



公開
 密件、不公開

執行機關(計畫)識別碼：070101e300

行政院農業委員會林務局111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（4/4）**（第4年/全程4年）
(英文名稱) **Investigation and monitor of the alpine high-mountain grassland ecosystem in Taiwan (4/4)**

計畫編號：111農科-7.1.1-務-e3

全程計畫期間：自 108年1月1日 至 111年12月31日
本年計畫期間：自 111年1月1日 至 111年12月31日

計畫主持人：林政道
研究人員：劉以誠、郭礎嘉、李丁在、蘇昱、張景淮
執行機關：國立嘉義大學



1110564



一、執行成果中文摘要：

目前全球生態系面臨氣候變遷下的影響，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。本年度主要複查向陽三叉樣區以及補足去年因道路坍方無法複查的奇萊南峰樣區。截至今年，已完成全臺灣五個區域樣區，三次複查工作。綜合五個區域資料進行分析，各區年均溫皆有上升，而冬季均溫皆顯著上升，另計算標準化降雨蒸散指標(SPEI)，從2003至2017年間，各區域在部分年度發生乾旱的情況。而自2017年秋季開始至2022年春季為止，維持了4-5年乾旱期。在2020年秋季過後至2021年春季甚至發生極端乾旱現象。各山峰的EVI長期趨勢約有5-6年一次循環震盪，與過去研究結果相符。反映出樣區中最主要的優勢物種—玉山箭竹的生長週期。EVI與SPEI搭配更發現季節的水分供應會影響植群的發育，彼此成正線性相關，但亦發現冬季升溫可能讓部分受環境限制的物種打破逆境持續生長，而提早生長後續面臨數月乾季，持續性的水分逆境，最終仍導致植群受損而萎縮。第三次調查結果顯示物種組成變化，超過半數樣區的物種數都顯著下降。所有區域的均勻度指數在第三次調查皆顯著下降。第二次到第三次調查間15座山峰裡有6座山峰嗜熱化指標顯著大於零，代表該山峰的植群有嗜熱化的趨勢。嗜濕化指標裡，有六座山峰數值顯著小於零，表示該山峰植群中的耐旱物種比例提升。第二次到第三次調查間結果顯示，溫度區位與降雨區位對物種豐度變化率有顯著影響，同時溫度區位的係數為正值，降雨區位的係數為負值，偏好溫暖、乾旱的物種，豐度變化率越高。本研究結合開放源的衛星資料、氣候資料以及物種分布資料，結合持續性的地面監測調查，更細緻解析氣候變遷對高山植群的影響。

二、執行成果英文摘要：

Currently, the global ecosystem faces climate change's impact, especially the sensitive ecosystem in the high-altitude mountains, which is much more affected by climate change than the low-altitude environment. Therefore, with funding from the Forestry Bureau, we have initiated long-term monitoring of Taiwan's alpine grassland ecosystems since 2008. This study has evaluated and established long-term monitoring sites for high-altitude ecosystem vegetation throughout Taiwan, including five regions and 15 summits over 3,000 meters, following the standards of the Multi-summit Survey Method of the Global Observation Research Initiative in Alpine Environments project (GLORIA). Up to this year, the third resurvey of all summit plot have been completed. In addition, the standardized rainfall evapotranspiration index (SPEI) was calculated, and drought occurred in each region in some years from 2003 to 2017. From the fall of 2017 to the spring of 2022, a 4-5 year drought period was maintained. After the fall of 2020, an extreme drought event occurred in the spring of 2021. The long-term EVI trend for the peaks has a cyclic oscillation of about 5-6 years, which is consistent with the results of previous studies. The combination of EVI and SPEI also revealed that seasonal water availability affects plant development and is linearly correlated with each other. Still, it was also found that winter warming may allow some environmentally restricted species to break the adversity and continue to grow. The early growth is followed by several months of the dry season and continuous water adversity, eventually leading to plant damage and wilting. However, it was also found that winter warming may allow some species with





environmental constraints to break the habitat, grow early, and then face several months of the dry season. The third survey showed a change in species composition, with more than half of the monitoring summits showing a significant decrease in species. Species evenness indices in all areas decreased significantly in the third survey. The thermophilization indicators were significantly greater than zero in six of the 15 summits in the third survey, indicating a trend of thermophilicity in the summit vegetation. Six summits had a significantly smaller value than zero for the moist-philization indicator, indicating an increase in the proportion of drought-tolerant species in the vegetation. The results of the third survey showed that species abundance changes differently due to their temperature and precipitation niche, with positive coefficients for the temperature niche and negative coefficients for the precipitation niche. And higher abundance change rates for species with a preference for warmer and drier species.

三、計畫目的：

因110年度林道崩塌影響，導致未完成部分樣區複查工作，因此本年度目標區域為完成所有尚未複查完畢之區域，包含合歡奇萊及三叉山區域，擬完成兩區域的樣區重新設置與植物複查、溫度紀錄儀之交換、拍攝樣區環境狀況與物種照片，完成兩區域的資料庫擴充工作，並將相關資料整合。最後結合五個目標區域10-12年的植物與環境資料，解析十年間臺灣高山草原生態系之變遷，並與同為GOLRIA架構下其他區域高山植群之變化異同。以巨觀尺度評估氣候變遷對臺灣高山草原之衝擊。

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，自108年度開始進行野外調查，並逐年完成細部項目。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海拔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、四個10 m × 10 m穿越線點調法樣區及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 m × 1 m永久樣區之有頻度網格及無頻度網格、3 m × 3 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記錄儀，需要取出此些溫度記錄儀及分析所記錄之土壤溫度，並埋設新的溫度記錄儀。
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、形態特性來判斷，資料來源涵括標本館、期刊論文、計畫報告、採集紀錄及野外調查紀錄。
7. 持續分析目標區域的衛星影像資料：透過衛星影像資料，分析本年度目標區域的長期氣候變化與植群變遷，以探究大尺度下，氣候變遷與植群變遷的趨勢。
8. 資料分析：透過野外調查資料將能完整呈現物種多樣性增減之模式，究竟臺灣高山是屬於北溫帶歐洲物種增加、地中海地區物種減少或混合模式，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。
9. 配合生物多樣性國家報告與策略計畫，產製出一份國家生物多樣性指標，提供給生物多樣性國家報告使用。

五、結果與討論：

GLORIA的研究設計是為了偵測高山的暖化現象以及植物是否隨海拔向上遷移，至今已有20多年，歐洲各區域已完成複查並發表研究成果。其中Steinbauer et al.(2018)追溯自1871年起的698項研究，總計收集到歐洲302個山峰樣區資料，監測時間差距最長達到145年。研究結果顯示，歐洲的高山區域物種數隨時間推移而增加，同時增加的幅度在近年提升。該研究發現，在1957-1966年時，物種增加率為每十年1.1個物種，而在2007-2016年，則平均增加了5.4個物種，而物種增加幅度與暖化速率以及降雨量變化率呈現正相關。亦即在暖化與雨量變多的情況下，物種數變化率也隨之提高。然而物種數提高並非是好事，其數量增加的主因是越來越多物種向上遷移，而原生於高海拔區域的物種通常是生長緩慢並具備抵抗寒冷能力，當環境暖化時，受益的會是向上遷移的物種。過去研究也認為，物種上升只是一個短暫現象，當中可能隱含著滅絕債務(extinction debt)的累積，只是延後物種的局部性滅絕(Cotto et al., 2017)。

本研究在第二次調查中，除了多數山峰有顯著物種數與均勻度增加現象之外，其他分析都沒有表現與山峰高度梯度有一致的變化趨勢；而第三次調查中，除了乾旱事件造成的明顯的負面影響外，各項分析也未因海拔高度而有一致趨勢；這可能是因為在第二次調查中，尚未明顯發生暖化現象，而第三次調查時，乾旱的負面效應過於強烈以至於掩蓋住了暖化的影響。過往研究顯示，在長時間的暖化效應影響下，物種向上遷移，進而導致高山區域的物種增加與多樣性指數上升(Alexander et al., 2017)；同樣也部分研究顯示，可能因為植物的生活型、族群數量、物候階段與物種間的交互作用，使得變化趨勢不明顯或不一致；而在其他因素的干擾下，如乾旱、動物或人為干擾，暖化的影響可能更不明確(Boeck et al., 2015)。

乾旱事件普遍影響到臺灣的高山植群，這證實了我們之前的推論。雖然臺灣普遍降雨充沛，但是地形陡峭，在高海拔地區的土壤淺薄，持水能力較差。此外，臺灣屬於季風氣候，多數區域的雨量集中在春夏季，當春夏季雨量降低，很容易因此水分失衡。高溫直接導致潛在蒸散量的





提高，同時生長季延長也會進一步提高植物水分用量，因此進一步提升環境的水分需求。加上降雨量在時間上的集中(降雨天數減少)會減少水分的入滲土壤的比例，減少土壤持水，可能使水分供不應求，進一步造成乾旱事件頻率上升。乾旱或許只是氣候震盪的偶發事件，然而根據臺灣的長期氣候趨勢統計，自1960-2021年雖然總降雨量雖然在沒有顯著減少，但是降雨日數減少，極端降雨的頻率上升，雨量分配漸趨集中(TCCIP, 2017)。近五年(2018-2022)來直接侵襲臺灣的颱風數量降低，2020到2022年更創下罕見的無颱風登陸的紀錄。颱風是主要供應夏季水分的氣象事件，當颱風減少時，意味著濕季的水分供應量下降。過往研究也顯示臺灣未來有偏向乾早年增加的趨勢，整體氣候情況代表著乾旱事件的發生頻率將會上升(Lee et al., 2019)。升溫事件可能導致耐寒植物被迫向上遷移，而乾旱強度則是自山頂而下的脅迫事件，若乾旱與升溫事件同時發生，將可能進一步壓縮耐寒物種的生存空間。縱使乾旱逆境結束，在溫度升高的情況下，嗜熱物種將更快重新發育擴展，使耐寒物種族群受到更大的競爭脅迫。野外調查通常是時間斷面的，要得知調查與調查之間植群實際狀況，就只能仰賴高時間密度的調查，然而這是難以達成的，這也是國外GLORIA部分研究面臨到的困境之一。由於GLORIA研究設計為五年一次複查，且完全針對暖化現象做試驗設計，同時高山區域的物種生命週期較長，生長緩慢，因此必須累積足夠時間與空間的資料，才能顯現暖化的影響(Verrall et al., 2021)。而衛星影像資料具有時間連續性的特質，但是得到是植群整體的概略變化。本研究結合兩者資料，使兩項調查工具的缺點可以互相彌補也互相支持。同時，我們利用開放源資料客觀地建立植物的氣候區位，這使我們能夠了解氣候因子與物種變化的關係。本研究提供了一個方案，結合開放源的衛星資料、氣候資料以及物種分布資料，結合持續性的地面監測調查，更細緻解析氣候變遷對高山植群的影響。

六、結論：

本年度完成GLORIA五個區域共15座山峰的第三輪調查。本研究有別過往與其他區域的GLORIA研究計畫，除了地面的植群監測資料之外，另外爰引衛星影像資料、開放氣候資料以及物種點位資料做為輔助材料，解析十多年來高山植群變遷的趨勢與影響植群變遷的氣候因子。研究結果顯示，臺灣的高山區域在近年(2017-2021年)受到暖化與聖嬰現象影響，冬季明顯升溫。過往研究顯示，溫度上升經常導致高山區域的物種數隨之增加，但由於2018至2021年的氣象乾旱，導致高山區域的植物物種數並未如預期般的變化，反而因乾旱效應，物種覆蓋度縮減，數量減少。截至目前為止，並未發現明確受到威脅的物種。然而，多數植物的覆蓋度因為缺水而下降，普遍發生在臺灣的高山區域，對族群數量較稀少的物種可能是潛在威脅。根據IPCC氣候變遷第六次評估報告，臺灣未來將面臨雨量極端化，颱風頻率下降與強度提升的情況。高山地區的地形陡峭且土壤保水力較差，在雨量極端化與颱風減少的情況下，更容易形成乾旱。這也代表類似2018-2021年的極端乾旱可能會在短時間內再次發生。而過往研究也表明，可能因為微棲地環境、種間關係以及氣候因子的交互作用，導致植群變遷發生遲滯的現象，氣候變遷的影響不明確。因此，為了更深入了解氣候變遷對高山植群的影響效應，必須持續性的執行監測調查。未來，本研究將針對物種的功能性狀以及種間關係，更明確地釐清物種的生態區位，以了解在氣候變化下的不同功能群物種的反應。同時，本研究也發現水分平衡可能是重要影響因子，雖然近年來臺灣的高山氣象站有增加的趨勢，但由於環境惡劣且位處偏遠，經常出現故障情況。高山氣象站提供重要的背景資料，同時也提升氣候模型推估的精準度。因此本研究也建議必須定期維護高山氣象站，使其能夠持續運作，減少監測缺值。

七、參考文獻：

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。





- 邱祈榮、陳子英、謝長富、劉和義、葉慶龍、王震哲 (2009) 臺灣現生天然植群圖集。行政院農業委員會林務局，台北市。
- 陳玉峰 (1997) 臺灣植被誌。(第二卷)：高山植被帶與高山植物(上)(下)。晨星出版社，台中市。
- 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。
- 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。
- 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。
- 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台(TCCIP)與中央研究院環境變遷研究中心(2017) 臺灣氣候的過去與未來。國家災害防救科技中心。
- 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台(TCCIP)(2021) 1km網格化逐日觀測資料集。國家災害防救中心。
- Artemov, I.A. (2018) Changes in the altitudinal distribution of alpine plants in Katunskiy Biosphere Reserve (Central Altai) revealed on the basis of multiyear monitoring data. *Contemporary Problems of Ecology*, 11, 1-12.
- Cotto, O., J. Wessely, D. Georges, G. Klöner, M. Schmid, S. Dullinger, W. Thuiller and F. Guillaume (2017) A dynamic eco-evolutionary model predicts slow response of alpine plants to climate warming. *Nature Communications*, 8(1): 1-9.
- 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.
- Gallagher, R. V., S. Allen, and I. J. Wright (2019) Safety margins and adaptive capacity of vegetation to climate change. *Scientific Reports*, 9(1): 8241.
- Gottfried, M., H. Pauli, and G. Grabherr (1998) Prediction of vegetation patterns at the limits of plant life: a new view of the alpinenival ecotone. *Arctic and Alpine Research*, 30: 207-221.
- IPCC. (2020) Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate . Available at: <https://www.ipcc.ch/srocc/>. Accessed: 16 August 2020.
- 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. *Eco graphy*, 35: 204-210.
- Karger, D.N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R.W., Zimmermann, N.E., Linder, H.P. & Kessler, M. (2017) Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data* 4, 170122.
- Kira, T. (1945) A new classification of climate in Eastern Asia as the basis for agricultural geography. Horticulture Institute, Kyoto University, Kyoto, Japan (In Japanese).
- Körner, C. (1999) Alpine plant life. Functional plant ecology of high mountain ecosystems. Springer, Berlin/Heidelberg.
- Körner, C. (2002) Mountain biodiversity, its causes and function: an overview. In: Körner, C. and E. M. Spehn (eds.) Mountain Biodiversity-A Global Assessment, pp 3-20. Parthenon, London and New York.
- Körner, C. (2007a) Alpine Ecosystems. Encyclopedia of Life Sciences. John Wiley & Sons, Hoboken.
- Körner, C. (2007b) Climatic treelines: Conventions, global patterns, causes. *Erdkunde*, 61: 316-324.





- Körner, C. and J. Paulsen (2004) A world-wide study of high altitude treeline temperatures. *Journal of Biogeography* 31:713-732.
- Kraft, N. J., Godoy, O., and Levine, J. M. (2015) Plant functional traits and the multidimensional nature of species coexistence. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(3), 797-802.
- 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.
- 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.
- Liu, H. Q., and Huete, A. (1995) A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. *IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33(2): 457-465.
- Muñoz, S. J. (2019) ERA5-Land monthly averaged data from 1981 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), doi:10.24381/cds.68d2bb30
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Porro, F., M. Tomaselli, T. Abeli, M. Gandini, M. Gualmini, S. Orsenigo, et al. (2019) Could plant diversity metrics explain climate-driven vegetation changes on mountain summits of the GLORIA network? *Biodiversity Conservation*, 28, 3575-3596.
- Rasman, 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.





- 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.
- Stanisci, A., L. Frate, Morra Di Cella, U., G. Pelino, M. Petey, C. Siniscalco, et al. (2016) Short-term signals of climate change in Italian summit vegetation: observations at two GLORIA sites. *Plant Biosystematics*, 150, 227-235.
- Steinbauer, M. J., Grytnes, J. A., Jurasinski, G., Kulonen, A., Lenoir, J., Pauli, H., ... and A. D. Bjorkman (2018) Accelerated increase in plant species richness on mountain summits is linked to warming. *Nature*, 556(7700): 231.
- 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: 1-14.
- 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.
- M. J. Steinbauer, J.-A. Grytnes, G. Jurasinski, A. Kulonen, J. Lenoir, H. Pauli, C. Rixen, M. Winkler, M. Bardy-Durchhalter, E. Barni, A. D. Bjorkman, F. T. Breiner, S. Burg, P. Czortek, M. A. Dawes, A. Delimat, S. Dullinger, B. Erschbamer, V. A. Felde, O. Fernandez-Arberas, K. F. Fossheim, D. Gomez-Garcia, D. Georges, E. T. Grindrud, S. Haider, S. V. Haugum, H. Henriksen, M. J. Herreros, B. Jaroszewicz, F. Jaroszynska, R. Kanka, J. Kapfer, K. Klanderud, I. Kuhn, A. Lamprecht, M. Matteodo, U. M. di Cella, S. Normand, A. Odland, S. L. Olsen, S. Palacio, M. Petey, V. Piscova, B. Sedlakova, K. Steinbauer, V. Stöckli, J.-C. Svenning, G. Teppa, J.-P. Theurillat, P. Vittoz, S. J. Woodin, N. E. Zimmermann and S. Wipf (2018) Accelerated increase in plant species richness on mountain summits is linked to warming. *Nature*, 556(7700), 231-234.
- Tichy, L. and M. Chytry (2006) Statistical determination of diagnostic species for site groups of unequal size. *Journal of Vegetation Science*, 17(6): 809-818.
- Townshend, J. R., and Justice, C. O. (1986) Analysis of the dynamics of African vegetation using the normalized difference vegetation index. *International Journal of Remote Sensing*, 7(11): 1435-1445.
- 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.





行政院農業委員會農業發展計畫 109 年度單一計畫 110 農科-7.1.1-務-e5

臺灣高海拔山區草原生態系調查與監測 (4/4) 成果報告

Investigation and Monitoring of the High-mountain
Grassland Ecosystem in Taiwan (4/4)

全程計畫期間: 自 108 年 1 月 1 日 至 111 年 12 月 31 日

本年計畫期間: 自 111 年 1 月 1 日 至 111 年 12 月 31 日

計畫主持人: 林政道 助理教授

共同主持人: 劉以誠 助理教授

研究人員: 郭礎嘉博士

執行機關: 國立嘉義大學



1110564





目錄

目錄.....	I
表目錄.....	III
圖目錄.....	IV
摘要.....	V
Abstract.....	VI
壹、 前言.....	1
貳、 研究方法.....	5
一、 GLORIA 樣區之設置方法.....	5
(一) 目標區域內之山峰選擇依據.....	5
(二) 山峰最高點之標定.....	9
(三) 主測量線之測定.....	10
(四) 1 m × 1 m 樣區設置.....	12
(五) 山峰區域分區之設置.....	12
(六) 10 m × 10 m 樣區之設置.....	12
二、 GLORIA 調查方法.....	13
(一) 1 m × 1 m 樣區之調查.....	13
(二) 山峰區域分區之調查.....	16
(三) 10 m × 10 m 樣區之調查.....	17
(四) 溫度紀錄儀之設置.....	18
(五) 相片記錄.....	21
三、 分析方法.....	22
(一) 氣候資料與衛星影像分析.....	22
(二) 物種氣候區位分析.....	24
(三) 植群變遷.....	25
參、 研究結果與討論.....	27
一、 氣候與植生指標趨勢變化.....	27





(一) 長期溫度變化與水分平衡趨勢.....	27
(二) 植生指標 EVI 指數變化趨勢.....	33
(三) EVI 變化趨勢與氣候關係.....	35
二、 植群變化趨勢.....	38
(一) 植群之多樣性指數與組成變異.....	38
(二) 社會權重指標.....	39
三、 物種氣候區位與覆蓋變化關係.....	46
四、 其他重要事件.....	50
五、 綜合討論.....	52
肆、 結論與未來展望.....	55
伍、 參考文獻.....	57
附錄.....	61





表目錄

表 1. GLORIA 目標區域及山峰之代碼	9
表 2. 四種不同溫度記錄儀之比較.....	20
表 3. 三次調查期間整體物種覆蓋度增減與其物種氣候區位之關係...	50





圖目錄

圖 1. 目標區域於臺灣之分布圖	4
圖 2. 多峰調查法之樣區設置圖	11
圖 3. 10m × 10 m 樣區設置位置	14
圖 4. 3 × 3 樣區群的樣區編號與測量點的數字序號	14
圖 5. 一平方公尺網格框	17
圖 6. 10 m × 10 m 樣區內之調查線設置圖	18
圖 7. 10 m × 10 m 樣區之起始調查線及調查方向	18
圖 8. 溫度計錄儀埋設位置圖	19
圖 9. 溫度記錄儀加固設計示意圖	19
圖 10. 樣區代號格式黑板範例圖	21
圖 11. 1981–2021 年目標區域年均溫趨勢變化圖	29
圖 12. 1981–2022 年目標區域冬季均溫趨勢變化圖	30
圖 13. 2003–2022 年七月各區域山峰的 SPEI-12(年度)平均值趨勢變化圖	31
圖 14. 2003–2022 年七月各區域山峰的 SPEI-3(季節)平均值趨勢變化圖	32
圖 15. 山峰監測區域的各山峰 EVI 長期趨勢變化圖	34
圖 16. 監測區域的各山峰 EVI 長期趨勢變化率與 SPEI-3 之關係圖	37
圖 17. 三次調查中各目標區域植群的物種數(A)與均勻度指數(B)變化	41
圖 18. 三次調查中各目標山峰植群的主成分變化	42
圖 19. 第二次調查中各目標山峰植群的嗜熱化(A)與嗜濕化(B)趨勢	43
圖 20. 第三次調查中各目標山峰植群的嗜熱化(A)與嗜濕化(B)趨勢	44
圖 21. 三次調查期間各山峰樣區的植群嗜熱化與嗜濕化指標以及水分條件情況之關係圖	45
圖 22. 各研究區域之物種氣候區位分布圖	48
圖 23. 三次調查中各目標區域的物種覆蓋度變化以及該物種之氣候區位	49
圖 24. 合歡奇萊區域 SMN 山峰樣區衛星影像與空拍圖	51





摘要

目前全球生態系面臨氣候變遷下的影響，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。本年度主要複查向陽三叉樣區以及補足去年因道路坍方無法複查的奇萊南峰樣區。截至今年，已完成全臺灣五個區域樣區，三次複查工作。綜合五個區域資料進行分析，各區年均溫皆有上升，而冬季均溫皆顯著上升，另計算標準化降雨蒸散指標(SPEI)，從 2003 至 2017 年間，各區域在部分年度發生乾旱的情況。而自 2017 年秋季開始至 2022 年春季為止，維持了 4-5 年乾旱期。在 2020 年秋季過後至 2021 年春季甚至發生極端乾旱現象。各山峰的 EVI 長期趨勢約有 5-6 年一次循環震盪，與過去研究結果相符。反映出樣區中最主要的優勢物種—玉山箭竹的生長週期。EVI 與 SPEI 搭配更發現季節的水分供應會影響植群的發育，彼此成正線性相關，但亦發現冬季升溫可能讓部分受環境限制的物種打破逆境持續生長，而提早生長後續面臨數月乾季，持續性的水分逆境，最終仍導致植群受損而萎縮。第三次調查結果顯示物種組成變化，超過半數樣區的物種數都顯著下降。所有區域的均勻度指數在第三次調查皆顯著下降。第二次到第三次調查間 15 座山峰裡有 6 座山峰嗜熱化指標顯著大於零，代表該山峰的植群有嗜熱化的趨勢。嗜濕化指標裡，有六座山峰數值顯著小於零，表示該山峰植群中的耐旱物種比例提升。第二次到第三次調查間結果顯示，溫度區位與降雨區位對物種豐度變化率有顯著影響，同時溫度區位的係數為正值，降雨區位的係數為負值，偏好溫暖、乾旱的物種，豐度變化率越高。本研究結合開放源的衛星資料、氣候資料以及物種分布資料，結合持續性的地面監測調查，更細緻解析氣候變遷對高山植群的影響。





Abstract

Currently, the global ecosystem faces climate change's impact, especially the sensitive ecosystem in the high-altitude mountains, which is much more affected by climate change than the low-altitude environment. Therefore, with funding from the Forestry Bureau, we have initiated long-term monitoring of Taiwan's alpine grassland ecosystems since 2008. This study has evaluated and established long-term monitoring sites for high-altitude ecosystem vegetation throughout Taiwan, including five regions and 15 summits over 3,000 meters, following the standards of the Multi-summit Survey Method of the global observation research initiative in alpine environments project (GLORIA). Up to this year, the third resurvey of all summit plot have been completed. In addition, the standardized rainfall evapotranspiration index (SPEI) was calculated, and drought occurred in each region in some years from 2003 to 2017. From the fall of 2017 to the spring of 2022, a 4-5 year drought period was maintained. After the fall of 2020, an extreme drought event occurred in the spring of 2021. The long-term EVI trend for the peaks has a cyclic oscillation of about 5-6 years, which is consistent with the results of previous studies. The combination of EVI and SPEI also revealed that seasonal water availability affects plant development and is linearly correlated with each other. Still, it was also found that winter warming may allow some environmentally restricted species to break the adversity and continue to grow. The early growth is followed by several months of the dry season and continuous water adversity, eventually leading to plant damage and wilting. However, it was also found that winter warming may allow some species with environmental constraints to break the habitat, grow early, and then face several months of the dry season. The third survey showed a change in species composition, with more than half of the monitoring summits showing a significant decrease in species. Species evenness indices in all areas





decreased significantly in the third survey. The thermophilization indicators were significantly greater than zero in six of the 15 summits in the third survey, indicating a trend of thermophilicity in the summit vegetation. Six summits had a significantly smaller value than zero for the moist-philization indicator, indicating an increase in the proportion of drought-tolerant species in the vegetation. The results of the third survey showed that species abundance changes differently due to their temperature and precipitation niche, with positive coefficients for the temperature niche and negative coefficients for the precipitation niche. And higher abundance change rates for species with a preference for warmer and drier species.





壹、前言

全球氣候變遷是世界各國當前最重要的環境議題之一。氣候變化幅度加劇以及極端氣象事件頻率增加，導致全球生物圈面臨重大威脅 (Pauli 2003a; Körner and J. Paulsen, 2004; Körner, 2007a; 2007b)。為了研究氣候變遷現象如何影響生物多樣性的效應，歐洲聯盟 (the European Union) 的 MAVA 自然保護基金會 (MAVA Foundation for Nature Conservation) 自 2000 年起，啟動探討高山植群 (alpine vegetation) 變化的「全球高山環境觀測研究計畫」(GLobal Observation Research Initiative in Alpine Environment, 簡稱 GLORIA)，利用多峰調查法監測高山植群的變化，目前全球共有 40 多個國家針對 130 個高山區域進行監測。

高山植群能夠有效反映氣候變遷之影響，是了解氣候變遷對生態系影響的有效工具之一。高海拔山區是由低溫條件、淺薄土壤、養分缺乏等嚴苛環境構成的生態系，具有許多適應低溫機制的特有物種。這些對溫度變化敏感的物種是反映氣候變遷的指標之一。近年來全球氣候變遷對高山植物生育區域產生強烈影響，引起高山植群的變化(Gallagher et al., 2019)。隨著海拔上升，植物可定植的區域縮減，限制了高山特有植物向上遷移的可能性，同時在溫度升高的情況下，植物物候混亂、較低海拔的外來種植物與病蟲害向上遷移等現象，也使得高山植物族群受到直接威脅 (曾喜育與曾彥學 2018; Walther, 2010; Rasmann et al., 2014)。在中歐、西歐以及北歐已發現的植物因應十九世紀以來的溫度上升而往高海拔地區上移的現象 (Pauli et al., 2001; Lenoir et al., 2008; Kullman and Oberg, 2009; Steinbauer et al., 2018) 統整分析 GLORIA 中 1956–2016 年歐洲的高山植群資料，顯示全球氣候變遷的情況下，歐洲高山區域植群的物種豐富度上升了，但具耐寒性的特有植物逐漸被生長快速的普遍種取代，使特有物種受到滅絕危機。不同植物物種對氣候變化的適應性不同，因此植物群落並非以整體之遷移來反應氣候的變化 (Gottfried et al., 1998)，這種物種遷移性的差異可導致現有生態系中食物鏈斷裂 (Root et al., 2003)、動物棲息地喪失，進而使生物多樣性下降以及生





態系功能改變。在山地環境中，只有植群維持其完整性及穩定性時，才能發揮完整的生態系功能，維持山地的穩定與安全 (Körner, 2002)。因此，高山植群的監測可以提供權責單位經營管理上相當有用的資訊。

此外，高山生態系為分布於全球的陸地生態系地理單元 (Körner, 1999)，可以比較不同氣候梯度 (如海拔、經緯度等) 下，氣候變遷對植群之影響；又相較於低海拔，高山較無土地利用及人為活動干擾，是非常理想的氣候變遷效應之監測實驗地。GLORIA 計畫為針對氣候變化對山地生態環境影響的監測評估問題而建立的一個國際性的研究網路，並訂立了一套可適用於全球性的高山植物調查觀測標準，稱作多峰調查法 (multi-summit approach, Pauli et al., 2003b; 2012)。多峰調查法是調查一組山峰組合，地理上需要在緯度及海拔上均勻分佈；理想的一組山峰組合是包含四座不同海拔之山峰，五座不同海拔之山峰亦可，不過三座不同海拔山峰是目標區域的最低要求；在山峰頂設立永久樣區，該樣區在現在及未來基本上要保持無人類的干擾。此外，多峰調查法的目標區域不可跨越大的氣候分界線，即山峰組合須位於相同的區域地理氣候區內，使得氣候之差異只受海拔高度 (代替溫度差異之表象) 之影響；同樣地，也要求樣區具有相似基質以及坡度要求。為了便於研究調查，目標區域要盡可能的小，但也要滿足山峰的選擇準則。

臺灣位於菲律賓海板塊和歐亞板塊的交界帶，是造山作用活躍的區域，三千公尺以上的高山多達兩百六十幾座。同時，臺灣也是熱帶與副熱帶氣候交界帶，特殊的高山地理條件保留了許多冰河時期子遺植物物種，也具有高特有種比率，提高了臺灣高山植物物種之多樣性 (陳玉峰, 1997; Jump et al. 2012)。臺灣的高山生態系可能在氣候變遷下最先受到影響，然而過往的研究多屬於局部性且短期植群調查，鮮少進行長期監測調查。此外，高山區域的氣象站十分稀少，截至今年 (2022 年) 為止，超過海拔三千公尺的氣象站僅 13 座，當中僅玉山氣象站、昆陽自動測站以及排雲自動雨量站累積超過 20 年資料，高山氣候資料缺乏，難以做為研究佐證，無法了解氣候變遷對高山植物物種多樣性喪失及生態體系不穩





定性的可能影響，以及其所帶來的潛在風險。臺灣氣候變遷科學報告（周佳等人，2017）統計臺灣自 1900–2010 年以來的氣候變化，發現平均氣溫於百餘年來呈現階段性上升的趨勢，其中又以 1980 年代後的上升幅度最大。報告同時計算百年來增溫幅度，日最低溫大約增溫 1.7°C，日最低溫上升可能導致高山雪季縮短。此外，過往研究（Chou et al., 2011; Jump et al., 2012）顯示臺灣中部山地（阿里山、合歡山及玉山）植物在近百年的調查與採集中，平均每年上移 3.6 公尺，顯示氣候變遷確實對高山植物造成影響，然而仍缺乏植群層級的研究，了解暖化對高山植群的衝擊。

為了瞭解氣候變遷下高山植群的變化，劉和義等人（2010; 2015）在林務局的支持下，2008–2010 年間陸續設五個目標高山區域(圖 1)，分別有大水窟山地區(代號 DAS)、雪山地區(代號 SYU)、合歡奇萊地區(代號 HQM)、南湖鈴鳴地區(代號 NAH)、三叉山地區(代號 SAC)等五個地區共 15 座山峰。選定區域後，依 GLORIA 規範進行樣區設置，在 2008–2010 完成首次調查，並於 2011–2015 年全區域完成首次複查。兩次調查結果顯示高山氣候確實有暖化現象，然而植群組成並未產生太大的變化。2015–2018 年是強烈的聖嬰年，各年度均溫屢破歷史紀錄；2019-2021 年也有顯著的異常高溫現象。依據中央氣象局統計，自 2014 年起至今，全台均溫都在百年紀錄中前十高溫的排名內，其中 2016 年、2019 年與 2020 年分別為第一名、第三名與第二名，持續性的異常高溫可能影響高山植群變化。若要進一步預測氣候條件下植群組成的變動趨勢，需要持續監測研究。本計畫延續劉和義等人的研究，持續監測並維護五個目標高山區域樣區，並探究在氣候變遷對高山植群的衝擊。本次複查始於 2019 年，由大水窟區域開始複查，爾後陸續完成雪山區域、南湖鈴鳴區域、合歡奇萊區域以及三叉山區域複查。本年度(2022 年)是三叉山區域的第二次複查，以及去年度因道路中斷而難以抵達的合歡奇萊區域 QSS 山峰樣區的第二次複查。本研究希冀透過三次植群監測資料，綜合分析各區域山峰的植群變遷與受到氣候變遷的衝擊。



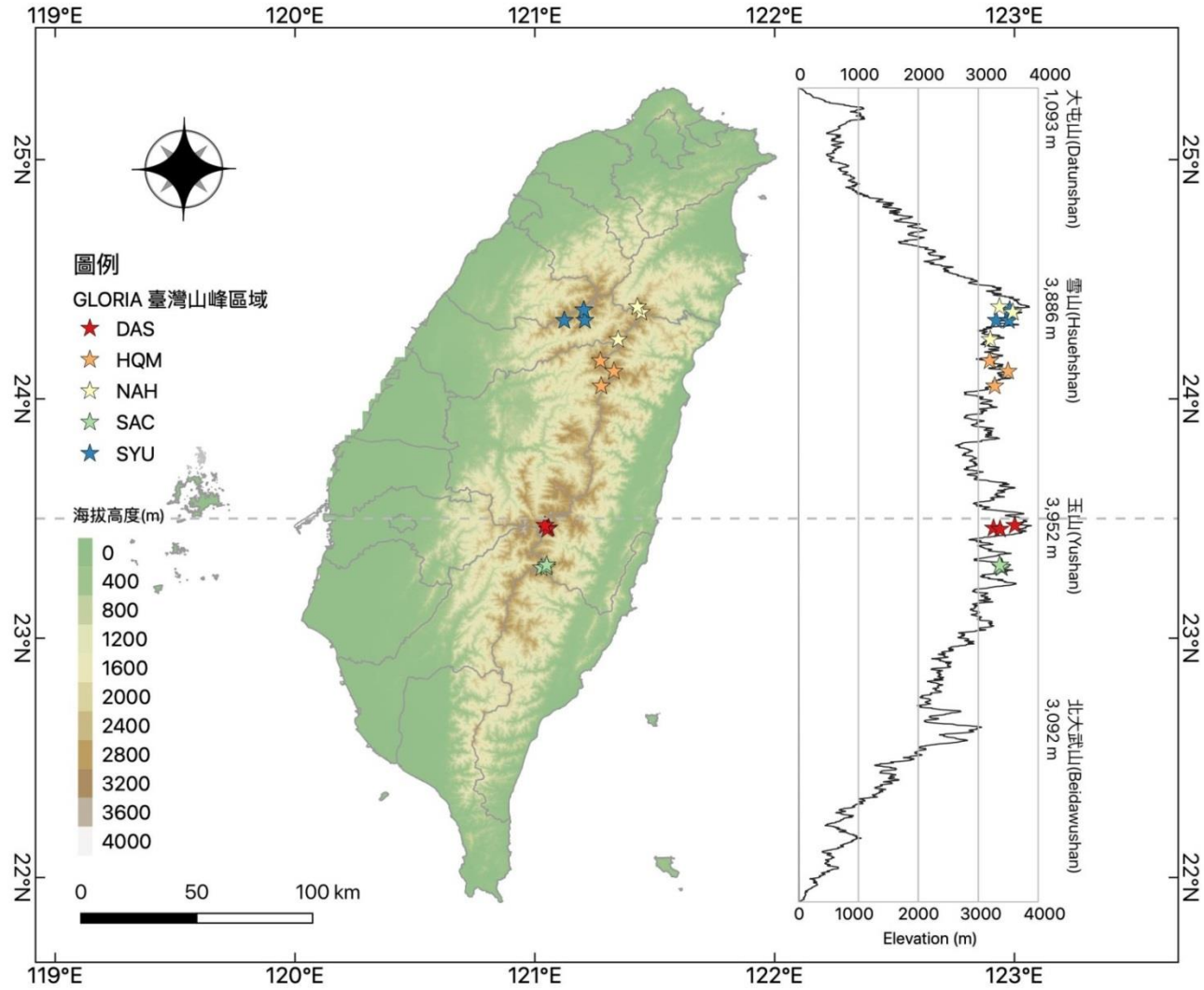


圖 1. 目標區域於臺灣之分布圖，DAS(大水窟區域)、HQM(合歡奇萊區域)、NAH(南湖鈴鳴區域)、SAC(三叉山區域)、SYU(雪山區域)





貳、研究方法

本計畫的研究與調查方法，主要是根據 2004 年「全球高山環境觀測研究計畫 (GLORIA)」野外工作手冊第四版 (以下簡稱工作手冊)。此外，2008 年歐盟國家對於其所在地方的目標區域進行複查時，將原有的野外工作手冊中的方法進行部分的修改及增加。而於 2010 年於蘇格蘭柏斯舉行的第五次國際會議 (5th International GLORIA Meeting) 時，經各國代表討論各調查方法的優缺點後，決議出最終調查方法。本計劃整合所有相關的方法，重點及實際執行過程簡述如下：

一、GLORIA 樣區之設置方法

(一) 目標區域內之山峰選擇依據

GLORIA 目標區域是選擇在因低溫形成的樹線過渡帶 (treeline) 以上的區域，此區剛好是高山帶 (alpine life zone)，在此區內沿著海拔梯度，從樹線過渡帶至維管束植物生存上限，包含亞高山-下部高山過渡帶 (lower alpine/subalpine ecotone)、下部高山-上部高山過渡帶 (upper-lower alpine ecotone)、上部高山-亞積雪帶 (subnival-upper alpine ecotone) 及亞積雪-積雪帶 (subnival-nival ecotone)，因此目標區域內至少包括四座相同地理氣候區之山峰，盡可能分別位在不同的過渡帶內，且沒有人為活動。臺灣位處亞熱帶，並沒有夏季積雪 (summer-snowpack) 或永凍土 (permafrost) 情況，即最高植群分帶僅到高山帶，再加上各山脈最高峰幾乎都有人為活動干擾，因此只能選出三座山峰，為 GLORIA 目標區域研究的最低要求。

※高山相關名詞定義：

- 森林線 (forestline)：鬱閉森林消失的最高界線，樹線過渡帶的最低界線。
- 樹線 (treeline)：高度超過三公尺之喬木消失處所形成的界線。
- 樹種線 (tree species line)：樹木成熟個體分布的上限，成熟個體包含匍





匐和低矮之個體。

- 樹線過渡帶 (treeline ecotone)：指森林線和樹種線之間的過渡帶。
- 高山區 (alpine zone)：介於樹線和鬱閉植群 (覆蓋度大於 20–40 %) 間之區域，可進一步分為下高山區 (矮灌叢為其顯著分布植群) 和上高山區 (草本植群為其顯著分布植群)。
- 積雪區 (nival zone)：高山區以上之開闊植群區，此區植群不是顯著景觀
- 高山-積雪過渡帶 (alpine-nival zone)：高山區和積雪區間的過渡帶，一般與永凍帶一致。

本年度為第三輪山峰調查的最後一年，複查兩個目標區域，分別是奇萊合歡區域與三叉山區域。本計畫的五個區域位置與概況分述如下(各山峰代碼請參見表 1)：

大水窟山區位於中央山脈中段，在行政區隸屬南投縣信義鄉及花蓮縣卓溪鄉，亦屬於玉山國家公園生態保護區。地質上屬亞變質板岩系之畢祿山層。大水窟山的北面山嶺，有呈帶或塊狀生長的香青及玉山杜鵑矮盤灌叢，正緩慢進行的植群演替；大水窟山南面則是由玉山箭竹構成的廣大草原景觀，其間偶散佈著臺灣刺柏及紅毛杜鵑組成的矮盤灌叢，經大水窟池到南大水窟山，亦是本計劃樣區山峰組主要所在區。八通關古道是進入此區最主要的路徑，從東埔沿著古道需重裝走上三天才能到達此區。大水窟山區的三座目標山峰(表 1)，海拔高度由低到高分別為位於大水窟山屋東側的 SUN 山峰(3255 m)、位於大水窟山屋南面，位於南二段路徑旁的 YAT 山峰(3363 m)、以及鄰近大水窟山的 SEN 山峰(3610 m)。

雪山目標區域位於中央山脈西北方向之雪山山脈中段，行政區上分屬三個不同縣之鄉鎮市：苗栗縣泰安鄉、台中縣和平鄉與新竹縣五峰鄉，並位於雪霸國家公園的生態保護區內。地理氣候區屬於西北內陸區，雨量主要集中於夏季，夏季因大甲河流域及大安河流域的雲層，常隨氣溫增加水氣增加，午後常出現雷陣雨；





冬季寒流來襲時，東北季風帶來的水汽常為此區降下不少的雪量。而地質母岩以砂岩、頁岩及頁岩變質後的板岩為主，複雜的地史及河川的切蝕，六條 3,000 m 以上的稜脈以雪山主峰為軸點，放射狀構成雪山山脈的主體。進入此區需花上數天，才能跨越連峰巨嶺的山稜。雪山目標區域的三座山峰(表 1) 分別為：海拔高度 3,299 m 之 JNJ 山峰，位於大劍山東南之劍南尖山；海拔 3,509 m 之 DSH 山峰，位於大雪山向南延伸之支稜上；海拔高度 3,524 m 之 TSW 山峰，位於雪山西南方延伸之稜線上。

南湖目標區域位於中央山脈主稜線北段，其中的南湖大山為中央山脈第三高峰（海拔 3740 公尺）；而南湖山塊最具特色的地形景觀是兩條 U 型谷，圍繞著上、下 U 型谷的山頭即為南湖群峰。此山區在行政區上位於台中和平鄉，隸屬於太魯閣國家公園轄區內。並根據蘇鴻傑所劃分的臺灣本島地理氣候區，屬於西北內陸區，雨量主要集中於夏季，而冬季一、二月間溫度多在攝氏零度以下，且南湖圈谷為東北季風迎風面，承接蘭陽溪的水氣，使得冬季雪量豐沛，常為白雪所覆蓋。地質則以第三紀所形成的板岩、硬頁岩為主，偶夾薄層砂岩及石灰岩，土壤淺薄，部分地區為岩屑所構成。土壤淺薄，部分地區為岩屑所構成。南湖大山目標區域之三座山峰(表 1)，往南延伸至中央山脈北二段(中央尖山以南至羊頭山以北)一帶：海拔 3219 公尺之 LIN 山峰，位於鈴鳴山西北側；海拔 3354 公尺之 SMZ 山峰，位於審馬陣山東北側；海拔 3575 公尺之 ZNF 山峰，位於南湖大山東南側。

合歡奇萊目標區域位於中央山脈主脊上偏北位置，中央山脈於此向西轉折進入合歡山區，再轉回奇萊山區。此區在行政區域屬於南投縣仁愛鄉及花蓮縣秀林鄉，且都位在太魯閣國家公園的管轄範圍內。地理氣候區屬於東區北段，水氣易被高聳的山稜攔截，形成豐沛的夏雨冬雪。地質母岩以硬頁岩、板岩、千枚岩及夾砂岩為主，而地形以單面同斜構造，陡峭的反插坡多在西側，東面則為較緩和的傾斜坡。合歡山區因有公路台 14 甲線通過，交通之便利性成為臺灣最容易親





近的高山地區。奇萊合歡目標區域的三座山峰(表 1)分別為:海拔 3,191 m 之 SMN 山峰,位於石門山峰向西北西延伸的稜線上;海拔高度 3,275 m 之 QSS 山峰,位於奇萊南峰南側;海拔高度 3,497 m 之 QNS 山峰,位於奇萊北峰南側。SMN 山峰與 QNS 山峰的樣區複查已於 2021 年度完成,本年度預計完成 QSS 山峰樣區複查。

三叉山目標區域位於中央山脈南二段末端,北迴歸線以南,起自向陽山,東往新康山方向。此山區在行政區上含蓋了台東縣海端鄉、高雄縣桃源鄉與花蓮縣卓溪鄉。以地理氣候區而言,屬於東區南段,雖然雨量仍集中在夏天,但因受東北季風影響,冬季雨量仍較多,偏向恆濕性氣候。地質則為始新世的畢祿山層,岩性以板岩、千枚岩為主,偶夾石英岩或薄層變質岩。因為登山口位於向陽國家森林遊樂園內,所以前段路線為嘉明湖國家步道,由台東林管處維修,屬於較容易到達的山區。三叉山目標區域的 3 座海拔是相近的,主要原因是可選擇的山峰太少,熱門的登山百岳、峭壁或完全森林覆蓋的山峰都無法使用,現今的 3 座海拔相近的山峰組(表 1),可作為熱帶高山植群監測之代表:海拔 3357 公尺之 HUU 山峰,位於三叉山東北延伸之稜線上;海拔 3381 公尺之 MIN 山峰,位於三叉山向東南延伸之稜線上;海拔 3394 公尺之 JIA 山峰,位於三叉山西南延伸之稜線上。





表 1. GLORIA 目標區域及山峰之代碼

目標區域代碼	山峰代碼	海拔 (m)	經度	緯度	年均降雨量 (mm)	年均溫 (°C)	生長季 (月)
DAS 大水窟	SUN	3255	121°03'29"	23°27' 6"	1838.2	7.9	3-11
	YAT	3363	121°03'11"	23°27'19"	1761.4	7.8	4-11
	SEN	3610	121°02'34"	23°28'17"	1725.3	6.4	4-11
SYU 雪山	JNJ	3299	121°16'25"	24°09'33.1"	2410.3	7.1	4-11
	DSH	3509	121°16'38"	24°03'12.6"	2705.2	6.7	4-11
	TSW	3524	121°19'49.5"	24°06'55.0"	2267.6	5.5	4-10
NAH 南湖鈴鳴	LIN	3219	121°12'33"	24°19'41.0"	2370.7	8.9	3-11
	SMZ	3354	121°07'24"	24°19'39.9"	2077.5	6.1	4-11
	ZNF	3575	121°12'18"	24°22'18.2"	2140.1	4.5	5-10
HQM 合歡奇萊	SMN	3191	121°01'13"	23°17'43.0"	2830.2	7.9	3-11
	QSS	3275	121°02'27"	23°17'54.6"	2473.9	6.7	4-11
	QNS	3497	121°02'31"	23°18'25.8"	2214.1	5.6	4-11
SAC 三叉山	HUU	3357	121°26'39"	24°21'42.4"	1741.6	7.8	3-11
	MIN	3381	121°25'42"	24°23'04.2"	1763.4	7.5	4-11
	JIA	3394	121°20'52"	24°14'54.0"	2007.9	7.3	4-11

表中年降雨量與年均溫使用 1 公里網格化觀測平均月資料計算(出處：臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台，<https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/>)，統計 1995-2019 年之長期平均，生長季為月均溫超過 5 °C 之月份。

(二) 山峰最高點之標定

依工作手冊的規定，目標區域的山峰之山峰最高點 (Highest Summit Point，簡稱 HSP) 須有永久標記。由於大水水窟目標區域在 2008 年選定的山峰之山峰最高點的所在大多不具堅硬的岩石，所以當時是以耐候性之 ABS 樹脂製造的測量用明示板 (日本 Konoe'W No.3) 作為標記。所以第一件事即是根據 GPS 資料、山峰之照片以及註記找尋出原先之山峰最高點永久標記，取得山峰最高點 HSP 後，以 HSP 為基點重新設置樣區測量線及各方位樣區 (圖 2)。在第一次調查之時，每座山峰都以相片記錄 HSP (置放有永久標記「十」的狀況以及遠景)、所有 16 個 1 m x 1 m 樣區 (包括置放有頻度網格框和沒有頻度網格框時的情況)、3 m x 3 m 樣區群、測量點 (每一個頂點一個全景照和一張詳細照)、溫度記錄儀埋





設位置、整座山峰外觀及其他重要地點（如交叉線與其它線交會的位置等），因此在此次複查時須比對所有相片及此次所標示的所有樣區及測量點，確定沒有任何偏差。以下為樣區測量線及各方位樣區之測定簡述：

（三）主測量線之測定

樣區主測量線的設置 (principal measurement line) 是以真正的地理方位 (geographical direction) 為基礎來設立的，即依據磁偏角 (magnetic declination) 來校正羅盤的測量，再根據真正的地理方位（東、西、南、北）來確定四個主測量線方位，並在主測量線上以水平儀 (spirit level) 定出 5-m 和 10-m 等高線（指與 HSP 垂直落差 5 公尺及 10 公尺）之測量點，如果從 HSP 到 5-m 等高線的表面距離超過 50 公尺，就在 50 公尺處設置此點，同樣若 HSP 到 10-m 等高線的表面距離若超過 100 公尺，即在 100 公尺處設置此點。此些測量點將成為樣區設置的參考點，每座山峰的樣區包括 1 m × 1 m 樣區、山峰區域分區 (summit area section; SAS) 及 10 m × 10 m 樣區，設置方法如下內容：



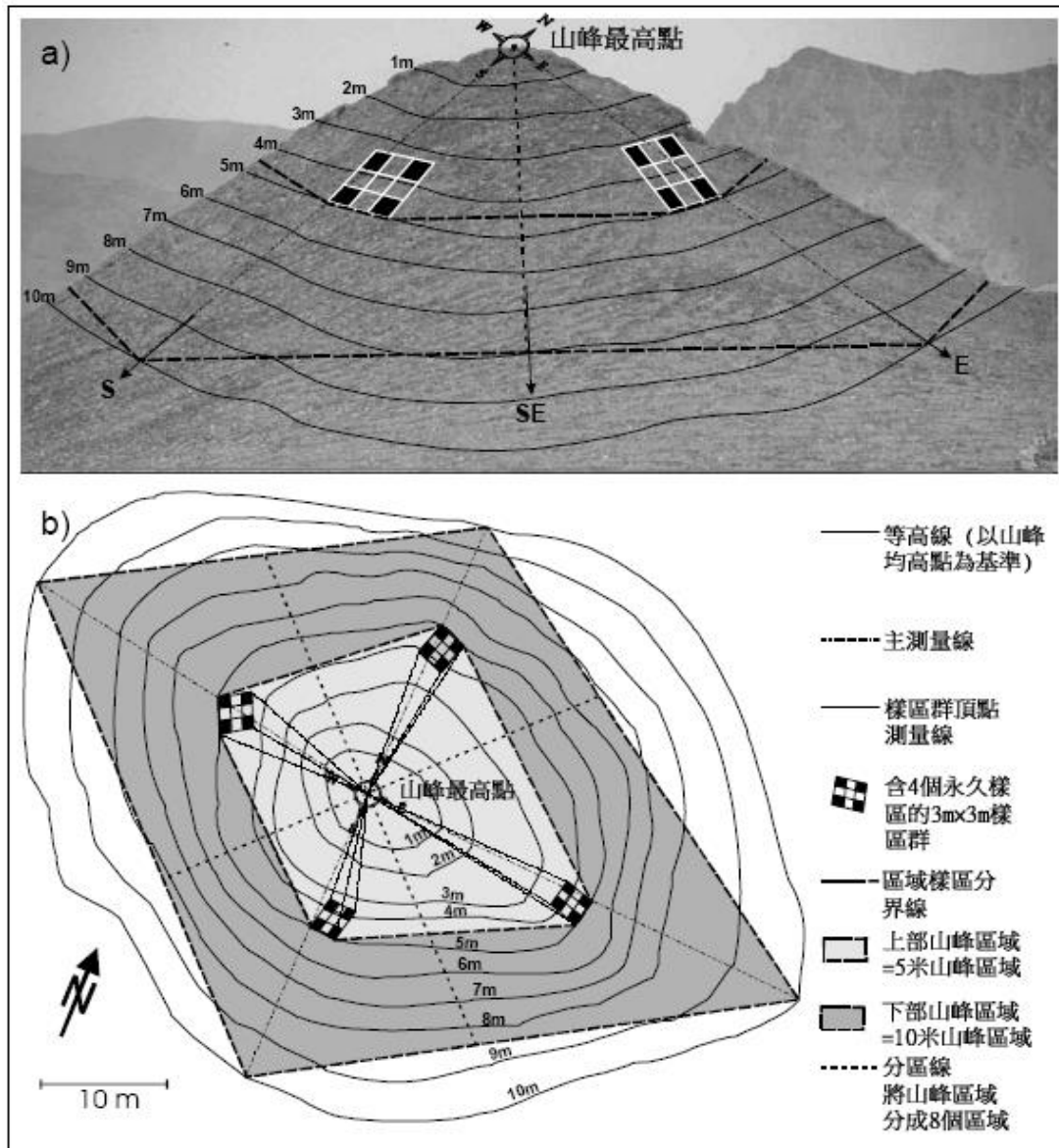


圖 2. 多峰調查法之樣區設置圖

(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





(四) 1 m × 1 m 樣區設置

1 m × 1 m 樣區是建立在 3 m × 3 m 樣區網格 (3 m × 3 m quadrat cluster) 上。於所選定之山峰，在每個地理方位各設置一個 3 m × 3 m 樣區網格 (圖 2)。樣區網格的左下方或右下方的頂點應位在主測量線的 5-m 等高線測量點上，而另一下方頂點也要為在 5-m 等高線上，因此，樣區網格會位於主測量線的左邊或者右邊。如果 3 m × 3 m 樣區網格處於以下位置：(1) 地勢太陡峭使得調查工作不安全、突出的大石塊，或 (2) 大片沒有植物的裸地，則會對其位置進行調整。這種情況下，樣區網格會設在離原始主測量線最近的地方。每個 3 m × 3 m 樣區網格包含九個 1 m × 1 m 的樣區，由於在調查過程會對植群有所踐踏與破壞，為了不使其影響調查的結果，僅選取樣區網格的四個角落的位置為 1 m × 1 m 永久樣區，因此每座山峰總共有 16 個 1 m × 1 m 樣區。

(五) 山峰區域分區之設置

每座山峰會有八個山峰區域分區(summit area section)。以一細繩把四個 3 m × 3 m 樣區網格下方頂點以直線方式相互連接起來，以此界定 5-m 山峰區域 (5-m summit area) 的下方邊界；採用相同的方法將主測量線上 10-m 等高線測量點以直線方式連接起來，可以確定 10-m 山峰區域 (10-m summit area) 的下方邊界。再用四條細繩從 HSP 分別沿四個二級地理方位 (東北、東南、西南、西北) 向下坡拉，直線會連接到上述兩個山峰區域的邊界，由此將 5-m 及 10-m 山峰區域再各劃分為 4 個分區。山峰區域分區的大小取決於坡面結構與坡度，因此每個區域分區的面積大小並不固定 (錯誤! 找不到參照來源。)

(六) 10 m × 10 m 樣區之設置

此為 2008 年 GLORIA 新增加的設置樣區，在每個地理方位各設置一個 10 m × 10 m 樣區 (圖 3) 每一座山峰有四個 10 m × 10 m 樣區。：以主測量線上之 5-m 等高線測量點為中心點，沿主測量線於上坡及下坡與中心點直線距離 7.07 公





尺處設置頂點；將 50 公尺長捲尺起點 (0 公尺) 固定在上坡端之頂點，將捲尺拉出至 20 公尺處固定在下坡端之頂點，找出捲尺 10 公尺處，往旁拉至兩端捲尺平衡繃緊處，標定第三頂點；將捲尺再拉出至 40 公尺處，固定在上坡端之頂點，找出捲尺 30 公尺處，往另一邊拉至兩端捲尺平衡繃緊，標定第四頂點，即完成 10 m × 10 m 樣區。

二、GLORIA 調查方法

(一) 1 m × 1 m 樣區之調查

由於整個山峰的樣區總數非常多，因此正確標記每個樣區的編號極為重要。樣區編號由三個字組成：第一個是代表地理方位的字母，第二個字是代表樣區由左至右的所在數字 (左右以面對山峰為參照)，第三個字為樣區由下至上的所在數字 (以山峰頂為高處)，例如，樣區 S13 指位於山峰南面的樣區群中的第一欄 (即左側) 第一行 (及上側)。每個樣區群只在四個角落的樣區進行調查，因其他樣區會因調查者於調查過程中之踐踏而破壞，因此每座山峰需要進行調查的 1 m × 1 m 樣區共有 16 個 (圖 4)。其調查目的是為檢測物種組成和棲地特徵之時間變化，以為基礎線資料之提供。對每個永久樣區，觀測並記錄各地表類型 (surface types) 及地表覆蓋類型亞型 (subtypes of surface types) 的投影覆蓋度 (top cover) 以及每種維管束植物的覆蓋度及頻度，地表類型及亞型的投影覆蓋度估算可視為棲地特徵的觀測記錄。

1. 物種組成及覆蓋度之記錄

以目測的方式估計各維管束植物物種覆蓋度，此包括該物種處在營養體階段的個體。覆蓋度以植物覆蓋面積占樣區面積的百分比計數。監測目的要求覆蓋度估測要盡可能準確，特別是對於較小的物種，各種維管束植物的覆蓋度總和可能超過維管束植物的總覆蓋度。而植物覆蓋度則考慮了植物各層之間的重疊，各物種覆蓋度之總和往往超過 100 %。



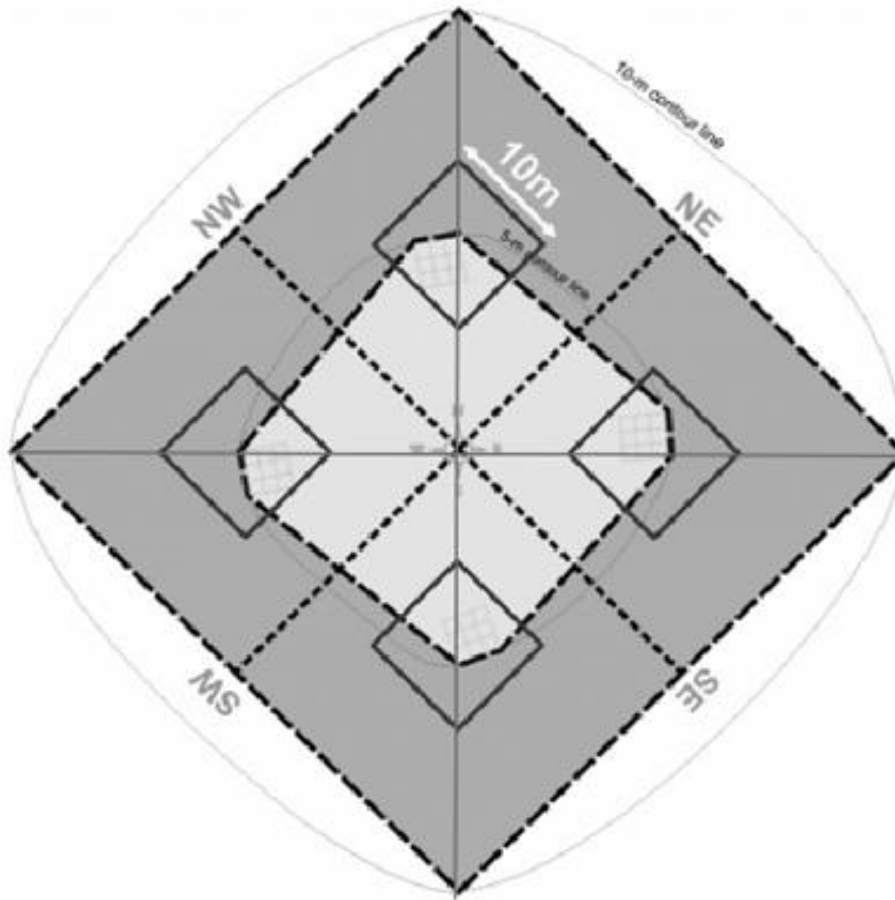


圖 3. 10m × 10 m 樣區設置位置
(圖引用自劉和義等人，2010)。

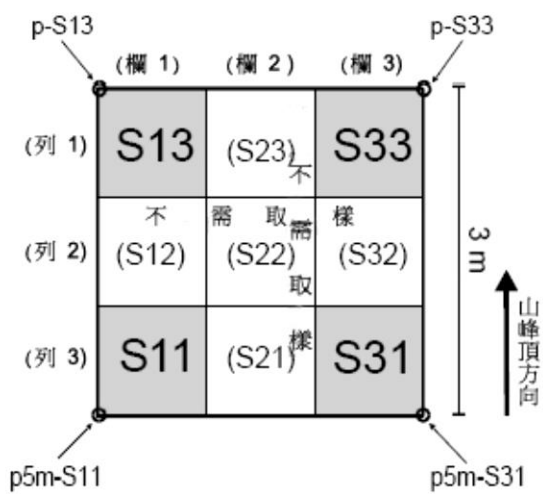


圖 4. 3 × 3 樣區群的樣區編號與測量點的數字序號
(引用自劉和義等人，2010)。





(1) 地表類型以及其投影覆蓋度的估測：

在每個樣區當中，目測確定各類地表類型的投影覆蓋度並紀錄之。投影覆蓋度是各地表類型在地面上的垂直投射（即垂直於坡面）比率，其總和為 100 %。

地表類型的區分，簡述如下：

- A. 維管束植物 (vascular plants)：所有維管植物的總投影覆蓋度；
- B. 岩石 (solid rock)：裸露岩石，這類岩石比較穩固，一般不會輕易發生移動（如用踢推也不會發生移動）；不能移動的大石頭也應視為岩石而非碎石（如果有疑問，則統一將其視為岩石）；
- C. 碎石 (scree)：碎石包括穩定或不穩定的碎石地，並且每個石頭都大小不一，在土壤表面或陷入其中；大小比沙粒要大（與裸地相反）；
- D. 地衣 (lichen on soil)：生長在沒有維管植物覆蓋的土壤表面之地衣；
- E. 苔蘚 (bryophytes on soil)：生長在沒有維管植物覆蓋的土壤表面之苔蘚；
- F. 裸地 (bare ground)：裸露的土壤，也就是不被植物覆蓋的泥土或砂土；
- G. 凋落物 (litter)：死亡的植物組織。

以上各地表類型都占 1 m × 1 m 面積中的一部分，因此各類地表類型的總投影覆蓋度為 100 %。

(2) 地表覆蓋類型亞型及其覆蓋估測：

由於維管束植物、岩石以及碎石等三種地表類型，常跟地衣與苔蘚植物的生長重疊，所以區分出六種地表亞型，目測確定各亞型的投影覆蓋率並紀錄之，以為進一步的棲地特徵描述：

- A. 在維管束植物下方的地衣 (lichens below vascular plants)：維管束植物層之下生長的地衣；
- B. 在維管束植物下方的苔蘚 (bryophytes below vascular plants)：維管束植物層之下生長的苔蘚；
- C. 岩石上的地衣 (lichens on solid rock)：生長在裸露岩層上的地衣；





- D. 岩石上的苔蘚 (bryophytes on solid rock)：生長在岩石裂縫中的苔蘚 (岩石裂縫中有一些看不見的土壤，與生長在土壤上的苔蘚對應)；
- E. 碎石上的地衣 (lichens on scree)：生長在碎石以及石塊上的地衣；
- F. 碎石上的苔蘚 (bryophytes on scree)：生長在碎石和石塊縫隙中的苔蘚，縫隙中有一些不易看到的土壤。

地表亞型是地表類型的一部分，但其覆蓋率記錄僅以其所在的地表類型為準。例如，某一樣區中 40% 為岩石覆蓋，而岩石的一半為地衣所覆蓋，在樣區表中應記錄「岩石上的地衣」覆蓋率為 50% (而不是 20%)，這有助於目測估計。

2. 頻度之記錄

為探測小尺度下植群模式的變化，需要在 16 個 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 樣區中進行物種頻度計數。頻度計數是用工作手冊規定的網格框來進行的 (圖 5)。把 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的網格框架用白色細繩畫分為 100 個 $0.1\text{ m} \times 0.1\text{ m}$ 小格，在每個小格中對維管束植物進行記錄，一個植物只要有一部分在 $0.1\text{ m} \times 0.1\text{ m}$ 小格內出現就視為其存在，不用考慮其根是否生長在小格內。記錄時觀測的角度必須與坡面垂直，即與網格框架平面垂直，在地面不平時，此項注意尤其重要。位於樹線生態過渡帶的山峰，當有喬木或灌木出現時，依工作手冊規定不進行頻度計數。

(二) 山峰區域分區之調查

每座山峰有八個區域分區，5-m 及 10-m 山峰區域分區各自有四個，其設置的主要目的在於探測物種豐度(abundance)以及物種遷移的變化。在每個分區中觀測並記錄不同地表類型的覆蓋度百分比，以及完整的維管束植物名錄及其豐度，以豐度目測法(visual abundance estimation) 來估計每種植物的豐度，此法是以 Braun-Blanquet 的等級分級，將物種依照豐度的多寡區分為優勢(d)、常見(c)、較分散(s)、稀少(r)、非常稀少(r!)等 5 個等級。另外，對只在分區內少數地點出現的物種作地點附註。





(三) 10 m × 10 m 樣區之調查

於 10 m × 10 m 樣區內以捲尺設置 20 條平行邊框線的調查線 (圖 6)，於邊框任何一端開始，並將起始調查線及調查方向繪製在記錄紙上 (圖 7)。第一條及最後一條調查線距邊框 0.25 公尺，其餘 18 條調查線則彼此相距 0.5 公尺。以一細長棒針 (長 30–50 公分) 開始點擊 (hitting) 調查：沿著調查線，棒針角度垂直地面，第一點調查亦起始於距邊框 0.25 公尺處，之後則每 0.5 公尺點擊一次，於距離另一端邊框 0.25 公尺處結束，共計 20 次點擊。記錄每一次點擊時棒針所擊中的物種或地表類型，若同時擊中物種及地表類型時，僅記錄擊中之物種，每一次點擊可能擊中一種以上之物種。在 20 條調查線，最後共點擊 400 次，計數物種及地表類型次數 400 次或以上。此方法為 2008 年 GLORIA 新增加的調查方法，於 2010 年 GLORIA 第五次工作會議上，將此方法放入選擇性調查。

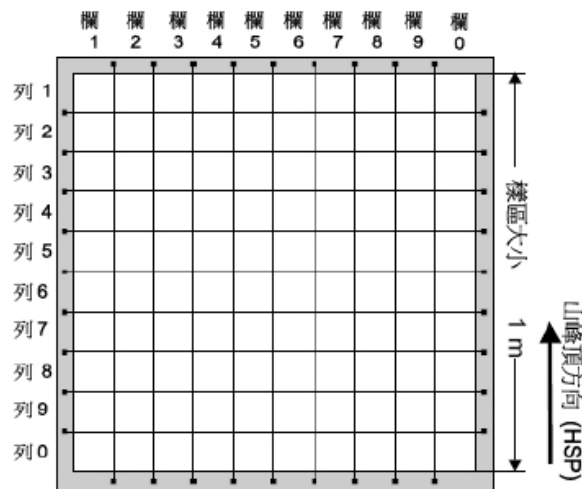


圖 5. 一平方公尺網格式

(引用自劉和義等人，2010)。



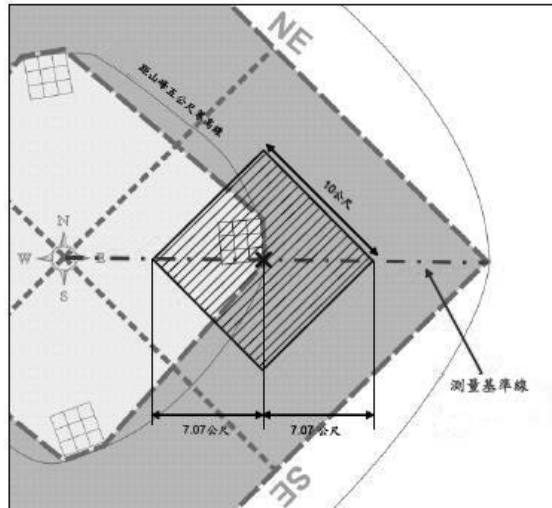


圖 6. 10 m × 10 m 樣區內之調查線設置圖

(引用自劉和義等人，2010)。

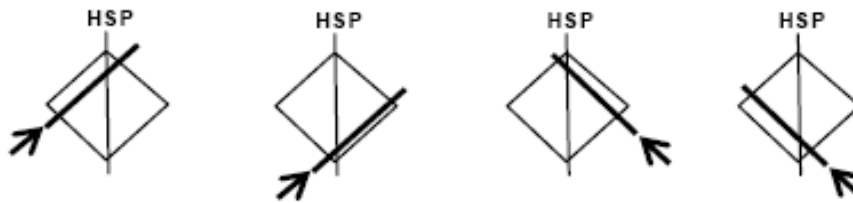


圖 7. 10 m × 10 m 樣區之起始調查線及調查方向

(引用自劉和義等人，2010)。

(四) 溫度紀錄儀之設置

在每一山峰埋設四個溫度記錄儀 (temperature data logger)，於每個 3 m × 3 m 樣區群之最中間方格內埋設 (圖 8)，埋設深度為地下 10 公分之處，此次複查時將過去埋設者取出，再埋入新記錄儀。溫度記錄儀埋入前後均須拍照存證，並在覆土後量測埋設位置至兩下方頂點之距離，以便日後快速找到記錄儀之埋設位置。這樣可獲得四個方位上的溫度資料，為氣候狀況的描述提供有價值的資料 (例如，不同積雪的模式)。

依據 GLORIA 使用之溫度計錄儀，前後共有兩種；一開始設立時使用 Onset 微型溫度記錄儀 (Hobo UTBI-001 Tidbit v2; 2008 年 10 月至 2009 年 9 月)，但因為無法更換電池，所以在 2010 年 9 月更換為 M-Log5W 無線溫度記錄儀。2018 年開始第三次複查發現 M-Log5W 無線溫度記錄儀經常有未記錄到溫度資料的情





況發生，可能是儀器故障或其他原因所致，本年度亦有類似情形發生。此外 M-Log5W 須使用電腦搭配無線接收器存取，若無法收訊會導致資料損失。因此 2019 年度測試原先 Onset Hobo MX2303/MX2304 狀況後，再新增 Onset Hobo MX2203 水下用之土溫紀錄儀 (第 20 頁表 2)，並持續將各山峰區的 M-Log5W 無線溫度記錄儀逐步替換成 HOBO-MX2303 與 MX2203 藍芽土溫紀錄儀，並於外層加固，增加其耐候性 (第 19 頁圖 9)。

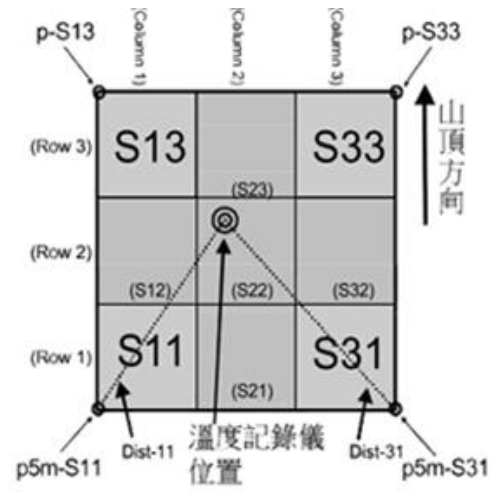


圖 8. 溫度計錄儀埋設位置圖

(圖引用自劉和義等人，2010)。

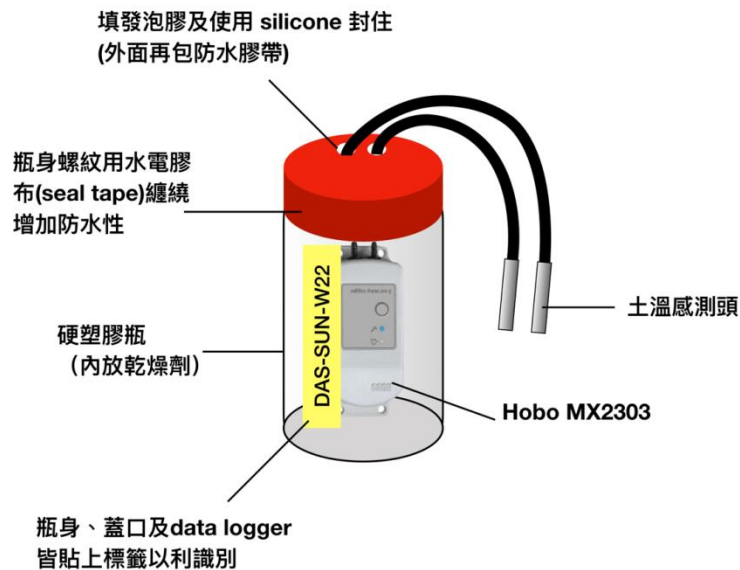


圖 9. 溫度記錄儀加固設計示意圖





表 2. 四種不同溫度記錄儀之比較

廠牌	Geoprecision	Onset	Onset	Onset
型號	M-Log5w (包含 FG2)	Hobo UTBI-001 Tidbit v2	Hobo MX2303/MX2304	Hobo MX2203
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)	無線，藍芽低功耗(Bluetooth Low Energy)
接收裝置	電腦	電腦	手機	手機
支援裝置平台	Windows	Windows/Mac	Android/iOS	Android/iOS
精確度	±0.1°C (0°C)	±0.21°C (0-50°C)	±0.2°C (0-70°C) ±0.25°C (-40-0°C; 70-100°C)	±0.2°C (0-70°C) ±0.25°C (-20-0°C; 70-100°C)
測溫範圍	-40-60°C	-20-70°C	-40-100°C	-20°C-70°C
解析度	0.01°C	0.02°C (25°C)	0.04°C	0.01°C
溫度偏移	NA	0.1°C/年	< 0.01°C/年	< 0.1°C/年
時間準確度	NA	±1 min./月 (0-50°C)	±1 min./月 (0-50°C)	±1 min./月 (25°C)
記憶體	100,000-400,000 筆(512-2,048 KB)	42,000 筆	84,650 筆(128 KB)	96,000 筆
無線傳輸距離	50 m	NA	30.5 m 可視直線 距離	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	CR2477 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	可更換電池
抗候能力	IP69	完全防水，可深 至水下 305 m	NEMA 6, IP67	IP68
預估可記錄時間(1 hr)	>5 年	~ 4-5 年	~ 5 年 (MX2303)，根據 過去三年多經 驗，目前開啟藍 牙最多可連續逐 時記錄兩年	~5 年





(五) 相片記錄

依工作手冊的規定，須以標準 24 x 36 mm 全幅單眼相機和焦距為 28 mm 的鏡頭進行樣區的拍攝，過去計劃使用 Canon 450D 數位相機，但因相機已故障，本年度改採以 Nikon D700/D810 全幅數位相機搭配 24 - 85 mm 變焦鏡頭及 20 mm 定焦鏡頭拍攝。每座山峰需以相片記錄 HSP (置放有永久標記「十」的狀況以及遠景)、所有 16 個 1 m × 1 m 樣區 (包括置放有頻度網格框和沒有頻度網格框時的情況)、3 m × 3 m 樣區群、測量點 (每一個頂點一個全景照和一張詳細照)、溫度記錄儀埋設位置、整座山峰外觀及其他重要地點 (如交叉線與其它線交會的位置等)，所有照片都需要放入寫有符合 GLORIA 樣區代號及指向 HSP 箭號的黑板 (圖 10)，以方便辨識各個頂點位置及樣區。黑板上總共記錄三行資訊：第一行為國家-目標區域-山峰代號 (例：TW-DAS-SUN)，第二行為樣區或測量點編號以及 HSP 方向，第三行為拍照日期。照片記錄對於每次複查時再次找到樣區原始設定位置、比較樣區棲地外觀以及物種分布有重要的作用。為了維護樣區內物種之完整，樣區內不得進行採集，以照相代之。每次複查須重新拍照。

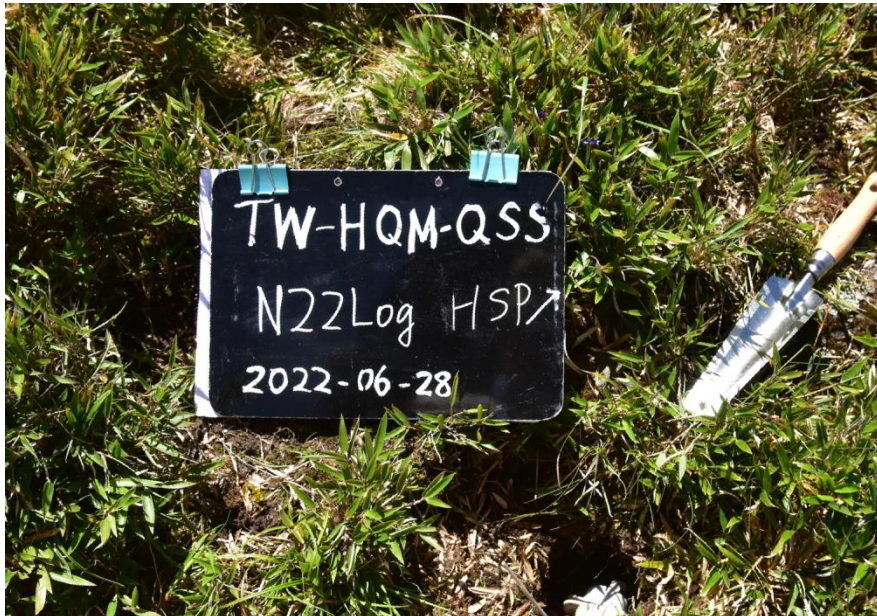


圖 10. 樣區代號格式黑板範例圖





三、分析方法

(一) 氣候資料與衛星影像分析

。此外本研究自 2009–2010 年陸續在三叉山區域三座山峰埋設溫度紀錄儀，開始收集土壤溫度變化，資料收集至今。在同一方位中，通常埋設兩台溫度紀錄儀；預防當其中一台儀器發生故障時，可使用另一台的紀錄作為互補。然而由於高山氣候環境嚴峻，在溫差變化大、低溫、時而遭水浸泡或冰凍的情況下，紀錄儀常有故障或電力提早耗盡的情況發生，因此溫度紀錄情況未盡完善，同時目標區域周遭無氣象站設置，缺乏長期氣候資料。此外，由於過去研究中發現降雨量是重要因子，然而因為臺灣高山地區的氣象站多為 2015 年後才開始普遍設置，因此資料時間尺度不足。我們以歐洲中期天氣預報中心(European Centre for Medium-range Weather Forecasts; ECMWF)的 ERA5 climate reanalysis 資料集檢視長期氣候變化。該資料集的解析度為 0.1 度 (在臺灣約 10 km)，時間自 1981 年 1 月 1 日至 2022 年 7 月 1 日。我們擷取該資料集中距地 2 公尺溫度、潛在蒸散量以及總降雨量，並計算月均溫、月總潛在蒸散量以及月降雨量。ERA5 氣候資料在 Google Earth Engine (GEE)平台上處理後下載。

氣候資料下載後，我們使用標準化降雨蒸散指標(standardized precipitation evapotranspiration index, SPEI (Vicente-Serrano et al., 2010))來探究監測區域的水分平衡情形。SPEI 指標廣泛使用於全球各地，該指標利用地區的長期降雨與水分蒸散量紀錄，計算區域相對水分平衡與氣象乾旱情形。SPEI 指標可依不同時間尺度計算代表著不同時間尺度下的水分平衡狀況，我們分別計算 3 個月與 12 個月的 SPEI 值來分別代表季節與年雨量的水分平衡情況。在計算 SPEI 指標時，我們使用 1981 年至 2022 年七月的所有資料，然而為了聚焦在研究監測時期，我們只展示近 20 年(2003 年至 2022 年 7 月)的 SPEI 數值，並以區域為單位計算平均值來代表各區域的數值。此外，我們依據各個山峰的調查時間，





擷取該月份的 SPEI-3 數據，並計算兩次調查間的 SPEI-3 差值，以了解兩次調查間的水分條件差異。SPEI 的計算利用 R-package SPEI。

樣區調查屬於時間軸上的點狀取樣，難以察覺在樣本之間發生的變動。為了探究調查期間的植群變動，我們利用衛星影像來彌補樣本間的空白。我們使用的衛星影像為美國太空總署的 MODIS 16-Day Vegetation Index Products。該產品分別由 Terra 衛星以及 Aqua 衛星搭載著中解析度成像分光輻射計(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS)產出，每日拍攝且範圍涵蓋全球，Terra 衛星的拍攝時間為當地時間的早上 10:30，Aqua 衛星的拍攝時間為當地時間的下午 1:30。16 天的衛星影像產品是以 16 天為統計單位，經過大氣校正，排除受到雲霧、水氣覆蓋的影像後，篩選出具代表性的像素值，解析度為 250 m。詳細計算方式請參照美國太空總署網站說明(<https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod13.php>)。

所有 ERA5 氣候資料與衛星影像資訊都在 Google Earth Engine 平台上處理後下載。首先將山峰點位延展為 50m 的圓形，分別擷取 2003/1/1–2022/07/01 期間的衛星波段值。分別有兩個衛星的增強植生指標(Enhanced Vegetation Index, EVI)以及影像品質。下載後的數據以 R 軟體做後續處理。

增強植生指標是改良自常態植生指標(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)。標準化植生指標是利用植物行光合作用時，會吸收 0.4 到 0.7 μm 波段的紅光，反射 0.7 到 1.1 μm 波段的近紅光特性，來計算影像中植物的活性，該指標常用來判斷大範圍區域的植物生長情形(Townshend and Justice, 1986)。常態植生指標的公式如下：

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - R}{\text{NIR} + R}$$

式中，NIR 為近紅光，R 為紅光。

然而，常態植生指標仍有些限制，包括在裸露土壤上容易誤判以及當植物層次複雜時，數值偏高的問題(Liu and Huete, 1995)。因此，增強植生指標改良常態





植生指標，來校正大氣溶膠(aerosol)與土壤含水產生的偏差(Liu and Huete, 1995)。

EVI 的公式如下：

$$EVI = G \times \frac{NIR - R}{NIR - C1 \times R - C2 \times B + L}$$

式中，NIR 為近紅光，R 為紅光，B 為藍光，G 為增益係數，C1、C2 為大氣溶膠校正係數，L 為冠層背景調整係數

由於 EVI 的原始數據變動幅度過大，我們先使用 loess function 將數據予以平滑化，並以月為單位，計算各月的平均 EVI 值。為了瞭解 EVI 與氣候在研究期間的趨勢變化與兩者間的關係，我們使用時間序列分析(time series analysis)，以 52.17 週為周期，將 EVI 數值解構為季節性變動、長期趨勢以及隨機項。再利用廣義線性模型(General linear model, GLM)探究 EVI 長期趨勢與 SPEI 指標之關係。

(二) 物種氣候區位分析

高山植群組成變化，是否是受到氣候變遷影響，在無其他相關研究佐證下，難以證實。因此我們進一步建構高山樣區中各物種的最適氣候區間，並從歷年調查中，檢視植群組成變化的趨勢，歸納三次調查中豐富度增加或減少物種的氣候區位，最後探究植群變遷的可能原因。由於高山物種的基礎生理資訊缺乏，無法建構各物種的最適溫度、耐冷熱能力或偏好水分環境等直接資訊。因此，我們利用開源資料庫，透過各物種已知的生育地位置，來建構樣區內各個物種偏好的氣候特性。

首先，我們利用全球生物多樣性資訊機構(Global Biodiversity Information Facility, GBIF)，擷取各個物種在世界上的已知分布位置。本研究自 GBIF 資料庫中分別擷取各物種紀錄後，先篩掉無空間資訊的資料，保留物種的座標資訊以及各筆紀錄的辨識碼(key)，便於追溯資料來源。篩選後的資料，我們再隨機抽取各物種 1/10 的筆數資料，結合文獻資料檢查點位分布的合理性。若發現不合理點位的比例過高，再依照資料性質擴大檢查。原始資料經過處理後，我們從開放的氣候資料庫—CHELSA (Climatologies at high resolution for the earth's land surface





areas; URL: <https://www.chelsea-climate.org>)來獲得高解析度地面氣候圖層，並擷取物種生育地的年均溫與年降雨量。各項氣候因子為 1979–2013 年的長期平均值，圖層解析度為 30 弧度秒(在赤道約為 1km²，在臺灣約為 800 m)。

獲得各物種生育地的各項氣候因子後，為了減少極端值影響，以平均數作為物種氣候區位的最適值，再進行後續分析。最後，我們結合氣候區位與植物覆蓋度在三期調查變化，檢視調查期間，氣候變遷如何影響植群組成。同時，為了瞭解物種覆蓋增減與氣候區位間的關係，同時讓不同覆蓋等級的物種可以在相同尺度下比較(Welham et al., 2014)，我們使用物種的覆蓋變化率作為反應變數，以及物種的溫度區位與雨量區位作為反應變數，以廣義線性模型測試氣候區位與物種覆蓋變化率的關係。

(三) 植群變遷

為了解各山峰的物種組成在三次調查期間的變化趨勢，我們分別以物種多樣性指數變化、主成分分析(principal component analysis, PCA)以及社會權重指標(community weight indicator)等三種分析分別探討植群組成之變化。在多樣性指數的方面，我們使用使用物種數量與均勻度指數比較三次調查的變化。另外我們以主成份分析來檢視自 2008 年來的植群組成在各期調查中的變異趨勢。

在過往的 GLORIA 研究中，為了解監測樣區內的植物組成是否受到溫度影響，因此 Gottfried et al. (2012)利用植物物種的海拔分布位置與樣區內的覆蓋度，建構植群的嗜熱指標(thermophilic index)，計算式如下：

$$TI = \sum R_i \times C_i / \sum C_i$$

式中 R_i 是第 i 個物種的等級(rank)， C_i 為第 i 個物種的覆蓋度

該指標的計算方式是參照前人研究或標本館記錄，將樣區內所有物種依照分布海拔區分等級。依照不同海拔的地景，區分為最高的雪線帶(rank1)、高山至雪線(rank2)、高山帶(rank3)、高山為主，少部分分布至樹木界限(rank4)、樹木界限帶(rank5)以及山地帶(rank6)等六個等級。植物的分布海拔越低，等級數值越高，表示該植物偏好較熱的生育地。再將等級值乘上覆蓋度後，再除以總





覆蓋度做均一化，即可比較不同山峰的植群嗜熱程度。本研究以 Gottfried et al. (2012)的嗜熱指標為基礎，將等級改以氣候區位的年均溫中位數替代，數值能更直接反應植物的偏好生育地溫度。本研究改良之嗜熱指標計算方式如下：

$$TI_{new} = \sum Mt_i \times C_i / \sum C_i$$

式中 Mt_i 是第 i 個物種之最適溫(分布年均溫之中位數)， C_i 為第 i 個物種的覆蓋度

我們將嗜熱指數的概念延伸，利用物種分布的年雨量區位，來建構濕潤偏好指數。該指數是將嗜熱指數中的年均溫中位數替換成年降雨量中位數，探究植群中物種水分偏好整體表現與年間變化。計算方式如下：

$$HI = \sum Mp_i \times C_i / \sum C_i$$

式中 Mp_i 是第 i 個物種的最適水分環境(分布年降雨量之中位數)， C_i 為第 i 個物種的覆蓋度





參、研究結果與討論

本研究依據時間與空間尺度，分成三項層級來探究監測山峰的植群變遷。第一層級是長時間與大尺度空間的氣候與 EVI 指標，探究大尺度下氣候與植群整體變化趨勢。其次是以植群為單位，探究三次調查間植群的多樣性指數、植群組成變異以及嗜熱化與嗜濕化傾向。最後以物種為層級，探究不同氣候區位物種之覆蓋度三次調查間的增減關係。

一、氣候與植生指標趨勢變化

GLORIA 的研究目標在於探究氣候變遷對高山植群的影響，在過往研究中也指出高山植群帶的溫度有逐漸提高的趨勢，同時特有種逐漸消失，生物多樣性降低，物種同質性提高(Stanisci et al., 2016; Artemov 2018; Porro et al., 2019)。同時，根據政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)的特別報告，過去十年間，亞洲高山、北美洲西部以及歐洲阿爾卑斯山平均提高 0.3°C，且高山的冰凍圈(cryosphere)逐步縮減；隨著冷凍圈縮減，雖然會增加低地物種的棲地，但也威脅到適應寒冷環境的原生種與特有種(IPCC 2020)。

本研究過去發現，降雨量可能是影響高山植群變遷的重要關鍵，然而根據過去研究結果，在近 5 年間各區域年降雨量雖然多低於長期平均值，然而並無顯著減少的趨勢。此外，即使是降雨量低於長期平均值的年度，總雨量仍超過 1500 mm，無法斷定是否發生缺水事件。因此本年度嘗試使用 SPEI 指標探究區域的水分平衡情形。由於 SPEI 指標的計算必須使用到降雨量以及潛在蒸散量資料，這兩項資料在缺乏氣象站的情況下難以取得與追溯。而 ERA5 資料集中，具有自 1981 年起全球區域的各項氣候因子，其中即包括距地 2 公尺氣溫、降雨量與潛在蒸散量。雖然 ERA5 資料集目前最小的空間解析度為 10km²，但若以目標區域為單位，探究區域的氣候趨勢變化，仍在合理範圍內。因此，為求尺度與資料產出的一致性，我們採用 ERA5 的資料探究各區域氣候趨勢。

(一) 長期溫度變化與水分平衡趨勢

圖 11 顯示 1981—2021 年五個目標區域的年均溫變化趨勢。整體而言，各區域年間的年均溫雖呈現震盪起伏，雖然溫度值上有所差異，但是趨勢大致相似。





各區域的年均溫有顯著上升趨勢(圖 11)，依照線性回歸模式係數來看各區域的上升幅度，最高的是雪山區域(SYU)，升高幅度為 $0.0198\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{year}$ ，最低的為大水窟區域，為 $0.0115\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{year}$ 。依模式趨勢，在 20 年間約升高 $0.23\text{--}0.40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，雖然看似升溫幅度不大，但這僅是長期線性趨勢數值。自溫度實際變動數值來看，在 1998 年與 2019–2021 年間有相對高的年均溫值。1998 年臺灣受到 1997–1998 年間的東太平洋聖嬰現象影響，導致全臺溫度偏暖，春雨偏多的現象(陳昭銘等人，2002)。雖然該次聖嬰現象被譽為是 20 世紀最強的聖嬰現象，然而在隔年(1999 年)年均溫隨即下降。在 1999–2014 年區間，年均溫相對較低，然而在進入 2015 年後，再次受到聖嬰現象影響，溫度開始逐年上升。爾後雖然聖嬰現象已經結束，但在 2018–2021 年間溫度仍持續攀升。據中央氣象局報告顯示，2018 年至 2020 年，全台年均溫都分別突破自 1949 年統計的歷史最高溫，2021 年的年均溫也是歷史溫度的第七高溫。而根據我們的研究成果，在高山區域也有類似的現象，該期間的年均溫也分別佔 1981–2021 年間的統計值中的前四高溫。在過去年度研究發現各山峰區域都有顯著冬季升溫現象，我們綜合全部區域結果(圖 12)，顯示該現象在目標區域普遍發生。各區域的冬季均溫顯著上升，升高幅度最高同樣為雪山地區(SYU)，幅度為 $0.0340\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{year}$ ，最低者也是 DAS 區域，幅度為 $0.0276\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{year}$ 。2017 年後升溫現象最為明顯，2018 年的冬季在各山區域都是統計期間的最高值，該值與統計期間的最低溫差距接近甚至超過 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

在水分平衡的部分，由於過去研究顯示降雨量並無顯著差異，因此我們另外使用 3-month SPEI(SPEI-3)與 12-month SPEI(SPEI-12)兩種時間尺度分別探討目標區域的季節與年度的水分平衡情況。由於 SPEI 指標將潛在蒸散量也列入計算，亦即考量溫度上升導致蒸散量增加的情況。SPEI 的計算結果如圖 13 與圖 14。從年度變化來看(圖 13)，從 2003 至 2017 年間，各區域在部分年度發生乾旱的情況，如 2003 至 2004 年、2010 至 2011 年(DAS 與 SAC 區域除外)以及 2015 年。在這段期間，乾旱的維持時間約 1 年至 1 年半，而且在乾旱結束後的隔年就會進入水分充足的濕潤狀態。而自 2017 年秋季開始至 2022 年春季為止，各區域的 SPEI-12 都是負值，維持了 4-5 年乾旱期。在 2020 年秋季過後至 2021 年春季甚至達到了極端乾旱的情況($\text{SPEI-12} < -2$)。從季節的水分平衡來看(圖 14)，各區域的秋季與冬季通常是偏向乾旱的，因此當春季與夏季水分不足時，該區域就很容易進入乾旱狀態。



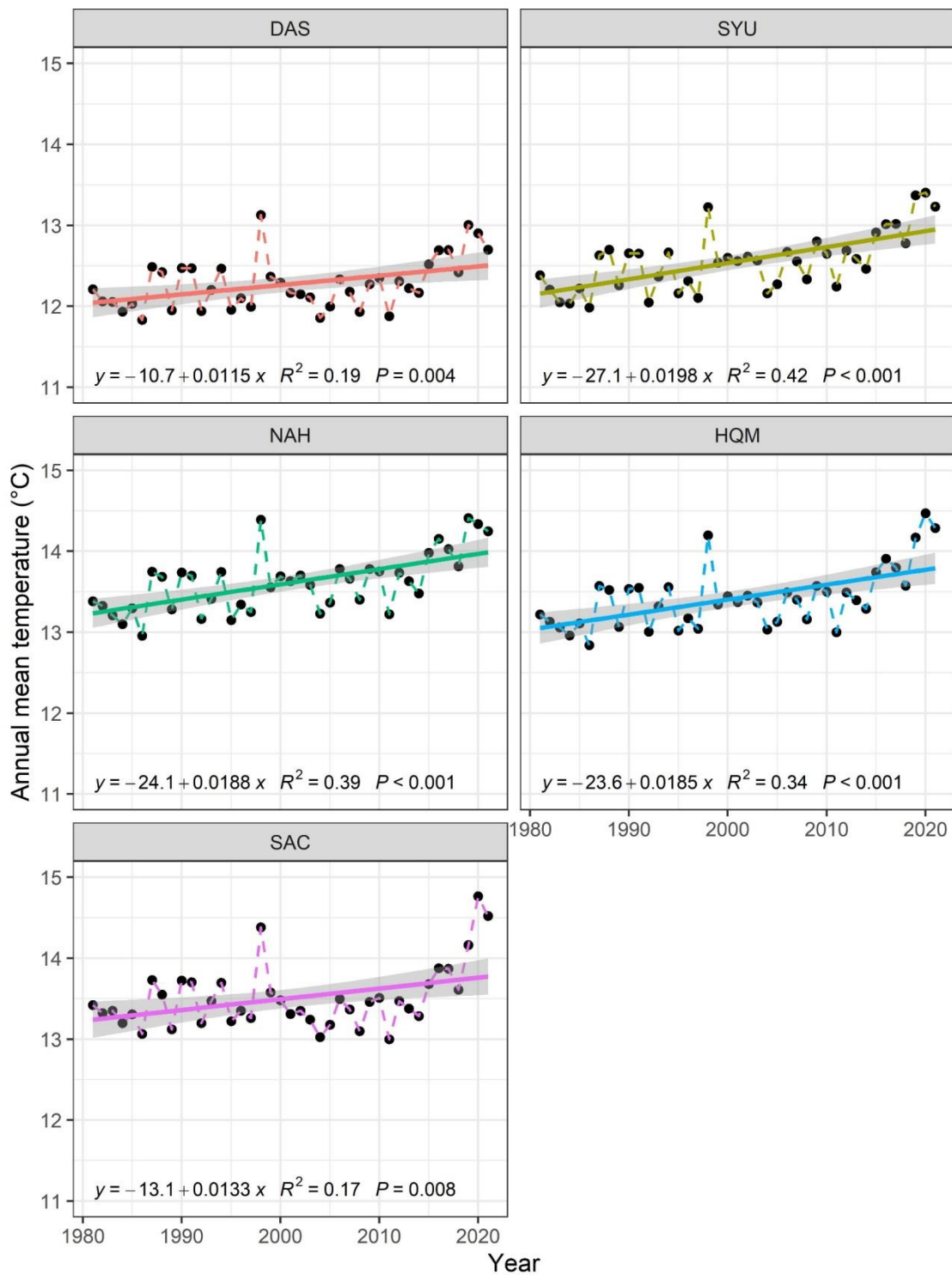


圖 11. 1981–2021 年目標區域年均溫趨勢變化圖，各代號依序為大水窟區域 (DAS)、雪山區域(SYU)、南湖鈴鳴區域(NAH)、合歡奇萊區域(HQM)以及三叉山區域(SAC)，各圖中直線為線性迴歸線，灰色區域為 95%信賴區間，虛線則為年均溫變化線。



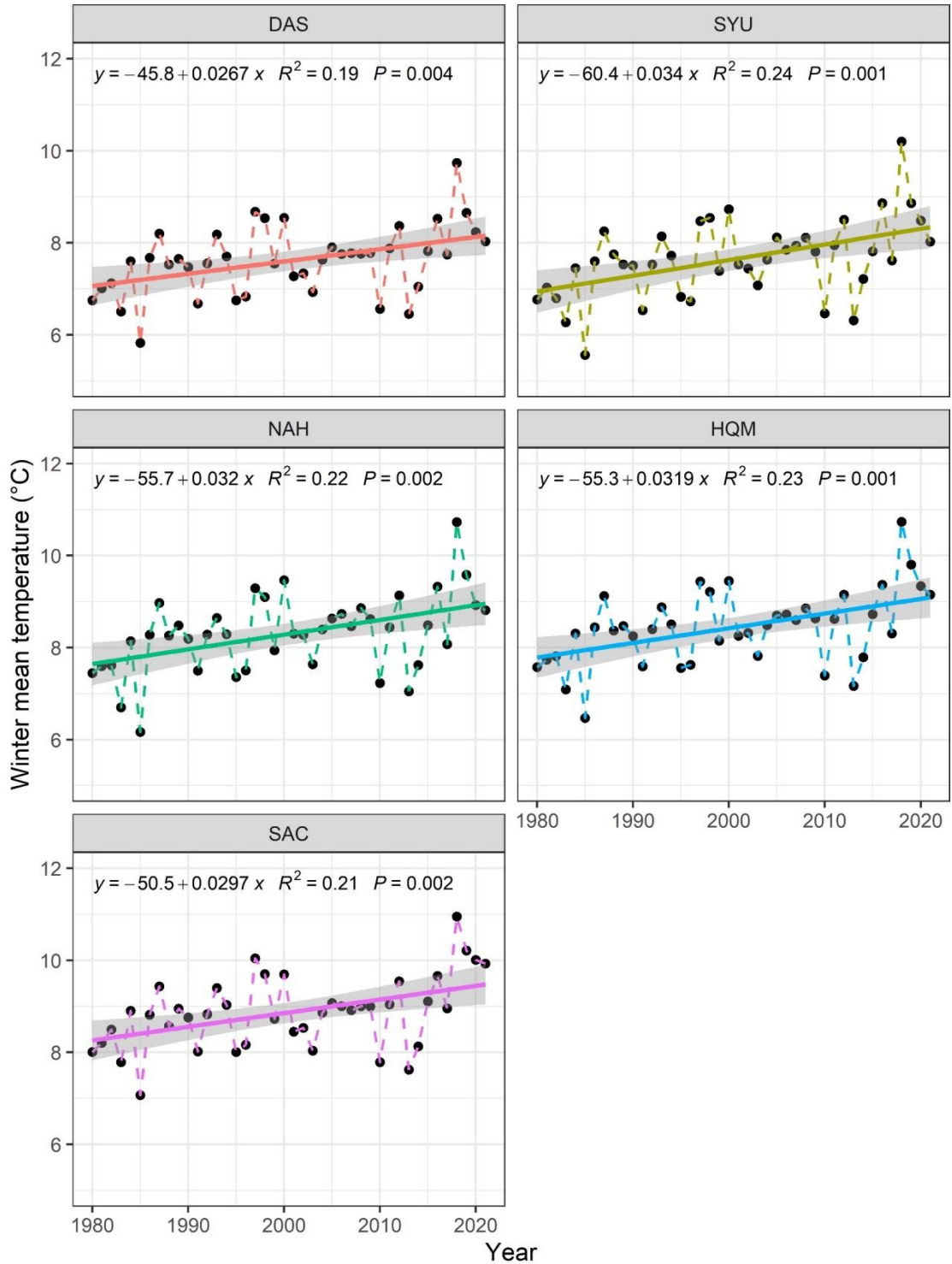


圖 12. 1981–2022 年目標區域冬季均溫趨勢變化圖，各代號依序為大水窟區域 (DAS)、雪山區域(SYU)、南湖鈴鳴區域(NAH)、合歡奇萊區域(HQM)以及三叉山區域(SAC)，各圖中直線為線性迴歸線，灰色區域為 95%信賴區間，虛線則為年均溫變化線。





圖 13. 2003–2022 年七月各區域山峰的 SPEI-12(年度)平均值趨勢變化圖，圓點代表植群監測時間。



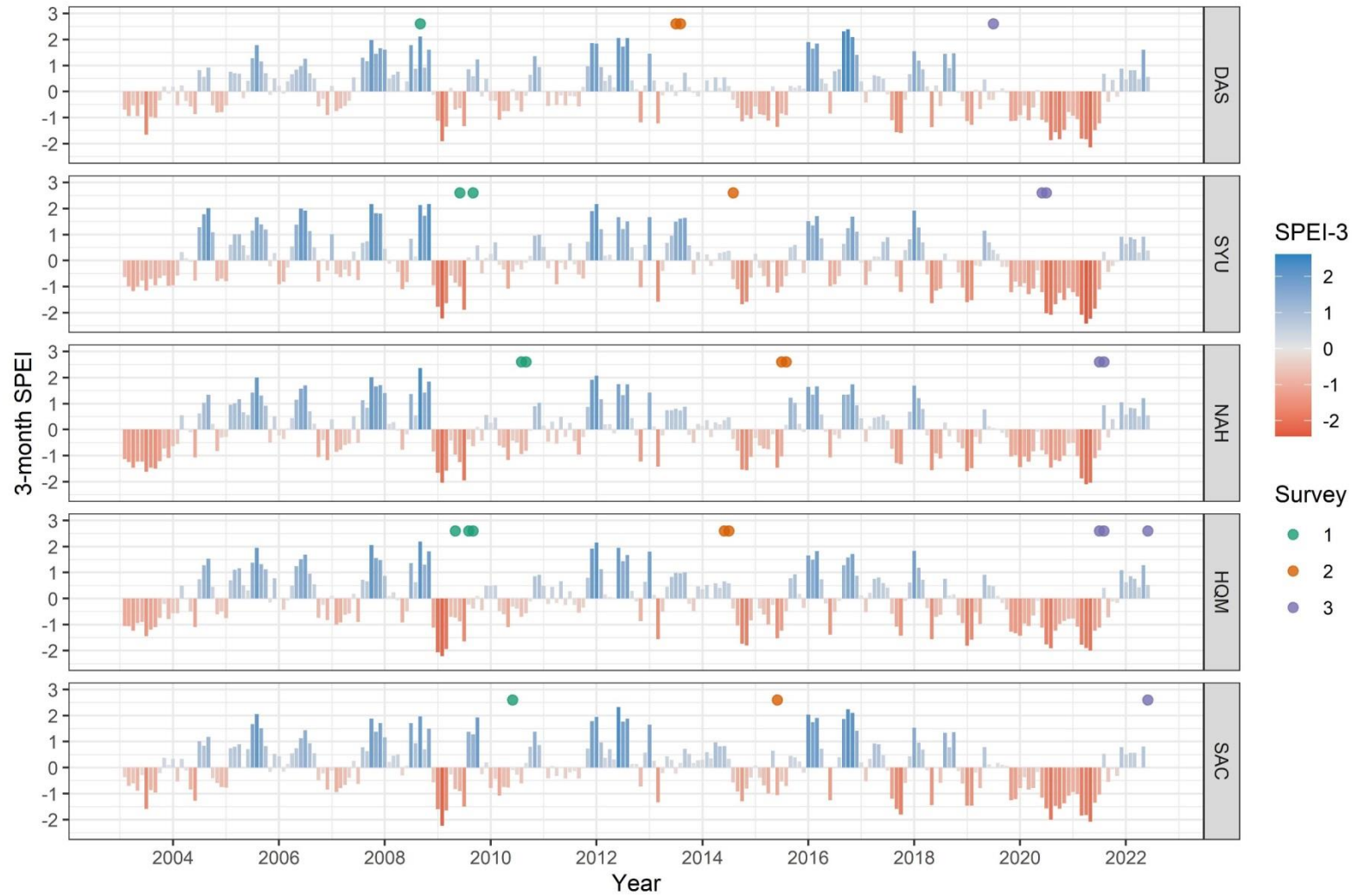


圖 14. 2003–2022 年七月各區域山峰的 SPEI-3(季節)平均值趨勢變化圖，圓點代表植群監測時間。





(二) 植生指標 EVI 指數變化趨勢

本研究使用植生指標來檢視山峰區域在 2003–2022 年間的植群變化情形。植生指標為數值指標，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，反映出區域的植群生長狀態與植物覆蓋率，過往有許多研究用植生指標推估國家全境以至於全世界的植物生長情形。當前常用的植生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 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含水量影響。因此，我們採用 EVI 數值作為後續分析對象。

從 EVI 的長期趨勢變化中(圖 15)，我們在發現各山峰的 EVI 長期趨勢約有 5–6 年一次循環的長期震盪，與過去研究結果相符。我們認為這反映出樣區中最主要的優勢物種—玉山箭竹的生長週期。自 2005 至 2011 年、2011 至 2016 年以及 2016 至 2021 年分別為三次循環週期。此外，在 2012 年、2019 年、2021–2022 年各區域山峰都普遍出現 EVI 數值異常驟降的現象。在 2016–2018 年的周期僅維持 3 年，與往年的震盪週期不符。且多數山峰都是自 2016 年開始趨勢迅速攀升，於 2017 年達到統計年間的最高點，維持至 2018 年後開始驟降。該現象可能與氣候變遷有關，將於下一章節討論。在 2018 年的驟降後，部分山峰於 2022 年有逐漸恢復的趨勢，但是部分山峰的數值仍持續下降，如雪山區域(SYU)的 DSH 山峰與 TSW 山峰、南湖鈴鳴區域(NAH)的 SMZ 山峰以及合歡奇萊區域(HQM)的 QSS 山峰。這是否代表該山峰的植群持續衰退，仍需持續監測。



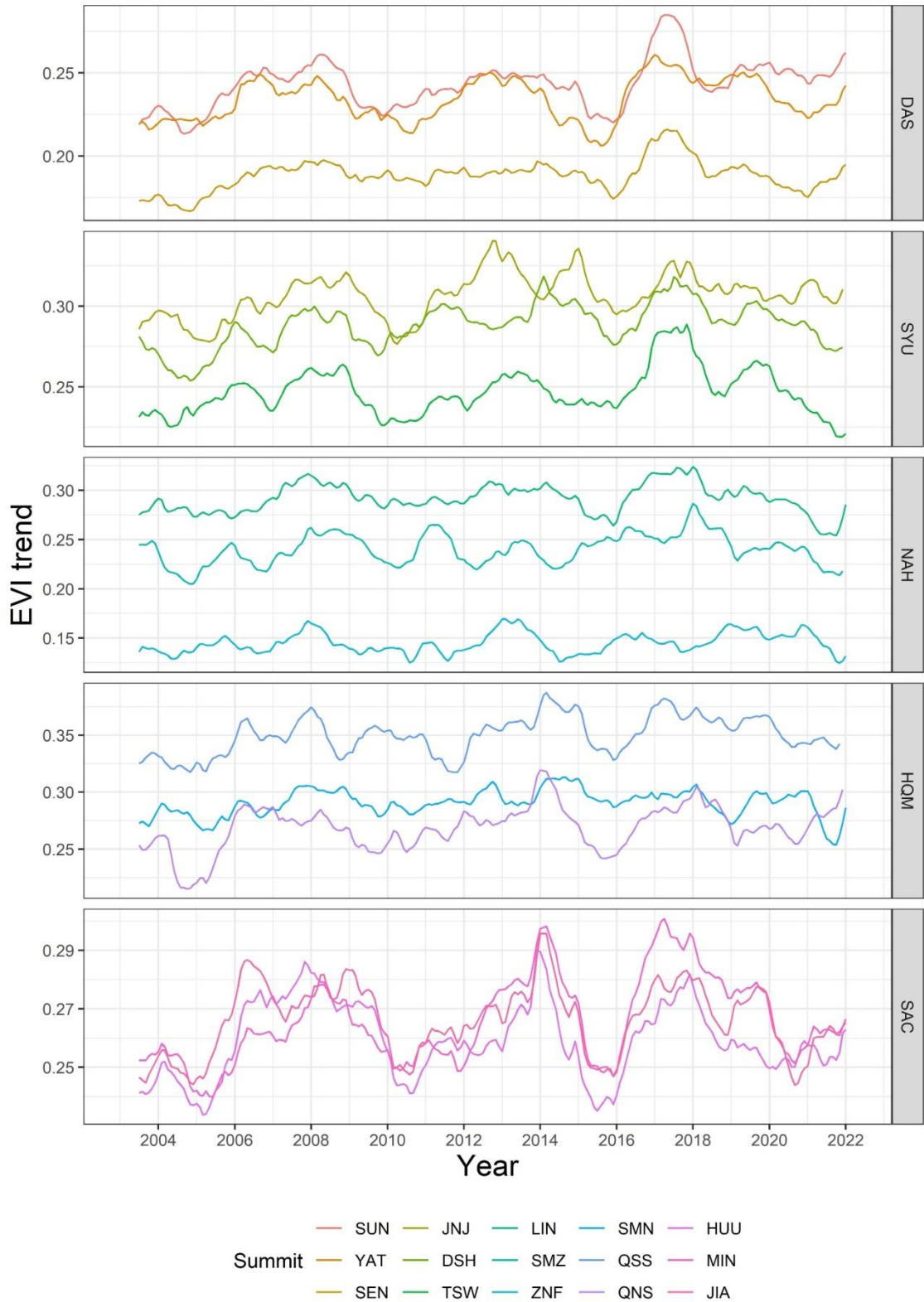


圖 15. 山峰監測區域的各山峰 EVI 長期趨勢變化圖，各代號依序為大水窟區域 (DAS)、雪山區域(SYU)、南湖鈴鳴區域(NAH)、合歡奇萊區域(HQM)以及三叉山區域(SAC)。





(三) EVI 變化趨勢與氣候關係

綜合整體 EVI 表現，我們發現 EVI 的長期趨勢可能受到氣候變化趨勢影響。我們進一步將 EVI 長期趨勢值換算成趨勢變化率，並與 SPEI-3 值做迴歸分析，以探究 EVI 的變化趨勢與季節水分平衡之關係。結果如圖 16 所示，SPEI3 數值與 EVI 的長期趨勢變化率呈現顯著線性關係，係數為正值，代表植群發育受到季節水分平衡影響。當季節水分充足時，EVI 有升高的趨勢，當氣候偏向乾旱時，EVI 就會下降。

EVI 長期趨勢值反映出大尺度下的植群生長狀態，能夠顯現植群的物候、生長擴張或是在逆境下萎縮的情況，過去也有許多研究利用植群指標來探究乾旱事件的影響(Lee et al., 2019; Henny et al., 2021)。EVI 指數趨勢變化值與 SPEI3 指數呈現正線性關係，顯示季節的水分供應確實會影響植群的發育趨勢，2004 年、2011 年以及 2016 年，EVI 長期趨勢為相對低值，即與乾旱情況相符。而 2012 年數據驟降的情況較為特殊，從中央氣象局民國 101 年氣候年報顯示 2012 年是多雨的一年，特別是中北部地區，新竹測站年雨量為 1930 年設站以來最高，同時也有多個測站的年降雨量達到設站以來前十名。除了降雨量多之外，多個測站也顯示 2012 的全年日照時數屬於歷史的極端低值，其中成功測站的全雨日達到 205 日，全年日照時數為 1941 年設站以來最低。這多雨、日照時數低可能直接影響植物光合作用，造成 2012 年的 EVI 數值降低。

自 2015 年起，各區域的年溫度逐年上升，冬季升溫現象明顯，在水分充足的情況下，也造成植群迅速發育，EVI 趨勢值快速攀升，多數山峰的 EVI 數值達到往年的新高。在冬季多為普遍缺水的旱季，但是冬季時，高山植物也因為低溫通常呈現休眠狀態，地上部冬枯或是一年生物種以種子型態度冬，因此缺水影響可能相對較低。但是由於高山區域的冬季溫度顯著上升，當溫度高於生長限制溫度時可能導致植物提前打破休眠，使生長季延長，在水分充足的情況下有助於受低溫限制的優勢物種—玉山箭竹開始擴張。但若是植物開始提前生長，又在春、夏季遭逢水分缺乏的情境，可能會導致生長不良甚至死亡，持續性的水分逆境，





最終仍導致植群受損而萎縮。2018 年秋季進入長達近 5 年的乾早期，冬季升溫造成的植物擴張，進一步增加水分的蒸散量，可能加劇了水分失衡的情況，因此在 2019 年後 EVI 長期趨勢值普遍下滑，植群可能受到乾旱影響而開始萎縮。



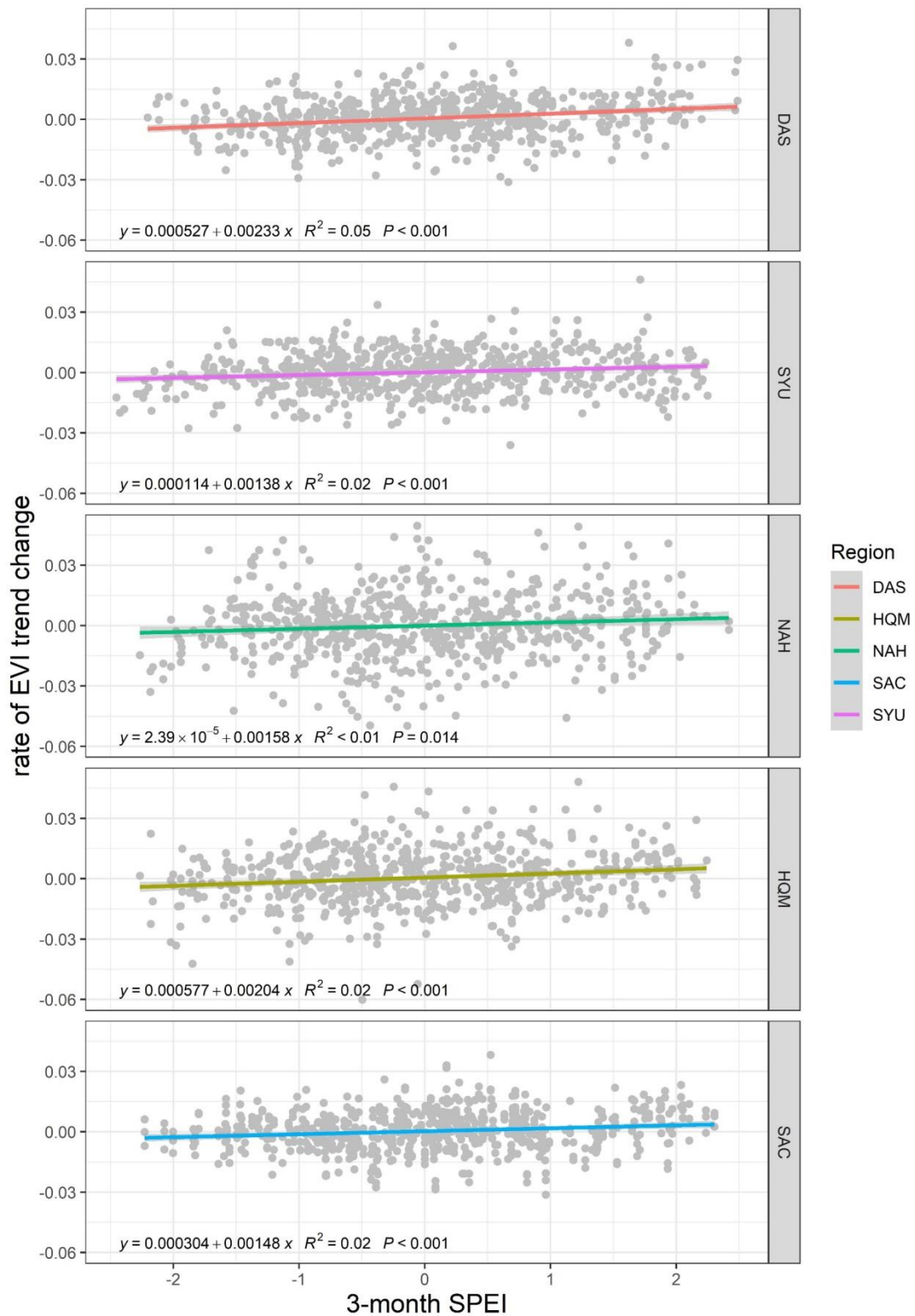


圖 16. 監測區域的各山峰 EVI 長期趨勢變化率與 SPEI-3 之關係圖，各代號依序為大水窟區域(DAS)、雪山區域(SYU)、南湖鈴鳴區域(NAH)、合歡奇萊區域(HQM)以及三叉山區域(SAC)。





二、植群變化趨勢

(一) 植群之多樣性指數與組成變異

本研究的第一次調查在 2008-2010 年進行，除了 NAH 區域的山峰調查是在乾旱時期調查，其他區域都是在水份充足的情況下進行。第二次調查時期在 2013-2015 年間，南湖鈴鳴區域與三叉山區域是在偏乾旱的年度進行調查(圖 14)。而第三次調查在 2019 到 2022 年進行，多數山峰在調查時已經度過 1-3 年的缺水情況。

我們以區域為單位，檢視物種數與均勻度指數在三次調查的變化(圖 17)。在第二次調查時，我們發現除了南湖鈴鳴區域(NAH)之外，多數山峰的物種數有些許增加的趨勢(圖 17A)。其中大水窟區域(DAS)、雪山區域(SYU)以及合歡奇萊區(HQM)域物種顯著增加。然而在均勻度指數表現上(圖 17B)，除了大水窟區域(DAS)是顯著增加之外，其他區域的均勻度指數變化不顯著，甚至在雪山區域(SYU)以及三叉山區(SAC)域是顯著下降的。表示雖然區域內的物種增加，但是因為新增物種的覆蓋較小，而優勢物種覆蓋度的增加幅度更大，因此均勻度指數並未上升甚至顯著下降。而第三次調查結果顯示，除了南湖鈴鳴(NAH)以及合歡奇萊區域(HQM)的物種數變化不顯著之外，其他三個區域的物種數都顯著下降(圖 17A)。而所有區域的均勻度指數則在第三次調查都是顯著下降的。而植群的主成分分析結果顯示(圖 18)，在第三次調查時各區域山峰植群的分佈有逐漸接近的趨勢。代表著植群組成變異逐漸減少，植群在第三次調查時有同質化的傾向。

GLORIA 過去相關研究發現，在暖化的情境下，高山區域的低溫日數減少，原先受到低溫限制，分布較低海拔的優勢物種因此向上遷移，使得山峰的物種多樣性會逐漸上升(Steinbauer et al., 2018)。然而區域的物種多樣性上升並非是好事。高山區域許多特有的耐寒物種，透過物候週期或生理特性抵抗寒冷，藉此在高山區域建立族群並取得優勢。當低溫限制喪失時，耐寒物種失去競爭優勢，將受到原先分布較低海拔的優勢物種競爭排擠，繼而族群數量下降甚至消失。暖化情境





下通常導致高山地區的物種多樣性上升，然而若是暖化伴隨著乾旱事件，仍然帶給高山區域嚴重的負面效應。目前仍不清楚主要是由何者效應導致負面效應，或是兩者共伴效應的結果，然而研究顯示當乾旱與暖化事件同時發生時，將導致物種多樣性指數下降，同時植群的同質性提升，高山的耐寒物種進一步受到威脅(Steinbauer et al., 2018; Corona-Lozada et al. 2019)。

(二) 社會權重指標

社會權重指標是利用動植物社會中，不同特性的加權平均值，來代表該社會的綜合特性。過去 GLORIA 研究利用社會權重指標來定義植群的嗜熱性，並利用調查間的數據差值來檢視植群是否有嗜熱化現象(Gottfried et al., 2012)。本研究利用改良型嗜熱化與嗜濕化指標來檢視各區域山峰植群的氣候特性變遷，結果如圖 19 與圖 20。在第二次調查時，各區域山峰植群的嗜熱與嗜濕化指數沒有一致的趨勢(圖 19)。在大水窟區域(DAS)、雪山區域(SYU)、南湖鈴鳴區域(NAH)以及合歡奇萊區域(HQM)，皆有山峰的嗜熱化指數顯著小於零，代表植群組成嗜冷化的現象。而同樣地在合歡奇萊(HQM)的 SMN 山峰與三叉山區域(SAC)的 HUU 山峰則有嗜熱化傾向，而多數山峰的嗜濕化指數則呈現不顯著的情況。第三次調查在 2019-2022 年間進行，多數山峰的調查時間是處在乾旱時期(圖 14)，嗜熱化指標顯示 15 座山峰裡有 6 座山峰顯著大於零(圖 20)，代表該山峰的植群有嗜熱化的趨勢。另外在嗜濕化指標裡，同樣有六座山峰的數值顯著小於零，表示該山峰植群中的耐旱物種比例提升。此外，DAS 區域的 YAT 山峰以及 SAC 的 HUU 與 MIN 山峰，出現植群嗜熱指標與嗜濕指標都顯著上升的情況。我們進一步結合山峰樣區的嗜熱與嗜濕指標以及各調查期的 SPEI-3 差值來檢視水分條件狀況與植群嗜熱化與嗜濕化關係趨勢(圖 21)。可以看到，在 S3 調查中，隨著水分平衡改善的山峰樣區(SPEI3 差值為正值)，有嗜熱化與嗜濕化的傾向，意即水分充足的區域，其嗜熱物種與嗜濕物種的比例上升。





第二次調查的結果顯示，雖然區域的物種數普遍增加，但是各區域植群的嗜濕與嗜熱指標並未有一致性的變化。第三次調查則在 2019 年至 2022 年進行，也就是多數山峰的複查在冬季溫度顯著上升並且發生乾旱的時間區間內。因此我們原先預期植群的嗜濕化指數下降，且嗜熱化指數升高，但實際上並非如此。在 15 座山峰中，僅有 6 座山峰的嗜濕化指數顯著小於零，也僅有 6 座山峰的嗜熱化指數顯著大於零，當中只有 SMN 山峰兩項指標符合前述條件。在氣候變遷的情況下，雖然氣候有顯著變化，並不代表植群組成會有相對應的線性變化，這在過往研究中也展現類似結果(Lamprecht, 2018; Kulonen et al., 2018)。因為社會權重指標是檢視物種數量增減與其物候特性的綜合評估，在氣候變化的情況下，植群的組成變化除了牽涉到物種本身氣候區位之外，也與物種的族群數量、物候階段、生活型以及種間關係有關，在面臨相同氣象事件時，物種的耐受性與受影響程度也不盡然呈現線性關係。種種因素會導致單一指數的變化不明顯(Verrall, 2021)。另外，我們發現在第三次調查裡，植群的嗜熱與嗜濕化指標呈現顯著的正相關；亦即樣區的嗜熱化指數上升，而嗜濕指數也同樣上升，反之亦然。同時，嗜熱化指數與嗜濕化的山峰植群，其 SPEI3 指數的差值多為正值，意味著這些山峰的降雨相對較充沛。這代表著在水份充足的情況下，升溫的效應就反應在植群組成上，使得偏好較熱環境的物種佔有相對高的比例。



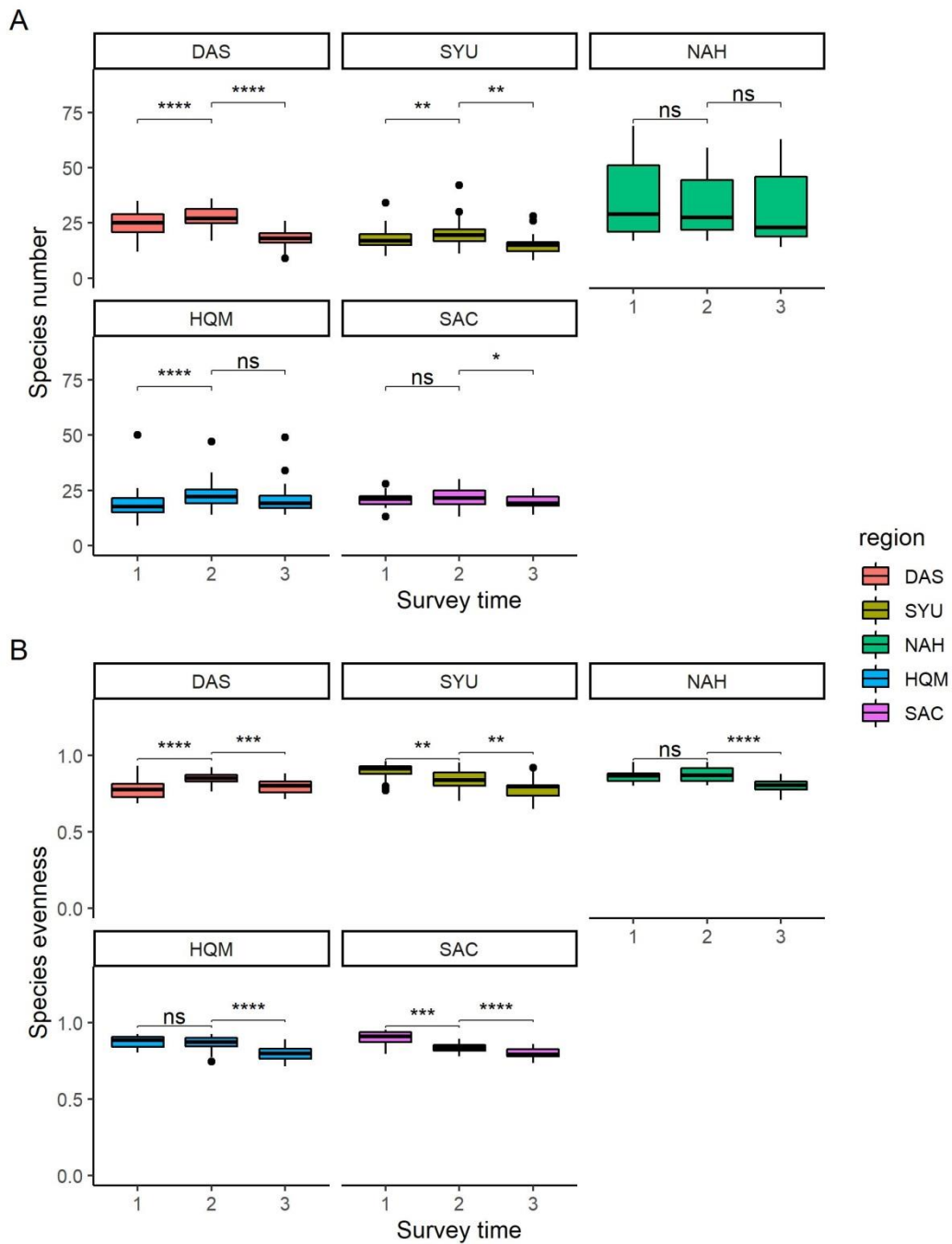


圖 17. 三次調查中各目標區域植群的物種數(A)與均勻度指數(B)變化，圖中星號表示成對 t-test 比較達顯著差異($p < 0.05^*$, $p < 0.01^{**}$, $p < 0.005^{***}$, $p < 0.001^{****}$)，各代號依序為大水窟區域(DAS)、雪山區域(SYU)、南湖鈴鳴區域(NAH)、合歡奇萊區域(HQM)以及三叉山區域(SAC)。



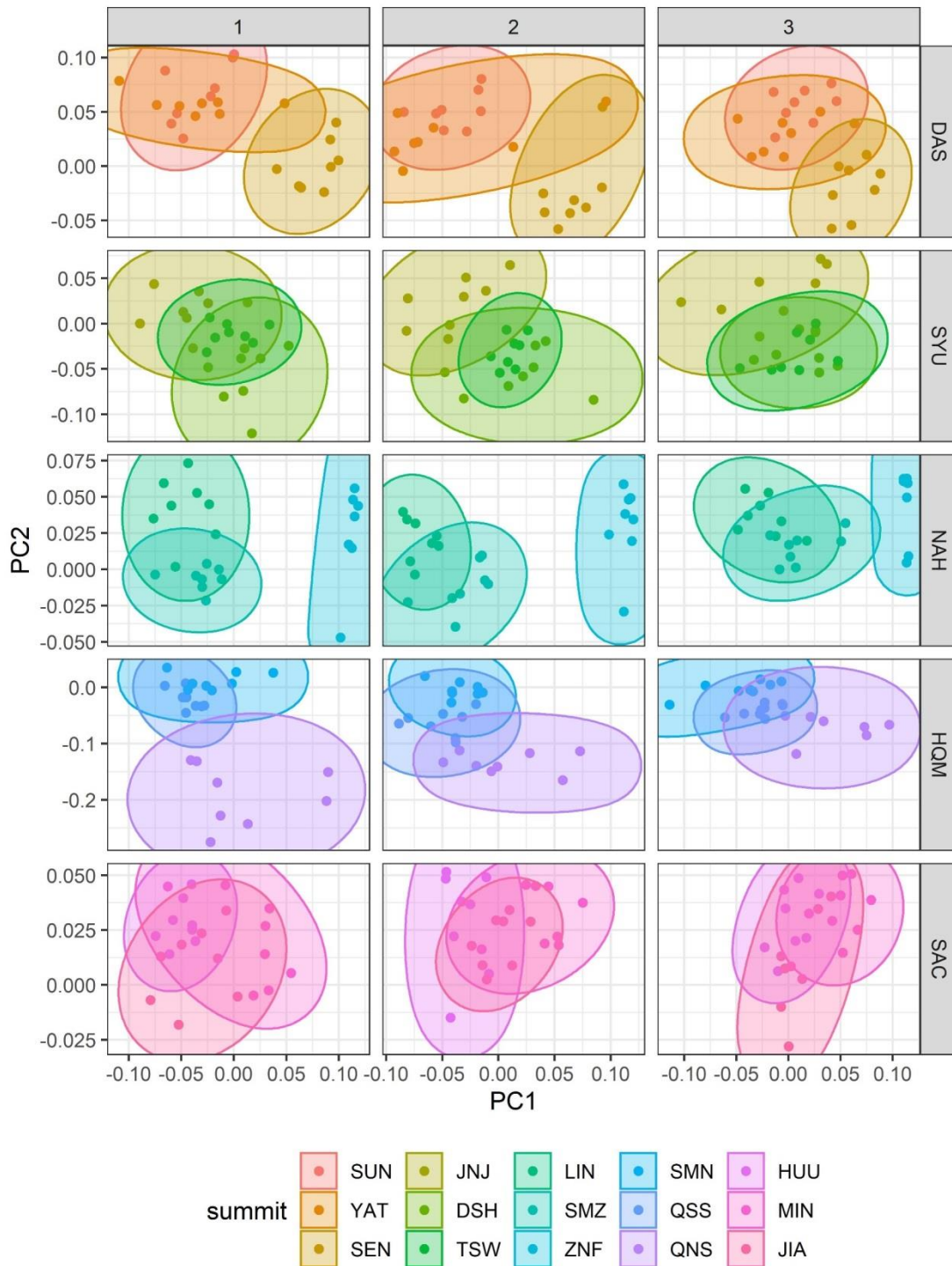


圖 18. 三次調查中各目標山峰植群的主成分變化，圖中圓圈代表相同山峰的植群，各區域代號依序為大水窟區域(DAS)、雪山區域(SYU)、南湖鈴鳴區域(NAH)、合歡奇萊區域(HQM)以及三叉山區域(SAC)。



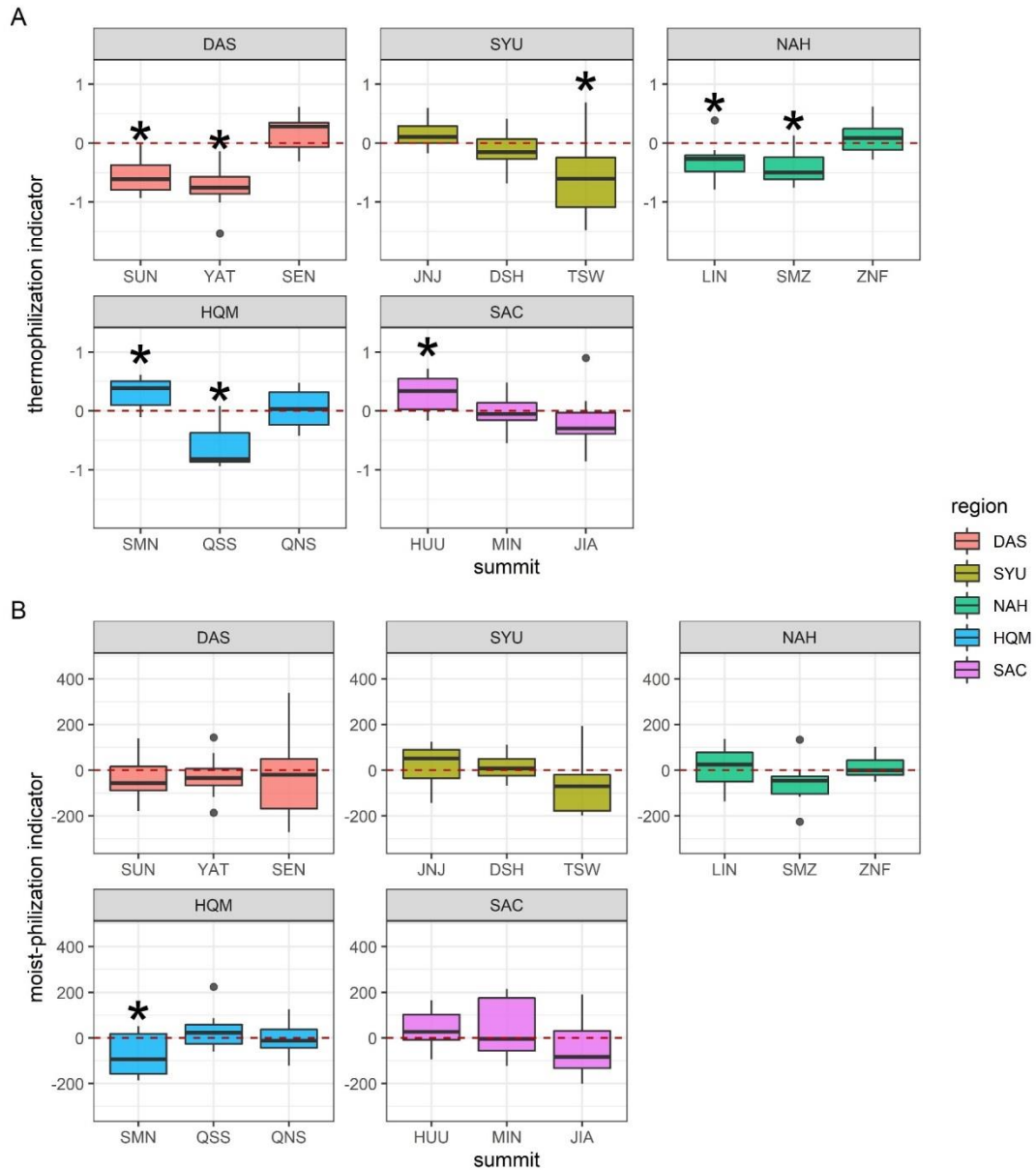


圖 19. 第二次調查中各目標山峰植群的嗜熱化(A)與嗜濕化(B)趨勢，圖中星號代表顯著大於或小於零，各區域代號依序為大水窟區域(DAS)、雪山區域(SYU)、南湖鈴鳴區域(NAH)、合歡奇萊區域(HQM)以及三叉山區域(SAC)。



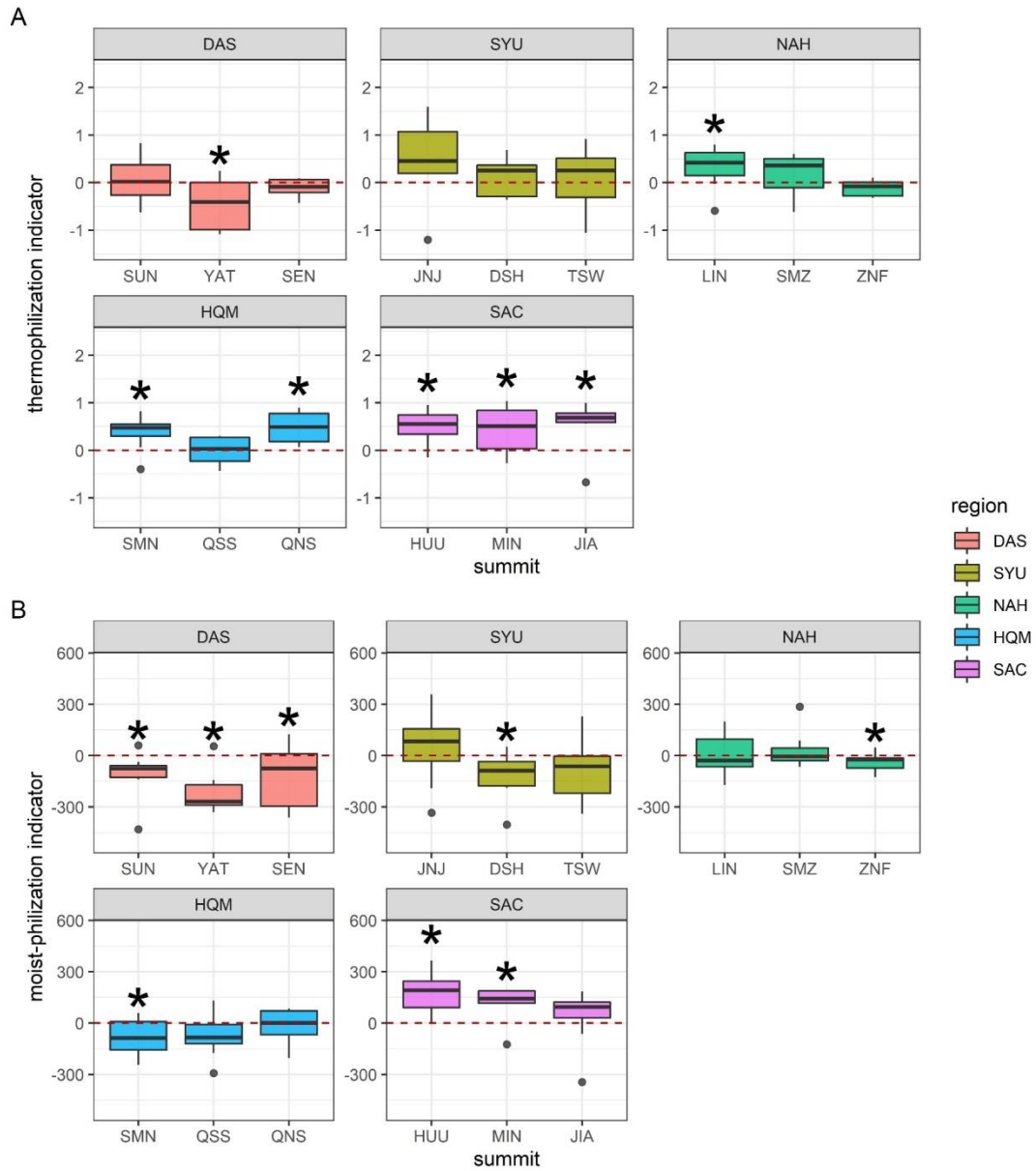


圖 20. 第三次調查中各目標山峰植群的嗜熱化(A)與嗜濕化(B)趨勢，圖中星號代表顯著大於或小於零，各區域代號依序為大水窟區域(DAS)、雪山區域(SYU)、南湖鈴鳴區域(NAH)、合歡奇萊區域(HQM)以及三叉山區域(SAC)。



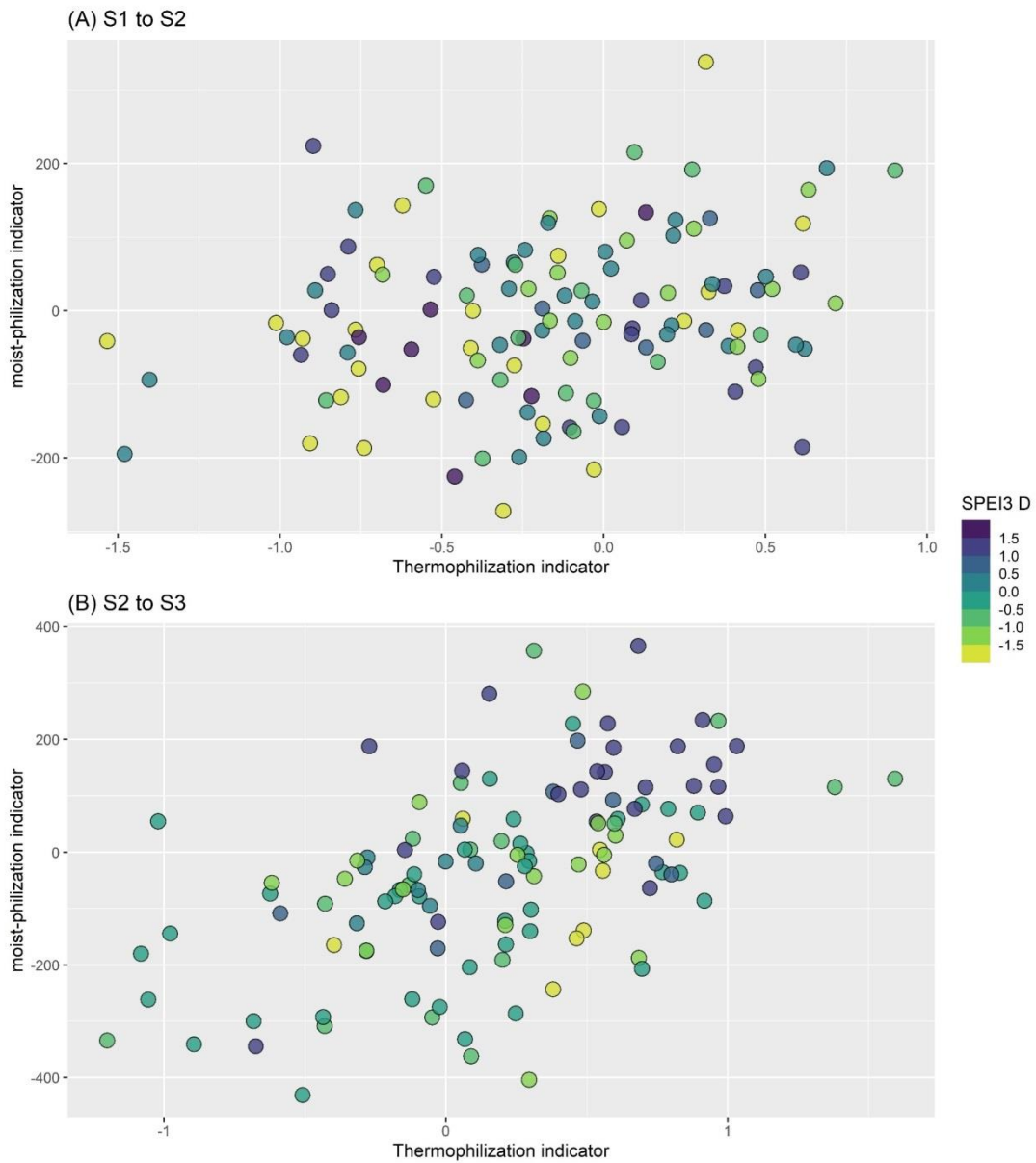


圖 21. 三次調查期間各山峰樣區的植群嗜熱化與嗜濕化指標以及水分條件情況之關係圖，(A)第一次調查與第二次調查(B)第二次調查與第三次調查，SPEI3 D 代表兩次調查的 SEPI-3 差值(後期-前期)，各區域代號依序為大水窟區域(DAS)、雪山區域(SYU)、南湖鈴鳴區域(NAH)、合歡奇萊區域(HQM)以及三叉山區域(SAC)。





三、物種氣候區位與覆蓋變化關係

本研究總計調查到 178 種維管束植物，我們自 GBIF 資料庫中初步下載各個物種紀錄，排除沒有地理位置的紀錄後，初步統計各個物種的紀錄筆數。再將低於 20 筆的物種挑選出來，嘗試著使用同物異名重新查詢資料，盡可收集最多紀錄筆數。統整資料後，再次排除重複的紀錄值，最終得到 2,200,748 筆資料物種的位置紀錄，最後結合 CHELSA 氣候資料建立各物種之氣候區位。各區域的整體物種氣候區位分布如圖 22 所示。物種的溫度區位屬於單峰分布，絕大部分物種最適年均溫範圍介於 5–13 °C 之間。年降雨量區位則顯示各區域多數物種分布極濕潤環境，偏好年降雨量超過 2,000 mm 的生育地，而 2500–3000mm 是主要的分布峰值。而部分物種偏好年降雨量 500–1,000 mm 的濕潤環境。研究區域中半數以上的物種的最適溫度多位於冷杉林帶(年均溫 5-8 °C)與鐵杉雲杉林帶(年均溫 8–11 °C)，這也符合研究區域目標山峰的海拔高度(Su, 1984)。

進一步檢視三次調查間的物種覆蓋度變化。圖 23A 顯示在第二次調查中，除了三叉山區域(SAC)之外，其它區域裡多數物種的覆蓋度是上升的，物種的增減在氣候區位上沒有一致變化。而在第三次調查中，五個區域裡覆蓋度下降的物種佔多數(圖 23B)，特別在降雨量區位在 2000mm 以上的物種，多數覆蓋度大量減少甚至消失。區域中也有部分物種有擴張的情況，但是相對少數。為了探究物種區位以及物種覆蓋度增減之關係，我們利用廣義線性模型建構物種覆蓋度變化率與氣候區位之關係式。採用物種覆蓋度的變化率而非單純的改變值，是由於使用覆蓋度變化值，如此分析結果會受到區域中的優勢物種主導，而忽視稀少種的增減。因此本研究使用覆蓋度的變化率，來強調稀少種的變動。廣義線性模型分析結果如表 3，第一次調查至第二次調查的結果顯示物種覆蓋變化率與氣候區位並無顯著關係。但是第二次調查與第三次調查的分析結果顯示，溫度區位與降雨區位對物種豐度變化率有顯著影響，同時溫度區位的係數為正值，降雨區位的係數為負值，代表偏好溫暖、乾旱的物種，豐度變化率越高。





由於社會權重指標是利用植物特性與植群組成比例計算植群變化趨勢，因此，當植群嗜濕化或嗜熱化，代表植群中偏好濕潤或溫暖環境的物種所占比例提升，但是並不代表該物種的生長狀況較好。事實上從豐富度變化就可以看出，在第三次調查中，多數物種的覆蓋度是下降的，降雨區位在 2000mm 以上的物種多數是大幅萎縮甚至消失。過去研究顯示，嚴重的乾旱事件對植物的負面影響有時會延遲或持續一段期間(Boeck et al., 2015)。在第二次調查中，也有部分山峰調查是在乾旱期間進行，但僅有半年左右的乾旱期，例如南湖鈴鳴區域(NAH)與三叉山區域(SAC)。然而，第三次調查在調查時，植群已經持續經歷 1 至 4 年的長期乾旱狀態，因此縱使調查時間在潮濕的時期調查，但是乾旱的遺留效應可能導致植群生長尚未恢復(Fathi et al., 2016)，因此多數物種的覆蓋度減少。而綜合各區域的物種覆蓋度增減與物種覆蓋度變化率結果，顯示在高溫、乾旱的氣候條件下，偏好較乾燥與較高溫環境的物種，受到的負面效應較小。



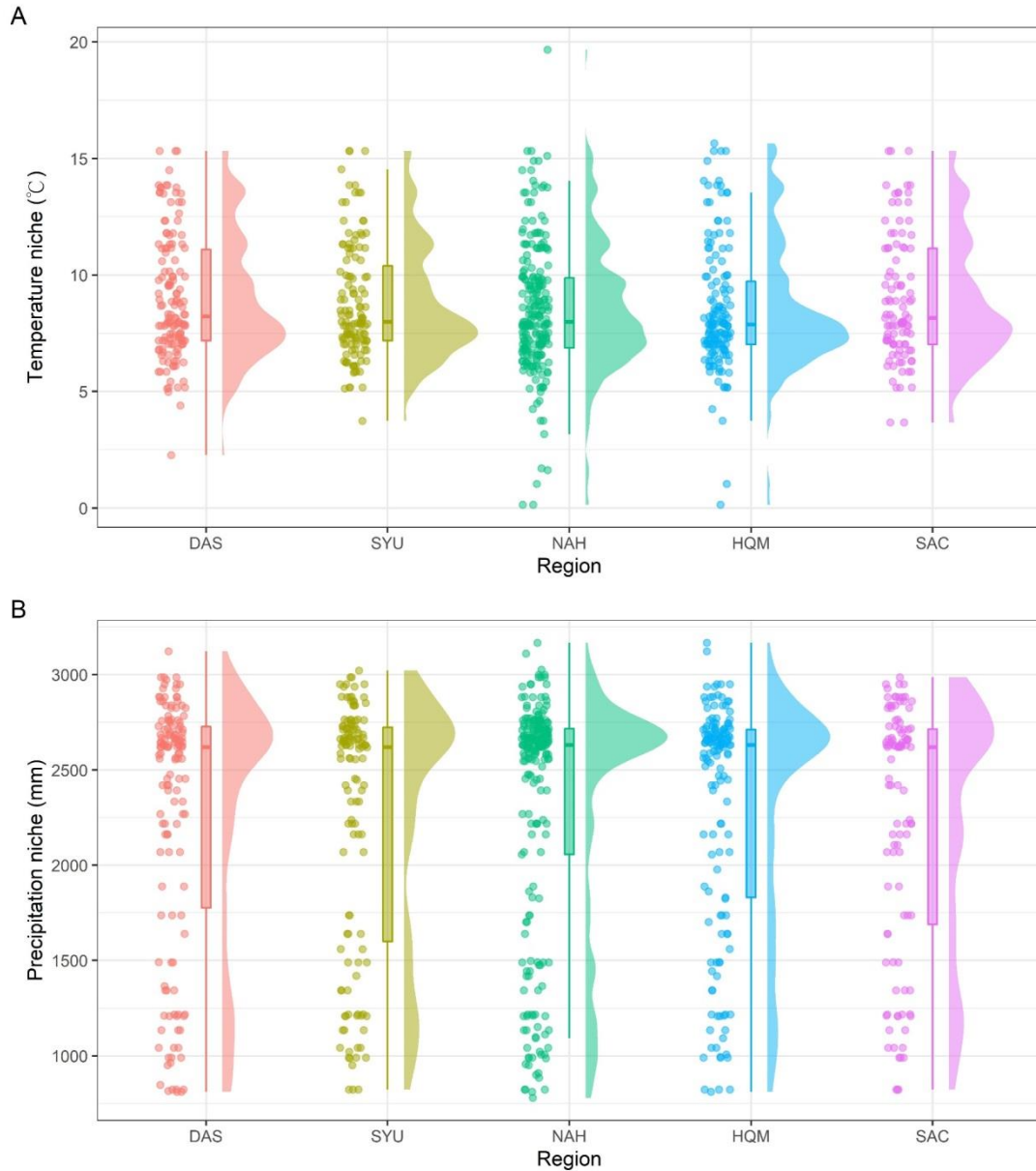


圖 22. 各研究區域之物種氣候區位分布圖，A 為溫度區位，B 為降雨量區位，各區域代號依序為大水窟區域(DAS)、雪山區域(SYU)、南湖鈴鳴區域(NAH)、合歡奇萊區域(HQM)以及三叉山區域(SAC)。



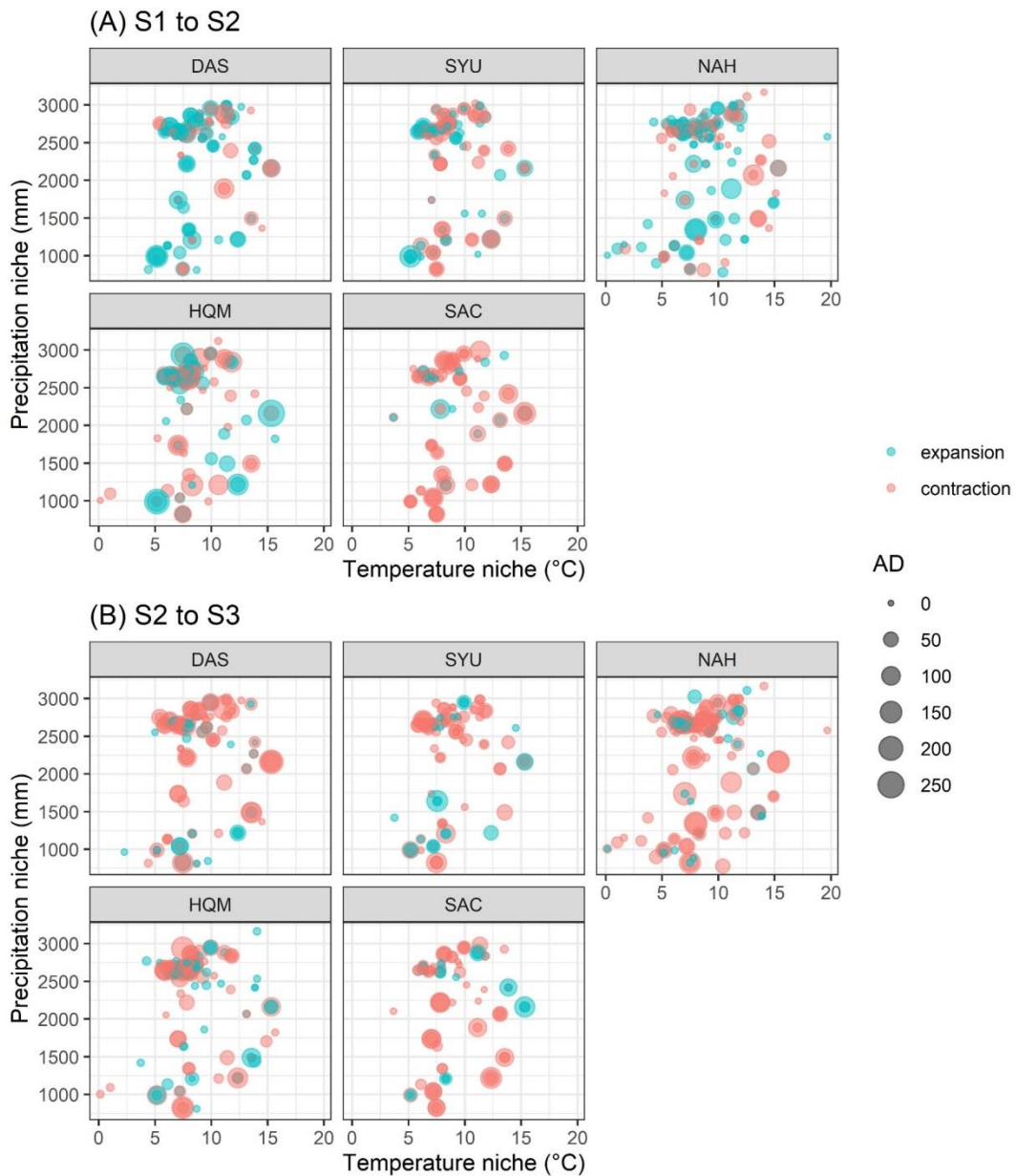


圖 23. 三次調查中各目標區域的物種覆蓋度變化以及該物種之氣候區位，A 為第一期調查至第二期調查比較，B 為第二期調查至第三期調查比較，顏色代表覆蓋度增減，原點大小代表差異值，各區域代號依序為大水窟區域(DAS)、雪山區域(SYU)、南湖鈴鳴區域(NAH)、合歡奇萊區域(HQM)以及三叉山區域(SAC)。





表 3. 三次調查期間整體物種覆蓋度增減與其物種氣候區位之關係

Period	Variable	estimate	std.error	statistic	p.value
S1 to S2	(Intercept)	0.85700	0.14991	5.717	<0.001
	Precipitation	-0.00004	0.00005	-0.920	0.358
	Temperature	0.00255	0.01224	0.209	0.835
S2 to S3	(Intercept)	0.13954	0.14262	0.978	0.328
	Precipitation	-0.00013	0.00005	-2.854	0.004
	Temperature	0.03002	0.01162	2.584	0.010

四、其他重要事件

本次報告著重在氣候事件對臺灣整體山峰區域的影響，因此是以區域為主要單位進行討論。實際上，個別山峰也有發生特殊狀事件可能影響植物組成。例如奇萊合歡區域的 SMN 山峰。該山峰位於石門北峰西邊，約 2015 年開始，有商業隊登山客由此進入合歡溪，並以「合歡秘境—小嘆息灣」之名廣傳。該地為水源管制區域，名義上是不得申請進入，早期僅少數登山客私自擅闖。2019 年後國旅爆發，多數登山旅行團以爬黑山方式招攬生意，導致大量登山商業隊進入。

自 Google Earth Pro 的衛星影像中可見 (圖 24)，2012 年該區域未見明顯路徑(圖 24A)，到 2015-2016 年時，衛星影像中出現明顯路跡(圖 24B, C)。2021 年度調查的空拍照中(圖 24)，除了明顯路跡之外，更可見到路跡周圍區域植群受到明顯侵蝕。在 2020 年開始太魯閣國家公園開始嚴格取締違規進入管制區域的違規行為，希冀在嚴格執法後，可以大幅降低人為干擾。



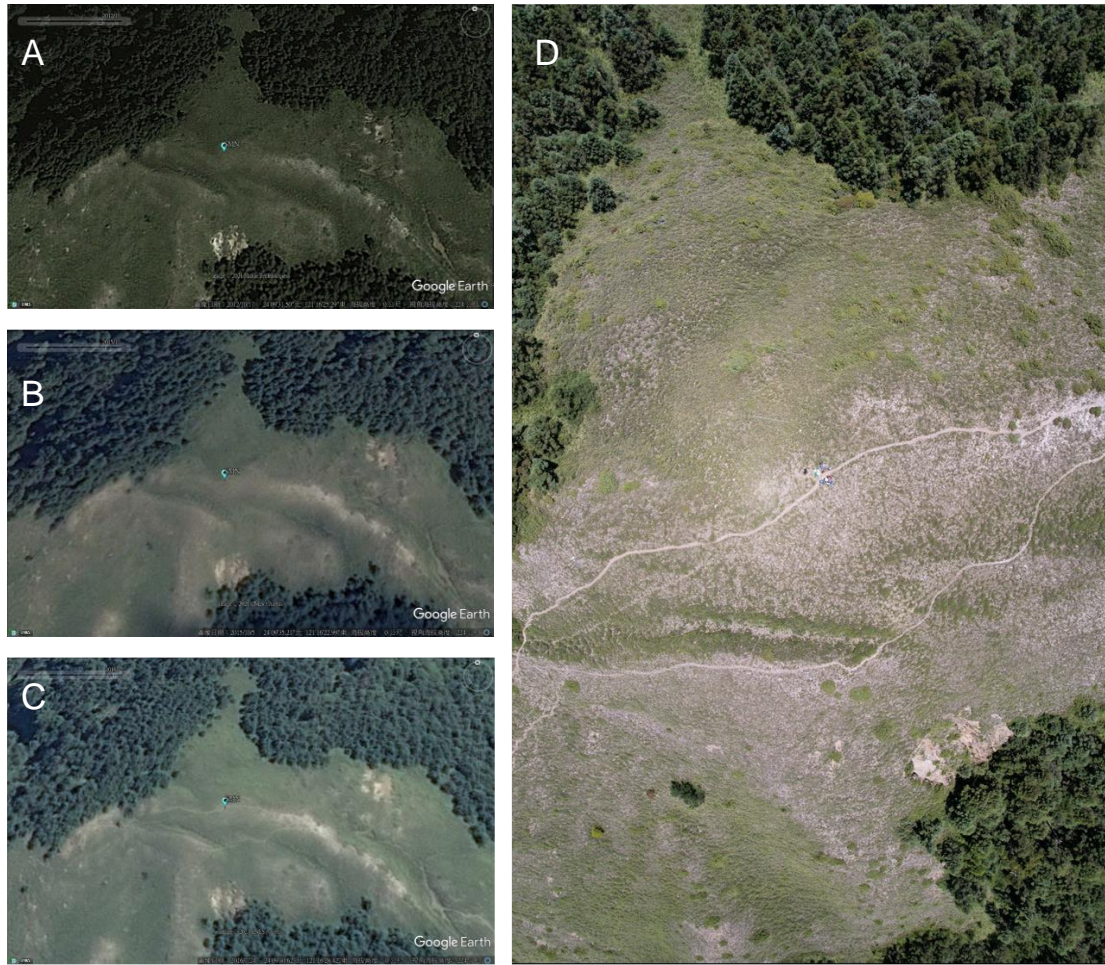


圖 24. 合歡奇萊區域 SMN 山峰樣區衛星影像與空拍圖，A(2012 年)、B(2015 年)、C(2016 年)為 Google earth pro 衛星影像圖，D 為 2021 年調查空拍。





五、綜合討論

GLORIA 的研究設計是為了偵測高山的暖化現象以及植物是否隨海拔向上遷移，至今已有 20 多年，歐洲各區域已完成複查並發表研究成果。其中 Steinbauer et al.(2018)追溯自 1871 年起的 698 項研究，總計收集到歐洲 302 個山峰樣區資料，監測時間差距最長達到 145 年。研究結果顯示，歐洲的高山區域物種數隨時間推移而增加，同時增加的幅度在近年提升。該研究發現，在 1957-1966 年時，物種增加率為每十年 1.1 個物種，而在 2007-2016 年，則平均增加了 5.4 個物種，而物種增加幅度與暖化速率以及降雨量變化率呈現正相關。亦即在暖化與雨量變多的情況下，物種數變化率也隨之提高。然而物種數提高並非是好事，其數量增加的主因是越來越多物種向上遷移，而原生於高海拔區域的物種通常是生長緩慢並具備抵抗寒冷能力，當環境暖化時，受益的會是向上遷移的物種。過去研究也認為，物種上升只是一個短暫現象，當中可能隱含著滅絕債務(extinction debt)的累積，只是延後物種的局部性滅絕(Cotto et al., 2017)。

本研究在第二次調查中，除了多數山峰有顯著物種數與均勻度增加現象之外，其他分析都沒有表現與山峰高度梯度有一致的變化趨勢；而第三次調查中，除了乾旱事件造成的明顯的負面影響外，各項分析也未因海拔高度而有一致趨勢；這可能是因為在第二次調查中，尚未明顯發生暖化現象，而第三次調查時，乾旱的負面效應過於強烈以至於掩蓋住了暖化的影響。過往研究顯示，在長時間的暖化效應影響下，物種向上遷移，進而導致高山區域的物種增加與多樣性指數上升(Alexander et al., 2017)；同樣也部分研究顯示，可能因為植物的生活型、族群數量、物候階段與物種間的交互作用，使得變化趨勢不明顯或不一致；而在其他因素的干擾下，如乾旱、動物或人為干擾，暖化的影響可能更不明確(Boeck et al., 2015)。





乾旱事件普遍影響到臺灣的高山植群，這證實了我們之前的推論。雖然臺灣普遍降雨充沛，但是地形陡峭，在高海拔地區的土壤淺薄，持水能力較差。此外，臺灣屬於季風氣候，多數區域的雨量集中在春夏季，當春夏季雨量降低，很容易因此水分失衡。高溫直接導致潛在蒸散量的提高，同時生長季延長也會進一步提高植物水分用量，因此進一步提升環境的水分需求。加上降雨量在時間上的集中(降雨天數減少)會減少水分的入滲土壤的比例，減少土壤持水，可能使水分供不應求，進一步造成乾旱事件頻率上升。乾旱或許只是氣候震盪的偶發事件，然而根據臺灣的長期氣候趨勢統計，自 1960-2021 年雖然總降雨量雖然在沒有顯著減少，但是降雨日數減少，極端降雨的頻率上升，雨量分配漸趨集中(TCCIP, 2017)。近五年(2018-2022)來直接侵襲臺灣的颱風數量降低，2020 到 2022 年更創下罕見的無颱風登陸的紀錄。颱風是主要供應夏季水分的氣象事件，當颱風減少時，意味著濕季的水分供應量下降。過往研究也顯示臺灣未來有偏向乾旱年增加的趨勢，整體氣候情況代表著乾旱事件的發生頻率將會上升(Lee et al., 2019)。升溫事件可能導致耐寒植物被迫向上遷移，而乾旱強度則是自山頂而下的脅迫事件，若乾旱與升溫事件同時發生，將可能進一步壓縮耐寒物種的生存空間。縱使乾旱逆境結束，在溫度升高的情況下，嗜熱物種將更快重新發育擴展，使耐寒物種族群受到更大的競爭脅迫。

野外調查通常是時間斷面的，要得知調查與調查之間植群實際狀況，就只能仰賴高時間密度的調查，然而這是難以達成的，這也是國外 GLORIA 部分研究面臨到的困境之一。由於 GLORIA 研究設計為五年一次複查，且完全針對暖化現象做試驗設計，同時高山區域的物種生命週期較長，生長緩慢，因此必須累積足夠時間與空間的資料，才能顯現暖化的影響(Verrall et al., 2021)。而衛星影像資料具有時間連續性的特質，但是得到是植群整體的概略變化。本研究結合兩者資料，使兩項調查工具的缺點可以互相彌補也互相支持。同時，我們利用開放源資料客觀地建立植物的氣候區位，這使我們能夠了解氣候因子與物種變化的關係。





本研究提供了一個方案，結合開放源的衛星資料、氣候資料以及物種分布資料，
結合持續性的地面監測調查，更細緻解析氣候變遷對高山植群的影響。





肆、結論與未來展望

本年度完成 GLORIA 五個區域共 15 座山峰的第三輪調查。本研究有別過往與其他區域的 GLORIA 研究計畫，除了地面的植群監測資料之外，另外爰引衛星影像資料、開放氣候資料以及物種點位資料做為輔助材料，解析十多年來高山植群變遷的趨勢與影響植群變遷的氣候因子。研究結果顯示，臺灣的高山區域在近年(2017-2021 年)受到暖化與聖嬰現象影響，冬季明顯升溫。過往研究顯示，溫度上升經常導致高山區域的物種數隨之增加，但由於 2018 至 2021 年的氣象乾旱，導致高山區域的植物物種數並未如預期般的變化，反而因乾旱效應，物種覆蓋度縮減，數量減少。截至目前為止，並未發現明確受到威脅的物種。然而，多數植物的覆蓋度因為缺水而下降，普遍發生在臺灣的高山區域，對族群數量較稀少的物種可能是潛在威脅。根據 IPCC 氣候變遷第六次評估報告，臺灣未來將面臨雨量極端化，颱風頻率下降與強度提升的情況。高山地區的地形陡峭且土壤保水力較差，在雨量極端化與颱風減少的情況下，更容易形成乾旱。這也代表類似 2018-2021 年的極端乾旱可能會在短時間內再次發生。而過往研究也表明，可能因為微棲地環境、種間關係以及氣候因子的交互作用，導致植群變遷發生遲滯的現象，氣候變遷的影響不明確。因此，為了更深入了解氣候變遷對高山植群的影響效應，必須持續性的執行監測調查。未來，本研究將針對物種的功能性狀以及種間關係，更明確地釐清物種的生態區位，以了解在氣候變化下的不同功能群物種的反應。同時，本研究也發現水分平衡可能是重要影響因子，雖然近年來臺灣的高山氣象站有增加的趨勢，但由於環境惡劣且位處偏遠，經常出現故障情況。高山氣象站提供重要的背景資料，同時也提升氣候模型推估的精準度。因此本研究也建議必須定期維護高山氣象站，使其能夠持續運作，減少監測缺值。







伍、參考文獻

- 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。
- 邱祈榮、陳子英、謝長富、劉和義、葉慶龍、王震哲 (2009) 臺灣現生天然植群圖集。行政院農業委員會林務局，台北市。
- 陳玉峰 (1997) 臺灣植被誌。(第二卷)：高山植被帶與高山植物(上)(下)。晨星出版社，台中市。
- 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。
- 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。
- 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。
- 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台(TCCIP)與中央研究院環境變遷研究中心 (2017) 臺灣氣候的過去與未來。國家災害防救科技中心。
- 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台(TCCIP)(2021) 1km 網格化逐日觀測資料集。國家災害防救中心。
- Artemov, I.A. (2018) Changes in the altitudinal distribution of alpine plants in Katunskiy Biosphere Reserve (Central Altai) revealed on the basis of multiyear monitoring data. *Contemporary Problems of Ecology*, 11, 1–12.
- Cotto, O., J. Wessely, D. Georges, G. Klonner, M. Schmid, S. Dullinger, W. Thuiller and F. Guillaume (2017) A dynamic eco-evolutionary model predicts slow response of alpine plants to climate warming. *Nature Communications*, 8(1): 1-9.
- 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.
- Gallagher, R. V., S. Allen, and I. J. Wright (2019) Safety margins and adaptive capacity of vegetation to climate change. *Scientific Reports*, 9(1): 8241.
- Gottfried, M., H. Pauli, and G. Grabherr (1998) Prediction of vegetation patterns at the limits of plant life: a new view of the alpinival ecotone. *Arctic and Alpine Research*, 30: 207–221.
- IPCC. (2020) Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate . Available at: <https://www.ipcc.ch/srocc/>. Accessed: 16 August 2020.





- 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.
- Karger, D.N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R.W., Zimmermann, N.E., Linder, H.P. & Kessler, M. (2017) Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data* 4, 170122.
- Kira, T. (1945) A new classification of climate in Eastern Asia as the basis for agricultural geography. Horticulture Institute, Kyoto University, Kyoto, Japan (In Japanese).
- Körner, C. (1999) Alpine plant life. Functional plant ecology of high mountain ecosystems. Springer, Berlin/Heidelberg.
- Körner, C. (2002) Mountain biodiversity, its causes and function: an overview. In: Körner, C. and E. M. Spehn (eds.) Mountain Biodiversity—A Global Assessment, pp 3–20. Parthenon, London and New York.
- Körner, C. (2007a) Alpine Ecosystems. Encyclopedia of Life Sciences. John Wiley & Sons, Hoboken.
- Körner, C. (2007b) Climatic treelines: Conventions, global patterns, causes. *Erdkunde*, 61: 316–324.
- Körner, C. and J. Paulsen (2004) A world-wide study of high altitude treeline temperatures. *Journal of Biogeography* 31:713–732.
- Kraft, N. J., Godoy, O., and Levine, J. M. (2015) Plant functional traits and the multidimensional nature of species coexistence. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(3), 797–802.
- 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.
- 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.
- Liu, H. Q., and Huete, A. (1995) A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. *IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33(2): 457–465.
- Muñoz, S. J. (2019) ERA5-Land monthly averaged data from 1981 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), doi:10.24381/cds.68d2bb30





- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Porro, F., M. Tomaselli, T. Abeli, M. Gandini, M. Gualmini, S. Orsenigo, et al. (2019) Could plant diversity metrics explain climate-driven vegetation changes on mountain summits of the GLORIA network? *Biodiversity Conservation*, 28, 3575–3596.
- 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.
- 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.





- Stanisci, A., L. Frate, Morra Di Cella, U., G. Pelino, M. Petey, C. Siniscalco, et al. (2016) Short-term signals of climate change in Italian summit vegetation: observations at two GLORIA sites. *Plant Biosystematics*, 150, 227–235.
- Steinbauer, M. J., Grytnes, J. A., Jurasinski, G., Kulonen, A., Lenoir, J., Pauli, H., ... and A. D. Bjorkman (2018) Accelerated increase in plant species richness on mountain summits is linked to warming. *Nature*, 556(7700): 231.
- 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: 1–14.
- 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.
- M. J. Steinbauer, J.-A. Grytnes, G. Jurasinski, A. Kulonen, J. Lenoir, H. Pauli, C. Rixen, M. Winkler, M. Bardy-Durchhalter, E. Barni, A. D. Bjorkman, F. T. Breiner, S. Burg, P. Czortek, M. A. Dawes, A. Delimat, S. Dullinger, B. Erschbamer, V. A. Felde, O. Fernandez-Arberas, K. F. Fossheim, D. Gomez-Garcia, D. Georges, E. T. Grindrud, S. Haider, S. V. Haugum, H. Henriksen, M. J. Herreros, B. Jaroszewicz, F. Jaroszynska, R. Kanka, J. Kapfer, K. Klanderud, I. Kuhn, A. Lamprecht, M. Matteodo, U. M. di Cella, S. Normand, A. Odland, S. L. Olsen, S. Palacio, M. Petey, V. Piscova, B. Sedlakova, K. Steinbauer, V. Stöckli, J.-C. Svenning, G. Teppa, J.-P. Theurillat, P. Vittoz, S. J. Woodin, N. E. Zimmermann and S. Wipf (2018) Accelerated increase in plant species richness on mountain summits is linked to warming. *Nature*, 556(7700), 231-234.
- Tichy, L. and M. Chytry (2006) Statistical determination of diagnostic species for site groups of unequal size. *Journal of Vegetation Science*, 17(6): 809–818.
- Townshend, J. R., and Justice, C. O. (1986) Analysis of the dynamics of African vegetation using the normalized difference vegetation index. *International Journal of Remote Sensing*, 7(11): 1435–1445.
- 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.





附錄

一、物種名錄與氣候區位資料庫

編號	科名	物種	IUCN	source	氣候區位			
					雨量 (mm)	雨量 標準差	溫度 (°C)	溫度 標準差
SP1	Lycopodiaceae 石松科	<i>Huperzia selago</i> (L.) Bernh. ex Schrank & Mart. 小杉葉石杉	VU	原生	986.4	415.4	6.1	3.0
SP2	Lycopodiaceae 石松科	<i>Lycopodium clavatum</i> L. 石松	LC	原生	1041.5	616.0	7.2	3.8
SP3	Lycopodiaceae 石松科	<i>Lycopodium complanatum</i> L. 地刷子(玉山地刷子)	LC	原生	815.8	574.9	4.4	3.8
SP4	Lycopodiaceae 石松科	<i>Lycopodium obscurum</i> L. 玉柏	LC	原生	1343.3	592.2	8.0	4.0
SP5	Lycopodiaceae 石松科	<i>Lycopodium veitchii</i> Christ 玉山石松	LC	原生	2217.5	789.0	7.8	4.0
SP6	Aspleniaceae 鐵角蕨科	<i>Asplenium trichomanes</i> L. 鐵角蕨	LC	原生	993.3	379.4	9.7	2.8
SP7	Athyriaceae 蹄蓋蕨科	<i>Athyrium anisopterum</i> Christ 宿蹄蓋蕨	LC	原生	1823.9	991.3	15.7	4.4
SP8	Athyriaceae 蹄蓋蕨科	<i>Athyrium oppositipennum</i> Hayata var. <i>pubescens</i> (Tagawa) Tagawa 逆羽蹄蓋蕨	LC	原生	2761.2	643.7	9.4	4.9
SP9	Dryopteridaceae 鱗毛蕨科	<i>Dryopteris alpestris</i> Tagawa 腺鱗毛蕨	LC	原生	2334.5	772.6	7.3	3.2
SP10	Dryopteridaceae 鱗毛蕨科	<i>Dryopteris expansa</i> (C.Presl) Fraser-Jenk. & Jermy 廣布鱗毛蕨	LC	原生	950.7	533.5	5.1	2.9
SP11	Dryopteridaceae 鱗毛蕨科	<i>Polystichum formosanum</i> Rosenst. 臺灣耳蕨	LC	原生	2579.1	447.6	19.7	3.3
SP12	Dryopteridaceae 鱗毛蕨科	<i>Polystichum lachenense</i> (Hook.) Bedd. 高山耳蕨	LC	原生	1830.8	926.4	5.2	3.6
SP13	Dryopteridaceae 鱗毛蕨科	<i>Polystichum taizhongense</i> H.S.Kung 臺中耳蕨	VU	原生	2431.1	166.7	5.9	1.2
SP14	Ophioglossaceae 瓶爾小草科	<i>Botrychium lunaria</i> (L.) Sw. 扇羽陰地蕨	NT	原生	899.7	413.8	4.5	3.7
SP15	Ophioglossaceae 瓶爾小草科	<i>Ophioglossum austroasiaticum</i> N.Nishida 高山瓶爾小草	LC	原生	2617.3	434.8	9.6	4.0
SP16	Polypodiaceae 水龍骨科	<i>Lepisorus pseudousuriensis</i> Tagawa 擬烏蘇里瓦韋	LC	特有	2688.5	487.2	12.0	3.5
SP17	Polypodiaceae 水龍骨科	<i>Lepisorus thunbergianus</i> (Kaulf.) Ching 瓦韋	LC	原生	1826.9	640.5	15.1	3.5
SP18	Polypodiaceae 水龍骨科	<i>Selliguea quasidivariata</i> (Hayata) H.Ohashi & K.Ohashi 玉山蕨	LC	原生	2757.0	469.0	8.8	2.6





編號	科名	物種	IUCN	source	氣候區位			
					雨量 (mm)	雨量 標準差	溫度 (°C)	溫度 標準差
SP19	Pteridaceae 鳳尾蕨科	<i>Adiantum taiwanianum</i> Tagawa 臺灣鐵線蕨(臺灣高山鐵線蕨)	VU	特有	2444.2	300.5	8.5	2.5
SP20	Pteridaceae 鳳尾蕨科	<i>Cryptogramma brunoniana</i> Wall. ex Hook. Et Grev. 高山珠蕨	LC	原生	1006.3	879.6	0.1	7.3
SP21	Cupressaceae 柏科	<i>Juniperus formosana</i> Hayata var. <i>formosana</i> 刺柏	LC	原生	2069.6	886.9	13.1	5.4
SP22	Cupressaceae 柏科	<i>Juniperus squamata</i> Lamb. 香青	LC	原生	1208.2	919.0	8.3	4.7
SP23	Pinaceae 松科	<i>Abies kawakamii</i> (Hayata) T. Itô 臺灣冷杉	LC	特有	2555.7	410.0	9.2	3.4
SP24	Pinaceae 松科	<i>Pinus armandii</i> var. <i>mastersiana</i> (Hayata) Hayata 臺灣華山松	LC	特有	2758.7	569.9	11.3	3.2
SP25	Pinaceae 松科	<i>Pinus taiwanensis</i> Hayata 臺灣二葉松	LC	特有	2268.0	605.4	13.8	4.6
SP26	Pinaceae 松科	<i>Tsuga chinensis</i> var. <i>formosana</i> (Hayata) H.L. Li & H. Keng 臺灣鐵杉	LC	特有	2749.8	448.7	9.8	2.6
SP27	Asparagaceae 天門冬科	<i>Maianthemum formosanum</i> (Hayata) La Frankie 臺灣鹿藥	LC	原生	2757.4	438.9	8.9	4.1
SP28	Asparagaceae 天門冬科	<i>Maianthemum japonicum</i> (A. Gray) La Frankie 鹿藥	LC	原生	1475.9	574.5	9.8	3.4
SP29	Cyperaceae 莎草科	<i>Carex atrata</i> L. 南湖扁果薹	LC	原生	1097.8	532.4	1.7	2.8
SP30	Cyperaceae 莎草科	<i>Carex brachyanthera</i> Ohwi 垂穗薹	LC	特有	2936.6	724.0	7.5	5.2
SP31	Cyperaceae 莎草科	<i>Carex breviculmis</i> R. Br. 短莖宿柱薹	LC	原生	1217.2	571.4	12.3	3.7
SP32	Cyperaceae 莎草科	<i>Carex chrysolepis</i> Franch. & Sav. 黃花薹	LC	原生	2642.6	412.7	7.9	4.3
SP33	Cyperaceae 莎草科	<i>Carex filicina</i> Nees 紅鞘薹	LC	原生	2611.3	1113.6	14.5	5.0
SP34	Cyperaceae 莎草科	<i>Carex fulvorubescens</i> Hayata 茶色扁果薹	LC	特有	2537.9	403.2	14.0	7.5
SP35	Cyperaceae 莎草科	<i>Carex oxyandra</i> Kudo 南投薹	LC	原生	1640.3	520.0	7.5	4.0
SP36	Cyperaceae 莎草科	<i>Carex tristachya</i> var. <i>pocilliformis</i> (Boott) Kük. 抱鱗宿柱薹	LC	原生	2161.8	780.6	15.3	4.2
SP37	Cyperaceae 莎草科	<i>Trichophorum subcapitatum</i> (Thwaites & Hook.) D.A.Simpson 玉山針蘭	LC	原生	2419.8	952.9	13.9	5.8
SP38	Juncaceae 燈心草科	<i>Juncus triflorus</i> Ohwi 玉山燈心草	LC	特有	2596.3	317.4	7.1	2.3
SP39	Juncaceae 燈心草科	<i>Luzula effusa</i> Buchenau 中國地楊梅	LC	原生	1558.6	1054.1	11.5	4.4





編號	科名	物種	IUCN	source	氣候區位			
					雨量 (mm)	雨量 標準差	溫度 (°C)	溫度 標準差
SP40	Juncaceae 燈心草科	<i>Luzula taiwaniana</i> Satake 臺灣地楊梅	LC	特有	2711.9	362.1	6.3	2.6
SP41	Melanthiaceae 黑藥花科	<i>Veratrum formosanum</i> Loes. 臺灣藜蘆	LC	特有	2717.0	447.7	8.5	4.0
SP42	Nartheciaceae 沼金花科	<i>Aletris formosana</i> (Hayata) Makino & Nemoto 臺灣粉條兒菜	LC	特有	2689.1	345.5	7.6	2.3
SP43	Orchidaceae 蘭科	<i>Amitostigma alpestre</i> Fukuy. 南湖雛蘭	LC	特有	2635.1	191.7	6.6	1.8
SP44	Orchidaceae 蘭科	<i>Goodyera nankoensis</i> Fukuy. 南湖斑葉蘭	LC	特有	2469.5	224.4	9.2	3.8
SP45	Orchidaceae 蘭科	<i>Listera morrisonicola</i> Hayata 玉山雙葉蘭	LC	特有	2547.6	245.3	7.2	3.3
SP46	Orchidaceae 蘭科	<i>Platanthera brevicarata</i> Hayata 短距粉蝶蘭	LC	特有	2668.1	454.7	7.9	3.8
SP47	Orchidaceae 蘭科	<i>Platanthera mandarinorum</i> subsp. <i>pachyglossa</i> (Hayata) T.P.Lin & K.Inoue 厚唇粉蝶蘭	LC	特有	2587.9	319.9	8.2	3.0
SP48	Orchidaceae 蘭科	<i>Ponerorchis kiraishiensis</i> (Hayata) Ohwi 紅小蝶蘭	LC	特有	2693.5	298.4	6.1	2.9
SP49	Poaceae 禾本科	<i>Agrostis infirma</i> Buse var. <i>infirma</i> 玉山翦股穎	LC	原生	2881.6	993.5	11.2	5.5
SP50	Poaceae 禾本科	<i>Brachypodium kawakamii</i> Hayata 川上短柄草	LC	特有	2685.9	296.1	7.2	3.2
SP51	Poaceae 禾本科	<i>Bromus formosanus</i> Honda 臺灣雀麥	NT	特有	2727.9	542.7	5.5	3.7
SP52	Poaceae 禾本科	<i>Deschampsia cespitosa</i> var. <i>festucifolia</i> Honda 髮草		歸化	2106.7	469.7	3.7	3.6
SP53	Poaceae 禾本科	<i>Deschampsia flexuosa</i> (L.) Trin. 曲芒髮草	LC	原生	990.7	361.9	5.2	4.1
SP54	Poaceae 禾本科	<i>Deyeuxia suizanensis</i> (Hayata) Ohwi 水山野青茅	NT	特有	3122.0	1227.6	10.6	5.0
SP55	Poaceae 禾本科	<i>Elymus formosanus</i> (Honda) Á. Löve 臺灣披臉草	LC	特有	2729.6	376.6	7.9	4.7
SP56	Poaceae 禾本科	<i>Elymus tsukushiensis</i> Honda 膜緣披臉草	LC	原生	1443.8	454.2	13.8	3.0
SP57	Poaceae 禾本科	<i>Festuca japonica</i> Makino 日本羊茅	EN	原生	1560.3	681.7	10.0	3.3
SP58	Poaceae 禾本科	<i>Festuca ovina</i> L. 羊茅	LC	原生	822.8	332.7	7.5	3.0
SP59	Poaceae 禾本科	<i>Festuca rubra</i> L. 紫羊茅	LC	原生	810.7	261.6	8.7	2.2





編號	科名	物種	IUCN	source	氣候區位			
					雨量 (mm)	雨量 標準差	溫度 (°C)	溫度 標準差
SP60	Poaceae 禾本科	<i>Helictotrichon abietetorum</i> (Ohwi) Ohwi 冷杉異燕麥	LC	特有	2630.3	483.2	6.6	4.0
SP61	Poaceae 禾本科	<i>Miscanthus sinensis</i> Andersson 芒	LC	原生	1490.4	704.6	13.5	4.4
SP62	Poaceae 禾本科	<i>Phleum alpinum</i> L. 高山梯牧草	LC	原生	963.7	430.8	2.3	2.8
SP63	Poaceae 禾本科	<i>Poa formosae</i> Ohwi 臺灣早熟禾	LC	特有	956.3	533.4	11.1	6.1
SP64	Poaceae 禾本科	<i>Poa nankoensis</i> Ohwi 南湖大山早熟禾	LC	特有	2664.3	300.8	7.5	4.5
SP65	Poaceae 禾本科	<i>Poa takasagomontana</i> Ohwi 高砂早熟禾	LC	特有	2635.6	342.8	7.0	3.9
SP66	Poaceae 禾本科	<i>Trisetum spicatum</i> var. <i>formosanum</i> (Honda) Ohwi 臺灣三毛草	LC	特有	2645.4	320.3	5.8	2.3
SP67	Poaceae 禾本科	<i>Yushania niitakayamensis</i> (Hayata) Keng f. 玉山箭竹	LC	原生	2949.4	495.5	9.9	3.8
SP68	Smilacaceae 菝葜科	<i>Smilax vaginata</i> Decne. 玉山菝葜	LC	原生	2218.3	768.6	8.9	3.3
SP69	Adoxaceae 五福花科	<i>Viburnum parvifolium</i> Hayata 小葉莢蒾	LC	特有	2469.3	410.9	10.9	3.7
SP70	Apiaceae 繖形科	<i>Angelica morrisonicola</i> Hayata var. <i>morrisonicola</i> 玉山當歸	LC	特有	2737.4	290.0	6.1	3.8
SP71	Apiaceae 繖形科	<i>Chaerophyllum involucreatum</i> (Hayata) K.F.Chung 山薰香	LC	特有	2673.1	337.9	6.4	2.5
SP72	Apiaceae 繖形科	<i>Chaerophyllum nanhuense</i> (C.H. Chen & J.C. Wang) K.F.Chung 南湖山薰香	EN	特有	2789.9	335.9	10.3	4.9
SP73	Apiaceae 繖形科	<i>Chaerophyllum taiwanianum</i> (Masam.) K.F.Chung 臺灣山薰香	VU	特有	2806.2	338.5	8.6	4.6
SP74	Apiaceae 繖形科	<i>Conioselinum morrisonense</i> Hayata 玉山彎柱芎	LC	特有	2546.7	264.8	8.5	3.9
SP75	Apiaceae 繖形科	<i>Pimpinella niitakayamensis</i> Hayata 玉山茴香	LC	特有	2609.4	306.0	8.3	3.7
SP76	Araliaceae 五加科	<i>Hydrocotyle setulosa</i> Hayata 阿里山天胡荽	LC	特有	2973.6	544.0	12.6	3.2
SP77	Asteraceae 菊科	<i>Ainsliaea latifolia</i> subsp. <i>henryi</i> (Diels) H. Koyama 臺灣鬼督郵	LC	原生	2238.0	971.4	11.2	4.2
SP78	Asteraceae 菊科	<i>Anaphalis morrisonicola</i> Hayata 玉山抱莖籜簫	LC	原生	2783.0	480.2	9.8	3.3
SP79	Asteraceae 菊科	<i>Anaphalis nepalensis</i> (Spreng.) Hand.-Mazz. 尼泊爾籜簫	LC	原生	1134.9	951.6	6.1	6.3
SP80	Asteraceae 菊科	<i>Artemisia kawakamii</i> Hayata 山艾	LC	特有	2669.0	284.4	7.3	3.9





編號	科名	物種	IUCN	source	氣候區位			
					雨量 (mm)	雨量 標準差	溫度 (°C)	溫度 標準差
SP81	Asteraceae 菊科	<i>Artemisia morrisonensis</i> Hayata 細葉山艾	LC	特有	2709.4	366.9	8.9	4.7
SP82	Asteraceae 菊科	<i>Artemisia nitakayamensis</i> Hayata 玉山艾	LC	特有	2789.0	337.3	4.6	0.8
SP83	Asteraceae 菊科	<i>Artemisia oligocarpa</i> Hayata 高山艾	LC	特有	2678.7	258.7	6.9	2.7
SP84	Asteraceae 菊科	<i>Aster takasagomontanus</i> Sasaki 雪山馬蘭	NT	特有	2655.7	311.1	7.9	4.8
SP85	Asteraceae 菊科	<i>Cirsium arisanense</i> Kitam. 阿里山薊	LC	特有	2884.6	392.6	8.9	2.7
SP86	Asteraceae 菊科	<i>Cirsium hosokawai</i> Kitam. 細川氏薊	LC	特有	2597.2	525.9	9.2	4.9
SP87	Asteraceae 菊科	<i>Cirsium kawakamii</i> Hayata 玉山薊	LC	特有	2695.4	353.2	6.7	3.4
SP88	Asteraceae 菊科	<i>Erigeron morrisonensis</i> Hayata var. <i>morrisonensis</i> 玉山飛蓬	LC	特有	2655.8	284.2	8.1	3.8
SP89	Asteraceae 菊科	<i>Gnaphalium involucratum</i> var. <i>simplex</i> DC. 細葉鼠麴草	LC	原生	2578.2	503.9	11.0	3.9
SP90	Asteraceae 菊科	<i>Hieracium morii</i> Hayata 森氏山柳薊	LC	特有	2656.6	280.9	7.0	2.5
SP91	Asteraceae 菊科	<i>Leontopodium microphyllum</i> Hayata 玉山薄雪草	LC	特有	2678.4	302.6	5.8	2.3
SP92	Asteraceae 菊科	<i>Myriactis humilis</i> Merr. 矮薊	LC	原生	2851.4	544.3	10.8	3.8
SP93	Asteraceae 菊科	<i>Picris hieracioides</i> subsp. <i>morrisonensis</i> (Hayata) Kitam. 玉山毛蓮菜	LC	特有	2744.2	347.1	7.8	2.4
SP94	Asteraceae 菊科	<i>Picris hieracioides</i> subsp. <i>ohwiana</i> (Kitam.) Kitam. 高山毛蓮菜	LC	特有	2798.5	296.8	5.8	2.5
SP95	Asteraceae 菊科	<i>Saussurea glandulosa</i> Kitam. 高山青木香	VU	特有	2507.2	211.4	6.4	1.7
SP96	Asteraceae 菊科	<i>Saussurea kiraisiensis</i> Masam. 奇萊青木香	VU	特有	2771.3	95.8	4.3	0.5
SP97	Asteraceae 菊科	<i>Senecio morrisonensis</i> Hayata 玉山黃菀	LC	特有	2736.8	433.5	9.4	4.6
SP98	Asteraceae 菊科	<i>Senecio nemorensis</i> var. <i>dentatus</i> (Kitam.) H. Koyama 黃菀	LC	特有	2892.1	475.6	10.0	3.0
SP99	Asteraceae 菊科	<i>Solidago virgaurea</i> var. <i>leiocarpa</i> Miq. 一枝黃花	LC	原生	1737.7	652.0	7.0	4.4
SP100	Berberidaceae 小檗科	<i>Berberis kawakamii</i> Hayata 臺灣小檗	NT	特有	2717.1	495.3	9.5	3.1
SP101	Berberidaceae 小檗科	<i>Berberis morrisonensis</i> Hayata 玉山小檗	LC	特有	2663.0	337.5	6.3	2.8





編號	科名	物種	IUCN	source	氣候區位			
					雨量 (mm)	雨量 標準差	溫度 (°C)	溫度 標準差
SP102	Boraginaceae 紫草科	<i>Trigonotis nankotaizanensis</i> (Sasaki) Masam. & Ohwi 南湖附地草	NT	特有	2655.3	292.0	7.5	3.9
SP103	Brassicaceae 十字花科	<i>Arabidopsis lyrata</i> (L.) O'Kane & Al-Shehbaz subsp. <i>kamchatica</i> (Fisch. ex DC.) Hultén 玉山筷子芥	LC	原生	1418.9	890.3	3.7	6.0
SP104	Brassicaceae 十字花科	<i>Arabis alpina</i> (L.) var. <i>formosana</i> Masam. ex S.F.Huang 臺灣筷子芥	LC	特有	2575.1	408.5	10.2	3.5
SP105	Brassicaceae 十字花科	<i>Arabis serrata</i> Franch. & Sav. 齒葉南芥	NT	原生	1862.6	542.5	9.4	4.1
SP106	Campanulaceae 桔梗科	<i>Adenophora morrisonensis</i> Hayata subsp. <i>morrisonensis</i> 玉山沙參	LC	特有	3026.0	425.9	7.9	1.9
SP107	Campanulaceae 桔梗科	<i>Adenophora morrisonensis</i> subsp. <i>uehatae</i> (Yamam.) Lammers 高山沙參	LC	特有	2705.4	298.0	6.7	2.6
SP108	Campanulaceae 桔梗科	<i>Peracarpa carnosus</i> (Wall.) Hook. f. & Thomson 山桔梗	LC	原生	1977.2	803.0	11.5	4.2
SP109	Caprifoliaceae 忍冬科	<i>Lonicera kawakamii</i> (Hayata) Masam. 川上氏忍冬	VU	特有	2641.9	299.8	7.3	3.7
SP110	Caprifoliaceae 忍冬科	<i>Scabiosa lacerifolia</i> Hayata 玉山山蘿蔔	LC	特有	2748.8	236.2	5.4	2.7
SP111	Caprifoliaceae 忍冬科	<i>Triplostegia glandulifera</i> Wall. ex DC. 三萼花草	LC	原生	909.8	747.5	10.6	4.5
SP112	Caprifoliaceae 忍冬科	<i>Valeriana fauriei</i> Briq. 纈草	LC	原生	1498.4	489.8	9.7	3.9
SP113	Caryophyllaceae 石竹科	<i>Arenaria subpilosa</i> (Hayata) Ohwi 亞毛無心菜	LC	特有	2581.9	359.1	8.6	3.2
SP114	Caryophyllaceae 石竹科	<i>Arenaria takasagomontana</i> (Masam.) S.S.Ying 高山無心菜	LC	特有	2448.0	423.4	9.8	4.9
SP115	Caryophyllaceae 石竹科	<i>Cerastium trigynum</i> var. <i>morrisonense</i> (Hayata) Hayata 玉山卷耳	LC	特有	2689.7	382.1	6.9	3.3
SP116	Caryophyllaceae 石竹科	<i>Dianthus pygmaeus</i> Hayata 玉山石竹	VU	特有	2559.8	347.5	9.2	4.1
SP117	Caryophyllaceae 石竹科	<i>Silene morrisonmontana</i> (Hayata) Ohwi & Ohashi 玉山蠅子草	VU	特有	2448.7	242.8	9.5	3.5
SP118	Crassulaceae 景天科	<i>Hylotelephium subcapitatum</i> (Hayata) H. Ohba 穗花八寶	LC	特有	2580.3	230.2	6.1	2.5
SP119	Crassulaceae 景天科	<i>Sedum erythrospermum</i> Hayata 紅子佛甲草	LC	特有	2546.0	509.9	9.9	4.6
SP120	Crassulaceae 景天科	<i>Sedum morrisonense</i> Hayata 玉山佛甲草	LC	特有	2693.4	380.4	7.2	3.3
SP121	Ericaceae 杜鵑花科	<i>Gaultheria itoana</i> Hayata 高山白珠樹	LC	原生	2620.8	444.1	9.6	3.6





編號	科名	物種	IUCN	source	氣候區位			
					雨量 (mm)	雨量 標準差	溫度 (°C)	溫度 標準差
SP122	Ericaceae 杜鵑花科	<i>Monotropa hypopitys</i> L. 錫杖花	VU	原生	884.5	391.6	7.8	2.9
SP123	Ericaceae 杜鵑花科	<i>Pieris taiwanensis</i> Hayata 臺灣馬醉木	LC	原生	2927.8	508.6	13.5	4.8
SP124	Ericaceae 杜鵑花科	<i>Rhododendron hyperythrum</i> Hayata 南湖杜鵑	LC	特有	2998.5	658.4	11.8	5.9
SP125	Ericaceae 杜鵑花科	<i>Rhododendron pseudochrysanthum</i> Hayata 玉山杜鵑	LC	特有	2764.4	479.4	8.6	3.8
SP126	Ericaceae 杜鵑花科	<i>Rhododendron rubropilosum</i> Hayata var. <i>rubropilosum</i> 紅毛杜鵑	LC	特有	2453.7	344.1	10.1	3.1
SP127	Gentianaceae 龍膽科	<i>Gentiana arisanensis</i> Hayata 阿里山龍膽	LC	特有	2630.6	282.3	6.8	2.3
SP128	Gentianaceae 龍膽科	<i>Gentiana davidii</i> var. <i>formosana</i> (Hayata) T.N. Ho 臺灣龍膽	LC	原生	2986.0	542.5	11.3	3.8
SP129	Gentianaceae 龍膽科	<i>Gentiana flavomaculata</i> Hayata var. <i>flavomaculata</i> 黃斑龍膽	LC	特有	3021.8	528.1	10.9	2.3
SP130	Gentianaceae 龍膽科	<i>Gentiana scabrida</i> Hayata 玉山龍膽	LC	特有	2619.7	454.4	7.8	3.3
SP131	Gentianaceae 龍膽科	<i>Gentiana scabrida</i> var. <i>punctulata</i> S.S.Ying 黑斑龍膽	LC	特有	2600.6	195.3	6.6	1.3
SP132	Gentianaceae 龍膽科	<i>Swertia macrosperma</i> (C.B. Clarke) C.B. Clarke 大籽當藥	LC	原生	1888.9	961.6	11.1	4.2
SP133	Gentianaceae 龍膽科	<i>Tripterospermum microphyllum</i> Harry Sm. 小葉雙蝴蝶	NT	特有	2706.3	499.6	10.9	3.6
SP134	Geraniaceae 牻牛兒苗科	<i>Geranium hayatanum</i> Ohwi 單花牻牛兒苗	LC	特有	2667.0	304.7	6.6	2.9
SP135	Grossulariaceae 茶藨子科	<i>Ribes formosanum</i> Hayata 臺灣茶藨子	LC	特有	2680.9	382.3	8.3	3.0
SP136	Hypericaceae 金絲桃科	<i>Hypericum nagasawae</i> Hayata 玉山金絲桃	LC	特有	2860.1	378.9	8.2	2.2
SP137	Lamiaceae 唇形科	<i>Clinopodium laxiflorum</i> var. <i>taiwanianum</i> T.H. Hsieh & T.C. Huang 臺灣風輪菜	NT	特有	2708.7	421.2	9.8	4.2
SP138	Lamiaceae 唇形科	<i>Origanum vulgare</i> L. 野薄荷	LC	原生	847.5	270.9	9.7	2.4
SP139	Lamiaceae 唇形科	<i>Prunella vulgaris</i> L. subsp. <i>asiatica</i> (Nakai) H.Hara var. <i>nanhutashanensis</i> S.S.Ying 高山夏枯草	VU	特有	2730.7	278.2	7.2	2.7
SP140	Onagraceae 柳葉菜科	<i>Epilobium hohuanense</i> G.Y. Yin 合歡柳葉菜	LC	特有	2519.0	224.8	7.6	3.5
SP141	Onagraceae 柳葉菜科	<i>Epilobium nankotaizanense</i> Yamam. 南湖柳葉菜	VU	特有	2701.1	301.2	9.5	4.5





編號	科名	物種	IUCN	source	氣候區位			
					雨量 (mm)	雨量 標準差	溫度 (°C)	溫度 標準差
SP142	Onagraceae 柳葉菜科	<i>Epilobium taiwanianum</i> C.J. Chen, Hoch & P.H. Raven 臺灣柳葉菜	VU	特有	2545.9	203.3	6.3	1.7
SP143	Orobanchaceae 列當科	<i>Boschniakia himalaica</i> Hook. f. & Thomson 丁座草	LC	原生	2563.1	698.5	7.5	4.3
SP144	Orobanchaceae 列當科	<i>Euphrasia nankotaizanensis</i> Yamam. 南湖碎雪草	NT	特有	2710.9	295.9	6.9	3.7
SP145	Orobanchaceae 列當科	<i>Euphrasia transmorrisonensis</i> Hayata var. <i>transmorrisonensis</i> 玉山小米草	LC	特有	2825.6	380.0	8.9	3.2
SP146	Orobanchaceae 列當科	<i>Pedicularis verticillata</i> L. 馬先蒿	LC	原生	1150.9	483.9	1.6	4.1
SP147	Oxalidaceae 酢漿草科	<i>Oxalis acetosella</i> L. subsp. <i>griffithii</i> (Edgew. & Hook f.) H.Hara var. <i>formosana</i> S.F.Huang & T.C.Huang 臺灣山酢漿草	LC	原生	3110.0	640.7	12.5	2.8
SP148	Plantaginaceae 車前科	<i>Veronica morrisonicola</i> Hayata 玉山水苦蕒	LC	特有	2625.6	323.5	7.3	3.6
SP149	Polygalaceae 遠志科	<i>Polygala japonica</i> Houtt. 瓜子金	LC	原生	1365.4	614.7	14.5	3.4
SP150	Primulaceae 報春花科	<i>Primula miyabeana</i> T. Itô & Kawak. 玉山櫻草	LC	特有	2601.0	283.0	7.0	2.4
SP151	Ranunculaceae 毛茛科	<i>Clematis montana</i> Buch.-Ham. ex DC. 繡球藤	LC	原生	1021.5	653.0	11.2	3.9
SP152	Ranunculaceae 毛茛科	<i>Ranunculus formosa-montanus</i> Ohwi 蓬萊毛茛	LC	特有	2771.6	537.0	6.9	3.3
SP153	Ranunculaceae 毛茛科	<i>Ranunculus junipericola</i> Ohwi 檜林毛茛	NT	特有	2722.0	360.5	7.2	3.6
SP154	Ranunculaceae 毛茛科	<i>Ranunculus taisanensis</i> Hayata 鹿場毛茛	LC	特有	2814.9	475.7	9.8	3.0
SP155	Ranunculaceae 毛茛科	<i>Thalictrum rubescens</i> Ohwi 南湖唐松草	VU	特有	2677.2	189.7	5.7	2.3
SP156	Ranunculaceae 毛茛科	<i>Thalictrum urbainii</i> Hayata var. <i>urbainii</i> 傅氏唐松草	LC	特有	3166.7	560.1	14.1	5.5
SP157	Rosaceae 薔薇科	<i>Cotoneaster subadpressus</i> T.T. Yu 高山柃子	VU	原生	778.8	424.3	10.4	3.5
SP158	Rosaceae 薔薇科	<i>Potentilla leuconota</i> D.Don 玉山金梅	LC	原生	1211.0	883.3	10.6	4.3
SP159	Rosaceae 薔薇科	<i>Potentilla matsumurae</i> Th. Wolf 高山翻白草	LC	特有	2056.2	570.8	6.0	4.5
SP160	Rosaceae 薔薇科	<i>Potentilla tugitakensis</i> Masam. 雪山翻白草	EN	特有	2554.4	239.4	5.0	1.3
SP161	Rosaceae 薔薇科	<i>Rosa sericea</i> var. <i>morrisonensis</i> (Hayata) Masam. 玉山野薔薇	LC	特有	2703.3	333.3	6.5	3.4





編號	科名	物種	IUCN	source	氣候區位			
					雨量 (mm)	雨量 標準差	溫度 (°C)	溫度 標準差
SP162	Rosaceae 薔薇科	<i>Rosa transmorrisonensis</i> Hayata 高山薔薇	LC	原生	2682.0	386.5	8.7	2.9
SP163	Rosaceae 薔薇科	<i>Rubus pungens</i> var. <i>oldhamii</i> (Miq.) Maxim. 毛刺懸鉤子	LC	特有	1490.9	412.0	11.4	2.3
SP164	Rosaceae 薔薇科	<i>Rubus rolfei</i> S. Vidal 高山懸鉤子	NT	原生	2392.2	680.7	11.7	3.7
SP165	Rosaceae 薔薇科	<i>Sibbaldia procumbens</i> L. 五蕊莓	LC	原生	1092.5	588.4	1.0	3.2
SP166	Rosaceae 薔薇科	<i>Sorbus randaiensis</i> (Hayata) Koidz. 巒大花楸	LC	特有	2863.8	564.7	8.7	3.2
SP167	Rosaceae 薔薇科	<i>Spiraea formosana</i> Hayata 臺灣繡線菊	LC	特有	2760.9	490.4	9.9	3.0
SP168	Rosaceae 薔薇科	<i>Spiraea hayatana</i> H.L. Li 假繡線菊	LC	特有	2476.1	381.8	7.8	2.3
SP169	Rosaceae 薔薇科	<i>Spiraea morrisonicola</i> Hayata 玉山繡線菊	LC	特有	2586.8	340.3	6.8	2.3
SP170	Rubiaceae 茜草科	<i>Galium echinocarpum</i> Hayata 刺果豬殃殃	LC	特有	2576.6	376.3	10.0	4.1
SP171	Rubiaceae 茜草科	<i>Galium fukuyamai</i> Masam. 福山氏豬殃殃	VU	特有	2517.8	506.8	14.5	4.9
SP172	Rubiaceae 茜草科	<i>Galium gracilens</i> (A. Gray) Makino 琉球豬殃殃	LC	原生	1702.3	483.9	14.9	2.9
SP173	Rubiaceae 茜草科	<i>Galium nankotaizanum</i> Ohwi 南湖大山豬殃殃	EN	特有	2672.0	230.8	7.0	3.2
SP174	Salicaceae 楊柳科	<i>Salix taiwanalpina</i> var. <i>takasagoalpina</i> (Koidz.) S.S.Ying 高山柳	LC	特有	2681.7	307.9	8.3	5.9
SP175	Saxifragaceae 虎耳草科	<i>Astilbe macroflora</i> Hayata 阿里山落新婦	LC	特有	2667.1	372.9	8.2	4.4
SP176	Violaceae 堇菜科	<i>Viola adenothis</i> Hayata var. <i>adenothis</i> 喜岩堇菜	LC	原生	2838.5	503.8	11.8	2.9
SP177	Violaceae 堇菜科	<i>Viola biflora</i> L. 雙黃花堇菜	NT	原生	1112.3	491.9	3.2	3.8
SP178	Violaceae 堇菜科	<i>Viola senzanensis</i> Hayata 尖山堇菜	LC	特有	2664.6	309.5	7.0	3.5





二、期中審查意見回覆

會議時間：2022/08/11

主持：羅淑娟組長

審查委員：林幸助老師、劉和義老師、陳子英老師

審查委員建議：

劉和義委員	
意見	回覆
1. 在 GLORIA 計畫中，臺灣是第一個熱帶亞熱帶的樣區，他們原本預估是溫度不太有變化，可能雨量有些差異。	感謝委員意見。根據團隊研究成果，雨量確實是目前影響植群變遷的主要因子。
2. 因為臺灣是季風氣候，山峰的四個方位可能有差異。建議可以比較四個方位的差異。	感謝委員意見，在期末報告時，團隊會嘗試使用方位來探討。
林幸助委員	
意見	回覆
1. 建議把前三年的結果簡述至期中報告中。如果可以附上今年發表在 Scientific Reports 內容的一些成果，可以更完整。	感謝委員意見，將在期末報告展示過往以發表之成果。
2. 期末報告可以多一些溫度和植物變化的分析以增加報告的完整性。其他大概是技術性問題。	將於期末報告加以修正。
3. 使用 ERA5 的溫度做推估，那可否與現場的土壤溫度做比對？	感謝委員意見，由於土壤溫度的數值缺值過多，另外期末報告考量採用 SPEI 指標檢視區域的乾旱程度，是故可能仍舊採用 ERA5 的氣候資料作為分析主軸，以維持資料尺度與產出的一致性。
4. 圖 21 是否可以更進一步的分析，做更詳細的資料 EVI 跟雨量的比較。	將於期末報告進一步分析。
5. 摘要必須要補充說明例如 ZNF 那些簡稱。	感謝委員意見。由於 GLORIA 的要求，多數山峰是無名山峰，僅有代號表示，並非特定名稱之縮寫。
6. 圖 1 的說明要註明清楚山峰區域代號。	已於圖 1 修正。





7. 圖 3 是否可以和圖 2 整合？	圖 3 的主要功能是講解 10X10 樣區取樣與調查方式，故不適合合併至圖 2 中。
8. P16 突然寫到一個圖 3，p21 整段建議和 p16 合併，閱讀上比較完整。	感謝委員意見，由於 GLORIA 山峰樣區要求之調查方式繁複。因此區分為樣區設置以及調查方法分別撰寫。期末報告將嘗試將兩者結合。
陳子英委員	
意見	回覆
調查團隊蠻辛苦的，世界上有 100 多個山峰在做。	感謝委員肯定。
期末是否可以針對植物的反應為何？特別是針對物種的生態特性。在這種季節內的缺水與其時間長短對植物反應為何？希望期末可以呈現。	感謝委員意見，將於期末報告進一步分析。
植物在不同地點，不同山峰、坡面裡的變化為何？	感謝委員意見，將於期末報告進一步分析。
玉山箭竹在這樣的山峰植群裡扮演怎樣的角 色？與其他物種間的關係為何？	感謝委員意見，種間關係也是目前缺乏基礎資料研究的一個部分。將嘗試看看是否有方法可以探究種間關係。





三、期末審查意見回覆

會議時間：2022/12/19

主持：羅淑娟組長

審查委員：謝長富老師、劉和義老師、陳子英老師

審查委員建議：

謝長富委員	
意見	回覆
1. 經過多年研究，是否比較 GLORIA 在歐洲的使用成效與在台灣亞熱帶山區使用的成效，以了解其優缺點？	感謝委員意見，已補充於綜合討論內。
2. 氣候資料取自於歐洲中期氣候預報中心，該資料有關台灣地區的原始資料來源。	該資料源自於歐洲中期氣候預報中心的全球逐日預報，再以實際的觀測值進行校正。其產出方法全球一致。
3. 建議補充未來展望	已新增第肆章：結論與未來展望。
劉和義委員	
意見	回覆
1. 物種對於濕度與濕度的喜好分群分析顯示其與移動方向與豐盛度有關，但物種是否確實在那一分群，可能需要進一步分析。	感謝委員意見。已於物種氣候區位分析中提及。
陳子英委員	
意見	回覆
1. 「台灣高海拔山區草原生態系調查與監測計畫」是全球高山型 GLORIA 計畫中,在臺灣施行的第一個熱帶與亞熱帶的計畫，由於都是選擇人煙罕至的高山做調查與監測，調查團隊是很辛苦，但是與全球氣候變遷相關，因此與動態樣區一樣是值得往下持續研究的題目。	感謝委員肯定。
2. 氣候變遷有溫度升高及因季節或年度乾溼所形成的極端氣候，計畫中有以嗜熱化和嗜濕化進行不同山峰物種群間的分析，這是很好的呈述，而在嗜熱與嗜濕植物似乎在第二次到第三次調查之間比較明顯，同時氣候也反映在第二次到第三次	感謝委員肯定。





<p>調查之間有明顯的乾季變化，這是很好的結果。</p>	
<p>3. 台灣所處的位置為潮濕的熱帶與亞熱帶，年降水及霧氣量極高，一旦年降水量與霧氣量減少或許對物種形成限制，例如台灣有歐洲所沒有的矮竹，而矮竹只出現在降水量高的地區，並不存在大陸的華北及東北地區，這種現象普遍存在東亞東邊靠海洋的熱帶、亞熱帶與暖溫帶山頂，玉山箭竹在台灣的山峰上，是否扮演溫度緩衝的角色或對乾季明顯的反映，未來可以再加探討。</p>	<p>感謝委員意見，未來將針對物種的各項功能性狀，更深入探究物種的生態區位，以釐清氣候變遷下高山植群的變化特性。</p>
<p>4. 作者有提出”參、研究結果與討論”，但卻沒有結論與建議，由於本計畫屬於長期動態的監測計畫，今年又是4年期的期末報告，建議可提出總結並提出未來展望。</p>	<p>感謝委員意見，已新增第肆章：結論與未來展望。</p>

