

113年度內政部國家公園署雪霸國家公園管理處委託辦理計畫
成果報告書

113年度三六九山莊改建運輸軌道沿線植群與
生態監測計畫

委託機關：內政部國家公園署雪霸國家公園管理處

受託單位：國立中興大學

執行單位：國立中興大學森林學系

研究主持人：曾喜育 博士

研究期程：中華民國 113 年 08 月至 113 年 12 月

中文摘要

雪山三六九山莊於 2021 年進行三六九山莊原址改建工程，採用軌道方式進行建材運輸，預計於 2026 年 9 月底完工。運輸軌道兩側進行植群生態監測，113 年度主要針對雪山主峰線步道 4k(哭坡)至 6.6k(東峰)路段之海拔 3,000 公尺以上軌道沿線進行監測調查。計畫工作項目有蒐集高山生態復育相關文獻，並透過鄰近軌道的植群生態調查，提供作為三六九山莊改建軌道拆除後之生態復育參照棲地模版，建立臺灣冷杉結果物候期與採種，進行臺灣冷杉小苗生長棲地調查，提供臺灣冷杉復育基礎資訊。

本年度於運輸軌道兩側架設臺灣冷杉林長期監測樣區，共調查 15 科 19 屬 23 種植物。依 2017 臺灣維管束植物紅皮書名錄評定，共調查到 1 種接近受脅植物(NT)為臺灣小蘗、1 種易受害植物(VU)為大霸尖山酢醬草與 1 種瀕危植物(EN)為上先型鱗毛蕨。監測樣區均以玉山箭竹最為優勢。海拔較低的 4.6K 樣區內調查到數量較多的臺灣鐵杉小苗，共計 129 株小苗，顯示本區臺灣鐵杉更新狀況較好。本次僅於 6.6K 樣區調查到 1 株臺灣冷杉小苗，推測因玉山箭竹生長過於茂密，其他物種難以競爭生長；軌道運輸作業清除軌道兩旁玉山箭竹，此可能提供臺灣冷杉小苗與其他物種生長空間。本(113)年度於雪山主峰線步道沿線臺灣冷杉僅觀察到零星植株結果，且結實量少，因此僅針對幾株結實之臺灣冷杉進行採種工作，並於黑森林地區撿拾掉落的毬果進行種子收集，共計約 20 顆臺灣冷杉熟果；後續進行風乾、種子挑選、冷積等工作，預計於明年春天進行軌道兩側播種發芽試驗。

關鍵詞：三六九山莊改變、軌道、臺灣冷杉、生態復育、結實物候

目錄

一、研究緣起與背景	1
二、研究方法.....	3
三、預期結果.....	9
四、前人研究.....	9
五、結果與討論.....	20
(一) 運輸軌道植群組成與微環境監測調查	20
(二) 臺灣冷杉結果物候調查與種子收集	26
六、結論	27
七、參考文獻.....	28
附錄一、植物物種名錄	32
附錄二、軌道監測樣區點位	33

表目錄

表 1. 雪山主峰沿線海拔植群帶之分布.....	9
表 2. 雪山主峰線軌道監測樣站環境因子與多樣性指數表.....	22

圖目錄

圖 1. 雪山三六九山莊改建運輸軌道臺灣冷杉復育監測樣區設置示意圖.....	4
圖 2. 樣區全天光空域(單斜線部分)、直射光空域(雙斜線部分)示意圖.....	5
圖 3. 以方位表示之水分梯度級示意圖.....	5
圖 4. 雪山主峰線植物社會海拔垂直分布與植被帶、氣候帶關係圖.....	10
圖 5. 2017 年 6 月-2019 年 12 月雪山地區臺灣冷杉之縮時攝影監測樣株毬果物候.....	12
圖 6. 2017-2019 年夏季(7-8 月)雪山地區臺灣冷杉之縮時攝影物候調查樣株照.....	14
圖 7. 雪山臺灣冷杉林地被組成.....	17
圖 8. 雪山主峰線軌道路線與監測樣區分布圖.....	20
圖 9. 雪山主峰線軌道監測樣站架設與調查執行工作照.....	21
圖 10. 雪山主峰線軌道監測樣站臺灣維管束植物紅皮書植物與其他植物照.....	23
圖 11. 雪山主峰線軌道樣區地被資料與環境因子之 NMDS 應力配適圖.....	24
圖 12. 雪山主峰線軌道樣區地被資料之 NMDS 排序圖.....	24
圖 13. 雪山主峰線臺灣冷杉果實與處理過程照片.....	26

一、研究緣起與背景

雪霸國家公園位臺灣本島中北部高山地帶，屬山岳型國家公園，境內超過 3,000 m 以上的高山約 50 多座，所屬山脈為雪山山脈，最高峰為雪山主峰海拔為 3,886 m，位苗栗、臺中二縣市交界處。雪山山脈以雪山主峰為中心，稜脈向外呈放射狀延伸，大致可分為雪山主峰線、聖稜線、雪劍線、雪山西稜線、武陵四秀線及志佳陽線等六道稜脈。其中，雪山主峰線為從武陵農場蜿蜒而上，歷經溫帶針闊葉林、冷溫帶針葉林至亞寒帶，是攀登雪山主峰最便捷的途徑，為臺灣最熱門的登山步道之一。雪山主峰線步道 7.1K 處的三六九山莊自 1969 年建立至今，一直是攀登雪山山脈非常重要的住宿山屋。雪霸國家公園管理處(以下簡稱雪霸處)考量三六九山莊現況老舊且經常損壞、維護不易，為提升服務品質，考量登山安全、生態保育、景觀及經濟等前提，於 2021 年進行三六九山莊原址改建工程，以期在設施安全及減少環境負荷要素，提升未來三六九山莊之服務品質(雪霸處提供)。

三六九山莊改建過程中，雪霸處曾就建材運輸方式考量直升機、索道與軌道方式等 3 種方法，經專家學者在運輸安全、施作技術難度、預算經費與生態衝擊等方面進行評估，並以生態保育為最優先考量，原以索道方式進行建材運輸。然而索道施工技術門檻較高，加上索道頭間跨距過長及受風力影響等運輸安全性問題，最後則採用軌道方式進行建材運輸(雪霸處提供)。運輸軌道規劃從登山口至三六九山莊的總長度約 6,300 m，軌道寬 0.05 m，軌道施作面積約 315 m²。軌道施作經現地量測，考量地形、坡度及軌道轉彎半徑等因素，以最小的生態破壞為原則，針對軌道沿線必要之障礙木進行適度移除。障礙木移除樹種有臺灣二葉松(*Pinus taiwanensis*)、臺灣華山松(*Pinus armandii* var. *mastersiana*)、臺灣赤楊(*Alnus formosana*)、狹葉高山櫟(*Cyclobalanopsis stenophylloides*)、以及臺灣冷杉(*Abies kawakamii*)等樹種，總計 806 株，立木材積 60.32 m³ (雪霸處提供)。在三六九山莊改建過程，雪霸處推動中大型哺乳動物與雉科鳥類監測計畫，比較過往研究調查資料，並依現場施工狀況，適時提供施工作業應注意事項，減少生態衝擊影響。運輸軌道設置由雪山主峰線步道登山口起，途經 1,800~2,500 m 的櫟林帶上層(Upper *Quercus* zone)、2,500~3,100 m 的鐵杉雲杉林帶(*Tsuga-Picea* zone)與 3,100~3,600 m 的冷杉林帶(*Abies* zone) (王偉等 2010)；其中，較敏感的區域為哭坡頂到三六九山莊一帶的冷杉林帶，因運輸軌道興建而伐除的臺灣冷杉障礙木計有 139 株。

三六九山莊改建工程自 2021 年開始，預計於 2026 年 9 月底完工(雪霸處提

供)。雪霸處在三六九山莊改建施工過程中，規劃軌道沿線進行棲地植群監測調查。目前雪山三六九山莊的改建工程剛啟動，運輸軌道正運作中，因此尚未能進行復育工作；基此，本計畫 113 年度擬先針對雪山主峰線步道 4k (哭坡)至 6.6k 路段之軌道沿線進行監測調查，特別著重於臺灣冷杉復育；計畫工作項目有蒐集高山生態復育相關文獻，並透過鄰近軌道的植群生態調查，提供作為三六九山莊改建軌道拆除後之生態復育參照棲地模版，建立臺灣冷杉結果物候期與採種，進行臺灣冷杉小苗生長棲地調查，提供臺灣冷杉復育基礎資訊。

113 年度三六九山莊改建之軌道沿線復育計畫初探工作項目

1. 冷杉屬(*Abies*)植物復育與種子發芽試驗相關文獻蒐集；
2. 雪山主峰線海拔 3,000 m 以上運輸軌道沿線微環境調查及監測；
3. 雪山主峰線林下臺灣冷杉小苗調查與棲地監測；
4. 鄰近地區臺灣冷杉結果期物候調查，標定採種母樹，進行種子收集。

二、研究方法

有關雪山三六九山莊改建軌道設施沿線植群復育與監測計畫，本(113)年度工作項目主要針對三六九山莊運輸軌道海拔 3,000 m 沿線進行臺灣冷杉復育前置作業，工作包括文獻與資料之蒐集、復育棲地調查與微環境監測、臺灣冷杉結果物候調查與種子收集等 3 個項目。

(一)文獻與資料之蒐集

首先蒐集植生復育與臺灣冷杉相關文獻進行整理與分析；此外，收集三六九山莊運輸軌道之基本環境資料，包並地理位置、範圍、氣候、地質及相片基本圖與地形圖等資料，以了解研究區之環境概況。

(二)臺灣冷杉結果物候調查與種子收集

本研究選取雪山主峰線臺灣冷杉樣木進行監測，每月至少進行 1 次觀察(曾彥學&曾喜育 2013)。此外，挑選適當臺灣冷杉樣株進行物候狀態的每日定時自動相機拍攝記錄(曾喜育 & 邱清安 2019)，自動相機採用 Reconyx HC500 自動縮時攝影機，選擇白天拍攝，每小時拍 1 張，每日拍攝記錄約 8-12 張。

為進行臺灣冷杉軌道復育試驗，本研究依許博行&簡慶德(2024)臺灣木本植物繁殖理論與應用，針對臺灣冷杉進行種子採集；採種時間約 11-12 月，待毬果顏色轉為暗紫色時採收，並進行毬果與種子後續處理。

(三)復育棲地調查與微環境監測

1.運輸軌道植群組成與微環境監測調查

本次主要針對於雪山主峰線步道 4k (哭坡)至 6.6k 處的運輸軌道兩側進行樣區設置，並進行植群組成與微環境監測調查。樣區設置採用分層取樣，先依環境狀況選擇均質區域，預計於軌道沿線設置 3 區，每 1 區再沿軌道兩側設置 5 組長 3 m、寬 1 m 的樣區(圖 1)，分別劃分成 3 個 1 m × 1 m 小區。全區預計 15 個樣區，均勻分布於軌道行經臺灣冷杉林的沿線，樣區位置以 GPS 加以定位標示。此外，於各區未受軌道行經的兩側玉山箭竹設置 6 個對照組樣區。未來預計透過移除枯落物與覆網進行臺灣冷杉播種試驗。

2.臺灣冷杉林下小苗與環境監測調查

為了解臺灣冷杉小苗於林下生長狀況，提供作軌道拆除後的臺灣冷杉復育棲地的參照，本研究於雪山主峰步道 7 個臺灣冷杉長期動態樣區進行臺灣冷杉小苗監測調查(廖敏君等 2013; Wang et al. 2021; Liao et al. 2023)。樣區大小為長 3 m、寬 1 m 的樣區，分別劃分成 3 個 1 m × 1 m 小區，樣區沿海拔水平設置，調查樣

區內臺灣冷杉的小苗數量、各地被植物組成與覆蓋，以及記錄微環境因子。

3. 樣區地被植物調查

針對監測樣區進行地被植物調查，調查胸徑小於 1 cm 之樹種、草本及蕨類，記錄植物種類及覆蓋度。

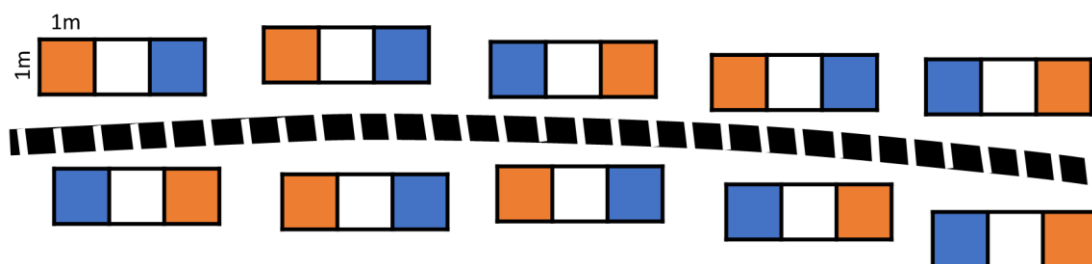


圖 1. 雪山三六九山莊改建運輸軌道臺灣冷杉復育監測樣區設置示意圖。
白色為對照組，橘色為實驗組，藍色為覆網保護實驗組。

(四) 環境因子觀測與監測評估

植物之生長常受環境因子所影響，且環境因子也常為影響植群變異之主要原因。因此植群生態的研究不僅探討植物群聚所形成的植群型，亦加以探究影響植群分化的環境因子。理論上，應以環境因子的整體效應，來評估林木的生育與分布，但環境因子彼此之間，亦具有複雜的交互作用及補償作用，因此不容易直接評估，為便於研究，因此常將此複雜的環境因素分離為若干單一因子以利於觀測，而後再進行相關分析與探討。為瞭解環境因子與植群分布的關係，本研究針對下列環境因子，加以直接觀測或以間接方式評估，其方法分述如下：

1. 海拔高度(altitude, Alt.)

海拔為諸多環境因子之綜合效應，間接影響到降雨、溫度、土壤等因子，間接性的影響植物社會的分布(蘇鴻傑，1987)。海拔高度係以全球衛星定位系統(Global Position System, GPS)及氣壓式高度計測定樣區所在之海拔高度，並記錄樣區位置之經緯度座標值，以標定樣區在圖面之位置。

2. 坡度(slope, Slo.)

坡度為樣區內最大坡面的傾斜度，測量方法以羅盤儀直接測出樣區的仰角或俯角，若林分樣區為傾斜率不均一之生育地，則宜取多次測值的平均。Tsui et al. (2004)於南仁山研究發現，坡度與土壤特性具相關性，且坡度亦影響水分與溶解物的移動。測量取得的坡度轉換成序位資料，0-10 度轉換成級)、11-20 轉換成序級)、21-30 轉換成序級)、31-40 轉換成級)、41-50 轉換成序級)、>5150 轉換級)。

3. 全天光空域(whole light sky, WLS)

全天光空域是指林分樣區能接受到太陽輻射的空域大小，為綜合方向、坡度、地形遮蔽度及太陽輻射能的估計值。本研究以羅盤儀量測樣區四周之 12 個固定的方位角，測出遮蔽物之高度角(altitude angle)，以製圖方式求出未受遮蔽之天空範圍百分率，作為全天光空域(圖 2)。

4. 方位(aspect, Asp.)與水分梯度(moisture gradient, Mos)

方位係指樣區坡度所面臨的方向，亦即樣區最大的坡度所面臨的方向。方位角度值對於植物生長並無直接效應，又不同方位實質導致日照、氣溫與濕度的差異，故欲探討其與植物之關係，需將方位角度轉化為效應的相對質。本研究將方位視為水分梯度之對應值，通常以北半球而言，西南向(202.5 應，最乾燥，東北向(22.5 北向最陰濕，故給予 1(最乾)至 16(最濕)之相對值(圖 3)。

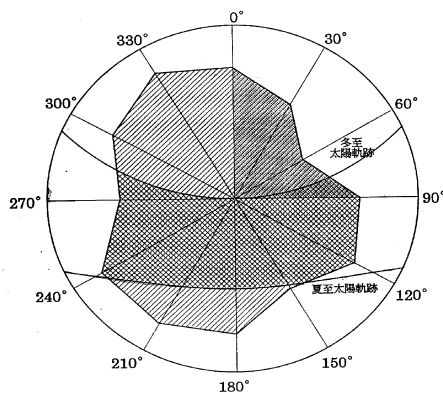


圖 2. 樣區全天光空域(單斜線部分)、直射光空域(雙斜線部分)示意圖。

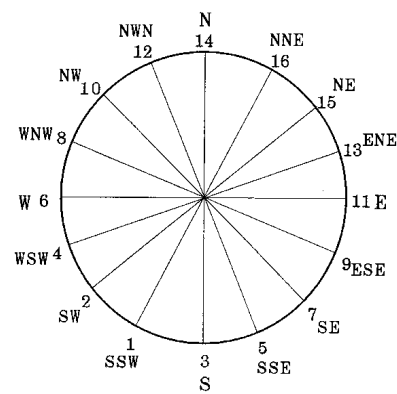


圖 3. 以方位表示之水分梯度級示意圖(Day and Monk, 1968)。

5. 土壤性質

土壤為植物生長的介質，是生物的棲息地，土壤的理化性質影響植物的生長與發育(王俊閔 2009)，對土壤種子的保存可能具有重要的決定因素。本研究於樣區內逢機選取 3 個土壤採集點，每樣區取得 600 g 的土壤；取樣前先清除土壤上層之枯枝落葉層，採取表土約 10 cm 深度之土壤，混和後攜回實驗室，置於常溫下風乾，再以 2 mm 篩子過篩，並測定土壤理化性質，包含土壤含水率(soil moisture, SM)、土壤 pH 值、土壤全氮量(soil total nitrogen, STN)、土壤有機質(soil organic matter, SOM)、土壤有效磷(soil available phosphorus, SAP)、陽離子交換能量(cation exchange capacity, CEC)、含石率(soil stoniness, SS)等 7 個土壤理化性質。

(1) 土壤含水率(soil moisture, SM)

從野外採回之土樣風乾後，以 2 mm 孔徑大小的篩網過篩，取 5 g 土壤 (風乾

土重) 以 105°C 連續烘乾 24 hr 後，秤其土重(絕乾土重)，並計算土壤含水率 = ((風乾土重 - 絕乾土重) / 絕乾土重) × 100%。

(2) 土壤 pH 值(soil pH)

取土壤與蒸餾水以 1 : 2.5 (W/V) 比例混合(McLean 1982)，置於試管內，攪拌均勻，靜置隔日，以酸鹼值測定儀 (Jenco model 6173 pH) 測之。

(3) 土壤全氮量(soil total nitrogen, STN)

土壤全氮量以 Semimacro Kjeldhal 法測定(MacDonald 1977)。取 0.5 g 處理好的土樣置於消化管中，加 1.1 g 催化劑($K_2SO_4 : CuSO_4 : Se = 100 : 10 : 1$ 重量比)，然後加入 10 ml 的濃硫酸，把消化管放入分解爐中，於 375°C 的溫度消化約 2 小時，至溶液呈灰白色，待冷卻定積至 100 ml。並自 100 ml 的樣液中取出 50 ml 至凱氏氮蒸餾裝置內，加入過量 40% NaOH，以 20 ml 2% H_3BO_3 為接受劑，直至捕捉液達 50 ml 後，再以 0.05 N H_2SO_4 滴定。

(4) 土壤有效磷(soil available phosphorus, SAP)

土壤有效磷測定用鉬藍法測定(Olsen & Sommers 1982)。取 1 g 處理好的土樣置於 50 mL 角錐瓶中，加入 7 ml 抽出液(15 ml 1 N NH_4F 加 25 ml 0.5 N HCl 加 H_2O 定積至 500 ml) 搖盪 1 min. 後，以 Whatman No. 42 濾紙過濾。取 2 ml 濾液，加入 5 ml H_2O 及 2 ml 鉬酸銨(15 g $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ 加 350 mL H_2O ，緩慢加入 350 ml 10 N HCl 攪拌，定積至 1000 ml) 均勻混合加入 1 ml 氯化亞錫稀釋液，再以分光光度計(spectrometer; Hitachi U-2000)於波長 660 nm 下測定。

(5) 陽離子交換能量(cation exchange capacity, CEC)

利用中性醋酸銨法分析(Rhoades 1982)。取 5 g 處理好的土樣置於 250 ml 角錐瓶中，加入 100 ml 醋酸銨(調 pH 至 7.0 的 1 N NH_4OAC 溶液)，搖盪過夜 30 min 靜置，以約 100 ml 醋酸銨溶液過濾，定積至 200 ml，此部份濾液以感應耦合電漿光譜分析儀(ICP-AES)，測定可置換性陽離子含量。另外，土樣再經酒精淋洗，再以 190 ml 10 % 氯化鈉溶液淋洗，收集濾液並定積至 200 ml，取 100 ml 濾液以凱氏氮裝置進行蒸餾、滴定，用以計算陽離子置換容積含量。

(6) 土壤有機質(soil organic matter, SOM)

土壤有機質採濕消化法(Walkley-Black procedure) (MacDonald 1977)。風乾土取 1-2 g (依土壤層有機質含量而定) 處理好的土樣置於 500 ml 角錐瓶中，加入 10 ml 重鉻酸鉀、20 ml 濃硫酸，立即緩慢搖晃 1 min，待角錐瓶靜置約 30 min，再加入 150 ml 水、85 % 磷酸 10 ml 及指示劑(0.025 M Ferroin)，在電磁攪拌器上以

0.2 N 硫酸亞鐵液滴定。

(7)含石率(soil stoniness, SS)

土壤含石率可看出樣區之土壤發育狀況，並研判對植群生長產生之影響(蘇鴻傑 1987)；土壤的含石率差異很大，且與植群有密切相關(Franklin et al. 1979)。本研究採集樣區內的土壤直接評估含石率，參考 Franklin et al. (1979)研究，將含石率區分成 5 級，分別是：1 = 0 至 5%、2 = 5 至 35%、3 = 35 至 65%、4 = 65 至 95%，以及 5 = 95 到 100%。

6. 枯落物百分比(Litter, Lit)

由調查人員現場判識土壤表層之枯落物占全樣區面積之多寡，以及量測枯落物厚度。

7. 微環境資料收集器

復育監測樣區內設置氣溫、土溫、相對濕度、光度之環境資料收集器(Data log)，紀錄生育地微環境變化。

(五)資料分析

1. 植群組成分析

首先對野外調查原始資料之植物種類進行編碼，於文書處理軟體中輸入樣區植物種類、代碼及各物種之覆蓋面積，計算各物種於調查樣區中之頻度及優勢度，再轉換成相對值。樣區各植物之介量以重要值(importance value, IV)表示，其代表某植物在樣區中所占有之重要性。

頻度(frequency) = 某種植物出現之總樣區數 / 所調查之總樣區數

優勢度(dominance) = 某種植物覆蓋面積總和 / 所調查之樣區總面積

相對頻度(relative frequency) = 某種植物之頻度 / 所有植物頻度之總和 × 100%

相對優勢度(relative dominance) = 某種植物之優勢度 / 所有植物優勢度之總和 × 100%

重要值(IV) = 相對頻度 + 相對優勢度

同一時期所有樣區所有物種重要值和為 200。

影響生物組成結構的因子眾多，透過序列分析可以利用較少的維度表現原先的資料結構。本研究以 R-4.1.2 軟體進行非度量多維度排序法 Non-metric Multidimensional Scaling (NMDs)分析，使用 vegan 套件將森林下層、軌道復育之臺灣冷杉小苗樣區組成結構依 Bray-Curtis 距離計算，樣區間物種組成相似性用樣區間的距離呈現，加入環境因子探討外在環境對植物群聚結構之影響。

2. 無母數分析檢定

本研究分析不同處理之間的物種數、臺灣冷杉小苗的種類與株數差異。使用 R-statistics 來進行以下分析，使用 Shapiro-Wilk 檢定 (Shapiro-Wilk normality test) 確認資料屬性。由於資料屬於非常態分佈，使用 Levene's 檢定 (Levene's test) 進行變異數同質性檢定。若變異數無顯著差異，採用 Kruskal-Wallis 檢定以及 Dunn 事後多重比較檢定；如變異數具顯著差異，採用的 Welch's 變異數分析 (Welch's analysis of variance, Welch's ANOVA) 以及 Games-Howell 檢定使用 rstatix (Kassambara 2023)。

3. 物種多樣性

在生態之研究上，歧異度指數(diversity index)是用來評估一群聚結構中之物種組成與分布狀況之變化。歧異度指數大致可以分成 3 類，分別為種豐富度(species richness)、種豐富度(species abundance)與均勻度(evenness)。種豐富度用於表達樣區或棲地中物種之數量，通常種數與個體數或面積，常呈現對數或指數關係，種豐富度同時考量了種豐富度與均勻度，而均勻度可表示生物社會中，生物個體在不同種間之分布均勻程度，本研究採用 Shannon 歧異度指數(Shannon's index of diversity)、Simpson 豐富度指數(Simpson abundance index)以及 Shannon 均勻度指數(Shannon evenness)，各公式如下所示：

(1) 種豐富度指數(Species richness)

$$R = S / N$$

式中：S 為植物社會所有植物種類總數；N 為植物社會所有植物種類個體數之和
Margalef 指數(Margalef's species richness)(Margalef, 1958)

$$R = (S-1) / \ln N$$

(2) 新浦森歧異度指數(Simpson's index of diversity)

$$C = \sum (n_i / N)^2 = \sum (P_i)^2$$

$$D_{si} = 1 - C$$

式中：C：為植物社會的優勢度

n_i ：為第 i 種植物的個體數

N：為植物社會中所有植物種類個體數之和

$P_i = n_i / N$ ，即在某林分中發現第 i 種植物的機率

D_{si} ：為植物社會的 Simpson 氏歧異度指數

(3) 夏農歧異度指數(Shannon's index of diversity)

$$D_{sh} = - \sum (n_i / N) \times \log(n_i / N) = - \sum P_i \times \log P_i$$

(4) 均勻度指數(Evenness index)

$$E = D_{sh} / \log S$$

三、預期結果

- (一)建置冷杉屬植物之植生復育相關文獻蒐集整理與分析。
- (二)完成三六九山莊改建運輸軌道拆除前臺灣冷杉復育棲地監測前置調查。
- (三)建立臺灣冷杉結實物候基礎與生態復育採種資訊。
- (四)臺灣冷杉林下之臺灣冷杉小苗棲地調查與微環境監測。
- (五)建立臺灣亞高山森林生態復育的理論與基礎，供後續生態經營管理之參考。

四、前人研究

(一)雪山主峰線步道沿線植群組成

依 Su(1984)、邱清安(2006)海拔高度帶、植群帶與氣候帶之分類，以及許俊凱等(2000)、王偉等(2010)等研究(表 1&圖 4)，雪山主峰線步道沿線的植群依海拔高度由登山口至雪山主峰可劃分成 1,800~2,500 m 的櫟林帶上層、2,500~3,100 m 的鐵杉雲杉林帶、3,100~3,600 m 的冷杉林帶與 3,600 m 以上的高山植群帶(Alpine vegetation)。

表 1. 雪山主峰沿線海拔植群帶之分布(參考 Su (1984)、邱清安(2006)劃分)

雪山沿線 相對位置	Altitude zone 高度帶	Alt. (m) 海拔高度	Vegetatoin zone 植群帶	Dominant Taxa 優勢分類群	Tm(°C) 年均溫	Equivalent Climate 相當氣候帶
圈谷	Alpine 高山帶	>3,600	Alpine vegetation 高山植群帶	玉山圓柏 玉山杜鵑	<5	Subarctic 亞寒帶
東峰~黑森林	Subalpine 亞高山帶	3,100~3,600	<i>Abies</i> zone 冷杉林帶	臺灣冷杉 玉山箭竹	5-8	Cold-temperate 冷溫帶
七卡~東峰		2,500~3,100	<i>Tsuga-Picea</i> zone 鐵杉雲杉林帶	高山芒 臺灣鐵杉		
登山口~七卡	Upper montane 上層山地	1,800~2,500	Upper <i>Quercus</i> zone 櫟林帶上層	臺灣二葉松 高山櫟	8-11	Cool-temperate 涼溫帶
七家灣溪	中層山地	1,200~1,800	Under <i>Quercus</i> zone 櫟林帶下層	臺灣赤楊 新木薑子屬 臺灣黃杉 臺灣二葉松	11-14	Warm-temperate 暖溫帶

1. 涼溫帶—櫟林帶上層(Cool-temperate—Upper *Quercus* zone)

由登山口至七卡山莊屬於櫟林帶上層，惟此區經火燒、早期伐木等干擾，以及後續造林等因素，步道沿線之原生林多已不復存在，天然林僅殘存於近溪谷、

凹谷或陡峭之處。此區主要為臺灣二葉松、臺灣赤楊、福州杉(*Cunninghamia lanceolata*)、臺灣雲杉(*Picea morrisonicola*)等造林地，或是火燒後之臺灣二葉松、臺灣赤楊等為優勢之植物社會。林下優勢灌木及草本植物以玉山假沙梨(*Photinia nitakayamensis*)、志佳陽杜鵑(*Rhododendron noriakanum*)、紅毛杜鵑(*Rh. rubropilosum* var. *rubropilosum*)、高山芒(*Miscanthus transmorrisonensis*)、巒大蕨(*Pteridium aquilinum* subsp. *wightianum*)等。位於山凹溪谷地，以阿里山灰木(*Symplocos arisanensis*)、高山新木薑子(*Neolitsea acuminatissima*)為優勢，伴生有雲葉(*Trochodendron aralioides*)、尖葉槭(*Acer kawakamii*)、狹葉高山櫟、賽矜木(*Eurya crenatifolia*)等，林下有高山芒、臺灣瘤足蕨(*Plagiogyria formosana*)等植物。

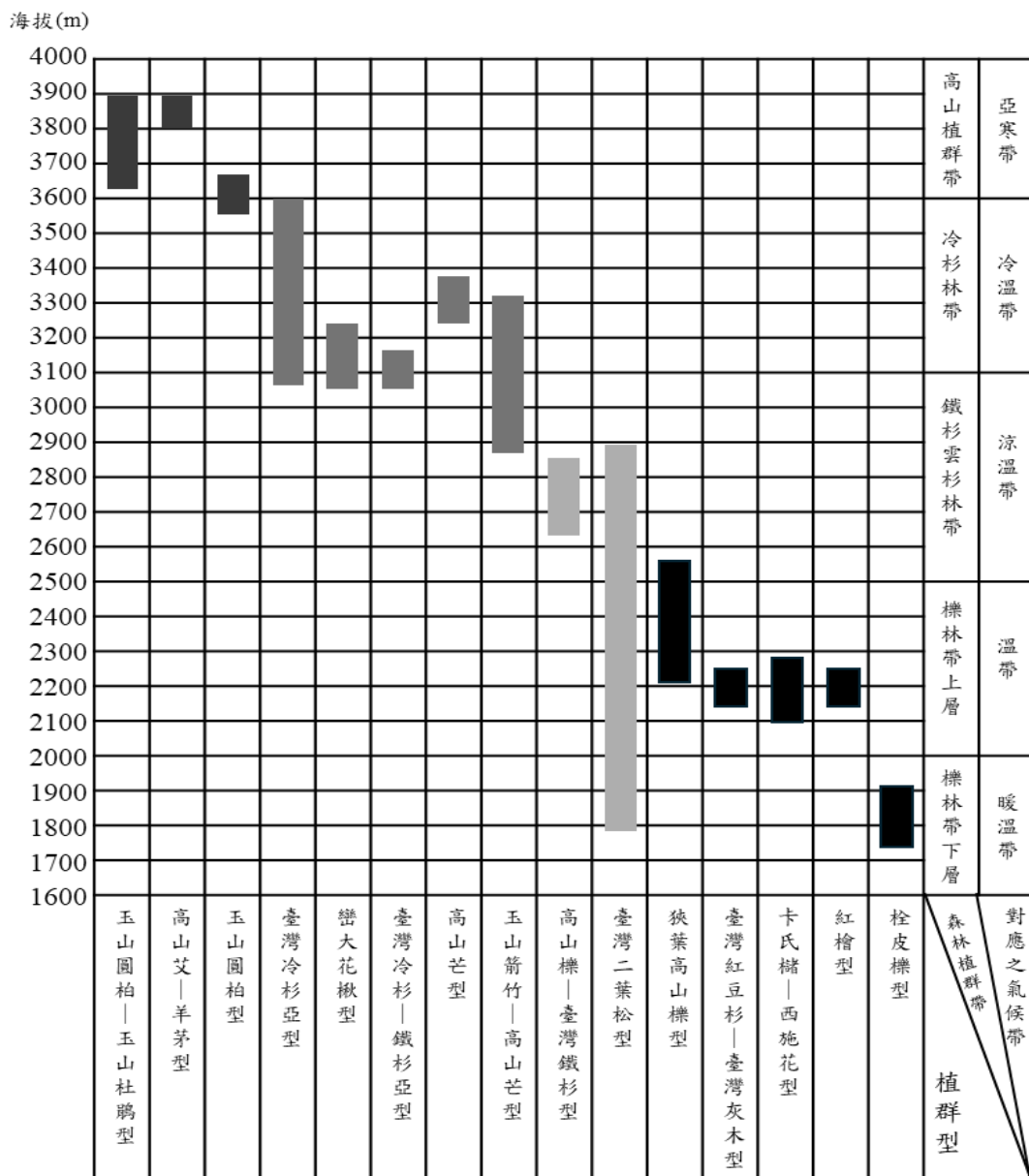


圖 4. 雪山主峰線植物社會海拔垂直分布與植被帶、氣候帶關係圖。植被帶、氣候帶參考 Su (1984)。

2. 冷溫帶—鐵杉雲杉植群帶(cold-temperate—*Tsuga-Picea* zone)

七卡山莊至雪山東峰前屬鐵杉雲杉林帶，此區稜線附近之森林受到森林火燒、早期伐木以及後續造林等因素，步道周邊之原生林多已不復存在，天然林僅殘存於近溪谷、凹谷或陡峭之處。以臺灣鐵杉(*Tsuga chinensis* var. *formosana*)為優勢，第二樹冠層則為高山櫟(*Quercus spinosa*)、高山新木薑子(*Neolitsea acuminatissima*)、雲葉(*Trochodendron aralioides*)等闊葉樹。哭坡到雪山東峰附近可見臺灣鐵杉與臺灣冷杉混生。雪山主峰沿線並未發現臺灣雲杉原始林，現存臺灣雲杉(*Picea morrisonicola*)則為造林樹種，種植於步道兩旁的高山芒草生地。高山芒為本區優勢的草本，玉山箭竹(*Yushania niitakayamensis*)散生其間，構成草本植群，臺灣二葉松、紅毛杜鵑等常入侵形成疏林景緻。造林地樹種多以臺灣二葉松為主，高山櫟、玉山假沙梨、南燭(*Lyonia ovalifolia* var. *ovalifolia*)、臺灣馬醉木(*Pieris taiwanensis*)、狹葉高山櫟等喬木或灌木，近七卡山莊附近則有紅檜(*Chamaecyparis formosensis*)造林地。

3. 冷溫帶—冷杉植群帶(cold-temperate—*Abies* zone)

分布於海拔 3,100~3,600 m 之間，冬季乾燥而寒冷，年均溫在 5~8°C 之間，多為向陽之乾燥山坡或岩礫密布之處，土壤化育仍不完整。代表性植物以臺灣冷杉、玉山圓柏(*Juniperus squamata*)及玉山箭竹最具特色，冷杉林帶為臺灣冷杉最優勢，以黑森林最為典型，黑森林近圈谷附近有較多的玉山圓柏與臺灣冷杉混生，生活型為喬木型；其中，臺灣冷杉偏向北向背陽的谷地，玉山箭竹則在陽光極強的南向山坡或山頂形成草甸。臺灣冷杉林下優勢地被植物分成 2 型，大致以海拔區分(王偉等 2010; 廖敏君等 2012)，一型以玉山箭竹為近單一優勢地被，分布在哭坡頂至三六九山莊步道 7K 之前，在步道 6K 前常與臺灣鐵杉混生；另一型為以苔蘚、蕨類、鬼督郵屬(*Ainsliaea*)、裂葉樓梯草(*Elatostema trilobulatum*)等較優勢，間雜臺灣茶藨子(*Ribes formosanum*)、玉山女貞(*Ligustrum morrisonense*)等灌木，部份生育地尚有玉山杜鵑(*Rh. pseudochrysanthum*)、巒大花楸(*Sorbus randaiensis*)構成第 2 層林冠，分布在黑森林 3,300 m 以上至 3600 m 的圈谷底，而 3,500-3,600 m 常與玉山圓柏混生。冷杉林帶常因火燒造成玉山箭竹或高山芒優勢的灌叢草生地景觀，與刺柏(*Ju. formosana*)、臺灣高山杜鵑 (*Rh. rubropilosum* var. *taiwanalpinum*)、高山薔薇(*Ro. transmorrisonensis*)等灌木混生，此等草原植物社會與臺灣冷杉形成動態推移，並存有巒大花楸、褐毛柳(*Salix fulvopubescens* var. *fulvopubescens*)等小喬木組成之闊葉樹優勢之植物社會，下層數量較豐的灌木及草本組成尚有玉山杜鵑、臺灣茶藨子、玉山小蘗、川上氏忍冬、高山芒、黃苑(*Senecio nemorensis*)、臺灣繡線菊(*Spiraea formosana*)等。

4. 亞寒帶—高山植群帶(subarctic—alpine vegetation)

雪山主峰線的高山植群帶分布範圍為圈谷至雪山主峰，是位於海拔 3,600 m 以上的森林界限；年雨量約 2,800 mm，年均溫約在 5°C 以下，生育地多為不良之裸岩或岩床，土壤乾燥、風力強大、日照強烈，冬季有積雪。在此惡劣環境之下，木本植物僅有矮性灌木，主要以玉山圓柏、玉山杜鵑為優勢，主要生活型為矮盤灌叢，短盤灌叢間空隙，或下方生長冬枯或常綠的玉山小蘗 (*Berberis morrisonensis*)、玉山薔薇 (*Rosa sericea* var. *morrisonensis*)、玉山白珠樹 (*Gaultheria itoana*)、玉山當歸 (*Angelica morrisonicola*)、高山艾 (*Artemisia oligocarpa*)、玉山薄雪草 (*Leontopodium microphyllum*)、雪山翻白草 (*Potentilla tugitakensis*)、阿里山龍膽 (*Gentiana arisanensis*)、玉山佛甲草 (*Sedum morrisonense*)、羊茅 (*Festuca ovina*)、曲芒髮草 (*Deschampsia flexuosa*) 等植物；部分區域形成雪山翻白草、羊茅、曲芒髮草、高山艾等草本植物社會。

(二)臺灣冷杉相關研究

1.臺灣冷杉物候

臺灣冷杉雌雄同株，雄毬花位於植株下方枝條，雌毬花位於樹冠上方枝條，開花期 4-5 月，種子成熟期 10 月中旬至 12 月 (曾喜育 & 邱清安 2019)。彙整 2017 至 2019 年縮時攝影所拍攝之照片，挑選每月月初較清晰之影像，並觀察雌毬花、毬果及落果的生長狀態，將調查記錄製作成圖 5，以顏色區分果期生長的過程，可明顯看出，4 月始即可觀察到粉紅色的雌毬花，5 月開始轉紫紅，此階段大小約 4-5 cm，而 6 月開始，毬果已膨大且呈藍紫色，毬果藍紫色階段為期 4-5 個月，10 月開始已有部分毬果開始落果，11 月則大致上已看不見藍紫色毬果宿存。

年份	雪山物候	月份											
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
2017							藍紫	藍紫	藍紫	藍紫	藍紫	藍紫	藍紫
2018					粉紅	紫紅	藍紫	藍紫	藍紫	藍紫	藍紫	藍紫	藍紫
2019				粉紅	紫紅	藍紫	藍紫	藍紫	藍紫	藍紫	藍紫	藍紫	藍紫

圖 5. 2017 年 6 月-2019 年 12 月雪山地區臺灣冷杉之縮時攝影監測樣株毬果物候 (曾喜育 & 邱清安 2019)

根據 3 年調查，擷取 2017-2019 年 7-8 月盛果時期的時段來比較，在縮時攝影的紀錄中，於 2017 年及 2019 年皆有拍攝到樣株結果的盛況，惟 2018 年紀錄到的毬果

狀況僅枝梢上一兩叢。可得知臺灣冷杉之物候周期為期約 1 年，但有結實豐欠年之分(圖 5)。由本計畫調查到的結果顯示，每兩年為一豐年，欠年並非全無結果。比較 3 個年度之結實狀況，2019 年在同一拍攝範圍內的枝梢結果量較 2017 年紀錄的多，此外，可觀察到 2017 年鏡頭右下角拍攝的枝條，果實生長較多且密集，2019 年的同一區塊雖有結果，但相較於 2019 年，此區結實量較為稀疏且零散(圖 6)。

2. 臺灣冷杉種子發芽試驗

許博行&簡慶德(2024)於臺灣木本植物繁殖理論與應用指出，臺灣冷杉結實豐欠年明顯，每 4~5 年有一次豐年。毬果成熟時應立刻採收，否則種子與果鱗 (cone scale)同時掉落林地不易收集。採種時間約 11-12 月，毬果顏色轉為暗紫色時採收。採收後毬果置於陰涼通風處，攤開翻動使種子脫離毬果後收集，並利用風選機或電風扇去除空粒種子，同時脫翅處理；種子去翅後每公升 32,100~34,570 粒。臺灣冷杉種子容易發芽，播種 1 個月後有活力的種子幾乎全部發芽。若種子先給予低溫 5°C 濕潤層積處理 1 個月，可加速種子發芽並於 2 星期內發芽結束。種子發芽速度以 25/15K 溫度較快，因此春天播種為最佳時間。臺灣冷杉種子屬於乾儲型，種子含水率降至 5~6%，密封後放在 -20°C 可長期儲藏 10 年以上。採收後的種子有後熟作用(after-ripening)，種子採集時期與毬果成熟程度明顯影響(陳振威 1967)，低溫乾藏可提高種子發芽率和發芽速度。臺灣冷杉為臺灣中、高海拔樹種，育苗地點必須選在中、高海拔苗圃(許博行&簡慶德 2024)，海拔過低則會有生長緩慢且不萌芽現象(潘德發&許博行 1990)。

3. 臺灣冷杉小苗菌根菌研究

劉家秀(2022)針對雪山亞高山地區灌叢草生地、巒大花楸推移帶與臺灣冷杉林進行地被植物與叢枝菌根菌(arbuscular mycorrhizal fungi, AMF)組成研究，結果顯示地被植群共調查 38 科 76 屬 104 種維管束植物；其中，灌叢草生地 48 種，推移帶紀錄 93 種，臺灣冷杉林紀錄 47 種。巒大花楸推移帶地被層邊緣種達 31 種，物種多樣性在推移帶達高峰，物種組成呈現明顯的推移帶效應。AMF 共紀錄 7 科 9 屬 18 種孢子形態種，以 *Acaulospora* 為優勢屬，相對豐多度較高的屬為 *Acaulospora*(57.2%)、*Diversispora*(19.1%)、*Paraglomus*(15.1%)。灌叢草生地記錄 10 種 AMF，臺灣冷杉林 7 種，推移帶 18 種，其中 5 種為邊緣種。臺灣冷杉林的孢子數量非常稀少，物種多樣性最低，灌叢草生地與推移帶的 AMF 物種多樣性沒有明顯差異，顯示伴隨植物群落的遞更，AMF 沒有呈現相應的推移帶效應。

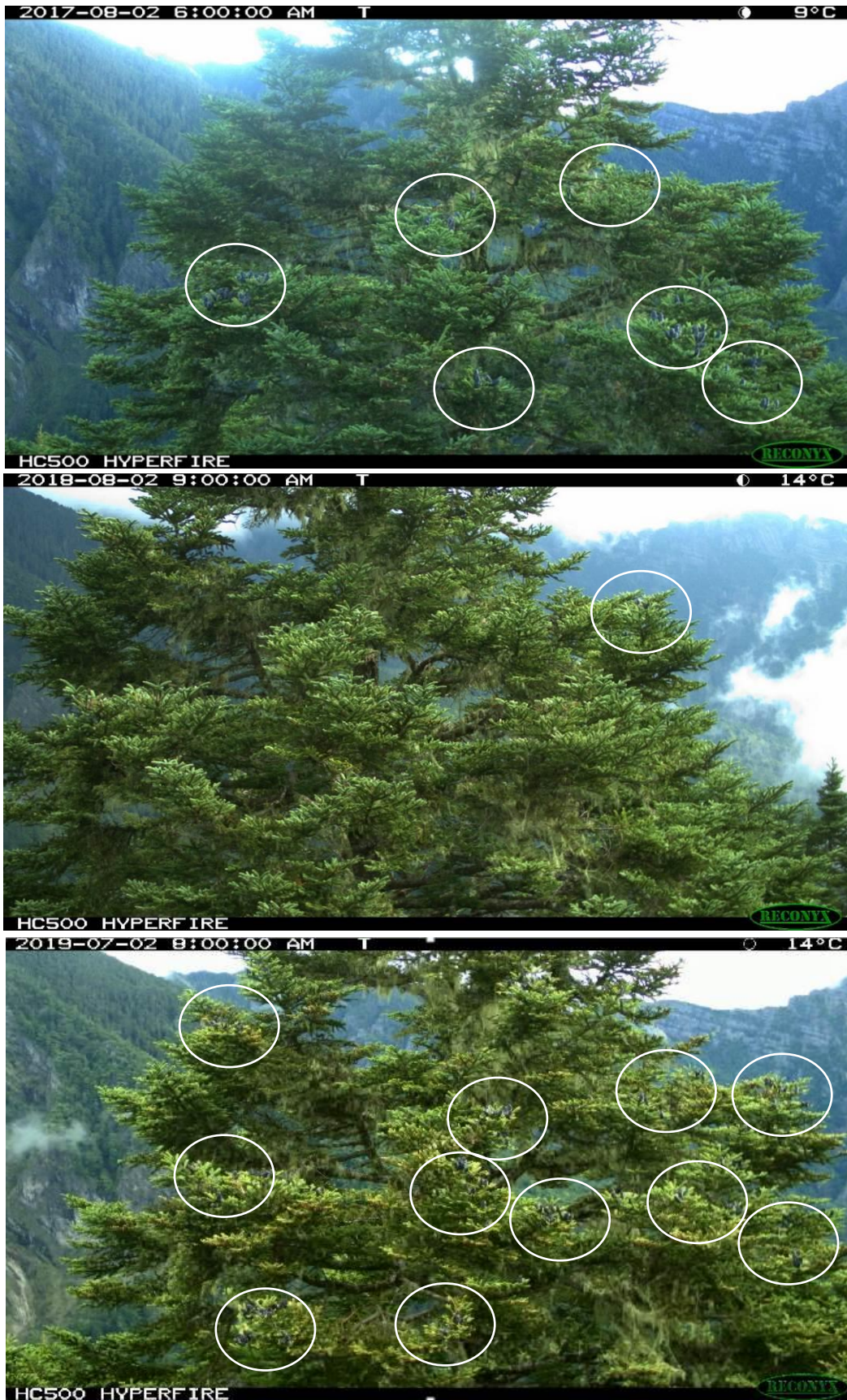


圖 6. 2017-2019 年夏季(7-8 月)雪山地區臺灣冷杉之縮時攝影物候調查樣株照(曾喜育&邱清安 2019)

此外，臺灣冷杉小苗在生長、拓殖至推移帶及灌叢草生地的過程不傾向與 AMF 共生，而有較多個體與外生菌根菌(ectomycorrhizal fungi, EMF)與暗色隔膜內生菌(dark septate endophytes, DSE)共生。

4. 臺灣冷杉植群研究

臺灣冷杉植群研究報告首見於 1922 年佐佐木舜一(Syuniti Sasaki)發表之新高山叢森林植物帶論，對於臺灣進行完整之生態帶報告(陳玉峰 1998)。八谷正義(1937)調查次高山(舊雪山線，即志佳陽線)附近之臺灣冷杉純林，因其多為林木密生環境，地被組成多為耐蔭或相對偏陰的苔蘚、臺灣鬼督郵(*Ainsliaea latifolia* subsp. *henryi*)、大霸尖山酢漿草(*Oxalis acetosella* subsp. *taimoni*)、蕨類等為主，在陽光較多的稜線處偶有玉山圓柏、玉山小蘗(*Berberis morrisonensis*)、玉山杜鵑和巒大花楸等灌木組成，植物組成調查有 43 種維管束植物；依林分構成型態區分成 4 型：

1. 由老齡木級樹木構成 1 段式林冠層..... 第 I 型
2. 由老齡木級及壯齡木級(或幼齡木級)樹木構成 2 段式林冠層
 - A. 下層為壯齡木級，上層為老齡木級，兩者林冠層相接近..... 第 II 型
 - B. 下層為幼齡木級，上層為老齡木級，兩者林冠層距離明顯
 - i. 下層的幼齡木級林冠層為單層林..... 第 III 型
 - ii. 下層的幼齡木級林冠層非單層林..... 第 IV 型

八谷正義(1937)認為這 4 種林分構成型態中的第 III 型和第 IV 型，其臺灣冷杉林應為一部分老齡木枯死倒壞後形成林冠稀疏，稚樹得以生長所造成；雖然第 III 型和第 IV 型的臺灣冷杉幼齡木級林冠層組成不同，構成不同的林貌差異，但第 IV 型幼齡木的樹齡大致相同，推測這些稚樹大約是同時期生長，後經競爭而形成個體間差異。比較老齡木級的存活立木株數發現，第 III 型存有許多老齡木，而第 IV 型則遠比第 III 型來得少；兩類型在原本型態並無差異，只是在稚樹長出後，受到老齡木株數稀疏程度不同，進而影響到稚樹生長，造成林分結構的不同。第 II 型為第 III 型與第 IV 型林分成長後形成的類型，即第 III 型與第 IV 型的幼齡木在老齡木在消退的同時逐漸成長形成壯齡木，而老齡木株數的減少使壯齡木成為林分中主要的構成要素，樹冠亦幾乎生長老齡木的高度；第 II 型林分更進一步生長後，最終會形成第 I 型林分。第 I 型林分為過熟林分，屬於森林移相的末期，更進一步的發展會進入更新期，形成第 III 型或第 IV 型；臺灣冷杉林應此而永久更新，不斷重覆變化其構成型態。

森邦彥(1938a; 1938b)在雪山舊山屋附近(志佳陽線)設置 5 個樣區，樣區面積自 329.44 m²-1,382.40 m² 不等，進行臺灣冷杉族群結構及地被植物群落調查，總計有 25 科、38 屬、40 種植物名錄。柳楮(1961)將南坑溪上游海拔 2,700 m 分為臺灣冷杉與臺灣鐵杉混交林，2,900 m 以上為臺灣冷杉純林；柳楮(1968)處理臺灣植群分類時將臺灣冷杉林歸為亞高山針葉樹林群系，並指出其林相整齊、株間行距一致且幹直，圓錐形樹冠平整，枝下高一一致，是林相整齊之相近同齡林(圖 1)。

賴國祥(1992)於大霸尖山、雪山、大雪山、合歡山、奇萊南峰、八通關、秀姑坪、玉山西峰、鹿林山、七彩湖、關山嶺等地區進行臺灣冷杉與玉山箭竹交會帶(ecotone)之研究，發現火燒(fire)為兩者競爭生育地重要因子之一。基於交通便利因素，臺灣冷杉植群相關研究大多集中在合歡山山區，包括陳榮欽(1995)於合歡山進行臺灣冷杉樹齡學之研究，結果顯示合歡山區之臺灣冷杉族群更新狀況良好；古心蘭(1998)利用胸高直徑、樹高及樹齡等數據探討冷杉林與草生地交會帶間植群動態結構；莊貴瑜(1998)利用樹木樹輪學來探討合歡山地區臺灣冷杉植群的樹齡齡級結構，並驗證冷杉與箭竹草生地間演替關係。黃凱易&李旻旻(1999)利用遙測與數值地形模型模擬方法研究臺灣冷杉生育地，發現臺灣冷杉對海拔的偏好明顯落在 2,700-3,300 m 之間，而對坡向明顯無偏好，進而提出屏障地形假說(shelter district terrain hypothesis)來解釋此一現象，即在屏障區內臺灣冷杉可以生長在任何坡向。臺灣 3,000 m 以上之生長環境極為嚴苛，凹凖式之局部(微)地形屏障可以改善高海拔嚴苛之生長條件，得讓臺灣冷杉成為生長在最高海拔的喬木，以上說明微地形可能對臺灣冷杉的分布具有一定之影響。

廖敏君等(2012)以群團分析及降趨對應分析方法，將雪山地區臺灣冷杉林型地被植群型分為 5 型：(1)臺灣冷杉-臺灣鬼督郵型；(2)臺灣鬼督郵-玉山耳蕨型；(3)玉山當歸-臺灣繡線菊型；(4)玉山箭竹-臺灣鬼督郵型；(5)玉山箭竹-玉山杜鵑型。進一步將分析地被植群與環境關係，發現地被植物多樣性指數與全天光空域呈負相關，顯示臺灣冷杉林下地被植物組成與樣區受到地形遮蔽後光照範圍所影響。此外，廖敏君等(2012)認為林下玉山箭竹具有緻密的地下莖及密度極高的莖稈，是影響臺灣冷杉林下地被物種多樣性及臺灣冷杉天然更新的重要因素。

廖敏君等(2013)在 2009-2010 年間在雪山主峰線設置 7 個 40 m×50 m 的臺灣冷杉長期監測樣區，總共記錄臺灣冷杉 802 株，每公頃平均密度約 571 株，族群分布由徑級結構判斷屬於反 J 型分布。然於不同林分層級下，區分鐘型分布、雙峰型分布等類型，呈現冷杉演替階段因不同時期所形成的鑲嵌體。透過靜態生命

表分析發現，臺灣冷杉小苗死亡率極高，約只有 10% 小苗得以成長為稚樹，而臺灣冷杉族群小苗受到玉山箭竹與孔隙影響甚大(圖 7)；地被植群若以玉山箭竹為主，不利於冷杉小苗成長；在孔隙較多之林分其小苗數量與枯立木相對較多。曾勝華&曾喜育(2016)透過地理資訊系統(ArcGIS)進一步研究雪山雪東線黑森林的臺灣冷杉林孔隙動態，判釋 2001-2013 年等 12 年間的航照影像，劃為兩個年度區間(2001-2009 年、2009-2013 年)進行比較，雪山黑森林觀測期內的平均孔隙面積介於 59.27- 105.07 m²，孔隙面積覆蓋率介於 2.79-4.87%，中小型孔隙(<150 m²) 約佔 90%，顯示黑森林為典型以小尺度干擾為主體的森林。2001-2013 年的孔隙形成率為 0.11%，孔隙鬱閉率 0.28%，孔隙有逐漸轉為鬱閉的現象，冠層轉換時間為 258 年；分析發現，2009-2013 年颱風的平均最大風速、平均最大陣風風速、平均累積雨量均高於 2001-2013 年，並造成較高的孔隙形成率(0.33%)，證實颱風干擾造成的孔隙影響臺灣亞高山冷杉森林的冠層動態變化。

曾勝華(2016)發現雪山黑森林臺灣冷杉孔隙形成原因以幹折比例(49.0%)最高，枯立(34.4%)次之；全區小苗生長至稚樹的存活率於非孔隙 0.58%、小孔隙 3.31%、中孔隙 6.24%、大孔隙 9.12%，證實森林孔隙可以提供臺灣冷杉小苗與稚樹適宜的生長發育環境；在孔隙內部區域調查，發現冷杉小苗於孔隙邊緣的密度



圖 7. 雪山臺灣冷杉林地被組成。(A)苔蘚優勢、(B)玉山箭竹優勢

高於中央；不同年齡的孔隙，小苗數量並無顯著的差異，但形成時間較久的孔隙才會有稚樹的分布，研究結果提供臺灣冷杉天然更新的重要參考資訊。

5. 生長與競爭

Wang et al. (2021) 進行臺灣冷杉森林競爭指數研究，主要分析臺灣冷杉林地被植物組成、競爭指數(competition indices, CI)及林分結構屬性(Stand structural attributes, SSAs)。結果顯示，當臺灣冷杉林地被植物以玉山箭竹為優勢時，臺灣冷杉林種間競爭指數大於種內競爭指數。相反，當地被層以苔蘚及草本植物為優勢環境，臺灣冷杉林種內競爭指數大於種間競爭指數。由於臺灣冷杉的生物特性和更新需求，死亡個體的競爭指數高於活體。另一方面，對環境和可用資源的敏感性對於年輕植株壓力大於成熟植株。Liao et al. (2022) 複查 2009 年設立的雪山主峰線臺灣冷杉長期監測樣區(廖敏君等 2013)，調查臺灣冷杉林的林分結構、物種組成和環境因素。比較 2008 年及 2018 年這兩個年度臺灣冷杉族群變動情形。結果顯示，臺灣冷杉林族群結構在兩次調查之間顯示相似的正偏態分布，表示目前樣區內的族群是穩定的。根據主成分分析(PCA)，臺灣冷杉族群結構與優勢地被植物類型、臺灣冷杉幼苗相關。透過死亡的樹木在亞高山森林中形成森林孔隙，釋放空間及資源，則啟動臺灣冷杉鑲嵌型演替(mosaic succession)。

(二) 冷杉屬植物生態復育

目前全世界冷杉屬植物面臨森林火燒、暴風、有蹄類動物啃食(ungulates)、氣候變遷...等影響，許多研究指出各地冷杉屬植物所面臨的挑戰及開始進行復育工作。例如，Brault et al. (2023) 在加拿大魁北克省復育香脂冷杉(*Ab. balsamea*) 森林，設立圍籬試驗樣區，在種植後 8 年以及拆除兩個不同年代的管理圍籬後，調查冷杉受到鹿科動物的啃食強度和生長情況。結果顯示，當冷杉距離森林邊緣超過 150m 時，啃食機率接近於零，而且周圍庇護區面積持續較低會導致啃食壓力的減少。在局部尺度上，冷杉的橫向啃食強度隨著白雲杉(*Picea glauca*) 的鄰近擁擠指數(neighborhood crowding index NCI)增加而增加。冷杉的生長受到啃食和 NCI 累積效應的負面影響。該研究指出透過人工種植達到森林生態系統恢復的成功因素是取決於鄰近樹種的密度，透過動物啃食，會間接影響林木生長以及直接影響林木資源競爭。

近幾年韓國濟州道政府及世界遺產生物圈(UNESCO Biosphere Reserve)相關研究單位，積極地進行漢拏山朝鮮冷杉(*Ab. koreana*)更新及復育研究(Kim et al.

2017a, b)。Kim et al. (2017a) 調查 2006-2015 年間漢拏山朝鮮冷杉森林的空間分布變化。研究結果顯示，由於氣候變遷和其他環境壓力，朝鮮冷杉種群的空間分布發生顯著變化，部分地區的朝鮮冷杉數量大幅減少。Kim et al. (2017b)研究指出，朝鮮冷杉幼苗的天然更新受到多種因素的干擾，包括有蹄類動物的啃食和濟州島矮竹的物理阻礙。研究發現，在 125 個監測樣區中，朝鮮冷杉幼苗的高度大多在 2-7 cm 之間，較高的幼苗非常少，顯示出更新受到嚴重干擾。Chae et al. (2022) 為了有效恢復漢拏山的朝鮮冷杉森林，研究評估漢拏山 3 個亞群體的基因多樣性，並建議從這些群體中抽取至少 35 個樣本來保證基因多樣性的保存。這些研究報告建議應透過控制有蹄類動物的啃食壓力、選擇適當的復育材料以及瞭解森林空間分布變化等方式，以促進朝鮮冷杉的天然更新能力以及森林生態系統的恢復力。

五、結果與討論

(一)運輸軌道植群組成與微環境監測調查

本年度於雪山主峰線 4k (哭坡)至 6.6k 處的運輸軌道兩側架設臺灣冷杉林長期監測樣區(圖 8)，選擇三區域進行地被調查，並同步架設微環境監測器(溫溼度計、光度計、土溫計)(圖 9)，每區域分別架設軌道兩旁 5 個 1 m*3 m 監測樣區與 2 個森林內部 1 m*3 m 對照組樣區，共 21 個樣區(圖 8，附錄二)。本年度共調查 15 科 19 屬 23 種植物，分別為蕨類植物 1 科 1 屬 3 種，裸子植物 1 科 2 屬 2 種，被子植物之雙子葉植物 11 科 13 屬 14 種、單子葉植物 2 科 3 屬 4 種。依 2017 臺灣維管束植物紅皮書名錄評定(臺灣植物紅皮書編輯委員會 2017)，本年度調查到 1 種接近受脅植物(NT)為臺灣小蘗(*Berberis kawakamii*)、1 種易受害植物(VU)為大霸尖山酢醬草與 1 種瀕危植物(EN)為上先型鱗毛蕨(*Dryopteris yoroi*)(圖 10)。

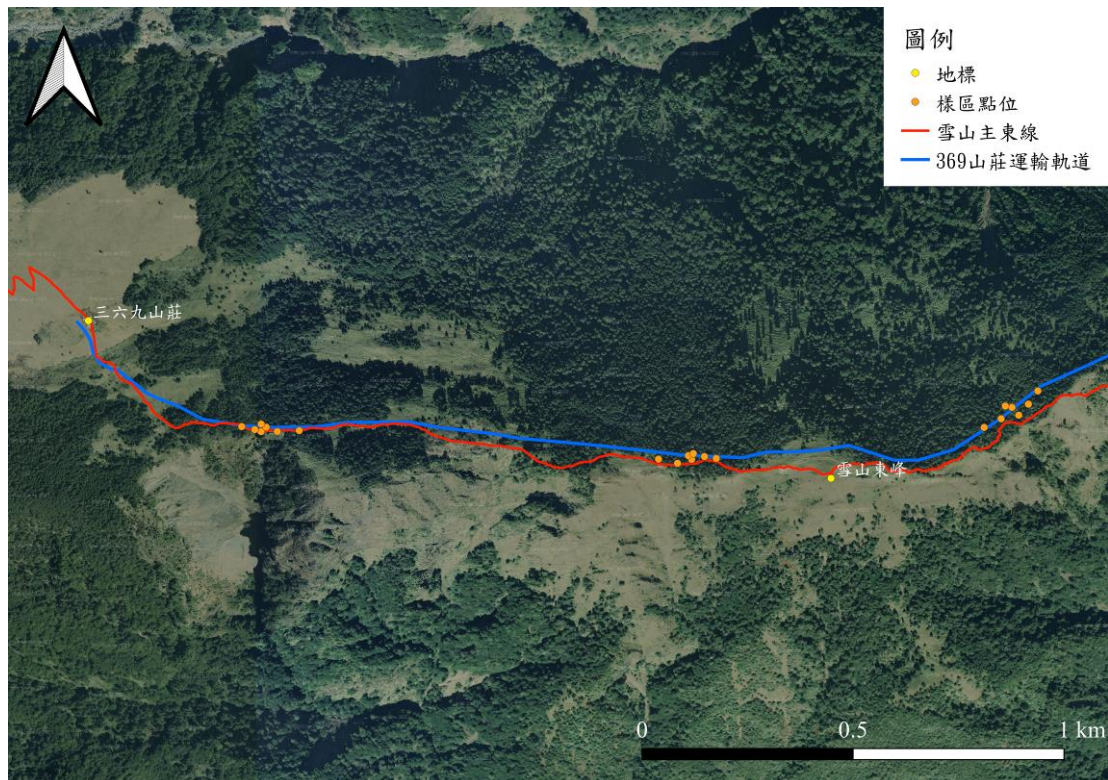


圖 8. 雪山主峰線軌道路線與監測樣區分布圖。



於軌道兩側架設監測樣區。



軌道兩側玉山箭竹均被移除。



每大區架設一組 data log 進行監測。



使用羅盤儀進行環境因子調查。



研究人員進行地被調查。



森林內對照樣區玉山箭竹生長茂密。

圖 9. 雪山主峰線軌道監測樣站架設與調查執行工作照。

地表 IV 值分析顯示，三個監測樣區均以玉山箭竹最為優勢。海拔較低的第一區冠層以臺灣鐵杉數量較多，因此樣區內調查到數量較多的臺灣鐵杉小苗(表 2、圖 10)，共計 129 株小苗，顯示本區臺灣鐵杉更新狀況良好，地被除玉山箭竹外，裂葉樓梯草(*Elatostema trilobulatum*)、虎婆刺(*Rubus croceacanthus*)與刺果豬殃殃(*Galium echinocarpum*)生長於玉山箭竹較稀疏處，與臺灣鐵杉小苗伴生。

表 2. 雪山主峰線軌道監測樣站環境因子與多樣性指數表

樣區	R1	R2	R3
海拔(m)	3114	3173	3175
點位(WGS84)	(121.276459, 24.590163)	(121.268815, 24.38913)	(121.258755, 24.389779)
坡度(°)	32	34	5
坡向(°)	352	5	16
全天光空域(%)	62.11	67.35	74.04
土壤含石率(%)	80%	45%	30%
枯落物百分比(%)	10	55	70
物種數	15	16	9
優勢物種	玉山箭竹	玉山箭竹	玉山箭竹
臺灣冷杉(株)	0	0	1
臺灣鐵杉(株)	129	0	0
Simpson's index	0.732	0.545	0.120
Shannon's index	1.622	1.276	0.332
Evenness index	0.599	0.460	0.151

第一區 Simpson's index 為 0.732、Shannon's index 為 1.622、Evenness index 為 0.599 (表 2)，為三區中多樣性較高的區域，本區林下玉山箭竹較無臺灣冷杉林下茂密，可提供較多其他物種生長空間。第二區位於過雪山主東線 5.5K 處，本區冠層以臺灣冷杉為主，因玉山箭竹生長較為茂密，導致本區無調查到臺灣鐵杉或臺灣冷杉小苗生存，在因軌道建設導致玉山箭竹較稀疏處，本次調查到以裂葉樓梯草、刺果豬殃殃、小穎溝稈草(*Aniselytron agrostoides*)與中國地楊梅(*Luzula effusa*)較為優勢。第二區 Simpson's index 為 0.545、Shannon's index 為 1.276、Evenness index 為 0.460，本區物種數 16 種為三區中最多。第三區位於接近三六九山莊處，本區冠層以臺灣冷杉為主，林下玉山箭竹較第二區高，本次僅調查到 1 株臺灣冷杉小苗(圖 10)，生長於因軌道建設清除之玉山箭竹旁，其他有虎婆刺、臺灣鬼督郵、大霸尖山酢醬草與刺果豬殃殃生長於箭竹稀疏處，本區 Simpson's index 為 0.120、Shannon's index 為 0.332、Evenness index 為 0.151，多樣性指數為三區中最低，因玉山箭竹生長過於茂密，其他物種難以競爭生長，現今因軌道運輸作業清除玉山箭竹，將可能提供臺灣冷杉小苗與其他物種生長空間，本研究未來將持續監測受擾動後樣區生長情形。



受脅植物(NT)：臺灣小蘗。



易受害植物(VU)：大霸尖山酢醬草。



瀕危植物(EN)：上先型鱗毛蕨。



臺灣鐵杉小苗。



臺灣冷杉小苗。



伴生地被：裂葉樓梯草。

圖 10. 雪山主峰線軌道監測樣站臺灣維管束植物紅皮書植物與其他植物照。

透過 NMDS 進行分析，應力函數值(stress value)為 0.109，線性與非線性回歸 R 平方均大於 0.9(圖 11)，顯示模型配適度尚佳。結果呈現各樣區間差異不大，因地被環境並無太大變化，均以玉山箭竹為優勢物種，有些樣區架設於軌道清除玉山箭竹區域，則位於第一軸左側(圖)；而 R1-4 則因調查到數量較多的臺灣鐵杉小苗，因此位於第二軸上方(圖)。

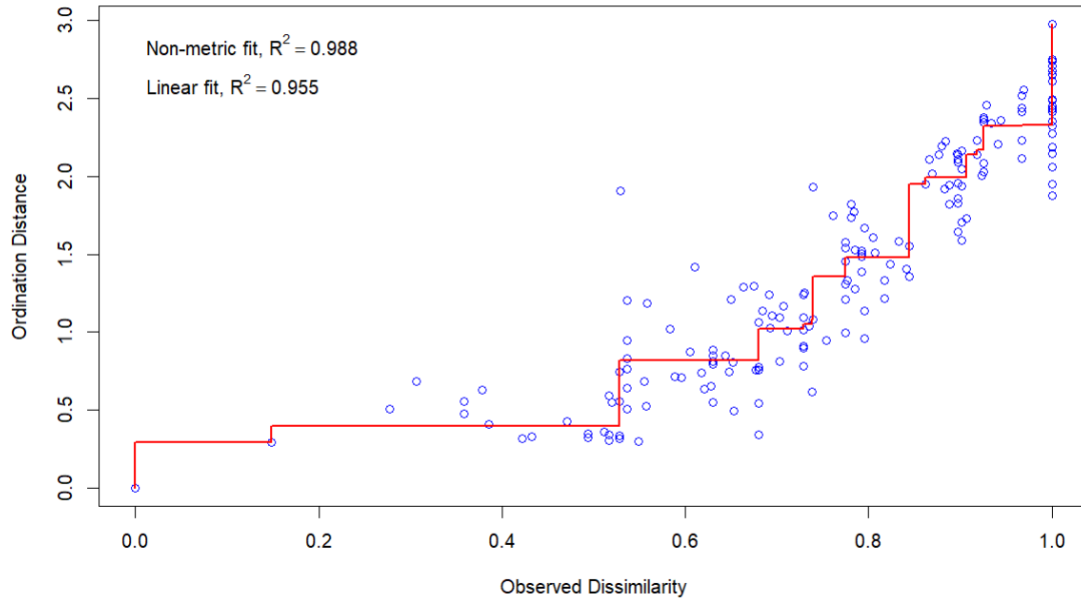


圖 11. 雪山主峰線軌道樣區地被資料與環境因子之 NMDS 應力配適圖。

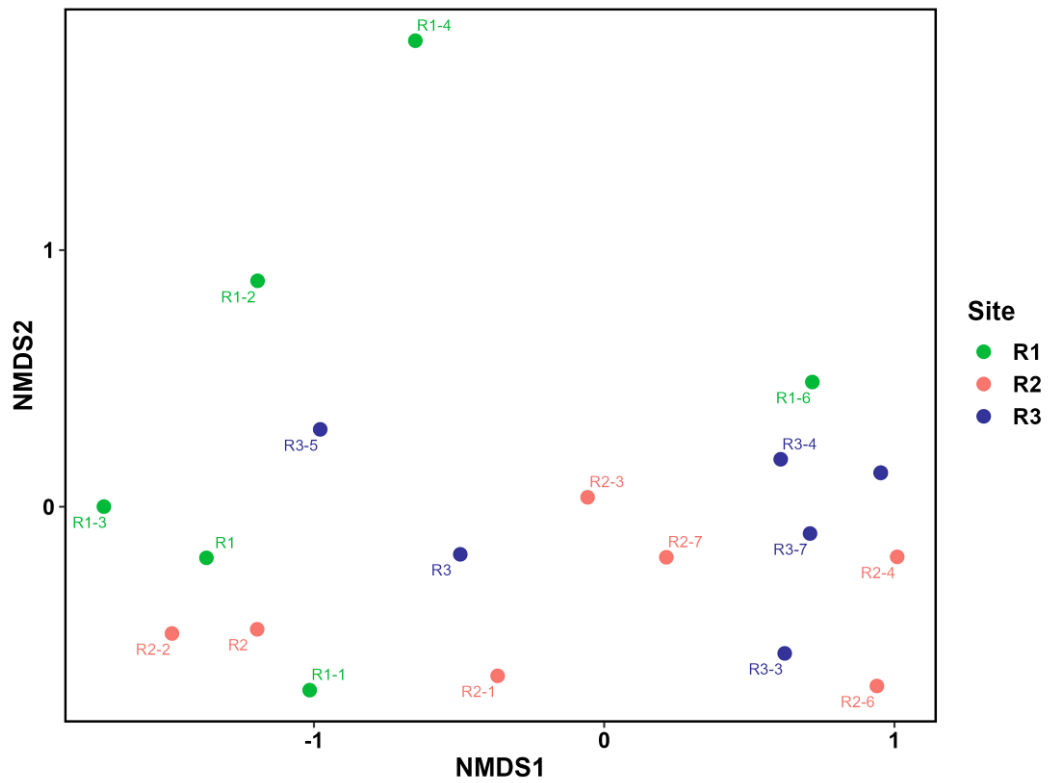


圖 12. 雪山主峰線軌道樣區地被資料之 NMDS 排序圖。

本年度調查結果與廖敏君等(2012; 2013)調查結果相符，雪山主東線 4.6K-6.6K 地被優勢物種為玉山箭竹，其中第一區為臺灣鐵杉較為優勢，因此地被小苗以臺灣鐵杉數量較多，目前受運輸軌道影響較小；第二、三區因海拔上升，臺灣鐵杉上木數量變少，以臺灣冷杉為優勢數種，但因地被生長空間被玉山箭竹所佔據，廖敏君等(2012)推測林下玉山箭竹具緻密地下莖與密度高得莖桿，為影響臺灣冷杉林下物種多樣性與臺灣冷杉天然更新的重要因素，本次調查僅於 6.6K 第三區調查到 1 棵臺灣冷杉小苗，顯示臺灣冷杉於此區域更新狀況不佳，現今因運輸軌道開發，移除玉山箭竹與臺灣冷杉，受擾動後形成幾處孔隙，廖敏君等(2013)發現臺灣冷杉小苗在孔隙較大之林分數量較多，因此本研究未來應著重監測孔隙臺灣冷杉小苗生長情形。

(二) 臺灣冷杉結果物候調查與種子收集

本研究於 2024 年 10 月 21 日進行臺灣冷杉採種工作，因本年度臺灣冷杉結果狀況不佳(圖 12)，根據許博行&簡慶德(2024)於臺灣木本植物繁殖理論與應用指出，臺灣冷杉結實豐欠年明顯，大約每 4~5 年有一次豐年。廖敏君等(未發表資料)觀察到 2021 年臺灣冷杉開花物候有盛開的現象，但在 2022、2023 年均為欠年，本年度(2024 年)雪山主東線臺灣冷杉林亦僅觀察到零星植株結果，且結實量較少，預估 2025 年或 2026 年為臺灣冷杉豐年。因此本年度僅針對幾株臺灣冷杉進行採種工作，並於黑森林地區透過撿拾落果進行種子收集，共計約 20 顆臺灣冷杉熟果。帶回平地進行風乾、種子挑選、冷積等工作(圖 12)，預計於明年春天進行軌道兩側播種發芽試驗。



臺灣冷杉果實多長於樹梢陽光處。



剛採下臺灣冷杉果實需進行風乾。



風乾後毬果鱗片會逐漸脫落。



收集臺灣冷杉種子。

圖 12. 雪山主峰線臺灣冷杉果實與處理過程照片。

六、結論

本年度於雪山主峰線 4k (哭坡) 至 6.6k 處約海拔 3,000 m 的運輸軌道兩側架設臺灣冷杉林長期監測樣區，分別架設軌道兩旁監測樣區與森林內部對照組樣區。本年度共調查 15 科 19 屬 23 種植物，依 2017 臺灣維管束植物紅皮書名錄評定，本年度調查到 1 種接近受脅植物(NT)為臺灣小蘗、1 種易受害植物(VU)為大霸尖山酢醬草與 1 種瀕危植物(EN)為上先型鱗毛蕨。本研究 3 個監測樣區均以玉山箭竹最為優勢。海拔較低的 4.6K 樣區內調查到數量較多的臺灣鐵杉小苗，共計 129 株小苗，顯示本區臺灣鐵杉更新狀況較好。本次僅於 6.6K 樣區調查到 1 株臺灣冷杉小苗，生長於因軌道設施而清除的玉山箭竹旁。因玉山箭竹生長過於茂密，其他物種難以競爭生長，現今因軌道運輸作業清除玉山箭竹，將可能提供臺灣冷杉小苗與其他物種生長空間，本研究未來將持續監測受擾動後樣區生長情形。

本年度雪山主峰線臺灣冷杉林僅觀察到零星植株結果，且結實量較少，屬於臺灣冷杉結實的欠年。因臺灣冷杉果期具有豐欠年，根據前人文獻推估，預估 2025 年或 2026 年為臺灣冷杉豐年。因此本年度僅採集 5 株臺灣冷杉共 20 顆毬果，並於黑森林地區撿拾落果進行種子收集；後續將進行風乾、種子挑選、冷積等工作，預計於明年春天進行軌道兩側播種發芽試驗。

七、參考文獻

- 古心蘭 (1988) 合歡山臺灣冷杉永久樣區之植群分析。國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文。
- 呂金誠 (1999) 武陵地區雪山主峰線植群與植栽應用之研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處八十八年度研究報告。
- 呂金誠 (2006) 雪霸自然保護區翠池地區玉山圓柏林族群結構調查。行政院農業委員會委託研究計畫系列第 95-03-08-02 號。
- 呂金誠 (2007) 尖石地區植群生態調查及檜木林結構分析。內政部營建署雪霸國家公園管理處八十八年度研究報告。
- 邱清安 (2006) 應用生態氣候指標預臺灣潛在自然相群之研究。國立中興大學森林學系博士論文。
- 柳楮 (1961) 南坑河流域森林植物生態之調查。臺灣大雪山林業公司。
- 柳楮 (1963) 小雪山高山草原生態之研究。臺灣省林業試驗所報告第 92 號。
- 柳楮 (1968) 臺灣植物群系之分類。臺灣省林業試驗所報告第 166 號。
- 柳楮 (1971) 臺灣植物社會之分類 II--高山寒原及針葉樹林群系。林試所報告 203:1-24。
- 莊貴瑜 (1997) 合歡山臺灣冷杉社會樹齡結構與草原推移之研究。國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文。
- 許博行&簡慶德(2024) 臺灣木本植物繁殖理論與應用(上、下冊)。農業部林業及自然保育署臺中分署。
- 陳玉峰 (1998) 臺灣植被誌 亞高山冷杉林帶與高地草原(上)-第三卷。
- 陳振威 (1967) 臺灣冷杉種子採集期及貯藏影響發芽率之研究。林業試驗所報告第 143 號。
- 劉崇瑞、蘇鴻傑 (1983) 森林植物生態學。臺灣商務印書館股份有限公司。
- 劉業經、呂福原、歐辰雄、賴國祥 (1984) 臺灣高山箭竹草生地之植物演替與競爭機制。中華林學季刊 17(1):1-32。
- 歐辰雄 (2002) 雪霸國家公園植群生態調查—大雪山地區。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 歐辰雄 (2003) 雪霸國家公園植群生態調查—尖石地區。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告 92-02。
- 歐辰雄 (2004) 雪霸國家公園植群生態調查—大小劍地區。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 歐辰雄 (2005) 雪霸國家公園植群生態調查—南坑溪地區。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告 94-10。

- 歐辰雄 (2006) 雪霸國家公園植群分類及空間分布之研究(一)。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告 90-53。
- 歐辰雄 (2007) 雪霸國家公園植群分類及空間分布之研究(二)。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告 90-53。
- 歐辰雄、呂福原 (1997) 觀霧地區植群生態調查及植栽應用之研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處八十六年度研究報告。
- 潘德發、許博行 (1990) 低溫對臺灣冷杉苗木萌芽的效應。中興大學實驗林森林系所研究報告 12(2): 21~32
- 賴國祥 (1992) 臺灣亞高山針葉樹林與草生地間推移帶動態結構之探討。國立中興大學植物學研究所博士論文。
- 賴國祥 (2003) 台灣亞高山地區的林火生態。林火生態與管理研討會，第 48-52 頁。農委會林務局、台灣生物多樣性保育學會。
- 賴國祥 (2005) 合歡北峰台灣二葉松林火燒後之天然更新。特有生物研究 7(1): 61-68。
- 應紹舜 (1976) 大霸尖山高山植群的研究。臺大實驗林研究報告 118: 217-238。
- 蘇鴻傑 (1974) 臺灣高山地區之香柏社會。臺大實驗林研究報告 113: 101-112。
- Baruch Z. (1984) Ordination and classification of vegetation along an altitudinal gradient in the Venezuelan paramos. *Vegetatio* 55: 115-126.
- Chae S.B., H.I. Lim and Y.Y. Kim (2022) Selection of restoration material for *Abies koreana* based on its genetic diversity on Mt. Hallasan. *Forests* 13: 24. <https://doi.org/10.3390/f13010024>.
- Dolezal J. and M. Srutek (2002) Altitudinal changes in composition and structure of mountain-temperate vegetation: a case study from the Western Carpathians. *Plant Ecology* 158: 201-221.
- Gentry A.H. (1988) Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographical gradients. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 75: 1-34.
- Hamilton A.C. and R.A. Perrott (1981) A study of altitudinal zonation in the montane forest belt of Mt. Elgon, Kenya/Uganda. *Vegetatio* 45: 107-125.
- Kim E.S., C.H. Oh., H.C. Park, S.H. Lee, J. Choi, S.H. Lee, H.B. Cho, W. Lim, H. Kim and Y.K. Yoon (2016) Disturbed regeneration of saplings of Korean fir (*Abies koreana* Wilson), an endemic tree species, in Hallasan National Park, a UNESCO Biosphere Reserve, Jeju Island, Korea. *Journal of Marine and Island Cultures* 5(1): 68-78. <https://doi.org/10.1016/j.imic.2016.02.001>.
- Kim J.K., J.G. Koh, H.T. Yim and D.S. Kim (2017) Changes of spatial distribution of Korean fir forest in Mt. Hallasan for the past 10 years (2006, 2015). *Korean Journal of Environment and Ecology* 31(6): 549-556. <https://doi.org/10.13047/KJEE.2017.31.6.549>. (In Korean with English Abstract)

- Latham P.A., H.R. Zuuring and D.W. Coble (1998) A method for quantifying vertical forest structure. *Forest Ecology and Management* 104: 157-170.
- Liao M.C., P.H. Lee, W. Wang, C.A. Chiu and H.Y. Tzeng (2022) Structure changes of the subalpine Taiwan fir (*Abies kawakamii* (Hay.) Ito) forest from 2008 to 2018. *Journal of Forest Research* 28(2): 126-135. <https://doi.org/10.1080/13416979.2022.2135523>
- Ludwig J.A. and J.F. Renolds (1988) *Statistical Ecology- A primer on Methods and Computing*. John Wiley & Sons, New York.
- Odland A. and H.J. B. Birks (1999) The altitudinal gradient of vascular plant richness in Aurland, western Norway. *Ecography* 22: 548-566.
- Ojeda F., T. Maranon and J. Arroyo (2000) Plant diversity patterns in the Aljibe Mountains (S. Spain): a comprehensive account. *Biodiversity and Conservation* 9: 1323-1343.
- Pett R.K. (1978) Forest vegetation of the Colorado, Front Range: Pattern of species diversity. *Plant Ecology* 37(2):65-78.
- Rey Benayas J.M. (1995) Patterns of diversity in the strata of boreal montane forest in British Columbia. *Journal of Vegetation Science* 6: 95-98.
- Ricklefs R.E. and D. Schluter (1993) Species diversity: regional and historical influences. In: Ricklefs, R. E. and D. Schluter (eds.) *Species Diversity in Ecological Communities*. University of Chicago Press, Chicago, 35-363.
- Su H.J. (1984) Studies on the climate and vegetation types of the natural forests in Taiwan (II): altitudinal vegetation zones in relation to temperature gradient. *Quarterly Journal of Chinese Forestry* 17(4): 57- 73.
- Walter H. (1979) *Vegetation of the Earth*. Springer, New York.
- Wang W., M.C. Liao and H.Y. Tzeng (2021) Competition in *Abies kawakamii* forests at subtropical high mountain in Taiwan. *PLoS ONE* 16(7): e0254791. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254791>
- Whittaker R.H. (1960) Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. *Ecological Monographs* 30: 279-338.
- Whittaker R.H. and W.A. Niering (1965) Vegetation of the Santa Catalina Mountains, Arizona: a gradient analysis of the South slope. *Ecology* 46: 429-452.
- Whittaker R.H., K.J. Willis and R. Field (2001) Scale and species richness: towards a general, hierarchical theory of species diversity. *Journal of Biogeography* 28: 453-470.
- Willis K.J. and R.H. Whittaker (2002) Species diversity- scale matters. *Science* 295: 1245-1248.
- Wilson J.B., W.G. Lee and A.F. Mark (1990) Species diversity in relation to ultramafic substrate and to altitude in southwestern New Zealand. *Vegetatio* 86: 15-20.
- Wolf A. (2005) Fifty year record of change in tree spatial patterns within a mixed

deciduous forest. *Forest Ecology and Management* 215: 212-223.

Yoda K.A. (1967) Preliminary survey of the forest vegetation of eastern Nepal. *Journal of the College of Arts and Sciences, Chiba University. Natural Science Series* 5: 99-140.

附錄一、植物物種名錄

種類	中文俗名	學名	科別	英文科別	保育等級
蕨類植物	上先型鱗毛蕨	<i>Dryopteris yoroii</i> Seriz.	鱗毛蕨科	Dryopteridaceae	EN
蕨類植物	腺鱗毛蕨	<i>Dryopteris alpestris</i> Tagawa	鱗毛蕨科	Dryopteridaceae	LC
蕨類植物	藏布鱗毛蕨	<i>Dryopteris redactopinnata</i> Soumen K.Basu & Panigrahi	鱗毛蕨科	Dryopteridaceae	LC
裸子植物	臺灣冷杉	<i>Abies kawakamii</i> (Hayata) T. Itô	松科	Pinaceae	LC
裸子植物	臺灣鐵杉	<i>Tsuga chinensis</i> (Franch.) Pritz. ex Diels var. <i>formosana</i> (Hayata) H. L. Li & H. Keng	松科	Pinaceae	LC
雙子葉植物	臺灣小檗	<i>Berberis kawakamii</i> Hayata	小檗科	Berberidaceae	NT
雙子葉植物	山桔梗	<i>Peracarpa carnosa</i> (Wall.) Hook.f. & Thomson	桔梗科	Campanulaceae	LC
雙子葉植物	臺灣鬼督郵	<i>Ainsliaea latifolia</i> (D. Don) Sch. Bip. subsp. <i>henryi</i> (Diels) H. Koyama	菊科	Compositae	LC
雙子葉植物	星果佛甲草	<i>Sedum actinocarpum</i> Yamam.	景天科	Crassulaceae	LC
雙子葉植物	中國地楊梅	<i>Luzula effusa</i> Buchenau	燈心草科	Juncaceae	LC
雙子葉植物	大霸尖山酢醬草	<i>Oxalis acetosella</i> L. ssp. <i>taemoni</i> (Yamam.) S. F. Huang & T. C. Huang	酢醬草科	Oxalidaceae	VU
雙子葉植物	日本愛冬葉	<i>Chimaphila japonica</i> Miq.	鹿蹄草科	Pyrolaceae	LC
雙子葉植物	水晶蘭	<i>Cheilotheca humilis</i> (D. Don) H. Keng	鹿蹄草科	Pyrolaceae	LC
雙子葉植物	虎婆刺	<i>Rubus croceacanthus</i> H. Lévl.	薔薇科	Rosaceae	LC
雙子葉植物	刺果豬殃殃	<i>Galium echinocarpum</i> Hayata	茜草科	Rubiaceae	LC
雙子葉植物	咬人貓	<i>Urtica thunbergiana</i> Siebold & Zucc.	蕁麻科	Urticaceae	LC
雙子葉植物	裂葉樓梯草	<i>Elatostema trilobulatum</i> (Hayata) Yamaz.	蕁麻科	Urticaceae	LC
雙子葉植物	雪山堇菜	<i>Viola adenothis</i> Hayata var. <i>tsugitakaensis</i> (Masam.) J. C. Wang & T. C. Huang	堇菜科	Violaceae	LC
雙子葉植物	喜岩堇菜	<i>Viola adenothis</i> Hayata	堇菜科	Violaceae	LC
單子葉植物	抱鱗宿柱薹	<i>Carex tristachya</i> Thunb. var. <i>pocilliformis</i> (Boott) Kük.	莎草科	Cyperaceae	LC
單子葉植物	黃花薹	<i>Carex chrysolepis</i> Franch. & Sav.	莎草科	Cyperaceae	LC
單子葉植物	小穎溝稈草	<i>Aniselytron agrostoides</i> Merr.	禾本科	Poaceae	LC
單子葉植物	玉山箭竹	<i>Yushania niitakayamensis</i> (Hayata) Keng f.	禾本科	Poaceae	LC

附錄二、軌道監測樣區點位

Site	X(WGS84)	Y(WGS84)
R1-1	121.276906	24.390730
R1-2	121.276685	24.390421
R1-3	121.276459	24.390163
R1-4	121.276048	24.390080
R1-5	121.275651	24.389877
R1-6	121.276301	24.390346
R1-7	121.276145	24.390377
R2-1	121.269391	24.389153
R2-2	121.269116	24.389196
R2-3	121.268815	24.389130
R2-4	121.268487	24.389038
R2-5	121.268042	24.389135
R2-6	121.268739	24.389218
R2-7	121.268857	24.389266
R3-1	121.259648	24.389804
R3-2	121.259136	24.389781
R3-3	121.258755	24.389779
R3-4	121.258608	24.389826
R3-5	121.258304	24.389897
R3-6	121.258875	24.389881
R3-7	121.258758	24.289955