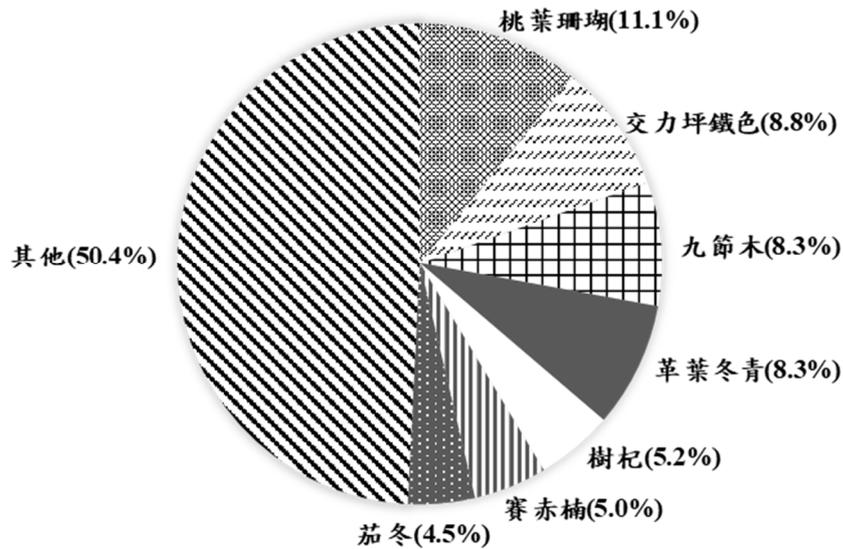


圖 4.16 南仁山樣帶木本小苗之組成。

在物種存活分析中，不同調查年份老苗之存活曲線圖顯示，1995年之老苗其2年後存活率低於50%，其中因間隔20年才再次進行複查(本研究)，故未有確切的存活趨勢，然至2017年2月尚有50株小苗還存活(其中有21株小苗成長至成樹  $DBH \geq 1cm$ ，表3)，存活率僅剩2.8%；而2015年老苗於2年過後其存活率仍有67% (圖4.17)。

表 4.3 小苗成長為成樹之物種與數量

物種	物種學名	賴宜鈴(1995)	本研究	總數量
桃葉珊瑚	<i>Aucuba chinensis</i>	9	5	14
交力坪鐵色	<i>Drypetes karapinensis</i>	3	0	3
九節木	<i>Psychotria rubra</i>	3	0	3
華八仙	<i>Hydrangea chinensis</i>	1	0	1
革葉冬青	<i>Ilex cochinchinensis</i>	1	0	1
恆春紫珠	<i>Callicarpa remotiserrulata</i>	1	0	0
石苓舅	<i>Glycosmis citrifolia</i>	1	0	1
大葉樹蘭	<i>Aglaiia elliptifolia</i>	1	0	1
大葉楠	<i>Machilus japonica var. kusanoi</i>	1	0	1
蟲屎	<i>Melanolepis multiglandulosa</i>	0	1	1
賊仔樹	<i>Tetradium glabrifolium</i>	0	1	1
奧氏虎皮楠	<i>Daphniphyllum glaucescens ssp. oldhamii</i>	0	1	1
大青	<i>Clerodendrum cyrtophyllum</i>	0	1	1
總計		21	9	30

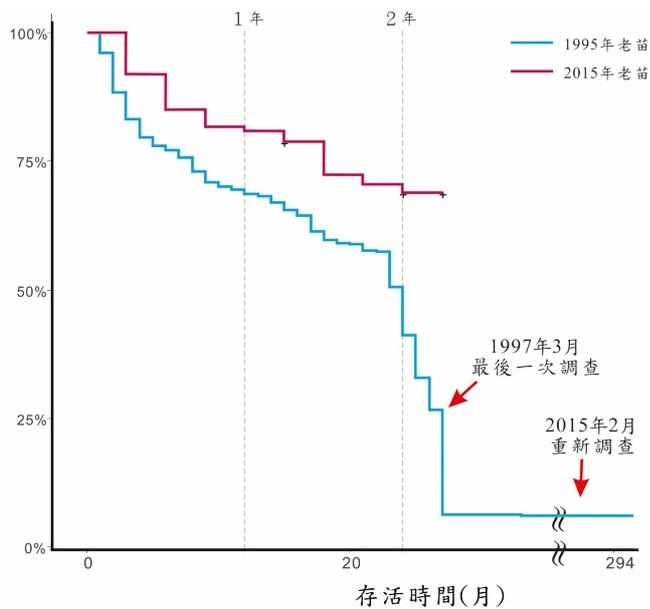


圖 4.17 1995 年與 2015 年第一次小苗調查之老苗存活曲線。

不同年份調查之更新苗存活曲線圖顯示，1995-1996 年之更新苗經過一個月後其存活率為 82%，3 個月後其存活率降至 58%，而當小苗存活 4 個月後其存活率僅存 50%，9 個月後存活率僅存 40%，且其存活率趨於平穩。而 2015-2017 年調查之更新苗於 3 個月後有 87% 的小苗能存活，1 年後其存活率降至 67%，21 個月後僅有一半的小苗能存活 (圖 4.18)。

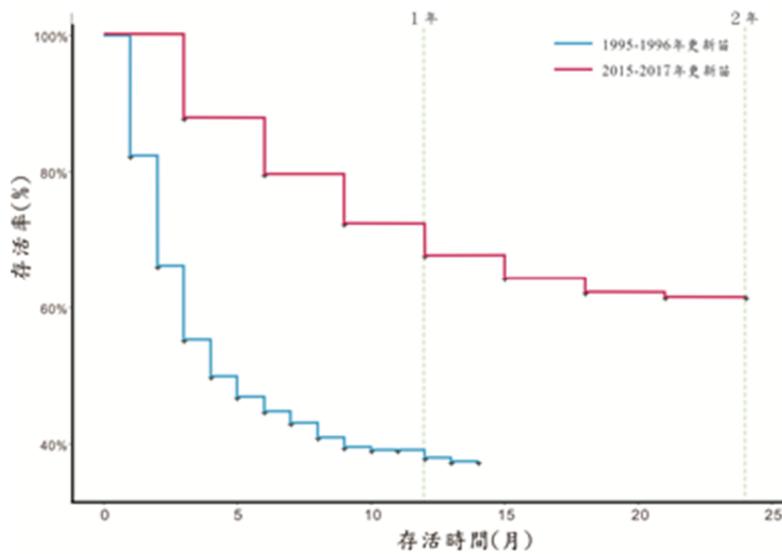


圖 4.18 1995 年與 2015 年兩次不同期間調查之更新苗存活曲線。

而在 2015 年與 2016 年不同年份的更新苗存活分析中，兩個年份之更新苗於 3 個月後的存活比率相近；經過 6 個月後，2015 年的更新苗之存活率還高於 80%，但 2016 年的更新苗之存活率已低於 80%；經過 9 個月後，2015 年更新苗之存活率約為 80%，而 2016 年更新苗之存活率約為 70%；而 2015 年更新苗經過 21 個月後之存活率與 2016 年更新苗在經過 15 個月後之存活率皆近乎 60% (圖 4.19)。

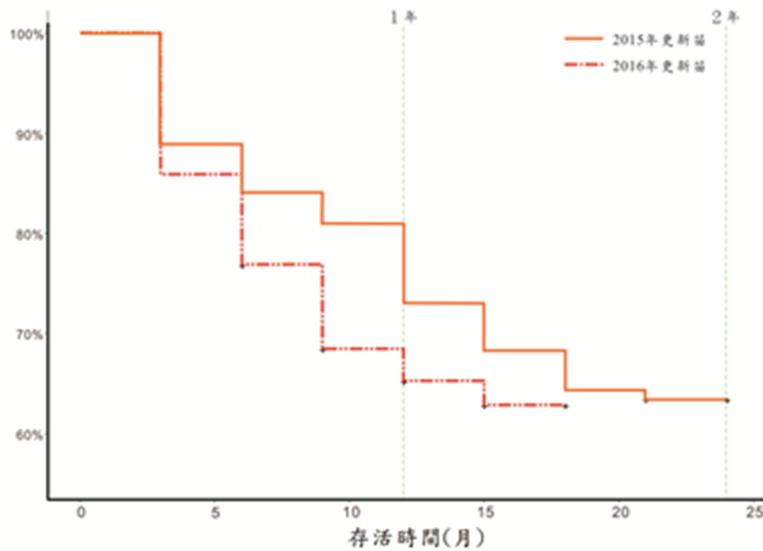


圖 4.19 本研究(2015-2016)之更新苗存活曲線。

### 3.3.3 出風山小苗監測

出風山木本小苗調查共計有 16 科 22 屬 27 種 141 株，其中以臺灣特有種-雨傘仔調查到數量最多以及唯一數量超過 10 株的物種，總共調查到 40 株小苗，而九節木與香楠為調查到數量次高的物種，共計 10 株(圖 4.20)，有 6 種小苗僅調查到 1 株，如瓊楠、天仙果、武威新木薑子、長尾尖葉楮、楊桐葉灰木、希蘭灰木與高士佛赤楠；而全部 27 種小苗中有 12 種的小苗為臺灣特有種(小葉白筆、臺灣八角、臺灣石櫟、臺灣蕘花、希蘭灰木、南仁五月茶、恒春楨楠、香楠、高士佛赤楠、高士佛紫金牛、淡綠葉衛矛)。根據臺灣維管束植物紅皮書初評名錄索引中，以臺灣石櫟為出風山所有小苗中受風險最高的物種，目前被列為極危等級(CR)，目前僅調查到 2 株小苗；受風險等級第二高的則是淡綠葉衛矛，被列為瀕危等級(EN)，目前僅調查到 5 株；而屬於易危等級(VU)的物種有兩種：希蘭灰木(1 株)及高士佛紫金牛(7 株)；在低風險物種中，南仁五月茶(3 株)與高士佛赤楠(1 株)被列為近危(NT)的等級，其他 21 種的小苗則是目前屬於無危等級(LC)，如九節木、臺灣八角、革葉冬青等。在出風山小苗監測樣區之臺灣石櫟與希蘭灰木兩次調查皆存活。

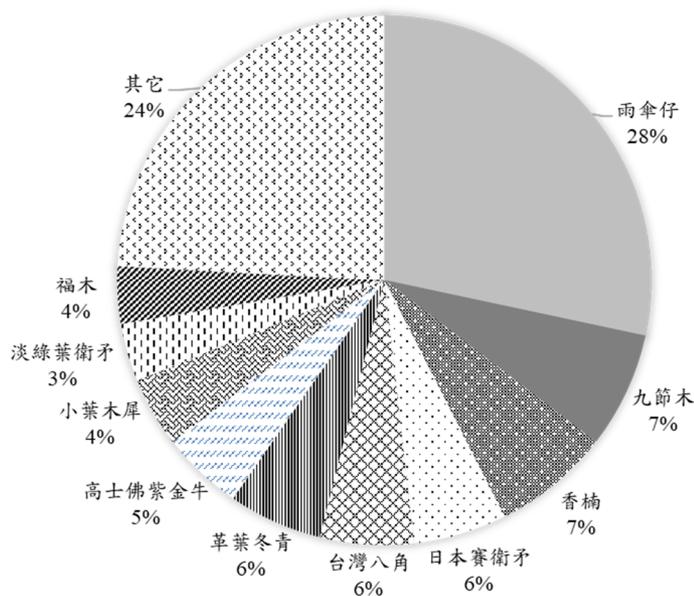


圖 4.20 出風山小苗監測樣區之物種組成比例。

### 3.4 櫟櫟原生地監測

#### 3.4.1 成樹植株監測

本研究團隊自 2012 年 10 月進行調查以來，至今共記錄 160 株的櫟櫟植株，其植株年變化如表 4。2012 年由於是剛開始進行全面的清查，在 10-12 月與關西生態保育協會一同進行調查，該年度在僅僅兩個月即調查到 123 棵植株，而後在 2013 年的搜尋中又陸陸續續調查到 31 株，因此總體植株數量達到 154 棵。由於本團隊並非以設立樣區法持續監測櫟櫟的族群數量，而是以調查到的植株每年再次進行測量與調查，因此表 4 中的新增植株，大多都僅代表在陸續調查中新找到的植株，並非代表為當年度新長出之植株數量，如在 2014 年發現一株胸徑約為 12 cm 的植株，此植株並非當年才新增的。

在死亡植株上，這四年都有植株死亡，其死亡主要因生長環境不佳而死亡，或是因颱風等環境因素所致。尤以 2015 年的夏季有接連有蓮花 (7 月 6-9 日，影響不大)、昌鴻(7 月 9-11 日)、蘇迪勒(8 月 6-9 日)、天鵝(8 月 20-23 日)與杜鵑(9 月 27-29 日)等颱風接連影響，造成許多植株斷折，這些

斷折的植株有的即死亡，亦有一些植株以萌蘖的方式繼續存活。而因為颱風而死亡的植株，加上感染病蟲害死亡的植株於當年共有 22 株。這些確認死亡的植株已請關西生態保育協會協助處理清除。至 2017 年底，監測原生地之槲欏大樹已經僅存 101 株，多數仍為遮陰死亡或颱風斷折所造成，但有少部分植株已生長達樹冠層，最後仍然枯立死亡，外表無病因，仍需持續監測現地植株。

表 4.4 新竹縣新豐鄉槲欏原生地大樹逐年存活狀況。

年份	2012	2013	2014	2015	2016	2017
總共調查植株(株)	123	154	155	155	160	160
存活植株(株)	-	149	142	120	118	101
死亡植株(株)	-	5	8	22	7	17
新發現植株(株)	-	31	1	0	5	0

### 3.4.2 小苗監測

本團隊於 2015 年觀察到大量的槲欏小苗發生，因此開始進行調查。整個 2015 年共新增了 205 株小苗，小苗各月份的存活株樹以 3 月的槲欏小苗最多，達 175 株，而後每次調查有新增死亡的情況發生，到了 2015 年底，僅剩 43.9% 的植株存活，直到 2017 年 9 月調查，僅剩 9.8% 的植株存活(圖 4.21)。死亡株數最高的是發生在颱風季，造成 8 月調查之死亡植株最多，此時的死亡有些是因大量落葉或枝條蓋住或打到植株造成死亡。2015 年發芽的小苗中，只要是生長於林下之植株到了 2016 年仍僅有少數幾片葉片，小苗高度與 2016 年新增之小苗相仿，僅有一個小苗因生長於路邊，到了 2016 年底生長到 40 cm 高，但是 2017 年調查時即整株消失。現今仍存活的 2015 年小苗的苗高多在 15 - 20 cm。

2016 與 2017 年小苗數量則僅有 38 株與 6 株，但 2016 年新增的小苗存活率較高，到 2016 年底仍有 63.2% 的小苗存活。小苗之存活與否與其生長環境有很大的關係，存活較久或長得較高的小苗，皆為生長於林隙或是路邊陽光較易照射到之處。

大多數有發現到的小苗存活在第一區與第三區，其原因可能為團隊多於第四區採集種子，而第一、三兩區因植株較高，於林下很難觀測到上方之種子數量，且因樹木莖幹脆弱無法攀爬，因此許多種子落下後長成小苗。當

然必須再繼續調查小苗動態，以了解其存活生長狀況，之後再繼續規劃是否持續採種，或是讓其天然下種。第一區為自從發現榲欖後，這些年來最多人員觀察之地點，為何先前一直沒有如此大量的小苗發生，是因為氣候因素，或是關西團隊的施肥與環境管理奏效，仍需再持續監測。

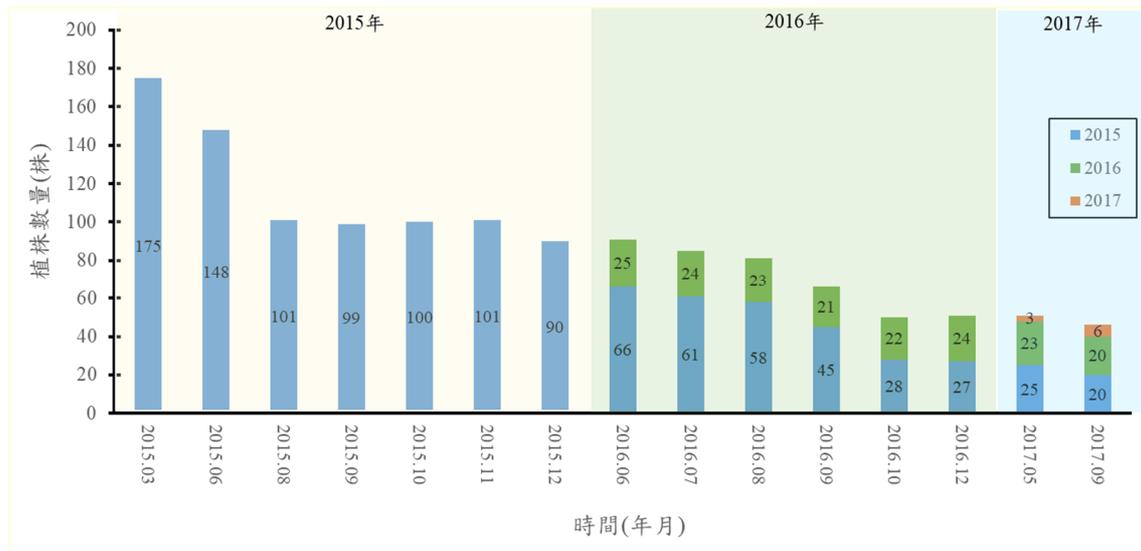


圖 4.21 新竹縣新豐鄉榲欖原生地天然下種小苗存活調查。

### 3.5 新竹榲欖之分布地預測評估與實地栽植

由國外榲欖分布地點之氣候資料，經由隨機森林模式推估榲欖在臺灣可能之生育地，其結果如榲欖於臺灣現在環境應可分布於中海拔地區(圖22)。而本團隊於2015年3月放置於林務局奮起湖工作站之榲欖小苗至今生存狀況良好，因此可推斷該地應屬榲欖可生長地區，至於該物種為何無法進入臺灣山區之原因可能因為無法與闊葉樹種競爭，因此僅侷限在新竹縣新豐鄉。而目前本團隊將榲欖栽植於新竹縣之各級學校內，生長狀況尚可，最主要原因為受到除草影響而斷折。目前本團隊榲欖種植地點原有明新科大，縣府造林地，山崎國小，新豐國中，鳳岡國小，退輔會彰化農場。今年新栽植於新竹縣婦幼館，造林地擴大種植以及五峰國小，奮起湖工作站等地，根據推估模式中的預測部分(圖22b, c)，本團隊於7月將存活於奮起湖苗圃之榲欖小苗種植於阿里山森林遊樂區以及預定年底送至惠蓀農場栽植，以觀察其生長狀況評估模式。

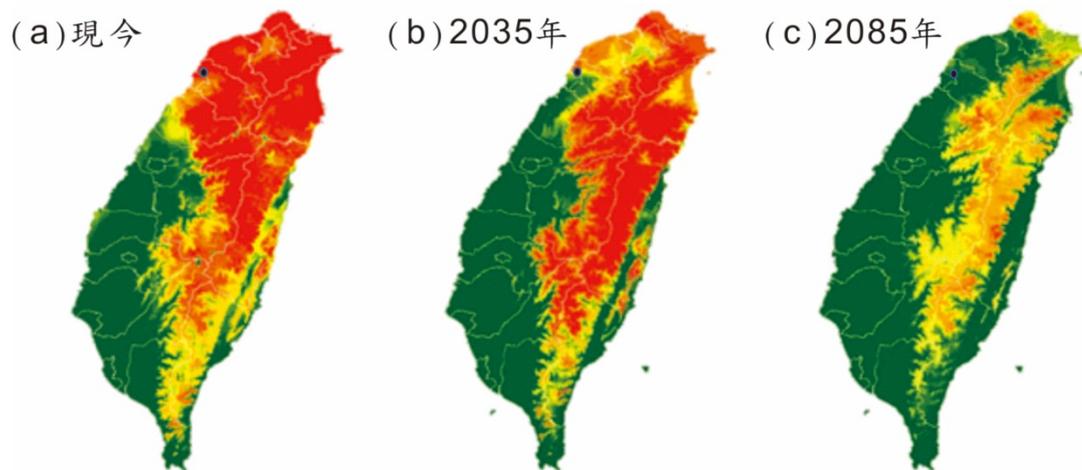


圖 4.22 檲欖之現生可行之分布點與未來推估分布點。

(a)為現存可行之分布點，(b)為推測 2035 年 (c)為推測 2085 年之可能分布點。

### 3.6 指標物種之異地復育

檲欖已在區外進行栽植與生長量測，並開始利用推估模式進行人為輔助栽植並持續測量生長狀況以瞭解推估模式是否可良好運用於實際人為輔助栽植。而由研究物種之經驗，合作對象是相當重要的，包含育苗與種植地點。因為目前指標物種不適合再種回保護區內，因此本團隊初步口頭詢問墾丁國家公園，林試所恆春研究中心與林務局屏東林區管理處恆春工作站關於未來栽植地點，目前都獲良好之回應。此部分待苗木成長後，再進行栽植地點確認。尤以目前屏東處於南仁山自然保護區回收檳榔園，此處將可為苗木復育用地。

### 3.7 檲欖種子培育與區外栽植監測

本團隊自 2013 年採種育苗，總計培育上千株檲欖小苗，因 2014 年至 2016 年夏季放置於嘉義大學苗圃之苗木受熱生長不佳，因此改變策略，提前在種子採集與進行低溫層積之隔年，即將檲欖種子進行刻傷處進發芽，並於冬季對小苗進行延長光照處理，使檲欖小苗冬季持續生長至 3 月，即可獲得較佳之苗木，並集中於 3 月份將小苗移置至關西苗圃，以利苗木持續生長。

2015 年起本團隊與新竹縣政府合作，持續將苗木區外栽植於鄰近各級學校與機關，並逐季觀測其生長狀況。其存活結果於表 5。目前種植至區外之槲欏植株有 207 株，至今年維持至少半年監測一次之存活植株有 186 株。部分地點如小叮嚀科學園區因進入不易，因此無進入調查，而奮起湖、阿里山、五峰山區國小則因位置偏遠，因此維持半年到一年的調查，其於原生地鄰近植株則維持每季調查。整體調查結果植株生長主要受到幾項因子影響，一為地下土層，在山崎國小與新豐國中因種植於廢棄建材填土上方，因此生長緩慢；而新竹縣婦幼館則因先前整地填土，因此栽植之後生長快速；二為除草影響，在各地栽植之槲欏植株幾乎都受到除草影響而斷折或受損，包含造林地。因此本團隊採用大面積的雜草抑制席鋪設於造林地之植株上，一方面避免雜草與槲欏競爭陽光，一方面在派工除草時除草人員更容易注意到槲欏之存在(如圖 4.23)。但因學校不允許大面積之抑制席造成校園景觀影響，而先前以竹桿將植株圍住初期有效，但易受干擾倒塌，導致後期植株仍受除草傷害。因此將來本團隊擬在校園採用大直徑 PVC 管切成兩半圓，將之固定於槲欏苗木邊，其內鋪設小面積雜草抑制席，期望植株生長更佳。

第三為蟲害影響，此影響在婦幼館與新竹縣政府尤為嚴重(圖 4.25)，植株往往被啃食到如葉脈書籤。但造林地與部分國小則較少見到此狀況，後續如何處理再與師大團隊討論。

本團隊於區外栽植時，除了美觀，亦會注重到遺傳多樣性的維持，因此在造林地栽植的植株中，我們選取了 12 棵母樹之種子苗種植，婦幼公園亦選取 14 棵不同母樹之種子苗進行栽植；其餘學校栽植數量雖少，但仍至少有 5 株母樹之種子苗搭配栽植。

表 4.5 櫛櫟區外栽植植株存活與苗圃放置植株數量表。

地點	栽植日期 (年/月/日)	栽植 數量	存活 植株	備註
新豐國中	104/03/21	18	16	因校方3度遷移植物，造成死亡。
明新科大	104/03/21	10	2	校方不斷除草，噴灑除草劑等，造成葉片畸形，甚至植株死亡。
造林地	104/04/12	32	31	1株至栽植後生長狀況不佳，一年後死亡。
	106/03/18	50	50	
鳳岡國小	104/03/21	8	8	因除草不慎，造成3個植株低矮萌蘖(圖24右)；在圍牆旁有灌木遮蔽處，則有一植株長到166 cm (圖24中)。
小叮嚀科學園區	104/03/21	10	10	園區進入不易，今年無進入調查。
彰化農場	104/05/06	20	20	道路旁栽植14株，農場內部栽植6株。
山崎國小	104/03/21	5	5	地下為建材廢棄物堆積，植株生長緩慢。
縣政府	104/04/12	10	10	蟲害嚴重
奮起湖苗圃	104/11/09	100	100	盆苗 種在地上
	105/10/21	6	6	
竹崎苗圃		20	20	
婦幼館	106/03/05	23	23	
阿里山森林遊樂區	106/07/26	5	5	
五峰國小	106/04/10	6	6	
瑞峰國小	106/08/23	4	4	
關西苗圃		1,059	1,059	自2013年持續累積之苗木。
總計數量		1,386	1,375	其中207株種植於區外各地，苗圃共計有1,179株。



圖 4.23 新竹縣政府造林地栽植榭欖照片。  
PVC 管標示植株位置，黑色部分為雜草抑制席。



圖 4.24 新竹縣鳳岡國小榭欖栽植狀況。  
左圖為 2016 年底栽植於圍牆邊有灌木遮蔽處之植株高度，中間為該植株於 2017 年 10 月之高度，右圖為受到除草影響之植株狀況。



圖 4.25 榭欖栽植於婦幼館(左)與受蟲害影響(右)之情況

### 3.8 榭欖遮陰度相關試驗

苗圃遮陰試驗自 2015 年 4 月 19 日設立，經過 5 個月的遮陰試驗，共 108 株實驗苗中，整體平均苗高增長量為 2.52 cm，其中有 85 株實驗苗之苗高有增長、11 株苗高減少、12 株沒有生長，而有 2 株實驗苗死亡。苗高減少的狀況主要發生在高遮陰度試驗中，有 7 株是位於 90%遮陰試驗與有 2 株在 70%遮陰試驗中，另外 2 株則是位於 50%遮陰試驗，推測可能因為生長條件不佳，造成植株歪斜，因此苗高量測結果才會較矮，又由於未考慮當地之氣候條件，其強勁風力造成遮陰網鋪設不穩固，因而有實驗苗受到遮陰網之纏繞與拉扯而頂端斷折或是死亡，這 2 株死亡的苗木，都是在 90%的遮陰下。

在不同的遮陰度下，實驗苗之平均苗高生長量有明顯差異( $p < 0.05$ )，全光照對於 90%遮陰度有顯著差異，而 50%遮陰度對 70%遮陰度與 90%遮陰度也有明顯差異(圖 4.26)，又以實驗苗平均生長量來看，全光照之平均生長量為 3.37 cm，在 50%遮陰網之下則為 4.35 cm，而在 70%遮陰試驗與 90%遮陰試驗中，其平均苗高生長量為 1.81 cm 與 1.26 cm (去除兩株死亡)，整體之實驗苗狀況為低遮光度之生長量為高遮光度的至少 2 倍以上，由此可知，榭欖小苗適合生長在低光度下。但是榭欖小苗在全光照或是 50%遮光度下之生長情形並無明顯差異，可是由

生長狀況可知，生長在全光照下的小苗容易長不高，反而會容易往四周長出分支或是萌蘖芽，因此為了使實驗更為精確，將會解決今年之其他影響小苗生長的因素(如遮陰網)，並於 2016 年重新設置新的遮陰試驗，以了解在何種低光度下之檫欏小苗生長情形較佳與存活率較高。

2016 年 5 月本團隊再度進行 50%遮陰度與全光照之試驗，此次將遮陰網下部以鐵網圍住，以避免遮陰網的線在強風吹襲下纏繞植株。此試驗進行至 2017 年 7 月，在兩組試驗中植株生長高度與植株萌蘖率皆有差異。在植株存活率上，50%遮陰度與全日照各 2 組試驗 30 株檫欏小苗，在一年多的試驗中各僅 1-2 個植株死亡，但全日照下有 2/3 的植株主幹死亡，僅存萌蘖枝條，遮陰下則有 1/5 的植株僅存萌蘖；在生長高度上，遮陰組之高度生長亦顯著高於全日照組(圖 4.27)。

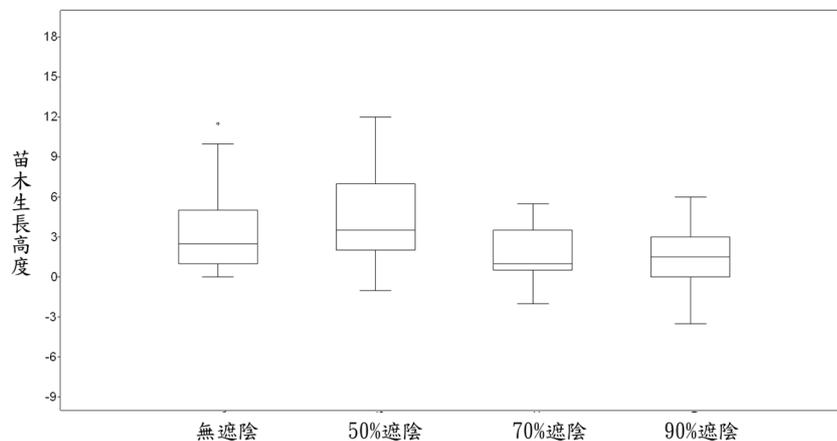


圖 4.26 遮陰試驗不同處理之苗木生長高度。

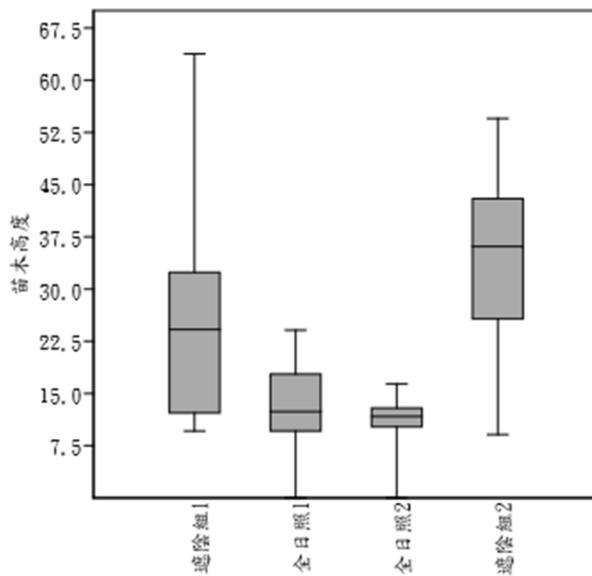


圖 4.27 2016 年重覆 50% 遮陰度與全日照下小苗生長高度試驗結果。

#### 四、結論與建議

1. 依據學會團隊前後所使用不同風險模式評估，南仁山區都是最易受氣候暖化的影響區域，尤其是迎風坡植群型。在本團隊的複查計畫中，攬仁溪樣區的迎風坡植群型亦為植株密度、生物多樣性指數與物種數量逐漸減少的地區。在面對氣候持續變化下，對南仁山以及其他脆弱地點或是已經持續調查之動態樣區應持續進行其週期性監測，以了解生態系與物種之變動，才能預先擬定應對策略與預先準備物種復育手段。
2. 在預測模式中顯示出迎風植群型之未來衰退，雖未來未必有模式推估之如此嚴重，但此仍為可能之警訊。而南仁山生態保護區迎風坡植群型有許多台灣特有物種，應持續監測並評估有無人為輔助復育之需要。
3. 臺灣石櫟與槲櫟成樹逐年減少，須持續監測並釐清是否因為人為大量採集殼斗科種子造成槲櫟無自然更新苗木進入，抑或是闊葉樹種遮陰導致植物無法長大。此部分在槲櫟上應該有積極性的棲地管理作為，而臺灣石櫟部分則須有管制作為。
4. 在槲櫟區外栽植部分，本團隊在每個栽植地點至少栽植 3 株以上之母樹種子苗，而目前在彰化農場與婦幼公園均有果實產生，但因無法進行 DNA 鑑定，因此無法得知在強調遺傳多樣性下的輔助栽植之成果。但後續其他

物種栽植仍需持續維持遺傳多樣性。

5. 應持續監測南仁山區小苗，以了解物種更新狀況。
6. 目前輔助繁殖已有初步成效，已請恆春苗圃搭設陰棚，以利後續苗木放置。
7. 關於保育物種異地栽植，建議選定公家機關或學校單位實施，並輔以小片雜草抑制席與 PVC 管，降低因除草不慎之傷害。造林地則可輔以較大面積之抑制席，以減少人力支出。而在栽植合作機構篩選上，可先以較易繁殖之唐杜鵑為先期栽植物種，若唐杜鵑可在該合作機構順利成長，後續再持續栽植希蘭灰木與台灣石櫟，以避免此兩物種在栽植過程中持續受害。

## 五、績效指標與期末評核標準達成情形

### (一) 績效指標：

	細項指標	預估量化值	實際達成數	說明
學術著作發表	國內研討會論文	2	3	<p>5月古鎮嘉於中國上海第九屆現代生態學講座暨第七屆國際青年生態學者論壇會議口頭報告『探討東北季風影響南仁山攬仁溪樣區地上部生物量分布』獲得優勝。</p> <p>10月廖健好於106年度中華林學會海報發表『南仁山樣帶小苗之20年動態變化』獲得該組第3名。</p> <p>10月謝銓雯於106年度中華林學會口頭發表『東北季風對攬仁溪木本植物小苗建立與動態之影響』。</p>
	國際研討會論文	1	2	<p>8月趙偉村於美國波特蘭美國生態學年會海報發表『The dynamic pattern of litterfall in subtropical lowland rainforests at Lanjenchi forest under the different time scale』</p> <p>8月古鎮嘉於美國波特蘭美國生態學年會口頭發表『The 23 years relationship between the climate data and the aboveground biomass in subtropical forest at Lanjenchi, southern Taiwan』</p>

(二) 期末評核標準：

評核標準	達成情形
<p>檢討南仁山生態系與物種保育急迫性與優先順序</p>	<p>在南仁山區物種保育急迫性及優先順序分析上，本團隊以樣區四次複查結果，依照修改 Kingstone and Waldern (2005) 及 Harter <i>et al.</i> (2015) 之物種脆弱度評估法，依照物種易受害程度，棲地脆弱性與其適存度計算物種的脆弱度評估，依此將南仁山之樣區所有物種計算，並列出高脆弱度之名單。此部分篩選出之脆弱物種依序為唐杜鵑、綠樟、臺灣蕘花、臺灣石櫟、假赤楊、灰莉、恆春石斑木、希蘭灰木、瓊崖海棠與欖仁舅等物種。在完成動態樣區物種脆弱度評估後，第二部分本團隊評估物種特稀有性，以及學會團隊以大尺度評估物種是否多分布於易受氣候變化影響區域等指標，而訂出唐杜鵑，臺灣石櫟與希蘭灰木為優先保育物種。</p>
<p>完成遷地保育物種之適合地點篩選</p>	<p>在遷地保育之地點選取上，本團隊與新竹林區管理處於楊梅附近覓得一地點供後續造林，其餘地點依照學會團隊之評估持續進行。另也與屏東林區管理處先以恆春苗圃搭建遮陰篷以利繁植物種進駐，以及將持續與屏東處將南仁山生態保護區。內的檳榔回收地點進行物種栽植。此部分仍須與墾管處溝通。</p>
<p>持續南仁山小苗與櫟櫟區外栽植監測</p>	<p>南仁山區小苗之監測調查上，三地點的小苗監測調查中，欖仁溪樣區監測到兩株希蘭灰木老苗，至今仍存活。而出現過一株唐杜鵑新苗，但僅存活 10 個月。在出風山小苗監測樣區中，臺灣石櫟與希蘭灰木於兩次調查均存活，樣帶則都無。另外團隊亦於壽卡調查到唐杜鵑族群與小苗。</p> <p>在櫟櫟區外栽植之植株監測上，目前生長良好，尤其是新竹縣政府婦幼公園部分，因土壤深度足夠，生長快速。其他地點受到除草或學校政策影響，生長狀</p>

	<p>況不一。</p> <p>未來物種進行區外栽植時，須考量到植株如何避免人為除草影響，多數機關因除草人力外包，因此往往造成植株受損，因此接下來應測試做好標示後，是否可以降低人為除草影響。</p>
以文獻或實例探討指標物種繁殖試驗	<p>已進行多數文獻參考，並已經依照文獻加上自行試驗得到唐杜鵑，希蘭灰木與臺灣石櫟之培育條件。其中唐杜鵑有微體繁殖苗與多數種子苗，希蘭灰木目前有許多母株的扦插苗，臺灣石櫟則因果實稀少，目前仍在測試中；而扦插部分亦在進行中。</p>

## 六、參考文獻

- 王昶升 (2013) 不同光照強度及光週期對臺灣原生杜鵑種子發芽之影響。國立嘉義大學森林暨自然資源學系研究所碩士論文。75頁。
- 李國琛 (2008) 全球氣候變暖成因分析。自然災害學報 5: 38-42。
- 張強、韓永翔、宋連春 (2005) 全球氣候變化及其影響因素研究進展綜述。地球科學進展20: 990-988。
- 邱祈榮 (2013) 建立氣候變遷對生物多樣性風險與脆弱度評估模式及因應策略規劃。行政院農業委員會林務局。
- 洪昆源、莊佩華、陳昱成、潘清連、簡慶德 (2009) 恆春半島的稀有植物系統保育首部曲-臺灣柯及柳葉柯的繁殖。自然保育期刊66:32-34。
- 許晃雄、吳宜昭、周佳、陳正達、陳永明、盧孟明 (2011) 臺灣氣候變遷科學報告。「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫」計畫辦公室、國家災害防救科技中心。
- 葉定宏 (2006) 南仁山欖仁溪樣區木本植物社會15 年期動態。國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所碩士論文。99頁。
- 郭耀綸 (2009) 南仁山森林苗木更新動態、碳收支及植物物候之研究(三)。內政

- 部營建署墾丁國家公園管理處委託研究報告。24頁。
- 郭耀綸、陳瑄培 (2005) 南仁山森林四種臺灣特稀有樹種之光合作用光反應及溫度反應。臺灣林業科學20(3):215-226。
- 陳硯茹 (2005) 應用ISSR研究唐杜鵑之族群遺傳變異。國立中興大學生命科學系碩士論文。90頁。
- 陳雲蘭 (2008) 由極端氣候指標看臺灣氣候變化。2008臺灣氣候變遷研討會。
- 童慶斌 (2012) 氣候變遷調適科技整合研究計畫-跨領域脆弱度評估與回復力建構科技發展計畫。行政院國家科學委員會。
- 廖宇賡、莊琬婷 (2015) 金門原生觀賞植物唐杜鵑之微體繁殖。中華林學季刊48(1):1-16。
- 簡慶德 (2001) 熱帶恆春地區瀕危稀有樹種之繁殖與區外保育(3/5)。林業試驗所自辦計畫。
- 賴宜鈴 (1996) 南仁山亞熱帶雨林小苗動態及地被層植物組成之研究。臺灣大學植物學系研究所碩士論文，135頁。
- 盧孟明、卓盈旻、李思瑩、李清勝、林昀靜 (2012) 臺灣氣候變化：1911-2009 年資料分析。大氣科學 40: 297-321。
- 韓宛容、盧孟明、徐堂家 (2014) 1961-2013 年期間台灣地區風向風速變化分析。中央氣象局科技中心。
- Ahteensuu, M, S. Aikio, P. Cardoso, M. Hyvärinen, M. Hällfors, S. Lehvavirta, L. Schulman, E. Vaara (2015) Quantitative tools and simultaneous actions needed for species conservation under climate change – reply to Shoo *et al.* (2013) Climatic Change 129: 1-7.
- Ashcroft, M.B. (2010) Identifying refugia from climate change. Journal of Biogeography 37(8): 1407-1413.
- Bace, R., M. Svoboda, V. Pouska, P. Janda and J. Cervenka (2012) Natural regeneration in Central-European subalpine spruce forests: Which logs are suitable for seedling recruitment? Forest Ecology and Management 266, 254–

262.

- Bai F., W. Sang, and J.C. Axmacher (2011) Forest vegetation responses to climate and environmental change: A case study from Changbai Mountain, NE China. *Forest Ecology and Management* 262: 2052-2060.
- Berbet, M.L. and M.H. Costa (2003) Climate change after tropical deforestation: seasonal variability of surface albedo and its effects on precipitation change. *Journal of Climate* 16: 2099-2104.
- Bond, W.J., J. Vlok and M. Viviers (1984) Variation in seedling recruitment of Cape Proteaceae after fire. *Journal of Ecology* 72: 209-221.
- Breshears, D.D., T.E. Huxman., H.D. Adams., C.B. Zou. and J.E. Davsion (2008) Vegetation synchronously lean upslope as climate warms. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105 (33): 11591-11592.
- Brown, A.H.D. and C.M. Hardner (2000) Sampling the gene pools of forest trees for ex situ conservation. In: Young A, Boyle TJB, Boshier D (eds) *Forest Conservation Genetics: Principles and Practice*. CABI Publishing, Wallingford, pp 185-196.
- Cannone, N and S, Pignatti (2014) Ecological responses of plant species and communities to climate warming: upward shift or range filling processes? *Climatic Change* 123:201-214.
- Capers, R.S., R.L. Chazdon, A.R. Brenes and B.V. Alvarado (2005) Successional dynamics of woody seedling communities in wet tropical secondary forests. *Journal of Ecology* 93, 1071-1084.
- Chao, W.-C., K.-J. Chao, G.-Z. Song and C.-F. Hsieh (2007) Species composition and structure of the lowland subtropical rainforest at Lanjenchi, Southern Taiwan. *Taiwania* 52:253-269.
- Chao, W.-C., G.-Z. Song, K.-J. Chao, C.-C. Liao, S.-W. Fan, S.-H. Wu, T.-H. Hsieh, I.-F. Sun, Y.-L. Kuo-and C.-F. Hsieh (2010) Lowland rainforests in southern Taiwan and Lanyu, at the northern border of Paleotropics and under the influence of monsoon wind. *Plant Ecology* 210:1-17.

- Chazdon, R.L. (2008) Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands. *Science* 320:1458-1460.
- Chen, I.-C., J.K. Hill, R. Ohlemüller, D.B. Roy and C.D. Thomas (2011) Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science* 333:1024-1026.
- Chen, I.-C., H.-J. Shiu, S. Benedick, J.D. Holloway, V.K. Chey, H.S. Barlow, J.K. Hill and C.D. Thomas (2009) Elevation increases in moth assemblages over 42 years on a tropical mountain. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106(5):1479-1483.
- Colwell, R.K., G. Brehm, C.L. Cardelús, A.C. Gilman and J.T. Longino (2008) Global warming, elevational range shifts, and lowland biotic attrition in the wet tropics. *Science* 322: 258-261.
- Comita, L.S. and B.M.J. Engelbrecht (2009) Seasonal and spatial variation in water availability drive habitat associations in a tropical forest. *Ecology* 90, 2755–2765.
- Condit, R., S.P. Hubbell and R.B. Foster (1995) Mortality rates of 205 Neotropical tree and shrub species and the impact of a severe drought. *Ecological Monographs* 65:419-439.
- Connell, J.M., J.G. Tracey, and L.J. Webb (1984) Compensatory recruitment, growth and mortality as factors maintaining rain forest tree diversity. *Ecological Monographs* 54: 141-164.
- Dawson, T.P., S.T. Jackson, J.I. Prentice and G.M. Mace (2011) Beyond predictions: Biodiversity conservation in a changing climate. *Science* 332 (6025):53-58.
- Dillon, M.E., G. Wang and R.B. Huey (2010) Global metabolic impacts of recent climate warming. *Nature* 467:704-706.
- Engelbrecht, B. M., T. A. Kursar and M. T. Tyree (2005) Drought effects on seedling survival in a tropical moist forest. *Trees* 19, 312–321.
- Fankhauser, S. (1995) *Valuing Climate Change: the Economics of the Greenhouse*.

Taylor and Francis Group, London. 179pp.

- Fearnside, P.M. (1996) Amazonian Deforestation and Global Warming: Carbon Stocks in Vegetation Replacing Brazil's Amazon Forest. *Forest Ecology and Management*. 80: 21-34.
- Fearnside, P.M. (2000) Global warming and tropical land-use change: greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. *Climatic Change* 46: 115-158.
- Feeley, K.J., J. Hurtado, S. Saatchi, M.R. Silman and D.B. Clark (2013) Compositional shifts in Costa Rican forests due to climate-driven species migrations. *Global Change Biology* 19: 3472-3480.
- Feeley, K.J., M.R. Silman, M.B. Bush, W. Farfan, K.G. Cabrera, Y. Malhi, P. Meir, N.S. Revilla, M.N.R. Quisiyupanqui and S. Saatchi (2011) Upslope migration of Andean trees. *Journal of Biogeography* 38:783-791.
- Fuhrer, J. (2003) Agroecosystem responses to combinations of elevated CO<sub>2</sub>, ozone, and global climate change. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 97: 1-20.
- Gatherum, G.E., A.L. McComb and W.E. Loomi (1963) Effects of light and soil moisture on forest tree seedling establishment. *Research Bulletin* 513.
- Gonzalez P. (2001) Desertification and a shift of forest species in the West African Sahel. *Climate Research* 17: 217-228.
- Grime, J.P. (1979) *Plant strategies and vegetation processes*. John Wiley & Sons. 222pp.
- Guerrant E.O., K. Havens and P. Vitt (2013) Sampling for effective ex situ plant conservation. *International Journal of Plant Sciences* 175(1):11-20. doi: 10.1086/674131.
- Guerrant E.O., K. Havens and M. Maunder, editors. (2004) *Ex situ plant conservation: supporting species survival in the wild*. Washington, D.C.: Island Press
- Hannah L (2012) *Saving a million species: extinction risk from climate change*. Island

Press, Washington. pp432.

- Hannah, L., L. Flint, A.D. Syphard, M.A. Moritz, L.B. Buckley and I.M. McCullough. (2014) Fine-grain modeling of species' response to climate change: holdouts, stepping-stones, and microrefugia. *Trends in Ecology and Evolution* 29(7):390-397.
- Harsch, M. A. and J. HilleRisLambers (2016) Climate Warming and Seasonal Precipitation Change Interact to Limit Species Distribution Shifts across Western North America. *PloS one* 11(7): e0159184.
- Harter, D.E.V., S.D.H. Irl, B. Seo, M.J. Steinbauer, R. Gillespie, K.A. Triantis, J.M. Fernandez-Palacios, C. Beierkuhnlein (2015) Impacts of global climate change on the floras of oceanic islands-projections, implications and current knowledge. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 17:160-183.
- Hartmann, D.L., J.M. Wallace, V. Limpasuvan, D.W. Thompson and J.R. Holton (2000) Can ozone depletion and global warming interact to produce rapid climate change? *Proceedings of the National Academy of Sciences* 97: 1412-1417.
- Heller N.E. and E.S. Zavaleta (2009) Biodiversity management in the face of climate change: a review of 22 years of recommendations. *Biological Conservation* 142:14-32.
- Hitch, A. T. and P. L. Leberg (2007) Breeding distributions of north American bird species moving north as a result of climate change. *Conservation Biology* 21(2): 534-539.
- Houghton, J.T., B.A. Callander and S.K. Varney (1992) *Climate change 1992: the Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press. 218pp.
- Hung, C.W. and P.K. Kao (2010) Weakening of the winter monsoon and abrupt increase of winter rainfalls over northern Taiwan and southern China in the early 1980s. *Journal of Climate* 23:2357-2367.
- IPCC. (2007) *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental

- Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and A.Reisinger (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 104 pp.
- IPCC (2013) Working Group I Contribution To the IPCC Fifth Assessment Report (AR5) Climate Change: The Physical Science Basis.
- IUCN/SSC (2013) Guidelines for reintroductions and other conservation translocations. Version 1.0. Gland, Switzerland: IUCN species survival commission viiii + 57pp.
- Joyce, L.A., S.W. Running, D.D. Breshears, V.H. Dale, R.W. Malmshemer, R.N. Sampson, B. Sohngen and C.W. Wood-all (2014) Ch. 7: Forests. Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment, Melillo J. M., Terese (T.C.) Richmond, and G.W. Yohe (Eds.), U.S. Global Change Research Program. pp. 175-194. doi:10.7930/J0Z60KZC.
- Karl, T.R. and K.E. Trenberth (2003) Modern global climate change. *Science* 302: 1719-1723.
- Kelly, A. E. and M.L. Goulden (2008) Rapid shifts in plant distribution with recent climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105(33): 11823-11826.
- Keller, E.R.J., A. Senula, S. Leunufna and M. Grube (2006) Slow growth storage and cryopreservation-tools to facilitate germplasm maintenance of vegetatively propagated crops in living plant collections. *International Journal of Refrigeration* 29: 411-417.
- Keppel G, K.P. Van Niel, G.W. Wardell-Johnson, C.J. Yates, M. Byrne, L. Mucina, A.G.T. Schut, S.D. Hopper and S.E. Franklin (2011) Refugia: identifying and understanding safe havens for biodiversity under climate change. *Global Ecology and Biogeography* 21: 393–404.
- Kingston, N. and S. Waldren, (2005) A Conservation appraisal of the rare and endemic vascular plants of Pitcairn Island. *Biodiversity and Conservation* 14: 781-800.

- Knapp, A.K., C. Beier, D.D. Briske, A.T. Classen, Y. Luo, M. Reichstein, M.D. Smith, S.D. Smith, J.E. Bell, P.A. Fay, J.L. Heisler, S.W. Leavitt, R. Sherry, B. Smith, and E. Weng (2008) Consequences of more extreme precipitation regimes for terrestrial ecosystems. *Bioscience* 58: 811-821.
- Larkin, D.J., S.K. Jacobi, A.L. Hipp and A.T. Kramer (2016) Keeping all the PIECES: Phylogenetically informed ex situ conservation of endangered species. *PLoS ONE* 11(6): e0156973. doi:10.1371/journal.pone.0156973
- Laurance, S.G.W., W.F. Laurance, H.E.M. Nascimento, A. Andrade, P.M. Fearnside, E.R.G. Rebello and R. Condit (2009) Long-term variation in Amazon forest dynamics. *Journal of Vegetation Science* 20:323-333.
- Lenoir, J., and J.C. Svenning (2015) Climate-related range shifts-a global multidimensional synthesis and new research directions. *Ecography* 38: 15-28.
- Lenoir, J., J.C. Gégout, J.C. Pierrat, J.D. Bontemps and J.F. Dhôte (2009) Differences between tree species seedling and adult altitudinal distribution in mountain forests during the recent warm period (1986-2006). *Ecography* 32(5): 765-777.
- Lenoir, J., J.C. Gégout, P.A. Marquet, P. de Ruffray and H. Brisse (2008) A Significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. *Science* 320: 1768-1771.
- Maunder, M., E.O. Guerrant, K. Havens and K.W. Dixon (2004) Realizing the full potential of ex situ contributions to global plant conservation. In *ex situ plant conservation: supporting species survival in the wild*, edited by E.O. Guerrant Jr., K. Havens, and M. Maunder. Society for Ecological Restoration International and Center for Plant Conservation. Island Press, Washington. pp. 389-418.
- Martin, C., A. Senula, I. Gonzalez, A. Acosta, E.R.J. Keller and M.E. Gonzalez-Benito (2013) Genetic identity of three mint accessions stored by different conservation procedures: field collection, in vitro and cryopreservation. *Genetic Resources Crop Evolution* 60:243-249.
- McLandress, C., T.G. Shepherd, J.F. Scinocca, D.A. Plummer, M. Sigmond, A.I. Jonsson and M.C. Reader (2011) Separating the dynamical effects of climate

change and ozone depletion. Part II: Southern Hemisphere troposphere. *Journal of Climate* 24: 1850-1868.

Meehl G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson, A.J. Weaver, Z.-C. Zhao (2007) Global climate projections. In: Solomon S, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (eds) *Climate change 2007: the physical science basis*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 747-845.

Moritz, C. and R. Agudo (2013) The future of species under climate change: resilience or decline? *Science*, 341, 504-508.

Oldfield, S. and A.C. Newton (2012) *Integrated conservation of tree species by botanic gardens: a reference manual*. Botanic Gardens Conservation International, Richmond, United Kingdom. Published by Botanic Gardens Conservation International Descanso House, 199 Kew Road, Richmond, Surrey, United Kingdom.

Parnesan, C. (2006) Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 37: 637-669.

Parnesan, C. (2007) Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming. *Global Change Biology* 13: 1860-1872.

Parnesan, C., T.L. Root and M.R. Willig (2000) Impacts of extreme weather and climate on terrestrial biota. *Bulletin of the American Meteorological Society* 81: 443-450.

Pedersen, B.S. (1998) The role of stress in the mortality of midwestern oaks as indicated by growth prior to death. *Ecology* 79, 79-93.

Perez-Ramos, I.M. and T. Maranon (2012) Community-level seedling dynamics in Mediterranean forests: uncoupling between the canopy and the seedling layers. *Journal of Vegetation Science* 23, 526–540.

Pott, M.D. (2003) Drought in a Bornean everwet rain forest. *Journal of Ecology* 91:

467-474.

- Ricciardi, A, D. Simberloff (2009) Assisted colonization is not a viable conservation strategy. *Trends in Ecology & Evolution* 24:248-253
- Rout, T.M., E. McDonald-Madden, T.G. Martin, N.J. Mitchell, H.P. Possingham, D.P. Armstrong (2013) How to decide whether to move species threatened by climate change. *PLoS One* 8(10):e75814. doi:10.1371/journal.pone.0075814
- Schei, F.H., J. Kapfer, H.J.B. Birks and J.-A. Grytnes (2015) Stability of alpine vegetation over 50 years in central Norway. *Folia Geobotanica* 50: 39-48.
- Schwartz, M.W. and T.G. Martin (2013) Translocation of imperiled species under changing climates. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1286:15-28.
- Song, X., A. Nakamura, Z. Sun, Y. Tang and M. Cao (2016) Elevational Distribution of Adult Trees and Seedlings in a Tropical Montane Transect, Southwest China. *Mountain Research and Development* 36: 342-354.
- Shoo, L.P. (2010) Planning for biodiversity in future climates. *Science* 327:1452
- Shoo, L.P., A.A. Hoffmann, S. Garnett, R.L. Pressey, Y.M. Williams, M. Taylor, L. Falconi, C.J. Yates, J.K. Scott, D. Alagador and S.E. Williams (2013) Making decisions to conserve species under climate change. *Climatic Change* 119: 239-246.
- Sitch, S., P. Cox, W. Collins and C. Huntingford (2007) Indirect radiative forcing of climate change through ozone effects on the land-carbon sink. *Nature* 448: 791-794.
- Slot, M. and L. Poorter (2007) Diversity of tropical tree seedling responses to drought. *Biotropica* 39, 683-690.
- Staudinger, M.D., N.B. Grimm, A. Staudt, S.L. Carter, F.S. ChapinIII, P. Kareiva, M. Ruckelshaus and B.A. Stein (2012) Impacts of Climate Change on Biodiversity, Ecosystems, and Ecosystem Services: Technical Input to the 2013 National Climate Assessment. Cooperative Report to the 2013 National Climate Assessment. 296 pp.

- Teketay, D. (1997) Seedling populations and regeneration of woody species in dry Afromontane forests of Ethiopia. *Forest Ecology and Management* 98, 149–165.
- Thomas, C.D., A. Cameron, R.E. Green, M. Bakkenes, L.J. Beaumont, Y.C. Collingham, B.F.N. Erasmus, M.F. de Siqueira, A. Grainger, L. Hannah, L. Hughes, B. Huntley, A.S. van Jaarsveld, G.F. Midgley, L. Miles, M.A. Ortega-Huerta, A. T. Peterson, O. L. Phillips and S.E. Williams (2004) Extinction risk from climate change. *Nature* 427:145–148
- Thomas, E., R. Jalonen, J. Loo, D. Boshier, L. Gallo, S. Cavers, S. Bordács, P. Smith and M. Bozzano (2014) Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. *Forest Ecology and Management* 333:66-75.
- Thomas, C.D. and J.J. Lennon (1999) Birds extend their ranges northwards. *Nature* 399: 213.
- Trenberth, K.E. (2011) Changes in precipitation with climate change. *Climate Research* 47:123.
- Warren, R., J. VanDerWal, J. Price, J.A. Welbergen, I. Atkinson, J. Ramirez-Villegas, T.J. Osborn, A. Jarvis, L.P. Shoo, S.E. Williams and J. Lowe (2013) Quantifying the benefit of early climate change mitigation in avoiding biodiversity loss. *Nature Climate Change*. doi:10.1038/NCLIMATE1887.
- Westcott, R.J., G.G. Henshaw, B.W.W. Grout and W.M. Roca (1977) Tissue culture methods and germplasm storage in potato. *Acta Horticulturae* 78:45-49.
- Woodall, C.W., C.M. Oswalt, J.A. Westfall, C.H. Perry, M.D. Nelson, and A.O. Finley (2009) An indicator of tree migration in forests of the eastern United States. *Forest Ecology and Management* 257: 1434-1444.
- Zhou G.Y., B.Z. Houlton, W.T. Wang, W.J. Huang, Y. Xiao, Q.M. Zhang, S.Z. Liu, M. Cao, X.H. Wang, S.L. Wang, Y.P. Zhang, J.H. Yan, J.X. Liu, X.L. Tang and D.Q. Zhang (2014) Substantial reorganization of China's tropical and subtropical forests: based on the permanent plots. *Global Change Biology* 20: 240-250.

附錄4-1、欖仁溪樣區物種脆弱度評估表

物種	族群量	族群增減趨勢	全島分佈範圍	景觀利用價值	植株是否為資源植物	棲地多樣性	棲地脆弱性	傳播能力	加總
唐杜鵑	4	3	3.9	1	0	2	2	0	15.9
臺灣柯	3	3	3.9	1	0	2	2	0	14.9
綠樟	4	3	3.6	0	0	2	2	0	14.6
臺灣薔花	4	1	4.0	0	1	2	2	0	14.0
假赤楊	4	3	3.4	0	0	2	1	0	13.4
灰莉	4	1	3.9	0	0	2	2	0	12.9
恆春石斑木	2	3	3.9	0	0	2	2	0	12.9
南仁灰木	2	3	3.9	0	0	2	2	0	12.9
瓊崖海棠	4	1	3.9	0	0	2	2	0	12.9
欖仁舅	4	1	3.9	0	0	2	2	0	12.9
大葉雀榕	4	1	3.8	0	0	2	2	0	12.8
十子木	2	3	3.8	0	0	2	2	0	12.8
恆春福木	2	3	3.8	0	0	2	2	0	12.8
金平冬青	2	3	3.8	0	0	2	2	0	12.8
海南厚殼桂	4	1	3.8	0	0	2	2	0	12.8
山菜豆	4	1	3.6	0	0	2	2	0	12.6
港口木荷	2	3	3.6	0	0	2	2	0	12.6
山刈葉	4	1	3.6	0	0	2	2	0	12.6
臺灣栲	4	1	3.6	0	0	2	2	0	12.6
楊桐葉灰木	2	3	3.5	0	0	2	2	0	12.5
杏葉石櫟	2	3	3.4	0	0	2	2	0	12.4
大明橘	2	3	3.3	0	0	2	2	0	12.3
山柚	4	1	3.2	0	0	2	2	0	12.2
猴歡喜	4	3	3.0	0	0	1	1	0	12.0
南仁山柃木	1	3	4.0	0	0	2	2	0	12.0
蘭嶼落葉榕	4	1	3.9	0	0	2	1	0	11.9
南仁鐵色	4	1	3.9	0	0	2	1	0	11.9
恆春紅豆樹	4	1	3.9	0	0	2	1	0	11.9
白果雞屎樹	4	1	3.9	0	0	2	1	0	11.9
水金京	3	3	2.9	0	0	2	1	0	11.9
細脈赤楠	2	3	3.9	0	0	2	1	0	11.9
恆春紫珠	4	3	3.8	0	0	1	0	0	11.8
厚皮香	2	3	2.8	0	0	2	2	0	11.8
松田冬青	1	3	3.8	0	0	2	2	0	11.8
紅淡比	4	1	2.8	0	0	2	2	0	11.8
印度栲	4	1	3.8	0	0	2	1	0	11.8
臺灣栲	4	1	3.7	0	0	2	1	0	11.7
稜果榕	4	1	2.6	0	0	2	2	0	11.6
菱葉衛矛	2	3	3.6	0	0	1	2	0	11.6

附錄4-1、欖仁溪樣區物種脆弱度評估表(續)

物種	族群量	族群增減趨勢	全島分佈範圍	景觀利用價值	植株是否為資源植物	棲地多樣性	棲地脆弱性	傳播能力	加總
小葉木犀	1	3	3.5	0	0	2	2	0	11.5
錫蘭饅頭果	4	1	3.5	0	0	2	1	0	11.5
小芽新木薑子	4	1	3.5	0	0	2	1	0	11.5
琉球雞屎樹	4	1	2.5	0	0	2	2	0	11.5
米碎柃木	4	3	2.5	0	0	1	1	0	11.5
三叉虎	4	1	3.5	0	0	2	1	0	11.5
雀榕	4	1	3.4	0	0	2	1	0	11.4
臺灣赤楠	4	1	3.2	0	0	2	1	0	11.2
小葉赤楠	1	3	3.1	0	0	2	2	0	11.1
石苓舅	4	1	3.1	0	0	2	1	0	11.1
厚殼桂	4	1	3.1	0	0	2	1	0	11.1
額垂豆	3	1	3.0	0	0	2	2	0	11.0
雞屎樹	4	1	3.0	0	0	2	1	0	11.0
武威山新木薑子	2	1	4.0	0	0	2	2	0	11.0
恆春山茶	2	1	4.0	0	0	2	2	0	11.0
倒卵葉楠	2	1	3.9	0	0	2	2	0	10.9
大葉羅漢松	2	1	3.8	0	0	2	2	0	10.8
圓葉雞屎樹	4	1	2.8	0	0	2	1	0	10.8
水冬瓜	4	1	2.8	0	0	2	1	0	10.8
烏心石舅	2	1	3.8	0	0	2	2	0	10.8
山香圓	4	1	2.4	0	0	2	1	0	10.4
華八仙	4	1	2.4	0	0	2	1	0	10.4
大葉楠	4	1	2.2	0	0	2	1	0	10.2
九芎	4	1	2.1	0	0	2	1	0	10.1
嶺南桐	2	0	3.9	0	0	2	2	0	9.9
日本賽衛矛	1	1	3.9	0	0	2	2	0	9.9
疏花紫珠	4	1	3.9	0	0	1	0	0	9.9
小葉樟	2	0	3.9	0	0	2	2	0	9.9
銹葉野牡丹	2	1	3.8	0	0	2	1	0	9.8
水同木	3	1	2.6	0	0	2	1	0	9.6
臺灣山桂花	4	1	1.6	0	0	2	1	0	9.6
竹柏	2	0	3.6	0	0	2	2	0	9.6
大頭茶	2	1	2.6	0	0	2	2	0	9.6
杜英	2	1	2.4	0	0	2	2	0	9.4
山龍眼	2	1	3.1	0	0	2	1	0	9.1
小葉樹杞	2	1	3.0	0	0	2	1	0	9.0
密脈赤楠	4	1	3.9	0	0	0	0	0	8.9
軟毛柿	2	1	2.8	0	0	2	1	0	8.8
臺灣梭羅木	4	1	3.8	0	0	0	0	0	8.8
南仁五月茶	0	1	3.8	0	0	2	2	0	8.8
白榕	4	1	3.7	0	0	0	0	0	8.7

附錄4-1、欖仁溪樣區物種脆弱度評估表(續)

物種	族群量	族群增減趨勢	全島分佈範圍	景觀利用價值	植株是否為資源植物	棲地多樣性	棲地脆弱性	傳播能力	加總
披針葉饅頭果	4	1	3.6	0	0	0	0	0	8.6
烏來冬青	1	1	3.6	0	0	2	1	0	8.6
鐵冬青	4	1	3.6	0	0	0	0	0	8.6
長尾栲	1	1	2.6	0	0	2	2	0	8.6
鐵雨傘	2	1	2.6	0	0	2	1	0	8.6
長葉厚殼樹	4	1	3.5	0	0	0	0	0	8.5
珊瑚樹	4	1	3.4	0	0	0	0	0	8.4
山豬肝	2	3	3.3	0	0	0	0	0	8.3
紅花八角	0	1	3.3	0	0	2	2	0	8.3
白柏	4	1	3.2	0	0	0	0	0	8.2
細葉饅頭果	3	3	2.2	0	0	0	0	0	8.2
樹杞	3	3	2.2	0	0	0	0	0	8.2
賊仔樹	4	1	3.0	0	0	0	0	0	8.0
廣東瓊楠	1	3	3.8	0	0	0	0	0	7.8
星刺栲	3	1	3.8	0	0	0	0	0	7.8
臺灣楊桐	2	3	2.8	0	0	0	0	0	7.8
狗骨仔	2	0	2.6	0	0	2	1	0	7.6
薄葉玉心花	2	1	3.6	0	0	1	0	0	7.6
奧氏虎皮楠	2	3	2.4	0	0	0	0	0	7.4
香楠	3	1	2.1	0	0	1	0	0	7.1
大青	3	1	3.0	0	0	0	0	0	7.0
南仁山新木薑子	2	1	3.9	0	0	0	0	0	6.9
高士佛赤楠	2	1	3.9	0	0	0	0	0	6.9
毛雞屎樹	3	0	3.9	0	0	0	0	0	6.9
白匏子	4	1	1.8	0	0	0	0	0	6.8
金斗欄	2	1	3.8	0	0	0	0	0	6.8
短尾柯	3	1	2.6	0	0	0	0	0	6.6
錐果櫟	1	3	2.5	0	0	0	0	0	6.5
野牡丹	2	1	2.4	0	0	1	0	0	6.4
黃杞	2	1	2.7	0	0	0	0	0	5.7
瓊楠	2	1	2.6	0	0	0	0	0	5.6
銳脈木薑子	1	1	3.6	0	0	0	0	0	5.6
江某	2	1	1.5	0	0	1	0	0	5.5
黑星櫻	2	1	2.3	0	0	0	0	0	5.3
九節木	0	1	2.2	0	0	1	1	0	5.2
烏心石	3	0	2.2	0	0	0	0	0	5.2
革葉冬青	0	1	3.9	0	0	0	0	0	4.9
紅楠	2	1	1.7	0	0	0	0	0	4.7

## 附錄4-2、陸軍裝甲兵訓練指揮部回文

### 陸軍裝甲兵訓練指揮部 函

機關地址：新竹縣湖口長安郵政90682號信箱

傳 真：03-5999683

承辦人及電話：劉漢松 03-5992714#347311

受文者：國立嘉義大學森林暨自然學系（廖宇賡先生）

發文日期：中華民國 103 年 10 月 27 日

發文字號：陸教裝訓字第1030002355號

速別：

密等及解密條件或保密期限：

附件：

主旨：函復貴校為檫櫟樹種保育工作需要申請於坑子口訓場內實施實施植林案，請查照。

說明：

- 一、依軍備局工營中心103年8月18日備工土管字第1030010859號函及陸軍司令部103年10月2日國陸戰訓字第1030003081號令辦理。
- 二、案經考量坑子口靶場為本軍北部地區戰車砲、重砲射擊訓練場地，為避免影響演訓任務及未來整體運用，無法提供貴校實施植林，不便之處，尚祈諒察。

正本：國立嘉義大學森林暨自然學系（廖宇賡先生）（嘉義市學府路300號）

副本：國防部軍備局工程營產中心（請查照）

指揮官 陸軍少將 蔡賢聖

本件保存 年

縮影：  
第 1 頁，共 1 頁

檔號： \_\_\_\_\_

## 第五章 以台灣水青岡與槲櫟森林的昆蟲為例

### 摘要

依據我國目前氣候變遷相關計畫之研究成果，認為臺灣降水強度與頻率有逐漸增加趨勢，且趨於兩極化，即雨季越濕、乾季越乾。極端氣象事件之發生頻率與強度將與日俱增，使本島山區自然環境在氣候變遷與極端事件衝擊下益形脆弱。

植食性昆蟲的多樣性能夠反映森林生態系的優劣程度，在全球氣候變遷與極端氣候的威脅之下，進行冰河子遺物種的研究與相關保育措施的擬定顯得刻不容緩。本研究擬藉由進行台灣水青岡樣區的昆蟲調查，建立各個樣區的昆蟲相資料，進而探討各個台灣水青岡的現生地是否可能由於持續暖化造成的氣候異常或是人為開發的影響，導致物種滅絕或是棲地消失的危機。此外並針對新竹地區槲櫟植群的昆蟲進行初步研究，建立初步資料。本計畫將持續於北部地區台灣水青岡森林與新竹地區槲櫟植群進行昆蟲相調查，增進對冰河子遺物種的了解，以期針對此等珍貴子遺森林生態系進行更完善的生物多樣性保育。

本年度已完成銅山、北插天山、烏嘴山、大白蘭崁等樣區的採樣工作，並針對全年資料進行分析。

**關鍵詞：** 氣候變遷、台灣水青岡、脆弱度、生物多樣性、物種分布、棲地片段化

## 一、前言

全球氣候變遷及氣候的極端化的衝擊除了生物多樣性的流失之外，最大的影響可能是稀有、特有及脆弱的生物族群及生態體系結構受到破壞(IPCC, 2007, Joyce *et al.*, 2014)。先進國家已展開許多研究，企圖瞭解物種、族群、動植物社會等對氣候變遷的敏感程度、脆弱度、及反應能力；此外，為了避免特稀有物種及其棲地的滅絕消失，亦已依據現有知識基礎及風險程度，針對評估屬氣候變遷影響之高風險物種及族群，擬定適宜之保育策略，並進行保育工作的實質推動(Staudinger *et al.*, 2012)。

我國目前氣候變遷相關計畫之研究成果，顯示極端氣象事件之發生頻率與強度將與日俱增，使本島山區自然環境在氣候變遷與極端事件衝擊下益形脆弱(許晃雄等, 2011)。為減緩氣候變遷對於生物多樣性之衝擊，研究建議應根據暴露度、敏感度及調適能力，先依照物種或地區的狀況評估其脆弱度，再針對所產生的衝擊程度與脆弱度進行政策、社會或法令上的調適以減緩、降低或預先防止災害的產生，並永續的維持整個社會或生態系(童慶斌, 2012)。

根據邱祈榮(2013)及林務局2013至2015年「因應氣候變遷之生物多樣性脆弱度評估與風險管理研究」計畫成果，已初步瞭解全臺灣維管束植物在長期氣候變遷影響下可能的殘存分布地點，亦初步提出風險較高且應積極保育之物種與族群；小尺度方面，則已針對臺灣水青岡及南仁山植群等案例地點，對於生物社會以至物種層級可能遭受氣候變遷之衝擊與影響部分，完成初步的研究與評估。

生物的棲息環境除了受到大尺度氣候影響以外，由於局部地形或區域的微氣候條件差異，使得某些小尺度地點可能出現暖化趨勢較緩的現象，例如陡峻山區的谷地、冷涼的迎風地點或高原的冷袋(cold-air drainage)地形等，生物在這些地點有較高的機會躲避暖化威脅、降低滅絕風險(Skov and Svenning, 2004)。此現象與第四紀冰河時期古生物學研究提出之「生物避難所(refugia)」概念極為相近，因此，科學界將暖化架構下的潛在冷涼棲地稱為「間冰期避難所(interglacial refugia)」或「微避難所(micro refugia)」(Rull, 2009, 2010, Stewart, *et al.*, 2010, Ashcroft *et al.*, 2012, Tzedakis *et al.*, 2013, Kimura *et al.*, 2014, Shimokawabe *et al.*, 2015)。美國學者 Lee Hannah 及澳洲學者 Gunnar Keppel 分別於2014及2015年更進一步指出，暖化趨勢下的生物微避難所可再細分為「微避難所(micro refugia)」、「堅守點(holdouts)」及「遷徙跳石(steppingstones)」。Hannah與Keppel認為，微避難所面積與規模相對為大，這些地點在暖化情境下仍可維持較為長久的冷涼微氣候，避難物種有機會在此處靜待下一次地球冷期循環的來臨。在保育機關(構)

資源有限的條件下，堅守點與遷徙跳石地區應該受到更密切的保護，保護的作法則包含現生族群保護、協助就地繁衍、減低物種競爭或遷地保存等。

「因應氣候變遷之生物多樣性脆弱度評估與風險管理研究」計畫係以「殘存地點」作為基礎概念，殘存族群多蝟居於較小地理尺度之局部棲地內，此一棲地環境多具備地形複雜、微環境偏於冷涼、生物競爭作用較不明顯等特性，類似於生物地理學所稱之「避難所」，亦與Keppel等人所提之研究概念有極高相似之處。

國際研究認為，保育策略必須依據已知生態系及物種所暴露之風險程度進行擬定，再根據應受保護對象之特性，選擇就地保護、廊道規劃、協助遷徙及遷地保育等不同對策(Dawson et al., 2011)。2015年Keppel等人以澳洲塔斯馬尼亞(Tasmania)為案例，提出一系列研究架構，進行氣候變遷下微避難所之尺度與位置判定、避難容納量(capacity)分析，最終達成各避難所風險程度與保育優先次序評估之目標。該團隊認為，避難所之容納量由環境穩定度、微氣候異質性、棲地面積與可到達性等因子共同決定。

本計畫認為，Keppel及Hannah等人發展之研究架構與「殘存地點」概念頗為近似，且澳洲團隊已完成氣候變遷下的微避難所之案例研究，證實該架構具有實務應用性。台灣應亦可利用現有之資料與研究基礎，仿其架構推動本土性之分析與評估。

根據Michael and Elsa(2001)指出許多當前的生物多樣性回復措施存有缺漏，對目標生物基礎資料的了解不夠完全，包括物種多樣性與物種分布情形、生態過程以及目前環境對當地生態系的威脅程度及生物面對環境的衝擊調適方式等等。因此，進行生物多樣性回復的措施之前對於目標生物與棲息的環境等訊息必須詳加了解。本細部計畫負責之部分為進行各個樣區內台灣水青岡林與新竹櫟櫟樣區的昆蟲物種普查，建立台灣水青岡林與櫟櫟森林的昆蟲物種清單，進而探討是否可能由於持續暖化造成的氣候異常或是人為開發的影響，導致物種滅絕，依附而生的專食性物種因此有消失的危機。

## 二、前人研究

(一) 台灣水青岡分布於台灣北部的山區，可視為多種動植物賴以生存的棲地島。銅山地區為面積最大的族群，其次為插天山自然保留區的北插天山向北延伸至逐鹿山、往南延伸至拉拉山等山頭；其他如鳥嘴山、大白山、蘭炭山的面積則較小，而西

阿玉山僅有不到十株的殘存族群。Robert H. MacArthur 與 Edward O. Wilson 於 1967 年提出島嶼生物地理學的理论基礎之後，1974 年即有國外學者以鱗翅目昆蟲之專食性小蛾類與殼斗科寄主植物之分布關係進行島嶼生物地理學模型之相關研究(Opler, 1974a,b; 1981)。而物種數與面積效應的模式關係也有學者進一步檢視與探討(Rey *et al.*, 1981)。這些關於島嶼生物地理學的研究論述可充做台灣水青岡森林昆蟲研究之基礎。

(二) 林務局分別已於102年及104年完成「建立氣候變遷對生物多樣性風險與脆弱度評估模式及因應策略規劃」及「因應氣候變遷之生物多樣性脆弱度評估與風險管理研究」。在大尺度之維管束植物地理分布研究部分，提出牡丹至南仁山等14處可能為長期氣候變遷下的殘存地點，並依物種密度、地形及水系特徵等因子評估，認為其中7處殘存地點因植群缺乏向高海拔遷徙退卻空間，具有遭受暖化效應衝擊之疑慮，應為優先關注與保護的地點。該計畫於南仁山地區完成21年之森林複查資料分析，發現迎風型生育地在物種數量，植株密度以及生物多樣性逐漸減少，相對的在背風型生育地與溪谷樣區則無顯著之變化，顯示南仁山森林可能受東北季風影響而使得迎風型生育地產生變化；物種層級部分，則以攬仁溪樣區有較高比例之物種族群持續下降，並建議臺灣柯與希蘭灰木為亟待後續保育之物種。

(三) 台灣水青岡森林片斷化研究以多時期航照圖進行地面覆蓋判識與現地的植群調查來探討氣候變化對水青岡森林的影響，同時與附近的氣候資料結合並初步建立災害風險性評估的架構，以危害與脆弱度的指標評估其風險性，像是不同海拔與不同大小族群的分布面積、覆蓋度的改變和物種組成差別、林內蛾蝶類夸父綠小灰蝶的族群差異等，來瞭解冰期之後的氣候暖化，對水青岡森林退縮與片斷化後所造成的影響。參考海岸淹水的文獻，初步建立災害風險評估公式 (風險=危害x脆弱度)，並依台灣各地的水青岡森林建立其危害及評估脆弱度指標，以整合出不同地區水青岡森林的災害風險階級，結果有

1. 水青岡族群從過去30年航照圖資料中並無明顯向上遷徙情形；
2. 災害潛勢分級得到的結果，可知台灣水青岡林各分布地受到氣候的衝擊程度，以崩塌、植被枯亡與上層枯損為分級，合計所受災害潛勢的面積佔各地區水青岡森林面積都不到10%；

3. 災害潛勢面積最高為大白山在2011年度所占面積達7.42%，阿玉山在1980年度之前為5.36%次之，第三高是蘭崁山地區在2011年度為4.82%，代表水青岡森林會略受到極端氣候衝擊的影響；
4. 風險性評估以危害與脆弱度兩大層面探討，危害層面有自然因子的要素(如溫度、雨量或颱風)與災害潛勢分級(崩塌、植被枯亡或上層枯損)；以暴露度(生育地因子)、調適力(面積、族群和不同世代比例等)和回復力(幼苗更新、豐歉年)來代表脆弱度層面，共計有14個評估指標。

綜合風險性評估的結果，各地區水青岡森林依風險程度由高至低排序：蘭崁山是非常高風險、阿玉山是高風險、大白山是中等風險、鳥嘴山是低風險、銅山與插天山是非常低風險。

#### 已完成之計畫重要結果如後：

先期計畫研究期間採獲兩種以台灣水青岡為食的舟蛾，為從前尚未記錄描述過的種類，已經與學者合作發表，刊登於國際期刊《動物分類群》(Zootaxa)，分別為 *Pheosiopsis seni*(沈氏夙舟蛾)與 *Syntypistis taipingshanensis*(太平山胯舟蛾)，兩者皆為專食台灣水青岡的種類。

台灣水青岡森林的昆蟲研究也發現台灣水青岡林的面積大小與專食性昆蟲種數的關係密切，面積較小的台灣水青岡森林鱗翅目昆蟲種數明顯不若較大面積的族群，符合島嶼生物地理的模型預測。研究經過篩選得到夸父瓘灰蝶、雲霧裳蛾近緣種兩種以及水青岡專食性舟蛾兩種等指標物種，各個樣區經過指標物種評估與鱗翅目昆蟲多樣性評等得到台灣水青岡森林生態脆弱度矩陣，內含各個樣區的評估結果。以上成果整合於「台灣水青岡森林片斷化之研究」，完整呈現整體成果。

2016年度的新竹槲櫟樣區昆蟲調查於共記錄到6種鱗翅目昆蟲取食槲櫟，另外2種則取食伴生樹種-栓皮櫟，為雜食性種類，不排除有取食槲櫟的可能。值得注意的是調查到的種類當中有5種為雜食性種類，若是大量發生可能會對槲櫟的生存造成影響甚至危害，須持續調查與關注。

### 三、材料與方法

#### (一)研究地區

水青岡植物在全世界約有 12 種，分佈於北半球溫帶地區，台灣水青岡是本類植物在北半球分布之南緣，也是台灣最具代表性的冰河子遺植物。由地下花粉的分析結果，證明台灣水青岡在冰河時期曾分布到台灣北部的低海拔地區，目前只殘存在北部幾個山頭及主稜上，包括北插天山、拉拉山、銅山、大白山、蘭崁山、阿玉山及鳥嘴山，海拔 1,225–2,000 m。這說明了台灣水青岡在冰期結束後，氣候變暖，整個族群往較高海拔遷移，使得原先分布廣闊之族群逐步退縮，而呈現片斷化分佈。因此現在全球氣候的暖化，將加速台灣水青岡的衰退，最後從這些山頭消失（陳子英等，2011）。

目前在台灣東北部的台灣水青岡森林分布於數個地區：

- (1) 蘭崁山：位於宜蘭縣南澳鄉山區，在海拔 1,450 m 的一座山頭上，沿著稜線生長約呈 Z 字型，覆蓋範圍約為 0.3 ha，族群稀少僅有 38 棵。
- (2) 大白山：位於宜蘭縣南澳鄉山區，海拔約 1,350 m，沿著狹長的山頭稜線生長，覆蓋範圍約為 30 ha。
- (3) 銅山地區：位於宜蘭縣南澳鄉山區，海拔約 1,800 m，分布於望洋山至銅山、下銅山並延伸至鹿皮山之稜線上，覆蓋範圍約 1,154 ha，為最大的分布地區。
- (4) 阿玉山：位於宜蘭縣與新北市交界處山區，海拔約 1,420 m，族群極少，僅有零星數棵。
- (5) 插天山：位於桃園縣與新北市交界處山區，海拔約 1,450 至 1,700 m，分布於北插天山至拉拉山一帶，覆蓋範圍約有 300 多公頃，現已劃設為「插天山自然保留區」。

台灣的檫櫟族群分布局限於新竹縣新豐鄉坑子口靶場周邊，全區隸屬於國軍管轄範圍。

台灣水青岡與檫櫟可說是台灣地區研究氣候變遷對生物多樣性衝擊與回復的最佳對象，從遺傳多樣性、物種多樣性、及生態系多樣性的角度均可加以探討。

## (二)研究方法

將台灣水青岡出現之昆蟲分成二型來比對：(1)為銅山及插天山地區目前較大區域的森林與(2)為目前殘存或子遺的小片森林，如蘭炭山、大白山、阿玉山、烏嘴山地區。櫟櫟樣區則以普查性質進行初步調查。

1. 重要工作項目為：監測與調查鱗翅目昆蟲多樣性之研究，建立各研究樣區的昆蟲相資料。
  - (1)於各個台灣水青岡森林樣區進行昆蟲相調查並進行新竹地區櫟櫟植群樣區調查。
  - (2)監測夸父矽灰蝶與專食性裳蛾、水青岡舟蛾等專食性昆蟲種類於各個樣區的差異與變化情形。
  - (3)台灣水青岡的開芽物候、族群內開芽率的同步性對於專食性物種的存續可能具有關鍵性的影響，因此在進行春季昆蟲調查的同時，將同時估算記錄各次調查開芽率。
2. 研究方法：主要研究對象為直接取食與利用台灣水青岡與櫟櫟的昆蟲，進行物種調查。採集取食、棲息於各部位的昆蟲，包括：
  - (1)幼嫩葉片：觀察採集並記錄取食的成蟲與幼蟲，幼蟲帶回飼養以確定種類。（可能多為一年一世代之種類，需細心照顧）
  - (2)花序：開花季節採集、觀察授粉昆蟲，若有幼蟲取食則帶回飼養，以確定種類。
  - (3)果實、種子：若遇有結實情形則觀察記錄是否有昆蟲利用，利用昆蟲種類及利用情形。
  - (4)老熟葉片：觀察採集並記錄取食的成蟲與幼蟲，幼蟲帶回飼養以確定種類。（幼蟲有可能為雜食性，必須想辦法釐清）
  - (5)樹皮、樹枝、倒木：觀察是否有昆蟲利用棲息，並記錄種類。
3. 採樣方法：參考臺灣野生動物調查昆蟲資源調查手冊（楊平世等，1996），擬定採樣方法如下。

- (1) 寄主植物翻察法：檢視翻察葉片、花序、果實，搜尋可能棲息的昆蟲幼蟲或是成蟲。
  - (2) 樹冠採樣：利用高枝剪隨機剪取樹冠枝條，以找尋卵粒及幼蟲。
  - (3) 定量標準：各樣區隨機選取 10 棵樹，每棵樹的取樣數量為 10 個長度 30 公分的枝條。
  - (4) 夜間燈光誘集：主要目的為調查各個台灣水青岡樣區專食性裳蛾族群量的差異，於成蟲活動季節進行。
4. 採樣頻度：於植物開花展葉期與葉片成熟期進行採樣，各個樣區至少 1 至 2 次，。棲息於樹皮與倒木、樹枝的昆蟲種類，於研究採樣期間若有遭遇則觀察記錄種類與利用方式。
  5. 幼蟲飼養記錄：將帶回室內飼養的幼蟲分別拍照、編號，依照採集日期將幼蟲飼養記錄歸檔整理，累積物種資料以便後人進行相關研究。
  6. 成蟲標本：飼養所得之成蟲，統一整理、鑑定，鑑定參照井上寬等(1982)；施禮正(2008)；張保信(1989a)；張保信(1989b)；張保信(1990a)；張保信(1990b)；張保信(1991)；傅建明、左漢榮(2002)；傅建明、左漢榮(2004)；矢田脩 (2007)；岸田泰則 (2011a)；岸田泰則 (2011b)；岸田泰則 (2013a)；岸田泰則 (2013b)；日本産の蛾の WEB 図鑑(2003)。

#### 四、研究結果

##### (一)以台灣水青岡為食的鱗翅目昆蟲調查：

本年度持續進行鱗翅目昆蟲調查，自二月底台灣水青岡休眠芽萌發之際開始至各個樣區進行調查，目前共計進行 15 次調查，共計採獲以台灣水青岡為食的昆蟲幼蟲 12 科 41 種 434 隻次，其中銅山 8 科 25 種 256 隻次、大白蘭崁 6 科 6 種 69 隻次、鳥嘴山 10 科 24 種 83 隻次、北插天山 6 科 10 種 26 隻次，種類與數量詳如表 5.1。本年度調查共發現 5 種新記錄種類，其中尺蛾科 2 種、夜蛾科 1 種、天蠶蛾科 1 種、麥蛾科 1 種。綜整近年來之調查資料與飼養記錄，目前台灣水青岡的鱗翅目昆蟲扣除食用附生於台灣水青岡蘚苔的 3 種之後總共有 19 科 119 種，其中銅山 78 種、北插天山 58 種、鳥嘴山 28 種、大白蘭崁共 15 種，食

性資料整理如附錄 5-1。

表 5.1 2017 年於台灣水青岡調查所獲之鱗翅目昆蟲種類與數量。

科別	種類	地點			
		銅山	大白/ 蘭炭	鳥嘴山	北插
尺蛾科 (Geometridae)	Geometridae sp.1	57			4
	Geometridae sp.2	12			
	Geometridae sp.4	22	13		
	Geometridae sp.5				4
	Geometridae sp.7	17		1	
	Geometridae sp.8	2		16	1
	Geometridae sp.9	1		2	9
	Geometridae sp.10	54			
	Geometridae sp.14			2	
	Geometridae sp.22	33			
	Geometridae sp.24			2	
Geometridae sp.25	3				
舟蛾科 (Notodontidae)	Notodontidae sp.1	3			
	Notodontidae sp.2	2	39		1
折角蛾科 (Lecithoceridae)	(Lecithoceridae sp.1) <i>Scythropiodes</i> sp.	11	12	2	
夜蛾科 (Noctuidae)	Noctuidae sp.1			1	
	Noctuidae sp.2	6		4	
	Noctuidae sp.4			1	
	Noctuidae sp.6	1		1	
	Noctuidae sp.16			1	
	<i>Chasminodes</i> sp.	5			
枯葉蛾科 (Lasiocampidae)	Lasiocampidae sp.1		1	5	
捲蛾科 (Tortricidae)	Tortricidae sp.2	5			
	Tortricidae sp.3			4	
細蛾科 (Gracillariidae)	(Gracillariidae sp.1) <i>Phyllonorycter</i> sp.	9		4	1

	(Gracillariidae sp.2) <i>Caloptilia</i> sp.	1	1	
裳蛾科 (Erebidae)	<i>Catocala</i> nr. <i>connexa</i>	3	1	1
	<i>Catocala</i> nr. <i>nubila</i>	1	1	
	Lymantriinae sp.5	1		
	Lymantriinae sp.8		1	
	<i>Ilema nachiensis</i> 灰綠毒蛾		20	
	<i>Lymantria monacha</i> 細紋絡毒蛾	3	2	2
	Erebidae sp.1	1		
	Erebidae sp.2		1	
	Lymantriinae(太小無法鑑定)	1		
天蠶蛾科 (Saturniidae)	<i>Antheraea yamamai</i> 大透目天蠶蛾		2	1
	<i>Saturnia jonasii fukudai</i> 綠目天蠶蛾	2		
旋蛾科 (Gelechiidae)	Gelechiidae sp.4		8	
螟蛾科 (Pyralidae)	Pyralidae sp.3		2	
	Pyralidae sp.5		1	
鈎蛾科 (Drepanidae)	<i>Parapsestis tomponis tomponis</i> 圍異波紋蛾			2
	Drepanidae sp.1		1	

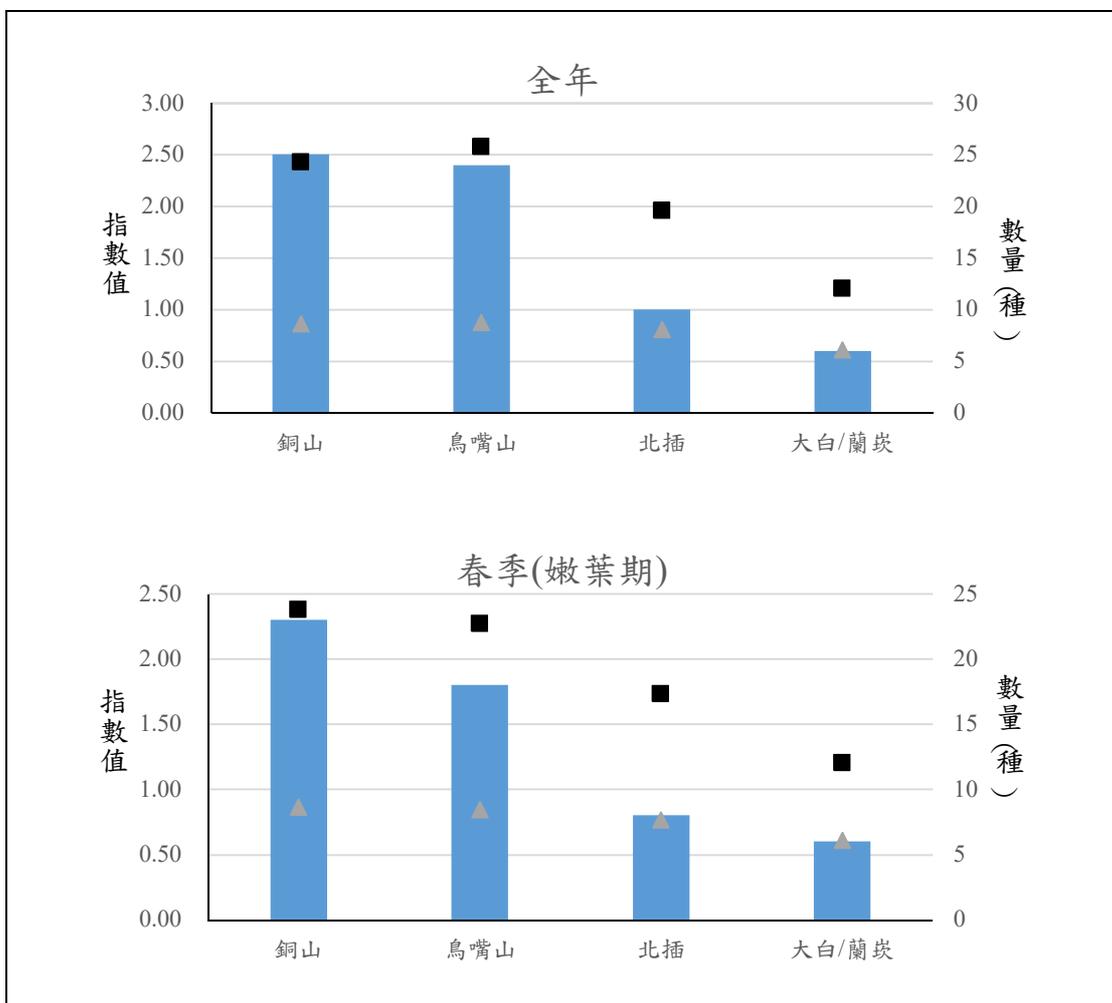
本年度持續針對各樣區的調查進行定量之採樣方式，用以進行量化分析。根據各樣區所得之種類與其對應數量進行多樣性分析，得到各樣區所對應之 Shannon-Wiener Index 與 Simpson Index 如表 5.2。物種豐度以銅山與鳥嘴山較高，北插天山次之，大白蘭崁山區為最低。此外，銅山地區的幼蟲發現數量較其他樣區明顯較多，主要因為春季嫩葉期有 3 種尺蛾大量發生的緣故。

表 5.2 2017 年台灣水青岡樣區的鱗翅目昆蟲種數、發現隻次與多樣性指數。

	銅山	大白/蘭崁	鳥嘴山	北插天山
物種豐度(種)	25	6	24	10
發現數量(隻次)	256	69	83	26
Shannon-Wiener Index	2.43	1.21	2.58	1.96
Simpson Index	0.87	0.61	0.88	0.81

比較各樣區的多樣性指數差異(圖 5.1)，本年度鳥嘴山與銅山分別採獲 24 種及 25 種鱗翅目幼蟲，兩地物種數相近的情況下多樣性指數卻以鳥嘴山較高，這

是由於夏季受到颱風影響銅山地區導致成熟葉時期採樣成果不佳，而鳥嘴山由於中央山脈阻擋颱風侵襲枝條受損輕微，幼蟲也得以繼續生息；銅山地區春季嫩葉期有3種尺蠖極為優勢，其中有2種僅分布於銅山地區，優勢種效應也降低了銅山地區昆蟲相之多樣性，造成全年多樣性指數向下偏移而略低於鳥嘴山。此外，春季為台灣水青岡葉片的生長時期，同時間在鳥嘴山發現9種雜食性種類，略多於銅山地區的7種，其中灰綠毒蛾數量略多，發現數量占雜食物種之57%，雜食性種類有可能過度啃食葉片而對台灣水青岡的生存造成危害，有損台灣水青岡的回復力，因此雜食性昆蟲族群量之變化情形必須持續監測。北插天山由於採樣者經驗較為不足之緣故而造成偏差，因此不論物種豐度與多樣性指數均不如預期，關於這一點必須加強進行協助採樣人員之訓練。



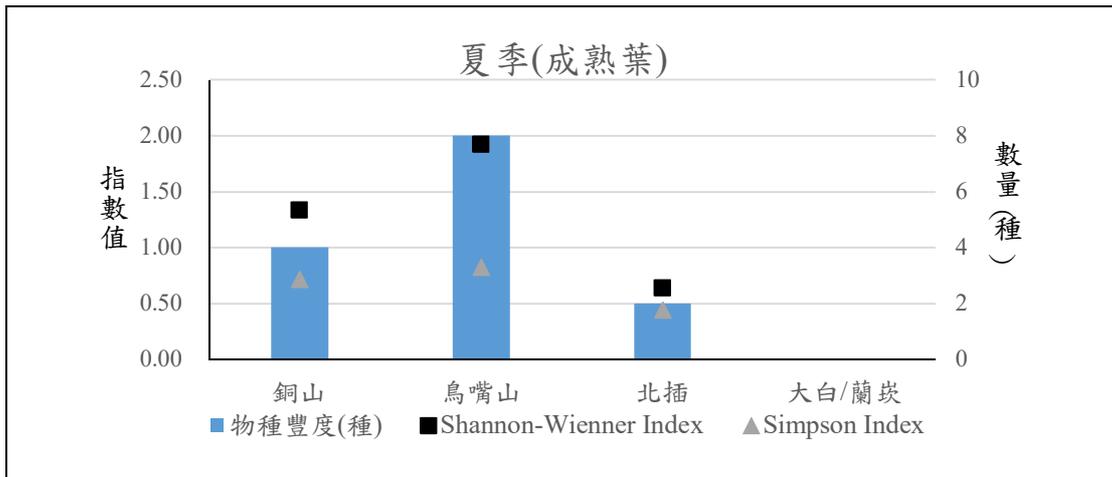


圖 5.1 2017 年台灣水青岡鱗翅目昆蟲多樣性之分析比較。

大白蘭崁山區夏季的採樣期間適逢颱風過境之後，稜線遭受侵襲而造成許多台灣水青岡的枝條斷裂嚴重，採樣也因此受到影響而掛零。因此大白蘭崁地區的調查僅有春季的昆蟲多樣性資料，僅有 6 種鱗翅目幼蟲記錄，而其中有 3 種為雜食性昆蟲。颱風造成大白蘭崁地區的台灣水青岡的枝幹吹折斷裂對其存續造成壓力，已有許多植株死亡，為台灣水青岡族群回復的阻力之一，專食性昆蟲的存續和回復力可能也受到影響。

本年度持續於各個分布地區的雲霧裳蛾成蟲發生期間實施夜間燈光誘集法進行數量調查，調查時間自晚上 7 點持續至 11 點 30 分，總共調查到雲霧裳蛾活動記錄 11 隻次(圖 5.2)，烏嘴山由於調查期間適逢颱風過境，稜線地區風勢強勁，因此並未記錄到裳蛾活動，大白蘭崁由研究開始至至今尚未有雲霧裳蛾之發現記錄。

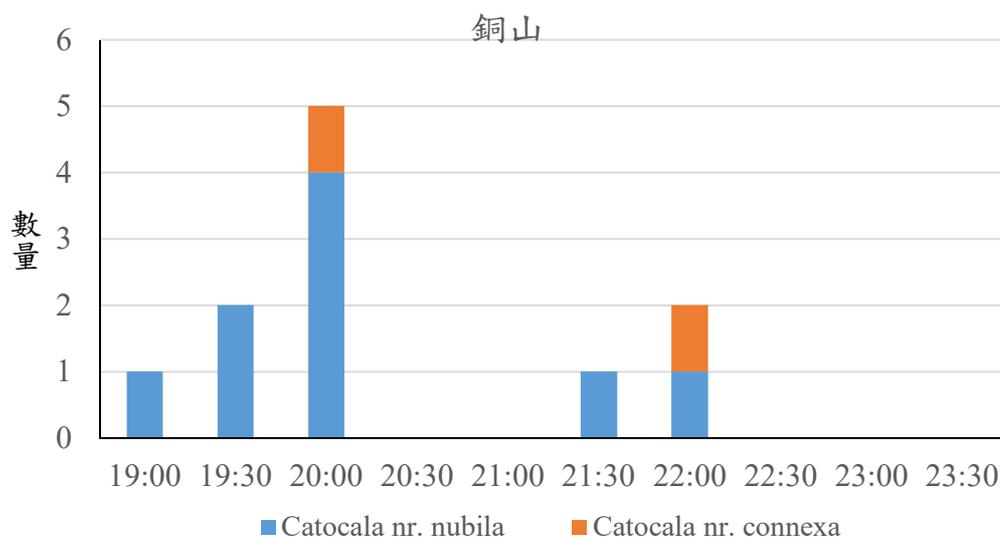


圖 5.2 銅山台灣水青岡森林之兩種雲霧裳蛾活動記錄。

## (二) 新竹槲櫟樣區昆蟲調查：

槲櫟與台灣水青岡同屬冰河孑遺物種，然而在本研究之前槲櫟森林之昆蟲相卻鮮少被關注探討。本年度目前已完成 5 次調查，記錄到取食槲櫟的鱗翅目昆蟲 8 科 18 種(表 5.3)，其中有 4 種為專食槲櫟的小型蛾類，4 種為以殼斗科植物為食的狹食性蛾類，另外 10 種為雜食性種類。

表 5.3 2017 年新竹新豐榭櫟樣區昆蟲名錄。

科別	種類	推測食性
裳蛾科	Lymantriinae sp.1	雜食
	<i>Euproctis inornata</i> 白斑黃毒蛾	雜食
	<i>Lymantria xyliana</i> 黑角舞蛾	雜食
	<i>Olene dudgeon</i> 褐斑毒蛾	雜食
尺蛾科	<i>Cleora fraterna</i> 黑腰鋸尺蛾	雜食
	<i>Cusiala boarmioides</i> 白波緣尺蛾	雜食
	<i>Ectropis</i> sp. 猗尺蛾屬	雜食
	Geometridae sp.1	雜食
	Geometridae sp.2	狹食
瘤蛾科	Nolidae sp.1	狹食
	Nolidae sp.2	狹食
刺蛾科	<i>Parasa shirakii</i> 褐邊綠刺蛾	雜食
蓑蛾科	Psychidae sp.1	雜食
網蛾科	Thyrididae sp.1	狹食
細蛾科	Gracillariidae sp.1	專食
	Gracillariidae sp.2	專食
捲蛾科	Tortricidae sp.1	專食?
	Tortricidae sp.2	專食?

榭櫟為溫帶落葉性殼斗科植物，主要分佈於日本、韓國、中國的東北和四川，台灣為分布之南界。日本地區有一種一年一世代的專食性灰蝶以榭櫟為寄主植物，然而目前在新竹地區的榭櫟森林並未記錄。調查也發現取食榭櫟的昆蟲超過六成的種類為雜食性物種，而專食性物種皆為較小型的蛾類。在氣候變遷的影響之下，體形較大的蛾類不敵植物物候紊亂導致幼蟲發育期食物短缺，可能已經滅絕；常綠闊葉樹的長驅直入占據了榭櫟原本生長的空間，也給了雜食性蛾類更多的取食與生長機會。雜食性物種若是大量發生取食榭櫟葉片，對榭櫟族群的回復將有不良影響，必須持續監測。

### (三)台灣水青岡的開芽物候與春季同時期各樣區的開芽率與物候差異：

本年度記錄之春季各樣區台灣水青岡的即時開芽情形如表 5.4，為日後分析討論的背景資料。本年度僅觀察到銅山地區少量開花，後續觀察果實發育情形不佳，並未發現水青岡蛀食捲蛾利用果實的現象。水青岡蛀食捲蛾以台灣水青岡的種子為食，然而台灣水青岡的結實於不同的氣候條件影響下具有豐欠年的差異，關於族群繁衍機制的了解能夠避免將來種子保存期間被大量蛀食，對於未來復育台灣水青岡的作業十分的重要。此外，銅山地區調查期間發現 5 株當年生的台灣水青岡幼苗也未見昆蟲利用的痕跡。

表 5.4 2017 年春季各樣區台灣水青岡的開芽情形。

樣區	調查日期	開芽情形(2017)
北插天山	0408	開芽 2-3 成，部分植株葉已平展。
銅山	0314	尚未開芽
	0327	開芽率約一成，芽體已抽長發育，上層樹冠少量開花。
	0406	開芽約 2-3 成，部分植株葉已平展。
	0419	葉片已平展，尚未硬化，發現 5 棵當年苗。
烏嘴山	0324	開芽率少於一成，少數植株上層開始略抽芽。
	0407	開芽約 2-3 成，部分植株葉已平展。
	0418	葉片已平展，尚未硬化。有發現兩棵當年生苗。
大白山	0425	葉片已平展硬化。

### (四)台灣水青岡的鱗翅目昆蟲飼育概況：

以台灣水青岡為食的鱗翅目昆蟲依照食性可以分成三類，分別為專食性、狹食性以及雜食性，嫩葉時期以專食性昆蟲較多，然而也有雜食性昆蟲例如毒蛾亞科、枯葉蛾科的種類出現。嫩葉期採獲的幼蟲生長快速，但是容易因為誤食品

質不佳的葉片而導致夭折，因此食草保存為飼育成功與否的關鍵之一。成熟葉時期的幼蟲飼育則相對容易。鱗翅目昆蟲的生活史周期可分為一年一至兩世代的種類與多世代種類，一年一代的種類需要以生活史其中一個時期—例如冬季的低溫期進行休眠越冬。以台灣水青岡的鱗翅目昆蟲為例，一年一世代的專食性種類需要配合台灣水青岡的物候，以卵或是蛹的形態休眠越冬，因此飼育過程中如何讓幼蟲化蛹後順利休眠越冬之後順利羽化成蟲便成為台灣水青岡的鱗翅目昆蟲研究最大的挑戰。

歷年的研究總計有 10 科 34 種鱗翅目昆蟲飼育成功，有許多種類已經完成鑑定(如表 5.5)，其中不乏全新發現的種類例如沈氏夙舟蛾(*Pheosiopsis seni*)與太平山胙舟蛾(*Syntypistis taipingshanensis*)被命名發表，然而還有許多種類尚待進一步的研究。

表 5.5 台灣水青岡的鱗翅目昆蟲飼育成功之種類名錄

科別	學名	中名	食性	採樣地區				
				北插	銅山	鳥嘴山	蘭炭山	大白山
尺蛾科	<i>Acrodontis mystica</i>	迷極尺蛾	狹	•	•			•
	<i>Alcis nubeculosa</i>	小霜尺蛾	廣	•				
	<i>Biston</i> sp.	突峰尺蛾屬	狹					•
	<i>Comibaena</i> sp.	綠尺蛾屬	廣	•				
	<i>Garaeus</i> nr. <i>specularis</i>	鈎角尺蛾屬	廣		•			
鈎蛾科	<i>Agnidra</i> nr. <i>scabiosa fixseni</i>	亂斑鈎蛾	專?	•	•	•		
	<i>Auzatellodes arizana</i>	阿里山銀鈎蛾	狹		•			
	<i>Horithyatira takamukui</i>	連珠波紋蛾	狹		•			
	<i>Parapsestis tomponis tomponis</i>	圍異波紋蛾	狹	•				
舟蛾科	<i>Fentonia ocypete</i>	鋸紛舟蛾	狹	•				
	<i>Pheosiopsis seni</i>	沈氏夙舟蛾	專	•	•			•
	<i>Syntypistis</i> nr. <i>amamiensis</i>		專	•				
	<i>Syntypistis taipingshanensis</i>	太平山胙舟蛾	專	•	•			•
裳蛾科	<i>Caeneressa</i> sp.		廣	•				
	<i>Calliteara</i> sp.	茸毒蛾屬	狹	•	•			
	<i>Catocala</i> nr. <i>connexa</i>		專	•	•			

	<i>Catocala</i> nr. <i>nubila</i>		專	•	•	•		
	<i>Hepatica</i> sp.		專	•	•	•		
	<i>Ilema nachiensis</i>	灰綠毒蛾	廣				•	
	<i>Lymantria mathura</i>	櫟毒蛾	廣	•				
	<i>Lymantria monacha</i>	細紋絡毒蛾	狹		•	•		
	<i>Lymantria xyliina</i>	木毒蛾	廣	•				
	<i>Olene</i> sp.		廣				•	
夜蛾科	<i>Amphipoea</i> sp.		專?	•	•	•		
	<i>Amphipyra</i> nr. <i>tarokoensis</i>	雜夜蛾屬	廣	•	•			
	<i>Bryophilina mollicula</i>		廣	•				
	<i>Chasminodes</i> sp.	白夜蛾屬	專			•		
折角蛾科	<i>Scythropiodes</i> sp.		專	•	•	•	•	
細蛾科	<i>Caloptilia</i> sp.		專	•	•	•	•	•
	<i>Phyllonorycyer</i> sp.		專	•	•	•	•	•
捲蛾科	<i>Archips</i> sp.		?	•				
天蠶蛾科	<i>Antheraea yamamai</i>	大透目天蠶蛾	狹			•		•
	<i>Saturnia jonasii fukudai</i>	綠目天蠶蛾	廣			•		
帶蛾科	<i>Palirisa cervina</i>	褐帶蛾	廣			•		

#### (五)以DNA barcode資料庫比對於臺灣山毛櫟鱗翅目種類鑑定之探討:

本研究提供部份材料進行科技部補助之大專生研究計劃，以DNA barcode交叉比對之方法，針對以臺灣水青岡為寄主植物之鱗翅目幼蟲進行分類鑑定，加速臺灣地區山毛櫟林鱗翅目物種多樣性、生活史生態及生物學研究進展，主要採樣地區包括銅山、北插天山及鳥嘴山。

研究所收集到的研究樣本共有59筆記錄(附錄5-2)，其中2筆為帶蛾科、7筆為夜蛾科、14筆為舟蛾科、10筆為裳蛾科以及26筆為尺蛾科。重要結果如後:

1. 經過BOLD比對過後若樣本與網頁上的物種相似度高於97%即認為該樣本與BOLD資料庫上的物種為同一物種。研究藉由DNA Barcode方法鑑定出來帶蛾科樣本2筆，夜蛾科樣本3筆，舟蛾科樣本13筆，裳蛾科樣本7筆，尺蛾科21筆；未對應出夜蛾科樣本4筆，裳蛾科樣本3筆，尺蛾科樣本5筆，及一筆可能為跨舟蛾屬未知種樣本，總共可以鑑定出76.3%的物種。

2. 本研究共採集26筆幼蟲樣本及6筆蛹樣本，此32筆樣本一共比對出了27筆樣本，占了所有未知種類樣本的84%，此外，藉由抽取新發表的舟蛾科成蟲COI序列，填補NCBI資料庫上缺少的資料，並且成功和未知的幼蟲樣本比對，並發現採集的幼蟲當中，可能有跨舟蛾屬未知種幼蟲存在。
3. 研究確認了DNA條碼(DNA Barcode)為有效探討山毛櫸林鱗翅目種類鑑定的工具。藉此方法比對出了許多過去在飼養過程中死亡的鱗翅目幼蟲及因為越冬失敗而無法羽化的蛹之分類鑑定。
4. 雖然尚有些樣本無法藉由此方法比對出其確切種類，若未來台灣山毛櫸林的鱗翅目成蟲COI序列資料庫完備後，即可以協助解決鑑定問題。因此DNA條碼在探討山毛櫸鱗翅目多樣性時是和形態鑑定、交尾器比較等方法一樣有效的。

## 五、討論

- (一) 2016-2017 冬季由於反聖嬰現象偏弱導致冬季均溫較高，使台灣地區出現暖冬現象，冬季低溫遲遲未至也影響了春季萌芽的植物物候，以銅山樣區而言，2017 年台灣水青岡的開芽時間比起去年又更遲了大約 2-3 周，3 月 27 日日視整體開芽率大約 1 成，但是葉片萌發後迅速發育平展，4 月 19 日記錄葉片全數平展。對比去年(2016 年)冬春之際的極端氣候同樣也壓縮了春季嫩葉萌發時期。台灣水青岡葉片快速發育，葉片質地快速硬化的策略對於取食嫩葉的雜食性物種而言是一種反制措施。葉片由幼嫩迅速長成老熟硬化，能夠對抗以嫩葉為食的雜食性昆蟲物種—例如毒蛾科的種類過度取食葉片，在面臨昆蟲取食的壓力之下而保有葉片，進行光合作用製造養分維持植物體生長。
- (二) 大白蘭崁山區夏季的採樣期間適逢颱風過境之後，稜線遭受侵襲而造成許多台灣水青岡的枝條斷裂嚴重，颱風對於大白蘭崁地區台灣水青岡的存續造成壓力，為台灣水青岡族群回復的重大阻力之一。對專食性昆蟲而言，台灣水青岡是幼蟲唯一的生存依靠，因此存續和族群回復也可能因受颱風的影響而岌岌可危。
- (三) 本年度台灣水青岡昆蟲調查目前為止新紀錄到 5 種鱗翅目昆蟲幼蟲，詳細種類與相關食性資料尚在整理中。調查發現取食槲櫟的昆蟲超過六成的種

類為雜食性物種，而專食性物種皆為較小型的蛾類。雜食性物種若是大量發生對柵櫟的生存與未來之復育可能有不良影響，必須持續監測。

- (四) 由於大白蘭炭樣區的採樣必須經過採礦區域，如遇大雨造成沿途礦區道路崩塌則無法順利進入。本年度春季採樣期間即遭遇礦區崩塌阻路遲遲無法進入，待礦區道路修復後立即前往採樣，然而還是錯過台灣水青岡的嫩葉期，實屬無奈。建議礦區存在的地段應盡量維持道路經常性暢通。
- (五) 氣候變遷與極端氣候對於台灣水青岡族群造成存續上的壓力，為了將研究採樣對植物生長的影响減至最低，應避免大量的採剪枝葉造成植物傷害。因此本研究的昆蟲採樣將持續以寄主植物翻查法代替採剪法來進行調查，往後若有相關研究進行也建議採用此方法。
- (六) 以 DNA barcode 資料庫比對的方式對於臺灣山毛櫟鱗翅目種類鑑定是有益的。雖然尚有些樣本無法藉由此方法比對出其確切種類，若未來台灣山毛櫟林的鱗翅目成蟲 COI 序列資料庫完備後，即可以協助解決鑑定問題。因此 DNA 條碼在探討山毛櫟鱗翅目多樣性時是和形態鑑定、交尾器比較等方法一樣有效的，未來可以繼續進行以加速台灣水青岡森林昆蟲生物多樣性調查之進展。

## 六、執行進度

### (一) 執行情形：

執行進度累積(%)：

	106.01-106.03	106.01-106.06	106.01-106.09	106.01-106.12
預定百分比	20%	50%	70%	100%
實際百分比	20%	50%	70%	100%

### (二) 執行情形概述：

建立鱗翅目昆蟲資料：

1. 昆蟲調查採樣：已前往北插天山、銅山、鳥嘴山、大白蘭崁山的台灣水青岡樣區進行共計 15 次的調查，柵櫟樣區則進行了 5 次調查。
2. 各樣區的鱗翅目昆蟲調查以定量之採樣方式，用以進行量化分析與比較。
3. 夸父瓘灰蝶調查：大白山、蘭崁山、鳥嘴山等小面積樣區均尚未發現夸父瓘灰蝶。
4. 幼蟲飼育與化蛹後處理：調查採獲之幼蟲須進行飼養至成蟲以進行詳細鑑定。
5. 本年度計劃執行產出國內研討會論文摘要一篇，並於第三十八屆台灣昆蟲學會年會進行口頭報告（文章名稱：Diversity pattern of phytophagous insects associated with forests of Taiwan）。

## 七、參考文獻

- 矢田脩 (2007) 新訂原色昆蟲大圖鑑 I。460pp。
- 岸田泰則 (2011) 日本產蛾類標準圖鑑 I。352pp。
- 岸田泰則 (2011) 日本產蛾類標準圖鑑 II。416pp。
- 岸田泰則、廣渡俊哉、那須義次 (2013) 日本產蛾類標準圖鑑 III。359pp。
- 岸田泰則、坂卷祥孝、那須義次、廣渡俊哉 (2013) 日本產蛾類標準圖鑑 IV。552pp。
- 唐立正 (2000) 插天山自然保留區昆蟲相調查研究 (II)。農委會林務局新竹林區管理處。
- 徐堉峰、羅尹廷 (2001) 夸父綠小灰蝶之生態學研究 (一)。行政院農業委員會林務局新竹林區管理處。
- 徐堉峰、黃嘉龍 (2002) 夸父綠小灰蝶之生態學研究 (二)。行政院農業委員會

林務局新竹林區管理處。

張保信 (1989a) 臺灣蛾類圖說 (一)。臺灣省立博物館。

張保信 (1989b) 臺灣蛾類圖說 (二)。臺灣省立博物館。

張保信 (1990a) 臺灣蛾類圖說 (三)。臺灣省立博物館。

張保信 (1990b) 臺灣蛾類圖說 (四)。臺灣省立博物館。

張保信 (1991) 臺灣蛾類圖說 (五)。臺灣省立博物館。

陳子英 (2009) 臺灣水青岡林生物多樣性調查及保育機制之研究 (1/3)。行政院農業委員會林務局。117 頁。

陳子英 (2010) 臺灣水青岡林生物多樣性調查及保育機制之研究 (2/3)。行政院農業委員會林務局。132 頁。

陳子英 (2011) 臺灣水青岡林生物多樣性調查及保育機制之研究 (3/3)。行政院農業委員會林務局。214 頁。

陳子英、謝長富、毛俊傑、賴玉菁、林世宗、胡哲明、徐堉峰、楊正釗、林哲榮、孔祥璿、陳品邑、邱宗儀、巫智斌 (2011) 冰河子遺的夏綠林-臺灣水青岡。行政院農業委員會林務局。271 頁。

傅建明、左漢榮 (2002) 鞍馬山的蛾 (1)。台中縣鄉土自然研究會。

傅建明、左漢榮 (2004) 鞍馬山的蛾 (2)。台中縣鄉土自然研究會。

楊平世、吳文哲、洪淑彬 (1996) 臺灣野生動物調查昆蟲資源調查手冊。行政院農業委員會。227 頁。

羅尹廷 (2001) 夸父綠小灰蝶之生態學初探。碩士論文。國立臺灣師範大學生物學系。72 頁。

施禮正 (2008) 臺灣蛾訊 MOTHS of Taiwan。2013 年 7 月 15 日，取自：  
[http://mothtaiwan.blogspot.com/2008\\_12\\_01\\_archive.html](http://mothtaiwan.blogspot.com/2008_12_01_archive.html)

Krauss J., I. Steffan-Dewenter, T. Tschardt (2003) Local species immigration,

extinction, and turnover of butterflies in relation to habitat area and habitat isolation. *Oecologia* 137:591-602.

MacArthur, R.H. and E.O. Wilson (1967) *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press.

MacArthur, R.H. and E.O. Wilson (1963) An equilibrium theory of insular zoogeography. *Evolution* 17: 373-387.

NHM (2007) Hosts: Database of the World's Lepidopteran Hostplants.

[http://www.nhm.ac.uk/jdsml/research-curation/research/projects/hostplants/index\\_dsml](http://www.nhm.ac.uk/jdsml/research-curation/research/projects/hostplants/index_dsml) ; accessed: Dec. 5. 2010.)

Opler, P. A (1974a) Biology, Ecology, and Host Specificity of Microlepidoptera Associated with *Quercus agrifolia* (Fagaceae). University of California Publications in Entomology, 75:1-83, plates 1-7.

Opler, P. A (1974b) Oaks as Evolutionary Islands for Leafmining Insects. *American Scientist*, 62:67-73.

Opler P. A. & Davis D. R. 1981 The leafmining moths of the genus *Cameraria* associated with Fagaceae in California (Lepidoptera, Gracillariidae). *Smithsonian contributions to Zoology* ; no. 333 58 pp.

Rey, J. R.; McCoy, Earl D.; and Strong, D. R. (1981) Herbivore Pests, Habitat Islands, and the Species-Area Relation. *Am. Nat.* 1981. Vol. 117, pp. 611-622.

Robinson G.S., P.R. Ackery, I.J. Kitching, G.W. Beccaloni and L.M. Hernández (2001) Hostplants of the moth and butterfly caterpillars of the Oriental region. *Natural History Museum in association with Southdene Sdn Bhd*. 744 pp.

Robinson G.S., P.R. Ackery, I.J. Kitching, G.W. Beccaloni and L.M. Hernández (2002) Hostplants of the moth and butterfly caterpillars of America north of Mexico. *Memoirs of the American Entomological Institute* 69: 1-824.

Wilson, E.O. (1988) The current state of biological diversity. Pp. 3-18. In Wilson, E.O. & F.M. Peter (eds.) *Biodiversity*. National Academy Press, Washington, D.C.

日本産の蛾の WEB 図鑑 An Identification Guide of Japanese Moths Compiled by  
Everyone ( AIGJMCE ) ( 2003 ) . Retrieved July 15, 2013, from the World Wide  
Web: [http://www.jpmoth.org/Noctuidae/Catocalinae/Catocala\\_nubila.html](http://www.jpmoth.org/Noctuidae/Catocalinae/Catocala_nubila.html)

附錄5-1 台灣水青岡植食性鱗翅目昆蟲食性整理。

科別	種類	採樣地區					推測食性
		北插	銅山	鳥嘴山	蘭崁山	大白山	
灰蝶科	夸父瓘灰蝶 <i>Sibatanozephyrus kuafui</i>	•	•				專食
蛺蝶科	斷線環蛺蝶 <i>Neptis soma</i>	•	•				廣食
裳蛾科	Erebidae sp.1			•			專食
	<i>Hepatica</i> sp.	•	•	•			專食
	Erebidae sp.4	•					
	<i>Olene</i> sp.			•			廣食
	Lymantriinae sp.2		•	•			狹食
	Lymantriinae sp.3		•				狹食
	Lymantriinae sp.4		•				狹食
	Lymantriinae sp.5		•				狹食
	Lymantriinae sp.6		•				狹食
	Lymantriinae sp.7		•				廣食
	Lymantriinae sp.8			•			廣食
	<i>Catocala</i> nr. <i>connexa</i>	•	•				專食
	<i>Catocala</i> nr. <i>nubila</i>	•	•	•			專食
	<i>Caeneressa</i> sp. (鹿子蛾 sp.1)	•					廣食
	<i>Ilema nachiensis</i> 灰綠毒蛾			•			廣食
	<i>Lymantria monacha</i> 細紋絡毒蛾		•	•			狹食
	<i>Calliteara</i> sp. 茸毒蛾屬	•	•				狹食
	<i>Lymantria xyliana</i> 木毒蛾	•					廣食
	<i>Lymantria mathura</i> 櫟毒蛾	•					廣食
	尺蛾科	<i>Operophtera variabilis</i> 灰褐波冬尺蛾 (以序列資料鑑定)	•	•			
Geometridae sp.2		•	•	•		•	專食
<i>Eucyclodes</i> sp.		•					廣食
Geometridae sp.4		•	•		•	•	狹食
Geometridae sp.5		•					狹食
<i>Alcis nubeculosa</i> 小霜尺蛾		•					廣食
Geometridae sp.7		•	•	•			專食
<i>Acrodontis mystica</i> 迷極尺蛾		•	•			•	狹食
Geometridae sp.9		•					廣食

	Geometridae sp.10	•		專食
	Geometridae sp.11		•	狹食
	Geometridae sp.12	•		狹食
	Geometridae sp.13	•		• 廣食
	Geometridae sp.14		•	狹食
	Geometridae sp.15	•		廣食?
	Geometridae sp.16	•		
	Geometridae sp.17	•		
	Geometridae sp.18	•		
	<i>Garaeus</i> sp.	•		廣食?
	Geometridae sp.20	•		狹食?
	Geometridae sp.21	•		廣食
	Geometridae sp.22	•		廣食
	<i>Biston</i> sp. 突峰尺蛾屬			• 廣食
	Geometridae sp.24			?
	Geometridae sp.25			狹食?
	<i>Biston robustum</i> 白頂突峰尺蛾 (以 序列資料鑑定)	•		狹食?
	Geometridae sp.3?			狹食?
枯葉蛾科	Lasiocampidae sp.1	•	•	廣食
	Lasiocampidae sp.2	•	•	廣食
夜蛾科	<i>Amphipoea</i> sp.	•	•	• 專食
	Noctuidae sp.2	•	•	• 廣食
	Noctuidae sp.4	•	•	• 廣食
	Noctuidae sp.5	•		廣食?
	Noctuidae sp.6	•	•	廣食
	<i>Chasminodes</i> sp.		•	專食
	Noctuidae sp.8			• 廣食?
	Noctuidae sp.9		•	廣食
	Noctuidae sp.11		•	
	Noctuidae sp.12		•	
	Noctuidae sp.13		•	
	Noctuidae sp.14		•	
	Noctuidae sp.15		•	

	Noctuidae sp.16					廣食
	<i>Amphipyra</i> nr. <i>tarokoensis</i>	•	•			廣食
	<i>Bryophilina mollicula</i>	•				廣食
	(Notodontidae sp.6)	•				廣食
蓑蛾科	Psychidae sp.1	•				
	Psychidae sp.2	•				廣食
捲蛾科	Tortricidae sp.2	•	•	•	•	專食?
	Tortricidae sp.3	•	•	•		專食?
	Tortricidae sp.4	•	•			專食?
	<i>Archips</i> sp.	•				廣食?
	Tortricidae sp.6	•				廣食?
	Tortricidae sp.7		•			廣食?
	Tortricidae sp.8		•			
	Tortricidae sp.9		•			
	Tortricidae sp.10		•			
	水青岡蛀食小捲蛾		•			
天蠶蛾科	<i>Antheraea yamamai</i> 大透目天蠶蛾			•	•	狹食
	<i>Saturnia jonasii fukudai</i> 綠目天蠶蛾		•			廣食
刺蛾科	Limacodidae sp.1	•				廣食?
	Limacodidae sp.2		•			廣食?
	Limacodidae sp.3		•			廣食?
帶蛾科	<i>Palirisa cervina</i> 褐帶蛾		•			廣食
螟蛾科	Pyralidae sp.1	•	•			• 廣食?
	Pyralidae sp.2	•				• 廣食?
	Pyralidae sp.3	•	•	•		廣食?
	Pyralidae sp.4	•	•	•		廣食?
	Pyralidae sp.5	•				廣食?
	Pyralidae sp.6		•	•		廣食?
	Pyralidae sp.7		•			廣食?
	Pyralidae sp.8	•	•			廣食?
細蛾科	<i>Phyllonorycyer</i> sp.	•	•	•	•	專食
	<i>Caloptilia</i> sp.	•	•	•	•	專食
	Gracillariidae sp.3	•				專食
織蛾科	Oecophoridae sp.1	•				
	Oecophoridae sp.2	•	•			廣食

舟蛾科	<i>Pheosiopsis seni</i> 沈氏夙舟蛾	•	•		•	專食
	<i>Syntypistis taipingshanensis</i> 太平山跨舟蛾	•	•		•	專食
	Notodontidae sp.3			•		狹食
	<i>Fentonia ocypete</i> 紛舟蛾屬(由序列資料鑑定)	•		•		狹食
	Notodontidae sp.5	•				狹食
鉤蛾科	Drepanidae sp.1	•	•	•		狹食?
	Drepanidae sp.2			•		
	<i>Parapsestis tomponis tomponis</i> 圍異波紋蛾	•				專食?
	<i>Auzatellodes arizana</i> 阿里山銀鉤蛾			•		狹食
	<i>Horithyatira takamukui</i> 連珠波紋蛾			•		狹食
斑蛾科	Zygaenidae sp.1	•	•			廣食
	Zygaenidae sp.2			•		狹食
麥蛾科	Gelechiidae sp.1			•		廣食?
	Gelechiidae sp.2			•		廣食?
	Gelechiidae sp.3	•				廣食?
	Gelechiidae sp.4					廣食?
折角蛾科	<i>Scythropiodes</i> sp.	•	•	•	•	專食
未知科	sp.1			•		廣食
	sp.2			•		狹食?

附錄5-2 以DNA barcode之分析方法所採用之樣本

科別	DNA Lot.	Scientific name	中文名	型態	Region	Location	BOLD比對結果	相似度(%)
Eupterotidae	YF165001	<i>Palirisa formosana</i>	褐帶蛾	成蟲	桃園	北插天山	<i>Palirisa formosana</i>	99.51
	YF165007	<i>Palirisa formosana</i>	褐帶蛾	幼蟲	宜蘭	銅山	<i>Palirisa formosana</i>	99.51
Noctuidae	YF165002	Noctuidae sp	夜蛾sp	成蟲	桃園	北插天山	?	<97
	YF165013	Noctuidae sp	夜蛾sp	成蟲	宜蘭	銅山	?	<97
	YF165028	<i>Genoveva magnirena</i>	宏類秀夜蛾	成蟲	桃園	北插天山	?	<97
	YF165076	<i>Cosmia</i> sp.	夜蛾sp	幼蟲	桃園	北插天山	?	<97
	YF165014	<i>Amphipyra schrenckii</i>	夜蛾sp	成蟲	桃園	北插天山	<i>Amphipyra schrenckii</i>	99.32
	YF165022	<i>Blenina quinaria</i>	夜蛾sp	成蟲	桃園	北插天山	<i>Blenina quinaria</i>	99.19
	YF165030	<i>Checupa stegeri</i>	窄翅綠夜蛾	成蟲	桃園	北插天山	<i>Checupa stegeri</i>	100
	Notodontidae	YF165045	<i>Syntypistis</i> <i>taipingshanensis</i>	太平山勝舟蛾	成蟲	桃園	北插天山	?
YF165021		<i>Pheosiopsis seni</i>	沈氏夙舟蛾	成蟲	桃園	北插天山	?	<97
YF165003		<i>Syntypistis</i> <i>taipingshanensis</i>	舟蛾sp	幼蟲	新竹	烏嘴山	?	<97
YF165004		<i>Syntypistis</i> sp	舟蛾sp	幼蟲	宜蘭	大白山	?	<97
YF165006		<i>Pheosiopsis seni</i>	夙舟蛾sp	幼蟲	宜蘭	翠峰湖	?	<97
YF165047		<i>Pheosiopsis seni</i>	夙舟蛾	幼蟲	桃園	北插天山	?	<97
YF165051		<i>Pheosiopsis seni</i>	舟蛾sp	幼蟲	宜蘭	太平山	?	<97
YF165066		<i>Syntypistis</i> <i>taipingshanensis</i>	舟蛾sp	幼蟲	宜蘭	翠峰湖	?	<97
YF165078		<i>Syntypistis</i> <i>taipingshanensis</i>	舟蛾sp	幼蟲	桃園	北插天山	?	<97
YF165067		<i>Syntypistis</i> <i>taipingshanensis</i>	舟蛾sp	蛹	宜蘭	翠峰湖	?	<97
YF165043		<i>Syntypistis comata</i>	白斑勝舟蛾	成蟲	桃園	北插天山	<i>Syntypistis comata</i>	98.14
YF165052		<i>Fentonia ocypete</i> .	舟蛾sp	幼蟲	桃園	北插天山	<i>Fentonia ocypete</i>	99.67
YF165049		<i>Euhampsonia roepkei</i>	舟蛾sp	蛹	桃園	北插天山	<i>Euhampsonia roepkei</i>	100
YF165068		<i>Fentonia ocypete</i>	舟蛾sp	蛹	新竹	內烏嘴山	<i>Fentonia ocypete</i>	99.67
Erebidae		YF165050	Erebidae sp	裳蛾sp	幼蟲	桃園	北插天山	?
	YF165056	<i>Calliteara</i> sp	毒蛾sp	幼蟲	宜蘭	銅山	?	<97
	YF165058	Erebidae sp	裳蛾sp	蛹	宜蘭	翠峰湖	?	<97
	YF165060	Erebidae sp	裳蛾sp	蛹	新竹	內烏嘴山	?	<97
	YF165024	<i>Lymantria concolor</i>	絡毒蛾	成蟲	桃園	北插天山	<i>Lymantria concolor</i>	99.67
	YF165029	<i>Thyas juno</i>	庸肖毛翅裳蛾	成蟲	桃園	北插天山	<i>Thyas juno</i>	100
	YF165039	<i>Bastilla acuta</i>	銳堡裳蛾	成蟲	桃園	北插天山	<i>Bastilla acuta</i>	100

	YF165041	<i>Calliteara postfusca</i>	波麗毒蛾	成蟲	桃園	北插天山	<i>Calliteara postfusca</i>	99.84
	YF165008	<i>Lymantria monacha</i>	毒蛾 sp	幼蟲	新竹	烏嘴山	<i>Lymantria monacha</i>	99.58
	YF165055	<i>Lymantria concolor</i>	毒蛾sp	幼蟲	新竹	烏嘴山	<i>Lymantria concolor</i>	99.33
Geometridae	YF165020	<i>Synegia estherodes</i>	寬鉅浮尺蛾	成蟲	桃園	北插天山	?	<97
	YF165010	Geometridae sp	尺蛾 sp.7	幼蟲	宜蘭	銅山	?	<97
	YF165011	Geometridae sp	尺蛾 sp.10	幼蟲	宜蘭	銅山	?	<97
	YF165019	Geometridae sp	尺蛾sp	幼蟲	新竹	烏嘴山	?	<97
	YF165063	Geometridae sp	尺蛾sp	幼蟲	宜蘭	翠峰湖	?	<97
	YF165070	Geometridae sp	尺蛾sp	幼蟲	宜蘭	翠峰湖	?	<97
	YF165077	Geometridae sp	尺蛾sp	幼蟲	宜蘭	銅山	?	<97
	YF165005	Geometridae sp	尺蛾sp	蛹	宜蘭	銅山	?	<97
	YF165025	<i>Dindica taiwana</i>	台灣峰尺蛾	成蟲	桃園	北插天山	<i>Dindica taiwana</i>	100
	YF165026	<i>Pachyodes subtritus</i>	附垂耳尺蛾	成蟲	桃園	北插天山	<i>Pachyodes subtritus</i>	99.84
	YF165027	<i>Arichanna pryeraria</i>	普氏星尺蛾	成蟲	桃園	北插天山	<i>Arichanna pryeraria</i>	99.84
	YF165031	<i>Duliophyle agitata</i>	台灣黃臂尺蛾	成蟲	桃園	北插天山	<i>Duliophyle agitata</i>	98.8
	YF165032	<i>Cleora fraterna</i>	黑腰尺蛾	成蟲	桃園	北插天山	<i>Cleora fraterna</i>	99.67
	YF165034	<i>Lomographa</i> sp.	素尺蛾	成蟲	桃園	北插天山	<i>Lomographa anoxys</i> / <i>Lomographa claripennis</i>	100
	YF165035	<i>Chorodna creataria</i>	褐枯尺蛾	成蟲	桃園	北插天山	<i>Chorodna creataria</i>	100
	YF165036	<i>Gasterocome pannosaria orta</i>	綠絨雙斑尺蛾	成蟲	桃園	北插天山	<i>Gasterocome pannosaria orta</i>	98.85
	YF165038	<i>Cleora fraterna</i>	黑腰尺蛾	成蟲	桃園	北插天山	<i>Cleora fraterna</i>	98.53
	YF165040	<i>Sarcinodes yeni</i>	顏氏沙尺蛾	成蟲	桃園	北插天山	<i>Sarcinodes yeni</i>	100
	YF165042	<i>Orothocabera sericea</i>	山茶斜帶尺蛾	成蟲	桃園	北插天山	<i>Orothocabera sericea</i>	99.83
	YF165044	<i>Luxiaria mitorrhaphes</i>	鋸緣鈎尺蛾	成蟲	桃園	北插天山	<i>Luxiaria mitorrhaphes</i>	100
	YF165009	<i>Operophtera variabilis</i>	尺蛾 sp.1	幼蟲	宜蘭	銅山	<i>Operophtera variabilis</i>	98.7
	YF165012	<i>Biston robustum</i>	樺尺蛾 sp	幼蟲	桃園	北插天山	<i>Biston robustum</i>	99.19
	YF165072	<i>Operophtera variabilis</i>	尺蛾sp	幼蟲	桃園	北插天山	<i>Operophtera variabilis</i>	98.67
	YF165073	<i>Operophtera variabilis</i>	尺蛾sp	幼蟲	桃園	北插天山	<i>Operophtera variabilis</i>	98.69
	YF165075	<i>Abraxas UBTW12</i>	尺蛾sp	幼蟲	宜蘭	銅山	<i>Abraxas UBTW12</i>	99.33
	YF165079	<i>Operophtera variabilis</i>	冬尺蛾sp	幼蟲	桃園	北插天山	<i>Operophtera variabilis</i>	98.54

## 附錄一、工作會議紀錄

### 「因應氣候變遷生物多樣性回復力之研究」計畫

#### 106 年度第 1 次計畫工作會議紀錄

時間：106 年 03 月 10 日下午 5 時 00 分

地點：國立台灣大學生命科學館

出席人員：

宜蘭大學團隊	陳子英
台灣生物多樣性保育學會	謝長富、林奐宇
嘉義大學團隊	趙偉村
臺灣師範大學團隊	王立豪

記錄：林奐宇

#### 壹、主席致詞（洽悉）

#### 貳、工作報告

##### 1. 學會團隊：

- (1) 上半年計畫將以解決前一年度審查委員提出之意見為優先目標，包含蒐集氣象監測資料驗證 ClimateAP 演算法在臺灣的準確度，以及利用植群圖建立不同植群帶分布地點之氣候特性，透過分布預測方法，探討中高海拔地區未來有無植群帶推移的可能性。
- (2) 3 月份利用 TCCIP 資料計算出全臺各月份 5 公里網格的氣溫遞減率，呈現南北兩端遞減率高於中部山區情形，且遞減率分布形式與目前發現之維管束植物殘存地點相符。建議可進一步探討氣溫遞減率空間分布與殘存地點及 Beta diversity 的關係。

##### 2. 宜大團隊：

- (1) 目前已完成南澳地區細部植群圖的繪製工作，將交給學會團隊，進行細部植群的分布預測分析；本年度將仿照南澳地區的作法，擴大至東北部山區進行。

- (2) 水青岡即將進入發芽期，已進行新一年度的調查規劃，俟天候許可即將展開野外調查工作。
- (3) 本團隊近期查得美國佛羅里達州針對氣候變遷的衝擊與調適所提出的一系列評估報告，建議提供所有團隊參閱，並討論該評估方法修正至臺灣地區應用的可行性。

3. 嘉大團隊：

- (1) 槲櫟研究部分，目前採種與培育工作均順利。惟出栽至各級學校時，經常因管理人員除草不慎，導致槲櫟苗木損折，無法順利監測其生長狀況。討論後認為可利用 PVC 水管包覆幼株莖幹方式降低除草的干擾，將嘗試進行後續出栽作業之改善。
- (2) 持續與新竹縣政府及軍方合作，至原生地點進行槲櫟族群生長及更新監測。

4. 師大團隊：

- (1) 預定三月下旬開始進行台灣水青岡森林及槲櫟森林的昆蟲相調查監測作業。
- (2) 進行期初研究進度整理，以備後續審查需要。

**參、臨時動議**

下次工作會議之召開時間，將另與各執行團隊聯繫後確認。

**肆、散會：下午 18 時 30 分**

# 「因應氣候變遷生物多樣性回復力之研究」計畫

## 106 年度第 2 次計畫工作會議紀錄

時間：106 年 04 月 26 日上午 10 時 00 分

地點：林務局七樓會議室

出席人員：

林務局	黃群策、羅秀雲、鄭仔萍
宜蘭大學團隊	陳子英、張佳玉、張盟慧
台灣生物多樣性保育學會	謝長富、林奐宇
嘉義大學團隊	趙偉村、古鎮嘉
臺灣師範大學團隊	王立豪

記錄：林奐宇

### 壹、主席致詞（洽悉）

### 貳、工作報告

#### 1. 學會團隊：

- (3) 針對 105 年度劉和義教授及林宜靜教授提出之審查意見，完成氣候模式重新驗證及新的分布預測方法測試及結果報告。
- (4) 林業試驗所福山、蓮華池、六龜氣象測站均為獨立於 TCCIP 氣候資料庫以外之樣本，利用該 3 測站 11 年觀測資料進行模式驗證，顯示觀測值與預測值之平均差異均小於 0.5 度，證明 105 年度開發之氣候模式具有生態研究的實務應用價值。
- (5) 利用宜大團隊提供的南澳地區細部植群圖，配合本團隊產生的氣候推估資料，經由 Random Forests 統計方法，完成全區的植群現生分布預測。後續將利用 TCCIP 提供的 AR5 暖化情境資料，繪製不同時期與暖化情境下的植群分布狀況，據以評估南澳地區易受衝擊地點及植群的變化趨勢。
- (6) 投稿論文口頭報告至第六屆全球植物園大會（6<sup>th</sup> Global Botanic Gardens Congress, 6<sup>th</sup> GBGC）獲得接受，達成本年度發表國際研討會論文一篇之目標。另已於 2017 年臺灣植物分類學會年會完

成海報論文一篇發表，達成本年度發表國內研討會論文一篇之目標。

2. 宜大團隊：

- (4) 已完成南澳地區細部植群圖的繪製工作並交給學會團隊，進行氣候變遷下的細部植群分布預測分析。未來將逐步利用此方法，釐清殘存地點現生植群的變化狀況，如屬異動程度較高的地點，可作為優先保護與關注的重點。
- (5) 目前已仿照南澳地區的作法，擴大至東北部山區進行；本次會後將與學會團隊再確認東北角殘存地點的範圍，據以實施野外植群圖調繪工作。
- (6) 水青岡已進入發芽期，農林航空測量所上週已前往大白山及蘭坎山現場協助 UAV 航攝，俟取得正射影像後，進行後續的判釋與分析。

3. 嘉大團隊：

- (3) 本年度與林試所恆春研究中心合作，完成高士佛樣區複查。高士佛樣區為跨越海拔落差 200 公尺的長條樣帶，可比照南仁山樣帶之研究方法，進行物種的海拔遷徙現象監測。初步分析結果顯示，高士佛樣帶隨海拔梯度之 Beta 歧異度高於南仁山地區，可能與當地的高氣溫遞減率有關。後續將利用本區域數據，與南仁山資料進行交叉分析。
- (4) 櫟櫟研究部分，目前採種與培育工作均順利，並持續進行移地栽植與生長監測工作。
- (5) 已與屏東林區管理處及南仁山工作站洽談台灣石櫟、希蘭灰木與唐杜鵑之繁殖與後續植株栽植相關事宜，並持續進行種子採集與幼苗培育等工作。
- (6) 投稿三篇論文至美國生態學會 (Ecological Society of America, ESA) 並獲接受，達成本年度預定研究發表之目標。

4. 師大團隊：

- (3) 4 月份已至插天山、銅山、鳥嘴山及大白山進行春季昆蟲相密切監測調查，今年山區物候有普遍延後現象。

- (4) 銅山與烏嘴山新增兩種蛾類幼蟲出現記錄，亦有發現剛萌發的臺灣水青岡幼苗。

### **參、臨時動議**

下次工作會議之召開時間，將另與各執行團隊聯繫後確認。

### **肆、散會：中午 12 時**

# 「因應氣候變遷生物多樣性回復力之研究」計畫

## 106 年度第 3 次計畫工作會議紀錄

時間：106 年 07 月 31 日下午 01 時 00 分

地點：林務局七樓會議室

出席人員：

林務局	羅秀雲、鄭仔萍
宜蘭大學團隊	陳子英、張佳玉、黎光秦
台灣生物多樣性保育學會	謝長富、林奐宇
嘉義大學團隊	廖宇賡、廖捷好
臺灣師範大學團隊	徐堉峰、王立豪

記錄：林奐宇

### 壹、主席致詞（洽悉）

### 貳、工作報告

#### 1. 學會團隊：

- (1) 有關今日上午期中審查會各委員所提意見，認為學會計畫對於氣候變遷的研究標的對象，應該再清楚區分「群團等級」、「群叢等級」、「物種等級」部分，將攜回再整理釐清，預計下次工作會議時提出說明。
- (2) 學會負責將各委員的意見整理為書面資料後寄予各執行團隊。請各團隊就貴管計畫範圍，協助提供回復說明，以利於期末審查時彙整提交林務局。

#### 2. 宜大團隊：

- (1) 已完成南澳地區細部植群圖的繪製工作並交給學會團隊，進行氣候變遷下的細部植群分布預測分析。請學會團隊協助指導宜蘭大學學生，共同對水青岡及東北角地區等殘存植群進行小尺度的分布預測研究，將大尺度成果與小尺度研究進一步結合。
- (2) 已取得南澳山區 UAV 航攝資料，進行正射化後將作為後續判釋與分析材料。

(3) 有關期中審查委員意見部分，將儘速提供回應說明。

3. 嘉大團隊：

- (1) 由於趙偉村老師因研究事務出國，未參與本次期中審查會議，關於林宜靜委員所提南仁山資料分析意見，將轉知趙老師，並請趙老師依委員意見補充修正。
- (2) 榭櫟研究部分，目前採種與培育工作均順利，並持續進行移地栽植與生長監測工作。
- (3) 本團隊目前正於美國生態學會 (Ecological Society of America, ESA) 發表論文，可順利達成本年度預定之績效目標。

4. 師大團隊：

- (1) 本年度春季昆蟲相調查已結束並完成資料整理，今年山區物候有普遍延後現象。
- (2) 配合團隊進度，提供期中審查意見回復資料。

**參、臨時動議**

下次工作會議之召開時間，將另與各執行團隊聯繫後確認。

**肆、散會：下午 3 時**

# 「因應氣候變遷生物多樣性回復力之研究」計畫

## 106 年度第 4 次計畫工作會議紀錄

時間：106 年 10 月 06 日下午 2 時 00 分

地點：林務局七樓會議室

出席人員：

林務局	羅秀雲、鄭仔萍
宜蘭大學團隊	陳子英、張佳玉
台灣生物多樣性保育學會	謝長富、林奐宇
嘉義大學團隊	趙偉村、廖捷好
臺灣師範大學團隊	王立豪

記錄：林奐宇

### 壹、主席致詞（洽悉）

### 貳、工作報告

#### 1. 學會團隊：

- (1) 針對期中審查委員意見，已擴大利用獨立氣象站樣本，完成氣候降尺度模型的重新驗證，且精確度與利用中央氣象局樣本驗證結果無顯著差異，可於期末階段完整回應委員意見。
- (2) 因 TCCIP 去年提供的 AR5 情境之氣候預測資料有缺漏（缺少最高溫及最低溫預測值），學會已重新向 TCCIP 提出申請，預計可於 10 月中取得。俟取得 TCCIP 資料後，即可配合期中階段完成的台灣植群群系之氣候棲位模型，進行全島植物群系再不同暖化情境下的適生範圍分析，依原定進度找出可能的暖化衝擊地點。
- (3) 本年度研究成果已投稿第六屆全球植物園大會（6<sup>th</sup> Global Botanic Gardens Congress, 6<sup>th</sup> GBGC）及 106 年度森林資源永續研討會，可達成年度預定績效目標。

#### 2. 宜大團隊：

- (1) 針對南澳水青岡森林及東北角殘存植群，已選定台灣水青岡、黃楊、四照花等物種作為暖化變遷分析的特稀有指標物種，並

完成南澳地區及東北角地區的細部調查，以及全島現生分布資料的收集。

- (2) 對這三個物種進行不同暖化情境下的分布預測分析，初步顯示未來的適生範圍將隨時間而發生改變。惟預測模式的細節仍須調整，可於期末階段完成。
- (3) 以水青岡為例，完成氣候變遷下的保育評估與調適流程及具體作法的整理，並撰寫為論文。本項成果已投稿至 106 年度森林資源永續研討會，作為計畫執行績效之一。

### 3. 嘉大團隊：

- (1) 本年度 8 月至 10 月期間，利用暑假完成欖仁溪樣區與出風山樣區小苗調查、臺灣石櫟種子採集、希蘭灰木種子採集與採穗及物候監測等工作。
- (2) 榲櫟監測部分，目前已完成區外復育栽植約 900 株，以新竹地區為主，但已有部分植株嘗試於嘉義奮起湖及竹崎等地栽植。

### 4. 師大團隊：

- (1) 八月之後進行秋季調查及雲霧裳蛾成蟲數量普查。銅山樣區採獲裳蛾 11 隻，烏嘴山由於颱風外圍環流影響調查結果，並未發現目標裳蛾活動。
- (2) 每季進行 1 至 2 次榲櫟樣區昆蟲調查。記錄到取食榲櫟的鱗翅目昆蟲 7 科 14 種，其中有四種為專食榲櫟的小型蛾類。
- (3) 台灣水青岡成熟葉期昆蟲調查進行中，主要樣區為銅山、北插天山、烏嘴山、大白山等地，前後共已進行 13 次調查。目前本年度各樣區之調查均已完成，幼蟲種類與數量的資料彙整中。
- (4) 銅山與烏嘴山有新增物種。本年度目前調查共發現 5 種新記錄種類，其中尺蛾科 2 種、夜蛾科 1 種、天蠶蛾科 1 種、麥蛾科 1 種。

## 參、臨時動議

請各團隊積極準備期末報告撰寫事宜，依預定進度，請於 11 月底前提出期末報告書交學會團隊彙整，並提送林務局。

肆、散會：下午 4 時

附錄二、期中審查意見及回復說明

行政院農業委員會林務局 106 年科技計畫

「因應氣候變遷生物多樣性回復力之研究」

期中審查意見及回復說明

審查委員	審查意見	回復說明
劉委員和義	本計畫為生物多樣性回復力的研究，但至今主要內容仍為生物多樣性調查，所以需要回歸最重要的研究主旨。	<ol style="list-style-type: none"><li>1.進行生物多樣性回復的措施之前對於目標生物與棲息的環境等訊息必須詳加了解，由於過去一些地區仍需補足生物資訊及調查前後的差異或繪制詳細的植群圖進行情境的模擬，才了解生物分布面積的增減，方可研擬生物的回復力方針，俟資料充足後會進行生物多樣性回復力的探討。</li><li>2.應對氣候變化最重要的是抵抗力（resistance）和回復力（resilience），前者指的是在地景中是獨特的微氣候所庇護的地方，而後者則是指位點具有較高種子產量或族群數量較多的地方，應對氣候變遷是找出目前受氣候變遷威脅下，具有威脅的地區和獨特的微氣候庇護所（Hannah, 2015）。因此本團隊以全台灣資料找出其受威脅的植群進行排列及分析找出可能的獨特微氣候庇護所，了解抵抗力和受衝擊的地區。另外基於幾個不同地區的殘存點可依當地的</li></ol>

審查委員	審查意見	回復說明
		<p>條件進行細部植群型和稀有物種的調查（生物多樣性的了解），找出受氣候變遷威脅而回復力弱的物種進行遷地保存。例如水青岡是以全台灣地區進行分析，其結果可看出銅山、北插天山都具有相對較高的族傳變異，因此適合作為氣候變遷下回復力高的生態系保護區，而大白山、蘭崁山雖然族群少，但有獨特基因，且位於獨特的殘存點，由於過去幾年受極端氣候的影響，族群枯死率高，除持續監測外，可能須考慮進行區外復育。</p> <p>3. 由於昆蟲的族群比寄主植物更脆弱，更易因氣候不同調而受到氣候的衝擊出現族群漸少或滅絕，因此本計畫持續以台灣水青岡林與新竹榲欖樣區的昆蟲為研究之範例進行昆蟲物種普查，建立台灣水青岡林與榲欖森林的植食性昆蟲物種清單。所得之昆蟲資料可以反映該地區森林環境之脆弱程度。研究過程也從眾多昆蟲種類篩選出夸父瓘灰蝶、雲霧裳蛾近緣種兩種以及水青岡專食性舟蛾兩種等專食性之指標物種，這些物種於各個台灣水青岡分布地的存歿與台灣水青岡森林生態系的健康程度有關。藉由持續監測這些物種的變化便可以得知森林生態系的健康程度或變化之優劣，因</p>

審查委員	審查意見	回復說明
	<p>維管束植物殘存地點研究方向正確，但需就環境因素，以全體及個別角度深入探討與分析。針對群團的影響因子，有些受制於溫度或雨量而決定其分布地點，是否以此為基礎，推估不同群團的主要氣候影響主因，及其他環境因子，作為推估回復力臨界點的基礎。</p>	<p>此在進行生物多樣性回復力的研究當中扮演著關鍵性的角色。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.不同植群單元的最適溫度及雨量條件不同，確實影響該植群單元的地理分布現狀與未來的變遷。本研究採用之隨機森林方法，係以植群現生地點及大量當地氣候變量為基礎，以機器學習方式，使電腦找出與各植群型分布高度相關之氣候因子群，並建立預測模式。</li> <li>2.由於植群適生機率的共變數為多個氣候因子共同組成，較難逕以特定變量或數值進行切分（例如直接由特定年均溫或特定年雨量判定某一植群型的出現與否），並訂定其回復力臨界點。建議可由隨機森林模型結果的地理投射圖，比較不同植群型在不同年間的分布範圍，利用變遷幅度的強弱進行各種植群型受氣候變遷影響的衝擊量及穩定性評估。（學會）</li> </ol>
	<p>高保育急迫性物種決定的過程宜明確化，以氣溫模式而言，物種可能會受到影響之時間距今尚有不少年份，是否需要現時投入資源進行保育（及復育）。</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.以專食性昆蟲物種而言，植物(台灣水青岡、槲櫟)為幼蟲唯一可利用之資源，若是生育環境劣化、植物族群消失，昆蟲也將立即滅絕。因此應及早針對目前台灣水青岡森林生態系尚稱完整之地區，例如北插天山、銅山、烏嘴山等地區投入資源進行研究與保育；而大白山、蘭崁山等較為生態系較為危急之地區也</li> </ol>

審查委員	審查意見	回復說明
		<p>應設法進行復育，以確保該地區專食性昆蟲物種如沈氏夙舟蛾與太平山胯舟蛾之存續。新竹地區的櫟櫟則應該加緊腳步進行調查與研究，以釐清該地區是否殘存專食性昆蟲物種。(師大)</p> <p>2.就水青岡而言，由於蘭崁山的族群在遺傳上較特殊，而最近5年受到幾個大颱風的影響，枯死率達12.5%(5/40株)，因此有必要高壓保存植株。(宜大)</p>
	<p>台灣水青岡及南仁山的資料都相對充分，宜依照所提出之理論進行實際執行過程之分析，並詳細說明。</p>	<p>本團隊參考 Shoo et al. (2013) 與其後其他研究的建議。而在決定物種保育順序時，本團隊在先前計畫中依據南仁山復查資料與修改 Kingstone and Waldern (2005) 及 Harter et al. (2015) 之物種脆弱度評估法，依照物種易受害程度，棲地脆弱性與其適存度計算物種的脆弱度評估，依此將南仁山之樣區所有物種計算，並列出高脆弱度之名單；再來評估物種特稀有性，以及學會團隊以大尺度評估物種是否多分布於易受氣候變化影響區域等指標，而訂出此三種物種。而整體復育規劃即參考 Shoo et al. (2013) 之架構進行，並且會盡量在報告中陳述。(宜大、嘉大)</p>
	<p>模型分析及實際執行層面缺少可能為避難所地點之探索。</p>	<p>1.本計畫期末階段已完成不同暖化情境下的植物群系變遷分析，透過群系分布範圍的年間比較，可找出「高度變動地點」及「穩定地點」。</p>

審查委員	審查意見	回復說明
		<p>2. 群系分布的「高度變動地點」，代表此區域的現生植群在未來百年內可能發生變化，帶來明顯的生態系結構與組成的改變。本研究業依變動程度及時序先後排序，據以量化這些變動地點的氣候暖化衝擊程度。</p> <p>3. 相對來說，群系分布的「穩定地點」則為未來百年內較不易發生生態系結構與組成改變的區域，可視為氣候變遷下相對穩定的棲地環境，可納為該植群型或生態系的避難所規劃參考。(學會)</p>
	<p>「遷移」動詞可適用於小苗，但用於成木稍嫌不妥。</p>	<p>此用詞本團隊還在考量中，因國際性期刊皆使用 migration 一字，因此目前暫時用之，將來有適當用字時，再行更換。(嘉大)</p>
	<p>「植群」、「群團」、「群叢」等名詞請統一。</p>	<p>業依委員建議，期末報告對於名詞的定義統一如下：</p> <p>1. 以「群系 (Formation)」為大尺度下氣候變遷衝擊分析評估之生態單元，主要用在以全島或北台灣、中台灣、南台灣等尺度，探討氣候變遷可能產生劇烈衝擊的地點。</p> <p>2. 經比對李靜峰新的台灣植群型研究結果，應將期中報告使用的「群團」改置於群叢等級。期末報告將統一改以群叢作為小尺度評估氣候變遷衝擊之生態單元。</p> <p>3. 植群 (vegetation) 係為植物群落</p>

審查委員	審查意見	回復說明
	<p>昆蟲是否可作為臨界點之指標？應瞭解植物與動物間的關係對於回復力的影響，方能判定何時需要人為介入干涉。</p>	<p>之簡稱，或可直接稱為「植物社會」，並未專指特定的植群分類階層。(學會、宜大)</p> <p>本計畫持續以台灣水青岡林與新竹櫟樣區的昆蟲為研究之範例進行昆蟲物種普查，建立台灣水青岡林與櫟森林的植食性昆蟲物種清單。其中包含許多專食性的昆蟲種類，若是植物受到影響而消失，這些專食性昆蟲將率先滅絕。這些物種於各個台灣水青岡分布地的存在與否與台灣水青岡森林生態系的健康程度有關。藉由持續監測這些物種的變化便可以得知森林生態系之優劣變化，因此在進行生物多樣性回復力的研究當中扮演著關鍵性的角色。(師大)</p>
曾委員彥學	<p>有關回復力的研究，小苗是重要的指標，表示環境是可更新的，請團隊進一步調查小苗附近是否有幼樹生長。</p> <p>目前櫟櫟育種保存地點多為學校、公園等人為環境，建議未來執行境外保存時以新竹處轄管區域及執行團隊評估之潛在區域為優先移植。</p> <p>繁殖希蘭灰木採集之母樹為單株或多株？採集為樣區內或樣區外？應予敘明。</p>	<p>1.依照委員指示辦理。但目前團隊關注物種之小苗僅調查到一次即死亡，鄰近亦無幼樹存在，因此仍需持續監測。(嘉大)</p> <p>2.有在野外做調查，略表示於先前研究報告的族群徑級圖中。蘭崁山的幼樹和小苗較少。(宜大)</p> <p>已與新竹林區管理處接洽，並依照團隊分析之潛在區域，談妥明年度移植地點。(嘉大)</p> <p>感謝委員指正，本團隊使用數十株之希蘭灰木進行繁殖，採集範圍包含樣區內外，但是以樣區外為主。(嘉大)</p>

審查委員	審查意見	回復說明
	有關唐杜鵑採種來源及復育地點，應就南部或北部種源進行區分。	感謝委員，本團隊唐杜鵑採集來源主要為壽卡地區、攬仁溪樣區與出風山等地。原先本團隊協助金門唐杜鵑族群復育，因緊接進行恆春半島族群復育，因此已將金門族群全數送至金門縣政府，以避免遺傳交流。而之後壽卡族群亦會與南仁山區族群進行區分。(嘉大)
林委員宜靜	請團隊考慮納入回復力之組成部分，並在計畫中強調。	會盡量在計畫中強調。(宜大)
	考慮模式的單位是植群或物種，何者為佳，或二種層級並列？各計畫間名詞使用有矛盾，應予以一致。	<p>1. 期末報告業已針對名詞進行統一，請參照回復劉和義委員之第7點說明。</p> <p>2. 有關氣候變遷影響下的植群分布變遷模擬，係採「群系」及「群團」兩層級並列方式進行分析。從大尺度觀點（全島或北台灣、中台灣、南台灣等尺度），先以「群系（Formation）」為基礎，找出氣候變遷可能產生劇烈衝擊的地點；針對高衝擊之區域，再以「群團（Alliance）」為生態單元，評估氣候變遷對於細部植群可能產生的影響。(學會)</p>
	建議強化物種層級的討論，除稀有種外，物理與環境因子的關係為何？此關係或許能更直接提供評估氣候變遷效應的答案。	大尺度研究主要利用氣候模型及統計方法，找出植群單元與氣候因子的相關性。大尺度研究具有全面及快速的優勢，然而對於現地植物社會的解析能力有其極限，即使在調查資料充足的區域，約僅能達到群團分布推估的效果，仍須小尺度計畫的配合，方能確實釐清各重要物種的脆弱度，並擬定適宜的回復

審查委員	審查意見	回復說明
	<p>南仁山的資料分析不夠細緻。</p> <p>(1) 關於資料內物種的減少，建議考慮其他因子(例如：干擾、演替等)。</p> <p>(2) 應考慮使用 null hypothesis(虛無假設)之模擬方式檢測不同的 alternative hypothesis (對立假設) 是否有偏離逢機，其變化是否已到達需要考慮的地步。</p>	<p>策略。(學會)</p> <p>感謝委員指導，物種之株數減少，當然有可能是氣候變化或干擾、演替等因素引起，但這些因子往往交織在一起，難以區別。而植物的 Population viability analysis 本團隊參考了 Menges (2000)的 review 文章與 Kakaoka(1996)，但未有可執行條件。但以物種自 1991 年到 2013 年四次調查中，每次調查族群皆減少，仍應可視為需考量物種，且本團隊亦以特稀有種與學會團隊分析為輔助進行分析。(嘉大)</p>
	<p>「以台灣水青岡與槲櫟森林的昆蟲為例」計畫可強化與其他子計畫之關聯，例如加強討論氣候變遷與昆蟲相的關係，並強化物候關係討論，其他子計畫是否能討論全球暖化對水青岡物候的變化，以作為昆蟲調查研究基礎。</p>	<p>謝謝委員意見，將與其他子計畫提供之資訊加強整合。(師大)</p>
邱委員立文	<p>為減少自然棲息地的破壞，針對瀕危物種保育，建議執行團隊於採種後提送國家種源庫儲存，如屬林木種子可送至林業試驗所；有關苗木培育及復育可與本局造林生產組整合，可作為本局後續執行復育工作的參考。</p>	<p>稀有種如台灣水青岡及四照花等之種子已有存放在林試所種源庫。(宜大)</p>
夏組長榮生	<p>槲櫟昆蟲取樣目前僅限於新竹地區，是否可於廖宇賡老師目前已移植之造林地進行取樣。</p>	<p>目前依據趙老師提供的幼蟲照片看來多為雜食性的昆蟲，未來將視情況擴大範圍至造林地調查。(師大)</p>
	<p>槲櫟栽培是否可於林務局管轄區域內挑選合適之生育地執行後端</p>	<p>目前已與新竹林區管理處洽談，並完成明年復育規劃。(嘉大)</p>

審查委員	審查意見	回復說明
	<p>復育。</p> <p>本計畫調查之稀有種種子是否已保存至國家種源庫。</p>	<p>稀有種如台灣水青岡及四照花等之種子已有存放在林試所種源庫。(宜大)</p>
羅技正秀雲	<p>本計畫之氣候推估模式，是否可透過科普方式，結合生物多樣性進行推廣宣導？</p> <p>四照花為花、果、樹形俱佳之樹種，是否可突破育苗技術，選擇適生地點，作為綠美化推廣樹種。</p>	<p>本計畫開發之氣候推估模式，已於106年度森林資源永續發展研討會進行口頭發表，供林業領域相關研究人員及大專學生參考。未來林務局如有相關科普宣導規劃，本計畫可配合辦理。(學會)</p> <p>中國大陸有簡單的扦插及種苗繁殖技術報告；另早期宜蘭大學有培育一批四照花提供給林試所及福山分所，目前已有羅東林區管理處、福山分所和林試所進行培育，同時福山分所的四照花近幾年已有開花；應已突破育苗技術。(宜大)</p>

附錄三、期末審查意見及回復說明

行政院農業委員會林務局 106 年科技計畫

「因應氣候變遷生物多樣性回復力之研究」

期末審查意見及回復說明

審查委員	審查意見	回復說明
劉委員和義	氣候模式分析之分布預測假設前提及適用範圍，應該有較明確且詳細的敘述。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 氣候與植群的大尺度分布具有高度相關性，但並非影響植群分布的唯一因子。因此，對於分布特性與氣候具高度相關的族群而言，氣候模式是很好的研究工具；然而，對於某些非氣候決定的生物分布現象而言（如演替相關、海岸植群、石灰岩植物社會等），則不適合以氣候模式套用。</li> <li>2. 為避免上述錯誤，本計畫採用李靜峰發表之臺灣 21 種原生森林類型之分布資料時，已先將其中 8 種非氣候決定的森林類型資料排除，僅取與氣候相關的 13 種森林類型進行現生分布及未來變遷分析。由於臺灣主要帶狀植群類型均與氣候相關，故本研究方法可涵蓋全島大部分範圍，僅少部分地點如海岸林、石灰岩地、崩塌地等暫難涵蓋。</li> </ol>
	依據模式推估之監測及其他可能措施，應該有所建議。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 目前已對臺灣 13 種森林類型完成 4 種 RCP 情境、未來 3 階段的分布變化預測，並計算出不同森林類型的面積增減情形。</li> <li>2. 後續將針對縮減量高、縮減時間最早、單位時間內變化量最高的地</li> </ol>

審查委員	審查意見	回復說明
		點，擬定監測建議。
	氣候變遷風險評估基礎未定。	本計畫 106 年度已依照適應性經營架構提出風險評估及未來的保育策略擬定架構。107 年度將延續目前已發現的可能衝擊地點，依現地生態條件及物種分布現狀，評估後提出對應之保育建議及後續監測措施。
	水青岡遺傳分析宜進一步說明，尤其是與保育之關聯。	已依委員意見在報告中略加強說明。
	南仁山物種脆弱度評估之方法應補充較詳細之說明，結果宜有表格及進一步的分析與解釋。	已依照委員建議將資料附於附錄中，期末報告修正版中亦將稍加說明評估過程。
	今年度昆蟲生態調查受限於氣候，相關生態效應宜有文獻或保守敘述。	已於內文進行修改並加上參考文獻。
曾委員彥學	未來重點應提出水青岡植群整體建議保育措施。	會依照委員建議在明年完成植群預測後針對水青岡植群提出整體保育措施。
	榭櫟於原生育地復育較佳，如果區內復育可行，建議營造生態系進行復育。	嘉義大學已發公文請軍方協助，惟遭對方拒絕，後續協調工作建請林務局協助。相關公文資料列於期末報告修正版附錄。
林委員宜靜	<p>維管束植物殘存地點分布與保育策略之分析部分：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Temp. regression</i> 是正式的名稱嗎？感覺是程式的內部縮寫，報告中宜採用正式名稱。</li> <li>2. 利用隨機森林的預測值，是否可能加入信賴區間的估算？</li> <li>3. 建議使用雨量資料進行估算與預測。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>temp. regression</i> 為目前賦予降尺度程式的名稱，正式名稱視未來發表狀況決定。</li> <li>2. 期末報告呈現的不同森林類型分布圖層，係針對各林型分別進行 100 次隨機森林程序後獲得，故可納入信賴區間或門檻值等概念，對模擬結果做進一步的篩選。</li> <li>3. <i>temp. regression</i> 產製的 73 組氣候變量中，有許多因子均與雨量或溫濕指數有關（如月降水量、潛在蒸發散量、缺水指數等），再依據這 73</li> </ol>

審查委員	審查意見	回復說明
	<p>以大白山至大南澳嶺與雙溪、頭城山區為例：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.建議強化族群層次的監測，尤其是颱風的影響。</li> <li>2.有關生物多樣性之適應性經營的架構與操作流程需加強與期末報告第一章之連結。</li> </ol> <p>以南仁山及槲櫟森林為例：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.報告內容的目標一、「檢討南仁山生態系與物種保育急迫性與優先順序」，似乎沒有完全符合，建議整合南仁山成樹與小苗監測資料，參考其他森林動態樣區文獻，強化分析與相關論述。</li> <li>2.南仁山與槲櫟的資料穿插，很難閱讀，建議調整順序。</li> <li>3.建議修改報告順序，南仁山的部分獨立成一個子章節，槲櫟與異地復育部分另成一子章節。</li> <li>4.高士佛樣帶的資料是否必須？</li> </ol>	<p>組氣候變量進行植群棲位模式的建構。因此，雨量資料已被考慮於研究方法內。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.(1)有關族群層次的監測在大白山至大南澳嶺颱風的影響，使得蘭崁山山頭的水青岡樹木在5年內由40株，枯亡或折斷5株，短短幾年內就枯損了12.5%(5/40株)(p.22)。(2).有關雙溪、頭城山區今年的颱風影響劇烈但都只影響近海區外側及稜線，對內側集水區的四照花植群並未有影響(p.39)。</li> <li>2.臺灣生物多樣性保育學會106年度已完成全臺13種重要森林類型在不同氣候變遷情境下的變遷預測。107年度將針對前述結果進一步分析，找出「植群退縮區域」、「植群殘存區域」等地點，納入適應性經營架構，擬定適宜的保育策略與實務操作流程。</li> </ol> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.此部分依委員建議先行部分修正，並加強於修正報告討論中。</li> <li>2.依照委員建議調整報告。</li> <li>3.依照委員建議調整報告</li> <li>4.此部分在說明物種遷移的確定性。目前先不放入報告中。</li> </ol>

審查委員	審查意見	回復說明
	<p>以台灣水青岡與櫟櫟森林的昆蟲為例：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 引用 E. O. Wilson 的預測是否恰當？</li> <li>2. 有關物候的資料呈現，建議不同年度與地點應採統一的記錄方法。</li> <li>3. 參考 community assembly rules。</li> <li>4. 應強化與期末報告第二章之連結。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 未來會加強相關文獻之引用與論述。</li> <li>2. 開芽程度已有進行定義，分為六種程度，分別為未開芽、開芽一成、開芽五成、開芽七成、全開芽、葉片老化六個時期。未來將統一格式以表格呈現。由於台灣水青岡的開芽期較為集中，在局促的時間內在各個樣區進行物候資料收集難免缺漏，尚祈見諒。</li> <li>3. 感謝委員意見。</li> <li>4. 未來將加強與台灣水青岡研究團隊研究之連結。</li> </ol>
邱委員立文	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 氣候模式如能做一些驗證，例如福山、南仁山等具長期資料地點，會更有說服力。</li> <li>2. 請建議動態樣區持續監測的週期或長度，才能達到目標。</li> <li>3. 本計畫明年將結束，如要爭取下一階段的科技計畫，建請團隊先思考後續研究主軸及方向。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 氣候棲位模式的預測結果，需要現地驗證，才能瞭解短期預測與實際狀況是否相符，進而確保對長期變遷預測的信心。本計畫將與福山、南仁山等研究團隊保持聯繫，適時取得野外調查資料，以驗證與校正模式的判斷能力。</li> <li>2. 動態樣區為目前實際監測氣候變化下生態系的變動最重要工作，對於監測台灣之特稀有物種之族群變化與其受害情況亦唯一最直接資料，建議局內能夠長久持續支持。</li> <li>3. 感謝委員建議，會在團隊內先討論未來研究的主軸及方向，同時儘速與林務局討論未來氣候變遷與生物多樣性保育業務的需求及整體國家政策方向來制定新的研究主軸及方向。</li> </ol>
廖主持人一光	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 選定櫟櫟移地保育地點應先初步評估，可避免在學校因除草或移植等</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 此問題在植樹之初各地均表示支持，但往往在主任更換或其他因素</li> </ol>

審查委員	審查意見	回復說明
	<p>影響而死亡問題，提高計畫嚴謹度。</p> <p>2.請新竹處協助尋找較少人為干擾區域進行櫟櫟復育，或建議團隊在復育地設置人為保護設施。</p> <p>3.有關民眾除特殊申請外，在國有林班地採集種子的行為，可於種子成熟期在林道或必經路徑設置監視器查緝。</p>	<p>即造成植株死亡問題。目前櫟櫟因植株數量充足因此還可以承受其植株死亡情況，未來南仁山區之特稀有物種栽植，本團隊規劃先以唐杜鵑為優先栽植樹種，並配以雜草抑制席與PVC管避免除草機危害。若該地點在唐杜鵑照護上沒問題，則在考量栽植希蘭灰木與臺灣石櫟。</p> <p>2.感謝局內與林管處協助，目前已經有預定地點進行復育栽植。</p> <p>3.此部分請局內協助進行。</p>
羅技正秀雲	<p>1.子計畫間的研究成果可進行氣候模式驗證與分析，加強彼此的關聯性。</p> <p>2.昆蟲之研究計畫除種類統計外，是否能選取幾種代表性指標物種監測數量變化，進行相關推估與關聯性分析。</p>	<p>1.氣候棲位模式的預測結果，需要現地驗證，才能瞭解短期預測與實際狀況是否相符，進而確保對長期變遷預測的信心。本計畫將與其他研究團隊保持聯繫，適時取得野外調查資料，以驗證與校正模式的判斷能力。</p> <p>2.前期計劃已篩選指標物種如夸父瑾灰蝶、雲霧裳蛾近源種(兩種)、沈氏夙舟蛾、太平山胯舟蛾等專食性物種。先前僅有夸父瑾灰蝶的族群有較完整的調查資料，雲霧裳蛾、沈氏夙舟蛾、太平山胯舟蛾雖然有部分調查資料，然而生態習性與族群數量尚待進一步的了解與評估。烏嘴山樣區與大白山樣區同為台灣水青岡的小面積族群，而大白山與蘭崁山的裳蛾族群可能因氣候變遷變動帶來的負面效應已經滅絕，烏嘴山樣區調查所發現的裳蛾殘存族群顯得相當可貴。</p>
保育組陳科	1.為避免櫟櫟在校園區外復育遭受破	1.本團隊在栽植櫟櫟之初即已告知學

審查委員	審查意見	回復說明
長超仁	<p>壞，應強調物種的稀有性與重要性。</p> <p>2. 針對鱗翅目昆蟲進行調查，其他如蚜蟲、天牛等物種是否會影響水青岡或槲櫟植群之生態。</p>	<p>校，部分學校要求本團隊製作植物說明牌予該校，但是該校卻為槲櫟死亡最高之處，因此除了強調外，慎選團隊仍是比較重要的。</p> <p>2. 先前調查在台灣水青岡上發現兩種蚜蟲，其中一種蚜蟲棲住於老熟葉片上，初步鑑定應為斑蚜亞科的 <i>Phyllaphis</i> 屬蚜蟲，由於台灣尚未有該屬蚜蟲之記錄，因此無疑是新記錄種。這類蚜蟲在歐洲與北美被認為是水青岡害蟲，在台灣則目前看來數量頗為稀少，但氣候變化若使台灣水青岡植株衰弱是否會造成為害是將來值得關注的問題。</p>
羅東林區管理處吳技士明瑾	<p>有關水青岡部分會持續與團隊配合，包括銅山地區種子苗、大白山與蘭坎山的高壓苗，後續進行栽植。</p>	<p>宜蘭團隊會密切與羅東林區管理處聯繫，並提供後續銅山地區種子苗、大白山與蘭坎山區高壓苗的栽植地區及復育的相關資訊。</p>
新竹林區管理處周課長以哲	<p>1. 期末報告第 96-97 頁，有關插天山台灣水青岡森林氣候調適之建議，本處後續將納入插天山自然保留區管理維護計畫辦理，至於烏嘴山水青岡族群部分，團隊建議持續監測與物候動態觀察，是否可提供相關調查或監測方式，供本處第一線工作人員於巡護時觀察記錄。</p> <p>2. 期末報告第 157 頁，有關新豐鄉槲櫟的遷地保育及方法之建議，本處已會同嘉義大學研究團隊選定轄管楊梅區大平段 200、290 地號等約 0.3ha 作為復育地點，預計 107 年 1 月下旬整理試驗地，在 2-3 月春季造林期間由研究團隊提供苗木及指</p>	<p>1. 宜蘭團隊會了解新竹林區管理處第一線工作人員的巡查方式與時間，提供適度的物候動態觀察及相關調查或監測方式。</p> <p>2. 感謝新竹林區管理處之協助。</p> <p>3. 此部分主因為本團隊採用參照，因此在團隊整併版中仍無問題，但是到了印刷廠中即出問題，因此後續將以 PDF 檔案確認過後再行送印，以避免此問題發生。</p> <p>4. 謝謝新竹林管處之協助與續辦。</p>

審查委員	審查意見	回復說明
	<p>導。</p> <p>3. 期末報告第 180 頁、第 182 頁及第 186 頁，引用連結錯誤。</p> <p>4. 期末報告第 214 頁，提及雜食性昆蟲占 6 成以上，大量發生對槲櫟的生存與復育有不良影響，考量新豐槲櫟族群生育地係屬軍事管制區，後續相關監測，另將建請或輔導新竹縣政府透過自然補助計畫繼續辦理。</p>	
屏東林區管理處洪技士國棟	<p>1. 期末報告第二章有關植物資料蒐集與資料庫建置部分，第 22 頁表列完成彙整之植物資料庫，似未包含屏東科技大學森林系植物標本館，該標本館蒐藏台灣南部地區豐富標本資料，對於台灣南部大尺度之植群適生面積推估應有助益。</p> <p>2. 建議圖 2.20-2.37，應以彩色印刷，俾利閱讀。</p> <p>3. 期末報告第 174 頁、第 184 頁之頁面遭裁切。</p> <p>4. 期末報告第四章，建議將槲櫟與南仁山植群兩大部分，分開為兩個子章節撰寫，否則目前的編排方式閱讀上容易混亂。</p> <p>5. 期末報告第四章以攬仁溪樣區、南仁山溪谷樣區及南仁山樣帶之小苗更新趨勢，是否即可代表恆春半島的大環境趨勢？以希蘭灰木為例，第 170 頁提及希蘭灰木分布於屏東楓港溪以及台東大武以南地區，並以滿洲鄉為主要分布地點，而本研究於南仁山樣區所進行之脆弱度分</p>	<p>1. 屏科大植物標本館數位化資料已有其他研究團隊彙整中，本計畫可洽談該筆資料納入分析的可能。惟不明瞭該團隊人力狀況及進度期程，暫難承諾確定可納入本計畫使用。</p> <p>2. 對不同森林類型變遷的推估成果，確實有彩色展示的必要。惟紙本印刷昂貴且傳播能力有限，本團隊後續可提供高解析度原始圖檔(含 2D 及 3D)，貴局可直接以電腦播放觀看動畫，效果應更優於紙本印刷。</p> <p>3. 感謝委員指正，將來以 PDF 檔案送印，應不會再發生此問題。</p> <p>4. 已在期末修正報告中改正。</p> <p>5. 本報告在脆弱度評估中主要以樣區資料為主，恆春半島東西兩側氣候差異頗大，因此難以解釋整體恆春半島之趨勢。而希蘭灰木的例子中，或許將來可以請屏科大調查監測其林場，可以看出是否有相同趨勢。</p> <p>6. 感謝委員指正，將來以 PDF 檔案送印，應不會再發生此問題。</p>

審查委員	審查意見	回復說明
	<p>析結果，是否足以反映本物種在恆春半島的趨勢？</p> <p>6. 期末報告第四章文中部分參考文獻顯示” 錯誤!找不到參照來源”，請修正。</p>	