



公開

密件、不公開

執行機關(計畫)識別碼：100901e500

行政院農業委員會林務局109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
(2/3) (第2年/全程3年)

(英文名稱) Investigation and monitoring high
mountain grassland ecosystem in
Taiwan (2/3)

計畫編號：109農科-10.9.1-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 109年1月1日 至 109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



1090533



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，主要複查雪山區域與合歡奇萊區域共計六座山峰。

本研究發現2010 - 2019年間，大水窟與雪山地區的溫度顯著上升，年均溫的增幅在 0.032-0.084°C /year度間。其中，主要的增溫現象集中在冬季，同時也造就寒冷天數下降。此外，我們發現2018年春季的極端高溫-低降雨氣象事件，同時大水窟與雪山區域植群的EVI值在2018年驟降之後，2019年也同樣受到影響。我們發現在2013-2014年的調查中，大水窟與雪山區域的物種數略微上升，但未達統計上的顯著；同時在2019-2020年的調查中，各目標山峰的物種數多樣性普遍下降，顯示物種數降低並非是單一地區的事件；而雪山區域距離大水窟區域北方近100公里遠，這代表物種數降低的現象有可能普遍發生在臺灣高山地區。自氣候區位分析與植群環境偏好指標中，發現多數山峰區域的物種組成偏向較熱、較乾燥的方向發展移動，顯示除了暖化之外，缺水也可能是影響高山植群變遷的重要因子。

本年度原預計完成合歡奇萊區域的複查，但由於近日高山遊客大幅增加，部分需要申請進入的生態保護區變得一位難求。加上自8月份開始，氣候型態不穩，多次調查行程因為氣候型態無法進行調查而取消。在本年度僅在9月中完成合歡奇萊區域的SMN山峰，然而調查當下許多一年生植物已呈現乾枯狀態，而禾本科與莎草科植物在落果後，部分物種難以區分鑑定，因此調查資料可能會有誤差，因此預計於明年度重新複查。此外，有鑑於溫度紀錄儀的故障率偏高，本年度已提前完成南湖區域(2021年度計畫區域)的溫度紀錄儀替換工作。

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, totaling three summits plot was resurvey in the SYU. The result showed that the temperature increased significantly in DAS and SYU from 2010 to 2019, with the average annual





temperature warming rate was 0.032-0.084°C/year in six summits. Otherwise, the main warming phenomenon is concentrated in winter, which also caused a decrease in the number of cold days. Also, we found that the extremely high temperature and low rainfall meteorological events in the spring of 2018 and the EVI value abnormally drop in the DAS and SYU region from 2018 to 2019. The species number increased slightly in the second monitoring cycle, but there was no statistically significant difference from the first monitoring cycle. In the resurvey of 2019-2020, the species diversity of each summit was generally decreasing. The decline of species diversity in the alpine region might not be a regional event because the SYU region is nearly 100 kilometers from the DAS region. The phenomenon indicates that the species diversity decrease may generally occur in the alpine region of Taiwan. Furthermore, the EVI long-term trend had an abnormal drop in 2018. The phenomenon was accompanying with water shortage and extremely high temperature in the growing season, which showed that extreme climate events might cause plant growth decline. Although the temperature was increasing significantly, the species diversity was slightly increasing in the first resurvey but significantly decreased in the third survey. We suggest that the increase in temperature and the extension of the growing season might lead to the expansion of *Y. niitakayamensis*. The expansion combined with extreme climate events might cause species diversity decline.

三、計畫目的：

本年度目標區域為合歡奇萊區域以及雪山區域，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、確認去年度大水窟、合歡奇萊及雪山部分區域的新款溫度記錄儀耐候性、拍攝樣區環境狀況與物種照片。以合歡奇萊區域以及雪山區域的初步調查成果擴充現有資料庫，並結合本次調查資料與過往資料分析區域之物種多樣性受氣候變遷衝擊影響。

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，自去年度(108年)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



1090533



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、計畫報告、採集記錄及野外調查紀錄。
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：野外調查資料將能完整呈現究竟臺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：

本年度原預計完成合歡奇萊區域的複查，但由於近日高山遊客大幅增加，部分需要申請進入的生態保護區變得一位難求。加上自8月份開始，氣候型態不穩，多次調查行程因為氣候型態無法進行調查而取消。在本年度僅在9月中完成合歡奇萊區域的





SMN山峰，然而調查當下許多一年生植物已呈現乾枯狀態，而禾本科與莎草科植物在落果後，部分物種難以區分鑑定，因此調查資料可能會有誤差，因此預計於明年度重新複查。此外，有鑑於溫度紀錄儀的故障率偏高，本年度已提前完成南湖區域(2021年度計畫區域)的溫度紀錄儀替換工作。

六、結論：

2010 - 2019年間，大水窟與雪山地區的溫度顯著上升，年均溫的增幅在 $0.032 - 0.084^{\circ}\text{C}/\text{year}$ 度間。其中，主要的增溫現象集中在冬季，同時也造就寒冷天數下降。此外，我們發現2018年春季的極端高溫-低降雨氣象事件，同時大水窟與雪山區域植群的EVI值在2018年驟降之後，2019年也同樣受到影響。我們發現在2013-2014年的調查中，大水窟與雪山區域的物種數略微上升，但未達統計上的顯著；同時在2019 - 2020年的調查中，各目標山峰的物種數多樣性普遍下降，顯示物種數降低並非是單一地區的事件；而雪山區域距離大水窟區域北方近100公里遠，這代表物種數降低的現象有可能普遍發生在臺灣高山地區。自氣候區位分析與植群環境偏好指標中，發現多數山峰區域的物種組成偏向較熱、較乾燥的方向發展移動，顯示除了暖化之外，缺水也可能是影響高山植群變遷的重要因子。

本年度原預計完成合歡奇萊區域的複查，但由於近日高山遊客大幅增加，部分需要申請進入的生態保護區變得一位難求。加上自8月份開始，氣候型態不穩，多次調查行程因為氣候型態無法進行調查而取消。在本年度僅在9月中完成合歡奇萊區域的SMN山峰，然而調查當下許多一年生植物已呈現乾枯狀態，而禾本科與莎草科植物在落果後，部分物種難以區分鑑定，因此調查資料可能會有誤差，因此預計於明年度重新複查。此外，有鑑於溫度紀錄儀的故障率偏高，本年度已提前完成南湖區域(2021年度計畫區域)的溫度紀錄儀替換工作。

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) 台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 (1994) 太魯閣國家公園高山群落之調查。內政部營建署太魯閣國家公園管理處。
- 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。
- 陳玉峰。1994。太魯閣國家公園高山群落之調查。內政部營建署太魯閣國家公園管理處。
- 陳玉峰。1994。太魯閣國家公園高山群落之調查。內政部營建署太魯閣國家公園管理處。





- 陳玉峰。1994。太魯閣國家公園高山群落之調查。內政部營建署太魯閣國家公園管理處。
- 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。
- 廖敏君、邱清安、歐辰雄、呂金誠 (2005) 雪山東峰玉山箭竹開花物候之探討。國家公園學報 15(1): 29-44。
- 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。
- 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. *Contemp. Probl. Ecol.*, 11, 1–12.
- 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., Allen, S., 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.
- Pauli, H., Gottfried, M., Dullinger, S., Abdaladze, O., Akhalkatsi, M., Alonso, J. L. B., ... and Ghosn, D. (2012). Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits. *Science* 336(6079): 353–355.
- 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.
- Kulonen, A., Imboden, R. A., Rixen, C., Maier, S. B., and S. Wipf (2018) Enough space in a warmer world? Microhabitat diversity and small-scale distribution of alpine plants on mountain summits. *Diversity and Distributions* 24(2): 252–261.
- 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.
- 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? *Biodivers. Conserv.*, 28, 3575–3596.
- Rasmann, S., Pellissier, L., Defossez, 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 Biosyst.*, 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.
- 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.
- 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 109 農科-10.9.1-務-e5

臺灣高海拔山區草原生態系調查與監測 (2/3)
成果報告
Investigation and monitoring high mountain grassland
ecosystem in Taiwan (2/3)

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 109 年 1 月 1 日 至 109 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







目錄

目錄.....	I
表目錄.....	III
圖目錄.....	IV
摘要.....	VI
壹、前言.....	1
貳、研究方法.....	4
一、GLORIA 樣區之設置方法.....	4
(一) 目標區域內之山峰選擇依據.....	4
(二) 山峰最高點之標定.....	6
(三) 主測量線之測定.....	7
(四) 1 m × 1 m 樣區設置.....	7
(五) 山峰區域分區之設置.....	7
(六) 10 m × 10 m 樣區之設置.....	8
二、GLORIA 調查方法.....	8
(一) 1 m × 1 m 樣區之調查.....	8
(二) 山峰區域分區之調查.....	11
(三) 10 m × 10 m 樣區之調查.....	11
(四) 溫度紀錄儀之設置.....	11
(五) 相片記錄.....	12
三、分析方法.....	13
(一) 植群分析.....	13
(二) 衛星影像分析.....	14
(三) 植物功能性狀建立.....	16
(四) 物種氣候區位.....	17
(五) 嗜熱指標與濕潤偏好指標.....	18
參、研究結果與討論.....	19





一、 氣候變化	19
二、 植生指標變化	21
三、 雪山地區的植群組成與變化	22
四、 雪山區域與大水窟區域植群多樣性變化	24
五、 物種氣候區位	25
六、 雪山區域植物功能性狀	27
肆、 結論與後續工作.....	28
伍、 參考文獻.....	29
附錄一、雪山地區 2009-2020 年植群變遷比較	76
附錄二、期中審查意見回覆	78
附錄三、期末審查意見回覆	82





表目錄

表 1. GLORIA 目標區域及山峰之代碼	33
表 2. GLORIA 區域目標山峰之分區樣區面積大小	33
表 3. 三種不同溫度記錄儀之比較.....	34
表 4. 臺灣中部山區植群分化與氣候帶(Su, 1984).....	35
表 5. 雪山區域中目標山峰的各方位土壤日均溫、日最高溫、日最低 溫與 ERA5 氣溫資料迴歸模式之解釋係數與 p 值.....	35
表 6. 大水窟區域與雪山區域六座山峰在 2010-2019 年間年均溫線性 迴歸之結果.....	36
表 7. 大水窟區域與雪山區域六座山峰在 2010-2019 年間季節均溫線 性迴歸之結果.....	36
表 8. 2020 年雪山區域各山峰之 5m 與 10m 樣區地表類型統計	37
表 9. 2009–2020 年雪山區域調查總物種名錄表.....	39
表 10. 2020 雪山地區三座目標山峰方位樣區對應分析結果.....	44
表 11. 2020 雪山地區三座目標山峰方位樣區的物種組成分析.....	44
表 12. 2009–2020 年雪山地區三座目標山峰方位樣區的物種多樣性指 數.....	46
表 13. 2008–2019 年大水窟與雪山區域物種編號表(配合圖 22–圖 24)	48
表 14. 2009–2020 年雪山地區的植物功能性狀簡表.....	51





圖目錄

圖 1. 目標區域於臺灣之分布圖。.....	55
圖 2. 多峰調查法之樣區設置圖.....	56
圖 3. 10m × 10 m 樣區設置位置.....	57
圖 4. 3 × 3 樣區群的樣區編號與測量點的數字序號.....	57
圖 5. 一平方公尺網格框.....	58
圖 6. 10 m × 10 m 樣區內之調查線設置圖.....	58
圖 7. 10 m × 10 m 樣區之起始調查線及調查方向.....	59
圖 8. 溫度計錄儀埋設位置圖.....	59
圖 9. 溫度記錄儀加固設計示意圖.....	60
圖 10. 樣區代號格式黑板範例圖.....	60
圖 11. 2009–2020 年雪山目標區域(SYU)三座目標山峰四方位量測之溫度完整度.....	61
圖 12. 雪山目標區域(SYU)三座目標山峰之溫度(2009–2019 年)與年雨量(1979–2019 年)變化圖.....	62
圖 13. 雪山目標區域(SYU)三座目標山峰之季節均溫變化.....	63
圖 14. 雪山目標區域(SYU)三座目標山峰之季節降雨量變化.....	63
圖 15. 雪山與大水窟區域六座目標山峰之年均溫變化趨勢，灰色區域為 95%信賴區間.....	64
圖 16. 雪山與大水窟區域六座目標山峰之冬季均溫變化趨勢，灰色區域為 95%信賴區間.....	64
圖 17 2003–2020 年雪山地區與大水窟地區六座監測山峰之增強型植生指標(EVI)的長期趨勢。.....	65
圖 18 2003–2020 年 SYU(雪山)地區三座監測山峰之增強型植生指標(EVI)的季節變化趨勢。.....	66
圖 19 2003–2019 年大水窟與雪山區域六座監測山峰之增強型植生指標三時期的年間季節變化.....	67
圖 20 2020 年雪山地區三座山峰的方位樣區植群組成之對應分析...68	





圖 21. 大水窟區域山峰(SEN、SUN、YAT)以及雪山區域山峰(DSH、JNJ、TSW)生物多樣性指數比較；(a) 物種豐富度 (b) Shannon 多樣性指數 (c) Simpson 多樣性指數。.....	69
圖 22. 大水窟與雪山區域物種之平均年均溫(average annual temperature)區位.....	70
圖 23. 大水窟與雪山區域物種之溫量指數(Warmth index)範圍.....	71
圖 24. 大水窟與雪山區域物種之平均年降雨量範圍.....	72
圖 25. 大水窟與雪山區域植群嗜熱指數在三調查時期之範圍，A:2008-2009，B:2013-2014，C:2019-2020。.....	73
圖 26. 大水窟與雪山區域植群濕潤偏好指數在三調查時期之範圍，A:2008-2009，B:2013-2014，C:2019-2020。.....	73
圖 27. 大水窟區域三座山峰物種在最適溫度區位(年均溫中位數)與最適雨量區位(年降雨量中位數)在三次調查時期之聯合物種機率密度圖，A:2008-2009，B: 2013-2014，C: 2019-2020。.....	74
圖 28. 雪山區域三座山峰物種在最適溫度區位(年均溫中位數)與最適雨量區位(年降雨量中位數)在三次調查時期之聯合物種機率密度圖，A:2008-2009，B:2013-2014，C:2019-2020。.....	75





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，主要複查雪山區域與合歡奇萊區域共計六座山峰。本研究發現 2010-2019 年間，大水窟與雪山地區的溫度顯著上升，年均溫的增幅在 0.032-0.084°C/year 度間。其中，主要的增溫現象集中在冬季，同時也造就寒冷天數下降。此外，我們發現 2018 年春季的極端高溫-低降雨氣象事件，同時大水窟與雪山區域植群的 EVI 值在 2018 年驟降之後，2019 年也同樣受到影響。我們發現在 2013-2014 年的調查中，大水窟與雪山區域的物種數略微上升，但未達統計上的顯著；同時在 2019-2020 年的調查中，各目標山峰的物種數多樣性普遍下降，顯示物種數降低並非是單一地區的事件；而雪山區域距離大水窟區域北方近 100 公里遠，這代表物種數降低的現象有可能普遍發生在臺灣高山地區。自氣候區位分析與植群環境偏好指標中，發現多數山峰區域的物種組成偏向較熱、較乾燥的方向發展移動，顯示除了暖化之外，缺水也可能是影響高山植群變遷的重要因子。

本年度原預計完成合歡奇萊區域的複查，但由於近日高山遊客大幅增加，部分需要申請進入的生態保護區變得一位難求。加上自 8 月份開始，氣候型態不穩，多次調查行程因為氣候型態無法進行調查而取消。在本年度僅在 9 月中完成合歡奇萊區域的 SMN 山峰，然而調查當下許多一年生植物已呈現乾枯狀態，而禾本科與莎草科植物在落果後，部分物種難以區分鑑定，因此調查資料可能會有誤差，因此預計於明年度重新複查。此外，有鑑於溫度紀錄儀的故障率偏高，本年度已提前完成南湖區域(2021 年度計畫區域)的溫度紀錄儀替換工作。







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 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，高山生態系為全球均有分佈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，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聚合邊界，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，臺灣也是熱帶與亞熱帶氣候交界帶，特殊的高山地理條件保留了許多冰河時期孑遺植物物種，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 (2019 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。兩次複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。2015–2017 年是強烈的聖嬰年，各年度均溫屢破歷史紀錄，連續三年的異常高溫是否加劇高山植群變化仍屬未知。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。在 2019 年，本研究團隊已完成大水窟地區的三座山峰樣區複查，並完成初步分析，本年度(2020 年)預計完成雪山區域與合歡奇萊區域的第二次複查，並加入去年大水窟區域(DAS)調查成果，綜合分析各區域山峰在三次調查中的植群變遷與受到氣候變遷的衝擊，並探討其組成變化。





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，並根據最新版(2015 年第五版)。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。台灣位處亞熱帶，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。

本年度複查兩個目標區域(各山峰代碼請參見第 33 頁表 1)，第一個目標區域為奇萊合歡目標區域 (TW-HQM)，第二為雪山目標區域 (TW-SYU)。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，交通之便利性成為台灣最容易親近的高山地區。

奇萊合歡目標區域的三座山峰(第 33 頁表 2)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。

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





因大甲溪流域及大安溪流域的雲層，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(第 33 頁表 2) 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。

(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 (第 56 頁圖 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。這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:

(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 (第 56 頁圖 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(第 33 頁表 2)。

(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 (第 57 頁圖 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緊繃，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 (第 57 頁圖 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 %。

(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 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 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 (第 58 頁圖 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富度(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富度，以豐富度目測法(visual abundance estimation) 來估計每種植物的豐富度，此法是以 Braun-Blanquet 的等級分級，將物種依照豐富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 (第 58 頁圖 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 (第 59 頁圖 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。

(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(第 59 頁圖 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。溫度紀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。去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。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。因此去年度評估新的溫度記錄儀 (第 34 頁表 3)，並將各山峰區的 M-Log5W 無線溫度記錄儀實驗性替換成 HOBO-MX2303/MX2304 藍芽土溫紀錄儀，並於外層加固，增加其耐候性 (第 60 頁圖 9)。

(五) 相片記錄

依工作手冊的規定，須以標準 24×36 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 28–85 mm 變焦鏡頭拍攝。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。

三、分析方法

(一) 植群分析

本年度的主要複查雪山區域與合歡奇萊區域的六個目標山峰，我們參照 Tichý and Chytrý (2006)，利用指標物種分析法(indicator species analysis)來分析目標區域的物種組成特性，以 24 個山峰區域樣區作為單位進行植群組成比較。指標物種分析法延伸自 2×2 卡方獨立檢定，以物種在各群體間出現的有無，計算群體內各物種對該群的忠誠度。指標物種法計算所得之 phi 係數代表該物種對群體之關聯性，值域介於 1 至 -1 之間，Tichý and Chytrý (2006) 建議以 0.22 作為忠誠種的門閥值。除了忠誠度之外，我們同時計算各山峰中各物種的恆存度以及優勢度。恆存度為物種出現在各山峰樣區之頻度，優勢度則以 Br-Bq 等級轉換為優勢度，再計算各物種之平均優勢度。

將各樣區之物種重要值矩陣匯入 PC-ORD 5 植群分析軟體，並使用指標物種分析法建立物種分化表，並評估各山峰區域的優勢種、特徵種與恆存種。其優勢種為各山峰內平均重要值於 50 以上之物種，特徵種門檻值為 phi 係數數大於 0.25 之物種；恆存種則是恆存度大於 50% 之物種。最後為了解各山峰的物種組成關係，我們以對應分析(correspondence analysis, CA)來檢視各樣區的變異趨勢。

除了 2020 年的植群組成分析之外，為了瞭解目標區域三個年度間的植群組成變化，比較各目標山峰的物種組成增減之外，我們另外使用物種數量、Shannon 均勻度指數、Shannon 多樣性指數、Simpson 多樣性指數、豐富度(abundance)以及總覆蓋度比較三年度的變化。各物種的豐富度變化計算，以 Braun-Blanquet 等級為基礎，統計兩期調查間等級產生變化的物種數量，例如自非常稀少(r!)提升至常見(c)或從優勢(d)降為分散(s)。





(二) 衛星影像分析

由於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每 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>)。此外本研究自 2008–2009 年陸續在大水窟與雪山地區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 M-log5W 與 Hobo UTBI-001 Tidbit v2 兩款溫度紀錄儀；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。去年進行大水窟區域複查，發現土溫計測量結果在 2013–2018 間有大量缺失值，然而氣候仍是重要因子。為了彌補溫度空值，我們使用歐洲中期天氣預報中心 (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF) 提供的 ERA5 氣候資料，該資料涵蓋全球，包括自 1979 年至今的逐日氣候資料，解析度為 0.25 度(在臺灣約為 25 km)，本年度雪山及合歡奇萊亦使用 ERA5 資料做為分析輔助。

所有衛星影像資訊都在 Google Earth Engine (GEE) 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 2003-01-01 至 2020-06-30 期間的衛星波段值。分別有 Terra 衛星的增強植生指標(Enhanced Vegetation Index, EVI)以及





影像品質；1979–2020 年，ERA5 的地表 2 公尺平均溫度以及日累積雨量。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：

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

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，並以週為單位，用線性回歸方式填補少數缺失值。

氣候資料的部分，由於 ERA5 的影像網格太大，溫度變化可能與三座目標山峰的實際溫度有所差異。因此，我們將個方位既有的土溫資料求得逐日平均溫，再與 ERA5 的逐日溫度資料分別對各方位的逐日溫度資料作線性迴歸，求得迴歸式後，再用 ERA5 的溫度資料與迴歸式填補日均溫的缺值，最後計算目標山峰的日均溫、日最高溫、日最低溫、月均溫、季節均溫以及年均溫等各項溫度參數。至於累積雨量則使用原始的 ERA5 數據。最後，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)，解





構 EVI 與溫度的季節性變動、長期趨勢以及隨機項，再使用指數型迴歸分析探究 EVI 值與溫度、累積雨量的關係。

(三) 植物功能性狀建立

植物在適應環境的過程中，發展出不同性狀以克服環境逆境。功能性狀即是將植物適應環境的能力、生理或形態構造與環境氣候條件串聯的性狀。透過一物種的功能性狀，可以判斷得知該物種的生態特性與區位(Kraft et al., 2015)。雖然本研究是探究氣候變遷與植群變遷之關聯性，然而，植群變遷牽涉許多因素，若非進一步的探討其生理生態結構，無法完全釐清。因此，我們希望透過植群功能型的建構，來探究大水窟區域的植群變動趨勢原因。我們初步選用幾項具代表性的功能性狀，並依照大水窟區域的植物名錄，建構各個物種的功能性狀資料庫。目前建構中的性狀有植物生長型、Raunkiaer's 植物生活型、光合作用途徑、繁殖形式、開花季節、落葉性、葉形態、果實形態以及分布海拔等。

植物生長型區分為：喬木、灌木、草本、蕨類與石松類，另外將禾本科與莎草科植物獨立為禾莎類。Raunkiaer's 植物生活型意指植物為適應各種氣候所具有之特殊習性，主要是根據植物對不良環境抵抗力及適應性分類，分類依據根據植物的生存芽位置，可區分為挺空植物或地上植物(phanerophytes)、地表植物(chamaephytes)、半地中植物(hemicryptophytes)、地中植物(cryptophytes)以及一年生種子植物(therophytes)。光合作用途徑則區分為 C3、C4 以及景天酸(CAM)循環植物。開花季節則以春(3-5 月)、夏(6-8 月)、秋(9-11 月)、冬(12-2 月)為主。葉形態再系分為葉形、葉緣以及葉面是否有毛。建構功能性狀參照中研院標本館(HAST)與台灣大學標本館(TAI)之數位化標本影像、臺灣植物誌第二版、臺灣生命大百科網站 (<https://taieol.tw/>)、臺灣植物資訊整合查詢系統 (<http://tai2.ntu.edu.tw/index.php>)等資料。





(四) 物種氣候區位

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.chelsa-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，在台灣約為 800 m)。此外，我們也利用 CHELSA 的 1–12 月均溫資料，計算溫量指數(warmth index; Kira, 1945)，計算式如下：

$$WI = \sum T_i - 5 \text{ for months in which } T_i > 5$$

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，我們以四分位數的第一四分位數(Q1)與第三四分位數(Q3)作為物種氣候區位主要範圍，再進行後續分析。此外，由於物種在特定環境梯度上經常呈現偏峰分布，我們利用無母數事後檢定 Median Test，對各物種的氣候區位做組間差異比較。同時，我們參考 Su (1984) 的臺灣中部植群帶狀分化研究(第 35 頁表 4)，標示年均溫與溫量指數





圖的植群分化界線。最後，我們結合氣候區位與物種豐富度的三期調查變化，檢視在十一年間的三期調查中，氣候變遷如何影響植群組成。

(五) 嗜熱指標與濕潤偏好指標

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

一、氣候變化

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，但也威脅到適應冰冷環境的原生種與特有種(IPCC 2020)。

自 2009 年 6 月至 2020 年 6 月計有 133 個月份，目標山峰各方位的溫度資料完整度(有資料的月份/調查期間總月份數×100%)在 20.8–100%之間(第 61 頁圖 11)，目標山峰的平均溫度資料完整度為 DSH：58.5%，JNJ：55.5%，TSW：92.7%，僅 TSW 山峰有較完整的溫度資料。為了彌補資料的缺遺，我們利用 ERA5 對各方位既有的日均溫做迴歸分析，並利用迴歸模式推估各方位的溫度缺值。各模式的解釋係數(R-square)與 p 值詳見表 5，所有迴歸模式都呈顯著，而解釋係數多在 0.7 以上，顯示推估結果具有一定的參考價值。此外，由於目標區鄰近沒有氣象測站，因此我們同樣以 ERA5 的雨量資料作為目標山峰降雨量。

綜合評估雪山地區的各项氣候參數(第 62 頁圖 12)，整體而言，各山峰的溫度有逐步增加的趨勢，從 2010 年到 2019 年，年均溫的增幅約在 0.3–0.5 度之間。比較各山峰的溫度差異，TSW 山峰的年均溫最低，其次是 DSH 山峰，最高的是 JNJ 山峰，恰與各山峰的高度成反比(第 33 頁表 2)，顯示海拔高度仍是主導溫度的主因。除了年均溫之外，DSH 與 JNJ 山峰的年均最高溫、年均最低溫同樣明顯上升的趨勢，年均最高溫的上升幅度約為 0.5–1 度，年均最低溫上升幅度約為 0.2–0.3 度；而 TSW 的年均最高溫的趨勢持平，但年均最低溫卻大幅上升將近一度，甚至在 2014–2019 年間，數值十分接近海拔較低的 DSH，顯示 TSW 可能有





冬季增溫的現象。在雨量的部分，由於雨量的時間相關性較低，僅 10 年的資料難以評估降雨的相對多寡，因此我們收集 ERA5 在 1979–2019 年間該區域的降水資料。結果如圖 12d(第 62 頁)，可發現自 2009 年以來，雪山區域的年降雨量僅 3 年超過長期平均線(圖中灰色虛線，年降雨量 2021.4 mm)，其他年份略低。雖然整體降雨量仍超過 1,500 mm，但近十年的降雨量是下降的。

為了進一步了解各季節的氣候變遷情況，我們分別計算季節的平均溫度以及降雨量的年度變化。自圖 13(第 63 頁)可見，三個山峰區域的冬季均溫逐年上升，2010–2019 年間最低均溫與最高均溫差值將近 2 度，顯示冬季增溫的現象明確，其中 JNJ 山峰在 2017 與 2019 年甚至超過 5°C。各山峰的春季與秋季均溫略有提高，DSH 與 JNJ 的春季均溫在調查期間約提高 0.5°C，TSW 山峰則持平；秋季均溫的表現則不同，DSH 與 TSW 山峰在 2010–2017 年間秋季均溫提升約 0.5 度，而 JNJ 的秋季均溫持平。三座山峰在夏季均溫上並無太大差異，維持在一定範圍震盪。

從季節降雨量(第 63 頁圖 14)可見雪山地區的主要降雨量集中在夏季，1979–2019 年的長期平均值為 959 mm，幾乎占全年降雨量的一半；春秋季次之，春季平均值為 442 mm，秋季為 439mm；冬季降雨量最少(191 mm)。在 2010–2019 年間，除了春季之外，其他季節的降雨量多低於長期平均值(1979–2019 年間)。夏季是高山植群的主要生長季節，若水分持續減少，可能會影響植物生長。同時，全年的降水減少，也影響水分儲蓄以及霧氣生成。

我們綜合比較大水窟區域與雪山區域的六座山峰的溫度變化，顯示在 2010–2019 年間，整體溫度呈現顯著上升的趨勢(第 64 頁，圖 15 與第 36 頁，表 6)，增溫趨勢在 0.032–0.084°C/year 之間，該數值高於歐洲阿爾卑斯山區域以及亞洲的高山區域 (IPCC, 2020)。進一步分析各季節的年間變化趨勢 (第 64 頁，圖 16 與第 36 頁，第 36 頁表 7)，結果顯示，各山峰的冬季均溫多有顯著上升的趨勢，上升幅度在 0.22–0.30°C/year 之間，其他季節的則無顯著趨勢。冬季升溫將導致低溫日數下降，同時使植物生長季延長。雖然有利於嗜熱物種生長，但部分具備





寒冷需求(chilling requirement)的植物需要足夠的寒冷天數來刺激植物萌芽、開花或展葉，寒冷天數減少將會影響植物的物候階段與繁殖。若冬季暖化現象持續，長遠來看更會進一步影響整體族群動態。

二、植生指標變化

本研究使用植生指標來檢視山峰區域在 2004–2020 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 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。

大水窟與雪山區域六座山峰的 EVI 長期趨勢圖(第 65 頁圖 17)中，我們發現六座山峰的 EVI 值約以 5–6 年為一循環週期，且循環的最高值與最低值都有升高的趨勢，另外 2007 年、2012 年以及 2018–2019 年有較不尋常數值下降。從時間序列分析的季節變化 (第 66 頁

圖 18)，六座山峰區域的 EVI 數值展現明顯的季節性變化，1–3 月是 EVI 數值的低點，顯示植物的活力較低，而主要生長季是在 4–8 月，在 8–9 月達到高峰後開始下降。我們進一步以 2004–2009、2010–2015 以及 2016–2019 三個時期，計算 EVI 數值的季節變化趨勢差異(第 67 頁圖 19)，發現除了 JNJ 山峰之外，多數山峰的 EVI 數值都有隨著時間增加的趨勢。在 SEN、YAT、SUN 與 TSW 山峰，後兩期的 EVI 均值全年都高於第一期的 EVI 數值。而在 DSH 的冬季與夏季的 EVI 值也明顯增加。





參考過往研究，我們發現無論是長期變化趨勢或是季節變化趨勢，都與樣區內主要的優勢物種—玉山箭竹的生長趨勢一致。過往研究表明，玉山箭竹的葉生長勢自出筍後的第三年達到高峰，爾後開始降低(陳玉峰，1994)。同時玉山箭竹在高山冬季時，也會有冬枯落葉的現象(廖敏君等人，2005)。這表示，EVI 數值的上升，除了反映生長季延長之外，可能也代表著玉山箭竹在山峰區域的擴張。

自長期趨勢中我們發現 2012 年與 2018–2019 年 EVI 數值異常降低，在夏季與秋季的 EVI 均值圖有相同趨勢。進一步比對氣候資料，發現 2012 年的夏季降雨量超過 1,500 mm。參照中央氣象局 101 年氣候年報，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 年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 值降低。

2018–2019 年的 EVI 值降低因素則可能不太一樣。我們自季節均溫與降雨量圖(第 63 頁圖 13、圖 14)發現，2018 年的春季均溫是 2010–2019 年間最高的，然而降雨量卻遠低於長期平均值，這可能直接影響到植物生長。依據中央氣象局 107 年氣候年報分析，2018 年的全臺年均溫是歷史第五高溫，其中五月均溫創歷史新高；此外，全臺降雨偏少且不均，春季降雨量不到氣候值的 50%。春季是高山植群重要的種子與葉芽發芽期，溫度升高通常是高山植物開始發育的訊號，但在缺乏水分的情況下，可能導致植物生長受損甚至繼續休眠。2018 年可能是不利於雪山地區植群生長的一年，因此 EVI 值下降，甚至連帶影響 2019 年。

三、雪山地區的植群組成與變化

本研究於 2020 年 7 月完成雪山區域第三次永久樣區複查。整合三個目標山峰的地表類型覆蓋組成(參照第 37 頁表 8)，平均而言，維管束植物的覆蓋面積最多，所有山峰的平均植物覆蓋率都達到 75% 以上。DSH 與 JNJ 山峰有較高比





例的岩石、碎石表面，TSW 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。

三次調查共調查到 21 科 49 屬 66 種維管束植物(參照第 37 頁表 8)，其中石松類植物有 4 種，蕨類植物 3 種，裸子植物 4 種，被子植物有 55 種。在物種組成當中，最多為禾本科 (Poaceae) 與菊科 (Asteraceae) 植物，共有十種；其次為莎草科 (Cyperaceae, 七種)、龍膽科 (Gentianaceae, 四種) 以及薔薇科 (Rosaceae, 四種)、石松科 (Lycopodiaceae, 四種)。在雪山區域調查中，臺灣特有種有 31 種，佔所有物種數的 47%，顯示雪山地區的高山植群物種特有率高，其餘皆為原生種。依《2017 台灣維管束植物紅皮書名錄》評估，66 種植物中屬於 IUCN 的近危等級 (NT, Near Threatened) 以上的物種總共有四種，分別是近危的高山懸鉤子 (*Rubus rolfei*)，易危 (VU, Vulnerable) 的小杉葉石松 (*Huperzia selago*) 與玉山石竹 (*Dianthus pygmaeus*) 與瀕危 (EN) 的日本羊茅 (*Festuca japonica*)。高山懸鉤子與玉山石竹的族群數量維持穩定，2020 年的複查中在 DSH 山峰區域與 JNJ 山峰區域調查到一定族群數量；然而小杉葉石松與日本羊茅在 2020 年的調查中都消失了。這兩種物種都只在 2014 年 DSH 山峰西面 p10m 樣區中調查到，且皆屬於稀少種(r!)，可能在 2014 年時偶然在 DSH 山峰有極少量植株，爾後未發展成穩定族群，所以在 2020 年時消失。

對應分析反映雪山地區三座山峰植群組成差異，結果如圖 20(第 68 頁)與表 10(第 44 頁)，對應分析結果三軸可解釋 54.7% 總變異量。雖然三座山峰多是以玉山箭竹為優勢箭竹草坡植群，但是在對應分析中，仍然可以看到三個樣區組成差異。DSH 山峰的植群組成較接近 TSW 山峰，而 JNJ 山峰的樣區則自成一群，與另外兩座山峰的差異較大。此外，DSH 與 JNJ 各方位的植群變異較大，而 TSW 的組成較一致。對應分析結果表示樣區植物組成的最大變異來自海拔梯度造成的植物組成差異。從三個山峰的樣區點位在軸一上的相對位置可見 DSH 山峰與





TSW 山峰的數值接近，而 JNJ 山峰的數值較遠，整體分布與三座山峰的海拔差異相似。

物種組成分析結果表明(第 44 頁表 11)，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 70 以上，顯示三個山峰區域皆屬於玉山箭竹植群型。除了玉山箭竹之外，抱鱗宿柱臺與曲芒髮草在三座山峰的恆存度皆為 100%，可能是屬於玉山箭竹的伴生種。在物種忠誠度分析上，我們發現在三座山峰中有許多物種只出現在 DSH，包括臺灣披臉草、臺灣鬼督郵、玉山佛甲草、玉山筷子芥、玉山金梅、玉山薄雪草等等。DSH 山峰的海拔高度為 3,509 m，接近冷杉林帶上界(第 35 頁表 4)。雖然 DSH 的海拔高度與 TSW 山峰 (3,524 m) 相近，然而 2010–2019 年的溫度資料顯示，DSH 山峰的均溫與最高溫都比 TSW 山峰高 1–2°C(第 62 頁圖 12)，長期下來，可能使較低海拔的嗜熱物種得以往上遷移至 DSH 山峰，致使該山峰出現許多主要位於冷杉林帶的物種，同時今年度也首次調查到臺灣冷杉小苗。JNJ 山峰的海拔 (3,299 m) 低於其他兩座山峰，屬於冷杉林帶，其忠誠種也反映出該區域均溫較高，有許多物種如紅毛杜鵑、臺灣藜蘆、刺柏等冷杉林帶的向陽或乾燥區域常見物種。

四、雪山區域與大水窟區域植群多樣性變化

綜觀 2009 到 2020 年的植群變化，在三年間雪山區域的物種數差異不大(第 39 頁表 9)，2009 年調查到 52 種；2014 年共調查到 56 種；2020 年則調查到 54 種。部分物種如玉山薊、玉山毛蓮菜、玉山龍膽以及紅鞘臺等在過往調查中都未曾調查，在本年度(2020 年)複查中出現零星植株。雖然以總物種數而言，三年度的差異不大，但是如果從更細部的資料討論，情況則會完全不同。表 12 計算並整合 2009–2020 年各個方位樣區的多樣性指數，從表中可見，2009–2014 年間，物種數多為上升，僅 JNJ 山峰的 N10 與 W10 樣區的物種數下降；但是在 2014–2020 年間，各山峰區域樣區內的物種數幾乎全部下降，平均未調查到的物種數為 5 種，其中 DSH 山峰的 W10 樣區與 TSW 山峰的 W10 樣區分別少了 13 種與





12 種物種，是減少幅度最大的前兩名。此外，Shannon 均勻度指數、Shannon 多樣性指數與 Simpson 多樣性指數的數值變化顯示，2014 年的物種數上升，但是各項多樣性指數卻多是下降的；這代表 2014 年增加的物種可能都是零星植株，且樣區內的主要優勢種可能有優勢度增加的趨勢，在族群數量分布不均的情況下，多樣性指數反而降低。因此在 2020 年，TSW 山峰的 W10 樣區雖然少了 12 種植物，但是均勻度指數卻是上升的。整體而言，2009–2020 年間的物種多樣性是逐步下降的，部分樣區的降低幅度較大，如 DSH 山峰的 N10、W10、JNJ 山峰的 E05、S05、S10、TSW 山峰的 E05、E10、S05 等。

進一步檢視大水窟區域與雪山區域的各山頭整體多樣性指數變化(第 69 頁，圖 21)，可見在所有山峰中，第一期調查與第二期調查的物種豐富度略微上升，但是上升趨勢多數不顯著。在過往阿爾卑斯山一帶的 GLORIA 研究顯示(Gottfried et al., 2012)，當氣候變暖時，原先受溫度抑制，分布海拔較低的物種會開始往移動，因此高山區域的物種數顯著增加。然而 Kulonen et al. (2018)指出，高海拔環境對物種的限制因子不僅僅只有溫度，土壤基質、水分環境以及微氣候等等條件，都可能增加植物向較高海拔遷移的難度。因此，雖然年均溫結果顯示，在 2010–2014 年溫度是顯著上升的，但是兩區域的物種增加趨勢並不明顯。

第二期複查(2013–2014)與第三期複查(2019–2020)結果顯示，物種多樣性指數在六座山峰多是顯著下降的(第 69 頁，圖 21)，此現象可能是受到 2018 年春季高溫缺水的極端氣候事件影響結果。依據過往研究，雖然高溫會使得增加物種往高山遷移的機率，但是若降雨量降低，將導致整體高山環境缺水。而高溫造成植物蒸發散量提高，會加速水分散失，最終導致植群受到乾旱影響，生物多樣性反而下降(Corona-Lozada et al. 2019)。

五、植群氣候區位指標

由於樣區調查在時間上屬於點狀的資料，在兩次調查期間難以直接得知是否發生足以影響植群的事件，我們無法完全肯定樣區內的物種消失是屬於單次偶發





事件或者是受到氣候變遷影響。此外，依據大水窟區域研究成果顯示玉山箭竹有擴張的趨勢，是否部分物種的消失是受到箭竹的競爭排擠？為了解答該疑惑，我們認為必須先找出各個物種的氣候區位，了解各物種偏好的氣候環境，才能釐清物種消失的可能原因。

統合大水窟與雪山區域三次研究記錄共調查到 91 種植物。我們自 GBIF 資料庫中查找這 91 種植物紀錄，並刪除無地理資訊與品質不佳的紀錄資料後，共計有 51,828 筆點位紀錄，平均每物種有 569 筆紀錄，最少的物種僅 17 筆(南湖離蘭)。我們將查找到的物種點位紀錄與 CHELSA 的生物氣候資料結合，得到各個物種的氣候區位。由於 CHELSA 的生物氣候資料達 19 項之多，我們以具代表性的年均溫、年降雨量以及利用 1-12 月均溫計算所得的溫量指數，檢視大水窟與雪山區域物種特性。

自圖 22-圖 24 顯示大水窟區域內各物種的 4 項氣候區位。從物種-年均溫區位圖(第 70 頁圖 22)與物種-溫量指數區位圖(第 71 頁圖 23)顯示，區域內物種的溫度與溫量區位並非完全一致，絕大部分物種最適年均溫範圍介於 5-14 °C 之間，最適溫量指數為 12-144 之間。物種-年降雨量區位圖(第 72 頁圖 24)顯示大水窟區域半數以上的物種多分布於極濕潤環境，偏好年降雨量超過 2,000 mm 的生育地，部分物種偏好年降雨量 500-1,000 mm 的濕潤環境。

結合 Su(1984) 發表的台灣中部山區植群分化表(第 70-71 頁圖 22-圖 23)，我們發現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)，這也符合大水窟與雪山區域目標山峰的海拔高度(參照表 1)，山峰海拔高度在 3,255-3,610 m)。

由偏好溫度範圍計算出來的嗜熱指數結果如圖 25(第 73 頁)，除了 JNJ 山峰整體有升高的趨勢之外，其他的山峰趨勢並不明顯。然而濕潤偏好指數(第 73 頁，圖 26)則展現不同格局。自圖中可見，除了 JNJ 之外，其他山峰在 2019-2020 年間的調查中，濕潤偏好指數都有下降的趨勢，顯示植群組成往偏好乾燥的物種發展。各山峰的物種組成在最適溫度區位與最適雨量區位的聯合機率密度圖顯示，





物種分布在溫度分布上較為集中，多在 5–15°C 之間；雨量分布則明顯的區分為偏好年雨量大於 2,000 mm 與偏好年雨量小於 1,000 mm 的兩群。比較三期調查的物種機率密度變化，除了 JNJ 山峰之外，物種分布機率有隨著時間往降雨量偏好低與溫度偏好較高的方向移動，而 JNJ 山峰雖然在雨量偏好的分布上沒有太大差異，但是在溫度分布上也有逐漸提高的趨勢，這也與前述植群嗜熱指數結果相呼應。

六、雪山區域植物功能性狀

本研究將雪山區域三次調查出現物種之植物功能性狀整理如表 14，由結果可以知道在雪山區域主要以禾莎類植物、草本植物為主要組成並且有部分喬木類與蕨類植物，根據 Raunkiaer's 生活型分類大多數為多年生草本植物。開花季節多為春季及夏季為主。果實形態多為瘦果佔 25.8%，其次為蒴果佔 24.2%，且大多依靠種子繁殖。葉有毛約佔 55.2%，葉無毛則為 45.8%，落葉性方面，會落葉之物種佔 37.3%，不會落葉之物種約佔 62.7%。

自前述章節，我們得知在 2009–2020 年間，雪山區域的冬季溫度上升，植物生長季延長，以及環境逐漸趨於乾燥等氣候變化趨勢，甚至有極端氣候事件發生。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。且搭配前述濕潤需求指數分析，可以知道在雪山區域，對於水分需求較高之物種優勢度大幅降低。但因高山植物基礎生理調查資料缺乏，本植物功能性狀資料建立尚未完備，僅能透過過去文獻及植物誌資料建立部分基礎植物功能性狀表，須待未來更嚴謹詳細針對高山植物之植物功能性狀及基本生理資料調查建立更完整之植物功能性狀資料庫，以利結合目前嗜熱與濕潤需求指數，透過功能性狀角度分析高山植群組成受環境影響之變化。





肆、結論與後續工作

2010–2019 年間，大水窟與雪山地區的溫度顯著上升，年均溫的增幅在 0.032–0.084°C/year 度間。其中，主要的增溫現象集中在冬季，同時也造就寒冷天數下降。此外，我們發現 2018 年春季的極端高溫-低降雨氣象事件，同時大水窟與雪山區域植群的 EVI 值在 2018 年驟降之後，2019 年也同樣受到影響。我們發現在 2013-2014 年的調查中，大水窟與雪山區域的物種數略微上升，但未達統計上的顯著；同時在 2019–2020 年的調查中，各目標山峰的物種數多樣性普遍下降，顯示物種數降低並非是單一地區的事件；而雪山區域距離大水窟區域北方近 100 公里遠，這代表物種數降低的現象有可能普遍發生在臺灣高山地區。自氣候區位分析與植群環境偏好指標中，發現多數山峰區域的物種組成偏向較熱、較乾燥的方向發展移動，顯示除了暖化之外，缺水也可能是影響高山植群變遷的重要因子。

本年度原預計完成合歡奇萊區域的複查，但由於近日高山遊客大幅增加，部分需要申請進入的生態保護區變得一位難求。加上自 8 月份開始，氣候型態不穩，多次調查行程因為氣候型態無法進行調查而取消。在本年度僅在 9 月中完成合歡奇萊區域的 SMN 山峰，然而調查當下許多一年生植物已呈現乾枯狀態，而禾本科與莎草科植物在落果後，部分物種難以區分鑑定，因此調查資料可能會有誤差，因此預計於明年度重新複查。此外，有鑑於溫度紀錄儀的故障率偏高，本年度已提前完成南湖區域(2021 年度計畫區域)的溫度紀錄儀替換工作。





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) 台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 (1994) 太魯閣國家公園高山群落之調查。內政部營建署太魯閣國家公園管理處。
- 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。
- 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。
- 廖敏君、邱清安、歐辰雄、呂金誠 (2005) 雪山東峰玉山箭竹開花物候之探討。國家公園學報 15(1): 29-44。
- 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。
- 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. *Contemp. Probl. Ecol.*, 11, 1–12.
- 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., Allen, S., 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.
- Pauli, H., Gottfried, M., Dullinger, S., Abdaladze, O., Akhalkatsi, M., Alonso, J. L. B., ... and Ghosn, D. (2012). Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits. *Science* 336(6079): 353–355.
- 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.
- Kulonen, A., Imboden, R. A., Rixen, C., Maier, S. B., and S. Wipf (2018) Enough space in a warmer world? Microhabitat diversity and small-scale distribution of alpine plants on mountain summits. *Diversity and Distributions* 24(2): 252–261.
- 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.





- 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? *Biodivers. Conserv.*, 28, 3575–3596.
- Rasmann, S., Pellissier, L., Defossez, 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 Biosyst.*, 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.
- 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.
- 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.





表 1. GLORIA 目標區域及山峰之代碼

目標區域	山峰	海拔 (m)	緯度(N)	經度(E)	植群帶或 過渡帶
HQM (合歡奇萊)	QNS	3497	24°06'55.0"	121°19'49.5"	高山區
	QSS	3275	24°03'12.6"	121°16'37.9"	下部高山區
	SMN	3191	24°09'33.1"	121°16'25.4"	樹線過渡帶
DAS (大水窟)	SEN	3610	23°28'17"	121°02'34"	高山區
	SUN	3255	23°27'06"	121°03'29"	下部高山區
	YAT	3363	23°27'19"	121°03'11"	下部高山區
SYU (雪山)	DSH	3509	24°19'39.9"	121°07'24.2"	下部高山區
	JNJ	3299	24°19'41.0"	121°12'33.0"	下部高山區
	TSW	3524	24°22'18.2"	121°12'18.3"	下部高山區

表 2. GLORIA 區域目標山峰之分區樣區面積大小

目標 區域	山峰	-5 m SAS 面積 (m ²)				-10 m SAS 面積 (m ²)				合計
		E	S	W	N	E	S	W	N	
HQM	QNS	189.5	136.3	107.9	172.7	383.2	222.6	175.6	527.1	1914.9
	QSS	85.6	72.6	92.4	78.3	161.5	116.4	140.3	216.4	963.5
	SMN	439.6	432.8	544.6	156.5	638.4	468.7	584.7	289.7	3555
DAS	SEN	72.8	224.3	127.3	91	124.5	230.2	150.1	146.8	1167
	SUN	561.6	404.7	219.2	319.1	434.6	357.3	467.3	437.4	3201.2
	YAT	425.6	248.1	146	173	282.3	449.7	202	251.6	2178.3
SYU	DSH	217.2	380.9	573.1	319.7	340.5	444	535.4	334.6	3145.4
	JNJ	104.7	112.4	120.5	141.6	123.2	174.4	199.1	207.7	1183.6
	TSW	292.9	187.2	251.9	319.7	294.8	204.5	247.6	290.2	2088.8





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	±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)
測溫範圍	-40–60°C	-20–70°C	-40–100°C
解析度	0.01°C	0.02°C (25°C)	0.04°C
溫度偏移	NA	0.1°C/年	<0.01°C/年
時間準確度	NA	±1 min./月 (0– 50°C)	±1 min./月 (0–50°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. 臺灣中部山區植群分化與氣候帶(Su, 1984)

植群型	海拔(m)	年均溫	溫量指數	相當氣候帶
高山植群帶	>3,600	<5	<12	亞寒帶
冷杉林帶	3,100–3,600	5–8	12–36	冷溫帶
鐵杉雲杉林帶	2,500–3,100	8–11	36–72	涼溫帶
櫟林帶上層	2,000–2,500	11–14	72–108	溫帶
櫟林帶下層	1,500–2,000	14–17	108–144	暖溫帶
楠櫨林帶	500–1,500	17–23	144–216	亞熱帶
榕楠林帶	<500	>23	>216	熱帶

表 5. 雪山區域中目標山峰的各方位土壤日均溫、日最高溫、日最低溫與 ERA5 氣溫資料迴歸模式之解釋係數與 p 值

summit	model	N		E		S		W	
		R ²	p						
	agv.	0.799	<0.001	0.789	<0.001	0.709	<0.001	0.746	<0.001
DSH	max	0.740	<0.001	0.727	<0.001	0.576	<0.001	0.630	<0.001
	min	0.790	<0.001	0.773	<0.001	0.737	<0.001	0.735	<0.001
	agv.	0.800	<0.001	0.780	<0.001	0.698	<0.001	0.732	<0.001
JNJ	max	0.701	<0.001	0.632	<0.001	0.557	<0.001	0.583	<0.001
	min	0.797	<0.001	0.779	<0.001	0.724	<0.001	0.760	<0.001
	agv.	0.802	<0.001	0.811	<0.001	0.735	<0.001	0.807	<0.001
TSW	max	0.720	<0.001	0.720	<0.001	0.593	<0.001	0.752	<0.001
	min	0.789	<0.001	0.802	<0.001	0.723	<0.001	0.807	<0.001





表 6. 大水窟區域與雪山區域六座山峰在 2010-2019 年間年均溫線性回歸之結果

Summit	Coefficient of year	R ²	adj. R ²	statistic	p-value
SUN	0.047	0.787	0.760	29.48	0.001
YAT	0.032	0.502	0.440	8.06	0.022
SEN	0.054	0.570	0.517	10.62	0.012
JNJ	0.060	0.519	0.459	8.63	0.019
DSH	0.084	0.740	0.707	22.71	0.001
TSW	0.070	0.578	0.526	10.97	0.011

表 7. 大水窟區域與雪山區域六座山峰在 2010-2019 年間季節均溫線性回歸之結果

Summit	Season	Coefficient of year	R ²	adj. R ²	statistic	p-value
SUN	Winter	0.303	0.616	0.568	12.840	0.007
YAT	Winter	0.233	0.623	0.576	13.213	0.007
SEN	Winter	0.248	0.514	0.453	8.447	0.020
JNJ	Winter	0.231	0.441	0.371	6.301	0.036
DSH	Winter	0.226	0.386	0.310	5.035	0.055
TSW	Winter	0.216	0.469	0.403	7.071	0.029
SUN	Spring	-0.025	0.104	-0.008	0.927	0.364
YAT	Spring	-0.017	0.026	-0.096	0.211	0.658
SEN	Spring	0.012	0.010	-0.114	0.081	0.784
JNJ	Spring	0.117	0.334	0.251	4.007	0.080
DSH	Spring	0.123	0.350	0.269	4.308	0.072
TSW	Spring	0.041	0.069	-0.048	0.590	0.465
SUN	Summer	-0.090	0.676	0.636	16.720	0.003
YAT	Summer	-0.084	0.725	0.691	21.134	0.002
SEN	Summer	-0.040	0.198	0.098	1.973	0.198
JNJ	Summer	-0.018	0.035	-0.086	0.286	0.607
DSH	Summer	-0.007	0.005	-0.120	0.036	0.853
TSW	Summer	-0.005	0.002	-0.122	0.019	0.895
SUN	Fall	0.022	0.054	-0.065	0.452	0.520
YAT	Fall	-0.001	0.000	-0.125	0.001	0.980
SEN	Fall	0.007	0.007	-0.117	0.055	0.821
JNJ	Fall	-0.077	0.218	0.120	2.231	0.174
DSH	Fall	-0.001	0.000	-0.125	0.000	0.992
TSW	Fall	0.050	0.107	-0.004	0.961	0.356

粗體字表示 p-value 小於 0.05





表 8. 2020 年雪山區域各山峰之 5m 與 10m 樣區地表類型統計

地表覆蓋(%)	DSH					JNJ					TSW				
	E	N	S	W	平均	E	N	S	W	平均	E	N	S	W	平均
5m															
維管束植物	90.0	86.0	60.0	67.0	75.8	65.0	95.0	60.0	85.0	76.3	77.5	87.0	80.0	85.0	82.4
岩石	3.0	5.0	4.0	17.0	7.3	1.5	0.2	14.0	3.0	4.7	5.0	0.0	1.0	0.0	1.5
碎石	4.0	2.0	20.0	15.0	10.3	20.0	1.0	20.0	5.0	11.5	8.0	4.0	13.0	5.0	7.5
地衣	0.0	2.0	0.0	0.0	0.5	0.1	0.8	0.1	1.0	0.5	1.5	3.0	0.5	1.0	1.5
苔蘚	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.2	0.5	3.0	0.1	4.0	1.9
裸地	3.0	2.5	5.0	1.0	2.9	5.0	0.2	2.4	2.0	2.4	2.5	1.0	0.4	4.0	2.0
凋落物	0.0	2.5	10.8	0.0	3.3	8.3	2.7	3.5	3.5	4.5	5.0	2.0	5.0	1.0	3.3
10m															
維管束植物	82.8	78.0	60.0	87.0	77.0	70.0	90.0	60.0	85.0	76.3	63.0	91.0	65.0	84.0	79.3
岩石	3.3	5.0	15.0	5.0	7.1	10.0	0.1	25.0	6.0	10.3	17.0	1.0	20.0	0.0	9.5
碎石	12.0	7.0	20.0	5.0	11.0	12.0	0.1	8.0	3.0	5.8	10.0	1.0	8.0	3.0	5.5





地表覆盖(%)	DSH					JNJ					TSW				
	E	N	S	W	平均	E	N	S	W	平均	E	N	S	W	平均
(10 m 續)地衣	0.7	1.0	1.0	0.5	0.8	0.1	5.0	0.1	1.0	1.6	2.0	1.0	0.1	3.0	1.5
苔蘚	0.0	0.0	2.0	0.5	0.6	0.1	0.1	0.4	0.5	0.3	1.0	2.0	0.5	3.0	1.6
裸地	0.2	4.0	0.0	1.0	1.3	5.0	1.0	1.0	0.5	1.9	1.0	2.0	0.9	6.0	2.5
凋落物	1.0	6.0	2.0	1.0	2.5	2.8	3.7	5.6	4.0	4.0	5.0	2.0	5.5	1.0	3.4





表 9. 2009–2020 年雪山區域調查總物種名錄表

科名	學名	中文名	IUCN	source	2009	2014	2020
Lycopodiaceae 石松科	<i>Huperzia selago</i> (L.) Bernh. ex Schrank & Mart.	小杉葉石松	VU	原生		+	
Lycopodiaceae 石松科	<i>Lycopodium clavatum</i> L.	石松	LC	原生	+	+	+
Lycopodiaceae 石松科	<i>Lycopodium obscurum</i> L.	玉柏	LC	原生	+	+	+
Lycopodiaceae 石松科	<i>Lycopodium veitchii</i> Christ	玉山石松	LC	原生	+	+	+
Athyriaceae 蹄蓋蕨科	<i>Athyrium oppositipinum</i> Hayata var. <i>pubescens</i> (Tagawa) Tagawa	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 austriaca</i> (Jacq.) Wayn. ex Schinz & Thell.	闊葉鱗毛蕨	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> Buch.-Ham. ex Lamb.	香青	LC	原生	+	+	+
Pinaceae 松科	<i>Abies kawakamii</i> (Hayata) T.Itô	臺灣冷杉	LC	特有	+	+	+
Pinaceae 松科	<i>Pinus armandii</i> Franch. var. <i>mastersiana</i> Hayata	臺灣華山松	LC	特有	+	+	
Asparagaceae 天門冬科	<i>Maianthemum formosanum</i> (Hayata) LaFrankie	臺灣鹿藥	LC	原生	+	+	+
Asteraceae 菊科	<i>Ainsliaea latifolia</i> (D.Don) Sch.Bip. subsp. <i>henryi</i> (Diels) H.Koyama	臺灣鬼督郵	LC	原生	+	+	+





科名	學名	中文名	IUCN	source	2009	2014	2020
Asteraceae 菊科	<i>Anaphalis nepalensis</i> (Spreng.) Hand.-Mazz.	尼泊爾籟簫	LC	原生	+	+	+
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>Hieracium morii</i> Hayata	森氏山柳菊	LC	特有	+	+	+
Asteraceae 菊科	<i>Leontopodium microphyllum</i> Hayata	玉山薄雪草	LC	特有	+	+	+
Asteraceae 菊科	<i>Myriactis humilis</i> Merr.	矮菊	LC	原生	+	+	+
Asteraceae 菊科	<i>Picris hieracioides</i> L. subsp. <i>morrisonensis</i> (Hayata) Kitam.	玉山毛蓮菜	LC	特有			+
Asteraceae 菊科	<i>Senecio morrisonensis</i> Hayata	玉山黃菀	LC	特有		+	+
Asteraceae 菊科	<i>Solidago virgaurea</i> L. var. <i>leiocarpa</i> (Benth.) A.Gray	一枝黃花	LC	原生	+	+	+
Berberidaceae 小檗科	<i>Berberis morrisonensis</i> Hayata	玉山小檗	LC	特有	+	+	+
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			+
Caryophyllaceae 石竹科	<i>Arenaria takasagomontana</i> (Masam.) S.S.Ying	高山無心菜	LC	特有		+	
Caryophyllaceae 石竹科	<i>Dianthus pygmaeus</i> Hayata	玉山石竹	VU	特有	+	+	+
Crassulaceae 景天科	<i>Sedum morrisonense</i> Hayata	玉山佛甲草	LC	特有	+	+	+





科名	學名	中文名	IUCN	source	2009	2014	2020
Cyperaceae 莎草科	<i>Carex brachyanthera</i> Ohwi	垂穗薹	LC	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 filicina</i> Nees	紅鞘薹	LC	原生			+
Cyperaceae 莎草科	<i>Carex oxyandra</i> (Franch. & Sav.) Kudo	南投薹	LC	原生		+	+
Cyperaceae 莎草科	<i>Carex tristachya</i> Thunb. 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>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> Franch. var. <i>formosana</i> (Hayata) T.N.Ho	臺灣龍膽	LC	原生	+	+	+
Gentianaceae 龍膽科	<i>Gentiana flavomaculata</i> Hayata var. <i>flavomaculata</i>	黃斑龍膽	LC	特有	+		
Gentianaceae 龍膽科	<i>Gentiana scabrida</i> Hayata	玉山龍膽	LC	特有			+





科名	學名	中文名	IUCN	source	2009	2014	2020
Geraniaceae 牻牛兒苗科	<i>Geranium hayatanum</i> Ohwi	單花牻牛兒苗	LC	特有			+
Grossulariaceae 茶藨子科	<i>Ribes formosanum</i> Hayata	臺灣茶藨子	LC	特有	+	+	
Hypericaceae 金絲桃科	<i>Hypericum nagasawai</i> Hayata	玉山金絲桃	LC	特有	+	+	+
Juncaceae 燈心草科	<i>Luzula effusa</i> Buchenau	中國地楊梅	LC	原生	+	+	
Juncaceae 燈心草科	<i>Luzula taiwaniana</i> Satake	臺灣地楊梅	LC	特有	+	+	+
Melanthiaceae 黑藥花科	<i>Veratrum formosanum</i> O.Loes.	臺灣藜蘆	LC	特有	+	+	+
Orchidaceae 蘭科	<i>Platanthera brevicarata</i> Hayata	短距粉蝶蘭	LC	原生	+	+	+
Orobanchaceae 列當科	<i>Boschniakia himalaica</i> Hook.f. & Thomson	丁座草	LC	原生	+	+	+
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>Elymus formosanus</i> (Honda) Á.Löve	臺灣披臉草	LC	特有	+	+	+
Poaceae 禾本科	<i>Festuca japonica</i> Makino	日本羊茅	EN	原生		+	





科名	學名	中文名	IUCN	source	2009	2014	2020
Poaceae 禾本科	<i>Festuca ovina</i> L.	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> Anders.	芒	LC	原生	+	+	+
Poaceae 禾本科	<i>Trisetum spicatum</i> (L.) Rich. var. <i>formosanum</i> (Honda) Ohwi.	臺灣三毛草	LC	特有	+	+	+
Poaceae 禾本科	<i>Yushania nitakayamensis</i> (Hayata) Keng f.	玉山箭竹	LC	原生	+	+	+
Ranunculaceae 毛茛科	<i>Clematis montana</i> Buch.-Ham. ex DC.	繡球藤	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>Rubus rolfei</i> 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 morrisonicola</i> Hayata	玉山繡線菊	LC	特有	+		
Violaceae 堇菜科	<i>Viola adenothrix</i> Hayata var. <i>adenothrix</i>	喜岩堇菜	LC	特有	+	+	+

IUCN 瀕危等級：依據 2017 臺灣維管束植物紅皮書的評估，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 10. 2020 雪山地區三座目標山峰方位樣區對應分析結果

軸	特徵值	解釋變異量(%)	累積解釋變異量(%)
1	0.32	25.4	25.4
2	0.20	16.3	41.7
3	0.16	13.0	54.7

表 11. 2020 雪山地區三座目標山峰方位樣區的物種組成分析

物種	忠誠度			優勢度			恆存度		
	DSH	JNJ	TSW	DSH	JNJ	TSW	DSH	JNJ	TSW
玉山杜鵑	0.80	-0.38	-0.38	25.0	30.0	30.0	100.0	12.5	12.5
臺灣地楊梅	0.66	-0.33	-0.33	3.0	1.0	5.0	100.0	25.0	25.0
臺灣披臉草	0.66	-0.28	-0.28	2.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0
玉山石竹	0.61	-0.18	-0.36	3.4	1.0	0.0	62.5	12.5	0.0
喜岩堇菜	0.60	-0.45	-0.11	2.3	0.0	3.0	75.0	0.0	25.0
臺灣鬼督郵	0.56	-0.23	-0.23	13.3	0.0	0.0	37.5	0.0	0.0
短莖宿柱臺	0.49	-0.33	-0.16	25.7	3.0	1.0	87.5	25.0	37.5
玉山佛甲草	0.45	-0.19	-0.19	1.0	0.0	0.0	25.0	0.0	0.0
玉山簇子芥	0.45	-0.19	-0.19	1.0	0.0	0.0	25.0	0.0	0.0
刺柏	0.45	0.45	-1.00	7.6	28.8	0.0	100.0	100.0	0.0
高山懸鈎子	0.45	-0.19	-0.19	1.0	0.0	0.0	25.0	0.0	0.0
臺灣冷杉	0.45	-0.19	-0.19	1.0	0.0	0.0	25.0	0.0	0.0
臺灣龍膽	0.45	-0.19	-0.19	5.0	0.0	0.0	25.0	0.0	0.0
尼泊爾籟簫	0.39	-0.18	-0.18	2.0	1.0	1.0	50.0	12.5	12.5
玉山小檗	0.34	-0.49	0.17	6.8	0.0	11.3	62.5	0.0	50.0
香青	0.33	-0.70	0.33	15.7	5.0	32.9	87.5	12.5	87.5
川上短柄草	0.31	-0.13	-0.13	1.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0
玉山金梅	0.31	-0.13	-0.13	1.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0
玉山黃菀	0.31	-0.13	-0.13	1.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0
玉山薄雪草	0.31	-0.13	-0.13	1.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0
紅鞘臺	0.31	-0.13	-0.13	1.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0





物種	忠誠度			優勢度			恆存度		
	DSH	JNJ	TSW	DSH	JNJ	TSW	DSH	JNJ	TSW
逆羽蹄蓋蕨	0.31	-0.13	-0.13	1.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0
高山白珠樹	0.31	-0.13	-0.13	1.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0
單花牻牛兒苗	0.31	-0.13	-0.13	1.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0
短距粉蝶蘭	0.31	-0.13	-0.13	1.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0
矮菊	0.31	-0.13	-0.13	1.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0
繡球藤	0.31	-0.13	-0.13	1.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0
玉山石松	0.31	-0.40	0.12	16.5	0.0	18.7	50.0	0.0	37.5
紅毛杜鵑	-0.36	0.83	-0.36	0.0	28.3	0.0	0.0	75.0	0.0
石松	-0.38	0.62	-0.22	1.0	35.0	25.5	12.5	87.5	25.0
玉柏	0.06	0.54	-0.62	24.2	17.5	1.0	62.5	100.0	12.5
森氏山柳菊	-0.19	0.45	-0.19	0.0	3.0	0.0	0.0	25.0	0.0
臺灣繡線菊	-0.19	0.45	-0.19	0.0	1.0	0.0	0.0	25.0	0.0
臺灣藜蘆	0.27	0.43	-0.72	25.0	8.0	0.0	75.0	87.5	0.0
玉山翦股穎	-0.07	0.39	-0.28	1.0	2.3	0.0	12.5	37.5	0.0
芒	-0.28	0.38	-0.11	12.0	27.3	8.3	37.5	87.5	50.0
一枝黃花	-0.13	0.31	-0.13	0.0	1.0	0.0	0.0	12.5	0.0
臺灣鹿藥	-0.13	0.31	-0.13	0.0	1.0	0.0	0.0	12.5	0.0
玉山針蘭	0.12	0.31	-0.40	2.3	22.5	0.0	37.5	50.0	0.0
南投薑	-0.23	-0.23	0.45	3.0	3.0	21.4	50.0	50.0	100.0
冷杉異燕麥	0.07	-0.32	0.28	1.0	0.0	1.0	25.0	0.0	37.5
羊茅	0.19	-0.45	0.19	34.4	20.0	38.8	100.0	75.0	100.0
腺鱗毛蕨	-0.19	0.10	0.10	0.0	1.0	1.0	0.0	12.5	12.5
玉山水苦蕒	0.26	-0.23	0.00	1.0	0.0	5.0	25.0	0.0	12.5
阿里山龍膽	0.28	-0.23	-0.06	3.3	3.0	4.2	87.5	50.0	62.5
玉山金絲桃	0.16	0.00	-0.16	13.4	2.0	2.3	62.5	50.0	37.5
臺灣三毛草	-0.05	0.27	-0.22	4.0	3.0	3.7	50.0	75.0	37.5
玉山箭竹	0.13	0.13	-0.31	75.0	75.0	71.4	100.0	100.0	87.5
抱鱗宿柱薑	-	-	-	29.4	36.3	44.4	100.0	100.0	100.0
曲芒髮草	-	-	-	45.0	33.8	50.0	100.0	100.0	100.0

註：淺灰色代表忠誠度大於 0.3，優勢度大於 30，恆存度大於 50%；深灰色代表忠誠度大於 0.5，重要值大於 50，恆存度大於 75%。





表 12. 2009–2020 年雪山地區三座目標山峰方位樣區的物種多樣性指數

Summit	section	S			E			H'			D		
		2009	2014	2020	2009	2014	2020	2009	2014	2020	2009	2014	2020
DSH	E05	16	18	15	0.91	0.92	0.82	2.54	2.66	2.21	0.91	0.92	0.87
	E10	17	22	20	0.95	0.93	0.81	2.69	2.87	2.42	0.93	0.94	0.89
	N05	20	23	15	0.82	0.79	0.80	2.44	2.47	2.17	0.89	0.89	0.85
	N10	18	18	15	0.97	0.83	0.78	2.79	2.40	2.11	0.93	0.89	0.86
	S05	24	24	19	0.80	0.88	0.77	2.54	2.81	2.26	0.90	0.93	0.87
	S10	26	30	26	0.96	0.92	0.81	3.13	3.12	2.62	0.95	0.95	0.91
	W05	26	29	28	0.79	0.88	0.72	2.59	2.97	2.41	0.90	0.94	0.88
	W10	34	42	29	0.97	0.80	0.67	3.42	2.98	2.20	0.97	0.92	0.84
JNJ	E05	15	19	13	0.93	0.82	0.70	2.53	2.42	1.79	0.91	0.90	0.79
	E10	17	17	13	0.90	0.83	0.85	2.55	2.35	2.19	0.91	0.88	0.87
	N05	13	16	14	0.92	0.88	0.80	2.36	2.44	2.11	0.90	0.90	0.86
	N10	20	14	14	0.90	0.89	0.81	2.70	2.34	2.13	0.93	0.89	0.86
	S05	19	21	15	0.92	0.96	0.75	2.70	2.93	2.04	0.93	0.94	0.83
	S10	18	21	16	0.93	0.95	0.77	2.68	2.88	2.13	0.93	0.94	0.86
	W05	16	18	13	0.94	0.85	0.81	2.60	2.46	2.08	0.92	0.90	0.85
	W10	23	21	15	0.92	0.85	0.80	2.88	2.60	2.15	0.94	0.91	0.85
TSW	E05	15	22	15	0.93	0.76	0.66	2.53	2.35	1.79	0.91	0.88	0.80
	E10	18	20	16	0.95	0.92	0.73	2.74	2.76	2.02	0.93	0.93	0.83





Summit section	S			E			H'			D		
	2009	2014	2020	2009	2014	2020	2009	2014	2020	2009	2014	2020
N05	11	12	9	0.94	0.75	0.92	2.25	1.87	2.01	0.89	0.81	0.86
N10	14	17	10	0.93	0.80	0.92	2.45	2.28	2.13	0.91	0.87	0.87
S05	10	11	7	0.95	0.81	0.68	2.18	1.94	1.32	0.88	0.84	0.69
S10	15	15	10	0.78	0.82	0.74	2.12	2.21	1.71	0.86	0.87	0.80
W05	13	15	8	0.84	0.71	0.90	2.15	1.92	1.87	0.87	0.82	0.83
W10	16	22	10	0.85	0.71	0.82	2.37	2.18	1.88	0.89	0.86	0.82

註：S 為物種數，E 為 Shannon 均勻度指數，H' 為 Shannon 多樣性指數，D 為 Simpson 多樣性指數；黑體字表示該年度的數值低於前一年度。





表 13. 2008–2019 年大水窟與雪山區域物種編號表(配合圖 22–圖 24)

編號	科名	學名
1	Lycopodiaceae 石松科	<i>Dendrolycopodium juniperoideum</i> (Sw.) A. Haines 玉柏
2	Lycopodiaceae 石松科	<i>Diphasiastrum multispicatum</i> (J.H. Wilce) Holub 地刷子
3	Lycopodiaceae 石松科	<i>Diphasiastrum veitchii</i> (Christ) Holub 玉山石松
4	Lycopodiaceae 石松科	<i>Diphasiastrum yueshanense</i> (C. M. Kuo) Holub 玉山地刷子
5	Lycopodiaceae 石松科	<i>Huperzia appressa</i> (Desv.) Á. Löve & D. Löve 小杉葉石松
6	Lycopodiaceae 石松科	<i>Lycopodium clavatum</i> L. 石松
7	Athyriaceae 蹄蓋蕨科	<i>Athyrium oppositipinnum</i> Hayata var. <i>pubescens</i> (Tagawa) Tagawa 逆羽蹄蓋蕨
8	Dryopteridaceae 鱗毛蕨科	<i>Dryopteris alpestris</i> Tagawa 腺鱗毛蕨
9	Dryopteridaceae 鱗毛蕨科	<i>Dryopteris expansa</i> (C. Presl) Fraser-Jenk. & Jermy 闊葉鱗毛蕨
10	Polypodiaceae 水龍骨科	<i>Selliguea quasidivariata</i> (Hayata) H. Ohashi & K. Ohashi 玉山蕨蕨
11	Cupressaceae 柏科	<i>Juniperus formosana</i> Hayata var. <i>formosana</i> 刺柏
12	Cupressaceae 柏科	<i>Juniperus squamata</i> Lamb. 香青
13	Pinaceae 松科	<i>Abies kawakamii</i> (Hayata) T. Itô 臺灣冷杉
14	Pinaceae 松科	<i>Pinus armandii</i> var. <i>mastersiana</i> (Hayata) Hayata 臺灣華山松
15	Pinaceae 松科	<i>Pinus taiwanensis</i> Hayata 臺灣二葉松
16	Asparagaceae 天門冬科	<i>Maianthemum formosanum</i> (Hayata) La Frankie 臺灣鹿藥
17	Cyperaceae 莎草科	<i>Carex brachyanthera</i> Ohwi 垂穗薹
18	Cyperaceae 莎草科	<i>Carex breviculmis</i> R. Br. 短莖宿柱薹
19	Cyperaceae 莎草科	<i>Carex chrysolepis</i> Franch. & Sav. 黃花薹
20	Cyperaceae 莎草科	<i>Carex filicina</i> Nees 紅鞘薹
21	Cyperaceae 莎草科	<i>Carex orthostemon</i> Hayata 直蕊宿柱薹
22	Cyperaceae 莎草科	<i>Carex oxyandra</i> Kudo 南投薹
23	Cyperaceae 莎草科	<i>Carex tristachya</i> var. <i>pocilliformis</i> (Boott) Kük. 抱鱗宿柱薹
24	Cyperaceae 莎草科	<i>Trichophorum subcapitatum</i> (Thwaites & Hook.) D.A. Simpson 玉山針蘭
25	Juncaceae 燈心草科	<i>Luzula effusa</i> Buchenau 中國地楊梅
26	Juncaceae 燈心草科	<i>Luzula taiwaniana</i> Satake 臺灣地楊梅
27	Melanthiaceae 黑藥花科	<i>Veratrum formosanum</i> Loes. 臺灣藜蘆
28	Orchidaceae 蘭科	<i>Amitostigma alpestre</i> Fukuy. 南湖雛蘭
29	Orchidaceae 蘭科	<i>Platanthera brevicarata</i> Hayata 短距粉蝶蘭
30	Poaceae 禾本科	<i>Agrostis infirma</i> Buse var. <i>infirma</i> 玉山翦股穎
31	Poaceae 禾本科	<i>Brachypodium kawakamii</i> Hayata 川上短柄草
32	Poaceae 禾本科	<i>Deschampsia flexuosa</i> (L.) Trin. 曲芒髮草
33	Poaceae 禾本科	<i>Deyeuxia suizanensis</i> (Hayata) Ohwi 水山野青茅
34	Poaceae 禾本科	<i>Elymus formosanus</i> (Honda) Á. Löve 臺灣披臉草
35	Poaceae 禾本科	<i>Festuca japonica</i> Makino 日本羊茅
36	Poaceae 禾本科	<i>Festuca ovina</i> L. 羊茅
37	Poaceae 禾本科	<i>Festuca rubra</i> L. 紫羊茅
38	Poaceae 禾本科	<i>Helictotrichon abietetorum</i> (Ohwi) Ohwi 冷杉異燕麥
39	Poaceae 禾本科	<i>Miscanthus sinensis</i> Andersson 芒





編號	科名	學名
40	Poaceae 禾本科	<i>Phleum alpinum</i> L. 高山梯牧草
41	Poaceae 禾本科	<i>Trisetum spicatum</i> var. <i>formosanum</i> (Honda) Ohwi 臺灣三毛草
42	Poaceae 禾本科	<i>Yushania niitakayamensis</i> (Hayata) Keng f. 玉山箭竹
43	Araliaceae 五加科	<i>Hydrocotyle setulosa</i> Hayata 阿里山天胡荽
44	Asteraceae 菊科	<i>Ainsliaea latifolia</i> subsp. <i>henryi</i> (Diels) H. Koyama 臺灣鬼督郵
45	Asteraceae 菊科	<i>Anaphalis morrisonicola</i> Hayata 玉山抱莖籜簫
46	Asteraceae 菊科	<i>Anaphalis nepalensis</i> (Spreng.) Hand.-Mazz. 尼泊爾籜簫
47	Asteraceae 菊科	<i>Artemisia kawakamii</i> Hayata 山艾
48	Asteraceae 菊科	<i>Cirsium arisanense</i> Kitam. 阿里山薊
49	Asteraceae 菊科	<i>Cirsium kawakamii</i> Hayata 玉山薊
50	Asteraceae 菊科	<i>Gnaphalium involucratum</i> var. <i>simplex</i> DC. 細葉鼠麴草
51	Asteraceae 菊科	<i>Hieracium morii</i> Hayata 森氏山柳菊
52	Asteraceae 菊科	<i>Leontopodium microphyllum</i> Hayata 玉山薄雪草
53	Asteraceae 菊科	<i>Myriactis humilis</i> Merr. 矮菊
54	Asteraceae 菊科	<i>Picris hieracioides</i> subsp. <i>morrisonensis</i> (Hayata) Kitam. 玉山毛蓮菜
55	Asteraceae 菊科	<i>Senecio morrisonensis</i> Hayata 玉山黃菀
56	Asteraceae 菊科	<i>Solidago virgaurea</i> var. <i>leiocarpa</i> Miq. 一枝黃花
57	Berberidaceae 小檗科	<i>Berberis kawakamii</i> Hayata 臺灣小檗
58	Berberidaceae 小檗科	<i>Berberis morrisonensis</i> Hayata 玉山小檗
59	Brassicaceae 十字花科	<i>Arabidopsis lyrata</i> (L.) O'Kane & Al-Shehbaz subsp. <i>kamchatica</i> (Fisch. ex DC.) Hultén 玉山簇子芥
60	Caprifoliaceae 忍冬科	<i>Scabiosa lacerifolia</i> Hayata 玉山山蘿蔔
61	Caryophyllaceae 石竹科	<i>Arenaria takasagomontana</i> (Masam.) S.S. Ying 高山無心菜
62	Caryophyllaceae 石竹科	<i>Dianthus pygmaeus</i> Hayata 玉山石竹
63	Crassulaceae 景天科	<i>Sedum morrisonense</i> Hayata 玉山佛甲草
64	Ericaceae 杜鵑花科	<i>Gaultheria itoana</i> Hayata 高山白珠樹
65	Ericaceae 杜鵑花科	<i>Pieris taiwanensis</i> Hayata 臺灣馬醉木
66	Ericaceae 杜鵑花科	<i>Rhododendron pseudochrysanthum</i> Hayata 玉山杜鵑
67	Ericaceae 杜鵑花科	<i>Rhododendron rubropilosum</i> Hayata var. <i>rubropilosum</i> 紅毛杜鵑
68	Gentianaceae 龍膽科	<i>Gentiana arisanensis</i> Hayata 阿里山龍膽
69	Gentianaceae 龍膽科	<i>Gentiana davidii</i> var. <i>formosana</i> (Hayata) T.N. Ho 臺灣龍膽
70	Gentianaceae 龍膽科	<i>Gentiana flavomaculata</i> Hayata var. <i>flavomaculata</i> 黃斑龍膽
71	Gentianaceae 龍膽科	<i>Gentiana scabrifolia</i> Hayata 玉山龍膽
72	Gentianaceae 龍膽科	<i>Gentiana scabrifolia</i> var. <i>punctulata</i> S.S. Ying 黑斑龍膽
73	Gentianaceae 龍膽科	<i>Swertia macrosperma</i> (C.B. Clarke) C.B. Clarke 大籽當藥
74	Geraniaceae 牻牛兒苗科	<i>Geranium hayatanum</i> Ohwi 單花牻牛兒苗
75	Grossulariaceae 茶藨子科	<i>Ribes formosanum</i> Hayata 臺灣茶藨子
76	Hypericaceae 金絲桃科	<i>Hypericum nagasawae</i> Hayata 玉山金絲桃
77	Lamiaceae 唇形科	<i>Origanum vulgare</i> L. 野薄荷
78	Orobanchaceae 列當科	<i>Boschniakia himalaica</i> Hook. f. & Thomson 丁座草
79	Orobanchaceae 列當科	<i>Euphrasia transmorrisonensis</i> Hayata var. <i>transmorrisonensis</i> 玉山小米草





編號	科名	學名
80	Plantaginaceae 車前科	<i>Veronica morrisonicola</i> Hayata 玉山水苦蕒
81	Polygalaceae 遠志科	<i>Polygala japonica</i> Houtt. 瓜子金
82	Ranunculaceae 毛茛科	<i>Clematis montana</i> Buch.-Ham. ex DC. 繡球藤
83	Rosaceae 薔薇科	<i>Potentilla leuconota</i> D. Don 玉山金梅
84	Rosaceae 薔薇科	<i>Potentilla tugitakensis</i> Masam. 雪山翻白草
85	Rosaceae 薔薇科	<i>Rosa transmorrisonensis</i> Hayata 高山薔薇
86	Rosaceae 薔薇科	<i>Rubus rolfei</i> S. Vidal 高山懸鉤子
87	Rosaceae 薔薇科	<i>Spiraea formosana</i> Hayata 臺灣繡線菊
88	Rosaceae 薔薇科	<i>Spiraea hayatana</i> H.L. Li 假繡線菊
89	Rosaceae 薔薇科	<i>Spiraea morrisonicola</i> Hayata 玉山繡線菊
90	Salicaceae 楊柳科	<i>Salix taiwanalpina</i> var. <i>takasagoalpina</i> (Koidz.) S.S. Ying 高山柳
91	Violaceae 堇菜科	<i>Viola adenothrix</i> Hayata var. <i>adenothrix</i> 喜岩堇菜





表 14. 2009–2020 年雪山地區的植物功能性狀簡表

物種	生長型	Raunkiaer's 生活型	繁殖形式	光合作用固 碳循環	開花季節	孢子/果 實	落葉性	葉有毛	葉形	葉緣	分布下限	分布上限
小杉葉石松	石松類	Chamaephytes	s	CAM	NA	孢子	0	0	披針形	全緣	NA	NA
石松	石松類	Chamaephytes	s	CAM	NA	孢子	0	0	鑿形	全緣	200	3706
玉柏	石松類	Chamaephytes	s	CAM	NA	孢子	0	0	鑿形	全緣	1500	3885
玉山石松	石松類	Chamaephytes	s	CAM	NA	孢子	0	0	鑿形	全緣	1500	3755
逆羽蹄蓋蕨	蕨類	Chamaephytes	s	C3	NA	孢子	0	0	NA	鋸齒狀	1000	3000
腺鱗毛蕨	蕨類	Chamaephytes	s	C3	NA	孢子	0	1	NA	鋸齒狀	1300	3900
闊葉鱗毛蕨	蕨類	Chamaephytes	s	C3	NA	孢子	0	0	NA	鋸齒狀	50	3650
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
臺灣冷杉	喬木	Phanerophytes	s	C3	春	毬果	0	0	線形	全緣	NA	NA
臺灣華山松	喬木	Phanerophytes	s	C3	春、夏	毬果	0	0	針形	全緣	2200	3000
臺灣鹿藥	草本	Hemicryptophytes	s	C3	春、夏	漿果	0	1	長橢圓形	全緣	2200	3900
臺灣鬼督郵	草本	Chamaephytes	s	C3	夏	瘦果	0	1	卵形	細毛(刺)	1700	3400
尼泊爾籜簫	草本	Chamaephytes	s	C3	夏	瘦果	0	1	線形	全緣	1000	3950
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
森氏山柳菊	草本	Chamaephytes	s	C3	夏	瘦果	0	1	倒披針形	細毛(刺)	1700	3755
玉山薄雪草	草本	Hemicryptophytes	s	C3	夏	瘦果	1	1	披針形	細毛(刺)	3200	3800
矮菊	草本	Hemicryptophytes	s	C3	夏	瘦果	1	1	長橢圓形	齒狀	2500	3600





物種	生長型	Raunkiaer's 生活型	繁殖形式	光合作用固 碳循環	開花季節	孢子/果 實	落葉性	葉有毛	葉形	葉緣	分布下限	分布上限
玉山毛蓮菜	草本	Chamaephytes	s	C3	秋	瘦果	0	1	倒披針形	微波狀	1500	3600
玉山黃菀	草本	Chamaephytes	s	C3	夏、秋	瘦果	0	0	長橢圓形	深鋸齒	1600	3800
一枝黃花	草本	Chamaephytes	s	C3	夏、秋	瘦果	1	1	披針形	鋸齒狀	0	3750
玉山小檗	灌木	Phanerophytes	s	C3	夏	漿果	1	0	倒披針形	細毛(刺)	2500	3950
玉山筷子芥	草本	Hemicryptophytes	s	C3	春、夏、秋	角果	1	1	倒披針形	細毛(刺)	2000	3900
高山無心菜	草本	Therophytes	s	C3	夏	瘦果	0	1	倒披針形	全緣	2500	3000
玉山石竹	草本	Chamaephytes	s	C3	春、夏、秋	瘦果	0	0	線形	全緣	130	3900
玉山佛甲草	草本	Hemicryptophytes	s	CAM	夏	蓇葖果	0	1	長橢圓形	全緣	2500	3900
垂穗薹	草本	Chamaephytes	ssv	C3	夏	堅果	0	0	線形	全緣	NA	NA
短莖宿柱薹	禾莎	Chamaephytes	ssv	C3	夏	堅果	0	0	線形	全緣	0	3800
黃花薹	禾莎	Chamaephytes	ssv	C3	夏	堅果	0	0	線形	全緣	524	3861
紅鞘薹	草本	Chamaephytes	ssv	C3	夏	堅果	0	0	線形	全緣	NA	NA
南投薹	禾莎	Chamaephytes	ssv	C3	NA	堅果	0	0	線形	全緣	NA	NA
抱鱗宿柱薹	禾莎	Chamaephytes	ssv	C3	NA	堅果	0	0	線形	全緣	0	3529
玉山針蘭	禾莎	Chamaephytes	ssv	C3	NA	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
玉山杜鵑	灌木至小 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





物種	生長型	Raunkiaer's 生活型	繁殖形式	光合作用固 碳循環	開花季節	孢子/果 實	落葉性	葉有毛	葉形	葉緣	分布下限	分布上限
臺灣龍膽	草本	Chamaephytes	s	C3	春、夏	蒴果	0	0	線形	全緣	400	3950
黃斑龍膽	草本	Chamaephytes	s	C3	春、夏	蒴果	0	0	線形	全緣	NA	NA
玉山龍膽	草本	Therophytes	s	C3	夏	蒴果	0	0	披針形	全緣	1947	3900
單花牻牛兒苗	草本	Hemicryptophytes	s	C3	夏	蒴果	0	1	闊圓形	缺刻狀	2000	3800
臺灣茶藨子	草本	Phanerophytes	s	C3	春	漿果	0	1	寬圓形	缺刻狀	3000	3900
玉山金絲桃	草本	Chamaephytes	s	C3	夏、秋	蒴果	1	0	卵形	全緣	1500	3950
中國地楊梅	草本	Chamaephytes	s	C3	夏	蒴果	0	1	線形	全緣	NA	NA
臺灣地楊梅	草本	Chamaephytes	s	C3	夏	蒴果	0	1	線形	全緣	1600	3740
臺灣藜蘆	草本	Hemicryptophytes	s	C3	夏	蒴果	0	0	披針	全緣	2500	3700
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	針形	全緣	700	3885
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
臺灣披臉草	草本	Chamaephytes	s	C3	NA	穎果	0	0	線形	全緣	NA	NA
日本羊茅	禾莎	Chamaephytes	s	C3	夏、秋	穎果	0	1	線形	全緣	NA	NA
羊茅	禾莎	Chamaephytes	s	C3	夏、秋	穎果	0	1	線形	全緣	100	3900
冷杉異燕麥	禾莎	Chamaephytes	s	C3	NA	穎果	0	0	線形	全緣	2350	3830
芒	草本	Chamaephytes	s	C4	春、夏	穎果	0	1	線形	全緣	0	3571





物種	生長型	Raunkiaer's 生活型	繁殖形式	光合作用固 碳循環	開花季節	孢子/果 實	落葉性	葉有毛	葉形	葉緣	分布下限	分布上限
臺灣三毛草	草本	Chamaephytes	s	C3	秋	穎果	0	1	線形	全緣	1700	3858
玉山箭竹	禾莎	Chamaephytes	vvs	C4	春、夏、秋	穎果	0	0	披針形	全緣	700	3650
繡球藤	草本	Chamaephytes	s	C3	春	瘦果	0	1	卵形	淺裂	NA	NA
玉山金梅	草本	Hemicryptophytes	s	C3	夏	瘦果	0	1	卵形	鋸齒狀	1800	3950
高山懸鉤子	草本	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
玉山繡線菊	草本	Phanerophytes	s	C3	夏	瘦果	1	0	卵形	鋸齒狀	2600	3886
喜岩堇菜	草本	Chamaephytes	s	C3	春、夏	蒴果	0	1	心形	鋸齒狀	400	3020

附註：葉有毛：有 1，無 0；落葉性：會落葉填 1，否填 0；繁殖形式：s (sexual only), ssv (mainly sexual, rarely vegetative), sv (sexual and vegetative), vvs (mainly vegetative, rarely sexual)；開花季節：春 (3-5 月)、夏 (6-8 月)、秋 (9-11 月)、冬(12, 1-2 月)、全年(1-12 月)，NA 代表無資料。



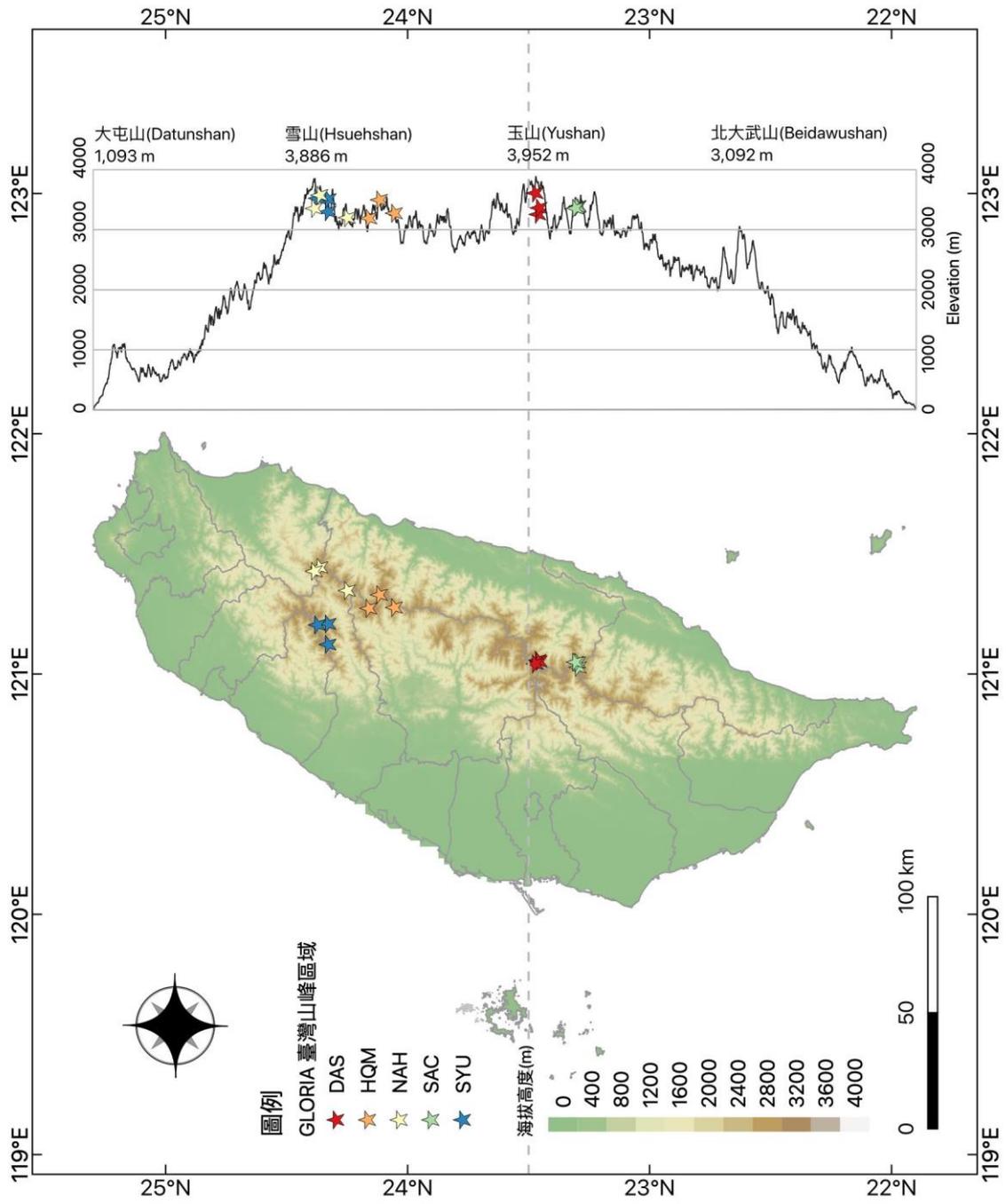


圖 1. 目標區域於臺灣之分布圖。



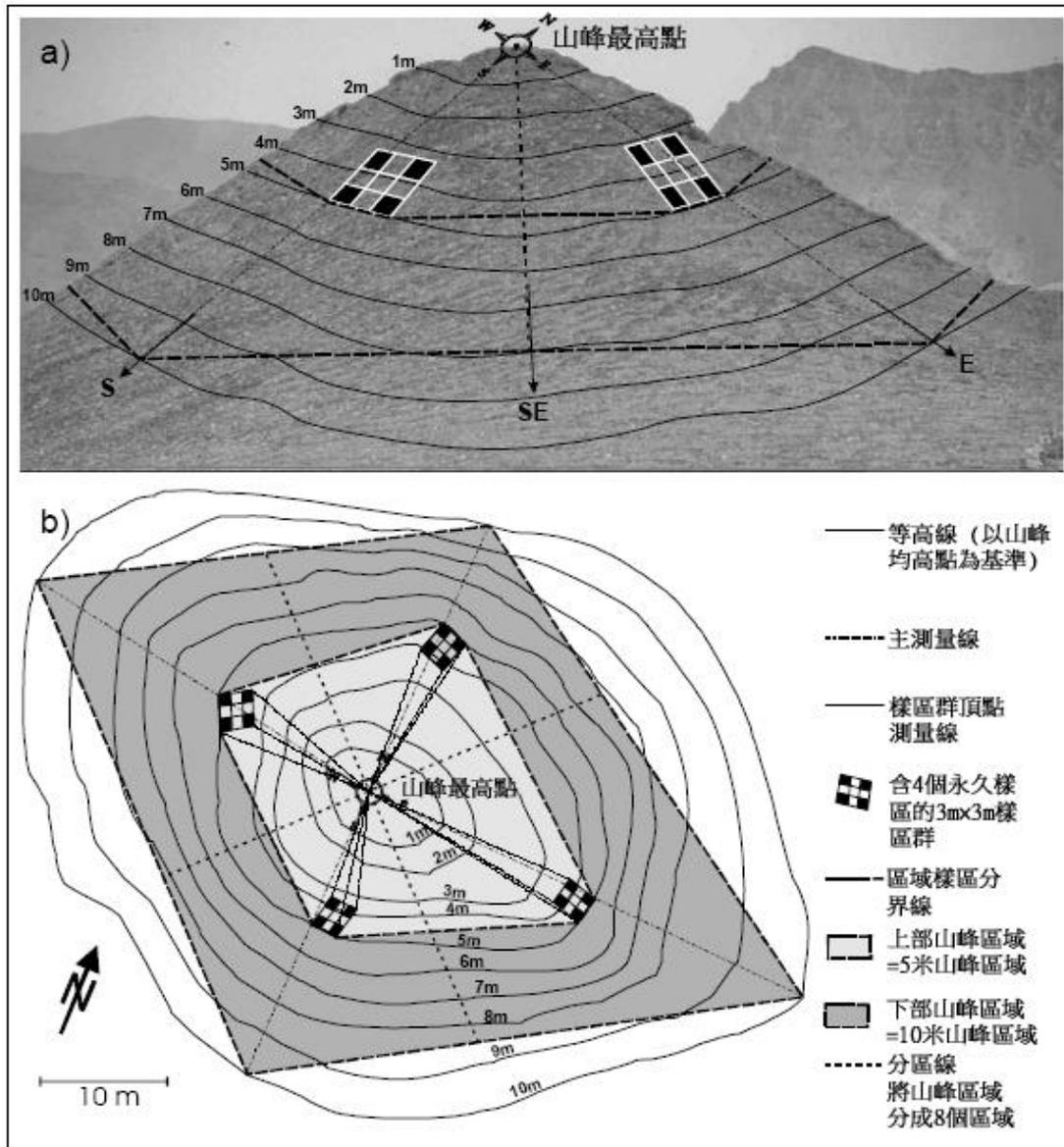


圖 2. 多峰調查法之樣區設置圖

(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



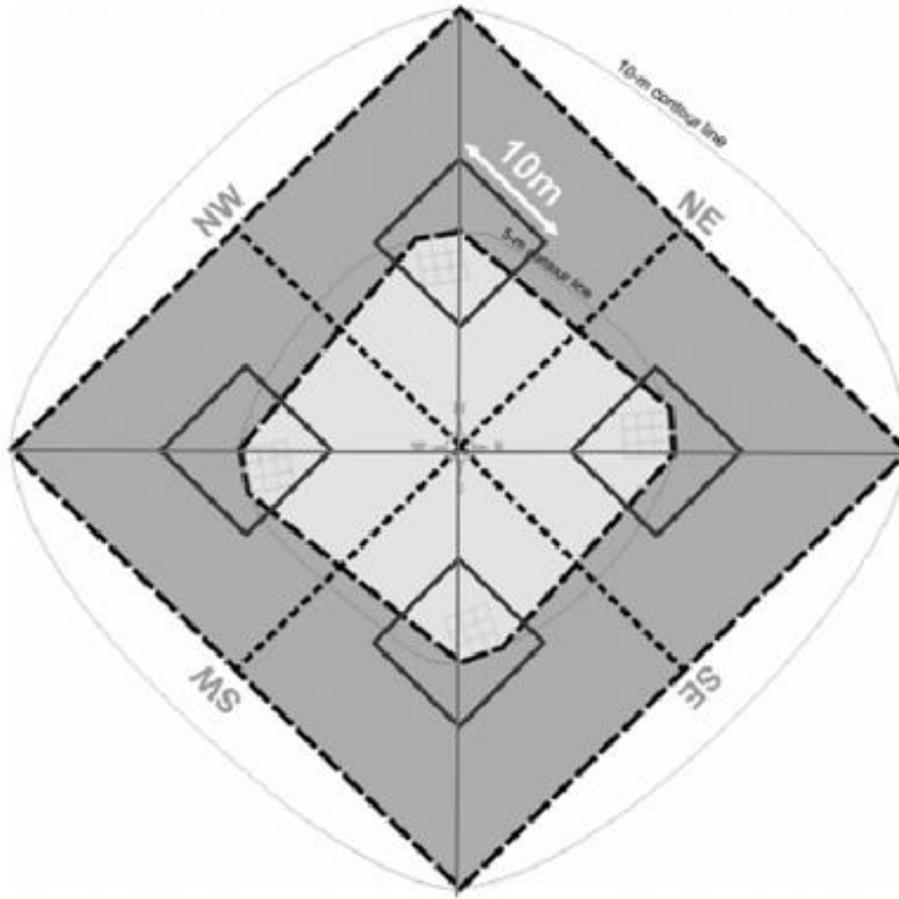


圖 3. 10m × 10 m 樣區設置位置
(圖引用自劉和義等人，2010)。

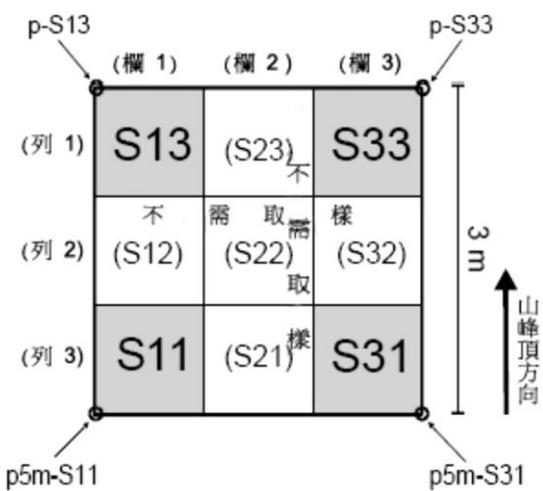


圖 4. 3 × 3 樣區群的樣區編號與測量點的數字序號
(引用自劉和義等人，2010)。



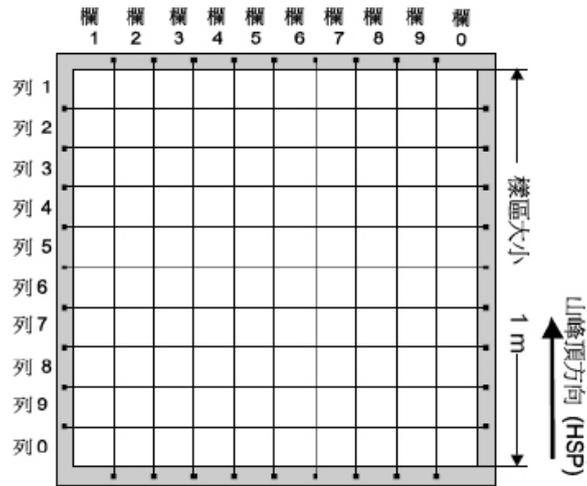


圖 5. 一平方公尺網格框
(引用自劉和義等人，2010)。

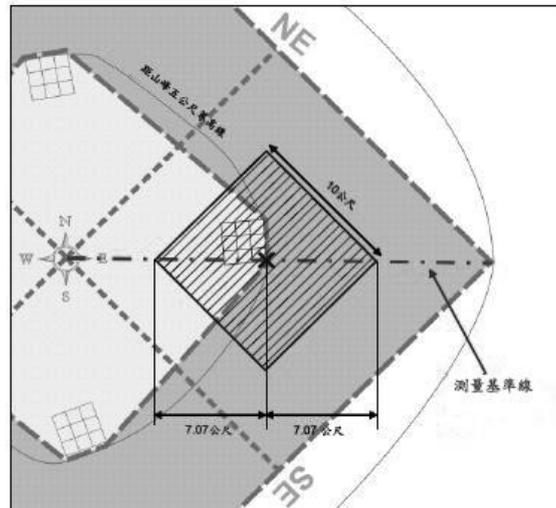


圖 6. 10 m × 10 m 樣區內之調查線設置圖
(引用自劉和義等人，2010)。



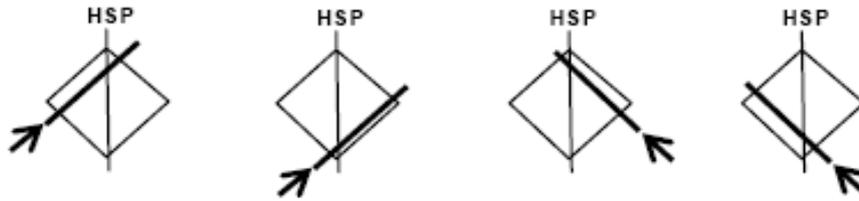


圖 7. 10 m × 10 m 樣區之起始調查線及調查方向
(引用自劉和義等人，2010)。

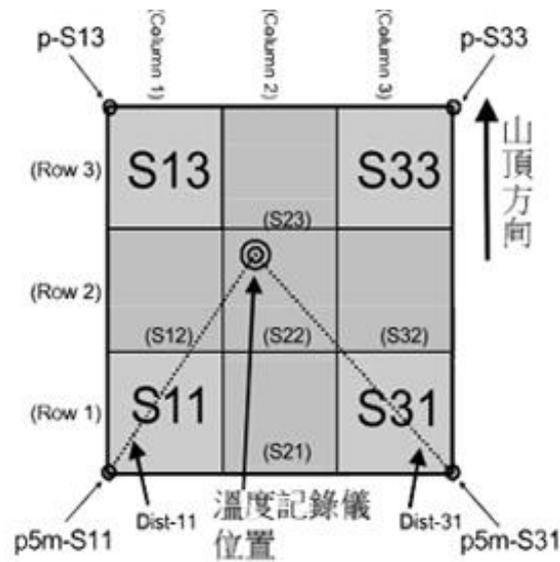


圖 8. 溫度計錄儀埋設位置圖
(圖引用自劉和義等人，2010)。



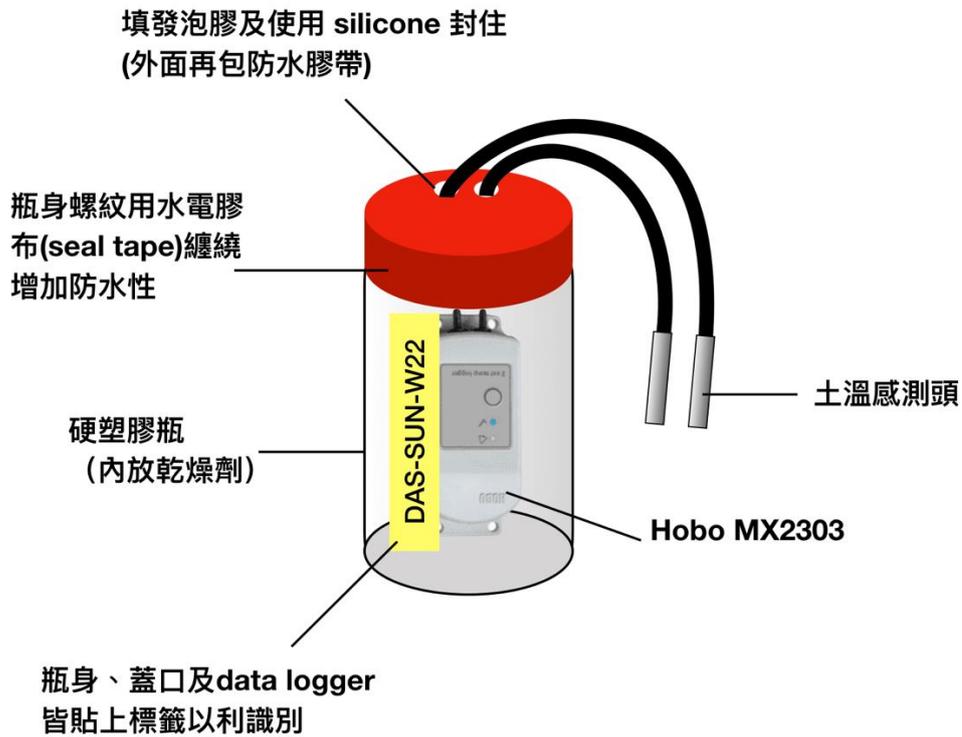


圖 9. 溫度記錄儀加固設計示意圖



圖 10. 樣區代號格式黑板範例圖



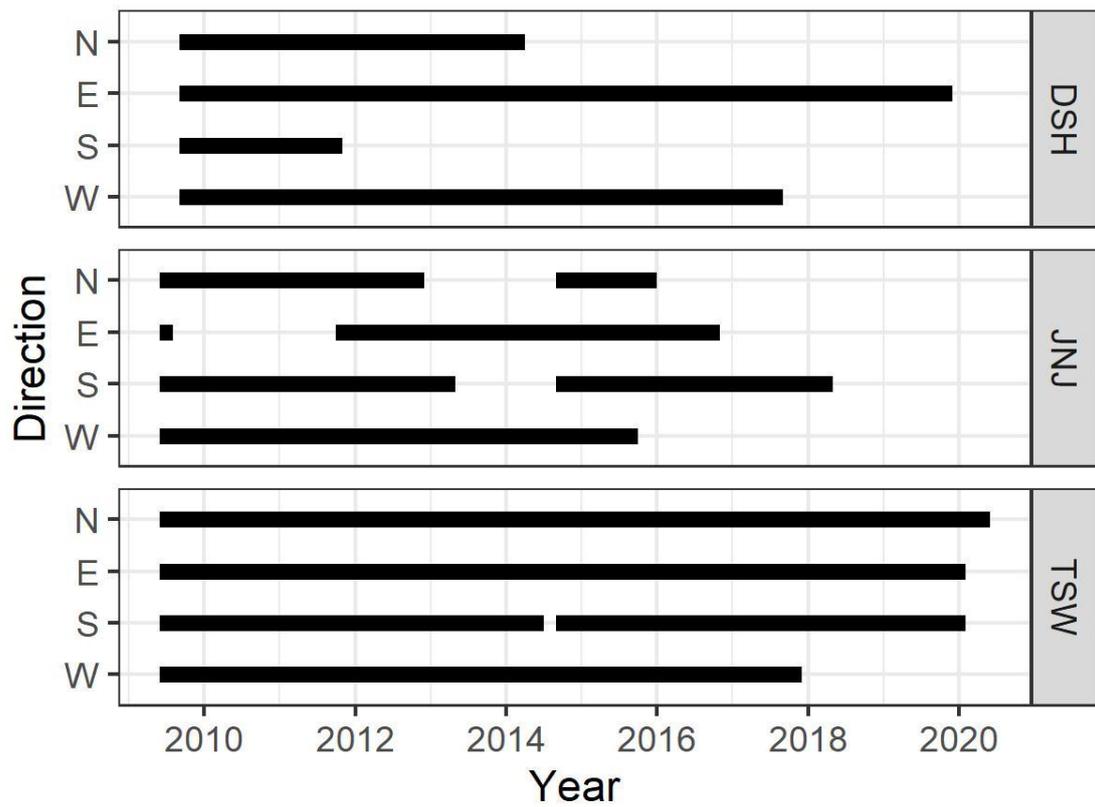


圖 11. 2009–2020 年雪山目標區域(SYU)三座目標山峰四方位量測之溫度完整度
圖中各方位黑直線代表有溫度紀錄之時期。



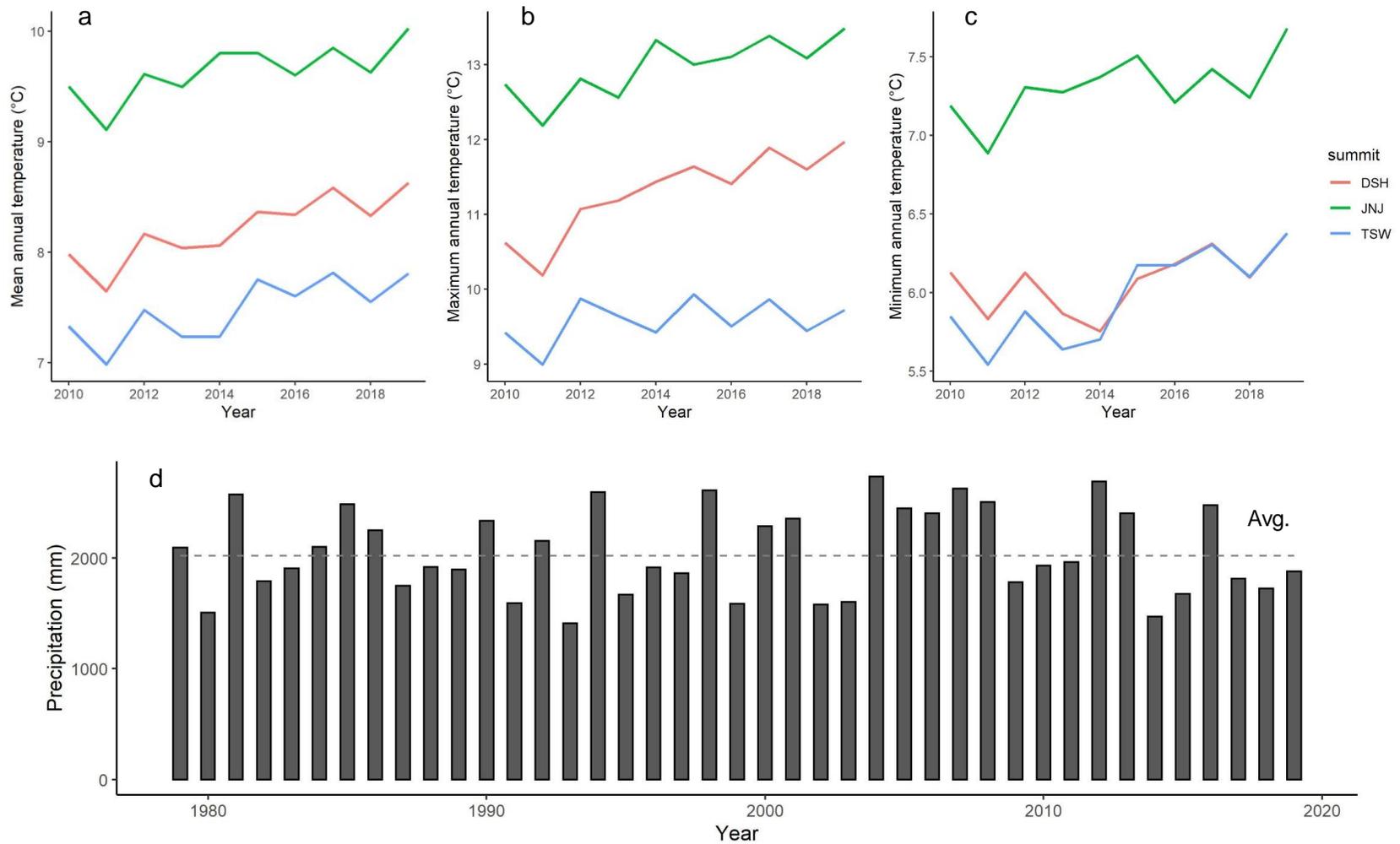


圖 12. 雪山目標區域(SYU)三座目標山峰之溫度(2009–2019 年)與年雨量(1979–2019 年)變化圖
a. 年均溫，b. 平均最高溫，c. 平均最低溫，d. 年雨量。



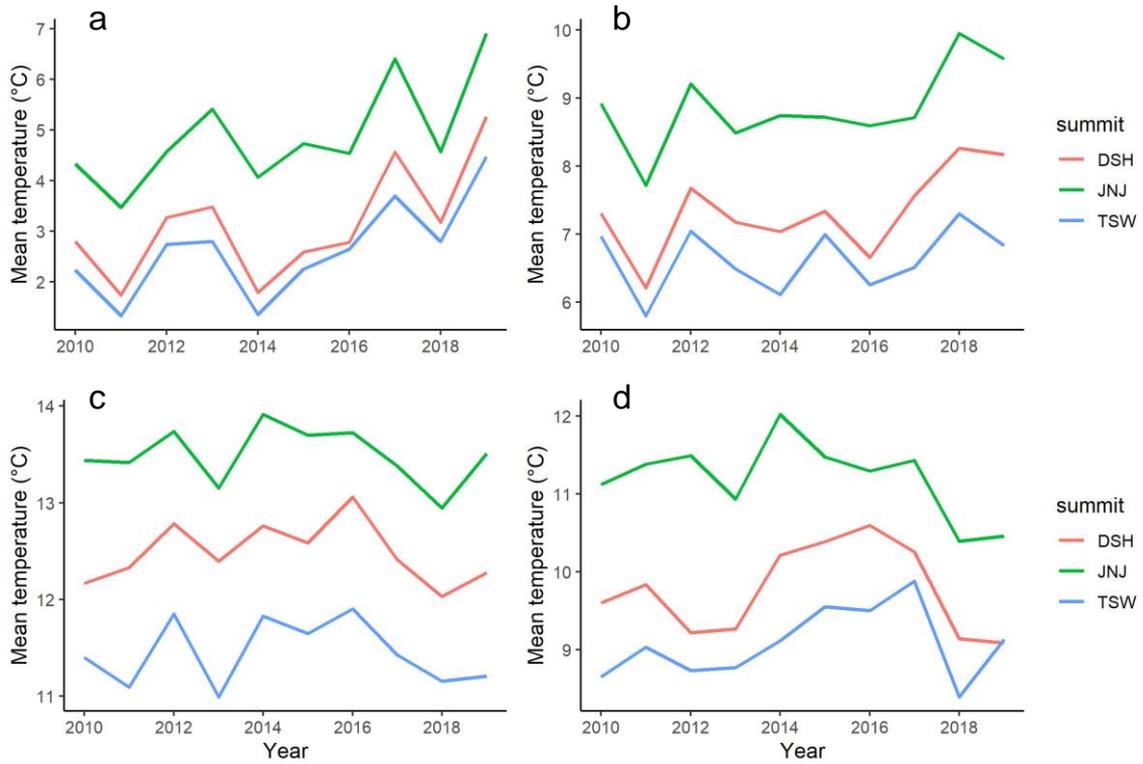


圖 13. 雪山目標區域(SYU)三座目標山峰之季節均溫變化

a. 冬季, b. 春季, c. 夏季, 秋季。

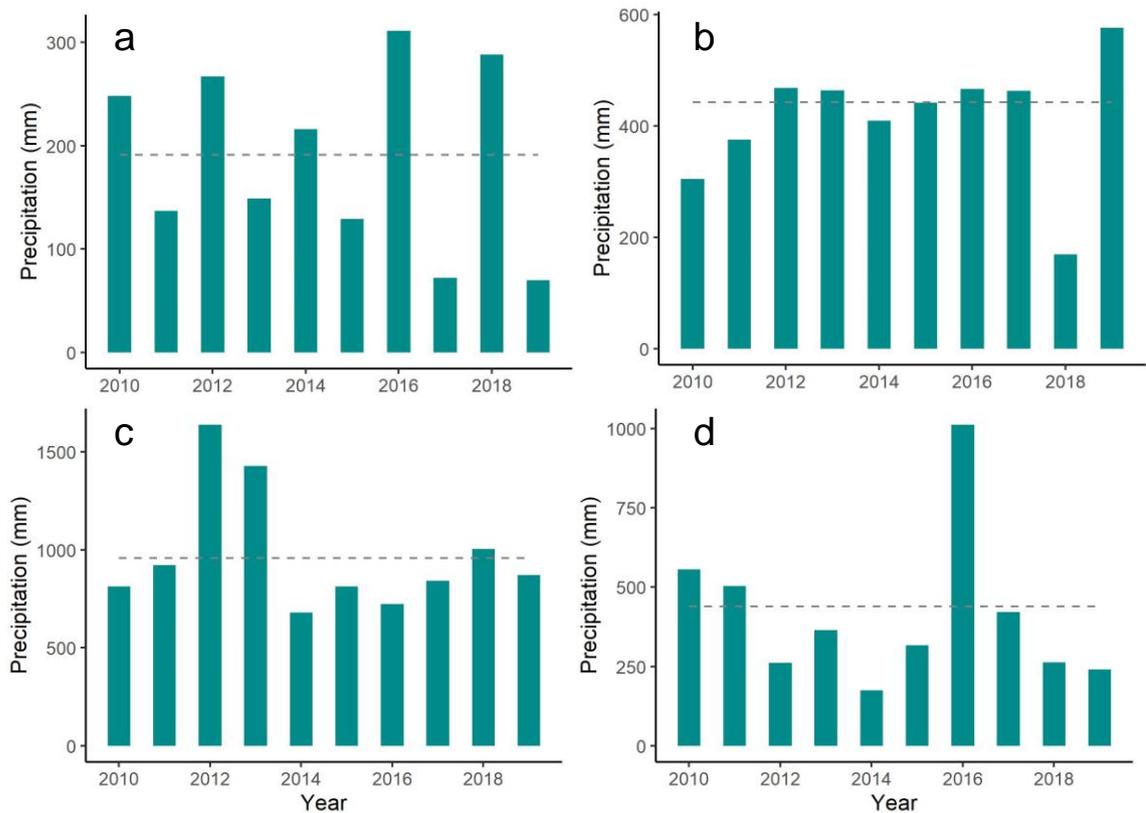


圖 14. 雪山目標區域(SYU)三座目標山峰之季節降雨量變化

a. 冬季, b. 春季, c. 夏季, d. 秋季; 灰色虛線為 1979-2019 年各季節的平均降雨量



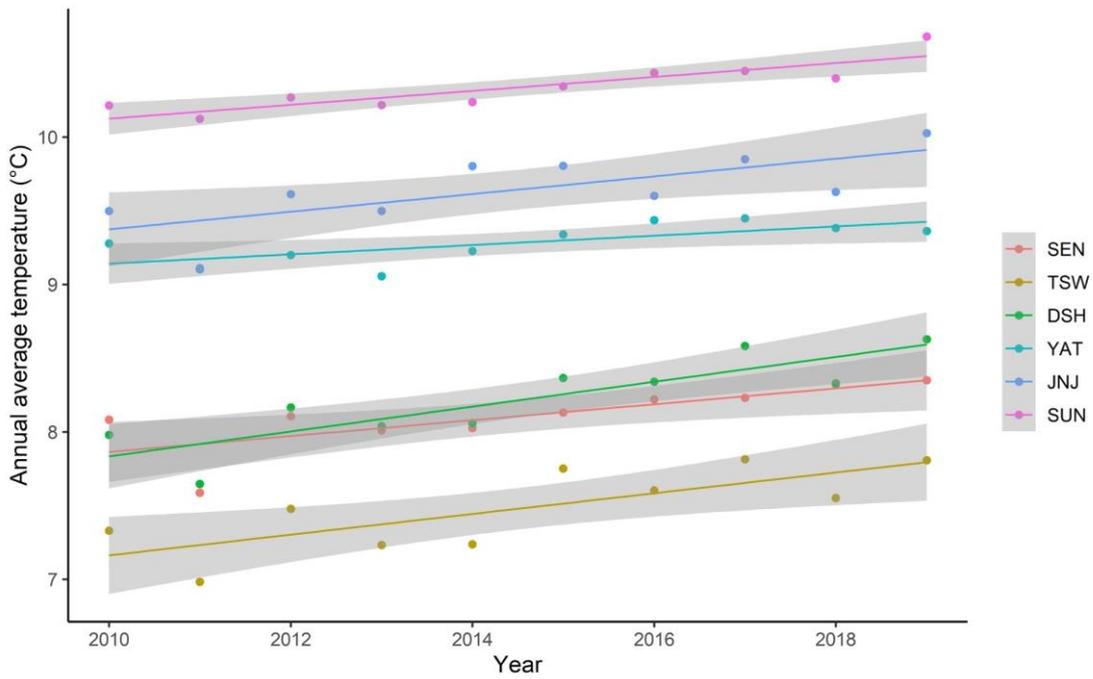


圖 15. 雪山與大水窟區域六座目標山峰之年均溫變化趨勢，灰色區域為 95% 信賴區間

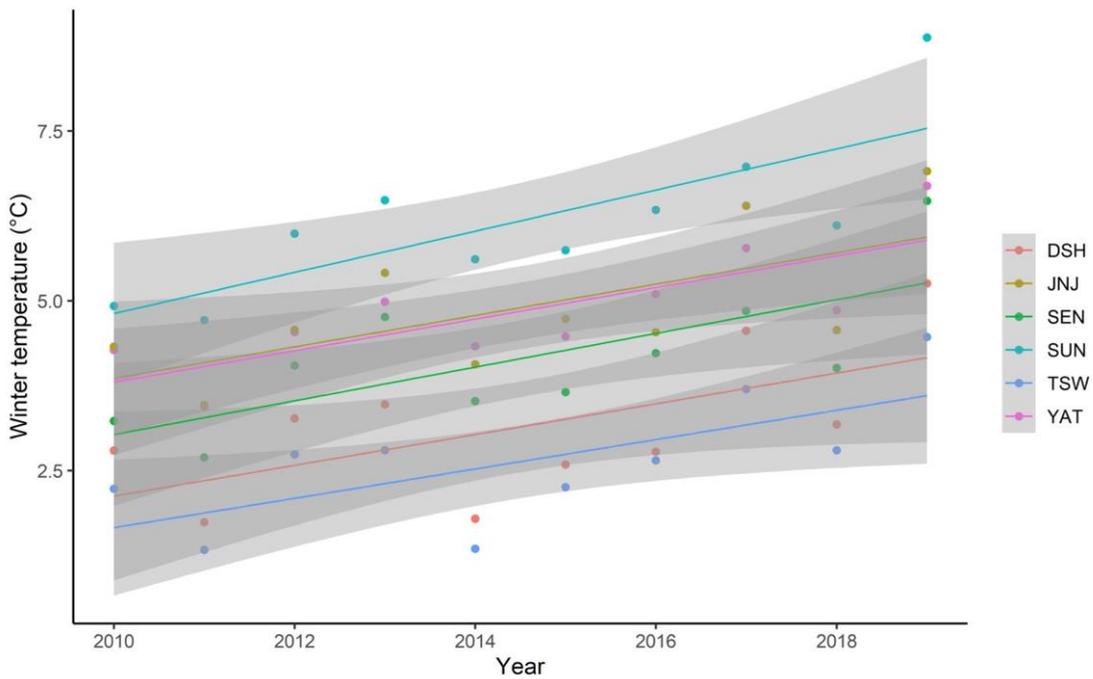


圖 16. 雪山與大水窟區域六座目標山峰之冬季均溫變化趨勢，灰色區域為 95% 信賴區間



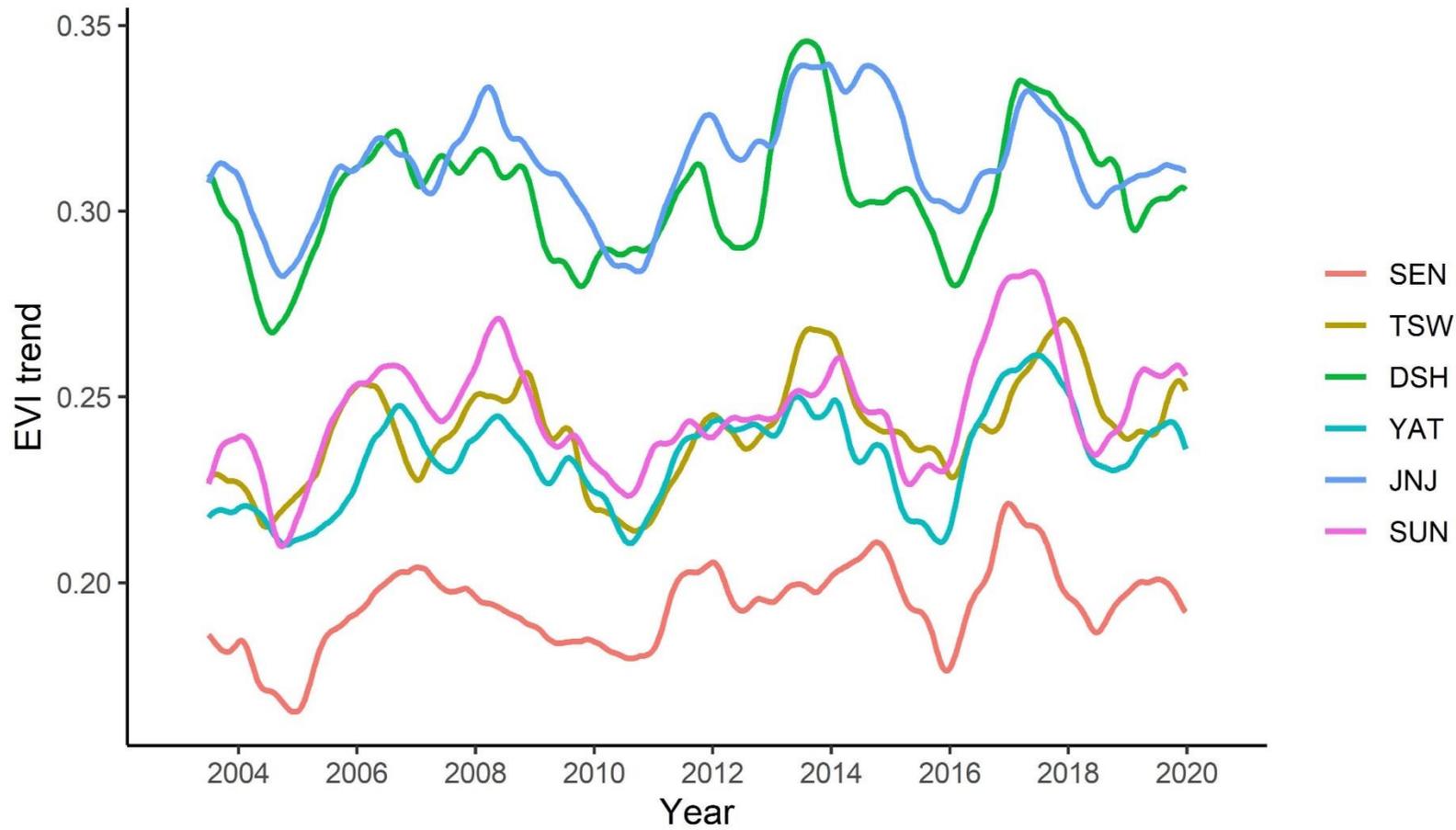


圖 17 2003–2020 年雪山地區與大水窟地區六座監測山峰之增強型植生指標(EVI)的長期趨勢。



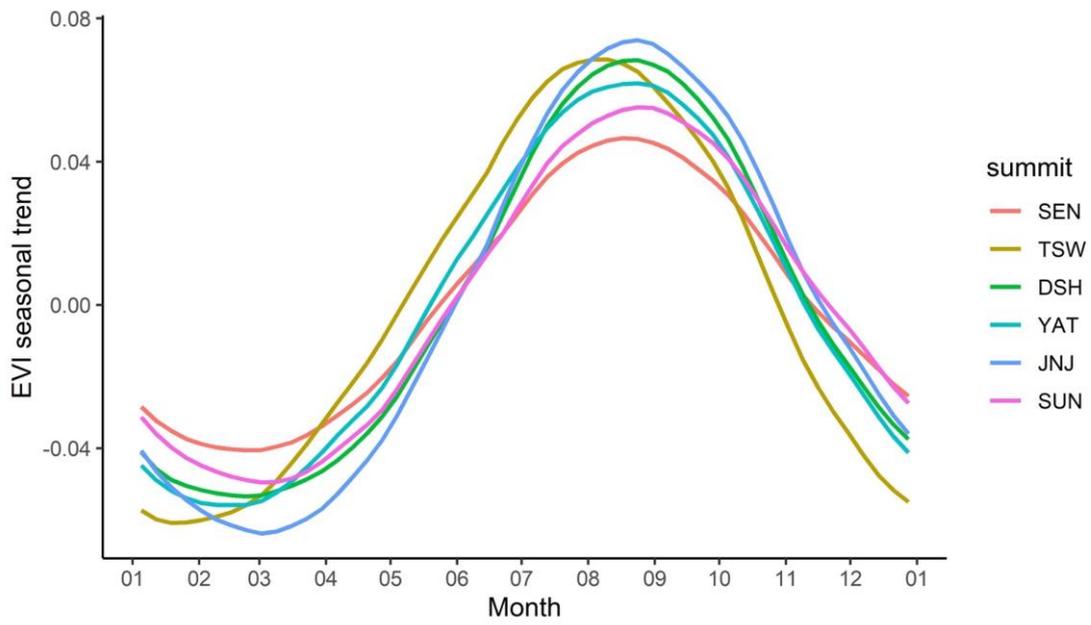


圖 18 2003–2020 年 SYU(雪山)地區三座監測山峰之增強型植生指標(EVI)的季節變化趨勢。



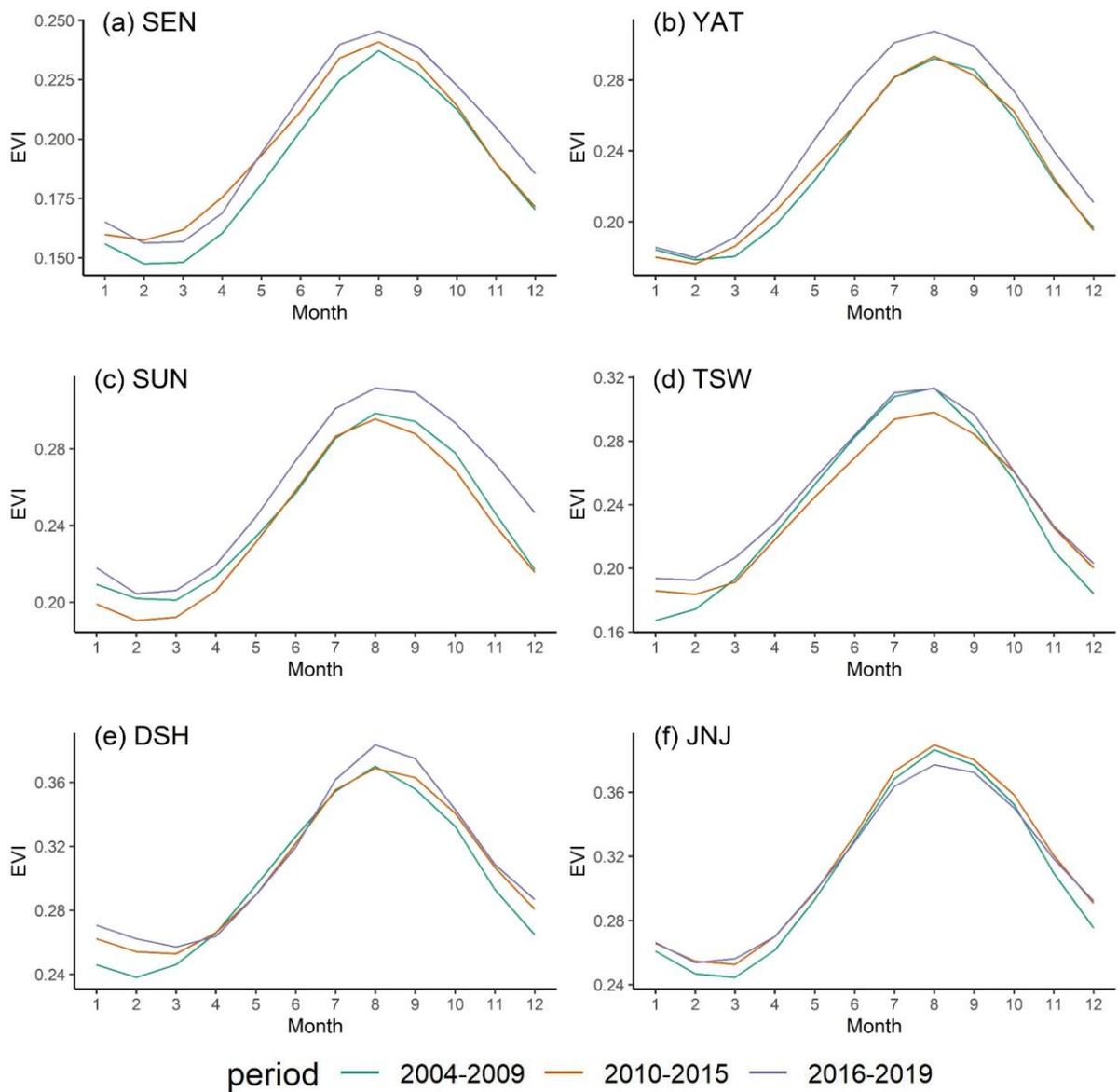


圖 19 2003–2019 年大水窟與雪山區域六座監測山峰之增強型植生指標三時期的年間季節變化



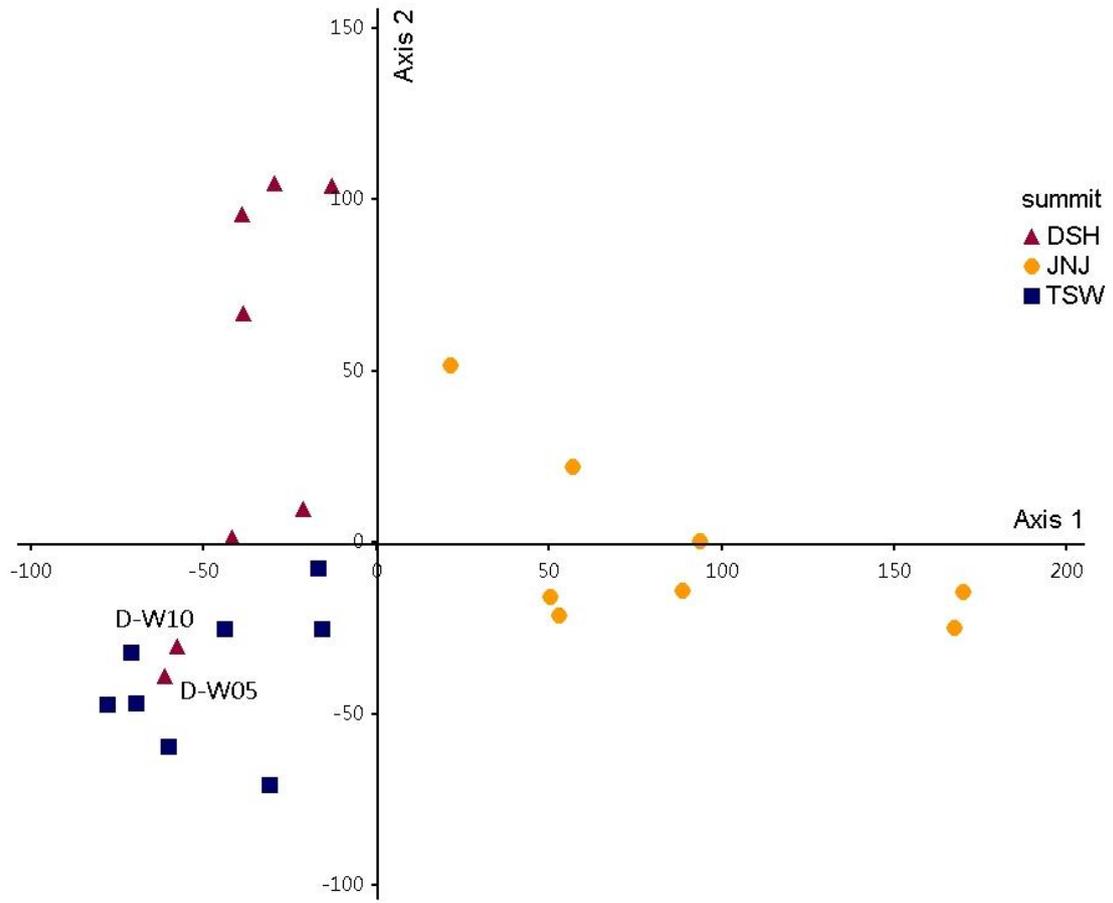


圖 20 2020 年雪山地區三座山峰的方位樣區植群組成之對應分析
圖中 D-W 代表 DSH 的 W 方位樣區。



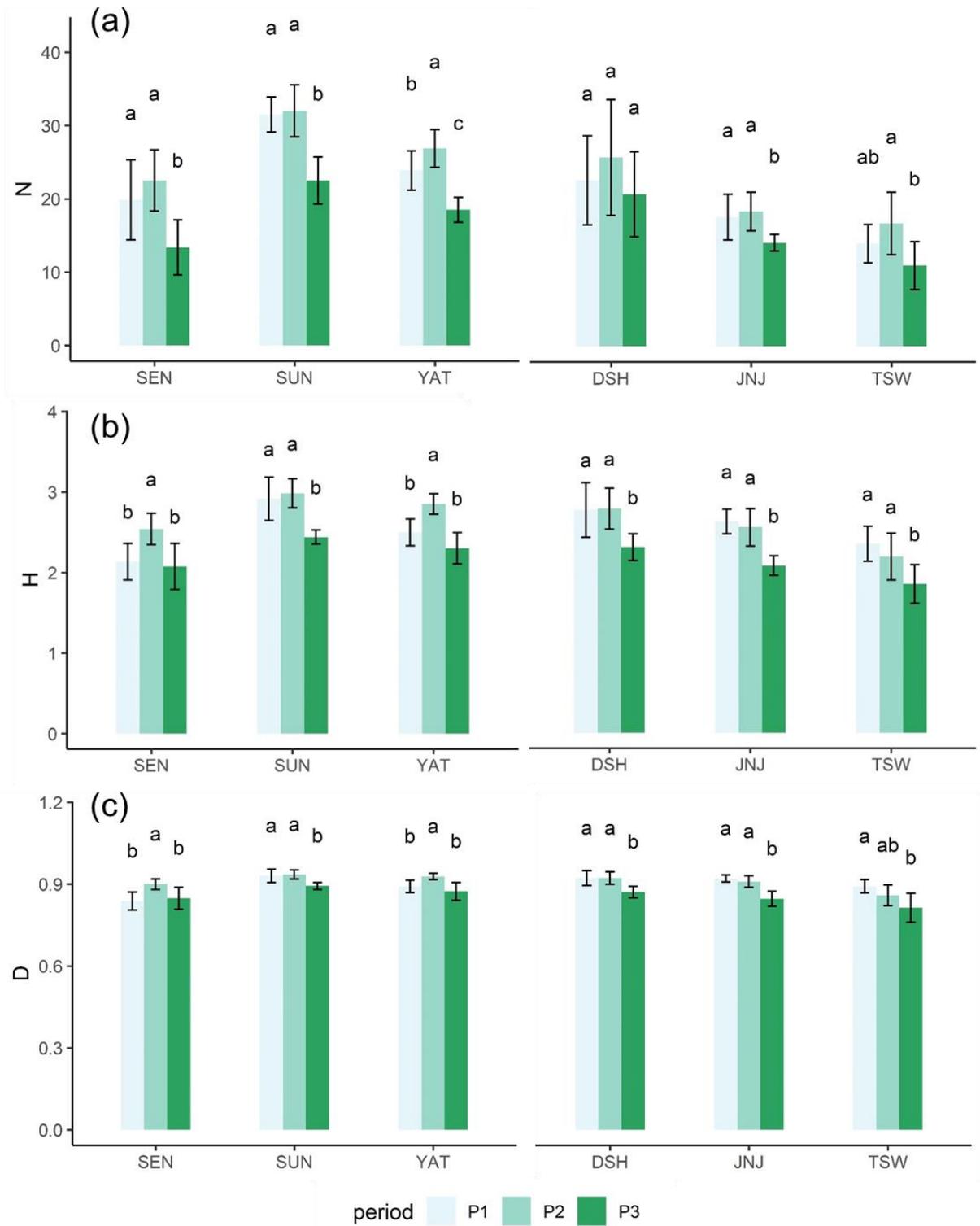


圖 21. 大水窟區域山峰(SEN、SUN、YAT)以及雪山區域山峰(DSH、JNJ、TSW)生物多樣性指數比較；(a) 物種豐富度 (b) Shannon 多樣性指數 (c) Simpson 多樣性指數。



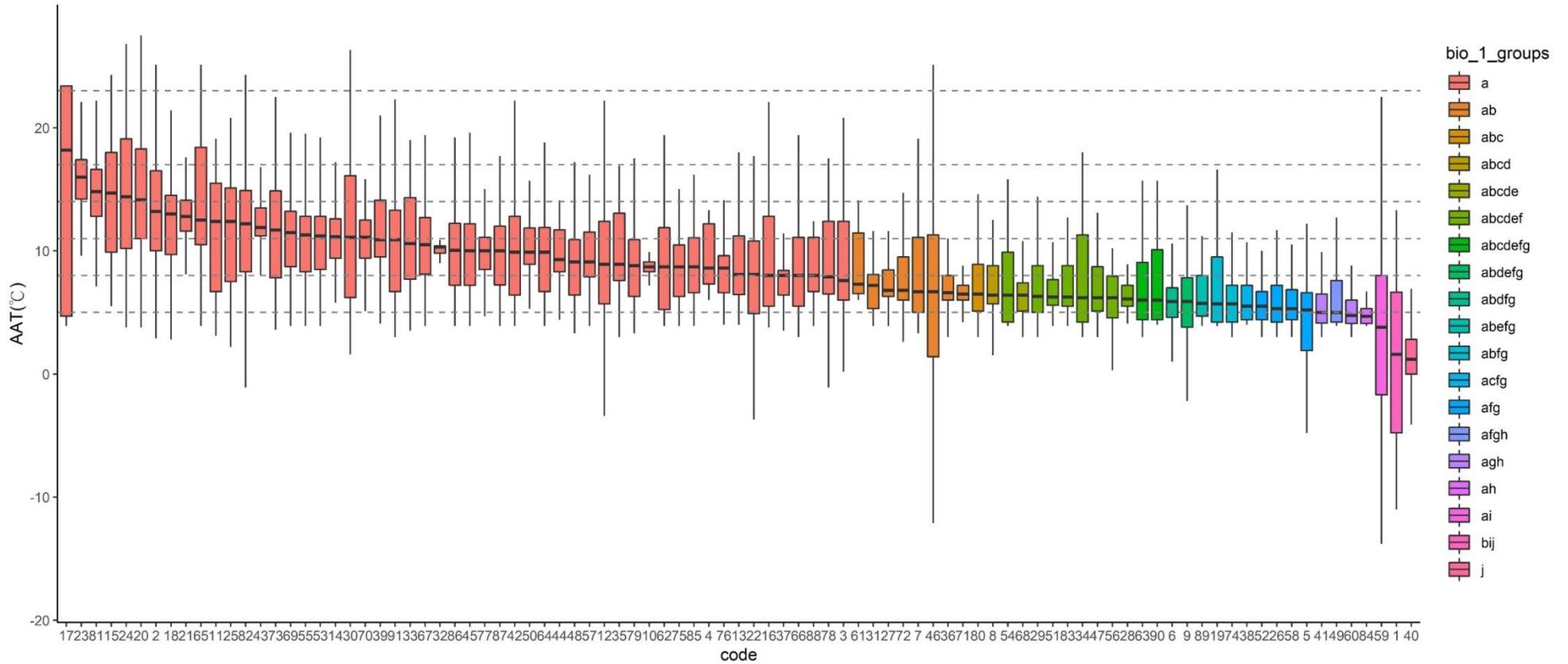


圖 22. 大水窟與雪山區域物種之平均年均溫(average annual temperature)區位

不同顏色代表中位數分析之分組($p < 0.05$)，虛線為 Su (1984) 界定之臺灣中部植群分界年均均溫線。物種代碼(species code)請參照表 13



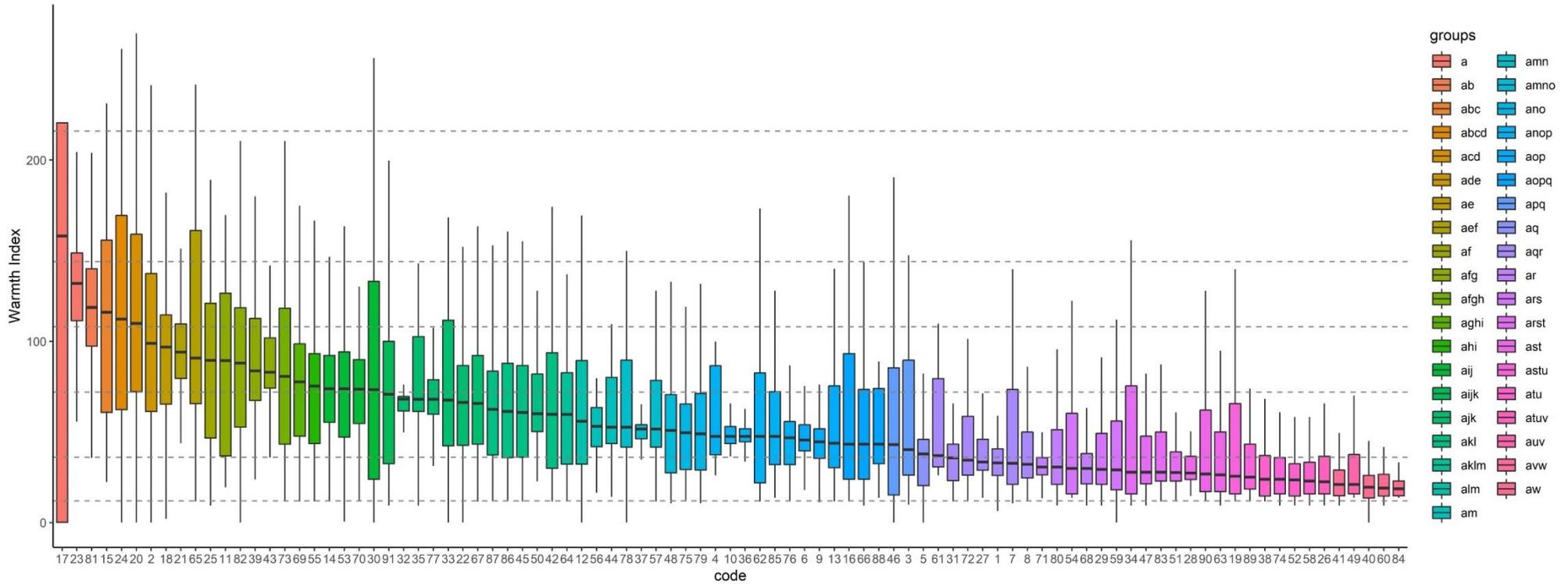


圖 23. 大水窟與雪山區域物種之溫量指數(Warmth index)範圍

不同顏色代表中位數分析之分組($p < 0.05$)，虛線為 Su (1984) 界定之臺灣中部植群分界之溫量指數。物種代碼(species code)請參照表 13



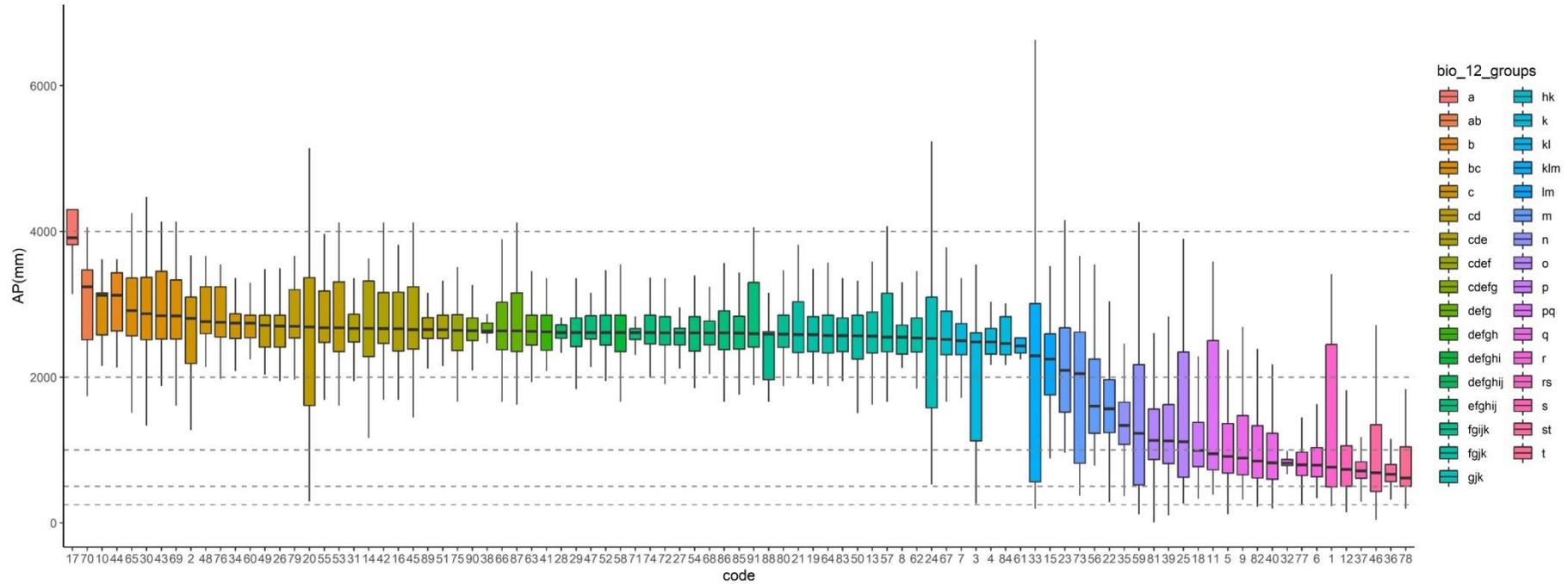


圖 24. 大水窟與雪山區域物種之平均年降雨量範圍

不同顏色代表中位數分析之分組($p < 0.05$)，虛線為年雨量 250mm、500mm、1,000mm、2,000mm 以及 4,000mm 分界。物種代碼 (species code)請參照表 13



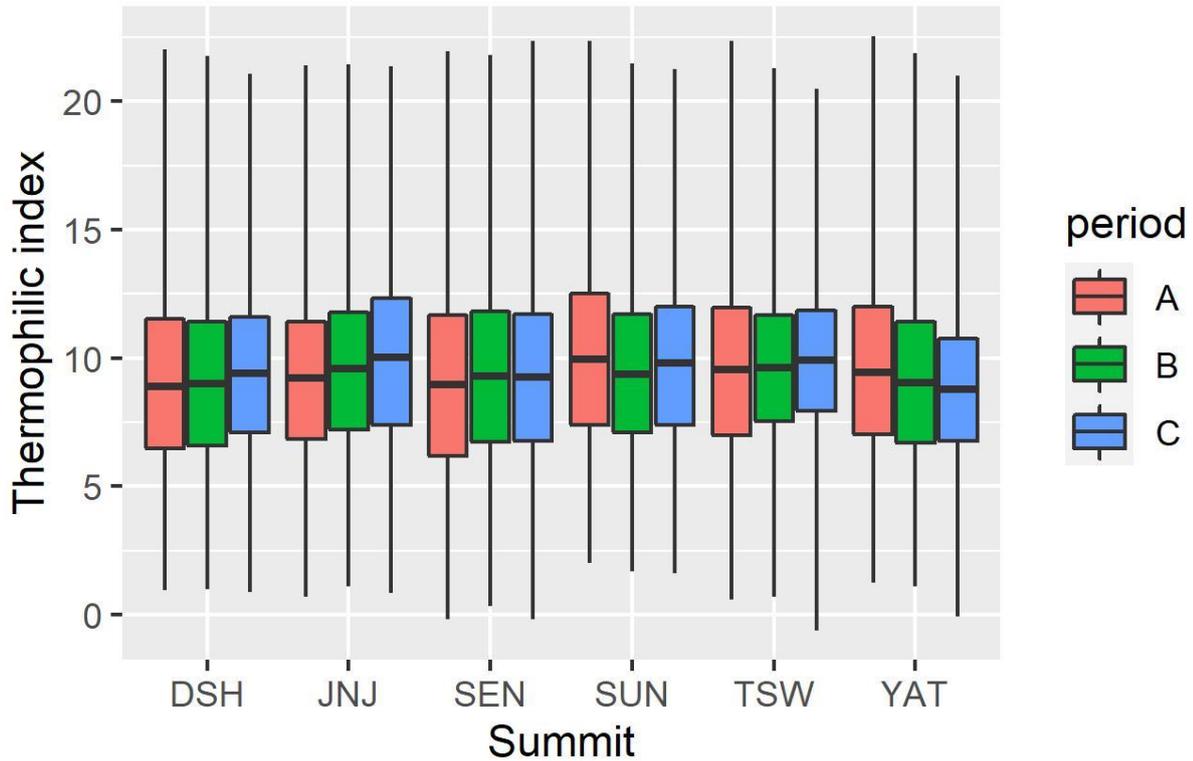


圖 25. 大水窟與雪山區域植群嗜熱指數在三調查時期之範圍，A:2008-2009，B:2013-2014，C:2019-2020。

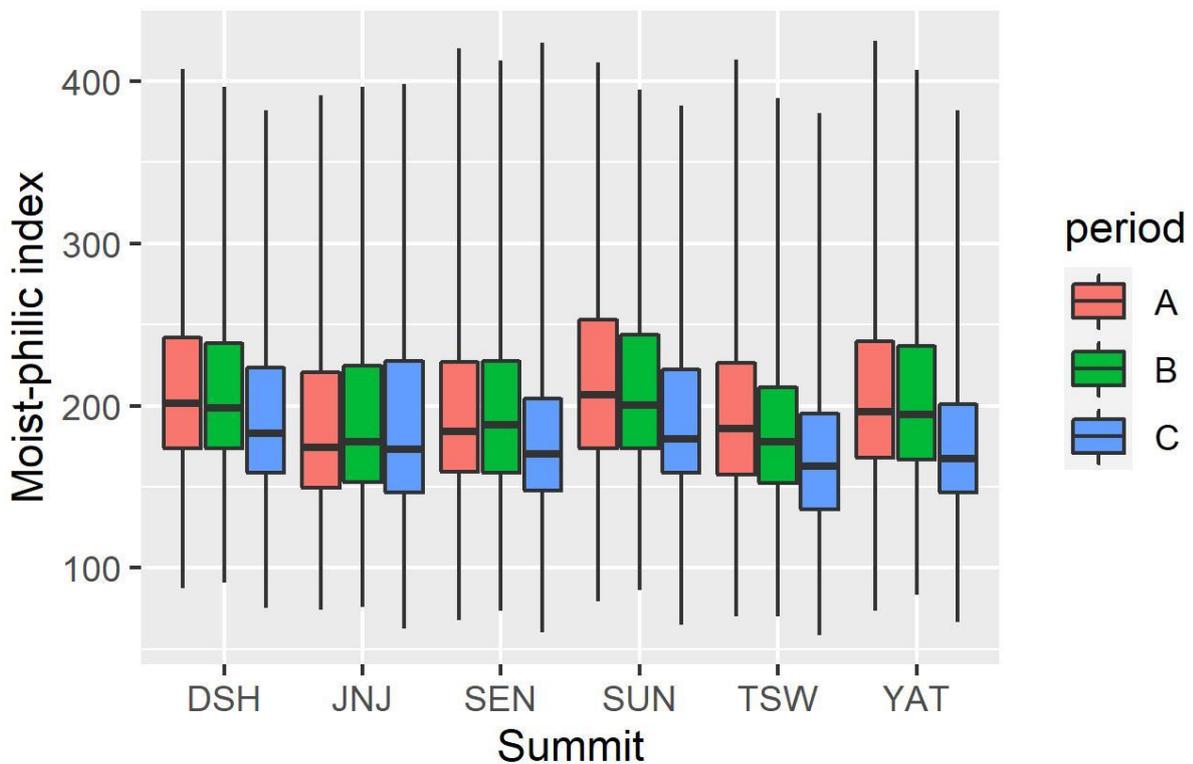


圖 26. 大水窟與雪山區域植群濕潤偏好指數在三調查時期之範圍，A:2008-2009，B:2013-2014，C:2019-2020。



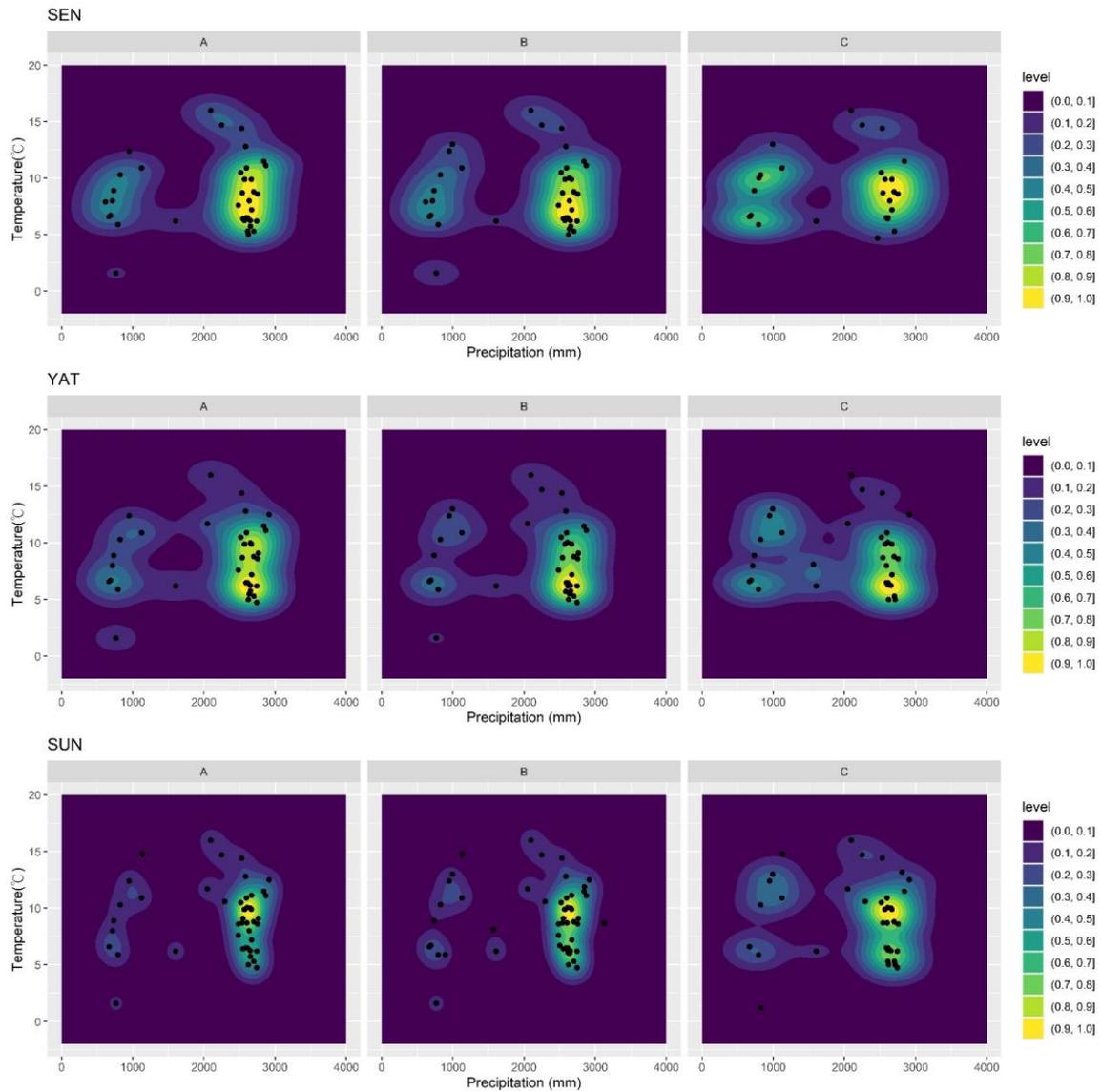


圖 27. 大水窟區域三座山峰物種在最適溫度區位(年均溫中位數)與最適雨量區位(年降雨量中位數)在三次調查時期之聯合物種機率密度圖，A:2008 - 2009，B: 2013 - 2014，C: 2019 - 2020。



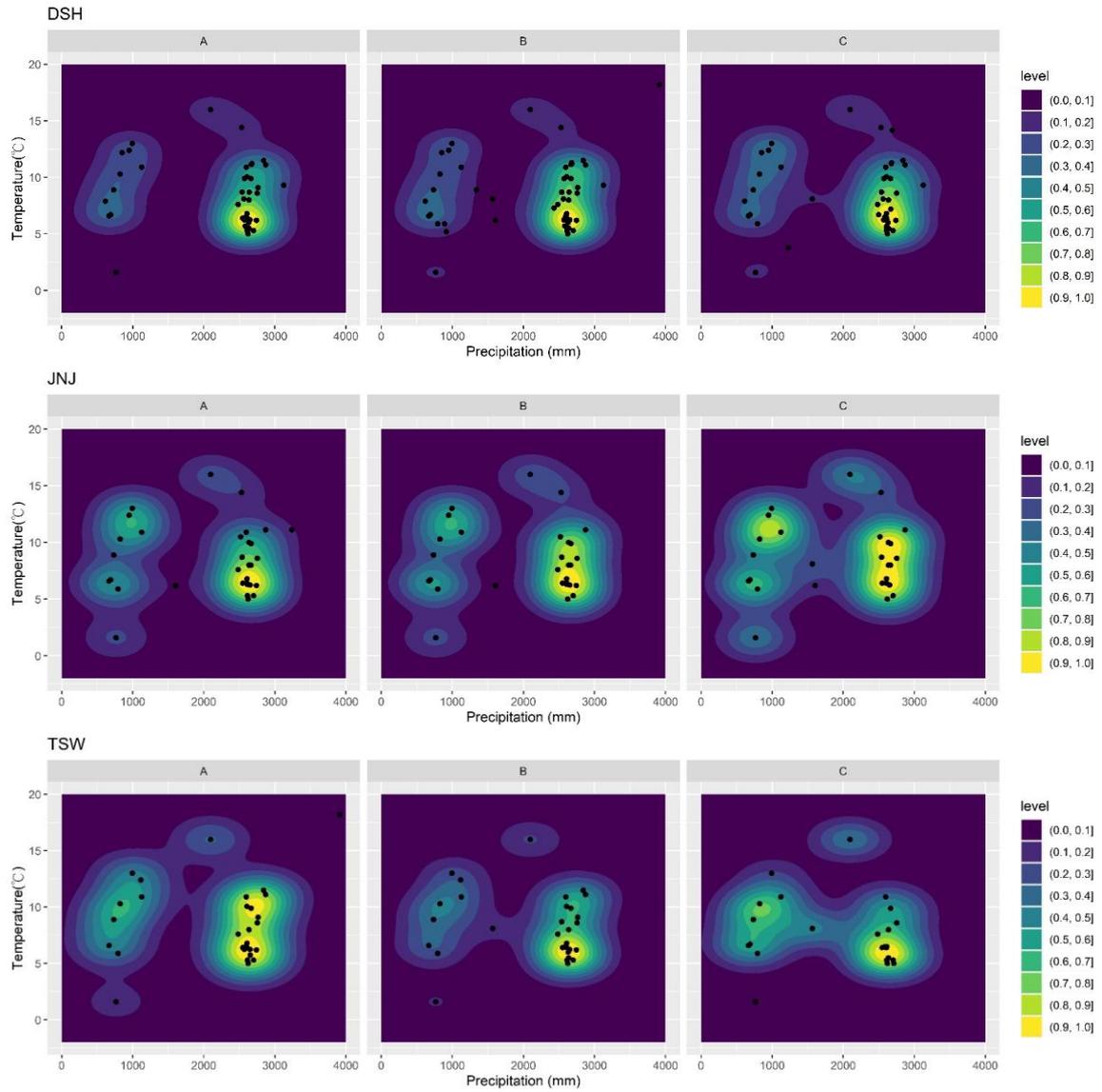


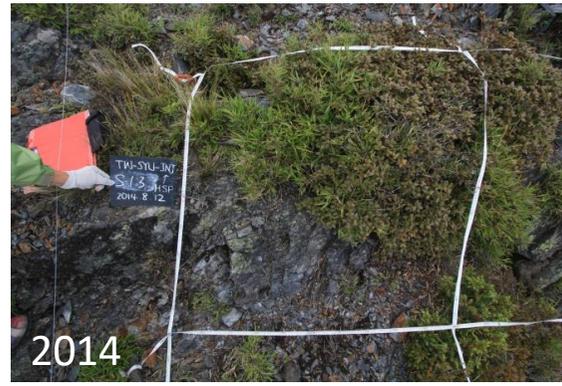
圖 28. 雪山區域三座山峰物種在最適溫度區位(年均溫中位數)與最適雨量區位(年降雨量中位數)在三次調查時期之聯合物種機率密度圖，A:2008-2009，B:2013-2014，C:2019-2020。



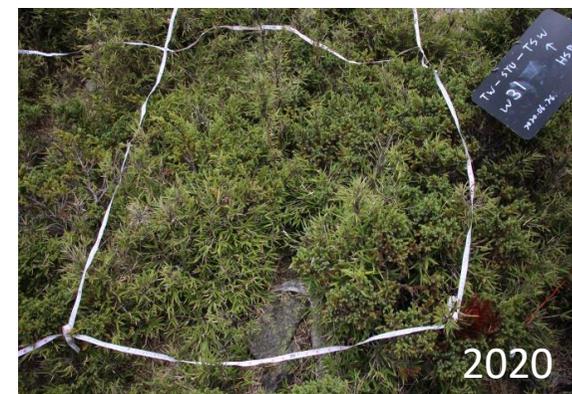


附錄一、雪山地區 2009-2020 年植群變遷比較

TW-SYU-JNJ S13 紅毛杜鵑覆蓋度大幅增加

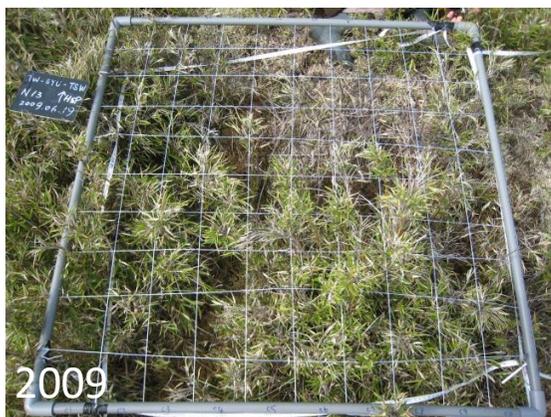


TW-SYU-TSW W13 玉山箭竹高度提升





TW-SYU-TSW N13 裸露地面積增加



TW-SYU-DSH N11 玉山箭竹覆蓋擴張



2014





附錄二、期中審查意見回覆

期中審查會議地點：林務局局本部

時間：2019/10/16

委員：王穎教授、李壽先教授、邵廣昭教授、劉小如教授

委員意見：李壽先教授	意見回復
1. 氣候區位分析中，Bioclim 19 項因子太多，而且部分的因子具有相關性，建議可以做相關性分析，來篩選掉重複的相關因子。	感謝委員建議，本研究依照前人研究建立氣候偏好指標，僅運用長期年均溫、年降雨量以及 1-12 月均溫資料。
2. 報告中有提到生物多樣性下降的可能原因，建議做進一步的分析環境變化如何使生物多樣性下降，避免只是臆測可能原因，可以從植物功能性及其特性去多做討論。	本研究以植物的氣候區位去做較細緻的探討，已補充在期末報告中。
3. 生物多樣性指標過於傳統，建議可以使用清大趙蓮菊老師發展的 Chao I 與 Chao II 生物多樣性指標來做計算，符合更現代分析方式。	感謝委員意見。經討論後，我們發現 Chao I 與 Chao II 指數是利用樣本中的單一個體物種來推估潛在物種數。然而，草本植物難以界定植株個體，因此多以覆蓋度或豐度等級作為介量。嘗試計算 Chao I 與 Chao II 指數後，得到的結果反而失真，因此並未使用該指數。
委員意見：邵廣昭教授	意見回復
1. 既然是國際合作的計畫，建議可以新增與國際合作與成果分享的相關內容。	感謝委員建議，本研究是依照國際合作計畫的工作手冊進行，然而尚未有縱向合作的部分。未來將朝這方面努力。
2. 簡報中有提及物種會往高海拔擴張上去，這項算是一項重要結果，建議新增至結論裡面。	已補充在期末報告中。
委員意見：劉小如教授	意見回復





1. 在報告中第 26 頁有提到 2007 年，想請問為何後續結果與討論都沒有提及 2007 年？	感謝委員提問。該資料主要是講述 EVI 指數在 2007 年有異常驟降。然而，本研究自 2008 年開始設置高山值群樣區調查，因此並未多著墨 2007 的異常現象。
2. 因為是遵循 GLORIA 工作方法，需將樣區設置於低干擾環境，臺灣是否真的有低干擾環境，是不是未來可以將特定區域劃設為研究專用長期監測區，減少人為及登山客干擾，否則計畫難以延續。	高山區域畢竟較難抵達，本研究選定的山峰也非熱門登山路徑或著名山峰，因此受到的干擾相對較少。未來可能做簡易標示，呼籲登山客減少干擾。
3. 報告中提及有 IUCN 保育等級物種發生豐度變化，其中是否有特有種，這些是否可以提出建議後續相關深入研究與保育建議？	IUCN 保育等級中屬於易危的玉山石竹即是特有種，同時在去年大水窟監測樣區中也有發現數量增減的情況。另外消失的小杉葉石松(易危)與日本羊茅(瀕危)並非是特有種。由於缺乏這些物種的基礎生理生態資訊，因此較難提出完善的保育措施。然而可以呼籲相關主管機關管制申請進入保護區人數，降低環境負荷。
4. 在綜合討論中有提及部分特性植物受到氣候變遷影響，其中想請問耐寒植物是不是就不耐熱？	耐寒植物不盡然不耐熱。但是耐寒植物可以仰賴定期的低溫來抑制具有競爭優勢的嗜熱物種(例如玉山箭竹)，並維繫族群。當寒冷天數降低甚至消失，耐寒植物同時喪失其競爭優勢，有可能被嗜熱物種淘汰。
5. 器材遺失是否有辦法裝監視系統？	由於本研究都在偏遠山區進行，人員抵達需要至少一天以上的步行路程，因此不易設置與維持監視系統。
6. 報告中文字有「16 日」，建議修改為「16 天」，避免文字上誤解為日期的 16 日而非天數。	已於期末報告中修正。





7. 原始資料建議建立長期保存之檔案，以利未來分析研究。	本研究將會把資料整理後，分享至 GLORIA 官方平台。同時也預計發表資料報告。
委員意見：王穎教授	意見回復
1. 因為是承接過去長期研究，想請問 2009 年及 2014 年皆為連續幾年的長期計劃，想請問中間的調查是否有按照過去的調查順序去做複查，建議增加說明。	感謝委員建議。本研究是依照 2008 年起使樣區建立的順序進行調查。同時 2013-2015 年的調查順序與時間也相近。
2. 調查的季節受到花季限制，例如本次調查在奇萊區域已經沒辦法做調查，有沒有其他區域的資料可以參考作為對照來補足。	由於本研究是長期監測為主，各山峰的微環境棲地不盡相同，因此較難由其他區域取代。
3. 有些區域雨量多或少，那其中蒸散率的差別也很大，而風的影響也很大，這些區域中風的差異是否可以了解，或者其他地方有資訊可以了解？	感謝委員意見，微環境與微氣候值得更深入探討。研究團隊會針對該議題持續努力。
4. 近年來空拍機非常盛行，有無考慮使用空拍機來做輔助影響調查？	未來將嘗試利用空拍機做樣區紀錄。
5. 人員持續性的部分，未來是否有人員培力與計畫持續性的相關規劃？	有針對一般大學生的相關志工培育計畫，目前仍在執行。
6. 氣象資料方面，有無臺灣其他區域氣象站資料除了衛星資料以外可以平行的作為參考，這幾個氣象站資料或許可以用來參考使用？	由於臺灣高海拔氣象站稀少，近十年內才陸續建立起來，因此時間尺度不足。因此本研究才採用衛星資料。
7. 調查行進路程中是否有危險性？	登山必然具備危險性，因此在野外調查前，團隊會進行教育訓練，人員也經過篩選。
黃群策委員	意見回覆





<p>1. 這個計畫是跟 GLORIA 結合，我們調查的相關數據是否都有匯入到國際的 GLORIA 資料庫中去跟國際作比較?</p>	<p>感謝委員意見。資料陸續建立中，但由於 GLORIA 官網正進行改版，待改版完成後，研究團隊會再將資料上傳。</p>
--	--





附錄三、期末審查意見回覆

期中審查會議地點：林務局局本部

時間：2019/12/24

委員：林幸助教授、李壽先教授、劉小如教授

林幸助委員	
1. 因為期末評核標準包含合歡奇萊樣區需要複查完成，那無法達成標準要怎麼解決?	目前因為天候因素導致合歡奇萊部分樣區調查已過了物種開花結實之季節，因此預計明年將補完此部份。
2. 簡報第 18 頁，為何 10*10 樣區之物種頻度是介於 0-400 次之間?	因為總共有 $20*20 = 400$ 個小網格，每個網格都會點擊一次。
3. 為何要測量土溫而非氣溫?	依照 GLORIA 多峰調查法之規範，樣區皆為測量土溫，因為土溫變化較氣溫來得穩定，也不容易被短期天氣劇變影響，因此可做為長期監測之溫度變數。
4. 在環境因子測量方面，雨量及霧氣無測量，且 ERA5 解析度太低這要如何克服?	謝謝委員的意見，我們會再參考周邊最近的氣象站來研議是否能參照。
5. 簡報第 33 頁，年均溫上下波動與聖嬰現象有關係嗎?可以做進一步討論。	謝謝委員的意見，我們會再針對聖嬰現象對氣溫影響做討論。
6. 雨量變化為何是越來越乾?是全球趨勢還是只有台灣這樣?	依照目前部分的調查，有部分的國家及區域的確是偏向乾旱，而台灣是近幾年較為明顯
7. 簡報第 38 頁，EVI 的波動為何只注重在 2018-2020 下降，前面也有下降甚至更低要如何解釋原因?	在書面資料裡有提及 EVI 波動受玉山箭竹物候週期影響，而玉山箭竹約 5-6 年會有週期性波動變化，2018-2020 年數值提早下降，因此特別提出討論。
8. 使用了許多生物多樣性指數，但其實大同小異，可以考慮是否真的有需要。	謝謝委員的建議，會再研議各生物多樣性指數之使用必要性。
9. 物種氣候區位在物種生態特性方面可代表什麼?	可以表示各物種在溫度與水分環境上分布的區間，表示物種對於兩氣候因子的適性。
李委員壽先	
1. 研究氣候變遷時也會強調環境因子變化幅度對生物影響，報告裡有呈現溫度變化的趨勢，是不是也可以將溫差的變化列入討論?	謝謝委員建議，我們會再做討論分析。





2. 數據分析有牽扯時間序列分析，可以看到上下波動及使用方法平滑化，但建議可以做更多關於時間序列分析的討論。	謝謝委員建議，在書面資料中有針對不同季節以及各山頭在不同時期之EVI值時間序列分析。
3. 在從公民科學資料庫提取資料時可能會發生取樣偏差的問題，分布會不平均，使用這樣的資料來評估物種生態棲位可能會有問題，不知道 GBIF 會不會有一樣的問題。	謝謝委員建議。在使用公民科學資料時，誤差多發生於取樣過於集中以及地點可及性而導致微環境上的取樣偏差。而本研究的取樣尺度達一平方公里，屬於較大尺度的分析，因此取樣的誤差相對較低。
4. 報告第 25 頁，物種氣候區位，其實很難在短時間有變化，在那個章節主要是討論群落的物種區位組成變化，在章節應該分開討論，才符合章節題目。	謝謝委員建議，會再將氣候區位結果及物種區位組成變化結果分開討論。
5. 在分析時，從研究目標來看要了解之間變化的趨勢，建議可以增加對於整體的具體描述，特別是環境變化對於植物的影響。	謝謝委員建議，會再補充描述。
6. 對於特定消失物種描述，例如前次調查具有優勢度的物種消失，討論變化幅度比較大的物種較具意義。	謝謝委員建議，會再補充描述。
劉委員小如	
1. 簡報第 23 頁，indicator 少一個字。	謝謝委員指正，已更正。
2. 期末報告文字編排順暢。	謝謝委員肯定。
3. 簡報第 33 頁，紙本第 63 頁山峰溫度變化圖，日最低均溫圖最下面兩個樣區溫度上升，要怎麼表示只有冬季溫度上升，這應該是所有季節的圖？	不好意思，這邊在簡報時沒有講述清楚，在冬季升溫的描述應該是在第 35 頁時描述在冬季升溫明顯。
4. 關於 GBIF 提取物種資料是提取總量的 1/10 做分析嗎？	我們會將所有從 GBIF 提取資料的 1/10 抽取做檢驗，確認物種鑑定正確性，在分析時是將所有資料做分析。
5. 嗜熱指標計算是參照前人研究或標本館紀錄，會不會受到資料取樣誤差影響，例如資料本來就比較好取得的地方，無法真實代表物種分布情形？	謝謝委員建議，本研究採用較大尺度的分析方法，因此取樣的偏差相對微環境研究是較低的。
6. 分析大多從植群角度切入，較少針對特定物種描述，有沒有以消失的物種為目標做探討，對特殊的物種建議特別討論。例如消失的這些物種其生理狀態及上次複查時狀況如何，可以判斷。	謝謝委員建議。目前的確是從植群整體的角度來切入，部分物種的描述在其消失原因，需要再做進一步研究，尤其是生理生態上的試驗。





7. 在 15 座山頭狀況皆不一致，是不是可以針對各山頭狀況做綜合性描述，例如溫度、雨量或有無特殊環境。	謝謝委員的建議，會再補充描述。
8. 對於水分變化可以增加描述使其趨勢狀況更清楚呈現。	謝謝委員的建議，會再補充描述。
9. 雨量是重要的基礎資料，建議可以編列經費買溼度計當作長期重要投資。	謝謝委員的建議，我們會再洽詢相關的廠商詢問是否有合適的長期土壤濕度感測器或是簡易型 data logger，並評估佈放之可行性
10. 氣候區位有部分物種範圍狹窄，是否為較易受影響物種，可以多加討論	謝謝委員的建議，會再補充描述。
林副局長濔貞	
1. 溫度計被偷及資料缺失最後是用衛星資料解決嗎?	目前使用歐洲長期預報中心所做的統計降尺度 ERA5 模式資料來和既有的土溫資料做線性回歸後，用內插補其缺失值
2. 跟國外比較變化趨勢是否一致?	目前土壤溫度的趨勢和近年東亞地區的趨勢一致，皆是逐年上升中。
保育組劉泰成	
1. 我們是補助計畫，雖然今年合歡奇萊沒做完，但明年補完就可以。	
2. 附近有無國家公園或其他單位設置氣象站可收集雨量資料?	謝謝委員的意見，我們會再參考周邊最近的氣象站來研議是否能參照。

