

# 雪山地區高山生態系長期生態調查研究

委託單位：雪霸國家公園管理處

受委託者：國立中興大學

研究主持人：曾彥學、曾喜育

協同主持人：呂金誠、邵廣昭、林良恭、林昭遠、林博雄、孫元勳、  
葉文斌、顏江河、歐辰雄、魏聰輝（按姓氏筆畫排列）

執行單位：國立中興大學森林學系

中央研究院生物多樣性研究中心

國立中興大學水土保持系

國立中興大學昆蟲學系

國立臺灣大學大氣科學系

國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處

國立屏東科技大學野生動物保育所

東海大學生命科學系

中華民國 101 年 12 月

### 101 年整合型研究計畫項目

計畫項目	主持人	服務機構/系所	職稱	計畫內容
子計畫 1	魏聰輝	國立台灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處	助理研究員	雪山高山微氣象與水量與熱量時空分布特性
	林博雄	國立台灣大學大氣科學系	副教授	
子計畫 2	林昭遠	國立中興大學水土保持學系	教授	因應氣候變遷集水區環境資料庫建置及應用
子計畫 3	顏江河	國立中興大學森林系	副教授	雪山地區外生菌根共生關係之研究
子計畫 4	曾彥學	國立中興大學森林系	副教授	雪山地區植物物候之研究
	歐辰雄	國立中興大學森林系	兼任教授	
子計畫 5	曾喜育	國立中興大學森林系	助理教授	雪山地區高山生態系植群結構研究
	呂金誠	國立中興大學森林系	兼任教授	
子計畫 6	葉文斌	國立中興大學昆蟲系	副教授	昆蟲相調查暨指標物種建立及監測
子計畫 7	孫元勳	國立屏科科技大學野生動物保育所	教授兼所長	雪山地區鳥類群聚與生態研究
子計畫 8	林良恭	東海大學生命科學系	教授兼研發長	雪山地區哺乳類動物及其棲地調查
子計畫 9	邵廣昭	中央研究院生物多樣性研究中心	研究員兼主任	生態資料庫建構

## 一、計畫緣由

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，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。

2011年10月18-29日全球193個國家，近12,000個代表於日本名古屋召開第10屆「生物多樣性公約締約方大會」(CBD-COP 10)。會議中除檢視自2002年以來各國達成維護生物多樣性目標與否，另完成「愛知生物多樣性目標(Aichi Biodiversity Targets)」，包含5大策略目標(Strategic Goals)及20個標的(Target)。會議中策略目標C(Strategic Goals C)通過，為了增進生物多樣性必須藉由維護生態系、物種及遺傳多樣性等方法改善；指出重要的生物多樣性和生態系統服務的地區，到2020年至少有佔全球面積17%之陸地和內陸水域和10%沿海和海洋地區，需透過有效和公平地保護管理措施，讓具有生態代表性、良好連接系統及有效面積的保護區受到保護 (<http://www.cbd.int/sp/targets/#GoalC>, 2011)。

雪山一直是臺灣相當重要的地景(landscape)及高山生態系，自武陵地區隨海拔梯度上升直至雪山主峰，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*)、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、亞寒帶針葉林為主。而部分受火燒干擾地區則形成森林與玉山箭竹(*Yushania niitakayamensis*)動態推移之森林界線。由於全世界各類型長期生態研究計畫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，結合資料庫應用、分析，以瞭解目標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。因此雪霸國家公園管理處自2009年起為落實國家公園永續發展目標，於雪山高山地區進行先期之整體調查及設立長期監測測站，各子計畫皆以高

山生態系為研究主軸，截至本年度(2011年)雖已累積2年的調查成果，但仍有許多基礎資料尚待持續累積及研究。

本計畫「雪山地區高山生態系長期監測與研究」為整合型計畫，強調各研究群或子計畫間的合作、研究資料的標準化與互通性，另配合「97年至100年國家公園中程計畫」及「2010生物多樣性公約締約方大會(CBD-COP10)之愛知目標」，達成以下目標：

1. 建立、蒐集、整合及強化雪山地區高山生態系基礎生物及非生物因子資料。
2. 建構雪山地區高山生態系基礎生物及非生物因子資料之長期監測系統，訂定標準化監測方式。
3. 建立長期高山生態系研究工作站，逐步建置完整之地理資訊系統(含資料庫)，落實長期監測資料庫之推動及分享。
4. 瞭解高山生態系生物群落演替過程及機制，並整合各項調查結果，以瞭解高山生態系食物鏈能量流動方向。
5. 評估適用之生態模型以推估全球氣候變遷對高山生態系可能之影響。
6. 提供臺灣高山生態系研究的科學資料，作為雪霸國家公園於高山生態系經營管理之環境決策參考。
7. 雪山地區在集水區架構上，屬武陵地區中尺度生態系之上游及高海拔地區，本計畫期望能與雪霸國家公園所進行「武陵地區長期生態監測暨生態模式建立」整合型研究進一步連結，以提供雪霸國家公園管理處更臻完善之經營管理策略。

本計畫各項研究具體目標及工作項目如下：

### (一) 高山微氣象與熱量收支之研究

森林生態系的熱量(輻射能)收支是瞭解生態系功能所必需的基本資料。森林生態系中許多物質與熱量的傳輸均是依循環的路徑進行。以集水區為單元的監測水文、營養鹽、與熱量收支，因為其輸入與輸出較容易確認，是許多生態系研究所依循的方式(夏禹九，1997)。本研究藉由分量參數的基本觀測，應用熱量與水文收支的方程理論，定量化雪山生態系熱量與水文量的收支；並將基本觀測資訊，提供予其他子計畫：諸如光合與呼

吸作用的熱量形式轉換及各種元素的循環，生產者、消費者、分解者與各種環境因子的相互作用，及其對該生態系內養分循環與熱量流動的貢獻等相關研究與管理單位之參考。

## **(二) 集水區環境資料之建置與應用研究**

國家公園轄區集水區經營管理成效之考量因素頗多，如何整合相關科學量化萃取集水區環境資料，建置指標供集水區經營管理成效評估之用極為重要。另各學科於集水區應用上常有其適宜性之環境指標，且指標種類繁多，加上需考量其尺度性、時間性及空間性，若能選用合適之環境指標於集水區環境復育上，更可事半功倍。因此，本研究針對各學科於集水區環境復育上常使用之相關環境資料進行指標蒐集及建置，並依應用層級及類別進行歸納，選擇適當之樣區進行環境指標評估及篩選，以供集水區環境復育之用，如地形演化、地景變遷、植生復育及水源涵養能力等分析；最後將環境指標進行整合性評估及綜合研析，期有效提供於集水區環境復育時之參考依據。

## **(三) 雪山地區主要林型菌根共生關係之研究**

調查雪山主線不同海拔之主要林型植物的菌根共生狀況，同時也分析植群根域處土壤特性與養分狀況，瞭解菌根在雪山生態系中對植物吸收養分之關係。

## **(四) 雪山地區植物物候調查**

1. 建構雪山高山生態系種子植物之物候特性，藉以了解植物與氣候變化之關係。
2. 從雪山主峰沿線依不同海拔及植群帶，挑選適宜的路段進行物候調查，以建立雪山地區植物之物候基本資料。
3. 挑選較具代表性、研究性的物種進行特定樣株之觀察，並藉由觀察葉芽、花苞、盛開花朵、果實等數量進行訪花昆蟲觀察記錄、授粉結實率等定量分析。
4. 可望從物候資料和其他子計畫如鳥類群聚與生態研究、高山昆蟲多樣性及功能群之研究做整合分析，更進一步了解雪山地區高山生態系。

### **(五) 雪山地區高山植群生態研究**

1. 建構雪山高山生態系完整植群生態研究。
2. 分析雪山高山生態系不同微棲地植群結構。
3. 建構雪山高山生態系之植群模式。

### **(六) 昆蟲棲群動態及功能群研究**

經由昆蟲生態相關建立，探討全球變遷對高山生態系所可能產生之影響。探討高山及寒原生態系特性與穩定性之因子，以做為永續經營決策之參考。研究生態系中的昆蟲之組成分佈，並從食物鏈的關係進一步探討消費者、分解者功能及其與生產者授粉上所扮演的角色；配合其它子計畫的工作人員執行，以達更有效率執行此計畫。

1. 建立各級消費者及分解者之昆蟲資料及棲群變動。
2. 建立杜鵑、當歸、高山薊等開花植物之昆蟲功能群。
3. 配合其它計畫，建立昆蟲基本資料及棲群變動，分述如下：
  - (1) 配合氣象資料，分析昆蟲組成變化。
  - (2) 依海拔，分析昆蟲組成變化。
  - (3) 不同植物群落下，枯枝落葉及土壤內的昆蟲調查。
  - (4) 各類主要植物植群上的昆蟲調查分析。
  - (5) 配合鳥類的調查，探討昆蟲為其食餌食物來的調查。
  - (6) 火燒跡地調查。
  - (7) 配合建置高山生態系資料庫，加入昆蟲的資料。

### **(七) 雪山地區鳥類群聚與生態研究**

1. 比較臺灣鐵杉、臺灣冷杉、玉山箭竹和高山芒等植物社會中鳥類群聚組成的年間和季節變化。
2. 探討鳥相時空變化和環境因子間的關聯。
3. 調查常見鳥類酒紅朱雀不同性別、年齡的存活率。
4. 探討酒紅朱雀使用三六九山莊廚餘和其體內有害成分濃度相關性。

### **(八) 雪山地區哺乳類動物及其棲地調查**

本調查針對以雪山地區作為研究區域，以武陵-雪山的海拔高度及不同林相植被為依據進行哺乳動物相普查。調查對象涵蓋中大型哺乳動、小型

齧齒類及鼯型目動物、蝙蝠等三大類。調查結果除詳列物種名錄外，並將分析海拔梯度的分佈變化，以鹿野忠雄 1940 年的調查資料做比較，瞭解環境與氣候變遷對哺乳動物生息衝擊。本計畫成果將提供雪霸國家公園在未來保育政策、教育解說及經營管理上之參考依據。整體計畫目標為：

1. 整區過往哺乳動物相調查及文獻。
2. 調查雪山步道沿線哺乳動物各物種(包含中大型哺乳動物、小型哺乳動物及翼手目)、相對數量、分佈及多樣性指數分析。
3. 完成哺乳動物資料庫之建置與更新(含座標定位、影像資訊)。
4. 結合其他子計畫之成果，分析環境因子與哺乳動物間相互關係。
5. 提供資料以利國家公園作為保育經營管理及推廣教育之參考。

#### **(九) 建置雪山生態系資料庫**

1. 依循國際標準，建立可供長期保存、容易交換整合的資料庫，並建立網站平臺，供公眾取閱。
2. 建置雪山生物調查(Occurrence)資料庫，並開放於網站，供公眾取閱。
3. 建置雪山生態調查監測資料庫，並開放於網站，供公眾取閱。
4. 建置雪山環境調查監測資料庫，並開放於網站，供公眾取閱。

## **二、三六九山莊草生地火後之生物群落恢復情形整合探討**

三六九山莊草生地火燒已過近 3 年的時間，火後各生物群落之時序變化與恢復情形因各種生物群落之生物與生態特性不同，恢復模式亦有所差異。本文嘗試以不同統計分析方式，根據 2009、2010、2011 及 2012 年之氣象、鳥類、昆蟲及植物團隊的資料進行匯整，探討各生物群落在亞高山草生地火後之恢復短期動態演替。

本研究將 2009 年 2 月至 2012 年 3 月之資料，依季節畫分(12 月、1 月及 2 月為冬季，3 月、4 月及 5 月為春季，6 月、7 月及 8 月為夏季，9 月、10 月及 11 月為秋季)並平均各團隊之物種數、Shannon diversity 及均勻度等多樣性指數，期能透過分析了解生物群落是否隨火後時序增長而有一特定變化之趨勢性。結果顯示(圖 0-1d)，雪山地區之雨量多集中於夏季，然 2011 年之秋季較 2009 和 2010 年來得少，整體而言降水量明顯較 2010 年少，各季之氣溫變化則以 2011 年之夏季較高(11.1 °C)且延續至秋季(季節均溫為 10.4 °C)，而 2009 年及 2010 年之冬季溫度則無明顯差異。

各生物群落於火後之變化趨勢與季節動態有關(圖 0-1a、0-1b 及 0-1c)，由物種數量的多寡，可直觀反映火後物種隨時序增長進入火燒區域之數量，2008 年 12 月火燒後 8-9 個月，各生物群落之變化幅度較大，且昆蟲與植物至 2009 年秋季物種數量明顯快速增加；在 2010、2011 及 2012 年夏季，各生物群落皆有明顯的高峰期，然仍以昆蟲群落有較明確的波動，推測因為本樣區是為一草生地樣區，僅管會有部份鳥類於該場域取食或為棲息地，故火後之變化性仍較昆蟲群落低，由 2010 年、2011 至 2012 年之變化趨勢可見兩生物群落皆逐漸達到穩定之狀態。

Shannon 多樣性指數可反映一群落於特定區域及時期之物種組成是否已有優勢物種形成，若該值較大則表示該群落之個體於各物種之分布相當均勻，2008 年火後各生物群落皆有逐漸上升的趨勢，然在各年度之冬季，各生物群落之 Shannon diversity 有下降之趨勢，反映季節變化造成在更為嚴苛的環境時，僅有少數物種仍於該時期在草生地活動。均勻度亦可反映個體於各種之分配情況，然僅鳥類於初期有較大之變動，各生物群落之均勻度隨時序推演有穩定之趨勢。

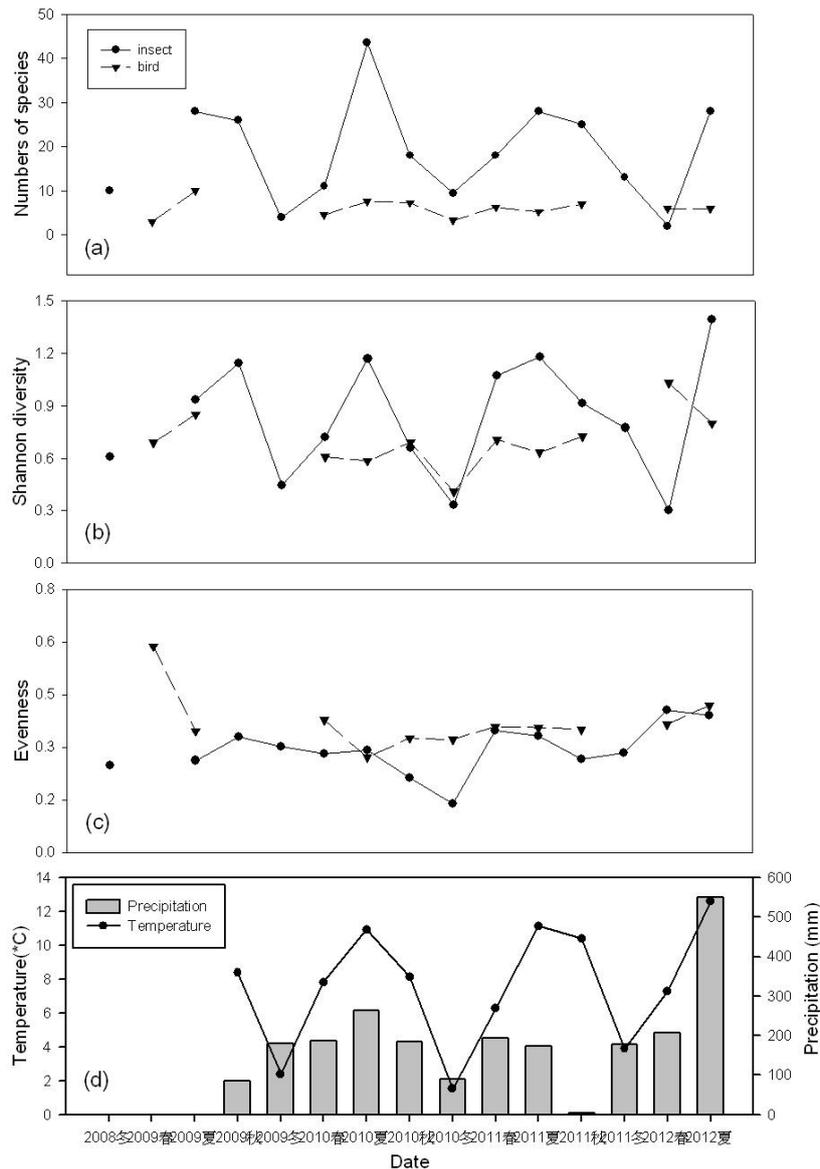


圖 0-1. 各生物群落於火後(2008 年 12 月)各季節變化之趨勢。各季節之畫分為 12 月、1 月及 2 月為冬季，3 月、4 月及 5 月為春季，6 月、7 月及 8 月為夏季，9 月、10 月及 11 月為秋季；(a) 鳥類(▼)及昆蟲(●)於火後物種數量之變化圖；(b) 鳥類(▼) 及昆蟲(●)於火後 shannon diversity 之變化圖；(c) 鳥類(▼) 及昆蟲(●)於火後均勻度之變化圖；(d) 曲線為各年度之季節均溫，直條圖為各年度之季節平均降水量。

(資料來源：本研究資料)

比較各時期兩生物群落之多樣性動態，隨著時間推演，至 2012 年已見達穩定，然可由圖推估三六九山莊之溫度及雨量兩環境因子與兩生物群落之多樣性有關，再利用無母樹分析之 Kendall 相關性進行兩生物群落及 2 個環境因子之關係研究，結果顯示(表 0-1)，兩生物群落之相關性不顯著，然溫度與兩生物群落有顯著相關( $p < 0.05$ )，且昆蟲群落與溫度的之相關性

表 0-1. 雪山三六九山莊於火後各生物群落物種數之 Kendall 相關表

	昆蟲種數(n=13)	鳥類種數(n=13)	溫度(n=13)	降水量(n=13)
鳥類種數(n=13)	0.528			
	0.058			
溫度(n=13)	<b>0.743</b>	<b>0.612</b>		
	0.003	0.040		
降水量(n=13)	0.229	0.135	0.406	
	0.237	0.365	0.095	

(資料來源：本研究資料)

較鳥類群落與溫度的相關性高，推測因為溫度與植物群落相關性應最為密切，當溫度由冬季低溫回升至一定水平後，各個植物物種便會因溫度的誘導而萌芽更新，多數植食性的昆蟲便會因溫度回升以及食物來源在這時期增加而擴大族群數量，間接也使的蟲食性之鳥類於溫度較高之時期進入三六九草生地生態系。

在探討各季生物組成的差異，本研究以 DCA 對兩生物群落分別於 2009 年 2 月、2009 年 9 月、2010 年 4 月、2010 年 6 月、2011 年 5 月、2011 年 7 月、2011 年 10 月、2012 年 3 月；2012 年 6 月之資料進行分析，結果顯示(圖 0-2 及圖 0-3)，不論以何種生物群落作為計算各時期之樣區，可發現樣區於各排序圖上的分布都有相同的配置；利用攝食者作為排序圖上之箭頭被取食者為排序圖上之點位，探討被取食者與攝食者間隨時序增長之變化趨勢，由鳥類之 DCA 排序圖及昆蟲與鳥類之 DCA 排序圖(表 0-2, 圖 0-4)亦可見相同之趨勢，各時期之分數以昆蟲組成矩陣進行計算，第一軸明顯代表隨著月份變化之趨勢性(第一排序軸由左至右分別為二月至九月)，褐頭花翼與昆蟲組成矩陣相關性最高(箭頭長度最長)，反映其取食昆蟲之重要程度性高，然栗背林鴿與昆蟲組成矩陣相關性雖不若其他鳥種高，此因其為早期出現之鳥種，雖在其他時期皆有調查到其族群，然隨季節的變化該族群卻無明顯遞減趨勢，因此與昆蟲組成矩陣關聯性較低。

酒紅朱雀及鷓鴣為雜食性鳥種，與昆蟲群落之相關性相對其他鳥種較低，排序圖中無點位的出現，然本研究之鳥類團隊針對雪山主峰沿線之研究亦發現，酒紅朱雀以廚餘為其主食的情況日益嚴重(黃永坤等，2010)，可能使該種與昆蟲群落之關聯性降低，此一現象實際與受酒紅朱雀取食之昆蟲或植物有何影響尚有待觀察。

表 0-2. 雪山 369 山莊草生地樣區鳥類群落降趨對應分析前

3 軸之特徵值與各軸變異性			
	軸 1	軸 2	軸 3
特徵值(eigenvalue)	0.217	0.070	0.012
變異解釋率(%)	38.299	12.354	2.118
累積變異解釋率(%)	38.299	50.653	52.771
軸長(length of gradient)	1.132	0.949	0.621

(資料來源：本研究資料)

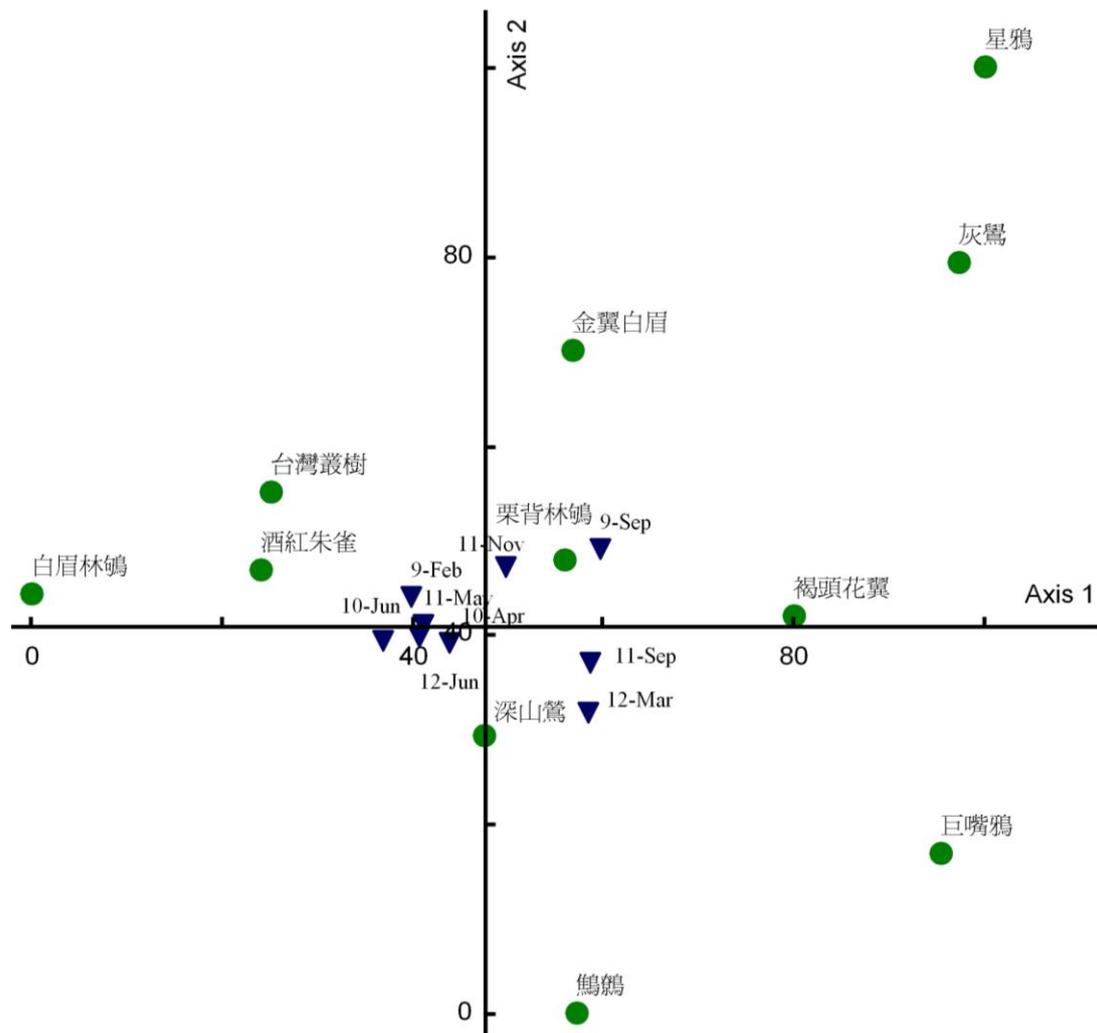


圖 0-2. 雪山 369 山莊草生地鳥類群落之 DCA 排序圖。圖為 2009 年 2 月至 2012 年 6 月 9 個時期(▼)之鳥類組成(●)。

(資料來源：本研究資料)

表 0-3. 雪山 369 山莊草生地樣區昆蟲群落降趨對應分析前

3 軸之特徵值與各軸變異性

	軸 1	軸 2	軸 3
特徵值(eigenvalue)	0.630	0.136	0.052
變異解釋率(%)	36.807	7.928	3.045
累積變異解釋率(%)	38.807	44.735	47.780
軸長(length of gradient)	3.075	1.580	1.185

(資料來源：本研究資料)

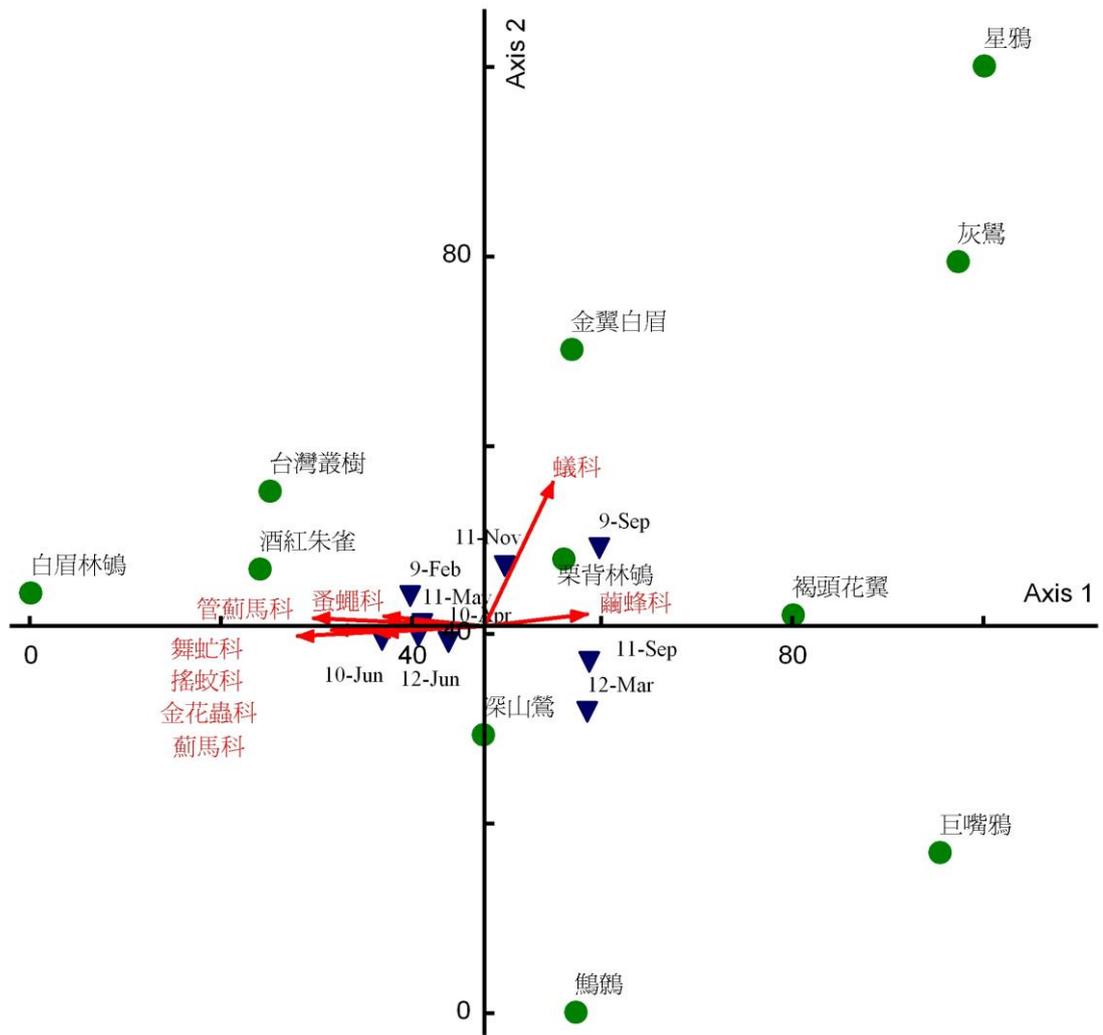


圖 0-3. 雪山 369 山莊草生地植物與昆蟲群落之 DCA 排序圖。圖為 2009 年 2 月至 2012 年 6 月 9 個時期(▼)之鳥類組成(●)及昆蟲組成(紅色箭頭)。

(資料來源：本研究資料)

# 第一章 雪山高山微氣象與水量與熱量時空分布特性

魏聰輝、林博雄

國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處、國立臺灣大學大氣科學系

## 摘要

關鍵詞：高山微氣象、雪尺、雪深計、降雪量、雪山圈谷

### 一、研究緣起與背景

地表積雪是全球環流模式針對氣候模擬的過程中，相當重要的參數。先前的研究指出地表積雪是一層相當有效的阻隔層，減緩了陸氣之間的熱通量傳遞，並延遲了降水進入地表逕流和土壤的時間，可將積雪視作高山地區的「延遲性降水」；除此之外，融雪過程對潛熱的吸收使地表溫度長時間維持在 0°C；因此，雪對於高山生態系是一個相當重要的環境因子。

臺灣雖位處於亞熱帶地區，但在 3,000m 以上的高山，到了冬季只要獲得充足水氣就有機會發生降雪，甚至累積可觀的積雪。本研究利用「雪山生態系整合計畫」於雪山東稜沿線所架設的兩座微氣象站(2010 年至今)，分別位於海拔 3,600m 地表裸露的雪山圈谷、海拔 3,400m 受到臺灣冷杉遮蔽的黑森林，並藉由雪深尺界定出 2012 年 1-3 月重要降雪事件的時段。由觀測結果可看出積雪層的確減緩了陸地和大氣之間熱量的交互作用，抑制了地表及土壤溫度的變化，且暫時阻斷了土壤水分的來源，使土壤含水量逐漸降低。積雪融化時，草溫維持在融點 0°C、融雪注入土壤使含水量上升、陸氣交互作用恢復、地溫和草溫開始隨氣溫振盪變化。

降雪會造成顯熱通量驟降，受到森林遮蔽的影響，雪山黑森林站輻射收支和積雪深度皆未達圈谷的二分之一，雖然主要驅動地表積雪融化的淨輻射通量較低，但受到森林的保溫作用，使融雪的過程較圈谷顯著且持續，潛熱通量逐漸增加。而位處不同緯度的雪山、合歡山主峰微氣象站(2011 年 12 月至 2012 年 5 月)和玉山北峰氣象觀測站(1960 年至今)，降雪事件雖然同步發生，但隨著緯度上升，積雪深度逐漸增加。

本研究更透過遙測(Remote Sensing)資料了瞭解全臺灣的降雪分布；選用 2010 年和 2011 年各一個時段的衛星遙測資料，分別利用 MODIS 衛星

光譜資料的 Snow Cover Channel 及 SPOT 衛星影像所計算的出的 Normalized Difference Water Index (NDWI)，來和雪山圈谷相同時間的音波雪深計的測量結果進行校驗。在這兩個時段中，SPOT 衛星影像資料計算出 NDWI 所推估的降雪面積，不論是春季雪山圈谷的殘雪，或是雪季時遍布聖稜線的積雪，表現都相當好；反之，MODIS 衛星光譜資料的 Snow Cover Channel 受到森林遮蔽的影響，並沒有辦法得到正確的降雪分布。

最後，利用一維的陸氣交互作用模式—Simplified Simple Biosphere Model(SSiB)進行土壤含水量及溫度的模擬。藉由輸入地表以上的氣象觀測資料，以及設定地表和土壤條件的初始場，進而評估預判土壤含水量和土壤溫度的可行性。雖然在考慮了一層地表積雪厚的模擬結果和觀測的相關性提高了，但相關係數仍然偏低。未來工作可著重應用本研究所累積的觀測資料於其它陸氣模式(如：NOAH)的校驗。

臺灣島位處亞熱帶，在過去四十年的氣象局觀測資料當中，低於一千m的平地測站非常罕見出現降雪事件，而降雪也鮮少納入臺灣全島的水文收支計算中，只有3,000m以上高海拔地區，到了冬季只要氣象條件適合，獲得充足水氣就有相當高的機率發生降雪，再加上地形配置，積雪甚至可以達到相當可觀的深度。以合歡山主峰的雪季最為眾所周知，除此之外，全臺灣最高的氣象局局屬測站「玉山北峰測站」每年雪季的積雪深度測量為全臺灣最完整的降雪資料。雪山高山生態系自2009年設站後共經歷了二年的降雪季節，分別為2010年(2009年12月至2010年4月)計34場降雪、由雪深計所觀測得到總積雪深度為100.6 cm；2011年(2010年12月至2011年4月)計37場降雪、所觀測總積雪深度為110 cm。所推算獲得之等量降水為2010年的102 mm、2011年的110 mm，各約占年雨量的4.40%、6.46%。

根據觀測數值可理解，臺灣地區對於降雪量之觀測向來予以忽視是其來有自的；然而雪山高山生態系係少數每年可發生降雪的地區，降、積雪期所特有的熱力狀態與分布，生物在此期間的生活調適等為不可多得的研究材料。本研究遂於2012年1月上旬增加積雪深度觀測設施，以對照雪深計(SR50A)、傾斗式雨量計觀測數值，並藉觀測數據之結果，探討雪深計在臺灣地區之適用性，供相關單位之參考。

在中、高緯度地區，降雪則是冬季普遍的天氣型態，地表積雪是一層相當有效率阻隔層，除了減緩大氣與地表間各項熱通量的交互作用之外，也延遲了地表逕流和土壤濕度的水分來源(Sun *et al.*, 1999)，因此，若要增進對土壤的含水量和地表逕流量預測的準確度，冬季地表積雪融化後，注入土壤中的水量便是一個相當重要的影響因素(Xue *et al.*, 2003)。在臺灣低海拔的偶發降雪以及高山的冬季降雪，將大氣欲注入土壤的水分，以固態堆置於地表之上，形成積雪；融雪，則是將固態水融化成液態水注入土壤，這樣的過程可以視作「延遲性降水」(魏聰輝等，2007)，這對於高山地區冬季的土壤含水量驟減和春季的含水量上升有相當大的影響。

降、積雪期間的氣象條件，則可分析熱量收支，供氣候變遷模式之數理驗證依據。因此，希望透過雪山氣象觀測計畫分析相關的氣象參數，更希望進一步地藉由垂直一維大氣陸地間交互作用模式—Simplified Simple Biosphere Model(SSiB)(Xue *et al.*, 1991)，將地表以上的氣象觀測資料輸入SSiB模式中，這些觀測輸入參數包括：向下短波輻射、向下長波輻射、降水量、風場、氣溫以及氣壓，SSiB便會分析出這一測點底下的土壤濕度、土壤溫度等參數，在和觀測數據比對之後，若趨勢變化有相當程度的吻合，那麼SSiB便可用以評估不同的生態系所需要的近地表氣象資訊，降低各高山地點架設氣象觀測站的人力與物力需求。

## 二、研究方法及過程

- (一) 持續前三年高山微氣象參數之觀測，並將觀測結果提供予其他子計畫；
- (二) 統計分析雪深計、傾斗式雨量計之觀測值；
- (三) 安裝雪尺(snow stick)與自動相機，交叉對照雪深計、傾斗式雨量計之觀測結果；
- (四) 分析降、積雪的空間與時間分布特性；
- (五) 利用空間解析度較高的SPOT衛星反演計算出NDWI值；
- (六) 利用一維的陸氣交互作用模式—Simplified Simple Biosphere Model(SSiB)進行土壤含水量、熱通量及積雪層的單點模擬；

- (七) 應用包文比能量平衡法(Bowen ratio energy balance method)估算降雪熱量收支。

### 三、成果

- 1.使用雪尺搭配自動相機量測降雪、積雪深度的傳統觀測方法，對照使用雪深計的電子式紀錄觀測方法，兩種同性質的觀測方法，可獲得誤差比率較低的觀測結果。
- 2.降雪的時間分布，圈谷氣象站的降雪日數、積雪日數、降雪深度、最高積雪深度與初雪、終雪日期，各年的分布不一，但可以認為終雪日期對於生態系的影響較為顯著；2010年4月29日終雪與前一場降雪事件間隔達36日，時序已進入植物發芽期，該場降雪事件發生得極為特殊，極有可能產生凍害，進而影響該年分之營養或繁殖生長。
- 3.降雪的空間分布，根據2012年四處氣象站的觀測結果顯示，降雪深度、降雪日數、積雪日數、最大積雪深度等統計介量，均呈現隨海拔升高則逐漸增加的趨勢。
- 4.使用空間解析度較高的SPOT衛星反演計算出的NDWI值，利用此指數在圈谷地區分布不連續的特性加以估計降雪面積，在對照實際的觀測紀錄後，可認為SPOT衛星所計算的NDWI判讀結果相當理想。
- 5.利用一維的陸氣交互作用模式－Simplified Simple Biosphere Model(SSiB)進行土壤含水量、熱通量及積雪層的單點模擬；目前SSiB只有初始場設定單層積雪的版本，模擬的效果與實際觀測比對結果不甚理想，需要更多的觀測情報施行修正。
- 6.以包文比能量平衡法(Bowen ratio energy balance method)計算潛熱及顯熱通量，使這兩項熱通量和太陽輻射通量趨勢太過相近，且臺灣地區濕度高，垂直溫度及濕度梯度非常小，在計算過程中常會遇到錯誤，因此，未來若要再進一步探討地表熱通量收支，建議同時採用綜合法(Bulk method)等其他近地面熱量收支計算方法，進行分析並比較各種計算方式在臺灣地區的適用性。

#### 四、主要建議事項

##### (一) 立即可行建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處、國立臺灣大學  
大氣科學系、國立中興大學森林學系

建議事項：

雪山地區已是國內知名的登山景點，「賞雪」尤為吸引遊客上山的元素之一；根據圈谷氣象站三年雪季的觀測資料顯示，最大積雪深度可達65.3 m，這種深度一旦過夜後，將由「鮮雪(fresh snow)」轉變為「熟雪(ripen snow)」，積雪物理型態將轉變為密實而容易打滑，此外，積雪深度過高，許多登山步道路跡將被掩埋而易於造成迷路事件，為了避免無法預期的山難事件，應針對易於迷路之登山步道，裝設醒目的指示標誌。

##### (二) 中長期建議事項

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處、國立臺灣大學  
大氣科學系、國立中興大學森林學系

建議事項：

氣象現況為規畫登山旅遊活動的重要資訊，諸如「降雨」、「霧」、「降雪」及「積雪」等訊息，是決定規畫活動是否成行的參考依據；因此，建構即時觀測資訊的傳輸硬體設備，為中長期應達成的課題。

對於衛星影像的應用，SPOT衛星影像所計算出的NDWI對於積雪分布範圍掌握良好，在未來可持續蒐集各個時段SPOT衛星的高解析度影像，計算NDWI和更多的降雪個案進行比較，以得到更準確的NDWI不連續臨界值，來界定積雪分布的範圍。除此之外，也可利用MODIS衛星光譜資料中相同的波段，計算NDWI值，進而比較不同解析度的計算結果。

未來若有更豐富的資源，便能增加衛星影像的數量，再進一步地配合其他生物參數，加以去除植物體含水的訊號，便能夠更清楚的掌握同時受到降雪影響的生態系範圍。地表以上的氣象觀測輸入SSiB model來得到土壤的合理反應狀態，便可減少地表以下的觀測儀器。

使用包文比能量平衡法(Bowen ratio energy balance method)進行熱通量分析，對於儀器需求較小，可減少購置費用的負擔，計算起來亦極為便利，但計算潛熱及顯熱通量兩項熱通量的結果，數值和太陽輻射通量趨勢太過相近，且臺灣地區濕度高，垂直溫度及濕度梯度非常小，在計算過程中常會遇到錯誤，因此，未來若要再進一步探討地表熱通量收支，建議可以同時採用綜合法(Bulk method)等其他近地面能量收支計算方法，進行分析並比較各種計算方式在臺灣地區的適用性。

## Abstract

【Keywords】 alpine micrometeorology, snow stick, snow depth sensor, snowfall, Syueshan Cirque

Snow/ice cover is one of the significant factors in global circulation models on climate simulation. Previous studies have revealed that snow cover is an effective insulator of the soil thermal column and is also the main source of soil water content after melting. In the high latitude or altitude places, the process of summer snow melting provides latent heat flux toward surface and result in prolonged period during which daily mean temperature maintain  $0^{\circ}\text{C}$ . The water equivalent of snow in the high latitude or altitude place is about 25% of annual precipitation there.

In Taiwan, there is less chance to snow, but on the mountain regions with altitude over 3,000m. From September of 2009, we have measured air/grass/soil temperature, soil water content, wind and precipitation at Syueshan Cirque (bare open space at 3600m, SP1) and Black Forest (canopy cover space at 3,400m, SP2). The measurement shows that the snow cover substantially damped temperature variability in winter and hold the source of soil water content on the ground.

During snow falling, the temperature, sensible heat flux (H) and water content decrease sharply. During snow melting, the net radiation is the most component of snow melting heat and the latent heat also increase significantly. Especially, the net radiation at SP1 is twice more than SP2 Site. Therefore, the ratio of snow melting heat at these two sites is up to 3. In addition, the variation of daily average air temperature, net radiation and snow depth at SP2 are smaller than SP1 site.

To know the area of snow, we collected two cases from SPOT satellite and MODIS satellite image. After comparing with observation data, the area of snow defined by NDWI (Normalized Difference Water Index) calculated by SPOT is better than the snow cover of MODIS.

The snow depth data of three weather stations over 3,000m (Hehuanshan, Syueshan and Yushan) in the wintertime of 2012 were collected and compared, the highest depth is in Syueshan. But, there were snow falling signal in every station at the same time. Confirming the different measuring methods is one of our ongoing works.

And we collect the long wave radiation at Hehuanshan for the input parameterization of SSiB (Simplified Simple Biosphere) model. The model simulation will be tested to compare our field measurement at Syueshan Cirque. With one-dimension land-biosphere-atmosphere model, the temperature inter-annual variation can be represented. However, in the preliminarily test, the air temperature is underestimated and the soil wetness and heat flux are not consistent to our measurements. Confirming parameterization skills and initial data setting in SSiB keeps going. Besides, the observation data collected in this research can be compared with the simulation of other land-air interaction model (*eg.* NOAH, etc.) in the future.

## 一、研究緣起與背景

熱與水是生命的源泉，是生命系統中最為活躍、影響最為廣泛的因子，生態系中生命活動的範圍受制於熱與水的分布。水在生態系範圍內的運轉，影響著大氣環流與氣候變化，熱量與水量的相互作用控制著生物圈的形態，推動各種物質在生態系中的循環與交流。

臺灣的山地佔了總面積三分之二，山區雲霧帶的大氣條件，創造特有的生物繁衍環境(蘇鴻傑，1984)；以生態系為空間尺度的微氣象，隨海拔高度而變化，海拔遞升則氣壓、氣溫遞減，間接影響氧與二氧化碳分壓。過去的研究指出，臺灣地區降水量則隨海拔遞升而遞增。山區風系的日變化機制與律動，則受到地形的修飾。

綜上所述，高山森林生態系中，舉凡動、植物的物候變化、土壤生物、物理、化學性質、高山植物之生態生理特性等相關研究，均需透過本研究之基礎觀測資料，應用熱量與水文收支的方程理論，探討時間與空間的分布特性，為水文與熱量收支在生態系中所發揮的綜合效應，提供理論解釋。

地表積雪是全球環流模式針對氣候模擬的過程中，相當重要的參數；先前的研究指出地表積雪是一層相當有效的阻隔層，減緩了陸氣之間的熱通量傳遞，並延遲了降水進入地表逕流和土壤的時間，可將積雪視作高山地區的「延遲性降水」；除此之外，融雪過程對潛熱的吸收使地表溫度長時間維持在 0°C；因此，雪對於高山生態系是一個相當重要的環境因子。

臺灣雖位處於亞熱帶地區，但在 3,000m 以上的高山，到了冬季只要獲得充足水氣就有機會發生降雪，甚至累積可觀的積雪。本研究利用「雪山生態系整合計畫」於雪山東稜沿線所架設的兩處微氣象站(2010 年至今)，分別位於海拔 3,600m 地表裸露的雪山圈谷和海拔 3,400m 受到臺灣冷杉遮蔽的黑森林，並藉由雪深尺界定出 2012 年 1 月至 3 月重要降雪事件的時段。由觀測結果可看出積雪層的確減緩了陸地和大氣之間熱量的交互作用，抑制了地表及土壤溫度的變化，且暫時阻斷了土壤水分的來源，使土壤含水量逐漸降低。積雪融化時，草溫維持在融點 0°C、融雪注入土壤使含水量上升、陸氣交互作用恢復、地溫和草溫開始隨氣溫振盪變化。

降雪會造成顯熱通量驟降，受到森林遮蔽的影響，雪山黑森林站輻射收支和積雪深度皆未達圈谷的二分之一，雖然主要驅動地表積雪融化的淨輻射通量較低，但受到森林的保溫作用，使融雪的過程較圈谷顯著且持續，潛熱通量逐漸增加。而位處不同緯度的雪山、合歡山主峰微氣象站(2011年12月至2012年5月)和玉山北峰氣象觀測站(1960年至今)，降雪事件雖然同步發生，但隨著緯度上升，積雪深度逐漸增加。

本研究更透過遙測(Remote Sensing)資料了瞭解全臺灣的降雪分布；選用2010年和2011年各一個時段的衛星遙測資料，分別利用MODIS衛星光譜資料的Snow Cover Channel及SPOT衛星影像所計算的出的Normalized Difference Water Index (NDWI)，來和雪山圈谷相同時間的音波雪深計的測量結果進行校驗。在這兩個時段中，SPOT衛星影像資料計算出NDWI所推估的降雪面積，不論是春季雪山圈谷的殘雪，或是雪季時遍布聖稜線的積雪，表現都相當好；反之，MODIS衛星光譜資料的Snow Cover Channel受到森林遮蔽的影響，並沒有辦法得到正確的降雪分布。

最後，利用一維的陸氣交互作用模式—Simplified Simple Biosphere Model (SSiB)進行土壤含水量及溫度的模擬。藉由輸入地表以上的氣象觀測資料，以及設定地表和土壤條件的初始場，進而評估預判土壤含水量和土壤溫度的可行性。雖然在考慮了一層地表積雪厚的模擬結果和觀測的相關性提高了，但相關係數仍然偏低。未來工作可著重應用本研究所累積的觀測資料於其它陸氣模式(如：NOAH)的校驗。

## 二、研究設計

### (一) 氣象站觀測項目

主要研究地點位於雪山主峰稜線；雪山主峰線從武陵蜿蜒而上，隨海拔遞升而遞變為溫帶針闊葉林、亞寒帶針葉林；為臺灣研究高山生態系重要的區域之一。雪山因特殊的地理環境，每年冬季寒潮來襲之際，屢因充沛的水氣與低溫造成積雪現象，形成相當特殊的熱力環境。另一方面，臺灣地區高於海拔2,000m以上測站數目只有8站(邱清安，2006)，且僅以氣溫、降雨量為觀測項目，亟須增設觀測地點及項目以一窺整體全貌。

2009年依循群體計畫所設置之永久樣區而設置四處氣象站，氣象站相

關位置如圖 1-1 所示；設置地點之立地條件、站名與代碼、觀測之要素及感應器、裝設高度或埋設深度等資料詳如表 1-1。

觀測數據係以每分鐘掃描取樣一次，每一小時(正時)經統計後紀錄之，各要素之統計方式依照交通部中央氣象局所編印之「地面氣象測報作業規範」之規定，單位採用公制。

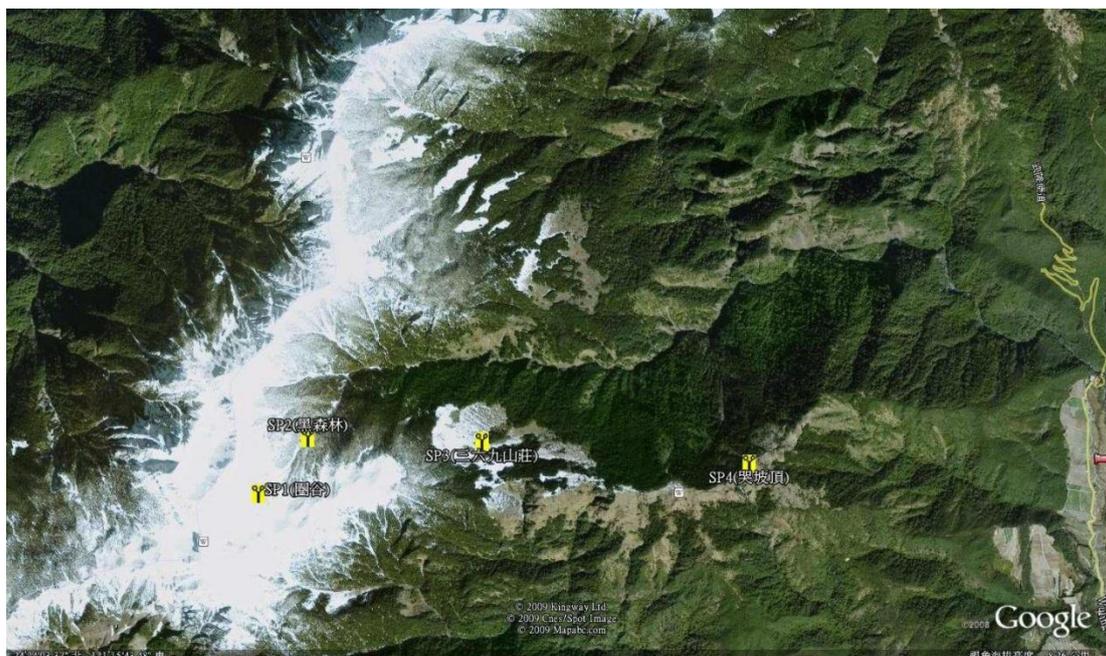


圖 1-1. 雪山地區高山生態系整合調查氣象站位置圖。

(資料來源：Google Earth, Google Inc., 2011)

由於各站設站日期前後相差達一日，為求一致，悉以2009年9月24日 1:00為初始建檔日期與時間。至目前，共前往讀取資料23次，分別為2009年10月18日-20日、11月22日-24日、12月26日-28日；2010年1月27日-29日、4月14日-16日、5月24日-26日、6月30日-7月2日、8月17日-19日、10月6日-8日、12月6日-8日；2011年2月12日-8日、4月7日-9日、5月24日-26日、7月26日-28日、9月27日-29日、11月29日-12月1日、2012年1月8日-10日、3月1日-3日、5月4日-6日、7月13日-15日、9月5日-7日、10月7日-9日、11月28日-30日。

本年度係以降雪為研究主題，各要素之變化情形，僅以逐月變化統計方式呈現。

表 1-1. 雪山地區高山生態系整合調查氣象站地理因素及觀測項目表

站名	圈谷 <sup>1</sup>	黑森林 <sup>2</sup>	三六九 <sup>2</sup>	哭坡頂 <sup>2</sup>
站號	SP1	SP2	SP3	SP4
X 座標(TWD97)	273961	274386	275879	278180
Y 座標(TWD97)	2698080	2698560	2698536	2698351
海拔高度	3,584 m	3,405 m	3,142 m	3,050 m
坡向	NE	NE	NEE	SEE
植被	玉山杜鵑 玉山圓柏	臺灣冷杉	林火跡地 高山芒草	玉山箭竹 高山芒草
地表狀態	礫石	土壤	土壤	碎石
表面層礫石比率	90%	<10%	30%	50%
出露土壤剖面	無	60 cm	60 cm	50 cm
資料處理記錄器	Campbell 1000	CR Hobo U30	Campbell 10X	CR Hobo U30
氣壓 (hPa)	■			■
氣溫 (°C)	■	■	■ <sup>3</sup>	■
相對濕度 (%)	■	■	■	■
日射量 (MJ m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	■	■	■	■
光合作用有效輻射量(mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	■	■	■	■
風速 (m s <sup>-1</sup> )	■	■	■	■
風向 (°)	■	■	■	■
降雨量 (mm)	■	■	■	■
積雪深 (cm)	■		■	
10 cm 土壤含水率	■	■	■	■
20 cm 土壤含水率	■	■	■	■
30 cm 土壤含水率	■			■ <sup>4</sup>

表 1-1. 雪山地區高山生態系整合調查氣象站地理因素及觀測項目表(續)

站名	圈谷 <sup>1</sup>	黑森林 <sup>2</sup>	三六九 <sup>2</sup>	哭坡頂 <sup>2</sup>
站號	SP1	SP2	SP3	SP4
5 cm 土壤熱流量 (KJ m <sup>-2</sup> )	■		■	
草溫 (°C)	■	■	■	■
5 cm 地溫(°C)	■	■	■	■
10 cm 地溫(°C)	■	■	■	■
20 cm 地溫(°C)	■		■	
30 cm 地溫(°C)	■		■	
50 cm 地溫(°C)	■		■	
雪尺 <sup>5</sup> (cm)	■	■	■	■

註：1:主氣象站；2:樣區氣象參數觀測站；3:哭坡頂氣象站氣壓自 2009 年 11 月 23 日 13:00 開始觀測；4:哭坡頂氣象站 0.3 m 深度土壤水分自 2010 年 5 月 25 日 17:00 開始觀測；5:雪尺搭配自動相機於 2012 年 1 月 8 至 10 日安裝；  
■:觀測項目與單位。

(資料來源：本研究資料)

## (二)、研究方法

### 1. 降雪深度之對照監測

如表 1-1 所列示，雪山高山生態系圈谷氣象站、三六九氣象站業已裝設雪深計(SR50A, Campbell Scientific Inc., Utah, USA)，及傾斗式雨量計(OTA 014, 大田計器株式會社, 日本東京)，雪深計可獲得每小時雪深變化，雨量計除觀測液態降水外，待降、積雪融解，則可獲得等量降水(equivalent precipitation)。雪深計係臺灣地區首先引用於降雪深度之監測，感測原理係由感應器輸出端輸出超音波訊號至目的點(通常為一個參考表面或降雪表層)，超音波觸及目的點後傳回接收端，依據反應時間而感知感測點的高度變化。由於音波在空氣中的傳送速度受到溫度影響，通常必須伴隨氣溫觀測，作為推算深度變化之依據。



a. 圈谷氣象站



b. 黑森林氣象站



c. 三六九氣象站



d. 哭坡頂氣象站

照片1-1. 雪山高山生態系四處氣象站雪尺安裝情形

(資料來源：本研究資料)

SR50A 型感應器目前可見於鄰近於法國 Grenoble 的 Col de Porte Experimental Site，以「METEO-FRANCE」計畫應用於雪崩之預報。但因感應器受到降雨、降雪之影響，導致與傳統觀測產生的誤差平均為 -2.64 cm，最高曾達到 -17 cm(Augros and Zanghi, 2011)。根據雪山高山生態系 2010 年(Dec. 2009 至 Apr. 2010)、2011 年(Dec. 2010 至 Apr. 2011)兩年雪季雪深計觀測資料，2010 年所推算獲得之等量降水為 100.6 mm、2011 年為 110.1 mm，對照傾斗式雨量計觀測雪季之降水量分別為 2010 年 145.0 mm、2011 年 119 mm，顯示雪深計存在著低估現象(魏聰輝等，2011)，亟待以其他設施實施對照觀測，以修正觀測值。

因應本年度研究主題，於 2012 年 1 月 8 日至 10 日，於圈谷、黑森林、三六九及哭坡頂等 4 處氣象站，各裝設雪尺、搭配自動照相機(HyperFire™ PC900, Reconyx Inc., Holmen, Wisconsin, USA)，攝取雪尺遭降雪埋沒深度之影像；雪尺改裝自測量作業所使用的箱尺，並於箱尺四分之三高度處左

右各設置一支撐柱，用以避免遭強風吹拂而倒伏(照片 1-1)；每組相機正對雪尺，從早上五點開始拍攝，每 30 分鐘記錄一張即時影像，晚上七點停止拍攝，如此便可獲得大量的降雪累積和融化的影像資料；所攝取的影像檔案儲存於記憶卡，於上山讀取氣象資料時抽換，返回實驗室後，由人工判讀降雪、積雪深度。相較於音波雪深計的雜訊干擾，這些影像紀錄較為直觀和穩定，但在觀測期間仍會受到冠叢枝葉的遮蔽、風雪霧氣降低能見度，甚至受到積雪的重壓傾倒；若遇到資料缺漏就必須利用前後的影像以及 SR50A 的觀測資料進行比對。從 2012 年 1 月至 2012 年 2 月雪山圈谷測站(SP1)兩個月雪季的觀測紀錄，資料顯示音波雪深計和雪深尺影像對於每日降雪累積量的紀錄有相當大的落差，紅線為 SR50A 去除雜訊後的累積值、藍線為目測雪尺刻度照片的積雪深度，在 2012 年 1 月 16 日、1 月 20 日、2 月 2 日、2 月 7 日、2 月 25 日五次顯著的降雪事件中，音波雪深計的測量值雖然低估了將近 50 公分，但 2 月 2 日、2 月 7 日、2 月 25 日三次較大的降雪皆有觀測到同步的趨勢；這一結果可以認為 SR50A 受到風雪、降水聲音對於音波反射造成干擾之外，推判和音波雪深計正下方的積雪並不平整有關。

## 2. 降、積雪量的時空分布

降雪為固態降水，降雪通常發生於中緯度或高緯度，在這些地區，降雪可能佔了年雨量的 25% 或更多(Lee, 1980)；臺灣雖位於低緯度，但是高海拔地區幾乎每年均有降雪機會；當雪片下降到地面開始累積，可以把它當作是一種「延遲降水」，對於某些中、高緯度的國家與地區而言，積雪融解變成水所需的時間及總量之估計，在水資源的計畫和管理方面是一個重要課題，積雪所特有的熱量性能，同時影響了土壤、大氣的熱量環境。

### (1) 降、積雪量時間分布

依據前二年之觀測結果得知，雪山高山生態系之降雪事件均始自每年 12 月(初雪)，於翌年 3 或 4 月結束(終雪)，各年之時間分布情形，有待觀測資料加以說明。

### (2) 降、積雪量空間分布

降雪隨海拔遞升而遞增的垂直分布特性，為歷史研究的共同結論，主要係因為隨海拔遞升、氣溫逐漸降低，降水遂冷凝為雪，而以固態形式下

降；降雪量與海拔兩者間的空間分布，甚至可簡略的直線相關加以描述(吉野，1986)。

依據觀測結果除了探討降雪隨海拔分布的特性，森林外部、內部之空間分布特性亦予分析與比較，探討森林冠層對於降雪之截留效應。

擁有最長期降雪觀測的中央氣象局玉山北峰氣象觀測站(1960 年至今)，為對於臺灣降雪事件的長期氣候背景場，以追溯過去臺灣的降雪事件的強度常態分布；而玉山北峰測站也是本研究討論的三個測點中，緯度最低的測站，因此，除了比較各測站地表條件差異對於降雪、融雪的影響之外，也將比較三個不同緯度所觀測到降雪事件強度的差異。

### 3. 衛星影像資料與分析

降雪對於高山生態系有著重要的影響，但若要將降雪氣象因子考慮進生態系的生物模式中，除了透過單點氣象站的現場(in situ)觀測資料，僅能滿足土壤上下的一維微氣象變化趨勢，全臺灣高山地區的降雪空間分布範圍還是得透過遙測(Remote Sensing)加以推估。

本研究嘗試使用美國太空總署 Aqua 衛星搭載的 MODIS ( Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)所反演出的 snow cover (Hall *et al.*, 1995)，以及法國的 SPOT 衛星光學影像所計算的 NDWI(Normalized Differential Water Index)常態化水勢指標(Gao, 1996)，進行雪山山區降雪覆蓋範圍的比較。

MODIS 衛星光譜資料的 snow cover 可由 NSDIC(National Snow & Ice Data Center)網站下載，該資料的空間解析度為 500m×500m，我們利用 ArcGIS 地理資訊系統圖層軟體，套疊臺灣地區 30m 解析度的 DTM 地形後匯出。MODIS 衛星光譜資料的 snow cover 資料分為兩層(Hall *et al.*, 2001)：一層是 Maximum Snow Extent，有訊號的網格代表在八天的觀測週期中，有最大降雪分布的地區；另一層是 Snow Cover 8-Day，利用二進位的參數定將八天的訊號區隔，便可得到在八天的觀測週期中，各天發生降雪的區域。snow cover 對於積雪的判斷建立在 NDSI (Normalized Differential Snow Index)的計算上(Hall *et al.*, 1995)，NDSI 公式如下：

$$NDSI = \frac{band\ 4 - band\ 6}{band\ 4 + band\ 6} \quad (1-1)$$

其中，band 4 為波長 0.555 $\mu$ m 的可見光、而 band 6 為波長 1.640 $\mu$ m 的紅外光；可見光對於積雪的反照率相當高，而紅外光卻會大量被雪所吸收，因此便可利用這兩個波段反照率的差值，比較出積雪和非積雪地區 NDSI 的差異。

SPOT 衛星資料來自兩顆先後升空的衛星，一顆為空間解析度 20m 的 SPOT-4 和另一顆空間解析度為 10m 的 SPOT-5。本研究所討論的資料由「雪山地區生態系整合計畫」共同分享，原始資料購自國立中央大學太空遙測中心，本研究再使用 ERDAS Imagine 軟體處理後，再經由 ArcGIS 軟體套疊臺灣地區 30m 解析度的 DTM 地形，並計算出各格點 NDWI(Normalized Differential Water Index) 常態化水勢指標(Gao, 1996)的大小分布。NDWI 的計算公式如下：

$$NDWI = \frac{NIR\ \rho(0.86\ \mu m) - SWIR\ \rho(1.24\ \mu m)}{NIR\ \rho(0.86\ \mu m) + SWIR\ \rho(1.24\ \mu m)} \quad (1-2)$$

利用近紅外光(NIR)和短波紅外光(SWIR)的反照率會隨著植被含水量不同而改變的特性進行計算，較乾燥植被的近紅外光反照率小於短波紅外光的反照率，所計算出的 NDWI 值較小(顏瑋利，2006)；反之，含水率較高的植被對於近紅外光的反照率大於短波紅外光，因此較濕潤植被所計算出的 NDWI 值較大。SPOT 衛星資料應用在雪山地區，由於雪山圈谷為裸露地，若有降雪累積，則該地的含水量會遠遠高出未有積雪的裸露地，NDWI 值也就會出現不連續面。

#### 4. Simplified Simple Biosphere Model (SSiB model)測試與觀測

臺灣高山地區的降雪對於雪地地表熱通量、水文收收支和各氣象參數的交互關係，和高緯度地區有著相當類似的變化趨勢，配合衛星遙測影像資料空間分不判讀，對於臺灣高山地區生態系降雪的影響，將有很大的助益；但是由測站的觀測資料中，得知降雪分佈有著相當大的區域性差異，緯度相近的圈谷測站和黑森林測站在短短的三個月內，總積雪深度就有一 m 的差異，所以各區域的測站觀測也是需要持續進行。

因此，本章將使用由 Xue *et al.* (1991)所簡化 Simple Biosphere Model (以下簡稱 SiB model)(Seller *et. al.*,1986)後的一維陸氣交互作用模式—

Simplified Simple Biosphere Model(以下簡稱 SSiB model)，希望可以藉由地表以上的氣象觀測，經過陸氣數值模式分析後得到地表和地表以下的各氣象參數之變化趨勢。

大部分的大氣環流模式往往使用簡單的參數來描述土壤的水文收支和地表生物的交互作用，但這些陸氣交互過程卻是相當複雜的，因此，架構在一維陸氣交互作用上的生物模式 SiB model，將適度簡化這些複雜且重要的過程進行有物理意義的分析，以彌補大氣環流模式對於陸氣邊界層結構的過度簡化。

對於陸地與大氣之間的交互作用，地表輻射通量、紊流傳送、地表對熱量傳輸的阻隔都是非常重要的過程，SiB model 便是針對以上的過程，提供了計算地表反射率(surface albedo)、空氣動力阻力 (aerodynamic resistance)和地表阻力 (surface resistance)有效的方法；其中，輻射模式考慮了不同的植被、天頂角和積雪覆蓋對於地表反照率的影響、生物及土壤對於熱量傳輸的描述細分為三層土壤層、兩層植被，植被的描述更利用蒸散、熱通量、根部阻力及攔截的作用，將植被種類分為 21 種(Xue *et. al*, 1991)。

為了減少繁複的計算過程，並使邊界層參數更相容於大氣環流模式中，Xue *et al.*(1991) 提出了 SSiB model，針對影響邊界層結構最有效的參數進行簡化，將原本的 44 個參數減少至 21 個(表 1-2)。該模式描繪出完整的一維循環架構，從地表以上的長波輻射、太陽輻射、降水的收支，再進入到生物圈的植被林冠的蒸散、根系的阻力和植物體對於輻射的吸收與放射，經過地表積雪對水文循環和熱通量交換的影響，進入三層土壤將熱通量和含水量的保存。簡化之後的陸氣交互作用模式，不僅僅使用的計算資源減少了 55%，對於種種參數的描述和原本的 SiB model 相差不遠甚至更符合了大氣環流模式的敏感度測試(Xue *et. al*, 1991)。

本研究利用冬季受到積雪覆蓋的臺灣高山地區測站的觀測記錄，將地表以上的氣象參數輸入 SSiB model 作為降水和輻射能量的來源，並將地表以下的觀測值設為初始場，驅使 SSiB model 模擬出該點土壤含水率、土壤

表 1-2. SiB 與 SSiB 模式參數對照表

Defnintion	SiB	SSiB
Vegetation cover	Vc, Vg	Vc
Leaf angle distribution	Oc, Og	Oc
Height of canopy top	z2	z2
Height of canopy bottom	z1	
Leaf index	Lc, Lg	Lc
Rooting depth	Zdc, Zdg	Zdc
Root length density	Dgc, Dgg	
Root cross section	Rcroc, Rcrog	
Thickness of 3 soil layers	D1, D2, D3	D1, D2, D3
Green fraction	Nc, Ng	Nc
<i>rs</i> coefficients	(a, b, c) <sub>c</sub> , (a, b, c) <sub>g</sub>	(a, b, c)
Constant for temperature adjustment	(T1, Th, To) <sub>c</sub> (T1, Th, To) <sub>g</sub>	(T1, Th, To)
Constant for water vapor deficit adjustment	h5c, h5g	h5c
Constant for moisture adjustment	( $\psi_{c2}\psi_{c1}$ ) <sub>c</sub> ( $\psi_{c2}, \psi_{c1}$ ) <sub>g</sub>	(C1, C2)
Root resistance	Rc, Rg	
Plant resistance	r(plant)	
Roughness length	zo	zo
Displacement height	d	d
Soil pore	Os	Os
Soil moisture potential	$\psi_s$	$\psi_s$
<i>b</i> parameter	B	B
Lengthscale of leaf	l	
Canopy source height	ha	
Slope	$\alpha$	$\alpha$
Parameter for <i>rd</i>	Cd	Cd
Parameter for <i>rb</i>	Cb	Cb
Parameter for aerodynamic resistance	G1, G2, G3, ZTZO	

(資料來源：Xue, *et. al* , 1991)

溫度、地表溫度等等地表以下參數的年際變化，並和觀測資料做進一步的比對。

由於進入地表的熱量，以入射短波輻射為最大的熱量來源，模式輸入項尚須考慮入射長波輻射，因受囿於經費限制，雪山地區並未施行此參數之觀測，因此為了更完整地討論地表的熱量收支，本研究另於 2011 年 12 月在合歡山主峰頂的交通部中央氣象局的遙測氣象觀測站內，架設了一套微氣象觀測儀器(2011 年 12 月至 2012 年 5 月)，特別增加了一只入射短波與長波輻射(incident short and long wave radiation)的感應器(BF3, Delta-T Devices Ltd. Cambridge, UK)，以補足了 Simplified Simple Biosphere Model(SSiB)中，對於輸入參數所需入射長波輻射的需求。雖然合歡山測站受到行政作業協議的限制，只連續觀測了約五個月的時間，但已足以探討 SSiB 模式在有無輸入長波輻射觀測值的環境下，地表以下各參數在陸氣數值模式模擬之後的表現。此外，亦依照雪山地區觀測雪深的模式，裝置一套雪深尺、自動相機。

## 5. 以能量平衡法估算熱量收支

不論是由溫度或是熱量收支變化，皆可明顯地分辨出雪季與非雪季的時間分布及特性差異，因此我們認為降雪和融雪對於大氣與陸地的邊界交互作用有相當重要的影響。

### (1) 積雪層能量平衡式

啟動地表積雪融化機制的關鍵，主要取決於地表熱量收支的多寡(太田，1992)。將地表所接收到的各個熱通量加總，便可得到「積雪層熱量淨值」，再由熱量的總和的正負數值來討論積雪融化的趨勢；當積雪層熱量淨值計算結果呈正值，便可認定此時，積雪層獲得了足夠的熱量開始融化，反之，當積雪層熱量淨值呈負值，地表的積雪不僅停止融化，更被迫使進行再結冰的過程。此方程稱作「積雪層能量平衡方程」(太田，1992)，公式顯示如下：

$$R_n = H + \lambda E + S + P \quad (1.3)$$

$R_n$ ：淨輻射量， $\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$  或  $\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$

$H$ ：積雪面和大氣之間所進行交換的顯熱通量， $\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$  或  $\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$

$\lambda E$ ：積雪面的蒸發或大氣中水蒸氣向積雪表層凝結所消耗或釋放的潛熱通量， $\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$  或  $\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$

$S$ ：積雪層底土壤熱通量， $\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$  或  $\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$

$P$ ：降雨之際所提供的熱量， $\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$  或  $\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$

若積雪期間並未發生降雨事件，在以下的討論中，此項數值較小；本研究假設冬季均以降雪的型態降水，故忽略先不做討論。則公式(1-3)可簡化為：

$$R_n = H + \lambda E + S \quad (1-4)$$

計算結果將獲得的正負值，代表熱量之傳輸方向，一般均定義向積雪面傳輸熱量為正；因此，當  $R_n$  為正值之際為融雪，負值為融雪水再次產生凍結。

## (2) 各分量分析方法

### A. 淨輻射量

淨輻射量  $R_n$  可應用下列公式計算獲得：

$$R_n = (1 - \alpha)R + L \downarrow - L \uparrow \quad (1-5)$$

公式(1-5)中，

$\alpha$ ：積雪表層之反射率，隨積雪表面受汙染程度、密度變化的程度有關，新(生)雪介於 0.75 至 0.95、熟雪介於 0.4 至 0.7(太田，1992)，本研究各取其平均值，設定降(新)雪為 0.85、隔日以後的熟雪為 0.55；

$R$ ：入射短波日射量， $\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$  或  $\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ ；

$L \downarrow$ ：入射長波輻射量， $\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$  或  $\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ ；

$L \uparrow$ ：反射長波輻射量， $\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$  或  $\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ 。

## B. 顯熱通量與潛熱通量

源自於空氣亂流所傳輸的熱量依照性質區分為顯熱通量與潛熱通量；顯熱通量( $H$ )為大氣與積雪面所形成的溫度梯度，潛熱通量( $\lambda E$ )可由水蒸氣壓梯度決定熱量的移動方向(太田，1990)。過去的學者多以包文比能量平衡法(Bowen ratio energy balance method, BREB；簡稱包文比法)根據傳輸的原理，導出測定計算顯熱通量及潛熱通量(鈴木，1992；Shuttleworth, 1993)：

$$\beta = \gamma \frac{\partial z}{\partial e} = \gamma \frac{(T_i - T_i)}{(e_{i-1} - e_i)} = 0.5 \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (1-6)$$

公式(1-6)中，

$\gamma$ ：乾溼計常數(psychrometric constant)，0.5；

$\Delta T$ ：單位時間所形成的溫度梯度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$\Delta e$ ：單位時間所形成的水汽壓梯度， $^{\circ}\text{C}$ ；

顯熱通量與潛熱通量，分別以下列公式計算：

$$H = -\rho C_p K_h \frac{\partial T}{\partial Z} \quad (1-7)$$

$$\lambda E = -\frac{\rho C_p}{\gamma} K_v \frac{\partial e}{\partial Z} \quad (1-8)$$

公式(1-7)、(1-8)中，

$C_p$ ：定壓比熱， $1.1\text{kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ( $20^{\circ}\text{C}$ 及1大氣壓)

$\rho$ ：空氣密度， $1.2\text{kg m}^{-3}$ ( $20^{\circ}\text{C}$ 及1大氣壓)

$T$ ：空氣溫度( $^{\circ}\text{C}$ )

$e$ ：水氣壓(Pa)，

$K_h$ ：顯熱渦流擴散係數

$K_v$ ：水汽渦流擴散係數

高度  $z$  之水氣壓  $e_z$ ，係參考 Jones (1983) 的研究，Jones 氏指出氣溫為飽和水汽壓的函數，其數值可引用 Murray 在 1967 年所得到的經驗公式，公式為(Jone 1983, Shuttleworth 1993)：

$$e_s = 0.6108 \times \exp \left[ \frac{17.27 \times T}{(237.3 + T)} \right] \quad (1-9)$$

公式(1-9)中，

$e_s$ ：飽和水汽壓，Pa

當空氣中的水汽壓未達飽和狀態時，水汽存在於空氣中的程度之表達，即為相對濕度，因此(1-7)式中的水汽壓可依據  $z$  高度的相對濕度觀測值，應用下列相關式求算(Jones 1983)：

$$e = \frac{h}{e_s} \quad (1-10)$$

公式(1-8)中，

$h$ ：相對濕度，%

### C 土壤熱通量

在邊界層氣象(boundary layer meteorology)中，土壤次層的熱量收支主要是藉由組成分子的相互碰撞作用而傳輸熱量，熱量傳輸會從高溫往低溫傳輸，其大小正比於溫度的差異，亦即進入或逸出土壤的熱量之速率取決於溫度梯度與熱傳導係數。

此時，土壤熱通量( $S$ ) 或傳出、傳入土壤的熱通量為(Rosenberg 1983, Hanks 1992)：

$$S = -K_s \frac{\partial T_s}{\partial z} \quad (1-11)$$

公式(1-11)中，

$K_s$ ：土壤熱傳導係數， $Jm^{-1}C^{-1}S^{-1}$  或  $Wm^{-1}C^{-1}$

$T_s$ ：土壤溫度， $^{\circ}C$

公式(1-11)中的負號係定義所有傳入土壤的熱量都認定為正，自土壤中逸出的熱量為負(Rosenberg 1983)。

本年度僅就 SP1(林外)、(SP2)林外，探討不同植被狀態之降雪表層熱量之收支。

### 三、結果

#### (一) 雪山高山生態系微氣象

氣象是營造自然環境的基本元素之一，環境中所有的物理，化學和生物變化過程，或多或少均受到氣象因子的制約。山區的氣象是千變萬化的，山區多樣的地形、地貌和高度變量系統，使得熱量和水汽通量的性質，在短距離內發生了巨大差異，再綜合空間和時間不斷變化，而形成無數個各別的組成。在高山地區，氣象因子所呈現的特性，是極端的變化，在此情形下，與生物之間的關係變得更加密切(Williams, 2010)。

臺灣的山地佔了總面積三分之二，山區雲霧帶的大氣條件，創造特有的生物繁衍環境(蘇鴻傑，1984)；以生態系為空間尺度的微氣象，隨海拔高度而變化，海拔遞升則氣壓、氣溫遞減，間接影響氧與二氧化碳分壓。過去的研究指出，臺灣地區降水量則隨海拔遞升而遞增。山區風系的日變化機制與律動，則受到地形的修飾。

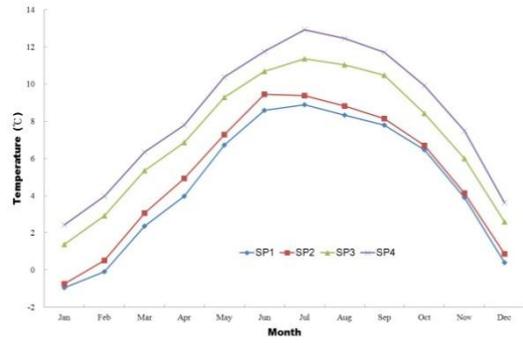
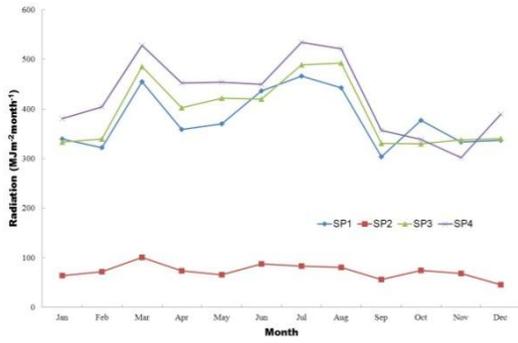
森林生態系的熱量(輻射能)收支，是瞭解生態系功能所必需的基本資料。森林生態系中許多物質與熱量的傳輸，均是依循環的路徑進行。以集水區為單元的監測水文、營養鹽、與熱量收支，因為其輸入與輸出較容易確認，是許多生態系研究所依循的方式(夏禹九，1999)。本研究藉由分量參數的基本觀測，應用熱量與水文收支的方程理論，定量化雪山生態系熱量與水文量的收支；並將基本觀測資訊，提供予其他子計畫：諸如光合與呼吸作用的熱量形式轉換及各種元素的循環，生產者、消費者、分解者與各種環境因子的相互作用，及其對該生態系內養分循環與熱量流動的貢獻等相關研究與管理單位之參考。

綜上所述，高山森林生態系中，舉凡動、植物的物候變化、土壤生物、物理、化學性質、高山植物之生態生理特性等相關研究，均需透過本研究之基礎觀測資料，應用熱量與水文收支的方程理論，探討時間與空間的分布特性，為水文與熱量收支在生態系中所發揮的綜合效應，提供理論解釋。

4處測站自2009年9月24日迄今，已累積相當資料量；四站各參數之資料，詳列逐月統計表如表1-3至表1-6。並據之繪製各參數年變化如圖1-2。

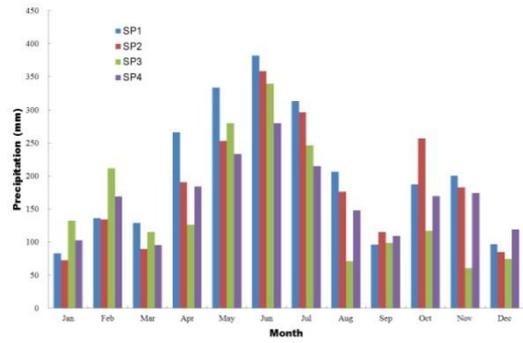
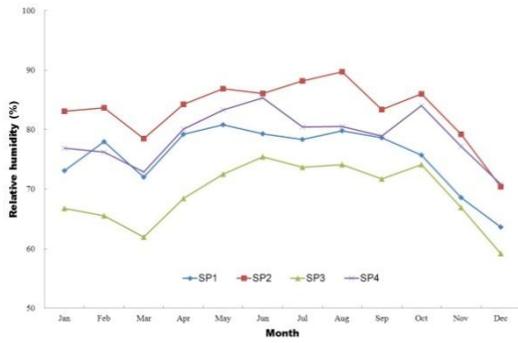
## (二) 降雪深度之對照監測

降雪在高緯度的國家或地區，是重要的水資源之一，某些地區的降雪占全年水資源的比率達到25%，甚至高達三分之一(Brooks *et al.*, 1997)；降雪可藉由標準雨量計之觀測來達成，但是觀測降雪卻又比液態降水困難許多，原因在於雪本身的低密度、較高的表面積，在下降過程中，易於受到風的影響，即使雪片由雨量計的承雨筒所承接，在溶解成液態之前，易於以固態性質形成跨橋(bridge)或遮罩(cap)，阻止其他雪片進入雨量計感應元件，造成觀測上時間的誤差；當降雪量高於承雨筒，雪片持續堆置於雨量筒上方，以其低密度特性，易於受風吹拂而移往他處，或由他處移至雨量計上方，而產生數量上的觀測誤差。由於降雪達到地表後，將在地面停留一段時日，此時，可使用量測積雪深度(snow depth)變化，取代量測降水的模式(Brooks *et al.*, 1997)。



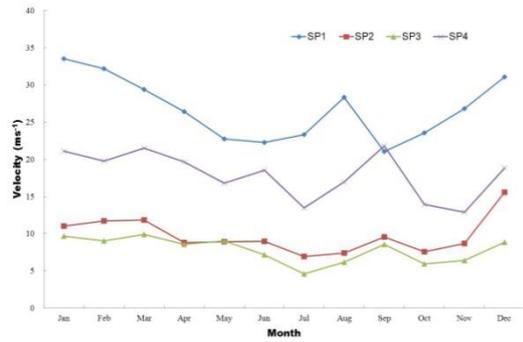
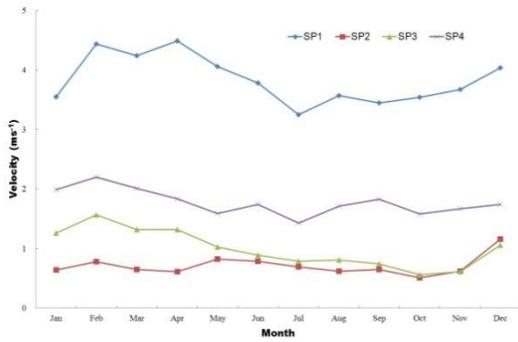
a. 日射量

b. 氣溫



c. 相對濕度

d. 降水量



e. 平均風速

f. 最大風速

圖1-2. 各站氣象參數年變化。  
(資料來源：本研究資料)

表1-3. 圈谷氣象站(SP1)氣象參數逐月統計表

月份	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Sum	Mean	Max	Min
氣溫(°C)	-1.0	-0.1	2.4	4.0	6.7	8.2	8.4	7.9	7.6	6.5	3.7	0.4		4.5	8.4	-1.0
濕度(%)	73.1	78.0	72.0	79.2	81.1	78.4	77.1	79.0	77.1	70.5	71.3	63.7		75.0	81.1	63.7
降雨量(mm)	83.2	136.2	128.8	266.2	372.5	531.9	483.0	194.6	101.2	152.5	233.5	97.0	2,780.6		531.9	83.2
平均風速(ms <sup>-1</sup> )	3.6	4.4	4.2	4.5	4.1	3.8	3.4	3.6	3.6	3.5	3.9	4.0		3.9	4.5	3.4
最大風速(ms <sup>-1</sup> )	33.5	32.2	29.4	26.4	21.6	18.3	19.2	22.6	24.0	23.2	28.4	31.1		25.8	33.5	18.3
日射量(MJm <sup>-2</sup> mon <sup>-1</sup> )	338.97	321.67	455.10	358.74	358.08	411.08	445.49	422.76	415.26	419.90	311.03	336.92	4,595.0		455.10	311.03
PAR(molm <sup>-2</sup> mon <sup>-1</sup> )	706.19	667.45	914.14	717.40	715.02	825.09	894.37	855.14	841.75	847.09	628.88	687.88	9,300.4		914.14	628.88
氣壓(hP)	660.6	660.3	662.4	662.6	662.7	662.6	664.0	663.0	664.3	664.6	664.0	660.8		662.7	664.6	660.3
草溫(°C)	-0.4	-0.2	2.7	5.1	8.1	10.4	10.9	10.4	9.9	8.2	4.5	0.8		5.9	10.9	-0.4
地溫5(°C)	-0.1	-0.1	1.7	4.8	8.3	11.0	11.4	10.4	9.2	7.8	4.4	1.0		5.8	11.4	-0.1
地溫10(°C)	-0.1	-0.1	1.6	4.7	8.0	10.9	11.4	10.4	9.2	7.8	4.5	1.2		5.8	11.4	-0.1
地溫20(°C)	0.1	0.1	1.5	4.7	7.9	10.6	11.3	10.4	9.3	7.9	4.7	1.5		5.8	11.3	0.1
地溫30(°C)	0.3	0.2	1.4	4.5	7.5	10.3	11.0	10.3	9.4	7.9	4.9	1.8		5.8	11.0	0.2
地溫50(°C)	0.7	0.5	1.3	4.3	7.0	9.8	10.6	10.1	9.4	8.1	5.3	2.3		5.8	10.6	0.5
土壤熱流量 (MJm <sup>-2</sup> mon <sup>-1</sup> )	-3.65	-2.77	7.85	2.90	-5.79	0.11	4.70	1.94	7.31	-6.91	-17.71	-7.53	-19.55	-1.60	7.85	-17.71
土壤含水量 10(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0.20	0.25	0.30	0.32	0.32	0.31	0.29	0.30	0.28	0.27	0.29	0.24		0.28	0.32	0.20
土壤含水量 20(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0.18	0.21	0.25	0.26	0.26	0.25	0.24	0.24	0.23	0.22	0.24	0.22		0.23	0.26	0.18
土壤含水量 30(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0.16	0.17	0.20	0.21	0.21	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.19	0.17		0.19	0.21	0.16
降雪深(cm)	39.4	40.8	17.6	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0	111.7		40.8	
AT < 0 °C(days)	21.0	15.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	14.3	56.8		21.0	

(資料來源：本研究資料)

表1-4. 黑森林氣象站(SP2)氣象參數逐月統計表

月份	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Sum	Mean	Max	Min
氣溫(°C)	-0.8	0.5	3.1	4.9	7.6	9.5	9.5	8.9	8.1	6.7	4.1	0.9		5.2	9.5	-0.8
濕度(%)	83.1	83.7	78.5	84.2	87.2	88.8	88.1	91.3	87.6	80.8	80.6	70.4		83.7	91.3	70.4
降雨量(mm)	72.4	133.8	89.3	190.5	270.8	446.7	298.5	151.4	119.9	203.1	193.1	84.9	2,254.4		446.7	72.4
平均風速(ms <sup>-1</sup> )	0.6	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.4	0.4	0.5	1.2		0.6	1.2	0.4
最大風速(ms <sup>-1</sup> )	11.0	11.7	11.8	8.8	8.6	6.0	6.9	8.5	9.3	7.9	9.5	15.6		9.6	15.6	6.0
日射量 (MJm <sup>-2</sup> mon <sup>-1</sup> )	63.54	71.39	100.32	73.88	72.10	77.82	84.51	75.88	74.98	88.20	63.86	45.04	891.52		100.32	45.04
PAR(molm <sup>-2</sup> mon <sup>-1</sup> )	118.68	135.59	192.48	140.62	159.35	148.01	157.10	140.72	139.77	167.75	121.76	82.79	1,704.62		192.48	82.79
草溫(°C)	0.2	0.6	2.4	4.7	7.1	9.3	9.3	8.9	8.2	6.9	4.1	1.1		5.2	9.3	0.2
地溫10(°C)	1.6	1.4	2.4	4.2	6.4	8.6	9.0	9.1	8.5	7.8	5.6	3.3		5.7	9.1	1.4
地溫20(°C)	1.3	1.2	2.4	4.4	6.9	9.0	9.3	9.3	8.7	7.8	5.4	2.8		5.7	9.3	1.2
土壤含水量 10(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0.27	0.29	0.29	0.29	0.32	0.32	0.32	0.32	0.30	0.29	0.29	0.29		0.30	0.32	0.27
土壤含水量 20(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0.29	0.31	0.31	0.31	0.29	0.30	0.29	0.29	0.27	0.27	0.28	0.25		0.30	0.31	0.25
降雪深(cm)	42	19.0	4.0										65.0		42.0	
AT < 0 °C(days)	20.0	11.7	3.3								0.3	13.0	48.3		20.0	

(資料來源：本研究資料)

表1-5. 三六九氣象站(SP3)氣象參數逐月統計表

月份	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Sum	Mean	Max	Min
氣溫(°C)	1.4	2.9	5.3	6.9	9.4	10.8	11.3	10.8	10.3	8.6	5.9	2.6		7.2	11.3	1.4
濕度(%)	66.8	65.5	62.0	68.5	74.5	78.3	73.8	76.4	73.8	69.0	68.4	59.2		69.7	78.3	59.2
降雨量(mm)	132.3	211.7	143.3	266.1	304.1	408.7	290.4	162.1	128.7	170.3	222.9	128.2	2,568.8		408.7	128.2
平均風速(ms <sup>-1</sup> )	1.3	1.6	1.3	1.3	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	0.7	1.1		1.0	1.6	0.6
最大風速(ms <sup>-1</sup> )	9.7	9.1	9.9	8.6	8.4	7.7	4.8	5.0	9.4	8.3	6.8	8.9		8.0	9.9	4.8
日射量(MJm <sup>-2</sup> mon <sup>-1</sup> )	333.58	339.37	485.27	401.93	425.61	397.12	489.02	453.06	452.74	393.03	323.70	339.94	4,834.3		489.02	323.70
PAR(molm <sup>-2</sup> mon <sup>-1</sup> )	688.40	692.54	956.59	810.97	866.46	802.02	961.18	894.25	890.82	769.27	651.8	688.9	9,673.2		961.18	651.85
草溫(°C)	1.7	2.6	5.8	7.6	10.2	11.8	12.3	12.0	11.3	9.3	6.7	3.0		7.9	12.3	1.7
地溫5(°C)	2.3	2.9	5.8	7.6	10.2	11.9	12.4	12.1	11.5	9.9	7.3	4.0		8.1	12.4	2.3
地溫10(°C)	2.4	2.9	5.5	7.3	9.8	11.6	12.2	11.9	11.3	9.9	7.4	4.3		8.0	12.2	2.4
地溫20(°C)	2.8	2.9	5.5	7.4	9.9	11.8	12.4	11.9	11.5	10.2	7.7	4.7		8.2	12.4	2.8
地溫30(°C)	3.1	3.3	5.5	7.3	9.7	11.7	12.2	11.8	11.5	10.4	8.1	5.3		8.3	12.2	3.1
地溫50(°C)	3.2	3.3	5.3	7.1	9.4	11.6	12.1	11.6	11.3	10.4	8.2	5.5		8.2	12.1	3.2
土壤熱流量 (MJm <sup>-2</sup> mon <sup>-1</sup> )	-0.23	-0.07	0.11	0.10	56.03	26.20	1.01	22.49	-22.0	-45.1	-47.2	-5.59		-1.20	56.03	-47.23
土壤含水量10(%)	73.1	73.1	70.8	72.2	73.9	74.2	70.0	73.7	67.0	65.1	68.6	68.7	841.3	70.9	74.2	65.1
土壤含水量20(%)	77.5	77.8	75.3	76.3	78.2	79.3	75.0	78.4	71.4	69.6	72.8	72.6		75.3	79.3	69.6
降雪深(cm)	14.8	12.9	0.7									2.4	30.8		14.8	
AT < 0 °C(days)	9.7	3.0	1.0									13.7	27.3		13.7	

(資料來源：本研究資料)

表1-6. 哭坡頂氣象站(SP4)氣象參數逐月統計表

月份	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Sum	Mean	Max	Min
氣溫(°C)	2.4	4.0	6.4	7.8	10.5	11.9	13.0	12.2	11.6	10.0	7.2	3.6		8.4	13.0	2.4
濕度(%)	76.9	76.2	72.9	80.1	84.4	87.5	80.0	83.7	80.4	78.3	77.9	70.9		78.9	87.5	70.9
降雨量(mm)	102.3	168.9	95.6	183.7	267.3	369.2	260.5	284.0	136.8	135.1	196.1	118.7	2,318.2		369.2	95.6
平均風速(ms <sup>-1</sup> )	2.0	2.2	2.0	1.8	1.5	1.7	1.5	1.8	1.6	1.6	1.7	1.7		1.8	2.2	1.5
最大風速(ms <sup>-1</sup> )	21.1	19.8	21.5	19.7	16.1	20.1	17.9	20.3	24.1	13.4	13.9	18.9		17.9	24.1	13.4
日射量 (MJm <sup>-2</sup> mon <sup>-1</sup> )	380.48	404.21	528.27	452.04	453.59	429.22	553.84	498.90	481.37	414.73	306.27	389.04	5,291.96		553.84	306.27
PAR(molm <sup>-2</sup> mon <sup>-1</sup> )	768.74	812.41	1,060.9	916.33	919.97	866.79	1,107.4	996.78	964.37	836.99	614.84	778.71	10,644.3		1,107.4	614.84
氣壓(hP)	699	698.9	700.8	700.8	700.48	700.45	701.70	700.7	702.1	702.4	692.9	699.2		700.0	702.4	692.930
草溫(°C)	3.0	4.3	7.6	8.9	11.5	13.1	14.0	13.2	12.7	11.0	8.1	4.3		9.3	14.0	3.0
地溫10(°C)	4.0	4.8	8.0	10.0	12.4	14.2	15.7	14.7	13.6	11.8	9.1	5.7		10.3	15.7	4.0
地溫20(°C)	4.4	5.0	7.8	9.7	12.0	13.8	15.3	14.5	13.6	12.0	9.4	6.3		10.3	15.3	4.4
土壤含水量 10(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0.31	0.32	0.30	0.31	0.31	0.30	0.28	0.30	0.28	0.28	0.28	0.29		0.30	0.32	0.28
土壤含水量 20(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0.24	0.25	0.24	0.24	0.24	0.23	0.22	0.23	0.22	0.22	0.23	0.23		0.20	0.25	0.22
土壤含水量 30(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.17	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17		0.20	0.18	0.17
降雪深(cm)	5.0	1.7										4.0	10.7		5.0	
AT < 0 °C(days)	20.0	8.0	1.0										29.0		20.0	

(資料來源：本研究資料)

自2009年即已規劃設置傾斗式雨量計(OT014, OTA 014, 大田計器株式會社, 日本東京)、雪深計(BR50A, Campbell Sci. Inc., Logan, Utah, USA), 分別進行降水量、降雪深度之觀測。迄本年度之初, 共歷經2010年(2009年12月至2010年4月)、2011年(2010年12月至2011年4月)兩年分之雪季, 由兩年觀測數值得知(表1-7至表1-9), 對照雨量計觀測結果, 顯示雪深計存在著低估現象(魏聰輝等, 2011), 亟待以其他設施實施對照觀測, 以修正觀測值。

2012年1月8日至10日, 於圈谷、黑森林、三六九及哭坡頂氣象站, 裝設雪尺、自動相機, 根據影像人工判讀區別降雪深度、降雪開始時間、結束時間, 逐日積雪深度變化等資訊; 目前四處氣象站, 均已施行降雨量(傾斗式雨量計)、使用雪尺所進行之降、積雪深度, 2012年雪季(2011年12月至2011年3月)所之降雪事件, 遂以兩種觀測值作為探討之基礎; 由雪深計所獲得的降、積雪深度, 則對照比較其間之差異。

### (三) 降積雪的時空分布

2010年圈谷站(SP1)降雪事件的日期、平均氣溫、最低溫、降雪高度(雪深計觀測值)及等量降水相對數據詳列如表1-7; 2011年圈谷站(SP1)降雪事件的相關參數統計詳列如表1-8、三六九站(SP3)降雪事件的相關參數統計詳列如表1-9; 2012年四處氣象站(SP1至SP4)降雪事件的相關參數統計詳列如表1-10至表1-13(2012年降、積雪深度為雪尺觀測值)。並據之繪製2010年圈谷站降、積雪深度逐日變化量、降雪深度與降水量組體圖如圖1-3、2011年圈谷站及三六九站降、積雪深度逐日變化量、降雪深度與降水量如圖1-4、2012年各站降、積雪深度逐日變化量、降雪深度與降水量如圖1-3。

表 1-7. 圈谷氣象站(SP1)2009 年 12 月至 2010 年 4 月降雪事件相關參數統計表

日期	均溫 (°C)	最高溫 (°C)	最低溫 (°C)	相對濕度 (%)	積雪深度 (cm)	降水量 (mm)	日射量 (MJm <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> )	草溫 (°C)	地溫 5 (°C)	地溫 10 (°C)	土壤熱流量 (Jm <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> )
2009/12/7	-2.1	1.4	-4.8	79.5	1.5	1.5	15.16	-0.4	-0.1	0.2	-263.4
2009/12/16	-1.1	0.0	-2.2	99.1	0.9	0.0	1.49	-0.2	-0.2	0.1	-127.4
2009/12/21	-5.8	-4.8	-6.8	96.7	1.5	0.0	3.64	-1.8	-0.1	0.1	-212.4
2009/12/27	-2.5	-1.2	-3.9	93.4	3.9	0.0	4.48	-0.9	-0.2	0.0	-541.8
2009/12/28	-3.3	-1.1	-7.1	97.2	0.7	0.0	2.75	-0.6	-0.2	0.0	-408.4
2009/12/30	-2.3	-0.9	-4.4	98.1	2.2	0.0	5.84	-0.2	-0.2	-0.1	-329.6
2009/12/31	-1.5	0.0	-3.9	99.1	2.3	0.0	4.26	0.0	-0.2	0.0	-215.3
2010/1/1	-1.6	0.0	-3.7	99.0	0.1	1.5	6.07	-0.3	-0.2	0.1	-91.9
2010/1/2	-0.3	0.1	-1.5	99.7	2.3	2.5	3.15	-0.2	-0.2	0.2	-51.8
2010/1/3	-4.6	0.1	-11.0	96.9	1.9	3.5	10.07	-0.3	-0.1	0.0	-40.2
2010/1/4	-5.3	0.6	-10.3	64.7	0.1	5.0	17.48	-0.6	0.0	0.0	-275.8
2010/1/6	-1.4	0.1	-3.4	99.1	2.6	4.5	4.11	-0.2	-0.2	-0.1	-286.7
2010/1/10	-0.9	1.2	-4.2	32.0	1.0	0.0	18.16	-1.1	-0.1	-0.1	-495.2
2010/1/12	-5.4	-1.3	-9.9	94.1	1.5	0.5	5.81	-0.5	-0.1	-0.1	-201.2
2010/1/16	0.8	4.6	-4.3	35.9	0.5	0.0	18.41	-0.9	0.1	0.0	-663.2
2010/1/30	1.3	4.7	-2.8	48.7	0.5	0.0	19.25	1.5	0.0	0.0	726.9
2010/2/1	3.0	6.7	1.1	20.6	0.2	0.0	18.49	2.4	-0.1	-0.1	553.4
2010/2/3	-0.1	4.7	-2.0	79.1	0.3	0.0	16.88	1.9	-0.1	-0.1	990.0
2010/2/5	-1.0	0.0	-2.6	95.5	0.1	0.0	3.01	-0.4	-0.2	-0.2	-119.3
2009/2/6	0.6	2.4	-1.2	98.4	1.7	22.5	1.47	-0.1	-0.2	-0.1	-98.5
2009/2/7	0.2	1.3	-1.3	96.0	1.2	9.0	2.31	-0.2	-0.2	-0.2	-83.9
2010/2/9	1.7	3.5	0.1	80.2	0.8	14.0	14.15	0.0	-0.1	0.0	-91.7
2010/2/11	2.9	5.6	0.6	51.3	0.5	0.0	21.17	0.0	0.0	0.1	-90.1
2009/2/12	0.5	2.3	-1.1	95.8	0.4	22.0	2.17	-0.1	-0.2	-0.1	-75.5
2009/2/13	0.1	0.9	-1.4	99.6	0.0	11.0	2.98	-0.2	-0.2	-0.1	-84.9
2009/2/15	0.3	1.9	-0.8	94.4	1.3	2.0	5.78	-0.1	-0.2	0.1	-96.2
2010/2/16	-0.1	0.2	-0.9	99.7	8.5	0.0	1.63	-0.2	-0.2	0.0	-102.1
2010/2/17	-0.1	0.4	-1.2	99.9	1.1	7.0	1.60	-0.2	-0.2	0.1	-108.5
2010/2/18	-0.5	0.1	-1.7	99.8	5.1	1.5	0.65	-0.2	-0.2	0.1	-110.3
2010/2/19	-2.2	-1.4	-3.6	98.9	51.0	0.5	3.04	-0.2	-0.2	-0.1	-109.6
2010/3/10	-2.8	-0.5	-5.0	57.6	1.4	0.0	24.28	1.2	0.0	0.0	-81.5
2010/3/12	1.2	5.0	-0.3	68.8	0.6	0.0	14.61	1.5	0.0	0.1	-85.1
2010/3/13	1.5	2.4	0.0	97.6	0.4	28.5	3.78	0.2	0.0	0.3	-77.9
2010/4/29	2.7	6.3	-0.4	73.5	2.5	8.0	12.18	4.6	4.8	4.7	-24.4

(資料來源：魏聰輝等，2011)

表 1-8. 圈谷氣象站(SP1)2010 年 12 月至 2011 年 4 月降雪事件相關參數統計表

日期	均溫 (°C)	最高溫 (°C)	最低溫 (°C)	相對濕度 (%)	積雪深度 (cm)	降水量 (mm)	日射量 (MJm <sup>2</sup> day <sup>-1</sup> )	草溫 (°C)	地溫 5 (°C)	地溫 10 (°C)	土壤熱流量 (Jm <sup>2</sup> day <sup>-1</sup> )
2010/12/11	1.47	2.40	-0.20	38.6	3.2	8.0	8.57	-0.34	-0.32	-0.16	-1101.00
2010/12/12	5.03	7.40	2.00	96.7	9.7	0.0	2.80	0.92	-0.20	-0.19	300.80
2010/12/15	3.00	4.40	1.50	49.3	0.2	14.0	10.58	3.24	2.31	1.97	598.20
2010/12/16	0.68	4.60	-3.20	86.3	0.4	50.5	1.90	2.52	2.33	2.17	180.90
2010/12/18	2.40	6.40	-4.70	20.6	2.9	0.0	15.74	-0.40	0.76	0.96	-714.30
2010/12/19	4.34	7.00	1.30	12.0	0.9	0.0	15.64	-0.53	0.57	0.63	-491.40
2010/12/25	-2.90	-1.80	-4.30	77.1	0.4	0.0	15.36	-1.06	-0.02	0.36	-214.20
2010/12/26	-5.33	-2.00	-7.50	96.1	1.2	0.0	2.39	-0.97	-0.16	0.42	-190.20
2010/12/27	-4.60	-1.60	-7.20	63.0	0.2	0.0	15.88	-1.36	-0.08	0.17	-183.70
2010/12/29	-4.99	-0.20	-7.70	31.2	0.7	0.0	15.53	-2.56	-0.05	-0.03	-1306.00
2010/12/30	-5.25	-0.50	-7.60	71.6	0.1	0.0	15.59	-2.53	-0.11	-0.02	-1117.00
2011/1/2	-4.07	-2.50	-4.90	96.5	2.0	0.0	1.90	-2.15	-1.26	-0.94	-414.20
2011/1/5	-1.99	0.20	-2.70	98.1	5.4	0.5	8.47	-0.41	-0.73	-0.63	54.07
2011/1/6	-0.62	0.90	-4.40	79.8	0.2	8.0	16.76	-0.06	-0.22	-0.39	209.00
2011/1/11	-0.92	-1.00	-3.50	97.5	4.8	1.5	4.44	-0.14	-0.18	-0.18	94.70
2011/1/12	-2.04	-1.90	-3.50	97.2	7.7	0.0	5.11	-0.48	-0.18	-0.17	83.60
2011/1/14	-2.12	-0.10	-6.90	95.4	1.9	0.5	18.63	-0.45	-0.09	-0.09	64.86
2011/1/16	-5.57	0.20	-5.30	50.7	0.2	0.0	17.46	-1.33	-0.12	-0.15	-76.32
2011/1/18	-1.41	-0.30	-4.80	93.2	0.9	2.0	7.01	-0.82	0.08	-0.12	-159.60
2011/1/27	-1.74	3.80	-2.10	54.1	0.6	0.0	12.71	-0.65	-0.19	-0.18	-80.80
2011/1/30	-5.10	-5.90	-7.40	95.0	1.0	0.0	3.56	-2.45	-0.16	0.05	-624.20
2011/2/3	-5.57	1.80	-8.20	32.0	0.6	4.0	20.59	-2.40	-0.73	-0.63	-901.00
2011/2/9	1.11	2.00	-3.70	74.7	0.6	0.5	12.93	-1.52	-0.91	-0.85	-178.60
2011/2/12	-3.63	-1.20	-5.70	96.1	2.6	0.0	7.48	-1.68	-0.82	-0.86	-338.10
2011/2/13	-3.83	0.00	-4.60	97.1	8.5	0.5	8.31	-0.98	-0.87	-0.78	-159.70
2011/2/14	-2.12	-0.80	-4.80	95.8	11.5	6.0	9.27	-0.80	-0.54	-0.61	-77.74
2011/2/15	-2.44	-0.30	-1.50	98.0	2.6	0.5	5.78	-0.84	-0.49	-0.54	-73.45
2011/2/16	-1.01	-0.10	-3.20	94.5	4.8	0.5	15.33	-0.64	-0.54	-0.54	-61.35
2011/2/20	-1.43	-1.30	-4.80	92.3	5.2	3.0	4.62	-0.16	-0.20	-0.31	32.15
2011/2/22	-1.78	0.00	-2.50	97.6	0.1	14.0	7.53	-0.06	0.10	0.11	4.03
2011/2/24	-0.21	3.00	-1.70	90.5	1.6	5.0	12.91	-0.10	0.03	0.03	25.56
2011/3/12	-0.20	5.10	-0.80	83.5	0.5	0.0	23.12	0.00	-0.09	-0.10	28.00
2011/3/14	4.44	6.00	1.30	51.2	0.3	0.0	22.13	2.57	-0.03	-0.05	46.22
2011/3/17	0.37	5.00	2.50	94.1	0.5	0.0	4.15	3.03	-0.19	-0.20	21.80
2011/3/27	-1.03	0.20	-8.10	94.8	13.8	0.0	11.62	-0.02	-0.06	-0.06	-21.93
2011/3/28	-3.17	1.30	-7.30	39.6	12.2	0.0	25.65	0.02	0.00	0.02	-19.85
2011/4/3	0.33	1.10	-0.90	98.5	0.1	0.0	1.33	-0.04	-0.17	-0.14	-32.72

(資料來源：魏聰輝等，2011)

表 1-9. 三六九氣象站(SP3)2010 年 12 月至 2011 年 2 月降雪事件相關參數統計表

日期	均溫 (°C)	最高溫 (°C)	最低溫 (°C)	相對濕度 (%)	積雪深度 (cm)	降水量 (mm)	日射量 (MJm <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> )	草溫 (°C)	地溫 5 (°C)	地溫 10 (°C)	土壤熱流量 (Jm <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> )
2010/12/26	-1.51	2.09	-4.93	44.6	4.9	0.0	15.18	0.94	2.12	2.69	-701.00
2010/12/30	-1.96	4.64	-6.26	47.4	0.5	0.0	15.42	-0.61	0.85	1.35	-613.90
2010/12/31	-3.07	2.52	-7.36	37.9	1.7	0.0	15.59	-0.88	0.65	1.24	-646.10
2011/1/1	-2.40	2.97	-6.20	32.5	1.1	0.0	15.31	-1.08	0.35	0.98	-664.00
2011/1/4	-1.45	0.67	-2.54	83.2	5.4	0.0	4.65	-0.50	0.61	0.95	-449.60
2011/2/1	-3.24	1.32	-5.53	81.9	7.7	2.0	8.49	0.50	1.29	1.62	-405.60
2011/2/2	-1.79	2.02	-4.05	75.8	3.5	0.0	8.79	0.48	1.19	1.46	-343.50
2011/2/3	-1.06	5.78	-5.56	60.5	0.2	0.0	15.21	0.14	1.04	1.32	-428.30
2011/2/6	3.26	11.90	-1.26	32.0	2.7	0.0	19.74	0.99	1.63	1.60	-143.10
2011/2/8	1.38	5.36	-1.95	61.1	4.6	0.5	8.97	1.21	1.79	1.89	-213.90
2011/2/10	1.80	8.07	-2.34	65.4	0.5	0.0	14.33	2.27	2.57	2.40	-1.28
2011/2/12	-0.67	4.46	-2.74	80.5	1.9	3.5	7.67	1.55	2.14	2.30	-259.70
2011/2/15	1.32	5.16	-1.87	71.4	6.9	3.5	15.82	0.57	1.21	1.47	-325.40
2011/2/17	2.30	7.02	-0.90	67.1	0.6	0.0	19.35	0.83	1.35	1.38	-79.50

(資料來源：魏聰輝等，2011)

表 1-10. 圈谷氣象站(SP1)2011 年 12 月至 2012 年 3 月降雪事件相關參數統計表

日期	均溫 (°C)	最高溫 (°C)	最低溫 (°C)	相對濕度 (%)	積雪深度SR50 (cm)	積雪深度SS (cm)	降水量 (mm)	日射量 (MJm <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> )	草溫 (°C)	地溫 5 (°C)	地溫 10 (°C)	土壤熱流量 (Jm <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> )
2011/12/30	-0.01	0.60	-1.10	95.6	1.6		1.5	2.20	0.31	0.42	0.69	-445.71
2011/12/31	-2.22	0.10	-5.30	96.4	1.2		0.5	2.04	0.18	0.22	0.39	-278.07
2012/1/2	-3.40	2.10	-6.40	83.5	4.7		0.0	4.54	-0.39	0.44	0.24	-265.46
2012/1/3	-1.09	0.50	-3.50	91.3	4.2		0.5	7.65	-0.25	0.26	0.19	-250.41
2012/1/4	-0.42	0.00	-1.10	97.3	3.3		3.0	1.74	-0.14	0.18	0.18	-239.60
2012/1/5	-0.10	0.00	-0.70	97.6	2.8		2.5	2.69	-0.04	0.18	0.17	-231.97
2012/1/6	-0.19	0.20	-3.80	97.5	6.9		11.5	4.27	-0.01	0.31	0.18	-194.24
2012/1/7	-2.09	1.50	-5.50	66.0	5.4		2.5	16.24	-0.02	0.25	0.31	-195.78
2012/1/8	1.66	4.70	-2.40	34.7	0.3		3.0	16.19	-0.03	0.29	0.18	-212.78
2012/1/16	-1.27	3.40	-5.30	66.2	17.3	14	25.0	4.27	-0.22	0.07	0.16	-103.86
2012/1/21	-2.00	-0.90	-3.50	95.6	1.0	1	0.0	3.81	-0.73	-0.13	0.20	-172.46
2012/1/22	-0.67	0.00	-1.40	97.3	5.0	7	0.0	2.88	-0.29	-0.10	0.36	-170.22
2012/1/23	-2.86	-0.70	-4.40	96.3	14.0	9	0.0	2.51	-0.20	-0.14	0.03	-157.59
2012/1/24	-3.17	-0.60	-4.90	95.9	30.0	18	1.0	7.79	-0.20	-0.06	0.07	-156.86
2012/1/25	-4.00	-3.00	-4.80	95.6	0.0	15	0.5	10.05	-0.25	-0.14	-0.01	-157.37
2012/1/27	-2.96	-0.10	-5.00	94.3	3.0	2	9.5	16.46	-0.44	-0.01	0.07	-152.39
2012/2/7	-0.85	0.20	-2.40	89.8	6.0	4	0.5	4.68	-0.15	-0.16	-0.09	-60.90
2012/2/8	-1.13	0.00	-3.80	96.8	3.0	3	0.0	3.26	-0.17	-0.17	-0.11	-50.41
2012/2/9	-2.43	-1.10	-4.70	96.2	1.0	1	0.0	9.49	-0.09	-0.16	-0.09	-42.93
2012/2/28	-1.67	0.10	-5.70	92.3	4.5	4	0.5	2.89	0.33	0.25	0.24	-195.01
2012/3/12	0.83	1.90	-0.20	97.8	21.3	20	42.0	1.06	0.40	1.01	1.12	-663.85
2012/3/13	0.00	1.10	-1.90	97.7	3.0	4	9.0	3.30	0.24	0.28	0.59	-384.41

(資料來源：本研究資料)

表 1-11. 黑森林氣象站(SP2)2011 年 12 月至 2012 年 3 月降雪事件相關參數統計表

日期	均溫 (°C)	最高溫 (°C)	最低溫 (°C)	相對濕度 (%)	積雪深度 (cm)	降水量 (mm)	日射量 (MJm <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> )	草溫 (°C)	地溫 5 (°C)	地溫 10 (°C)
2012/1/16	-1.51	4.21	-6.75	87.0	10	20.6	0.85	1.33	2.94	3.01
2012/1/23	-1.88	-0.08	-2.99	97.8	9	0.0	0.56	0.33	1.83	1.50
2012/1/24	-2.27	-0.36	-3.56	97.4	6	0.0	0.48	0.31	1.79	1.46
2012/1/25	-3.07	-2.28	-3.66	97.3	17	0.0	2.33	0.37	1.76	1.45
2012/2/3	-1.32	-0.36	-2.03	98.1	1	0.0	0.22	0.38	1.56	1.29
2012/2/8	-0.42	0.13	-2.32	98.4	3	0.0	0.53	0.34	1.43	1.15
2012/2/9	-1.23	-0.10	-3.20	96.4	2	0.0	1.90	0.36	1.43	1.15
2012/2/28	-1.11	0.88	-5.24	98.3	13	3.4	0.47	0.26	1.58	1.29
2012/3/13	0.82	1.84	-0.69	99.8	4	21.8	0.63	0.69	2.54	2.22

(資料來源：本研究資料)

表 1-12. 三六九氣象站(SP3)2011 年 12 月至 2012 年 3 月降雪事件相關參數統計表

日期	均溫 (°C)	最高溫 (°C)	最低溫 (°C)	相對濕度 (%)	積雪深度 (cm)	降水量 (mm)	日射量 (MJm <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> )	草溫 (°C)	地溫 5 (°C)	地溫 10 (°C)	土壤熱流量 (Jm <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> )
2012/1/16	-0.71	8.97	-3.37	40.7	14.0	0.5	4.26	2.32	3.61	3.98	-750.00
2012/1/22	1.16	2.95	-0.84	87.0	1.0	20.5	3.91	2.12	2.64	2.66	-229.50
2012/1/23	-1.22	-0.30	-2.71	84.2	3.0	0.0	2.87	1.00	1.86	2.14	-470.50
2012/1/24	-1.14	2.57	-2.35	91.7	14.0	6.0	5.68	0.96	1.64	1.87	-403.00
2012/1/25	-1.18	2.42	-3.29	72.2	6.0	3.0	13.86	0.91	1.64	1.83	-424.50
2012/2/8	0.73	3.38	-1.74	83.7	3.0	17.0	6.04	1.84	2.19	2.07	-128.70
2012/2/28	1.18	4.77	-2.17	75.4	5.0	9.5	2.12	1.51	2.30	2.54	-523.10
2012/2/29	4.49	10.33	2.83	68.2	2.0	9.0	5.71	2.31	2.64	2.32	-113.50
2012/3/13	2.55	6.93	1.08	88.7	2.0	10.5	8.07	3.18	3.48	3.27	-94.40

(資料來源：本研究資料)

表 1-13. 哭坡頂氣象站(SP4)2011 年 12 月至 2012 年 3 月降雪事件相關參數統計表

日期	均溫 (°C)	最高溫 (°C)	最低溫 (°C)	相對濕度 (%)	積雪深度 (cm)	降水量 (mm)	日射量 (MJm <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> )	草溫 (°C)	地溫 5 (°C)	地溫 10 (°C)
2012/1/16	1.25	5.72	-1.90	76.6	3	31.0	6.67	1.21	5.14	5.98
2012/1/23	-0.07	1.39	-1.27	96.2	3	9.5	6.69	0.62	3.29	4.15
2012/1/24	-0.10	3.28	-1.89	97.3	9	12.0	10.42	0.99	2.82	3.52
2012/1/25	-0.33	3.11	-1.80	91.3	5	11.0	16.12	0.35	2.49	3.30
2012/2/3	0.33	1.85	-0.66	97.0	1	5.5	5.63	1.13	3.49	3.99
2012/2/8	2.40	6.36	-0.52	95.2	3	9.0	13.90	3.66	4.48	4.53
2012/2/28	2.03	3.87	0.17	82.6	4	24.0	3.86	1.63	4.87	5.74
2012/3/13	3.59	7.53	0.39	93.0	1	19.5	11.75	4.63	5.85	6.29

(資料來源：本研究資料)

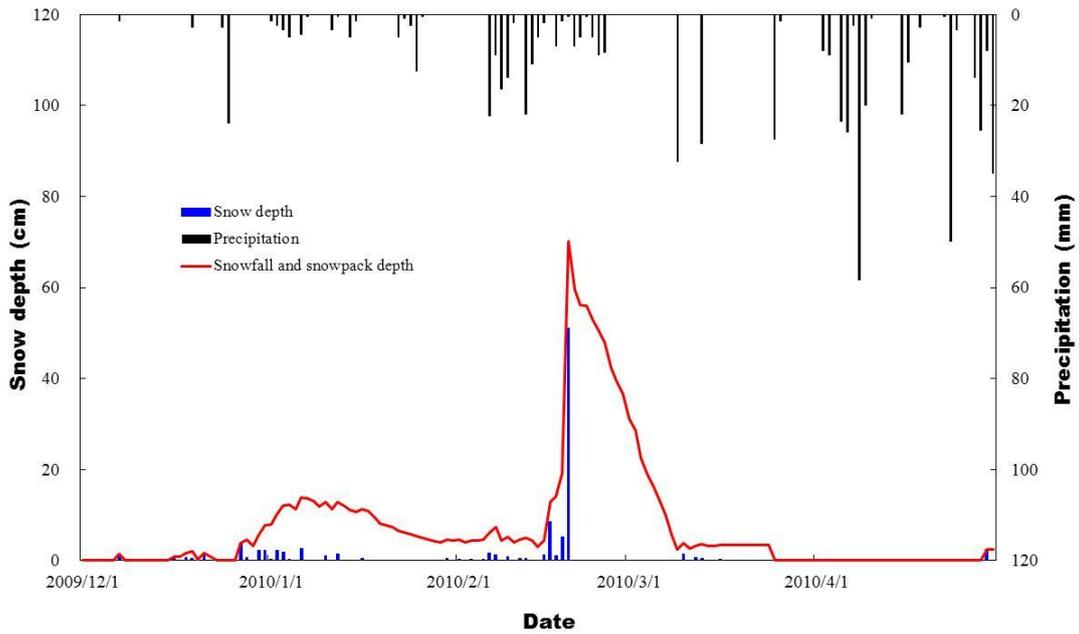
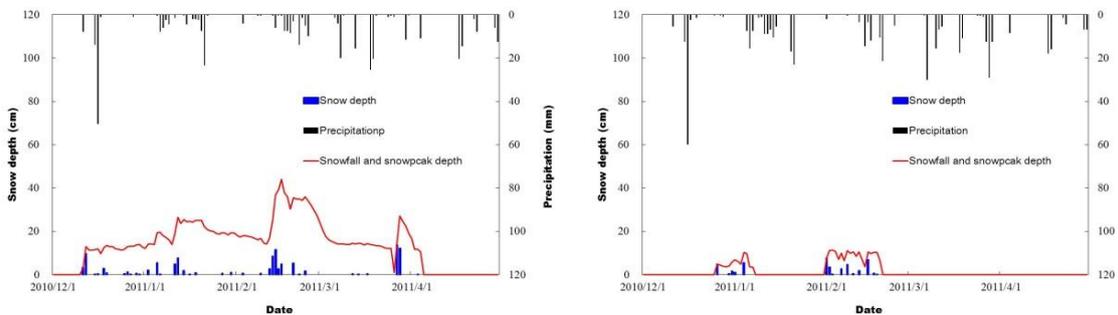


圖1-3. 2010年圈谷氣象站降、積雪深度逐日變化、逐日降雪事件深度及逐日等量降水組體圖。

(資料來源：魏聰輝等，2011)



a. 圈谷氣象站

b. 三六九氣象站

圖1-4. 2011年圈谷及三六九氣象站降、積雪深度逐日變化、逐日降雪事件深度及逐日等量降水組體圖。

(資料來源：魏聰輝等，2011)

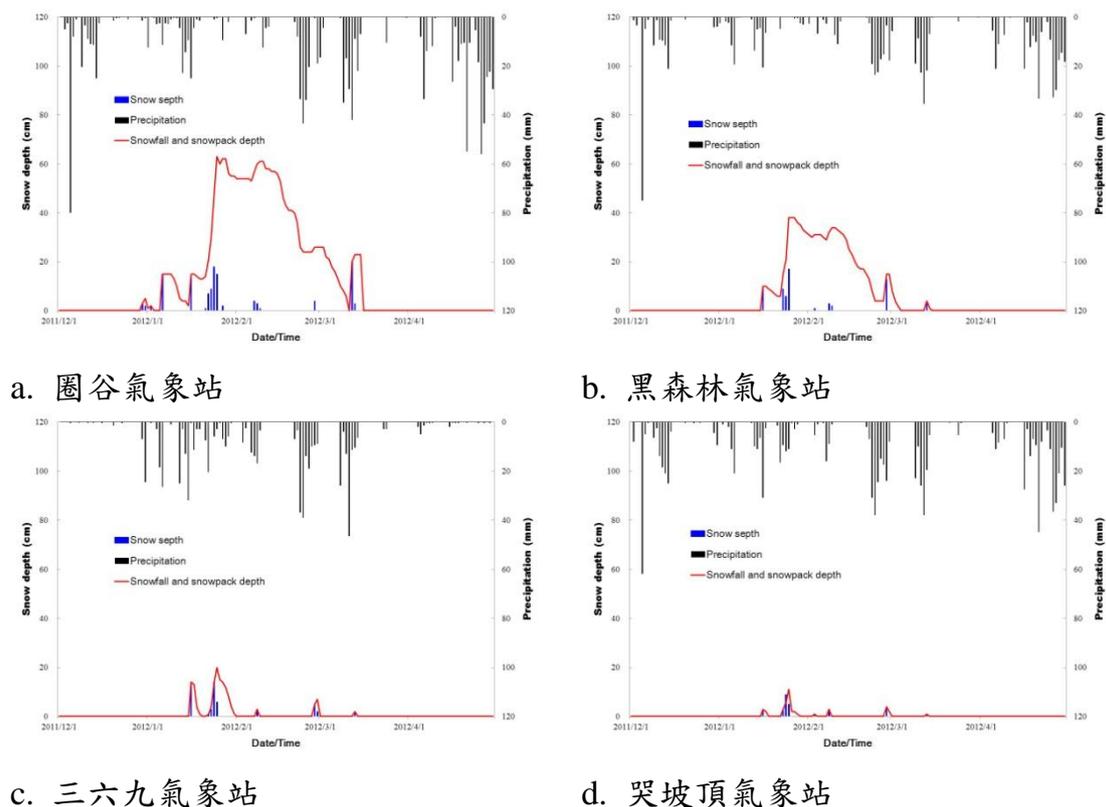


圖1-5. 2012年各站降、積雪深度逐日變化、逐日降雪事件深度及逐日等量降水組體圖。

(資料來源：本研究資料)

#### (四) 衛星影像分析結果

在2012年1月至3月雪山六次降雪事件發生的同時，在合歡山主峰及玉山北峰測站亦觀測到降雪事件(圖1-6)，因此更可以認為臺灣3,000m以上的高山地區，降雪事件是近乎同步發生的；雖然其中玉山測站的積雪深度變化過於劇烈，但經確認了紀錄的方式後，和本研究所選擇的圈谷、三六九及合歡山等三個測站的雪深觀測原理類似，所紀錄的資料具有同樣的可議性，原因可能來自於觀測員為校正紅外線雪深計的人為測量差異、測站建築遮蔽以及每日多次的測量只彙整成一日一筆所出現的誤差所導致。雖然各個測站積雪深度隨緯度有所落差，但這些地點降雪量差異似乎和緯度有關，緯度最高的雪山圈谷、雪山黑森林測站的積雪深大於合歡山，又大於玉山北峰測站。

臺灣地區北中南三處測站連成了的線狀觀測，但是，並沒有辦法確切地掌握臺灣高山地區降雪分布的區域，為了進一步瞭解全臺灣的降雪分布

面積，以便於分析高山地區生態系的水文及熱量收支，本研究透過衛星的遙測資料來得到降雪空間分布資訊，選用了兩筆MODIS及SPOT衛星的觀

2012/1/1 ~ 3/31 Snowfall and Snowpack

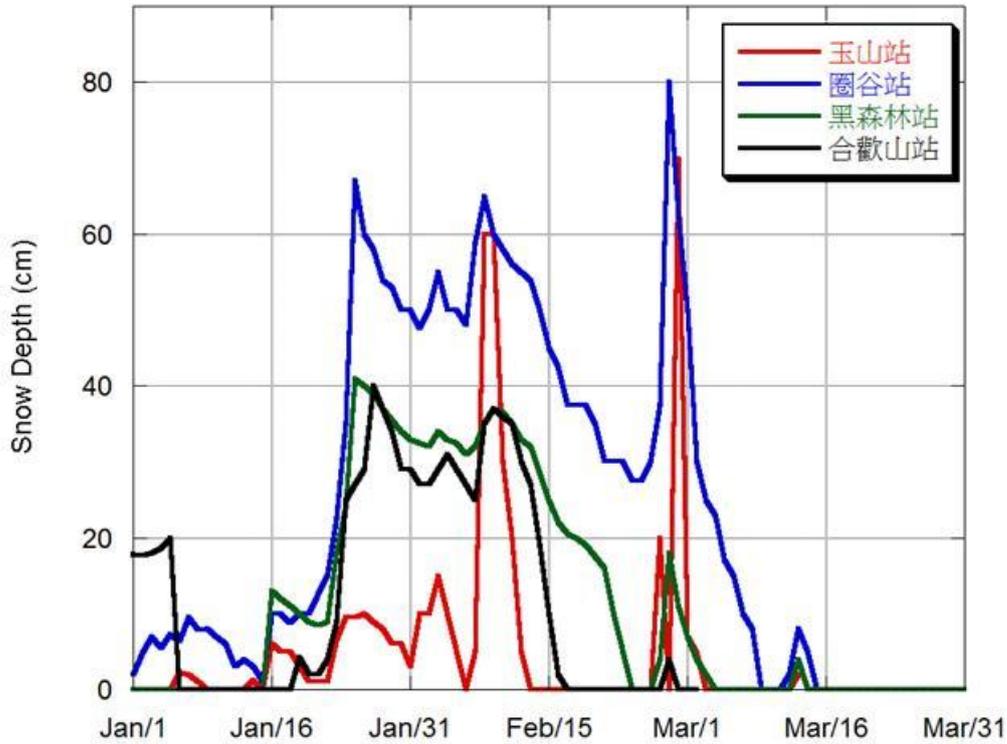


圖1-6. 2012年1月1日至2012年3月31日，四個測站逐日積雪深。

(資料來源：本研究資料)

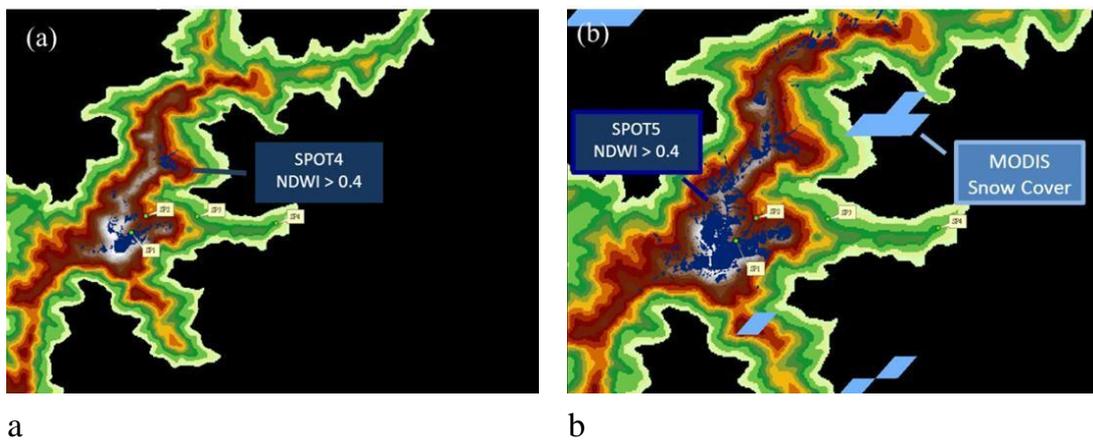


圖1-7. a. 2010年3月19日，SPOT4計算NDWI>0.4的區域(比例尺：1:100,000)、b. 2011年2月27日，深藍色為SPOT5計算NDWI>0.4的區域，淺藍色為MODIS衛星光譜資料的Snow Cover (比例尺：1:75,000，圖片上方為北)。

2011年2月27日，深藍色為SPOT5計算NDWI>0.4的區域，淺藍色為MODIS衛星光譜資料的Snow Cover (比例尺：1:75,000，圖片上方為北)。

(資料來源：本研究資料)

測資料來和相同時間圈谷測站的雪深計進行比較，希望藉由單點測站的深度觀測，來驗證衛星遙測的準確性，進一步掌握降雪的空間分布可信度和涵蓋面積的推估。

### (五) SSiB model 測試結果與觀測資料比較

SSiB model是一維的陸氣交互作用模式，初始場便描述了植被差異、土壤特性、水文收支和輻射通量變化等等的地表參數，其中最為特殊的便是地表積雪層的設定，不論是熱通量的收支或是水文的循環，SSiB model都將積雪層所造成的影響納入了模式計算。因此，嘗試利用SSiB model對於積雪初始場的設定，將臺灣高山生態系獨特的降雪環境作詳盡地描述，以準確地估測土壤含水量的變化以及熱通量的交互作用。

蒐集2011年1月1日至12月31日圈谷測站地表以上的氣象資料(氣溫、氣壓、比濕、太陽輻射、長波輻射、風場、降雨量)，利用SSiB model，以氣象資料作為地表以上大氣給予地表的熱量和水量，用以驅動地表以下的水文循環及熱通量傳送，並以地表以下的觀測資料，作為初始場(土壤含水量、土壤溫度)，進行單點的一維模擬，得到測站單點垂直以下相對於地表氣象觀測的每日平均土壤溫度、土壤含水量、植被溫度等等參數之後，再與圈谷測站地表以下的觀測數據進行比對，以測試SSiB model對於圈谷測站該點陸氣交互作用模擬的準確性。

SSiB model中，對於向下的長波輻射的輸入，除了由直接觀測所提供輻射值之外；也引用了Brunt's Equation(1932)，

$$R = \sigma T^4 (a + b\sqrt{p}) \quad (1-12)$$

公式(1-12)考慮氣溫 $T$ 、水蒸氣壓 $p$ 、Stefan-Boltzmann常數 $\sigma$ 進行計算，其中 $a$ 和 $b$ 為經驗參數(Pekeris, 1934)；雪山圈谷站由於並未測量向下的長波輻射，所以在之後的測試中皆以Brunt's Equation的計算結果作為長波輻射的輸入場；為了補足長波輻射觀測的缺漏，本研究特別在2011年12月於合歡主峰增設一套微氣象觀測儀器，增加了入射長波輻射的觀測，供之後進行比對與分析。

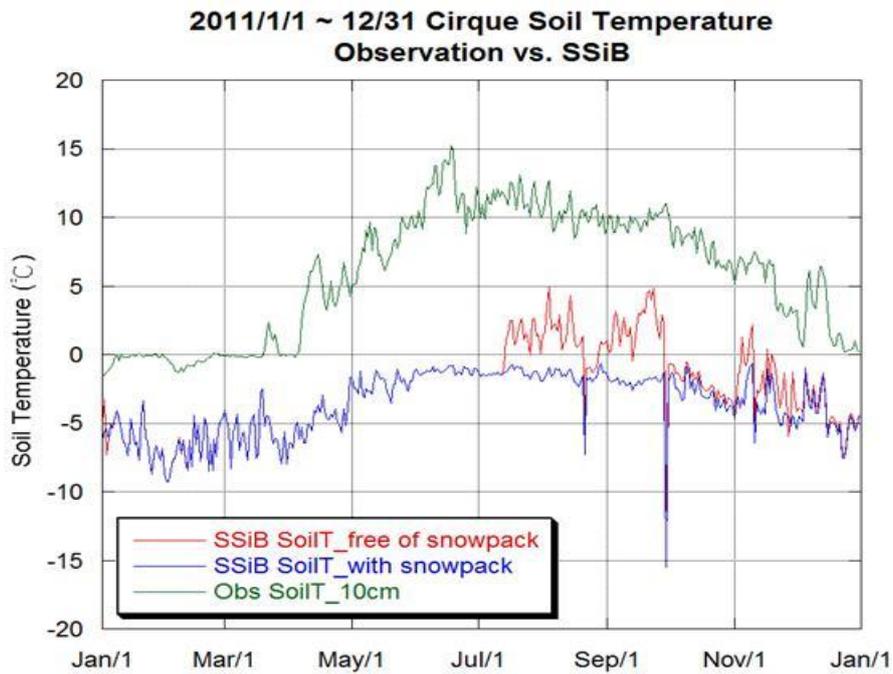


圖1-8. 2011年1月1日至12月31日，雪山圈谷站每日平均土壤溫度觀測與模擬比較；紅線為SSiB model初始場地表面無積雪，藍線為SSiB model初始場地表面有積雪，綠線為測站觀測值。

(資料來源：本研究資料)

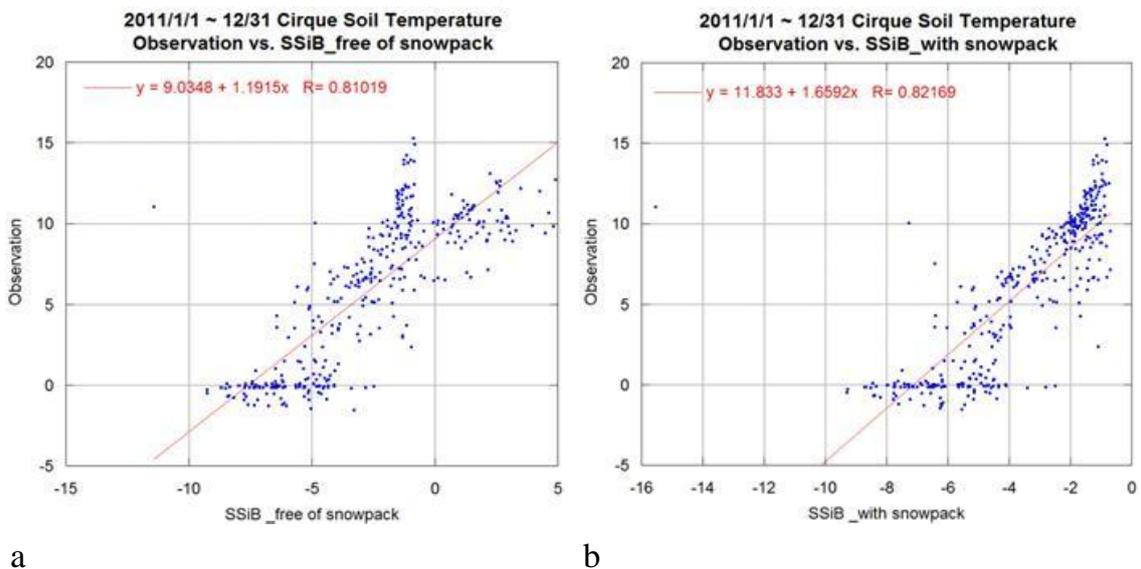


圖1-9. 2011年1月1日至12月31日，雪山圈谷站每日平均土壤溫度觀測與SSiB模擬結果之相關係數；a. 初始場地表面無積雪、b. 初始場地表面有積雪。

(資料來源：本研究資料)

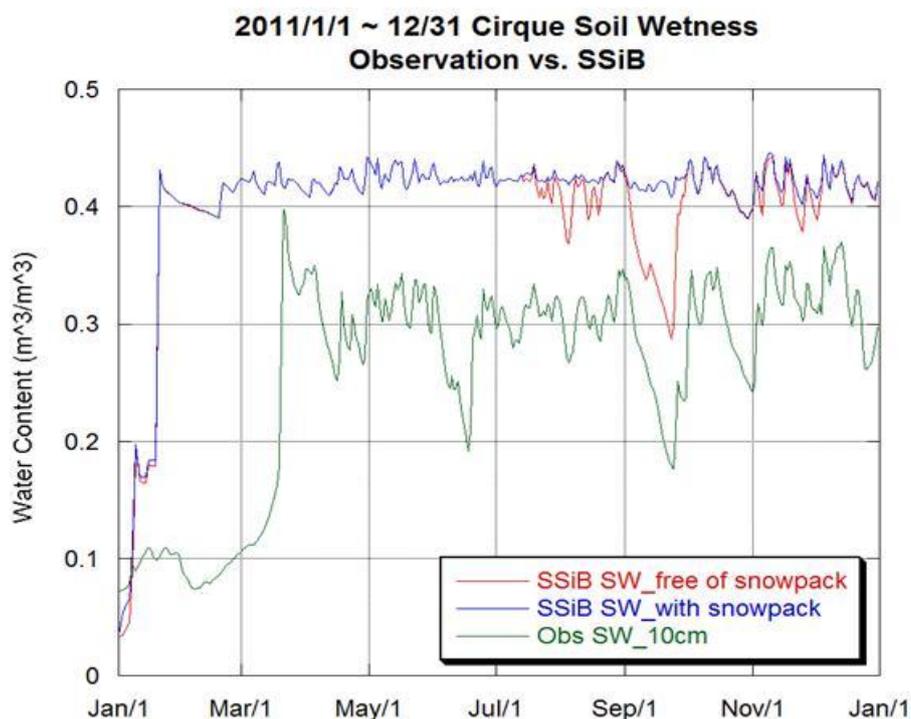


圖1-10. 2011年1月1日至12月31日，雪山圈谷站每日平均土壤濕度觀測與模擬比較；紅線為SSiB model初始場地表面無積雪，藍線為SSiB model初始場地表面有積雪，綠線為測站觀測值。

(資料來源：本研究資料)

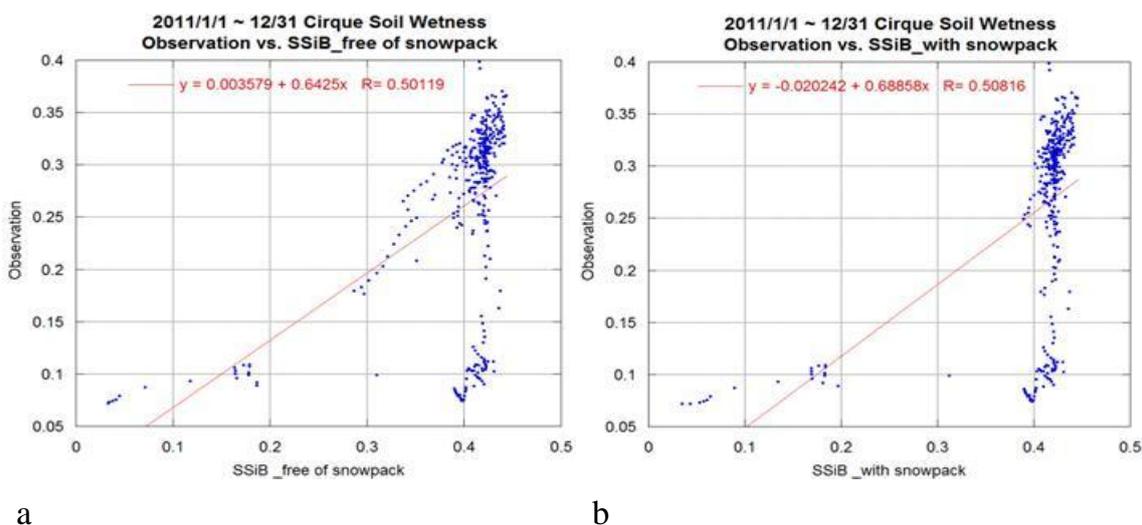


圖1-11. 2011年1月1日至12月31日，雪山圈谷站每日平均土壤濕度觀測與SSiB模擬結果之相關係數；a. 初始場地表面無積雪、b. 初始場地表面有積雪。

(資料來源：本研究資料)



圖 1-12. 2011 年 1 月 1 日至 5 月 16 日合歡主峰站，每日平均土溫觀測與模擬比較；紅線為採用 Brunt's Equation 所計算出的長波輻射，綠線為採用觀測的長波輻射數據，藍線為測站土壤溫度觀測值。

(資料來源：本研究資料)



圖 1-13. 2011 年 1 月 1 日至 5 月 16 日合歡主峰站，每日平均土壤濕度觀測與模擬比較；紅線為採用 Brunt's Equation 所計算出的長波輻射，綠線為採用觀測的長波輻射數據，藍線為測站土壤濕度觀測值。

(資料來源：本研究資料)

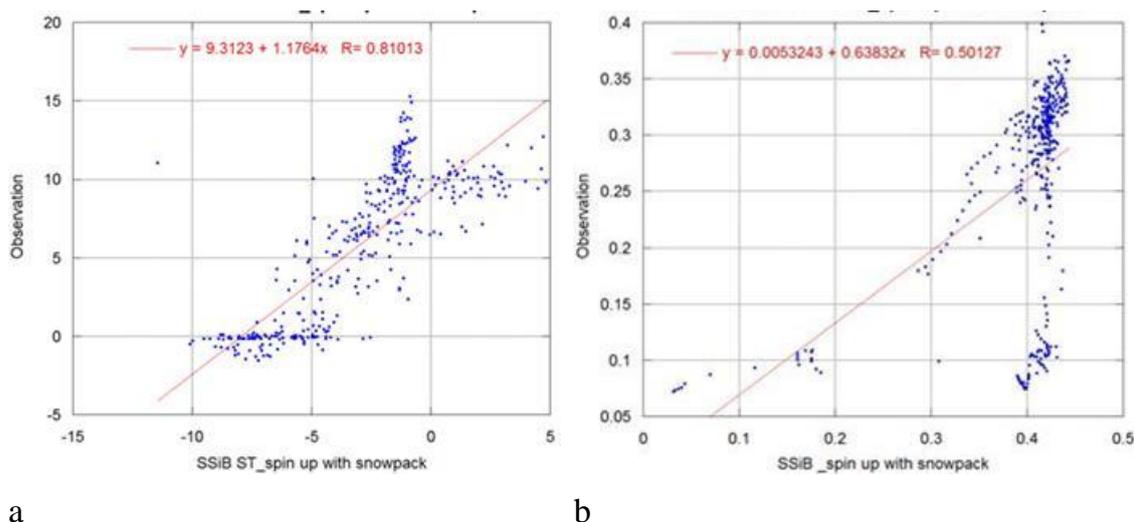


圖1-14 2011年1月1日至12月31日，圈谷站與SSiB模擬Spin up後結果之相關係數；  
a. 日平均土壤溫度、b. 日平均土壤含水量。

(資料來源：本研究資料)

## (六) 積雪層熱量收支分析

### 1. 降、積、融雪氣象參數

為了解2012年降、積、融雪各個參數的實際變化，將圈谷氣象站與黑森林氣象站之氣溫、草溫及地溫及土壤含水率等項目以逐日變化圖呈現；圖1-15顯示了2012年1月1日至3月31日的日平均氣溫、草溫、地溫(10cm、20cm)逐日變化；圖1-16為 2012年1月1日至3月31日之日平均土壤含水量、積雪深逐日變化。

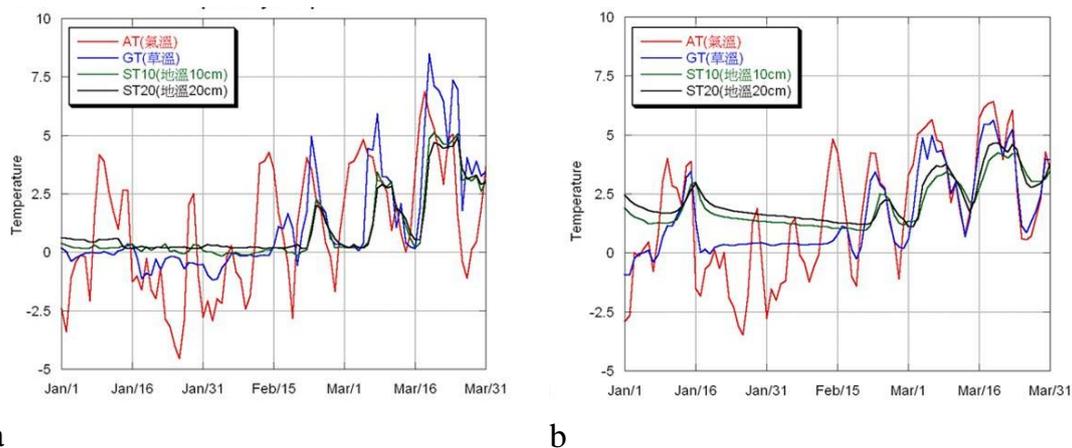


圖1-15. 2012年1月1日至3月31日日平均氣溫、草溫、地溫(10cm、20cm)；a. 雪山圈谷站、b. 雪山黑森林站。

(資料來源：本研究資料)

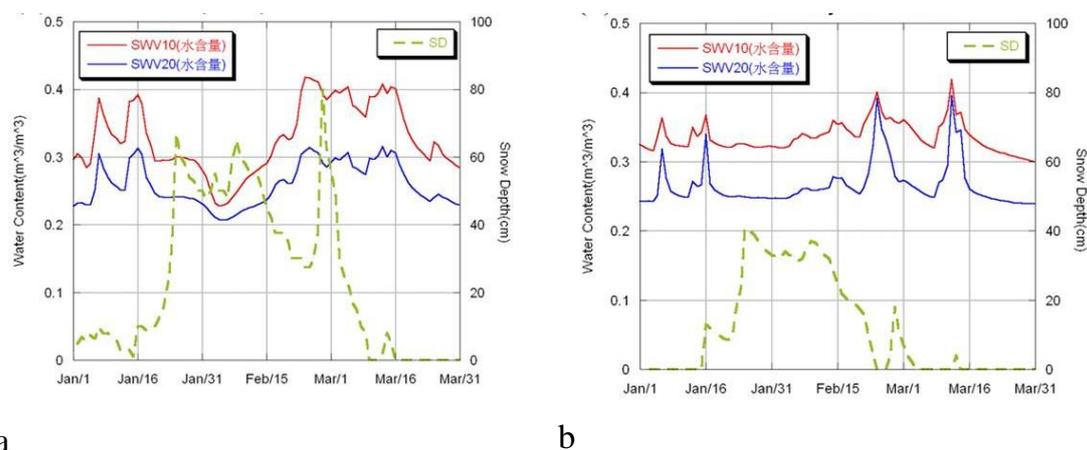


圖1-16 2012年1月1日至3月31日日平均土壤含水量、日平均積雪深；a. 雪山圈谷站、b. 黑森林測站。

(資料來源：本研究資料)

## 2. 熱量收支

生態系將環境中的無機物和有機的生物體串聯起來，並同時利用構成有機物的複雜將過程，將所產生的熱量儲存，其中主要機制就是藉由植物的光合作用啟動，而驅動光合作用的熱量是來自於對於太陽能的吸收，因此太陽輻射量的多寡往往支配了一個地區的生態系組成(魏聰輝和林博雄，2011)；進入雪季之後，地表積雪期間呈現出單一的表面，這是與未積雪的地表明顯不同之處。因此，瞭解降雪、積雪與融雪過程的熱量收支，是很重要的，由這個過程，可以做為模式開發、改善地表氣候模式的重要依據。積雪由固態改變成液態時，太陽輻射更是所需熱量的主要來源(Oke, 1993)。熱量收支變化可明顯地分辨出雪季與非雪季的時間分布及特性差異，因此降雪和融雪對於大氣與陸地的邊界交互作用有相當重要的影響。

圖1-17係蒐集圈谷氣象站、黑森林氣象站，自2010年1月1日，至2012年1月30日，以包文比能量平衡法進行熱量收支分析，熱通量各分量逐月變化；圖1-18則為2012年1月1日至3月31日兩測站之地表熱通量。

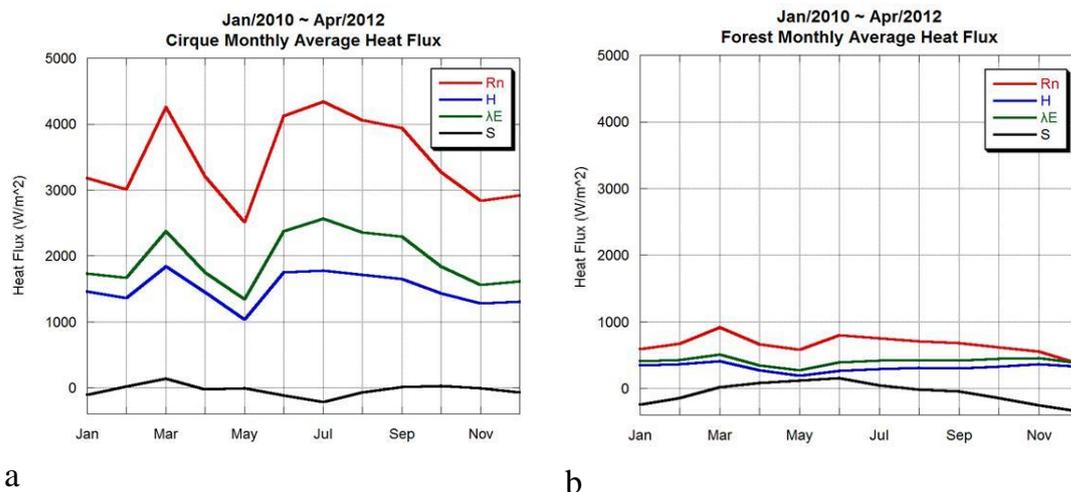


圖1-17 雪山地區圈谷及黑森林氣象站月平均熱通量逐月變化圖(2010年1月1日至2012年1月30日)， $Rn$ ：淨輻射通量，紅線、 $H$ ：顯熱通量，藍線、 $\lambda E$ ：潛熱通量，綠線、 $S$ ：土壤熱通量，黑線；a. 圈谷氣象站、b. 黑森林氣象站。

(資料來源：本研究資料)

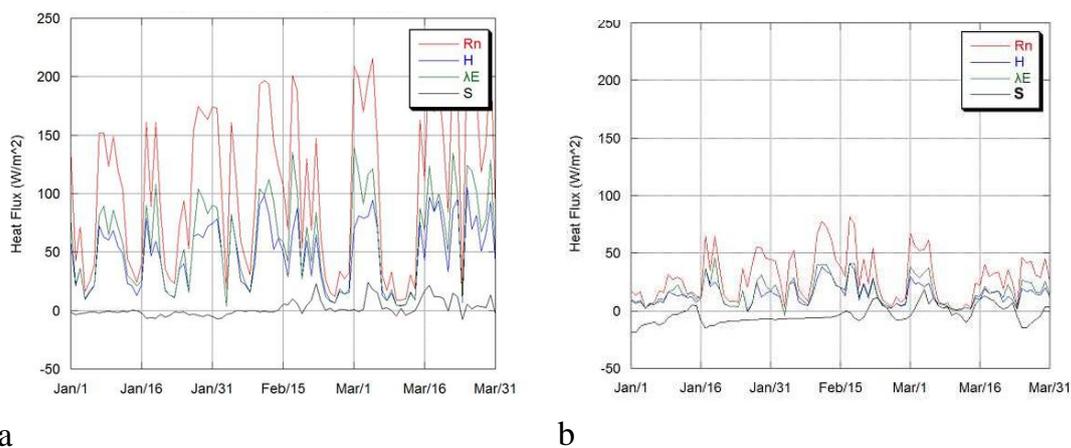


圖1-18 雪山地區圈谷及黑森林氣象站2012年雪季日平均熱通量逐日變化圖(2012年1月1日至3月31日)；a. 圈谷測站、b.黑森林測站。 $Rn$ ：淨輻射通量，紅線、 $H$ ：顯熱通量，藍線、 $\lambda E$ ：潛熱通量，綠線、 $S$ ：土壤熱通量，黑線。

(資料來源：本研究資料)

## 四、討論

### (一) 高山生態系微氣象

高山氣象站之氣候以低溫、強風、多霧、積雪見稱，茲就日射量、氣溫、相對濕度、降水特性於本節加以闡述。

#### 1. 日射量

由於太陽與地球的相關位置隨著四季的更迭不斷地改變，因此地球上的任何一個位置的太陽輻射狀況，是由太陽在天空中的位置決定的，對於北半球來說，夏季時陽光直射北回歸線，北半球絕大部分地區太陽高度角在一年中是最大的季節，由於日照時間長，因而接受的日射量也較多；反之，在冬季時，太陽對北半球高度角最小，日照時間短，接受的日射量也較少；就本省地理位置而論，平均日射量在月份的變動，應以六月份為最大，而呈常態分佈(黃國禎、徐森雄，1982)，這種情形如果以曲線來表示，通常呈現鐘型。根據統計數值可以看出整體的變化趨勢並未完全符合這種季節分布；四處測站年變化中的一個共同趨勢，均以3月份高於其他月份(SP1的7月除外)較為特殊，4月份理論值應高於三月份，唯由月平均相對濕度分布圖(圖1-2c)、降水量分布圖(圖1-2d)得知，四站均以3月份呈現最低值，代表該月份大氣透明度高，可有效增加太陽輻射量抵達地面；4月至6月份進入鋒面雨季節，霪雨天氣之際，雲層降低大氣透明度或阻隔太陽輻射，導致鐘型曲線的凹陷現象。

雪山地區日射量之分布，年總量平均值之變化趨勢，隨海拔遞減而遞減，圈谷站為 $4,595.00 \text{ MJm}^{-2} \text{ year}^{-1}$ 、三六九站為 $4,834.37 \text{ MJm}^{-2} \text{ year}^{-1}$ 、哭坡頂站為 $5,291.95 \text{ MJm}^{-2} \text{ year}^{-1}$ 。黑森林站僅 $891.52 \text{ MJm}^{-2} \text{ year}^{-1}$ ，較之三六九站減少了 $3,942.85 \text{ MJm}^{-2} \text{ year}^{-1}$ ，顯示82%的日射量為冠層所遮阻截留。

#### 2. 氣溫

各站年均溫介於 $4.5^{\circ}\text{C}$ (SP1)至 $8.4^{\circ}\text{C}$ (SP4)；氣溫年變化很明顯呈現正弦曲線變化，以每年冬季1月份為最低值，介於 $-1.0^{\circ}\text{C}$ (SP1)至 $2.4^{\circ}\text{C}$ (SP4)、每年夏季7月份為最高值，介於 $8.4^{\circ}\text{C}$ (SP1)至 $13.0^{\circ}\text{C}$ (SP4)。

氣溫隨海拔高度而遞減，此種結果已有大量研究指出一般的乾絕熱遞減率為 $-0.6^{\circ}\text{C} 100\text{m}^{-2}$ ，但通常隨離海距離及月份會有所差異。哭坡頂站與三

六九站遞減率為 $-0.83^{\circ}\text{C } 100\text{m}^{-2}$ 、三六九站與圈谷站遞減率為遞減率為 $-0.57^{\circ}\text{C } 100\text{m}^{-2}$ ，顯示隨海拔越高而遞減率越小。哭坡頂站與三六九站兩站垂直差僅約100 m，溫度梯度絕對值卻達到 $1.2^{\circ}\text{C}$ ，原因可推判係地形的因素有以致之；三六九站所處立地之坡向為西向坡，哭坡頂站所處立地則為陵線，兩側坡面各為東、西向坡；若不考慮天氣因素，僅以地形效應而言，哭坡頂站自日出至日落，全天候均可獲得太陽輻射，三六九站則自正午過後逐漸受到地性遮蔽，致使兩處日射量差距趨大；亦即，輻射對於地表的加熱情形，哭坡頂站是大於三六九站，此點可由表1-5、表1-6及圖1-2觀察得知。

### 3. 相對濕度

臺灣為亞熱帶之海島，平均相對濕度很高，一般而言都在80%左右，中部地區的分布情形在平地平均為80%，山區平均為85%。雪山地區的相對濕度並未完全符合，由統計資料顯示以三六九站的平均相對濕度69.2%最低、圈谷站為75.4%、哭坡頂站為78.9、黑森林站已提高至83.3%；多數學者都認為相對濕度隨著海拔高度的升高而增加，日人吉野正敏(1986)、大陸南京大學學者高國棟等(1994)均認同此一論點；根據吉野氏的研究顯示，以海拔高度1,000至2,000m地域出現最高值，超過2,000m逐漸降低；與海岸線的距離亦是一個影響因子，吉野氏就指出，日本國內高海拔地區通常距離海岸線較遠，因此與海岸線的距離應較海拔高度的影響較為深遠；影響相對濕度的另一因子為山地內的動力，高國棟等認為，相對濕度通常是隨著高度的升高而增加，但也不是完全固定的，還要考慮山地內動力原因對它的影響，當山地內有上升氣流時，相對濕度就高；當山地內有下降氣流時，相對濕度就低，因此，相對濕度就有很大的變動性，尤其在孤立的山峰處是如此。相對濕度亦因地表狀態而有所差別，森林狀態對於大氣的另一效應為保濕功能，此種現象可由振幅小於非森林被覆之測站得知。

### 4. 降水量

山區降雨量的空間分布特性，通常為隨海拔遞昇而遞增，超過3,000m以上之山區，則線性關係將消失，至於以哪一高度為最高值出現點，通常因缺乏在同一集水區內安裝密集觀測，而無法確知。雪山四處氣象站海拔均高於3,000 m，又位於同一集水區系，恰可依賴觀測數據，作為判斷的參考依據，四站的平均年雨量分別為圈谷站 2,430.6 mm、三六九站2,569.1

mm、哭坡頂站2,370.3 mm，統計資料顯示係以位於海拔高度為3,142m的圈谷站為最高值出現點。

黑森林站係設置於林內，所承獲之降雨為林內雨，林內平均年雨量仍高於三六九站之林外雨，是一比較特殊的現象；眾所周知，當降雨事件發生時，在林分中首先就是森林冠層的截留作用，使得降落的水量無法順利地到達林地表面，並因蒸發作用再度回到大氣，此現象即截留損失(Interception loss)，而枝、葉面截留超過儲存的最大量時，水或雪滴落地面，謂之樹冠滴落雨量(drip fall)；通過樹冠間隙，直接下降於林地者，謂之樹冠穿落雨量(free throughfall)；冠層截留導致林內降雨量的再分配現象，而這個現象對地表之雨滴沖蝕可能有其重要影響(賴彥任等，2007)。

## 5. 風速

風速分布以高海拔測站高於較低海拔測站，圈谷站不論平均風速(圖1-2e)或最大風速(圖1-2f)，均呈現此種趨勢。風速年變化中，不論平均風速或最大風速，均以10月至翌年4月，高於5月至9月，可以認為係受到東北季風的影響程度，高於西南季風。

強風為高山生態系迥異於中、低海拔生態系的氣象參數之一。雪山生態系值得矚目的現象為圈谷站極端風速的強度極為強大，綜觀表1-2、圖1-2f，可了解月平均最大風速介於 $21.1 \text{ ms}^{-1}$ (9月)至 $33.5 \text{ ms}^{-1}$ (1月)，2010年1月3日 0:22極端風速高達 $81.8 \text{ ms}^{-1}$ ，此種風速已經不屬於熱力風系，觀測資料顯示最大風速所吹拂的風向均來自於北方谷風(魏聰輝等，2011)。

### (二) 降雪深度之對照監測

圈谷站、三六九在2009年9月設站初期，即已分別安裝雪深計與雨量計，冀望以「降積雪深度」、「等量降水」的觀測策略相互對照；唯傾斗式雨量計在進入冬季後，儀器本身亦因低溫，無法將所承接的固態降水的雪片融解，以致有「時間遲滯」的觀測誤差；另一方面，當液態降水事件發生時，較高溫的雨水，將停滯於雨量筒的雪片融解，帶入感測器，兩者之間的區隔，目前存在著實際的困難，因此實難以將兩種不同觀測性質的觀測值，做為對照比較的依據。

使用「雪尺」量測降、積雪深度，係傳統的氣象觀測方式，但因必須

由仰賴人工前往判讀，造成人力上相當程度的負擔。拜科技進步之賜，可利用網路攝影機或自動照相機輔助未逮之人力，因市售自動相機已經相當普及，可減少儀器所花費的成本。

本節以圈谷氣象站所施行觀測的統計結果，探討「雪深計」、「雪尺」的對照監測。圖 1-19 為圈谷站雪深計、雪尺及雨量計等量降水逐日時序圖，圖 1-20 給出了兩種觀測方式單日統計值的相關性。

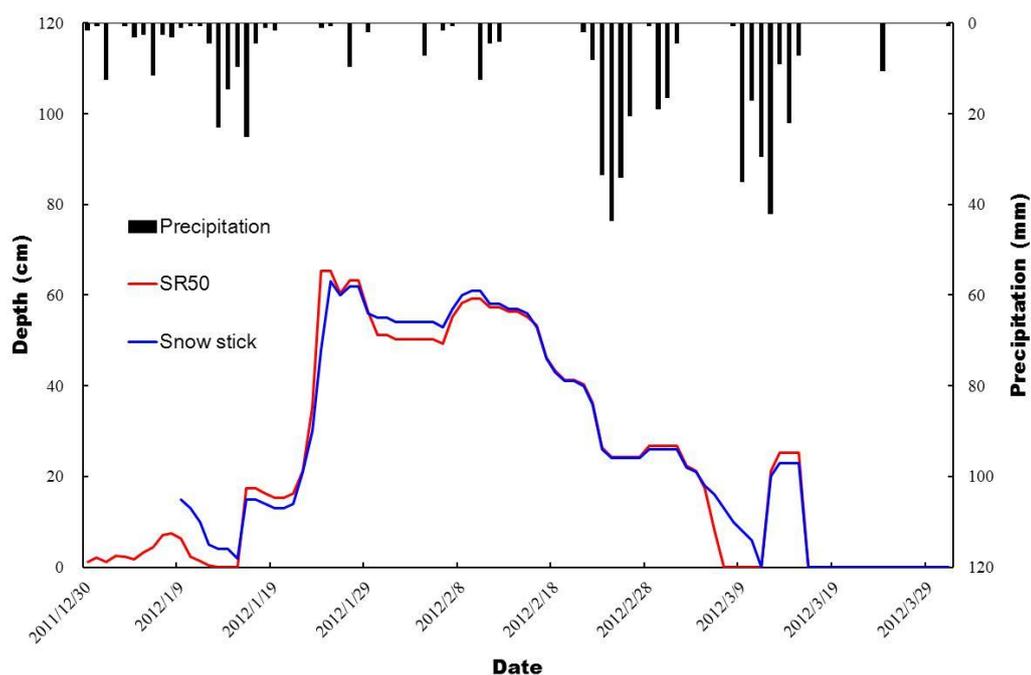


圖1-19. 圈谷氣象站2012年雪季使用雪深計、雪尺所觀測降、積雪深度及使用雨量計所觀測等量降水逐日變化圖

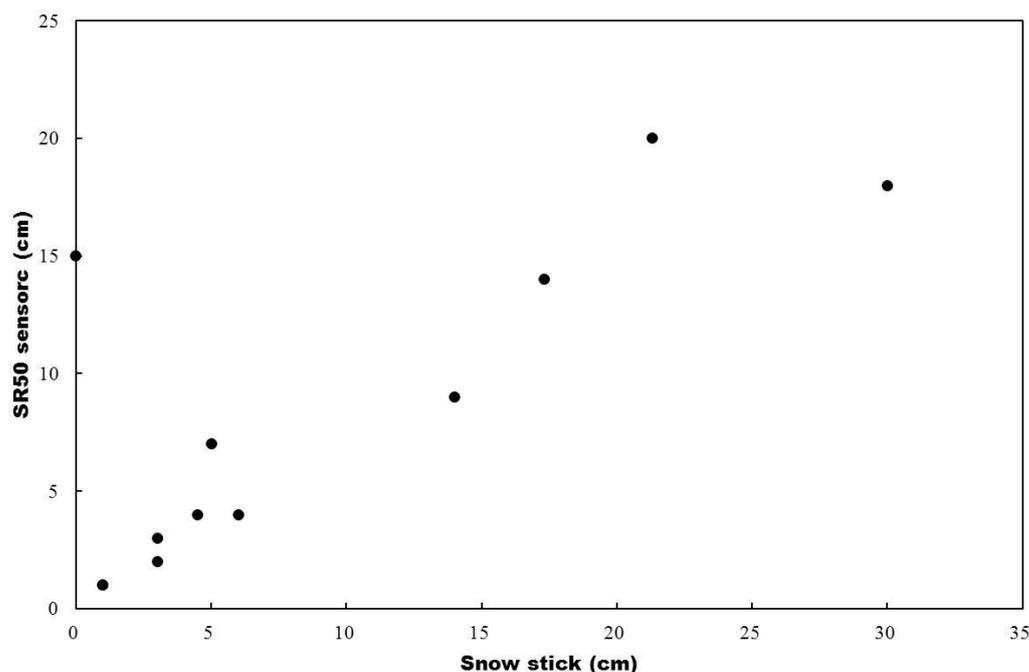


圖1-20. 圈谷氣象站2012年雪季雪深計使用雪深計、雪尺所觀測降雪深度日統計相關圖

圖1-19表明，使用雪深計所施行之觀測，在降雪時段獲得較高觀測值，使用雪尺所施行之觀測，在融雪時段獲得較高觀測值統計值。其原因，應探討兩種觀測標的之地表狀況；在裝設雪深計之時，為使觀測標的地表可反射感應器所發出的超音波，遂於地表擺設石塊，並使之呈現水平，其週遭較之雪尺之觀測標的地表，則相對空曠，因此可承接較多的降雪。待降雪停止，日出後輻射加熱，觀測標的地表之積雪缺乏植被遮蔽，積雪自然較易融解。

圖1-20中兩個觀測點偏離趨勢線，對照圖1-6，兩個觀測發生於2012年1月24日、1月25日，X軸(雪尺)、Y軸(雪深計)觀測值分別為(30cm、8cm)、(0cm、15cm)；其原因係使用雪深計觀測標的地表之積雪，於1月24日全部融解；使用雪深計觀測標的地表之積雪，則區隔成2日，分別於1月24日融解了8cm、剩餘15cm於25日才融解。

至於兩種觀測策略之間的誤差，可依據統計值獲知。自安裝雪尺後，共觀測14件降雪事件(參見表1-9)，雪深計觀測值合計為110.1 cm，雪尺觀測值合計為101.0 cm，兩者相差9.1 cm誤差比率為8.26%；尚屬可接受範圍。

### (三) 降、積雪量時空分布

#### 1. 降、積雪量時間分布

臺灣島雖位處亞熱帶，只有 3,000m 以上高海拔地區每年會有機會降雪，海拔 3,000m 以下地區，除南投縣合歡山一帶，係面對太平洋的迎風面特殊地形因素，每年的降雪事件，均吸引生活於亞熱帶地區的國人上山賞雪，交通因此而為之阻塞。

雪山圈谷地區為蘭陽溪上游集水區，以大尺度的觀點，屬於面對太平洋的迎風面，當東北季風期間，來自大陸冷氣團侵襲期間，如果水氣條件充足，即可為本地區帶來降雪。

自從設站後，圈谷站共遭逢 92 場降雪事件(以日統計值作為判斷依據)，分別為 2010 年(2009 年 12 月至 2010 年 4 月)計 34 場降雪(詳見表 1-7、圖 1-3);2011 年(2010 年 12 月至 2011 年 4 月)計 37 場降雪(詳見表 1-8、表 1-9、圖 1-4);2012 年(2010 年 12 月至 2011 年 3 月)計 21 場降雪(詳見表 1-10 至表 1-13、圖 1-21)。

2010 年降雪僅止於黑森林，紀錄顯示 2009 年 12 月 7 日為 2010 年冬季本地區初雪，初雪隨即全部融解；間隔 9 日後降下第二場雪，自此進入積雪期，積雪持續至 2010 年 3 月 13 日全部融解，其後又於 4 月 29 日又降下一場終雪；降雪、積雪日數達 90 日，最高積雪深度為 2010 年 2 月 19 日的 51.0 cm，34 場事件總降雪量為 100.6 cm。

2011 年初雪始於 2010 年 12 月 11 日，終雪止於 2011 年 4 月 3 日；2010 年 12 月 26 日降雪之雪訊已到達海拔 3,000m(哭坡頂氣象站)山區；圈谷站之降雪日數為 37 日、積雪日數達 102 日，最高積雪深度為 2010 年 12 月 16 日的 50.5 cm，37 場事件總降雪量為 110.1 cm。三六九站之降雪日數為 15 日、積雪日數為 21 日，最高積雪深度為 2011 年 2 月 11 日的 7.7 cm，15 場事件總降雪量為 42.3 cm。

2012 年初雪始於 2011 年 12 月 30 日，終雪止於 2012 年 3 月 13 日；2012 年 1 月 16 日降雪之雪訊，亦已到達海拔 3,000m(哭坡頂氣象站)山區；本年度藉由雪尺之觀測，可增進四處氣象站降雪之實態。圈谷站(詳見表 1-10)之降雪日數為 21 日、積雪日數達 69 日，最高積雪深度為 2012 年 1 月 24 日、25 日的 65.3 cm，21 場事件總降雪量為 140.5 cm。黑森林站(詳見表 1-11)之降雪日數為 9 日、積雪日數達 50 日，最高積雪深度為 2012

年1月25日至26日共3日均維持在38.0 cm，9場事件總降雪量為65.0 cm。三六九站(詳見表 1-12)之降雪日數為9日、積雪日數達18日，最高積雪深度為2012年1月25日的20.0 cm，9場事件總降雪量為50.0 cm。哭坡頂站(詳見表 1-13)之降雪日數為8日、積雪日數達13日，最高積雪深度為2012年1月25日的11.0 cm，8場事件總降雪量為29.0 cm。

不同年分的時間分布，以圈谷氣象的觀測值比較分析之；三年冬季中，降雪日數、積雪日數以2011年最多，降雪量及積雪深度以2012年140.5 cm、65.3 cm 最高；初雪至終雪間隔日數雖然以2010年最多，但實際上，2010年4月29日終雪與前一場降雪事件間隔達36日，時序已進入植物發芽期，該場降雪事件發生得極為特殊，極有可能產生凍害，進而影響該年分之營養生長(增沢，1992)。

## 2. 降、積雪量空間分布

降雪隨海拔遞升而遞增的垂直分布特性，為歷史研究的共同結論，主要係因為隨海拔遞升、氣溫逐漸降低，降水遂冷凝為雪，而以固態形式下降；降雪量與海拔兩者間的空間分布，甚至可簡略的直線相關加以描述(吉野，1986)。

表 1-14 摘示了四處氣象站 2012 年冬季之降雪量、降雪日數、積雪日數、最大積雪深度及初雪、終雪日期。圖 1-8 則為統計值隨海拔升高則逐漸增加的趨勢。

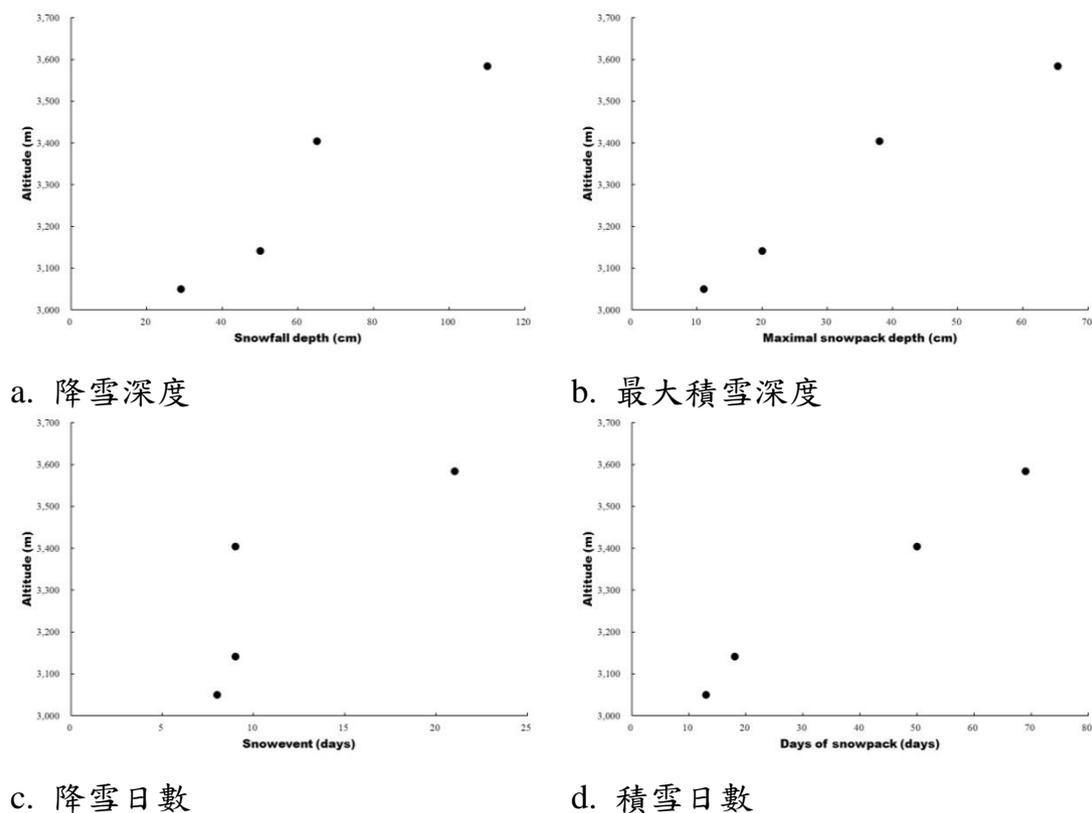


圖 1-21. 圈谷氣象站 2012 年雪季之降雪深度、最大積雪深度、降雪日數及積雪日數隨海拔遞昇而遞增之變化趨勢

(資料來源：本研究資料)

表 1-14. 圈谷氣象站 2012 年雪季之降雪深度、最大積雪深度、降雪日數及積雪日數初雪與終雪日期一覽表

測站	圈谷	黑森林	三六九	哭坡頂
站碼	SP1	SP2	SP3	SP4
海拔高(m)	3,584	3,405	3,142	3,050
降雪量(cm)	110.1	65	50	29
事件數(日)	21	9	9	8
最大積雪深(cm)	65.3	38	20	11
積雪日數(日)	69	50	18	13
降水量(mm)	521	388.2	563	494
初雪日	2011/12/30	2012/1/16	2012/1/16	2012/1/16
終雪日	2012/3/15	2012/3/13	2012/3/13	2012/3/13

(資料來源：本研究資料)

#### (四) 衛星影像分析結果

2010年3月19日解析度20m的SPOT-4衛星影像，利用其所觀測到的近紅外光以及短波紅外光對於水吸收的差異，計算出Normalized Difference Water Index (NDWI, Gao, 1996)，將NDWI分布的不連續面臨界值0.4挑出，當作圈谷的裸露地形中含水量出現極大值的區域，也就是有積雪的範圍；同時，也將解析度500m的MODIS衛星光譜資料的影像，利用可見光與紅外光所計算出的Snow Cover channel疊至解析度為30m的DTM(Digital Terrain Model)地形圖上進行比對(圖1-7a)；在這個案之中MODIS衛星光譜資料的影像在雪山主峰東稜線地區，並沒有Snow Cover的訊號，而SPOT4所計算出的NDWI估計在雪山主峰到圈谷應該還有零星的殘雪分布。根據我們的雪山圈谷站的雪深資料可確認當天圈谷測站仍有1~2公分厚的殘雪。因此，利用SPOT4計算出的NDWI以估計積雪範圍有較好的表現。

圖1-7是2012年2月27日衛星影像討論個案，當天雪山圈谷站約有12.2公分厚的積雪，解析度10m的SPOT-5衛星所計算出的NDWI大於0.4的區域分布在3,500 m以上的地區，和觀測結果相當類似；但反觀MODIS所提供的Snow Cover卻只有在3,000 m以下出現零星的訊號，明顯與實際觀測有極大的出入。這原因可能是MODIS衛星光譜資料的snow cover利用可見光及紅外光推演積雪面積時，受到樹木遮蔽的影響(在北半球森林地區的估算都有相當嚴重的誤差)，因此使用MODIS 衛星光譜資料的snow cover必須要再利用其他的參數加以修正才会有比較好的表現。

若要在生物模式中考慮到積雪的影響，必須更準確掌握全臺灣的降雪面積，單點的氣象站是無法準確描述相當具有區域特性的降雪分布，因此本研究嘗試透過衛星影像資料來判斷全臺灣山區的積雪情形。空間解析度較低的MODIS衛星光譜資料，因為Snow Cover channel計算NDSI會受到可見光及紅外線被森林遮蔽的影響，對於臺灣山區降雪空間分布嚴重低估。利用空間解析度較高的SPOT衛星反演計算出的NDWI值，利用此指數在圈谷地區分布不連續的特性加以估計降雪面積，在對照實際的觀測紀錄後，可認為SPOT衛星所計算的NDWI判讀結果相當理想。

SPOT衛星影像所計算出的NDWI對於積雪分布範圍掌握良好，在未來可持續蒐集各個時段SPOT衛星的高解析度影像，計算NDWI和更多的降雪

個案進行比較，以得到更準確的NDWI不連續臨界值，來界定積雪分布的範圍。除此之外，也可利用MODIS衛星光譜資料中相同的波段，計算NDWI值，進而比較不同解析度的計算結果。

### (五) SSiB model 測試結果與觀測資料比較

本研究使用的SSiB model的積雪層模式為最初階的版本，只能在初始場設定地表是否有積雪狀況，無法設定積雪深度和發生和持續的時間，接下來將對於初始場進行調整，試比較積雪層於SSiB model的影響。於是，利用圈谷測站2011年解析度為三十分鐘的氣象觀測資料輸入SSiB model後，將針對初始場有、無積雪模擬出的日平均土壤溫度(圖1-8)和土壤濕度(圖1-10)年變化與觀測資料進行比對。

土壤溫度的模擬和觀測比較的結果，不論初始場設定有無積雪覆蓋，SSiB model的模擬結果都明顯較觀測值低了約五度。但，從季節變化的趨勢，可以明顯分辨出在地表有積雪覆蓋的模擬結果雖然較觀測值低，變化的趨勢卻相當類似；尤其是夏季的最高溫以及12月兩次日均溫的局部極值的表現都相當好，模擬結果和觀測數據的相關係數也較高(圖1-9)；反觀，初始場未設定積雪層的模擬結果在8月至10月突然出現的最高日均溫相當不正常。

土壤濕度模擬的表現結果和土壤溫度大不相同，不論初始場有無地表積雪層的設定，土壤含水量皆高於觀測值約 $0.1\text{m}^3\text{m}^{-3}$ ，且地表積雪融化成雪水注入土壤的水分居然同時增加皆早於觀測的融化速率，但針對土壤濕度，無積雪層卻較有積雪層更能夠表現出8月至9月土壤濕度驟降現象，非雪季的土壤濕度驟降可能是受到太陽輻射大量蒸發作用所導致的，因此在地表無積雪層的模擬中，較能夠依經緯度及太陽輻射的變化，進而模擬出圈谷測站於夏季土壤濕度驟降的趨勢；不論初始場有無積雪層的設定，模擬結果和觀測數據的相關係數都不甚理想(圖1-11)。

測試長波輻射觀測值的使用對於模擬影響的結果，利用2012年1月1日至5月16日於合歡山主峰的氣象資料輸入SSiB模式，但由於合歡山地區常受濃霧壟罩，太陽能板運作不如預期，觀測資料出現中斷的部分以線性內插作補足，而在比較時則只會至實際的觀測資料；土壤溫度的模擬結果(圖

1-12)和雪山圈谷皆有低估約 $5^{\circ}\text{C}$ 的趨勢，是否使用觀測的長波輻射所得到的結果差異不大，以使用觀測數據的模擬結果差異較小，但卻無法表現土壤溫度隨季節逐漸升高的變化；土壤濕度的模擬結果則有較明顯的差異(圖1-13)，使用觀測數據的模擬結果趨勢和觀測資料相近，差距約 $0.1\text{m}^3\text{m}^{-3}$ ，而使用由Brunt's Equation計算出的長波輻射，則明顯低估了土壤濕度且變化過度劇烈並無法掌握真實的變化趨勢。由於合歡山區位於臺灣地區水氣集中的通道上，濕度相當高，這可能也是SSiB model無法準確模擬土壤濕度的結果。

大部分的陸氣交互作用模式，在模式模擬進入穩定之前，都需要一段過渡期。因此，本研究也嘗試假定SSiB在模擬開始之後的第五年會進入穩定，但在測試之後，發現模擬的結果和觀測數據相比較之後，相關係數並沒有明顯的增加(圖1-14)，因此便排除了模式尚未穩定而造成模擬結果不如預期的原因。

由比較結果可以得到長波輻射觀測值的運用對於SSiB model模擬的準確度增進的幅度有限，因此可暫且排除長波輻射為模擬與觀測差異的主要原因；本研究位處海拔較高、濕度較大且非雪季的平均氣溫較高，皆可能為造成模擬與觀測差異的原因；未來若希望可以運用SSiB model在臺灣高山地區作進一步的測試與模擬，建議可以測試調整模式中再結冰(refreezing)過程、描述地表植被的參數，以及對於濕度描述的相關計算，以滿足臺灣地區獨特氣象環境的條件，進而得到較好的模擬結果。

由雪深的觀測紀錄可以發現，各個測站的積雪狀況大不相同，為了詳盡描述區域性的差異，本研究利用一維的陸氣交互作用模式—Simplified Simple Biosphere Model(SSiB)進行土壤含水量、熱通量及積雪層的單點模擬；目前SSiB只有初始場設定單層積雪的版本，模擬的效果與實際觀測比對結果不甚理想；雖然雪季結束、進入春天後隨著溫度升高，積雪融化使土壤含水量驟升，但再一次進入雪季時，SSiB無法模擬出降雪導致含水量驟降的趨勢。

降雪，對於冬季高山生態系是一個當重要的環境因子，若要增進對於降雪面積的了解，衛星遙測影像是一種估計全臺灣降雪分布相當良好的方式，未來若有更豐富的資源，便能增加衛星影像的數量，再進一步地配合

其他生物參數，加以去除植物體含水的訊號，便能夠更清楚的掌握同時受到降雪影響的生態系範圍。地表以上的氣象觀測輸入SSiB model來得到土壤的合理反應狀態，便可減少地表以下的觀測儀器。

未來若希望可以運用SSiB model在臺灣高山地區作進一步的測試與模擬，除了更新SSiB模式版本，以增加對積雪有更仔細的描述之外，也希望可以著重該數值模式中”再結冰(refreezing)”過程加以修訂，以及測試描述地表植被參數和濕度的相關計算，以滿足臺灣地區獨特氣象環境的條件，進而得到較好的模擬結果。除了增進對SSiB模式的掌握之外，未來亦可將本研究完整且珍貴的觀測資料應用在其他的陸氣交互作用模式(如NOAH等)的校驗。

## (六) 降雪層熱量收支

### 1. 降雪之氣溫、草溫、地溫與土壤含水量

圖1-15顯示了將2012年1月1日至3月31日，降雪期間的日平均氣溫、草溫、地溫(10cm、20cm)的時間變化；不論是雪山圈谷站或雪山黑森林站，在這六次的降雪事件前，都伴隨著氣溫驟降現象，並且在降雪的過程中，溫度更幾乎都降至 $0^{\circ}\text{C}$ 以下，可見臺灣的高山地區當水氣充沛以及氣溫降至適合的溫度便有機會發生降雪。

臺灣高山地區的降雪與融雪皆發生在冬季，這可以從2m高氣溫(以下簡稱作氣溫)和地表溫度(以下簡稱作草溫)的年際變化看出差異；圈谷測站(SP1)四季的日均溫在 $-10^{\circ}\text{C}$  到 $15^{\circ}\text{C}$  之間來回振盪(魏聰輝等，2011)，受到圈谷強勁的山谷風吹襲，氣溫不論是雪季或是非雪季皆低於草溫，可預見近地表受到摩擦力作用的低風速和土壤熱含量向地表之上傳輸回饋的可能作用；冬季時，受到積雪的覆蓋，草溫皆在 $0^{\circ}\text{C}$  附近上下振盪(即是發生積雪融化或是再結冰的過程)；由於圈谷測站的平均溫度較低，並沒有持續且明顯的積雪融化過程，反而是積雪的再結冰在冬季較為明顯，融雪則是集中在進入春季之後，隨著日輻射的增加、平均氣溫上升而發生。

海拔高度低於圈谷測站200m的黑森林測站(SP2)，四季的日均溫變化的振幅和圈谷測站相差不大；但受到茂密臺灣冷杉的遮蔽，林冠層以下較低的風速和日輻射，使得雪山黑森林站的氣溫和草溫間的差異並沒有如圈

谷般顯著。該測站的地表條件不同於圈谷的裸露地形，有茂密的蘚苔覆蓋，使得草溫的振幅小於氣溫變化，最高溫度也低於圈谷測站的草溫許多；進入雪季時，有一段時間草溫維持在 $0^{\circ}\text{C}$ ，也就是地表積雪持續融化的過程，這便是受到森林的保溫作用使得地表積雪的溶化過程得以持續，不同於圈谷持續再結冰的現象。

由於從2012年1月1日開始，雪山圈谷地表一直被積雪所覆蓋，草溫都維持在 $0^{\circ}\text{C}$ 附近(圖1-15)；尤其在二月中至三月中幾次顯著的降雪事件，使草溫維持在 $0^{\circ}\text{C}$ 以下將近一個月，當時圈谷測站的積雪融化幅度小於再結冰和再降雪的幅度，因此直到地表積雪完全融化之後，草溫才又隨著氣溫有所波動。

同時間，由於黑森林測站在1月16日之前地表並無積雪，草溫的驟降發生在第一次的降雪事件發生後，降至 $0^{\circ}\text{C}$ ；隨後草溫的溫度維持了一段相當長的時間，換而言之，期間內的三次降雪事件，皆是在地表積雪還沒有完全融解之前，又再度降雪。

圈谷測站除了草溫受到積雪覆蓋的影響，10cm及20cm深的地溫在2月15日之前也都維持在 $0^{\circ}\text{C}$ (圖1-15)，而隨後2月25日(雪深52cm)降雪發生之後，地表再次被積雪覆蓋，地溫又再次維持在 $0^{\circ}\text{C}$ 約三天的時間；這就是地表積雪阻隔了土壤和大氣之間的熱通量傳遞(Sun *et al.*, 1999)。因此有積雪覆蓋時，地溫長時間維持穩定並不隨氣溫升降而震盪，直到明顯融雪發生後，土壤和大氣交互作用再次啟動，地溫才又隨氣溫升高達最大值；這一項特徵隨著海拔愈高有愈明顯的差異，海拔高度較圈谷測站低200m的黑森林測站，由於積雪較淺，完全融化的機會較高，因此地溫受到阻隔的時間也較短暫。

土壤含水量也被發現和雪深相反的變化趨勢(圖1-16)，積雪將水分固定在地表以上，形成阻隔，因此土壤中的含水量維持定值或是持續降低；當地表積雪開始融化時，雪水開始注入土壤中，使得不論是圈谷測站或是黑森林測站的土壤含水量都急速上升。1月16日的降雪事件，讓圈谷測站的含水量持續下降，直到2月15日前後的融雪過程，圈谷的土壤含水量持續回升直至下一次的降雪。由於黑森林地表有蘚苔和臺灣冷杉遮蔽，土壤

含水量就較裸露的圈谷測站穩定，因此積雪的阻隔作用就相當明顯，1月16日到2月15日地表受到積雪覆蓋的含水量便持續維持在最小值

臺灣雖位於亞熱帶地區，但擁有陡峭高聳的地形，使得在3,000 m以上的高山地區在冬季溫度適合水氣充足的條件下仍會降雪事件，若同時配合地勢，甚至會有相當可觀的積雪；當地表出現積雪時，雪會阻隔大氣和土壤間的交互作用，除了熱通量的交換之外，固態的積雪將水分固定在地表之上，形成了延遲性降水，必須等到積雪融化水分才能夠注入土壤之中，進而影響了土壤含水量的變化，這些環境因子對於高山生態系有著相當重要的影響。

由雪山圈谷站和黑森林站的各個氣象參數的季節變化可以明顯區分出雪季和非雪季的時段；除了氣溫的驟降之外，草溫 and 地溫皆會受到積雪的覆蓋而保持在積雪的融點 $0^{\circ}\text{C}$ 附近，其中又以雪山黑森林站由於受到植被遮蔽和土壤保溫回饋的作用，使融雪過程呈現連續現象，不同於圈谷測站的地溫仍會降至 $0^{\circ}\text{C}$ 以下發生再結冰的現象；而驅動著這樣的季節變化，融化或是再結冰的機制來自於地表積雪層所接收到的總熱通量，即是將積雪層所收到的熱通量加總，來判斷是否具有足夠的熱量融化，其中淨輻射通量的熱量是總熱通量最主要的貢獻項。

為了要更清楚瞭解各個氣象參數和降雪可能的因果關係，本研究依據自2012年1月8日於雪山主東稜線增設的雪深尺影像，判讀1月至3月發生降雪事件的時間以及其強度挑出，再細分為降雪和融雪兩個時段；降雪前總會伴隨著氣溫的驟降，甚至維持在 $0^{\circ}\text{C}$ 以下，草溫及土溫仍會隨著氣溫有所振盪。當地表被積雪覆蓋後，大氣和土壤的交互作用被積雪阻隔，固態的降雪將水分以固態暫時堆置於地表之上，此時得不到水分供應的土壤含水率便開始下降，而草溫因為受到積雪覆蓋，不再隨氣溫震盪；由於受到整年度的淨輻射通量的供給，積雪融解不斷地在進行著，因此草溫有很長一段時間維持在冰的融點 $0^{\circ}\text{C}$ ，直到地表積雪完全融解後，才又恢復陸氣間的交互作用；當大量的雪水注入土壤，使得土壤含水量驟升，草溫 and 地溫再度恢復原本的振盪變化特徵；2012年六次的降雪過程皆位處於淨輻射通量極值之間，也就是淨輻射通量是融雪主要的熱量來源，極值得出現皆伴隨著融雪的發生。

## 2. 熱量收支

隨著季節的變化抵達地表的淨輻射通量仍有消長(圖1-17)；在進入春季時，臺灣的綜觀天氣造成雪山地區雲量增多，導致淨輻射通量在五月份達到最小值，隨後進入夏季才又上升。除了受到綜觀天氣雲量的影響，區域性的地形差異也會反應在日輻射的收支上，譬如圈谷測站由於地勢開闊，不同於黑森林受到冷杉遮蔽，平均的淨輻射通量就高出黑森林測站三到四倍，並且隨著季節的變化兩地差異的幅度也增大，這一結果對於積雪融化以及生態消長有著相當重要的影響。

積雪層熱量總收支中，不論地表被覆狀態的差異，淨輻射通量( $R_n$ )是驅動地面積雪融解的熱量來源(太田，1992)。積雪層熱量收支最大部分熱量來源來自淨輻射通量(圖1-18)；受到冷杉的遮蔽，黑森林的淨輻射通量只有圈谷的四分之一。對照降雪事件的時間分布，可發現降雪事件結束之後，緊接著的融雪時段和熱量收支極值出現時間相當一致；隨著季節進入春季，淨輻射通量的極值也逐漸增加；在2月15日圈谷測站和黑森林測站顯著的融雪過程之中，淨輻射達到了1~2月的最大值，使得地表積雪完全融化。

由於圈谷測站和黑森林測站的淨輻射通量的量值為各站熱通量最主要的來源，造成進入生態系的熱量差異將影響其他形式的熱量交換，因此導致雪山黑森林站的顯熱通量和潛熱通量也都低於雪山圈谷測站許多，但兩地的季節性變化特徵仍相當類似(圖1-17)。

土壤熱通量雖然數值較小，但也隨著降雪事件的發生有熱量傳遞方向的變化；在降雪發生時，黑森林測站的土壤熱通量呈現負值，也就是熱通量傳遞的方向為由土壤逸出；隨著其他熱通量項的上升，使得地面積雪獲得足夠熱量開始融化後，土壤熱通量便轉為正值，熱通量傳遞方向改為進入土壤。土壤熱通量是所有熱通量變化趨勢中，能最清楚描述出2月27日和3月13日降雪事件的氣象參數。

黑森林測站的土壤熱通量有相當明顯的季節變化(圖1-17)；雪季時，土壤熱通量皆為負值，也就是土壤提供了部分積雪層融化所需要熱量；進入非雪季後，地表溫度升高，使土壤熱通量回到正值，也就是熱量傳遞方向再次流向土壤。相對地，由於圈谷測站的地表特性岩石裸露，終年受到

強勁的山谷風及低溫籠罩，土壤熱通量的量值變化較小，季節變化也較不顯著。

本研究僅使用了包文比能量平衡法(Bowen ratio energy balance method)計算潛熱及顯熱通量，使這兩項熱通量和太陽輻射通量趨勢太過相近，且臺灣地區濕度高，垂直溫度及濕度梯度非常小，在計算過程中常會遇到錯誤，因此，未來若要再進一步探討地表熱通量收支，建議可以改採用綜合法(Bulk method)等其他近地面熱量收支計算方法，進行分析並比較各種計算方式在臺灣地區的適用性。

## 五、結論與建議

### (一) 結論

使用雪尺搭配自動相機量測降雪、積雪深度的傳統觀測方法，對照使用雪深計的電子式紀錄觀測方式，兩種同性質的觀測方法，可獲得誤差比率較低的觀測結果。

降雪的時間分布，圈谷氣象站的降雪日數、積雪日數、降雪深度、最高積雪深度與初雪、終雪日期，各年的分布不一，但可以認為終雪日期對於生態系的影響較為顯著；2010年4月29日終雪與前一場降雪事件間隔達36日，時序已進入植物發芽期，該場降雪事件發生得極為特殊，極有可能產生凍害，進而影響該年分之營養或繁殖生長。

根據2012年四處氣象站的觀測結果顯示，降雪深度、降雪日數、積雪日數、最大積雪深度等統計介量，均呈現隨海拔升高則逐漸增加的空間分布特性。

嘗試透過衛星影像資料來判斷全臺灣山區的積雪情形。空間解析度較低的MODIS衛星光譜資料，因為Snow Cover channel計算NDSI會受到可見光及紅外線被森林遮蔽的影響，對於臺灣山區降雪空間分布嚴重低估。利用空間解析度較高的SPOT衛星反演計算出的NDWI值，利用此指數在圈谷地區分布不連續的特性加以估計降雪面積，在對照實際的觀測紀錄後，可認為SPOT衛星所計算的NDWI判讀結果相當理想。

為了詳盡描述區域性的差異，利用一維的陸氣交互作用模式—Simplified Simple Biosphere Model(SSiB)進行土壤含水量、熱通量及積雪層的單點模擬；目前SSiB只有初始場設定單層積雪的版本，模擬的效果與實際觀測比對結果不甚理想；雖然雪季結束、進入春天後隨著溫度升高，積雪融化使土壤含水量驟升，但再一次進入雪季時，SSiB無法模擬出降雪導致含水量驟降的趨勢。

## (二) 建議

### 1 立即可行建議

雪山地區已是國內知名的登山景點，「賞雪」尤為吸引遊客上山的元素之一；根據圈谷氣象站三年雪季的觀測資料顯示，最大積雪深度可達65.3 m，這種深度一旦過夜後，將由「鮮雪(fresh snow)」轉變為「熟雪(ripen snow)」，積雪物理型態將轉變為密實而容易打滑，此外，積雪深度過高，許多登山步道路跡將被掩埋而易於造成迷路事件，為了避免無法預期的山難事件，應針對易於迷路之登山步道，裝設醒目的指示標誌。

### 2. 中長期可行建議

氣象現況為規畫登山旅遊活動的重要資訊，諸如「降雨」、「霧」、「降雪」及「積雪」等訊息，是決定規畫活動是否成行的參考依據；因此，建構即時觀測資訊的傳輸硬體設備，為中長期應達成的課題。

對於衛星影像的應用，SPOT衛星影像所計算出的NDWI對於積雪分布範圍掌握良好，在未來可持續蒐集各個時段SPOT衛星的高解析度影像，計算NDWI和更多的降雪個案進行比較，以得到更準確的NDWI不連續臨界值，來界定積雪分布的範圍。除此之外，也可利用MODIS衛星光譜資料中相同的波段，計算NDWI值，進而比較不同解析度的計算結果。

未來若有更豐富的資源，便能增加衛星影像的數量，再進一步地配合其他生物參數，加以去除植物體含水的訊號，便能夠更清楚的掌握同時受到降雪影響的生態系範圍。地表以上的氣象觀測輸入SSiB model來得到土壤的合理反應狀態，便可減少地表以下的觀測儀器。

使用包文比能量平衡法(Bowen ratio energy balance method)進行熱通量分析，對於儀器需求較小，可減少購置費用的負擔，計算起來亦極為便利，但計算潛熱及顯熱通量兩項熱通量的結果，數值和太陽輻射通量趨勢太過相近，且臺灣地區濕度高，垂直溫度及濕度梯度非常小，在計算過程中常會遇到錯誤，因此，未來若要再進一步探討地表熱通量收支，建議可以同時採用綜合法(Bulk method)等其他近地面能量收支計算方法，進行分析並比較各種計算方式在臺灣地區的適用性。

## 六、參考文獻

- 呂金城、歐辰雄、廖敏君(2002)雪山東峰火燒後玉山箭竹開花之研究。雪霸國家公園管理處研究報告。共 24 頁。
- 邱清安(2006)應用生態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。共 24 頁。
- 高國棟、陸渝蓉(1994)氣候學。明文書局。共 25 頁。
- 夏禹九(1999)全球變遷：福山森林生態系研究——福山試驗林的水文與能量收支(V)。國科會專題研究計畫成果報告。共 5 頁。
- 張譯心(2012)臺灣高山地區雪季微氣象觀測與模擬。國立臺灣大學理學院大氣科學研究所碩士論文。共 67 頁。
- 黃國禎、徐森雄(1982)台灣地區日射與日照關係之初步探討。氣象學報 28(1):22-29。
- 賴彥任、魏聰輝、陳信雄、賴鴻寬(2007)塔塔加地區臺灣雲杉天然林冠層截留與林內降雨之研究。中華水土保持學報 38(2): 135-146。
- 顏瑋利(2006)以 MODIS 衛星光譜資料推估不同乾旱時期植群冠層之水分含量。國立屏東大學森林系碩士學位論文。共 77 頁。
- 魏聰輝、賴彥任、張振生、吳宜穗、陳信雄、林博雄(2007)溪頭地區 2005 年 3 月降雪事件熱量收支之探討。作物、環境與生物資訊 4: 314-328。
- 魏聰輝、林博雄、賴彥任、張振生、沈介文、張譯心(2011)高山微氣象與熱量收支研究。雪山高山生態系長期監測與研究共 122 頁。
- 蘇鴻傑(1984)臺灣天然林氣候與植群型之研究(II)—山地植群帶與溫度梯度之關係。中華林學季刊 17: 57-73。
- 山崎剛(1996)積雪と大氣。水環境の氣象學—地表面の水収支・熱収支。朝倉書店。
- 太田岳史、橋本哲、石橋秀弘(1990)表層融雪量に及ぼす影響に関する基礎的検討。雪氷 52(4): 289-296。
- 太田岳史(1992)山地における積雪・融雪と流出。森林水文学。文永堂出版株式会社。共 18 頁。
- 吉野正敏(1986)小地域の地形と気候。株式会社地人書館。共 69 頁。

- 鈴木雅一(1992)森林地の蒸発と蒸散。森林水文学。文永堂出版株式会社  
共24頁。
- 増沢武弘(1992)高山植物の生態学。東京大学出版会。共220頁。
- Augros, C. and F. Zanghi(2011)Snow depth measure at Meteo-France.  
[http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/IOM-96\\_TECO-2008/2%2812%29\\_Augros\\_France.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/IOM-96_TECO-2008/2%2812%29_Augros_France.pdf) .
- Broeke, M. V. D., P. Smeets, and J. Ettema(2009)Surface layer climate and turbulent exchange in the ablation zone of the west Greenland ice sheet. *International Journal of Climatology* 2323: 2309-2323.
- Brooks, N. B., P. F. Ffolliott, H. M. Gregersen and L. F. DeBano(1997)Snow Hydrology. *Hydrology and the Management of Watersheds* 15: 311-336.
- Gao, B.C.(1996)NDWI A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water From Space. *Remote Sens. Environ.* 58: 257-266.
- Hanks, R.J.(1992)Soil Heat Flow and Temperature. In: *Applied soil physics—Soil water and temperature applications*. Springer -Verlag New York Inc. New York, p.20.
- Hall, D. K., G. A. Riggs, V. V. Salomonson (1995)Development of methods for mapping global snow cover using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer(MODIS) data. *Remote Sensing Environment* 54: 127-140.
- Hall, D. K., G. A. Riggs, and V.V. Salomonson(2001)Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for the MODIS Snow and Sea Ice-Mapping Algorithms. [http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod10.pdf](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod10.pdf).
- Jones, H.G.(1983)Plants and microclimate. Cambridge University, p.322.
- Lee, Richard(1980)Snow hydrology. *Forest Hydrology*.Columbia University Press, p.7.
- Oke, T.R.(1993)Boundary layer climates. Routledge Publish Co. (2nd Edt.), New York, p.435.
- Pekeris, C. L.(1934)Note on Brunt's formula for nocturnal radiation of

atmosphere, *Astrophysical Journal* 79: 441-447.

Rosenberg, B.V.(1983)Soil heat flux and soil temperature. *Microclimate-The Biological environment*, chap.2. John Willey & Sons Inc., New York, p. 21

Seller P.J, Y.C. Sud and A. Dalcher(1986)A Simple Biosphere Model (SiB) for use within general circulation models. *Journal of Atmospheric Science* 43: 505-531.

Shuttleworth, W. J.(1993.)Evaporation. In David R. Maidment Edt.:*Handbook of Hydrology*, Chap.4. McGraw-Hill Inc., New York, p.4.

Williams, M. W.(2012)*Mountain Climate Bach etd.: Mountain and People*. Chap.4. [http:// snobear.clolorado.edu](http://snobear.clolorado.edu).

Xue, Y., P. J. Sellers, J. L. Kinter and J. Shukla(1991)A Simplified Biosphere Model for Global Climates Studies. *Journal of Climate* 4:345-364.

## 第二章 因應氣候變遷集水區環境資料庫建置及應用

林昭遠

國立中興大學水土保持學系

### 摘要

關鍵詞：雪霸國家公園、氣候變遷、融雪逕流模式

#### 一、研究緣起

氣候變遷對於高山生態系最直接之影響乃氣溫上升，對圈谷地區可能造成集水區降水量減少、逕流量增加、集水區逕流係數提高以及土壤保水能力降低等問題，進而影響水文、養分循環以及水資源之調配。本研究透過融雪逕流模式，模擬不同情境圈谷地區之流量歷線變化，結果顯示，集水區現況之年逕流量變化幅度遠大於氣候變遷模擬逕流量變化，意即圈谷生態系每年所面臨之氣象變化，遠較長期氣候變遷之變化為大。一個生態系雖短期能適應環境劇烈變化，其是否能對長期間環境緩慢變化產生調適，有待進一步研究。初步研究顯示因應氣候變遷，圈谷集水區需注意水資源之調配問題，管理單位可利用天然窪蓄區位營造蓄水設施，以避免水資源快速流失，影響圈谷水源涵養能力及其下游河川棲地之生態基流量。

#### 二、研究方法及過程

各學科於集水區應用上常有其適宜性之環境指標，且指標種類繁多，加上需考量其尺度性、時間性及空間性，若能選用合適之環境指標於集水區環境復育上，更可事半功倍。本研究利用融雪逕流模式配合衛星影像萃取出雪覆蓋面積，模擬圈谷區位之逕流歷線變化，探討集水區於氣候變遷下對水收支及水資源涵養能力之影響。

#### 三、重要發現

利用冬季之衛星影像萃取出常態化差異雪體指標(Normalized Difference Snow Index, NDSI)配合非監督式分類法可有效萃取出雪覆蓋面積，可監測

每年雪覆蓋量之變化，另藉由融雪逕流模式模擬圈谷區位逕流歷線之變化，結果顯示，每年逕流量變化幅度遠大於氣候變遷之長期變化，另受氣候變遷影響下，集水區具逕流量上升及降水量下降之趨勢。

#### 四、主要建議事項

##### (一)立即可行之建議

主辦機關：雪霸國家公園

協辦機關：國立中興大學水土保持學系

建議事項：

- 1.藉由衛星影像或數值高程模型可萃取出窪蓄區位，並於適當區位利用當地材料構築簡單之蓄水設施，另於圈谷集水區依上、中、下游配置蓄水池，營造出具水資源調整、提供動物飲水以及生態多樣化等多功能之生態池。
- 2.生態池所蓄積之融雪或地表逕流水能以入滲方式排入河道，藉此可延長逕流排入河道之時間，且可穩定提供下游棲地之生態基流量。
- 3.因應氣候變遷之調適策略主要有兩種方式：
  - (i)適應環境：採放任方式，人類不加以干擾，物種會以演化或演替的方式，隨環境變化自我調適，以彼此競爭、適者生存之方式保留適合生存之物種。
  - (ii)對抗環境：
    - (1)部分干預：以局部人為方式營造特定物種之適生環境供保育物種得以綿延生存。
      - A.藉由衛星影像或數值高程模型可萃取出天然窪蓄區位，利用就地取材構築簡易蓄水設施，營造出具水資源調整、提供動物飲水以及生態多樣化等多功能之生態池。
      - B.生態池所蓄積之融雪或地表逕流水能以入滲方式排入河道，藉此可延長逕流排入河道之時間，且可穩定提供下游棲地之生態基流量。
    - (2)強度干預：除部分干預營造適生環境外，於河川生態基流量不足時，櫻花鉤吻鮭可配合冬旱季藉由人工繁殖及適時野放之操作綿延其生存。

- (3)完全干預：因氣候變遷其生存環境已被破壞，僅能由人工繁殖圈養。

## (二)長期性之建議

主辦機關：雪霸國家公園

協辦機關：國立中興大學水土保持學系

建議事項：

- 1.藉由衛星影像可分類出圈谷地區植物社會之變化，找出應於冬旱季時增加調查推移帶物種之頻率，以了解及篩選出圈谷地區之優勢物種，並分析各物種對環境之應力情形，俾供保育單位了解圈谷生態系之變化。
- 2.調查圈谷生態系之消長，並建置生態系水分及養分循環，俾供管理單位可了解冬旱季應如何進行水資源調配。

## **Abstract**

**【Keyword】** Shei-Pa National Park, Snow Runoff Model, Climate Change

### **1. Background**

The rising temperature is the most direct effect to the ecosystem of mountain regions caused by climate change. It may cause decline of precipitation, increasing of runoff, rising of runoff coefficient, and reduction of water conserving ability of soil in the cirque area. These phenomena could affect the hydrologic and nutrient cycles, and water resources management. This study simulates the hydrograph of runoff in the cirque area on different scenarios via snowmelt model. The results show that the changing of runoff is way larger than the changing of climate. This situation indicates that the ecosystem itself can adapt to the extreme meteorology variation annually. However, it's still need to find some concrete evidences for depicting the ecosystem whether it can adapt the climate change. The preliminary study shows that the cirque area may face the problem of water shortage in the dry season response to climate change. The authority administration could establish water conservation facilities in proper region to avoid the effects to ecological base flow of habitats in downstream area from water resources vanishing rapidly.

### **2. Method and process**

There are many environmental indices of each discipline, which have their own suitability that can be applied in the research of watershed. These indices often need to be considered with scales, time and space. The efficiency could be amplified if the conservation of watershed is chosen wisely. This study combines the snowmelt runoff model and satellite images to extract the area of snow cover and simulate the changes of runoff hydrograph. Discussions of how to create a water balance and the capability of water conservation vary under the condition of climate change are made hence.

### **3. Important discoveries**

Normalized Difference Snow Index extracted from the satellite image in winter can be combined with unsupervised classification to extract the area and changes of snow coverage annually. Using this snowmelt runoff model, this study can also simulate the changes of runoff hydrograph. The result shows that the margin of annual changes is way larger than the long-term changes. There is a trend that the runoff increases and the precipitation decreases under climate change.

#### **4.Prior recommendation**

##### (1)Immediate feasible recommendation

The organizer : Shei-Pa National Park

The co-organizer : Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University

Recommendation :

(A)Extract water conserving area from DEM and satellite images, construct simple water conserving installations in proper zone with local materials. In addition, deploy water tanks along the river band from upstream to downstream in watershed of cirque area to build an ecological pond which is capable to adjust water resources, supply drinking water of animals and maintain biodiversity.

(B)The snow melt and surface flow kept by ecological pond can enter channel by infiltration, which can extend the time for surface water concentrating into river channel and stabilize the ecological base flow of habitats in downstream area.

(C)There are two types of climate change adaption strategy.

(a)Adapt environment : In indulgent way. Disturbance from humankind is free. Species would adapt to the environment change through involving, succession. Competitions between species will make the one suitable for survival.

(b)Against environment:

(i)Partially intervention : Help the specific specie to survive via artificial ways partially.

1.Extract water conserving area from DEM and satellite images, construct simple water conserving installations in proper zone with local materials. Build an ecological pond which is capable to adjust water resources, supply drinking water of animals and maintain biodiversity.

2.The snow melt and surface flow kept by ecological pond can enter channel by infiltration, which can extend the time for surface water concentrating into river channel and stabilize the ecological base flow of habitats in downstream area.

(ii)Strong intervention: Besides the partially intervention, which build the suitable environment for habitation, the multiplication and releasing of *Oncorhynchus masou formosanus* will be made through artificial way to ensure the survival when the lack of ecological base flow occurs in dry or cold season.

(iii)Complete intervention: Artificial multiplication is the only option because of the habitat has been destroyed by climate change.

## (2)Long-term recommendation

The organizer : Shei-Pa National Park

The co-organizer : Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University

Recommendation :

(A)Classify the change of vegetation society in cirque area from satellite image. Frequency of the investigation on eco-tongue species should be raised to extract the dominant species in the cirque area. In addition, the affects to respective species from environmental stress are analyzed to make conservation institution comprehend the change of ecosystem in cirque area.

(B)Investigate growth and decline of ecosystem in cirque area and establish the circulation of water and nutrition. Thus, the management of water resources can be comprehended by the management institution.

## 一、研究緣起與背景

國家公園轄區集水區經營管理成效之考量因素頗多，如何整合相關科學量化萃取集水區環境資料，建置指標供集水區經營管理成效評估之用極為重要。另各學科於集水區應用上常有其適宜性之環境指標，且指標種類繁多，加上需考量其尺度性、時間性及空間性，若能選用合適之環境指標於集水區環境復育上，更可事半功倍。因此本研究針對各學科於集水區環境復育上常使用之相關環境資料進行指標蒐集及建置，並依應用層級及類別進行歸納，選擇適當之樣區進行環境指標評估及篩選，以供集水區環境復育之用，如地形演化、地景變遷、植生復育及水源涵養能力等分析；最後將環境指標進行整合性評估及綜合研析，期有效提供於集水區環境復育時之參考依據。

近二十年來氣候變遷議題逐漸受重視，其因素主要來自於全球極端氣候事件，如寒流、熱浪、豪雨、乾旱等等，此等極端氣候類型、頻度及強度，將會隨著氣候變化頻傳，而全球暖化情形，使得南北極冰川快速融化外以及高海拔地區融雪速度加快，在台灣像是玉山、雪山等高山氣候型態之雪期及積雪亦受影響。高山生態系是指位於高海拔之地區，區域內終年溫度較低，冬季有下雪之情形，植群可能為針闊葉混合林或針葉林，或為苔原帶，也包括樹木生長線以上之區域(陳裕良等，2001)。高山林線森林與苔原之交界，是全球變化最為敏感之區位(王曉春，2005)，此外，C.D. Thomas et al.(2004)認為現今至 2050 年，若小、中、大幅度之氣候變遷可能分別造成全球 18%、24%、35%之物種滅絕；Chou et al.(2011)調查並分析合歡山及玉山植生物種之  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  歧異度，結果顯示，在海拔 3,000m 以上高山薔薇、阿里山天胡荽、紅毛杜鵑、台灣繡線菊、高山白珠樹、三萼花草、玉山佛甲草等物種有向高海拔移動之趨勢，另細葉山艾、玉山抱莖籜蕭、細葉山艾、巒大當藥、玉山金絲桃、玉山當歸、阿里山薊等向上移動之高度皆已超過最高海拔，推測可能已面臨滅絕危機。由此推測，圈谷地區在氣候變遷下其可能有其他物種入侵或是遷出情形發生，此現象可能使圈谷地區競爭更為激烈。K.GREEN(2010)調查 5 種高山動物及 2 種高山植物發現，在過去 30 年間植物開花與融雪時間點有關，而動物則無。

如何蒐集相關資料進行調適策略分析為重要課題，本研究建置雪山地區之生態環境與冬季積雪覆蓋變化之基本資料，並建立量化分析方法及評估指標，實務應用於氣候變遷對高山生態系影響之監測與評估。

## 二、研究設計

本年度之重點工作係萃取七家灣溪集水區之各項環境指標結合氣象水文資料，藉由融雪逕流模式(Snowmelt-Runoff Model, SRM)模擬圈谷地區每年冬季及氣候變遷之逕流歷線變化，探討集水區水收支之變化及水資源涵養能力之情形，以及對七家灣溪生態基流量之衝擊，藉此提出因應氣候變遷下之調適策略，俾供管理單位參考使用。

### (一)研究地點

#### 1.地理位置

雪霸國家公園位於台灣中北部；為台灣第五座國家公園，成立於 81 年 7 月 1 日，屬高山型國家公園，境內以雪山山脈為主軸，海拔 3,886m，園區地形以高山及河谷為主，富藏豐富的生態資源，植群主要分造林地、闊葉林及混淆林等三大類，橫跨台中市、苗栗縣、新竹縣及宜蘭縣，總面積約為 76,850 公頃，屬於高山型國家公園，園區內地形錯綜複雜，景觀四季變化多端，蘊含豐富動植物相及人文資源，境內又區分成觀霧遊憩區、雪見遊憩區及武陵遊憩區，春夏秋冬景色變化多端，每年吸引絡繹不絕的遊客到訪，園區也規劃許多生態之旅供民眾參考。

七家灣溪集水區為大甲河流域，位於台中市和平鄉，主要村里為平等村，西臨苗栗縣泰安鄉象鼻村，北臨新竹縣尖石鄉秀巒村，東接宜蘭縣大同鄉南山村。集水區內有七家灣溪、有勝溪、高山溪、詩崙溪、桃山溪及池有溪等溪流，其集水區境內水資源來源為為冬季積雪融化和降水交互補給，集水區面積約為 10,534 公頃，區位分布如圖 2-1。

#### 2.地形

七家灣河流域屬於雪山山脈，地勢由西北向東南遞減，最低海拔為 1,105 m，最高海拔 3,881 m，並將集水區依海拔分成如圖 2-2 中之四類海拔區，集水區內 2,800 m 以上高山區，冬季有積雪覆蓋，2,200-2,800 m 為中海拔區，小於 2,200 m 以下多為農地，各類海拔區占集水區面積百分比如表 2-1。

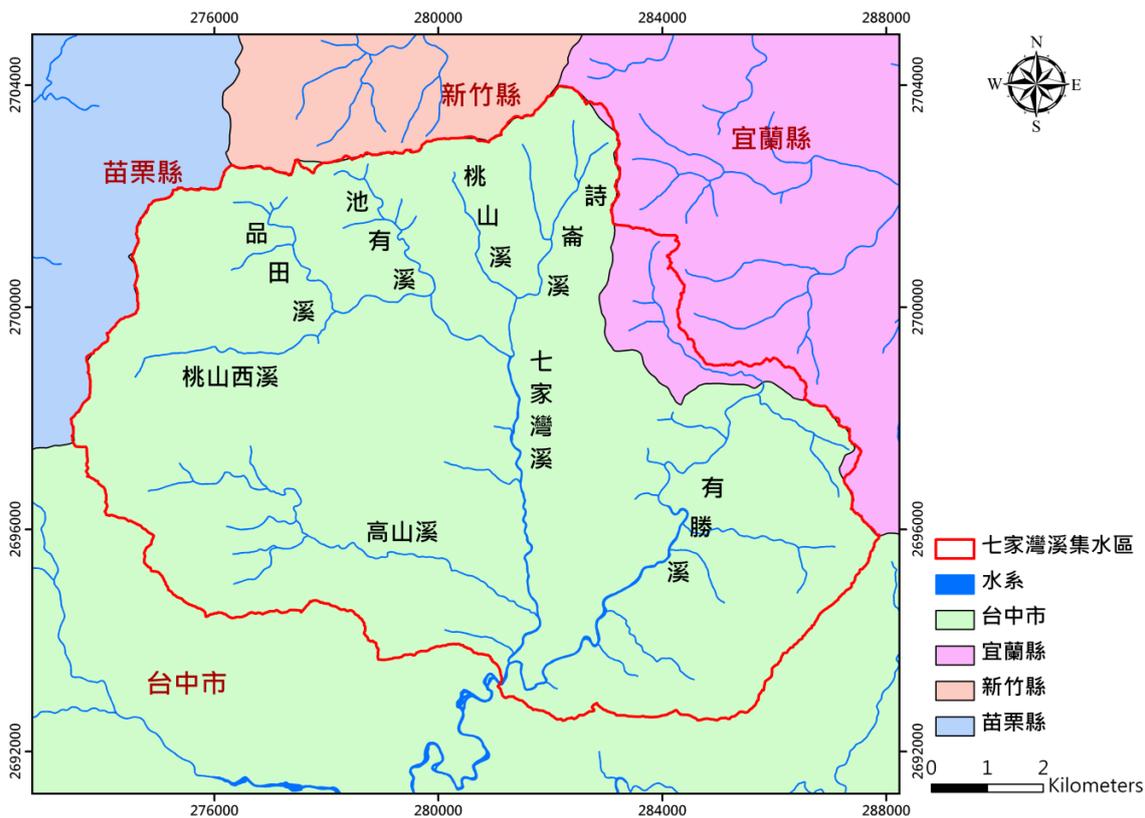


圖 2-1. 研究樣區。  
(資料來源：本研究資料)

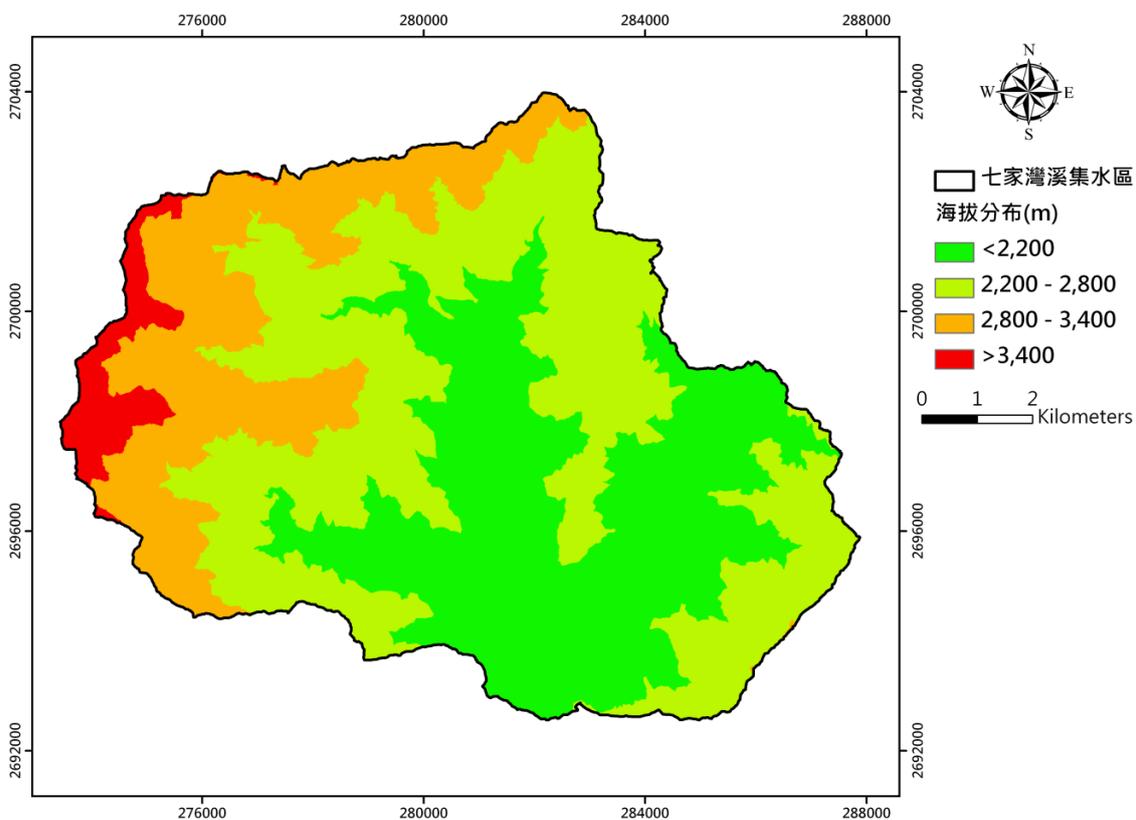


圖 2-2. 七家灣溪集水區海拔分布。  
(資料來源：本研究資料)

表 2-1. 七家灣溪集水區海拔分布

海拔(m)	面積(ha)	比例(%)
<2,200	3,721.72	35.33
2,200-2,800	4,319.88	41.01
2,800-3,400	2,094.67	19.88
>3,400	397.76	3.78

(資料來源：本研究資料)

## 3. 氣象及水文資料

七家灣溪集水區內包含武陵農場、雪東線登山步道、雪山圈谷及有勝溪流域，全區海拔皆高於 1,700 m 屬高山氣候區，年降水量約 1,923 mm，年平均氣溫約 14.3 °C，為進行融雪逕流模擬，需蒐集集水區內 2009 年 12 月至 2011 年 5 月之氣象及水文資料，包括氣溫、降雨量及流量等觀測項目，其測站選擇魏聰輝及林博雄(2009)在雪東線步道沿線設立之 369 山莊、圈谷，以及七家灣溪集水區周圍之思源及梨山等 4 個氣象站，以及七家灣流量測站，如圖 2-3 及表 2-2

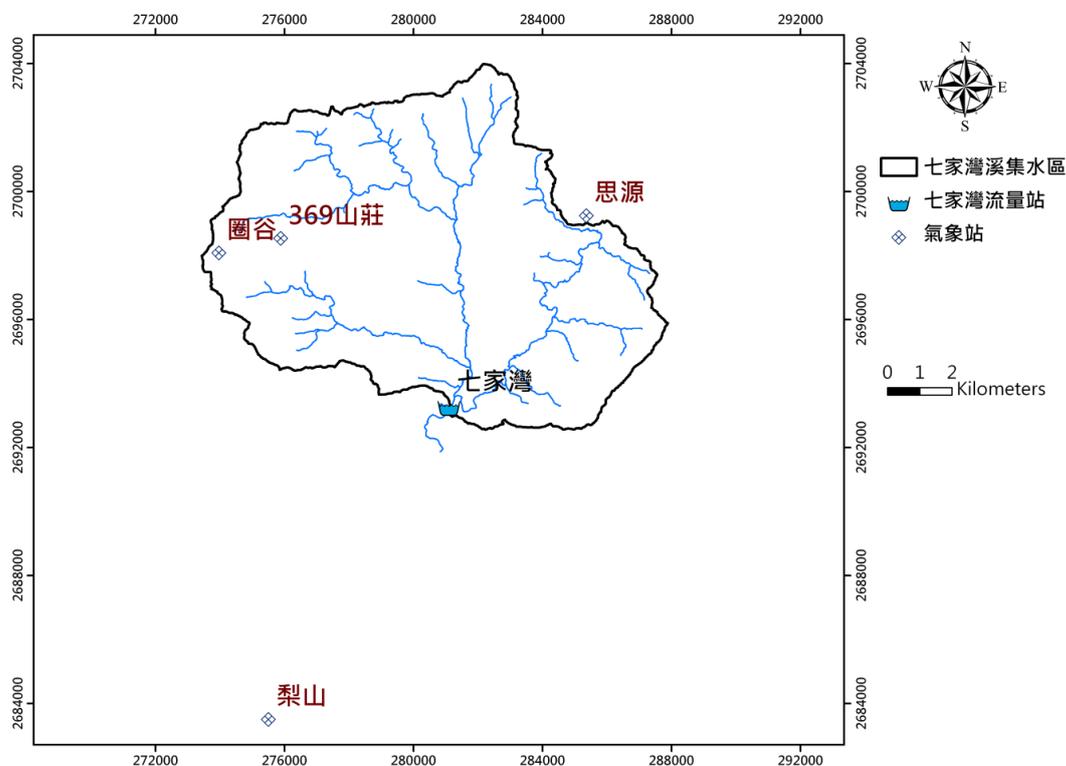


圖 2-3. 七家灣溪集水區氣象站及流量站分布。

(資料來源：本研究資料)

表 2-2. 七家灣溪集水區各氣象站與流量站資料

流量站				
編號	測站名稱	TWD97		標高(m)
		X	Y	
1	七家灣	280274	2693428	1,685
氣象站				
1	梨山	275497	2683502	1,980
2	思源	285358	2699244	2,036
3	圈谷	273961	2698080	3,584
4	369 山莊	275879	2698536	3,142

(資料來源：本研究資料)

## (二)基本圖資蒐集

蒐集研究樣區之數值高程模型(DEM)、各期衛星影像、氣象及水文資料以及相關之 GIS 圖層(包括地形圖、集水區範圍、水系圖等)，所蒐集之基本圖資彙整如表 2-3。衛星影像是由中央大學太空及遙測中心所購得之 2007-2011 每年 12 月至 3 月之 SPOT 衛星影像，其綠光與短波紅外光波段比值可辨別冬季時高山地區積雪範圍，為進行積雪動態變化監測之理想材料，再者因 SPOT 衛星影像具有拍攝時間短、成像範圍廣及成本低等，各期衛星影像原始圖像如圖 2-4。因本研究主要分析雪山地區冬季降雪之覆蓋與融雪逕流之情形，因此選用冬季之影像作為分析材料。

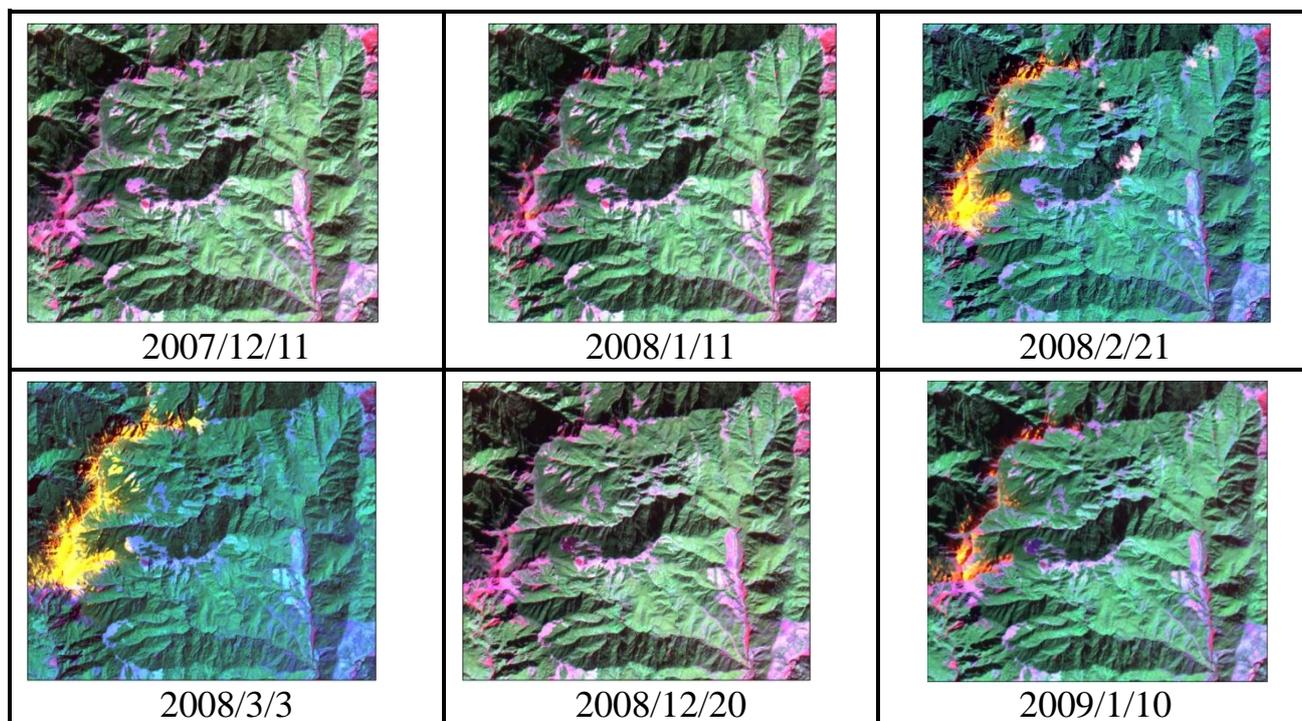
## (三)研究項目

- 1.分析雪山地區不同高程帶冬季積雪覆蓋之區位。
- 2.運用融雪逕流模式模擬七家灣溪集水區及圈谷地區之冬季融雪逕流歷線。
- 3.模擬各年及氣候變遷下水資源之變化。

表 2-3. 基本圖資蒐集資料

基本圖資	屬性	時間	空間解析度	來源
DEM	高程		5m*5m	內政部
GIS 圖資	地覆類別 光譜資訊	2007/12/11	20m×20m(SPOT4)	中央大學太空及 遙測中心
		2008/01/11	20m×20m(SPOT4)	
2008/02/21		10m×10m(SPOT5)		
2008/03/03		20m×20m(SPOT4)		
2008/12/20		20m×20m(SPOT4)		
2009/01/10		20m×20m(SPOT4)		
2009/02/25		20m×20m(SPOT4)		
2009/03/18		20m×20m(SPOT4)		
2009/12/12		10m×10m(SPOT5)		
2010/02/11		20m×20m(SPOT4)		
2010/03/19		20m×20m(SPOT4)		
	2010/12/27	10m×10m(SPOT5)		
	2011/02/27	10m×10m(SPOT5)		
	2011/03/05	10m×10m(SPOT5)		
	數值航照	2006	25cm×25cm	農林航測所
氣象	氣溫、降雨量	2009-2011 年		自動測站及 本計畫設站
水文	流量	2009-2011 年		七家灣流量站

(資料來源：本研究資料)



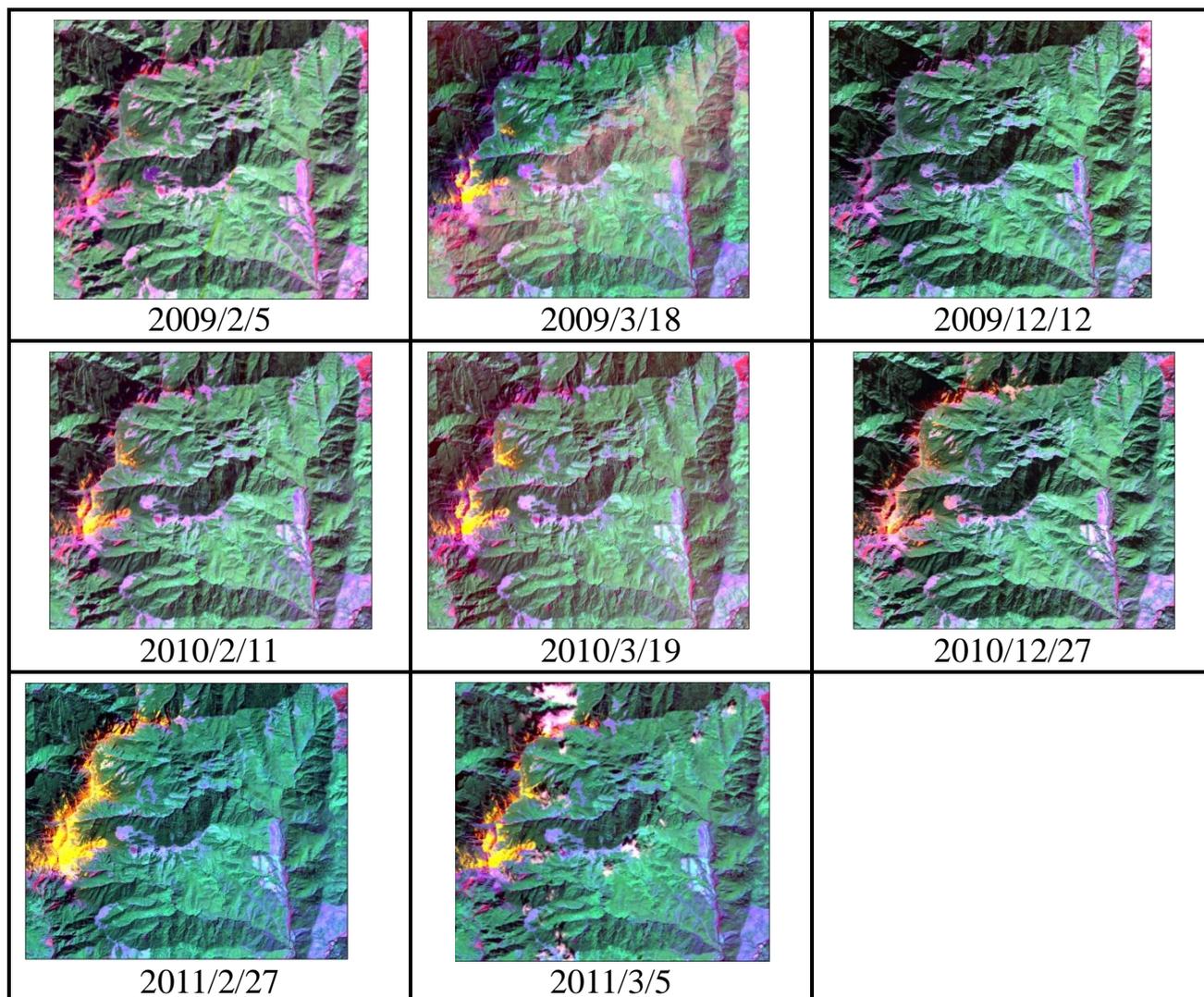


圖 2-4. 各期衛星影像。  
(資料來源：本研究資料)

#### (四)研究方法

##### 1. 常態化差異雪體指標(Normalized Difference Snow Index, NDSI)

冰雪覆蓋之監測模式為利用冰雪與其他地覆類別光譜反射特性之差異，基於綠光(G)與短波紅外光(SWIR)的反射特性和反射差相對大小，萃取雪覆蓋面積，其可將影像像元辨別為積雪或是非積雪，如圖 2-5。其運算公式如下：

$$NDSI=(G-SWIR)/(G+SWIR) \quad (式 2-1)$$

G：綠光光譜值；SWIR：短波紅外光光譜值。

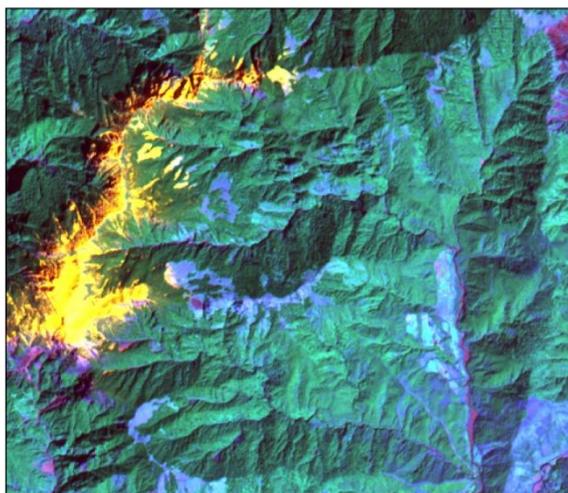


圖 2-5. 計算常態化差異雪體指標示意圖。  
(資料來源：本研究資料)

## 2.非監督式分類(Unsupervised Classification)

衛星影像判釋的方法有兩種，監督式及非監督式分類法，兩種方法的主要差別在於有無選定訓練樣區 (training area)。監督式分類法必須以人工的方式選取具代表性的訓練樣區作為分類依據因此需花較多的時間，但其準確度較高；非監督式分類之類別數需人為給定好預分類之數目，通常是由影像經螢幕所呈現出之顏色類別作為估計方法，其自動化程度高，利用 Edras Imagine 影像處理軟體即可將影像以集群分析方法進行光譜值之分類，因後續分析之需求，本研究以此結合常態化差異雪體指標作為萃取高山地區冬季積雪覆蓋面積之方法，如圖 2-6，黃色部分即為雪覆蓋面積。

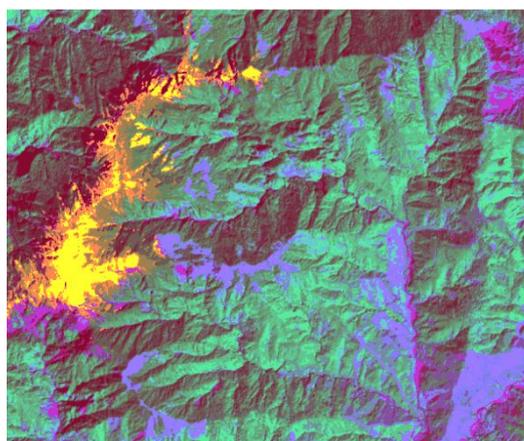


圖 2-6. 非監督式分類提取積雪覆蓋面積。  
(資料來源：本研究資料)

### 3.融雪逕流模式 SRM (Snowmelt-Runoff Model)

融雪逕流模式(Snowmelt-Runoff Model, SRM)為模擬及預測流域逕流之水文模式(Martinec, 1988)。SRM 由 Martinec 於 1975 年提出，最初只在歐洲的一些小流域應用。隨著遙感技術方法發展，模式可運用在範圍較大之流域。並在全球十多個國家之流域進行試驗及應用，實驗結果表明，此模式較為適用於地形起伏較大的山區流域，且具有較高的模擬精確度。1987 年後，Rango *et al.*(1995)又對 SRM 模型作多次修正，使得模式之參數較易獲得，並有一定的物理意義，參數的獲取過程與方法也更容易向類似的流域演化與推廣。此模式之參數可通過遙感探測資料來獲取，並用流域積雪覆蓋率變化來控制逕流過程及運用氣溫因子調整及模擬融雪過程。

SRM 的應用目的按其運行模式有以下幾個方面：

- (1)融雪徑流模擬模式：該模式可以模擬年或連續幾年之逕流量。模式模擬的結果可和實測逕流資料進行比較，用於模式參數之精確度評估，在資料缺乏的流域，可使用相近地區的氣溫和降水資料進行插值，並作為模式變數輸入模式中，相較於其他水文模式 SRM 模式可獲得較佳之逕流模擬結果。
- (2)融雪逕流預測模式：SRM 之關鍵為輸入 3 個變數，分別為氣象測站觀測之逐日氣溫及逐日降水，以及利用常態化差異雪體指標萃取出雪覆蓋面積所計算之積雪覆蓋率。
- (3)近年來 SRM 模式較常運用在氣候變化對季節性積雪和融雪逕流可能影響方面的模擬研究。SRM 屬於概念性、基於物理原理和分散式的水文模型，其模式參數由模式所應用的流域特性所決定，因此在氣候變化對融雪徑流可能影響的模擬和評估方面，既滿足氣候變化影響評估對水文模型的基本要求，又有其獨自的特點。

因此，本年度計畫選用 SRM 模型，模擬雪山地區融雪時產生之逕流量，模式的之主要公式如下：

$$Q_{n+1} = [c_{sn} \cdot a_n (T_n + \Delta T_n) S_n + c_{Rn} P_n] \frac{A \cdot 10000}{86400} (1 - k_{n+1}) + Q_n k_{n+1} \quad (\text{式 2-2})$$

式中：

Q：日平均流量(m<sup>3</sup>/s)；

c：逕流係數，c<sub>S</sub> 為融雪逕流係數，而 c<sub>R</sub> 是降雨逕流係數；

a：度日因子[cm/(°C·d)]，反映出的融雪深度與溫度之關係；

T：表示逐日均溫(°C·d)；

ΔT(°C·d)：溫度在垂直梯度得到之遞減率，用來做不同高程上的溫度修正值；

S：積雪覆蓋面積和不同高程分度帶之面積的比值；

P：表示逐日降雨量(cm)；

k：衰退係數，表示在沒有融雪或降雨時段內的逕流下降值；

n：流量觀測期內天數的序號；

A：流域不同高程帶之面積(km<sup>2</sup>)；

$\frac{10000}{86400}$ ：逕流深(cm·km<sup>2</sup>·d<sup>-1</sup>)換算成逕流量(m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>)之係數。

其中 T、S、P 為主要輸入的 3 個變量，c<sub>S</sub>、c<sub>R</sub>、ΔT、T<sub>crit</sub>、k 都是基本參數，當樣區高程超過 500m 時需分層設定參數，以維持推估融雪逕流量的準確性，讓不同高程帶所產生逕流量模擬可以更加準確。融雪逕流量分區推估公式如下：

$$Q_{n+1} = \left\{ \begin{array}{l} [c_{sAn} \cdot a_{An}(T_n + \Delta T_{An})S_{An} + c_{rAn}P_{An}] \frac{A_A \cdot 10000}{86400} + \\ [c_{sBn} \cdot a_{Bn}(T_n + \Delta T_{Bn})S_{Bn} + c_{rBn}P_{Bn}] \frac{A_B \cdot 10000}{86400} + \\ [c_{sCn} \cdot a_{Cn}(T_n + \Delta T_{Cn})S_{Cn} + c_{rCn}P_{Cn}] \frac{A_C \cdot 10000}{86400} + \\ [c_{sDn} \cdot a_{Dn}(T_n + \Delta T_{Dn})S_{Dn} + c_{rDn}P_{Dn}] \frac{A_D \cdot 10000}{86400} \end{array} \right\} (1 - k_{n+1}) + Q_n k_{n+1} \quad (\text{式 2-3})$$

A<sub>A</sub>、A<sub>B</sub>、A<sub>C</sub> 及 A<sub>D</sub> 代表三個不同高程之分區。

### (1) 模式參數及變量之萃取

#### (i) 氣溫及降雨量資料建置

氣溫於融雪徑流過程中扮演相當重要角色，氣溫間接控制融雪逕流之過程。氣溫升高較快時，逕流也會持續增加。降雨亦為 SRM 模式的重要變數之一，降雨量的多寡也直接影響融雪逕流量。

氣溫及降雨量主要輸入圈谷、369 山莊、梨山及思源等四處氣象站資料，圈谷之平均氣溫為 2.43 °C、三六九山莊之平均氣溫為 5.13 °C、梨山之平均氣溫為 9.48 °C 及思源之平均氣溫為 9.22 °C(圖 2-7)，七家灣溪集水區年雨量分布約為 2,100-2,400 mm(圖 2-8)。

(ii)積雪覆蓋率(Snow covered area, S)

高程分帶和流域的積雪覆蓋率是模式中一個重要之變數，但受積雪覆蓋率獲取時間的限制，本研究利用 SPOT 衛星影像計算常態化差異雪體指標(NDSI)進行 2007-2011 集水區內歷史平均積雪覆蓋率衰減曲線進行積雪覆蓋率的預測分析。首先計算並分析了 2007-2011 年歷年各高程帶積雪覆蓋曲線，取各月不同高程分帶下其平均值進行積雪覆蓋率的短時預測，並將其進行內插，結果作為預測積雪覆蓋率資料，輸入到 SRM 預測模型中。

圖 2-9 為七家灣溪集水區四個高程帶之積雪覆蓋率衰減曲線分布，因高程介於 2,200-2,800m 之高度帶冬季無積雪覆蓋，因此積雪覆蓋率為 0；高程分布 2,800-3,400m，冬季積雪主要集中在二月中至三月中，爾後逐漸下降；高程分布 3,400m 以上之區域為主要之分布區，此區積雪範圍廣且分布較為連續，二月及三月之積雪覆蓋較為多且覆蓋率高達 51%，代表此區積雪含量與春季融雪時對下游河川之補給極為重要。

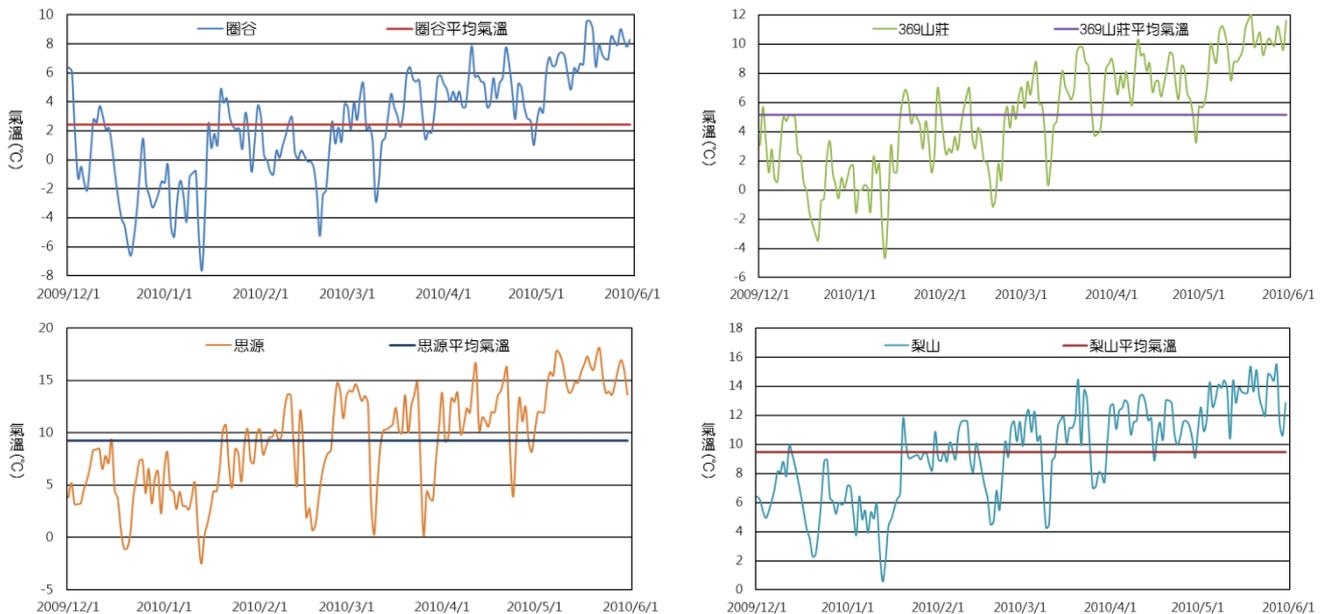


圖 2-7. 各氣象站之氣溫及平均氣溫分布。

(資料來源：本研究資料)

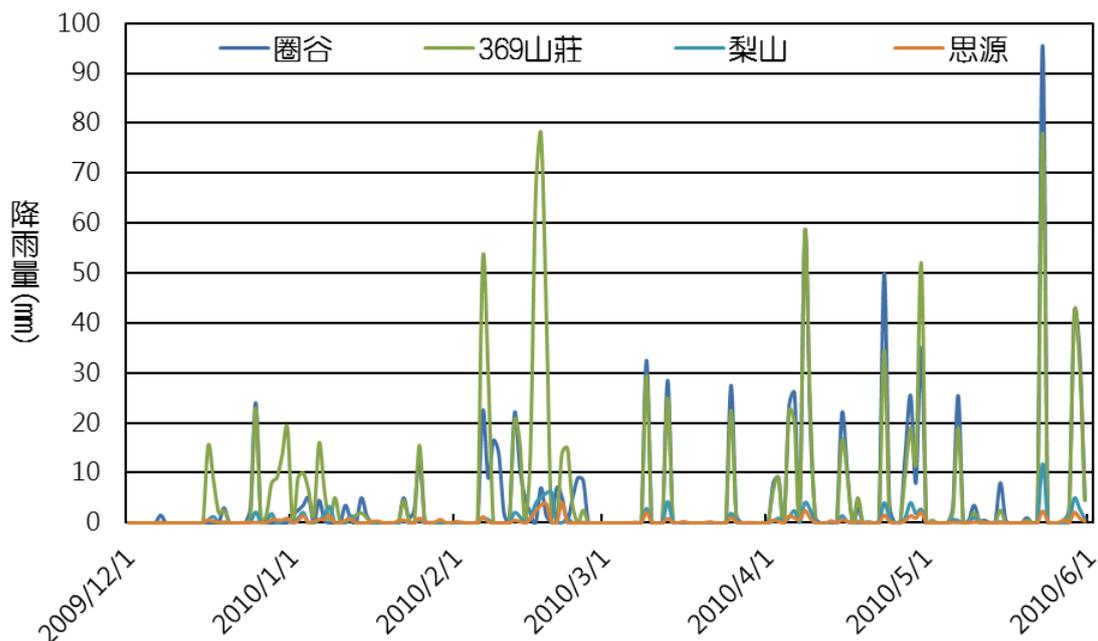


圖 2-8. 各氣象站之降雨量分布。  
(資料來源：本研究資料)

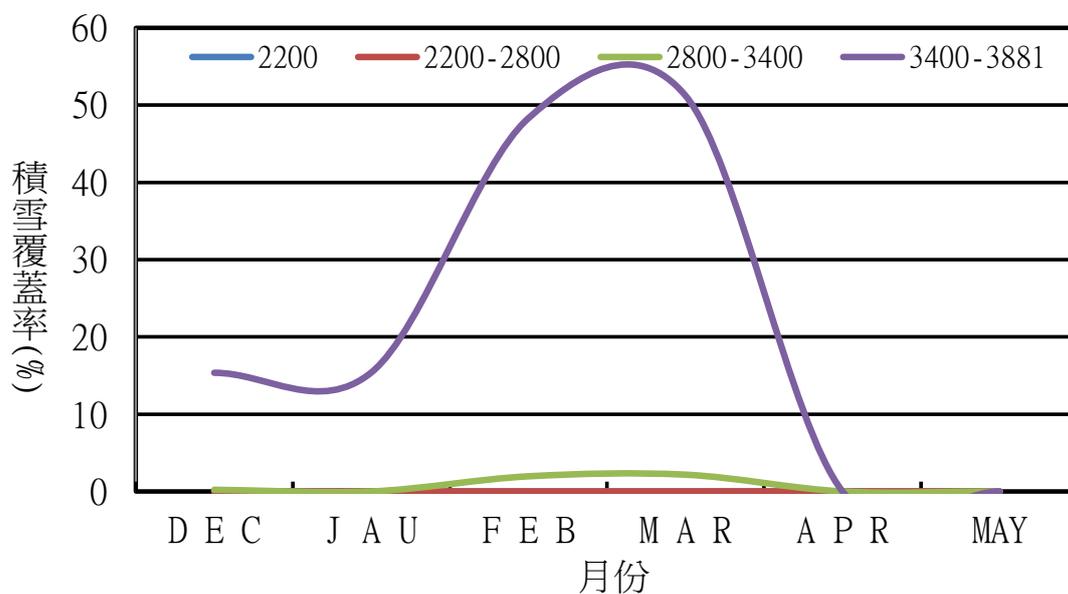


圖 2-9. 七家灣溪集水區不同高程帶之積雪覆蓋率衰減曲線。  
(資料來源：本研究資料)

(iii) 逕流係數(Runoff coefficient, C)

逕流係數為逕流量與降雨量之比值，其值介於 0-1 之間，而本研究將逕流係數分為融雪逕流係數及降雨逕流係數。在融雪逕流係數部

分，雪融化初期雪表面積蒸發量較小，逕流損耗較低，當融雪達一定階段，植被生長之截留作用與土壤裸露會造成蒸發散加大，相當一部分逕流被截流，形成較大之逕流損耗，同時，在某些半乾旱流域，逕流係數可能出現相當低的值，本研究融雪逕流係數依據 A. A. Tahir(2011) (文獻)採用每月給予 0.3。另降雨逕流係數與流量歷線之上昇段有關，因此比照流量與衰退係數之關係式，計算歷線上昇段之流量與降雨逕流係數之關係(圖 2-10)，再以降雨及流量之關係(圖 2-11)可間接推求降雨及降雨逕流係數，以此便可得知每日降雨之降雨逕流係數。

(iv)度日因子(Degree-day factor, a)

a 代表為度日因子的融雪深度[cm/(°C · d)]，可反映出的融雪深度與溫度之關係，每日溫度上升 1°C 所溶化之積雪深度，計算公式如下：

$$a = 1.1 \times \left( \frac{P_s}{P_w} \right) \quad \text{(式 2-4)}$$

其中  $P_s$  為雪密度； $P_w$  為水密度。然而，水密度是一個定值，a 的取值直接取決於  $P_s$  的大小。

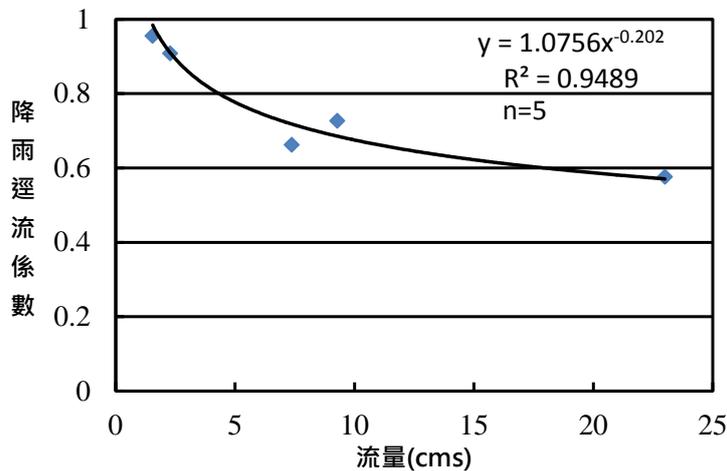


圖 2-10. 流量與降雨逕流係數之關係。

(資料來源：本研究資料)

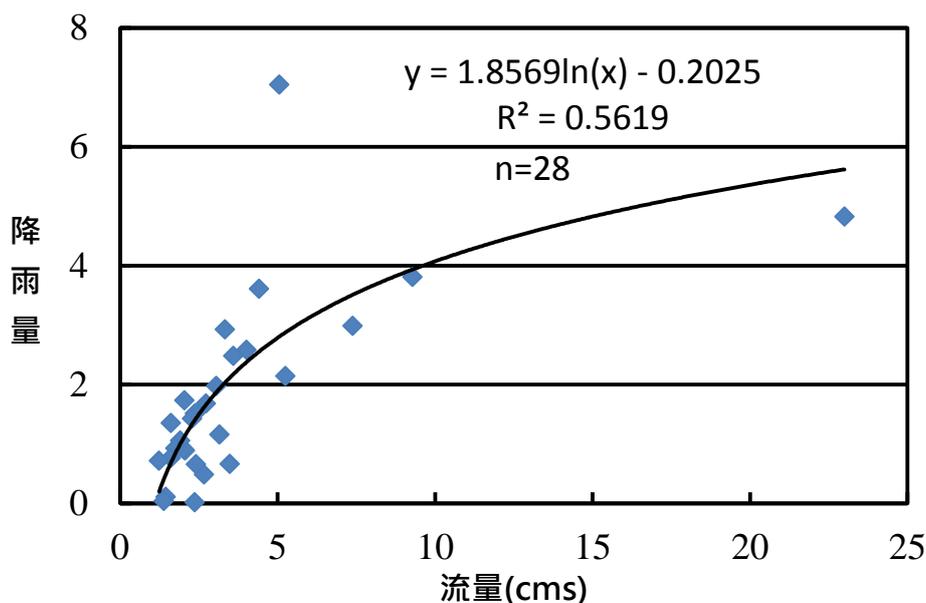


圖 2-11. 降雨及流量之關係。  
(資料來源：本研究資料)

(v)溫度變化率(Temperature lapse rate,  $\gamma$ )

依照 SRM 操作手冊給定，基本溫度變化率為每上升 100 m 會下降  $0.65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(vi)臨界溫度(Critical temperature, TCRIT)

臨界溫度 Tcrit 為區分降雨或降雪兩種降水事件之平均氣溫值，其單位為  $[^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}]$ ，當逐日均溫低於此臨界溫度時則將此事件判定為降雪，本研究以  $0^{\circ}\text{C}$  作為此臨界值。

(vii)降雨貢獻面積(Rainfall contributing area, RCA)

降雪初期，降雨往往能被乾冷又相對比較深厚的積雪截獲而不產生逕流，而降落在非積雪區的降雨形成逕流。融雪後期，雪層基本處在  $0^{\circ}\text{C}$  等溫狀態，含水量飽和(liu *et. al*, 1994)。此時降雨往往能穿透雪層並同時在積雪和非積雪區形成逕流。因此，降雨在融雪期的不同階段其形成逕流的效果是不一樣的，也就是說降雨在不同的融雪時期積雪區和非積雪區對逕流產生的形成貢獻的面積不同。RCA=0 時；RCA=1 時。

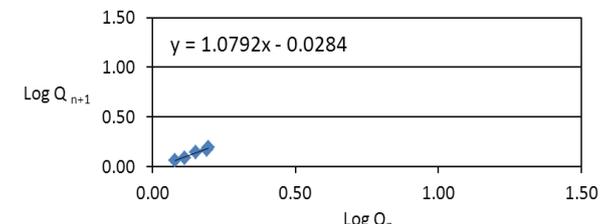
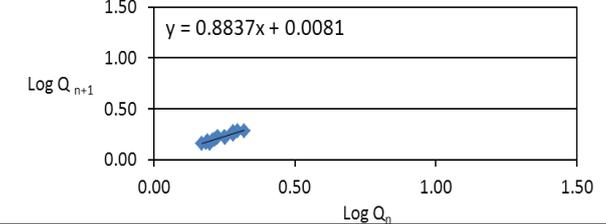
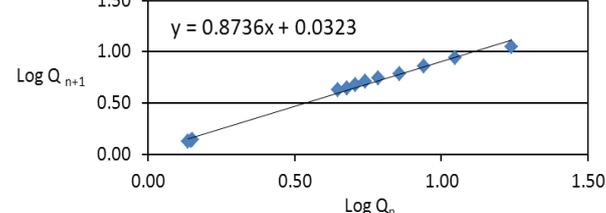
(viii) 衰退係數(Recession coefficient, k)

衰退係數為 SRM 模式中之重要參數之一，它可反映出逐日沒有融雪或降雨時間內的逕流下降值。利用操作手冊中之計算公式如下：

$$K_{n+1} = x \cdot Q_n^{-y} \quad (\text{式 2-5})$$

$$\log K_{n+1} = \log x - y \log Q_n \quad (\text{式 2-6})$$

取 2009 年 12 月至 2010 年 5 月之七家灣流量站之逐日流量，作對數圖前須將  $Q_{n+1} \geq Q_n$  及  $Q_{n+1} < Q_n$  將此兩種情況之數據予以剔除(邱冬梅, 2011)，如圖 2-12，因考量每月之衰退係數不同，不採用每個月給一固定值，分別對各月之流量取對數，藉由  $\log K_{n+1} = \log x - y \log Q_n$  得到各月之 X、Y 係數，可供模式運算之參數，由上述公式可得 2009 年 12 月之 X、Y 係數分別為 1.068 及 -0.0792；2010 年 1 月 X、Y 係數分別為 1.018 及 -0.1113；2010 年 2 月 X、Y 係數分別為 1.077 及 0.1264；2010 年 3 月 X、Y 係數分別為 1.025 及 0.0515；2010 年 4 月 X、Y 係數分別為 1.170 及 0.1922 及 2010 年 5 月 X、Y 係數分別為 1.134 及 0.1597，詳表 2-4。

月份	衰退係數	X、Y 係數	衰退係數公式
2009.12		X : 1.068 Y : -0.0792	$K_{n+1} = 1.068 \times Q_n^{-0.0792}$
2010.1		X : 1.018 Y : 0.1113	$K_{n+1} = 1.018 \times Q_n^{0.1113}$
2010.2		X : 1.077 Y : 0.1264	$K_{n+1} = 1.077 \times Q_n^{0.1264}$

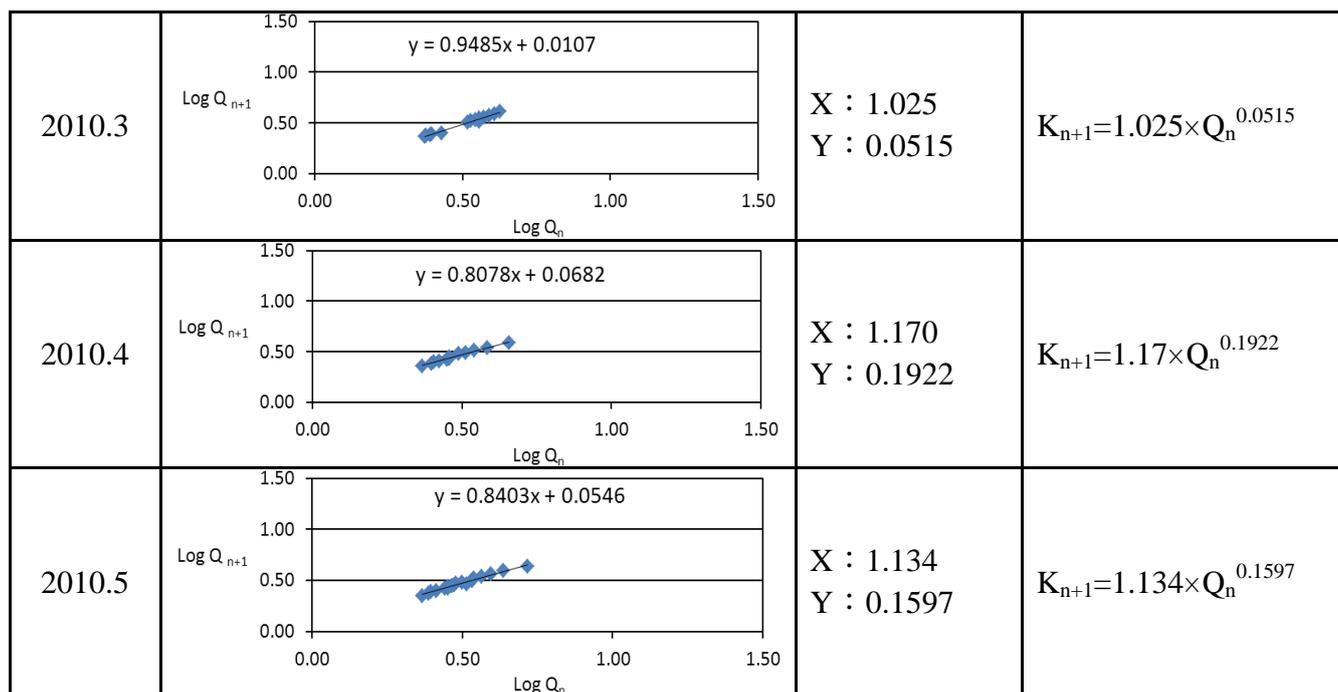


圖 2-12. 七家灣溪集水區 2009 年冬季衰退係數分布及運算公式。

(資料來源：本研究資料)

表 2-4. 各月份衰退係數

月份	X	Y
12	1.068	-0.0792
1	1.018	0.1113
2	1.077	0.1264
3	1.025	0.0515
4	1.170	0.1922
5	1.134	0.1597

(資料來源：本研究資料)

## (2) 模式驗證結果

運用 SRM1.12 版本，針對七家灣溪集水區進行 2009 年 12 月至 2010 年 5 月融雪逕流的模擬，結合 SPOP4、5 及非監督示分類得到積雪覆蓋率並經由鄰近氣象及流量測站獲取實測之氣象水文數據，得出七家灣溪集水區 2009 年冬季逕流量模擬結果，如圖 2-13，模擬之總逕流量為  $603.24\text{m}^3$ ，實測總逕流量  $549.56\text{m}^3$ ，日平均逕流量  $3.02\text{m}^3$ ，日實測逕流量  $3.31\text{m}^3$ ，與實測資料比較，模擬結果反映逕流量的實際變化趨勢。

由圖 2-13 中可知，模擬結果在 12 月至 1 月皆與實測逕流之曲線趨勢一致，而 2 月中表現稍差，探究其原因可能由於 2010 年 2 月份雪山地區天氣變化多端，水氣充足，降雨天數多導致流量變化大，進而對模擬精度產生影響，2010 年 3 月至 5 月期間模擬流量與實測流量之趨勢一致。

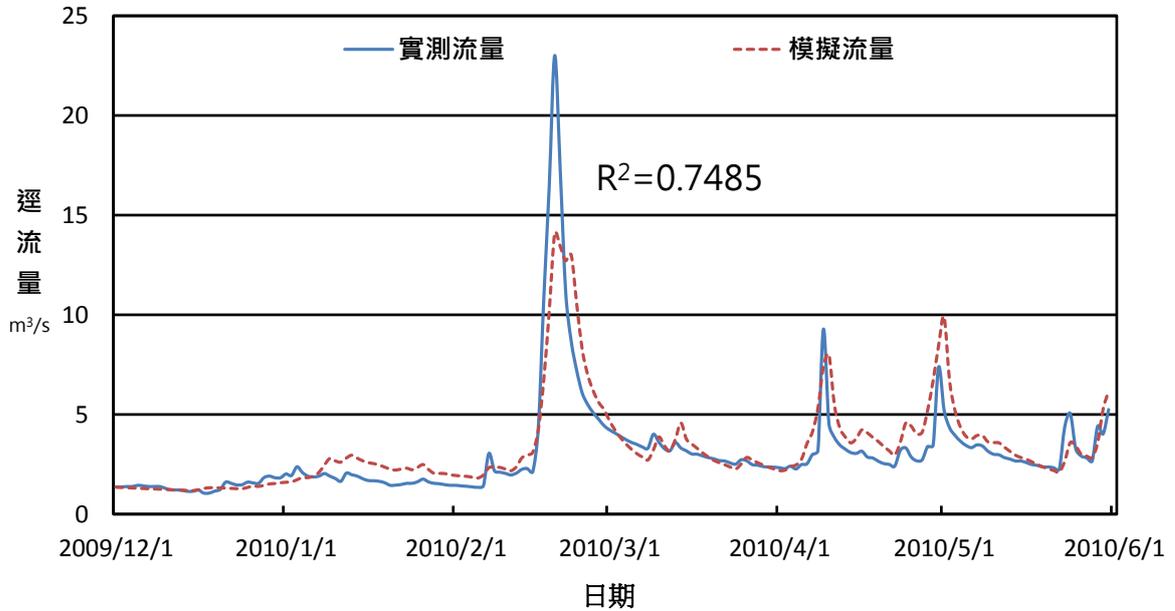


圖 2-13. 2009-2010 年七家灣溪集水區模擬流量與實際流量之對照  
(資料來源：本研究資料)

融雪逕流模式(SRM)運用判定係數(the coefficient of determination)及標準偏差(the deviation of the runoff volumes)之概念，對模擬精度進行檢驗，其判定係數表示為：

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_i')^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}$$

式中： $Q_i$ ：實測的日徑流量； $Q_i'$ ：模擬得到的日徑流量； $R^2$  之數值範圍為 0 到 1 之間，值越大表示模擬精度越高。

$$D_v(\%) = \frac{V_R - V'_R}{V_R} \cdot 100$$

式中： $V_R$ ：實測之逕流體積； $V'_R$ ：模擬之逕流體積； $D_v$  之絕對值越小表示模擬的結果越好。模擬結果之判定係數為  $R^2=0.7485$  及標準偏差  $D_v=-9.7844\%$ 。分析其誤差產生原因主要有以下幾個方面：融雪期之逕流

受到各方面因素之影響，包括雪結冰、土壤壓密程度等，而 SRM 僅從逐日因子方面考慮逕流量之變化，並無考量融雪過程中複雜之物理現象及過程。

#### 4. 溫室氣體排放情境特別報告

未來氣候變遷情境模擬主要根據 IPCC 排放情境特別報告(IPCC Special Report on Emissions Scenarios, SRES)所製定，所謂情境(scenarios)是指 IPCC 所設定的溫室氣體排放情境，藉由預測未來可能之經濟、人口、工業與環境的發展趨勢，提出未來可能的溫室氣排放趨勢，然後再以 GCMs 模擬對應之氣候變化。基本上 IPCC 考慮的未來情境有兩大類：

- (1) 排除未來溫室氣體減量政策通過的影響：此部分的情境主要描述於 2001 年出版的「溫室氣體排放情境特別報告(The Special Report on Emissions Scenarios, SRES)」，根據全球未來的社會經濟變化，假設可能的情境，並排除人類未來有意識的減少溫室氣體排放之影響，SRES 在 IPCC 第三及四次評估報告中，已成為科學家使用作為未來氣候變化推估的依據。
- (2) 考慮人類採取溫室氣體減量行動，使大氣中二氧化碳濃度趨於穩定。此情境假設大氣中的二氧化碳濃度能保持在 2000 年後的某一水準，例如：450ppm，則推估到 2100 年，全球溫度約上升 1.2~2.3°C(此情境推估全球 CO<sub>2</sub> 排放的高點在 2010 年，而到 2050 年能減量 50%，到 2100 年能減量 70%)。IPCC 科學家依據這些情境模擬，估計溫室氣體濃度的未來變化，再將之置入全球氣候模式，推估未來氣候。值得注意的是，在 IPCC 的未來情境推估中，即使是最樂觀的推估，於 2100 年時，全球平均溫度仍會上升 1~3°C，足以使部份地區的異常氣候及劇烈天氣發生頻率大幅提高或降低，而造成公眾危險。

目前將 GCMs 氣候模式應用到類似台灣這種小區域的氣候影響評估，仍遭遇許多困難，首在於解析度過低，主要的問題乃模擬地球氣候的因子太多太複雜，現有超級電腦都無法做高解析度長時間的模擬演算，因此全球模式輸出的水平網格解析度一般約為 150~300 公里，往往忽略小區域地形效應的影響。因此，氣候模式應用需要發展一些方法來做小區域的降尺度模擬(downscale)，以因應許多區域的研究需求，降尺度

模擬的方法大致有三類：

- (1)高解析度 GCM：利用全球 AOGCMs 模式模擬所得到的資料作為邊界條件，驅動大氣環流模式(atmospheric general circulation model, AGCM)，以進行高解析度全球氣候的模擬。
- (2)動力降尺度(dynamical Downscaling)：擷取 AOGCM 模式的區域結果以及邊界條件，進行區域氣候模式(regional climate model, RCM)的模擬，以達到高解析度的目的。
- (3)統計降尺度(statistical Downscaling)：以統計方法尋找現有小尺度的觀測值(通常是氣象站的觀測資料)與大尺度 GCM 變數之間的相關性，並假設此相關性在未來仍成立的情況下，進一步運用於 GCM 未來氣候推估，以達降尺度分析。

而 SRES 考慮未來可能致力於經濟發展，或是朝永續發展利用的目標等不同程度的可能情形，以及考慮全球性或是區域性不同發展對氣候所造成的影響，得到未來氣候變遷情境的氣象資料，藉以討論氣候變遷所帶來的衝擊影響，目前國際常採用之氣候變遷情境共有六種，即 A1FI、A1T、A1B、A2、B1 及 B2，參考徐嘉君與林淑華(2008) 考慮不同情境之整理如表 2-5。

表 2-5. 國際常採用之氣候變遷情境描述

氣候變遷情境	情境描述
A1	A1FI 人類仍大幅使用石化燃料。
	A1T 再生能源進展迅速，人類不使用石化燃料。
	A1B 再生能源與石化燃料平衡使用。
A2	全球經濟成長幅度不等，而導致工業國家與開發國家的收入差異仍大，科技與人口流動較不通暢，強調家庭或族群生產力，A2 的人口成長率是 4 個情境中最高者。
B1	全球的環境與社會意識高漲，並結合全世界的力量來追求永續的發展，經濟發展程度適中，科技發展扮演重要的角色，世界各國貧富差距縮小。

---

B2 世界各國的人類對於環境與社會的永續發展日趨重視，政府政策為有環境意識的公民所影響，全球化的腳步減緩，而地域性的決策機制顯得更受重視。

---

(資料來源：本研究資料)

在採用氣候變遷模式 GCMs 輸出之預測值前，必須要先探討各種 GCMs 應用於台灣地區之適用性與可行性。GCMs 之解析度往往高達 100 至 300 公里，遠大於一般集水區尺度，使得 GCMs 無法捕捉集水區尺度的氣候特性。因此，行政院國家科學委員會計畫「台灣氣候變遷情境推估與資訊平台建置」(2011)採用聯合國政府氣候變遷組織(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第四次評估報告所發布的 24 個 GCMs 進行空間降尺度分析(如圖 2-14 及表 2-6 所列)，評估各種排放情境下氣候變遷對於月雨量的影響並提供近未來(2020 至 2039 年)及世紀末(2080 至 2099 年)兩個時段的降尺度結果，針對每一個未來期程皆有三種情境設定，分別為 A1B、B1 與 A2 情境，DDC 網站(The IPCC Data Distribution Centre)上僅其中 10 個模式有完整提供此三種情境之對應輸出資料，其餘的模式均只提供一或兩種情境之對應輸出資料。此 10 個 GCM 模式分別為 CSIRO-MK3、GFDL-CM2、GFDL-CM2\_1、INM-CM3、IPSL-CM4、NIES-MIROC3\_2-MED、MPIM-ECHAM5、MRI-CGCM2\_3\_2、NCAR-CCSM3、UKMO-HADCM3。而在這 10 個 GCM 模式裡面，較常見於國內外對於東亞地區後氣候變遷影響之相關研究中的則為其中 4 個 GCM 模式，分別為美國地球物理學流體動力實驗室發展之 GFDL-CM2 與 GFDL-CM2\_1，日本交通省氣象廳所屬之氣象研究所發展之 MRI-CGCM2\_3\_2 以及德國漢堡普朗克氣象研究所發展之 MPIMECHAM5。然而，在現階段與氣候變遷相關的研究中，卻未有文獻可以明確指出哪一種 GCM 的輸出值最能描述未來的氣候變遷狀況，亦未有研究可以明確告知哪一種 GCM 的輸出最適合模擬台灣地區的氣候狀況。由於目前無法明確得知哪種 GCM 模式最適合台灣使用，使用上不要僅使用單一或少數幾個 GCM 模式來模擬台灣未來的氣候變遷情況，若研究資源許可的話，儘量使用多一些模式來模擬，以期可包含未來可能發生之情況。

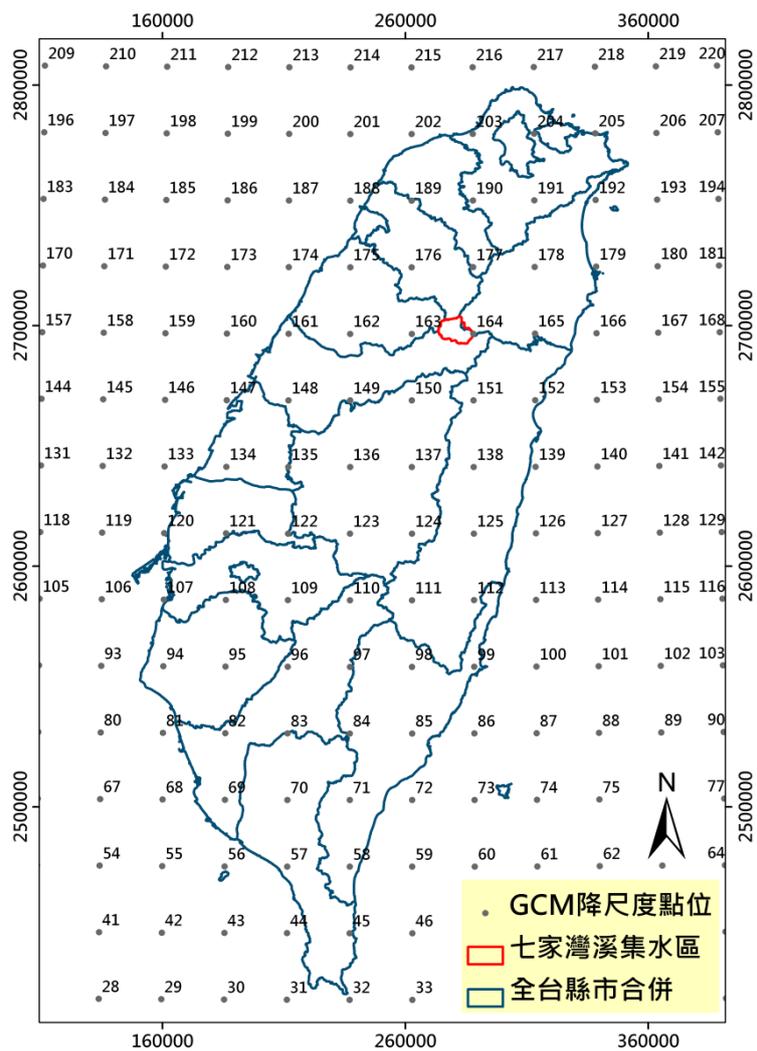


圖 2-14. GCM 降尺度點位。  
(資料來源：本研究資料)

表 2-6. AR4 報告中提供的 24 個 GCMs

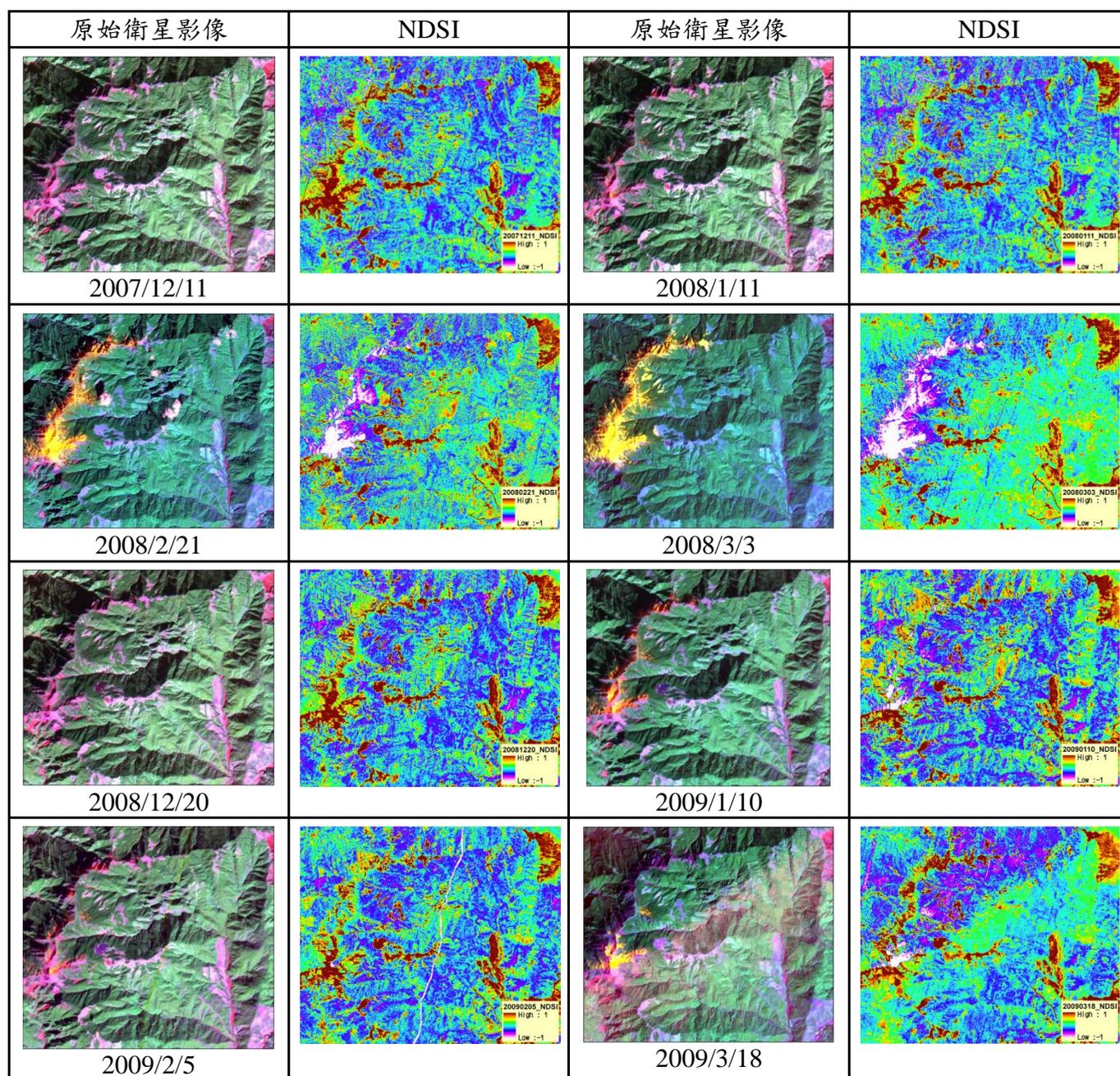
模式名稱	發展單位名稱	發展單位名稱縮寫
BCM2	Bjerknes Centre for Climate Research, Norway	BCCR
CGCM3_1-T47	Canadian Center for Climate Modelling and Analysis, Canada	CCCMA
CGCM3_1-T63		
CM3	Centre National de Recherches Meteorologiques, France	CNRM
ECHO-G	Meteorological Institute, Univ. of Bonn, Germany Meteorological Research Institute of KMA, Korea	CONS
MK3	Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia	CSIRO
MK3_5		
CM2	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, USA	GFDL
CM2_1		
CM3	Institute of Numerical Mathematics, Russia	INM
CM4	Institut Pierre Simon Laplace, France	IPSL
FGOALS-G1_0	Institute of Atmospheric Physics, China	LASG
ECHAM5	Max Planck Institute for Meteorology, Germany	MPIM
ECHAM4		
CGCM2_3_2	Meteorological Research Institute, Japan	MRI
GISS-AOM	Goddard Institute for Space Studies (GISS), NASA, USA	NASA
GISS-EH		
GISS-ER		
CCSM3	National Center for Atmospheric Research, USA	NCAR
PCM		
MIROC3_2-HI	National Institute for Environmental Studies, Japan	NIES
MIROC3_2-MED		
HADCM3	Hadley Centre for Climate Prediction and Research, MetOffice, UK	UKMO
HADGEM1		

(資料來源：本研究資料)

### 三、結果與討論

#### (一)常態化差異雪體指標(NDSI)分析

為瞭解高海拔地區冬季降雪覆蓋之情形，利用集水區資訊系統 (WinGrid)模組分析14期億年橋集水區之衛星影像(2007-2011年)之常態化差異雪體指標(NDSI)，其值域介於-1~1之間，越接近-1呈白色分布即該期積雪覆蓋之範圍，如圖 2-15所示。



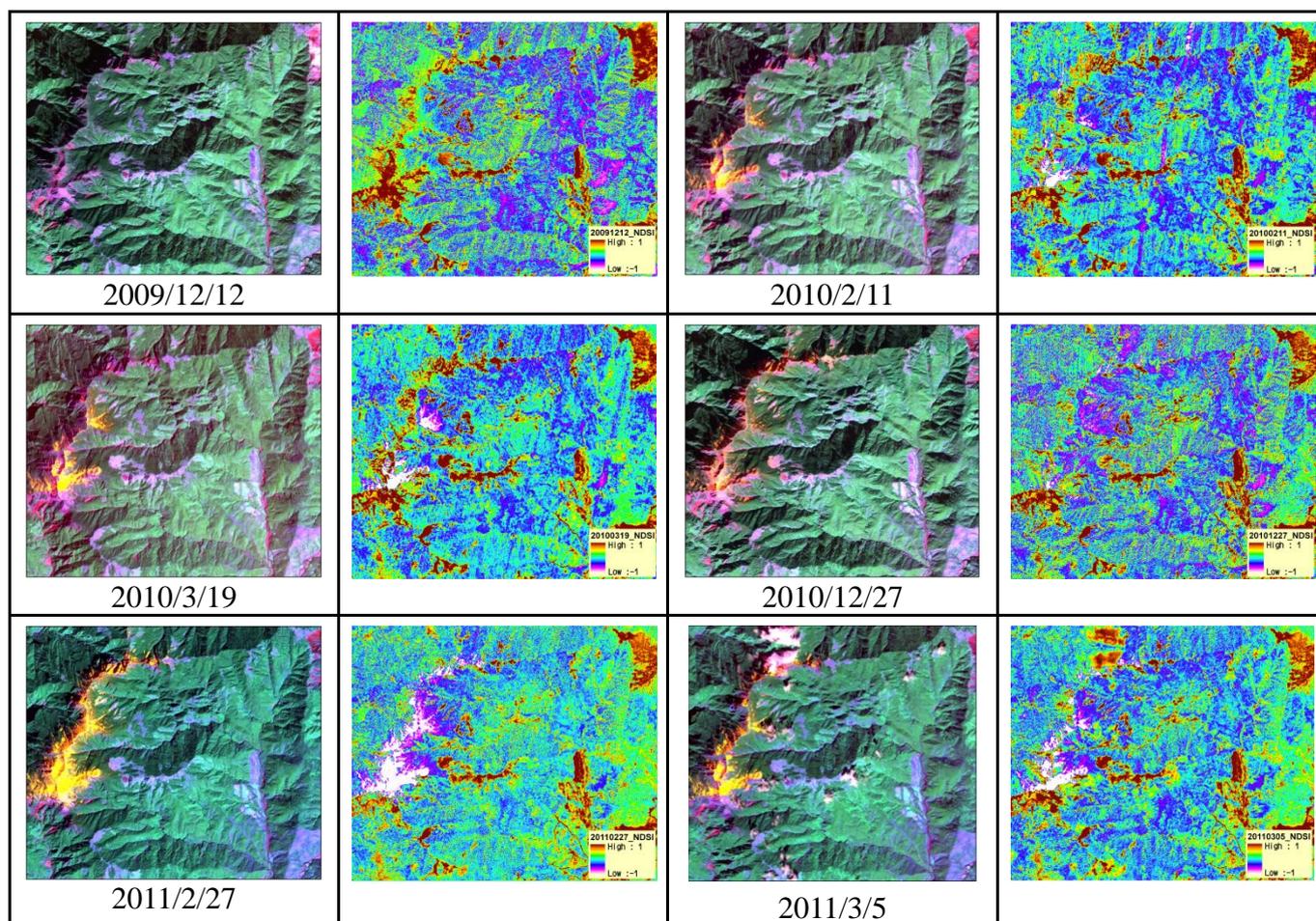


圖 2-15. 2007-2012 各期衛星影像之 NDSI 分布。

(資料來源：本研究資料)

## (二)非監督式分類萃取雪覆蓋範圍

為瞭解高海拔地區冬季降雪覆蓋之情形，計算常態化差異雪體指標 (NDSI)，再利用非監督式分類法提取雪覆蓋面積及範圍，萃取出來作為當年度之積雪面積範圍，並分析不同高程之積雪覆蓋面積，供爾後計算積雪覆蓋率所用，以下以同月不同年之積雪空間分布及雪量進行探討，分述如下：

### 1.集水區 12 月份之積雪空間分布

萃取 2007 至 2010 年，各年 12 月份積雪空間分布如圖 2-16，發現雖同為 12 月份之影像，僅於 2010 年 12 月 27 日之影像有積雪，總積雪面積約 29.915 公頃，高程介於 2,800-3,400 m 之間積雪覆蓋面積為 3.025 公頃，大於 3,400 m 之積雪覆蓋面積為 26.71 公頃，詳表 2-7，其它年份之影像並無積雪徵兆。

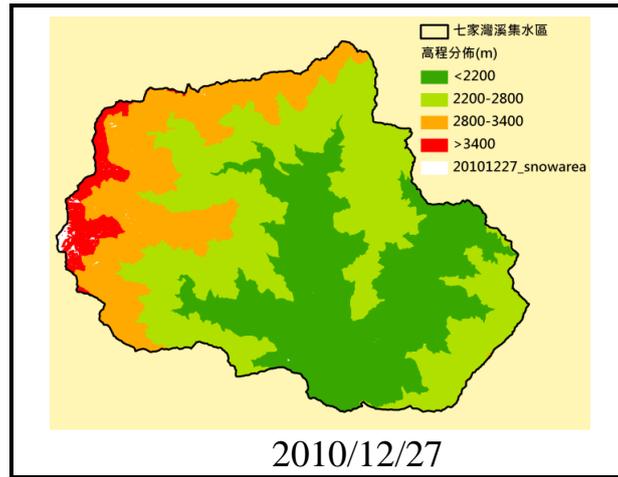


圖 2-16. 集水區 12 月份之積雪空間分布  
(資料來源：本研究資料)

表 2-7. 七家灣溪集水區 12 月份不同高度帶積雪覆蓋面積(ha)變化

日期/高程(m)	2007/12/11	2008/12/20	2009/12/12	2010/12/27
<2200	0	0	0	0
2200-2800	0	0	0	0
2800-3400	0	0	0	3.025
>3400	0	0	0	26.71

註：0 無積雪覆蓋

(資料來源：本研究資料)

## 2. 集水區 1 月份之積雪空間分布

萃取 2008 至 2009 年，兩年之 1 月份積雪空間分布如圖 2-17，可發現雖同為 1 月份之影像，2009 年 1 月 10 日之積雪覆蓋面積約 46.301 公頃，較同期 2008 年 1 月 11 日之積雪覆蓋面積約 2.57 公頃來的大(表 2-8)，因 2010 及 2011 兩年之影像品質不佳，因此未與以採納。

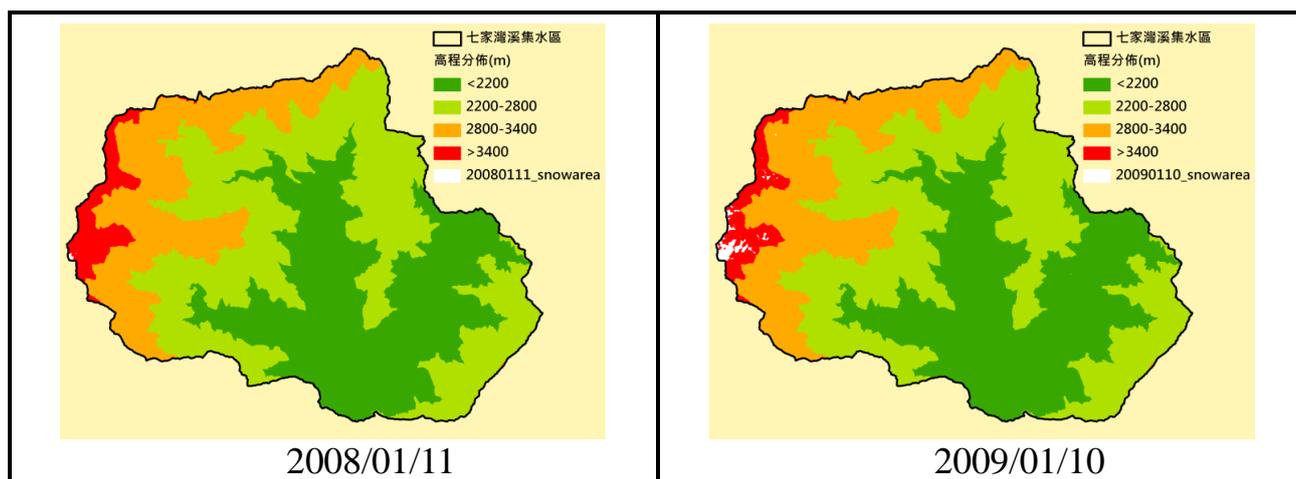


圖 2-17. 集水區 1 月份之積雪空間分布

(資料來源：本研究資料)

表 2-8. 七家灣溪集水區 1 月份不同高度帶積雪覆蓋面積(ha)變化

日期/高程(m)	2008/1/11	2009/1/10
<2200	0	0
2200-2800	0	0
2800-3400	0	0.291
>3400	2.57	46.01

註：0 無積雪覆蓋

(資料來源：本研究資料)

### 3. 集水區 2 月份之積雪空間分布

萃取 2008 至 2011 年，各年之 2 月份積雪空間分布如圖 2-18，可知雖同為 2 月份之衛星影像，可知積雪覆蓋面積最大多在高程分布於 >3,400 m 以上之山區，其 2011 年 2 月 27 日積雪面積最大約為 247.105 公頃，次之為 2010 年 2 月 11 日之積雪覆蓋面積為 89.62 公頃，最小為 2009 年 2 月 5 日之積雪面積約為 6.139 公頃，詳表 2-9，可知其積雪面積逐年變化。

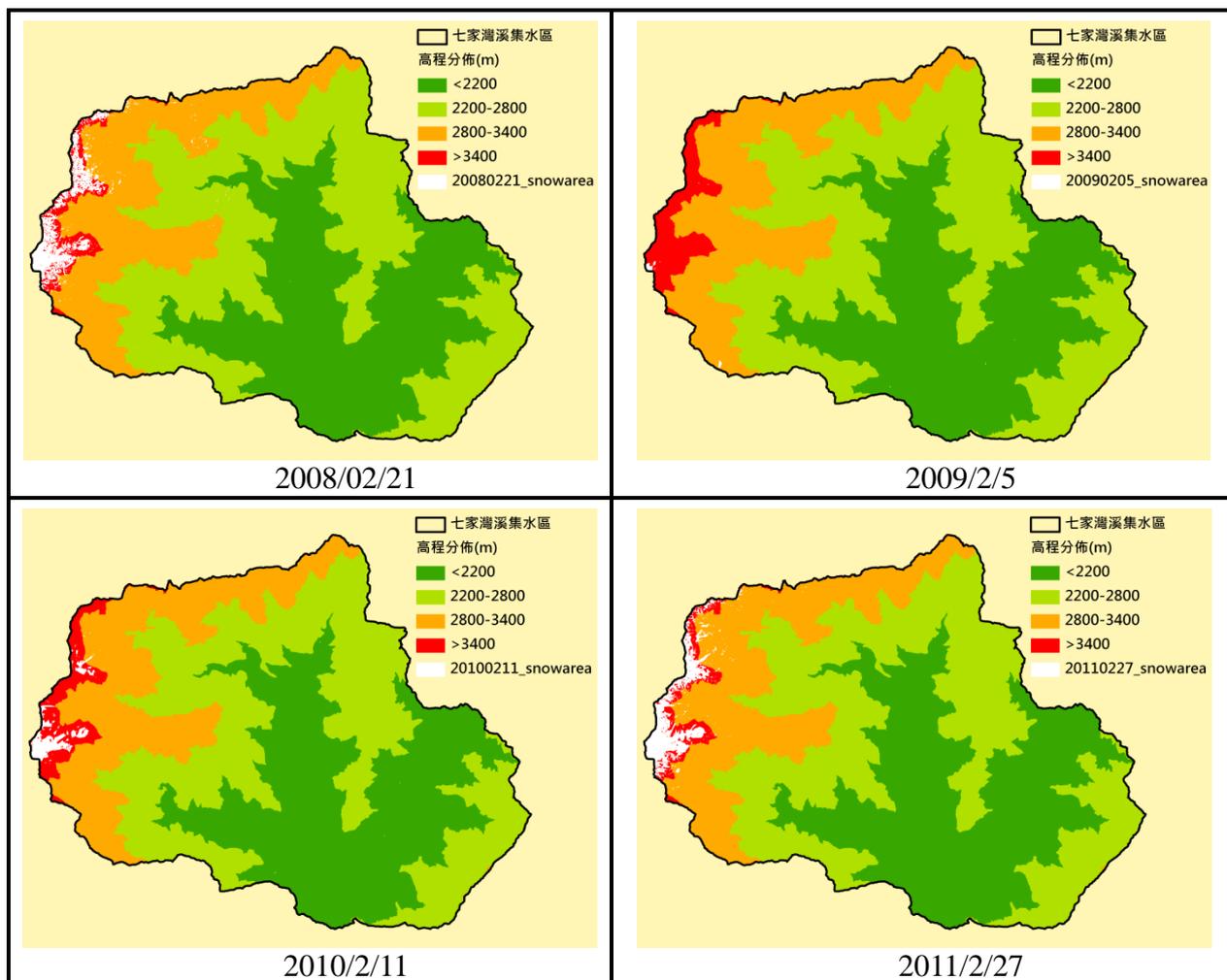


圖 2-18. 集水區 2 月份之積雪空間分布。

(資料來源：本研究資料)

表 2-9. 七家灣溪集水區 2 月份不同高度帶積雪覆蓋面積(ha)變化

日期/高程(m)	2008/2/21	2009/2/5	2010/2/11	2011/2/27
<2200	0	0	0	0
2200-2800	0.465	0	0	0
2800-3400	21.661	1.419	1.670	19.035
>3400	221.12	4.72	87.95	227.80

註：0 無積雪覆蓋

(資料來源：本研究資料)

#### 4. 集水區 3 月份之積雪空間分布

萃取 2008 至 2011 年各年之 2 月份積雪覆蓋面積其空間分布如圖 2-18。2008 至 2011 年同期 3 月之積雪覆蓋面積有明顯之差異，由可知 2008 年 3 月 3 日之雪覆蓋面積為最大達 279.679 公頃，與 2011 年 3 月 5

日同時間點比較，可得知 2011 年積雪覆蓋面積明顯下降許多，其覆蓋面積為 82.765 公頃。表 2-9 為 2008 至 2011 年 3 月積雪量變化，利用衛星影像所推算之積雪面積配合測站之積雪深度測值可計算集水區之積雪量，截至 2010 年 3 月 19 日之累計積雪深度為 0.981 公尺，積雪量為 1,466,330.45 立方公尺。

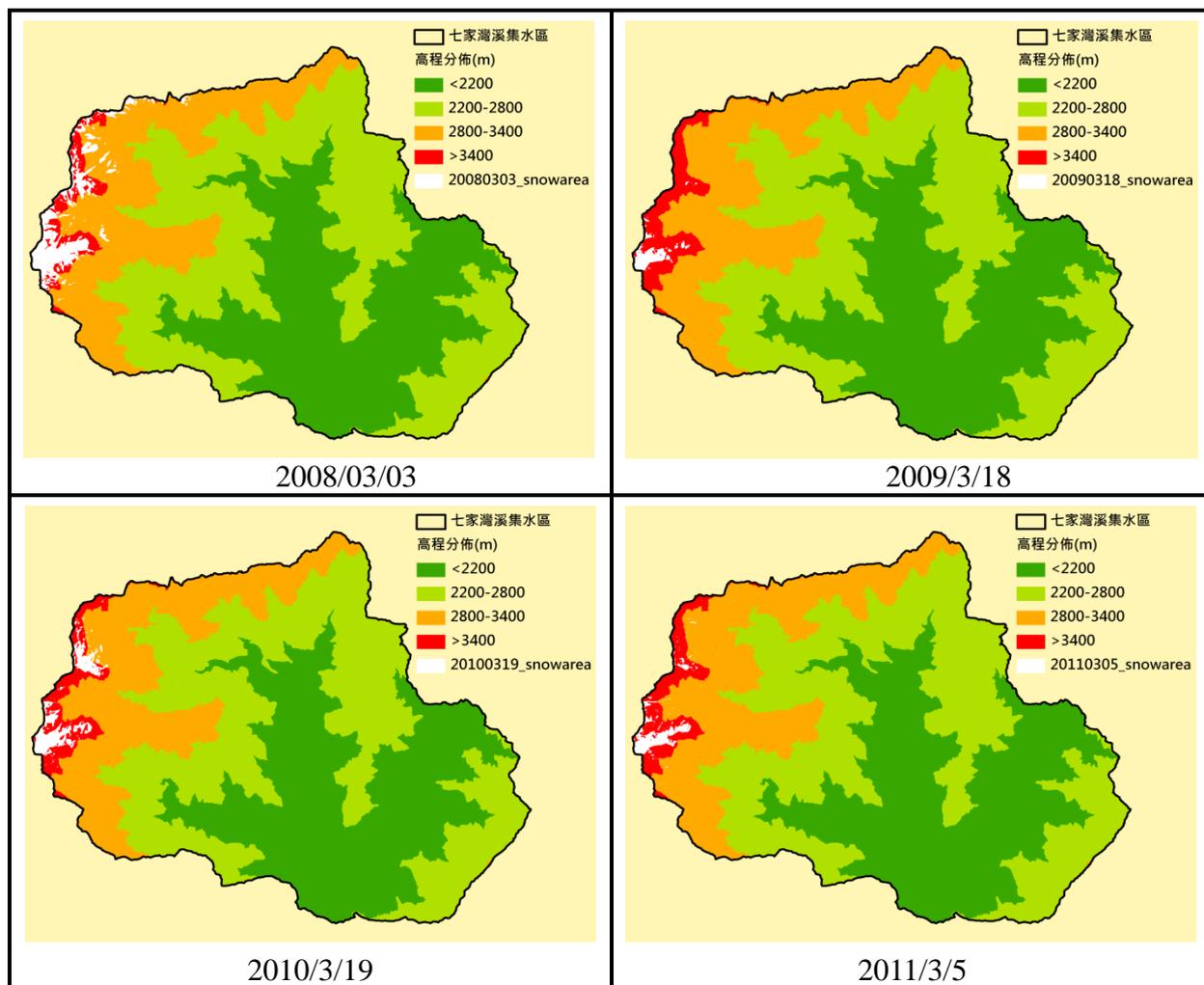


圖 2-19. 集水區 3 月份之積雪空間分布。

(資料來源：本研究資料)

表 2-10. 七家灣溪集水區 3 月份不同高度帶積雪覆蓋面積(ha)變化

日期/高程(m)	2008/3/3	2009/3/18	2010/3/19	2011/3/5
<2200	0	0	0	0
2200-2800	0	0	0	0
2800-3400	60.129	0	8.983	2.205
>3400	219.55	52.24	130.59	80.56

註：0 無積雪覆蓋

(資料來源：本研究資料)

### 5.2007-2011 年冬季積雪覆蓋空間分布之變化

藉由 12 月至 3 月(2007-2011 年)四個循環之積雪覆蓋變化面積分布，可得知 2007-2008 年積雪覆蓋面積逐月上升；但 2008-2009 之分布趨勢為 2 月較 1 月及 3 月為低；2009-2010 之分布為 1-3 月逐月上升；到 2010-2011 之分布為 12 月已有積雪覆蓋之情形，覆蓋面積為 29.915 公頃，如圖 2-20。

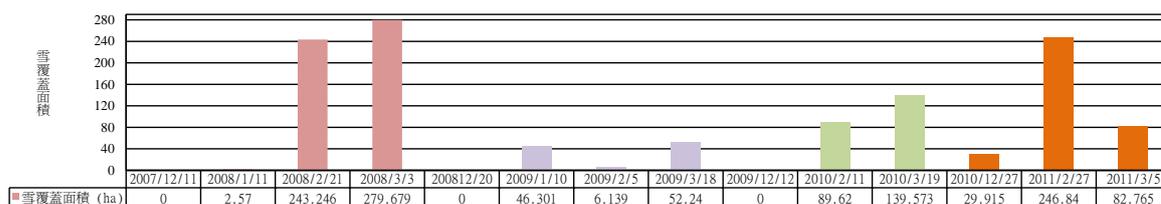


圖 2-20. 2007 至 2011 年冬季降雪覆蓋面積分布變化。

(資料來源：本研究資料)

### (三)模擬結果

#### 1. 各年模擬結果

運用 SRM 及結合 SPOP4、5 及非監督式分類得到積雪覆蓋率並經由鄰近氣象及流量測站獲取實測之氣象水文數據，模擬圈谷集水區 2009-2010 年、2010-2011 年、2011-2012 年 12 月至 5 月等三年度之融雪逕流歷線，如圖 2-21，經計算各年之逕流量發現，其變異係數高達 38%(表 2-11)。

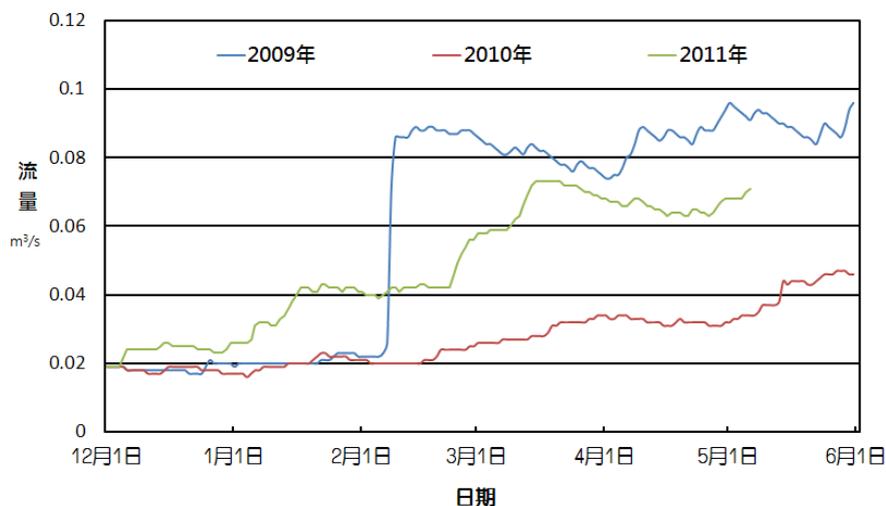


圖 2-21. 圈谷集水區各年模擬流量歷線。

(資料來源：本研究資料)

表 2-11. 圈谷集水區各年逕流量

年度	逕流量(m <sup>3</sup> )	平均值(m <sup>3</sup> )	標準差(m <sup>3</sup> )	變異係數(%)
2009~2010	760,493	581,760	221,883	38.14
2010~2011	333,418			
2011~2012	651,370			

(資料來源：本研究資料)

## 2. 氣候變遷情境模擬結果

推估七家灣溪及圈谷集水區受氣候變遷影響下之氣象水文資料係透過國家災害防救科技中心(National Science and Technology Center for Disaster Reduction, NCDR)所提供之 GCMs 點位，選定編號 164 之 GCM 點位，如圖 2-22 所示，分析七家灣溪集水區逕流之影響，利用 NCDR 所提供之未來氣候變化時間基期為 2020-2039 年與 2080-2099 年兩階段之降雨量及氣溫變化之情境模擬，降雨量及氣溫於原來基礎上依月份分別呈上其比例變化，如表 2-12 及表 2-13 所示。

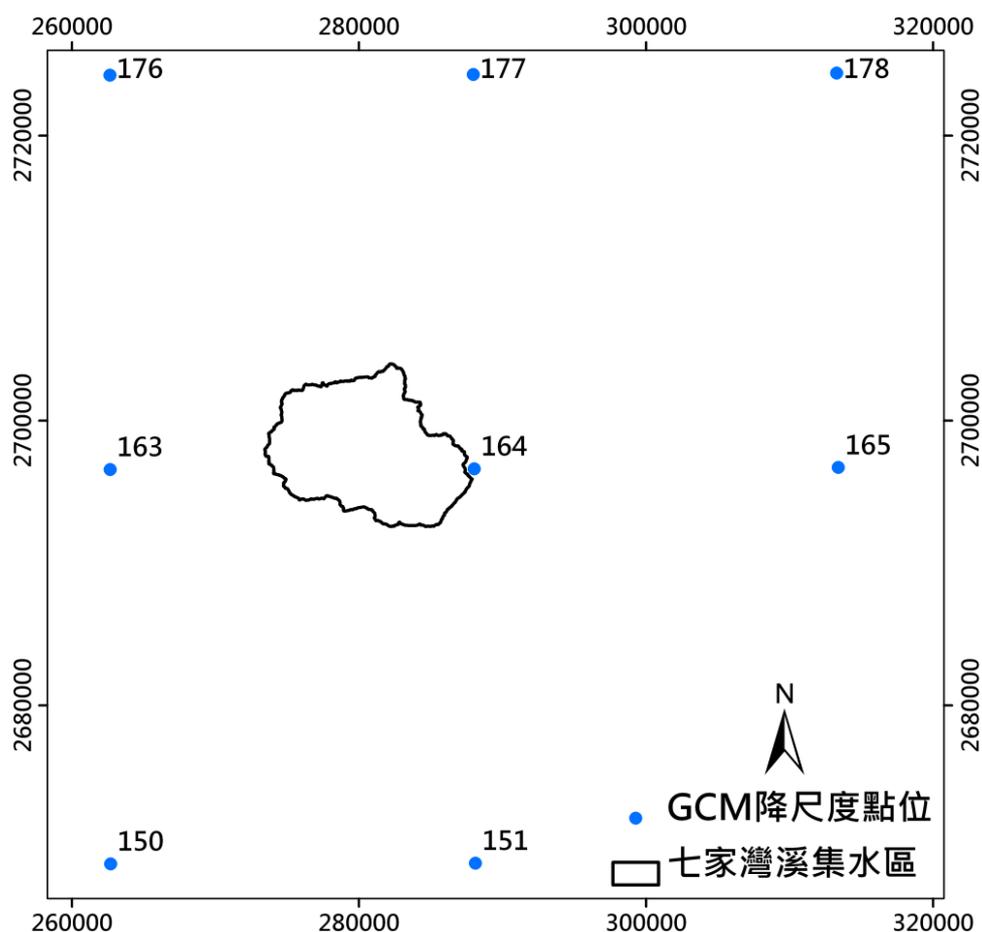


圖 2-22. 七家灣溪集水區使用 GCM 降尺度點位位置圖。

(資料來源：本研究資料)

表 2-12. 各月雨量之變化百分比

情境模擬	b1	b1
時間基期(年)	近未來 (2020 – 2039)	世紀末 (2080 – 2099)
1 月	-3.59	-7.34
2 月	5.95	5.71
3 月	-11.00	-8.93
4 月	-3.93	-3.29
5 月	-0.64	4.16
6 月	-1.96	9.18
7 月	9.14	19.11
8 月	3.33	7.61
9 月	4.25	7.49
10 月	-0.77	3.58
11 月	-1.41	-5.24
12 月	-0.86	-4.12

(資料來源：本研究資料)

表 2-13. 各月氣溫之變化百分比

情境模擬	b1	b1
時間基期(年)	近未來 (2020 – 2039)	世紀末 (2080 – 2099)
1 月	0.6129	1.5735
2 月	0.6518	1.5354
3 月	0.6513	1.5696
4 月	0.5709	1.4845
5 月	0.6677	1.5972
6 月	0.5482	1.4761
7 月	0.5849	1.4813
8 月	0.6306	1.5071
9 月	0.6772	1.5601
10 月	0.5749	1.4354
11 月	0.5543	1.4071
12 月	0.7072	1.5953

(資料來源：本研究資料)

利用 SRM 針對上述 B1 情境模擬圈谷集水區各年度之流量歷線，如圖 2-23 所示，藉由計算各情境之逕流量，其變異係數僅 0.5-1.8% 左右(表 2-14)。

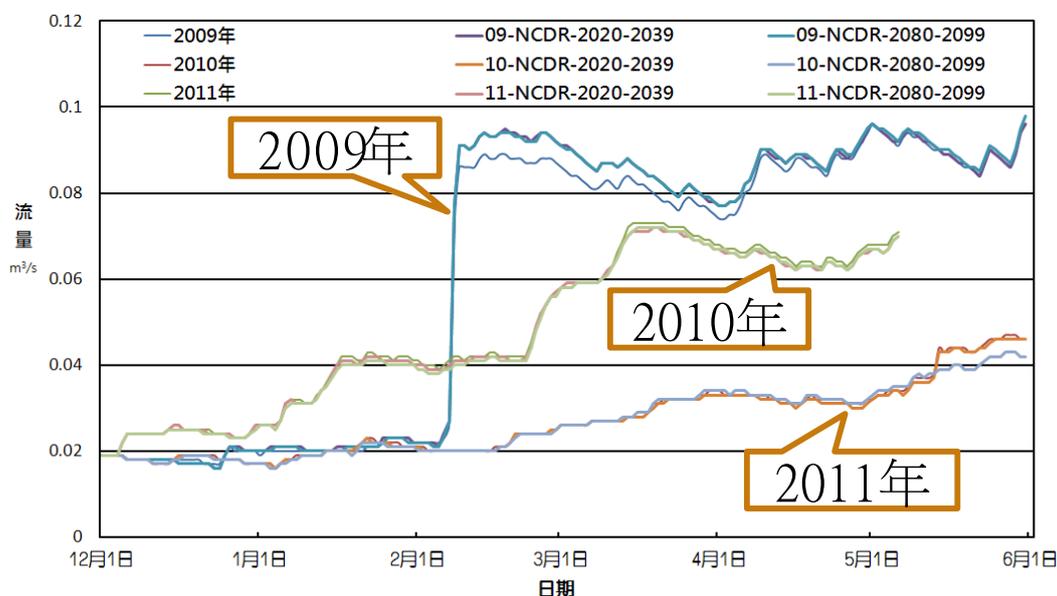


圖 2-23. 圈谷集水區 B1 情境模擬結果。

(資料來源：本研究資料)

表 2-14. 圈谷集水區 B1 情境模擬逕流量變異之結果

	逕流量(m <sup>3</sup> )			平均值 (m <sup>3</sup> )	標準差 (m <sup>3</sup> )	變異係數 (%)
	近況	近未來 (2020-2039)	世紀末 (2080-2099)			
2009 年	760,493	785,635	785,290	777,139	14,417	1.86
2010 年	333,418	330,652	333,158	332,410	1,527	0.46
2011 年	651,370	643,162	640,310	644,947	5,742	0.89

(資料來源：本研究資料)

### 3. 氣候變遷下水資源之變化

以 2009 年之入流條件模擬氣候變遷下水資源之變化，結果顯示，逕流量增加但降水體積則有減少之趨勢，表示水資源由逐漸下降之現象，且溫度上升亦使融雪現象加速發生，原本應涵養於圈谷之固態水資源提早流失，加上逕流係數提高更簡短集水區之集流時間，為此管理單位可設法於圈谷地區之適當滯蓄區位配置蓄水設

施，將地表水以入滲代替逕流之方式，除可延長水資源排入河道之時間外，亦可於冬旱季進行水資源調配，並維持下游棲地之生態基流量，如圖 2-24 及表 2-15

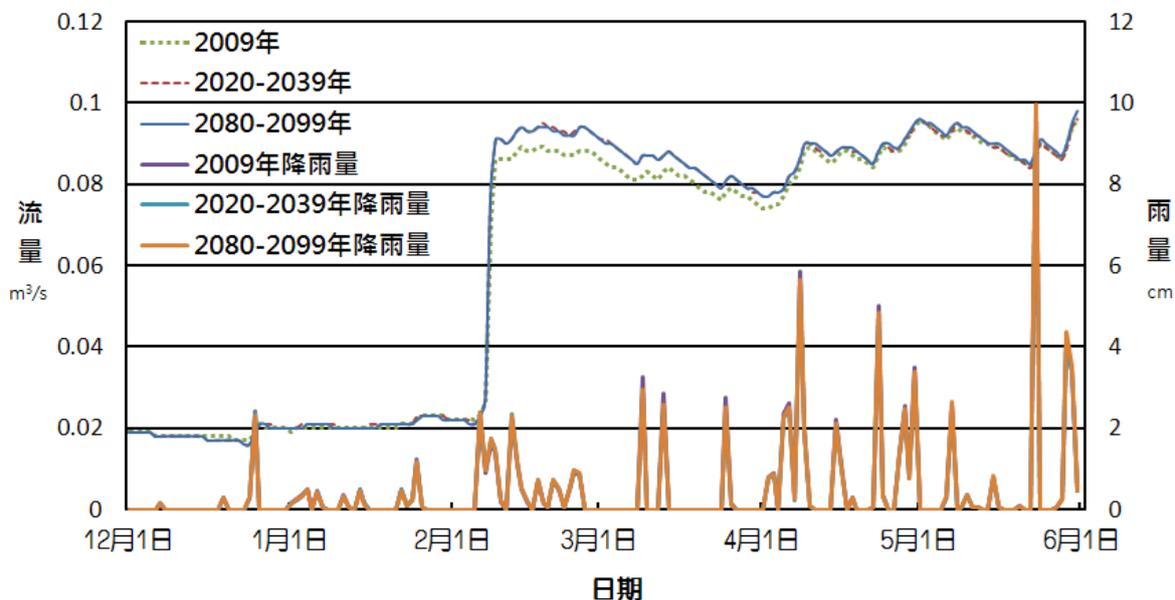


圖 2-24. 圈谷集水區逕流歷線。

(資料來源：本研究資料)

表 2-15. 各情境水資源變化情形

情境	逕流量 (m <sup>3</sup> )	增減量 (%)	降水體積 (m <sup>3</sup> )	增減量 (%)	逕流係數
近況 (2009)	953,683	—	1,464,550	—	0.65
近未來 (2020-2039)	979,258	2.68	1,435,385	-1.99	0.68
世紀末 (2080-2099)	980,554	2.82	1,455,993	-0.58	0.67

(資料來源：本研究資料)

## 四、結論與建議

### (一)結論

溫室效應已明顯造成全球暖化現象，圈谷地區生態系可能因溫度上升導致某些物種消失，亦可能有其他物種入侵提高此區物種競爭之現象，加上圈谷地區若因溫度上升可能造成岩石因熱漲冷縮之裂解現象減緩，拉長此區風化及成土作用，較薄之土壤層將造成逕流係數上升，水源涵養能力下降，在冬旱季因全球暖化使降雪量減少之情形下，水資源之供給不足將影響水源及養分循環，以及冬旱季生態基流量和水文調控，嚴重時可能影響下游七家灣溪櫻花鉤吻鮭之生態棲地。為此，本研究利用冬季之衛星影像計算常態化差異雪覆蓋指標，結合非監督式分類法，可有效萃取集水區積雪面積，供融雪逕流模式模擬氣候變遷下集水區流量之變化，結果顯示，每年逕流量之變異係數達38%，而氣候變遷情境下逕流量之變異係數僅0.5-1.8%，在每年氣候變化劇烈下，生態系會以週期性遷徙、覓食方式改變等自我調整其生存方式。氣候變遷之變化雖不大，惟氣候變遷對圈谷生態系之長期影響仍有待探討。氣候變遷為長期影響之趨勢，極端氣候為短期之變化，生物雖可適應短期變化，但並不代表長期趨勢不須調適，圈谷區位之氣候變遷幅度反映在整體溫度與降水量變化雖不大，但長期影響下對圈谷生態系之長期影響仍有待探討。總逕流量下降及時間上分配不均，會對土壤養分、結構產生衝擊，一但養分堆積與淋洗方式改變，便會對整體生態系產生影響，其衝擊不小於流量與水溫之變化，因此以保育之觀點必須考慮整體集水區之可能變遷因子。

但在水資源變化上因有逐漸下降之趨勢，為此管理單位應於圈谷地區之適當窪蓄區位配置蓄水設施，將地表水以入滲代替地表逕流之排放方式，除可延長水資源排入河道之時間外，亦可於冬旱季進行水資源調配，並維持下游生物棲地之生態基流量，可解決氣候變遷下造成之集水區水資源調配問題。

### (二)建議

#### 1.立即可行之建議

主辦機關：雪霸國家公園

協辦機關：國立中興大學水土保持學系

建議事項：

- (1)藉由衛星影像或數值高程模型可萃取出滙蓄區位，並於適當區位利用當地材料構築簡單之蓄水設施，另於圈谷集水區依上、中、下游配置蓄水池，營造出具水資源調整、提供動物飲水以及生態多樣化等多功能之生態池。
- (2)生態池所蓄積之融雪或地表逕流水能以入滲方式排入河道，藉此可延長逕流排入河道之時間，且可穩定提供下游棲地之生態基流量。
- (3)因應氣候變遷之調適策略主要有兩種方式：
  - (i)適應環境：採放任方式，人類不加以干擾，物種會以演化或演替的方式，隨環境變化自我調適，以彼此競爭、適者生存之方式保留適合生存之物種。
  - (ii)對抗環境：
    - (1)部分干預：以局部人為方式營造特定物種之適生環境供保育物種得以綿延生存。
      - A.藉由衛星影像或數值高程模型可萃取天然滙蓄區位，利用就地取材構築簡易蓄水設施，營造出具水資源調整、提供動物飲水以及生態多樣化等多功能之生態池。
      - B.生態池所蓄積之融雪或地表逕流水能以入滲方式排入河道，藉此可延長逕流排入河道之時間，且可穩定提供下游棲地之生態基流量。
    - (2)強度干預：除部分干預營造適生環境外，於河川生態基流量不足時，櫻花鉤吻鮭可配合冬旱季藉由人工繁殖及適時野放之操作綿延其生存。
    - (3)完全干預：因氣候變遷其生存環境已被破壞，僅能由人工繁殖圈養。

## 2.長期性之建議

主辦機關：雪霸國家公園

協辦機關：國立中興大學水土保持學系

建議事項：

- (1)藉由衛星影像可分類出圈谷地區植物社會之變化，找出應於冬旱季時增加調查推移帶物種之頻率，以了解及篩選出圈谷地區之優勢物種，並分析各物種對環境之應力情形，俾供保育單位了解圈谷生態系之變化。
- (2)調查圈谷生態系之消長，並建置生態系水分及養分循環，俾供管理單位可了解冬旱季應如何進行水資源調配。



## 五、參考文獻

- 王曉春、周曉峰、孫志虎(2005)，高山林線與氣候變化關係研究進展，生態學雜誌，24(3): 301~ 305。
- 邱冬梅(2011)，基於 MODIS 的主要積雪參數反演及其應用研究，新疆大學理學碩士論文。
- 陳裕良及李培芬(2001)，高山生態系之經營策略-以雪霸國家公園為例，中日國家公園研討會，玉山國家公園管理處，南投。
- 國家災害防救中心(2010)，台灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫，災害防救電子報，54。
- Adnan Ahmad Tahir, Pierre Chevallier, Yves Arnaud, Luc Neppel, Bashir Ahmad(2011), "Modeling snowmelt-runoff under climate scenarios in the Hunza River basin, Karakoram Range, Northern Pakistan," *Journal of Hydrology*, 409, 104 - 117.
- CHOU C.H., HUANG T.J., LEE Y.P., CHEN C.Y., HSU T.W., and CHEN C.H., (2011), "Diversity of the alpine vegetation in central Taiwan is affected by climate change based on a century of floristic inventories," *Botanical Studies*, 52: 503-516.
- IPCC (2007), "Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change," IPCC Climate Change.
- GREEN K., (2010), "Alpine Taxa Exhibit Differing Responses to Climate Warming in the Snowy Mountains of Australia," *J. Mt. Sci.*, 7: 167 - 175.
- Martinec, J., (1975), New methods in snowmelt-runoff studies in representative basins. IAHS I Characteristics of River Basins, Tokio, Japan, pp. 99-107.
- Rango, A., Roberts, R., and Martinec, J., (1988), WMO Project on simulated

real-time intercomparison of hydrological models. Technical report, Hydrological Laboratory, USDA, Beltsville, Maryland, USA, 1988.  
Individual report on SRM

Thomas, C. D.; Cameron, A.; Green, R. E.; Bakkenes, M.; Beaumont, L.J.; Collingham, Y.C.; Erasmus, B.F.N.; Siqueira, M.F.D.; Grainger, A.; Hannah, L. (2004), "Extinction risk from climate change," *Journal of Natural*, 427 (6970): 145 - 148.

## 第三章 雪山地區外生菌根共生關係之研究

顏江河

國立中興大學森林學系

### 摘要

關鍵詞：雪山、菌根、共生、土壤滲漏水

#### 一、研究緣起

菌根真菌(mycorrhizal fungi)與植物共生(symbiosis)是維護森林生態系穩定與演替的重要因子。從植物定植開始，菌根菌就與植物形成了動態的共生體系，此種關係對於生態系中的養分循環(nutrient cycling)與能量傳遞(energy transfer)都扮演著重要的角色。土壤供給植群所需養分，大都需要藉由菌根菌的幫忙，尤其在土壤性質異常或不利植物生長狀況下，菌根共生為植物適應環境的重要機制。此外，植物吸收養分後經由枯落物或動物排遺，亦或動、植物遺體將養分回歸土壤，養分的循環由土壤開始，最後也回歸土壤；植物吸收光能，配合吸收自土壤中的營養元，開始了能量的傳遞，經由動物的攝食，進行一連串的食物鏈，最終再回歸土壤，經由微生物分解作用，消失於土壤中，這些循環與傳遞過程中，土壤微生物都扮演極為重要的功能。因此，土壤與土壤微生物可視為生態功能的中心。高山生態系具有特殊的氣候條件、獨特的地理位置，因而孕育著特殊的植群，欲瞭解高山生態系的功能與機制，對土壤與土壤微生物的調查研究是為最基礎之探討，本研究目標為調查雪山外生菌根林型植物的菌根共生狀況，同時也分析植群根域處土壤特性與養分狀況，瞭解菌根在雪山生態系中對植物吸收養分之關係。

#### 二、研究方法及過程

本研究調查地點為雪山主峰沿線，從雪山登山口至哭坡沿線做菌根菌種類的調查，並採集外生菌根菌(ectomycorrhiza)子實體帶回研究室做菌種分離。另對七卡山莊海拔2,700 m至哭坡海拔3,100 m間的臺灣二葉松(*Pinus taiwanensis*)與臺灣五葉松(*Pinus morrisonicola*)，及闊葉樹混合林為重點調

查區域。以外生菌根菌種分離成功者與臺灣五葉松無菌苗進行接種試驗，此外，在試驗地收集土壤滲漏水以瞭解土壤養分之動態，結合菌根菌、植物與土壤三者相互關係來探討植物適應性之研究。

### 三、成果

本研究菌根調查結果顯示，今年4月底陸續在雪山登山口至哭坡調查線上發現外生菌根菌子實體出現，今年總共累計出現的種類共有7科12種，包含有*Amanita* spp.、*Coltricia perennis*、*Cortinarius* spp.、*Lactarius hatsudake*、*Lycoperdon perlatum*、*Phylloporus bellus*、*Russula* spp.、*Russula emetica*、*Sarcodon imbricatus*、*Suillus bovinus*、*Suillus pictus*及*Tylopilus* spp.等，總共調查1066個子實體，分離成功3種外生菌根菌分別為*Cortinarius* spp.、*Lactarius hatsudake*及*Suillus bovinus*。盆栽試驗部分，以臺灣五葉松接種*Lactarius hatsudake*的苗高最高為39.3 cm；而有接種菌根菌之臺灣五葉松土壤養分濃度皆高於對照組，證明菌根存在有改善土壤養分之效益。土壤滲漏水分析方面，有菌根土壤略可提高土壤pH值，且裸土壤的陰、陽離子養分皆高於有菌根土壤，證明菌根存在能幫助植群在雪山酸性土壤中減少土壤養分之滲漏。

### 四、主要建議事項

#### (一)立即可行建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：國立中興大學森林系

建議事項：

- 1.瞭解雪山地區主要外生菌根的共生狀態。
- 2.分離外生菌根菌種並進行接種試驗，瞭解外生菌根菌對植群的共生效益。
- 3.瞭解外生菌根菌在雪山高山生態系所扮演的生態功能與角色。

#### (二)長期建議事項

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：國立中興大學森林系

建議事項：

高山的土壤環境相當惡劣，許多植物都有菌根共生的現象，但國內對於高山植物與菌根共生研究相當缺乏，建議應長期研究高山植物、菌根與土壤養分三者的相互關係，瞭解菌根菌如何分解高山腐植層的養分，以供植群可以適應高山土壤極酸性與養分低的逆境，如此建立完整高山生態系之資料庫，以供日後環境保育與森林經營管理之參考。

## Abstract

**【key words】** Syue Mountain, mycorrhiza, symbiosis, soil infiltration water

Mycorrhizal fungi and plant symbiosis are an important factor to maintain the stability and succession of the forest ecosystem. This study investigated the location along the Syue Mountains peak, from the Syue Mountain trailhead to the cry of the slope along the line to do a survey of mycorrhizal species and collection of ectomycorrhiza fruiting bodies back to the Research do strain isolation. Another we investigated Qika hut altitude of 2150 m to cry slope altitude of 2900 m between the *Pinus taiwanensis*, *Pinus morrisonicola* and broadleaved mixed forest. We had separated mycorrhizal fungi to inoculate with *Pinus morrisonicola*. In addition, the soil infiltration water collected in the experimental plots in order to understand the dynamic of soil nutrients, combined with the mutual relations of the mycorrhizal fungi, plants and soil three to investigate the plant adaptability of the study. In this study, mycorrhizal survey results show that the end of April this year, one after another in the Syue Mountain trailhead to cry slope survey online ectomycorrhizal fungi fruiting bodies appear to the type of the current cumulative total of 7 families, 12 species, including *Amanita* spp., *Coltricia perennis*, *Cortinarius* spp., *Lactarius hatsudake*, *Lycoperdon perlatum*, *Phylloporus bellus*, *Russula* spp., *Russula emetica*, *Suillus bovinus*, *Suillus pictus*, *Sarcodon imbricatus* and *Tylopilus* spp.. It was investigating a total of 1066 fruiting bodies. We had separated successfully the three kinds of ectomycorrhizal fungi to be *Cortinarius* spp., *Lactarius hatsudake* and *Suillus bovinus*. *Pinus morrisonicola* seedling inoculated *Lactarius hatsudake* to be the highest (39.3 cm) in the pot experiment. Mycorrhizal soil could increased soil pH in the soil infiltration water analysis. The cation and anion of bare soil nutrients were higher than the mycorrhizal soil. It was proved to gain more nutrients that mycorrhizae exist to help vegetation in the acidic soil of Syue Mountain. The purpose of this study was to understand the Syue Mountain area of ectomycorrhizal symbiosis, and inoculate with the separation of ectomycorrhiza in experiment. It was also

understanding of ectomycorrhizal fungi on the vegetation of the co-benefits of ectomycorrhizal in the Syue Mountains alpine ecological, but also getting a grip on ecological functions and roles played by ectomycorrhiza.

## 一、前言

### (一)研究緣起與背景

世界上雖然僅有 3% 的陸地植物為外生菌根樹種，但在高山地區的森林大部分為外生菌根的宿主植物(Yang *et al.*, 1999)，菌根不但可促進植物的營養吸收與生長發育，更可提高植物對乾旱、鹽度、極端溫度與有害金屬元素的抗性，而且對保持土壤的良好結構、控制水土流失與養分滲漏具有直接功效。關於林木外生菌根的調查研究，國內尚屬稀少，至於有關高山森林生態系中，宿主植物的外生菌根形成現況與生態環境間的關係則尚未見有任何報告。探討高山森林生態系的菌根真菌與宿主和環境間的相互關係的研究，可瞭解在特殊立地環境下，菌根對森林生態系的功用。

土壤的形成主要包括物理過程、化學過程和生物過程，由於成土過程中各自作用的不同，使得土壤養分在初期就表現出很大的空間差異性。在大尺度上，不同地區土壤性質存在著明顯的差異，即便是同一土壤類型，在小尺度上，仍然可以發現土壤性質有所差異，同時土壤性質在時間上會有不同的變化特徵，這種差異稱為土壤的時空異質性或時空變異性(Webster, 1985; Trangnar *et al.*, 1985)。土壤時空異質性是土壤重要的特性之一，小尺度上，土壤的微域分佈影響因素可分為地貌、小地形、植被、水文等。水文與土壤含水量有關，植被與土地利用類型、干擾梯度、生物多樣性有關(Ingrid *et al.*, 1999)。而地貌與地形往往是土壤空間變異的重要影響因素。不同尺度角度研究土壤的空間異質性，不僅對瞭解土壤形成過程、結構與功能具有重要的意義(Rossi *et al.*, 1991)，而且對瞭解植物與土壤的關係，養分和水分對植物的影響，以及植群的分佈也具有重要的參考價值。所以土壤的空間異質性及植群的分佈，一直是生態研究的重點議題。

養分循環是生態系中最重要生理生態過程之一，指的是營養元素在植被和土壤間循環的過程，也是將生態系中許多生態功能連接起來的綜合過程，因此一直受到生態學家重視(Wei *et al.*, 2005)。養分元素會在植物、動物、枯落物和土壤間轉移和儲存，是影響植物群落演替、植物生產力的主要因子(Joannal *et al.*, 2002; Tang *et al.*, 2003; Wei *et al.*, 2004)，同時透過影響植物的萌發、生長、物種豐富度和地上生物量來影響植物群落的建構和演替(He *et al.*, 2003; Xiong and Nilsson, 1999; Ye *et al.*, 2003)。研究指出，

枯落物累積量與降雨量、林木年齡和海拔成正相關，但年枯落總量與海拔則沒有明顯相關，然而枯落物累積量會影響生態系統的養分循環、植被生產力和土壤肥力(Schutz, 1990)。枯落物累積可能會導致植物可吸收氮的缺乏，但土壤微生物對生態系統養分循環速率有顯著的促進作用(Morris, 1995)。

植群種類、生產力以及枯落物的特性早被認為是影響土壤性質的主要因素(Birkeland, 1984; Schlesinger, 1991)。在正常環境下，土壤中有效磷(available phosphorus)的供應對植物的生長具有關鍵性的角色(Schachtman *et al.*, 1998)，土壤中超過 80%的磷屬於無效性的，這些磷被土壤顆粒所吸附、或者為沈澱狀態、或者為有機的型態，無法被植物所吸收利用(Holford, 1997)，此外，在大多數的生態系中，土壤的氮經常是主要的養分限制因子(Körner, 1989)，因此，氮及磷對植群生態而言，具有相互限制(co-limiting)的現象(Bowman *et al.*, 1993)。

台灣面積雖小，但地形地貌變化極巨，山多平原少，孕育著極豐富的植群生態，尤其在高山地區，因地形險峻所形成的土壤變異性大，然至今對高山土壤的調查並不多，本計畫以雪山主峰線為研究地區，經由定期定點的土壤調查與分析，瞭解土壤的時空變異，對於高山生態系可提供基礎的研究資訊。

雪山登山口往哭坡之登山步道沿線發現外生菌根菌子實體1066個，鑑定至科者有7科，鑑定至種者有12種。而子實體從四月開始出現，在登山口至哭坡間出現的頻率部分數量最多的前五屬依序為*Suillus*、*Coltricia*、*Russula*、*Amanita*及 *Lactarius*屬。外生菌根菌子實體數量在五月時開始陸續出現，七月時達到最高峰，九月開始減少。*Boletus*屬則在八月開始增多，而其他各屬則為零星出現。以分布而言，0~1.5 km 間雖偶有子實體出現但數量不多，為長久集毛菌七月時在 0.4 km及 0.6 km曾大量出現，大部份的種類都集中在 1.5 km 後開始出現。

## 二、材料與方法

### (一) 研究地點

本研究地點為雪山主峰沿線，從雪山登山口（海拔 2,150 m）至哭坡（海拔 2,900 m）沿線做菌根菌種類的調查。另選擇雪山主峰沿線 2.4 km 處（2,620 m，北緯 24° 23.115，東經 121° 17.133），埋設土壤滲漏水收集裝置，此處林相為臺灣二葉松與臺灣五葉松混合林。

### (二) 研究方法

#### 1. 菌根菌調查與菌種分離

由雪山登山口往七卡山莊登山步道沿線至哭坡進行菌根菌種調查，採集共生真菌進行菌種鑑定，記錄菌種出現之頻度。在子實體出現季節中，每 2 星期進行採集一次，累計子實體生物量。

##### (1) 子實體採集

發現子實體後攝影記錄，小心挖掘採取，遇到具有菌托之子實體，要注意保存菌托之完整，再放入紙袋，紀錄日期、採集編號、林相。

##### (2) 子實體處理

將其拍照並記錄特徵後，以外部型態為主，再輔以孢子等其他顯微特徵進行鑑定。外部型態包括菌褶的著生方式、菌蓋和菌柄的表 3-面及形狀、菌環、菌托、假根的有無等，顯微特徵則如擔子器、囊狀體、孢子大小、顏色或化學反應。查對書籍或檢索表 3-。鑑定過後標號放入約 30°C 的烘箱內，三天後取出放封口袋內保存。

##### (3) 菌種分離

自野外採集的菌根菌子實體，於無菌操作臺中，撷取無污染之菌塊置於 MMN 培養基中，培養基於 25°C 培養箱中恆溫培養，隨時檢視是否遭受污染，定時進行移植，確保菌絲為無雜菌污染的純培養，此菌種供作後續試驗之用。

#### 2. 菌根接種與養分吸收試驗

##### (1) 培育無菌感染的台灣五葉松苗

台灣五葉松種子經  $H_2O_2$  表 3-面殺菌後，經無菌水洗滌乾淨，置於殺菌處理過的蛭石:水苔:泥碳土 (1:1:1) 介質中進行發芽，種子發芽 3 星期後，選取生長一致的苗木進行菌根接種試驗。將苗木移植至採自雪山地區的森林土壤，土壤一部份經滅菌處理，另一部份不經處理，分別接種上述所分離的菌根菌與不接種菌根，每種處理 6 重複，苗木於生長控制室中，模擬雪山地區氣候進行苗木的生長試驗 (圖 3-1 至圖 3-6)。



圖 3-1. 臺灣五葉松(*Pinus morrisonicola*)小苗與試驗土壤之情況。



圖 3-2. 分離之菌種種類 *Cortinarius* spp.、*Lactarius hatsudake* 及 *Suillus bovinus*。



圖 3-3. 接種器具滅菌之情形。



圖 3-4. 苗木接種之情形。



圖 3-5. 接種完畢馬上澆水使盆栽土壤濕



圖 3-6. 苗木放置溫室培育之情形。

(資料來源：本研究資料)

## (2) 養分吸收試驗

收取雪山地區降雨，攜回實驗室，冷藏保存。生長箱的試驗苗木以此雨水澆灌，苗盆底部以水鉢接住滲漏水，定時分析滲漏水水質，利用離子層析儀分析陰、陽離子養分濃度。試驗結束，檢視苗木生長性狀，分析菌根菌苗木與非菌根苗木體內氮、磷、鉀、鈉、鈣、鎂(Moore and Chapman, 1986)等養分狀況，以及試驗前後盆栽內土壤 pH 值(Mc Lean, 1982)及其他氮(MacDonald, 1977)、磷、陽離子置換能量(Rhoades, 1982)、鉀、鈉、鈣、鎂養分狀況。

## 3. 土壤滲漏水裝置

分別在臺灣二葉松根系與非根系兩處埋設 4 公升的塑膠鉢，埋設時不可挖斷根系並將根系小心引入鉢內，整個塑膠鉢埋入土中，距表土約 5 cm，鉢底設一引流管至低處，銜接至一個 2 公升的保特瓶(圖 3-7 至圖 3-10)，整個裝置 3 重複，遇下雨即收集土壤滲漏水，將滲漏水攜回實驗室，測定 pH 值及陰、陽離子養分分析。



圖 3-7. 將有菌根根系土壤引入塑膠鉢內。



圖 3-8. 土壤滲漏水裝置完成情況。



圖 3-9. 模擬降雨收集土壤滲漏水之情況。



圖 3-10. 收集土壤滲漏水樣本之情況。

(資料來源：本研究資料)

### 三、結果與討論

#### (一) 菌根菌調查與菌種分離

本年度從4月起至9月止共6次菌根菌調查結果顯示，在雪山登山口至哭坡調查線上發現菌根菌子實體出現，累計出現的種類共有7科12種，發現菌根菌子實體如下（圖3-11至圖3-20）：

- (1) 鵝膏科(Amanitaceae)：鵝膏屬(*Amanita* spp.)
- (2) 多孔菌科(Polyporaceae)：長久集毛菌(*Coltricia perennis*)
- (3) 絲膜菌科(Cortinariaceae)：絲膜菌屬(*Cortinarius* spp.)
- (4) 紅菇科(Russulaceae)：紅汁乳菇(*Lactarius hatsudake*)、毒紅菇(*Russula emetica*)、紅菇屬(*Russula* spp.)
- (5) 馬勃科(Lycoperdaceae)：網紋馬勃(*Lycoperdon perlatum*)
- (6) 牛肝菌科(Boletaceae)：美麗褶孔牛肝菌(*Phylloporus bellus*)、乳牛肝菌(*Suillus bovinus*)、虎皮乳牛肝菌(*Suillus pictus*)、粉孢牛肝屬(*Tylopilus* spp.)
- (7) 齒菌科(Hydniaceae)：翹鱗肉齒菌(*Sarcodon imbricatus*)



圖 3-11. 鵝膏屬(*Amanita* spp.)。



圖 3-12. 長久集毛菌(*Coltricia perennis*)。



圖 3-13. 絲膜菌屬(*Cortinarius* spp.)。



圖 3-14. 紅汁乳菇(*Lactarius hatsudake*)。

	
<p>圖 3-15. 毒紅菇(<i>Russula emetica</i>)。</p>	<p>圖 3-16. 紅菇屬(<i>Russula spp.</i>)。</p>
	
<p>圖 3-17. 網紋馬勃(<i>Lycoperdon perlatum</i>)。</p>	<p>圖 3-18. 美麗褶孔牛肝菌(<i>Phylloporus</i>)</p>
	
<p>圖 3-19. 乳牛肝菌(<i>Suillus bovinus</i>)。</p>	<p>圖 3-20. 虎皮乳牛肝菌(<i>Suillus pictus</i>)。</p>
	
<p>圖 3-21. 粉孢牛肝屬(<i>Tylopilus spp.</i>)。</p>	<p>圖 3-22. 翹鱗肉齒菌 (<i>Sarcodon imbricatus</i>)。</p>

(資料來源：本研究資料)

目前總共調查1066個子實體，以*Suillus*屬（含乳牛肝菌及虎皮乳牛肝菌）出現數量359為最高，其次*Coltricia perennis*(長久集毛菌)出現數量228個位居第二，*Russula*屬數量198個位居第三，*Amanita*屬數量58個位居第四，*Lactarius*屬數量56個位居第五，*Cortinarius*屬數量45個位居第六，*Boletus*屬數量34個位居第七，*Tylopilus*屬數量33個位居第八，*Phylloporus*屬數量32個位居第九，*Lycoperdon*屬數量21個位居第十，最後*Sarcodon*屬數量2個位居第十一（表3-1），可知雪山地區外生菌根菌種類多以牛肝菌科及紅菇科兩大科為主，與高明脩(2012)針對合歡山地區台灣鐵杉與台灣冷杉的外生菌根真菌多樣性及生態調查結果相符。

比較過去兩年調查而言，2010年的總降雨量為2144.6 mm，2011年的總降雨量為1098.5 mm(魏聰輝和林博雄，2011)，2010年外生菌根菌子實體調查數量為2232個，2011年外生菌根菌子實體調查數量為316個，2010年出現子實體數量為2011年子實體出現數量的7倍，造成兩年子實體數量之差異原因，推測因為2011年總降雨量減半且氣候較為溫暖，故為氣候異常所致。2012年颱風較多，外生菌根菌調查次數受到限制，調查數量雖不及2010年數量多，但仍可知雪山地區外生菌根菌的種類是相當豐富。在不同植群相中，可發現松林純林處以*Suillus*屬的外生菌根子實體出現數量最高，並與外生菌根菌共生狀況良好，在土壤層都可見外生菌根菌之菌毯分布；在其他混合林相中，則其他外生菌根菌子實體便零星出現。本研究調查發現，*Coltricia perennis*與*Suillus*屬這2種類之外生菌根菌子實體，會呈區塊性大量集中分布，其生長環境為臺灣二葉松(*Pinus taiwanensis*)及臺灣五葉松混合林下發現。其它外生菌根菌子實體都呈零星分布，大部分在臺灣雲杉(*Picea morrisonicola*)、高山櫟(*Quercus spinosa*)及臺灣二葉松混合林下發現。

表3-1. 2010至2012年近三年雪山主峰沿線外生菌根菌調查種類與數量之情況

年度/菌種	Ama.	Bol.	Cor.	Col.	Lac.	Lyc.	Phy.	Rus.	Scl.	Sui.	Tyl.	Sar.	合計
2010	38	205	-	156	116	-	-	312	9	1274	117	5	2232
2011	43	18	3	77	22	-	-	81	11	61	-	-	316
2012	58	34	45	228	56	21	32	198	-	359	33	2	1066

註：1. Ama.指Amanita；Bol.指Boletus；Cor.指Cortinariaceae；Col.指Coltricia；Lac.指Lactarius；Phy.指Phylloporus；Rus.指Russula；Scl.指Scleroderma；Sui.指Suillus；Tyl.指Tylopilus；Sar.指Sarcodon。2. -表3-示未出現無法紀錄。

(資料來源：本研究資料)

在菌種分離方面，成功分離3種菌根菌分別為Cortinarius spp.、Lactarius hatsudake及Suillus bovinus(圖3-23至圖3-24)，進行後續臺灣五葉松分別接種這3種菌根菌與不接種菌根菌(對照組)盆栽試驗。

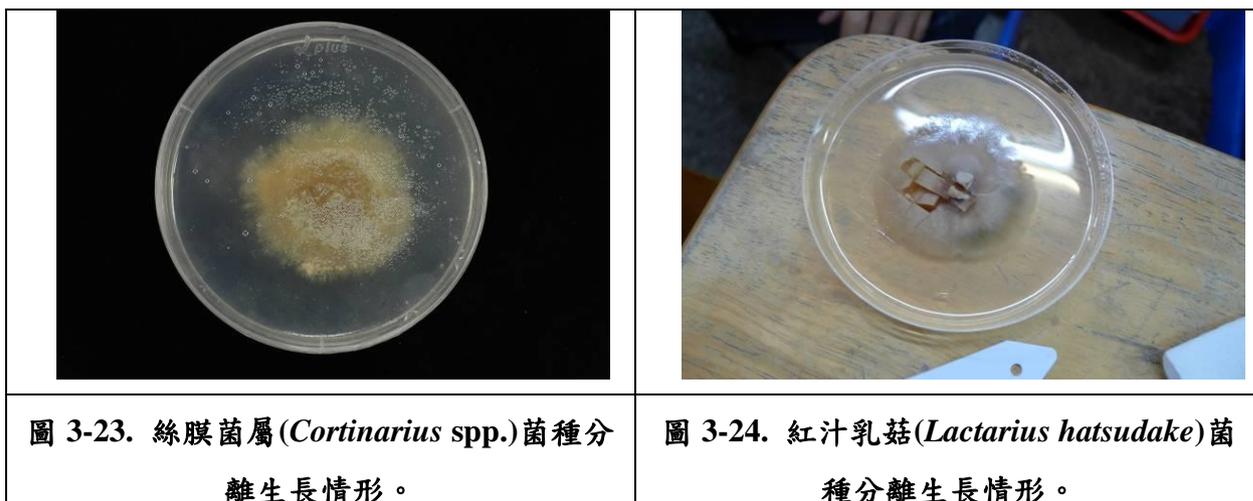


圖 3-23. 絲膜菌屬(*Cortinarius* spp.)菌種分離生長情形。

圖 3-24. 紅汁乳菇(*Lactarius hatsudake*)菌種分離生長情形。

(資料來源：本研究資料)

## (二) 菌根接種與養分吸收試驗

本試驗臺灣五葉松於2011年6月29日分別接種Cortinarius spp.、Lactarius hatsudake及Suillus bovinus 3種外生菌根菌，及不接種菌根菌4種處理，並栽植於雪山採集之土壤，每一處理6重複，經1年4個月生長培育後收穫，分別在2012年1月5日、2012年5月23日及2012年10月21日測定苗木高生長。臺灣五葉松接種Lactarius hatsudake最後收穫苗木高39.3 cm為最高，其次為臺灣五葉松接種Suillus bovinus的苗木高為33.3 cm位居第二，臺灣五葉松接種Cortinarius spp.的苗木高27.4 cm位居第三，而對照組苗木高為26.9

cm，在相對生長量部分，臺灣五葉松接種*Lactarius hatsudake*為32.4 cm，臺灣五葉松接種*Suillus bovinus*為27.5 cm，臺灣五葉松接種*Cortinarius spp.*為21.8 cm，對照組之相對生長量為21.1 cm。以相對生長量而言，臺灣五葉松接種*Lactarius hatsudake*獲得較高的生長量，苗木相對生長量為對照組的1.5倍，且臺灣五葉松根部菌根共生情況也較為佳，推測是菌根效益所致(圖3-25至圖3-28)。

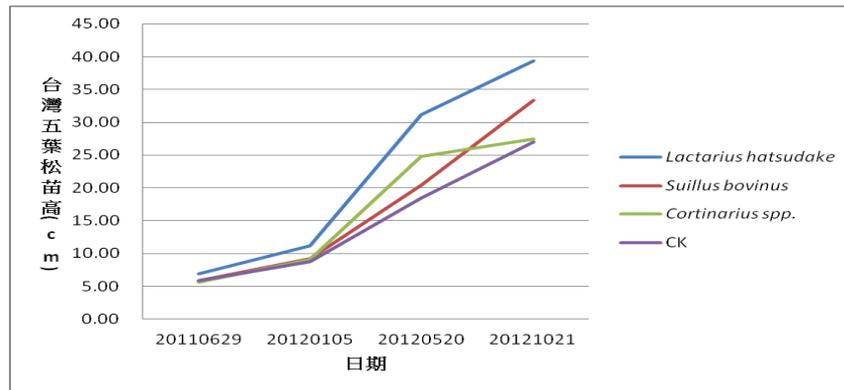
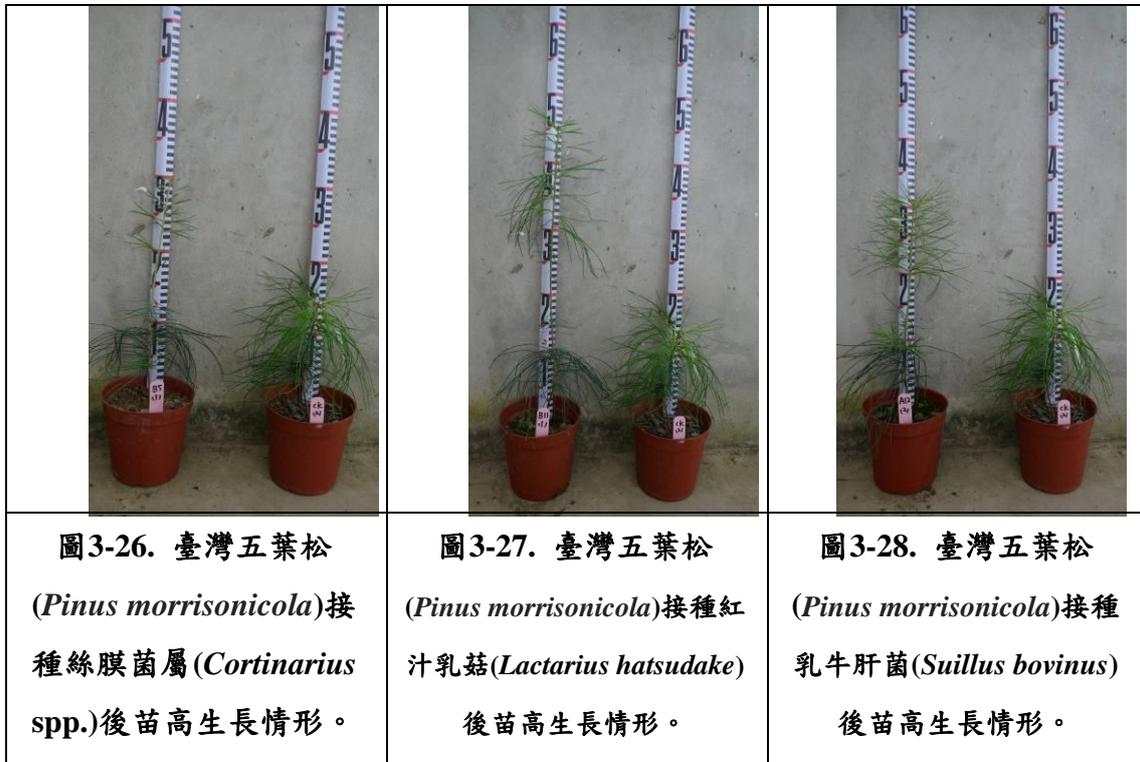


圖3-25. 臺灣五葉松(*Pinus morrisonicola*)接種3種外生菌根菌及對照組苗木生長情形。

(資料來源：本研究資料)



(資料來源：本研究資料)

松屬植物與外生菌根菌共生形態是相當特殊的，通常菌根形態會呈二分叉(dichotomy)且側短根有菌氈(mantle)包覆（圖3-29至圖3-30），此為松屬植物感染菌根之特徵，在其他屬植物很少發生或缺乏。以下為臺灣五葉松根部感染菌根菌有白色菌絲的狀況（圖3-31），另外以立體顯微鏡觀察臺灣五葉松菌根的形態，菌根形態呈很典型的分叉，甚至有雙重分叉聚集（圖3-32）。

	
<p>圖 3-29. 臺灣五葉松(<i>Pinus morrisonicola</i>) 菌根之二叉形態。</p>	<p>圖 3-30. 臺灣五葉松(<i>Pinus morrisonicola</i>) 菌根之菌氈。</p>
	
<p>圖 3-31. 臺灣五葉松(<i>Pinus morrisonicola</i>) 根部感染菌根菌有白色菌絲的狀況。</p>	<p>圖 3-32. 臺灣五葉松(<i>Pinus morrisonicola</i>) 菌根雙重分叉聚集。</p>

(資料來源：本研究資料)

本栽植試驗雪山土壤原性質分別如下：土壤pH值為4.4，為一極酸性土壤；土壤全氮量為0.08%，屬於偏低情況；土壤有效磷為5.8 ppm，一般而言土壤有效磷7 ppm以下是屬於有效磷缺乏之情況；土壤的陽離子置換能量(CEC)為14.15 m.e./100 g，土壤置換性鉀為0.29 m.e./100 g，土壤置換性鈉為0.30 m.e./100 g，土壤置換性鎂為0.37 m.e./100 g，土壤置換性鈣為0.88 m.e./100 g；土壤有機質為14.04 %；土壤有機碳為8.14 %。整體而言，雪山土壤性質屬於極酸性土壤，且土壤養分缺乏之狀況。

臺灣五葉松接種3種外生菌根菌試驗收穫，在土壤養分分析方面，臺灣五葉松接種3種外生菌根菌與對照組相比較發現，接種外生菌根菌可以改善土壤酸鹼值，接種*Lactarius hatsudake*土壤pH提高為5.33，接種*Suillus bovinus*土壤pH提高為5.48，接種*Lactarius hatsudake*土壤pH提高為5.16，都相對比對照組及未栽植之雪山原始土壤養分高，可見栽植植物與林木接種菌根後，可改善土壤酸鹼值，尤以林木接種菌根效果更佳。在土壤養分分析顯示，臺灣五葉松接種3種菌種後，土壤全氮量提高至0.30 - 0.31%，土壤有效磷提高至7.44 - 14.26 ppm，CEC提高至28.23 - 29.68 m.e./100g，土壤置換性鎂提高至0.39 - 0.54 m.e./100 g，土壤置換性鈣為2.20 - 2.92 m.e./100 g，都比對照組高，顯示菌根存在可改善土壤養分狀況。張茹琴等(2008)指出菌根菌可適應於偏酸性環境，且有助於植物在酸性環境下生長。因此，菌根共生對雪山植群生長扮演一重要角色。

表3-2. 臺灣五葉松接種3種外生菌根菌及不接種試驗收穫後土壤養分分析

測定項目	<i>Lactarius hatsudake</i>	<i>Suillus bovinus</i>	<i>Cortinarius spp.</i>	CK
pH	5.33 ± 0.25	5.48 ± 0.16	5.16 ± 0.05	5.02 ± 0.02
N(%)	0.31 ± 0.02	0.30 ± 0.01	0.31 ± 0.00	0.32 ± 0.01
P(ppm)	7.44 ± 0.38	12.29 ± 1.89	14.26 ± 1.61	6.46 ± 1.07
CEC(m.e./100g)	28.23 ± 2.58	29.68 ± 0.48	28.30 ± 0.80	27.97 ± 0.38
K(m.e./100g)	0.09 ± 0.04	0.09 ± 0.02	0.11 ± 0.01	0.01 ± 0.00
Na(m.e./100g)	0.33 ± 0.03	0.35 ± 0.06	0.35 ± 0.02	0.34 ± 0.05
Ca(m.e./100g)	2.92 ± 0.08	2.85 ± 0.25	2.20 ± 0.25	2.57 ± 0.13
Mg(m.e./100g)	0.54 ± 0.03	0.50 ± 0.05	0.39 ± 0.06	0.44 ± 0.01

註：每一個數值為 6 重複

(資料來源：本研究資料)

在盆栽土壤滲漏水pH值及陽離子養分分析結果顯示(圖3-33)，對照組之pH值為6.01，鉀離子濃度為4.77 ppm，鈉離子濃度為42.56 ppm，鈣離子濃度為15.34 ppm，鎂離子濃度為11.59 ppm及銨態氮離子濃度為0.18 ppm。臺灣五葉松接種*Lactarius hatsudake*之pH值為6.36，鉀離子濃度為3.03 ppm，鈉離子濃度為26.76 ppm，鈣離子濃度為10.20 ppm，鎂離子濃度為4.40 ppm及銨態氮離子濃度為0.26 ppm。臺灣五葉松接種*Suillus bovinus*之pH值為6.64，鉀離子濃度為3.55 ppm，鈉離子濃度為32.50 ppm，鈣離子濃度為

13.25 ppm，鎂離子濃度為5.47 ppm及銨態氮離子濃度為0.10 ppm。臺灣五葉松接種*Cortinarius* spp.之pH值為6.17，鉀離子濃度為2.94 ppm，鈉離子濃度為32.81 ppm，鈣離子濃度為13.76 ppm，鎂離子濃度為6.22 ppm及銨態氮離子濃度為0.13 ppm。盆栽土壤滲漏水陰離子養分分析結果顯示(圖3-34)，對照組之氯離子濃度為32.38 ppm，硝酸根離子濃度為1.24 ppm，硫酸根離子濃度為129.95 ppm。臺灣五葉松接種*Lactarius hatsudake*之氯離子濃度為22.81 ppm，硝酸根離子濃度為1.13 ppm，硫酸根離子濃度為72.21 ppm。臺灣五葉松接種*Suillus bovinus*之氯離子濃度為30.10 ppm，硝酸根離子濃度為1.17 ppm，硫酸根離子濃度為77.11 ppm。臺灣五葉松接種*Cortinarius* spp.之氯離子濃度為31.26 ppm，硝酸根離子濃度為0.86 ppm，硫酸根離子濃度為114.36 ppm。此外，對照組與試驗組其磷酸根離子濃度都過低，儀器無法偵測。整體而言，臺灣五葉松接種外生菌根菌可以提高土壤pH值，使雪山酸性土壤中的養分不會被鐵、鋁離子所固定，而能釋放到土壤中以供植物生長利用。此外，臺灣五葉松未接種外生菌根菌之土壤滲漏水養分皆比接種外生菌根菌養分高，對照組因未有外生菌根菌共生，其土壤養分容易被滲漏水淋洗，導致土壤滲漏水養分較高；而外生菌根菌存在可以使土壤有效養分增加，同時被植物吸收利用，故土壤的養分滲漏流失較少，證實菌根共生可改變土壤養分狀態。

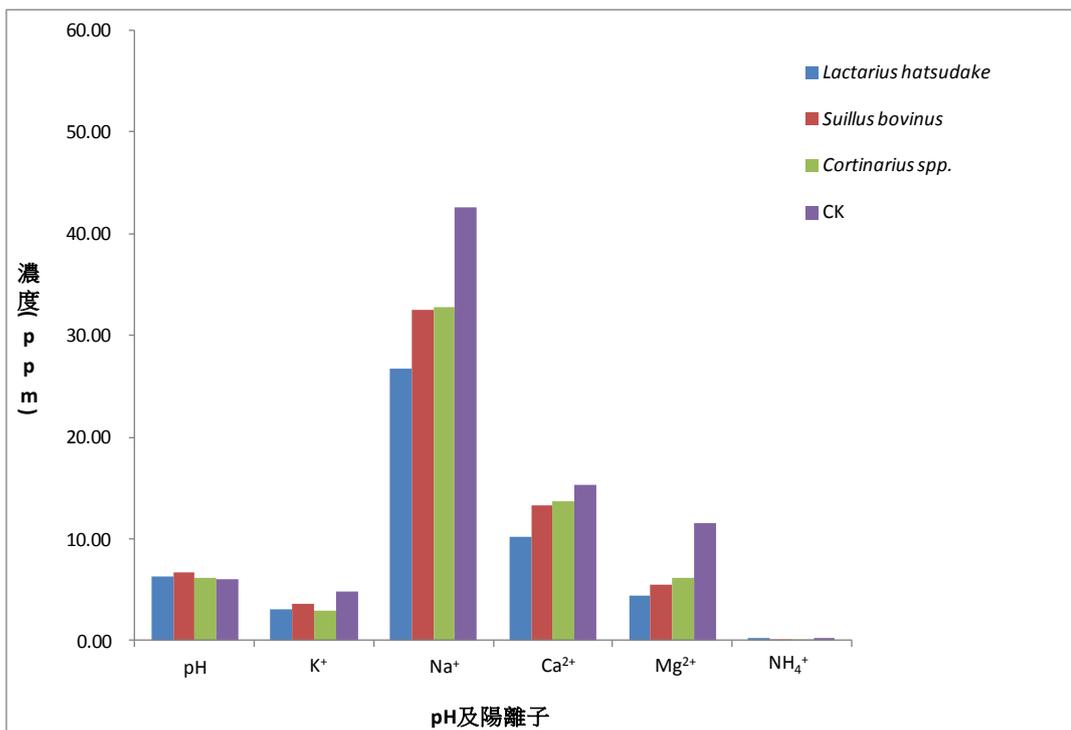


圖3-33. 臺灣五葉松接種與未接種外生菌根菌其土壤滲漏水pH值及陽離子養分分析之情況。

(資料來源：本研究資料)

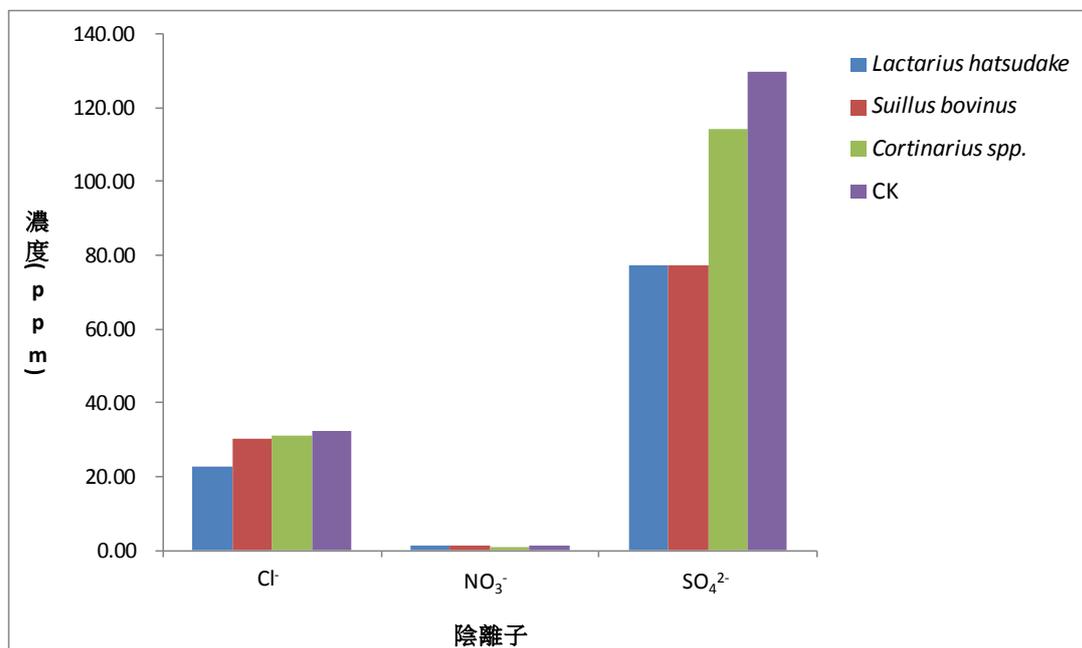


圖 3-34. 臺灣五葉松接種與未接種外生菌根菌其土壤滲漏水陰離子養分分析情況。

(資料來源：本研究資料)

### (三)土壤滲漏水裝置

本試驗土壤滲漏水收集時間為 2012 年 2 月 16 日、3 月 24 日、5 月 23 日、7 月 11 日、8 月 20 日及 10 月 12 日共 6 次。菌根共生對土壤養分影響，經由雪山外生菌根林地土壤滲漏水養分分析結果顯示，在土壤 pH 值方面(表 3-3)，天然降雨之 pH 值為 5.93，其菌根土壤之 pH 值為 5.51 略高於裸土壤之 pH 值 5.25，模擬降雨之 pH 值為 7.58，其菌根土壤之 pH 值為 6.10 略高於裸土壤之 pH 值 5.98，證明有菌根土壤能提高裸土壤酸鹼值，改變土壤滲漏水酸鹼值的狀況。

進一步分析雪山外生菌根林地土壤滲漏水陰離子養分狀況結果發現(表 3-3)，氟離子( $F^-$ )、亞硝酸根離子( $NO_2^-$ )及磷酸根離子( $PO_4^{2-}$ )在土壤滲漏水溶液中，因濃度太低故儀器偵測不到，而氯離子( $Cl^-$ )、硝酸根離子( $NO_3^-$ )及硫酸根離子( $SO_4^{2-}$ )，其裸土壤的陰離子養分濃度皆高於菌根土壤的陰離子養分濃度。在土壤滲漏水陽離子養分分析結果發現(表 3-4)，裸土壤的陽離子養分濃度皆高於菌根土壤的陽離子養分濃度。由此結果得知，菌根共生會提高土壤有效性養分，而土壤滲漏水方面，有菌根土壤的養分較低，表 3-示土壤養分能被菌根吸收，減少養分漏失，相對裸土壤土壤滲漏水養分高，養分都被淋洗流失。菌根共生可提供在此高山土壤養分缺乏的環境下，植物能適應生存之條件，尤其該生育地氮及磷養分相當缺乏，菌根共生扮演重要角色。

表 3-3. 雪山外生菌根林地土壤滲漏水酸鹼值及陰離子濃度 (單位 ppm)

測定項目	pH	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
天然降雨	5.93 ± 0.43	0.78 ± 0.52	0.09 ± 0.03	4.45 ± 0.21
菌根土壤	5.51 ± 0.19	0.78 ± 0.34	0.10 ± 0.08	4.74 ± 0.26
裸土壤	5.25 ± 0.17	1.55 ± 0.31	0.11 ± 0.09	5.77 ± 0.40
模擬降雨	7.58 ± 0.19	0.50 ± 0.29	0.06 ± 0.03	35.54 ± 2.68
菌根土壤	6.10 ± 0.47	0.64 ± 0.25	0.11 ± 0.03	19.58 ± 4.75
裸土壤	5.98 ± 0.35	0.77 ± 0.51	0.10 ± 0.04	25.61 ± 4.62

註：每一個數值為 18 個數據重複之平均值

表 3-4. 雪山外生菌根林地土壤滲漏水陽離子濃度 (單位 ppm)

測定項目	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
天然降雨	2.40 ± 2.17	0.24 ± 0.02	0.05 ± 0.02	0.02 ± 0.01	1.20 ± 0.30
菌根土壤	0.99 ± 0.11	0.45 ± 0.07	0.35 ± 0.08	0.22 ± 0.03	0.13 ± 0.08
裸土壤	2.47 ± 0.10	0.59 ± 0.07	0.84 ± 0.07	0.28 ± 0.04	0.24 ± 0.03
模擬降雨	0.63 ± 0.19	5.60 ± 0.14	19.04 ± 0.94	6.50 ± 0.26	0.12 ± 0.08
菌根土壤	1.71 ± 0.36	2.07 ± 0.38	3.53 ± 0.94	1.85 ± 0.44	-*
裸土壤	3.40 ± 0.11	2.64 ± 0.50	5.45 ± 0.34	2.38 ± 0.12	0.33 ± 0.03

註：1. 每一個數值為 18 個數據重複之平均值。2. \*表 3-示濃度太低儀器無法偵測

## 四、結論與建議

### (一) 結論

本研究菌根調查結果顯示，今年4月底陸續在雪山登山口至哭坡調查線上發現外生菌根菌子實體出現，到目前累計出現的種類共有7科12種，包含有 *Amanita* spp.、*Coltricia perennis*、*Cortinarius* spp.、*Lactarius hatsudake*、*Lycoperdon perlatum*、*Phylloporus bellus*、*Russula* spp.、*Russula emetica*、*Sarcodon imbricatus*、*Suillus bovinus*、*Suillus pictus*及*Tylopilus* spp.等，總共調查1066個子實體，分離成功3種外生菌根菌分別為*Cortinarius* spp.、*Lactarius hatsudake*及*Suillus bovinus*。

盆栽試驗部分，以臺灣五葉松接種*Lactarius hatsudake*的苗高為39.3 cm為最高，而不接種之臺灣五葉松（對照組）苗高為26.9 cm。接種外生菌根菌苗木高生長為對照組的1.5倍，其根部菌根共生狀況也較為良好。

土壤滲漏水分析方面，有菌根土壤略可提高土壤pH值，且裸土壤的陰、陽離子養分皆高於有菌根土壤，證明菌根存在能幫助植群在雪山酸性土壤環境下，可減少養分流失。

### (二) 建議

#### 1. 立即可行建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：國立中興大學森林系

建議事項：

1. 瞭解雪山地區主要外生菌根的共生狀態。
2. 分離外生菌根菌種並進行接種試驗，瞭解外生菌根菌對植群的共生效益。
3. 瞭解外生菌根菌在雪山高山生態系所扮演的生態功能與角色。

#### (二) 長期建議事項

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：國立中興大學森林系

建議事項：

高山的土壤環境相當惡劣，許多植物都有菌根共生的現象，但國內對

於高山植物與菌根共生研究相當缺乏，建議應長期研究高山植物、菌根與土壤養分三者的相互關係，瞭解菌根菌如何分解高山腐植層的養分，以供植群可以適應高山土壤極酸性與養分低的逆境，如此建立完整高山生態系之資料庫，以供日後環境保育與森林經營管理之參考。

## 五、參考文獻

- 高明脩(2012)合歡山地區台灣鐵杉與台灣冷杉的外生菌根真菌多樣性及生態。東海大學生命科學系碩士論文。
- 張茹琴、唐明、張峰峰和黃繼川(2008)酸鹼度和重金屬對3種外生菌根真菌生長的影響。北京林業大學學報 30(2): 113-118。
- 魏聰輝和林博雄(2011)雪山地區高山生態系長期監測與研究。雪霸國家公園委託研究報告。共 133 頁。
- Birkeland, P. W.(1984)Soils and Geomorphology. Oxford Univ. Press, New York.
- Bowman, W. D., T. A. Theodose, J. C. Schardt and R. T. Conant(1993) Constraints of nutrient availability on primary production in two alpine tundra communities. Ecology 74:2085-2097.
- Cairney, J. W. G. and S. M. Chambers(1999)Ectomycorrhizal Fungi Key Genera in Profile. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Gardes, M. and T. D. Bruns(1993)ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes – application to the identification of mycorrhizae and rusts. Molecular ecology 2: 113-118.
- Gerdemann, J. W. and T. H. Nicolson(1963)Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. Transactions of the British Mycological Society 46: 235-244.
- He, H., Y. K. Qiao and Q. Liu(2003)Dynamics of biomass and stem volume of *Picea asperata* stands in artificial restoration process of subalpine coniferous forest. Chin. J. Appl. Ecol. 15(5): 748-752.
- Holford, I. C. R.(1997)Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. Aust. J. Soil Res. 35: 227–239.
- Ingrid, C. B., K. L. William and R. Rebecca(1999)Spatial variability of soil properties in the short grass steppe. Ecosystems 2:422-438.
- Joannal, F. D., C. S. Mary and C. J. Straker(2002)Nutrient cycling in a *Pinus patula* plantation in the Mpumalanga Province, South Africa. Appl. Soil Ecol. 20: 211-226.
- Körner, C.(1989)The nutritional status of plants from high altitudes. Oecologia

- 81: 379–391.
- MacDonald, D. C.(1977)Methods of soil and tissue analysis used in the analytical laboratory. Canadian Forestry Service Information Report. MM-X-78.
- McLean, E. O.(1982)Soil pH and lime requirement. In A. L. Page *et al.* ( eds. ) Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Agronomy 9: 199-223.
- Moore, P. D. and S. B. Chapman(1986)Methods in plant ecology. 2nd edition. Blackwell Scientific Publications. Oxford, London, Edinburgh.
- Morris, A. R.(1995)Forest floor accumulation, nutrition and productivity of *Pinus patula* in the Usutu forest, Swaziland. Plant Soil 169: 271-278.
- Morris, M. H., M. A. Pérez- Pérez, M. E. Smith and C. S. Bledsoe(2008a)Multiple species of ectomycorrhizal fungi are frequently detected on individual oak root tips in tropical cloud forest. Mycorrhiza 18: 375-383.
- Morris, M. H., M. E. Smith, D. M. Rizzo, M. Rejmánek and C. S. Bledsoe(2008b)Contrasting ectomycorrhizal fungal communities on the roots of co-occurring oaks(*Quercus* spp.)in a California woodland. New phytologist 178: 167-176.
- Morton, J. B. and G. L. Benny(1990)Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi(Zygomycetes): A New order, Glomales, Two new families, Acularaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. Mycotaxon 37: 471-491.
- Rhoades, J. T.(1982)Cation exchange capacity. In: A. L. Page *et al.*(eds.) Methods of soil anaysis. Part 2. 2<sup>nd</sup> ed. Agronomy 9: 149-157.
- Schachtman, D. P., R. J. Reid and S. M. Ayling(1998)Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. Plant Physiol. 116: 447–453.
- Schlesinger, W. H.(1991)Biogeochemistry: an analysis of global change. Academic Press, New York, USA.
- Schutz, C. J.(1990)Site relationships for *Pinus patula* in the eastern Transvaal escarpment area. Ph. D. Thesis. Pietermaritzburg: University of Natal. 334-335.

- Tang, J. Y., J. H. Zhang and Q. S. Song(2003)Biomass and net primary productivity of artificial tropical rainforest in Xishuangbanna. *Chin. J. Appl. Ecol.* 14(1): 1-6.
- Trangnar, B. B., R. S. Yost and G. Uehara(1985)Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advanced Agronomy* 38:44-94.
- Webster, R.(1985)Quantitative spatial analysis of soil in field. *Advance in Soil Science* 1-70.
- Wei, J., G. Wu and H. B. Deng(2004)Vegetation biomass distribution characteristics of alpine tundra ecosystem in Changbai Mountains. *Chin. J. Appl. Ecol.* 15(11): 1999-2004.
- Wei, J., J. Z. Zhao and H. B. Deng(2005)Nitrogen bio-cycle in the alpine tundra ecosystem of Changbai Mountain and its comparison with arctic tundra. *Environ. Sci.* 26(2): 167-173.
- Xiong, S. and C. Nilsson(1999)The effects of plant litter on vegetation: A meta-analysis. *J. Ecol.* 87: 984-994.
- Yang, G.Y., G. L. Song and X. X. Gao(1999)The significance of ectomycorrhizas in forest ecosystems: the influence of ectomycorrhizas on host trees. *Journal of Northeast Forest University* 27(6): 72-77.
- Ye, J., Z. Q. Hao and G. H. Dai(2003)Bryophyte biomass in dark coniferous forest of Changbai Mountain. *Chin. J. Appl. Ecol.* 15(5): 737-740.

## 第四章 雪山地區植物物候之研究

曾彥學、曾喜育、吳佳穎、王秋美、劉思謙

中興大學森林學系、自然科學博物館、中興大學生命科學系

### 摘要

關鍵詞：雪山、高山生態系、種子植物、物候

#### 一、研究緣起與背景

高山地區是一個較為特殊的生態系，其提供給當地物種的生育地環境較低海拔地區來的嚴苛，如低溫、高輻射及降雪等等，皆為物種在生長過程中的限制因子。全球暖化已對高山植物之生存環境造成威脅，平均溫度的提升，生存於高海拔的物種無處可退，勢必要改變生存策略。開花物候是植物繁殖生活史中最重要的一環，直接影響授粉成功率，亦影響後續成果率、種子散播率，因此本研究針對開花物候部分觀察，提供生態學術研究基礎資料，如綜合氣候變化進一步研究、探討，得知物種的生存策略，對於未來的物種資源保育可提供相當重要的資訊；另一方面雪山地區特殊的環境棲地孕育許多珍貴稀有植物，藉本研究定期觀察，對特殊物種分布更加了解，高山花草以花色鮮艷奪目聞名，春夏月分開花物種各具特色，亦提供雪霸國家公園作為遊憩賞花的資訊。

#### 二、研究方法與過程

本研究於雪霸國家公園境內之雪山主峰線步道，自雪山登山口起(海拔2,140 m)至雪山主峰(海拔3,886 m)，進行種子植物開花觀察，步道沿線依海拔及植相林型分為5植群帶，觀察各月分之開花物種，共記錄173物種之花期時間，後續進一步分析物種特性、環境與花期間之關係。

#### 三、重要發現

1. 2012年3月至2012年11月進行雪山主峰線步道重要植物物候觀察，6-7月為植物開花之高峰期，花期長度以2-3個月最多；各植群帶中，高山植群帶花期最短為5-10月，物種花期長度多為1個月。

2. 不同生長型中，草本植物及木質藤本植物之花期高峰為 6-7 月，較灌木及喬木植物 5-6 月晚。
3. 本研究中物種中，花期最早為臺灣胡麻花(*Helonias umbellata*)，於 3 月花瓣多已凋謝，花期最晚為蔓黃菀(*Senecio scandens*)及鄧氏胡頹子(*Elaeagnus thunbergii*)，於 11 月始開花。科花期則以松科(Pinaceae)、楊柳科(Salicaece)及堇菜科(Violaceae)花期最早，較集中 3-4 月；蓼科(Polygonaceae)、龍膽科(Gentianaceae)及菊科(Compositae)最晚，較集中 8-9 月。
4. 植物開花時間隨著物種不同而異，且同一物種位於不同海拔梯度花期亦有所不同，多隨海拔下降而有花期提早的現象，如雪山主峰東線步道分布海拔廣的高山白珠樹(*Gaultheria itoana*)，於海拔 2,500 m 以下的櫟林帶上層，花期自 4 月開始；於海拔 2,510 -3,600m 以下的鐵杉雲杉林帶及冷杉林帶，花期自 6 月開始；於海拔 3,600 m 以上的圈谷地區，花期於 7 月開始。另川上氏薊(*Cirsium kawakamii*)、伊澤山龍膽(*Geitzershanensis*)、玉山水苦蕒(*Veronica morrisonicola*)等分布較廣之物種，亦有相同現象。
5. 遊客於 6-7 月可觀賞開花物種最多，而冷杉林及圈谷高海拔地區之珍貴特有物種，如臺灣山薺(*Draba sekiyana*)、齒葉筷子芥(*Arabis serrata*)、雙黃花堇菜(*Vi. biflora*)於 6 月開花，雪山馬蘭(*Aster takasagomontanus*)、玉山佛甲草(*Sedum morrisonense*)於 7 月開花，玉山山蘿蔔(*Scabiosa lacerifolia*)、黃山蟹甲草(*Parasenecio hwangshanicus*)於 8 月開花。

#### 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：國立中興大學森林系

建議事項：

經過植物物候之調查，2012年雪山主峰線種子植物花期高峰為6-7月，部份特有或稀有物種亦在此時開花，如雪山馬蘭、南湖碎雪草 (*Euphrasia nankotaiwanensis*)及伊澤山龍膽等，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：國立中興大學森林系

建議事項：

植物物候為植物適應環境所做之表現，隨環境溫度、水分、植物光週期等影響而變化，而物候是能提供多面向的重要資料，若能長期監測本研究區之植物物候變化，有助於深入了解臺灣高山地區生態系和環境、氣候間之變異關係。

## Abstract

【key words】 Mt. Shei, alpine ecosystem, seed plant, phenology

In alpine area which is a particular ecosystem provide an extreme environment conditions to plants and animals. For instance, alpine areas have low temperature, high ultraviolet radiation and snow which are more restricted than low elevation areas. Climate changes have become a mainstream to discussion, especially the impact on global warming. Due to the average temperature ascent effects on ecosystem in general, the alpine vegetation is under serious threaten. The alpine plants are bound to change their strategy of survival. Vegetation in the alpine zone exhibits a characteristic adaptation to the environment. And the phenology of alpine species is a way to research historic, current climate changes and repercussion. We observed plants to understanding when species grow in bud, tender, mature and falling and the mechanism of breeding. We had surveyed 31 sample lines and appointed 43 individuals in the phenology of seed plant from trailhead (alt. 2,140 m) to mountain peak (alt. 3,886 m) at Mt. Shei and recorded 181 species. In July, the alpine plant had more flowering than other month, especially the endemic and rare plant, like *As. takasagomontanus*, *Eu. nankotaizanensis* and *Ge. itzershanensis*, also had blooming. The record from May to August had being born 114 species. With the elevation ascent, the blooming time of plants had differences. For example, the beginning time of *Adenophora morrisonensis*, *Ve. morrisonicola*, *Ge. davidii* var *.formosana* and *Hypericum nagasawai* flowering time was earlier with the lower altitude. However, the fruit of alpine plants had not changed bearing time with the altitude in Mt. Shei.

In this study, we combined the climate changes to analyze and discussion about the trend of plant phenology. The strategy of alpine species existence may give some information between alpine ecosystem and the environment of climate changes to preserve these alpine species resource in further.

## 一、前言

### (一)研究緣起與背景

國家公園設置的目標在於透過有效的經營管理與保育措施，以維護國家公園特殊的自然環境與生物多樣性。因此，管理單位明確地掌握與瞭解園區內環境與生物多樣性之狀況與變化，針對可能威脅園區內環境與生物多樣性健全之因素，加以妥善地因應與處理，同時監測與評估經營管理的成效，對於達成國家公園設置的目標至為重要。

臺灣地區的國家公園是依據《國家公園法》第1條、第6條規定所設立，特別是第1條中明定「為保護國家特有之自然風景、野生物種及史蹟，並供國民之育樂及研究」，因此國家公園的3大主要目標—保育、育樂、研究，意義分別是：

1. 保育：永續保存園區內之自然生態系、野生物種、自然景觀、地形地質、人文史蹟，以供國民及後世子孫所共享，並增進國土保安與水土涵養，確保生活環境品質。
2. 育樂：在不違反保育目標下，選擇園區內景觀優美、足以啟發智識及陶冶國民性情之地區，提供自然教育及觀景遊憩活動，以培養國民欣賞自然、愛護自然之情操，進而建立環境倫理。
3. 研究：國家公園具有最豐富之生態資源，宛如戶外自然博物館，可提供自然科學研究及環境教育，以增進國民對自然及人文資產之瞭解。

因此，深究其資源特色與管理方式，國家公園則是具備4項功能(內政部營建署，2007)：

- (1)提供保護性的自然環境。
- (2)保存物種及遺傳基因。
- (3)提供國民遊憩及繁榮地方經濟。
- (4)促進學術研究及環境教育。

其中，隨著人類對自然環境開發、活動日益頻繁，所造成之全球暖化等氣候變遷現象已對陸地生態系統產生若干影響，其中以高山生態系的反應最為顯著。由於高山地區之環境因子較中低海拔地區嚴峻，物種組成單純，對於氣候變化十分敏感；因此，研究高山生態系之族群生長、分布、

群聚生態及群落之功能性等，可作為氣候變遷的間接生物學和生態學證據。

著眼於整合性之生物學及生態學研究，必須以完整的生物相資料為基石，因此本計畫於前2年已完成雪山地區高山生態系之維管束植物相調查研究。除了植物資源清單的完備紀錄外，並分析各分類群屬性、科屬別、生長型等生物學特性及物種分佈地點、生態棲位等資料。作為比較雪山地區高山生態系與全球其他高山環境之比較基礎，並提供作為其他研究主題之基礎參考資料。

全球氣候變遷中最令人注目的即為溫室效應(greenhouse effect)，在平均溫度不斷升高的環境下，許多物種面臨生存的危機，有些物種得以藉由逐漸遷移至較高海拔或高緯度的地方，來逃離環境暖化的威脅，亦有些較不幸的物種沒有適宜的應對機制，只得漸趨向滅絕。為此許多科學家不停的進行相關研究，可望能更加了解溫室效應為環境所帶來的衝擊並提出應變措施。今年度計畫主要於建立種子植物物候之相關資料。

物候(phenology)又稱生物氣候，為自然界動植物與環境條件週期變化之間相互關係，舉凡候鳥遷徙、動物冬眠及植物開花等現象與氣候之關係，亦為自然界非生物變化(如初霜、解凍等)與季節氣候的關係。植物的物候為植物在一年生長過程中，隨氣候季節性變化而發生萌芽、展葉、開花、結實及落葉等規律性變化的現象(陸佩玲等，2006)。生物生活史的規律變化與環境息息相關，尤其受到溫度與降水所影響(王連喜等，2010)；因此，環境變異造成的物候變化可以成為觀察歷史氣候記錄的重要指標，尤其是全球氣候變遷及暖化的研究議題。

高山地區是一個較為特殊的生態系，其提供給當地物種的生育地環境較低海拔地區來的嚴苛，如低溫、高輻射及降雪等等，皆為物種在生長過程中的限制因子。全球暖化已對高山植物之生存環境造成威脅，平均溫度的提升，生存於高海拔的物種無處可退，勢必要改變生存策略。因此，藉由物候之觀察，了解物種的展葉、落葉、花開、花謝、結實、落果等生長及繁殖機制，並綜合氣候變化進一步研究、探討，得知物種的生存策略，對於未來的物種資源保育可提供相當重要的資訊。

## (二)前人研究

### 1. 植物生長所受之影響

植物的物候學(phenology)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(劉崇瑞和蘇鴻傑，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)。

植物物候除了受到本身的遺傳組成影響，亦隨著生育地中的光週期(photoperiod)、水分供應的多寡及溫度變化等環境因子而改變(劉崇瑞和蘇鴻傑，1983)。物種在進化的過程中，會逐漸利用光週期的變化，使得其生長期不會發生或持續到對本身新生組織會造成傷害的時期，到冬季後期，光週期對植物的限制也會逐漸減少，取而代之的是熱量的多寡，成為影響植物生長的主要因素(Körner, 2003)。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)。

### 2. 植物之花候

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)。

高海拔地區不同植物生長型有不同的花期高峰，海放南-邦卡兒(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。

劉崇瑞和蘇鴻傑(1983)探究垂直高度分層對生育地因子的影響，顯示不同高度層次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。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。呂理昌(1990)於玉山國家公園從塔塔加至玉山主峰，就同一物種不同的海拔分佈做物候觀察，結果顯示隨海拔的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，於同時間調查時塔塔加(2,600 m)已結紅果，但排雲山莊(3,500 m)只有開花現象。張又敏(2006)研究金毛杜鵑(*Rhododendron oldhamii*)之開花模式，其觀察標本發現中部地區全年有植株開花，花期主要為7-10月的夏末秋初，隨著海拔上升，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*)植物於高山和低地在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，結束時間則較為延遲。

## 二、材料與方法

### (一)研究區概況

#### 1. 範圍

雪霸國家公園境內之雪山主峰步道沿線，自雪山登山口起(海拔2,140 m)經由七卡山莊、哭坡、東峰、三六九山莊、黑森林、圈谷至雪山主峰(海拔3,886 m)，海拔落差約為1,746 m。取樣調查範圍如圖4-1。

本研究主要之調查工作維種子植物物候之調查研究，茲將調查方法說明如下。

#### 2. 地形

研究區域內地形變化甚大。登山口-七卡山莊-哭坡頂端為南向坡面，哭坡頂端-三六九三莊前為嶺線路段，三六九三莊-黑森林-圈谷底部為北向坡面，圈谷底-雪山主峰為研究區顯著的冰河地形遺跡(圖4-1)(呂金誠，1999；楊建夫，2000)。

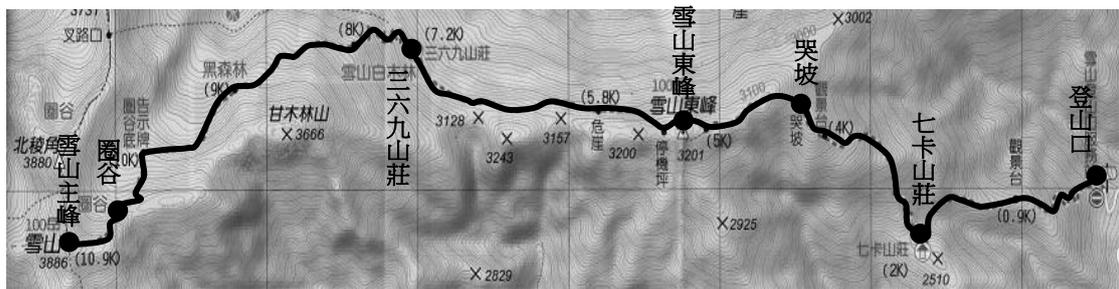


圖4-1. 雪山主峰沿線步道之研究區域範圍示意圖。

(資料來源：雪霸國家公園提供)

#### 3. 氣候

據陳正祥(1957)對臺灣氣候分類，本研究區屬於寒帶重溼氣候(AC')，溫度低、溼度高，冬季有霧雪。此類型氣候又可分為二型，分別為：(1)AC'<sub>2ra</sub>'：涼而多溼，全年不缺水，分佈海拔2,000 m以上；(2)AC'<sub>1ra</sub>'：冷而多溼，僅限於玉山與雪山等高山峰及其附近，即海拔3,000 m以上，冬寒，有積雪。

高山地區設置氣象站不易，故雪山主峰沿線地區並未有長期觀測的氣候資料，應紹舜(1976)曾以玉山北峰(海拔3,850 m)氣候觀測資料，推估雪山主峰(海拔3,886 m)平均溫度約4-6 °C之間、年降水量約2,800-3,100 mm。

近期雪霸國家公園之高山生態系整合研究中，魏聰輝和林博雄(2010)的報告指出已在雪山主峰沿線設置4個氣象站，由海拔高至低之氣象站分別位於圈谷、黑森林、三六九山莊及哭坡頂，調查期間為2009年10月至2012年5月。海拔高至之低氣象站所調查到的平均氣溫如圖4-2。

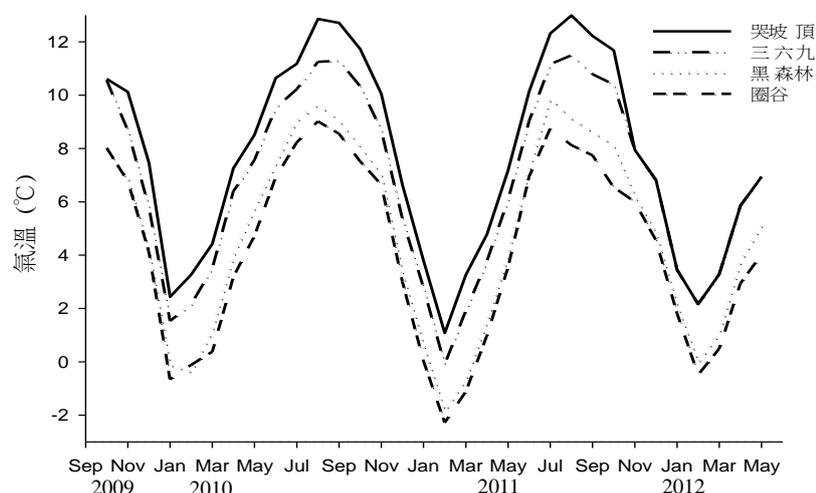


圖4-2. 雪山地區平均氣溫隨海拔變化情形。

(資料來源：魏聰輝和林博雄，2010)

#### 4. 地質及土壤

研究區內之地質屬於中央山脈地質區之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。雪山高山地區的土壤，若為森林界線以上地區，多以粘板岩風化而成的岩海地區，土壤淺薄，幾乎由岩礫構成；若為森林地區或草原地區，則土壤多以壤土、腐植土為主，然地形陡峭，表土層淺薄多構成瘠土(應紹舜，1976；何春蓀，2003)。

顏江河(2009)在雪山主峰沿線七卡(里程碑1.9 km)、哭坡(4.4 km)、火燒地(7.1 km)、黑森林(8.9 km)及圈谷(9.5 km)設置土壤採樣點，研究結果顯示，所有樣點的土壤pH皆成極酸性。

#### (二)植物物候調查

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，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 4-1 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(2010)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、臺灣特有及珍貴物種進行開花觀察。自 2011 年 5 月起初步熟悉物候概況，研究期間於 2012 年 3-12 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，記錄各月分之開花物種。單一植株花期以花冠開放、花藥成熟至凋謝期間為準，物種花期以族群內開花株數達 30 % 以上為準。

**表4-1. 雪山主峰步道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	三六九山莊-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

(資料來源： Su,1984)

### 三、結果

#### (一)種子植物組成

鄭婷文(2010)調查雪山主峰步道沿線植相，沿線維管束植物共記錄79科246屬501種，組成如表4-2。科層級分析中，種子植物科內物種數較多的前10科如圖4-3，由多至少依序為菊科、薔薇科、禾本科(Gramineae)、蘭科(Orchidaceae)、毛茛科(Ranunculaceae)、莎草科(Cyperaceae)、忍冬科(Caprifoliaceae)、杜鵑花科(Ericaceae)、玄參科(Scrophulariaceae)、虎耳草科(Saxifragaceae)。

表4-2. 雪山主峰步道沿線種子植物種類統計表

	科	屬	種
裸子植物	4	8	11
雙子葉植物	68	192	387
單子葉植物	7	46	103
總計	79	246	501

(資料來源：鄭婷文，2010)

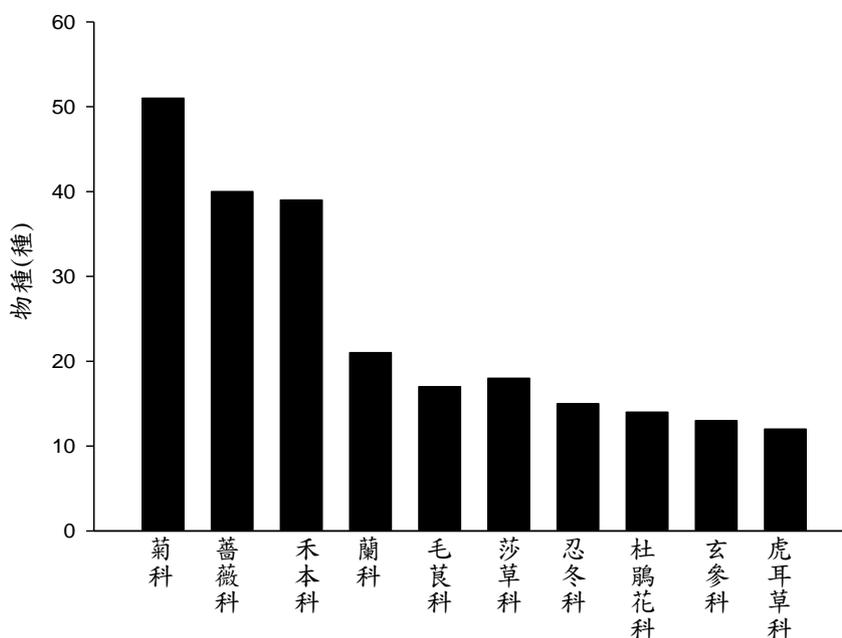


圖 4-3. 雪山主峰線步道地區種子植物種數較多的前 10 科統計圖。

(資料來源：鄭婷文，2010)

本研究所觀察植物共45科125屬173種開花，包括裸子植物2科4屬5種、雙子葉植物38科104屬147種、單子葉植物5科17屬21種(表4-3)。生長型以

草本植物最多共33科93屬124種，灌木植物次之共10科16屬24種，再次為喬木植物共10科15屬16種，最少者為木質藤本植物共5科6屬9種(表4-4)。

表4-3. 雪山主峰線步道2012年於3-12月觀察植物種類統計表

	科	屬	種
裸子植物	2	4	5
雙子葉植物	38	104	147
單子葉植物	5	17	21
總計	45	125	173

(資料來源：本研究資料)

表4-4. 雪山主峰線步道2012年於3-12月不同生長型植物種類統計表

	裸子植物			雙子葉植物			單子葉植物			總計		
	科	屬	種	科	屬	種	科	屬	種	科	屬	種
草本	0	0	0	27	75	102	5	17	21	33	93	124
木質藤本	0	0	0	5	6	9	0	0	0	5	6	9
灌木	1	1	1	9	15	23	0	0	0	10	16	24
喬木	2	4	4	9	12	13	0	0	0	10	15	16

(資料來源：本研究資料)

各植群帶植物以冷杉林帶最多共36科81屬98種，鐵杉雲杉林帶次之共31科69屬85種，再次為櫟林帶上層共28科53屬63種，高山植群帶最少共24科43屬48種(表4-5)。

表4-5. 雪山主峰線步道2012年於3-12月不同植群帶植物各生長型種類統計表

植群帶	草本植物			木質藤本			灌木			喬木			種子植物		
	科	屬	種	科	屬	種	科	屬	種	科	屬	種	科	屬	種
高植群帶	20	36	41	0	0	0	4	6	6	1	1	1	24	43	48
冷杉林帶	29	64	77	3	3	3	7	10	13	3	4	4	36	81	98
鐵杉雲杉林帶	21	48	58	3	4	5	4	9	12	7	8	8	31	69	85
櫟林帶上層	21	39	45	3	4	5	2	7	8	5	5	5	28	53	63

(資料來源：本研究資料)

觀察物種科別以菊科植物25種最多，次為薔薇科(Rosaceae)14種，再次為杜鵑花科9種，其餘科別種數如圖4-4。各植群帶出現科內物種數最多的優勢科別如圖4-5，均以菊科植物及薔薇科植物於各植群帶物種數較多，其餘優勢科為高山植群帶的玄參科及十字花科(Cruciferae)，冷杉林帶的蘭科，鐵杉雲杉林帶的杜鵑花科及龍膽科，櫟林帶上層的杜鵑花科。

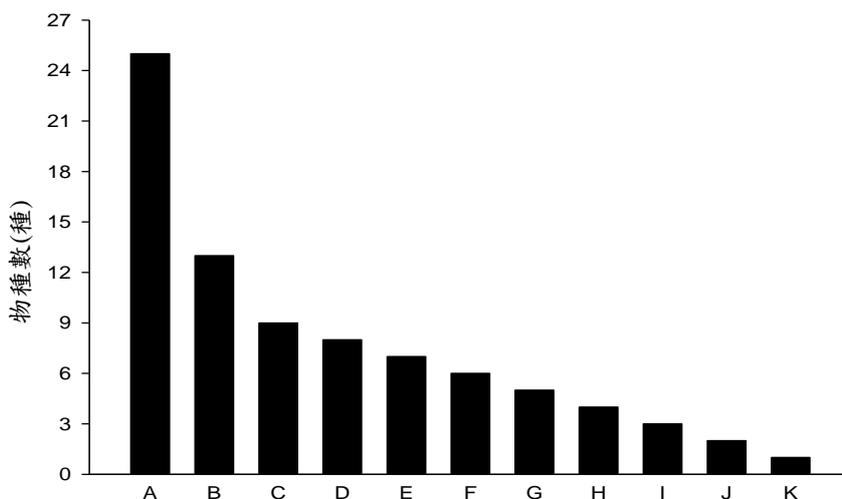


圖 4-4. 雪山主峰步道開花物候觀察之科別所含物種數。

註：A: 菊科，B: 薔薇科，C: 杜鵑花科，D: 玄參科、蘭科，E: 百合科，F: 石竹科、虎耳草科、龍膽科，G: 毛茛科、忍冬科、堇菜科、繖形科，H: 十字花科、松科、唇形花科、鹿蹄草科、蓼科、燈心草科，I: 柳葉菜科、桔梗科、景天科、殼斗科，J: 小蘗科、五加科、灰木科、柏科、茜草科、紫草科、楊柳科、酢漿草科，K: 天南星科、禾本科、昆欄樹科、樺木科、金絲桃科、胡頹子科、桑寄生科、敗醬科、牻牛兒苗科、報春花科、紫堇科、遠志科、蕁麻科、續斷科。

(資料來源：本研究資料)

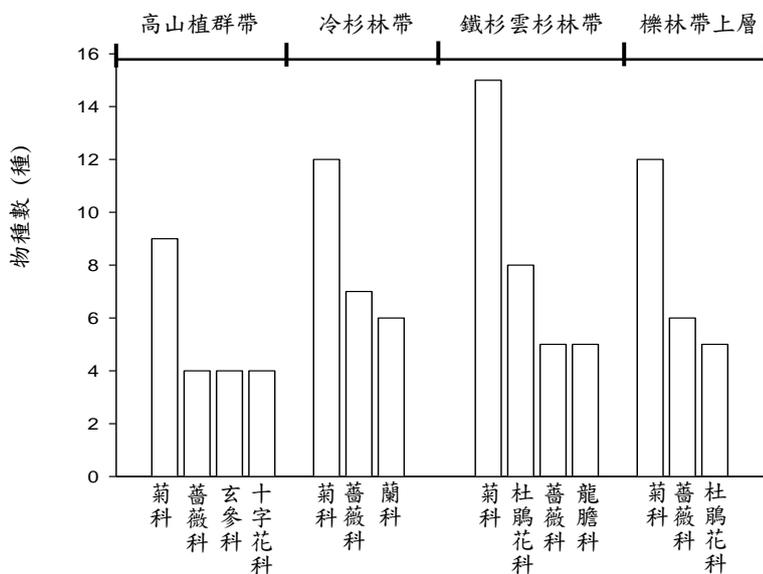


圖 4-5. 雪山主峰線步道各植群帶觀察植物優勢科物種數量。

(資料來源：本研究資料)

物種之花冠顏色比例如圖 4-6，以白色 91 種占最多，如大部分的百合科(Liliaceae)、虎耳草科、柳葉菜科(Onagraceae)、薔薇科、繖形科(Umbelliferae)等植物；次之為黃色 27 種，大部分的菊科植物，小蘗屬(*Berberis*)、毛茛屬(*Ranunculus*)、翻白草屬(*Potentilla*)、忍冬屬(*Lonicera*)等植物；第 3 為無花冠 17 種，如松科、柏科(Cupressaceae)、楊柳科、殼斗科(Fagaceae)等植物；第 4 為紅色 15 種，如馬先蒿屬(*Pedicularis*)、石竹屬(*Dianthus*)植物，及玉山櫻草(*Primula miyabeana*)、臺灣藜蘆(*Veratrum formosanum*)、短角冷水麻(*Pilea aquarum* ssp. *brevicornuta*)、忍冬葉桑寄生(*Taxillus lonicerifolius* var. *lonicerifolius*) 等；第 5 為綠色 13 種，如腳根蘭(*Herminium lanceum*)、綠花凹舌蘭(*Coeloglossum viride*)、厚唇粉蝶蘭(*Platanthera mandarinorum* ssp. *pachyglossa*)、圓葉豬殃殃(*Galium formosense*)、枇杷葉灰木(*Symplocos stellaris*) 等；最少為藍紫色 11 種，如沙參屬(*Adenophora*)植物，阿里山龍膽(*Ge. arisanensis*)、臺灣龍膽 (*Ge. davidii* var. *formosana*)、琉璃草(*Cynoglossum furcatum*)、玉山山蘿蔔等。

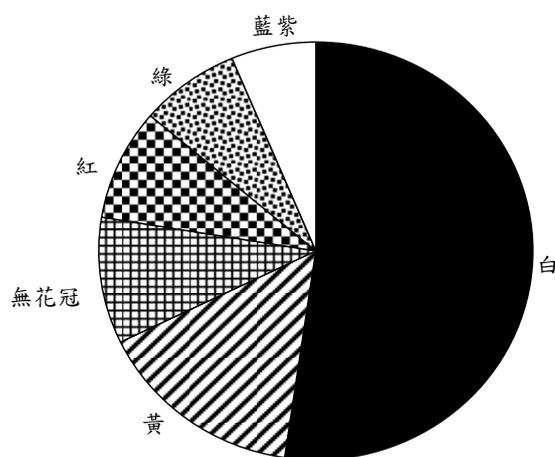


圖 4-6. 雪山主峰線步道全研究區觀察植物花冠顏色物種比例。  
(資料來源：本研究資料)

## (二)種子植物開花物候

### 1. 雪山主峰線步道全區種子植物之開花物候

雪山主峰線步道開花物種數分布於研究期間具 1 明顯高峰，花期集中 6-7 月，以 6 月最多 116 物種開花，次為 7 月 108 種(圖 4-7)，11 月後漸接近寒冷冬季，植物進入休眠期，至 12 月已無物種開花。各生長型中，草本及木質藤本植物花期集中於 6-7 月，而灌木及喬木植物集中於 5-6 月(圖 4-8、圖 4-9)。

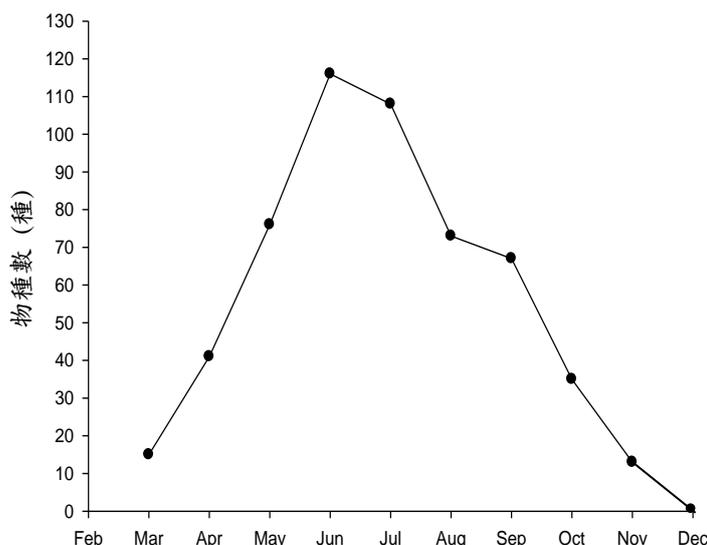


圖 4-7. 雪山主峰步道 2012 年 3-12 月植物逐月開花物種數。  
(資料來源：本研究資料)

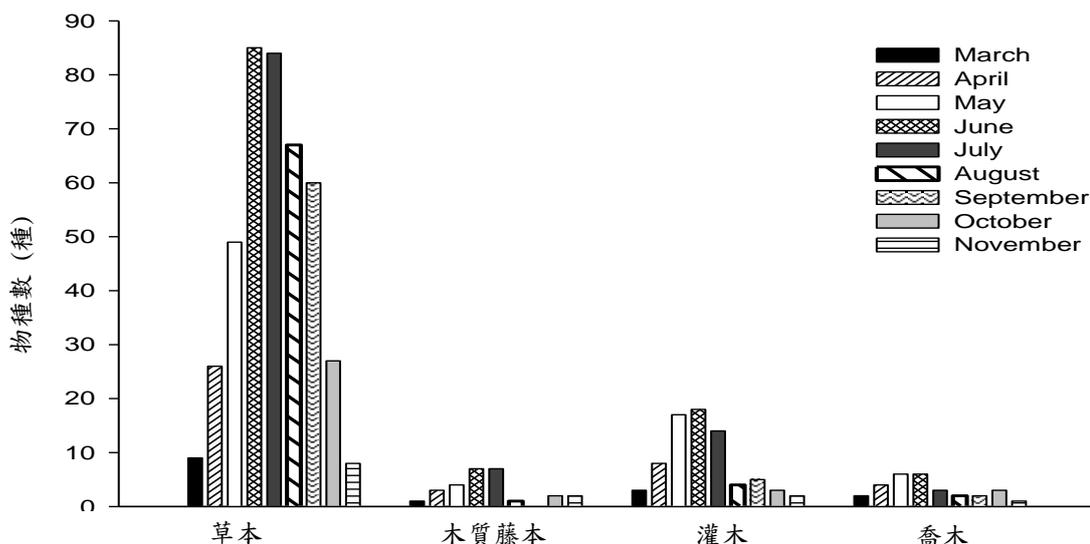


圖 4-8. 雪山主峰步道 2012 年 3-12 月不同生長型植物逐月開花物種數。  
(資料來源：本研究資料)

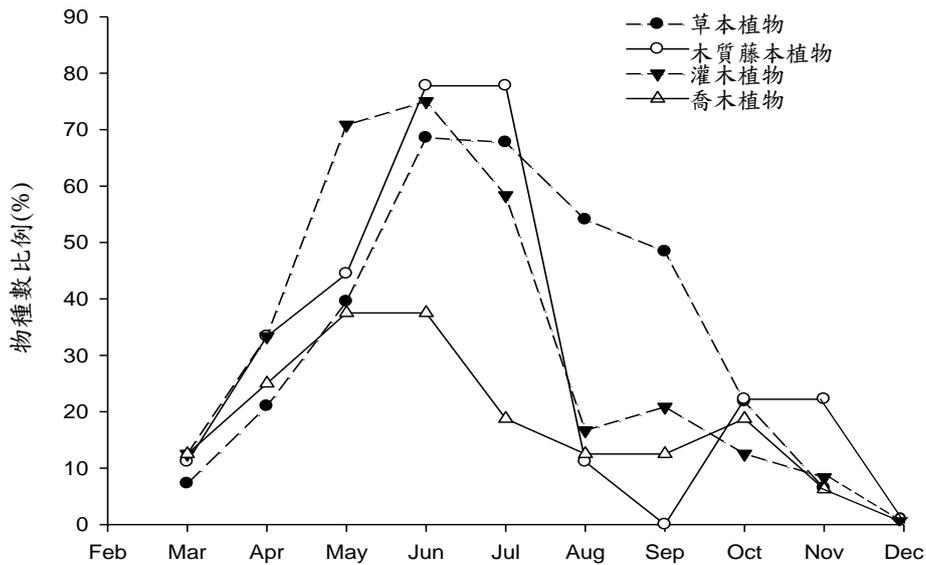


圖 4-9. 雪山主峰步道 2012 年 3-12 月不同生長型植物逐月開花物種數比例。  
(資料來源：本研究資料)

同一物種於研究區的花期長度，則為 1-9 個月不等，以 2-3 個月最多(圖 4-10)，短花期植物如松科、殼斗科、楊柳科植物，及枇杷葉灰木、臺灣山薺、齒葉筷子芥，綠花凹舌蘭、南湖斑葉蘭(*Goodyera nankoensis*) 等 21 種，花期約 1 個月；長花期植物如龍膽屬植物、高山通泉草(*Mazus alpinus*)、玉山小米草(*Eu. transmorrisonensis*)、矮菊(*Myriactis humilis*)、一枝黃花(*Solidago virgaurea* var. *leiocarpa*)、刀傷草(*Ixeridium laevigatum*)、火炭母草(*Po. chinense*)、玉山筷子芥(*Ar. lyrata* ssp. *kamtschatica*)、阿里山忍冬(*Lo.*

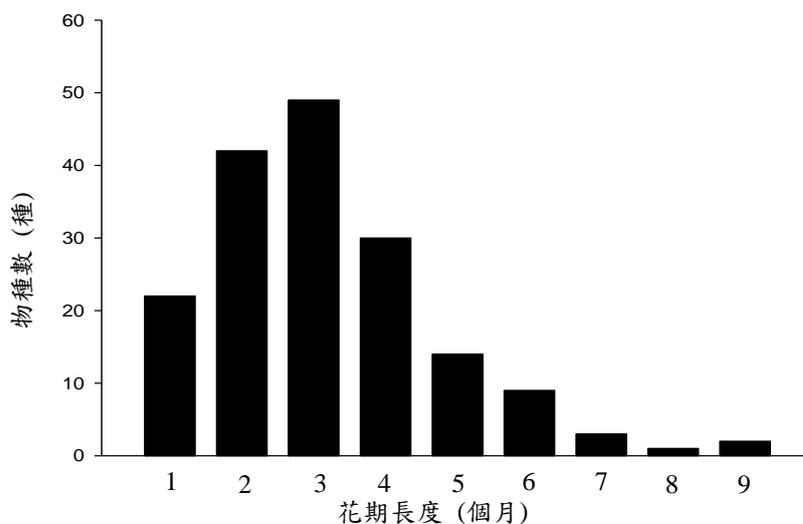


圖 4-10. 雪山主峰步道 2012 年 3-12 月不同花期長度所含物種數。  
(資料來源：本研究資料)

*acuminata*)等 15 種，花期長達 6 個月以上，其中阿里山龍膽及阿里山忍冬於全研究期間均開花，花期長至少 9 個月。

多數植物於研究期間有 1 次明顯花期，例外者有杜鵑花科的臺灣馬醉木 (*Pieris taiwanensis*)，於全研究期間陸續有花苞及盛開現象，而柏科的刺柏 (*Juniperus formosana*)及玉山圓柏(*Ju. squamata*)則於 4 月、6 月、8 月、11 月植株零星開花，族群花期分散而無明顯高低峰期。

本研究物種開花時序多樣(附錄 4-1)，各科物種花期大多亦集中在夏季(圖 4-11)，而花期較早集中於春季至夏季中旬者有杜鵑花科、十字花科、小蘗科(Berberidaceae)、鹿蹄草科(Pyrolaceae)、松科、堇菜科、酢漿草科(Oxalidaceae)、楊柳科、薔薇科等；花期較晚集中於夏末至秋季者有菊科、龍膽科、蓼科等。

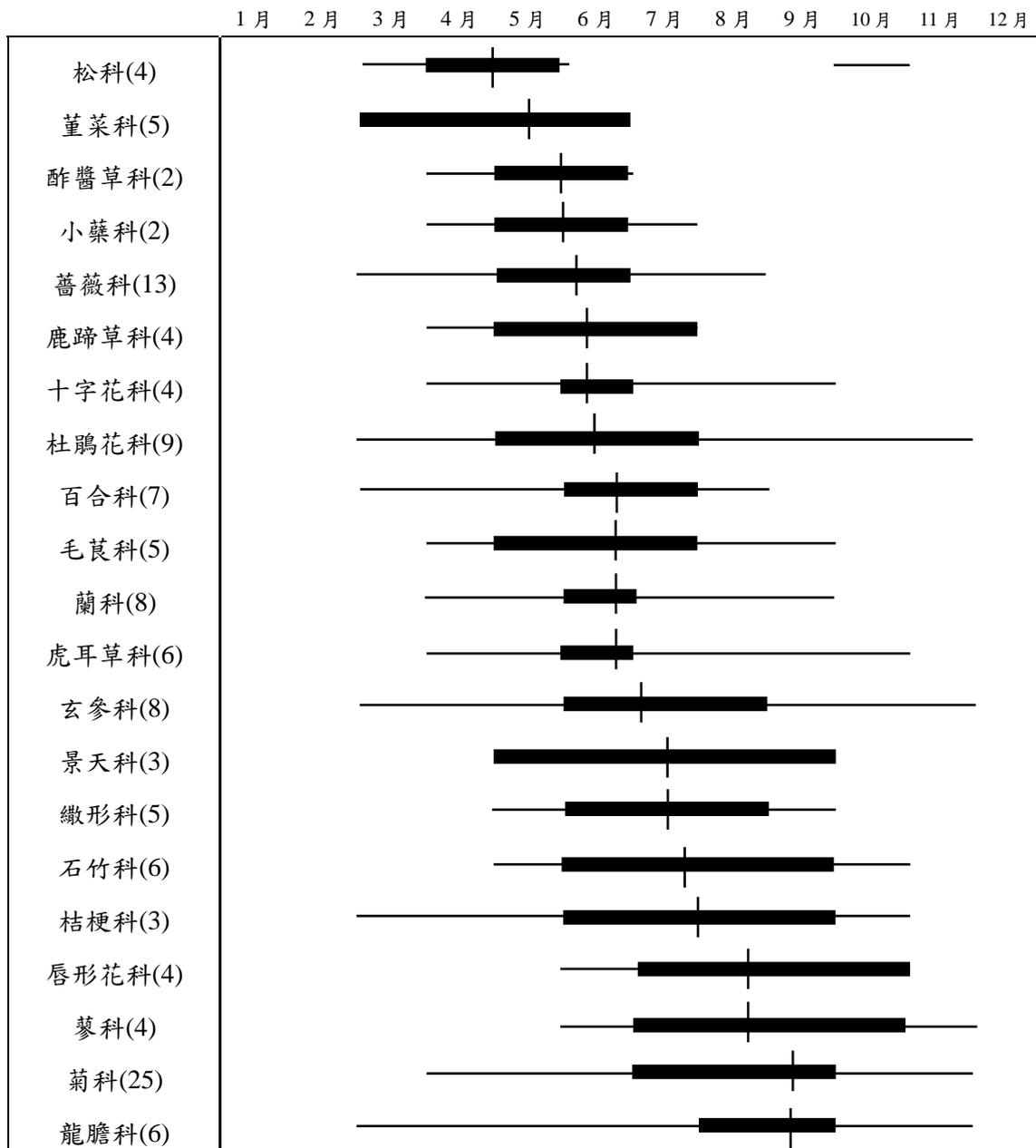


圖 4-11. 雪山主峰線步道 2012 年 3-12 月常見植物科花候譜。  
 註：科別候之括號內為物種數，細橫線為物種開花期，粗橫線為科內開花物種數 >60% 之盛花期，短直線為開花物種數最多時期。  
 (資料來源：本研究資料)

## 2. 不同植群帶植物之開花物候

各植群帶開花物種數分布與步道全區相似，於研究期間均具 1 明顯高峰，花期集中 6-7 月(圖 4-12)，常見物種之花候譜如圖 4-13 至圖 4-17。

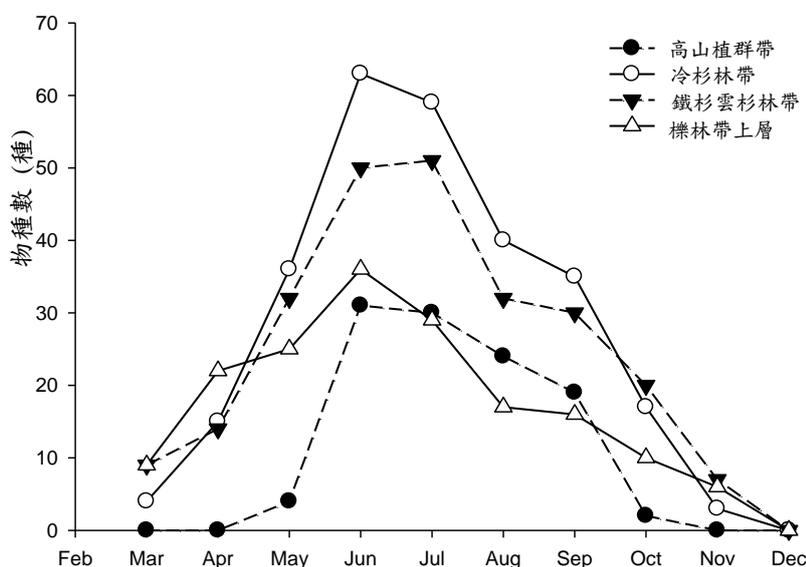


圖 4-12. 雪山主峰步道 2012 年 3-12 月不同植群帶植物逐月開花物種數。  
(資料來源：本研究資料)

高山植群帶於 5 月進入花季有 4 物種開花，為臺灣山柳(*Salix taiwanalpina*)、玉山杜鵑(*Rh. pseudochrysanthum*)、玉山小蘗(*Be. morrisonensis*)及阿里山龍膽，6-7 月開花物種最多分別為 31 種、30 種，隨後下降至 10 月僅 2 種，為玉山毛蓮菜(*Picris hieracioides* subsp. *morrisonensis*)及玉山山蘿蔔，11 月無物種開花(圖 4-13)。

冷杉林帶之冷杉林型於 3 月進入花季僅有臺灣冷杉(*Abies kawakamii*)1 種，6-7 月開花物種最多分別為 63 種、59 種，隨後下降至 11 月為 3 種，為阿里山忍冬、鄧氏胡頹子及黃菟(*Se. nemorensis* var. *dentatus*)，12 月無物種開花(圖 4-14)。

冷杉林帶中之箭竹草叢型於 3 月進入花季有 4 物種開花，為臺灣冷杉、褐毛柳(*Sa. fulvopubescens*)、阿里山忍冬及阿里山龍膽，6-7 月開花物種最多分別為 63 種、59 種，隨後下降至 11 月為 3 種，為阿里山忍冬、鄧氏胡頹子及黃菟，12 月無物種開花(圖 4-15)。

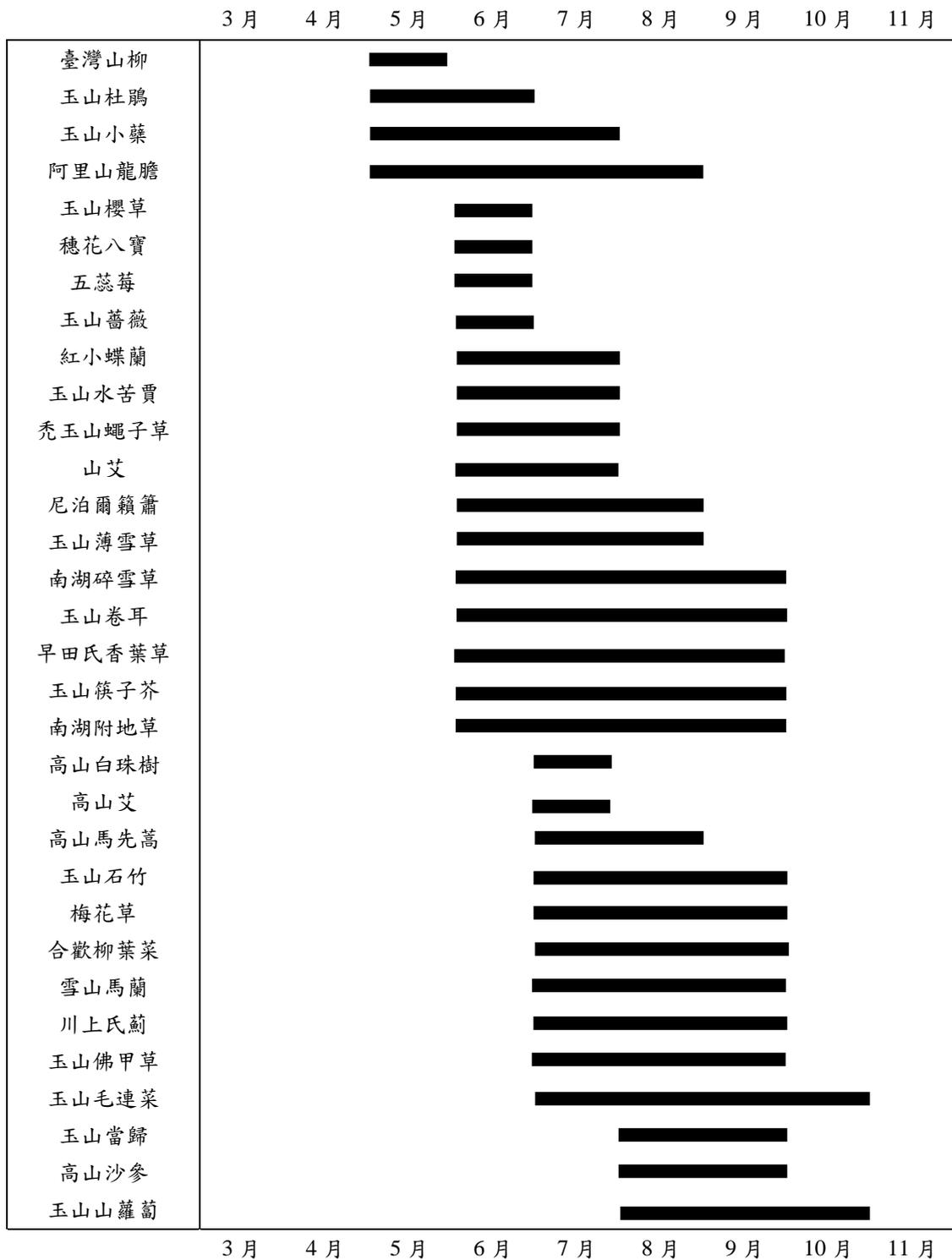


圖 4-13. 研究期間高山植群帶常見植物花候譜。  
(資料來源：本研究資料)

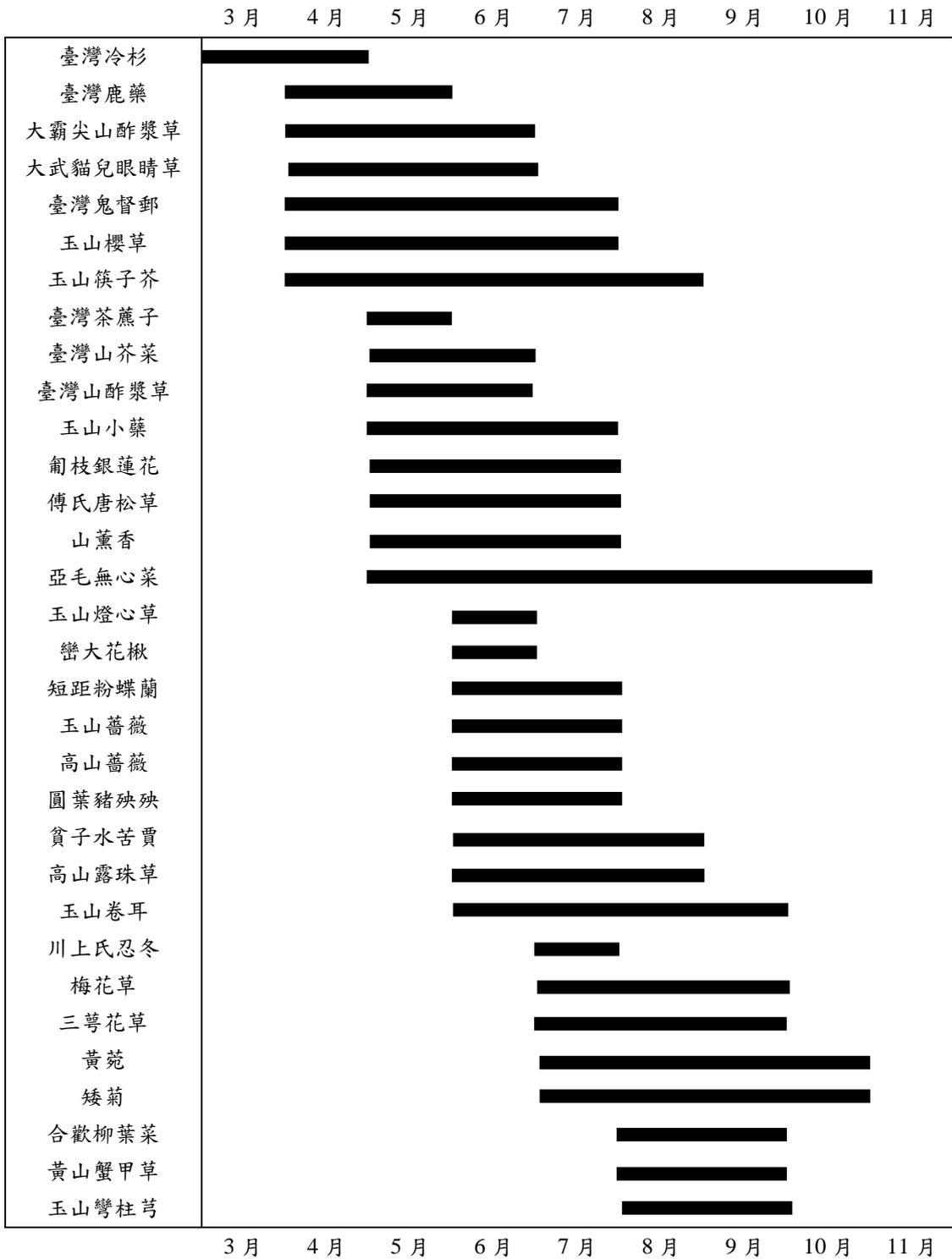


圖 4-14. 研究期間冷杉林帶之冷杉林型常見植物花候譜。  
(資料來源：本研究資料)

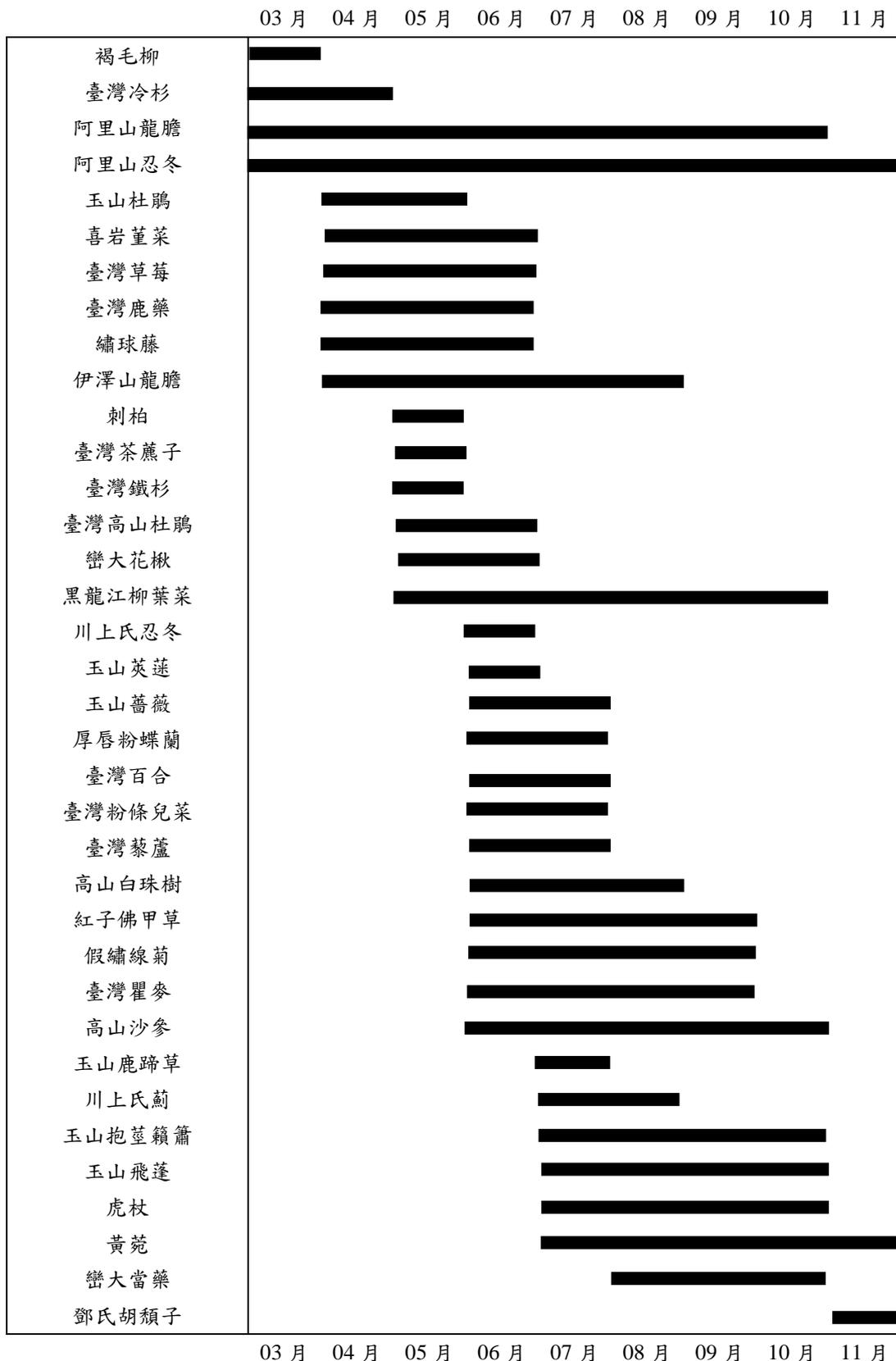


圖 4-15. 研究期間冷杉林帶之箭竹草叢型帶常見植物花候譜。  
(資料來源：本研究資料)

鐵杉雲杉林帶於 3 月進入花季有 9 物種開花，為高山通泉草、毛蕊花 (*Vaccinium japonicum* var. *lasiostemon*)、臺灣馬醉木、紫花地丁 (*Vi. mandshurica*)、臺灣堇菜 (*Vi. formosana*)、褐毛柳、瓜子金 (*Polygala japonica*)、阿里山龍膽及森氏萎陵菜 (*Po. matsumurae* var. *pilosa*)，6-7 月開花物種最多分別為 50 種、51 種，隨後下降至 11 月為 7 種，為臺灣常春藤 (*Hedera rhombea* var. *formosana*)、高山白珠樹、臺灣馬蘭、絨山白蘭 (*As. lasiocladus*)、一枝黃花、黃菟、虎杖 (*Po. yunnanense*)、阿里山龍膽，12 月無物種開花(圖 4-16)。

櫟林帶上層於 3 月進入花季有 10 物種開花，為長行天南星 (*Arisaema consanguineum*)、高山通泉草、臺灣胡麻花、臺灣馬醉木、山桔梗、紫花地丁、臺灣堇菜、喜岩堇菜 (*Vi. adenothrix*)、刺花懸鈎子 (*Rubus taitoensis* var. *aculeatiflorus*) 及森氏萎陵菜，6-7 月開花物種最多分別為 36 種、29 種，隨後下降至 11 月為 6 種，為玉山小米草、琉璃草、絨山白蘭、一枝黃花、蔓黃菟及火炭母草，12 月無物種開花(圖 4-17)。

各生長型中逐月開花物種數如圖 4-18、圖 4-19，高山植群帶僅草本及灌木 2 種生長型，草本植物花期 5-10 月，7 月為最多 27 物種開花，灌木植物花期 5-7 月，6 月為最多 4 物種開花；冷杉林帶草本植物花期 3-11 月，6 月為最多 51 物種開花，木質藤本植物花期 3-11 月，6 月為最多 4 物種開花，灌木植物花期約 4-11 月，6-7 月為最多 7 物種開花，喬木植物花期 3-6 月，3 月及 5 月最多 2 物種開花；鐵杉雲杉林帶草本植物花期 3-11 月，7 月為最多 35 物種開花，木質藤本植物花期約 5-11 月，7 月為最多 4 物種開花，灌木植物花期 3-11 月，6-7 月為最多 10 物種開花，喬木植物花期約 3-10 月，6 月為最多 4 物種開花；櫟林帶上層草本植物花期 3-11 月，6 月為最多 26 物種開花，木質藤本植物花期約 4-7 月，7 月為最多 5 物種開花，灌木植物花期為 3-7 月，4-6 月為最多 10 物種開花，喬木植物花期約 4-10 月，5 月為最多 3 物種開花。

各植群帶物種花期長度之種數統計如圖 4-20，高山植群帶花期長度約 1-4 個月，以 1 個月長為最多；冷杉林帶花期長度約 1-8 個月，以 2-3 個月長為最多，花期較長者為玉山筷子芥及亞毛無心菜 (*Arenaria subpilosa*) 6 個



圖 4-16. 研究期間鐵杉雲杉林帶常見植物花候譜。  
(資料來源：本研究資料)

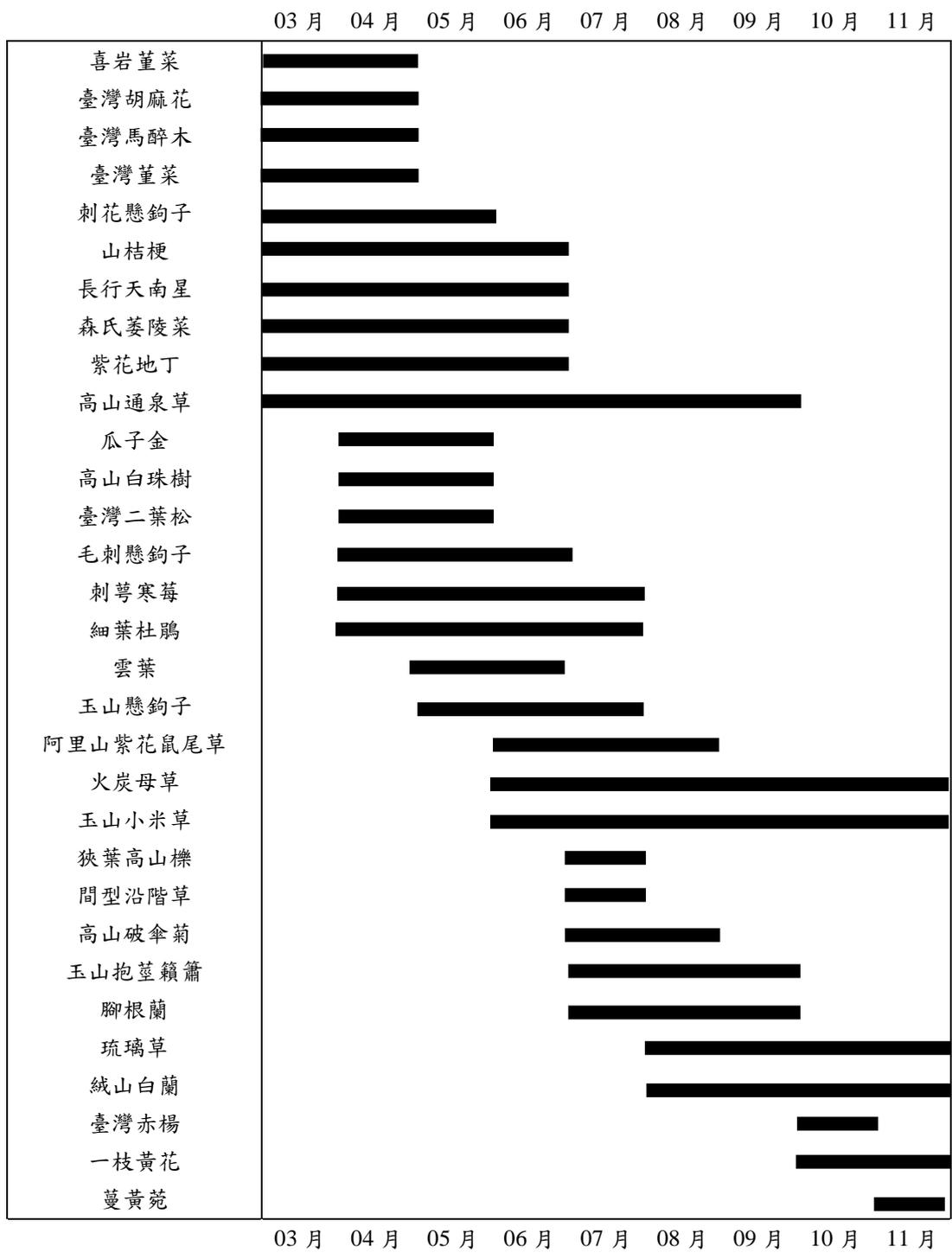


圖 4-17. 研究期間櫟林帶上層常見植物花候譜。  
 (資料來源：本研究資料)

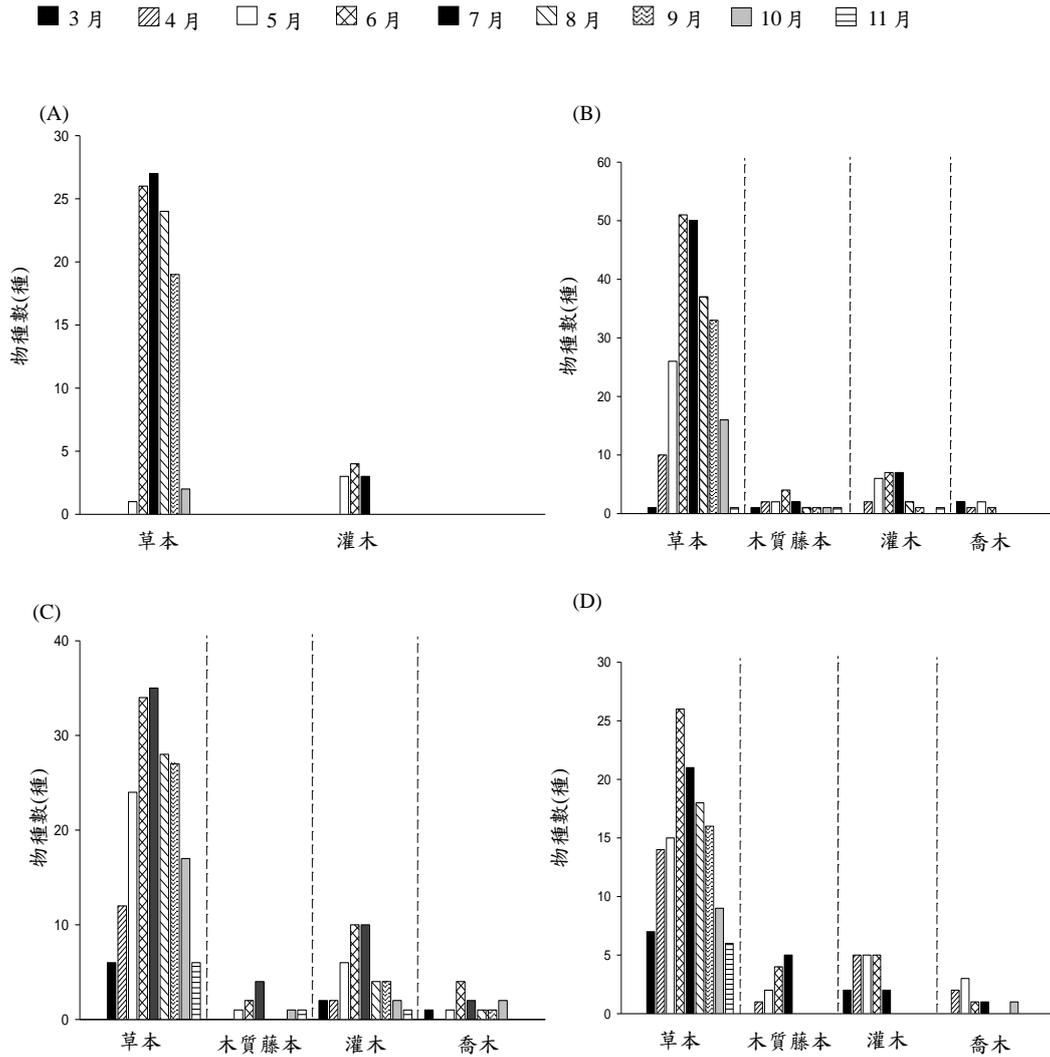


圖 4-18. 雪山主峰線步道 2012 年 3-12 月不同生長型植物逐月開花物種數。  
 註：(A)為高山植群帶，(B)為冷杉林帶，(C)為鐵杉雲杉林帶，(D)為櫟林帶上層。  
 (資料來源：本研究資料)

月，阿里山龍膽 8 個月，阿里山忍冬 9 個月；鐵杉雲杉林帶花期長度約 1-9 個月，以 2-3 個月為最多，花期較長者為瓜子金、高山通泉草均 7 個月，阿里山龍膽 9 個月；櫟林帶上層花期長度約 1-7 個月，以 2-3 個月為最多，花期較長者為玉山小米草、玉山抱莖籜簫(*Anaphalis morrisonicola*)、火炭母草均 6 個月，高山通泉草 7 個月。

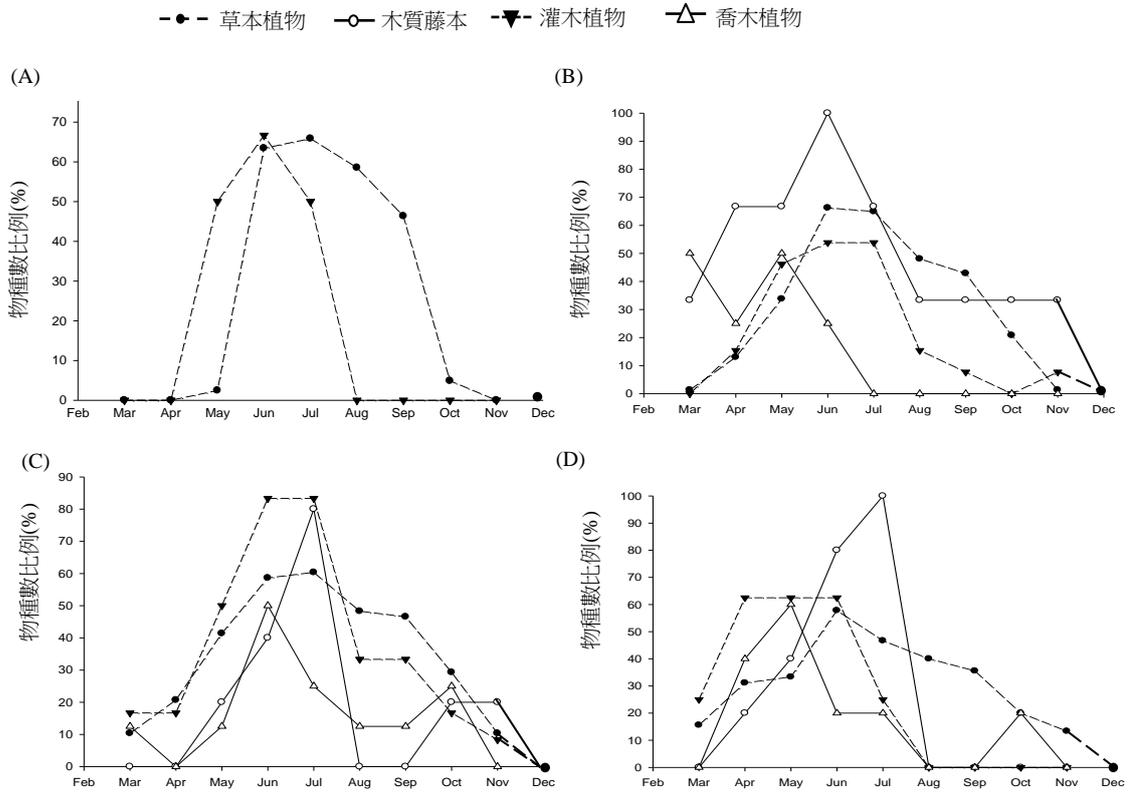


圖 4-19. 雪山主峰線步道 2012 年 3-12 月各植群帶不同生長型植物逐月開花物種數比例。  
 註：(A)為高山植群帶，(B)為冷杉林帶，(C)為鐵杉雲杉林帶，(D)為櫟林帶上層。  
 (資料來源：本研究資料)

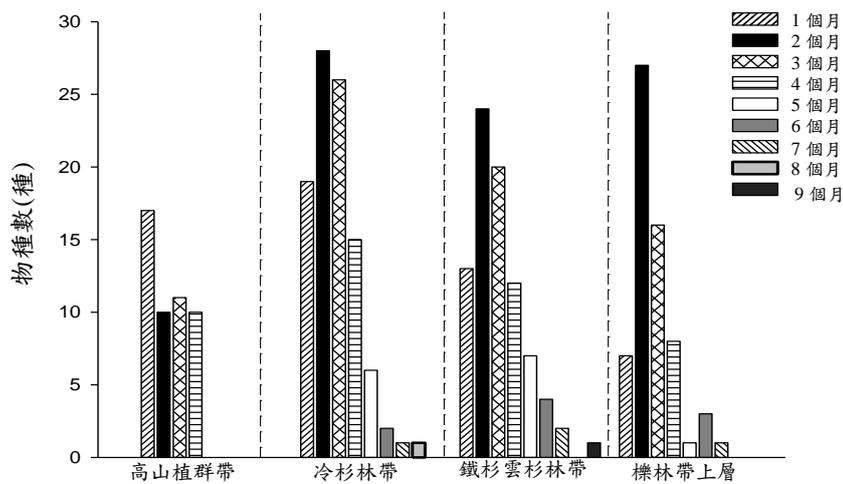


圖 4-20. 雪山主峰線步道 2012 年 3-12 月各植群帶物種花期長度數量。  
 (資料來源：本研究資料)

2. 跨植群帶分布植物之開花物候

研究物種中分布範圍較廣者，同一物種花期於各植群帶有所不同，橫跨 4 個植群帶物種花候譜如圖 4-21，為川上氏薊、伊澤山龍膽及高山白珠樹，均於海拔最低的櫟林帶上層最早開花，於海拔最高的高山植群帶花期最晚，花期早晚相差 3-5 個月；橫跨 3 個植群帶物種花候譜如圖 4-22，包括菊科、玄參科、薔薇科、杜鵑花科等植物 22 種，其中臺灣鬼督郵及一枝黃花隨海拔上升而花期延後，其餘則隨海拔升高而花期延後，如玉山水苦蕒、高山通泉草、玉山肺形草、阿里山龍膽、玉山懸鉤子(*Ru. rolfei*)、假繡線菊(*Spiraea hayatana*)及高山沙參(*Ad. morrisonensis* subsp. *uehatae*)等，花期早晚相差 1-4 個月。

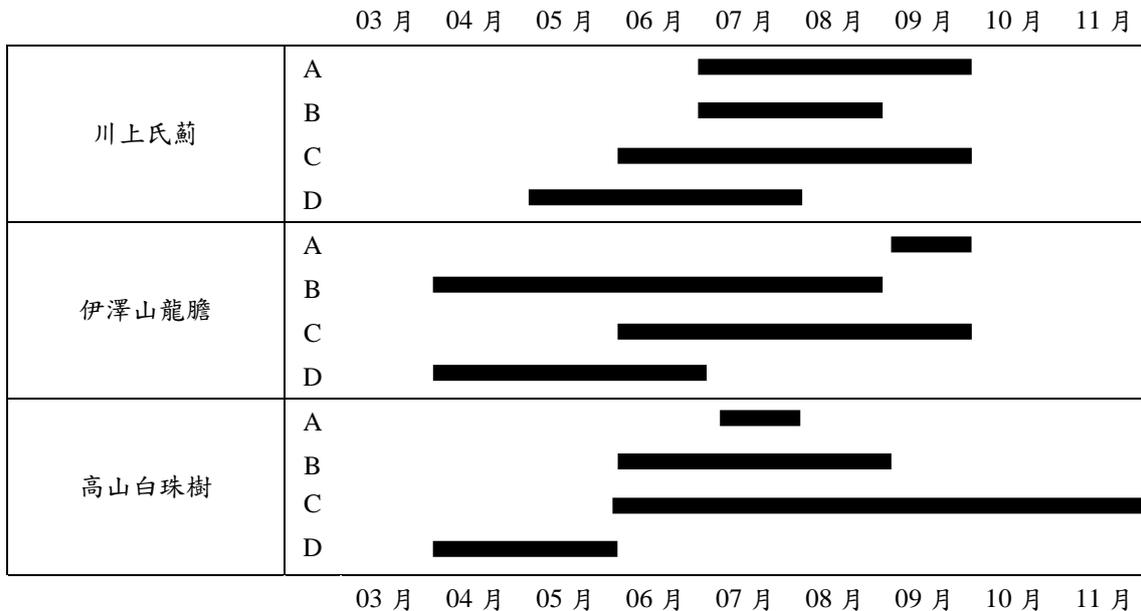


圖 4-21. 本研究觀察植物中分布橫跨 4 個植群帶之物種花候譜。

註：A 為高山植群帶，B 為冷杉林帶，C 為鐵杉雲杉林帶，D 為櫟林帶上層。  
(資料來源：本研究資料)

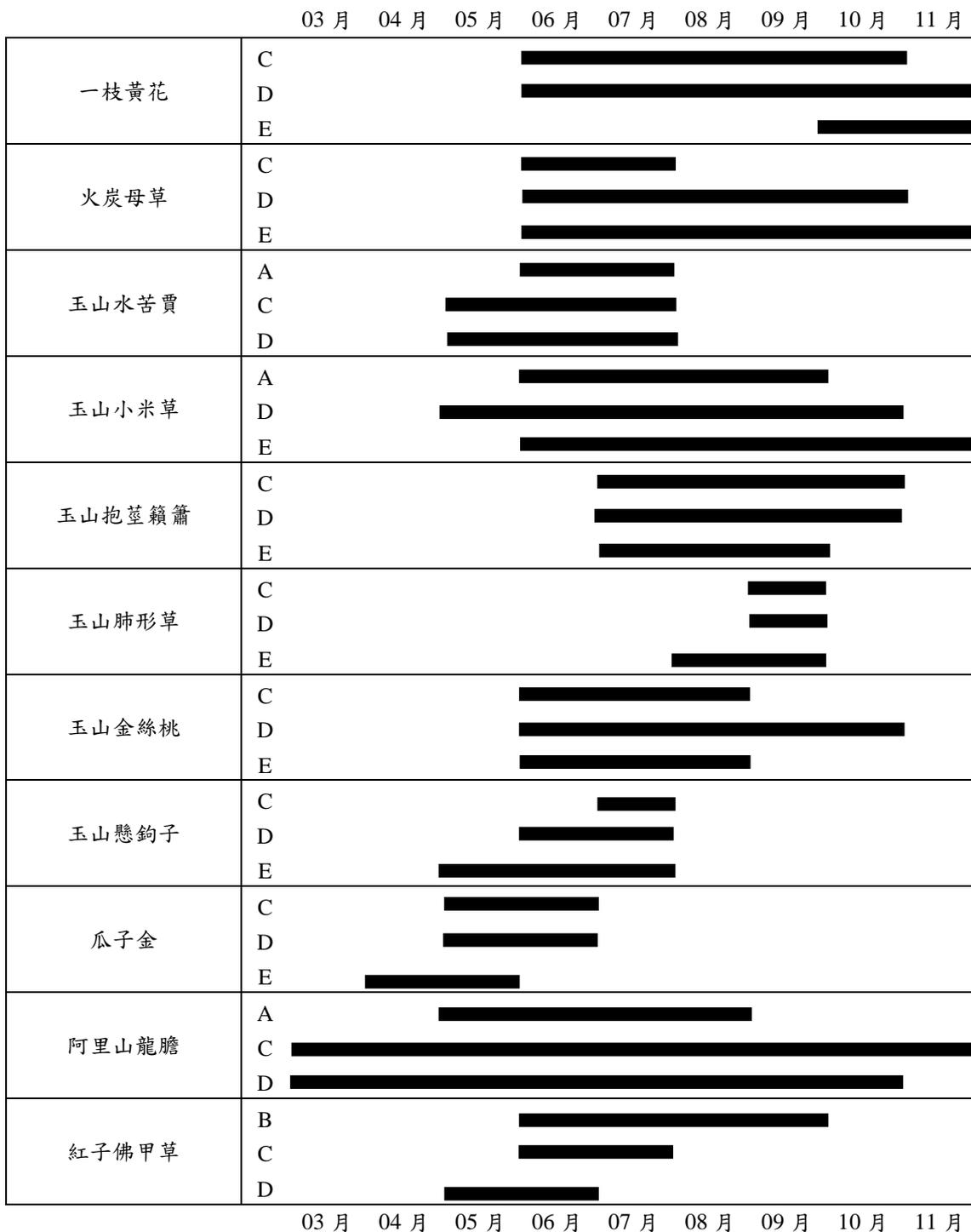


圖 4-22. 本研究觀察植物中分布橫跨 3 個植群帶之物種花候譜。  
(資料來源：本研究資料)

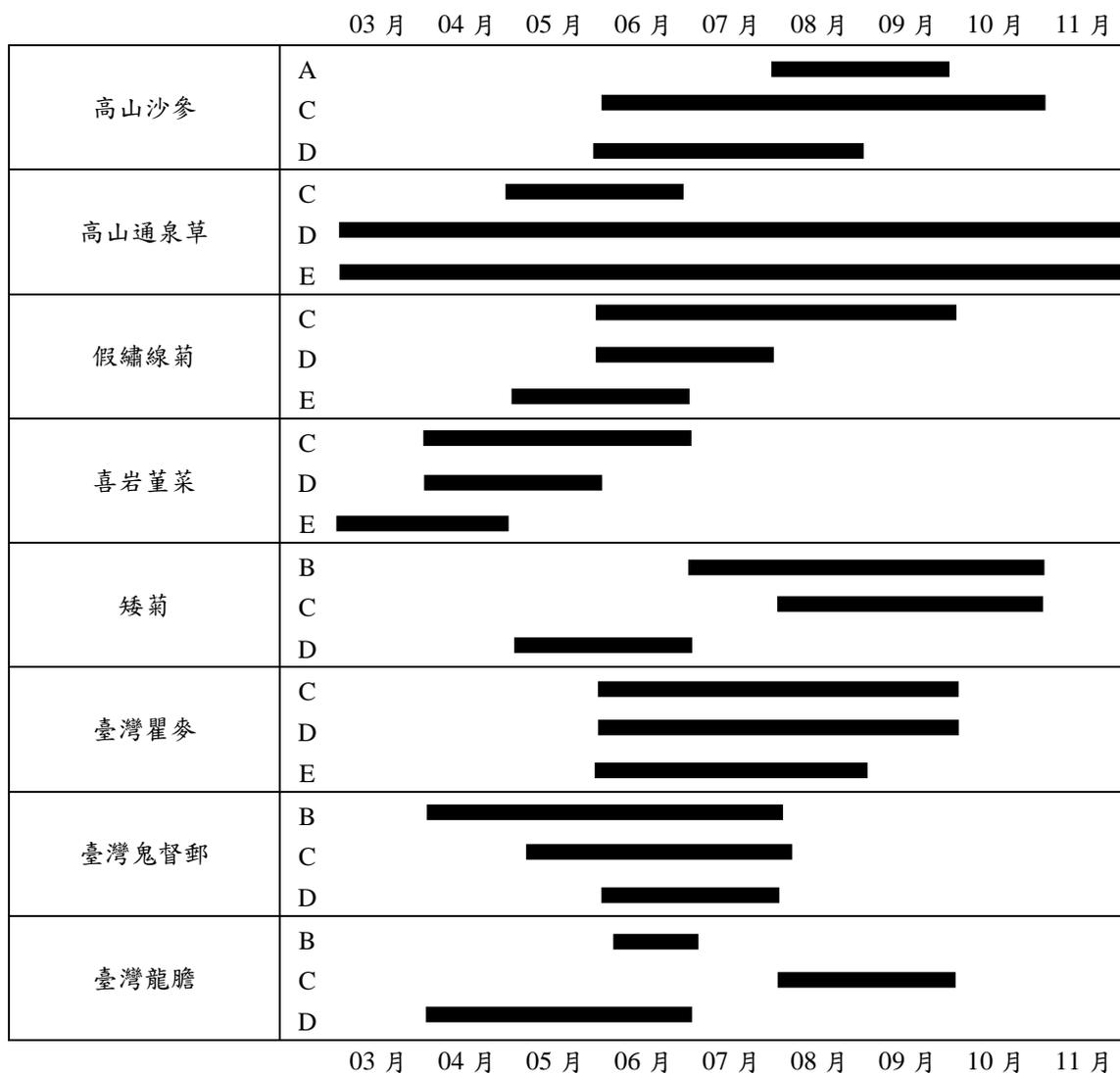


圖 4-22. 本研究觀察植物中分布橫跨 3 個植群帶之物種花候譜(續)。  
(資料來源：本研究資料)

## 四、討論

### (一)物種花期分布

植物開花物候在空間尺度上變異性相當大，一方面受外在環境的控制，植物花期因所處生育地之氣候帶(Blionis *et al.*, 2001; Jackson, 1996)、緯度(Kaliesz and Wardle, 1994; Jonas and Geber, 1999)及海拔(Carpenter, 1976; Blionis *et al.*, 2001)而變化，不同生育地下，物種於氣溫、光照、雨量等資源條件有利的時期開花，經競爭後分化出一套最佳資源利用的物種開花時序(Waser, 1983; Pickering, 1995)。

本研究調查結果顯示，植物開花時間隨著物種不同而異，整體而言本研究植物於3-11月間開花，花期集中6-7月，為生長季中溫度較高的時期，此結果與許多高山物候研究相同(呂理昌，1990；邦卡兒-海放南，2007；李向前等，2009；Tébar *et al.*, 2002; Zang *et al.*, 2010; Kudo and Hirao, 2006; Blionis and Vokou, 2001)。溫度是影響植物成花的重要因子，亦是高山地區最直接的限制因子，本研究開花物種數分布與季節性的溫度年週期變化(圖4-23)相似，可看出溫度對花候之影響力。

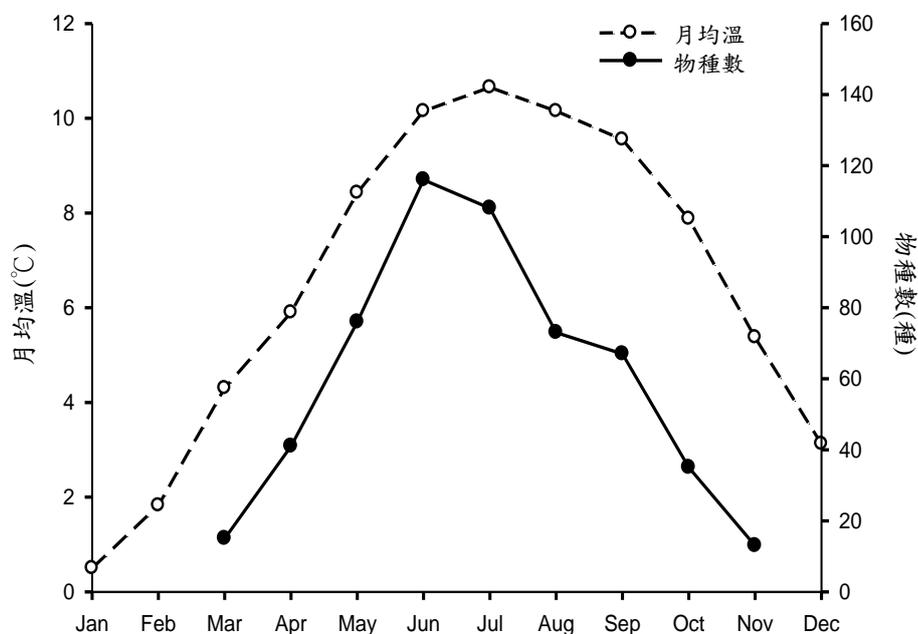


圖 4-23. 雪山地區 2011 年月均溫與本研究期間植物逐月開花物種數。  
(資料來源：本研究資料、雪霸國家公園提供)

植群帶之逐月開花物種數分布中，高山植群帶植物花期最短，94%物種於夏季6-8月開花，植物花期集中趨勢最明顯。葉文斌和李蕙宜(2012)調查雪山主峰步道沿線昆蟲組成及季節動態，發現在海拔3,300 m以上地區，昆蟲主要出現時間為6-8月。由於高海拔地區生長季較短，蟲媒授粉植物需配合昆蟲活動期，以降低花粉消耗量及提高授粉效率，另一方面昆蟲亦需取食花粉或花蜜，2者形成互利共生關係，推測因此高山植群帶植物花期高峰與昆蟲活動期配合性高。

## (二)生長型及科別

除環境因子外，植物受內在遺傳控制，經長期演化，各科(family)或生活型(life form)間的物種，在生長及繁殖策略上形成差異，亦導致花期分化(Kochmer and Handel, 1986; Golluscio *et al.*, 2005)

各生長型中，灌木及喬木植物(5-6月)花期高峰較草本植物(6-7月)早。一些高山物候研究也指出木本植物花期較草本植物早(呂理昌, 1990; 邦卡兒-海放南, 2007; Kochmer and Handel, 1986)。推測其原因，應與光照及熱量累積有關，Körner (2003) 認為溫度和光週期為調控高山植物開花的主要因子，可保護植物生長避免發生在有致命損傷的時候。Heide(1992)研究生長於高山和極地的禾本科植物*Phippsia algida*之開花條件，發現在相同溫度條件下(9°C及21°C)，日照時數分別達19小時及17小時以上始有開花現象，且隨日照長度增加至24小時，開花率及花序數提高至最大，進入花期時間也提早。呂理昌(1990)、邦卡兒-海放南(2007)高山地區植物開花物候的研究，皆發現同一物種於向陽區域花期較提早的現象，向陽地區溫度高，日照時間也較長。上述研究結果皆顯示在適宜環境下，日照長度增加可促進花期提早，而本研究中灌木及喬木植物植株最高大，可優先截取太陽光照，有利植物最先進入花期。

本研究科別間之花期，與Kochmer and Handel(1986)研究美國Carolina地區(其緯度、氣候帶皆與臺灣接近)植群相似，植物社會中屬較晚花及較早花者有部分相同之科別，其中同屬花期偏早集中在春季至夏初者，如堇菜科其中十字花科、薔薇科、杜鵑花科，同屬花期偏晚集中在夏末至秋季者，如菊科、龍膽科、蓼科，可能與植物受演化過程影響，使兩生育地植

物內在趨向接近時期開花。

### (三)植物開花物候與海拔梯度之間的關係

物種隨海拔上升，有花期延後的現象(張又敏，2006；呂理昌，1990；Blionis *et al.*, 2001)，本研究中結果亦有相同發現，如部分菊科、薔薇科、龍膽科、十字花科植物，於櫟林帶上層(海拔2,140-2,510m)與高山植群帶(海拔3,600-3886m)，隨海拔升高花期早晚相差1-4個月，其中龍膽科的伊澤山龍膽延遲時間最長，於櫟林帶上層4月始開花，於高山植群帶9月始開花，花期相差約5個月。平均而言，海拔每升高100 m氣溫約降低0.6°C，依各地地形及盛行季風稍有變動(劉崇瑞和蘇鴻傑，1983)，高山地區氣候寒冷，花芽需累積特定門檻溫度(threshold temperature)，以促使花芽分化及植物開花(高景輝和湯文通，1978)，而於海拔較低或向陽地區溫度較高，植物花期也因此有提早現象。

一個山體隨著海拔梯度變化，具有不同的環境梯度及高度異質化的生育地(陳學林和戚鵬程，2006)，隨著海拔升高，資源的有效性會降低，而降雪頻率、太陽輻射量等皆會隨之增加(Körner, 2003)，因此，海拔梯度為研究植物生長及繁殖的理想條件(Billings, 1974)。

本研究沿著區域內海拔梯度劃分4個植群帶(表4-1)，並對同一物種分布於多個植群帶之花候進行觀察(圖4-21、4-22)，結果顯示川上氏薊、高山白珠樹、玉山懸鉤子、高山沙參及臺灣龍膽等物種，花期開始時間隨著海拔降低而提前。許多前人研究亦有相似結果，如呂理昌(1990)於玉山國家公園從塔塔加至玉山主峰，就同一物種不同的海拔分布做物候觀察，結果顯示隨海拔的升高開花期會延遲半個月至1個月，例如早田氏草莓分布海拔2,600-3,800m，於同時間調查時塔塔加(2,600m)已結紅果，但排雲山莊(3,500m)只有開花現象。Sandring *et al.*(2007)研究筷子芥屬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，結束時間則較為延遲。溫英杰等(2008)研究阿里山山櫻遺傳多樣性，觀察1份霧社櫻與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。王年金等(2010)於中國浙江省研究馬尾松(*Pinus massoniana*)花候之結果顯示，分布於海拔較低的個體花期較早。海拔梯度包含了許多環境因子，綜合表現出不同海拔梯度上，生育地環境的複雜性，而這些研究結果皆可顯示海拔梯度確實影響植物的開花物候。

## 五、結論與建議

### (一)結論

1. 2012年3月至2012年11月進行雪山主峰線步道重要植物物候觀察，6-7月為植物開花之高峰期，花期長度以2-3個月最多；各植群帶中，高山植群帶花期最短為5-10月，物種花期長度多為1個月。
2. 不同生長型中，草本植物及木質藤本植物之花期高峰為6-7月，較灌木及喬木植物5-6月晚。
3. 本研究中物種中，花期最早為臺灣胡麻花，於3月花瓣多已凋謝，花期最晚為蔓黃菀及鄧氏胡顏子，於11月始開花。科花期則以松科、楊柳科及堇菜科花期最早，較集中3-4月；蓼科、龍膽科及菊科最晚，較集中8-9月。
4. 植物開花時間隨著物種不同而異，且同一物種位於不同海拔梯度花期亦有所不同，多隨海拔下降而有花期提早的現象，如雪山主峰東線步道分布海拔廣的高山白珠樹，於海拔2,500 m以下的櫟林帶上層，花期自4月開始；於海拔2,510 -3,600m以下的鐵杉雲杉林帶及冷杉林帶，花期自6月開始；於海拔3,600 m以上的圈谷地區，花期於7月開始。另川上氏薊、伊澤山龍膽、玉山水苦蕒等分布較廣之物種，亦有相同現象。
5. 遊客於6-7月可觀賞開花物種最多，而冷杉林及圈谷高海拔地區之珍貴特有物種，如臺灣山薺、齒葉筷子芥、雙黃花堇菜於6月開花，雪山馬蘭、玉山佛甲草於7月開花，玉山山蘿蔔、黃山蟹甲草於8月開花。

### (二)建議

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：

#### 1.立即可行建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：國立中興大學森林系

建議事項：

本研究觀察之植物花期記錄，可提供雪霸國家公園做生態旅遊之

簡介，使民眾欣賞雪山之美，並達到保護自然資源之教育功能。

## 2. 長期建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：國立中興大學森林系

建議事項：

植物物候為植物適應環境所做之表現，隨著當時的溫度、水份及光週期等影響，若能長期監測本研究區之植物物候變化，有助於深入了解臺灣高山地區生態系和環境、氣候間之變異關係。

## 六、參考文獻

- 王年金、何玉友、秦國峰、儲德裕、胡健生(2010)馬尾松雄球花成熟期及受氣溫影響的觀測。林業科學研究23(6): 905-909。
- 王連喜、陳懷亮、李琪、余衛東(2010)植物物候與氣候研究進展。生態學報30(2): 447-454。
- 何春蓀(2003)台灣地質概論。經濟部中央地質調查所。共40頁。
- 呂理昌(1990)玉山國家公園植物開花週期之研究。內政部營建署玉山國家公園管理處。共77頁。
- 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。共93頁。
- 李向前、賈鵬、章志龍、杜國楨(2009)青藏高原東緣高寒草甸植物群落的開花物候。生態學雜誌28(11): 2202-2207。
- 海放南-邦卡兒(2007)塔塔加地區高山植物的物候期。林業研究專訊14(5): 16-22。
- 高景輝、湯文通(1978)植物生長與分化。台灣商務。共16頁。
- 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。
- 陸佩玲、于強、賀慶棠(2006)植物物候對氣候變化的響應。生態學報26(3): 923-929。
- 陳正祥(1957)氣候之分類與分區。國立臺灣大學農學院實驗林。共52頁。
- 陳學林、戚鵬程(2006)白水江國家級自然保護區野生資源植物的垂直分異研究。西北植物學報26(5): 1014-1020。
- 黃信源(2007)苗栗地區油桐物候生物學之研究。國立中興大學森林系碩士論文。共88頁。
- 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。
- 葉文彬和李蕙宜(2012)昆蟲相調查暨指標物種建立與監測。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。共32頁。
- 鄭婷文(2010)雪山主峰東線步道維管束植物相之研究。中興大學森林學系碩士論文。共107頁。
- 劉崇瑞、蘇鴻傑(1983)森林植物生態學。臺灣商務印書館。共462頁。

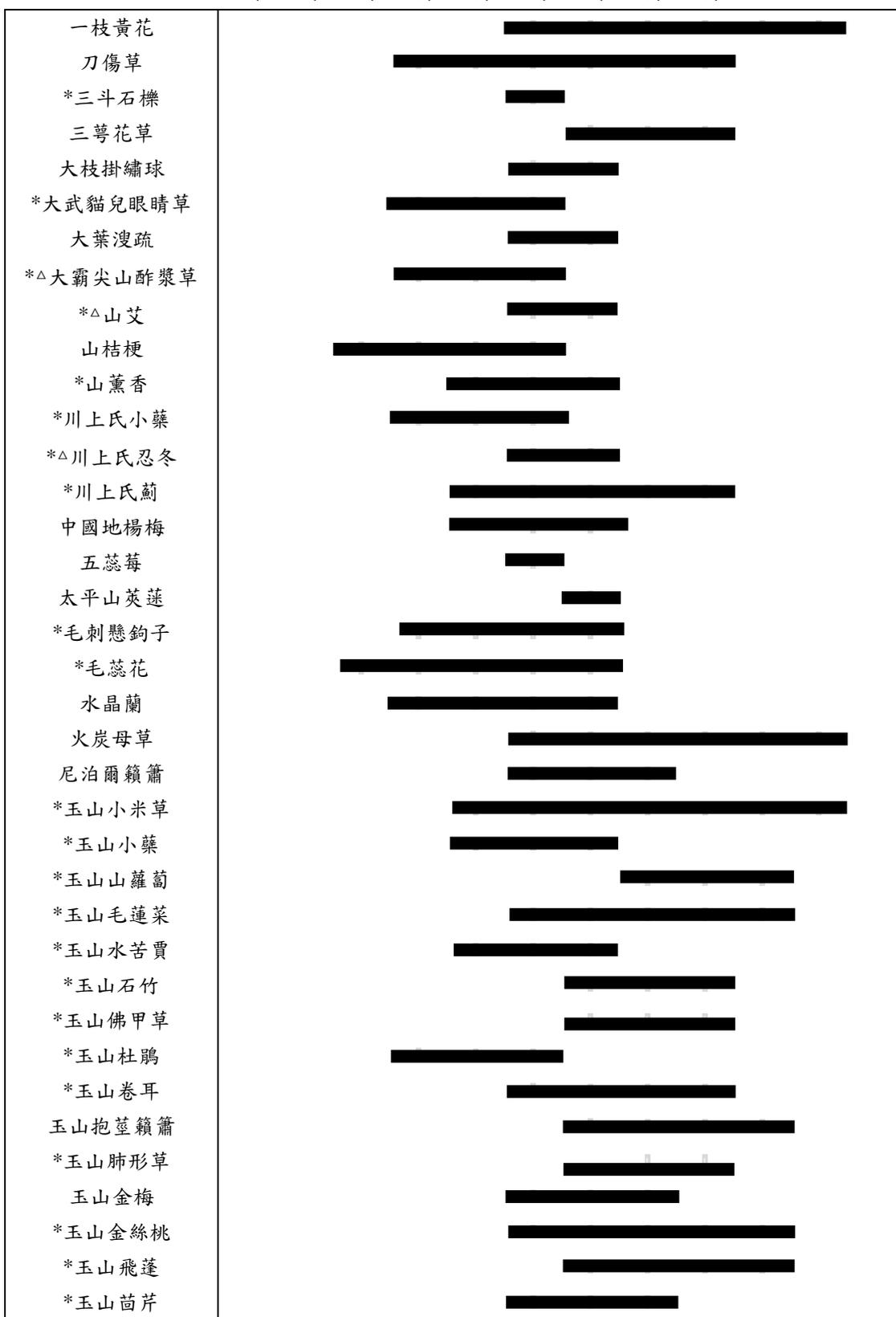
- 顏江河(2009)高山地區土壤性質研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。共 48 頁。
- 應紹舜(1976)雪山地區高山植群的研究。中華林學季刊 9(3): 119-135。
- 魏聰輝和林博雄(2011)雪山高山微氣象與水量與熱量時空分布特性。共 35 頁。
- Billings, W. D.(1974)Adapt ations and origins of alpine plants. Arctic and Alpine Research 6(2): 129-142.
- Blionis, G. J., J. M. Halley and D. Vokou(2001)Floewring phenology of *Campanula* on Mt. Olympos, Greece. Ecography 24: 696-706.
- Golluscio, B. A., M. Oesterheld and M. R. Aguiar(2005)Relationship between phenology and life form: atese with 25 Patagonian species. Ecology 28:273-282.
- Heide, O. M.(1992)Flowering strategies of the high-arctic and high-alpine snow bed grass species *Phippsia algida*. Physiologia Plantarum 85: 606-610.
- 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 S. N. Handel(1986)Constraints and competition in the evolution of flowering phenology. Ecological Monographs 56(4): 303-325.
- Körner, C.(2003)Alpine plant life: functional plant ecology of high mountain ecosystem. 2<sup>nd</sup> edition. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 344.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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
- Shen, Z. K.(2000)Study in the phenological phase in *Eulapiopsis Binata*. *Journal of Hubei Institute for Nationalities* 18(2):24-26.
- 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.
- Su, H. J.(1984)Studies on the climate and vegetation types of the natural forests in Taiwan (II). Altitudinal vegetation zones in relation to temperature gradient. *Quarterly Journal of Chinese Forestry* 17(4): 57-73.
- 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.

附錄 4-1. 雪山主峰線步道物候觀察之植物花候譜

\*特有種, △生存危機

1月 2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12月

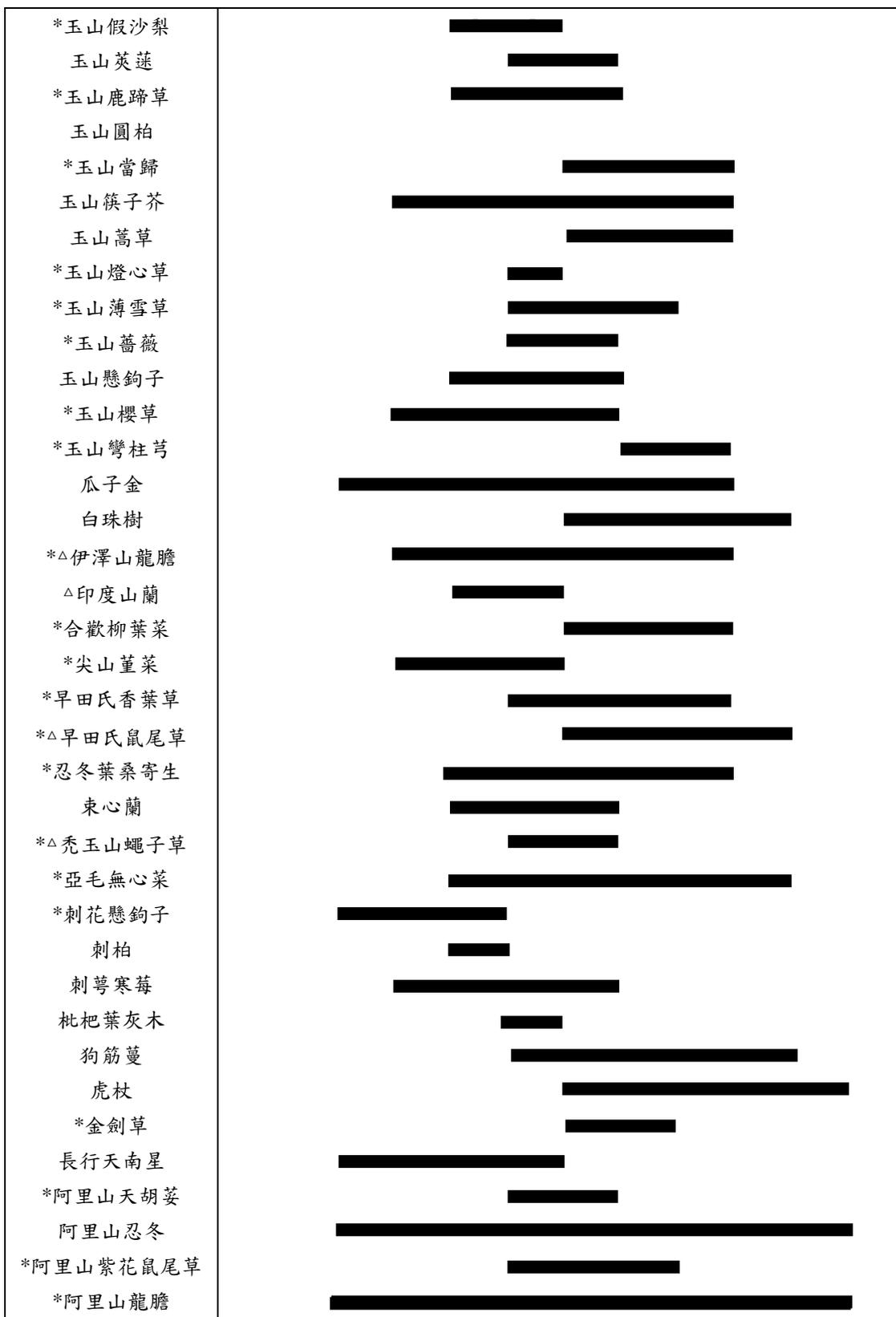


1月 2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12月

附錄 4-1. 雪山主峰線步道物後觀察之植物花候譜(續)

\*特有種, △生存危機

1月 2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12月

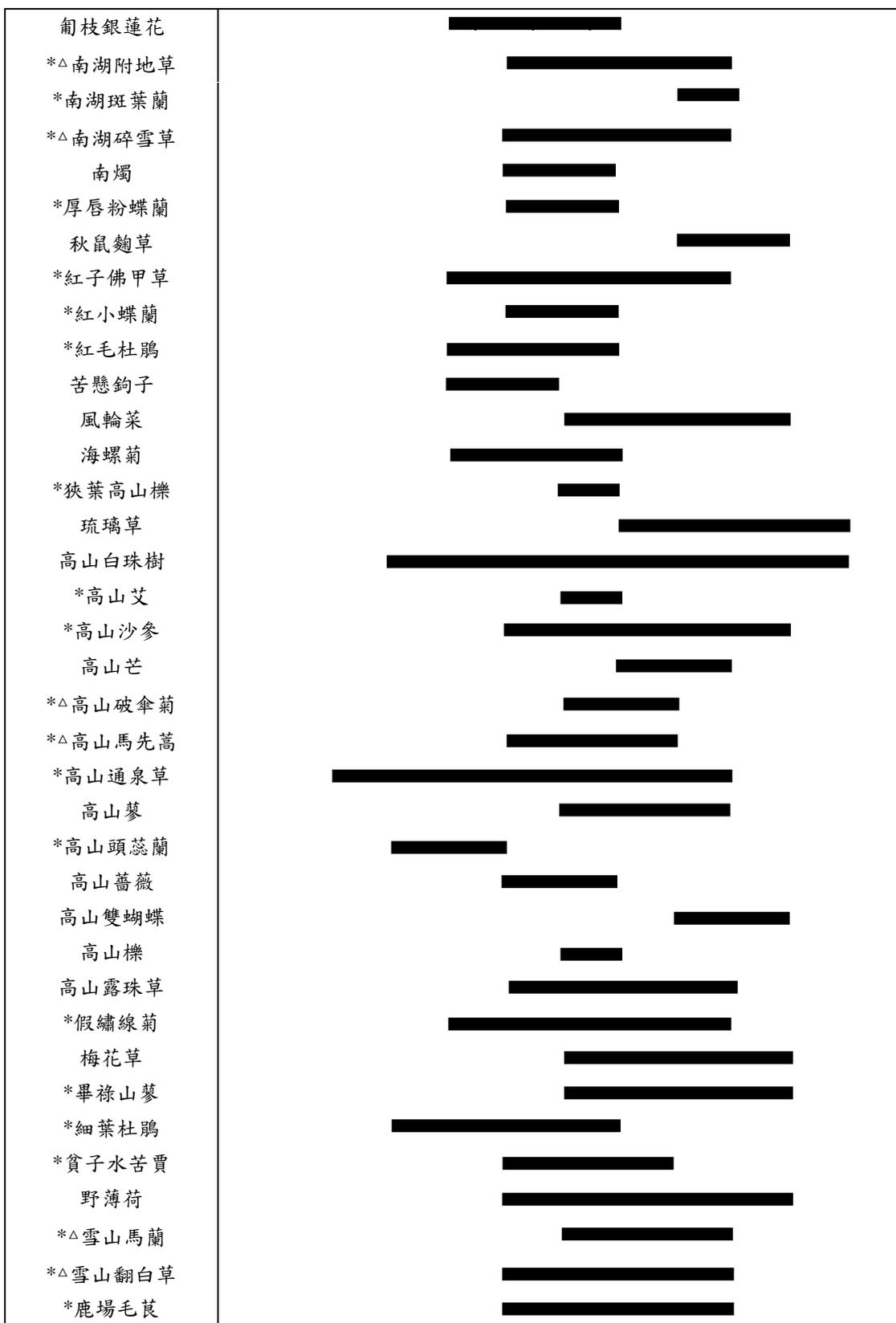


1月 2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12月

附錄 4-1. 雪山主峰線步道物後觀察之植物花候譜(續)

\*特有種, △生存危機

1月 2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12月

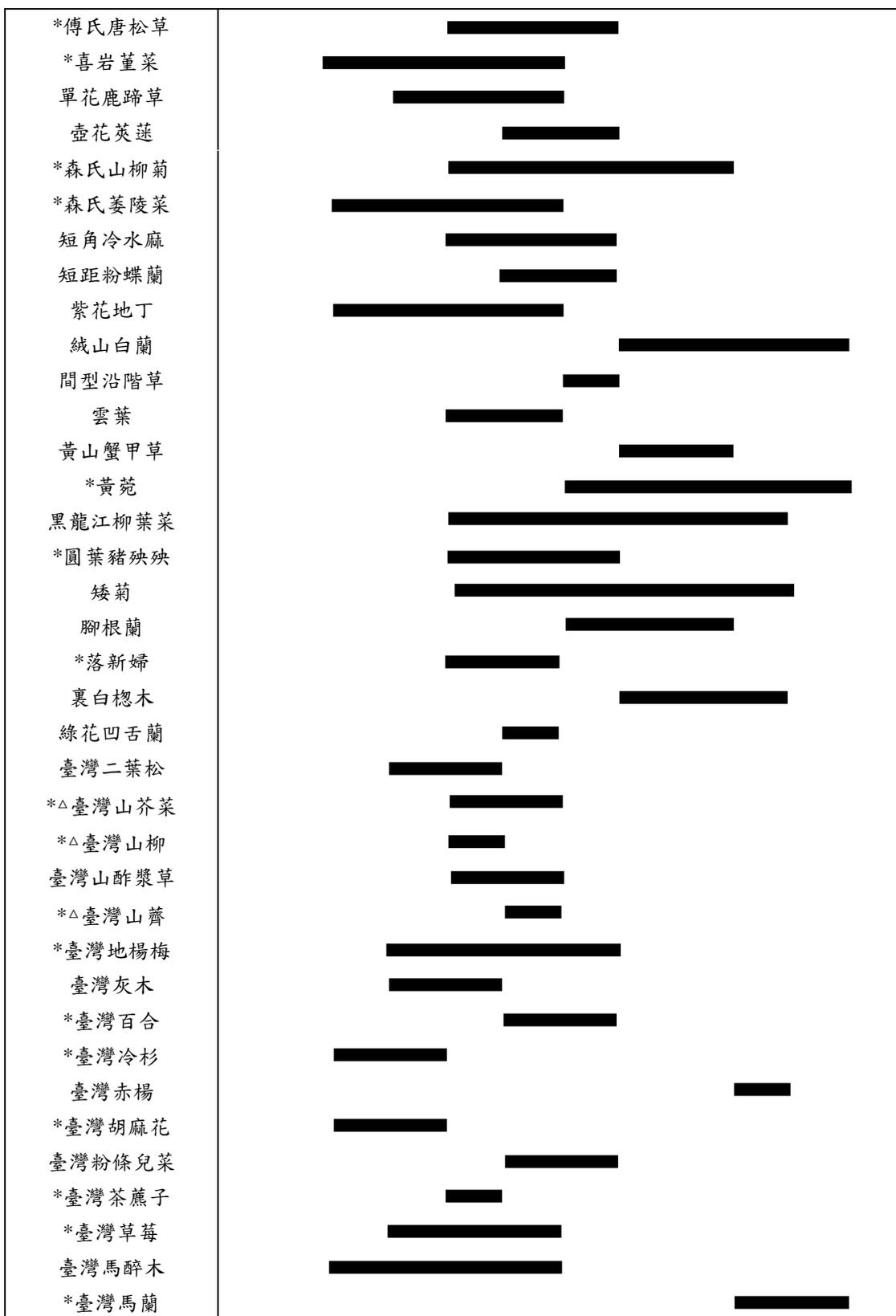


1月 2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12月

附錄 4-1. 雪山主峰線步道物後觀察之植物花候譜(續)

\*特有種, △生存危機

1月 2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12月

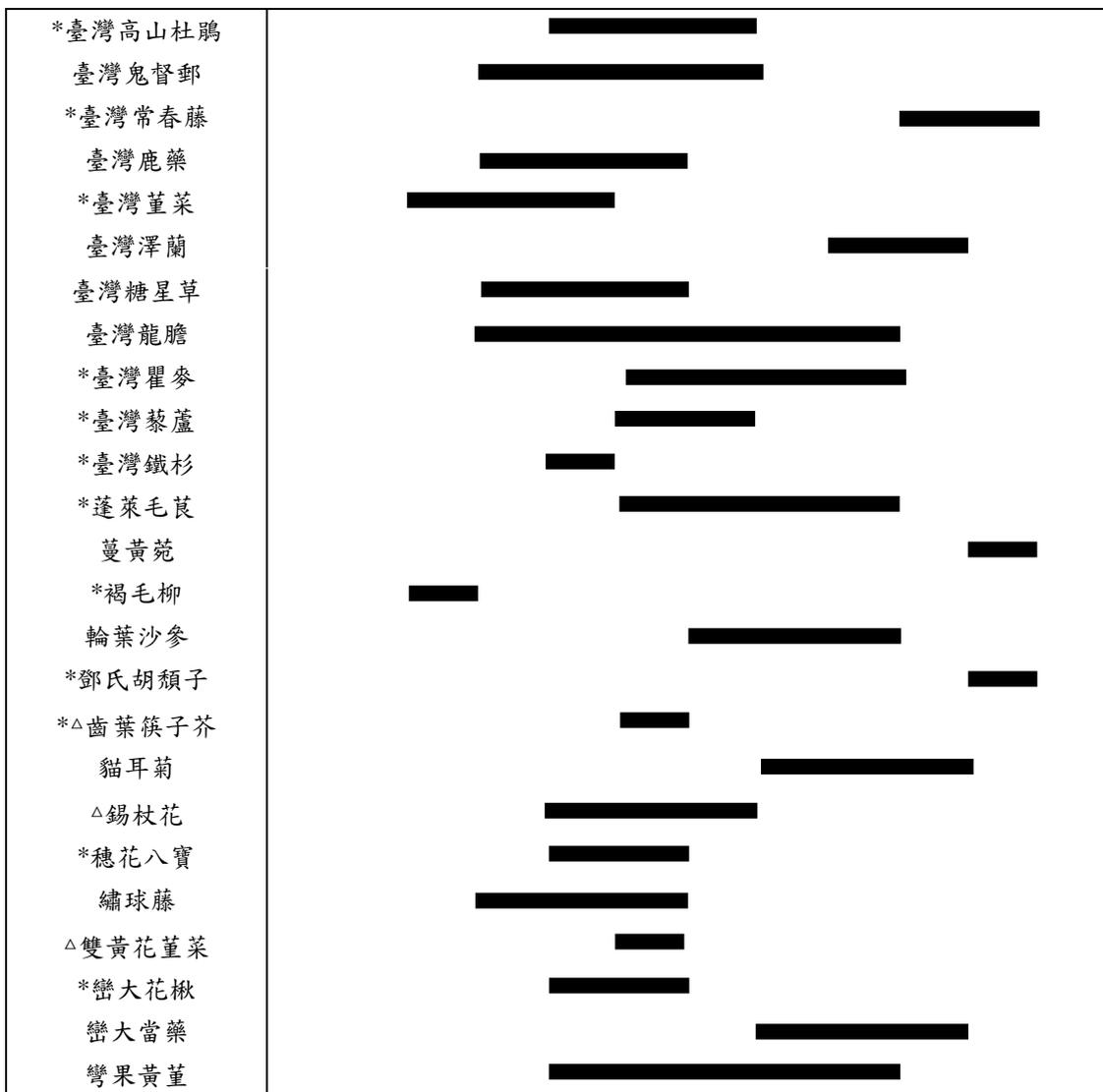


1月 2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12月

附錄 4-1. 雪山主峰線步道物後觀察之植物花候譜(續)

\*特有種, △生存危機

1月 2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12月



1月 2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12月

附錄 4-2. 雪山主峰步道沿線種子植物名錄

\*物候觀察植物

裸子植物

1. Pinaceae 松科

- \*1. *Abies kawakamii* (Hayata) Ito 臺灣冷杉
- 2. *Picea morrisonicola* Hayata 臺灣雲杉
- 3. *Pinus morrisonicola* Hayata 臺灣五葉松
- \*4. *Pinus taiwanensis* Hayata 臺灣二葉松
- \*5. *Tsuga chinensis* (Franchet) Pritz. ex Diels var. *formosana* (Hayata) Li & Keng 臺灣鐵杉

2. Cupressaceae 柏科

- 6. *Chamaecyparis formosensis* Matsum. 紅檜
- \*7. *Juniperus formosana* Hayata 刺柏
- \*8. *Juniperus squamata* Buch.-Ham. apud Lamb. 玉山圓柏

雙子葉植物

3. Myriaceae 楊梅科

- 9. *Myrica rubra* (Lour.) Sieb. & Zucc. 楊梅

4. Salicaceae 楊柳科

- \*10. *Salix fulvopubescens* Hayata 褐毛柳
- \*11. *Salix taiwanalpina* Kimura 臺灣山柳

5. Betulaceae 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  
狹葉高山櫟
- \*14. *Pasania hancei* (Benth.) Schottky var. *ternaticupula* (Hayata) Liao 三  
斗石櫟
- \*15. *Quercus spinosa* A. David ex Fr. 狹葉高山櫟

7. Urticaceae 蕁麻科

16. *Elatostema trilobulatum* (Hayata) Yamazaki 裂葉樓梯草

\*17. *Pilea aquarum* Dunn subsp. *brevicornuta* (Hayata) C. J. Chen 短角冷水麻

18. *Urtica thunbergiana* Sieb. & Zucc. 咬人貓

8. Loranthaceae 桑寄生科

\*19. *Taxillus lonicerifolius* (Hayata) Chiu var. *lonicerifolius* 忍冬葉桑寄生

9. Polygonaceae 蓼科

\*20. *Polygonum chinense* L. 火炭母草

\*21. *Polygonum filicaule* Wall. ex Meisn. 高山蓼

\*22. *Polygonum pilushanense* Liu & Ou 畢祿山蓼

\*23. *Polygonum yunnanense* Leveille 虎杖

10. Caryophyllaceae 石竹科

\*24. *Arenaria subpilosa* (Hayata) Ohwi 亞毛無心菜

\*25. *Cerastium trigynum* Vill. var. *morrisonense* (Hayata) Hayata 玉山卷耳

\*26. *Cucubalus baccifer* L. 狗筋蔓

\*27. *Dianthus pygmaeus* Hayata 玉山石竹

28. *Dianthus superbus* var. *longicalycinus* L. 長萼瞿麥

\*29. *Dianthus superbus* L. var. *taiwanensis* (Masam.) Liu & Ying 臺灣瞿麥

\*30. *Silene morrison-montana* (Hayata) Ohwi & Ohashi 禿玉山蠅子草

31. *Stellaria media* (L.) Vill. 繁縷

32. *Stellaria saxatilis* Buch.-Ham. 疏花繁縷

11. Trochodendraceae 昆欄樹科

\*33. *Trochodendron aralioides* Sieb. & Zucc. 雲葉

12. Ranunculaceae 毛茛科

34. *Aconitum fukutomei* Hayata 臺灣烏頭

\*35. *Anemone stolonifera* Maxim. 匍枝銀蓮花

36. *Clematis henryi* Oliv. 亨利氏鐵線蓮

\*37. *Clematis montana* Buch.-Ham. ex DC. 繡球藤

38. *Clematis parviloba* Gard. ex Champ. subsp. *bartlettii* (Yamamoto) Yang  
& Huang 巴氏鐵線蓮

\*39. *Ranunculus formosa-montanus* Ohwi 蓬萊毛茛

\*40. *Ranunculus taisanensis* Hayata 鹿場毛茛

\*41. *Thalictrum urbaini* Hayata 傅氏唐松草

13. Berberidaceae 小蘗科

\*42. *Berberis kawakamii* Hayata 川上氏小蘗

\*43. *Berberis morrisonensis* Hayata 玉山小蘗

14. Actinidiaceae 獼猴桃科

44. *Actinidia chinensis* Planch. var. *setosa* Li 臺灣羊桃

15. Theaceae 茶科

45. *Eurya crenatifolia* (Yamamoto) Kobuski 假柃木

46. *Eurya glaberrima* Hayata 高山柃木

47. *Eurya loquaiana* Dunn 細枝柃木

16. Clusiaceae (Guttiferae) 金絲桃科

\*48. *Hypericum nagasawai* Hayata 玉山金絲桃

17. Brassicaceae (Cruciferae) 十字花科

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

\*50. *Arabis lyrata* L. subsp. *kamtschatica* (Fisch. ex DC.) Hulten 玉山筷子芥

\*51. *Arabis serrata* Franch. & Sav. 齒葉筷子芥

\*52. *Barbarea taiwaniana* Ohwi 臺灣山芥菜

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

\*54. *Draba sekiyana* Ohwi 臺灣山薺

18. Crassulaceae 景天科

\*55. *Hylotelephium subcapitatum* (Hayata) Ohba 穗花八寶

\*56. *Sedum erythrospermum* Hayata 紅子佛甲草

\*57. *Sedum morrisonense* Hayata 玉山佛甲草

19. Saxifragaceae 虎耳草科

\*58. *Astilbe longicarpa* (Hayata) Hayata 落新婦

\*59. *Chrysosplenium hebetatum* Ohwi 大武貓兒眼睛草

\*60. *Deutzia pulchra* Vidal 大葉溲疏

61. *Hydrangea aspera* D. Don 高山藤繡球

\*62. *Hydrangea integrifolia* Hayata ex Matsum. & Hayata 大枝掛繡球

\*63. *Parnassia palustris* L. 梅花草

\*64. *Ribes formosanum* Hayata 臺灣茶藨子

20. Pittosporaceae 海桐科

65. *Pittosporum illicioides* Makino 疏果海桐

21. Rosaceae 薔薇科

66. *Cotoneaster konishii* Hayata 臺灣鋪地蜈蚣

\*67. *Fragaria hayatai* Makino 臺灣草莓

\*68. *Photinia niitakayamensis* Hayata 玉山假沙梨

\*69. *Potentilla leuconota* D. Don 玉山金梅

\*70. *Potentilla matsumurae* Th. Wolf. var. *pilosa* Koidz. 森氏萎陵菜

\*71. *Potentilla tugitakensis* Masam. 雪山翻白草

72. *Prunus transarisanensis* Hayata 阿里山櫻

\*73. *Rosa sericea* Lindl. var. *morrisonensis* (Hayata) Masam. 玉山薔薇

\*74. *Rosa transmorrisonensis* Hayata 高山薔薇

\*75. *Rubus pectinellus* Maxim. 刺萼寒莓

\*76. *Rubus pungens* Camb. var. *oldhamii* (Miq.) Maxim. 毛刺懸鉤子

\*77. *Rubus rolfei* Vidal 玉山懸鉤子

\*78. *Rubus taitoensis* Hayata var. *aculeatiflorus* (Hayata) H. Ohashi & Hsieh  
刺花懸鉤子

\*79. *Rubus trianthus* Focke 苦懸鉤子

\*80. *Sibbaldia procumbens* L. 五蕊莓

\*81. *Sorbus randaiensis* (Hayata) Koidz. 巒大花楸

\*82. *Spiraea hayatana* Li 假繡線菊

83. *Spiraea prunifolia* Sieb. & Zucc. var. *pseudoprunifolia* (Hayata) Li 笑

屬花

22. Oxalidaceae 酢醬草科

\*84. *Oxalis acetocella* L. ssp. *griffinthii* (Edgew. & Hook f.) Hara var.  
formosana (Terao) Huang & Huang 臺灣山酢漿草

\*85. *Oxalis acetocella* L. ssp. *taemoni* (Yamamoto) Huang & Huang 大霸尖  
山酢漿草

23. Geraniaceae 牻牛兒苗科

\*86. *Geranium hayatanum* Ohwi 早田氏香葉草

24. Polygalaceae 遠志科

\*87. *Polygala japonica* Houtt. 瓜子金

25. Aceraceae 槭樹科

88. *Acer morrisonense* Hayata 臺灣紅榨槭

26. Aquifoliaceae 冬青科

89. *Ilex bioritsensis* Hayata 苗栗冬青

90. *Ilex pedunculosa* Miq. 刻脈冬青

27. Celastraceae 衛矛科

91. *Celastrus kusanoi* Hayata 大葉南蛇藤

92. *Microtropis fokienensis* Dunn 福建賽衛矛

28. Rhamnaceae 鼠李科

93. *Rhamnus crenata* Sieb. & Zucc. 鈍齒鼠李

29. Thymelaeaceae 瑞香科

94. *Daphne morrisonesis* Chang 玉山瑞香

30. Elaeagnaceae 胡頹子科

\*95. *Elaeagnus thunbergii* Serv. 鄧氏胡頹子

31. Violaceae 堇菜科

- \*96. *Viola adenothrix* Hayata 喜岩堇菜
- 97. *Viola adenothrix* Hayata var. *tsugitakaensis* (Masam.) Wang & Huang 雪山堇菜
- \*98. *Viola biflora* L. 雙黃花堇菜
- \*99. *Viola formosana* Hayata 臺灣堇菜
- \*100. *Viola mandshurica* W. Becker 紫花地丁
- \*101. *Viola senzanensis* Hayata 尖山堇菜
- 102. *Viola shinchikuensis* Yamamoto 新竹堇菜

32. Onagraceae 柳葉菜科

- \*103. *Circaea alpina* L. subsp. *imaicola* (Asch. & Mag.) Kitam. 高山露珠草
- \*104. *Epilobium amurense* Hausskn. 黑龍江柳葉菜
- \*105. *Epilobium hohuanense* Ying ex Chen, Hoch & Raven 合歡柳葉菜
- 106. *Epilobium taiwanianum* Chen, Hoch & Raven 臺灣柳葉菜

33. Araliaceae 五加科

- \*107. *Aralia bipinnata* Blanco 裏白椴木
- \*108. *Hedera rhombea* (Miq.) Bean var. *formosana* (Nakai) Li 臺灣常春藤

34. Apiaceae (umbelliferae) 繖形科

- \*109. *Angelica morrisonicola* Hayata 玉山當歸
- \*110. *Conioselinum morrisonense* Hayata 玉山彎柱芎
- \*111. *Hydrocotyle setulosa* Hayata 阿里山天胡荽
- \*112. *Oreomyrrhis involucrata* Hayata 山薰香
- \*113. *Pimpinella niitakayamensis* Hayata 玉山茴芹

35. Pyrolaceae 鹿蹄草科

- \*114. *Cheilotheca humilis* (D. Don) H. Keng 水晶蘭
- 115. *Chimaphila japonica* Miq. 日本愛冬葉
- \*116. *Moneses uniflora* (L.) A. Gray 單花鹿蹄草
- \*117. *Monotropa hypopithys* L. 錫杖花
- \*118. *Pyrola morrisonensis* (Hayata) Hayata 玉山鹿蹄草

36. Ericaceae 杜鵑花科

- \*119. *Gaultheria itoana* Hayata 高山白珠樹
- 120. *Gaultheria cumingiana* Vidal 白珠樹
- \*121. *Lyonia ovalifolia* (Wall.) Drude 南燭
- \*122. *Pieris taiwanensis* Hayata 臺灣馬醉木
- \*123. *Rhododendron noriakianum* T. Suzuki 細葉杜鵑
- 124. *Rhododendron oldhamii* Maxim. 金毛杜鵑
- \*125. *Rhododendron pseudochrysanthum* Hayata 玉山杜鵑
- \*126. *Rhododendron rubropilosum* Hayata 紅毛杜鵑
- \*127. *Rhododendron rubropilosum* Hayata var. *taiwanalpinum* (Ohwi) S. Y.  
Lu, Yuen P. Yang & Y. H. Tseng 臺灣高山杜鵑
- 128. *Vaccinium bracteatum* Thunb. 米飯花
- \*129. *Vaccinium japonicum* Miq. var. *lasiostemon* Hayata 毛蕊花

37. Primulaceae 報春花科

- \*130. *Primula miyabeana* Ito & Kawakami 玉山櫻草

38. Symplocaceae 灰木科

- \*131. *Symplocos stellaris* Brand 枇杷葉灰木
- \*132. *Symplocos formosana* Brand 臺灣灰木

39. Gentianaceae 龍膽科

- \*133. *Gentiana arisanensis* Hayata 阿里山龍膽
- \*134. *Gentiana itzershanensis* T. S. Liu & Chiu C. Kuo 伊澤山龍膽
- \*135. *Gentiana davidii* Franch. var. *formosana* (Hayata) T. N. Ho 臺灣龍膽
- \*136. *Swertia macrosperma* (C. B. Clarke) C. B. Clarke 巒大當藥
- \*137. *Tripterospermum lanceolatum* (Hayata) Hara ex Satake 玉山肺形草
- \*138. *Tripterospermum luzonense* (Vidal) J. Murata 高山雙蝴蝶

40. Rubiaceae 茜草科

- \*139. *Galium formosense* Ohwi 圓葉豬殃殃
- \*140. *Rubia lanceolata* Hayata 金劍草

41. Boraginaceae 紫草科

- \*141. *Cynoglossum furcatum* Wallich 琉璃草
- \*142. *Trigonotis nankotaizanensis* (Sasaki) Masam. & Ohwi ex Masam. 南湖附地草

42. Labiatae (Lamiaceae) 唇形科

- \*143. *Clinopodium chinense* (Benth.) Kuntze 風輪菜
- \*144. *Origanum vulgare* L. 野薄荷
- \*145. *Salvia arisanensis* Hayata 阿里山紫花鼠尾草
- \*146. *Salvia hayatana* Makino ex Hayata 早田氏鼠尾草

43. Scrophulariaceae 玄參科

- \*147. *Ellisiophyllum pinnatum* (Wall. ex Benth.) Makino 海螺菊
- \*148. *Euphrasia nankotaizanensis* Yamamoto 南湖碎雪草
- \*149. *Euphrasia transmorrisonensis* Hayata 玉山小米草
- 150. *Hemiphragma heterophyllum* Wall. 異葉紅珠
- \*151. *Mazus alpinus* Masam. 高山通泉草
- \*152. *Pedicularis ikomai* Sasaki 高山馬先蒿
- \*153. *Pedicularis verticillata* L. 玉山蒿草
- \*154. *Veronica morrisonicola* Hayata 玉山水苦賈
- \*155. *Veronica oligosperma* Hayata 貧子水苦賈
- 156. *Veronica taiwanica* Yamazaki 臺灣水苦賈

44. Plantaginaceae 車前科

- 157. *Plantago major* L. 大車前草

45. Caprifoliaceae 忍冬科

- \*158. *Lonicera acuminata* Wall. 阿里山忍冬
- \*159. *Lonicera kawakamii* (Hayata) Masam. 川上氏忍冬
- \*160. *Viburnum foetidum* Wall. var. *rectangulatum* (Graebner) Rehder 太平山莢蒾
- 161. *Viburnum parvifolium* Hayata 小葉莢蒾
- \*162. *Viburnum betulifolium* Batal. 玉山莢蒾
- \*163. *Viburnum urceolatum* Sieb. et Zucc. 壺花莢蒾

46. Valerianaceae 敗醬科

- \*164. *Triplostegia glandulifera* Wall. 三萼花草

47. Dipsacaceae 續斷科

- \*165. *Scabiosa lacerifolia* Hayata 玉山山蘿蔔

48. Campanulaceae 桔梗科

166. *Adenophora morrisonensis* Hayata 玉山沙參

- \*167. *Adenophora morrisonensis* Hayata subsp. *uehatae* (Yamamoto)  
Lammers 高山沙參

- \*168. *Adenophora triphylla* (Thunb.) A. DC. 輪葉沙參

169. *Codonopsis kawakamii* Hayata 玉山山奶草

170. *Lobelia nummularia* Lam. 普刺特草

- \*171. *Peracarpa carnosus* (Wall.) Hook. f. & Thomson 山桔梗

49. Asteraceae (Compositae) 菊科

- \*172. *Ainsliaea latifolia* (D. Don) Sch. Bip. subsp. *henryi* (Diels) H. Koyama  
臺灣鬼督郵

- \*173. *Anaphalis nepalensis* (Spreng.) Hand.-Mazz. 尼泊爾籟簫

- \*174. *Anaphalis morrisonicola* Hayata 玉山抱莖籟簫

- \*175. *Artemisia kawakamii* Hayata 山艾

- \*176. *Artemisia oligocarpa* Hayata 高山艾

177. *Artemisia indica* Willd. 艾

178. *Artemisia tsugitakaensis* (Kitam.) Ling & Y. R. Ling 雪山艾

- \*179. *Aster lasiocladus* Hayata 絨山白蘭

- \*180. *Aster taiwanensis* Kitam. 臺灣馬蘭

- \*181. *Aster takasagomontanus* Sasaki 雪山馬蘭

182. *Carpesium nepalense* Less. 黃金珠

183. *Cirsium arisanense* Kitam. 阿里山薊

- \*184. *Cirsium kawakamii* Hayata 川上氏薊

185. *Conyza sumatrensis* (Retz.) Walker 野苧蒿

- \*186. *Erigeron morrisonensis* Hayata var. *morrisonensis* 玉山飛蓬

- \*187. *Eupatorium formosanum* Hayata 臺灣澤蘭

- \*188. *Gnaphalium hypoleucum* DC. 秋鼠麴草
- \*189. *Hieracium morii* Hayata 森氏山柳菊
- \*190. *Leontopodium microphyllum* Hayata 玉山薄雪草
- \*191. *Myriactis humilis* Merr. 矮菊
- \*192. *Picris hieracioides* L. subsp. *morrisonensis* (Hayata) Kitam. 玉山毛蓮菜
- \*193. *Senecio morrisonensis* Hayata 玉山黃菀
- \*194. *Senecio nemorensis* L. var. *dentatus* (Kitam.) H. Koyama 黃菀
- \*195. *Senecio scandens* Buch.-Ham. ex D. Don 蔓黃菀
- \*196. *Solidago virgaurea* L. var. *leiocarpa* (Benth.) A. Gray 一枝黃花
- \*197. *Syneilesis subglabrata* (Yamamoto & Sasaki) Kitam. 高山破傘菊
- \*198. *Hypochaeris radicata* L. 貓耳菊
- \*199. *Ixeridium laevigatum* (Blume) J. H. Pak & Kawano 刀傷草
- \*200. *Parasenecio hwangshanicus* (Ling) C.-I Peng & S. W. Chung 黃山蟹甲草

單子葉植物

50. Liliaceae 百合科

- \*201. *Aletris formosana* (Hayata) Sasaki 臺灣粉條兒菜
- \*202. *Aletris spicata* Thunb. 束心蘭
- \*203. *Lilium formosanum* Wallace 臺灣百合
- \*204. *Ophiopogon intermedius* D. Don 間型沿階草
- \*205. *Veratrum formosanum* O. Loes. 臺灣藜蘆
- 206. *Veratrum shueshanarum* S. S. Ying 雪山藜蘆
- \*207. *Helonias umbellata* (Baker) N. Tanaka 臺灣胡麻花
- \*208. *Maianthemum formosanum* (Hayata) LaFrankie 臺灣鹿藥

51. Smilacaceae 菝葜科

- 209. *Smilax arisanensis* Hayata 阿里山菝葜
- 210. *Smilax china* L. 菝葜
- 211. *Smilax elongato-umbellata* Hayata 細葉菝葜
- 212. *Smilax menispermoidea* A. DC. 巒大菝葜
- 213. *Smilax vaginata* Decaisne 玉山菝葜

52. Juncaceae 燈心草科

- \*214. *Juncus triflorus* Ohwi 玉山燈心草
- \*215. *Luzula effusa* Buchen. 中國地楊梅
- \*216. *Luzula plumosa* E. Meyer 臺灣糖星草
- \*217. *Luzula taiwaniana* Satake 臺灣地楊梅

53. Cyperaceae 莎草科

- 218. *Carex atrata* L. 南湖扁果薹
- 219. *Carex breviculmis* R. Br. 短莖宿柱薹
- 220. *Carex brunnea* Thunb. 束草
- 221. *Carex chrysolepis* Franch. & Sav. 黃花薹
- 222. *Carex filicina* Nees 紅鞘薹
- 223. *Carex nubigena* D. Don ex Tilloch & Taylor 聚生穗序薹
- 224. *Trichophorum subcapitatum* (Thwaites & Hook.) D. A. Simpson 玉山  
針蘭

54. Gramineae (Poaceae) 禾本科

- 225. *Agrostis clavata* Trin. 翦股穎
- 226. *Agrostis infirma* Buse 玉山翦股穎
- 227. *Brachypodium kawakamii* Hayata 川上氏短柄草
- 228. *Brachypodium sylvaticum* (Huds.) P. Beauv. 基隆短柄草
- 229. *Bromus catharticus* Vahl 大扁雀麥
- 230. *Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv. var. *festucifolia* Honda 髮草
- 231. *Deschampsia flexuosa* (L.) Trin. 曲芒髮草
- 232. *Festuca ovina* L. 羊茅
- \*233. *Miscanthus sinensis* Andersson 高山芒
- 234. *Phleum alpinum* L. 高山梯牧草
- 235. *Poa acroleuca* Steud. 白頂早熟禾
- 236. *Poa annua* L. 早熟禾
- 237. *Yushania niitakayamensis* (Hayata) Keng f. 玉山箭竹
- 238. *Aniselytron treutleri* (Kuntze) Sojak 溝稈草

55. Araceae 天南星科

- \*239. *Arisaema consanguineum* Schott 長行天南星

240. *Arisaema formosanum* (Hayata) Hayata 臺灣天南星

56. Orchidaceae 蘭科

\*241. *Cephalanthera alpicola* Fukuy. 高山頭蕊蘭

\*242. *Coeloglossum viride* (L.) Hartm. 綠花凹舌蘭

\*243. *Goodyera nankoensis* Fukuy. 南湖斑葉蘭

\*244. *Herminium lanceum* (Thunb. ex Sm.) Vuijk 腳根蘭

\*245. *Oreorchis indica* Hook. f. 印度山蘭

\*246. *Platanthera brevicealcarata* Hayata 短距粉蝶蘭

\*247. *Platanthera mandarinorum* Reichb. f. subsp. *pachyglossa* (Hayata) T. P.

Lin 厚唇粉蝶蘭

\*248. *Ponerorchis kiraishiensis* (Hayata) Ohwi 紅小蝶蘭

249. *Vexillabium yakushimense* (Yamam.) Maek. 紫葉旗唇蘭

## 第五章 雪山地區高山生態系植群結構研究

曾喜育、蔡尚惠、賴國祥、王偉、呂金誠

國立中興大學森林學系、環球技術學院環境資源管理系

### 摘要

關鍵詞：高山生態系、植群結構、垂直結構、水平結構、Ripley K 函數

#### 一、研究緣起與背景

全球各類型陸地生態系中以高山生態系最能明顯地反映出氣候變遷之影響，其環境主要由低溫、強度太陽輻射、強風等氣象因子造成，與極地生態環境類似。臺灣 3,000 m 以上的高山地區，特有種植物比例將近 50%，且多為冰河子遺物種。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多樣植物社會，動、植物資源迥異於其它生態系。

#### 二、研究方法及過程

於雪山地區分別於圈谷地區、黑森林界線以及黑森林內設立不同之樣線及樣區，並以GPS將樣區定位。在樣區內針對木本植物進行調查，凡植株高於1.3 m及胸高直徑>1 cm者，視為上層，調查項目包括：植物種類、胸徑、植株高度、枝下高、植株相對位置，並對區內之樹木加以編號及標定，以作為後續植群變遷監測之用。胸徑不足1 cm之臺灣冷杉小苗標記為樹苗，記錄小區內冷杉樹苗之數量及植株相對位置，並量測其高度與地徑。針對樣區收集之植株胸徑資料以3-5 cm為一徑級劃分胸徑級，將各胸徑級以平面圖繪製成座標圖，以探討各胸徑級樣株之關係以及族群聚落分布之情形，並以各徑級之株數矩陣繪製長條圖及樹形圖，以瞭解樣帶中各植群帶更新情況。空間結構分析則利用樣區調查之植株座標之訊息，利用Ripley K對樣區內之臺灣冷杉進行點配置分析(point pattern analysis)，以了解樣區內各徑級是否有聚集、均勻或隨機分布之趨勢，亦可用以分析各徑級間彼此之關係。

### 三、重要發現

藉由 Latham *et al.* (1998) 所提出之 TSTRAT 樹冠層高層分析法，可將 SPA1 之樹冠層高層分為 6 個層級，第一層級及第二層之樹冠層高層多為各族群之稚樹或為匍匐後形成之分枝，其數量相對較少，樣區的分布範圍也較其他層級狹隘，第三層及第四層之樹冠層高層則廣泛的分布樣區，且於樣區中心位置有較大之樹冠幅面積，第五層及第六層之樹冠層高層則分布於該樣區之左側及右側，樹冠幅面積都相較其他樹冠層高層大。競爭指數與 SPA-1 樣區內之各生態指數皆呈顯著負相關，表示個體地徑越大、樹冠幅越大或樹高越高即所受到的競爭壓力相對較低，且兩主要植物族群中玉山杜鵑所受到的競爭壓力較玉山圓柏族群較高。SPA1 之全部植物社會之族群分布模式於近 2 m 前為逢機分布，在約 2-3m 處、以及 5-13 m 的空間尺度呈現群聚分布，而在空間尺度大於 13 m 時，各族群之族群分布模式為逢機分布；再將 SPA-1 樣區內主要植物組成各別分析，結果顯示(圖 5-3 及 5-4)，玉山杜鵑由小尺度至大尺度(19 m)都呈現群聚分布，至 19 m 後為逢機分布，而玉山圓柏則是在 1 m 前呈逢機分布，1-8 m 之空間尺度呈現群聚分布，而後又為逢機分布。

3 條樹木界線穿越樣區之臺灣冷杉族群之生態介量相關性分析顯示臺灣冷杉之胸高直徑與其他生態介量之相關性明顯變高，尤其是與樹高部分，而樹冠幅面積亦與各參數有較高之相關性。透過 3D 散佈圖及 Ripley K 函數進行各族群之分布模式分析，結果顯示全部植物社會的族群分布模式多為逢機分布，僅第三條穿越線樣區於較小尺度有近均勻分布，另外針對臺灣冷杉植物社會將其植株資料另外製圖，結果與全部植物社會之分布模式相似，僅第二條穿越線樣區在中尺度後 (>1.8 m) 分布模式皆為群聚分布，而第三條穿越線樣區在小尺度時仍傾向均勻分布。

臺灣冷杉植物社會之生態介量之相關性結果顯示兩組被層以蘚苔為優勢之地被其生態介量彼此之相關性較地被層以玉山箭竹為主要組成的臺灣冷杉林高。以胸高直徑及競爭指數作圖結果顯示，各區之競爭皆隨胸高直徑上升而有下降的趨勢，而以樹冠幅投影面積及競爭指數作圖結果亦有相似的結果，然在部分地區仍有差異。4 個黑森林之臺灣冷杉植物社會利用 TSTRAT 樹冠層高層分析法，並利用群集分析法交叉比較並探討其植

物社會於垂直結構上之特性，結果顯示，2 個分析方式結果有相當大的差異，誤劃率皆達 90 % 以上，而樹高的變異率可發現 Abies1 和 Abies3 及 Abies5 和 Abies6 形成兩個不同的群集，尤其在樹冠長度之變異率更為明顯，Abies1 和 Abies3 臺灣冷杉植物社會之各項垂直結構指標都明顯高於 Abies5 和 Abies6 臺灣冷杉植物社會。各垂直結構指標與喬木層及地被層豐多度，以相關分析顯示各垂直結構指標多有顯著之相關性，各垂直結構指標與兩層級之豐多度並無著相關性，雖地被層豐多度與各垂直結構指標多呈負相關，然未達顯著水準，喬木層豐多度與各垂直結構指標皆呈正相關，亦未達顯著水準。Ripley K 函數結果顯示，多數的臺灣冷杉樣區之全部植物社會在較小之空間尺度時，呈現群聚分布，若干距離後進入較大之空間尺度後，族群分布模式隨即由群聚分布轉為逢機分布，其中 Abies 6 樣區之族群分布模式僅在空間尺度 1 m 時有趨近群聚分布之趨勢，其他空間尺度則皆為逢機分布。

比較三個不同之植物社會之垂直及水平結構特徵，可揭示個結構特徵之意涵及其異同處，並針對雪山高海拔地區之優勢物種臺灣冷杉另外分析，可提供不同面向的資料解讀高山植物社會之結構特徵。

#### 四、主要建議事項

##### (一) 立即可行建議

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：

由黑森林進入圈谷之推移帶形成林木界線，其優勢組成為臺灣冷杉、玉山圓柏，生長型態開始由喬木狀轉換成矮盤灌叢，樹種亦轉換成玉山圓柏、玉山杜鵑為優勢。目前完成此推移帶之地面調查，未來藉由不同年度之航空照片、衛星遙測影像等資料，結合地理資訊系統(GIS)，可供作長期氣候變遷下林木界線變動之推估。

## Abstract

【Keywords】 Alpine ecosystem, vegetation structure, vertical structure, horizontal structure, Ripley K function

Alpine ecosystems is the world's various types of terrestrial ecosystems most clearly reflects the impact of climate change. The environment of alpine ecosystem is primarily composed by low temperature, intensity of solar radiation, strong winds and other meteorological factors, and similar to the polar ecological environment. *Abies kawakamii* is the dominant plant community in the passage of the rear of the 369 Lodge in Mt. shei. We established two hectares ( $100 \times 200 \text{ m}^2$ ) permanent plots within the designated 200 subplot. Woody plants in the sample areas for investigation, which the plant was higher than 1.3 m and diameter at breast height > 1 cm were regarded as the overstory, the survey included: plant species, diameter, plant height, branch height, plant the relative position and number and calibration of the trees of the region as a follow-up vegetation change detection. In the analysis part, we used TSTRAT and Ripley K function to realize the structure of vegetation in the different study area. Comparison of three different plant communities, the vertical and horizontal structure can reveal the meaning of the similarities and differences. Aanalysis for *A. kawakamii* the dominant species at high altitudes in the Mt. shei providing vary information relating to different aspects of interpretation to alpine plant structural characteristics. The population structure of *A. kawakamii* populations would be compiled in order to have more evidence and an objective point of view in the final report.

## 一、研究緣起與背景

全球各類型陸地生態系中以高山生態系(alpine ecosystem; high mountain ecosystem)最能明顯地反映出氣候變遷之影響，其環境主要由低溫、強度太陽輻射、強風等氣象因子造成，與極地生態環境類似(Körner, 2003)。因此學者在使用高山生態系名詞時，除“high mountain ecosystem”，亦使用“alpine ecosystem”一詞(Körner, 2003)。“alpine”字義源自於阿爾卑斯山脈(Alps)，現多使用在高緯度及高海拔地區中，受長期穩定氣候影響下，從山區鬱閉森林(montane closed forest)上限到永久冰雪帶地區(nival belt)推移帶(ecotone)(Körner, 2003; Holtmeier, 2003)。

臺灣 3,000 m 以上的高山地區，特有種植物比例將近 50 %，且多為冰河孑遺物種(Hsieh, 2003)。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多樣植物社會，動、植物資源迥異於其它生態系。自 1932 年鹿野忠雄公開發表臺灣第一篇高山冰河論文後，雪山一直是許多研究學者所關注區域，極需進行調查及長期監測(楊建夫，2006)。雪山地區高山生態系的生活型譜反映在植群形相與結構組成的分化(曾喜育和蔡尚惠，2009)，海拔 3,000 m 以上地區主要由 3 種植物社會組成，一是以臺灣冷杉為優勢之森林植物社會，伴生玉山圓柏、玉山杜鵑、巒大花楸等喬木；其二是分布在臺灣冷杉林之上的玉山圓柏與玉山杜鵑為優勢的灌叢植物社會；其三是主要分布在嶺線上，鑲嵌在臺灣冷杉林間，由玉山箭竹(*Yushania niitakayamensis*) 與高山芒(*Miscanthus transmorrisonensis*)組成的灌叢草本植物社會(呂金誠，1999；歐辰雄等，2006、2007；邱清安，2006；王偉等，2011)。其中玉山箭竹、高山芒之灌叢草生地和臺灣冷杉林，因火燒干擾常形成明顯推移帶(ecotone)，兩個植物社會形成競爭的動態推移。

## 二、前人研究

### (一)族群結構

在一樹木族群中，各種年齡或齡級與出現株數之分布關係，稱為族群結構(population structure)，通常以齡級與各齡級出現之密度標示於座標圖中，稱為齡級分布圖；用以表示族群動態(population dynamic)預測該族群過去與未來之消長情形、天然更新之狀態，故為森林演替研究方法之一(劉崇瑞、蘇鴻傑，1983)。黃群修(1994)於雪山主峰東稜之北向坡面上的臺灣冷杉純林為研究對象，針對0.32及0.16 ha面積之2個集結樣區，藉由林型組成、族群結構，顯示臺灣冷杉族群的徑級頻度分布為近似反J形曲線。

### (二)垂直結構

為了解植物社會演替的脈絡，由於森林有垂直結構屬性，將林木樹高及樹冠結構差異加以分層，而層次劃分方法甚多，樹冠層因物種組成及森林環境變化，所呈現之森林冠層垂直結構亦有所差異。Beard(1946)利用樹冠剖面圖(profile diagram)來描述美洲熱帶雨林的結構特徵；Baker and Wilson(2000)利用樹冠剖面圖探討熱帶與溫帶森林冠層，結果得知熱帶森林樹冠層次數多於溫帶森林冠層。Miyadokoro *et al.*(2003)以垂直分層方法分析森林林分結構，以了解森林演替過程。Latham *et al.*(1998)提出TSTRAT模式來界定森林層次，其所採用標準(圖5-1)：選擇植株高度最高，假如同高則選擇樹冠長度最長者之林木，將其：樹冠長度 $\times 40\%$ +枝下高的高度，為分層切割點(cut-off height)，切割點以上林木屬同一層(S1)，緊接第二層(S2)劃分在將其於林木中在挑其其最高者，續依照以上方式劃分，直到上層所有植株都納入各層為止，試圖利用森林特有之垂直結構加以分層，依照林分內不同垂直樹冠之層次，來定義林分不同之「發展階段」。許俊凱(2006)和呂金誠(2006)利用TSTRAT模式森林分層方法，分別在臺灣中部中海拔天然闊葉樹森林及雪山翠池玉山圓柏林進行研究，結果得知垂直結構在演替過程中會有所變化，於幼苗時期林分垂直結構不明顯，如冠層、徑級、高度級及林間層分化，在森林演替的過程中，林分垂直結構的變化是由單層次向層次複雜的方向發展，直到上層高大的樹冠形成才逐漸趨於穩定。

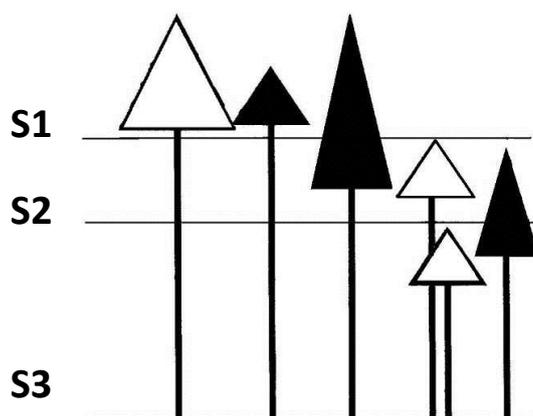


圖 5-1. 林冠分層示意圖。

(資料來源：Latham *et al.*, 1998)

### (三)水平結構

不同植物群落的空間分布型態展現森林水平結構的多型性，而植物族群在空間分布上主要包含三種類型，分別為隨機形式(random pattern)、聚集形式(aggregated pattern)及均勻分布(regular pattern)(Heltshe and Ritchey, 1984)(圖5-2)。

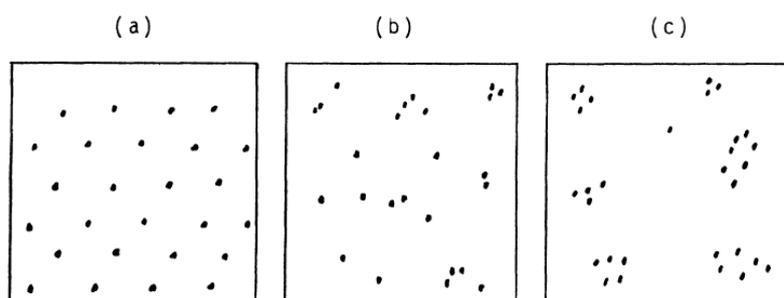


圖 5-2. 三種空間分布類型。(a)均勻形式；(b)隨機形式；(c)聚集形式。

(資料來源：Heltshe and Ritchey, 1984)

#### 1.隨機形式

係指族群個體的分布間並無關係，且每個個體的出現都有同等機會，無關於其他個體是否已經存在。其位置是由與確定其他個體的位置無關的那些因素所決定。現有的研究說明了隨機分布很少出現現實森林之中。這是因為生育地環境條件的均勻一致，很少能在較大的空間範圍內出現。只有在環境因子在水平空間的分配位於許多種的生態幅之內，但對它們的作用程度都近似相等時，又環境極端惡劣時，或者某一主導因素成隨機分布時，才會引起族群的隨機分布。然而，較大的空間範圍，生育地環境的異

質性較顯著，而在小面積上生育地環境因子的均勻性較易滿足。

## 2. 聚集形式

亦稱集群分布 (contagious distribution)、聚集分布 (aggregated distribution) 或超常態分布 (hyperdistribution, verydispersion)。其顯著特徵是族群個體成群、成塊地密集分布，各群的大小、群間的距離、群內個體的密度都不相等，但各群內多是隨機分布。自然情況下，植物族群個體常呈現出集群分布。集群分布型態的成因主要為：種子傳播距離的有限性，由於重力作用下，降落在母樹周圍的種子萌發後產生簇生的幼株群；再者營養繁殖的植物通過根莖從母株蔓延開去，形成植群的簇生現象，此種類分布形態實為「形態之分布」(morphological pattern) (Ludwig and Renolds, 1988)。

## 3. 均勻形式

亦稱低常態分布 (hypodispersion、underdistribution) 或負集群分布 (negative contagious distribution)，該類型指族群個體在水平空間內的分布是均勻等距的。所有取樣單元中接近平均株數的單元最多，密度極大和極小的情形很少。大多數研究結果顯示，在自然族群中均勻分布極為少見。但由於種內個體對某一有限環境資源的競爭、毒他作用 (allelopathy)，或自毒現象 (autotoxin) 等原因，也會引起某一族群的均勻分布。

生物族群空間分布是指生物族群與環境之間的相互影響、互相作用而形成的時空配置，包括族群的生長過程、族群大小、分布形式及其伴生物種等。一個物種是隨機分布，表示環境的同質性或非選擇性的行為分布；而非隨機性的分布意味著一些因素迫使物種以某種方式存在。集落分布指個體聚集於生育地環境相對適宜的部分，均勻分布是個體之間負的相互作用。主要原因族群分布的型態不僅在規模上不同，而且在強度上、地理區域上也有不同，其為物種族群內再和外部因素長期相互作用的結果。

一般而言，演替的過程從初期到後期，植物群落的空間分布型態，會由集落分布趨於隨機分布的發展方向(彭少麟，1996)。在臺灣雲杉(*Picea morrisonicola* Hay.) 不同發育階段之族群空間分布之聚集強度的研究中，顯示小徑木的空間分布呈現聚集狀態，聚集程度較高，其次為中徑木之空間分布依然是集落分布，小徑木之聚集強度 > 中徑木之聚集強度，而大徑木

之聚集強度很小，較接近隨機分布(劉淑芬，1988)。

Wolf(2005)於1948年至2005年觀察丹麥日德蘭半島(Jutland, Denmark)西南方混生落葉林，發現其空間分布型態會隨時間並依密度不同而改變，即隨著林分內樹種的死亡及幼苗的補充，會有所波動，可能由集落分布轉成隨機分布的型態，亦有可能由隨機分布轉成集落分布的型態。胡喜生等(2006)針對不同演替階段木荷(*Schima superba* var. *superba*)幼苗之空間分布，發現均呈現集落分布。

為將樣區中各種植物之植株量化作為後續分析之探討，不少學者提出以點形態分析(Point pattern analysis, PPA)(Gatrell *et al.*, 1996)之 Ripley's K 函數進行分析(Ripely, 1977)，該函數之概念是假以植物個體坐標(位置)為基礎，考慮樣區內以某一點為圓心，以一定長度  $r$  為半徑圓內的植物個體數目之函數，分析任何尺度下空間分布情形，是目前分析族群空間分布最常用的方法，然其計算方式及函數經過許多學者的修正，以適用各種類型之試驗設計(Besag, 1977; Duncan and Stewart, 1991; Camarero *et al.*, 2000)。Camarero *et al.*(2000)利用 Ripley's  $K(t)$  函數計算二維尺度下樹木之間彼此的距離，藉以探討亞高山森林-高山草原推移帶之樹種空間分布型態。趙安玖等(2008)以中國川西南亞熱帶常綠落葉闊葉林為研究對象，應用 Ripley's K 函數模擬森林內不同族群和樹種的垂直空間分布特徵；結果顯示，在各垂直結構分層下，不同樹種在每個空間格局都存在多個尺度轉折點，表示與林分內部結構與外部環境有密切的關係。

### 三、材料與方法

#### (一)樣區設置

本研究擬定以下樣區設置及調查項目：

1. 於雪山地區分別於圈谷地區(40\*50 m<sup>2</sup>)(X=273961, Y=2698080)、黑森林界線(10\*50 m<sup>2</sup>)(圖5-3)以及黑森林內(40\*50 m<sup>2</sup>)設立不同之樣線及樣區，並以GPS將樣區定位
2. 在樣區內針對木本植物進行調查，凡植株高於1.3 m及胸高直徑>1 cm者，視為上層，調查項目包括：植物種類、胸徑、植株高度、枝下高、植株相對位置，並對區內之樹木加以編號及標定，以作為後續植群變遷監測之用。
3. 胸徑不足1 cm之臺灣冷杉小苗標記為樹苗，記錄小區內冷杉樹苗之數量及植株相對位置，並量測其高度與地徑。

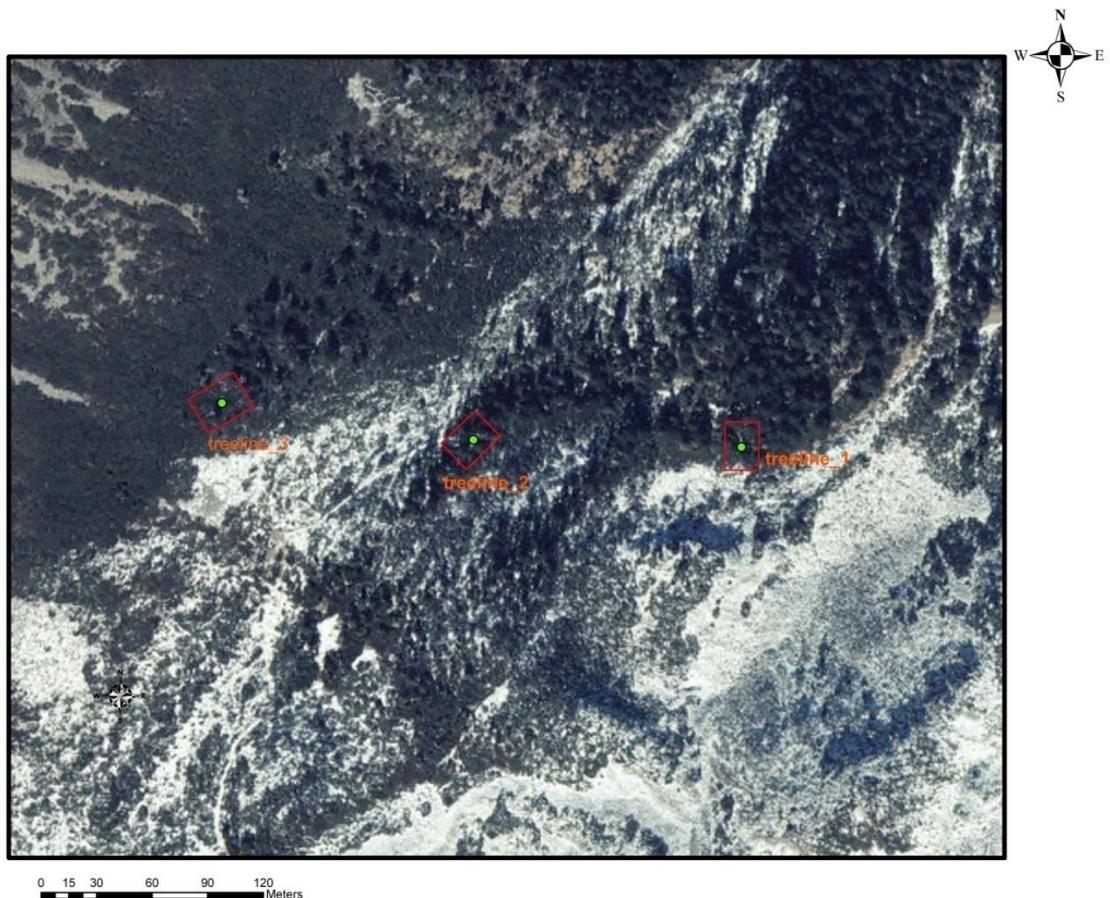


圖5-3 本研究樹木界線推移帶樣區(T1-T3)位置圖。

(參考來源：本研究資料)

## (二)植群結構

針對樣區收集之植株胸徑資料以3-5 cm為一徑級劃分胸徑級，將各胸徑級以平面圖繪製成座標圖，以探討各胸徑級樣株之關係以及族群聚落分布之情形，並以各徑級之株數矩陣繪製長條圖及樹形圖，以瞭解樣帶中各植群帶更新情況。空間結構分析則利用樣區調查之植株座標之訊息，利用Ripley K(Ripley, 1976)對樣區內之臺灣冷杉進行點配置分析(point pattern analysis)，以了解樣區內各徑級是否有聚集、均勻或隨機分布之趨勢，亦可用以分析各徑級間彼此之關係。

## (三)競爭指數

競爭指數於早期發展時多應用於林分改良經營層面，且分析技術及電腦尚未普及，因此將競爭作用量化的方式多是根據樹冠幅或是底面積以推估植株間之競爭關係(Shi and Zhang, 2003)，而後開始有生態學者考慮到植株間的距離亦對競爭作用有相當之影響力，Hegyi (1974) 提出的競爭指數即納入了植株之胸高直徑及植株間的距離作為計算，其計算公式如下：

$$CI_i = \sum_{j=1}^n D_j D_i^{-1} L_{ij}^{-1}$$

CI<sub>i</sub>：第i株植株的競爭指數

D<sub>j</sub>：競爭木之胸高直徑

D<sub>i</sub>：對象木之胸高直徑

L<sub>ij</sub>：對象木與競爭木間的距離

此值之高低代表對象木受其他競爭木之競爭壓力大小，後續許多學者皆以此作為基礎，根據不同的研究材料而有所變化(喻泓等，2009)；而在競爭木的選取上，是以對象木為中心畫圓，該圓之半徑表示該對象木可影響鄰近植株之範圍。多數族群生態研究之競爭指數搜索半徑需視實驗材料決定，如Filipescu and Comeau(2007)於加拿大同齡林研究結果推薦當對象木之胸高直徑小於8 cm時當採用3.04 m之搜索半徑，當對象木之胸高直徑為8-16 cm時當採用3.99 m之搜索半徑，推斷單株影響範圍仍需再作進一步的分析方能獲得較為客觀且合理的距離，因此本研究Ripley K函數之結果並參考Filipescu and Comeau(2007)的建議。

#### 四、結果與討論

本研究以SPA-1樣區、3個樹木界線及7個黑森林冷杉族群樣區分述，各區域之植群結構組成，其中包含水平冠幅之水平分布及樹高高層之垂直分布。

##### (一)矮盤灌叢植群

SPA-1樣區位於雪山圈谷底部，屬玉山圓柏-玉山杜鵑矮盤灌叢植物社會(圖5-4)，因冬季長期積雪及受強風影響，本區木本植物呈匍匐狀。由於玉山圓柏及玉山杜鵑生長交錯，量測樣區內部各植株樹冠幅及樹高，以ArcGIS9.0軟體數化計算樹冠幅面積(圖5-5)。藉由Latham *et al.* (1998) 所提出之TSTRAT樹冠層高層分析法，可將本區之樹冠層高層分為6個層級，第一層級及第二層之樹冠層高層多為各族群之稚樹或為匍匐後形成之分枝，其數量相對較少，於樣區的分布範圍也較其他層級狹隘，第三層及第四層之樹冠層高層則廣泛的分布樣區，且於樣區中心位置有較大之樹冠幅面積(圖5-4)，第五層及第六層之樹冠層高層則分布於該樣區之左側及右側，樹冠幅面積都相較其他樹冠層高層大。

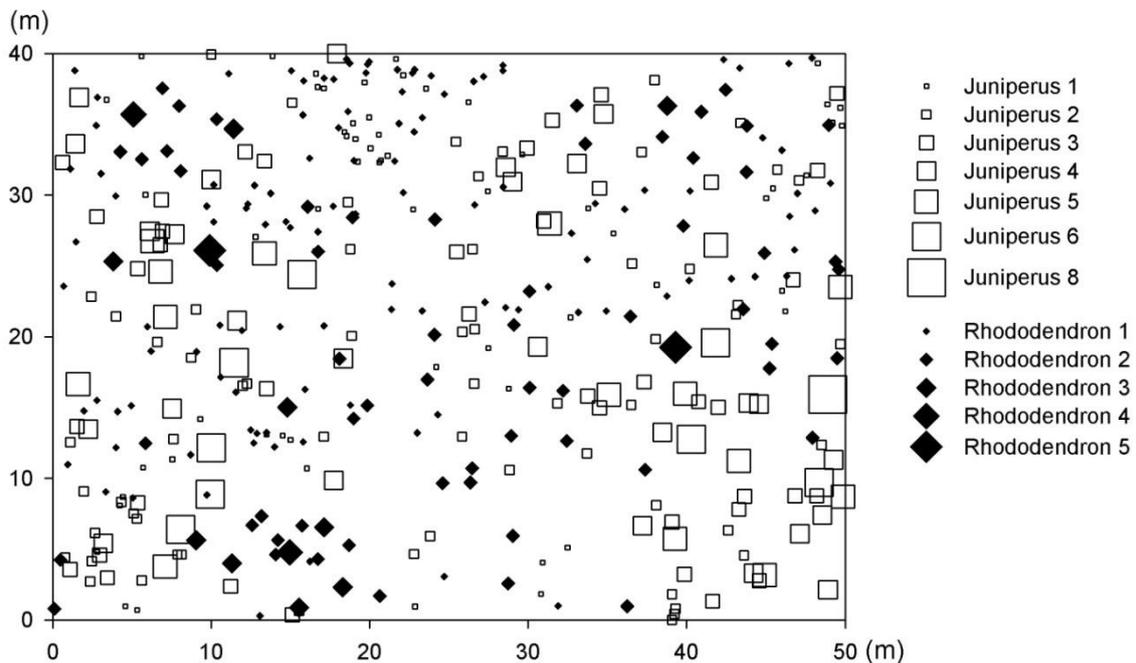


圖 5-4. SPA-1 矮盤灌叢樣區玉山圓柏與玉山杜鵑各徑級分布圖。空心點為玉山圓柏，實心點為玉山杜鵑，不同大小表示不同的徑級大小。

(資料來源：本研究資料)

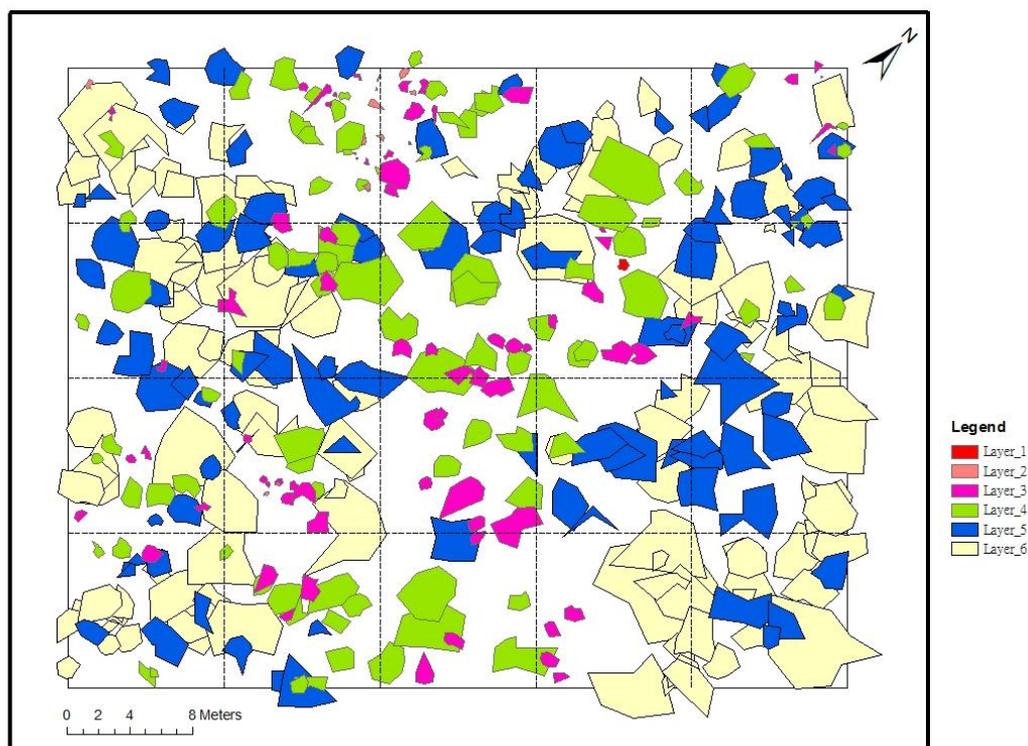


圖 5-5. SPA-1 矮盤灌叢樣區以 TSTRAT 分層法將樣區內各植株之高度進行劃分。Layer\_1-Layer\_6(最高)，各層樹冠幅形式。

(資料來源：本研究資料)

由研究結果顯示(表 5-1)，樹高與樹冠幅面積呈正相關，越大冠幅之植株其樹高也較高，然由圖(圖 5-5)可見，第五層及第六層之樹冠層高層位於樣區中兩旁，樣區中心部分由較低矮之樹冠組成及裸露地區。根據現場調查結果，樣區兩旁因微地形結構較樣區中心點高，且植株位於較高岩石上，而樣區中線可能受到融雪或冰蝕後水分通過之渠道，造成樣區中心部分之植株受到干擾所致，且與整體樣區坡度走向相似，是否為其他環境因子所影響仍需後續其他環境資料的收集分析方能有較具證據性之解釋。

另外，本研究利用競爭指數來了解研究區域內，各族群及個體受到競爭的壓力多寡，表 5-1 顯示，競爭指數與 SPA-1 樣區內之各生態指數皆呈顯著負相關，表示個體地徑越大、樹冠幅越大或樹高越高即所受到的競爭壓力相對較低。Charles *et al.* (2004) 表示，此因較大徑級之樹體，多為各生長時期之倖存者，故個體間會保持一定間距故競爭指數相對較小，且隨時序增長，附近的植株(更新之苗木)之地徑或胸徑皆不若該倖存者，因此

較大徑級或齡級之個體競爭指數相對較低。由表 5-1 之結果亦可發現，該地區之樹高及地徑相關性高( $r=0.66, p<0.05$ )，雖然該地區冬季常有降雪覆蓋，樹高多半會受環境的限制，然而在本區地徑及樹高仍有不錯的線性關係，且樹冠投影面積與樹高亦呈較高之相關性( $r=0.67, p<0.05$ )。

SPA-1 樣區內主要以玉山圓柏及玉山杜鵑兩種物種組成，本研究再將兩族群利用競爭指數之分析以了解何者在本研究區域所受到的競爭壓力較高。結果顯示(圖 5-6)，玉山杜鵑所受到的競爭壓力較玉山圓柏族群較高( $p<0.05$ )，造成此種現象，根據樣區所調查的資料玉山圓柏平均地徑為 21 cm，而玉山杜鵑則僅只有 9 cm，再者兩者的生活型態相異，玉山圓柏為喬木，玉山杜鵑為灌木故優勢競爭強度仍以玉山圓柏較為強勢(Charles *et al.*, 2004)。

表 5-1. SPA-1 矮盤灌叢樣區之生態介量相關性表(資料來源：本研究資料)

生態指數	地徑	競爭指數	樹冠投影面積	樹高
競爭指數	-0.50**			
樹冠投影面積	0.66**	-0.35**		
樹高	0.63**	-0.33**	0.67**	
枝下高	0.41**	-0.20*	0.51**	0.56**

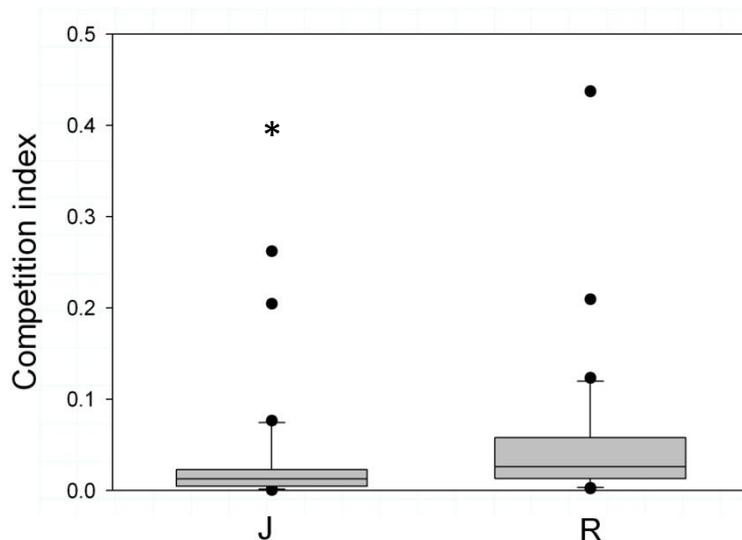


圖 5-6. SPA-1 矮盤灌叢樣區之玉山圓柏(*Juniperus squamata* var. *morrisonicola*)及玉山杜鵑(*Rhododendron pseudochrysanthum*)之競爭指數盒鬚圖。J 為玉山圓柏，R 為玉山杜鵑；\*表示於顯著水準 0.05 時達顯著。

(資料來源：本研究資料)

再利用兩族群個別作種間及種內之競爭指數的分析，以佐證上述 SPA-1 之玉山圓柏族群之競爭能力較玉山杜鵑優勢的結果，若玉山圓柏族群之種內競爭指數較種間競爭指數高，且玉山杜鵑之種間競爭指數較種內競爭指數高，則可呼應前文之結論。結果顯示(圖 5-7) 玉山圓柏族群之種內競爭指數較種間競爭指數高，且玉山杜鵑之種間競爭指數較種內競爭指數高與推論相符，然兩個結果皆未達顯著性，李先琨等(2009) 認為一成熟之族群因歷經長期生長及種內的競爭，在天然下種後雖小苗會在適合的小區域大量生長，但也因此競爭的情況會最為嚴重，隨著時序演進林木自然稀疏而間距增加，植株在環境及空間資源上都得到紓解，使林木在空間上呈現均勻分布的趨勢，也因此穩定的族群種內競爭的壓力會較種間競爭壓力來的大，然在本區雖玉山圓柏之種內競爭確實較種間競爭大，然未達顯著，此可能與該研究區域之嚴苛環境有關，因個體間的競爭情況會隨著環境而改變(何中聲等，2012)，特別是環境嚴苛的環境競爭情形會更為劇烈，然分析結果兩族群競爭指數都不高，推測因競爭造成死亡之植株並未記錄於本研究因而造成結果未達顯著。另外利用 3D 繪圖，亦可發現 SPA-1 樣區內競爭指數較高的植株多為地徑較小且鄰近地徑較大之植株 (圖 5-8)，反之較大徑級之植株聚集處競爭指數較低，此結果亦呼應了前述之結果，一成熟之族群所受到種內競爭之壓力相較種間壓力大，而受到種內壓力大的個體多為易受環境及資源多寡所影響的稚樹或幼苗。

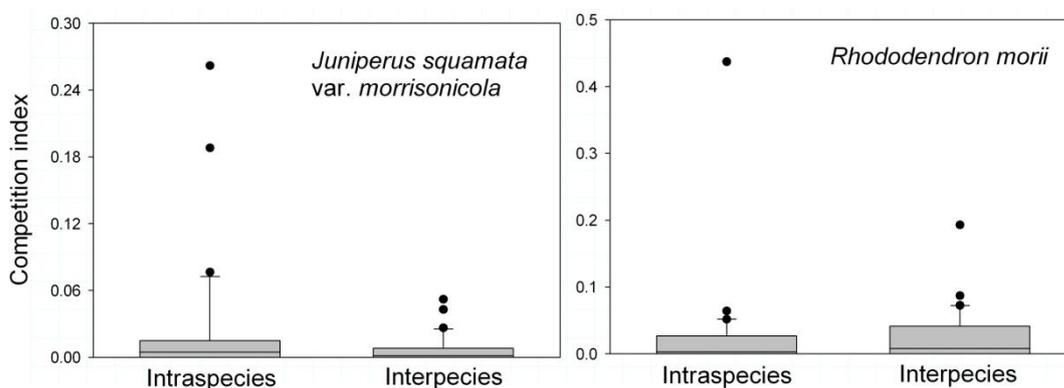


圖 5-7. SPA-1 矮盤灌叢樣區之玉山圓柏(*Juniperus squamata* var. *morrisonicola*) 及玉山杜鵑(*Rhododendron pseudochrysanthum*)之個別種內及種間競爭指數盒鬚圖。左圖為玉山圓柏，右圖為玉山杜鵑。

(資料來源：本研究資料)

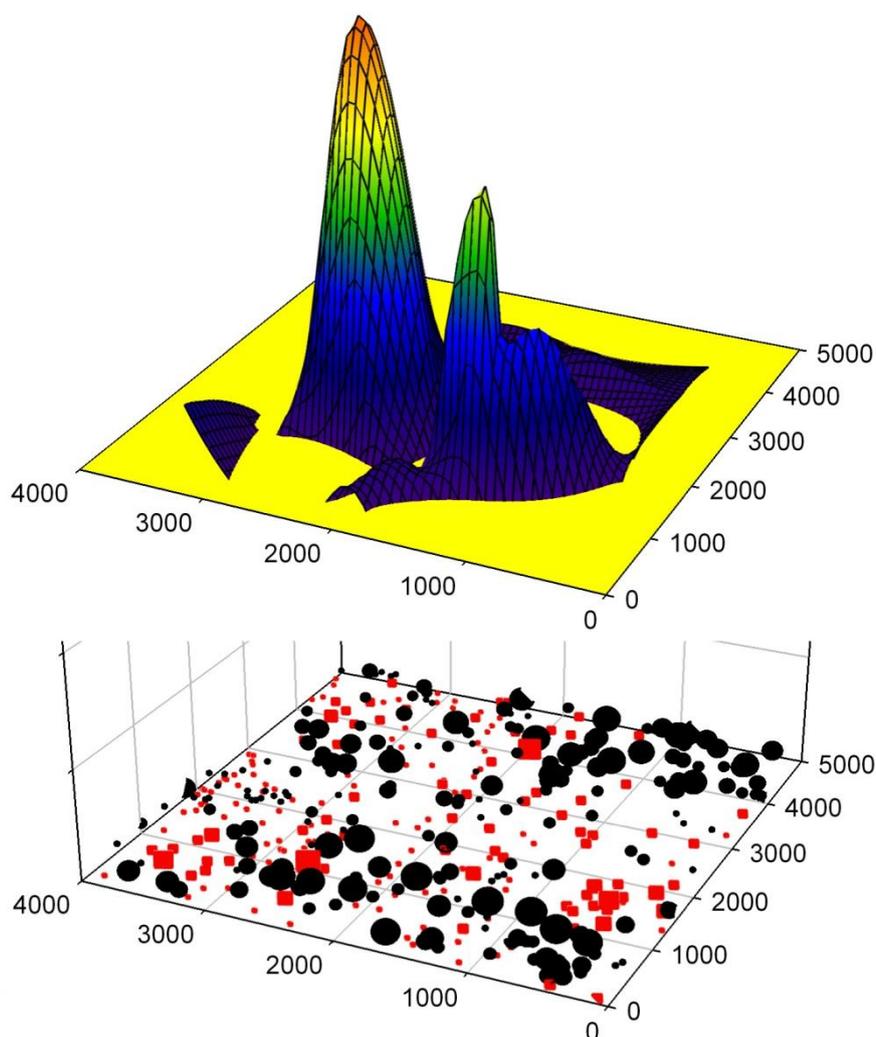


圖 5-8. SPA-1 矮盤灌叢樣區之位置圖及競爭指數分布圖。上圖為競爭指數之分布，下圖為各植株之分布；黑點為玉山圓柏，紅點為玉山杜鵑；不同點的大小表示不同之徑級。

(資料來源：本研究資料)

SPA-1 樣區之植物社會以 Ripley K 函數進行各族群之族群分布模式分析，結果顯示(圖 5-9 及 5-10)，全部的植物社會之族群分布模式於近 2 m 前為逢機分布(圖 5-9)，2 m 至約 3 m 處有短暫的群聚分布，5 m 至 13 m 的空間尺度也呈現群聚分布，而在空間尺度大於 13 m 時，各族群之族群分布模式為逢機分布；再將 SPA-1 樣區內主要植物組成各別分析，結果顯示(圖 5-10)，玉山杜鵑由小尺度至大尺度(19 m)都呈現群聚分布，至 19 m 後為逢機分布，而玉山圓柏則是在 1 m 前呈逢機分布，1 m 至 8 m 之空間尺度呈現群聚分布，而後又為逢機分布。

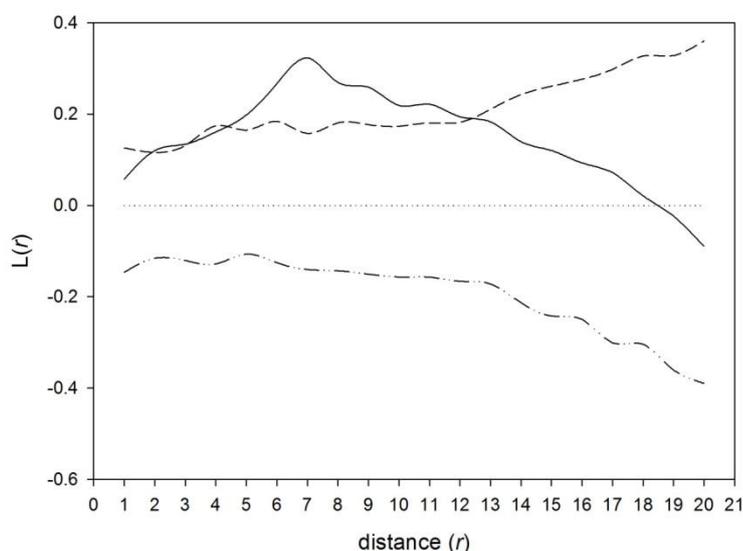


圖 5-9. 雪山地區 SPA-1 矮盤灌叢樣區之全部植株以 Ripley K 函數進行各族群之族群分布模式分析圖。

(資料來源：本研究資料)

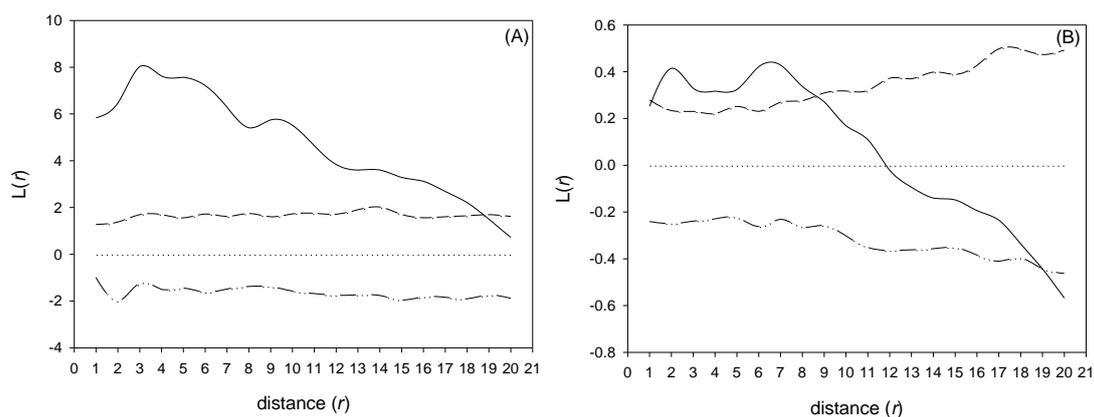


圖 5-10. 雪山地區 SPA-1 矮盤灌叢樣區之 2 個主要優勢植物社會以 Ripley K 函數進行各族群之族群分布模式分析圖。(A)玉山杜鵑(*R. pseudochrysanthum*) 植物社會之 Ripley K 函數圖(B)玉山圓柏(*J. squamata var. morrisonicola*) 植物社會之 Ripley K 函數圖

(資料來源：本研究資料)

植物社會水平空間分布情形，可瞭解該植物社會是否處於競爭時期或更新時期，由 SPA-1 樣區之全部植物社會的空間分布結果發現，雖在最小尺度呈現逢機(即個體間出現的有無彼此不相關)，但仍有一段空間尺度呈現群聚分布，推測該樣區的環境條件較為嚴苛，母樹需提供一定的庇護場所，使該族群之幼苗、稚樹能順利更新；亦可能是同一個體匍匐、萌蘖後經岩石覆蓋至該空間尺度又再長出之枝條所致。全部植物社會及玉山圓柏

植物社會皆在中尺度呈群聚分布，因散殖體散播具有一定的限制性，故多數植物社會之水平空間分布模式小尺度至中尺度呈群聚分布，然需視該植物生物學之特性以及環境條件而決定該群聚分布之空間尺度長短，若處於資源缺乏、環境貧脊的環境，常出現如上述所提及之於較小尺度呈現逢機分布的情形（圖 5-9）。多數植物社會於較大空間尺度之空間模式會漸趨於逢機分布，此因當空間尺度大於一定距離後，該植物稚樹散殖的距離限制及母樹效應的影響的相對較低，因此植株的出現有無多由環境所控制，故個體間的關聯性相對較低，甚至在玉山圓柏植物社會於較大空間尺度時，會出現均勻分布的現象，即在大尺度時，玉山圓柏植物社會之植株彼此間存在著負相關。

## (二)樹木界線

樹木界線空間分布結構，可提供高山樹木界線的樹種組成特徵並比較其他樹木界線與其之異同。比較 3 條樹線穿越帶之生態介量可發現(表 5-2、5-3、5-4)，胸高直徑對於其他生態介量均有相當之相關性，因調查方式主要是根據植株之胸高直徑作記錄，除非該植株之樹高未達 1.3 m 或是在 1.3 m 處之徑長未滿 1 cm，會記錄該植株之地徑替代其胸徑，兩者間無法作相關性分析，故地徑與部分穿越帶之生態介量亦有顯著之相關性，樹高及枝下高之相關性高因兩介量的性質相似，樹冠幅投影面積亦與各生態介量相關性高，尤其與胸高直徑之相關性於各樣線穿越帶皆呈現較高之相關性，然此結果僅為綜括各物種族群於 3 條樹線穿越帶之生態介量彼此間相關性，需和後面臺灣冷杉林作比較進一步分離該族群加以分析探討。

表 5-2. 雪山地區樹線穿越帶樣線 T1 之各生態界量相關表

	胸高直徑	地徑	樹冠幅投影面積	樹高
樹冠幅投影面積	0.57**	0.38**		
樹高	0.57**	0.32**	0.58**	
枝下高	0.41**	0.21	0.51**	0.79**

\*\*表示在顯著水準 0.01 時達顯著。

(資料來源：本研究資料)

表 5-3. 雪山地區樹線穿越帶樣線 T2 之各生態界量相關表

	胸高直徑	地徑	樹冠幅投影面積	樹高
樹冠幅投影面積	0.74**	0.20*		
樹高	0.67**	0.38**	0.37**	
枝下高	0.38**	0.33**	0.26**	0.63**

\*\*表示在顯著水準 0.01 時達顯著，\*表示在顯著水準 0.05 時達顯著。

(資料來源：本研究資料)

表 5-4. 雪山地區樹線穿越帶樣線 T3 之各生態界量相關表

	胸高直徑	地徑	樹冠幅投影面積	樹高
樹冠幅投影面積	0.62**	0.37**		
樹高	0.71**	0.21**	0.37**	
枝下高	0.60**	0.01	0.18**	0.57**

\*\*表示在顯著水準 0.01 時達顯著

(資料來源：本研究資料)。

根據 3 條樹線穿越帶內的臺灣冷杉族群之生態介量相關性分析(表 5-5、5-6、5-7)，僅分析臺灣冷杉族群可發現胸高直徑與其他生態介量之相關性明顯變高，尤其是與樹高部分，而樹冠幅面積亦與各參數有較高之相關性。此因樹線穿越帶中除臺灣冷杉族群外，尚包括玉山圓柏及玉山杜鵑等可隨海拔梯度上升仍可分布之族群，而該兩種族群皆可根據不同的環境氣候而改變其生長的形態(矮盤冠叢)，反觀臺灣冷杉族群於海拔上的分布在調查 3 個樹線推移帶中雖仍有零星分布，然株數密度上遠低於其他兩個族群 (圖 5-11)，因此整個植物社會之生態介量一起進行分析時，即便臺灣冷杉之胸高直徑與樹高間的相關性高，其整體的相關性仍會被改變樹勢的個體所影響。另外此結果亦顯示樹冠幅投影面積在眾參數中亦扮演著重要的地位，故在其後探討臺灣冷杉林之結構特徵時，會利用樹冠幅投影面積對競爭指數製圖以探討兩者間的關係。

**表 5-5. 雪山地區樹線穿越帶 T1 臺灣冷杉族群之各生態界量相關表**

	胸高直徑	樹冠幅投影面積	樹高
樹冠幅投影面積	0.65**		
樹高	0.72**	0.75**	
枝下高	0.60**	0.66**	0.70**

\*\*表示在顯著水準 0.01 時達顯著。

(資料來源: 本研究資料)

**表 5-6. 雪山地區樹線穿越帶 T2 臺灣冷杉族群之各生態界量相關表**

	胸高直徑	樹冠幅投影面積	樹高
樹冠幅投影面積	0.83**		
樹高	0.84**	0.78**	
枝下高	0.43**	0.34**	0.45**

\*\*表示在顯著水準 0.01 時達顯著。

(資料來源: 本研究)

**表 5-7. 雪山地區樹線穿越帶 T3 臺灣冷杉族群之各生態界量相關表**

	胸高直徑	樹冠幅投影面積	樹高
樹冠幅投影面積	0.60**		
樹高	0.78**	0.67**	
枝下高	0.67**	0.42	0.67**

\*\*表示在顯著水準 0.01 時達顯著。

(資料來源: 本研究)

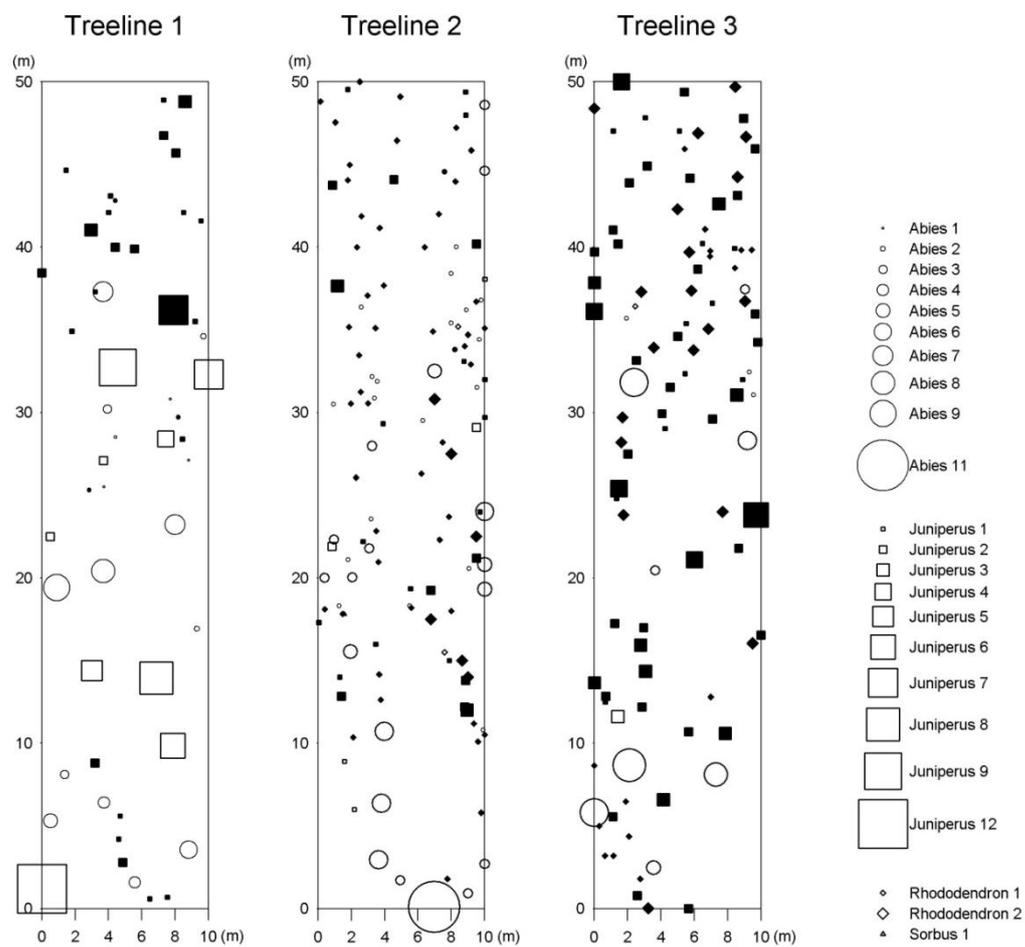


圖 5-11. 樹木界線推移帶樣區(T1-T3)各樹種相對位置空間分布圖(實心為矮盤灌叢)。

(資料來源: 本研究資料)

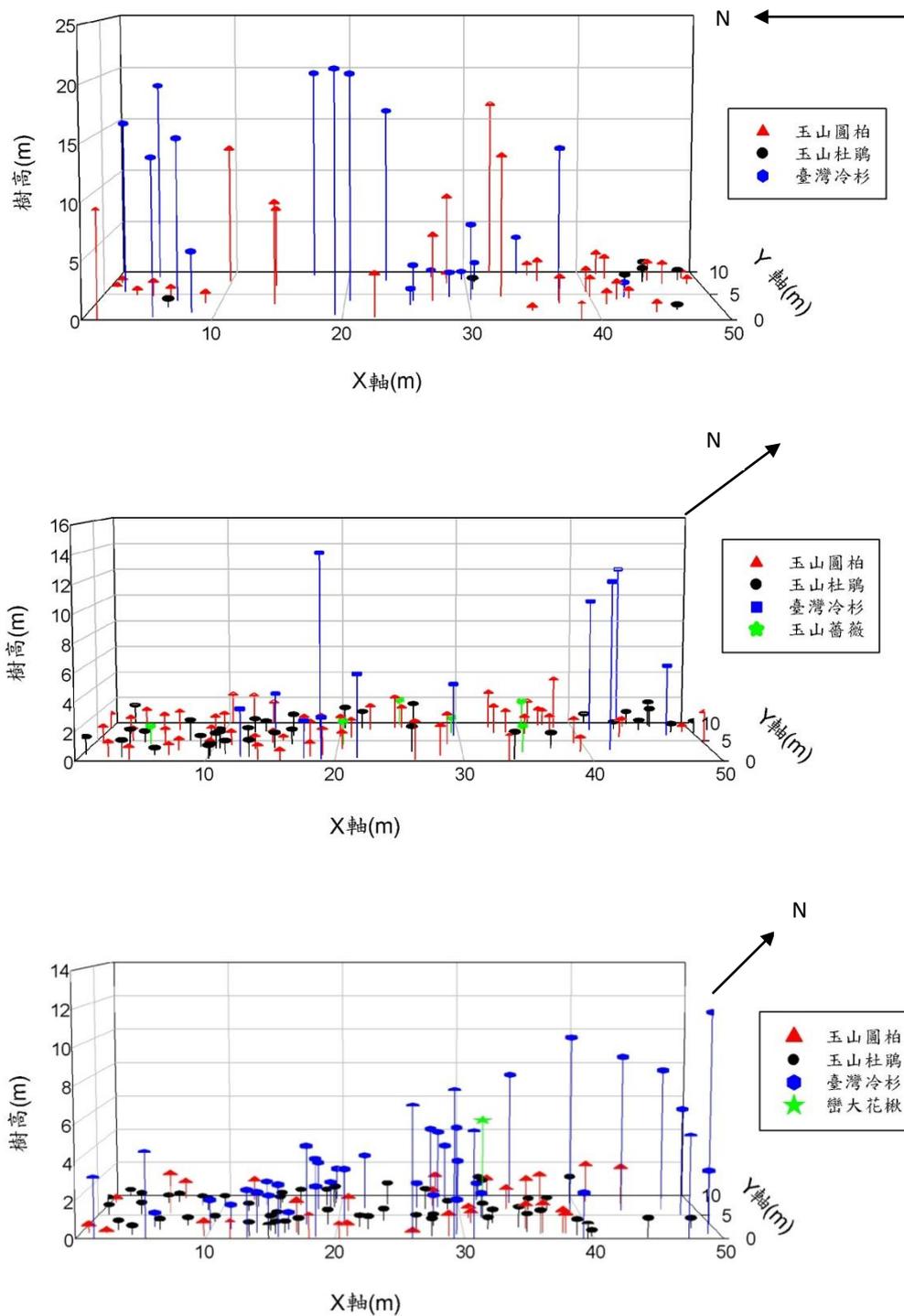


圖 5-12. 雪山地區樹木界線 T1、T2、T3 樣區全部植物社會之位置及樹高示意圖。  
 藍色代表玉山原柏族群，紅色代表臺灣冷杉族群，綠色代表玉山杜鵑族群。  
 (資料來源：本研究資料)

透過植株空間分布圖，可了解各族群於空間上的分布位置，供研究者盡量還原樣區當時的情況。由圖可知(圖 5-12)，除 T1 樹線穿越帶，玉山杜鵑之個體均勻分布於 T2 及 T3 樹線穿越帶，玉山圓柏則僅在 T1 樹線穿越帶有樹高較高之個體 (>5 m)，在 T2 及 T3 樹線穿越帶皆是以矮盤冠叢的生長形式存在，臺灣冷杉族群的數量則相對兩族群而言較少，僅 T2 樹線穿越帶有一連續性的徑級分布。然而，僅由植株空間分布圖去推測個體間的分布情況是聚集、逢機或均勻分布仍有失客觀，故需進一步以 Ripley K 函數來探討各穿越線內之植物社會的空間分布模式。

透過 Ripley K 函數對 3 條樹木界線穿越樣區進行各族群之分布模式分析，結果顯示(圖 5-13)全部植物社會的族群分布模式多為逢機分布，僅第三條穿越線樣區於較小尺度有近均勻分布，另外針對臺灣冷杉植物社會將其植株資料另外製圖(圖 5-14)，結果與全部植物社會之分布模式相似，僅第二條穿越線樣區在中尺度後(>1.8 m)分布模式皆為群聚分布，而第三

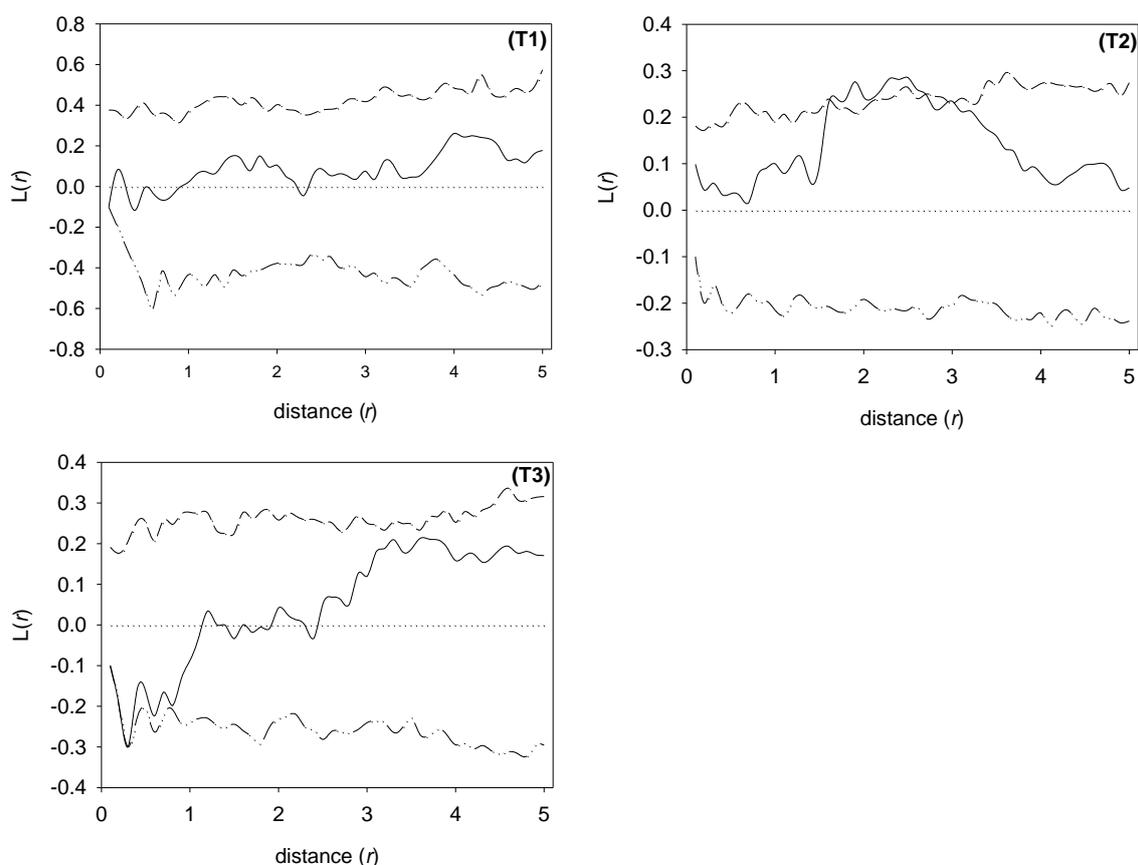


圖 5-13. 雪山地區樹木界線 T1、T2、T3 樣區全部植物社會以 Ripley K 函數進行各族群之族群分布模式分析圖。

(資料來源：本研究資料)

條穿越線樣區在小尺度時仍傾向均勻分布。

由結果可看出 (圖 5-13 及 5-14)雪山樹木界線之植物社會多為逢機分布，甚至在較小之空間尺度，皆無群聚分布之趨勢，此與前述所言之矮盤冠叢例子有些許相同，因環境相對嚴苛資源有限的情況下，個體常競爭資源及空間，故個體間相關性大為降低，甚至會出現負相關的情形(即分布模式為均勻分布)(圖 5-13)，但與前述矮盤冠叢之植物社會不同的是，在矮盤冠叢植物社會之植株會競爭空間及養分，但光照條件於各植株之分布是相似的不若樹木界線複雜且異質性高，由兩個圖的比較(圖 5-9 及 5-13)亦可發現，矮盤冠叢植物社會之 Ripley K 函數較為緩和，反之，樹木界線植物社會的較為多變不規則，此現象亦可能為兩者取樣的面積有所差異因而個體數量差異所致。臺灣冷杉植物社會於第二條穿越線樣區於中尺度出現群聚分布如同前述之散播能力外，亦可能與該區的鬱閉度有關。

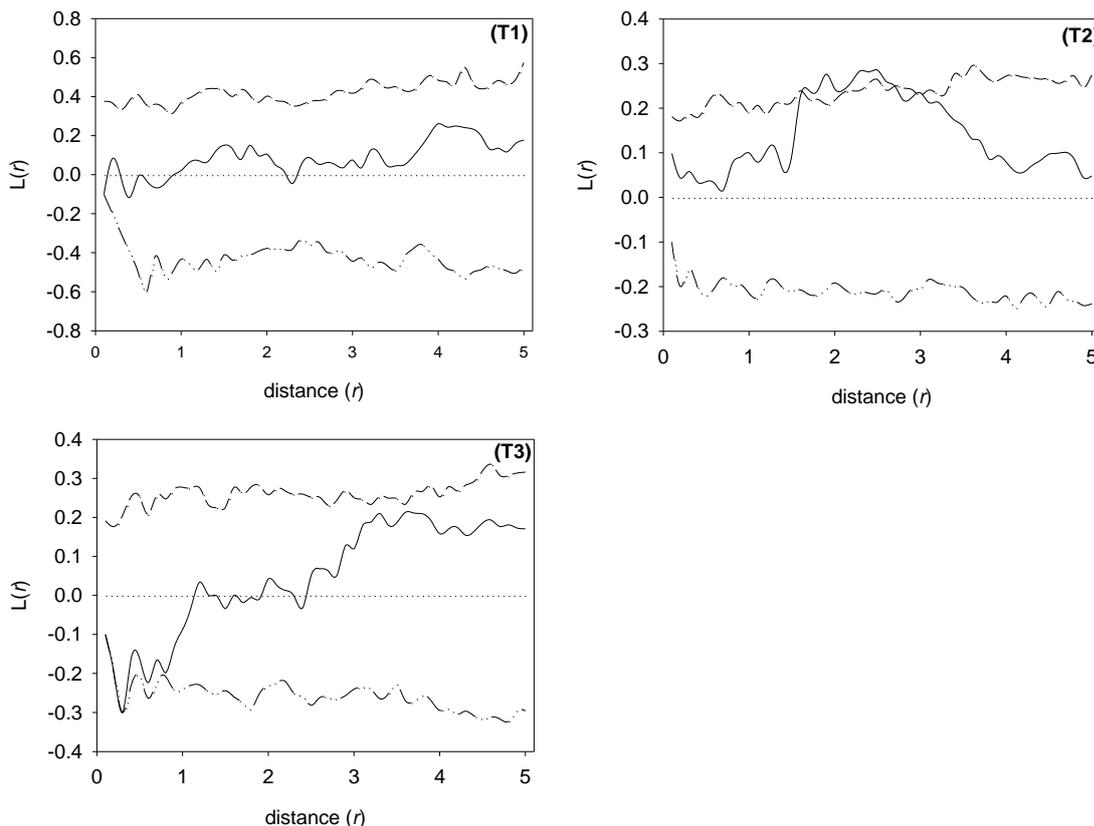


圖 5-14. 雪山地區樹木界線 T1、T2、T3 樣區臺灣冷杉(*Abies kawakamii*) 植物社會以 Ripley K 函數進行各族群之族群分布模式分析圖。

(資料來源：本研究資料)

### (三)黑森林之臺灣冷杉植物社會

比較前述樹線內臺灣冷杉族群之結構特徵，將臺灣冷杉林以地被層組成分為玉山箭竹組及蘚苔組茲以比較兩者結構組成的異同。各生態介量之相關性結果顯示(表 5-8 及 5-9)，就兩組相關性而言，地被層以蘚苔為優勢之地被其生態介量彼此之相關性較地被層以玉山箭竹為主要組成的臺灣冷杉林高，此因玉山箭竹具走莖，而臺灣冷杉的更新策略往往與孔隙有密切關係，玉山箭竹會於孔隙生成後快速占據孔隙下的空間及資源，因而使得臺灣冷杉幼苗及稚樹除了受到其他木本物種或本身族群間的競爭，尚受到玉山箭竹的競爭壓力，因此各生態介量間雖由調查資料分析結果尚可看出彼此間的關係性，然其相關性不若地被以蘚苔為組成之臺灣冷杉林強。然由結果可發現，競爭指數與各指數皆呈負相關，其中樹冠幅投影面積與其相關性亦挺高，後續再探討競爭指數與生態介量之關係時會將胸高直徑及樹冠幅投影面積作深入探討，而樹高與胸高直徑之相關性兩組的結果皆顯示有密切之關係。

表 5-8. 雪山地區臺灣冷杉林(*Abies kawakamii*)地被層以玉山箭竹為優勢之樣區各生態界量相關表

	胸高直徑	樹冠幅投影面積	競爭指數	樹高
樹冠幅投影面積	0.42**			
競爭指數	-0.57**	-0.34**		
樹高	0.58**	0.23**	-0.36**	
枝下高	0.47**	0.12	-0.31**	0.71**

\*\*表示在顯著水準 0.01 時達顯著。

(資料來源: 本研究資料)

表 5-9. 雪山地區臺灣冷杉(*Abies kawakamii*)林地被層以蘚苔為優勢之樣區各生態界量相關表

	胸高直徑	樹冠幅投影面積	競爭指數	樹高
樹冠幅投影面積	0.49**			
競爭指數	-0.60**	-0.42**		
樹高	0.68**	0.40**	-0.43**	
枝下高	0.57**	0.32**	-0.36**	0.77**

\*\*表示在顯著水準 0.01 時達顯著。

(資料來源: 本研究資料)

故再將黑森林之臺灣冷杉植物社會先利用 TSTRAT 樹冠層高層分析法，並利用群集分析法(cluster analysis)交叉比較並探討其植物社會於垂直結構上之特性，結果顯示(表 5-10)，2 個分析方式結果有相當大的差異，誤劃率 (misclassification) 皆達 90 % 以上，而樹高的變異率可發現 Abies1 和 Abies3 及 Abies5 和 Abies6 形成兩個不同的群集，尤其在樹冠長度之變異率更為明顯，Abies1 和 Abies3 臺灣冷杉植物社會之各項垂直結構指標都明顯高於 Abies5 和 Abies6 臺灣冷杉植物社會。再將各垂直結構指標與喬木層及地被層豐多度，以相關分析顯示各垂直結構指標多有顯著之相關性(表 5-11)，各垂直結構指標與兩層級之豐多度並無著相關性，雖地被層豐多度與各垂直結構指標多呈負相關，然未達顯著水準，喬木層豐多度與各垂直結構指標皆呈正相關，亦未達顯著水準。

根據 Latham *et al.* (1998) 對於兩種分析法結果相異之詮釋，因群集分析法是計算多個變數間之相似性計算植株間歐氏距離並繪製樹形圖，而 TSTRAT 演算法則是根據樹高由高至低排序後，以樹冠光競爭點為依據進行分層，另外根據不同的物種特性，TSTRAT 演算過程之截止係數的設定亦對分層結果有影響 (鄭景明等，2007)，故兩個分析結果因此差異；4 個樣區之樹高及樹冠長之變異係數與 Gini 指數可分成兩群，推測因冷杉族群之小苗及稚樹受到玉山箭竹之抑制，林內大樹為各時期殘存之植株，因此物種、結構組成及變異會較地被以蘚苔組成之冷杉族群複雜，亦可能為生育地環境內之環境因子所影響 (如光照條件、水分條件及地理條件等)，若要進一步探討垂直結構與多樣性之關係，需加入更多層面之考量。

**表 5-10. 雪山地區 4 個臺灣冷杉(*Abies kawakamii*)植物社會樣區垂直結構分析**

Index of vertical structure	Abies1	Abies3	Abies5	Abies6
No. layers	8	8	6	6
CV of tree height(%)	73.9	82.1	42.0	35.6
CV of HBLC (%)	45.0	54.3	41.7	31.9
CV of crown length (%)	122.6	118.7	60.0	62.2
Misclassification (%)	92.8	97.5	94.2	94.8
Gini coefficient	0.33	0.40	0.22	0.16

註：HBLC 為枝下高度，Misclassification 為誤劃率，Gini 指數是以樹高計算。  
(資料來源：本研究資料資料)。

比較矮盤冠叢植物社會及黑森林植物社會以 TSTRAT 樹冠層高層分析法之結果，可發現前者之分層數量相對較少，此因矮盤冠叢植物社會地區受到較為嚴苛的環境條件所控制，因此多數植物社會的生長形式是匍匐於該地地勢即整體的高度差異並無太大的差異且樹高之數值範圍較為狹窄，反之，黑森林植物社會之樹高有較大之變異量，由 4 個臺灣冷杉樣區之變異率可知(表 5-10)，因臺灣冷杉於雪山地區最適分布地區即為此一區域，植株冠層的組成多與種內及種外的競爭有關，此一效應雖對該植物社會同樣有控制性，然並非均值的作用於整體植物社會，因而植物社會的結構組成複雜，分層數量亦隨之增加。

根據 TSTRAT 樹冠層高層分析法可發現，兩種不同地被層組成之臺灣冷杉林之結構有些差異，且與各生態介量之相關性結果相符。除樹高及其相關之介量，競爭指數在各生態介量中皆顯示高度相關性，若能將各區之競爭指數以胸高直徑及樹冠幅投影面積繪製散布圖，將更可了解各生態值介量間的相關性，尤其前述結果顯示競爭指數會隨個體的增長(包括胸高直徑及樹高等)而降低，然實際下降的趨勢是否為單純線性關係亦或是有其他特殊的分布趨勢仍需作圖方能得知。

表 5-11. 雪山主峰線之臺灣冷杉 (*Abies kawakamii*) 樣區之垂直結構與喬木層及地被層之豐多度 Pearson 相關表

	layers	CV of tree height	CV of HBLC	CV of CL	Gini coefficient	H' of understory
layers						
CV of tree height	.983**					
CV of HBLC	.802	.897				
CV of CL	.999**	.972*	.771			
Gini coefficient	.942*	.987**	.956*	.923*		
H' of understory	-.407	-.285	.104	-.433	-.154	
H' of overstory	.532	.579	.681	.522	.628	.502

註 1：HBLC 為枝下高度，CL 為冠層長度，Gini 指數是以樹高計算，H' of understory 為地被層 Shannon-Wiener 豐多度，H' of overstory 為喬木層 Shannon-Wiener 豐多度。

註 2：\*表示  $p < 0.05$ ，\*\*表示  $p < 0.01$ 。

(資料來源：本研究資料)

先以胸高直徑及競爭指數作圖(圖 5-15)，結果顯示，各區之競爭皆隨胸高直徑上升而有下降的趨勢，Charles *et al.* (2004) 表示，因大徑級之樹體，多為各生長時期之倖存者個體間會保持一定間距故競爭指數相對較小，且隨時序增長，相鄰更新苗木之地徑或胸徑皆不若該倖存者，因此較大徑級或齡級之個體競爭指數相對較低。本研究皆以降冪型之迴歸式為每個散布圖進行配置，結果亦相當符合(達  $p < 0.01$  顯著水準)，然有幾區在決定係數上( $R^2$ )及顯著性上都較低且不顯著，如樣區 A1 內的臺灣冷杉族群，此乃該區之臺灣冷杉族群較為稀疏，因此胸徑級的分布在該區不連續分布所致，且 A1 樣區位於臺灣鐵杉(*Tsuga chinensis*)與臺灣冷杉之交會帶，兩族群間的競爭情況亦會影響臺灣冷杉族群於此區的空間分布的情況，反觀臺灣鐵杉族群在 A1 的胸徑級的分布連續且數量較多，由圖可見(圖 5-13B)，其散布圖上點位的分布也較均勻的隨迴歸式分布，此與喻泓等(2009)針對內蒙古呼倫貝爾地區不同樟子松林競爭情況研究類似，喻泓等指出，因樟子松林近乎純林受到競爭作用影響多由種內造成，且稚樹階段因對於環境及資源的競爭較為敏感，較小徑級之樟子松的競爭指數會較高，而火燒干擾的影響使火燒樣區之植株在較小徑級因多受到火燒干擾數量減少使降冪關係不明顯，大徑級植株之競爭指數則與對照樣區無異。

再利用樹冠幅投影面積及競爭指數作圖(圖 5-16)，其結果有些類似，然除了 A1 樣區的臺灣冷杉族群以迴歸式配適不顯著，A2 及 A5 樣區內的臺灣冷杉族群以迴歸式配適之結果皆不顯著。A1 樣區之臺灣冷杉族群如上所述，其族群樣本相對較少，故要以少數樣本完成迴歸式的評估難免有些偏差且難以客觀，A2 樣區由散布圖上點的配置看的出其配置亦為降冪函數的分布模式，然有部分較小樹冠幅投影面積之競爭指數相對較低，此與上述推論有些相斥，此因該地區常有強風吹襲，若無較大之樹體庇護常會因強風影響導致樹冠幅破碎，甚至出現方向性，因此雖點位仍呈現與其他樣區相似的配置但統計結果有些出入；A5 樣區在本分析結果亦呈現不顯著，且即便為其配適任何的迴歸式皆未達顯著水準，表示在該區競爭指數與樹冠幅投影面積間並無相關性，然本區之稚樹相對較少，且樹冠幅投影面積常受到許多環境因子(風速、地形因素)所控制，故難以評估該區兩生態介量相關性低之原因，即便如此，此結果仍驗證了上述所言，較大樹體之競爭指數相對較低，較小的則競爭指數相對較高。

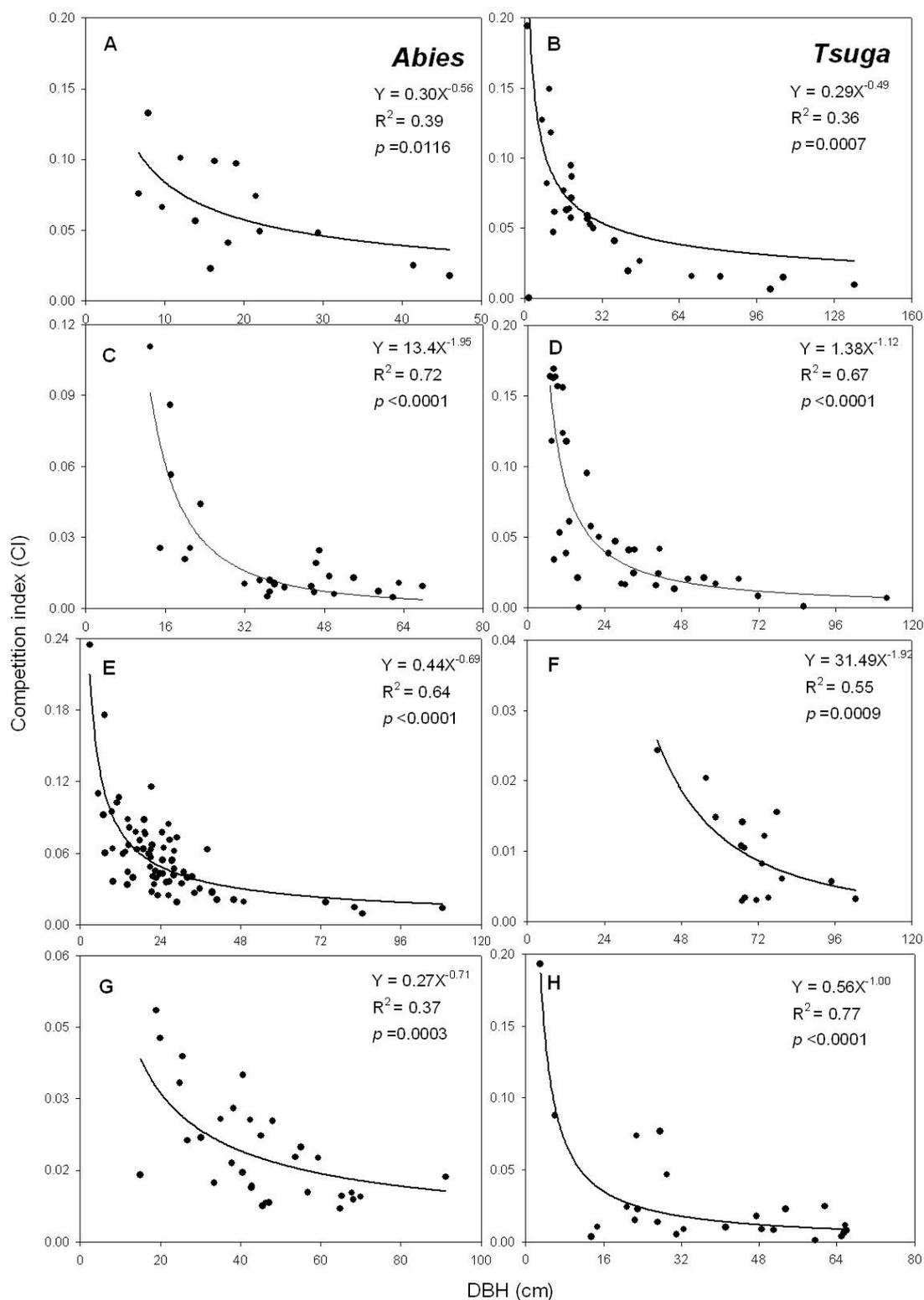


圖 5-15. 雪山地區各樣區之競爭指數對胸高直徑之散布圖。各代號分別表示，A 及 B 為 A1，C 為 A2，D 為 A3(此 3 個樣區以玉山箭竹為地被優勢)，E 為 A4，F 為 A5，G 為 A6，H 為 A7 樣區(此 4 個樣區以蘚苔為地被優勢)，除了 A1 有兩種物種的散布圖，其他樣區均只顯示台灣冷杉之結果。

(資料來源：本研究資料)

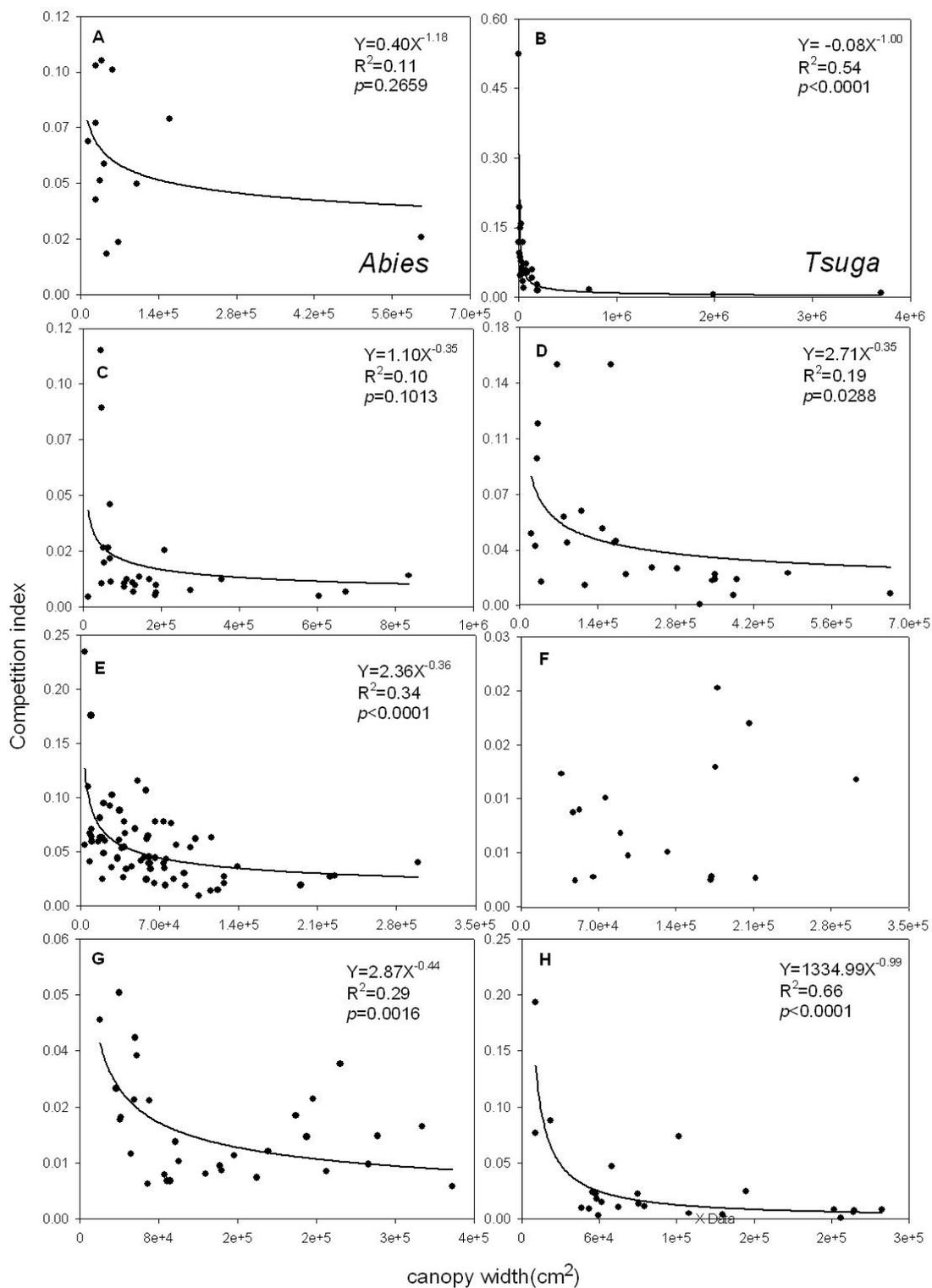


圖 5-16. 雪山地區各樣區之競爭指數對樹冠幅投影面積之散布圖。各代號分別表示，A 及 B 為 A1，C 為 A2，D 為 A3(此 3 個樣區以玉山箭竹為地被優勢)，E 為 A4，F 為 A5，G 為 A6，H 為 A7 樣區(此 4 個樣區以蘚苔為地被優勢)，除了 A1 有兩種物種的散布圖，其他樣區均只顯示台灣冷杉之結果。

(資料來源：本研究資料)

遂利用 Ripley K 函數對 7 個臺灣冷杉森林植物社會樣區進行族群分布模式分析，以探討黑森林之臺灣冷杉森林植物社會與其他植物社會水平結構特徵之異同，結果顯示(圖 5-17)，多數的臺灣冷杉樣區之全部植物社會在較小之空間尺度時，呈現群聚分布，若干距離後進入較大之空間尺度後，族群分布模式隨即由群聚分布轉為逢機分布，其中 Abies 6 樣區之族群分布模式僅在空間尺度 1 m 時有趨近群聚分布之趨勢，其他空間尺度則皆為逢機分布。

如前所言，一般植物社會之水平空間結構多在較小尺度時呈現群聚分布，此因散殖體本身散播距離的限制及母樹提供之庇護等效應所致，然根據生育地的環境條件，群聚分布之趨勢所跨及之空間尺度也有所差異，全部植物社會之族群分布分析結果(圖 5-17)顯示，多數的植物社會在小至中尺度時的水平分布多為群聚分布，而後因個體間的關係較為薄弱，隨著尺度的增加其空間分布模式也漸趨向逢機分布，Abies1、Abies2 及 Abies3 皆為地被層以玉山箭竹為優勢之植物社會，除了 Abies3 其他兩個植物社會之 Ripley K 函數趨勢相似，而 Abies4、Abies5、Abies6 及 Abies7 之臺灣冷杉植物社會是以蘚苔植物為其主要地被組成，但以 Ripley K 函數繪製的結果卻有很大的差異，因本結果是利用全部植物社會經 Ripley K 函數分析整體之水平族群分布模式，故若然有相對密度較高之族群在樣區內，則分析結果常會呈現群聚分布的趨勢(不分種類，只要有植株於另一植株的附近即會納入計算)，故此結果僅能提供全部植物社會之水平分不之情形，值得一提的是 Abies4 及 Abies6，兩樣區在小尺度至大尺度時皆呈現逢機分布，植物社會在較小尺度呈現逢機分布多與競爭有關，而中尺度及大尺度呈現逢機分布則多因長期的競爭或超過散殖體散布距離所造成，特此，再將 7 個臺灣冷杉植物社會內之臺灣冷杉族群提出並分析其水平族群分布模式。

結果顯示(圖 5-18)，多數之臺灣冷杉族群都呈現逢機分布之趨勢，僅 Abies2 及 Abies4 於中尺度時有群聚分布。反觀全部植物社會之結果(圖 5-8)，多數樣區內之植物社會在較小尺度仍有群聚分布之現象，然以臺灣冷杉族群之分析結果則僅 2 個樣區之中尺度有群聚分布之現象，此即呼應了前面的推測，因全部植物社會包括其他物種之植株，因此若出現一孔隙或是一

處環境較優渥之區域，除了臺灣冷杉之植株尚有其他物種(巒大花楸 (*Sorbus randaiensis*)、玉山圓柏等物種)分布，故在較小尺度時會有群聚分布的現象，而多數樣區之臺灣冷杉族群於各尺度皆呈逢機分布趨勢，即反映這幾個樣區之臺灣冷杉族群多已經歷或是正在受到競爭的壓迫，使 Ripley K 函數之數值雖呈現空間正相關(即  $L(t)$  值  $> 0$ )，但未達顯著水準(未高於 95 % 之信賴區間或是低於 5% 之信賴區間)，呈現逢機分布(即沒有空間相關性)，但這僅該樣區尺度之成果，仍需藉更大尺度之樣區進行比較方能下定論。



圖 5-17. 雪山地區全部植物社會 A1-A7 樣區以 Ripley K 函數進行各族群之族群分布模式分析圖。

(資料來源：本研究資料)

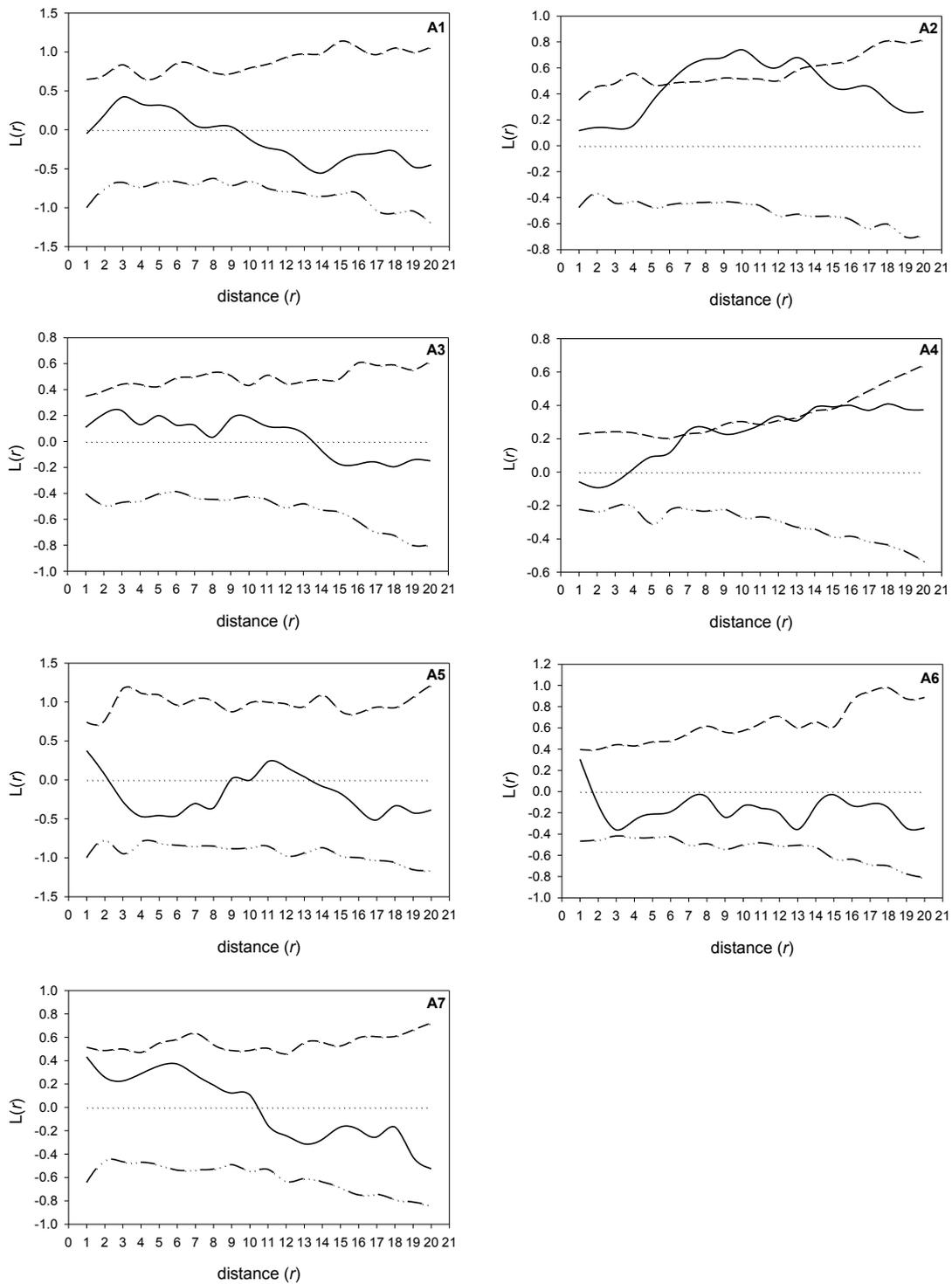


圖 5-18. 雪山地區臺灣冷杉(*Abies kawakamii*)植物社會 A1-A7 樣區以 Ripley K 函數進行各族群之族群分布模式分析圖。

(資料來源：本研究資料)

## 五、研究成果與建議

### (一) 研究成果

1. 藉由 TSTRAT 樹冠層高層分析法，可將 SPA1 之樹冠層高層分為 6 個層級，第一層級及第二層之樹冠層高層多為各族群之稚樹或為匍匐後形成之分枝，其數量相對較少，於樣區的分布範圍也較其他層級狹隘，第三層及第四層之樹冠層高層則廣泛的分布樣區，且於樣區中心位置有較大之樹冠幅面積，第五層及第六層之樹冠層高層則分布於該樣區之左側及右側，樹冠幅面積都相較其他樹冠層高層大。SPA1 之全部植物社會之族群分布模式於近 2 m 前為逢機分布，2 m 至約 3m 處有短暫的群聚分布，5 m 至 13 m 的空間尺度也呈現群聚分布，而在空間尺度大於 13 m 時，各族群之族群分布模式為逢機分布；再將 SPA-1 樣區內主要植物組成各別分析，結果顯示，玉山杜鵑由小尺度至大尺度(19 m)都呈現群聚分布，至 19 m 後為逢機分布，而玉山圓柏則是在 1 m 前呈逢機分布，1 m 至 8 m 之空間尺度呈現群聚分布，而後又為逢機分布。
2. 3 條樹木界線穿越樣區透過 Ripley K 函數進行各族群之分布模式分析，結果顯示全部植物社會的族群分布模式多為逢機分布，僅第三條穿越線樣區於較小尺度有近均勻分布，另外針對臺灣冷杉植物社會將其植株資料另外製圖，結果與全部植物社會之分布模式相似，僅第二條穿越線樣區在中尺度後 (>1.8 m) 分布模式皆為群聚分布，而第三條穿越線樣區在小尺度時仍傾向均勻分布。
3. 4 個黑森林之臺灣冷杉植物社會利用 TSTRAT 樹冠層高層分析法，並利用群集分析法交叉比較並探討其植物社會於垂直結構上之特性，結果顯示，2 個分析方式結果有相當大的差異，誤劃率皆達 90 % 以上，而樹高的變異率可發現 Abies1 和 Abies3 及 Abies5 和 Abies6 形成兩個不同的群集，尤其在樹冠長度之變異率更為明顯，Abies1 和 Abies3 臺灣冷杉植物社會之各項垂直結構指標都明顯高於 Abies5 和 Abies6 臺灣冷杉植物社會。各垂直結構指標與喬木層及地被層豐多度，以相關分析顯示各垂直結構指標多有顯著之相關性，各垂直結構指標與兩層級之豐多度並無著相關性，雖地被層豐多度與各垂直結構指標多呈負相關，然未達顯著水準，喬木層豐多度與各垂直結構指標皆呈正相關，亦未達顯著水

準。Ripley K 函數結果顯示，多數的臺灣冷杉樣區之全部植物社會在較小之空間尺度時，呈現群聚分布，若干距離後進入較大之空間尺度後，族群分布模式隨即由群聚分布轉為逢機分布，其中 Abies 6 樣區之族群分布模式僅在空間尺度 1 m 時有趨近群聚分布之趨勢，其他空間尺度則皆為逢機分布。

4. 比較三個不同之植物社會之垂直及水平結構特徵，可揭示個結構特徵之意涵及其異同處，並針對雪山高海拔地區之優勢物種臺灣冷杉另外分析，可提供不同面向的資料解讀高山植物社會之結構特徵。

## (二) 建議

### 1. 立即可行建議

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：

由黑森林進入圈谷之推移帶形成林木界線，其優勢組成為臺灣冷杉、玉山圓柏，生長型態開始由喬木狀轉換成矮盤灌叢，樹種亦轉換成玉山圓柏、玉山杜鵑為優勢。目前完成此推移帶之地面調查，未來藉由不同年度之航空照片、衛星遙測影像等資料，結合地理資訊系統(GIS)，可供作長期氣候變遷下林木界線變動之推估。

## 六、參考文獻

- 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。共93頁。
- 呂金誠(2006)雪霸自然保護區翠池地區玉山圓柏林族群結構調查。行政院農業委員會委託研究計畫系列第95-03-08-02號。共80頁。
- 呂金誠(2008)雪霸自然保護區翠池地區玉山圓柏天然更新調查。行政院農業委員會林務局委託研究報告。共44頁。
- 李先琨、歐祖蘭、寧世江、蘇宗明、唐潤琴、李瑞棠 (2009) 元寶山冷杉群落種內與種間競爭研究。廣西植物研究所報告211-218。
- 何中聲、劉金福、鄭世群、蘇松錦、洪偉、吳則焰、徐道煒、吳承貞(2012) 格氏栲天然林林窗和林下種子散布及幼苗更新研究。熱帶亞熱帶植物學報 20(5)：506-512。
- 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。
- 胡喜生、洪滔、范海蘭、洪偉、吳承禎、宋萍(2006)不同演替階段木荷林幼苗分布格局的研究。福建林業科技33(2): 100-104。
- 許俊凱(2006)臺灣中部北東眼山天然林群落結構與種豐富度模式之研究。國立中興大學森林學系博士論文。共63頁。
- 彭少麟(1996)南亞熱帶森林群落動態學科學出版社。北京。
- 黃群修(1994)雪山北坡臺灣冷杉林森林動態與族群結構之研究。國立臺灣大學森林學研究所資源保育組碩士論文。共89頁。
- 喻泓、楊曉暉、慈龍駿 (2009) 內蒙古呼倫貝爾沙地不同樟子松林競爭強度的比較。應用生態學報 20(2): 250-255。
- 楊建夫(2006)冰河曾經來過-雪山圈谷。內政部營建署雪霸國家公園管理處，共90頁。
- 趙安玖、胡庭興、黃從德、陳小紅(2008)山地常綠落葉闊葉林空間點格局

- 特徵。浙江林業科技 28(4): 1-7。
- 劉淑芬(1988)塔塔加地區臺灣雲杉天然林分空間結構與生長動態之研究。國立臺灣大學森林學系碩士論文。共41頁。
- 劉崇瑞、蘇鴻傑(1983)森林植物生態學。台灣商務印書館股份有限公司。462頁。
- 歐辰雄、呂金誠、曾彥學(2006)雪霸國家公園植群分類及空間分布之研究(一)。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 歐辰雄、呂金誠、曾彥學(2007)雪霸國家公園植群分類及空間分布之研究(二)。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- Baker, P. J. and J. S. Wilson(2000)A quantitative technique for the identification of canopy stratification in tropical and temperate forests. *Forest Ecology and Management* 127: 77-86.
- Beard, J. S.(1946)The Mora Forest of Trinidad, British West Indies. *Journal of Ecology* 33(2): 173-192.
- Besag, J. E.(1977)Comments on Ripley's paper. *Journal of the Royal Statistical Society* B39:193-195.
- Camarero, J. J., E. Gutiérrez, M.-J. Fortin(2000)Boundary detection in altitudinal treeline ecotones in the Spanish Central Pyrenees. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 32(2): 117-126.
- Charles, D.C., T. L. Philip and K. D. Coates (2004) A neighborhood analysis of canopy tree competition: effects of shading versus crowding. *Canada Journal of Forestry Research* 34: 778-797.
- Condit, R., P. S. Ashton, N. Manokaran, J. V. LaFrankie, S. P. Hubbell and R. B. Foster(1999)Dynamics of the forest communities at Pasoh and Barro Colorado: comparing two 50 ha plots. *Phil. Trans. R. Soc. London* 354: 1739-1748.
- Duncan, R. P. and G. H. Stewart(1991)The temporal and spatial analysis of tree

- age distribution. *Can. J. For. Res.* 21: 1703-1710.
- Filipescu, C. N., and P. G. Comeau (2007) Competitive interaction between aspen and white spruce vary with stand age in boreal mixedwoods. *Forest Ecology and Management.* 247: 175-184.
- Gatrell, A. C., T. C. Bailey, P. J. Diggle and B. S. Rowlingson(1996)Spatial point pattern analysis and its application in geographical Epidemiology. *Transactions of the Institute of British Geographers, New Series* 21(1): 256-274.
- Hegy, F. (1974) A simulation model for management Jack-pine stand. *Growth models for tree and stand simulation.* Royal College Research 30: 74-87.
- Heltsh, J. F. and T. A. Ritchey(1984)Spatial pattern detection using quadrat samples. *Biometrics* 40(4): 877-885.
- Holtmeier, F.-K.(2003)Mountain timberlines-ecology, patchiness, and dynamics. *Advances in Global Change Research* vol. 14. Kluwer Academic, Dordrecht. 369 pp.
- Hoshino, D., N. Nishimura and S. Yamamoto(2002)Dynamics of major conifer and deciduous broad-leaved tree species in an old-growth Chamaecypariss obtuse forest, central Japan. *Forest Ecology and Management* 159: 133-144.
- Hsieh, C. F.(2003)Composition, Endemism and Phytogeographical Affinities of the Taiwan Flora. p.1-14 in Boufford, D. E., C. F. Hsieh, T. C. Huang, C. S. Kuoh, H. Ohashi, C. I Peng, J. L. Tsai and K. C. Yang (2003) *Flora of Taiwan* 2nd. 343 pp.
- Körner, C.(2003)Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystem. 2<sup>nd</sup> edition. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp 344.
- Latham, P. A., H. R. Zuuring and D. W. Coble(1998)A method for quantifying vertical forest structure. *Forest Ecology and Management* 104:157-170.

Ludwig, J. A. and J. F. Reynolds(1988)Statistical Ecology- A primer on methods and Computing. John Wiley & Sons, New York.

Miyadokoro, T., N. Nishimura and S. Yamamoto(2003)Population structure and spatial patterns of major trees in a subalpine old-growth coniferous forest, central Japan. Forest Ecology and Management 182: 259-272.

Ripely, B. D.(1977)Modeling spatial patterns. Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological) 39(2): 172-212.

Shi, H. and L. Zhang (2003) Local analysis of tree competition and growth. Forest science 49(6): 938-954.

Wolf, A.(2005)Fifty year record of change in tree spatial patterns within a mixed deciduous forest. Forest Ecology and Management 215: 212-223.

## 第六章 昆蟲相調查及指標物種建立及監測

葉文斌、李蕙宜

國立中興大學昆蟲學系

### 摘要

關鍵詞：高山昆蟲、昆蟲相、昆蟲棲群變動、昆蟲功能群

#### 一、研究緣起

台灣位於亞洲東南方，地理上是熱帶及亞熱帶的氣候分佈區，卻又有大面積的高山溫帶環境，甚至是3,500 m以上的寒原地帶，在這特殊的環境下，台灣高山寒原昆蟲組成的演化來源及適應狀態，均將是全世界重要的一個資料庫。從生態功能的角度來看，高山寒原生態功能群組成也相對較為單純，變動的掌握也較為容易。本計畫希望可以釐清雪山高海拔地區的昆蟲群聚組成、季節性動態、分佈變化、生態功能及部分的指標昆蟲。

#### 二、研究方法及過程

根據雪山地區的地形及海拔高度，採穿越線於共有樣區收集昆蟲，每一樣段沿路掃網採集分別針對特定路段的植物收集，像芒草、箭竹及冷杉；針對各主要開花植物的花器，分別掃網收集昆蟲；針對上述不同植被土壤固定面積地表的枯枝落葉蒐集；存證標本保存在95%酒精中；分蟲鑑定至目及科級分類單位。

#### 三、重要發現

2009年至2012年6月雪山主東峰線高海拔各樣區間植物上昆蟲之形態種及個體數，整體來講以半翅目、雙翅目、彈尾目及膜翅目最多。雪山各海拔樣區優勢昆蟲類群為半翅目、雙翅目、膜翅目、彈尾目、鞘翅目。海拔3,300 m以上的SPA-1及SPA-2，6-8月為主要出現時間，應為一年一代；海拔低的SPA-5及SPA-6冬季也不一定少，可能有一年兩代的昆蟲，另有不少偶發性的大量昆蟲，目前尚無法掌握其變動特性。科級昆蟲數量及組成的空間分析顯示，不同海拔昆蟲組成不同，SPA-1及SPA-2較相似，SPA-5及SPA-6彼此相似；同樣海拔高度的樣區中，不同植物上所捕獲的昆蟲組成有很大差別。多樣性及物種豐度分析顯示雙翅目及膜翅目的多樣性及物種

豐多度最高，半翅目及彈尾目數量雖多，但多樣性及物種豐多度較低。各樣區優勢指標科群，大體一致；半翅目以木蝨、葉蟬、蚜蟲及飛蝨為主；雙翅目以搖蚊、黑翅蕈蚋為主；膜翅目為姬蜂；彈尾目為長角跳蟲；鞘翅目為隱翅蟲。各優勢科指標昆蟲多是海拔越高數量漸減，但木蝨科海拔越高數量越多；另外除SPA-1外，象鼻蟲在各海拔也都多。在不同海拔樣區的昆蟲食性組成相似，在植物上掃網之昆蟲組成，以植食性昆蟲佔最大比例，但最高海拔的SPA-1捕食者所佔的比例非常少。總蟲數及生物量在SPA-1、SPA-2、SPA-4大致上一致，海拔越高蟲數及生物量越少；體型較大的革翅目及直翅目等昆蟲數量雖不很多，但生物量的貢獻卻比體型小數量多的彈尾目昆蟲大。

#### 四、主要建議事項

根據本研究於雪山地區各樣區昆蟲採樣分析結果，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

建議事項：

應長期規律性的調查，以釐清偶發性的大量昆蟲是否有幾年一次大發生的現象；另可知一年四季的昆蟲組成變動及優勢指標昆蟲類群，了解高海拔昆蟲是否有一年兩代的可能性。建立各海拔代表性昆蟲圖鑑及說明。

##### (二)中長期建議

主辦機關：行政院所屬機關

協辦機關：雪霸國家公園管理處、國立中興大學

建議事項：

雪山高海拔昆蟲並不足以代表台灣所有高海拔昆蟲特性?應增加轄區內其他高海拔區域及其它國家公園的昆蟲相調查，除建立完整台灣高海拔昆蟲棲群組成、分佈變化及季節變化外，也可了解各國家公園間的昆蟲資源組成差異。高海拔昆蟲多數與中國大陸溫帶地區及西南高山地帶的昆蟲有相關性，建議進一步進行中國地區的相關研究，以釐清台灣高山昆蟲的起源及環境適應機制。

## Abstract

【Keywords】 Alpine insect, Insect dynamics, Insect fauna, Functional groups

The alpine insect fauna along the Syue Mountain trail were determined via sweeping net every two months. Sampling areas in 4 different altitude transactions, i.e. the altitude between 2,500-2,900m, between 2,900-3,100m, between 3,200-3,400m, and more than 3,500m according vegetation zone were designed. More than 140,000 individuals within 20,000 morphospecies of ~245 families were collected and identified in 17 insect orders now. The primary five insect orders in alpine region are Hemiptera, Diptera, Hymenoptera, Collembola, and Coleoptera. Alpine insect fauna was affected significantly by temperature, especially during winter season, which reduced insect amount either in individuals, morphospecies, or families. In high alpine areas (SPA-1 and SPA-2), large amount of insect was appearance during June to August; however, in SPA-5 and SPA-6, the insect amount is also high in winter season. Insect composition was different significantly in the family level at different vegetable habitats and sampling zones. Indexes of diversity and species abundance show high in Diptera and Hymenoptera and low in Hemiptera and Collembola. Dominant families, found in all sampling region, in orders of Hemiptera, Diptera, Hymenoptera, Collembola, and Coleoptera are Psyllidae-Cicadellidae-Delphacidae, Chironomidae-Sciaridae-Phoridae, Ichneumonidae-Proctotrupoids-Eulophidae, Entomobryidae, and Chrysomelidae-Curculionidae-Staphylinidae, respectively. Moreover, individuals of these dominant insect families were regularly decreased with the increasing altitude of sample area except Psyllidae, Staphylinidae, and Curculionidae. Functional groups were defined in families; and phytophagous insects constituted more than predators and decomposers; and predator was particularly few in SPA-1. Biomass was decreased with the increasing sampling altitude. Moreover, specimens with large body size of orthopteran and dermapteran have contributed more to the biomass than those in large number and tiny size, such as collembolan.

## 一、研究緣起與背景

台灣位於亞洲東南方，周圍為海洋阻隔，夏季有西南氣流，冬季有東北季風的洗禮；地理上是熱帶及亞熱帶的氣候分佈區，卻又有大面積的高山溫帶環境，甚至是3,500 m以上的高山寒原地帶，不難想像在這特殊的環境下，台灣高山寒原昆蟲組成的研究，不僅是全球少數的幾個特殊的研究地點，其特殊的演化來源及適應狀態，均將是全世界重要的一個資料庫。在3,000 m以上高海拔山區，箭竹草原、冷杉林與高山寒原是重要的特質，海拔3,500 m森林界線以上的高山寒原，更是氣候變遷最敏感的地帶；配合相關測候資料，是研究高山箭竹、冷杉及灌木等森林界線推移最適宜的地區。此外，居住此環境下的昆蟲，也有其獨特的適應狀態，台灣高山昆蟲組成，部分受喜馬拉雅山系影響，部分與東亞北方相似，有不少是冰河期後的殘存種，因長久隔離所以有許多成為特有種或特有亞種。若另從食物鏈及生態功能的角度來看，昆蟲群聚之組成及生態功能，可探討初級消費者、次級消費者及分解者食物鏈之主要架構；高山寒原生態系食物鏈短，能量流動簡單，其生態功能群組成也相對較為單純，昆蟲在消費者及分解者的功能扮演上較易掌握。

雪山地區海拔3,500m以上之地區每年可以有4個月的降雪期，可以預見降雪時期的冬春季節與非降雪時期的夏秋季節的環境驟變，對昆蟲的存活及組成影響大。台灣昆蟲能否在短短300萬年內演化出此一高山昆蟲的特性，有待本研究的資料累積及分析。針對藉由雪山地區昆蟲的定期調查，除可建立高海拔之昆蟲組成分佈外，也可揭開高山昆蟲相成因，尤其是其適應起源的神秘面紗。雪山地區中高海拔地區的昆蟲有著明顯的棲群變動，除常見的昆蟲一年四季均可見外，尚有很多如下所敘季節性才出現的昆蟲。

在過去幾年的資料累積下顯示，高山昆蟲的生活史歧異甚大，有不少是一年多代，多數為一年一代，甚至有可能多年一帶的現象，不少一年一代的蟲子均僅是出現1-2個月的時間；有些昆蟲像巨山蟻、馬醉木木蝨、杜鵑蚱蟲及雲杉球蚱均顯示，有三、四年為一週期的大發生現象。

在全球暖化的陰影下，全世界各地的學者都在想辦法提供這方面的生物數據，來告知是人全球暖化對於人類的嚴重衝擊。台灣的高海拔的獨特

環境受暖化的衝擊應該會很嚴重，尤其是雪山海拔3,500 m以上的圈谷寒原，其生物相的特殊性，更首當其衝。因此，若以圈谷的生物為研究材料，監測其受暖化衝擊的影響，當可加速世人對暖化影響的注意。在圈谷中的常綠植物僅有玉山圓柏、玉山杜鵑及部分的冷杉。每年的12月到3月間若有大寒流來，則都會有積雪。五月到十月之間會有一些小灌木及雜草生長，尤其是在七月到九月間，有不少的開花植物，會有不少的訪花昆蟲出現。在常綠的三種灌木中，在有些季節杜鵑上會有密密麻麻的蚜蟲取食，在7-9月時圓柏上會有密密麻麻的木蝨取食；而冷杉上也會有另一種木蝨取食。其餘昆蟲，像大蚊、搖蚊、蝗蟲、沫蟬、蜘蛛等，則較未有季節的特性。在功能群特性上，植食性的蚜蟲、木蝨、沫蟬、蝗蟲等提供了像寄生蜂、蜘蛛、鳥類等捕食者大量的食物來源，在這些昆蟲死之後落入土中也成為腐食者雙翅目幼蟲的絕佳食物來源。

高山生態系雖然穩定，但因環境惡劣，環境若被破壞難以復原，可能需百年以上，像雪山東峰森林大火，已近十年，灌木的生長復原幾無；而369山莊附近的大火更將已長成的小數苗盡數焚燬，不知何時才能復原。此均凸顯此種高山地區特性的生態系保護的重要性，更應建立生態基本資料。本計畫以雪山地區及圈谷寒原比較昆蟲的多樣性組成及其生態功能角色，按期調查分析，希望可以釐清雪山高海拔地區的昆蟲季節性動態、群聚組成及生態功能，並建立優勢之指標性昆蟲科群。

針對高海拔之昆蟲相設計相關之研究主題，希望可以釐清雪山地區高海拔地區的昆蟲季節性動態及組成改變。雖有不少調查報告均提到台灣的高山昆蟲，但是這些報告多數幾乎僅涉及到2,000~3,000 m的昆蟲，較具高海拔昆蟲特性的科學調查研究，也僅有海拔3,200 m的合歡山區，針對該地區箭竹草原(陳及林, 1989)及池沼的昆蟲相進行調查(林等人, 2006)；陳及林指出，箭竹草原的昆蟲以六月到十月為出現高峰，且昆蟲的密度受箭竹的組成影響，掃網的主要昆蟲為葉蟬、搖蚊及蚜蟲，而水果腐肉陷阱主要為跳蟲及螞蟻；林等人(2006)池沼的水生昆蟲指出以搖蚊科為主幾乎佔39%的數量；何(2004)則提到塔塔加地區的土壤表層以跳蟲居多，地上部份則以同翅目、鞘翅目及雙翅目居多；而Kano及Yosimura (1934)調查指出，雪山地區幾個高山湖泊以石蠶蛾、晏蜓、豆龍蟲及水黽為主；連及楊(2000)指出高山甲蟲研究上的困難。其餘高山昆蟲相關研究則多低於海拔3,000

m；何等人(1997)及Otsu等人(1992)指出海拔2,500 m的七彩湖以石蠶蛾、搖蚊、晏蜓及豆龍蟲為主。徐及楊(2006)在太魯閣國家公園的調查以中橫沿線為主，雖對太魯閣國家公園的部分高山地區進行研究，但其採集次數及時間並無法全面看出高海拔昆蟲的變動，且其甚少觸及3,500 m以上之高海拔昆蟲分佈；其中提及並在南湖北峰一帶可發現曙鳳蝶等七種鳳蝶，台灣粉蝶等三種粉蝶，永澤蛇目蝶等十餘種蛺蝶及阿里山琉璃小灰蝶；其餘少數稻蝗、蜻蜒、素木氏虎甲蟲、步行蟲、蟻塚蟲、小蠹蟲、紅螢及熊蜂等零星紀錄。

## 二、研究設計

### (一)研究地點

目前於雪霸國家公園境內所進行的採集，每兩月採集一次；已完成2009年2月至2012年12月的採集，鑑定分析到2012年6月的掃網(SWP)樣本。依據陷阱的設計可分為枯落葉(LIT)及掃網(SWP)的蒐集，之後將所得樣本帶回實驗室進行分蟲及鑑定至科級。在掃網部分，分別在雪山主峰步道沿線，自七卡山莊起(海拔2,500 m)至雪山主峰(海拔3,886 m)；以Su(1984)之海拔高度帶、植群帶及氣候帶特性選定高海拔之穿越線樣區，配合本研究計畫之共同採樣點，包括SPA-1(圈谷)樣區、SPA-2(黑森林水源地)樣區、SPA-4(火燒地)、SPA-5(雪山東峰)樣區及SPA-6(七卡山莊)樣區等不同海拔高度之樣區。於枯落葉部分，則以上述採集樣區各植物形態分別收集，調查枯落葉內之昆蟲組成變異。

### (二)研究方法

#### 1.採集及調查方法：

根據雪山地區的地形及海拔高度，於共同樣區沿路掃網採集分別針對特定路段的箭竹、芒草及灌木等不同植物收集。另針對各主要開花植物的花器，分別掃網定量收集昆蟲。針對不同植被土壤固定面積地表的枯枝落葉蒐集，再以柏氏漏斗(Berlese funnel)將蟲篩出，並配合土壤調查測土壤特性對昆蟲組成的影響。

(1)掃網(sweeping net, SWP)；高海拔昆蟲之調查用沿途掃網之方式，掃取山徑兩旁兩公尺內之昆蟲，依樣段及不同植被方式收集昆蟲。網柄長度以個人身高為限。網得之昆蟲均裝於10號夾鍊袋中，標記採集日期、地點及方法，帶回實驗室進一步處理。每樣區不同植被上各採集200網。

(2)枯落物收集(litters, LIT)；每一小樣區均收集一包10號夾鍊袋之枯落物及部份腐植土，每樣區不同植被下各裝滿一袋10號袋為基準；以柏氏漏斗分離(Berlese funnel method) 植物分解者及土棲昆蟲。

#### 2.樣本處理保存及管理

(1)採得落葉及腐植土分別裝入採樣袋(10號夾鍊袋)；並將樣品編號放入袋中。

(2)以60W燈泡照射5-7天。

(3)收集標本浸泡於酒精中，標上標籤，再進一步分科分析處理。

處理後之存證標本，依掃網(sweeping net, SWP)及枯落葉物搜集(litters, LIT)等代碼編寫每一件存證標本之編碼，以便日後再比對管理。浸液標本保存在95%酒精中。

### 3.樣本處理及鑑定流程

- (1)分蟲；編標本碼→登錄採集資料(如採集日期、地點、方法、採集者)。
- (2)鑑定；填鑑定資料表，主以各目、科及形態種為分類依據。鑑定方法及參考昆蟲分類及圖鑑相關書籍。此外，更建立各昆蟲個體之體長資料，以評估其相對之生物量。
- (3)輸入資料庫以便分析。應用Excel製作各類圖表。

### 4.分析主題

- (1)高山生態系昆蟲各海拔樣區的組成及變動分析。
- (2)不同植被環境，如箭竹、芒草、灌木的昆蟲組成分析。
- (3)各海拔樣區科級多樣性指數及豐多度分析
- (4)優勢指標性昆蟲科群之分析
- (5)測量昆蟲體長推估其相對生物量；藉由各昆蟲分類群特性之推估為體型之參數，計算各類群昆蟲之體型指標值，以推算其生物量。

### 三、結果

各主要植被包括芒草、草原箭竹、林下箭竹、灌木、冷杉、杜鵑、圓柏等優勢植物，分別掃網收集；以下主要以2009年2月至2012年6月間所採得的樣本進行分析討論。

#### (一) 高山生態系昆蟲各海拔樣區的組成及多樣性變動分析

##### 1. 高海拔各樣區植物上昆蟲之各目及月份個體數變化

共計累積昆蟲綱17目160,245隻昆蟲；昆蟲綱內各目昆蟲數依其所占總數百分比後可知，雪山上優勢的昆蟲類群分別為半翅目(37.8%)>雙翅目(24.3%)>彈尾目(19.4%)>膜翅目(9.2%)>鞘翅目(3%) (圖6-1、表6-1)。

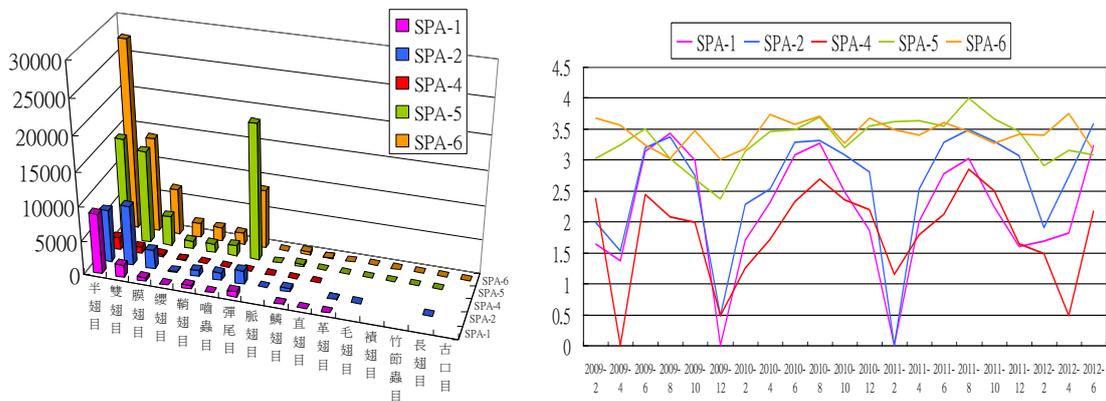


圖6-1. 各目昆蟲及各季節昆蟲於各海拔樣區的分布變化。

(資料來源:本研究資料)

雪山各樣區植物上各月分所得昆蟲之數量示如圖6-2及表6-2，其中有些月份無法取樣:包括:SPA-3樣區在2009年8月份後才有數據資料，SPA-1(圈谷)在2009年12月、SPA-1與SPA-2(黑森林)在2011年2月皆因積雪無法取得樣本；排除上列因素後，綜合各月份的資料分析可知，SPA-1、SPA-2與SPA-4的蟲數集中在6-10月出現分別為SPA-1有11,886隻(佔該區所有昆蟲數的95%)、SPA-2有20,427隻(佔86%)，SPA-4有2,701隻(佔81%)穩定以8月到達數量高峰(除SPA-4(火燒地)的2009年外)。於2009、2010、2012年SPA-5在2-6月間的昆蟲數量有隨各月份漸升的趨勢，2011年則呈現不同趨勢。SPA-5的昆蟲數量高峰2009年在6月而2010年與2011年則在8月，而

SPA-6的昆蟲數量則較不固定。

**表 6-1. 高海拔各樣區植物上所得昆蟲之數量變化表**

	SPA-1	SPA-2	SPA-4	SPA-5	SPA-6	總量
半翅目	8821	7646	1813	14878	27572	60730
雙翅目	1801	8778	921	13520	13938	38958
膜翅目	516	2799	292	4392	6794	14793
纓翅目	16	148	37	1155	2155	3511
鞘翅目	502	860	106	1273	1988	4729
嚙蟲目	24	1054	62	1574	1694	4408
彈尾目	738	1958	29	19848	8616	31189
脈翅目		35	2	29	72	138
鱗翅目	94	485	27	397	441	1444
直翅目	4		33	22	71	130
革翅目	17	14		28	32	91
毛翅目		32		31	39	102
積翅目				1	1	2
竹節蟲目				2	14	16
長翅目		1		1	1	3
古口目					1	1
總量	12533	23810	3322	57151	63429	160245

(資料來源:本研究資料)

**表 6-2. 雪山各樣區植物上各月分所得昆蟲之數量**

樣區	SPA-1	SPA-2	SPA-4	SPA-5	SPA-6
2009-2	44	99	240	1037	4747
2009-4	23	33	0	1741	3568
2009-6	1380	1586	279	3146	1733
2009-8	2627	2353	120	1037	1047
2009-10	994	555	97	490	2947
2009-12	0	3	3	236	1002
2010-2	50	187	18	1374	1489

(資料來源:本研究資料)

表6-2. 雪山各樣區植物上各月分所得昆蟲之數量(續)

樣區	SPA-1	SPA-2	SPA-4	SPA-5	SPA-6
2010-4	205	333	51	2846	5357
2010-6	1206	1880	212	3090	3691
2010-8	1858	2046	487	4817	4982
2010-10	301	1213	227	1540	1822
2010-12	72	638	156	3456	4743
2011-2	0	0	14	4060	3076
2011-4	100	334	62	4208	2485
2011-6	588	1883	130	3446	3956
2011-8	1052	3023	689	9878	2830
2011-10	171	1979	312	4526	1861
2011-12	40	1145	44	2835	2615
2012-2	48	80	30	801	2524
2012-4	65	531	3	1403	5549
2012-6	1709	3909	148	1184	1405

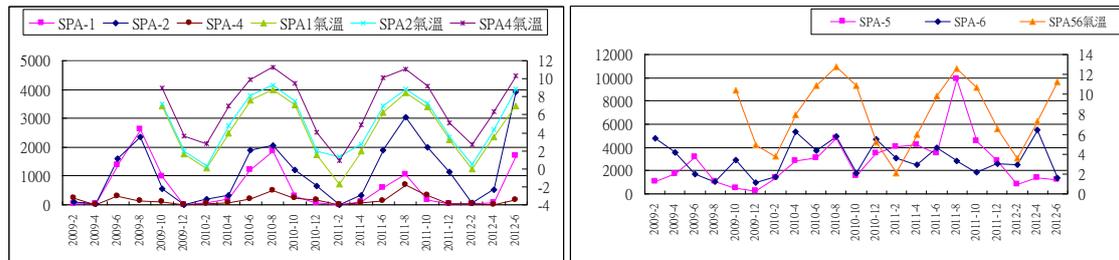


圖6-2. 各目昆蟲在各季節於各海拔樣區的分布變化與氣溫變化。

(資料來源:本研究資料)

整體來說，以低海拔SPA-5與SPA-6的蟲數量最多，兩樣區的總蟲數佔目前所取得蟲數(160,245隻)的7成5(120,580隻)，撇除採樣較不完整的SPA-4(火燒地)後可知，海拔越高蟲數越多。

## 2. 各樣區各月份蟲數與氣溫之變化

將雪山氣溫與蟲數在各月份的數據化圖後(如圖6-2)，發現SPA-1、SPA-2與SPA-4樣區各月份昆蟲數量波動和氣溫波動較為一致，有隨氣溫上下蟲數增減的趨勢；而SPA-5與SPA-6在總蟲數來看與氣溫波動則無明顯一致情形。

## (二) 不同植被環境的昆蟲組成分析

依照不同植物掃網取得來的昆蟲相分別去看空間分佈，以瞭解是否蟲

相與樣區及植物相不同有關，經排序做降趨對應分析後可得到圖6-3，距離越近表示昆蟲組成差異越小，由6-3左圖可知各樣區間的昆蟲組成情形，大致可分為四群: SPA-1、SPA-2、SPA-4、SPA-5與SPA-6；另將各樣區依不同植物上昆蟲組成來看是否有差異，由6-3右圖可知，SPA-5草原箭竹與SPA-6草原箭竹昆蟲組成較相近，SPA-1圓柏、SPA-1杜鵑、SPA-2冷杉較其他樣區植物組成相近，但彼此仍有差距，其中SPA-1杜鵑與SPA-2冷杉的昆蟲組成又較為相近，SPA-1不同植物昆蟲組成差異大；SPA-6芒草、SPA-5芒草、SPA-6灌木較相近，SPA-2箭竹與SPA-5、SPA-6灌木較相近；不同海拔的林下箭竹、草原箭竹、芒草彼此相近，SPA-1、SPA-2蟲相皆仍與SPA-5與SPA-6差異很大，除了SPA-2箭竹與SPA-5灌木之外。顯示不同海拔的植物相相同，其昆蟲相也較相近；而SPA-4(火燒地)昆蟲相較接近草原箭竹。

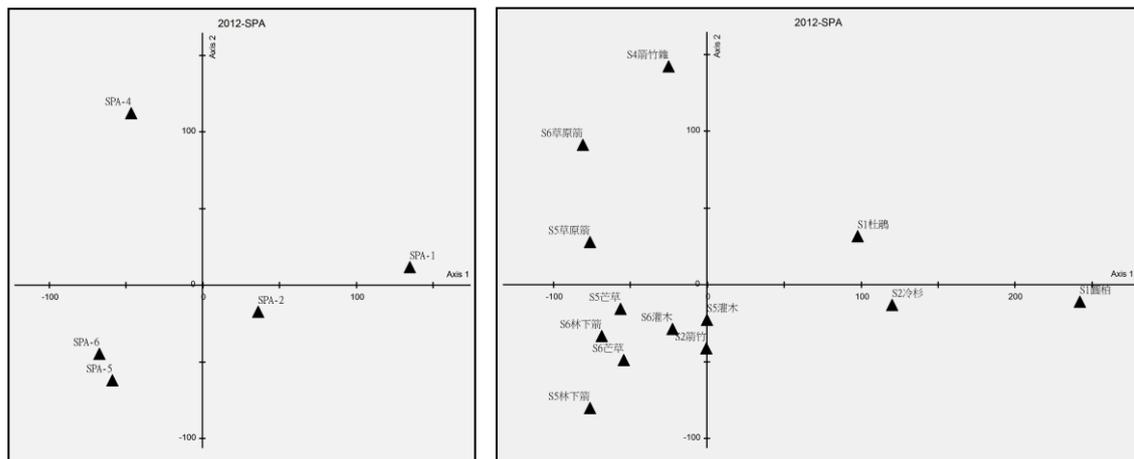


圖6-3.昆蟲於各海拔樣區植被上的相對組成。

(資料來源:本研究資料)

### (三)各海拔樣區科級多樣性指數及豐多度分析

各海拔樣區各科數量及個體數量差別很大，為釐清昆蟲各目在各海拔樣區的歧異度及相對數量，應用夏農多樣性指數及豐多度探討其變化過程。

半翅目(圖6-4):多樣性指數多在1-2以下，各海拔變動狀況並不一致；SPA-1最低，SPA-5及SPA-6多樣性較其他樣區高；SPA-5在6-8月最高，12月最低；SPA-6在8月最高，12-2月最低。豐多度顯示都小於12；SPA-1及SPA-2於8月最高，12月或2月最低；SPA-5及SPA-6均比SPA-1及SPA-2還高，

大概都在12月最低。從豐多度來看各樣區出現的半翅目科別數，SPA-6最高，其次為SPA-5、SPA-2、SPA-1，由此可知各海拔出現的半翅目科別數量大致是海拔越低科別數量越多。

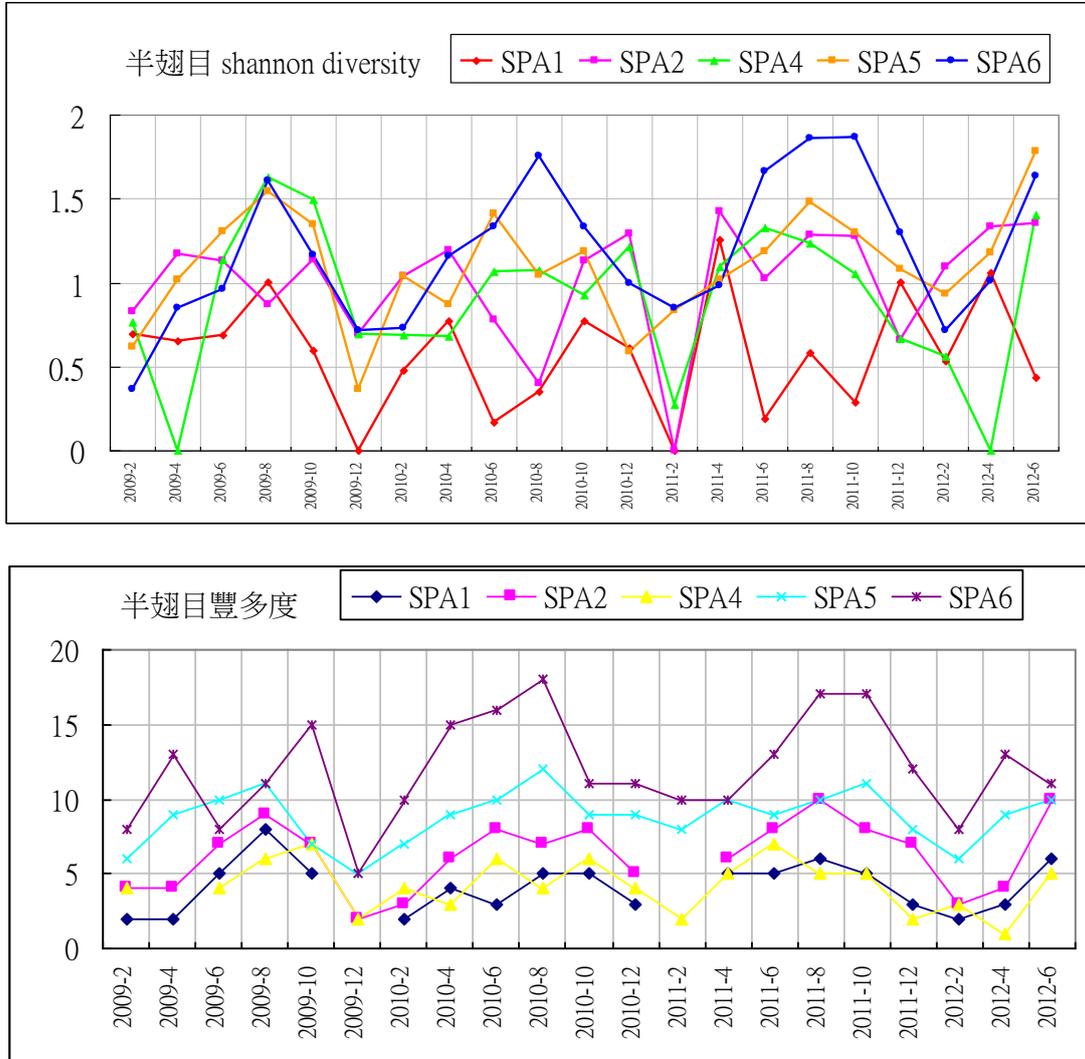


圖6-4. 半翅目在各樣區的多樣性夏農多樣性指數與豐多度。

(資料來源: 本研究資料)

雙翅目(圖6-5):多樣性指數達2.5，整體規律，在6-8月最高，12-2月最低；SPA-5及SPA-6比SPA-1及SPA-2還高。豐多度達33，整體也有規律性，6-8月最高；SPA-5及SPA-6均比SPA-1及SPA-2還高，SPA-4(火燒地)雙翅目多樣性指數最低。從雙翅目豐多度來看，SPA-5與SPA-6可達33，最多可達15，是各海拔最低者，各海拔皆呈現雙翅目在六到八月出現的科別最多。

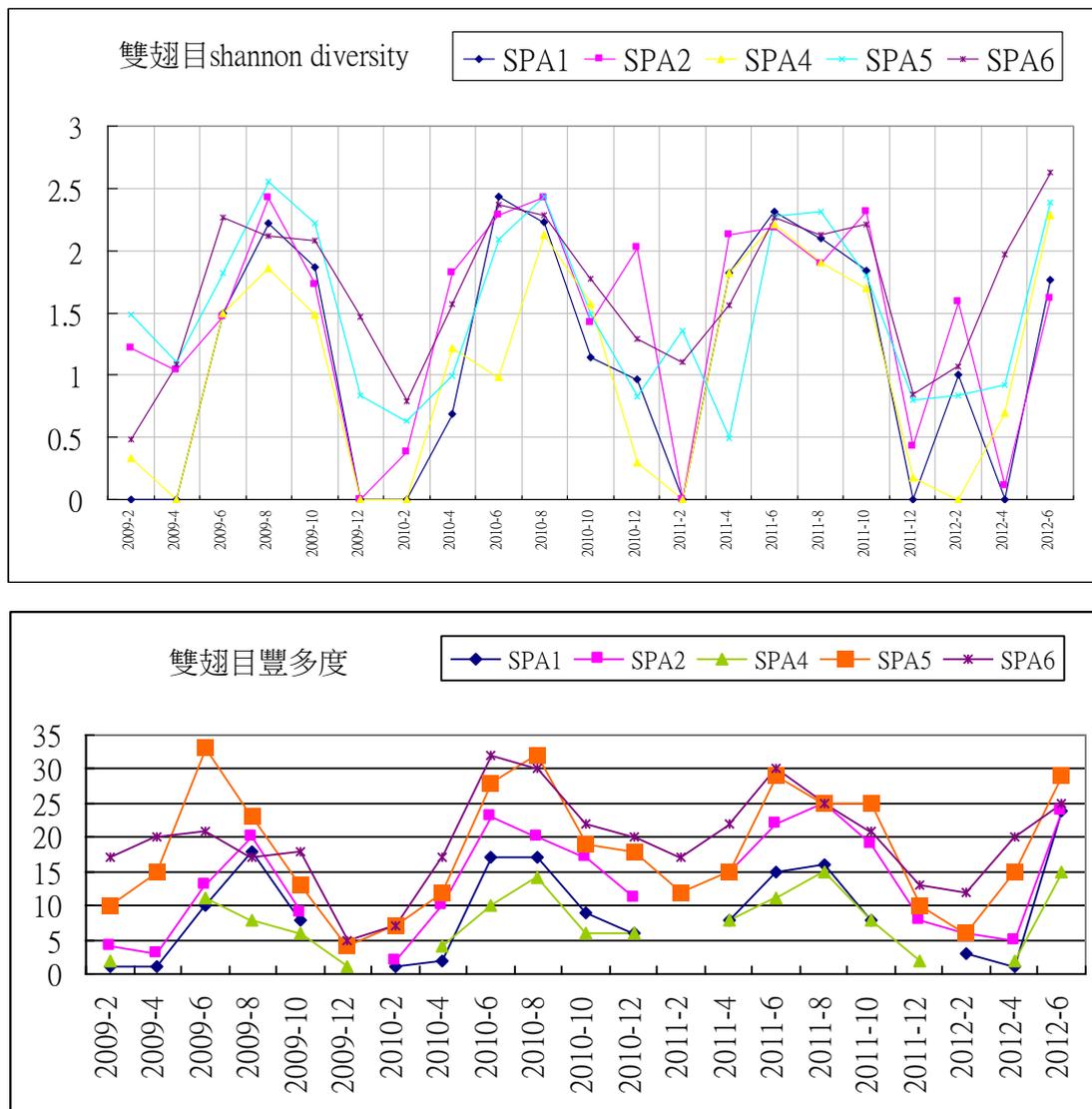


圖6-5. 雙翅目在各樣區的多樣性夏農多樣性指數與豐多度。  
(資料來源: 本研究資料)

膜翅目(圖6-6):SPA-5及SPA-6較一致,僅在2009年12月較低,其餘時間都維持在2-2.5之間;SPA-1在12月、2月、4月最佳,SPA-2僅在冬季最低;基本上海拔越高,膜翅目多樣性越低。豐多度達28;海拔越高豐多度越低,SPA-1及SPA-2在12-4月最低,在6月至8月最高;SPA-5及SPA-6在12月及2月最低。

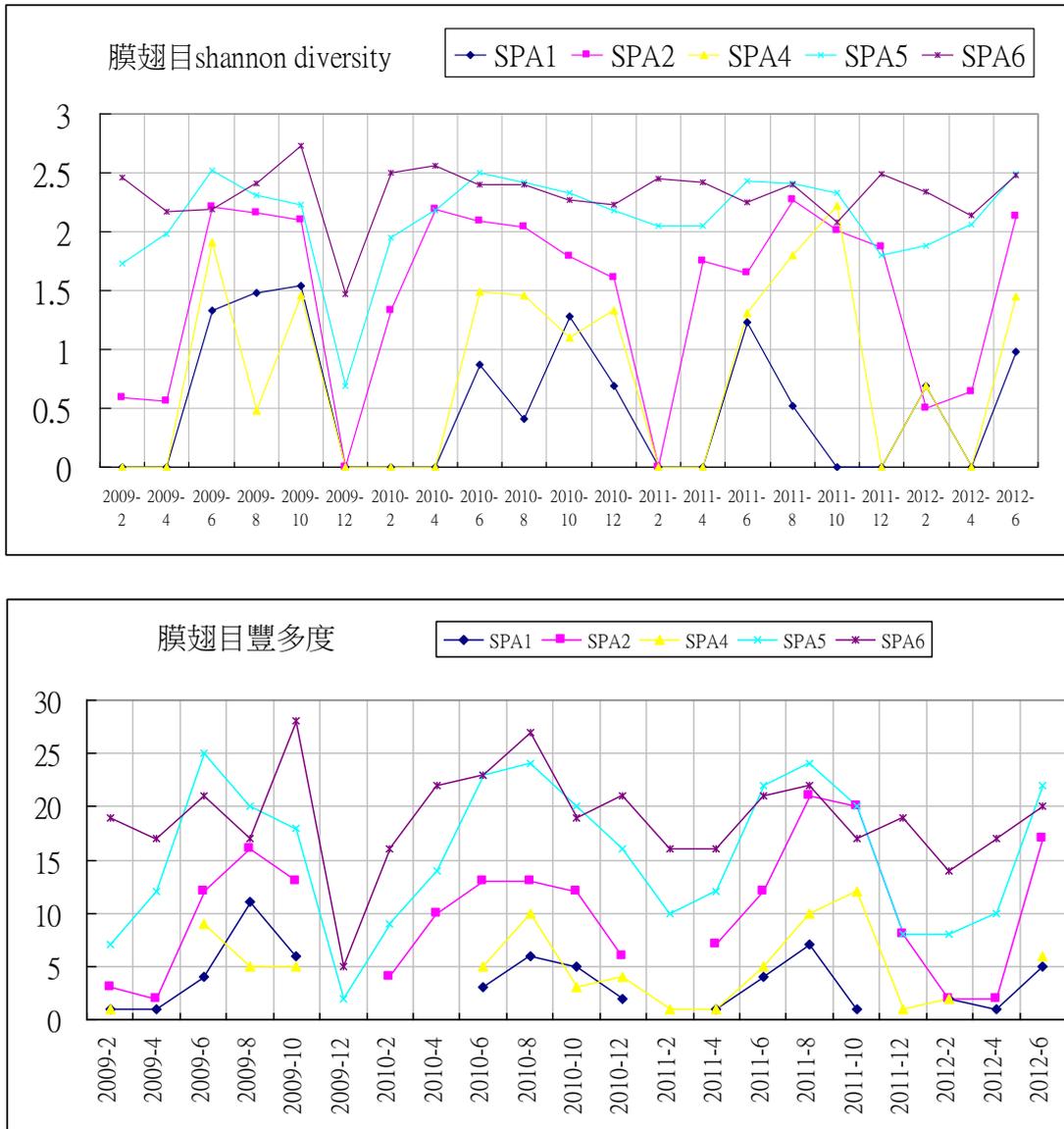


圖 6-6. 膜翅目在各樣區的多樣性夏農多樣性指數與豐多度。

(資料來源: 本研究資料)

彈尾目(圖6-7):多樣性低於1且個月份波動甚大，與海拔高度未有明顯規律性；豐多度低於5，SPA-1及SPA-2在12月-2月有較低的現象。

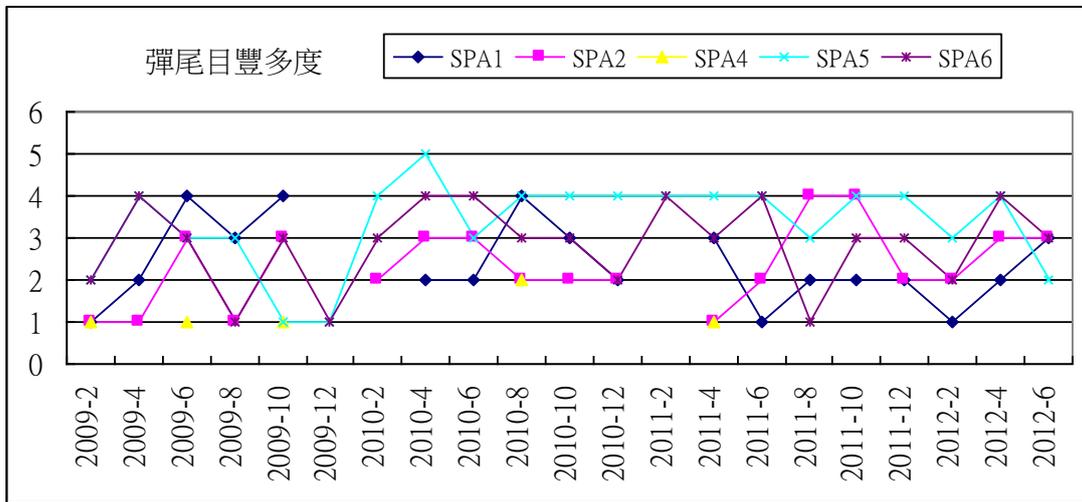
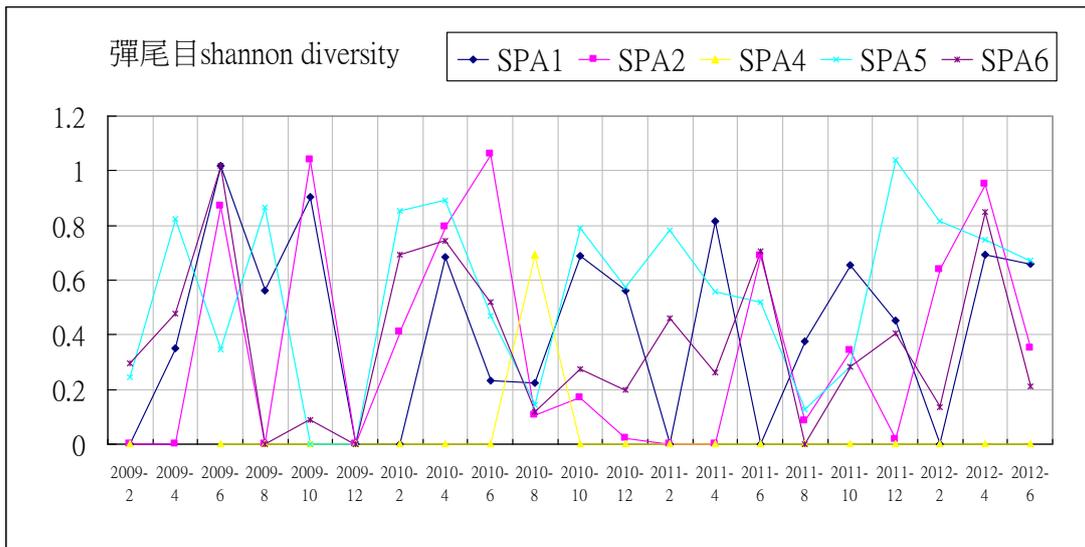


圖6-7. 彈尾目在各樣區的多樣性夏農多樣性指數與豐多度。

(資料來源: 本研究資料)

#### (四) 優勢指標性昆蟲科群之分析

為判別物種的優勢度 (species dominance)，優勢度等級依 Engelmann(1978)的定義區分為6 個等級：真優勢(eudominant)為該物種個體數量佔群聚總個體數的 32.0 ~ 100 %、優勢(dominant)為個體數量佔 群聚的10.0 ~ 31.9 %、亞優勢(subdominant)為個體數量佔群聚的 3.2 ~ 9.9 %、劣勢(recedent)為個體數量佔群聚的 1.0 ~ 3.1 %、亞劣勢(subrecedent)為個體數量佔群聚的 0.32 ~ 0.99 %、稀有(sporadic)為個體數量小於群聚總個體數的 0.32 %。

在各樣區各級優勢科群(表6-3)顯示，SPA-1木蝨是真優勢科(51%)，優勢科為常蚜科(14%)，皆為半翅目類群，其餘亞優勢科亦為植食性昆蟲類別居多。SPA-2優勢科為木蝨科與搖蚊科；特別的是2009年6月在冷杉圓柏與箭竹上都有癭綿蚜的大量出現(211隻與177隻)。SPA-4以葉蟬(14%)、常蚜(18%)、長椿(14%)為優勢科，其中長椿科自2010年與2011年在八月會數量增多；SPA-5優勢科類群為：葉蟬科(11%)、搖蚊科(11%)、長角跳蟲科(24%)，在SPA-5樣區內主要的四群植物相來看(表6-4)，在林下箭竹的長角跳蟲就佔41%，且林下箭竹與草原箭竹內的長角跳蟲數量佔SPA-5樣區內所有該科數量的八成，可見對箭竹有優勢指標意義；SPA-6優勢科為葉蟬科與長角跳蟲科，若以不同植群來看其上昆蟲組成可發現優勢類別不同，此樣區的優勢科葉蟬科在草原箭竹上是為真優勢科(48%)，而同為此區優勢科的長角跳蟲則在各植物上數量皆不少故為該區優勢科。

表6-3. 各樣區真優勢、優勢與亞優勢昆蟲科別

	SPA-1	SPA-2	SPA-4	SPA-5	SPA-6
真優勢	木蝨科 (51%)				
優勢	常蚜科 (14%)	木蝨科 (23%) 搖蚊科 (14%)	葉蟬科 (14%) 常蚜科 (18%) 長椿科 (14%)	葉蟬科 (11%) 搖蚊科 (11%) 長角跳蟲科 (24%)	葉蟬科 (16%) 長角跳蟲科 (14%)
亞優勢	葉蟬科 姬蜂科 搖蚊科 隱翅蟲科 圓跳蟲科	葉蟬科 常蚜科 黑翅蕈蚋科 長角跳蟲科	飛蝨科 蟻科 搖蚊科 黑翅蕈蚋科 家蠅科	常蚜科 黑翅蕈蚋科 圓跳蟲科	飛蝨科 搖蚊科 黑翅蕈蚋科 管蓟馬科

(資料來源:本研究資料)

表6-4. 各樣區內不同植物之各級優勢昆蟲類群

樣區	植群	真優勢	優	勢
SPA-1	圓柏	木蝨科 (74%)		
	杜鵑		木蝨科 (27%)	常蚜科 (28%)
SPA-2	冷杉	木蝨科 (37%)	搖蚊科 (12%)	
	箭竹		搖蚊科 (16%)	長角跳蟲科 (12%)
SPA-4	箭竹雜草		葉蟬科 (14%)	常蚜科 (18%) 長椿科 (14%)
SPA-5	灌木		搖蚊科 (16%)	黑翅蕈蚋科 (10%)
	芒草		常蚜科 (11%)	長角跳蟲科 (30%)
	草原箭竹		葉蟬科 (28%)	長角跳蟲科 (24%) 圓跳蟲科 (16%)
	林下箭竹	長角跳蟲科 (41%)	搖蚊科 (16%)	
SPA-6	灌木		長角跳蟲科 (12%)	
	芒草		搖蚊科 (10%)	長角跳蟲科 (21%)
	草原箭竹	葉蟬科 (48%)		
	林下箭竹		飛蝨科 (11%)	搖蚊科 (14%) 長角跳蟲科 (16%)

(資料來源：本研究資料)

**(五) 昆蟲體長的生物量轉換**

本研究的每一形態種，其體長均有紀錄，由過去學者的研究可知，可藉由 $Weight = a \times Length^b$ 的規律轉換，其中Length及Weight分別是mm及mg。在昆蟲方面有學者整理出各目昆蟲的一個介量數值 (Gruner, 2003)，藉由此昆蟲體長的訊息將可轉換成生物量。以下將2009年至2012年6月的昆蟲生物量做統計，比較各海拔各月份的結果；

**表6-5. 植物上掃網所得昆蟲2009-2012年2月各月份累積的生物量**

總生物量	SPA-1	SPA-2	SPA-4	SPA-5	SPA-6
2009年2月	3	19	91	245	1119
2009年4月	3	49	0	380	1153
2009年6月	285	298	175	932	776
2009年8月	298	1102	81	542	796
2009年10月	99	281	51	362	724
2009年12月	0	0	0	88	266
2010年2月	10	29	1	127	413
2010年4月	23	72	17	783	2619
2010年6月	239	976	124	1034	3770
2010年8月	470	604	220	1184	2328
2010年10月	55	550	131	523	646
2010年12月	24	183	42	943	1038
2011年2月	0	0	8	403	705
2011年4月	23	79	13	382	2010
2011年6月	626	1276	106	1006	1512
2011年8月	357	556	447	1521	2836
2011年10月	46	591	320	835	684
2011年12月	7	112	7	283	355
2012年2月	4	28	118	166	294
2012年4月	6	129	3	310	1493
2012年6月	665	1449	96	547	862
總數量	3243	8383	2051	12596	26399

(資料來源:本研究資料)

植物上掃網所得昆蟲部分整年累積的生物量是SPA-6>SPA-5>SPA-2>SPA-1>SPA-4(表6-5)，SPA-4(火燒地)生物量最低，而SPA-1(圈谷)所產生之生物量也不多。SPA-1在2009-8月木蝨數量雖多，但以體長換算出生物量少，而在2011-6月因有數十隻體型較大的大蚊出現使生物量較高；SPA-6有在2009年的2月、4月與2010年的4月與8月因為半翅目葉蟬數量爆

增上千隻的結果使生物量升高。2009年6月或8月則是因為在有採到如竹節蟲、尺蠖蛾幼蟲、脈翅目蝸蛉、革翅目蠟螋或直翅目昆蟲等體長較長的昆蟲，故SPA-6樣區裡面八月份的生物量是全年度最多的。跳蟲在2010與2011年12月數量增多，但是對生物量幫助卻很小，使曲線未一致。SPA-5在2009年以6月份生物量最多，主要由於葉蟬數量的增加，同時也因為每年的6月至8月是雙翅目或鞘翅目數量增多的時節，使的生物量在在夏季升高；SPA-1與SPA-2全年以6-8月份生物量最多，但SPA-1生物量來源主要以雙翅目(大蚊(主要影響生物量者)、家蠅、花蠅、毛蚋等)、半翅目(木蝨)及鞘翅目(隱翅蟲、金花蟲)為主要，SPA-2生物量來源為鞘翅目八月偶發性大量隱翅蟲、2010-6菊虎與象鼻蟲、冷杉上的木蝨、雙翅目的家蠅、舞虻與一些體長較長的脈翅目、鱗翅目昆蟲。

將各月份數量配合生物量來看，生物量大致隨昆蟲數量增減，SPA-2昆蟲計算出的生物量與蟲數顯出高的一致性，三年間都以六月或八月達到生物量高峰(圖6-8)，但兩年間有些微不同，可能與當年氣候變化有關連性；火燒地SPA-4蟲數在三年間數量漸多，其產生之生物量及數量幅度類似，可以很明顯看出SPA-4在每年的生物量年年都有在增多，呈現恢復態勢；SPA-5及SPA-6在2010年10月生物量及蟲數均是當年的最低點，與採集時多雲霧雨有關，SPA-5在2011年的2月及4月，蟲量比生物量高很多，主要為小型的黑翅葷蚋數量增高的原因造成，竹節蟲的出現會使總體生物量急遽升高，如SPA-6在2010年6月增加2471mg、2011年4月增加1230mg、2011年8月增加1895mg等。

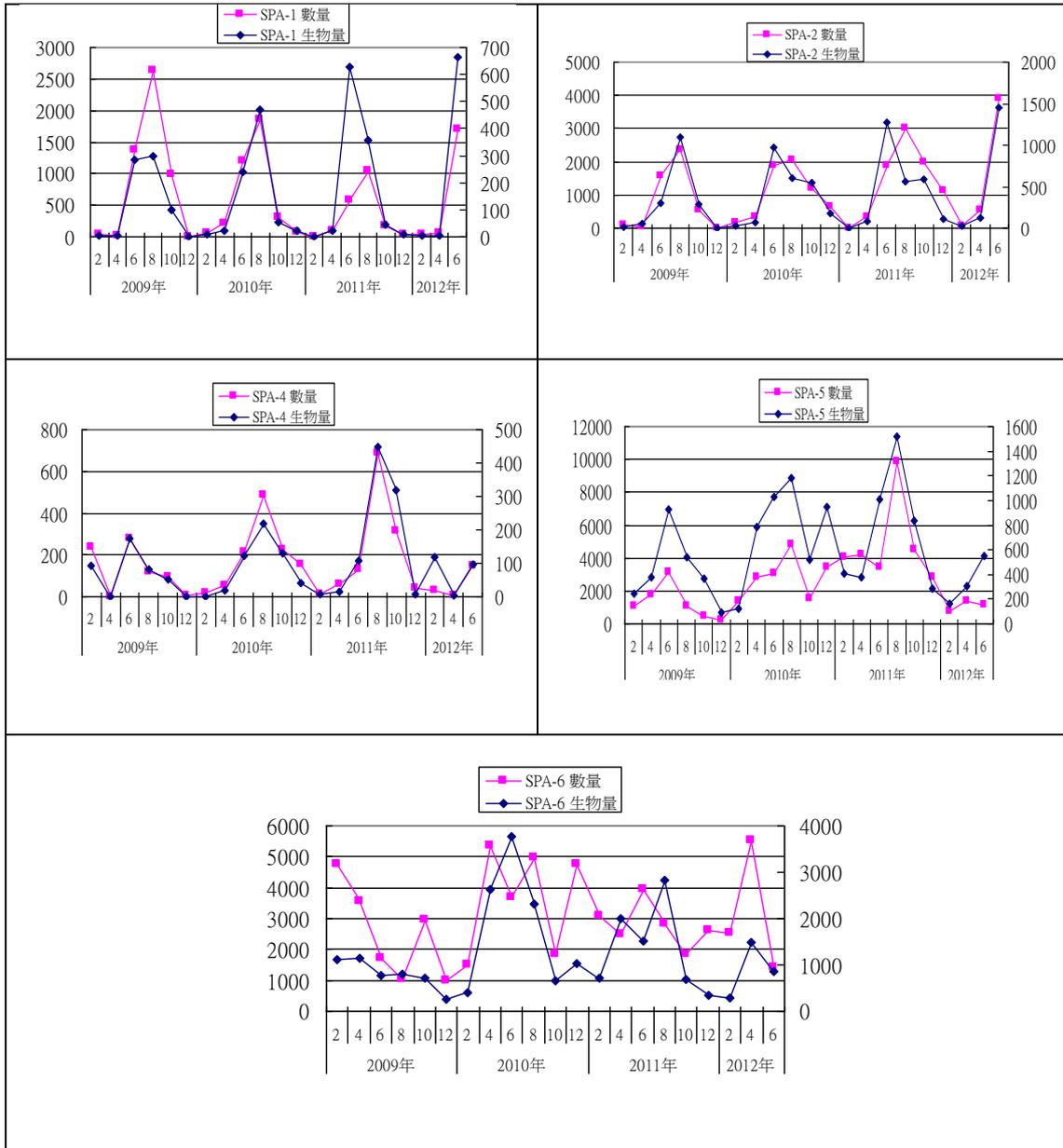


圖6-8. 掃網昆蟲各海拔各月份昆蟲數量(紅線)與生物量(藍線)

(資料來源:本研究資料)

## 四、結論與建議事項

### (一)結論

1. 雪山各海拔樣區優勢昆蟲類群為半翅目、雙翅目、彈尾目、膜翅目、鞘翅目。
2. 高海拔樣區植物上捕獲的昆蟲數量受各月氣候溫度影響很大，海拔3300公尺以上的SPA-1、SPA-2與SPA-4，6-10月為主要出現時間；海拔低的SPA-5及SPA-6冬季也不一定少。
3. 科級昆蟲數量及組成的空間分析顯示，不同海拔昆蟲組成不同。
4. 同樣海拔高度的樣區當中，不同植物上所捕獲的昆蟲組成有很大差別，SPA-5及SPA-6的箭竹草彼此類似，SPA-5及SPA-6的芒草也彼此類似，SPA-5及SPA-6的灌木也彼此類似。
5. 雪山昆蟲四季約略的變動性：像SPA-1均在6-8月最多，為一年一代；而SPA-5及SPA-6一年四季蟲都不少，可能有一年兩代的昆蟲，像葉蟬在2月及10月若蟲特多且成蟲幾乎未見。但有些偶發性的昆蟲，目前尚無法掌握其變動特性，需持續調查才可進一步掌握大量昆蟲偶發性的現象。
6. 多樣性及物種豐多度分析顯示幾個優勢的目別裡，雙翅目及膜翅目的多樣性及物種豐多度最高，半翅目及彈尾目數量雖多，但多樣性及物種豐多度較低。
7. 不同植物上優勢科別不同，如圓柏的木蝨科、SPA-6草原箭竹的葉蟬科、杜鵑的常蚜科、SPA-5林下箭竹的長角跳蟲科等等。
8. 總蟲數及生物量大致上一致，海拔越高蟲數及生物量越少(SPA-4(火燒地)例外)；SPA-6生物量特別高。體型較大的昆蟲數量雖不很多，但對於生物量的影響大。

### (二)建議事項

根據本研究於雪山地區各樣區昆蟲採樣分析結果，可做成立即可行及長期建議事項，分述如下：

#### 1. 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

建議事項：

應長期規律性的調查，以釐清偶發性的大量昆蟲是否有幾年一次大發生的現象；另可知一年四季的昆蟲組成變動及優勢指標昆蟲類群；也可了解高海拔昆蟲是否有一年兩代的可能性。

2. 中長期建議

主辦機關：行政院所屬機關

協辦機關：雪霸國家公園管理處、國立中興大學

建議事項：

雪山高海拔昆蟲並不足以代表台灣所有高海拔昆蟲特性?應與其他具高海拔區域的國家公園組成團隊，共同進行昆蟲相調查，除建立完整台灣高海拔昆蟲棲群組成、分佈變化及季節變化外，也可了解各國家公園間的昆蟲資源組成差異。高海拔昆蟲多數與中國大陸溫帶地區及西南高山地帶的昆蟲有相關性，建議進一步進行中國地區的相關研究，以釐清台灣高山昆蟲的起源及環境適應機制。

## 五、參考文獻

- 何健鎔、姜碧惠、陳添水(1997)七彩湖水生昆蟲記述。自然保育季刊18: 37-39。
- 何鎧光(2004)塔塔加高山區昆蟲相之調查(I)。塔塔加通訊第0004號。
- 林斯正、謝森和、楊平世(2006)合歡山池沼底棲大型無脊椎動物之分布。台灣昆蟲26: 261-272。
- 林斯正(1999)合歡山高山湖沼群水生大型無脊椎動物初探。自然保育季刊26: 20-25。
- 徐堉峰、楊平世(2006)太魯閣國家公園昆蟲群聚與功能之研究。內政部營建署太魯閣國家公園管理處委託研究報告。共38頁。
- 陳東瑤、林俊義(1989)合歡山箭竹草原昆蟲相的初步研究。東海大學生物學研究所碩士論文。共53頁。
- 連裕益、楊平世(2000)台灣高山甲蟲之研究與展望。太魯閣2000高山生態多樣性研討會論文集，97-106頁。
- 楊平世(1991)太魯閣國家公園中、高海拔地區之昆蟲相及其相關生態研究。太魯閣國家公園管理處研究報告書。共59頁。
- 楊平世(1993)高山地區昆蟲資源之研究。太魯閣國家公園管理處研究報告書。共48頁
- 楊平世(1999)太魯閣國家公園螢火蟲相調查。太魯閣國家公園管理處研究報告書。共19頁。
- 楊平世(1991)太魯閣國家公園之昆蟲相研究。太魯閣國家公園管理處研究報告書。共79頁。
- 葉世文(2001)台灣高山國家公園生物多樣性保育策略。  
[http://bc.zo.ntu.edu.tw/conf\\_200109/12.htm](http://bc.zo.ntu.edu.tw/conf_200109/12.htm)。
- 劉思謙、溫海宏、陳明義、楊正澤(2008)台灣四種野牡丹科植物(Melastomataceae)授粉生態學之研究。台灣昆蟲28: 67-85。
- Engelmann, H. D.(1978) Zur Dominanzklassifizierung von Bodenarthropoden. Pedobiologia 18: 378-380.
- Gruner, D.(2003)Regression of length and width to predict arthropod biomass in the Hawaiian Islands. Pacific Science 57: 325-336.
- Kano, C., and X. Yosimura(1934)Introduction of higher mountain pools in the

- Tsukitaka mountain zone. *Limnology* 4: 54-65.
- Otsu, T., C. S. Tzeng, and G. Sato(1992)Notes on the limno-biological survey of the Lake Chitsai in the central Taiwan. *J. Taiwan Mus.* 35: 39-50.
- Yen, Z. D., T. S. Chen, T. Z. Ho, and S. W. Chang(1998)Lake Chitsai, a higher mountain lake in Taiwan. *Sci. Mon.* 339: 218-223.
- Lin, C .S(1991)Vertical distribution and pollinating plants of bumblebees in Taiwan. *Ann. Taiwan Museum* 34: 33-47.

## 第七章 鳥類群聚與生態研究

孫元勳、林惠珊

國立屏東科技大學野生動物保育研究所

### 摘要

關鍵詞：雪山、群聚、食性、繫放、存活率

#### 一、研究緣起

在雪山圈谷和雪山東峰間海拔 3,000 m 以上地區監測高山生態系鳥類群聚組成的時空結構，作為日後雪霸國家公園經營高山生態系的參考資料及解說教育。

#### 二、研究方法及過程

利用樣站法調查臺灣冷杉(*Abies kawakamii*)、玉山箭竹(*Yushania niitakayamensis*)-高山芒(*Miscanthus sinensis*)、玉山杜鵑(*Rhododendron pseudochrysanthum*)-玉山圓柏灌叢(*Juniperus morrisonicola*)、玉山箭竹-高山芒的火燒與非火燒跡地與推移帶等 6 個生態系的鳥相的季節性變化，探討不同尺度的鳥類與棲地結構之關聯，同時也記錄繁殖與覓食行為。另架設鳥網進行繫放，研究鳥類食性組成、繁殖情況和存活率之季節間與年間變化。

#### 三、重要發現

本研究於 2012 年 3 月至 2012 年 10 月在雪山地區共計記錄到 21 科 49 種鳥類，包含台灣特有種 11 種、特有亞種 23 種；保育類鳥類 14 種，期間新增鳥種為田鴉及遊隼，自 2009 年至 2012 年 10 月本研究累計在雪山地區記錄到 33 科 88 種鳥類。於 2012 年 6 至 8 月再度記錄到黃眉柳鶯出現，確認黃眉柳鶯在雪山地區出現非偶然迷途而是度夏。

透過繫放研究發現，酒紅朱雀的捕捉率和廚餘覆蓋度之間的波動趨勢大致相符，但酒紅朱雀的繁殖時間是一年中植物覆蓋度最高的時候。檢視 4 年間繫放回收的資料及照片得知，酒紅朱雀幼鳥出生均為褐色，其中酒紅朱雀公鳥要到第三齡時全身羽色方轉為紅色。使用 Mark program 進行酒紅朱雀及栗背林鴿的存活率計算後發現，酒紅朱雀公鳥存活率估

計是 0.899，褐色羽色(母鳥加幼鳥)存活率是 0.299，不分組則整體存活率為 0.672。栗背林鴿的公鳥的存活率為 0.57、母鳥為 0.41、幼鳥為 0.21。整體而言，栗背林鴿的存活率較酒紅朱雀低，且回收率也明顯較低，推測可能跟生活史及生存策略有關。

利用 Fisher's alpha 分析 369 山莊前各鳥種取食昆蟲的食性廣度，發現食蟲性鳥類中的褐頭花翼全年可見且取食昆蟲的食性較廣，而栗背林鴿及深山鶯屬於會向下遷移的鳥類其取食昆蟲的食性廣度則較窄，進行向下遷移的策略可能跟食物的競爭及食物替換有關。針對酒紅朱雀取食的植物性食物進行偏好分析發現，酒紅朱雀偏好取食早熟禾(*Poa annua*)及黃苑(*Senecio nemorensis*)，較不偏好取食假繡線菊(*Spiraea hayata*)。在繁殖季較偏好取食植物性食物，在非繁殖季則取食人工廚餘的比例較高，非繁殖季血液中的尿酸和膽固醇數值也較高(未達到顯著差異)。

2012 年早春天氣較暖，火燒跡地和黑森林均可以發現今年春天的鳥類密度有較去年增加；火燒跡地的鳥類密度和溫度之間呈現正相關，部分鳥種在冬季較冷時會完全降遷離開火燒跡地。2012 年 5 月圈谷玉山杜鵑大規模綻放，但鳥類密度卻反而較 2011 年 5 月來的低，調查時可以發現火冠戴菊鳥在 5-6 月份的密度不及去年，可能是火冠戴菊鳥在黑森林生態系及圈谷生態系間流動而形成的數量波動。

#### 四、主要建議事項

根據研究發現，本研究針對鳥類研究，提出下列具體建議。以下分別從立即可行的建議、及長期性建議加以列舉。

##### (一) 立即可行建議：

建立野外鳥類健檢值，了解各項檢驗的異常數值的門檻，以便於日後快速檢驗。

主辦機關：雪霸國家公園保育研究課

協辦機關：武陵管理站

##### (二) 長期性建議：

調查熱門登山小屋、露營地廚餘對鳥類的影響程度，作為登山活動

的宣導教材。

主辦機關：雪霸國家公園保育研究課

協辦機關：武陵管理站

## Abstract

【Keywords】 Bird population, diet, banding, survival rate

This study was conducted at Sheshan area to monitor the seasonal and yearly differences in avifauna among *Abies kawakamii*, *Yushania niitakayamensis*-*Miscanthus sinensis*, *Rhododendron pseudochrysanthum*-*Juniperus morrisonicola*, burned *Yushania niitakayamensis*-*Miscanthus sinensis*, *Juniperus morrisonicola*, and *ecotone*. To determine breeding and survival rate of several common bird species, mist-nets were set up and captured birds were aged, sexed, and banded. A total of 49 species of 21 families were recorded at Sheshan area during Dec. 2011-Oct. 2012. Totally 88 species of 33 families were recorded since 2009. For Vinaceous Rosefinch (*Carpodacus vinaceus*), survival rate of all birds was 0.672, and that of the red-colored male and brown-colored female/subadult was 0.899 and 0.299, respectively. In Collared Bush Robin (*Erithacus johnstoniae*), the survival rates of male, female, and young were 0.57, 0.41, and 0.21, respectively.

Captured rate of the rosefinch correlated with the amount of dumped leftover. Rosefinches bred in the time when vegetation is most dense. The bird selected *Poa annua* and *Senecio nemorensis* instead of *Spiraea hayatana*, as compared with their availability. Furthermore, they chose plant matters in the breeding season, while dumped leftover in the non-breeding season. Although not significant, the level of uric acid and cholesterol in the rosefinch's blood increased after taking dumped leftover.

Early spring bird densities of burned grassland and abies forest were higher in this year with warmer temperature than last year. At the burned grassland, bird density increased with air temperature; some bird species totally left in colder winter. While at glacial cirque, bird density was lower in this year, and because there is a positive relationship between bird and insect abundance, we suggest that insect abundance be responsible for it.

Because the health check indices for the wild had been lacking for species taking leftover, it is needed to do pathological anatomy for collected birds in the near future.

## 一、前言

雪霸國家公園是本島三座高山型國家公園之一，面積廣達 76,850 ha。區內雪山標高 3,886 m，為本島第二高的大山，擁有數量最多的 35 個冰河遺跡-雪山圈谷(林朝榮 1957；王鑫等 1998；1999)。民國 81 年雪霸國家公園成立之初，曾進行了全園區動物資源初步調查(林曜松 1989)，惟之後的鳥類生態調查和研究，主要集中在中海拔的武陵(袁孝維 1995；孫元勳 1999；2000；2001；2002；2003；2004；2005；2006；2007；2008)、觀霧(李培芬 2003)和雪見地區(李培芬 2004)，至於 3,000 m 以上的高山生態系，除植物有比較系統化的調查(陳明義 1998；呂金誠 1999；邱清安 2002；呂金誠等 2002)之外，鳥類部分較少涉獵，僅袁孝維(1995)與羅宏仁(1996)調查雪山東峰至翠池間鳥相及周大慶(2001)調查雪山東峰火災後鳥相變化，惟調查內容並未對玉山箭竹(*Yushania niitakayamensis*)、高山芒(*Miscanthus sinensis*)、冷杉(*Abies kawakamii*)、玉山圓柏(*Juniperus squamata*)灌叢等生態系分別進行說明，故無從得知各生態系鳥類密度，以及其昆蟲、氣候、物候條件對鳥類密度的影響。

為此，在雪山地區調查、研究臺灣冷杉林、玉山箭竹-高山芒、圈谷玉山圓柏灌叢，以及玉山箭竹-高山芒火燒跡地等生態系中鳥類群聚組成的季節性變化，探討不同尺度的鳥類與棲地結構之關聯。記錄內容包括鳥種、數量、繁殖與覓食行為。此外，另架設鳥網捕捉與繫放鳥類，以估計其繁殖率、存活率、返回率之季變化及年變化(White and Burnham, 1999; Ralph *et al.*, 2004; Nott *et al.*, 2008)，並研究其食性組成。

本計畫自 2009 年開始進行，截至目前為止已經完成 4 年調查，搭配其他研究團隊的植物、昆蟲與氣象資料研究，在雪山圈谷和雪山東峰間海拔 3,000 m 以上地區監測高山生態系鳥類群聚組成及其生態功能，作為日後雪霸國家公園經營高山生態系的參考資料及解說教育。

## 二、材料與方法

### (一)各生態系定點調查

本研究位於雪霸國家公園境內雪山山脈海拔 3,000 m 以上的雪山步道沿線兩側，調查範圍介於雪山東峰至雪山主峰間。沿線選取玉山箭竹-高山芒、臺灣冷杉林、火燒跡地、圈谷玉山圓柏-玉山杜鵑灌叢等 4 個生態系樣區，2009 年 6 月起增設針葉林-玉山箭竹生態交會帶(推移帶)樣區，此外，為配合氣象站架設位置蒐集鳥類相資料，於 2009 年 7 月起在七卡山莊增設針闊葉混合林樣區，於 2011 年 6 月將該樣區提升為 4 樣站。生態系樣區各設置 4-7 個樣站，雪東線全區總計共有 30 個定點調查樣站(圖 7-1)(附錄 7-1)，各樣站間距至少 200 m，以避免重複記錄。

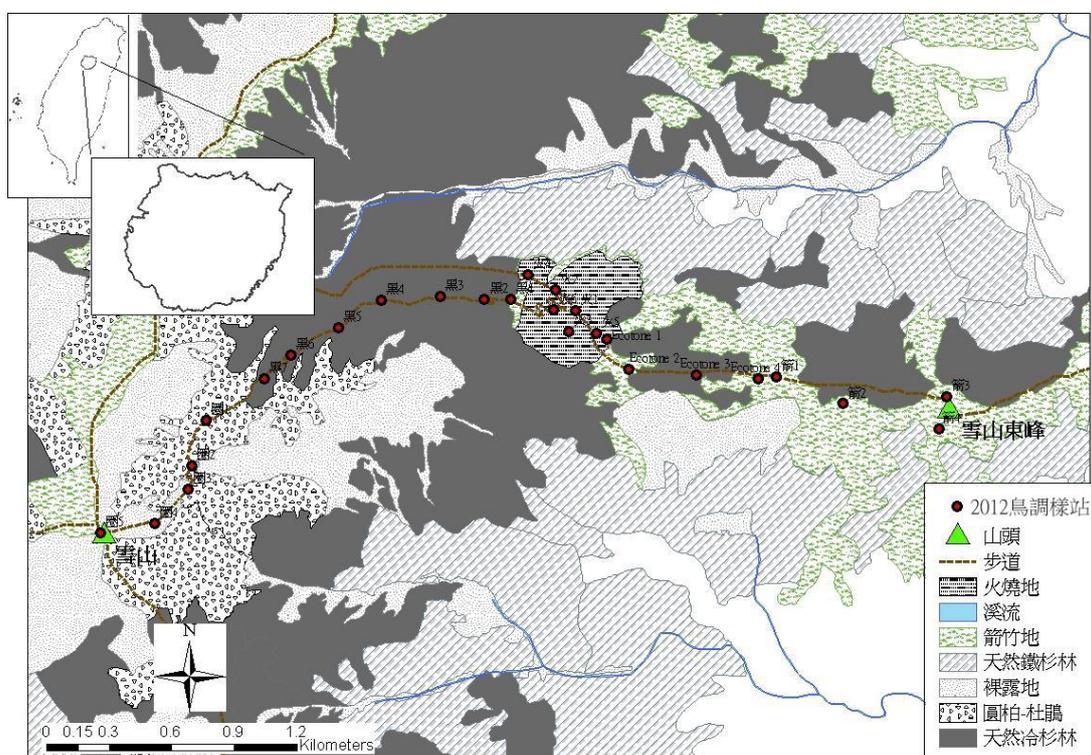


圖 7-1. 樣區植被和雪山主東峰間鳥相調查樣站位置(資料來源：本研究資料)。

各樣站鳥相調查時間選擇在日出後 4 小時內完成，每個樣站停留 6 分鐘(丁宗蘇 1993)，以方便比較，在定點調查時間之外所記錄到的鳥類則列為額外記錄，僅列入本研究鳥類名錄及海拔分析之中，不使用於鳥類密度計算。遇到下雨或下雪則無法進行鳥相調查，此外倘若雪季時樣站積雪過深且路跡不明顯，為求安全亦不進行資料蒐集。調查採不定半徑圓圈法(variable circular-plot method) (Reynolds *et al.*, 1980)，記錄停留時目擊和聽聞的鳥種、數量及鳥隻與研究者的水平距離，對於持續於空中飛行的種類(如燕科[Hirundinidae]、雨燕科[Apodidae]、鷺鷹科[Accipitridae])由於較難確認其棲地使用範圍及類型，因此不列入分析。將 3-9 月的鳥類相調查資料定義為繁殖季資料，10-2 月定義為非繁殖季資料。鳥種的族群密度(隻/ha)以公式(密度= $N/\pi r^2 C \times 10^4$ )計算，公式中 N 為特定基礎半徑(specific basal radius)內所記錄的總隻數，r 為某鳥種的特定基礎半徑(m)，C 為調查次數。繁殖季的特定基礎半徑內所記錄的總隻數，以聽到 1 次鳴叫聲乘以 2 作為加權值；非繁殖季若為結群鳥種則同一群僅記錄 1 次，再乘以該鳥種的平均結群隻數(孫元勳、裴家騏 2001)，非結群出現鳥種，1 次鳴叫聲仍以 1 隻個體計算。平均結群隻數的計算方式，係使用本研究非繁殖季(2009 年 1 月、2010 年 10 月至 2011 年 2 月)目擊記錄到的結群鳥種隻數進行平均。用來計算密度的鳥類特定基礎半徑，則參考丁宗蘇(1993)及廖煥彰(2006)文章，所使用的鳥類特定基礎半徑加以運算。利用 SPSS 統計軟體中的 Pearson 相關性分析，檢定各生態系的氣溫、昆蟲量和鳥類密度之間的關係，顯著水準訂在  $P=0.05$ 。

## (二)鳥類繫放

鳥類繫放部分，在 2009 年 5 月至 6 月分在冷杉林生態系(黑森林)、圈谷、火燒跡地跡(369 山莊周邊)、箭竹等 4 個生態系各架設 5 面鳥網(附錄 7-2)，但由於除火災跡地張網捕捉率較高之外，其餘生態系捕捉率均低，由於捕捉數量少、回收率低時不易長期監測族群變化，因此 2009 年 8 月至 2010 年 3 月僅在捕捉率較高的火燒跡地跡及箭竹生態系各架設 1-2 張網，自 2010 年 4 月開始僅在火燒跡地進行 2 張霧網架設，以增加單一生態系之繫放網時數。每月上山捕捉 2-3 天，每日開網時間均設在 05:00-18:00 間，但避免在下雨以及強風天候下張網。將捕獲的非保育類鳥

類繫上金屬腳環、色環，進行形值測量，並記錄換羽情形、孵卵斑狀態、年齡和性別(Svensson, 1992)，其中參考中華民國野鳥學會繫放手冊將孵卵斑狀態分為四級。但由於過去台灣高山生態系繁殖鳥類繫放資料參考缺乏，因此 2009 年實驗初期本研究僅先累積孵卵斑、年齡之判讀經驗，到 2010 年 3 月後孵卵斑及年齡判讀技術較為成熟後，方進行該記載資料之分析。保育類鳥類則經捕獲後，不進行任何測量及操作，隨即原地釋放。鳥網捕獲率日後用來作為常見鳥類的族群生態學研究，包括遷入、遷出、存活率和繁殖率等族群參數(White and Burnham, 1999)。

使用繫放資料計算酒紅朱雀及栗背林鴿在 369 山莊的存活率，由於鳥類會有出生、死亡、移入、移出等狀態，將 369 山莊前的酒紅朱雀族群及栗背林鴿族群視為開放族群(Open population)，以 Program Mark 軟體估算每年的存活率，由於捕捉到的個體進行色環標誌後會釋放回原棲息地，所以使用 Program Mark 中的 Cormack-Jolly-Seber Model 以標誌後再遭遇的年度及次數進行估計(Lebreton *et al.*, 1992)，將酒紅朱雀紅色羽色與褐色羽色定義為不同的組別，將栗背林鴿的公鳥、母鳥及幼鳥定義為不同組別，考慮不同年間的空間效應(t)、恆定值(.)及組效應(g)，進行存活率模型計算，並取 AIC 值最小者視為最佳解釋模型(White and Burnham, 1999)。

### (三)食性研究

食性觀察方面，除了行進間所進行鳥類食性目擊觀察之外，2010 年 7 月起針對 369 山莊前酒紅朱雀使用植物性食物及廚餘食物進行記錄，取食的植物進行種類鑑定，酒紅朱雀取食植物或廚餘食物直到飛離後計算為 1 筆資料，視天候狀況每月觀察 5-10 小時。

為了解酒紅朱雀食用的植物及廚餘可利用性的每個月變化，2011 年 3 月起於 369 山莊周圍樣區設置 30 個隨機網格，每個網格大小為 1×1 平方 m，調查該網格中的酒紅朱雀可食用植物的覆蓋度。廚餘覆蓋度則將樣區內每堆廚餘的面積加總計算。為了解酒紅朱雀對不同的植物性食物是否有所偏好，選擇酒紅朱雀取食前三名的植物：早熟禾(*Poa annua*)、黃苑(*Senecio nemorensis*)和假繡線菊(*Spiraea hayata*)進行探討，其餘植物則因取食筆數較少(n<20)不納入分析。將植物的可利用性和酒紅朱雀的

取食次數進行卡方檢定。當觀察值與期望值有顯著差異的情況下，利用 Bonferroni's Z test 進行酒紅朱雀取食早熟禾、黃苑和假繡線菊植物性食物有無選擇性的事後檢定。

為了解酒紅朱雀所食用的植物性食物和人工食物內含成分的差異，2011年7月於369山莊周圍採集早熟禾與廚餘各300g，並委請國立屏東科技大學農水產品檢驗與驗證中心進行分析，檢驗粗蛋白、粗脂肪、鈉三個項目。早熟禾為酒紅朱雀取食比例最高的植物性食物；廚餘因成分複雜，因此將369山莊附近所有廚餘集中後混合後再進行檢驗。為探究是否酒紅朱雀在繁殖季與非繁殖季的取食類型有差異，利用卡方檢定進行分析。

為了解酒紅朱雀血液因為飲食情況影響到血液中尿酸、膽固醇數值的變化，血液樣本在進行繫放工作測量完畢時進行採樣。使用27號口徑的針穿刺肱靜脈(brachial vein)，以含有抗凝劑-肝素(heparins)的毛細管吸取血液約30-50  $\mu\text{l}$ ，並放置0.2 ml的PCR離心管，隨即使用迷你微量離心機(5000 rpm)進行10分鐘的離心至血液分為血球和血漿兩層。吸取血漿的部分放入0.2 ml PCR離心管中，血球的部分加入95%酒精進行保存，以供之後進行酒紅朱雀性別分析判斷之用。最後將所有的樣本置入裝有乾冰的冰桶中保存，下山後放入實驗室-20°C的冰箱內保存至進行分析。本研究血液生化數值是分析尿酸和總膽固醇兩項，將放置在-20°C冰箱冷凍的血漿解凍，利用全自動乾式生化分析儀進行分析。所有的血漿樣本加入去離子蒸餾水(ddH<sub>2</sub>O)稀釋兩倍，以10  $\mu\text{l}$ 的量滴入機器上的藥片中進行分析，若樣本的血漿量只有約5  $\mu\text{l}$ 則只做尿酸檢測，得到的數據再回乘稀釋的倍數。以Mann-Whitney U test比較尿酸值和總膽固醇值在性別和成幼上是否有所差異，以及成鳥在繁殖季和非繁殖季是否有差異。

除了目擊進行食性觀察之外，在繫放過程中，將所捕捉到的鳥類留置於布質的束口袋之中，蒐集布質束口袋中鳥類所留下來的排遺，使用70%的酒精保存樣本(Burger *et al.*, 1999)，委由其他子計畫(高山昆蟲多樣性及功能群研究)中興大學昆蟲學系葉文斌研究團隊以電子顯微鏡進行鳥類排遺中的昆蟲碎片的辨識，透過排遺分析的方式瞭解鳥類食用昆蟲的

種類。

在食性分析上，利用 Fisher's alpha 多樣性指標來量化單一鳥種的食性廣泛度，其公式為： $S = \alpha \times \ln(1 + \frac{N}{\alpha})$ ，其中 S 為昆蟲目別數，N 為總樣本數， $\alpha$  則為 Fisher's alpha 指標值。透過 Fisher's alpha 多樣性指標用以瞭解不同的鳥種其食性廣度的差異(Boyle *et al.*, 2011)，比較食性廣度和其遷留狀態間的關係。由於並非每個樣本都能鑑定至科的層級，所以一律以目來做為最終鑑定結果，以利進行食性廣度分析比較。

#### (四)整合性分析

為瞭解雪山高山生態系鳥類密度和月均溫之間的關係，與其他子計畫(高山微氣象與熱量收支之研究)共同合作，使用氣象資料，搭配本研究各月份的鳥類密度資料進行探討。

為瞭解雪山高山生態系昆蟲數量和食蟲和雜食性鳥類密度間的關聯性，與其他子計畫(高山昆蟲多樣性及功能群研究)共同合作，使用昆蟲數量資料，和本研究的食蟲和雜食性鳥類密度資料同時比較。昆蟲調查時黑森林樣區分為 SPA2(靠近水源地)、SPA3(黑森林邊緣)，在鳥類調查中將兩者視為同一個樣區，然而昆蟲調查中 SPA3 樣區在 2012 年之後已經停止資料蒐集，為求統一分析，在昆蟲數量計算上僅取 SPA2 昆蟲資料的月份加總後和鳥類密度資料進行分析比較。由於昆蟲數量資料僅先提供至 2012 年 6 月，因此先就 2012 年 6 月以前昆蟲和鳥類密度間的關係進行分析。

### 三、結果

#### (一)鳥相結構

2012年3月至2012年10月，共計進行8次調查，每次上山6天，每次3-4人，總計170人天。其4月無法前往黑森林及圈谷進行鳥類相調查，其餘各月份調查均順利進行。本次調查期間共計記錄到27科49種鳥類，包含台灣特有種11種、特有亞種23種；保育類鳥類14種，自2009年至2012年10月在本區總計累積記錄到33科88種鳥類(附錄7-3)。本調查期間新增鳥種為田鴉及遊隼，共計新增2種，田鴉是在2012年3月16日於369山莊，研究人員的目擊發現紀錄，當時該個體和研究人員的距離僅約5m，為已經具備繁殖羽的公鳥。遊隼則是7月哭坡上發現一對遊隼，一公一母的遊隼追逐飛行至研究人員的正上方，另於9月也在圈谷發現一隻遊隼。

2011年6月至8月間，本研究團隊首次記錄到黃眉柳鶯在雪山黑森林夏季出現的紀錄，單日至少3隻不同個體(林惠珊等，2011)。研究人員於今年2012年6月至8月間在黑森林再度目擊及聆聽到黃眉柳鶯繁殖鳴唱，單日至少7隻不同的個體，除了黑森林9.0-9.6K可以穩定發現之外，在369山莊後方之字路，也有2隻黃眉柳鶯的鳴唱聲。

鳥相結構方面，定點調查資料扣除在基礎半徑以外的記錄，針闊葉混合林生態系(七卡)的前三優勢鳥種依序為冠羽畫眉、褐頭花翼、紅頭山雀；玉山箭竹-高山芒生態系為火冠戴菊鳥、褐頭花翼深山鶯；針葉林-玉山箭竹生態交會帶(推移帶)為火冠戴菊鳥、褐頭花翼、深山鶯；火燒跡地的優勢鳥種依序為深山鶯、酒紅朱雀、褐頭花翼；冷杉林生態系(黑森林)為火冠戴菊鳥、煤山雀、酒紅朱雀、鷓鴣；玉山杜鵑-圓柏灌叢生態系(圈谷)為火冠戴菊鳥、鷓鴣、酒紅朱雀(表7-1~6)。

在棲地的變化方面，僅火燒跡地因火燒後的植被變化較大，其他生態系則較無肉眼明顯可見的棲地變化，火燒跡地在火燒後箭竹灌叢逐漸形成，檢視資料後發現，2009年栗背林鴉的數量最多，之後栗背林鴉的數量則略為減少(表7-4)。

表 7-1. 針闊葉混合林生態系(七卡)各月分組成鳥種和密度(隻/ha)

鳥種	2009 /7	2009 /8	2009 /9	2010 /3	2010 /4	2010 /7	2010 /8	2010 /9	2010/ 10	2010/ 11	2010/ 12	2011 /1	2011 /2	2011 /3	2011 /4	2011 /5	2011 /6	2011 /7	2011 /8	2011 /9	2011/ 10	2011/ 11	2012 /3	2012 /5	2012 /6	2012 /7	2012 /8	2012 /9	2012/ 10	
樣點數	n=1	n=1	n=1	n=1	n=1	n=1	n=1	n=1	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4									
鱗胸鷓鴣	2.55	0	0	2.55	0	0	0	0	0	1.27	0	0	0	2.55	0	0	0	0.64	0.64	0.64	0.64	0	2.55	0	0.64	1.27	0.64	1.27	0	
藪鳥	5.09	0	0	2.55	0	0	2.55	7.64	0	0	0	0	0	0	0	1.91	0	0	0	0	0	0	0	1.91	0.64	7.64	3.18	0	0	
繡眼畫眉	0	0	7.96	9.95	0	0	0	7.96	0	0	0	0	15.92	31.83	0	0	0	2.98	0.99	0	0	1.49	0	1.99	0	0	0	0	4.97	
褐鶯	2.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
褐頭花翼	0	14.15	0	0	0	0	35.37	14.15	26.08	0	0	0	0	56.59	0	0	0	0	7.07	0	19.58	6.52	0	5.31	10.61	11.49	5.31	8.84	3.54	
煤山雀	2.55	0	0	2.55	0	0	2.55	7.64	0	0	11.17	0	3.82	5.09	2.55	0	4.46	1.27	1.27	3.18	2.79	0	0	2.55	1.27	0.64	2.55	1.27	1.27	
黃胸青鶉	0	0	0	0	7.96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
黃腹琉璃	0	2.55	0	0	0	0	0	0	1.27	0	0	0	0	0	0	2.55	0	0.64	0	0	0	0	0	0.64	1.27	0.64	0.64	0	0	
棕面鶯	0	0	0	0	3.98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.50	0	0	0	0.99	0	0	0	
深山鶯	11.94	7.96	0	7.96	3.98	0	7.96	0	0	0	0	0	0	0	0	3.98	1.49	3.98	1.99	1.99	0.50	0	0	1.99	4.97	3.98	0	0	0	
栗背林鴉	0	2.55	2.55	0	2.55	0	0	1.27	3.27	0	0	0	0	2.55	2.55	0	0.32	1.27	1.91	0.95	0.50	0.64	0.64	1.91	1.27	1.27	1.59	0	0.64	
紅胸啄 花鳥	3.98	3.98	7.96	0	0	7.96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.99	3.98	0	0
紅尾鶉	0	0	7.07	0	0	0	0	0	3.54	0	0	0	0	0	0	0	1.77	0	1.77	0	1.77	0	0	0	0	0	0	0	0	0
星鴉	0	0	0.99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0.25	0	0	0	0.25	0.50
冠羽畫眉	2.55	12.73	2.55	3.82	7.64	45.84	25.47	5.09	0	24.83	0	0	0	63.66	10.19	19.10	12.10	19.10	10.82	21.01	18.62	6.21	28.65	16.55	8.28	7.64	13.37	3.82	8.75	
青背山雀	3.98	7.96	7.96	0	3.98	7.96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.96	0	0	0	3.98	0	0.50	0	0	1.99	0.99	0	0	1.99	

表 7-1. 針闊葉混合林生態系(七卡)各月分組成鳥種和密度(隻/ha)(續)

金翼白眉	1.77	1.77	3.54	0	0	0	3.54	3.54	2.73	5.08	0	0	2.73	0	3.54	0	3.32	3.09	3.54	2.21	1.37	0	0.44	0.88	1.33	1.33	0.44	1.77	1.77
松鴉	2.55	0	7.64	0	0	0	2.55	0	0	0	0	0	2.12	0	0	0	0	1.27	0	1.27	0.64	0.64	0	0	0	0	0	0.64	1.27
白尾鴿	0	3.98	1.99	0	0	3.98	1.99	0	0	0	0	0	0	0	1.99	3.98	0	0	0	0.99	1.49	0	0.99	0.99	0.99	0	0	0	0
白耳畫眉	0	3.54	0	0	1.77	1.77	7.07	0	1.77	0	0	0	0	0	1.99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
火冠戴菊鳥	0	0	0	31.83	0	0	47.75	0	0	75.16	0	0	0	0	0	0	11.94	0	15.92	0	0	20.66	7.96	11.94	0	0	0	0	3.98
山紅頭	0	0	0	0	2.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.64	0	0	0	0.64	0	0	0	0	0.64	0	0
小翼鶉	1.77	1.77	0	0	0	0	0	0	1.77	0	0	0	0	0	1.77	1.77	0.88	0.88	0.88	0.88	0.44	0	0	2.21	2.65	0	0	0	0
藍腹鵲	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
深山竹雞	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
灰喉山椒鳥	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.91	0	0	0	0	1.27	1.27	0	0	0	0	0
白眉林鴿	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.77	0	0	0	1.77	0	0	0	0	0
紅頭山雀	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35.37	7.07	0	0	0	4.42	45.98	8.84	17.68	0	0	0	0	1.77
綠啄木	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.22	0	0	0	0	0	0	0
黃山雀	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.99	0	0	0.99	0	0	0	0
茶腹鵲	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.77	0	0	0	0
灰林鴿	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.32	0
台灣叢樹鶯	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.44	0	1.33	0.44	0	0

(資料來源：本研究資料)

表 7-2. 箭竹-高山芒(箭竹樣區)生態系各月分組成鳥種和密度(隻/ha)

鳥種	2009 /6	2009 /8	2009 /9	2010 /1	2010 /3	2010 /4	2010 /6	2010 /7	2010 /8	2010 /9	2010 /10	2010 /11	2010 /12	2011 /1	2011 /2	2011 /3	2011 /4	2011 /5	2011 /6	2011 /7	2011 /8	2011 /9	2011 /10	2012 /3	2012 /4	2012 /5	2012 /6	2012 /7	2012 /8	2012 /9	2012 /10	
樣點數	n=3	n=3	n=3	n=3	n=3	n=3	n=3	n=3	n=3	n=3	n=3	n=3	n=3	n=3	n=3	n=3	n=3	n=3	n=3	n=3												
鷓鴣	2.55	0	0	0.42	0	0	0.85	0.85	0	1.70	1.70	0	0.85	0.85	0	0.85	0.85	2.55	0	0	1.70	0.42	1.27	0	1.70	0	0	0	0.85	0	0	
褐頭花翼	5.89	0	11.79	14.59	0	9.43	4.72	0	7.07	2.36	22.11	8.69	17.39	0	0	0	0	9.43	3.54	2.36	2.36	7.07	0	0	4.72	3.54	0	0	11.79	18.86	2.36	
煤山雀	0	0	1.70	0	6.79	0	0	0	1.70	4.24	4.15	11.17	3.72	0	17.54	1.27	2.12	0.85	0	0	0	0	3.72	2.55	1.70	0	4.24	9.76	2.55	0.85	1.70	
黃羽鸚嘴	2.65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.99	0	0	0	0	1.33	0	0	0	
深山鶯	3.98	5.31	0	0	7.96	6.63	2.65	9.95	9.28	4.64	1.99	0.66	0	0	0	0	1.99	9.28	5.31	5.97	0	5.31	0.66	6.63	6.63	5.31	6.63	3.98	3.98	2.65	0	
酒紅朱雀	1.33	2.65	2.65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.99	0	0	4.64	0.66	0	0	0	0	1.33	1.33	0	1.33	0	0.66	
栗背林鴉	4.67	0.85	1.27	0	3.40	0.85	1.70	0.42	1.70	0.42	1.33	1.33	0	0	1.00	0.42	0.85	2.55	1.70	0	0.85	2.12	0.67	0.42	0.85	0.85	0	0	0.85	0.85	0.85	
冠羽畫眉	0	2.12	0.85	0	0.85	0	0	0	2.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.85	0	0	0	0	0	
青背山雀	0	0	2.65	0	0	0	0	0.66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.33	
金翼白眉	2.95	4.13	2.36	0.91	1.18	1.18	0.59	1.77	0	0	0.91	0	0	0	3.09	0	1.77	2.95	0.29	0	1.18	2.06	0	0	1.18	0.59	0	0.88	0.59	1.18	0.59	
灰鶯	2.55	0	0	0	0	0	0	0	1.70	0.85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
白眉林鴉	0	0	0	0	0	4.72	2.36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.36	0	0	4.72	0	0	0	0	0	0	0
台灣叢樹鶯	1.18	0	0	0	0	1.18	0	0.59	0	0	0	0	0	0	0	0	0.59	0	0	0	0	0	0	0	0.59	0	0	0	0	0	0	
火冠戴菊鳥	5.31	0	15.92	0	0	21.22	53.05	18.57	66.32	31.83	57.75	27.55	27.55	5.31	17.54	5.31	15.92	0	0	15.92	10.61	10.61	55.07	26.53	31.83	5.31	39.79	74.27	0	5.31	0	
星鴉	0	0	0	0	0	0	0	0	0.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.17	0	5.31
小翼鸚	0	0	0	0	0	0	0	0	0.59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶腹鴉	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(資料來源：本研究資料)

表 7-3. 針葉林-玉山箭竹生態交會帶(推移帶)各月分組成鳥種和密度(隻/ha)

鳥種	2009 /8	2010 /1	2010 /3	2010 /4	2010 /6	2010 /7	2010 /8	2010 /9	2010 /10	2010 /11	2010 /12	2011 /1	2011 /2	2011 /3	2011 /4	2011 /5	2011 /6	2011 /7	2011 /8	2011 /9	2011 /10	2012 /3	2012 /4	2012 /5	2012 /6	2012 /7	2012 /8	2012 /9	2012 /10	
樣點數	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4									
鷓鴣	15.92	0.32	0	1.27	1.27	0	0	0.64	1.27	0.95	0	0.64	0.64	1.27	1.27	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0	0.95	0.64	0	0.64	0.64	0	0.64	1.27	
褐頭花翼	0	13.04	12.38	5.31	10.61	28.30	1.77	17.68	13.59	0	13.04	7.07	13.04	17.68	14.15	0	1.77	0	1.77	6.19	6.52	4.42	8.84	2.65	14.15	7.07	7.07	8.84	10.61	
煤山雀	1.27	0.64	3.18	1.91	0	1.91	0.64	2.55	5.58	8.69	0	0	2.55	1.91	1.91	2.55	0	1.27	1.91	0	2.79	1.91	3.82	0.64	2.55	2.55	2.86	5.41	2.55	
深山鶯	5.97	0	8.95	3.98	5.97	6.96	7.46	9.95	2.98	0.99	0	0	0	2.98	6.96	7.96	3.98	3.98	5.97	6.96	1.99	8.46	8.95	6.96	7.46	5.97	6.47	6.96	2.98	
酒紅朱雀	2.98	0	0	0.99	0.99	3.48	1.99	0	4.70	4.20	0	0	2.10	0	3.48	0	0	0	1.49	1.49	0.99	0	0.99	1.99	1.99	0.99	0	1.99	0	
栗背林鴿	1.27	0	0	1.27	1.27	1.27	2.55	0	1.50	0	0	0	0	2.55	1.27	1.27	2.55	0.64	0.95	0.64	0.82	2.86	1.27	1.27	0	0.95	0.64	0.64	0.95	
紅尾鶇	7.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
星鴉	0.25	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
冠羽畫眉	0	0	0	1.27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
金翼白眉	2.21	0.90	0.88	0.88	0.88	1.33	3.32	0	2.73	0.68	0	0	1.37	0.93	0	1.33	1.77	1.77	0	0	1.37	1.77	1.11	0.44	0	0	0.66	1.77	4.42	
灰鶯	1.91	0	0	0	0	0	0.64	0	0.32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.32	1.27	0	0	0
台灣叢樹鶯	0.44	0	0.44	1.55	0	0.88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.44	0	0.44	0.44	0	0	0	0	0
火冠戴菊鳥	27.85	11.94	15.92	15.92	45.76	31.83	11.94	31.83	65.96	0	0	0	0	51.73	11.94	3.98	11.94	11.94	15.92	7.96	0	11.94	35.81	7.96	25.86	27.85	11.94	15.92	15.92	
白眉林鴿	0	0	0	0	5.31	0	0	0	0	0	0	0	0	5.31	0	1.77	1.77	0	0	0	0.88	1.77	1.77	1.77	1.77	0.88	0	0	1.77	
深山竹雞	0	0	0	0	0	0.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
巨嘴鴉	0	0	0	0	0	0	0.32	0.32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.24	0	0
大赤啄木	0	0	0	0	0	0	0	0.64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
黃羽鸚嘴	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.99	0	1.99	0	0	0	0	0	11.44	0	0	0
茶腹鴉	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(資料來源：本研究資料)

表 7-4. 火燒跡地生態系各月分組成鳥種和密度(隻/ha)

鳥種	2009 /3	2009 /6	2009 /8	2010 /3	2010 /4	2010 /6	2010 /7	2010 /8	2010 /9	2010 /10	2010 /11	2010 /12	2011 /1	2011 /2	2011 /3	2011 /4	2011 /5	2011 /6	2011 /7	2011 /8	2011 /9	2011 /10	2012 /3	2012 /4	2012 /5	2012 /6	2012 /7	2012 /8	2012 /9	2012 /10	
樣點數	n=1	n=3	n=5	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6							
鷓鴣	2.55	1.70	0	0.85	0	0.85	1.27	0.42	1.27	0.64	1.70	1.27	0.42	1.06	1.27	2.76	1.27	0.85	0.42	0	1.27	0.85	2.97	2.12	0.85	0.42	0	0.85	0	2.12	
褐頭花翼	0	2.36	5.66	0	0	2.36	2.95	12.97	2.36	8.69	0	4.35	4.35	4.35	0	1.18	2.36	0	0	0	3.54	0	4.13	2.36	0	1.18	6.48	0	5.89	2.36	
煤山雀	0	1.70	0	0	0	0	0.42	0.42	0	0	3.72	0	0	0	0	0	0.85	0	0	1.70	0	0.42	0	2.97	0	0	0	0	0.42	0.42	
深山鶯	3.98	6.63	3.18	4.31	2.65	5.31	8.95	4.64	2.65	1.66	0.33	0	0	0	0.66	4.97	1.33	2.65	2.98	6.63	3.32	1.99	3.98	6.63	2.65	3.98	2.32	2.98	3.32	1.99	
酒紅朱雀	11.94	0	2.39	2.32	0.66	7.96	0.99	5.31	5.97	8.25	4.79	2.80	1.73	0.99	0.66	2.98	2.65	1.99	3.65	3.98	1.66	2.32	0.99	5.97	3.65	4.97	3.32	1.33	2.65	2.65	
栗背林鶉	5.09	8.49	3.57	2.12	1.27	0.85	2.76	2.97	1.70	1.42	1.00	0	0	0	2.55	1.70	1.06	1.70	1.91	1.49	1.27	1.09	2.76	2.97	1.70	0.42	2.12	0	1.49	0.21	
紅尾鶉	0	2.36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
星鴉	0	0	0.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
金翼白眉	3.54	2.36	3.18	0.59	0	0	2.06	2.51	2.36	2.73	0.75	0	0	0.46	0	0.29	1.77	1.18	0.59	0.29	0.29	0.46	0	0.29	0	0.29	0.88	2.65	1.47	0.88	
灰鶯	0	0.85	1.02	0	0	0	0.64	0.42	0.85	0.21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.42	0	0	0	0	0	1.27	0	0.21	0	
巨嘴鴉	0	0.64	0	0	0	0	0	0	0.11	0	0	0	0	0	0	0.11	0	0	0	0	0.21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
台灣叢樹鶯	1.77	1.18	0.35	0	0.59	0	0.59	0	0	0.15	0	0	0	0	0	2.06	0	1.47	0	0	0	0	0	2.95	1.18	0.44	2.06	0.29	0.44	0	
火冠戴菊鳥	0	5.31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
中杜鵑	0	0.21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.11	0	0	0	0	0	0	0
白眉林鶉	0	0	0	0	0	2.36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.18	0	0	0	0	0	0	

(資料來源：本研究資料)

表 7-5. 冷杉林生態系(黑森林)各月分組成鳥種和密度(隻/ha)

鳥種	2009 /3	2009 /5	2009 /8	2010 /1	2010 /3	2010 /4	2010 /6	2010 /7	2010 /8	2010 /9	2010 /10	2010 /11	2010 /12	2011 /3	2011 /4	2011 /5	2011 /6	2011 /7	2011 /8	2011 /9	2012 /3	2012 /5	2012 /6	2012 /7	2012 /8	2012 /9	2012 /10	
樣點數	n=5	n=6	n=7	n=7	n=7	n=7	n=7	n=7	n=7	n=7	n=7	n=7	n=7	n=7	n=7	n=7	n=7	n=7	n=7									
鷓鴣	4.33	10.40	3.27	0.36	6.37	5.09	5.64	4.55	5.09	3.09	1.82	1.09	0	0.18	4.73	5.28	1.27	4.37	2.00	0.73	3.64	3.27	1.82	1.09	1.09	0.73	0.73	
褐頭花翼	0	1.18	0	0	0	0	0	0	0	0	3.73	0	0	0	0	0	0	0	2.02	0	0	0	0	0	0	0	0	
煤山雀	1.02	2.33	2.18	0.36	2.18	1.09	0.36	3.46	0.73	2.55	3.19	6.74	5.88	2.73	2.18	4.00	1.27	2.18	0.73	2.18	3.27	1.09	0.73	2.18	0.36	4.00	2.18	
深山鶯	0.80	0.66	0	0	2.84	1.14	0.57	1.14	2.27	0.57	0	0	0	0	0.57	0.57	0	0	0	2.27	0	1.14	0	0	1.14	0	0	
酒紅朱雀	0	1.33	1.14	0	0	0	0	0	3.41	0	1.20	0	0	0	0.57	1.14	0	0.85	0.28	0	0	7.39	0	1.71	1.14	2.27	0	
茶腹鴨	1.41	0	0	0.51	0.51	0	0	0	0	0.51	0	0	4.43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
栗背林鴉	1.02	2.12	0.73	0	2.55	2.73	2.00	4.91	1.64	2.91	0.86	0.57	0	0.73	2.00	2.55	0.36	1.82	1.82	0	2.00	2.73	1.64	1.27	0.73	1.09	0	
紅尾鶇	0	0	1.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
星鴉	0	0	0.21	0	0	0	0	0	0	0	0	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
青背山雀	0	0	3.41	0	0	0.28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
金翼白眉	0	1.77	1.01	0.25	3.03	0.51	0.25	1.26	0.76	2.27	1.30	1.90	0	0	1.26	0.25	0	1.01	0	0.51	0	0.51	0.51	0.25	0.25	1.01	0	
岩鶯	0	0	1.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
灰鶯	0	0	1.09	0	0	0	0	0	0.73	0	0.73	0	0	0	0	0	0	0	0	0.18	0	0	0	0	0	1.46	0	
白眉林鴉	0	0	5.05	0	2.02	1.01	3.03	0	5.05	1.01	0	0	0	0	0	0	0	1.01	0	0	3.03	4.55	2.02	0	0	0	0	
巨嘴鴉	0	0.21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
火冠戴菊鳥	6.37	25.20	6.82	11.81	36.38	29.56	55.71	26.15	68.21	50.02	31.57	23.61	40.66	4.55	7.96	4.55	4.55	6.82	28.42	11.37	28.42	22.74	36.38	11.37	9.09	20.46	13.64	
大赤啄木	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.18	0.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
台灣叢樹鶯	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.18	0.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	

(資料來源：本研究資料)

表 7-6. 玉山杜鵑-圓柏灌叢生態系(圈谷)各月分組成鳥種和密度(隻/ha)

鳥種	2009 /3	2009/ 6	2009/ 8	2010/ 3	2010/ 4	2010/ 6	2010/ 7	2010/ 8	2010/ 9	2010/ 10	2010/ 11	2010/ 12	2011/ 4	2011/ 5	2011/ 6	2011/ 7	2011/ 8	2011/ 9	2012/ 5	2012/ 6	2012/ 7	2012/ 8	2012/ 9	2012 /10	
樣點數	n=1	n=3	n=5	n=5	n=5	n=5	n=5	n=5	n=5	n=5	n=5	n=5	n=5	n=5	n=5	n=5	n=5								
鷓鴣	0	5.09	1.02	5.94	4.58	2.55	2.55	1.78	5.09	3.06	0	0	2.55	5.60	1.53	1.53	3.06	2.55	2.29	1.27	1.02	1.27	2.55	0.51	
褐頭花翼	7.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
黃羽鸚嘴	0	1.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
深山鶯	0	1.33	3.18	1.33	0	1.59	1.19	3.98	4.77	1.59	0	0	0	0.80	0	0.80	0	1.59	0.80	0	0.80	0	1.99	0	
酒紅朱雀	0	3.98	0	0	0	0	0.40	2.39	0	2.08	0	0	0	0	1.99	0	0.40	0	0.80	0	0.40	1.19	1.19	1.59	
栗背林鴿	0	4.24	1.53	0.85	2.55	0.51	1.02	0	2.29	1.93	0	0	1.78	1.02	2.04	1.02	1.53	0	1.02	2.04	0.51	0	1.53	0	
金翼白眉	1.77	1.77	2.83	1.18	0.88	0.71	1.24	3.01	2.12	5.43	2.73	0.53	0	0.71	0	0.35	0.71	0	0.35	1.02	0	0.35	1.06	1.77	
岩鷓	0	1.18	1.41	0	0	0	1.41	0	0.71	0.71	0	0	0	0	2.83	0	0	0	0	0	0	0	0.71	1.41	
灰鷓	0	0.85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
白眉林鴿	0	2.36	0	4.72	0	0	0	4.24	0	0	0	0	0	0	1.41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
巨嘴鴉	0.64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
台灣叢樹鶯	0	0.59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
火冠戴菊鳥	0	10.61	6.37	0	0	0	0	12.73	3.18	0	16.53	0	0	6.37	0	0	0	0	0	0	0	14.32	0	3.18	0
星鴉	0	0	0	0	0	0	0.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

(資料來源：本研究資料)

## (二) 繫放研究

### 1. 繫放鳥種隻數

本次調查期間進行 160 個網-小時的繫放工作，共計捕捉繫放到 9 種 180 隻次，包含 123 隻新繫放捕捉的個體、52 隻重複回收的個體、以及 5 隻因腳環尺寸不合而未上環的個體。合計自 2009 年 5 月至 2012 年 10 月間，捕捉了 14 種 662 隻次，共包含 470 隻不同的個體。新繫放捕捉的 123 隻個體中，以酒紅朱雀數量最多(82 隻，67%)，栗背林鴿次之(15 隻，12%) (圖 7-2)。

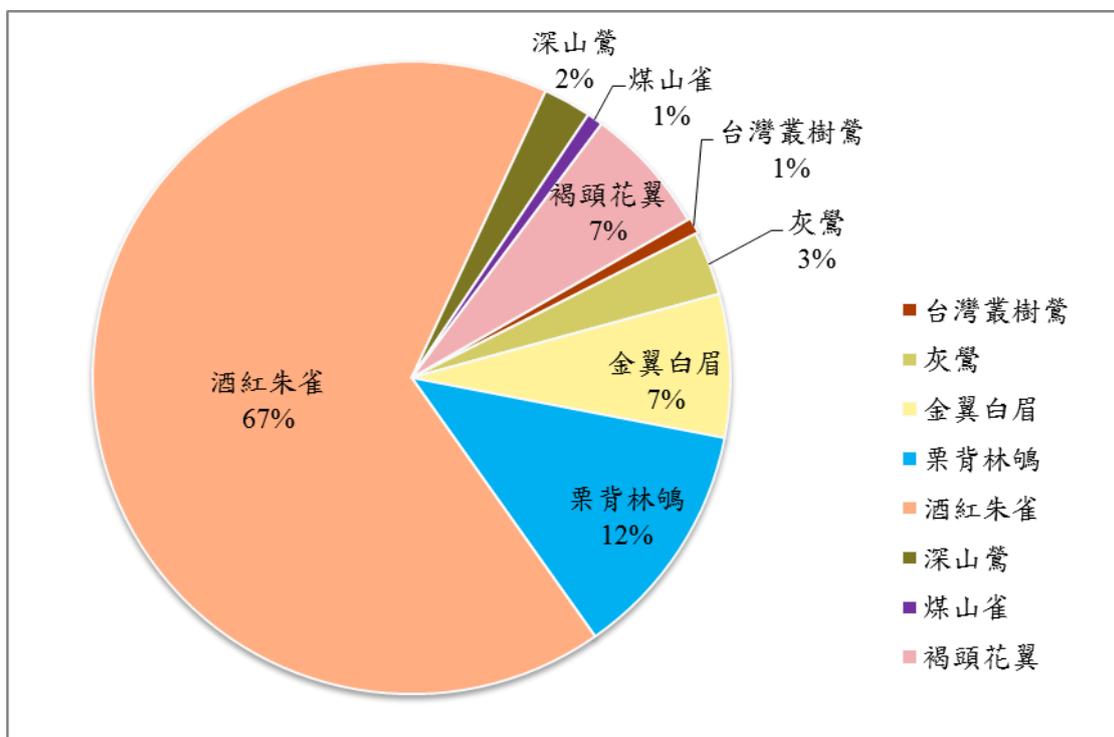


圖 7-2. 2012 年 3 月至 2012 年 10 月間新繫放捕捉的各鳥種百分比。(資料來源：本研究資料)

### 2. 各月份捕捉率比較

在各月份的捕捉中酒紅朱雀為 369 山莊前最容易繫放到的鳥種，每月均可以穩定繫放到(圖 7-3)(表 7-7)。

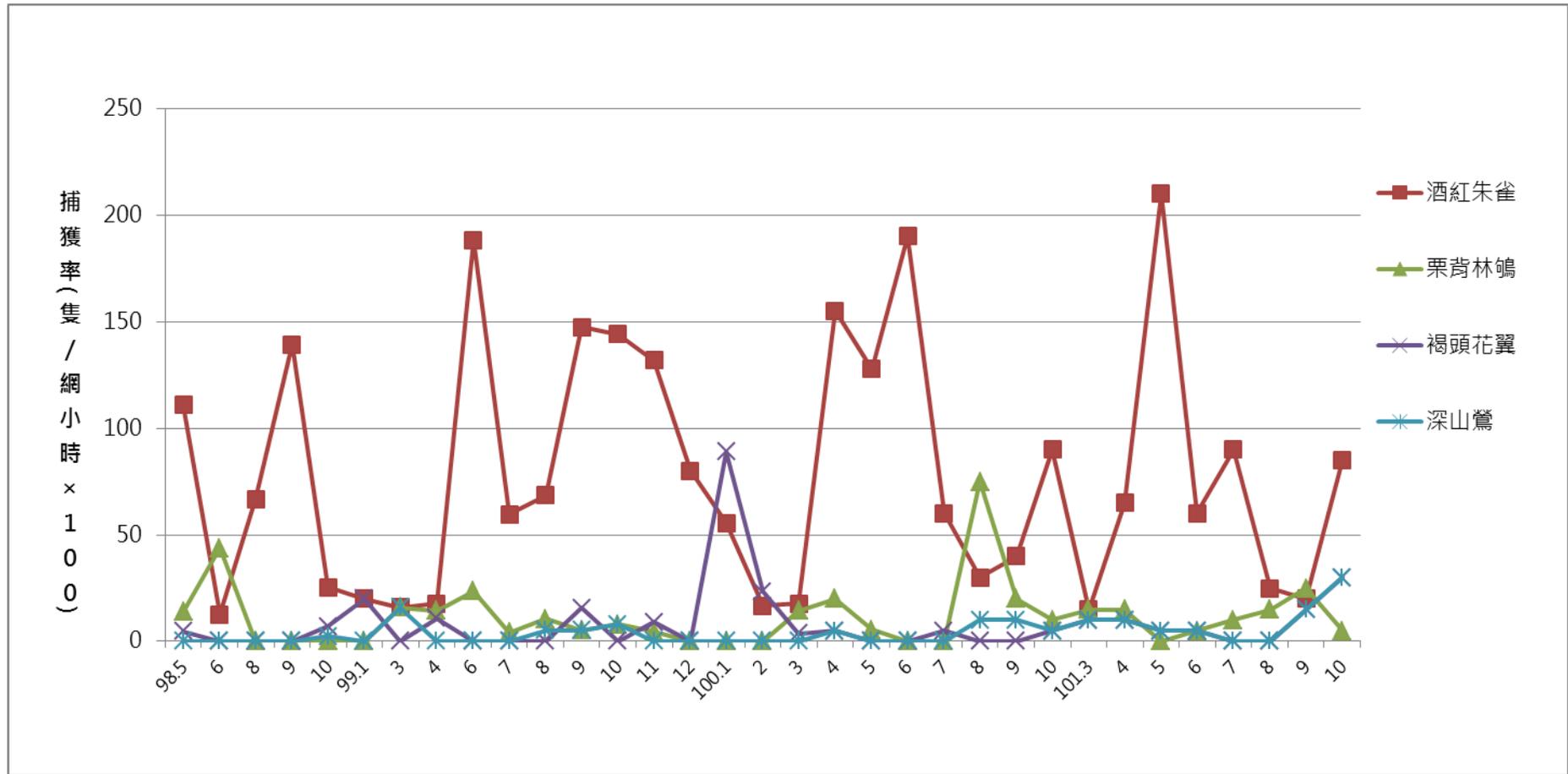


圖 7-3. 2009 年 5 月至 2012 年 10 月 369 山莊周圍主要鳥種的捕獲率。(資料來源：本研究資料)

表 7-7. 2012 年 3 月至 10 月 369 山莊每個月份各鳥種的捕捉情況

鳥種	月份別	2012/3	2012/4	2012/5	2012/6	2012/7	2012/8	2012/9	2012/10	總量
酒紅朱雀	數量	3	13	42	12	18	5	4	17	114
	網-小時	20	20	20	20	20	20	20	20	160
	捕捉率 <sup>a</sup>	15.00	65.00	210.00	60.00	90.00	25.00	20.00	85.00	71.25
栗背林鴿	數量	3	3	0	1	2	3	5	1	18
	網-小時	20	20	20	20	20	20	20	20	160
	捕捉率	15.00	15.00	0.00	5.00	10.00	15.00	25.00	5.00	11.25
褐頭花翼	數量	2	2	1	1	0	0	3	6	15
	網-小時	20	20	20	20	20	20	20	20	160
	捕捉率	10.00	10.00	5.00	5.00	0.00	0.00	15.00	30.00	9.38
深山鶯	數量	0	1	0	0	2	0	0	0	3
	網-小時	20	20	20	20	20	20	20	20	160
	捕捉率	0.00	5.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	1.88
金翼白眉	數量	0	0	0	1	4	4	3	0	12
	網-小時	20	20	20	20	20	20	20	20	160
	捕捉率	0.00	0.00	0.00	5.00	20.00	20.00	15.00	0.00	7.50
煤山雀	數量	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	網-小時	20	20	20	20	20	20	20	20	160
	捕捉率	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63
台灣叢樹鶯	數量	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	網-小時	20	20	20	20	20	20	20	20	160
	捕捉率	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63
灰鶯	數量	0	0	0	0	0	2	0	0	2
	網-小時	20	20	20	20	20	20	20	20	160
	捕捉率	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	1.25
毛腳燕	數量	0	0	0	0	2	0	0	0	2
	網-小時	20	20	20	20	20	20	20	20	160
	捕捉率	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	1.25

<sup>a</sup> 捕捉率=隻/網-小時×100(資料來源：本研究資料)

分析 2011 年 3 月至 10 月間，369 山莊廚餘樣區所捕捉到的酒紅朱雀捕獲率後發現，捕獲率和廚餘的覆蓋度之間，除了 4 月在廚餘量少時捕捉到較多的酒紅朱雀之外，其餘各月份酒紅朱雀的捕獲率和廚餘的覆蓋度之間波動趨勢相符，惟相關性尚未達到顯著標準( $P=0.093$ )。酒紅朱雀的捕獲率和植物性食物的覆蓋度之間亦無明顯相關性( $P=0.332$ )。不過，酒紅朱雀的繁殖月份正好是植物性食物覆蓋度最高的月份(圖 7-4)。

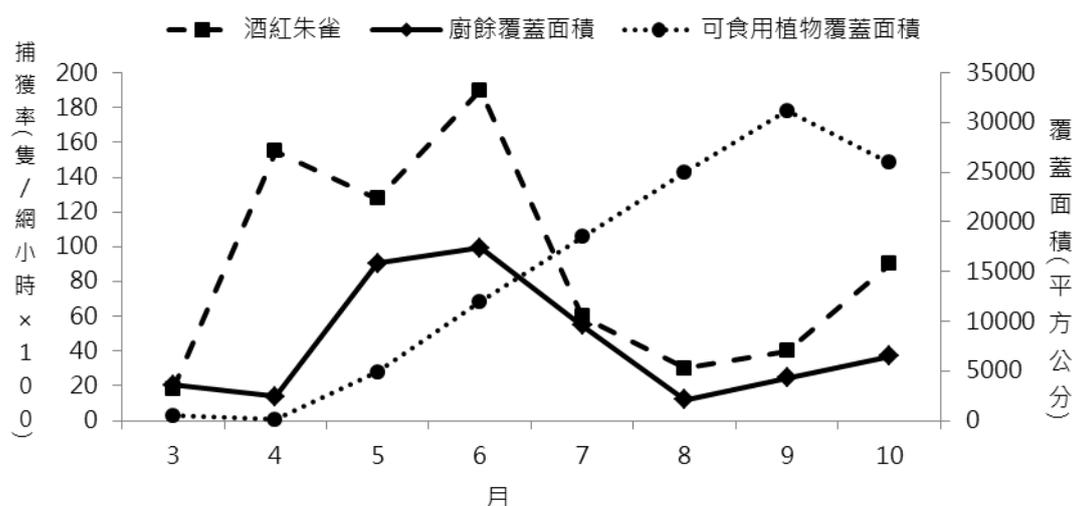


圖 7-4. 2011 年 3 月至 10 月酒紅朱雀捕獲率和食物覆蓋度間的各月份變化。  
資料來源：本研究資料)

### 3. 酒紅朱雀換羽模式研究

酒紅朱雀是本研究最常捕捉到的鳥種，過去普遍認為酒紅朱雀紅色羽色個體為公鳥，而褐色羽色個體則為母鳥(劉小如等，2010)，雀科專書提及酒紅朱雀幼鳥均為褐色羽色(Clement, 1993)。本研究針對酒紅朱雀進行長期繫放後發現，酒紅朱雀在剛出生時，公、母鳥均呈現褐色羽色，直到出生後隔年繁殖期結束後，二齡的亞成公鳥才由褐色羽色逐漸轉為紅色羽色，當三齡時酒紅朱雀公鳥已經轉為紅色，母鳥則從出生後一直維持著褐色羽色。至於二齡的亞成鳥是否會參繁殖，目前尚不清楚。

舉例而言，本研究繫放的酒紅朱雀個體 B45533，在 2010 年 10 月第一次捕捉時為剛離巢後的褐色幼鳥，頭骨鈣化程度 A-B 級、嘴基黃(圖 7-5)，全身大規模體羽生長中，雖然全身羽色為褐色，但經由 DNA 進行

性別鑑定後確認為公鳥。2011年7月重複捕捉到時該個體仍為褐色羽色(圖7-6)，頭骨鈣化程度D級，年齡紀錄為二齡鳥(2<sup>nd</sup> Year)。2012年4月再度重複捕捉，該個體羽色已經換成紅色羽(圖7-7)，頭骨已經完全鈣化為E級，但腹部仍有些許褐色毛，年齡紀錄為三齡鳥(3<sup>rd</sup> Year)。

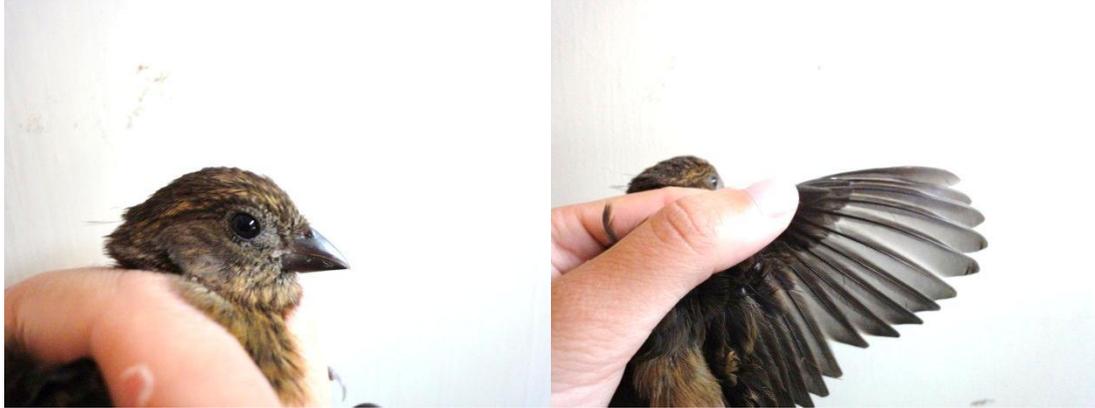


圖 7-5. 2010年10月 B45533 為褐色幼鳥第一次捕捉。(資料來源：本研究資料)



圖 7-6. 2011年7月 B45533 為褐色二齡鳥第二次捕捉。(資料來源：本研究資料)



圖 7-7 2012年4月 B45533 為紅色三齡鳥第三次捕捉(資料來源：本研究資料)

酒紅朱雀飛行羽的換羽時間，集中在 9 月至 12 月之間，其中二齡鳥較早進行飛行羽的換羽主要集中在 9 月至 10 月，此時二齡鳥中的公鳥個體褐色羽色會逐漸轉為紅色羽色，在繫放時可以在這段時間發現褐色與紅色交雜的酒紅朱雀(圖 7-8)。三齡以上的成鳥則是在 11 月至 12 月繁殖期過後才開始進行飛行羽的換羽，換羽時間較二齡鳥延遲。



圖 7-8. 酒紅朱雀二齡鳥公鳥 10 月間換羽中呈現褐色與紅色交雜。

(資料來源：本研究資料)

#### 4. 存活率分析

使用 Program Mark 軟體進行 2009 年至 2012 年酒紅朱雀的存活率分析，將酒紅朱雀分成紅色羽色及褐色羽色兩組，使用擁有最小 AIC 值的最佳模型為  $\{\Phi(g) p(t)\}$ ，表示存活率會隨著組別的不同而有所差異，再現率則會隨著不同年度而有差異。其中，酒紅朱雀紅色羽色的成鳥存活率為 0.899，褐色羽色的母鳥存活率為 0.299。利用酒紅朱雀不分組的資料計算酒紅朱雀的整體存活率，擁有最小 AIC 值得最佳模型為  $\{\Phi(.) p(t)\}$ ，代表存活率在不同年間固定，再現率會隨著不同年度而有差異，計算出的酒紅朱雀整體存活率為 0.672。

計算栗背林鴿(n=62)的存活率，區分性別及年齡之後，擁有最小 AIC 值的最佳模型為  $\{\Phi(.) p(.)\}$ (表 7-8)，整體栗背林鴿的存活率為 0.41。利用  $\{\Phi(g) p(.)\}$  模型來呈現栗背林鴿不同組別的存活率，可以發現栗背林鴿公鳥的存活率為 0.57、母鳥的存活率為 0.41、幼鳥的存活率為 0.21。

表 7-8. 2009 至 2012 年栗背林鴿族群存活率( $\Phi$ )及捕獲率(p)的模型選擇及 AIC 值，包括時間效應(t)、組效應(g)及恆定值(.)

	p(g)	p(g*t)	p(.)	p(t)
$\Phi$ (g)	68.47	79.20	65.76	69.43
$\Phi$ (g*t)	80.22	81.70	75.68	78.41
$\Phi$ (.)	65.96	73.41	63.58	67.87
$\Phi$ (t)	68.78	74.97	67.29	69.21

(資料來源：本研究資料)

### 5. 存活年齡

分析 2009 年 5 月至 2012 年 10 月所繫放的 329 隻酒紅朱雀不同個體的回收資料後發現，有 4 隻酒紅朱雀羽色為紅色的個體在 2009 年繫放後於 2012 年回收，儘管初繫放與回收之間相隔 4 年，然而按酒紅朱雀換羽模式得知紅色羽色個體在第一次捕捉時至少已達 3 齡，因此可以估計該 2 隻酒紅朱雀個體存活年齡至少 6 齡以上。此外，有 25 隻酒紅朱雀回收相隔 3 年，49 隻個體回收相隔 2 年。

分析 2009 年 5 月至 2012 年 10 月所繫放的 62 隻栗背林鴿不同個體的回收資料後發現，僅有 6 隻個體有在繫放過後隔年回收的情況，其中又有 2 隻個體初繫放時為幼鳥，故僅能推測有 4 隻個體存活年齡至少 3 齡。將較於酒紅朱雀的回收率，栗背林鴿的回收比率明顯較低。

### (三)整合性分析--鳥類食性研究及血液生化檢驗

#### 1. 食蟲性及雜食性鳥類食性分析

檢視鳥類排遺樣本包含 2009 年至 2012 年 8 月所採得的排遺(n=176)，包含食蟲性、雜食性及植食性鳥類的排遺。各鳥種可以鑑定出排遺中含有 6 個昆蟲目別，包括鞘翅目、膜翅目、雙翅目、半翅目(包含之前的同翅目資料已併入半翅目中)、鱗翅目、革翅目(表 7-9)。

表 7-9. 2009 年至 2012 年 8 月鳥類排遺中昆蟲種類

鳥種名	食性類別	樣本數	目別 (Order)	科別(Family)
栗背林鴿	食蟲性	n=43	雙翅目	黑翅蕈蚋科
			膜翅目	蟻科、小蜂總科、錘角細蜂科、細蜂科
			半翅目	長椿科、蟬科
			革翅目	
			鞘翅目	象鼻蟲科
酒紅朱雀	植食性	n=92	雙翅目	蚤蠅科、黑翅蕈蚋科
			半翅目	蟬科、蚱總科、葉蟬科
			鞘翅目	金龜子科、象鼻蟲科
			鱗翅目	
深山鶯	食蟲性	n=13	雙翅目	黑翅蕈蚋科、蚤蠅科、舞虻科、癭蚊科
			半翅目	蟬科
			膜翅目	細蜂科、錘角細蜂科、蟻科、癭蜂總科
			鞘翅目	
褐頭花翼	食蟲性	n=16	雙翅目	黑翅蕈蚋科、舞虻科
			半翅目	蟬科
			革翅目	
			鞘翅目	金龜子科、象鼻蟲科
			膜翅目	
岩鷲	雜食性	n=2	半翅目	
金翼白眉	雜食性	n=9	鞘翅目	金龜子科
			膜翅目	蟻科
			半翅目	盲蝽科(幼蟲)
			鞘翅目	金龜子科、菊虎科、象鼻蟲科
			雙翅目	黑翅蕈蚋科
灰鷲	植食性	n=1	雙翅目	

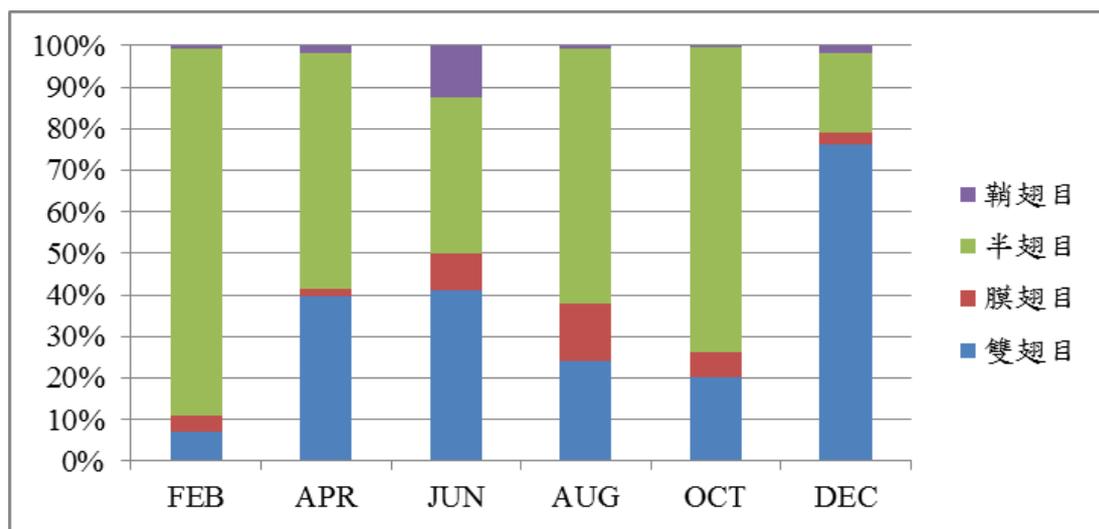
(資料來源：本研究資料)

分析的 176 個鳥類排遺樣本中，可以鑑定出昆蟲排遺的樣本計 104 個，有 72 個樣本未能鑑定出切確的昆蟲種類，未能鑑定出昆蟲的皆為植食性酒紅朱雀的樣本(n=72)。繫放並採到排遺的鳥種共有 7 種鳥，其中灰鷺及岩鷓因較少繫放到，故樣本個數較少，各鳥種取食的昆蟲目別出現次數中，以膜翅目及鞘翅目的昆蟲被取食的數量最多，其次是雙翅目(表 7-10)。檢視火燒跡地的昆蟲數量，是以半翅目及雙翅目的數量居冠(圖 7-9)，儘管其在自然環境中的數量居冠，但在鳥類排遺中並非最常發現被取食的昆蟲類別。

**表 7-10. 2009 年至 2012 年 8 月火燒跡地各鳥種排遺中的昆蟲目別及次數**

昆蟲目別	金翼白眉 (n=9)	酒紅朱雀 (n=20)	栗背林鴿 (n=43)	深山鶯 (n=13)	褐頭花翼 (n=16)	灰鷺 (n=1)	岩鷓 (n=2)	總計 (n=104)
鞘翅目	4	9	8	2	5		1	29
革翅目			1		1			2
雙翅目	1	5	4	5	5	1		21
半翅目	1	5	6	2	4		1	14
膜翅目	3		24	4	1			32
鱗翅目		1						1

(資料來源：本研究及葉文斌雪山高山昆蟲研究資料)



**圖 7-9. 火燒跡地各月份昆蟲目的可利用百分比。**

(資料來源：葉文斌雪山高山昆蟲研究資料)

## 2. 火燒跡地鳥類取食昆蟲的食性廣度分析

檢視火燒跡地食性資料較多的 5 個鳥種的 Fisher's alpha 數值，可以發現 Fisher's alpha 數值在 2 以下的鳥種為栗背林鴿、深山鶯、酒紅朱雀，而金翼白眉、褐頭花翼的 Fisher's alpha 數值則較大，代表其食性廣度較寬，其中酒紅朱雀、金翼白眉分別為植食性及雜食性鳥類，除了取食昆蟲之外，也取食大量植物及果實。比較 3 種食蟲性鳥類的食性廣度，褐頭花翼食蟲性鳥類中 Fisher's alpha 數值最高者，是全年都可以見到的食蟲性鳥類，而 Fisher's alpha 數值較低的栗背林鴿及深山鶯，在每年在 10 月之後至翌年 2 月都向下降遷(表 7-11)(圖 7-10)。

表 7-11. 2009 年至 2012 年 10 月火燒跡地鳥類取食昆蟲的食性廣度

類型	雜食性	植食性	食蟲性	食蟲性	食蟲性
物種名	金翼白眉 (n=9)	酒紅朱雀 (n=20)	栗背林鴿 (n=43)	深山鶯 (n=13)	褐頭花翼 (n=16)
昆蟲目數	4	4	5	4	5
Fisher's alpha	2.759	1.879	1.187	1.974	2.517

(資料來源：本研究資料)

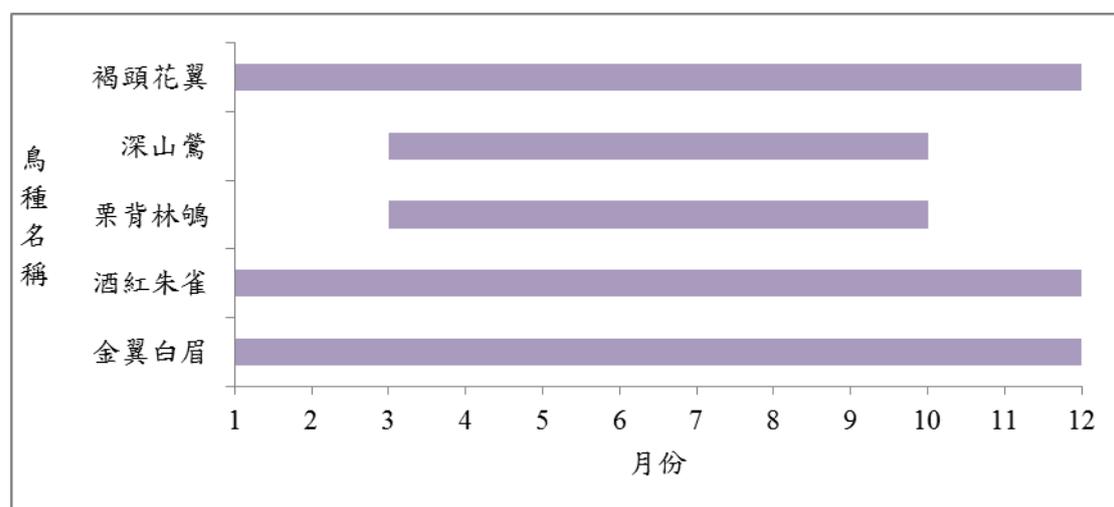


圖 7-10. 火燒跡地中 5 個主要鳥種的出現月份。

(資料來源：本研究資料)

## 3. 酒紅朱雀植物性食物的偏好

2010年7月至2011年11月在雪山地區369山莊共記錄384筆酒紅朱雀取食記錄，其中取食植物性食物共187筆(48.7%)，取食人工食物共197筆(51.3%)。酒紅朱雀在369山莊周圍取食的植物包括5科9種(附錄1)，不包含在其他生態系採樣和辨識的植物，其中取食比例最高的為早熟禾64筆，其次為黃苑45筆和假繡線菊22筆(圖7-11)。

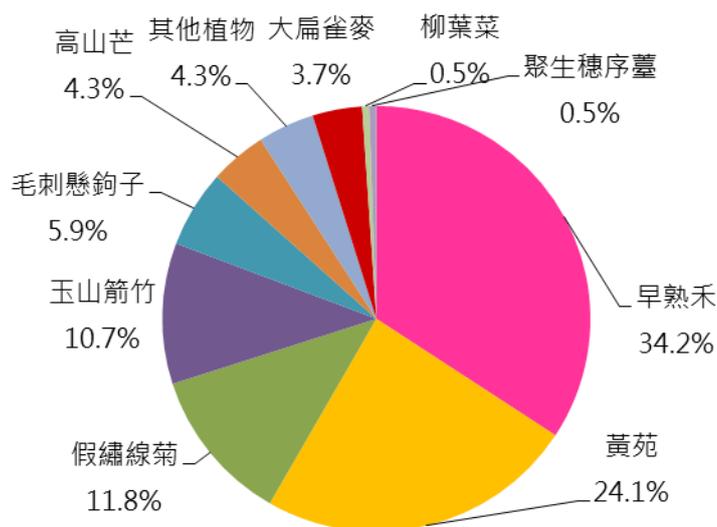


圖 7-11. 2010 年 7 月至 2011 年 11 月酒紅朱雀取食植物百分比。

(資料來源：本研究資料)

將黃菀和早熟禾為一組，與假繡線菊的卡方檢定結果呈現顯著差異 ( $P < 0.001$ )，可知酒紅朱雀對黃菀和早熟禾有偏好，假繡線菊的可利用性比例雖高，取食比例明顯較低(圖 7-12)。

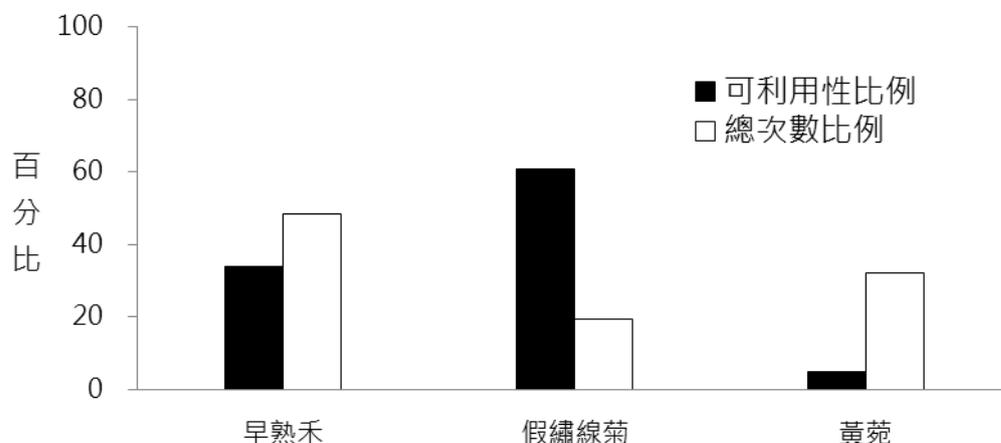


圖 7-12. 2011 年 6 月至 11 月酒紅朱雀取食早熟禾、黃菀和假繡線菊三種植物的可利用性與取食次數。

(資料來源：本研究資料)

#### 4. 酒紅朱雀食性研究及血液生化檢驗

利用卡方檢定酒紅朱雀在繁殖季和非繁殖季取食的食物類型( $n=374$ )的差異，結果顯示兩者間有顯著差異( $P < 0.001$ )，繁殖季取食較多的植物性食物，非繁殖季取食較多的人工食物(表 7-12)。

表 7-12. 2010 年 9 月至 2011 年 11 月酒紅朱雀在繁殖季與非繁殖季取食食物類型

	食物類型		總和
	植物性食物	人工食物	
繁殖季	80(59.3%)	55(41.7%)	135
非繁殖季	90(38.8%)	142(61.2%)	232
合計	187	197	374

(資料來源：本研究資料)

將酒紅朱雀取食植物性食物比例最高的早熟禾和廚餘進行成分分析，結果顯示廚餘所含的粗蛋白量約高於早熟禾 2 倍，兩者的粗脂肪含量相似，廚餘的鈉含量則高於早熟禾約 38 倍(表 7-13)。

**表 7-13. 早熟禾與廚餘成分分析**

檢驗項目	粗蛋白(g/100g)	粗脂肪(g/100g)	鈉(mg/100g)
早熟禾	4.5	1.1	3
廚餘	9.8	1.5	114

(資料來源：本研究資料)

分析酒紅朱雀血液中尿酸和總膽固醇數值，共收集到尿酸樣本 50 個(圖 7-13)，平均值  $11.5 \pm 5.8$  mg/dl，在性別和成幼鳥間都沒有顯著差異(表 7-14)(表 7-16)。膽固醇的樣本有 40 個(圖 7-14)，平均值  $160.4 \pm 55.3$  mg/dl，在性別和成幼鳥間都沒有顯著差異(表 7-14)(表 7-15)。尿酸和總膽固醇在繁殖季的平均值都低於非繁殖季，但未達顯著差異(表 7-16)。從散佈圖中可以發現有小部分酒紅朱雀個體，尿酸和總膽固醇的數值偏高(圖 7-13)(圖 7-14)。

**表 7-14. 酒紅朱雀血漿生化值的性別差異(Mean  $\pm$  SD ; 單位 mg/dl)**

項目	公鳥	n	母鳥	n	P
尿酸	11.5 $\pm$ 5.6	30	11.4 $\pm$ 6.3	20	0.507
總膽固醇	163.9 $\pm$ 49.1	27	153.2 $\pm$ 68	13	0.551

(資料來源：本研究資料)

**表 7-15. 酒紅朱雀血漿生化值的年齡差異(Mean  $\pm$  SD ; 單位 mg/dl)**

項目	成鳥	n	幼鳥	n	P
尿酸	11.9 $\pm$ 5.3	45	7.9 $\pm$ 3.8	5	0.131
總膽固醇	160.6 $\pm$ 53.6	35	159.2 $\pm$ 73.4	5	0.951

(資料來源：本研究資料)

表 7-16. 酒紅朱雀血漿生化值在繁殖季和非繁殖季的差異(Mean ± SD; 單位 mg/dl)

項目	繁殖季	n	非繁殖季	n	P
尿酸	11.2 ± 6.9	14	12.2 ± 5.5	31	0.347
總膽固醇	146.9 ± 35.3	11	172.1 ± 62.6	23	0.310

(資料來源：本研究資料)

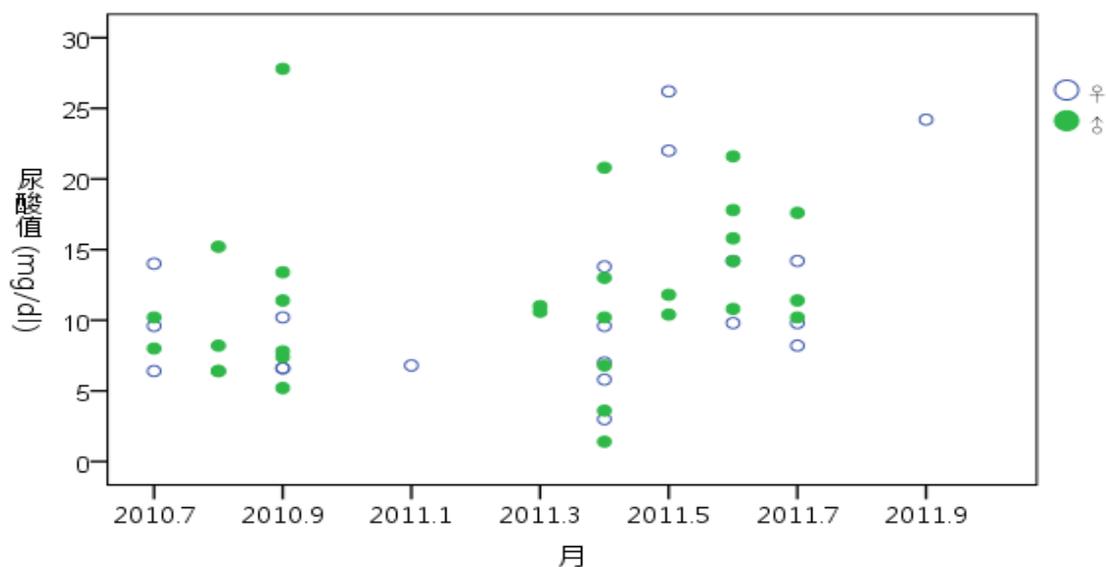


圖 7-13. 2010 年 7 月至 2011 年 9 月酒紅朱雀各月份尿酸值散布圖。  
(資料來源：本研究資料)

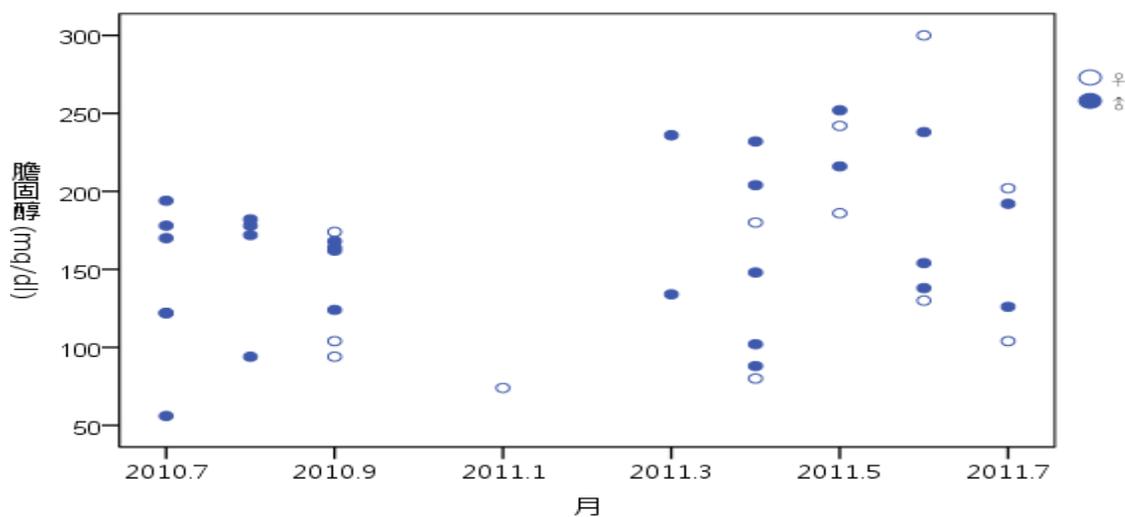


圖 7-14. 2010 年 7 月至 2011 年 9 月酒紅朱雀各月份總膽固醇值散布圖。  
(資料來源：本研究資料)

(四)整合性分析--各生態系氣溫、昆蟲量與鳥類密度間的關係

使用 Pearson 相關性分析，進行分析氣溫和鳥類密度之間的關係，結果顯示火燒跡地鳥類密度和溫度(n=27)之間呈現明顯的正相關(P=0.036)(圖 7-15)，其中深山鶯、金翼白眉、灰鶯各別鳥種密度和溫度之間均呈現正相關，P 值均小於 0.05。

2012 年 4 月火燒跡地的月均溫為 6.99°C，相較去年同期的月均溫 6.05°C 提升將近 1°C，可以明顯發現 2012 年 4 月的鳥類密度相較於去年同期及前年同期上升許多，5 月時的鳥類密度水準則相去不遠(圖 7-15)。

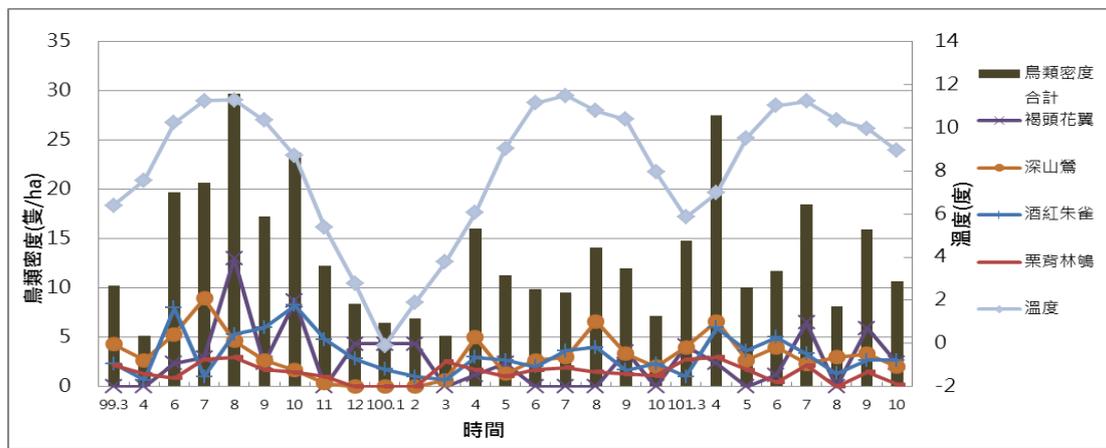


圖 7-15 2010 年 3 月至 2012 年 10 月火燒跡地氣溫與優勢鳥種密度變化。

(資料來源：本研究資料及魏聰輝高山為氣象與熱量收支之研究資料)

分析火燒跡地昆蟲量和鳥類密度之間的關係，火燒跡地的鳥類密度和昆蟲量(n=16)之間沒有明顯的關係(P=0.394)(圖 7-16)。

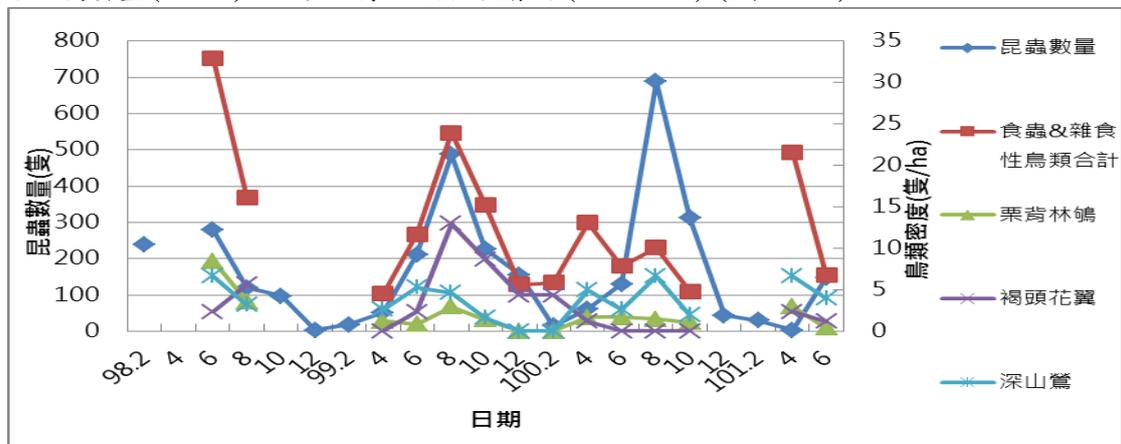


圖 7-16 2009 年至 2012 年 6 月火燒跡地昆蟲數量及食蟲性鳥類密度變化。

(資料來源：本研究資料及葉文斌雪山高山昆蟲研究資料)

黑森林的鳥類密度和溫度(n=24)間沒有明顯的關係(P=0.129)，但其中巨嘴鴉和茶腹鵝和溫度之間的相關性  $P < 0.05$ ，當溫度越高時可以發現的機會越高(圖 7-17)。

2012 年早春黑森林的雪較早融化，研究人員於 3 月進入黑森林時只剩零星的殘冰，和 2010 年早春的情況相同，不像 2011 年的早春仍有大規模積雪覆蓋黑森林，在溫度上可以發現 2012 年 3 月黑森林的月均溫  $3.73^{\circ}\text{C}$ ，2011 年 3 月黑森林的月均溫為  $1.48^{\circ}\text{C}$ ，在溫度上 2012 年 3 月的月均溫也較去年同期增加  $2.2^{\circ}\text{C}$ ，可以發現今年黑森林鳥類的密度明顯較去年提升，但仍不及 2010 年族群密度(圖 7-17)。

黑森林鳥類密度和昆蟲量(n=10)之間沒有明顯關係(P=0.836)，進行各別鳥種密度分析後，也沒有發現任何鳥種的密度和昆蟲量之間有明顯的關係(圖 7-18)。

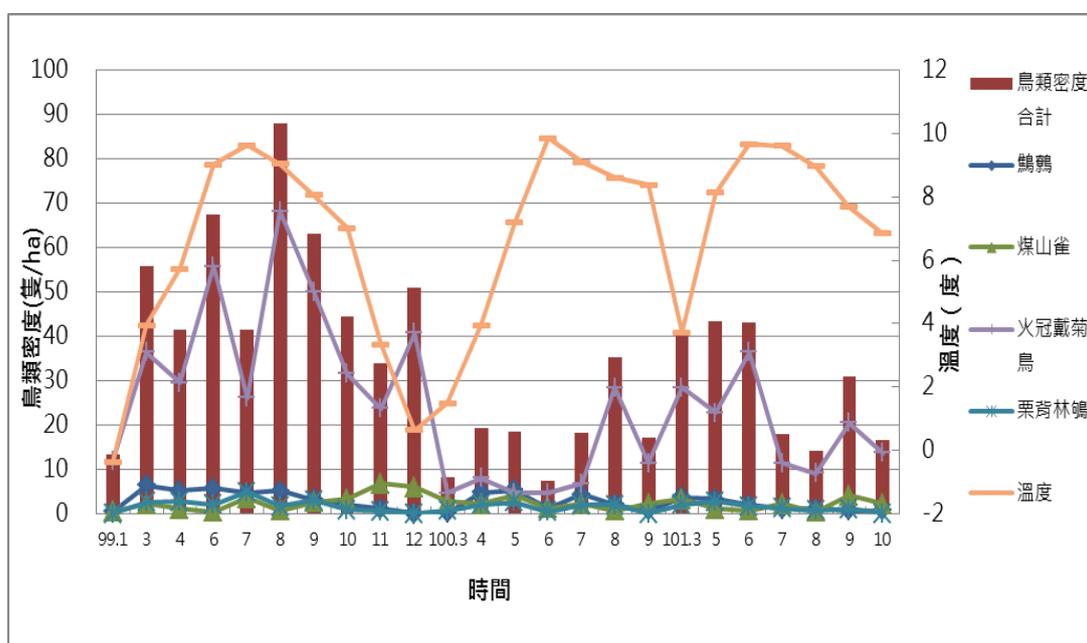


圖 7-17. 2010 年 1 月至 2012 年 10 月黑森林中氣溫與優勢鳥種密度變化。

(資料來源：本研究資料及魏聰輝高山為氣象與熱量收支之研究資料)

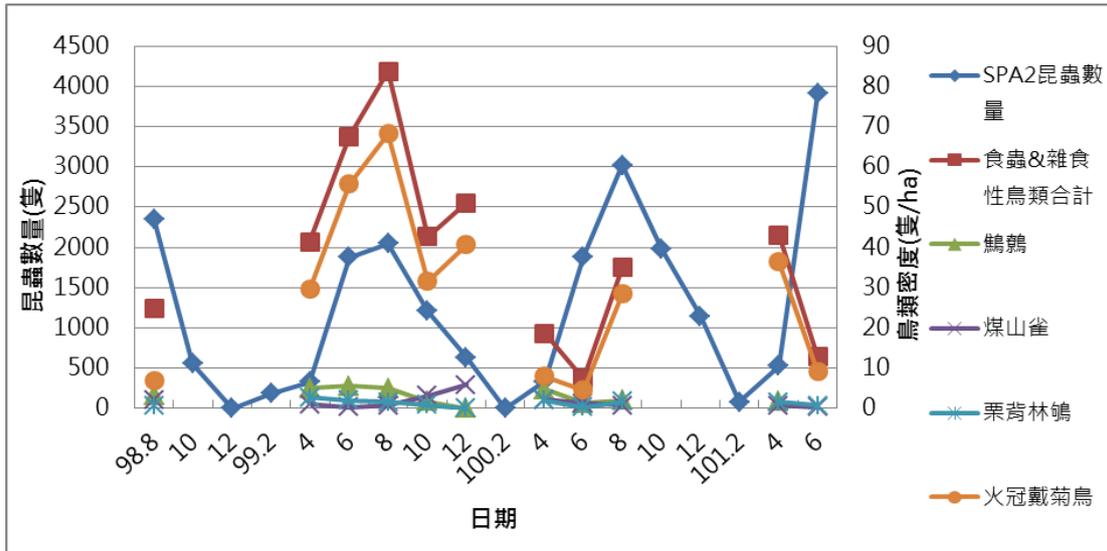


圖 7-18. 2009 年至 2012 年 6 月 SPA2 黑森林中昆蟲數量及食蟲性鳥類密度變化。  
(資料來源：本研究資料及葉文斌雪山高山昆蟲研究資料)

圈谷各鳥種的密度和溫度(n=21)之間沒有明顯的相關性(圖 7-19)。鳥類密度和昆蟲量(n=11)之間沒有明顯的相關性(P=0.141)，進一步分析各別鳥種密度和昆蟲量間的關係後發現，深山鶯、火冠戴菊鳥的密度和昆蟲數量之間均呈現正相關性(P<0.05)，其他的食蟲性鳥種的密度則沒有明顯趨勢(圖 7-20)。2012 年 3 月的圈谷仍然覆雪，但大多數的雪都已經融化，和去年(2011 年)直到 4 月大部分的植被仍被大雪覆蓋的景象差異很大，反而較接近 2010 年初的情況。儘管天氣較暖，玉山杜鵑盛開，但今年圈谷 5 月鳥類密度反而較 2011 年同期來的低，但昆蟲數量至 2012 年 6 月已經提升(圖 7-20)，不過鳥類密度仍低，直到 7 月鳥類密度才提高(圖 7-19)。

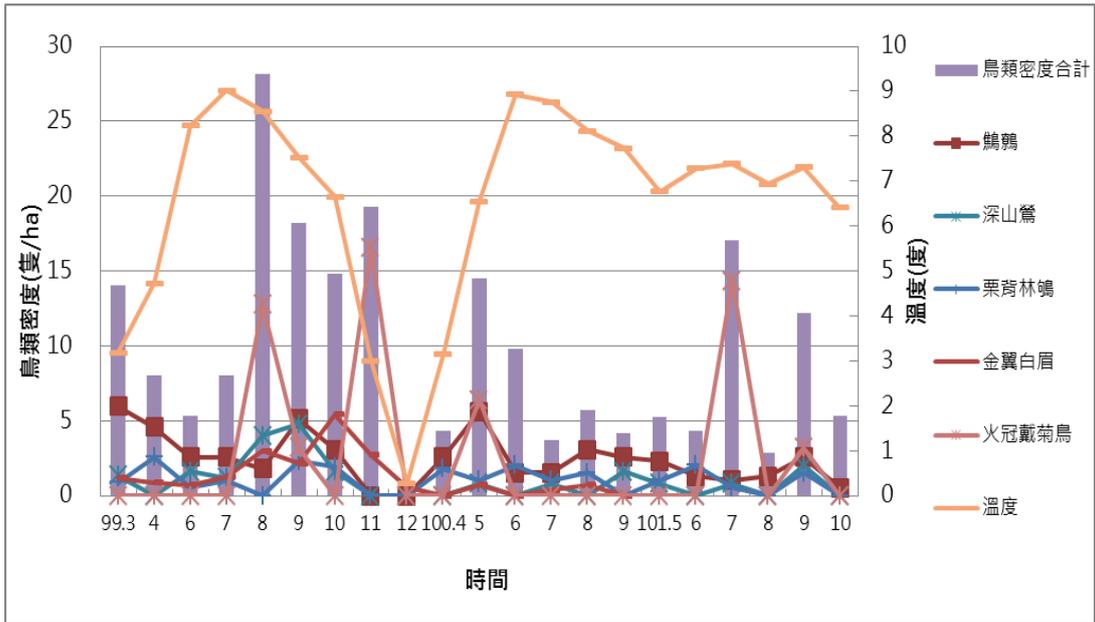


圖 7-19. 2010 年 3 月至 2012 年 10 月圈谷氣溫與優勢鳥種密度變化。  
 (資料來源：本研究資料及魏聰輝高山為氣象與熱量收支之研究資料)

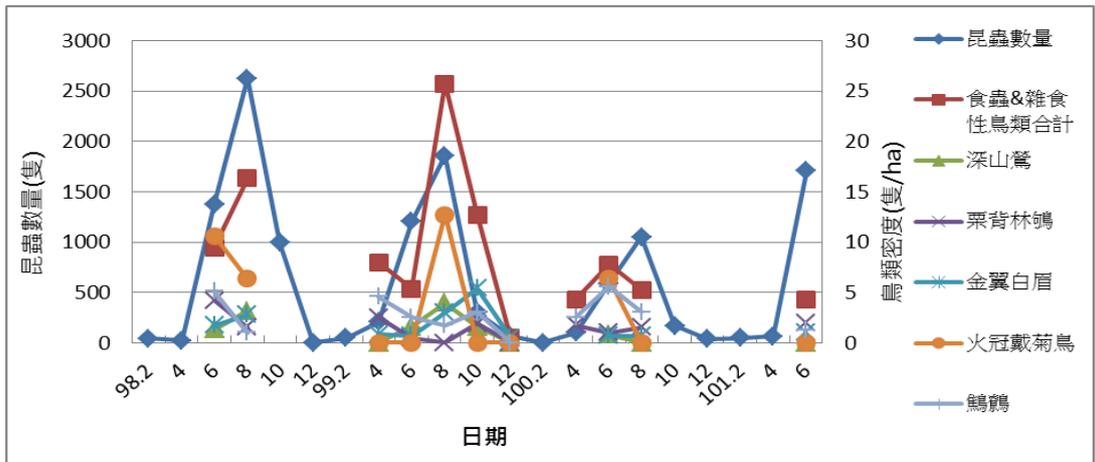


圖 7-20. 2009 年至 2012 年 6 月 SPA1 圈谷昆蟲數量及食蟲性鳥類密度變化。  
 (資料來源：本研究資料及葉文斌雪山高山昆蟲研究資料)

## 四、討論

### (一) 鳥相結構

在鳥種記錄中，新增鳥種為田鴉及遊隼。田鴉在台灣的生息狀況為稀有過境鳥，主要的度冬地理分布區為中國東部及日本，田鴉在其主要的分布區數量普遍，但因台灣不是田鴉的主要地理分布區(劉小如等，2010)，僅有數筆在過境期時被發現單獨活動的零星個體。研究人員發現該個體在 369 山莊前的箭竹叢中，不甚怕人，在距離約 5m 處進行鳴叫。遊隼在 7 月於哭坡發現一公一母體型差異相當大的兩隻遊隼飛行追逐，以及 9 月在圈谷發現一隻遊隼，遊隼在台灣的生息狀況包括稀有留鳥、不普遍度冬鳥、不普遍過境鳥。在雪山地區發現的遊隼是屬於留鳥型會出現的時間。過去遊隼在台灣僅有東北角海岸確定有繁殖紀錄，營巢的棲地類型為懸崖(劉小如等人，2010)，在雪山哭坡及圈谷發現遊隼出現的棲地類型也是屬於峭壁類型，這和文獻提及遊隼的築巢棲地型態頗為相似，至於成對的遊隼是否會在台灣雪山峭壁上進行繁殖值得未來觀察注意。

黃眉柳鶯在雪山的紀錄中，2011 年 6 月至 8 月在雪山發現單日至少同時有 3 隻不同的黃眉柳鶯個體出現在雪山黑森林 9.3-9.8K 處(林惠珊等，2011)，在今年的調查中 2012 年 6 月至 8 月又在雪山記錄到黃眉柳鶯，且單日可達至少 7 隻不同的個體，儘管研究人員並未在調查期間找尋到黃眉柳鶯鳥巢及幼鳥，但是相信連續兩年的調查中均有類似的發現紀錄，這代表黃眉柳鶯的出現並非偶然迷途，而是在特定季節時才返回雪山地區。此外，2012 年的調查黃眉柳鶯的數量明顯較 2011 年的調查個體數量增加，分布從 369 山莊後方之字路、黑森林 9.0K 至 9.8K 處均有發現，未來黃眉柳鶯在雪山出現是否會成為夏季常態，又其在雪山的族群數量是否會漸增，以及其他高海拔是否有黃眉柳鶯度夏或繁殖都是值得注意的。

各生態系的優勢鳥種結構變化不大，跟調查期間棲地變化不大有關係。其中，棲地變化較大的為火燒跡地的棲地。2012 年火燒跡地的棲地在鳥種結構上優勢的前三種鳥種為深山鶯、酒紅朱雀、褐頭花翼，其中

褐頭花翼和深山鶯都是屬於灌層蟲食，酒紅朱雀則屬於地面植食鳥類。這跟火燒跡地的箭竹林在研究期間越長越高，形成較多的箭竹叢讓深山鶯及褐頭花翼可得以躲藏、棲身、覓食，可能有很大的關係。2009 年栗背林鴿被調查到的數量比較多，可能跟栗背林鴿是屬於地面蟲食者有關係，當時火燒之後，可能有比較多地面型的棲地及昆蟲可以被發現，而在植被逐漸轉換為箭竹叢之後，相對可以被利用的棲地就會比較減少，但也不排除栗背林鴿在箭竹植被較高且較茂密後，可能目擊發現率也會略微降低。

## (二) 繫放研究

### 1. 各月份捕捉率比較

火燒跡地的繫放調查中，新繫放捕捉到的個體仍以酒紅朱雀最多，其次為栗背林鴿，和架網地點的棲地類型及鳥種組成有關。酒紅朱雀的捕獲率和廚餘的覆蓋度之間的關係來看，儘管兩者未達顯著標準，但是除了 4 月之外，其餘各月份波動一致。從廚餘各月份的波動和捕獲率的圖，可以發現當廚餘越多的情況下，越容易捕捉到酒紅朱雀，這也說明了酒紅朱雀對廚餘的依賴。

雪霸國家公園 2011 年提供的登山人數資料顯示，雪山主東峰線登山人數 1998 年為 6,958 人，之後的登山人數呈現逐年成長，至 2010 年本路線的登山人數已達 19,765 人，在 12 年的時間內登山人口數增加了將近 3 倍。目前登山活動有商業化的趨向，商業隊伍往往人數較多，食物的數量較不容易估計，且由於商業隊伍的餐飲是由原住民全程代為揹負食物及烹煮，建議廚餘的問題可以從商業隊伍開始宣導，由於這些在登山隊服務的原住民長時間出入 369 山莊，在與他們進行溝通宣導後，甚至可以藉由這些登山隊的原住民進一步影響其他的零星登山者。

### 2. 酒紅朱雀換羽模式研究

由於酒紅朱雀的換羽模式之前未有文獻進行論述，所以無法從前人文獻中得知相關知識，僅有專文針對同為朱雀屬的普通朱雀(*Carpodacus erythrinus*)換羽模式進行說明，普通朱雀的幼鳥無論公、母也皆為褐色，當進入二齡鳥的年紀後，顏色會變得較為褐色難以跟成鳥分辨，但是普通朱雀這樣的羽色是可以參與繁殖的，普通朱雀二齡鳥在夏末秋初時會進行換羽，當為三齡鳥時就會呈現成鳥羽色(Clement, 1993)，這和本研究

發現的酒紅朱雀換羽模式相似，可見同屬的鳥種，有類似的換羽模式，未來其他研究者進行酒紅朱雀繫放時亦可參考本研究換羽模式及頭骨鈣化判斷方式進行年齡及性別的判讀。但是酒紅朱雀的二齡鳥是否能夠像普通朱雀一樣就參與繁殖，本研究則抱持著保留態度，主要是因為本研究發現酒紅朱雀的二齡鳥的飛行羽換羽時間較早(9-10月間)，當二齡鳥在換羽時，仍為酒紅朱雀成鳥的繁殖育雛期，由於換羽是相當耗能的活動(Cyr *et al.*, 2008)，而且換羽使得鳥類的生存風險上升，所以雀形目鳥類的大多會在繁殖後和換羽分開在不同時段進行，此時不需投注能量在子代關懷上(Hemborg and Lundberg, 1998)，所以我們推測，提早換飛行羽的酒紅朱雀二齡鳥可能沒有參與該季繁殖，方有足夠的能量能夠進行飛行羽換羽。

### 3. 存活率及存活年齡分析

本研究結果可以明顯發現栗背林鴿的存活率比起酒紅朱雀低，回收的比率也顯示，酒紅朱雀在研究的4年期間可以回收到第1年所繫放而在第4年後回收的個體，但是栗背林鴿卻都只有在繫放後隔年仍可回收，沒有個體在相隔3年後可以回收到，可能是栗背林鴿的存活率較低或擴散到其他地方。不過，前人研究顯示：標放後的栗背林鴿公鳥會有回到原棲地的現象(劉良力, 1991)，意即具有領域的忠誠性，因此本研究推測，栗背林鴿回收率較低，不太可能是因為其已經擴散到其他地方，可能和存活率本身就較低有密切的關係。

前人研究中檢視了49種不同種鳥類的生活史型態，壽命較長的鳥種，通常較晚成熟且下蛋數較少；而較早成熟的鳥種其下蛋數通常很多，但存活率較低(Sæther and Bakke, 2000)。在同一個物種中也可以發現成鳥的存活率和繁殖力之間是呈現負相關的關係，當該年的窩卵數越多、越早成熟的個體或有進行繁殖的個體，其相對而言的存活率是較低的(Sæther and Bakke, 2000; Marzoun *et al.*, 2011)。栗背林鴿同一繁殖季可以進行兩窩的繁殖(劉小如等, 2010)，從本研究的繫放資料來看，幼鳥在當年的8月就會開始轉為成鳥羽色，參與隔年的繁殖，是屬於早成熟且下蛋數較多的鳥種，相較之下酒紅朱雀可能要到3齡時才會參與繁殖，這可能是栗背林鴿和酒紅朱雀所選擇的生活史策略的差異，栗背林鴿有相

對較早成熟且同季可繁殖第二窩的現象，這可能是造成栗背林鴿存活率較低的原因。但也不能排除可能栗背林鴿在雪山地區是否有任何疾病或生存條件下降所導致的存活率下降，之後需要和其他高海拔繫放站的資料進行比對分析，方能了解栗背林鴿在雪山地區的存活率較低是普遍事件或單一事件。

### (三)整合性分析--鳥類食性研究及血液生化檢驗

#### 1. 火燒跡地鳥類取食昆蟲的食性及食性廣度分析

由於昆蟲資料的同翅目因分類地位改變併入半翅目中，因此在本報告中，將之前同翅目的資料修正為半翅目呈現。在火燒跡地中以半翅目和雙翅目的昆蟲數量最多，但是火燒跡地的鳥類取食較多的膜翅目及鞘翅目的昆蟲，可能是取食偏好，有偏向取食該兩種類群的昆蟲所導致的結果，也不能排除鳥類的消化道是否有一些昆蟲類群是容易被消化而不容易被察覺的，例如鞘翅目的昆蟲及膜翅目的蟻科由於具有幾丁質形成的外骨骼可能是比較容易被發現的。

在食性廣度方面，鳥種的食性愈廣泛，代表可選擇的食物種類也愈多，所以在冬天某些昆蟲的量不足的情況下，此類鳥種還能選擇其他昆蟲食用以補足能量的需求，也就不需要遷移至其它地方。雪山食蟲性鳥種的食性若以目來分析，則各鳥種所偏好的蟲類相似(膜翅目及鞘翅目)。當所偏好的資源在八月之後開始減少時，種間及種內的競爭就會變趨激烈，可能是導致部分鳥群降遷的原因。褐頭花翼的食性廣度指數皆比會降遷的栗背林鴿和深山鶯高，也符合上述的推論。

將所有鳥類就鳥類調查的資料分類成「會降遷」和「不會降遷」兩組，並沒有考量鳥種「部分降遷」的情形。但就實際狀況而言，屬於「不會降遷」的金翼白眉、酒紅朱雀，及褐頭花翼畫眉於冬天時數量仍有變少。此現象有可能是因為 1)鳥類在冬天活動量降低，導致被觀察到的次數也下降，或 2)有部分鳥群降遷，只剩一些較強壯、能夠贏取冬天剩下的少量昆蟲的個體留下，或 3)兩個原因都有。依據 Boyle 等(2011)提出的兩個機制假說，雪山的降遷似乎較符合其中的「競爭驅逐」假說(competitive exclusion)，也就是較強勢的個體／物種會留下，而較弱勢的會降遷。在冬天留下也許有風險，但其中一個重要的優勢便是確保隔年可以先取得

繁殖領域。

## 2. 酒紅朱雀植物性食物的偏好

酒紅朱雀所食用植物性食物的前三名的可利用性比例和總取用次數比例之間並非正比關係，也顯示酒紅朱雀對取食黃苑、早熟禾有偏好，明顯高於假繡線菊。酒紅朱雀主要取食的前三名植物的果實在型態上有所差異，其中黃苑的果實為瘦果，成熟時果皮和種皮會較易分開，種子裸露在外呈白色棉絮狀；早熟禾為穎果，種子則包含在裡頭(曾喜育等, 2010)；假繡線菊則為蓇葖果，種子則包含在果實裡待成熟時果實會有裂縫而種子再彈出進行傳播。在國外的研究中，研究顯示雀科鳥類會因為本身鳥喙長度、寬度、厚度的不同，而取食不同的種子大小和形狀(Willson, 1971)。在過去的研究中，發現鳥類在去除種子殼時會受到鳥類嘴喙的咬合力影響(Van der Meij and Bout, 2006)，且當種子殼的硬度越高時，鳥類所需花費取食的時間越長(Van der Meij *et al.*, 2004)。在本研究中酒紅朱雀在取食上假繡線菊的果實較早熟禾果實堅硬，黃苑種子則是裸露在外，這可能是酒紅朱雀比較少取食假繡線菊的原因之一。本研究結果呈現酒紅朱雀對於不同的種子有不同的偏好，但至於是否有更多影響的條件或是酒紅朱雀不同個體是否有不同的取食偏好之差異，則有待後續研究。另有一些植物性食物含有的化學成分也可能會影響鳥類的取食選擇(Cueto *et al.*, 2006)。

本研究在比較取食偏好時只有針對前三種樣本數較大的植物性食物進行比較，但從資料中也顯示屬於漿果的毛刺懸鉤子雖不在偏好比較的資料中，但 9 月時毛刺懸鉤子成熟的時間，酒紅朱雀會取食較多的毛刺懸鉤子當作食用來源。酒紅朱雀在選擇取食的植物種類可能會受到營養成分影響。在美洲知更鳥(*Thrus migratorius*)的研究中提供不同程度的糖分和脂質食物供鳥選擇看取食偏好，結果顯示美洲知更鳥偏好高糖分的水果，可能與糖分較高的水果獲得能量能較快速地吸收有關(Lepczyk *et al.*, 2000)。岩鸚(*Prunella collaris*)的研究中也提到在秋天時會取食食物含較多碳水化合物，冬季時則會取食食物中含有較多脂質的，與不同季節營養的需求可能有關(Janiga and Novotná, 2006)。酒紅朱雀的取食偏好，也可能會因生理上的需求來選擇取食的食物類型。

### 3. 酒紅朱雀食性研究及血液生化檢驗

血液生化值的表現在不同的鳥種中本來就會有不同的表現。像是在本研究的目標鳥種酒紅朱雀，其尿酸的平均值高於同為雀科的金絲雀屬 (*Serinus* sp.) 的鳥類 (Harr, 2002)；低於在城市和鄉村家麻雀的尿酸值、膽固醇值 (Gavett and Wakeley, 1986)。在不同鳥種間若是生活習性、生存環境等因素差異太多，不適合一起比較。過去並未有任何酒紅朱雀血液生化值表現的參考文獻，本研究所檢測的數值表現，可以做為未來在相同鳥種不同場域中的參考資料。

儘管從我們的研究中發現，繁殖季時酒紅朱雀明顯會取食比較多的植物性食物，在非繁殖季時酒紅朱雀明顯會取食比較多的人工食物，但是酒紅朱雀的尿酸值和膽固醇值在繁殖季和非繁殖季卻沒有明顯的差異，但儘管未達顯著差異，但仍可以發現取食人工食物較多的非繁殖季其尿酸值和膽固醇值的平均數值是較高的。過去的文獻顯示，鳥類因為取食食物的類型中含有的成分不同，會對於尿酸值和膽固醇值有所影響 (Gavett and Wakeley, 1986; Ishigame *et al.*, 2006; Van der Meij and Bout, 2006; Bovera *et al.*, 2007)。

本研究進行廚餘和早熟禾的成分分析中也發現，粗蛋白及粗脂肪的含量中，儘管廚餘的粗蛋白和粗脂肪含量有較高，但並沒有差太多倍，這也可能是造成酒紅朱雀在取食廚餘較多的非繁殖季期間，尿酸值和膽固醇值儘管平均值較高，但未達顯著差異的原因之一。有研究提出，提供給駝鳥 (*Struthio camelus*) 含粗蛋白比例較高的食物會導致駝鳥有較高的尿酸值 (Bovera *et al.*, 2007)，在本研究中廚餘成分的粗蛋白含量是相對較高的，為早熟禾的 2 倍，在登山遊憩活動逐年增加的情況之下，廚餘量對於酒紅朱雀的影響，值得繼續關注。

本研究的廚餘成分分析中，發現鈉的含量廚餘高於早熟禾約 38 倍，此為較需注意的項目。然本研究並未進行酒紅朱雀血液中的鈉離子檢測，建議未來的研究可檢測鈉離子，釐清酒紅朱雀吃含有鹽分較高的人工食物是否會帶來健康上的風險。

登山者棄置的廚餘相較於植物而言是比較高油、高蛋白、重鹹的食物。在綠頭鴨 (*Anas platyrhynchos*) 的研究中，鹽分的攝取會從鹽腺排出，

但血液內的含鹽量會影響到腎臟的表現(Gray et al., 1986)，雞的研究中，攝取高蛋白、高鈣、血液中尿素含量太高，都會造成腎炎和其他器官的退化性病變(Chandra et al., 1984)。尿酸值太高則會引發鳥類的痛風(Herbert et al., 2011)；在鵝類的研究中也顯示攝取，高蛋白及脂肪性食物會導致脂肪肝(Nir and Perek, 1971)。

從本研究的酒紅朱雀的尿酸值和膽固醇值的散布圖，可以發現有少數個體尿酸值和膽固醇值有偏高的現象，究竟這些尿酸值和膽固醇值偏高的個體是否會引發鳥類的痛風現象，則需要發現有個體關節出現功能障礙，倘若是形成內臟痛風則須進一步的進行病理解剖檢視內臟周圍組織是否有白色的結晶等病灶方能得知(Herbert et al., 2011)。

#### (四) 整合性分析--各生態系氣溫、昆蟲量與鳥類密度間的關係

在火燒跡地的鳥類密度和溫度之間有明顯的正相關，結果顯示深山鶯、金翼白眉、灰鶯等 3 種鳥類，鳥類密度和溫度之間有明顯的相關性，其中深山鶯、灰鶯都是很典型在秋、冬季會進行海拔降遷的鳥種，在 12 月過後就無法在火燒跡地發現他們的身影，但是金翼白眉是可以在雪地中活動的鳥種，溫度應該不是其密度影響的主要因子，可能和其幼鳥大量出生的時間或冬季群聚向下移動的現象有關。

2012 年 4 月火燒跡地的月均溫相較去年同期提升將近 1°C，鳥類密度明顯較去年同期上升許多，4 月至 6 月間許多高海拔鳥類開始繁殖的季節，在溫度提高的情況下，鳥類可能較早進入繁殖狀態，在繁殖前的展示頻繁，較容易鳴唱及目擊察覺，這可能是 2012 年可以發現火燒跡地鳥類密度較高的原因。

在黑森林生態系中，2012 年天氣較暖，2012 年 3 月黑森林已無積雪且 3 月圈谷往主峰大多數的雪都已經融化，和 2011 年直到 4 月黑森林及圈谷仍被大雪覆蓋的景象差異很大。2011 年是黑森林鳥類族群密度相當低的一年，今年儘管鳥類族群密度略有恢復，但仍不像 2010 年時族群密度高，2011 年的氣候寒冷是可能造成鳥類族群密度降低的原因，究竟鳥類經歷極端氣象事件要多少時間，或需歷經多少個較溫暖的春天，黑

森林鳥類族群才能達到 2010 年時的族群水準，值得後續觀察。

分析黑森林個別鳥種和溫度間的關係，當溫度越高時，發現巨嘴鴉和茶腹鵝的機會越大，這可能跟這兩種鳥類在繁殖季有可能進入黑森林進行繁殖有關，且常可以觀察到巨嘴鴉在熱氣流的引導下邊飛邊叫的現象。

儘管計算出來的結果圈谷個鳥種密度和溫度之間沒有明顯的相關性，但我們仍不能忽略會遷移的鳥種在圈谷地區的確會造成鳥類密度變高的影響，不過由於圈谷地區的調查，受限於積雪過深而無法進入，在鳥類下降之後，研究人員也受到氣候影響無法進入取得資料，所以在冬季積雪的資料中，無資料可以進行比較，這可能是造成個鳥種密度和溫度之間相關性較弱的原因。在圈谷地區，深山鶯和火冠戴菊鳥的密度會隨著蟲量越多而鳥類密度越高，可能是食物資源越豐沛時，取食的鳥類數量會越多，此外幼鳥離巢後的時間，也是食物資源最豐沛的月份。

在火燒跡地及黑森林都可以明顯發現今年春天的鳥類密度有較去年增加，可是在圈谷卻剛好相反，儘管 2012 年 5 月適逢玉山杜鵑在圈谷大規模綻放，但鳥類密度卻反而較 2011 年 5 月來的低，由於昆蟲資料是雙數月份的資料，所以我們無法得知 5 月份圈谷的昆蟲量情況，但可以發現在 6 月時昆蟲數量已經回復水準，但鳥類密度仍低，鳥類密度直到 7 月達到幼鳥離巢的時間後才突然提升，從資料和野外情況均明顯發現食蟲性的火冠戴菊鳥在圈谷的密度不及去年，是否和火冠戴菊鳥會在黑森林及圈谷間流動而形成的數量波動，這需要再進行觀察。

前人研究顯示，降雨和昆蟲量的多寡也都是鳥類的密度因子(Jahn *et al.*, 2010)，降雨天數增多會使得初級生產力增加，這部分將留待後續進行分析。

## 五、結論與建議

### (一) 結論

1. 本研究於 2011 年 12 月至 2012 年 10 月在雪山地區共計記錄到 21 科 49 種鳥類，包含台灣特有種 11 種、特有亞種 23 種；保育類鳥類 14 種，期間新增鳥種為田鴉及遊隼，自 2009 年至 2012 年 10 月本研究累計在雪山地區記錄到 33 科 88 種鳥類。
2. 透過繫放研究發現酒紅朱雀的捕捉率和廚餘覆蓋度之間的波動趨勢相符，酒紅朱雀的繁殖時間是一年中植物覆蓋度最高的時候。
3. 檢視四年間繫放回收的資料及照片得知酒紅朱雀幼鳥出生均為褐色，其中酒紅朱雀公鳥要到第三齡時全身羽色方轉為紅色。
4. 使用 Mark program 進行酒紅朱雀及栗背林鴿的存活率計算後發現，酒紅朱雀公鳥羽色存活率估計 0.899，褐色羽色存活率 0.299。栗背林鴿公鳥的存活率為 0.57、母鳥的存活率為 0.41、幼鳥的存活率為 0.21。整體而言栗背林鴿的存活率較酒紅朱雀低，且在回收率上也明顯較低，推測可能跟生活史及生存策略有關。
5. 使用 Jolly and Seber method 進行 369 山莊前的酒紅朱雀族群估計，平均每年的族群數量約 196 隻。
6. 利用 Fisher's alpha 分析 369 山莊前各鳥種取食昆蟲的食性廣度，發現食蟲性鳥類中的褐頭花翼全年可見且取食昆蟲的食性較廣，栗背林鴿及深山鶯屬於會向下遷移的鳥類其取食昆蟲的食性廣度則較窄，進行向下遷移的策略可能跟食物的競爭及食物替換有關。
7. 針對酒紅朱雀取食的植物性食物進行偏好分析發現酒紅朱雀偏好取食早熟禾及黃苑，較不偏好取食假繡線菊。在繁殖季較偏好取食植物性食物，在非繁殖季則取食人工廚餘的比例較高。血液中的尿酸和膽固醇數值雖然在取食人工廚餘比例較高的非繁殖季其數值也較高，但尚未達到顯著差異。不過可以發現有部分個體血液中的尿酸值和膽固醇數值偏高的情況，未來需進一步檢測是否可能產生鳥類內臟痛風的問題。
8. 2012 年早春天氣較暖，火燒跡地和黑森林均可以發現今年春天的鳥類密度有較去年增加；火燒跡地的鳥類密度和溫度之間呈現正相關，

部分鳥種在冬季較冷時會完全降遷離開火燒跡地。

9. 2012年5月圈谷玉山杜鵑大規模綻放，但鳥類密度卻反而較2011年5月來的低，調查時可以發現火冠戴菊鳥在5-6月份的密度不及去年，可能是火冠戴菊鳥在黑森林生態系及圈谷生態系間流動而形成的數量波動。

## (二) 建議

### 1. 立即可行建議：

主辦機關：雪霸國家公園

協辦機關：屏東科技大學野生動物保育研究所

建議事項：

建立野外鳥類健檢值，了解各項檢驗的異常數值的門檻，以便於日後快速檢驗。

### 2. 長期性建議：

主辦機關：雪霸國家公園

協辦機關：屏東科技大學野生動物保育研究所

建議事項：

調查熱門登山小屋、露營地廚餘對鳥類的影響程度，作為登山活動的宣導教材。

## 六、參考文獻

- 丁宗蘇(1993)玉山地區成熟林之鳥類群聚生態。國立台灣大學動物學研究所碩士論文。共83頁。
- 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。共78頁。
- 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。共78頁。
- 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。共93頁。
- 呂金誠、歐辰雄、廖敏君(2002)雪山東峰玉山箭竹開花之研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 李培芬(2003)雪霸國家公園鳥類相之調查—觀霧地區。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 李培芬(2004)雪霸國家公園鳥類監測模式之研究—以雪見地區為地。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 周大慶(2001)雪山東峰火燒後鳥類族群變化研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 林惠珊、洪貫捷、吳建龍、孫元勳(2011)黃眉柳鶯在台灣夏季於高海拔地區的首次發現紀錄。國家公園學報 21:65-68。
- 林朝榮(1957)台灣地形。台灣省文獻委員會出版。共424頁。
- 林曜松、楊懿如、黃光瀛、呂佩義(1989)雪山、大霸尖山地區動物生態資源先期調查研究。內政部營建署。
- 孫元勳(1999)七家灣溪鴛鴦族群、生態研究(I)。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 孫元勳(2000)七家灣溪鴛鴦族群、生態研究(II)。內政部營建署雪霸國家公

園管理處。

孫元勳(2001)七家灣溪鴛鴦族群、生態研究(III)。內政部營建署雪霸國家公園管理處。

孫元勳(2002)七家灣溪鴛鴦族群、生態研究(IV)。內政部營建署雪霸國家公園管理處。

孫元勳(2003)七家灣溪櫻花鉤吻鮭天敵之研究(I)。雪霸國家公園管理處研究報告。

孫元勳(2004)七家灣溪櫻花鉤吻鮭天敵之研究(II)。雪霸國家公園管理處研究報告。

孫元勳(2005)武陵地區長期生態監測暨生態模式建立—溪流鳥類群聚生態監測。雪霸國家公園管理處研究報告。

孫元勳(2006)武陵地區長期生態監測暨生態模式建立—溪流鳥類群聚生態監測。雪霸國家公園管理處研究報告。

孫元勳(2007)武陵地區外來物種生態衝擊與防除研究。雪霸國家公園管理處研究報告。

孫元勳(2008)武陵地區長期生態監測暨生態模式建立--溪流鳥類群聚生態監測。雪霸國家公園管理處研究報告。

孫元勳、裴家騏(2001)野火強度對環山地區二葉松林鳥類群聚的影響。中華林學季刊 34(2): 131-145。

袁孝維(1995)武陵地區登山步道沿線野生動物景觀資源調查研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。

陳明義(1998)野火影響環山、雪山地區植群之研究II。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。

曾喜育、蔡尚惠、賴國祥、王偉、呂金誠(2010)雪山高山生態系整合調查-高山生態系火燒與植群動態研究。雪霸國家公園管理處。共51頁。

廖煥彰(2006)塔塔加地區不同植群演替階段之鳥類群聚研究。國立台灣大

- 學森林環境暨資源學系碩士論文。共55頁。
- 劉小如、丁宗蘇、方偉宏、林文宏、蔡牧起、顏重威(2010)台灣鳥類誌。  
行政院農業委員會林務局，台北。共687頁。
- 劉良力(1991)栗背林鴿之生物學研究。內政部營建署玉山國家公園管理處  
委託研究報告。共25頁。
- 羅宏仁、周大慶、黃嘉隆、余弘恕(1996)雪霸國家公園雪山步道解說資源  
之調查研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- Bovera, F., G. Moniello, N. De Riu, C. Di Meo, W. Pinna, and A. Nizza(2007)  
Effect of diet on the metabolic profile of ostriches (*Struthio camelus* var.  
*domesticus*). *Tropical Animal Health and Production* 39:265-270.
- Boyle, W. A., C. J. Conway, and J. L. Bronstein(2011)Why do some, but not all,  
tropical birds migrate? A comparative study of diet breadth and fruit  
preference. *Evol Ecol* 25:219-236.
- Burger, J. C., M. A. Patten, J. T. Rotenberry, and R. A. Redak(1999)Foraging  
ecology of the California gnatcatcher deduced from fecal samples.  
*Oecologia* 120:304-310.
- Chandra, M., B. Singh, G. Soni, and S. Ahuja(1984)Renal and biochemical  
changes produced in broilers by high-protein, high-calcium,  
urea-containing, and vitamin-A-deficient diets. *Avian Diseases*:1-11.
- Clement, P.(1993)Finches & Sparrows. Christopher Helm, London.
- Cueto, V. R., L. Marone, J. L. De Casenave, and E. Bollinger(2006)Seed  
preferences in sparrow species of the Monte desert, Argentina:  
Implications for seed-granivore interactions. *Auk* 123:358-367.
- Cyr, N. E., M. Wikelski, and L. M. Romero(2008)Increased energy expenditure  
but decreased stress responsiveness during molt. *Physiological and  
biochemical zoology* 81:452-462.
- Gavett, A. P., and J. S. Wakeley(1986)Blood constituents and their relation to

- diet in urban and rural House Sparrows. *Condor* 88:279-284.
- Gray, D. A., H. T. Hammel, and E. Simon(1986)Osmoregulatory effects of angiotensin II in a bird with salt glands (*Anas platyrhynchos*). *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology* 156:315-321.
- Harr, K. E.(2002)Clinical chemistry of companion avian species: a review. *Veterinary Clinical Pathology* 31:140-151.
- Hemborg, C., and A. Lundberg(1998)Costs of overlapping reproduction and moult in passerine birds: an experiment with the pied flycatcher. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 43:19-23.
- Herbert, J. D., J. O. Coulson, and T. D. Coulson(2011)Quantification of tissue uric acid levels in a harris's hawk with visceral gout. *Avian Diseases* 55:513-515.
- Ishigame, G., G. S. Baxter, and A. T. Lisle(2006)Effects of artificial foods on the blood chemistry of the Australian magpie. *Austral Ecology* 31:199-207.
- Jahn, A. E., D. J. Levey, A. M. Mamani, M. Saldias, A. Alcoba, M. J. Ledezma, B. Flores, J. Q. Vidoz, and F. Hilarion(2010)Seasonal differences in rainfall, food availability, and the foraging behavior of Tropical Kingbirds in the southern Amazon Basin. *Journal of Field Ornithology* 81:340-348.
- Janiga, M., and M. Novotná(2006)Feeding preferences and foraging behaviour in the Alpine Accentor *Prunella collaris*. *Ornis Fennica* 83:170.
- Lebreton, J.-D., K. P. Burnham, J. Clobert, and D. R. Anderson(1992) Modeling survival and testing biological hypotheses using marked animals: a unified approach with case studies. *Ecological Monographs* 62:67-118.
- Lepczyk, C. A., K. G. Murray, K. Winnett-Murray, P. Bartell, E. Geyer, and T. Work(2000)Seasonal fruit preferences for lipids and sugars by American Robins. *Auk* 117:709-717.

- Marzoun, Gilbert, Charmantier, Anne, Gimenez, and G. Olivier(2011)Frailty in state-space models: application to actuarial senescence in the Dipper. *Ecology* 92:562-567.
- Nir, I., and M. Perek(1971)The effect of various protein levels in feed of goslings during the preparatory period on fatty lever production and blood plasma components. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.* 11:645-656.
- Nott, P., P. Pyle, and D. Kaschube(2008)The 2007 Report of the Monitoring Avian Productivity and Survivorship (MAPS) Program on Fort Bragg. The Institute for Bird Populations.
- Pollock, K. H., J. D. Nichols, C. Brownie, and J. E. Hines(1990)Statistical inference for capture-recapture experiments. *Wildlife Monographs* 107.
- Ralph, C. J., K. Hollinger, and S. Miller(2004)Monitoring productivity with multiple mist-net stations. *Studies in Avian Biology* 29:12-20.
- Reynolds, R. T., J. M. Scott, and R. A. Nussbaum(1980)A variable circular-plot method for estimating bird numbers. *Condor* 82:309-313.
- Sæther, B.-E., and Ø. Bakke(2000)Avian life history variation and contribution of demographic traits to the population growth rate. *Ecology* 81:642-653.
- Svensson, L.(1992)Identification guide to European passerines. (3 edition). Stockholm, Sweden.
- Van der Meij, M., and R. Bout(2006)Seed husking time and maximal bite force in finches. *Journal of Experimental Biology* 209:3329-3335.
- Van der Meij, M., M. Griekspoor, and R. Bout(2004)The effect of seed hardness on husking time in finches. *Animal Biology* 54:195-205.
- White, G. C., and K. P. Burnham(1999)Program MARK: survival estimation from populations of marked animals. *Bird Study* 46:120-139.
- Willson, M. F.(1971)Seed selection in some North American finches. *Condor* 73:415-429.

附錄 7-1. 雪山地區鳥相調查樣站座標

樣點里程	樣站名稱	經度	緯度	X 座標_TWD67	Y 座標_TWD67	海拔
2K	七卡	121.2862	24.3834	278207	2697715	2527
2.3K	七卡 2	121.2855	24.3846	278136	2697858	2584
2.6K	七卡 3	121.2856	24.3856	278144	2697963	2654
2.9K	七卡 4	121.2851	24.3866	278086	2698077	2741
4.3K	哭 1	121.2783	24.3908	277395	2698534	3116
4.5K	哭 2	121.2767	24.3901	277238	2698461	3141
7.8K 黑森林	黑 1	121.2510	24.3936	274631	2698839	3301
8.1K 黑森林	黑 2	121.2481	24.3937	274335	2698849	3345
8.4K 黑森林	黑 3	121.2456	24.3944	274079	2698930	3350
8.7K 黑森林	黑 4	121.2431	24.3934	273824	2698818	3343
9.0K 黑森林	黑 5	121.2403	24.3912	273542	2698578	3449
9.3K 黑森林	黑 6	121.2390	24.3901	273415	2698455	3506
9.6K 黑森林	黑 7	121.2377	24.3891	273281	2698341	3545
9.8K 圈谷	圈 1	121.2363	24.3884	273140	2698270	3602
10.1K 往主峰	圈 2	121.2356	24.3864	273071	2698046	3654
10.4K 缺口	圈 3	121.2357	24.3850	273078	2697892	3725
10.7K 往主峰	圈 4	121.2332	24.3835	272829	2697723	3833
10.9K 主峰頂	圈 5	121.2317	24.3834	272676	2697710	3886
火 7.2K	火 1	121.2539	24.3931	274924	2698783	3177
火往水源地牌子前	火 2	121.2522	24.3930	274753	2698780	3202
火 369 山莊後方約 50m	火 3	121.2537	24.3924	274901	2698713	3186
火往水源地 150m	火 4	121.2521	24.3943	274737	2698920	3222
火 369 山莊前	火 5	121.2546	24.3923	274999	2698701	3146
火 7.6K	火 6	121.2522	24.3930	274753	2698780	3265
東峰 7.0K	Ecotone 1	121.2548	24.3915	275016	2698610	3176
東峰 6.7K	Ecotone 2	121.2568	24.3898	275218	2698424	3202
東峰 6.4K	Ecotone 3	121.2596	24.3898	275506	2698421	3187
東峰 6.1K	Ecotone 4	121.2626	24.3897	275809	2698409	3167
東峰 5.9K	箭 1	121.2644	24.3894	275987	2698378	3178

樣點里程	樣站名稱	經度	緯度	X 座標_TWD67	Y 座標_TWD67	海拔
東峰 5.7K	箭 2	121.2662	24.3890	276174	2698339	3189
東峰 5.2K 北面坡	箭 3	121.2707	24.3889	276631	2698332	3187
東峰 5.2K 南面坡	箭 4	121.2707	24.3886	276633	2698291	3188
東峰 5.7K-4.4K	穿越線					

(資料來源：本研究資料)

附錄 7-2. 雪山地區鳥類繫放架網地點座標

繫放地點編號	經度	緯度	X 座標_TWD67	Y 座標_TWD67	生態系
黑 1	121.2507	24.3939	274601	2698877	冷杉林
黑 2	121.2496	24.3938	274484	2698868	冷杉林
黑 3	121.2492	24.3934	274450	2698820	冷杉林
黑 4	121.2502	24.3932	274549	2698794	冷杉林
黑 5	121.2505	24.3928	274579	2698754	冷杉林
箭 1	121.2564	24.3924	275175	2698708	箭竹-高山芒
箭 2	121.2569	24.3924	275229	2698709	箭竹-高山芒
箭 3	121.2572	24.3925	275264	2698721	箭竹-高山芒
箭 4	121.2575	24.3927	275288	2698749	箭竹-高山芒
箭 5	121.2739	24.3889	276950	2698330	箭竹-高山芒
火 1	121.2559	24.3922	275130	2698688	火燒跡地
火 2	121.2554	24.3929	275080	2698768	火燒跡地
火 3	121.2535	24.3918	274880	2698640	火燒跡地
火 4	121.2546	24.3924	275000	2698710	火燒跡地
火 5(369 山莊)	121.2546	24.3924	274994	2698710	火燒跡地
圈 1	121.2366	24.3877	273173	2698188	圈谷
圈 2	121.2363	24.3890	273141	2698330	圈谷
圈 3	121.2359	24.3883	273100	2698250	圈谷

(資料來源：本研究資料)

附錄 7-3. 2009 年 3 月至 2012 年 10 月雪山登山口到雪山主峰鳥類名錄

科別 <sup>a</sup>	中文名	學名 <sup>b</sup>	生息狀態 <sup>c</sup>	特有性 <sup>d</sup>	保育等級 <sup>e</sup>	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年
雉科	深山竹雞 (台灣山鷓鴣)	<i>Arborophila crudigularis</i>	留、不普	特有種	第三級		*	*	*
雉科	竹雞	<i>Bambusicola thoracicus</i>	留、普	特有亞種		*	*		
雉科	藍腹鷓鴣	<i>Lophura swinhoii</i>	留、不普	特有種	第二級	*	*	*	
雉科	帝雉 (黑長尾雉)	<i>Syrmaticus mikado</i>	留、稀	特有種	第二級	*	*	*	*
鷹科	東方蜂鷹	<i>Pernis ptilorhynchus</i>	留、不普/ 過、普		第二級			*	
鷹科	大冠鷲	<i>Spilornis cheela</i>	留、普	特有亞種	第二級		*		
鷹科	鳳頭蒼鷹	<i>Accipiter trivirgatus</i>	留、普	特有亞種	第二級		*		
鷹科	赤腹鷹	<i>Accipiter soloensis</i>	過、普		第二級		*		
鷹科	松雀鷹	<i>Accipiter virgatus</i>	留、不普	特有亞種	第二級	*	*	*	
鷹科	蒼鷹	<i>Accipiter gentilis</i>	冬、稀		第二級	*			
鷹科	灰面鵟鷹	<i>Butastur indicus</i>	過、普/ 冬、稀		第二級			*	
鷹科	大鵟	<i>Buteo hemilasius</i>	冬、稀		第二級	*	*		
鷹科	赫氏角鷹 (熊鷹)	<i>Spizaetus nipalensis</i>	留、稀		第一級	*	*		*
隼科	紅隼	<i>Falco tinnunculus</i>	冬、普		第二級		*	*	
隼科	遊隼	<i>Falco peregrinus</i>	留、稀/ 冬、不普/ 過、不普		第一級				*
鷓鴣科	山鷓鴣	<i>Scolopax rusticola</i>	冬、稀					*	
鳩鴿科	野鴿	<i>Columba livia</i>	引進種、 普				*	*	
鳩鴿科	灰林鴿	<i>Columba pulchricollis</i>	留、不普				*	*	*

科別 <sup>a</sup>	中文名	學名 <sup>b</sup>	生息狀態 <sup>c</sup>	特有性 <sup>d</sup>	保育等級 <sup>e</sup>	2009年	2010年	2011年	2012年
鳩鴿科	金背鳩	<i>Streptopelia orientalis</i>	留、普	特有亞種		*			
杜鵑科	鷹鵑	<i>Cuculus sparverioides</i>	夏、普			*			
杜鵑科	中杜鵑	<i>Cuculus saturatus</i>	夏、普			*	*	*	*
鴟鵂科	鴟鵂	<i>Glaucidium brodiei</i>	留、不普	特有亞種	第二級		*	*	
鴟鵂科	灰林鴟	<i>Strix aluco</i>	留、稀	特有亞種	第二級		*	*	*
夜鷹科	?夜鷹	<i>Caprimulgus spp.</i>				*			
雨燕科	針尾雨燕	<i>Hirundapus spp.</i>					*	*	*
雨燕科	叉尾雨燕	<i>Apus pacificus</i>	留、不普/ 過、不普			*	*	*	*
雨燕科	小雨燕	<i>Apus nipalensis</i>	留、普	特有亞種		*	*		
鬚鷲科	五色鳥	<i>Megalaima oorti nuchalis</i>	留、普	特有種		*			
啄木鳥科	小啄木	<i>Dendrocopos canicapillus</i>	留、普				*		
啄木鳥科	大赤啄木	<i>Dendrocopos leucotos</i>	留、不普	特有亞種	第二級		*	*	*
啄木鳥科	綠啄木	<i>Picus canus</i>	留、稀		第二級	*	*	*	
山椒鳥科	灰喉山椒鳥	<i>Pericrocotus solaris</i>	留、普			*		*	*
鴉科	松鴉	<i>Garrulus glandarius</i>	留、普	特有亞種		*	*	*	*
鴉科	星鴉	<i>Nucifraga caryocatactes</i>	留、普	特有亞種		*	*	*	*
鴉科	巨嘴鴉	<i>Corvus macrorhynchos</i>	留、普			*	*	*	*
燕科	家燕	<i>Hirundo rustica</i>	夏、普/ 冬、普/ 過、普			*	*		
燕科	洋燕	<i>Hirundo tahitica</i>	留、普			*			
燕科	赤腰燕	<i>Cecropis striolata</i>	留、普			*			
燕科	毛腳燕	<i>Delichon dasypus</i>	留、不普			*	*	*	*
山雀科	煤山雀	<i>Parus ater</i>	留、普	特有亞種	第三級	*	*	*	*
山雀科	青背山雀	<i>Parus monticolus</i>	留、普	特有亞種	第三級	*	*	*	*
山雀科	黃山雀	<i>Parus holsti</i>	留、稀	特有種	第二級	*	*	*	*
樹鶯科	小鶯	<i>Cettia fortipes</i>	留、普/ 過、稀	特有亞種		*		*	*

科別 <sup>a</sup>	中文名	學名 <sup>b</sup>	生息狀態 <sup>c</sup>	特有性 <sup>d</sup>	保育等級 <sup>e</sup>	2009年	2010年	2011年	2012年
樹鶯科	深山鶯	<i>Cettia acanthizoides</i>	留、普	特有亞種		*	*	*	*
樹鶯科	棕面鶯	<i>Abroscopus albogularis</i>	留、普			*	*	*	*
長尾山雀科	紅頭山雀	<i>Aegithalos concinnus</i>	留、普			*	*	*	*
鴉科	茶腹鴉	<i>Sitta europaea</i>	留、普			*	*	*	*
鶇鶇科	鶇鶇	<i>Troglodytes troglodytes</i>	留、普	特有亞種		*	*	*	*
鶇科	紅嘴黑鶇	<i>Hypsipetes leucocephalus</i>	留、普	特有亞種		*			
戴菊科	火冠戴菊鳥	<i>Regulus goodfellowi</i>	留、普	特有種	第三級	*	*	*	*
柳鶯科	黃眉柳鶯	<i>Phylloscopus inornatus</i>	冬、不普					*	*
大尾鶯科	台灣叢樹鶯	<i>Bradypterus alishanensis</i>	留、普	特有種		*	*	*	*
鶯科	粉紅鸚嘴	<i>Paradoxornis webbianus</i>	留、普	特有亞種				*	
鶯科	黃羽鸚嘴	<i>Paradoxornis verreauxi</i>	留、稀	特有亞種		*	*	*	*
鶇科	紅尾鶇	<i>Muscicapa ferruginea</i>	夏、不普			*	*	*	*
鶇科	黃胸青鶇	<i>Ficedula hyperythra</i>	留、普	特有亞種		*	*	*	
鶇科	黃腹琉璃	<i>Niltava vivida</i>	留、不普	特有亞種	第三級	*	*	*	*
鶇科	白眉林鶇	<i>Luscinia indica</i>	留、稀	特有亞種	第三級	*	*	*	*
鶇科	栗背林鶇	<i>Luscinia johnstoniae</i>	留、普	特有種		*	*	*	*
鶇科	黃尾鶇	<i>Phoenicurus aureoreus</i>	冬、不普				*		
鶇科	鉛色水鶇	<i>Rhyacornis fuliginosa</i>	留、普	特有亞種	第三級	*			
鶇科	白尾鶇	<i>Myiomela leucura</i>	留、不普	特有亞種	第三級	*	*	*	*
鶇科	台灣紫嘯鶇	<i>Myophonus insularis</i>	留、普	特有種		*			*
鶇科	虎鶇	<i>Zoothera dauma</i>	冬、普					*	
鶇科	白腹鶇	<i>Turdus pallidus</i>	冬、普			*	*		
鶇科	赤腹鶇	<i>Turdus chrysolaus</i>	冬、普			*			
鶇科	小翼鶇	<i>Brachypteryx montana</i>	留、普	特有亞種		*	*	*	*
畫眉科	白喉笑鶇	<i>Garrulax albogularis</i>	留、稀	特有亞種	第二級			*	

科別 <sup>a</sup>	中文名	學名 <sup>b</sup>	生息狀態 <sup>c</sup>	特有性 <sup>d</sup>	保育等級 <sup>e</sup>	2009年	2010年	2011年	2012年
	(白喉噪眉)								
畫眉科	竹鳥(棕噪眉)	<i>Garrulax poecilorhynchus</i>	留、不普	特有亞種	第二級			*	*
畫眉科	金翼白眉(台灣噪眉)	<i>Garrulax morrisonianus</i>	留、普	特有種		*	*	*	*
畫眉科	藪鳥(黃胸藪眉)	<i>Liocichla steerii</i>	留、普	特有種		*	*	*	*
畫眉科	鱗胸鷓鴣	<i>Pnoepyga albiventer</i>	留、普	特有亞種		*	*	*	*
畫眉科	山紅頭	<i>Stachyris ruficeps</i>	留、普	特有亞種		*	*	*	*
畫眉科	紋翼畫眉	<i>Actinodura morrisoniana</i>	留、普	特有種	第三級		*	*	
畫眉科	褐頭花翼(灰頭花翼)	<i>Alcippe cinereiceps</i>	留、普	特有亞種		*	*	*	*
畫眉科	繡眼畫眉	<i>Alcippe morrisonia</i>	留、普	特有亞種		*	*	*	*
畫眉科	白耳畫眉	<i>Heterophasia auricularis</i>	留、普	特有種		*	*	*	*
畫眉科	冠羽畫眉	<i>Yuhina brunneiceps</i>	留、普	特有種		*	*	*	*
啄花科	紅胸啄花鳥	<i>Dicaeum ignipectum</i>	留、普	特有亞種		*	*	*	*
岩鷓科	岩鷓	<i>Prunella collaris</i>	留、普	特有亞種		*	*	*	*
鵲鴿科	樹鷓	<i>Anthus hodgsoni</i>	冬、普				*		
鷓科	小鷓	<i>Emberiza pusilla</i>	冬、稀/過、不普					*	
鷓科	田鷓	<i>Emberiza rustica</i>	過、稀						*
雀科	普通朱雀	<i>Carpodacus erythrinus</i>	冬、稀				*		
雀科	酒紅朱雀	<i>Carpodacus vinaceus</i>	留、普	特有亞種		*	*	*	*
雀科	褐鷺	<i>Pyrrhula nipalensis</i>	留、不普	特有亞種		*	*		
雀科	灰鷺	<i>Pyrrhula erythaca</i>	留、不普	特有亞種		*	*	*	*

科別 <sup>a</sup>	中文名	學名 <sup>b</sup>	生息狀態 <sup>c</sup>	特有性 <sup>d</sup>	保育等級 <sup>e</sup>	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年
麻雀科	麻雀	<i>Passer montanus</i>	留、普			*		*	

(資料來源：本研究資料)

<sup>a</sup>科別引用2010年中華民國野鳥學會鳥類名錄。

<sup>b</sup>學名引用Howard and Moore 2003年鳥類名錄。

<sup>c</sup>普：台灣普遍分布種。不普：台灣不普遍分布種。稀：台灣稀有種。

<sup>d</sup>特：台灣特有種。特亞：特有亞種。留：不行遷移之鳥種。過：春、秋過境鳥。冬：冬候鳥。

夏：夏候鳥。

<sup>e</sup>保育等級 第一級：瀕臨絕種保育類野生動物；第二級：珍貴稀有保育類野生動物；第三級：其他應予保育類野生動物。

星號(\*)表示該年度有記錄到的鳥種。

## 第八章 雪山地區哺乳類動物及其棲地調查

林良恭、陳逸文  
東海大學生命科學系

### 摘要

關鍵詞：哺乳動物、紅外線自動相機、海拔梯度

#### 一、研究緣起

本計畫目的針對雪霸國家公園武陵地區的哺乳動物進行調查，本計畫成果將提供雪霸國家公園在未來生態系經營管理、教育解說及生態旅遊上之參考依據。調查範圍以武陵雪山登山口至雪山頂，將依據海拔高度及不同林相植被，設置樣區及穿越線進行哺乳動物相普查。調查對象涵蓋中大型哺乳動、小型齧齒類及鼯型目動物、蝙蝠等三大類。調查結果除詳列物種名錄外，並將計算各樣區的物種數多樣性(Species richness)，各物種相對數量並分析海拔梯度的分布變化，以鹿野忠雄 1940 年的調查資料做比較，瞭解環境與氣候變遷對哺乳動物生息衝擊。

#### 二、研究方法及過程

沿雪山步道設立 9 個樣區，以薛爾曼式活捕捉器(Sherman live trap)、掉落式陷阱(Pitfall trap)、紅外線自動相機、豎琴網(Harp trap)、蝙蝠偵測器(Anabat II system)與沿線調查方式來記錄雪山地區的哺乳動物，已自 2009 年 3 月至 2012 年 5 月進行調查。

#### 三、重要發現

從 2009 年 3 月至 2012 年 11 月共捕獲 9 種 717 隻次的哺乳動物：5 種齧齒目，分別為森鼠(*Apodmus semotus*)共捕獲 481 隻次、高山白腹鼠(*Niviventer cultratus*)共捕獲 43 隻次、黑腹絨鼠(*Eothenomys melanogaster*)共捕獲 84 隻次、高山田鼠(*Microtus kikuchii*)共捕獲 77 隻次與條紋松鼠(*Tamiops maritimus formosanus*)共捕獲 2 隻次；2 種鼯型目，分別為短尾鼯

(*Anourosorex aquamipes*)共捕獲 4 隻次與長尾鼯(*Episoriculus fumidus*)共捕獲 20 隻次；2 種食肉目，分別是黃鼠狼(*Mustela sibirica taivana*)共捕獲 4 隻次與小黃鼠狼(*Mustela nivalis*)共捕獲 2 隻次。

紅外線自動相機調查結果，總共紀錄 15 種哺乳類動物，分別是森鼠(*Apodemus semotus*)、高山白腹鼠(*Niviventer culturatus*)、高山田鼠(*Microtus kikuchii*)、赤腹松鼠(*Callosciurus erythraeus*)、長吻松鼠(*Dremomys pernyi owstoni*)、條紋松鼠(*Tamiops maritimus formosanus*)、白面鼯鼠(*Petaurista alborufus lena*)、黃鼠狼(*Mustela sibirica taivana*)、鼯獾(*Melogale moschata subaurantiaca*)、白鼻心(*Paguma larvata taivana*)、臺灣獼猴(*Macaca cyclopis*)、臺灣野豬(*Sus scrofa taivanus*)、長鬃山羊(*Capricornis swinhoci*)、山羌(*Muntiacus reevesi micrurus*)與水鹿(*Cervus unicolor swinhoei*)。

#### 四、主要建議事項

##### (一)立即可行建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處根據研究發現，本研究針對雪霸國家公園武陵地區哺乳動物經營與管理，提出下列兩點具體建議。

建議一：設立哺乳類動物解說牌

建議二：雪山地區生物自動監測系統架設

## Abstract

【Key words】 mammal, infrared automatic camera, altitude gradient

The objectives of this field study are investigated the mammalian fauna of Wulin area, Shei-Pa National Park. The results of this investigation will provide the valuable information for Park in ecosystem management, ecological education and eco-tourism in future. The study areas set eight plots and transect lines along the entrance of climbing mountain to the top of Mt. Sheisan, according to the different altitudes and vegetation covers. We used the living traps for trapping rodents, shrews and moles, Infrared auto-cameras for surveying large-middle size mammals, harp trap for trapping bats. The data analyses make a complete mammalian species list and also to show the mammal species richness in each sampling areas, vertical distribution pattern and relative abundance of each species. Finally we compare to the Kanos results done in 1940 for evaluation the climate and habitat changes.

So far, from March 2009 to November 2012, there were night plots set along path of Mt. Sheisan. Sherman live trap, infrared automatic camera and Harp trap were used to investigate mammals in Mt. Sheisan. There were total 9 kinds of mammals captured. Total 481 individuals of *Apodemus semotus* were captured; 43 individuals of *Niviventer culturnatus* were captured; 77 individuals of *Microtus kikuchii* were captured; 84 individuals of *Eothenomys melanogaster* were captured; 20 individuals of *Episoriculus fumidus* were captured; 4 individuals *Anourosorex aquamipes* were captured; 4 individuals of *Mustela sibirica taivana* were captured; 2 individuals of *Tamiops maritimus formosanus* was captured, and 2 individuals of *Mustela nivalis* was captured.

There were total 15 kinds of mammals camera-trapped, including *Apodemus semotus*, *Niviventer culturnatus*, *Microtus kikuchii*, *Callosciurus erythraeus*, *Dremomys pernyi owstoni*, *Tamiops maritimus formosanus*, *Petaurista alborufus lena*, *Mustela sibirica taivana*, *Melogale moschata subaurantiaca*, *Paguma larvata taivana*, *Macaca cyclopis*, *Sus scrofa taivanus*,

*Capricornis swinhoci*, *Muntiacus reevesi micrurus*, and *Cervus unicolor swinhoi*.

According to this research, in order to promote management of mammals, there are three suggestions:

- (1) Set exposition billboards for mammals;
- (2) Establish long-term monitoring of medium-to-large mammals and biodiversity.

### 一、研究緣起與背景

面臨氣候溫暖化，高山地區哺乳動物垂直分布界線的移動與否值得關切。以保育的長久觀點而言，為保存園區內動物族群的長久續存，應避免地域性小族群(*small local population*)的形成。雪霸國家公園範圍涵蓋了國內第二高峰-雪山山脈，園區內 3000 公尺以上的高山林立，豁壑深谷密布，複雜的自然地理切割，將動物的自然棲地塑造成高山島嶼形的分布。已知當氣候變化或棲地干擾時，愈高海拔族群受到影響愈大，因此沿著海拔不同梯度進行監測調查，將有助於瞭解哺乳動物的分布變化狀況。

自 2009 年度開始至今，已完成四年針對武陵地區雪東線海拔梯度變化的監測調查，並將哺乳動物相調查及名錄建置，共捕獲 9 種小型哺乳動物；其中包含 5 種啮齒目動物，分別為森鼠(*Apodemus semotus*)、黑腹絨鼠(*Eothenomys melanogaster*)、高山白腹鼠(*Niviventer cultratus*)、高山田鼠(*Microtus kikuchii*)與條紋松鼠(*Tamiops maritimus formosanus*)；2 種齧型目動物，分別為短尾鼯(*Anourosorex aquamipes*)與長尾鼯(*Episoriculus fumidus*)；2 種食肉目動物，分別是黃鼠狼(*Mustela sibirica taivana*)與小黃鼠狼(*Mustela nivalis*)。利用紅外線自動相機針對中大型哺乳動物進行記錄的結果，則是共記錄有 15 種哺乳類動物，分別是水鹿(*Cervus unicolor swinhoei*)、山羌(*Muntiacus reevesi micrurus*)、長鬃山羊(*Capricornis swinhoci*)、臺灣野豬(*Sus scrofa taivanus*)、臺灣獼猴(*Macaca cyclopis*)、黃鼠狼(*Mustela sibirica taivana*)、鼬獾(*Melogale moschata subaurantiaca*)、白鼻心(*Paguma larvata taivana*)、白面鼯鼠(*Petaurista alborufus lena*)、赤腹松鼠(*Callosciurus erythraeus*)、長吻松鼠(*Dremomys pernyi owstoni*)、高山白腹鼠(*Niviventer cultratus*)、條紋松鼠(*Tamiops maritimus formosanus*)、高山田鼠(*Microtus kikuchii*)與森鼠(*Apodemus semotus*)。此外，針對翼手目動物的調查發現共有 2 科 5 種，分別是臺灣大蹄鼻蝠(*Rhinolophus formosae*)、臺灣小蹄鼻蝠(*Rhinolophus monoceros*)、金芒管鼻蝠(*Harpiola isodon*)、姬管鼻蝠(*Murina gracilis*)及寬吻鼠耳蝠(*Myotis latirostris*)，相較於雪霸國家公園境內的觀霧 18 種(林良恭, 2008；李玲玲, 2007)與雪見 20 種(陳家鴻, 2010)，種類尚偏少，推測可能原因為雪山地區調查樣區海拔高度較高、氣溫較低，以及調查網具數量較少所導致。此四年計畫除補充及更新物種名錄外，有助檢討規劃園區內哺乳動物經營管理工作之維護，作為生態系經營管理、生態教育與生態旅遊之參考。

## 二、研究設計

### (一)研究地點

本計畫以雪山主東線為調查區域，計畫區域主要是自雪山登山口經七卡山莊、三六九山莊至雪山圈谷、翠池止，海拔 1700 至 3886 公尺，全長約 11 公里，目前調查時間自 2009 年 3 月至 2012 年 11 月，本年度計畫已於 2011 年 12 月、2012 年 2 月、5 月、6 月、8 月及 11 月，共進行 6 次調查。本實驗在 2012 年改由一季進行一次調查，並且將往年分成七卡山莊線及 369 山莊線兩條路線進行隔月調查的方式，改為全線同時調查，樣區包含：登山口(海拔約 2100 m)、七卡山莊(海拔約 2400 m)及 3.6K 處(海拔約 2700 m)、東峰停機坪旁 5.2K 處(海拔約 3160m)、369 山莊(海拔約 3000 m)、黑森林(海拔約 3300 m)、圈谷(海拔約 3600 m)、雪山山頂(海拔約 3886 m)與翠池(海拔約 3400m)，共九個樣區(圖 1)。

登山口樣區在雪山登山步道上約 0.1K~0.3K 處，往兩旁的芒草草叢與針闊葉混合林中放置陷阱；七卡山莊樣區則是在七卡山莊前方的針闊葉混合林；3.6K 樣區位於雪山登山步道上約 3.3K~3.6K 處，主要的樣區環境以芒草與針闊葉混合林為主；東峰樣區主要於停機坪週邊，棲地類型以玉山箭竹草叢為主；369 山莊樣區則主要設置在雪山登山步道上約 6.8K 處，上方及下方草坡、雪山登山步道上過 369 山莊約 7.2K 處兩旁火燒地，與 369 山莊四周，主要的樣區環境為玉山箭竹草叢，與火災過後的裸地；黑森林樣區設置於雪山登山步道上 8.4K、8.9K 處，主要的環境為針葉林與玉山箭竹草叢，圈谷樣區則設置在雪山登山步道 9.8K 處石頭椅右手邊上下方玉山杜鵑叢裡，主要的環境為玉山杜鵑與玉山圓柏，雪山山頂樣區設於雪山山頂 10.9K 處四周，棲地主要以玉山杜鵑為主，翠池樣區設於翠池山屋四周、翠池四周與下翠池，棲地類型為圓柏林。



登山口



七卡山莊



3.6K



369 山莊



黑森林



圈谷



雪山山頂



翠池



東峰

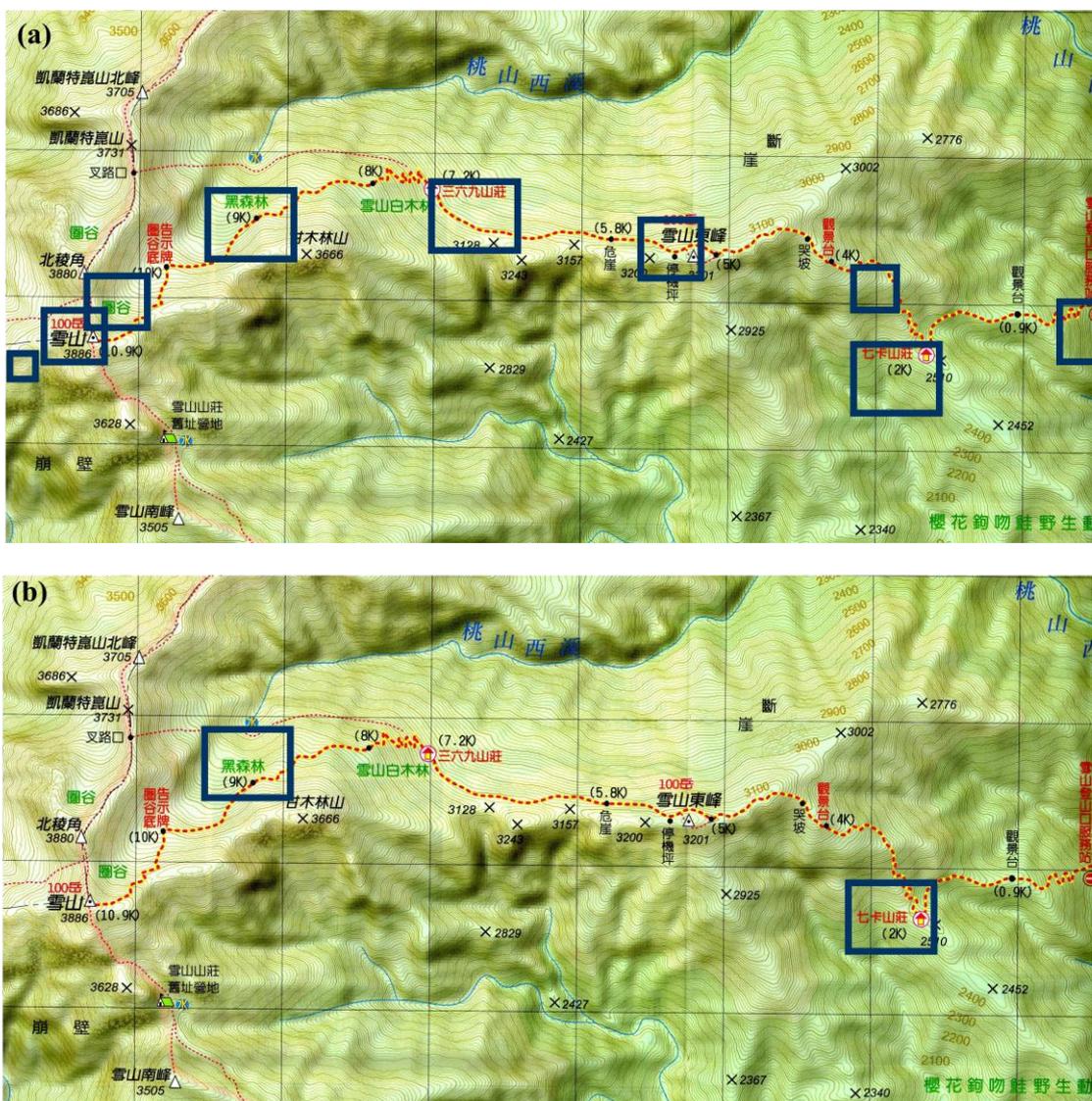


圖 8-1. (a)小型哺乳類調查樣區與紅外線自動相機樣區(b)掉落式陷阱及豎琴網調查樣區。

## (二)研究方法

各區域均使用下列方法，即依海拔、方位與林相，設置調查樣區進行小型哺乳動物、中大型哺乳動物及蝙蝠類調查。

1. 小型哺乳類捕捉調查：本年度計畫每三個月進行 1 次捕捉，每樣區進行 2~3 條貫穿整樣區之固定 10 公尺間隔樣點總長 100 公尺的穿越線調查。每條樣線穿插設置 2 種不同薛爾曼式捕捉器為中(3 x 3.5 x 9")及小型(2 x 2.5 x 6.5")薛爾曼式活捕捉器(Sherman live trap)。此外，本年度亦嘗試進行掉落式陷阱設置，分別於七卡山莊樣區及黑森林樣區設置兩組掉落式陷阱，欲以此調查方式加強鼯形目動物之調查。所有陷阱皆於次日早晨 7:00-12:00 檢查，新捕獲動物以剪趾法標記號碼，除記錄物種種別、性別、生殖狀況、GPS 定位點、編號和體重之外，並取少量體表組織(耳及腳趾)以供日後遺傳結構相關分析之用，且於原捕捉採樣點釋放動物。各物種相對數量以每 100 捕捉夜(trap-night)共捕獲多少隻個體數為準計算之。



2. 中大型哺乳動物：利用紅外線自動照相機記錄動物出現。紅外線自動相機採用 RECONYX 的紅外線數位自動相機(黑森林、圈谷與翠池)及上美照相器材行製的 SM-04 型，相機採用 Olympus  $\mu$ -II(登山口、七卡山莊、3.6K 處、369 山莊)(圖 1a)，去年度四月份之後已將底片型紅外線自動照相機皆更換為 RECONYX 紅外線數位自動相機。分別為 RC-55 型及 PC800 型兩種。各樣區設置固定樣點(plot)放置 2 台自動相機(#1 & #2，相機各 GPS 定位點請見附錄 8-2)，本年度每路線記憶卡回收以 3 個月為基準，並同時更換電池及記憶卡，資料析回實驗室上傳電腦後進行相片物種辨識。



另外，於樣區內以穿越線進行中大型哺乳動物之痕跡(排遺、足跡、磨角痕跡與食痕等)，每路線於進行調查時，亦記錄樣區與樣區間調查人員移動行進時所發現的任何跡象。各相機出現物種有效照片，以出沒指數 (Occurrence Index, OI)代表族群相對豐富度，指數計算公式為  $OI = (\text{半小時內有效照片數} / \text{相機有效工作時數}) \times 1000$ 。



3. 翼手目動物調查：利用蝙蝠偵測器(Anabat II system)測定並記錄個體回聲定位發出之超音波頻率外，每次調查於樣區周遭選擇適合地點，架一具豎琴網(Harp trap)進行捕捉調查，次日早晨檢視有無蝙蝠，辨識物種後，記錄種類、性別、數量及各項測量形質，再以標示號碼之塑膠翼環編號後原地釋回。此實驗選定七卡山莊(海拔 2400 m) 與黑森林(海拔 3300 m) 兩個樣區進行調查(圖 1b)。



### 三、結果與討論

#### (一)小型哺乳類採集結果

2009年3月至2012年11月以來，一共捕獲9種的哺乳動物；5種啮齒目，分別為森鼠(*Apodmus semotus*)、黑腹絨鼠(*Eothenomys melanogaster*)、高山白腹鼠(*Niviventer cultratus*)、高山田鼠(*Microtus kikuchii*)與條紋松鼠(*Tamiops maritimus formosanus*)；2種鼯型目，分別為短尾鼯(*Anourosorex aquamipes*)與長尾鼯(*Episoriculus fumidus*)；2種食肉目，分別是黃鼠狼(*Mustela sibirica taiwana*)與小黃鼠狼(*Mustela nivalis*) (表 8-1)，然本年度並無捕獲新紀錄的物種，以森鼠、黑腹絨鼠、高山白腹鼠、高山田鼠及長尾鼯為主。其詳細捕捉資料請見附錄二。

本年度僅捕獲森鼠、黑腹絨鼠、高山白腹鼠、高山田鼠及長尾鼯等五種，分別為45、6、5、9及5隻次(表 8-1)。將本年度調查結果一併列入往年調查結果計算，並依各海拔樣區作區分，森鼠於各海拔樣區皆有被捕捉到的紀錄，分別在登山口捕捉到59隻個體，七卡山莊捕捉到125隻個體，3.6K捕捉到60隻個體，東峰5.2K樣區捕捉到6隻個體，369山莊捕捉到98隻個體，黑森林捕捉到45隻個體，圈谷捕捉到31隻個體，雪山主峰捕捉到10隻個體，翠池捕捉到47隻個體；高山田鼠僅於雪山東峰海拔以上的樣區才有所捕獲，分別於東峰5.2K捕捉到16隻個體，369山莊捕捉到9隻個體，黑森林捕捉到22隻個體，圈谷捕捉到23隻個體，雪山主峰捕捉到6隻個體，翠池捕捉到1隻個體；黑腹絨鼠則與高山田鼠相反，僅在海拔較低的樣區捕獲，其分別在登山口捕捉到64隻個體，七卡山莊捕捉到6隻個體，3.6K捕捉到14隻個體；高山白腹鼠亦僅於較低海拔的樣區捕獲，分別在登山口捕捉到3隻個體，七卡山莊捕捉到38隻個體，3.6K捕捉到2隻個體；條紋松鼠則只於七卡山莊捕獲2隻；長尾鼯於登山口、七卡、3.6K、東峰5.2k、黑森林、圈谷與翠池都有捕捉紀錄，為2、2、3、6、2、2和3隻；短尾鼯於登山口和3.6K各捕獲3隻與1隻；3.6K、369山莊與圈谷都有捕獲黃鼠狼的紀錄，分別為1隻、1隻和2隻；小黃鼠狼則於黑森林及翠池各捕獲1隻個體(表 8-2)。將捕捉到的小型哺乳類隻數計算 Shannon's diversity index 和 Simpson's diversity index，不論是 Shannon's diversity index 和 Simpson's diversity index，數據較高值出現在登山口、七卡山莊、3.6K、

東峰 5.2K、黑森林及圈谷樣區，Shannon's diversity index 和 Simpson's diversity index 的較低值出現在 369 山莊樣區及翠池樣區(表 8-2)。

因為每個樣區的捕捉天數與設老鼠籠數量不盡相同，所以我們將資料轉換成每 100 Trap Night (100TN)：

$$100 \text{ Trap Night} = \left( \frac{\text{每月每物種捕捉個體數}}{\text{每月總共設置老鼠籠數}} \right) \times 100$$

將資料標準化來看各樣區物種的豐富程度。森鼠在七卡山莊的數量最高，100TN 值為 63.78，其次為 369 山莊，為 49.78，數量較低的樣區為東峰 5.2K 與雪山主峰，100TN 值只有 3.18 與 5.39；高山田鼠與黑腹絨鼠則分別以圈谷與登山口數量最多，100TN 值分別為 11.96 與 35.19；高山白腹鼠在七卡山莊的 100TN 值為 19.58 最高。以各樣區來說，3.6K 所捕捉到的物種數量最多，為 6 種，雪山主峰最少，僅 2 種(表 8-3)。一樣利用 100TN 的值來計算 Shannon's diversity index 和 Simpson's diversity index，其較高值依然出現在登山口、七卡山莊、3.6K、東峰 5.2K、黑森林及圈谷樣區，較低點則出現在 369 山莊與翠池樣區(表 8-4)。從上述多樣性指數來看，369 山莊及翠池樣區之指數較低，此結果推測人為活動頻度較高的地區可能造成動物物種減少。

將主要捕捉到的優勢物種：森鼠、黑腹絨鼠、高山白腹鼠與高山田鼠，結合前三年度(2009、2010 及 2011 年度)的捕捉資料，進行其族群變動情形的分析。因為森鼠於各月份各樣點都有捕獲紀錄，為合併本年度與前三年度的資料分析，將森鼠按照前三年度的資料區分為七卡山莊路線及三六九山莊路線的捕捉記錄來進行分析，在七卡山莊路線中，可見數量最少為 2009 年 7 月份，最多為 2010 年 11 月份；三六九山莊路線數量最多出現於 2010 年 6 月，數量較少的則是出現在 2010、2011 及 2012 年的 2 月份(圖 8-2)；黑腹絨鼠亦是每次皆有捕捉到個體，數量高峰出現在 2011 年 3 月份及 11 月份，最低則為 2010 年 3 月份及 2012 年的 11 月份，本年度捕獲數量並不高(圖 8-3)；高山白腹鼠除了 2009 年 11 月份、2010 年 1 及 11 月份、2011 年 9 月份與 2012 年 11 月份外，其他月份都有捕獲，其數量高點出現在 2011 年 11 月份，而本年度捕獲數量亦不算多(圖 8-4)；高山田鼠除了 2010 及 2012 年的 2 月份無捕獲記錄外，其餘月份都有捕捉到個體，數值較高峰出現在

2010 年 6 月份及 2011 年 8 月份(圖 8-5)。高山田鼠與三六九山莊路線的森鼠於 2010 年間與 2011 年間的數量高峰期皆為 6 月份，似乎有固定族群消長的模式，但相對於較低海拔的森鼠、黑腹絨鼠及高山白腹鼠似乎並沒有明顯的模式(圖 8-2、8-3、8-4 及 8-5)。

表 8-1. 2009 年至 2012 年各月份齧齒目、鼬型目與食肉目捕捉資料(隻次)

	齧齒目					鼬型目		食肉目	
	森鼠 ( <i>Apodemus semotus</i> )	黑腹絨鼠 ( <i>Eothenomys melanogaster</i> )	高山白腹鼠 ( <i>Niviventer cullturatus</i> )	高山田鼠 ( <i>Microtus kikuchii</i> )	條紋松鼠 ( <i>Tamiops maritimus</i> )	長尾鼬 ( <i>Episoriculus fumidus</i> )	短尾鼬 ( <i>Anourosorex aquamipes</i> )	黃鼠狼 ( <i>Mustela sibirica</i> )	小黃鼠狼 ( <i>Mustela nivalis</i> )
2012 年 2 月份	12	3	2	0	0	1	0	0	0
2012 年 5 月份	23	2	3	5	0	3*	0	0	0
2012 年 8 月份	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2012 年 11 月份	2	1	0	1	0	0	0	0	0
2012 年	37	6	5	6	0	4	0	0	0
2009 年	110	33	15	15	1	3	0	2	0
2010 年	192	13	8	30	0	3	2	1	1
2011 年	134	31	14	23	1	10	2	1	1

註：2009-2011 年皆為每個月捕捉調查，2012 年為一季一次捕捉調查。

\*：黑森林掉落式陷阱捕捉。

-：2012 年 8 月份因颱風干擾無法進行捕捉調查。

(資料來源：本研究資料)

表 8-2. 小型哺乳動物各樣區捕捉資料(隻次)

	登山口	七卡山莊	3.6K	東峰5.2K	369山莊	黑森林	圈谷	雪山主峰	翠池	總計
森鼠	59	125	60	6	98	45	31	10	47	481
高山白腹鼠	3	38	2	0	0	0	0	0	0	43
黑腹絨鼠	64	6	14	0	0	0	0	0	0	84
高山田鼠	0	0	0	16	9	22	23	6	1	77
條紋松鼠	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
長尾鼯	2	2	3	6	0	2	2	0	3	20
短尾鼯	3	0	1	0	0	0	0	0	0	4
黃鼠狼	0	0	1	0	1	0	2	0	0	4
小黃鼠狼	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2
總計	131	173	81	28	108	70	58	16	52	717
Shannon' s index	<b>0.41</b>	<b>0.34</b>	<b>0.37</b>	<b>0.43</b>	<b>0.15</b>	<b>0.35</b>	<b>0.41</b>	<b>0.29</b>	<b>0.18</b>	
Simpson' s index	<b>0.56</b>	<b>0.43</b>	<b>0.42</b>	<b>0.60</b>	<b>0.17</b>	<b>0.49</b>	<b>0.56</b>	<b>0.50</b>	<b>0.18</b>	

註：Shannon' s index 為以 log10 計算

(資料來源：本研究資料)

表 8-3. 小型哺乳動物各樣區捕捉資料(100 Trap Night)

	登山口	七卡山莊	3.6K	東峰5.2K	369山莊	黑森林	圈谷	雪山主峰	翠池
森鼠	34.31	63.78	34.24	3.18	49.78	22.89	15.77	5.39	23.04
高山白腹鼠	2.01	19.58	1.25						
黑腹絨鼠	35.19	3.38	6.99						
高山田鼠				8.40	4.17	10.81	11.96	2.78	0.51
條紋松鼠		1.14							
長尾鼯	0.56	0.75	2.10	2.98		1.02	0.98		1.43
短尾鼯	2.21		0.50						
黃鼠狼			0.37		0.50		0.89		
小黃鼠狼						0.48			0.51
Shannon' s index	<b>0.41</b>	<b>0.34</b>	<b>0.36</b>	<b>0.42</b>	<b>0.14</b>	<b>0.35</b>	<b>0.40</b>	<b>0.28</b>	<b>0.18</b>
Simpson' s index	<b>0.57</b>	<b>0.44</b>	<b>0.41</b>	<b>0.62</b>	<b>0.16</b>	<b>0.50</b>	<b>0.57</b>	<b>0.51</b>	<b>0.19</b>

註：Shannon' s index 為以 log10 計算

(資料來源：本研究資料)

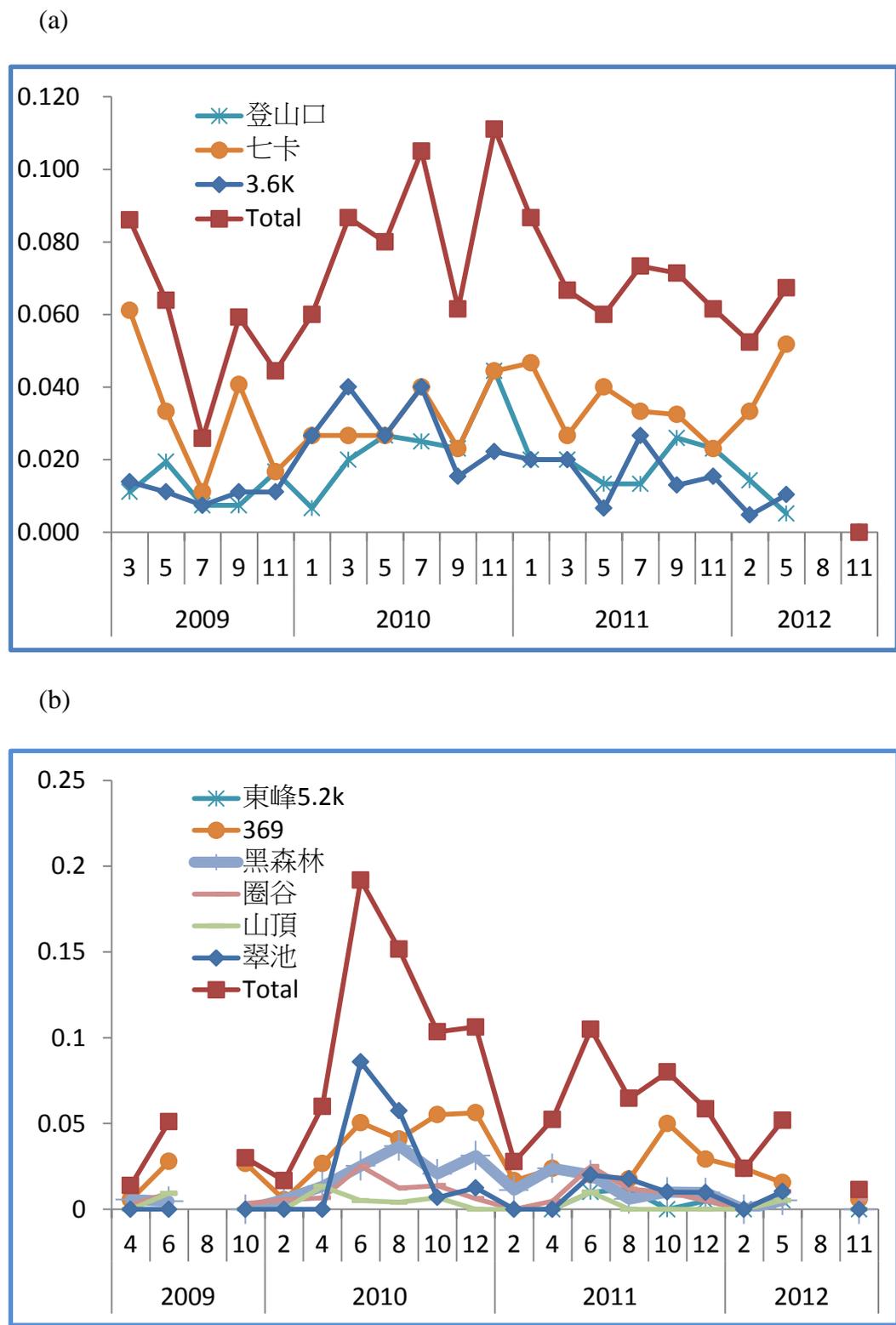


圖 8-2. 2009-2012 年森鼠每 100 捕捉夜(100 Trap Night)資料(a)七卡山莊路線  
(b)369 山莊路線。

(資料來源：本研究資料)

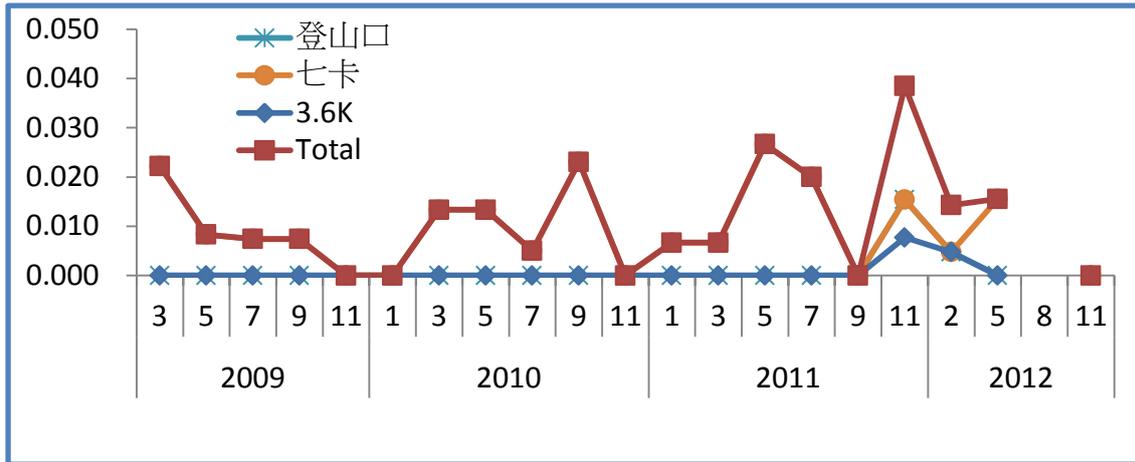


圖 8-3. 2009-2012 年黑腹絨鼠每 100 捕捉夜(100 Trap Night)資料。  
(資料來源：本研究資料)

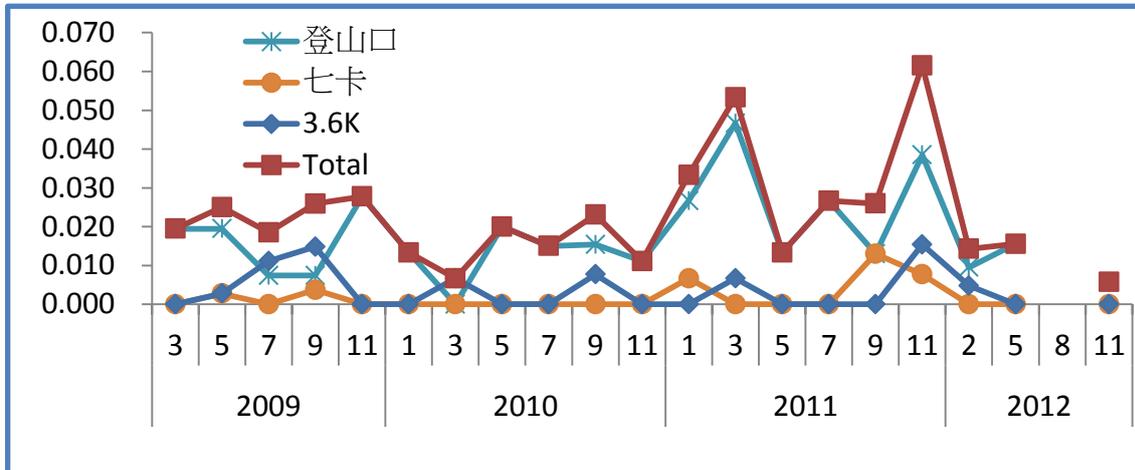


圖 8-4. 2009-2012 年高山白腹鼠每 100 捕捉夜(100 Trap Night)資料。  
(資料來源：本研究資料)

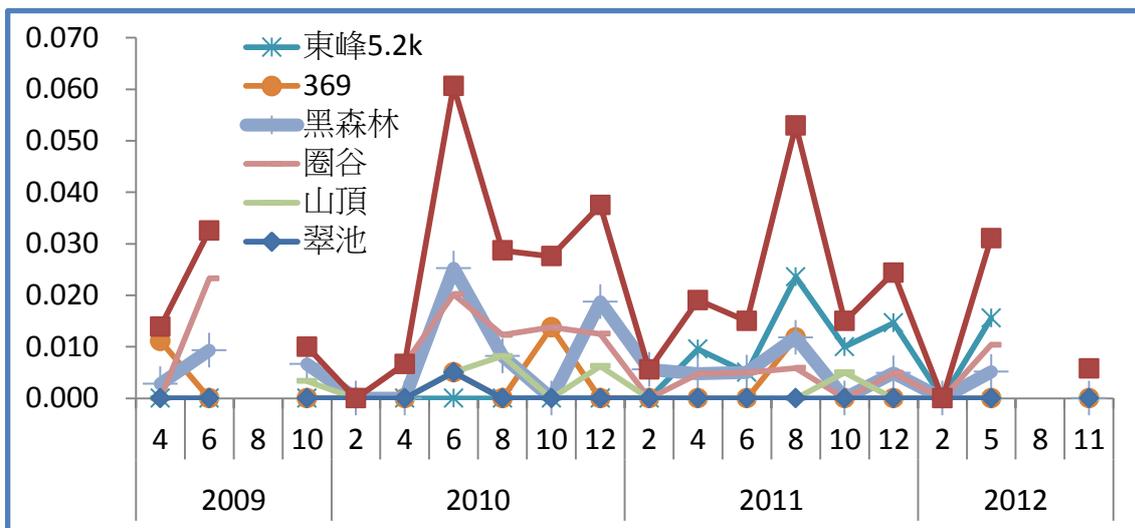


圖 8-5. 2009-2012 年高山田鼠每 100 捕捉夜(100 Trap Night)資料  
(資料來源：本研究資料)

## (二) 中大型哺乳類自動相機結果

2009 年的調查中，紅外線自動相機的有效照片結果中，拍到 9 種哺乳類動物，分別是山羌(*Muntiacus reevesi micrurus*)、長鬃山羊(*Capricornis swinhoci*)、臺灣獼猴(*Macaca cyclopis*)、白面鼯鼠(*Petaurista alborufus lena*)、赤腹松鼠(*Callosciurus erythraeus*)、長吻松鼠(*Dremomys pernyi owstoni*)、高山白腹鼠(*Niviventer culturatus*)、黃鼠狼(*Mustela sibirica taivana*)與鼬獾(*Melogale moschata subaurantiaca*)；2010 年度的相機資料中，調查到 12 種哺乳動物，其中有 3 種是新紀錄的哺乳動物，分別為水鹿(*Cervus unicolor swinhoei*)、白鼻心(*Paguma larvata taivana*)與臺灣野豬(*Sus scrofa taivanus*)，2011 年度相機資料中，紀錄到 14 種哺乳動物，有 3 種是新紀錄的哺乳動物，分別是條紋松鼠(*Tamiops maritimus formosanus*)、高山田鼠(*Microtus kikuchii*)、森鼠(*Apodemus semotus*)，其中白鼻心在此年度並沒有紀錄到。2012 年度則記錄有 9 種哺乳動物，然本年度並無新記錄的哺乳動物種類，總和目前四年多以來的資料，一共紀錄有 15 種哺乳動物。詳細紀錄之物種及有效照片張數請見表 8-4。各樣區紅外線自動照相機工作時數請見表 8-5。

數位式紅外線自動相機與傳統式底片型紅外線自動相機相比，工作時數明顯較高，在去年度 3 月份調查時已將傳統式自動相機全數置換成 Reconyx PC800 型數位式紅外線自動相機，目的是為了增加工作效率及資料完整度，更可減少調查人員造成的人為干擾，然本計畫至今已進行至第四年，雖已將底片型的自動相機換為數位型，但是於計畫第一年開始即架設的數位型自動相機在本年度調查發現開始有故障情形發生，像是 369 山莊的兩台自動照相機分別會有休眠及連續空拍的情形產生，黑森林樣區也有一台會發生休眠的情形(表 8-5)，預期將於 6 月底進行相機更換的工作。

在各物種之中，以山羌、長鬃山羊與臺灣獼猴數量最多(表 8-6)，其中山羌最為優勢(有效照片數量較多，OI 值較高)，除了翠池與圈谷的 OI 值低於長鬃山羊之外，山羌 OI 值在各樣區皆為最高，各樣區皆有山羌拍攝紀錄，但其分佈還是以黑森林以下的海拔高度為主，山羌 OI 值最低為圈谷樣區(OI=4.423)，最高為七卡樣區(OI=72.911)，另外登山口與 369 山莊的 OI 值亦不高，推測登山口和 369 山莊因人為干擾較大，所以對山羌的出沒頻度影響也較大，而圈谷最低可能是因為山羌主要分佈以較中海拔環境為主(圖

8-6)。除了登山口未拍到長鬃山羊之外，由七卡山莊至翠池都有拍攝紀錄，長鬃山羊 OI 值最低為 3.6K 樣區(OI=2.783)，最高為翠池樣區(OI=17.057)，推測可能因素為長鬃山羊多分佈於較高海拔的環境(圖 8-5)，且黑森林與翠池樣區屬於較為連續性的森林環境，可提供較好的棲息地。臺灣獼猴與山羌相同，從登山口至翠池都有拍攝紀錄，臺灣獼猴 OI 值最低的出現在登山口樣區(OI=2.309)，最高為黑森林樣區(OI=9.048)，黑森林為一連續的森林樣區，可以提供臺灣獼猴較好的棲息環境與較多的食物來源，因此黑森林的臺灣獼猴族群密度明顯較高，但是獼猴並沒有特別偏好分佈於何種海拔環境，從登山口至翠池樣區皆穩定分佈(圖 8-6)。在各樣區中，以黑森林樣區所拍攝到的物種數為最多，共 12 種(山羌、長鬃山羊、臺灣獼猴、白面鼯鼠、赤腹松鼠、長吻松鼠、高山白腹鼠、森鼠、黃鼠狼與鼬獾和臺灣野豬或白鼻心和高山田鼠)，而拍攝物種數最少的樣區為圈谷，僅只 5 種(山羌、長鬃山羊、臺灣獼猴、白面鼯鼠與黃鼠狼)。

將較優勢的物種，山羌、長鬃山羊與臺灣獼猴的有效照片，依出沒時間不同作為區別，分析其 1 日間活動模式的不同。總有效照片數量去計算各時間的百分比，將資料標準化，山羌的活動模式為整天都有活動，但有 2 個主要的活動高峰期，分別為 04:00 至 08:00 與 16:00 至 18:00(表 8-7)；而長鬃山羊也是整天都有活動，活動高峰期較長為 16:00 至隔天的 03:00(圖 8-7)；臺灣獼猴在晚上則不活動，其活動主要是從 05:00-18:00，而活動高峰期為 06:00-16:00(圖 8-7)。

將本年度資料記錄的各物種幼獸的有效照片，依出沒的月份進行分析，可發現山羌及長鬃山羊趨向於整個年度皆有育幼行為，但在冬季約 2、3 月份則無，而臺灣獼猴則於夏季 6 至 8 月份出現育幼行為(圖 8-8)。

將 2009 至 2012 年各物種的每日平均 OI 值與本整合計畫中的氣候資料進行相關分析，其中將圈谷與黑森林的山羌、長鬃山羊及臺灣獼猴的平均 OI 值與圈谷(SP1)及黑森林(SP2)的氣溫、濕度及降雨量相互進行相關分析，結果發現圈谷的山羌、長鬃山羊與臺灣獼猴接與氣溫呈現正相關，而僅長鬃山羊與濕度呈現負相關，其餘皆呈現無相關。而在黑森林樣區稍有不同的趨勢，山羌和降雨量呈現負相關，長鬃山羊與氣溫和降雨量皆呈現負相關，臺灣獼猴則是與氣溫呈現正相關，其餘皆無相關性(表 8-8)。

表 8-4. 各年度紅外線自動相機拍攝之有效照片(張數)

物種名稱	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	總計
山羌	763	657	2642	2551	6613
水鹿	-	9	26	28	63
長鬃山羊	130	368	738	709	1945
臺灣野豬	-	2	13	32	47
臺灣獼猴	144	148	217	187	696
白面鼯鼠	2	14	24	21	61
赤腹松鼠	4	29	10	-	43
長吻松鼠	2	8	50	20	80
條紋松鼠	-	-	1	-	1
森鼠	-	-	46	-	46
高山田鼠	-	-	2	-	2
高山白腹鼠	2	7	37	-	46
黃鼠狼	16	20	29	20	85
鼬獾	11	7	15	11	44
白鼻心	-	1	-	-	1
總計 15 種	1074	1270	3850	3579	9773

(資料來源：本研究資料)

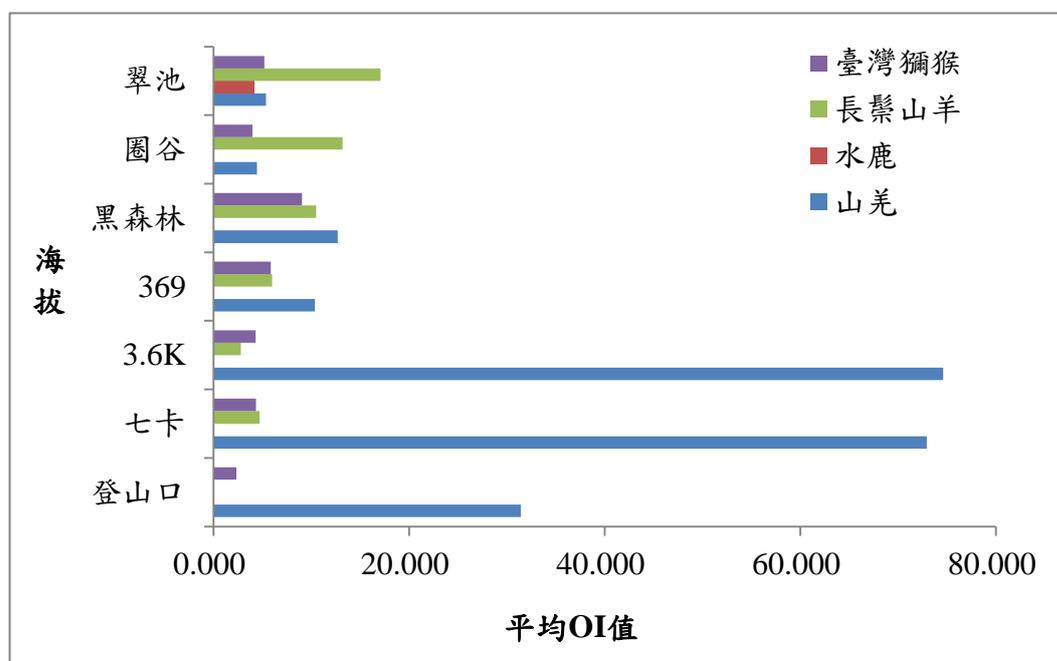


圖 8-6. 山羌、水鹿、長鬃山羊及臺灣獼猴在各海拔樣區分佈的 OI 值。

(資料來源：本研究資料)

表 8-5. 各樣區紅外線自動相機工作時數(hr)

	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	總計
登山口 #1	4190.17	3253.98	8708.30	6947.30	23099.75
登山口 #2	3560.03	3105.15	8482.73	5318.93	20466.84
七卡 #1	1921.98	3021.97	7948.67	6407.68	19300.30
七卡 #2	2277.17	1202.28	8124.90	5397.65	17002.00
3.6K #1	1618.60	2987.63	8261.02	7275.35	20142.60
3.6K #2	902.18	2689.45	6571.87	2979.87@	13143.37
369 #1	433.18	4255.92	7990.13	4221.85	16901.08
369 #2	1369.12	799.42	8907.07	2694.72@	13770.33
黑森林 #1	4987.58	8705.90	8422.27	6301.23	28416.98
黑森林 #2	4527.63	7079.93	9268.90	5906.87	26783.33
圈谷 #1	3840.10	5373.37	7194.12*	4985.03	21392.62
圈谷 #2	4101.62	5709.68	7241.30*	6358.82	23411.42
翠池 #1	954.30	5077.05	9322.73	5571.02	20925.10
翠池 #2	952.70	8652.10	9320.33	6757.02	25682.15
總計	35636.36	61913.83	115764.33	77123.33	290437.85

\*：調查過程中遇相機或記憶卡失竊導致資料缺損。

@：調查過程中遇相機休眠或故障。

(資料來源：本研究資料)

表 8-6. 2009-2012 年各樣區紅外線自動相機照片資料(平均 OI 值)

	登山口	七卡	3.6K	369	黑森林	圈谷	翠池	總平均
山羌	31.409	72.911	74.608	10.334	12.700	4.423	5.348	36.204
水鹿	0	0	0	0	0	0	4.208	4.208
長鬃山羊	0	4.677	2.783	5.972	10.471	13.187	17.057	11.121
臺灣野豬	0	3.958	4.316	0	3.156	0	1.293	3.592
臺灣獼猴	2.309	4.334	4.285	5.828	9.048	3.982	5.174	5.741
白面鼯鼠	1.469	3.928	4.288	4.744	1.525	1.493	1.447	2.937
赤腹松鼠	6.416	0	3.665	2.117	0.933	0	0	4.440
長吻松鼠	2.864	4.842	5.544	2.681	2.788	0	0	4.183
條紋松鼠	0	0	0	2.043	0	0	0	2.043
森鼠	3.315	0	3.702	4.277	1.398	0	0	3.720
高山白腹鼠	3.018	0	3.864	6.799	4.285	0	0	4.924
高山田鼠	0	0	0	0	2.796	0	0	2.796
黃鼠狼	4.178	5.243	3.281	3.561	1.634	1.511	1.205	3.350
鼬獾	3.432	9.933	2.143	0	0	0	0	5.078
白鼻心	0	0	0	0	0.833	0	0	0.833
物種數	9	8	11	10	12	5	7	共 15 種
Shannon's index	0.70	0.55	0.61	0.95	0.92	0.56	0.67	

註：Shannon's index 為以 log10 計算。

(資料來源：本研究資料)

表 8-7. 各月份紅外線自動相機照片資料(平均 OI 值)

年份	月份	山羌	水鹿	長鬃山羊	臺灣野豬	臺灣獼猴	白面鼯鼠	赤腹松鼠	長吻松鼠	條紋松鼠	森鼠	高山白腹鼠	高山田鼠	黃鼠狼	鼬獾	白鼻心	
2009	3-4	4.788				1.102										9.064	
	4-5	25.530		7.261		1.927											
	8-6	54.130		5.657		6.144											
	6-7	30.736		4.711		7.637		1.872	1.872					1.872			
	7-8	63.249		9.301		8.072			3.640								
	8-9	22.626		3.449		13.019		1.434									
	9-10	33.643		6.299		8.983	0.955					2.308		4.260	1.117		
	10-11	19.940		9.501		4.195		2.160				1.165		5.221	0.990		
	2010	12-1	37.056		5.790		3.964		0.848	12.573					3.491		
		2-3	22.510		9.956		1.884										
3-4		19.147		6.206		2.067	2.230	0.954	1.384					3.024	4.382		
4-5		28.459	1.299	8.197		2.041	7.011	3.089	2.327					1.440	1.737		
8-6		44.744		6.105		2.775	3.848	3.862				3.862		6.555		0.833	
6-7		54.576	1.395	15.371	1.212	8.142	6.410	8.006	3.082					14.656			
7-8		2.322	2.058	10.194		14.240											
8-9		58.818	5.690	7.127	12.394	10.602		30.184				3.018		1.548	3.130		
9-10		37.083	2.097	8.303		5.701	0.991	12.353				9.107					
10-11		22.323		13.947		2.400	3.344	3.564	4.254			5.528					

(資料來源：本研究資料)

表 8-7(續). 各月份紅外線自動相機照片資料(平均 OI 值)

年份	月份	山羌	水鹿	長鬃山羊	臺灣野豬	臺灣獼猴	白面鼯鼠	赤腹松鼠	長吻松鼠	條紋松鼠	森鼠	高山白腹鼠	高山田鼠	黃鼠狼	鼬獾	白鼻心
2011	12-1	26.019	1.063	12.112	3.242	3.732		0.968	6.762		2.196	9.602		1.920	2.196	
	1-2	27.140		11.425		5.416	5.113	1.432	17.804		7.274	7.122		5.159		
	2-3	21.899		4.263			2.429	2.459			2.459					
	3-4	10.802		8.647			7.717			2.043	1.929			4.541		
	4-5	25.607	2.479	6.758		1.041	1.047	0.976	4.487		0.997	0.997		0.997		
	8-6	27.423		8.915	1.193	1.264	1.333	3.790	7.539		3.458			1.336		
	6-7	46.022		9.023		2.386	1.147		1.911		2.637	5.266		5.301	1.344	
	7-8	52.819		11.557	1.485	8.360	2.189	1.468	5.723		1.418			1.418	7.360	
	8-9	48.476	2.901	8.892	3.043	6.360	1.443		2.896		2.890	1.445		3.638	2.180	
	9-10	35.670		11.121	1.661	8.277	1.703		5.622		6.882	7.496		1.874	6.574	
	10-11	27.492	20.386	10.398	1.646	4.219	3.277		1.430		1.398	2.872	2.796			
2012	11-12	28.115	6.872	10.899	1.336	4.148	1.120		2.593		3.585	7.018		1.510		
	12-1	32.612		14.116	6.282	2.980										
	1-2	37.076		14.597		2.914	1.574							1.624		
	2-3	20.567	4.933	10.215		4.245										
	3-4	17.877	1.506	14.034	1.567	6.417			2.859					1.396		
	4-5	33.022	2.280	9.054	1.867	1.845										
	8-6	34.396	3.339	16.032	6.746	3.239	0.820		2.027							
	6-7	81.555	3.338	19.758	2.402	8.410	2.324		2.550					3.504	2.347	
	7-8	44.487	6.892	15.190	4.371	6.821			4.546					2.897		
	8-9	42.765	4.425	19.089	5.174	7.781	1.199							1.960	14.745	
	9-10	39.184	5.438	21.371	5.390	4.459	4.681		2.084					2.725	3.709	
10-11	61.162	1.466	14.065		5.947	9.487		10.900								

(資料來源：本研究資料)

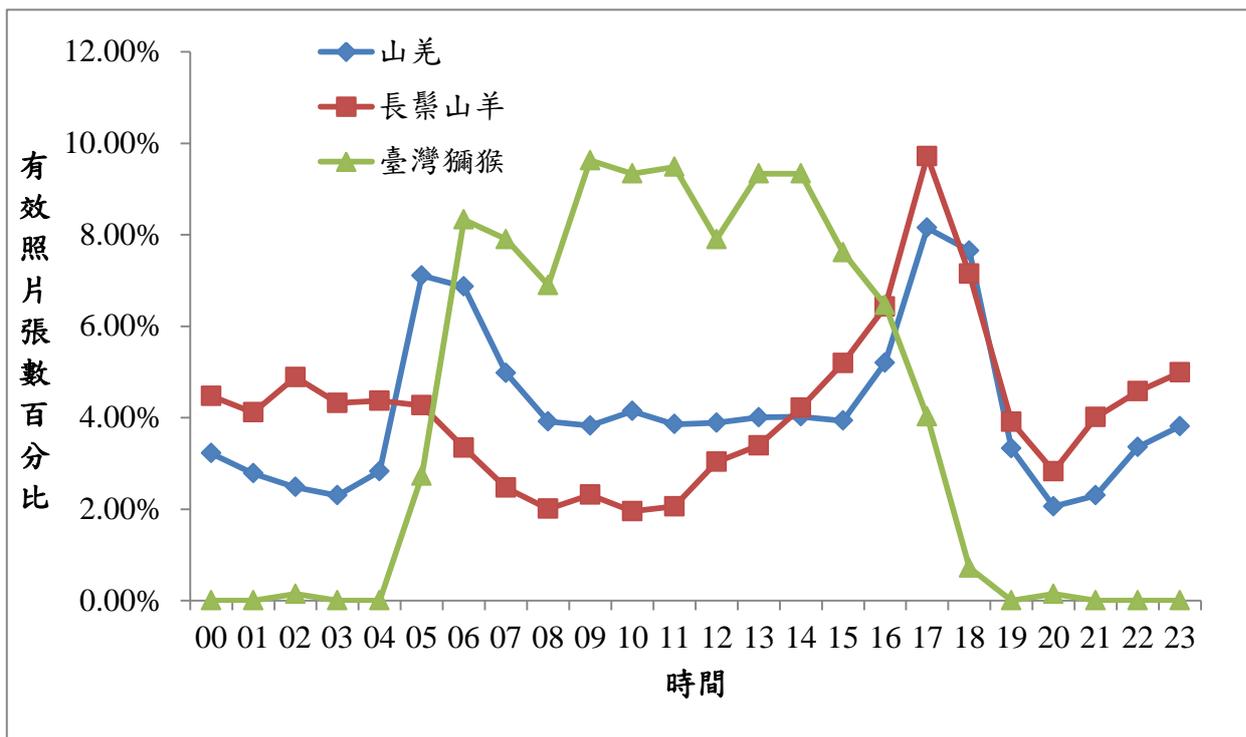


圖 8-7. 山羌、長鬃山羊及臺灣獼猴 1 日間活動模式。  
(資料來源：本研究資料)

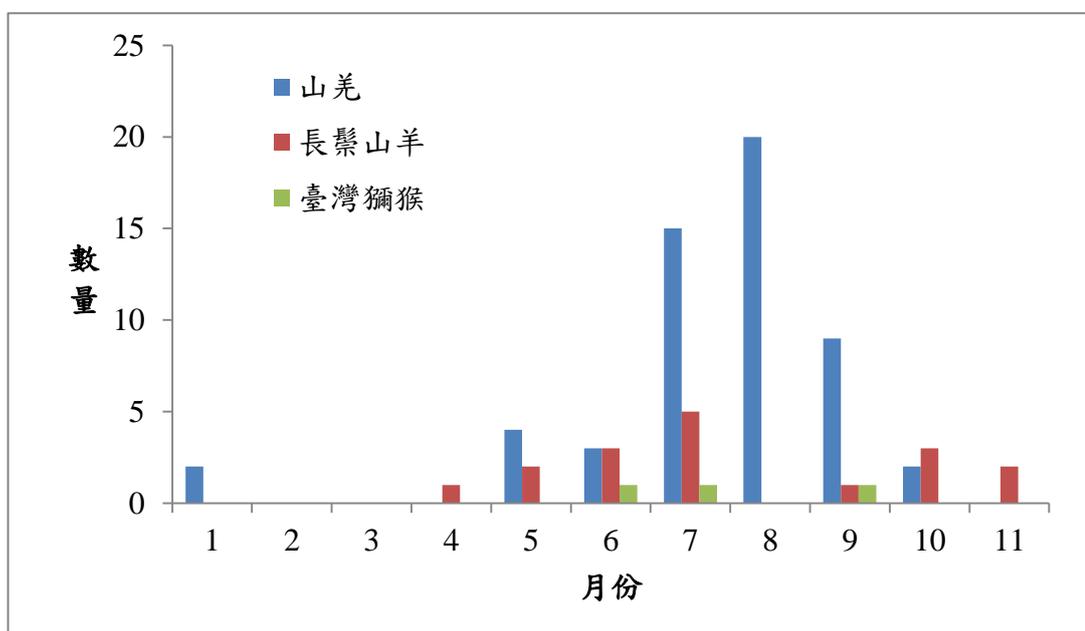


圖 8-8. 本年度山羌、長鬃山羊及臺灣獼猴幼獸出沒月份。  
(資料來源：本研究資料)

表 8-8. 山羌、長鬃山羊與臺灣獼猴每日平均 OI 值與氣象因子的相關分析

圈谷		山羌 (日平均 OI 值)	長鬃山羊 (日平均 OI 值)	臺灣獼猴 (日平均 OI 值)
每日均溫 (°C)	Pearson 相關係數	<b>0.146**</b>	<b>0.176**</b>	<b>0.080**</b>
	顯著性	0.000	0.000	0.007
每日濕度 (%)	Pearson 相關係數	-0.048	<b>-0.116**</b>	0.032
	顯著性	0.105	0.000	0.288
每日降雨 量 (mm)	Pearson 相關係數	0.004	-0.035	-0.009
	顯著性	0.899	0.237	0.765
黑森林		山羌 (日平均 OI 值)	長鬃山羊 (日平均 OI 值)	臺灣獼猴 (日平均 OI 值)
每日均溫 (°C)	Pearson 相關係數	0.046	<b>-0.079**</b>	<b>0.265**</b>
	顯著性	0.125	0.008	0.000
每日濕度 (%)	Pearson 相關係數	0.008	-0.032	0.045
	顯著性	0.794	0.276	0.128
每日降雨 量 (mm)	Pearson 相關係數	<b>-0.065*</b>	<b>-0.102**</b>	-0.010
	顯著性	0.028	0.001	0.739

(資料來源：本研究資料)

**(三)、翼手目哺乳動物調查結果****1、網具調查結果**

蝙蝠捕捉的結果自 2009 年至 2012 年，總計是 5 種 15 隻個體(表 8-9)。本年度未捕獲任何翼手目動物。但是在 11 月份進行調查時，於七卡山莊女生廁所目擊一臺灣大蹄鼻蝠。

**表 8-9. 蝙蝠個體資料**

日期	樣點	物種	體重(g)	性別
2009/03/21	七卡山莊	寬吻鼠耳蝠	3.3	F
2009/07/21	七卡山莊	臺灣小蹄鼻蝠	4.4	F
2009/09/07	七卡山莊	臺灣小蹄鼻蝠	4	F
2009/09/07	七卡山莊	臺灣小蹄鼻蝠	3.5	M
2009/09/07	七卡山莊	姬管鼻蝠	3.4	M
2010/07/03	黑森林	姬管鼻蝠	未記錄	M
2010/11/30	七卡山莊	寬吻鼠耳蝠	3.1	M
2010/12/01	七卡山莊	姬管鼻蝠	3.4	M
2010/12/03	七卡山莊	臺灣小蹄鼻蝠	5.4	F
2011/07/25	七卡山莊	寬吻鼠耳蝠	未記錄	未記錄
2011/08/26	七卡山莊	姬管鼻蝠	未記錄	F
2011/08/26	七卡山莊	姬管鼻蝠	未記錄	F
2011/09/16	七卡山莊	金芒管鼻蝠	5	M
2011/10/13	七卡山莊	臺灣大蹄鼻蝠	未記錄	M
2011/11/16	七卡山莊	金芒管鼻蝠	4.7	F

(資料來源：本研究資料)



## 2、蝙蝠偵測器(AnabatII system)調查結果

本年度於 2012 年 2 月在七卡山莊及黑森林樣區，皆利用蝙蝠偵測器進行一個夜晚的側錄，然取回的資料顯示並無錄製到任何蝙蝠的超音波。而 5 月份調查時，因山區午後至夜晚天候不佳，無法於兩個樣區進行超音波錄音，6 月份進行一次補充調查時遇上颱風干擾，僅於七卡山莊樣區進行一個夜晚的錄音。8 月份則是在黑森林樣區進行一個夜晚的錄音。11 月份則是在兩個樣區皆有進行錄音(圖 8-9)。

總共紀錄有 2963 筆聲音資料，分析後結果共有出現 4 種蝙蝠，分別是摺翅蝠、游離尾蝠、寬吻鼠耳蝠及山家蝠，活動音頻圖請參見圖 8-8。另外將錄音資料以各種類蝙蝠出沒的時間進行分析，除了 2 月份調查錄音並無蝙蝠記錄外，其他結果請參見圖 8-10、8-11 及 8-12。合併網具捕捉紀錄，雪山地區共有 8 種蝙蝠物種。

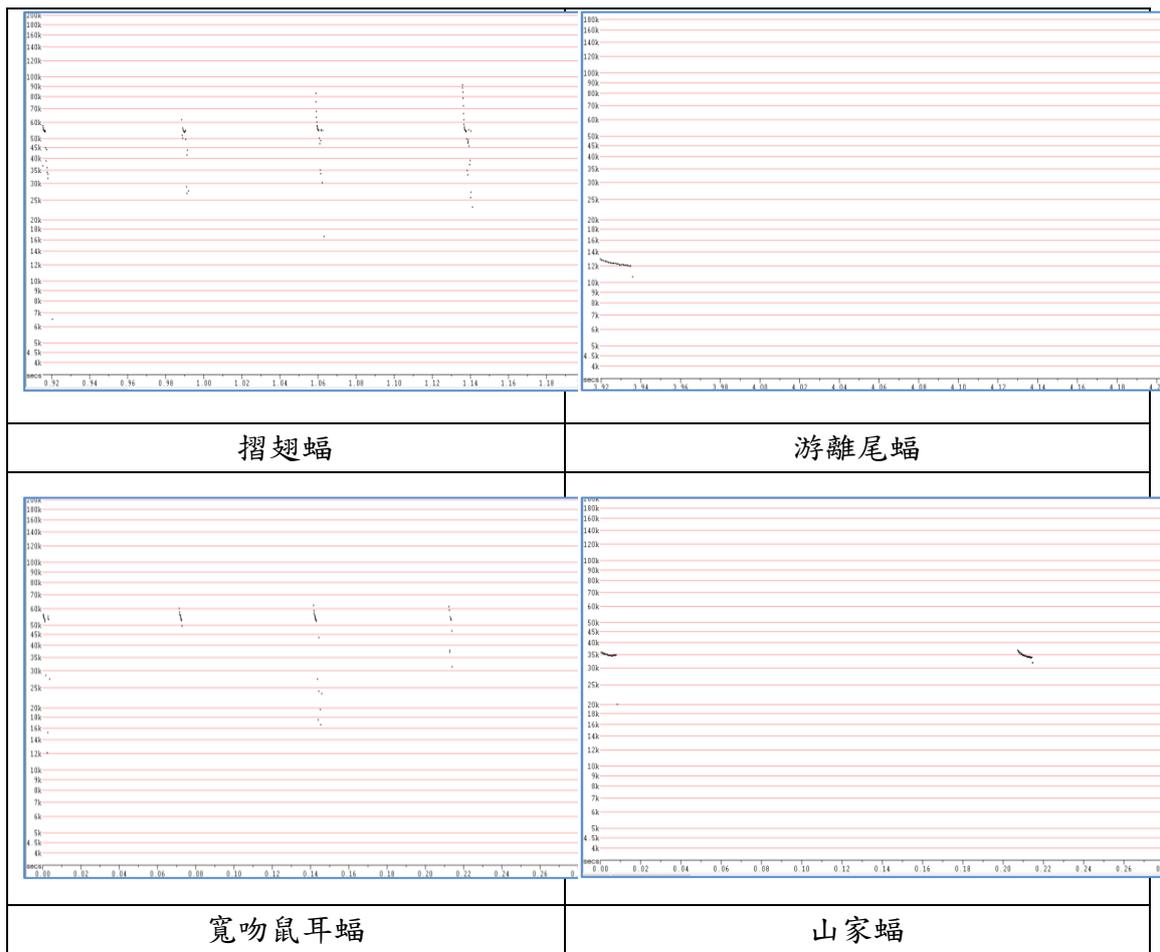


圖 8-9. 超音波監測的出現物種活動音頻圖。

(資料來源：本研究資料)

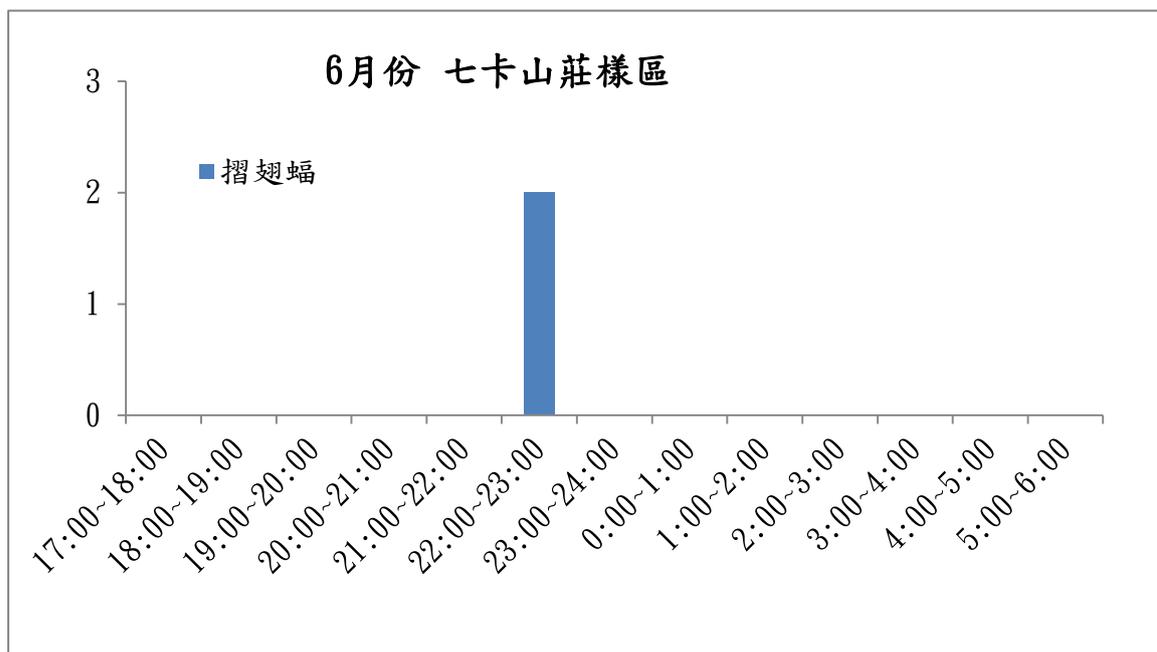


圖 8-10. 六月份調查蝙蝠整夜活動模式。

(資料來源：本研究資料)

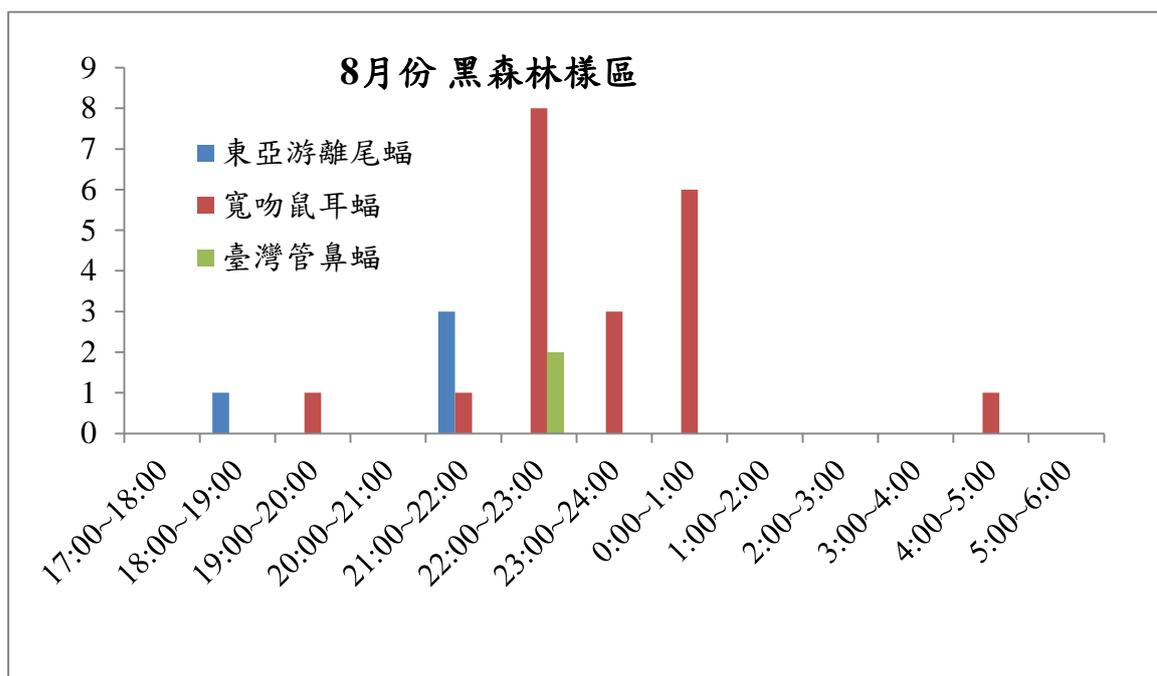


圖 8-11. 八月份調查蝙蝠整夜活動模式。

(資料來源：本研究資料)

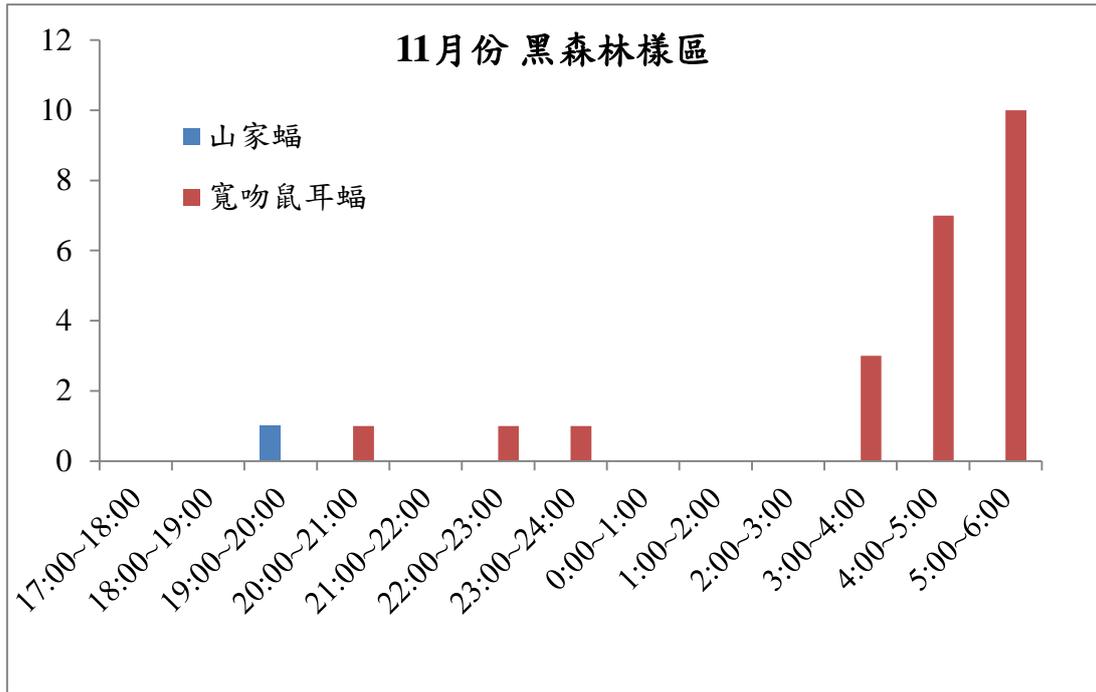


圖 8-12. 十月份調查蝙蝠整夜活動模式。

(資料來源：本研究資料)

#### 四、結論與建議事項

##### (一)結果與討論

自 2009 年 3 月至 2012 年 11 月止，森鼠總共捕捉 481 隻，高山田鼠總共捕捉 77 隻，黑腹絨鼠總共捕捉 84 隻，高山白腹鼠總共捕捉 43 隻，條紋松鼠總共捕獲 2 隻，長尾鼯總共捕獲 20 隻，短尾鼯總共捕捉 4 隻，黃鼠狼共捕獲 4 隻，臺灣小黃鼠狼總共捕獲 2 隻(表 8-2)，其中捕獲數量最高的是森鼠，為高山生態區域中小型哺乳類的優勢物種，並且從登山口至雪山山頂皆有捕獲紀錄，顯示森鼠的分布區域極廣，從中海拔(約 2100 m)至高海拔(3886 m)都可以發現(表 8-2)，森鼠捕獲數量明顯集中於七卡與三六九山莊處。高山白腹鼠、黑腹絨鼠和短尾鼯則侷限在登山口至 3.6K 樣區捕獲，已知黑腹絨鼠與短尾鼯主要分布在中海拔，高山白腹鼠屬分布由中海拔至高海拔森林性物種，雖然根據目前連續四年的捕捉調查都未在超過 3000 公尺以上的海拔捕獲，但是經由紅外線自動相機仍然在 369 樣區及黑森林樣區有紀錄到此物種。高山田鼠則是在東峰 5.2K、369 山莊、黑森林、圈谷與雪山山頂等較高海拔的樣區有所捕獲，在中海拔地區(登山口、七卡山莊和 3.6K 處)則無任何發現，本種與黑腹絨鼠在海拔分佈明顯區分。就鹿野(1940)之高山田鼠分佈資料相比，過去分布海拔高度 2400 m 起至 2700 m，而現今則為 3886 m。此外，2011 年度調查在黑森林樣區捕獲到小黃鼠狼 1 隻，自 2009 年度至今，僅 2010 年度於翠池樣區有捕獲小黃鼠狼個體，而桃園縣野鳥學會理事長吳豫州等一行人在本年度 7 月份於圈谷地區有目擊 2 隻小黃鼠狼捕食高山田鼠的記錄，此外，在本計畫樣區附近的北稜角基點附近亦有目擊 1 隻小黃鼠狼的記錄(附錄二)，顯示小黃鼠狼的分布比以往所知更為廣泛，但是族群數量仍然未知，需要更進一步詳細且針對食肉目動物的調查方能知曉。然本年度並未捕獲任何食肉目動物，僅以自動照相機有所記錄。

紅外線自動相機所拍攝到的 30 分鐘內有效照片中，其中以山羌的 OI 值最高，這表示山羌是高山生態區域中，中大型哺乳類的優勢物種，並且從登山口至圈谷及翠池皆有相片紀錄，顯示山羌的分布區域極廣，從中海拔(約 2100 m)至高海拔(約 3600 m)都可以發現，此與當年鹿野(1940)之調查明顯不同，當年山羌分布為 0 m 至 1800 m。鼯在登山口、七卡山莊和 3.6K 樣區有照片紀錄，推測海拔約 2800 m 應為物種的海拔垂直分布上界，

與鹿野(1940)資料相比(0 至 900 m)，海拔分布上升近 1900 m。臺灣獼猴在各樣區都有相片紀錄，此外 2011 年度 10 月份進行調查時，研究人員經過雪山主峰基石附近亦有目擊臺灣獼猴的紀錄，主峰海拔 3886m，應為目前已知臺灣獼猴最上限，本年度則是持續有在圈谷樣區記錄到臺灣獼猴出沒，鹿野的資料指出臺灣獼猴的分佈上限為 3000 m(依海拔高度判斷為黑森林)，而李玲玲(1994)調查曾經在圈谷聞其叫聲，但未有目擊，依據本計畫自動照相機的調查明確證實臺灣獼猴可分布至此，可以知道臺灣獼猴的海拔分布極廣，亦是高山生態系中優勢物種之一。長鬃山羊在七卡山莊、3.6K、369、黑森林、圈谷與翠池樣區都有相片紀錄，但是在七卡山莊與 3.6K 樣區的 OI 值僅有 2.783~4.677(表 8-6)，長鬃山羊明顯為分布在高海拔的物種，過去鹿野(1940)之調查顯示長鬃山羊分佈範圍為 600~3600 m，但是本調查未於低於海拔 2400 m 處觀察到長鬃山羊出沒的痕跡，顯示此物種分佈可能逐漸往高海拔處集中。另外，於 2010 年度於黑森林樣區拍攝到食肉目動物-白鼻心(海拔約 3300 m)，遠遠超過鹿野調查的海拔高度(0-1500 m)，亦是目前白鼻心被紀錄到最高海拔處，但是目前僅只拍到一張有效照片，是否在其他海拔樣區也有族群活動更待進一步的監測與調查。

而根據本年度資料記錄的各物種幼獸的有效照片，依出沒的月份進行分析，可發現山羌及長鬃山羊趨向於整個年度皆有攜帶幼獸覓食的行為，但在冬季約 2、3 月份則無，顯示此兩種動物偏向於整個年度皆可生殖的情形；而臺灣獼猴則於夏季 6 至 8 月份出現攜帶幼獸的行為，顯示臺灣獼猴主要於春、夏季之間進行生殖(圖 8-7)。

從各物種的每日平均 OI 值與氣候間的相關分析結果，圈谷的山羌、長鬃山羊與臺灣獼猴接與氣溫呈現正相關，可見圈谷的氣溫為主要影響各物種出沒的因素，氣溫越高則會有較高的平均 OI 值。而在黑森林樣區稍有不同的趨勢，山羌和降雨量呈現負相關，顯示降雨量越少，山羌的平均 OI 值則會升高；長鬃山羊與氣溫和降雨量皆呈現負相關，顯示氣溫低或降雨量低時，長鬃山羊較容易出沒於黑森林樣區；臺灣獼猴則是與氣溫呈現正相關，此結果與圈谷的趨勢相同，即氣溫越高較容易有臺灣獼猴於黑森林樣區出沒(表 8-8)。然而降雨量多寡與濕度的應該是呈現正相關，與物種出沒之間的交互關係可能需要進一步分析。

迄今調查一些高山型食肉目動物，如黃喉貂及黑熊並未發現，或因相機位置，或因族群量稀少之故，尚待未來更長期或投入更大努力量的調查資料收集，方有可能進一步說明。但是仍陸續聽聞登山客有目擊臺灣黑熊的記錄，例如首長信箱案件分辨通知(列管號：101013)，於 2012 年 2 月 16 日上午 09:30 在黑森林 9.1K 處發現疑似黑熊兩隻，但無法確認。此外，亦有接獲登山客於前往雪北山屋的途中拍攝到雪地上疑似黑熊的腳印照片，雖然不在本計畫調查範圍內，但是此紀錄亦十分仍屬珍貴，建議未來雪霸國家公園或許可以建立一個可提供登山民眾回報目擊特定動物的平台，或許有助於了解尚未被調查所發現的物種。

從 2009 年至 2012 年所捕獲的蝙蝠，總計是 2 科 5 種 15 隻個體。以目前臺灣地區總計 5 科 35 種蝙蝠來看，本調查所紀錄的物種似乎偏少，相較於雪霸國家公園境內的觀霧 18 種(林良恭, 2008 及李玲玲, 2007)與雪見 20 種(陳家鴻, 2010)亦少，推測可能原因為雪山地區調查樣區海拔高度較高、氣溫較低，以及調查網具數量較少所導致。本年度並未捕獲任何蝙蝠個體，而從超音波偵測器的結果，可看出本年度有 4 種蝙蝠物種的記錄，由夏季 6 及 8 月份的調查顯示，蝙蝠物種多於入夜後至半夜 1 點之間活動，下半夜則較少活動，但在 11 月份的資料卻顯示下半夜有山家蝠的活動，此結果是因為在 11 月份的調查時，上半夜有大量降雨所導致。由超音波偵測器的結果可知，尚有許多蝙蝠物種能適應高山寒冷氣候，或許礙於網具使用上的限制而無法捕捉到，但從超音波偵測器仍能了解此區域蝙蝠物種多出現於夏季較為溫暖的季節(圖 8-9、8-10 及 8-11)。

## (二)建議事項

### 1. 立即可行之建議

主辦機關：雪霸國家公園

協辦機關：國立中興大學水土保持學系

建議事項：設立哺乳類動物解說牌

雪霸國家公園自創立以來，至今在生態解說與教育方面努力不遺餘力，在雪山步道上有著各式各樣的生態解說牌，但是多為植物、鳥類、地質與環境介紹，鮮少有哺乳動物類的解說牌，實為可惜，尤其哺乳類動物為人類所最為關注與關心，也最為吸引登山客的注意，在哺乳類動物解說與教育的責任，國家公園應責無旁貸。

本計畫在整個雪山地區的調查中，會將所觀察到哺乳類動物的痕跡以及常出沒的地點用 GPS 記錄下來，此資料可供雪霸國家公園利用，在這些地點設置解說牌，讓登山的民眾有機會可以分辨哺乳類動物的叫聲、排遺，進一步對自然環境感到興趣，自然而然就會認同其身處的生態環境，進而去瞭解他，愛護他，最終達到生態保育教育的目的。

### 2. 中長期性之建議

主辦機關：雪霸國家公園

協辦機關：國立中興大學水土保持學系

建議事項：雪山山區生物自動監測系統架設

由於高山地區調查費力費時，完全仰賴專家學者或園區員工自行研究，皆僅能於短時間進行。未來應可透過數位錄音機聲音測錄調查方式，於樣點附近選擇合適地點架設數位錄音系統定點收錄動物發出之聲音，測錄 12 小時以上，攜回後鑑定錄得聲音為何種動物，架設地點以 GPS 記錄衛星定位資訊。

## 五、參考文獻

- 甘慕龍(1995)武陵地區三種齧齒動物(森鼠、黑腹絨鼠、巢鼠)的食性與棲地研究。臺灣大學動物學碩士論文。
- 李玲玲(1994)雪霸國家公園大型哺乳動物族群與習性之研究(武陵地區)。雪霸國家公園管理處。
- 李玲玲(2007)大鹿林道東線工程之環境監測。雪霸國家公園管理處。62 頁。
- 林良恭(2008)雪霸國家公園觀霧地區蝙蝠族群調查及蝙蝠巢箱設置。42 頁。
- 林曜松、楊懿如、黃光瀛、呂佩義、蘇逸峰(1989)雪山、大霸尖山地區動物生態資源先期調查研究。內政部營建署。85 頁。
- 陳家鴻(2010)雪霸國家公園雪見地區蝙蝠多樣性研究 III。雪霸國家公園管理處。62 頁。
- 歐保羅、林良恭(1990)玉山國家公園東埔地區哺乳類動物調查報告(三)。玉山國家公園研究叢刊 1025 號。58 頁。
- Kano, T. (1940) Zoogeographical studies of the Tsugitaka Mountains of Formosa. Shobusawa Institute for Ethnographical Researches, Tokyo.

附錄 8-1. 紅外線自動相機 GPS 定位點資料

相機編號	TWD		Altitude
登山口 #1	280203	2697809	2238 m
登山口 #2	280047	2697722	2324 m
七卡 #1	279203	2697496	2520 m
七卡 #2	279136	2697444	2530 m
3.6K #1	278716	2697950	2858 m
3.6K #2	278757	2697950	2854 m
369 #1	274561	2698777	3222 m
369 #2	276227	2697632	3134 m
黑森林 #1	274367	2698526	3393 m
黑森林 #2	274547	2698750	3282 m
圈谷 #1	274026	2698026	3607 m
圈谷 #2	274001	2698005	3604 m
翠池 #1	272194	2697814	3468 m
翠池 #2	271882	2697694	3375 m

(資料來源：本研究資料)

## 附錄 8-2. 雪山小型哺乳類捕捉資料

月份	日期	樣點	編號	物種	體重	性別
1	20110127	登山口	951	森鼠	15.5	F
1	20110127	登山口	952	森鼠	21	F
1	20110127	3.6K	20110127-1F	森鼠	16.4	M
1	20110127	3.6K	20110127-2F	森鼠	14.6	F
1	20110127	3.6K	20110127-3F	森鼠	16.8	F
1	20110127	七卡	20110127-4F	森鼠	15.8	M
1	20110127	登山口	20110127-5F	森鼠	16.4	F
1	20110127	登山口	20110127-6B	黑腹絨鼠	23.9	F
1	20110127	登山口	20110127-7B	黑腹絨鼠	24.7	F
1	20110127	登山口	20110127-8B	黑腹絨鼠	21.4	F
1	20110127	登山口	20110127-9B	黑腹絨鼠	25	F
1	20110128	七卡	20110128-1B	黑腹絨鼠	19	M
1	20110128	七卡	533	森鼠	-	F
1	20110128	七卡	953	森鼠	16	F
1	20110128	七卡	954	高山白腹鼠	49	M
1	20110128	七卡	470	森鼠	-	M
1	20110128	七卡	955	森鼠	-	M
1	20110128	七卡	20110128-1F	森鼠	18	M
1	20110128	七卡	-	森鼠	-	-
2	20110126	369	20110126-1F	森鼠	17.5	M
2	20110127	369	20110127-1F	森鼠	18	F
2	20110127	369	20110127-2F	森鼠	22	M
2	20110127	黑森林	20110127-3F	森鼠	19	M
2	20110127	黑森林	20110127-4F	森鼠	21	M
2	20110127	黑森林	20110127-5M	高山田鼠	33	F
3	20110312	登山口	907	森鼠	20.5	M
3	20110312	登山口	1001	森鼠	28	M
3	20110312	登山口	1002	森鼠	19.5	M
3	20110312	登山口	20110312-1B	黑腹絨鼠	24	F
3	20110312	登山口	20110312-2B	黑腹絨鼠	23.5	F
3	20110313	七卡	1003	森鼠	18	M
3	20110313	七卡	1004	森鼠	22	M
3	20110313	七卡	1005	森鼠	20	F
3	20110313	七卡	1006	高山白腹鼠	51	M
3	20110313	七卡	-	森鼠	-	-
3	20110313	3.6k	20110313-1B	黑腹絨鼠	19	F
3	20110313	3.6k	20110313-2F	森鼠	21	F

月份	日期	樣點	編號	物種	體重	性別
3	20110313	3.6k	20110313-3F	森鼠	21	F
3	20110313	3.6k	20110313-4F	森鼠	22	M
3	20110314	登山口	20110314-1B	黑腹絨鼠	9	F
3	20110314	登山口	603	黑腹絨鼠	-	-
3	20110314	登山口	20110314-2B	黑腹絨鼠	19	M
3	20110314	登山口	20110314-3B	黑腹絨鼠	22	F
3	20110314	登山口	20110314-4B	黑腹絨鼠	24	M
4	20110423	369	801	森鼠	20.9	M
4	20110423	369	201104-802	森鼠	22.5	M
4	20110423	369	201104-803	森鼠	19	M
4	20110424	369	201104-804	森鼠	23	F
4	20110424	黑森林	20110424-1Y	小黃鼠狼	75	F
4	20110424	黑森林	20110424-2M	高山田鼠	44	M
4	20110424	黑森林	20110424-3F	森鼠	26	F
4	20110424	黑森林	20110424-4F	森鼠	27	M
4	20110425	369	801	森鼠	-	M
4	20110425	369	201104-805	森鼠	22	F
4	20110425	黑森林	201104-806	森鼠	21	M
4	20110425	圈谷	807	森鼠	23	M
4	20110425	圈谷	20110428-1S	長尾鼯	6	M
4	20110426	圈谷	807	森鼠	-	M
4	20110426	圈谷	808	高山田鼠	48.5	F
4	20110426	黑森林	810	森鼠	24.8	M
4	20110426	黑森林	811	森鼠	23	M
4	20110428	東峰 5.2k	812	高山田鼠	52.5	F
4	20110428	東峰 5.2k	20110428-1M	高山田鼠	39.5	M
4	20110428	東峰 5.2k	20110428-2S	長尾鼯	6.5	F
5	20110525	七卡	1010	森鼠	22.4	F
5	20110525	七卡	1020	高山白腹鼠	67	F
5	20110525	七卡	1011	森鼠	24	F
5	20110525	七卡	70	森鼠	28.5	M
5	20110526	七卡	-	高山白腹鼠	-	-
5	20110526	七卡	1030	高山白腹鼠	77	M
5	20110526	3.6k	20110526-1F	森鼠	19	F
5	20110526	登山口	20110526-2F	森鼠	20.5	M
5	20110526	登山口	1002	森鼠	20	M
5	20110526	登山口	20110526-3B	黑腹絨鼠	26.5	F
5	20110526	登山口	20110526-4B	黑腹絨鼠	22	M

月份	日期	樣點	編號	物種	體重	性別
5	20110527	七卡	1012	森鼠	26	M
5	20110527	七卡	1013	森鼠	27.1	M
5	20110527	七卡	-	森鼠	-	-
5	20110527	七卡	-	高山白腹鼠	-	-
6	20110701	翠池	703	森鼠	13	F
6	20110701	翠池	704	森鼠	28	F
6	20110701	翠池	20110701-1F	森鼠	25	F
6	20110701	翠池	20110701-2F	森鼠	25	M
6	20110701	圈谷	705	森鼠	27	M
6	20110701	山頂	706	森鼠	16.5	F
6	20110701	圈谷	20110701-3M	高山田鼠	39.5	F
6	20110701	圈谷	20110701-4S	長尾鼯	6	M
6	20110702	黑森林	707	森鼠	12.3	F
6	20110702	黑森林	708	森鼠	18.5	M
6	20110702	黑森林	710	森鼠	29	M
6	20110702	黑森林	711	森鼠	NA	M
6	20110702	圈谷	20110702-1F	森鼠	14	F
6	20110702	圈谷	20110702-2F	森鼠	25.5	M
6	20110702	黑森林	20110702-3S	長尾鼯	6	F
6	20110701	圈谷	-	森鼠	-	-
6	20110702	山頂	-	森鼠	-	-
6	20110702	圈谷	807	森鼠	-	M
6	20110702	369	-	黃鼠狼	-	F
6	20110702	369	801	森鼠	23	M
6	20110702	369	712	森鼠	19.5	F
6	20110702	369	713	森鼠	18	F
6	20110702	369	714	森鼠	32	M
6	20110703	黑森林	715	高山田鼠	22.5	M
6	20110703	東峰 5.2k	716	森鼠	25.5	M
6	20110703	東峰 5.2k	20110703-1F	森鼠	22	F
6	20110703	東峰 5.2k	20110703-2M	高山田鼠	43	M
6	20110703	東峰 5.2k	20110703-3S	長尾鼯	6.5	F
7	20110725	七卡	-	森鼠	-	-
7	20110725	七卡	1004	森鼠	31	M
7	20110725	七卡	1020	高山白腹鼠	68	F
7	20110726	登山口	721	森鼠	NA	F
7	20110726	登山口	722	黑腹絨鼠	24	F
7	20110726	登山口	605	黑腹絨鼠	22	NA

月份	日期	樣點	編號	物種	體重	性別
7	20110726	登山口	20110726-1B	黑腹絨鼠	19.5	M
7	20110726	登山口	20110726-2B	黑腹絨鼠	21.5	F
7	20110726	七卡	1013	森鼠	31	M
7	20110726	七卡	-	高山白腹鼠	-	NA
7	20110726	七卡	1020	高山白腹鼠	NA	F
7	20110726	七卡	723	森鼠	25	F
7	20110727	3.6K	724	森鼠	25	M
7	20110727	七卡	725	森鼠	29	M
7	20110727	七卡	1020	高山白腹鼠	-	F
7	20110727	登山口	321	森鼠	NA	-
7	20110727	3.6K	20110727-1S	長尾鼯	6.2	-
7	20110727	3.6K	20110727-2F	森鼠	17	F
7	20110727	3.6K	20110727-3F	森鼠	23.1	M
7	20110727	3.6K	20110727-4S	長尾鼯	5.7	F
7	20110727	3.6K	20110727-5F	森鼠	8.6	M
8	20110825	翠池	726	森鼠	28	M
8	20110825	翠池	727	森鼠	25	M
8	20110825	翠池	703	森鼠	-	F
8	20110825	圈谷	807	森鼠	23.5	M
8	20110825	圈谷	728	森鼠	22	F
8	20110825	黑森林	707	森鼠	17.5	F
8	20110825	黑森林	20110828-1M	高山田鼠	38	F
8	20110826	黑森林	730	高山田鼠	40	M
8	20110826	圈谷	731	高山田鼠	33	F
8	20110826	369	732	森鼠	20	M
8	20110826	369	729	森鼠	NA	F
8	20110826	369	733	森鼠	20	M
8	20110826	369	734	高山田鼠	39	NA
8	20110826	369	735	高山田鼠	36	F
8	20110826	東峰 5.2k	716	森鼠	24.5	M
8	20110826	東峰 5.2k	20110826-1M	高山田鼠	34.5	M
8	20110826	東峰 5.2k	20110826-2F	森鼠	22	F
8	20110826	東峰 5.2k	20110826-2M	高山田鼠	39.5	F
8	20110826	東峰 5.2k	20110826-3M	高山田鼠	29	M
8	20110826	東峰 5.2k	20110826-4M	高山田鼠	35	M
9	20110916	七卡	1004	森鼠	33	M
9	20110916	七卡	1007	森鼠	15	M
9	20110916	七卡	1008	森鼠	28	M

月份	日期	樣點	編號	物種	體重	性別
9	20110916	七卡	85	黑腹絨鼠	24	F
9	20110916	七卡	20110916-1F	森鼠	-	-
9	20110916	登山口	608	黑腹絨鼠	NA	F
9	20110916	登山口	721	森鼠	-	M
9	20110916	登山口	1014	森鼠	25	M
9	20110916	登山口	1015	森鼠	16	M
9	20110917	3.6K	NA	森鼠	NA	NA
9	20110917	七卡	85	黑腹絨鼠	24	F
9	20110917	七卡	NA	森鼠	NA	NA
9	20110917	登山口	NA	森鼠	NA	NA
9	20110917	登山口	608	黑腹絨鼠	NA	F
9	20110918	3.6K	NA	森鼠	NA	NA
9	20110918	七卡	20110918-1B	黑腹絨鼠	-	-
9	20110918	登山口	20110918-2B	黑腹絨鼠	-	-
9	20110918	登山口	608	黑腹絨鼠	-	-
10	20111016	翠池	327	森鼠	18	M
10	20111016	翠池	20111016-1F	森鼠	18.1	M
10	20111016	圈谷	728	森鼠	23.6	F
10	20111016	圈谷	328	森鼠	NA	F
10	20111016	山頂	20111016-3M	高山田鼠	36.9	F
10	20111017	黑森林	1320	森鼠	16	M
10	20111017	369	226	森鼠	30	M
10	20111017	369	227	森鼠	24	M
10	20111017	369	801	森鼠	NA	M
10	20111017	369	228	森鼠	25	M
10	20111017	369	230	森鼠	18	M
10	20111017	369	231	森鼠	26	F
10	20111017	369	20111017-1F	森鼠	11	F
10	20111017	369	20111017-2F	森鼠	16	M
10	20111017	369	20111017-3F	森鼠	34.4	F
10	20111017	369	20111017-4F	森鼠	13	F
10	20111017	黑森林	1320	森鼠	16	M
10	20111018	黑森林	232	森鼠	-	F
10	20111018	東峰 5.2k	20111018-1S	長尾鼯	-	-
10	20111018	東峰 5.2k	20111018-2S	長尾鼯	-	-
10	20111018	東峰 5.2k	20111018-3M	高山田鼠	-	-
10	20111018	東峰 5.2k	233	高山田鼠	39	M
11	20111114	七卡	1011	森鼠	-	F

月份	日期	樣點	編號	物種	體重	性別
11	20111114	七卡	40	森鼠	-	-
11	20111114	七卡	無	森鼠	-	-
11	20111114	七卡	1030	高山白腹鼠	-	M
11	20111114	登山口	361	森鼠	-	F
11	20111114	登山口	1050	高山白腹鼠	74	M
11	20111114	登山口	736	森鼠	14.8	M
11	20111114	登山口	737	黑腹絨鼠	23.6	M
11	20111114	登山口	20111114-1S	短尾鼯	-	-
11	20111114	登山口	738	黑腹絨鼠	24	F
11	20111115	七卡	20111118-1B	黑腹絨鼠	18.3	M
11	20111115	七卡	300	高山白腹鼠	64	M
11	20111115	七卡	-	條紋松鼠	-	-
11	20111115	登山口	740	黑腹絨鼠	21.5	M
11	20111115	登山口	400	高山白腹鼠	97	M
11	20111115	登山口	741	森鼠	19	F
11	20111115	登山口	20111118-2S	短尾鼯	14.7	M
11	20111116	登山口	400	高山白腹鼠	97	M
11	20111116	3.6K	20111116-1F	森鼠	22.4	F
11	20111116	3.6K	744	高山白腹鼠	88	M
11	20111116	3.6K	743	黑腹絨鼠	20	M
11	20111116	3.6K	742	森鼠	25	M
11	20111116	3.6K	20111116-2B	黑腹絨鼠	21	M
11	20111116	登山口	608	黑腹絨鼠	NA	M
11	20111116	登山口	745	黑腹絨鼠	25.5	M
12	20111224	369	433	森鼠	30.4	F
12	20111224	369	20111224-1F	森鼠	18.3	M
12	20111224	369	20111224-2F	森鼠	18.4	M
12	20111224	369	746	森鼠	21	M
12	20111224	369	227	森鼠	-	M
12	20111224	369	747	森鼠	18	M
12	20111225	翠池	327	森鼠	17.5	M
12	20111226	翠池	750	森鼠	17.5	F
12	20111226	圈谷	20111226-1F	森鼠	18.5	M
12	20111226	圈谷	R001	高山田鼠	37	M
12	20111226	黑森林	232	森鼠	16.8	F
12	20111226	黑森林	20111226-2F	森鼠	17.4	F
12	20111226	黑森林	730	高山田鼠	41.6	M
12	20111227	東峰 5.2k	20111227-1S	長尾鼯	4.7	NA

月份	日期	樣點	編號	物種	體重	性別
12	20111227	東峰 5.2k	20111227-2F	森鼠	16	F
12	20111227	東峰 5.2k	20111227-3M	高山田鼠	37.8	M
12	20111227	東峰 5.2k	20111227-4M	高山田鼠	33.6	M
12	20111227	東峰 5.2k	233	高山田鼠	39.6	M
2	20120208	登山口	R008	黑腹絨鼠	20	F
2	20120208	登山口	R007	高山白腹鼠	61	M
2	20120209	七卡	R006	森鼠	25	M
2	20120209	七卡	R005	森鼠	16	F
2	20120209	七卡	R004	森鼠	19	M
2	20120209	七卡	R003	森鼠	19	M
2	20120209	七卡	20120209-1F	森鼠	17	F
2	20120209	七卡	20120209-2F	森鼠	15	M
2	20120209	登山口	741	森鼠	21	-
2	20120209	登山口	20120209-3B	黑腹絨鼠	23	-
2	20120209	登山口	R007	高山白腹鼠	59	M
2	20120209	登山口	361	森鼠	24	-
2	20120209	登山口	R002	森鼠	16	M
2	20120210	七卡	NA	森鼠	-	-
2	20120210	七卡	NA	高山白腹鼠	-	-
2	20120210	七卡	20120210-1S	長尾鼯	4	NA
2	20120210	3.6K	20120210-2B	黑腹絨鼠	20	-
2	20120210	3.6K	744	高山白腹鼠	-	-
2	20120209	3.6K	20120209-4F	森鼠	16	-
2	20120211	369	747	森鼠	20	M
2	20120211	369	20120211-1F	森鼠	19	-
2	20120212	369	226	森鼠	26	M
2	20120212	369	R010	森鼠	12	F
2	20120212	369	R020	森鼠	17.5	F
5	20120506	登山口	R011	森鼠	22	F
5	20120506	登山口	20120506-1B	黑腹絨鼠	19	F
5	20120506	登山口	608	黑腹絨鼠	22	F
5	20120506	登山口	NA	黑腹絨鼠	-	M
5	20120506	七卡	20120506-2F	森鼠	21	F
5	20120506	七卡	20120506-3F	森鼠	26	M
5	20120506	七卡	20120506-4F	森鼠	20	M
5	20120506	七卡	R012	森鼠	31	M
5	20120506	七卡	R013	森鼠	22	F
5	20120506	七卡	R014	森鼠	25	M

月份	日期	樣點	編號	物種	體重	性別
5	20120506	七卡	R015	森鼠	19	F
5	20120506	七卡	R016	高山白腹鼠	84	M
5	20120506	七卡	NA	森鼠	-	-
5	20120506	七卡	NA	森鼠	-	-
5	20120506	七卡	NA	森鼠	-	-
5	20120506	七卡	NA	高山白腹鼠	-	-
5	20120506	七卡	NA	高山白腹鼠	-	-
5	20120507	3.6K	R017	森鼠	23	F
5	20120507	3.6K	20120507-1F	森鼠	-	-
5	20120508	369	R018	森鼠	30	M
5	20120508	369	R021	森鼠	31	F
5	20120508	369	R020	森鼠	24	-
5	20120509	翠池	R022	森鼠	25	M
5	20120509	翠池	R023	森鼠	29	F
5	20120509	翠池	20120509-1S	長尾鼬	6	-
5	20120509	山頂	20120509-2F	森鼠	24	M
5	20120509	圈谷	731	高山田鼠	32	F
5	20120509	圈谷	R100	高山田鼠	47	F
5	20120509	圈谷	R024	森鼠	24	M
5	20120509	圈谷	R025	森鼠	19	F
5	20120509	黑森林	R026	森鼠	24	M
5	20120509	黑森林	20120509-3S	長尾鼬	6	NA
5	20120509	黑森林	20120509-4M	高山田鼠	40	F
5	20120510	東峰 5.2k	20120510-1S	長尾鼬	NA	NA
5	20120510	東峰 5.2k	20120510-2F	森鼠	-	-
5	20120510	東峰 5.2k	20120510-3M	高山田鼠	-	-
5	20120510	東峰 5.2k	20120510-4M	高山田鼠	-	-
5	20120510	東峰 5.2k	20120510-5M	高山田鼠	-	-
11	20121030	369	20121030-1F	森鼠	-	-
11	20121031	圈谷	20121031-1F	森鼠	-	-
11	20121101	東峰 5.2k	20121101-1M	高山田鼠	-	-
11	20121102	登山口	20121102-1B	黑腹絨鼠	-	-
*7	20120717	北稜角基點	-	小黃鼠狼	-	-
*7	20120721	雪山一號圈谷	-	小黃鼠狼 x2	-	-

—：無紀錄。

\*：為民眾回報的目擊資料。

(資料來源：本研究資料)

## 第九章 生態資料庫建構

邵廣昭

中央研究院生物多樣性研究中心

### 摘要

關鍵詞：達爾文核心欄位, Darwin Core, 生態調查資料

#### 一、研究緣起與背景

雪霸國家公園的生態調查資料，長久以來都缺乏有計畫的建檔保存，自 2005 年起，武陵地區的生態調查資料，開始數位化建檔保存並上網供查詢，本計畫將仿效武陵地區的生態調查資料數位化建檔保存的方式，並配合目前國科會、農委會漁業署、農委會林務局及農委會特生中心正在推動或執行的『台灣生物多樣性資料庫及資訊網』(TaiBNET 與 TaiBIF)、『漁業署海域生態資料庫』、及『東沙生態資源基礎調查研究計畫』等計畫所蒐集之資料，加以整合、數位化建檔及上網。

#### 二、研究方法及過程

雪山地區高山生態系整合調查計畫，所收集之原始生態調查資料，採用中央研究院生物多樣性研究中心設計的『簡便通用生態調查資料格式』，作為本計畫原始生態調查資料的格式。

所有的資料分別轉換成 XML 文件，以利後續的整合、保存及資料交換，並同步匯入中央研究生物多樣性中心的資料發佈站(Integrated Publishing Toolkit)，轉換成 Darwin Core Archive 格式(內含 Ecological Metadata Language 格式)，以利資料分析運用。

#### 三、重要發現

本年度迄今收集鳥類資料 1536 筆、昆蟲資料 11210 筆、氣象資料 44072 筆(每筆含 25 個測項)，累計收集植物、昆蟲、鳥類等物種調查資料共 39534 筆(涵蓋 2 界 9 門 14 綱 93 目 474 科 806 種生物物種)，氣候土壤等環境資料共 97348 筆(涵蓋 43 個測項)。

#### **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

為因應資料長期保存及國際資料交換的需求，調查資料應以國際通用的 XML 格式保存。

##### **(二)中長期建議**

主辦機關：雪霸國家公園管理處

目前國際上正在推行使用 IPT 整合生物多樣性原始調查資訊，未來應注意其發展，以適時跟上國際腳步。

## Abstract

**【Key Words】** Darwin Core, raw data, Ecological Investigation Data

The data formats for collecting raw data of the project “The high mountain ecosystem integration investigates for Snow mountainous area” adopts “the Convenient Ecological Investigation Data Format” designed by the Research Center for Biodiversity Academia Sinica on the basis of Darwin Core 2.0, the common formats in the worldwide, with some modifications for the requirement of chinese language we use.

For the need and the convenience to exchange data internationally, the data in the project are recorded in XML format which is also internationally adopted. In addition, to compensate the need for information searching and presentation, the relevant databases were established at the same time. Currently, partial raw investigation data has been preseved digitized and is availabe online

The project sponsors and data providers as well as the general public are welcomed to inquire and download the data as they need.

## 一、研究緣起與背景

「生物多樣性資訊學」中包括生態分佈資訊之資料，此等資料之搜集、建置與整合之理論，技術與實作又被歸為「生態資訊學」之範疇。生態分佈資料又包括標本採集或觀測（僅做紀錄並未採集標本）兩類不同的時間與空間的分佈資料，也是生物學領域中探討生物地理分佈、擴散、群聚或生態系變遷之機制、陸域與海域環境影響評估、資源或生態之保育、利用、經營管理等等非常重要之基本資料。台灣之生態調查研究計畫甚多，每年政府所投入之調查經費龐大，但因過去缺乏各機關、各領域或各資料庫間之橫向聯絡與整合，故各資料庫建置之方式、設定之欄位格式、所使用之 GIS 或資料庫管理系統及資料公開之程度等亦多不一致，以致於目前國內之生態分佈資料庫仍多屬各自為政之狀態，所造成資源之重疊浪費、資料之散失及未來整合之困難度將日益嚴重。

雪霸國家公園的生態調查資料，長久以來都缺乏有計畫的建檔保存，自 2005 年起，武陵地區的生態調查資料，開始數位化建檔保存並上網供查詢，本計畫將仿效武陵地區的生態調查資料數位化建檔保存的方式，並配合目前國科會、農委會漁業署、農委會林務局及農委會特生中心正在推動或執行的『台灣生物多樣性資料庫及資訊網』(TaiBNET 與 TaiBIF)、『漁業署海域生態資料庫』、及『東沙生態資源基礎調查研究計畫』等計畫所蒐集之資料，加以整合、數位化建檔及上網，此亦為行政院『生物多樣性推動方案』中所要求達成的，整合全國生物多樣性資訊的首要任務。

## 二、材料及方法

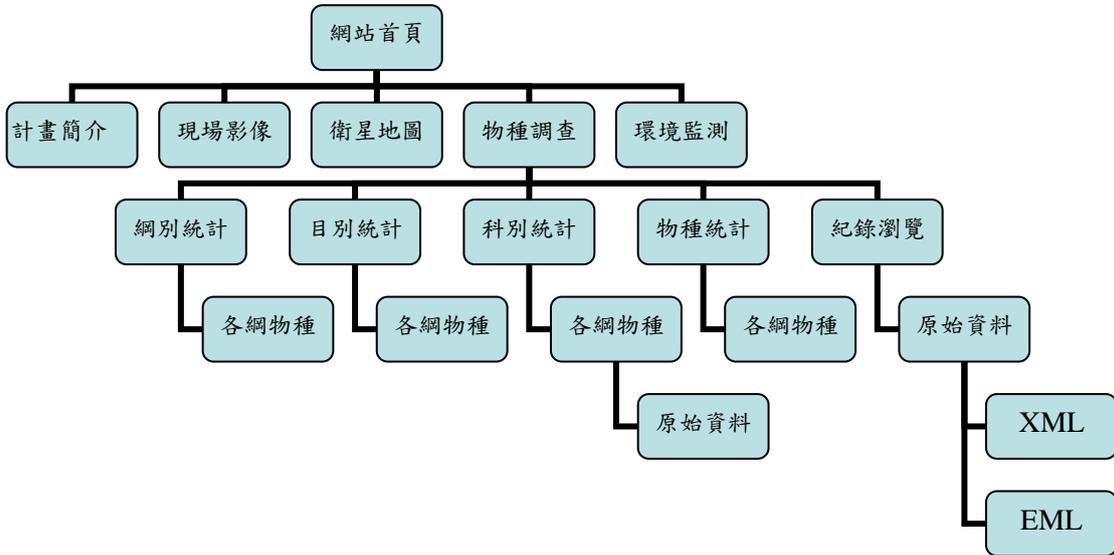
雪山地區高山生態系整合調查計畫，所收集之原始生態調查資料，包括微氣候資料、集水區環境資料、土壤資料、植物調查資料、鳥類調查資料、昆蟲調查資料以及火燒區生態資料，涵蓋多種生物類別及多種資料型態，經過各類別的研究人員討論後，決定採用農委會漁業署於 2005 頒佈的『簡便生態調查資料格式』，作為本計畫原始生態調查資料的格式，農委會漁業署及經濟部環保署已於 2005 年起推行於漁業署及環保署所委辦的各個生態研究計畫，作為共通的生態調查資料格式。

『簡便生態調查資料格式』為中央研究院生物多樣性研究中心所設計，主要以國際通用的達爾文核心欄位(Darwin Core 2.0)及 ABCD Schema 為基礎，並配合中文資料的需求，作適度的修改，該資料格式提供多種資料提供方法及介面，包括 Excel, Access, XML, 及網路線上輸入等方法，供生態調查者選擇使用，目前絕大多數的生態調查者都採用 Excel 格式提供資料，再由資訊人員負責後端資訊格式的轉換工作。

為因應國際資料交換的需求，本計畫收集的資料，主要以國際通用的 XML 格式為主，此外為配合網站資料查詢及資料呈現的需求，也同步建立關聯式資料庫，供一般使用者使用，並同步匯入中央研究生物多樣性中心的資料發佈站(Integrated Publishing Toolkit)，轉換成 Darwin Core Archive 格式(內含 Ecological Metadata Language 格式)，以利資料分析運用。

### 三、結果

1. 網站架構如下：



2. 使用 Google Map 為底圖，並自行建立測站及相關圖資，提供基本 GIS 查詢功能，詳如附圖 10-1 至 10-3。

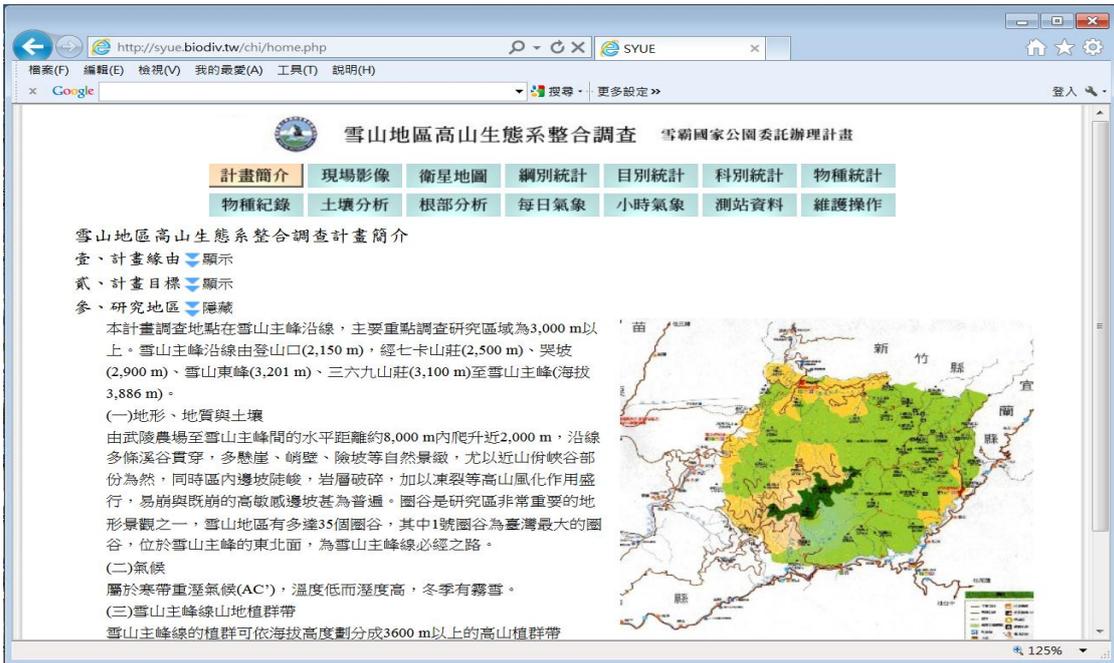


圖 10-1. 計畫簡介。

(資料來源：本研究資料)

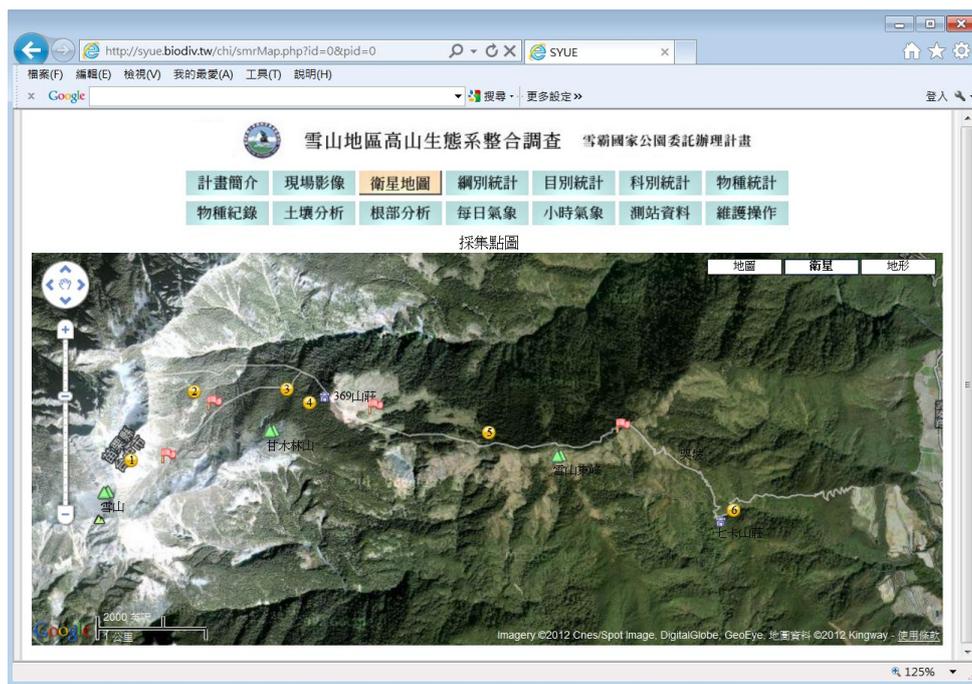


圖 10-2. 雪山地圖圖資(含 6 個測站、三個氣象站及相關圖資)。  
(資料來源：本研究資料)

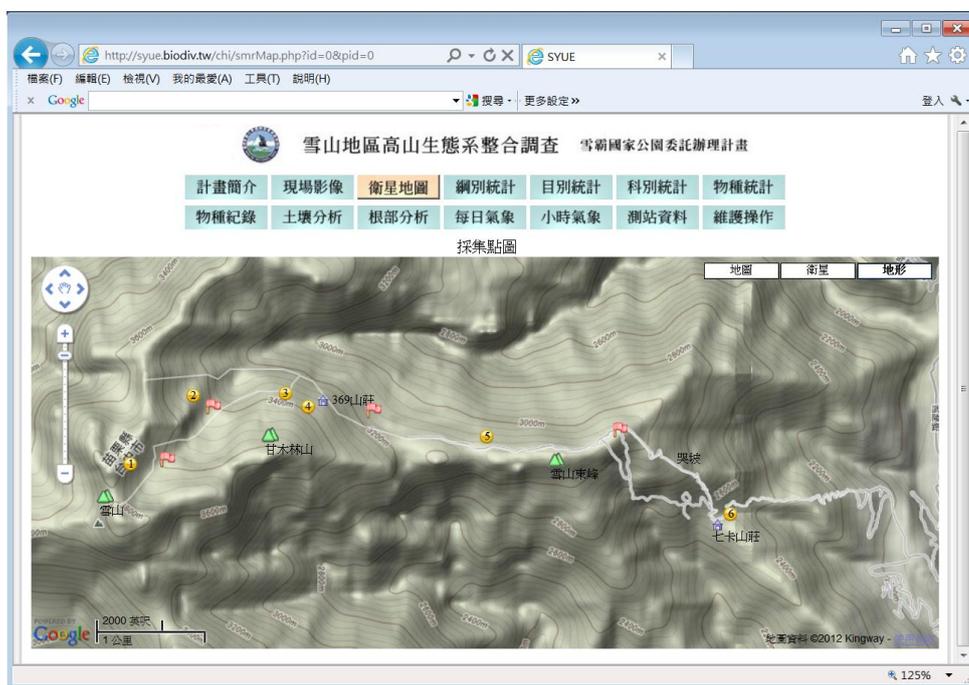


圖 10-3. 雪山地形圖(含 6 個測站、三個氣象站及相關圖資)。  
(資料來源：本研究資料)

3. 本年度迄今收集鳥類資料 1536 筆、昆蟲資料 11210 筆、氣象資料 44072 筆(每筆含 25 個測項)，累計收集植物、昆蟲、鳥類等物種調查資料共 39534 筆(涵蓋 2 界 9 門 14 綱 93 目 474 科 806 種生物物種)，氣候土壤等環境資料共 97348 筆(涵蓋 43 個測項)。如附圖 5,6,7,8,9,10。

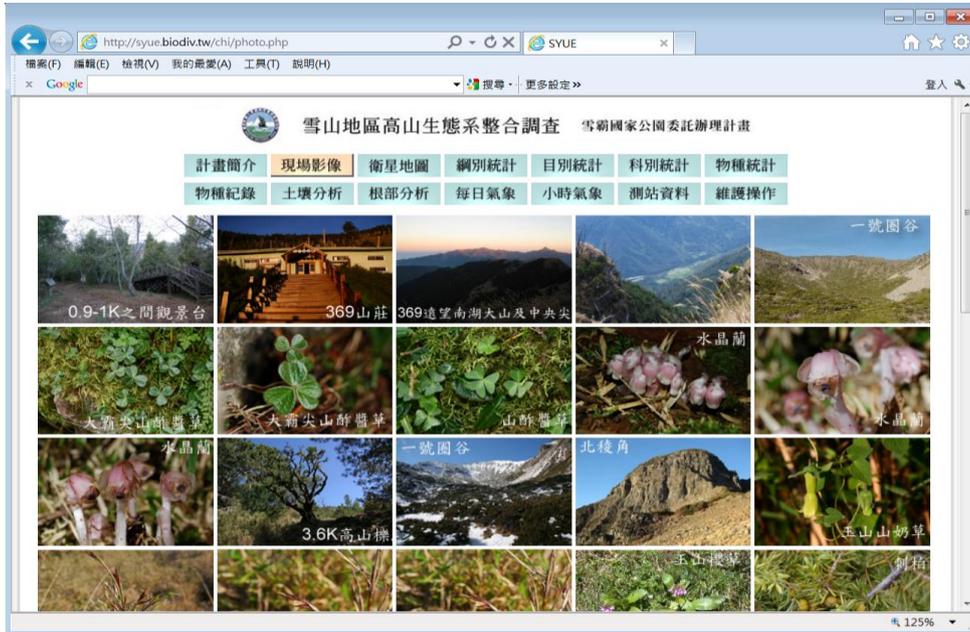


圖 10-4. 現場影像(調查現場照片)。  
(資料來源：本研究資料)

界	門名	門中文名	綱名	綱中文名	目名	目中文名	筆數
植物界	Marchantiophyta	地錢門	Jungermanniosida	葉蘚綱	Metzgeriales		1
植物界	Marchantiophyta	地錢門	Jungermanniosida	葉蘚綱	Porellales		1
植物界	Marchantiophyta	地錢門	Jungermanniosida	葉蘚綱	Marchantiales		1
植物界	Marchantiophyta	地錢門	Jungermanniosida	葉蘚綱	Jungermanniales	葉蘚目	9
植物界	Magnoliophyta	木蘭植物門	Magnoliopsida	木蘭綱	Lamiales	唇形目	10
植物界	Magnoliophyta	木蘭植物門	Magnoliopsida	木蘭綱	Primulales	報春花目	4
植物界	Magnoliophyta	木蘭植物門	Magnoliopsida	木蘭綱	Ericales	杜鵑花目	229
植物界	Magnoliophyta	木蘭植物門	Magnoliopsida	木蘭綱	Ebenales	柿樹目	3
植物界	Magnoliophyta	木蘭植物門	Magnoliopsida	木蘭綱	Myrtales	桃金娘目	11
植物界	Magnoliophyta	木蘭植物門	Magnoliopsida	木蘭綱	Campanulales	桔梗目	36
植物界	Magnoliophyta	木蘭植物門	Magnoliopsida	木蘭綱	Salicales	楊柳目	2
植物界	Magnoliophyta	木蘭植物門	Magnoliopsida	木蘭綱	Santalales	檀香目	2
植物界	Magnoliophyta	木蘭植物門	Magnoliopsida	木蘭綱	Fagales	殼斗目	2
植物界	Magnoliophyta	木蘭植物門	Magnoliopsida	木蘭綱	Ranunculales	毛茛目	26
植物界	Magnoliophyta	木蘭植物門	Magnoliopsida	木蘭綱	Geraniales	牻牛兒苗目	10

圖 10-5. 調查生物目別統計。  
(資料來源：本研究資料)

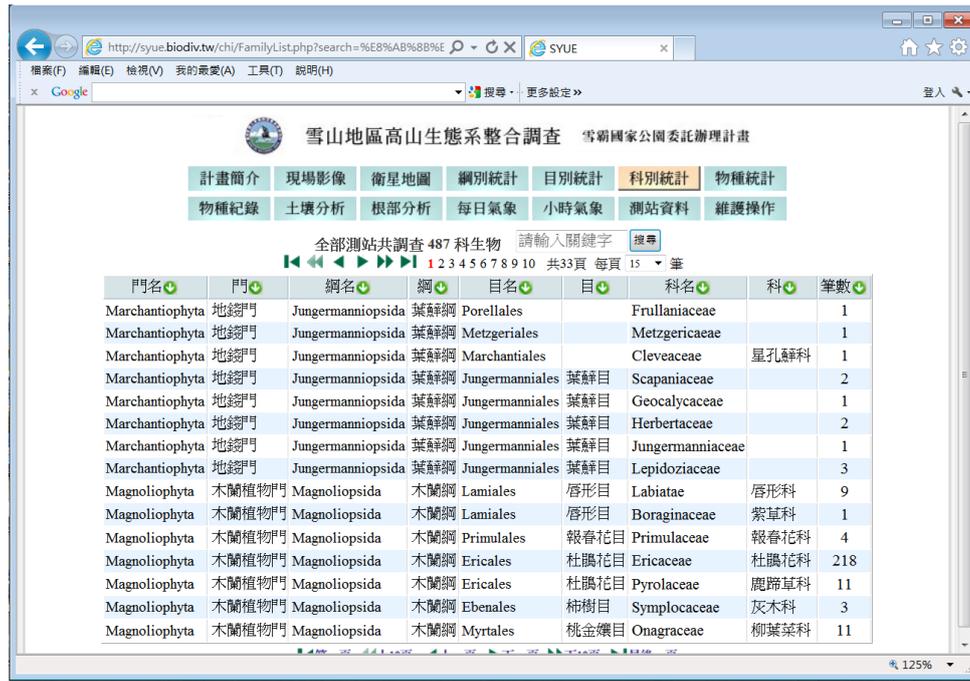


圖 10-6. 調查生物科別統計。  
(資料來源：本研究資料)



圖 10-7. 調查生物物種統計。  
(資料來源：本研究資料)

雪山地區高山生態系長期生態調查研究

圖 10-8. 全部調查物種紀錄。

(資料來源：本研究資料)

圖 10-9. 每日氣象調查紀錄。

(資料來源：本研究資料)

雪山地區高山生態系整合調查 雪霸國家公園委託辦理計畫

計畫簡介 現場影像 衛星地圖 綱別統計 目別統計 科別統計 物種統計  
 物種紀錄 土壤分析 根部分析 每日氣象 小時氣象 測站資料 維護操作

生物物種調查紀錄 測站 開頭 搜尋 共 308 筆

測站	緯度	經度	誤差	地名	最高海拔	最低海拔	地點描述	x	y	備註
1	24.38822	121.23289	50	圓谷底	3558	3558	植被：玉山杜鵑、玉山圓柏矮生	273623	2698038	
2	24.3940	121.23864	50	黑森林9K水源附近	3401	3401	上植被：玉山圓柏、臺灣冷杉交	274205	2698679	
3	24.39416	121.24709	50	黑森林7.8K步道上	3352	3352	上植被：臺灣冷杉純林。下植被：	275062	2698699	
4	24.39307	121.24915	50	369山莊上方火燒跡地			植被：玉山箭竹、高山芒草生	275271	2698578	
5	24.39057	121.26554	50	雪山東峰後玉山箭竹草地			植被：玉山箭竹、高山芒草生	276934	2698305	
6	24.38361	121.28778	50	七卡山莊旁針闊混合林			上植被：臺灣鐵杉、雲葉、漸尖	279192	2697538	
101	24.38843	121.23652	10	氣象測站1(圓谷)	3584	3584	植被：玉山杜鵑、玉山圓柏矮生	273961	2698080	2009/9/2
102	24.39204	121.24086	10	氣象測站2(黑森林)	3405	3405	上植被：玉山圓柏、臺灣冷杉交	274386	2698560	2009/9/2
103	24.3916	121.25543	10	氣象測站3(三六九)	3142	3142	上植被：臺灣冷杉純林。下植被：	275879	2698536	2009/9/2
104	24.39048	121.27829	10	氣象測站4(突破頂)	3100	3100	植被：玉山箭竹、高山芒草生	278180	2698351	2009/9/2
301	24.38890	121.23720	12	圓谷底_1	3563.3	3563.3	9.5k	274060	2698114	
302	24.38889	121.23721	10	圓谷底_2	3563.8	3563.8	9.5k	274061	2698113	
303	24.39252	121.24199	10	黑森林_1	3382.3	3382.3	8.9k	274545	2698516	
304	24.39254	121.24197	12	黑森林_2	3381.7	3381.7	8.9k	274543	2698518	
305	24.39215	121.25471	13	369山莊上方火燒跡地_1	3158.8	3158.8	7.1k	275836	2698477	
306	24.39214	121.25470	11	369山莊上方火燒跡地_2	3159.6	3159.6	7.1k	275835	2698476	
307	24.38346 N	121.28635	11	七卡山莊旁針闊混合林_1	2528.1	2528.1	1.9k	279047	2697521	
308	24.38345	121.28636	12	七卡山莊旁針闊混合林_2	2528.3	2528.3	1.9k	279048	2697520	
309	24.39061	121.27798	14	突破_1	3135	3135	4.4k	278196	2698311	

圖 10-10. 測站(採集點)資料。

(資料來源：本研究資料)

#### 四、討論

- (一)由於本計畫尚在初始階段，未來仍須針對各子計畫的特殊需求，適度修改資料格式，以克服資料匯入時可能遭遇的困難。
- (二)Google Map 提供的雪山衛星影像，其解析度，是否足敷各子計畫的使用需求，尚待使用後進一步討論。

## 五、結論與建議

### (一)結論

由於本計畫尚在初始階段，未來仍須針對各子計畫的特殊需求，適度修改資料格式，以克服資料匯入時可能遭遇的困難。而 Google Map 提供的雪山衛星影像，其解析度，是否足敷各子計畫的使用需求，尚待使用後進一步討論。

### (二)建議

#### 1.立即可行建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：中央研究院

建議事項：

本計畫收集的原始生態調查資料，將以 XML 及資料庫兩種格式燒錄至光碟，提供委辦單位雪霸國家管理處永久保存，或整合入管理處的網頁上，此外，亦可與國家生物多樣性入口網 TaiBIF 整合，使用者也可以使用 TaiBIF 網站提供的 GIS 系統，依地點查詢到本計畫各測站的物種，也可以由物種學名，依物種查詢該物種的分佈地點(保留敏感性保育類物種之分佈資料)。

#### 2.中長期建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：中央研究院

建議事項：

後續的調查計畫，將持續增補資料，以發揮建置此網站及資料的目的，亦可提供解說教育及分區規劃、經營管理之用。目前國際上正在推行生物多樣性資訊全球唯一識別碼(LSID)，目前雖尚未被普遍接受，未來仍應注意其發展，必要時得適時跟上國際腳步。

## 六、參考文獻

- 邵廣昭、彭鏡毅、賴昆祺、林永昌、李瀚、陳欣瑜、楊杰倫(2006)台灣生物多樣性資料庫及資訊網之整合，兩岸生物科技智慧財產權及微生物資源保護研討會。台灣大學。
- 邵廣昭、賴昆祺、林永昌、柯智仁、陳麗西、李瀚、林欣樺(2008)數位典藏計畫中生物多樣性資料之整合，昆蟲與蝸埤標本資源之管理與應用研討會專刊，國立自然科學博物館、台灣昆蟲學會(5/9-10)，國立自然科學博物館。
- Shao, K. T., S. C. Huang, S. Chen, Y. C. Lin, K. C. Lai, Burke C. J. Ko, L. S. Chen and Alan J. Yang.(2008)Establishing a Taiwan Biodiversity Information Network and Its Integration with Germplasm Databanks. APEC-ATCWG Workshop, Risk Management systems on Genetic Resources.
- Shao, K.T. C.I. Peng, K.C. Lai, Y.C. Lin, H.W. Yen, H. Lee, A.J. Yang, H.H. Wu, S.Y. Chen(2006)Integration of Biodiversity Database in Taiwan and Linkage to Global Database.
- Shao K. T., L. Jack, W. C-H, Yeh H-M, Cheng T-Y(2012)A dataset from bottom trawl survey around Taiwan. ZooKeys @@: @-@. doi: 10.3897/zookeys.@@.3032