

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

中華民國 99 年 12 月

雪山高山生態系植物物候 因應氣候變遷衝擊之探討

研究人員：潘振彰

執行人員：潘振彰、吳怡慧、傅國銘

王榮光、江政人

雪霸國家公園管理處自行研究報告

中華民國 99 年 12 月

目次

| | |
|--------------------|-----|
| 表次 | II |
| 圖次 | III |
| 摘要 | VI |
| 第一章 緒論 | 1 |
| 第一節 研究緣起與背景 | 1 |
| 第二節 植物物候學 | 6 |
| 第三節 研究地點與方法 | 8 |
| 第二章 研究結果與重要發現 | 11 |
| 第一節 高山植物相開花時序分布 | 11 |
| 第二節 玉山杜鵑的開花物候 | 16 |
| 第三章 結論與建議 | 21 |
| 第一節 結論 | 21 |
| 第二節 建議 | 21 |
| 附錄一 雪山主東峰線植物物候調查名錄 | 24 |
| 附錄二 雪山主東峰線樣株照片 | 25 |
| 參考書目 | 30 |

表次

表 2-1 雪山主東峰線玉山杜鵑樣株物候觀察表 17

圖次

| | |
|-------------------------------|----|
| 圖 1-1 杜鵑屬植物的分布圖 | 3 |
| 圖 1-2 雪霸國家公園雪山東峰線步道圖 | 8 |
| 圖 1-3. 已設置於玉山杜鵑樣株的光度、溫度記錄器 | 9 |
| 圖 1-4. 以電子卡尺量測葉芽之長度 | 10 |
| 圖 1-5. 花芽直徑量測示意圖 | 10 |
| 圖 2-1. 雪山主東峰線各物種開花譜帶 | 12 |
| 圖 2-2. 雪山圈谷的五月雪 | 13 |
| 圖 2-3. 海拔出現在第三級距的特殊物種開花情形 | 14 |
| 圖 2-4. 雪山藜蘆開花情形 | 15 |
| 圖 2-5. 雪山地區菊科開花情形 | 15 |
| 圖 2-6. 玉山杜鵑調查樣株之在雪山主東峰線之分布位置圖 | 16 |
| 圖 2-7. 玉山杜鵑在不同時期的開花情形 | 16 |
| 圖 2-8. 玉山杜鵑花朵受雪凍傷情形 | 18 |
| 圖 2-9. 玉山杜鵑樣株在不同生育地的每苞平均花朵數 | 18 |
| 圖 2-10. 玉山杜鵑樣株在不同生育地的每苞平均新葉數 | 20 |
| 圖 2-11. 玉山杜鵑展葉情形 | 20 |

摘 要

關鍵詞：氣候變遷、物候學、杜鵑、高山植物

一、研究緣起

植物物候變化是植物對氣候變化的綜合反應結果，也是植物適應氣候變化的過程，尤其在極端環境下的植物，台灣雖位處暖溫帶至亞熱帶間，然而高山環境卻又特別嚴苛，因為其幅射量、風、雪、溫度、水分、土壤基質均與平地條件為差。雪山地處台灣北部山區之最高峰，高山植物位處於侷限環境中有如島嶼生態系之相對脆弱，因此在氣候變遷之研究上是值得深入探討之對象，本研究第一年先以雪山線步道自雪山東峰至雪山頂均有分布之玉山杜鵑為主要研究材料，依不同海拔梯度調查玉山杜鵑族群分布之現況，並設置樣株採取花芽進行電子顯微鏡之解剖觀察，配合溫、光度記錄器及高山氣象站資料建立高山植物物候基礎資料，將來藉以探討其與氣候變遷之關係，以供做將來保育、解說和經營管理之參考依據。

二、研究方法及過程

一、調查時間

自 99 年 2 月起至 10 月止，共計前往雪山主東峰線步道進行 10 次之調查，沿步道設有玉山杜鵑樣株共計 26 株，樣株分布之海拔梯度自 3,065m 至 3,885m。

二、物候調查

樣株生物性調查工作計有樹幹地徑、花芽徑變化、葉芽長變化、每苞花數量、每芽葉數量、每枝花芽數/葉芽數，本年度另收集樣株之其它環境因子資料，如衛星定位點、海拔、溫度/光度變化等。

葉候：目前僅調查展葉期，從抽芽至展葉期間，以電子遊標尺量測葉芽從基部到先端之長度。

花候：記錄花芽出現前的變化，以花芽直徑為量測方法，再記錄開花時間及數量。

三、重要發現

調查雪山主東峰線各物種之開花時期有隨分布海拔升高而呈現花期愈晚之趨勢，亦即調查區域內較低海拔的植物在 2 月下旬即陸續綻放，而較高海拔的植物則多於 5 月中旬後才開始開放，此結果應與溫度有關。而在 8 月之後的較晚期開花族群，則應與光週期有關。

陽光照射量成了玉山杜鵑開花與展葉的關鍵因子，其與伴隨的溫度升高可能啟動了開花機制，使不同生育地的植株有不同的花數和新葉數。

四、主要建議事項

建議一

立即可行建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

本處園區仍有很多美麗珍貴的物種長在深山人未識，甚為可惜，在未來能有效監測高山植物物候的變化情形時，將即時於雪霸國家公園網站上建立雪山線賞花情報，民眾能在登山前獲取相關資訊，以推廣國家公園自然之美。此外，讓民眾了解高山植物在全球氣候變遷下所受到的生存危機，喚起民眾重視生態環境問題，才能在日常生活中落實節能減碳的訴求。而本研究所發現可許多對環境較敏感之物種，除了玉山杜鵑應持續進行物候調查外，其它如雪山藜蘆、玉山櫻草、黃山蟹甲草等仍須於未來持續進行觀察研究。

建議二

中長期建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

雪山主東峰線因路程甚遠，物候的監測仍須靠人力上山收集，未來如能建置無線傳輸系統，讓氣象資料與即時影像能夠從遠端取得，對於研究人力可以減少許多，更能在推廣國家公園遊憩服務或生態保育上都有其方便性與實用性。

ABSTRACT

Keywords: Climate Change, phenology, *Rhododendron* spp., alpine plants

1. Introduction

Changes in plant phenology are the result of an overall reaction to climate change and a process through which plants adapt to climate change, in particular plants growing in extreme environments. Although Taiwan is situated between the temperate zone and the sub-tropical zone, its high mountain environment is very harsh because conditions are worse than low altitude areas in terms of radiation, wind, snow, temperature, moisture and soil quality. Mt. Xue is the highest mountain in the mountains of north Taiwan. In their limited environment alpine plants are relatively fragile like an island ecosystem and thus are subjects worthy of study when researching climate change. In the first year of this study the main research material was the *Rhododendron morii* Hay. distributed along the Mt.Xue trail from the east peak of Mt.Xue to the peak of Mt.Xue. The distribution of *Rhododendron morii* Hay. was surveyed at different elevations, sample plants were selected, the flower buds then picked and their anatomy observed through a microscope, and temperature and light recorders and high mountain weather station data were also used, establishing basic phenological data for alpine plants. In the future, the connection between this basic data and climate change will be examined to provide reference for conservation, interpretation and park management work.

2. Methodology and process

1. Survey time

From February to October 2010 ten surveys were carried out along the trail leading to the main east peak of Mt. Xue. 26 *Rhododendron morii* Hay. were selected as sample plants along the trail and the samples were distributed from 3,065 to 3,885 meters elevation.

2. Phenological survey

Sample plant biological surveying included stem ground diameter, flower bud diameter changes, leaf bud length changes, number of flowers per bract, number of leaves per bud,

number of leaf buds per branch. This year information about other sample plant environmental factors was collected, for example, their precise position was measured using GPS, elevation, temperature/light changes.

Leaf phenology : At present only leaf expansion period is surveyed, from budding to leaf-expansion an electronic vernier caliper is used to measure the length of the leaf bud from the base to tip

Flower phenology : The changes that occur before flower buds appear are recorded. The diameter of the flower bud is measured then the time of blooming and number of flowers recorded.

3. Main findings

The study found that the blooming time of various plant species on the peak of Mt.Xue becomes later as elevation increases; plants at lower elevations bloom from late February while most at higher elevations didn't start to bloom until mid-May, a result that is probably related to temperature. The relatively late blooming of some colonies after August, is probably related to the light cycle.

Sunlight is the key factor for the blooming and leaf opening of the *Rhododendron morii* Hay. The accompanying temperature increase probably activates the blooming mechanism and makes *Rhododendron morii* Hay. growing in different places have a different number of flowers and leaves.

4. Main recommendations

Recommendation 1

A recommendation that can be immediately implemented

Directing Agency : Shei-pa National Park Headquarters

Shei-pa National Park has many beautiful and precious plant species in the high mountains that have not been identified, which is a pity. If in the future, when alpine plant

changes are effectively monitored information useful for flower appreciation can be posted instantly on the national park website, climbers will be able obtain information about plants before they set off to visit Shei-pa, and the natural beauty of the national park will thus be effectively promoted.

In addition, the public will be made aware of the threat to the survival of alpine plant global warming represents and thus pay more attention to environmental problems and, as a result, reduce energy use and carbon emissions in daily life.

Recommendation 2

Mid-long-term recommendation

Directing Agency : Shei-pa National Park Headquarters

The long length of the Mt. Xue peak route means that phenological monitoring must be carried out on foot. If a wireless transmission system can be established in the future so that climate data and live images can be transmitted, the manpower required for surveying would be significantly reduced and the results would make promotion of the national park's leisure services and conservation work more convenient and be practically useful.

第一章 緒 論

第一節 研究緣起與背景

壹、研究緣起

過去一世紀以來，尤其是在近期的 20 年內，全球平均地表溫度明顯上升，暖化現象已成為全球關注的重要問題，臺灣的暖化現象與全球暖化趨勢一致，從中央氣象局 2008 年統計資料（統計年間從 1897 年~2008 年）顯示，近百年來全台平均氣溫上升 0.8°C （都會區是 1.4°C ，西部市鎮 0.9°C ，東部市鎮 1.3°C ，山區 0.6°C ，離島 1.1°C ），氣溫上升速率卻遠大於全球平均值 0.7°C （IPCC, 2007）。例如北半球中高緯度地區植被生長季延長，植物提早開花，昆蟲提早出現，鳥類提早產蛋以及冰川退縮，永凍土帶融化，江河湖泊結冰推遲而融化提早等，均與全球氣候變遷有密切關係，也是對全球暖化現象的明顯證據。物候現象與氣候等環境因素息息相關，物候因應氣候變遷的研究正在成為物候研究的一個新的熱點領域。

植物物候變化既是植物對氣候變化的綜合反應過程，又是植物適應氣候變化的過程，尤其在極端環境下的植物，台灣雖位處暖溫帶至亞熱帶間，然而高山環境卻又特別嚴苛，因為其幅射量、風、雪、溫度、水分、土壤基質均與平地條件為差。雪山地處台灣北部山區之最高峰，高山植物位處於侷限環境中有如島嶼生態系之相對脆弱，因此在氣候變遷之研究上是值得深入探討之對象，本研究第一年先以雪山線步道自雪山東峰至雪山頂均有分布之玉山杜鵑為主要研究材料，依不同海拔梯度調查玉山杜鵑族群分布之現況，並設置樣株採取花芽進行電子顯微鏡之解剖觀察，配合溫、光度記錄器及高山氣象站資料建立高山植物物候基礎資料，將來藉以探討其與氣候變遷之關係，以供做將來保育、解說和經營管理之參考依據。

貳、前人研究

一、台灣產杜鵑屬植物的分類與其分布區域

玉山杜鵑是雪山地區分布海拔最高的木本植物之一，欲了解其物候現象受氣候變遷的影響，則應先探討其分布與物種起源，而全世界杜鵑屬植物約為 967 種（方瑞征和閔天祿，1995），廣泛分布於北溫帶，中國西南部和緬甸北部為其種源中心（閔天祿和方瑞征，1979），喜馬拉雅地區則是現今最大的分布中心，依據 Chamberlain (1996) 對杜鵑屬的分類觀點，共將屬階級底下分成 8 個亞屬，本研究將台灣產杜鵑屬植物整理後之 17 種，可分別歸類於 4 亞屬中，詳如下列：

(一) 常綠杜鵑亞屬 (subg. *Hymenanthes* (B.) K. Koch)

常綠杜鵑亞屬包含了約 295 種，分屬 1 組，24 亞組，是一個形態特徵多樣化的複雜類群，也是現存最具原始性狀的亞屬（方瑞征和閔天祿，1995），性喜冷涼之森林環境，全世界分布主要集中在中國西南部至喜馬拉雅地區，在南歐與北美洲區域僅呈點狀分布(圖 1-1.b) (Irving and Hebda, 1993)。其主要特徵為常綠性喬木或大灌木，葉通常寬大不具鱗片，花序頂生，新枝葉出自側芽。

台灣產包括普遍分布在中海拔森林的台灣杜鵑 (*R. formosanum* Hemsl.)，以及分布在高海拔山區的南湖杜鵑 (*R. hyperythrum* Hay.) 及玉山杜鵑 (*R. pseudochrysanthum* Hay.)。本研究區域內有玉山杜鵑 1 種。

(二) 杜鵑亞屬 (subg. *Rhododendron*)

全世界杜鵑亞屬包含了約 498 種，分屬 3 組，34 亞組，種的分布幾乎遍及屬的分布區（方瑞征和閔天祿，1995），主要有越橘杜鵑組 (sect. *Vireya*)，多分布於馬來西亞 (Malaysia)、爪哇 (Java)、蘇門答臘 (Sumatra)、婆羅洲 (Borneo)、菲律賓 (Philippine) 及新幾內亞 (New Guinea) 的高山區域 (圖 1-1.d)。除了越橘杜鵑組外，其它種類則多分布在中國西南及東亞，少數種類則孤立分散於歐洲南部與北美洲東部 (圖 1-1.c)(Irving and Hebda, 1993)。本亞屬的主要特徵為植株被有鱗片，葉較小，通常為常綠性，少數為半落葉或落葉性。

台灣僅產著生杜鵑 (*R. kawakamii* Hay.) 1 種，屬越橘杜鵑組，產台灣中海拔森林中，常著生於大樹或岩壁中。

(三) 映山紅亞屬 (subg. *Tsutsui* (Sweet) Pojark)

全世界本亞屬共有 59 種，3 亞種，8 變種，分屬 2 個組，映山紅組 (sect. *Tsutsui*) 在中國的南嶺山地和輪葉杜鵑組 (sect. *Brachycalyx*) 在日本中南部形成兩個現代豐富度分布中心 (丁炳揚和金孝鋒, 2009)。主要特徵為直立灌木或小喬木，葉為常綠或落葉性，花和新葉出自同一個頂芽，主要生育地為中低海拔之常綠闊葉林帶。

台灣產植物包括南澳杜鵑 (*R. breviperulatum* Hay.)、烏來杜鵑 (*R. kanehirai* Wilson)、守城滿山紅 (*R. mariesii* Hemsl.)、細葉杜鵑 (*R. noriakianum* T. Suzuki)、金毛杜鵑、紅毛杜鵑 (*R. rubropilosum* Hay.)、台灣高山杜鵑 (*R. rubropilosum* var. *taiwanalpinum* (Ohwi) S. Y. Lu, Y. P. Yang & Y. H. Tseng)、唐杜鵑 (*R. simsii* Planch.)、棲蘭山杜鵑 (*R. chilanshanense* Kurashige)、丁香杜鵑 (*R. farrerae* Tate ex Sweet) 共 10 種。其中本研究區域內有台灣高山杜鵑與紅毛杜鵑，其分布最高可達 3,200 公尺，另細葉杜鵑則分布於七卡山莊前後。

(四) 馬銀花亞屬 (subg. *Azaleastrum* Planch ex K. Koch)

全世界約有 31 種，分屬 2 個組，主要分布在東亞，主要生育地為常綠闊葉林帶。

主要特徵為常綠性灌木或小喬木，花序腋生，雄蕊 5-10 枚，子房 5 室。Spethmann

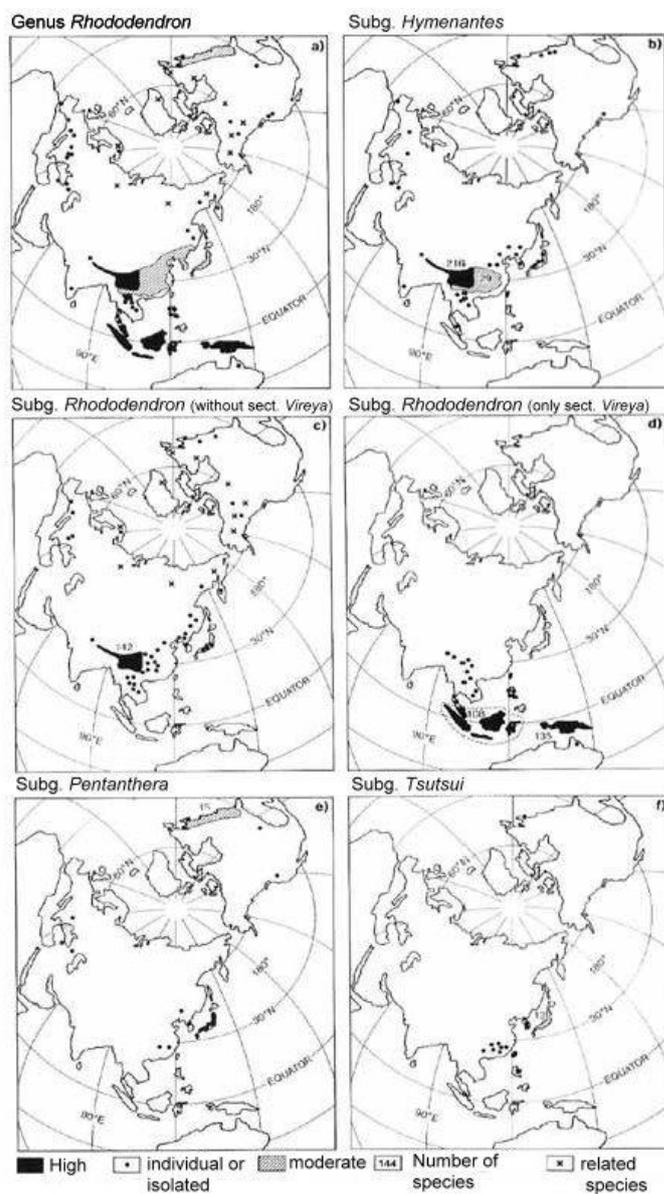


圖 1-1. 杜鵑屬植物的分布圖(a)為整個杜鵑屬的分布、(b)為常綠杜鵑亞屬的分布、(c)為杜鵑亞屬 (越橘杜鵑組除外) 之分布、(d)為杜鵑亞屬越橘杜鵑組之分布、(e)為羊躑躅亞屬之分布、(f)為映山紅亞屬之分布 (Irving and Hebda, 1993)。

(1987) 對長蕊杜鵑組的子葉葉脈複雜、成熟植株被單毛、節解剖特徵、花常有紅色，把馬銀花亞屬的系統位置作為杜鵑屬的基礎類群，但方瑞征和閔天祿 (1995) 從節部解剖有居間型葉隙，即介於複雜葉隙至單葉隙之間，顯示其從常綠杜鵑亞屬向馬銀花亞屬演化的痕跡，是屬於一個較進化的類群。

台灣產有馬銀花組 (sect. *Azaleastrum*) 有 2 種，分別為馬銀花 (*R. ovatum* Planch.) 和長卵葉馬銀花 (*R. ovatum* var. *lamprophyllum* (Hay.) Y. C. Liu, F. Y. Lu, and C. H. Ou)。另外長蕊杜鵑組僅西施花 (*R. ellipticum* Maxim.) 1 種，在本研究區域僅七卡山莊前有少量分布。

二、杜鵑屬植物的起源

Irving 和 Hebda (1993) 認為在時間尺度上，影響植被分布的物理因素主要有三者，分別為全球氣候變化、大陸漂移和高山隆起。有關杜鵑屬的起源研究，除了從現有分布中論證，亦可由現代的化石證據佐證之。根據古植物學家的研究，原始的杜鵑科植物花粉化石證據被發現在白堊紀 (Cretaceous) 晚期即已出現，距今約 6,800 萬年前。而杜鵑屬植物之化石證據，則在中國西藏、四川、雲南、日本、北美、南歐和高加索地區發現，時間均為第三紀 (Tertiary) 中晚期 (方瑞征和閔天祿，1995)。由此得知，現今在馬來西亞至新幾內亞島之間的高島群島雖為杜鵑屬多樣性中心，但應不是杜鵑之起源中心，因為在第三紀中晚期這些群島尚未因地殼變動隆起。

杜鵑屬植物各亞屬內的雜交障礙特別薄弱，也造成了其種類歧異度高的現象 (Zhang *et al.*, 1998)。Milne 等 (1999) 對於土耳其分布區域重疊的 4 種常綠杜鵑亞屬長序杜鵑亞組 (subsect. *Pontica*) 植物進行調查研究，結果證明自然雜交現象在杜鵑屬中是常見的，而且是同域物種間重要維持完整性的生態因子，且合理推測喜馬拉雅地區這個杜鵑屬物種多樣性中心的植物間基因交流頻繁，造就了其物種多樣性。

閔天祿和方瑞征 (1981) 亦指出，喜馬拉雅造山運動大大改變了杜鵑屬的分布和擴散，他推測在第三紀中晚期物種在喜馬拉雅地區的東、西向傳播是暢通的，但第四紀更新世的山脈急劇隆升，印度洋季風氣流北上產生巨大屏障，而使得青藏高原寒、旱化，杜鵑屬植物的向西的分布就此退縮轉而向東發展。

台灣島在過去曾多次與亞洲大陸連結之歷史事件，主要原因是冰期與間冰期之交替，使得台灣與中國大陸之間的陸橋 (land bridge) 連結或隔離。距今最後一次之玉木冰期 (wurm glacial age) 使全球海平面下降 120 m (魏國彥和許晃雄，1997)，許多高緯

度或大陸地區高海拔之植物族群可經由陸橋進入台灣，推測是最大規模的生物遷入事件。許多杜鵑屬植物在此期間亦可能遷入台灣，並在冰河退去後往中高海拔推移。

在台灣的高山地區，多雨冷涼的氣候形態正適於杜鵑之生長，山高谷深的環境更提供了其在冰河期至間冰期垂直遷移的空間與演化變異的環境。鄭杏倩 (2008) 研究指出，台灣產映山紅組植物中，除唐杜鵑外均為特有種，依據葉綠體基因 *matK* 和 *trnK* intorn 片段建構的親緣關係，推測台灣映山紅組可能有三個以上的來源，而在近期快速演化出現存之更多新種。

在台灣高山分布之杜鵑屬物種之研究中，紅星杜鵑 (*R. rubropunctatum* Hay.)、森氏杜鵑 (*R. morii* Hay.)、南湖杜鵑與玉山杜鵑在花期與分布上都有明顯區別，但卻形態上卻極為相似，此一類群的杜鵑在現今分子證據中的研究則統稱為玉山杜鵑複合群 (*Rhododendron pseudochrysanthum* species complex)。黃啟俊 (2005) 提出以葉綠體 DNA *atpB-rbcL* noncoding spacer 及細胞核 DNA ITS 非轉錄區間重建玉山杜鵑複合群親緣地理關係，結果顯示玉山杜鵑、森氏杜鵑及紅星杜鵑應合併為同種，南湖杜鵑和玉山杜鵑近緣且為不同種。謝鎮宇 (2006) 利用 *LEAFY* 基因序列探討台灣玉山杜鵑複合群的起源及演化，提出森氏、南湖杜鵑應併入玉山杜鵑，而紅星杜鵑有逐漸分化為獨立種之趨勢。徐瓏綺 (2004) 利用 ISSR 的多樣性，以及葉綠體 DNA 的 *atpB-rbcL* 這段 noncoding spacer 在各物種之間的歧異，判斷紅星杜鵑於冰河期時因環境適合生存，族群分布擴及整個台灣，而進入間冰期之後，因為氣溫逐漸升高，為了適應環境退到海拔較高之處，如玉山杜鵑、森氏杜鵑等，或是緯度較高之處，如紅星杜鵑。陳盈雯 (2010) 研究中探討海拔對南湖杜鵑和玉山杜鵑之影響時亦指出，因緯度增加、溫度降低而使北部低海拔有集群分布，此種分布北降情形明顯可見於玉山杜鵑。

因此，在本次研究中之主要材料玉山杜鵑，目前在不同方法的分類研究中均將傳統分類中的森氏杜鵑與玉山杜鵑合併為同種，從現今的杜鵑屬植物分布看來，大多生長於溫帶氣候、濕潤且排水良好的區域，與全世界森林帶範圍相近，即便是赤道線通過的高島群島也是分布在其高山區域，在其它地區亦多位於山區森林帶。

台灣擁有垂直高度落差近4,000公尺之地理條件，對於杜鵑屬的生長提供了不同的生育地，亦演化出高比例之特有種，然而在氣候變遷下，原先即生長於高海拔之物種如玉山杜鵑、南湖杜鵑等物種棲地已是其可能之避難所在地，因應全球暖化現象，應予以更深入之研究提供物種保育及復育之措施。

第二節 植物物候學

壹、物候學的發展

植物依其生活型的不同，有一年生與多年生，其每年或每個季節均有其相同的生活樣式，如一年生的草本植物均會歷經從種子、幼苗、青年、繁殖、老朽之過程，此為其生活史 (life cycle)。而多年生的植物則在一年的季節變化中，從新芽形成、展葉、開花、結果及落葉等明顯不同之階段，此種重複的生活週期受到植物本身的遺傳決定，在生長發育環境中又受到光週期、溫度變化、水分、相對濕度等環境因子所影響，因此，物候學 (phenology) 即是研究自然界動植物週期性事與氣候及其他環境因子之間相互關係的科學。

物候學的應用，早在幾千年前人們已注意到植物的季節變化可配合曆法而在作物栽培或植物利用上有所參考，中國古代對於農作物的物候觀察甚早，例如歷史中有 72 候的物候記載，而在「詩經·豳風·七月篇」中提到萋草開花、蟬叫、稻熟、草木掉葉等物候現象。「夏小正」則是先秦較早的物候專篇，它記載了當時每月的物候、氣象、星象和有關重大政事，其中有“時有養日”和“時有養夜”的記載，相當於“夏至”和“冬至”的概念。而在北魏時期由賈思勰所著之「齊民要術」中的“布穀鳴，收小蒜”亦為描述物候現象之記載，書中亦大量引用西漢晚期的「汜勝之書」農書，「汜勝之書」中對物候之描述，例如「杏花滿開時耕土，花散時再耕之」，「夏至七十日後播冬小麥，如過早播種易遭蟲害等」。

近年來，物候學之研究多在討論週期性生物事件的時間，以變化韻律 (rhythm) 為基礎應用在農業生產及科學研究中，另外如日本的物候發展中，對於櫻花的物候現象特有深入研究調查，全國每到花季前氣象廳即會預先對各地的櫻花開花時間進行預測，提供櫻花情報供大眾參考。在台灣的奧萬大楓紅和阿里山櫻花是深受國內民眾從事山林旅遊喜愛的景點，國內研究亦曾對這些地點進行物候觀察，並結合無線感測網路收集當地溫度資料和網路攝影機拍攝記錄生物變化情形，已初步建立預測模式和監測系統，對於觀光遊憩有很大的助益。

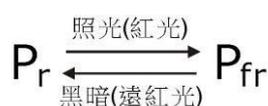
貳、影響植物物候的因子

在不同地區對植物的物候觀測會有不同的物候現象，因此可探討影響植物芽的發育和綻放的因子分成有內在和外在的因素，若僅討論外在的環境因子，主要有光週期變化、溫度變化、土溫、相對濕度等多種因子，而高山植物研究中，植物季節性開花受到

環境因素的嚴格控制，尤其以光週期與溫度變化影響甚巨。

一、光週期 (photoperiod)

植物最大的能量來源即是陽光，使之行光合作用產生碳水化合物以供生長與代謝使用，在冷溫帶或高山地區，多數植物在季節上之變化尤其明顯，光能引發植物生理上的改變，例如產生光敏素 (Phytochrome)，它是接受光週期訊息的主要色素，也是一種色素蛋白質，最早於 1961 年被植物生理學家所分離出來，其具有對紅光及遠紅光的可逆反應，光敏素的色素系統目前已知兩種相存在，一是收紅光的稱為 Pr 相，另一個是吸收遠紅光的稱為 Pfr 相，其作用如下圖：



因此不同季節的光週期變化，其所產生的不同相的光敏素可能誘導植物萌芽或開花，亦會進入休眠狀態。然而近代研究認為，就單一地區而言，光週期似乎不會影響其他的環境因子，而且其在年度間的變化並不明顯，另外光週期對於多數多生植物的開花亦無影響 (Chuine *et al.*, 1999)。然而，仍然有許多物候學的研究，將光週期配合溫度變化作為預測模式的參數。

二、溫度 (temperature)

植物需達到一定的生理成熟才具有開花能力，然而在自然環境中並非每個個體均能按時開花，主要是植物花原體 (flower primordia) 的形成與否，其形主要受溫度、陽光、水分及養的影響，而其中溫度扮演非常重要的角色。在溫帶地區的多年生木本植物，常因本身的成熟老化及外界短日照，導致植株的芽體進入一段休眠期，以度過冬季寒冷的低溫，待春天來臨時，則需累積一定量的熱能才能發芽及開花 (Swartz and Powell, 1981)。有些樹種的芽還需要經過一段時間的冷激需求 (chilling requirements)，亦可稱為春化作用 (vernalization)，再配合熱量累積才能有良好的開花情況。歐洲雲杉 (*Picea abies* (L.) Karst) 苗木經過較長冷激需求者比較短者，其芽打破休眠的比例較高 (Hanninen and Backman, 1994)。David 等 (2007) 研究 10 種杏樹 (apricot) 則指出冷激需求與開花日期呈現高度正相關，以及冷激需求打破休眠與熱量需求 (heat requirements) 導制開花間呈現負相關。

第三節 研究地點與方法

壹、研究區域概況

雪山地處台灣北部山區之最高峰，亦為臺灣之第二高峰，該環境對於生物生存之條件較平地更加嚴苛，在全球暖化所造成的異常劇變天氣及氣候變遷現象，在此一高山生態系中可能有相當敏感之變化，而植物物候變化既是植物對氣候變化的綜合反應結果，又是植物適應氣候變化的過程，尤其在此極端環境下的植物，有如島嶼生態系之相對脆弱，因此選擇以雪山主東峰線之高山植物之物候學及氣候變遷之對應關係上之研究是值得深入探討之議題。

雪山主東線線步道全長 10.9 公里，海拔高度從登山口的 2,140 公尺至雪山主峰頂的 3,886 公尺，是目前雪霸國家公園境內最熱門之登山路線，相關位置如以下圖 1-2。

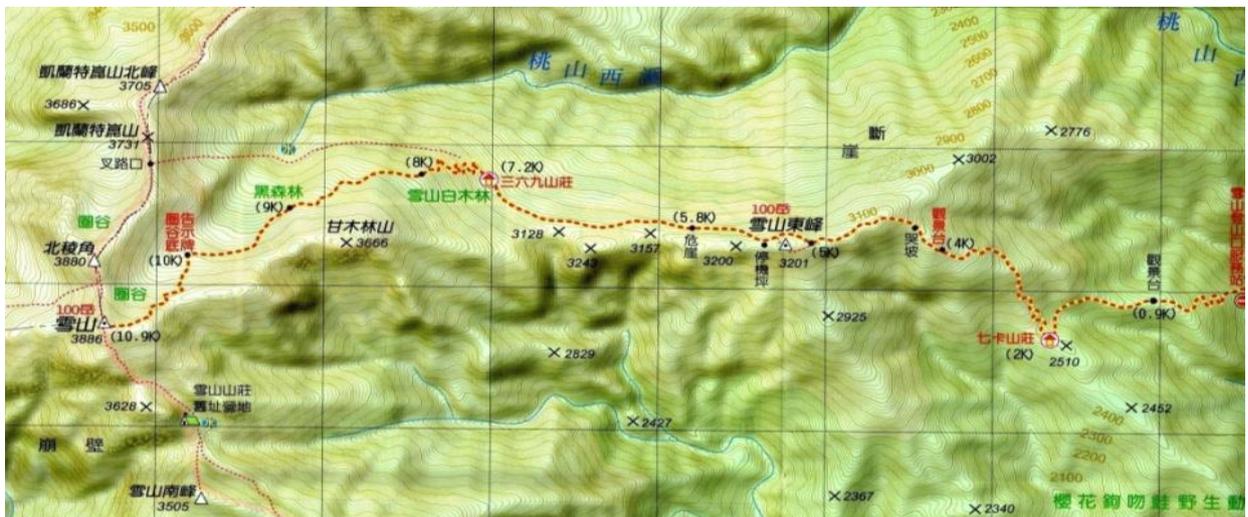


圖 1-2. 雪霸國家公園雪山東峰線步道圖

貳、研究材料

玉山杜鵑 (*Rhododendron pseudochrysanthum* Hay.) 屬杜鵑花科 (Ericaceae) 杜鵑花屬 (*Rhododendron*) 植物，為臺灣特種，在台灣的分布為中、北部高山地區，在雪山地區和玉山圓柏共同形成高山寒原 (alpine tundra) 之矮盤灌叢 (krummholz)，在森林中則呈現小喬木之形態。本研究以雪山主東峰線步道自哭坡頂至雪山山頂 (3,886 m) 均有分布之玉山杜鵑為主要研究材料，依不同海拔梯度調查玉山杜鵑族群分布之現況，並設置樣株採取花葉進行觀察，配合光度、溫度記錄器 (圖 1-3) 及高山氣象站資料建立高山植物物候基礎資料，將來藉以探討其與氣候變遷之關係。除多年生之木本植物玉山杜鵑外，另再找尋可作為易敏感可迅速反映氣候變遷之其他維管束植物作為

參考之指標物種，並進一步探討高山植物對氣候變遷之相互關係。



圖 1-3. 已設置於玉山杜鵑樣株的光度、溫度記錄器，可自動記錄

玉山杜鵑在雪山主東峰地區之分布，依據標本館採集紀錄顯示，自海拔 2,366 m 至雪山主峰頂均有分布，惟雪山主東峰線歷年來因有多次森林火燒情況發生，因此有部份不呈現海拔連續梯度分布之現象。

參、研究方法

一、調查時間

自 2010 年 2 月起至 10 月止，共計前往雪山主東峰線步道進行 10 次之調查，沿步道設有玉山杜鵑樣株共計 26 株，樣株分布之海拔梯度自 3,065m 至 3,885m。

二、物候調查

樣株生物性調查工作計有樹幹地徑、花芽徑變化、葉芽長變化、每苞花數量、每芽葉數量、每枝花芽數/葉芽數，本年度另收集樣株之其它環境因子資料，如衛星定位點、海拔、溫度/光度變化等。

葉候：目前僅調查展葉期，從抽芽至展葉期間，以電子卡尺量測葉芽從基部到先端之長度。野外記錄情形如圖 1-4 表示。

花候：記錄花芽出現前的變化，以花芽直徑為量測方法，再記錄開花時間及數量。野外記錄情形如圖 1-5 表示。



圖 1-4. 以電子卡尺量測葉芽之長度



圖 1-5. 花芽直徑量測示意圖

三、其它植物物候觀察

另記錄雪山主東峰線步道之其它維管束植物開花情形及不同時期之物候現況，因為種類數目繁多，每次山上調查均予以拍照記錄該時期之物候狀態，在未拍攝紀錄之植物則以本處保育志工服勤報告中所拍攝植物作為輔助判釋花期之參考，因現有數位照片中有 EXIF 資料，可自動記錄拍攝時間及其它拍攝資訊，對於花期之正確判斷提供了良好之資訊。

第二章 研究結果與重要發現

第一節 高山植物相關花時序分布

本研究自 2010 年 2 月至 10 月份之調查期間，共進行 10 次雪山主東峰線調查，記錄到 55 種維管束植物之開花情形，部份物種輔以保育志工服勤紀錄所拍攝之照片資料作為佐證參考，並繪製各物種之開花譜帶顯示 (圖 2-1)，各物種之開花時期有隨分布海拔升高而呈現花期愈晚之趨勢，亦即調查區域內較低海拔的植物在 2 月下旬即陸續綻放，而較高海拔的植物則多於 5 月中旬後才開始開放，此結果應與溫度有關，對高山植物而言，足夠而不過量的熱能累積，對於其植物芽 (包含開花、展葉) 的啟動要超過門檻溫度均有一定之時間。

本研究區域海拔高度從登山口的 2,140m 至雪山主峰頂的 3,886m，因此在所調查的植物資料中，將之切分成四個海拔級距，分別為：(一) 海拔分布 <2,500m、(二) 2,500m < 海拔分布 <3,000m、(三) 3,000m < 海拔分布 <3,500m、(四) 3,500m < 海拔分布 <3,886m。從調查資料顯示，分布有 3 個海拔級距者有玉山杜鵑、台灣百合 (*Lilium formosanum* Wallace)、玉山金絲桃 (*Hypericum nagasawae* Hayata)、黃苑 (*Senecio nemorensis* L. var. *dentatus* (Kitamura) H. Koyama) 等 4 種，均為台灣特有種，顯示其適應高山環境之能力較佳，在這 4 種植物當中，僅玉山杜鵑為常綠性木本植物，最適宜作為長期物候研究調查之材料。依據中央氣象局的資料，台灣平地南北(恆春 22.00N、基隆 25.13N)溫差約 2.8°C，距離約 350 km，假設要使溫度下降 0.6°C，則必須往北移動 75 km，同樣在垂直海拔分布上，僅需移動 100 m 即可達到相同的結果，因此玉山在現有的分布上已達到雪山山頂的最高海拔處，如全球氣溫持續上升，已無相對可移動的退縮空間，至於其物候現象是否會因應氣候改變，另於下一節中再論述之，並須長期調查研究才有較精確的結果。

調查在海拔分布較狹隘的植物中，即海拔分布僅出現在一個級距者，在最高海拔的第四級距 (3,500m < 海拔分布 <3,886m) 中有雪山翻白草 (*Potentilla tugitakensis* Masamune)、台灣山芥菜 (*Barbarea taiwaniana* Ohwi)、南湖碎雪草 (*Euphrasia nankotaizanensis* Yamamoto)、高山馬先蒿 (*Pedicularis ikomai* Sasaki)、雪山馬蘭 (*Aster*

雪山高山生態系植物物候因應氣候變遷衝擊之探討

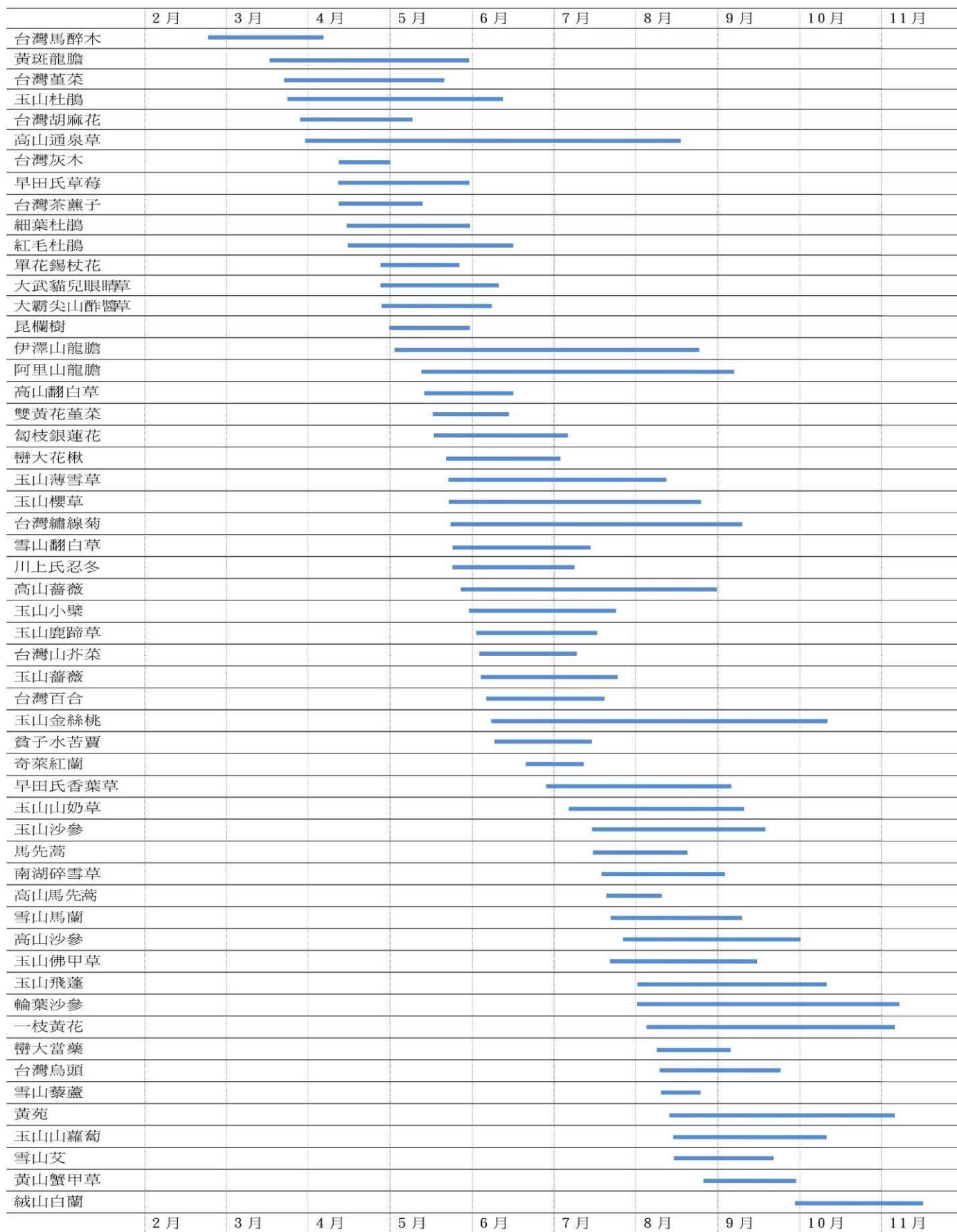


圖 2-1. 雪山主東峰線各物種開花譜帶 (本研究調查, 2010)

takasagomontanus Sasaki)、玉山山蘿蔔 (*Scabiosa lacerifolia* Hayata)、雪山艾 (*Artemisia tsugitakaensis* (Kitamura) Ling & Y. R. Ling) 共 7 種，全部均為台灣特種，符合特種比例隨海拔升高而特有比例增高的現象，其共同的特性均花期較短、均為草本植物，最早之花期從五月下旬才開始，而在六月形成較大範圍的譜帶重疊，推測原因為其位在圈谷地形，生育地冬季遭積雪所冰封，2010 年覆蓋之冰雪直至 5 月上旬才消退 (圖 2-2)，在融雪前生長芽多位在地下部已開始生長，融雪後葉片立即長出地表變綠並進行光合作用，並在熱能開始累積後才有開花的現象。



圖 2-2. 雪山圈谷的五月雪。2010 年 5 月 2 日拍攝之雪山圈谷玉山杜鵑植株照片中，其底下白色物為未融化之冰雪。

僅出現在第三級距 (3,000m<海拔分布<3,500m) 者有早田氏草莓 (*Fragaria hayatae* Makino)、台灣茶藨子 (*Ribes formosanum* Hayata)、大武貓兒眼睛草 (*Chrysosplenium hebetatum* Ohwi)、大霸尖山酢醬草 (*Oxalis acetocella* L. subsp. *taemoni* (Yamamoto) S. F. Huang & T. C. Huang)、匍枝銀蓮花 (*Anemone stolonifera* Maxim.)、玉山櫻草 (*Primula miyabeana* T. Itô & Kawakami)、川上氏忍冬 (*Lonicera kawakamii* (Hayata) Masamune)、馬先蒿 (*Pedicularis verticillata* L.)、玉山飛蓬 (*Erigeron morrisnoensis* Hayata var. *morrisnoensis*) 及黃山蟹甲草 (*Parasencio hwangshanica* (Ling) C. I Peng & S. W. Chung) 等 10 種，在其中以大武貓兒眼睛草、匍枝銀蓮花與黃山蟹甲草的分布最為稀少 (圖 2-3)，而黃山蟹甲草主要分布於中國大陸，台灣僅雪山黑森林可見之，其花期同大多數菊科植物之特性，在 8 月下旬至 9 月下旬間開花，因受上層森林覆蓋之影響，其所受微氣候之影響較不明顯，適於作為長期物候觀察之重點植物。玉山櫻草是屬於報春花科 (Primulaceae) 之植物，顧名思義是春天最早開花之類群，以從資料中所顯示高山植物的春天應為五月中下旬開始，該類群的植物在雪融後從地下根莖即迅速生長出葉，花軸則於葉長出後再長出即開花，有實驗證明，將該類群植物在溫度小幅度上升時，即能促使其花期提前，因此，玉山櫻草亦為適宜當作氣候變遷之指標

物種。



圖 2-3. 海拔出現在第三級距的特殊物種開花情形。圖左為大武貓兒眼睛草 (*Chrysosplenium hebetatum* (2010.5.3.))，圖右為黃山蟹甲草 (*Parasencio hwangshanica*) 花苞正準備開放情形 (2010.8.20.)。

另外如台灣灰木 (*Symplocos formosana* Brand var. *formosana*)、單花錫杖花 (*Monotropa uniflora* (L.) A. Gray)、昆欄樹 (*Trochodendron aralioides* Siebold & Zucc.)、雙黃花堇菜 (*Viola biflora* L.)、奇萊紅蘭 (*Orchis kiraishiensis* Hayata) 及雪山藜蘆 (*Veratrum shuehshanarum* S. S. Ying) 等植物，其花期多不超過一個月，其中的台灣灰木及昆欄樹是中海拔常見之物種，因此在取樣上有不均勻的結果，而其他的植物物種分布雖跨過不同級距，但實際上的分布也是相當狹隘，都適於繼續進行往後年度的物候觀察對象，例如雪山藜蘆僅在海拔 3,000m 上下約 200m 的區域可被發現，但因級距的分級上卻混淆了此一狀況，其數量相當稀少，整體花期不到一個月，亦呈現族群花期相對較短的現象，因為它分布和花期的集中現象，正適於進行物候觀察的對象，在 2010 年的調查中僅在 8 月中下旬有開花紀錄，對照 2003 年在相同地點的紀錄中，雪山藜蘆的開花時間為 7 月下旬 (圖 2-4)，本年度整體花期幾乎延後了 20 日之久，相當不尋常，再對照 2003 年的氣象資料發現，在該年度全球地表溫度較常年高了 0.58°C，是 1880 年有氣溫紀錄以來的第三高溫 (中央氣象局，2009)，因此推測氣候影響了其開花的提早，在未來更應對此一物種進行更多物候之監測。



圖 2-4. 雪山藜蘆 (*Veratrum shuehshanarum*) 開花情形，圖左為 2003 年 7 月 31 日在哭坡所拍攝，圖右為 2010 年 8 月 19 日在哭坡所拍攝

在八月之後才開花的族群當中，有一類群特別值得留意，即是菊科植物佔了大多數，如雪山馬蘭、玉山飛蓬、一枝黃花 (*Solidago virgaurea* L. var. *leiocarpa* (Benth.) A. Gray)、黃苑 (*Senecio nemorensis* L. var. *dentatus* (Kitamura) H. Koyama)、雪山艾、黃山蟹甲草、絨山白蘭 (*Aster lasioclada* Hayata) 等，這些都是屬於晚花型的物種，有項在歐洲以不同海拔高度的西洋蒲公英 (*Taraxacum officinale* Weber) 研究指出，其生長開始時期與開花起始日與溫度差異不大，而對光週期較敏感，亦即該類植物在夜晚開始變長後，其植物光敏素之變化促使了其花芽的生長。雖然研究顯示此類晚花型的物種的開花時間與溫度較無直接之關係，在在氣候變遷的環境下，以台灣在秋季少雨的環境，颱風侵襲的機率大幅較以往增高，雨水和濕度均會影響授粉的情況，亦即其受影響程度亦不小。



圖 2-5. 雪山地區菊科開花情形，圖左為絨山白蘭 (*Aster lasioclada*)(2010.10.12.)，圖右為雪山艾 (*Artemisia tsugitakaensis*) (2010.8.20.)

第二節 玉山杜鵑的開花物候

本次調查的杜鵑樣株位置如以下圖 2-5，調查研究中亦觀察到雪山主東峰稜線南側的坡面上亦有為數不少的玉山杜鵑植株，海拔分布約在 2,600m 左右，其開花日期在 3 月 28 時即已大量盛開，惟其位置陡峭，無道路可到達，因此在步道上所調查之 26 株玉山杜鵑中，最早開花者為海拔分布最低 (3,065m) 編號 1 的樣株，在 2 次相隔的調查其花朵 (2010.3.28-30 與 2010.4.13-14) 從不同開放階段之花朵推估其單朵花的開放至凋落日期約為 8 日 (圖 2-7)，調查資料彙整後如表 2-1。

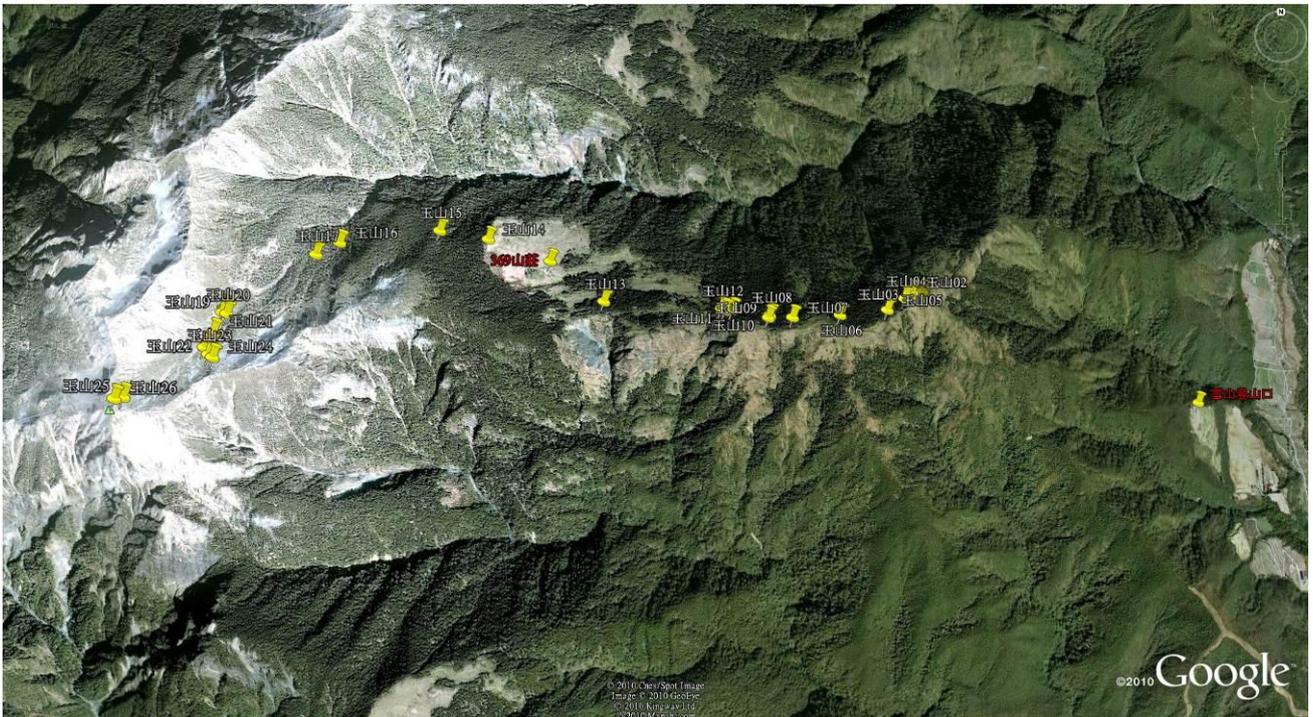


圖 2-6. 玉山杜鵑調查樣株之在雪山主東峰線之分布位置圖，樣株位置為黃色圖釘圖案所標示者。



圖 2-7. 玉山杜鵑在不同時期的開花情形，圖左為樣株編號 1 在 2010 年 3 月 28 日拍攝，圖右為 2010 年 3 月 30 日所拍攝。

表 2-1. 雪山主東峰線玉山杜鵑樣株物候觀察表，在圈谷之樣株因生長呈矮盤灌叢，地徑無法量測

| 樣株編號 | 地徑 (cm) | 海拔高 (m) | 日照環境 | 花期起始日 | 花期結束日 | 每苞平均花朵數 | 展葉 | 每葉芽平均葉數 | 備註 |
|------|--------------|---------|------|-------|-------|---------|-------|---------|--------|
| 1 | 7.2 | 3065 | 陽 | 3月25日 | 5月4日 | 12.00 | 5月16日 | 10.67 | 哭坡上草原 |
| 2 | 18.9 | 3080 | 陰 | 4月8日 | 5月8日 | 8.50 | 5月18日 | 5.50 | 鐵杉林 |
| 3 | 13.0 | 3075 | 陽 | 3月24日 | 4月17日 | 11.67 | 5月19日 | 7.50 | 混生草原 |
| 4 | 15.4 | 3085 | 陰 | 4月10日 | 4月28日 | 7.67 | 5月21日 | 7.17 | 鐵杉林 |
| 5 | 16.4 | 3100 | 陽 | 3月25日 | 4月23日 | 12.17 | 5月2日 | 7.83 | 稜線 |
| 6 | 13.5 | 3155 | 陽 | 4月8日 | 5月4日 | 10.33 | 5月19日 | 9.83 | 東峰草原 |
| 7 | 12.1 | 3135 | 陰 | 4月9日 | 5月6日 | 9.00 | 5月26日 | 8.00 | 冷杉林 |
| 8 | 14.0 | 3130 | 陰 | 3月27日 | 4月24日 | 8.00 | 4月28日 | 7.50 | 冷杉林緣 |
| 9 | 7.8 | 3130 | 陽 | 4月7日 | 5月5日 | 12.67 | 5月26日 | 7.33 | 草原 |
| 10 | 20.0 | 3130 | 半遮蔭 | 4月8日 | 4月30日 | 9.33 | 5月18日 | 8.50 | 林緣 |
| 11 | 14.8 | 3140 | 陽 | 4月9日 | 5月4日 | 11.00 | 5月21日 | 7.50 | 草原 |
| 12 | 18.0 | 3135 | 陽 | 4月8日 | 5月6日 | 12.00 | 5月21日 | 9.50 | 草原 |
| 13 | 6.0 | 3125 | 陰 | 4月9日 | 5月6日 | 9.83 | 5月20日 | 5.67 | 冷杉林 |
| 14 | 17.4 | 3240 | 陽 | 4月9日 | 5月8日 | 11.33 | 5月19日 | 9.50 | 369 草原 |
| 15 | 29.5 28.0 | 3280 | 陰 | 4月10日 | 5月12日 | 8.17 | 5月24日 | 4.33 | 黑森林 |
| 16 | 8.0 | 3325 | 陰 | 5月6日 | 5月28日 | 6.17 | 6月20日 | 5.67 | 黑森林 |
| 17 | 7.5 | 3420 | 陰 | 0 | 0 | 0.00 | 5月27日 | 4.67 | 黑森林 |
| 18 | 7.7 | 3601 | 陽 | 5月23日 | 6月8日 | 7.67 | 6月12日 | 7.33 | 圈谷 |
| 19 | 灌叢 | 3600 | 陽 | 5月19日 | 6月2日 | 8.50 | 6月10日 | 8.67 | 圈谷 |
| 20 | 灌叢 | 3593 | 陽 | 5月15日 | 5月30日 | 7.83 | 6月4日 | 6.67 | 圈谷 |
| 21 | 灌叢 | 3627 | 陽 | 5月10日 | 6月5日 | 6.83 | 6月12日 | 8.33 | 圈谷 |
| 22 | 灌叢 | 3650 | 陽 | 5月9日 | 6月3日 | 7.17 | 6月18日 | 5.83 | 圈谷 |
| 23 | 10.5 | 3677 | 陽 | 5月22日 | 6月13日 | 10.33 | 6月14日 | 7.67 | 圈谷 |
| 24 | 灌叢 | 3700 | 陽 | 5月23日 | 6月15日 | 9.83 | 6月18日 | 6.17 | 圈谷 |
| 25 | 灌叢 | 3860 | 陽 | 5月25日 | 6月17日 | 8.00 | 6月28日 | 6.17 | 圈谷 |
| 26 | 灌叢 | 3885 | 陽 | 5月25日 | 6月14日 | 8.83 | 6月24日 | 8.17 | 圈谷 |

調查中發現，生育地在陽光充足的玉山杜鵑，其每個花苞內之全部花朵開放時間較為均一，即全株開花同步性較生長於冷杉林下者為高，對於吸引授粉者前來的效果相對較佳，這可以從植株上所著生的蒴果數量所推測而得，相同的論證在 Fisher 等 (1996) 研究 Easter Lily (*Lilium longiflorum* Thumb.) 以溫度處理與花芽長度之相關模式時，發現處理溫度愈高，開花所需日數則相對減少。

在 5 月份的調查中發現在雪山圈谷的樣株，在其開花初期正遇到一場短暫的五月雪，從其枯萎的花朵中發現花藥尚未開裂，顯示其未授粉，因此推測可能是受寒害凍傷的早枯現象（圖 2-8），部份花苞甚至停止生長，此一氣候不尋常情形對於高山植物的生長雖不造成植物生存的威脅，但對於其延續新的生命確實影響很大。



圖 2-8. 玉山杜鵑花朵受雪凍傷情形，花苞停止生長，枯萎花朵內之花藥未開裂，顯示其未授粉。

此外，在陽光充足地（有上方光線和多數側方光線者）和林蔭地（無上方光線或僅部份有側方光線者）的玉山杜鵑開花數量亦有明顯落差，在相同海拔區域的樣株，陽光下者其每苞平均花朵數從 10 朵至 13 朵，而林蔭下者則為 6 朵至 10 朵，但較高海拔之樣株可能是冰封期較長使日照日期縮短，以致整體光合產物較低，且土壤基質較差，因此也反映在其花朵數目上，尤其是分布在黑森林區域之樣株（編號 17），甚至無花芽形成（圖 2-9）。這些分布於黑森林的玉山杜鵑族群多呈點狀分布，因為其生命期較台灣冷杉為長，因此推測這些生長於陰暗地的玉山杜鵑可能在冷杉林因風倒或老化產生孔隙時即侵入，而冷杉林再度鬱閉後光度不足以致所產生開花的動能亦不足所致。

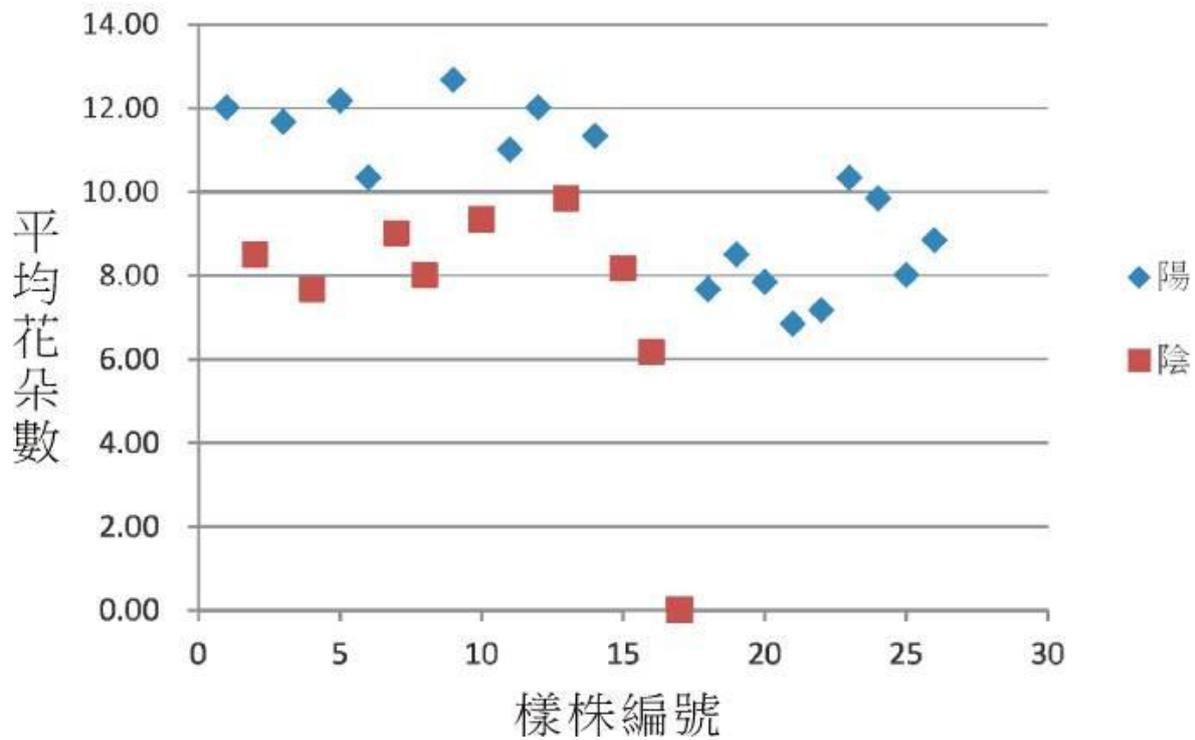


圖 2-9.玉山杜鵑樣株在不同生育地的每苞平均花朵數，陽：陽光充足地，陰：林蔭地。

在葉候調查方面，圖 2-9 表示了陽光充足地與林蔭地每枚葉苞內的新葉數，陽光充足地仍然較林蔭地的平均葉數較多，在這裡所謂之展葉情形，是幼葉脫離苞片開始展開之狀態（圖 2-11），其展葉期和大多數溫帶木本植物一樣，均是花期結束之後才開始，而展葉的日期仍是從較低海拔處較早開始，在海拔<3,500m 之樣株，其花期結束後和展葉期間的時間較不均一，從 10-23 天均有之，而雪山圈谷 (3,500m <海拔) 的樣株在花期結束後，則縮短為 1-15 天的區間，此為充分利用最短暫的時間產生營養器官，以利於當年有限的日照時間內累積較多營養以供植株生長、開花與結實。

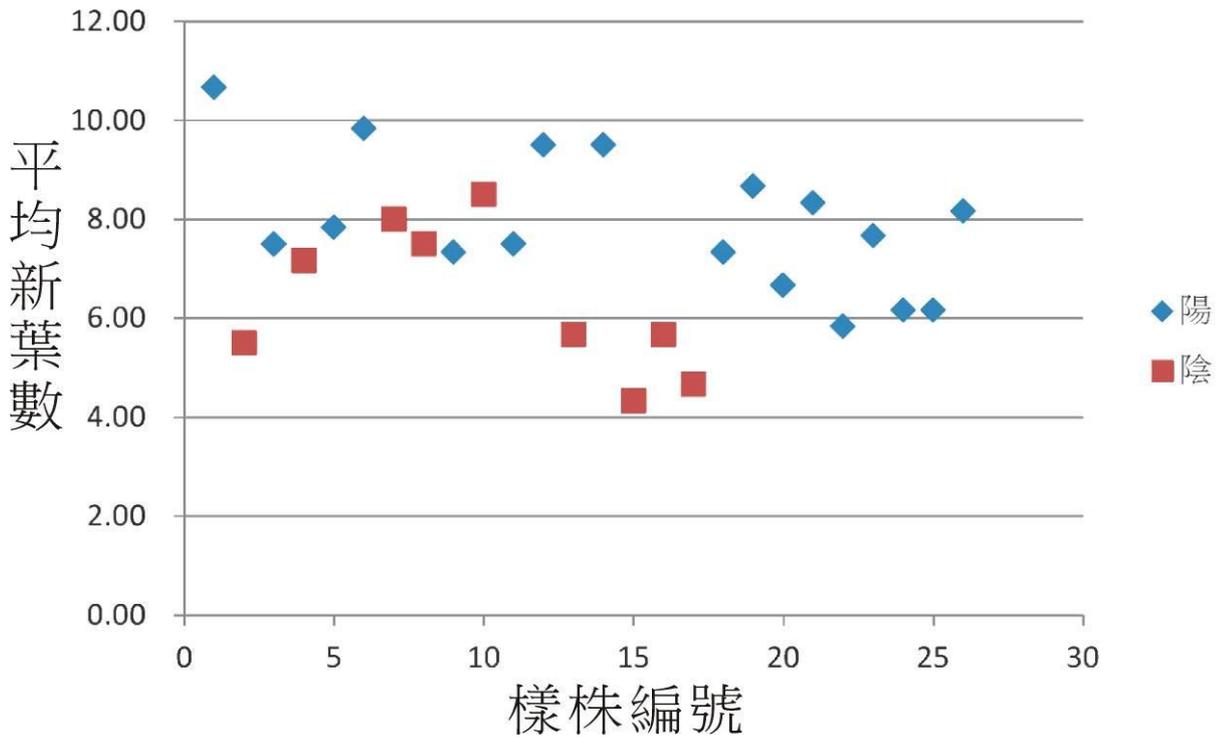


圖 2-10.玉山杜鵑樣株在不同生育地的每苞平均新葉數，陽：陽光充足地，陰：林蔭地。



圖 2-11. 玉山杜鵑展葉情形，左圖為新葉剛突出葉苞片外，右圖為展葉後 3 天的狀態

在探討溫度與物候關係時，因為熱能的累積是破除休眠的關鍵，許多植物在溫度與花芽的開放時間存在著線性關性，即在一定溫度範圍內，溫度上升愈快，花芽開放時間就愈早。另外像溫帶果樹常見的冷激需求，推測對於玉山杜鵑亦為重要，依照 Richardson 等 (1974) 所提出的冷激模式，玉山杜鵑應符合冷激-熱量和序模式 (chilling-heat sum sequential model)。這個模式假設每棵樹的芽需要經過低於門檻溫度的冷激累積時數，而芽在開展的時期，必須達到一定量的累積熱量才能開展。本研究已設置 15 個溫、光度記錄器於不同環境的樣株上，惟目前累積資料量不足，尚無法證實相關門檻溫度與芽生長之關係，盼來年能繼續收集資料以建立其物候模式。

第三章 結論與建議

第一節 結論

由本研究第一年的調查結果顯示，雖然尚未能建立預測模式，然而仍能從已知的觀察結果合理推測高山植物受溫度影響甚大，許多植物在雪山地區為特有或稀有物種，其生育環境已退居到最高海拔棲地的避難所，在全球日益暖化的同時，這些高山物種正面臨極大的威脅生存危機，從調查資料看出所調查樣株在開花的先後順序上最高相差了2個月，其海拔落差約為820m，以海拔每升高100m降低0.6°C來試算之，其溫差為4.92°C，假設其他開花的條件相當，溫度為簡單之控制因子下，若將來全球溫度上升1°C，則玉山杜鵑可能就提早12天開花，在光週期不變的情況下，所能產生的光合產物亦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，長期而言恐怕將導致物種走上滅絕之路。

高山植物因生長環境條件較嚴苛，因此有許多適應性的策略使生長和生命延續，然而這些策略是長年累積而得的，如在氣溫變遷下，溫度與氣候的劇變更加明顯，將會使高山植物的生存產生較大之危機。

在本年度的上山調查中，樣株編號12之玉山杜鵑，所調查當年開花之花芽數為148枚，然而在2010年10月的調查中發現全株僅剩6枚花芽供下一年度發育，其原因有待深入研究，或再於後續研究中探討開花與葉部養分之供應情形。

第二節 建議

建議一

立即可行建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

本處園區仍有很多美麗珍貴的物種長在深山人未識，甚為可惜，在未來能有效監測高山植物物候的變化情形時，將即時於雪霸國家公園網站上建立雪山線賞花情報，民眾能在登山前獲取相關資訊，以推廣國家公園自然之美。此外，讓民眾了解高山植物在全球氣候變遷下同樣受到了生存危機，以喚起民眾重視生態環境問題，才能在日常生活中落實節能減碳的訴求。而本研究所發現可許多對環境較敏感之物種，除了玉山杜鵑應持續進行物候調查外，其它如雪山藜蘆、玉山櫻草、黃山蟹甲草等建議仍須於未來持續進行觀察研究。

建議二

中長期建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

雪山主東峰線因路程甚遠，物候的監測仍須靠人力上山收集，未來如能建置無線傳輸系統，讓氣象資料與即時影像能夠從遠端取得，對於研究人力可以減少許多，更能在推廣國家公園遊憩服務或生態保育上都有其方便性與實用性。

附錄一、雪山主東峰線植物物候調查名錄

| 中文名 | 學名 | 特有種 | 2500m | 3000m | 3500m | 3886m | 花色 |
|---------|--|-----|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|----|
| | | | ▽ 海拔分布 | ▽ 海拔分布 2500m | ▽ 海拔分布 3000m | ▽ 海拔分布 3500m | |
| 台灣馬醉木 | <i>Pieris taiwanensis</i> Hayata | | ◎ | ◎ | | | 白 |
| 黃斑龍膽 | <i>Gentiana flavomaculata</i> Hayata | ◎ | ◎ | | | | 白 |
| 台灣堇菜 | <i>Viola formosana</i> Hayata var. <i>formosana</i> | | ◎ | ◎ | | | 紫 |
| 玉山杜鵑 | <i>Rhododendron pseudochrysanthum</i> Hayata | ◎ | | ◎ | ◎ | ◎ | 白 |
| 台灣胡麻花 | <i>Helonias umbellata</i> (Baker) N. Tanaka | ◎ | ◎ | | | | 紅 |
| 高山通泉草 | <i>Mazus alpinus</i> Masamune | ◎ | ◎ | ◎ | | | 白 |
| 台灣灰木 | <i>Symplocos formosana</i> Brand var. <i>formosana</i> | | ◎ | | | | 白 |
| 早田氏草莓 | <i>Fragaria hayatae</i> Makino | ◎ | | | ◎ | | 白 |
| 台灣茶藨子 | <i>Ribes formosanum</i> Hayata | ◎ | | | ◎ | | 綠 |
| 細葉杜鵑 | <i>Rhododendron noriakianum</i> T. Suzuki | ◎ | | ◎ | | | 紅 |
| 紅毛杜鵑 | <i>Rhododendron rubropilosum</i> Hayata var. <i>rubropilosum</i> | ◎ | | ◎ | ◎ | | 紅 |
| 單花錫杖花 | <i>Moneses uniflora</i> (L.) A. Gray | | | ◎ | | | 白 |
| 大武貓兒眼睛草 | <i>Chrysosplenium hebetatum</i> Ohwi | ◎ | | | ◎ | | 綠 |
| 大霸尖山酢醬草 | <i>Oxalis acetocella</i> L. subsp. <i>taemoni</i> (Yamamoto) S. F. Huang & T. C. Huang | ◎ | | | ◎ | | 白 |
| 昆欄樹 | <i>Trochodendron aralioides</i> Siebold & Zucc. | | ◎ | | | | 綠 |
| 伊澤山龍膽 | <i>Gentiana izershanensis</i> T. S. Liu & Chiu C. Kuo | ◎ | | ◎ | ◎ | | 黃 |
| 阿里山龍膽 | <i>Gentiana arisanensis</i> Hayata | ◎ | | ◎ | ◎ | | 紫 |
| 高山翻白草 | <i>Potentilla matsumurae</i> Th. Wolf. var. <i>pilosa</i> Koidz. | ◎ | | | ◎ | ◎ | 黃 |
| 雙黃花堇菜 | <i>Viola biflora</i> L. | | | | ◎ | ◎ | 黃 |
| 匍枝銀蓮花 | <i>Anemone stolonifera</i> Maxim. | | | | ◎ | | 白 |
| 繸大花楸 | <i>Sorbus randaiensis</i> (Hayata) Koidz. | ◎ | | | ◎ | | 白 |
| 玉山薄雪草 | <i>Leontopodium microphyllum</i> Hayata | ◎ | | | ◎ | ◎ | 白 |
| 玉山櫻草 | <i>Primula miyabeana</i> T. Itô & Kawakami | ◎ | | | ◎ | | 紅 |
| 台灣繡線菊 | <i>Spiraea formosana</i> Hayata | ◎ | | ◎ | | | 白 |
| 雪山翻白草 | <i>Potentilla tugitakensis</i> Masamune | ◎ | | | | ◎ | 黃 |
| 川上氏忍冬 | <i>Lonicera kawakamii</i> (Hayata) Masamune | ◎ | | | ◎ | | 黃 |
| 高山薔薇 | <i>Rosa transmorrisonensis</i> Hayata | | | ◎ | ◎ | | 白 |
| 玉山小檗 | <i>Berberis morrisonensis</i> Hayata | ◎ | | | ◎ | ◎ | 黃 |
| 玉山鹿蹄草 | <i>Pyrola morrisonensis</i> (Hayata) Hayata | ◎ | | ◎ | | | 白 |
| 台灣山芥菜 | <i>Barbarea taiwaniana</i> Ohwi | ◎ | | | | ◎ | 黃 |
| 玉山薔薇 | <i>Rosa sericea</i> Lindl. var. <i>morrisonensis</i> (Hayata) Masamune | ◎ | | | ◎ | ◎ | 白 |
| 台灣百合 | <i>Lilium formosanum</i> Wallace | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | | 白 |
| 玉山金絲桃 | <i>Hypericum nagasawae</i> Hayata | ◎ | | ◎ | ◎ | ◎ | 黃 |
| 貧子水苦蕒 | <i>Veronica oligosperma</i> Hayata | ◎ | | | ◎ | | 白 |
| 奇萊紅蘭 | <i>Orchis kiraishiensis</i> Hayata | ◎ | | | ◎ | | 紅 |
| 早田氏香葉草 | <i>Geranium hayatanum</i> Ohwi | ◎ | | | ◎ | ◎ | 紅 |
| 玉山山奶草 | <i>Codonopsis kawakamii</i> Hayata | ◎ | | | ◎ | | 綠 |
| 玉山沙參 | <i>Adenophora morrisonensis</i> Hayata subsp. <i>morrisonensis</i> | ◎ | | | ◎ | ◎ | 紫 |
| 馬先蒿 | <i>Pedicularis verticillata</i> L. | | | | ◎ | | 紫 |
| 南湖碎雪草 | <i>Euphrasia nankotaizanensis</i> Yamamoto | ◎ | | | | ◎ | 黃 |
| 南湖大山蒿草 | <i>Pedicularis ikomai</i> Sasaki | | | | | ◎ | 紫 |
| 雪山馬蘭 | <i>Aster takasagomontanus</i> Sasaki | ◎ | | | | ◎ | 白 |
| 高山沙參 | <i>Adenophora morrisonensis</i> Hayata subsp. <i>uehatae</i> (Yamamoto) Lammers | ◎ | | | ◎ | | 紫 |
| 玉山佛甲草 | <i>Sedum morrisonense</i> Hayata | ◎ | | | ◎ | ◎ | 黃 |
| 玉山飛蓬 | <i>Erigeron morrisnoensis</i> Hayata var. <i>morrisonensis</i> | ◎ | | | ◎ | | 白 |
| 輪葉沙參 | <i>Adenophora triphylla</i> (Thunb.) A. DC. | | ◎ | ◎ | | | 紫 |
| 一枝黃花 | <i>Solidago virgaurea</i> L. var. <i>leiocarpa</i> (Benth.) A. Gray | | | ◎ | | | 黃 |
| 繸大當藥 | <i>Swertia macrosperma</i> (C. B. Clarke) C. B. Clarke | | | ◎ | ◎ | | 白 |
| 台灣烏頭 | <i>Aconitum fukutomei</i> Hayata var. <i>fukutomei</i> | ◎ | | | ◎ | ◎ | 紫 |
| 雪山藜蘆 | <i>Veratrum shuehshanarum</i> S. S. Ying | ◎ | | ◎ | ◎ | | 綠 |
| 黃苑 | <i>Senecio nemorensis</i> L. var. <i>dentatus</i> (Kitamura) H. Koyama | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | | 黃 |
| 玉山山蘿蔔 | <i>Scabiosa lacerifolia</i> Hayata | ◎ | | | | ◎ | 紫 |
| 雪山艾 | <i>Artemisia tsugitakaensis</i> (Kitamura) Ling & Y. R. Ling | ◎ | | | | ◎ | 綠 |
| 黃山蟹甲草 | <i>Parasencio hwangshanica</i> (Ling) C. I. Peng & S. W. Chung | | | | ◎ | | 黃 |
| 絨山白蘭 | <i>Aster lasioclada</i> Hayata | ◎ | ◎ | ◎ | | | 白 |

附錄二、雪山主東峰線樣株照片



編號 1 (2010.3.28)



編號 2 (2010.4.13)



編號 3 (2010.3.28)



編號 4 (2010.4.13)



編號 5 (2010.3.28)



編號 6 (2010.4.13)



編號 7 (2010.4.13)



編號 8 (2010.3.28)



編號 9 (2010.4.13)



編號 10 (2010.4.13)



編號 11 (2010.3.28)



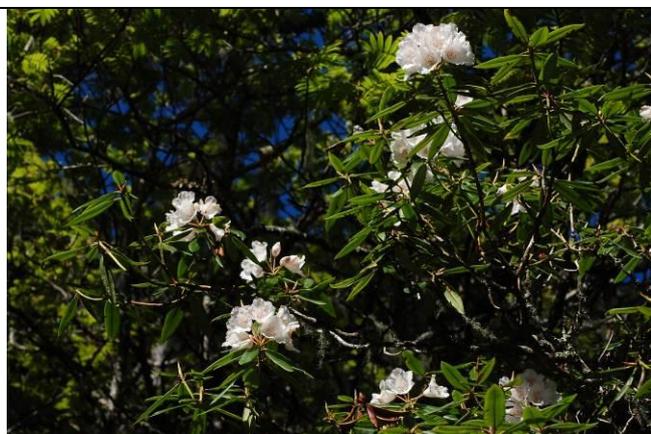
編號 12 (2010.4.13)



編號 13(2010.4.13)



編號 14 (2010.4.14)



編號 15 (2010.5.3)



編號 16 (2010.5.25)



編號 17 (2010.5.25)



編號 18 (2010.5.25)



編號 19 (2010.5.25)



編號 20 (2010.5.25)



編號 21 (2010.5.25)



編號 22 (2010.5.25)



編號 23 (2010.5.25)



編號 24 (2010.5.25)



編號 25 (2010.5.25)



編號 26 (2010.5.25)

相同植株花候變化情形



2010.2.26



2010.4.13



2010.4.14



2010.5.2

參考書目

- 中央氣象局 (2009) 全球平均溫度及台灣測站長期趨勢監測報告。http://www.cwb.gov.tw/ 中央氣象局網站資料。
- 王作賀 (2006) 臺灣原生杜鵑葉綠體 matK 基因分子親緣演化。中國文化大學生物科技研究所碩士論文。68 頁。
- 徐瓏綺 (2004) 玉山、森氏與紅星杜鵑之親緣關係與後冰河期之遷徙。中國文化大學生物科技研究所碩士論文。66 頁。
- 陳盈雯 (2010) 台灣原生杜鵑棲地地文環境特性之研究。國立中興大學園藝學系碩士論文。192 頁。
- 曾彥學、王志強、蔡智勇 (2009) 雪霸國家公園物種清單更新維護計畫-維管束植物。雪霸國家公園管理處委託辦理計畫。114 頁。
- 閔天祿、方瑞征 (1979) 杜鵑屬 (*Rhododendron* L.) 的地理分布及其起源問題的探討。雲南植物研究 1(2): 17-28。
- 閔天祿、方瑞征 (1981) 喜馬拉雅山脈的隆升對杜鵑區系形成的影響。雲南植物研究 3(2): 147-157。
- 黃啟俊 (2005) 台灣產玉山杜鵑複合群之親緣地理學研究。國立成功大學生命科學系碩士論文。60 頁。
- 鄭杏倩 (2008) 探討台灣映山紅組杜鵑的親緣關係。國立臺灣師範大學生命科學研究所碩士論文。63 頁。
- 謝鎮宇 (2006) 利用 LEAFY 基因序列探討台灣玉山杜鵑複合群的起源及演化。中國文化大學生物科技研究所碩士論文。72 頁。
- 魏國彥、許晃雄 (1997) 全球環境變遷導論。臺灣大學全球變遷中心。378 頁。
- Chamberlain, D. F., R. Hyam, G. Argent, G. Fairweather and K. S. Walter (1996) The genus *Rhododendron*, its classification and synonymy. Roy. Bot. Gard. Edinburgh pp.181.
- Chuine, I., P. Cour and D. D. Rousseau (1999) Selecting models to predict the timing of flowering of temperate tree: implications for tree phenology modeling. Plant. Cell Environ. 22:1-13.
- David R., J. A. Campoy and J. Egea (2007) Chilling and heat requirements of apricot cultivars for flowering. Environmental and Experimental Botany 61(3): 254-263.

- Fisher P. R., J. H. Leith and R. D. Heins (1996) Modeling flower bud elongation in Easter lily (*Lilium longiflorum* Thumb.) in response to temperature. Hortscience 31:349-352.
- IPCC (2007) Intergovernmental panel on climate change, working group 1. Climate change 2007, the physical science basis. In: Houghton, J. T., Ephraums, J. J. (Eds.) Cambridge University Press, Cambridge.
- Irving, E. and R. J. Hebda (1993) Concerning the origin and distribution of Rhododendrons. Journal of the American Rhododendron Society, Summer 1993: 139-162.
- Milne, R. I., R. J. Abbott, K. Wolff and D. F. Chamberlain (1999) Hybridization among sympatric species of *Rhododendron* (Ericaceae) in Turkey: morphological and molecular evidence. Am. J. Bot. 86(12): 1776-1785.
- Richardson E. A., S. D. Seeley and D. R. Walker (1974) A model for estimating the completion of rest for Redhaven and Elberta peach trees. Hortscience 9(4): 331-332.
- Spethmann, W. (1987) A new infrageneric classification and phylogenetic trends in the genus *Rhododendron* (Ericaceae). Plant Sys. Evol. 157: 9-31.
- Swartz, H. J. and L. E. Powell (1981) The effect of long chilling requirement on time of bud break in apple. Acta Hort. 120: 173-178.
- Zhang, C. Q., B. J. Feng and Y. L. Lu (1998) The study of hybridization of *Rhododendron*. Acta Botanica Yunnanica 20: 94-96.