



☒ 公開

☐ 密件、不公開

執行機關(計畫)識別碼：100701e500

行政院農業委員會林務局108年度科技計畫研究報告

計畫名稱：臺灣高海拔山區草原生態系調查與監測
(1/3) (第1年/全程3年)
(英文名稱) Investigation and monitoring high
mountain grassland ecosystem in
Taiwan (1/3)

計畫編號：108農科-10.7.1-務-e5

全程計畫期間：自 108年1月1日 至 110年12月31日

本年計畫期間：自 108年1月1日 至 108年12月31日

計畫主持人：林政道

研究人員：劉以誠、郭礎嘉、賴宇傑、李丁在、蘇昱

執行機關：國立嘉義大學



1080530



一、執行成果中文摘要：

氣候變遷是目前全球生態系面臨的重大危機之一，特別是在高海拔山區敏感的生態系統，受到氣候變遷影響的衝擊遠大於低海拔環境。因此自2008年開始在林務局經費支援下，啟動了臺灣高海拔草原生態系長期監測，並依照「全球高山生態環境觀測研究計畫」的多峰調查法之標準，評估並建立全臺灣高海拔生態系植群長期監測樣點，包含五個區域及 15 座三千公尺以上的山峰。本年度為第三次監測，主要複查大水窟山區三座山峰，比較第二次監測和第一次監測結果，普遍來說物種豐富度變化增加，但比較本年度與第二次監測(2013年)的植物物種組成，物種消失23種，尤其是蕨類植物已完全消失；而新增物種則為9種。此外部分物種的分布從普遍/常見，降低至少見的稀少種，例如一枝黃花。另外普遍分布的玉山箭竹，在 SEN 山峰的東向及北向擴張為優勢等級。從氣候與增強型植生指標(EVI)變化可見，植物的生長旺盛程度與溫度、雨量呈現指數關係。近年來大水窟區域的秋冬溫度上升，生長植物生長季延長，可能影響低溫適存種的繁殖更新，使玉山箭竹生長旺盛，進而排擠其他物種生長。本研究初步建立大水窟區域的物種功能性狀表，未來將加入其他區域物種，並逐步擴充性狀值，建立高山物種功能型。

二、執行成果英文摘要：

Recently, climate change is the most severe emergency of global ecosystems, especially for the sensitive high-mountain ecosystems, which would encounter higher impacts than lowland environments by climate change. Since 2008, long term monitoring of high mountain grassland ecosystem project was funded by Taiwan Forest Bureau, and use the multi-summit survey standard by “Global Observation Research Initiative in Alpine Environment (GLORIA)”. The project assessed and created long-term monitoring plots of high-mountain vegetation, including five target regions with 15 summits above 3000 m a.s.l. This year is the third monitoring cycle to re-survey three summits at Dashueiku (DAS) target region. Comparing the results of the second and the first monitoring cycle, the species abundance was increasing along the altitudinal gradient generally, but comparing the species composition between this year and the second monitoring cycle (2013), 23 plant species disappear, especially we cannot find any of the pteridophytes within plots; there are also nine newly recorded species within the plots of DAS. However, some wide-distributed species shrink to narrow-distributed rare species, such as *Solidago virgaurea* var. *leiocarpa* Miq., and wide-distributed *Yushania niitakayamensis* becomes highly dominated on eastern and northern slopes of the SEN summit. According to the long term trend of climate and Ehandance Vegetation Index(EVI) from 1979 to 2019, the temperature of



1080530



autumn and winter was gradually raised in the recent 20 years, and the EVI had a significant exponential relationship with both temperature and precipitation. Meanwhile, The raise of autumn and winter temperature extend the growing season of plants, which may affect the reproduction and regeneration of low-temperature tolerant species. Also, Growing season extend made *Yushania niitakayamensis* population expansion, which may cause competition and exclude other species. In the meantime, a database of species functional traits in the DAS area was initially established, and species in other regions will be added in the future.

三、計畫目的：

工作目標為大水窟目標區域（國際代碼DAS）的樣區野外複查、文獻回顧、植物對於暖化的反應之初步分群、樣區資料維護、以及野外資料綜合分析等，其具體工作目標如下：

1. 完成目標區域的樣區野外複查：本年度規劃工作包括三座山峰之重新定位及樣區重新設置、使用「全球高山生態環境觀測研究計畫」標準調查法進行樣區環境及物種之複查、換取溫度記錄儀、拍攝所有樣區之環境狀況以及物種照片。
2. 收集高山植物各式基本資訊：包括物種辨識資料、植物標本、物種照片、棲地資料與分布資料，做為未來高山植物監測所需的基本資訊。
3. 調查成果應用分析：利用所收集之野外資料，結合生物及環境因子，以分析軟體及地理資訊系統相關軟體，整合分析野外的調查資料、文獻資料、衛星影像資料以及標本館資訊，提出高山植群對於氣候變遷的反應，並進行物種多樣性受到氣候變遷衝擊之影響分析，以供管理單位參考。

四、重要工作項目及實施方法：

本計畫將持續依照GLORIA之複查及分析準則，進行資訊收集及分析，並依據樣區設立時之規劃，本年度開始進行野外調查，以逐年完成細部項目。具體工作項目敘述如下：

1. 山峰之重新定位及樣區重新設置：此計畫的動態樣區僅於中心點釘立地面一小面標示，以免影響環境及物種之發展，在樣區重新設置時可以完全重現原先之樣區，因此工作首要是依據GPS（座標及海拔）、樣區照片及環境照片找到目標區域山峰之中心點，重新設置樣區，並對照照片確認重新設置之正確性；每座山峰需要重新設置的樣區包含16個1 m ×1 m永久樣區、4個10 m ×10 m穿越線點調查法樣區及8個山峰區域樣區。
2. 樣區複查及照片：野外實地的複查過程中，依調查手冊之規範，於每一個1 m ×1 m永久樣區調查及記錄不同地表類型及物種投影覆蓋度百分比、地表類型亞型的覆蓋度、維管束植物物種名錄及其覆蓋度，於每一個10 m ×10 m穿越線調查及記錄物種或地表類型，於每一個1 m ×1 m永久樣區調查及記錄不同地表類型的覆蓋度百分比、物種名錄和每種植物的豐盛度，並拍攝山峰全景、山峰最高點（HSP）、1



1080530



- m x1 m永久樣區之有頻度網格及無頻度網格、3 m x3 m樣區、山峰區域樣區、各邊界點及溫度記錄儀位址之照片。
3. 溫度記錄儀之取出、埋設及資料存取：各年度在取樣山峰之四個方位都埋設有溫度紀錄儀，需要取出此些溫度紀錄儀及分析所紀錄之溫度，並埋設新的溫度計錄儀。
 4. 標本館及文獻資料蒐集：以前次計劃之基礎，持續搜尋國內並擴及鄰近地區，查詢各大標本館、期刊論文、計劃報告及採集記錄等等，並依照文獻資料庫記錄方式，整理建置於EndNote文獻資料庫中。
 5. 樣區植物資料庫紀錄：以已建置完成前次計劃植物資料庫為基礎，本年度的工作重點將是修正資料庫並持續累積調查資料，項目包括：目標樣區代碼、山峰代碼、樣區編號、棲地類型、拉丁學名、中文名、科名、屬名、覆蓋度或頻度、樣區內X座標、樣區內Y座標、調查日期、調查月份、調查年份、地理分布區域、氣候型態、生活型、生命週期、用途、物候資訊、果實形態、資料來源等等。本年度預計以標本館資料配合野外調查工作，預計建置所有在樣區所調查到的物種資料。
 6. 樣區植物對於氣候變遷之反應模式的分群：本計畫擬針對已有樣區中的植物物種探討它們在遷移性上的可能差異，並進行初步的分類，同群的植物將會有相類似的遷移特性。此分類為依據物種的地理分布區域、氣候型態、生活型、生命週期、形態特性及物候特性來判斷的，資料來源涵括標本館、期刊論文、計劃報告、採集記錄及野外調查紀錄。
 7. 持續建立高山植物辨識資料：過去透過野外調查與照片的拍攝蒐集，已建立高山植物辨識資料，本年度將持續進行，並預計進行植物辨識資料的整合，以供研究者之需及未來社會大眾之參考。
 8. 衛星影像建構長期氣候與植群生長變遷：使用衛星影像資訊作為輔佐，建立大水窟區域的長期植群生長與氣候變遷，並搭配地面監測資料，探究其未來值群變化方向。
 9. 資料分析：野外調查資料將能完整呈現究竟台灣高山屬於北溫帶歐洲物種增加或著地中海地區物種減少或著混合模式，這些結果將提給各級主管單位參考；本計畫預期利用模式分析方法，將分布於高山的植物物種進行分類，進一步轉換成未來可能遷移與否及是否會遭受衝擊的預測。這些分析的成果，不僅可以充實高山植物資料庫的內容，也可做為專家學者進行深入研究的基礎，更重要的是能提供最直接的物種變化資訊，以利相關主管單位進行相關保育與管理策略之擬定，也可應用到其他氣候變遷之研究及管理議題。

五、結果與討論：

一、各山峰之物種組成與地表類型

本研究於2019年7月完成大水窟區域第三次永久樣區複查。本次複查共調查到20科41屬49種維管束植物(參照表 4)，其中石松類植物有三種，裸子植物三種，被子植物有43種。在物種組成當中，最多為禾本科 (Poaceae) 植物，共有十種；其次為菊科 (Asteraceae，七種)、莎草科 (Cyperaceae，四種)、杜鵑花科 (Ericaceae，四種)、龍膽科 (Gentianaceae，四種) 以及薔薇科 (Rosaceae，四種)。在所有物種中，特有種有21種，其餘皆為原生種。依《2017台灣維管束植物紅皮書名錄》評估



1080530



，49種植物中屬於IUCN的易危等級以上的物種總共有兩種，分別是易危（VU）的玉山石竹（*Dianthus pygmaeus*）與瀕危（EN）的雪山翻白草（*Potentilla tugitakensis*）。兩種植物在區域內皆屬稀少，雪山翻白草甚至僅有2-3株小型植株，不構成穩定族群，該物種是否能於區域內存續，必須持續監測。

整合三個目標山峰的地表類型覆蓋組成(參照表 5)，平均而言，維管束植物的覆蓋最多，SUN山峰與SEN山峰有較高比例的岩石、碎石表面，YAT山峰的岩石與碎石表面平均比例較低。此外，三座山峰皆有零星的地衣與苔蘚分布，另外有5-8%區域為裸地與凋落物覆蓋。值得一提的是YAT山峰的南面，其5m區域樣區的裸地比例高達30%，10m區域樣區也有17%的裸地，該區域有動物蹄印以及翻土之痕跡，依據調查期間觀察到的鄰近動物族群，可能是山豬與水鹿群於此活動覓食，然而為何僅集中於YAT山峰的南向坡面，仍待進一步研究。

2019年的植物組成分析結果表明(表 6)，三個山峰區域主要的優勢種皆為玉山箭竹，平均重要值皆高於75以上，顯示三個山峰區域皆屬於玉山箭竹植群型。在恆存種的部分，除了玉山箭竹是三個山峰共同的恆存種之外，各區域略有不同。SEN山峰的恆存種，除了玉山箭竹之外，只有香青的恆存度達到50%以上。海拔高度以及水平距離較接近的SUN山峰與YAT山峰的恆存種相似，芒(*Miscanthus sinensis*)、羊茅(*Miscanthus sinensis*)以及一枝黃花(*Solidago virgaurea* var. *leiocarpa*)都有超過50%的恆存度。在忠誠種的部分，SUN山峰忠誠度最高的物種為高山白珠樹(*Gaultheria itoana*)，其次有刺柏、紅毛杜鵑、喜岩堇菜(*Viola adenothrix* var. *adenothrix*)等10種；SEN山峰的忠誠度以香青以及玉山杜鵑較高，此外還有川上氏短柄草(*Brachypodium kawakamii*)與玉山針蘭(*Trichophorum subcapitatum*)；YAT山峰的黃穗薹(*Carex perakensis*)忠誠度高達0.92，其他較低的有羊茅、森氏山柳菊、一枝黃花以及芒。

主成分分析結果顯示(表 7、圖 11)，YAT山峰的樣區組成相似性較高，而SEN山峰與SUN山峰的樣區組成變異較大。三個山峰區域有許多樣區的組成重疊，第一軸大約與玉山箭竹的重要值呈現相關，第二軸則顯示刺柏呈正相關，並與香青呈現負相關。整體而言，主成分分析結果表示樣區植物組成的最大變異來自玉山箭竹的優勢比例，其次為海拔梯度造成的植物組成差異。從三個山峰的樣區點位相對位置可見SUN山峰與SEN山峰的植物組成差異較大，而YAT介於兩者之間，整體分布與三座山峰的海拔差異相似。

綜合來說，雖然三座山峰區域皆是屬於玉山箭竹優勢植群，然而仍因為海拔差異致使物種組成變化。海拔為3610 m 的SEN山峰於植群分類(Su, 1985)上屬於高山植群帶，香青與玉山杜鵑為主要優勢木本植物，而海拔為3255 m 的SUN山峰以及3363 m的YAT山峰則屬於冷杉林帶，有刺柏與紅毛杜鵑分布。海拔是反映長期氣溫變化的因子，植物在海拔上的分布界線也同是代表著該植物的溫度適性。近年氣候變遷程度加劇，2013-2017年全球年均溫屢破紀錄。極端高溫是否影響高山植群？我們將在後續章節以2008-2019年間的調查成果以及衛星影像分析陸續討論。

二、目標山峰物種組成與變化

(一) 物種組成與優勢度變化



1080530



比較2008 – 2019年三次調查的物種組成變化(表8、表 9)，自2008年到2013年，目標區域內物種數增加了11種，減少一種；主要有蕨類的逆羽蹄蓋蕨(*Athyrium reflexipinnum*)、闊葉鱗毛蕨 (*Dryopteris expansa*)、玉山蕨蕨 (*Selliguea quasidivaricata*) 等3種，以及被子植物的阿里山天胡荽 (*Hydrocotyle setulosa*)、山艾 (*Artemisia kawakamii*)、短莖宿柱薑 (*Ca. breviculmis*)、黃花薑 (*Ca. chrysolepis*)、南投薑 (*Ca. oxyandra*)、南湖雛蘭 (*Amitostigma alpestre*)、臺灣繡線菊(*Spiraea formosana*) 以及高山柳 (*Salix taiwanalpina* var. *takasagoalpina*) 等八種；2008年調查到的黑斑龍膽 (*Gentiana scabrida* var. *punctulata*) 於2013年並未調查到。2013年到2019年，物種組成有較大變化，有23種物種於2019年調查中消失，其中蕨類物種於2019年調查中完全不見。另外木本植物的臺灣華山松 (*Pinus armandii* var. *mastersiana*)、臺灣小檗 (*Berberis kawakamii*)、臺灣繡線菊(*Sp. formosana*)、玉山繡線菊 (*Sp. morrisonicola*)、高山柳 (*Salix taiwanalpina* var. *takasagoalpina*) 等以及若干草本植物如山艾 (*Artemisia kawakamii*)、南湖雛蘭 (*Amitostigma alpestre*)、玉山翦股穎 (*Agrostis infirma* var. *infirma*) 等，也未見於2019年調查中。此外，2019年調查中新增九種物種，其中有地刷子 (*Diphasiastrum multispicatum*)、玉山薊 (*Cirsium kawakamii*)、玉山毛蓮菜 (*Picris hieracioides*)、黃穗薑、野薄荷 (*Origanum vulgare*)、短距粉蝶蘭 (*Platanthera breviculcarata*)、高山梯牧草 (*Phleum alpinum*)、雪山翻白草 (*Potentilla tugitakensis*)、假繡線菊 (*Spiraea hayatana*) 等。縱觀2008 – 2019年的總物種數，在十年間物種組成確實產生變化。參照中央氣象局報告，鄰近玉山北峰氣象站資料顯示2009 – 2013年間氣候暖化趨勢放緩，年均溫略為下降，該區間年度的極端高溫日數[1]在10 – 28日之間，可能是氣候條件適宜，致使物種數增加。然而於2013 – 2018年間，年均溫逐步上升，而年度極端高溫日數更高達50 – 78日。極端高溫現象可能是造成物種數減少的原因之一，之後將進一步依物種特性與各目標山峰的物種變化探討。

大水窟區域的三個山峰海拔高度不同 (表2)，最高為SEN山峰 (海拔 3610 m)，最低為SUN山峰 (海拔 3255 m)。在臺灣的植群帶分類中，中部海拔3600 m為高山植群帶與冷杉林帶之分界 (Su, 1985)，因此SEN山峰的潛在優勢物種應當與其他兩座山峰不同。於2008年的成果調查中，SUN與YAT植群型歸類為一枝黃花型，SEN山峰的植群類型歸類為玉山杜鵑植群型。在2013年的調查中，SEN山峰的南、東、西坡向歸類為香青-玉山箭竹植群型，其餘區域則歸類為一枝黃花-玉山箭竹植群型。同時，在2019年的山峰區域調查中，SEN山峰仍以香青-玉山箭竹為優勢物種；然而在SUN山峰與YAT山峰，一枝黃花從原先普遍或常見分布，降低至少見的稀少種，顯示山峰區域的物種組成產生變化。在2008-2013年的調查結果顯示DAS目標區域的物種數量大多增加，鮮少數量下降的情況 (表 9)；然而，2019年的調查中，各目標山峰區域內皆有物種消失的情況，減少物種數在7 – 18種之間，雖然同樣也有些2013年未調查到的物種出現，但增加的物種數遠小於消失的物種數。普遍消失的物種如玉山翦股穎、玉柏 (*Dendrolycopodium juniperoideum*)、抱鱗宿柱薑 (*Carex tristachya* var. *pocilliformis*) 以及紫羊茅 (*Festuca rubra*) 等等。依據2015年GLORIA計畫所收



1080530



集的物種分布海拔上下限 (圖 12)，上述物種皆是中高海拔分布物種，大水窟目標山峰並非其分布的海拔下界，依常理論之，暖化應當造成其分布界線升高，該物種族群數量增加。因此，這些物種消失，暖化可能非直接主因，本研究將收集更多資料後，後續進行探討。除了物種新增與消失之外，本研究進一步探討2013-2019年目標山峰的區域樣區內各物種豐富度 (abundance) 的變化。屏除掉消失的物種後，本研究統計2013-2019年兩次調查中豐富度產生變化的物種數 (表 10、表 11)，結果顯示在各山峰區域的豐富度下降的物種數通常高於豐富度增加的物種數。SUN山峰的5m區域顯示芒、羊茅、玉山金絲桃 (*Hypericum nagasawae*) 以及玉山龍膽 (*G. scabrida*) 等的豐富度普遍下降，而刺柏、高山白珠樹、曲芒髮草 (*Deschampsia flexuosa*)、短莖宿柱薑等則多是上升；10 m區域豐富度多下降的有大籽當藥 (*Swertia macrosperma*)、玉山石竹、抱鱗宿柱薑、玉山龍膽等等，上升者有曲芒髮草、短莖宿柱薑。在SEN山峰較值得注意的是東向與北向，無論是5m或10m區域，玉山箭竹的豐富度皆從常見等級(C)提高到優勢等級(D)，豐富度普遍下降的物種有而玉山金絲桃與玉山小米草 (*Euphrasia transmorrisonensis* var. *transmorrisonensis*)。YAT山峰的5m區域中，芒、玉山石竹、玉山水苦蕒 (*Veronica morrisonicola*) 普遍豐富度下降；在10 m區域中，芒的下降趨勢更為明顯，在北方區域甚至從該區域的優勢等級 (D) 降低成稀少等級 (R)。其他豐富度下降的物種有一枝黃花、臺灣三毛草 (*Trisetum spicatum* var. *formosanum*)、大籽當藥以及玉山小米草等。YAT山峰區域有明顯的水鹿、山豬踐踏以及山豬翻土的痕跡，而2013年的調查當中，雖然有部分1x1樣區中發現動物排遺，但是並未紀錄到動物啃食或擾動，該區域的物種豐富度變化可能受到動物影響。

1x1樣區能反映目標區域內的細部變化，因此本研究比較三個年度的1x1樣區的物種數 (表 12)，了解各目標山峰的物種變化。自表中可見2019年各個山峰樣區的物種數多是下降的，特別在YAT山峰，平均每個小區減少5 - 10個物種。本研究進一步利用物種覆蓋度計算各小區的Shannon均勻度指數，了解各小區內物種覆蓋分配的均勻程度。結果顯示2019年多數樣區的均勻度指數有下降趨勢，但降低幅度較低。雖然在YAT山峰中，多數樣區的物種數大幅下降，然而並不完全反映在均勻度上的下降趨勢，顯示消失的物種多為該樣區內的稀少種，因此消失後未對樣區的均勻度造成太大影響。從1x1小區的物種覆蓋度加總比較表 (表 14) 可見，在SUN山峰與SEN山峰中，玉山箭竹的覆蓋度上升，而在YAT山峰中，幾乎所有的優勢物種覆蓋度都大幅度的下降。而在三個山峰的1x1樣區中，玉山翦股穎族群完全消失。除外，維管束植物紅皮書評定為易危的玉山石竹，在三個山峰區域的總覆蓋度都是下降的，特別在SEN與YAT山峰，從可能具有小族群演變成數量稀少，這是必須持續關注的目標。

(二) 氣候與植生指標變化

透過植群長期監測研究，雖然可以反映出植群的長期變遷，但是於時間軸仍屬於點狀資訊，難以得知在兩期調查之間，植群的實際變動情形與影響因子。因此，我們利用衛星影像，探究較大的空間尺度下，調查期間的植物生長與氣候變化情形。進而搭配地面監測資料，推測植群變遷的原因。

1. 氣候變化趨勢與溫度推估



1080530



我們利用1979 - 2018年ERA5的年均溫與年雨量資料來檢視大水窟區域之長期氣候變化趨勢。除了全年均溫與全年總降雨量之外，我們分別依照冬(12 - 2月)、春(3 - 5月)、夏(6 - 8月)、秋(9 - 11月)等四個季節來看氣候變化。

1979 - 2018年大水窟區域的氣候變化如圖 13所示。從氣溫變化趨勢中可以發現，雖然年均溫有高低震盪，但自1998年開始，年均溫有逐步上升的趨勢，增幅約為0.5度。進一步從季節氣溫變化來看(圖 14)，1998年後，各季節的均溫都有提升的趨勢。以1998年為界，1979 - 1997年的平均冬季均溫為8.9℃，春季為14.1℃，夏季為18.1℃，秋季為14.7℃；1998 - 2018年的平均冬季均溫為9.8℃，春季為14.6℃，夏季為18.3℃，秋季為15.5℃。冬季平均溫度提升最多，將近1℃；其次是秋季，平均溫度也提升0.8℃，春季與夏季提升幅度較小。在1998年後，大水窟區域秋冬季漸暖的現象明確，與臺灣全島的氣溫變化現象一致。1979 - 2018年的年降雨量並無明顯趨勢(圖 13)，但是從季節降雨量變化來看(圖 15)，夏季降雨量在2013-2018年間大致偏低，特別是2018年的夏季是統計年份中最低的一年，僅636 mm，遠低於長期平均的1425 mm。秋季降雨量也自2012年起普遍低於平均值，2016年則因為9月梅姬颱風侵台，出現極端降雨，使該年度秋季降雨量為統計期間最高。整體而言，大水窟區域的氣候有年均溫上升，秋冬季溫度增溫幅度較大，夏秋季降雨量減少的情形。由於大水窟區域樣區所埋設的土溫計因故資料缺失，因此，為了彌補時間空缺，我們使用ERA5的區域溫度資料，分別對各區域既有的溫度資料做迴歸分析，分析結果如表 15，SEN、SUN以及YAT的線性迴歸式皆達顯著($p < 0.001$)，決定係數(R-square)分別為0.761、0.774以及0.807，模式有不錯的推估能力。我們利用迴歸式估算2003-2019年三座山峰的每日均溫，並填補溫度資料的時間空缺，再使用完整的溫度資料做後續分析。

2. 植生指標分析

植生指標是一個數值指標，利用植物光合作用時吸收與反射的光譜差異，反映植物生長、植群的活力與生產力等資訊，數值愈大表示植物生長愈旺盛。由於植生指標可使用遙感探測的方式進行大空間尺度的推估，過往有許多研究用以推估國家全境以至於全世界的植物生長情形。當前常用的指標為常態化差值植生指標(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)與增強型植生指標(Enhanced Vegetation Index, EVI)。Terra與Aqua的MODIS影像產品同時提供NDVI與EVI兩种植生指標。其中，EVI改良自NDVI，除了可以反應出植群生長情形外，同時也較不容易受到高生長密度的植群以及土壤表面影響。因此，我們採用EVI數值作為後續分析對象。

比較三個目標山峰的EVI值整體變化(圖 16)，三者的整體變動趨勢相似，SUN山峰與YAT山峰的數值較接近，SEN山峰的數值則普遍較低。推測原因除了SEN山峰的高度較高，因此植物活動旺盛時間較晚之外，若以250m的網格範圍統計(衛星影像之解析度)，SEN山峰區域範圍內有大片的岩石地與碎石裸露地，因此EVI數值可能相對較低。SUN與YAT的EVI值變動幾乎重疊，然而在冬季時，YAT的數值通常較低一些。

我們進一步使用時間序列分析將三座山峰區域的EVI值分解成長期趨勢(trend)、季節變化(seasonal)以及隨機誤差(random)(圖 17-圖 19)。首先長期趨勢的部分(圖 17)，整體數值的相對大小依序為SUN、YAT、SEN，與三者的海拔高度恰巧相反



1080530



，SUN與YAT的數值接近，而SEN明顯低於其他兩者。海拔高度是許多環境因子的綜合，其中與海拔呈現線性關係的即是溫度，亦即三座山峰區域的植物生長活躍程度，可能受到溫度直接限制。各山峰區域的EVI值長期趨勢不盡相同，大致可以區分為2005-2009年、2009-2016年以及2016-2019年三個循環時期。在循環開始時，EVI指數會逐漸升高，接著維持在一定值域震盪後，數值下降。數值較低的主要幾個時期為2005年、2009年、2016年以及2018年。比較三者的EVI趨勢差異，SEN的EVI值較其他兩山峰區域穩定，震盪幅度較小，峰值與谷值也較不明顯；SUN與YAT的數值接近，波動也相似，主要差異在2009-2011年間，YAT的數值降低，SUN的EVI數值反而大幅升高。

從季節性波動(圖 18)可見，三個區域的季節趨勢一致，1-2月通常是EVI最低的時刻，接著進入春季後，數值逐漸上升，到7-8月時達到峰值。秋季時，數值下降，回到冬季的最低點。除此之外，以季節的震盪幅度而言，YAT的震盪幅度最大，其次是SUN，SEN的幅度最低。雖然EVI數值是反應整個植群的生長情形，然而三座山峰主要的優勢植被都是玉山箭竹，在玉山箭竹佔多數面積的情況下，玉山箭竹族群的生長情形可能會直接影響EVI數值的波動。實際上，季節性的變動與玉山箭竹的生長習性相符。依據過往研究，玉山箭竹經常於4-5月的春雨過後開始展葉，在夏秋季間生長最旺盛，爾後於秋末開始陸續葉枯，持續到冬季甚至春初。

3. 植生指標與氣候因子

從EVI數值的變化趨勢，我們得知區域植群的整體生長情形。接著我們進一步探討植群生長與溫度、雨量的變動關係，了解在氣候變遷的情況下，植群是否受到影響。進行分析時，溫度的部分以週為單位，雨量則以月為單位。首先以迴歸分析探討均溫與植群EVI值的關聯性。分析結果顯示，兩者呈現顯著的指數關係(圖 20，迴歸式與參數請參照表 16)。三個目標區域的植群EVI值與溫度有類似的格局，在週均溫0-5度間，EVI值較平滑，超過5度後開始緩慢增加。在EVI以及月降雨量的分析中(圖 21、迴歸式與參數請參照表 17)，月降雨量與EVI值呈現顯著的指數上升關係。在月降雨量0-400 mm 間，EVI值快速上升，超過400mm以後，EVI值漸趨平緩。整體來說，大水窟區域的氣溫、雨量與植群生長都有正向相關，但是關係不同。從溫度與EVI的關係中可見，溫度確實是大水窟區域植群生長的限制因子，而週平均溫5°C 可能是植群生長的起始溫度，低於該溫度時，植群整體的生長勢較低；降雨量與EVI的關係圖則呈現不一樣的意義，該圖顯示大水窟區域的水分在月降雨量達400 mm時已飽和，更多的雨量並未提升植群的EVI值，這同時也顯示當前大水窟區域的季節水分充足。

本研究的地面樣區調查時間為2008年、2013年以及2019年，調查間隔5-6年，我們分別以這2003-2008年、2009-2013年、2014-2018年這三個時期來統整氣候資料與植群EVI值，並將溫度、雨量資料與過往氣候做比較。從三個時期的氣候比較圖(圖 22)，結果顯示三個時期的月均溫都略高於過往的20年均溫。2009-2013年的2月均溫比長期均溫高將近4度，而2014-2018年除了2、3月的均溫與接近長期均溫外，其他月份的均溫皆高於長期均溫1-2度不等。除此之外，在雨量的部分，各時期夏秋季7-9月的月平均降雨量多高於長期平均降雨量，而冬末春初的2-3月，平均降雨量都有



1080530



減少的趨勢。進一步比較三個時期目標山峰的植生指標(圖 23)，在三個目標山峰可見秋季到冬季的EVI值都有隨時期提高的趨勢，在海拔最高的SEN山峰最為明顯。除此之外，三個目標區域的月平均EVI值在2014-2018年時期除了7-8月之外，其他月份都高於前兩個時期。2014-2018年是罕見的極端高溫時期，自2015年末的聖嬰現象開始，全球溫度屢破多項歷史高溫紀錄，臺灣在同時期的冬季高溫也屢次破歷史紀錄(中央氣象局，2014-2018)。從大水窟區域的EVI值變化，可以發現秋冬季高溫現象不僅使生長季延長，也使改變原本的植物生長週期。在高海拔的SEN區域，原先的EVI值最低點在1-2月，然而在2014-2018年時期，最低點則在3月，顯示高溫現象在原本為低溫環境的高海拔區域，確實影響整體植群生長。

(三) 植物功能性狀

我們將大水窟區域植物的各項功能性狀整理成表 18，初步整合大水窟區域的植物功能性狀，可以發現大水窟區域的植物生長型主要草本以及禾本科及莎草類植物，生活型以地表植物為主，其次為挺空植物與一年生植物；大部分植物的開花季節跨越兩季，整體來說，開花季節多為夏秋季。

自前述章節，我們得知在2003-2019年間，大水窟區域的秋冬季溫度上升，冬末春初的降雨量下降，夏季雨量提高以及植物生長季延長等大尺度的趨勢。溫度上升，生長季延長，將使得玉山箭竹的發育旺盛，無論是在衛星影像分析或地面監測資料分析中皆應證。在玉山箭竹擴展領域後，除了可能會對其他生態區位相近的植物造成競爭排擠效應外，玉山箭竹本身的毒他作用也會使其他物種數量降低甚至消失。除此之外，暖冬、春季雨量下降以及雨量分配不均等等現象，可能使得一年生植物、喜濕植物、耐寒植物與春季開花植物受到影響。如偏好潮濕環境的蕨類植物，在2013年調查到的3種蕨類植物於2019年調查中完全沒看到任何族群，以及2019年調查中，春季開花的喜岩堇菜在各樣區的豐富度普遍下降。然而，當前的功能性狀資料仍不完備，無法完全解釋物種消失或下降的原因。後須將會加入GLORIA其他區域物種，持續完善資料庫內容。

六、結論：

1. 2019年的植群組成分析顯示，大水窟區域的三座山峰的植群主要都屬於玉山箭竹草原型，然而因各山峰的海拔高度不同，在組成上有些許差異。
2. 2008、2013、2019年三期的調查結果顯示，大水窟區域的物種數有先升後降的趨勢，於2019年各目標山峰消失的物種7-18種不等。
3. 各山峰的植物覆蓋度也有所變化，其中各區域的箭竹重要值有增加的趨勢。
4. 大水窟地區的植群產生變化，依衛星影像分析結果顯示，大水窟區域有年均溫逐漸上升，冬季變暖以及雨量集中於夏季的趨勢，同時間，植物生長季也相對應延長。
5. 冬季暖化與雨量集中以及玉山箭竹的增長，可能使得耐寒物種、春季發芽生長物種以及與玉山箭竹生態區位重疊的物種族群數量下降甚至消失。
6. 本研究初步建構物種性狀資料庫，未來將逐步增加物種以及性狀值。



1080530



七、參考文獻：

- 1.周佳、李明安、許晃雄、洪志誠、盧孟明、陳正達等 (2017) 臺灣氣候變遷科學報告 2017 — 物理現象與機制。國家災害防救科技中心。
- 2.邱祈榮、陳子英、謝長富、劉和義、葉慶龍、王震哲 (2009) 台灣現生天然植群圖集。行政院農業委員會林務局，台北市。
- 3.陳玉峰 (1997) 台灣植被誌。(第二卷)：高山植被帶與高山植物(上)(下)。晨星出版社，台中市。
- 4.曾喜育、曾彥學 (2018) 雪山高山生態系指標植物物候調查。雪霸國家公園管理處。
- 5.劉和義、劉以誠 (2010) 高海拔山區草原生態系動態調查。行政院農業委員會林務局。
- 6.劉和義、劉以誠 (2015) 高海拔山區草原生態系變遷調查 (2/2)。行政院農業委員會林務局。
- 7.Gallagher, R. V., Allen, S., and I. J. Wright (2019) Safety margins and adaptive capacity of vegetation to climate change. *Scientific reports*, 9(1): 8241.
- 8.Walther, G. R. (2010) Community and ecosystem responses to recent climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1549): 2019 – 2024.
- 9.Rasmann, S., Pellissier, L., Defosse, E., Jactel, H., and G. Kunstler (2014) Climate-driven change in plant – insect interactions along elevation gradients. *Functional Ecology*, 28(1): 46 – 54.
- 10.Chou, C.-H., T.-J. Huang, Y.-P. Lee, C.-Y. Chen, T.-W. Hsu, and C.-H. Chen. (2011) Diversity of the alpine vegetation in central Taiwan is affected by climate change based on a century of floristic inventories. *Botanical Studies* 52: 503 – 516.
- 11.Gottfried, M., H. Pauli, and G. Grabherr (1998) Prediction of vegetation patterns at the limits of plant life: a new view of the alpine tundra ecotone. *Arctic and Alpine Research* 30: 207 – 221.
- 12.Jump, A. S., T.-J. Huang and C.-H. Chou (2012) Rapid altitudinal migration of mountain plants in Taiwan and its implications for high altitude biodiversity. *Ecography* 35: 204 – 210.
- 13.Körner, C. (1999) *Alpine plant life. Functional plant ecology of high mountain ecosystems*. Springer, Berlin/Heidelberg.
- 14.Körner, C. (2002) Mountain biodiversity, its causes and function: an overview. In: Körner, C. and E. M. Spehn (eds.) *Mountain*



1080530



- Biodiversity—A Global Assessment, pp 3–20. Parthenon, London and New York.
- 15.Körner, C. and J. Paulsen (2004) A world-wide study of high altitude treeline temperatures. *Journal of Biogeography* 31:713–732.
 - 16.Körner, C. (2007a) Alpine Ecosystems. *Encyclopedia of Life Sciences*. John Wiley & Sons, Hoboken.
 - 17.Körner, C. (2007b) Climatic treelines: Conventions, global patterns, causes. *Erdkunde* 61: 316–324.
 - 18.Tichy, L. and M. Chytrý (2006) Statistical determination of diagnostic species for site groups of unequal size. *Journal of Vegetation Science* 17(6): 809–818.
 - 19.Kullman, L. and L. Oberg (2009) Post-Little Ice Age tree line rise and climate warming in the Swedish Scandes: a landscape ecological perspective. *Journal of Ecology* 97: 415–429.
 - 20.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.
 - 21.Steinbauer, M. J., Grytnes, J. A., Jurasinski, G., Kulonen, A., Lenoir, J., Pauli, H., ... and A. D. Björkman (2018) Accelerated increase in plant species richness on mountain summits is linked to warming. *Nature*, 556(7700): 231.
 - 22.Pauli H., M. Gottfried, K. Reiter, and G. Grabherr (2001) High mountain summits as sensitive indicators of climate change effects on vegetation patterns: The “multi-summit approach” of GLORIA (Global Observation Research Initiative in Alpine Environments). In: Visconti, G., M. Beniston, E. D. Iannorelli, and D. Barba (eds.), *Global Change and Protected Areas*, 45–51. Kluwer, Dordrecht.
 - 23.Pauli H., M. Gottfried, T. Dimböck, S. Dullinger, and G. Grabherr (2003a) Assessing the long-term dynamics of endemic plants at summit habitats. In: Nagy, L., G. Grabherr, C. Körner, and D. B. A. Thompson (eds.) *Alpine Biodiversity in Europe —A Europe-wide Assessment of Biological Richness and Change*. *Ecological Studies* 167: 195–207, Springer, Heidelberg.
 - 24.Pauli, H., G. Grabherr, M. Gottfried, D. Hohenwallner, and K. Reiter (2003b) *The GLORIA Field Manual: Multi-summit Approach*. Institute of Ecology and Conservation Biology, University of Vienna, Vienna.
 - 25.Pauli, H., M. Gottfried, S. Dullinger, O. Abdaladze, M. Akhalkatsi, J. L. B. Alonso, G. Coldea, J. Dick, B. Erschbamer, M. R. F. Calzado, D. Ghosn, J. I. Holten, R. Kanka, G. Kazakis, J. Kollár, P. Larsson, D.





- Moiseev, P. Moiseev, U. Molau, J. M. Mesa, L. Nagy, G. Pelino, M. Puscas, 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: 353–355.
26. Root, T.L., J. T. Price, K. R. Hall, S. H. Schneider, C. Rosenzweig, and J. A. Pounds (2003) Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421: 57–60.
27. Su, H.-J. (1985) Studies on the climate and vegetation type of the natural forest in Taiwan. (III). A scheme of geographical climatic regions. *Quarterly Journal of Chinese Forestry* 18(3): 33–44.





表 1. 大水窟目標區域及山峰之代碼

目標區域	山峰	海拔高度(m)	緯度 (N)	經度 (E)
大水窟 (DAS)	SUN	3255	23°27' 6"	121°03'29"
	SEN	3610	23°28'17"	121°02'34"
	YAT	3363	23°27'19"	121°03'11"

表 2. 大水窟區域目標山峰之分區樣區面積大小

目標 區域	山峰	5m-SA 面積 (m ²)				10m-SA 面積 (m ²)			
		E	S	W	N	E	S	W	N
大水窟 (DAS)	SUN	561.6	404.7	219.2	319.1	434.6	357.3	467.3	437.4
	SEN	72.8	224.3	127.3	91.0	124.5	230.2	150.1	146.8
	YAT	425.6	248.1	146	173	282.3	449.7	202	251.6





表 3. 三種不同溫度記錄儀之比較

廠牌	Geoprecision	Onset	Onset
型號	M-Log5w (包含 FG2)	Hobo UTBI-001 Tidbit v2	Hobo MX2303/MX2304
接收方式	無線 433 MHz	有線光學讀取器	無線，藍芽低功耗 (Bluetooth Low Energy)
接收裝置	電腦	電腦	手機
支援裝置平台	Windows	Windows/Mac	Android/iOS
精確度	$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ (0°C)	$\pm 0.21^{\circ}\text{C}$ ($0-50^{\circ}\text{C}$)	$\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ($0-70^{\circ}\text{C}$) $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$ ($-40-0^{\circ}\text{C}$; $70-100^{\circ}\text{C}$)
測溫範圍	$-40-60^{\circ}\text{C}$	$-20-70^{\circ}\text{C}$	$-40-100^{\circ}\text{C}$
解析度	0.01°C	0.02°C (25°C)	0.04°C
溫度偏移	NA	$0.1^{\circ}\text{C}/\text{年}$	$<0.01^{\circ}\text{C}/\text{年}$
時間準確度	NA	$\pm 1 \text{ min.}/\text{月}$ ($0-50^{\circ}\text{C}$)	$\pm 1 \text{ min.}/\text{月}$ ($0-50^{\circ}\text{C}$)
記憶體	100,000– 400,000 筆 (512–2,048 KB)	42,000 筆	84,650 筆(128 KB)
無線傳輸距離	50 m	NA	30.5 m 可視直線距離
電池	AA 3.6V 鋰電池	鈕扣型 3V 鋰電池	2/3 AA 3.6 V 鋰電池
更換電池	可替換電池， 須使用焊接方式	不可更換電池	可更換電池
抗候能力	IP69	完全防水，可深 至水下 305 m	NEMA 6, IP67
預估可記錄時間(1 hr)	>5 年	~ 4–5 年	~ 5 年(MX2303)





表 4. 2008–2019 年大水窟區域三次調查物種名錄總表

family	scientificName	vernacularName	iucnCategory	source	2008	2013	2019
Lycopodiaceae 石松科	<i>Dendrolycopodium juniperoideum</i> (Sw.) A. Haines	玉柏	LC	原生	+	+	
Lycopodiaceae 石松科	<i>Diphasiastrum multispicatum</i> (J.H. Wilce) Holub	地刷子	LC	原生			+
Lycopodiaceae 石松科	<i>Diphasiastrum veitchii</i> (Christ) Holub	玉山石松	LC	原生	+	+	
Lycopodiaceae 石松科	<i>Diphasiastrum yueshanense</i> (C. M. Kuo) Holub	玉山地刷子	DD	原生	+	+	
Lycopodiaceae 石松科	<i>Lycopodium clavatum</i> L.	石松	LC	原生	+	+	+
Athyriaceae 蹄蓋蕨科	<i>Athyrium reflexipinnum</i> Hayata	逆羽蹄蓋蕨	LC	原生		+	
Dryopteridaceae 鱗毛蕨科	<i>Dryopteris alpestris</i> Tagawa	腺鱗毛蕨	LC	原生	+	+	
Dryopteridaceae 鱗毛蕨科	<i>Dryopteris expansa</i> (C. Presl) Fraser-Jenk. & Jermy	闊葉鱗毛蕨	LC	原生		+	
Polypodiaceae 水龍骨科	<i>Selliguea quasidivaticata</i> (Hayata) H. Ohashi & K. Ohashi	玉山蕨	LC	原生		+	
Cupressaceae 柏科	<i>Juniperus formosana</i> Hayata var. <i>formosana</i>	刺柏	LC	原生	+	+	+
Cupressaceae 柏科	<i>Juniperus squamata</i> Lamb.	香青	LC	原生	+	+	+
Pinaceae 松科	<i>Pinus armandii</i> var. <i>mastersiana</i> (Hayata) Hayata	臺灣華山松	LC	特有	+	+	
Pinaceae 松科	<i>Pinus taiwanensis</i> Hayata	臺灣二葉松	LC	特有	+	+	+
Araliaceae 五加科	<i>Hydrocotyle setulosa</i> Hayata	阿里山天胡荽	LC	特有		+	
Asteraceae 菊科	<i>Anaphalis morrisonicola</i> Hayata	玉山抱莖籜簫	LC	原生	+	+	+
Asteraceae 菊科	<i>Anaphalis nepalensis</i> (Spreng.) Hand.-Mazz.	尼泊爾籜簫	LC	原生	+	+	+
Asteraceae 菊科	<i>Artemisia kawakamii</i> Hayata	山艾	LC	特有		+	
Asteraceae 菊科	<i>Cirsium arisanense</i> Kitam.	阿里山薊	LC	特有	+	+	
Asteraceae 菊科	<i>Cirsium kawakamii</i> Hayata	玉山薊	LC	特有			+
Asteraceae 菊科	<i>Gnaphalium involucratum</i> var. <i>simplex</i> DC.	細葉鼠麴草	LC	原生	+	+	+
Asteraceae 菊科	<i>Hieracium morii</i> Hayata	森氏山柳菊	LC	特有	+	+	+





family	scientificName	vernacularName	iucnCategory	source	2008	2013	2019
Asteraceae 菊科	<i>Picris hieracioides</i> subsp. <i>morrisonensis</i> (Hayata) Kitam.	玉山毛蓮菜	LC	特有			+
Asteraceae 菊科	<i>Solidago virgaurea</i> var. <i>leiocarpa</i> Miq.	一枝黃花	LC	原生	+	+	+
Berberidaceae 小檗科	<i>Berberis kawakamii</i> Hayata	臺灣小檗	NT	特有	+	+	
Berberidaceae 小檗科	<i>Berberis morrisonensis</i> Hayata	玉山小檗	LC	特有	+	+	+
Caprifoliaceae 忍冬科	<i>Scabiosa lacerifolia</i> Hayata	玉山山蘿蔔	LC	特有	+	+	+
Caryophyllaceae 石竹科	<i>Dianthus pygmaeus</i> Hayata	玉山石竹	VU	特有	+	+	+
Cyperaceae 莎草科	<i>Carex breviculmis</i> R. Br.	短莖宿柱薹	LC	原生		+	+
Cyperaceae 莎草科	<i>Carex chrysolepis</i> Franch. & Sav.	黃花薹	LC	原生		+	
Cyperaceae 莎草科	<i>Carex orthostemon</i> Hayata	直蕊宿柱薹	LC	特有	+	+	
Cyperaceae 莎草科	<i>Carex oxyandra</i> Kudo	南投薹	LC	原生		+	
Cyperaceae 莎草科	<i>Carex perakensis</i> C.B. Clarke	黃穗薹	LC	原生			+
Cyperaceae 莎草科	<i>Carex tristachya</i> var. <i>pocilliformis</i> (Boott) Kük.	抱鱗宿柱薹	LC	原生	+	+	+
Cyperaceae 莎草科	<i>Trichophorum subcapitatum</i> (Thwaites & Hook.) D.A. Simpson	玉山針蘭	LC	原生	+	+	+
Ericaceae 杜鵑花科	<i>Gaultheria itoana</i> Hayata	高山白珠樹	LC	原生	+	+	+
Ericaceae 杜鵑花科	<i>Pieris taiwanensis</i> Hayata	臺灣馬醉木	LC	原生	+	+	+
Ericaceae 杜鵑花科	<i>Rhododendron pseudochrysanthum</i> Hayata	玉山杜鵑	LC	特有	+	+	+
Ericaceae 杜鵑花科	<i>Rhododendron rubropilosum</i> Hayata var. <i>rubropilosum</i>	紅毛杜鵑	LC	特有	+	+	+
Gentianaceae 龍膽科	<i>Gentiana arisanensis</i> Hayata	阿里山龍膽	LC	特有	+	+	+
Gentianaceae 龍膽科	<i>Gentiana davidii</i> var. <i>formosana</i> (Hayata) T.N. Ho	臺灣龍膽	LC	原生	+	+	+
Gentianaceae 龍膽科	<i>Gentiana scabrida</i> Hayata	玉山龍膽	LC	特有	+	+	+
Gentianaceae 龍膽科	<i>Gentiana scabrida</i> var. <i>punctulata</i> S.S. Ying	黑斑龍膽	LC	特有	+		
Gentianaceae 龍膽科	<i>Swertia macrosperma</i> (C.B. Clarke) C.B. Clarke	大籽當藥	LC	原生	+	+	+
Hypericaceae 金絲桃科	<i>Hypericum nagasawae</i> Hayata	玉山金絲桃	LC	特有	+	+	+





family	scientificName	vernacularName	iucnCategory	source	2008	2013	2019
Juncaceae 燈心草科	<i>Luzula taiwaniana</i> Satake	臺灣地楊梅	LC	特有	+	+	+
Lamiaceae 唇形科	<i>Origanum vulgare</i> L.	野薄荷	LC	原生			+
Orchidaceae 蘭科	<i>Amitostigma alpestre</i> Fukuy.	南湖雛蘭	LC	特有		+	
Orchidaceae 蘭科	<i>Platanthera brevicealcarata</i> Hayata	短距粉蝶蘭	LC	特有			+
Orobanchaceae 列當科	<i>Boschniakia himalaica</i> Hook. f. & Thomson	丁座草	LC	原生	+	+	
Orobanchaceae 列當科	<i>Euphrasia transmorrissonensis</i> Hayata var. <i>transmorrissonensis</i>	玉山小米草	LC	特有	+	+	+
Plantaginaceae 車前科	<i>Veronica morrisonicola</i> Hayata	玉山水苦蕒	LC	特有	+	+	+
Poaceae 禾本科	<i>Agrostis infirma</i> Buse var. <i>infirma</i>	玉山翦股穎	LC	原生	+	+	
Poaceae 禾本科	<i>Brachypodium kawakamii</i> Hayata	川上短柄草	LC	特有	+	+	+
Poaceae 禾本科	<i>Deschampsia flexuosa</i> (L.) Trin.	曲芒髮草	LC	原生	+	+	+
Poaceae 禾本科	<i>Deyeuxia suizanensis</i> (Hayata) Ohwi	水山野青茅	NT	特有	+	+	+
Poaceae 禾本科	<i>Elymus formosanus</i> (Honda) Á. Löve	臺灣披臉草	LC	特有	+	+	+
Poaceae 禾本科	<i>Festuca ovina</i> L.	羊茅	LC	原生	+	+	+
Poaceae 禾本科	<i>Festuca rubra</i> L.	紫羊茅	LC	原生	+	+	+
Poaceae 禾本科	<i>Helictotrichon abietetorum</i> (Ohwi) Ohwi	冷杉異燕麥	LC	特有	+	+	
Poaceae 禾本科	<i>Miscanthus sinensis</i> Andersson	芒	LC	原生	+	+	+
Poaceae 禾本科	<i>Phleum alpinum</i> L.	高山梯牧草	LC	原生			+
Poaceae 禾本科	<i>Trisetum spicatum</i> var. <i>formosanum</i> (Honda) Ohwi	臺灣三毛草	LC	特有	+	+	+
Poaceae 禾本科	<i>Yushania niitakayamensis</i> (Hayata) Keng f.	玉山箭竹	LC	原生	+	+	+
Polygalaceae 遠志科	<i>Polygala japonica</i> Houtt.	瓜子金	LC	原生	+	+	+
Rosaceae 薔薇科	<i>Potentilla leuconota</i> D. Don	玉山金梅	LC	原生	+	+	
Rosaceae 薔薇科	<i>Potentilla tugitakensis</i> Masam.	雪山翻白草	EN	特有			+
Rosaceae 薔薇科	<i>Rosa transmorrissonensis</i> Hayata	高山薔薇	LC	原生	+	+	+





family	scientificName	vernacularName	iucnCategory	source	2008	2013	2019
Rosaceae 薔薇科	<i>Rubus rolfei</i> S. Vidal	高山懸鉤子	NT	原生	+	+	+
Rosaceae 薔薇科	<i>Spiraea formosana</i> Hayata	臺灣繡線菊	LC	特有		+	
Rosaceae 薔薇科	<i>Spiraea hayatana</i> H.L. Li	假繡線菊	LC	特有			+
Rosaceae 薔薇科	<i>Spiraea morrisonicola</i> Hayata	玉山繡線菊	LC	特有	+	+	
Salicaceae 楊柳科	<i>Salix taiwanalpina</i> var. <i>takasagoalpina</i> (Koidz.) S.S. Ying	高山柳	LC	特有		+	
Violaceae 堇菜科	<i>Viola adenothrix</i> Hayata var. <i>adenothrix</i>	喜岩堇菜	LC	原生	+	+	+

IUCN 分類：瀕危 (EN, Endangered) 、易危 (VU, Vulnerable) 、近危 (NT, Near Threatened) 、無危 (LC, Least Concern) 、數據缺乏 (DD, Data Deficient)





表 5. 大水窟區域各山峰之 5m 與 10m 樣區地表類型統計，單位為覆蓋度(%)

地表類型	SUN					SEN					YAT				
	E	N	S	W	平均	E	N	S	W	平均	E	N	S	W	平均
5 m															
維管束植物	75.0	50.0	40.0	65.0	57.5	80.0	65.0	65.0	50.0	65.0	80.0	80.0	60.0	70.0	72.5
岩石	5.0	30.0	20.0	20.0	18.8	12.0	5.0	10.0	15.0	10.5	0.0	5.0	0.0	15.0	5.0
碎石	10.0	15.0	20.0	10.0	13.8	1.0	15.0	20.0	25.0	15.3	1.0	5.0	10.0	10.0	6.5
地衣	1.0	2.0	2.0	3.0	2.0	0.5	3.0	2.0	1.0	1.6	1.0	1.5	0.0	0.0	0.6
苔蘚	1.0	0.0	0.0	0.0	0.3	3.5	0.0	0.0	0.0	0.9	1.0	1.5	0.0	1.0	0.7
裸地	3.0	3.0	3.0	2.0	2.8	0.0	6.0	3.0	8.0	4.3	7.0	3.0	30.0	3.0	10.8
凋落物	5.0	5.0	5.0	0.0	3.8	3.0	6.0	0.0	1.0	2.5	10.0	4.0	0.0	1.0	3.8
10 m															
維管束植物	65.0	70.0	50.0	64.0	62.3	65.0	75.0	40.0	45.0	56.3	87.0	70.0	75.0	40.0	68.0
岩石	10.0	10.0	15.0	15.0	12.5	10.0	5.0	20.0	20.0	13.8	0.5	15.0	0.0	40.0	13.9
碎石	20.0	10.0	20.0	10.0	15.0	10.0	10.0	26.0	15.0	15.3	2.5	5.0	5.0	11.0	5.9
地衣	0.5	3.0	0.0	0.5	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	1.8	1.5	0.5	3.0	1.5	1.6
苔蘚	0.0	0.0	3.0	0.0	0.8	8.0	0.0	2.0	3.0	3.3	0.0	0.5	0.0	2.5	0.8
裸地	9.0	2.0	5.0	10.0	6.5	3.0	5.0	0.0	10.0	4.5	3.5	4.0	17.0	2.0	6.6
凋落物	0.5	5.0	7.0	0.5	3.3	2.0	4.0	10.0	5.0	5.3	5.0	5.0	0.0	3.0	3.3





表 6. 大水窟區域各山峰之物種組成分析

物種	忠誠度			重要值			恆存度		
	SUN	SEN	YAT	SUN	SEN	YAT	SUN	SEN	YAT
高山白珠樹	0.55	-0.12	-0.38	17.85	3.02	0.00	62.50	18.75	0.00
刺柏	0.40	-0.23	-0.12	17.49	0.00	0.19	31.25	0.00	6.25
紅毛杜鵑	0.40	-0.12	-0.23	8.41	1.10	0.00	31.25	6.25	0.00
喜岩堇菜	0.40	-0.23	-0.12	0.47	0.00	0.08	31.25	0.00	6.25
芒	0.37	-0.70	0.28	15.60	2.76	16.91	93.75	18.75	87.50
臺灣龍膽	0.33	-0.04	-0.26	1.12	0.57	0.00	31.25	12.50	0.00
臺灣馬醉木	0.31	-0.13	-0.13	5.05	0.00	0.00	12.50	0.00	0.00
玉山龍膽	0.28	-0.32	0.07	0.90	0.00	0.32	37.50	0.00	25.00
臺灣地楊梅	0.28	-0.23	-0.03	0.58	0.17	0.36	37.50	6.25	18.75
玉山小米草	0.25	-0.30	0.06	2.01	0.34	0.60	43.75	6.25	31.25
香青	-0.30	0.70	-0.30	0.00	33.01	0.00	0.00	56.25	0.00
玉山杜鵑	-0.23	0.56	-0.23	0.00	21.53	0.00	0.00	37.50	0.00
川上短柄草	-0.16	0.38	-0.16	0.00	2.21	0.00	0.00	18.75	0.00
玉山針蘭	-0.13	0.31	-0.13	0.00	5.66	0.00	0.00	12.50	0.00
黃穗薹	-0.40	-0.40	0.92	0.00	0.00	16.44	0.00	0.00	87.50
羊茅	-0.12	-0.31	0.40	16.07	11.00	35.73	62.50	50.00	100.00
森氏山柳菊	-0.09	-0.21	0.34	0.10	0.00	0.98	6.25	0.00	25.00
一枝黃花	0.16	-0.49	0.33	2.63	0.23	2.91	56.25	6.25	68.75
尼泊爾籜簾	-0.16	0.00	0.18	0.00	0.23	0.25	0.00	6.25	12.50
玉山箭竹	-0.07	-0.07	0.13	76.21	86.80	105.35	93.75	93.75	100.00
石松	-0.06	-0.06	0.11	6.44	4.30	10.76	31.25	31.25	43.75
大籽當藥	0.20	-0.26	0.08	0.47	0.00	0.25	25.00	0.00	18.75
玉山石竹	0.05	-0.09	0.05	0.36	0.17	0.39	12.50	6.25	12.50
玉山水苦蕒	0.10	-0.09	0.00	5.76	2.44	1.88	31.25	18.75	25.00
臺灣三毛草	-0.09	0.22	-0.09	0.00	0.60	0.00	0.00	6.25	0.00
玉山山蘿蔔	0.22	-0.09	-0.09	0.36	0.00	0.00	6.25	0.00	0.00
玉山抱莖籜簾	0.22	-0.09	-0.09	0.23	0.00	0.00	6.25	0.00	0.00
高山梯牧草	0.22	-0.09	-0.09	0.26	0.00	0.00	6.25	0.00	0.00
臺灣披臉草	0.22	-0.09	-0.09	0.08	0.00	0.00	6.25	0.00	0.00
抱鱗宿柱薹	0.00	0.18	-0.16	3.12	1.35	0.00	6.25	12.50	0.00
玉山金絲桃	0.18	0.00	-0.16	0.79	0.68	0.00	12.50	6.25	0.00
短莖宿柱薹	0.16	0.00	-0.16	6.01	7.44	4.68	68.75	56.25	43.75
曲芒髮草	0.08	0.16	-0.25	11.64	14.37	1.93	62.50	68.75	37.50

註：淺灰色代表忠誠度大於 0.25，恆存度大於 50%；深灰色代表忠誠度大於

0.5，重要值大於 50，恆存度 75%。



1080530



表 7. 2019 年各山峰之 1x1 樣區主成份分析結果

軸	特徵值	變異量	
		百分比	累積百分比
1	2084.114	35.972	35.972
2	962.292	16.609	52.581
3	699.145	12.067	64.648

表 8. 大水窟目標區域三次調查的物種數量比較

調查年份	2008	2013	2019
總物種數	53	63	49
特有種數	24	28	22
石松類植物	4	4	2
蕨類植物	1	4	0
裸子植物	4	4	3
被子植物	44	51	44





表 9. 大水窟山峰區域兩次複查之物種數量增減

山峰	區域	2008-2013 年			2013-2019 年		
		新增	未發現	整體增減	新增	未發現	整體增減
SUN	E05	4	4	0	1	15	-14
	N05	2	1	+1	3	13	-10
	S05	7	4	+3	1	18	-17
	W05	3	5	-2	6	10	-4
	E10	6	4	+2	3	11	-8
	N10	1	2	-1	5	10	-5
	S10	6	5	+1	3	16	-13
	W10	3	3	0	4	7	-3
SEN	E05	6	3	+3	2	13	-11
	N05	8	1	+7	2	11	-9
	S05	4	3	+1	1	9	-8
	W05	7	1	+6	1	11	-10
	E10	4	1	+3	1	14	-13
	N10	4	4	0	3	9	-6
	S10	5	7	-2	5	10	-5
	W10	3	0	+3	2	13	-11
YAT	E05	4	1	+3	3	10	-7
	N05	6	4	+2	2	10	-8
	S05	5	2	+3	3	12	-9
	W05	8	5	+3	3	12	-9
	E10	8	1	+7	4	11	-7
	N10	4	2	+2	2	10	-8
	S10	2	3	-1	2	9	-7
	W10	6	1	+5	3	15	-12

註：整體增減的正值表示與前次調查相比，物種數增加，負值則為減少





表 10. 大水窟山峰區域樣區 2013-2019 年豐富度變動之物種數

山峰	方位	5m		10m	
		增加	減少	增加	減少
SUN	E	2	8	3	9
	N	3	13	2	11
	S	6	7	1	7
	W	4	3	3	7
SEN	E	5	2	3	4
	N	1	4	3	2
	S	1	5	2	5
	W	3	3	2	3
YAT	E	3	5	2	8
	N	3	5	0	11
	S	0	8	2	7
	W	2	6	5	3





表 11. 大水窟山峰區域樣區 2013-2019 年豐富度變動之物種與變動情形

區 域	物種	SUN				SEN				YAT			
		E	N	S	W	E	N	S	W	E	N	S	W
5m	玉山金絲桃	R > R!	R > R!	0	R > R!	S > R	R > R!	S > R	0	0	0	0	0
	玉山石竹	0	R > R!	R > R!	0	R > S	0	0	0	0	R > R!	R > R!	S > R
	芒	0	D > C	C > R	0	R > S	0	0	0	C > S	C > S	C > S	S > C
	玉山小米草	S > R!	0	R > R!	0	0	0	0	0	R > S	S > R	S > R	0
	羊茅	C > S	C > S	0	C > S	0	0	0	S > C	C > S	0	0	0
	臺灣三毛草	0	S > R!	0	0	0	0	0	0	S > R!	R > R!	R > R!	0
	一枝黃花	S > R	S > R	0	0	0	0	0	0	0	0	S > R	0
	玉山水苦蕒	0	0	0	0	0	0	0	0	S > R!	0	S > R!	S > R
	紅毛杜鵑	0	S > R!	S > C	0	0	0	S > R	R > R!	0	0	0	0
	喜岩堇菜	0	R > R!	0	0	0	0	0	0	0	S > R	0	R > R!
	森氏山柳菊	0	0	R > R!	R > R!	0	0	0	0	0	0	0	R > R!
	臺灣地楊梅	0	S > R	0	0	0	0	R > R!	0	0	0	S > R!	0
	臺灣龍膽	S > R	0	S > R	0	0	R > R!	0	S > C	0	0	0	0
	大籽當藥	S > R!	0	0	0	0	0	0	0	R > R!	0	0	0
	尼泊爾籜簕	0	0	0	0	0	0	R > R!	0	0	0	0	R > R!
	玉山山蘿蔔	S > R!	S > R!	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	玉山龍膽	0	S > R	S > R	R > S	R! > R	0	0	0	R > S	R > S	0	0
	曲芒髮草	0	C > S	S > C	S > C	0	C > R	0	0	0	0	0	S > C
	高山白珠樹	S > C	S > C	S > C	R > S	0	S > R	0	S > R	0	0	0	0
	高山懸鉤子	0	R > R!	R > R!	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	川上短柄草	0	0	0	0	S > R!	0	0	0	0	0	0	0
	玉山杜鵑	0	0	0	0	R > C	0	C > S	0	0	0	0	0
	玉山針蘭	0	R! > R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	R > R!
	抱鱗宿柱堇	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	C > R!	0
	香青	0	0	0	0	0	0	0	C > S	0	0	0	0
	臺灣馬醉木	S > R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	玉山箭竹	0	0	0	0	C > D	C > D	0	0	0	0	0	0
	石松	0	0	R > S	0	0	0	R! > S	R > S	S > C	S > C	0	0
	刺柏	S > C	S > C	0	R > S	0	0	0	0	0	0	0	0
	短莖宿柱堇	0	0	R! > S	0	0	0	0	0	0	R > S	0	0
	臺灣二葉松	0	0	R > S	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10m	臺灣三毛草	R > R!	R > R!	0	R > R!	0	0	0	0	R > R!	S > R!	R > R!	0
	大籽當藥	R > R!	S > R	R > R!	0	0	0	0	0	0	S > R!	R > R!	0
	玉山小米草	0	0	0	0	0	0	S > R	0	S > R	S > R	S > R	R > R!
	玉山石竹	R > R!	R > R!	R > R!	0	0	0	0	0	R > R!	R > R!	0	0



1080530



區 域	物種	SUN				SEN				YAT			
		E	N	S	W	E	N	S	W	E	N	S	W
	抱鱗宿柱蓑	0	S > R!	S > R!	R > R!	0	0	S > R	0	S > R	0	0	0
	玉山金絲桃	R > R!	0	0	0	S > R	0	S > R	0	0	0	0	R > R!
	玉山針蘭	0	R > R!	0	R > R!	0	0	0	R > R!	0	C > S	0	0
	森氏山柳菊	0	R > R!	0	R > R!	0	0	0	0	R > S	S > R	S > R!	0
	川上短柄草	0	0	0	0	R > R!	0	S > R	0	0	0	R > R!	0
	玉山水苦蕒	S > R	0	S > R	0	0	0	0	0	R > R!	0	0	0
	玉山龍膽	0	S > R!	S > R	R > S	R > R!	0	0	0	0	0	R > S	0
	喜岩堇菜	0	S > R	0	0	0	0	0	0	R > R!	0	R > R!	0
	臺灣地楊梅	0	0	0	S > R	R > R!	0	0	0	S > R	0	0	0
	臺灣龍膽	S > R	0	S > R	0	0	0	0	S > R	0	0	0	0
	一枝黃花	0	R! > S	0	0	0	0	0	0	S > R	C > R	0	0
	尼泊爾籬簫	0	0	0	0	0	0	S > R	0	0	0	0	R > R!
	芒	0	0	0	0	0	0	0	0	0	D > R	C > S	R > S
	紅毛杜鵑	0	R > R!	0	0	0	0	0	0	0	R > R!	0	0
	高山白珠樹	S > C	S > R	0	0	0	0	0	0	0	C > S	0	0
	高山懸鈎子	0	R > R!	0	R > R!	0	0	0	0	0	0	0	0
	玉山山蘿蔔	0	0	0	R > R!	0	0	0	0	0	0	0	0
	玉山杜鵑	0	0	0	0	0	C > S	S > C	C > D	0	0	0	0
	玉山抱莖籬簫	R > R!	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	曲芒髮草	0	S > C	R > S	0	0	S > C	0	C > S	0	0	0	S > C
	羊茅	C > S	0	0	0	S > C	R > C	0	R > S	0	0	0	0
	刺柏	S > C	0	0	R > S	0	0	0	0	0	S > R	0	0
	細葉鼠麴草	R > R!	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	臺灣二葉松	0	0	0	0	0	R > R!	0	0	0	0	0	0
	臺灣馬醉木	S > C	0	S > R	R! > R	0	0	0	0	0	0	0	0
	玉山箭竹	0	0	0	0	C > D	C > D	0	0	0	0	0	C > D
	石松	0	0	0	0	0	0	0	0	S > C	0	S > C	0
	香青	0	0	0	0	0	0	S > D	0	0	0	0	R! > R
	短莖宿柱蓑	0	0	0	0	R > S	0	0	0	0	0	0	R > S

註：該表排除物種消失、新增或未變動之情況，表格中前面符號為 2013 年調查之物種豐富度，後者為 2019 年調查之豐富度。各符號的意義為 D：優勢、C：常見、S：較分散、R：稀少、R!：非常稀少、0：未變動、新增或消失。





表 12. 大水窟目標區域三次調查中 1x1 樣區物種數量比較

小區 編號	SUN			SEN			YAT		
	2008	2013	2019	2008	2013	2019	2008	2013	2019
E11	6	7	2	14	18	9	16	16	9
E13	9	8	6	13	12	6	18	16	9
E31	15	10	10	13	11	7	15	14	10
E33	10	8	10	7	9	5	14	15	9
平均	10.0	8.3	7.0	11.8	12.5	6.8	15.8	15.3	9.3
N11	13	16	9	6	7	5	14	16	7
N13	17	19	9	4	5	4	13	19	8
N31	12	16	14	5	5	5	16	18	5
N33	15	18	10	3	3	3	16	15	6
平均	14.3	17.3	10.5	4.5	5.0	4.3	14.8	17.0	6.5
S11	12	9	6	9	9	9	12	11	6
S13	6	10	6	11	11	6	11	15	6
S31	7	9	11	14	14	8	14	15	8
S33	9	11	7	9	9	6	12	14	7
平均	8.5	9.8	7.5	10.8	10.8	7.3	12.3	13.8	6.8
W11	15	17	10	5	5	3	13	11	6
W13	13	16	11	4	4	4	12	12	7
W31	16	20	13	5	6	5	14	15	9
W33	13	14	11	4	5	4	15	15	8
平均	14.3	16.8	11.3	4.5	5.0	4.0	13.5	13.3	7.5

註：粗體字表示該年度數據低於前一年度





表 13. 大水窟目標區域三次調查中 1x1 樣區 Shannon 均勻度指數比較

樣區編 號	SUN			SEN			YAT		
	2008	2013	2019	2008	2013	2019	2008	2013	2019
E11	0.84	0.76	0.96	0.75	0.86	0.96	0.55	0.61	0.59
E13	0.29	0.32	0.43	0.83	0.83	0.95	0.58	0.62	0.71
E31	0.67	0.57	0.65	0.62	0.67	0.55	0.56	0.68	0.68
E33	0.68	0.75	0.61	0.90	0.30	0.62	0.58	0.62	0.79
N11	0.63	0.62	0.60	0.65	0.69	0.61	0.41	0.68	0.71
N13	0.55	0.67	0.71	0.77	0.69	0.65	0.45	0.60	0.50
N31	0.60	0.57	0.55	0.76	0.87	0.75	0.50	0.59	0.52
N33	0.59	0.66	0.68	0.39	0.39	0.55	0.41	0.57	0.68
S11	0.64	0.77	0.67	0.62	0.73	0.54	0.58	0.64	0.63
S13	0.75	0.61	0.62	0.61	0.74	0.69	0.59	0.58	0.59
S31	0.78	0.40	0.47	0.55	0.64	0.60	0.57	0.63	0.57
S33	0.59	0.77	0.72	0.52	0.84	0.67	0.61	0.57	0.61
W11	0.52	0.66	0.62	0.59	0.52	0.40	0.31	0.71	0.48
W13	0.54	0.54	0.48	0.56	0.47	0.52	0.37	0.62	0.62
W31	0.64	0.75	0.62	0.76	0.64	0.67	0.57	0.66	0.61
W33	0.66	0.63	0.66	0.40	0.35	0.60	0.58	0.66	0.82

註：粗體字表示該年度數據低於前一年度





表 14. 大水窟目標區域 2013 與 2019 年兩個年度的 1x1 樣區物種覆蓋度加總比較

物種	SUN			SEN			YAT		
	2013	2019	差值	2013	2019	差值	2013	2019	差值
玉山箭竹	463.50	491.00	27.50	281.00	298.00	17.00	851.00	613.00	-238.00
羊茅	129.20	113.00	-16.20	45.00	34.00	-11.00	323.00	218.00	-105.00
芒	184.30	75.50	-108.80	3.70	6.50	2.80	148.85	94.00	-54.85
抱鱗宿柱薹	101.80	3.00	-98.80	23.81	3.00	-20.81	179.00		-179.00
玉山翦股穎	66.60		-66.60	15.00		-15.00	129.50		-129.50
香青				199.30	185.60	-13.70			
曲芒髮草	41.20	73.00	31.80	73.00	39.00	-34.00	6.55	11.00	4.45
刺柏	115.20	160.10	44.90					0.50	0.50
石松	46.30	36.00	-10.30		11.50	11.50	68.01	59.20	-8.81
黃花薹				0.25		-0.25	113.01		-113.01
玉山杜鵑				94.00	112.00	18.00			
玉山石竹	4.60	1.00	-3.60	20.40	0.10	-20.30	21.00	1.10	-19.90
紅毛杜鵑	34.10	45.10	11.00	6.00	4.00	-2.00			
臺灣地楊梅	4.35	1.80	-2.55	1.10	0.10	-1.00	31.75	0.40	-31.35
一枝黃花	9.20	16.50	7.30	0.10	0.50	0.40	26.10	14.60	-11.50
高山白珠樹	30.00	54.60	24.60		4.50	4.50	0.80		-0.80
玉山小米草	13.70	8.30	-5.40	4.00	1.00	-3.00	11.85	1.50	-10.35
森氏山柳菊	5.70	0.10	-5.60				17.20	4.60	-12.60
臺灣三毛草	2.75		-2.75	5.50	2.00	-3.50	12.85		-12.85
臺灣馬醉木	20.00	20.10	0.10						
喜岩堇菜	7.00	0.90	-6.10	0.10		-0.10	8.55	0.10	-8.45
川上短柄草			0.00	11.75	4.00	-7.75	2.70		-2.70
玉山水苦蕒	2.45	8.10	5.65	2.15	6.10	3.95	9.10	7.50	-1.60
玉山金絲桃	0.01	0.30	0.29	7.00	1.00	-6.00	3.75		-3.75
玉山針蘭			0.00	9.50	17.00	7.50			0.00
大籽當藥	5.80	1.40	-4.40				2.91	1.10	-1.81
直蕊宿柱薹	7.65		-7.65						0.00
短莖宿柱薹		31.10	31.10	4.45	17.20	12.75	2.95	26.30	23.35
紫羊茅			0.00	6.00		-6.00			
臺灣龍膽	4.36	2.20	-2.16	0.80	1.50	0.70			
玉山龍膽	2.30	4.20	1.90	0.20		-0.20	2.60	0.90	-1.70
尼泊爾籬簫			0.00	2.95	0.50	-2.45	1.75	0.70	-1.05
玉山山蘿蔔	3.10	2.00	-1.10						
玉柏							2.00		-2.00
臺灣披瀝草	0.10	0.50	0.40				0.60		-0.60
玉山抱莖籬簫	0.20	0.50	0.30						
臺灣華山松	0.01		-0.01						
黃穗薹								92.00	92.00
高山梯牧草		0.50	0.50						

註：粗體字表示兩年度差值為負值。





表 15. 大水窟目標區域三座山峰日均溫推估之線性回歸式結果

Summit		Estimate	Std. Error	p-value	R ²
SEN	model			<0.001	0.761
	Intercept	-2.378	0.133	<0.001	
	temp.	0.726	0.009	<0.001	
SUN	model			<0.001	0.774
	Intercept	-1.585	0.142	<0.001	
	temp.	0.804	0.009	<0.001	
YAT	model			<0.001	0.807
	Intercept	-3.088	0.136	<0.001	
	temp.	0.848	0.009	<0.001	

註：temp. 為 ERA5 的日均溫值

表 16. 大水窟目標區域三座山峰溫度與 EVI 值之回歸式結果

Summit		Estimate	Std. Error	p-value	R ²
SEN	model			<0.0001	0.5739
	a	0.0065	0.0024	0.0064	
	b	0.2143	0.0273	<0.0001	
	c	0.1447	0.0048	<0.0001	
SUN	model			<0.0001	0.5214
	a	0.0065	0.0028	0.0218	
	b	0.2004	0.0277	<0.0001	
	c	0.1862	0.0068	<0.0001	
YAT	model			<0.0001	0.6772
	a	0.0158	0.0047	0.0008	
	b	0.1854	0.0212	<0.0001	
	c	0.1533	0.0081	<0.0001	

註：模式為 $y = ae^{bx} + c$ ，式中 x 為週平均溫，y 為 EVI 值，e 為自然對數





表 17. 大水窟目標區域三座山峰月降雨量與 EVI 值之回歸式結果

Summit		Estimate	Std. Error	p-value	R ²
SEN	model			<0.0001	0.5801
	a	0.0877	0.0055	<0.0001	
	b	0.0036	0.0007	<0.0001	
	c	0.1417	0.0050	<0.0001	
SUN	model			<0.0001	0.5911
	a	0.1254	0.0075	<0.0001	
	b	0.0039	0.0007	<0.0001	
	c	0.1734	0.0074	<0.0001	
YAT	model			<0.0001	0.5786
	a	0.1303	0.0079	<0.0001	
	b	0.0043	0.0008	<0.0001	
	c	0.1577	0.0083	<0.0001	

註：模式為 $y = a(1 - e^{-bx}) + c$ ，式中 x 為月降雨量，y 為 EVI 值，e 為自然對數





表 18. 大水窟區域之植物功能性狀表

物種	生長型	Raunkiaer's 生活型	繁殖形式	光合途徑	開花季節	果實形式	落葉性	葉有毛	葉形	葉緣	分布下限	分布上限
玉柏	石松類	Chamaephytes	s	cam		孢子	0	0	鑿形	全緣	1500	3885
地刷子	石松類	Chamaephytes	s	cam		孢子	0	0	鑿形	全緣		
玉山石松	石松類	Chamaephytes	s	cam		孢子	0	0	鑿形	全緣	1500	3755
玉山地刷子	石松類	Chamaephytes	s	cam		孢子	0	0	鑿形	全緣	950	3200
石松	石松類	Chamaephytes	s	cam		孢子	0	0	鑿形	全緣	200	3706
逆羽蹄蓋蕨	蕨類	Chamaephytes	s	c3		孢子	0	0	羽狀	鋸齒狀	1000	3000
腺鱗毛蕨	蕨類	Chamaephytes	s	c3		孢子	0	1	羽狀	鋸齒狀	1300	3900
闊葉鱗毛蕨	蕨類	Chamaephytes	s	c3		孢子	0	0	羽狀	鋸齒狀	50	3650
玉山蕨	蕨類	Chamaephytes	s	c3		孢子	0	0	倒批針形	深裂狀	80	3600
刺柏	喬木	Phanerophytes	s	c3	春	漿果	0	0	鑿形	全緣	150	3600
香青	喬木	Phanerophytes	s	c3	春	漿果	0	0	鑿形	全緣	2000	3861
臺灣華山松	喬木	Phanerophytes	s	c3	春、夏	毬果	0	0	針形	全緣	2200	3000
臺灣二葉松	喬木	Phanerophytes	s	c3	夏、秋	毬果	0	0	針形	全緣	105	3600
阿里山天胡荽	草本	Chamaephytes	s	c3	全年	離果	0	1	圓形	微波狀	250	3190
玉山香青	草本	Chamaephytes	s	c3	夏、秋	瘦果	0	1	線形	全緣	400	3952
尼泊爾籜簫	草本	Chamaephytes	s	c3	夏	瘦果	0	1	線形	全緣	1000	3950
山艾	草本	Chamaephytes	s	c3	夏	瘦果	0	1	線形	深裂狀	0	3884
阿里山薊	草本	Chamaephytes	s	c3	夏、秋	瘦果	0	0	披針形	細毛(刺)	780	3798
玉山薊	草本	Chamaephytes	s	c3	夏	瘦果	0	0	披針形	細毛(刺)	1300	3500
細葉鼠麴草	草本	Chamaephytes	s	c3	春、夏	瘦果	0	1	線形	全緣	10	3200





物種	生長型	Raunkiaer's 生活型	繁殖形式	光合途徑	開花季節	果實形式	落葉性	葉有毛	葉形	葉緣	分布下限	分布上限
森氏山柳菊	草本	Chamaephytes	s	c3	夏	瘦果	0	1	倒披針形	細毛(刺)	1700	3755
玉山毛蓮菜	草本	Chamaephytes	s	c3	夏、秋	瘦果	0	1	倒披針形	微波狀	1500	3600
一枝黃花	草本	Chamaephytes	s	c3	夏、秋	瘦果	1	1	披針形	鋸齒狀	0	3750
臺灣小檗	灌木	Phanerophytes	s	c3	春	漿果	1	1	倒披針形	細毛(刺)	2200	3500
玉山小檗	灌木	Phanerophytes	s	c3	夏	漿果	1	0	倒披針形	細毛(刺)	2500	3950
玉山山蘿蔔	草本	Hemicryptophytes	s	c3	夏、秋	瘦果	0	1	倒披針形	鋸齒狀	2200	3886
玉山石竹	草本	Chamaephytes	s	c3	春、夏、秋	瘦果	0	0	線形	全緣	130	3900
短莖宿柱臺	禾莎	Chamaephytes	ssv	c3	夏	堅果	0	0	線形	全緣	0	3800
黃花臺	禾莎	Chamaephytes	ssv	c3	夏	堅果	0	0	線形	全緣	524	3861
直蕊宿柱臺	禾莎	Chamaephytes	ssv	c3		堅果	0	0	線形	全緣		
南投臺	禾莎	Chamaephytes	ssv	c3		堅果	0	0	線形	全緣		
黃穗臺	禾莎	Chamaephytes	ssv	c3		堅果	0	0	線形	全緣		
抱鱗宿柱臺	禾莎	Chamaephytes	ssv	c3		堅果	0	0	線形	全緣	0	3529
玉山針蘭	禾莎	Chamaephytes	ssv	c3		瘦果	0	0	線形	全緣	1300	3755
高山白珠樹	灌木	Phanerophytes	s	c3	全年	蒴果	1	0	倒卵形	鋸齒狀	500	3750
臺灣馬醉木	灌木	Phanerophytes	s	c3	春、夏	蒴果	1	0	倒披針形	鋸齒狀	50	3950
玉山杜鵑	灌(喬)木	Phanerophytes	s	c3	春、夏	蒴果	1	1	披針形	全緣	350	3900
紅毛杜鵑	灌木	Phanerophytes	s	c3	春、夏	蒴果	1	1	披針形	全緣	250	3600
阿里山龍膽	草本	Chamaephytes	s	c3	春、夏、秋	蒴果	0	0	線形	全緣	2000	3861
臺灣龍膽	草本	Chamaephytes	s	c3	春、夏	蒴果	0	0	線形	全緣	400	3950
玉山龍膽	草本	Therophytes	s	c3	夏	蒴果	0	0	披針形	全緣	1947	3900





物種	生長型	Raunkiaer's 生活型	繁殖形式	光合途徑	開花季節	果實形式	落葉性	葉有毛	葉形	葉緣	分布下限	分布上限
黑斑龍膽	草本	Therophytes	s	c3	夏	蒴果	0	1	披針形	全緣	2360	3500
大籽當藥	草本	Therophytes	s	c3	秋、冬	蒴果	0	0	披針形	全緣	10	3660
玉山金絲桃	草本	Chamaephytes	s	c3	夏、秋	蒴果	1	0	卵形	全緣	1500	3950
臺灣地楊梅	草本	Chamaephytes	s	c3	夏	蒴果	0	1	線形	全緣	1600	3740
野薄荷	草本	Chamaephytes	ssv	c3	夏、秋	堅果	0	1	卵形	微波狀	2600	3800
南湖雛蘭	草本	Hemicryptophytes	ssv	cam	夏	蒴果	0	0	線形	鋸齒狀	2140	3650
短距粉蝶蘭	草本	Therophytes	ssv	cam	夏、秋	蒴果	0	0	卵形	微波狀	1400	3755
丁座草	草本	Epiphytes	s	c3	夏	蒴果	0	0	披針形	全緣	700	3885
玉山小米草	草本	Hemicryptophytes	s	c3	秋、冬	蒴果	1	0	卵形	鋸齒狀	1300	3886
玉山水苦蕒	草本	Chamaephytes	s	c3	夏、秋	蒴果	1	1	卵形	全緣	2600	3800
玉山翦股穎	禾莎	Chamaephytes	s	c3	夏、秋、冬	穎果	0	0	線形	全緣	1860	3750
川上短柄草	禾莎	Chamaephytes	s	c3	夏、秋	穎果	0	0	線形	全緣	2300	3800
曲芒髮草	禾莎	Chamaephytes	s	c3	夏、秋	穎果	0	0	線形	全緣	200	3884
水山野青茅	禾莎		s	c3		穎果	0	0	線形	全緣	2250	3450
臺灣披針草	禾莎		s	c3		穎果	0	0	線形	全緣		
羊茅	禾莎		s	c3	夏、秋	穎果	0	1	線形	全緣	100	3900
紫羊茅	禾莎		s	c3	夏、秋	穎果	0	0	線形	全緣	2700	3700
冷杉異燕麥	禾莎		s	c3		穎果	0	0	線形	全緣	2350	3830
芒	禾莎	Chamaephytes	s	c4	春、夏	穎果	0	1	線形	全緣	0	3571
高山梯牧草	禾莎		s	c3	夏	穎果	0	0	線形	全緣		
臺灣三毛草	禾莎		s	c3	秋	穎果	0	1	線形	全緣	1700	3858





物種	生長型	Raunkiaer's 生活型	繁殖形式	光合途徑	開花季節	果實形式	落葉性	葉有毛	葉形	葉緣	分布下限	分布上限
玉山箭竹	禾莎	Chamaephytes	vvs	c4	春、夏、秋	穎果	0	0	披針形	全緣	700	3650
瓜子金	草本	Chamaephytes	s	c4	春	蒴果	0	1	卵形	全緣	1	3450
玉山金梅	草本	Hemicryptophytes	s	c3	夏	瘦果	0	1	卵形	鋸齒狀	1800	3950
雪山翻白草	草本	Hemicryptophytes	s	c3	夏	瘦果	0	1	卵形	鋸齒狀	2150	3884
高山薔薇	灌木	Phanerophytes	s	c3	夏、秋	瘦果	1	1	卵形	細毛(刺)	300	3798
高山懸鉤子	灌木	Phanerophytes	s	c3	夏、秋	核果	1	1	心形	微波狀	300	3797
臺灣繡線菊	草本	Chamaephytes	s	c3	夏	瘦果	1	1	披針形	鋸齒狀	1200	3500
假繡線菊	草本	Chamaephytes	s	c3	夏	瘦果	1	0	披針形	鋸齒狀	1900	3275
玉山繡線菊	草本	Phanerophytes	s	c3	夏	瘦果	1	0	卵形	鋸齒狀	2600	3886
高山柳	灌木	Phanerophytes	s	c3		蒴果	0	0	卵形	全緣	2336	3827
喜岩堇菜	草本		s	c3	春、夏	蒴果	0	1	心形	鋸齒狀	400	3020

附註：葉有毛：有填 1，無填 0

繁殖形式：s (sexual only), ssv (mainly sexual, rarely vegetative), sv (sexual and vegetative), vvs (mainly vegetative, rarely sexual)

落葉性：會落葉填 1，否填 0

光合途徑：c3 循環、c4 循環、cam 循環

果實形式：孢子、毬果、蒴果、漿果、莢果、蓇葖果、瘦果、穎果、核果、翅果、堅果、梨果、柑果、離果

種子附屬物：awn(芒、鉤、花萼)、fleshy(肉質的)、nude(無附屬物)、pappus(冠毛)、wings(翅、長毛)

開花季節：春(3.4.5 月)、夏(6.7.8 月)、秋(9.10.11 月)、冬(12.1.2 月)、全年



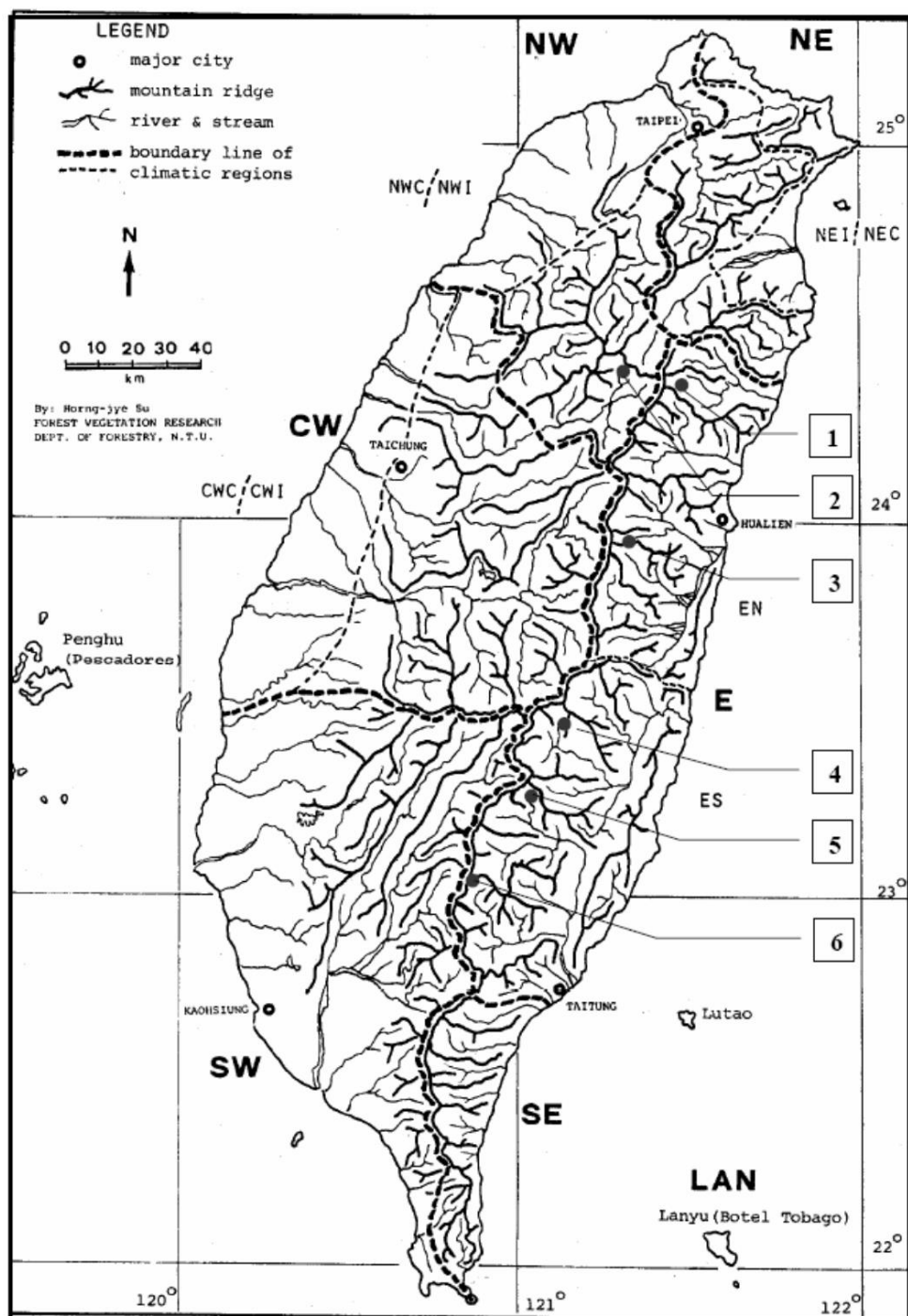


圖 1.目標區域於台灣地理氣候區之分布圖。地理氣候區依照蘇鴻傑 (Su 1985) 的分類系統。地理氣候區共計分為 11 個：東北近海區 (NEC)、東北內陸區 (NEI)、蘭嶼區 (LAN)、東區北段 (EN)、東區南段 (ES)、西北近海區 (NWC)、西北內陸區 (NWI)、中西部近海區 (CWC)、中西部內陸區 (CWI)、西南區 (SW) 及東南區 (SE)。目標區域代號：1 = 南湖目標區域；2 = 雪山目標區域；3 = 合歡奇萊目標區域；4 = 大水窟山區；5 = 三叉目標區域；6 = 卑南主山目標區域 (未設立)。



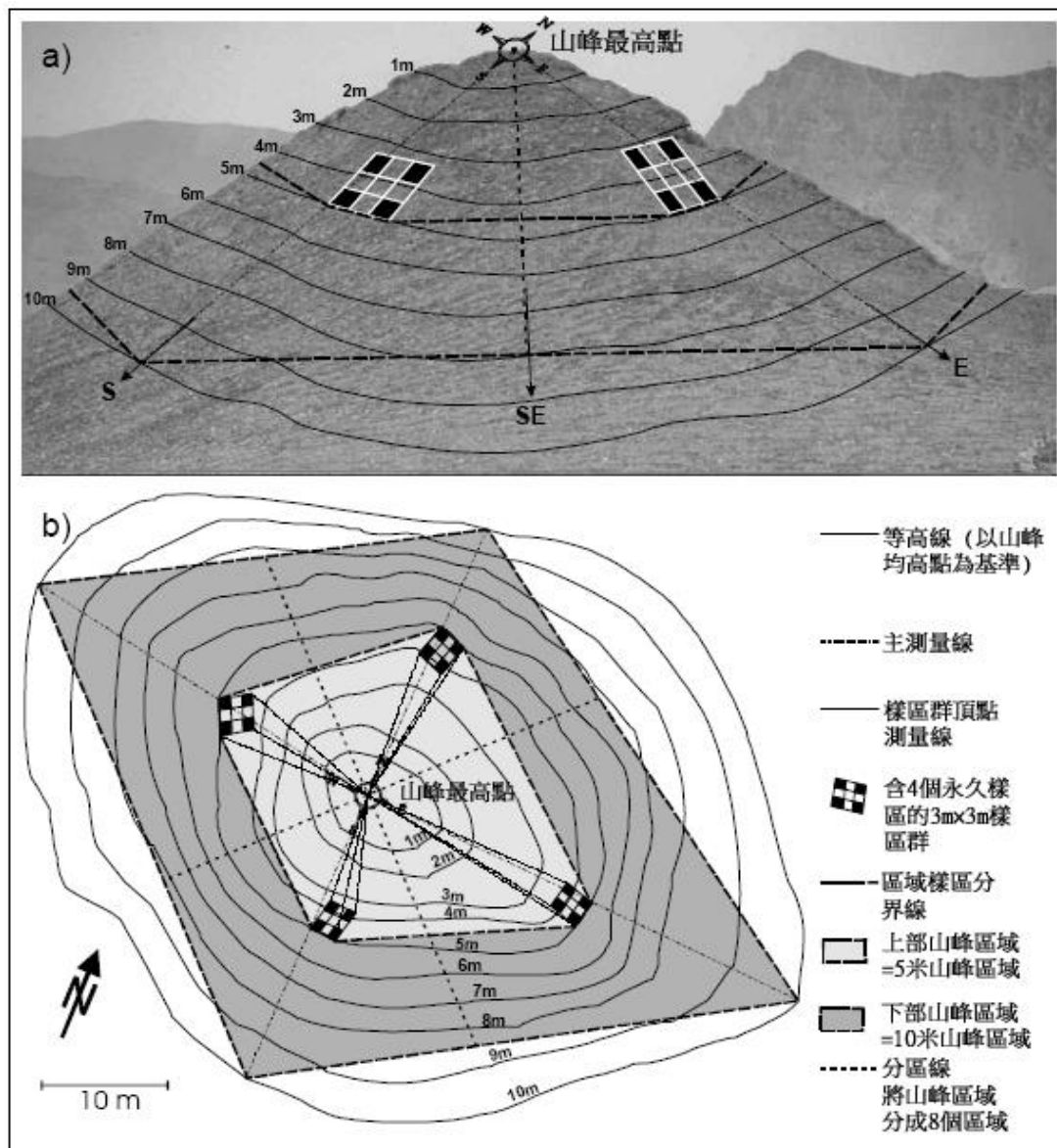


圖 2. 多峰調查法之樣區設置圖(圖引用自劉和義等人，2010)

自山峰頂在正東西南北方等高線 5m、10m 區域劃界，切分出 5m 區域樣區以及 10m 區域樣區。並在 5m 處設置 3x3 樣區群以及 10x10 點擊調查樣區



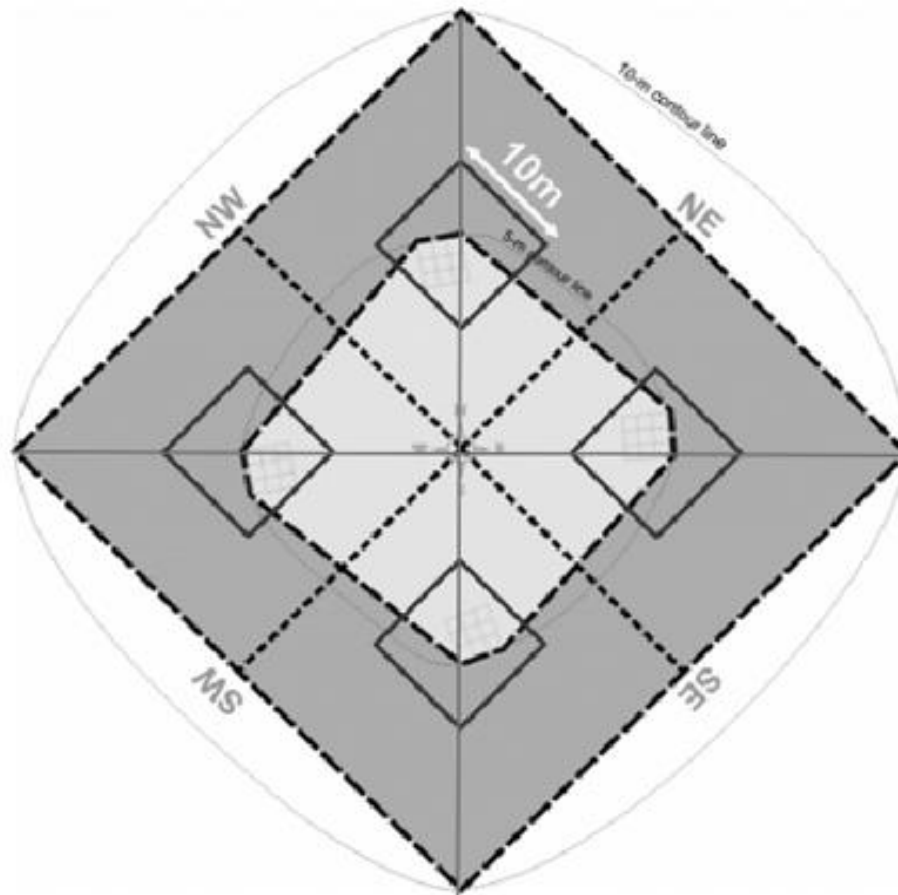


圖 3. 10m x 10 m 樣區設置位置(圖引用自劉和義等人，2010)。

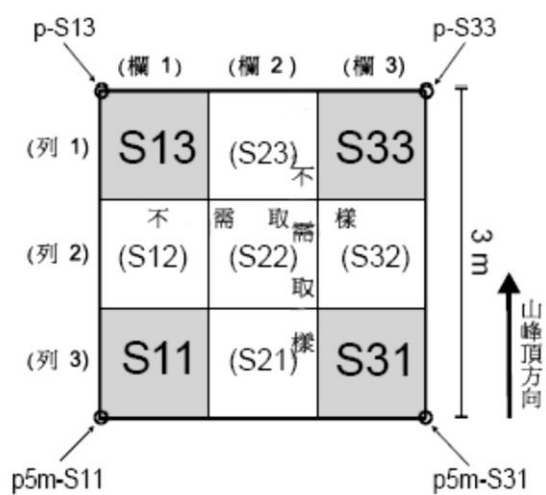


圖 4. 3x3 樣區群的樣區編號與測量點的數字序號(引用自劉和義等人，2010)。



1080530

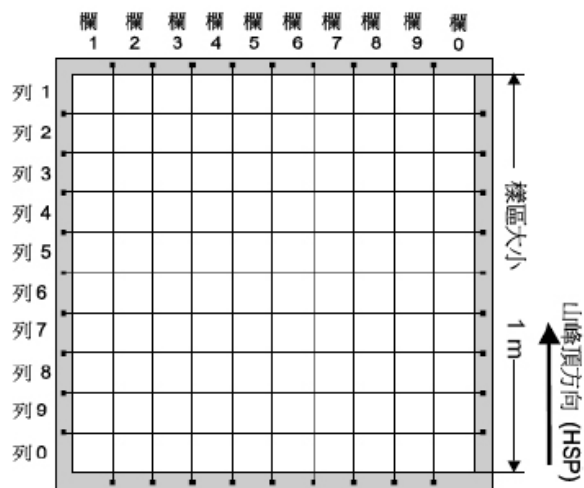


圖 5. 平方公尺網格框(引用自劉和義等人，2010)。

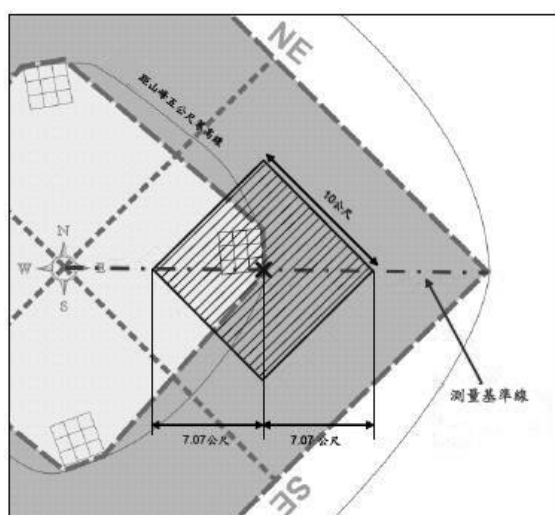


圖 6. 10 m x 10 m 樣區內之調查線設置圖(引用自劉和義等人，2010)。

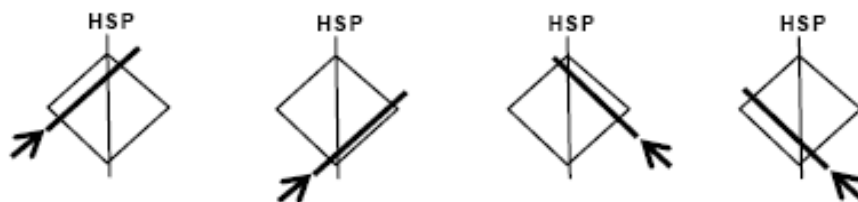


圖 7. 10 m x 10 m 樣區之起始調查線及調查方向(引用自劉和義等人，2010)。



1080530

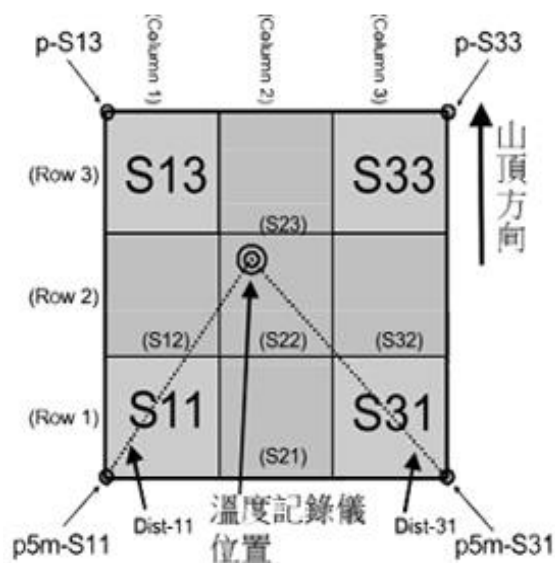


圖 8. 溫度計錄儀埋設位置圖(圖引用自劉和義等人，2010)。

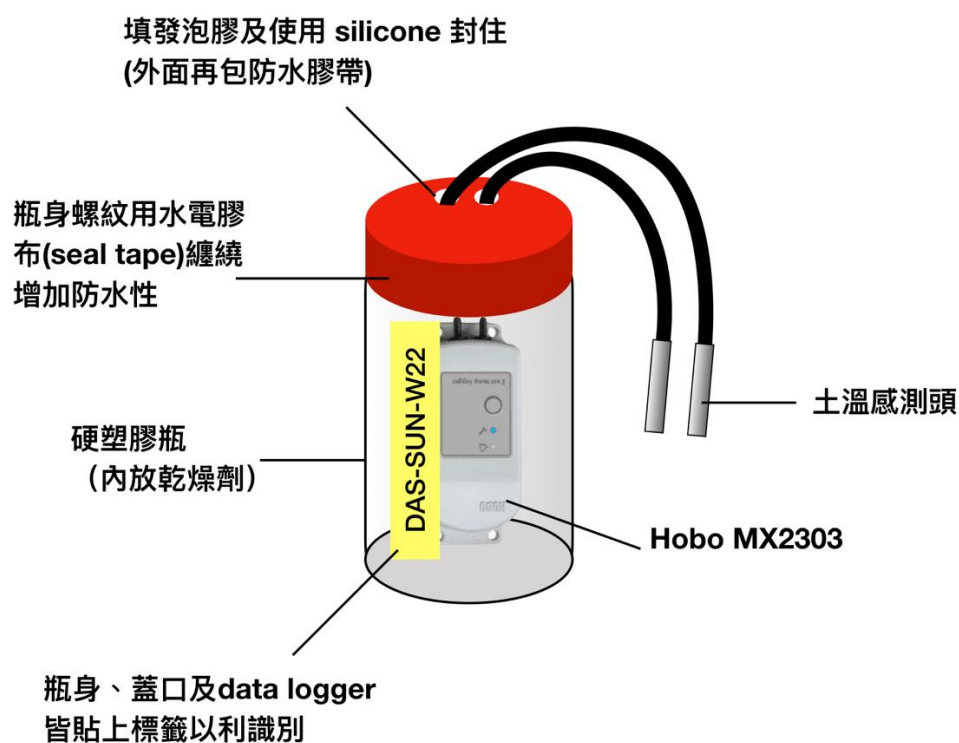


圖 9. 溫度記錄儀加固設計示意圖





圖 10. 樣區代號格式黑板範例圖



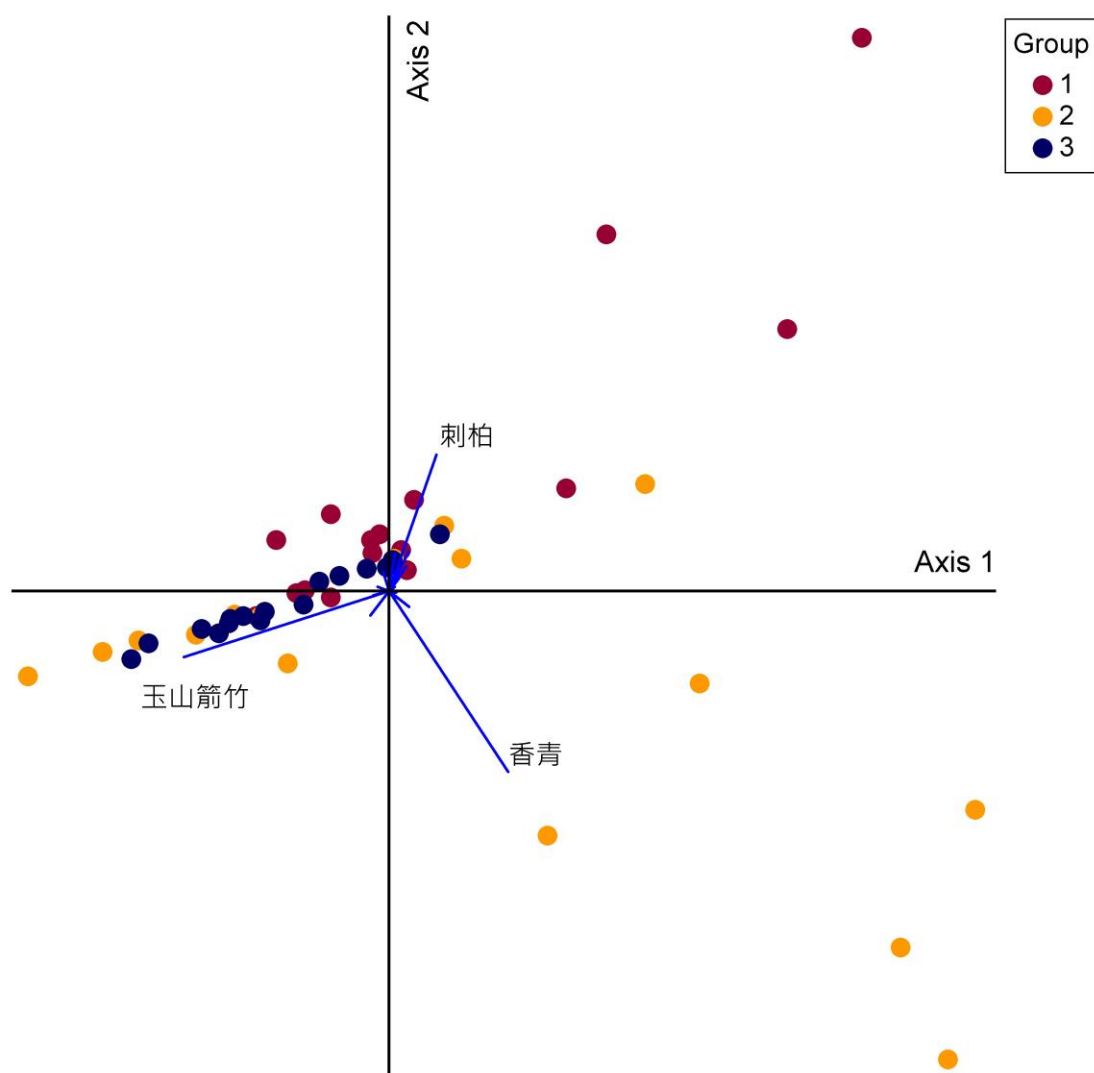
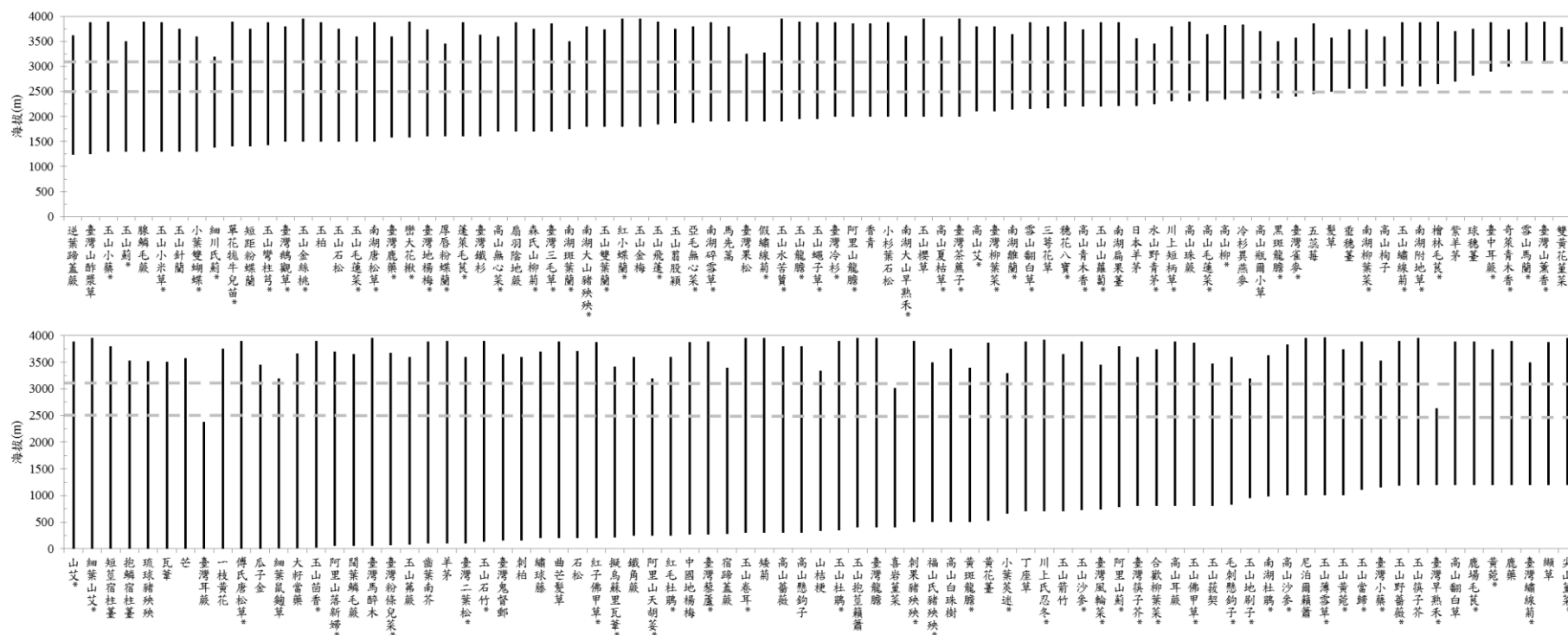


圖 11. 2019 年 1x1 m 樣區主成份分析排序圖，圖中 1 為 SUN 山峰；2 為 SEN 山峰；3 為 YAT 山峰。





收集台灣各線上植物標本館與植群調查資料，調查物種之海拔分布上下限，且物種依海拔下限由低往高排列。線上標本館為：林業試驗所植物標本館、國立臺灣大學標本館(TAI)、臺灣本土植物資料庫、臺灣野生植物資料庫和國立自然科學博物館數位典藏。圖中位於海拔 2500 公尺和 3100 公尺各有一條灰色虛線，做為高山物種、樹線-高山物種、廣泛分布種和低海拔物種分群之依據；物種名後有「*」為特有種。

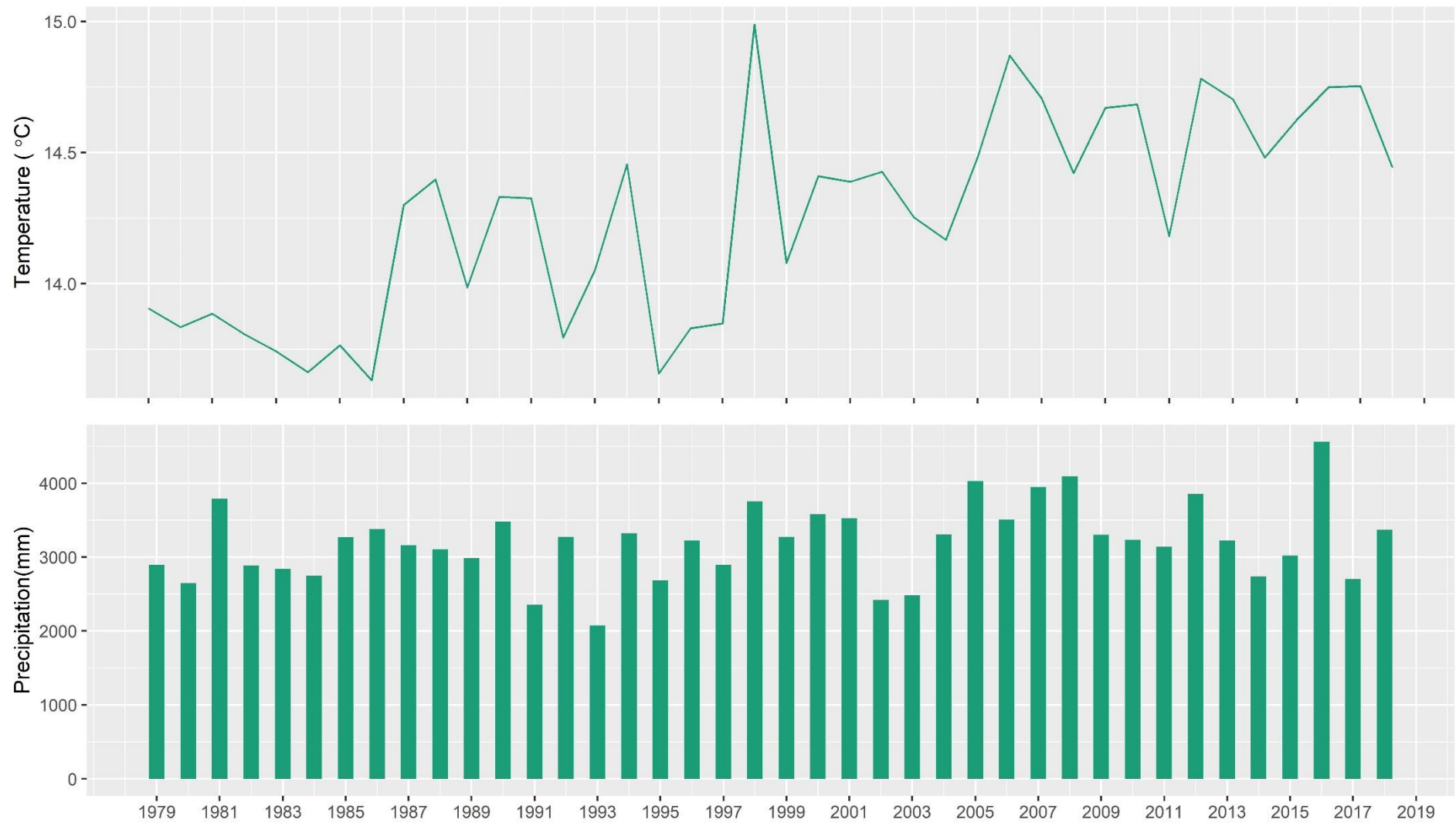


圖 13. 1979-2019 年大水窟目標區域之年均溫與年雨量。



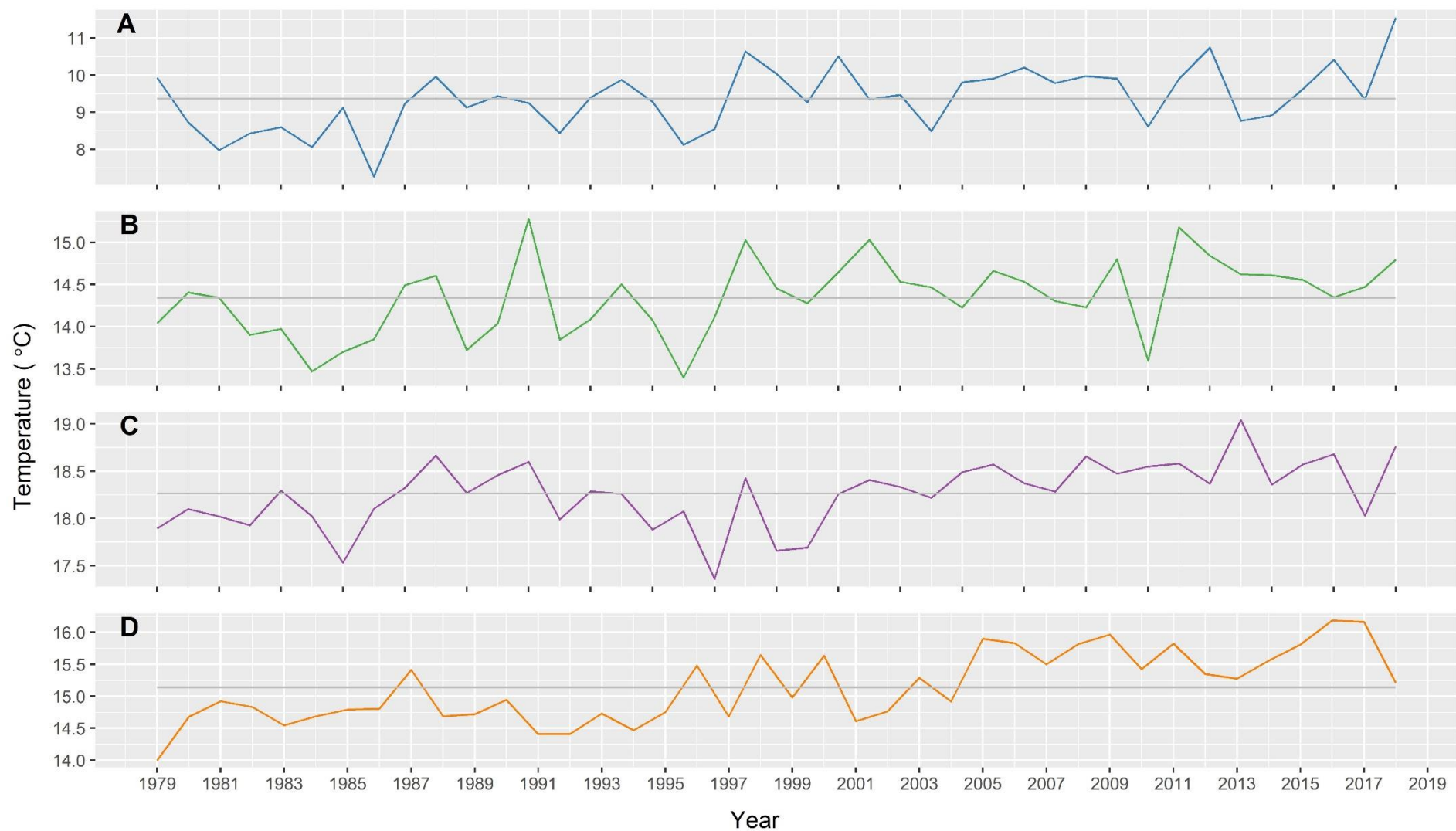


圖 14. 1979-2019 年大水窟目標區域之各季平均溫變化，A：冬季(12-2 月)，B：春季(3-5 月)，C：夏季(6-8 月)、D：秋季(9-11 月)，各圖中灰直線表示季節總平均。



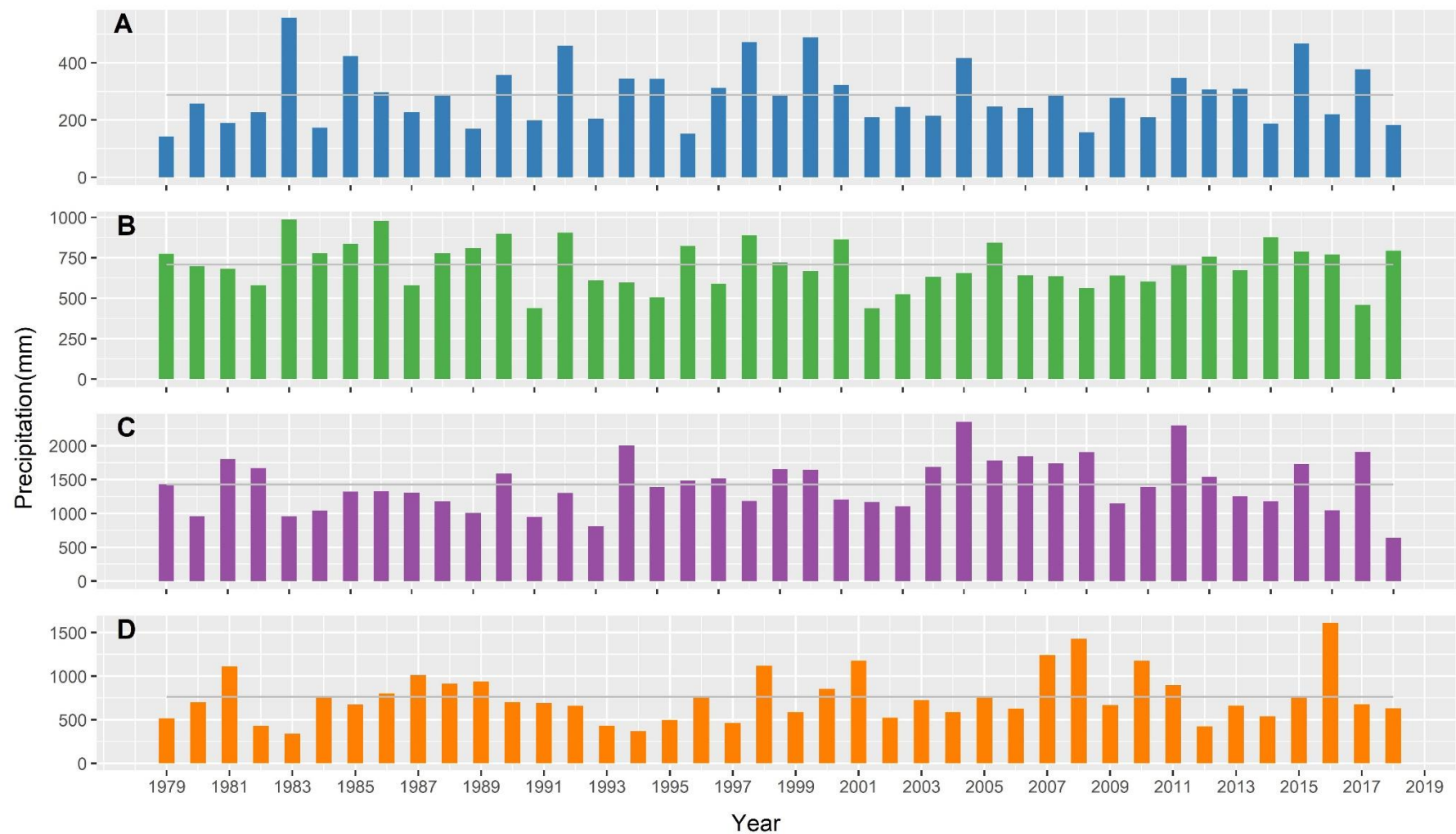


圖 15. 1979-2018 年大水窟目標區域之各季降雨量變化，A：冬季(12-2 月)，B：春季(3-5 月)，C：夏季(6-8 月)、D：秋季(9-11 月)
各圖中灰直線表示季節總平均。



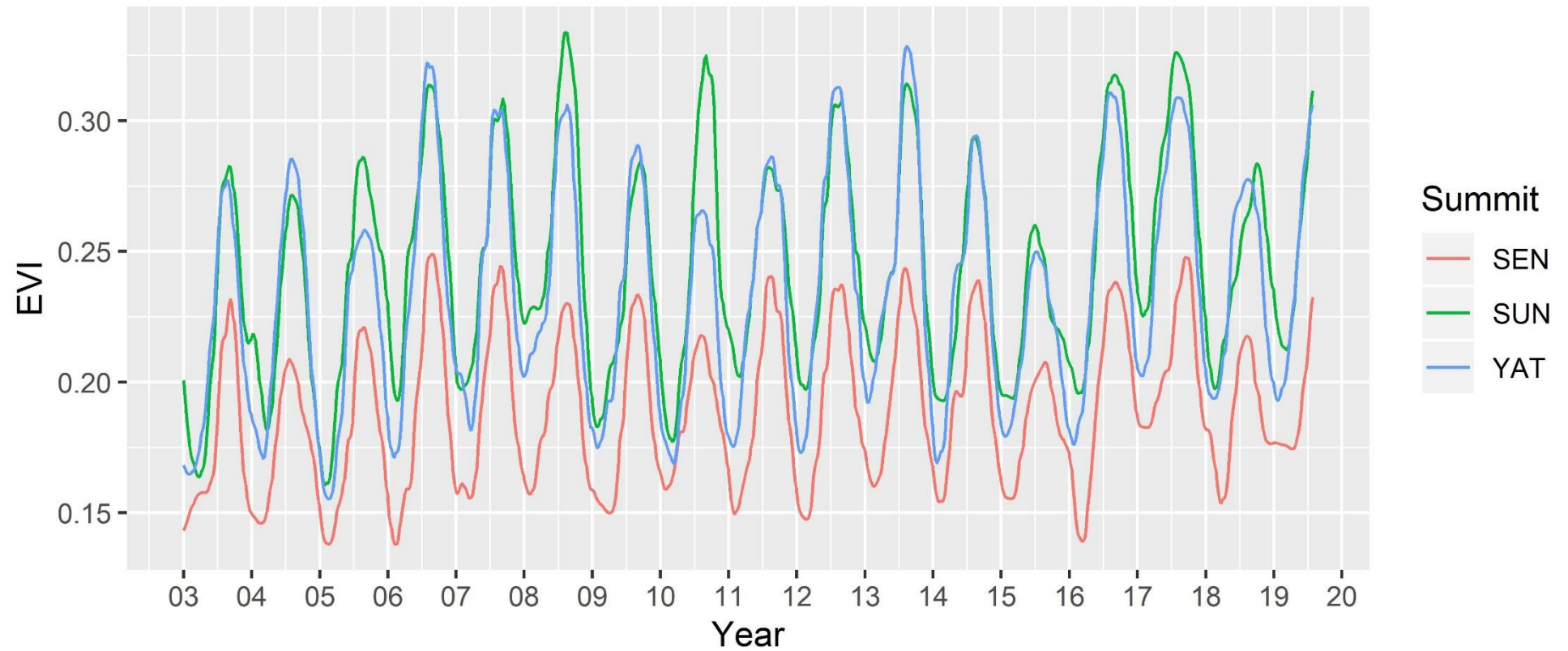


圖 16. 2003–2019 年大水窟目標區域三座目標山峰之 EVI 值，數值經過平滑化。





圖 17. 2003–2019 年大水窟目標區域三座目標山峰之 EVI 長期趨勢。



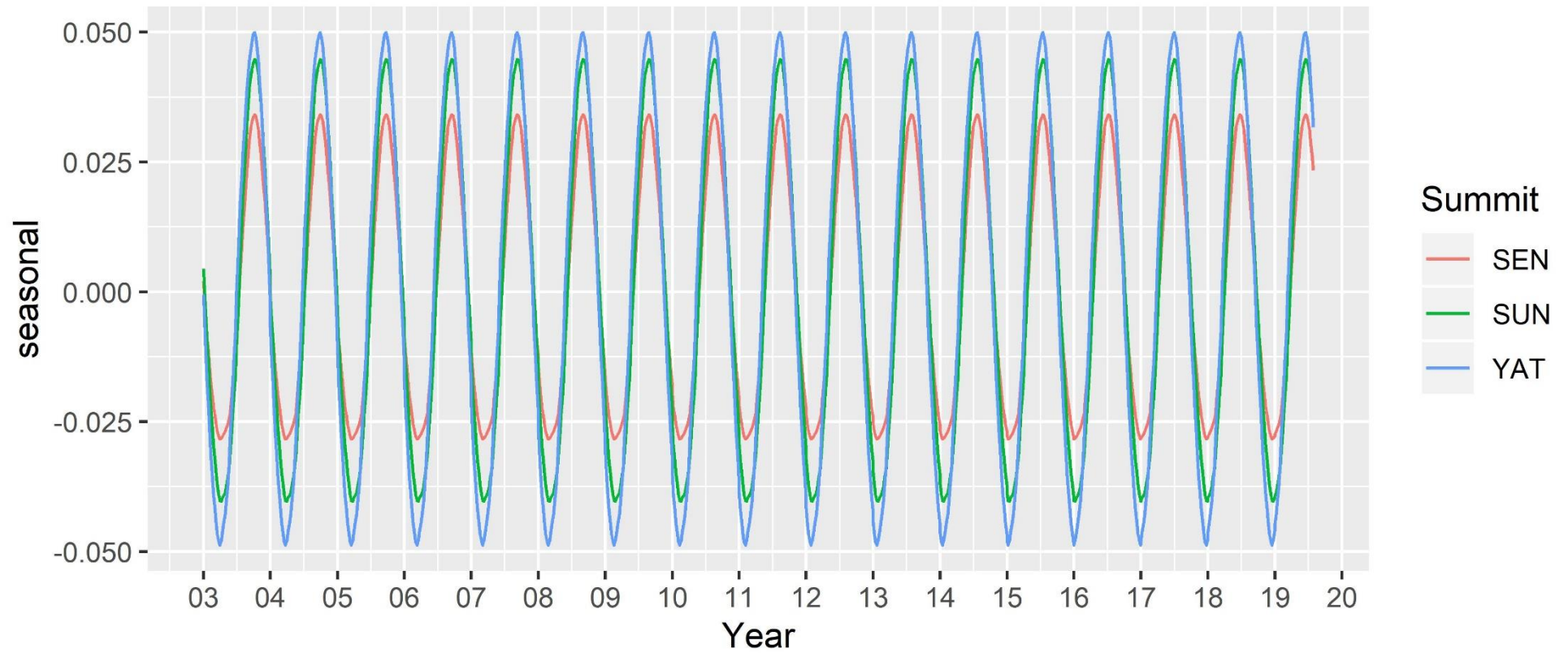


圖 18. 2003-2019 年大水窟目標區域三座目標山峰之 EVI 值季節性變動。



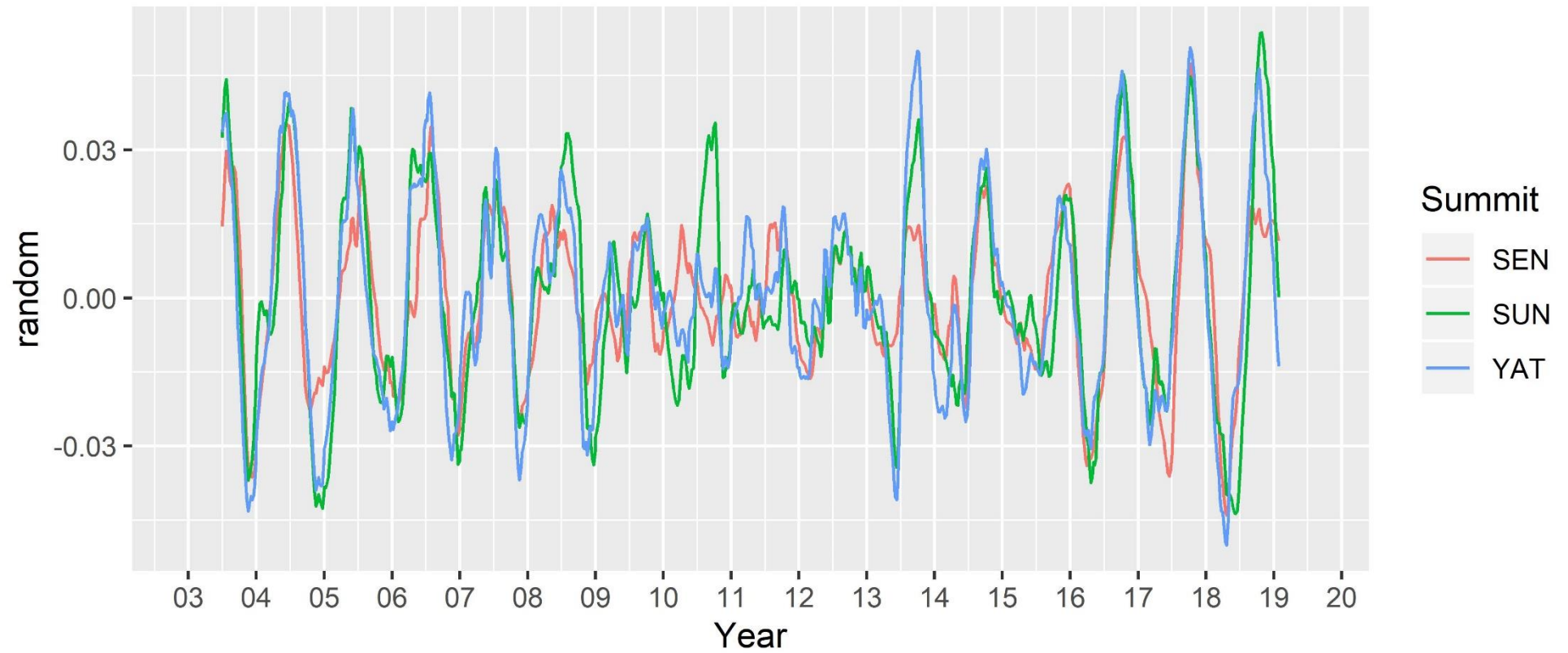


圖 19. 2003–2019 年大水窟目標區域三座目標山峰之 EVI 值隨機項。



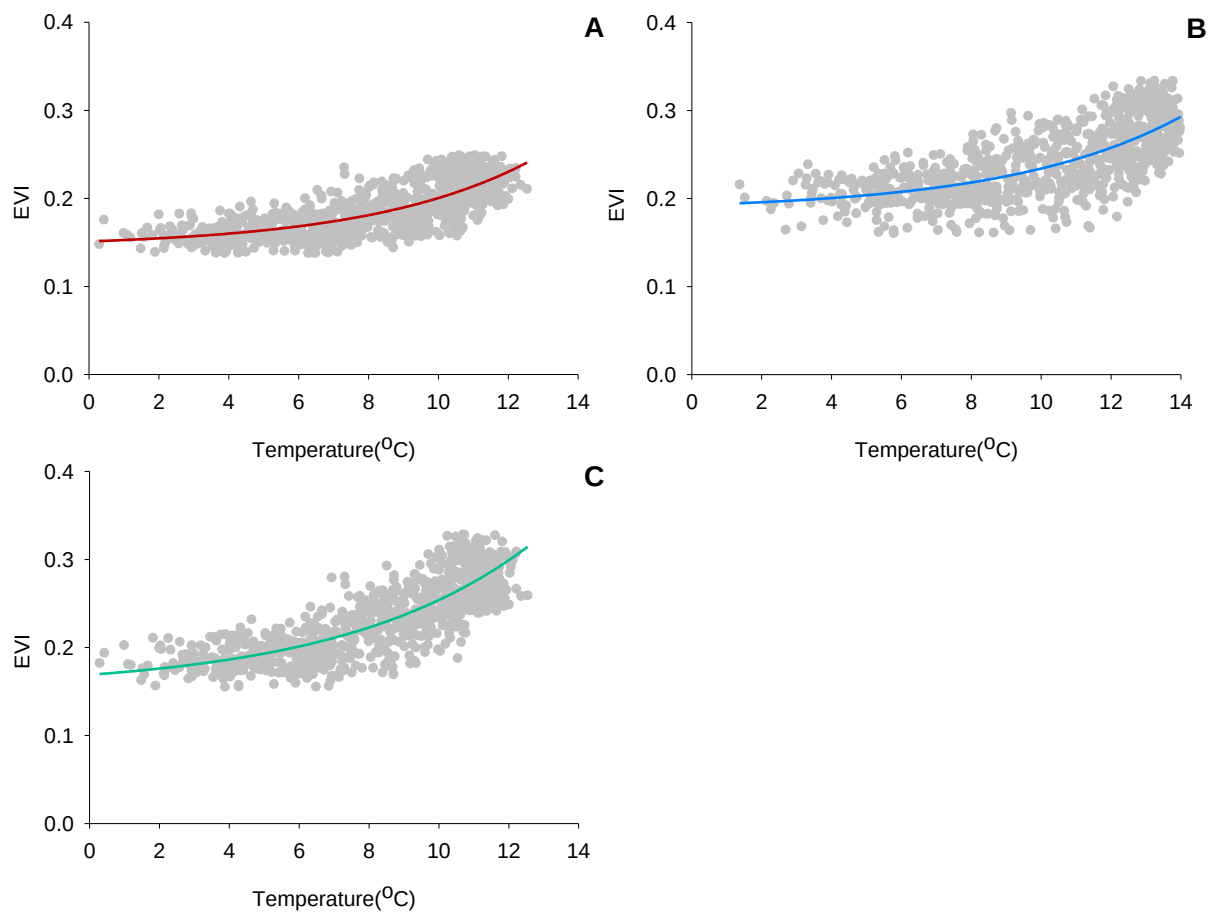


圖 20. 2003–2019 年大水窟目標區域三座目標山峰之週平均 EVI 與平均溫關係，A：SEN，B：SUN，C：YAT，灰色點為實際分布，線條為迴歸趨勢，迴歸式與參數請參照表 16。



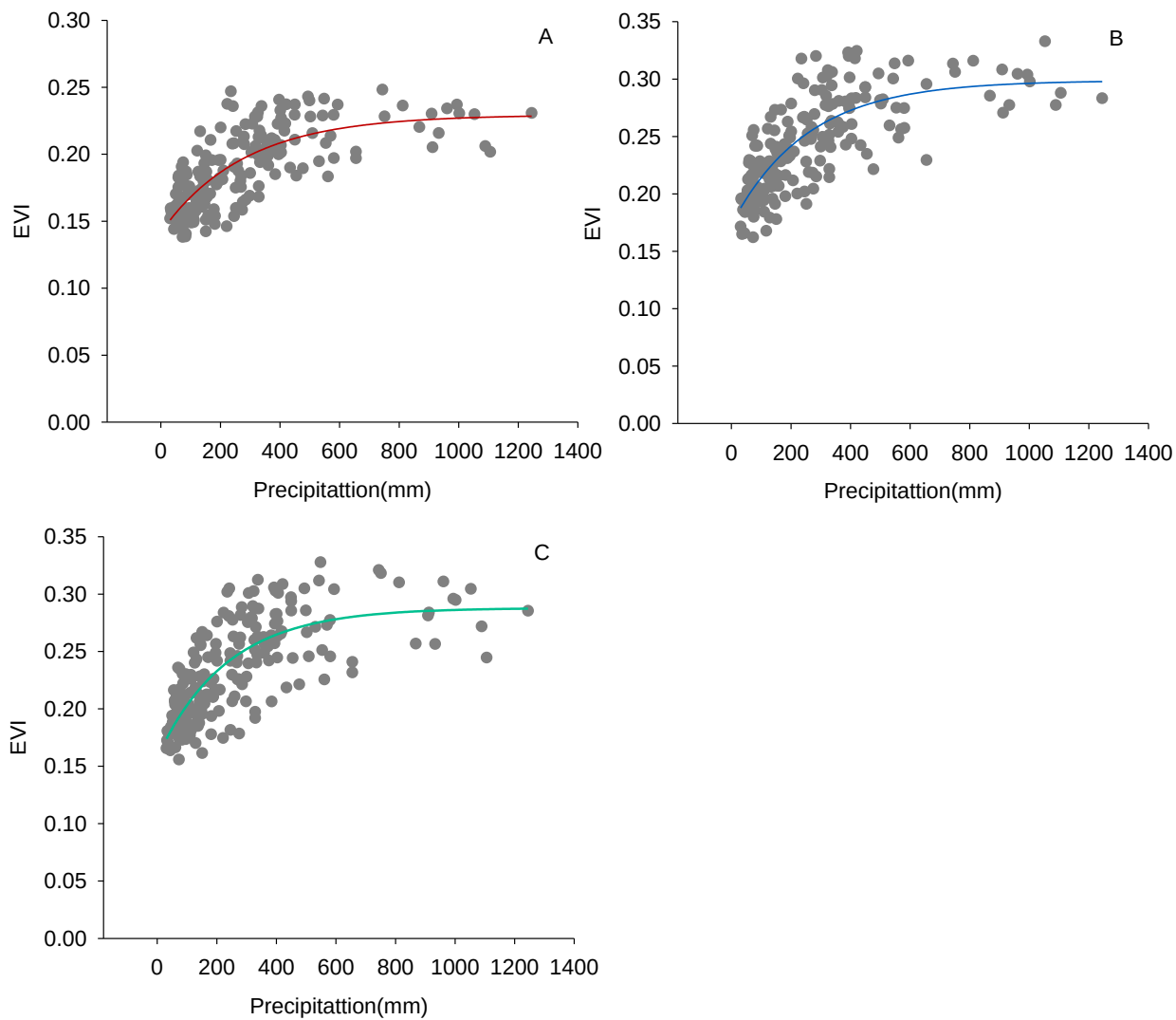


圖 21 2003–2019 年大水窟目標區域三座目標山峰之月平均 EVI 與月降雨量關係，A：SEN，B：SUN，C：YAT，灰色點為實際分布，線條為迴歸趨勢，迴歸式與參數請參照表 17。



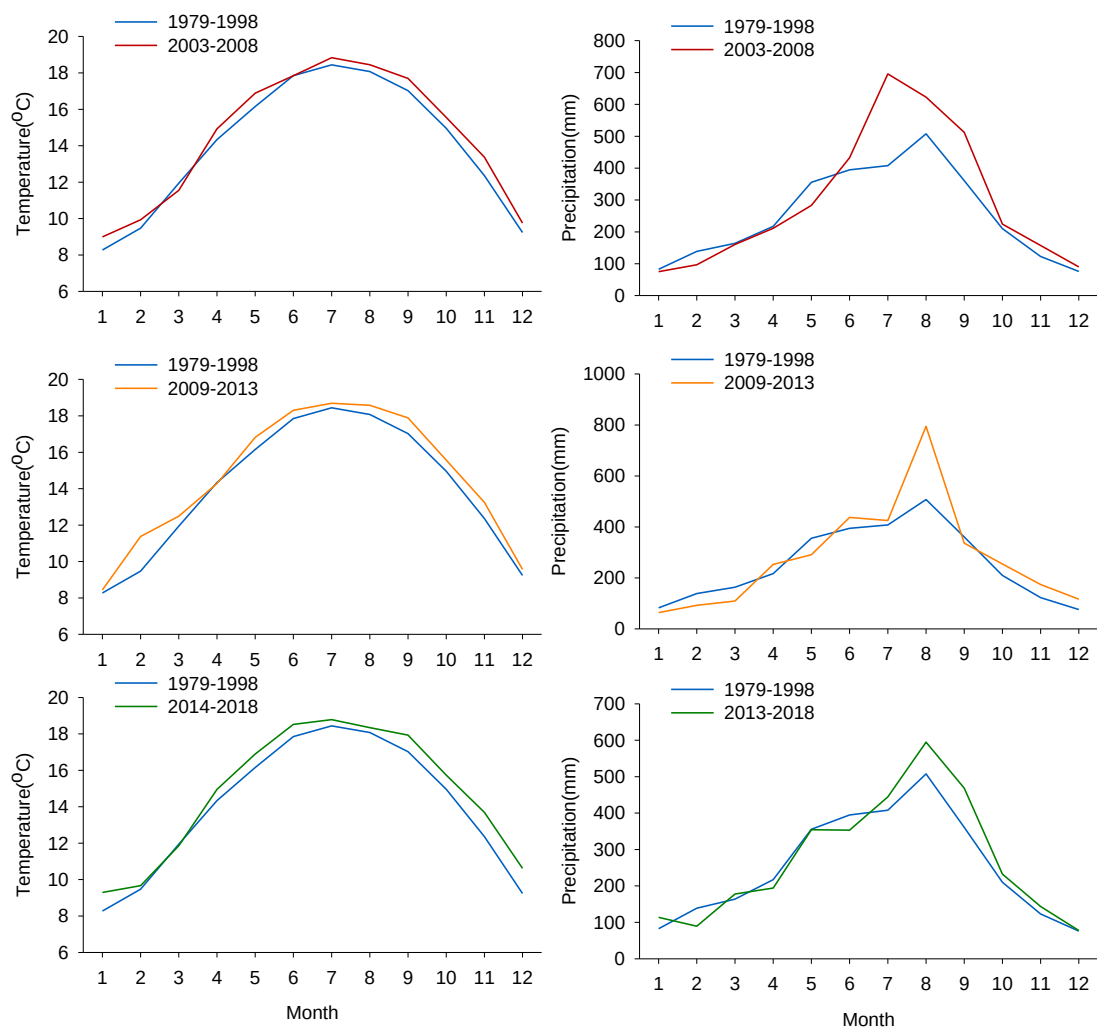


圖 22 大水窟區域 2003-2008 年、2009-2013 年、2014-2018 年以及過往氣候 (1979-1998 年)的月均溫及月降雨量比較，資料使用 ERA5 推估資料。



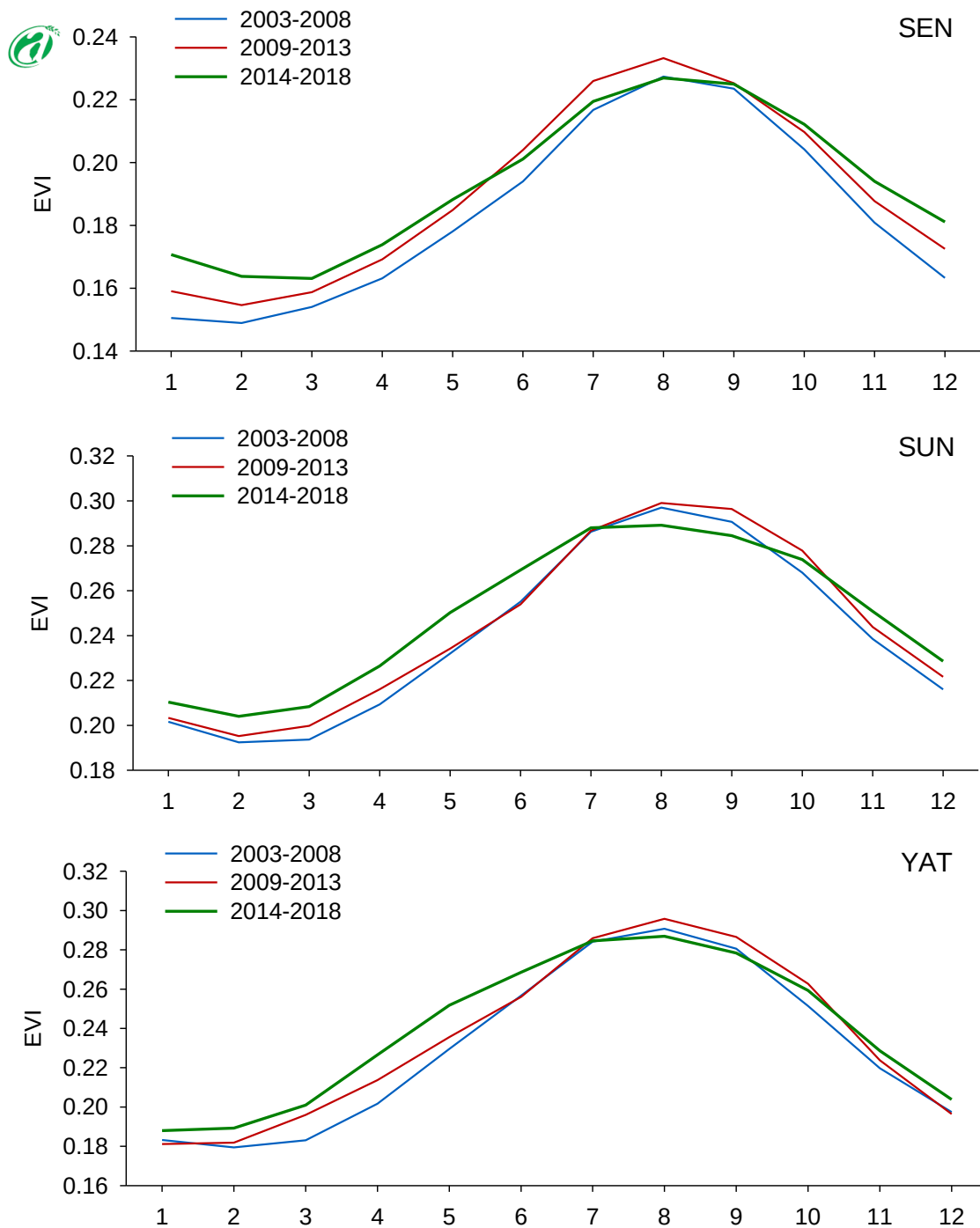


圖 23 大水窟區域三座目標山峰之 2003-2008 年、2009-2013 年、2014-2018 年的月平均 EVI 值比較。





附錄

附錄一、2015 年與 2019 年目標區域各山峰各方位照

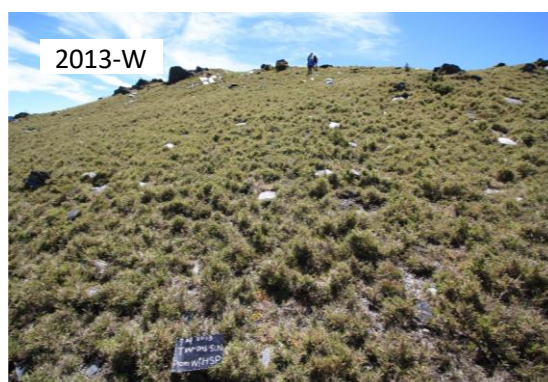
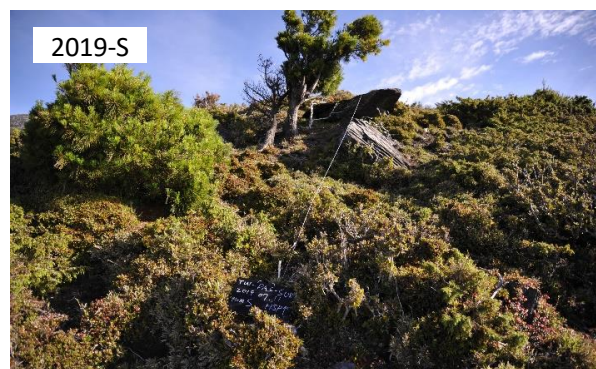
山峰編號：SEN



1080530



山峰編號：SUN





山峰編號：YAT





附錄二、期中審查意見回復

期中審查會議地點：林務局局本部

時間：2019/9/11

委員：楊平世教授、王震哲教授、楊正澤教授

委員意見：楊平世教授	意見回復
1. 報告封面格式建議依據林務局規範，封面要打上計畫主持人與計畫編號	感謝委員建議，已依照建議修正
2. 研究的五個目標區是延續過去劉和義老師的樣區設置？	確實是延續劉和義老師的樣區設置，已於期末報告中補充。
3. 報告中提到 2019 年的調查中蕨類植物消失，請問消失的可能原因為何？	經過氣候分析，我們發現調查前年(2018年)夏秋季雨量較少，且冬季溫度上升，這可能不適用於樣區中三種蕨類繁殖更新。詳細原因仍需持續監測。
4. 未來這些資料如何結合 GLORIA 國際資料庫做比較？是否有鄰近國家同樣參與 GLORIA 的計畫，可否引用比較兩地的變化趨勢？	未來將相互比較與其他國家的研究成果，並檢視本研究的發現是否有相似趨勢。較可惜的是，鄰近參與 GLORIA 計畫的國家為日本與中國，兩者設置區域的條件皆與臺灣相差甚遠，難做細部的比較。
6. 報告中提到可能有動物干擾，如何針對干擾進行監測？如何釐清植群變化是否受到動物影響？	我們希望以樣區中糞便的分布、植群遭受啃食的痕跡，以及活動痕跡(蹄印或掘土)來檢視樣區中動物的干擾程度。並比較該樣區植群與其他植群在相同時間點上的差異，來釐清植群是否受到動物影響。
委員意見：王震哲教授	意見回復
1. 建議在報告書前言的部分概略介紹前期的計畫架構以及計畫目的，如 DAS 這個代號是指什麼地方？讓報告更完整。	感謝委員建議，已依照建議於期末報告中修正。
2. 樣區位置圖建議以地圖呈現。	已依照建議於期末報告中修正。
3. 研究方法有調查方法，沒有分析方法，建議補上。例如地表類型以及頻度，如何納入分析方法？做了那些分析？	已依照建議於期末報告中修正。
4. 在調查方法中，物種豐度等級的部分，要註明以 Braun-Blanquet 等級分級	已依照建議於期末報告中修正。
5. 在 10X10 m 樣區是用 0.5 m 點擊法進行調查。此調查法對於一些小型一年生草本物種可能會產生誤差。這種取樣誤	該調查法是彌補 1X1m2 樣區較小，而山峰區域樣區範圍大，但是調查較粗放



1080530



差是否會造成分析的影響或變化判斷上的失誤?需要留意一下。	的一個折衷方法。因此 10X10m 樣區的分析結果會與其他調查方法相互補充。
6. 地理氣候區屬於是引用哪位學者的氣候分型?須註明出處。	地理氣候區依照 Su(1985)的臺灣氣候分區，已於期末報告中修正。
7. 樣區照片似乎每期調查的拍攝角度不太一樣，應該要固定。	感謝建議，我們將在後續調查中精進。
8. 表格格式固定，山峰區的呈現順序建議統一。	已於期末報告中修正。
9. 表 4 中物種出現的有無建議不要用"1"做表示。	已於期末報告中修正。
10. 表 6 中新增、減少、變化值，應加註該值是與 2008 比較或與 2013 比較，新增者建議前面加上"+"號。	已於期末報告中修正。
11. 調查物種中"芒"應該是高山芒	芒是依據臺灣植物誌第二版的禾本科分類見解。
委員意見：王震哲教授	意見回復
1. 建議比較鄰近國家的 GLORIA 計畫，兩區域的變化趨勢是否異同?	感謝委員意見，鄰近國家分別是中緯度的日本以及樣區設置在青藏高原的中國，較難比較細部的變化趨勢。
2. 物種沒有調查到應該修正為不出現，因為沒調查到可能是一年生物種該年剛好沒有生長，並非代表該物種完全離開調查區域。	已於期末報告中修正。
3. 本計畫之調查方法多樣而複雜，建議增添調查樣區的設置方法與目的，讓人清楚各個調查的功能為何。	已於期末報告中修正。
4. 建議選出指標物種群或以功能群作探討，若在物種層級做討論，會因為資料過度精細，受到突發狀況的影響太大，致使變化不一致，反而難以討論氣候變遷之影響。	本研究已初步建立物種的功能性狀資料，希冀持續擴充，並建構高山植物的功能群。
5. 引用文獻再做更新，現在鮮少文獻使用全球暖化一詞，建議使用溫度亂化或氣候極端化。	已於期末報告中修正。
6. 各圖的說明需要再詳細一些。	已於期末報告中修正。
7. 報告書中豐度、豐盛度以及豐富度名詞釐清與統一。	已於期末報告中修正。





8. 第 15 頁提到期末報告要建構物種特性，請問如何建構？如果依據功能型特性，較能釐清三期調查間的變化。	如前所述，本研究已初步建構大水窟地區物種的功能性狀表，未來將持續增加，並依功能性狀定義功能群。
9. 為何要台灣強調箭竹草原與草原不同？與國外常提到的草原植群型有何不同？	國外研究中的草原(grasslands)是因溫度與水分限制，使植物組成以草本為主。而箭竹草原以玉山箭竹為主要優勢物種，其木質化的特性與物理結構，使箭竹草原與國外研究中定義的草原差異很大，所以有所區別。

