

雪山高山生態系指標植物物候調查(2/3)

期末報告

委託單位：雪霸國家公園管理處

受委託者：國立中興大學

執行單位：國立中興大學森林學系

研究主持人：曾喜育、曾彥學

研究人員：楊佳蓉、林嘉言、李佩樺

方韻茹、王偉、何郁庭

雪霸國家公園委託研究報告

中華民國 106 年 11 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

摘要

關鍵詞：雪山、高山生態系、開花結實物候、氣候變遷

一、研究緣起與背景

全球暖化所造成的異常劇變天氣及氣候變遷現象，已對於陸地生態系統產生影響，其中以高山生態系的反應最為顯著。因為高山環境嚴苛，生物處於最低的生存條件上，對於環境因子如溫度（包括氣溫、土溫）、太陽輻射（包括光合作用有效輻射量、光週期、紫外輻射）、積雪、強風等氣候變化十分敏感，因此任何的微環境變化可能會對於生物多樣性與物種帶來劇烈的衝擊。雪山地區是臺灣頗具代表性的高山生態系，至今仍保存著極為完整之自然資源，在嚴苛氣候條件下孕育著不同的植物社會，動、植物資源迥異於其它生態系，是極需長期進行調查及監測的區域。雪霸國家公園管理處於民國 101 年起進行雪山雪東線步道沿線植物物候調查，逐步建立雪山高山生態系植物物候基礎資料。本計畫在前期研究之基礎下，針對雪東線步道沿線植物物候進行調查監測，並配合雪山高山氣象站及資料庫進行分析，以期透過較長期的觀察，了解雪山地區植物物候年際變化趨勢，提供探討在全球氣候變遷和人類活動對雪山地區生物群聚可能之影響，提供管理處整體生態系經營管理對策及方案，落實國家公園經營管理政策目標。

二、研究方法與過程

本研究選取步道兩旁較優勢、花朵鮮艷、臺灣特有及稀有物種進行開花觀察，並延續吳佳穎等 (2013) 和曾彥學、曾喜育 (2013b、2014) 的觀察，調查期間自 2017 年 1 月至 2017 年 10 月，每月至少進行 1 次觀察，選擇族群數量較穩定之物種觀察花期，記錄各月分之開花結實物種。單一植株花期以花冠開放、花藥成熟至凋謝期間為準，果期以果實開始發育至成熟為準，物種花期以族群內開花株數達 30% 以上為盛花期。除上述物候調查方法持續進行外，挑選指標物種進行展葉、花候等物候狀態的每日定時以 Reconyx (HC500) 及 Reconyx (XR6) 等 2 款自動縮時攝影機自動拍攝記錄。

三、重要發現

1. 2017 年 1-2 月的溫度較 2016 年同月份高，2017 年 1-2 月的開花物種數接近 20 種。果候趨勢與花候相似，晚於花候 1-2 個月；2016 年 12 月時結實種數驟降，2017 年 1-5 月時結實種數較少。

2. 從 2017 年開花結實數量與氣候因子的 Spearman 等級相關分析顯示，開花種數與溫度呈現正相關 ($\rho = 0.899, p < 0.01$)，與雨量則不顯著 ($\rho = 0.465, p = 175$)；結實種數與溫度呈現正相關 ($\rho = 0.773, p < 0.01$)，與雨量則不顯著 ($\rho = -0.113, p = 0.755$)。分析結果顯示溫度是影響雪山地區開花結實物候的主要因子。
3. 2016 年的氣候仍受到 2015 年聖嬰現象影響，從 4 至 8 月每月均溫皆超過往年的各月均溫，高山植群帶 11-12 月仍有植物開花可能是受到高溫影響。
4. 2017 年冬季開花種數達 30 多種，在 2 月份時開花種數是往年 (2014-2016 年) 的兩倍，此結果可能受是到 2017 年 1 月的極端高溫影響，致使物種提前進入花期。
5. 比較不同年度各植群帶開花情形，2017 年的 3-5 月全線開花物種數中與往年相似，除櫟林帶上層的開花物種數較其他年度高外，其他植群帶的開花物種數明顯下降。且隨著海拔上升，春季開花物種數下降越多，此可能因 1 月的高溫造成冷激需求不足。
6. 在玉山杜鵑開花預測的部分，當前使用五種模式進行推估。其中以基礎溫度為 0°C 以及 S 型函數時有較好的預測能力。然而，仍有 -13 至 10 天的預測誤差，需要更進一步研究玉山杜鵑有關的開花生長參數以修正模式。

四、主要建議事項

根據本研究於雪山地區植物物候之調查，可做成立即可行及長期建議事項，分述如下：

(一)立即可行建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：國立中興大學森林學系

建議事項：

經過植物物候之調查，雪山主峰線種子植物花期高峰為 6-8 月，可提供雪霸國家公園做生態旅遊之簡介，使民眾更貼近的欣賞雪山之美，並達到保護自然資源之教育功能。

(二)長期性建議

主辦機關：雪霸國家公園

協辦機關：國立中興大學森林學系

建議事項：

開花物候雖然對溫度反應敏感，但是仍有多項環境條件綜合影響。因此若要釐清氣候變遷對植物物候的影響，需要更長期監測方能顯現。本研究建議 貴處或可結合志工制度，對雪山地區的指標物種進行長期的攝影觀察。指標物種之選定除了稀有種、對氣溫敏感物種之外，外來種也可列入觀察目標，了解是否因氣候暖化以及人類活動影響，使外來種的分布界線提高。

Abstract

The alpine ecosystem is an critical area where study the global climate change in recent year. In the alpine ecosystem, the biological species, population structure and microenvironment changes have provided the indirect and/or direct evidence regarding the global climate change. Xue Mountain area is quite representative of Taiwan's mountain ecosystems, still holds a very full of natural resources. In the harsh climatic conditions many different plant society, animal resources from other ecosystems, is in great need of a long-term investigation and monitoring of the area. Flowering and fruiting phenology were survey along the East Xue Trail in Xue Mountain from March 2016 to May 2017. According to the Spearman rank correlation analysis, the number of monthly flowering and fruiting species showed positive significantly with temperature, but not precipitation. The relatively large number of blooming species occurred in January-February 2017 might be due to the rather higher temperature in autumn-winter of El Niño-Southern Oscillation in 2016-2017. And, the species flowering at alpine vegetation zone bloomed in November-December 2016, might affect by relative higher temperature in autumn-winter also. The phenomena of more than 30 species flowering in winter of 2017 and the number of blooming species in February 2017 was about twice more than recent surveys (2014–2016), might be due to the effect of the extreme high temperature in January 2017. The number of flowering species was lower in alpine vegetation zone in March-May 2017, because of the chilling requirement was shortage for plant blooming that effect by high temperature in January 2017. According to results of the thermal-time model, the base-temperature of 0°C of thermal-time model and S-shape model would be better predictive ability to fit the first flowering date for *Rhododendron pseudochrysanthum*. However, there was still a prediction error of -13 to 10 days. Further study on the flowering parameters of *R. pseudochrysanthum* is necessary.

Keywords: Xue Mountain, alpine ecosystem, flowering and fruiting phenology, climate change

目錄

摘要	I
Abstract	IV
目錄	V
表目錄	VI
圖目錄	VI
一、計畫緣由	7
二、計畫目標	8
(一) 工作項目	8
(二) 預期目標	8
三、前人研究	9
四、研究地區概況	19
(一) 地形、地質與土壤	19
(二) 氣候	20
(三) 雪山主峰線山地植群帶	21
五、研究方法	24
(一) 植物開花物候普查	24
(二) 指標物種監測與物候模式建立	24
六、結果與討論	27
(一) 開花結實物種種類調查清單	27
(二) 全線開花結實表現	28
(三) 不同海拔植物開花物候比較	47
(四) 雪山地區不同年度植物開花物候比較	59
(五) 雪山地區物候縮時攝影監測與開花積溫推估	63
七、參考文獻	70
附錄 1. 2012-2017 年雪山主峰東峰線物候調查植物名錄	80
附錄 2. 2017 年雪山主峰東峰線物候監測物種	91
附錄 3. 第二次報告會議回覆辦理情形	94

表目錄

表 1. 雪山主峰沿線海拔植群帶分布表	22
表 2. 雪山物候研究之雪東步道里程碑及不同路段之植群帶劃分	24
表 3. 雪山地區高山生態系植物物候長期監測指標種調查清單與樣株數	25
表 4. 雪山雪東線步道 2017 年沿線物候調查物種數統計	27
表 5. 玉山北峰氣象站 2012-2017 與 1961-2016 年月均溫以及月均溫在 1961-2017 年間 之高溫排名	61
表 6. 雪山主峰線沿線物候監測相機與監測物種	63
表 7. 雪山主峰線 2017 年沿線物候監測物種花期與展葉	65
表 8. 雪山圈谷不同年度玉山杜鵑在不同基礎溫度下始花期所需積溫	66
表 9. 雪山圈谷不同年度玉山杜鵑在不同基礎溫度下始花期預測日期與實際日期差值	66

圖目錄

圖 1. 玉山北峰氣象站 1952-2013 年地表氣溫變化之情形	10
圖 2. 雪山主峰線沿線 2012-2014 年開花種數與氣象因子關係	11
圖 3. 玉山國家公園不同年度開花與結實物候比較圖	12
圖 4. 中央氣象局玉山氣象站 2013 年與 1961-2012 年之 52 年平均氣溫與降雨比較圖	13
圖 5. 本計畫研究地區範圍圖	19
圖 6. 雪山雪東線步道生態氣候圖	21
圖 7. 利用自動照相機定點定時自動拍攝花候之變化	25
圖 8. 雪山雪東線步道 2017 年沿線植物物候調查主要科別	27
圖 9. 雪山雪東線步道 2017 年沿線植物物候調查全線開花結實種數與雪山圈谷氣候 圖	28
圖 10. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月植物開花物候譜	30
圖 11. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月植物結實物候譜	39
圖 12. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月不同植群帶植物每月開花種數變化	48
圖 13. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月橫跨不同植群帶之植物開花物候譜	49
圖 14. 雪山雪東線步道 2012-2017 年沿線植物物候調查全線開花種數與氣候圖	60
圖 15. 玉山北峰氣象站 2012-2017 年 12-5 月月均溫與 1961-2016 年 12-5 月平均月均 溫之差值	62
圖 16. 雪山主峰線 2012-2017 年不同海拔開花物候種數比較圖	64
圖 17. 雪山圈谷不同年度玉山杜鵑的不同基礎溫度逆向積溫累積與變異係數波動圖	67
圖 18. 雪山圈谷不同年度玉山杜鵑不同基礎溫度逆向積溫累積圖	68
圖 19. 雪山圈谷不同年度玉山杜鵑逆向積溫累積圖	69

一、計畫緣由

工業革命以來，大氣中 CO₂ 濃度由工業革命以前 280 ppm 逐年升高，並於 2014 年起月平均濃度陸續有超過 400 ppm 的紀錄 (NOAA, 2016)，而全球氣候發生以變暖為主要特徵變化，劇烈天候變化發生機率增加。政府間氣候變化專門委員會 (IPCC) 第 4 次評估報告指出，過去 100 年來全球氣候平均氣溫升了 $0.74 \pm 0.18^{\circ}\text{C}$ ，並預測到 21 世紀末，全球平均氣溫將升高 $1.8-4.0^{\circ}\text{C}$ (Rosenzweig *et al.*, 2007)。在 2013 年 9 月 27 日 IPCC 第 5 次評估報告針對全球與區域性氣候變遷科學之研究進行全面性的彙整與評估，第一工作小組 (WGI) 針對物理自然科學基礎提出新的氣候變遷證據，說明 2100 年大氣 CO₂ 濃度可能增加至 421 ppm-936 ppm；自 1950 年以來，全球每年陸地表面均溫呈線性上升，每 30 年皆比前 10 年更加溫暖，而近 10 年之全球海陸表面均溫較 130 年前升高 0.85°C ，若繼續排放溫室氣體，本世紀末將可能升高至 4.8°C ，極端天候事件如旱災、洪氾、熱浪與超級暴風雪等頻度驟增。而這些異常劇變天氣及氣候變遷現象，已對於陸地生態系統產生影響，其中以高山生態系的反應最為顯著。

因為高山環境嚴苛，生物處於最低的生存條件上，對於環境因子如溫度 (包括氣溫、土溫)、太陽輻射 (包括光合作用有效輻射量、光週期、紫外輻射)、積雪、強風等氣候變化十分敏感，因此任何的微環境變化可能會對於生物多樣性與物種帶來劇烈的衝擊。因此研究高山生態系之族群生長、分布、群聚生態、養分循環、能量傳遞機制以及群落之功能性等，可作為氣候變遷的間接生物學和生態學證據。近年來世界各地之各類型長期生態研究站的紛紛設立，將多種生態調查如野生物、土壤、微生物、地質、地形、水文、微氣象、養分循環等因子，結合資料庫之應用、分析，藉以瞭解研究區域中生物族群在時間尺度及空間分佈的動態變化，並提供生態系在未來可能變化之推估。

雪山是臺灣高山生態系相當重要的研究區域，自武陵隨海拔梯度蜿蜒而上，植物社會主要以臺灣二葉松 (*Pinus taiwanensis*)、高山櫟 (*Quercus spinosa* var. *miyabei*)、臺灣鐵杉 (*Tsuga chinensis* var. *formosana*)、臺灣冷杉 (*Abies kawakamii*)、玉山圓柏 (*Juniperus squamata*)、玉山杜鵑

(*Rhododendron pseudochrysanthum*)等溫帶針闊葉林、亞寒帶針葉林至雪山主峰。而部分受火燒干擾地區形成森林與玉山箭竹 (*Yushania niitakayamensis*)動態推移之森林界線。

本年度計畫在前期研究之基礎下，主要針對植物物候進行調查及監測，並配合雪山高山氣象站及資料庫進行分析，以期透過較長期的觀察，了解雪山地區植物物候年際變化趨勢，提供探討在全球氣候變遷和人類活動對雪山地區生物群聚可能之影響，提供管理處整體生態系經營管理對策及方案，落實國家公園經營管理政策目標。

二、計畫目標

本計畫期程為3年(含後續擴充2年)，探討植物物候與環境因子之關係，為持續臺灣高山生態系植物物候調查，並加強針對指標物種進行監測觀察，建立雪山地區長期物候資料，探討氣候變遷對高山生態系植物生長繁殖之影響，並配合「105年至108年國家公園中程計畫」。

(一) 工作項目

1. 建立雪山雪東線步道沿線高山植物長期物候調查資料。
2. 應用縮時攝影機建立指標物種開花物候模式，並提供作管理處網頁科普影像資料。
3. 建立海拔分布廣泛物種植物功能性特徵沿海拔梯度之變化，探討植物對高山生態系之適應表現，提供全球暖化下植物對環境適應基礎資料。
4. 應用 Datalog 建立微環境資料，並透過 GIS 分析建置樣本各項環境指標，提供了解植物開花與環境關係。
5. 透過分析不同年度之物候表現，探討氣候變遷對高山植物繁殖之影響，提供雪霸國家公園對雪山高山生態系經營管理建議與參考。

(二) 預期目標

1. 調查分析雪山地區高山植物物候資料，並可作為解說教育之素材。
2. 雪山地區指標植物物種物候監測及物候模式建立。
3. 探討氣候變遷對植物物候之影響，並提供雪霸國家公園經營管理參考。

三、前人研究

物候現象不僅是生物對自然季節變化的行為表現，亦顯示出生態系統對全球環境變遷的反映與適應，被視為大自然的語言 (竺可楨、宛敏渭，1973) 和全球氣候變化的診斷指紋 (fingerprints)(Root *et al.*, 2003)。植物物候 (plant phenology) 是指植物受氣候及其他環境因子的影響而出現周期性的自然現象，包括植物的發芽、展葉、開花、結果、葉變色及落葉等，是植物長期適應季節性變化環境而形成的生長發育節律。物候學 (phenology) 是研究受環境因素影響，特別是受氣溫等氣象和氣候條件變化影響的動、植物周期性變等生物學現象的學科 (Schwartz, 2006)。植物的物候學和其生長速率 (Taylor, 1974)、養分轉移 (Sosebee and Wiebe, 1973)、熱能需求 (Nuttonson, 1955)及演化 (Kikuzawa, 1995) 等皆有所關聯，為研究生物之生活週期與其周圍環境，尤其是和氣候間關係的科學 (Nautiyal *et al.*, 2001)。植物隨著季節推移而展現週期性變化，且配合生育環境的變遷，產生物候現象 (劉崇瑞、蘇鴻傑，1983)。因此物候是植物適應氣候和天氣規律的結果，物候觀測可以了解植物生長、發育及繁殖過程中形態變化和氣候及環境間的相互關係 (Shen, 2000；黃信源，2007)。

植物物候能及時反映陸地生態系統對氣候變化的動態適應過程，其現象可作為氣候變化的生態指標 (ecological indicators)(Walther *et al.*, 2002; Root *et al.*, 2003; Rosenzweig *et al.*, 2007; 張學霞等，2004；李小豔等，2009；李向前等，2011；潘振彰，2012；曾彥學、曾喜育，2013)；反過來說，氣候變化可以透過植物物候的年變化 (如展落葉、開花時間) 等來監測 (Rotzer *et al.*, 2000)；而物候變化是全球氣候變遷最重要而直接的獨立證據，致使物候學近年來逐漸被重視 (Walther *et al.*, 2002; Root *et al.*, 2003; Rosenzweig *et al.*, 2007; Cleland *et al.*, 2007)。升溫會加速物候啟始，使植物春季物候期提前，秋季物候推遲 (Sparks *et al.*, 1997; 徐雨晴等，2005；裴順祥等，2011；廖雪萍等，2012)。Walther *et al.* (2002) 觀察近 30 年來氣候暖化對植物物候、植物沿緯度及海拔分布變化，以及植物間相互作用等關係有明顯影響，這些影響反映在生態系對氣候變化的反應與適應方式。

近年氣候變遷 (climatic change) 造成氣溫上升，高山和兩極地區所受

影響最大 (Guisan *et al.*, 1995; Körner, 1995)。玉山北峰氣象站於 1943 年設置迄今已逾 70 年，是臺灣高山研究重要的氣象資料來源，由 1952-2013 年的年平均溫變化發現呈現顯著上升趨勢 ($p < 0.001$)，平均每 10 年上升約 0.1°C (圖 1)，顯示位於亞熱帶的臺灣高山地區仍受到全球氣變遷及暖化的影響。高山生態系的生育地環境，限制植物生長的因子較多，如冬季的低溫、降雪，不僅影響植物的營養生長，亦影響了植物的繁殖生長 (花季)。

曾彥學、曾喜育 (2014) 比較雪山雪東線步道 2012-2014 年 126 種植物 3 年間開花物候種數月變化圖發現 (圖 2)，2014 年與 2012 年的全年開花種數月變趨勢較接近，兩年度逐月開花物種數差異較大的月分在 5 月和 8 月；其中，2012 年 5 月的開花物種數較 2014 年多，2014 年 8 月的開花物種較 2012 年多 (圖 2)。由於 2014 年 2-6 月雪山氣象資料欠缺，因此為使各年度資料可進行分析而採用玉山北峰氣象站之資料。比較 2012-2014 年各年度氣象資料與 1952-2013 年平均值發現 (圖 2)，2012 年的溫度變化特色為 2-3 月氣溫較高出平均值 $0.9-1.2^{\circ}\text{C}$ ，5 月以後的變化約略與 1952-2013 年的平均值變化相似；2013 年 2 月的高溫較平均值高出約 3.8°C ，是歷年來 2 月的最高溫，4、5 月的氣溫處在較低的狀態，此時期的降雨亦較 61 年的平均值高出甚多；2014 年的 1 月較平均值高約 1.8°C ，此外，6-10 月的氣溫明顯高出平均值 $1.4-1.9^{\circ}\text{C}$ ，其中，7、9-10 等 3 個月是玉山北峰氣象站歷史新高，2014 年的降雨明顯較平均值低。造成 2012-2014 年開花物候種數逐月變化的差異的主要因素應該是溫度的差異，其中以冬春季與秋季的高溫影響較劇烈 (曾彥學、曾喜育，2014)。

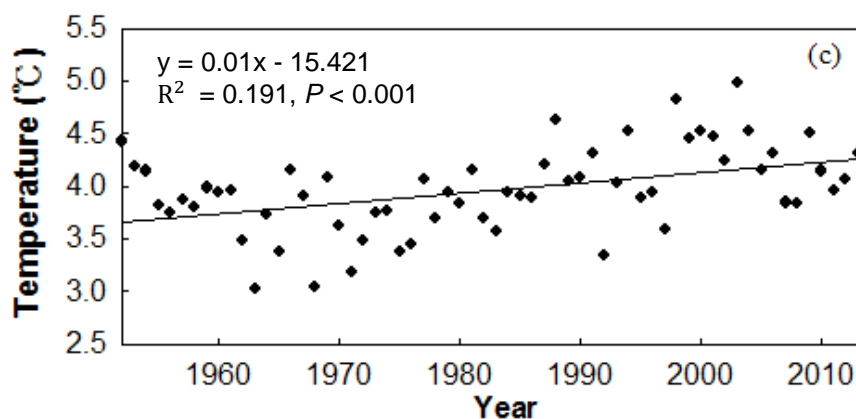


圖 1. 玉山北峰氣象站 1952-2013 年地表氣溫變化之情形。

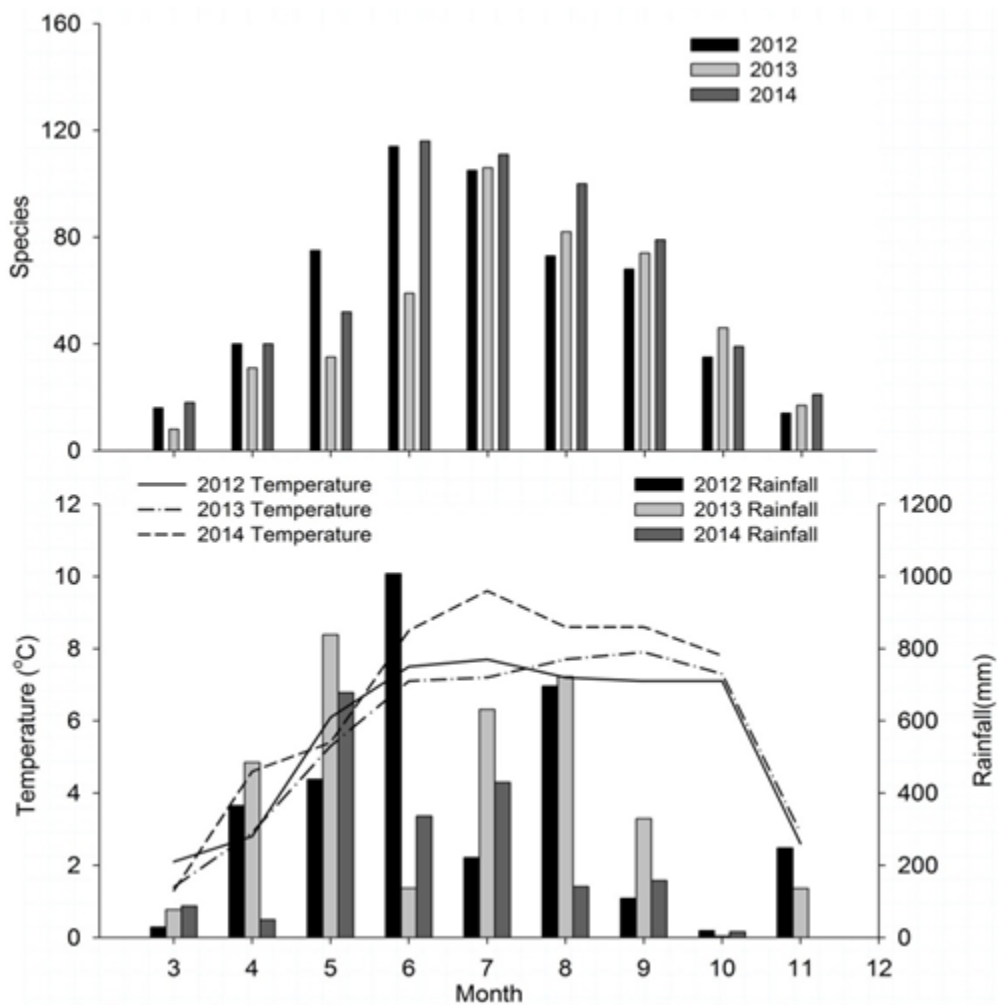


圖 2. 雪山主峰線沿線 2012-2014 年開花種數與氣象因子關係 (曾彥學、曾喜育, 2014)。

曾喜育等 (2014) 於 2013 年調查塔塔加-玉山主峰線步道沿線逐月開花物種數變化發現，開花的物種隨著平均氣溫增加，塔塔加-玉山主峰線步道沿線植物進入盛花期的種數亦增加，當研究區進入夏季時 (6-8 月)，進入盛花期的物種數達到高峰，此大致與呂理昌 (1990)1976-1978 年的觀察結果相符 (7 月為開花種數最高峰期)(圖 3); 然而，可能因呂理昌 (1990) 的研究區域較本研究來得大，低海拔調查物種較多，致使開花種類高峰期發生較早 (6-7 月)，亦或是因兩次調查期間氣候因子差異所致，使得本研究開花物種高峰期有略晚發生現象。然有趣的是，2013 年的開花種數或進入盛花期種數的高峰期皆未發生在年度月均溫最高 (9 月) 的時期，此結果與呂理昌 (1990)、吳佳穎等 (2013)、曾喜育等 (2014) 調查結果不同；此可能

因為在 9 月以後，氣溫明顯下降，累積熱量較少，要達到熱量累積的滿足相較困難，致使在 9 月以後進入盛花期的種數減少。而隨著月均溫的升高，盛花期僅 1 個月的物種數亦增加，直至 9 月種數達至最高峰；此現象或可解釋為何研究區植物開花最高峰時期未發生在 9 月。

然而比較 2013 年與 1961-2012 年的玉山氣象站資料發現 (圖 4)，2013 年 9 月的月均溫為年度最高溫，與以往最高月均溫發生在 7-8 月不同，而研究區 2013 年 7-8 月開花種數高峰期與呂理昌 (1990)1976-1978 年調查結果比較發現而有略延遲的現象 (圖 3)。塔塔加-玉山主峰線步道 2013 年開花種數高峰期較晚發生的因素是否因全球暖下的氣候變遷所造成，有待更長久的物候觀測才能獲得較完整的資料去驗證，但可以確認的是，高山植物的開花物候變化明顯反映在氣候差異。

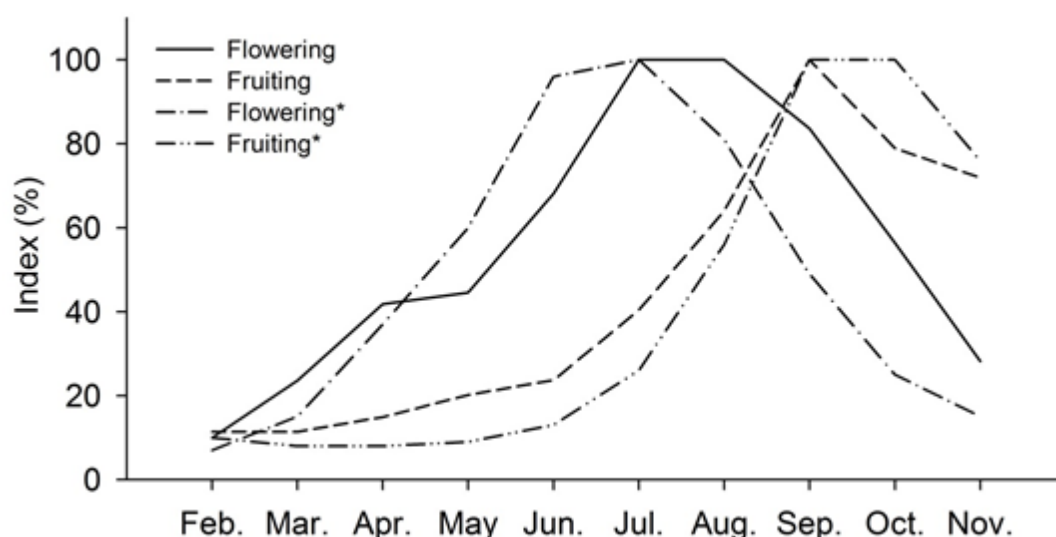


圖 3. 玉山國家公園不同年度開花與結實物候比較圖。星號為呂理昌 (1990) 調查結果 (曾喜育等, 2014)。

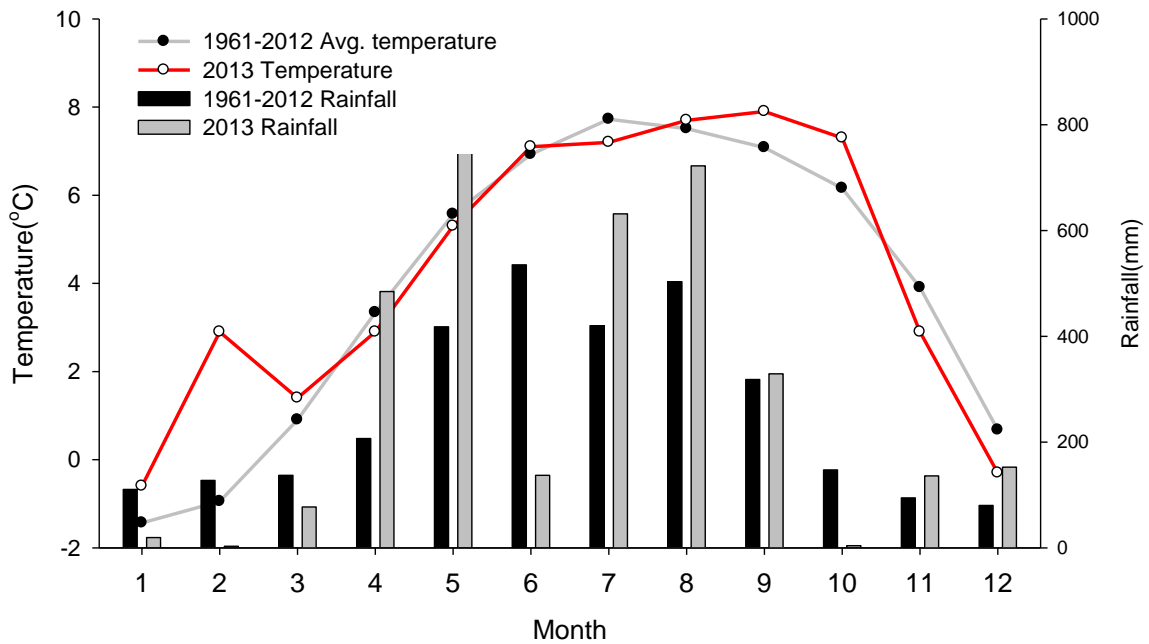


圖 4. 中央氣象局玉山氣象站 2013 年與 1961-2012 年之 52 年平均氣溫與降雨比較圖 (曾喜育等, 2014)。

2013 年玉山與雪山之開花物候結果比較發現 (曾喜育等, 2014), 玉山地區開花物候高峰期發生在 7-8 月, 雪山地區開花物候高峰期發生在 6-7 月, 各植群帶之植物開花物候高峰期比較結果亦顯示玉山地區植物開花物候要晚 1 個月的時間。此現象可能反應出相同海拔高度下, 在較低緯度的玉山, 開花物候高峰受到溫度限制相較於雪山來得小, 即可繁殖的時間較長, 而雪山地區的植物必需在較短而溫暖的時間內完成繁殖。

由於高山地區融雪時間決定高山植物生長季的來臨 (Inouye 2008), 在生長季開始後的霜凍害對早花植物的影響甚大, 而晚開花者又將面臨其它更多的競爭及資源短缺的壓力 (Giménez-Benavides *et al.*, 2011)。相較於低海拔生育地環境而言, 異常氣候變化對高山地區的植物物候表現更加不利。潘振彰等人 (2013) 於雪山地區觀察玉山杜鵑物候研究發現, 晚雪或春霜對於早花期的玉山杜鵑開花影響極大, 研究中指出 2011 年玉山杜鵑花苞因 4 月中旬的霜害而凋萎, 影響當年的開花與結實。

眾多的高山植物種類經過長期的適應進化形成了獨特的生命形式, 形成的植物群落多樣性對維繫高山生態系統的穩定性起到了重要的作用 (Körner, 2003)。事實上, 氣候變遷影響高山植群的物種組成和群落結構,

對高山生物多樣性既有正面也有負面影響 (Yang and Rudolf, 2009)；一方面，溫度的升高可以導致更多的低地或低海拔的物種向高海拔區域遷移，從而在某種程度上增加了高海拔區域內物種多樣性 (Shen *et al.*, 2014)。另一方面，氣候變暖使得土壤營養狀況發生改變，導致土壤有機質、有效性氮等營養成分增加，降低環境的限制，使得原先無法生存於高山區域的物種進入高山；原先適應高山貧瘠環境的植物在其他物種入侵後無法與其競爭，最終導致高山原生種或特有種消失 (Phoenix *et al.*, 2006)。

此外，氣候變暖導致植物生長最適界的散失和破碎化，也是引起高山植物滅絕或被其它物種取代的主要因素之一 (Thuiller *et al.*, 2005)。氣候變遷對植物的影響最先反應在植物物候上，這種影響在極地和高山生態系中尤為突出和重要 (陳建國等, 2011)。溫度上升使得春季融雪與植物開花時間提前，這類現象在早花植物上特別明顯 (Smith *et al.*, 2010)。對一些具專一授粉者的植物而言，氣溫上升使開花物候與授粉者生命週期錯置，導致植物結實率下降，影響植物繁殖，進而威脅到植物族群的維持 (Hülber *et al.*, 2010)。Root *et al.* (2003) 彙整 143 項的研究結果發現，植物物候變化與近期的氣候變暖有密切關係，自然物候在全球氣候變化及未來氣候預測等研究中可提供有用的資訊。政府間氣候變化專門委員會 (IPCC) 第 4 次評估報告第二工作組報告引用歐盟科學技術合作計畫 (COST725) 物候項目研究結論 (Rosenzweig *et al.*, 2007)，整合分析 1971-2000 年 30 年間的物候發現，約 78% 的樣本展葉、開花和果熟有明顯提前趨勢，但秋季葉變色和落葉有延後現象，植物物候敏感反應在前月溫度變化，升溫 1°C 將導致春、夏季物候期大致提前 2.5 天。

大多數物候研究結果顯示，植物物候變化主要受到氣溫影響 (Walther *et al.*, 2002 ; Root *et al.*, 2003; Aono *et al.*, 2008; Ghelardini *et al.*, 2010; Kreyling, 2010; Toledo *et al.*, 2011)。Ram *et al.* (1988) 在喜馬拉雅山中部地區 (3,250-4,200 m) 的研究中發現，植物生長季的開始與春季的氣溫密切相關，而在生長季末期，控制生長季結束的主要因素是為光週期，其次才為溫度 (Körner, 2003)。在高山生態系中，有一群具有休眠機制的物種，如百合科 (Liliaceae) 的百合屬 (*Lilium*)、鹿藥屬 (*Maianthemum*)、續斷科

(Dipsacaceae) 的山蘿蔔屬 (*Scabiosa*) 等，這些物種為打破休眠，會對溫度更加敏感，其生長季的調控主要取決於降雪出現的規律性 (Körner, 2003)。

植物的開花時期則受到環境條件嚴格的控管，溫度和光週期為主要的影響因子 (Körner, 2003)。高山生態系的生育地環境，給予植物生長的限制因子較多，如冬季的低溫、降雪，不僅影響植物的營養生長季，亦影響了植物的繁殖生長季 (花季)。可藉此劃分成 3 種開花時期 (Körner, 2003)：

- (1) 早期開花型：在積雪融化或土壤開始解凍的時候開花 (如部分薹屬 *Carex* 和地楊梅屬 *Luzula* 的植物)。
- (2) 中期開花型：在生長季的高峰期開花 (如部分早熟禾屬 *Poa* 的植物)。
- (3) 晚期開花型：在生長季快結束時開花 (如部分蓼屬 *Polygonum* 的植物)。

高海拔與高緯度生態系統對溫度升高的反應可能更加敏感而迅速 (Grabherr *et al.*, 1994; Pauli *et al.*, 1996; Suzuki and Kudo, 1997)。在極地與高山地區，低溫和短暫生長季是植物生長發育的兩個重要限制因子。升溫可能延長植物生長季，刺激高山地區物種營養生長；植物提早展葉可能有利於資源利用，隨葉片的展開，淨光合作用速率隨之增加，有利於乾物質累積與植物生長 (Suzuki and Kudo, 1997; Loik *et al.*, 2000; Wada *et al.*, 2002; 徐振鋒等, 2009)。在高山地區，受到低溫及短暫生長季節影響，植群之物種組成開花多集中在夏季較溫暖的季節，開花時序多呈單峰分布 (邦卡兒·海放南, 2007; 李向前等, 2009; 曾彥學、曾喜育, 2013a; 2013b)。受到海拔上升、溫度遞減的影響，對大多數廣泛分布的植物而言，愈高海拔將愈晚開花，花期持續長度亦較短 (曾彥學、曾喜育, 2013a; 2013b)。

開花物候不僅是植物重要生活史特徵之一，亦是植物繁殖生態學研究的重要領域 (Fenner, 1998)。開花物候研究一般涉及植物開花時間、開花峰值期和開花持續時間等 (劉志民等, 2006)。物種間的開花時間、開花峰值期和開花持續時間的差異會影響植物社會的組成、結構、功能和多樣性 (Fenner, 1998; Bawa *et al.*, 2003; 劉志民等, 2006)；植物社會物種組成間的開花時序與模式特性是生態學研究的重點之一 (Kochmer and Handel, 1986; Inouye *et al.*, 2003)。

由 Reaumur (1735) 提出的生長度日模式 (Growth degree-day model) 是最早用在預測植物物候的數理模式，又稱熱量-時間模式 (thermal-time model)(Gordon and Bootsma, 1993)。生長度日模式是以累積基礎溫度以上的平均溫度做為預測的獨立變數，計算植物不同發育階段所需熱量。其生態學意義在於說明基礎溫度以上，植物的發育速率與溫度呈線性關係，因此可藉由有效熱量的累積來預測植物達到某一階段的時間 (符瑜與潘學標，2011；Gordon and Bootsma, 1993; Chuine *et al.*, 2014)。生長度日模式形式簡單，容易量測計算，大部分現有發育模式均是描述物候對溫度的反應，以熱量累積來預測植物的發育速率。然而，生長度日模式對光周期不敏感的作物生長模擬效果較好，但沒考慮到高溫對發育的遲滯作用，當溫度變化範圍較大時，不能準確模擬發育期 (潘學標，2003，Swartz and Powell, 1989)。此外，多數植物的發育速率與溫度的反應呈現非線性關係 (non-linear)，採用非線性得關係來描述會更符合實際情形，因而不斷提出並發展不同非線性的溫度反應函數，如 β 函數、高斯函數 (Gauss function)、羅吉斯函數 (Logistic function) 以及 S 型函數 (sigmoid function)(韓小梅、申雙和，2008；符瑜、潘學標，2011；Yin *et al.*, 1995; Linkosalo *et al.*, 2006)。

當前木本植物的物候模式，多以植物芽體為主。芽體發育可反映出植物生長與氣候變化的關係，可用以評估生長季節的起訖時間與長短，以及植物在氣候變遷下的反應，在區域性或全球的生態模擬模式中扮演著重要角色 (Running and Hunt, 1993; White *et al.*, 1997)，在木本植物的物候中，有大量針對植物芽體的休眠與綻放機制的研究。Murray (1989) 將描述解除芽休眠之模式歸納為下列 4 種不同的假說：(1) 芽綻放僅需滿足一定量之熱量和，而不需要考慮其他因子之效應；(2) 芽綻放需滿足一臨界量的冷激後，隨後之熱量和對於芽綻放才具有影響作用；(3) 冷激需求與有效熱量總和相互影響且同步進行，換言之，較低的冷激量則需要較高的熱量和來彌補，反之亦然；(4) 芽綻放之模式中亦考慮了光週期及秋天影響健化的情況。自此 4 種假說衍生各種不同的模式，如最基礎的生長度日模式；將冷激作用列入考量的循序模式 (sequential model)；假設隨著冷激時間的增加，芽綻放所需的熱量和就會相對地減少的平行模式 (parallel model)；假設芽綻放所需之熱量和與林木在秋天或冬天期間所累積之冷激日數二者間存有負相

關 (negative relationship) 的交互模式 (alternating model)；考慮光週期影響的光熱能模式 (photothermal model)；考量休眠與促進作用的逆向模式 (reversing model)；考量休眠至熱量開始累積期間溫度波動的失效模式 (nullifying model)(Gordon and Bootsma, 1993; Häkkinen *et al.*, 1998; Linkosalo *et al.*, 2006; Caffarra *et al.*, 2011; Luedeling and Gassner, 2012)。Linkosalo 等人 (2006) 考量溫帶植物芽體具有休眠性質，須經過一段冷積作用才會綻放。因此他們運用 S 型函數建立毛樺 (*Betula pubescens*) 芽體的有效冷積單位、有效溫度單位與溫度之關係，將冷積作用列入模式建立。

潘振彰 (2012) 在雪山地區觀察玉山杜鵑開花物候發現，樣株在不同海拔的開花時序最大相差 2 個月，對於其基因的交流產生時間的落差。在 2010 年與 2011 年的比較發現，花期差異隨海拔升高而有縮小之趨勢，但相對而言，在海拔較低處花期的差異卻趨大，如其對應之授粉昆蟲無法配合，可能會使其族群數量趨向於某一較適應其生長的海拔範圍。因此，若未來全球暖化情況持續，分布較低海拔的玉山杜鵑提早開花的情況會更形明顯，且在光週期不變的情況下，所能產生的光合產物可能會不足以供應開花及生長發育所需，或是因冷激需求不足導致芽綻放的比例下降及不正常開花，亦即如持續暖化，在高海拔者較能適應，而低海拔者則漸漸退縮趨勢。

不同垂直高度分層對生育地因子在光量部分顯著差異，溫度、濕度、光量等環境因子亦有所差異 (劉崇瑞、蘇鴻傑，1983)。海拔梯度涵蓋許多環境因子，植物物候沿海拔梯度有序列性變化。高海拔地區不同植物生長型有不同的花期高峰，邦卡兒·海放南 (2007) 研究玉山國家公園塔塔加區域植物物候，研究結果顯示，草本植物開花高峰期在夏季，木本植物開花期較不集中，以 5 月和 8 月之開花物種數較多，且不同坡向所受到的光照多寡會影響植物開花之物種數。呂理昌 (1990) 於玉山國家公園從塔塔加至玉山主峰，就同一物種不同海拔分佈做物候觀察，結果顯示隨海拔升高開花期會延遲半個月至 1 個月，例如早田氏草莓 (*Fragaria hayatai*) 分佈海拔 2,600-3,800 m，於同時調查時塔塔加 (2,600 m) 已結果，但排雲山莊 (3,500 m) 只有開花現象。張又敏 (2006) 研究金毛杜鵑 (*Rh. oldhamii*) 開花模式，觀察標本發現中部地區全年有植株開花，花期主要為 2-5 月，但隨著海拔上升需要更多熱量累積，盛花期由 2-5 月轉移至 7-10 月。

溫英杰等 (2008) 研究阿里山山櫻 (*Prunus transarisanensis*) 遺傳多樣性，觀察 1 份霧社櫻 (*Pr. taiwaniana*) 與 14 份阿里山山櫻之開花期，材料採自塔山 (海拔 2,200 m)、志良 (海拔 2,000 m)、武陵農場 (海拔 1,800 m) 及思源啞口 (海拔 2,100 m)，結果顯示阿里山山櫻開花期會隨著海拔上升而延後。Sandring *et al.* (2007) 研究筷子芥屬 (*Arabidopsis*) 植物於高山和低地不同生育地的花候現象，樣區分別設置於挪威 (Norway) Spiterstulen 樹木界線以上 (61°38' N 8°24' E，海拔 1,106 m)，及瑞典 (Sweden) Stubbsand 波希尼亞灣礫石岸 (63°58' 18°17'，海拔 0 m)，結果顯示 2000-2002 年間高山較低地族群花期開始時間相差不大，結束時間較延遲。潘振彰等 (2013) 調查雪山地區玉山鶉的展葉與開花時間發現，玉山杜鵑的展葉與開花隨著海拔升高而較晚的趨勢，可能反映較高海拔的平均溫度較低，熱量累積需較長時間所致。

然而，溫度高低與其變化狀態依植物種類及其功能性狀的物候影響不同，曾彥學、曾喜育 (2013b) 調查 2012-2013 年雪山高山植物物候發現，在冬季氣溫升高的情況下，少數種類開花會提前，有些不會改變，但約一半的種類會延後。冬季氣溫偏高常不利於打破冬季的芽休眠，反而使開花期延遲，較冷的冬溫則有利於打破冬季休眠 (張福春，1995)；但有些種類在冬季氣溫升高的情況下，植物開花期有提前的現象 (Sparks and Carey, 1995; Sparks *et al.*, 1997)；有些植物則沒有差異 (Myking, 1997)。

四、研究地區概況

本計畫調查地點在雪山主峰沿線 (圖 5)，主要重點調查研究區域為 3,000 m 以上。雪山主峰沿線由登山口 (2,150 m)，經七卡山莊 (2,500 m)、哭坡 (2,900 m)、雪山東峰 (3,201 m)、三六九山莊 (3,100 m) 至雪山主峰(海拔 3,886 m)。

(一) 地形、地質與土壤

由武陵農場至雪山主峰的水平距離約 8,000 m 內爬升近 2,000 m，沿線多條溪谷貫穿，多懸崖、峭壁、險坡等自然景緻，區內邊坡陡峻，岩層破碎，加以凍裂等高山風化作用盛行，易崩與既崩的高敏感邊坡甚為普遍。

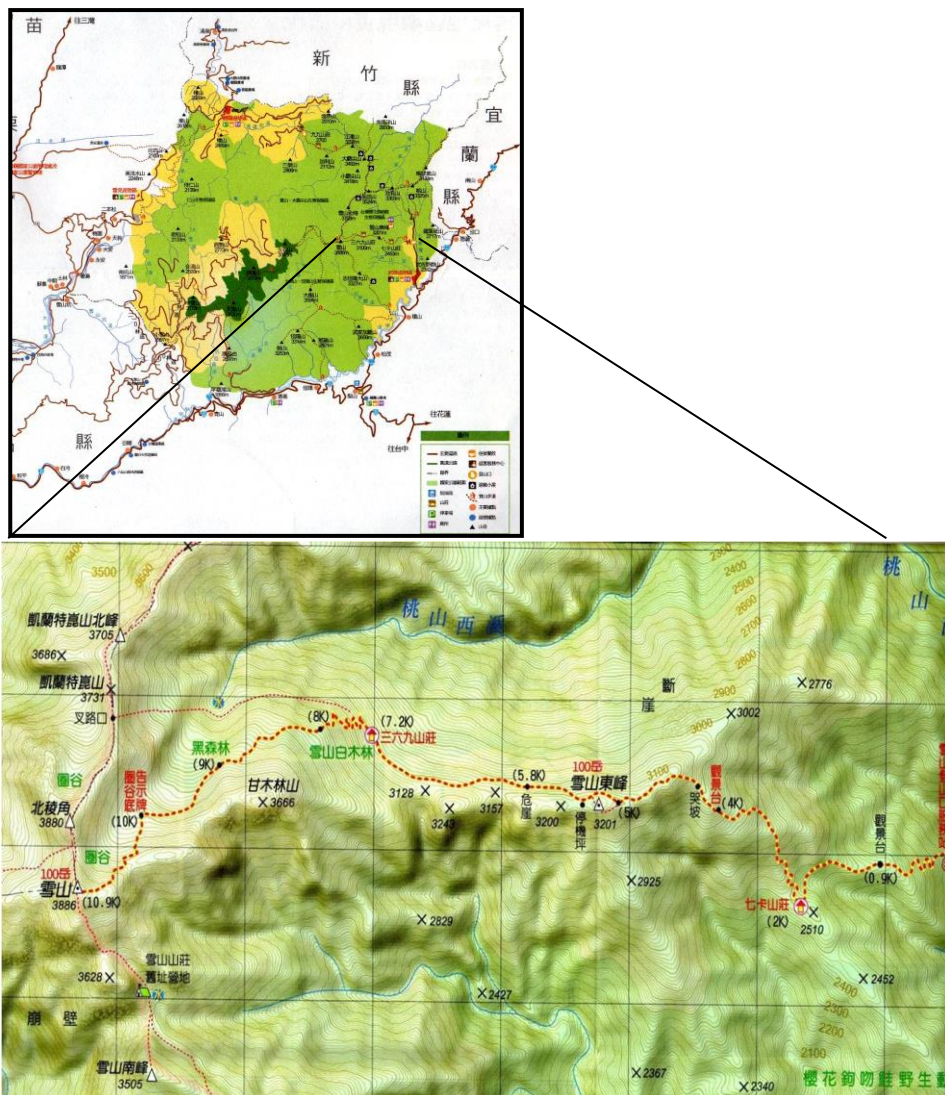


圖 5. 本計畫研究地區範圍圖。

圈谷是研究區非常重要的地形景觀之一，雪山地區有多達 35 個圈谷，圈谷是一開向口下坡，背後為極陡上坡的圓弧地形，日本學者鹿野忠雄博士為臺灣高山冰河的最早發現者（楊建夫，1999）。其中 1 號圈谷為臺灣最大的圈谷，位於雪山主峰的東北面，為雪山主峰線必經之路。

研究區內的地質屬於中央山脈地質區的西部亞區中的雪山山脈帶，由第三紀的亞變質岩所組成，地質帶中以深灰色的硬頁岩和板岩為主（何春蓀，1986）。高山土壤約可分成 2 種情況，在森林界限以上的地區，多為粘板岩風化而成的岩海地區，土壤淺薄，多為岩礫構成，而在森林地區或高山草原區，其土壤多以壤土、腐植土為主，其結合、含水量均適當，但在地形陡，表土層淺薄，多構成瘠土（應紹舜，1976）。顏江河（2009）於七卡、哭坡、火燒地、黑森林與圈谷等 5 個地區土壤研究發現，土壤皆呈極酸性，土壤 pH 隨土層深度增加而增高之趨勢。土壤中有機碳越向下層含量越低。土壤有效磷隨土壤深度上升而下降且呈現明顯缺乏現象；土壤陽離子置換能量 (C.E.C.) 高，但置換性鈉、鈣、鎂很低。土壤含石率以哭坡箭竹草生地 (16.01%) 與圈谷 (17.75%) 最高，七卡土壤總含石率僅 2.33%。土壤總含根量以圈谷 0.27 kg/m^3 (40 cm 土深) 最低，七卡土壤總含根量 1.63 kg/cm^3 最高，黑森林 1.16 kg/cm^3 次之，哭坡與火燒地幾乎一樣，各為 0.74 與 0.75 kg/cm^3 。

(二) 氣候

雪山地區依陳正祥（1957）的臺灣氣候分類，研究區屬於寒帶重溼氣候 (AC')，溫度低而溼度高，冬季有霧雪。此類又可分成 2 型：

1. AC'_{1ra}'：冷而多溼，海拔 3,000 m 以上，僅只於玉山、雪山等山峰及其附近，冬寒，有積雪。
2. AC'_{2ra}'：涼而多溼，全年不缺，分布海拔 2,000 m 以上。

根據雪山圈谷氣象站氣候資料，月均溫高峰發生在 6 月 (8.7°C)，最低溫發生在 1 月 (-0.7°C)，全年有雨，乾濕季不分明（圖 6）。

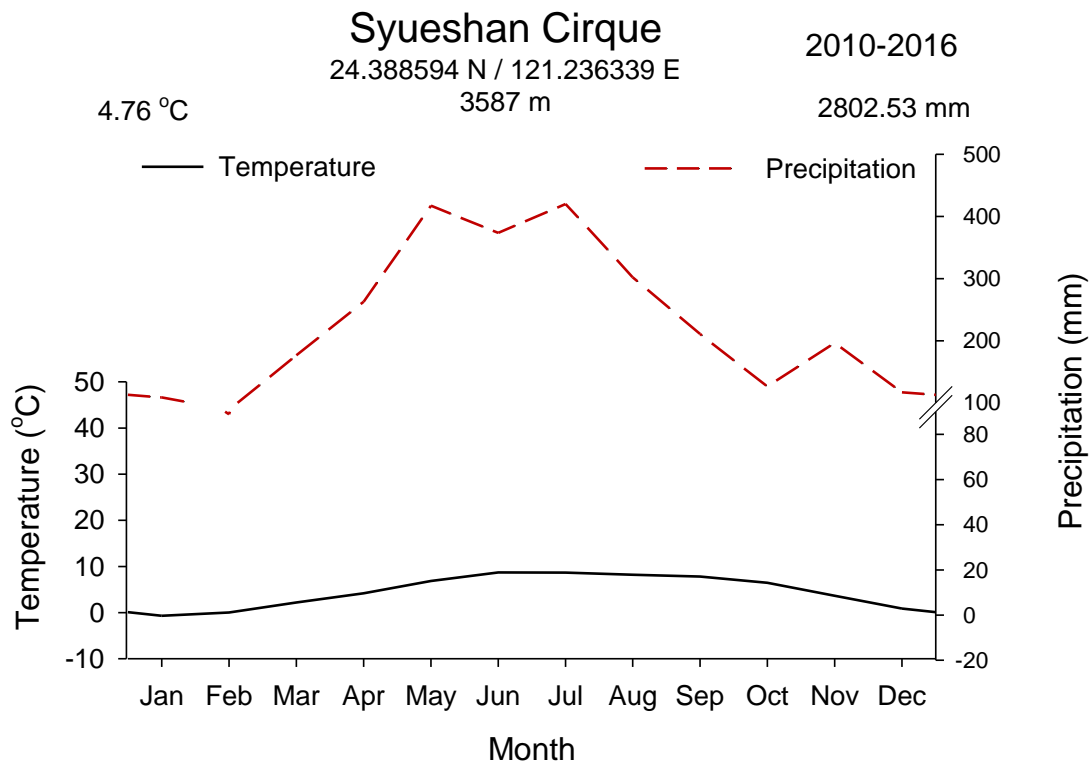


圖 6. 雪山雪東線步道生態氣候圖。

(三) 雪山主峰線山地植群帶

依 Su (1984)、邱清安 (2006) 海拔高度帶、植群帶與氣候帶之分類 (表 1)，雪山主峰線植群可依海拔高度劃分成 3,600 m 以上的高山植群帶 (Alpine vegetation)、3,100-3,600 m 冷杉林帶 (*Abies* zone)、2,500-3,100 m 鐵杉雲杉林帶 (*Tsuga-Picea* zone) 與 1,800-2,500 m 的櫟林帶上層 (Upper *Quercus* zone)。高山植群帶的分布範圍為圈谷，主要以玉山圓柏、玉山杜鵑為優勢，主要生活型為矮盤灌叢，灌叢間或下間雜有冬枯或常綠的玉山小蘗、玉山薔薇、高山艾 (*Artemisia oligocarpa*)、高山白珠樹 (*Gaultheria itoana*)、玉山當歸 (*Angelica morrisonicola*)、雪山翻白草 (*Potentilla tugitakensis*)、羊茅 (*Festuca ovina*)、曲芒髮草 (*Deschampsia flexuosa*) 等 (呂金誠，1999；許俊凱等，2000；王偉等，2010)。

冷杉林帶以臺灣冷杉最優勢，以黑森林最為典型，黑森林近圈谷附近有較多的玉山圓柏與臺灣冷杉混生，生活型為喬木型；林下優勢地被植物可大致分成 2 型，一型以玉山箭竹為近單一優勢地被，另一型為以苔蘚、

表 1. 雪山主峰沿線海拔植群帶分布表。修改自 Su (1984) 和邱清安 (2006)

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

蕨類、鬼督郵屬 (*Ainsliaea*)、裂葉樓梯草 (*Elatostema trilobulatum*) 等較優勢，間雜臺灣茶藨子 (*Ribes formosanum*)、玉山女貞 (*Ligustrum morrisonense*) 等灌木 (廖敏君等, 2012)。冷杉林帶常因火燒造成玉山箭竹或高山芒 (*Miscanthus transmorrisonensis*) 優勢的灌叢草原景觀，在灌叢草生地與臺灣冷杉林形成動態推移，褐毛柳 (*Salix fulvopubescens*)、巒大花楸 (*Sorbus randaiensis*) 等小喬木組成之闊葉樹優勢植物社會，下層數量較豐的灌木及草本組成尚有臺灣茶藨子、玉山小藥 (*Berberis morrisonensis*)、川上氏忍冬 (*Lonicera kawakamii*)、高山芒、黃菀 (*Senecio nemorensis*)、臺灣繡線菊 (*Spiraea formosama*) 等 (王偉等, 2010)。

由登山口至雪山東峰屬於櫟林帶上層與鐵杉雲杉林帶，惟此區經火燒、早期伐木等干擾，以及後續造林等因素，步道沿線之原生林多已不復存在，天然林僅殘存於近溪谷、凹谷或陡峭之處。七卡山莊至東峰前屬鐵杉雲杉林帶，以臺灣鐵杉為優勢，林下高山櫟、高山新木薑子 (*Neolitsea acuminatissima*)、雲葉 (*Trochodendron aralioides*) 等闊葉樹；哭坡到雪山東峰附近可見臺灣鐵杉與臺灣冷杉混生 (呂金誠, 1999; 許俊凱等, 2000; 王偉等, 2010, 2013)。雪山主峰沿線並未發現臺灣雲杉原始林，現存臺灣雲杉則為造林樹種，種植於步道兩旁的高山芒草生地。高山芒為本區優勢的草生植群，其間雜有臺灣二葉松、紅毛杜鵑 (*Rh. rubropilosum* var.

rubropilosum) 等入侵形成疏林景緻。造林地樹種多以臺灣二葉松為主，高山櫟、玉山假沙梨 (*Photinia nitakayamensis*)、南燭 (*Lyonia ovalifolia* var. *ovalifolia*)、臺灣馬醉木 (*Pieris taiwanensis*) 等喬木或灌木，近七卡山莊附近則有紅檜 (*Chamaecyparis formosensis*) 造林地 (王偉等, 2010; 2013)。

登山口至七卡山莊以臺灣二葉松、臺灣赤楊 (*Alnus formosana*)、杉木 (*Cunninghamia lanceolata*)、臺灣雲杉等造林地，或火燒後以臺灣二葉松與臺灣赤楊為優勢之植物社會。林下優勢灌木及草本植物以玉山假沙梨、紅毛杜鵑、細葉杜鵑 (*Rh. noriakianum*)、高山芒、巒大蕨等。山凹溪谷地以阿里山灰木 (*Symplocos arisanensis*)、高山新木薑子為優勢，伴生有雲葉、尖葉槭 (*Acer kawakamii*)、狹葉櫟 (*Cyclobalanopsis stenophylloides*) 等，林下有高山芒、臺灣瘤足蕨 (*Plagiogyria formosana*) 等植物 (王偉等, 2010)。

五、研究方法

(一) 植物開花物候普查

考慮海拔梯度、植群帶、植被類型及地形等條件，參考 Su (1984) 將臺灣中部森林依海拔高度劃分之植群帶及對應氣候帶 (表 2)，雪山主峰線可劃分成 4 個植群帶，海拔由高至低為：高山植群帶、冷杉林帶、鐵杉雲杉林帶及櫟林帶上層，各植群帶之範圍及主要優勢物種如表 4 所示，其中冷杉林帶於本研究區橫跨範圍較大，主要優勢植群可分為 2 型，里程 4.4-8.9K 為箭竹草叢型，優勢物種為玉山箭竹、高山芒，較少高大木本植物；里程 8.9-9.8K 為冷杉林型，優勢物種為臺灣冷杉，林內日照較低。

參考鄭婷文 (2012) 於雪山主峰線步道調查植相組成，本研究選取步道兩旁較優勢、花朵鮮艷、臺灣特有及稀有物種進行開花觀察，並延續吳佳穎等 (2013)、曾彥學、曾喜育 (2013、2014) 的觀察，調查期間自 2016 年 2 月至 12 月，每月至少進行 1 次觀察，選擇族群數量較穩定之物種觀察花期，記錄各月分之開花結實物種。單一植株花期以花冠開放、花藥成熟至凋謝期間為準，果期以果實開始發育至成熟為準，物種花期以族群內開花株數達 30% 以上為盛花期 (吳佳穎等，2013)。

(二) 指標物種監測與物候模式建立

本年度除上述物候調查方法持續進行外，並延續曾彥學、曾喜育 (2014) 雪山地區開花物候監測物種 (表 3)，挑選分布在海拔 3,000 m 以上之物種進行展葉、花候等物候狀態的每日定時自動相機拍攝記錄。自動相機採用 Reconyx (HC500) 及 Reconyx (XR6) 等 2 款自動縮時攝影機 (圖 7)。

表 2. 雪山物候研究之雪東步道里程碑及不同路段之植群帶劃分 (Su,1984)

植群帶	路段	里程碑 (km)	海拔(m)	主要優勢物種
高山植群帶	圈谷底-主峰	9.8 - 10.9	3,600 - 3,886	玉山圓柏、玉山杜鵑
冷杉林帶	哭坡頂-圈谷底	4.4 - 9.8	3,050 - 3,600	臺灣冷杉、玉山箭竹、高山芒
鐵杉雲杉林帶	七卡山莊-哭坡頂	2.0 - 4.4	2,510 - 3,050	臺灣鐵杉、高山櫟
櫟林帶上層	登山口-七卡山莊	0.0 - 2.0	2,140 - 2,510	臺灣二葉松、臺灣赤楊

玉山杜鵑、紅毛杜鵑、細葉杜鵑、巒大花楸等早花類的木本植物，其花芽與葉芽的綻放對溫度十分敏感，常做為氣候變遷之指標。因玉山杜鵑分布海拔較廣，將依不同海拔生育地各取樣叢進行觀察。草本植物以臺灣特有種與稀有種為主，春季開花植物以玉山櫻草 (*Primula miyabeana*) 做為指標，夏秋季開花植物以玉山山蘿蔔 (*Scabiosa lacerifolia*)、南湖柳葉菜 (*Epilobium nankotaizanense*)、雪山翻白草等，各選擇樣株/叢觀察。結合定點相機拍攝資料與 Datalog 取得之微環境資料，針對指標植物的展葉、開花之積溫、冷激時數等分析，嘗試建立物候模式。

表 3. 雪山地區高山生態系植物物候長期監測指標種調查清單與樣株數
(資料來源：本研究資料)

物種	科	生長型	花期	株數	備註
巒大花楸 <i>Sorbus randaiensis</i>	薔薇科	喬木	4月	3	第2年
玉山杜鵑 <i>Rhododendron pseudochrysanthum</i>	杜鵑花科	灌木	4-6月	10	第1年
紅毛杜鵑 <i>Rhododendron rubropilosum</i>	杜鵑花科	灌木	4-7月	3	第1年
細葉杜鵑 <i>Rhododendron noriakianum</i>	杜鵑花科	灌木	4-6月	3	第2年
玉山櫻草 <i>Primula miyabeana</i>	報春花科	草本	5-7月	2	第1年
雪山翻白草 <i>Potentilla tugitakensis</i>	薔薇科	草本	6-9月	2	第2年
玉山山蘿蔔 <i>Scabiosa lacerifolia</i>	續斷科	草本	7-10月	2	第2年
南湖柳葉菜 <i>Epilobium nankotaizanense</i>	柳葉菜科	草本	7-9月	1	第1年



圖 7. 利用自動照相機定點定時自動拍攝花候之變化。

(資料來源：本研究資料)

本次研究使用熱時間模式 (thermal-time model) 作為模擬開花時間的基礎模式。熱時間模式是從固定的時間開始計算積溫，固定的起始時間可做為每年例行發生的環境事件，本研究中以 1 月 1 日做為計算起始日。熱時間模式假設植物已經歷過內生性休眠，並且休眠在開始計算前就已被打破，故省略了休眠時期的計算，公式如下 (Reaumur, 1735)：

$$T_i = \begin{cases} 0 & \text{if } x_i \leq T_b \\ x_i - T_b & \text{if } x_i > T_b \end{cases} \quad \text{式 (1)}$$

$$F(t) = \sum_{i=1}^t T_i \quad \text{式 (2)}$$

式中 $F(t)$ 為植物到達特定階段所需積溫， i 為計算積溫的起始時間， t 為開花時間， x_i 為每小時均溫， T_b 為基礎溫度 ($^{\circ}\text{C}$)， T_i 為熱量 (degree-hours)。

為了求得玉山杜鵑生長的基礎溫度，本研究以 -2.5°C 、 0°C 、 2.5°C 及 5°C 四種溫度作為基準溫度分別求算積溫。傳統的熱時間模式假設溫度與熱量呈線性關係，本研究參考 Sarvas (1972) 針對溫帶樹種建立的 S 形函數作為溫度與熱量的關係式，其方程式如式 3:

$$T_i = \begin{cases} 0, & x_t \leq 0 \\ \frac{28.4}{1 + e^{-0.185(x_t - 18.4)}}, & x_t > 0 \end{cases} \quad \text{式(3)}$$

式中 T_i 為熱量 (degree-hours)，28.4 為植物發育的極限溫度，18.4 為最適溫度，-0.185 為 S 型的形數。

此外，依據過往研究顯示，光週期對於杜鵑的開花時間也具有一定程度的影響 (Lamsal and Welch, 2016)，且白天的溫度比夜間溫度對植物更具影響力 (Rossi, 2016)，因此本研究嘗試以白天 (6:00-18:00) 的溫度為主，進行積溫的估算。

六、結果與討論

(一) 開花結實物候種類調查清單

本研究在2017年度於雪山雪東線步道沿線共調查57科152屬254種開花結實植物(表4)，其中雙子葉植物有48科122屬207種，佔所有物種的81.50%(表4)。在物候調查植物的科層級種數以菊科(Compositae)最多(34種)，依次為薔薇科(Rosaceae)(22種)、禾本科(Gramineae)(12種)、玄參科(Scrophulariaceae)(11種)、杜鵑花科(Ericaceae)(11種)、毛茛科(Ranunculaceae)(7種)、石竹科(Caryophyllaceae)(7種)、百合科(Liliaceae)(7種)、虎耳草科(Saxifragaceae)(7種)、龍膽科(Gentianaceae)(7種)、繖形科(Umbelliferae)(7種)(圖8)。

表 4. 雪山雪東線步道 2017 年沿線物候調查物種數統計
(資料來源：本研究資料)

	科	屬	種	比例(%)
裸子植物	2	4	6	2.36
被子植物	55	148	248	97.64
單子葉植物	7	26	41	16.14
雙子葉植物	48	122	207	81.50
總計	57	152	254	100.00

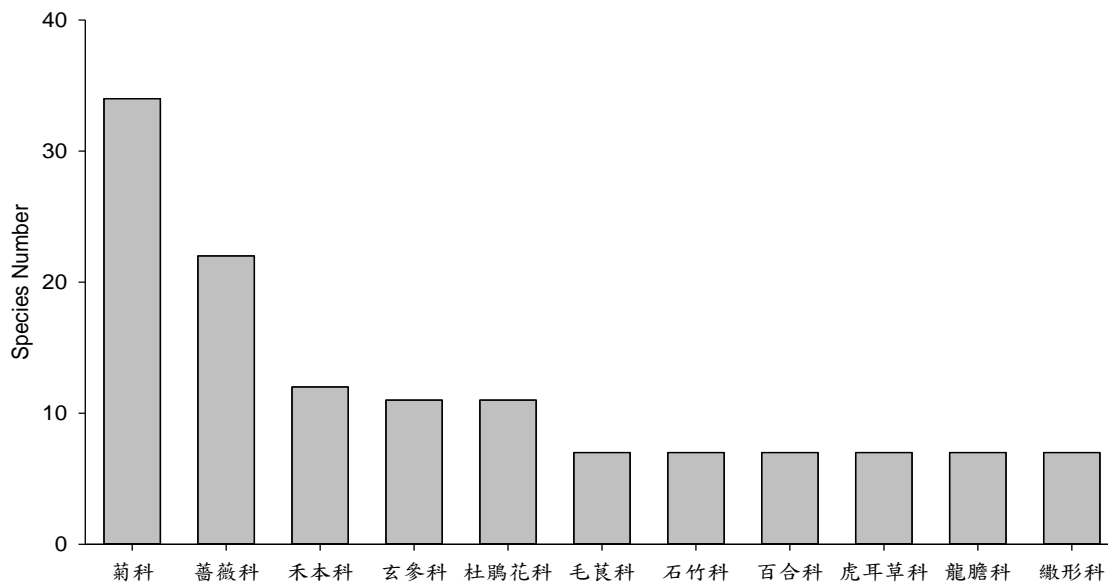


圖 8. 雪山雪東線步道 2017 年沿線植物物候調查主要科別。

(資料來源：本研究資料)

(二) 全線開花結實表現

雪山地區 2017 年 1-10 月雪東峰線步道物候調查結果顯示，開花物種數隨著氣溫逐步增加 (圖 9)，在 6-9 月是研究區開花高峰時期，開花種數

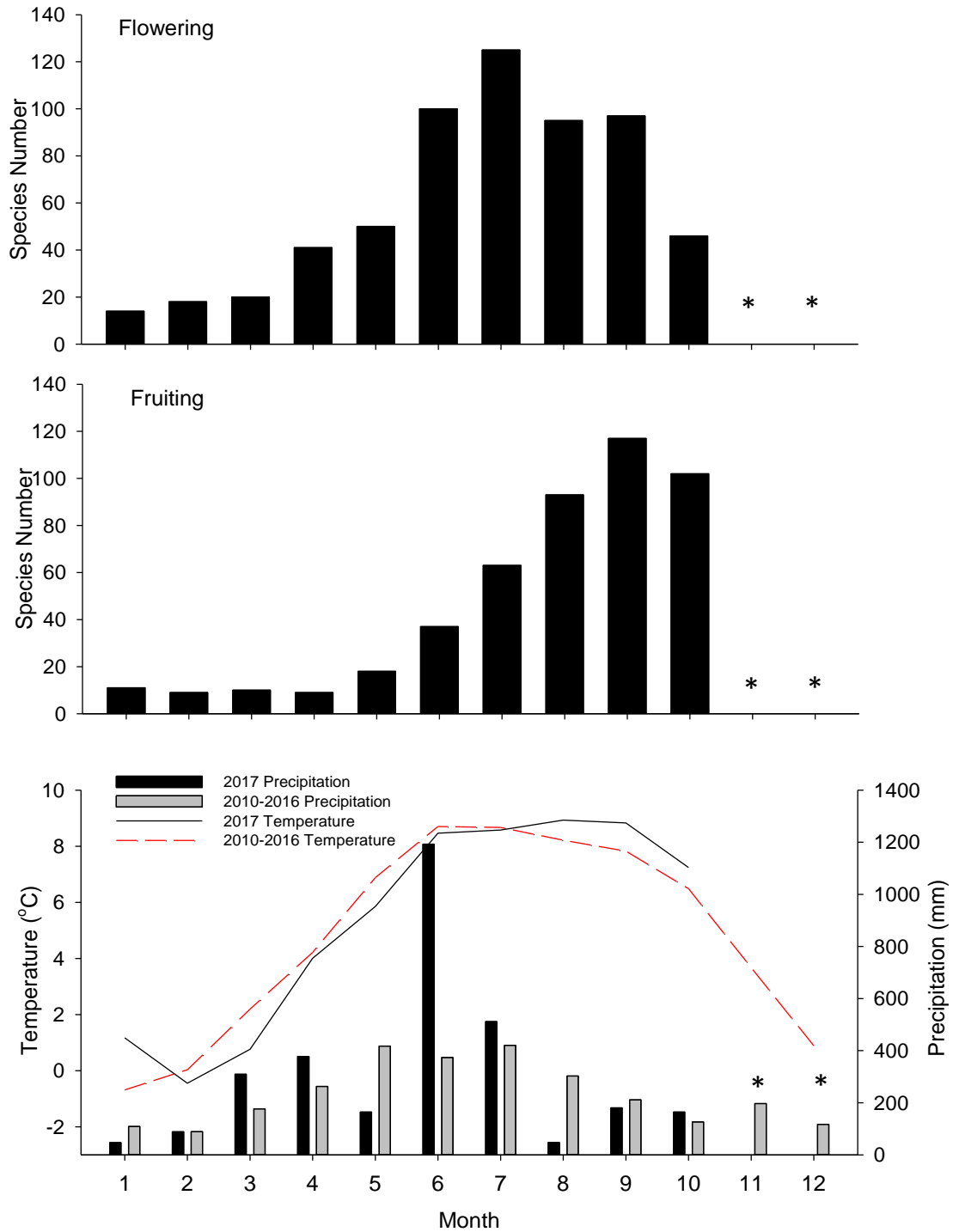


圖 9.雪山雪東線步道 2017 年沿線植物物候調查全線開花結實種數與雪山圈谷氣候圖。*表示 2017 年沒有資料。

(資料來源：本研究資料)

在 95-125 種，在 9 月後開花數量逐步減少，顯示溫度是雪山地區植物物候的重要影響因子。果候趨勢與花候相似，晚於花候 1-2 個月，1-5 月時結實種數較少 (9-18 種)，8-10 月為結實種數高峰期 (93-117 種)。

在 2017 年冬季 1 月調查發現，輪葉沙參 (*Adenophora triphylla*)、一枝黃花 (*Solidago virgaurea* var. *leiocarpa*)、臺灣馬蘭 (*Aster taiwanensis*)、蔓黃菀 (*Se. scandens*)、阿里山龍膽 (*Gentiana arisanensis*)、臺灣馬醉木、苦懸鈎子 (*Rubus trianthus*)、細葉杜鵑 (*Rh. noriakianum*)、薄瓣懸鈎子 (*Ru. piptopetalus*) 等 14 種植物開花 (圖 10)。將研究區開花季節區分成春季 (3-5 月)、夏季 (6-8 月)、秋季 (9-11 月) 以及冬季 (12-2 月)，僅在春季開花者有山櫻花 (*Pr. campanulata*)、楊梅 (*Myrica rubra*)、臺灣胡麻花 (*Heloniopsis umbellata*)、褐毛柳、臺灣堇菜 (*Viola formosana*)、呂宋莢蒾 (*Viburnum luzonicum*)、狹葉櫟等 25 種；臺灣冷杉、巒大花楸、日本愛冬葉 (*Chimaphila japonica*)、大霸尖山酢漿草 (*Oxalis acetocella* ssp. *taemoni*)、束心蘭 (*Aletris spicata*)、高山柳 (*Sa. taiwanalpina* var. *takasagoalpina*)、臺灣地楊梅 (*Luzula taiwaniana*)、雪山堇菜 (*Vio. adenothis* var. *tsugitakaensis*) 等 74 種植物僅在夏季開花；玉山山蘿蔔、玉山艾 (*Art. niitakayamensis*)、雪山馬蘭 (*Ast. takasagomontanus*)、南湖蒿草 (*Pedicularis nanfutashanensis*)、玉山當歸、黑斑龍膽 (*Gen. scabrida* var. *punctulata*) 等 15 種植物僅在秋季開花。

花期跨春、夏季的有川上氏小蘗 (*Be. kawakamii*)、樺葉莢蒾 (*Vib. betulifolium*)、黃花酢漿草 (*Ox. corniculata*)、臺灣草莓 (*Fragaria hayatai*)、箭葉堇菜 (*Vio. betonicifolia*)、異葉紅珠 (*Hemiphragma heterophyllum*) 等 18 種，跨夏、秋季的有玉山箭竹、伊澤山龍膽 (*Gen. itzershanensis*)、臺灣粉條兒菜 (*Al. formosana*)、雪山翻白草、玉山水苦蕒 (*Veronica morrisonicola*)、玉山佛甲草 (*Sedum morrisonense*)、玉山薄雪草 (*Leontopodium microphyllum*) 等 60 種；春、夏、秋季三季皆有開花的有黑龍江柳葉菜 (*Ep. amurense*)、臺灣龍膽 (*Gen. atkinsonii* var. *formosana*)、玉山杜鵑、玉山筷子芥 (*Arabis lyrata* subsp. *kamtschatica*)、玉山懸鈎子 (*Ru. calycinoides*)、臺灣二葉松等 18 種；幾乎全年花期的有阿里山龍膽及臺灣馬醉木。

物種	月份									
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
加拿大蓬	■									
昭和草	■									
輪葉沙參	■						■	■		
一枝黃花	■						■	■	■	■
火炭母草	■					■	■	■	■	■
咬人貓	■					■	■	■	■	■
臺灣馬蘭	■	■								
蔓黃菀	■	■								
長萼瞿麥	■	■				■	■	■	■	■
阿里山龍膽	■	■	■		■	■	■	■	■	■
臺灣馬醉木	■	■	■		■	■		■	■	■
苦懸鉤子	■	■	■	■	■	■				
細葉杜鵑	■	■	■	■	■	■	■			
薄瓣懸鉤子	■	■	■	■	■	■	■			
山胡椒		■	■							
藤胡頹子		■	■							
森氏山柳菊		■	■			■	■	■	■	■
大枝掛繡球		■	■			■	■	■	■	■
紫花地丁		■	■	■	■					
薄葉柃木		■	■	■						
玉山假沙梨		■	■	■	■	■			■	■
巒大菝葜		■	■	■	■					
狗筋蔓		■	■	■	■	■			■	■
刺果衛矛		■	■	■	■	■	■	■		
山櫻花			■	■						
楊梅			■	■						
臺灣胡麻花			■	■						

圖 10. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月植物開花物候譜。

(資料來源：本研究資料)

物種	月份									
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
川上氏小蘗			■		■	■				
樺葉莢蒾			■		■	■	■			
褐毛柳			■	■						
黃花酢漿草			■	■		■				
臺灣堇菜			■	■	■					
臺灣草莓			■	■	■	■				
箭葉堇菜			■	■	■	■				
呂宋莢蒾				■						
狹葉櫟				■						
鬼懸鈎子				■						
細葉菝葜				■						
塔塔加龍膽				■						
臺灣灰木				■						
臺灣紅榨槭				■						
臺灣茶藨子				■						
變葉懸鈎子				■						
異葉紅珠				■		■				
刺萼寒莓				■		■	■	■		
黑龍江柳葉菜				■		■	■	■	■	
臺灣龍膽				■		■	■	■	■	■
刀傷草				■	■	■				
大扁雀麥				■	■	■				
長行天南星				■	■	■				
笑靨花				■	■	■				
絨毛草				■	■	■	■		■	
中國地楊梅				■	■	■	■	■		
大武貓兒眼睛草				■	■	■	■			

圖 10. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月植物開花物候譜。(續)

(資料來源：本研究資料)

物種	月份									
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
喜岩堇菜				■	■	■				
玉山杜鵑				■	■	■				■
早熟禾				■	■	■		■	■	
臺灣高山杜鵑				■	■	■	■			
玉山筷子芥				■	■	■	■	■	■	
玉山懸鈎子				■	■	■	■	■	■	
高山通泉草				■	■	■	■	■	■	
臺灣二葉松				■	■	■	■	■	■	
光滑菝葜					■					
聚生穗序薹					■					
臺灣山酢漿草					■					
臺灣菝葜					■					
纈草					■					
單花鹿蹄草					■		■			
秋鼠麴草					■		■		■	
梅花草					■		■	■	■	■
大葉溲疏					■	■				
車前草					■	■		■	■	
臺灣鹿藥					■	■	■			
繡球藤					■	■	■			
尼泊爾籟簫					■	■	■		■	■
天胡荽					■	■	■	■		
紅毛杜鵑					■	■	■	■		
海螺菊					■	■	■	■		
玉山櫻草					■	■	■	■	■	
瓜子金					■	■	■	■	■	
臺灣鬼督郵					■	■	■	■	■	

圖 10. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月植物開花物候譜。(續)

(資料來源：本研究資料)

物種	月份									
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
早田氏鼠尾草					■	■	■	■	■	■
高山白珠樹					■	■	■	■	■	■
大霸尖山酢漿草						■				
日本愛冬葉						■				
束心蘭						■				
南投小蘗						■				
垂穗藎						■				
高山柳						■				
高山纈草						■				
雪山堇菜						■				
鼠麴草						■				
臺灣地楊梅						■				
臺灣冷杉						■				
巒大花楸						■				
玉山箭竹						■				■
貧子水苦蕒						■		■		
山薰香						■	■	■		
五蕊莓						■	■	■		
玉山小蘗						■	■	■		
玉山薔薇						■	■	■		
佛氏通泉草						■	■	■		
刺果豬殃殃						■	■	■		
刺柏						■	■	■		
奇萊紅蘭						■	■	■		
金毛杜鵑						■	■	■		
匍枝銀蓮花						■	■	■		
南湖唐松草						■	■	■		

圖 10. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月植物開花物候譜。(續)

(資料來源：本研究資料)

物種	月份									
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
高山翻白草						■	■			
落新婦						■	■			
臺灣山芥菜						■	■			
臺灣糖星草						■	■			
穗花八寶						■	■			
雙黃花堇菜						■	■			
伊澤山龍膽						■	■		■	
臺灣粉條兒菜						■	■		■	
雪山翻白草						■	■		■	■
毛蕊木						■	■	■		
玉山翦股穎						■	■	■		
阿里山忍冬						■	■	■		
南燭						■	■	■		
厚唇粉蝶蘭						■	■	■		
馬先蒿						■	■	■		
玉山水苦蕒						■	■	■		■
玉山佛甲草						■	■	■	■	
玉山薄雪草						■	■	■	■	
風輪菜						■	■	■	■	
狹瓣八仙花						■	■	■	■	
高山破傘菊						■	■	■	■	
細川氏薊						■	■	■	■	
鹿場毛茛						■	■	■	■	
圓葉豬殃殃						■	■	■	■	
玉山毛蓮菜						■	■	■	■	■
玉山金絲桃						■	■	■	■	■
亞毛無心菜						■	■	■	■	■

圖 10. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月植物開花物候譜。(續)

(資料來源：本研究資料)

物種	月份									
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
能高刀傷草						■				
假繡線菊						■				
細葉山艾						■				
臺灣藜蘆						■				
貓兒菊						■				
巒大越橘						■				
山桔梗							■			
川上氏忍冬							■			
水晶蘭							■			
玉山鹿蹄草							■			
玉山燈心草							■			
玉山蠅子草							■			
白絨懸鉤子							■			
兔耳草							■			
紅鞘薹							■			
高山櫟							■			
畢祿山鼠李							■			
壺花莢蒾							■			
紫花阿里山薊							■			
絞股藍							■			
菽草							■			
裂葉樓梯草							■			
臺灣百合							■			
錫杖花							■			
鴨草							■			
大羊蹄							■		■	
南湖附地草							■		■	

圖 10. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月植物開花物候譜。(續)

(資料來源：本研究資料)

物種	月份									
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
南湖碎雪草							■		■	
星果佛甲草							■		■	
雪山艾							■		■	
蓬萊毛茛							■		■	
高山芒							■		■	■
太平山莢蒾							■	■		
合歡柳葉菜							■	■		
密葉唐松草							■	■		
傅氏唐松草							■	■		
森氏當歸							■	■		
間型沿階草							■	■		
玉山沙參							■	■	■	
玉山金梅							■	■	■	
玉山茴芹							■	■	■	
高山薔薇							■	■	■	
高山露珠草							■	■	■	
單花牻牛兒苗							■	■	■	
臺灣紫花鼠尾草							■	■	■	
玉山小米草							■	■	■	■
玉山石竹							■	■	■	■
玉山卷耳							■	■	■	■
玉山抱莖籟簫							■	■	■	■
玉山飛蓬							■	■	■	■
絨山白蘭							■	■	■	■
矮菊							■	■	■	■
山間地楊梅								■		
玉山黃苑								■		

圖 10. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月植物開花物候譜。(續)

(資料來源：本研究資料)

物種	月份									
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
畢祿山蓼								■		
短距粉蝶蘭								■		
臺灣懸鉤子								■		
五節芒								■		■
玉山山奶草								■	■	
阿里山薊								■	■	
青牛膽								■	■	
南湖斑葉蘭								■	■	
飛龍掌血								■	■	
高山沙參								■	■	
高山蓼								■	■	
野苧蒿								■	■	
黃山蟹甲草								■	■	
腳根蘭								■	■	
齒葉筷子芥								■	■	
虎杖								■	■	■
高山梯牧草								■	■	■
黃菀								■	■	■
臺灣野薄荷								■	■	■
巒大當藥								■	■	■
玉山山蘿蔔									■	
玉山灰木									■	
玉山艾									■	
南湖蒿草									■	
細葉婆婆納									■	
裡白椴木									■	
嫩莖纈草									■	

圖 10. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月植物開花物候譜。(續)

(資料來源：本研究資料)

物種	月份									
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
龍葵										■
竊衣										■
玉山當歸										■
高山雙蝴蝶										■
雪山馬蘭										■
臺灣澤蘭										■
黑斑龍膽										■
臺灣筷子芥										■

圖 10. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月植物開花物候譜。(續)

(資料來源：本研究資料)

2017 年 1-10 月的結果物候觀察顯示 (圖 11)，臺灣馬醉木全年皆可發現有果實著生，其餘多數物種集中在夏秋兩季結實。除了臺灣馬醉木外，果期長達半年以上的有白珠樹、細葉杜鵑、苦懸鈎子、刺果衛矛 (*Euonymus spraguei*)、臺灣馬醉木、玉山假沙梨、刺柏 (*Ju. formosana*)、臺灣鐵杉、臺灣二葉松、玉山杜鵑、臺灣茶藨子等。其中部分物種因為果實發育期長，如裸子植物的刺柏與臺灣二葉松需要將近 1 年至 1 年半果實才能成熟，因此幾乎全年可觀測到果實 (Lill, 1976; 梁立明、陳明義, 2000); 而白珠樹、臺灣馬醉木等屬於一年多次開花或開花期長的植物，因此幾乎全年可觀察到結果。

物種	月份									
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
加拿大蓬	■									
昭和草	■									
一枝黃花	■								■	■
南燭	■							■	■	■
白珠樹	■		■	■			■	■	■	■
薄瓣懸鈎子	■		■	■	■	■				
細葉杜鵑	■		■	■	■	■	■	■	■	■
蔓黃菀	■	■								
苦懸鈎子	■	■		■	■		■	■		
刺果衛矛	■	■	■		■			■	■	■
臺灣馬醉木	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
藤胡頹子		■	■							
森氏山柳菊		■							■	■
巒大越橘		■						■	■	■
雲葉		■				■	■	■	■	
玉山假沙梨		■				■	■	■	■	■
臺灣常春藤			■	■						

圖 11. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月植物結實物候譜。

(資料來源：本研究資料)

物種	月份									
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
大枝掛繡球			■							■
紅毛杜鵑			■			■	■	■	■	
刺柏			■	■	■	■	■	■	■	■
臺灣鐵杉			■	■	■	■	■	■	■	■
臺灣胡麻花				■		■				
異葉紅珠				■		■		■	■	■
臺灣二葉松				■	■	■	■	■	■	■
笑靨花					■					
鬼懸鈎子					■					
臺灣菝葜					■					
玉山懸鈎子					■			■	■	■
中國地楊梅					■		■	■	■	■
天胡荽					■		■	■	■	■
早熟禾					■		■	■	■	■
川上氏小蘗					■	■			■	
玉山杜鵑					■	■	■	■	■	■
臺灣茶藨子					■	■	■	■	■	■
大武貓兒眼睛草						■				
玉山胡頹子						■				
葶蘆						■				
臺灣鵝觀草						■				
褐毛柳						■				
繁縷						■				
變葉懸鈎子						■				
大霸尖山酢漿草						■			■	
臺灣赤楊						■			■	■
大扁雀麥						■		■	■	

圖 11. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月植物結實物候譜。(續)

(資料來源：本研究資料)

物種	月份									
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
黑龍江柳葉菜						■		■	■	
山間地楊梅						■		■	■	■
絨毛草						■	■			■
長行天南星						■	■		■	
臺灣糖星草						■	■		■	
毛果柃木						■	■	■		
南投小蘗						■	■	■		
大羊蹄						■	■	■		■
臺灣灰木						■	■	■	■	
薄葉柃木						■	■	■	■	
繡球藤						■	■	■	■	
高山白珠樹						■	■	■	■	■
臺灣冷杉						■	■	■	■	■
水晶蘭							■			
合歡柳葉菜							■			
兔耳草							■			
刺果豬殃殃							■			
枇杷葉灰木							■			
栓皮櫟							■			
高山翻白草							■			
黑麥草							■			
圓果刺葉桂櫻							■			
煙火臺							■			
臺灣山芥菜							■			
鴨草							■			
尼泊爾籟簫							■			■
束心蘭							■			■

圖 11. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月植物結實物候譜。(續)

(資料來源：本研究資料)

物種	月份									
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
玉山燈心草							■		■	
抱鱗宿柱臺							■		■	
聚生穗序臺							■		■	
臺灣高山杜鵑							■		■	■
賽矜木							■		■	■
巒大菝葜							■		■	■
奇萊紅蘭							■	■		
南湖唐松草							■	■		
短距粉蝶蘭							■	■		
刀傷草							■	■		■
大葉溲疏							■	■		■
五節芒							■	■		■
曲芒髮草							■	■		■
刺萼寒莓							■	■		■
高山梯牧草							■	■		■
車前草							■	■	■	
鹿場毛茛							■	■	■	
圓葉豬殃殃							■	■	■	
假繡線菊							■	■	■	■
臺灣地楊梅							■	■	■	■
樺葉莢蒾							■	■	■	■
穗花八寶							■	■	■	■
巒大花楸							■	■	■	■
山薰香								■		
日本愛冬葉								■		
玉山翦股穎								■		
玉山薄雪草								■		

圖 11. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月植物結實物候譜。(續)

(資料來源：本研究資料)

物種	月份									
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
瓜子金								■		
咬人貓								■		
馬先蒿								■		
高山露珠草								■		
細枝柃木								■		
輪葉沙參								■		
齒葉筷子芥								■		
火炭母草								■		■
伊澤山龍膽								■		■
南湖山薰香								■		■
黃菀								■		■
臺灣龍膽								■		■
亞毛無心菜								■	■	
阿里山龍膽								■	■	
南湖扁果薹								■	■	
星果佛甲草								■	■	
紅鞘薹								■	■	
能高刀傷草								■	■	
貧子水苦蕒								■	■	
落新婦								■	■	
五蕊莓								■	■	■
太平山莢蒾								■	■	■
毛蕊木								■	■	■
玉山小蘗								■	■	■
玉山毛蓮菜								■	■	■
玉山水苦蕒								■	■	■
玉山金梅								■	■	■

圖 11. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1 -10 月植物結實物候譜。(續)

(資料來源：本研究資料)

物種	月份									
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
玉山金絲桃										
玉山茴芹										
玉山櫻草										
虎杖										
阿里山忍冬										
狹瓣八仙花										
高山破傘菊										
高山薔薇										
細川氏薊										
雪山翻白草										
鈍齒鼠李										
臺灣粉條兒菜										
臺灣鬼督郵										
臺灣藜蘆										
玉山山奶草										
玉山佛甲草										
玉山沙參										
玉山筷子芥										
玉山箭竹										
刺花懸鉤子										
狗筋蔓										
南湖蒿草										
厚唇粉蝶蘭										
細葉山艾										
野苧蒿										
雪山艾										
傅氏唐松草										

圖 11. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月植物結實物候譜。(續)

(資料來源：本研究資料)

物種	月份									
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
單花牻牛兒苗										
單花鹿蹄草										
間型沿階草										
腳根蘭										
裡白椴木										
臺灣鹿藥										
臺灣紫花鼠尾草										
貓兒菊										
龍葵										
玉山山蘿蔔										
玉山石竹										
玉山飛蓬										
玉山黃菀										
玉山當歸										
長萼瞿麥										
阿里山薊										
高山沙參										
高山通泉草										
高山櫟										
梅花草										
雪山馬蘭										
壺花莢蒾										
矮菊										
臺灣百合										
臺灣野薄荷										
巒大紫珠										
玉山灰木										

圖 11. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1 -10 月植物結實物候譜。(續)

(資料來源：本研究資料)

物種	月份									
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
玉山艾										
玉山抱莖籜簫										
玉山圓柏										
早田氏鼠尾草										
金毛杜鵑										
狹葉櫟										
高山艾										
高山芒										
細葉鼠麴草										
短葉柳葉菜										
絨山白蘭										
臺灣華山松										
臺灣澤蘭										
蓬萊天南星										
纈草										
巒大當藥										

圖 11. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1 -10 月植物結實物候譜。(續)

(資料來源：本研究資料)

(三) 不同海拔植物開花物候比較

2017年1-10月雪山雪東線步道沿線4個植群帶開花物候調查結果顯示(圖12)，櫟林帶上層與高山植群帶的逐月開花種數略呈雙峰分布外，鐵杉雲杉帶和冷杉林帶呈單峰分布，此現象與過去研究結果相同(吳佳穎等，2013；曾彥學、曾喜育，2014)。4個植群帶每月開花物種高峰的月份都發生在7月，櫟林帶上層在4月與6-8月各有明顯的物種花期高峰，鐵杉雲杉帶與冷杉林帶花期高峰集中在6-8月出現，高山植群帶在6-7和9月有明顯的花期高峰。植物開花大致有隨海拔升高而開花物種數減少的趨勢，此現象反映在隨海拔升高，溫度與熱量累積相對較緩慢，對於大多需要足夠熱量才能開花的高山植物而言，植物開花的物種數將隨海拔升高而遞減(吳佳穎等，2013；曾喜育等，2014)。

在物候調查期間，有105種植物分布橫跨不同植群帶(圖13)；其中，橫跨4個海拔的物種有喜岩堇菜(*Vio. adenthrix*)、高山白珠樹、圓葉豬殃殃(*Galium formosense*)、玉山翦股穎(*Agrostis morrisonensis*)、玉山小米草(*Euphrasia transmorrisonensis*)共5種；橫跨3個海拔的物種有一枝黃花、長萼瞿麥(*Dianthus superbus* var. *taiwanensis*)、森氏山柳菊(*Hieracium morii*)、阿里山龍膽、臺灣草莓、中國地楊梅(*Lu. effusa*)、玉山杜鵑、臺灣龍膽、早熟禾(*Poa annua*)、玉山懸鉤子等34種；橫跨2個海拔的有咬人貓(*Urtica thunbergiana*)、火炭母草(*Polygonum chinense*)、薄瓣懸鉤子、苦懸鉤子、細葉杜鵑、紫花地丁(*Vio. mandshurica*)、玉山假沙梨等66種。在植物物候研究中，普遍存在開花時間隨海拔上升而推遲的現象；同時，花期結束時間也隨海拔上升而提早(呂理昌，1990；張又敏，2006；溫英杰等，2008；潘振彰，2012；吳佳穎等，2013；潘振彰等，2013；曾喜育等，2014；Blionis *et al.*, 2001; Pellerin *et al.*, 2012)。在調查2017年1-10月的開花物候發現，較低海拔的植物普遍較早開花，如高山白珠樹、長萼瞿麥、森氏山柳菊、台灣草莓、中國地楊梅等(圖13)。

由上述研究案例，可見於不同地區、不同分類群之物候研究中，普遍有同一物種隨海拔上升而物候延遲的現象。隨海拔升高，最明顯的變化因子為溫度隨之下降，一般絕乾熱遞減律為 $-0.6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}^2$ ，隨地區濕度而有所增減(高國棟和陸渝蓉，1994)。魏聰輝和林博雄(2012)統計2009-2012

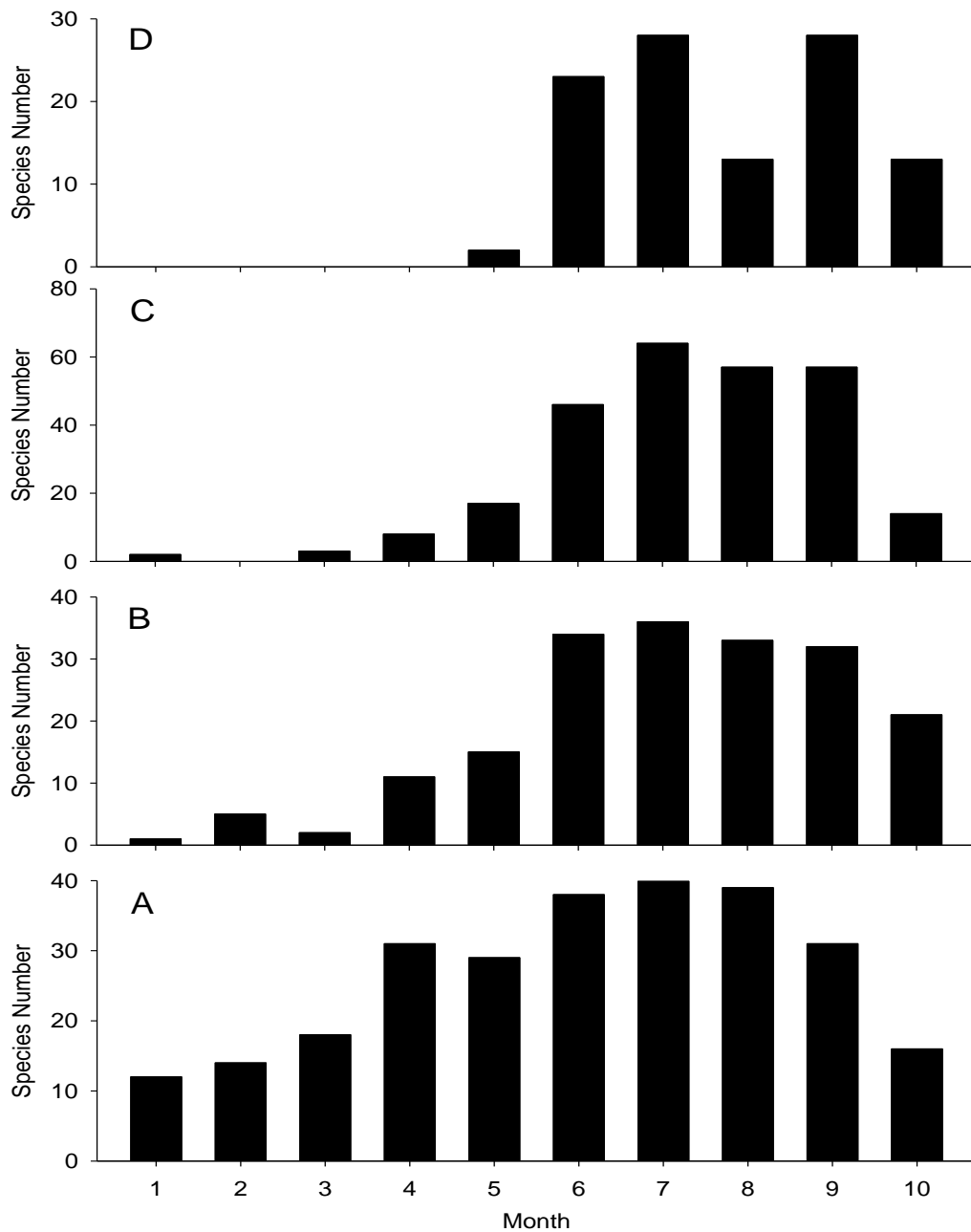


圖 12. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月不同植群帶植物每月開花種數變化。A：櫟林帶上層，B：鐵杉雲杉帶，C：冷杉林帶，D：高山植群帶。(資料來源：本研究資料)

年雪山雪東線步道高山氣象資料，顯示哭坡頂站與三六九站間之氣溫遞減率為 $-0.83^{\circ}\text{C}/100\text{ m}^2$ ，三六九站與圈谷站間之氣溫遞減率為遞減率為 $-0.57^{\circ}\text{C}/100\text{ m}^2$ 。隨海拔升高溫度隨之遞減，應為造成花期延後的主要原因。然而影響開花的環境因子眾多，除了溫度之外，降雨、植物的豐欠年、

土壤環境以及地形環境也會間接影響植物開花時間。如冷杉林帶的玉山杜鵑花期較鐵杉雲杉林帶的早，是因為在一風口區域的族群皆較早開花所致。植群帶是一種人為劃分方式，若植物分布在兩植群帶間，加上植被組成（森林與灌叢草生地）、坡位（中坡與嶺線）等生育地的異質性，使得物種開花物候未隨海拔升高而延後。

物種	區	月份									
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
喜岩堇菜	A				■	■					
	B				■	■					
	C				■						
	D						■				
高山白珠樹	A					■	■		■	■	■
	B						■	■	■	■	■
	C						■	■			
	D						■	■	■		
圓葉豬殃殃	A						■	■			
	B							■	■		
	C						■	■	■	■	
	D							■	■		
玉山翦股穎	A							■	■		
	B						■				
	C							■	■		
	D							■	■		
玉山小米草	A							■	■	■	■
	B							■	■	■	■
	C								■	■	■
	D							■			

圖 13. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月橫跨不同植群帶之植物開花物候譜。A：櫟林帶上層，B：鐵杉雲杉帶，C：冷杉林帶，D：高山植群帶。
(資料來源：本研究資料)

物種	區	月份									
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
一枝黃花	A	■								■	■
	B							■	■	■	■
	C	■						■	■	■	■
長萼瞿麥	A	■	■				■	■	■		
	B						■	■		■	■
	C								■	■	
森氏山柳菊	B		■				■		■	■	
	C							■	■	■	
	D									■	■
阿里山龍膽	B		■			■	■	■	■	■	
	C	■		■			■	■	■	■	
	D						■	■	■	■	
臺灣草莓	A			■	■	■					
	B				■	■	■				
	C						■	■			
中國地楊梅	A				■	■					
	B					■		■	■		
	C							■	■	■	
玉山杜鵑	B				■	■					
	C				■	■	■	■			
	D					■	■	■		■	■
臺灣龍膽	A				■	■	■	■			
	B							■	■	■	■
	C							■	■	■	
早熟禾	A				■	■	■	■	■		
	B						■	■			
	C					■	■	■		■	■

圖 13. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月橫跨不同植群帶之植物開花物候譜。A：櫟林帶上層，B：鐵杉雲杉帶，C：冷杉林帶，D：高山植群帶。(續) (資料來源：本研究資料)

物種	區	月份									
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
玉山懸鉤子	A					■	■	■			
	B							■	■	■	
	C				■		■	■	■	■	
臺灣鬼督郵	A					■	■	■			
	B						■	■		■	
	C					■	■	■	■		
海螺菊	A					■	■	■			
	B						■				
	C				■						
黑龍江柳葉菜	A						■				
	B							■			
	C				■			■	■	■	
高山翻白草	A						■				
	B						■				
	D							■			
玉山佛甲草	A						■				
	C							■	■		
	D							■	■	■	
紅毛杜鵑	A						■	■			
	B					■	■	■	■		
	C							■			
刺果豬殃殃	A						■	■			
	C							■			
	D							■			
玉山水苦蕒	B						■	■			
	C						■	■	■		
	D						■	■	■		■

圖 13. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月橫跨不同植群帶之植物開花物候譜。A：櫟林帶上層，B：鐵杉雲杉帶，C：冷杉林帶，D：高山植群帶。(續) (資料來源：本研究資料)

物種	區	月份									
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
玉山毛蓮菜	B						■	■			■
	C						■	■	■	■	■
	D							■	■		
玉山金絲桃	A						■	■	■		
	B						■	■	■	■	■
	C								■	■	■
細川氏薊	A						■	■	■		
	B						■	■	■	■	■
	C						■	■	■	■	■
高山薔薇	A							■	■		
	B								■	■	
	C							■	■	■	■
伊澤山龍膽	B							■	■		
	C						■	■		■	■
	D						■	■			
臺灣藜蘆	A							■	■	■	■
	B						■	■	■	■	■
	C							■	■	■	■
玉山沙參	B						■	■	■	■	■
	C						■	■		■	■
	D							■	■		
玉山抱莖籜簫	A						■	■	■	■	■
	B							■	■	■	■
	C								■	■	■
虎杖	A							■	■		
	B								■	■	
	C								■	■	■

圖 13. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月橫跨不同植群帶之植物開花物候譜。A：櫟林帶上層，B：鐵杉雲杉帶，C：冷杉林帶，D：高山植群帶。(續) (資料來源：本研究資料)

物種	區	月份										
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	
臺灣野薄荷	A											
	B											
	C											
五節芒	A											
	B											
	C											
玉山石竹	B											
	C											
	D											
矮菊	A											
	B											
	C											
高山沙參	B											
	C											
	D											
細葉山艾	B											
	C											
	D											
高山芒	A											
	B											
	C											
咬人貓	A											
	C											
火炭母草	A											
	C											
薄瓣懸鈎子	A											
	C											

圖 13. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月橫跨不同植群帶之植物開花物候譜。A：櫟林帶上層，B：鐵杉雲杉帶，C：冷杉林帶，D：高山植群帶。(續) (資料來源：本研究資料)

物種	區	月份									
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
苦懸鈎子	A	■									
	B						■				
細葉杜鵑	A	■									
	B				■						
紫花地丁	A		■		■						
	B				■						
玉山假沙梨	A		■			■				■	
	B						■				
臺灣馬醉木	A		■					■			
	B	■								■	
狗筋蔓	A		■								
	C			■						■	
褐毛柳	A			■							
	B			■							
薄葉柃木	A			■							
	B		■								
樺葉莢蕨	A			■		■					
	C						■				
川上氏小蘗	C			■		■					
	D						■				
臺灣堇菜	A		■								
	B				■						
箭葉堇菜	A		■								
	B					■					
大扁雀麥	A				■						
	C					■					

圖 13. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月橫跨不同植群帶之植物開花物候譜。A：櫟林帶上層，B：鐵杉雲杉帶，C：冷杉林帶，D：高山植群帶。(續) (資料來源：本研究資料)

物種	區	月份									
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
異葉紅珠	B				■						
	D						■				
臺灣高山杜鵑	B				■		■	■			
	C					■	■				
長行天南星	A				■	■					
	B					■					
臺灣二葉松	A				■	■					
	B					■	■	■	■	■	
大武貓兒眼睛草	C				■	■	■				
	D						■				
玉山筷子芥	C				■	■	■	■			
	D						■	■		■	
高山通泉草	A				■	■	■	■	■	■	
	B					■	■	■	■	■	
單花鹿蹄草	B					■					
	C							■			
梅花草	C					■		■	■	■	■
	D							■	■	■	
瓜子金	B					■	■	■	■	■	
	C						■	■		■	
玉山櫻草	C					■	■	■	■	■	
	D						■	■			
繡球藤	B						■				
	C					■	■				
臺灣地楊梅	B						■				
	D						■				

圖 13. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月橫跨不同植群帶之植物開花物候譜。A：櫟林帶上層，B：鐵杉雲杉帶，C：冷杉林帶，D：高山植群帶。(續) (資料來源：本研究資料)

物種	區	月份									
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
大霸尖山酢漿草	C						■				
	D						■				
穗花八寶	C						■				
	D						■	■			
阿里山忍冬	B						■		■		
	C							■	■		
車前草	B						■		■	■	
	C					■	■			■	
毛蕊木	A						■	■			
	B						■	■	■		
南燭	A						■	■			
	B							■	■		
刺柏	B						■	■			
	C						■				
臺灣粉條兒菜	B						■	■			
	C						■	■		■	
假繡線菊	B						■	■		■	■
	C						■	■	■	■	
高山破傘菊	A						■	■			
	B							■	■	■	
風輪菜	A						■	■	■	■	
	C							■	■		
鹿場毛茛	C						■	■	■	■	
	D						■	■			
能高刀傷草	A						■	■	■	■	■
	B							■	■	■	

圖 13. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月橫跨不同植群帶之植物開花物候譜。A：櫟林帶上層，B：鐵杉雲杉帶，C：冷杉林帶，D：高山植群帶。(續) (資料來源：本研究資料)

物種	區	月份									
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
亞毛無心菜	C						■	■	■	■	■
	D									■	■
貓兒菊	A							■	■		
	B						■	■	■	■	■
星果佛甲草	A							■	■		
	C									■	■
臺灣鹿藥	A							■	■		
	C					■	■				
玉山茴芹	B							■	■		
	C							■	■	■	■
裂葉樓梯草	B							■	■		
	C							■	■		
臺灣百合	B							■	■		
	C							■	■		
南湖附地草	C							■	■		
	D									■	■
蓬萊毛茛	C							■	■	■	■
	D									■	■
玉山卷耳	C							■	■	■	■
	D							■	■	■	■
玉山金梅	C							■	■	■	■
	D							■	■	■	■
單花牻牛兒苗	C							■	■	■	■
	D							■	■	■	■
絨山白蘭	A							■	■	■	■
	B									■	■

圖 13. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月橫跨不同植群帶之植物開花物候譜。A：櫟林帶上層，B：鐵杉雲杉帶，C：冷杉林帶，D：高山植群帶。(續) (資料來源：本研究資料)

物種	區	月份									
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
玉山飛蓬	C							■	■	■	■
	D								■	■	■
合歡柳葉菜	A								■	■	
	D							■			
玉山薄雪草	C								■		
	D						■	■		■	
齒葉簇子芥	C								■		
	D									■	
阿里山薊	C								■	■	■
	D									■	
高山梯牧草	C								■	■	■
	D									■	■
黃菀	B								■	■	■
	C								■	■	■
尼泊爾籟簫	C									■	
	D					■	■	■		■	■
玉山當歸	C									■	
	D									■	■
巒大當藥	B								■	■	■
	C								■	■	■
玉山箭竹	B										■
	C						■				■

圖 13. 雪山雪東線步道沿線 2017 年 1-10 月橫跨不同植群帶之植物開花物候譜。A：櫟林帶上層，B：鐵杉雲杉帶，C：冷杉林帶，D：高山植群帶。(續) (資料來源：本研究資料)

(四) 雪山地區不同年度植物開花物候比較

比較雪山雪東峰線步道全線植物 2012-2017 年 6 個年度開花物候發現，各年度的逐月開花物種數隨溫度時序變化增加而開花物種數亦增加(圖 14)；然 6 個年度的變化不一致，此可能反應在氣候環境的不同，尤其是季節溫度的差異，2012 年開花物種數與雨量呈不顯著相關 ($\rho = 0.649, p = 0.059$)，開花物種數與溫度呈顯著相關 ($\rho = 0.853, p < 0.01$)；2013 年開花物種數與雨量呈不顯著相關 ($\rho = 0.551, p = 0.124$)，開花物種數與溫度呈顯著相關 ($\rho = 0.885, p < 0.01$)；2014 年開花物種數與雨量呈不顯著相關 ($\rho = 0.571, p = 0.085$)，開花物種數與溫度呈顯著相關 ($\rho = 0.948, p < 0.01$)；2015 年開花物種數與雨量呈不顯著相關 ($\rho = 0.448, p = 0.194$)，開花物種數與溫度呈顯著相關 ($\rho = 0.871, p < 0.01$)；2016 年開花物種數與雨量呈不顯著相關 ($\rho = 0.110, p = 0.748$)，開花物種數與溫度呈顯著相關 ($\rho = 0.920, p < 0.01$)；2017 年開花物種數與雨量呈不顯著相關 ($\rho = 0.465, p = 0.175$)，開花物種數與溫度呈顯著相關 ($\rho = 0.899, p < 0.01$)。根據中央氣象局報告，2012-2016 年的全球年均溫皆都有偏高的現象。中央氣象局的氣象報告進一步提到，自 1880 年至 2016 年的全球年均溫排名中，2012 年是第 9 高溫，2013 年是第 5 高溫，而 2014 年為第 3 名，2015 年則是排名第 2，而 2016 年的年均溫超越 2015 年，成為最高溫的一年。然而區域溫度並不全然與全球趨勢相同，如以玉山氣象站 1961-2016 的年均溫資料進行比較，在 56 年間，年均溫排名前三的分別為 2003 年、2015 年、2014 年。因此我們進一步以玉山北峰氣象站的 2011-2017 年 12-5 月月均溫做為臺灣高山溫度基準，比較 1961 至 2017 年的差異 (表 5)；自表 5 可見，2013 年 2 月、2015 年 1 月、2016 年 5 月、2017 年 1 月有極端高溫現象，在 57 年的當月月均溫中皆排名前 3 高溫。與歷史月均溫比較 (圖 15)，整體而言，2012-2017 年臺灣高山的冬春季溫度偏高，各年度冬春季之月均溫度距離起伏震盪變化不一，並非一致地高於平均或低於平均。

比較不同年度間全線開花物種數趨勢發現 (圖 14)，年均溫接近歷史均溫的 2012 年春季開花物種數的高峰期較早，2012 年 5 月的開花物種數遠高於其他年度。2013 年 2 月在發生極端高溫後，3 月底至 4 月溫度驟降，甚至發生降雪。高山植物在冬季時會利用休眠機制來度過嚴寒，然而當植

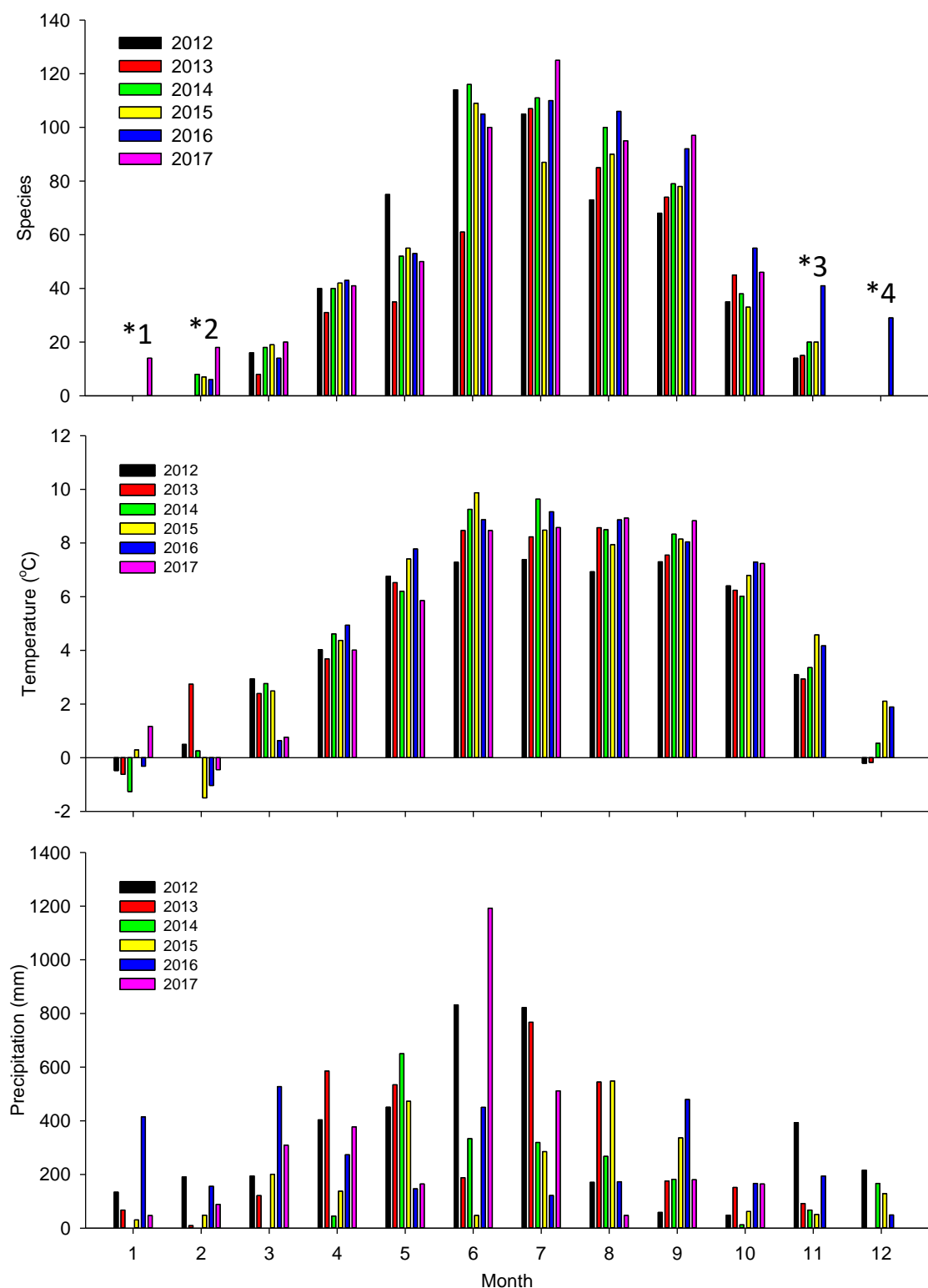


圖 14.雪山雪東線步道 2012-2017 年沿線植物物候調查全線開花種數與氣候圖。*1 表示 2012-2016 年沒有資料；*2 表示 2012-2013 年沒有資料；*3 表示沒有 2017 年資料；*4 表示僅有 2016 年資料。

(資料來源：本研究資料)

物破除休眠開始發育後，其耐寒能力隨時間下降；因此，植物經歷在一段期間的高溫過後打破休眠後，若伴隨發生低溫事件則會對已解除休眠植物或種子造成傷害，致使一些植物花芽或葉芽枯萎，甚至剛發芽的幼苗死亡(潘振彰等, 2013; 曾喜育等, 2017; Kaku *et al.*, 1983; Gime´nez-Benavides *et al.*, 2011)。

2016 年 11 月開花種數仍達 30 餘種，2017 年 2 月開花種數是往年(2014-2016 年) 的兩倍，此結果可能受是到 2016 年秋冬季至 2017 年 1 月的相對高溫影響，致使秋冬開花的植物花期延長，或部分物種提前進入花期。冬季氣溫偏高不利於植物打破冬季的芽休眠，反而使春季開花期延遲(張福春, 1995)，亦有些植物開花期有提前的現象 (Sparks and Carey, 1995; Sparks *et al.*, 1997)，有些植物則沒有差異 (Myking, 1997)。曾彥學、曾喜育(2013) 調查 2012-2013 年雪山高山植物物候發現，在冬季相對高溫情況下少數種類開花會提前，有些不會改變，但約一半種類的花期長度會延長。

進一步比較不同年度各植群帶開花情形，雖然 2017 年的 3-5 月全線開花物種數與往年同期逐月開花物種變化相似(圖 14)；然而在各海拔比較中可以明顯觀察到，除了較低海拔的櫟林帶上層(圖 16A) 開花物種數較其他年度高之外，其他植群帶的開花物種數明顯下降，且隨著海拔上升，春季開花物種數下降越多，此現象可能與高海拔植物未滿足冷激需求有關(圖 16)。在季節分明的溫帶或高山區域，植物透過內生性休眠 (endodormancy)

表 5. 玉山北峰氣象站 2012-2017 與 1961-2016 年月均溫以及月均溫在 1961-2017 年間之高溫排名 (資料來源：本研究資料)

年度	均溫(排名)					
	12(前年)	1	2	3	4	5
2012	1.8 (14)	-1.5 (33)	0.0 (15)	2.2 (10)	2.8 (38)	6.1 (13)
2013	0.1 (35)	-0.6 (17)	2.9 (1)	1.4 (21)	2.9 (36)	5.3 (37)
2014	-0.3 (46)	0.4 (8)	-1 (35)	1.3 (22)	4.6 (7)	5.4 (30)
2015	0.9 (25)	1.5 (3)	-1.9 (44)	2.3 (8)	3.6 (22)	6.4 (7)
2016	2.1 (9)	-0.4 (15)	-1.2 (36)	0.3 (37)	4.1 (12)	7 (2)
2017	2.0 (11)	1.6 (2)	0.1 (13)	0.3 (36)	3.4 (28)	5.4 (29)
1961-2016	0.71	-1.31	-0.90	0.93	3.37	5.60

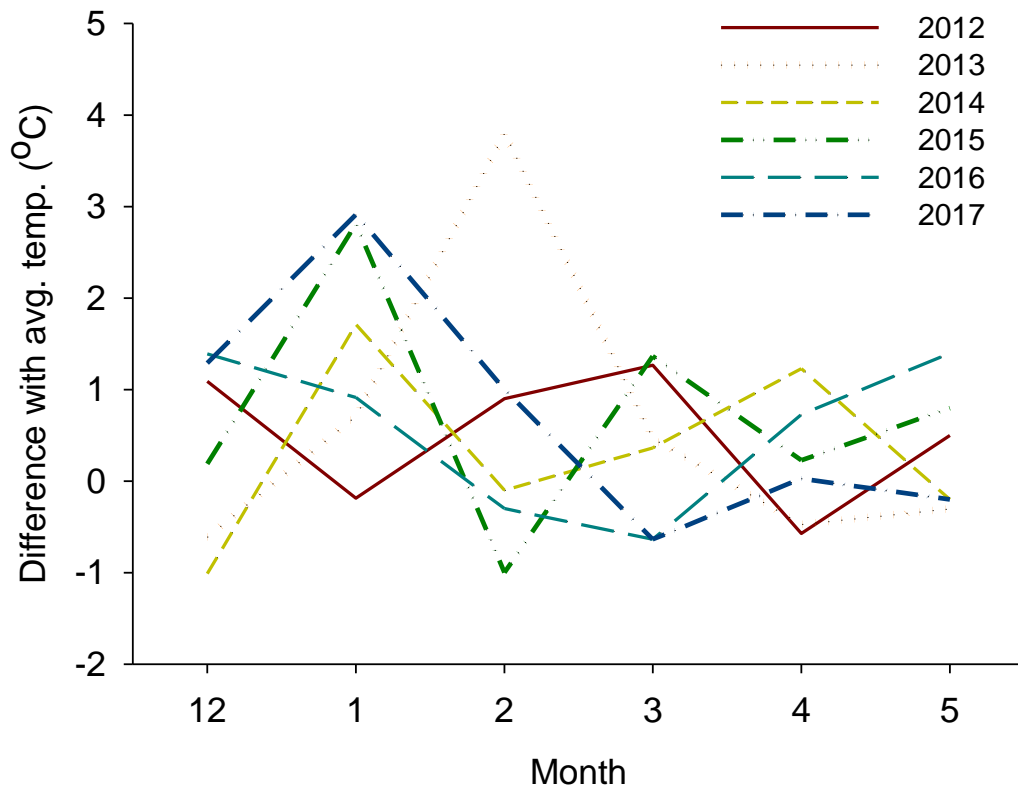


圖 15. 玉山北峰氣象站 2012-2017 年 12-5 月月均溫與 1961-2016 年 12-5 月平均月均溫之差值。圖中 12 月為前一年 12 月。
(資料來源：本研究資料)

降低植物的生理作用，保護生存芽，以避免零度以下的低溫帶來凍害。在一段低溫時間過後，植物滿足冷激 (chilling) 需求，當溫度升高至植物基礎溫度時，植物才會解除休眠，生存芽開始發育 (Faust *et al.*, 1991)。若是冷激需求沒有滿足，芽體可能會敗育，影響植物開花或展葉 (Balandier *et al.*, 1993)。因此，冬季的相對高溫雖然使部分物種提前開花，但是在高海拔區域，低溫時數需求不足的情況反而使春季的開花種數下降。2016-2017 年的冬季高溫已造成初步影響，然而造成植物花期延後或者是花芽敗育仍須持續觀察。

(五) 雪山地區物候縮時攝影監測與開花積溫推估

2016-2017 年已完成 19 台雪山雪東峰線步道植物候縮時攝影監測照相機的架設 (表 6)。2016 年完成監測的物種有玉山杜鵑 7 台、紅毛杜鵑 3 台、玉山櫻草 1 台、南湖柳葉菜 1 台； 2017 年增設玉山杜鵑 2 台、細葉杜鵑 2 台、臺灣冷杉 1 台、巒大花楸 1 台、玉山山蘿蔔 1 台。

由相機監測照片資料顯示，玉山杜鵑與紅毛杜鵑的始花期大致延沿海拔上升有延後現象 (表 7)，以玉山杜鵑來說，在圈谷的玉山杜鵑 (編號 9、10) 花期較在與路徑 5.5 km (編號 16) 處的約晚半個月。比較相同海拔的玉山杜鵑與紅毛杜鵑 (編號 3、4)，紅毛杜鵑的花季較玉山杜鵑晚 1 個月。

表 6. 雪山主峰線沿線物候監測相機與監測物種 (資料來源：本研究資料)

編號	相機型號	物種	座標(WGS84)		安裝日期	海拔(m)	位置
1	HC500	玉山杜鵑	N24.382316	E121.287735	2016 年 3 月	2,404	七卡
2	HC500	紅毛杜鵑	N24.389440	E121.263120	2016 年 3 月	2,865	3.4K 轉角
3	HC500	玉山杜鵑	N24.393620	E121.251130	2016 年 3 月	3,172	5.9-6K
4	HC500	紅毛杜鵑	N24.384790	E121.285710	2016 年 3 月	3,173	6K
5	HC500	紅毛杜鵑	N24.384350	E121.286390	2016 年 3 月	3,138	哭坡頂
6	HC500	玉山杜鵑	N24.393140	E121.252000	2016 年 3 月	3,138	哭坡頂
7	HC500	玉山杜鵑	N24.388600	E121.236290	2016 年 4 月	3,314	黑森林入口
8	HC500	玉山櫻草	N24.389940	E121.276480	2016 年 4 月	3,406	8.4K 後
9	HC500	玉山杜鵑	N24.389220	E121.266940	2016 年 4 月	3,602	圈谷
10	XR6	玉山杜鵑	N24.390550	E121.278000	2016 年 4 月	3,589	圈谷
11	HC500	南湖柳葉菜	N24.386585	E121.231709	2016 年 6 月	3,797	北稜角底
12	HC500	玉山杜鵑	N24.383441	E121.231672	2016 年 12 月	3,870	主峰頂
13	HC500	細葉杜鵑	N24.385833	E121.297222	2017 年 2 月	2,277	0.4K
14	HC500	細葉杜鵑	N24.385277	E121.291388	2017 年 2 月	2,459	1.4K
15	HC500	玉山杜鵑	N24.556666	E121.276388	2017 年 3 月	3,153	4.5K
16	XR6	玉山杜鵑	N24.388888	E121.268333	2017 年 3 月	3,222	5.5K
17	HC500	臺灣冷杉	N24.388888	E121.265555	2017 年 6 月	3,210	5.7K
18	HC500	巒大花楸	N24.529444	E121.361944	2017 年 8 月	3411	369 山莊後
19	HC500	玉山山蘿蔔	N24.439444	E121.468055	2017 年 8 月	3810	主峰頂

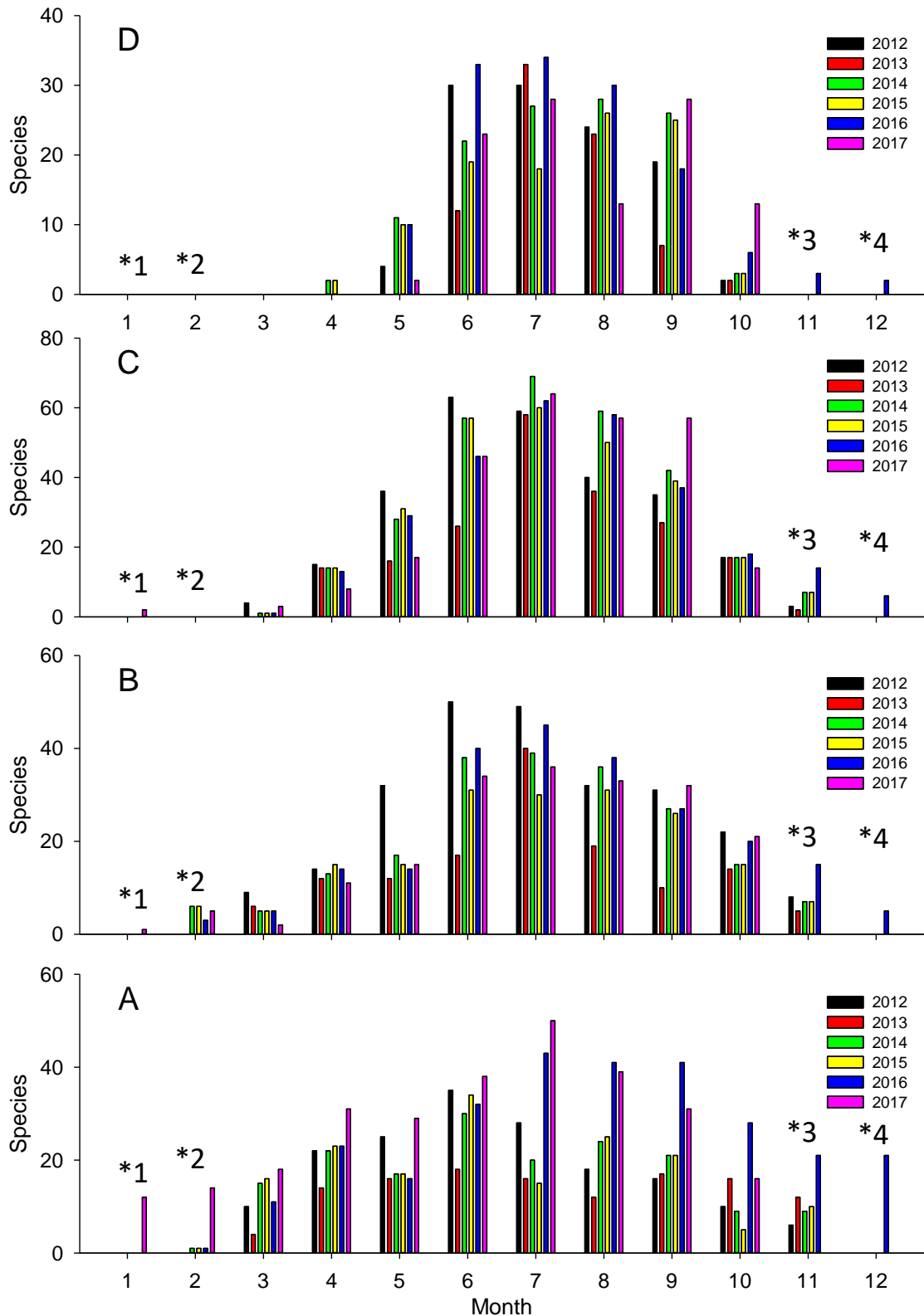


圖 16. 雪山主峰線 2012-2017 年不同海拔開花物候種數比較圖。A：櫟林帶上層，B：鐵杉雲杉帶，C：冷杉林帶，D：高山植群帶。*1 表示 2012-2016 年沒有資料；*2 表示 2012-2013 年沒有資料；*3 表示沒有 2017 年資料；*4 表示僅有 2016 年資料。（資料來源：本研究資料）

表 7. 雪山主峰線 2017 年沿線物候監測物種花期與展葉

(資料來源：本研究資料)

編號	物種	海拔(m)	始花期	盛花	花謝
1	玉山杜鵑	2,404	-	5/12-5/27	5/27-6/5
2	紅毛杜鵑	2,865	5/23	5/31-6/11	6/11-6/29
3	玉山杜鵑	3,172	4/21	4/29-5/8	5/13
4	紅毛杜鵑	3,173	5/22	5/29-6/17	6/17-6/30
5	紅毛杜鵑	3,138	-	-	-
6	玉山杜鵑	3,138	-	-	-
7	玉山杜鵑	3,314	-	-	-
8	玉山櫻草	3,406	6/20	6/24-7/19	7/19-7/29
9	玉山杜鵑	3,602	5/19	5/25-6/5	6/5-6/8
10	玉山杜鵑	3,589	5/23	5/26-6/4	6/4-6/11
11	南湖柳葉菜	3,797	7/4	7/8-7/16	7/16-7/20
12	玉山杜鵑	3,870	5/23	5/30-6/12	6/12-6/19
13	細葉杜鵑	2,277	-	5/12-5/27	5/27-6/5
14	細葉杜鵑	2,459	5/8	-	-
15	玉山杜鵑	3,153	-	-	5/13-5/17
16	玉山杜鵑	3,222	5/8	5/12-5/17	5/17-5/25

由於開花為植物的繁殖機制，具有一定的生理過程與穩定性 (Schwartz, 2013)，在相同區域內的植株應當具有相近的積溫閾值。因此本研究目前先以雪山圈谷的玉山杜鵑為主，引用潘振彰 (2012) 2010-2011 年的調查資料，並綜合 2014-2016 年的調查資料進行玉山杜鵑積溫估計 (表 8)。結果顯示玉山杜鵑各年度的始花期為 137 ± 10.7 天，使用不同的基礎溫度時，計算出來的始花期所需積溫值不同。基礎溫度為 0°C 時，積溫為 9170.2 ± 1347.3 ；在 2.5°C 時，積溫為 4340.2 ± 816.6 ；在 5°C 時，積溫為 1409.7 ± 384.8 ；使用 S 型函數，積溫為 4582.2 ± 610.1 。變異係數 (coefficient of variation, CV) 可以看出積溫時數的離散程度，從中比較數據的一致性，CV 值越小，表示數據的離散程度較小，一致性較高。從 CV 值來看，數值的離散程度隨著基礎溫度上升而提高，當使用 S 型函數推算玉山杜鵑熱量時有最小的 CV 值。本研究進一步以不同基礎溫度估算的平均積溫值，預測各年度的玉山杜鵑始花期。然而預測結果不盡理想 (表 9)，即使是一致性較高的 S 型曲線模式，預測日期與實際始花期差值自 -13 日至 10 日。

表 8. 雪山圈谷不同年度玉山杜鵑在不同基礎溫度下始花期所需積溫
(資料來源：本研究資料)

年	始花期	儒略日	基礎溫度(°C)			S 形函數
			0	2.5	5	
2010	5/25	144	11586.0	5624.8	1965.2	5706.0
2011	6/2	152	9485.3	4924.4	1728.2	4587.2
2014	5/7	126	8314.4	3654.7	935.5	4099.5
2015	5/5	124	7662.4	3454.8	1096.5	3979.6
2016	5/19	139	8803.0	4042.3	1323.3	4538.9
Average	5/17	137	9170.2	4340.2	1409.7	4582.2
SD	10.7	10.7	1347.3	816.6	384.8	610.1
CV(%)	-	-	14.7	18.8	27.3	13.3

表 9. 雪山圈谷不同年度玉山杜鵑在不同基礎溫度下始花期預測日期
與實際日期差值
(資料來源：本研究資料)

年	始花期	預測日期差值(days)			
		0°C	2.5°C	5°C	S 型
2010	5/25	-13	-9	-7	-13
2011	6/2	-1	-3	-3	1
2014	5/7	8	10	18	9
2015	5/5	11	10	9	10
2016	5/19	3	4	2	2

本研究使用 0、2.5 及 5°C 等 3 種基礎溫度進行模式推估，因此 4 種基礎溫度的生物學意義不同；0°C 為水的冰點，推測可作為植物生長的臨界溫度；而前人研究顯示位於高山的植物基礎生長溫度可以略低於 0°C (Cannell and Smith, 1983)。另外溫帶區域的眾多木本植物研究顯示，在低於 5°C 時會植物進入休眠，因此推測 5°C 為進入休眠的臨界溫度 (Cannell and Smith, 1983; Murray *et al.*, 1989; Hannerz, 1999)。然而利用 3 個基礎溫度與 S 型溫度求算的積溫閾值差異甚大，可能原因在於起始日期定於 1/1，可能與植物解除休眠的時間不符。為了求得解除休眠的概略日期，本研究以開花當日作為起始計算時間，逆向計算累積熱量，嘗試以圖解法計算。使用不同基礎溫度計算各年度的累積曲線仍有差異，但不同年度在 1000-1250 小時具有相似的積溫累積曲線趨勢，超過 1250 小時後開始產生分歧 (圖 17)。

白天是植物生理作用較旺盛的時間，也是植物主要的生長時間 (Rossi, 2016)，以白天的時均溫推估積溫應當較符合植物生理機制。因此，我們進一步以白天 (6:00-18:00) 的時均度進行積溫估算 (圖 18)，比較圖 16 與圖 17，0°C 的各年度累積曲線有接近的趨勢外，其他基礎溫度下的累積曲線差異增加。以 CV 值來看，在基礎溫度 0°C 時有最好的一致性。最後本研究以白天的時均溫配合 S 型函數進行積溫推估，並求算不同回推時數時的變異係數 (圖 19)，各年度的累積曲線變化較一致，且當回推時數達 636 小時，變異係數有最小值 (9.31)。綜合估算結果，S 型函數的積溫累積曲線的各年度變化趨勢較一致，而當回推天數在 52-53 天時，各年度的積溫最接近。根據潘振彰 (2012) 量測花芽生長曲線研究結果，推測玉山杜鵑的花芽解除休眠 (花芽開始膨大) 至開花的時間在 40-50 天之間，可能是累積曲線在 50 天時一致性提高的原因。雖然模式的推估有初步結果，實際參數如解除休眠的條件以及玉山杜鵑在不同海拔間的積溫時數是否相同等，仍需更進一步的研究。

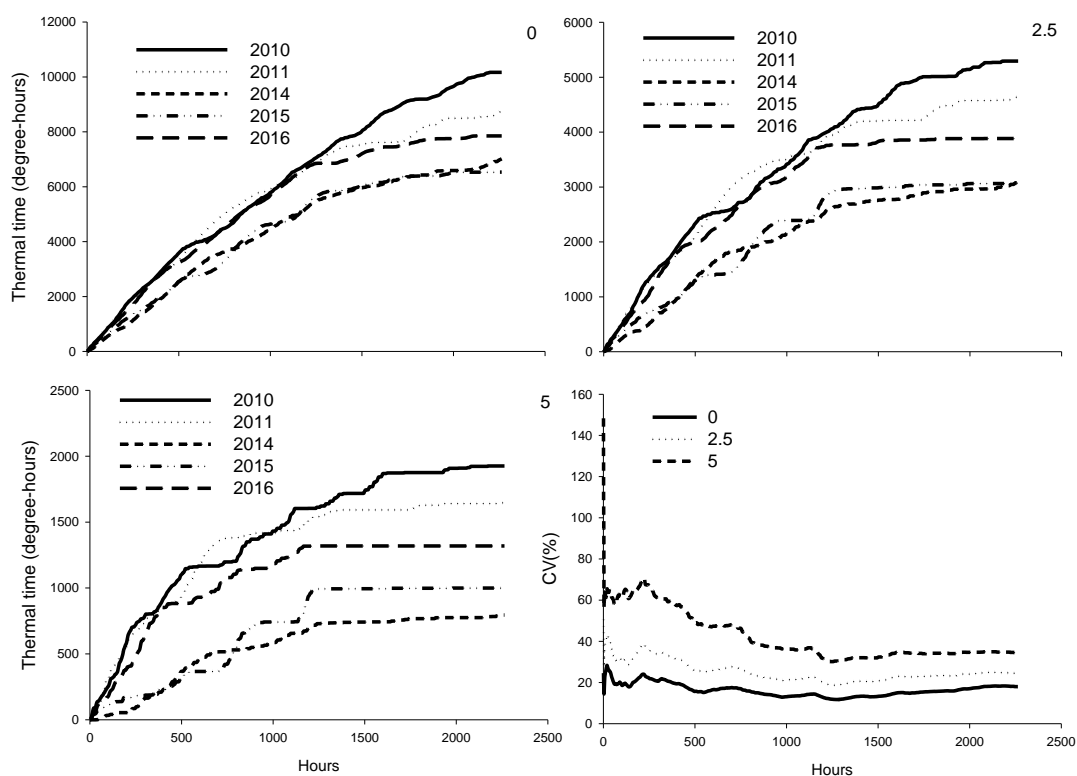


圖 17. 雪山圈谷不同年度玉山杜鵑的不同基礎溫度逆向積溫累積與變異係數波動圖。原點為始花期，hours 為回推小時數。

(資料來源：本研究資料)

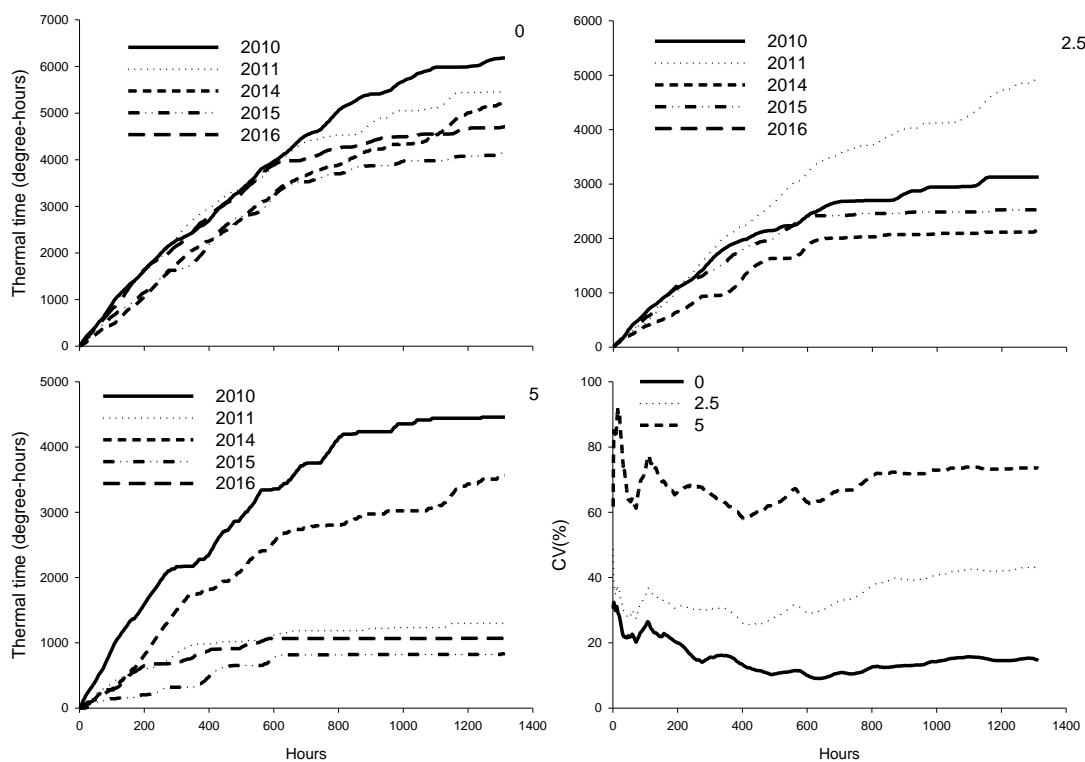


圖 18. 雪山圈谷不同年度玉山杜鵑不同基礎溫度逆向積溫累積圖。原點為始花期，hours 為回推小時數，一天中僅計算 6-18 時的溫度。

(資料來源：本研究資料)

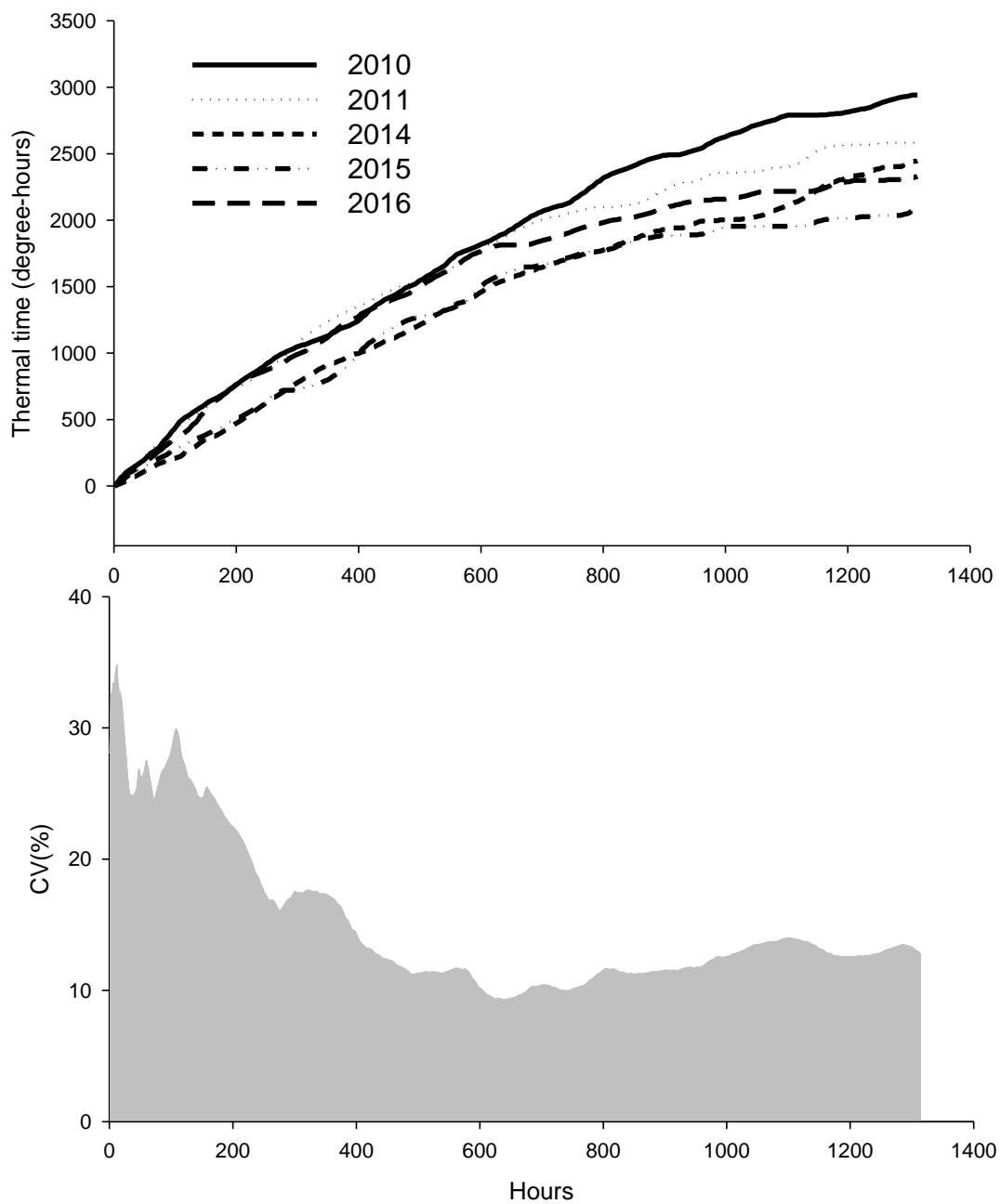


圖 19. 雪山圈谷不同年度玉山杜鵑逆向積溫累積圖。熱量以 S 型函數計算，0 為開花時間，hours 為回推小時數，一天中僅計算 6-18 時的溫度。
(資料來源：本研究資料)

七、參考文獻

- 內政部營建組國家公園組 (2008) 臺灣國家公園發展新願景。與世界接軌：保護區經營管理暨生物多樣性國際研討會大會手冊、論文集。第 29-47 頁。行政院農業委員會林務局，臺灣大學第二學生活動中心 B1 蘇格拉底廳。
- 王偉、邱清安、曾彥學、許俊凱、曾喜育、呂金誠 (2010) 雪山主峰沿線植物社會調查研究。林業研究季刊 32(3): 15-34。
- 王偉、蔡尚惠、邱清安、曾喜育、呂金誠 (2013) 雪山雪東線之物種與生活型多樣性沿海拔梯度變化。林業研究季刊。
- 王鑫、宋國城、崔之久 (1998) 雪山圈谷群第四紀冰河遺跡研究(I)。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 王鑫、宋國城、崔之久 (1999) 雪山圈谷群第四紀冰河遺跡研究(II)。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 邦卡兒·海放南 (2007) 塔塔加地區高山植物的物候期。林業研究專訊 14(5):16-22。
- 符瑜、潘學標 (2011) 草本植物物候及其物候類比模型的研究進展。中國農業氣象 32(3): 319-325。
- 呂金誠 (1999) 武陵地區雪山主峰線植群調查與植栽應用之研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 呂金誠、歐辰雄、廖敏君 (2002) 雪山東峰火燒後玉山箭竹開花之研究(I)。內政部營建署雪霸國家公園管理處研究報告。
- 呂金誠、歐辰雄、廖敏君 (2004) 雪山東峰玉山箭竹開花之研究(III)。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 何春蓀 (1986) 臺灣地質概論。經濟部中央地質調查所，共 153 頁。
- 呂理昌 (1990) 玉山國家公園植物開花物候週期之研究(塔塔加~玉山主峰)。內政部營建署玉山國家公園管理處。共 88 頁。
- 李小豔、張遠彬、潘開文、孫成仁、王開遠、王進闖、亓東明 (2009) 溫度升高對林線交錯帶西川韭與草玉梅生殖物候生長的影響。生態學雜誌 28(1): 12-18。
- 李向前、賈鵬、章志龍、杜國禎 (2009) 青藏高原東緣高寒草甸植群群落的開花物候。生態學雜誌 28(11): 2202-2207。
- 吳佳穎、曾喜育、邱清安、王秋美、劉思謙、曾彥學 (2013) 雪山主峰線之植物物候研究。林業研究季刊 35(4): 223-240。
- 邱清安 (2006) 應用生態氣候指標預測臺灣潛在自然植群之研究。國立中興大學森林學系博士論文。
- 邱清安、廖敏君、曾喜育、呂金誠 (2010) 臺灣高山寒原植群之商榷及其在生態氣

- 候觀點下的潛在位置。林業研究季刊 32(3): 89-102。
- 竺可楨、宛敏渭 (1973) 物候學。科學出版社 131 頁。
- 柳樞 (1963) 小雪山高山草原生態之研究。林試所報告第九十二號。
- 陳正祥 (1957) 「氣候之分類與分區」。國立臺灣大學農學院實驗林林業叢刊第七號。
- 陳明義 (1997) 野火對環山、雪山地區植群影響之研究 I。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 陳建國、楊揚、孫航 (2011) 高山植物對全球氣候變暖的回應研究進展。應用與環境生物學報。17(3): 35-446。
- 徐雨晴、陸佩玲、于強 (2005) 近 50 年北京樹木物候對氣候化的響應。地理研究 24(3): 412-420。
- 徐振鋒、胡庭興、張力、張遠彬、鮮駿仁、王開遠 (2009) 模擬增溫對川西亞高山林線交錯帶綿穗柳生長、葉物候和葉性狀的影響。應用生態學報 20(1): 7-12。
- 徐國士 (1994) 雪霸國家公園特有及稀有植物之研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 高國棟、陸渝蓉 (1994) 氣候學。明文書局。共 25 頁。
- 梁立明、陳明義 (2000) 關刀溪森林生態系台灣二葉松與台灣五葉松之物候現象。林業研究季刊 22(3): 69-80。
- 張又敏 (2006) 金毛杜鵑開花模式之研究。靜宜大學生態學系碩士論文。共 57 頁。
- 張福春 (1995) 氣候變化對中國木本植物物候的可能影響。地環學報 50(5): 402-410。
- 張學霞、葛全勝、鄭景云 (2004) 北京地區氣候變化和植被的關化-基於遙感數據和物候資料的分析。植物生態學報 28(4): 499-506。
- 許俊凱、呂金誠、歐辰雄 (2000) 武陵地區雪山主峰線植群之研究。國家公園學報 10(1): 50-72。
- 曾彥學、曾喜育 (2013a) 玉山國家公園高山生態系植物物候週期調查。內政部營建署玉山國家公園管理處委託研究計劃。
- 曾彥學、曾喜育 (2013b) 雪山高山生態系指標植物物候調查。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 曾彥學、曾喜育 (2014) 雪山高山生態系指標植物物候調查。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 曾喜育、郭礎嘉、陳玟璇、湯冠臻、曾彥學 (2014) 玉山國家公園塔塔加-玉山主峰線步道開花與結實物候。國家公園學報 24(1):58-75。
- 曾喜育、曾彥學 (2016) 雪山高山生態系指標植物物候調查。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。

- 黃信源 (2007) 苗栗地區油桐物候生物學之研究。國立中興大學森林學系碩士論文。共 88 頁。
- 黃增泉 (1987) 雪山—大霸尖山地區植物生態資源先期調查研究報告。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 溫英杰、張靜誼、高建元 (2008) 阿里山山櫻遺傳多樣性之研究。臺灣農業研究 57(4): 233-242。
- 董景生、徐嘉君、余偲媽 (2008) 全球氣候變遷對雪山圈谷寒原生態系的潛在影響分析，雪霸國家公園管理處委託辦理報告。
- 裴順祥、郭泉水、辛學兵、劉璋、洪明 (2011) 我國東北 4 種常見闊葉喬木物候對氣候變化的響應。林業科學 47(11): 181-187。
- 廖雨萍、李耀先、黃梅麗、李永健、史彩霞、徐聖璇 (2012) 氣候變化對桂林植物物候的影響。廣西植物 32(4): 487-493。
- 廖敏君、邱清安、林鴻志、曾彥學、曾喜育、呂金誠 (2012) 雪山山脈臺灣冷杉林 (*Abies kawakamii* (Hayata) Ito) 地被植群多樣性。林業研究季刊。34(3): 179-192。
- 鄭婷文、曾喜育、邱清安、劉思謙、王秋美、曾彥學 (2012) 雪山主峰東線步道維管束植物生活型之研究。國家公園學報。22(1): 41-51。
- 歐辰雄、曾喜育 (2008) 雪山主峰線臺灣冷杉族群動態監測。雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 潘振彰 (2010) 雪山高山生態系植物物候因應氣候變遷衝擊之探討。雪霸國家公園管理處自行研究報告。
- 潘振彰 (2012) 溫度對雪山地區玉山杜鵑開花物候之影響。國立中興大學碩士論文。
- 潘振彰、邱清安、曾彥學、曾喜育 (2013) 雪山地區玉山杜鵑物候之研究。林業研究季刊 35(2): 71-86。
- 潘學標 (2003) 作物模型原理。氣象出版社。
- 劉志民、閻巧玲、馬君玲 (2006) 生植物候與草甸草地多年生植物的消長。生態學報 26(3): 773-779。
- 劉崇瑞、蘇鴻傑 (1983) 森林植物生態學。臺灣商務印書館。共 462 頁。
- 韓小梅、申雙和 (2008) 物候模型研究進展。生態學雜誌 27(1): 89-95。
- 應紹舜 (1976) 雪山地區高植群的研究。中華林學季刊 9(3): 119-135。
- 顏江河 (2009) 高山地區土壤性質研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託報告。共 48 頁。
- 魏聰輝、林博雄 (2012) 第一章、雪山高山微氣象與水量與熱量時空分布特性，第 1-1 頁-第 1-66 頁。收錄於曾彥學、曾喜育 (2012) 雪山地區高山生態系長期生態調查研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託報告。

- Anderson J.T., Inouye D.W., McKinney A.M., Colautti R.I. and Mitchell-Olds T. (2012) Phenotypic plasticity and adaptive evolution contribute to advancing flowering phenology in response to climate change. *Proceedings of the Royal Society B* 279: 3843-3852.
- Aono Y. and K. Kazui (2008) Phenological data series of cherry tree flowering in Kyoto, Japan, and its application to reconstruction of springtime temperatures since the 9th century. *International Journal of Climatology* 28(7): 905-914.
- Balandier P., Bonhomme, M., Rageau, R., Capitan, F., and Parisot, E. (1993). Leaf bud endodormancy release in peach trees: evaluation of temperature models in temperate and tropical climates. *Agricultural and Forest Meteorology*, 67(1-2), 95-113.
- Bawa K.S., Kang H., and Grayum M.H. (2003) Relationships among time, frequency, and duration of flowering in tropical rain forest trees. *American Journal of Botany* 90: 877-887.
- Blionis G. J., J. M. Halley and D. Vokou (2001) Flowering phenology of *Campanula* on Mt. Olympos, Greece. *Ecography* 24: 696-706.
- Caffarra A., A. Donnelly, I. Chuine and M.B. Jones (2011) Modelling the timing of *Betula pubescens* budburst: I. Temperature and photoperiod: a conceptual model.
- Cannell M. G. R. and R. I. Smith (1983) Thermal time, chill days and prediction of budburst in *Picea sitchensis*. *Journal of Applied Ecology* 20: 951-963. *Climate Research* 46(2): 147-157.
- Chuine I., M. Bonhomme, J. M. Legave, I. Garcia de Cortazar-Atauri, G. Charrier, A. Lacoite, and T. Améglio (2014). Can phenological models predict tree phenology accurately under climate change conditions? EGU General Assembly Conference Abstracts 16: 12973.
- Cleland E.E., Chuine I., Menzel A. Mooney H.A. and Schwartz M.D. (2007) Shifting plant phenology in response to global change. *Trends in Ecology and Evolution* 22(7): 357-365.
- Faust M., D. Liu, Millard, M. M., and G. W. Stutte (1991). Bound versus free water in dormant apple buds—a theory for endodormancy. *HortScience*, 26(7), 887-890.
- Fenner M. (1998) The phenology of growth and reproduction in plants. *Perspective in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 1:78-91.
- Ghelardini L., A. Santini, S. Black-Samuelsson, T. Myking and M. Falusi. (2010) Buddormancy release in elm (*Ulmus* spp.) clones—a case study of photoperiod and temperature responses. *Tree Physiology* 30: 264-274.
- Gime'nez-Benavides L., R. Garcı'a-Camacho, J. Mari'aIriondo and A. Escudero (2011)

- Selection on flowering time in Mediterranean high-mountain plants under global warming. *Evolutionary Ecology* 25: 777-794.
- Gordon R. and A. Bootsma (1993) Analyses of growing degree-days for agriculture in Atlantic Canada. *Climate Research* 3: 169-176.
- Grabherr G., Gottfried M. and Pauli H. (1994) Climate effects of mountain plants. *Nature* 396: 448-450.
- Guisan AJ, I Holten, and R Spichiger. (1995) Potential ecological impacts of climate change in the Alps and Fennoscandian mountains: an annex to the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) second assessment report, Working Group 2-C (Impacts of climate change on mountain regions). Geneve : Ville de Geneve. 194pp.
- Häkkinen R., T. Linkosalo and P. Hari (1998) Effects of dormancy and environmental factors on timing of bud burst in *Betula pendula*. *Tree Physiology*. 18(10): 707–712.
- Hannerz M. (1999) Evaluation of temperature models for predicting bud burst in Norway spruce. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 9-19.
- Hülber K., M. Winkler, and G.Grabherr (2010) Intraseasonal Climate and habitat-specific variability controls the flowering phenology of high alpine plant species. *Functional Ecology* 24(2): 245-252.
- Inouye D., Saavedra W.F. and Yang W.L. (2003) Environmental influences on the phenology and abundance of flowering by *Androsace septentrionalis* (Primulaceae). *American Journal of Botany* 90: 905-910.
- Inouye DW. (2008) Effects of climate change on phenology, frost damage, and floral abundance of montane. *Ecology* 89(2): 321-331.
- Kaku S., M. Iwaya-Inoue, K. B Jeon (1983) Effects of Temperature on Cold Acclimation and Deacclimation in Flower Buds of Evergreen Azaleas. *Plant and Cell Physiology* 24(3): 557-564.
- Kikuzawa K. (1995) Leaf phenology as an optimal strategy for carbon gain in plants. *Canadian Journal of Botany* 73: 158-163.
- Kochmer J.P. and Handel S.N. (1986) Constraints and competition in the evolution of flowering phenology. *Ecological Monographs* 56: 303-325.
- Körner C. (1989) The nutritional status of plants from high altitudes. *Oecologia* 81: 379–391.
- Körner C. (1995) Towards a better experimental basis for upscaling plant responses to elevated CO₂ and climate warming. *Plant, Cell and Environment* 18: 1101–1110.
- Körner C. (2003) *Alpine Plant Life - Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. 2 edition. Springer, Heidelberg.

- Körner C. and Paulsen J. (2004) A world-wide study of high altitude treeline temperatures. *Journal of Biogeography* 31: 713-732.
- Körner C. (2007) Alpine Ecosystems. pp 1-6. *Encyclopedia of Life Sciences*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
- Körner C. and Basler D. (2010) Phenology under global warming. *Science* 327: 1461-1462.
- Kreyling J. (2010) Winter climate change: a critical factor for temperate vegetation performance. *Ecology* 91:1939-1948.
- Lamsal A and S.M. Welch (2016) Modelling flowering time of rhododendron. *Journal of Hill Agriculture* 7(2): 231-236.
- Lill B. S. (1976) Ovule and seed development in *Pinus radiata*: postmeiotic development, fertilization, and embryogeny *Canadian Journal of Botany* 54(18): 2141-2154.
- Linkosalo T, R Hänninen and H Hänninen (2006) Model of the phenology of boreal and temperate tree: is there something missing? *Tree Physiology* 26:1165-1172.
- Loik M.F., Redar S.P. and Hrté J. (2000) Photosynthetic responses to a climate-warming manipulation for contrasting meadow species in the Rocky Mountains, Colorado, USA. *Functional Ecology* 14:166-175.
- Makrodimos N., Blionis G.J., Krigas N. and Vokou D. (2008) Flower morphology, phenology and visitor patterns in an alpine community on Mt. Olympos, Greece. *Flora* 203: 449-468.
- Martínková J., Smilauer P. and Mihuka S. (2002) Phenological pattern of grassland species: Relation to the ecological and morphological traits. *Flora* 197:290-302.
- Michael A. C. and Theresa M.C. (2008) Monitoring plant phenology using digital repeat photography. *Environmental Management* 41: 949-958.
- Murray M. B., M. G. R. Cannel and R. I. Smith (1989) Date of budburst of fifteen tree species in Britain following climatic warming. *Journal of Applied Ecology* 26: 693-700.
- Myking T. (1997) Effect of constant and fluctuating on time to budburst in *Betula pubescens* and its relation to bud respiration. *Tree* 12(2): 107-112.
- Nautiyal M. C., B. P. Nautiyal and V. Prakash (2001) Phenology and growth form distribution in an alpine pasture at Tungnath, Garhwal, Himalaya. *Mountain Research and Development* 21(2): 168-174.
- NOAA (2016) Recent monthly average Mauna Loa CO₂. U.S. Department of Commerce,

National Oceanic and Atmospheric Administration, Earth System Research Laboratory, Global Monitoring Division.
<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/index.html>

- Nuttonson M. Y. (1955) Wheat-climate relationship and the use of phenology in ascertaining the thermal and photothermal requirements of wheat. Washington, DC: American Institute of Crop Ecology. p.54-55.
- Pauli H., Gottfried M. and Grabherr G. (1996) Effects of climate change on mountain ecosystems – upward shifting of alpine plants. *World Resource Review* 8(3): 382-390.
- Pellerin M, A Delestrade, G Mathieu, O Rigault and NG Yoccoz. 2012. Spring tree phenology in the Alps: effects of air temperature, altitude and local topography. *European Journal of Forest Research* 131(6): 1957-1965.
- Phoenix G.K., W. K. Hicks, S. Cinderby, J. C. I. Kuylenstierna, W. Stock, F. J. Dentener, K. E. Giller, A. T. Austin, R. D. B. Lefroy, B. S. Gimeno, M. R. Ashmore, P. Ineson (2006) Atmospheric nitrogen deposition in world biodiversity hotspots: the need for a greater global perspective in assessing N deposition impacts. *Global Change Biology* 12(3): 470-476.
- Rathcke B. and Lacey E.P. (1985) Phenological patterns of terrestrial plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 16: 179-214.
- Ram J., S. P. Singh and J. S. Singh (1988) Community level phenology of grassland above treeline in Central Himalaya, India. *Arctic and Alpine Research* 20(3): 325-332.
- Reaumur M (1735) Observations du thermomètres, faites à Paris pendant l'année 1735, comparées avec celles qui ont été faites sous la ligne, à l'isle de France, à Alger et quelques unes de nos isles de l'Amérique. *Academie des Sciences, Paris*. 545 p.
- Root T.L. Price J.T., Hall K.R., Schneider S.H., Rosenzweig C. and Pounds J.A. (2003) "Fingerprints" of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421: 57-60.
- Rosenzweig C., Casassa G., Karoly D.J., Imeson A., Liu C., Menzel A., Rawlins S., Root T.L., Seguin B. and Tryjanowski P. (2007) Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 79-131.
- Rossi S., Isabel, N. (2016) Bud break responds more strongly to daytime than night-time

- temperature under asymmetric experimental warming. *Global Change Biology* 23, 446-454
- Rötzer T., Wittenzeller M., Haeckel H. and Nekovar J. (2000) Phenology in central Europe-differences and trends of spring phenophases in urban and rural areas. *International Journal of Biometeorology* 44(2): 60-66.
- Running S.W. and Hunt E.R.Jr. (1993) Generalization of a Forest Ecosystem Process Model for Other Biomes, BIOME-BCG, and an Application for Global-Scale Models. Academic Press, Inc.
- Sala O.E., Chapin F.S., Armesto IIIJ.J., Berlow E., Bloomfield J., Dirzo R., Huber-Sanwald E., Huenneke L.F., Jackson R.B., Kinzig A., Leemans R., Lodge D.M., Mooney H.A., Oesterheld M.I. N., Poff N.L., Sykes M.T., Walker B.H., Walker M. and Wall D.H. (2000) Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287: 1770-1774.
- Sandring S., M.-A. Riihimäki, O. Savolainen, and J. Ågren (2007) Selection on flowering time and floral display in an alpine and a lowland population of *Arabidopsis lyrata*. *Journal of Evolutionary Biology* 20: 558-567.
- Sarvas R (1972) Investigation on the annual cycle of development of forest tree . II. Autumn dormancy and winter dormancy. *Commun.Inst. For. Fenn.* 84:1–101.
- Schwartz M.D., R. Ahas, and A. Aasa (2006) Onset of spring starting earlier across the Northern Hemisphere. *Global Change Biology* 12(2): 343-351.
- Schwartz M.D. (2013) *Phenology: An Integrative Environmental Science*. Kluwer Academic Publishers. 564p.
- Shen Z. K. (2000) Study in the phenological phase in *Eulapiopsis Binata*. *Journal of Hubei Institute for Nationalities* 18(2): 24-26.
- Shen S. F., E. Akcay, D. R. Rubenstein (2014) Group size and social conflict in complex societies. *American Naturalist* 18 (2): 301-310.
- Smith P. C., Noblet-Ducoudré D., Ciais P., Peylin P., Viovy N., Meurdesoif Y., and Bondeau A. (2010) European-wide simulations of croplands using an improved terrestrial biosphere model: Phenology and productivity. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 155(G1).
- Sosebee R. E. and W. Wiebe (1973) Effect of phenological development on radio phosphorus translocations from leaves in crested wheat grass. *Oecologia* 13: 103-112.
- Sparks T.H. and Carey P.D. (1995) The responses of species to climate over two centuries: an analysis of the Marshan phenological record, 1736-1947. *Journal of*

- Ecology 83: 321-329.
- Sparks T. H., P. K. Carey, and J. Combes (1997) First leafing dates of trees in Surey between 1947 and 1996. *London Naturalis* 76: 15-20.
- 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 J. Chinese. For.* 17(4): 57-73.
- Suzuki S. and Kudo G. (1997) Short-term effects of simulated environmental change on phenology, leaf traits, and shoot growth of alpine on a temperate mountain northern Japan. *Global Change Biology* 3: 108-118.
- Swartz H. J. and L. E. Powell (1981) The effect of long chilling requirement on time of bud break in apple. *Acta Horticulturae* 120: 173-178.
- Taylor F. G. J. (1974) Phenodynamics of production in a mesic deciduous forest. In: Lieth H, editor: phenology and seasonality modeling. *Ecological Studies* 8. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. p. 237-254.
- Thuiller W., S. Lavorel, M.B. Araújo, M.T. Sykes and I.C. Prentice. (2005) Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 102, 8245-8250.
- Toledo M., L. Poorter, M. Peña-Claros, A. Alarcón, J. Balcázar, C. Leño, J.C. Licona, O. Llanque, V. Vroomans, P. Zuidema and F. Bongers. (2011) Climate is a stronger driver of tree and forest growth rates than soil and disturbance. *Journal of Ecology* 99:254-264.
- Wada N., Shinomi M., Miyamoto M. and Kojima S. (2002) Warming effects on shoot developmental growth and biomass production in sympatric evergreen alpine dwarf shrubs *Empetrum nigrum* and *Loiseleuria procumbens*. *Ecological Research* 17: 125-132.
- Walther G.R., Post E., Convey P., Menzel A, Parmesan C., Beebee T.J., Fromentin J.M., Hoegh-Guldberg O. and Bairlein F. (2002) Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416: 389-395.
- White M.A., P.E. Thornton, S.W. Running (1997) A continental phenology model for monitoring vegetation responses to interannual climatic variability. *Global Biogeochemical Cycle* 11(2):217-234.
- Yang L.H., V. H. W. Rudolf (2009) Phenology, ontogeny and the effects of climate change on the timing of species interactions. *Ecology Letters* 13(1): 1-10.
- Yin X., M.J. Kropff, G. McLaren and R.M. Visperas (1995) A nonlinear model for crop development as a function of temperature. *Agricultural and Forest Meteorology* 77:

1-16.

附錄 1. 2012-2017 年雪山主峰東峰線物候調查植物名錄

1. Pinaceae 松科

1. *Abies kawakamii* (Hayata) Ito 臺灣冷杉
2. *Pinus taiwanensis* Hayata 臺灣二葉松
3. *Tsuga chinensis* (Franchet) Pritz. ex Diels var. *formosana* (Hayata) Li & Keng 臺灣鐵杉
4. *Pinus armandii* Franchet var. *masteriana* Hayata 臺灣華山松
5. *Picea morrisonicola* Hayata 臺灣雲杉

2. Cupressaceae 柏科

6. *Juniperus formosana* Hayata 刺柏
7. *Juniperus squamata* Lamb. var. *morrisonicola* (Hayata) Li & Keng 玉山圓柏

3. Myricaceae 楊梅科

8. *Myrica rubra* (Lour.) Sieb. & Zucc. 楊梅

4. Salicaceae 楊柳科

9. *Salix fulvopubescens* Hayata 褐毛柳
10. *Salix taiwanalpina* Kimura 臺灣山柳
11. *Salix taiwanalpina* Kimura var. *takasagoalpina* (Koidz.) Ying 高山柳

5. Celastraceae 樺木科

12. *Alnus formosana* (Burkill ex Forbes & Hemsl.) Makino 臺灣赤楊

6. Fagaceae 殼斗科

13. *Cyclobalanopsis stenophylloides* (Hayata) Kudo & Masam. ex Kudo 狹葉櫟
14. *Lithocarpus hancei* (Benth.) Rehd. 三斗石櫟
15. *Quercus spinosa* A. David ex Fr. 高山櫟
16. *Quercus variabilis* Bl. 栓皮櫟

7. Urticaceae 蕁麻科

17. *Pilea aquarum* Dunn subsp. *brevicornuta* (Hayata) C. J. Chen 短角冷水麻
18. *Urtica thunbergiana* Sieb. & Zucc. 咬人貓
19. *Elatostema trilobulatum* (Hayata) Yamazaki 裂葉樓梯草
20. *Debregeasia orientalis* C. J. Chen 水麻

8. Loranthaceae 桑寄生科

21. *Taxillus lonicerifolius* (Hayata) Chiu var. *lonicerifolius*. 忍冬葉桑寄生
22. *Taxillus liquidambaricolus* (Hayata) Hosokawa 大葉桑寄生

9. Polygonaceae 蓼科

23. *Polygonum chinense* L. 火炭母草
24. *Polygonum filicaule* Wall. ex Meisn. 高山蓼
25. *Polygonum pilushanense* Liu & Ou 畢祿山蓼
26. *Polygonum yunnanense* Leveille 虎杖

27. *Rumex crispus* L. var. *japonicus* (Houtt.) Makino 羊蹄

28. *Rumex obtusifolius* L. 大羊蹄

29. *Polygonum runcinatum* Buch.-Ham. ex D. Don 玉山蓼

10. Caryophyllaceae 石竹科

30. *Arenaria subpilosa* (Hayata) Ohwi 亞毛無心菜

31. *Cerastium trigynum* Vill. var. *morrisonense* (Hayata) Hayata 玉山卷耳

32. *Cucubalus baccifer* L. 狗筋蔓

33. *Dianthus pygmaeus* Hayata 玉山石竹

34. *Dianthus superbus* L. var. *taiwanensis* (Masam.) Liu & Ying 長萼瞿麥

35. *Silene morrison-montana* (Hayata) Ohwi & Ohashi 玉山蠅子草

36. *Stellaria aquatica* (L.) Scop. 鵝兒腸

37. *Stellaria media* (L.) Vill. 繁縷

38. *Silene morrisonmontana* (Hayata) Ohwi & Ohashi var. *glabella* (Ohwi) Ohwi & Ohashi

禿玉山蠅子草

11. Lauraceae 樟科

39. *Litsea cubeba* (Lour.) Persoon 山胡椒

40. *Neolitsea acuminatissima* (Hayata) Kanehira & Sasaki 高山新木薑子

12. Trochodendraceae 昆欄樹科

41. *Trochodendron aralioides* Sieb. & Zucc. 雲葉

13. Ranunculaceae 毛茛科

42. *Anemone stolonifera* Maxim. 匍枝銀蓮花

43. *Clematis montana* Buch.-Ham. ex DC. 繡球藤

44. *Ranunculus taisanensis* Hayata 鹿場毛茛

45. *Thalictrum urbaini* Hayata 傅氏唐松草

46. *Ranunculus formosa-montanus* Ohwi 蓬萊毛茛

47. *Ranunculus junipericola* Ohwi 高山毛茛

48. *Thalictrum rubescens* Ohwi 南湖唐松草

49. *Thalictrum myriophyllum* Ohwi 密葉唐松草

50. *Clematis lasiandra* Maxim. 小木通

51. *Thalictrum sessile* Hayata 玉山唐松草

52. *Clematis tashiroi* var. *tashiroi* 田代氏鐵線蓮

14. Berberidaceae 小蘗科

53. *Berberis kawakamii* Hayata 川上氏小蘗

54. *Berberis morrisonensis* Hayata 玉山小蘗

55. *Berberis nantoensis* C. K. Schneid. 南投小蘗

56. *Berberis brevisepala* Hayata 高山小蘗

15. Lardizabalaceae 木通科

57. *Stauntonia hexaphylla* (Thunb.) Dcne. 石月

16. Theaceae 茶科

58. *Eurya leptophylla* Hayata 薄葉柃木

59. *Eurya gnaphalocarpa* Hayata 毛果柃木

60. *Eurya glaberrima* Hayata 厚葉柃木

61. *Eurya crenatifolia* (Yamamoto) Kobuski 賽柃木

62. *Eurya loquaiana* Dunn 細枝柃木

17. Guttiferae 金絲桃科

63. *Hypericum nagasawai* Hayata 玉山金絲桃

18. Fumariaceae 紫堇科

64. *Corydalis ophiocarpa* Hook. f. & Thoms. 彎果黃堇

65. *Corydalis koidzumiana* Ohwi 密花黃堇

19. Cruciferae 十字花科

66. *Arabis lyrata* L. subsp. *kamtschatica* (Fisch. ex DC.) Hulten 玉山筷子芥

67. *Arabis serrata* Franch. & Sav. 齒葉筷子芥

68. *Barbarea taiwaniana* Ohwi 臺灣山芥菜

69. *Draba sekiyana* Ohwi 臺灣山薺

70. *Arabis gemmifera* (Matsumura) Makino ex Hara 葉芽筷子芥

71. *Cardamine scutata* Thunb. var. *rotundiloba* (Hayata) Liu & Ying 臺灣碎米薺

72. *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medic. 薺

73. *Arabis formosana* (Masam. ex S. F. Huang) Liu & Ying 臺灣筷子芥

74. *Rorippa indica* (L.) Hiern 葶薺

20. Crassulaceae 景天科

75. *Sedum erythrospermum* Hayata 紅子佛甲草

76. *Hylotelephium subcapitatum* (Hayata) Ohba 穗花八寶

77. *Sedum morrisonense* Hayata 玉山佛甲草

78. *Sedum actinocarpum* Yamamoto 星果佛甲草

79. *Kalanchoe tomentosa* Bak. 兔耳草

80. *Sedum taiwanianum* 臺灣佛甲草

21. Saxifragaceae 虎耳草科

81. *Chrysosplenium hebetatum* Ohwi 大武貓兒眼睛草

82. *Deutzia pulchra* Vidal 大葉溲疏

83. *Astilbe longicarpa* (Hayata) Hayata 落新婦

84. *Hydrangea integrifolia* Hayata ex Matsum. & Hayata 大枝掛繡球

85. *Parnassia palustris* L. 梅花草

86. *Ribes formosanum* Hayata 臺灣茶藨子

87. *Hydrangea angustipetala* Hayata 狹瓣八仙花

88. *Astilbe macroflora* Hayata 大花落新婦

22. Pittosporaceae 海桐科

89. *Pittosporum illicioides* Makino 疏果海桐

23. Rosaceae 薔薇科

90. *Fragaria hayatai* Makino 臺灣草莓

91. *Photinia nitakayamensis* Hayata 玉山假沙梨

92. *Potentilla leuconota* D. Don 玉山金梅

93. *Potentilla tugitakensis* Masam. 雪山翻白草

94. *Rosa sericea* Lindl. var. *morrisonensis* (Hayata) Masam. 玉山薔薇

95. *Rosa transmorrisonensis* Hayata 高山薔薇

96. *Rubus calycinoides* Hayata 玉山懸鉤子

97. *Rubus taitoensis* Hayata var. *aculeatiflorus* (Hayata) H. Ohashi & Hsieh 刺花懸鉤子

98. *Rubus trianthus* Focke 苦懸鉤子

99. *Rubus pectinellus* Maxim. var. *trilobus* Koidz. 刺萼寒莓

100. *Rubus pungens* Camb. var. *oldhamii* (Miq.) Maxim. 毛刺懸鉤子

101. *Sibbaldia procumbens* L. 五蕊莓

102. *Sorbus randaiensis* (Hayata) Koidz. 巒大花楸

103. *Spiraea hayatana* Li 假繡線菊

104. *Rubus piptopetalus* Hayata ex Koidz. 薄瓣懸鉤子

105. *Rubus corchorifolius* L. f. 變葉懸鉤子

106. *Rubus wallichianus* Wight & Arnott 鬼懸鉤子

107. *Rubus formosensis* Ktze. 臺灣懸鉤子

108. *Rubus niveus* Thunb. 白絨懸鉤子

109. *Prunus campanulata* Maxim. 山櫻花

110. *Spiraea prunifolia* Sieb. & Zucc. var. *pseudoprunifolia* (Hayata) Li 笑靨花

111. *Potentilla matsumurae* Th. Wolf. var. *pilosa* Koidz. 高山翻白草

112. *Prunus spinulosa* var. *globosa* 圓果刺葉桂櫻

113. *Rubus rolfei* Vidal 高山懸鉤子

114. *Rubus parviaraliifolius* 小椏葉懸鉤子

115. *Spiraea formosana* Hayata 臺灣繡線菊

24. Fabaceae 豆科

116. *Trifolium repens* L. 菽草

117. *Trifolium dubium* Sibth. 黃菽草

25. Oxalidaceae 酢漿草科

118. *Oxalis acetocella* L. ssp. *taemoni* (Yamamoto) Huang & Huang 大霸尖山酢漿草

119. *Oxalis acetocella* L. ssp. *griffithii* (Edgew. & Hook f.) Hara var. *formosana* (Terao) Huang & Huang 臺灣山酢漿草

120. *Oxalis corniculata* L. 黃花酢漿草
121. *Oxalis acetosella* L. subsp. *griffithii* (Edgew. & Hook. f.) Hara 山酢漿草
- 26. Geraniaceae 牻牛兒苗科**
122. *Geranium hayatanum* Ohwi 單花牻牛兒苗
- 27. Rutaceae 芸香科**
123. *Toddalia asiatica* (L.) Lam. 飛龍掌血
- 28. Polygalaceae 遠志科**
124. *Polygala japonica* Houtt. 瓜子金
- 29. Aceraceae 槭樹科**
125. *Acer morrisonense* Hayata 臺灣紅榨槭
126. *Acer kawakamii* Koidzumi 尖葉槭
- 30. Aquifoliaceae 冬青科**
127. *Ilex pedunculosa* Miq. 刻脈冬青
- 31. Celastraceae 衛矛科**
128. *Microtropis fokienensis* Dunn 福建賽衛矛
129. *Euonymus spraguei* Hayata 刺果衛矛
- 32. Rhamnaceae 鼠李科**
130. *Rhamnus crenata* Sieb. & Zucc. 鈍齒鼠李
131. *Rhamnus pilushanensis* Liu & Wang 畢祿山鼠李
132. *Rhamnus parvifolia* Bunge 小葉鼠李
- 33. Vitaceae 葡萄科**
133. *Cayratia japonica* (Thunb.) Gagnep. 烏斂莓
- 34. Elaeagnaceae 胡頹子科**
134. *Elaeagnus thunbergii* Serv. 鄧氏胡頹子
135. *Elaeagnus morrisonensis* Hayata 玉山胡頹子
136. *Elaeagnus glabra* Thunb. 藤胡頹子
- 35. Violaceae 堇菜科**
137. *Viola adenothrix* Hayata 喜岩堇菜
138. *Viola biflora* L. 雙黃花堇菜
139. *Viola formosana* Hayata 臺灣堇菜
140. *Viola mandshurica* W. Becker 紫花地丁
141. *Viola senzanensis* Hayata 尖山堇菜
142. *Viola betonicifolia* J. E. Smith 箭葉堇菜
143. *Viola adenothrix* Hayata var. *tsugitakaensis* (Masam.) Wang & Huang 雪山堇菜
- 36. Cucurbitaceae 葫蘆科**
144. *Thladiantha nudiflora* Hemsl. ex Forbes & Hemsl. 青牛膽
145. *Gynostemma pentaphyllum* (Thunb.) Makino 絞股藍

37. Onagraceae 柳葉菜科

146. *Circaea alpina* L. subsp. *imaicola* (Asch. & Mag.) Kitam. 高山露珠草
147. *Epilobium hohuanense* Ying ex Chen, Hoch & Raven 合歡柳葉菜
148. *Epilobium amurense* Hausskn. 黑龍江柳葉菜
149. *Epilobium brevifolium* D. Don subsp. *trichoneurum* (Hausskn) Raven 短葉柳葉菜
150. *Epilobium taiwanianum* Chen, Hoch & Raven 臺灣柳葉菜

38. Araliaceae 五加科

151. *Aralia bipinnata* Blanco 裡白椴木
152. *Hedera rhombea* (Miq.) Bean var. *formosana* (Nakai) Li 臺灣常春藤
153. *Aralia decaisneana* Hance 臺灣椴木

39. Umbelliferae 繖形科

154. *Conioselinum morrisonense* Hayata 玉山彎柱芎
155. *Angelica morrisonicola* Hayata 玉山當歸
156. *Hydrocotyle setulosa* Hayata 阿里山天胡荽
157. *Oreomyrrhis involucrata* Hayata 山薰香
158. *Pimpinella niitakayamensis* Hayata 玉山茴芹
159. *Hydrocotyle sibthorpioides* Lam. 天胡荽
160. *Angelica morii* Hayata 森氏當歸
161. *Oreomyrrhis nanhuensis* C. H. Chen & J. C. Wang 南湖山薰香
162. *Torilis japonica* (Houtt.) DC. 竊衣

40. Pyrolaceae 鹿蹄草科

163. *Cheilotheca humilis* (D. Don) H. Keng 水晶蘭
164. *Moneses uniflora* (L.) A. Gray 單花鹿蹄草
165. *Monotropa hypopithys* L. 錫杖花
166. *Pyrola morrisonensis* (Hayata) Hayata 玉山鹿蹄草
167. *Chimaphila japonica* Miq. 日本愛冬葉

41. Ericaceae 杜鵑花科

168. *Gaultheria itoana* Hayata 高山白珠樹
169. *Gaultheria leucocarpa* Blume 白珠樹
170. *Lyonia ovalifolia* (Wall.) Drude 南燭
171. *Pieris taiwanensis* Hayata 臺灣馬醉木
172. *Rhododendron pseudochrysanthum* Hayata 玉山杜鵑
173. *Rhododendron rubropilosum* Hayata var. *taiwanalpinum* (Ohwi) S. Y. Lu, Yuen P. Yang & Y.

H. Tseng 臺灣高山杜鵑

174. *Rhododendron noriakianum* T. Suzuki 細葉杜鵑
175. *Rhododendron rubropilosum* Hayata 紅毛杜鵑
176. *Vaccinium japonicum* Miq. var. *lasiostemon* Hayata 毛蕊木

177. *Vaccinium randaiense* Hayata 巒大越橘

178. *Rhododendron oldhamii* Maxim. 金毛杜鵑

179. *Vaccinium bracteatum* Thunb. 米飯花

42. Primulaceae 報春花科

180. *Primula miyabeana* Ito & Kawakami 玉山櫻草

43. Symplocaceae 灰木科

181. *Symplocos formosana* Brand 臺灣灰木

182. *Symplocos stellaris* Brand 枇杷葉灰木

183. *Symplocos anomala* Brand 玉山灰木

44. Gentianaceae 龍膽科

184. *Gentiana arisanensis* Hayata 阿里山龍膽

185. *Gentiana atkinsonii* Burk. var. *formosana* (Hayata) Yamamoto 臺灣龍膽

186. *Gentiana itzershanensis* T. S. Liu & Chiu C. Kuo 伊澤山龍膽

187. *Swertia randaiensis* Hayata 巒大當藥

188. *Tripterospermum lanceolatum* (Hayata) Hara ex Satake 玉山肺形草

189. *Tripterospermum luzonense* (Vidal) J. Murata 高山雙蝴蝶

190. *Gentiana tatakensis* Masam. 塔塔加龍膽

191. *Gentiana scabrada* Hayata var. *punctulata* S. S. Ying 黑斑龍膽

45. Apocynaceae 夾竹桃科

192. *Cynanchum boudieri* H. Lév. & Vaniot 薄葉牛皮消

46. Rubiaceae 茜草科

193. *Galium formosense* Ohwi 圓葉豬殃殃

194. *Rubia lanceolata* Hayata 金劍草

195. *Galium echinocarpum* Hayata 刺果豬殃殃

196. *Galium taiwanense* Masam. 臺灣豬殃殃

197. *Galium spurium* L. 豬殃殃

198. *Nertera nigricarpa* Hayata 黑果深柱夢草

47. Boraginaceae 紫草科

199. *Cynoglossum zeylanicum* (Vahl) Thunb. ex Lehmann 琉璃草

200. *Trigonotis nankotaizanensis* (Sasaki) Masam. & Ohwi ex Masam. 南湖附地草

48. Verbenaceae 馬鞭草科

201. *Callicarpa randaiensis* Hayata 巒大紫珠

49. Labiatae 唇形科

202. *Origanum vulgare* L. var. *formosanum* Hayata 臺灣野薄荷

203. *Clinopodium umbrosum* (Bieb.) C. Koch 風輪菜

204. *Salvia arisanensis* Hayata 阿里山紫花鼠尾草

205. *Salvia hayatana* Makino ex Hayata 早田氏鼠尾草

206. *Salvia formosana* (Murata) Yamazaki 臺灣紫花鼠尾草

50. Solanaceae 茄科

207. *Solanum nigrum* L. 龍葵

51. Scrophulariaceae 玄參科

208. *Ellisiophyllum pinnatum* (Wall. ex Benth.) Makino 海螺菊

209. *Euphrasia nankotaizanensis* Yamamoto 南湖碎雪草

210. *Euphrasia transmorrisonensis* Hayata 玉山小米草

211. *Mazus alpinus* Masam. 高山通泉草

212. *Pedicularis verticillata* L. 馬先蒿

213. *Veronica morrisonicola* Hayata 玉山水苦蕒

214. *Veronica oligosperma* Hayata 貧子水苦蕒

215. *Hemiphragma heterophyllum* Wall. 異葉紅珠

216. *Mazus delavayi* Bonati 阿里山通泉草

217. *Pedicularis nanfutashanensis* Yamazaki 南湖蒿草

218. *Mazus fauriei* Bonati 佛氏通泉草

219. *Veronica linariifolia* Pallas ex Link 細葉婆婆納

220. *Pedicularis ikomai* Sasaki 高山馬先蒿

52. Orobanchaceae 列當科

221. *Boschniakia himalaica* 丁座草

53. Plantaginaceae 車前科

222. *Plantago asiatica* L. 車前草

54. Caprifoliaceae 忍冬科

223. *Lonicera acuminata* Wall. 阿里山忍冬

224. *Lonicera kawakamii* (Hayata) Masam. 川上氏忍冬

225. *Viburnum luzonicum* Rolfe var. *morrisonense* (Hayata) Ying 玉山英薺

226. *Viburnum foetidum* Wall. var. *rectangulatum* (Graebner) Rehder 太平山英薺

227. *Viburnum urceolatum* Sieb. et Zucc. 壺花英薺

228. *Viburnum luzonicum* Rolfe 呂宋英薺

229. *Viburnum betulifolium* Batal. 樺葉英薺

230. *Viburnum parvifolium* Hayata 小葉英薺

55. Valerianaceae 敗醬科

231. *Triplostegia glandulifera* Wall. 三萼花草

232. *Valeriana fauriei* Briquet 纈草

233. *Valeriana kawakamii* Hayata 高山纈草

234. *Valeriana flaccidissima* Maxim. 嫩莖纈草

56. Dipsacaceae 續斷科

235. *Scabiosa lacerifolia* Hayata 玉山山蘿蔔

57. Campanulaceae 桔梗科

236. *Adenophora morrisonensis* Hayata subsp. *uehatae* (Yamamoto) Lammers 高山沙參
237. *Adenophora triphylla* (Thunb.) A. DC. 輪葉沙參
238. *Peracarpa carnosus* (Wall.) Hook. f. & Thomson 山桔梗
239. *Adenophora morrisonensis* Hayata 玉山沙參
240. *Codonopsis kawakamii* Hayata 玉山山奶草

58. Compositae 菊科

241. *Ainsliaea reflexa* Merr. 臺灣鬼督郵
242. *Anaphalis margaritacea* (L.) Benth. & Hook. f. subsp. *morrisonicola* (Hayata) Kitam. 玉山抱
莖籜簫
243. *Anaphalis nepalensis* (Spreng.) Hand.-Mazz. 尼泊爾籜簫
244. *Artemisia oligocarpa* Hayata 高山艾
245. *Artemisia kawakamii* Hayata 山艾
246. *Aster lasiocladus* Hayata 絨山白蘭
247. *Aster takasagomontanus* Sasaki 雪山馬蘭
248. *Aster taiwanensis* Kitam. 臺灣馬蘭
249. *Cirsium hosokawae* Kitam. 細川氏薊
250. *Erigeron morrisonensis* Hayata 玉山飛蓬
251. *Eupatorium formosanum* Hayata 臺灣澤蘭
252. *Gnaphalium hypoleucum* DC. 秋鼠麴草
253. *Hieracium morii* Hayata 森氏山柳菊
254. *Hypochaeris radicata* L. 貓兒菊
255. *Ixeris laevigata* (Blume) Schultz-Bip. ex Maxim var. *oldhami* (Maxim.) Kitam. 刀傷草
256. *Leontopodium microphyllum* Hayata 玉山薄雪草
257. *Myriactis humilis* Merr. 矮菊
258. *Parasenecio hwangshanicus* (Ling) C.-I Peng & S. W. Chung 黃山蟹甲草
259. *Picris hieracioides* L. subsp. *morrisonensis* (Hayata) Kitam. 玉山毛蓮菜
260. *Senecio nemorensis* L. 黃菀
261. *Senecio scandens* Buch.-Ham. ex D. Don 蔓黃菀
262. *Solidago virgaurea* L. var. *leiocarpa* (Benth.) A. Gray 一枝黃花
263. *Syneilesis subglabrata* (Yamamoto & Sasaki) Kitam. 高山破傘菊
264. *Ixeris transnokoensis* (Sasaki) Kitam. 能高刀傷草
265. *Conyza sumatrensis* (Retz.) Walker 野苧蒿
266. *Sonchus oleraceus* L. 苦蕒菜
267. *Artemisia campestris* L. 細葉山艾
268. *Cirsium arisanense* Kitam. 阿里山薊
269. *Gnaphalium adnatum* Wall. ex DC. 紅面番

270. *Gnaphalium affine* D. Don 鼠麴草
 271. *Artemisia niitakayamensis* Hayata 玉山艾
 272. *Artemisia niitakayamensis* Hayata var. *tsugitakaensis* Kitam. 雪山艾
 273. *Senecio morrisonensis* Hayata 玉山黃菀
 274. *Conyza canadensis* (L.) Cronq. 加拿大蓬
 275. *Crassocephalum rubens* (Juss. ex Jacq.) S. Moore 昭和草
 276. *Cirsium arisanense* Kitam. f. *purpurescens* Kitam. 紫花阿里山薊
 277. *Gnaphalium involucreatum* Forst. var. *simplex* DC. 細葉鼠麴草
 278. *Carpesium nepalense* Less. 黃金珠
 279. *Eupatorium chinense* L. var. *tozanense* (Hayata) Kitam. 塔山澤蘭
 280. *Artemisia indica* Willd. 艾
 281. *Galinsoga quadriradiata* Ruiz & Pav. 粗毛小米菊
 282. *Youngia japonica* (L.) DC. 黃鸛菜

59. Liliaceae 百合科

283. *Aletris formosana* (Hayata) Sasaki 臺灣粉條兒菜
 284. *Aletris spicata* Thunb. 束心蘭
 285. *Heloniopsis umbellata* Baker 臺灣胡麻花
 286. *Lilium formosanum* Wallace 臺灣百合
 287. *Smilacina formosana* Hayata 臺灣鹿藥
 288. *Ophiopogon intermedius* D. Don 間型沿階草
 289. *Veratrum formosanum* O. Loes. 臺灣藜蘆

60. Smilacaceae 菝葜科

290. *Smilax china* L. 菝葜
 291. *Smilax menispermoidea* subsp. *randaiensis* (Hayata) T. Koyama 巒大菝葜
 292. *Smilax lanceifolia* Roxb. 臺灣菝葜
 293. *Smilax glabra* Roxb. 光滑菝葜
 294. *Smilax elongato-umbellata* Hayata 細葉菝葜
 295. *Smilax arisanensis* Hayata 阿里山菝葜

61. Juncaceae 燈心草科

296. *Juncus triflorus* Ohwi 玉山燈心草
 297. *Luzula effusa* Buchen. 中國地楊梅
 298. *Luzula plumosa* E. Meyer 臺灣糖星草
 299. *Luzula taiwaniana* Satake 臺灣地楊梅
 300. *Luzula multiflora* Lejeune 山間地楊梅

62. Cyperaceae 莎草科

301. *Carex nubigena* D. Don ex Tilloch & Taylor 聚生穗序薹
 302. *Carex tristachya* Thunb. subsp. *pocilliformis* (Boott) T. Koyama 抱鱗宿柱薹

303. *Carex atrata* L. 南湖扁果薹
 304. *Carex filicina* Nees 紅鞘薹
 305. *Carex brachyathera* Ohwi 垂穗薹
 306. *Carex cruciata* Wahl. 煙火薹

63. Gramineae 禾本科

307. *Miscanthus transmorrisonensis* Hayata 高山芒
 308. *Poa annua* L. 早熟禾
 309. *Bromus catharticus* Vahl 大扁雀麥
 310. *Agrostis morrisonensis* Hayata 玉山翦股穎
 311. *Yushania niitakayamensis* (Hayata) Keng f. 玉山箭竹
 312. *Holcus lanatus* L. 絨毛草
 313. *Phleum alpinum* L. 高山梯牧草
 314. *Deschampsia flexuosa* (L.) Trin. 曲芒髮草
 315. *Miscanthus floridulus* (Labill.) Warb. ex K. Schum. & Lauterb. 五節芒
 316. *Agropyron formosanum* Honda 臺灣鵝觀草
 317. *Paspalum scrobiculatum* L. 鴨草
 318. *Lolium perenne* L. 黑麥草
 319. *Cyrtococcum accrescens* (Trin.) Stapf 散穗弓果黍
 320. *Paspalum dilatatum* Poir. 毛花雀稗
 321. *Festuca ovina* L. 羊茅
 322. *Trisetum spicatum* var. *formosanum* 臺灣三毛草
 323. *Oplismenus hirtellus* 求米草

64. Araceae 天南星科

324. *Arisaema consanguineum* Schott 長行天南星
 325. *Arisaema taiwanense* J. Murata 蓬萊天南星

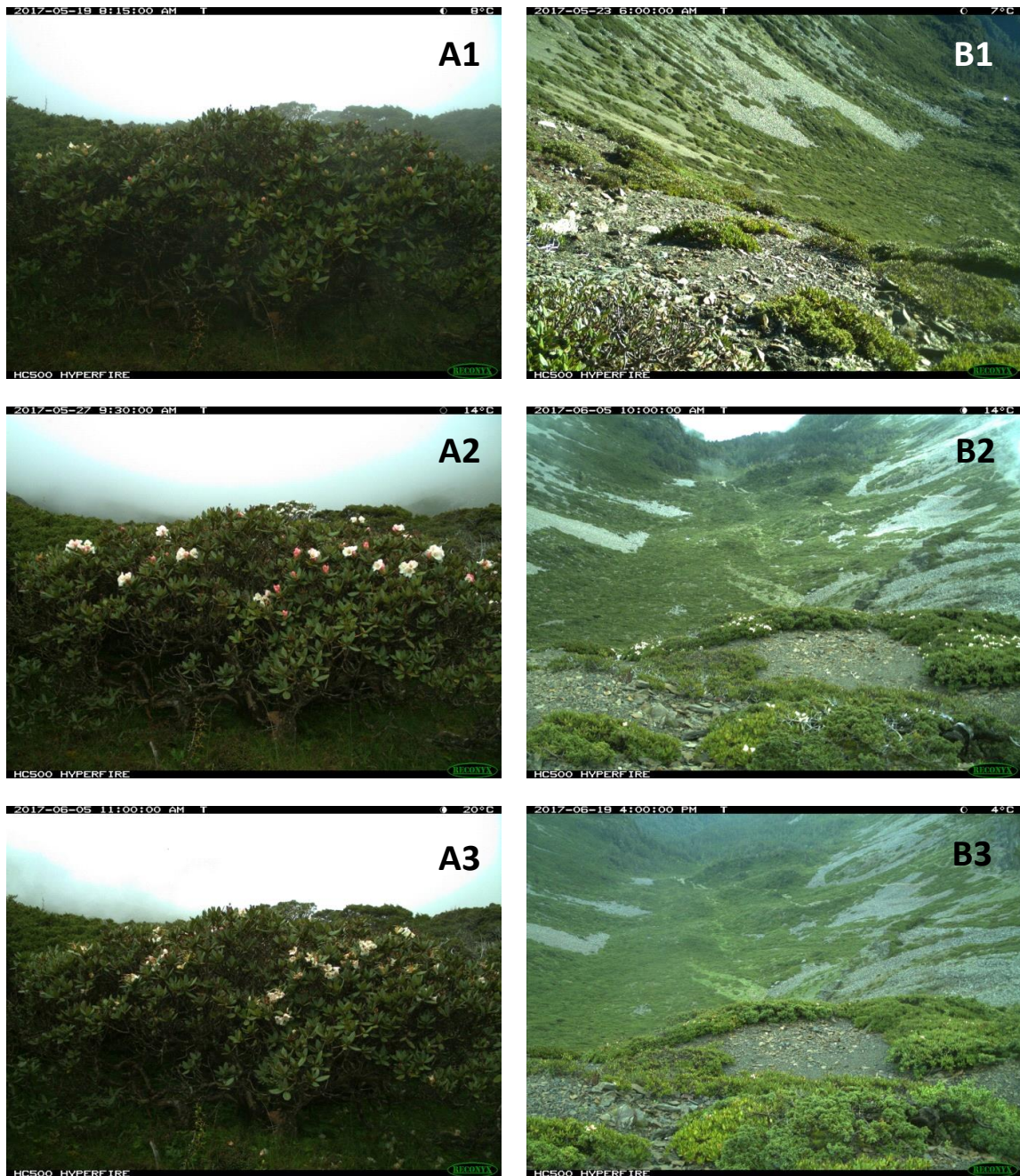
65. Orchidaceae 蘭科

326. *Cephalanthera alpicola* Fukuy. 高山頭蕊蘭
 327. *Coeloglossum viride* (L.) Hartm. 綠花凹舌蘭
 328. *Goodyera nankoensis* Fukuy. 南湖斑葉蘭
 329. *Herminium lanceum* (Thunb. ex Sm.) Vuijk 腳根蘭
 330. *Oreorchis indica* Hook. f. 印度山蘭
 331. *Platanthera brevicarata* Hayata 短距粉蝶蘭
 332. *Platanthera angustata* Lindl. 厚唇粉蝶蘭
 333. *Ponerorchis kiraishiensis* (Hayata) Ohwi 紅小蝶蘭
 334. *Orchis kiraishiensis* Hayata 奇萊紅蘭
 335. *Epipactis ohwii* Fukuy. 臺灣鈴蘭
 336. *Androcorys pusilla* 小兜蕊蘭

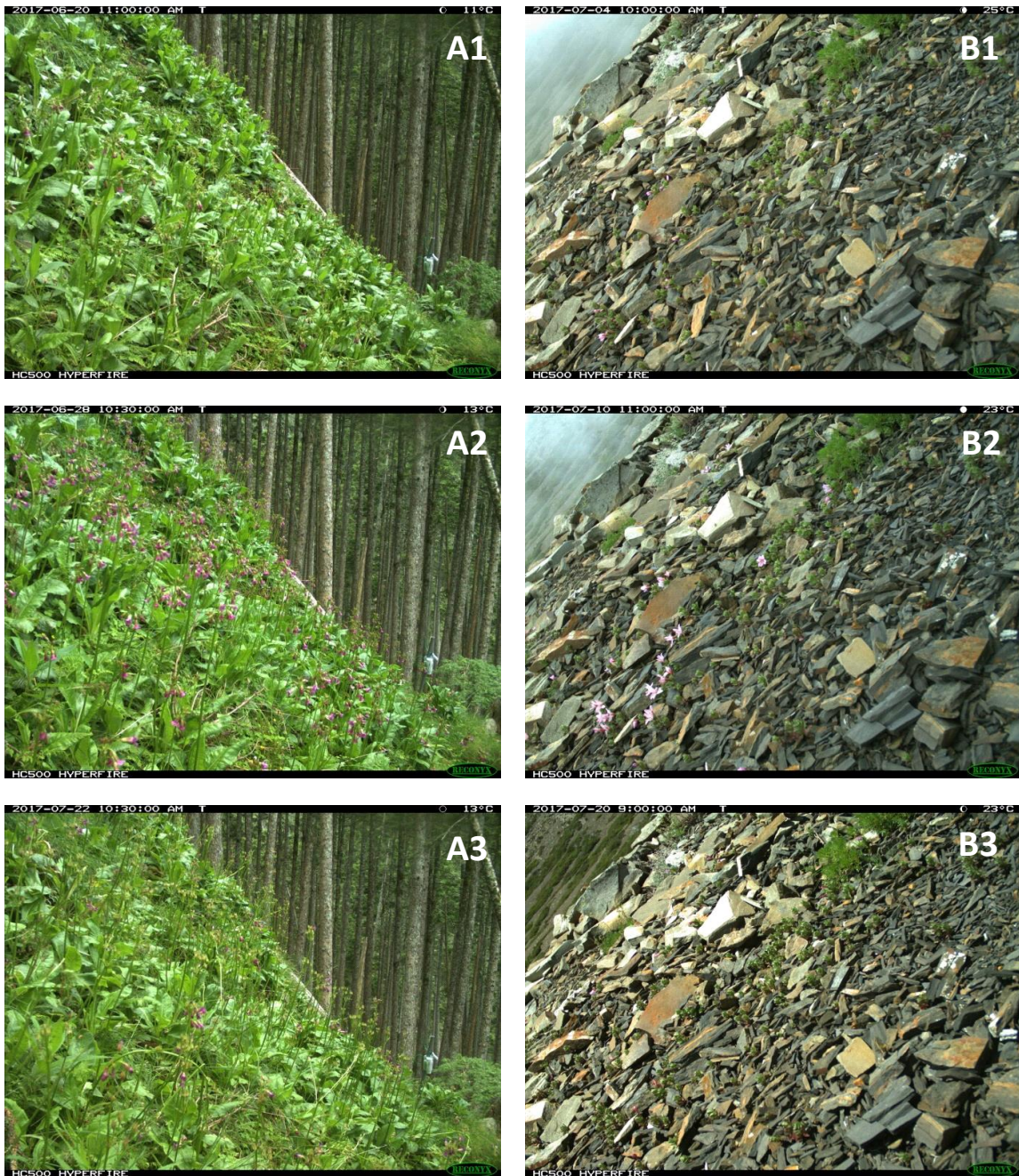
附錄 2. 2017 年雪山主峰東峰線物候監測物種



附圖 1. 長期監測樣株。A：紅毛杜鵑(編號 2)，B：紅毛杜鵑(編號 4)。1：始花，2：盛花，3：花謝。



附圖 2. 長期監測樣株。A：玉山杜鵑(編號 9)，B：玉山杜鵑(編號 12)。1：始花，2：盛花，3：花謝。



附圖 3. 長期監測樣株。A：玉山櫻草(編號 8)，B：南湖柳葉菜(編號 11)。1：始花，2：盛花，3：花謝。

附錄 3. 第二次報告會議回覆辦理情形

審查意見	辦理情形
賴國祥委員	
1. 本計畫每月赴雪山調查，蒐集資料，成果已陸續呈現，值得肯定。	感謝委員肯定。
2. 依據分析結果，開花種樹與濕度成正相關，與雨量則不顯著，但水為一切生長所需，必有其影響性，應深入探討之，尤其是第一次春雨之時期。	謝謝委員建議；由於此部分為區域性植物開花物候調查，每個物種開花機制不儘相同；因此，僅針對每月開花物種數對氣候因子的月均溫、月降雨量進行簡單相關分析。不可否認的，降雨量對雪山地區植物開花有一定的影響，過多的降雨會對在盛花期植物影響其授粉；降雨過少則對開花繁殖過程產生一定抑制，本研究即發現 2015 年高山植物帶 6 月因降雨過少而影響植物開花。
3. p.28 圖 8，建議依物種順序說明，並讓 2016 和 2017 年資料並列，並註明經幾個林帶。	此部分依委員建議修訂；因期中調查物種並未含蓋所有年度內的物種，所以並未採用 2016 年-2017 年物候資料並列情形，此部分在期末報告時將改用年際間並列方式比較；調查物種亦會標示其分布幾個林帶。
4. p.34 圖 9 結實物候譜，有幾個物種建議可再次檢視：二葉松、玉山假沙梨、臺灣鐵杉、臺灣五葉松、玉山薄雪草。	因本研究為沿線調查，因此在結實物候上可能因調查到不同個體等因素，使得結實物候資料較混亂。
5. p.42 圖 11 不同植群帶的植物開花物候譜，有幾個物種建議可再次檢視：臺灣草莓、阿里山龍膽、紅毛杜鵑、臺灣冷杉。	就目前觀察結果，這幾種植物的開花在較高海拔個體較低海拔個體早的原因：在 3000-3400 m 的環境為嶺線玉山箭竹-高山芒灌叢草生地，而 3000 m 以下環境多為次生林下，此可能造成陽光(熱量)差異，而影響在較低海拔個體開花較晚的原因。
6. p.52 表 5 列有 17 台相機，但資料少了編號 12 的相機。	此部分表格資料疏漏，期末報告時將予以更正。

7. 若有可能，除了玉山杜鵑外，建議可考量監測臺灣冷杉，在過去經驗中，每隔4年冷杉就有一個大豐年，但近年卻少見。	謝謝委員建議，此部分會在適當地點進行縮時攝影機架設進行觀察。
王志強委員	
1.調查研究項目及內容撰寫可依工作項目內容進行探討。	期末報告將依委員建議修訂。
2.p23 哭坡頂與里程數請修正。	將於本年度期末報告修正。
3. p29 圖 8 之物候圖譜可考慮、合併開花及結實同時呈現。	此部分因製圖處理過程過於複雜，未來將處理成附錄方式分別呈現開花和結實物候譜。
4.p39 不同海拔植物開花物候中，較高海拔者先開花之物種原因，可再加以描述。	此部分於期末報告中呈現說明，為何分布較高海拔的個體其開花較低海拔個體早。
5.結果與討論。(p26)可先簡要描述各項結果，再進行內容之比較及說明。	此部分將於期末報告中改進。
楊國華課長	
本研究對於經營管理的應用為何?有無可能考量評估武陵櫻花季的開始，作為未來管制上的應用。	<p>區域性植物物候資料提供植物時序反應，提供了解植物生長、發育及繁殖過程變化和氣候間的相互關係，是研究昆蟲、食果動物等群聚生態的基本資料，更是林木育種、稀有動植物保育復育等基礎生物學訊息，維繫生態系穩定的重要基礎；而雪山高山植物開花結實物候更是此地區的重要基礎資料，除作生態保育參考外，更可提供民眾有關暖化和氣候變遷對植物及其相依的動物群聚影響的科普資訊和環境教育使用。</p> <p>有關武陵櫻花季部分，若有機會可以協助進行武陵地區櫻花縮時攝影，或開花即時影像網路傳輸供民眾觀賞；但作為遊客數量管制則有相當大的困難，此部分要進行源頭管控，即在遊客入山前即告知遊客目前武陵遊客數量及沿線相關</p>

	擁塞問題。
劉金龍課長	
建議持續監測圈谷營地在春夏季的植物生長狀況。	依管理處要求圈谷營地監測部分仍保留縮時攝影機在現場拍攝。
于淑芬課長	
1. 秋冬高溫會延長開花，其對結實有無影響？是否影響未來族群的生存？	秋冬季高溫對於秋季植物開花有延長其花期的影響，此部分可能會對愈晚開花個體或花朵在結實過程中發生熱量不足而敗育的機會增加；至於是否影響未來族群的生存有待更一步觀察。
2. 氣候變遷是否影響物種的族群？	依目前調查資料看起來，暖化過程的氣候變遷對雪山地區植物的物候已造成影響，然由於高山地區幾乎是多年生植物，其短期影響目前難以評估。
陳俊山秘書	
在開花物候的推導公式上，建議可嘗試不同的參數與組合。	感謝祕書的建議，由於開花物候模式推導才剛建立，本研究會陸續嘗試不同參數或不同模式進行開花物候模式建模。
鄭瑞昌副處長	
1. 建議本計畫後續可增加與國內其他高山地區、世界上其他地區之比較，在趨勢有無異同或特殊之處。	感謝副座建議，此部分我們將與玉山或其他溫帶或高山地區進行開花物候比較。
2. 建議可增加與日治時期或其他時期資料的比較。	由於日治時期於雪山地區可及性非常差，因此相關的物候資料幾乎沒有。
3. 建議進行不同種間的比較。	此部分我們已經進行雪山雪東線玉山杜鵑、紅毛杜鵑和細葉杜鵑縮時攝影記錄，由於經費問題，縮時攝影機數目未來若增加數量，則可獲得更充分訊息比較不同種間的開花物候。
鍾銘山處長	
建議後續可增加不同杜鵑資料的比較，把議題的層面擴大。	此部分我們會與玉山國家公園的玉山杜鵑進行整合分析，希望能獲得更完整的分析結果。