

行政院農業委員會林務局林業發展計畫 106-林發-08.1-保-87(3)號

公開

限閱

棲蘭山檜木林植物生態文獻整理及 資源調查(2/2)

A literature review on plant diversity in
Cilan Mountain Cypress Forest (2/2)

執行單位：國立成功大學

研究主持人：陳一菁

研究人員：韋昕林、張瑛鑠、Hau Nguyen

中華民國 一〇六年 十二月 三十一日

目錄

前言.....	1
第一章、文獻回顧.....	3
1.1 雲霧林特性、分布、重要性與其他研究.....	3
1.2 檜木之生物特性.....	5
1.3 棲蘭山植群類型與物種多樣性.....	11
第二章、棲蘭山區氣候歷史.....	17
2.1.檜木林雲霧帶之氣候變遷、可能面臨的氣候壓力與古氣候重建之必須.....	17
2.2.方法.....	18
2.3.結果.....	24
第三章、棲蘭檜木林監測管理建議.....	27
參考文獻.....	29
附錄一、棲蘭山區珍稀植物名錄.....	33
附錄二、樹輪樣木定位點與定年.....	37

棲蘭山檜木林植物生態文獻整理及資源調查(2/2)

A literature review on plant diversity in Cilan

Mountain Cypress Forest (2/2)

前言

本計畫的全程目標在於 1. 回顧棲蘭山檜木林植物生態及多樣性之文獻，論述其在自然史及生物多樣性方面的傑出普世價值。2. 比較分析全球雲霧森林氣候變遷之研究，論述臺灣檜木林的生態系功能、氣候歷史與可能衝擊。3. 整理、編製棲蘭山檜木林分佈圖。4. 利用檜木樹輪重建區域氣候歷史。5. 參與聚落工作坊、田野實察、工作會議以及相關研討會。

於植物生態方面，棲蘭山檜木林可總結以下幾點彰顯其傑出之普世價值：

- (1) 棲蘭山檜木林為世界上現存之少數熱帶雲霧林，全世界只有 1.4% 熱帶森林屬之，台灣為此雲霧林分布的北界。(VII)
- (2) 棲蘭山具有目前全台灣最密集與最大面積之檜木原始林，此兩種台灣特有之檜木(紅檜與台灣扁柏)為全世界 6 種扁柏屬植物中分布緯度最南者，同時蘊含著扁柏屬植物擴散歷史與跳島遷移之演化意涵，極具學術與保育價值。(IX)
- (3) 紅檜為全世界扁柏屬植物中樹徑最大者，最大胸徑可達 5.2 公尺。在棲蘭神木園區可見紅檜巨木成林之壯觀景緻。(VII)
- (4) 棲蘭山地區海拔從 500 至 2800 公尺，隨著海拔升高呈現豐富的帶狀植群變化，此外還包含數個湖泊植物社會，展現多樣的生態系面貌。(IX)
- (5) 在棲蘭檜木林中具有極高之特有種比例(38.5%)，同時蘊藏許多珍貴的孑遺物種，如全世界唯一以台灣為屬名且只有一屬一種的台灣衫、另有巒大杉、南洋紅豆杉、台灣檫樹等。(X)

第一章、文獻回顧

棲蘭山檜木林位處霧林帶，此特殊的生態系僅存於世界少數地區，本章以回顧(1)全球及區域雲霧林的特性、(2)檜木生物特性及(3)棲蘭山區植物多樣性之文獻來闡述棲蘭山檜木林之珍貴價值。

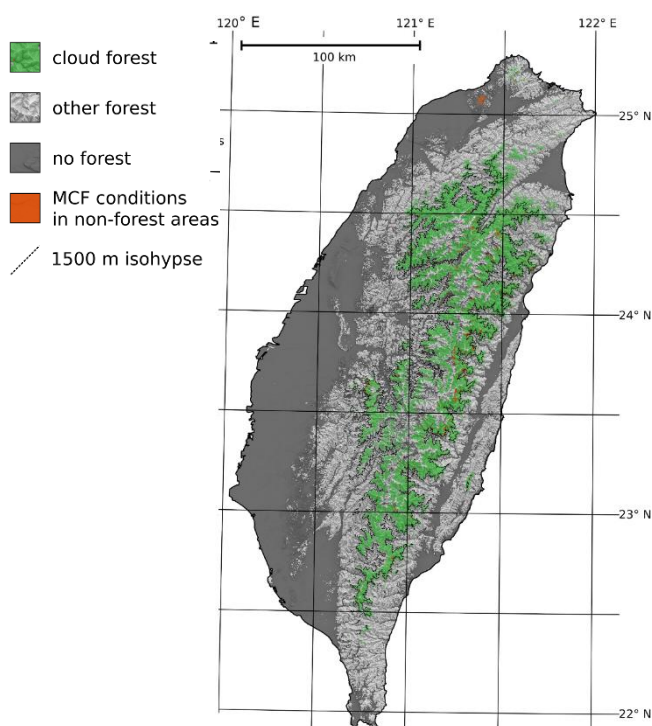
1.1 雲霧林特性、分布、重要性與其他研究

雲霧林是世上稀有、獨特、極具生態與水文重要性的生態系，其廣泛的定義為受雲霧頻繁籠罩的森林(Bruijnzeel et al., 2011; Oliveira et al., 2014)，大多分布於熱帶或亞熱帶臨海的山地區域。全世界僅有 1.4%的熱帶森林可被稱之為雲霧林，其中 43.2%分布在東南亞地區，包括中南半島、婆羅洲、爪哇等廣大山區(Scatena et al., 2010)。雲霧林經由植物或地表攔截雲霧形成之水平降水(horizontal precipitation)，提供額外水源(Holder, 2004; Freiberg and Freiberg, 2000)，具有調節水資源之重要生態系功能。高濕度的環境造成多樣的附生植物，植被常附有苔蘚、地衣、蕨類和蘭科植物，附生植物增加截留雲霧之凝結水提供了雲霧森林額外的水源及養分(Chang et al., 2002)，即使於乾季亦能使水源不虞匱乏(Holder et al., 2004; Freiberg and Freiberg, 2000)。此外雲霧林中棲息極高比例的特有種，也是許多受威脅物種的庇護所 (Bubb et al., 2004)。在墨西哥的雲霧森林雖覆蓋面積不到全國的 1%，但其內卻具有全國 30%的特有種 (Bubb et al, 2004)；在秘魯，有 32%的特有種脊椎動物只分布於在雲霧林中 (Leo, 1995)。此外雲霧林也是許多受威脅物種的庇護所，美洲 327 種受威脅的鳥類中超過 11.6%的物種存在於雲霧林中 (Bubb et al., 2004)。

圖一、全球雲霧林分布
(Wilson and Jetz,
2016)。

在季節性雲霧林帶中，雲霧為森林提供降雨以外的水分，提高乾季時的濕度，使森林擁有足夠的水分，穩定環境濕度並促進物種共存，部份林下植株高度依賴雲霧所提供的水分。而沒有森林的區域由於太陽輻射量、風力的增加促進蒸散作用，進而加速此區域的雲霧消散(Dawson, 1998)。Gotsch 等人(2014)探討雲霧林中樹冠層的水文平衡，指出在季節性雲霧林帶，雲霧具有提供植物水分的作用。樹冠層的葉表面可直接攝取水分，研究發現乾季時儘管沒有降雨，植物仍然可以藉由攝取雲霧凝結於葉面上的水滴稍微補充降雨不足的部分，但無法補足乾季時的蒸散作用所消耗的水分。後續發現在乾季時雲霧的發生亦會降低穿透進森林的太陽輻射量，減少樹冠層的蒸散作用並且減緩植物消耗水分的速率，進而維持雲霧林林相多樣性。

台灣具有高山且四面環海，又處於東北季風和西南季風的交界地帶，因此當由海面蒸散的水氣受到季風吹拂至山區，中高海拔的低氣溫使水氣飽和點濕度下降，因此凝結形成雲霧。在容易受到雲霧壟罩的山區則稱為雲霧帶，而處於雲霧帶之中的森林則稱作雲霧林。台灣直至近期才以遙測影像偵測地面雲霧的發生率、雲底高度以及映射出台灣雲霧林分布之系列研究(圖二)(Thies et al., 2015; Schulz et al., 2016; Schulz et al., 2017)。Chang et al. (2006) 以現地實驗估算棲蘭山樣區 50 年生台灣扁柏天然下種更新林的雲霧沉降量(水平降水)，建立以能見度預測雲霧沉降之經驗模式，估算該區域一年約有 328 mm 的雲霧沉降，同時指出雲霧沉降占總沈降水量之比例具有季節變化。



圖二、台灣雲霧林分布(Schulz et al., 2017)。

賴宜鈴(2006)分析台灣鴛鴦湖 1994 年至 2004 年氣候資料，可看出亞熱帶雲霧林氣候在氣溫、降雨、起霧時間及鴛鴦湖所接收的輻射量皆有顯著的季節性變化。一年中有三百四十二天有起霧，而一年中有雲霧的時間大約佔了 40%。雲霧出現和風向有關。濃霧和微霧所減少的光通量只有 5% 的差異。但與晴天相比，只要雲霧出現，便會顯著減少光通量。受到東亞季風的影響，鴛鴦湖具有明顯的季節性變化。由於光通量是森林樹木的重要限制因子，舉凡植物的生長、存活、競爭力界受其影響。因此雲霧林的雲霧發生頻率會進而影響雲霧林的林相。棲蘭山區的氣候亦具有明顯的季節性、潮濕且光量低等特徵。一年之中約有 40% 以上的時間都壟罩在雲霧中，且當雲霧發生時，林冠上的光量平均降低約 88%，年平均的林冠上光量變化則將低約 70%。天然林下的光斑發生頻率以及光照時間也因雲霧

遮蔽而大幅度減少，由於分布於棲蘭山區的檜木小苗，紅檜、扁柏並非極端陽性物種，低光亮環境可能影響檜木小苗在自然狀況下的存活率、更新以及分布。

雲霧的發生不只可以改變濕度以及光量，大氣中的沉降物質亦有可能被雲霧所攔截。簡意婷(2008)研究位於霧林帶棲蘭山區的水文氣象並加以分析其化學成分，指出本區的降雨量集中在夏季及秋季，霧水則在冬季及春季帶來較高的水量，而颱風在研究期間貢獻約37%的總雨量。另外雨水在進入林冠層後，穿落水的 pH 質較雨水高，幹流水則較雨水低。由雨水相關矩陣得出 NO_3^- 與 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 的濃度相關性高，推測雨水以及霧水受到汙染的影響皆高，其中雨水受到長程傳輸的影響較為明顯，而雲霧則是較受到當地汙染的影響。幹流水與穿落水中的 NO_3^- 與 NH_4^+ 濃度均降低，推測水分中的 NO_3^- 與 NH_4^+ 被植物所吸收。儘管雲霧僅提供了 6% 的總水量，但其所提供的養分占了森林養分的 27%，此研究也提出汙染造成大氣沉降中的 SO_4^{2-} -S、N 濃度上升，並且被雲霧、雨水夾帶而形成酸沉降，而對森林生態系具有不利的影響，若超過臨界值則可能造成森林衰退。因此雲霧在雲霧森林中所帶來的資源，以及直接、間接的環境影響，都對於維持雲霧林生態系扮演重要的角色。

1.2 檜木之生物特性

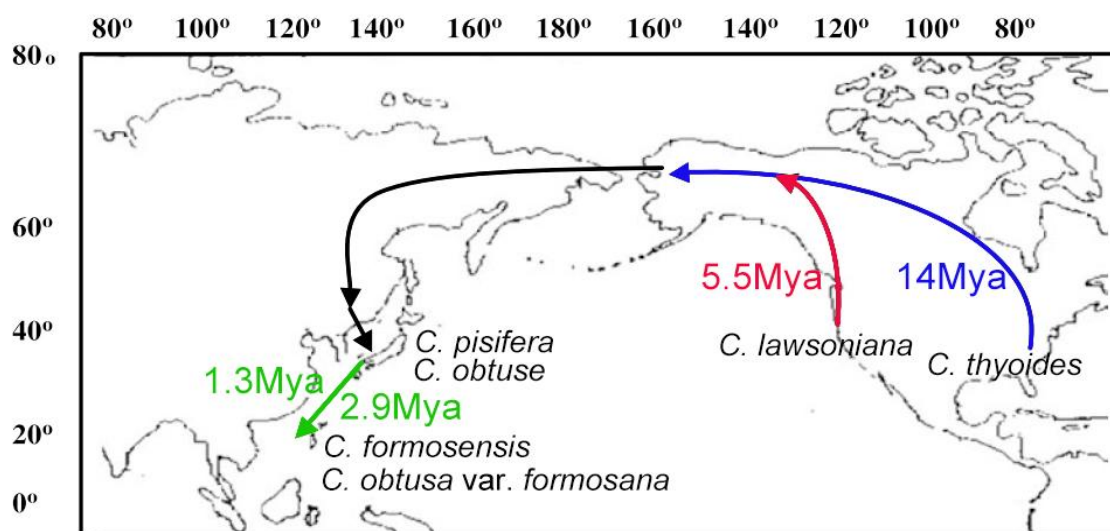
1.2.1 扁柏屬植物的親緣

柏科(Cupressaceae)扁柏屬(*Chamaecyparis*)的植物原有七種，分別為：拿加遜扁柏(*Cupressus nootkatensis*)、尖葉扁柏(*Chamaecyparis thyoides*)、羅生氏扁柏(*Chamaecyparis lawsoniana*)、日本扁柏(*Chamaecyparis obtuse*)、日本花柏(*Chamaecyparis pisifera*)、紅檜(*Chamaecyparis formosensis*)、台灣扁柏(*Chamaecyparis obtusa var. formosana*)；其中拿加遜扁柏目前已建議由扁柏屬中除去，由 Liao et al. (2010) 利用 matK 基因序列研究所獲得的結果，其與柏木屬(*Cupressus*)的關係較接近。Wang et al. (2003) 綜合基因分析資料，尖葉扁柏和日本花柏在 cpDNA 的差異是 2.8 %，羅生氏扁柏和日本扁柏在 cpDNA 的差異是 1.1 %，日本扁柏和臺灣扁柏在 cpDNA 的差異是 0.25 %，臺灣扁柏和臺灣紅檜在 cpDNA 的差異是 0.57 %。Liao et al. (2010) 的研究證據支持 Wang et al. 的看法，台灣扁柏與日本扁柏被歸為同一單源群且與羅生氏扁柏關係較近，而紅檜則與日本花柏及尖葉扁柏較接近(Liao et al., 2010; 黃錦源, 1999)。

現今扁柏屬植物分散於北半球海岸附近，其中尖葉扁柏分布於北美東岸，羅生氏扁柏分布於北美西岸，日本扁柏與日本花柏分布於日本，台灣扁柏與紅檜分布於台灣。台灣是此屬植物分布的最南界。扁柏屬如此破碎的地理分布與其擴散的歷史有關，Li et al. (2003) 指出，早期研究明確顯示當今檜木屬下的所有物種，都來自第三紀早期和中期北半球範圍

廣大的 boreotropical flora。他們認為，檜木屬祖先首先經由擴散事件進入北方寒林區 (boreal region)，透過基因交流，創造出臺灣紅檜和日本花柏的核心親緣關係。今天北美檜木可能是從當時的東亞檜木隨後演化而來。Li et al. (2003) 認為，種系發生學的關係和檜木屬的時間擴散，和北半球第三紀和晚第四紀的混種森林假說一致。這一個地理分布型態可以進一步受到日本群島地史事實支持；日本在 17 百萬年前還是亞洲大陸的一部分。接著，在第三紀晚期的造山運動和氣候變遷中，檜木屬的祖先被推移到不同地理區中，隔離分化出來東亞一族，和北美一族。

而根據 Wang et al. (2003) 的研究，扁柏屬植物大約於中新世晚期從北美通過古白令橋傳播至東亞，其中尖葉扁柏與日本花柏的擴散事件約在 1400 萬年前，而羅生日扁柏及日本扁柏的擴散事件則發生於 551 萬年前。台灣扁柏與紅檜據推測應是源自日本通過琉球群島遷移至台灣，估計日本花柏和臺灣紅檜的分化時間是在 2.9 百萬年前，日本扁柏和臺灣扁柏的分化時間是在 1.3 百萬年(圖三)。



圖三、扁柏屬植物可能的遷徙路線(修改自 Wang et al., 2003)。

1.2.2 扁柏屬植物形態特徵

羅生扁柏樹高 30 至 50 或 60 公尺，直徑約 2 公尺，樹冠呈圓錐形，樹皮呈淡紅棕色，幼齡木之樹皮光滑，老齡木則具深裂溝。枝條短，呈水平狀，枝條末端下垂。葉為盾形鱗片狀，呈深綠色至藍綠色，先端鈍；中葉呈菱形，具腺點；氣孔線成 X 字形。雄花為粉紅色或紅色，雌花為淺藍色。毬果為球形，直徑 1 公分，呈藍綠色至棕褐色，具短柄，約兩年成熟。果鱗 8 枚，每果鱗有 2 至 4 或 5 粒種子，種子約 0.4 公分長，具種翼(Harlow and Harar, 1950; 郭寶章, 2001; 黃增泉, 1991)。

拿加遜扁柏樹高為 25 公尺至 45 公尺，直徑約 1 公尺至 2 公尺，樹冠呈狹圓錐形。樹皮為灰褐色，具不規則裂溝，薄鱗片狀剝；小枝斷面呈四菱形。葉為鱗片狀，先端尖銳，呈深綠色，第二年轉為棕褐色，葉背偶爾有腺點，無白色氣孔線。花於五至六月成熟，雄花為黃色，雌花為綠色。毬果為球形，淡赤褐色，具柄，於九月成熟，在較寒冷處之成熟時間為隔年四至五月。果鱗為盾狀，4 至 6 枚，具突起；每果鱗有 2 至 4 粒種子，種子約 0.5 公分長，側翼約為種子兩倍大(Harlow and Harar, 1950; 郭寶章, 2001; 黃增泉, 1991)。

尖葉扁柏樹高 25 公尺至 35 公尺，樹冠呈狹圓錐形，樹皮為紅棕色。葉為淡綠色或深藍色，先端尖銳，側葉緊密，中葉具一突起球形線點。花於三月開。毬果為球形，直徑 0.6 公分，著生於成叢之枝條上，表面具霜狀物覆蓋，具短柄，成熟時由淺藍色轉為紅棕色。果鱗 4 至 5 枚，少數有 6 枚。每果鱗具有 1 至 2 粒種子，種翼與種子同大(Harlow and Harar, 1950; 郭寶章, 2001; 黃增泉, 1991)。

日本扁柏為常綠大喬木，樹高為 40 至 50 公尺，胸高直徑約 2 公尺；樹冠卵形，樹皮呈赤褐色，會龜裂，狹長條狀剝落。葉為鱗片狀，呈深綠色，先端鈍；中葉為卵形至菱形，表面有一突起之圓形腺點；側葉較大，葉裡面有 Y 字形銀白色氣孔線。雌雄同株，於三至四月開花。毬果為球形，直徑約 0.8 至 1.2 公分，成熟時由綠色轉為赤褐色，具短柄，約 1 公分長。果鱗盾狀，7 至 10 枚，中央有小突起，每果鱗具有 2 至 5 粒種子；種子為卵狀之橢圓形，長為 0.3 公分，種翼狹小(郭寶章, 2001; 黃增泉, 1991)。

日本花柏樹高為 3 公尺至 40 或 50 公尺，直徑約 2 公尺，樹冠呈狹圓錐形，樹皮為赤褐色，有水平狹長龜裂與剝落。葉為鱗片狀，淡綠色，先端尖銳，葉裡之白色氣孔線呈 X 形。側葉正面低處有一白色斑點，中葉具兩個不規則形之腺點。毬果球形，多著生於低枝條上，直徑約 6 毫米，成熟時由綠灰色轉為暗棕色。果鱗 10 至 12 枚，每果鱗具 1 至 2 粒種子，種子黃褐色，具種翼(郭寶章, 2001; 黃增泉, 1991)。

紅檜為常綠大喬木，樹高可達 65 公尺以上，胸高直徑可達 6 公尺以上。樹皮薄且平滑，呈灰褐色至紅褐色，縱條狀或片狀剝落。樹枝呈水平狀但枝梢疏生而略下垂。葉鱗片狀，略互生，在小枝側作覆瓦狀對生，先端銳尖，表面呈綠色，有時帶點古銅綠色，葉背淡白色，具有白色凹溝；中葉橫斷面為船形，中肋兩面隆起，樹脂溝接近維管束，側葉橫斷面為 V 字形；1、2 年生之幼苗多數伴有線形初生葉遺留，約 1 公分長。雌雄同株，異花。毬果呈橢圓形，長 1 公分至 1.2 公分，直徑 0.8 公分至 0.9 公分；果鱗為盾形，10 至 13 枚，呈棕色。每個果鱗具有 2 枚種子；種子為扁平卵狀之紡錘形，具有薄翅，直徑約 0.3 公分，呈棕色；種實於當年十一月上旬成熟；子葉為 2 枚。紅檜之壽命一般為 1500 年，在台灣發現之個體最老可達 3000 年以上(郭寶章, 2001; 黃增泉, 1991; 松浦, 1942; 柳楨, 1975; 柳楨, 1985)。

台灣扁柏為常綠大喬木，樹幹通直，可達 50 公尺以上，胸高直徑約 3.5 公尺。樹皮較厚，有縱向淺裂，呈紅褐色，長片條狀剝落。大枝密生且平展，小枝扁平細長。心材呈淡黃褐色，有辛辣味。葉為鱗片狀，呈綠色至淡綠色；幼齡木之葉子先端尖銳，老齡木則為鈍形；生長緊密，呈覆瓦狀排列，下部具明顯 Y 字形之白色氣孔線，側葉覆蓋中葉且為對生，中葉橫斷面為盤形，側葉橫斷面為鈍圓角三角形。雌雄同株，單性花，花於四月開，雄花為卵形至長橢圓形。毬果為短橢圓形至球形，直徑約 0.8 公分至 1 公分，於十一月上旬成熟，成熟時呈黃褐色，果鱗為盾狀，8 至 10 枚，中央具一小突起。每個果鱗具有 2 至 5 枚種子，種子具狹翅，直徑 0.2 公分至 0.4 公分，子葉為 2 枚(郭寶章, 2001; 黃增泉, 1991)。

台灣扁柏與紅檜在形態上十分相似，以下幾項特徵為主要差異：台灣扁柏之樹冠呈圓錐形，枝條與樹幹略呈直角，遠視時為青黑色；紅檜之樹冠則呈橢圓形，枝條略呈下垂，遠視時為淺紅色。台灣扁柏之樹幹筆直，樹皮具深裂且較厚、粗硬，不易剝離；而紅檜樹幹較短且常有分枝，樹皮薄且質地較軟，裂較淺，較易剝落。台灣扁柏之葉子較粗且顏色較深，於枝條上密生、交互對生，鱗狀葉之先端較鈍，葉裡稍呈白色；紅檜之葉質較厚，顏色較淺，於枝條上疏生、覆瓦狀排列，鱗狀葉之先端尖銳，葉裡稍呈紅色；台灣扁柏之毬果為球形、較大，果鱗與種子數較少；紅檜之毬果則為橢圓形、較小，果鱗與種子數較多。台灣扁柏之木材呈淡黃褐色，質地較重，因樹脂含量多，故香氣較重，有辛辣味；紅檜之木材呈淡紅褐色，材質較軟，香氣較台灣扁柏弱，無辛辣味(洪耀淇, 1975 郭寶章, 2001; 郭寶章, 1991; 黃增泉, 1991)。

1.2.3 扁柏屬植物分佈的環境特徵

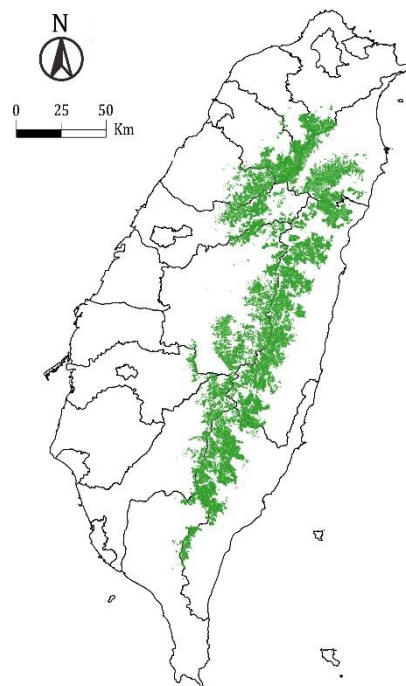
羅生扁柏、拿加遜扁柏與側葉扁柏僅分布於北美洲，日本扁柏與花柏僅分布於日本地區，台灣扁柏與紅檜僅分布於台灣地區。羅生扁柏之分布以美國西部沿岸、奧瑞岡州西南部至加州北部為主要分布範圍，且常與其他針葉樹種混生。其生長海拔為 0-1950 公尺，耐乾燥與低溫，最低可至攝氏-25 度；能生長於全陽光下，但也需蔽蔭。好生於土壤深度較深之黏土壤。拿加遜扁柏主要分布於北美太平洋沿岸之暖溫氣候帶，其生長海拔為 0-2300 公尺處，好生於土壤豐富與氣候潮濕之環境，在濕潤土壤中為淺根性，乾燥土壤中則為深根性。尖葉扁柏主要分布在美國東北部之大西洋沿岸海拔 0-457 公尺，其分布緯度廣闊(29°14' - 44°20'N)，故其群叢序列大且具變異性，好生長於沼澤地之泥炭土與溪旁堤岸上，無法生存於長久蔭蔽之環境。日本扁柏之分布以日本本州為主，四國、九州亦有小部分分布，生長海拔為 10-2200 公尺處，生育地之土壤豐富、濕潤且偏酸性、光照充足。花柏之分布以本州中部為主，在日本中部與南部亦有分布，其生長海拔為 1100 公尺至 2400 公尺，好生於土壤濕潤地區(郭寶章 2001; Laderman 1998)。

紅檜分布緯度介於 22°35' 南大武山一帶至 24°49' 北插天山一帶之間，經度介於 121°30' 北插天山及大濁水溪之北溪與南溪一帶至 120°45' 南大武山一帶之間，海拔為 1700 公尺至 2900 公尺的寒溫帶針葉混合林，多生長在坡度 5% 至 80% 的山坡中部、下部或側坡上。在

天然分布上常與台灣扁柏等樹種混生，鮮少呈純林。在台灣南部地區之生長海拔為 2200 公尺至 2500 公尺，北部地區之生長海拔則為 900 公尺至 2500 公尺；在東部地區之生長海拔較西部地區低，且分布海拔高度會隨緯度增加而降低。其分布地區常伴隨台灣肖楠 (*Calocedrus formosana*)、巒大杉 (*Cunninghamia konishii*)、台灣杉 (*Taiwania cryptomerioides*)、鐵杉 (*Tsuga chinensis*) 出現；林下則常有玉山假沙梨 (*Photinia davidiana* var. *niitakayamensis*) 與玉山箭竹 (*Yushania niitakayamensis*) 出現。其生長環境常為弱酸性土壤，土壤來自火成岩或頁岩，土壤厚度中等至淺薄，濕潤；生長氣候條件為平均溫度攝氏 10.6 至 12.7 度，年降雨量為 2980 至 4360 毫米，相對溼度為 81-94% 且在具有雲霧壟罩盛行的地區。成木之耐陰性介於陽性與陰性之間，但幼苗需蔽蔭。雖非絕對耐陰樹種，但幼苗與幼樹具相當程度的趨光性(郭寶章, 2001; 松浦, 1942)。

台灣扁柏分布緯度介於 23°28' 新高山一帶至 24°46' 鳶嘴山一帶之間，經度介於 121°31' 大濁水溪之北溪與南溪流域至 120°47' 阿里山一帶之間，海拔為 1800 公尺至 3000 公尺的寒溫帶針葉混合林或針闊葉混合林，多生長在坡度 5% 至 80% 山坡之上部、中部或山脊上。在台灣南部地區之生長海拔為 2400 公尺至 2500 公尺，北部地區之生長海拔為 1500 至 2600 公尺，且東部地區之分布海拔較西部低。常與紅檜、台灣肖楠、巒大杉、台灣杉、台北檜木 (*Alnus henryi*)、木荷 (*Schima superba*)、紅果樹 (*Photinia davidiana*)、台灣杜鵑 (*Rhododendron formosanum*)、石櫟屬 (*Pasania* sp.) 及玉山箭竹混生。生長環境偏好排水良好且土壤較紅檜淺薄及粗重；生長氣候條件為平均溫度低、年降雨量高、終年雲霧覆蓋、相對濕度高的地區，與紅檜之氣候條件相似(松浦, 1939; 郭寶章, 2001)。

紅檜與台灣扁柏各族群主要分布在阿里山地區與棲蘭山地區海拔 1200 公尺至 2600 公尺之霧林帶(圖四)。棲蘭山地區之林分組成以台灣扁柏為主要優勢種，其次為紅檜與台灣鐵杉，分布範圍介於海拔 1000 公尺至 2700 公尺，生長地形從溪谷、坡地至山頂均有分布。比較該地區清查多樣性與分化多樣性結果，發現鴛鴦湖集水區的多樣性變化均低於其他集水區，台灣扁柏族群結構與林分結構亦與其他集水區略有不同(魏瑞廷, 2006)。



圖四、台灣地區紅檜與台灣扁柏分佈圖

1.2.4 台灣檜木幼苗生長特性

棲蘭山區之氣候具有季節性明顯、潮濕與光量低的特徵。此地區一年約有平均 40% 以上的時間受雲霧籠罩。雲霧發生時，林冠上層光量年平均降低約 70%，林下照光時間也因雲霧遮蔽而大量減少。樹冠層與地形亦與日照量相關。樹冠層之孔隙覆蓋度與日照量呈負相關，地形造成的遮蔭會降低日照量。

賴宜鈴(2006)調查發現，棲蘭山區之台灣扁柏苗的適存光量低於紅檜苗，推測雲霧所致之低光量可能有利於台灣扁柏苗的存活與生長。在低光量環境下，台灣扁柏會調整單位葉面積生物量以適應陰暗環境，而紅檜苗會調整莖的長度來因應。在養分與水分充足時，台灣扁柏會提高單位葉面積生物量；養分受限时，則降低單位葉面積生物量；在高光量環境下，紅檜苗之存活率高於台灣扁柏苗。在持續高光量環境下，台灣扁柏苗與紅檜苗之光合作用效率及葉相對生長率均明顯被抑制，顯示台灣扁柏苗與紅檜苗均非絕對陽性樹種。

林進龍(2007)比較棲蘭山地區枯倒木整理後之檜木林，在不同上層林冠環境下，台灣扁柏與紅檜栽植苗之存活與生長表現。結果指出台灣扁柏與紅檜之生長率在初期階段較高；紅檜之苗高與苗徑生長率大於台灣扁柏，且於疏林冠層下的生長表現優於鬱閉林冠層，顯示台灣扁柏與紅檜苗均為耐蔭型物種，且紅檜對照光的需求較高。台灣扁柏與紅檜苗在鬱閉林冠環境下之生長量大多較低，連年生長量之差異以台灣扁柏苗較明顯，顯示台灣扁柏苗於鬱閉林冠層下之忍受性優於紅檜苗。

梁亞忠(1992)以棲蘭山檜木野生苗為研究對象，發現臺灣扁柏苗與紅檜苗具有不同休眠特性。低溫對紅檜苗的生長影響較臺灣扁柏苗顯著；生長季時紅檜苗需光量較扁柏苗多，紅檜苗對照光的需求較臺灣扁柏苗多。

1.2.5 台灣檜木的珍貴性

台灣檜木(紅檜與台灣扁柏)為台灣特有種植物，在演化上是扁柏屬植物中較晚期才分化出來的物種，其地理分布為扁柏屬植物中緯度分布最南的物種，海拔分布的上界也是最高的，其地理擴散的歷程極具演化上的價值。台灣檜木的分布範圍為扁柏屬植物中最狹小的，卻是屬中胸徑較大的樹種，其中紅檜更是全世界扁柏屬中胸徑最大者，最大胸徑可達 5.2 公尺。然因台灣紅檜材質優良，也造成其被大量開採的命運，過去開採導致族群數量顯著下降，因而在 1994 年紅檜被《國際自然保護聯盟瀕危物種紅色名錄》列為瀕危物種，而扁柏則被列為易危物種(Zhang, 2013)。

1.3 棲蘭山植群類型與物種多樣性

1.3.1 植群類型

棲蘭山地區座落於台灣地理氣候分區的東北區與西北區交會處（蘇鴻傑，1985；蘇鴻傑，1992），恆濕型的東北氣候區與夏雨型西北氣候區的氣候差異造就多樣的植群社會。周昌弘等人(2000)針對鴛鴦湖森林生態系的植被調查與分析，將此區分成六種植群類型，包含兩種森林型社會(台灣扁柏型、柳杉人工型)、四種溼生草本植物社會(高山芒型、眼子菜型、東亞黑三稜型、水毛花型)，而這六型植群皆以扁柏林為其優勢物種，且能自然更新，可能為消長末期的穩定社會群聚。

陳子英等人(2002)則針對棲蘭山 170 林道之檜木林進行植群調查，將此區分成五類植群：1.早期天然撫育下種的高山芒—台灣扁柏型，2.上坡之植群型(台灣社鵝—台灣扁柏型)，3.近稜線之植群型(台灣二葉松—台灣鐵杉型)，4.中坡之植群型(木荷—台灣扁柏型)，5.溪谷之植群型(紅繪—假長葉楠型)。隨後魏瑞廷與陳子英(2007)統整前人研究將棲蘭山植群分成六個植群帶(表一)，而其本身研究將棲蘭山地區櫟林帶上層的植群分成六類：1.台灣鐵杉-台灣扁柏型，2.台灣杜鵑-台灣扁柏型，3.西施花-台灣扁柏型，4.木荷-台灣扁柏型，5.長葉木薑子-紅檜型，6.豬腳楠-紅檜型；若與前人研究對照，除命名方式有所差異外，植群特徵大致相符。此外在其研究中顯示影響植群分化最重要的因子包含海拔、地形位置、含石率、全天光空域與直射光空域。

表一、棲蘭山地區植群類型(引用自魏瑞廷、陳子英，2007)

植群帶	生育地環境	研究區域植物社會	特徵種或優勢種	作者
鐵杉林帶	海拔 1500 m 以上之山頂、稜線與中波	棲蘭山地區 大漢河流域 台灣鐵杉林型	台灣鐵杉*、昆欄樹、高山新木薑子、台灣扁柏、赤柯	王震哲,2000 郭福麟等， 2006
山地上層 針葉林型	海拔 2,355-2,721 m，稜線，主稜	蘭陽溪上游 台灣鐵杉-玉山杜鵑型	巒大花楸、台灣扁柏、假繡球、玉山杜鵑*、厚葉柃木、台灣八角金盤、台灣鐵杉*	陳子英,2002
	海拔 1,900-2,111 m，稜線	棲蘭山 170 林道 台灣二葉松-台灣鐵杉型	台灣二葉松*、台灣鐵杉、台灣扁柏、高山新木薑子、毬子櫟	陳子英等， 2002
山地針闊 葉混淆林	海拔 1680 m，中坡生育地環境乾燥	棲蘭山地區 西施花-台灣二葉松型	西施花*、台灣二葉松、木荷	朱恩良,2004
	海拔 1455 m，下坡	蘭陽溪上游 大漢河流域 台灣二葉松—西施花型	台灣鐵杉、台灣二葉松*、台灣華山松、台灣赤楊、台灣黃杉、木	陳子英,2002 郭福麟等， 2006

				荷、蘭邯千金榆、杜英、昆欄樹、小花鼠刺、台灣紅榨槭、西施花*		
		海拔 1,325-1,975 m，下坡，中坡小支稜	蘭陽溪上游木荷-西施花型	木荷*、錐果櫟、香桂、烏心石、薯豆	陳子英，2002	
		海拔 1405-1655 m，支稜	蘭陽溪上游台灣杜鵑-薯豆型	台灣杜鵑*、烏皮茶*、錐果櫟、薯豆、台灣樹參、台灣扁柏	陳子英，2002	
櫟林帶上層	山地針闊葉混淆林	台灣扁柏林	海拔 1500-2700 m	棲蘭山地區台灣扁柏—台灣鐵杉型	台灣扁柏*、台灣鐵杉、赤柯、高山新木薑子	朱恩良，2004
			海拔 1017-2150 m	棲蘭山地區台灣扁柏—台灣杜鵑林型	台灣扁柏*、台灣鐵杉、白花八角、毬子櫟、西施花、台灣杜鵑*	廖啟政，2005
			海拔 1,017-2,086 m 之稜線或中坡	大漢河流域台灣扁柏林型	台灣扁柏*、台灣鐵杉、赤柯、台灣杜鵑、西施花、高山新木薑子	郭福麟等，2006
			海拔 1,800-1,900 m，上坡	棲蘭山 170 林道台灣杜鵑—台灣扁柏型	台灣杜鵑*、台灣扁柏、台灣鐵杉、高山新木薑子、毬子櫟、白花八角	陳子英等，2002
			海拔 1,000 m 以上，160-170 林道沿線之坡面	棲蘭山檜木林區台灣扁柏—巒大杉—台灣杉林型	台灣扁柏*、巒大杉、台灣杉、木荷、毬子櫟、霧社木薑子	王震哲，2000
			海拔 1,700-1,800 m，中坡	棲蘭山 170 林道木荷—台灣扁柏型	木荷*、台灣扁柏、烏心石*、霧社木薑子*、烏皮茶*、白花八角	陳子英等，2002
			海拔 1,700 m，下坡或溪谷	棲蘭山 170 林道紅檜—假長葉楠型	紅檜*、假長葉楠、錐果櫟、長葉木薑子、早田氏冬青、銳葉柃木	陳子英等，2002
		紅檜林	海拔 1,450-1,760 m，中坡乾溝	蘭陽溪上游紅檜群叢	紅檜*、薯豆、假長葉楠、西施花、台灣八角金盤、長葉木薑子、昆欄樹、墨點櫻桃、小花鼠刺	陳子英等，2004
			海拔 963-1,630	棲蘭山地區	紅檜*、台灣扁柏、	廖啟政，2005

		m	紅檜—長葉木薑子 林型	長葉木薑子、豬腳 楠、假 長葉楠、錐果櫟	
		海拔 841-1,940 m，下坡或溪谷	大漢河流域 紅檜林型	紅檜*、赤柯、台灣 赤楊、長尾尖葉槲	郭福麟等， 2006
櫟 林 帶 下 層	山 地 常 綠 闊 葉 林	海拔 700-1,500 m	棲蘭山檜木林區 長尾尖葉槲—香楠 林型	長尾尖葉槲*、香 楠、豬腳楠、山紅 柿、杜英、薯豆、小 花鼠刺、猴歡喜	王震哲,2000
		海拔 1,325-1,725 m，下坡、中坡及 上坡	蘭陽溪上游 木荷—大葉石櫟群 叢	假長葉楠、錐果櫟、 薯豆、墨點櫻桃，香 桂、木荷*、烏心石， 西施花、長葉木薑子	陳子英,2004
		海拔 1,065 m，近 溪谷兩側，生育地 由崩落之土石堆 積形成，北橫公路 沿線	棲蘭山地區 錐果櫟型	錐果櫟*、台灣黃 杞、西施花	朱恩良,2004

註：*為特徵種

1.3.2 物種多樣性

王震哲(2000)團隊於棲蘭山區進行之植物資源調查，顯示區內的維管束植物共計 1009 種，分屬於 152 科 502 屬，包含蕨類 28 科 209 種，裸子植物 6 科 14 種，雙子葉植物 105 科 665 種，單子葉植物 13 科 121 種。而若以生育環境歸類，生長於霧林帶的種類總計 107 科 215 屬 361 種(表二)，其中共有 139 種屬於台灣特有種，特有值佔 38.5%；若計算特有種於各類別的比例，種子植物的特有值高達 46.8%左右，顯示此區霧林帶物種具有高特殊性。

表二、棲蘭山檜木林區霧林帶植物屬性統計表(引用自王震哲，2000)

	蕨類植物	裸子植物	雙子葉植物	單子葉植物	總合
科數	22	6	74	5	107
屬數	42	8	149	16	215
種數	79	10	247	25	361
特有種	7	8	109	15	139
特有種比例	8.86%	80%	44.13%	60%	38.5%

若單就鴛鴦湖自然保留區內的植物多樣性而言，周昌弘等人(2000)的調查報告中顯示共有 185 種維管束植物，分屬 71 科 115 屬；其中含蕨類植物 14 科 23 屬 33 種；裸子植物 3 科 3 屬 4 種；雙子葉植物 46 科 70 屬 108 種；單子葉植物 8 科 19 屬 22 種。近年

中央研究院植物研究所整合各調查成果，並加以數位化，建立網路平台--台灣本土植物資料庫，其內彙整鴛鴦湖自然保留區的植物名錄，包含 57 種特有種。

1.3.3 珍貴與稀有植物

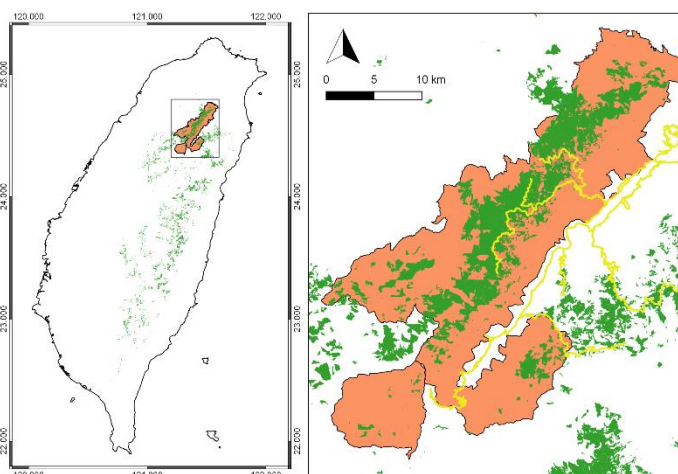
這些物種之中，王震哲等人(2000)彙整多年來野外調查之實際經驗與前人有關稀有植物之文獻（徐國士、呂勝由，1984；徐國士、蘇鴻傑、彭鏡毅，1985；賴明洲，1991；呂勝由、林明志，1996；呂勝由、邱文良，1997，1998，1999；黃增泉，1999），歸納出棲蘭山區 62 種稀有植物(表三)。而魏瑞廷、陳子英(2007)的研究指出 160 林道與 170 林道集水區有大面積的老熟林與孑遺之稀有植物，如台灣杉(*Taiwania cryptomerioides*)、巒大杉(*Cunninghamia konishii*)、南洋紅豆杉(*Taxus sumatrana*)等珍貴樹種。

表三、棲蘭山檜木林區珍貴及稀有植物分類表(引用自王震哲等人, 2000)

類 級	種 類	種數
完全絕滅 (EX)	目前尚無	0
野外絕滅 (EW)	臺灣泡桐	1
嚴重瀕臨絕滅 (CR)	目前尚無	0
瀕臨絕滅 (EN)	台灣石松、鱗芽裏白、華東瘤足蕨、東方莢果蕨、岩穴蕨、南洋紅豆杉、台灣粗榧、叢花百日青、台灣杉、臺灣五葉參、太平山細辛、台灣吊鐘花、小葉四葉葎、臺灣黃蘗、宜蘭天南星、東天天南星、三星石斛、南湖蠅蘭、東亞黑三稜	19
易受害 (VU)	相馬氏石松、寬片膜蕨、韓氏烏毛蕨、雉尾烏毛蕨、馬祖耳蕨、台灣黃杉、巒大杉、臺灣掌葉槭、雲南冬青、華參、鴛鴦湖細辛、燈台樹、棲蘭杜鵑、白木通、土肉桂、鐵釘樹、臺灣擦樹、多花蓬萊葛、裏董紫金牛、短莖紫金牛、布氏稠李、霧社山櫻花、阿里山櫻花、柳氏懸鈎子、青貓兒眼睛草、臺灣貓兒眼睛草、臭椿、畢祿山苧麻、黃根節蘭、老鸛草	30
依賴保育 (cd)	姬卷柏、長苞雙蓋蕨、黃花鳳仙花、八角蓮、阿里山十大功勞、山豆根、鐵線蕨葉人字果、臺灣一葉蘭	8
接近威脅 (nt)	台灣扁柏、紅檜、著生杜鵑、博落迴	4

1.3.4 棲蘭山檜木林的獨特性

依據林務局第四次森林資源調查，台灣檜木天然林主要集中於棲蘭山林區、和平林道與花蓮和南投之交界，但檜木成林的密集程度，以棲蘭山林區為全台分布最集中的地區(圖五)，此外棲蘭山的台灣扁柏更新造林也是檜木人工林的集中區域。陳玉峰於“搶救檜木林運動的價值依據”文中提及有學者



圖五、全台檜木之分布，與棲蘭野生動物重要棲息環境與境內檜木之分布(資料來自林務局第四次森林資源調查)。

主張檜木林為台灣最古老的生態系，其內包括許多珍稀的子遺物種，例如全球唯一以台灣當屬名的植物--台灣杉，係以 Taiwan 拉丁化為 *Taiwania*，為全台灣最高大喬木，與銀杏、水杉等同為世界頂級古老的珍品。此外如巒大杉、南洋紅豆杉，甚至次生植物的台灣檫樹，皆為地球地質時代的子遺指標，可列為「世界自然遺產公約」下的活見證，無論從生物地理、島嶼生態、全球演化變遷等等考量，其學術地位無與倫比，加上台灣檜木又為特產，更是本土生態向世界援提貢獻最有潛力的題材。

總結棲蘭山檜木林於植物生態方面，可由以下幾點彰顯其傑出之普世價值：

- (1) 棲蘭山檜木林為世界上現存之少數熱帶雲霧林，全世界只有 1.4% 熱帶森林屬之，台灣為此雲霧林分布的北界。(VII)
- (2) 棲蘭山具有目前全台灣最密集與最大面積之檜木原始林，此兩種台灣特有之檜木(紅檜與台灣扁柏)為全世界 6 種扁柏屬植物中分布緯度最南者，同時蘊含著扁柏屬植物擴散歷史與跳島遷移之演化意涵，極具學術與保育價值。(IX)
- (3) 紅檜為全世界扁柏屬植物中樹徑最大者，最大胸徑可達 5.2 公尺。在棲蘭神木園區可見紅檜巨木成林之壯觀景緻。(VII)
- (4) 棲蘭山地區海拔從 500 至 2800 公尺，隨著海拔升高呈現豐富的帶狀植群變化，此外還包含數個湖泊植物社會，展現多樣的生態系面貌。(IX)
- (5) 在棲蘭檜木林中具有極高之特有種比例(38.5%)，同時蘊藏許多珍貴的子遺物種，如全世界唯一以台灣為屬名且只有一屬一種的台灣杉、另有巒大杉、南洋紅豆杉、台灣檫樹等。(X)

第二章、棲蘭山區氣候歷史

2.1.檜木林雲霧帶之氣候變遷、可能面臨的氣候壓力與古氣候重建之必須

目前世界上對於雲霧林長期氣候的研究相當缺乏，只有少數研究透過全球環流模式(General Circulation Models, GCMs)進行氣候模擬(Still et al., 1999)以及氣候觀測紀錄(Pounds et al., 1999)。Pounds (1999)於哥斯大黎加雲霧林的長期觀察發現，隨著暖化的發生與東太平洋海水表面溫度的上升，當地乾燥天數及雲量覆蓋度也隨之增加，使日溫差減少；該研究認為，雲霧帶的高度抬升，造成低地物種上移、生物群聚組成改變。溫度的上升除了改變雲霧帶位置及使降低其現頻率亦會減少當地的降雨(Barradas et al., 2010)，使雲霧森林面臨乾旱壓力，進而影響生態系統的功能。

雲霧森林由於高度依賴雲霧中的水氣因此非常容易受到氣候變化影響(Foster et al., 2001)。雲霧林中的附生植物不直接和土壤接觸，相較於林木及陸生的草本植物對環境氣候的變化更為敏感(Gentry and Dodson, 1987；Benzing, 2004)；且因附生植物所處環境溫濕度變化小，穩定的氣候條件使附生植物為對溫度與濕度的耐受性較窄，需求較專一(Hsu et al., 2012)，因此在氣候變遷下雲霧林的附生植物將首當其衝。而附生植物的覆蓋減少也將減少森林的保水性，損及其生態系功能(Mudd, 2004)。

樹木雖然對氣候的抗性較佳，但依然有可能受到氣候變遷的衝擊。邱祈榮與黃愷茹(2008)利用第三次森林資源調查的地面樣區調查紀錄，取其中含有檜木的樣區位置與溫量指數圖套合，經計算出檜木林樣區的溫量指數平均值為 103.62，標準差為 27.11；依此進一步以溫量指數建立台灣檜木林的分布函數，計算出各地的檜木潛在分布值。隨後以年均溫增加攝氏 1 度至 5 度的情形之下，模擬當檜木生態特性仍維持現有習性的前提下，檜木林潛在分布將如何變化。結果顯示若以檜木林高潛在分布值(0.8-1.0)為例，未來氣溫每增加 1 度，其在台灣分佈所占的面積比將減少約 77%(由 9.91%降到 2.31%)。即使以不同情境下模擬的未來氣候進行分析，當溫度上升，檜木林潛在分布均大幅的減少。

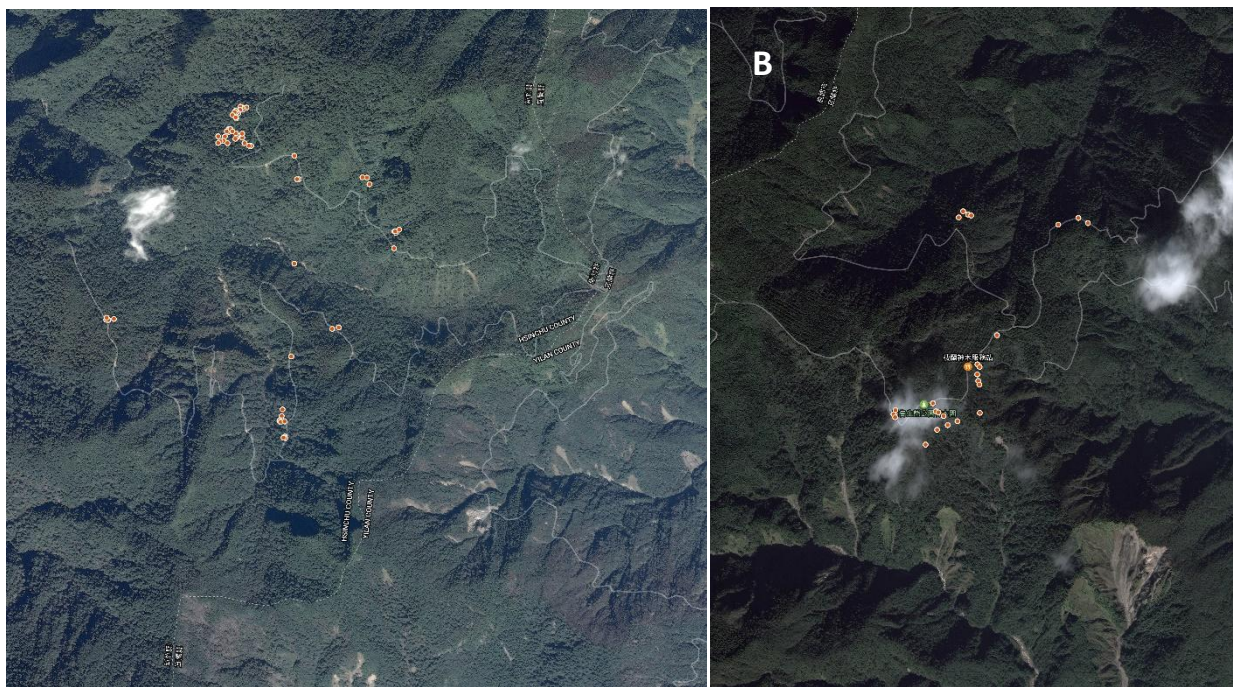
區域氣候與當地生態緊密相關，透過樹輪重建的歷史氣候得以了解生態系過去氣候的長期變動，進一步評估生態系面臨的氣候是否為極端現象，同時也能解析生態系目前的處境與面臨的壓力及變化趨勢，例如 Anchukaiti (2010)利用樹輪穩定氧同位素值的變化推估過去一世紀哥斯大黎加雲霧森林的濕度變化，發現乾季濕度與 ENSO 事件有關。在台灣東部的雲霧林，陳信豪(2015)分析紅檜樹輪中的穩定氧同位素值變化，發現該處紅檜樹輪的氧同位素變動與該處的梅雨季（五至六月）的降雨、生長季(四至九月)平均相對濕度及生長季(四至九月)的雲量有關。且經由其重建的東部霧林梅雨降雨歷史指出過去 480 年以來，

近 30 年為平均降雨最少、極端乾旱事件次數最多的時期，此顯示台灣東部雲霧森林正面臨著乾旱的壓力。棲蘭山區的雲霧林是否也面臨相同的危機？棲蘭山氣候的長期變動，不直接影響植群的動態，同時也意謂著棲蘭山近百年來生態系的變化，重建此處的古氣候不單單可以正視棲蘭山這片珍貴檜木林的處境，更可以進一步提供未來經營與保育策略的參考。

2.2. 方法

2.2.1. 樹輪取樣與樣本前處理

本研究於一〇五年五月進行棲蘭山神木園區、100 線林道、130 線林道、160 線林道及 170 線林道檜木老樹之探勘與定位，胸高樹徑超過 1 公尺之檜木所在地總計 85 處(圖六)，數量超過 100 株。於一〇五年六月及七月選擇定位樣點中胸徑較大之植株、枝幹粗、生長直挺無扭曲的樣木，以直徑 12mm HOGLOF 生長錐(Increment-borer, 長度為 800mm)進行採樣。採集時生長錐與樹幹保持垂直，取樣高度約為胸高處(1.3 公尺)，並移除附著於樹皮上的苔蘚、松蘿，並注意木材是否中空、腐朽等異常狀況以避免阻塞。樹輪樣本盡量選擇水平等高線處鑽取樹輪，以避免取到因地形效應造成的反應材；每棵樹取 1 至 2 份樹輪樣本，並以 LACBALSAM 樹皮膠密封傷口，避免真菌細菌感染。樹輪樣本取出後小心裝入硬塑膠透明吸管内，兩端以紙膠帶封口，並記錄樣本號碼、採樣日期、地理座標、胸徑、生長方向、樹輪樣本相對位置、環境特徵等相關訊息(圖七)。



圖六、棲蘭山檜木老樹樣點，A 為 160 與 170 線林道之老樹位置，B 為 100 線、130 線林道與神木園之老樹樣點。



圖七、樹輪採樣作業情況，右列圖三為日本學者以樹輪氣味區分扁柏與紅檜。

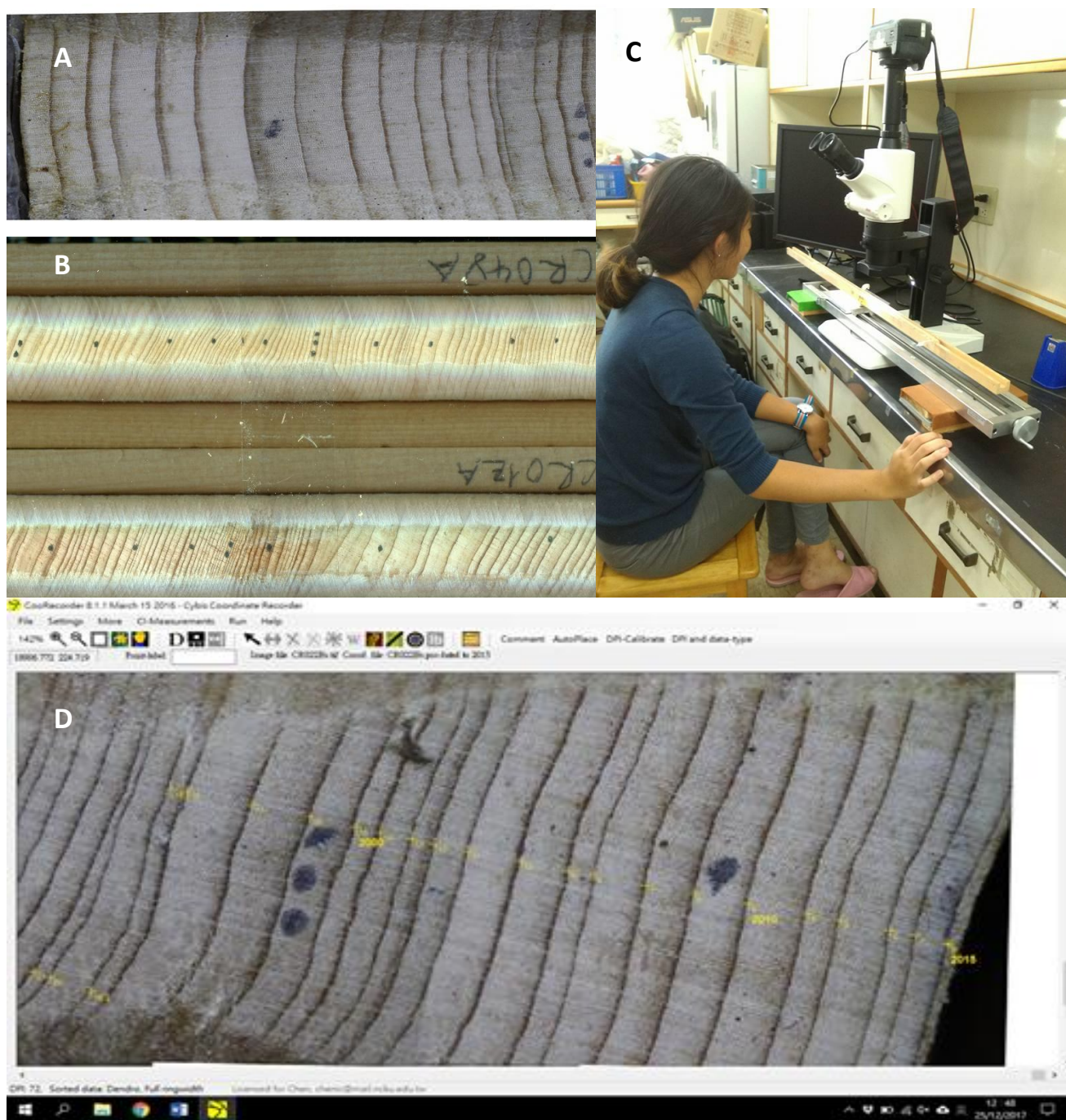
樹輪樣本前處理依循 Stokes and Smiley (1996)的步驟，包含上架、乾燥、砂磨。將樹輪自吸管内取出，因木材本身含有水分，為了避免樹輪乾燥後發生彎曲和扭轉，利用紙膠帶固定於特製木條底座上，以重物平壓，自然風乾 1-2 星期。初步乾燥後使用動物膠固定樹輪樣本於木條上，樹輪的纖維方向必須與木條垂直，並壓以重物防止彎曲，等待乾燥。完全乾燥後，以電動砂磨機進行研磨，至可清楚辨識細胞大小並且能清楚判視樹輪界線。



2.2.2 定年與年表建立

(1) 目視交叉定年(Visual Cross-dating)：目的在藉由比對不同樹輪樣本輪寬之間的變異或特徵型態，以得到樹間年輪序列相似的結果。本研究初步於顯微鏡下以目視定年，挑選樹輪樣本無過多壓縮或釋放的輪紋進行測量，已避開區域向的樣區擾動(Cook and Kairiukastis, 1990)所造成的干擾。交叉定年過程，以每隔 10 年、50 年、100 年於樹輪樣本以鉛筆標誌不同記號(分別為 1、2、3 個實心黑點)，以斜線劃去偽輪(圖八 A、B)，並利用示意圖定年法(skeleton plot)繪製初步的輪寬示意圖，藉由比對樹輪樣本之間寬度變異、微小窄輪分布以及偽輪判別，依此定出準確年份。同時篩選掉腐朽或年輪難以辨認之樣本，以提高整體訊號的一致性，減少多餘的雜訊。

(2) 樹輪顯微影像建立與輪寬測量：完成目視定年之樹輪樣本利用顯微鏡放大並拍攝可辨識細胞層次之影像，以影像繪圖軟體 Photoshop 自動拼接成完整樹輪顯微影像，再手動檢查與微調確保影像正確接合。組合完成之樹輪顯微影像藉由樹輪影像分析軟體 CooRecorder 分析樹輪顯微影像之輪寬，後續再以軟體 CDendro 將輪寬資料輸出成 rwl 檔以備後續分析(圖八 C、D)。建立顯微鏡影像雖比較花時間，但對於過密之樹輪仍可提供清晰可辨之影像，且能做為樹輪年輪影像的數位化保存供日後其他分析使用。



圖八、A 為顯微鏡拍攝後組合之樹輪影像局部，B 為樹輪掃描之局部影像，C 為樹輪顯微鏡影像拍攝情況。D 以樹輪分析軟體 CooRecorder 分析樹輪顯微影像之輪寬。

(3) 統計交叉定年：量測完所有樣本的輪寬資料後，使用 COFECHA 進行樣本的定年檢定(Holmes, 1983)。COFECHA 在建立所有樣本的主序列年表後，檢驗個別樹輪參數序列與共同的主序列相關性，藉以判斷定年是否正確。分別使用 30 年以及 50 年平移 1 年的設定進行所有樣本與主序列年表的比較，針對相關性較低之樣本進行重新檢視，確定是否有定年錯誤的發生，接著從所有樣本中挑出 COFECHA 相關係數大於 0.4 且定年無誤的樹輪樣本，建立樹輪寬度年表。

(4) 輪寬年表：樹輪樣本來自不同樣樹及不同方位，雖然樹木的生長反映氣候因子的變化具有一致性，但彼此仍有樹齡的差異，同時受到不同的鄰木競爭壓力、區域性擾動或是自身生長趨勢等非氣候因子影響；因此反映氣候的整合年表需去除個體差異，合成標準化的樹輪年表。本研究使用 ARSTAN 程式建立三種樹輪年表(Cook and Holmes, 1986; Holmes, 1983)：(a)標準化年表(standardized chronology, STD)：僅去除樹木生長過程中因樹齡產生生長速率差異的影響之年表，保留當時生長的訊息。(b)殘差年表(residual chronology, RES)：林木生長因環境擾動對輪寬造成持續、跨年的影響，如蟲害的發生可能影響往後幾年樹輪的生長。利用標準化年表的自回歸模式估算自回歸係數，計算殘差序列以去除此效應，所得即為殘差年表。(c)自回歸年表 (autoregressive standard, ARS)：自回歸年表是透過找出同時出現樣本序列間共同表現的變異，稱共同自相關(pooled autoregressive)，加回殘差序列中所計算出的年表。

2.2.4. 氣候重建

本研究將同時利用傳統單一年表相關模式與多序列 PLSR 模式進行氣候重建。

- (1)傳統單一輪寬主年表相關重建：本研究使用 R 的"treeclim"套件(Zang and Biondi, 2014)，以定態拔靴法(stationary bootstrap)對輪寬主年表與氣候序列重複抽樣 1000 次，篩選出與輪寬序列或同位素序列顯著相關之氣候因子及其顯著月份。再將顯著相關之氣象資料依時間序列分成前後兩段區間，先以前段氣象資料與相對應的同位素序列由迴歸分析建立線性模式，再以後段氣象資料驗證此模式；而後改以後段氣象資料建立線性模式，由前段資料進行驗證。當兩模式皆能通過驗證時，表示模式穩定可以用於氣候重建。模式驗證的判定依據包含相關係數、誤差縮減(Reduction of error, RE)及效率係數(Coefficient of efficiency, CE)。RE 與 CE 之檢驗值範圍一樣，其結果為 1 至負無限大，但 CE 值檢驗較為嚴格，難以通過，因此兩檢驗值中有一者數值大於零，該線性模型即可用於氣候重建 (Cook and Kairiukstis, 1990)。
- (2) 多序列偏最小平方迴歸法重建：以偏最小平方迴歸(partial least square regression, PLSR)建立氣候與輪寬之關係模型，模式驗證採取 leave one out 進行多次建模與驗證，最後以 RE 大於 0.2 作為可氣候重建之篩選標準。

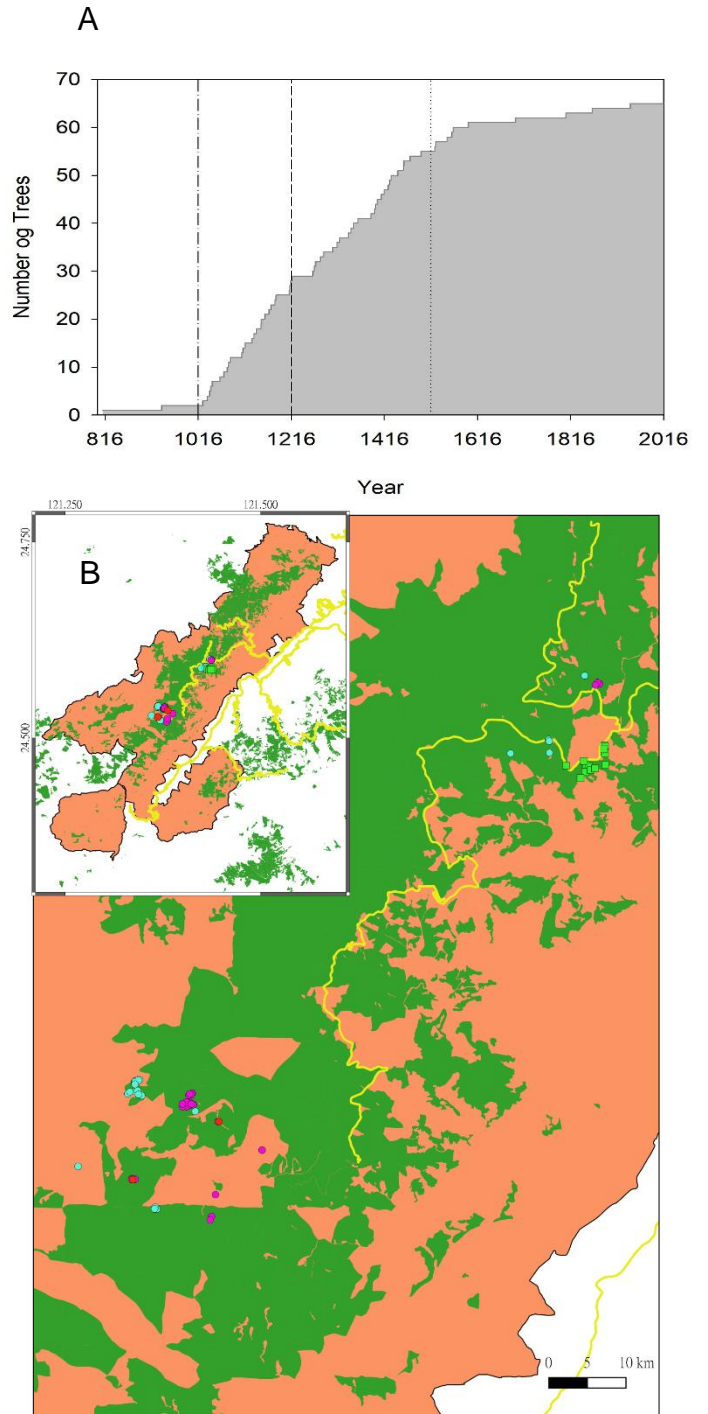
2.2.5. 氣候因子

Source	period	Variables
Taiwan Climate Change Projection and Information Platform (TCCIP)	1960-2014	Precipitation, Temperature, Tmax, Tmin, Bioclim (generated by P, Tmax, and Tmin)
Climatic Research Unit (CRU)	1901-2016	Self-calibrating Palmer Drought Severity Index (scPDSI), Cloud Cover, Vapor Pressure, Potential Evapotranspiration
National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)	1856-2017	Kaplan Extended SST V2
	1882-2016	Southern Oscillation Index (SOI)
	1900-2016	Pacific Decadal Oscillation (PDO)
	1871-2015	Extended Multivariate ENSO Index (MEI.ext)
The Study of Kuroshio Ecosystem Dynamics for Sustainable Fisheries (SKED)	1966-2012	Kuroshio volume transport
National Aeronautics and Space Administration (NASA Data)	1979-2012	La Niño Index (LI), El Niño Index (EI), ENSO Precipitation Index (ESPI)

2.3.結果

本研究於一〇五年六月與七月總計由65棵檜木取得100支樹輪。其中樹輪樣本時間長度超過1000年的有兩棵，超過800年的有28棵，超過500年的有55棵(圖九A)。此外這些老樹之中，因受限於取樣工具長度(80cm)，大部分樣本並未抵達樹心，因此超過1000年之存活老樹數量應遠大於此。老樹多位於170與160線林道(圖九B)。

經統計交叉定年選出其中7支高相關性之樹輪，利用此7支樹輪輪寬各別去除生長趨勢合成一標準化年表(圖十A)及殘差年表與自迴歸年表。以 $RE > 0.2$ 進行重建之篩選，個氣候變數皆無法由主序列(STD, RES, ARS)進行重建。而藉由PLSR模式比以傳統單一主年表更能獲得較好的氣候重建(表四)。棲蘭檜木的輪寬主要反映棲蘭山區的溫度特性(表四)，其中年均高溫與年均日溫差、年內溫度同質性呈高度正相關($r=0.8$)，1990為近期年均高溫最高、日溫差最大且年內同質性最高的時期(圖十一A)。而溫度季節性與最冷季均溫及最高溫呈高度負相關($r=-0.9$)，顯示1990為近期溫度季節性最低乃因最冷季溫度升高所致(圖十一A)。



圖九、A 棲蘭檜木老樹樹輪年分與數量(三條不同之虛線由左至右分別為距今1000年、800年及500年之分界)。B 棲蘭山樣木位置與樹齡(紅色圓點大於1000年，紫色800-1000年，藍色500-800年)，淡綠色點為棲蘭神木園紅檜巨木所在。

表四、PLSR 重建結果(RE >0.2). Determination coefficient calculated on calibration data (R^2), determination coefficient calculated on leave one out verification data (RE).

Variables	Calibration period	month	R^2	RE
Bioclim	1960-2014	BIO1, BIO2, BIO3, BIO4, BIO11	0.42-0.47	0.31-0.37
Temperature	1960-2014	Jan., Mar., Jun., Jan.-Feb., Mar.-May, May-Jun., Sep.-Nov., Annual	0.35-0.46	0.23-0.36
Tmax	1960-2014	Jan., Mar., Oct., Nov., Jan.-Feb., Sep.-Nov, Annual	0.35-0.50	0.23-0.38
Tmin	1960-2014	Jul., Jul.-Sep., Annual	0.35-0.36	0.20-0.25
Kuroshio volume	1966-2012	Jun.	0.37	0.26
La Niño Index (LI)	1979-2012	Mar.-May	0.50	0.24

BIO1 = Annual Mean Temperature

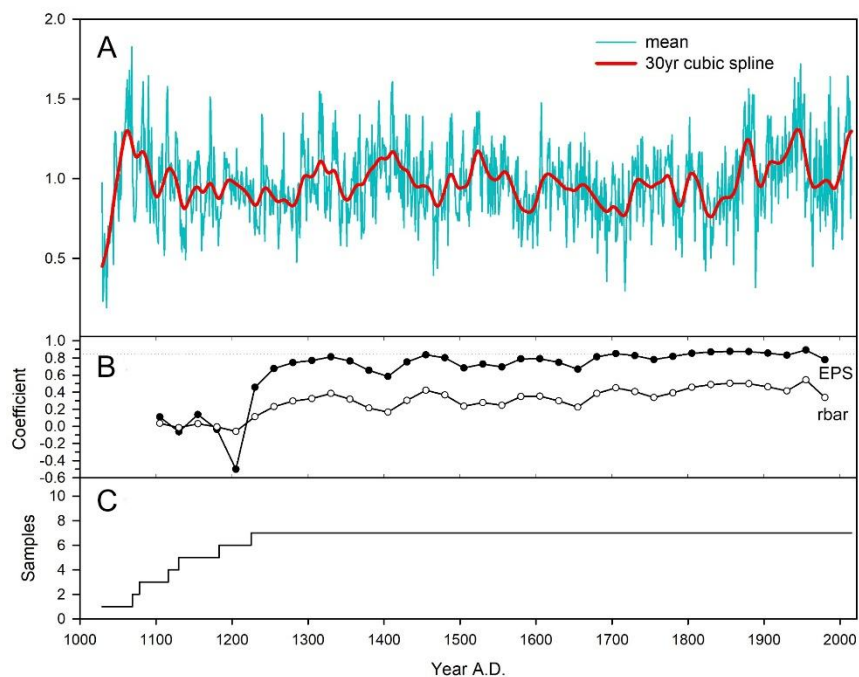
BIO2 = Mean Diurnal Range (Mean of monthly (max temp - min temp))

BIO3 = Isothermality (BIO2/BIO7) (* 100)

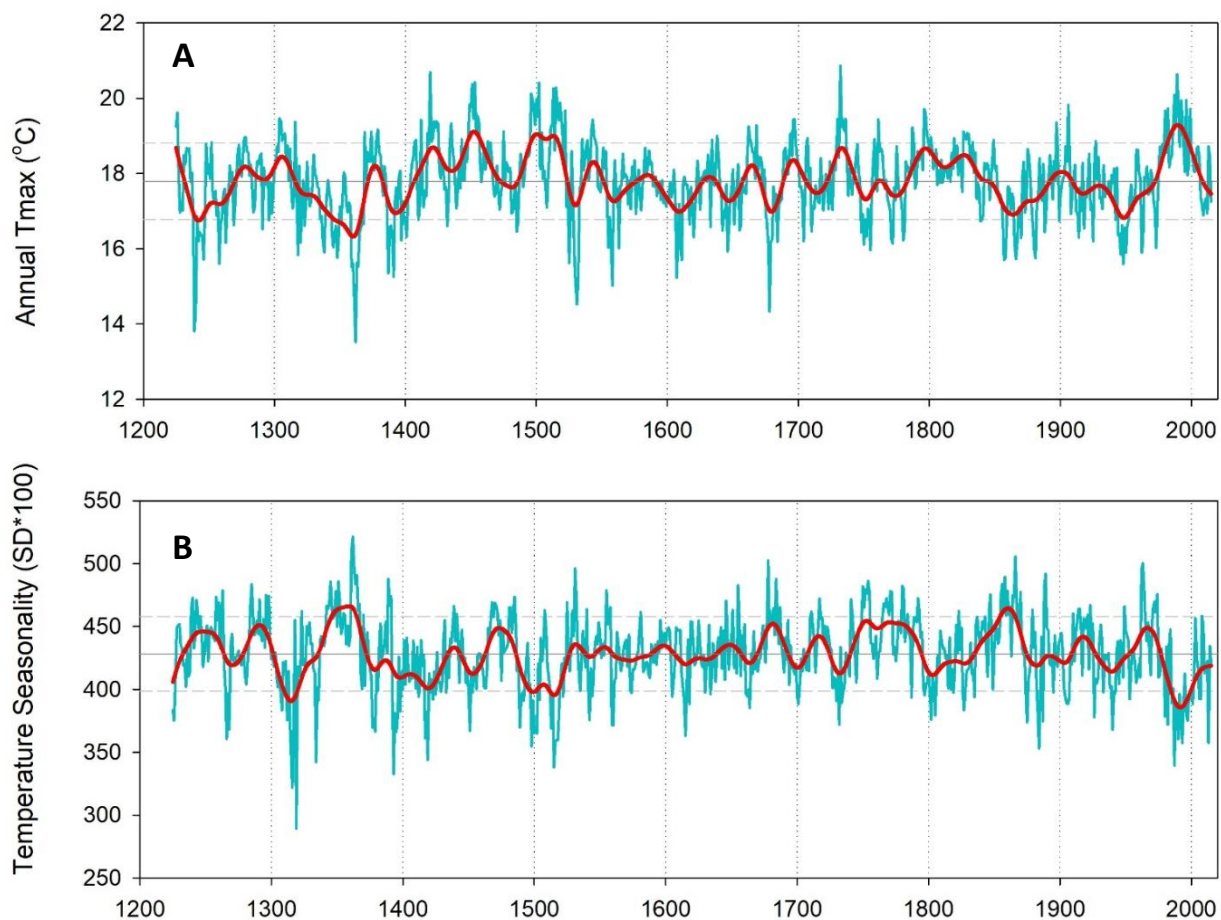
BIO4 = Temperature Seasonality (standard deviation *100)

BIO7 = Temperature Annual Range (BIO5-BIO6)

BIO11 = Mean Temperature of Coldest Quarter



圖十、輪寬標準化年表與 30 年平滑化變化(A)，樣本總量代表性(EPS)與樣本間的平均相關係數(rbar)(B)，不同時間點之樹輪樣本數(C)。



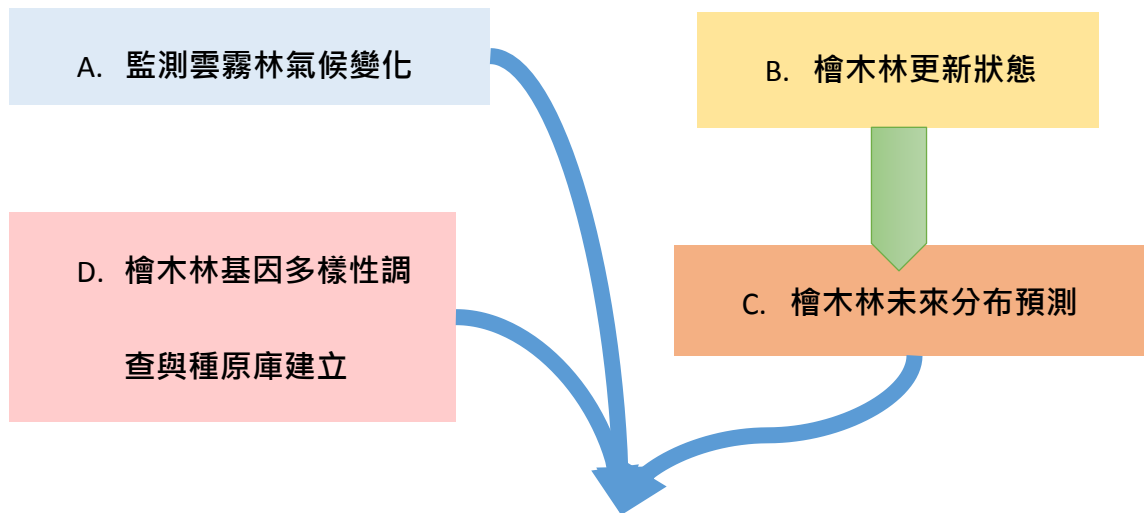
圖十一、輪寬重建之年均高溫 A，年內溫度變異度 B。

第三章、棲蘭檜木林監測管理建議

棲蘭檜木林的保存與經營，首先須了解檜木林生存的環境需求、在氣候變遷下的反應，才能模擬未來氣候變化下檜木林的分布變化，進一步採取積極的保育策略(如保種、人工復育等)。

1. 監測雲霧林氣候變化: 台灣的檜木林分布於山區的霧林帶，霧林帶是一非常特殊的生態系，其獨特的環境條件對檜木林及其他伴生植物非常重要，但目前對於此生態系中重要的環境特徵--雲霧的長期變化仍所知甚少，甚至雲霧帶的明確範圍與長期變動至今仍未有定論。面對氣候變遷未來雲霧帶將如何變化更因過去資料缺乏而無法預測，自然也無法對此生態系提出應變氣候變遷的策略;因此針對檜木林的保存與永續經營可沿著不同海拔點建立監測點，監控雲霧、溫度、雨量與光度等環境因子的變化。
2. 檜木林更新狀態: 針對自然更新、人工林及不同林型內的檜木林，監測其更新及生長狀況，藉此獲得不同環境與物種交互作用下的檜木生長與更新參數，可用以未來建立氣候變化可能對檜木林產生的影響，包含影響層面，區域。
3. 檜木林未來分布預測: 蒐集文獻、林業紀錄及近代森林調查資料，彙整出檜木分布之區域，以分布模式模擬檜木林可能的適存區域及未來氣候變遷下可能的分布變化，此可提供保育策略擬定之參考。邱祈榮與黃愷茹(2008)早已從此觀點進行模擬與思考檜木林的保育，其以溫量指數配合第三次森林資源調查之檜木分布樣區來建立檜木林的分布函數，並以此模擬不同的長期氣候變動下檜木林的潛在分布變化。雖然檜木林的分布與氣候變遷對其的真實影響可能遠比以溫量指數進行模擬之結果，但可見此模擬之必需性，同時也指出我們對影響檜木生存之環境因子的了解之受限，需有更進一步的研究與紀錄。
4. 檜木林基因多樣性調查與種原庫建立: 台灣地形複雜，鄰近的區域可能因坡向、坡度等不同而有差異極大的微氣候，台灣的檜木於全島不同分布地必然面對迥異的氣候條件，經由長期之環境篩選可能造就不同地區檜木林的遺傳特殊性，黃生等人(2007)針對檜木林群落生態系復育提出由基因多樣性面向之觀點，建議利用分子遺傳標記對生態系復育的過程提供遺傳監控。其中包含四大方向:「(1) 利用分子標記於記錄物種過去的族群演化史包括瞭解個體、族群及區域間的遺傳差異;(2) 利用遺傳標記以監控林木群落復育的遺傳分群及地域遺傳分化;(3) 在林木群落復育的過程藉由有效分子標記特殊之地域性或族群專一性之適應性遺傳變異檢驗，以發掘可利用之遺傳基因變異;(4) 新病源的早期遺傳篩檢」。遺傳變異型式的普查可避免不同種原混雜於造林地而危害新造林及天然林之生態系穩定。此外為維持造林時之種原多樣性，於遺傳普查之外建立種原庫保種也是必需的。

5. 保育策略: 綜合上訴雲霧環境之監測、檜木對氣候之生長與更新及分布模擬、基因多樣性普查與種原庫建立,可建議未來在檜木可能的適存區域採用合適之種原建立人工檜木林。
6. 與世界其他霧林帶管理機構建立連結: 建立與世界其他檜木林的管理機構之連結,可藉此學習其保育與管理經驗,加速台灣檜木林保育策略的擬定,同時可增加台灣檜木林在世界的曝光度與突顯台灣檜木林在世界之特殊性。



參考文獻

- Anchukaitis, K. J., & Evans, M. N. (2010). Tropical Cloud Forest Climate Variability and the Demise of the Monteverde Golden Toad. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(11), 5036-5040.
- Barradas, VL., Cervantes-Pérez, J., Ramos-Palacios, R., Puchet-Anyul, C., Vázquez-Rodríguez, P., & Granados-Ramirez, R. (2010). Meso-Scale Climate Change in the Central Mountain Region of Veracruz State, Mexico. In *In Tropical Montane Cloud Forests: Science for Conservation and Management*, edited by F.N. Scatena & L.S. Hamilton L.A. Bruijnzeel, 549–556. Cambridge: Cambridge University Press.
- Benzing, D. H. (1998). Vulnerabilities of Tropical Forests to Climate Change: The Significance of Resident Epiphytes. In *Potential Impacts of Climate Change on Tropical Forest Ecosystems*, 379-400: Springer.
- Bruijnzeel, L. A., Mulligan, M., & Scatena, F. N. (2011). Hydrometeorology of tropical montane cloud forests: emerging patterns. *Hydrological Processes*, 25(3), 465-498. doi:10.1002/hyp.7974
- Bubb, P., May, I. A., Miles, L., & Sayer, J. (2004). *Cloud forest agenda: UNEP World Conservation Monitoring Centre*.
- Chang, S. C., Lai, I., & Wu, J. T. (2002). Estimation of Fog Deposition on Epiphytic Bryophytes in a Subtropical Montane Forest Ecosystem in Northeastern Taiwan. *Atmospheric Research*, 64(1), 159-167.
- Chang, S.C., Yeh, C.F., Wu, M.J., Hsia, Y.J., Wu, J.T. (2006). Quantifying fog water deposition by in situ exposure experiments in a mountainous coniferous forest in Taiwan. *Forest Ecology and Management*, 224, 11-18.
- Cook, Edward R, & Holmes, Richard L. (1986). Users manual for program ARSTAN. *Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, USA*.
- Cook, Edward R, & Kairiukstis, Leonardas A. (1990). *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*: Springer.
- Dawson, T. E. (1998). Fog in the California redwood forest: ecosystem inputs and use by plants. *Oecologia*, 117(4), 476-485.
- Foster, P. (2001). The Potential Negative Impacts of Global Climate Change on Tropical Montane Cloud Forests. *Earth-Science Reviews*, 55(1), 73-106.
- Freiberg, M., & Freiberg, E. (2000). Epiphyte diversity and biomass in the canopy of lowland and montane forests in Ecuador. *Journal of Tropical Ecology*, 16, 673-688.
doi:10.1017/s0266467400001644
- Gentry, A. H., & Dodson, CH. (1987). Diversity and Biogeography of Neotropical Vascular Epiphytes. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 205-233.

- Gotsch, S. G., Asbjornsen, H., Holwerda, F., Goldsmith, G. R., Weintraub, A. E., & Dawson, T. E. (2014). Foggy days and dry nights determine crown-level water balance in a seasonal tropical montane cloud forest. *Plant, cell & environment*, 37(1), 261-272.
- Harlow, W.M., & Harrar. (1950). *Textbook of dendrochrology*, 220-231.
- Holder, C. D. (2004). Rainfall interception and fog precipitation in a tropical montane cloud forest of Guatemala. *Forest Ecology and Management*, 190(2-3), 373-384. doi:10.1016/j.foreco.2003.11.004
- Holmes, Richard L. (1983). Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-ring bulletin*, 43(1), 69-78.
- Hsu, C-C, R., Tamis, W. LM., Raes, N., Geert R de Snoo, Wolf, J. HD., Oostermeijer, G., & Lin, S.H. (2012). Simulating Climate Change Impacts on Forests and Associated Vascular Epiphytes in a Subtropical Island of East Asia. *Diversity and distributions*, 18(4), 334-347.
- Laderman, A.D. (1998). *Coastally Restricted Forests*. Oxford University Press.
- Leo, M. (1995). The importance of tropical montane cloud forest for preserving vertebrate endemism in Peru: the Rio Abiseo National Park as a case study *Tropical montane cloud forests* (pp. 198-211): Springer.
- Liao, P.J., Lin, T.P., and Hwang, S.Y. (2010). Reexamination of the pattern of geographical disjunction of *Chamaecyparis* (Cupressaceae) in North America East Asia. *Bot. Stud.* 51: 511-520.
- Li, J., Zhang, D., & Donoghue, M. H. (2003). Phylogeny and biogeography of *Chamaecyparis* (Cupressaceae) inferred from DNA sequences of nuclear ribosomal its region, *Rhodora*, 105(922), 106-117.
- Mudd, R. G. (2004). Significance of the Epiphyte Layer to Stem Water Storage in Native and Invaded Tropical Montane Cloud Forests in Hawai 'I. Senior Thesis. Global Environmental Science, University of Hawai'i at Manoa.
- Oliveira, R. S., Eller, C. B., Bittencourt, P. R. L., & Mulligan, M. (2014). The hydroclimatic and ecophysiological basis of cloud forest distributions under current and projected climates. *Annals of Botany*, 113, 909-920. doi:10.1093/aob/mcu060
- Pounds, J. A., Fogden, M. PL., & Campbell, J. H. (1999). Biological Response to Climate Change on a Tropical Mountain. *Nature*, 398(6728), 611-615.
- Scatena, F., Bruijnzeel, L., Bubb, P., and Das., S. (2010). Setting the stage. *Tropical montane cloud forests: science for conservation and management*, 3-13.
- Schulz, H. M., Thies, B., Chang, S.-C., and Bendix, J. (2016) Detection of ground fog in mountainous areas from MODIS (Collection 051) daytime data using a statistical approach, *Atmos. Meas. Tech.*, 9, 1135-1152.
- Schulz HM, Li C-F, Thies B, Chang S-C, Bendix J (2017) Mapping the montane cloud forest of Taiwan using 12 year MODIS-derived ground fog frequency data. *PLoS ONE* 12(2), 1-17
- Still, C. J., Foster, P. N., & Schneider, S. H. (1999). Simulating the Effects of Climate Change on Tropical Montane Cloud Forests. *Nature*, 398(6728), 608-610.
- Stokes, Marvin A., and Smiley, T.C. (1996). *An Introduction to Tree-Ring Dating*. Tucson: The University of

Arizona Press.

Thies, B.; Groos, A.; Schulz, M.; Li, C.-F.; Chang, S.-C.; Bendix, J.(2015) Frequency of Low Clouds in Taiwan Retrieved from MODIS Data and Its Relation to Cloud Forest Occurrence. *Remote Sens.* 7, 12986-13004.

Wang, W.P., Hwang, C.Y., Lin, T.P., & Hwang, S.Y. (2003). Historical biogeography and phylogenetic relationships of the genus *Chamaecyparis* (Cupressaceae) inferred from chloroplast DNA polymorphism. *Plant Syst. Evol.* 241: 13-28.

Wilson, A. M., and Jetz, W. (2016). Remotely Sensed High-Resolution Global Cloud Dynamics for Predicting Ecosystem and Biodiversity Distributions. *PLOS Biology* 14:e1002415.

Zang, Christian and Franco Biondi. (2014). Treeclim: An R Package for the Numerical Calibration of Proxy- Climate Relationships. *Ecography.* 38(4), 431-436.

Zhang, D. C., T. (2013). *Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*. The IUCN Red List of Threatened Species 2013: e.T34076A2843748. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T34076A2843748.en>

王震哲. (2000). 棲蘭山檜木林區植物資源調查研究. 國立台灣師範大學生物系. 內政部營建署太魯閣國家公園管理處委託.

朱恩良. (2004). 棲蘭野生動物重要棲息環境植群生態之研究. (碩士), 國立中興大學, 台中市.
呂勝由、林明志(編). (1996). 台灣稀有及瀕危植物之分級. 彩色圖鑑(I). 行政院農業委員會出版.

呂勝由、邱文良(編). (1997). 台灣稀有及瀕危植物之分級. 彩色圖鑑(II). 行政院農業委員會出版.

呂勝由、邱文良(編). (1998). 台灣稀有及瀕危植物之分級. 彩色圖鑑(III). 行政院農業委員會出版.

呂勝由、邱文良(編). (1999). 台灣稀有及瀕危植物之分級. 彩色圖鑑(IV). 行政院農業委員會出版.

杜士伯、沈克夫、袁行知. (1956). 台灣之森林資源. 中華農村復興委員會特刊第18號. p.53

林進龍. (2007). 棲蘭山檜木林冠層下檜木栽植苗之生長表現. (碩士), 國立宜蘭大學, 宜蘭縣.

松浦作治郎. (1936). 台灣森林土壤のポドゾール(Podzol)に就て(予報). 台灣の山林. 138:50-51.

松浦作治郎. (1939). タイワンヒノキ、ベニヒ種子浸水時間別粒數分配. 台灣の山林. 153:28.

松浦作治郎. (1942). 稚樹稚苗消長環境要素關係. 台灣總督府林業試驗所報告地5號. p. 191

柳楮. (1975). 台灣檜木之生態. 台灣林業. 1(13):23-27.

柳楮. (1985). 環境、苗齡與種源對三種檜木及鐵杉葉部阻力之影響. 現代育林. 1(1):5-17.

周昌弘、陳子英、廖敢政、彭鏡毅. (2000). 鴛鴦湖森林生態系長期生態研究 I. 植被組成及分析 *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, Vol. 41.

邱祈榮、黃愷茹. (2008). 台灣檜木林於氣候變遷衝擊之模擬林業研究專訊 Vol.15 No.2.

洪耀淇. (1975). 木材辨識：台灣扁柏、紅檜. 台灣林業. 1(8):38-39.

- 梁亞忠。(1992)。棲蘭山檜木野生苗微生育地之日照與氣溫調查。(碩士)，國立臺灣大學，台北市。
- 陳子英。(2002)。棲蘭野生動物重要棲息環境植群棲地調查。國立宜蘭技術學院。行政院農業委員會林務局羅東林區管理處。138頁。
- 陳子英。(2004)。蘭陽溪的植群分類系統之研究。臺大實驗林研究報告。蘇鴻傑教授榮譽退休紀念專刊。18(3): 171-206。
- 陳子英、許秀英、吳欣玲。(2002)。棲蘭山170林道檜木之植群調查。宜蘭技術學報(9)。
- 徐國士、呂勝由。(1984)。台灣的稀有植物。渡假出版社。189頁。
- 徐國士、林則桐、呂勝由、邱文良。(1985)。墾丁國家公園稀有植物調查報告。內政部營建署墾丁國家公園管理處委託台灣省林業試驗所執行。101+Viii頁。
- 黃生、關秉宗、黃士穎。(2007)。檜木林群落生態系復育—基因多樣性理論與實務之連結。台灣林業。33(5): 25-28。
- 黃錦源。(1999)。紅檜與臺灣扁柏族群粒線體DNA。(碩士)，中國文化大學，台北市。
- 黃增泉。(1991)。台灣植物誌(Flora of Taiwan)。1。台灣植物誌第二版編輯委員會
- 黃增泉。(1999)。台灣地區稀特有植物名錄。國立台灣大學植物學系。
- 賴宜鈴。(2006)。光環境對臺灣棲蘭山區亞熱帶雲霧林內兩種檜木小苗生長與建立之影響。(博士)，國立臺灣大學，台北市。
- 賴宜鈴。(2006)。光環境對臺灣棲蘭山區亞熱帶雲霧林內兩種檜木小苗生長與建立之影響。(博士)，國立臺灣大學，台北市。
- 郭寶章。(1992)。育林學各論。茂昌圖書公司。
- 郭寶章。(2001)。台灣貴重針葉五木。中華林學叢書，956。
- 郭福麟、林仕杰、廖啟政、王震哲。(2006)。大漢河流域之森林植群分析。第四屆台灣植群多樣性研討會論文集。行政院農業委員會林務局。pp.134-176。
- 簡意婷。(2008)。棲蘭山樣區大氣沉降之5年研究。(碩士)，國立東華大學，花蓮縣。
- 魏瑞廷。(2006)。棲蘭山地區檜木林物種多樣性之研究。(碩士)，國立宜蘭大學，宜蘭縣。
- 廖啟政。(2005)。臺灣北部溫帶針葉林之植物組成及檜木的更新。第三屆台灣植群多樣性研討會論文集。行政院農業委員會林務局。pp.23-46。
- 蘇鴻傑。(1992)台灣之植群：山地植群帶與地理氣候區。彭鏡毅編。台灣生物資源調查及資訊管理研習會論文集。中央研究院植物研究所專刊第十一號。pp.39-53。
- 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。
- 賴明洲。(1991)。台灣植物紅皮書—稀有及瀕危植物種類之認定與保護等級之評定。行政院農委會八十年生態研究第12號。113+vi頁。
- 魏瑞廷、陳子英。(2007)。棲蘭山地區植群之研究臺大實驗林研究報告 Jour. Exp. For. Nat. Taiwan Univ. 21(2): 133-145。
- 雷鴻飛。(2014)。棲蘭山檜木林世界遺產潛力點設置要點研究(2/2)行政院農業委員會林務局林業發展計畫 103 林發-08.1-保-17

附錄一、棲蘭山區珍稀植物名錄

family	科名	中文名	學名	is_endemic
Aceraceae	槭樹科	臺灣掌葉槭	<i>Acer palmatum</i> Thunb. var. <i>pubescens</i> Li 1952	
Aquifoliaceae	冬青科	雲南冬青	<i>Ilex yunnanensis</i> Fr. var. <i>parvifolia</i> (Hayata) S. Y. Hu 1949	
Araceae	天南星科	長行天南星	<i>Arisaema consanguineum</i> Schott, 1859	
Araceae	天南星科	宜蘭天南星	<i>Arisaema ilanense</i> J. C. Wang, 1996	1
Araceae	天南星科	東臺天南星	<i>Arisaema thunbergii</i> J. Murata subsp. <i>autumnale</i> J. C. Wang, J. Murata & H. Ohashi 1996	1
Araliaceae	五加科	臺灣樹參	<i>Dendropanax dentiger</i> (Harms ex Diels) Merr., 1941	
Araliaceae	五加科	臺灣八角金盤	<i>Fatsia polycarpa</i> Hayata, 1908	
Araliaceae	五加科	臺灣五葉參	<i>Pentapanax castanopsisicola</i> Hayata, 1915	1
Araliaceae	五加科	華參	<i>Sinopanax formosana</i> (Hayata) Li, 1949	1
Aristolochiaceae	馬兜鈴科	鴛鴦湖細辛	<i>Asarum crassusepalum</i> S. F. Huang, T. H. Hsieh & T. C. Huang, 1995	1
Aristolochiaceae	馬兜鈴科	太平山細辛	<i>Asarum taipingshanianum</i> S. F. Huang, T. H. Hsieh & T. C. Huang, 1995	1
Aspidiaceae	三叉蕨科	馬祖耳蕨	<i>Polystichum tsus-simense</i> (Hook.) J. Sm., 1875	
Balsaminaceae	鳳仙花科	黃花鳳仙花	<i>Impatiens tayemonii</i> Hayata, 1915	1
Berberidaceae	小檗科	眠月小檗	<i>Berberis mingetsensis</i> Hayata, 1915	
Berberidaceae	小檗科	八角蓮	<i>Dysosma pleiantha</i> (Hance) Woodson, 1928	
Berberidaceae	小檗科	阿里山十大功勞	<i>Mahonia oiwakensis</i> Hayata, 1916	1
Blechnaceae	烏毛蕨科	韓氏烏毛蕨	<i>Blechnum hancockii</i> Hance, 1883	
Blechnaceae	烏毛蕨科	雉尾烏毛蕨	<i>Blechnum melanopus</i> Hook., 1860	
Boraginaceae	紫草科	山豆根	<i>Heliotropium formosanum</i> I. M. Johnst., 1951	
Celastraceae	衛矛科	刺果衛矛	<i>Euonymus spraguei</i> Hayata, 1911	
Celastraceae	衛矛科	佩羅特木	<i>Perrottetia arisanensis</i> Hayata, 1915	
Cephalotaxaceae	粗榧科	臺灣粗榧	<i>Cephalotaxus wilsoniana</i> Hayata, 1914	1
Cornaceae	山茱萸科	臺灣青莢葉	<i>Helwingia japonica</i> (Thunb.) Dietr. subsp. <i>taiwaniana</i> Yang & Liu	
Cornaceae	山茱萸科	燈台樹	<i>Swida controversa</i> (Hemsl.) Sojak, 1960	
Cupressaceae	柏科	臺灣肖楠	<i>Calocedrus macrolepis</i> Kurz var. <i>formosana</i> (Florin) Cheng & L.K. Fu. 1978	

Cupressaceae	柏科	紅檜	<i>Chamaecyparis formosensis</i> Matsum., 1901	1
Cupressaceae	柏科	臺灣扁柏	<i>Chamaecyparis obtusa</i> Siebold & Zucc. var. <i>formosana</i> (Hayata) Rehder 1914	
Dennstaedtiaceae	碗蕨科	岩穴蕨	<i>Monachosorum maximowiczii</i> (Bak.) Hayata, 1909	
Dryopteridaceae	鱗毛蕨科	長苞雙蓋蕨	<i>Diplazium squamigerum</i> (Mett.) Hope, 1902	
Dryopteridaceae	鱗毛蕨科	東方莢果蕨	<i>Onoclea orientalis</i> (Hook.) Hook., 1862	
Ericaceae	杜鵑花科	臺灣吊鐘花	<i>Enkianthus perulatus</i> Schneider, 1911	
Ericaceae	杜鵑花科	臺灣馬醉木	<i>Pieris taiwanensis</i> Hayata, 1911	
Ericaceae	杜鵑花科	棲蘭山杜鵑	<i>Rhododendron chilanshanense</i> Kurashige, 1999	1
Ericaceae	杜鵑花科	臺灣杜鵑	<i>Rhododendron formosanum</i> Hemsl., 1895	
Ericaceae	杜鵑花科	著生杜鵑	<i>Rhododendron kawakamii</i> Hayata, 1911	1
Ericaceae	杜鵑花科	凹葉越橘	<i>Vaccinium emarginatum</i> Hayata, 1908	
Fabaceae	豆科	菊花木	<i>Bauhinia championii</i> (Benth.) Benth., 1861	
Fagaceae	殼斗科	谷園青剛櫟	<i>Cyclobalanopsis glauca</i> (Thunb. ex Murray) Oerst. var. <i>kuyuensis</i> (Liao) Liao 1971	
Fagaceae	殼斗科	赤皮	<i>Quercus gilva</i> Blume	
Gentianaceae	龍膽科	鴛鴦湖龍膽	<i>Gentiana flavomaculata</i> Hayata var. <i>yuanyanghuensis</i> C. H. Chen 1999	
Geraniaceae	牻牛兒苗科	老鸛草	<i>Geranium wilfordii</i> Maxim, 1880	
Gleicheniaceae	裏白科	鱗芽裏白	<i>Diplopterygium laevissimum</i> (Christ) Nakai, 1950	
Hymenophyllaceae	膜蕨科	寬片膜蕨	<i>Hymenophyllum simonsianum</i> Hook., 1860	
Lardizabalaceae	木通科	白木通	<i>Akebia trifoliata</i> (Thunb.) Koidz. subsp. <i>australis</i> (Diels) T. 1961	
Lauraceae	樟科	土肉桂	<i>Cinnamomum insulari-montanum</i> Hayata, 1913	1
Lauraceae	樟科	牛樟	<i>Cinnamomum kanehirae</i> Hayata, 1913	1
Lauraceae	樟科	鐵釘樹	<i>Lindera erythrocarpa</i> Makino, 1897	
Lauraceae	樟科	豬腳楠	<i>Machilus thunbergii</i> Sieb. & Zucc., 1847	
Lauraceae	樟科	臺灣檫樹	<i>Sassafras randaiense</i> (Hayata) Rehder, 1920	1
Loganiaceae	馬錢科	多花蓬萊葛	<i>Gardneria multiflora</i> Makino, 1901	
Lycopodiaceae	石松科	福氏石松	<i>Huperzia fordii</i> (Baker) R. D. Dixit, 1984	
Lycopodiaceae	石松科	千層塔	<i>Huperzia serrata</i> (Thunb. ex Murray) Trev., 1874	
Lycopodiaceae	石松科	相馬氏石杉	<i>Huperzia somae</i> (Hayata) Ching, 1981	
Lycopodiaceae	石松科	臺灣石松	<i>Lycopodium taiwanense</i> Kuo, 1985	
Magnoliaceae	木蘭科	十大功勞	<i>Mahonia japonica</i> (Thunb. ex Murray) DC., 1821	
Magnoliaceae	木蘭科	臺灣烏心石	<i>Michelia compressa</i> (Maxim.) Sargent var. <i>formosana</i> Kaneh. 1930	1

Meliaceae	楝科	臭椿	<i>Ailanthus altissima</i> (Miller) Swingle var. <i>tanakai</i> (Hayata) Sasaki 1928	1
Myrsinaceae	紫金牛科	短莖紫金牛	<i>Ardisia brevicaulis</i> Diels, 1900	
Myrsinaceae	紫金牛科	裡莖紫金牛	<i>Ardisia violacea</i> (T. Suzuki) W. Z. Fang & K Yao, 1979	1
Orchidaceae	蘭科	罈花蘭	<i>Acanthephippium sylhetense</i> Lindl., 1830	
Orchidaceae	蘭科	臺灣金線蓮	<i>Anoectochilus formosanus</i> Hayata, 1914	1
Orchidaceae	蘭科	白毛捲瓣蘭	<i>Bulbophyllum albociliatum</i> (Liu & Su) Nackejima, 1973	
Orchidaceae	蘭科	穗花捲瓣蘭	<i>Bulbophyllum insulsoides</i> (Gagnep.) Seidenf., 1973	
Orchidaceae	蘭科	阿里山豆蘭	<i>Bulbophyllum pectinatum</i> Finet, 1897	
Orchidaceae	蘭科	鶴冠蘭	<i>Bulbophyllum setaceum</i> T. P. Lin, 1975	1
Orchidaceae	蘭科	傘花捲瓣蘭	<i>Bulbophyllum umbellatum</i> Lindl., 1830	
Orchidaceae	蘭科	阿里山根節蘭	<i>Calanthe arisanensis</i> Hayata, 1911	1
Orchidaceae	蘭科	黃根節蘭	<i>Calanthe sieboldii</i> Decne. ex Regel, 1868	
Orchidaceae	蘭科	柯麗白蘭	<i>Collabium chinense</i> (Rolfe) T. Tang & F. T. Wang, 1977	
Orchidaceae	蘭科	鳳蘭	<i>Cymbidium dayanum</i> Rchb. f., 1869	
Orchidaceae	蘭科	金稜邊蘭	<i>Cymbidium floribundum</i> Lindl., 1833	
Orchidaceae	蘭科	細幹石斛	<i>Dendrobium chryseum</i> Rolfe, 1888	
Orchidaceae	蘭科	新竹石斛	<i>Dendrobium falconeri</i> Hook., 1856	
Orchidaceae	蘭科	石斛	<i>Dendrobium moniliforme</i> (L.) Sw., 1799	
Orchidaceae	蘭科	著頰蘭	<i>Epigeneium fargesii</i> (Finet) Gagnep., 1932	
Orchidaceae	蘭科	蠟著頰蘭	<i>Epigeneium nakaharae</i> (Schltr.) Summerh., 1957	1
Orchidaceae	蘭科	銀線蓮	<i>Goodyera matsumurana</i> Schltr., 1906	
Orchidaceae	蘭科	香蘭	<i>Haraella retrocalla</i> (Hayata) Kudo, 1930	1
Orchidaceae	蘭科	心葉羊耳蒜	<i>Liparis cordifolia</i> Hook. f., 1889	
Orchidaceae	蘭科	臺灣一葉蘭	<i>Pleione bulbocodioides</i> (Franch.) Rolfe, 1903	
Orchidaceae	蘭科	南湖蠅蘭	<i>Tipularia odorata</i> Fukuy., 1938	1
Papaveraceae	罌粟科	博落迴	<i>Macleaya cordata</i> (Willd.) R. Brown, 1826	
Pinaceae	松科	臺灣華山松	<i>Pinus armandii</i> Franch. var. <i>mastersiana</i> Hayata 1908	
Pinaceae	松科	臺灣五葉松	<i>Pinus morrisonicola</i> Hayata, 1908	
Pinaceae	松科	臺灣二葉松	<i>Pinus taiwanensis</i> Hayata, 1911	
Pinaceae	松科	台灣黃杉	<i>Pseudotsuga wilsoniana</i> Hayata, 1915	
Pinaceae	松科	臺灣鐵杉	<i>Tsuga chinensis</i> (Franch.) Pritz. var. <i>formosana</i> (Hayata) Li & Keng 1954	
Plagiogyriaceae	瘤足蕨科	華東瘤足蕨	<i>Plagiogyria japonica</i> Nakai, 1928	

Podocarpaceae	羅漢松科	叢花百日青	<i>Podocarpus fasciculus</i> de Laubenfels, 1985	1
Podocarpaceae	羅漢松科	南洋紅豆杉	<i>Taxus sumatrana</i> (Miq.) de Laub., 1978	
Ranunculaceae	毛茛科	五葉黃連	<i>Coptis quinquefolia</i> Miq., 1867	
Ranunculaceae	毛茛科	鐵線蕨葉人字果	<i>Dichocarpum arisanensis</i> (Hayata) W. T. Wang & Hsiao, 1964	
Rosaceae	薔薇科	臺灣蘋果	<i>Malus doumeri</i> (Bois.) A. Chev., 1920	
Rosaceae	薔薇科	布氏稠李	<i>Prunus buergeriana</i> Miq., 1865	
Rosaceae	薔薇科	太平山櫻花	<i>Prunus matuurai</i> Sasaki, 1931	
Rosaceae	薔薇科	霧社山櫻花	<i>Prunus taiwaniana</i> Hayata, 1911	1
Rosaceae	薔薇科	阿里山櫻花	<i>Prunus transarisanensis</i> Hayata, 1915	1
Rosaceae	薔薇科	柳氏懸鉤子	<i>Rubus liuii</i> Yang & Lu, 1976	
Rubiaceae	茜草科	小葉四葉葎	<i>Galium trifidum</i> L., 1753	
Rutaceae	芸香科	臺灣黃蘗	<i>Phellodendron amurense</i> Rupr. var. <i>wilsonii</i> (Hayata & Kanehira) Chang 1974	1
Saxifragaceae	虎耳草科	青貓兒眼睛草	<i>Chrysosplenium delavayi</i> Fr., 1885	
Saxifragaceae	虎耳草科	臺灣貓兒眼睛草	<i>Chrysosplenium lanuginosum</i> Hook. f. & Thomson var. <i>formosanum</i> (Hayata) Hara 1957	
Saxifragaceae	虎耳草科	藤繡球	<i>Hydrangea anomala</i> D. Don, 1825	
Scrophulariaceae	玄參科	臺灣泡桐	<i>Paulownia</i> × <i>taiwaniana</i> T. W. Hu. & H. J. Chang, 1974	
Selaginellaceae	卷柏科	姬卷柏	<i>Selaginella heterostachys</i> Baker, 1885	
Sparganiaceae	黑三稜科	東亞黑三稜	<i>Sparganium fallax</i> Graebn., 1898	
Taxodiaceae	杉科	巒大杉	<i>Cunninghamia konishii</i> Hayata, 1908	1
Taxodiaceae	杉科	臺灣杉	<i>Taiwania cryptomerioides</i> Hayata, 1906	1
Trochodendraceae	昆欄樹科	昆欄樹	<i>Trochodendron aralioides</i> Siebold & Zucc., 1838	
Urticaceae	蕁麻科	畢祿山苧麻	<i>Boehmeria pilushanensis</i> Liu & Lu, 1978	1

附錄二、樹輪樣木定位點與定年

樣點	species	胸徑	樹輪時間長度	經度 (WGS84)	緯度 (WGS84)	經度 (TWD67)	緯度 (TWD67)	海拔	神木編號	附註
棲蘭神木園	紅檜	1.9	319	121.435	24.58768	293225	2720386	1594	No.4	
棲蘭神木園	紅檜	3.69	421	121.4352	24.58762	293243	2720379	1580	No.5	
棲蘭神木園	紅檜	3.35	456	121.4355	24.5874	293277	2720355	1571	No.8	鑽至心
棲蘭神木園	紅檜	1.59	466	121.4348	24.58817	293205	2720440	1644	No.1	樹心朽
棲蘭神木園	紅檜	2.82	73	121.4377	24.59051	293502	2720700	1599	No.51	
棲蘭神木園	紅檜	2.1	492	121.4379	24.59035	293517	2720683	1583	No.49	樹心朽
棲蘭神木園	紅檜	1.8	546	121.4378	24.58951	293508	2720590	1580	No.39	張衛
棲蘭神木園	紅檜	1.5	453	121.4378	24.58951	293508	2720590	1583	No.38	李清照
棲蘭神木園	紅檜	1.9	560	121.4379	24.58929	293516	2720565	1590	No.43	楊貴妃
棲蘭神木園	紅檜	1.66	211	121.4377	24.5899	293501	2720633	1591	No.40	成吉思汗，鑽至心
棲蘭神木園	扁柏	1.6	673	121.4379	24.58759	293520	2720377	1605	No.33	華陀，鑽至心
棲蘭神木園	紅檜	1.91	752	121.4351	24.58657	293234	2720263	1551	No.9	文天祥
棲蘭神木園	紅檜	1.95	608	121.4343	24.58569	293157	2720165	1524	No.12	諸葛亮,樹心朽,鑽至心
棲蘭神木園	紅檜	2.1	154	121.4358	24.58686	293305	2720295	1522	No.27	班超
棲蘭神木園	紅檜	2.6	491	121.4364	24.58709	293370	2720321	1524	No.29	光武帝
170 線沿線	扁柏	1.5	522	121.38	24.52062	287678	2712942	1856		
170 線沿線	扁柏	1	559	121.3803	24.52064	287704	2712945	1864		
170 線沿線	扁柏	1	572	121.38	24.52091	287678	2712974	1863		
170 線沿線	扁柏	1.3	601	121.3687	24.52691	286530	2713636	1955		
170 線沿線	扁柏	1.5	679	121.3799	24.52068	287669	2712949	1853		

170 線沿線	扁柏	2	802	121.3689	24.52683	286552	2713627	1947		
170 線沿線	扁柏	1.6	804	121.3684	24.52691	286503	2713636	1971		
170 線沿線	紅檜	1.5	845	121.3801	24.52137	287690	2713025	1859		
170 線沿線	扁柏	1.3	849	121.3799	24.52085	287669	2712968	1881		
170 線沿線	扁柏	1.5	905	121.3807	24.52456	287747	2713379	1858		
170 線沿線	扁柏	1.4	939	121.3684	24.52679	286500	2713622	1982		
170 線沿線	扁柏	1.6	1080	121.3686	24.52678	286515	2713621	1970		
160 線林道沿線	紅檜	1.1	712	121.3859	24.53498	288271	2714534	1881		
160 線林道沿線	扁柏	2	971	121.3811	24.53528	287782	2714566	1886		
160 線林道沿線	扁柏	1.6	977	121.3875	24.5311	288438	2714105	1893		
160 線林道沿線	扁柏	1.6	982	121.3875	24.5311	288438	2714105	1893		
160 線林道沿線	扁柏	1.9	1206	121.3812	24.53528	287795	2714566	1905		
160 線步道	扁柏	1.6	586	121.377	24.53941	287368	2715022	1907		
160 線步道	扁柏	1.3	590	121.3777	24.5396	287442	2715044	1933		
160 線步道	扁柏	1.6	593	121.376	24.53757	287266	2714818	1890		
160 線步道	扁柏	1.2	622	121.377	24.539	287369	2714977	1915		
160 線步道	扁柏	1.3	667	121.3775	24.5396	287413	2715044	1918		
160 線步道	扁柏	1.7	732	121.3771	24.53934	287378	2715015	1908		
160 線步道	扁柏	1.5	739	121.3776	24.53957	287426	2715040	1894		
160 線步道	扁柏	2	755	121.3763	24.53785	287297	2714850	1898		
160 線步道	扁柏	1.6	799	121.377	24.53894	287372	2714971	1914		
160 線步道	扁柏	1.6	834	121.3762	24.5376	287286	2714822	1899		
160 線步道	扁柏	1.3	836	121.3766	24.53812	287322	2714880	1894		
160 線步道	扁柏	1.3	858	121.3768	24.53914	287347	2714993	1906		
160 線步道	扁柏	1.3	866	121.3765	24.53746	287314	2714806	1892		
160 線步道	扁柏	1.5	876	121.3773	24.53946	287398	2715028	1910		

160 線步道	扁柏	1.7	882	121.3772	24.53925	287386	2715005	1915		
160 線步道	扁柏	1.5	886	121.377	24.53805	287371	2714872	1893		
160 線步道	扁柏	1.8	901	121.3758	24.53746	287251	2714806	1898		
160 線步道	扁柏	1.6	907	121.3764	24.53816	287308	2714884	1899		
160 線步道	扁柏	1.5	932	121.3758	24.53786	287251	2714851	1886		
160 線步道	扁柏	1.6	936	121.377	24.53772	287367	2714835	1882		
160 線步道	扁柏	1.3	974	121.3769	24.53932	287361	2715013	1908		
160 線 4.5K 步道	扁柏	1.08	616	121.3771	24.5379	287382	2714855	1905		
160 線 4.5K 步道	扁柏	1.4	620	121.3774	24.53802	287413	2714869	1915		
160 線 4.5K 步道	扁柏	1.5	697	121.378	24.53729	287474	2714788	1920		
160 線 4.5K 步道	扁柏	1.8	749	121.3776	24.53745	287428	2714806	1912		
160 線 4.5K 步道	扁柏	1.2	946	121.3775	24.53778	287414	2714842	1912		
160 線 4.5K 步道	扁柏	1.5	991	121.3772	24.53787	287385	2714852	1913		
130 檜木小學堂	扁柏	1.6	805	121.4371	24.59951	293436	2721697	1571		
130 檜木小學堂	扁柏	1.4	865	121.4368	24.5997	293403	2721718	1564		
130 檜木小學堂	扁柏	1.4	954	121.4365	24.59933	293374	2721677	1574		
101 線林道	紅檜	1.98	658	121.4322	24.5875	292942	2720365	1675		
100 線沿線	扁柏	1.3	703	121.4431	24.59891	294040	2721632	1517		
100 線林道	紅檜	1.98	630	121.4322	24.5875	292942	2720365	1675		

