

雪山地區高山生態系整合調查

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：呂金誠、歐辰雄

協同主持人：王秋美、王志強、邵廣昭、林博雄、林昭遠、孫元勳、
曾彥學、曾喜育、葉文斌、蔡尚惠、賴國祥、顏江河、
魏聰輝(按姓氏筆劃排列)

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

行政院農業委員會特有生物研究保育中心

國立自然科學博物館植物學組

國立中興大學水土保持學系

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研究所

國立澎湖科技大學觀光休閒學系

環球技術學院環境資源管理學系

中華民國九十八年十二月

目次

表次.....	VI
圖次.....	VIII
附錄.....	X

整合型計畫項目.....	1
一、計畫緣由.....	2
二、計畫目標.....	13
(一)高山微氣象與熱量收支之研究.....	14
(二)集水區環境資料之建置與應用研究.....	14
(三)土壤性質研究.....	15
(四)維管束植物植相研究.....	15
(五)鳥類群聚與生態研究.....	15
(六)昆蟲多樣性及功能群研究.....	15
(七)植群生態研究.....	16
(八)火燒生態動態研究.....	16
(九)建置雪山生態系資料庫.....	17
三、長期監測樣區資料整合分析討論.....	18
四、調查研究工作協調.....	27

第一章 高山微氣象與熱量收之研究

中文摘要.....	1-1
英文摘要.....	1-3
一、研究緣起與背景.....	1-4
二、研究設計.....	1-4
(一)研究地點.....	1-4
(二)研究方法.....	1-5
三、結果.....	1-6
(一)氣象站站址勘查與觀測項目.....	1-6
(二)势能日射量之推估.....	1-11
(三)高山微氣象與熱量收支.....	1-13
四、討論.....	1-28
(一)氣象站站址勘查與觀測項目.....	1-28
(二)势能日射量之推估.....	1-31
(三)高山微氣象與熱量收支.....	1-31

五、結論與建議.....	1-36
六、參考文獻.....	1-37

第二章 集水區環境資料建置及應用

中文摘要.....	2-1
英文摘要.....	2-2
一、研究緣起與背景.....	2-3
二、研究設計.....	2-3
(一)研究地點.....	2-4
(二)研究項目與方法.....	2-6
三、結果.....	2-31
(一)氣象資料建置.....	2-31
(二)集水區地文水文資訊萃取.....	2-34
(三)集水區土砂量估算.....	2-36
(四)緩衝帶配置分析.....	2-42
(五)集水區碳存量分析.....	2-45
(六)圈谷地區植群綠覆穩定性分析.....	2-49
(七)圈谷地區航拍照片立體圖製作.....	2-51
(八)集水區碳儲存與綠劣率分析.....	2-53
(九)綠劣區位分析.....	2-54
(十)集水區地形指標萃取.....	2-59
四、討論.....	2-61
五、結論與建議.....	2-65
六、參考文獻.....	2-65

第三章 高山地區土壤性質研究

中文摘要.....	3-1
英文摘要.....	3-2
一、研究緣起與背景.....	3-3
二、研究設計.....	3-4
(一)研究地點.....	3-4
(二)分析方法.....	3-6
三、結果.....	3-10
四、討論.....	3-18
五、結論與建議.....	3-19
六、參考文獻.....	3-20

第四章 維管束植物調查及植相研究

中文摘要.....	4-1
英文摘要.....	4-3
一、研究緣起與背景.....	4-4
二、材料與方法.....	4-5
(一)研究地區.....	4-5
(二)樣線及樣區設置.....	4-5
(三)植物資源調查.....	4-5
(四)資料處理與分析.....	4-7
三、結果.....	4-8
四、討論.....	4-15
(一)雪霸國家公園植物資源.....	4-15
(二)高山生態系環境及植物特性.....	4-16
五、結論與建議.....	4-17
六、參考文獻.....	4-18

第五章 鳥類群聚與生態研究

中文摘要.....	5-1
英文摘要.....	5-2
一、研究緣起與背景.....	5-3
二、研究背景.....	5-4
三、研究地區及方法.....	5-4
四、結果.....	5-7
五、討論.....	5-14
六、建議.....	5-17
七、參考文獻.....	5-18
附錄.....	5-20

第六章 高山昆蟲多樣性及功能群研究

中文摘要.....	6-1
英文摘要.....	6-2
一、研究緣起與背景.....	6-4
二、材料與方法.....	6-6
(一)採集及調查方法.....	6-6
(二)樣本處理保存及管理.....	6-7

(三)樣本處理及鑑定流程.....	6-7
(四)分析方法.....	6-7
三、結果.....	6-8
(一)雪山高海拔地區掃網之昆蟲組成.....	6-8
(二)雪山高海拔地區枯枝落葉之昆蟲組成.....	6-11
(三)各樣區植物上昆蟲食物鍊相(科級):科的數量 vs.形態種的數量.....	6-14
(四)各樣區各科優勢昆蟲特性.....	6-15
四、討論.....	6-20
(一)各樣區之間昆蟲數量及昆蟲組成變異.....	6-20
(二)同海拔樣區內不同植物上之昆蟲組成.....	6-21
(三)不同樣區間同植物特性的昆蟲組成.....	6-22
(四)火燒地昆蟲組成.....	6-22
(五)各樣區昆蟲食物鍊之變化.....	6-22
五、結論與建議.....	6-23
六、參考文獻.....	6-24

第七章 植群生態研究與長期監測樣區設置

中文摘要.....	7-1
英文摘要.....	7-2
一、研究緣起與背景.....	7-4
二、前人研究.....	7-5
(一)臺灣山地植群之研究.....	7-5
(二)物種多樣性梯度變化.....	7-8
三、研究方法.....	7-10
(一)文獻與資料之蒐集.....	7-10
(二)永久樣區設置與調查.....	7-10
(三)環境因子之觀測與評估.....	7-11
(四)植群調查-臨時樣區.....	7-13
(五)資料分析.....	7-14
四、結果與討論.....	7-18
(一)長期監測樣區植物社會.....	7-18
(二)雪山主峰線植物社會分類.....	7-21
(三)森林植物社會之族群結構.....	7-28
(四)植物社會與環境之關係.....	7-29
(五)植物社會生活型譜.....	7-35
(六)雪山主峰線沿線植群之物種多樣性.....	7-38
五、結論與建議.....	7-43

六、參考文獻.....	7-44
-------------	------

第八章 火燒生態動態研究

中文摘要.....	8-1
英文摘要.....	8-1
一、研究緣起與背景.....	8-2
二、前人研究.....	8-2
三、材料與方法.....	8-3
(一)樣區設置.....	8-3
(二)資料分析.....	8-6
四、初步結果.....	8-6
五、討論.....	8-10
六、結論與建議.....	8-11
七、參考文獻.....	8-12

第九章 生態資料庫建構

中文摘要.....	9-1
英文摘要.....	9-1
一、研究緣起與背景.....	9-3
二、材料與方法.....	9-3
三、結果.....	9-5
四、討論與結論.....	9-6
五、研究成果與建議與建議.....	9-6
六、參考文獻.....	9-6

表次

表 0-1	雪山高山生態系長期監測樣區之土壤環境參數 Pearson 相關分析.....	19
表 0-2	雪山高山生態系長期監測樣區之環境因子 Pearson 相關分析.....	19
表 0-3	雪山高山生態系長期監測樣區主要植物組成與環境因子之 CCA 分析各排序軸特徵值、變異解釋率及累積變異解釋率.....	20
表 0-4	雪山高山生態系長期監測樣區主要地被層植物組成排序前三軸與環境因子之相關分析表.....	21
表 0-5	雪山高山生態系長期監測樣區主要昆蟲出現與環境因子之 CCA 分析各排序軸特徵值、變異解釋率及累積變異解釋率.....	21
表 0-6	雪山高山生態系長期監測樣區主要昆蟲相組成排序前三軸與環境因子之相關分析表.....	21
表 0-7	雪山高山生態系長期監測樣區主要鳥類出現與環境因子之 CCA 分析各排序軸特徵值、變異解釋率及累積變異解釋率.....	23
表 0-8	雪山高山生態系長期監測樣區鳥類資料排序前三軸與環境因子相關分析表.....	23
表 0-9	雪山高山生態系長期監測樣區主要昆蟲出現種類 CA 排序後與地被層組成進行排序之前三軸特徵根、變異解釋率與累積變異解釋率.....	24
表 0-10	雪山高山生態系長期監測樣區主要鳥類出現種類 CA 排序後與地被層組成進行排序前三軸特徵根、變異解釋率與累積變異解釋率.....	26
表 0-11	雪山高山生態系長期監測樣區主要鳥類出現種類 CA 排序後與昆蟲組成進行排序之前三軸特徵根、變異解釋率與累積變異解釋率.....	27
表 1-1	雪山地區樣區地理位置一覽表.....	1-5
表 1-2	雪山地區高山生態系整合調查氣象站站址勘查評估表.....	1-7
表 1-3	雪山地區高山生態系整合調查樣區氣象參數觀測項目表.....	1-11
表 1-4	合歡山小風口氣象站各分量配分熱量收支逐月統計值.....	1-27
表 1-5	玉山氣象站各分量配分熱量收支逐月統計值.....	1-27
表 1-6	雪山地區氣象站各分量配分熱量收支逐月統計值.....	1-28
表 2-1	基本圖資.....	2-6
表 2-2	工作項目分析表.....	2-7
表 2-3	集水區地文水文因子分析項目.....	2-9
表 2-4	Rf 值之汙染潛勢劃分等級.....	2-19
表 2-5	AF 值之汙染潛勢劃分等級.....	2-20
表 2-6	不同植物群落平均碳儲存量統計表.....	2-22
表 2-7	溫室氣體減量效益評估指標彙整表.....	2-29
表 2-8	AGNPS 模式演算法.....	2-31
表 2-9	雨量站及氣象站概況一覽表.....	2-32

表 2-10 集水區地文水文資訊.....	2-34
表 2-11 年平均及各分析事件雨量.....	2-37
表 2-12 集水區年坡面泥沙產量.....	2-37
表 2-13 單場降雨對分析區位之坡面泥沙產量.....	2-38
表 2-14 集水區崩塌地體積.....	2-39
表 2-15 集水區各期崩塌對分析區位之泥沙產量.....	2-40
表 2-16 單場暴雨之河道輸砂量.....	2-41
表 2-17 柯羅莎颱風後未輸出土砂量.....	2-41
表 2-18 各集水分區農地與緩衝帶所佔面積.....	2-44
表 2-19 研究範圍碳存量統計表.....	2-47
表 2-20 研究範圍植物群落變遷統計表.....	2-47
表 2-21 各集水區碳存量增加及減少區位所佔面積.....	2-48
表 2-22 集水區碳儲存量與綠劣率.....	2-52
表 2-23 集水區綠劣率差值及分類.....	2-57
表 2-24 標準化典型區別函數係數.....	2-57
表 2-25 典型區別分析正確率.....	2-58
表 2-26 地形指標相關性分析.....	2-64
表 3-1 雪山主峰線各採樣點不同土深之土壤容積、土壤含石率及含根量.....	3-10
表 3-2 雪山主峰線各採樣點枯落物層含量(kg/m ²).....	3-18
表 4-1 臺灣主要標本館典藏有關雪山主峰線標本採集資料收集表.....	4-8
表 4-2 雪山主峰線維管束植物依分類屬性分析表.....	4-9
表 4-3 雪山主峰線維管束植物不同屬性分析表.....	4-10
表 4-4 雪山主峰線維管束植物之特有性分析表.....	4-10
表 5-1 玉山杜鵑-圓柏灌叢生態系各月分組成鳥種和密度(隻/ha).....	5-8
表 5-2 冷杉林生態系各月分組成鳥種和密度(隻/ha).....	5-8
表 5-3 箭竹-高山芒生態系各月分組成鳥種和密度(隻/ha).....	5-9
表 5-4 火災跡地生態系各月分組成鳥種和密度(隻/ha).....	5-10
表 5-5 推移帶生態系各月分組成鳥種和密度(隻/ha).....	5-10
表 5-6 針闊葉混合林生態系各月分組成鳥種和密度(隻/ha).....	5-11
表 5-7 各生態系繫放的鳥種與數量.....	5-12
表 6-1 高海拔各樣區植物上掃網所得昆蟲之形態種數與數量變化表.....	6-26
表 6-2 圈谷(SPA-1)樣區不同植物掃網之昆蟲組成.....	6-26
表 6-3 黑森林(SPA-2)樣區不同植物掃網之昆蟲組成.....	6-27
表 6-4 火燒地(SPA-4)樣區不同植物掃網之昆蟲組成.....	6-27

表 6-5 雪山地區高海拔各樣區 2-6 月植物上昆蟲食物鏈相組成.....	6-28
表 7-1 雪山主峰沿線海拔植群帶之分布.....	7-5
表 7-2 雪山高山生態系整合調查共同研究之永久樣區屬性資料表.....	7-19
表 7-3 雪山主峰線高山生態系各樣區 DCA 前三軸之軸長、特徵根、變異解釋率及累積變異解釋率統計表.....	7-31
表 7-4 雪山主峰線高山生態系各樣區 DCA 前三軸排序值與環境因子之相關表.....	7-32
表 7-5 雪山主峰線高山生態系各樣區樣區環境相關性矩陣表.....	7-32
表 7-6 雪山主峰線高山生態系各樣區環境因子與 CCA 前三軸相關性及演算分數表...	7-33
表 7-7 雪山主峰線高山生態系各樣區 CCA 前三軸相關統計表.....	7-33
表 7-8 雪山主峰線植物社會之生活型譜比較.....	7-35
表 7-9 雪山主峰線高山生態系各樣區喬木層之物種多樣性簡表.....	7-39
表 7-10 雪山主峰線高山生態系各樣區地被層之物種多樣性簡表.....	7-40
表 8-1 調查樣區總覆蓋度及物種數變化情形.....	8-7
表 8-2 調查樣區各時期重要值指數(IVI)前 5 名之物種.....	8-8
表 8-3 調查樣區各時期覆蓋度前 5 名之物種.....	8-8

圖次

圖 0-1	雪山主峰線長期監測樣區、主要地被層植物與環境因子之 CCA 雙序圖.....	20
圖 0-2	雪山主峰線長期監測樣區、主要昆蟲出現種類與環境因子之 CCA 雙序圖.....	22
圖 0-3	雪山主峰線長期監測樣區、主要鳥類出現種類與環境因子之 CCA 雙序圖.....	23
圖 0-4	雪山主峰線長期監測樣區主要昆蟲出現種類 CA 排序與主要地被植物組成之雙序圖.....	24
圖 0-5	雪山主峰線長期監測樣區主要鳥類出現種類 CA 排序與主要地被植物組成之雙序圖.....	25
圖 0-6	雪山主峰線長期監測樣區主要鳥類出現種類 CA 排序與主要昆蟲組成之雙序圖..	27
圖 1-1	雪山地區高山生態系整合調查氣象站站址勘查位置圖.....	1-8
圖 1-2	哭坡頂樣區全年勢能日射量分布圖.....	1-12
圖 1-3	三六九山莊(林火跡地)樣區全年勢能日射量分布圖.....	1-12
圖 1-4	黑森林樣區全年勢能日射量分布圖.....	1-12
圖 1-5	圈谷樣區全年勢能日射量分布圖.....	1-12
圖 1-6	雪山主峰樣區全年勢能日射量分布圖.....	1-12
圖 1-7	氣象站站址勘查地點之勢能日射量全年逐日分布.....	1-13
圖 1-8	小風口氣象站、合歡山氣象站與雪山主稜線相關位置圖.....	1-15
圖 1-9	塔塔加生態系草原區氣象站日射量與光合作用有效輻射量相關分析.....	1-15
圖 1-10	雪山地區四處氣象站日平均氣溫逐日分布圖.....	1-16
圖 1-11	雪山地區四處氣象站日平均相對濕度逐日分布圖.....	1-16
圖 1-12	雪山地區三處氣象站日雨量逐日分布圖.....	1-17
圖 1-13	雪山地區四處氣象站日射量逐日分布圖.....	1-17
圖 1-14	圈谷氣象站 9 月至 11 月份平均風速逐時分布圖.....	1-18
圖 1-15	黑森林氣象站 9 月至 11 月份平均風速分布圖.....	1-18
圖 1-16	三六九氣象站 9 月至 11 月份平均風速逐時分布圖.....	1-19
圖 1-17	哭坡頂氣象站 9 月至 10 月份平均風速逐時分布圖.....	1-19
圖 1-18	圈谷氣象站 9 月至 11 月份最大風速逐時分布圖.....	1-20
圖 1-19	黑森林氣象站 9 月至 11 月份最大風速分布圖.....	1-20
圖 1-20	三六九氣象站 9 月至 11 月份最大風速逐時分布圖.....	1-21
圖 1-21	哭坡頂氣象站 9 月至 10 月份最大風速逐時分布圖.....	1-21
圖 1-22	圈谷氣象站風花圖.....	1-22
圖 1-23	三六九氣象站風花圖.....	1-22
圖 1-24	合歡山小風口氣象站各分量配分熱量收支逐日分布圖.....	1-23
圖 1-25	玉山氣象站各分量配分熱量收支逐日分布圖.....	1-23
圖 1-26	圈谷氣象站各分量配分熱量收支逐日分布圖.....	1-24
圖 1-27	黑森林氣象站各分量配分熱量收支逐日分布圖.....	1-24

圖 1-28 三六九氣象站各分量配分熱量收支逐日分布圖.....	1-25
圖 1-29 哭坡頂氣象站各分量配分熱量收支逐日分布圖.....	1-25
圖 1-30 臺灣中部高山地區氣象站熱量收支比率圖.....	1-26
圖 2-1 研究流程圖.....	2-4
圖 2-2 研究範圍.....	2-5
圖 2-3 河川級序 1 之集水分區.....	2-5
圖 2-4 研究範圍集水區年平均降雨沖蝕指數分布圖.....	2-10
圖 2-5 研究範圍集水區年平均土壤沖蝕指數分布圖.....	2-11
圖 2-6 研究範圍 C 值分布.....	2-13
圖 2-7 集水區坡面泥沙遞移率示意圖.....	2-14
圖 2-8 集水區崩塌地泥沙遞移量示意圖.....	2-15
圖 2-9 安全土深求算流程.....	2-22
圖 2-10 3×3 網格資料格式平面示意圖.....	2-24
圖 2-11 圓形視窗之網格示意圖.....	2-25
圖 2-12 雨量站及氣象站分析.....	2-32
圖 2-13 雪霸國家公園年平均降雨分布圖.....	2-33
圖 2-14 憶年橋集水區年平均降雨分布圖.....	2-34
圖 2-15 研究區域崩塌地分布圖.....	2-39
圖 2-16 研究範圍支流集水區沖淤圖.....	2-42
圖 2-17 憶年橋集水區農地分布.....	2-43
圖 2-18 集水區緩衝帶推估區位.....	2-43
圖 2-19 農地未配置緩衝帶之區位分布.....	2-44
圖 2-20 集水分區與坡面之農地面積.....	2-45
圖 2-21 集水分區與坡面未配置緩衝帶面積.....	2-45
圖 2-22 研究範圍植物群落分布圖(2001).....	2-46
圖 2-23 研究範圍植物落分布圖(2008).....	2-46
圖 2-24 研究範圍碳存量變遷區位圖.....	2-47
圖 2-25 集水分區與坡面碳存量減少之區位分布.....	2-48
圖 2-26 集水分區與坡面碳存量減少之區位面積百分比.....	2-48
圖 2-27 集水分區與坡面碳存量增加之區位分布.....	2-49
圖 2-28 集水分區與坡面碳存量增加之區位面積百分比.....	2-49
圖 2-29 圈谷地區旱季(左)、濕季(右)衛星影像.....	2-50
圖 2-30 圈谷地區旱季(左)、濕季(右)綠劣率分布圖.....	2-50
圖 2-31 影像初步分類.....	2-50
圖 2-32 影像分類成果.....	2-51
圖 2-33 桃山西溪上游集水區航拍照片(頭部為圈谷區位).....	2-51
圖 2-34 桃山西溪圈谷區位立體影像.....	2-52

圖 2-35 集水區碳儲存量與綠劣率之關係(溼季).....	2-53
圖 2-36 集水區碳儲存量與綠劣率之關係(旱季).....	2-54
圖 2-37 步道綠劣率剖面線.....	2-55
圖 2-38 步道高程剖面線.....	2-55
圖 2-39 稜線綠劣率剖面線.....	2-56
圖 2-40 稜線高程剖面線.....	2-56
圖 2-41 桃山西溪集水區各類地形指標.....	2-59
圖 3-1 雪山主峰線各採樣點土壤 pH 值(H ₂ O).....	3-11
圖 3-2 雪山主峰線各採樣點土壤 pH 值(KCl).....	3-11
圖 3-3 雪山主峰線各採樣點土壤全氮量(%).....	3-12
圖 3-4 雪山主峰線各採樣點土壤有效磷(ppm).....	3-12
圖 3-5 雪山主峰線各採樣點土壤 CEC(m.e./100 g).....	3-13
圖 3-6 雪山主峰線各採樣點土壤置換性 Na(m.e./100 g).....	3-13
圖 3-7 雪山主峰線各採樣點土壤置換性 Ca(m.e./100 g).....	3-14
圖 3-8 雪山主峰線各採樣點土壤置換性 Mg(m.e./100 g).....	3-14
圖 3-9 雪山主峰線各採樣點土壤有機碳(%).....	3-15
圖 3-10 雪山主峰線各採樣點根部氮濃度(%).....	3-15
圖 3-11 雪山主峰線各採樣點根部碳濃度(%).....	3-16
圖 3-12 雪山主峰線各採樣點根部 Na 濃度(mg/g).....	3-16
圖 3-13 雪山主峰線各採樣點根部 Ca 濃度(mg/g).....	3-17
圖 3-14 雪山主峰線各採樣點根部 Ma 濃度(mg/g).....	3-17
圖 4-1 雪山高山生態系植物相調查主要區域圖.....	4-6
圖 4-2 雪山高山主峰線示意圖.....	4-6
圖 4-3 雪霸國家公園雪山高山生態系植物種類清單之建立流程.....	4-7
圖 4-4 雪山主峰線維管束植物種數排前 10 名之統計圖.....	4-10
圖 4-5 雪山主峰線維管束植物生活型之示意圖.....	4-11
圖 4-6 雪山主峰線維管束植物(蕨類除外)依不同花色分類統計圖.....	4-12
圖 4-7 雪山主峰線維管束植物(蕨類除外)依不同果實種類分類統計圖.....	4-13
圖 5-1 樣區植被和鳥相調查樣站位置.....	5-6
圖 5-2 各生態系鳥類繫放樣站位置.....	5-6
圖 6-1 高海拔各樣區植物上掃網所得昆蟲之數量變化折線圖.....	6-29
圖 6-2 高海拔各樣區植物上掃網所得昆蟲形態種數變化折線圖.....	6-29
圖 6-3 圈谷(SPA-1)樣區同翅目在不同植物之掃網昆蟲組成.....	6-30
圖 6-4 圈谷(SPA-1)樣區雙翅目在不同植物之掃網昆蟲組成.....	6-30

圖 6-5 圈谷(SPA-1)樣區鞘翅目在不同植物之掃網昆蟲組成.....	6-31
圖 6-6 圈谷(SPA-1)樣區彈尾目在不同植物之掃網昆蟲組成.....	6-31
圖 6-7 黑森林(SPA-2)樣區同翅目在不同植物之掃網昆蟲組成.....	6-32
圖 6-8 黑森林(SPA-2)樣區雙翅目在不同植物之掃網昆蟲組成.....	6-32
圖 6-9 黑森林(SPA-2)樣區膜翅目在不同植物之掃網昆蟲組成.....	6-33
圖 6-10 火燒地(SPA-4)樣區同翅目在不同植物之掃網昆蟲組成.....	6-33
圖 6-11 火燒地(SPA-4)樣區膜翅目在不同植物之掃網昆蟲組成.....	6-34
圖 6-12 火燒地(SPA-4)樣區雙翅目在不同植物之掃網昆蟲組成.....	6-34
圖 6-13 雪山東峰(SPA-5)樣區同翅目在不同植物之掃網昆蟲組成.....	6-35
圖 6-14 雪山東峰(SPA-5)樣區雙翅目在不同植物之掃網昆蟲組成.....	6-35
圖 6-15 七卡哭坡(SPA-6)樣區同翅目在不同植物之掃網昆蟲組成.....	6-36
圖 6-15 七卡哭坡(SPA-6)樣區同翅目在不同植物之掃網昆蟲組成.....	6-36
圖 6-17 七卡哭坡(SPA-6)樣區膜翅目在不同植物之掃網昆蟲組成.....	6-37
圖 6-18 七卡哭坡(SPA-6)樣區彈尾目在不同植物之掃網昆蟲組成.....	6-37
圖 6-19 不同海拔間灌木上掃網之同翅目昆蟲組成.....	6-38
圖 6-20 不同海拔間灌木上掃網之雙翅目昆蟲組成.....	6-38
圖 6-21 不同海拔間芒草上掃網之同翅目昆蟲組成.....	6-39
圖 6-22 不同海拔間芒草上掃網之雙翅目昆蟲組成.....	6-39
圖 6-23 不同海拔間芒草上掃網之膜翅目昆蟲組成.....	6-40
圖 6-24 不同海拔間芒草上掃網之彈尾目昆蟲組成.....	6-40
圖 6-25 不同海拔間箭竹上掃網之同翅目昆蟲組成.....	6-41
圖 6-26 不同海拔間箭竹上掃網之雙翅目昆蟲組成.....	6-41
圖 6-27 不同海拔間箭竹上掃網之彈翅目昆蟲組成.....	6-42
圖 6-28 不同海拔間雜草上掃網之同翅目昆蟲組成.....	6-42
圖 6-29 不同海拔間雜草上掃網之雙翅目昆蟲組成.....	6-43
圖 6-30 不同海拔間雜草上掃網之膜翅目昆蟲組成.....	6-43
圖 6-31 2009 年各樣區之枯落物內各目昆蟲個體數量.....	6-44
圖 6-32 2009 年各樣區之枯落物內昆蟲各目科別數量.....	6-44
圖 6-33 2009 年 SPA-1 樣區植物枯落物內昆蟲各目科之個體數量.....	6-45
圖 6-34 2009 年 SPA-2 樣區植物枯落物內昆蟲各目科之個體數量.....	6-45
圖 6-35 2009 年 SPA-4 樣區植物枯落物內昆蟲各目科之個體數量.....	6-45
圖 6-36 2009 年 SPA-5 樣區植物枯落物內昆蟲各目科之個體數量.....	6-46
圖 6-37 2009 年 SPA-6 樣區植物枯落物內昆蟲各目科之個體數量.....	6-46
圖 7-1 本研究方法之流程圖.....	7-10
圖 7-2 雪山地區永久樣區設置形狀.....	7-11
圖 7-3 林分樣區之全天光空域(單斜線部分)、直射光空域(雙斜線部分)圖.....	7-12
圖 7-4 以方位表示之水分梯度級.....	7-13

圖 7-5	雪山地區高山生態系整合調查永久樣區與氣象站位置圖.....	7-20
圖 7-6	雪山高山生態系森林植物社會矩陣群團分析樹形圖.....	7-21
圖 7-7	雪山主峰線高山生態系各植物社會之族群齡級分布圖.....	7-29
圖 7-8	雪山主峰線高山生態系植物社會海拔垂直分布圖.....	7-30
圖 7-9	雪山主峰線高山生態系 39 個植物社會以 DCA 分布序列法之第一軸與第二軸之空間分布.....	7-31
圖 7-10	雪山主峰線高山生態系各樣區 39 個植物社會以 CCA 分布序列法之第一軸與第三軸之空間分布.....	7-34
圖 7-11	雪山主峰線高山生態系各植物社會之生活型譜.....	7-36
圖 7-12	雪山主峰線高山生態系各樣區喬木層與地被層物種多樣性沿海拔梯度之變化.....	7-41
圖 8-1	系統樣區設置示意圖.....	8-4
圖 8-2	隨機樣區及系統樣區於雪山三六九山莊後方草生地之設置示意圖.....	8-5
圖 8-3	2009 年 2 月、4 月及 9 月各樣區物種之豐度比例.....	8-7
圖 8-4	優勢物種 2-9 月 IVI 值變化情形.....	8-9
圖 8-5	優勢物種 2-9 月覆蓋度變化情形.....	8-9
圖 9-1	雪山衛星影像(含 6 個測站、三個氣象站及相關圖資).....	9-7
圖 9-2	雪山地圖圖資(含 6 個測站、三個氣象站及相關圖資).....	9-7
圖 9-3	雪山地形圖(含 6 個測站、三個氣象站及相關圖資).....	9-8
圖 9-4	現場影像(調查現場照片).....	9-8
圖 9-5	調查生物目別統計.....	9-9
圖 9-6	調查生物科別統計.....	9-9
圖 9-7	調查生物物種統計.....	9-10
圖 9-8	全部調查物種紀錄.....	9-10

附錄

附錄	雪山高山生態系整合調查工作會議紀錄.....	29
附錄 1-1	黑森林氣象站器項要素日報表.....	1-40
附表 1-2	黑森林氣象站器項要素日報表.....	1-43
附表 1-3	三六九氣象站器項要素日報表.....	1-47
附表 1-4	哭坡頂氣象站器項要素日報表.....	1-50
附錄4-1	世界自然保護聯盟(IUCN)紅色名錄等級及標準.....	4-22
附錄4-1	雪山主峰沿線步道之植物名錄.....	4-23
附錄5-1	雪山地區鳥相調查樣站二分帶座標.....	5-20
附錄5-2	雪山地區鳥類繫放架網地點二分帶座標.....	5-21
附錄5-3	2009年3~6月雪山東峰到雪山主峰鳥類名錄.....	5-22
附錄5-4	2009年8~10月和2001年同期雪山東峰火災跡地(4.4~5.7K)穿越線調查鳥相 比較.....	5-24
附錄8-1	研究樣區植物名錄.....	8-14
附錄8-2	系統取樣4條樣帶最高點座標(TWD97).....	8-16
附錄8-3	2009年2月各調查樣區之物種重要值.....	8-17
附錄8-4	2009年4月各調查樣區之物種重要值.....	8-18
附錄8-5	2009年9月各調查樣區之物種重要值.....	8-19
附錄8-6	照片說明.....	8-21

整合計畫項目

計畫項目	主持人	服務機構/系所	職稱	計畫內容
總計畫	呂金誠 歐辰雄	國立中興大學 森林學系	教授 教授	規劃、聯繫、資料整合
子計畫 1	魏聰輝	國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處	助理研究員	高山微氣象與熱量收支研究
	林博雄	國立臺灣大學大氣科學系	教授	
子計畫 2	林昭遠	國立中興大學 水土保持學系	教授	集水區環境資料建置及應用
子計畫 3	顏江河	國立中興大學 森林學系	副教授	高山地區土壤性質研究
子計畫 4	曾彥學	國立中興大學 森林學系	助理教授	維管束植物調查及植相研究
	玉秋美	國立自然科學博物館	副研究員	
子計畫 5	孫元勳	國立屏東科技大學 野生動物保育所	副教授兼所長	鳥類群聚與生態研究
子計畫 6	葉文斌	國立中興大學 昆蟲學系	副教授	昆蟲多樣性及功能群研究
子計畫 7	曾喜育	國立中興大學 森林學系	助理教授	植群生態研究與長期監測樣區設置
	蔡尚惠	環境技術學院 環境資源管理系	助理教授	
子計畫 8	賴國祥	行政院農業委員會 特有生物研究保育中心	研究員兼組長	火燒生態動態研究
	王志強	國立澎湖科技大學 觀光休閒學系	助理教授	
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	資料庫整合
	林永昌	中央研究院 生物多樣性研究中心	工程師	

中文摘要

一、前言與目的

雪山地區(雪山主峰線)從武陵蜿蜒而上，歷經溫帶針闊葉林、亞寒帶針葉林至雪山主峰。海拔梯度由低至高，主要以臺灣二葉松、高山櫟、臺灣鐵杉、臺灣冷杉、玉山圓柏、玉山杜鵑等組成之植物社會，部分地區的樹種則與玉山箭竹形成動態推移之森林界線。雪山地區為臺灣研究高山生態系最重要的區域，然本區之相關研究資料零散，且缺乏長期調查監測與資料整合，無法建立較完整之高山生態系資料庫以滿足經營管理所需之資訊。本計畫為雪霸國家公園規劃在雪山地區長期監測研究的先期調查，調查項目如：氣象、土壤、集水區環境資料建置及應用、鳥類、昆蟲、植群、火燒、植相等，以做為日後持續監測之標的項目，亦提供經營管理上一重要參考依據，落實國家公園永續發展目標。今年度具體目標為：1. 建立高山氣象站並進行勢能日射量之推估；2. 建立雪山高山生態系 6 個長期監測測站；3. 調查高山生態系土壤性質及初步分析；4. 建立雪山主峰線高山生態系植物名錄，並分析各分類群之生物學特性及其分布、生育地、植群型等資料並進行保育評估；5. 調查及監測鳥類組成及其生態功能；6. 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；7. 調查雪山主峰線沿海拔梯度與植群型之關係；8. 調查 369 山莊火後植被恢復狀況、優勢物種季節性變化、林緣苗木之現況及更新情形；9. 建立高山生態系資料庫及查詢網站。

【關鍵詞】高山生態系、高山微氣象、環境指標、森林土壤、維管束植物、鳥相、高山昆蟲、植群、火燒生態、達爾文核心欄位

二、材料與方法

(一)高山微氣象與熱量收支之研究

1. 雪山地區各樣區勢能日射量之推估。
2. 分別於雪山地區設置圈谷、黑森林、三六九與哭坡頂氣象站，以獲取氣象要素之數值，分析高山微氣象、熱量收支特性。
3. 蒐集玉山、合歡山小風口氣象站觀測資料，應用包溫比法分析熱量收支，分析不同山岳之間微氣象之同質性與異質性。

(二)集水區環境資料建置及應用

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)高山地區土壤性質研究

選擇雪山主峰線沿線的草原地、森林地及圈谷地等三處為主要的土壤採集點，在三處主要的採集點，配合其它子計畫之需，本計畫選擇5處土壤採樣點，依海拔高度上升分別為七卡、哭坡、火燒地、黑森林及圈谷。採樣包括枯枝落葉層與土壤層。將各層樣本帶回實驗室，烘乾秤重、磨粉，進行養分分析。

(四)雪山主峰線維管束植物調查及植相研究

本研究主要針對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2140 m)至雪山主峰(海拔3,886 m)，以三六九山莊(海拔3,100 m)以上之黑森林與雪山圈谷等為重點調查區域，為求得更完整之資料，若有必要，另拓及其周遭之環境，包含雪山北峰等地。調查工作乃植基於研究地區之植物資源清單調查，並利用調查資料內不同屬性如植物種類、習性、外觀形態、景觀屬性、伴生植物、物候週期等，建立資料庫。

(五) 鳥類群聚與生態研究

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*)與玉山箭竹-高山芒火災跡地等4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，以研究鳥類食性組成、繁殖率和存活率之季節間與年變化。

(六) 高山昆蟲多樣性及功能群研究

根據武陵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；於樣區地面設置掉落式陷阱，誘集地棲性昆蟲；馬氏網誘捕林中飛行之昆蟲；存證標本保存在95%酒精中；分蟲鑑定至目及科級分類單位。

(七) 植群生態研究與長期監測樣區設置

本研究於雪山主峰線選取外表形相與組成且較具代表性之均質植物社會，設置0.2 ha (50 m × 40 m)之長方形永久樣區，作為雪山地區高山生態系整合調查共同研究之場域。調查時區分喬木層(胸徑>1 cm)與地被層，喬木層調查樣區內之植物種類、胸徑、植株高度、枝下高、樹冠幅、植株相對位置，以及植株編號；地被層調查植物種類與覆蓋面積。針對樣區之海拔高、坡度、坡向、相對光度、全天光與直射光空域、土壤性質等環境因子進觀測與評估。為建置完整之雪山地區植群資料，以及滿足其他團隊之研究需求，設置20 m × 25 m之臨時樣區進行調查，樣區設置採多樣區法之集落樣區設置法。調查方式大致與永久樣區相同。植群資料經統計與分析後，進行植群分類，建立族群與林分結構，利用分布序列法探討植群和植物種類與環境因子間之關係，了解物種多樣性、生活型等與環境梯度之關係。

(八)火燒生態動態研究

本研究調查火後草生地之植被恢復狀況、優勢物種之季節性變化、林緣苗木之現況及後續之更新情形、植生覆蓋度與小型嚙齒類之關係，以建立亞高山地區火後生態系之基礎資訊，供火燒發生後經營管理及決策之參考。

(九)生態資料庫建構

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。『生態調查資料格式』，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。所有的資料均轉換成XML 文件，以利後續的整合、保存及資料交換，並同步匯入EML(Ecological Metadata Language)系統，以利資料分析運用，並針對學名、調查地點、調查時間、經緯度、調查者等重要欄位建立索引，以利資料搜尋，同時建立資料展示及查詢網站。

三、重要發現

1. 完成6個雪山主峰線典型植物社會設置長期監測樣區，作為共同研究場域，以及18個植物社會之臨時樣區。6個長期監測樣區分別：SPA-1：圈谷；SPA-2：黑森林(9k)；SPA-3：黑森林(8k)；SPA-4：369山莊火燒跡地；SPA-5：雪山東峰附近之玉山箭竹草生地；SPA-6：七卡山莊旁之針闊混合林。
2. 主氣象站設置地點，以圈谷底優於主峰；但因可及性極高，若設置後恐引致登山愛好者不良觀感。永久樣區氣象參數觀測站(副站)之站址，履勘決議以哭坡頂及黑森林樣區為設置地點。此外，位於三六九山莊周遭的林火跡地，因具有顯著的地形遮蔽效應，為日射量推估模式理想的驗證樣點，兼之甫遭受林火危害，地表尚處於天然復育階段，亦極適於設置微氣象觀測器，獲取相關數據，探討植群與環境因子交互作用的數量解釋。

3. SPA-1~ SPA-2各樣區勢能日射量之推估值，因緯度差距不大，全年總量介於11,061.50~11,303.46 MJ m⁻² year⁻¹；數值多寡係由於海拔高度及地形遮蔽效應所造成。
4. 雪山地區日射量之分布，以2009年10月為比較基礎；圈谷站承獲日射量436.67 MJm⁻²month⁻¹為最高，三六九站為364.76 MJm⁻²month⁻¹次之；黑森林站遭冠層遮阻截留，僅剩85.42 MJm⁻²month⁻¹，較之三六九站減少了279.34 MJm⁻²month⁻¹。氣溫的乾絕熱遞減率，以圈谷站與哭坡頂站為計算基礎，則兩站之間的遞減率平均(2009年9月24日~10月18日)為-0.62°C 100m⁻¹，尚與一般文獻契合。降雨量的梯度分布隨海拔遞升而遞增。
5. 雪山地區因甫新設站，熱量收支之分析，選擇蒐集海拔高度相若之玉山站與合歡山小風口站，自2009年1月1日~10月31日之資料，其結果玉山站淨輻射總量為3,562.08 MJ m⁻² 10month⁻¹，其中9.39 MJ m⁻² 10month⁻¹熱量由土壤次層提供；配分子顯熱通量為1,613.42 MJm⁻² 10month⁻¹比率為45.29%；潛熱通量為1,948.65 MJm⁻² 10month⁻¹、比率為54.71%。小風口站淨輻射總量為1,197.94 MJm⁻² 10month⁻¹，其中4.91 MJm⁻² 10month⁻¹熱量由土壤次層提供；配分子顯熱通量為438.37 MJm⁻² 10 month⁻¹、比率為38.19%；潛熱通量為998.80 MJm⁻² 10month⁻¹、比率為61.81%。
6. 針對「集水區環境指標回顧與評估」、「環境指標篩選與建置」及「環境資料庫蒐集與建置」等項目進行評估及建置；已蒐集集水區各類環境資訊，初步萃取相關環境指標，供雪霸國家公園管理成效量化評估之參考。
7. 從七卡、哭坡、火燒地、黑森林到圈谷五個採樣點土壤皆呈極酸性，土壤pH隨土層深度增加而增高之趨勢。土壤中有機碳含量高於臺灣其它森林土壤的含量，越向下層土壤有機碳含量越低。土壤全氮，呈現正常適宜的濃度，然而土壤有效磷則隨土壤深度上升而下降趨勢，土壤呈現明顯缺乏現象，土壤陽離子置換能量(CEC)都極高，但是置換性鈉、鈣、鎂都很低。

8. 土壤含石率方面，以哭坡的箭竹草生地與圈谷的總含石率分別為16.01%、17.75%為最高，七卡的土壤總含石率為2.33%，則幾乎沒有含石量。土壤總含根量，以圈谷0.27 kg/m³(40 cm土深)為最低，七卡土壤總含根量1.63 kg/cm³最高，黑森林1.16 kg/cm³次之，哭坡與火燒地幾乎一樣，各為0.74與0.75 kg/cm³。
9. 共記錄維管束植物95科575種，包括蕨類植物20科96種，佔總數16.7%；裸子植物4科11種，佔總數1.9%；雙子葉植物64科368種，佔總數64%；單子葉植物7科100種，佔總數17.4%。種數排行前10科依序為菊科(56種)、禾本科(40種)、薔薇科(37種)、鱗毛蕨科(30種)、蘭科(23種)、毛茛科(20種)、莎草科(16種)、杜鵑花科(14種)、唇形科(14種)、忍冬科(13種)、蹄蓋蕨科(13種)、石竹科(13種)及水龍骨科(13種)。
10. 植物特有性方面：臺灣特有種有213種(37.7%)，而外來種只有10種，佔1.7%。依據國際自然保育協會(IUCN)保育評估準則，本研究區內初步評估將伊澤山龍膽(*Gentiana itzershanensis*)列入瀕危級(Endangered, EN)，紅檜(*Chamaecyparis formosensis* Matsum.)、疏葉珠蕨(*Cryptogramma stelleri* (Gmel.) Prantl)、鱗葉石松(*Lycopodium sieboldii* Miq.)、黃山蟹甲草(*Parasenecio hwangshanicus* (Ling) C.-I Peng & S. W. Chung)、臺灣雲杉(*Picea morrisonicola* Hayata)、臺灣稠李(*Prunus obtusata* Koehne)、高山破傘菊(*Syneilesis subglabrata* (Yamam. & Sasaki) Kitam.)、扇羽陰地蕨(*Botrychium lunaria* (L.) Sw.)等8種列入易危級(Vulnerable, VU)，能高籟簫(*Anaphalis royleana* DC.)、雪山馬蘭(*Aster takasagomontanus* Sasaki)、大武貓兒眼睛草(*Chrysosplenium hebetatum* Ohwi)、臺灣白木草(*Comanthosphace formosana* Ohwi)、南湖碎雪草(*Euphrasia nankotaizanensis* Yamamoto)、川上氏忍冬(*Lonicera kawakamii* (Hayata) Masamune)、杉葉蔓石松(*Lycopodium annotinum* L.)、錫杖花(*Monotropa hypopithys* L.)、阿里山櫻花(*Prunus transarisanensis* Hayata)、線葉鐵角蕨(*Asplenium septentrionale* (L.) Hoffm.)、無梗忍冬(*Lonicera apodonta* Ohwi)、細葉杜鵑(*Rhododendron noriakianum* T. Suzuki)等12種列入近危級(Near Threatened, NT)。就臺灣

高山生態系生物多樣性的保存與利用而言，雪山地區的植物相保育研究可作為重要參考依據。

11. 本研究於3、5、6、8~10月間在雪山地區記錄25科60種鳥類。各生態系出現11~17種鳥類，其中針闊葉混合林的鳥類密度最高。火災跡地的優勢鳥種為火冠戴菊鳥(*Regulus goodfellowi*)、酒紅朱雀(*Carpodacus vinaceus*)，箭竹-高山芒的優勢鳥種為金翼白眉(*Garrulax morrisonianus*)、青背山雀(*Parus monticolus*)、冠羽畫眉(*Yuhina brunneiceps*)，冷杉林的優勢鳥種為火冠戴菊鳥、褐頭花翼(*Alcippe cinereiceps*)和鷓鴣(*Troglodytes troglodytes*)，玉山杜鵑-圓柏灌叢的優勢鳥種則為火冠戴菊鳥、岩鷓(*Prunella collaris*)和鷓鴣，推移帶的優勢鳥種為褐頭花翼、深山鶯和黃羽鸚嘴(*Paradoxornis verreauxi*)，針闊葉混合林生態系的優勢鳥種是褐頭花翼、冠羽畫眉，以及紅胸啄花鳥(*Dicaeum ignipectus*)與青背山雀。
12. 繫放5科7種101隻鳥類，以火燒跡地捕捉到的數量最多，可能和三六九山莊遊客留下的廚餘有關。
13. 2001年雪山東峰箭竹-高山芒火災跡地的鳥種豐富度，9年後增加7種(8~10月)，其中地面覓食的金翼白眉、深山鶯和栗背林鴿的隻數明顯增多。
14. 2009年2-8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，在2及4月份的SPA-1及SPA-2樣區均不多，但此時在SPA-5樣區及SPA-6樣區有高達10000隻個體；整體來講以同翅目、雙翅目膜翅目及彈尾目最多。同樣海拔高度的樣區當中，不同植物上所捕獲的昆蟲組成並不一定有很大的差別，但若以科級來看則有明顯的適應特性，像SPA-6為數眾多的葉蟬及稻蝨僅在草原箭竹上出現，而在灌木上雙翅目的蠅類少有捕獲，多為蚊及蚋。以各月份捕獲的昆蟲組成來看，均以SPA-5及SPA-6的昆蟲量最高；在形態種數而言，各採樣點均隨月份而增加。
15. 玉山箭竹上有些昆蟲會隨著月份而增減，像葉蟬、一些跳蟲科、細腰大蚊、搖蚊及絨小蜂等。高海拔地區枯枝落葉之無脊椎動物組成，2-8

月個體數累積結果，共計已鑑定9835隻分為13目，彈尾目、雙翅目及鞘翅目在不同海拔高度各樣區遠大於其他各目。

16. 圈谷樣段(SPA-1)的灌木枯落物中有最大量的跳蟲及搖蚊出現；黑森林(SPA-2)以等節跳蟲為主，另有一些隱翅蟲；七卡(SPA-6)及圈谷地區(SPA-1)的枯落物內有為數不少的隱翅蟲；SPA-4火燒地樣區中以跳蟲及隱翅蟲為主，尚有幾許蜂蟻。若以出現月份來看，SPA-1的4月跳蟲最多，鞘翅目的隱翅蟲以SPA-1及SPA-6的4月份及6月份最多。從食物鏈相的觀點來看，植食性昆蟲的形態種數量及個體數量在各樣區都是最多，約是它樣區的2-3倍，但圈谷的分解者的形態種數量約與植食者相當。有一些昆蟲僅大量出現在某一季節，像圈谷八月的隱翅蟲、木蠹及蚜蟲等，黑森林六月的癭棉蚜，七卡二月箭竹的搖蚊。在最多的四目昆蟲中，同翅目及彈尾目豐度最高，膜翅目多樣性最高，而雙翅目則兼具上述兩特性。
17. 進行植物社會調查分析，可分成10個森林植物社會和4個灌叢草本植物社會。森林植物社會分別是 I. 臺灣冷杉型、II. 高山櫟-臺灣鐵杉型、III. 臺灣二葉松型、IV. 栓皮櫟-化香樹型、V. 臺灣雲杉型、VI. 玉山圓柏型、VII. 高山新木薑子-狹葉高山櫟-阿里山灰木型、VIII. 臺灣紅豆杉-臺灣灰木型、IX. 卡氏櫛-西施花型，以及 X. 紅檜型，4個灌叢草本植物社會分別是 XI. 玉山圓柏-玉山杜鵑型、XII. 玉山箭竹-高山芒型、XIII. 高山芒型和 XIV. 高山艾-羊茅型。主要組成樹種之族群結構大多呈現反J型，顯示渠等多可在其所在生育地環境持續發展。
18. 雪山主峰線各植物社會之生活型譜明顯不同，反映在植物社會在結構與形相的差異分化。喬木層之木本植物物種多樣性沿海拔上升而有遞減趨勢；地被層之物種多樣性先是沿海拔上升而遞減，在約3,000 m達最低，之後物種多樣性隨海拔上升而緩增。
19. 於369山莊火燒跡地設置3×3 m²之系統樣區及隨機樣區各36個。火燒後9個月，經調查樣區總覆蓋度為34.9%，植物共記錄38種，以菊科6種最多，百合科4種次之。火燒區之地被植生目前以高山芒覆蓋度最高。

20. 本年度收集植物資料2,128筆、昆蟲資料3,940筆、氣象資料5,009筆(每筆含25個測項)、土質資料30筆(每筆含18個測項)，累計收集植物、昆蟲等物種調查資料共6,068筆(涵蓋2界5門7綱31目135科173種生物物種)，氣候土壤等環境資料共5039筆(涵蓋43個測項)。

四、主要建議事項

1. 雪山地區因位於中央山脈稜脊，地形所造成的屏障導致GSM或GPRS訊號普遍不良，無法達到即時傳輸之目標。建議考慮在未來建置無線傳輸系統，對於天然災害預警，山難事件防救，自然現狀監測影像與數據之傳輸，將有極大助益。
2. 未來研究可向下落實並進行分析系統建置及修正，包含「集水區多尺度綜合分析」、「環境指標適宜性分析與評估」及「系統建置與修正」；將所有建置項目進行整合研析，推廣至整個雪霸國家公園轄區。
3. 土壤特性會影響植群的分佈，而地上植群同時也會影響土壤的化育，國內相關研究數據仍十分缺乏。諸多研究主題尚待一一釐清探討，比如植物根系在土壤中進行養分的吸收，枯落物在土壤中的分解速率，土壤中微生物的種類與量，甚至土壤中的碳庫含量以及土壤呼吸量等等。此外菌根(mycorrhiza)共生也是本試驗地植物適應環境的重要機制之一，相信具有特殊又重要的角色，為日後本研究的重要土壤生物特性之一。
4. 雪山主峰線外來入侵物種，貓耳葉菊已入侵至海拔3,000m的哭坡，推測未來將會再向雪山東峰擴展，本種菊科植物原產歐洲，繁殖能力強，適應力亦強，對雪霸國家公園高山生態，將造成相當的衝擊。
5. 本研究區內，經保育評估之後，伊澤山龍膽列為瀕危級，本種為臺灣特有種，亦為雪霸國家公園之特有種，除了雪霸國家公園境內之外，未曾在臺灣其它各地有採集記錄，因多分布在登山步道兩旁的箭竹林及碎石坡中，容易受到人為干擾，故急需採取保育措施。

6. 建議在三六九和七卡山莊製作禁止傾倒廚餘以及禁止餵食的告示牌。
7. 應長期規律性的調查，以釐清是否一年四季的昆蟲組成特性均如目前狀況，並配合其它子計畫，觀察昆蟲組成變化是否與植物、土壤、氣候等因子有關。
8. 雪山高山地區生態系面積廣大，植物社會相當多樣；但由於可達性差，部份植物社會離步道較遠致使取樣困難，加上高山地區氣象多變，增加調查難度。因計畫時期略短，加上颱風等因素，致使僅能針對已完成調查之結果略加討論。建議未來針對高山植群調查研究時，應延長調查時間，使取樣數目增加，俾利植群生態之相關分析。

Abstract

The alpine ecosystem is an important area where study the global climate change in recent year. Because the species habitat in this ecosystem which population structure, population dynamic and the microenvironment change and so on each factor have provided the indirect evidence regarding the global climate change. Syue Mountain regions are the representative alpine ecosystem in Taiwan. Cause by the traffic is not easy arrival; the regions are still kept very integrity of the ecological environment. Under strict climatic conditions, many kind of plant, insect, avifauna were exist in these area, and the animal and plant communities are quite different from other ecosystems. Since 1990, Shei-Pa National Park had investigated any the resources e.g. biology, vegetation classification, entomology, geology. But these study achievements most focused on the single issue, lacking the long-term investigation monitoring and data integration. According to this reason, Shei-Pa National Park has planning the pre-investigation project of integration biotic and non-biotic factor at the alpine ecosystem in the Syue Mountain. The aim of project is based on these results to applying management strategic decision for the national park. The research contents of this integration project are: (1)Alpine micrometeorology and heat budget research; (2)The environment data establish and applying in the watershed; (3)Soil characteristic investigation; (4)Vascular flora investigation; (5)Avifauna investigation and community ecology; (6)Entomology diversity and function research; (7)Vegetation ecology; (8)Fire ecology dynamic research; (9) Syue Mountain ecosystem database set up.

一、計畫緣由及目的

人類對自然環境開發、活動日益頻繁，自工業革命以降，導致氣溫、降水量及太陽輻射等氣象要素異常分布，其所形成之驅動力直接或間接影響亞熱帶山區的生態系。Sala 等(2000)在 2100 年全球生物多樣性的評估報告中，明確指出全球氣候變遷將對某些處於極端氣候的生態系影響最大，例如極地、高山以及沙漠生態系。相較於低海拔地區，高山地區的生態環境是相對的嚴苛。因為環境條件嚴苛，此地的生物本來就處於最低條件的生存條件上，只要微小的氣溫或雨量變化就可能會對這些脆弱生態系中的生物多樣性與物種組成帶來劇烈的衝擊，並且對於環境因子，如溫度(包括氣溫、土溫)、太陽輻射(包括光合作用有效輻射量、光週期、紫外輻射)、積雪、強風等氣候變化十分敏感。因此，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。

為因應全球氣候變遷影響，行政院於 97 年 5 月 5 日院臺建字第 0970011178 號函核定「97 年至 100 年國家公園中程計畫」，以跨域擴大資源整合的角度，提出具突破性、開創性的「健全國家公園保育體系」、「環境教育深化與生態知識平臺建構」、「夥伴關係建立及世界接軌」及「國家公園組織效能」四大焦點主軸計畫(內政部營建署國家公園組，2008)。其中以「保育」為目標之政策「保存國家自然與人文資源，依據研究及科學資訊進行資源與遊客管理」，提出具體短、中長程的策略：

1. 整合建立既有自然保育及重要景觀資源清單，建立長期監測研究工作站網絡，落實長期監測資料庫之推動與資料庫之整合分享。
2. 優先對具有國家重要意義且已受威脅的資源進行保育工作，減少外來種入侵。
3. 就歷年研究成果進行整合，建立長期生態系研究。
4. 因應全球氣候與環境變遷，進行生態系變遷研究，建立可行解決方案。

雪山地區(雪山主峰線)從武陵蜿蜒而上，歷經溫帶針闊葉林、亞寒帶針葉林至雪山主峰。海拔梯度由低至高，主要以臺灣二葉松、高山櫟、臺灣鐵杉、臺灣冷杉、玉山圓柏、玉山杜鵑等組成之植物社會，部分地區的樹種則與玉山箭竹形成動態推移之森林界線。雪山地區為臺灣研究高山生

態系最重要的區域，然本區之相關研究資料零散，且缺乏長期調查監測與資料整合，無法建立較完整之高山生態系資料庫以滿足經營管理所需之資訊。本計畫為雪霸國家公園規劃在雪山地區整合研究的先期調查，擬定利用本年度調查結果所建立之基礎資料，規劃往後持續監測時之標的項目，亦可提供經營管理上一重要參考依據，落實國家公園永續發展目標。

近年來世界各地之各類型長期生態研究站的紛紛設立，將多種生態調查如野生物、土壤、微生物、地質、地形、水文、微氣象、養分循環等因子，結合資料庫之應用、分析，藉以瞭解研究區域中生物族群在時間尺度及空間分佈的動態變化，並提供生態系在未來可能變化之推估。行政院國科會與各大學、研究機構及國家公園管理處合作，早在 1990 年代即創設了「臺灣生態研究網計畫」，以瞭解臺灣重要生態系的長期生態現象與過程。已陸續設置了五個森林生態系試驗區(福山、關刀溪、塔塔加、南仁山及鴛鴦湖)，致力於長期生態學研究(Long-Term Ecological Research, LTER)，十多年來的確已為充實本土生態資料，提昇研究水準、培育人才等方面有很好的成果。而在雪霸國家公園積極推動保育工作目標下，2005 年起推動一項跨校際且跨學門之整合型計畫—「武陵地區長期生態監測暨生態模式建立」，以武陵地區溪流為研究地點，建構國內第一個溪流生態系模式。最終目的是期望所建構模式具有實際預測環境變遷與人為干擾之能力，提供作為武陵地區溪流生態系管理之決策參考。本計畫研究範圍—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，因此本計畫除積極調查、整合雪山地區高山生態系研究，亦期望能與雪霸國家公園所進行相關整合型研究進一步結合，以提供雪霸國家公園管理處更臻完善之經營管理策略。

二、計畫目標

本計畫「雪山地區高山生態系整合調查」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「生物多樣性公約(COP7)保護區工作計畫」，達成以下之目標：

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。

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

集水區環境資料所涵蓋之科學領域極廣，如森林、水保、地形、土壤、水文、地質、植生及景觀等。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，本研究將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)土壤性質研究

臺灣面積雖小，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，調查雪山主線不同海拔高度、不同植群分布的土壤特性與養分狀況，並估算土壤養分庫總量。另經由定期定點的土壤調查與分析，瞭解土壤的時空變異，同時配合其它子計畫瞭解高山土壤特性形成之因，提供土壤資訊作為其它子計畫之參考應用。

(四)維管束植物植相研究

1. 建構雪山高山生態系完整之植物相資源。
2. 分析雪山高山生態系維管束植物分類群屬性、科屬別、生活型等生物學特性及其分布地點、生態棲位等資料。
3. 建構雪山高山生態系之植物資源特性及推估其未來發展。

(五)鳥類群聚與生態研究

在雪山地區利用樣站法(point count)調查、研究鐵杉(*Tsuga chinensis*)、冷杉(*Abies kawakamii*)、玉山箭竹(*Yushania niitakayamensis*)和 高山芒(*Miscanthus sinensis*)等植物社會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不同生態系鳥類，以研究其食性組成、繁殖率和存活率之年或年變化。

(六)昆蟲多樣性及功能群研究

雪山地區的環境特殊，暖化衝擊的影響首當其衝，配合其它子計畫地形、氣候、土壤、植物及鳥類，針對昆蟲組成特性設計相關研究探討。植物方面，設計調查芒草、箭竹、冷杉、高山櫟、圓柏及杜鵑等優勢植物，各類昆蟲的豐度及消長。並配合開花植物定期收集昆蟲，測開花植物上之昆蟲功能群。或可利用放射性同位素配合食物鏈的特性監測能量流動方

向。並從食物鏈的關係來探討生產者，消費者及分解者所扮演的角色；另配合鳥類調查研究被捕食的昆蟲。在地形、氣候非生物因子部分，可探討不同土壤特質、坡向光照、季節及溫度對昆蟲組成的影響。工作項目如下：

1. 進行雪山圈谷地區內昆蟲資源普查，並建立昆蟲資源GIS相關資料。
2. 配合高山生態系研究，建立昆蟲各級消費者及分解者的組成及群聚變動。
3. 探討各主要植被類型中的昆蟲組成及變動。
4. 探討各主要開花植物授粉昆蟲生態群組及群聚變動。
5. 設計以杜鵑、當歸及高山薊上的訪花昆蟲有何異同及偏好。
6. 不同植被下土壤的昆蟲組成。
7. 配合地形坡向建立昆蟲組成及變動的資料。
8. 國家未來高山昆蟲資源經營管理及推廣保育之參考。
9. 經由昆蟲資料之建立，分析昆蟲上下季移的狀況，並探討全球變遷對該類生態系所可能產生之影響。

(七)植群生態研究

1. 設置、調查植物社會之長期監測樣區，調查林木之族群結構及空間分布情形。
2. 比較雪山地區沿海拔梯度及不同尺度棲地結構(森林、草原、圈谷)下，其生物群聚結構間之關係。

(八)火燒生態動態研究

1. 火燒後玉山箭竹及高山芒草生地之覆蓋度及優勢物種季節性變化。
2. 火燒後臺灣冷杉林緣苗木之現況及後續之建立情形。
3. 植生覆蓋度與小型嚙齒類關係之探討。
4. 臺灣二葉松及臺灣冷杉於不同火燒強度苗床之種子發芽率及小苗後續生長狀況。

(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。

三、長期監測樣區資料整合分析討論

本計畫目前進行未滿 1 年，但為初步了解雪山高山生態系生物類群間及其與環境之關係，本研究將 6 個長期監測樣區之植物、昆蟲相與鳥類群聚等 3 個生物類群研究團隊資料，配合樣區環境因子研究團隊之環境訊息進行整合性分析與探討。首先進行昆蟲相、鳥類群聚、植群生態等生物資料進行整理、簡化，抽取各生物類群於各樣區之生態重要性較高者。昆蟲相與鳥類群聚之介量採計各樣區調查出現數量百分比前 10 名者，昆蟲採計到『科』層級，鳥類採計至『種』層級。由於昆蟲採樣多在地表附近或枯落物，因此植群生態介量採計長期監測樣區之地被層重要值前 5 名者進行分析。

本研究利用典型對應分析(canonical correspondence analysis, CCA)與由於進行典型對應分析(canonical correspondence analysis, CCA)之統計限制，環境矩陣數目不得高於樣區數，因此必需將環境因子先進行相關分析進行篩選。本計畫植群生態研究團隊發現，海拔、全天光空域、坡度、坡向因子中，影響雪山主峰線高山生態系植被分化較大者是海拔與全天光空域。雪山高山生態系土壤研究團隊提供 8 項土壤環境資料進行 Pearson 相關分析(表 0-1)，有機碳與全氮、CEC 及鎂呈正相關，全氮與 CEC、鎂呈正相關，CEC 與鎂呈正相關。CEC 可代表較多項土壤環境參數。由於昆蟲調查取樣方法有針對枯枝落葉層進行採樣，因此，選擇枯枝落葉層、pH 值與陽離子置換率(CEC)為土壤環境資料，與海拔、全天光空域一併作為整合分析之長期監測樣區環境因子，Pearson 相關分析結果顯示(表 0-2)，僅海拔高與 CEC 相關顯著。

表 0-1 雪山高山生態系長期監測樣區之土壤環境參數 Pearson 相關分析

相關性	pH 值	有機碳	全氮	有效磷	陽離子置換率(CEC)	鈣	鎂	枯枝落葉層
pH	1.000							
有機碳	-0.617	1.000						
全氮	-0.713	0.956	1.000					
有效磷	0.340	0.078	0.123	1.000				
陽離子置換率	-0.557	0.997	0.947	0.147	1.000			
鈣	-0.234	0.562	0.467	0.573	0.589	1.000		
鎂	-0.692	0.985	0.992	0.085	0.977	0.502	1.000	
枯枝落葉層	-0.297	0.603	0.750	0.638	0.634	0.387	0.685	1.000

粗體字表示單尾檢定顯著水準小於 0.05。

表 0-2 雪山高山生態系長期監測樣區之環境因子 Pearson 相關分析

	PH	cec	枯落物	海拔高	全天光
pH	1.000	-0.557	-0.297	0.550	0.537
CEC	-0.557	1.000	0.634	-0.949	-0.159
枯落物	-0.297	0.634	1.000	-0.661	-0.443
海拔高	0.550	-0.949	-0.661	1.000	0.357
全天光	0.537	-0.159	-0.443	0.357	1.000

粗體字表示單尾檢定顯著水準小於 0.05。

長期監測樣區地被層主要組成物種之重要值與 5 個環境因子進行 CCA 分析排序結果(圖 0-1)，CCA 雙序圖中環境因子以箭頭線段(向量)表示，箭頭連線與排序軸的夾角表示該環境因子與排序軸之相關大小，箭頭所指方向表示該環境因子的變化趨勢。CCA 第一排序軸的特徵值為 0.946，第二排序軸的特徵值 0.856(表 0-3)，前兩個排序軸特徵值佔總特徵值的 55.4%(表 0-4)，比例愈大顯示排序結果良好。CCA 第一軸與海拔呈正相關，與 CEC、枯枝落葉層呈負相關，第二軸與土壤 pH 值、全天光空域呈正相關。CCA 雙序圖將 6 個長期監測樣區分成 3 種類型，即位於較高海拔的 SPA01、SPA02 和 SPA03，此群之 CEC 較低與枯枝落葉層較少。SPA04 和 SPA05 為玉山箭竹、高山芒為優勢的灌叢草生地，土壤 pH 值與全天光空域較高。SPA06 為分布海拔最低，其枯枝落葉層最厚與 CEC 最高，地被以臺灣瘤足蕨、臺灣芒、高山新木薑子、臺灣灰木等為主。

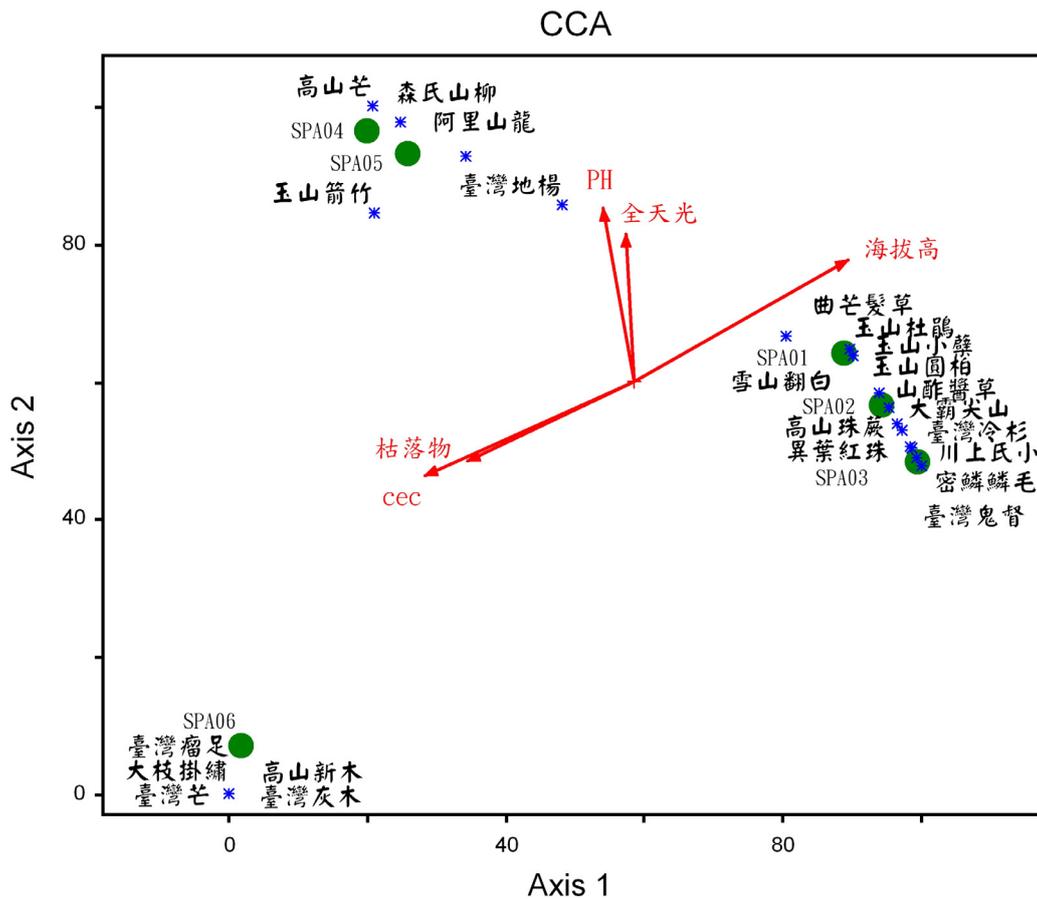


圖 0-1 雪山主峰線長期監測樣區、主要地被層植物與環境因子之 CCA 雙序圖。

表 0-3 雪山高山生態系長期監測樣區主要植物組成與環境因子之 CCA 分析各排序軸特徵值、變異解釋率及累積變異解釋率。

總變量:3.2538		第一軸	第二軸	第三軸
特徵根		0.946	0.856	0.696
物種資料之變異				
變異解釋率		29.1	26.3	21.4
累積變異解釋率		29.1	55.4	76.8
Pearson 相關	物種-環境	1	1	1
Kendall 相關	物種-環境	1	1	1

長期監測樣區昆蟲相主要組成物種與 5 個環境因子進行 CCA 分析排序結果(圖 0-2)，CCA 第一排序軸的特徵值為 0.523，第二排序軸的特徵值 0.285(表 0-5)，前兩個排序軸特徵值佔總特徵值的 82.5%(表 0-6)。CCA 第一軸與海拔呈負相關，與 CEC 呈正相關，第二軸與土壤 pH 值呈正相關。木蝨科、等節跳蟲科等與海拔呈正相關，顯示渠等分布於較高海拔；球角

跳蟲、常蚜科、蚋科等傾向出現於土壤 pH 較高的環境。

表 0-4 雪山高山生態系長期監測樣區主要地被層植物組成排序前三軸與環境因子之相關分析表。

環境因子	相關性			演算分數		
	第一軸	第二軸	第三軸	第一軸	第二軸	第三軸
pH	-0.014	0.870	0.414	-0.014	0.837	0.378
CEC	-0.798	-0.403	-0.391	-0.787	-0.388	-0.358
枯落物	-0.647	-0.290	-0.078	-0.638	-0.279	-0.072
海拔高	0.813	0.554	0.163	0.802	0.533	0.148
全天光	0.014	0.783	-0.484	0.013	0.754	-0.442

表 0-5 雪山高山生態系長期監測樣區主要昆蟲出現與環境因子之 CCA 分析各排序軸特徵值、變異解釋率及累積變異解釋率。

總變量: 0.9795		第一軸	第二軸	第三軸
特徵根		0.523	0.285	0.097
物種資料之變異				
變異解釋率		53.4	29.1	9.9
累積變異解釋率		53.4	82.5	92.4
Pearson 相關	物種-環境	1	1	1
Kendall 相關	物種-環境	1	1	1

表 0-6 雪山高山生態系長期監測樣區主要昆蟲相組成排序前三軸與環境因子之相關分析表。

環境因子	相關性			演算分數		
	第一軸	第二軸	第三軸	第一軸	第二軸	第三軸
pH	-0.304	0.646	-0.389	-0.259	0.472	-0.217
CEC	0.786	-0.416	-0.208	0.669	-0.304	-0.116
海拔高	-0.757	0.179	0.234	-0.643	0.131	0.131
全天光	0.288	0.012	0.031	0.245	0.009	0.018

雪山高山生態系長期監測樣區出現之鳥種與環境因子之 CCA 分析結果顯示(圖 0-3)。CCA 第一排序軸的特徵值為 0.521，第二排序軸的特徵值 0.265，前兩個排序軸特徵值佔總特徵值的 75.1%(表 0-7)。第一軸與海拔高、全天光與呈正相關，而與 CEC 呈負相關(表 0-8)。CCA 雙序圖將鳥類區分成 3 個鳥類群聚，第一軸將即可將鳥類出現種類作區隔，即松鴉、白耳畫

眉、小翼鶉、紅胸啄花、冠羽畫眉等出現於海拔較低、枯枝落葉層較厚且 CEC 較高的生育地；岩鷲、金翼白眉等出現在海拔較高、枯枝落葉層較薄且 CEC 較低的生育地。而第 3 群聚為煤山雀、火冠戴菊鳥、白眉林鴿等，大多出現在臺灣冷杉林內。

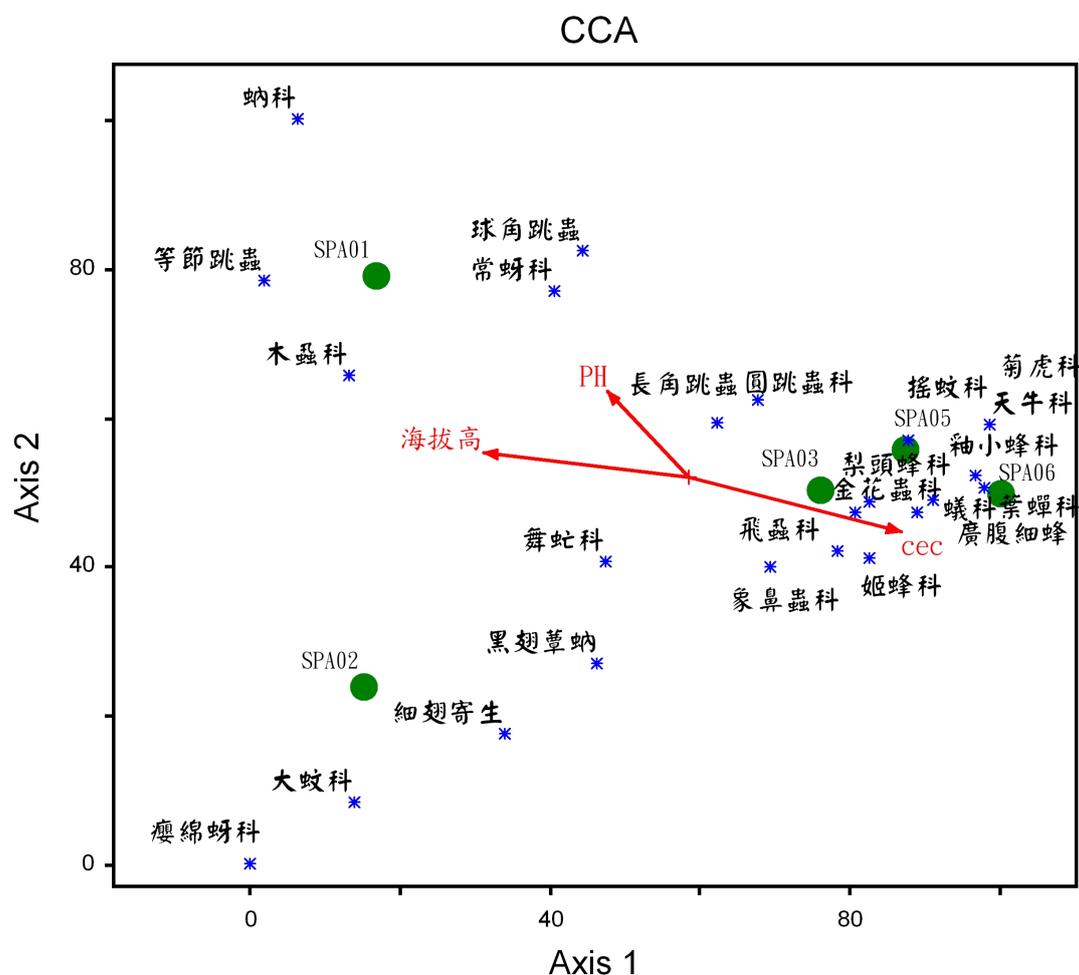


圖 0-2 雪山主峰線長期監測樣區、主要昆蟲出現種類與環境因子之 CCA 雙序圖。

表 0-7 雪山高山生態系長期監測樣區主要鳥類出現與環境因子之 CCA 分析各排序軸特徵值、變異解釋率及累積變異解釋率

總變異量:1.0478		第一軸	第二軸	第三軸
特徵根		0.521	0.265	0.134
物種資料之變異				
變異解釋率		49.8	25.3	12.8
累積變異解釋率		49.8	75.1	87.9
Pearson 相關	物種-環境	1	1	1
Kendall 相關	物種-環境	1	1	1

表 0-8 雪山高山生態系長期監測樣區鳥類資料排序前三軸與環境因子之相關分析表

環境因子	相關性			演算分數		
	第一軸	第二軸	第三軸	第一軸	第二軸	第三軸
pH	0.608	0.680	-0.220	0.517	0.488	-0.133
CEC	-0.876	-0.208	-0.419	-0.745	-0.149	-0.254
枯落物	-0.601	0.257	-0.445	-0.511	0.184	-0.269
海拔高	0.980	0.026	0.182	0.833	0.019	0.110
全天光	0.453	-0.070	-0.536	0.385	-0.050	-0.325

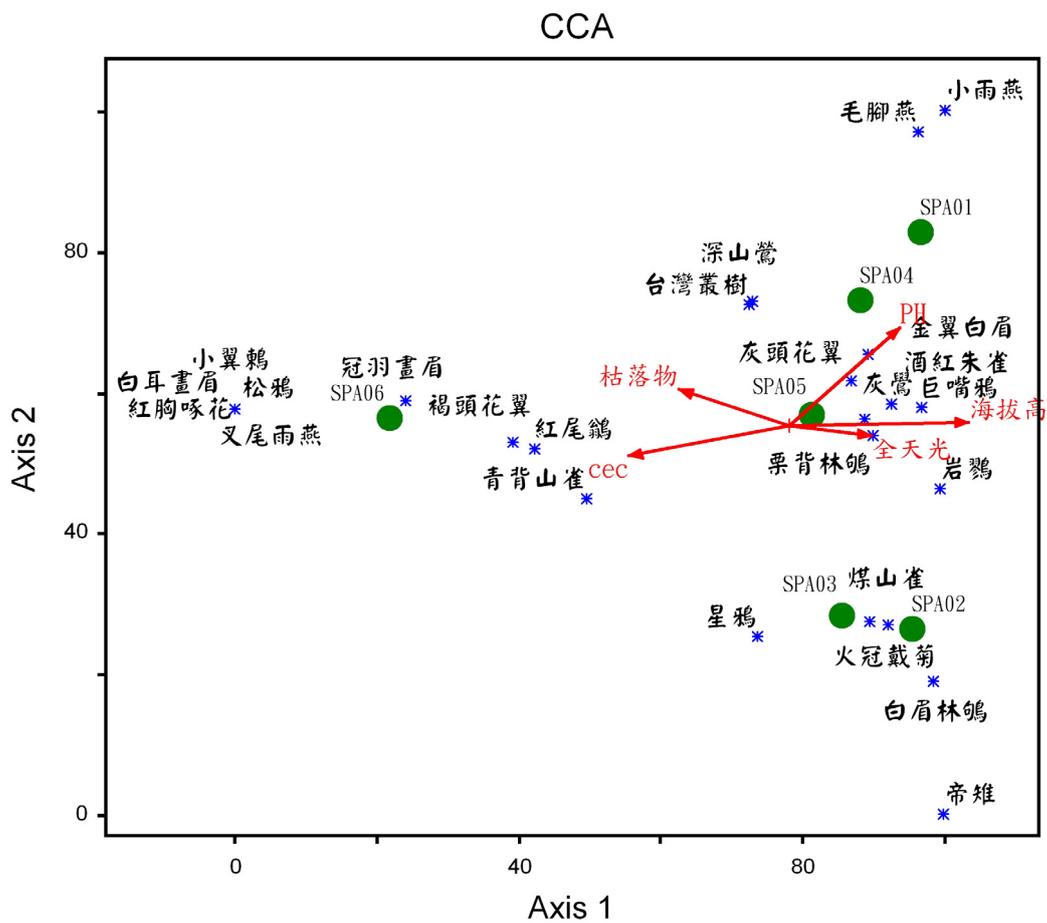


圖 0-3 雪山主峰線長期監測樣區、主要鳥類出現種類與環境因子之 CCA 雙序圖。

為嘗試了解昆蟲出現與植物組成之關係，研究團隊針對雪山高山生態系長期監測樣區之主要昆蟲出現科先進行對應分析 (Correspondence Analysis, CA)。利用樣區植物主要組成作為環境因子與主要昆蟲出現之 CA 分析結果進行分析作成雙序圖 (圖 0-4)，分析結果大致可分成 3 群。植物組

成與第一排序軸的特徵值為 0.523，第二排序軸的特徵值 0.285，前兩個排序軸特徵值佔總特徵值的 82.5%(表 0-9)。第 1 群為常蚜科、球角跳蟲科、蚋科、等節跳蟲科、木蝨科等，其與玉山小蘗、曲芒髮草、玉山杜鵑、雪山翻白草的數量有關。第 2 群為癭棉蚜科、大蚊科、細翅寄生科、黑翅蕈蚋、舞蛇科等，渠等與山酢醬草、川上氏小蘗、高山珠蕨、臺灣冷杉、玉山圓柏的數量有關。其餘第 3 群昆蟲多出現在有玉山箭竹的灌叢草本植物社會與 SPA6 七卡針闊混淆林下。

表 0-9 雪山高山生態系長期監測樣區主要昆蟲出現種類 CA 排序後與地被層組成進行排序之前三軸特徵根、變異解釋率與累積變異解釋率。

總變異量:0.9795	第一軸	第二軸	第三軸
特徵根	0.523	0.285	0.097
變異解釋率	0.534	0.291	0.099
累積變異解釋率	0.534	0.825	0.924

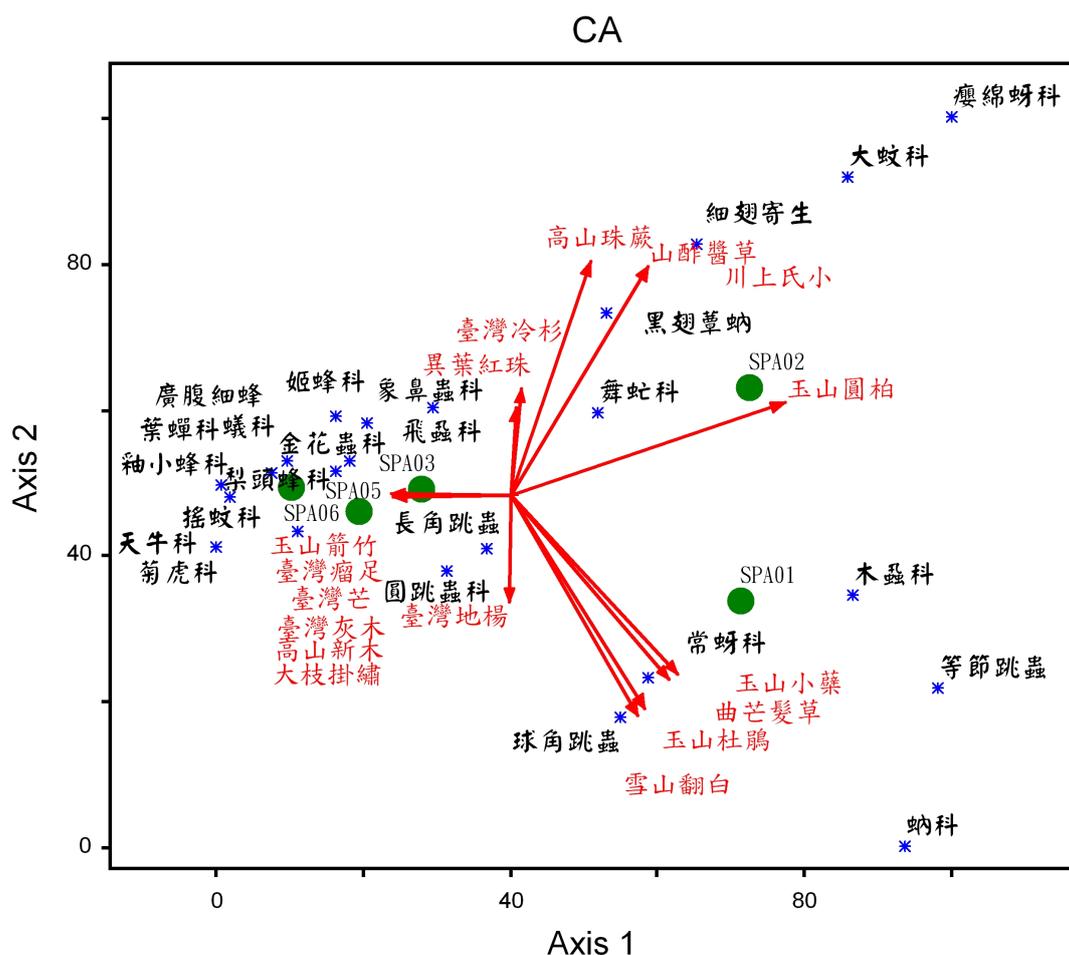


圖 0-4 雪山主峰線長期監測樣區主要昆蟲出現種類 CA 排序與主要地被植物組成之雙序圖。

為了解鳥類與植物組成之關係，研究團隊針對雪山高山生態系長期監測樣區之主要鳥類出現種類先進行對應分析(Correspondence Analysis, CA)。利用樣區植物主要組成作為環境因子與主要鳥類出現之 CA 分析結果進行分析作成雙序圖(圖 0-5)，植物組成與第一排序軸的特徵值為 0.518，第二排序軸的特徵值 0.277，前兩個排序軸特徵值佔總特徵值的 73.9%(表 0-10)。分析結果大致可分成 3 群。第 1 群為松鴉、白耳畫眉、小翼鶉、冠羽畫眉、褐頭花翼、紅尾鶉、青背山雀等，渠等與臺灣芒、臺灣瘤足蕨、臺灣灰木、高山新木薑子和大枝掛繡球等的數量有關，多分布於海拔較低的 SPA6 七卡針闊混淆林下。第 2 群有金翼白眉、酒紅朱雀、灰頭花翼、岩鷓等，與曲芒髮草、玉山小蘗、玉山杜鵑、雪山翻白草、玉山圓柏等的數量有關。白眉林鴿、火冠戴菊鳥、星鴉、煤山雀與帝雉等鳥類出現於臺灣冷杉、高山珠蕨、異葉紅珠等數量較多的環境。

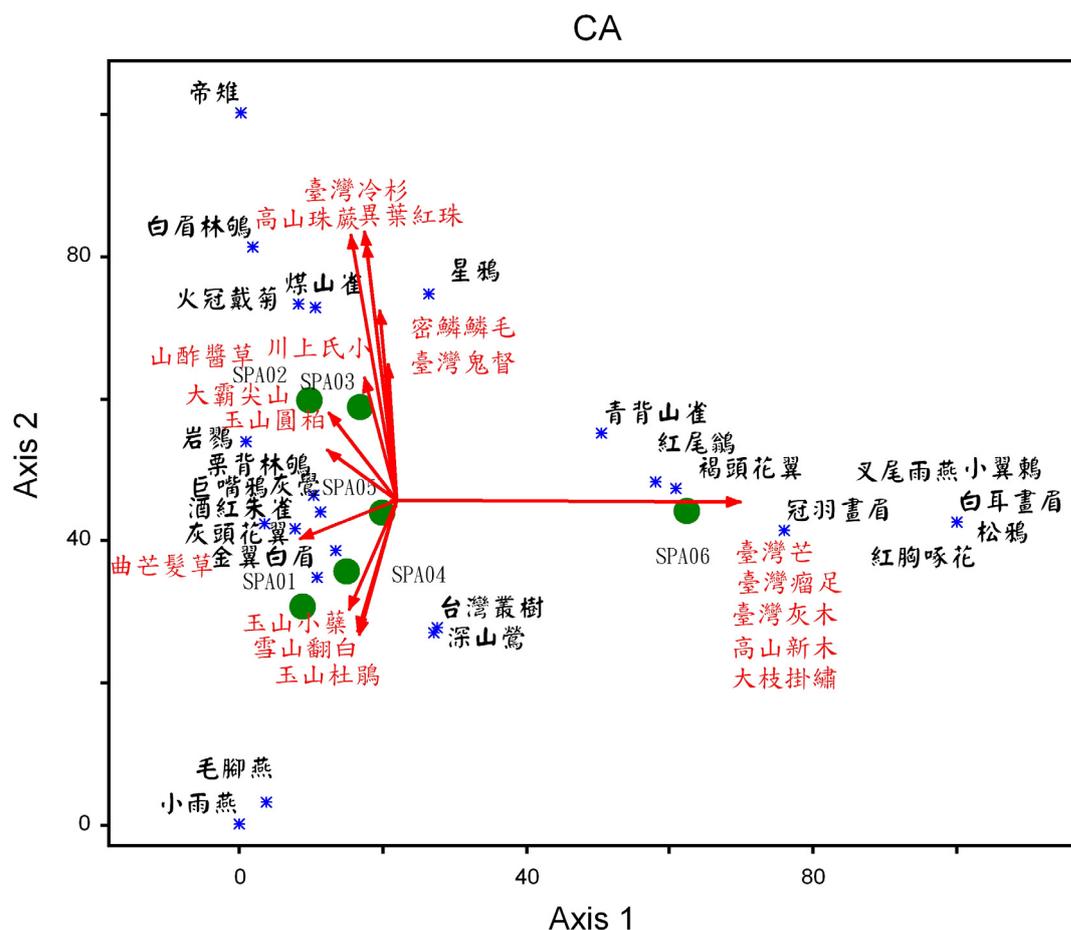


圖 0-5 雪山主峰線長期監測樣區主要鳥類出現種類 CA 排序與主要地被植物組成之雙序圖。

表 0-10 雪山高山生態系長期監測樣區主要鳥類出現種類 CA 排序後與地被層組成進行排序前三軸特徵根、變異解釋率與累積變異解釋率。

總變異量:1.0761	第一軸	第二軸	第三軸
特徵根	0.518	0.277	0.154
變異解釋率	0.482	0.257	0.143
累積變異解釋率	0.482	0.739	0.882

為了解鳥類與昆蟲組成之關係，研究團隊針對雪山高山生態系長期監測樣區之主要鳥類出現種類先進行對應分析(Correspondence Analysis, CA)。利用樣區植物主要組成作為環境因子與主要鳥類出現之 CA 分析結果進行分析作成雙序圖(圖 0-6)，植物組成與第一排序軸的特徵值為 0.548，第二排序軸的特徵值 0.290，前兩個排序軸特徵值佔總特徵值的 82.3%(表 0-11)。分析結果大致可分成 3 群。第 1 群為白耳畫眉、小翼鶇、紅胸啄花、青背山雀、褐頭花翼、冠羽畫眉等鳥類似乎與葉蟬科、廣腹細蜂、姬蜂科、釉小蜂科、搖蚊科等昆蟲出現數量較多的環境有關連；第 2 群有火冠戴菊鳥、白眉林鴿、煤山雀、帝雉等出現與象鼻蟲科、細翅寄生科、癭綿蚜科等昆蟲量有關；第 3 群為金翼白眉出現在木蝨科昆蟲較多的地方。

由於雪山高山生態系各項基礎資料非常缺乏，本計畫整合調查研究資料亦未滿 1 年，收集之資訊尚無法真正滿足研究討論之需求。本研究進行相關生物因子間以及其與環境因子之關係僅為初步分析結果，進行相關學門之資料整合探討仍尚有待深入研究，尤其是昆蟲、鳥類、哺乳類等動物食性劃分與動物食性生態位之探討，植物物候與動物之關係，高山植物與微環境因子關係、生物空間分布與環境關係、生物繁殖策略等基礎資料建立刻不容緩。

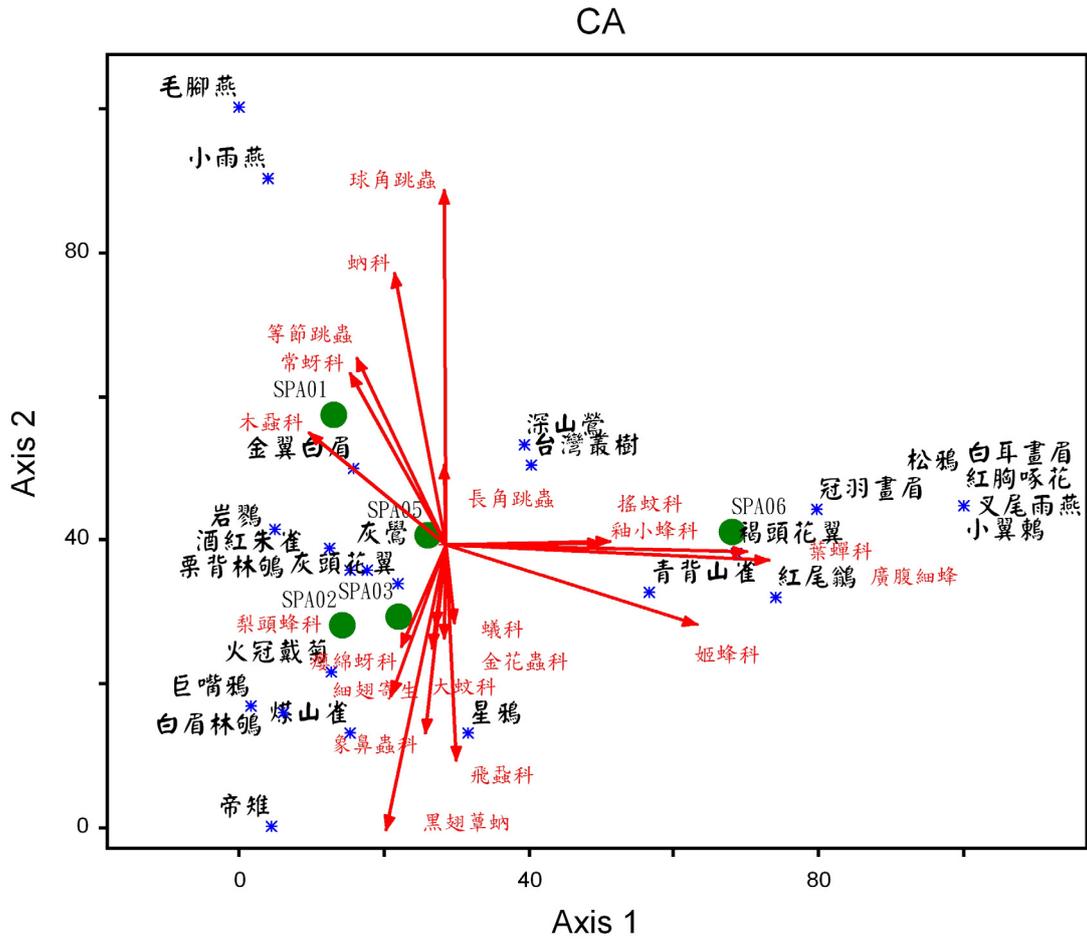


圖 0-6 雪山主峰線長期監測樣區主要鳥類出現種類 CA 排序與主要昆蟲組成之雙序圖。

表 0-11 雪山高山生態系長期監測樣區主要鳥類出現種類 CA 排序後與昆蟲組成進行排序之前三軸特徵根、變異解釋率與累積變異解釋率。

總變異量:1.0181	第一軸	第二軸	第三軸
特徵根	0.548	0.290	0.117
變異解釋率	0.538	0.285	0.115
累積變異解釋率	0.538	0.823	0.938

四、調查研究工作協調

「雪山地區高山生態系整合調查」計畫於本(98)年4月1日辦理投標，本計畫團隊即開始進行各項子計畫工作之協調與整合；至目前為止，各子計畫團隊至少進行4次正式工作會議(詳如下頁附錄)和數次小團隊討論，以及3次試驗地之現場會勘與討論，最後決議本計畫之氣象站架設位置，以及6個雪山地區典型高山生態系之研究測站，各研究團隊已開始著手進行各項參數收集與調查，相關子計畫亦相互支援與配合，預期將可以獲得非常充分之資料，供作雪霸國家公園管理處對雪山地高山生態系經營管理所需之資訊。

附錄

雪山高山生態系整合調查 工作會議紀錄

★ 第一次工作會議

一、時間：98 年 3 月 25 日下午 2 時

二、地點：國立中興大學森林學系 201 會議室

三、主持人：呂教授金誠

四、出席人員：簽到單

五、報告事項：

(一)雪霸國家公園管理處於本(98)年度委託辦理「雪山地區高山生態系整合調查」計畫，目前已上網公告預計本(98)年 4 月 1 日辦理投標。感謝各位研究團隊對於本案有極高的興趣及熱忱，相信有大家的參與、討論更可激發出許多火花。

(二)目前已將各子計畫內容初步彙整(如附件一)，因部分內容並未與服務建議書格式一致，例如：服務建議書內容格式「第 I 項：工作人員姓名、現職、學經歷與分工配置，主持人及協(共)同主持人目前進行中或規劃參與政府委託研究計畫名稱，委託機關及研究期程。」及「第 J 項：投標團隊研究人員近五年接受委託案件與本投標標的同類型之案件數量。」請各子計畫配合上述兩項內容檢視及修正。

(三)請各子計畫就服務建議書內容及本會議相關討論決議進行修正(修正地方請以不同顏色註記)，於本(98)年 3 月 28 日(星期六)下午 5 時寄至曾喜育老師電子信箱：erecta@dragon.nchu.edu.tw。

(四)本案進入評選會時，需進行簡報說明本團隊之構想，因此請各子計畫提供簡報時所相關照片、內文，可先製成簡報檔(.ppt)。另各子計畫 slide 張數請控制在 5 張以內；照片請提供.jpeg 格式。

六、討論事項：

案由一：有關各子計畫經費之配置，提請討論。

說明：

(一)本計畫公告經費 900 萬元，請各子計畫究所需儀器設備經費提出需求。

(二)各子計畫主持人研究費用，是否需要一致或視各研究性質而定，提請討論。

決議：各子計畫提出需求，經綜合討論及協調結果詳如服務建議書。

案由二、依據評選作業規定，計畫主持人進行簡報時列席人數不得超過五人，請討論適合出席人選。

決議：經討論結果請**環境因子團隊**：林昭遠老師、魏聰輝博士；**生物因子團隊**：
葉文斌老師、孫元勳老師、曾喜育老師出席。

★ 第二次工作會議

一、時間：98 年 4 月 30 日(星期四)上午 8 時 30 分

二、地點：國立中興大學森林學系 201 會議室

三、主持人：歐教授辰雄 呂教授金誠

四、出席人員：詳如簽到表

五、報告事項：

(一)本計畫已於本(98)年 4 月 21 日完成議價簽約程序，計畫總經費為新臺幣捌佰玖拾萬元整。因本案有 4 個協力學校及研究機關，須由本校轉撥相關子計畫經費，目前依採購法限制性招標方式辦理議價作業，預定本週完成相關行政手續(如附件一)，後續議價事宜(時間、地點、相關資料等)將先聯絡 4 位老師。

(二)合約書正於雪霸國家公園管理處用印中，待完成程序後將合約書影印本以限時專送送達各位主持人。

(三)本計畫研究區域為雪霸國家公園生態保護區範圍，進入調查研究時需向雪霸國家公園申請入園、床位登記，相關入園說明詳如附件二，請各子計畫配合辦理。另需提出**研究採集證申請**，請各子計畫蒐集研究人員名冊(姓名、出生年月日、身分證字號、緊急聯絡人、聯絡地址及電話)、一寸相片兩張(請於背後寫姓名)及身分證影印本正反面乙份。請於 5 月 4 日(星期一)送至本研究室王偉同學彙整(名冊可先以.doc 格式電子檔寄達)。

➤ 聯絡人：王 偉 同學

➤ 地址：402 臺中市國光路 250 號國立中興大學森林學系森林植物分類暨生態研究室

➤ 電話：04-22840345 轉 327

➤ 電子信箱：f3022002_5@hotmail.com

六、討論事項

案由一、有關本研究共同研究試驗地點及主氣象站設置地點，提請討論。

說明：

(一)除各子計畫於雪山主峰線進行沿線調查及各自研究地點外，需於共同試驗地點進駐調查。目前植物社會及火燒生態永久樣區已完成 10 個，包括 7 個臺灣冷杉林、1 個針闊葉林(七卡)、1 個圈谷樣區及火燒樣區(散布於三六九山莊)，其餘樣區待 5 月底至 6 月將陸續設置完成；若其他子計畫有需求時亦一併設置調查。

(二)本計畫主氣象站位置，需代表雪山地區高山生態系之氣象環境，為考慮氣象站設置地點是否會影響到天際線問題及減少遊客、高山保育志工等不必要之誤解，因此需進行現地勘查及共同討論。

(三)氣象站無法針對各子計畫各方所需進行設置，更要考慮天際線的問題；此外亦有人為因素之干擾，故期望各子計畫對研究所需之氣象數據，能具體提出。

計畫之氣象站於計畫結束後，仍供雪霸國家公園日後進行相關監測。

討論：

- (一)邱清安博士：設置氣象站，主要考量有二點；(1)視各子計畫研究需要，針對不同之森林類型及氣候，其所獲得的資訊也不同(三六九山莊及圈谷就有明顯的差異)；(2)設置氣象站之地點須考量，該點是否會造成雪霸管理處之困擾。實際上，設置時仍要視現場情況再討論。
- (二)魏聰輝老師：設置氣象站，雖要考量民眾及志工的干擾，但氣象站的尺寸不大，可用週遭之遮蔽物隱蔽氣象站，且其設置是為各子計畫所需，故除要能接收該地環境因子資訊外，亦要考量氣象站與樣區之環境是否一致且具代表性。
- (三)葉文斌老師：以三六九山莊而言，往前是黑森林，往後是東峰，兩者植被差異甚大，再往上的圈谷，其植被與氣候環境獨特，需與前者區別。因此不同海拔高度，氣候類型、植被類型皆有所異，設置上仍須考慮。
- (四)呂金誠老師：可將主站設置於圈谷，兩個副站則設置雪主線沿線。各子計畫負責人可對子計畫之研究所需環境因子類別，討論後列表致魏老師。設置氣象站的位置，仍須經過五月底的現場勘查後，方能決定。
- (五)葉文斌老師：於維護及取得資訊上，若設置於較高海拔之地段，都相較低海拔地段來得不易，且較難進行維護。
- (六)呂金誠老師：氣象站是採動態傳輸，故於平地若接收良好，一般的情況是不用特別再上雪山進行維護或取得環境資料，因此，氣象這部份的設置人員上雪山的時間量相較調查人員會來的少。
- (七)魏聰輝老師：圈谷的通視情況如何，因應動態傳輸，若在通視較有阻礙設立氣象站，則傳輸的狀況會較不穩定。
- (八)賴國祥組長：圈谷的低地通視及接受情形會較不佳，但若能設立於步道旁高處，因有時能通視(往宜蘭方向)因是能符合傳輸的期望。另外，於副站部份，因三六九山莊前的環境差不多，是否能針對直群設立副站。
- (九)呂金誠老師：除主站設置於圈谷外，副站將針對雪山兩大不同植群，森林及草原的型態，作為設立基準，但仍須進行現場探勘後再討論。

決議：本計畫確定共同測站預訂於本(98)年 5 月 27 日(三)~5 月 31 日(日)前往雪山地區現勘，一同討論。

案由二、生態保護區入園申請、三六九山莊床位登記、儲藏室借用及紮營可能產生之問題及解決方案，提請討論。

說明：

- (一)目前雪山主峰線為熱門登山路線，三六九山莊於星期例假日常有一床難求情形，而本研究團隊於雪山地區調查時間可能超過 4~5 天，且為配合老師及學生之上課時間，主要以週末時間前往調查，因而常有登記不到床位之情形。
- (二)另本研究團隊所需相關調查工具及儀器設備頗多，常為必備之工具，為減少

調查人員之負重，實有必要向雪霸國家公園管理處提出三六九山莊儲藏室借用之需求。

(三)本計畫研究重點位於雪山圈谷，從三六九山莊至圈谷約有 2 公里路程(單趟需 1.5 小時)，為減少調查人員往返研究地點與山莊時間，部分研究團隊有住宿於黑森林及雪山圈谷之需求。惟目前雪霸國家公園以 369 山莊住宿人數為遊客承載量，限制及禁止登山者於黑森林及雪山圈谷進行紮營，因此若紮營將違反進入生態保護區之相關規定。

(四)日前已向雪霸國家公園提出申請三六九山莊床位之困難及儲藏室借用之需求，惟雪霸處對於委託研究計畫團隊是否能給予三六九山莊床位預留及借用儲藏室等協助，尚未有明確之辦法。因此雪霸處請各子計畫團隊，目前仍以自行上網申請填報資料為原則，於上山時間之安排，盡可能以週間為主，避開週末熱門申請時間。

決議：

(一)因研究區域主以 369 山莊為據點，因此 369 山莊的床位申請有其重要性，但雪霸國家公園管理處於短期內尚未有明確的解決方案，此事由曾喜育老師於本次開完會後，再向雪霸國家公園管理處提出，並協商解決方案。

(二)針對紮營這部分，因雪霸國家公園管理處並無明訂，故若於計畫執行期間有必要紮營者，需與雪霸國家公園管理處協調後，自備睡袋前往較少遊客且安全之地點紮營即可。日後可因應各子計畫調查的需求，每月各子計畫承辦單位提供上雪山之人員名錄、入山日期、天數及行程，供其他子計畫承辦單位參考或協同入山。

案由三、有關資料庫建置格式及各子計畫配合之項目，請林永昌工程師為各位說明。

林永昌工程師說明：

主要是由各子計畫的資料(excel 檔)轉入資料庫內建檔(MySQL 檔)，若是其他的資料格式，亦可轉成資料庫之格式，最後皆以 excel 檔之格式，公開於計畫之相關研究人員，以便獲取相關資訊及資料保存。資料內的項目，建議以下列的項目區別：(1)樣區代號、(2)緯度、(3)經度、(4)標準差、(5)調查地點(英文名)、(6)調查地點(中文名)、(7)海拔高。若為生物種類，則建議以下列的項目區別：(1)地點代號、(2)日期、(3)拉丁學名、(4)個體數、(5)體長範圍、(6)單位、(7)生物量、(8)單位、(9)調查者(英文名)、(10)調查者(中文名)、(11)鑑定者(英文名)、(12)鑑定者(中文者)、(13)自訂。

討論：

(一)蔡尚蕙老師：對於林永昌工程師的簡介，有幾點意見想提出討論：

1. 關於生物種類之資料的採集者及鑑定者的英文，希望能比照護照上的英文名之格式。
 2. 因植群資料一般是以 excel 建檔，並進行相關的轉換，但其他子計畫是否有別的格式，若否，希望能統一格式方便處理。
 3. 關於計劃區域的圖層，應提供給參予計畫之相關人員，以便進行設點、標定及參考之用。
- (二)林昭遠老師：計畫區域之圖層，將在完成一定建構後，提供給各子計畫承辦單位。但圖層的尺度及座標(TW97 或經緯度) 統一，希望能提出並討論。
- (三)呂金誠老師：大部分國內的地面調查，座標都用 TW97 做紀錄，而全世界通用的則為經緯度。因林永昌工程師所建構之資料庫，是以 TW97 二分帶做建檔，故在記錄上以 TW97 標示，若有需要再請林昭遠老師進行座標轉換。待樣區設置完成，各子計畫承辦單位請提供地面調查之樣區大小、尺度及需航拍之點位，以供林昭遠老師協助並提供相關資訊。

七、臨時動議

- (一)蔡尚惠老師：請王偉同學為此計畫建置部落格平臺，以供各子計畫人員連絡及交流，提供相關之資訊，相互學習累積經驗。
- (二)曾喜育老師：各子計畫每月可排定一段較有餘裕之時間，並告知其他子計畫承辦單位，是否能共同參予其月份之調查；辦理入山的形式，則以公文方式告知雪霸國家管理處，減輕管理單位的行政負擔(共同申請作業)。
- (三)呂金誠老師：以上的建議都不錯，將來彼此相互合作，可使參予人員從中獲得許多無價的經驗；共同作業這部分，較早安排入山調查之人員，可將調查行程寄給其他子計畫承辦單位，並以勾選的方式決定是否參予該次調查，每季至少能有一次共同作業，如此一來，計畫參予人員間之調查資料，於其他領域性之細項，便可直接交流，使資料的正確性提升。

八、散會

★ 第三次工作會議

一、時間：98 年 6 月 29 日(星期一)上午 10 時 00 分

二、地點：國立中興大學森林學系二館 201 教室

三、主持人：歐教授辰雄 呂教授金誠

四、出席人員：詳如簽到表

五、報告事項：

(一)期中簡報準備事宜

本計畫訂於 98 年 7 月 15 日(星期三)進行期中報告，報告時間詳如附件一，期中報告書需於 98 年 7 月 8 日(星期三)前完成彙整、裝訂、寄達雪霸處，因此請各子計畫於 98 年 7 月 6 日(星期一)前將電子檔送至曾喜育老師電子信箱：erecta@dragon.nchu.edu.tw；有關期中報告格式，請參閱附件二。並請各子計畫團隊於期中報告能全程出席、參與討論。

(二)三六九山莊床位申請

目前雪霸國家公園管理處給予本計畫(含林良恭老師團隊)每月星期五、六共 40 個床位(各 20 個)，請各子計畫自行上網申請，若於星期五、六無法申請到床位時(請盡量在 1 個月前)，再請各團隊備齊入園申請書 mail 給王偉同學，我們會先連繫雪霸處是否有床位，再盡速公文送達雪霸處與上網協助。

(三)三六九山莊之儲藏室使用

雪霸處同意於三六九山莊提供一間儲藏室供作計畫使用(進入山莊大門後右轉，位於右側)，請各子計畫將調查工具、材料等物資放置整理箱內，註明團隊名稱，貴重儀器盡可能不要放置；儲藏室未來將會買號碼鎖鎖上，號碼鎖鎖號會 mail 通之各子計畫。儲藏室門上將商請雪霸處協助掛上計畫使用之門牌。

(四)圈谷與黑森林搭帳篷

因研究需要，各團隊於圈谷與黑森林搭帳篷時，盡可能找隱蔽處，白天請將帳篷放下，並掛上研究告示牌(告示牌會放置於儲藏室)，貴重物資請不要留在帳篷內。

(五)調查時敬請各團隊於雪霸處武陵管理站借用調查背心。

(六)請各子計畫報告目前調查研究情形及需要協助之處。

六、討論事項

案由一、請各子計畫對「簡便生態分布資料格式」請各子計畫針對內容、格式提出建議或使用上之問題。

說明：於 98 年 6 月 20 日(星期一)將林永昌工程師所提供之「簡便生態分布資料格式」電子檔(如附件三)寄給各子計畫。

七、臨時動議：無

八、散會：上午 11 時 40 分

★第四次工作會議

一、時間：98 年 11 月 27 日(星期五)上午 09 時 30 分

二、地點：國立中興大學森林學系 202 會議室

三、主持人：歐教授辰雄 呂教授金誠

四、參加人員：詳如簽到表

五、報告事項

(一)有關期末報告事宜：

1. 本計畫期末報告訂於 98 年 12 月 14 日(星期一)假雪霸國家公園管理處第二視聽室舉行，各子計畫簡報時間為 20 分鐘，報告順序詳如附件一。
2. 因報告書需於 98 年 12 月 7 日(星期一)前完成彙整、裝訂、寄達雪霸處，請各子計畫於 98 年 12 月 1 日(星期二)前將電子檔(.doc 格式)送至曾喜育老師電子信箱：erecta@dragon.nchu.edu.tw。
3. 期末報告格式請與期中報告編排方式相同。
4. 請各子計畫團隊於期末報告能全程出席、參與討論。
5. 今年度起，營建署欲建置各國家公園的生物多樣性地理資訊系統，要求各國家公園繳交生物性計畫的原始生態調查資料，填列表格的格式及範例(如附件二)，與本計畫略有相同，會後將送至各子計畫老師信箱，請老師於期末報告時一併繳交。

(二)請各子計畫報告目前調查研究成果，並提出是否需其他子計畫各項參數之提供。

(三)99 年為雪山高山生態系研究第二年，預計工作項目如附件三，為使研究更有聯結性，請各子計畫於下次工作會議明確提出，需何類群子計畫配合、提供參數格式及介量，以利討論。

六、臨時動議

七、散會

第一章 高山微氣象與熱量收支之研究

中文摘要

本研究應用 CLIRAD-SW 輻射傳遞模式，針對雪山高山長期生態系氣象站設站地點及永久樣區進行勢能日射量之推估，因樣區間之緯度差距不大，全年總量介於 $11,061.50 \sim 11,303.46 \text{ MJ m}^{-2} \text{ year}^{-1}$ 。另蒐集玉山、合歡山小風口氣象站 2009 年 1 月～2009 年 10 月資料，應用包溫比法分析熱量收支，結果獲知玉山站淨輻射總量為 $3,562.08 \text{ MJm}^{-2}10\text{month}^{-1}$ ，其中 $9.39 \text{ MJm}^{-2}10\text{month}^{-1}$ 熱量由土壤次層提供；配分子顯熱通量為 $1,613.42 \text{ MJm}^{-2}10\text{month}^{-1}$ ，潛熱通量為 $1,948.65 \text{ MJm}^{-2}10\text{month}^{-1}$ 。小風口站淨輻射總量為 $1,197.94 \text{ MJm}^{-2}10\text{month}^{-1}$ ，其中 $4.91 \text{ MJm}^{-2}10\text{month}^{-1}$ 熱量由土壤次層提供；配分子顯熱通量為 $438.37 \text{ MJm}^{-2}10\text{month}^{-1}$ ，潛熱通量為 $998.80 \text{ MJm}^{-2}10\text{month}^{-1}$ 。

一、研究緣起

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，建立定量的數學模式，為水文與熱量收支在生態系中所發揮的綜合效應，提供理論依據。

二、研究方法及過程

- (一)雪山地區各樣區勢能日射量之推估。
- (二)分別於雪山地區設置圈谷、黑森林、三六九與哭坡頂氣象站，以獲取氣象要素之數值，分析高山微氣象、熱量收支特性。
- (三)蒐集玉山、合歡山小風口氣象站觀測資料，應用包溫比法分析熱量收支，分析不同山岳之間微氣象之同質性與異質性。

三、成果

- (一)各樣區勢能日射量之推估值，因各樣區緯度差距不大，全年總量介於 $11,061.50 \sim 11,303.46 \text{ MJ m}^{-2} \text{ year}^{-1}$ ；數值多寡係由於海拔高度及地形遮蔽效應所造成。
- (二)主氣象站設置地點，以圈谷底優於主峰；但因可及性極高，若設置後恐引致登山愛好者不良觀感。永久樣區氣象參數觀測站(副站)之站址，履勘決議以

哭坡頂及黑森林樣區為設置地點。此外，位於三六九山莊周遭的林火跡地，因具有顯著的地形遮蔽效應，為日射量推估模式理想的驗證樣點，兼之甫遭受林火危害，地表尚處於天然復育階段，亦極適於設置微氣象觀測器，獲取相關數據，探討植群與環境因子交互作用的數量解釋。

(三)雪山地區日射量之分布，以2009年10月為比較基礎；圈谷站承獲日射量 $436.67 \text{ MJm}^{-2}\text{month}^{-1}$ 為最高，三六九站為 $364.76 \text{ MJm}^{-2}\text{month}^{-1}$ 次之；黑森林站遭冠層遮阻截留，僅剩 $85.42 \text{ MJm}^{-2}\text{month}^{-1}$ ，較之三六九站減少了 $279.34 \text{ MJm}^{-2}\text{month}^{-1}$ 。氣溫的乾絕熱遞減率，以圈谷站與哭坡頂站為計算基礎，則兩站之間的遞減率平均(2009年9月24日~10月18日)為 $-0.62^\circ\text{C} 100\text{m}^{-1}$ ，尚與一般文獻契合。降雨量的梯度分布隨海拔遞升而遞增。

(四)雪山地區因甫新設站，熱量收支之分析，選擇蒐集海拔高度相若之玉山站與合歡山小風口站，自2009年1月1日~10月31日之資料，其結果玉山站淨輻射總量為 $3,562.08 \text{ MJ m}^{-2} 10\text{month}^{-1}$ ，其中 $9.39 \text{ MJ m}^{-2} 10\text{month}^{-1}$ 熱量由土壤次層提供；配分子顯熱通量為 $1,613.42 \text{ MJm}^{-2} 10\text{month}^{-1}$ 比率為45.29%；潛熱通量為 $1,948.65 \text{ MJm}^{-2} 10\text{month}^{-1}$ 、比率為54.71%。小風口站淨輻射總量為 $1,197.94 \text{ MJm}^{-2} 10\text{month}^{-1}$ ，其中 $4.91 \text{ MJm}^{-2} 10\text{month}^{-1}$ 熱量由土壤次層提供；配分子顯熱通量為 $438.37 \text{ MJm}^{-2} 10 \text{ month}^{-1}$ 、比率為38.19%；潛熱通量為 $998.80 \text{ MJm}^{-2} 10\text{month}^{-1}$ 、比率為61.81%。

四、主要建議事項

雪山地區因位於中央山脈稜脊，地形所造成的屏障導致GSM或GPRS訊號普遍不良，無法達到即時傳輸之目標。建議考慮在未來建置無線傳輸系統，對於天然災害預警，山難事件防救，自然現狀監測影像與數據之傳輸，將有極大助益。

關鍵詞：高山微氣象、熱量收支、雪山圈谷、合歡山

Abstract

This study use CLIRAD-SW Radiation Transmitting Model to estimate potential radiation on the established location of meteorological observatory and permanent plot of Sheishan Long Tern Alpine Ecosystem in Central Taiwan. The gross potential radiation was estimated to be between 11,061.50~11,303.46 MJ m⁻² year⁻¹. The short latitudinal distance led to insignificant difference. In addition, the heat budget was analyzed using Bowen Ratio Method with the data collected in January of 2005 and October of 2009 at YuShan Observatory and SiaoFongKou Observatory (in HoHuanShan alpine region) in Central Taiwan. The analysis of energy budget shows that in YuShan Observatory the gross net radiation flux is 3,562.08 MJm⁻²10month⁻¹ with additional energy 9.39 MJm⁻²10month⁻¹ from the sub-layer soil heat flux. Among the total amount, 1,613.42 MJm⁻²10month⁻¹ can be attributed to sensible heat flux and 1,948.65 MJm⁻²10month⁻¹ to latent heat flux. In SiaoFongKou Observatory the gross net radiation flux is 1,197.94 MJm⁻²10month⁻¹ with additional energy 4.91 MJm⁻²10month⁻¹ from the sub-layer soil heat flux. Among the total amount, 438.37 MJm⁻²10month⁻¹ can be attributed to sensible heat flux and 998.80 MJm⁻²10month⁻¹ to latent heat flux.

Keywords: alpine micrometeorology, heat budget, Syue Mountain cirque, Ho-Huan Mountain.

一、研究緣起與背景

自工業革命以降，人類活動所導入的全球氣候變遷，導致氣溫、降水量及太陽輻射等氣象要素異常分布，其所形成之驅動力直接或間接影響亞熱帶山區的生態系。相較於低海拔地區，高山地區的生物社會所存在的棲地，相對的嚴苛；高山地區的生物社會受到迥異於低海拔地區而不適於生長與發育之環境因素的綜合影響；這些環境因素有溫度(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。

另一方面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。

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，建立定量的數學模式，為水文與熱量收支在生態系中所發揮的綜合效應，提供理論依據。

二、研究設計

(一)研究地點

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2,000 m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。

整合調查計畫計規劃「七卡山莊東側、哭坡頂、東峰西側、三六九山莊、黑森林、圈谷」等七處樣區，各樣區地理位置、地表狀態詳如表1-1。本計畫因應永久樣區之設置，考量經費之額度，初步以一主站、兩副站方向規劃；設站地點於2009年5月28日～29日與全體研究人員上山勘察，勘查決議以圈谷為主氣象站設站位址，唯地點應以不影響天際線為原則；另外擇取「哭坡頂、黑森林、圈谷」等三個樣區為氣象參數觀測站站址。

表 1-1 雪山地區樣區地理位置一覽表

樣區	X 座標 (TWD67)	Y 座標 (TWD67)	海拔 (m)	植被狀態
七卡山莊東側	278201	2697725	2,514	天然闊葉林
哭坡頂	277333	2698543	3,024	玉山箭竹、高山芒草
東峰西側	276758	2698303	3,179	玉山箭竹、高山芒草
三六九山莊	274817	2698769	3,222	林火跡地
黑森林	273536	2698764	3,408	臺灣冷杉
圈谷	273136	2698268	3,593	玉山圓柏、玉山杜鵑

(二)研究方法

1. 勢能日射量之推估

勢能日射量係應用CLIRAD-SW輻射傳遞模式進行推估，CLIRAD-SW輻射傳遞模式由美國航空暨太空總署(National Aeronautics and Space Administration, NASA)所發展，模式考慮了水汽、臭氧、氧氣、二氧化碳、雲及氣溶膠等吸收效應；亦考慮雲、氣溶膠與分子等吸收與散射效應之影響，進而輸出0.175至10 μ m波長之直接輻射量及漫射輻射量(Chou and Suarea, 1999)。

該模式曾擷取中央氣象局與空軍於板橋、馬公、屏東、綠島及花蓮之月平均氣球探空大氣剖面水氣資料(官岱緯、林博雄，2005)，並以現有縣市界合併為5大區域，分別採用鄰近探空資料做為模擬基礎；臭氧、氧氣、二氧化碳、雲及氣溶膠等參數，則採用模式所附之標準值進行模擬，由於模式中並未考慮雲霧之影響，本項推估結果可視為晴空條件下之勢能太陽輻射入射量(potential global radiation)(賴彥任，2003；賴彥任、林博雄，2006)。

2. 高山微氣象與熱量收支

微氣象學中經由近地氣象要素的量測來計算熱量的收支，本研究以包溫比能量平衡法(Bowen ratio energy balance method, BREB，以下簡稱包溫比法)，係根據傳輸的原理，導出測定計算顯熱通量(sensible heat flux)、潛熱通量(latent heat flux)；土壤次層的熱量收支(土壤熱通量，soil heat flux)則應用梯度法，以兩個層

次的溫度梯度與熱傳導係數推導。顯熱通量、潛熱通量與土壤熱通量之計算公式概述如下(近藤，1996；鈴木，1992；魏聰輝等，2008)：

$$\text{包溫比：} \beta = \gamma \frac{\frac{\partial T}{\partial z}}{\frac{\partial e}{\partial z}} = \gamma \frac{(T_1 - T_2)}{(e_1 - e_2)} = 0.5 \frac{\Delta T}{\Delta e} \dots\dots\dots(1-1)$$

$$\text{顯熱通量：} H = \frac{R_n - S}{\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)} \dots\dots\dots(1-2)$$

$$\text{潛熱通量：} \lambda E = \frac{R_n - S}{1 + \beta} \dots\dots\dots(1-3)$$

$$\text{土壤熱通量：} S = -K_s \frac{\partial T_s}{\partial z} \dots\dots\dots(1-4)$$

儀器之採購需依照採購法規定程序辦理，截至目前仍處於上網公告階段，因此擷取距離雪山地區最近之合歡山小風口氣象站之光合作用有效輻射量、氣溫、相對濕度與地溫等資料，進行熱量收支之分析。

三、結果

(一)氣象站站址與觀測項目

設站地點於2009年5月28日～29日與全體研究人員上山勘察，計履勘哭坡頂、林火跡地、黑森林、圈谷底、雪山主峰等五個地點。履勘最後決議以圈谷為主氣象站設站位址，另擇取「黑森林、三六九山莊、哭坡頂」等三個樣區為樣區氣象參數觀測站之站址，以獲取相關數據，探討植群與環境因子交互作用的數量解釋。四處氣象站於辦理行政作業後，於2009年9月22日～24日前往試驗區安裝儀器，設置地點之立地條件詳見表1-2、相關位置如圖1-1；各站站名與代碼、施行觀測之要素及感應器、裝設高度或埋設深度等資料詳如表1-3；設站後之遠、近景觀詳如照片1-1～1-5。

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。

各站因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為初始日期與時間。至目前，共前往讀取資料兩次，分別為2009年10月18日~20日、11月22日~24日；唯哭坡頂氣象站於11月23日讀取資料之際，因人為操作程序失誤，導致資料因之而遭刪除；因此該站10月19日14:00~11月23日13:00間之資料缺漏，有待日後積累相當資料後，再以鄰近測站資料以統計方法補遺。四處氣象站之統計資料詳如附表1-1~附表1-4。

觀測資料經校正整理後，以小時及日統計值方式呈現，並以Microsoft Excel 試算表軟體建置，轉交予子計畫九：規劃、聯繫、資料整合部門匯入資料庫，同時傳送予各子計畫，供環境背景資料分析與研究之參考。

表 1-2 雪山地區高山生態系整合調查氣象站站址勘查評估表

地點	圈谷	黑森林	三六九	哭坡頂
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	3,100 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	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
土壤層礫石比率	未知	20%	10%	80%
土壤層礫石粒徑	未知	0-45 cm	0-30 cm	30-50 cm
影響天際線	是	否	輕微	否
GSM/GPRS 訊號	無	無	不穩	可

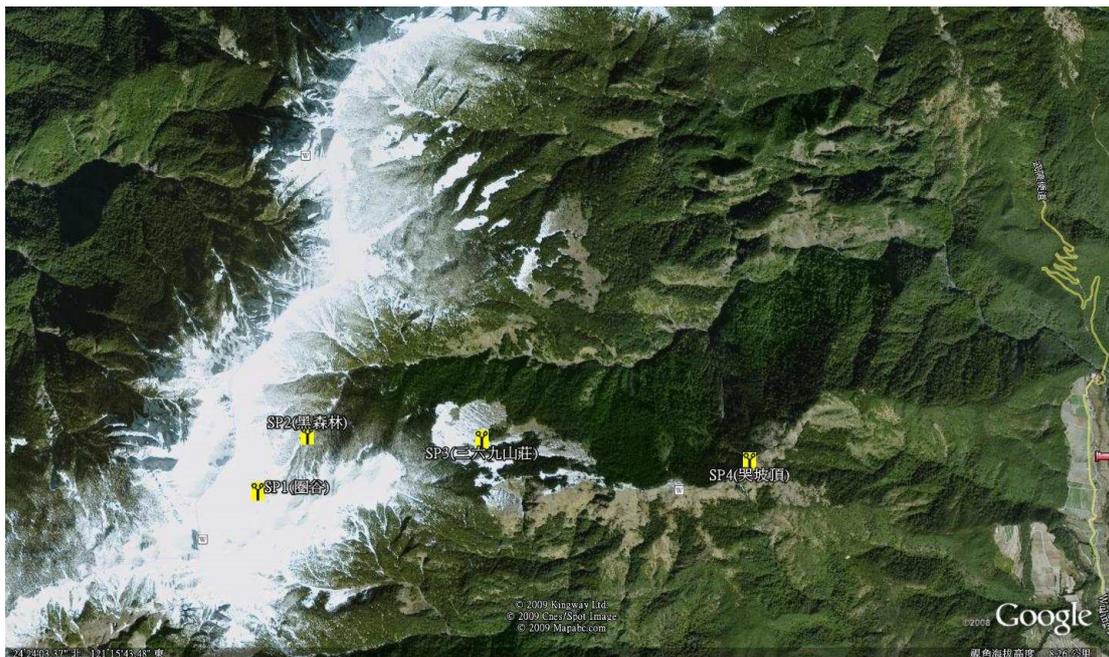


圖 1-1 雪山地區高山生態系整合調查氣象站位置圖。



照片1-1 雪山圈谷氣象站設站後之景觀。



照片1-2 雪山黑森林氣象站設站後之景觀。



照片1-3 雪山三六九山莊氣象站設站後之景觀。



照片1-4 雪山哭坡頂氣象站設站後之景觀。

表 1-3 雪山地區高山生態系整合調查樣區氣象參數觀測項目表

觀測項目	圈谷底 ¹	黑森林 ²	林火跡地 ²	哭坡頂 ²
	SP1	SP2	SP3	SP4
資料處理記錄器	Campbell CR 1000	Hobo U30	Campbell CR 10X	Hobo U30
氣壓 (hPa)	■			■
氣溫 (°C)	■	■	■	■
相對濕度 (%)	■	■	■	■
日射量 ($\text{MJ m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	■	■	■	■
光合作用有效輻射量($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	■	■	■	■
風速 (m s^{-1})	■	■	■	■
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	■			
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)	■		■	

¹：主氣象站

²：樣區氣象參數觀測站

■：觀測項目與感應器

(二) 勢能日射量之推估

在複雜的物理環境因子中，太陽輻射為生態系之主要能量來源，為生態環境研究上之有效變數，亦為整體生態系能量、養分循環及食物鏈關係之影響機制，因此如何掌握空間性太陽輻射能的變化為生態系能量等研究的重點(夏禹九等，1992)。然而氣象測站的設置與維護費用昂貴，且僅能偵測單點的氣候狀況，無法顧及整個地面的變化狀況。在臺灣地形起伏十分劇烈下，難以將單點監測結果直接適用於集水區各處；在氣象站站址勘選之際，考量集水區內地形特性，亦須依賴此一方式施行評估，本研究遂應用CLIRAD-SW輻射傳遞模式，針對氣象站站址履勘地點及永久樣區進行勢能日射量之推估，結果詳如圖1-2~1-6；氣象站站址勘查地點之勢能日射量全年逐日分布情形詳如圖1-7。

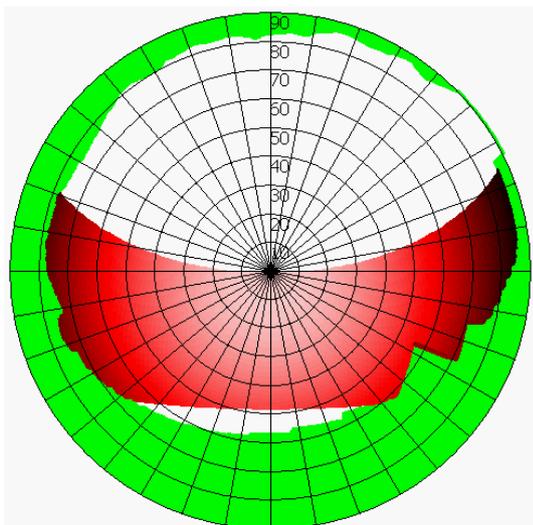


圖1-2 哭坡頂樣區全年勢能日射量分布圖。

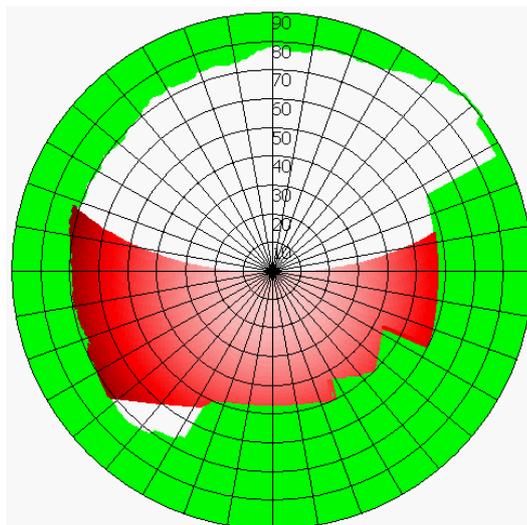


圖1-3 三六九山莊(林火跡地)樣區全年勢能日射量分布圖。

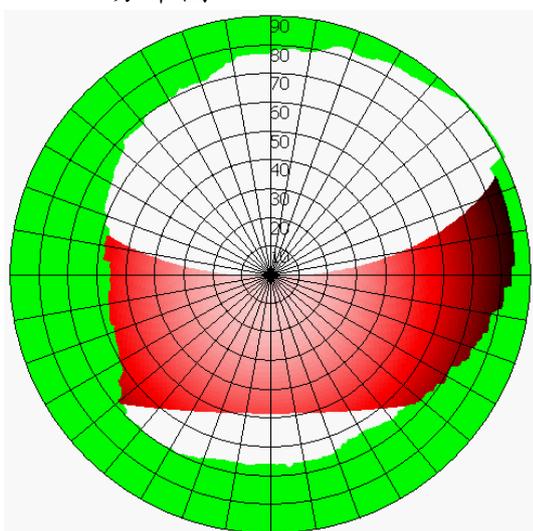


圖1-4 黑森林樣區全年勢能日射量分布圖。

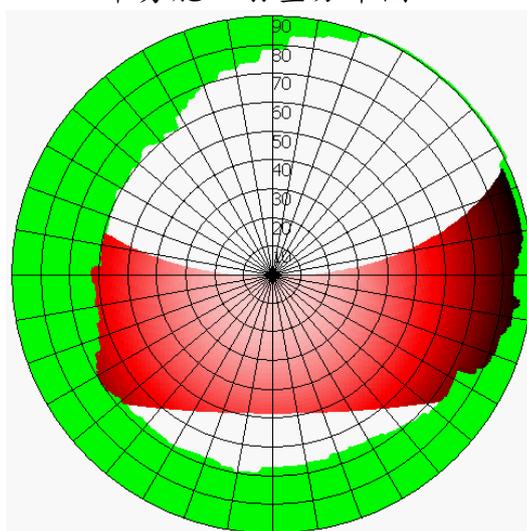


圖1-5 圈谷樣區全年勢能日射量分布圖。

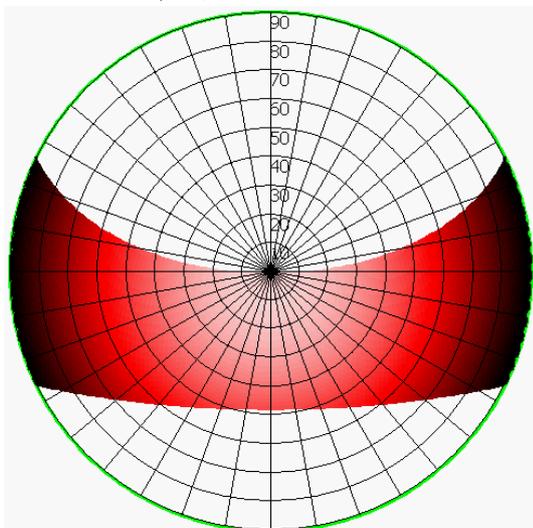


圖1-6 雪山主峰樣區全年勢能日射量分布圖。

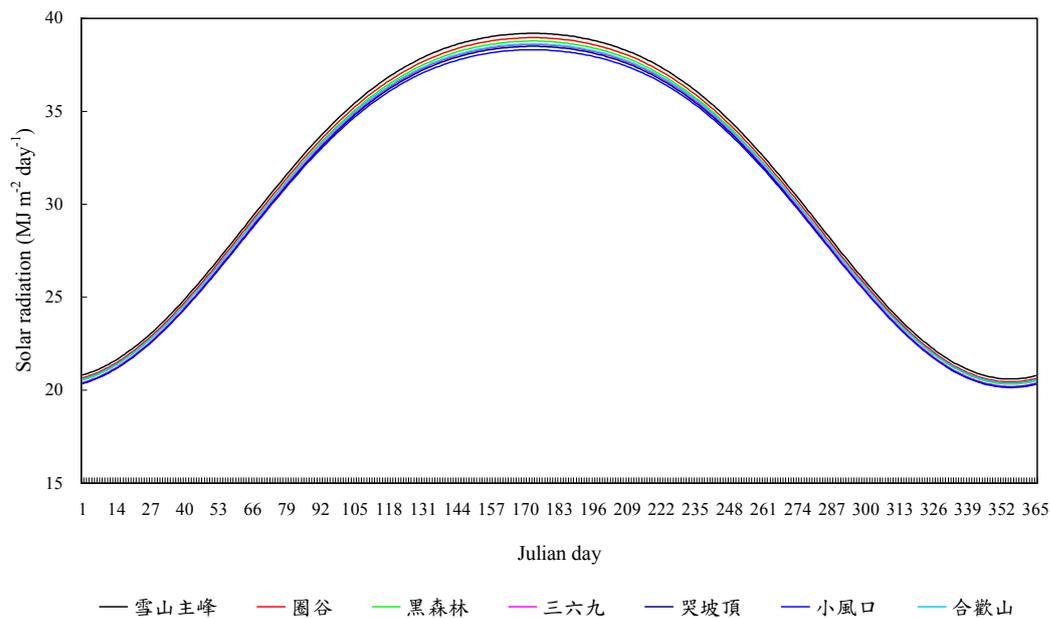


圖1-7 氣象站站址勘查地點之勢能日射量全年逐日分布。

(三) 高山微氣象與熱量收支

1. 高山微氣象特徵

雪山地區之氣象站目前仍處於新設置測試階段，所積累之資訊始於2009年9月下旬，止於2009年11月，尚無法探討年變化，因此可選擇相距最近之高山測站作為分析對象，鄰近地區內有二處氣象站，分別為隸屬於行政院農業委員會特種生物保育中心合歡山小風口氣象站(X座標：278324、Y座標：2673181，海拔3,005 m，相距雪山主峰25.14 km)；以及隸屬於交通部中央氣象局的合歡山遙測氣象站(X座標：276874、Y座標：2671146，海拔3,292 m，相距雪山主峰26.89 km)；兩測站與雪山地區相關位置詳見圖1-8。合歡山遙測氣象站觀測項目為氣溫、降雨量、平均風風速、平均風風向、日照量(日照時數)；小風口氣象站觀測項目為林外氣溫、林外相對濕度、林外有效輻射量、林外地溫(10、20、30 cm深度)；林內氣溫、林內相對濕度、林內有效輻射量、林內地溫(10、20、30 cm深度)。兩處氣象站中以小風口氣象站之觀測項目符合包溫比法之理論需求，遂擷取自2009年1月1日1:00~2009年10月31日24:00之林外觀測參數，作為與雪山地區海拔約略相等之哭坡頂氣象站、三六九氣象站進行分析與比較之素材，並藉之施行熱量收支之分析。

臺灣地區另一重要之高山氣象站當推玉山氣象站(X座標：245017、Y座標：2598438，海拔3,845 m)，玉山氣象站位於南投縣信義鄉玉山北峰頂上，為臺灣與東北亞地區最高之氣象站，成立迄今屆六十年，當初設立係為提供日人太平洋戰爭之高空天候所需，另一目的為與阿里山、臺南氣象站呈一直線做剖面氣象分析之用(中央氣象局，2009)。玉山氣象站提供諸多研究環保生態及寒帶林相之氣候資料，對臺灣野生動植物之保育與復育助益良多。雪山地區圈谷氣象站為臺灣地區次高之氣象站，且位於臺灣圈谷地形中形態最完善、最大規模的圈谷(即雪山1號圈谷)，因圈谷地形所形成的熱力環境，應與其他高山地區有所差異，遂蒐集玉山氣象站2009年1月1日1:00~2009年10月31日24:00之小時觀測資料，以資與之分析與比較。

高山氣象站之氣候以低溫、強風、多霧、積雪見稱，雪山地區因甫設站，尚未經歷積雪事件，本期程先就氣溫與山谷風特性加以闡述。四站日平均氣溫逐日分布圖、日平均相對濕度逐日分布圖、日雨量逐日分布圖、日射量逐日分布圖詳如圖1-10~圖1-13；四站平均風速各月份逐時分布圖詳如圖1-14~圖1-17；四站最大風速各月份逐時分布圖詳如圖1-18~圖1-21；圈谷氣象站風花圖以及三六九氣象站風花圖詳如圖1-22~圖1-23。

2. 熱量收支

除統計雪山地區四處氣象站之資料，玉山氣象站、合歡山小風口氣象站之觀測資料以予統計分析；小風口氣象站之觀測參數中的光合作用有效輻射量，所觀測之波長範圍為400~700 nm之輻射量，觀測值多應用於植群光合作用速率或植物生理學之試驗與研究；熱量收支之分析所需之日射量波長範圍為280~2,800 nm之短波入射輻射，兩種感應器性質不同，但因具有直線正相關特性，因此可藉之利用回歸法施行轉換。塔塔加長期生態系草原區氣象站，同時設置了入射輻射量與光合作用有效輻射量感應儀器，根據長期觀測數值所進行之相關性分析如圖1-9所示，其迴歸式為： $y=3.1151x-.2.1403$ ， $R^2=0.9989$ 。本計畫應用該迴歸式進行日射量之推估換算。

熱量收支之分析所需材料為各站每正時觀測值，推算各分量後，以日統計值呈現。根據熱量收支分析，繪製合歡山小風口氣象站、玉山氣象站、圈谷氣象站(SP1)、黑森林氣象站(SP2)、三六九氣象站(SP3)及哭坡頂氣象站(SP4)等六處氣象站2009年各分量配分熱量收支逐日變化圖如圖1-24~圖1-29所示。各站2009年各分量配分熱量收支逐月統計表如表1-4~表1-6。

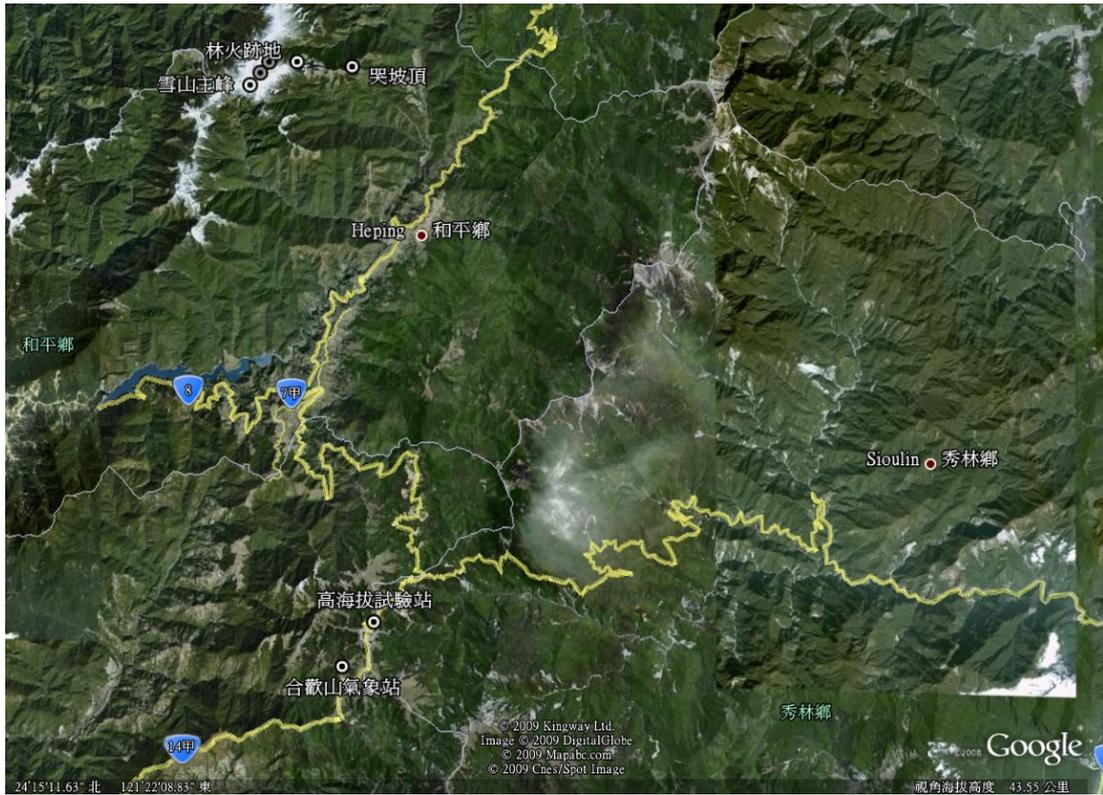


圖1-8 小風口氣象站、合歡山氣象站與雪山主稜線相關位置圖。

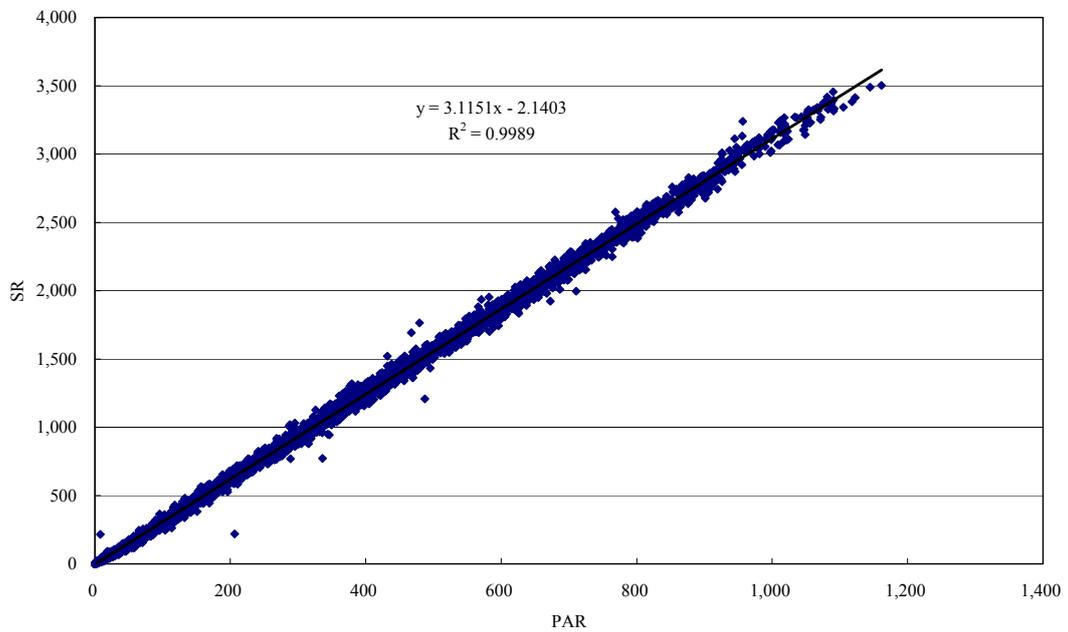


圖1-9 塔塔加生態系草原區氣象站日射量與光合作用有效輻射量相關分析圖。

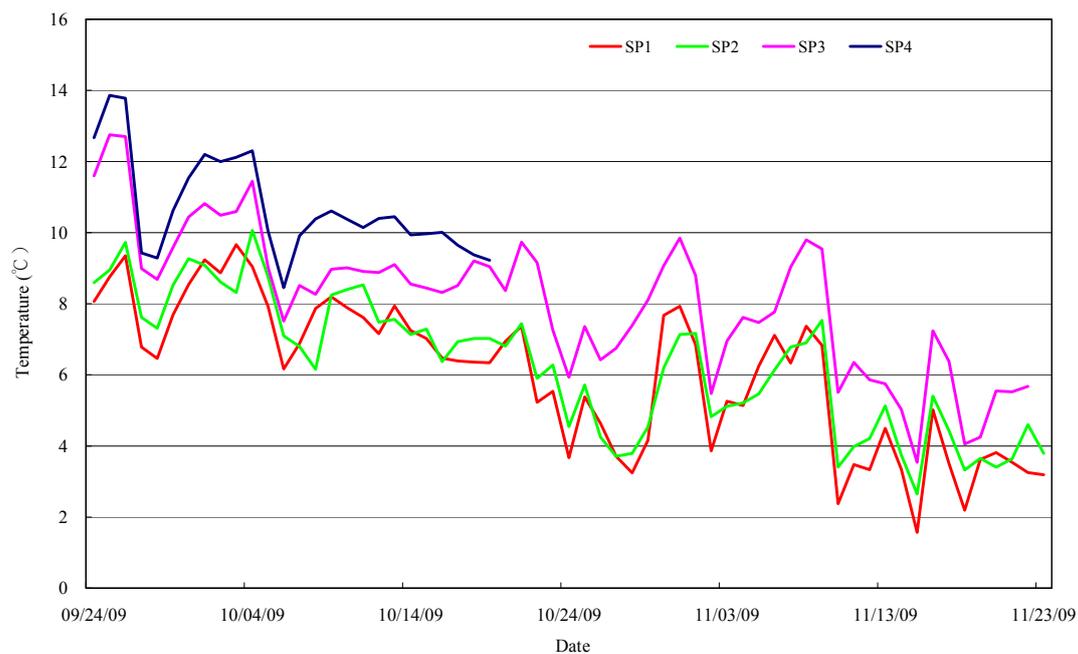


圖1-10 雪山地區四處氣象站日平均氣溫逐日分布圖。

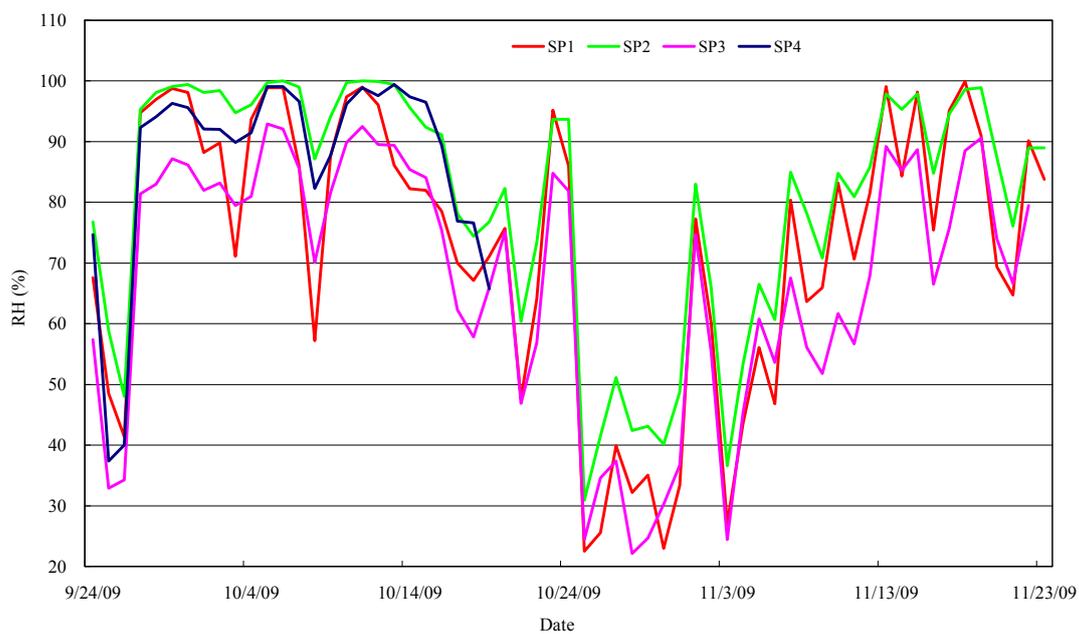


圖1-11 雪山地區四處氣象站日平均相對濕度逐日分布圖。

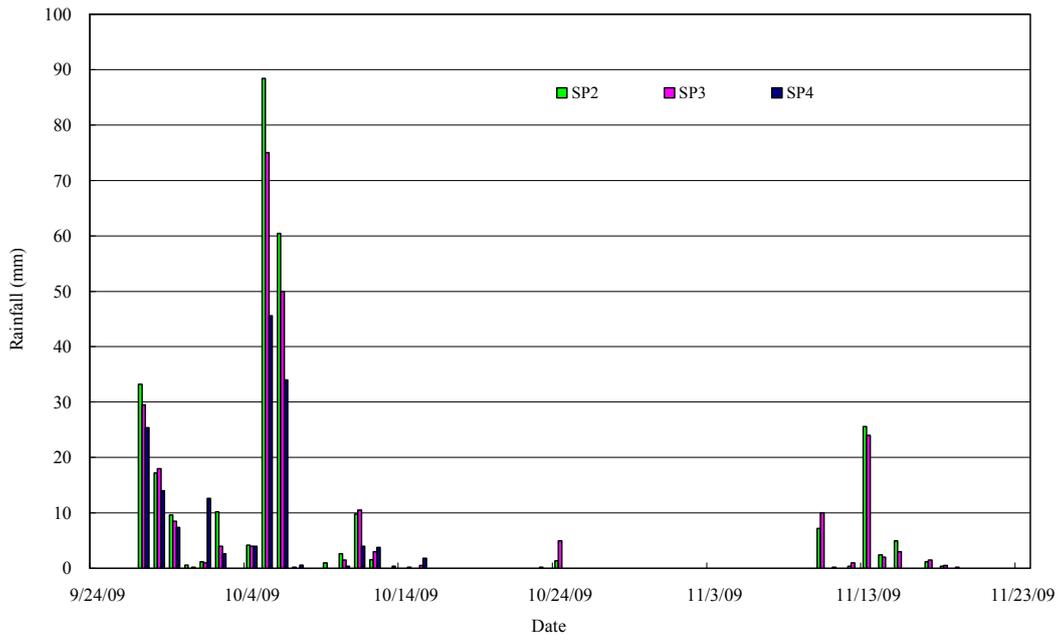


圖1-12 雪山地區三處氣象站日雨量逐日分布圖。

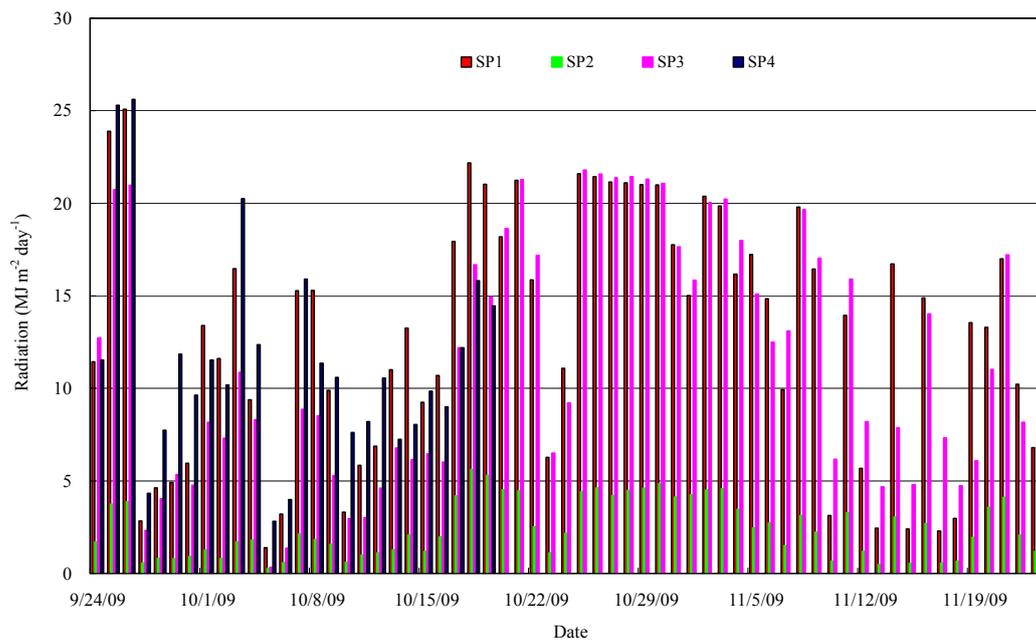


圖1-13 雪山地區四處氣象站日射量逐日分布圖。

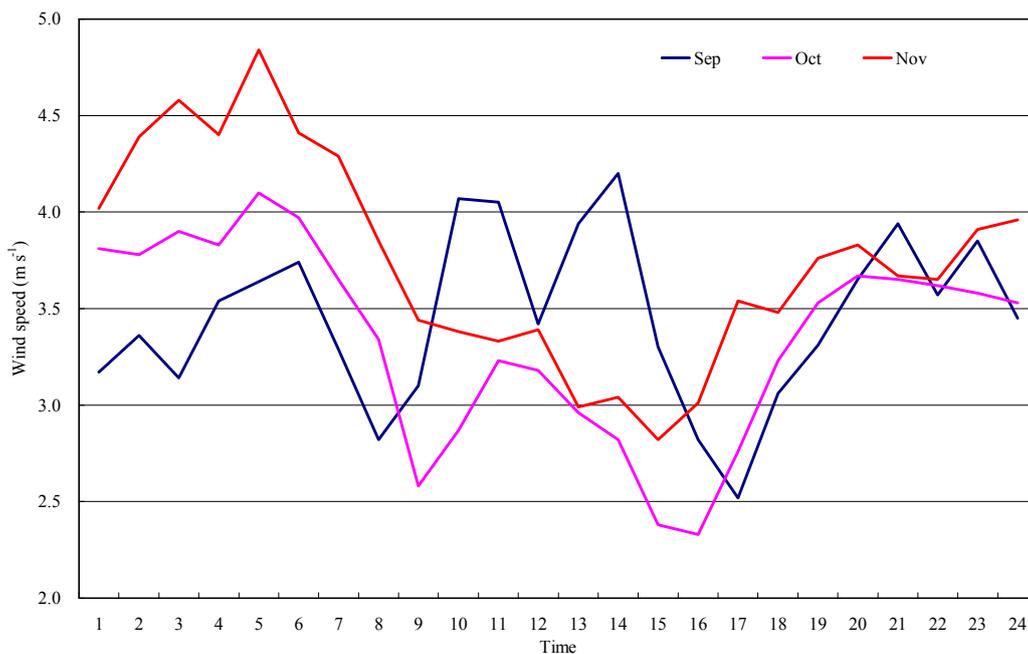


圖1-14 圈谷氣象站9月至11月份平均風速逐時分布圖。

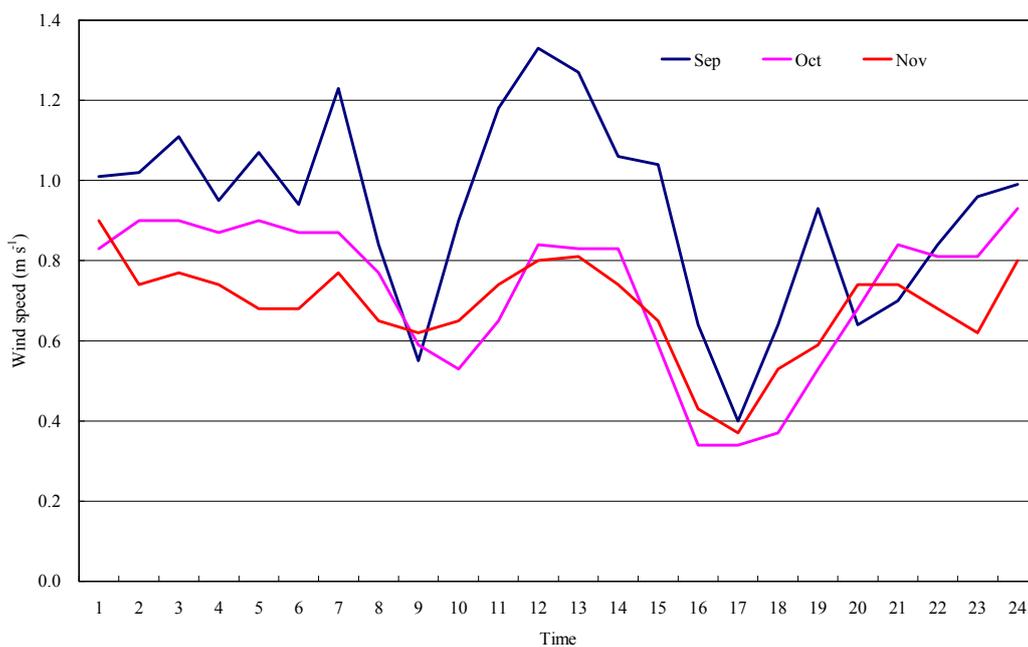


圖1-15 黑森林氣象站9月至11月份平均風速分布圖。

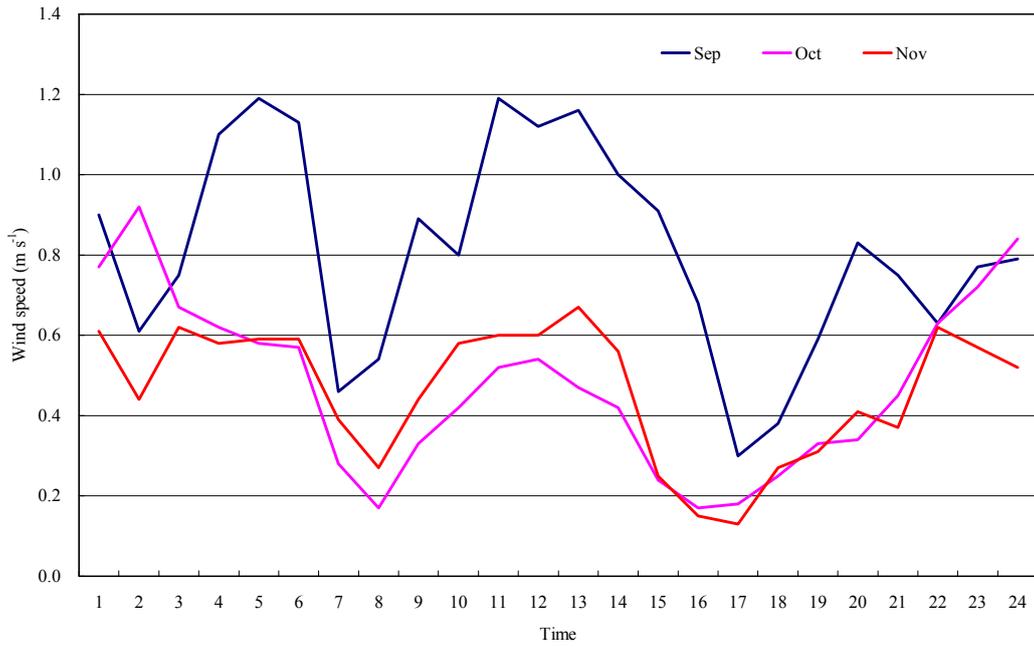


圖1-16 三六九氣象站9月至11月份平均風速逐時分布圖。



圖1-17 哭坡頂氣象站9月至10月份平均風速逐時分布圖。

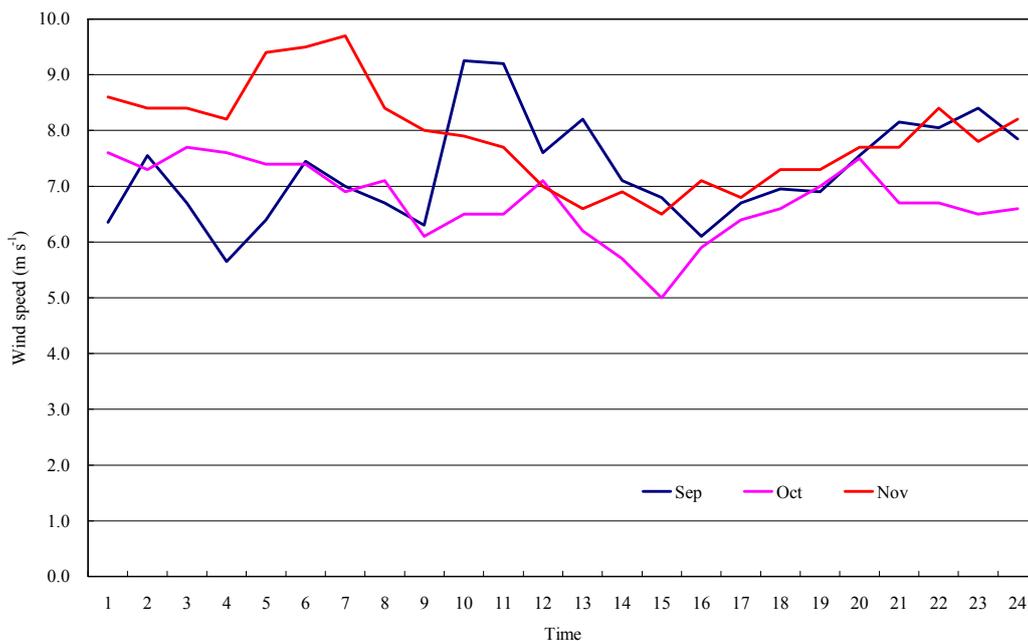


圖1-18 圈谷氣象站9月至11月份最大風速逐時分布圖。

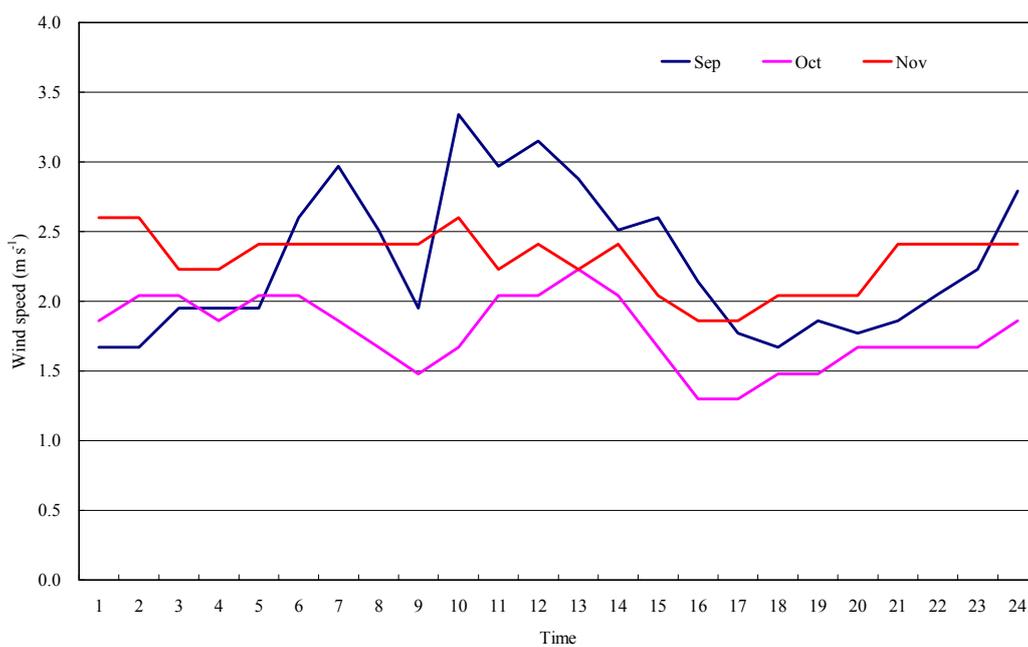


圖1-19 黑森林氣象站9月至11月份最大風速分布圖。

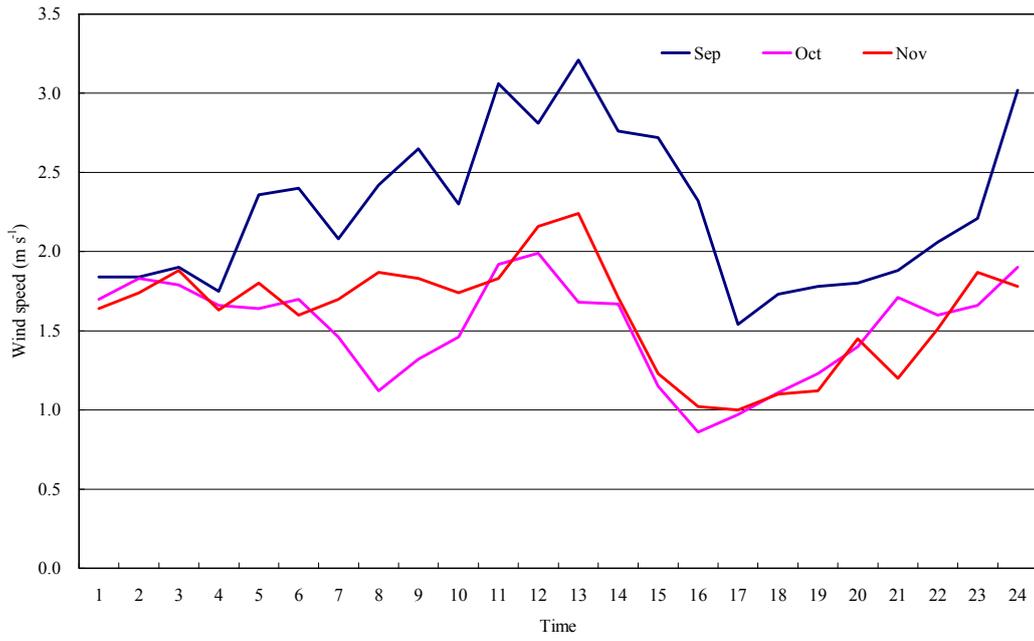


圖1-20 三六九氣象站9月至11月份最大風速逐時分布圖。

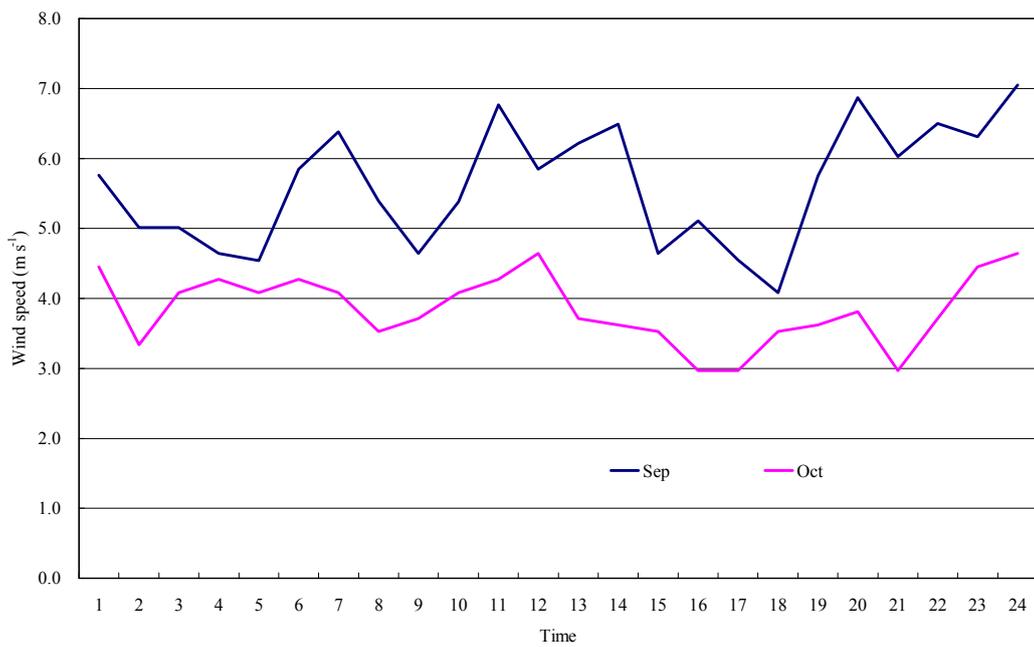


圖1-21 哭坡頂氣象站9月至10月份最大風速逐時分布圖。

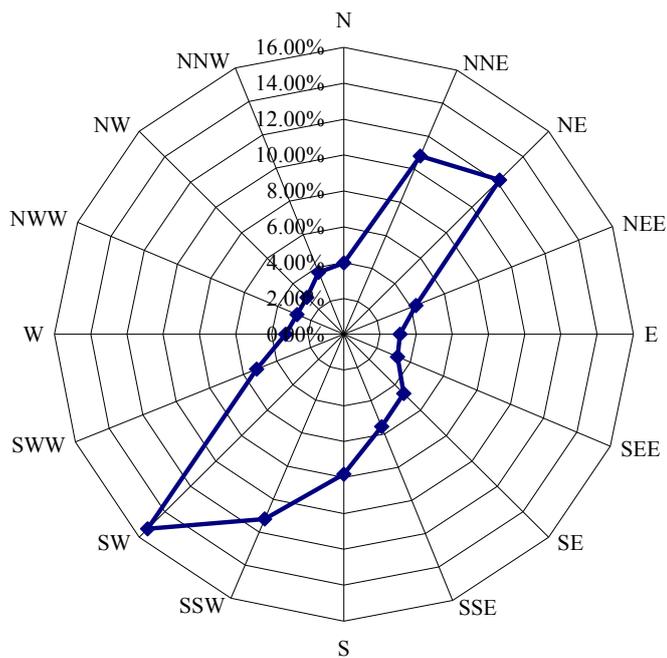


圖1-22 圈谷氣象站風花圖。

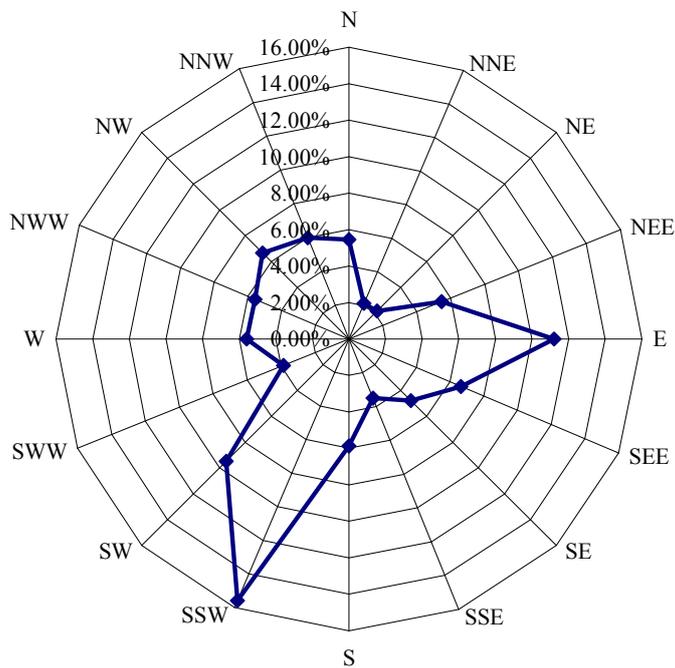


圖1-23 三六九氣象站風花圖。

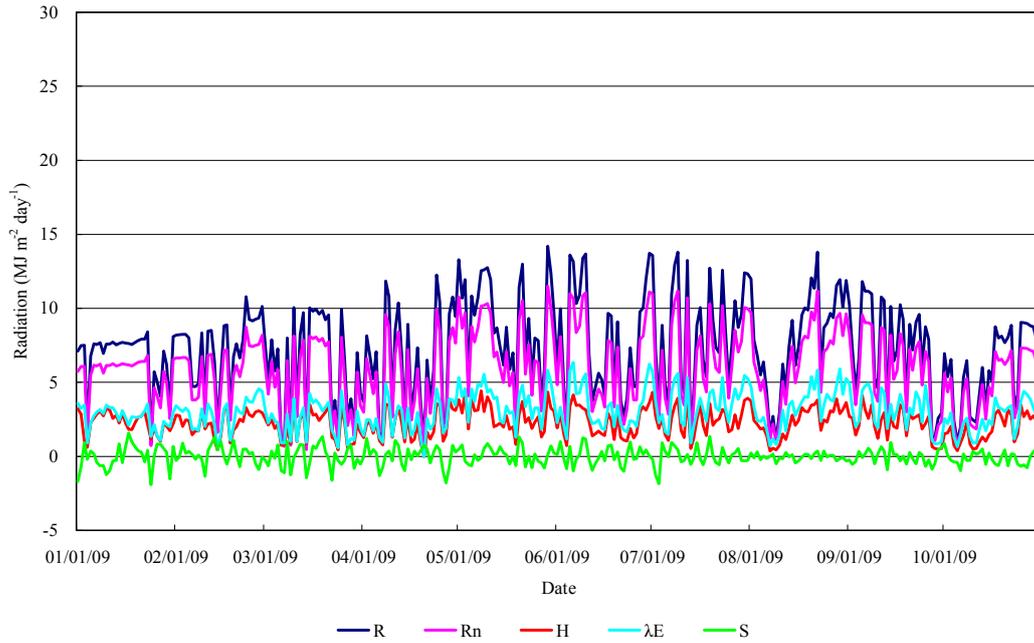


圖1-24 合歡山小風口氣象站各分量配分熱量收支逐日分布圖 (2009/1/1~10/31)。

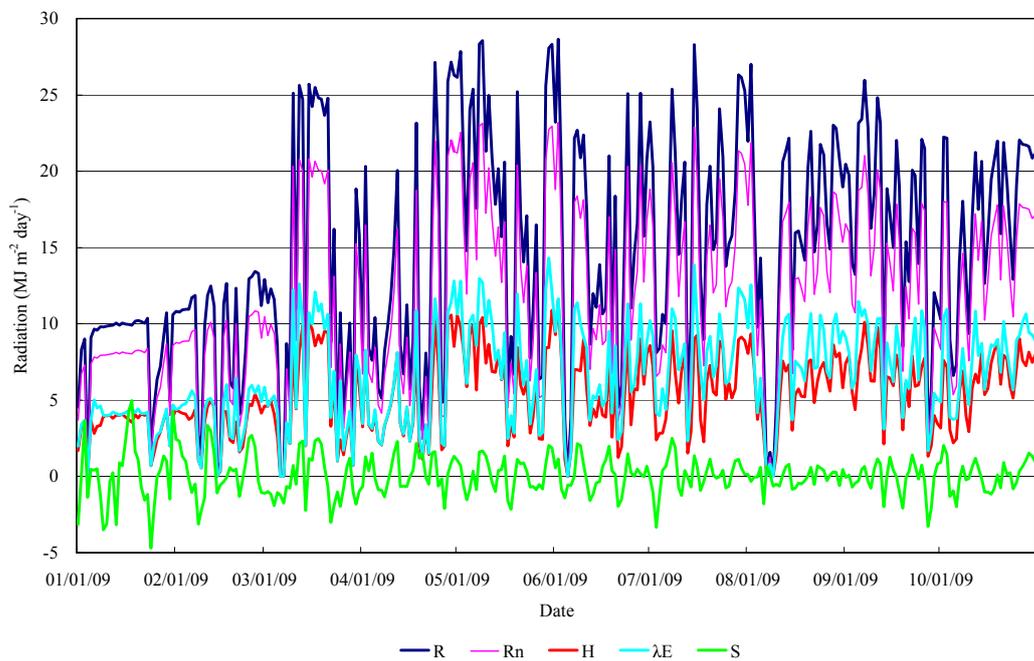


圖1-25 玉山氣象站各分量配分熱量收支逐日分布圖(2009/1/1~10/31)。

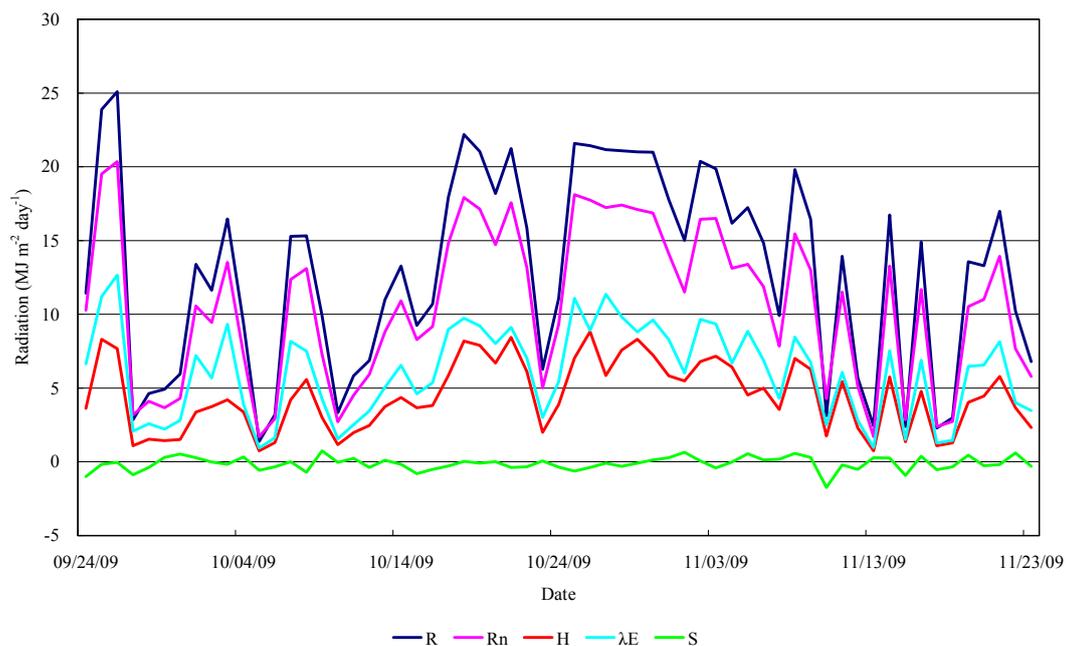


圖1-26 圈谷氣象站各分量配分熱量收支逐日分布圖(2009/9/24~2009/11/23)。

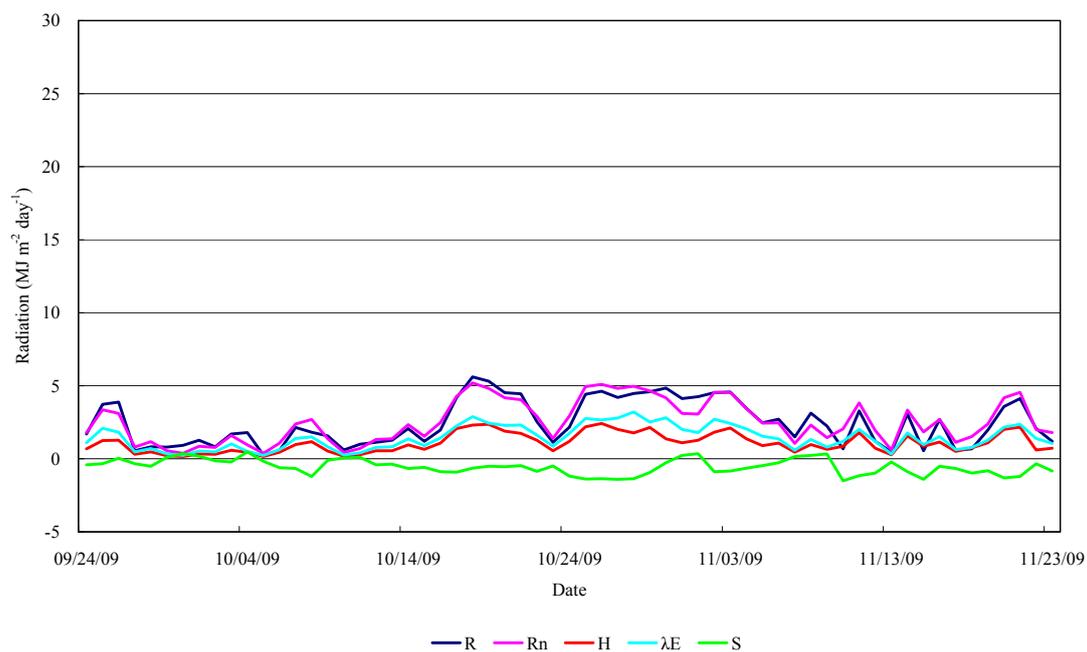


圖1-27 黑森林氣象站各分量配分熱量收支逐日分布圖(2009/9/24~2009/11/23)。

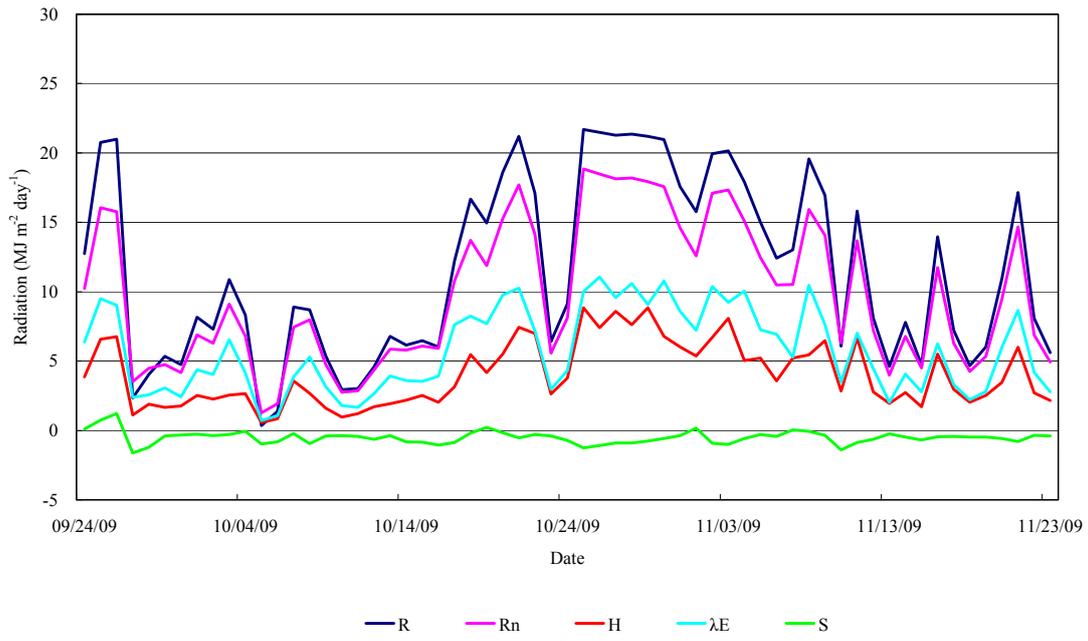


圖1-28 三六九氣象站各分量配分熱量收支逐日分布圖(2009/9/24~2009/11/23)。

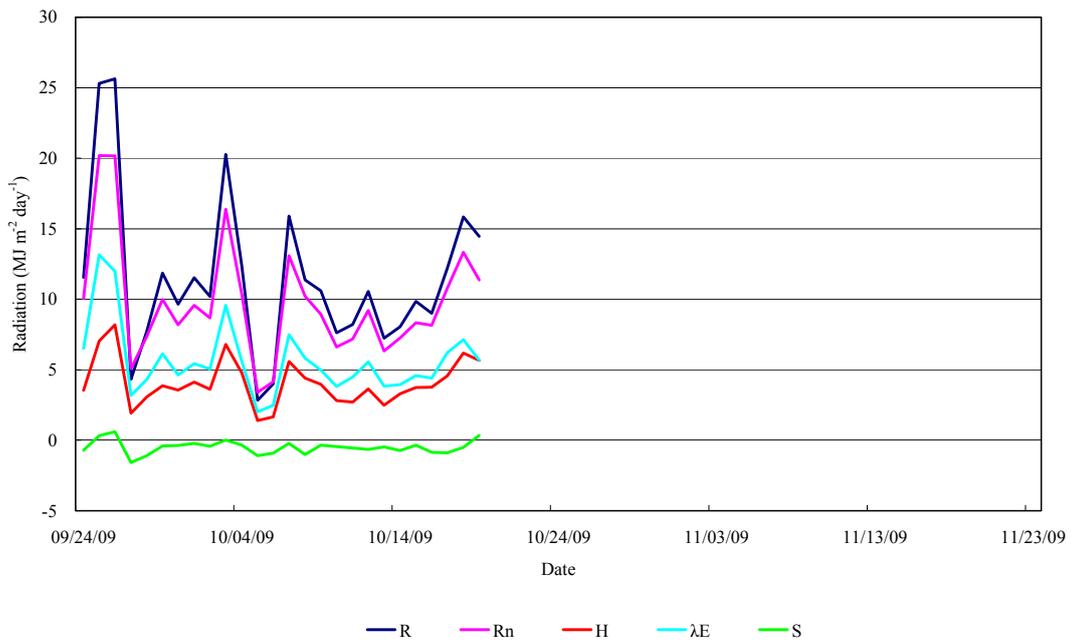


圖1-29 哭坡頂氣象站各分量配分熱量收支逐日分布圖(2009/9/24~2009/10/19)。

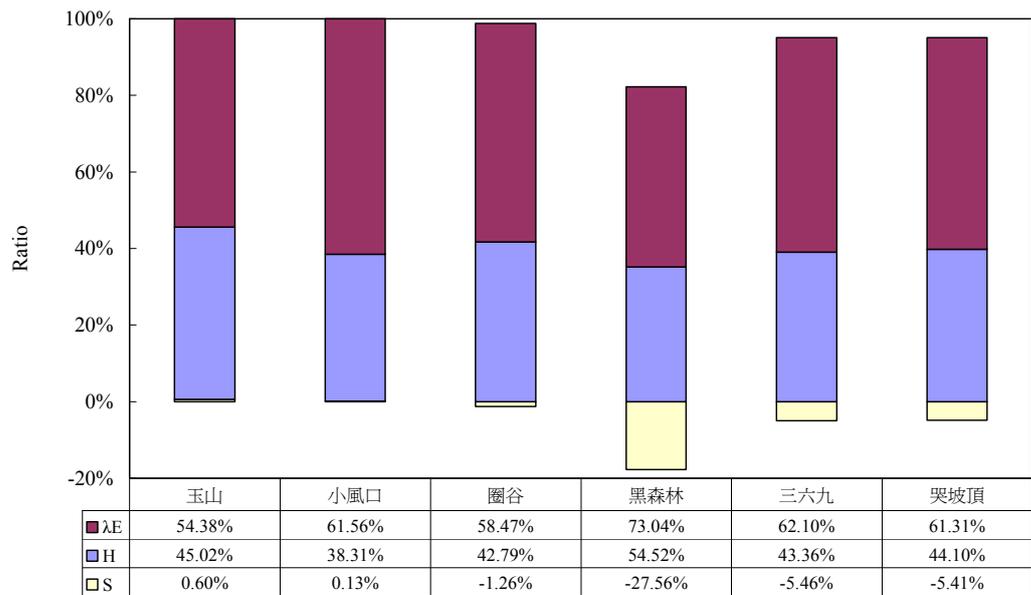


圖1-30 臺灣中部高山地區氣象站熱量收支比率圖。

表1-4 合歡山小風口氣象站各分量配分熱量收支逐月統計值

$\text{MJ m}^{-2} \text{ month}^{-1}$						
Elemens Month	R	Rn	Rn-S	H	λE	S
Jan	209.16	169.34	170.18	70.40	99.78	-0.83
Feb	205.42	166.31	162.66	63.42	99.24	3.65
Mar	186.81	151.23	152.55	61.33	91.22	-1.32
Apr	188.43	152.55	151.29	60.70	90.60	1.25
May	283.61	229.63	227.72	85.97	141.75	1.91
Jun	232.53	188.26	186.08	68.28	117.80	2.18
Jul	261.56	211.77	212.13	77.84	134.29	-0.36
Aug	246.12	199.27	200.19	73.79	126.40	-0.93
Sep	220.11	178.20	179.16	66.66	112.50	-0.96
Oct	185.11	149.85	152.10	56.77	95.33	-2.25
Nov						
Dec						
Sum	2,218.86	1,796.41	1,794.06	685.16	1,108.90	2.35

表1-5 玉山氣象站各分量配分熱量收支逐月統計值

$\text{MJ m}^{-2} \text{ month}^{-1}$						
Elemens Month	R	Rn	Rn-S	H	λE	S
Jan	271.86	220.13	213.64	104.96	108.67	6.49
Feb	260.44	210.88	203.64	95.96	107.68	7.24
Mar	426.82	345.64	354.90	157.92	196.98	-9.25
Apr	388.40	314.53	304.41	148.88	155.53	10.11
May	576.43	466.82	463.03	209.78	253.25	3.80
Jun	454.26	367.87	365.55	162.70	202.85	2.31
Jul	540.32	437.57	434.08	188.52	245.56	3.49
Aug	484.62	392.45	394.36	171.80	222.55	-1.91
Sep	499.41	406.08	407.64	181.24	226.40	-3.20
Oct	522.81	428.13	420.83	191.66	229.17	2.56
Nov						
Dec						
Sum	4,425.37	3,590.12	3,562.08	1,613.42	1,948.65	21.65

表1-6 雪山地區氣象站各分量配分熱量收支逐月統計值

		MJ m ⁻² month ⁻¹					
	Elements	R	Rn	Rn-S	H	λE	S
Month							
圈谷(SP1)	2009/9/24-30	97.37	78.85	80.49	30.54	49.95	-1.65
	2009/10/1--31	436.67	353.61	357.62	152.66	204.96	-4.00
	2009/11/1--23	260.47	210.92	213.39	92.11	121.28	-2.47
黑森林(SP2)	2009/9/24-30	13.73	11.10	12.03	4.72	7.31	-0.93
	2009/10/1--31	85.42	69.10	86.08	36.59	49.50	-16.98
	2009/11/1--23	51.22	41.42	57.04	25.01	32.03	-15.61
三六九(SP3)	2009/9/24-30	79.09	64.04	65.83	26.13	39.70	-1.80
	2009/10/1--31	364.76	295.36	312.61	127.79	184.82	-17.25
	2009/11/1--23	255.80	207.14	219.01	91.73	127.28	-11.87
哭坡頂(SP4)	2009/9/24-30	107.55	87.09	90.56	35.27	55.29	-3.47
	2009/10/1--19	190.47	154.23	163.72	71.06	92.66	-9.49

四、討論

(一)氣象站站址與觀測項目

1. 整合調查計畫主氣象站架設地點評估

高海拔高山地區已達到林木限界，植被組成分子係以不斷受到擾動的禾本科、莎草科及其他草本為主的不安定植群，因週期性的火燒，使其停頓於現狀而成為火燒之亞極群(呂金誠等，2002)。因此整體計畫主氣象站之架設，應以足以代表高海拔山區植被的草原為首要選擇地點。

履勘適合架設主氣象站之地點為主峰與圈谷底兩處，兩處地點均位於登山客可及性極高之處，若架設於主峰，其優點為可與玉山氣象站對照觀測亞寒帶氣象特徵，缺點為未充分突顯出雪山地區的特色；圈谷樣區則以雪山高海拔，具有顯著的冰河地形遺跡，尤其是主峰東北面的圈谷(即雪山1號圈谷)，是臺灣圈谷地形中形態最完善、最大規模的圈谷(楊建夫，2000)，為雪山異於臺灣其他高山地區的地形，尤其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，間接影響生物的生長、發育與遷徙，極適於設站觀測，以一窺其究竟。唯其對於視覺景觀的衝擊，可能造成登山愛好者不良觀感，是一項須克服的議題。主氣象站設置地點，以圈谷底優於主峰；但是因GSM或GPRS訊號無法接收，以致於以目前經費及園區現有硬體設備，無法達到即時傳輸之目標。

為了解圈谷地形氣候特徵，遂選擇設置於圈谷底稍下方之處；經評估氣象站設置於圈谷任何地點，若由稜線俯視，均可直接目視；設置於現有位置，則可避開遊客攝取影像之天際線。

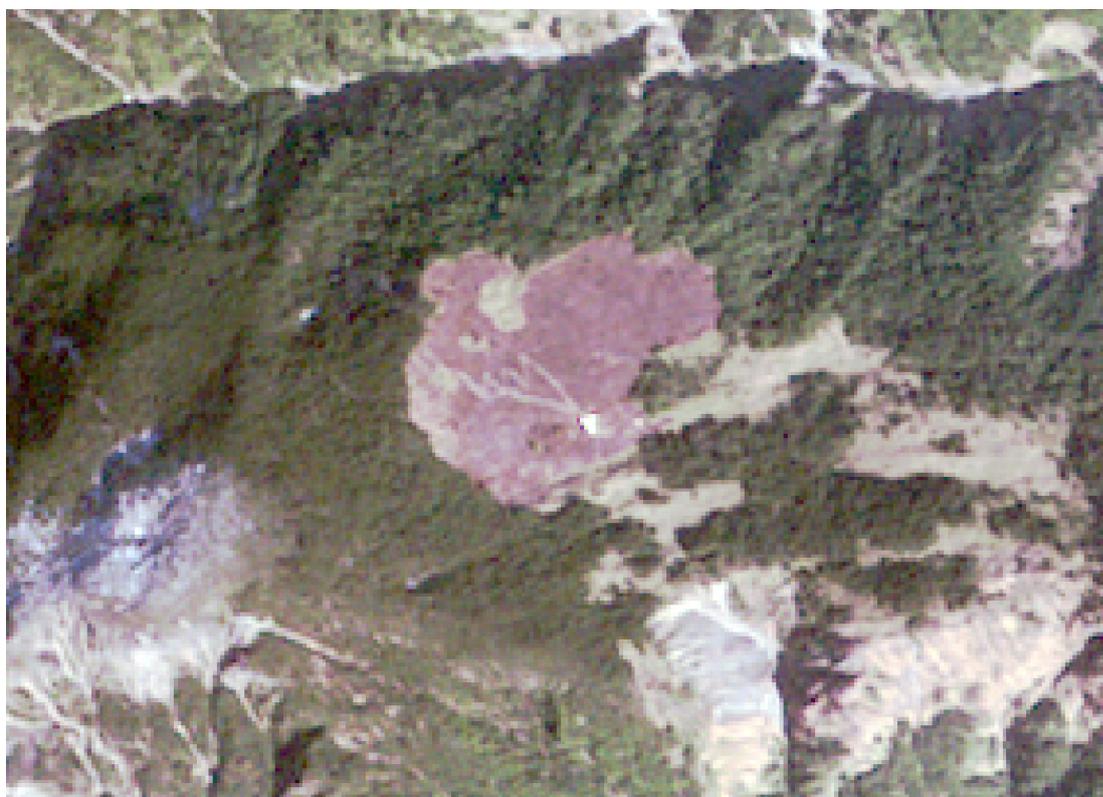
2. 各樣區背景參數值之觀測

太陽輻射抵達地表後，並非均勻的分布，尤以山巒起伏之山區，因為地形的遮蔽，使得到達坡地的太陽輻射因山坡的坡向和傾斜程度有所不同，進而影響山區氣候的形成與造成地面輻射平衡和熱平衡條件在空間上的差異。雪山地區由於山巒起伏、地形變化大，形成變化萬千的微氣象景觀，進而約制地表熱力狀態，間接地影響植群種類之分佈。因此有必要針對不同地形與植被設置樣區，進行背景參數值之觀測；永久樣區氣象參數觀測站(副站)之站址，履勘決議以哭坡頂及黑森林樣區為設置地點。各樣區植被及觀測項目詳如「表1-2 雪山地區高山生態系整合調查樣區氣象參數觀測項目表」；哭坡頂、黑森林樣區預定設置點及其設置後之景觀模擬詳如照片1-2、照片1-3。

三六九山莊週遭之林火跡地，由福爾摩沙二號衛星(以下簡稱福衛二號)於2008年12月11日與2009年2月4日所拍攝兩張影像(詳見照片4、照片5)推判，林火應發生於2008年12月以後，由2009年2月4日影像估算，面積約24公頃，係整合調查計畫所設置永久樣區中，地形遮蔽效應較為顯著的樣區，且甫遭受林火危害不久，地表尚未完全恢復植群被覆，極適於架設儀器，獲取相關參數，探討植群復育過程，熱量收支動態變化；所獲得數據，亦可作為各子計畫評估環境因子與植群交互作用的定量解釋依據。



照片1-5 福衛二號於2008年12月11日所拍攝三六九山莊之影像。



照片1-6 福衛二號於2009年2月4日所拍攝三六九山莊之影像。

(二) 勢能日射量之推估

就太陽輻射傳遞理論而言，若視全島為單一網格進行演算，則於任何時刻之太陽輻射量應與考量地形因子影響後全島平均值極接近，此一理論值可做為地形因子考慮是否週全以及模式演算有無錯誤之驗證(賴彥任、林博雄，2006)。由圖1-7觀之，各樣區之全年日射量樣區緯度差距不大，估算所獲得全年總量介於 $11,061.50 \text{ MJm}^{-2}\text{year}^{-1}$ (小風口氣象站)~ $11,303.46 \text{ MJm}^{-2}\text{year}^{-1}$ (雪山主峰)；綜合觀察圖1-2~圖1-6，數值多寡係由於海拔高度及地形遮蔽效應所造成，雪山主峰因無任何地形遮蔽可獲得相當高的勢能日射量，小風口氣象站之海拔高度，為分析樣點最低者，大氣效應影響路徑隨之增加，因此獲致較低的勢能日射量。

三六九山莊側方的樣區，因整個坡向朝東，待正午過後太陽運行至西向坡，太陽已被地形所遮蔽，僅剩散射輻射可資承接；本樣區係驗證日射量推估模式的理想地點。

(三) 高山微氣象與熱量收支

1. 高山微氣象

(1) 日射量

源自於太陽的輻射能量，是地球表面熱力的來源，決定了下墊面的熱域；太陽輻射同時是生態系一切生命的原動力，太陽輻射能量的多寡，支配著一個生態系所含之生物社會的種類與數量、植物積累碳水化合物量的速率。因此，研究生態系的能量貯存、轉化與釋放過程，或分析積雪融解之熱量配分，必須先行量測該地區或鄰近區域的日射量(Lee, 1980)。

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。綜觀表1-4、表1-5，可以看出整體的變化趨勢符合這種季節分布；六月份平均日射量低於五月份平均日射量，係因

該月份為臺灣地區的梅雨季節，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。

臺灣中部山區的相對濕度通常在三月份均呈現最低值，意味著觀測期間大氣中水汽含量最少者，因此三個站的太陽輻射受到水汽的減弱、或反射的程度最少，所以量測的日射量就呈現較最值(姚榮鼎等，1999；魏聰輝等，2008)，表1-5 玉山站2009年3月份日射量(第2欄)為 $426.82 \text{ MJm}^{-2}\text{month}^{-1}$ 高於2月及4月份，接近於6月份 $454.26 \text{ MJm}^{-2}\text{month}^{-1}$ ，與上揭研究結果相符合。此種現象並未在合歡山地區出現，其原因值得進一步探究。

各站之間的比較，2009年只有10月份係六個測站唯一具有完整統計數據的月份，因此以此月份作為比較之基礎；六站中，以玉山站所承獲日射量最高，達 $522.81 \text{ MJm}^{-2}\text{month}^{-1}$ ，其次為圈谷站，為 $436.67 \text{ MJm}^{-2}\text{month}^{-1}$ ，三六九站為 $364.76 \text{ MJm}^{-2}\text{month}^{-1}$ 再次之；小風口站僅 $185.11 \text{ MJm}^{-2}\text{month}^{-1}$ ，可以認為係依據光合作用有效輻射量施行推估，因此並未反應實際情形。黑森林站為 $85.42 \text{ MJm}^{-2}\text{month}^{-1}$ ，較之三六九站減少了 $279.34 \text{ MJm}^{-2}\text{month}^{-1}$ ，顯示為冠層所遮阻截留。

(2) 氣溫

影響山區氣溫條件的因素較多，例如經度、緯度、離海距離、海拔高度、地形(遮蔽度、坡度、坡向)及地表狀態等，其中以海拔高度及地形較為顯著。

觀察圖1-10的逐日分布圖，不難理解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。由統計數據顯示，哭坡頂站與三六九站海拔差距僅42 m，2009年9月24日至10月18日，兩站日均溫溫差介於 $-0.18 \sim -2.12^\circ\text{C}$ ，顯示因個別天氣條件對於遞減率的影響不可忽視。另以圈谷站與哭坡頂站為計算基礎，則兩站之間的遞減率平均(2009年9月24日~10月18日)為 $-0.62^\circ\text{C} 100\text{m}^{-1}$ 。Guan *et al.*(2009)以臺灣地區海拔高於1,000 m的測站資料，應用模式推估結果指出，1~3月的乾絕熱地減率並非呈現線性，係海拔越高地減率就越大。

就現有觀測資料顯示，四個測站的變化趨勢隨著季節更迭，而呈現逐漸趨冷。

(3) 相對濕度

濕度係指空氣中之乾濕程度的表示方式，在氣象學中有絕對濕度、相對濕度、比濕、水汽壓等，但在測報實通常以相對濕度來表示。所謂相對濕度係指空氣中實際含有的水汽量與同溫度所能包含之最大水汽量之百分比；它會隨著水汽量與溫度而改變，可決定蒸發量與蒸發率之大小，為決定動、植物、作物之水份及溫度散失之重要因素；間接影響植物、作物生長速率與品質。

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%。

雪山的相對濕度因地表狀態而有所差別，統計資料顯示以三六九站的平均相對濕度67.3%最低，圈谷為72.7%，黑森林站已提高至80.5%；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) 降雨量

山區降雨量的空間分布特性，通常為隨海拔遞昇而遞增。雪山四處氣象站海拔均於3,000 m，卻因圈谷站(SP1)雨量計失去作用未獲得觀測數據，哭坡頂站(SP4)則僅有2009年9月24日~10月18日共26日的日雨量觀測樣本。26日的總雨量分別為哭坡頂站(SP4)：157.0 mm、三六九站(SP3)：205.5 mm、黑森林站：240.2 mm，顯示空間分布規律仍符合山區降雨量的空間分布特性，遞增率亦呈現線性。

黑森林站(SP2)係設置於林內，所承獲之降雨為林內雨，林內總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；魏聰輝等，2009)。由陳信雄等(2001)等，於塔塔加高山生態系臺灣雲杉林永久樣區內，蒐集穿落雨量記錄，分析70場次之穿落雨量及其對應之降雨量，穿落雨量佔降雨量之比率介於0.76%~94.43%，總平均為73.35%。

此外，冠層截留水量隨著截留樹種之樹形及枝葉生長量與角度空間分布特性而產生水量再分佈情形。冠層枝葉生長方式，有時造成冠層類似張開的雨傘，當樹冠到達飽和儲存量，除了產生滴落水量外，被截留的水量亦可能會順著枝葉產

生流動通路，直至匯集的水量超過飽和儲存量再滴落，因此集雨器所收集到的水量並非只有正上方垂直投影面積的水量(賴彥任等，2007)，此時則引致穿落雨高於林外雨的結果。雪山地區黑森林穿落雨高於林外雨的現象，可以認為係因雨量筒沿設置於冠層截留的水量，順著枝葉匯聚滴落處而產生的結果。

(5)風向與風速

山風和谷風是由於山坡與山谷間的溫度差異而形成一天之間周期性的局地環流，在臺灣的山區極為普遍。白天的地面溫度逐漸增加，山谷溫度高於山嶺，空氣增熱而產生沿著坡地上升的情形，風從山谷吹向山嶺上，自由大氣的空氣則下沉到山谷以補充沿山坡上升的空氣，這種風稱為「谷風」(valley breeze)，亦稱為「上坡風」。而夜間因地面冷卻，冷空氣沿山坡流下來代替較暖的空氣，形成由山嶺吹向山谷的風，這種風稱為「山風」(mountain breeze)，亦稱為「下坡風」。上坡風在山地坡度越大、高度越高的地方風就越大；下坡風則在山谷越深處風越大。

雪山與大霸尖山間的聖稜線，是臺灣四條主要河川的分水嶺，分別為七家灣溪(大甲溪的上游)、雪山溪(大安溪的上游)、蘭陽溪和塔克金溪(淡水河的源頭)。雪山一號圈谷位於雪山主峰北側，開口方向為東北(楊建夫，2000)，使其成為一個盆地般的獨立地形區，促成了山谷風之盛行。

山谷風盛行地區，因日夜的更迭，產生周日間不同風速之變化，並且形成週期性之變動；欲瞭解各月份周日內不同時間風速的變化情形，可將同一月份同時不同日的風速資料取其眾數，再將不同年份同一月份同一時間的風速資料取其平均，由此平均數點繪成曲線圖；圖1-14~圖1-17為四個站2009年9月~11月各月份平均風速逐時分布圖，圖1-18~圖1-21為四個站2009年9月~11月各月份最大風速逐時分布圖；山谷風在山區是相當普遍的現象，綜觀圖1-14~圖1-17，平均風速的日變化，除了部份月份因季節的更迭，而呈現尖峰時刻轉換時間不同外，變化的情形可謂相當一致，此一特徵說明了風速的日變化，其變化的時間呈現很有規則的律動。

以平均風速而言，各月份的周日風速分佈均出現兩個轉折點，第一個轉折點分佈於7:00~10:00；第二個轉折點則分佈於14:00~17:00。考其原因，係因該兩個時段均適逢風向轉變之時刻，其代表上坡風與下坡風的兩個分界點，至於轉換

時刻的差異，則隨季節性(或月份)日出日落時間的不同而變化。各站谷風吹拂時間因月份而變化，圈谷站9月份的吹拂時刻為8:00~17:00、10月份吹拂時刻為9:00~14:00，11月份則難以判斷；黑森林站9月份的吹拂時刻為9:00~17:00、10月份吹拂時刻為10:00~14:00，11月份吹拂時刻為9:00~17:00；三六九站9月份的吹拂時刻為7:00~17:00、10月份吹拂時刻為8:00~16:00，11月份吹拂時刻為8:00~17:00；哭坡頂站僅9月份可以判斷，吹拂時刻為10:00~17:00。最大風速的時間分布目前仍顯現較無規律。

以風向出現頻率所繪製而成之風花圖，則可明顯觀察出山風與谷風之風向，圈谷站的谷風風向為NE(12.16%)、NNE(10.79%)；山風風向為SW(15.33%)、SSW(11.19%)；三六九站無明顯谷風風向，E及NW均為可能之來向，考其原因，可以認為係受到NNW方向的森林遮蔽所致；山風風向為SSW(15.59%)、SW(0.74%)。

2. 熱量收支

熱量收支分析結果，小風口站的月份分布整體趨勢符合北半球日射量分布曲線特性而呈現鐘型，2009年1月~10月份淨輻射總量為 $1,197.94 \text{ MJ m}^{-2} 10\text{month}^{-1}$ ，其中 $4.91 \text{ MJ m}^{-2} 10\text{month}^{-1}$ 熱量由土壤次層提供；配分子顯熱通量為 $438.37 \text{ MJ m}^{-2} 10\text{month}^{-1}$ 、比率為38.19%；潛熱通量為 $998.80 \text{ MJ m}^{-2} 10\text{month}^{-1}$ 、比率為61.81%。玉山站的月份分布則因3月份水汽含量較低，太陽輻射受到水汽的減弱、或反射的程度最少，所以量測的日射量就呈現高於4月份(姚榮鼎等，1999；魏聰輝等，2008)；因測站位於峰頂，未受到任何地形遮阻，為六站中淨輻射總量最高的一站。2009年1月~10月份淨輻射總量為 $3,562.08 \text{ MJ m}^{-2} 10\text{month}^{-1}$ ，其中 $9.39 \text{ MJ m}^{-2} 10\text{month}^{-1}$ 熱量由土壤次層提供；配分子顯熱通量為 $1,613.42 \text{ MJ m}^{-2} 10\text{month}^{-1}$ 、比率為45.29%；潛熱通量為 $1,948.65 \text{ MJ m}^{-2} 10\text{month}^{-1}$ 、比率為54.71%。由兩站顯熱、潛熱兩種通量分量所佔比率差異，說明小風口站蒸發稍強於玉山站；玉山站顯熱對於地表的熱量交換比率稍高於小風口站。

各站之間的統計時間不一，難以應用統計值分析與比較，因此以各分量佔各自統計期間之淨輻射總量之比率施行比較，結果示如圖1-30，統計及圖形顯示只有圈谷地區之土壤熱通量提供熱量子顯熱與潛熱通量配分，其原因係統計所採用資料為放熱季節觀測數據所致，有待來年獲得全年之完整資料後，方可反映實態。

在微氣象的研究領域中，為了把計算過程單純化，往往將土壤熱通量這項介量假設為0而予以忽視或省略，由本研究分析結果所獲得的數值因測站而存在若干差異，介於0.13%~27.56%；可以認為一個地方的熱量收支，反映著週遭環境的熱力狀態，通常隨海拔、坡向、坡度及植群種類而有所差異；俟來年觀測獲得全年完整數據後，應可進一步探究其間的差異。

五、結論與建議

雪山地區圈谷樣區是臺灣圈谷地形中形態最完善、最大規模的圈谷，為雪山異於臺灣其他高山地區的地形，尤其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，間接影響生物的生長、發育與遷徙；因此列為設置主氣象站之優先考量地點。依據群體計畫履勘決議以哭坡頂及黑森林樣區為永久樣區氣象參數觀測站(副站)站址設置地點。此外，三六九山莊週遭之林火跡地，係整合調查計畫所設置永久樣區中，地形遮蔽效應較為顯著的樣區，且甫遭受林火危害不久，地表尚未完全恢復植群被覆，遂亦予架設儀器，獲取相關參數，探討植群復育過程，熱量收支動態變化。

應用CLIRAD-SW輻射傳遞模式，推估雪山地區高山生態系永久樣區及合歡山地區小風口氣象站、合歡山遙測站之勢能日射量，獲致結論為各樣區之全年日射量樣區緯度差距不大，數值多寡係由於海拔高度及地形遮蔽效應所造成。

雪山地區日射量之分布，以2009年10月為比較基礎；圈谷站承獲日射量 $436.67 \text{ MJm}^{-2}\text{month}^{-1}$ 為最高，三六九站為 $364.76 \text{ MJ m}^{-2}\text{month}^{-1}$ 次之；黑森林站遭冠層遮阻截留，僅剩 $85.42 \text{ MJm}^{-2}\text{month}^{-1}$ ，較之三六九站減少了 $279.34 \text{ MJm}^{-2}\text{month}^{-1}$ 。氣溫的乾絕熱遞減率，以圈谷站與哭坡頂站為計算基礎，則兩站之間的遞減率平均(2009年9月24日~10月18日)為 $-0.62^\circ\text{C} 100\text{m}^{-1}$ ，尚與一般文獻契合。降雨量的梯度分布隨海拔遞升而遞增。

雪山地區因甫新設站，熱量收支之分析，選擇蒐集海拔高度相若之玉山站與合歡山小風口站，自2009年1月1日~10月31日之資料，其結果玉山站淨輻射總量為 $3,562.08 \text{ MJ m}^{-2} 10\text{month}^{-1}$ ，其中 $9.39 \text{ MJ m}^{-2} 10\text{month}^{-1}$ 熱量由土壤次層提供；配分子顯熱通量為 $1,613.42 \text{ MJ m}^{-2} 10 \text{ month}^{-1}$ 、比率為45.29%；潛熱通量為 $1,948.65 \text{ MJ m}^{-2} 10\text{month}^{-1}$ 、比率為54.71%。小風口站淨輻射總量為 $1,197.94 \text{ MJ m}^{-2} 10\text{month}^{-1}$ ，其中 $4.91 \text{ MJ m}^{-2} 10\text{month}^{-1}$ 熱量由土壤次層提供；配分子顯熱通量為

438.37 MJ m⁻² 10 month⁻¹、比率為38.19%；潛熱通量為998.80 MJ m⁻² 10month⁻¹、比率為61.81%。

雪山地區因位於中央山脈稜脊，地形所造成的屏障導致GSM或GPRS訊號普遍不良，以致於以目前經費及園區現有硬體設備，無法達到即時傳輸之目標。建議考慮在未來建置無線傳輸系統，對於天然災害預警，山難事件防救，自然現狀監測影像與數據之傳輸，將有極大助益。

六、參考文獻

- 中央氣象局 (1986) 地面氣象測報作業規範，交通部中央氣象局，292 頁。
- 中央氣象局 (2009) 玉山氣象站測報業務簡介。
<http://www.cwb.gov.tw/V6/eservice/docs/overview/organ/stations/46755/index.htm>。
- 呂金誠、歐辰雄、廖敏君 (2002) 雪山東峰火燒後玉山箭竹開花之研究。雪霸國家公園管理處研究報告。24 頁。
- 沈鵬 (1979) 生物環境與小氣候。徐氏基金會。臺灣臺北。321 頁。
- 官岱緯、林博雄 (2005) 臺灣地區低層大氣探空剖面分析。94 天氣分析與預報研討會，中央氣象局，臺北。
- 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。280 頁。
- 姚榮鼎、陳信雄、魏聰輝 (1999) 塔塔加地區不同坡向日射量分布特性之探討。臺大實驗林研究報告13(1)：21-26。
- 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 NSC88-2621-B-259-002-A10。5 頁。
- 夏禹九、黃良鑫、王立志、黃正良 (1992) 不同森林植被之淨輻射能與日輻射能關係。林業試驗所研究報告季刊 7(4)：371~374。
- 陳信雄、張振生、魏聰輝 (2001) 塔塔加高山生態系水文與能量收支之研究(二) 截留，國科會專題研究計畫成果報告，NSC89--2621-B-002-049-A10。
- 陳信雄、魏聰輝 (2005) 塔塔加地區表層土壤熱通量特性之研究。中華水土保持學報36(3)：249-265。
- 黃國禎、徐森雄 (1982) 臺灣地區日射與日照關係之初步探討。氣象學報 28(1)：

22-29。

- 楊建夫 (2000) 雪山主峰圈谷群末次冰期的冰河遺跡研究。國立臺灣大學地理學研究所博士論文。256頁。
- 董景生、徐嘉君、余偲媽 (2008) 全球氣候變遷對雪山圈谷寒原生態系的潛在影響分析。雪霸國家公園管理處委託辦理報告。78頁。
- 潘守文 (1989) 小氣候考察的理論基礎及其應用。氣象出版社。中國北京。416頁。
- 鄭師中譯 (1992) 山岳天氣與氣候。國立編譯館。臺灣臺北。545頁。
- 賴彥任 (2003) 集水區內太陽輻射量時空分佈估算之研究。國立臺灣大學森林學研究所博士論文。125頁。
- 賴彥任、林博雄 (2006) 到達地面太陽輻射量之空間分布推估模擬。95天氣分析與預報研討會。中央氣象局，臺北。
- 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。
- 魏聰輝、姚榮鼎、周瑞龍 (1995) 溪頭山谷風特性之研究。臺大實驗林研究報告 9(4)：71-95。
- 魏聰輝、張振生、陳信雄 (2005) 塔塔加地區降雪熱收支特性之研究。臺大實驗林研究報告19(2)：161-175。
- 魏聰輝、陳信雄、劉維 (2009) 塔塔加地區臺灣鐵杉天然林截留之研究。中華水土保持學報40(1)：105-111。
- 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、賴彥任、張振生、陳信雄、林博雄 (2008) 溪頭地區崩塌地人工植群復育過程之熱量收支。作物、環境與生物資訊 5：217-226。
- 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。
- 近藤純正 (1996) 水環境の氣象學—地表面の水收支・熱収支(3rd Edt.)，第6章：128-159。朝倉書店。日本東京。
- 鈴木雅一 (1992) 森林地の蒸発と蒸散。塚本良則編：森林水文学。第3章：53-77。文永堂出版株式会社。日本東京。

- Benzing, David H. (1998) Vulnerabilities of tropical forests to climate change: the significance of resident epiphytes. *Climatic Change* 39: 519-540.
- Chou, M. D. and M. J. Suarez (1999) A shortwave radiation parameterization for atmospheric studies. Technical Report Series on Global Modeling and Data Assimilation, 15, NASA/TM-1999-104606. pp. 1-42.
- Guan, B. T, H. W. Hsu, T. H. Wey, L. S Tsao (2009) Modeling monthly mean temperatures for the mountain regions of Taiwan by generalized additive models. *Agr. For Meteorol.* 149: 281-290.
- Hanks, R.J., 1992. Applied soil physics—Soil water and temperature applications. Springer -Verlag New York Inc. New York, USA. 176pp.
- Jury, W. A., W. R. Gardner, and W. H. Gardner (1991) The soil thermal regime. In: *Soil Physics*, chap.5: 159-195. John Willey & Sons Inc. New York. USA.
- Lee. R. (1980) Forest hydrology. Columbia University Press, New York, USA. 349pp.
- Rosenberg, B.V. (1983) Soil heat flux and soil temperature. In: *Microclimate-The Biological environment*, chap.2: 94-115. John Willey & Sons Inc., New York, USA.

附表 1-1 圈谷氣象站器項要素日報表

日期 (Unit)	氣溫 (°C)	濕度 (%)	降雨量 (mm)	平均風速 (m s ⁻¹)	最大風速 (m s ⁻¹)	發生時間	風向 (°)	日射量 (MJ m ⁻²)	PAR (mol m ⁻²)	氣壓 (hPa)	草溫 (°C)	地溫 5 (°C)	地溫 10 (°C)	地溫 20 (°C)	地溫 30 (°C)	地溫 50 (°C)	土壤熱流量 (KJm ⁻²)	土壤含水量 10 (m ³ m ⁻³)	土壤含水量 20 (m ³ m ⁻³)	土壤含水量 30 (m ³ m ⁻³)	積雪深 (cm)
2009/9/24	8.06	67.6	0.0	2.85	6.90	6:22	166	11.4343	22.7923	666.0	11.09	12.29	12.44	12.34	11.74	11.43	-499.60	0.144	0.105	0.083	0.0
2009/9/25	8.75	48.5	0.0	3.28	8.50	11:24	36	23.8831	47.4533	665.4	9.22	8.45	9.03	9.78	10.39	10.84	-982.00	0.139	0.105	0.083	0.0
2009/9/26	9.35	41.4	0.0	3.24	9.40	23:24	212	25.0936	49.8623	665.0	11.64	8.78	9.08	9.47	9.93	10.37	-176.40	0.133	0.104	0.084	0.0
2009/9/27	6.78	94.8	0.0	4.27	15.10	9:33	349	2.8406	5.7308	664.4	13.05	8.92	9.17	9.59	9.95	10.29	51.04	0.125	0.102	0.084	0.0
2009/9/28	6.46	97.0	0.0	4.30	16.30	7:52	25	4.6116	9.2610	663.4	7.57	8.18	8.67	9.24	9.78	10.30	-825.00	0.264	0.201	0.174	0.0
2009/9/29	7.68	98.8	0.0	3.65	12.70	4:40	356	4.9158	9.8638	663.3	7.37	8.15	8.35	8.69	9.06	9.85	-343.60	0.319	0.258	0.225	0.0
2009/9/30	8.54	98.1	0.0	2.33	9.10	22:56	283	5.9554	11.9240	665.2	8.70	9.09	9.00	8.97	8.94	9.39	293.00	0.328	0.273	0.235	0.0
2009/10/1	9.23	88.2	0.0	3.47	12.50	5:16	238	13.3946	26.6773	665.9	9.82	10.13	9.94	9.73	9.62	9.44	503.60	0.302	0.249	0.213	0.0
2009/10/2	8.87	89.8	0.0	2.58	10.90	0:08	205	11.6154	23.1411	664.9	11.07	10.81	10.61	10.37	10.08	9.82	178.10	0.291	0.239	0.204	0.0
2009/10/3	9.66	71.1	0.0	3.26	10.40	21:04	3	16.4649	32.7519	664.0	11.08	10.22	10.17	10.23	10.16	10.10	-11.24	0.295	0.242	0.205	0.0
2009/10/4	9.04	93.7	0.0	3.63	12.20	1:40	331	9.3702	18.6915	663.7	11.12	9.87	9.89	10.04	10.06	10.09	-55.03	0.297	0.245	0.207	0.0
2009/10/5	7.92	98.9	0.0	5.65	15.00	4:18	22	1.3867	2.8597	661.7	10.38	10.69	10.60	10.52	10.33	10.11	329.70	0.283	0.233	0.198	0.0
2009/10/6	6.17	98.9	0.0	3.87	13.30	2:58	14	3.2026	6.4584	661.6	8.42	9.01	9.32	9.68	9.88	10.08	-574.30	0.339	0.280	0.234	0.0
2009/10/7	6.88	86.0	0.0	3.68	10.90	23:03	201	15.2833	30.4202	660.7	7.09	7.95	8.13	8.35	8.50	9.04	-381.80	0.339	0.283	0.236	0.0
2009/10/8	7.87	57.2	0.0	4.35	11.20	2:53	207	15.3010	30.4451	661.1	8.95	8.53	8.52	8.63	8.64	8.89	-83.70	0.306	0.253	0.213	0.0
2009/10/9	8.19	87.6	0.0	3.43	10.50	1:41	207	9.8900	19.7216	662.1	8.34	7.70	8.00	8.35	8.62	8.90	-697.60	0.287	0.238	0.200	0.0
2009/10/10	7.89	97.4	0.0	2.68	8.70	2:48	200	3.3145	6.6903	664.5	9.05	8.59	8.42	8.44	8.53	8.83	839.00	0.276	0.230	0.193	0.0
2009/10/11	7.61	99.0	0.0	2.69	9.00	11:26	38	5.8343	11.6841	666.5	8.77	9.29	9.32	9.27	9.21	8.94	3.28	0.278	0.229	0.193	0.0
2009/10/12	7.15	96.1	0.0	2.64	7.40	11:56	342	6.8678	13.7322	666.9	9.06	9.87	9.78	9.64	9.46	9.37	103.20	0.311	0.254	0.210	0.0
2009/10/13	7.94	86.1	0.0	2.81	8.20	4:00	185	10.9968	21.9151	666.8	8.16	8.95	9.10	9.29	9.28	9.36	-361.00	0.307	0.253	0.209	0.0

日期 (Unit)	氣溫 (°C)	濕度 (%)	降雨量 (mm)	平均風速 (m s ⁻¹)	最大風速 (m s ⁻¹)	發生時間	風向 (°)	日射量 (MJ m ⁻²)	PAR (mol m ⁻²)	氣壓 (hPa)	草溫 (°C)	地溫 5 (°C)	地溫 10 (°C)	地溫 20 (°C)	地溫 30 (°C)	地溫 50 (°C)	土壤熱流量 (KJm ⁻²)	土壤含水量 10 (m ³ m ⁻³)	土壤含水量 20 (m ³ m ⁻³)	土壤含水量 30 (m ³ m ⁻³)	積雪深 (cm)
2009/10/14	7.25	82.2	0.0	3.45	11.20	23:25	204	13.2667	26.4136	666.9	9.02	8.99	8.97	9.02	9.09	9.20	91.60	0.294	0.242	0.202	0.0
2009/10/15	7.02	82.0	0.0	3.59	10.50	3:53	191	9.2411	18.4356	666.7	9.06	8.61	8.68	8.81	8.95	9.09	-127.70	0.283	0.234	0.196	0.0
2009/10/16	6.47	78.5	0.0	3.14	9.80	21:26	193	10.6909	21.3089	664.9	7.96	7.98	8.24	8.55	8.81	9.02	-821.00	0.274	0.228	0.191	0.0
2009/10/17	6.39	70.0	0.0	5.97	17.00	22:26	189	17.9417	35.6786	662.4	6.96	7.06	7.40	7.79	8.24	8.78	-546.00	0.267	0.224	0.187	0.0
2009/10/18	6.36	67.1	0.0	5.59	17.80	5:10	194	22.1808	44.0795	662.8	7.58	7.23	7.42	7.73	8.02	8.55	-250.80	0.258	0.218	0.183	0.0
2009/10/19	6.34	71.1	0.0	4.65	13.40	7:08	205	21.0376	41.8140	664.1	8.88	7.26	7.41	7.71	7.97	8.45	49.76	0.247	0.211	0.177	0.0
2009/10/20	6.95	75.7	0.0	3.41	11.60	10:22	189	18.1923	36.9829	664.9	8.49	7.27	7.42	7.72	7.95	8.35	-86.50	0.238	0.205	0.172	0.0
2009/10/21	7.37	47.6	0.0	3.44	10.60	8:10	65	21.2400	42.4100	665.0	11.40	9.29	8.79	8.34	8.03	8.24	804.00	0.231	0.201	0.169	0.0
2009/10/22	5.23	64.1	0.0	3.23	7.50	22:19	207	15.8600	31.7500	664.3	8.55	6.61	7.00	7.50	7.86	8.24	-393.90	0.228	0.198	0.166	0.0
2009/10/23	5.53	95.2	0.0	2.17	11.60	11:55	28	6.2630	12.8800	661.9	7.09	6.05	6.34	6.83	7.27	8.00	-303.40	0.221	0.194	0.163	0.0
2009/10/24	3.67	86.0	0.0	4.24	11.60	11:19	26	11.0800	22.6200	660.2	6.56	6.97	6.99	7.17	7.37	7.74	83.70	0.224	0.193	0.161	0.0
2009/10/25	5.38	22.5	0.0	4.35	14.20	6:13	107	21.5900	42.3500	661.7	5.28	6.61	6.90	7.20	7.41	7.68	-374.90	0.233	0.195	0.161	0.0
2009/10/26	4.64	25.6	0.0	3.41	9.30	18:59	198	21.4400	41.9800	663.5	4.70	4.39	5.08	5.93	6.69	7.42	-594.40	0.224	0.195	0.163	0.0
2009/10/27	3.71	39.9	0.0	3.40	7.80	2:36	289	21.1500	41.9200	664.5	5.02	4.10	4.56	5.28	6.02	7.12	-379.40	0.216	0.192	0.160	0.0
2009/10/28	3.24	32.2	0.0	3.52	8.10	10:49	45	21.1000	41.6300	666.1	5.81	4.20	4.54	5.05	5.61	6.55	-93.10	0.211	0.188	0.158	0.0
2009/10/29	4.16	35.1	0.0	3.25	7.50	5:33	203	21.0200	41.3200	666.3	5.21	3.85	4.24	4.82	5.37	6.31	-306.00	0.208	0.185	0.155	0.0
2009/10/30	7.67	23.0	0.0	3.65	9.40	6:54	199	21.0000	41.3600	665.7	6.07	4.02	4.31	4.72	5.14	6.14	-85.90	0.205	0.183	0.153	0.0
2009/10/31	7.93	33.4	0.0	3.11	8.30	6:13	210	17.7700	35.0600	666.0	8.37	4.46	4.62	4.91	5.22	5.93	146.60	0.203	0.180	0.150	0.0
2009/11/1	6.85	77.3	0.0	3.47	10.10	6:05	224	15.0100	30.1500	666.8	8.68	5.20	5.24	5.41	5.57	5.98	272.10	0.201	0.178	0.148	0.0
2009/11/2	3.86	60.1	0.0	4.47	14.50	8:21	177	20.3800	40.6800	666.6	9.22	6.43	6.21	6.09	6.06	6.20	649.60	0.200	0.175	0.146	0.0
2009/11/3	5.26	27.1	0.0	3.28	8.20	6:55	190	19.8600	39.2900	667.5	7.82	6.30	6.49	6.71	6.58	6.45	28.15	0.199	0.174	0.144	0.0

雪山地區高山生態系整合調查

日期 (Unit)	氣溫 (°C)	濕度 (%)	降雨量 (mm)	平均風速 (m s ⁻¹)	最大風速 (m s ⁻¹)	發生時間	風向 (°)	日射量 (MJ m ⁻²)	PAR (mol m ⁻²)	氣壓 (hPa)	草溫 (°C)	地溫 5 (°C)	地溫 10 (°C)	地溫 20 (°C)	地溫 30 (°C)	地溫 50 (°C)	土壤熱流量 (KJm ⁻²)	土壤含水量 10 (m ³ m ⁻³)	土壤含水量 20 (m ³ m ⁻³)	土壤含水量 30 (m ³ m ⁻³)	積雪深 (cm)
2009/11/4	5.13	43.5	0.0	3.56	8.10	23:35	199	16.1700	32.4000	668.5	7.50	4.60	5.08	5.60	6.08	6.44	-405.30	0.195	0.171	0.143	0.0
2009/11/5	6.24	56.1	0.0	4.23	10.50	23:19	203	17.2300	34.2500	667.8	7.55	4.68	4.90	5.26	5.66	6.19	-25.32	0.190	0.168	0.141	0.0
2009/11/6	7.12	46.8	0.0	4.07	11.20	3:18	191	14.8500	29.8200	666.6	8.96	5.74	5.68	5.68	5.75	6.16	539.50	0.188	0.166	0.139	0.0
2009/11/7	6.32	80.4	0.0	3.17	10.00	6:09	198	9.9200	20.3600	666.5	9.30	6.02	6.05	6.18	6.26	6.21	204.30	0.187	0.164	0.138	0.0
2009/11/8	7.37	63.6	0.0	3.32	9.80	4:51	116	19.8000	40.0900	665.8	8.45	6.55	6.42	6.44	6.45	6.45	184.50	0.185	0.162	0.136	0.0
2009/11/9	6.83	65.9	0.0	3.76	10.50	21:11	204	16.4400	33.8400	663.2	10.80	7.25	7.14	7.10	6.78	6.58	536.70	0.185	0.161	0.135	0.0
2009/11/10	2.37	83.2	0.0	6.03	16.60	13:58	195	3.1390	6.4860	659.3	9.55	7.07	7.12	7.18	7.05	6.87	313.70	0.181	0.158	0.133	0.0
2009/11/11	3.48	70.7	0.0	5.38	17.60	5:54	198	13.9400	28.1300	661.3	1.97	3.77	4.60	5.54	6.35	6.82	-1,727.00	0.241	0.183	0.140	0.0
2009/11/12	3.34	81.6	0.0	4.62	16.20	22:48	162	5.6810	11.8700	663.3	3.68	3.86	4.16	4.48	5.07	6.06	-215.50	0.242	0.191	0.151	0.0
2009/11/13	4.50	99.1	0.0	3.04	13.80	1:30	177	2.4530	5.2990	661.3	3.10	3.71	4.10	4.52	4.96	5.81	-451.90	0.231	0.185	0.148	0.0
2009/11/14	3.34	84.3	0.0	3.49	15.20	22:21	244	16.7300	33.4300	661.0	5.18	5.26	5.23	5.30	5.22	5.68	259.80	0.350	0.282	0.208	0.0
2009/11/15	1.57	98.2	0.0	3.27	19.40	5:14	125	2.3990	4.9770	661.5	6.61	6.15	6.14	6.10	5.84	5.86	211.70	0.341	0.279	0.218	0.0
2009/11/16	5.02	75.4	0.0	4.27	13.80	4:26	198	14.8800	30.6500	663.2	2.60	3.87	4.38	4.80	5.33	5.88	-945.00	0.339	0.274	0.213	0.0
2009/11/17	3.50	95.1	0.0	4.46	25.00	23:35	150	2.2840	4.9590	662.4	5.32	4.60	4.53	4.67	4.85	5.42	372.90	0.318	0.259	0.206	0.0
2009/11/18	2.19	99.9	0.0	3.09	18.80	21:48	156	2.9810	6.2260	663.1	3.41	3.90	4.13	4.52	4.86	5.47	-470.00	0.316	0.255	0.202	0.0
2009/11/19	3.62	91.0	0.0	4.47	12.90	6:59	195	13.5600	27.1100	666.1	3.15	4.10	4.27	4.50	4.76	5.21	-368.80	0.327	0.265	0.209	0.0
2009/11/20	3.81	69.4	0.0	4.35	11.10	5:30	209	13.2900	26.9400	667.2	5.33	5.41	5.22	5.14	5.00	5.15	402.30	0.313	0.255	0.203	0.0
2009/11/21	3.54	64.7	0.0	4.18	12.70	20:39	261	16.9900	34.2700	665.5	4.08	4.17	4.39	4.77	5.03	5.35	-233.30	0.295	0.244	0.196	0.0
2009/11/22	3.25	90.2	0.0	3.56	9.80	0:47	282	10.2300	21.0600	665.0	3.86	3.43	3.68	4.13	4.61	5.14	-100.90	0.280	0.235	0.190	0.0
2009/11/23	3.19	83.8	0.0	3.64	9.70	5:39	22	6.7890	14.0400	664.6	5.04	4.90	4.69	4.68	4.65	4.91	570.50	0.279	0.233	0.188	0.0

附表 1-2 黑森林氣象站器項要素日報表

日期 (Unit)	氣溫 (°C)	濕度 (%)	降雨量 (mm)	平均風速 (m s ⁻¹)	最大風速 (m s ⁻¹)	風向 (°)	日射量 (MJ m ⁻²)	PAR (molm ⁻²)	草溫 (°C)	地溫 10 (°C)	地溫 20 (°C)	土壤含水量 10 (m ³ m ⁻³)	土壤含水量 20 (m ³ m ⁻³)
2009/9/24	8.59	76.8	0.0	0.93	2.23	81	1.71	3.51	8.25	9.07	9.34	0.19270	0.16223
2009/9/25	8.95	58.8	0.0	0.93	3.15	74	3.74	7.76	8.28	8.94	9.17	0.19292	0.16342
2009/9/26	9.72	48.0	0.0	0.82	3.15	73	3.88	8.06	8.99	8.91	9.09	0.19287	0.16434
2009/9/27	7.61	95.3	33.2	1.00	7.42	70	0.57	1.15	7.95	8.63	8.69	0.24133	0.25355
2009/9/28	7.31	98.1	17.2	1.29	6.12	60	0.82	1.68	7.60	8.60	8.64	0.24788	0.27623
2009/9/29	8.52	99.1	9.6	0.80	4.82	313	0.81	1.64	8.73	8.52	8.66	0.25503	0.28679
2009/9/30	9.26	99.4	0.6	0.30	1.86	65	0.92	1.88	9.42	8.73	9.00	0.23240	0.27248
2009/10/1	9.08	98.1	1.2	0.56	4.45	278	1.28	2.63	9.24	8.90	9.24	0.22679	0.26571
2009/10/2	8.61	98.4	10.2	0.54	2.60	263	0.82	1.65	8.71	8.97	9.20	0.23117	0.27287
2009/10/3	8.32	94.8	0.0	0.72	5.38	320	1.70	3.51	8.50	8.92	9.17	0.23788	0.27989
2009/10/4	10.06	96.1	4.2	0.87	6.68	46	1.80	3.72	10.04	9.07	9.46	0.23266	0.27299
2009/10/5	8.75	99.7	88.4	1.08	4.82	42	0.27	0.52	8.97	9.31	9.59	0.34226	0.32127
2009/10/6	7.09	100.0	60.4	0.77	3.90	42	0.59	1.18	7.55	8.74	8.78	0.33704	0.37603
2009/10/7	6.80	99.0	0.2	0.56	4.08	263	2.14	4.41	7.33	8.61	8.63	0.25016	0.30562
2009/10/8	6.16	87.1	0.0	0.83	2.78	254	1.83	3.78	6.16	8.51	8.49	0.24063	0.29698
2009/10/9	8.24	94.1	1.0	0.48	3.71	274	1.58	3.24	8.12	8.31	8.27	0.23429	0.29018
2009/10/10	8.40	99.7	2.6	0.34	2.60	52	0.61	1.22	8.61	8.49	8.71	0.22709	0.28772
2009/10/11	8.53	100.0	9.8	0.47	2.60	34	1.00	2.04	8.89	8.66	8.93	0.24067	0.30273
2009/10/12	7.48	99.9	1.6	0.49	1.86	52	1.12	2.29	7.91	8.72	8.91	0.24461	0.30207

日期 (Unit)	氣溫 (°C)	濕度 (%)	降雨量 (mm)	平均風速 (m s ⁻¹)	最大風速 (m s ⁻¹)	風向 (°)	日射量 (MJ m ⁻²)	PAR (molm ⁻²)	草溫 (°C)	地溫 10 (°C)	地溫 20 (°C)	土壤含水量 10 (m ³ m ⁻³)	土壤含水量 20 (m ³ m ⁻³)
2009/10/13	7.56	99.4	0.0	0.42	1.86	67	1.27	2.60	7.90	8.59	8.70	0.23555	0.29486
2009/10/14	7.13	95.6	0.0	0.73	3.71	275	2.08	4.30	7.20	8.48	8.52	0.23437	0.29386
2009/10/15	7.29	92.4	0.0	0.69	4.08	285	1.19	2.44	7.20	8.37	8.41	0.23165	0.28907
2009/10/16	6.37	91.1	0.0	0.53	3.15	128	1.97	4.07	6.44	8.19	8.15	0.22967	0.28559
2009/10/17	6.93	78.1	0.0	0.93	6.31	215	4.18	8.69	6.24	8.02	7.91	0.22823	0.28269
2009/10/18	7.02	74.4	0.0	1.24	7.61	145	5.62	11.70	6.58	7.84	7.71	0.22743	0.28011
2009/10/19	7.02	76.8	0.0	0.90	5.20	157	5.31	11.06	6.78	7.81	7.77	0.22710	0.27768
2009/10/20	6.81	82.3	0.0	1.01	5.38	81	4.52	9.39	6.78	7.80	7.76	0.22664	0.27560
2009/10/21	7.44	60.4	0.0	0.85	4.27	86	4.46	9.27	6.88	7.77	7.75	0.22651	0.27386
2009/10/22	5.90	73.4	0.0	0.83	2.41	0	2.53	5.24	5.97	7.66	7.55	0.22621	0.27230
2009/10/23	6.28	93.7	0.2	0.48	3.34	169	1.12	2.28	6.62	7.58	7.55	0.22542	0.27078
2009/10/24	4.55	93.7	1.4	0.87	3.34	198	2.17	4.49	5.22	7.55	7.54	0.22227	0.27027
2009/10/25	5.72	30.9	0.0	1.73	10.02	191	4.42	9.19	4.54	7.25	6.88	0.22510	0.26808
2009/10/26	4.25	41.5	0.0	0.85	3.90	48	4.62	9.60	4.10	6.79	6.36	0.22514	0.26711
2009/10/27	3.71	51.1	0.0	0.78	3.15	56	4.21	8.75	3.77	6.54	6.11	0.22445	0.26602
2009/10/28	3.79	42.4	0.0	1.04	2.41	246	4.49	9.33	3.72	6.37	5.95	0.22364	0.26455
2009/10/29	4.54	43.1	0.0	0.96	2.23	247	4.59	9.55	4.41	6.24	5.89	0.22294	0.26304
2009/10/30	6.20	40.1	0.0	0.83	2.23	76	4.85	10.08	5.73	6.23	6.00	0.22222	0.26191
2009/10/31	7.13	48.7	0.0	0.84	1.86	77	4.13	8.58	6.84	6.40	6.36	0.22158	0.26103
2009/11/1	7.16	83.0	0.0	0.65	3.15	320	4.25	8.82	7.34	6.62	6.72	0.22077	0.26024

日期 (Unit)	氣溫 (°C)	濕度 (%)	降雨量 (mm)	平均風速 (m s ⁻¹)	最大風速 (m s ⁻¹)	風向 (°)	日射量 (MJ m ⁻²)	PAR (molm ⁻²)	草溫 (°C)	地溫 10 (°C)	地溫 20 (°C)	土壤含水量 10 (m ³ m ⁻³)	土壤含水量 20 (m ³ m ⁻³)
2009/11/2	4.82	65.9	0.0	0.88	5.01	60	4.52	9.41	5.14	6.86	7.03	0.22000	0.25956
2009/11/3	5.12	36.6	0.0	0.83	4.08	56	4.58	9.52	4.99	6.64	6.48	0.21894	0.25862
2009/11/4	5.21	53.3	0.0	0.92	2.78	63	3.46	7.18	5.17	6.42	6.25	0.21785	0.25791
2009/11/5	5.46	66.5	0.0	0.74	3.15	55	2.47	5.10	5.43	6.32	6.16	0.21695	0.25707
2009/11/6	6.14	60.7	0.0	0.68	2.97	67	2.71	5.62	5.78	6.30	6.20	0.21615	0.25630
2009/11/7	6.78	85.0	0.0	0.51	3.15	65	1.50	3.08	6.72	6.39	6.43	0.21520	0.25559
2009/11/8	6.90	78.2	0.0	0.59	2.60	97	3.14	6.50	6.94	6.56	6.74	0.21456	0.25488
2009/11/9	7.53	70.8	0.0	0.63	3.53	291	2.23	4.61	7.44	6.76	6.98	0.21387	0.25436
2009/11/10	3.40	84.8	7.2	1.19	6.86	93	0.67	1.35	3.62	6.58	6.57	0.23247	0.27572
2009/11/11	3.98	80.9	0.2	0.85	4.27	140	3.29	6.83	3.84	6.12	5.76	0.23791	0.28635
2009/11/12	4.21	85.8	0.4	0.84	4.82	136	1.19	2.43	4.12	6.04	5.82	0.23106	0.27944
2009/11/13	5.13	97.9	25.6	0.65	5.75	56	0.48	0.96	5.42	5.86	5.85	0.26356	0.30457
2009/11/14	3.74	95.3	2.4	0.70	7.05	170	3.05	6.33	4.36	6.08	6.10	0.25098	0.30617
2009/11/15	2.65	97.9	5.0	0.48	4.08	195	0.55	1.11	3.28	6.03	5.84	0.24588	0.30680
2009/11/16	5.40	84.8	0.0	1.09	7.05	147	2.70	5.59	4.76	5.75	5.48	0.23970	0.30083
2009/11/17	4.43	94.6	1.2	0.84	4.27	108	0.58	1.15	4.54	5.86	5.76	0.23376	0.29401
2009/11/18	3.32	98.6	0.4	0.63	3.90	337	0.67	1.34	3.91	5.85	5.71	0.22651	0.29271
2009/11/19	3.65	98.9	0.2	0.55	2.60	257	1.96	4.05	4.21	5.78	5.65	0.22630	0.29104
2009/11/20	3.40	87.4	0.0	0.62	3.15	159	3.57	7.42	3.19	5.74	5.52	0.22873	0.28860
2009/11/21	3.64	76.1	0.0	0.88	5.57	162	4.12	8.55	3.09	5.46	5.08	0.22756	0.28593

日期 (Unit)	氣溫 (°C)	濕度 (%)	降雨量 (mm)	平均風速 (m s ⁻¹)	最大風速 (m s ⁻¹)	風向 (°)	日射量 (MJ m ⁻²)	PAR (molm ⁻²)	草溫 (°C)	地溫 10 (°C)	地溫 20 (°C)	土壤含水量 10 (m ³ m ⁻³)	土壤含水量 20 (m ³ m ⁻³)
2009/11/22	4.60	89.0	0.0	0.69	4.45	153	2.07	4.28	4.73	5.38	5.20	0.22674	0.28391
2009/11/23	3.79	89.0	0.0	0.57	4.08	145	1.20	2.46	3.87	5.51	5.35	0.22613	0.28203

附表 1-3 三六九氣象站器項要素日報表

日期 (Unit)	氣溫 (°C)	相對濕度 (%)	降雨量 (mm)	平均風速 (m s ⁻¹)	最大風速 (m s ⁻¹)	風向 (°)	日射量 (MJ m ⁻²)	PAR (mol m ⁻²)	草溫 (°C)	地溫 5 (°C)	地溫 10 (°C)	地溫 20 (°C)	地溫 30 (°C)	地溫 50 (°C)	土壤熱流量 (KJm ⁻²)	土壤含水率 10 (%)	土壤含水率 20 (%)	積雪深 (cm)
2009/9/24	11.60	57.4	0.0	0.76	2.43	306	12.74	24.72	14.34	14.08	14.16	14.39	14.29	14.11	-173.70	44.36	40.54	0.0
2009/9/25	12.75	32.9	0.0	0.70	2.83	336	20.74	39.88	15.44	13.97	13.98	14.19	14.17	14.04	-117.30	44.33	40.63	0.0
2009/9/26	12.70	34.3	0.0	0.79	3.62	129	20.98	40.33	16.07	13.59	13.67	13.97	14.06	13.95	-115.60	44.22	40.68	0.0
2009/9/27	8.99	81.4	29.5	1.04	6.90	299	2.32	4.83	9.51	12.01	12.72	13.47	13.84	13.82	-583.90	56.33	56.45	0.0
2009/9/28	8.68	83.0	18.0	1.13	6.42	311	4.03	8.22	9.81	11.75	12.20	12.79	13.21	13.35	-400.70	61.86	65.07	0.0
2009/9/29	9.58	87.2	8.5	0.73	4.61	346	5.35	10.57	11.44	12.19	12.22	12.56	12.83	12.94	-18.26	62.34	66.91	0.0
2009/9/30	10.44	86.2	0.0	0.32	2.80	112	4.75	9.54	12.01	12.70	12.65	12.93	12.93	12.91	22.38	59.20	61.28	0.0
2009/10/1	10.81	82.0	1.0	0.38	1.88	288	8.16	16.06	12.44	13.12	12.99	13.18	13.07	12.98	69.63	58.08	59.85	0.0
2009/10/2	10.49	83.2	4.0	0.52	2.23	82	7.31	14.34	12.20	12.94	12.94	13.19	13.15	13.06	-22.05	57.73	59.42	0.0
2009/10/3	10.59	79.5	0.0	0.61	4.57	298	10.86	21.17	12.38	12.99	12.95	13.17	13.15	13.05	6.95	58.80	60.30	0.0
2009/10/4	11.44	81.0	4.0	0.65	5.77	257	8.31	16.28	13.02	13.28	13.16	13.35	13.23	13.11	106.10	57.95	59.58	0.0
2009/10/5	9.02	92.9	75.0	0.73	4.23	296	0.34	0.92	10.43	11.92	12.37	12.91	13.05	12.98	-414.40	67.88	74.60	0.0
2009/10/6	7.51	92.1	50.0	0.53	3.81	164	1.37	2.97	9.16	10.46	10.78	11.35	11.59	11.63	-264.80	68.11	74.30	0.0
2009/10/7	8.51	85.6	0.0	0.38	2.56	123	8.87	17.39	11.11	11.74	11.57	11.74	11.88	11.96	166.70	61.22	64.15	0.0
2009/10/8	8.26	70.1	0.0	0.72	2.04	205	8.53	16.80	9.67	11.27	11.52	11.88	12.08	12.11	-257.70	59.76	61.62	0.0
2009/10/9	8.97	81.6	0.0	0.41	2.76	155	5.28	10.65	10.36	10.94	11.14	11.57	11.90	11.98	-122.10	58.83	60.67	0.0
2009/10/10	9.01	89.9	1.5	0.11	2.35	137	2.95	6.01	10.84	11.60	11.58	11.88	11.91	11.91	-19.74	58.12	60.19	0.0
2009/10/11	8.91	92.5	10.5	0.20	1.87	130	3.01	6.24	11.08	11.99	11.91	12.12	12.07	11.99	24.58	61.48	64.85	0.0
2009/10/12	8.88	89.5	3.0	0.31	1.14	331	4.59	9.18	10.52	11.70	11.76	12.06	12.11	12.05	-67.35	62.03	65.23	0.0
2009/10/13	9.10	89.4	0.0	0.25	1.98	128	6.78	13.38	11.16	11.95	11.89	12.13	12.11	12.07	63.71	60.71	62.94	0.0

雪山地區高山生態系整合調查

日期 (Unit)	氣溫 (°C)	相對濕度 (%)	降雨量 (mm)	平均風速 (m s ⁻¹)	最大風速 (m s ⁻¹)	風向 (°)	日射量 (MJ m ⁻²)	PAR (mol m ⁻²)	草溫 (°C)	地溫 5 (°C)	地溫 10 (°C)	地溫 20 (°C)	地溫 30 (°C)	地溫 50 (°C)	土壤熱流量 (KJm ⁻²)	土壤含水率 10 (%)	土壤含水率 20 (%)	積雪深 (cm)
2009/10/14	8.55	85.4	0.0	0.33	2.03	124	6.14	12.17	10.15	11.58	11.75	12.07	12.15	12.10	-156.30	59.85	61.62	0.0
2009/10/15	8.44	84.1	0.5	0.21	2.03	107	6.46	12.83	9.84	11.35	11.52	11.85	12.02	12.01	-131.50	59.21	60.93	0.0
2009/10/16	8.32	75.4	0.0	0.45	1.78	212	6.01	12.04	9.21	11.01	11.28	11.65	11.87	11.90	-237.30	58.80	60.44	0.0
2009/10/17	8.51	62.3	0.0	0.84	5.87	316	12.20	23.75	9.11	10.50	10.84	11.27	11.62	11.70	-208.50	58.43	60.06	0.0
2009/10/18	9.20	57.8	0.0	1.46	7.16	311	16.68	32.19	10.45	10.71	10.82	11.12	11.41	11.50	-9.17	58.03	59.72	0.0
2009/10/19	9.04	66.0	0.0	0.32	2.88	323	14.94	32.19	8.31	10.84	11.47	11.67	11.51	11.45	-221.30	60.72	61.82	0.0
2009/10/20	8.37	75.2	0.0	0.39	3.23	6	18.63	36.56	11.92	12.34	11.75	11.56	11.42	11.44	130.40	60.41	61.56	0.0
2009/10/21	9.73	46.9	0.0	0.68	3.52	292	21.28	42.15	10.16	11.08	11.22	11.50	11.58	11.55	-315.30	60.17	61.37	0.0
2009/10/22	9.15	56.8	0.0	0.47	2.20	328	17.19	34.49	10.45	10.95	11.05	11.36	11.54	11.56	-227.30	59.89	61.12	0.0
2009/10/23	7.26	84.8	0.0	0.19	2.30	306	6.50	14.89	10.20	10.77	10.99	11.37	11.51	11.51	-289.20	59.60	60.86	0.0
2009/10/24	5.93	81.9	5.0	0.86	5.03	302	9.22	19.31	9.32	10.35	10.72	11.16	11.38	11.41	-486.50	60.08	61.42	0.0
2009/10/25	7.36	24.4	0.0	1.10	4.85	36	21.80	42.10	7.32	9.09	9.80	10.40	11.02	11.19	-831.00	62.41	62.59	0.0
2009/10/26	6.42	34.6	0.0	0.78	4.24	271	21.57	41.73	7.22	8.75	9.34	9.91	10.58	10.83	-678.20	61.35	62.06	0.0
2009/10/27	6.75	37.4	0.0	0.65	2.12	225	21.38	41.61	7.45	8.75	9.21	9.73	10.31	10.53	-545.70	60.61	61.57	0.0
2009/10/28	7.39	22.1	0.0	1.02	2.46	197	21.45	41.48	7.35	8.63	9.11	9.61	10.14	10.33	-553.30	60.07	61.18	0.0
2009/10/29	8.10	24.6	0.0	0.92	2.35	197	21.30	41.14	7.54	8.65	9.03	9.51	9.99	10.19	-453.30	59.65	60.86	0.0
2009/10/30	9.07	30.3	0.0	0.95	2.26	214	21.07	41.07	7.99	8.86	9.12	9.53	9.93	10.08	-333.10	59.27	60.59	0.0
2009/10/31	9.84	36.7	0.0	0.81	2.46	142	17.65	35.06	8.57	9.11	9.28	9.67	9.95	10.06	-213.20	58.96	60.30	0.0
2009/11/1	8.79	74.7	0.0	0.55	2.82	120	15.85	31.94	10.19	10.10	9.85	10.03	10.08	10.12	99.40	58.70	60.06	0.0
2009/11/2	5.48	55.4	0.0	0.46	4.05	322	20.04	39.92	8.12	9.57	9.94	10.29	10.36	10.33	-549.70	58.44	59.86	0.0
2009/11/3	6.95	24.4	0.0	0.57	1.90	224	20.22	39.58	7.11	8.52	9.10	9.65	10.15	10.27	-626.70	58.13	59.62	0.0

日期 (Unit)	氣溫 (°C)	相對濕度 (%)	降雨量 (mm)	平均風速 (m s ⁻¹)	最大風速 (m s ⁻¹)	風向 (°)	日射量 (MJ m ⁻²)	PAR (mol m ⁻²)	草溫 (°C)	地溫 5 (°C)	地溫 10 (°C)	地溫 20 (°C)	地溫 30 (°C)	地溫 50 (°C)	土壤熱流量 (KJm ⁻²)	土壤含水率 ¹⁰ (%)	土壤含水率 ²⁰ (%)	積雪深 (cm)
2009/11/4	7.61	45.3	0.0	0.66	1.96	205	18.00	35.81	7.94	8.78	9.07	9.51	9.93	10.07	-347.60	57.91	59.44	0.0
2009/11/5	7.47	60.8	0.0	0.53	1.88	21	15.09	30.28	8.75	9.22	9.32	9.68	9.94	9.99	-197.10	57.69	59.26	0.0
2009/11/6	7.77	53.7	0.0	0.55	2.03	347	12.49	25.61	8.49	9.14	9.35	9.74	9.95	10.01	-290.50	57.47	59.07	0.0
2009/11/7	9.03	67.5	0.0	0.34	2.12	163	13.10	27.14	9.72	9.79	9.66	9.92	9.97	9.98	15.47	57.30	58.92	0.0
2009/11/8	9.79	56.1	0.0	0.41	2.43	350	19.66	39.54	10.00	10.27	10.12	10.29	10.18	10.13	-10.90	57.15	58.77	0.0
2009/11/9	9.54	51.8	0.0	0.35	3.72	325	17.03	35.22	9.39	9.96	10.07	10.39	10.37	10.30	-179.90	56.95	58.59	0.0
2009/11/10	5.51	61.7	10.0	1.43	5.93	164	6.16	14.53	6.51	8.38	9.25	9.96	10.33	10.35	-812.00	59.35	59.49	0.0
2009/11/11	6.35	56.7	0.0	0.96	6.62	133	15.90	32.24	6.73	7.93	8.44	9.02	9.69	9.94	-524.40	61.77	61.63	0.0
2009/11/12	5.86	68.0	1.0	0.80	4.29	156	8.20	18.46	7.14	7.95	8.40	8.96	9.45	9.64	-438.00	60.85	61.22	0.0
2009/11/13	5.74	89.2	24.0	0.42	4.76	129	4.69	11.91	8.04	8.40	8.54	8.94	9.26	9.45	-186.30	67.34	71.70	0.0
2009/11/14	5.03	85.3	2.0	0.24	2.92	140	7.88	17.89	7.87	8.61	8.79	9.12	9.32	9.40	-305.50	66.08	69.08	0.0
2009/11/15	3.53	88.7	3.0	0.27	3.81	104	4.80	10.95	7.04	7.94	8.38	8.90	9.26	9.40	-488.10	64.61	67.09	0.0
2009/11/16	7.24	66.6	0.0	0.61	3.81	306	14.02	29.60	7.32	8.00	8.22	8.62	9.00	9.19	-264.50	64.07	65.37	0.0
2009/11/17	6.38	75.7	1.5	0.81	5.33	288	7.32	16.92	7.59	8.16	8.41	8.82	9.05	9.18	-272.70	62.78	64.20	0.0
2009/11/18	4.06	88.5	0.5	0.46	4.00	164	4.73	11.78	7.36	8.00	8.31	8.75	9.03	9.14	-359.40	62.26	64.04	0.0
2009/11/19	4.25	90.6	0.0	0.19	2.28	51	6.09	14.05	7.32	7.99	8.24	8.60	8.94	9.06	-316.60	61.87	63.85	0.0
2009/11/20	5.54	74.0	0.0	0.45	3.34	290	11.03	23.20	6.87	7.76	8.03	8.40	8.82	8.98	-354.50	61.93	63.07	0.0
2009/11/21	5.52	66.6	0.0	0.59	3.85	74	17.22	34.91	6.33	7.49	7.88	8.28	8.71	8.88	-457.30	61.51	62.66	0.0
2009/11/22	5.68	79.5	0.0	0.71	4.85	298	8.17	17.70	7.36	7.87	8.03	8.35	8.67	8.82	-196.50	61.16	62.38	0.0

附表 1-4 哭坡頂氣象站器項要素日報表

日期 (Unit)	氣溫 (°C)	濕度 (%)	降雨量 (mm)	平均風速 (m s ⁻¹)	最大風速 (m s ⁻¹)	風向 (°)	日射量 (MJ m ⁻²)	PAR (mol m ⁻²)	草溫 (°C)	地溫 10 (°C)	地溫 20 (°C)
2009/9/24	12.67	74.7	0.0	1.76	6.68	59	11.54	23.87	12.26	13.91	14.12
2009/9/25	13.86	37.4	0.0	2.76	7.61	286	25.31	52.82	14.65	14.04	14.00
2009/9/26	13.78	40.0	0.0	2.44	7.98	285	25.62	52.26	15.23	14.02	14.10
2009/9/27	9.43	92.3	25.4	2.32	11.50	108	4.33	9.06	10.11	13.15	13.70
2009/9/28	9.28	94.1	14.0	2.41	12.06	103	7.73	15.96	10.41	12.55	13.05
2009/9/29	10.62	96.3	7.4	1.78	10.02	142	11.85	24.56	12.24	13.03	13.06
2009/9/30	11.54	95.6	0.2	1.21	5.01	103	9.64	20.91	12.82	13.57	13.44
2009/10/1	12.20	92.1	12.6	1.49	6.68	121	11.53	24.33	13.32	13.79	13.69
2009/10/2	11.99	92.0	2.6	1.15	4.64	48	10.18	21.57	12.79	13.67	13.63
2009/10/3	12.12	89.9	0.0	1.95	8.35	119	20.25	42.61	14.29	14.16	13.83
2009/10/4	12.30	91.5	4.0	2.30	12.43	84	12.36	26.70	13.74	14.40	14.11
2009/10/5	10.04	99.1	45.6	3.97	12.99	281	2.83	6.03	11.09	13.24	13.55
2009/10/6	8.45	99.1	34.0	3.93	13.36	10	4.00	8.24	9.61	11.46	12.08
2009/10/7	9.91	96.6	0.6	1.89	8.16	278	15.90	32.39	12.05	12.58	12.57
2009/10/8	10.38	82.3	0.0	1.31	6.86	124	11.37	23.48	10.51	12.49	12.73
2009/10/9	10.61	87.7	0.0	1.33	5.94	128	10.59	22.31	11.68	12.28	12.51
2009/10/10	10.37	96.2	0.4	1.50	5.57	285	7.61	16.19	12.04	12.91	12.83
2009/10/11	10.14	98.9	4.0	1.59	7.24	70	8.20	16.17	12.04	13.24	13.04
2009/10/12	10.39	97.6	3.8	1.15	4.64	65	10.55	20.54	11.69	12.94	12.95

2009/10/13	10.45	99.4	0.4	1.17	5.20	83	7.24	14.64	12.17	13.10	13.03
2009/10/14	9.94	97.4	0.2	1.39	7.05	121	8.05	16.46	11.16	12.58	12.78
2009/10/15	9.97	96.5	1.8	1.32	6.31	111	9.86	20.62	11.96	12.68	12.73
2009/10/16	10.01	89.4	0.0	1.34	5.94	136	9.01	19.05	10.63	12.39	12.63
2009/10/17	9.64	76.9	0.0	1.29	7.98	190	12.20	25.92	9.93	11.71	12.21
2009/10/18	9.38	76.6	0.0	1.42	7.98	100	15.83	33.34	10.63	11.60	12.02
2009/10/19	9.22	65.7	0.0	0.63	8.16	119	14.45	30.30	6.83	5.91	6.41

第二章 集水區環境資料建置及應用

中文摘要

一、研究緣起

集水區環境資料所涵蓋之科學領域極廣，如森林、水保、地形、土壤、水文、地質、植生及景觀等。雪霸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。

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、成果

針對「集水區環境指標回顧與評估」、「環境指標篩選與建置」及「環境資料庫蒐集與建置」等項目進行評估及建置；已蒐集集水區各類環境資訊，初步萃取相關環境指標，供雪霸國家公園管理成效量化評估之參考。

四、主要建議事項

未來研究可向下落實並進行分析系統建置及修正，包含「集水區多尺度綜合分析」、「環境指標適宜性分析與評估」及「系統建置與修正」；將所有建置項目進行整合研析，推廣至整個雪霸國家公園轄區。

關鍵詞：環境復育、環境指標、集水區

Abstract

The environmental information in a watershed is an interdisciplinary science including forestry, soil and water conservation, topography, hydrology, geology, vegetation, landscape and so forth. Besides, integrating related science for environmental management of Shei-Pa National Park is urgent because an effective watershed management may be caused by complicated reasons and need consider many factors. There are diverse suitability indices for watershed application in each discipline. Moreover, different kind of hazard, geomorphologic evolution, and vegetation restoration need concern different scale, temporal, and spatial considerations. If an appropriate environmental index is selected for watershed environmental management may reach better results. Therefore, this study will collect and establish the most commonly used environmental indices for watershed management from different science fields. The elected environmental index assessment and selection for study site will be categorized according to their hierocratic structure such as geomorphic evolution, landscape changes, vegetation restoration, and water resources conservation capability and provided to watershed environmental management implementation. Finally, the environmental indices will be evaluated by integrated assessment and analysis and refereed as the design baseline for watershed environmental restoration.

Keywords: Environmental restoration, environmental index, watershed

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。

二、研究設計

本研究預期四年完成，並期達成下列目標：第一年針對「集水區環境指標回顧與評估」、「環境指標篩選與建置」及「環境資料庫蒐集與建置」等項目進行初步評估及建置；第二年再針對第一年項目向下落實並進行分析系統初步建置及修正，包含項目有「集水區多尺度綜合分析」、「環境指標適宜性分析與評估」及「系統建立與修正」；第三年則將所有建置項目進行整合及研析，第四年將系統推行至整個雪霸國家公園轄區，建置集水區環境指標分析系統供委託單位參考使用。研究流程如圖 2-1 所示。

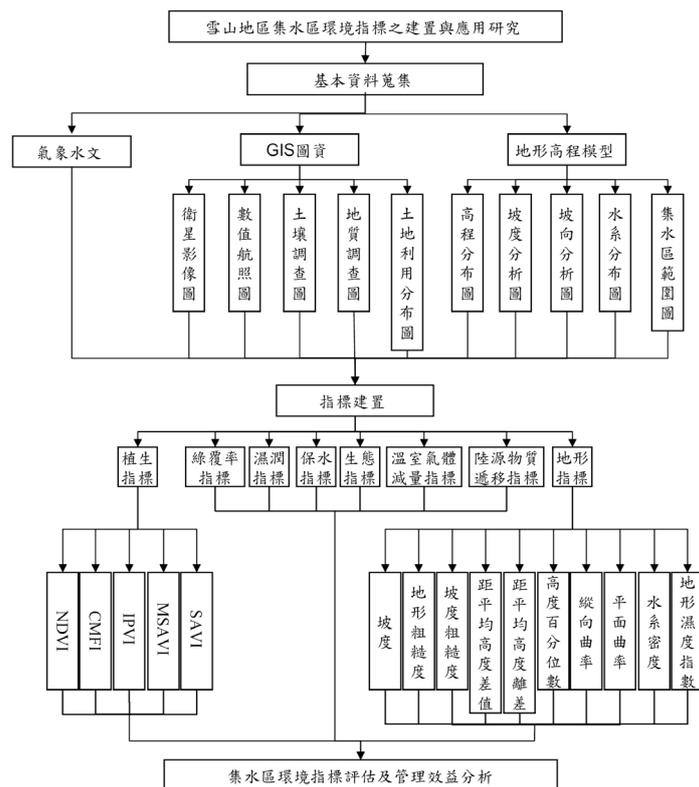


圖 2-1 研究流程圖。

(一)研究地點

研究地點為武陵農場億年橋集水區，所萃取之環境資訊分為點、線、面資料，主要區位分為：圈谷地區、河川級序 1 之集水分區、登山步道、稜線、以及各類施做樣區(圖 2-2、圖 2-3)。

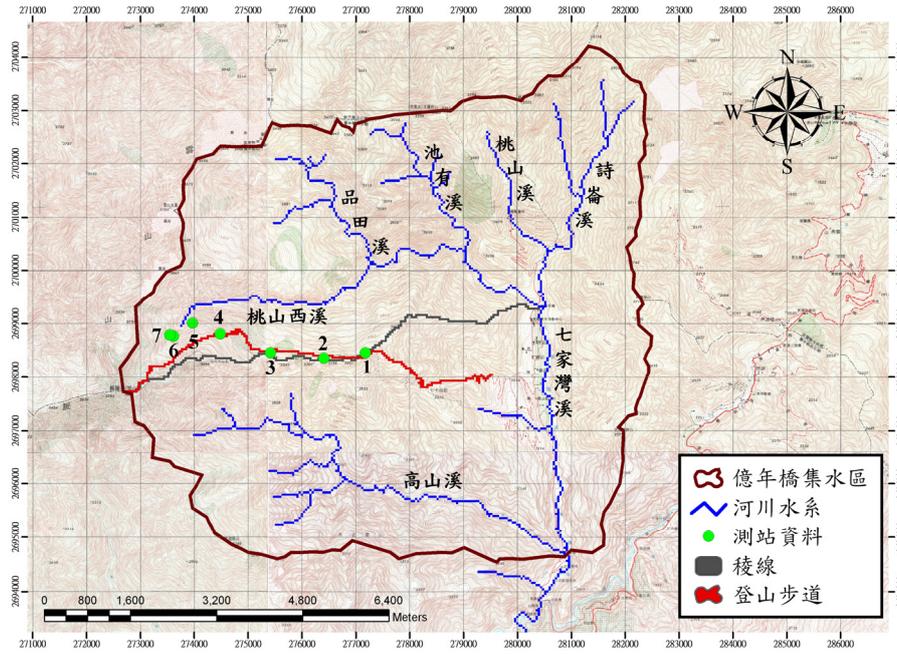


圖 2-2 研究範圍。

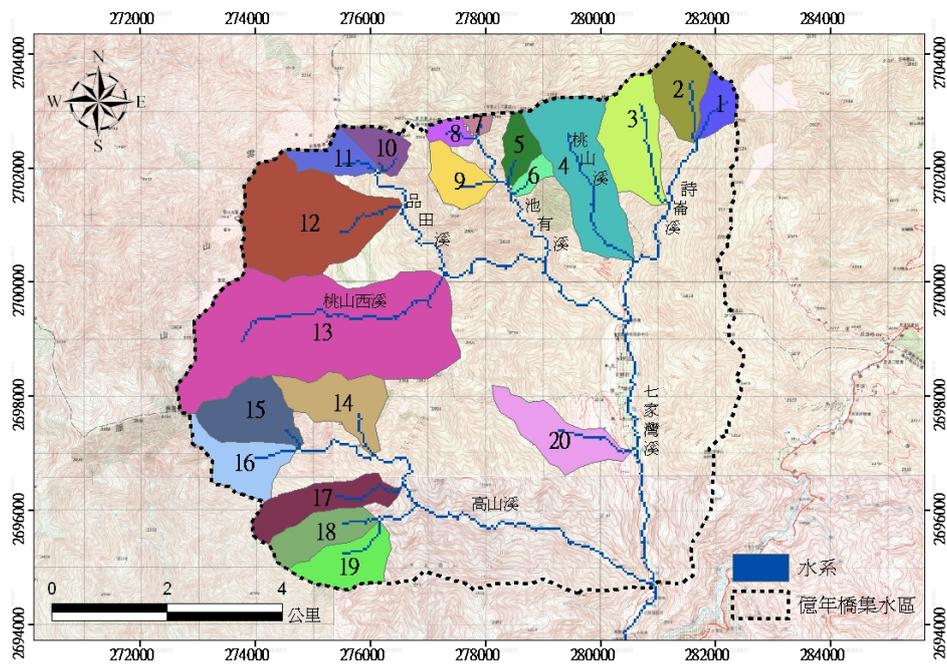


圖 2-3 河川級序 1 之集水分區。

(二)研究項目與方法

1. 基本圖資蒐集分析

蒐集研究地區之氣象水文資料、數值高程、衛星影像、航照圖以及相關之GIS圖層(包括地質圖、土壤圖、地形圖、集水區、水系圖、像片基本圖、土地利用圖等)。基本圖資蒐集調查包含研究區域基本資料，以現場勘查定位方式，並申請各單位最新圖資，參考計畫範圍相關文獻，俾對研究試區有充分瞭解，所蒐集基本圖資彙整(表 2-1)，與基本資料利用狀況(表 2-2)。

表 2-1 基本圖資

基本圖資	屬性		來源	用途	指標建置
DEM	40×40m	--	農林航測所	高程、坡度、坡向、水系、坡長、USLE	地形指標 陸源物質遞移指標
GIS 圖資	衛星影像圖 8×8m	乾季： 2007/11/20 2007/12/28 濕季： 2008/07/02 2008/08/24	中央大學太空及遙測研究中心	USLE、影像分類、CO ₂ 減量	植生指標 綠覆率指標 生態指標
	數值航照圖	2006年	農林航測所	影像分類訓練樣本	
	地質圖	1/250000	中央地質調查所	綠建築土壤入滲率推算	保水指標
	土壤圖	1/25000	水土保持局		
	土地利用圖	2001年	林務局	計算CO ₂ 減量	溫室氣體減量指標
		2008年	國土測繪中心		
崩塌區位圖	921後	水土保持局 影像萃取	計算土砂產量	陸源物質遞移指標	
氣象水文	降雨量	1980年以後	雨量站及氣象站	氣候分類	濕潤指標

表 2-2 工作項目分析表

分析項目	氣候資料建置	集水區地文水文分析	集水區產砂量分析	緩衝帶配置分析	碳存量分析	綠環境型態分析	植群綠覆穩定性分析	集水區碳儲存與綠劣率分析	綠劣區位分析	集水區地形指標建置
圖資種類										
DEM 資料		◎	◎	◎		◎			◎	◎
衛星影像			◎			◎	◎	◎	◎	
集水區及水系圖		◎		◎	◎					◎
土地利用圖				◎	◎			◎		
崩塌區位圖			◎							
氣候資料	◎	◎	◎							

2. 集水區地文水文資訊分析

整合數值高程模型(DEM)資料及地理資訊系統技術，分析集水區地文水文各類資訊，瞭解集水區特性，集水區地文水文因子之計算式整理如表 2-3。

表 2-3 集水區地文水文因子分析項目

集水區特性	符號	單位	計算式或說明
尺度類因子			
(1)集水區面積	A	km ²	單位網格面積之總和； $A = a \times n \times 10^{-6}$ ；(a：網格面積[m ²]，n：集水區網格數目)
(2)集水區周長	P_w	m	集水區邊界長； $P_w = l \times n$ ；(l：網格長度[m]，n：集水區邊界鄰接網格邊長數目)
(3)集水區長度	L_w	km	集水區最遠端至出口之直線投影長
(4)河川主流長度	L_0	km	集水區內最長之河川長度
(5)河川總長度	L_T	km	集水區內全部河川長度總和； $L_T = \sum_{i=0}^n L_i$ ， $\begin{cases} L_0 \text{ 為主流長度} \\ L_1 \dots L_n \text{ 為支流長度} \end{cases}$
(6)河川數量	N	-	集水區內之溪流數量
(7)平均高程	\bar{H}	m	集水區高程之平均值； $\bar{H} = \frac{\sum Z}{n}$ ；(Z：網格之高程值)

集水區特性		符號	單位	計算式或說明
因子	(8)起伏量	R_f	m	集水區之最大高差； $R_f = H_{max} - H_{min}$
	梯度類因子			
	(1)平均坡度	\bar{S}	%	集水區坡度之平均值； $\bar{S} = \frac{\sum slp}{n}$
	(2)起伏比	R	-	集水區之最大高差除以該兩點水平距離之值； $R = \frac{R_f}{\Delta d}$
	形狀類因子			
	(1)集水區寬度	W	km	集水區面積除以河川主流長度之值； $W = \frac{A}{L_0}$
	(2)形狀因子	F	-	單位主要河川長度之集水區寬度； $F = \frac{W}{L_0} = \frac{A}{L_0^2}$
	(3)密集度	C_s	-	同一集水區面積所對應之周長除以集水區周長； $C_s = 2(\sqrt{\frac{A}{\pi}}) \times \frac{\pi}{P} = \frac{3.54\sqrt{A}}{P}$
	(4)圓比值	M	-	集水區面積除以與集水區周長等長之圓面積； $M = \frac{A}{(P/2\pi)^2 \pi} = \frac{4\pi A}{P^2}$
	(5)細長比	E	-	與集水區相等面積之圓直徑除以集水區長度； $E = \frac{\sqrt{A/\pi}}{L} = \frac{1.128\sqrt{A}}{L}$
網路類因子				
(1)水系密度	D_s	-	全部河川長度總和，除以集水區面積之值； $D_s = \frac{L_T}{A}$	
(2)河川頻率	F_s	-	集水區內河川數目除以集水區面積之值 $F_s = \frac{N}{A}$	

表 2-3 集水區地文水文因子分析項目(續 1)

集水區特性	符號	單位	計算式或說明
水 文 因 子	(1)漫地流時間	t_0	min 集水區邊界流至河道所需時間(t_0 之估算採用坡面長度除以漫地流速度，因此坡面長度係由集水區最遠端流至河道之距離，而漫地流流速一般在 0.3-0.6 m/s，可依集水區之現況輸入計算)
	(2)渠道流時間	t_s	min 由河道上游至出口所需時間，依 Rziha 公式計算，即 $t_s = \frac{l_s}{60 \cdot v}$ ； $v = 20(\frac{h}{l_s})^{0.6}$ ；(h 為河道上游與出口之高差[m]， l_s 為河道長度[m])
	(3)集流時間	t_c	min 集流時間之定義為集水區最遠點的雨水到達集水區出口的時間，欲準確地計算集流時間，應考慮集水區坡面逕流之集流時間(t_0)加上主流之上游頂點至出口之集流時間(t_s)，亦由集水區最遠端到達出口所需的時間，一般為漫地流時間及渠道流時間之和(盧惠生等，1990)，其公式為 $t_c = t_0 + t_s$
	(4)降雨強度	$I_{t_c}^T$	mm/hr T 頻率年無因次降雨強度之推估，係以 T_{25} 、 T_{50} 及 T_{100} 為主，其計算公式係參考水土保持技術規範
	(5)洪峰流量	Q_T	cms 洪峰流量之估算係採用合理化公式，係以 Q_{25} 、 Q_{50} 及 Q_{100} 為主，推估公式為 $Q_T = \frac{1}{3.6} C' I_{t_c}^T A$ ；(C' 為逕流係數，A 為集水區面積[km^2])，而逕流係數之決定則參考水土保持技術規範

3. 集水區產砂量分析

(1)坡面土壤流失量分析模組

依據水土保持技術規範(2000)第 62 條第三款之規定，山坡地土壤流失量之估算，得採用通用土壤流失公式(USLE)，其公式如下：

$$A_m = R_m K_m L S C P$$

式中： A_m ：土壤流失量(tons/ha/yr)

R_m ：降雨沖蝕指數(Mj-mm/ha-hr-yr)

K_m ：土壤沖蝕指數(tons-ha-hr-yr/Mj-mm-ha-yr)

L ：坡長因子

S ：坡度因子

C ：覆蓋與管理因子

P ：水土保持處理因子

(I) 降雨沖蝕指數(R_m)

降雨沖蝕指數(R_m)係由黃俊德(1979)分析本省八個氣象站(基隆、新竹、臺中、日月潭、高雄、恆春、臺東及花蓮)20年的自記日雨量記錄，並以全臺灣200個雨量站的月雨量資料為輔，利用這些氣象站之記錄以非線性迴歸方程式求算各地雨量與年降雨沖蝕指數的關係，建立臺灣本島的年平均降雨沖蝕指數，利用地理統計可求算臺灣地區年平均降雨沖蝕指數等值圖。研究範圍集水區降雨沖蝕指數空間分布(圖2-4)。

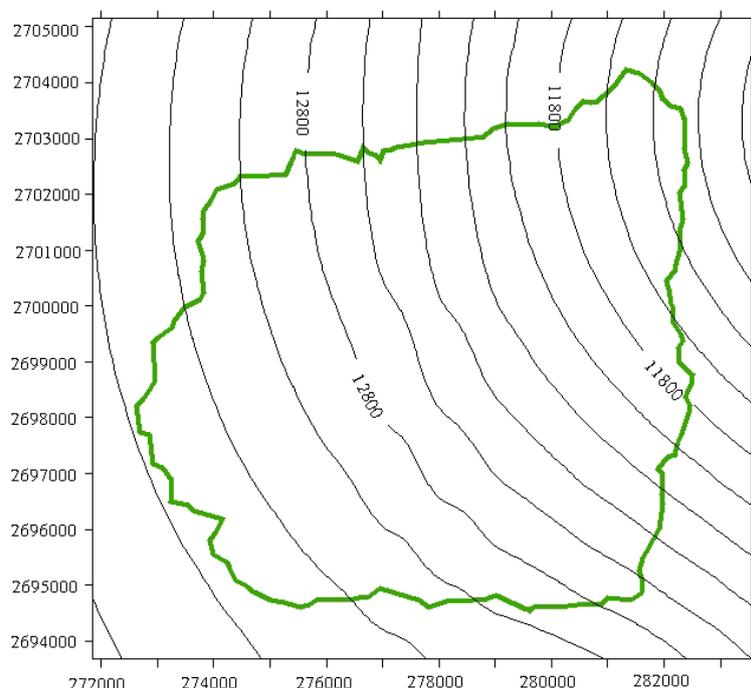


圖 2-4 研究範圍集水區年平均降雨沖蝕指數分布圖。

(II) 土壤沖蝕指數(K_m)

土壤沖蝕指數(K_m)係採用萬鑫森、黃俊義(1981、1989)所調查之臺灣坡地土壤沖蝕指數值，利用地理統計可求算臺灣地區土壤沖蝕指數等值圖。研究範圍集水區土壤沖蝕指數空間分布(圖2-5)。

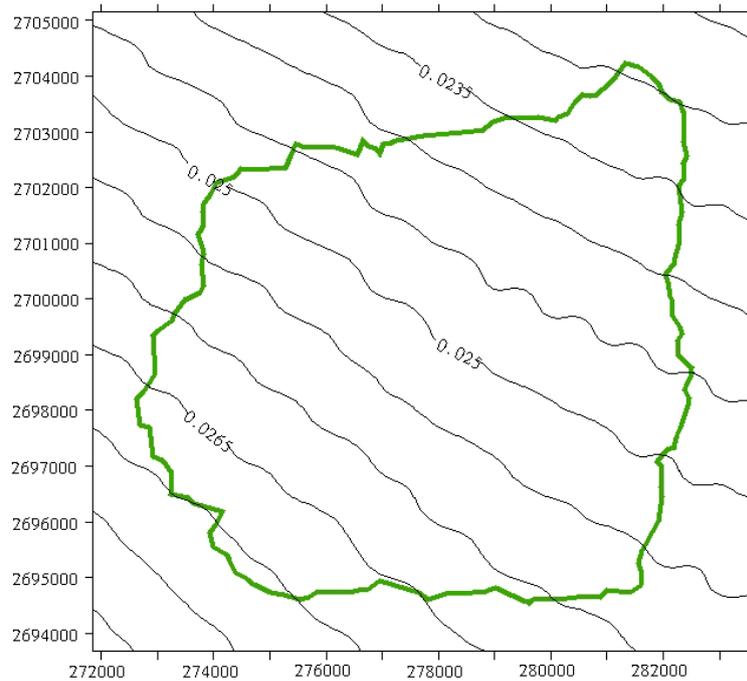


圖 2-5 研究範圍集水區年平均土壤沖蝕指數分布圖。

(III)坡長因子(L)

通用土壤流失公式中，坡長因子(L)係採用 Wischmeier and Smith (1965) 之計算式： $L = (l/22.13)^m$ ；式中 l 為地表漫地流之流長(公尺)， m 隨著坡地的坡度而改變，Wischmeier and Smith (1978) 分析指出：當坡地坡度小於 1% 時， $m=0.2$ ；當坡度介於 1% 與 3% 之間時， $m=0.3$ ；當坡度介於 3% 與 5% 之間時， $m=0.4$ ；而當坡地坡度大於 5% 時， $m=0.5$ 。地表漫地流之流長係由地表逕流開始發生的地點起算，至沖蝕的土壤發生明顯淤積或至匯集逕流水之渠道為止，其間的水平投影距離。

坡長因子之計算，除了田間小規模樣區試驗可直接量測之外；若以集水區為考量，多數學者係以固定坡長或網格大小來估算，至目前為止並無學者對集水區之坡長提出合理的計算。本研究假設集水區坡面受到地面窪蓄、入滲等作用以及山溝、道路排水側溝等之截流，地表漫地流之流長甚少超過 100 公尺，以及一般坡地安全排水，超過 100 公尺即需分段排水，否則逕流集中易形成蝕溝之條件下；以數值高程模型，利用排水流向之觀念，撰寫程式萃取集水區漫地流與渠道流(為安全與方便計算，地表水之流長若超過 100 公尺時，可視為渠道流)之空間分布。藉由集水區漫地流之流長，利用 USLE 坡長

因子之算式，自動萃取集水區之坡長因子，供坡面土壤流失量及泥砂產量之合理評估。

由於評估集水區之地形係利用臺灣地區數值高程模型，網格解析度為40m×40m 所產生。若以地表水之流向為指標，累計流長在兩個網格以下者可視為漫地流，以此來估算集水區之坡長分布；累計流長超過兩個網格時視為渠道流。

(IV)坡度因子(S)

坡度因子係計算各網格之平均坡度(θ)，再以 Wischmeier and Smith (1978) 所提出之坡度因子公式： $S = 65.4 \sin 2\theta + 4.56 \sin \theta + 0.0654$ 求算而得。

(V)覆蓋與管理因子(C)

綠色植物因有吸收藍光、紅光及強烈反射紅外光之特性，故應用多譜資訊於植物資源之探測，使用可見光與近紅外光之比值或差值，即所謂的植生指標。NDVI 被廣泛應用於測定綠色植物之光合作用、植物之覆蓋率及生物量等，如黃國楨等(1996)採用法國 SPOT 衛星影像來推得常態化差異植生指標(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)之變化，進而分析評估 SPOT 衛星影像前後兩期綠色植生量之變遷。NDVI 值之計算方法如下所示：

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$$

NIR 為近紅外光；R 為紅光。所求得 NDVI 值愈大顯示地表植物生育愈旺盛、植被覆蓋佳。由於臺灣地區之 C 值尚無資料庫可資利用，本評估集水區之覆蓋與管理因子(C)係以常態化差異植生指標經線性反向配置後產生。研究範圍 C 值分布(圖 2-6)。

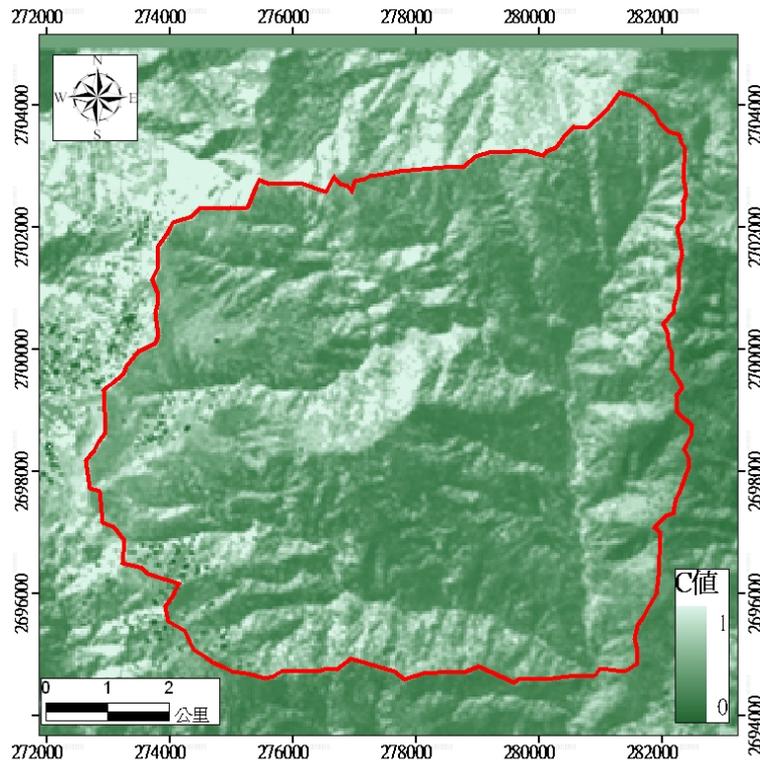


圖 2-6 研究範圍 C 值分布。

(VI) 水土保持處理因子(P)

本研究之水土保持處理因子，係以無水土保持處理之狀態下(P=1)進行評估。

(2) 坡面泥砂遞移量

坡面泥砂遞移率之計算，係依據 Lin *et al.* (2002) 所建構之理論基礎，假設坡面泥砂主要係由坡面地表水所帶動，運移至渠道(常流水)而流失。泥砂遞移率可視為某格點對最接近渠道格點之泥砂貢獻量，若將泥砂貢獻量用網格上游流入面積表示，則網格上游流入面積愈大，其產生的逕流量亦愈大，愈能將泥砂帶至河道。因此，集水區坡面上任一格點之泥砂遞移率，可視為該格點上游流入面積(Agrid)與該格點流至最接近渠道之上游流入面積(Atotal)之比值，如圖 2-7 所示；意即濱水區愈靠近渠道之格點，泥砂遞移率愈高，其坡面沖蝕之泥砂愈容易進入渠道，而增加河道之泥砂產量。集水區之坡面泥砂產量(Y_s)可由集水區坡面土壤流失量(A_m)與坡面泥砂遞移率(SDR)之乘積($Y_s = A_m * SDR$)來推算，藉由網格之排水流向可計算每個網格之泥砂遞移率及泥砂量。

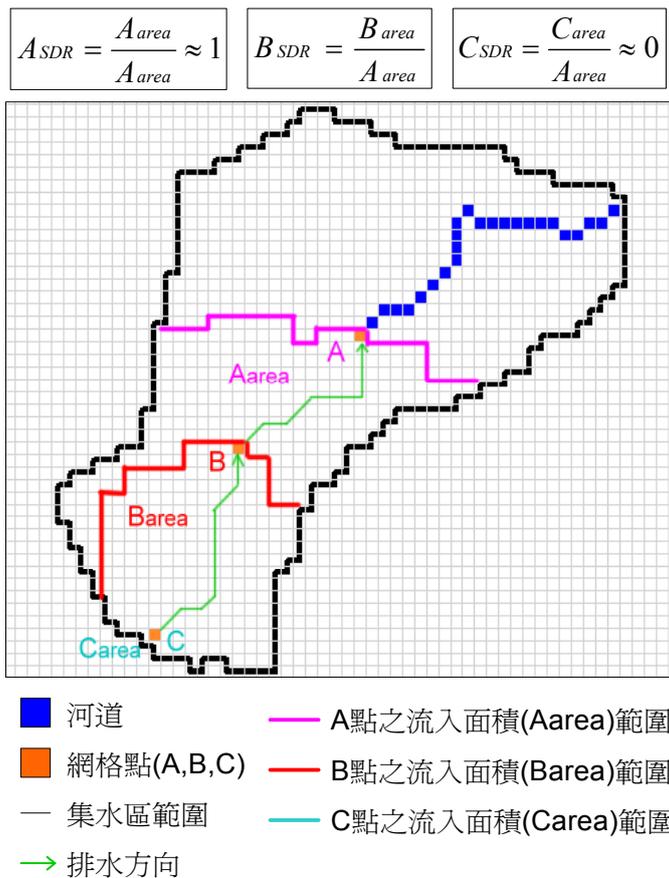


圖 2-7 集水區坡面泥砂遞移率示意圖。

(3) 崩塌地泥砂遞移量

崩塌地對保全對象之泥砂產量為崩塌土砂量沿河道遞移至保全對象之輸送量，遞移路徑與公式如圖 2-8 內說明，其輸砂通式可寫成：

$$ST_l = V_l \left(\frac{A_c}{A_b} \right) \left(\frac{A_c}{A_a} \right)^\alpha \left(\frac{P}{P_t} \right)$$

式中， ST_l ：泥砂遞移量(Sediment Transport, ST)、 V_l ：崩塌體積(m^3)、 A_a ：鄰近保全對象河道之集水區(ha)、 A_b ：b 點之集水區面積(ha)、 A_c ：c 點之集水區面積(ha)、 P ：單場雨量(mm)、 P_t ：年平均雨量(mm)、 α ：輸砂衰減係數。

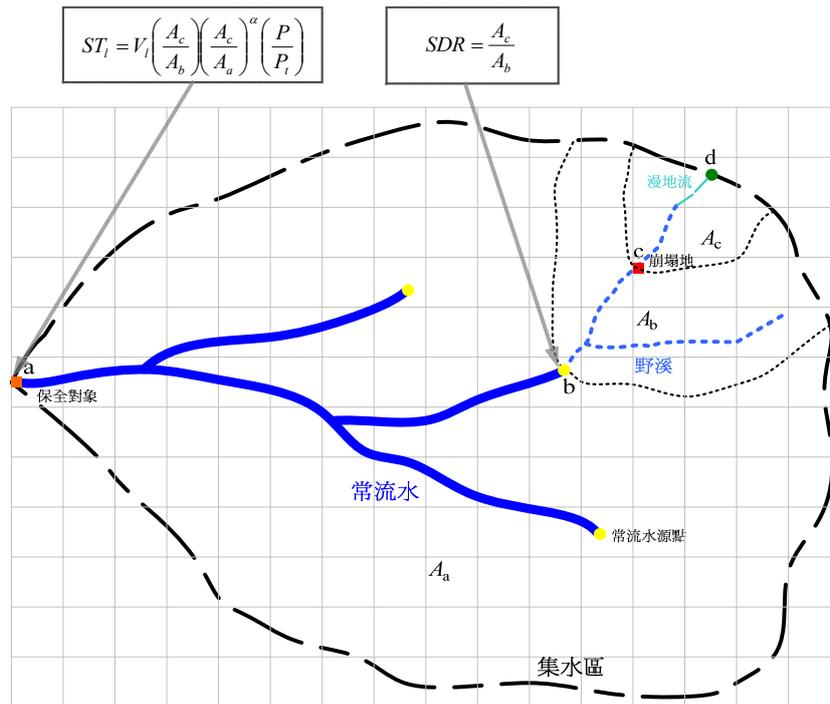


圖 2-8 集水區崩塌地泥砂遞移量示意圖。

(4) 單場暴雨集水區泥砂產量

一般而言，河道輸送之泥砂量包括來自坡面的土壤沖蝕遞移量(懸浮載)與崩塌地的土砂遞移量，針對保全對象產生的總體泥砂運移量之通式可寫為：

$$ST_t = (ST_{slope} + ST_{landslide})$$

式中， ST_t ：總體泥砂運移量(Total Sediment Transport, ST_t)、 ST_{slope} (ST_s)：來自坡面的土壤沖蝕遞移量、 $ST_{landslide}$ (ST_l)：來自崩塌地的土砂遞移量。

河道潛在輸砂效能與地文因子(坡度)及水文因子(流量)有關，且並非每一單場降雨皆會導致相同的輸砂量。因此在同一集水區探討土砂災害時，單場暴雨(single event)的雨量將會影響每次泥砂的運移量，將此雨量影響關係納入計算式中，其公式將會改寫成：

$$ST_t = ST_s \left(\frac{P}{P_t} \right) + ST_l$$

若將泥砂來源之二大部分，分開計算時公式可更進一步寫成：

$$ST_t = V_s \left(\frac{A_c}{A_b} \right) \left(\frac{A_c}{A_a} \right)^\alpha \left(\frac{P}{P_t} \right) + V_l \left(\frac{A_c}{A_b} \right) \left(\frac{A_c}{A_a} \right)^\alpha \left(\frac{P}{P_t} \right)$$

式中， V_s ：可由土壤沖蝕通用公式(USLE)中評估獲得，惟因土壤沖蝕之輸砂衰減係數為 0($\alpha=0$)，故整體公式可寫為：

$$ST_t = V_s \left(\frac{A_c}{A_b} \right) \left(\frac{P}{P_t} \right) + V_l \left(\frac{A_c}{A_b} \right) \left(\frac{A_c}{A_a} \right)^\alpha \left(\frac{P}{P_t} \right)$$

式中崩塌地土砂遞移衰減之影響因子可分為：(1)面積因子：若崩塌地離保全對象非常遠($\frac{A_c}{A_a} \cong 0$)，則輸砂率影響不大；若崩塌地離保全對象非常近($\frac{A_c}{A_a} \cong 1$)，則影響輸砂率甚鉅。(2)輸砂衰減係數： α 值為輸砂衰減係數，其可能由細顆粒之土壤沖蝕之完全遞移($\alpha=0$)至大顆粒土砂遞移比率($\alpha=1$)；此類分布應進一步比對河床質(D_{50})調查，以建立類似水土保持技術規範中泥砂運移量所採用之計算公式，為安全規劃考量，以 $\alpha=0$ 計算崩塌地泥砂遞移量。

4. 緩衝帶配置分析

目前常用土壤中化學物傳輸模式有以下三種：即表土層之農藥傳輸模式(Pesticide Root Zone Model, PRZM)、線性系統模式和指標模式(Index Method)三種，PRZM 模式、線性系統模式或其他類似模式中化學物在土壤中之傳輸機制，在應用上因所需參數較多，模擬時資料不足，應用上常受到限制；尤其在大面積模擬時，實地資料之不足常導致模式係數無法正確地估算。指標模式較簡單，所需參數較少，且國外已有成功之應用經驗可資參考。

污染物本身、土壤環境及氣象條件等諸因子，皆影響污染物在土壤中之行徑。污染物在土壤環境中之殘留是污染物物理性吸附、移動、揮發及化學性之分解作用(包括非生物與生物性)等錯綜複雜反應後所得之淨效應。以指標模式模擬污染物在土中之動態，評估污染物污染地下水之潛勢，指標模式之推估過程分述如下：

(1)輸送(transport)

在土層中污染物之移動，可視為在均勻性土壤之不飽和多孔介質中穩態水流狀態下之垂直一維運動。

(I)之對流(convective flux)

污染物之對流量 J_c 常以下式表之。

$$J_c = -\theta D_M(q) \frac{\partial C_L}{\partial Z} + q C_L \tag{2-1}$$

其中

$$v = q / \theta \quad (2-2)$$

式中

J_C : 溶質之對流量 $[M / TL^2]$

θ : 體積水份含量 $[L^3 / L^3]$

$D_M(q)$: 延散係數

q : 流束(flux)

C_L : 溶質溶於土壤水份中之濃度 $[M / L^3]$

Z : 深度 L

v : 平均流速 $[L / T]$

由式(2-1)、(2-2)得式(2-3)

$$J_C = -\theta D_M(q) \frac{\partial C_L}{\partial Z} + v \theta C_L \quad (2-3)$$

(II) 污染物之擴散作用(diffusion)

溶液中污染物出現不均勻，便有濃度梯度存在，使污染物自濃度高處向低處擴散。於穩定狀態下之擴散作用，根據 Fick 第一擴散作用定律，擴散量 J_D 與濃度梯度 $\partial C / \partial Z$ 成正比：

$$J_D = -D_0 \frac{\partial C}{\partial Z} \quad (2-4)$$

式中

J_D : 污染物之擴散量

D_0 : 擴散係數

$\frac{\partial C}{\partial Z}$: 濃度梯度

式(4)是指污染物在無擴散阻礙下某一定時點之擴散量，但在土壤中之擴散作用，污染物會受到土壤中之固體物質之阻礙，且土壤孔隙之孔道是曲折的，有效擴散係數通常小於 D_0 ，故改寫成：

$$D_p = D_0 \theta \zeta \quad (2-5)$$

式中

D_p : 有效擴散係數 $[L^2 / T]$

ζ : 曲折係數

ζ 本身為 θ 之函數，為表示其相依性，可寫為 $D_p(\theta)$ ，則在不飽和土壤液相中

之擴散式(4)重寫為：

$$J_D = -D_p(\theta) \frac{\partial C_L}{\partial Z} \quad (2-6)$$

(III) 污染物之聯合輸送(solute flux)

聯合式(2-3)、(2-6)，可推導出最常被採用之一維污染物在未飽和土壤中之傳輸模式，如式(2-7)：

$$\begin{aligned} J_S &= J_C + J_D \\ &= -[\theta D_M(q) + D_p(\theta)] \frac{\partial C_L}{\partial Z} + v\theta C_L \end{aligned} \quad (2-7)$$

實際上擴散與流散現象不能分開，式(2-7)可改寫成：

$$J_S = -\theta D(\theta, q) \frac{\partial C_L}{\partial Z} + v\theta C_L \quad (2-8)$$

式中

J_S ：溶質之總輸送量 $[L^2/T]$

$D(\theta, q)$ ：視擴散係數(apparent diffusion coefficient)

由於流束及濃度隨時間及空間而變異，即：

$$\frac{\partial C_T}{\partial t} = -\frac{\partial J_S}{\partial Z} \quad (2-9)$$

在穩定水分流動中， θ 、 $D(\theta, q)$ 、 v 可視為常數，聯合式(2-8)、(2-9)得式(2-10)：

$$\frac{\partial C_T}{\partial t} = \theta D(\theta, q) \frac{\partial^2 C_L}{\partial Z^2} - v\theta \frac{\partial C_L}{\partial Z} \quad (2-10)$$

污染物在土壤中能以固態、液態、和氣態之形式存在，所以其總濃度 C_T 在一土壤之單位體積元素中可表示成：

$$C_T = \rho C_S + \theta C_L + \varepsilon C_G \quad (2-11)$$

式中

C_T ：土壤中之總濃度 $[M/L^3]$

C_S ：吸附於土壤顆粒表面之濃度 $[M/M]$

C_G ：以氣態存於土壤中之濃度 $[M/L^3]$

ρ ：土壤之總體密度 $[M/L^3]$

ε ：體積空氣含量 $[L^3/L^3]$

其中

$$\varepsilon = \theta_s - \theta \quad (2-12)$$

式中

θ_s : 飽和體積水份含量 [L^3 / L^3]

聯合式(2-10)、(2-11)得式(2-13)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho C_s + \theta C_L + \varepsilon C_G) = \theta D(\theta, q) \frac{\partial^2 C_L}{\partial Z^2} - v\theta \frac{\partial C_L}{\partial Z} \quad (2-13)$$

(2) 吸附作用 (sorption)

土體可吸附污染物，在低濃度之情況下，針對大部分非極性污染物而言，土壤對污染物之吸附量與平衡溶液中濃度間有直線之關係，可用式(2-14)簡單表之。

$$C_s = K_d C_L \quad (2-14)$$

其中

$$K_d = K_{oc} f_{oc} \quad (2-15)$$

式中

K_d : 吸附係數 [L^3 / M]

K_{oc} : 有機碳分配係數 [L^3 / M]

f_{oc} : 有機碳分率 [L^2 / T]

(3) 揮發作用 (volatilization)

通常以亨利定律常數 K_H 表示農藥於液-氣相之分率，即：

$$C_G = K_H C_L \quad (2-16)$$

將式(2-14)、(2-16)代入式(2-13)中得

$$\left(\frac{\rho K_d}{\theta} + 1 + \frac{\varepsilon K_H}{\theta} \right) \frac{\partial C_L}{\partial t} = D(\theta, q) \frac{\partial^2 C_L}{\partial Z^2} - v\theta \frac{\partial C_L}{\partial Z} \quad (2-17)$$

其中

$$R_f = \frac{\rho K_d}{\theta} + 1 + \frac{\varepsilon K_H}{\theta} \quad (2-18)$$

整理式(2-17)、(2-18)得式(2-19)

$$\frac{\partial C_L}{\partial t} = \frac{D(\theta, q)}{R_f} \frac{\partial^2 C_L}{\partial Z^2} - \frac{v}{R_f} \frac{\partial C_L}{\partial Z} \quad (2-19)$$

式中

R_f ：延滯因子(retardation factor)

延滯因子(R_f)為 ≥ 1.0 之無因次參數，可作為評估污染物在土壤中動態之一種指標(Maraqa *et al.*, 1998；張大偉、王明光，1998)。當此值愈大表示土壤可滯留較多之污染物質，使其不易在土壤中移動；反之， R_f 值愈小則表示土壤滯留污染物質之能力較差，污染物質容易向下或橫向移動。對非吸附性($K_d = 0$)及非揮發性($K_H = 0$)之農藥而言， R_f 值為1。表 2-4 為 R_f 值之污染潛勢劃分等級(Helling & Dragun, 1980)。

表 2-4 R_f 值之污染潛勢劃分等級

R_f 值	分級
$R_f = 1.0$	very mobile
$1.0 < R_f < 2.0$	mobile
$2.0 \leq R_f < 3.0$	moderately mobile
$3.0 \leq R_f < 10.0$	moderately immobile
$R_f \geq 10.0$	very immobile

(4) 降解作用 (degradation)

假設污染物質符合一級動力降解，即：

$$\frac{\partial C_L}{\partial t} = \lambda C_L \quad (2-20)$$

其中

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \quad (2-21)$$

式中

λ ：污染物質之一階分解係數 $[1/T]$

$t_{1/2}$ ：半衰期 $[T]$ ，污染物質衰減至原濃度一半所需之時間。

(5) 指標模式 (index model)

指標模式是利用衰減(attenuation)與延滯(retardation)兩個指標模擬化學物在土壤之傳輸。此兩個指標可由式(2-19)推導之。其假設條件有：1. 塞流(piston flow)。2. 污染物質之半衰期為一常數。根據此假設條件，整合式(2-19)、(2-20)得

$$\lambda C_L = -\frac{v}{R_f} \frac{\partial C_L}{\partial Z} \quad (2-22)$$

將(2-22)式積分之

$$AF = \frac{C}{C_0} = \exp\left(-\frac{\lambda R_f}{v} H\right) \quad (2-23)$$

式中

H ：深度[L]

C ：到達土層深度(H)之濃度[M/L³]

C_0 ：土壤表土化學濃度[M/L³]

衰減因子(Attenuation Factor, AF)為介於 0~1 的值，由 Rao *et al.* (1985)提出，應用於監測農藥敏感土壤與地下水區域之評估。表 2-5 為 AF 值之污染潛勢劃分等級(Khan & Liang, 1989)。

表 2-5 AF 值之污染潛勢劃分等級

AF 值	分級
$0.0 \leq AF < 1.0 \times 10^{-4}$	very unlikely
$1.0 \times 10^{-4} \leq AF < 1.0 \times 10^{-2}$	unlikely
$1.0 \times 10^{-2} \leq AF < 1.0 \times 10^{-1}$	moderate likely
$1.0 \times 10^{-1} \leq AF < 2.5 \times 10^{-1}$	likely
$2.5 \times 10^{-1} \leq AF \leq 1.0$	very likely

將集水區地形資料加以網格處理，產生高程、坡度、坡向和水系等數位圖檔。以林地為環境背景值，利用模式求算樣區不同土地利用現況土層污染物所需之自淨深度(安全土深)，結合水系、坡向及高程等資料，以河道中心為基準線，撰寫程式計算河道兩側與河道之高程差，其差值若小於河道滿水位加上安全土深之處，宜配置緩衝帶，不得開發利用。安全土深求算之流程如圖 2-9 所示。

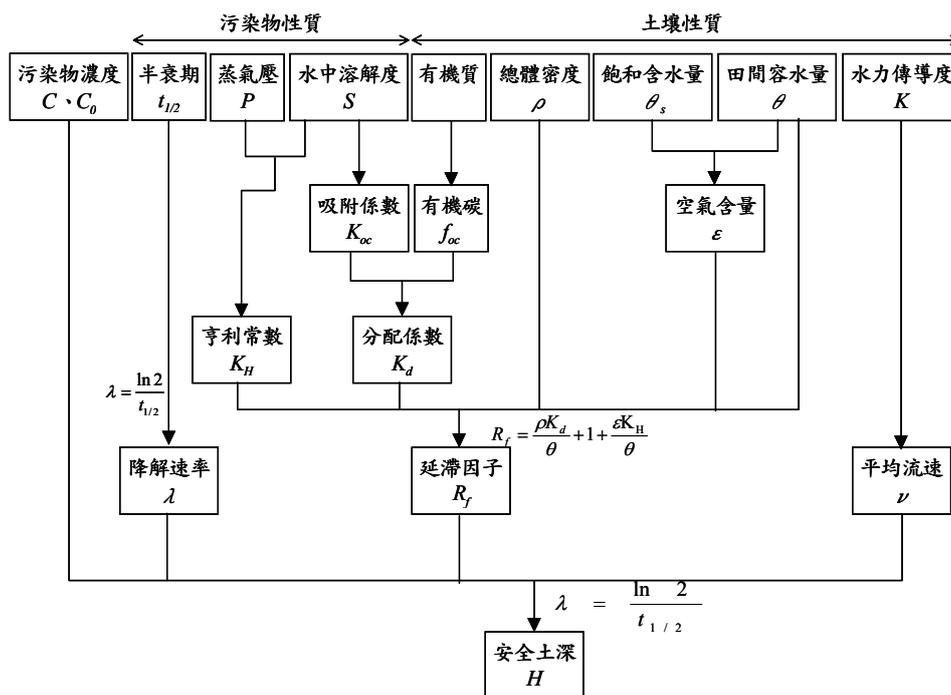


圖 2-9 安全土深求算流程。

森林集水區土壤之飽和水力傳導度極高，在高入滲區主要是藉由土層中之吸附、生物固定、分解及化學反應等自淨作用來去除滲流水之污染源，所以高入滲區須保有相當深厚的土層以行土壤自淨作用，避免水庫水質被污染。濱水區之坡面泥砂遞移率較高，肥料與農藥大量使用結果，營養鹽及農藥易隨降雨及灌溉水進入土體。溪岸濱水區植生緩衝帶之配置極為重要。林昭遠(1998)之研究指出武陵農場蔬菜區各類營養鹽所需最小安全土深以鉀之 8.81 m 最深，果樹區則以鈣之 6.26 m 為最大。莊佳慧(1999)指出德基水庫集水區常用農藥所需最小安全土深以芬瑞莫之 6.09 m 最深。為安全起見，以最易移動之水溶性鉀肥其衰減率所推算之安全土深為濱水區植生緩衝帶寬度之配置基準，方能有效防止各營養鹽與農藥之污染。

5. 集水區綠環境分析

以遙感探測(Remote Sensing, RS)方法取得近紅外光衛星觀測資料，評估區域綠覆率，在本計畫中檢討綠覆率的目的，是為了瞭解區內自然生態的涵養與保育程度。利用即時衛星影像進行評估，可迅速掌握綠覆率程度，因此在綠化程度的評估上，成為重要的判斷資訊，可驗證所應保有之植栽覆蓋率與密度，並依此做為檢核綠覆率之標準。

SPOT 衛星影像感測器所接收的波段為綠光、紅光及近紅外光，且綠色植物具有吸收藍光、紅光及強烈反射紅外光之特性，利用此原理可計算常態化差異植生指標(NDVI)。其值介於-1 與 1 之間，NDVI 小於零，屬非植生之雲層、水域及陰影等；NDVI 值愈大時，代表地表植物生育愈旺盛、植被覆蓋佳(Burgan and Hartford,1993)。為配合合理值域(0~1)，則需將 NDVI 進行 Rubber sheeting 後再進行線性轉換，將其線性反向配置為綠劣率(D)，當植生狀況愈差，D 值愈大。

將地覆型態分為草地、木本、建物、裸地及水體，針對各種地覆型態配合航照影像選取樣本進行訓練，再以最大概似法分類，假設影像之分類特徵具有多變量常態分佈，計算訓練樣區每一類的共變異矩陣(Covariance matrix)、平均向量(mean vector)。於樣本訓練分類完畢後，將針對分類後之準確性進行評估，最常使用的方法是誤差矩陣，其為一個方形的矩陣，行列數因種類數量而定，當中比較取樣區域的參考類別和相同取樣空間中的遙測影像分類成果的差異狀況。精度評估指標為判斷分類成果是否達到滿意需求之依據，因此藉由誤差矩陣關係表中可得到的分類評估指標除了使用者精度(User's Accuracy, UA)、生產者精度(Producer's Accuracy, PA)外、尚可計算整體精度(Overall Accuracy, OA)、Kappa 係數等。另利用土地利用圖資，分類樣區植物群落，再利用 IPCC 統計大範圍尺度下的資料(表 2-6)，估算樣區植群之碳儲存量。

表 2-6 不同植物群落平均碳儲存量統計表

植物群落	碳儲存量 (噸 C/公頃)		
	植物	土壤	總計
熱帶森林	120	123	243
溫帶森林	57	96	153
極地森林	64	344	408
熱帶草原	29	117	147
溫帶草原	7	236	243
沙漠	2	42	44
凍原	6	127	134
濕地	43	643	686
耕地	2	80	82

(資料來源：IPCC, 2000；土壤係指地表 1m 範圍內)

6. 集水區環境指標建置

(1)集水區地形指標

擷取坡度、地形粗糙度、坡度粗糙度、距平均高度差值、距平均高度離差、高度百分位數、縱向曲率、平面曲率、水系密度、地形濕度指數等十個地形指標，分述如下：

(I)坡度

坡度為描述高度的變化速率。對 3×3 網格式資料而言，其資料格式如圖 2-10 所示。中心點 Z_5 坡度計算公式如下(Wilson and Gallant, 2000)：

$$\begin{cases} z_{x1} = \frac{\partial z}{\partial x} \approx \frac{Z_3 - Z_1}{2h_1} \\ z_{x2} = \frac{\partial z}{\partial x} \approx \frac{Z_6 - Z_4}{2h_1} \\ z_{x3} = \frac{\partial z}{\partial x} \approx \frac{Z_9 - Z_7}{2h_1} \end{cases}$$

$$\begin{cases} z_{y1} = \frac{\partial z}{\partial y} \approx \frac{Z_1 - Z_7}{2h_2} \\ z_{y2} = \frac{\partial z}{\partial y} \approx \frac{Z_2 - Z_8}{2h_2} \\ z_{y3} = \frac{\partial z}{\partial y} \approx \frac{Z_3 - Z_9}{2h_2} \end{cases}$$

$$\bar{x} = \frac{(z_{x1} + z_{x2} + z_{x3})}{3}$$

$$\bar{y} = \frac{(z_{y1} + z_{y2} + z_{y3})}{3}$$

其中， h_1 和 h_2 分別為 x 軸與 y 軸間距，因此可以得到中心點 Z_5 之坡度 θ 為：

$$\theta = \tan^{-1} \sqrt{(\bar{x})^2 + (\bar{y})^2}$$

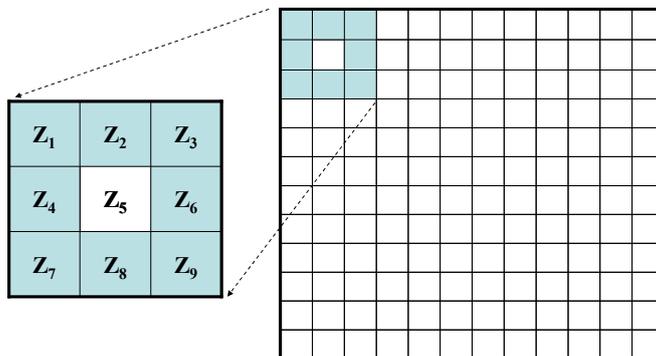


圖 2-10 3×3 網格式資料格式平面示意圖。

(II) 地形粗糙度

粗糙度定義為描述一區域地形高度起伏程度。Wilson and Gallant(2000)指出以圓形的視窗內所求得的標高標準差可做為高度變化程度之量測，而它對特定半徑視窗之區域地形起伏的量測具有指標意義。圓形視窗範圍如圖 2-11 所示，計算落入圓內的各網格中心點之標準差，即為視窗中心點(圓心)之地形粗糙度值。標準差 S 之計算如下：

$$S = \sqrt{\frac{\sum_i (z_i - \bar{z})^2}{n_c - 1}}$$

其中， n_c 為視窗範圍內之點數； z_i 為各點之高度值； \bar{z} 為視窗範圍內各點高度之平均值。由於視窗大小不同所反映的空間尺度亦不同，小視窗往往反應小尺度現象，如蝕溝、表土侵蝕等，而大視窗往往反應區域性構造等大尺度現象。本研究為反映地形局部特性，避免移動視窗過大而稀釋地表特性，故地形指標均以 3×3 為網格移動視窗大小進行運算，計算 9 個網格內之標高標準差，以其作為中心點之地形粗糙度值。

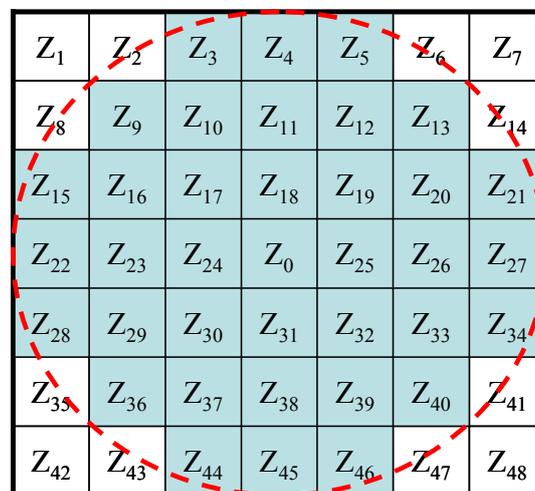


圖 2-11 圓形視窗之網格示意圖。

(III) 坡度粗糙度

坡度粗糙度定義為可反映一區域內之坡度起伏程度。其算法與前述地形粗糙度相同，唯計算資料改為坡度。坡度粗糙度值大者代表坡度變化劇烈之處，如河階崖、懸崖瀑布等。

(IV) 距平均高度差值

距平均高度差值(difference from mean elevation)主要計算中心點高度與周圍高度值之差異(Wilson 和 Gallant, 2000)。Junko 等(2001)曾計算九宮格內中心值與周圍高度值之差異，若中心值較周圍值為低，則定義為凹坡，若中心值較周圍值高，則定義為凸坡。計算方法如下：

$$D_1 = z_0 - \bar{z}$$

其中， z_0 為視窗網格之中心點； \bar{z} 為視窗範圍內各點之平均值。對於區域性差異較為敏感的營力，如地下水流和閃電擊中的可能性，可提供有效之指標(Wilson and Gallant, 2000)。

(V) 距平均高度離差

距平均高度離差(deviation from mean elevation)主要針對相對地形位置進行計算，而經由當地的地形粗糙度正規化。

距平均高度離差之範圍約在-1.96 至 1.96 之間，具有 95%的信賴水準。正值代表該點地勢高於周圍地區之平均高程，值愈大愈靠近山脊稜線；相對的值愈小則代表地勢愈低，往往位於山溝河谷中。其值亦有可能超出此範圍，而異常值通常代表數值地形模型資料中之錯誤點位。Wilson 和 Gallant(2000)提出距平均高度離差 D_2 的公式如下：

$$D_2 = \frac{z_0 - \bar{z}}{S}$$

其中， z_0 為視窗網格之中心點； \bar{z} 為視窗範圍內各點之平均值； S 為該視窗內各點之標準差。

(VI) 高度百分位數

高度百分位數(percentile)為計算該點位於視窗範圍內所有高程分布之位置百分比。如果為山頂點或該區域之最高點，則值為 100；如為該區之最低點，如河流、窪地，則值為 0。此計算方法是計算視窗內低於視窗中心點之資料點數，並將之除以視窗內總網格，其值範圍為 0 至 100 之間。Wilson 和 Gallant(2000)提出高度百分位數(P_h)計算公式如下：

$$P_h = \frac{\text{count}(z_i < z_0)}{n_c} \times 100\%$$

其中， z_0 為視窗網格之中心點； n_c 為視窗範圍內之點數。其範圍固定在 0 至

100 之間。此法可當作區域位置之指標，對不同植生的空間分布而言是一項重要的因子(Wilson and Gallant, 2000)。

(VII)水系密度

水系密度之定義為單位面積內之河流長度(王鑫，1988)，其計算公式如下：

$$D_u = \frac{(\sum L)_u}{A}$$

其中， L 為河流長度； A 為流域面積； u 為某一等級之河流。對於網格式數值地形模型，上述計算與處理有其困難，因此本研究水系密度之定義為單位面積內水域面積之比例，即計算 3×3 視窗範圍內屬於河流的比例。水系密度值域分佈範圍為 0 至 1，如為 1 則代表該區域為水域，往往於河谷窪地中；為 0 該區域並無河流，往往位於山脊稜線上。本研究使用的水系以地表漫地流表示，代表降雨情況下各區域漫地流發達程度。

(VIII)地形濕度指數

地形濕度指數(topographic wetness index)又稱為濕度指數(wetness index)、地形指數(topographic index)、複合地形指數(compound topographic index)(Wilson 和 Gallant, 2000)。地形濕度指數的公式如下：

$$\omega = \ln\left(\frac{A_s}{\tan \theta}\right)$$

其中， A_s 為特定集水區面積(每單位等高線上游的集流面積)，本研究以各網格上游匯集面積表示； θ 為坡度。此指數表示地形對土壤濕度的控制。然而此方法必須利用許多假設以達到地形對土壤濕度控制之正確性。因此在使用上有其限制，其概念為坡度陡則水迅速向下流動，因此入滲量會較低，土壤中的含水量亦可能較低；而於低平的地方，由於坡度平緩，水留在地表面較長時間而逐漸入滲，因此土壤中的含水量可能會較高。Burton and Bathurst (1998)亦將此觀念引入淺層滑動的崩塌潛感中。

(IX)曲率

曲率(curvature)的計算是基於二次微分的概念，代表經一次微分後結果(坡度或坡向)的改變率，其中縱向曲率和平面曲率最常被用來計算。平面曲率(plan curvature)是指沿著等高線之坡向的改變速率；縱向曲率(profile curvature)是指沿著最陡坡降的方向，垂直剖面，該剖面之坡度的改變速率。

計算曲率之各參數如下：

$$z_{xx} = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \approx \frac{z_4 - 2z_5 + z_6}{h^2}$$

$$z_{yy} = \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} \approx \frac{z_2 - 2z_5 + z_8}{h^2}$$

$$z_{xy} = \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} \approx \frac{-z_1 + z_3 + z_7 - z_9}{4h^2}$$

$$p = z_{x2}^2 + z_{y2}^2$$

$$q = p + 1$$

其中， $z_1 \sim z_9$ 、 z_{x2} 及 z_{y2} 同坡度計算時之定義，各曲率之計算如下：

$$K_p = \frac{z_{xx}z_{x2}^2 + 2z_{xy}z_{x2}z_{y2} + z_{yy}z_{y2}^2}{pq^{2/3}}$$

$$K_c = \frac{z_{xx}z_{y2}^2 - 2z_{xy}z_{x2}z_{y2} + z_{yy}z_{x2}^2}{p^{2/3}}$$

其中， K_p 為縱向曲率； K_c 為平面曲率。

平面曲率可以評估地形的分散與匯聚，如山頂是分散的地形，而河流即屬於匯聚的地形。平面曲率在稜線會出現高的負值，而於河谷地區會出現高的正值。

縱向曲率在坡度由上邊坡向下邊坡遞增時會是負值，其邊坡剖面為凸坡型態，通常出現於上邊坡；當坡度由上邊坡向下邊坡遞減時則會出現正值，其邊坡剖面為凹坡型態，通常出現於下邊坡。

(2) 溫室氣體減量指標

經整理近來有關溫室氣體排放中，針對碳儲存與碳循環的研究成果，可將CO₂減量的評估模式依照採用的溫室氣體減量效益評估指標彙整如表 2-7，本研究擬以計算土地利用型態變遷後(主要在於農、林用地，具有較大碳儲存能力的土地利用型態)，其碳量的儲存與溫室氣體減量的研究為主要方式。

表 2-7 溫室氣體減量效益評估指標彙整表

研究主題	溫室氣體減量效益指標	研究區域	研究者	年代
熱帶國家土地利用變遷與溫室氣體效應	碳量(carbon stocks)	熱帶國家	Sathaye <i>et al.</i>	1995
農地造林與溫室氣體效應	碳量(carbon stocks)	墨西哥	DeJong <i>et al.</i>	1997
植物初級生產力與碳利用效率	碳利用效率(CUE)	低緯度國家	Choudhury	2000
土地利用及地覆變遷與溫室氣體效應	溫室氣體效應	英國	IPCC	2000
土地利用變遷與碳循環	碳量(carbon stocks)	印度	Prasad <i>et al.</i>	2002
農地及林地與溫室氣體效應	土壤有機碳(SOC)	美國與加拿大	Mosier <i>et al.</i>	2003
牧草地管理與碳儲存量	碳量(carbon stocks)	澳洲	Hill <i>et al.</i>	2003
伐木與碳循環	土壤有機碳(SOC)	美國	Liu <i>et al.</i>	2004
森林砍伐與碳儲存量	碳量(carbon stocks)	英國	Patenaude <i>et al.</i>	2005
土地覆蓋類型與碳儲存量	碳量(carbon stocks)	北愛爾蘭	Tomlinson and Milne	2006
土地利用變遷與碳儲存量	碳量(carbon stocks)	中國	Li <i>et al.</i>	2008

(3)陸源物質遞移指標

係以集水區資訊分析、變遷評估及最佳管理策略為出發點，利用 GIS、RS 及資料探勘技術整合指標、方法及模式評估集水區火燒後，陸源物質輸出對集水區生態系養份循環之影響。

土壤沖蝕為環境主要問題之一，且為泥砂來源主要管道，本研究之坡面泥砂產量推估，分為兩大主軸：一為土壤沖蝕下的流失量估算、另一為依照遞移率觀念進行泥砂產量之推估。

(I)坡面土壤沖蝕量

坡面土壤沖蝕量之評估採用通用土壤流失公式如下：

$$A_m = R_m \cdot K_m \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

式中，

A：每公頃每年平均土壤流失量(公噸/公頃-年)

Rm：年平均降雨沖蝕指數(焦耳-毫米/公頃-小時-年)

Km：土壤沖蝕性指數(公噸-公頃-小時-年/焦耳-毫米-公頃-年)

L：坡長因子

S：坡度因子

C：作物管理因子

P：水土保持處理因子

(II)坡面泥砂產量

泥砂遞移率的計算，係考慮集水區泥砂經由沖蝕傳輸至下游出口處者與集水區總沖蝕量不同。在某一時期內通過溝渠或河流某一斷面之輸砂量與該斷面以上之集水區總沖蝕量之比，稱為泥砂遞移率(Sediment Delivery Ratio; SDR)。本研究提出之坡面泥砂遞移率計算，基於整合地理資訊系統並結合網格式計算理論與集水區自動劃分等技術，其方法論係延續 Lin *et al.* (2002)所建構之理論基礎，假設坡面泥砂主要係由坡面地表水所帶動，運移至渠道(常流水)而流失。

集水分區地文水文、水質及土砂量體等推估結果，以 AGNPS 模式模擬集水區營養鹽傳遞情形，據此探討集水區綠覆與水土資源之關係。AGNPS (Agricultural Non-point Source Model)為 1987 年由美國明尼蘇達州的污染控制局(MPCA)及美國農部(USDA)土壤保育中心(SCS)為分析集水區的水質和逕流而發展出來(Young *et al.*, 1989)。AGNPS 模式為分布型參數模式，基本由水文、沖蝕、泥砂和營養物質輸送三部分構成。

水文模式主要利用美國發展的 SCS 曲線(Soil Conservation Service Curve Number)法計算逕流量及洪峰流量。沖蝕模式利用修正的通用土壤流失公式(MUSLE)加入坡型修正因子(SSF)估算土壤流失量。營養物質輸送則是利用 CREAM 模式得出氮(N)、磷(P)及化學需氧量(COD)的模擬結果，AGNPS 模式演算法詳如表 2-8。

表 2-8 AGNPS 模式演算法

AGNPS 演算方法	參考
地表逕流-逕流曲線法(CN)	USDA-SCS (1972)
尖峰流量	Smith and Williams (1980)
逕流流速	Manning's equation (1889)
土壤流失-modified USLE	Wischmeier and Smith(1978)
泥砂傳輸能力-溪流動力方程式	Bagnold (1966)
泥砂傳輸 - stationary 連續方程式	Foster et al. (1981)和 Lane (1982)
營養傳輸(N,P)	Frere et al. (1980)

三、結果

(一)氣象資料建置

依據經濟部水利署、臺灣電力公司、中央氣象局、行政院退輔會及臺大實驗林等氣象站資料，蒐集雪霸國家公園範圍附近雨量站及氣象站分布及其相關資料如圖 2-12 及表 2-9，建立雪霸國家公園的氣象資料庫，並利用地理統計求算年平均降雨等值圖(圖 2-13~圖 2-14)，供未來進行水文分析與氣候分類之參考。億年橋集水區年平均雨量分布約為 2,100~2,400 mm。

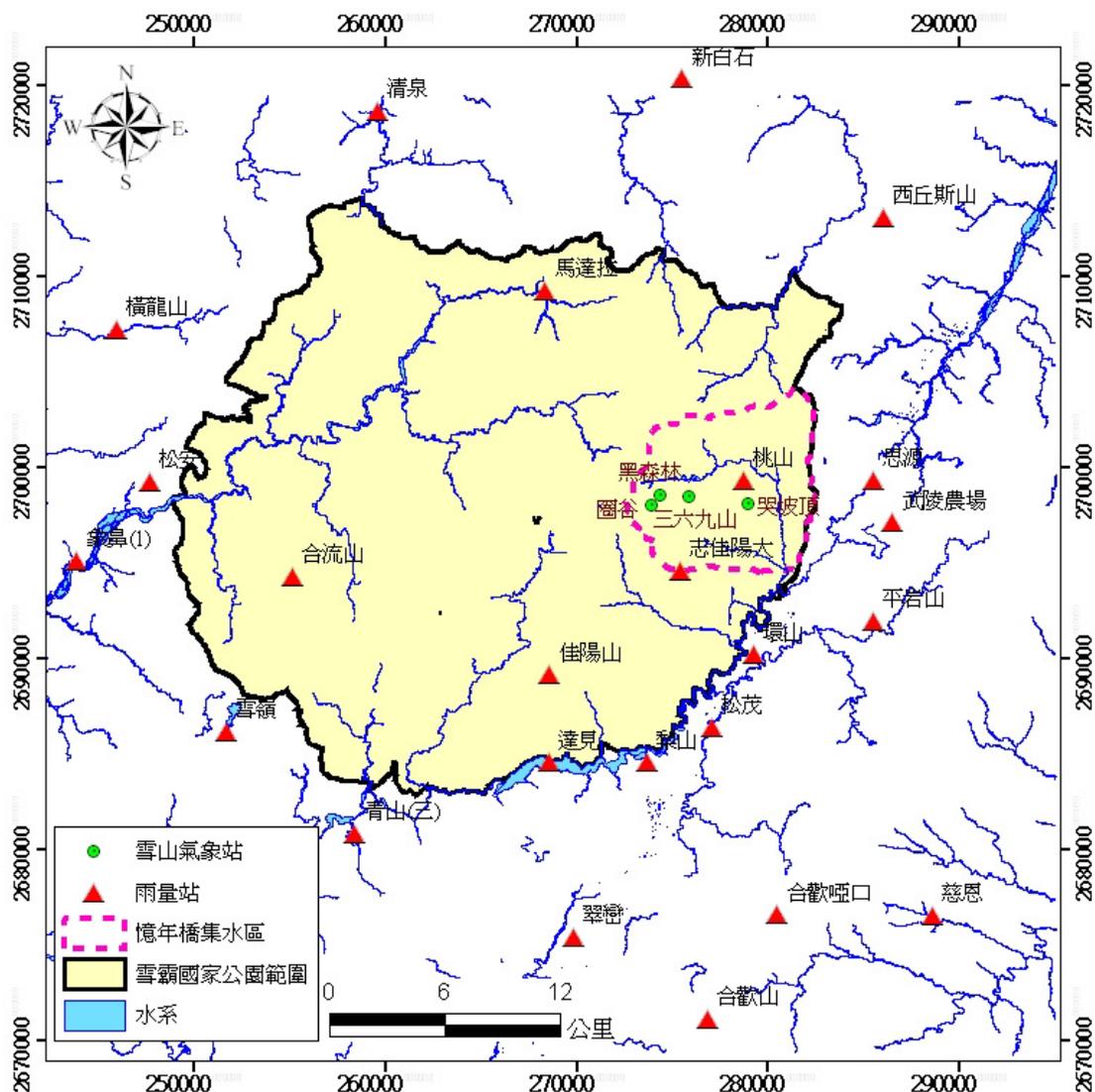


圖 2-12 雨量站及氣象站分布。

表 2-9 雨量站及氣象站站況一覽表

編號	測站名稱	TWD67 座標		經辦單位	標高 (m)	資料數	年平均雨量 (mm)
		X	Y				
1	雪嶺	251759	2686191	經濟部水利署	2520	27	3788.18
2	翠巒	269847	2675463	經濟部水利署	1585	29	2758.44
3	新白石	275537	2720438	經濟部水利署	1620	29	2635.09
4	馬達拉	268384	2709312	經濟部水利署	1800	26	2792.70
5	清泉	259656	2718706	經濟部水利署	560	29	2471.67
6	松安	247753	2699284	經濟部水利署	1400	29	2625.66
7	橫龍山	246007	2707271	經濟部水利署	550	29	2678.64
8	象鼻(1)	243938	2695146	經濟部水利署	760	29	2641.44

9	西丘斯山	286024	2713155	經濟部水利署	2000	22	2470.75
10	桃山	278737	2699362	臺灣電力公司	2350	29	2098.26
11	環山	279263	2690226	臺灣電力公司	1750	27	2381.79
12	松茂	277072	2686437	臺灣電力公司	1457	28	2297.40
13	梨山	273691	2684585	臺灣電力公司	1858	28	2407.32
14	青山(三)	258463	2680876	臺灣電力公司	977	23	2724.22
15	思源	285499	2699377	臺灣電力公司	2036	29	2419.45
16	合歡啞口	280477	2676600	臺灣電力公司	2600	29	3068.17
17	志佳陽大	275421	2694648	臺灣電力公司	3000	22	2212.89
18	佳陽山	268608	2689192	臺灣電力公司	2700	22	2650.27
19	達見	268614	2684578	臺灣電力公司	1513	21	2445.81
20	平岩山	285518	2691994	臺灣電力公司	2800	23	2069.17
21	合流山	255214	2694315	中央氣象局	2533	13	2059.62
22	合歡山	276876	2671173	中央氣象局	3292	29	3987.58
23	慈恩	288634	2676584	中央氣象局	2049	13	2883.46
24	武陵農場	286519	2697165	行政院退輔會	1734	11	1645.96
25	哭坡頂	279005	2698170	臺大實驗林	3138	2009/09/23 設置	
26	三六九山莊	275893	2698556	臺大實驗林	3127	2009/09/22 設置	
27	黑森林	274400	2698585	臺大實驗林	3405	2009/09/22 設置	
28	圈谷	273978	2698092	臺大實驗林	3584	2009/09/23 設置	

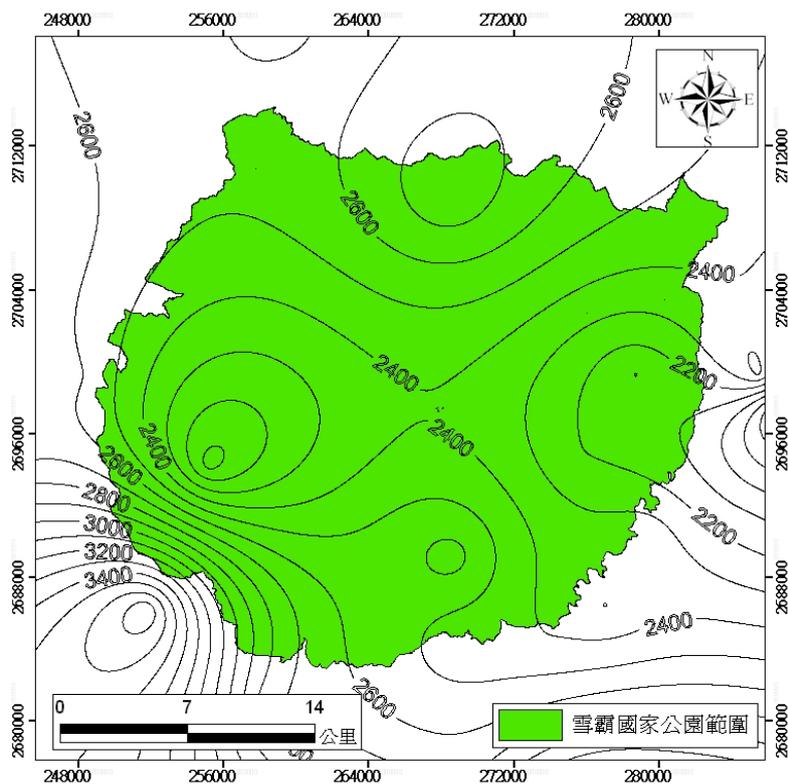


圖 2-13 雪霸國家公園年平均降雨分布圖。

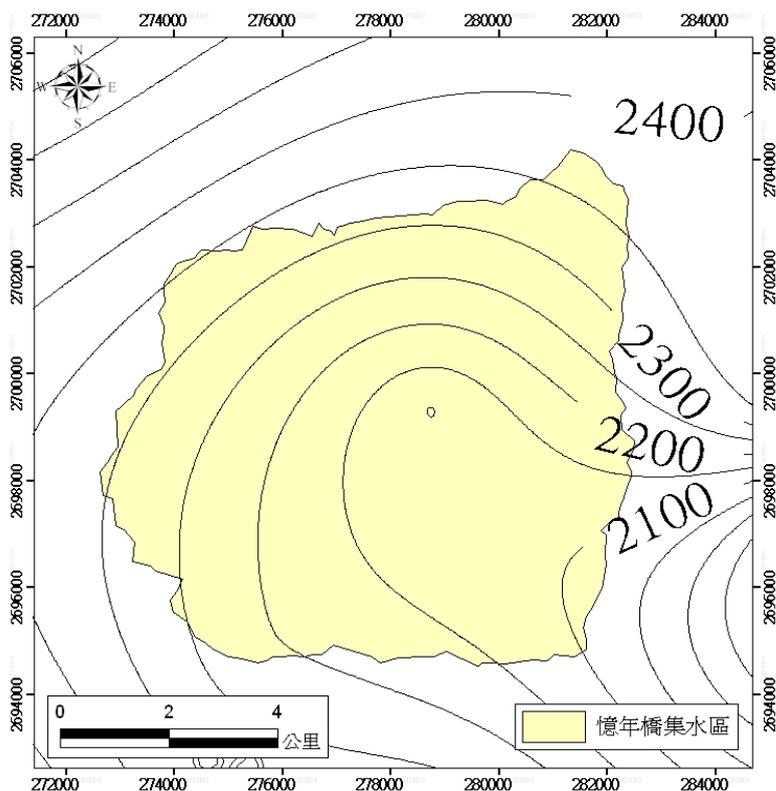


圖 2-14 億年橋集水區年平均降雨分布圖。

(二)集水區地文水文資訊萃取

億年橋集水區內各河川級序 1 之集水分區，其地文水文相關資訊分析結果如表 2-10，集水分區出口為水土資源保育相關設施之重要檢核點位，檢核點位集水區之地文水文資訊可提供集水區土砂災害防治、水土資源保育、以及綠環境營造之重要規劃或設計的參考依據。集水分區之地文水文資訊亦可當環境變數，用以篩選影響集水區綠環境穩定之重要因子。

表 2-10 集水區地文水文資訊

編號	面積 (km ²)	周長 (km)	長度 (km)	河川主流長度 (km)	河川總長度 (km)	平均高程(m)	起伏量(m)	平均坡度 (%)
1	0.55	4.24	1.30	0.98	1.02	2612.59	574	59.64
2	1.18	5.92	1.70	1.20	1.25	2813.00	875	69.22
3	1.89	7.76	2.30	2.11	2.16	2740.49	1136	85.03
4	2.82	10.56	3.27	3.00	3.04	2712.87	1376	70.26

5	0.55	4.32	1.34	0.49	0.53	2891.52	815	82.94
6	0.27	3.04	0.91	0.44	0.50	2737.04	590	73.80
7	0.14	1.84	0.47	0.27	0.31	3101.89	317	62.01
8	0.30	2.88	0.88	0.55	0.59	3170.48	471	53.01
9	0.83	5.04	1.38	0.77	0.81	2975.29	840	77.76
10	0.57	4.40	0.98	0.42	0.46	3158.26	744	95.84
11	0.70	5.44	1.65	0.70	0.76	3201.59	788	76.93
12	3.95	10.64	2.92	1.38	1.43	3168.13	1162	65.44
13	8.08	17.12	5.24	4.76	4.80	3110.82	1670	69.33
14	1.52	7.60	2.28	0.91	0.97	2929.73	1336	94.60
15	1.50	6.64	1.91	0.39	0.43	3292.68	1167	93.14
16	1.26	7.12	1.97	0.83	0.87	3216.70	1168	78.22
17	1.37	8.08	2.62	1.51	1.56	2830.84	1282	73.04
18	1.14	6.40	1.98	0.84	0.89	2827.34	1143	80.49
19	1.16	6.16	1.83	1.01	1.07	2747.73	1097	69.88
20	1.49	8.40	2.71	1.55	1.59	2227.05	975	59.67

表 2-10 集水區地文水文資訊(續)

編號	起伏比	寬度(km)	形狀因子	密集度	圓比值	細長比	水系密度	河川頻率
1	0.45	0.56	0.57	0.62	0.39	0.64	1.85	1.81
2	0.62	0.99	0.83	0.65	0.42	0.72	1.06	0.85
3	0.56	0.90	0.43	0.63	0.39	0.67	1.14	0.53
4	0.48	0.94	0.31	0.56	0.32	0.58	1.08	0.35
5	0.66	1.11	2.28	0.61	0.37	0.62	0.97	1.83
6	0.69	0.60	1.36	0.60	0.36	0.64	1.87	3.74
7	0.73	0.52	1.89	0.72	0.52	0.91	2.22	7.10
8	0.56	0.54	1.00	0.67	0.45	0.70	1.97	3.36
9	0.66	1.08	1.4	0.64	0.41	0.75	0.97	1.20
10	0.97	1.37	3.27	0.61	0.37	0.88	0.80	1.74
11	0.49	1.00	1.43	0.54	0.30	0.57	1.08	1.43
12	0.41	2.87	2.09	0.66	0.44	0.77	0.36	0.25
13	0.33	1.70	0.36	0.59	0.35	0.61	0.59	0.12
14	0.60	1.68	1.84	0.57	0.33	0.61	0.63	0.66
15	0.62	3.89	10.06	0.65	0.43	0.72	0.28	0.67
16	0.60	1.52	1.84	0.56	0.31	0.64	0.69	0.79
17	0.52	0.91	0.61	0.51	0.26	0.50	1.14	0.73

18	0.59	1.36	1.63	0.59	0.35	0.61	0.79	0.88
19	0.62	1.14	1.13	0.62	0.38	0.66	0.92	0.86
20	0.37	0.96	0.62	0.51	0.27	0.51	1.07	0.67

表 2-10 集水區地文水文資訊(續)

編號	漫地流 時間 (min)	渠道流 時間 (min)	集流時 間 (min)	I ₁₀	I ₂₅	I ₅₀	I ₁₀₀	Q ₁₀ (cms)	Q ₂₅ (cms)	Q ₅₀ (cms)	Q ₁₀₀ (cms)
1	1.57	2.59	4.16	132.95	151.6	165.71	179.82	15.29	17.43	19.06	20.68
2	1.57	2.79	4.36	132.70	151.31	165.40	179.48	32.69	37.27	40.74	44.21
3	1.11	4.01	5.13	131.77	150.25	164.24	178.22	51.87	59.15	64.65	70.16
4	1.57	6.42	7.99	128.42	146.44	160.07	173.70	75.56	86.16	94.17	102.19
5	1.57	1.66	3.23	134.11	152.93	167.16	181.39	15.24	17.38	19.00	20.62
6	1.11	1.11	2.22	135.42	154.42	168.79	183.16	7.54	8.60	9.40	10.20
7	1.57	0.48	2.05	135.65	154.68	169.07	183.47	3.98	4.54	4.96	5.38
8	1.57	1.14	2.71	134.79	153.70	168.00	182.31	8.36	9.53	10.42	11.30
9	1.11	2.05	3.17	134.20	153.03	167.27	181.51	23.26	26.52	28.99	31.46
10	1.57	1.40	2.97	134.44	153.31	167.57	181.84	16.09	18.35	20.05	21.76
11	1.57	2.40	3.97	133.19	151.87	166.01	180.14	19.36	22.07	24.13	26.18
12	1.11	5.43	6.54	130.09	148.34	162.15	175.95	107.02	122.04	133.39	144.75
13	1.57	12.15	13.72	122.40	139.57	152.56	165.55	206.13	235.04	256.92	278.79
14	1.57	3.68	5.25	131.61	150.08	164.04	178.01	41.76	47.62	52.06	56.49
15	1.11	2.64	3.75	133.46	152.18	166.34	180.50	41.73	47.58	52.01	56.44
16	1.11	3.13	4.24	132.85	151.48	165.58	179.68	34.85	39.74	43.44	47.14
17	1.11	4.73	5.84	130.91	149.28	163.17	177.07	37.48	42.74	46.72	50.70
18	1.57	2.83	4.40	132.66	151.27	165.34	179.42	31.40	35.80	39.13	42.46
19	1.57	2.66	4.23	132.86	151.50	165.60	179.70	32.06	36.56	39.97	43.37
20	1.57	4.99	6.56	130.06	148.31	162.11	175.91	40.41	46.07	50.36	54.65

(三)集水區土砂量估算

集水區崩塌量及輸砂量最好能夠考量每一場歷史事件，惟時間越久之事件，其對集水區現況土砂空間分布之貢獻權重越小，本規劃追溯至 2001 年，選取主要造成集水區崩塌或土砂運移之事件，推估計畫範圍內橋樑及支流點位集水區之土砂產量及沖淤情形，採用年平均雨量及單場颱風暴雨事件雨量，整理如表 2-11，以集水區內支流匯流口作為推估土砂產量之控制點。

表 2-11 年平均及各分析事件雨量

桃山雨量站	年平均雨量	桃芝颱風 (2001)	敏督利颱風 (2004)	柯羅莎颱風 (2007)
(mm)	2209	345	563	613

(1)坡面土砂產量

藉由通用土壤流失公式(USLE)，配合 DEM 資料及各期衛星影像估算各集水區之土壤流失量，並以泥砂遞移率計算坡面泥砂產量，推估各集水區泥砂產量分布。以 96 年 12 月 28 日之衛星影像推估各集水區坡面之年平均泥砂產量如表 2-12；另為配合崩塌地泥砂產量之分析，須以單場暴雨分別計算桃芝颱風、敏督利颱風及柯羅莎颱風等單場降雨對各分析區位之坡面泥砂產量(表 2-13)。

表 2-12 集水區年坡面泥砂產量

集水區	67 座標		面積 (ha)	泥砂產量 (ton/yr)	沖刷深度 (cm/yr)
	x	y			
1	281686	2702507	54.88	14,952.60	1.95
2	281648	2702469	118.24	12,327.70	0.75
3	281169	2701389	188.96	33,064.90	1.25
4	280567	2700390	281.76	47,843.20	1.21
5	278404	2701710	54.56	21,476.80	2.81
6	278487	2701549	26.72	6,195.56	1.66
7	277844	2702549	14.08	3,822.89	1.94
8	277806	2702514	29.76	5,855.41	1.41
9	278166	2701749	83.04	21,492.60	1.85
10	276169	2701916	57.44	8,288.19	1.03
11	276092	2701956	69.76	17,059.30	1.75
12	276526	2701312	394.88	28,875.70	0.52
13	277251	2700070	807.52	120,776.00	1.07
14	276042	2696993	152.32	24,559.20	1.15
15	274768	2697107	150.08	10,561.60	0.50
16	274731	2697075	125.92	29,353.50	1.67
17	276528	2696392	132.32	32,378.80	1.75
18	276129	2695829	108.64	14,712.40	0.97
19	276171	2695785	115.84	17,061.50	1.05
20	280569	2697068	149.12	18,606.70	0.89

表 2-13 單場降雨對分析區位之坡面泥砂產量

集水區	桃芝颱風 (m ³)	敏督利颱風 (m ³)	柯羅莎颱風 (m ³)
1	1668.06	2722.07	2963.82
2	1375.24	2244.22	2443.54
3	3688.61	6019.38	6553.96
4	5337.22	8709.73	9483.24
5	2395.89	3909.80	4257.03
6	691.16	1127.89	1228.05
7	426.47	695.95	757.76
8	653.21	1065.96	1160.63
9	2397.64	3912.67	4260.16
10	924.60	1508.84	1642.84
11	1903.07	3105.60	3381.41
12	3221.28	5256.75	5723.61
13	13473.39	21987.01	23939.68
14	2739.74	4470.94	4868.00
15	1178.21	1922.71	2093.46
16	3274.59	5343.74	5818.31
17	3612.06	5894.47	6417.96
18	1641.26	2678.36	2916.22
19	1903.32	3105.99	3381.84
20	2075.71	3387.31	3688.14

(2) 崩塌地土砂遞移量

利用水保局調查桃芝颱風及 72 水災後之新增崩塌區位，另由影像分類法萃取 2007/12/28 衛星影像之新增崩塌地(圖 2-15)，計算各時期崩塌區位之崩塌土砂量(表 2-14)。集水區各期崩塌對分析區位之泥砂產量分析如表 2-15。

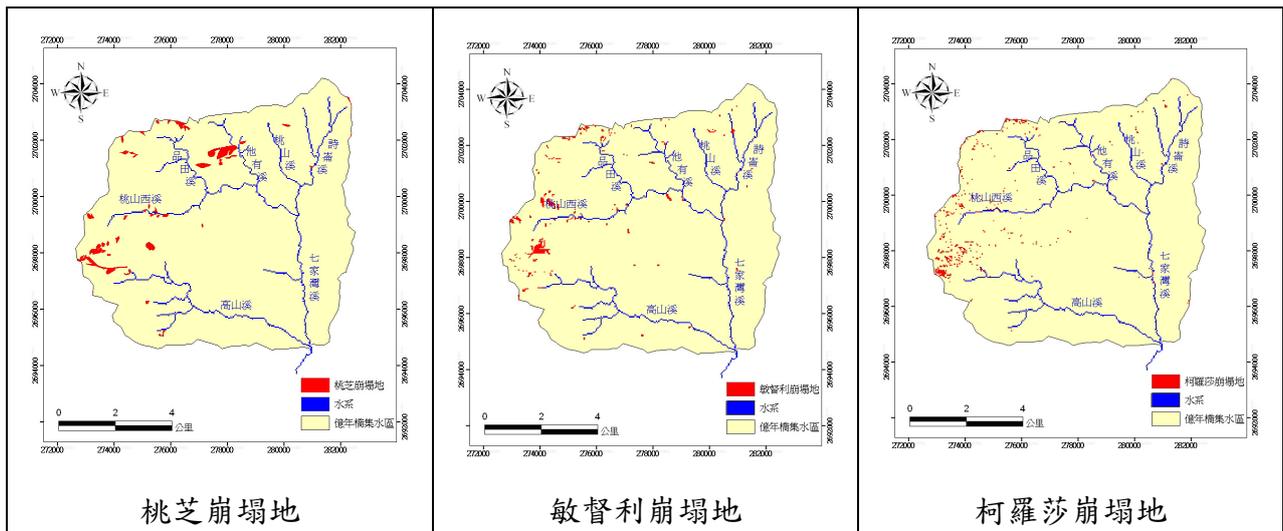


圖 2-15 研究區域崩塌地分布圖。

表 2-14 集水區崩塌地體積

集水區	桃芝颱風 (m ³)	敏督利颱風 (m ³)	柯羅莎颱風 (m ³)
1	19200	0	0
2	0	2400	23200
3	13600	48800	22400
4	0	2400	8800
5	17600	18400	0
6	0	0	3200
7	0	0	0
8	0	6400	4800
9	236800	3200	0
10	72000	51200	65600
11	17600	73600	29600
12	59200	77600	104800
13	343200	430400	319200
14	80800	2400	20000
15	161600	158400	213600
16	0	36000	126400
17	8000	7200	0
18	0	0	0
19	20000	4800	2400
20	0	0	6400

表 2-15 集水區各期崩塌對分析區位之泥砂產量

集水區	桃芝颱風 (m ³)	敏督利颱風 (m ³)	柯羅莎颱風 (m ³)
1	106.77	0	0
2	0	0	175.64
3	242.42	14524.94	16.54
4	0	37.43	0
5	6492.19	2973.74	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0	392.68	0
9	101047.47	118.34	0
10	1034.51	1118.33	506.22
11	87.5	3609.79	197.26
12	1042.33	1164.66	98.47
13	20889.32	31382.92	10628.21
14	1138.49	6.7	22.55
15	5964.11	2360.37	6989.89
16	0	6694.76	7855.79
17	457.16	346.14	0
18	0	0	0
19	2541.56	34.25	0
20	0	0	0

(3)單場暴雨集水區土砂產量

坡面土砂產量和崩塌地土砂產量提供之土砂遞移量之和即為河道輸砂量，集水區單場降雨對分析區位之輸砂量如表 2-16 所示。再由崩塌地所產生之總崩塌量減去河道輸砂量，可得各分析區位上游河道於柯羅莎颱風後未輸出之土砂量(表 2-17)，其沖淤情形分布如圖 2-16 所示。

表 2-16 單場暴雨之河道輸砂量

集水區	桃芝颱風 (m ³)	敏督利颱風 (m ³)	柯羅莎颱風 (m ³)
1	1774.83	2722.07	2963.82
2	1375.23	2244.22	2619.18
3	3931.02	20544.32	6570.50
4	5337.22	8747.16	9483.24
5	8888.08	6883.55	4257.03
6	691.16	1127.89	1228.05
7	426.47	695.95	757.76
8	653.21	1458.65	1160.63
9	103445.11	4031.01	4260.16
10	1959.11	2627.18	2149.06
11	1990.57	6715.39	3578.66
12	4263.61	6421.41	5822.08
13	34362.71	53369.93	34567.89
14	3878.23	4477.64	4890.55
15	7142.32	4283.07	9083.35
16	3274.58	12038.50	13674.11
17	4069.22	6240.62	6417.96
18	1641.27	2678.36	2916.22
19	4444.88	3140.25	3381.84
20	2075.70	3387.31	3688.13

表 2-17 柯羅莎颱風後未輸出土砂量

集水區	總崩塌量 (m ³)	河道輸砂量 (m ³)	未輸出土砂量 (m ³)	沖淤情形
1	19200	7460.72	11739.28	堆積
2	25600	6238.63	19361.37	堆積
3	84800	31045.84	53754.16	堆積
4	11200	23567.62	-12367.62	沖刷
5	36000	20028.66	15971.34	堆積
6	3200	3047.1	152.90	堆積
7	0	1880.18	-1880.18	沖刷
8	11200	3272.49	7927.51	堆積
9	240000	111736.28	128263.72	堆積
10	188800	6735.35	182064.65	堆積

11	120800	12284.62	108515.38	堆積
12	241600	16507.1	225092.90	堆積
13	1092800	122300.53	970499.47	堆積
14	103200	13246.42	89953.58	堆積
15	533600	20508.74	513091.26	堆積
16	162400	28987.19	133412.81	堆積
17	15200	16727.8	-1527.80	沖刷
18	0	7235.85	-7235.85	沖刷
19	27200	10966.97	16233.03	堆積
20	6400	9151.14	-2751.14	沖刷

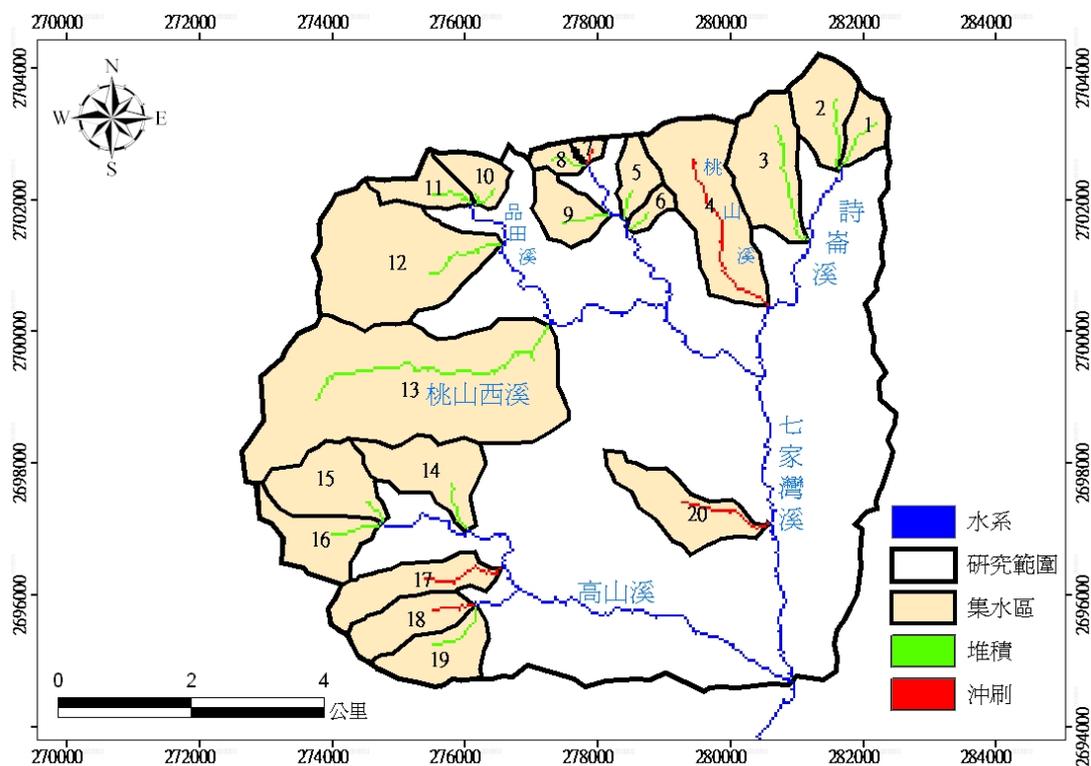


圖 2-16 研究範圍支流集水區沖淤圖。

(四)緩衝帶配置分析

利用國土測繪中心於 2008 年所繪製之集水區農地分布(圖 2-17)與緩衝帶配置區位(圖 2-18)，可萃取農地未配置緩衝帶之區位 (圖 2-19)，另由主(支)流集水區之空間分布，推算主流兩側邊坡及各支流集水區之農地分布與緩衝帶未配置區位(表 2-18 及圖 2-20、圖 2-21)。顯示集水區農地分布於詩崙溪匯入口至高山溪匯入口之間，緩衝帶未配置區位約 5 公頃。

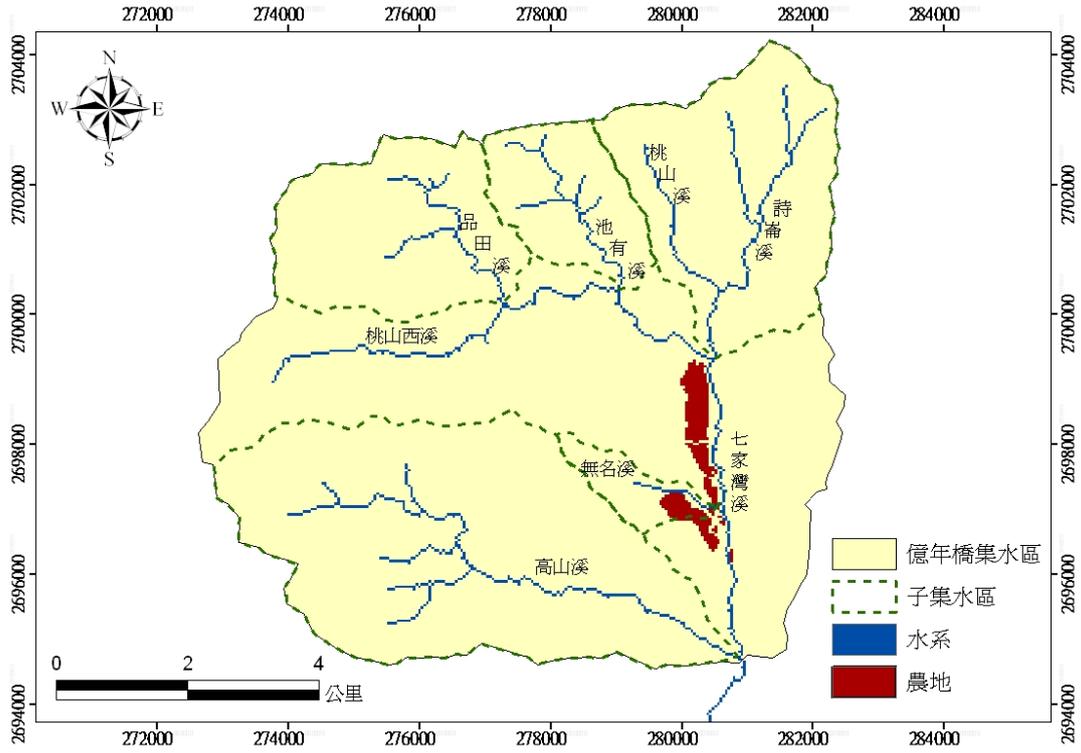


圖 2-17 億年橋集水區農地分布。

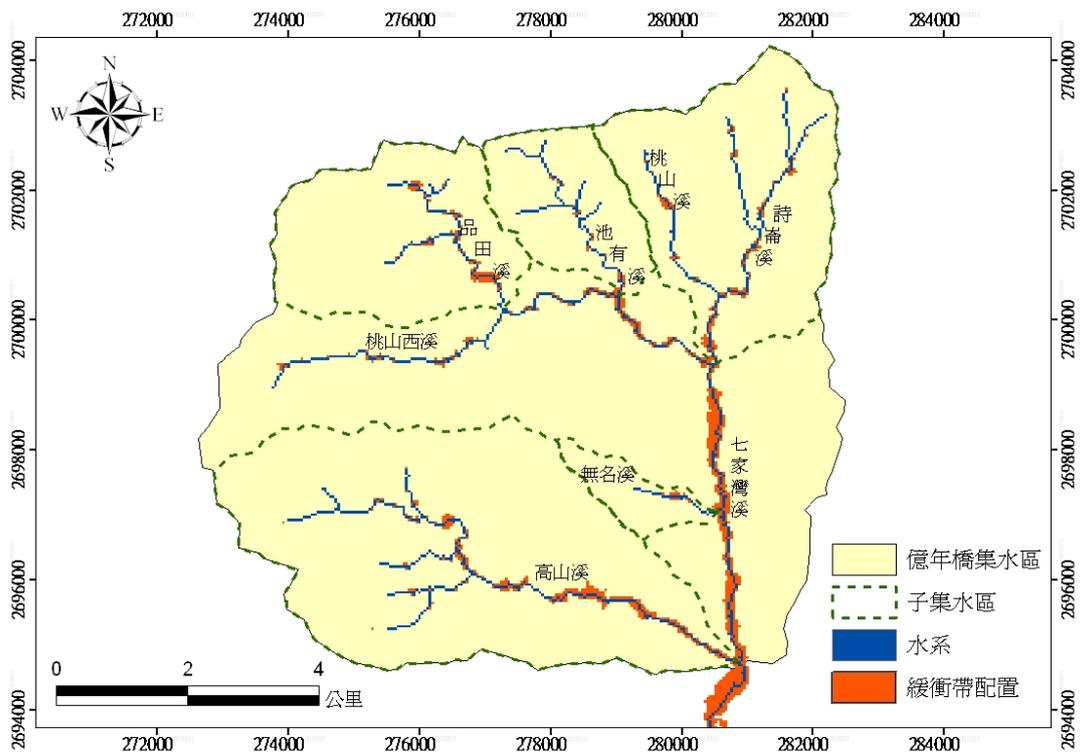


圖 2-18 集水區緩衝帶推估區位。

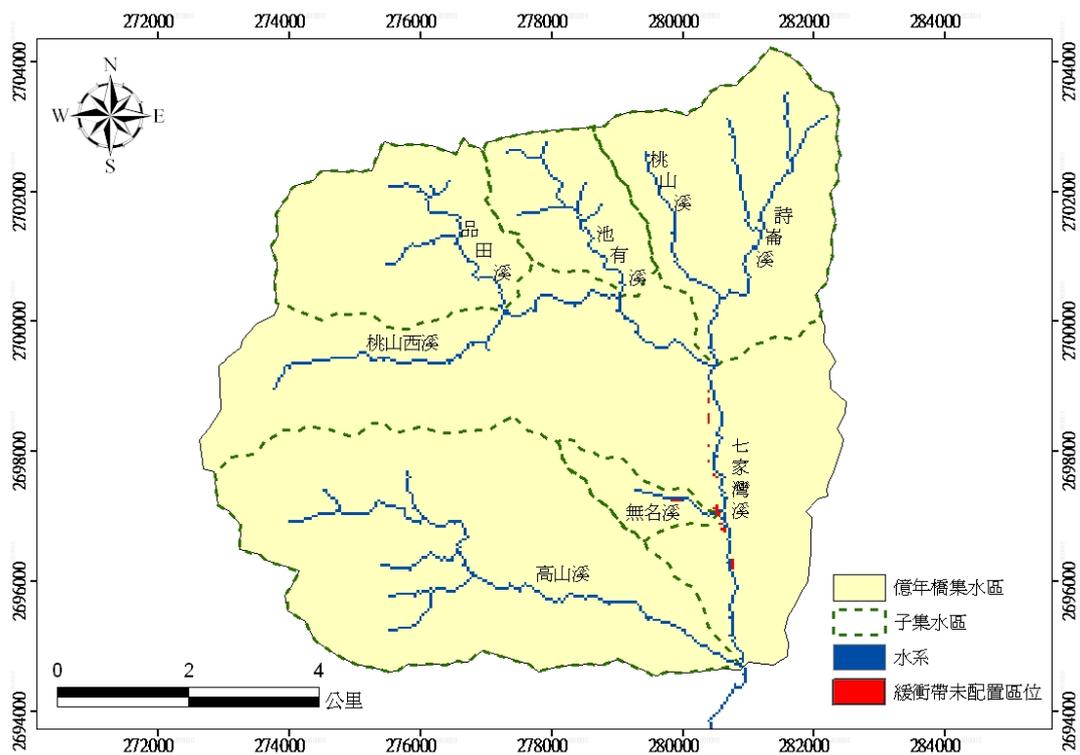


圖 2-19 農地未配置緩衝帶之區位分布。

表 2-18 各集水分區農地與緩衝帶所佔面積

集水區名稱	集水分區	農地		模擬緩衝帶		未配置緩衝帶	
	面積(ha)	面積(ha)	百分比	面積(ha)	百分比	面積(ha)	百分比
詩崙溪	1128.96	0.00	0.00	47.68	4.22	0.00	0.00
池有溪	445.92	0.00	0.00	12.64	2.83	0.00	0.00
品田溪	836.32	0.00	0.00	27.04	3.23	0.00	0.00
高山溪	2102.88	0.00	0.00	76.32	3.63	0.00	0.00
無名溪	149.12	17.76	11.91	5.92	3.97	0.8	0.54

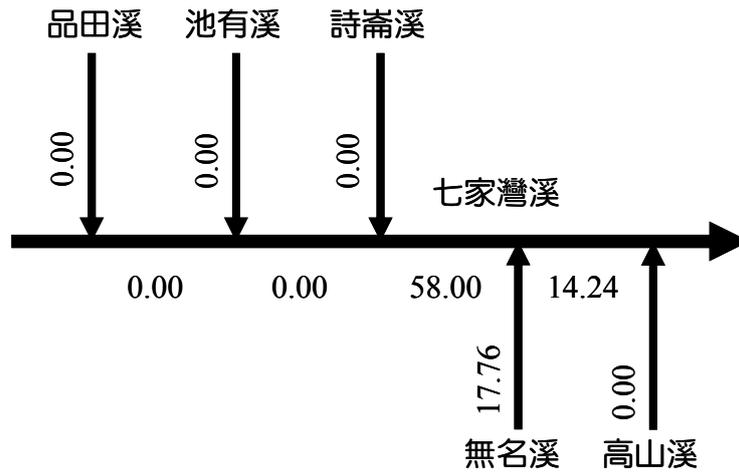


圖 2-20 集水分區與坡面之農地面積(單位:公頃)。

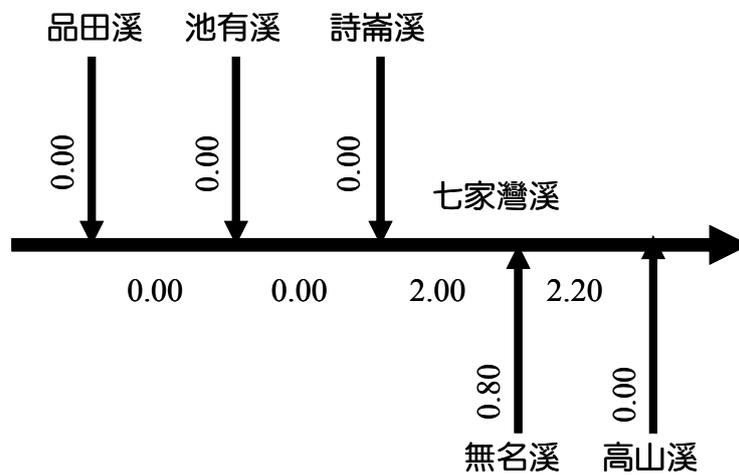


圖 2-21 集水分區與坡面未配置緩衝帶面積(單位:公頃)。

(五)集水區碳存量分析

藉由 2001 年及 2008 年土地利用調查圖資，萃取億年橋集水區植物群落分布(圖 2-22、圖 2-23)；並參照氣候變遷跨國組織(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)針對地球陸地生態系統每公頃碳存量之統計表，試算於 2001~2008 年間碳存量之變遷(表 2-19)。結果顯示雪山地區之總碳存量於 2001~2008 年間共增加 34927.62 噸。其中以森林與草原變遷量較多，分別為 359ha 和 328ha，但其整體變遷面積對碳存量變化影響不大，主要以耕地面積與非植生區域多半轉變為森林，為碳存量增加之主因(表 2-20)，其變遷區位分布如圖 2-24 所示。為詳加了解各區位碳存量變化，本研究亦利用子集水區出口為控制點，計算各子集水區與坡面之碳存量增加與減少之區位(表 2-21、圖 25~圖 28)。

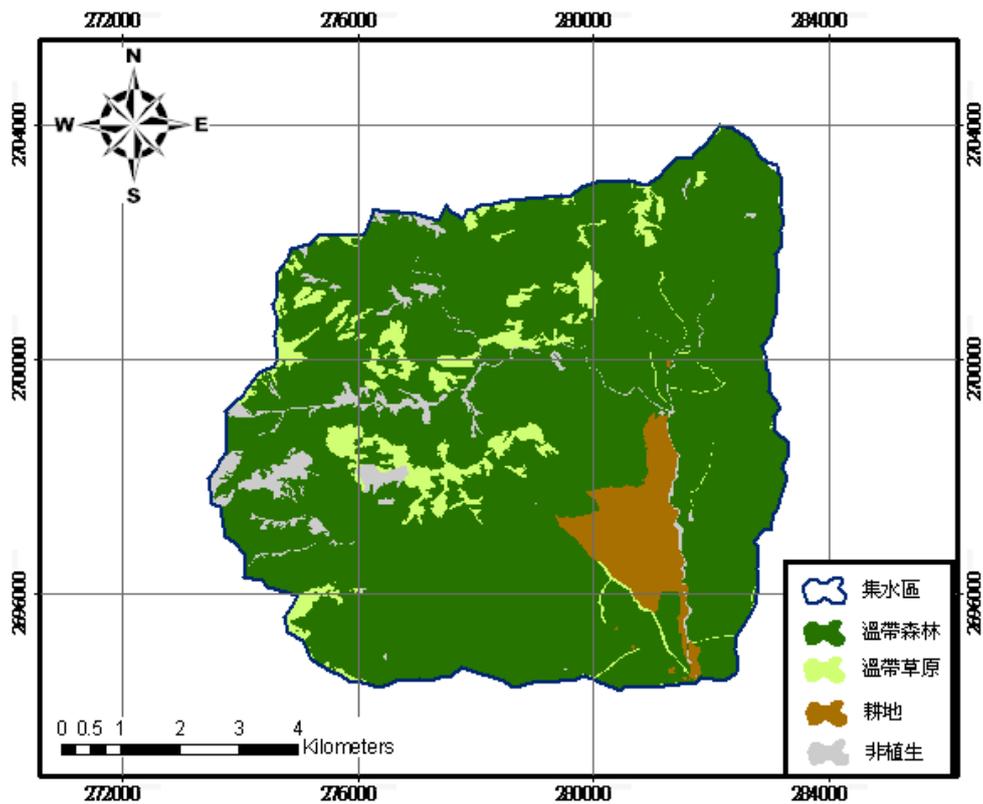


圖 2-22 研究範圍植物群落分佈圖(2001)。

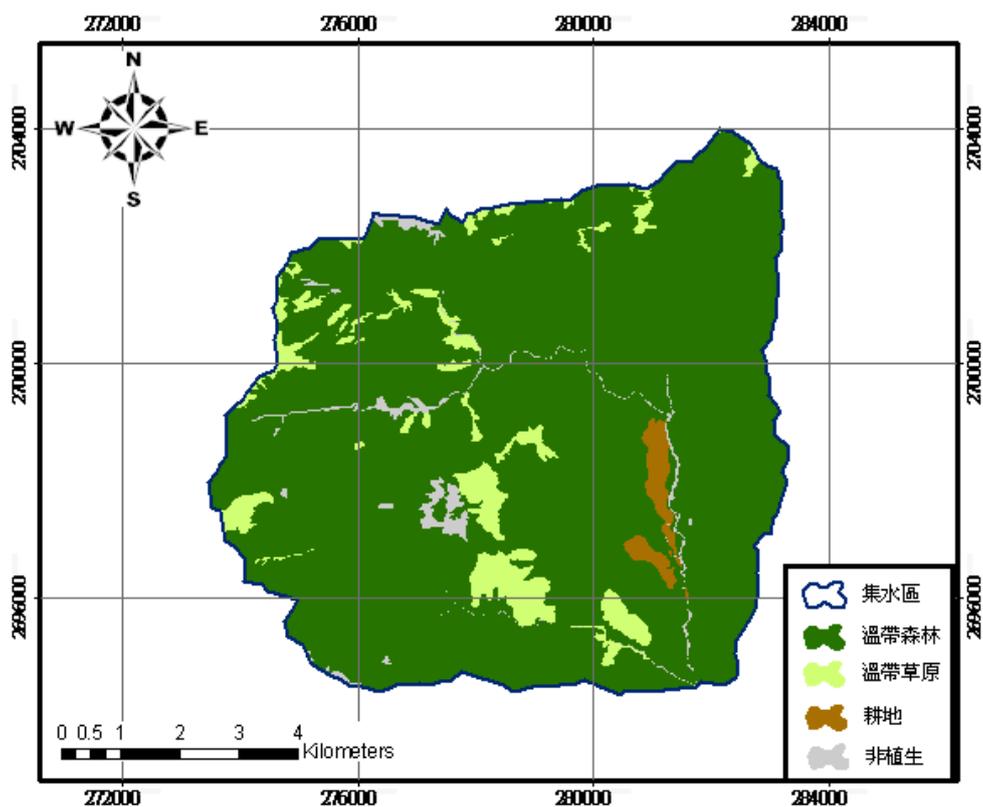


圖 2-23 研究範圍植物群落分佈圖(2008)。

表 2-19 研究範圍碳存量統計表

年份	溫帶森林 面積(ha)	溫帶草原 面積(ha)	耕地 面積(ha)	植物 碳存量 (ton)	土壤 碳存量 (ton)	總碳存量 (ton)
2001	6073.66	476.38	355.30	350243.74	723919.65	1074163.39
2008	6472.69	456.11	96.77	372329.45	736761.56	1109091.01

表 2-20 研究範圍植物群落變遷統計表

植物群落 (2008)	植物群落(2001)							
	溫帶森林		溫帶草原		耕地		非植生	
	面積 (ha)	百分比 (%)	面積 (ha)	百分比 (%)	面積 (ha)	百分比 (%)	面積 (ha)	百分比 (%)
溫帶森林	-----	-----	322.38	4.51	254.53	3.56	153.36	2.14
溫帶草原	287.07	4.01	-----	-----	0.00	0.00	22.08	0.31
耕地	0.11	0.00	0.00	0.00	-----	-----	0.00	0.00
非植生	57.38	0.80	5.87	0.08	4.98	0.07	-----	-----
無變遷	面積(ha)：6029.59 百分比：84.31							

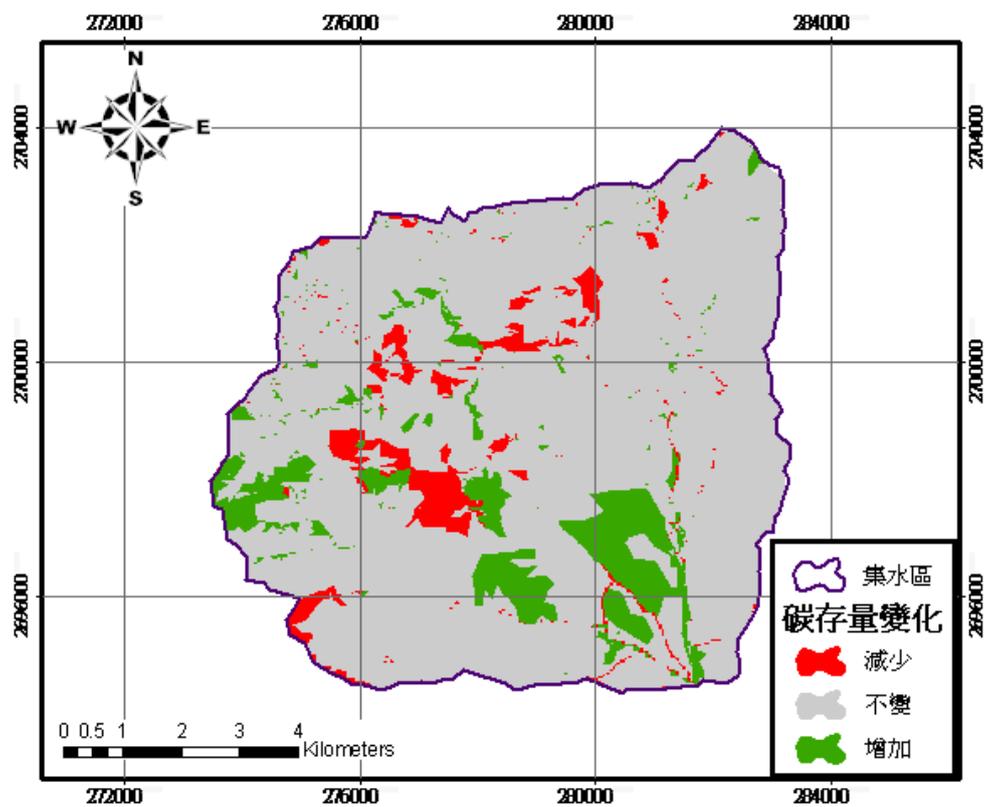


圖 2-24 研究範圍碳存量變遷區位圖。

表 2-21 各集水分區碳存量增加及減少區位所佔面積

集水區名稱	集水分區	減少		增加	
	面積(ha)	面積(ha)	百分比(%)	面積(ha)	百分比(%)
詩崙溪	1128.96	22.88	2.03	18.40	1.63
池有溪	445.92	41.76	9.36	1.28	0.29
品田溪	836.32	53.6	6.41	45.12	5.40
高山溪	2102.88	152.8	7.27	312.32	14.85
無名溪	149.12	0.16	0.11	85.76	57.51

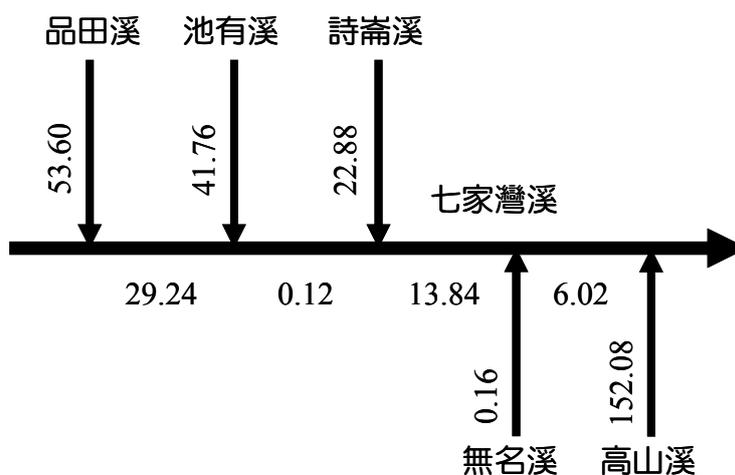


圖 2-25 集水分區與坡面碳存量減少之區位分布(單位:公頃)。

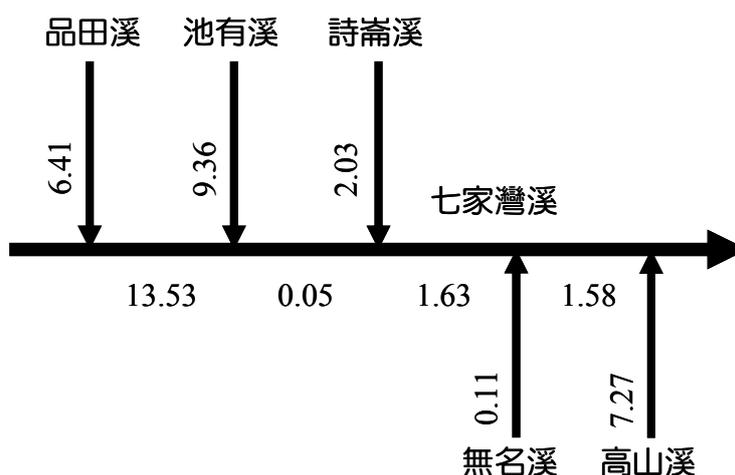


圖 2-26 集水分區與坡面碳存量減少之區位面積百分比。

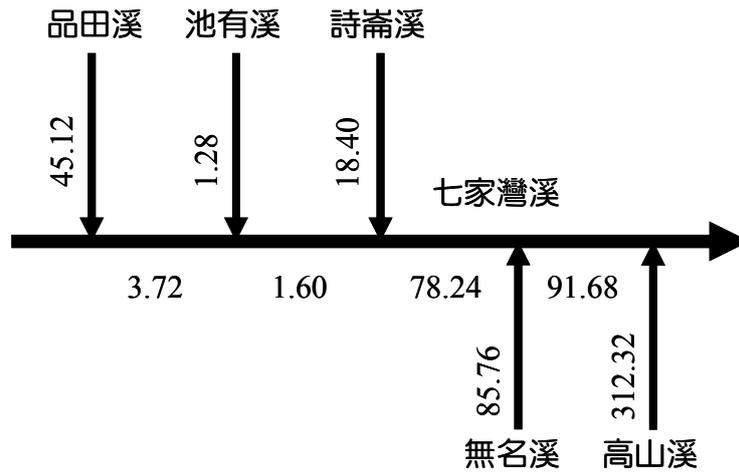


圖 2-27 集水分區與坡面碳存量增加之區位分布(單位:公頃)。

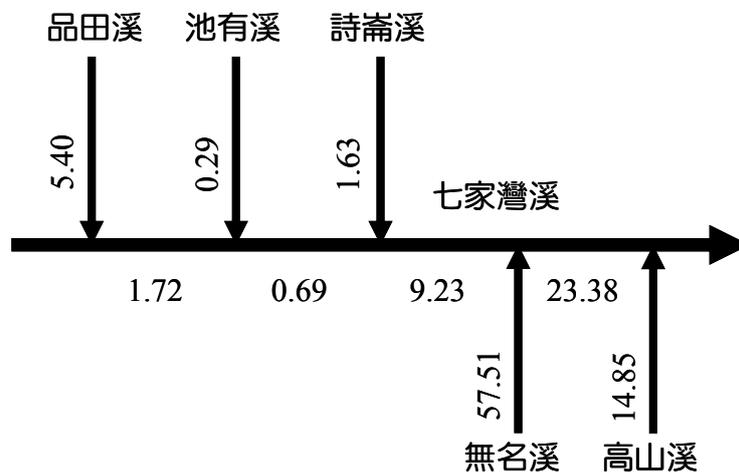


圖 2-28 集水分區與坡面碳存量增加之區位面積百分比。

(六) 圈谷地區植群綠覆穩定性分析

因植被具有吸收藍光、紅光及強烈反射近紅外光特性，在植被覆蓋良好地區常呈現鮮紅色。在濕季時，因雨水充分、溫度暖和，適合植被生長，故草本及木本植物均可能生長良好；乾季時，則因臺灣降雨分佈不均，故於乾季時雨水較少，且氣候較劣，草本植物常易有乾枯現象，故於影像上將呈現弱紅色，藉由此特性，利用不同時期之衛星影像可將草本及木本植物予以區分。圈谷地區乾、濕季衛星影像(圖 2-29)，由衛星影像萃取 NDVI 植生指標，進行 Rubber sheeting 後再進行線性轉換，將其線性反向配置為值域分布為 0-1 之綠劣率(D)，當植生狀況愈差，D 值愈大(圖 2-30)。另將地覆型態分為植被、陰影及裸地，針對各種地覆型態配合航照影像選取樣本進行訓練，再以最大概似法將衛星影像進行分類，初步將植

被與非植被區域篩選出如圖 2-31，最後再以綠覆之穩定性(旱、濕季節綠劣率之變化程度)將圈谷地區植群依綠覆率之變化再細分成大、中、小三類(圖 2-32)。

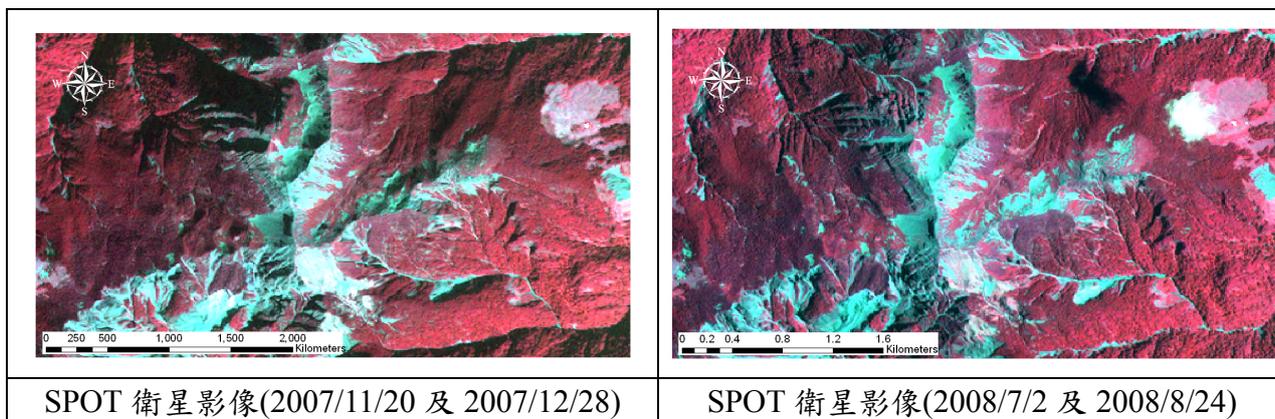


圖 2-29 圈谷地區旱季(左)、濕季(右)衛星影像

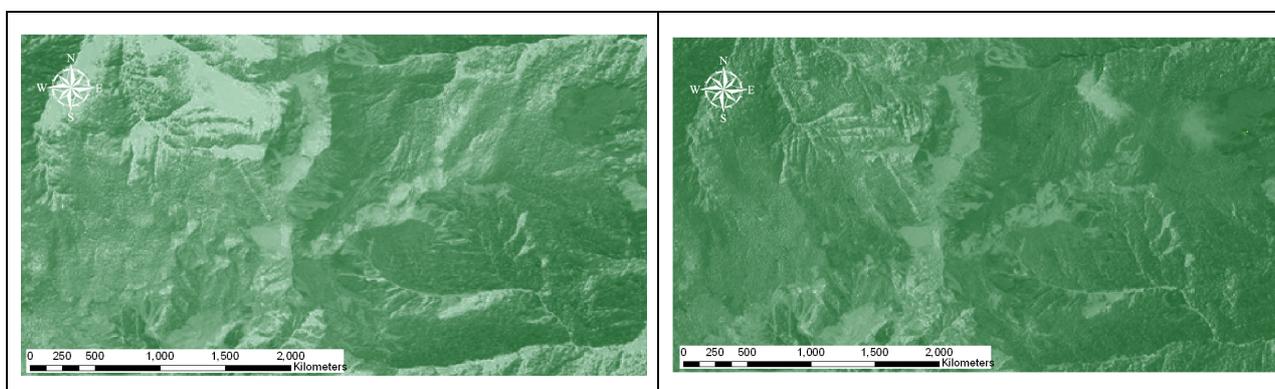
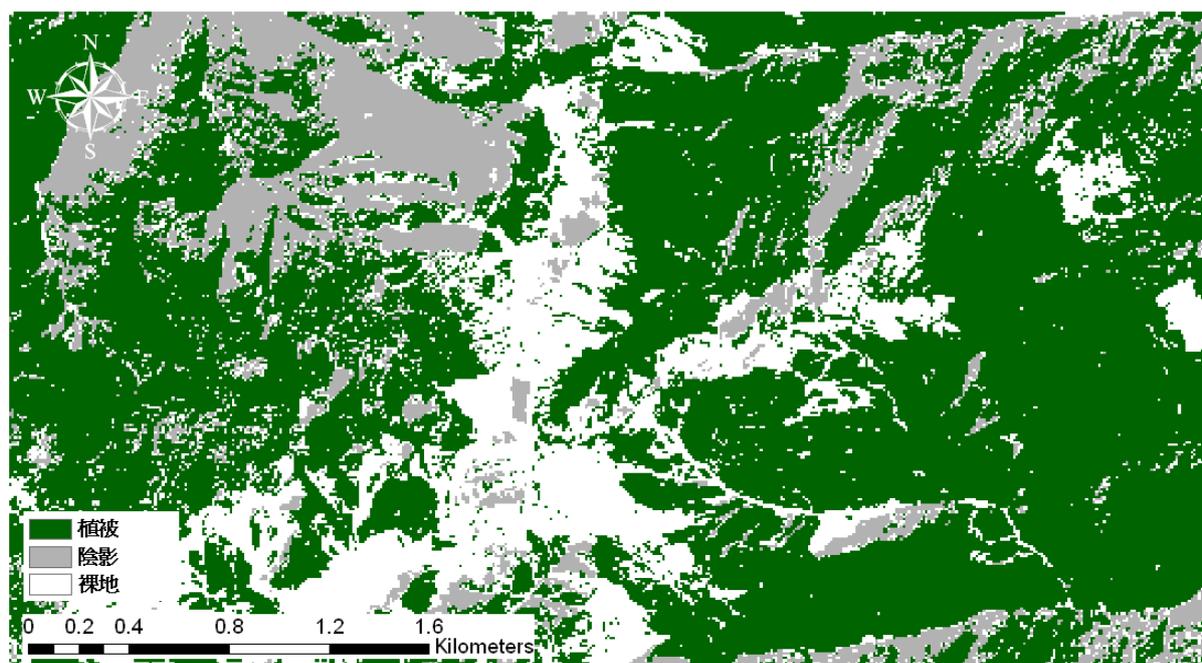


圖 2-30 圈谷地區旱季(左)、濕季(右)綠劣率分布圖



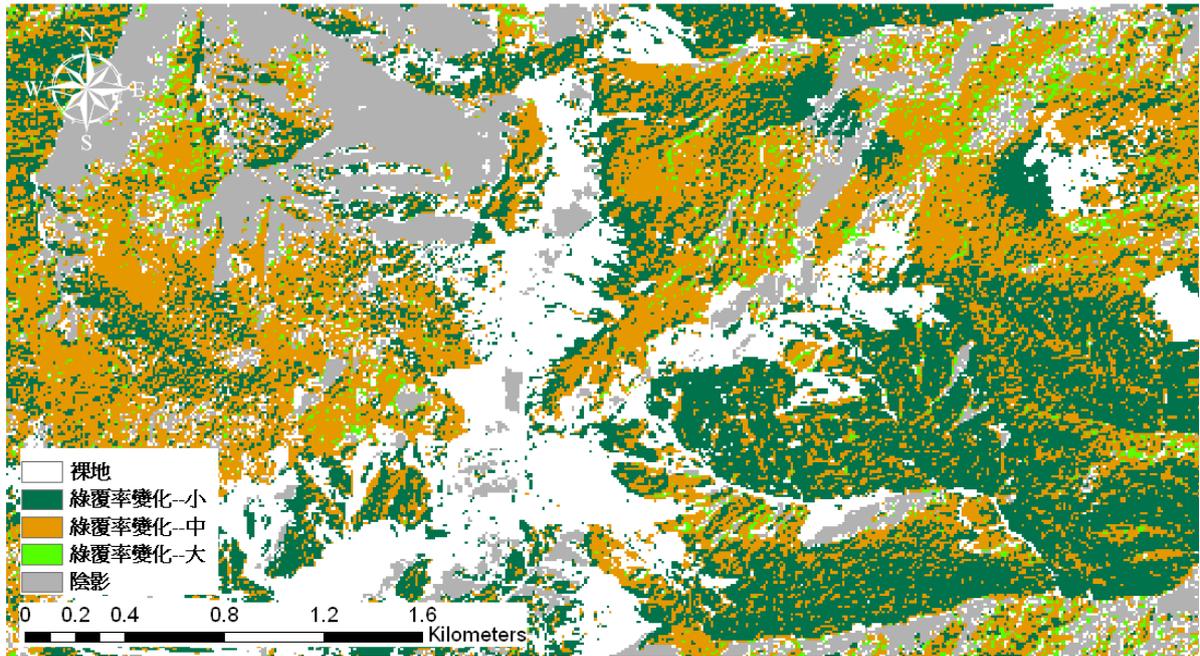


圖 2-32 影像分類成果。

(七)、圈谷地區航拍照片立體圖製作

利用 5m 解析度之 DEM 資料，配合圈谷地區航拍照片(圖 2-33)，以 ERDAS IMAGINE 套裝軟體製作桃山西溪上游圈谷區位立體影像，可清楚展示圈谷地形與植群分布狀況(圖 2-34)。

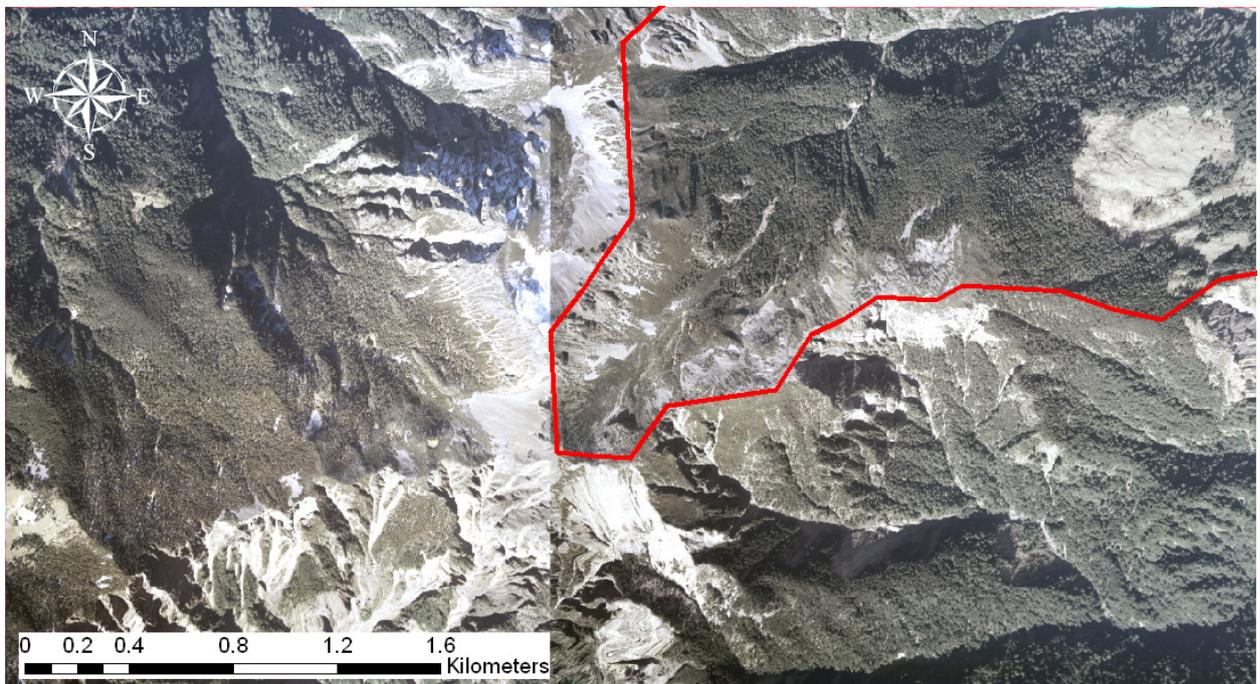


圖 2-33 桃山西溪上游集水區航拍照片(頭部為圈谷區位)。

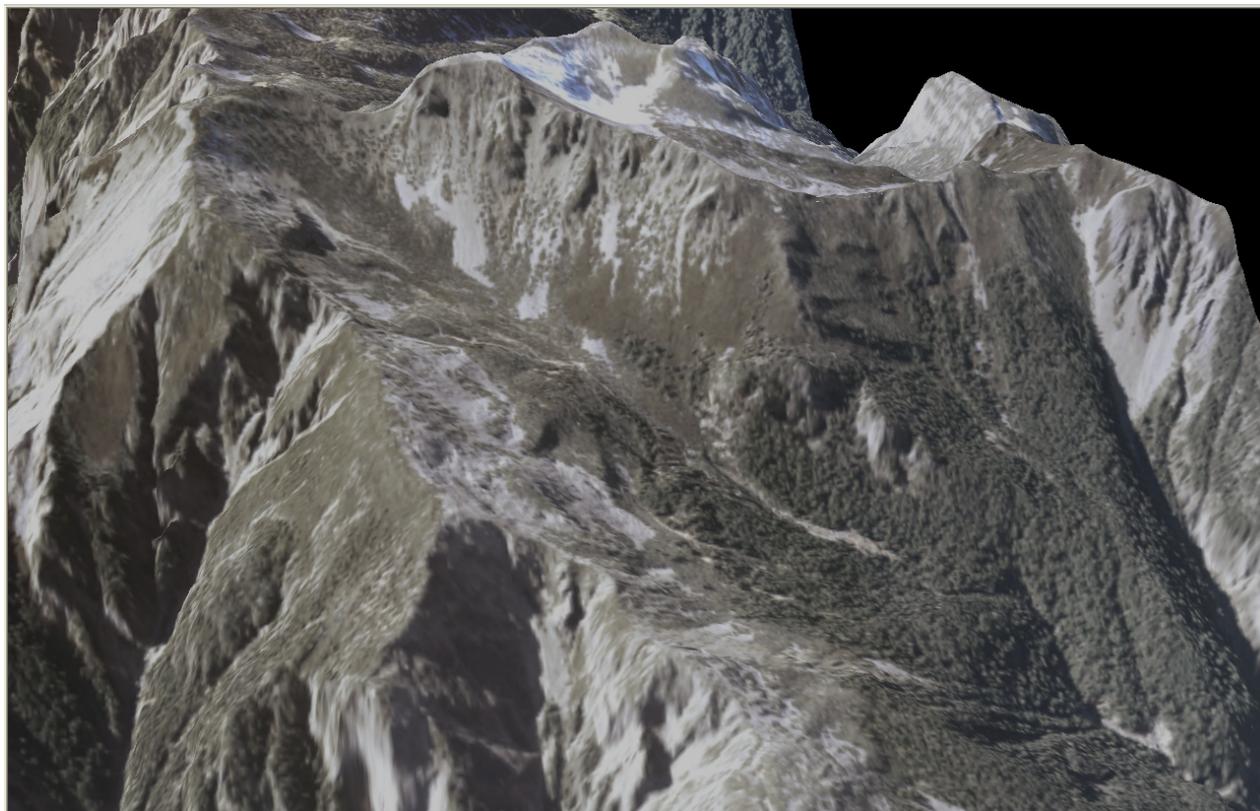


圖 2-34 桃山西溪圈谷區位立體影像。

(八)、集水區碳儲存與綠劣率分析

利用土地利用圖資萃取集水區植物群落分類，再利用 IPCC 統計大範圍尺度下的資料，估算集水區之碳儲存量，另萃取集水區衛星影像之綠劣率及其差值(表 2-22)，可瞭解集水區碳存量與綠劣率之相關性(圖 2-35 與圖 2-36)。

表 2-22 集水區碳儲存量與綠劣率

集水區編號	溫帶森林面積(公頃)	溫帶草原面積(公頃)	耕地面積(公頃)	總碳儲存量(噸 C)	單位面積碳儲存量(噸 C/公頃)	綠劣率(濕季)	綠劣率(旱季)	綠劣率差值(旱季-濕季)
1	52.059	--	--	7964.981	144.437	0.088	0.196	0.108
2	114.116	3.805	--	18384.269	155.488	0.067	0.115	0.048
3	166.426	19.257	--	30142.565	160.549	0.080	0.105	0.025
4	269.419	12.223	--	44191.193	156.291	0.090	0.121	0.031
5	53.862	0.639	--	8396.227	154.056	0.148	0.173	0.025
6	25.830	0.787	--	4143.094	155.659	0.163	0.190	0.027
7	10.248	3.891	--	2513.552	177.768	0.117	0.133	0.016

8	19.368	9.710	--	5322.901	181.176	0.079	0.133	0.054
9	82.306	0.629	--	12745.559	153.682	0.082	0.208	0.126
10	45.778	--	--	7004.019	121.763	0.198	0.206	0.008
11	62.735	4.720	--	10745.461	154.694	0.112	0.166	0.054
12	308.286	66.917	--	63428.699	160.484	0.101	0.185	0.084
13	598.093	101.332	--	116131.845	143.615	0.132	0.275	0.143
14	110.541	14.433	--	20420.080	134.126	0.115	0.144	0.029
15	118.416	--	--	18117.572	120.547	0.155	0.196	0.041
16	119.024	0.226	--	18265.566	145.629	0.129	0.272	0.143
17	108.152	28.026	--	23357.376	170.054	0.064	0.145	0.081
18	109.999	2.690	--	17483.453	154.308	0.069	0.188	0.119
19	106.620	5.606	--	17675.206	152.961	0.085	0.234	0.149
20	45.470	--	103.004	6956.879	46.683	0.032	0.087	0.055
平均	-	-	-	-	-	0.109	0.178	-

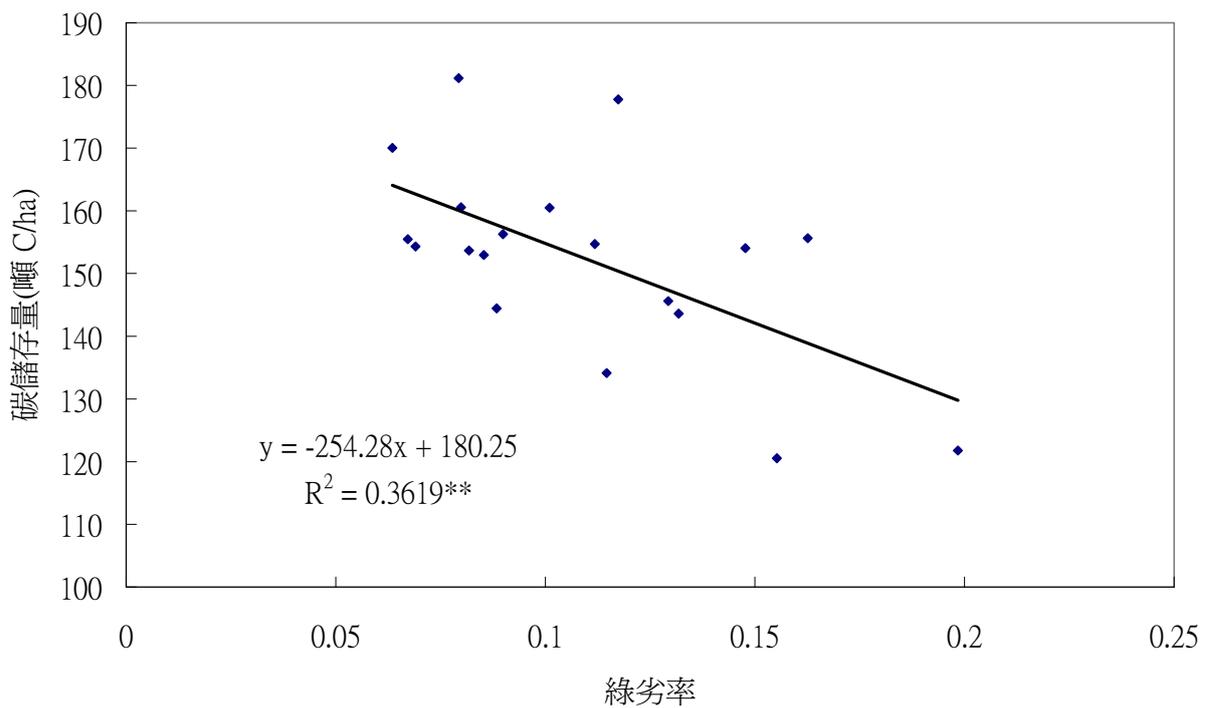


圖 2-35 集水區碳儲存量與綠劣率之關係(溼季)。

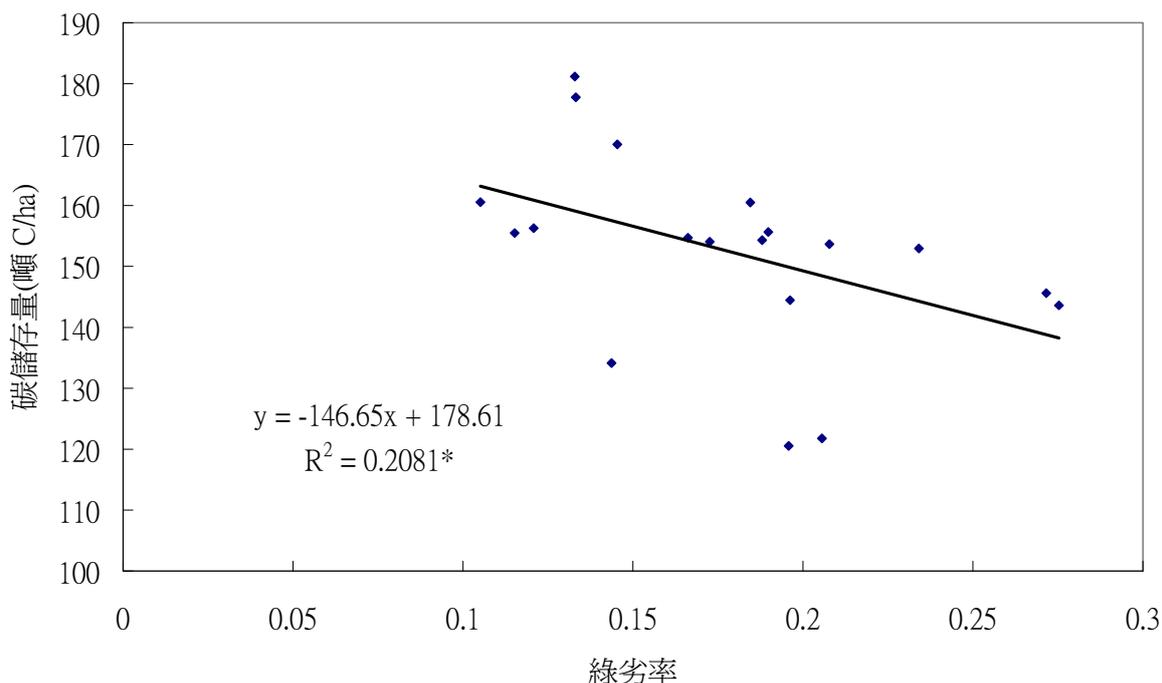


圖 2-36 集水區碳儲存量與綠劣率之關係(旱季)。

(九)、綠劣區位分析

雪山地區地形陡峻，綠劣區位之水土資源極易被沖蝕流失，涵養相形困難，有必要針對人為干擾性高之登山步道、集水區分水嶺之稜線區位、以及各分析集水區之綠劣區位做一萃取與探討。由步道綠劣率剖面線(圖 2-37)以及步道高程剖面線(圖 2-38)，可知步道旱、濕季綠劣率變化較大之處主要有三個區位，分別是登山口—觀景臺、雪山東峰—箭竹林樣區之危崖處、以及黑森林—雪山，其中約以海拔 3100 公尺地勢較平坦之雪山東峰—危崖處之綠劣率差異較大，此區位之植群分布以玉山箭竹為主，推測可能是草本植物根系分布較淺，受土壤水分變化影響致植株光合作用受旱、濕季節影響較大。黑森林—雪山處之綠劣率變化，其旱、濕季節均明顯高於所分析之集水區平均綠劣率，顯然是位於集水區源頭並接近稜線區位，因土壤化育不良致植群以灌叢為主，其旱、濕季節之綠劣率居步道樣區之冠，但其旱、濕季綠劣率之差值較玉山箭竹為小。另登山口—觀景臺之區位，其旱、濕季節之綠劣率差值雖有明顯變化，惟多不超過集水區之平均綠劣率。稜線區位旱、濕季綠劣率變化較大之處，主要集中在接近七家灣溪 1.5 公里處，其旱季之綠劣率明顯高於集水區之平均值。雪山附近 1.5 公里處稜線區位之旱、濕季綠劣率居稜線樣區之冠，明顯高於集水區之平均綠劣率。各分析集水區旱、濕季綠劣率之差值，經 K-mean 分三類當應變數(表 2-23)，以集水區之地文因子

當自變數，採逐步(stepwise)篩選法，典型區別分析的結果顯示集水區平均坡度與河川頻率兩地文因子(表 2-24)，能有效解釋集水區早、濕季綠劣率之差值變化，分類正確率達 70%(表 2-25)。

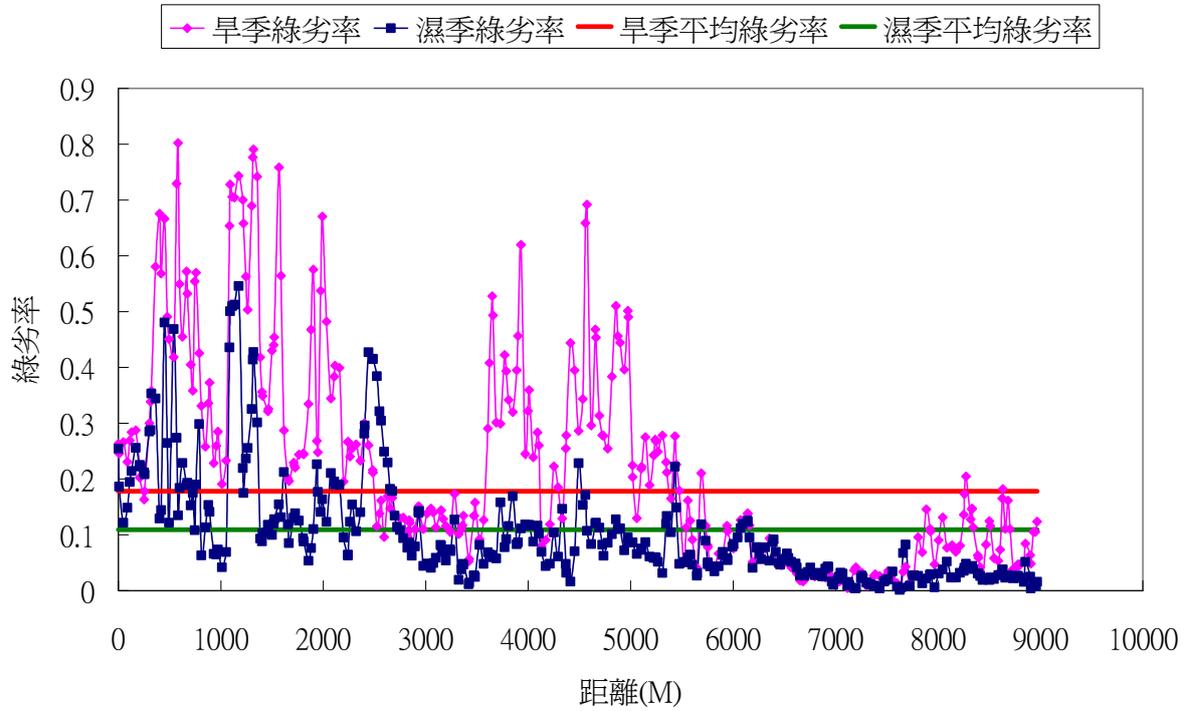


圖 2-37 步道綠劣率剖面線。

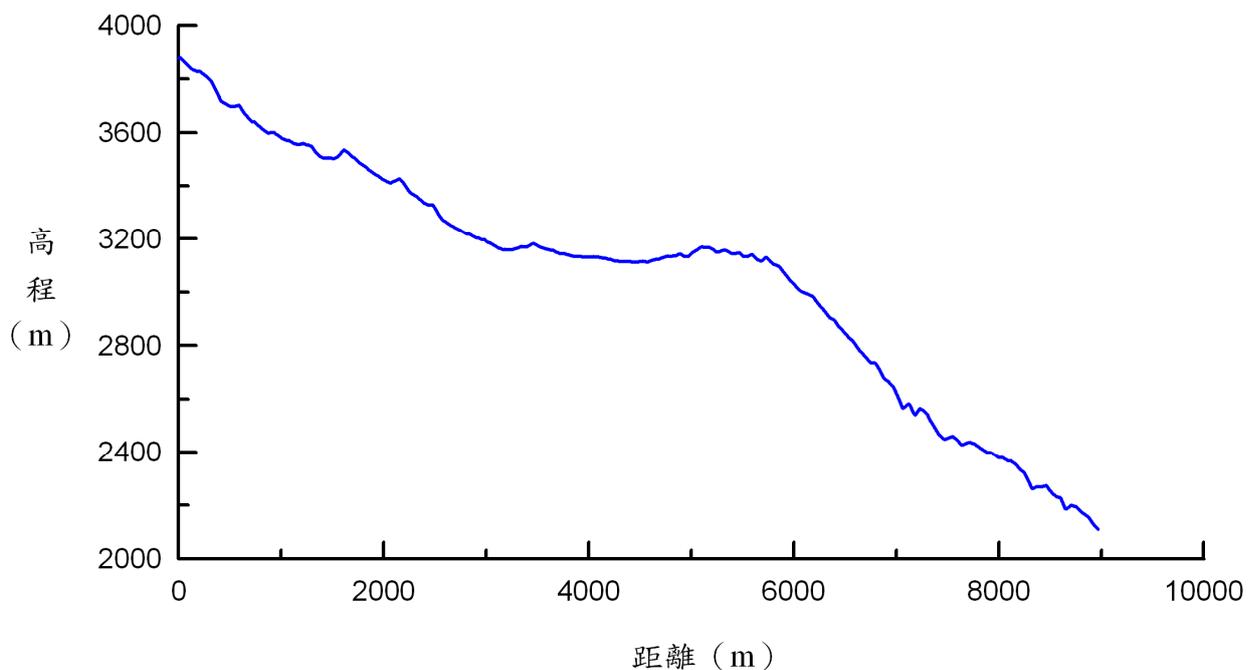


圖 2-38 步道高程剖面線。

2. 稜線

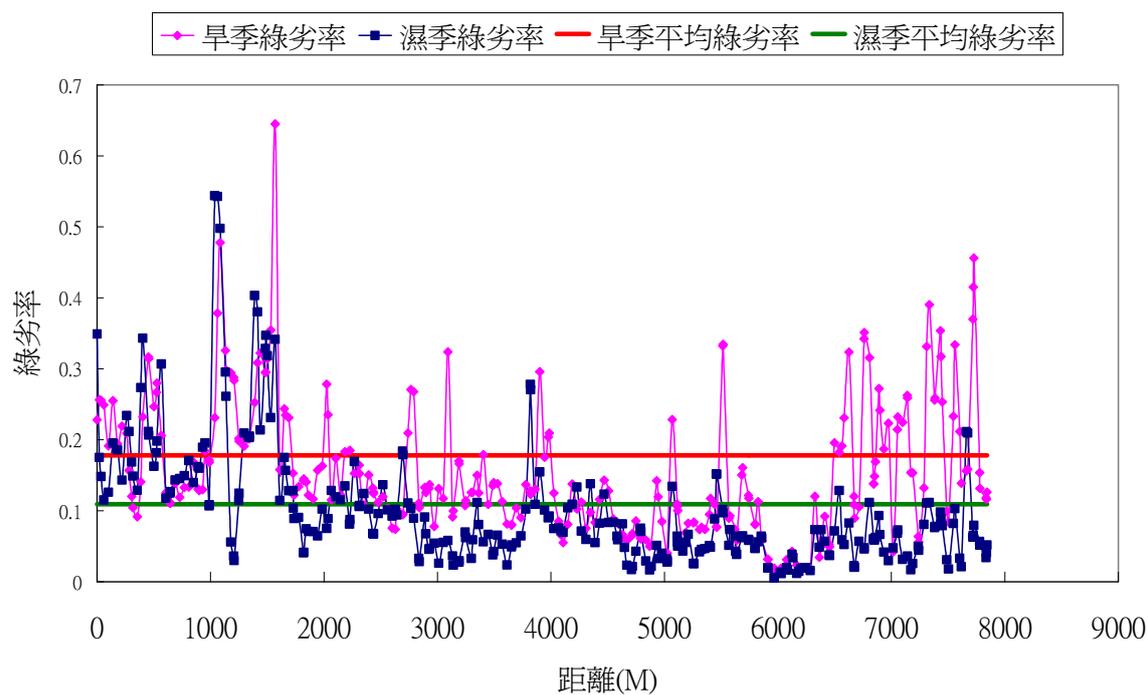


圖 2-39 稜線綠劣率剖面線。

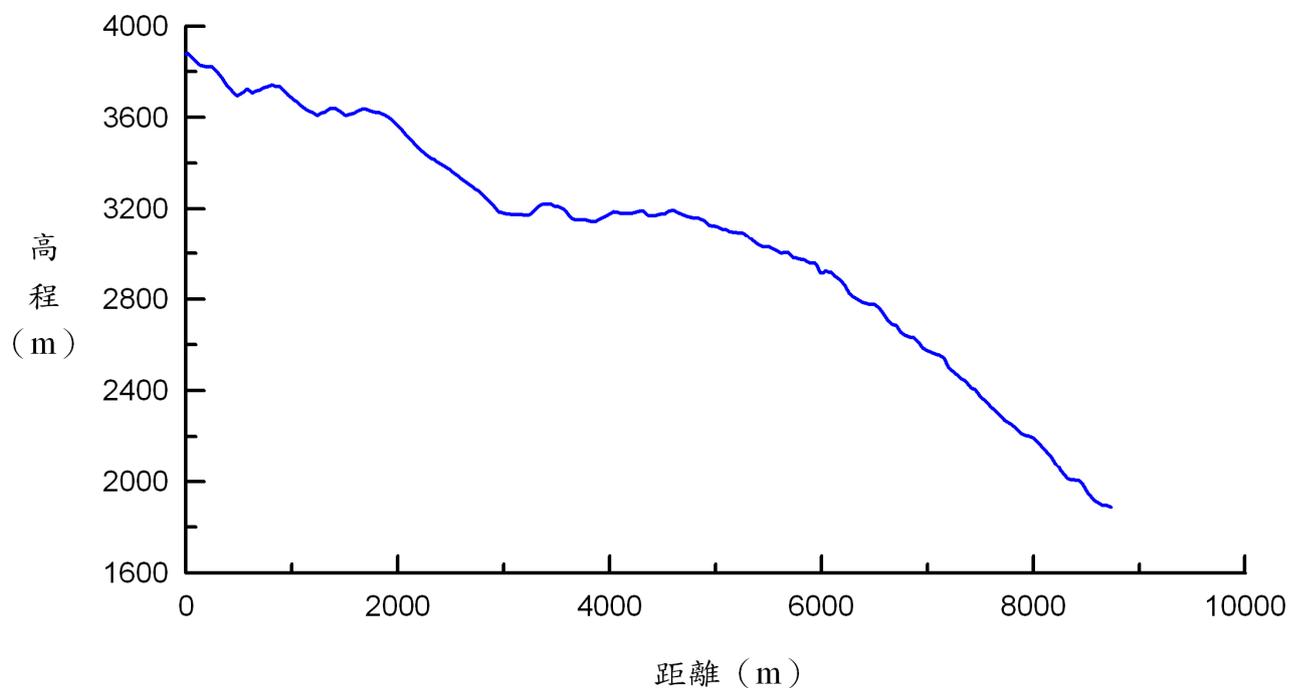


圖 2-40 稜線高程剖面線。

3. 集水分區

表 2-23 集水區綠劣率差值及分類

集水區編號	綠劣率差值(旱季-濕季)	綠劣率差值分類
1	0.108	2
2	0.048	1
3	0.025	3
4	0.031	3
5	0.025	3
6	0.027	3
7	0.016	3
8	0.054	1
9	0.126	2
10	0.008	3
11	0.054	1
12	0.084	1
13	0.143	2
14	0.029	3
15	0.041	3
16	0.143	2
17	0.081	1
18	0.119	2
19	0.149	2
20	0.055	1

表 2-24 標準化典型區別函數係數

	函數	
	1	2
平均坡度(%)	1.210	-.329
河川頻率	.992	.767

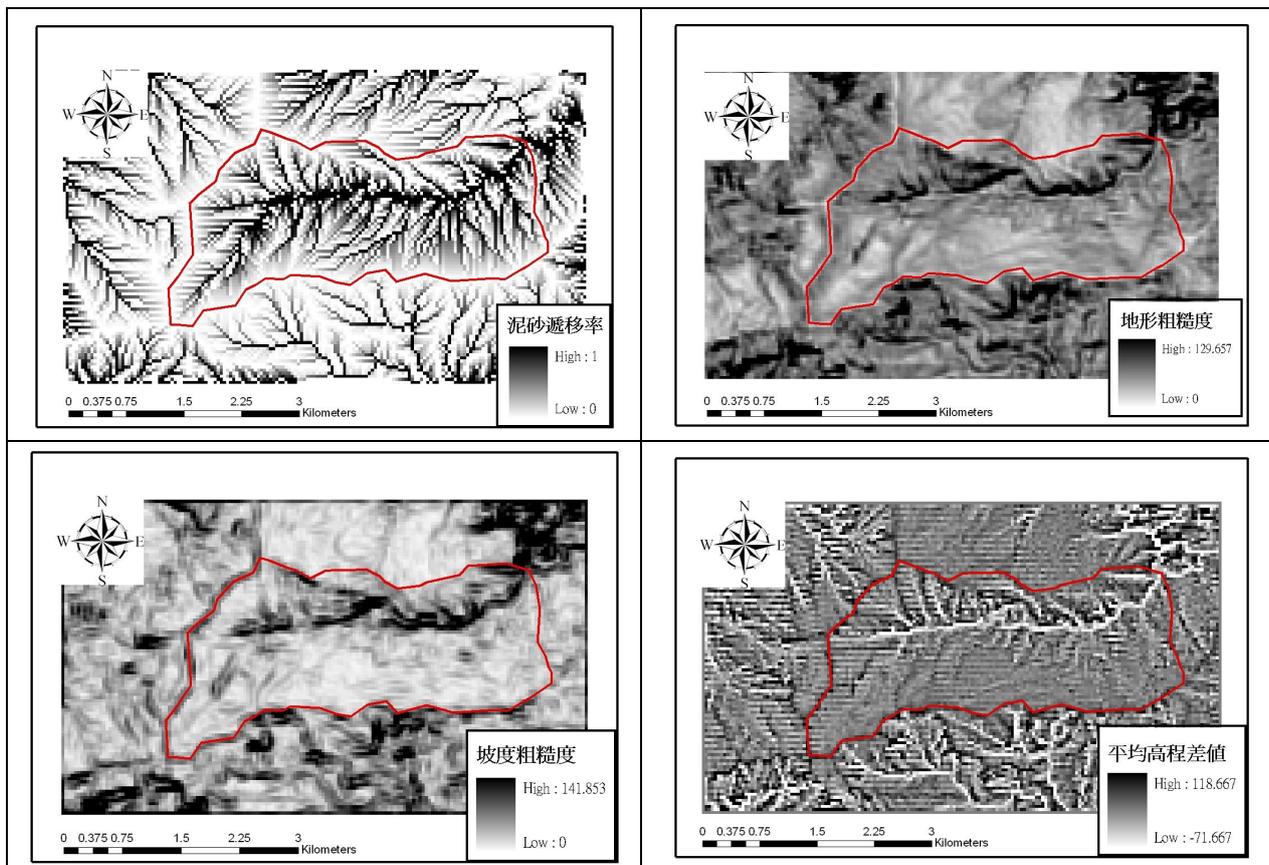
表 2-25 典型區別分析正確率

		集群觀察 值個數	預測的各組成員			總和
			1	2	3	
原始的	個數	1	4	2	0	6
		2	3	3	0	6
		3	1	0	7	8
	%	1	66.7	33.3	.0	100.0
		2	50.0	50.0	.0	100.0
		3	12.5	.0	87.5	100.0

a 70.0% 個原始組別觀察值已正確分類。

(十)集水區地形指標萃取

以桃山西溪集水區為例，圖 2-41 為桃山西溪集水區各類地形指標之萃取結果，此部份成果有待進一步與各調查樣區之現調資料整合後再加以探討，另外陸源物質輸出對集水區生態系養份循環之影響，尤其是火燒跡地土壤與營養鹽之推移，均需要集水區地形指標之各類參數，做空間分布上之模擬與評估。



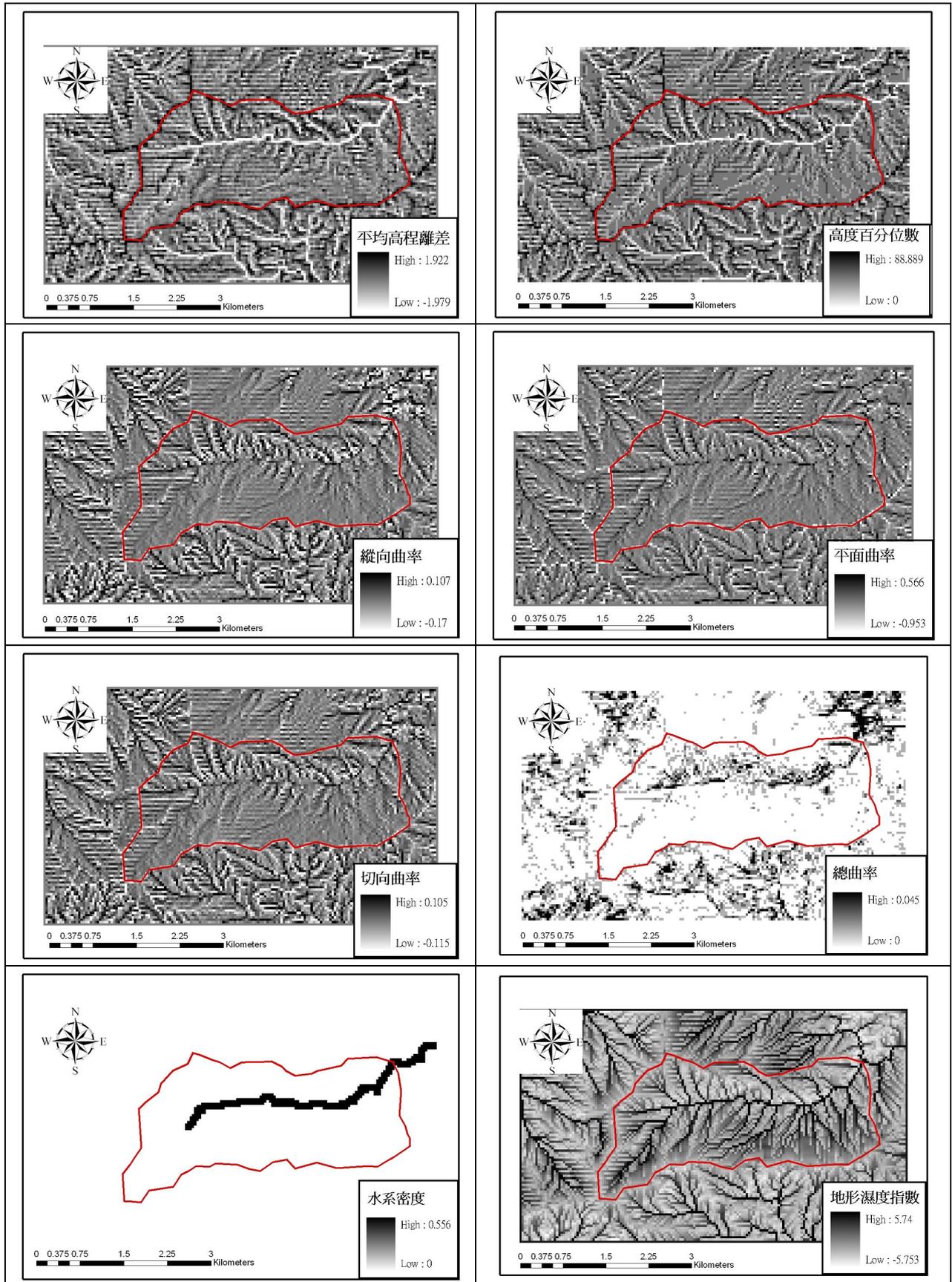


圖 2-41 桃山西溪集水區各類地形指標。

四、討論

(一)氣象資料建置

氣象資料為水文分析之重要依據，本研究目前僅針對雨量資料進行蒐集，以提供頻率分析及土砂量估算之水文量，未來擬利用中央氣象局主要測站之氣象資料，分析雪霸國家公園各主要測站之月平均輻射量、氣溫、相對濕度、降水量、蒸發量、風速等資料，再依據 Thornthwaite 與 Mather (1955) 之氣候分類法，分析各地區之氣候類型；並利用各主要測站之地理座標以地理統計 Kriging 方法將各測站之潤濕指數內差分析，繪製等潤濕指數圖，作為區域排水與植生復育之重要指標。

(二)集水區地文水文資訊萃取

河川主、支流匯流處為水土資源保育相關設施之重要檢核點位，檢核點位集水區之地文水文資訊可提供集水區土砂災害防治、水土資源保育、以及綠環境營造之重要規劃或設計的參考依據。各集水分區之地文水文資訊亦可當環境變數，用以篩選影響集水區綠環境穩定之重要因子。

(三)集水區土砂量估算

集水區之土壤沖蝕與泥砂產量為坡地災害的主要問題所在，集水區泥砂產量除坡面土壤流失外，崩塌地亦是集水區泥砂的主要來源，且降雨事件的發生為泥砂輸出的主要動力，因此本研究整合上述概念，利用模式估算集水區坡面與崩塌地之泥砂產量。雪山地區因位處大甲溪上游，其土砂災害對鄰近保全對象未必有直接性影響，但對於下游泥砂產量之供應極為重要，泥砂量過多則加速減少水庫的壽命，及增加水庫經營管理費用，過少則容易造成河道兩岸的侵蝕與崩塌，影響下游地區保全對象之安全。經本研究推估結果，以編號 4、7、17、18、20 集水區為沖刷河段，因上游未發生或發生較少之崩塌量，泥砂來源供應不足，未來繼續侵蝕的結果勢必造成崩塌；其餘集水區則為上游地區主要泥砂之來源，未來可配合水土保持方法進行泥砂量之控管，於環境變遷上提供一有效之指標。由此量化分析集水區之泥砂資訊，盼能利於坡地泥砂災害防治或水庫泥砂淤積等之推估，以提供集水區經營管理之參考。

(四)緩衝帶配置分析

坡地農業所產生之泥砂、營養鹽、與農藥等非點源污染物已被證明是引起水質劣化主因之一。被沖蝕之污染物進入水體，造成濁度增加，水庫淤積及優養化

等問題；如何改善集水區水資源，避免農業非點源之污染，環境敏感區位土地利用之管制極為重要。濱水區植生緩衝帶係指位於潛在污染源與地表水體間之人工栽植或天然植被，主要用以減緩漫地水流並能從逕流水中去除部分之泥砂、營養鹽、及農藥。植生緩衝帶具有緩衝污染物、安定河岸等多項功能，為有效解決坡地農業所產生之非點源污染。在溪流兩旁設置適當綠帶，嚴禁開發利用，不僅能有效控制非點源污染，增加水資源之使用，且對於河川之生態保育助益良多。臺灣目前僅有部分水庫依法設置植生保護帶，有關溪流兩岸植生緩衝帶之規範尚未出爐，為有效防止農業非點源污染對河川水質所造成之衝擊，宜儘早規範溪流濱水區植生緩衝帶之設置標準。植生緩衝帶之寬度若設計不足，則無法達到淨化逕流水質的預期效果。反之，若寬度大於實際需要，將造成農地或其它用地的損失，人民配合的意願不高。因此合理的寬度範圍對坡地保育計劃之推行相當重要。美國農部在其耕地保育計畫內所推薦之植生緩衝帶寬度為20~30m，而在森林集水區內，沿著溪流兩旁之保護帶最少需有30m。截至目前為止尚無法將緩衝帶的寬度與過濾後水質受改善之情形予以量化。農民抱怨不適宜的規定寬度減少了生產用地，而環境學家卻爭論現存的規定寬度尚嫌不足，其改善農地集水區排放水之品質未達理想(Puvis et al.1989)。美國農部所推薦的緩衝帶寬度雖可供我們參考利用，但此種齊頭式之寬度在地幅廣大的美國尚有所爭議，在寸土寸金之臺灣，若據此推行，其阻力可想而知，因此有必要建立本土化的植生緩衝帶合理寬度。由於地表土壤入滲率之差異，植生緩衝帶寬度之設計理念有所不同。臺灣山區多石質土，常混有石片或礫石，粗孔隙多，土壤飽和入滲率極高，地表逕流水發生之機率甚低。因此農業非點源污染之防治，在高入滲區主要是藉由土層之吸附、生物固定、分解、及化學反應等自淨作用來去除滲流水之污染源，所以高入滲地區須保有相當深厚的土層以行土壤自淨作用，避免地下水被污染。高入滲區河岸濱水區植生緩衝帶的寬度可由現地量測土層中污染物之衰減，或利用指標模式推算安全土深，河岸兩旁低於安全土深之區位，應全部劃入植生緩衝帶，嚴禁農墾，以免滲流水污染河川。集水區主要潛在污染源之農作區內，不可超限利用，應落實草生栽培、草溝、及農地沉砂池之設計。雖是自掃門前雪，若能將泥砂、營養鹽等非點源污染源留在自己的農地，即可避免河川水體污染，「源頭防治重於下游防堵」為集水區農業非點源污染控制應有之理念。

(五)集水區碳存量分析

臺灣二氧化碳總排放量倍速成長，氣溫漸升，使政府開始積極面對及處理，

節能減碳運動已逐漸推行。陸地生態系統中，無論是森林、草原、農田、溼地等在減緩全球氣候變化上皆扮演著重要的角色，其各自具有不同之固碳能力及減緩排放效果。由分析結果顯示雪山地區之總碳存量於 2001~2008 年間共增加 34927.62 噸，土地利用主要以耕地與非植生區位均轉為森林及草地，即減少耕作面積，以造林或恢復其自然植生對地表固碳能力有所助益，亦可減少地表翻動及裸露而造成土壤沖蝕之情形。森林與草地變遷之總面積雖對碳存量變化影響不大，但其區位之改變，對當地生物棲地或陸源物質之遞移量均有影響，如集水區土壤沖蝕量依地表作物與管理因子(C 值)之改變而有所不同，因此，總碳存量於大尺度下反映整體土地利用變遷之情形，作為溫室氣體減量之指標，亦可由碳存量增加或減少反映集水區及坡面局部之特性，日後與其他環境指標進行整合性分析。

(六) 圈谷地區植群綠覆穩定性分析

雪山圈谷地區植群可依旱、濕季節綠覆率之變化程度約略分成三類，草生地之綠覆率變化較大，灌叢之綠覆率變化程度屬中等，而綠覆率較穩定之區位主要為喬木生育地。

(七)、圈谷地區航拍照片立體圖製作

日前地球表面溫度逐年上升，造成全球暖化現象，不斷提倡環保意識及生態保育之觀念，國家公園內除保護原始林帶避免人為開發破壞，對其區內之自然植群分布及物種之演替，有必要做長期之監測，以了解大環境的變遷對原生物種之影響情形。雪山地區位處集水區上游地帶，針對各環境指標評估之結果及環境復育之方法，若一一配合現地調查實有不便之處，且無法作長時期之監測，故本研究利用航拍照片配合 DEM 資料，可清楚展示圈谷地形與植群分布狀況，對於未來地景變遷(崩塌、森林火燒、地表覆蓋度)及植生演替(木本植物與草本植物之交替、消長)之監控，提供迅速且有效之方法。

(八)、集水區碳儲存與綠劣率分析

集水區綠劣率與單位面積碳存量呈線性負相關，顯示綠劣率可做為評估集水區碳儲存之指標。由於雪山地區地形均屬於高海拔地區，植群種類以林地為主，2001 年及 2008 年佔集水區面積約為 85%及 90%，其次為草生地，當單一的植群比例太高，綠劣率僅能夠反映地表覆蓋程度之優劣，較無法顯著地反映植群種類分布與碳存情形。

(九)、綠劣區位分析

步道綠劣率變化較大之處主要有三個區位，分別是登山口—觀景臺、雪山東峰—危崖處、以及黑森林—雪山，其中約以海拔 3100 公尺地勢較平坦之雪山東峰—危崖處之綠劣率差異較大，此區位之植群分布以玉山箭竹為主，推測可能是草本植物根系分布較淺，受土壤水分變化影響致植株光合作用受旱、濕季節影響較大。黑森林—雪山處之綠劣率變化，其旱、濕季節均明顯高於所分析之集水區平均綠劣率，顯然是位於集水區源頭並接近稜線區位，因土壤化育不良致植群以灌叢為主，其旱、濕季節之綠劣率居步道樣區之冠，但其綠劣率之差值較玉山箭竹為小。集水區平均坡度與河川頻率兩地文因子能有效解釋集水區旱、濕季綠劣率之差值變化，分類正確率達 70%，主要因為平均坡度與河川頻率扮演著集水區水收支之重要角色。

(十)集水區地形指標萃取

眾多地形指標雖有其代表之物理意義，於實際應用上則受限於資料精度及分析尺度等問題，致使分析結果未必能有效利用，且分析資料均源於 DEM，易使指標間有同質性之情形發生。因此，本研究將各地形指標進行相關性分析，篩選具代表性之指標因子，以供未來能夠快速且有效的利用。表 2-26 顯示以陸源物質之遞移率最具代表性，已涵蓋起伏度指標(地形粗糙度、坡度粗糙度、距平均高度差值、曲率)、區位指標(距平均高度離差、高度百分位數)以及濕度指標，可快速地應用於各環境影響評估分析的解釋上；而地形粗糙度與坡度粗糙度與其他指標間之相關性較少，顯示起伏度指標依區位不同而有所變化，未來進行集水區環境復育，可作為環境評估優選之代表性因子。

表 2-26 地形指標相關性分析

Pearson 相關	路源物 質遞移 率	地形粗 糙度	坡度粗 糙度	平均高 程差值	平均高 程離差	高度百 分位數	縱向曲 率	平面曲 率	切向曲 率	總曲率	水系密 度	地形濕 度指數
路源物 質遞移 率	1.000											
地形粗 糙度	.203(**)	1.000										
坡度粗 糙度	.348(**)	.600(**)	1.000									
平均高 程差值	-.445(**)	-0.010	-.051(**)	1.000								
平均高 程離差	-.450(**)	-.043(**)	-0.019	.913(**)	1.000							
高度百 分位數	-.405(**)	-.029(*)	-0.006	.774(**)	.864(**)	1.000						
縱向曲 率	.368(**)	-.028(*)	-0.027	-.811(**)	-.777(**)	-.739(**)	1.000					
平面曲 率	.329(**)	0.020	-0.016	-.608(**)	-.706(**)	-.677(**)	.714(**)	1.000				
切向曲 率	.383(**)	-0.006	-0.013	-.782(**)	-.797(**)	-.765(**)	.942(**)	.757(**)	1.000			
總曲率	.142(**)	.161(**)	.200(**)	-.136(**)	-.096(**)	-.102(**)	.058(**)	.061(**)	.071(**)	1.000		
水系密 度	.617(**)	.177(**)	.440(**)	-.266(**)	-.269(**)	-.226(**)	.086(**)	.142(**)	.106(**)	.114(**)	1.000	
地形濕 度指數	.603(**)	-.265(**)	-0.026	-.569(**)	-.604(**)	-.569(**)	.531(**)	.463(**)	.554(**)	.101(**)	.336(**)	1.000

**：在顯著水準為 0.01 時 (雙尾)，相關顯著。
*：在顯著水準為 0.05 時 (雙尾)，相關顯著。

五、結論與建議

雪霸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。本(第一)年之研究針對「集水區環境指標回顧與評估」、「環境指標篩選與建置」及「環境資料庫蒐集與建置」等項目進行評估及建置；已蒐集集水區各類環境資訊，初步萃取相關環境指標，供雪霸國家公園管理成效量化評估之參考。建議未來研究可向下落實並進行分析系統建置及修正，包含「集水區多尺度綜合分析」、「環境指標適宜性分析與評估」及「系統建置與修正」；將所有建置項目進行整合研析，推廣至整個雪霸國家公園轄區。

六、參考文獻

- 王鑫(1988),「地形學」,聯經出版社。
- 水土保持技術規範(2000),行政院農業委員會編印。
- 林昭遠(1998),「濱水區植生緩衝帶配置之研究」,中華水土保持學報,29(3):261-272。
- 莊佳慧(1998),「指標模式應用於植生緩衝帶寬度之研究」,國立中興大學水土保持學系碩士論文。
- 張大偉、王明光(1998),「農田土壤中有機與無機污染物的動態」,八十七年度農業工程研討會論文集,p.433-437。
- 黃俊德(1979),「臺灣降雨沖蝕指數的研究」,中華水土保持學報,10(1):127-144。
- 黃國楨、王韻皓、焦國模(1996),「植生指標於 SPOT 衛星影像之研究」,臺灣林業,22(1):45-52。
- 萬鑫森、黃俊義(1981),「臺灣西北部土壤沖蝕及流失量之估算」,中華水土保持學報,12(1):57-67。
- 萬鑫森、黃俊義(1989),「臺灣坡地土壤沖蝕」,中華水土保持學報,20(2):17-45。
- Bagnold, R. A.(1966) “An approach to the sediment transport problem from general physics,” U.S. Geological Survey Professional Paper, 1 : 422.
- Burgan, R. E. and Hartford, R. A. (1993) “Monitoring vegetation greenness with satellite data,” USDA Forest Service Intermountain Research Station General Technical Report INT-297.
- Burton, A. and Bathurst, J. C. (1998) “Physically based modeling of shallow landslide sediment yield at a catchment scale,” Environmental Geology, 35 : 89-99.
- Choudhury, B. J. (2000) “Carbon use efficiency, and net primary productivity of terrestrial vegetation,” Advances in Space Research, 26(7) : 1105-1108
- DeJong, B. H. J., Tipper, R. and Taylor, J. (1997) “A framework for monitoring and evaluating carbon mitigation by farm forestry projects: example of a demonstration project in Chiapas,” Mexico. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2 : 231-246.
- Foster , G. R., Lane, L. J., Nowlin, J. D., Laflen, J. M. and Young, R. A. (1981) “Estimating erosion and sediment yield on field-sized areas,” Trans. ASAE, 24 : 1253-1262.
- Frere, M. H., Ross, J. D., and Lane, L. J. (1980) “The nutrient submodel. In: Knisel W.G. (ed.).1980. CREAMS: A field-scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems,” U.S. Department of Agriculture, Conservation Research Report, 26 : 25-86.
- Helling, C. S. and Dragun, J. (1980) “Soil leaching tests for toxic organic chemicals,”

- In Proc. Symp. on Test Protocols for Environmental Fate and Movement of Toxicants, pp43-88.
- Hill, M. J., Braaten, R. and McKeon, G. M., (2003) "A scenario calculator for effects of grazing land management on carbon stocks in Australian rangelands," *Environmental Modelling & Software*, 18 : 627-644.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (2000) "Special Report on Land Use Land-Use Change and Forestry," Cambridge University Press.
- Junko, I., Shiaki, W., and Takahiko, F. (2001) "Landform analysis of slope movements using DEM in Higashikubiki area," *Computers & Geosciences*, 27 : 851-865.
- Lane, L. J. (1982) "Development of a procedure to estimate runoff and sediment transport in ephemeral streams," In recent *Developments in the Explanation and Prediction of Erosion and Sediment Yield*, 137 : 275-282.
- Li, H., Ma, Y., Aide, T. M. and Liu, W. (2008) "Past, present and future land-use in Xishuangbanna, China and the implications for carbon dynamics," *Forest Ecology and Management*, 255 : 16-24.
- Lin, C. Y., Lin, W. T. and Chou, W. C. (2002) "Soil erosion prediction and sediment yield estimation: The Taiwan experience," *Soil & Tillage Research*, 68 : 143-152.
- Liu, S., Loveland, T. R. and Kurtz, R. M. (2004) "Contemporary Carbon Dynamics in Terrestrial Ecosystems in the Southeastern Plains of the United States," *Environmental Management*, 33(1) : 442-456.
- Manning, R. (1891) "On the flow of water in open channels and pipes," *Transactions, Institution of Civ. Eng. Ireland*, 20 : 161-207
- Maraqqa, M. A., Zhao, X., Wallace, R. B. and Voice, T. C. (1998) "Retardation coefficients of nonionic organic compounds determined by batch and column techniques," *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62 : 142-152.
- Mosier, A. R., Peterson, G. A. and Sherrod, L.A. (2003) "Mitigating net global warming potential (CO₂, CH₄, and N₂O) in upland crop production," In: *Proceedings of the Third International Methane and Nitrous Oxide Mitigation Conference*, pp17-21.
- Patenaude, G., Milne, R., Dawson, T. P. (2005) "Synthesis of remote sensing approaches for forest carbon estimation : reporting to the Kyoto Protocol," *Environmental Science & Policy*, 8 : 161-178.
- Prasad, V. K., Kant, Y. and Badarinath, K.V.S. (2002) "Land use changes and modeling carbon fluxes from satellite data," *Advances in Space Research*, 30(11) : 2511-2516.
- Rao, P. S. C., Hornsby, A.G. and Jessup, R. E. (1985) "Indices for ranking the potential for pesticide contamination of groundwater," *Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings*, 44 : 1-8.

- Sathaye, J., Makundi, W. and Andrasko, K. (1995) "A comprehensive mitigation assessment process (COMAP) for the evaluation of forestry mitigation options," *Biomass & Bioenergy*, 8(5) : 345–356.
- Smith, R. E. and Williams, J. R. (1980) "Simulation of the surface hydrology," *U.S. Dep. Agric. Conserv. Res.*, 26(11) : 15.
- Tomlinson, R. W. and Milne, R.M. (2006) "Soil carbon stocks and land cover in Northern Ireland from 1939 to 2000," *Applied Geography*, 26 : 18-39.
- USDA-SCS. (1972) "United States Department of Agriculture - Soil Conservation Service," *National Engineering Handbook*, Sec. 4.
- Wilson, J. L. and Gallant , J. C. (2000) "Terrain analysis," *John Wiley & Son, Inc.*, pp.51-58.
- Wischmeier, W. H. and Smith, D. D. (1965) "Predicting Rainfall-erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains," *Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture* , pp282,.
- Wischmeier, W. H. and Smith, D. D. (1978) "Predicting rainfall erosion losses," *Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture*, pp537.
- Young, R. A., Onstad, C. A., Bosch, D. D. and Anderson, W. P. (1989) "AGNPS : A nonpoint-soruce pollution model for evaluating agricultural watersheds," *Journal of Soil and Water Conservation*, 44(2) : 168-173.

第三章 高山地區土壤性質研究

中文摘要

一、研究緣起

養分循環 (nutrient cycling) 與能量傳遞 (energy transfer) 為生態系的兩大功能，土壤都扮演著重要的角色。土壤供給植群所需養分，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，所有養分的循環由土壤開始，最後也回歸土壤；綠色植物吸收光能，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，最終再回歸地面，經由微生物分解作用，消失於土壤中。因此，土壤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，因此養分循環或能量傳遞的機制迥異於一般的森林生態系，欲瞭解高山生態系的功能與機制，對土壤的研究調查是為最基礎之探討。

二、研究方法及過程

選擇雪山主峰線沿線的草原地、森林地及圈谷地等三處為主要的土壤採集點，在三處主要的採集點，配合其它子計畫之需，本計畫選擇5處土壤採樣點，依海拔高度上升分別為七卡、哭坡、火燒地、黑森林及圈谷。採樣包括枯枝落葉層與土壤層。將各層樣本帶回實驗室，烘乾秤重、磨粉，進行養分分析。

三、成果

從七卡、哭坡、火燒地、黑森林到圈谷五個採樣點土壤皆呈極酸性，土壤pH隨土層深度增加而增高之趨勢。土壤中有機碳含量高於台灣其它森林土壤的含量，越向下層土壤有機碳含量越低。土壤全氮，呈現正常適宜的濃度，然而土壤有效磷則隨土壤深度上升而下降趨勢，土壤呈現明顯缺乏現象，土壤陽離子置換能量 (CEC) 都極高，但是置換性鈉、鈣、鎂都很低。土壤含石率方面，以哭坡的箭竹草生地與圈谷的總含石率分別為16.01%、17.75%為最高，七卡的土壤總含石率為2.33%，則幾乎沒有含石量。土壤總含根量，以圈谷0.27 kg/m³(40 cm土深)為最低，七卡土壤總含根量1.63 kg/cm³最高，黑森林1.16 kg/cm³次之，哭坡與火燒地幾乎一樣，各為0.74與0.75 kg/cm³。

四、主要建議事項

土壤特性會影響植群的分佈，而地上植群同時也會影響土壤的化育，國內相關研究數據仍十分缺乏。諸多研究主題尚待一一釐清探討，比如植物根系在土壤中進行養分的吸收，枯落物在土壤中的分解速率，土壤中微生物的種類與量，甚至土壤中的碳庫含量以及土壤呼吸量等等。此外菌根(mycorrhiza)共生也是本試驗地植物適應環境的重要機制之一，相信具有特殊又重要的角色，為日後本研究的重要土壤生物特性之一。

關鍵詞：雪山、森林土壤、土壤養分

Abstract

Nutrient cycling and energy transfer are the two major functions of the ecosystem, and the soil play an important role. Soil can be regarded as the center of ecological functions. Alpine ecosystem with special climatic conditions, the unique geographical location, thus nurturing a special vegetation, the nutrient cycling, or energy transfer mechanism is quite different from the forest ecosystem in general, want to understand the function of mountain ecosystems and the mechanisms for soil survey is to explore the most basic. The main peak of the plan choices along the line of Syue-Mountain and grassland, forest and land cirque three soil as the main collection point, three main points of the acquisition, coupled with the needs of other sub-project; select the six soil samples at including sampling and soil litter layer, nutrient analysis conducted. Chica-Cabin and Crying-Slope sampling points both showed very acidic soil, soil pH is higher than the underlying soil surface. Soil organic carbon content higher than those of Taiwan's other forest soil. Total soil nitrogen, a suitable concentration of normal, but soil available phosphorus is the apparent lack of a phenomenon, soil cation exchange capacity (CEC) are very high, but the exchangeable sodium, calcium and magnesium are very low. Crying-Slope grass soil and Syueshan cirque with stone rate from 16.01% to 17.75%, Chica-Cabin with the soil is almost no amount of stone. Crying-Slope of total soil volume containing the root of 0.74 kg/m²; Chica-Cabin content of 1.63 kg/m². Soil properties will affect the distribution of vegetation, ground vegetation and soil at the same time will also affect the soil genesis, the relevant research data are still lacking. Many research topics to be explored one by one to clarify.

Key words: Syue Mountain, forest soil, soil nutrient

一、研究緣起與背景

養分循環(nutrient cycling)與能量傳遞(energy transfer)為生態系的兩大功能，土壤都扮演著重要的角色。土壤供給植群所需養分，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，所有養分的循環由土壤開始，最後也回歸土壤；綠色植物吸收光能，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，最終再回歸地面，經由微生物分解作用，消失於土壤中。因此，土壤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，因此養分循環或能量傳遞的機制迥異於一般的森林生態系，欲瞭解高山生態系的功能與機制，對土壤的研究調查是為最基礎之探討。

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性差異。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便亦的重要影響因素。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., 1999)，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子(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(Korner, 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。

二、研究設計

(一)研究地點

本計畫之研究過程及方法如下：

選擇雪山主峰線沿線的七卡、哭坡、火燒地、黑森林及圈谷等五處為主要的土壤採集點，在五處主要的採集點外，配合其它子計畫之需，可另選擇其他土壤採樣點。土壤採樣包括枯枝落葉層與土壤層。採樣地點以全球衛星定位系統(global position system, GPS)加以定位，樣點座標分別為：七卡(279047, 2697521)、哭坡(278196, 2698311)、火燒地(275836, 2698477)、黑森林(274545, 2698516)及圈谷(274060, 2698114)。採樣方法為利用鐵絲分別圍成直徑 50 cm (用於取枝葉層)及 25 cm (用於取土壤層)的圓形鐵圈，將此鐵圈固定於林地上，分別取枝葉層及土壤層。枝葉層部分分為二部分，分別為枯枝落葉層(L)，較完整的枯枝落葉；以及半分解層(F)，經分解過的枯枝落葉，和已經分解但已無法辨識其為何種組成的碎狀物質腐植層(H)，將此二層裝入紙袋中帶回實驗室，經 7 天 65°C 烘乾秤重、磨粉，進行養分分析。取完枯枝落葉層之後，以採土圓筒採樣，分為三層 0~10 cm、10~20 cm 及 20~40 cm 不同深度的土壤，取樣時同時將鐵圈範圍內各層的

石頭及根系一併帶回實驗室，測其含石量及含根量。另外各層中取約 250 g 的土壤帶回實驗室進行養分分析，分析項目包含 pH 值、凱氏氮、有機質、有效磷、可交換性陽離子(鉀、鈉、鈣及鎂)與 C.E.C.。其中根系部分的養分分析項目同上述枯落物分析項目，養分測定後的濃度換算成重量百分比，計算土壤養分庫層的養分含量。



選定樣點後首先清除地表活的植被，之後蒐集地表枯落物



以採土圓桶採集土樣測定土壤容積密度



以排水法測定石頭體積



測定石頭排水體積



分層採取土壤樣本



哭坡箭竹草生地採集點

(二)分析方法

1. 枝葉層及根部之養分分析

氮、碳及硫含量測定：土壤採樣時所取的枝葉層及根部的養分元素氮、碳含量的測定，均是秤取約 15 mg 的乾燥樣本，以元素分析儀(Element Analysis, elementar vario EL, EA)測定。磷、鉀、鈉、鈣、鎂測定：採用硫酸—過氧化氫分解法(Moore and Chapman, 1986)。秤取 0.4 g 的乾燥樣本置於消化管，加入 4.4 mL 的分解液(0.42 g Se 及 14 g $\text{LiSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 加入 350 mL H_2O_2 及 420 mL conc. H_2SO_4)，將消化管放入分解爐中，於 375°C 消化約 2 小時，至溶液澄清後定積至 100 mL，再以 Whatman No.42 濾紙過濾。取出的濾液，最後以感應耦合電漿光譜分析儀(Inductively-Coupled Plasma Emission Spectrophotometer, ICP-AES)測定其鉀、鈉、鈣、鎂、磷濃度。

2. 土壤層之養分分析

土壤 pH 值：土壤用 H_2O 以 1 : 2.5 (v/v)比例混和，攪拌過夜後以酸鹼值測定儀(Microprocessor pH meter pH 196)測定(McLean, 1982)。土壤凱氏全氮測定：以 Semimacro Kjeldhal 法測定(MacDonald, 1977)。取 0.5 g 處理好的土樣置於消化管中，加 1.1 g 催化劑(K_2SO_4 : CuSO_4 : Se = 100 : 10 : 1 重量比)，然後加入 10 mL 的濃硫酸，把消化管放入分解爐中，於 375°C 的溫度消化約 2 小時，至溶液呈灰白色，待冷卻定積至 100 mL。並自 100 mL 的樣液中取出 50 mL 至凱氏氮蒸餾裝置內，加入過量 40 % NaOH ，以 20 mL 2 % H_3BO_3 為接受劑，直至捕捉液達 50 mL 後，再以 0.05 N H_2SO_4 滴定。土壤有效磷含量：採鉬藍法測定(Olson and Sommer, 1982)。取 1 g 處理好的土樣置於 50 mL 角錐瓶中，加入 7 mL 抽出液(15 mL 1 N NH_4F 加 25 mL 0.5 N HCl 加 H_2O 定積至 500 mL)搖盪 1 min. 後，以 Whatman No. 42 濾紙過濾。取 2 mL 濾液，加入 5 mL H_2O 及 2 mL 鉬酸鉍(15 g $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 加 350 mL H_2O ，緩慢加入 350 mL 10 N HCl 攪拌，定積至 1000 mL) 均勻混合加入 1 mL 氯化亞錫稀釋液，再以分光光度計(spectrometer; Hitachi U-2000)於波長 660 nm 下測定。土壤可置換性陽離子及 C.E.C：利用中性醋酸鉍法分析(Rhoades, 1982)。取 5 g 處理好的土樣置於 250 mL 角錐瓶中，加入 100 mL 醋酸鉍(調 pH 至 7.0 的 1 N NH_4OAc 溶液)，搖盪過夜 30 min 靜置，以約 100 mL 醋酸鉍溶液過濾，定積至 200 mL，此部份濾液以感應耦合電漿光譜分析儀(ICP-AES)，測定可置換性陽離子含量。另外，土樣再經酒精淋洗，再以 190 mL 10 %氯化鈉溶液淋洗，收集濾液並定積至 200 mL，取 100 mL 濾液以凱氏氮裝置進

行蒸餾、滴定，用以計算陽離子置換容積(C.E.C.)含量。土壤有機質：採濕消化法(Walkley-Black procedure) (MacDonald, 1977)。取 1-2 g (依土壤層有機質含量而定)處理好的土樣置於 500 mL 角錐瓶中，加入 10 mL 重鉻酸鉀、20 mL 濃硫酸，立即緩慢搖晃 1 min，待角錐瓶靜置約 30 min，再加入 150 mL 水、85 %磷酸 10 mL 及指示劑(0.025 M Ferroin)，在電磁攪拌器上以 0.2 N 硫酸亞鐵液滴定。



土壤全氮消化



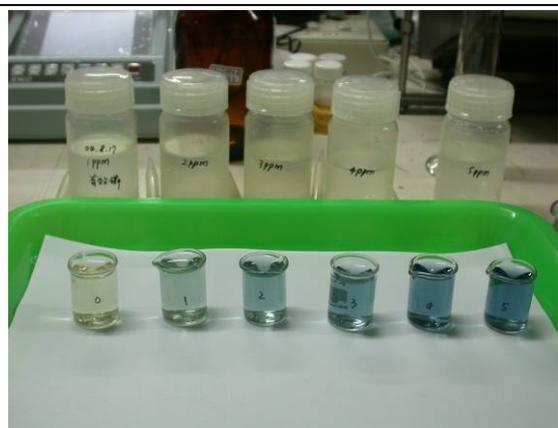
土壤全氮蒸餾



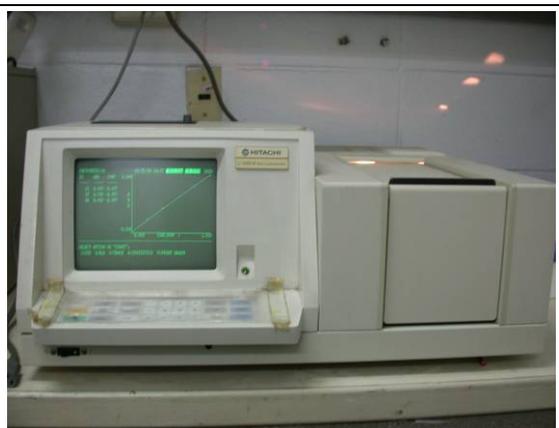
土壤全氮滴定



雙酸法萃取土壤有效磷



土壤有效磷標準曲線配置



分光光度計測土壤有效磷



以 1 N NH_4AOC 置換土壤陽離子



土壤置換性陽離子試驗



土壤置換性陽離子定積後過濾進行分析



定量 Cr_2O_7 進行土壤有機質測定



砂盤加溫至 150°C 氧化土壤中有機碳



滴定土壤有機質

三、結果

本計畫之採樣點選擇 5 處土壤採樣點，依海拔高度遞增分別為七卡(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)。共計赴雪山採樣 5 次，唯因氣候之關係，僅有 3 次完成完整的採樣。

(一)土壤分析

土壤物理性質分析結果顯示，表 1 為雪山主峰線依海拔高度遞增分別為七卡、哭坡、火燒地、黑森林及圈谷各採樣點土深與土壤容積、土壤含石率及含根量之關係。在土壤垂直剖面上，0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm 之土壤容積密度分別約在 0.26~0.87 g/cm³、0.55~1.14 g/cm³、0.60~1.24 g/cm³ 之間，顯示不同土層間土壤容積密度有差異，有隨土層深度上升而上升之趨勢，各土層深度以圈谷的土壤容積密度最大。在土壤總含石率方面，以七卡 0.98~3.58%為最低，哭坡 10.03~25.54%次之，圈谷 16.43~19.74%為最高，整體而言土壤含石量分布並不均勻。土壤總含根量，以圈谷 0.27 kg/m²(40 cm 土深)為最低，七卡土壤總含根量 1.63 kg/m² 最高，黑森林 1.16 kg/m² 次之，哭坡與火燒地相似，各為 0.74 與 0.75 kg/m²。

表 3-1 雪山主峰線各採樣點不同土深之土壤容積、土壤含石率及含根量

	土深 (cm)	土壤容 積密度 (g/cm ³)	分層含 石率(%)	40 cm土深 總含石率 (%)	分層根量 (g)	40 cm土深 總根含量 (kg/m ²)
七卡	0~10	0.59	0.98		27.18	
	10~20	0.65	1.35	2.33	4.94	1.63
	20~40	0.68	3.50		19.02	
哭坡	0~10	0.44	25.54		14.51	
	10~20	0.71	18.58	16.01	7.05	0.74
	20~40	0.74	10.03		1.74	
火燒地	0~10	0.47	5.13		18.47	
	10~20	0.79	11.82	6.28	3.08	0.75
	20~40	0.76	4.10		2.00	
黑森林	0~10	0.76	6.09		27.26	
	10~20	0.85	3.62	4.95	5.53	1.16
	20~40	0.83	5.05		3.60	
圈谷	0~10	0.80	19.74		6.41	
	10~20	1.10	16.43	17.75	0.79	0.27
	20~40	1.21	17.43		1.43	

土壤化學性質分析結果顯示，七卡、哭坡、火燒地、黑森林及圈谷所有採樣點土壤 pH 皆呈極酸性，尤其七卡採樣點的森林土壤呈極酸性(pHH₂O 3.65~4.11，pHKCl 2.63~2.94)，隨土壤深度增加，土壤 pH 呈下降之勢(圖 1 及圖 2)。

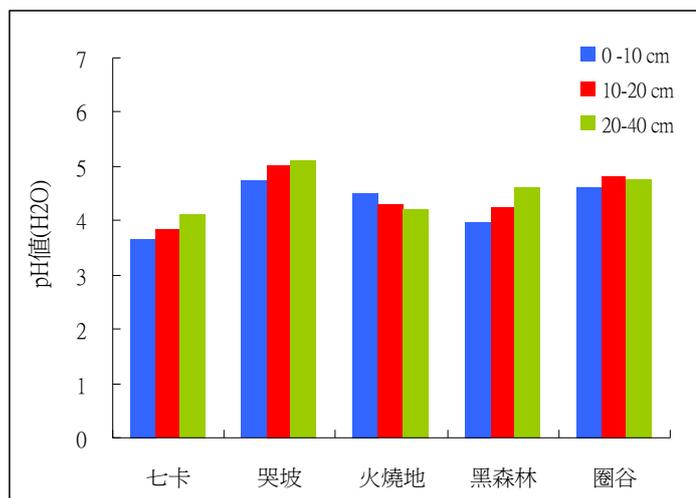


圖 3-1 雪山主峰線各採樣點土壤 pH 值(H₂O)。

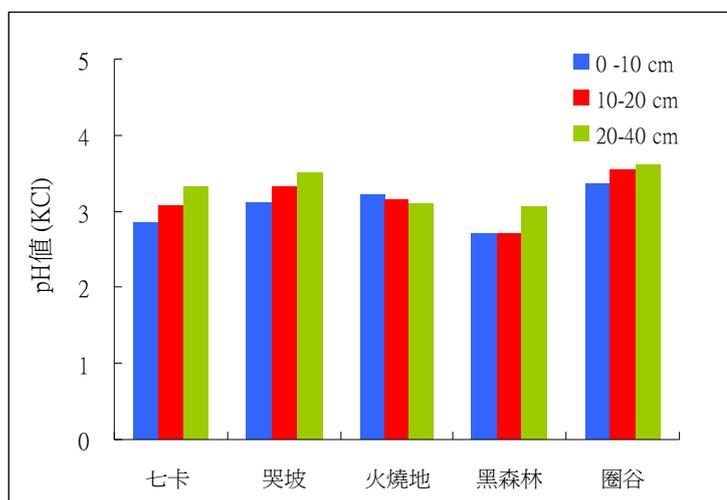


圖 3-2 雪山主峰線各採樣點土壤 pH 值(KCl)。

土壤全氮量結果顯示(圖 3)，雪山主峰線各採樣點土壤全氮量隨著土壤深度增加而降低。0~10 cm 土壤全氮量以七卡 1.26 % 為最高，火燒地 0.98 % 次之，黑森林 0.42 % 最低；10~20 cm 土壤全氮量則以哭坡 0.58 % 最高，圈谷 0.27 % 最低；20~40 cm 土壤含氮量以火燒地 0.12 % 最低。

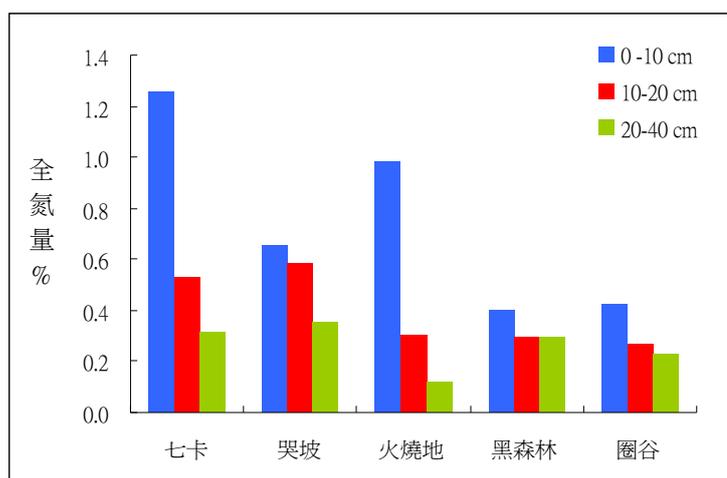


圖 3-3 雪山主峰線各採樣點土壤全氮量(%)。

土壤有效磷在所有的採樣點中皆呈極低值(圖 4)，在土壤深度 0~10 cm 中，土壤有效磷濃度明顯高於其他土壤深度層次，其中以七卡有效磷濃度為 17.43 ppm 及黑森林土壤有效磷濃度為 21.22 ppm 呈較高的情況，其他隨著土壤深度遞增土壤有效磷有逐漸降低的趨勢，顯示本區土壤普遍呈磷缺乏現象。

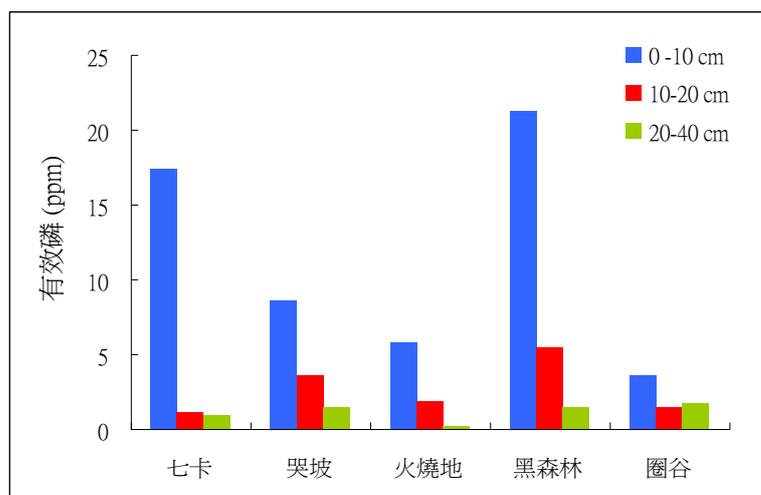


圖 3-4 雪山主峰線各採樣點土壤有效磷(ppm)。

土壤陽離子置換能量 (CEC) 在雪山主峰線各採樣點都呈現極高值，以七卡樣點土壤深度 0~10 cm 中 CEC 範圍在 76.25 m.e./100 g 最高，火燒地 57.95 m.e./100 g 次之，圈谷 20.83 m.e./100 g 最低；土壤深度 10~20 cm 中 CEC 範圍在 14.48~42.31 m.e./100 g 之間；土壤深度 20~40 cm 中 CEC 範圍在 12.62~39.05 m.e./100 g 之間，土壤陽離子置換能量隨著土壤深度增加有降低的趨勢。

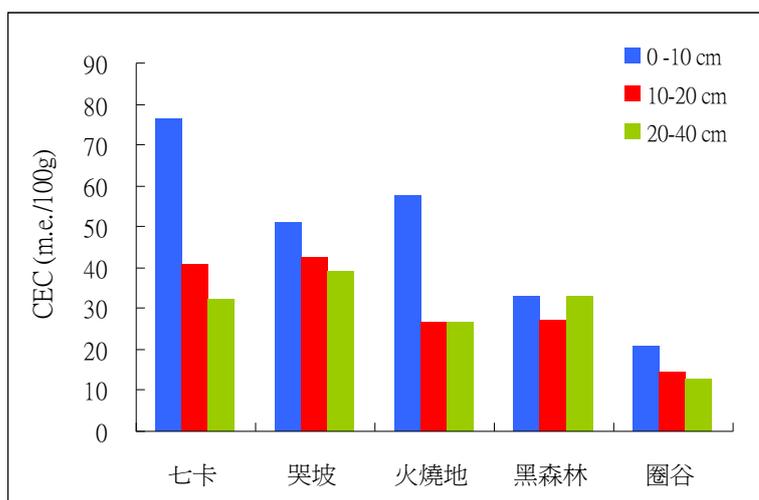


圖 5 雪山主峰線各採樣點土壤 CEC(m.e./100g)。

土壤置換性陽離子 Na、Mg 及 Ca 濃度在雪山主峰線各採樣點中濃度很低，置換性 Na (圖 6) 在各土壤層次並無明顯趨勢，土壤深度 0~10 cm 中各樣點置換性 Na 濃度範圍為 0.003~0.021 m.e./100 g 之間，土壤深度 10~20 cm 中各樣點置換性 Na 濃度範圍為偵測不到至 0.021 m.e./100 g 之間，土壤深度 20~40 cm 中各樣點置換性 Na 濃度範圍為偵測不到至 0.028 m.e./100 g 之間。

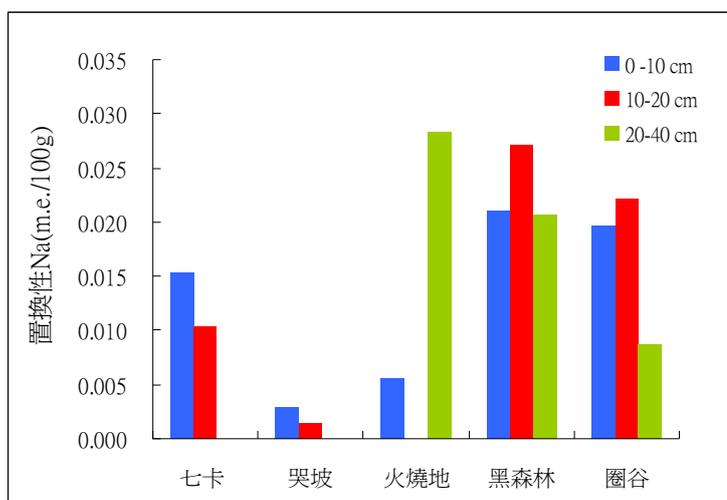


圖 3-6 雪山主峰線各採樣點土壤置換性 Na (m.e./100g)。

土壤置換性 Ca (圖 7) 隨著土壤深度增加而下降趨勢。土壤深度 0~10 cm 中以黑森林 0.538 m.e./100 g 最高，七卡 0.525 m.e./100 g 次之，圈谷 0.044 m.e./100 g 最低；土壤深度 10~20 cm 中以哭坡 0.229 m.e./100 g 最高，黑森林 0.148 m.e./100 g 次之，圈谷 0.024 m.e./100 g 最低；土壤深度 20~40 cm 則以圈谷 0.014 m.e./100 g 最低。圈谷置換性 Ca 濃度在不同土壤深度都是呈現最低值。

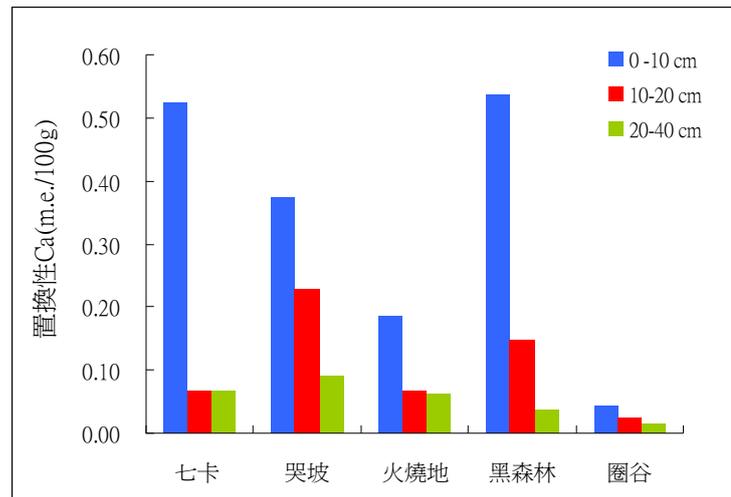


圖 3-7 雪山主峰線各採樣點土壤置換性 Ca (m.e./100g)。

土壤置換性 Mg (圖 8) 隨著土壤深度增加而下降。土壤深度 0~10 cm 中以七卡 0.150 m.e./100 g 最高，火燒地 0.139 m.e./100 g 次之，圈谷 0.036 m.e./100 g 最低；土壤深度 10~20 cm 以七卡和火燒地 0.039 m.e./100 g 最高，圈谷 0.016 m.e./100 g 最低；土壤深度 20~40 cm 則以圈谷 0.013 m.e./100 g 最低。圈谷置換性 Mg 濃度在不同土壤深度都是呈現最低值，與置換性 Ca 有相同趨勢。

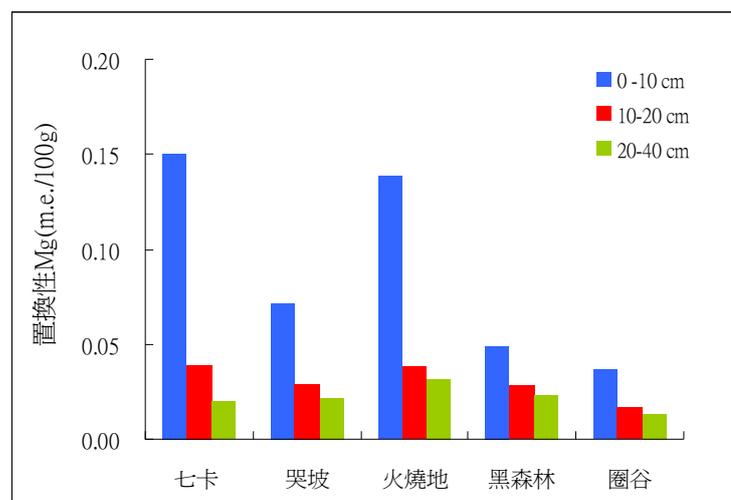


圖 3-8 雪山主峰線各採樣點土壤置換性 Mg (m.e./100g)。

土壤有機碳分析結果顯示（圖 9）七卡採樣點的土壤有機碳高於雪山主峰線各採樣點，尤其在 0~10 cm 有機碳含量達 24.22%，屬極高的有機碳含量，土壤有機碳含量同樣隨土壤深度增加而呈遞減之勢，在土深 20~40 cm 處土壤有機碳含量僅有 2.10~9.61%。

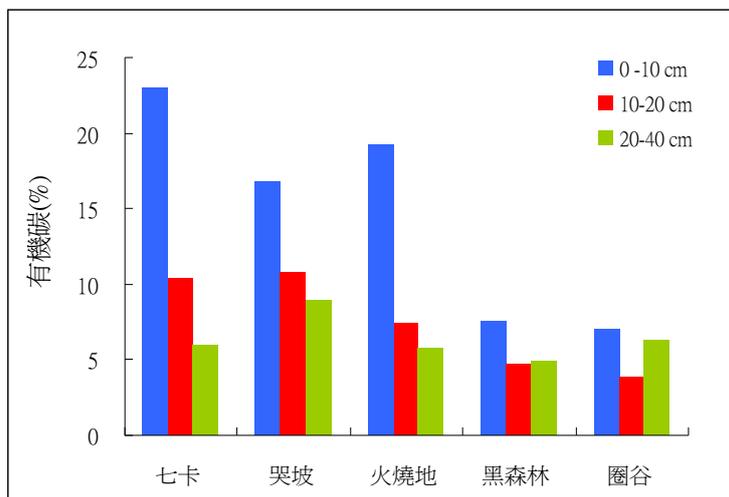


圖 3-9 雪山主峰線各採樣點土壤有機碳(%)。

(二)植體分析

植體養分分析分為根部與枯落物兩大部分。雪山主峰線各採樣點根部氮含量分析中(圖 10)，土壤深度 0~10 cm 根部含氮量為 0.53~0.89 %之間，土壤深度 10~20 cm 中根部含氮量為 0.45~1.15 %之間，土壤深度 20~40 cm 中根部含氮量為 0.60~0.80 %之間，植體氮含量與土壤深度並無相關趨勢。

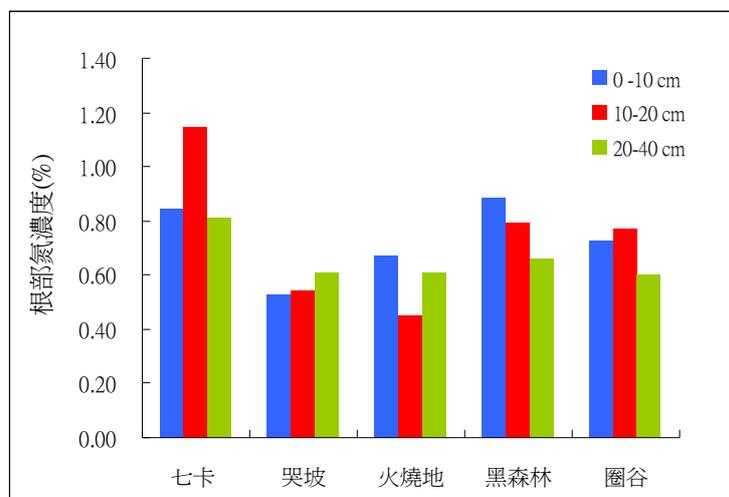


圖 3-10 雪山主峰線各採樣點根部氮濃度(%)。

雪山主峰線各採樣點根部碳含量分析(圖 11)，以七卡根部碳含量最高，火燒地最低。土壤深度 0~10 cm 根部碳含量為 48.04~44.67 %之間；土壤深度 10~20 cm 根部碳含量為 43.19~47.28 %之間，土壤深度 20~40 cm 中根部碳含量為 41.56~50.57 %之間，植體碳含量與土壤深度並無明顯相關趨勢。

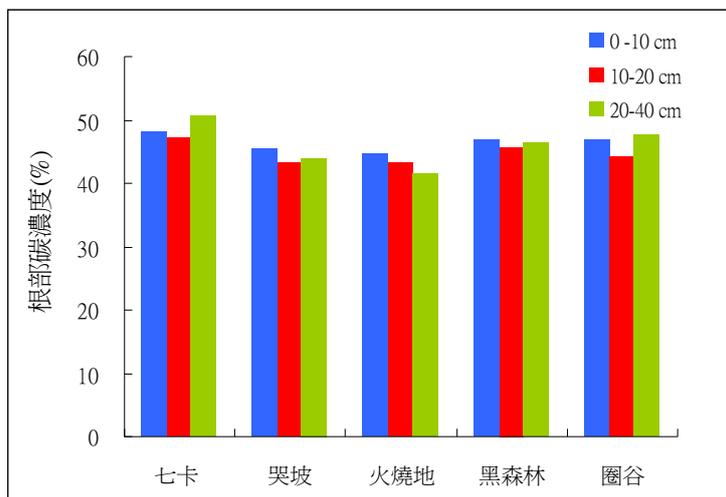


圖 3-11 雪山主峰線各採樣點根部碳濃度(%)。

雪山主峰線各採樣點根部 Na 養分分析(圖 12)，土壤深度 0~10 cm 根部 Na 養分濃度為 0.096~0.208 %之間；土壤深度 10~20 cm 根部 Na 養分濃度為 0.251~0.146 %之間，土壤深度 20~40 cm 根部 Na 養分濃度為 0.060~0.282 %之間，植體 Na 養分濃度與土壤深度並無明顯相關趨勢。

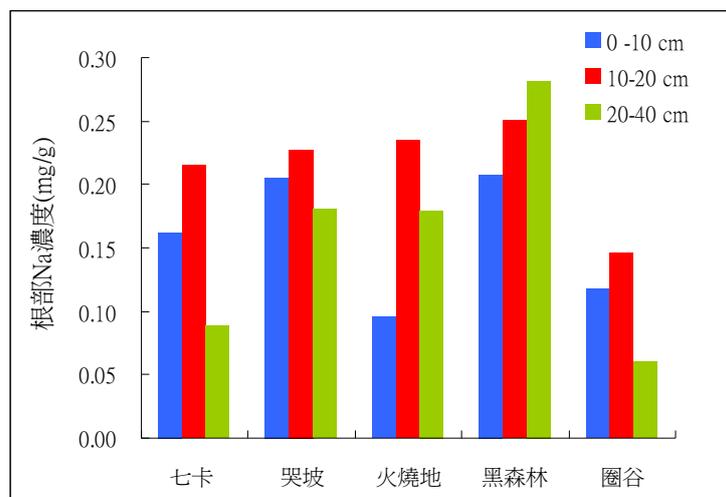


圖 3-12 雪山主峰線各採樣點根部 Na 濃度 (mg/g)。

雪山主峰線各採樣點根部 Ca 養分分析(圖 13), 植體 Ca 養分濃度隨著土壤深度增加有下降的趨勢。土壤深度 0~10 cm 中根部 Ca 養分濃度為 0.905~2.789 % 之間; 土壤深度 10~20 cm 中根部 Ca 養分濃度為 0.351~2.202 % 之間, 土壤深度 20~40 cm 中根部 Ca 養分濃度為 0.103~1.601 % 之間, 植體 Ca 養分濃度以黑森林根部養分最高, 火燒地養分最低。

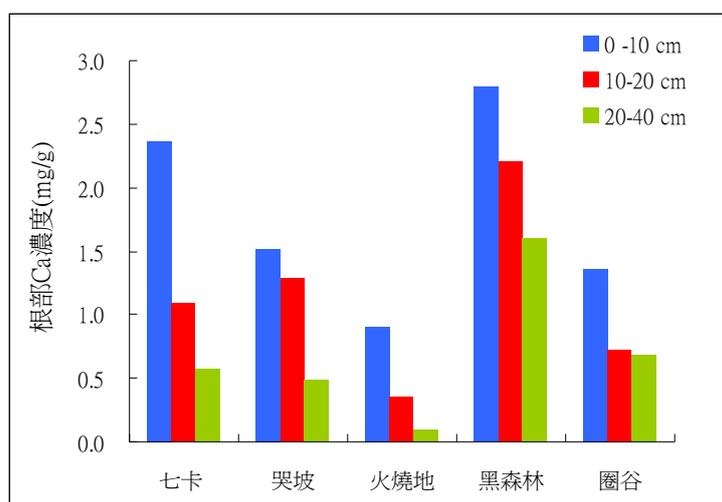


圖 3-13 雪山主峰線各採樣點根部 Ca 濃度 (mg/g)。

雪山主峰線各採樣點根部 Mg 養分分析(圖 14), 植體 Mg 養分濃度與土壤深度並明顯相關。土壤深度 0~10 cm 中根部 Mg 養分濃度為以七卡 0.640 % 最高, 火燒地 0.248 最低; 土壤深度 10~20 cm 中根部 Mg 養分濃度以 0.362 % 最高, 火燒地 0.198 % 最低, 土壤深度 20~40 cm 中根部 Mg 養分濃度以黑森林 0.265 % 最高, 七卡 0.170 % 最低。

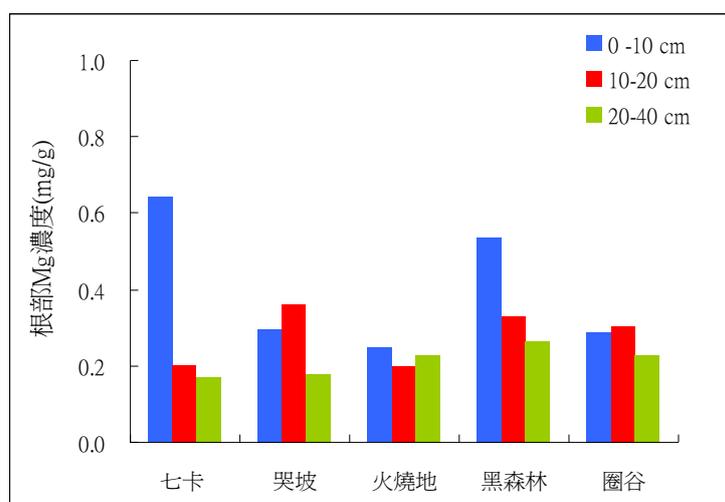


圖 3-14 雪山主峰線各採樣點根部 Mg 濃度 (mg/g)。

表 2 為雪山主峰線各採樣點枯落物層含量，七卡採樣點枯枝落葉總重量為 1.03 ± 0.44 kg/m²，哭坡採樣點為 0.36 ± 0.12 kg/m²，火燒地採樣點為 0.99 ± 0.14 kg/m²，黑森林採樣點為 0.56 ± 0.15 kg/m²，圈谷採樣點為 0.51 ± 0.23 kg/m²。平均而言，第二次採樣(8月時)的枯落物量比第一次採樣(7月)低，推測是颱風所造成的影響。

表 3-2 雪山主峰線各採樣點枯落物層含量(kg/m²)

採樣點	七卡	哭坡	火燒地	黑森林	圈谷
枯落物層含量	1.03 ± 0.44	0.36 ± 0.12	0.99 ± 0.14	0.56 ± 0.15	0.51 ± 0.23

四、討論

土壤的形成與氣候(climate)、母岩(nature of parent material)、地形(topography)、生物(living organisms)與時間(time)因素息息相關，土壤形成之始主要受前面三者所主導，之後有生物的存在，開始有了養分循環與能量傳遞的現象，漸漸改變了土壤性質，經過長時間的累積，發育成不同型態的土壤特性。本研究區生態條件與一般森林迥異，具有特殊的氣候條件，也具有一些特殊的植群分佈，因此土壤特性值得深入採樣分析探討。

就目前七卡與哭坡採樣點所得的土壤特性分析而言，土壤皆呈極酸性，底層土壤 pH 高於表層土，顯然酸性來源來在表土，是降雨而來（酸雨現象）？或是地表枯枝落葉分解有機酸而來？尚須其它研究項目加以釐清，然而在火燒地，土壤 pH 與土壤深度的變化恰巧与其它採樣點不同，土壤越深處 pH 越低，顯然因火燒之關係，殘留地表的灰燼提高了土壤 pH 值。

本試驗地土壤中有機碳含量高於台灣其它森林土壤的含量，符合高山土壤或是寒帶土壤的特性，由於低溫現象，枯枝落葉分解速率慢，容易累積較高的碳於土壤中，越向下層土壤有機碳含量越低。土壤全氮在所有樣點中，都呈現正常適宜的濃度，對地上植群而言應無缺氮現象，然而土壤有效磷則呈現明顯缺乏現象，土壤中有有效磷的供應若低於 7 ppm 即屬明顯缺乏現象，僅有在七卡、哭坡與黑森林的 0~10 cm 中有有效磷高於 7 ppm，分別為 17.43、8.58 與 21.22 ppm。本試驗地土壤有機碳屬高的情況下，土壤有效磷的供應應能滿足植物所需，但在本區土壤中並非如此，推測應由於本區過低的 pH，使土壤中有有效磷被鐵、鋁所固定，

即所謂的磷酸之化學固定作用(chemical fixation of phosphate)，至土壤呈現極低的有效磷。七卡與哭坡採樣點所得的土壤陽離子置換能量(CEC)都極高，但是置換性鈉、鈣、鎂都很低，這些形成之因相信與本區土壤的pH過低有關。

七卡與哭坡的箭竹草生地土壤含石率，雖然有些樣點在土壤深度上的分佈呈現低層較高現象，但全體土壤的含石量差異不大(哭坡總含石量 11.4%~14.0%)，七卡的森林土壤含石量極低，兩者間的極端現象，火燒地與黑森林的含石量差異不大(總含石量 6%~100%之間)，圈谷含石量則與哭坡含石量相似。全樣區七卡含石量最少，火燒地與黑森林次之，哭坡與圈谷含石量最高。

哭坡的 2 處採樣點土壤中含根量，呈現差異，哭坡 1 的 10~20 cm 及 20~40 cm 土深處含根量急速減少，至總含根量分別為 594 g/m² 與 712 g/m²；七卡處的採樣點土壤中含根量，則呈現一致的現象，總根含量也相近，分別為 786 g/m² 與 746 g/m²。土壤中含根量與海拔高、氣候與植群種類有關，需要更多土壤分析數據進行統計分析。

五、結論與建議

本調查的5處樣點，土壤性質分析結果顯示，具有極大差異性，本區的植群、地形、氣候與土壤特性的關係密切，有待更多的分析數據加以整併探討。

土壤特性可分為物理性、化學性、生物性，這些特性與植群關係密切，土壤特性會影響植群的分佈，而地上植群同時也會影響土壤的化育，高山地區影響土壤形成的因子不同於平地地區，至今國內相關研究數據仍十分缺乏。土壤為養分循環與能量傳遞的重要場所，許多的生態機制都在土壤中進行，因此諸多研究主題尚待一一釐清探討，比如植物根系在土壤中進行養分的吸收，枯落物在土壤中的分解速率，土壤中微生物的種類與量，甚至土壤中的碳庫含量以及土壤呼吸量等等。

菌根(mycorrhiza)共生是植物適應環境的重要機制之一，本試驗地土壤特性顯出極酸性以及嚴重缺磷現象，在這些不利植生的條件下，仍有豐富植群的分佈，顯然這些天然分佈植群定有特殊能耐克服生育地逆境。每年6-7月雨季時，雪山主線沿路可見共生的菌根菌(mycorrhizal fungi)子實體大量出現，這些菌根菌對植群的養分吸收與循環，相信具有特殊又重要的角色，為日後本研究的重要土壤生物特性之一。

六、參考文獻

- Birkeland, P. W. (1984) *Soils and Geomorphology*. Oxford Univ. Press, New York, NY, USA.
- 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.
- 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.
- Rhoades, J. T. (1982) Cation exchange capacity. In A. L. Page et al (eds.) *Methods of soil analysis*. Part 2. 2nd 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, NY, 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.
- 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 維管束植物調查及植相研究

中文摘要

一、研究緣起

本計劃針對雪霸國家公園雪山主峰線高山生態系之所有維管束植物相進行調查，除建立完整植物清單外，並分析各分類群之生物學特性及其分布、生育地、植群型等資料，以及保育評估。嘗試進行雪山地區高山生態系與臺灣其他高山生態系之比較，並提供爾後自然保育、經營管理及長期監測之基礎參考資料。

二、研究地區與方法

本研究主要真針對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2140 m)至雪山主峰(海拔3886 m)，以三六九山莊(海拔3100 m)以上之黑森林與雪山圈谷等為重點調查區域，為求得更完整之資料，若有必要，另拓及其周遭之環境，包含雪山北峰等地。調查工作乃植基於研究地區之植物資源清單調查，並利用調查資料內不同屬性如植物種類、習性、外觀形態、景觀屬性、伴生植物、物候週期等，建立資料庫。

三、成果

共記錄維管束植物95科575種，包括蕨類植物20科96種，佔總數16.7%；裸子植物4科11種，佔總數1.9%；雙子葉植物64科368種，佔總數64%；單子葉植物7科100種，佔總數17.4%。種數排行前10科依序為菊科(56種)、禾本科(40種)、薔薇科(37種)、鱗毛蕨科(30種)、蘭科(23種)、毛茛科(20種)、莎草科(16種)、杜鵑花科(14種)、唇形科(14種)、忍冬科(13種)、蹄蓋蕨科(13種)、石竹科(13種)及水龍骨科(13種)。

特有性方面，臺灣特有種有213(37.7%)種，而外來種只有10種，佔1.7%。依據國際自然保育協會(IUCN)保育評估準則，本研究區內初步評估將伊澤山龍膽(*Gentiana itzershanensis*)列入瀕危級(Endangered, EN)，紅檜(*Chamaecyparis formosensis* Matsum.)、疏葉珠蕨(*Cryptogramma stelleri* (Gmel.) Prantl)、鱗葉石松(*Lycopodium sieboldii* Miq.)、黃山蟹甲草(*Parasenecio hwangshanicus* (Ling) C.-I Peng & S. W. Chung)、臺灣雲杉(*Picea morrisonicola* Hayata)、臺灣稠李(*Prunus*

obtusata Koehne)、高山破傘菊(*Syneilesis subglabrata* (Yamam. & Sasaki) Kitam.)、扇羽陰地蕨(*Botrychium lunaria* (L.) Sw.)等8種列入易危級(Vulnerable, VU)，能高籟簫(*Anaphalis royleana* DC.)、雪山馬蘭(*Aster takasagomontanus* Sasaki)、大武貓兒眼睛草(*Chrysosplenium hebetatum* Ohwi)、臺灣白木草(*Comanthosphace formosana* Ohwi)、南湖碎雪草(*Euphrasia nankotaizanensis* Yamamoto)、川上氏忍冬(*Lonicera kawakamii* (Hayata) Masamune)、杉葉蔓石松(*Lycopodium annotinum* L.)、錫杖花(*Monotropa hypopithys* L.)、阿里山櫻花(*Prunus transarisanensis* Hayata)、線葉鐵角蕨(*Asplenium septentrionale* (L.) Hoffm.)、無梗忍冬(*Lonicera apodonta* Ohwi)、細葉杜鵑(*Rhododendron noriakianum* T. Suzuki)等12種列入近危級(Near Threatened, NT)。就臺灣高山生態系生物多樣性的保存與利用而言，雪山地區的植物相保育研究可作為重要參考依據。

四、結論與建議

- (一)雪山主峰線外來入侵物種，貓耳葉菊已入侵至海拔3,000m的哭坡，推測未來將會再向雪山東峰擴展，本種菊科植物原產歐洲，繁殖能力強，適應力亦強，對雪霸國家公園高山生態，將造成相當的衝擊。
- (二)本研究區內，經保育評估之後，伊澤山龍膽列為瀕危級，本種為臺灣特有種，亦為雪霸國家公園之特有種，除了雪霸國家公園境內之外，未曾在臺灣其它各地有採集記錄，因多分布在登山步道兩旁的箭竹林及碎石坡中，容易受到人為干擾，故急需採取保育措施。

關鍵詞：雪霸國家公園、高山生態系、維管束植物、植相

Abstract

This study was conducted at Sheshan area to survey the alpine vascular floras, including inventory, flora analysis, distribution, habitat, vegetation type and conservation evaluation. Comparing the alpine ecosystem of Sheshan area with other alpine ecosystem of Taiwan to support for conservation, management and long-term monitoring. A total of 575 species of vascular plants have been recorded at Sheshan area so far, 96 species of Pteridophyta, 11 species of Gymnospermae, 368 species of Dicotyledons and 100 species of Monocotyledons were included. The largest ten are Compositae (56 species), Poaceae (40 species), Rosaceae (37 species), Dryopteridaceae (30 species), Orchidaceae (23 species), Ranunculaceae (20 species), Cyperaceae (16 species), Ericaceae (14 species), Labiatae (14 species), Caprifoliaceae (13 species), Athyriaceae (13 species), Caryophyllaceae (13 species) and Polypodiaceae (13 species). The number of endemic species and introduced species are 213 (37.7%) and 10 (1.7%). Based on IUCN threat categories, 575 species of vascular plants, of which *Gentiana itzershanensis* can be classified into endangered(EN), *Chamaecyparis formosensis*, *Cryptogramma stelleri*, *Lycopodium sieboldii*, *Parasenecio hwangshanicus*, *Picea morrisonicola*, *Prunus obtusata*, *Syneilesis subglabrata* and *Botrychium lunaria* can be classified into vulnerable(VU), *Anaphalis royleana*, *Aster takasagomontanus*, *Chrysosplenium hebetatum*, *Comanthosphace formosana*, *Euphrasia nankotaizanensis*, *Lonicera kawakamii*, *Lycopodium annotinum*, *Monotropa hypopithys*, *Prunus transarisanensis*, *Asplenium septentrionale*, *Lonicera apodonta* and *Rhododendron noriakianum* can be classified into near threatened(NT). Ecological conservation of the floras at Sheshan area is essential for preservation of biodiversity and also sustainable use of the plant resource.

Keywords:

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：

(一) 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。

(二) 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。

(三) 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：

- 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。(內政部營建署 2007)

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，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。

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，因此本計畫即針對雪山地區高山生態系之所有維管束植物相進行調查。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、生活型等生物學特性及其分布地點、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。

二、材料與方法

(一) 研究地區

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2140 m)至雪山主峰(海拔3886 m)，以三六九山莊(海拔3100 m)以上之黑森林與雪山圈谷等為重點調查區域，為求得更完整之資料，若有必要，另拓及其周遭之環境，包含雪山北峰等地。

本研究主要之調查工作乃植基於研究地區之植物資源清單調查，並利用調查資料內不同屬性如植物種類、習性、外觀形態、景觀屬性、伴生植物、物候週期等，建立資料庫，茲將調查方法說明如下。

(二) 樣線及樣區設置

本研究蒐集雪霸國家公園調查區域內之空間與屬性資料，包括地理環境、範圍、氣候、地質土壤、造林臺帳、航照圖、像片基本圖以及林班圖等資料，以瞭解區內土地利用型態之變遷及植群及植相之現況，並採用全球衛星定位系統(global position system, GPS)加以定位(所使用之全球衛星定位儀係SOKKIA公司所製造之SOKKIA AXIS3型)。植物調查樣線以雪山主峰線地區之主要道路及步道為調查區域，另考量土地利用型、可及性，以及海拔、地形等環境變化與植物組成之差異，並增設植物取樣樣區。取樣調查範圍如圖4-1。

(三) 植物資源調查

1. 植物資源取樣及普查

利用沿樣取樣法，記錄研究區內所有之維管束植物種類，並記載其各項生物學資料，另進行照片拍攝、植物標本採集等工作，另對於其生育地環境因子進行調查記錄(地形、坡度、坡向、土壤特性等)，以建立雪山高山生態系之植物資源資料庫。

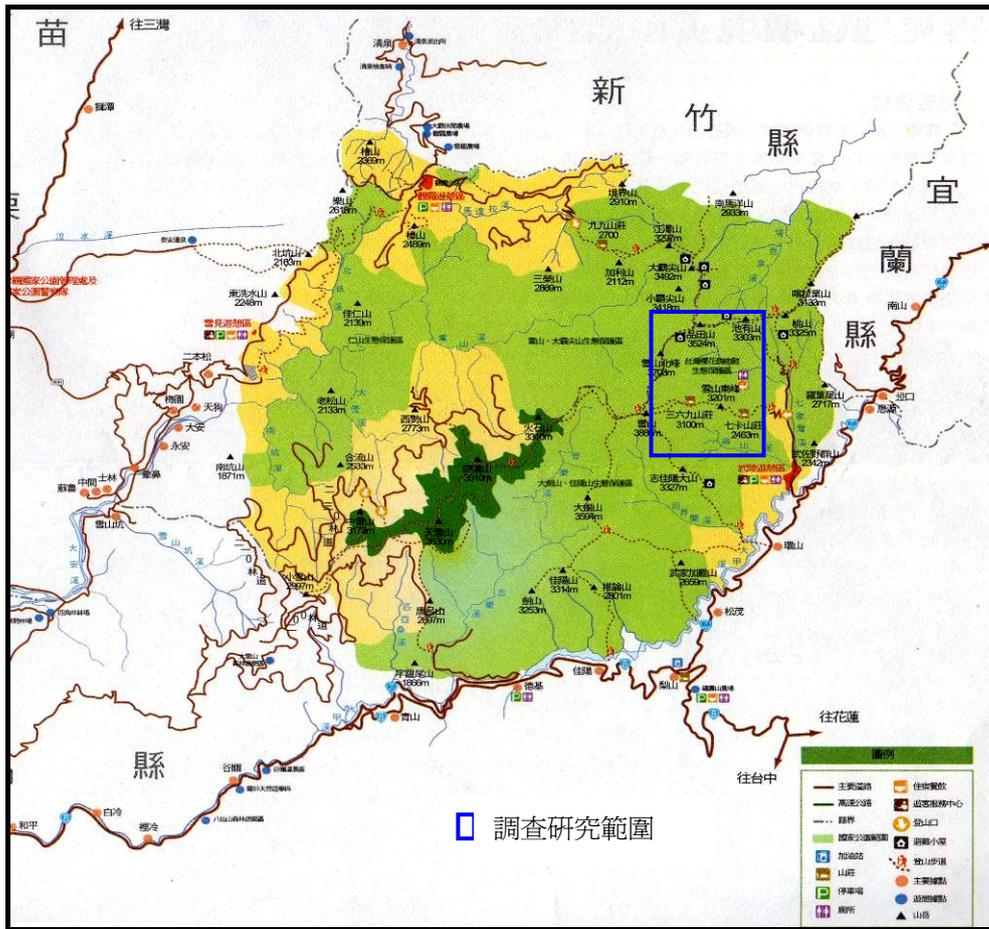


圖 4-1 雪山高山生態系植物相調查主要區域圖。

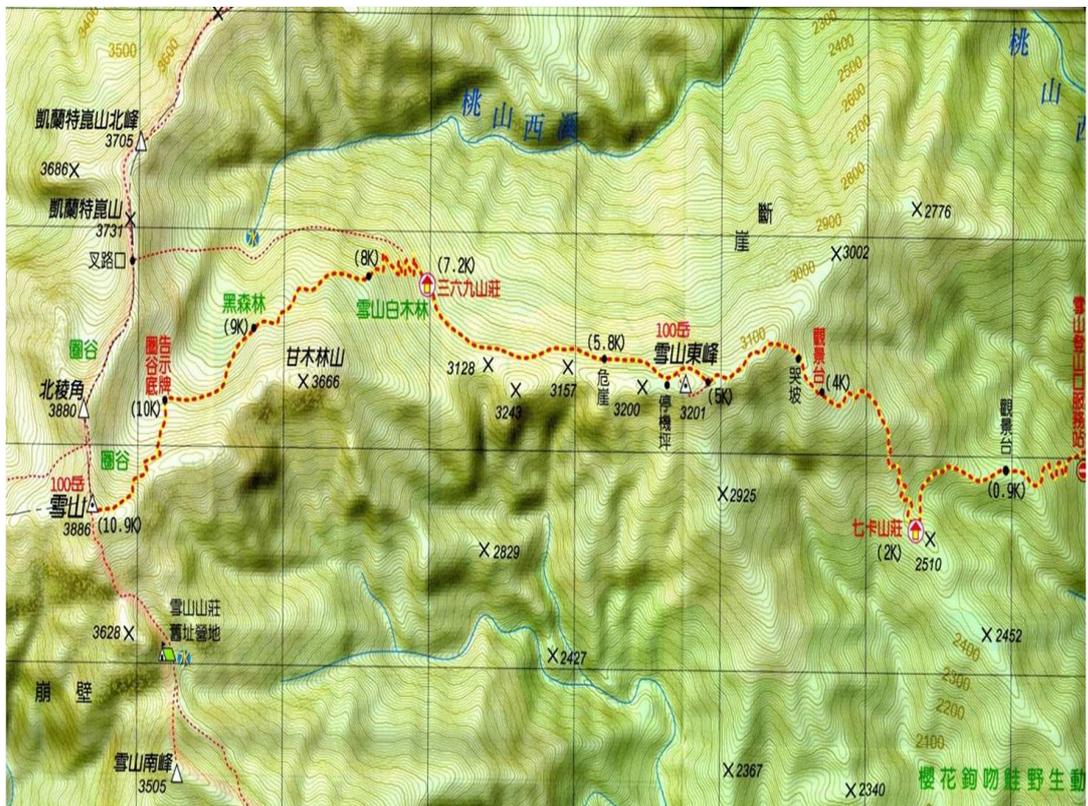


圖 4-2 雪山高山主峰線示意圖。

2. 文獻探討及分析所得之植物資源

利用前人研究及調查資料，統計整理研究區內之維管束植物種類清單，並記載其研究調查出處，以建立雪山高山生態系之植物資源資料庫並提供比對之用。

(四) 資料處理與分析

所記錄之植物種類依國科會出版之「臺灣植物誌」(Flora of Taiwan)第二版為標準，處理不同研究報告間所產生的同物異名(synonyms)等問題，整合調查所得之種類，統計調查區內所有維管束植物種類總數與其來源研究報告記錄依據外，亦分別依科、屬製作植物種類清單(inventory)。其流程如圖3。

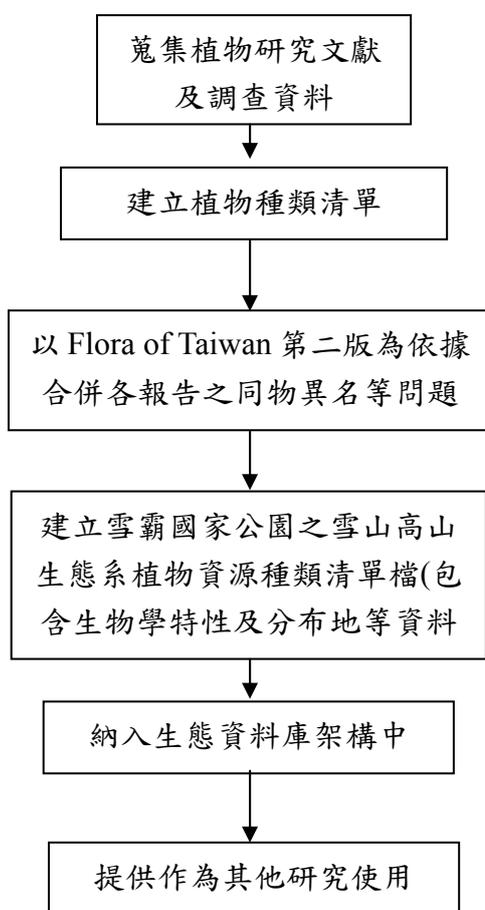


圖 4-3 雪霸國家公園雪山高山生態系植物種類清單之建立流程。

三、結果

- (一)針對研究區範圍及鄰近地區之研究報告進行蒐集，重要參考文獻有 62 篇，其中核心文獻有 4 篇分別為：黃增泉(1987)雪山—大霸尖山地區植物生態資源先期調查研究報告；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；歐辰雄(2008)雪山主峰線臺灣冷杉族群動態監測；徐國士(1994)雪霸國家公園特有及稀有植物之研究。另依所蒐集之文獻內容建置本計畫區內可能出現之維管束植物清單。其中除了雪霸國家公園管理處內部之植物調查記錄外，所整合之研究計畫報告亦納入參考。
- (二)針對臺灣植物誌第二版之資料，蒐集建置可能出現於本研究區範圍內之維管束植物清單，已全數完成資料建立，共記錄 49 科 143 種。
- (三)蒐集臺灣主要標本館有關本研究區範圍之館藏，建置雪山主峰線標本館館藏維管束植物清單，登記標籤基本資料，已完成臺中自然科學博物館 718 份臘葉標本，分屬 292 種；林業試驗所標本館 499 份臘葉標本，分屬 264 種；臺北中研院植物標本館 189 份臘葉標本，分屬 127 種；國立臺灣大學標本館 628 份臘葉標本，分屬 191 種及國立中興大學標本館 466 份臘葉標本，分屬 314 種等五處，檢視歷年來採自本研究區範圍之標本 2,500 份。

表 4-1 臺灣主要標本館典藏有關雪山主峰線標本採集資料收集表

	臘葉標本(份)	分屬(種)
臺中自然科學博物館	718	292
林業試驗所標本館	499	264
臺北中研院植物標本館	189	127
國立臺灣大學生命科學系標本館	628	191
國立中興大學森林系標本館(含本研究調查資料)	466	314

- (四)研究期間共進行 6 次雪山主峰線(登山口至雪山主峰)維管束植物調查(2009 年 2 月 10-14 日、2009 年 3 月 19-21 日、2009 年 5 月 27-29 日、2009 年 6 月 19-22 日、2009 年 8 月 20-26 日、2009 年 10 月 15-18 日、2009 年 11 月 10-14 日)，共記錄 576 種維管束植物，466 採集標號，466 份臘葉標本。

(五)現已記錄 95 科 575 種維管束植物分析結果如下

A、分類層級：

共記錄 575 種維管束植物，包括蕨類植物 96 種，佔總數 16.7%；裸子植物 11 種，佔總數 1.9%；雙子葉植物 368 種，佔總數 64%；單子葉植物 100 種，佔總數 17.4%。本研究區域內所調查的蕨類植物中，以鱗毛蕨科植物最多共 30 種，其次為水龍骨科和蹄蓋蕨科各 13 種，另外石松科有 8 種，而稀有植物共 3 種，其為疏葉珠蕨 *Cryptogramma stelleri* (Gmel.) Prantl、扇羽陰地蕨 *Botrychium lunaria* (L.) Sw.、杉葉蔓石松 *Lycopodium annotinum* L.，其中疏葉珠蕨主要分布在冷杉林內，扇羽陰地蕨、杉葉蔓石松則分佈在雪山圈谷碎石坡；本研究區內的裸子植物共記錄 11 種，其中以松科植物最多，總共有 5 種，在研究區內的臺灣雲杉皆為人工造林，未曾見過野生臺灣雲杉大樹，推估其原因可能是因本坡向為乾燥的西南坡向，非臺灣雲杉之生育地，故無野生臺灣雲杉之分布，而區內所調查之柳杉和杉木皆為外來引進之人工造林；有關雙子葉植物部分以菊科植物最多，共佔 56 種，薔薇科植物 37 種次之，依序為毛茛科 20 種、杜鵑花科 14 種，此現象和東喜馬拉雅山之高山植相類似(劉儒淵和鍾年鈞，1995)；單子葉植物在本研究區內僅記錄 7 科，集中在禾本科 40 種、蘭科 23 種、莎草科 16 種，此與玉山高山植物相相同，而優勢植物組成與玉山、南湖大山之高山植物相相似(劉儒淵和鍾年鈞，1995；呂勝由和林則桐，1990；應紹舜，1973a)。

表 4-2 雪山主峰線維管束植物依分類屬性分析表

	蕨類植物	裸子植物	雙子葉植物	單子葉植物
種數	20 科 96 種	4 科 11 種	64 科 368 種	7 科 100 種
比例(%)	16.7	1.9	64	17.4

B、屬性：

本研究所調查之所有 575 種維管束植物中，扣除蕨類 96 種，再依其不同屬性區分，草本植物 330 種，佔總數 68.9%；喬木植物 54 種，佔總數 11.2%；灌木植物 76 種，佔總數 15.9%；藤本植物 19 種，佔總數 4%。在所有草本植物中以菊科、禾本科、蘭科、毛茛科、莎草科、唇形科、石竹科等最為優勢。草本植物中無裸子植物，以雙子葉植物最多共計 237 種，單子葉植物 93 種；喬木植物中，裸子植物 11 種皆為喬木，雙子葉植物佔有 43 種，而單子葉植物無喬木；灌木植物裸子植物 0 種，雙子葉植物 74 種，單子葉植物 2 種；

藤本植物中，裸子植物 0 種，雙子葉植物 14 種，單子葉植物 5 種，其中菝契科植物 6 種，但以阿里山忍冬最常出現，從雪山登山口至三六九山莊前，其中小蔓黃菀為較稀有。

表 4-3 雪山主峰線維管束植物不同屬性分析表

	喬木	灌木	藤本	草本
裸子植物	11	0	0	0
雙子葉植物	43	74	14	237
單子葉植物	0	2	5	93
總和	54	76	19	330
比例(%)	11.2	15.9	4	68.9

C、特有性：

在本研究區內所調查之 575 種維管束植物中，屬原生種計 565 種，其中臺灣特有種有 213 種，佔原生種之 37.7%，較臺灣特有種平均值 24.3% 為高(曾彥學，2003)，但較南湖大山、玉山之特有種比例為低，另外非特有種，種數 352 種，佔原生種之 62.3%；研究區內共記錄 8 種馴化植物，佔所有維管束植物中 1.4%，此比例較一般台灣中低海拔為低，另記錄柳杉與福州杉 2 種造林樹種，此兩種為早期林務單位在七卡山莊附近所栽植，佔所有維管束植物中 0.3%。

表 4-4 雪山主峰線維管束植物之特有性分析表

	原生種		外來種	
	特有種	非特有種	馴化種	人工造林種
種數	213	352	8	2
比例(%)	37.7	62.3	1.4	0.3

D、種數最多前 10 科：

至目前為止所記錄的維管束植物中，種數最多的前 10 科，分別為菊科 (56 種)、禾本科 (40 種)、薔薇科 (37 種)、鱗毛蕨科 (30 種)、蘭科 (23 種)、毛茛科 (20 種)、莎草科 (16 種)、杜鵑花科 (14 種)、唇形科 (14 種)、忍冬科 (13 種)、水龍骨科 (13 種)、石竹科 (13 種) 及蹄蓋蕨科 (13 種)。56 種菊科植物之中，稀有植物有雪山艾 (*Artemisia tsugitakaensis* (Kitam.) Ling & Y. R. Ling)、雪山馬蘭 (*Aster takasagomontanus* Sasaki)、細川氏薊 (*Cirsium hosokawae* Kitam.)、森氏薊 (*Cirsium morii* Hayata)、鈴木氏薊 (*Cirsium suzukii* Kitam.)、黃山蟹甲草 (*Parasenecio hwangshanicus* (Ling) C.-I Peng & S. W. Chung)、玉山蟹甲草 (*Parasenecio monantha* (Diels) C.-I Peng & S. W. Chung)、奇萊青木香

(*Saussurea kiraisanensis* Masam.)、小蔓黃菀(*Senecio crataegifolius* Hayata)等稀有植物。

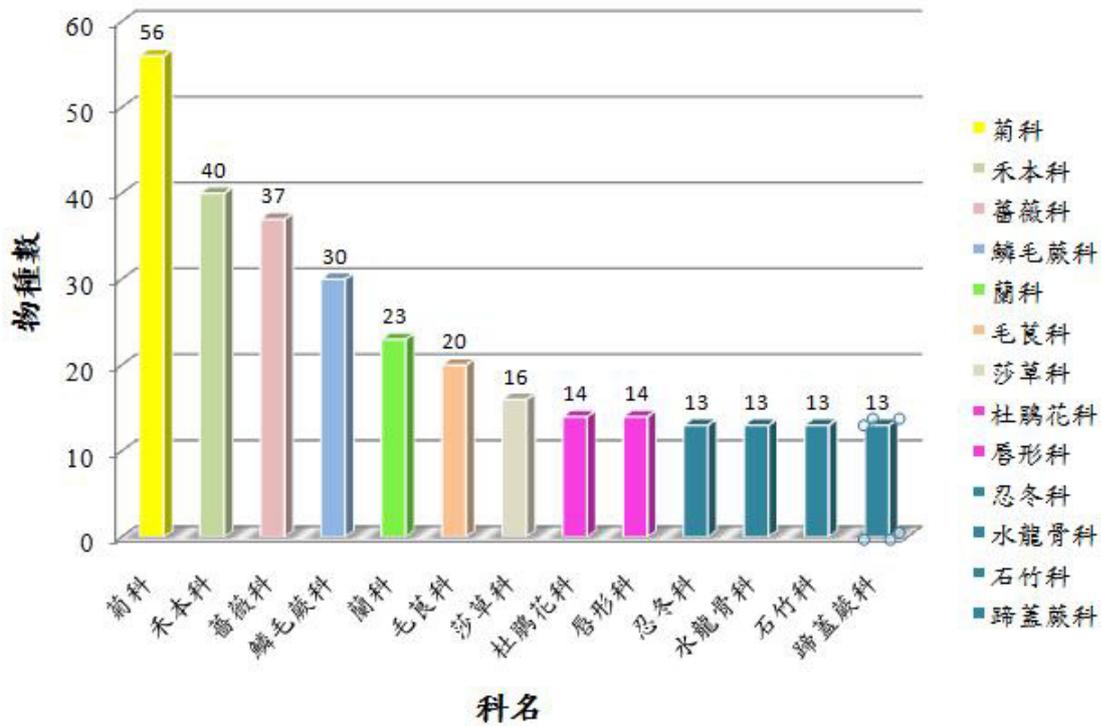


圖 4-4 雪山主峰線維管束植物種數排前 10 名之統計圖。

E、依不同植物生活型區分

分析雪山主峰線維管束植物之生活型，扣除蕨類植物後，依不同植物生活型區分，其中半地中植物有 241 種，佔總數 51%；一年生種子植物有 92 種，佔總數 19%；挺空植物有 78 種，佔總數 16%；地表植物有 63 種，佔總數 13%；地中植物有 5 種，佔總數 1%。本研究區域中，以半地中植物最為優勢，因其較能適應高山環境如土壤養分低、冬季覆雪之生育地限制，其中又以灌木及多年生草本植物為最多，如以科別區分，為菊科和禾本科植物最多。

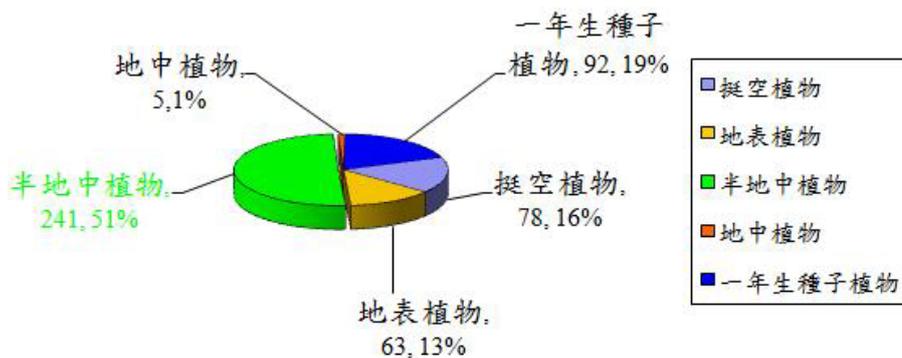


圖 4-5 雪山主峰線維管束植物生活型之示意圖。

F、依植物花色不同區分

高山地區由於紫外線強，所以適存於高山地區的植物其花色多為非常鮮豔，本研究將雪山主峰線維管束植物，依照其不同花色來區分，嘗試了解花的顏色與高山生態之關係，本次調查研究區內共 575 種維管束植物，扣除蕨類植物，其中白色有 195 種為最多，依序為綠色 101 種、黃色 86 種、紫色 44 種、紅色 36 種、藍色 11 種、褐色 6 種；在雪山地區的調查範圍內，以白色花最多，因植物於高山生育地光照強烈、紫外線高，使得植物多以白色花呈現。

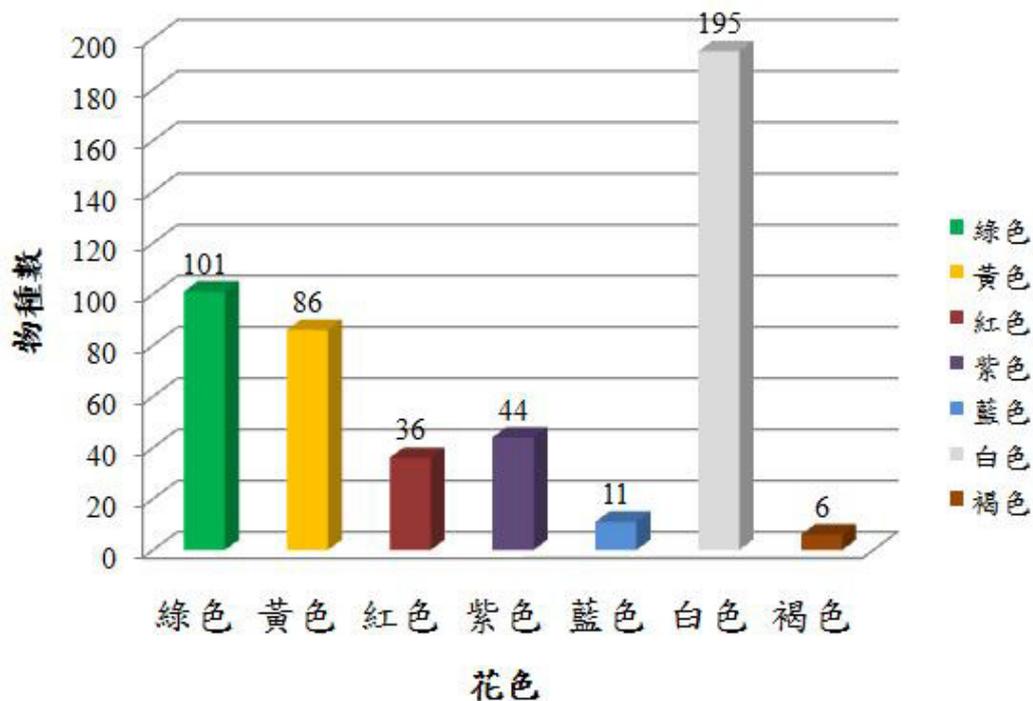


圖 4-6 雪山主峰線維管束植物(蕨類除外)依不同花色分類統計圖。

G、依果實種類不同區分

針對雪山主峰線之維管束植物，除了蕨類植物為孢子體不列入討論，其餘植物依其果實種類之不同加以區分，其中蒴果有 135 種、瘦果 122 種、漿果 41 種、核果 43 種、穎果 40 種、堅果 24 種、蓇葖果 18 種、聚合果 14 種、毬果 10 種、角果 11 種、離果 7 種、莢果和梨果各 5 種、翅果 3 種、胞果 1 種。所有不同種類之果實中，以蒴果和瘦果遠高於其它種類；果實為蒴果的植物，以蘭科為主，共有 23 種，佔有 17%，以此可知此研究區內，為蒴果之植物並非完全集中於蘭科；而果實為瘦果的植物則以菊科為主，共有 56 種，佔總數 45.9%，其為瘦果的植物較為集中於菊科。

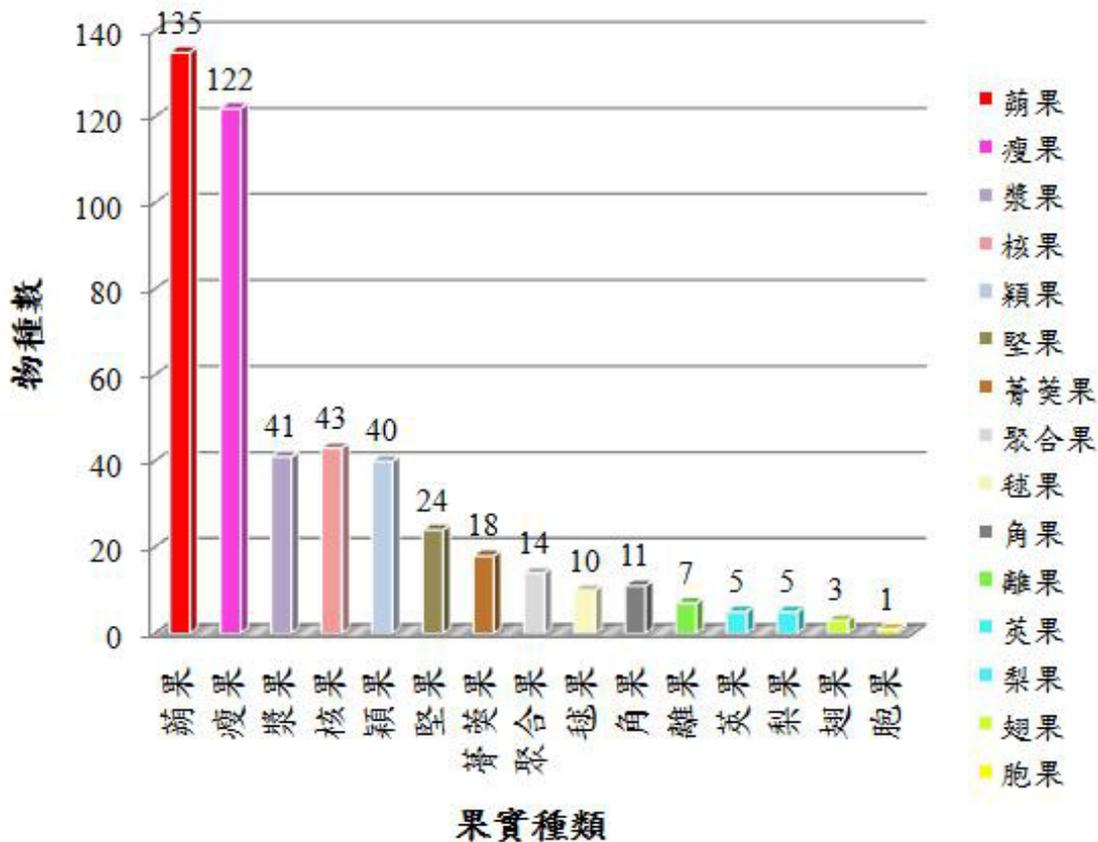


圖 4-7 雪山主峰線維管束植物(蕨類除外)依不同果實種類分類統計圖。

H、保育評估等級

本研究依國際自然保育協會 (IUCN) 保育評估等級標準本研究區內所記錄之 575 種維管束植物，屬於瀕危級 (Endangered, EN) 有伊澤山龍膽 (*Gentiana itzershanensis*) 1 種；屬於易危級 (Vulnerable, VU) 有紅檜 (*Chamaecyparis formosensis* Matsum.)、疏葉珠蕨 (*Cryptogramma stelleri* (Gmel.) Prantl)、鱗葉石松 (*Lycopodium sieboldii* Miq.)、黃山蟹甲草 (*Parasenecio hwangshanicus* (Ling) C.-I Peng & S. W. Chung)、臺灣雲杉 (*Picea morrisonicola* Hayata)、臺灣稠李 (*Prunus obtusata* Koehne)、高山破傘菊 (*Syneilesis subglabrata* (Yamam. & Sasaki) Kitam.)、扇羽陰地蕨 (*Botrychium lunaria* (L.) Sw.) 等，共 8 種；屬於近危級 (Near Threatened, NT) 有能高籟簫 (*Anaphalis royleana* DC.)、雪山馬蘭 (*Aster takasagomontanus* Sasaki)、大武貓兒眼睛草 (*Chrysosplenium hebetatum* Ohwi)、臺灣白木草 (*Comanthosphace formosana* Ohwi)、南湖碎雪草 (*Euphrasia nankotaizanensis* Yamamoto)、川上氏忍冬 (*Lonicera kawakamii* (Hayata) Masamune)、杉葉蔓石松 (*Lycopodium annotinum* L.)、錫杖花 (*Monotropa hypopithys* L.)、阿里山櫻花 (*Prunus transarisanensis* Hayata)、線葉

鐵角蕨(*Asplenium septentrionale* (L.) Hoffm.)、無梗忍冬(*Lonicera apodonta* Ohwi)、細葉杜鵑(*Rhododendron noriakianum* T. Suzuki)等，共 12 種。

伊澤山龍膽為多年生草本；單葉，對生，卵狀披針形；花黃色，鐘形，裂片具棕斑；蒴果。本種植物是劉崇瑞及郭秋成於 1974 年共同發表的新種，模式標本採自苗栗泰安鄉境內的伊澤山，故其種小名“itzershanensis”亦以“伊澤山產的”命名。陳志雄(1999)在訂正本屬時，確認本種之分類地位，並指出其外觀形態與玉山龍膽(*G. scabrida*)相似，但伊澤山龍膽的花萼長線形而玉山龍膽的花萼則是卵狀披針形。伊澤山龍膽僅分布雪山山脈海拔 2,800m 至 3,800m 之山頂附近，僅伊澤山、大霸尖山、雪山及桃山等地有採集紀錄。其生育環境屬陽光充足的開闊地，如箭竹草原或碎石坡。苗栗縣則出現於伊澤山、大霸尖山至雪山沿線一帶。野外分布僅局限於雪山山脈高山地區，數量亦不多，故被評鑑為瀕危級。

I、馴化植物入侵情形

本研究區雪山主峰線步道沿途所調查之外來馴化維管束植物共記錄菽草(*Trifolium repens* L.)、圓葉錦葵(*Malva neglecta* Wall.)、華錦葵(*Malva sinensis* Cav.)、加拿大蓬(*Conyza canadensis* (L.) Cronq.)、貓耳葉菊(*Hypochaeris radicata* L.)、歐洲黃菀(*Senecio vulgaris* L.)、凹果薺莢(*Thlaspi arvense* L.)、小酸模(*Rumex acetosella* L.)等 8 種，此 8 種中除貓耳葉菊已擴展至海拔 3,000m 的哭坡外，其餘目前都還分布在登山口海拔 2,100m 一帶。

菽草屬於蝶形花科，原產歐洲，目前已在臺灣中北部中高海拔山區的路邊、開闊地馴化，垂直海拔以上至 2,500m，族群數量有擴大的趨勢，目前在雪霸國家公園境內武陵遊憩區一帶至雪山主峰線登山口都有出現。

圓葉錦葵屬於錦葵科，原產舊熱帶，目前在雪霸國家公園境內武陵遊憩區一帶至雪山主峰線登山口的路邊、開闊地馴化。垂直海拔以上至 2,200m，目前族群數量有擴大的趨勢。

華錦葵屬於錦葵科，原產舊熱帶，目前在雪霸國家公園境內武陵遊憩區一帶至雪山主峰線登山口的路邊、開闊地馴化。垂直海拔以上至 2,200m，目前族群數量有擴大的趨勢。

加拿大蓬屬於菊科，原產美洲，目前已在臺灣全島馴化，分布從平地至高海拔山區的路邊、開闊地與廢耕地等馴化，垂直海拔以上至 2,500m，族群

數量頗大，目前在雪霸國家公園境內武陵遊憩區一帶至雪山主峰線登山口都有出現。

貓耳葉菊屬於菊科，原產歐洲，由歐辰雄(1981)正式發表為臺灣新馴化菊科植物，現已普遍在臺灣中部中高海拔山區的路邊、開闊地馴化，垂直海拔以上至 3,100m，族群數量有擴大的趨勢。目前在雪霸國家公園境內武陵遊憩區沿雪山主峰線登山口經七卡山莊至都哭坡沿途步道旁都有族群出現，推測未來將會再向雪山東峰擴展。

歐洲黃菀屬於菊科，原產美洲，由許建昌(1973)正式發表為臺灣新馴化菊科植物，引證標本採自中橫公路青山車站附近，該報告指出歐洲黃菀出現青山至梨山一帶，目前已在臺灣中部中高海拔山區的路邊、果園或荒廢地馴化，垂直海拔以上至 2,300m。目前在雪霸國家公園境內武陵遊憩區至雪山主峰線登山口沿途道路旁都有族群出現，推測未來將會再向七卡山莊擴展。

凹果薺蕒屬於十字花科，原產歐亞大陸溫帶地區，由鍾明哲等人(2006)正式發表為臺灣新馴化十字花科植物，引證標本採自雪霸國家公園境內武陵農場雪山主峰線登山口附近，目前族群數量不明，尚待日後觀測。

小酸模屬於蓼科，原產歐亞大陸溫帶地區，現廣分佈於北半球溫帶地區，本種目前已馴化於臺灣的中海拔山區，頗為常見，雪霸國家公園境內多出現在荒廢的果園，以及開闊地。本研究區出現在雪山主峰線登山口一帶。

目前所調查的 8 種外來馴化植物中，大部分原產於歐洲地區，屬於溫帶地區的植物，非常適應臺灣的中海拔地區，但都分布於武陵農場一帶的廢棄果原中或是開墾地，此與外來引進之蔬菜、果樹有關，唯一值得一提的是貓耳葉菊易入侵至海拔 3000m 的哭坡，其適應力非常強，對臺灣高山生態有直接衝擊，需進行相關措施。

四、討論

(一) 雪霸國家公園植物資源

雪霸國家公園佔地廣大，生態資源豐富，對於植物資源之調查與研究見諸於許多研究人員之調查成果，其初始於雪霸國家公園 1992 年 7 月 1 日成立以降，致力於全區資源之調查與研究，除瞭解區內各項資源現況與應用於解說教育，並供為擬定經營管理計畫之參考與依據，以植群調查而言，業已陸續完成雪見、武陵、觀霧、大雪山、尖石、大小劍等地區之植物資源調查；林永發等(2001)整

合生物資源與物理環境二部分，建立「雪霸國家公園生態資料庫」。

而關於雪山圈谷及其周遭之高山生態系環境之植物資源相關報告，則見於雪霸國家公園管理處委託社團法人臺灣環境資訊協會於 2008 年完成之全球氣候變遷對雪山圈谷寒原生態系的潛在影響分析中，羅列了三六九山莊至雪山圈谷沿線植物名錄，共計 202 種維管束植物，並指出某些稀有種或對環境條件要求比較極端的物種，如：玉山筷子芥(*Arabis lyrata* L. subsp. *kamtschatica* (Fisch. ex DC.) Hulten)、高山珠蕨(*Cryptogramma brunoniana* Wall. ex Hook. & Grev.)、寬葉冷蕨(*Cystopteris moupinensis* Franch.)、鋸齒葉鱗毛蕨(*Dryopteris serrato-dentata* (Beddome) Hayata)、南湖碎雪草(*Euphrasia nankotaizanensis* Yamamoto)、川上氏忍冬(*Lonicera kawakamii* (Hayata) Masam.)、高山馬先蒿(*Pedicularis ikomai* Sasaki)、玉山鹿蹄草(*Pyrola morrisonensis* (Hayata) Hayata)、玉山野薔薇(*Rosa sericea* Lindl. var. *morrisonensis* (Hayata) Masamune)、玉山佛甲草(*Sedum morrisonense* Hayata)、雪山堇菜(*Viola adenothrix* Hayata var. *tsugitakaensis* (Masamune) Wang & Huang) 可在將來作為監測的指標物種之用。因此，脆弱高山生態系的植物資源清單調查，為一迫切而重要的工作。

(二) 高山生態系環境及植物特性

熱帶及亞熱帶高山地區的樹木界線(treeline)以上稱為高山生命帶(alpine life zone)或高山寒原(alpine tundra)(Holdridge 1947, Wielgolaski, 1997)，與極地寒原不同，高山寒原多半沒有永凍土層(permafrost)，此生態系約佔全世界陸地總面積的 3% (Körner, 2007)，而其上緣就是植物生長的界線。高山寒原的植被以矮盤灌叢、石南原型態(heath-like)和草本植物為主，一般來說水分不是樹木界線形成的限制因子，低溫才是，Körner and Paulsen 在 2004 年的研究報告指出生長季的平均地溫 $6.7 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$ 約為樹木直立生長的極限，除了溫度，造成樹木界線的區域性限制因子還有雪季的長短、崩塌、風衝、土壤厚度和動物的啃食等等。

高山地區的日夜溫度變化十分劇烈，在日間，高山地區裸露的土壤在陽光曝曬下，溫度可高達 80°C ，在晴朗的夜晚，夜間的輻射散熱效應會使植物葉部組織的溫度比周圍空氣低 $3-5^{\circ}\text{C}$ 左右 (Körner, 2003)。高山生命帶的植物型態多十分低矮，一方面，貼近地面生長可減低風寒效應，此外容許較多的陽光穿透以使土壤升溫，以便擷取地面所散發的太陽能，高山植物生活型可略分為四大類：1) 矮盤灌木(dwarf shrubs)，高度約 0.3~1 公尺左右，如臺灣高山地區的玉山杜鵑(*Rhododendron pseudochrysanthum* Hayata)、玉山薔薇等等。2) 毯狀(cushion

plants)，植物體呈緊密的毯狀型態，非常貼近地表，如玉山佛甲草 3) 叢生狀 (tussock graminoids)，以高山禾本科以及莎草科植物為代表 4) 蓮座狀 (rosette plants)，如玉山金梅(*Potentilla leuconota* D. Don)、玉山山蘿蔔(*Scabiosa lacerifolia* Hayata)和多數高山菊科植物，這些高山植物不一定每年開花結果，但多半具有利用營養器官進行無性繁殖的能力，雖然大部分的小苗無法度過他們第一個冬天，成熟的高山植物的壽命可以高達 20 年以上，而臺灣的玉山圓柏等矮灌叢壽命可能高達數百年。

據估計，全世界的高山植物種類介於 10,000~20,000 種之間，分屬於 100 個科左右 (Körner, 2004)，幾個重要的科有：菊科 (Asteraceae)、禾本科 (Poaceae)、石竹科 (Caryophyllaceae)、唇形科 (Lamiaceae)、薔薇科 (Rosaceae)、繖形科 (Apiaceae)、敗醬科 (Valerianaceae) 等等。本研究所記錄的維管束植物中，種數最多的目前 10 科，分別為菊科 (56 種)、禾本科 (40 種)、薔薇科 (37 種)、鱗毛蕨科 (30 種)、蘭科 (23 種)、毛茛科 (20 種)、莎草科 (16 種)、杜鵑花科 (14 種)、唇形科 (14 種)、忍冬科 (13 種)、水龍骨科 (13 種)、石竹科 (13 種) 及蹄蓋蕨科 (13 種)，大致與玉山和南湖大山植相一致。

一般來說，植物的多樣性雖然會隨海拔高度而下降，但特有種比例卻因高山的隔離效應而呈現出升高的趨勢，在臺灣 3,000m 以上的高山，特有種比例將近 50% (Hsieh, 2003)，本研究所記錄的 575 種維管束植物中，屬臺灣特有種有 213 種，佔總數 37.7%，較為偏低，此乃尚未全面調查所致。

五、結論與建議

- (一) 雪山主峰線外來入侵物種，貓耳葉菊已入侵至海拔 3,000m 的哭坡，推測未來將會再向雪山東峰擴展，本種菊科植物原產歐洲，繁殖能力強，適應力亦強，對雪霸國家公園高山生態，將造成相當的衝擊。
- (二) 本研究區內，經保育評估之後，伊澤山龍膽列為瀕危級，本種為臺灣特有種，亦為雪霸國家公園之特有種，除了雪霸國家公園境內之外，未曾在臺灣其它各地有採集記錄，因多分布在登山步道兩旁的箭竹林及碎石坡中，容易受到人為干擾，故急需採取保育措施。

六、參考文獻

- 王志強(2008)武陵地區原生植栽應用名錄調查分析及評選研究，雪霸國家公園管理處，苗栗縣。
- 臺灣環境資訊協會(2008)全球氣候變遷對雪山圈谷寒原生態系的潛在影響分析中，內政部營建署雪霸國家公園管理處，苗栗縣。
- 吳珊華(2006)雪霸國家公園外來植物調查，雪霸國家公園管理處，苗栗縣。
- 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，雪霸國家公園管理處，苗栗縣。
- 呂金誠等(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計畫系列。
- 呂勝由、林則桐(1990)南湖大山植群生態之研究。林業試驗所研究報告季刊：5(2)：121-133。
- 周明衍(2004)雪山東峰森林火災數值模擬之研究。元智大學機械工程學系碩士論文。
- 林永發、陳裕良、邱清安(2001)雪霸國家公園生態資料庫之建立，內政部營建署雪霸國家公園管理處，苗栗縣。
- 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。
- 施纓煜(1997)野火影響環山與雪山地區植群之研究。國立中興大學植物學系碩士論文。
- 柳楮。1966。臺灣產松柏類植物地理之研究。林業試驗所報告第122號。
- 徐自恆(1986)臺灣東北部南湖大山高山植群分析。國立臺灣大學森林研究所碩士論文。
- 徐國士(1994)雪霸國家公園特有及稀有植物之研究。雪霸國家公園管理處，苗栗縣。
- 徐國士、呂勝由、楊遠波、范發輝。1986。臺灣高山植物。臺灣省政府教育廳印行。
- 徐國士等編。1980。臺灣稀有及有滅絕危機之植物。臺灣省政府教育廳出版。
- 陳明義(1998)野火對環山、雪山地區植群影響之研究(II)，雪霸國家公園管理處，苗栗縣。
- 黃群修(1993)雪山北坡臺灣冷杉林森林動態與族群結構之研究。國立臺灣大學森林研究所碩士論文。

- 黃增泉(1987)雪山—大霸尖山地區植物生態資源先期調查研究報告，雪霸國家公園管理處，苗栗縣。
- 楊遠波、呂勝由、林則桐(1989)南湖大山圈谷及其附近植被之調查。內政部營建署太魯閣國家公園管理處。
- 劉儒淵、鐘年鈞(1995)東喜馬拉雅山與臺灣玉山地區植被垂直分布之比較。海峽兩岸生物地理關係研討會論文集。
- 臺灣植物誌第二版編輯委員會(1993)臺灣植物誌，Vol. 3 被子植物雙子葉類，第二版。中華民國國家科學委員會，臺北市。
- 臺灣植物誌第二版編輯委員會(1994)臺灣植物誌，Vol. 1 蕨類植物、裸子植物，第二版。中華民國國家科學委員會，臺北市。
- 臺灣植物誌第二版編輯委員會(1996)臺灣植物誌，Vol. 2 被子植物，第二版。中華民國國家科學委員會，臺北市。
- 臺灣植物誌第二版編輯委員會(1998)臺灣植物誌，Vol. 4 被子植物雙子葉類，第二版。中華民國國家科學委員會，臺北市。
- 臺灣植物誌編輯委員會(1978)臺灣植物誌，Vol. 5 被子植物群，第一版。現代關係出版社，臺北市。
- 臺灣植物誌編輯委員會(1979)臺灣植物誌，Vol. 6 總目錄，第一版。現代關係出版社，臺北市。
- 劉平妹(2002)臺灣高山區更新世冰河地形與全新世冰緣地形作用。行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告。
- 劉桓吉(1996)臺灣雪山山脈中部之地質構造與地層研究。國立臺灣大學地質學系博士論文。
- 劉業經、呂福源、歐辰雄、賴國祥。1984。臺灣高山箭竹草生地之植物演替與競爭機制。中華林學季刊17(1):1-32。
- 歐辰雄(2002)雪霸國家公園植群生態調查—大雪山地區等相關之植物資源調查研究。
- 歐辰雄(2004)雪霸國家公園植群生態調查-大小劍地區，雪霸國家公園管理處，苗栗縣。
- 歐辰雄(2005)雪霸國家公園植群生態調查-南坑溪地區，雪霸國家公園管理處，苗栗縣。
- 歐辰雄(2006,2007)雪霸國家公園植群分類及空間分布之研究(一)(二)，雪霸國家公園管理處，苗栗縣。

歐辰雄等(1996)雪見地區步道沿線植群調查，雪霸國家公園管理處，苗栗縣。

歐辰雄等(1997)觀霧地區植群生態調查及植栽應用之研究，雪霸國家公園管理處，苗栗縣。

歐辰雄等(1998)觀霧臺灣擦樹自然保護區植物相調查研究，雪霸國家公園管理處，苗栗縣。

滕詠延。1947。臺灣高山植物目錄。林業試驗所通訊12:97-101。

應紹舜。1973a。玉山及秀姑巒山高山植被的研究。森林8:20-32。

應紹舜。1973b。南湖大山植被的概觀。省立博物館科學年刊16:73-84。

應紹舜。1975a。臺灣高山植物名錄(I)。中華林學季刊8(3):89-122。

應紹舜。1975b。臺灣高山植物名錄(II)。中華林學季刊8(4):123-151。

應紹舜。1976a。臺灣高山植物形態的研究。中華林學季刊9(1):59-71。

應紹舜。1976b。雪山地區高山植群的研究。中華林學季刊9(3):119-135。

應紹舜。1976c。大霸尖山高山植群的研究。臺大實驗林報告118:217-236。

應紹舜。1978b。臺灣高山寒原及岩原植物的研究。臺大實驗林報告122:193-210。

應紹舜。1992。玉山地區高山岩原植物之研究。臺大農學院報告32(4):317-340。

蘇鴻傑。1974。臺灣高山地區之香柏群落。臺大實驗林報告113:101-113。

蘇鴻傑。1978。中部橫貫公路沿線植被、景觀之調查與分析。國立臺灣大學森林系生態研究所印行。

Gopal S. Rawat and Bhupendra S. Adhikari. 2005. Floristics and Distribution of Plant Communities across Moisture and Topographic Gradients in Tso Kar Basin, Changthang Plateau, Eastern Ladakh. Regents of the University of Colorado. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 37(4):539-544.

Holdridge, L. R. 1947. Determination of World Plant Formations From Simple Climatic Data. science 105:367-368.

Hsu, C. C. 1973. Some Noteworthy Plants Found in Taiwan. Taiwania 18(1): 62-72.

IUCN 2001. IUCN Red List categories 3.1. Prepared by the IUCN Species Survival Commission. World Conservation Union, Gland, Switzerland and Cambridge, United Kingdom.

Jung, M. J., G. I. Liao, and C. S. Kuoh 2006. Notes on Four Alien Plants in Taiwan.

- Taiwania 51(4): 308-316.
- Kala, Chandra Prakash & Mathur, Vinod B. 2002. Patterns of plant species distribution in the Trans-Himalayan region of Ladakh, India. *Journal of Vegetation Science*, 13: 751-754.
- Körner, C. 2003. *Alpine Plant Life - Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. 2 edition. Springer, Heidelberg.
- Körner, C. and J. Paulsen. 2004. A world-wide study of high altitude treeline temperatures. *Journal of Biogeography* 31:713-732.
- Körner, C. 2007. *Alpine Ecosystems*. Pages 1-6 *Encyclopedia of Life Sciences*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
- Miehe, G., S. Miehe, K. Kaiser, J. Q. Liu and X. Q. Zhao. 2008. Status and Dynamics of the *Kobresia pygmaea* Ecosystem on the Tibetan Plateau. *Royal Swedish Academy of Sciences*, 37(4):272-279.
- Ou, C. H. & Y. C. Liu. 1981. Contributions to the Dicotyledonous Plants of Taiwan (VI). *Quarterly Journal of Chinese Forestry* 14(2):21-31.
- Singh H. B. and R. C. Sundriyal. 2005. Composition, Economic Use, and Nutrient Contents of Alpine Vegetation in the Khangchendzonga Biosphere Reserve, Sikkim Himalaya, India. *Regents of the University of Colorado. Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 37(4)pp 591–601.
- Sundriyal M. and R. C. Sundriyal. 2004. Wild Edible Plants of the Sikkim Himalaya: Nutritive Values of selected species. *Economic Botany*, 58(2) pp. 286–299.
- Sundriyal, M., R. C. Sundriyal and E. Sharma. 2004. Dietary Use of Wild Plant Resources in the Sikkim Himalaya, India. *Economic Botany*, 58(4) pp. 626–638.
- Wu, S. H., J. K. Tsai, H. T. Sun, C. F. Chen, and C. R. Chiou. 2009. Patterns of plant invasions in the preserves and recreation areas of Shei-Pa National Park in Taiwan. *Botanical Studies*, 50: 217-227.
- Wielgolaski, F. E. 1997. Adaptions in plants. Pages 7-10 in F. E. Wielgolaski, editor. *Ecosystem of the World 3-polar and alpine tundra*. Elsevier, Amsterdam.

附錄4-1 世界自然保護聯盟(IUCN)紅色名錄等級及標準

世界自然保護聯盟(IUCN)紅色名錄等級及標準(IUCN, 2001)							
保育評估層次與等級		縮寫	特有	中名	學名	科名	
已評估	有適當資料	受威脅	絕滅	EX			
			野外絕滅	EW			
		極危	CR				
		瀕危	VU	特有	伊澤山龍膽	<i>Gentiana itzershanensis</i> Liu & Kuo	龍膽科 (Gentianaceae)
				特有	紅檜	<i>Chamaecyparis formosensis</i> Matsum.	柏科 (Cupressaceae)
					疏葉珠蕨	<i>Cryptogramma stelleri</i> (Gmel.) Prantl	鳳尾蕨科 (Pteridaceae)
					鱗葉石松	<i>Lycopodium sieboldii</i> Miq.	石松科 (Lycopodiaceae)
				特有	黃山蟹甲草	<i>Parasenecio hwangshanicus</i> (Ling) C.-I Peng & S. W. Chung	菊科 (Compositae)
				特有	臺灣雲杉	<i>Picea morrisonicola</i> Hayata	松科 (Pinaceae)
					臺灣稠李	<i>Prunus obtusata</i> Koehne	薔薇科 (Rosaceae)
	特有			高山破傘菊	<i>Syneilesis subglabrata</i> (Yamam. & Sasaki) Kitam.	菊科 (Compositae)	
		扇羽陰地蕨	<i>Botrychium lunaria</i> (L.) Sw.	瓶爾小草科 (Ophioglossaceae)			
	近危	NT		能高籟簫	<i>Anaphalis royleana</i> DC.	菊科 (Compositae)	
			特有	雪山馬蘭	<i>Aster takasagomontanus</i> Sasaki	菊科 (Compositae)	
			特有	大武貓兒眼睛草	<i>Chrysosplenium hebetatum</i> Ohwi	虎耳草科 (Saxifragaceae)	
			特有	臺灣白木草	<i>Comanthosphace formosana</i> Ohwi	唇形花科 (Labiatae)	
			特有	南湖碎雪草	<i>Euphrasia nankotaizanensis</i> Yamamoto	玄參科 (Scrophulariaceae)	
			特有	川上氏忍冬	<i>Lonicera kawakamii</i> (Hayata) Masamune	忍冬科 (Caprifoliaceae)	
				杉葉蔓石松	<i>Lycopodium annotinum</i> L.	石松科 (Lycopodiaceae)	
				錫杖花	<i>Monotropa hypopithys</i> L.	鹿蹄草科 (Pyrolaceae)	
特有			阿里山櫻花	<i>Prunus transarisanensis</i> Hayata	薔薇科 (Rosaceae)		
			線葉鐵角蕨	<i>Asplenium septentrionale</i> (L.) Hoffm.	鐵角蕨科 (Aspleniaceae)		
	特有	無梗忍冬	<i>Lonicera apodonta</i> Ohwi	忍冬科 (Caprifoliaceae)			
	特有	細葉杜鵑	<i>Rhododendron noriakianum</i> T. Suzuki	杜鵑花科 (Ericaceae)			
	無適當資料	DD					
	未評估	NE					

附錄4-2 雪山主峰沿線步道之植物名錄

蕨類植物

1. LYCOPODIACEAE 石松科

1. *Lycopodium annotinum* L. 杉葉蔓石松
2. *Lycopodium complanatum* L. 地刷子
3. *Lycopodium obscurum* L. 玉柏
4. *Lycopodium quasipolytrichoides* Hayata 反捲葉石杉
5. *Lycopodium selago* L. var. *appressum* Desv. 小杉葉石杉
6. *Lycopodium serratum* Thunb. 千層塔
7. *Lycopodium veitchii* Christ 玉山石松
8. *Lycopodium japonicum* Thunb ex Murray 日本石松

2. SELAGINELLACEAE 卷柏科

9. *Selaginella labordei* Hieron. ex Christ 玉山卷柏

3. OPHIOGLOSSACEAE 瓶爾小草科

10. *Botrychium lunaria* (L.) Sw. 扇羽陰地蕨
11. *Ophioglossum austroasiaticum* Nishida 高山瓶爾小草

4. OSMUNDACEAE 紫萁科

12. *Osmunda claytoniana* L. 絨假紫萁
13. *Osmunda japonica* Thunb. 紫萁

5. GLEICHENIACEAE 裏白科

14. *Diplazium glaucum* (Houtt.) Nakai 裡白

6. HYMENOPHYLLACEAE 膜蕨科

15. *Gonocormus minutus* (Bosch) Baker 團扇蕨
16. *Mecodium badium* (Hook. & Grev.) Copel. 落蕨
17. *Mecodium polyanthos* (Sw.) Copel. 細葉落蕨
18. *Mecodium wrightii* (v. d. Bosch) Copel. 萊氏落蕨

7. PLAGIOGYRIACEAE 瘤足蕨科

19. *Plagiogyria euphlebia* (Kunze) Mett. 華中瘤足蕨
20. *Plagiogyria formosana* Nakai 臺灣瘤足蕨

8. DENNSTAEDTIACEAE 碗蕨科

21. *Monachosorum maximowiczii* (Bak.) Hayata 岩穴蕨
22. *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn subsp. *wightianum* (Wall.) Shieh 巒大蕨

9. DAVALLIACEAE 骨碎補科

23. *Araiostegia parvipinnata* (Hayata) Copel. 臺灣小膜蓋蕨

10. PTERIDACEAE 鳳尾蕨科

24. *Cryptogramma brunoniana* Wall. ex Hook. & Grev. 高山珠蕨
25. *Cryptogramma stelleri* (S. G. Gmel.) Prantl 疏葉珠蕨
26. *Pteris fauriei* Hieron. 傅氏鳳尾蕨
27. *Pteris vittata* L. 鱗蓋鳳尾蕨

11. ADIANTACEAE 鐵線蕨科

28. *Adiantum caudatum* L. 鞭葉鐵線蕨
29. *Coniogramme intermedia* Hieron. 華鳳了蕨

12. VITTARIACEAE 書帶蕨科

30. *Vittaria anguste-elongata* Hayata 姬書帶蕨

13. BLECHNACEAE 烏毛蕨科

31. *Woodwardia unigemmata* (Makino) Nakai 生芽狗脊蕨

14. ASPIDIACEAE 三叉蕨科

32. *Ctenitis kawakamii* (Hayata) Ching 川上氏肋毛蕨

33. *Ctenitis transmorrisonensis* (Hayata) Tagawa 玉山肋毛蕨

15. DRYOPTERIDACEAE 鱗毛蕨科

34. *Acrophorus stipellatus* T. Moore 魚鱗蕨

35. *Acrorumohra hasseltii* (Blume) Ching 哈氏假複葉耳蕨

36. *Arachniodes pseudo-aristata* (Tagawa) Ohwi 小葉複葉耳蕨

37. *Dryopteris alpestris* Tagawa 腺鱗毛蕨

38. *Dryopteris austriaca* (Jacq.) Wayn. ex Schinz & Thell. 闊葉鱗毛蕨

39. *Dryopteris barbiger* (Hook.) Kuntze 密毛鱗毛蕨

40. *Dryopteris costalisora* Tagawa 能高鱗毛蕨

41. *Dryopteris formosana* (H. Christ) C. Chr. 臺灣鱗毛蕨

42. *Dryopteris hendersonii* (Bedd.) C. Chr. 小苞鱗毛蕨

43. *Dryopteris lepidopoda* Hayata 厚葉鱗毛蕨

44. *Dryopteris serrato-dentata* (Bedd.) Hayata 鋸齒葉鱗毛蕨

45. *Dryopteris fructuosa* (H. Christ) C. Chr. 深山鱗毛蕨

46. *Dryopteris sinofibrillosa* Ching 密鱗毛蕨

47. *Dryopteris subtriangularis* (C. Hope) C. Chr. 紅苞鱗毛蕨

48. *Dryopteris redactopinnata* S. K. Basu & Panigr. 藏布鱗毛蕨

49. *Dryopteris expansa* (C. Presl) Fraser-Jenkins & Jermy. 廣布鱗毛蕨

50. *Leptorumohra quadripinnata* (Hayata) H. Ito 毛苞擬複葉耳蕨

51. *Polystichum acanthophyllum* (Franch.) H. Christ 針葉耳蕨

52. *Polystichum duthiei* (C. Hope) C. Chr. 杜氏耳蕨

53. *Polystichum hancockii* (Hance) Diels 韓氏耳蕨

54. *Polystichum hecatopterum* Diels 鋸齒葉耳蕨

55. *Polystichum lachenense* (Hook.) Bedd. 高山耳蕨

56. *Polystichum morii* Hayata 玉山耳蕨

57. *Polystichum nepalense* (Spreng.) C. Chr. 軟骨耳蕨

58. *Polystichum parvipinnulum* Tagawa 尖葉耳蕨

59. *Polystichum piceopaleaceum* Tagawa 黑鱗耳蕨

60. *Polystichum prescottianum* (Wall. ex Mett.) Moore 南湖耳蕨

61. *Polystichum stenophyllum* H. Christ 芽胞耳蕨

62. *Polystichum wilsonii* Christ 福山氏耳蕨

63. *Polystichum taizhongense* H. S. Kung 臺中耳蕨

16. THELYPTERIDACEAE 金星蕨科

64. *Cyclosorus acuminatus* (Houtt.) Nakai 毛蕨

65. *Cyclosorus parasiticus* (L.) Farw. 密毛毛蕨

66. *Parathelypteris beddomei* (Baker) Ching 縮羽金星蕨

17. ATHYRIACEAE 蹄蓋蕨科

67. *Athyrium anisopterum* H. Christ 宿蹄蓋蕨

68. *Athyrium atkinsonii* Bedd. 亞德氏蹄蓋蕨

69. *Athyrium erythropodum* Hayata 紅柄蹄蓋蕨

70. *Athyrium oppositipinnum* Hayata 對生蹄蓋蕨
 71. *Athyrium pycnosorum* H. Christ 深山蹄蓋蕨
 72. *Athyrium reflexipinnum* Hayata 逆葉蹄蓋蕨
 73. *Athyrium vidalii* (Franch. & Sav.) Nakai 山蹄蓋蕨
 74. *Athyrium leiopodum* (Hayata) Tagawa 小葉蹄蓋蕨
 75. *Athyrium nigripes* (Blume) T. Moore 蓬萊蹄蓋蕨
 76. *Cystopteris fragilis* (L.) Bernh. 冷蕨
 77. *Cystopteris moupinensis* Franch. 寬葉冷蕨
 78. *Gymnocarpium remote-pinnatum* (Hayata) Ching 細裂羽節蕨
 79. *Deparia allantodioides* (Bedd.) M. Kato 亞蹄蓋蕨

18. ASPLENIACEAE 鐵角蕨科

80. *Asplenium septentrionale* (L.) Hoffm. 線葉鐵角蕨
 81. *Asplenium trichomanes* L. 鐵角蕨
 82. *Asplenium tripteropus* Nakai 三翅鐵角蕨

19. POLYPODIACEAE 水龍骨科

83. *Arthromeris lehmannii* (Mett.) Ching 肢節蕨
 84. *Crypsinus hastatus* (Thunb.) Copel. 三葉蕨
 85. *Crypsinus quasidivaricatus* (Hayata) Copel. 玉山蕨
 86. *Dryotaenium miyoshianum* (Makino) Makino 二條線蕨
 87. *Lepisorus clathratus* (C. B. Clarke) Ching 網眼瓦葎
 88. *Lepisorus monilisorus* (Hayata) Tagawa 擬荻瓦葎
 89. *Lepisorus morrisonensis* (Hayata) H. Ito 玉山瓦葎
 90. *Lepisorus obscure-venulosus* (Hayata) Ching 奧瓦葎
 91. *Lepisorus pseudo-ussuriensis* Tagawa 擬烏蘇里瓦葎
 92. *Lepisorus suboligolepidus* Ching 擬鱗瓦葎
 93. *Lepisorus tosaensis* (Makino) H. Ito 擬瓦葎
 94. *Polypodium amoenum* Wall. ex Mett. 阿里山水龍骨
 95. *Polypodium formosanum* Baker 臺灣水龍骨

20. GRAMMITIDACEAE 禾葉蕨科

96. *Xiphopteris okuboi* (Yatabe) Copel. 梳葉蕨

裸子植物

21. TAXACEAE 紅豆杉科

97. *Taxus sumatrana* (Miq.) de Laub. 南洋紅豆杉

22. PINACEAE 松科

98. *Abies kawakamii* (Hayata) Tak. Itô 臺灣冷杉
 99. *Picea morrisonicola* Hayata 臺灣雲杉
 100. *Pinus armandii* Franchet var. *masteriana* Hayata 華山松
 101. *Pinus taiwanensis* Hayata 臺灣二葉松
 102. *Tsuga chinensis* (Franchet) Pritz. ex Diels var. *formosana* (Hayata) Li & Keng 臺灣鐵杉

23. TAXODIACEAE 杉科

103. *Cryptomeria japonica* (Thunb. ex L. f.) D. Don 柳杉
 104. *Cunninghamia konishii* Hayata 杉木

24. CUPRESSACEAE 柏科

105. *Chamaecyparis formosensis* Matsum. 紅檜

106. *Juniperus formosana* Hayata 刺柏
107. *Juniperus squamata* Buch.-Ham. ex Lamb. 香青

雙子葉植物

25. MYRIACEAE 楊梅科

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

26. JUGLANDACEAE 胡桃科

109. *Juglans cathayensis* Dode 野核桃
110. *Platycarya strobilacea* Sieb. & Zucc. 化香樹

27. SALICACEAE 楊柳科

111. *Salix fulvopubescens* Hayata 褐毛柳
112. *Salix fulvopubescens* Hayata var. *doii* (Hayata) Yang & Huang 薄葉柳
113. *Salix fulvopubescens* Hayata var. *tagawana* (Koidz.) Yang & Huang 白毛柳
114. *Salix taiwanalpina* Kimura 臺灣山柳

28. BETULACEAE 樺木科

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

29. FAGACEAE 殼斗科

116. *Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst. 青剛櫟
117. *Cyclobalanopsis stenophylloides* (Hayata) Kudo & Masam. ex Kudo 狹葉櫟
118. *Pasania hancei* (Benth.) Schottky var. *ternaticupula* (Hayata) Liao 三斗石櫟
119. *Quercus spinosa* A. David ex Fr. 高山櫟
120. *Quercus tatakaensis* Tomiya 銳葉高山櫟
121. *Quercus variabilis* Blume 栓皮櫟

30. URTICACEAE 蕁麻科

122. *Elatostema trilobulatum* (Hayata) Yamazaki 裂葉樓梯草
123. *Gonostegia hirta* (Blume) Miq. 糯米團
124. *Nanocnide japonica* Blume 花點草
125. *Pilea rotundinucula* Hayata 圓果冷水麻
126. *Urtica taiwaniana* S. S. Ying 臺灣蕁麻
127. *Urtica thunbergiana* Sieb. & Zucc. 咬人貓

31. LORANTHACEAE 桑寄生科

128. *Loranthus delavayi* Van Tieghem 桐樹桑寄生
129. *Loranthus kaoi* (J. M. Chao) H. S. Kiu 高氏桑寄生
130. *Taxillus lonicrifolius* (Hayata) S. T. Chiu 忍冬葉桑寄生
131. *Taxillus rhododendricolus* (Hayata) S. T. Chiu 杜鵑桑寄生
132. *Viscum articulata* Burm f. 桐櫟柿寄生

32. POLYGONACEAE 蓼科

133. *Polygonum chinense* Siebold & Zucc. 火炭母草
134. *Polygonum filicaule* Wall. ex Meisn. 高山蓼
135. *Polygonum multiflorum* Thunb. var. *hypoleucum* (Ohwi) T. S. Liu, S. S. Ying & M. J. Lai 臺灣何首烏
136. *Polygonum nepalense* Meisn. 尼泊爾蓼
137. *Polygonum pilushanense* Liu & Ou 畢祿山蓼
138. *Polygonum runcinatum* Buch.-Ham. ex D. Don 玉山蓼
139. *Polygonum chinense* L. var. *auriculatum* (Meisn.) Susuki 耳葉火炭母草
140. *Polygonum cuspidatum* Siebold & Zucc. 虎杖

141. *Rumex acetosella* L. 小酸模
 142. *Rumex crispus* L. 皺葉酸模
- 33. PHYTOLACCACEAE 商陸科**
 143. *Phytolacca japonica* Makino 日本商陸
- 34. CARYOPHYLLACEAE 石竹科**
 144. *Arenaria subpilosa* (Hayata) Ohwi 亞毛無心菜
 145. *Arenaria takasagomontana* (Masam.) S. S. Ying 高山無心菜
 146. *Cerastium formosanum* Ohwi 臺灣卷耳
 147. *Cerastium trigynum* Vill. var. *morrisonense* (Hayata) Hayata 玉山卷耳
 148. *Cucubalus baccifer* L. 狗筋蔓
 149. *Dianthus pygmaeus* Hayata 玉山石竹
 150. *Dianthus superbis* L. var. *superbus* 瞿麥
 151. *Dianthus superbis* L. var. *longicalycinus* (Maxim.) Will. 長萼瞿麥
 152. *Dianthus superbis* L. var. *taiwanensis* (Masam.) T. S. Liu & S. S. Ying 臺灣瞿麥
 153. *Silene glabella* (Ohwi) Ying 南湖大山蠅子草
 154. *Silene morrisonmontana* (Hayata) Ohwi & H. Ohashi 玉山蠅子草
 155. *Stellaria arisanensis* (Hayata) Hayata 阿里山繁縷
 156. *Stellaria saxatilis* Buch.-Ham. ex D. Don 疏花繁縷
- 35. CHENOPODIACEAE 藜科**
 157. *Chenopodium album* L. 藜
- 36. LAURACEAE 樟科**
 158. *Neolitsea acuminatissima* (Hayata) Kanehira & Sasaki 高山新木薑子
- 37. TROCHODENDRACEAE 昆欄樹科**
 159. *Trochodendron aralioides* Sieb. & Zucc. 昆欄樹
- 38. RANUNCULACEAE 毛茛科**
 160. *Aconitum fukutomei* Hayata var. *fukutomei* 臺灣烏頭
 161. *Aconitum fukutomei* Hayata var. *formosanum* (Tamura) T. T. A. Yang & T. C. Huang 蔓烏頭
 162. *Anemone stolonifera* Maxim. 匍枝銀蓮花
 163. *Clematis gouriana* Roxb. ex DC. subsp. *lishanensis* T. T. A. Yang & T. C. Huang 梨山小蓼衣藤
 164. *Clematis grata* Wall. 串鼻龍
 165. *Clematis henryi* Oliv. var. *morii* (Hayata) T. T. A. Yang & T. C. Huan 森氏鐵線蓮
 166. *Clematis lasiandra* Maxim. 小木通
 167. *Clematis meyeniana* Walp. 麥氏鐵線蓮
 168. *Clematis montana* Buch.-Ham. ex DC. 繡球藤
 169. *Ranunculus formosa-montanus* Ohwi 蓬萊毛茛
 170. *Ranunculus japonicus* Thunb. 毛茛
 171. *Ranunculus junipericola* Ohwi 檜林毛茛
 172. *Ranunculus morii* (Yamamoto) Ohwi 森氏毛茛
 173. *Ranunculus taisanensis* Hayata 鹿場毛茛
 174. *Thalictrum javanicum* Bl. var. *puberulum* W. T. Wang 微毛爪哇唐松草
 175. *Thalictrum myriophyllum* Ohwi 密葉唐松草
 176. *Thalictrum rubescens* Ohwi 南湖唐松草

177. *Thalictrum sessile* Hayata 玉山唐松草
178. *Thalictrum urbaini* Hayata var. *urbaini* 傅氏唐松草
179. *Thalictrum urbaini* Hayata var. *majus* T. Shimizu 大花傅氏唐松草
- 39. BERBERIDACEAE 小檗科**
180. *Berberis brevisepala* Hayata 高山小檗
181. *Berberis kawakamii* Hayata 臺灣小檗
182. *Berberis morrisonensis* Hayata 玉山小檗
- 40. LARDIZABALACEAE 木通科**
183. *Akebia longeracemosa* Matsum. 長序木通
- 41. ACTINIDIACEAE 獼猴桃科**
184. *Actinidia chinensis* Planch. var. *setosa* H. L. Li 臺灣羊桃
- 42. THEACEAE 茶科**
185. *Cleyera japonica* Thunb. var. *longicarpa* (Yamamoto) L. K. Ling & C. F. Hsieh
長果紅淡比
186. *Eurya crenatifolia* (Yamamoto) Kobuski 假柃木
187. *Eurya glaberrima* Hayata 厚葉柃木
188. *Eurya gnaphalocarpa* Hayata 毛果柃木
189. *Eurya leptophylla* Hayata 薄葉柃木
190. *Eurya loquaiana* Dunn 細枝柃木
- 43. GUTTIFERAE=CLUSIACEAE 金絲桃科**
191. *Hypericum nagasawai* Hayata 玉山金絲桃
192. *Hypericum taihezanense* Sasaki ex S. Suzuki 短柄金絲桃
- 44. FUMARIACEAE 紫堇科**
193. *Corydalis ophiocarpa* Hook. f. & Thoms. 彎果黃堇
- 45. CRUCIFERAE=BRASSICACEAE 十字花科**
194. *Arabis formosana* (Masam. ex S. F. Huang) T. S. Liu & S. S. Ying 臺灣筷子芥
195. *Arabis gemmifera* (Matsumura) Makino ex Hara 葉芽筷子芥
196. *Arabis lyrata* L. subsp. *kamtschatica* (Fisch. ex DC.) Hulten 玉山筷子芥
197. *Arabis serrata* Franch. & Sav. 齒葉南芥
198. *Barbarea arisanense* (Hayata) S. S. Ying 高山山芥菜
199. *Barbarea taiwaniana* Ohwi 臺灣山芥
200. *Barbarea orthoceras* Ledeb. 山芥菜
201. *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medic. 薺
202. *Cardamine flexuosa* With. 焊菜
203. *Draba sekiyana* Ohwi 臺灣山薺
204. *Thlaspi arvense* L. 凹果蔴蕒
- 46. CRASSULACEAE 景天科**
205. *Hylotelephium subcapitatum* (Hayata) Ohba 穗花八寶
206. *Sedum actinocarpum* Yamamoto 星果佛甲草
207. *Sedum bulbiferum* Makino 珠芽佛甲草
208. *Sedum erythrospermum* Hayata 紅子佛甲草
209. *Sedum morrisonense* Hayata 玉山佛甲草
210. *Sedum nokoense* Yamamoto 能高佛甲草
211. *Sedum stellariaefolium* Franch. 火焰草
- 47. SAXIFRAGACEAE 虎耳草科**
212. *Astilbe longicarpa* (Hayata) Hayata 落新婦

213. *Chrysosplenium hebetatum* Ohwi 大武貓兒眼睛草
 214. *Deutzia pulchra* Vidal 大葉溲疏
 215. *Hydrangea anomala* D. Don 藤繡球
 216. *Hydrangea integrifolia* Hayata ex Matsum. & Hayata 大枝掛繡球
 217. *Itea parviflora* Hemsl. 小花鼠刺
 218. *Mitella formosana* (Hayata) Masam. 臺灣噴吶草
 219. *Parnassia palustris* L. 梅花草
 220. *Pileostegia viburnoides* Hook. f. & Thoms. 青棉花
 221. *Ribes formosanum* Hayata 臺灣茶蔗子
- 48. PITTOSPORACEAE 海桐科**
 222. *Pittosporum illicioides* Makino var. *illicioides* 疏果海桐
- 49. ROSACEAE 薔薇科**
 223. *Cotoneaster konishii* Hayata 臺灣鋪地蜈蚣
 224. *Cotoneaster morrisonensis* Hayata 玉山鋪地蜈蚣
 225. *Cotoneaster horizontalis* Decne. 平枝鋪地蜈蚣
 226. *Duchesnea indica* (Andr.) Focke 蛇莓
 227. *Filipendula kiraishiensis* Hayata 臺灣蚊子草
 228. *Fragaria hayatai* Makino 臺灣草莓
 229. *Photinia niitakayamensis* Hayata 玉山假沙梨
 230. *Potentilla leuconota* D. Don 玉山金梅
 231. *Potentilla matsumurae* Th. Wolf. var. *pilosa* Koidz. 高山翻白草
 232. *Potentilla tugitakensis* Masam. 雪山翻白草
 233. *Prunus obtusata* Koehne 臺灣稠李
 234. *Prunus takasagomontana* Sasaki 山白櫻
 235. *Prunus transarisanensis* Hayata 阿里山櫻花
 236. *Rosa multiflora* Thunb. var. *formosana* Cardot 臺灣野薔薇
 237. *Rosa pricei* Hayata 太魯閣薔薇
 238. *Rosa sericea* Lindl. var. *morrisonensis* (Hayata) Masam. 玉山野薔薇
 239. *Rosa taiwanensis* Nakai 小金櫻
 240. *Rosa transmorrisonensis* Hayata 高山薔薇
 241. *Rubus buergeri* Miq. 寒莓
 242. *Rubus croceacanthus* H. Lév. var. *croceacanthus* 虎婆刺
 243. *Rubus formosensis* Ktze. 臺灣懸鉤子
 244. *Rubus kawakamii* Hayata 桑葉懸鉤子
 245. *Rubus mesogaesus* Focke 裡白懸鉤子
 246. *Rubus pectinellus* Maxim. 刺萼寒莓
 247. *Rubus pungens* Camb. var. *oldhamii* (Miq.) Maxim. 毛刺懸鉤子
 248. *Rubus pungens* Camb. var. *pungens* 刺懸鉤子
 249. *Rubus sumatranus* Miq. 紅腺懸鉤子
 250. *Rubus taitoensis* Hayata var. *aculeatiflorus* (Hayata) H. Ohashi & C. F. Hsieh
 刺花懸鉤子
 251. *Rubus trianthus* Focke 苦懸鉤子
 252. *Rubus wallichianus* Wight & Arnott 鬼懸鉤子
 253. *Rubus rolfei* Vidal 玉山懸鉤子
 254. *Sibbaldia procumbens* L. 五蕊莓
 255. *Sorbus randaiensis* (Hayata) Koidz. 巒大花楸

256. *Spiraea formosana* Hayata 臺灣繡線菊
257. *Spiraea hayatana* H. L. Li 假繡線菊
258. *Spiraea morrisonicola* Hayata 玉山繡線菊
259. *Spiraea prunifolia* Sieb. & Zucc. var. *pseudoprunifolia* (Hayata) H. L. Li 笑靨花
- 50. LEGUMINOSAE=FABACEAE 豆科**
260. *Astragalus nokoensis* Sasaki 能高紫雲英
261. *Desmodium microphyllum* (Thunb.) DC. 小葉山螞蝗
262. *Desmodium sequax* Wall. 波葉山螞蝗
263. *Dunbaria rotundifolia* (Lour.) Merr. 圓葉野扁豆
264. *Trifolium repens* L. 菽草
- 51. OXALIDACEAE 酢漿草科**
265. *Oxalis acetocella* L. subsp. *griffinthii* (Edgew. & Hook f.) H. Hara var. *formosana* S. F. Huang & T. C. Huang 臺灣山酢醬草
266. *Oxalis acetocella* L. subsp. *taemoni* (Yamamoto) S. F. Huang & T. C. Huang 大霸尖山酢醬草
- 52. GERANIACEAE 牻牛兒苗科**
267. *Geranium hayatatum* Ohwi 單花牻牛兒苗
268. *Geranium nepalense* Sweet subsp. *thunbergii* (Sieb. & Zucc.) H. Hara 牻牛兒苗
- 53. POLYGALACEAE 遠志科**
269. *Polygala japonica* Houtt. 瓜子金
- 54. ANACARDIACEAE 漆樹科**
270. *Rhus javanica* L. var. *roxburghiana* (DC.) Rehd. & E. H. Wils. 羅氏鹽膚木
- 55. ACERACEAE 槭樹科**
271. *Acer kawakamii* Koidzumi 尖葉槭
- 56. BALSAMINACEAE 鳳仙花科**
272. *Impatiens uniflora* Hayata 紫花鳳仙花
- 57. AQUIFOLIACEAE 冬青科**
273. *Ilex bioritsensis* Hayata 苗栗冬青
274. *Ilex pedunculosa* Miq. 刻脈冬青
275. *Ilex tugitakayamensis* Sasaki 雪山冬青
276. *Ilex yunnanensis* Franch. var. *parvifolia* (Hayata) S. Y. Hu 雲南冬青
- 58. CELASTRACEAE 衛矛科**
277. *Euonymus spraguei* Hayata 刺果衛矛
- 59. RHAMNACEAE 鼠李科**
278. *Rhamnus formosana* Matsum. 桶鈎藤
279. *Rhamnus parvifolia* Bunge 小葉鼠李
- 60. MALVACEAE 錦葵科**
280. *Malva neglecta* Wall. 圓葉錦葵
281. *Malva sinensis* Cav. 華錦葵
- 61. THYMELAEACEAE 瑞香科**
282. *Daphne arisanensis* Hayata 臺灣瑞香
- 62. ELAEAGNACEAE 胡頹子科**
283. *Elaeagnus thunbergii* Serv. 鄧氏胡頹子
284. *Elaeagnus umbellata* Thunb. 小葉胡頹子

63. VIOLACEAE 堇菜科

285. *Viola adenothis* Hayata var. *adenothis* 喜岩堇菜
 286. *Viola adenothis* Hayata var. *tsugitakaensis* (Masam.) J. C. Wang & T. C. Huang 雪山堇菜
 287. *Viola betonicifolia* J. E. Smith 箭葉堇菜
 288. *Viola biflora* L. 雙黃花堇菜
 289. *Viola diffusa* Ging. 茶匙黃
 290. *Viola mandshurica* W. Becker 紫花地丁
 291. *Viola nagasawai* Makino & Hayata var. *pricei* (W. Becker) J. W. Wang & T. C. Huang 普萊氏堇菜
 292. *Viola senzanensis* Hayata 尖山堇菜

64. MELASTOMATACEAE 野牡丹科

293. *Sarcopyramis napalensis* Wall. var. *delicata* (C. B. Robinson) S. F. Huang & T. C. Huang 東方肉穗野牡丹

65. ONAGRACEAE 柳葉菜科

294. *Circaea alpina* L. subsp. *imaicola* (Asch. & Mag.) Kitam. 高山露珠草
 295. *Circaea cordata* Royle 心葉露珠草
 296. *Epilobium amurense* Hausskn. 黑龍江柳葉菜
 297. *Epilobium brevifolium* D. Don subsp. *trichoneurum* (Hausskn) P. H. Raven 短葉柳葉菜
 298. *Epilobium hohuanense* Ying ex Chen, Hoch & Raven 合歡柳葉菜
 299. *Epilobium nankotaizanense* Yamamoto 南湖柳葉菜
 300. *Epilobium pengii* Chen, Hoch & Raven 彭氏柳葉菜
 301. *Epilobium taiwanianum* C. J. Chen, Hoch & P. H. Raven 臺灣柳葉菜

66. HALORAGACEAE 小二仙草科

302. *Haloragis micrantha* (Thunb.) R. Brown 小二仙草

67. ARALIACEAE 五加科

303. *Eleutherococcus trifoliatus* (L.) S. Y. Hu 三葉五加
 304. *Hedera rhombea* (Miq.) Bean var. *formosana* (Nakai) H. L. Li 臺灣常春藤

68. UMBELLIFERAE=APIACEAE 繖形科

305. *Angelica morii* Hayata 森氏當歸
 306. *Angelica morrisonicola* Hayata 玉山當歸
 307. *Conioselinum morrisonense* Hayata 玉山彎柱芎
 308. *Hydrocotyle setulosa* Hayata 阿里山天胡荽
 309. *Oenanthe javanica* (Blume) DC. 水芹菜
 310. *Oreomyrrhis involucrata* Hayata 山薰香
 311. *Pimpinella nitakayamensis* Hayata 玉山茴芹

69. DIAPENSIACEAE 岩梅科

312. *Shortia rotundifolia* (Maxim.) Makino var. *rotundifolia* 倒卵葉裂緣花

70. PYROLACEAE 鹿蹄草科

313. *Cheilotheca humilis* (D. Don) H. Keng 水晶蘭
 314. *Cheilotheca macrocarpa* (Andres) Y. L. Chou 阿里山水晶蘭
 315. *Chimaphila japonica* Miq. 日本愛冬葉
 316. *Moneses uniflora* (L.) A. Gray 單花鹿蹄草
 317. *Monotropa hypopithys* L. 錫杖花
 318. *Pyrola morrisonensis* (Hayata) Hayata 玉山鹿蹄草

319. *Pyrola alboreticulata* Hayata 斑紋鹿蹄草

71. ERICACEAE 杜鵑花科

320. *Gaultheria itoana* Hayata 高山白珠樹

321. *Gaultheria cumingiana* Vidal 白珠樹

322. *Lyonia ovalifolia* (Wall.) Drude var. *ovalifolia* 南燭

323. *Lyonia ovalifolia* (Wall.) Drude var. *lanceolata* (Wall.) Hand.-Mazz. 銳葉南燭

324. *Pieris taiwanensis* Hayata 臺灣馬醉木

325. *Rhododendron hyperythrum* Hayata 南湖杜鵑

326. *Rhododendron noriakianum* T. Suzuki 細葉杜鵑

327. *Rhododendron pseudochrysanthum* Hayata 玉山杜鵑

328. *Rhododendron rubropilosum* Hayata var. *rubropilosum* 紅毛杜鵑

329. *Rhododendron rubropilosum* Hayata var. *taiwanalpinum* (Ohwi) S. Y. Lu, Yuen P. Yang & Y. H. Tseng 臺灣高山杜鵑

330. *Rhododendron leptosanctum* Hayata 西施花

331. *Vaccinium bracteatum* Thunb. 米飯花

332. *Vaccinium japonicum* Miq. var. *lasiostemon* Hayata 毛蕊花

333. *Vaccinium merrillianum* Hayata 高山越橘

72. MYRSINACEAE 紫金牛科

334. *Ardisia crenata* Sims 硃砂根

335. *Ardisia pusilla* A. DC. 輪葉紫金牛

336. *Maesa japonica* (Thunb.) Moritzi ex Zoll. 山桂花

73. PRIMULACEAE 報春花科

337. *Lysimachia fortunei* Maxim. 星宿菜

338. *Primula miyabeana* T. Itô & Kawakami 玉山櫻草

74. SYMPLOCACEAE 灰木科

339. *Symplocos heishanensis* Hayata 平遮那灰木

340. *Symplocos stellaris* Brand 枇杷葉灰木

341. *Symplocos arisanensis* Hayata 阿里山灰木

342. *Symplocos formosana* Brand var. *formosana* 臺灣灰木

343. *Symplocos morrisonicola* Hayata 玉山灰木

75. OLEACEAE 木犀科

344. *Jasminum urophyllum* Hemsl. 川素馨

345. *Ligustrum morrisonense* Kanehira & Sasaki 玉山女貞

346. *Osmanthus heterophyllus* (Don) Green var. *bibracteatus* (Hayata) Green 異葉木犀

76. GENTIANACEAE 龍膽科

347. *Gentiana arisanensis* Hayata 阿里山龍膽

348. *Gentiana flavomaculata* Hayata 黃斑龍膽

349. *Gentiana flavomaculata* Hayata var. *yuanyanghuensis* C. H. Chen & J. C. Wang 鴛鴦湖龍膽

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

351. *Gentiana scabrada* Hayata var. *scabrada* 玉山龍膽

352. *Gentiana davidii* Franch. var. *formosana* (Hayata) T. N. Ho 臺灣龍膽

353. *Swertia tozanensis* Hayata 高山當藥

354. *Swertia macrosperma* (C. B. Clarke) C. B. Clarke 大籽當藥

355. *Tripterispermum lanceolatum* (Hayata) Hara ex Satake 玉山肺形草

356. *Tripterospermum taiwanense* (Masam.) Satake 臺灣肺形草
 357. *Tripterospermum luzonense* (Vidal) J. Murata 呂宋肺形草
- 77. ASCLEPIADACEAE 蘿藦科**
 358. *Cynanchum boudieri* H. Lev. & Vaniot 薄葉牛皮消
- 78. RUBIACEAE 茜草科**
 359. *Galium echinocarpum* Hayata 刺果豬殃殃
 360. *Galium formosense* Ohwi 圓葉豬殃殃
 361. *Galium fukuyamai* Masam. 福山氏豬殃殃
 362. *Galium spurium* L. f. *vaillantii* (DC.) R. J. Moore 豬殃殃
 363. *Rubia lanceolata* Hayata 金劍草
- 79. BORAGINACEAE 紫草科**
 364. *Cynoglossum alpestre* Ohwi 高山倒提壺
 365. *Cynoglossum furcatum* Wallich 琉璃草
 366. *Trigonotis nankotaizanensis* (Sasaki) Masam. & Ohwi ex Masam. 南湖附地草
- 80. VERBENACEAE 馬鞭草科**
 367. *Callicarpa formosana* Rolfe var. *formosana* 杜虹花
- 81. LABIATAE = LAMIACEAE 唇形科**
 368. *Clinopodium laxiflorum* (Hayata) Mori 疏花風輪菜
 369. *Clinopodium laxiflorum* (Hayata) Mori var. *taiwanianum* T. H. Hsieh & T. C. Huang 臺灣風輪菜
 370. *Clinopodium chinense* (Benth.) Kuntze 風輪菜
 371. *Gomphostemma callicarpoides* (Yamamoto) Masam. 臺灣錐花
 372. *Melissa axillaris* Bakh. f. 蜜蜂花
 373. *Origanum vulgare* L. 野薄荷
 374. *Rubiteucris palmata* (Benth. ex Hook f.) Kudo 掌狀野霍香
 375. *Salvia arisanensis* Hayata 阿里山紫花鼠尾草
 376. *Salvia hayatana* Makino ex Hayata 早田氏鼠尾草
 377. *Salvia japonica* Thunb. 日本紫花鼠尾草
 378. *Salvia formosana* (Murata) Yamazaki var. *formosana* 臺灣紫花鼠尾草
 379. *Scutellaria indica* L. 印度黃芩
 380. *Teucrium bidentatum* Hemsl. 二齒香科科
 381. *Comanthosphace formosana* Ohwi 臺灣白木草
- 82. SCROPHULARIACEAE 玄參科**
 382. *Ellisiophyllum pinnatum* (Wall. ex Benth.) Makino 海螺菊
 383. *Euphrasia nankotaizanensis* Yamamoto 南湖碎雪草
 384. *Euphrasia transmorrisonensis* Hayata 玉山小米草
 385. *Euphrasia transmorrisonensis* Hayata var. *durietziana* (Ohwi) T. C. Huang & M. J. Wu 臺灣碎雪草
 386. *Hemiphragma heterophyllum* Wall. 腰只花
 387. *Mazus alpinus* Masam. 高山通泉草
 388. *Pedicularis ikomai* Sasaki 高山馬先蒿
 389. *Pedicularis verticillata* L. 馬先蒿
 390. *Veronica linariifolia* Pallas ex Link 追風草
 391. *Veronica morrisonicola* Hayata 玉山水苦賈
 392. *Veronica oligosperma* Hayata 貧子水苦賈
- 83. OROBANCHACEAE 列當科**

393. *Boschniakia himalaica* Hooker & Thomson 丁座草
394. *Christisonia hookeri* C. B. Clarke 假野蒜
- 84. PLANTAGINACEAE 車前科**
395. *Plantago major* L. 大車前草
- 85. CAPRIFOLIACEAE 忍冬科**
396. *Lonicera acuminata* Wall. 阿里山忍冬
397. *Lonicera apodantha* Ohwi 無梗忍冬
398. *Lonicera kawakamii* (Hayata) Masam. 川上氏忍冬
399. *Sambucus chinensis* Lindl. 有骨消
400. *Viburnum foetidum* Wall. var. *rectangulatum* (Graebner) Rehder 太平山英迷
401. *Viburnum integrifolium* Hayata 玉山糯米樹
402. *Viburnum luzonicum* Rolfe 呂宋英迷
403. *Viburnum propinquum* Hemsl. 高山英迷
404. *Viburnum taitoense* Hayata 臺東英迷
405. *Viburnum betulifolium* Batal. 樺葉英迷
406. *Viburnum formosanum* Hayata 紅子英迷
407. *Viburnum sympodiale* Graebner 假繡球
408. *Viburnum urceolatum* Sieb. & Zucc. 臺灣高山英迷
- 86. VALERIANACEAE 敗醬科**
409. *Triplostegia glandulifera* Wall. ex DC. 三萼花草
410. *Valeriana fauriei* Briquet 纈草
411. *Valeriana flaccidissima* Maxim. 嫩莖纈草
- 87. DIPSACACEAE 續斷科**
412. *Scabiosa lacerifolia* Hayata 玉山山蘿蔔
- 88. CAMPANULACEAE 桔梗科**
413. *Adenophora morrisonensis* Hayata subsp. *morrisonensis* 玉山沙參
414. *Adenophora morrisonensis* Hayata subsp. *uehatae* (Yamamoto) Lammers 高山沙參
415. *Adenophora triphylla* (Thunb.) A. DC. 輪葉沙參
416. *Codonopsis kawakamii* Hayata 玉山山奶草
417. *Lobelia seguinii* H. Lev. & Vant. 大本山梗菜
418. *Peracarpa carnosa* (Wall.) Hook. f. & Thomson 山桔梗
419. *Wahlenbergia marginata* (Thunb.) A. DC. 細葉蘭花參
- 89. COMPOSITAE=ASTERACEAE 菊科**
420. *Ainsliaea macroclinidioides* Hayata 阿里山鬼督郵
421. *Ainsliaea reflexa* Merr. 臺灣鬼督郵
422. *Anaphalis nepalensis* (Spreng.) Hand.-Mazz. 尼泊爾籟簫
423. *Anaphalis morrisonicola* Hayata 玉山抱莖籟簫
424. *Anaphalis royleana* DC. 能高籟簫
425. *Artemisia kawakamii* Hayata 山艾
426. *Artemisia niitakayamensis* Hayata 玉山艾
427. *Artemisia oligocarpa* Hayata 高山艾
428. *Artemisia somai* Hayata var. *batakensis* (Hayata) Kitam. 太魯閣艾
429. *Artemisia indica* Willd. 艾
430. *Artemisia morrisonensis* Hayata 細葉山艾
431. *Artemisia tsugitakaensis* (Kitam.) Ling & Y. R. Ling 雪山艾

432. *Aster lasiocladus* Hayata 絨山白蘭
 433. *Aster ovalifolius* Kitam. 臺灣紺菊
 434. *Aster taiwanensis* Kitam. 臺灣馬蘭
 435. *Aster takasagomontanus* Sasaki 雪山馬蘭
 436. *Cirsium arisanense* Kitam. 阿里山薊
 437. *Cirsium hosokawae* Kitam. 細川氏薊
 438. *Cirsium kawakamii* Hayata 玉山薊
 439. *Cirsium morii* Hayata 森氏薊
 440. *Cirsium suzukii* Kitam. 鈴木氏薊
 441. *Conyza canadensis* (L.) Cronq. var. *canadensis* 加拿大蓬
 442. *Dichrocephala integrifolia* (L. f.) Kuntze 茯苓菜
 443. *Erigeron morrisonensis* Hayata var. *fukuyamae* (Kitam.) Kitam. 福山氏飛蓬
 444. *Erigeron morrisonensis* Hayata var. *morrisonensis* 玉山飛蓬
 445. *Eupatorium formosanum* Hayata 臺灣澤蘭
 446. *Gnaphalium adnatum* Wall. ex DC. 紅面番
 447. *Gnaphalium hypoleucum* DC. 秋鼠麴草
 448. *Gnaphalium involucratum* Forst. var. *simplex* DC. 細葉鼠麴草
 449. *Gnaphalium involucratum* Forst. var. *ramosum* DC. 分枝鼠麴草
 450. *Gnaphalium japonicum* Thunb. 父子草
 451. *Gnaphalium luteoalbum* L. 絲綿草
 452. *Gnaphalium luteoalbum* L. subsp. *affine* (D. Don) Koster 鼠麴草
 453. *Gynura japonica* (Thunb.) Juel 黃花三七草
 454. *Hieracium morii* Hayata 森氏山柳菊
 455. *Ixeris chinensis* (Thunb.) Nakai 兔仔菜
 456. *Leontopodium microphyllum* Hayata 玉山薄雪草
 457. *Myriactis humilis* Merr. 矮菊
 458. *Picris hieracioides* L. subsp. *morrisonensis* (Hayata) Kitam. 玉山毛蓮菜
 459. *Picris hieracioides* L. subsp. *ohwiana* (Kitam.) Kitam. 高山毛蓮菜
 460. *Saussurea glandulosa* Kitam. 高山青木香
 461. *Saussurea kiraisanensis* Masam. 奇萊青木香
 462. *Senecio morrisonensis* Hayata 玉山黃菀
 463. *Senecio nemorensis* L. var. *dentatus* (Kitam.) H. Koyama 黃菀
 464. *Senecio scandens* Buch.-Ham. ex D. Don var. *scandens* 蔓黃菀
 465. *Senecio scandens* Buch.-Ham. ex D. Don. var. *incisus* Franch. 裂葉蔓黃菀
 466. *Senecio vulgaris* L. 歐洲黃菀
 467. *Senecio crataegifolius* Hayata 小蔓黃菀
 468. *Solidago virgaurea* L. var. *leiocarpa* (Benth.) A. Gray 一枝黃花
 469. *Sonchus oleraceus* L. 苦蕒菜
 470. *Syneilesis subglabrata* (Yamamoto & Sasaki) Kitam. 高山破傘菊
 471. *Hypochaeris radicata* L. 貓耳葉菊
 472. *Ixeridium laevigatum* (Blume) J. H. Pak & Kawano 刀傷草
 473. *Ixeridium transnokoense* (Y. Sasaki) J. H. Pak & Kawano 能高刀傷草
 474. *Parasenecio hwangshanicus* (Ling) C.-I Peng & S. W. Chung 黃山蟹甲草
 475. *Parasenecio monantha* (Diels) C.-I Peng & S. W. Chung 玉山蟹甲草

單子葉植物

90. LILIACEAE 百合科

- 476. *Aletris formosana* (Hayata) Sasaki 臺灣粉條兒菜
- 477. *Aletris spicata* (Thunb.) Franchet. 束心蘭
- 478. *Lilium formosanum* Wallace 臺灣百合
- 479. *Lilium longiflorum* Thunb. var. *scabrum* Masam. 粗莖麝香百合
- 480. *Ophiopogon intermedius* D. Don 間型沿階草
- 481. *Paris polyphylla* Sm. var. *polyphylla* 七葉一枝花
- 482. *Veratrum formosanum* Loesen. f. 臺灣黎蘆
- 483. *Veratrum shueshanarum* S. S. Ying 雪山黎蘆
- 484. *Helonias umbellata* (Baker) N. Tanaka 臺灣胡麻花
- 485. *Smilacina japonica* A. Gray 鹿藥

91. SMILACACEAE 菝葜科

- 486. *Smilax arisanensis* Hayata 阿里山菝葜
- 487. *Smilax china* L. 菝葜
- 488. *Smilax elongato-umbellata* Hayata 細葉菝葜
- 489. *Smilax menispermoidea* A. DC. 巒大菝葜
- 490. *Smilax sieboldii* Miq. 山何首烏
- 491. *Smilax vaginata* Decaisne 玉山菝葜

92. JUNCACEAE 燈心草科

- 492. *Juncus triflorus* Ohwi 玉山燈心草
- 493. *Luzula effusa* Buchen. 中國地楊梅
- 494. *Luzula taiwaniana* Satake 臺灣地楊梅

93. CYPERACEAE 莎草科

- 495. *Bulbostylis densa* (Wall.) Hand.-Mazz. 球柱草
- 496. *Carex atrata* L. 南湖扁果薹
- 497. *Carex baccans* Nees 紅果薹
- 498. *Carex bilateralis* Hayata 短葉二柱薹
- 499. *Carex brachyathera* Ohwi 垂穗薹
- 500. *Carex breviculmis* R. Br. 短莖宿柱薹
- 501. *Carex caucasica* Steven 大井氏扁果薹
- 502. *Carex cruciata* Wahl. 煙火薹
- 503. *Carex filicina* Nees 紅鞘薹
- 504. *Carex fulvorubescens* Hayata 茶色扁果薹
- 505. *Carex ligulata* Nees 貝舌薹
- 506. *Carex liuii* T. Koyama & Chuang 劉氏薹
- 507. *Carex nubigena* D. Don ex Tilloch & Taylor 聚生穗序薹
- 508. *Carex satzumensis* Franch. & Sav. 油薹
- 509. *Carex tristachya* Thunb. var. *pocilliformis* (Boott) Kuk. 抱鱗宿柱薹
- 510. *Trichophorum subcapitatum* (Thwaites & Hook.) D. A. Simpson 玉山針蘭

94. GRAMINEAE=POACEAE 禾本科

- 511. *Agropyron formosanum* Honda 臺灣鵝觀草
- 512. *Agropyron mayebaratum* Honda 前原鵝觀草
- 513. *Agrostis clavata* Trin. 翦股穎
- 514. *Agrostis infirma* Buse var. *infirma* 玉山翦股穎
- 515. *Agrostis infirma* Buse var. *formosana* (Hack.) Veldkamp 草山翦股穎

516. *Agrostis infirma* Buse var. *fukuyamae* (Ohwi) Veldkamp 伯明翦股穎
 517. *Anthoxanthum horsfieldii* (Kunth ex Benn.) Mez var. *formosanum* (Honda) Veldkamp 臺灣黃花茅
 518. *Arundo formosana* Hack. 臺灣蘆竹
 519. *Brachypodium kawakamii* Hayata 川上短柄草
 520. *Brachypodium sylvaticum* (Huds.) P. Beauv. 基隆短柄草
 521. *Bromus catharticus* Vahl 大扁雀麥
 522. *Bromus formosanus* Honda 臺灣雀麥
 523. *Bromus morrisonensis* Honda 玉山雀麥
 524. *Bromus remotiflorus* (Steud.) Ohwi var. *piananen* 卑南雀麥
 525. *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv. var. *festucifolia* Honda 髮草
 526. *Deschampsia flexuosa* (L.) Trin. 曲芒髮草
 527. *Deyeuxia formosana* (Hayata) C. C. Hsu 臺灣野青茅
 528. *Deyeuxia brachytricha* (Steud.) Chang 類蘆野青茅
 529. *Festuca japonica* Makino 日本羊茅
 530. *Festuca ovina* L. 羊茅
 531. *Festuca ovina* L. var. *duriuscula* (L.) Koch 闊葉羊茅
 532. *Festuca parvigluma* Steud. 小穎羊茅
 533. *Festuca rubra* L. 紫羊茅
 534. *Festuca leptopogon* Stapf 高砂羊茅
 535. *Helictotrichon abietetorum* (Ohwi) Ohwi 冷杉異燕麥
 536. *Lolium multiflorum* Lam. 多花黑麥草
 537. *Miscanthus sinensis* Andersson 芒
 538. *Miscanthus sinensis* Anders. 高山芒
 539. *Phleum alpinum* L. 高山梯牧草
 540. *Poa annua* L. 早熟禾
 541. *Poa nankoensis* Ohwi 南湖大山早熟禾
 542. *Poa taiwanicola* Ohwi 高山早熟禾
 543. *Poa takasagomontana* Ohwi 高砂早熟禾
 544. *Poa tenuicula* Ohwi 細桿早熟禾
 545. *Setaria glauca* (L.) Beauv. 御谷
 546. *Trisetum spicatum* (L.) Rich. var. *formosanum* (Honda) Ohwi 臺灣三毛草
 547. *Vulpia myuros* (L.) Gmel. 鼠茅
 548. *Yushania niitakayamensis* (Hayata) Keng f. 玉山箭竹
 549. *Aniselytron agrostoides* Merr. 小穎溝桴草
 550. *Aniselytron treutleri* (Kuntze) Sojak 溝桴草

95. ARACEAE 天南星科

551. *Arisaema consanguineum* Schott 長行天南星
 552. *Arisaema formosanum* (Hayata) Hayata 臺灣天南星

96. ORCHIDACEAE 蘭科

553. *Amitostigma alpestre* Fukuy. 南湖雛蘭
 554. *Androcorys pusillus* (Ohwi & Fukuy.) Masam. 小兜蕊蘭
 555. *Cephalanthera alpicola* Fukuy. 高山頭蕊蘭
 556. *Coeloglossum viride* (L.) Hartm. 綠花凹舌蘭
 557. *Epipactis helleborine* (L.) Crantz subsp. *ohwii* (Fukuy.) H. J. Su 臺灣鈴蘭
 558. *Goodyera nankoensis* Fukuy. 南湖斑葉蘭

559. *Goodyera repens* (L.) R. Br. 南投斑葉蘭
560. *Goodyera schlechtendaliana* Reichb. f. 斑葉蘭
561. *Goodyera velutina* Maxim. 烏嘴蓮
562. *Goodyera kwangtungensis* C. L. Tso 花格斑葉蘭
563. *Hemipilia cordifolia* Lindl. 玉山一葉蘭
564. *Herminium lanceum* (Thunb. ex Sm.) Vuijk 細葉零餘子草
565. *Listera macrantha* Fukuy. 大花雙葉蘭
566. *Listera morrisonicola* Hayata 玉山雙葉蘭
567. *Listera japonica* Bl. 日本雙葉蘭
568. *Platanthera brevicarata* Hayata 短距粉蝶蘭
569. *Platanthera mandarinorum* Reichb. f. subsp. *pachyglossa* (Hayata) T. P. Lin & K. Inoue 厚唇粉蝶蘭
570. *Platanthera minor* (Miq.) Reichb. f. 卵唇粉蝶蘭
571. *Platanthera sachalinensis* F. Schmidt 高山粉蝶蘭
572. *Ponerorchis kiraishiensis* (Hayata) Ohwi 紅小蝶蘭
573. *Spiranthes sinensis* (Pers.) Ames 綏草
574. *Vexillabium yakushimense* (Yamam.) Maek. 紫葉旗唇蘭
575. *Erythrorchis altissima* (Bl.) Bl. 蔓莖山珊瑚

第五章 鳥類群聚與生態研究

中文摘要

一、研究緣起與目的

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、研究地區及方法

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*)與玉山箭竹-高山芒火災跡地等 4 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，以研究鳥類食性組成、繁殖率和存活率之季節間與年變化。

三、成果

本研究於 3、5、6、8~10 月間在雪山地區記錄 25 科 60 種鳥類。各生態系出現 11~17 種鳥類，其中針闊葉混合林的鳥類密度最高。火災跡地的優勢鳥種為火冠戴菊鳥 (*Regulus goodfellowi*)、酒紅朱雀 (*Carpodacus vinaceus*)，箭竹-高山芒的優勢鳥種為金翼白眉 (*Garrulax morrisonianus*)、青背山雀 (*Parus monticolus*)、冠羽畫眉 (*Yuhina brunneiceps*)，冷杉林的優勢鳥種為火冠戴菊鳥、褐頭花翼 (*Alcippe cinereiceps*)和鷓鴣 (*Troglodytes troglodytes*)，玉山杜鵑-圓柏灌叢的優勢鳥種則為火冠戴菊鳥、岩鷓 (*Prunella collaris*)和鷓鴣，推移帶的優勢鳥種為褐頭花翼、深山鶯和黃羽鸚嘴 (*Paradoxornis verreauxi*)，針闊葉混合林生態系的優勢鳥種是褐頭花翼、冠羽畫眉，以及紅胸啄花鳥 (*Dicaeum ignipectus*)與青背山雀。繫放 5 科 7 種 101 隻鳥類，以火燒跡地捕捉到的數量最多，可能和三六九山莊遊客留下的廚餘有關。2001 年雪山東峰箭竹-高山芒火災跡地的鳥種豐富度，9 年後增加 7 種 (8~10 月)，其中地面覓食的金翼白眉、深山鶯和栗背林鴿的隻數明顯增多。

四、建議

建議在三六九和七卡山莊製作禁止傾倒廚餘以及禁止餵食的告示牌。

關鍵詞：雪山、鳥相、棲地、食性、遊客活動

Abstract

This study was conducted at Sheshan area to monitor the seasonal and yearly differences in avifauna between *Abies kawakamii*, *Yushania niitakayamensis*-*Miscanthus sinensis*, and burned *Y. niitakayamensis*-*M. sinensis*, and *Juniperus morrisonicola*. Three to six bird stations were established at each habitat by the 6-mim-point-count method. Furthermore, to determine breeding and survival rate of several common bird species, five mist-nets were set up at each habitat and birds captured were aged, sexed, and banded. A total of 60 bird species of 25 families were found at Sheshan area. Eleven to 11 bird species were recorded for each six habitat, with mixed coniferous-broadleaf forest dwelling the highest bird density. Taiwan Flamecrest (*Regulus goodfellowi*) and Vinaceous Rosefinch (*Carpodacus vinaceus*) were most abundant at the burned *Y. niitakayamensis*-*M. sinensis*; Formosan Laughing Thrush (*Garrulax morrisonianus*), Green-backed Tit (*Parus monticolus*), and Taiwan Yuhina (*Yuhina brunneiceps*) at the unburned one; Taiwan Flamecrest and Brown-headed Nun Babbler (*Alcippe cinereiceps*) at *A. kawakamii* forest; Taiwan Flamecrest, Alpine Accentor (*Prunella collaris*), and Wren (*Troglodytes troglodytes*) at *Rhododendron pseudochrysanthu*-*J. morrisonicola*; Brown-headed Nun babbler, Yellow-bellied Bush Warbler (*Cettia acanthizoides*), and Orange Parrotbill (*Paradoxornis verreauxi*) at forest/grassland ecotone; Brown-headed Nun babbler, Taiwan Yuhina (*Dicaeum ignipectus*), and Green-backed Tit at the mixed coniferous-broadleaf forest. Totally 101 birds of seven species were banded, and most were caught at the burned plots where leftover from hikers at the Cottage 369 were probably responsible for it. Species richness increased by seven species at the *Y. niitakayamensis*-*M. sinensis* of the SheShan East Peak nine years after the 2001 fire.

Key words: avifauna, food habit, habitat, Sheshan, hiker activity

一、研究緣起與目的

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、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3000 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；1999；呂金誠，1999；邱清安，2002；呂金誠等，2004；歐辰雄，2008)之外，鳥類部份較少涉獵，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，惟其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調查，故無從得知各生態系鳥類的密度。

Sala *et al.* (2000)在2100年全球生物多樣性的評估報告中，明確指出全球氣候變遷將對某些處於極端氣候的生態系影響最大，例如極地、高山以及沙漠生態系。因為環境條件嚴苛，此地的生物本來就處於最低條件的生存條件上，只要微小的氣溫或雨量變化就可能對這些脆弱生態系中的生物多樣性與物種組成帶來劇烈的衝擊。

過去，雪霸國家公園管理處投入甚多資源在國寶魚保育的經費上，現階段將把研究觸角擴及至其它生態系(林永發，2000)。為此，本計畫將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。

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-高山芒火災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不同生態系鳥類，以研究其食性組成、繁殖率和存活率之季或年變化。

二、研究背景

袁孝維(1995)於8、9、11月調查雪山東峰至翠池沿線鳥相，總共發現32種鳥類，其中以煤山雀(*Parus ater*)的記錄最多，其次是火冠戴菊鳥(*Regulus goodfellowi*)。羅宏仁和周大慶(1996)以11個月的時間調查雪山步道沿線鳥相，總計發現62種鳥類，其中哭坡至黑森林出現34種，黑森林至翠池只剩下15種。周大慶(2001)調查2001年2月雪山東峰地高山芒和箭竹灌叢遭地表火焚燒後一年間鳥相的變化，發現3月起鳥種增多，12月下降，32種鳥類中有19種出現在火燒跡地，其中以褐頭花翼畫眉(*Alcippe cinereiceps*)數量最多。在玉山的高山生態系繁殖季鳥相研究中，丁宗蘇(1993)指出，鳥類多樣性隨海拔遞增而遞減。鐵杉林與冷杉林鳥相之相似度最高。

三、研究地區及方法

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圈谷間，長度約6 km。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，6月起增設生態交會(推移帶)帶樣區，7月起在七卡山莊增設針闊葉混合林樣區。除了針闊葉混合林樣區僅1個樣站之外，其餘生態系中設置5-10個調查樣站(圖5-1；附錄5-1)，間距至少250 m (Ralph *et al.*, 1995)。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。調查採不定半徑圓圈法(variable circular-plot method)(Reynolds *et al.*, 1980)，記錄停留期目擊和聽聞的鳥種、數量及鳥隻與研究者的水平距，對於持續於空中飛行的種類(如燕科(Hirundinidae)、雨燕科(Apodidae)、鷲鷹科(Accipitridae))則不列入分析。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/公頃)以公式(密度= $N/\pi r^2 C \times 10^4$)計算，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，為聽到1次鳴叫聲乘以2的加權值，非繁殖季資料聽到1次鳴叫聲，乘以該鳥種的平均結群隻數，參考(廖煥彰 2006)觀察到有大於1隻以上結群行動的鳥種，其平均結群隻數皆以4來估算，而非結群出現鳥種，1次鳴叫聲以1隻個體計算。繁殖季資料用來計算密度的鳥類特定基礎半徑，目前參考丁宗蘇(1993)，待本研究後續蒐集充足的資料後，再計算當地的特定基礎半徑，供日後計算族群密度使用，非繁殖季鳥種特定基礎半徑，在本研究累積足夠資料之

前，仍沿用丁宗蘇(1993)的特定基礎半徑。

本區10年間發生兩次野火，前次發生於2001年2月，最近一次在2008年12月18日。周大慶(2001)在雪山東峰觀察2001年火災後一年間箭竹-高山芒跡地的鳥相變化，由於周大慶(2001)使用的鳥類調查法為山區比較少用的穿越線法，因此為監測8年後的鳥相演替，8月後這段步道區(4.4~5.7K)另增穿越線法。

鳥類繫放部份，本計畫5月-6月分在三六九山莊周邊地帶的4個生態系各架設5面鳥網；為了瞭解廚餘對高海拔鳥類的影響，8月-10月改在三六九山莊，以及東峰北面坡各架設1張網(圖5-2；附錄5-2)。每月上山捕捉2~3天，每日開網時間設在05:00~18:00，但避免在下雨以及強風的天候下張網。將捕獲的非保育類鳥類繫上金屬腳環、色環，進行型質測量，並記錄換羽情形、年齡和性別。鳥網捕獲率日後也將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，並與氣象和食物因子進行相關分析。此外，繫放亦可作為族群變動之監測工具(Luck, 2006)。

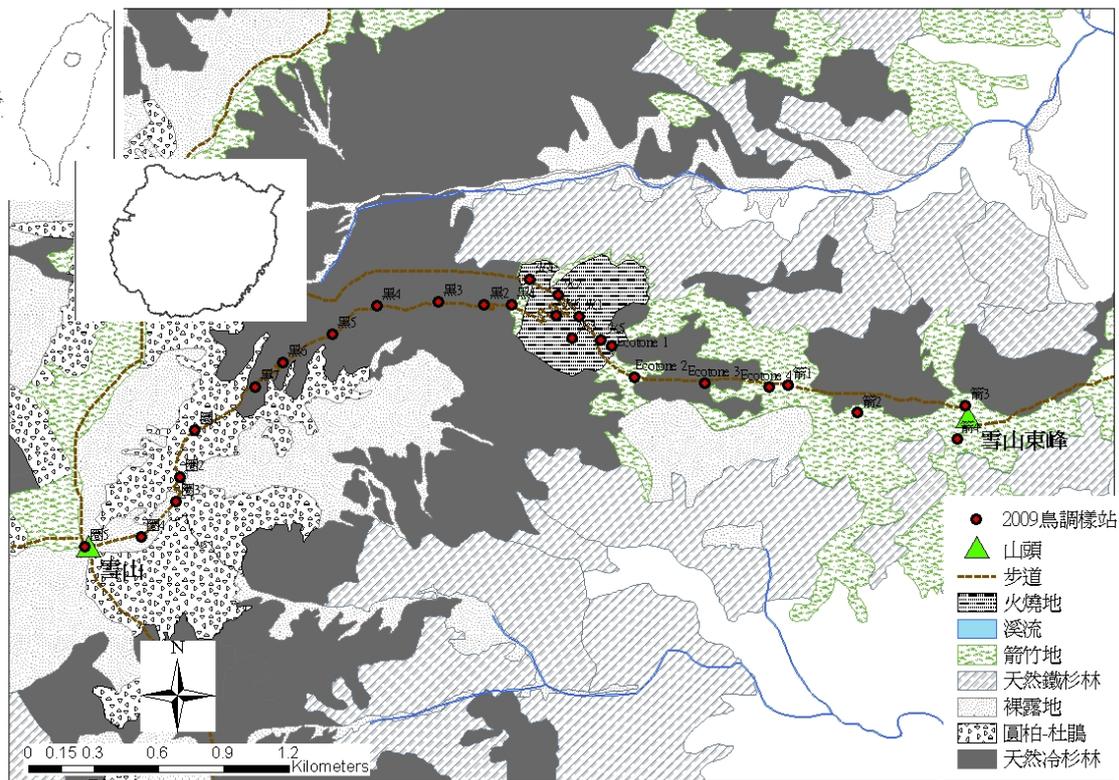


圖 5-1 樣區植被和鳥相調查樣站位置。

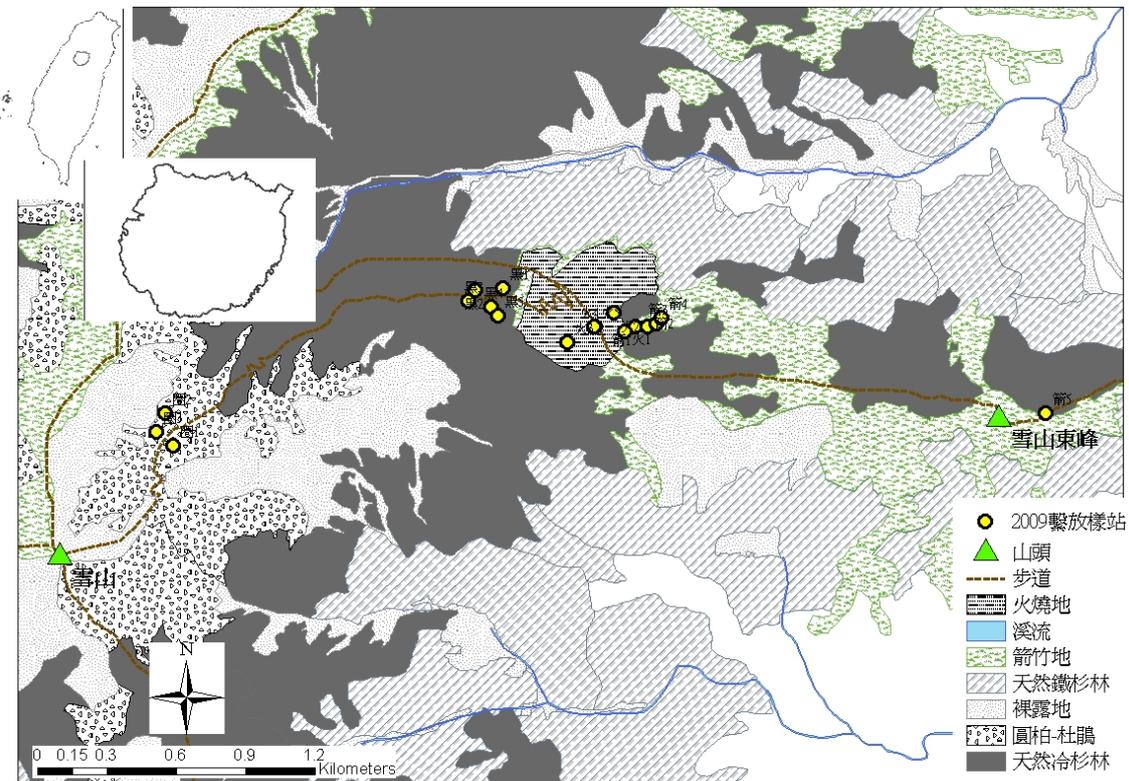


圖 5-2 各生態系鳥類繫放樣站位置。

四、結果

除了4月分因為大雨，7月分因為發佈莫拉菲颱風的海上颱風警報，僅完成七卡山莊鳥相調查後便終止調查，以及11月分出差人員身體不適而取消外，在3、5、6、8~10月各進行1次調查，每次上山6天，每次2~6人，總計120人天。

研究期間共計記錄到25科60種鳥類，包括高海拔少見的麻雀(*Passer montanus*)1隻(三六九山莊)與夜鷹(*Caprimulgus* sp.)1隻(火燒跡地)，惟後者不確定種類。保育類方面，包括 I 級的赫氏角鷹(*Spizaetus nipalensis*)(玉山箭竹-高山芒與黑森林交界)、II 級的大鵟(*Buteo hemilasius*)(玉山箭竹-高山芒區)和蒼鷹(*Accipiter gentilis*)(火燒跡地與黑森林交界)及黑長尾雉(*Syrnaticus mikado*)(玉山箭竹-高山芒區，及黑森林樣區)與臺灣松雀鷹(*Accipiter virgatus*)(火燒跡地與黑森林交界)，以及綠啄木(*Picus canus*)(步道3.4 k處)；至於 III 級有黃腹琉璃(*Niltava vivida*)(七卡山莊)、白眉林鴿(*Tarsiger indicus*)(黑森林)、煤山雀(黑森林)、火冠戴菊鳥、白眉林鴿(黑森林)、白尾鴿(*Cinclidium leucurum*)(七卡山莊)等6種(附錄5-3)。

(一)鳥相結構

扣除在基礎半徑之外的鳥相資料後，研究地6種生態系的鳥種組成介於11~17種，以針闊葉混合林鳥種最多，冷杉林鳥種數次之，火災跡地再次之，玉山箭竹-高山芒的鳥種數最少。整體來看，火災跡地前三種優勢鳥種為火冠戴菊鳥(9.55隻/ha)、酒紅朱雀(*Carpodacus vinaceus*)(4.372隻/ha)，以及深山鶯(*Cettia acanthizoides*)(4.25隻/ha)，箭竹-高山芒為金翼白眉(*Garrulax morrisonianus*)(7.07隻/ha)、青背山雀(*Parus monticolus*)(6.63隻/ha)、冠羽畫眉(*Yuhina brunneiceps*)(4.24隻/ha)，冷杉林為火冠戴菊鳥(19.15隻/ha)、褐頭花翼(4.52隻/ha)和鷓鴣(*Troglodytes troglodytes*)(4.25隻/ha)，玉山杜鵑-圓柏灌叢則為火冠戴菊鳥(11.14隻/ha)、岩鷓(*Prunella collaris*)(4.24隻/ha)和鷓鴣(3.818隻/ha)，推移帶為褐頭花翼(17.68隻/ha)、深山鶯(5.85隻/ha)和黃羽鸚嘴(*Paradoxornis verreauxi*)(5.3隻/ha)，針闊葉混合林生態系是褐頭花翼(9.55隻/ha)、冠羽畫眉(4.45隻/ha)，以及紅胸啄花鳥(*Dicaeum ignipectus*)與青背山雀(2.99隻/ha)。生態系間鳥相組成差異最大的是針闊葉混合林樣區，共有12種鳥類僅在該樣區記錄到。其他生態系中，只在一個生態系出現的鳥種，只有冷杉林的茶腹鵝(*Sitta europaea*)。在所有生態系皆有紀錄的則有金翼白眉、栗背林鴿(*Erithacus johnstoniae*)2種。

依不同生態系個月分鳥相來看，圈谷的玉山杜鵑-圓柏灌叢的鳥種數與密度，在3月分最低，6~8月達到最高，9~10月開始遞減(表5-1)。冷杉林生態系除了6月及10月的鳥種數略少之外，其餘幾個月的鳥種數與密度差異不大(表5-2~5-6)。

表 5-1 玉山杜鵑-圓柏灌叢生態系各月分組成鳥種和密度(隻/ha)

鳥種	3月	5月	6月	8月	9月	10月
鷓鴣	0	—	5.09	5.09	7.64	1.27
岩鷓	0	—	7.07	7.07	3.54	3.54
金翼白眉	1.77	—	2.65	4.13	2.95	0.88
白眉林鴿	0	—	7.07	0	0	0
栗背林鴿	0	—	5.09	3.82	1.9	2.55
黃羽鸚嘴	0	—	3.98	0	0	0
深山鶯	0	—	3.98	5.31	0	0
臺灣叢樹鶯	0	—	0	1.77	0	0
火冠戴菊鳥	15.92	—	15.92	23.87	0	0
巨嘴鴉	0	—	0	0	0.64	0
青背山雀	3.98	—	0	0	0	0
灰鶯	0	—	0	5.09	0	0
酒紅朱雀	0	—	7.96	0	0	0
鳥種合計	3	-	9	8	5	4

表5-2 冷杉林生態系各月分組成鳥種和密度(隻/ha)

鳥種	3月	5月	6月	8月	9月	10月
鷓鴣	5.73	11.46	0	3.82	1.91	2.55
岩鷓	0	0	0	7.07	0	0
金翼白眉	0	3.54	0	2.36	0.88	0.88
褐頭花翼	7.07	7.07	0	0	5.89	7.07
白眉林鴿	0	0	0	11.79	0	0
栗背林鴿	3.82	6.37	0	2.55	1.54	1.63
紅尾鶉	0	0	0	7.07	0	0

深山鶯	3.98	3.98	0	0	0	0
火冠戴菊鳥	15.92	15.92	19.89	15.92	37.14	10.13
星鴉	0	0	0	2.98	0	0
巨嘴鴉	0	0	0.64	0	0.64	0
茶腹鴉	7.07	0	0	0	0	0
青背山雀	3.98	0	0	4.3	0	0
煤山雀	2.55	7.64	0	5.09	7.64	0
灰鶯	0	0	4.24	0	0	0
酒紅朱雀	0	7.96	0	7.96	0	0
鳥種合計	8	8	3	11	7	5

表5-3 箭竹-高山芒生態系各月分組成鳥種和密度(隻/ha)

鳥種	3月	5月	6月	8月	9月	10月
岩鸚	—	—	0	0	0	—
金翼白眉	—	—	1.77	12.38	7.07	—
褐頭花翼	—	—	7.07	0	17.68	—
冠羽畫眉	—	—	0	12.73	0	—
栗背林鴉	—	—	5.09	2.55	2.55	—
深山鶯	—	—	3.98	5.31	0	—
臺灣叢樹鶯	—	—	1.77	0	0	—
火冠戴菊鳥	—	—	0	0	0	—
青背山雀	—	—	0	19.89	0	—
煤山雀	—	—	0	0	2.55	—
酒紅朱雀	—	—	0	3.98	3.98	—
鳥種合計	—	—	5	6	5	—

表5-4 火災跡地生態系各月分組成鳥種和密度(隻/ha)

鳥種	3月	5月	6月	8月	9月	10月
中杜鵑	0.64	—	0	0	0	0
鷓鴣	2.55	—	5.09	0	0	0
金翼白眉	3.54	—	3.54	5.31	0	0
褐頭花翼	0	—	7.07	14.15	17.68	0
栗背林鴿	5.09	—	8.49	3.57	0	0
紅尾鶉	0	—	7.07	0	0	0
深山鶯	3.98	—	9.95	5.31	0	1.99
臺灣叢樹鶯	0	—	2.65	1.77	0	0
火冠戴菊鳥	0	—	15.92	15.92	15.92	0
星鴉	0	—	0	0.99	0	0
巨嘴鴉	0.64	—	0.64	0	0	0.64
煤山雀	0	—	5.09	0	0	1.27
灰鶯	0	—	0	3.82	2.55	0
酒紅朱雀	11.94	—	0	5.94	0	3.98
鳥種合計	7	—	10	9	3	4

表5-5 推移帶生態系各月分組成鳥種和密度(隻/ha)

鳥種	3月	5月	6月	8月	9月	10月
鷓鴣	—	—	3.82	0	2.55	—
金翼白眉	—	—	2.95	4.42	3.54	—
褐頭花翼	—	—	21.22	21.22	10.61	—
栗背林鴿	—	—	5.94	5.09	0	—
紅尾鶉	—	—	0	9.43	0	—
黃羽鸚嘴	—	—	7.96	0	7.96	—
深山鶯	—	—	4.97	5.97	6.63	—
臺灣叢樹鶯	—	—	1.77	0	0	—
火冠戴菊鳥	—	—	15.92	47.75	79.58	—
星鴉	—	—	0	0.99	0	—

煤山雀	—	—	0	2.55	0	—
灰鷺	—	—	7.64	2.55	0	—
酒紅朱雀	—	—	3.98	3.98	0	—
鳥種合計	—	—	10	10	6	—

表5-6 針闊葉混合林生態系各月分組成鳥種和密度(隻/ha)

鳥種	3月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
小翼鵝	—	—	—	1.77	1.77	0	0
鱗胸鷓鴣	—	—	—	2.55	0	0	0
白尾鵲	—	—	—	0	3.98	3.98	0
金翼白眉	—	—	—	1.77	1.77	3.54	0
藪鳥	—	—	—	2.55	0	0	0
褐頭花翼	—	—	—	0	7.07	7.07	24.07
繡眼畫眉	—	—	—	0	0	3.98	0
白耳畫眉	—	—	—	0	3.54	0	2.65
冠羽畫眉	—	—	—	2.55	12.73	2.55	0
栗背林鵲	—	—	—	0	2.55	2.55	0
黃腹琉璃	—	—	—	0	2.55	0	0
紅尾鷓	—	—	—	0	0	7.07	0
臺灣叢樹鶯	—	—	—	0	0	0	0.88
深山鶯	—	—	—	3.98	3.98	0	0
星鴉	—	—	—	0	0	0.99	0
松鴉	—	—	—	2.55	0	3.82	0
紅胸啄花鳥	—	—	—	3.98	3.98	3.98	0
青背山雀	—	—	—	3.98	3.98	3.98	0
煤山雀	—	—	—	2.55	0	0	0
褐鷺	—	—	—	2.55	0	0	0
鳥種合計	—	—	—	11	11	11	3

(二)繁殖習性

5月下旬研究者在三六九山莊往黑森林的步道旁土坡凹陷處尋獲2個栗背林鴿的巢，巢周遭為火燒跡地環境，巢上方有草本植物遮蔽，發現時各有2個和3個蛋。6月調查(17天後)發現其中1巢的3個蛋均已孵化，但雛鳥仍未長出體羽。在育雛食物方面，5月分在三六九山莊往黑森林的步道上曾目擊栗背林鴿啣著赤楊金花蟲(*Linnaeidea formosana*)，6月中旬在哭坡(海拔3,050 m)處看到一隻雄鳥啣著鱗翅目幼蟲正要回巢育雛。其他鳥種方面，5月下旬及6月中旬的調查，有2筆金翼白眉啣巢材的紀錄，6月中旬另在圈谷邊緣的玉山圓柏林中目擊火冠戴菊啣著具翅的昆蟲回巢育雛。

8月到10月下旬研究者在三六九山莊繫放發現，幾隻酒紅朱雀雌鳥胸腹部有不完全或正在消退的孵卵斑。8月下旬的黑長尾雉的紀錄也多於以往，1筆目擊記錄於哭坡頂，為1隻雄性成鳥，另3筆鳴叫記錄於黑森林。育雛行為方面，8月分在黑森林目擊剛離巢的火冠戴菊鳥、鷓鴣幼鳥向親鳥乞食的行為。同樣在黑森林，研究者也記錄由親鳥帶領星鴉(*Nucifraga caryocatactes*)亞成鳥一起活動。一直到10月底仍可記錄到酒紅朱雀育雛的行為。

鳥種的覓食行為還包括，8月分星鴉啄食樹皮下的無脊椎動物，金翼白眉吃巒大花楸(*Sorbus randaiensis*)果實，以及紅尾鶇(*Muscicapa ferruginea*)停棲於枯立木或巒大花楸上定點捕食昆蟲。

(三)繫放研究

5~6月以及8~10月分在4個生態系共計進行了241.2個網-小時的繫放工作，總共捕捉到5科7種102隻鳥類(非保育類)，扣除5月繫放過程中逃逸的深山鶯外，實際繫放了5科6種100隻鳥類(表5-7)，其中，8~10月為了釐清廚餘對高海拔鳥類的影響，在三六九山莊進行24個網-小時，以及雪山東峰北面坡17個網-小時的繫放。在所有繫放個體中，以酒紅朱雀數量最多(78.2%)，其次是栗背林鴿(12.9%)，再其次是褐頭花翼(4.95%)，最少的是岩鶯、灰鶯(*Pyrrhula erythaca*)、金翼白眉，及麻雀(0.99%)。以生態系來分，火災跡地共繫放5科6種共89隻個體(單位網時的捕獲率遠遠超過其它生態系)，玉山箭竹-高山芒區繫放了3科3種5隻個體，冷杉林區繫放了2科2種5隻個體，圈谷區只繫放了1種1隻個體(表5-7)。

表 5-7 四個生態系繫放的鳥種與隻數及努力量。調查時間：2009 年 5 月、6 月、8 月、9 月、10 月

鳥種	捕捉隻數、努力量 和捕捉率	生態系				合計
		火燒跡地	箭竹-高山芒	冷杉林	圈谷	
酒紅朱雀	隻數	76	1	2	0	79
	網-小時	83.25	94.42	57.00	12.00	246.67
	捕捉率 ^a	91.29	1.06	3.51	0.00	32.03
栗背林鴿	隻數	7	2	3	1	13
	網-小時	83.25	94.42	57.00	12.00	246.67
	捕捉率	8.41	2.12	5.26	8.33	5.27
褐頭花翼	隻數	3	2	0	0	5
	網-小時	83.25	94.42	57.00	12.00	246.67
	捕捉率	3.60	2.12	0.00	0.00	2.03
岩鷓	隻數	1	0	0	0	1
	網-小時	83.25	94.42	57.00	12.00	246.67
	捕捉率	1.20	0.00	0.00	0.00	0.41
灰鶯	隻數	1	0	0	0	1
	網-小時	83.25	94.42	57.00	12.00	246.67
	捕捉率	1.20	0.00	0.00	0.00	0.41
麻雀	隻數	1	0	0	0	1
	網-小時	83.25	94.42	57.00	12.00	246.67
	捕捉率	1.20	0.00	0.00	0.00	0.41
隻/網-小時合計		106.91	6.35	8.77	8.33	40.95

^a 捕捉率=隻/網-小時×100。捕捉率

五、討論

(一)鳥相結構

在特殊鳥種紀錄方面，6月17日研究者目擊赫氏角鷹在白木林上空盤旋。這種稀有大型猛禽留鳥的昔日研究及目擊紀錄大多出現在中低海拔原始林(王克孝，2004；孫元勳，2007)，偶而在3,000 m以上的山區被目擊(陳輝勝，1990；姜博仁，私人通訊)。6月分目擊的一隻夜鷹，受驚後飛入約60 m外的冷杉林中，當時正值臺灣夜鷹(*Caprimulgus affinis*)換羽季節(林文隆，私人通訊)，外側白色尾羽這個可明顯區分的特徵，很可能會因為換羽而消失，因此無法判斷是否為臺灣夜鷹，還是候鳥普通夜鷹(*C. indicus*)，這隻夜鷹為何物種仍待後續調查釐清，但不論是何種夜鷹，這筆目擊紀錄應是夜鷹科(Caprimulgidae)鳥類在臺灣高海拔現身的首次紀錄。5-8月研究者在黑森林記錄到5筆黑長尾雉的鳴聲，惟距離超出基礎半徑(20 m)，故未列入密度計算。本區多屬開闊環境，黑長尾雉的基礎半徑應不只於此。8月在哭坡上方，箭竹-高山芒與鐵-冷杉交界的環境也有一筆黑長尾雉的目擊紀錄。

另外，8月-10月分正逢候鳥過境期，在視野開闊的樣區，可以記錄到大量高空盤旋的燕科與雨燕科鳥類，或是猛禽，例如燕科的赤腰燕(*Cecropis striolata*)、家燕(*Hirundo rustica*)、洋燕(*Hirundo tahitica*)，雨燕科的小雨燕(*Apus nipalensis*)與白腰雨燕(*Apus pacificus*)，鷹鵟科的大鵟及蒼鷹。其中，大鵟是臺灣在2003年的新紀錄種，但本島目前累積的資料中，大鵟紀錄大多數是在冬季，野外紀錄都在平地或海拔100~200 m的丘陵草原及河口濕地環境，本計畫這筆紀錄應該是大鵟在臺灣高海拔的第一筆紀錄，可能是過境個體。調查人員9月分在東峰、步道4.3k及6.1k處，共有3次目擊紀錄，這些目擊的地點主要為箭竹-高山芒草原，有小面積冷杉林相嵌的環境，除了2筆飛行中的紀錄外，在東峰目擊大鵟停棲於草原邊緣的冷杉枝條上，由於大鵟的繁殖地包括開闊的草原、海拔在5,000 m以上多礫石的寬闊溪谷、山區，以及高原(Naoroji and Forsman, 2001)，因此，推測大鵟抵達臺灣度冬的環境或許也包括高海拔草原地帶。另外，臺灣的蒼鷹為稀有但不難發現的冬候鳥，少數紀錄是在中海拔森林環境，其中也包括1筆在武陵七家灣溪一號壩，掠食鴛鴦的紀錄(孫元勳，2001)。本研究10月分目擊在黑森林上空盤旋的蒼鷹，究竟是過境，還是度冬個體，還需要後續冬季的觀察來印證。

整體來看各生態系的鳥相，可知多數生態系在6~9月的鳥種數及密度較高。

可能是因為繁殖季高海拔鳥種在樣區內繁殖，以及幼鳥離巢後造成的短暫高峰，之後10月分的鳥種數及密度有減少趨勢，可能是因為幼鳥的高死亡率或存活個體也開始擴散，而在此時，一部份高海拔鳥類開始降遷，造成冬季高海拔的這些生態系的鳥種數及密度降低，但也有可能是因為鳥類在不同月分的鳴叫頻度不同所造成。

丁宗蘇(1993)在玉山地區成熟林的調查顯示，冷杉林的優勢鳥種和本研究結果相同，均為火冠戴菊鳥。而該研究在圓柏灌叢的優勢鳥種為鷓鴣，與我們在圈谷圓柏-玉山杜鵑灌叢調查的結果不同。原因可能是，本研究在圈谷鳥相調查在圈谷底的樣站，樣站附近就有喬木狀的玉山圓柏林，可能是吸引一些數量上優勢的樹棲的火冠戴菊鳥至圓柏-玉山杜鵑灌叢的原因；若將本研究接近稜線的2個樣站資料獨立出來就沒有火冠戴菊鳥的紀錄。廖煥彰(2006)在海拔稍低(2,800 m)的箭竹草原的調查，發現以深山鶯為優勢種，其次為褐頭花翼與臺灣叢樹鶯，與本研究箭竹-高山芒的樣區的優勢種不同。此或許是玉山國家公園定期在塔塔加麟趾山稜線的箭竹樣區修剪植被，以維持草原景觀(廖煥彰，2006)，而本研究的火災跡地以及箭竹-高山芒樣區除了有自然萌發的冷杉樹苗外，一些演替初期樹種，例如巒大花楸也入侵該生態系，而使得原本樹棲的鳥種得以在此生態系停棲。

在高海拔的5個生態系當中，冷杉林的鳥種數及密度最高，可能是因為除了茶腹鴨與山雀科等偏樹棲性鳥類之外，森林孔隙以及森林邊緣林下植被較茂密的地方，也有草生地偏地棲的鳥類，例如深山鶯，尤其8月分開始目擊到數筆酒紅朱雀進入黑森林底層，覓食這些森林孔隙下層的禾本科植物種子，森林下層的裸露地也記錄到岩鷲、白眉林鴿及栗背林鴿。去年12月起火的火燒跡地的鳥種豐富度略高，已開始不見火災的負面影響，可能是樣區內鑲嵌著一些未受火災波及的小面積冷杉林，以及自然萌發的單株小樹，因此在這些火燒跡地與冷杉林的推移帶，可以記錄到樹棲性鳥種，如火冠戴菊鳥、煤山雀、灰鶯等，而使得整體鳥相顯得沒有那麼單調。事實上，本研究的箭竹-高山芒樣站也有類似問題，因優勢鳥類火冠戴菊鳥的加入，使鳥種密度高於其它生態系。

2000年雪山東峰箭竹-高山芒曾發生野火。周大慶(2001)在雪山東峰觀察2001年火災後一年間箭竹-高山芒跡地的鳥相變化，他指出當年5~6月岩鷲曾出現在裸露的火災跡地，7~12月不復見，可能和箭竹逐步萌芽，裸地面積縮減有關。本研究調查的期間剛好也是最近一次火災後的鳥類演替現象，6月在火災跡地火3樣

站捕捉 1 隻個體，8~10 月就沒有繫放，或者調查記錄到岩鷓，符合因植被演替而消失的現象。2001 年火災跡地的箭竹在一年後均已長至 21~29 cm (呂金城，2002)，今年 5~6 月箭竹高度也已長至 40 cm 以上。

若和 2001 年 8~10 月雪山東峰(4.4k~5.7k)火災跡地鳥相(周大慶，2001)比較，今年 8~10 月分調查的鳥種數為 16 種(附錄 5-4)，比起 8 年前的 9 種多出 7 種，包含黑長尾雉、白眉林鴿、紅尾鷓、岩鷓、冠羽畫眉、青背山雀、煤山雀。此顯示，族群有回復現象；其中今年 8~10 月數量均增加者有栗背林鴿、金翼白眉、深山鶯、火冠戴菊鳥 4 種，均減少者有褐頭花翼和酒紅朱雀 2 種，後者數量少，變化不明顯。

(二)繁殖調查

以今年繁殖紀錄來看，雪山地區高海拔鳥類開始繁殖時間大約是在 5 月底，8 月分大多數的幼鳥已經離巢，但多數仍有親鳥陪伴。鳥類繫放也發現，8 月、9 月、10 月各繫放到 1、2、3 隻胸孵卵斑在消退中的酒紅朱雀雌鳥。證實也有些鳥種和個體可能遲至 8~9 月才結束孵蛋或孵雛。觀察到最早離巢的酒紅朱雀幼鳥是在 9 月，10 月仍有離巢的酒紅朱雀幼鳥接受親鳥餵食。5 月底發現的栗背林鴿巢中已經有雌鳥產卵，6 月其中 1 巢幼鳥已經孵化，親鳥仍在孵雛階段，接近劉良力(1991)觀察的 14 天孵蛋期。儘管巢位隱蔽，有登山客經過等干擾，雌鳥仍會離巢警戒，雄鳥也會在巢附近警戒，親鳥共同警戒行為也符合過去的觀察(劉良力，1991)。劉良力曾提到，影響栗背林鴿的繁殖成功率的因子為離路面遠近，故推測天敵掠食及遊客干擾是影響。本研究尋獲的 2 個巢位都在步道旁，或許也受到人為活動的負面影響，此有待後續探討。

3 月到 6 月分鳥類食性觀察記錄到有幾筆酒紅朱雀覓食廚餘的行為，研究人員在 8~10 月這段時間並沒有觀察到鳥類覓食廚餘的現象。以普遍易見的酒紅朱雀而言，在 8~10 月都在覓食禾本科或莎草科植物種子。除此之外，其他可提供鳥類潛在食物的植物也正在結果，包括高山白珠樹(*Gaultheria itoana*)、茶藨子(*Ribes formosanum*)、臺灣藜蘆(*Veratrum formosanum*)，而且恰逢莫拉克颱風肆虐，雪霸國家公園封閉登山路線期間，沒有登山客上山，山莊的廚餘減少，少了這項原本穩定的食物來源，可能使山莊周遭的部分鳥類轉往四周覓食其他食物來源，例如黑森林內的結果植物。山莊這個穩定的食物來源對於高海拔鳥類在食物需求較大的繁殖季，或食物短缺的嚴冬降臨的季節，是否比較會有吸引力？往後的調查需

要針對廚餘以及鳥類潛在食物來源的結果量作量化，以釐清這些鳥類對於廚餘的依賴程度。

(三) 繫放研究

本區繫放的鳥種數遠少於鳥相調查記錄到的鳥種。主要是因為霧網設置是針對活動位置低於3 m的鳥類，習性偏向在灌叢草生地棲息的雀形目鳥種，至於棲息於樹冠層的鳥種不易被霧網所捕捉。本研究採用麻雀網網目，可以捕捉到多數接近地面活動的高海拔鳥種，但是小於此網目尺寸，或者是太大的鳥種中網後容易逃逸。另外，一天當中霧網最有效率的時段僅有剛剛日出，或日落前1個小時光線薄弱而鳥類剛開始活動的時候，其他時間光線較強，鳥類容易發覺霧網存在而避開，而造成白天大多數時段捕獲量較低。

5~8月4個生態系中，火災跡地繫放的鳥數量及鳥種最多，且貢獻主要來編號「火5」的樣站，光是這個樣站就捕捉了55隻個體。推斷可能是該樣站鄰近三六九山莊廚房，地面有許多登山客傾倒的廚餘，故吸引了鳥類前來覓食，而有較高的繫放量。而在「火5」繫放樣站繫放的鳥種中，以酒紅朱雀最多，占該樣站所有繫放個體的90%。調查者曾在山莊廚房後方目擊酒紅朱雀正在吃飯粒，栗背林鴿也在廚餘附近覓食。這類行為也出現在其它地點，例如在雪山主峰的岩鸚吃餅乾碎屑，圈谷的金翼白眉在登山客的背包上覓食。

8~10月，在相似的努力量下，人為活動頻繁且有廚餘產生的「火5」樣站繫放的個體數(30隻)，也明顯地高於位在東峰北坡的對照組樣站的數量(4隻)，顯示在相似環境下，三六九山莊的鳥類密度高於遠離山莊的箭竹地。9月分在七卡山莊目擊到1隻帶有色環的酒紅朱雀雌鳥。繫放記錄顯示，這隻個體是5月在三六九山莊所繫放的，這顯示，部分高海拔鳥類早在9月分就有降遷行為。但是三六九山莊的存在，是否影響本區鳥類原有的降遷行為？還需要更多冬季資料來解讀。此外，廚餘是否有助於繁殖表現，日後我們將由其遷移行為、繁殖率和死亡率，以及其和天然食物的波動間的關聯，來釐清其利害關係，作為遊客行為管理和教育的參考。

六、建議

建議在三六九和七卡山莊製作禁止傾倒廚餘以及禁止餵食的告示牌。

七、參考文獻

- 丁宗蘇 (1993) 玉山地區成熟林之鳥類群聚生態。國立臺灣大學動物學研究所碩士論文。
- 王克孝 (2004) 臺東縣熊鷹(赫氏角鷹)分布調查計畫。行政院農委會保育研究系列第 93~18 號。
- 王鑫、宋國城、崔之久 (1998) 雪山圈谷群第四紀冰河遺跡研究(I)。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 王鑫、宋國城、崔之久 (1999) 雪山圈谷群第四紀冰河遺跡研究(II)。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 呂金誠 (1999) 武陵地區雪山主峰線植群調查與植栽應用之研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 呂金誠、歐辰雄、廖敏君 (2002) 雪山東峰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。
- 林朝榮 (1957) 臺灣地形。臺灣省文獻委員會出版。
- 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。
- 邱清安 (2002) 雪山東峰火燒後植群之變化。內政部營建署雪霸國家公園管理處自行研究報告。
- 孫元勳 (2007) 南、北大武山地區赫氏角鷹族群監測與獵捕壓力。行政院農業委員會林務局保育研究系列95-02號。94頁。
- 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。

陳輝勝 (1990) 熊鷹 (*Spizaetus nipalensis*)，臺灣珍稀動植物(農委會主編)，14~17 頁。

劉良力 (1991) 栗背林鴿之生物學研究。國立師大生物系研究所碩士論文。51 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。

顧芝寧 (2004) 武陵地區鳥類群聚與土地利用類型之關係。國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文。

Ford, H. A., N. Forde, and S. Harrington (1982) Non-destructive methods to determine the diets of birds. *Corella* 6: 6-10.

Luck (2006) Monitoring bird populations using mist nets. *Austral Ecology* 31: 428-428.

Naoroji, R. and D. Forsman (2001) First breeding record of the Upland Buzzard *Buteo hemilasius* for the Indian subcontinent in Changthang, Ladakh and identification characters of Upland Buzzard and Long-legged Buzzard *Buteo rufinus*. *Forktail* 17: 105-108.

Ralph, C. J., S. Droege, and J. R. Sauer (1995) Managing and monitoring birds using point counts: standards and applications. Pages 161-169, in C. J. Ralph, J. R. Sauer and S. Droege (Eds.), *Monitoring bird populations by point counts*. USDA Forest Service Publication, Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-149, Albany, CA, USA.

Reynold, R. T., J. M. Scott, and R. A. Nussbaum (1980) A variable circular-plot method for estimating bird numbers. *The Condor* 82: 309-313.

Sala, O. E., F. S. Chapin, III, J. J. Armesto, E. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, E. Huber-Sanwald, L. F. Huenneke, R. B. Jackson, A. Kinzig, R. Leemans, D. M. Lodge, H. A. Mooney, M. I. N. Oesterheld, N. L. Poff, M. T. Sykes, B. H. Walker, M. Walker, and D. H. Wall (2000) Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287: 1770-1774.

附錄 5-1 雪山地區鳥相調查樣站二度分帶座標

樣站編號	X 座標	Y 座標	生態系
七卡	279260	2696683	針闊葉混合林
黑 1	274639	2698845	冷杉林
黑 2	274514	2698845	冷杉林
黑 3	274300	2698858	冷杉林
黑 4	274018	2698840	冷杉林
黑 5	273813	2698706	冷杉林
黑 6	273583	2698573	冷杉林
黑 7	273457	2698459	冷杉林
推移帶 1	275100	2698650	推移帶
推移帶 2	275207	2698505	推移帶
推移帶 3	275529	2698478	推移帶
推移帶 4	275828	2698460	推移帶
箭 1	275913	2698469	箭竹-高山芒
箭 2	276235	2698339	箭竹-高山芒
箭 3	276735	2698375	箭竹-高山芒
箭 4	276695	2698219	箭竹-高山芒
火 1	274952	2698791	火燒跡地
火 2	274854	2698889	火燒跡地
火 3	274918	2698687	火燒跡地
火 4	274720	2698965	火燒跡地
火 5	275052	2698680	火燒跡地
火 6	274845	2698795	火燒跡地
圈 1	273175	2698261	圈谷
圈 2	273109	2698039	圈谷
圈 3	273091	2697925	圈谷
圈 4	272929	2697763	圈谷
圈 5	272671	2697715	圈谷

附錄 5-2 雪山地區鳥類繫放架網地點二分帶座標

繫放地點編號	X 座標	Y 座標	生態系
黑 1	274601	2698877	冷杉林
黑 2	274484	2698868	冷杉林
黑 3	274450	2698820	冷杉林
黑 4	274549	2698794	冷杉林
黑 5	274579	2698754	冷杉林
箭 1	275175	2698708	箭竹-高山芒
箭 2	275229	2698709	箭竹-高山芒
箭 3	275264	2698721	箭竹-高山芒
箭 4	275288	2698749	箭竹-高山芒
箭 5	276950	2698330	箭竹-高山芒
火 1	275130	2698688	火燒跡地
火 2	275080	2698768	火燒跡地
火 3	274880	2698640	火燒跡地
火 4	275000	2698710	火燒跡地
火 5	274994	2698710	火燒跡地
圈 1	273173	2698188	圈谷
圈 2	273141	2698330	圈谷
圈 3	273100	2698250	圈谷

附錄5-3 2009年3月~10月雪山登山口到雪山主峰鳥類名錄

目	科	中文名	學名	特稀有性 ^a	保育等級 ^b
鷹形	鷲鷹	臺灣松雀鷹	<i>Accipiter gularis virgatus</i>	特亞/不普	II
		蒼鷹	<i>Accipiter gentilis</i>	冬/稀	II
		赫氏角鷹	<i>Spizaetus nipalensis</i>	留/稀	I
		大鵟	<i>Buteo hemilasius</i>	冬/稀	II
雞形	雉	竹雞	<i>Bambusicola thoracica</i>	特亞/普	
		黑長尾雉	<i>Syrmticus mikado</i>	特亞/普	II
鴿形	鳩鴿	金背鳩	<i>Streptopelia orientalis</i>	特亞/普	
杜鵑	杜鵑	鷹鵑	<i>Cuculus sparverioides</i>	夏/不普	
		中杜鵑	<i>Cuculus saturatus</i>	夏/普	
夜鷹	夜鷹	夜鷹	<i>Caprimulgus sp.</i>	?	
雨燕	雨燕	小雨燕	<i>Apus affinis</i>	留/普	
		白腰雨燕	<i>Apus pacificus</i>	留、過/不普	
鴞形	五色鳥	五色鳥	<i>Megalaima oorti</i>	特亞/普	
	啄木鳥	綠啄木	<i>Picus canus</i>	特亞/不普	II
雀形	燕	家燕	<i>Hirundo rustica</i>	留、過/普	
		洋燕	<i>Hirundo tahitica</i>	留/普	
		赤腰燕	<i>Hirundo striolata</i>	留、過/普	
		毛腳燕	<i>Delichon urbica</i>	留/普	
	山椒鳥	灰喉山椒鳥	<i>Pericrocotus solaris</i>	留/普	
	鶇	紅嘴黑鶇	<i>Hypsipetes madagascariensis</i>	特亞/普	
	鴉	松鴉	<i>Garrulus glandarius</i>	特亞/普	
		星鴉	<i>Nucifraga caryocatactes</i>	特亞/普	
		巨嘴鴉	<i>Corvus macrorhynchos</i>	留/普	
	鷓鴣	鷓鴣	<i>Troglodytes troglodytes</i>	留/普	
	岩鷓	岩鷓	<i>Prunella collaris</i>	留/普	
	鶇亞	小翼鶇	<i>Brachypteryx montana</i>	特亞/普	
		白眉林鶇	<i>Erithacus indicus</i>	特亞/普	III
		栗背林鶇	<i>Erithacus johnstoniae</i>	特/普	
		鉛色水鶇	<i>Phoenicurus fuliginosus</i>	特亞/普	
		白尾鶇	<i>Cinclidium leucurum</i>	特亞/普	III
紫嘯鶇		<i>Myiophoneus insularis</i>	特/普		
赤腹鶇		<i>Turdus chrysolaus</i>	冬、過/普		
白腹鶇		<i>Turdus pallidus</i>	冬、過/普		
畫眉亞	鱗胸鷓鴣	<i>Pnoepyga pusilla</i>	特亞/普		

目	科	中文名	學名	特稀有性 ^a	保育等級 ^b
		山紅頭	<i>Stachyris ruficeps</i>	特亞/普	
		金翼白眉	<i>Garrulax morrisonianus</i>	特/普	
		藪鳥	<i>Liocichla steerii</i>	特/普	
		褐頭花翼	<i>Alcippe cinereiceps</i>	特亞/普	
		繡眼畫眉	<i>Alcippe morrisonia</i>	特亞/普	
		白耳畫眉	<i>Heterophasia auricularis</i>	特/普	
		冠羽畫眉	<i>Yuhina brunneiceps</i>	特/普	
	鸚嘴亞	黃羽鸚嘴	<i>Paradoxornis nipalensis</i>	特亞/普	
	鶯亞	小鶯	<i>Cettia fortipes</i>	特亞/普	
		深山鶯	<i>Cettia acanthizoides</i>	特亞/普	
		臺灣叢樹鶯	<i>Bradypterus alishanensis</i>	特亞/普	
		火冠戴菊鳥	<i>Regulus goodfellowi</i>	特/普	III
		棕面鶯	<i>Abroscopus albogularis</i>	留/普	
	鶺鴒亞	黃胸青鶺鴒	<i>Ficedula hyperythra</i>	特亞/普	
		黃腹琉璃	<i>Niltava vivida</i>	特亞/普	III
		紅尾鶺鴒	<i>Muscicapa ferruginea</i>	留/普	
	山雀	青背山雀	<i>Parus monticolus</i>	特亞/普	III
		黃山雀	<i>Parus holsti</i>	特/不普	
		煤山雀	<i>Parus ater</i>	特亞/普	III
	長尾山雀	紅頭山雀	<i>Aegithalos concinnus</i>	留/普	
	鴉	茶腹鴉	<i>Sitta europaea</i>	留/普	
	啄花鳥	紅胸啄花鳥	<i>Dicaeum ignipectus</i>	特亞/普	
	文鳥	麻雀	<i>Passer montanus</i>	留/普	
	雀	褐鶯	<i>Pyrrhula nipalensis</i>	留/不普	
		酒紅朱雀	<i>Carpodacus vinaceus</i>	留/普	
		灰鶯	<i>Pyrrhula erythaca</i>	留/普	

^a普：臺灣普遍分布種。不普：臺灣不普遍分布種。稀：臺灣稀有種。特：臺灣特有種。特亞：臺灣特有亞種。留：不行遷移之鳥種。過：春、秋過境鳥。冬：冬候鳥。夏：夏侯鳥。

^bI. 瀕臨絕種保育類野生動物；II. 珍貴稀有保育類野生動物；III. 其他應予保育類野生動物。

附錄5-4 2009年8~10月和2001年同期雪山東峰火災跡地 (4.4~5.7K) 穿越線調查鳥相比較，空中覓食或飛行而過的燕科、雨燕科、鷹科不計

鳥種	8 月		9 月		10 月	
	2001 年 ^a	2009 年	2001 年	2009 年	2001 年	2009 年
黑長尾雉		1				
鷓鴣	2	1	2		2	
岩鷓		3				
白眉林鴿		1				
栗背林鴿	5	9	1	5	5	7
金翼白眉	1	6	5	13	3	19
褐頭花翼	13	5	9	3	9	7
冠羽畫眉		14		17		
深山鶯	7	9	1	11		
臺灣叢樹鶯	6	1				
火冠戴菊鳥	4	7		21		13
紅尾鶉		3				
青背山雀		1				
煤山雀		2		3		11
酒紅朱雀	3	1	3		3	1
灰鶯		1		5	5	
鳥種合計	8	16	6	8	6	6

^a 周大慶(2001)。

第六章 高山昆蟲多樣性及功能群研究

中文摘要

一、研究緣起

臺灣位於亞洲東南方，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，不難想像在這特殊的環境下，臺灣高山寒原昆蟲組成的研究，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。若另從食物鏈及生態功能的角度來看，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。本計畫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。

二、研究方法及過程

根據武陵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；於樣區地面設置掉落式陷阱，誘集地棲性昆蟲；馬氏網誘捕林中飛行之昆蟲；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、成果

2009 年 2-8 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，在 2 及 4 月份的 SPA-1 及 SPA-2 樣區均不多，但此時在 SPA-5 樣區及 SPA-6 樣區有高達 10000 隻個體；整體來講以同翅目、雙翅目膜翅目及彈尾目最多。同樣海拔高度的樣區當中，不同植物上所捕獲的昆蟲組成並不一定有很大的差別，但若以科級來看則有明顯的適應特性，像 SPA-6 為數眾多的葉蟬及稻蝨僅在草原箭竹上出現，而在灌木上雙翅目的蠅類少有捕獲，多為蚊及蚋。以各月份捕獲的昆蟲組成來看，均以 SPA-5 及 SPA-6 的昆蟲量最高；在形態種數而言，各採樣點均隨月份而增加。此外，箭竹上有些昆蟲會隨著月份而增減，像葉蟬、一些跳蟲科、細腰大蚊、搖蚊及釉小蜂等。高海拔地區枯枝落葉之無脊椎動物組成，2-8 月個體數累積結果，共計已鑑定 9835 隻分為 13 目，彈尾目、雙翅目及鞘翅目在不同海拔高度各樣區遠大於其他各目。圈谷樣段(SPA-1)的灌木枯落物中有最大量的

跳蟲及搖蚊出現；黑森林(SPA-2)以等節跳蟲為主，另有一些隱翅蟲；七卡(SPA-6)及圈谷地區(SPA-1)的枯落物內有為數不少的隱翅蟲；SPA-4 火燒地樣區中以跳蟲及隱翅蟲為主，尚有幾許蜂蟻。若以出現月份來看，SPA-1 的 4 月跳蟲最多，鞘翅目的隱翅蟲以 SPA-1 及 SPA-6 的 4 月份及 6 月份最多。從食物鏈相的觀點來看，植食性昆蟲的形態種數量及個體數量在各樣區都是最多，約是它樣區的 2-3 倍，但圈谷的分解者的形態種數量約與植食者相當。有一些昆蟲僅大量出現在某一季節，像圈谷八月的隱翅蟲、木蝨及蚜蟲等，黑森林六月的癭棉蚜，七卡二月箭竹的搖蚊。在最多的四目昆蟲中，同翅目及彈尾目豐度最高，膜翅目多樣性最高，而雙翅目則兼具上述兩特性。

四、主要建議事項

- (一)應長期規律性的調查，以釐清是否一年四季的昆蟲組成特性均如目前狀況。
- (二)需進一步配合其它子計畫，觀察昆蟲組成變化是否與植物因子、土壤因子、氣候因子...等有關。

關鍵詞：高山昆蟲、昆蟲相、土棲昆蟲、昆蟲棲群變動、昆蟲功能群

Abstract

The alpine insect fauna along the Syue Mountain trail were determined via sweeping net, litters and pitfall traps 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 3500 m according vegetation zone were designed. More than 30,000 individuals within 1800 morphospecies of 160 families were collected and identified in 13 insect orders now. The primary four insect orders in alpine region are Homoptera, Diptera, Hymenoptera, and Collembola. Alpine insect fauna was affected significantly by temperature, especially during winter season, which reduced insect amount either in individuals, morphospecies, or families. Insect composition was different significantly in the family level at different vegetatable habitate and sampling zones. For examples, a large amount of homopteran leafhoppers and planthoppers, and dipterans mosquitos were found on bamboos in locality of SPA-6. Moreover some insect families, Cicadellidae, Entomobryidae, Isotomidae, Ptychopteridae, Chironomidae, Hypogastruridae, and Onychiuridae, were

regularly increased or reduced accompany with seasonal progressively. The common insects within decaying materials and litters under bamboo, woody plants and pangolin were collembolan Isotomidae, coleopteran Staphylinidae, and dipteran Chironomidae. According to the amount of families, morphospecies, and individuals, phytophagous insects constituted more than predators and decomposers, especially in localities of SPA-5 and SPA-6. Finally, in view of diversity and abundance, high family diversity and species abundance were found in Hymenoptera and Homoptera-Colembolla, respectively; and Diptera has the above two characteristics.

Keywords:

一、研究緣起與背景

臺灣位於亞洲東南方，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 以上的寒原地帶，不難想像在這特殊的環境下，臺灣高山寒原昆蟲組成的研究，不僅是全球少數的基個特殊的研究地點，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，是研究高山草原、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，臺灣高山昆蟲組成，部分受喜馬拉雅山系影響，部分與東亞北方相似，多數為冰河期後的殘存種，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。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。

高海拔地區的環境氣候變化異常明顯，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。已有研究報告指出北歐及喜馬拉亞等古老山系高山昆蟲的特徵有特異的退化現象 (Kruseman, 1983; Mani, 1968)。雖有不少調查報告均提到臺灣的高山昆蟲，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 3200m 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。楊及徐在太魯閣國家公園的調查以中橫沿線為主(78、80、81、82、88、95、96)，雖對太魯閣國家公園的部分高山地區進行研究，但其採及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 公尺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，臺灣粉蝶等三種粉蝶，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、蜻蜓、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。

雪山地區海拔 3,500 m 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。臺灣昆蟲能否在短短 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。此外，海拔 3,500 m 以上的寒原地帶低溫、強風、豪雨、烈日，氣候非常嚴酷，從 12 月到翌年的 3 月均有很高的降雪機率，可適應的昆蟲組成非常特定，降雪的幾個月間，昆蟲較少，這類昆蟲已被關在寒原地帶；夏秋之間昆蟲數量最多，但多數僅是白天上山，晚上就下山去了，也讓這些寒原的開花植物得以完成傳宗接代的任務；有不少種類則是出現一個月左右，這些可能多是一年一代的物種。在生態功能群方面，有些寒原的開花植物，需要中海拔地區的蟲子飛上來授粉的特殊情形，其中熊蜂、花蠅、麗蠅、搖蚊、金龜子及各類甲蟲、雙翅目及蜂分別扮演的角色為何，均是值得討論的。

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。臺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。

雖然此生態系穩定，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。

二、材料與方法

(一)採集及調查方法

1. 根據雪山地區的地形及海拔高度，於共同樣區；七卡樣段、稜線樣段、火燒地、黑森林樣段、圈谷樣段，每一樣段沿路掃網採集分別針對特定路段的植物收集。
2. 針對各主要開花植物的花器，分別掃網定量收集昆蟲。
3. 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。
4. 於樣區地面設置掉落式陷阱，擺放動物性(腐肉)，誘集地棲性昆蟲，藉以了解不同月份、誘餌與誘集來的昆蟲種類關係及其多樣性。
5. 於共有樣區收集及誘集昆蟲。
6. 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。

7. 枯落物收集(litters, LIT)：每一小樣區均收集一包 10 號夾鏈袋之枯落物及部份腐植土；以柏氏漏斗分離(Berlese funnel method) 植物分解者及土棲昆蟲。程序如下：
 - (1)採得落葉及腐植土分別裝入採樣袋(10 號夾鏈袋)；並將樣品編號放入袋中。
 - (2)以 60 W 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。
8. 馬氏網；架於森林內，誘捕林中飛行之昆蟲。

(二)樣本處理保存及管理

收標本後之存證標本，依掉落式陷阱杯(pit fall, PF)、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。

(三)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)，詳細請參考秦等(2004)之報告。
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。

(四)分析方法

1. 高山生態系昆蟲消費者的組成分析。
2. 高山生態昆蟲系分解者的組成分析。
3. 不同生態環境，如土壤及植被的昆蟲組成分析。
4. 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

目前於雪霸國家公園境內所進行的採集包括二月至十二月，兩月一次共六次，目前標本的整理僅完成到8月，但部分8月調查的昆蟲未完全整理出。依據陷阱的設計可分為枯落葉及掃網的蒐集，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-3(森林邊緣)、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，調查其內之昆蟲組成變異。

(一)雪山高海拔地區掃網之昆蟲組成

針對各主要植被：芒草、草原箭竹、林下箭竹、灌木、杜鵑、圓柏等優勢植物，分別掃網收集，目前掃網部分的資料鑑定分析較完整為二~八月，故以下掃網部分之分析主要以此為分析討論。

1. 高海拔各樣區植物上昆蟲之形態種及個體數變化(目級)

如表 6-1 所列共計累積昆蟲綱 14 目 25022 隻昆蟲(不包括蛛形綱物種)，形態種共有 2615 種；昆蟲綱下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：同翅目(53.3%)>雙翅目(14.4%)>彈尾目(6.8%)>膜翅目(6.3%)，其中鞘翅目也有 4.6%的佔有率，其昆蟲數量也不小；形態種數的優勢類群分別為膜翅目>同翅目>雙翅目>鞘翅目。

如圖 6-1 各月份掃網之昆蟲數量折線圖所示，由於八月份為部分資料故該月份蟲數明顯較少，另外 SPA-3 樣區資料是從八月份加入分析，排除上列因素後，在 2 月到 6 月間 SPA-1、SPA-2、SPA-4 與 SPA-5 的昆蟲數量有隨各月份漸升的趨勢，唯有 SPA-6 呈現數量遞減。2 月及 4 月在較高海拔的樣區(SPA-1、SPA-2)昆蟲數約數十隻，但在同月份 SPA-5、SPA-6 昆蟲數則有上千隻，高海拔樣區在 6 到 8 月份後昆蟲數才達到千隻以上的盛況。

如圖 6-2 各月份掃網之昆蟲形態種數折線圖所示，由於八月份為部分資料故該月份各樣區的形態種數皆變少，另外 SPA-3 樣區資料是從八月份加入分析，排除上列因素後，在 2 月到 6 月間 SPA-1、SPA-2、SPA-4 與 SPA-5 的昆蟲形態種

數皆有漸升的情況。

2. 高海拔各樣區不同植物來源之昆蟲組成(科級)

樣區 SPA-1 圓柏上優勢者為同翅目>彈尾目>雙翅目>膜翅目類昆蟲；杜鵑由於在八月份花器上採得大量的隱翅蟲(369 隻)故杜鵑上優勢類群為同翅目>鞘翅目>雙翅目>膜翅目類昆蟲；如圖 6-3 圓柏上各月份都有木蟲出現，到了 6 月及 8 月杜鵑上也開始有木蟲的出現，但數量還是以圓柏上明顯較多，杜鵑到 8 月則有大量的常蚜出現；如圖 6-4 雙翅目昆蟲多聚集在杜鵑上，其中以搖蚊、蚋、Empididae、擬花蠅及蚤蠅為大宗；如圖 6-5 圈谷上出現的鞘翅目不多，僅八月份杜鵑花上突然出現很多隱翅蟲；如圖 6-6 彈尾目昆蟲在圈谷 6 月份出現蟲數會升高。其餘各科數量見表 6-2。

調查樣區 SPA-2 的冷杉及箭竹後發現，冷杉上的同翅目(6 月的木蟲與癭棉蚜)與雙翅目(6 月的黑翅蕈蚋)昆蟲數遠高於其他目(圖 6-7、圖 6-8)；比對冷杉及箭竹可知黑森林中箭竹上的昆蟲較多種也較多樣，同翅目及雙翅目昆蟲數量比冷杉上多，同翅目的木蟲、飛蟲、癭棉蚜同樣在 6 月箭竹上達數量高峰(圖 6-7)，雙翅目黑翅蕈蚋及大蚊在 6 月出現多，8 月的雙翅目形態種數比 6 月豐富，不若 6 月有兩個科較突出(圖 6-8)。膜翅目是黑森林箭竹出現數目第三高者，8 月份出現數量反而比 6 月多，主要是絛小蜂、姬蜂、錘角細蜂(圖 6-9)。黑森林雜草的調查資料僅有八月份，該月鞘翅目出現 260 隻隱翅蟲及 49 隻金花蟲，比冷杉及箭竹三或四個月累積的鞘翅目蟲數多很多(表 6-3)，且出現大量盲椿(188 隻)。

樣區 SPA-4(火燒地)採集步道邊緣及林緣兩處的雜草，近步道處出現較多葉蟬(2 月 117 隻)、飛蟲(2 月 71 隻)(圖 6-10) 與螞蟻(8 月 62 隻)(圖 6-11)；林緣處雜草則出現較多木蟲(6 月 50 隻)及黑翅蕈蚋(6 月 47 隻)(圖 6-12)，在 8 月也有螞蟻出現但數量較少。其餘見表 6-4。

調查樣區 SPA-5 上的灌木、芒草、箭竹及杜鵑等植物發現，如圖 6-13 同翅目有集中出現在(草原)箭竹上的現象，由其是葉蟬科在 2 月、4 月都有三四百隻，6 月更多有 846 隻，其上次優勢昆蟲為飛蟲(6 月 268 隻)，其他植物上也有同翅目昆蟲，但總計都不超過百隻。雙翅目(圖 6-14)在各植物上都有不少搖蚊的出現；雪山東峰芒草上雙翅目物種較其他植物豐富。

樣區 SPA-6 的昆蟲數量試各樣區中最多的(10169 隻，佔所有昆蟲的 40.6%)，

同翅目就佔了 6925 隻(圖 6-15)，其中(草原)箭竹的葉蟬科就有 5659 隻，且數量隨月份遞減，現象特殊值得探討；雙翅目方面(圖 6-16)七卡哭坡沿線共採得 1561 隻，箭竹(2 月)與林下箭竹(4 月)的搖蚊數量具優勢(共 970 隻)；同翅目在(草原)箭竹上數量多，同樣的現象是膜翅目數量在(草原)箭竹也是最多的，而不同於同翅目的數量遞減趨勢，膜翅目呈現的是遞增的態勢(圖 6-17)，其中多數為行寄生之絢小蜂與廣腹細蜂等。彈尾目昆蟲與 SPA-5 情況相同，林下箭竹的長角跳蟲是較多的(圖 6-18)。

3. 不同海拔樣區間同型植物之昆蟲組成比較(科級)

灌木(SPA-1、SPA-2、SPA-3、SPA-5、SPA-6)所採得昆蟲中(7119 隻)同翅目佔了 62.8%共 4477 隻(圖 6-19)，其中的多數是六到八月圈谷上的木蝨及常蚜族群；不同海拔各樣區在各月份的雙翅目優勢類群不一(圖 6-20)，二到四月蟲數都不多，只有雪山東峰(SPA-5)例外，在四月有 152 隻細腰大蚊，其餘區段蟲數是在六到八月有明顯上升。

芒草(SPA-5、SPA-6)是各種植物中昆蟲數目最少的植物，優勢的同翅目(圖 6-21)、雙翅目(圖 6-22)、膜翅目(圖 6-23)各月份累積也各只有三百隻左右，芒草上的同翅目在 SPA-5 的數量比 SPA-6 多，其中葉蟬算常出現(各區段各月份)；SPA-5 在六月至八月昆蟲數量變多，到八月家蠅及花蠅是雪山東峰芒草上的常見者；SPA-6 的雙翅目隨 2 月、4 月、6 月蟲數遞減。SPA-6 的膜翅目各月份都比雪山東峰多，且各月份都會出現少數其他較高海拔樣區不常出現的鞘蜂科昆蟲；有趣的是掃網所得的芒草上的彈尾目昆蟲多數出現在雪山東峰的二到四月(圖 6-24)，其他月份及七卡哭坡芒草上的彈尾目都不超過五隻，或許與其生活習性有關。

雪山箭竹(SPA-2、SPA-5、SPA-6)上是所有植物中昆蟲數量最多的，約 60% 的蟲都在箭竹上，優勢昆蟲依序為同翅目(63.8%)>雙翅目(14.4%)>彈尾目(8.7%)；同翅目尤以葉蟬蟲數最多(圖 6-25)，葉蟬在 SPA-5 蟲數隨月份遞增，在 SPA-6 蟲數隨月份遞減；雙翅目也有遞增遞減的情況(圖 6-26)，但是各區段物種不同，在 SPA-5 細腰大蚊有遞增現象，在 SPA-6 的搖蚊則有明顯遞減現象，這兩科數目也是箭竹上雙翅目的多數種類。如圖 6-27 彈尾目在 SPA-5 主要為球角跳蟲及棘跳蟲，在 SPA-6 主要為長角跳蟲。

雜草(SPA-2、SPA-4a、SPA-4b) 優勢昆蟲依序為同翅目>雙翅目>膜翅目；

SPA-2 及 SPA-4b 木蝨多，SPA-4a 葉蟬及飛蝨多(圖 6-28)；如圖 6-29 所示 SPA-2 的 Empididae 多，SPA-4b 蠓科數量多，而 SPA-4a 雙翅目少，SPA-4a 八月的小繭蜂數量較二月六月多，SPA-2 的膜翅目(圖 6-30)在八月份比其他樣區雜草形態種數多，姬蜂、繭蜂、錘角細蜂、廣腹細蜂都有一定的數量。

(二)雪山高海拔地區枯枝落葉之昆蟲組成

1. 各月份昆蟲種類及數量

2009 年 2-8 月個體數累積結果，共計已鑑定 9,835 隻，分為 13 目，其中非昆蟲的蟎蟬、蜘蛛等多達 4,837 隻。計算昆蟲的目級組成，彈尾目、雙翅目及鞘翅目最高分別有 3,679、707 及 420 隻，遠大於其他各目，其次為膜翅目、同翅目、嚙目及鱗翅目數量約幾十隻，其餘各目均低於 10 隻。

各個月份期間的蟲量也有明顯的差別，彈尾目在各月皆有數以百計的個體量，4 月更是多達 2,452 隻；另外鞘翅目及雙翅目亦有顯著的變化量，鞘翅目依月份的數量分別是 22 隻、223 隻、106 及 69 隻，而雙翅目是 11、619、30 及 47 隻，在 4 月份的蟲量明顯皆有驟增的趨勢。4 月份蟲量 3,345 隻是最多的，遠大於其他的月份，2 月、6 月及部分 8 月的個體數分別為 291、609 及 706 隻。

2. 各樣區間昆蟲的種類及個體數組成變化

2009 年各樣區之昆蟲科數及個體數量分別表示於圖 6-31 和圖 6-32。以各樣區而言，彈尾目、雙翅目及鞘翅目是常觀測到的 3 個目，於各測站都有不小的數量出現。較特別的是，SPA-1 有高比例的彈尾目(Collembola)出現，數量遠遠超過其他地區 3 倍之多，且革翅目昆蟲僅在此樣區有採集到個體；在 SPA-1 及 SPA-5 有高數量的雙翅目(Diptera)；SPA-1 及 SPA-6 有較多的鞘翅目；而 SPA-2 除了彈尾目之外，很少有其他目的昆蟲，甚至是沒有；相較於其它樣區，SPA-4 火燒地的昆蟲數量及種類明顯的少很多，可說是幾乎沒什麼昆蟲出現。在物種的豐富度方面，SPA-5 與 SPA-6 樣區的數量雖然不到 SPA-1 的一半，其各目種類的豐富度卻多很多。

(1)SPA-1(圈谷)樣區：在優勢植物圓柏杜鵑之下共採集到 2,504 隻昆蟲，以彈尾目(4 科/1,936 隻)最多，其次為雙翅目(6 科/337 隻)及鞘翅目(4 科/170 隻)，另外亦有些許鱗翅目(14 隻)、同翅目(9 隻)、嚙目(9 隻)、革翅目(12 隻)及纓翅目(8 隻)昆蟲的出現。

- (2)SPA-2(黑森林)樣區:優勢植物冷杉箭竹之下採集到 598 隻昆蟲，以彈尾目(3 科/543 隻)最多，其次為雙翅目(5 科/24 隻)及鞘翅目(4 科/29 隻)，其他目的昆蟲則幾乎是沒有，僅有鱗翅目及膜翅目有零星的一隻個體出現。
- (3)SPA-4(火燒地)樣區:以彈尾目(4 科/23 隻)最多，其次為鞘翅目(1 科/18 隻)、雙翅目(5 隻)及膜翅目(2 科/6 隻)。
- (4)SPA-5(東峰稜線)樣區:以優勢植物芒草、箭竹、灌木之下，彈尾目(4 科/642 隻)最多，雙翅目(6 科/268 隻)及鞘翅目(5 科/46 隻)也有不少，其它也有少數的膜翅目(12 隻)、同翅目(4 隻)、嚙目(5 隻)。
- (5)SPA-6(七卡山莊)樣區:在優勢植物芒草、箭竹、灌木中，以彈尾目(4 科/535 隻)最多，其次為雙翅目(6 科/73 隻)及鞘翅目(11 科/157 隻)，另外還有同翅目(15 隻)膜翅目(15 隻)嚙目(13 隻)。

3. 各樣區不同植物來源內枯落物之昆蟲組成

- (1)SPA-1 (圈谷)樣區(圖 6-33):於圓柏枯落物所採集到的等節跳蟲及球角跳蟲較多，尤其等節跳蟲的數量高達 1,356 隻是杜鵑的 4 倍之多；杜鵑枯落物中則有較多的長角跳蟲、隱翅蟲及搖紋，其中搖紋的數量多達 245 隻數量是圓柏的 50 倍。另外，在圓柏有出現棘跳蟲、菊虎、黑翅蕈蚋、蕈蚋、葉蟬、蟻形蜂及大痣細蜂，是杜鵑所沒出現的昆蟲；杜鵑上則有金花蟲，圓柏則沒有。
- (2)SPA-2 (黑森林)樣區(圖 6-34):此樣區的冷杉枯落物內有隱翅蟲、球角跳蟲及等節跳蟲，另外尚有箭竹枯落物內所沒有的長角跳蟲還有少數的偽瓢蟲、澳蠅、黑翅蕈蚋及大紋；箭竹枯落物中的等節跳蟲數量多達 417 隻是冷杉的 4 倍，另外還有幾隻僅在箭竹枯落葉內發現的經節蟲、姬薪蟲、花蠅、癭蠅及長腳虻等甲蟲蚊蚋。
- (3)SPA-4 (火燒地)樣區(圖 6-35):在此樣區的枯落物中，僅發現少數幾隻的膜翅目的蟻、小蜂及同翅目的蚜蟲，跳蟲及甲蟲的數量稍稍多些，其中以等節跳蟲(18 隻)及隱翅蟲(13 隻)的數量為最多。
- (4)SPA-5 (東峰稜線)樣區(圖 6-36):稜線樣段的芒草、灌木及箭竹枯落物中有較多的鞘翅目及雙翅目，在灌木枯落物中又有大量的跳蟲出現，47 隻的球

角跳蟲及 101 隻的長角跳蟲，其中以等節跳蟲最為顯著，有 429 隻遠高於其他科，另外還有較多的搖蚊(33 隻)，是芒草及林下箭竹所沒有的數量；芒草除了常見的跳蟲外尚有出現棘跳蟲，還有一些蟻塚蟲、隱翅蟲、蟻科及零星的蚜蟲葉蟬、細腰大蚊跟分盾細蜂；草原箭竹的枯落物中的昆蟲數量則少很多，除了長角跳蟲、球角跳蟲，其他的花蠅、癭蚋、搖蚊、步行蟲、拳草蟲、粉介殼蟲及小蜂僅零星的出現；林下箭竹枯落物內的昆蟲數量及種類比草原箭竹更少些，僅幾隻跳蟲、甲蟲及蚊蚋。

(5)SPA-6 (七卡枯坡)樣區(圖 6-37):七卡樣段的芒草、灌木及箭竹枯落物中有較多的鞘翅目及彈尾目，又以灌木及林下箭竹枯落物中有較多數量的等節跳蟲及球角跳蟲出現，是芒草及草原箭竹的兩至三倍；芒草有不少種類的甲蟲及蠅蚋，隱翅蟲數量最多，尚有其他植物上所沒有的介殼蟲及一些蜂類；除跳蟲外，此樣區四種植物的枯落物中皆可發現癭蚋及隱翅蟲；芒草、林下箭竹及草圓箭竹皆有發現蟻塚蟲，芒草及灌木皆有蘚苔蟲及小蜂；林下箭竹則有幾種其他植物枯落物中所沒發現的甲蟲。

4. 不同樣區各植物枯落物內之昆蟲組成

從資料中可得知，在不同海拔的相同植被枯落物也顯示出不同的昆蟲組成。

(1)SPA-5 與 SPA-6 樣區芒草枯枝落物中的昆蟲組成:在 SPA-6 七卡樣區以鞘翅目的甲蟲、雙翅目的蚊蚋、同翅目及膜翅目蜂蟻為主，有為數不少的隱翅蟲、少許的擬步行蟲、蘚苔蟲、蟻塚蟲、癭蚋、蛾蚋、麗蠅和花蠅；而 SPA-5 雪山東峰上芒草枯落物中的昆蟲組成雖然和七卡地區的相類似，但是數量及科數則少了一些，仍是以跳蟲為多數種，另有雙翅目的細腰大蚊科和膜翅目的分盾細蜂、蟻等為主；東峰稜線的同翅目主要為介殼蟲，七卡哭坡則是葉蟬及蚜蟲。

(2)SPA-2、SPA-5 與 SPA-6 樣區草原箭竹枯枝落物中的昆蟲組成:雖然 SPA-2 黑森林、SPA-5 東峰稜線及 SPA-6 七卡哭坡以彈尾目為主要組成，但雪山東峰的數量明顯的比其他兩個樣區少，黑森林草原箭竹的枯落物內有大量的等節跳蟲；其他的蟲僅有零星的蠅蚋與甲蟲。

(3)SPA-5 與 SPA-6 樣區林下箭竹枯枝落物中的昆蟲組成:東峰稜線枯落物裡不僅物種少、蟲量不多，常於枯落物發現的跳蟲在稜線此樣區中卻沒有多少個體；而七卡的等節跳蟲及球角跳蟲仍有不少數量，另外還有 5 科的甲

蟲種類發現。

(4)SPA-2、SPA-5 與 SPA-6 樣區灌木枯枝落物中的昆蟲組成:在不同樣區的灌木也顯示出不同的昆蟲組成，黑森林、稜線、七卡三個樣區內的灌木枯落物其最主要的昆蟲彈尾目，皆有多餘其他種的大量等節跳蟲，黑森林及稜線的長角跳蟲也不少，而七卡則是有較多的球角跳蟲；黑森林及稜線無同翅目的昆蟲，但七卡卻有介殼蟲的發現；黑森林、稜線及七卡皆有少量的雙翅目及鞘翅目昆蟲，但數量似乎隨著海拔的增加而漸減；稜線的搖蚊特別多。

(三)各樣區植物上昆蟲食物鏈相(科級): 科的數量 vs.形態種的數量

高海拔各樣區食物鏈的組成可分為：植食性消費者((Phytophagous, Ph))、捕食性消費者(Predaceous, Pr)及寄生性消費者(Parasites, Pa)、植物性分解者(Decomposer, De)及動物性分解者(Saprophagous, Sa)，以此為劃分以了解各樣區食物鏈中的生物相。

1. 高海拔各樣區植物上昆蟲食物鏈相組成

各樣區植物上的食物鏈相組成，從科級、形態種及個體數三個方面看(表 6-5)。在科級的層次、各樣區植食性、肉食性及分解者的數量均約相當，僅最高海拔的 SPA-1 分解者的科數較少。在形態種的層次，各樣區均以植食性的形態種數較多，僅 SPA-1 樣區的分解者形態種數量與植食者相當，而其餘樣區的分解者形態種數量與捕食者量相當，約為植食者量的 1/3~1/2 倍。在個體數量來說，植食性昆蟲約是分解者的 5 倍，更近 10 倍於捕食者，尤其是 SPA-1 及 SPA-2 樣區的捕食者數量相當的少；但在 SPA-5 樣區的分解者，因跳蟲數量的關係，數量達植食者的 0.7 倍。

2. 高海拔各樣區枯落葉內昆蟲食物鏈相組成

SPA-1 圈谷內植食性昆蟲以雙翅目、鱗翅目、縷翅目及鞘翅目的金花蟲科、象鼻蟲科組成；而鞘翅目的隱翅蟲科則是主要的捕食性昆蟲；彈尾目的跳蟲則為主要的分解者，另外還有少量的嚙蟲及蠅蚋擔任分解者的工作。

SPA-2 黑森林樣區的食性組成則較簡單，雙翅目與鞘翅目的姬薪蟲科是其中的初級消費者；隱翅蟲為主要的捕食者；分解者則由彈尾目的跳蟲組成。

SPA-4 火燒地樣區目前為止，除了蝸蟬之物種之外，有蚜蟲 1 科植食性昆蟲，捕食性昆蟲有隱翅蟲、蟻 2 科，寄生性昆蟲小蜂 1 科。

SPA-5 雪山東峰及 SPA-6 七卡兩個樣區的蟲相數量及種量都較多元化，其所構成的食物鏈關係也較複雜一些。SPA-5 雪山東峰內的植食性昆蟲除了雙翅目級鱗翅目外，還有同翅目的介殼蟲；次級消費者的昆蟲除了鞘翅目的隱翅蟲及步行蟲外，另外還有屬於寄生性次級消費者的膜翅目小蜂；擔綱分解者工作的則有跳蟲、嚙蟲及出尾蟲。在 SPA-6 七卡樣區內，植食性初級消費者中有雙翅目、鱗翅目、同翅目的介殼蟲及鞘翅目的象鼻蟲，另外還有較少的毛翅目昆蟲。次級消費者則有屬捕食性消費者的蟻塚蟲、蘚苔蟲、隱翅蟲及蟻與屬於寄生性的小蜂。除了跳蟲及嚙蟲為主的分解者，其他尚有鞘翅目的經節蟲及姬刺蟲、雙翅目一些腐食性蠅蚋。

(四)各樣區各科優勢昆蟲特性

雪山高海拔地區最常見的昆蟲有四個目，分別為同翅目、雙翅目、膜翅目及彈尾目，其中分別有一些科別較為常見，將其重要特性分別說明如下：

1. 同翅目(資料來源：Charles A. Triplehorn and Norman F. Johnson, 2005, Borror and Delong's Introduction to the Study of Insects, 7th edition)

(1)常蚜科(Aphididae)：

體型小，自由生活多態型。兩性生殖及孤雌生殖皆具，雌、雄個體型態不同；同種中同時具有有翅型及無翅型個體。翅細長，後翅較小，所有脈紋源自一主脈，具翅痣。複眼發達或退化，單眼 2 個。觸角 3~7 節具環狀感覺器。前胸及腹部常具緣瘤。腹部 10 節，腹末尾片形狀多樣。腹管長呈管狀，有些個體膨大，或呈球狀，或缺乏腹管。有些種類第 8 腹節具泌蠟管。蚜科寄主植物的範圍很廣，刺吸植物汁液取食，分泌密露，為重要經濟害蟲。本科分為 3 亞科。

(2)葉蟬科(Cicadellidae)：

體長很少超過 13 毫米。不同種有各種體色。以植物的葉為食。大部分一年一代，少數一年 2 代或 3 代。為經濟害蟲。多數葉蟬會發出微弱的聲音。

(3)癭綿蚜科(Pemphigidae)：

個體被蠟覆蓋；雌蟲與卵完全包覆在毛狀的囊中。取食後，會將多餘的糖份(即蜜露)混合蠟質排出，常引發黴菌滋生，造成煤煙病，使得葉片褐化，無法進行光合作用；黴菌還會破壞葉片表皮層，造成葉片失水乾枯，提早落葉；而且蜜露的黏稠性，會將兩葉片黏貼在一起，若葉片黏貼在果實上，會因黴菌影響，使果實呈現煤煙污染，影響外觀品質，降低產品競爭力，嚴重時更會造成果實腐壞。

(3)木蝨(Psyllidae)：

體長 2~5 毫米，成蟲有翅，若蟲會分泌大量的蠟質。以植物汁液為食，對寄主植物有專一性。生活史為卵→若蟲→成蟲，屬於漸進變態昆蟲。本科外觀近似蟬但體型很小僅有 2-5 mm，體具蠟質，以刺吸式口器吸食植物莖葉，常見成蟲、若蟲群聚營生，會分泌蜜露吸引螞蟻前來取食，有些種類以蟲癭的形態營生。若蟲體色較淡或透明，寄主植物較專一。

2. 雙翅目(資料來源：Charles A. Triplehorn and Norman F. Johnson, 2005, Borror and Delong's Introduction to the Study of Insects, 7th edition)

(1)搖蚊科(Chironomidae)：

搖蚊科昆蟲分布範圍極廣，其體型細小，型似蚊子，不同的是搖蚊科除了翅上缺少鱗片外，其口器也因不取食而退化。搖蚊科前足最長，後胸背板有脊突起或凹陷，雄蟲具羽狀觸角。搖蚊多在黃昏形成蚊柱，振翅所發出的聲音之大，甚可在一段距離外聽見。搖蚊大部份幼蟲為水生，可生活在任何水體之中，少部份則活在腐植質、土壤、樹皮下或其他類似的潮濕且富含有機質的環境當中。多數的水棲型幼蟲居住於由有機質和其分泌出之唾液混合而成的管狀或盒狀物中。多數種類其幼蟲體內含有血色素，故呈紅色。幼蟲以扭動身體來移動，似蚊科幼蟲。該類群幼蟲亦為許多淡水魚類或淡水生物的重要食物來源。

(2)黑翅蕈蚋科(Sciaridae)：

此科與蕈蚋科(Mycetophilidae)極為相似，但不同的是黑翅蕈蚋的複眼會於觸角基部的上方相黏在一起，且 r-m 脈位於 Rs 脈的基部並與 Rs 脈相連。黑翅蕈蚋的體色為黑色，常生活在潮濕陰暗處，其大部分種類的幼蟲居住在蕈類上，有部分種類甚至成為菇類養殖業的害蟲。另有少部分種類會取食植物根部，如其中馬鈴薯 Scab 蚋 (*Pnyxia scabiei*)，會攻擊馬鈴薯並成為馬鈴薯 Scab 病的媒介。*P. Scabiei* 的雌蟲有著極短的翅膀並缺乏平衡棍。黑翅蕈蚋科在美加地區已知約有 170 種，為相當普遍分布的種類。

(3)癭蚋科(Cecidomyiidae)：

癭蚋體型小，具有細長的足和觸角，其翅脈退化。族群龐大，在北美約有 1200 種，約有 2/3 會造癭。幼蟲體型細小體色鮮明，頭部發育並不完全，口器相對微小。大多數種類幼蟲末齡具有 T 型和 clove 型的骨片於前胸腹面，稱為”胸骨”或”胸叉”。幼蟲分為造癭跟不造癭兩種。會造癭的種類所造的癭可能位於植

物任一部位，且具獨特性，多數種類只會在特定植物的特定部位造癭。有些癭只供應一隻幼蟲生長，有的癭則提供多隻幼蟲生長。不造癭的幼蟲會取食職務或棲息在腐壞的植物組織或真菌中。少數種類會取食小型昆蟲。

(4)花蠅科(Anthomyiidae)：

是雪山地區常見的科，在步道兩旁的灌木或花上可見到牠的身影，多數都是黑色個體，與平常看到的家蠅(Muscidae)很像，但體型較為大一些些，且在高海拔地區是沒有家蠅科昆蟲的。花蠅與家蠅最大的差別在臀肘脈($Cu_2 + A$)有沿伸到翅緣且中胸小盾片下緣有一列細毛。多數花蠅的幼期是植食者，取食寄主植物的根部，因有些會成為栽培植物或作物的重要害蟲。

(5)舞虻科(Empididae)：

因成蟲有時會有上下飛行的群舞現象而得名。是雪山高海拔地區為常見的雙翅目昆蟲，體暗色與花蠅似，但身體較瘦小，約 1-1.5 公分大小，其胸節很大，腹部漸漸縮小，雄蟲末端的外性器通常很大。舞虻的分佈範圍很廣，捕食像搖蚊這一類的小型昆蟲。因此，其前足長特化出很多硬刺，以利捕食，雖此，成蟲也常在花朵上取食花蜜。舞虻的幼蟲存活於土壤、腐植質、糞便、樹皮下或水中，應該都具捕食特性。舞虻交尾時很特別，雄蟲有時會捕捉食餌用以吸引雌蟲，有些甚至會用前足脛節基部吐絲包被食餌，或用肛門產生的黏稠物，再吸引雌蟲。

(6)大蚊科(Tipulidae)：

此科在高海拔地區，常有區域性的大量個體，常被誤認為大隻的蚊子，但其長長的口器是不會叮人的，此類昆蟲不具單眼，身體細長，翅膀細長，腳也細長，其足很容易斷落。雪山地區的大蚊，體長約 2 公分，其翅上常有斑紋。大蚊通常存活於植物的潮濕地帶，在草原地區為數不少，其成蟲不取食，僅活數天。許多種類幼蟲存活於水裏或半水生，有些則存於土壤、真菌、苔蘚及腐木內；幼蟲多取食腐植質，少數取食植物根部，有些水生幼蟲種類具捕食特性。

3. 膜翅目

(1)金小蜂科(Pteromalidae)：

金小蜂科種類為完全變態，即從卵開始經幼蟲、蛹發育為成蟲。其生活史從卵到成蟲約為三個星期。一般雌蟲較雄蟲的發育多 1~2 天，卵的孵化需要 1~3 天，幼蟲階段約 4~10 天，蛹期約 4~14 天。一年中的世代數與其寄主密切相關，一到

數個世代不等。多數金小蜂以末齡幼蟲越冬，也有的種類以蛹或成蟲越冬。成蟲可以在針葉樹的葉叢中，樹幹上枯葉中、草叢中、鳥巢等處越冬。

成蟲取食習性分兩型：一為取食蜜露和植物的分泌物等；另一為取食寄主的體液。取食發生在雌蜂存活期的任何階段；金小蜂的成蟲一般都會取食蜜露以補充營養，維持生命，而蛋白質類的食物對卵的發育是必須的，它主要來源於寄主。成蟲從寄主中鑽出後即可交配，雄蜂通常較雌蜂早出 1~2 天，他們會守候在雌蜂即將鑽出的寄主上的出蜂口旁，不斷用觸角敲擊寄主，催促雌蜂出來交配。雌蟲將卵產在寄主體表或體內，因各種產卵習性而異。金小蜂的食性可分為植食性、捕食性、寄生性。多數種類是在不同時期具不同食性，許多種類是寄生性兼捕食性。(資料來源：黃大衛、肖暉。2005。中國動物誌昆蟲綱第四十二卷膜翅目金小蜂科。科學出版社。北京。)

(2) 姬蜂科 (Ichneumonidae) :

所有姬蜂種類之幼蟲都是寄生性的，姬蜂的寄主以鱗翅目居多，還有鞘翅目、雙翅目、膜翅目、脈翅目和毛翅目等完全變態昆蟲的幼蟲和蛹，絕不寄生不完全變態的昆蟲，也不寄生於成蟲，此特性與繭蜂科、小蜂總科、細蜂總科和寄蠅科等主要寄生性昆蟲不同。姬蜂和其它寄生蜂相似，一個種只限於寄生某個蟲期，按照所寄生的蟲期還可分為單期寄生及跨期寄生兩類。

姬蜂成蟲大部分具翅，行動活潑，取食露水、花蜜、植物汁液、蚜蟲蜜露等。有的種類用產卵器刺傷寄主後吸食寄主體液，少數為捕食者。濕度與水分對於姬蜂成蟲活動和生活是個極為重要的因素，一般來說成蟲每天需要喝水，主要來源是早晨植物上的露水，因而姬蜂的分布與水分的來源有密切的關係。水分的來源主要為露水其次於降雨，在高山密林的地方，晝夜溫差大，早晨露水多，加以植被較不單純、寄主複雜，因而在高山密林的地方姬蜂種類比平地作物栽培地區多。

姬蜂多以老熟幼蟲越冬，少數以成蟲期越冬。越冬姬蜂大多為雌蜂，較喜歡以巢穴、乾枯樹幹基部的厚數皮內及腐爛的木材中越冬，少數在苔蘚下、雜草、落葉等處越冬。一般在北向山坡和低地冬季濕度不大的地方潛伏越冬。越冬的姬蜂常常幾隻或幾十隻聚一起，有時甚至是不同的種一起。雄性姬蜂比雌性出現的早，兩性相遇和交配多在花器上或雌性活動處，或待雌蜂一羽化立即交配。(資料來源：何俊華、陳學新。1996。中國經濟動物誌第五十一冊膜翅目姬蜂科。科學出版社。北京。)

(3)廣腹細蜂科(Platygastridae)：

主要寄生於雙翅目，特別是形成蟲癭的癭蚋(Cecidomyiidae)及相近科的昆蟲，也有寄生於同翅目的介殼蟲及粉蝨者。有少數寄生於鞘翅目象鼻蟲科(Curculionidae)及金花蟲科(Chrysomelidae)者或膜翅目(Hymenoptera)者。通常產卵於寄主卵內，或剛孵化的寄主幼蟲體內，要等到寄主幼蟲老熟後，才完成自己的發育，一般在寄主幼蟲體內化蛹。(資料來源：何俊華。2004。浙江蜂類誌。科學出版社。北京。)

(4)癭蜂科(Cynipidae)：

幾乎所有的癭蜂都有其特定的寄主植物種或屬，而且所形成的蟲癭有其特定的形狀。雌蜂會將卵產於寄主植物組織中，但只在期幼蟲孵化後，蟲癭才形成，這是寄主植物對癭蜂幼蟲唾液分泌物的一種反應。絕大部分的蟲癭是一癭一蜂。幼蟲在蟲癭內化蛹。癭蜂具有多種繁殖方式，除一般的產雄孤雌生殖、產雌孤雌生殖外，大部分癭蜂族還有無配子世代與有性生殖世代相互交替發生者。有性世代的蟲癭一般在春天形成，生長很快；而無性世代的蟲癭生長卻很慢，幼蟲在蟲癭內越冬，翌年春天羽化，有時一年甚至幾年後才羽化。(資料來源：何俊華。2004。浙江蜂類誌。科學出版社。北京。)

(5)繭蜂科(Braconidae)：

繭蜂科是一群很種類很多的科，寄主多為膜翅目昆蟲。成蟲常為小型昆蟲，體長常少於15mm以下。與姬蜂同為姬蜂總科的物種，兩者的差別在繭蜂的前翅翅脈不具2m-cu脈，且後軀第二與第三節背板通常癒合而不能動。繭蜂的生態習性很多樣，有內寄生及外寄生特性者、獨居(solitary)或群居(gregarious species)者、初次寄生或二次寄生者。不管在寄主的卵期到成蟲期皆有可能被其寄生，在繭蜂科內的許多物種被當作有效控制昆蟲的天敵。(資料來源：Borror, D. J., C. A. Triplehorn, N. F. Johnson. 1989. An introduction to the study of insects (6th Ed.) Saunders College Publishing. San Francisco)

4. 彈尾目(資料來源：Charles A. Triplehorn and Norman F. Johnson, 2005, Borror and Delong's Introduction to the Study of Insects, 7th edition)

(1)球角跳蟲科(Hypogastruridae)：

此科內的成員通常1-2毫米長，帶有短的附加物(有時是彈器縮小或者缺乏)，從奶油色、棕褐色、紫色，藍色和微綠色到黑色，體色廣泛。此科是彈尾目裡的

最大的科，體型扁平且有圓狀凸出物，擁有短且堅韌的剛毛，缺乏彈器，它的口器形成一個圓錐形。常活動於鬆散的樹皮或樹葉堆下，有些深色種類經常在冬天雪地裡或在藻類和真菌的孢子上面發現，這有時是在大量楓樹汁液裡的一只害蟲。有種灰藍色的種類會大量出現在沿著海岸的潮間帶，可在小水池的表面上或在石頭與貝殼之下被發現，並且會爬到海岸上；這些跳蟲會群聚在漲潮暗礁下的氣穴裡。

(2)等節跳蟲科(Isotomidae)：

身體顏色非常多樣，來自白色、黃色、藍色，棕色和綠色的顏色，還有長條紋或橫向深紫色條帶。經常大量的聚集，在沼澤、潮濕的森林邊緣和淡水的水池裡很多。

(3)長角跳蟲科(Entomobryidae)：

這是一個相當大的族群，像 Isotomidae 般細長的跳蟲，但有別於 Isotomidae，他的第 4 復節明顯較其他腹節大。另外，一些種類有健全的剛毛、鱗片、非常長的觸角和腿，具有顯著的顏色。有的體色黃色並有紫色斑紋，為相當常見的種類，常在落葉堆和樹皮縫穴之中發現。有些種類會有特別的"駝背"外型。有一些種類被發現與人類的建築有相當親密的關係且棲息地被保護的很好，它可能被每個舊的房子裡發現。這是一個極端不同的族群，這或許將被在將來的修正上分成幾個不同的族群。

(4)圓跳蟲科(Sminthuridae)：

這些跳蟲體型大小的範圍從 0.75 到 3 毫米，身體軟圓形，善於跳躍。很多種類常見於在植物上，為花園的害蟲；還有些在石頭、樹皮或葉子堆下；有一些種類則在淡水的池塘表面上；在森林裡有些種類經常在蘑菇或者舊的松果上發現。

四、討論

(一)各樣區之間昆蟲數量及昆蟲組成變異

不同海拔樣區植物上捕獲的昆蟲數量，很明顯的有極大的變異；相較於 2,500~3,000 m 雪山東峰(SPA-5)及七卡樣區(SPA-6)的 6,248 及 10,169 隻昆蟲的數量來講，在 2-4 月黑森林及圈谷內尚有積雪，昆蟲數量較少，但 6-8 月回暖後，數量仍可達 4,000 隻。在枯落葉內的昆蟲組成卻有不同的特性存在；反而是

SPA-1(圈谷)的枯落葉物內有著最多數量的昆蟲，SPA-2(黑森林)內最少，此一現象或許與適應高海拔低溫環境有關，此從等節跳蟲、搖蚊及蝸蟬的少形態種中高個體數的資料可以得到證實。

各樣區植物捕獲的昆蟲組成上，SPA-1(圈谷)的杜鵑多有常蚜科及隱翅蟲科，圓柏則為木蝨科；SPA-2(黑森林)樣區則以木蝨科、癭棉蚜科及黑翅蕈蚋科最多；在 SPA-5(雪山東峰)及 SPA-6(七卡山莊)樣區明顯看出均以同翅目、雙翅目及彈尾目為主要組成，但是進一步可以發現此三目在不同植物上有著不同的組成偏好性。同翅目在 SPA-5 及 SPA-6 均以草原箭竹的葉蟬科及飛蝨科為主，可見此兩科的昆蟲已高度適應風大的開闊地形箭竹叢；雙翅目部份，在 SPA-5 及 SPA-6 以箭竹的搖蚊為主，在 SPA-5 的灌木上搖蚊也很多，此一現象與搖蚊的特性及植物特性有關，灌木或箭竹提供了搖蚊很好的遮蔽場所，在風很大的高海拔地區，從枯落葉羽化的搖蚊，以容易攀附的箭竹、冷杉及鐵杉為休息場所，但七卡樣區的灌木以闊葉林為主，其葉片大小較不適合搖蚊攀附；彈尾目在 SPA-5 及 SPA-6 樣區以箭竹的長角跳蟲為主，但圓跳蟲在 SPA-5 的草原箭竹上數量也很多，此或許與圓跳蟲在草原箭竹的適應有關；膜翅目科級的數量也很多，但僅袖小蜂有較多的豐度。

(二)同海拔樣區內不同植物上之昆蟲組成

同樣海拔高度的樣區當中，不同植物上所捕獲的昆蟲組成並不一定有很大的差別，以目級的層級來看無法區辨出各類昆蟲的適應特性；但若以科級來看，則可看出不少因植物適應而來的昆蟲組成。以七卡樣區(SPA-6)而言，為數眾多的葉蟬及稻蝨在草原箭竹上達 7,000 隻，其它如粉蝨、蚜蟲、沫蟬等較無專食性；膜翅目在灌木上的捕獲率較少，顯見其寄主昆蟲數量較少的重要訊息；雙翅目而言，在灌木上少有蠅類捕獲，多為蚊及蚋；彈尾目以長角跳蟲及圓跳蟲為主，但球跳蟲僅在箭竹上有分佈；以上可知，灌木上的昆蟲組成的確迥異於芒草及箭竹上的多樣性。在雪山東峰(SPA-5)樣區中，除箭竹上的葉蟬外，同翅目及彈尾目在各植物上的分佈多無偏愛，但在灌木及芒草上，雙翅目及膜翅目則有截然不同的分佈特性；灌木上的蜂類，均為小蜂及細蜂總科的物種，而芒草上 2-4 月則幾乎無蜂的存在，可能是芒草區此時因低溫或少有蜂的寄主所致；在雙翅目的科級組成更出現環境適應的訊息，尤以草原箭竹及林下箭竹差別尤大，搖蚊及黑翅蕈蚋外，草原箭竹以蠅類為主，少見蚋，但林下箭竹恰好相反，以蚋為主，少見蠅

類；此與草原箭竹風大，有絕對的關係。在黑森林(SPA-2)中，除飛蟲在箭竹上，其它科在箭竹及冷杉上均可見；膜翅目的細翅寄生小蜂僅見於冷杉；雙翅目除黑翅蕈蚋及舞虻外，多數分佈於箭竹；彈尾目的長角跳蟲未出現於冷杉。圈谷(SPA-1)樣區的圓柏上有大量的木蟲，未見常蚜科昆蟲，但在杜鵑上則反過來，具蚜蟲未見木蟲，顯示出特定昆蟲與植物間共同適應的現象；而其枯落物內的昆蟲也有一些獨特性，杜鵑下的搖蚊為數眾多，未見於圓柏，而蕈蚋則反過來，僅在圓柏下可見。在七卡樣區(SPA-6)、雪山東峰樣區(SPA-5)、SPA-2 及 SPA-1 的枯落物下，以跳蟲的適應特化最明顯，其中長角跳蟲及球角跳蟲，幾乎僅出現在灌木的枯落葉中，而等節跳蟲也有偏愛灌木枯落葉的現象。

(三)不同樣區間同植物特性的昆蟲組成

枯落物的昆蟲組成部份，在各個海拔樣區多數無特殊的適應特性，僅介殼蟲及鞘翅目在七卡樣區的(SPA-6)灌木中多於雪山東峰(SPA-5)，而蕈蚋及搖蚊在 SPA-5 的灌木枯落物中的豐度則遠高於其在 SPA-6 之中。在植物掃網捕獲的昆蟲中，芒草及箭竹在不同海拔高度樣區有截然不同的組成。芒草而言，除常蚜科外，同翅目的蚜蟲在 SPA-6 幾乎未見，而在 SPA-5 則頗常見；而膜翅目除細翅寄生小蜂外，癭蜂及植食性蜂類僅見於 SPA-6；雙翅目常見的搖蚊科卻未見於 SPA-6。灌木上的昆蟲，在各海拔樣區間有一些特殊適應的科群，像圈谷同翅目的常蚜科及木蟲科、膜翅目的姬蜂科；黑森林的黑翅蕈蚋、稜線的細腰大蚊，七卡的舞虻。就箭竹上的昆蟲而言，不同樣區組成差異很大，同翅目均以葉蟬、飛蟲及木蟲為主；黑森林以姬蜂、小蜂及細蜂為主，而較低海拔的稜線及七卡則上有不少的癭蜂及植食性蜂類。

(四)火燒地昆蟲組成

火燒地昆蟲組成在兩個受測樣區間有很大的差異，步道附近樣區 SPA4a 在 2 月有很多的葉蟬及飛蟲，在 369 山莊後方(SP4b)的 6 月有不少常蚜科及木蟲科，其餘月份，兩樣區間無甚差別，同翅目昆蟲均很少；膜翅目在 SP4a 很單純，於各月份以小繭蜂為主，但在 SP4b 則多樣性很高，有姬蜂等 10 個科；雙翅目在兩區數量均不多，但在 SP4b 的 6 月有大量蠓科昆蟲；彈尾目僅見圓跳蟲一科，數量均不多。

(五)、各樣區昆蟲食物鏈之變化

生物量相關的食物鏈相，雖可自科、形態種及個體數看出不同海拔樣區的

組成，但因昆蟲種類多，體型大小及重量特性差異大，如何將調查的昆蟲組成適當轉換為生物量，並進一步與其他子計畫資料做連結，應是重要且須克服的重點之一，但若每一種均要測量其體重，似乎需要另外的人力及時間，在目前的計畫的規畫上，似乎需要考量折衷的方法。

五、結論與建議

- (一)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，二及四月雪山黑森林及圈谷內尚有積雪，可能是重要因素。無論是形態種數或個體數量均隨月份而增加，且海拔越高數量越少，但七卡樣區卻因葉蟬的發育期而反常。
- (二)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不少差別很大，以目級的層級來看無法區辨出各類昆蟲的適應特性；但若以科級來看，則可看出不少因植物適應而來的昆蟲組成，像 SPA-1 的圓柏有大量木蝨，杜鵑有大量常蚜科，顯示出獨特的適應特性。
- (三)枯落物的昆蟲食性組成部份，在各個海拔樣區多為分解者及捕食者，少量的植食性昆蟲。捕食者以鞘翅目的隱翅蟲及膜翅類的小蜂為主，分解者以跳蟲及搖蚊為主。
- (四)在不同海拔樣區的昆蟲食性組成在植物上有極大變化，雖植食性昆蟲佔最大比例，但愈高海拔補食者所佔的比例愈少。
- (五)應長期規律性的調查，以釐清是否一年四季的昆蟲組成特性均如目前狀況，與及高海拔地區的昆蟲一年有幾個世代。
- (六)需進一步配合其它子計畫，觀察昆蟲組成及變化是否與植物因子、土壤因子、氣候因子...有關。

六、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 (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。
- 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。臺灣昆蟲 26:261-272。
- 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。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。53 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。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。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。19 頁
- 楊平世。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。79 頁。
- 葉世文 (2001) 臺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。
- 劉思謙、溫海宏、陳明義、楊正澤 (2008) 臺灣四種野牡丹科植物(Melastomataceae) 授粉生態學之研究。臺灣昆蟲 28:67-85。
- Kano, C. and X. Yosimura (1934) Introduction of higher mountain pools in the Tsukitaka mountain zone. *Limnology* 4: 54-65. (Japanese).
- 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.

表 6-1 高海拔各樣區植物上掃網所得昆蟲之形態種數與數量變化表

中文目名	SPA-1		SPA-2		SPA-3		SPA-4		SPA-5		SPA-6		TOTAL	
	形態種	數量	形態種	數量	形態種	數量	形態種	數量	形態種	數量	形態種	數量	形態種	數量
同翅目	50	3101	99	1397	17	178	25	314	230	2828	198	6925	619	14743
膜翅目	42	75	190	365	21	25	23	116	165	403	236	776	677	1760
雙翅目	73	260	112	779	27	132	41	123	188	1131	165	1561	606	3986
縷翅目	5	7	15	17	5	6	2	6	35	223	52	212	114	471
鞘翅目	14	395	27	375	5	14	6	23	70	323	71	150	193	1280
嚙蟲目	5	6	22	116	9	54	6	24	23	142	40	92	105	434
彈尾目	20	203	10	79	4	76	2	22	31	1111	38	404	105	1895
脈翅目	0	0	11	17	3	3	1	2	1	1	5	5	21	28
半翅目	4	8	18	207	4	4	4	4	16	35	10	15	56	273
鱗翅目	16	19	26	38	2	4	3	3	37	44	25	27	109	135
直翅目	0	0	0	0	0	0	1	1	3	4	1	1	5	6
革翅目	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2
毛翅目	0	0	1	7	0	0	0	0	1	1	0	0	2	8
禿翅目	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
總量	229	4074	531	3397	97	496	114	638	802	6248	842	10169	2615	25022

表 6-2 圈谷(SPA-1)樣區不同植物掃網之昆蟲組成

中文目名	拉丁科名	中文科名	圓柏				杜鵑+杜鵑花							
			2月	4月	6月	8月	2月	4月	6月	8月				
膜翅目	Ichneumonidae	姬蜂科						15					27	
	Braconidae	繭蜂科						1				1	1	
	Ceraphronidae	分臀細蜂科						3					3	
	Platygastridae	廣腹細蜂科										2		
	Mymaridae	細翅寄生小蜂科											1	
	Pteromalidae	金小蜂科							2					
	Encyrtidae	跳小蜂科							1				1	
	Eulophidae	釉小蜂科					1			4				
	Cynipidae	瘿蜂科												1
	Figitidae	環腹瘿蜂科						1						3
	Trichogrammatidae	卵寄生蜂科								2				
	unknown	未分科								4				1
縷翅目	Thripidae	薊馬科							3					3
	Phlaeothripidae	管薊馬科											1	
嚙蟲目	Caecilidae	毛嚙蟲科								1			1	
	unknown	未分科								3				1
半翅目	Lygaeidae	長椿科												2
	unknown	未分科								1				1
鱗翅目	unknown	未分科					10	1		3	1		1	3

表 6-3 黑森林(SPA-2)樣區不同植物掃網之昆蟲組成

中文目名	拉丁科名	冷杉			箭竹			雜草		
		2月	4月	6月	2月	4月	6月	8月	8月	
纓翅目	Thripidae							5	7	5
鞘翅目	Curculionidae			7				1	7	4
	Bostrichidae			1						
	Staphylinidae			4				11	21	260
	Chrysomelidae			2				1	1	49
	Byturidae			2						
	Anthicidae			1						
	Sphindidae unknown								1 1	 1
脈翅目	Stenopsocidae			1					1	
	Dasydemelidae			1						
	Caecilidae			13		1	13	8	1	
	Epipsocidae						1			
	unknown			4	1		7	62	2	
彈尾目	Entomobryidae				4	1	44	2		
	Sminthuridae			4			18			
	Isotomidae						6			
脈翅目	Hemerobiidae								2	
	unknown		1	1			1	12		
半翅目	Miridae								2	188
	unknown								4	13
鱗翅目	Geometridae		3		6	5	1			
	unknown	2		3	2	3	4	3	6	
毛翅目	Limnephilidae									7

表 6-4 火燒地(SPA-4)樣區不同植物掃網之昆蟲組成

中文目名	拉丁科名	4a 草			4b 草				
		形 2	形 6	形 8	形 6	形 8	形 8	形 8	
纓翅目	Thripidae								
	Phlaeothripidae	1	4		1	2			
鞘翅目	Curculionidae				1	7			
	Derodontidae								
	Chrysomelidae		1	1	1	11			
	Melyridae		1	1					
	Scarabaeidae		1	1		1	2		
嚙蟲目	Dasydemelidae				1	11			
	Caecilidae						1	1	
	unknown				4	12			
彈尾目	Sminthuridae	1	16		1	6			
脈翅目	Hemerobiidae				1	2			
半翅目	Miridae			2	2			1	1
	unknown			1	1				
鱗翅目	unknown	1	1				1	1	1
直翅目	Eumastacidae		1	1					

表 6-5 雪山地區高海拔各樣區 2-6 月植物上昆蟲食物鏈相組成

樣區	月份	直食性昆蟲			肉食性昆蟲			分解者昆蟲		
		科數	形態種數	個體數	科數	形態種數	個體數	科數	形態種數	個體數
SPA1	二月	2	5	21	1	1	1	2	3	9
	四月	2	4	11	1	1	1	2	3	9
	六月	7	19	1112	4	4	16	12	21	225
SUBTOTAL		11	28	1144	6	6	18	16	27	243
SPA2	二月	6	16	57	3	3	21	2	6	8
	四月	4	5	11	2	3	4	4	4	5
	六月	13	37	1251	15	37	70	12	22	346
SUBTOTAL		23	58	1319	20	43	95	18	32	359
SPA5	二月	10	49	521	7	9	3	7	20	482
	四月	15	94	684	15	28	76	10	26	719
	六月	26	133	1784	28	96	259	29	93	858
SUBTOTAL		51	276	2989	50	133	338	46	139	2059
SPA6	二月	15	74	3721	17	46	108	15	33	826
	四月	25	96	2459	18	90	247	20	58	617
	六月	20	89	888	22	87	444	22	88	362
SUBTOTAL		60	259	7068	57	223	799	57	179	1804

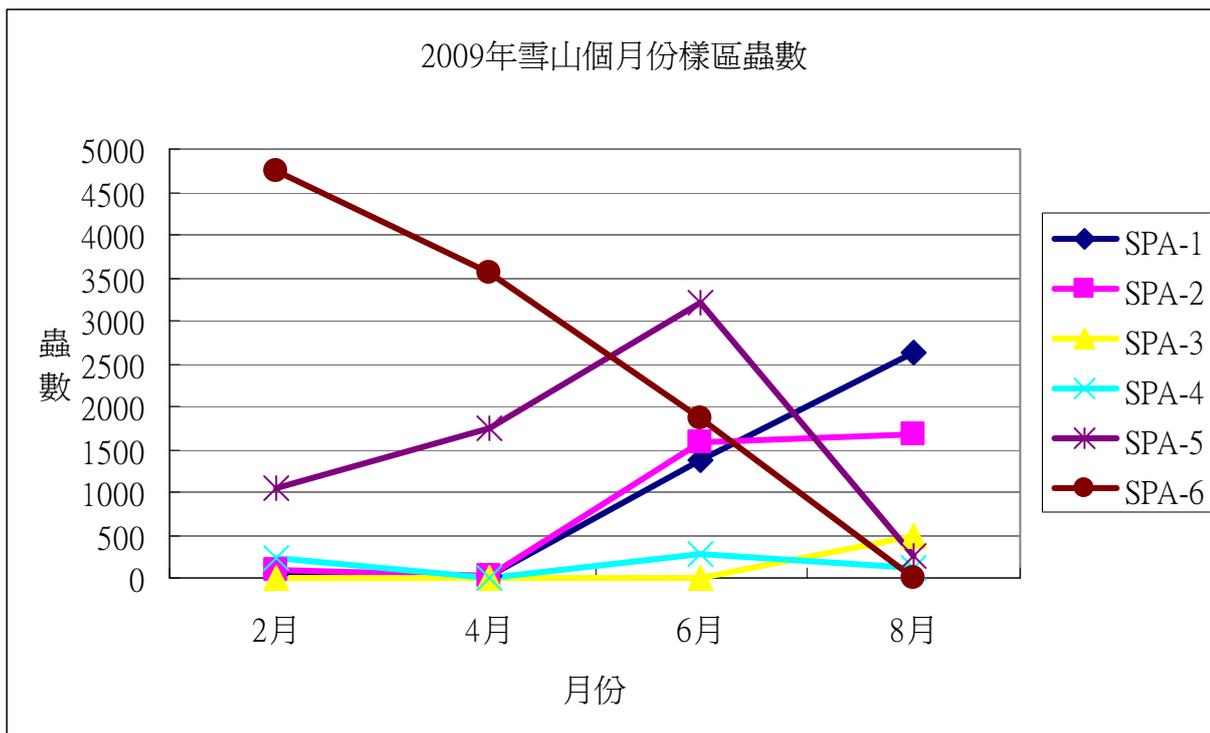
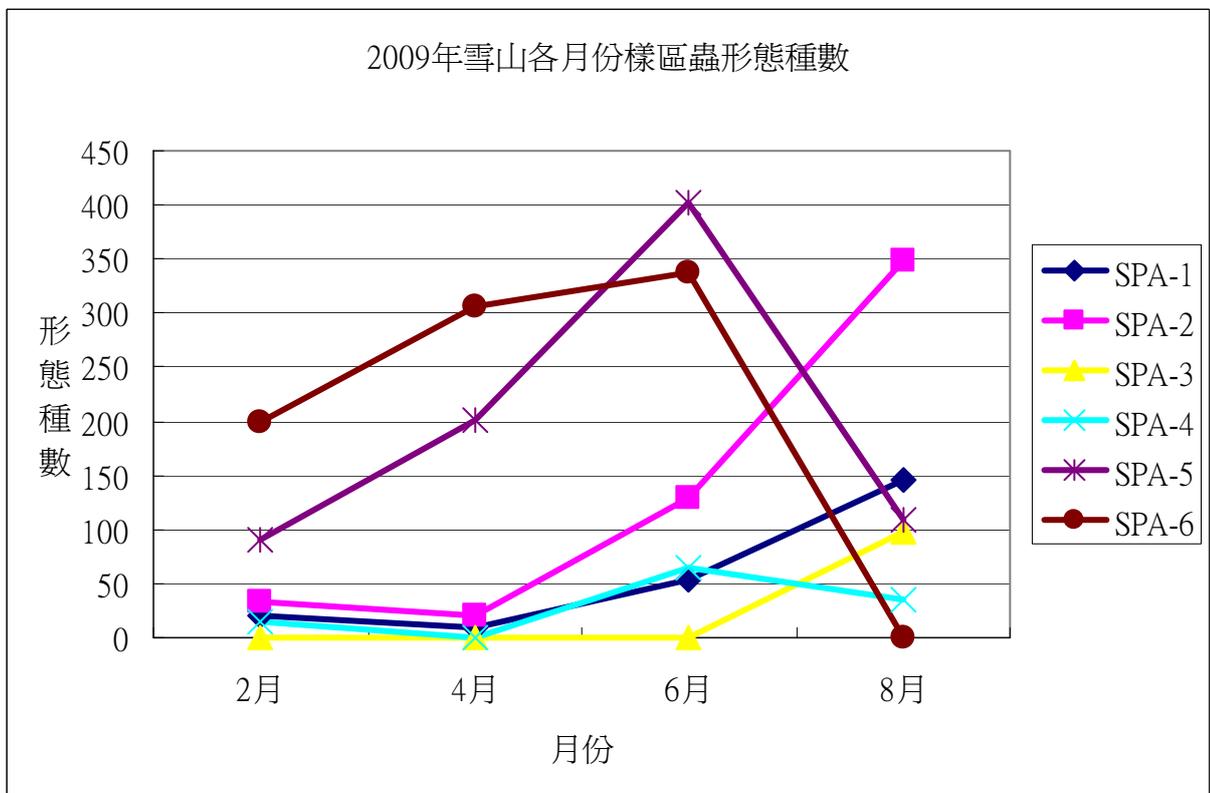


圖 6-1 高海拔各樣區植物上掃網所得昆蟲之數量變化折線圖。



圖

6-2 高海拔各樣區植物上掃網所得昆蟲形態種數變化折線圖。

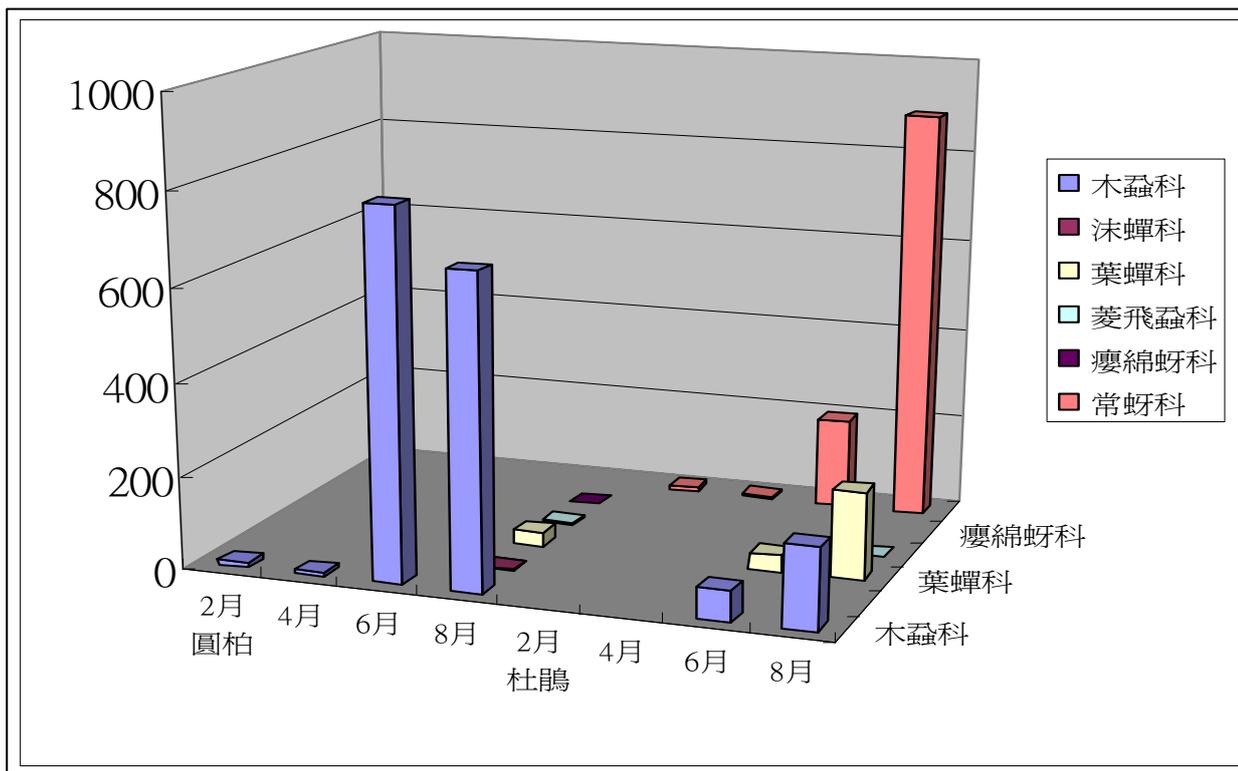


圖 6-3 圈谷(SPA-1)樣區同翅目在不同植物之掃網昆蟲組成。

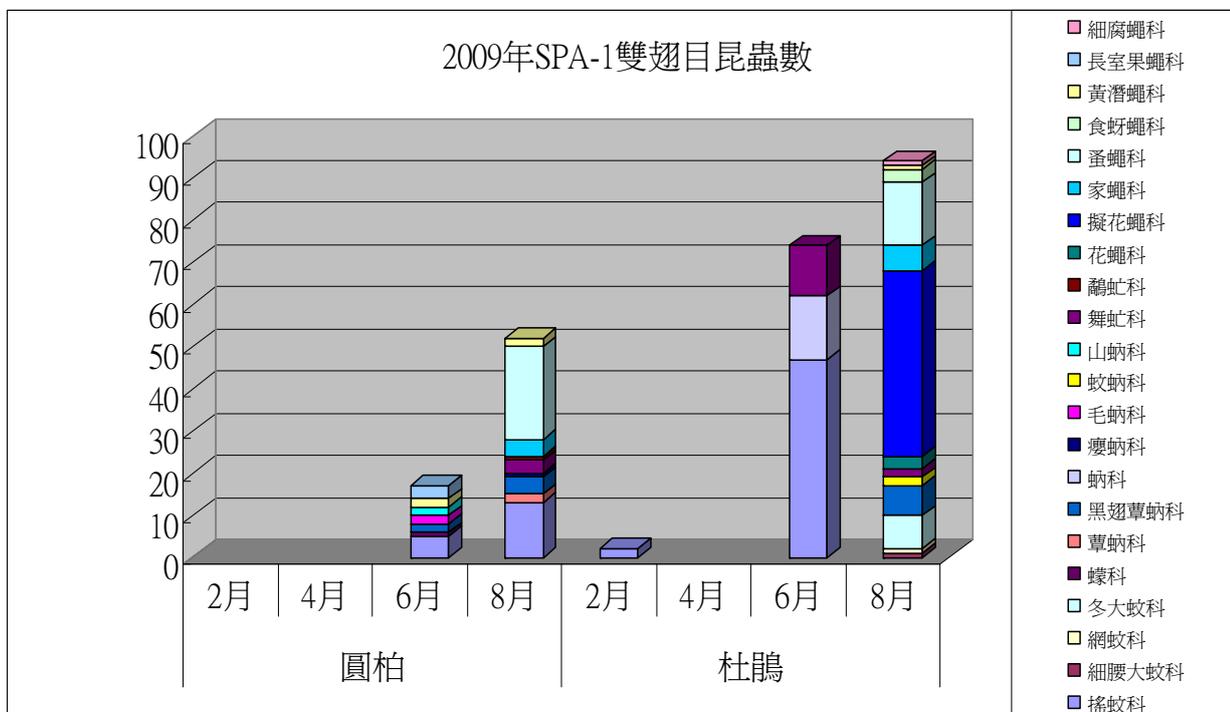
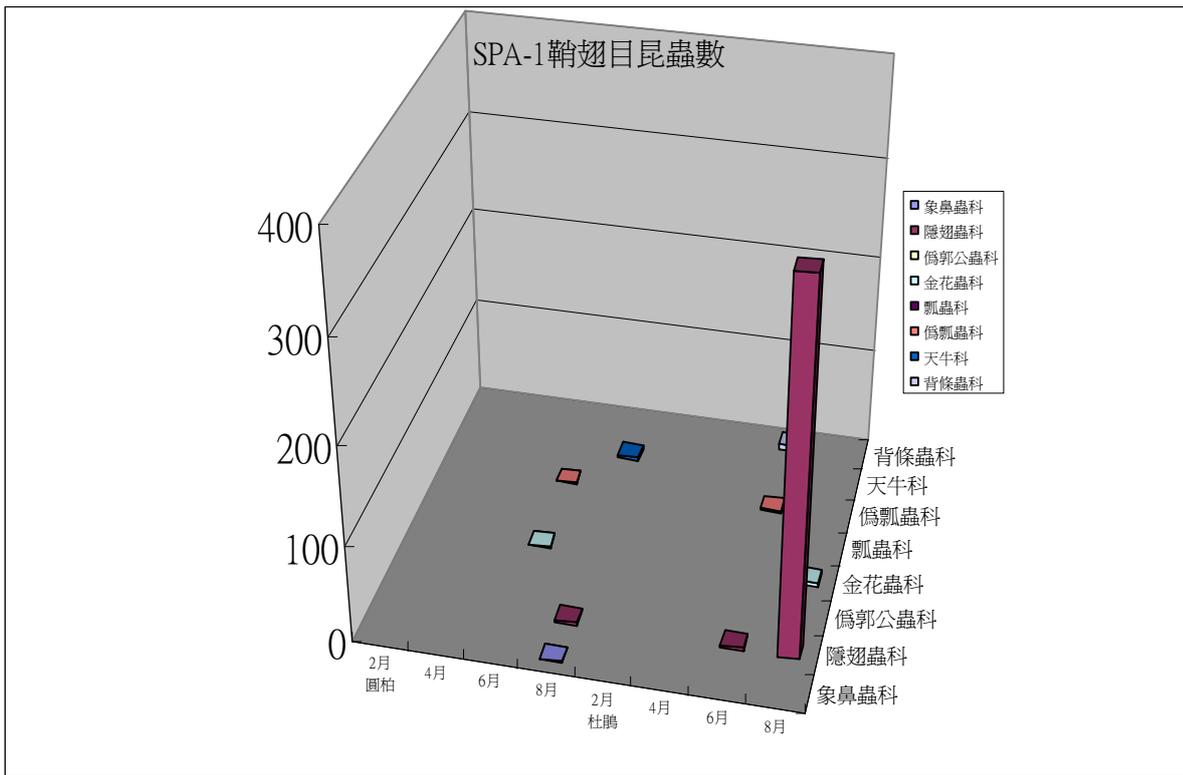


圖 6-4 圈谷(SPA-1)樣區雙翅目在不同植物之掃網昆蟲組成。

圖



6-5 圈谷(SPA-1)樣區鞘翅目在不同植物之掃網昆蟲組成。

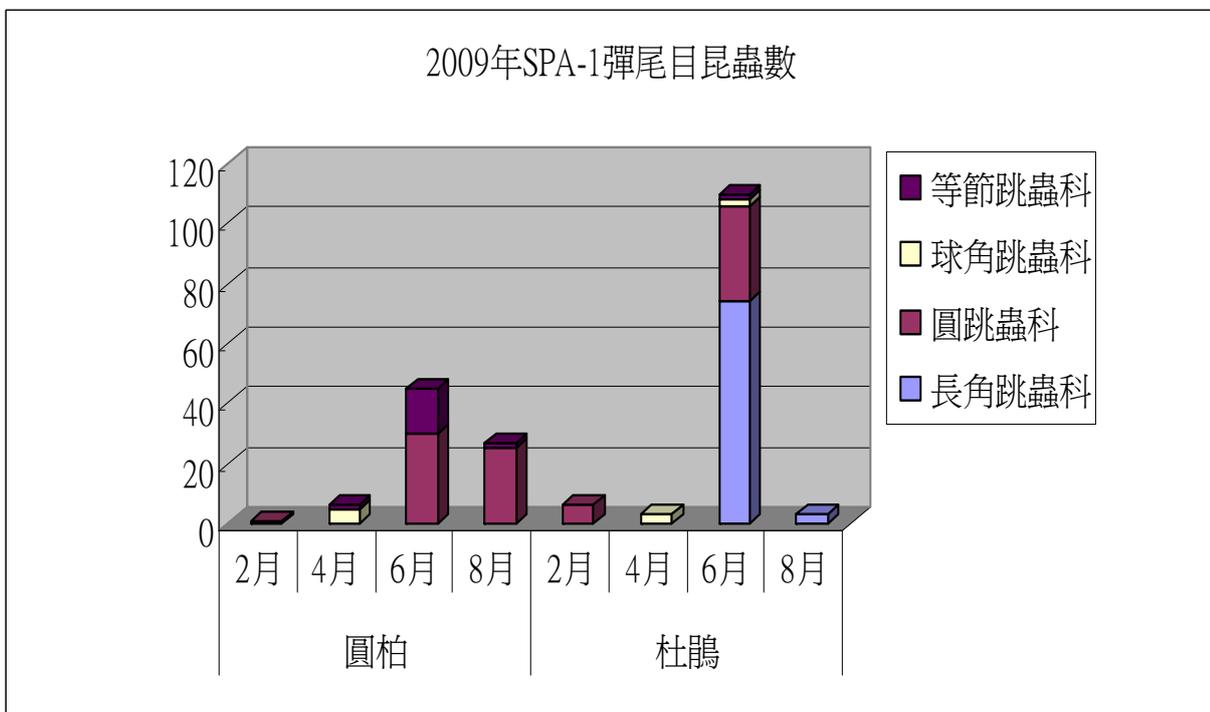


圖 6-6 圈谷(SPA-1)樣區彈尾目在不同植物之掃網昆蟲組成。

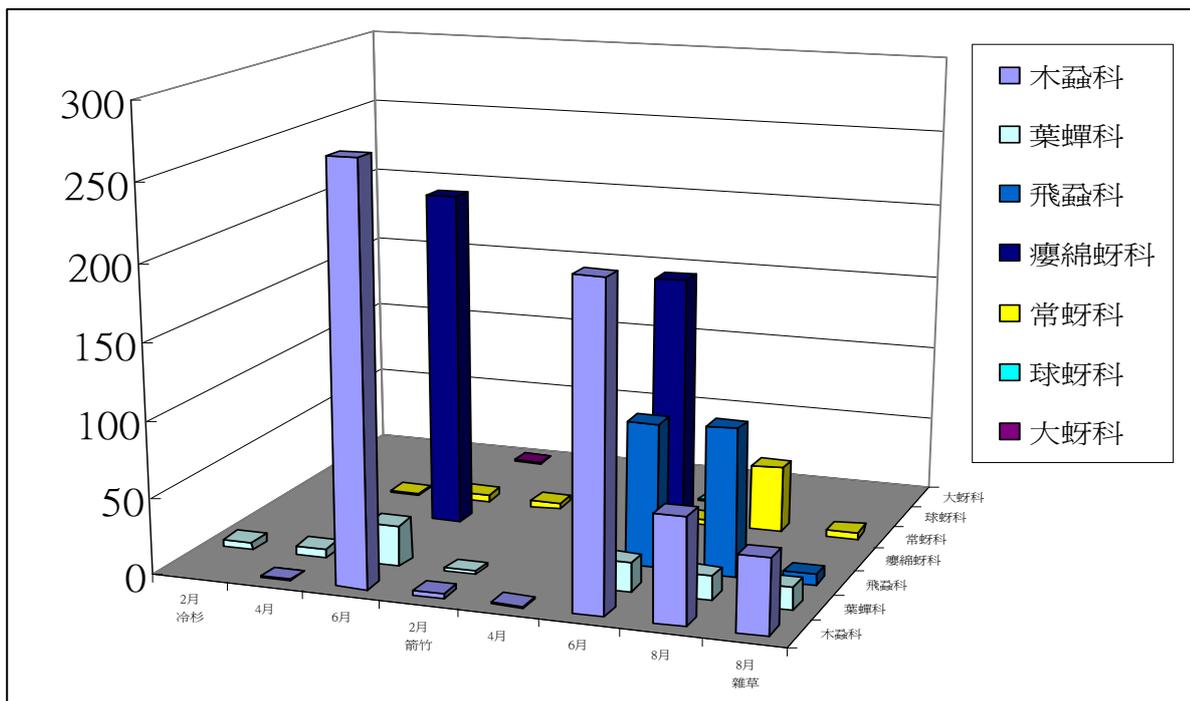


圖 6-7 黑森林(SPA-2)樣區同翅目在不同植物之掃網昆蟲組成。

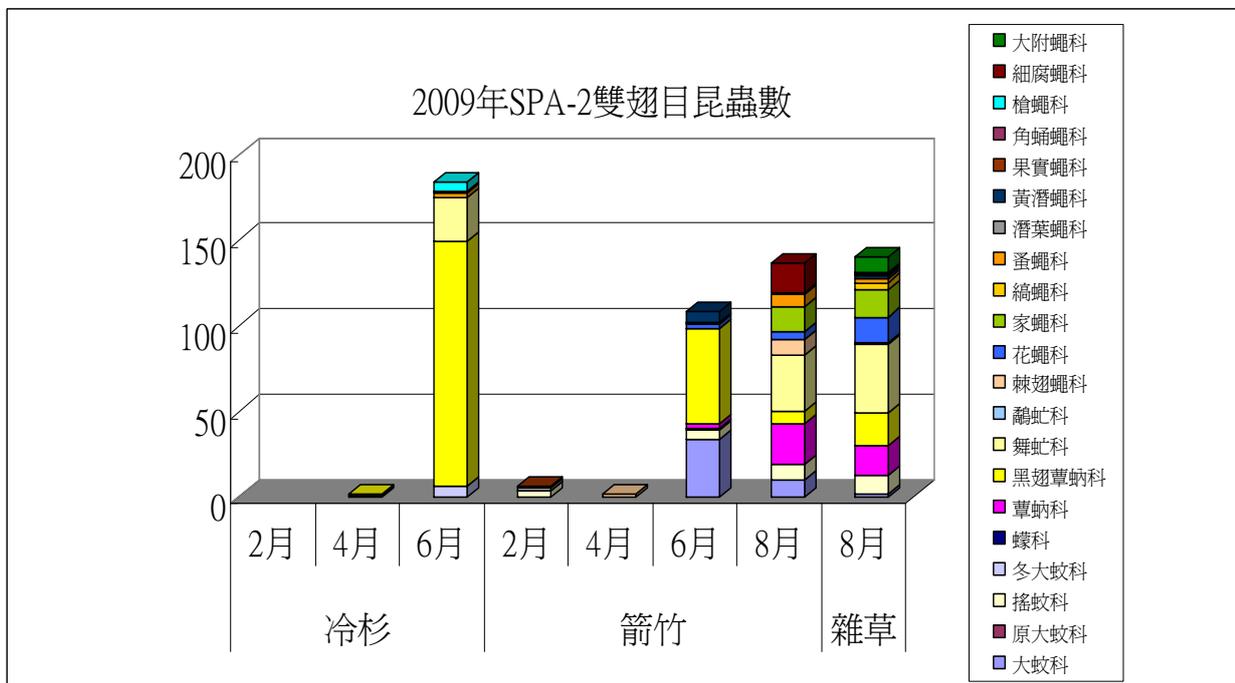


圖 6-8 黑森林(SPA-2)樣區雙翅目在不同植物之掃網昆蟲組成。

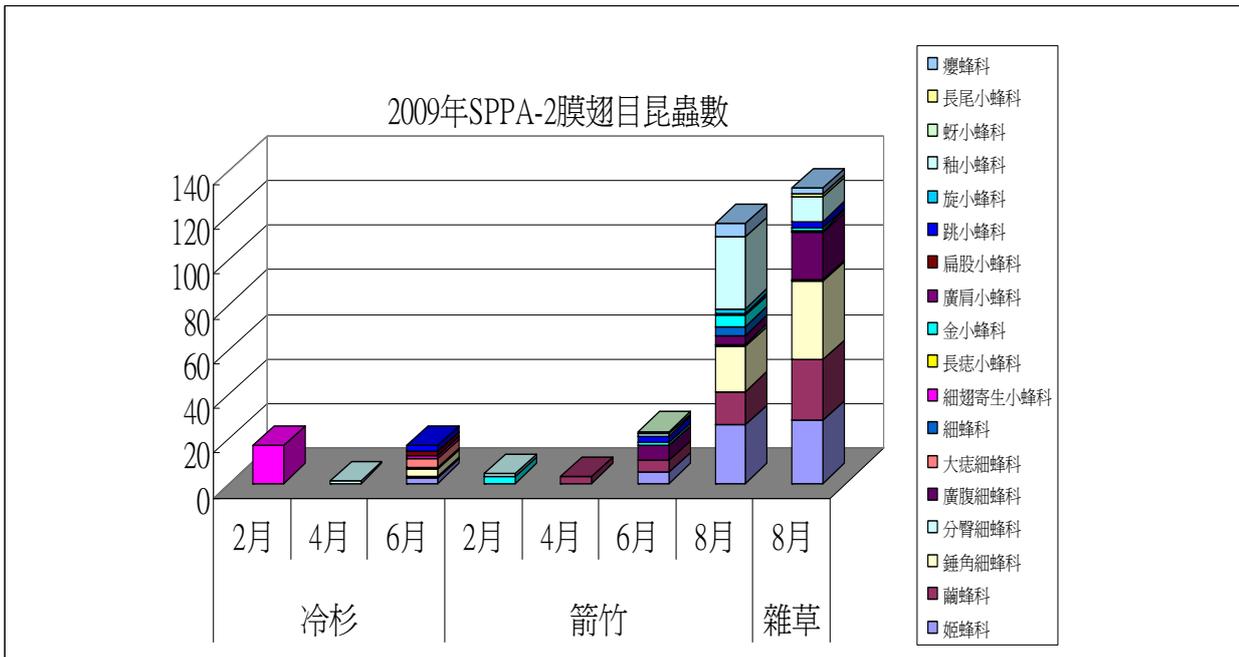


圖 6-9 黑森林(SPA-2)樣區膜翅目在不同植物之掃網昆蟲組成。

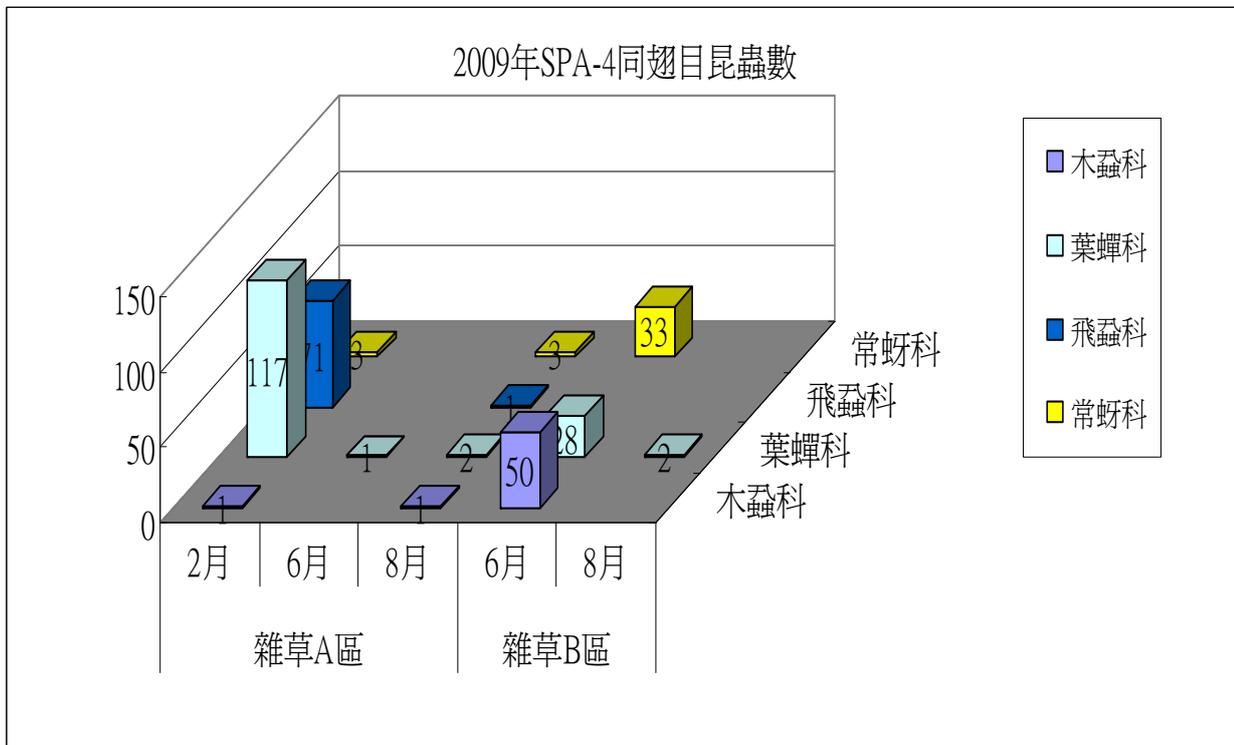


圖 6-10 火燒地(SPA-4)樣區同翅目在不同植物之掃網昆蟲組成。

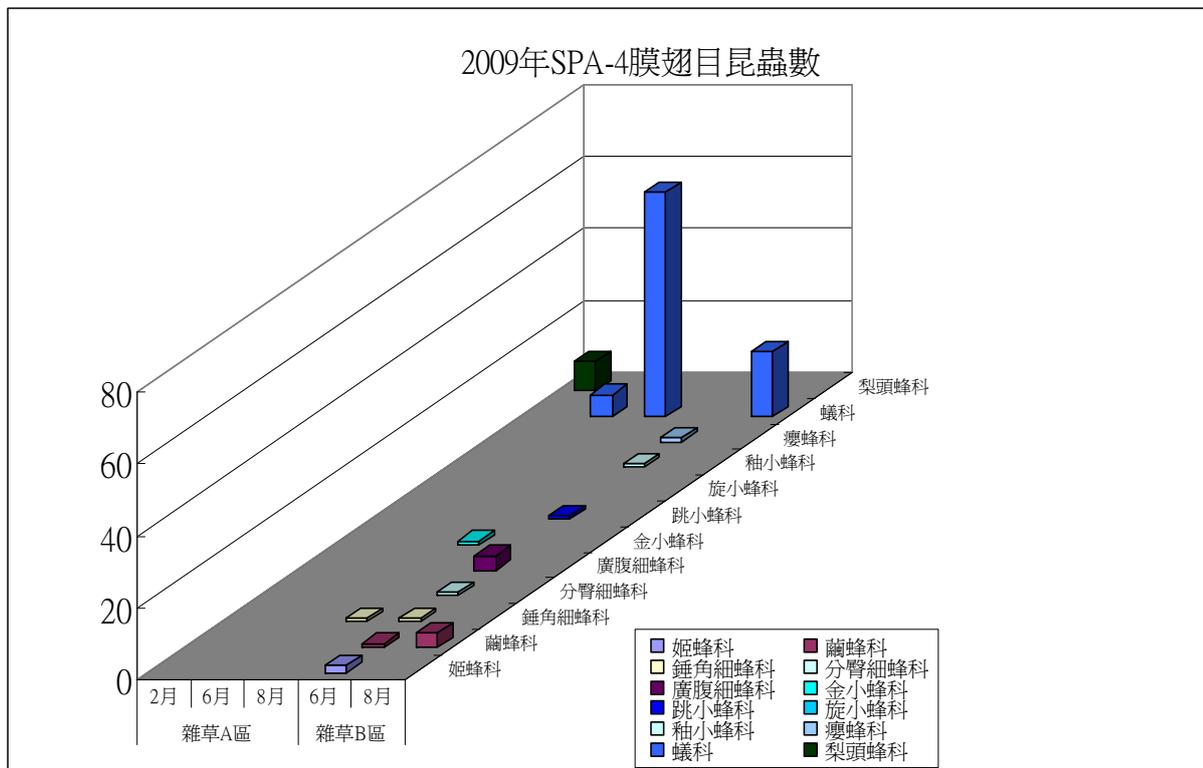


圖 6-11 火燒地(SPA-4)樣區膜翅目在不同植物之掃網昆蟲組成。

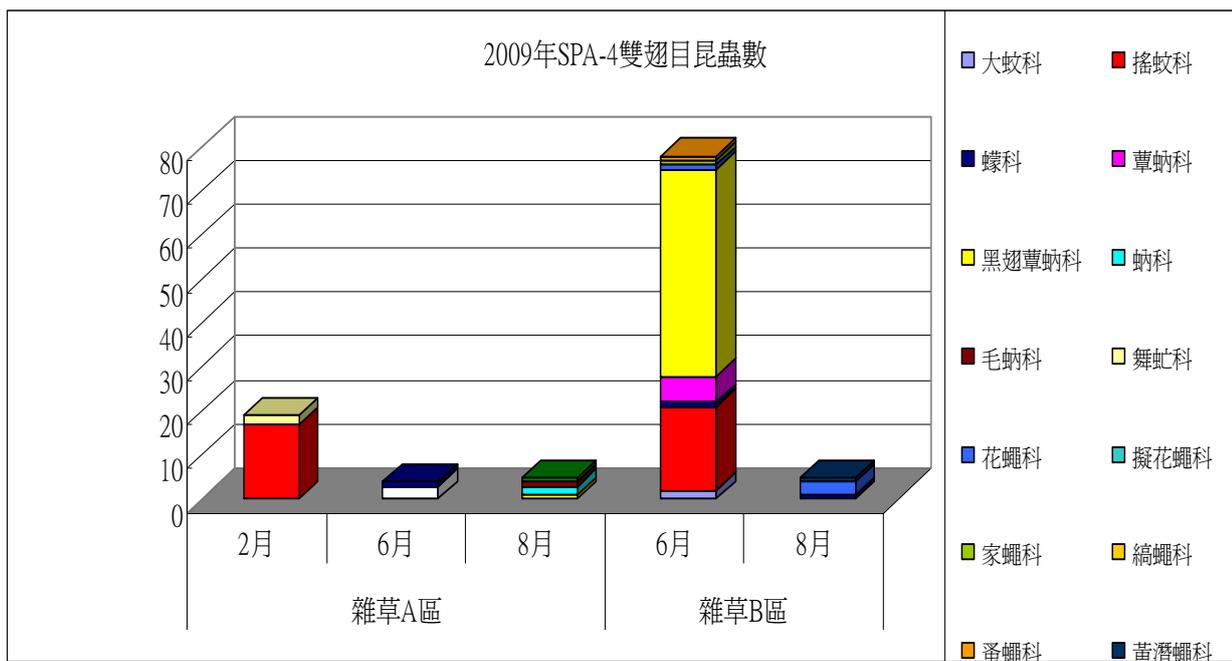


圖 6-12 火燒地(SPA-4)樣區雙翅目在不同植物之掃網昆蟲組成。

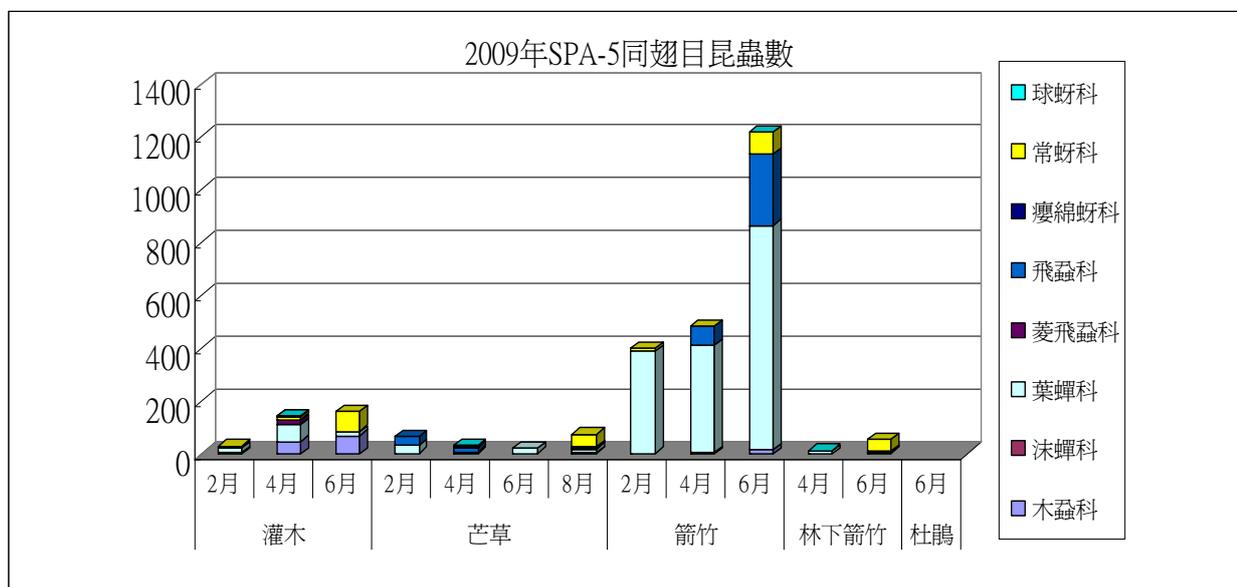


圖 6-13 雪山東峰(SPA-5)樣區同翅目在不同植物之掃網昆蟲組成。

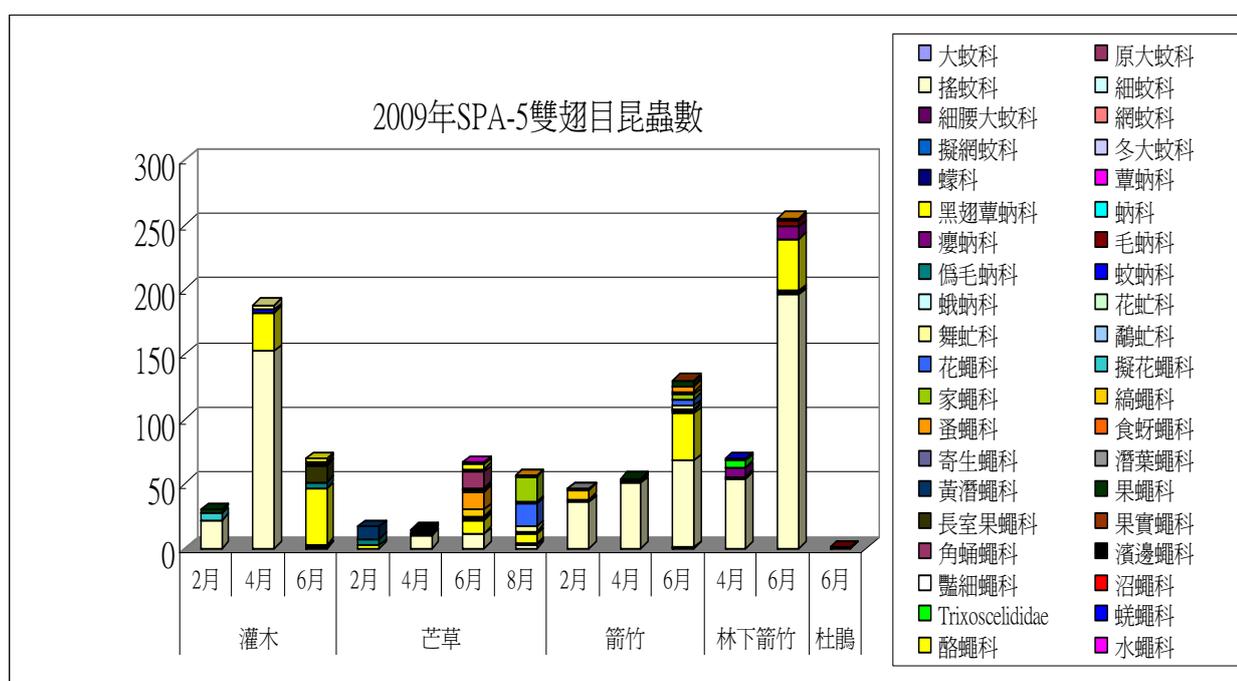


圖 6-14 雪山東峰(SPA-5)樣區雙翅目在不同植物之掃網昆蟲組成。

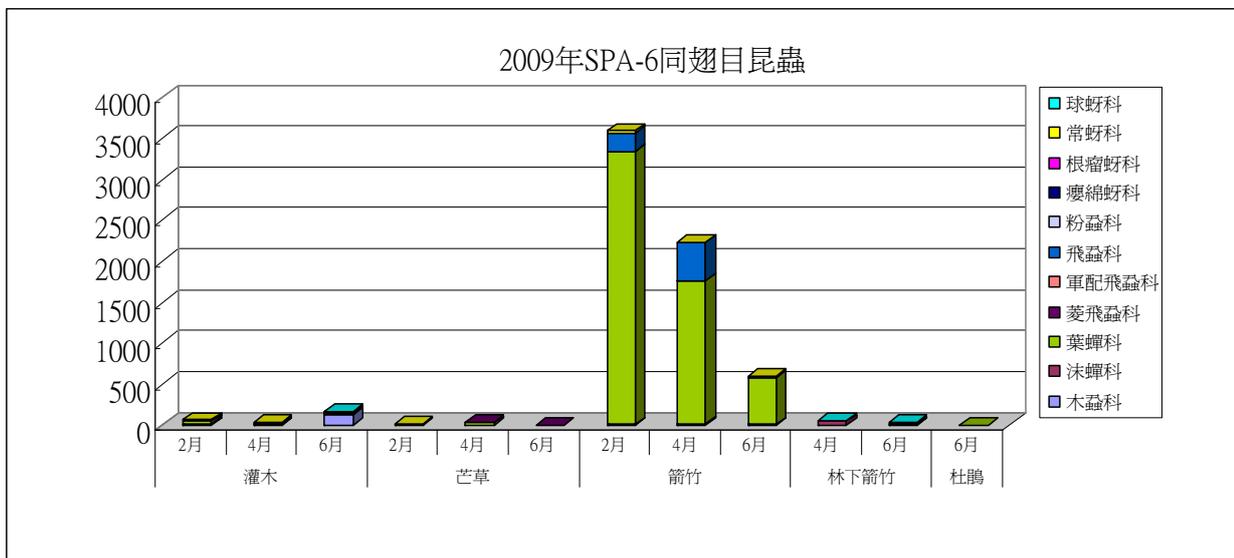


圖 6-15 七卡哭坡(SPA-6)樣區同翅目在不同植物之掃網昆蟲組成。

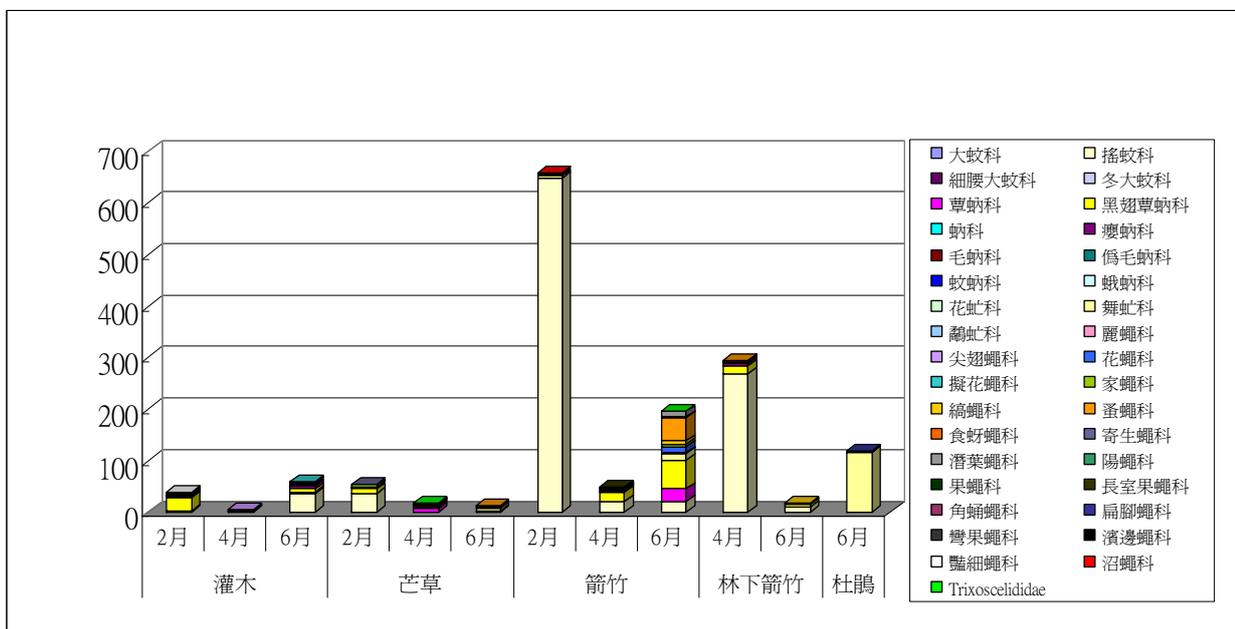


圖 6-16 七卡哭坡(SPA-6)樣區雙翅目在不同植物之掃網昆蟲組成。

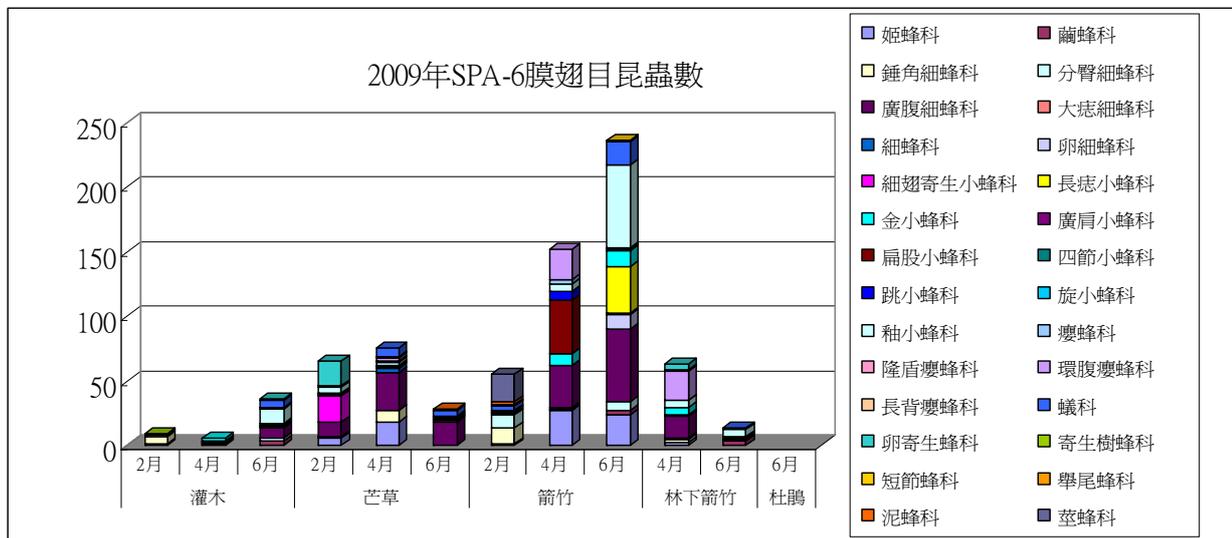


圖 6-17 七卡哭坡(SPA-6)樣區膜翅目在不同植物之掃網昆蟲組成。

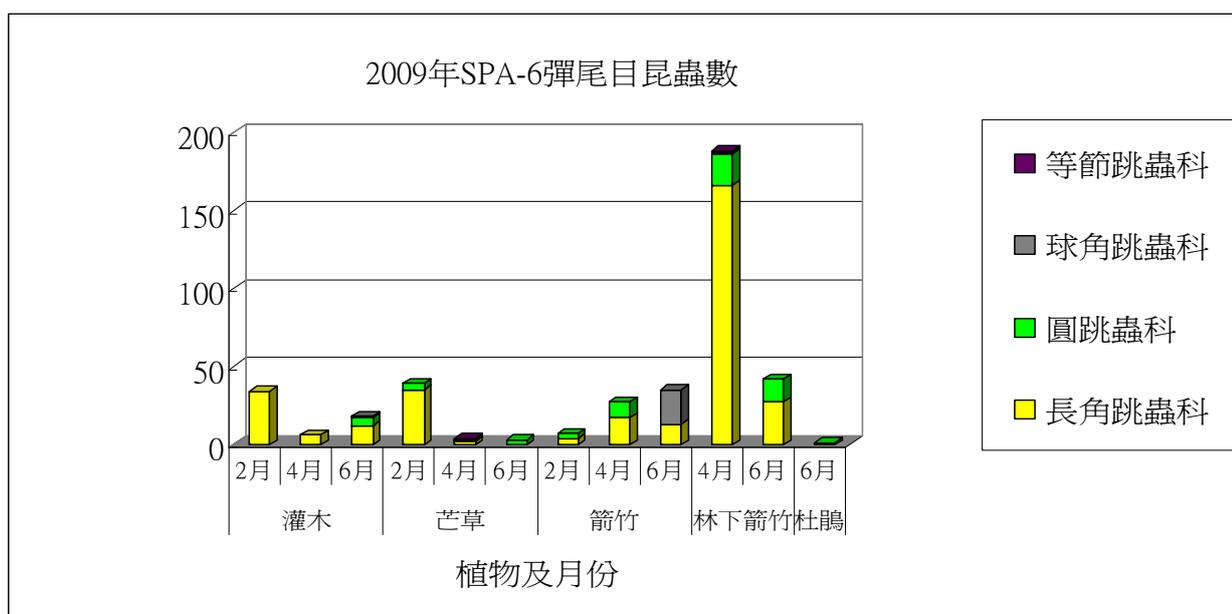


圖 6-18 七卡哭坡(SPA-6)樣區彈尾目在不同植物之掃網昆蟲組成。

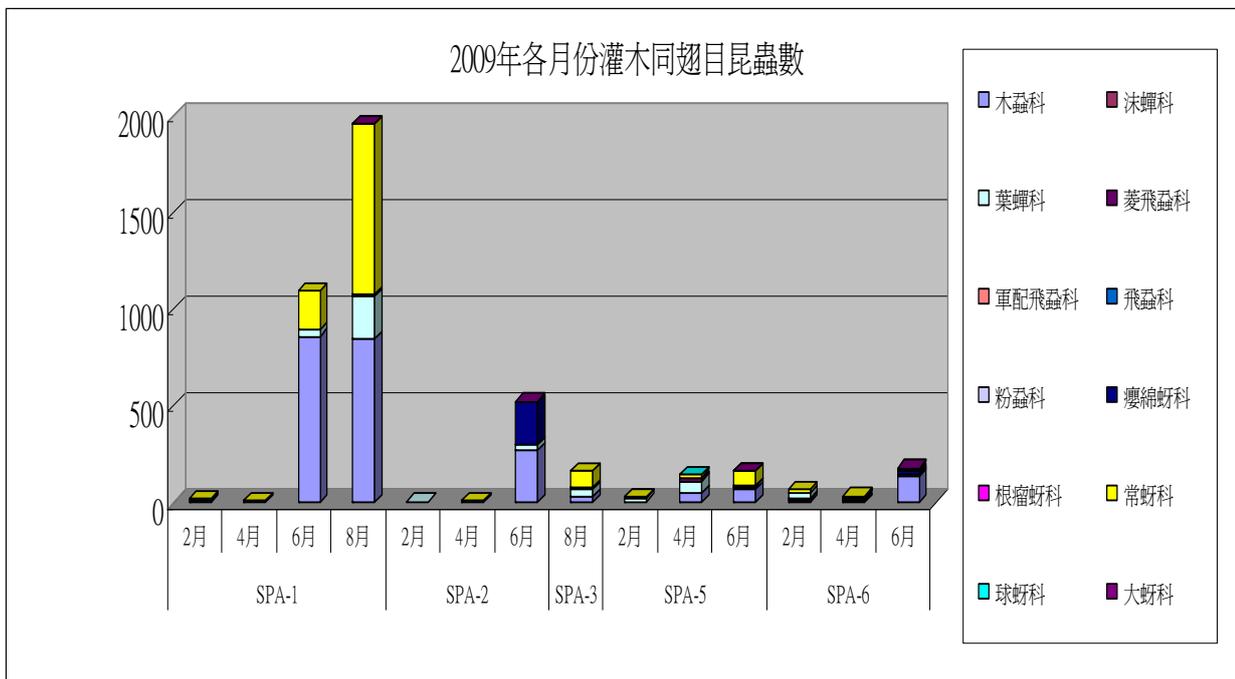


圖 6-19 不同海拔間灌木上掃網之同翅目昆蟲組成。

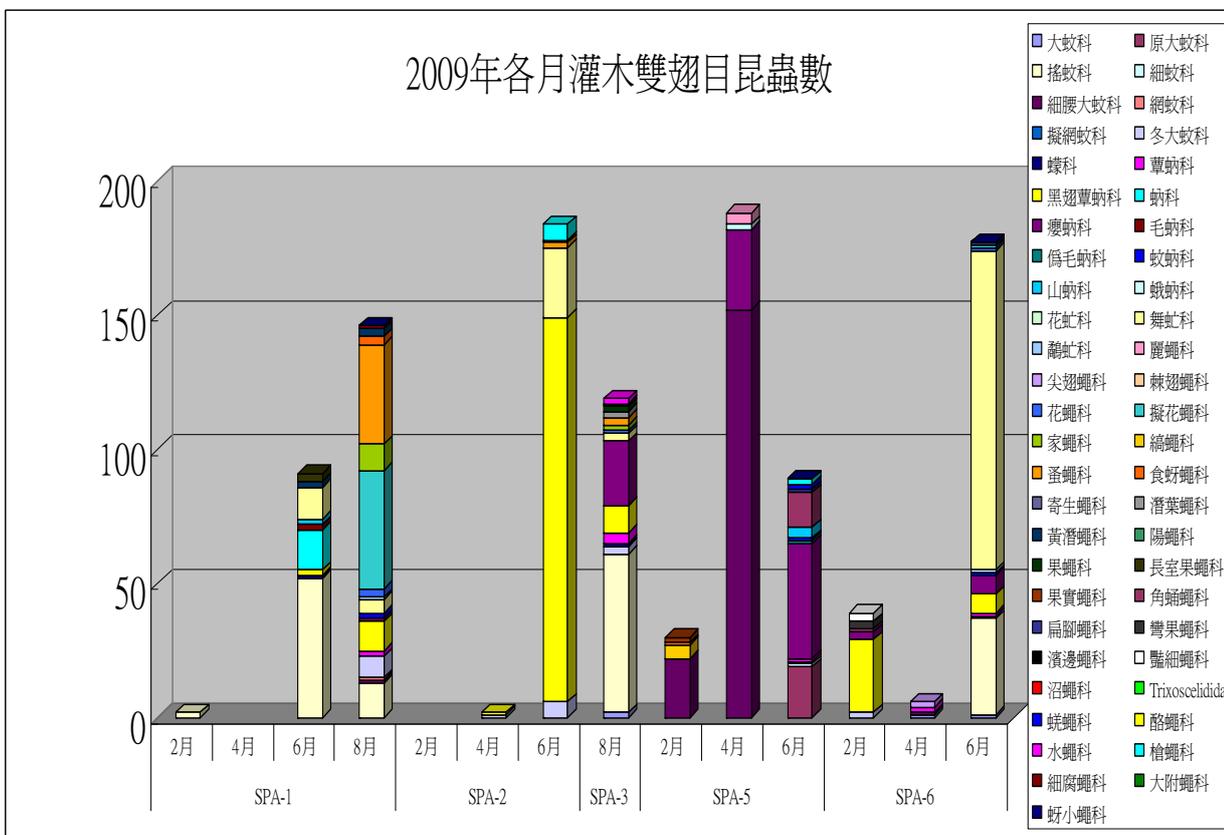


圖 6-20 不同海拔間灌木上掃網之雙翅目昆蟲組成。

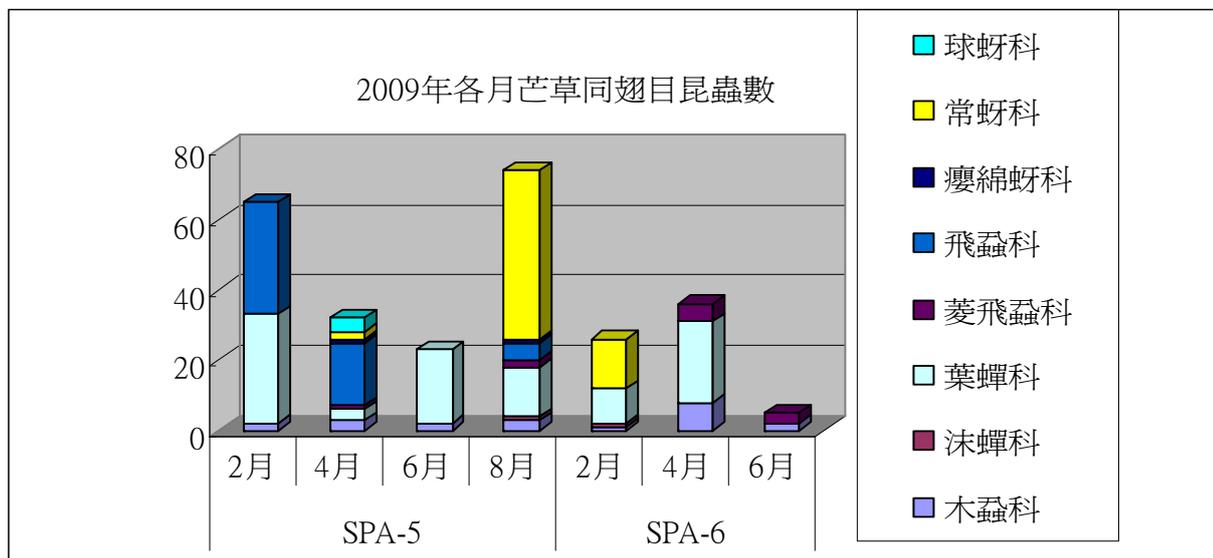


圖 6-21 不同海拔間芒草上掃網之同翅目昆蟲組成。

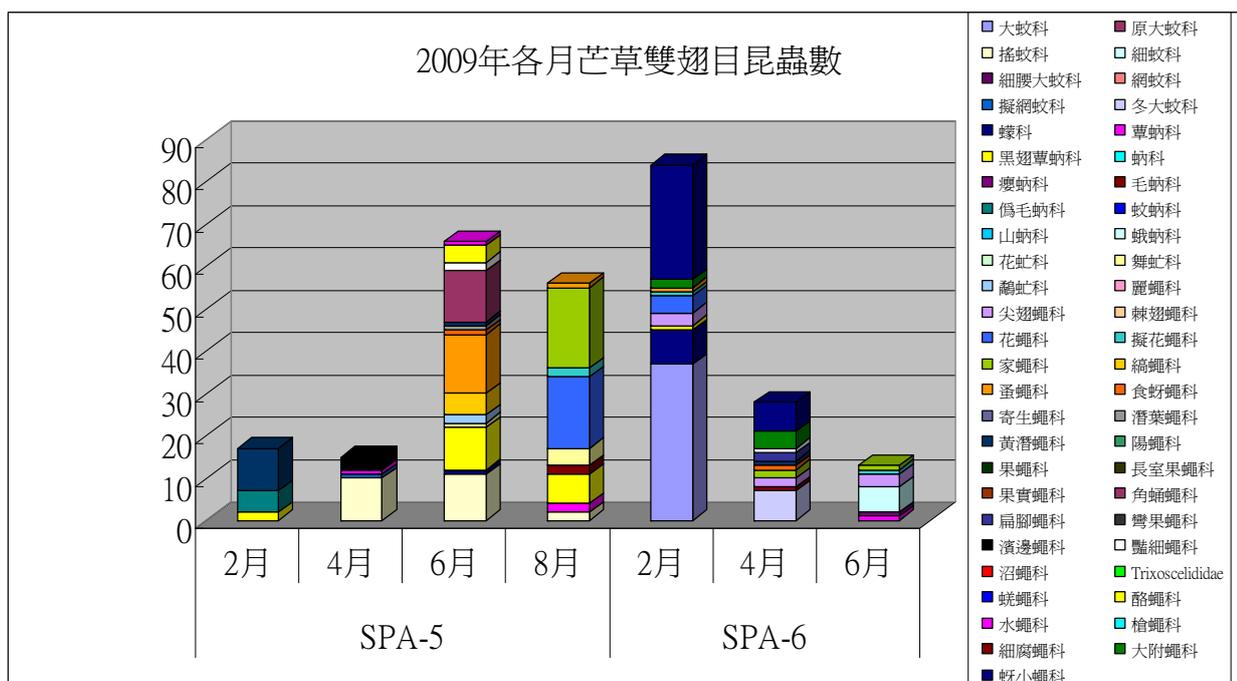


圖 6-22 不同海拔間芒草上掃網之雙翅目昆蟲組成。

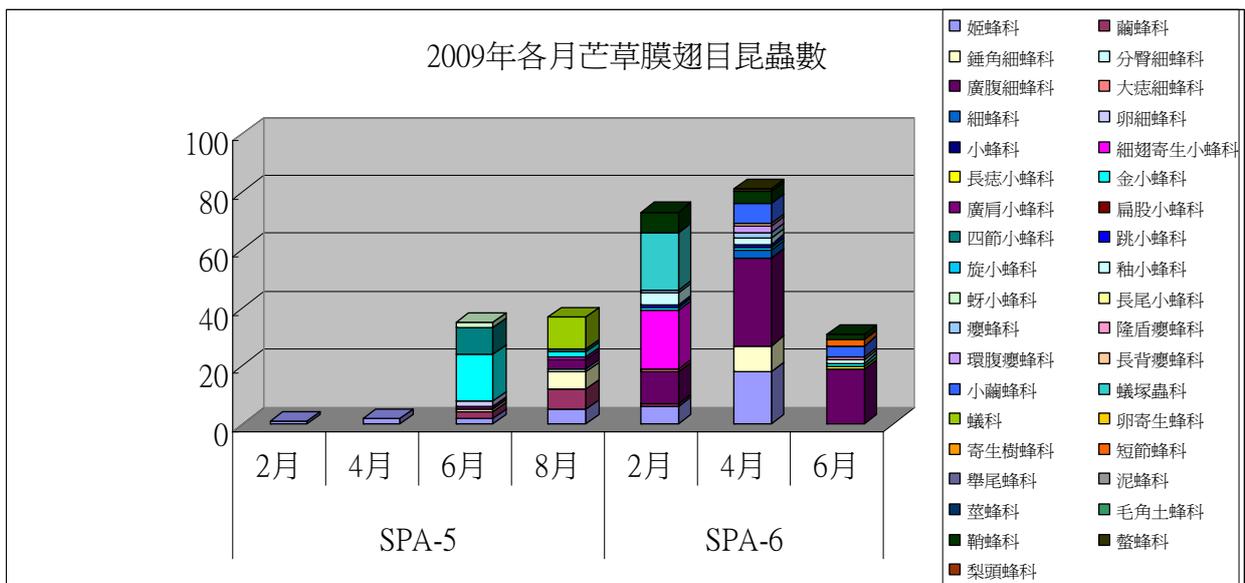


圖 6-23 不同海拔間芒草上掃網之膜翅目昆蟲組成。

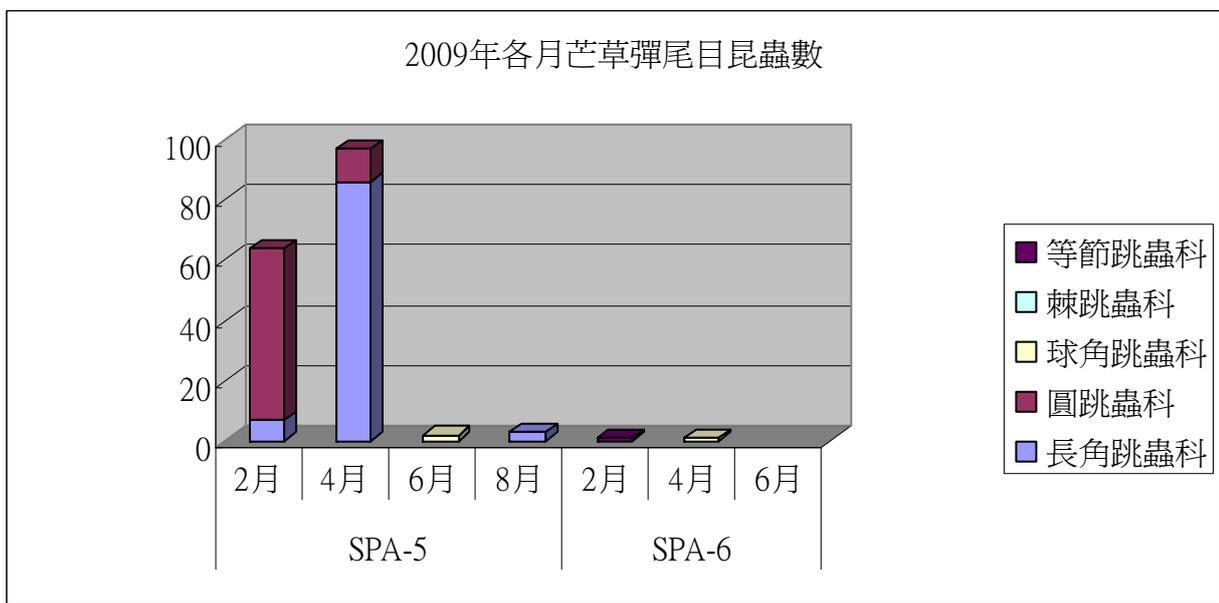


圖 6-24 不同海拔間芒草上掃網之彈尾目昆蟲組成。

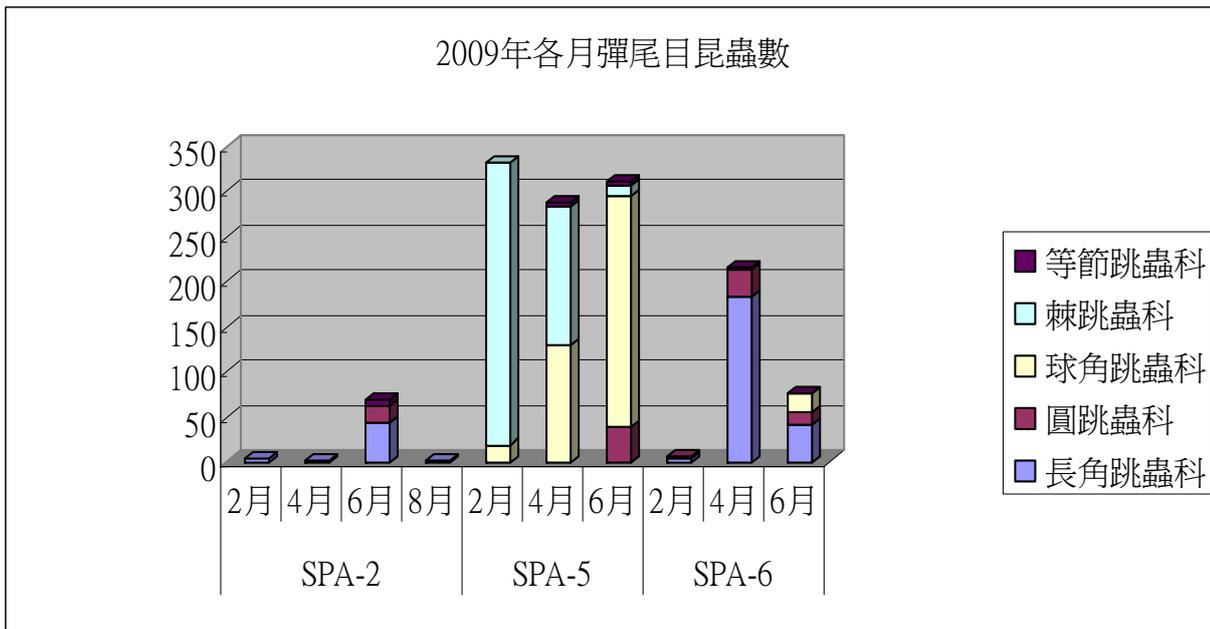


圖 6-27 不同海拔間箭竹上掃網之彈翅目昆蟲組成。

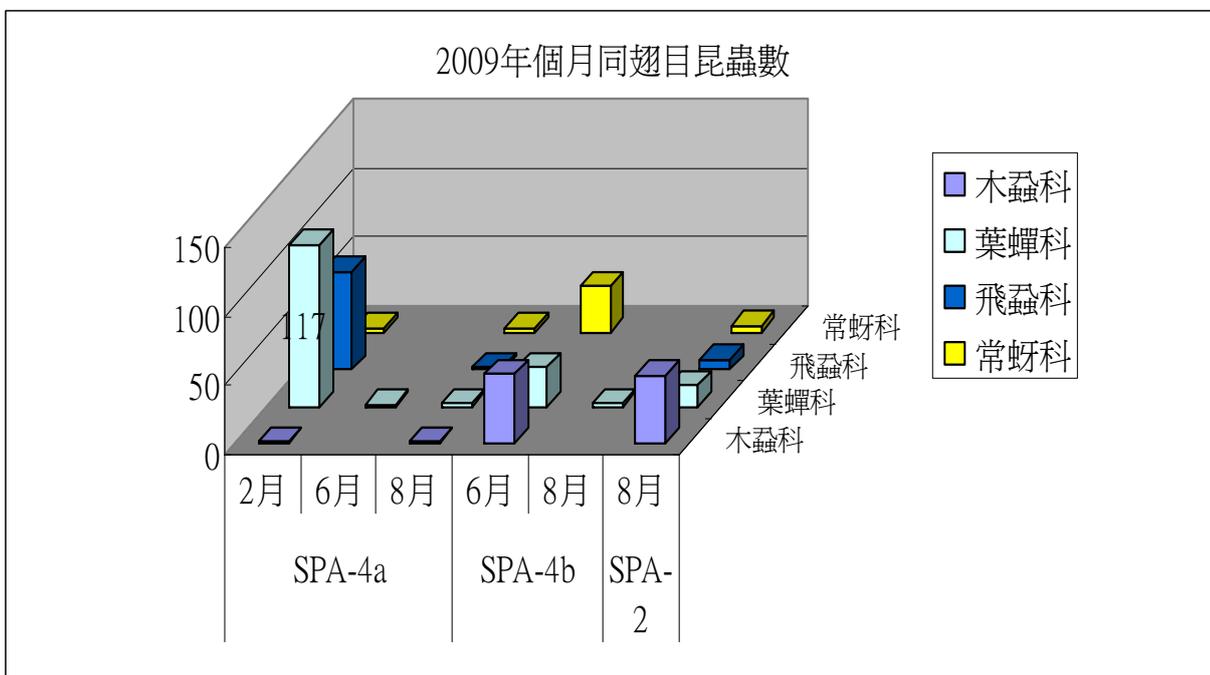
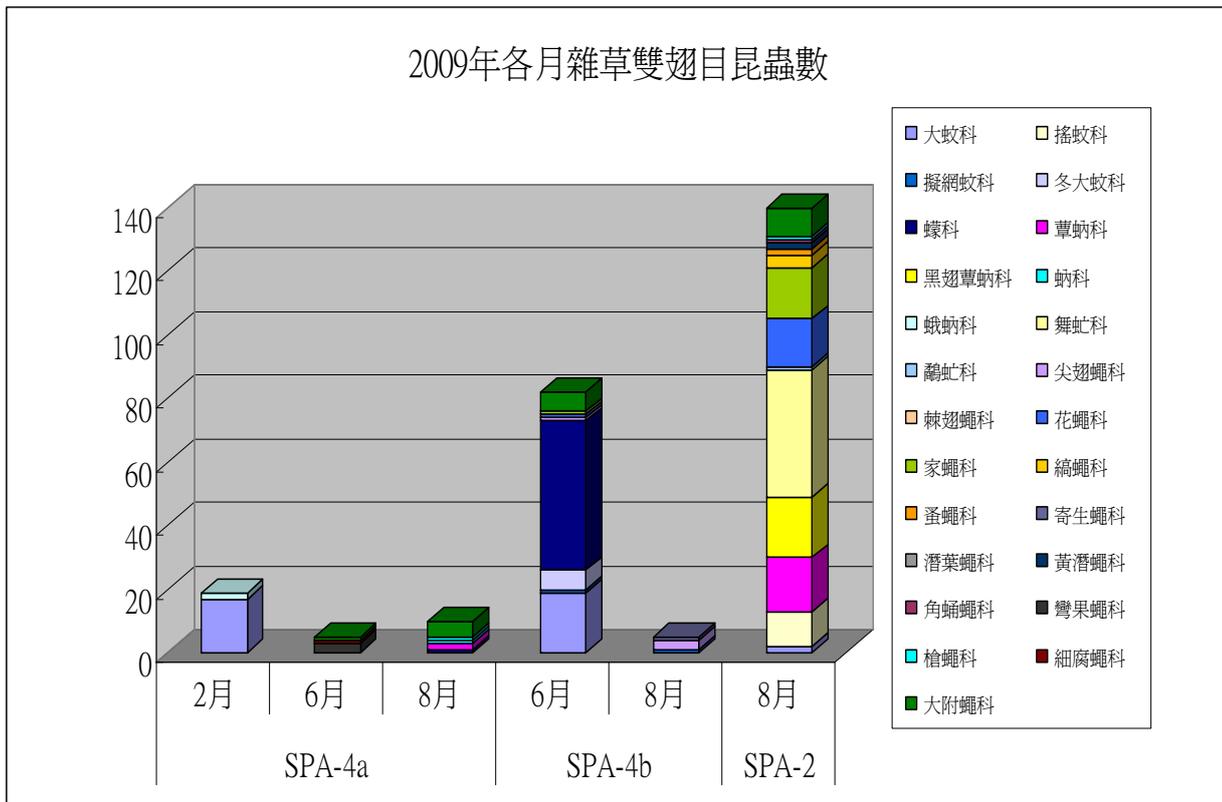


圖 6-28 不同海拔間雜草上掃網之同翅目昆蟲組成。

圖



6-29 不同海拔間雜草上掃網之雙翅目昆蟲組成。

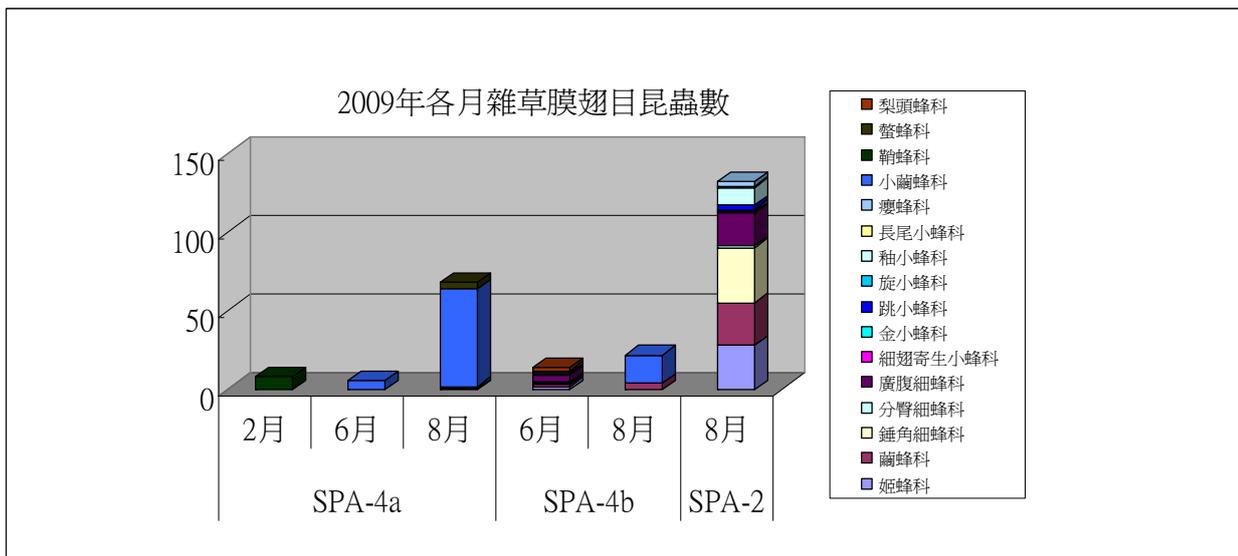


圖 6-30 不同海拔間雜草上掃網之膜翅目昆蟲組成。

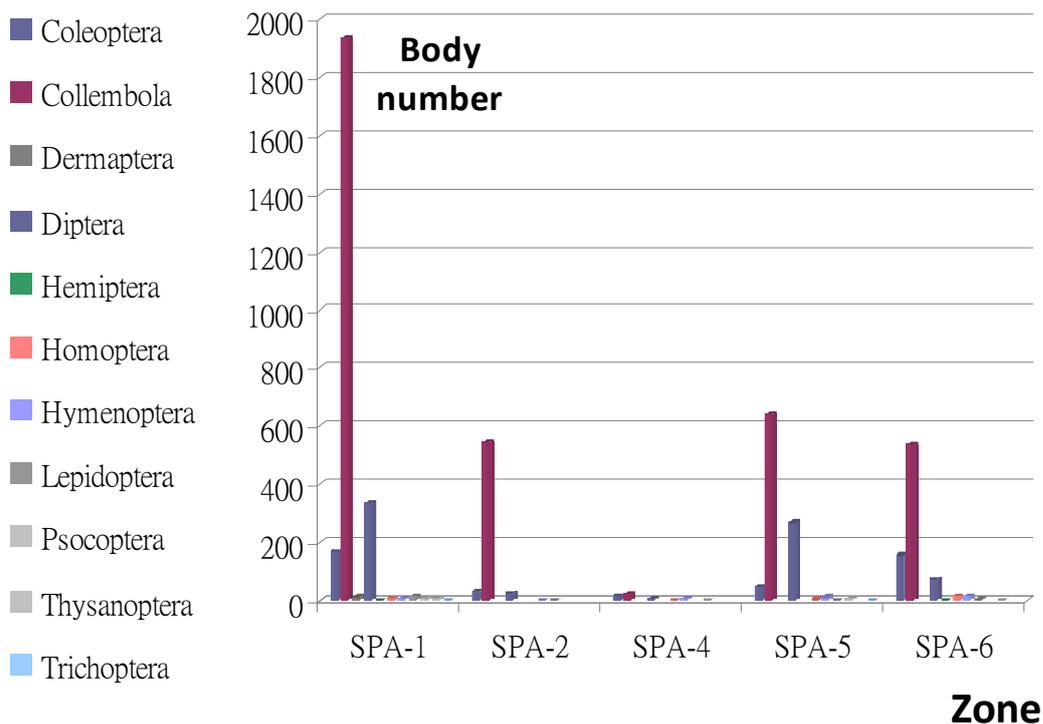


圖 6-31 2009 年各樣區之枯落物內各目昆蟲個體數量。

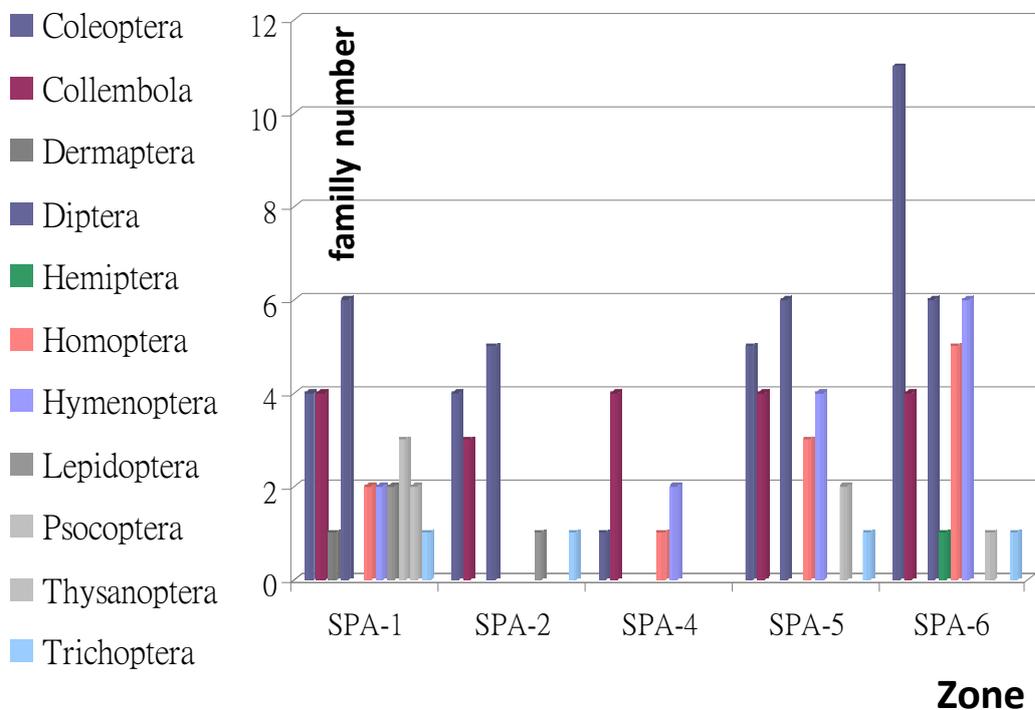


圖 6-32 2009 年各樣區之枯落物內昆蟲各目科別數量。

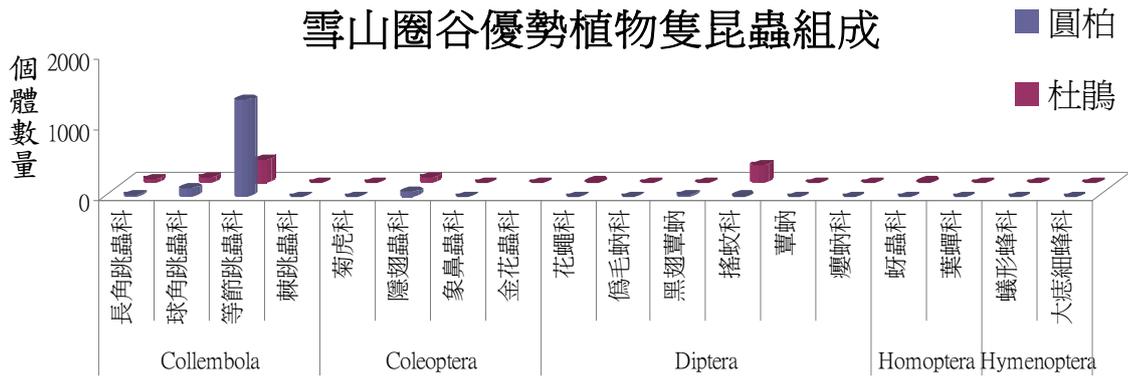


圖 6-33 2009 年 SPA-1 樣區植物枯落物內昆蟲各目科之個體數量。

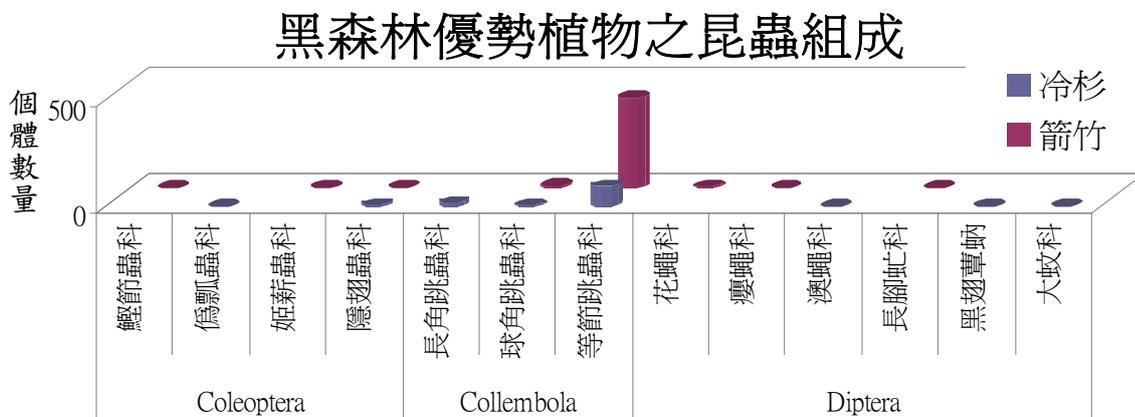


圖 6-34 2009 年 SPA-2 樣區植物枯落物內昆蟲各目科之個體數量。

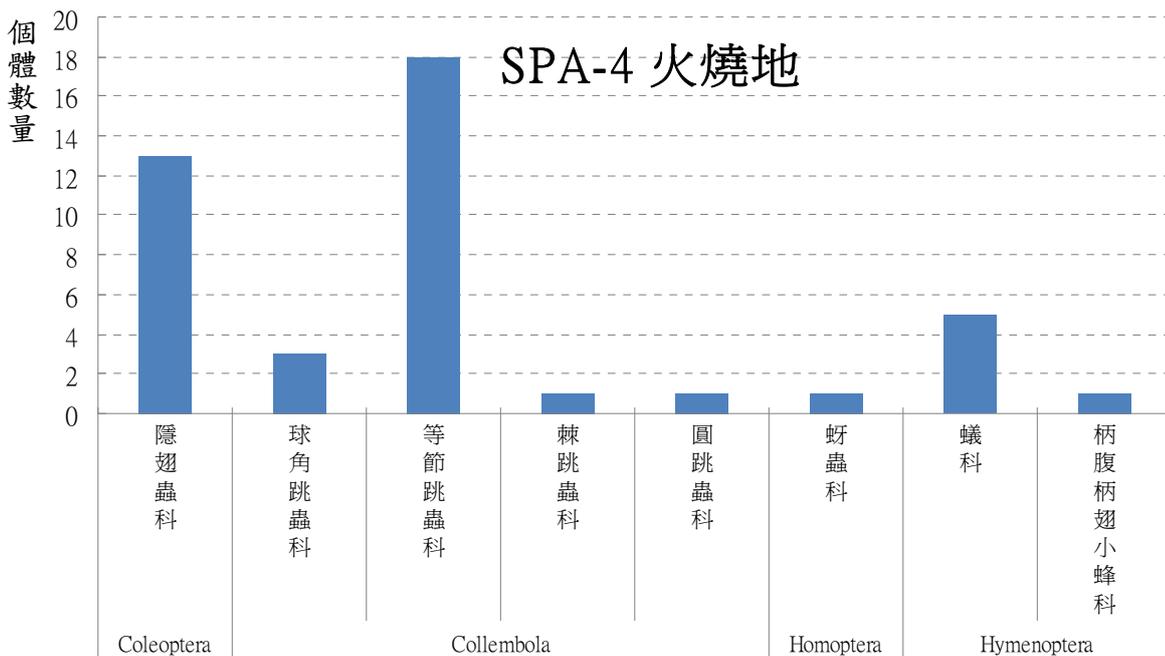


圖 6-35 2009 年 SPA-4 樣區植物枯落物內昆蟲各目科之個體數量。

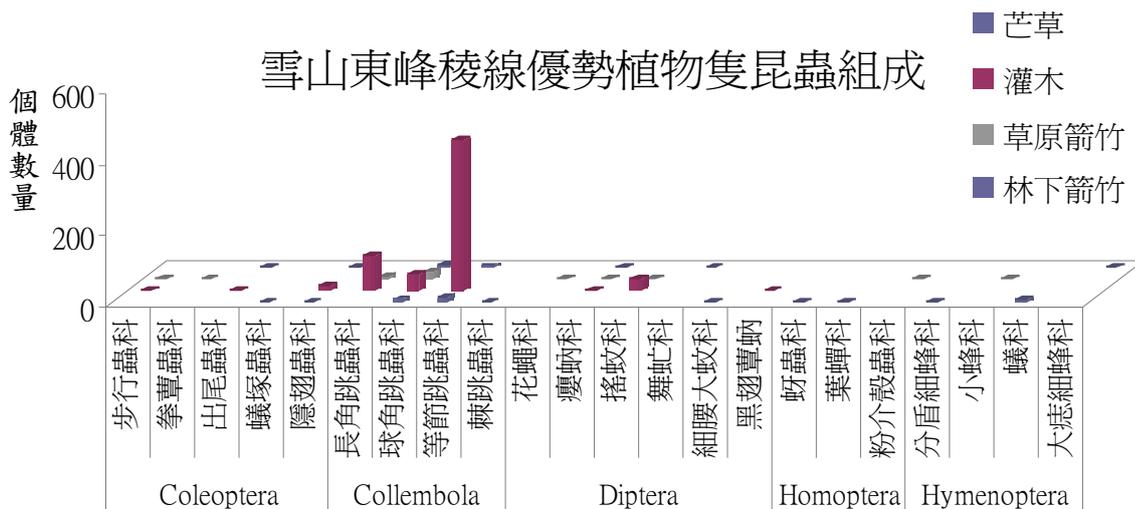


圖 6-36 2009 年 SPA-5 樣區植物枯落物內昆蟲各目科之個體數量。

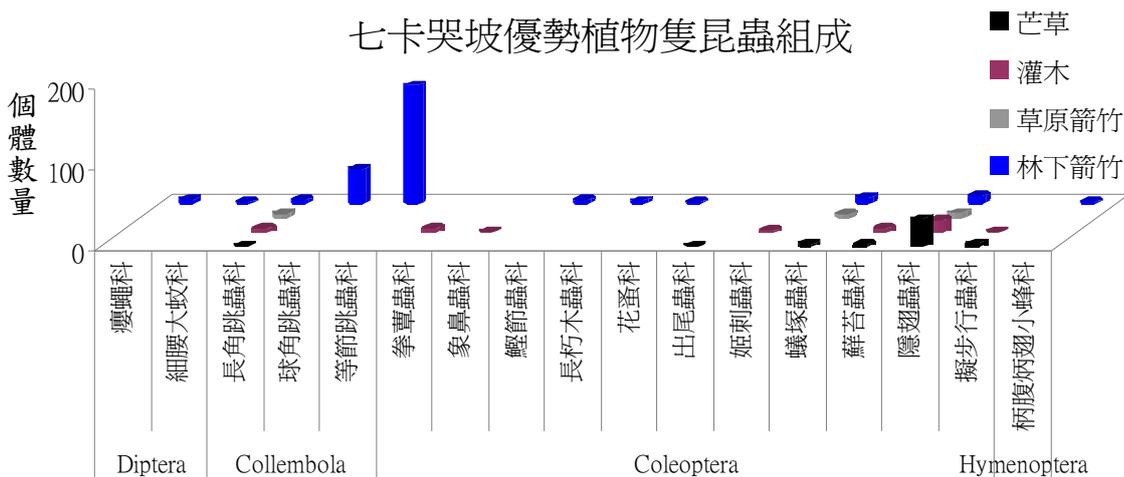


圖 6-37 2009 年 SPA-6 樣區植物枯落物內昆蟲各目科之個體數量。

第七章 植群生態研究與長期監測樣區設置

中文摘要

一、研究緣起與目的

雪山主峰線從武陵農場蜿蜒而上，由海拔 1,800 m 爬升 3,886 m 雪山主峰，歷經溫帶針闊葉林、冷溫帶針葉林至亞寒帶。雪霸國家公園成立以來，雪山主峰線之族群與植群相關研究陸續建置，並已獲得相當的成果，惟對植群長期動態研究較缺乏；再者，植物為生態系組成之生產者，而植群為地球地表最鮮明之表徵，為其他生物依存之所在，其植物種類組成、空間分布與結構、生物量等反映環境梯度變化。為了解一個生態系之功能，建置植群永久樣區作為共同研究之場域有其必要性。

二、研究地區及方法

本研究於雪山主峰線選取外表形相與組成且較具代表性之均質植物社會，設置 0.2 ha (50 m × 40 m) 之長方形永久樣區，作為雪山地區高山生態系整合調查共同研究之場域。調查時區分喬木層(胸徑>1 cm)與地被層，喬木層調查樣區內之植物種類、胸徑、植株高度、枝下高、樹冠幅、植株相對位置，以及植株編號；地被層調查植物種類與覆蓋面積。針對樣區之海拔高、坡度、坡向、相對光度、全天光與直射光空域、土壤性質等環境因子進觀測與評估。為建置完整之雪山地區植群資料，以及滿足其他團隊之研究需求，設置 20 m × 25 m 之臨時樣區進行調查，樣區設置採多樣區法之集落樣區設置法。調查方式大致與永久樣區相同。植群資料經統計與分析後，進行植群分類，建立族群與林分結構，利用分布序列法探討植群和植物種類與環境因子間之關係，了解物種多樣性、生活型等與環境梯度之關係。

三、成果

完成 6 個雪山主峰線典型植物社會設置長期監測樣區，作為共同研究場域，以及 18 個植物社會之臨時樣區。6 個長期監測樣區分別是①圈谷、②黑森林(9k)、③黑森林(8k)與④火燒跡地、⑤雪山東峰附近之玉山箭竹草生地，以及⑥七卡山莊旁之針闊混合林。本研究整合以往團隊在相同研究區域之資料(呂金誠，1999)，進行植物社會分析，植物社會區分成 10 個森林植物社會和 4 個灌叢草本植物社會。森林植物社會分別是 I. 臺灣冷杉型、II. 高山櫟-臺灣鐵杉型、III. 臺灣二葉松型、IV. 栓皮櫟-化香樹型、V. 臺灣雲杉型、VI. 玉山圓柏型、VII. 高山新木薑子-狹葉高山櫟-阿里山灰木型、VIII. 臺灣紅豆杉-臺灣灰木型、IX. 卡氏楮-西施花型，以及 X. 紅檜型，4 個灌

叢草本植物社會分別是 XI.玉山圓柏-玉山杜鵑型、XII.玉山箭竹-高山芒型、XIII.高山芒型和 XIV.高山艾-羊茅型；並針對雪山主峰線各植物社會進行描述。主要組成樹種之族群結構大多呈現反 J 型，顯示渠等多可在其所在生育地環境持續發展。雪山主峰線各植物社會之生活型譜明顯不同，反映在植物社會在結構與形相的差異分化。喬木層之木本植物物種多樣性沿海拔上升而有遞減趨勢；地被層之物種多樣性先是沿海拔上升而遞減，在約 3,000 m 達最低，之後物種多樣性隨海拔上升而緩增。

關鍵詞：雪山、植群、物種多樣性、族群結構、生活型

Abstract

The studies are aimed to investigate the species composition, dispersion patten and structure of the vegetation along the trail to the pinnacle of Syue Mt. And, the permanent sampling plots (PSPs) are set up for the surveys of vegetation dynamic, the interactions and relationships between vegetation and communities of birds, insects, mammals and etc. Six common PSPs are set up in fully discuss for each research field group as following: ①Cirque of Syue Mt., ②Black forest of *Abies* fir (9k), ③Black forest of *Abies* fir (7.8k), ④Burning plot nearby Sanlioujiou Cabin, ⑤ Grass land nearby East Peak of Syue Mt., ⑥ Mixed broadleaf-coniferous forest nearby Cika Cabin. Base on the matrix cluster analysis (MCA), the plant communities were classified into 10 forest and 4 shurb-herb vegetation types with the name of their dominant species repectively:

I. *Abies kawakamii* type, II. *Quercus spinosa* - *Tsuga chinensis* type, III. *Pinus taiwanensis* type, IV. *Quercus variabilis* - *Platycarya strobilacea* type, V. *Picea morrisonicola* type, VI. *Juniperus squamata* type, VII. *Neolitsea acuminatissima* - *Cyclobalanopsis stenophylloides* - *Symplocos lancifolia* type, VIII. *Taxus sumatrana* - *Symplocos formosana* type, IX. *Castanopsis carlesii* - *Rhododendron ellipticum* type, X. *Chamaecyparis formosensis* type, XI. *Juniperus squamata*-*Rhododendron pseudochrysanthum* var. *pseudochrysanthum* type, XII. *Yushania niitakayamensis*-*Miscanthus transmorrisonensis* type, XIII. *Miscanthus transmorrisonensis* type and XIV. *Artemisia oligocarpa*-*Festuca ovina* type. There were similar results between MCA and gradient analysis as detrended correspondence analysis (DCA) and canonical correspondence analysis (CCA). We also applied CCA to discuss the relationships among vegetation, species and environmental factors. Vegetation types mainly differentiate from altitude, whole light sky, and topographic position in study area.

Furthermore, plant species diversity of overstory and understory for vegetation along the altitude showed different alteration patterns. Population structures of the main compositions of tree species were showed anti-J shape mostly. And lifeform spectrums showed different patterns among plant communities which indicated the physiognomy and structure differentiate of community.

Keywords: Syue Mountain, vegetation, species diversity, Population structure, lifeform

一、研究緣起與背景

雪霸國家公園位臺灣本島中部高山地帶，屬山岳型國家公園，境內超過 3,000 m 以上的高山約 50 多座，所屬山脈為雪山山脈，最高峰為雪山主峰海拔為 3,886 m，位苗栗、臺中二縣交界處。雪山山脈以雪山主峰為中心，稜脈向外呈放射狀延伸，大致可分六道稜脈：雪山主峰線、聖稜線、雪劍線、雪山西稜線、武陵四秀線及志佳陽線。雪山主峰線為從武陵農場蜿蜒而上，歷經溫帶針闊葉林、冷溫帶針葉林至亞寒帶。亞寒帶高山植群帶為玉山圓柏(*Juniperus squamata*)、玉山杜鵑(*Rhododendron pseudochrysanthum*)組成之矮盤灌叢；冷溫帶針葉林以臺灣冷杉(*Abies kawakamii*)為主要組成，是臺灣亞高山地帶主要林相，海拔分布範圍與玉山圓柏、玉山箭竹(*Yushania niitakayamensis*)及臺灣鐵杉(*Tsuga chinensis* var. *formosana*)形成動態推移。

雪山地區之高山生態系研究中，黃群修(1994)針對雪山北坡臺灣冷杉林森林動態與族群結構之研究，呂金誠(2006、2008)針對雪霸自然保留區翠池地區玉山圓柏進行族群結構與天然更新調查，以及歐辰雄(2008)針對臺灣冷杉族群動態監測。歐辰雄及其研究團隊於雪山地區進行較為詳盡之植群取樣及調查，如觀霧地區植群生態調查及植栽應用之研究(歐辰雄，1997)、武陵地區雪山主峰線植群與植栽應用之研究(呂金誠，1999)、雪霸國家公園植群生態調查-大雪山地區(歐辰雄，2002)、雪霸國家公園植群生態調查-尖石地區(歐辰雄，2003)、雪霸國家公園植群生態調查-大小劍地區(歐辰雄，2004)、雪霸國家公園植群生態調查-南坑溪地區(歐辰雄，2005)，藉以充實臺灣地區之植群生態資訊，並將這些植群生態調查成果進行雪霸國家公園之植群分類及空間分布之探討(歐辰雄等，2006，2007)，提供國家公園經營管理、保育研究與環境教育等重要之參考。雖然本研究區之植群調查較其他研究多，但多為基礎調查研究，除歐辰雄(2008)開始針對臺灣冷杉進行永久樣區設置調查等少數研究外，本區缺乏針對海拔梯度不同植群之永久樣區之調查監測研究。

基於上述原因，本子計畫的目標即在於：

1. 設置及調查植物社會之長期監測樣區，提供雪山高山生態系整合調查各子計畫共同研究之場域。
2. 調查長期監測樣區之林木族群結構及空間分布情形，並比較雪山地區海拔梯度及不同尺度棲地結構(森林、草原、圈谷)下，其植群結構、生物量、物種多樣性、生活型、生態位等在海拔梯度的分化。

二、前人研究

(一)臺灣山地植群之研究

依 Su(1984)、邱清安(2006)海拔高度帶、植群帶與氣候帶之分類(表 7-1)，以及呂金誠(1999)、許俊凱等(2000)、歐辰雄(2008)等研究，雪山主峰線的植群可依海拔高度劃分成 3,600 m 以上的高山植群帶(Alpine vegetation)、3,100~3,600 m 的冷杉林帶(*Abies* zone)、2,500~3,100 m 的鐵杉雲杉林帶(*Tsuga-Picea* zone)與 1,800~2,500 m 的櫟林帶上層(Upper *Quercus* zone)。

1. 亞寒帶—高山植群帶(subarctic—alpine vegetation)

高山植群帶的分布範圍為圈谷，位於海拔 3,600 m 森林界限以上，年雨量約 2,800 mm，年均溫約在 5°C 以下，生育地多為不良之裸岩或岩床，土壤乾燥、風力強大、日照強烈，冬季有積雪；在此惡劣環境之下，已無喬木生長，僅有矮性之灌木或草甸，主要以玉山圓柏、玉山杜鵑為優勢，主要生活型為矮盤灌叢，灌叢間或下間雜有冬枯或常綠的玉山小蘗(*Berberis morrisonensis*)、玉山薔薇(*Rosa sericea* var. *morrisonensis*)、玉山白珠樹(*Gaultheria itoana*)、玉山當歸(*Angelica morrisonicola*)、高山艾(*Artemisia oligocarpa*)、玉山薄雪草(*Leontopodium microphyllum*)、雪山翻白草(*Potentilla tugitakensis*)、阿里山龍膽(*Gentiana arisanensis*)、玉山佛甲草(*Sedum morrisonense*)、羊茅(*Festuca ovina*)、曲芒髮草(*Deschampsia flexuosa*)等。

表 7-1 雪山主峰沿線海拔植群帶之分布

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

2. 冷溫帶—冷杉植群帶(cold-temperate—*Abies* zone)

分布於海拔 3,100~3,600 m 之間，冬季乾燥而寒冷，年均溫在 5~8°C 之間，多為向陽之乾燥山坡或岩礫密布之處，土壤化育仍不完整。代表性植物以臺灣冷杉、玉山圓柏及玉山箭竹最具特色，冷杉林帶為臺灣冷杉最優勢，以黑森林最為典型，黑森林近圈谷附近有較多的玉山圓柏與臺灣冷杉混生，生活型為喬木型；其中臺灣冷杉偏向北向背陽的谷地，玉山箭竹則在陽光極強的南向山坡或山頂形成草甸。冷杉林下優勢地被植物可大致分成 2 型，一型以玉山箭竹為近單一優勢地被，另一型為以苔蘚、蕨類、鬼督郵屬(*Ainsliaea*)、裂葉樓梯草(*Elatostema trilobulatum*)等較優勢，間雜臺灣茶藨子(*Ribes formosanum*)、玉山女貞(*Ligustrum morrisonense*)等灌木，部份生育地尚有玉山杜鵑、巒大花楸(*Sorbus randaiensis*)構成第 2 層林冠(歐辰雄，2008)。冷杉林帶常因火燒造成玉山箭竹或高山芒優勢的草原景觀，此等草原植物社會與臺灣冷杉形成動態推移，並存有巒大花楸、褐毛柳(*Salix fulvopubescens* var. *fulvopubescens*)等小喬木組成之闊葉樹優勢之植物社會，下層數量較豐的灌木及草本組成尚有臺灣茶藨子、玉山小蘗、川上氏忍冬、高山芒、黃苑(*Senecio nemorensis*)、臺灣繡線菊(*Spiraea formosana*)等。以上區域為本計畫主要重點調查研究範圍。

3. 冷溫帶—鐵杉雲杉植群帶(cold-temperate—*Tsuga-Picea* zone)

七卡山莊至雪山東峰前屬鐵杉雲杉林帶，此區嶺線附近之森林經火燒、早期伐木等干擾，以及後續造林等因素，步道沿線之原生林多已不復存在，天然林僅殘存於近溪谷、凹谷或陡峭之處。以臺灣鐵杉為優勢，林下高山櫟、高山新木薑子(*Neolitsea acuminatissima*)、雲葉(*Trochodendron aralioides*)等闊葉樹。哭坡到雪山東峰附近可見臺灣鐵杉與臺灣冷杉混生。雪山主峰沿線並未發現臺灣雲杉原始林，現存臺灣雲杉(*Picea morrisonicola*)則為造林樹種，種植於步道兩旁的高山芒草生地。高山芒為本區優勢的草本，玉山箭竹散生其間，構成草本植群，臺灣二葉松、紅毛杜鵑(*Rhododendron rubropilosum* var. *rubropilosum*)等常入侵形成疏林景緻。造林地樹種多以臺灣二葉松為主，高山櫟、玉山假沙梨(*Photinia nitakayamensis*)、南燭(*Lyonia ovalifolia* var. *ovalifolia*)、臺灣馬醉木(*Pieris taiwanensis*)、狹葉高山櫟(*Cyclobalanopsis stenophylloides*)等喬木或灌木，近七卡山莊附近則有紅檜(*Chamaecyparis formosensis*)造林地。

4. 涼溫帶—櫟林帶上層(Cool-temperate—Upper *Quercus* zone)

由登山口至七卡山莊屬於櫟林帶上層，惟此區經火燒、早期伐木等干擾，以及

後續造林等因素，步道沿線之原生林多已不復存在，天然林僅殘存於近溪谷、凹谷或陡峭之處。此區主要為臺灣二葉松、臺灣赤楊(*Alnus formosana*)、福州杉(*Cunninghamia lanceolata*)、臺灣雲杉等造林地，或是火燒後之臺灣二葉松、臺灣赤楊等為優勢之植物社會。林下優勢灌木及草本植物以玉山假沙梨、紅毛杜鵑、志佳陽杜鵑(*Rhododendron noriakianum*)、高山芒、巒大蕨等。位於山凹溪谷地，則為阿里山灰木(*Symplocos arisanensis*)、高山新木薑子為優勢，伴生有雲葉、尖葉槭(*Acer kawakamii*)、狹葉高山櫟、賽矜木(*Eurya crenatifolia*)等，林下有高山芒、臺灣瘤足蕨(*Plagiogyria formosana*)等植物。

針對臺灣高山植群研究從劉崇瑞(1948)於臺灣玉山的高山植物所發表之研究報告，及斯煒(1948)對玉山之植物社會的研究報告，此兩位學者為臺灣光復後對於臺灣高山植群研究的先驅。其後學者如柳楮對(1963)於小雪山高山草原生態之研究以及臺灣植物社會之分類 II-高山寒原及針葉樹林群系(柳楮，1971)；蘇鴻傑(1974)於臺灣高山地區之香柏社會進行研究；應紹舜(1976)分別於大霸尖山及雪山進行高山植群的研究；黃增泉等(1988)在雪山-大霸尖山地區植物生態資源進行先期調查研究。劉業經等(1984)與賴國祥(1991)針對於臺灣高山針葉樹林與草生地間推移帶動態之進行探討。

太魯閣國家公園的高山植群中，徐自恆(1986)臺灣東北部南湖大山高山植群分析，高瑞卿(1994)針對臺灣東部的立霧河流域森林植群分析，陳志豪(2007)進行合歡河流域進行植群分類與製圖；生態系及永久樣區調查部份有莊貴瑜(1997)合歡山臺灣冷杉社會樹齡結構與草原推移之研究古心蘭(1998)合歡山臺灣冷杉永久樣區之植群分析，陳玉峰(1991)合歡高地植群的演替。玉山國家公園中針對高山植群的研究包含有黃明通等(1999)玉山國家公園八通關越道植群之研究，謝菱春(2005)玉山國家公園之高山植群分類研究，陳和田(2006)沙里仙溪北玉山植群之研究，以及林育霜(2005)南橫塔關山臺灣鐵杉林永久樣區地被植物之研究。

高山植群主要以臺灣冷杉為優勢並為特徵種，伴生樹種包括玉山圓柏、臺灣鐵杉、玉山杜鵑等，約分布於 2,600-3,600 m 之間，海拔落差達 1,000 m，只有 3,100-3,500 m 間為臺灣冷杉盛行區域。3,300-3,500 m 處與玉山圓柏逐漸形成交會帶，在 2,900-3,200 m 與鐵杉形成交會帶。在臺灣冷杉盛行的海拔區域中，交會帶植群多歸併於臺灣冷杉群團；至於 3,100 m 以下之區域，因已超出臺灣冷杉生育環境之最適界，植群或以臺灣鐵杉較為優勢而整併入臺灣鐵杉群團中，或與臺灣鐵杉形成共同

優勢，兩樹種間重要值相當；臺灣冷杉與臺灣鐵杉交會帶之植群，為高海拔地區普遍廣泛分布的植群帶。

(二)物種多樣性梯度變化

物種多樣性是社會的組成結構重要指標，不僅可以反映社會組成，亦可以透過結構與功能的關係間接反映社會功能的特徵。生物多樣性沿環境梯度的變化規律是生物多樣性研究的一個重要的議題(Kratochwil, 1999)，研究物種多樣性梯度分布及控制物種多樣性梯度分布的生態因子，是保護生物學研究的基礎(Noss, 1990; 唐志堯和方精云, 2004)。物種多樣性是生物多樣性的本質，其分布模式受到諸多生態綜合效應影響，主要包含物種演化(物種的形成、遷移及滅絕等)、地理差異(地理歷史、演化等)、與環境(氣候、土壤、地質等)、生產力和其他因子(植群演替、植被演化歷史等)影響(Odland and Birks, 1999; Ricklefs and Schluter, 1993; Whittaker *et al.*, 2001; Willis and Whittaker, 2002)。

物種多樣性有 α 多樣性、 β 多樣性，以及 γ 多樣性等3種空間尺度。 α 多樣性為均質棲地社會下的物種數目，或為社會中各個物種的相對密度，即物種均勻度； α 多樣性的高低受到生態位多樣性及物種間交互作用的影響，以及環境能量的高低對 α 多樣性有密切的關係。 β 多樣性為沿環境梯度不同棲地社會間物替成的相異性，或是物種沿環境梯度的變化速率，影響 β 多樣性大小的因子為土壤、地貌，以及干擾等。 γ 多樣性描述區域或大陸尺度的物種數量，亦稱為區域多樣性(regional diversity)，而 γ 多樣性主要受水熱動態、氣候，以及物種形成與演化歷史等影響(Whittaker, 1960; MacArthur, 1965; Whittaker *et al.*, 2001)。

海拔梯度被認為是緯度梯度的縮影，為溫度、光度、濕度、氣壓等諸多環境因子的綜合梯度效應的表現，且環境因子沿海拔梯度的變化要比沿緯度梯度快1,000倍(Walter, 1979)。隨海拔度的上升(溫度遞減)，物種多樣性應呈現遞減的反應；然目前的研究結果顯示，植物社會之物種多樣性在海拔梯度上呈現多種分布模式。其中，物種多樣性隨海拔高度升高而遞減呈負相關，此為最普遍的模式，在熱帶濕潤、溫帶濕潤及干旱地區可發現(Yoda, 1967; Vazquez and Givnish, 1998; Whittaker, 1960; Whittaker and Niering, 1965; Glenn-Lewin, 1977; Wilson *et al.* 1990; 赫占慶等, 2002; 馮建孟等 2006)。另一類為物種多樣性隨著海拔變化呈現單峰分布模式，或有學者稱之為中間高度膨脹(mid-altitude bulge)，即物種多樣性海拔升高先增加後降低(Gentry, 1988; 牛躍等, 2008; 王志恆等 2004)。此種模式在半干旱地區較為常見，

即在低海拔區域，物種多樣性受到降水限制，而在高海拔地區受到熱量限制，因而形成中海拔地區有較高的物種分布(Whittaker and Niering, 1965; Wang et al. 2002)。在濕潤地區，造成此種現象的原因為低海拔地區有較高鬱閉的林冠，致使草本層物種較少，致使中海拔地區有比低、高海拔有高的物種多樣性。少數的研究發現，物種多樣性與海拔梯度沒有規律性(Dolezal and Srutek, 2002)，或是隨海拔上升而物種多樣性亦隨之上增加(Baruch, 1984)；然這些海植群不同層次的多樣性對環境的反應不一致(Rey Benayas, 1995；賀金生與陳偉烈，1997；唐志堯與方精云，2004)，而不同生活型的物種受到不同因子的制約亦呈現不同的梯度模式(Hamilton and Perrott, 1981; Ojeda *et al.*, 2000；吳勇等，2006；劉士華等，2008)。木本植物為森林生態系構成之主體，其植群結構的空間異質性除了組成物種的影響外，生育地環境亦是主要的因素，林冠層組成與結構差異亦造就林內環境不同，進而導致林下物種多樣性的變化。而植群組成與結構是植群生態學研究的基礎，不同的植群在結構與功能上存在著差異，此種差異主要受制於組成物種不同生態與生物學特性，以及其構成方式(彭少麟，1996)。

三、研究方法

本研究之流程圖如下圖所示(圖 7-1)：

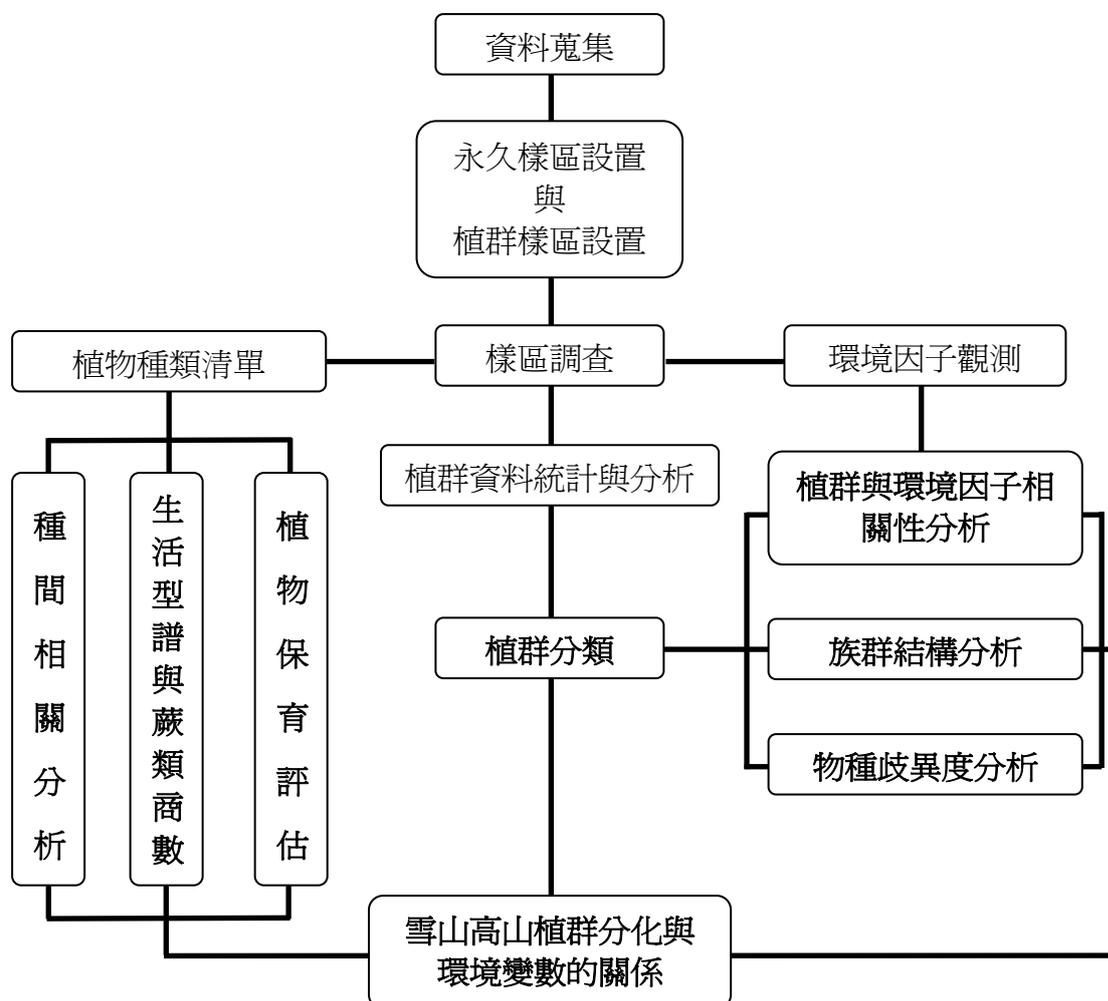


圖 7-1 本研究方法之流程圖。

(一)文獻與資料之蒐集

首先蒐集與高山植群及臺灣冷杉有關之文獻，並加以整理與分析；同時收集調查研究區之基本環境資料，包並地理位置、範圍、氣候、地質及相片基本圖與地形圖等資料，以初步了解研究區之環境概況。

(二)永久樣區設置與調查

1. 於雪山主峰線登山口開始，沿海拔約上升 100-200 m，選取外表形相與組成且較具代表性之均質植物社會，設置 0.2 ha (50 m × 40 m) 之長方形永久樣區 (長軸方向為沿海拔方向)。在永久樣區內劃設 20 個 10 m × 10 m 小區。樣區位置以 GPS 加以定位標示。

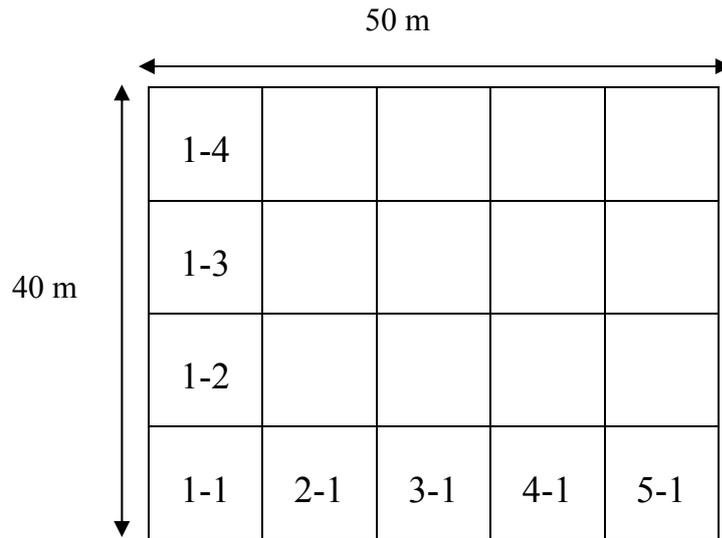


圖 7-2 雪山地區永久樣區設置形狀。

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. 胸徑大於 10 cm 樣木記錄樹冠幅(以 8 個方位記錄)，並進行資料分析，藉以瞭解樣木樹冠幅之情形。
4. 地被植物調查：由於地被植物的季節性生長變化明顯，本研究調查一年內分四季進行永久樣區內 2 條樣帶之地被調查，調查胸徑小於 1 cm 之樹種、草本及蕨類，記錄植物種類及覆蓋度。

(三)環境因子之觀測與評估

植物之生長常受環境因子所影響，且環境因子也常為影響植群變異之主要原因。因此植群生態的研究不僅探討植物群聚所形成的植群型，亦加以探究影響植群分化的環境因子。理論上，應以環境因子的整體效應，來評估林木的生育與分布，但環境因子彼此之間，亦具有複雜的交互作用及補償作用，因此不容易直接評估，為便於研究，因此常將此複雜的環境因素分離為若干單一因子以利於觀測，而後再進行相關分析與探討。為瞭解環境因子與植群分布的關係，本研究針對下列環境因子，加以直接觀測或以間接方式評估，其方法分述如下：

1. 海拔高度(altitude, Alt.)

海拔為諸多環境因子之綜合效應，間接影響到降雨、溫度、土壤等因子，間接性的影響植物社會的分布(蘇鴻傑，1987)。海拔高度係以全球衛星定位系統(Global

Position System, GPS)及氣壓式高度計測定樣區所在之海拔高度，並記錄樣區位置之經緯度座標值，以標定樣區在圖面之位置。

2. 坡度(slope, Slo.)

坡度為樣區內最大坡面的傾斜度，測量方法以羅盤儀直接測出樣區的仰角或俯角，若林分樣區為傾斜率不均一之生育地，則宜取多次測值的平均。Tsui et al. (2004)於南仁山研究發現，坡度與土壤特性具相關性，且坡度亦影響水分與溶解物的移動。測量取得的坡度轉換成序位資料，0-10 度轉換成級)、11-20 轉換成序級)、21-30 轉換成序級)、31-40 轉換成級)、41-50 轉換成序級)、>5150 轉換成級)。

3. 全天光空域(whole light sky, WLS)

全天光空域是指林分樣區能接受到太陽輻射的空域大小，為綜合方向、坡度、地形遮蔽度及太陽輻射能的估計值。本研究以羅盤儀量測樣區四周之12個固定的方位角，測出遮蔽物之高度角(altitude angle)，以製圖方式求出未受遮蔽之天空範圍百分率，作為全天光空域(圖 7-3)。

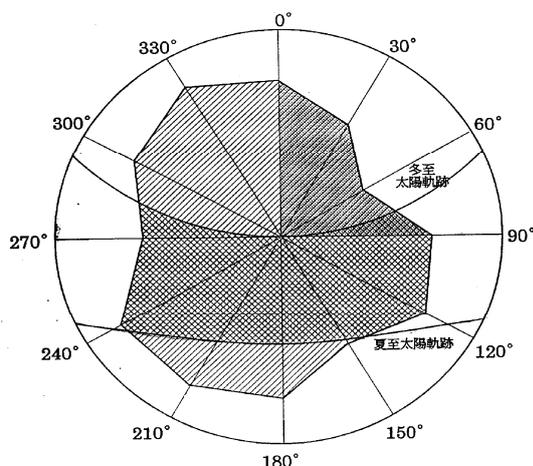


圖 7-3 林分樣區之全天光空域(單斜線部分)、直射光空域(雙斜線部分)圖。

4. 直射光空域(direct light sky, DLS)

直射光空域係樣區林分中直接看到太陽在天空中運行的空域大小，其大小相當於太陽夏至與冬至軌跡的範圍，再扣除直射光被稜線所遮蔽的部份(圖 7-3)。以此 2 線中未受遮蔽之空域面積除以 2 線所夾之總面積，所得百分率即為樣區之 DLS 值。

5. 方位(aspect, Asp.)與水分梯度(moisture gradient, Mos)

方位係指樣區坡度所面臨的方向，亦即樣區最大的坡度所面臨的方向。方位角度值對於植物生長並無直接效應，又不同方位實質導致日照、氣溫與濕度的差異，

故欲探討其與植物之關係，需將方位角度轉化為效應的相對質。本研究將方位視為水分梯度之對應值，通常以北半球而言，西南向(202.5 應，最乾燥，東北向(22.5 北向最陰濕，故給予 1(最乾)至 16(最濕)之相對值(圖 7-4)。

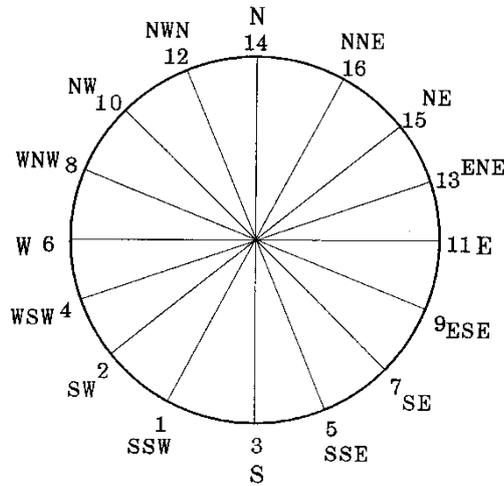


圖 7-4 以方位表示之水分梯度級(Day and Monk, 1968)。

6. 林內相對光度

於永久樣區內選取 10 個測點，Quantum Sensor (LI-COR LI-190)光度計量測各測點之絕對光度，再求得平均絕對光度，並於空曠處設一對照測點，以獲得全光量，藉以求得相對光度。

7. 土壤性質

永久樣區之土壤各項性質資料配合土壤性質調查研究取得。

8. 設置環境資料收集器

於永久樣區內設置氣溫、土溫、相對濕度、光度之環境資料收集器(Data log)。

(四)植群調查-臨時樣區

為建置完整之雪山地區植群資料，以及滿足其他團隊研究之需求，設置 20 m × 25 m 之臨時植群樣區進行調查，樣區設置採多樣區法(multiple plot method)之集落樣區設置法(contagious quadrat method)，樣區設置主要考慮海拔、地形等環境變化與植物組成取樣。調查時將植物區分為喬木層(overstory)及地被層(understory)。凡胸徑大於 1 cm 者，列入喬木層，記錄植物種類、胸高直徑(diameter at breast height, DBH)；胸徑小於 1 cm 之樹種、草本及蕨類，記錄植物種類及覆蓋度。調查同時並記錄各項環境因子，以供後續分析。

(五)資料分析

1. 植群分類與分布序列

首先對野外調查原始資料之植物種類進行編碼，於文書處理軟體中輸入樣區、植物種類代碼、各株之胸徑或覆蓋度後，再轉換成資料庫格式。樣區之植物社會介量以重要值指數值(importance value index, IVI)表示。將植物社會分成上下兩層(喬木層和地被層)，計算各種植物在各樣區中之密度、頻度及優勢度，再轉換成相對值；上層植物社會重要值為相對密度、相對頻度與優勢度之總和，下層植物社會重要值即相對頻度和相對優勢度之總和，其意義代表某種植物在林分樣區中所佔有之重要性。有關各計算公式如下：

$$\text{密度(density)} = \frac{\text{某種植物株數之總和}}{\text{所調查之總樣區數}}$$

$$\text{頻度(frequency)} = \frac{\text{某種植物出現之總樣區數}}{\text{所調查之總樣區數}}$$

$$\text{地被層優勢度(dominance)} = \frac{\text{某種植物覆蓋面積總和}}{\text{所調查之總樣區數}}$$

$$\text{相對密度(relative density)\%} = \frac{\text{某種植物之密度}}{\text{所有植物密度之總和}} \times 100\%$$

$$\text{相對頻度(relative frequency)\%} = \frac{\text{某種植物之頻度}}{\text{所有植物頻度之總和}} \times 100\%$$

$$\text{相對優勢度(relative dominance)\%} = \frac{\text{某種植物優勢度}}{\text{所有植物優勢度之總和}} \times 100\%$$

喬木層重要值指數 = 相對密度 + 相對頻度 + 相對優勢度 = 300

地被層重要值指數 = 相對頻度 + 相對優勢度 = 200

利用定量相似性指數為Motyka et al.(1950)所提出Motyka相似性指數計算兩樣區之相似度：

$$IS\% = \frac{2Mw}{Ma + Mb} \times 100\%$$

式中 Ma 為 a 樣區中所有植物介量之總和

Mb 為 b 樣區中所有植物介量之總和

Mw 為兩樣區中共同出現植物之較小介量的總和

將 Motyka 氏相似性指數公式計算所得之兩兩樣區間之相似性指數，做成相似性指數矩陣，以此得知各樣區間的關聯性。以上計算先使用呂金誠(1998)以 BASIC 及 CLIPPER 語言所設計之 COMB 及 CLUSTER 程式運算之。另外使用 PC-ORD 5.0 軟體以 IVI 值進行分析，相似度之測量方法為 Sørensen 距離繪製樹形圖 (dendrogram)，以探討各樣區植群之關係和植群的分類及組成。

分布序列或排序(ordination)為樣區或植物種類排列在一定的空間，使排序軸能反應一定之生態梯度，從而解釋植被及物種分布與環境因子間的關係，即為揭示植被與環境間的生態關係(張金屯，2004)；因此壓縮多元環境因子梯度的排序，又稱為梯度分析(gradient analysis)。僅使用植物種類組成的數據資料進行排序稱為間接梯度分析(indirect gradient analysis)，同時使用物種組成與環境因子組成進行排序者為直接梯度分析(direct gradient analysis)(ter Braak and Šmilauer, 2002)。直接梯度分析乃基於一組物種和環境資料，測試環境變數上物種出現(或豐量)的相關性(Gauch, 1982)，為解釋在分布序列軸限制環境變數的線性組合下物種的反應(ter Braak and Šmilauer, 2002)。

本研究使用的間接梯度分析為降趨對應分析(detrended correspondence analysis, DCA)，直接梯度分析為典型對應分析(cannonical correspondence analysis, CCA)。使用軟體 PC-ORD Vers. 5.0 (McCune and Mefford, 1999) 進行資料的分析。

2. 物種多樣性分析

在生態之研究上，歧異度指數(diversity index)是用來評估一群聚結構中之物種組成與分布狀況之變化。歧異度指數大致可以分成三類，分別為種豐富度(species richness)、種豐富度(species abundance)與均勻度(evenness)。種豐富度用於表達樣區或棲地中物種之數量，通常種數與個體數或面積，常呈現對數或指數關係，種豐富度同時考量了種豐富度與均勻度，而均勻度可表示生物社會中，生物個體在不同種間之分布均勻程度，本研究採用 Shannon 訊息統計指數(Shannon information statistic index)、Simpson 豐富度指數(Simpson abundance index)以及 Shannon 均勻度指數(Shannon evenness)，並使用蔡尚惠與呂金誠(2004)所撰寫之「生物歧異度分析系統」的套裝軟體運算，各公式如下所示：

(1) 種豐富度指數(Species richness)

$$R = S / N$$

式中：S 為植物社會所有植物種類總數；N 為植物社會所有植物種類個體數之和

Gleason 指數(Gleason's species richness) (Gleason, 1922)

$$D=S/\ln A$$

Margalef 指數(Margalef's species richness)(Margalef, 1958)

$$R=(S-1) / \ln N$$

(2) 新浦森歧異度指數(Simpson's index of diversity)

$$C = \sum (n_i / N)^2 = \sum (P_i)^2$$

$$D_{si} = 1 - C$$

式中：C：為植物社會的優勢度

n_i ：為第 i 種植物的個體數

N：為植物社會中所有植物種類個體數之和

$P_i = n_i / N$ ，即在某林分中發現第 i 種植物的機率

D_{si} ：為植物社會的 Simpson 氏歧異度指數

(3) 夏農歧異度指數(Shannon's index of diversity)

$$D_{sh} = - \sum (n_i / N) \times \log(n_i / N) = - \sum P_i \times \log P_i$$

(4) 均勻度指數(Evenness index)

$$E = D_{sh} / \log S$$

3. 族群與林分結構分析

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，以曲線表示其年齡分布，可稱為齡級分布圖。此圖可用於表示族群動態(Population dynamic)，預測該族群過去與未來之消長情形，亦可指示其天然更新之狀態，故為森林演替(Forest succession)研究方法之一(Daubenmire, 1968；劉崇瑞、蘇鴻傑，1983)。本研究根據植群型分類之結果，將各林型中佔有優勢的樹種挑選出來，分析各樹種之齡級結構，依生長型不同分別以 3、5 cm 為一直徑階，橫座標表示徑級，縱座標表示株數，計算每齡階之株數，依結果描繪優勢樹種之齡級分布圖，以瞭解整個植群之組成結構，推斷各植群演替的階段及趨勢。

4. 植群生活型比較

一地區出現的植物種類，可視為植物與環境長期綜合作用下的結果；因此，一地區所出現的植物亦常可反應各種氣候所具有之特殊習性，即植物的生活型

(Life-form)。生活型主要根據植物對不良環境之抵抗力與適應力來分類，而以生存芽受保護的程度來決定對不良環境之適應性。雖然 Raunkiaer 氏之生活型分類過分強調生活型與氣候之關係，忽略土壤與歷史(冰河期)之影響，但目前仍常應用於一般之生態調查統計，以顯示當地之氣候環境，或印證植物與氣候之相關性(劉崇瑞、蘇鴻傑，1984)。本研究仿應用 Raunkiaer 生活型分類系統進行分類，依馬祖列島所調查植物相分別歸入其所屬之生活型，統計各型所佔之種類百分率，形成數列並製成生活型譜(Life-form spectrum)。本研究依將種子植物進行下列生活型式之區分：

- (1) 高位芽植物(Phanerophytes, P)：在熱帶植物中，以此型所佔比例最高，可分成以下 4 類：
 - a. 大、中喬木植物(Mega- and Mesophanerophytes, MM)：高度超過 8 m 之樹木。
 - b. 小喬木植物(Microphanerophytes, M)：高度介於 2~8 m 之樹木。
 - c. 灌木植物(Nanophanerophytes, N)：高度介於 0.25~2m 之木本植物。
 - d. 著生植物(Epiphytes, E)：生存芽位於離地表之樹木或岩石等著生基質上。
 - e. 藤本植物(Vine, V)：生存芽位於攀援狀之莖的先端，木質藤本屬之。
- (2) 地上芽植物(Chamaephytes, Ch)生存芽位於離地面甚近之枝上，通常其高度不超過 30 cm，大多為多年生草本。
- (3) 地面芽植物(Hemicryptophytes, H)：生存芽恰位於土表，可受枯枝落葉與土壤之保護；大多數二年生及多年生植物均屬之。
- (4) 地下芽植物(Cryptophytes, C)：生存芽完全受到土壤保護，僅於短暫生長季中才出現地表，如部分之球莖(corms)、鱗莖(bulbs)、塊莖(tubers)植物。
- (5) 一年生植物(Therophytes, T)：無生存芽，以種子休眠的形態渡過不良季節。

以上所述及之生活型僅針對種子植物進行區分，對於蕨類植物Raunkiaer另提出蕨類商數(Pteridophyte-Quotient, Ptp-Q)，用來說明氣候的乾濕現象與有無明顯的乾季。其計算公式如下：

$$Ptp-Q = \frac{P \times 25}{S}$$

式中 P 為蕨類植物種數，S 為種子植物種數

四、結果與討論

雪山高山地區植群調查研究初步完成 18 個臨時樣區調查(記為 W01-18)，以及 6 個高山地區典型植物社會長期監測樣區作為共同研究場域(圖 7-5)。長期監測樣區包括圈谷(SPA-1)、黑森林(SPA-2)、黑森林(SPA-3)、火燒跡地(SPA-4)、雪山東峰玉山箭竹草地(SPA-5)，以及七卡山莊旁之針闊混合林(SPA-6)，長期監測樣區之環境資料與植物社會組成等資料描述如下(表 7-2)。另外，為對雪山主峰沿線與七家灣溪之植物社會更具通盤性之了解，加入本研究團隊以往雪山主峰線(呂金誠等，1999)之調查資料進行植群分析(號碼前標記”L”)。

(一)長期監測樣區植物社會

SPA-1 圈谷測站

本區為玉山圓柏與玉山杜鵑優勢之灌叢植物社會，並間雜有玉山小蘗、高山白珠樹、玉山薔薇等木本植物，地被草層有曲芒髮草、雪山翻白草、玉山當歸、鋸齒葉鱗毛蕨(*Dryopteris serrate-dentata*)、地楊梅(*Luzula* spp.)等。

SPA-2 黑森林測站(9k)

本區位於黑森林水源地附近，接近黑森林與圈谷交界，開始進入臺灣冷杉與玉山圓柏之交會帶，上層林冠組成樹種以臺灣冷杉為主，玉山圓柏間雜其中，惟多屬幼熟木。地被層有數叢之玉山箭竹外，以苔蘚為主，並伴生阿里山薊(*Cirsium arisanense*)、玉山櫻草(*Primula miyabeana*)、臺灣烏頭(*Aconitum fukutomei*)、早田氏香葉草(*Geranium hayatanum*)等。

SPA-3 黑森林測站(7.8k)

本區位於玉山箭竹與高山芒組成之草地進入黑森林處之步道上方，冠層以臺灣冷杉為絕對優勢，地被組成以苔蘚為主，裂葉樓梯草(*Elatostema trilobulatum*)、阿里山鬼督郵(*Ainsliaea macroclinidioides*)等，玉山箭竹已未出現在地被之中，族群結構成現鐘形分布，多屬幼熟木。

SPA-4 三六九山莊火燒測站

本區位於三六九山莊附近之火燒跡地，主要以玉山箭竹為主，此部份為火燒生態動態研究之樣區，採用系統取樣與步道兩側隨機取樣方式。本區組成優勢以玉山箭竹、高山芒為主，一枝黃花、臺灣藜蘆、臺灣粉條兒菜、巒大當藥、假繡線菊、高山白珠樹、臺灣龍膽、玉山石松及絨假紫萁等間雜其間。

SPA-5 雪山東峰附近之玉山箭竹草生地測站

在雪山東峰至三六九山莊之間的嶺線，因火燒等干擾致使森林退化至以玉山箭竹為優勢之草生地。樣區內之優勢組成為玉山箭竹、高山芒，間雜有一枝黃花、玉山毛蓮菜、森氏山柳菊、玉山石松等。

SPA-6 七卡山莊針闊混合林測站

七卡山莊旁針闊混合林永久樣區以臺灣鐵杉為林冠突出種，林冠主要優勢組成樹種有高山新木薑子、阿里山灰木 (*Symplocos lancifolia*)、狹葉高山櫟 (*Cyclobalanopsis stenophylla* var. *stenophylloides*)、三斗石櫟 (*Pasania ternaticupula*) 等；低層林冠與灌木層組成有高山新木薑子、阿里山灰木、賽矜木 (*Eurya crenatifolia*)、狹葉高山櫟、尖葉槭 (*Acer kawakamii*)、福建賽衛矛 (*Microtropis fokienensis*)，以及川上氏懸鉤子 (*Rubus kawakamii*) 等；優勢的草本層為臺灣瘤足蕨 (*Plagiogyria formosana*)。

表 7-2 雪山高山生態系整合調查共同研究之永久樣區屬性資料表

	SPA-1	SPA-2	SPA-3	SPA-4	SPA-5	SPA-6
位置	圈谷(10.3K)	黑森林(9k)	黑森林(7.8k)	三六九山莊火 燒跡地(7.5k)	雪山東峰(5k)	七卡山莊(2k)
海拔高(m)	3,558	3,401	3,352	3,250	3,150	2,500
植物社會	灌叢	森林	森林	草生灌叢	草生灌叢	森林
優勢林冠層	無	臺灣冷杉 玉山圓柏	臺灣冷杉	無	無	高山新木薑子 狹葉高山櫟 阿里山灰木 高山新木薑子 阿里山灰木 賽矜木 狹葉高山櫟 尖葉槭 川上氏懸鉤子 臺灣瘤足蕨
優勢灌木層	玉山圓柏 玉山杜鵑					
優勢草本層	曲芒髮草 雪山翻白草 玉山當歸 鋸齒葉鱗毛蕨 地楊梅	苔蘚 阿里山薊 玉山櫻草 臺灣烏頭 阿里山鬼督郵	苔蘚 裂葉樓梯草 阿里山鬼督郵	玉山箭竹 高山芒 一枝黃花 臺灣藜蘆 臺灣粉條兒菜 巒大當藥 假繡線菊 高山白珠樹 臺灣龍膽 玉山石松	玉山箭竹 高山芒 一枝黃花 玉山毛蓮菜 森氏山柳菊 玉山石松	
種數						

(二)雪山主峰線植物社會分類

本研究調查以及彙整前人研究樣區共 47 個進行資料分析，依據植物社會之外觀形相(physiognomy)劃分成森林植物社會與灌叢與草本植物社會，39 個森林植物社會根據矩陣群團分析之結果繪製成樹形圖(圖 7-6)，並在樹形圖上藉不同相似性門檻(threshold)，探討各樣區植群之關係。本研究以 55%之訊息保持度作為森林植物社會優勢型的劃分門檻，可劃分為 10 個優勢型。若干植物社會可再區分成亞型，用以表示局部地區的若干變異，以以 80%之訊息保持度作為森林植物社會優勢型亞型的劃分門檻。灌叢與草本植物社會可劃分成 4 個優勢型。本研究對植群型命名之原則以優勢種與次優勢種二者聯合命名，優勢種代表植物對環境資源之控制能力，其生物量頗大，故可達到控制環境資源方面的代表性，利用優勢種與次優勢種二者聯合命名主要著眼於此二種優勢種據植物社會主要資源之觀點。

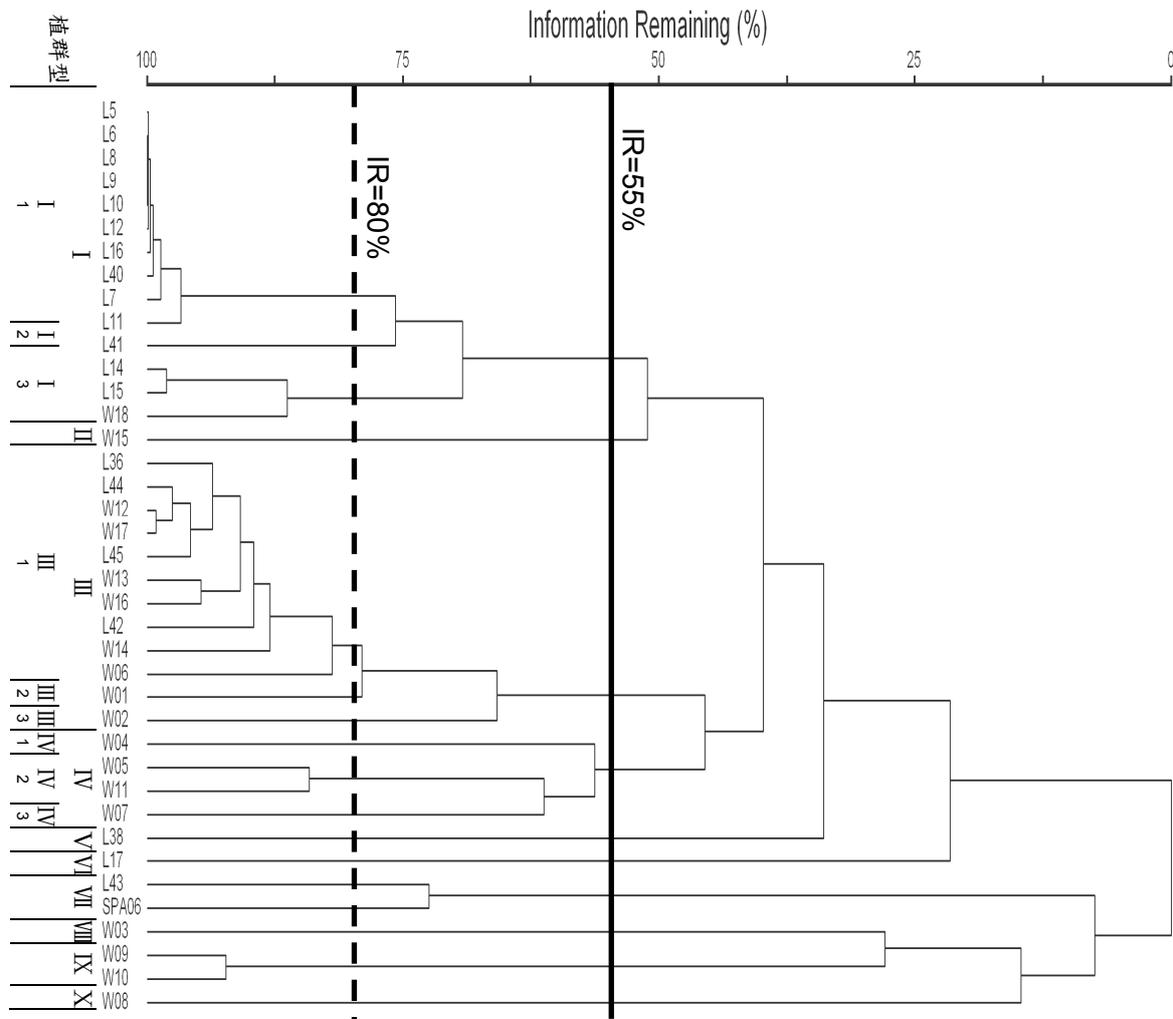


圖 7-6 雪山高山生態系森林植物社會矩陣群團分析樹形圖。

有關雪山主峰線植物社會植群型劃分如下：

森林植物社會

- I. 臺灣冷杉型(*Abies kawakamii* type)
 - I₁. 臺灣冷杉亞型(*Abies kawakamii* subtype)
 - I₂. 臺灣冷杉-玉山杜鵑-臺灣鐵杉亞型(*Abies kawakamii* - *Rhododendron pseudochrysanthum* var. *pseudochrysanthum* - *Tsuga chinensis* subtype)
 - I₃. 巒大花楸-冷杉亞型(*Sorbus randaiensis*- *Abies kawakamii* subtype)
- II. 高山櫟-臺灣鐵杉型(*Quercus spinosa* - *Tsuga chinensis* type)
- III. 臺灣二葉松型(*Pinus taiwanensis* type)
 - III₁. 臺灣二葉松-臺灣雲杉亞型(*Pinus taiwanensis* - *Picea morrisonicola* subtype)
 - III₂. 栓皮櫟-臺灣赤楊-臺灣二葉松亞型(*Quercus variabilis* - *Alnus japonica* - *Pinus taiwanensis* subtype)
 - III₃. 狹葉高山櫟-臺灣赤楊亞型(*Cyclobalanopsis stenophylloides* - *Pinus taiwanensis* subtype)
- IV. 栓皮櫟-化香樹型(*Quercus variabilis* - *Platycarya strobilacea* type)
 - IV₁. 栓皮櫟亞型(*Quercus variabilis* subtype)
 - IV₂. 栓皮櫟-化香樹亞型(*Quercus variabilis* - *Platycarya strobilacea* subtype)
 - IV₃. 臺灣胡桃-栓皮櫟亞型(*Juglans cathayensis* - *Quercus variabilis* subtype)
- V. 臺灣雲杉型(*Picea morrisonicola* type)
- VI. 玉山圓柏型(*Juniperus squamata* type)
- VII. 高山新木薑子-狹葉高山櫟-阿里山灰木型(*Neolitsea acuminatissima* - *Cyclobalanopsis stenophylloides* - *Symplocos lancifolia* type)
- VIII. 臺灣紅豆杉-臺灣灰木型(*Taxus sumatrana* - *Symplocos formosana* type)
- IX. 卡氏櫟-西施花型(*Castanopsis carlesii* - *Rhododendron ellipticum* type)
- X. 紅檜型(*Chamaecyparis formosensis* type)

灌叢草本植物社會

- XI. 玉山圓柏-玉山杜鵑型(*Juniperus squamata*-*Rhododendron pseudochrysanthum* var. *pseudochrysanthum* type)
- XII. 玉山箭竹-高山芒型(*Yushania niitakayamensis*-*Miscanthus transmorrisonensis* type)
 - XV₁. 玉山箭竹-高山芒亞型(*Yushania niitakayamensis*-*Miscanthus transmorrisonensis* subtype)

XV₂. 玉山箭竹亞型(*Yushania niitakayamensis-Miscanthus transmorrisonensis* subtype)

XIII. 高山芒型(*Miscanthus transmorrisonensis* type)

XIV. 高山艾-羊茅型(*Artemisia oligocarpa-Festuca ovina* type)

各植群之組成即樣區概述如下:

I. 臺灣冷杉型

臺灣冷杉型為雪山高山生態系 3,000 m 以上最優勢之森林植物社會，多以幾近純林型式存在。依生育地環境或其伴生組成差異可再細分成臺灣冷杉、臺灣冷杉-玉山杜鵑-臺灣鐵杉，以及巒大花楸-臺灣冷杉等 3 亞型。

I₁. 臺灣冷杉亞型

臺灣冷杉植群亞型分布由雪山東峰至三六九山莊沿線與黑森林為主要分布區域，海拔約 3,100-3,600 m，多位於北面至西北面坡。本植群亞型以之林冠組成臺灣冷杉佔絕對優勢，林下地被層植物優勢程度可分成 2 類，一為以玉山箭竹為優勢組成，主要分布於雪山東峰至三六九山莊沿線，另一種以苔蘚為優勢，伴生有曲芒髮草、玉山鬼督郵、大霸尖山醉醬草、玉山卷耳、高山珠蕨及巒大蕨等草本及蕨類植物。歐辰雄(2008)研究發現，在苔蘚地被之臺灣冷杉林，其林下常有較大量之冷杉稚樹及幼苗，且林下地被組成種類多樣。

I₂. 臺灣冷杉-玉山杜鵑-臺灣鐵杉亞型

臺灣冷杉-玉山杜鵑-臺灣鐵杉亞型位於雪山東峰至三六九山莊之間。林冠組成以臺灣冷杉和臺灣鐵杉為主，而以玉山杜鵑構成較低林冠之優勢組成，地被植物幾以玉山箭竹組成。此亞型約略介於臺灣冷杉與臺灣鐵杉之推移帶(ecotone)，部分

I₃. 巒大花楸-臺灣冷杉亞型

巒大花楸-臺灣冷杉植群亞型分布於步道 6.6-7 k、369 山莊後方，以及黑森林 8.6 k 下方，海拔分布約在 3,100-3,300 m 處。本亞型大多位於臺灣冷杉之林緣，或少數分布於黑森林內部。前者以巒大花楸構成林冠組成主要組成樹種，為灌叢草生地與森林之推移帶，地被組成相當多樣，除臺灣冷杉、玉山圓柏之稚樹外，尚有玉山英迷、茶藨子、玉山小蘗、川上氏冷冬、玉山箭竹、高山芒、玉山當歸、假繡線菊、黃苑、線萼懸鉤子、瓦氏鱗毛蕨等。後者之巒大花楸則構成臺灣冷杉林之第 2 層林冠，林下組成以臺灣冷杉稚樹、高山珠蕨、曲芒髮草、玉山佛甲草、阿里山鬼督郵等。

II. 高山櫟-臺灣鐵杉型

本植群型約分布於步道3k至哭坡平台，海拔約於2,800 m。本區多位於東北面坡之凹地溪谷，此型之高山櫟胸徑大於100 cm，植株非常高大，與稜線臺灣二葉松人工林之高山櫟之個體大小明顯不同，本型為櫟林帶銜接鐵杉雲杉林帶之重要區位。高山櫟，鑲嵌臺灣鐵杉與少數臺灣冷杉構成主要林冠，較低之冠層由刺格、假桫欏等小喬木組成。地被植物優勢植物為玉山箭竹，並伴生有臺灣天南星、斑葉蘭、裂葉樓梯草及海螺菊等陰性植物。

III. 臺灣二葉松型

本型主要火燒或伐採後之臺灣二葉松造林地或次生林，依造林樹種與原生植物入侵後之演替過程而主要優勢組成有所差異，並可再細分成臺灣二葉松-臺灣雲杉、臺灣二葉松-栓皮櫟、臺灣赤楊-臺灣二葉松，以及狹葉高山櫟-臺灣二葉松等4個亞型植物社會。

III₁. 臺灣二葉松-臺灣雲杉亞型

臺灣二葉松-臺灣雲杉植群亞型分布於七卡山莊至哭坡沿線之嶺線，海拔分布為2,280 m至2,810 m。林冠層組成以臺灣二葉松為主，並兼雜有臺灣赤楊，此外並有大小不一之紅檜、臺灣雲杉、杉木等造林樹種之栽植。較低冠層組成種類豐富，除臺灣二葉松、臺灣赤楊外，並有高山櫟、臺灣鐵杉等植物入侵，灌木層組成細葉杜鵑、紅毛杜鵑、臺灣高山杜鵑、玉山假沙梨、臺灣馬醉木、南燭等。草本層以臺灣芒、高山芒、巒大蕨等為優勢。

III₂. 栓皮櫟-臺灣赤楊-臺灣二葉松亞型

栓皮櫟-臺灣赤楊-臺灣二葉松亞型分布1,800-2000 m，主要分布七家灣溪流域地勢陡峭之生育地。以栓皮櫟、臺灣赤楊與臺灣二葉松構成上層林冠，灌木層以毛果桫欏、小花鼠刺、通條木、細葉杜鵑等為主，草本植物則以臺灣芒為主要組成。此為徐憲生(2006)與郭礎嘉(2009)之栓皮櫟-臺灣二葉松型和臺灣二葉松-臺灣赤楊型。

III₃. 狹葉高山櫟-臺灣赤楊亞型

狹葉高山櫟-臺灣赤楊亞型分布於七卡山莊附近，為臺灣二葉松造林地，狹葉高山櫟與臺灣赤楊、臺灣二葉松共同組成優勢林冠；灌叢除林冠組成稚樹外，尚有紅檜(造林)、南燭、米飯花、毛果桫欏、太平山莢蕨、臺灣莢蕨、短尾葉石櫟等組成。地被草本以臺灣芒為優勢。

IV. 栓皮櫟-化香樹型

栓皮櫟-化香樹型主要分布於七家灣溪流域，相當於林聖峰(2007)於七家灣植群分類中的栓皮櫟-化香樹-胡桃型。本植群型以栓皮櫟為主要優勢組成，依不同伴生之優勢樹種，本植物社會可細分成栓皮櫟、栓皮櫟-化香樹與臺灣胡桃-栓皮櫟等亞型植物社會。

IV₁. 栓皮櫟亞型

栓皮櫟亞型分布離河道較高的坡面上，分布海拔約 1,900 m；以栓皮櫟為最優勢組成，臺灣二葉松零星間雜其中，共同組成林冠。樹冠鬱閉不佳，林下光線尚充足，但林下僅出現數株臺灣紫珠、三斗石櫟在其中構成灌木層，草本層以臺灣蘆竹為最優勢。

IV₂. 栓皮櫟-化香樹亞型

栓皮櫟-化香樹亞型海拔分布約 1,800-1,900 m。主要優勢為栓皮櫟、化香樹構成主要林冠，灌木層有臭椿、米飯花、臺灣紫珠及海州常山等。草本組成由臺灣蘆竹、臺灣芒、玉山箭竹等形成較高之草本層級，林下尚有槭葉石葦、臺灣天南星及海螺菊等物種所組成較底層草本層級。

IV₃. 臺灣胡桃-栓皮櫟亞型

臺灣胡桃-栓皮櫟亞型多位於登山口下方七家灣沿岸，海拔分布約為 1,800 m 處。臺灣胡桃、栓皮櫟與化香樹參雜鑲嵌，通常沿海拔上升，栓皮櫟之優勢比重會漸漸提升。林內優勢種為臺灣胡桃，栓皮櫟為較低冠層，灌木層為朴樹與臭椿稚樹，如。林下藤本物種亦豐富，有青牛膽、巴氏鐵線蓮、臺灣馬兜鈴及臺灣何首烏等。

V. 臺灣雲杉型

臺灣雲杉型位於步道 3.6 k 處，分布海拔約 2,920 m，位於哭坡附近之臺灣雲杉造林地，因環境惡劣造林不易，形成類似高山疏林景觀，僅殘留數株。間雜有紅毛杜鵑，草本層以玉山箭竹、臺灣芒等為優勢。

VI. 玉山圓柏型

玉山圓柏植群型分布於黑森林終點近圈谷附近，海拔約 3,570 m。本植群型以玉山圓柏佔絕對優勢，林冠下尚有玉山圓柏與臺灣冷杉幼齡木、玉山杜鵑及玉山小蘗。地被尚有高山珠蕨、雪山翻白草、玉山卷耳、冷蕨、傅氏唐松草等植物為其主要組成。

VII. 高山新木薑子-狹葉高山櫟-阿里山灰木型

阿里山灰木—高山新木薑子植群型位於七卡山莊附近的天然闊葉林，海拔分

布約為 2,420-2,500 m。以狹葉高山櫟、阿里山灰木、雲葉，以及三斗石櫟等為主要林冠組成，偶有零星臺灣鐵杉、臺灣黃杉或華山松間雜突出林冠，形成林冠突出種；低層林冠組成除優勢種之未熟樹外，尚有玉山假沙梨、高山新木薑子、福建賽衛矛、賽矜木等小喬木或灌木，植群型之林冠層級多元。優勢草本地被組成為臺灣瘤足蕨。藤本、附生蕨類之物種頗豐，如大枝掛繡球、川上氏懸鉤子、山蘇花、擬烏蘇里瓦葦等。

VIII. 臺灣紅豆杉-臺灣灰木型

臺灣紅豆杉-臺灣灰木型海拔分布約 2,217 m，樣區內臺灣紅豆杉及臺灣黃杉各 1 株，胸高直徑皆超過 200 cm。上層林冠由臺灣黃杉及臺灣紅豆杉組成，中層林冠主要由臺灣灰木組成，伴生有高山新木薑子、長葉木薑子、五指山冬青、冬青葉桃仁、玉山灰木等小喬木。灌木由米飯花、假矜木、巒大紫珠、阿里山十大功勞等較優勢；草本物種豐富度亦相當多元，如刺萼寒梅、絞股藍、尖形沿階草、海螺菊、鴛鴦湖細辛、長行天南星等。蕨類植物有斜方複葉耳蕨、細葉複葉耳蕨、華中瘤足、蕨臺灣瘤足、蕨稀子蕨等。

IX. 卡氏櫟-西施花型

本植群型分布之海拔梯度約為 2,168-2,217 m。樹種組成以殼斗科植物為最優勢，屬典型櫟林帶。主要林冠層優勢物種為卡氏櫟，部份生育地有臺灣黃杉、臺灣鐵杉等大徑木零星分布，突出林冠形成林冠突出種，較低之林冠主要由西施花構成，並伴生有狹葉高山櫟、長尾栲、三斗石櫟、高山新木薑子、玉山灰木等。主要地被組成有伏牛花、蔓竹杞、臺灣瘤足蕨等。因環境濕度相當，有不少地生及附生蕨類植物如擬烏蘇里瓦葦、臺灣瘤足蕨、魚鱗蕨、石葦等。

X. 紅檜型

紅檜型位於水管路將近 2.5 k 處，海拔分布約為 2,196 m，生育地近溪溝，環境相當潮濕，有較多濕生陰性植物。紅檜是本區最主要之林冠優勢組成，低層林冠主要以小喬木或灌木之臺灣灰木、毛果矜木、狹瓣八仙花及巒大紫珠等組成。因潮濕之環境，故蕨類之物種相當豐富，有福山氏耳蕨、斜方複葉耳蕨、鐵角蕨及臺灣瘤足蕨等蕨類，草本則由絨莖樓梯草、短角冷水麻、水蓼、鴛鴦湖細辛等物種組成。

灌叢與草本植物社會

XI. 玉山圓柏-玉山杜鵑型

玉山圓柏—玉山杜鵑植群型分布於雪山主峰及其附近區域、圈谷以及雪山主峰，海拔範圍約為 3,500 -3,886 m。本植群型主要植物組成爲玉山圓柏及玉山杜鵑，其因地理環境及氣候等因素，植株呈現匍匐狀及灌木狀，而因此區域多在冬季時降雪至隔年春天融雪，位於較傾斜之地勢融雪時多會挾帶些許土石，故其根系更甚者整株皆埋於土石下，惟冠幅露出，使其生態介量相較一般上木調查較爲艱鉅。植物組成除了玉山圓柏及玉山杜鵑尚有玉山小蘗、高山白珠樹、玉山薔薇、雪山翻白草、玉山當歸等。

XII. 玉山箭竹-高山芒型

玉山箭竹—高山芒植群型分布於七卡山莊至三六九山莊沿線部分地區，海拔分布約為 2,895-3,226 m。優勢植物爲玉山箭竹與高山芒外，並有豐富之菊科、百合科植物伴生，例如一枝黃花、森氏山柳菊、玉山毛蓮菜、臺灣粉條兒菜、巒大當藥、臺灣百合等，以及臺灣龍膽、黃花龍膽、以及高山白珠樹、假繡線菊、高山薔薇等木本低矮灌木，蕨類植物以玉山石松、絨假紫萁數量較豐。臺灣部份生育地尚有臺灣冷杉、玉山杜鵑、紅毛杜鵑、刺柏、玉山圓柏等木本植物入侵，形成高山疏林之景緻。

XIII. 高山芒型

高山芒植群型位於三六九山莊進入黑森林附近之草生地，其多與玉山箭竹形成不同群落。高山芒於此植群型佔絕對之優勢，伴生植物有臺灣地楊梅、玉山當歸、臺灣藜蘆、玉山石竹等多年生草本。

XIV. 高山艾-羊茅型

高山艾-羊茅植群型位於圈谷往雪山主峰沿線之岩生地，分布海拔約 3,700-3,800 m，生育地較貧瘠且日溫差變動幅度大，組成多爲菊科、禾本較耐逆境環境之物種，以高山艾、羊茅佔有優勢，伴生玉山卷耳、玉山石竹、梅花草、玉山薄雪草、穗花佛甲草、南湖蒿草等伴生植物。

(三)森林植物社會之族群結構

本研究將不同森林植物社會之主要木本植物組成，依其生長型進行徑級及該徑級出現株數之分布關係繪製成直方圖(圖 7-7)，了解主要組成樹種在植群型之齡級分布，用以表示族群動態。玉山圓柏型(VI)之優勢組成為玉山圓柏，其徑級結構成反 J 型(圖 7-7a)，由於玉山圓柏具有相當長的壽命，反映玉山圓柏在此植物社會中仍可持續優勢。臺灣冷杉在臺灣冷杉亞型(I₁)植物社會的徑級結構亦呈現反 J 型(圖 7-7b)，與歐辰雄(2008)研究之結構相同，反映其為此植物社會優勢組成。雖玉山圓柏與臺灣鐵杉分布在臺灣冷杉型(I)的數量較少，但其徑級結構亦呈現反 J 型(圖 7-7c)，此乃玉山圓柏與臺灣鐵杉在此植物社會皆非屬其最適界，而無法與臺灣冷杉競爭所致。巒大花楸-冷杉亞型(I₃)大多屬草原與森林植物社會之推移帶，巒大花楸之徑級結構呈反 J 型(圖 7-7d)，可能反映巒大花楸仍可持續一段時期。

臺灣二葉松在臺灣二葉松型(III)之徑級結構呈現反 J 型(圖 7-7e)，反映渠等可在在此植物社會維持較長一段時間；然臺灣二葉松為一陽性樹種，常見火燒後演替初期建立其族群(陳明義等，1987；呂金誠，1990；呂金誠，2002；賴國祥，2005)，亦可反映出本區為經常發生火燒，造成不同年代建造而相對異質的臺灣二葉松林型。臺灣雲杉在本區幾未見有大徑級之林木，多為人工林，其徑級結構呈反 J 型(圖 7-7f)，多為稚樹，反映其造林時期不長所致，然此區之臺灣雲杉多數生長不良，尤以造林於嶺線者。臺灣赤楊為臺灣二葉松型或臺灣雲杉型入侵之陽性樹種，其徑級結構呈反 J 型(圖 7-7f)，反映其在渠等植物社會中仍可維持一段時期。

狹葉高山櫟、卡氏槲、三斗石櫟、高山新木薑子、玉山假沙梨、臺灣灰木、阿里山灰木、西施花等(圖 7-7g, 7-7h, 7-7i, 7-j and 7-7l)在高山新木薑子-狹葉高山櫟-阿里山灰木型(VII)、臺灣紅豆杉-臺灣灰木型(VIII)、卡氏槲-西施花型(IX)和紅檜型(X)等櫟林帶植物社會中，其徑級結構皆呈現反 J 型，顯示渠等為櫟林帶演替後期至極盛相之主要組成，若未經干擾將可長期維持其族群。栓皮櫟、化香樹與臺灣胡桃為栓皮櫟-化香樹型(IV)之主要組成，化香樹與臺灣徑級呈反 J 型(圖 7-7k)，顯示其可持續在此等植物社會維持其族群，然栓皮櫟之徑級雖略呈反 J 型(圖 7-7k)，但在稚樹部份開始減少，顯示其族群數量可能在此植物社會後續的演替過程將減少，反映出栓皮櫟為陽性樹種的特性。

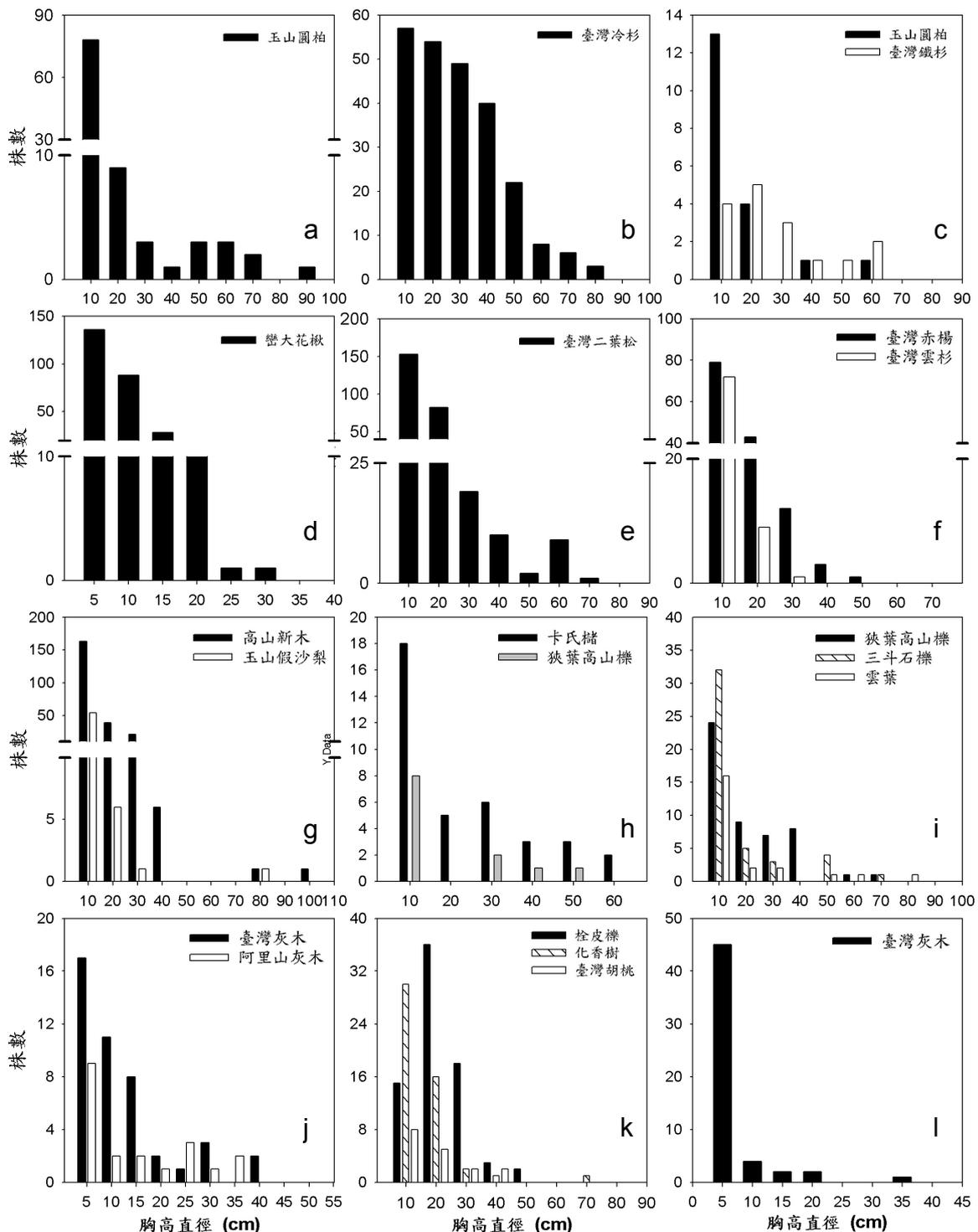


圖 7-7 雪山主峰線高山生態系各植物社會之族群齡級分布圖。

(四)植物社會與環境之關係

本研究將雪山主峰線高山生態系之各植物社會依海拔高低進行繪製垂直分布圖(圖 7-8)。臺灣二葉松型分布海拔梯度最大，栓皮櫟-化香樹型分布海拔最低，玉山圓柏-玉山杜鵑分布海最高，與高山艾-羊茅型為圈谷之亞寒帶高山植群帶。高山新木薑子-狹葉高山櫟-阿里山灰木型、臺灣紅豆-臺灣灰木型、卡氏

櫛-西施花型、紅檜型等為涼溫帶櫟林帶上層之植物社會。

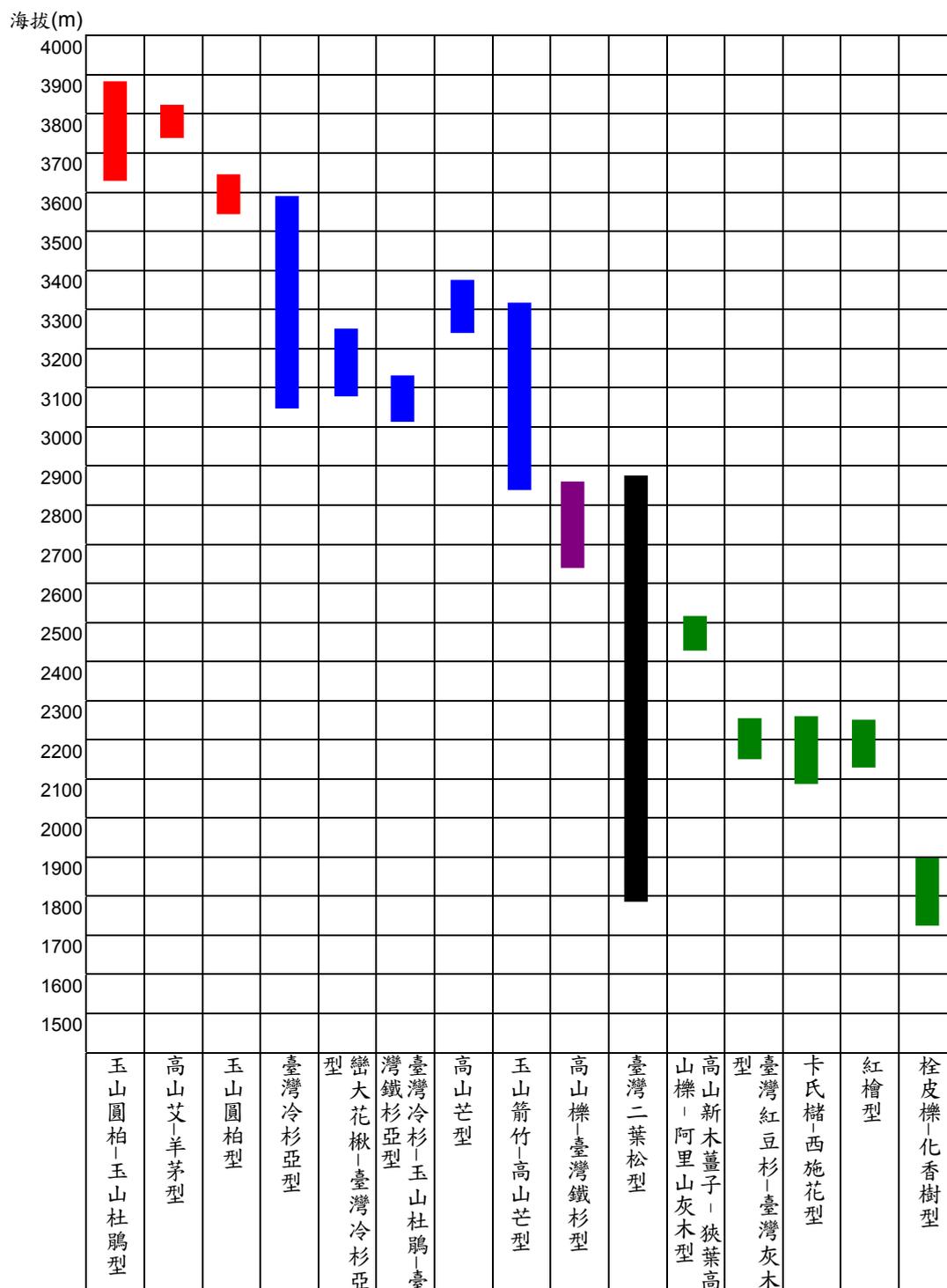


圖 7-8 雪山主峰線高山生態系植物社會海拔垂直分布圖。

39 個森林植物樣區以 DCA 分布序列法進行分析(圖 7-9)，DCA 排序結果顯示與矩陣群團分析之樹形圖(圖 7-6)分群結果大致相符。DCA 分布序列將各植物社會排序研究區域之變異資訊(表 7-3)，特徵根越大，其對分析資料之變異解釋

能力相對較大，由累積變異解釋率可了解各排序軸呈現樣區空間分布時所能提供之解釋程度。

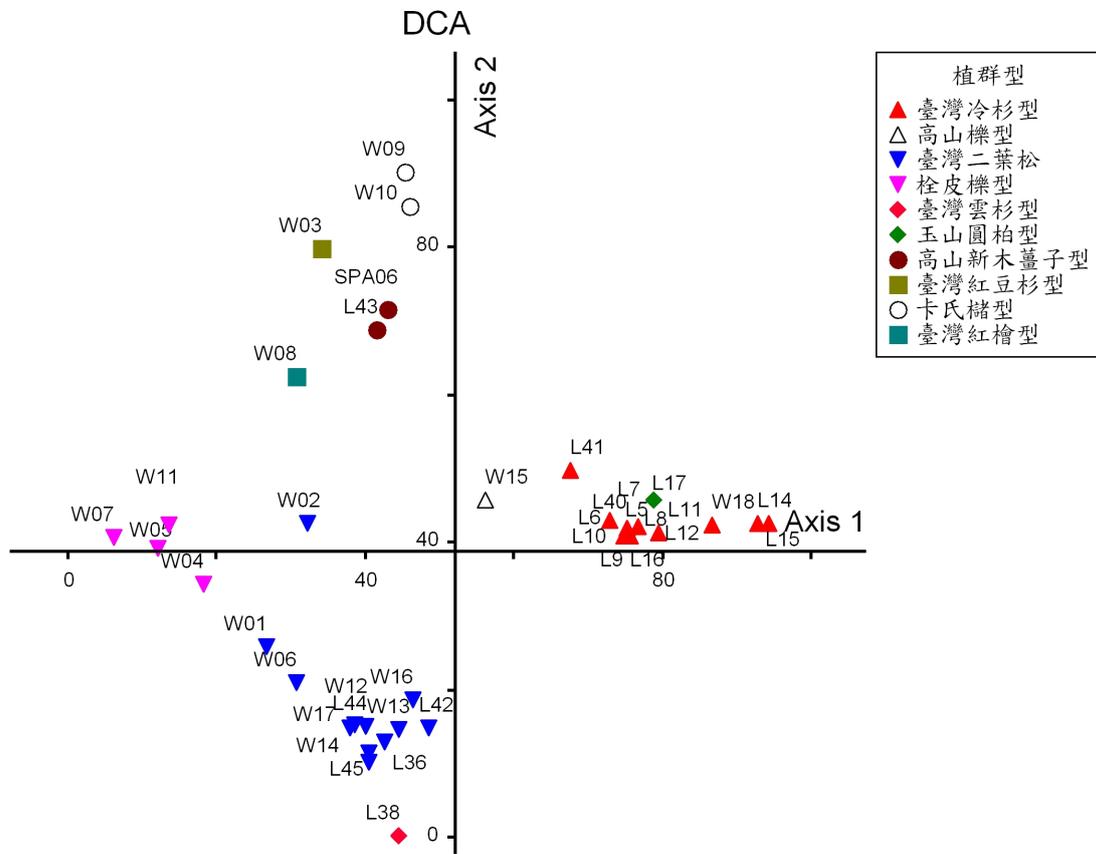


圖 7-9 雪山主峰線高山生態系 39 個植物社會以 DCA 分布序列法之第一軸與第二軸之空間分布。

表 7-3 雪山主峰線高山生態系各樣區 DCA 前三軸之軸長、特徵根、變異解釋率及累積變異解釋率統計表

	軸長	特徵根	變異解釋率	累積變異解釋率
第一軸	10.787	0.958	0.104	0.104
第二軸	6.351	0.801	0.087	0.190
第三軸	4.785	0.455	0.049	0.240

植群於 DCA 雙序圖(biplot)呈現之結果，由第一排序軸左至右，植群分布呈現較高之海拔梯度，由 DCA 演算而得前三軸與樣區調查之環境因子進行相關分析(表 7-4)，第一軸與海拔因子相關性為 0.935，全天光因子與第一軸相關性為 0.696，顯示第一軸引申的環境梯度包括海拔及全天光，其餘兩軸則與環境因子間之相關性較低。DCA 分布序列法為將生物社會之物種介量依加權平均法

(weight average) 演算後推得各植物社會之排序分數，藉此反映出各生育地之環境及物種組成之相關性或歧異性，因此可藉由雙序圖之結果了解各植物社會彼此之空間分布上的趨勢，進一步將相近之植物社會分類，如第二軸左側密集之樣區點位多為台灣二葉松型之植物社會，然此植群類型之主優勢物種雖為臺灣二葉松，但植群型內組成歧異性大，因此要再進一步細分該植群型之亞型仍須仰賴其他分析方法，以佐證並提供不同之植群分類參考依據。

表 7-4 雪山主峰線高山生態系各樣區 DCA 前三軸排序值與環境因子之相關表

	第一軸			第二軸			第三軸		
	r	r-sq	tau	r	r-sq	tau	r	r-sq	tau
海拔	0.935	0.874	0.742	-0.045	0.002	-0.001	-0.213	0.045	-0.335
坡度	-0.338	0.114	-0.206	0.202	0.041	0.085	-0.229	0.052	0.019
坡向	-0.242	0.059	-0.221	-0.289	0.084	-0.238	0.415	0.172	0.325
全天光	0.696	0.485	0.512	-0.435	0.189	-0.176	-0.151	0.023	-0.160

雪山主峰線高山生態系各樣區以 CCA 分布序列法分析結果(圖 7-10)。環境因子之相關性分析(表 7-5)顯示，海拔與全天光有高正面相關，與坡度及坡向雖都呈現較不明顯負相關，坡度與坡向與其餘兩個環境因子之相關性較低。由環境因子代入 CCA 分布序列之演算法(回歸式)，可了解環境與排序之關係(表 7-6)；第一軸與海拔高及全天光呈現強烈正相關，而與坡度及坡向呈現負相關。第二軸則與全天光呈現負相關，但與其他環境因子較無明顯之相關性。第三軸與坡度呈現正相關，與坡向呈現較明顯之附相關。

表 7-5 雪山主峰線高山生態系各樣區樣區環境相關性矩陣表

	海拔高	坡度	坡向	全天光
海拔高	1.000	-0.419	-0.196	0.772
坡度	-0.419	1.000	-0.377	-0.396
坡向	-0.196	-0.377	1.000	0.010
全天光	0.772	-0.396	0.010	1.000

CCA 分布序列法前三軸之統計量，由特徵根與總變異量(total inertia)之比值(表 7-7)，可了解各軸對樣區資料之變異量的解釋程度。第一軸為 9.7，第二軸為 5.5，第三軸為 3.2，呈現遞減趨勢；因此，一般用於分析資料時，通常是使用前兩軸作為主要雙序圖之呈現軸，然雪山的植群資料以 CCA 分析結果第一軸及第二軸在變異解釋率相對較第三軸高，但環境因子與各軸之相關性(表 7-5)，第二軸除了全天光因子有較明顯之相關性，與其他環境因子相關性皆較其他軸低，

故呈現圖表以第一軸及第三軸表現雖相對上會損失些許對資料變異的解釋率，但可較為明確了解環境因子與物種及樣區之關係。

表 7-6 雪山主峰線高山生態系各樣區環境因子與 CCA 之前三軸相關性及演算分數表

環境因子	相關性			演算分數		
	第一軸	第二軸	第三軸	第一軸	第二軸	第三軸
海拔高	0.999	-0.016	0.036	0.972	-0.014	0.027
坡度	-0.458	0.091	0.754	-0.445	0.076	0.555
坡向	-0.182	-0.305	-0.834	-0.178	-0.258	-0.614
全天光	0.762	-0.645	0.038	0.741	-0.544	0.028

雪山主峰線各樣區排序圖第一軸與海拔因子及全天光因子正相關(表 7-6)，與坡度及坡向負相關。第三軸與坡度正相關，與坡向呈現負相關。各環境因子與物種資料之相關性依大至小為海拔、全天光、坡度及坡向。由 CCA 雙序圖可將各樣區大致區分成數群(圖 7-10)，與矩陣群團分析之植物社會分群結果(圖 7-6)大致相符。影響各植群型之變異主要因子為海拔梯度，雙序圖的最右下方為圓柏植群型，左下方為研究區域最低海拔之—化香樹型型。臺灣二葉松植群型空間分布於較大環境梯度，由較低海拔至較高海拔皆有分布，此因臺灣二葉松的適生範圍相當廣，再者雪山主峰沿線嶺線多經火燒干擾或為人工次生林，橫跨涼溫帶櫟林帶至冷溫帶之鐵杉雲杉林帶。

表 7-7 雪山主峰線高山生態系各樣區 CCA 前三軸相關統計表

總變異量：9.2372	第一軸	第二軸	第三軸
特徵根	0.897	0.506	0.295
物種資料之變異			
變異解釋率	9.7	5.5	3.2
累積變異解釋率	9.7	15.2	18.4
Kendall 相關(物種-環境)	0.879	0.627	0.432

註:相關性是由物種介量演算得之樣區分數與環境作回歸式演算之樣區分數比較

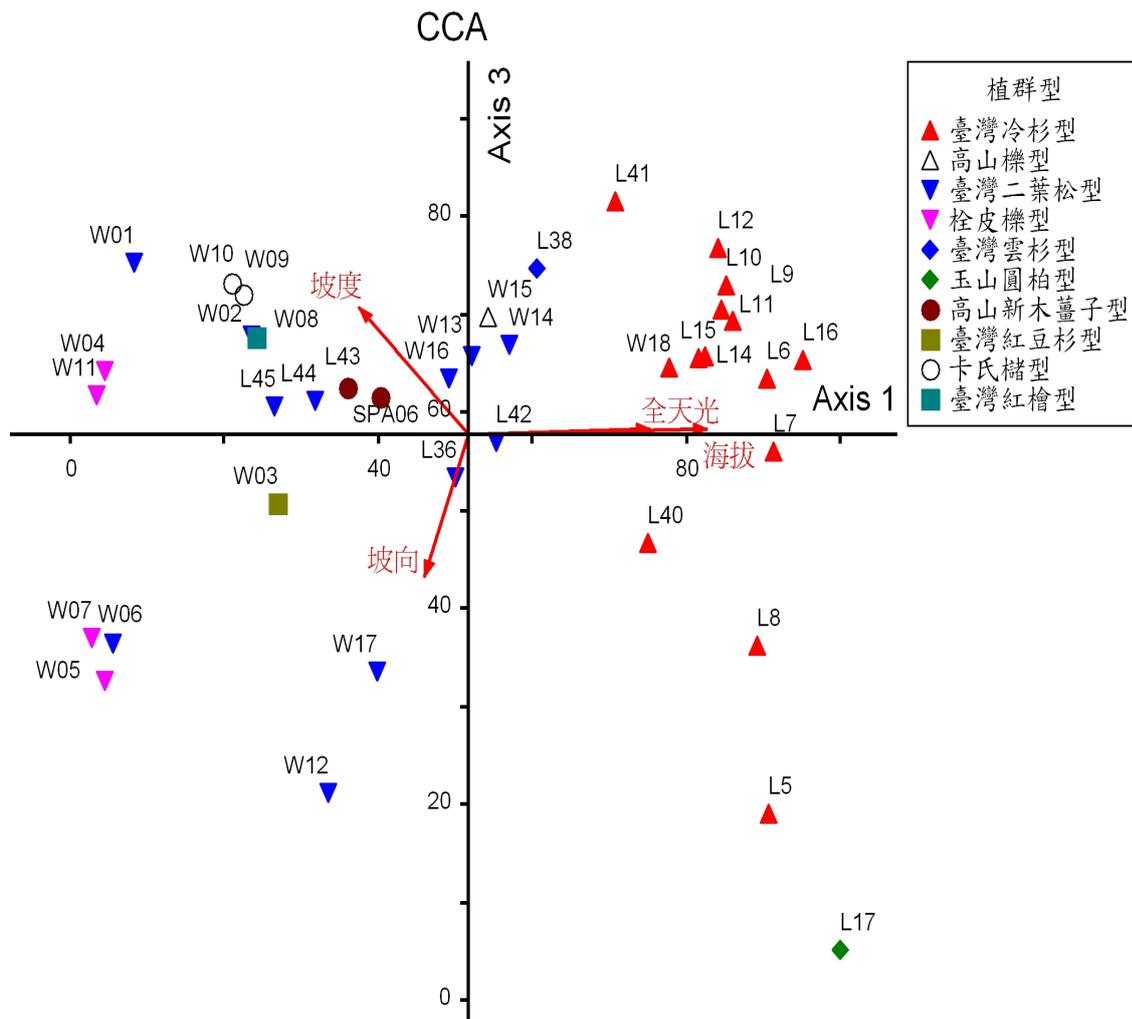


圖 7-10 雪山主峰線高山生態系各樣區 39 個植物社會以 CCA 分布序列法之第一軸與第三軸之空間分布。

(五)植物社會生活型譜

依生活型譜(life-form spectrum)或生物譜(biological spectrum)是指一地區或某一社會中，全部種類所屬各類生活型的百分比率(蘇鴻傑、劉崇瑞，1984；宋永昌，2001)。雪山主峰線植物社會生活型譜比較發現(表 7-8、圖 7-11)，不同植物社會之生活型譜明顯差異。生活型譜反映某一地區或某一社會中植物與環境，尤其與氣候之相互關係。藉由比較不同地區或不同社會之生活型譜，可以了解不同地區或不同社會的環境特色，特別是氣候特徵。生活型譜反映植物社會特徵，每個植物社會由各種不同生活型植物組成，生活型譜的差異反映出在植物社會結構與所處環境的差異。例如熱帶雨林中，高位芽植物占絕對優勢，一年生、地下芽植物與地面芽植物幾乎不出現，反映其整年有利於植物生長之氣候條件。地面芽植物是對於冬季嚴寒最成功的適應，在溫帶地區，尤其是草原中佔有優勢。一年生植物是乾燥氣候地區的代表，在草原與沙漠地區比例較高，地下芽植物則適應高山與極地氣候。

表 7-8 雪山主峰線植物社會之生活型譜比較表

植群型	生活型	高位芽 植物 (P)	地上芽 植物 (Ch)	地面芽 植物 (H)	地表芽 植物 (Cr)	一年生 植物 (T)	蕨類 植物 (Ph)	生活型多 樣性 (Shannon)	總種 數
I. 臺灣冷杉型									
I ₁ 臺灣冷杉		14	6	11	19	4	6	0.642	60
I ₂ 臺灣冷杉-玉山杜鵑-臺灣鐵杉		8	0	1	1	0	0	0.278	10
I ₃ 巒大花楸-臺灣冷杉亞型		22	6	9	18	2	7	0.598	64
II. 高山櫟-臺灣鐵杉型		12	3	4	1	0	6	0.462	26
III. 臺灣二葉松型									
III ₁ 臺灣二葉松-臺灣雲杉亞型		56	13	8	11	3	13	0.503	104
III ₂ 栓皮櫟-臺灣赤楊-臺灣二葉松亞型		18	2	1	1	0	5	0.288	27
III ₃ 狹葉高山櫟-臺灣赤楊亞型		38	4	2	2	0	8	0.279	54
IV. 栓皮櫟-化香樹型									
IV ₁ 栓皮櫟亞型		12	4	3	0	0	4	0.395	23
IV ₂ 栓皮櫟-化香樹亞型		48	13	5	0	1	12	0.353	79
IV ₃ 臺灣胡桃-栓皮櫟亞型		10	10	5	1	0	4	0.511	30
V. 臺灣雲杉型		3	3	2	1	0	1	0.569	10
VI. 玉山圓柏型		5	6	3	11	2	2	0.629	29
VII. 高山新木薑子-狹葉高山 櫟-阿里山灰木型		46	3	3	0	0	14	0.190	66
VIII. 臺灣紅豆杉-臺灣灰木型		38	6	4	1	0	7	0.321	56
IX. 卡氏槲-西施花型		33	0	0	1	0	9	0.058	43
X. 紅檜型		24	4	3	0	1	5	0.350	37
XI. 玉山圓柏-玉山杜鵑型		5	6	7	18	2	2	0.599	40
XII. 玉山箭竹-高山芒型		12	7	9	8	1	2	0.631	39
XIII. 高山芒型		4	3	7	5	0	0	0.581	19
XIV. 高山艾-羊茅型		1	5	2	13	0	3	0.438	24

臺灣冷杉型(I)₃ 個亞型(I₁-I₃)生活型譜明顯不同，臺灣冷杉亞型(I₁)多位於黑森林內(圖 7-11a)，玉山箭竹未出現於地被，地被組成與臺灣冷杉-玉山杜

鵲-臺灣鐵杉亞型(I₂) (圖 7-11b)明顯不同；前者物種生活型以地面芽植物較優勢，而後者多位於三六九山莊至東峰，以玉山箭竹為絕對地被優勢組成，物種組成單純，高位芽植物佔絕對優勢。歐辰雄(2008)調查發現，優勢的玉山箭竹是地被物種多樣性低的主要因素。巒大花楸-臺灣冷杉亞型(I₃)為草原進入森林植物社會的推移帶(圖 7-11c)，群落物種組成兼具草原與森林群落，亦反映出生活型之多樣。

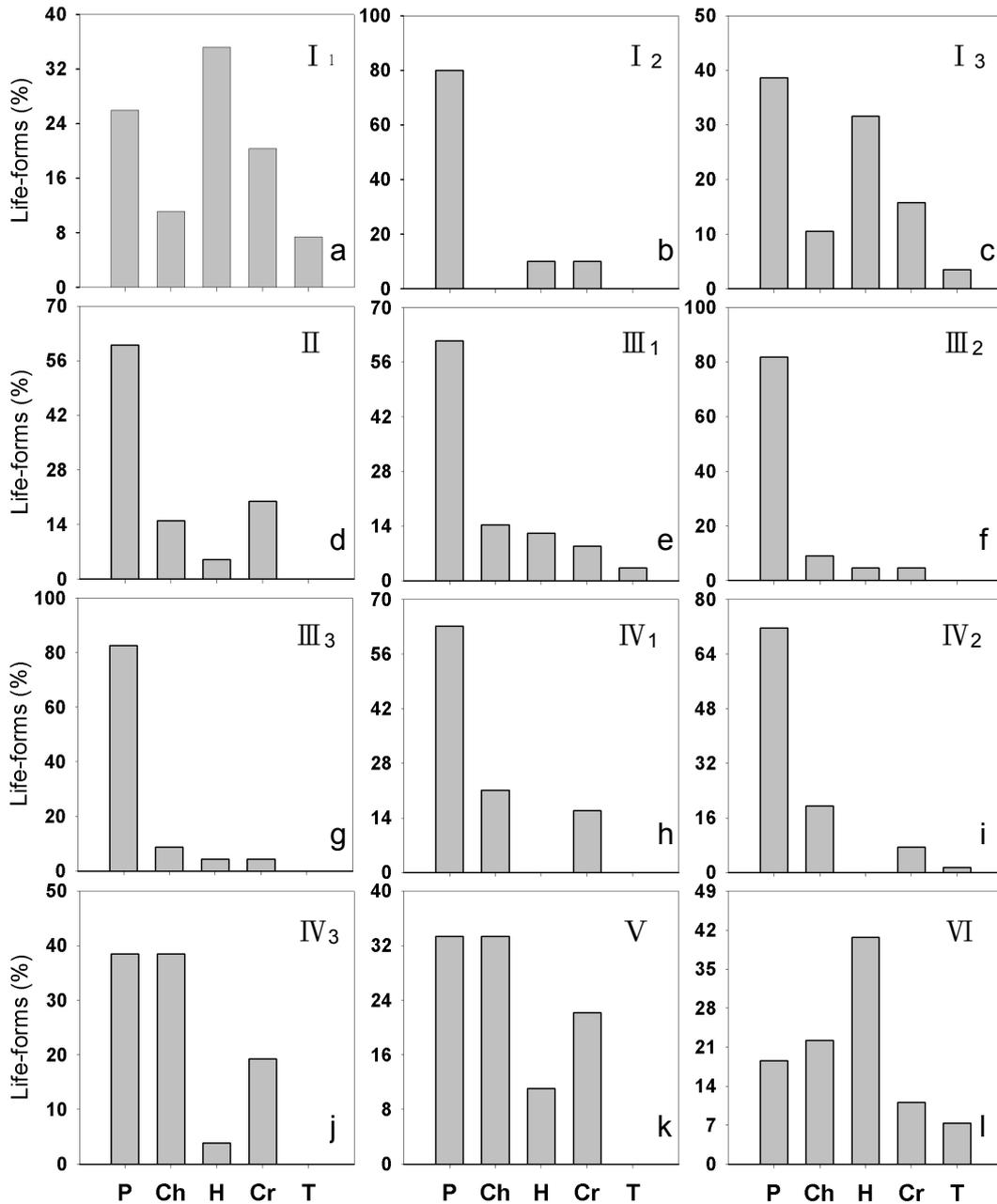


圖 7-11 雪山主峰線高山生態系各植物社會之生活型譜。P: 高位芽植物；Ch: 地上芽植物；H: 地面芽植物；Cr: 地下芽植物；T: 一年生植物。左上圖代號與植群型代號相同。

高山櫟-臺灣鐵杉型(II)與臺灣二葉松型(III₁-III₃)位於櫟林帶與臺灣鐵杉林

帶之間，生活型以高位芽植物組成最為優勢(圖 7-11d~ 7-11g)，反映其生育地環境不若臺灣冷杉型惡劣；另一方面，檢視臺灣二葉松植群型之物種組成顯示發現，其高位芽植物種類以灌木型為多，可能反映出其在演替過程中，光度尚且充足，致使灌木植物佔據生育地，反映其植物社會結構特性。栓皮櫟-化香樹型(IV₁-IV₃)植物社會之地面芽植物與一年生植物種類比例低或缺乏(圖 7-11h~7-11j)，可能反映受臺灣蘆竹優勢使地被物種組成較少所致。臺灣雲杉型(V)位於哭坡上，因造林困難而形成高山疏林景緻，除未發現一年生植物外，其餘生活型物種比例大略相若(圖 7-11k)。玉山圓柏型(VI)位於黑森林至圈谷之邊緣，生活型譜以地面芽植物最多(圖 7-11l)，生活型譜與臺灣冷杉亞型相似。

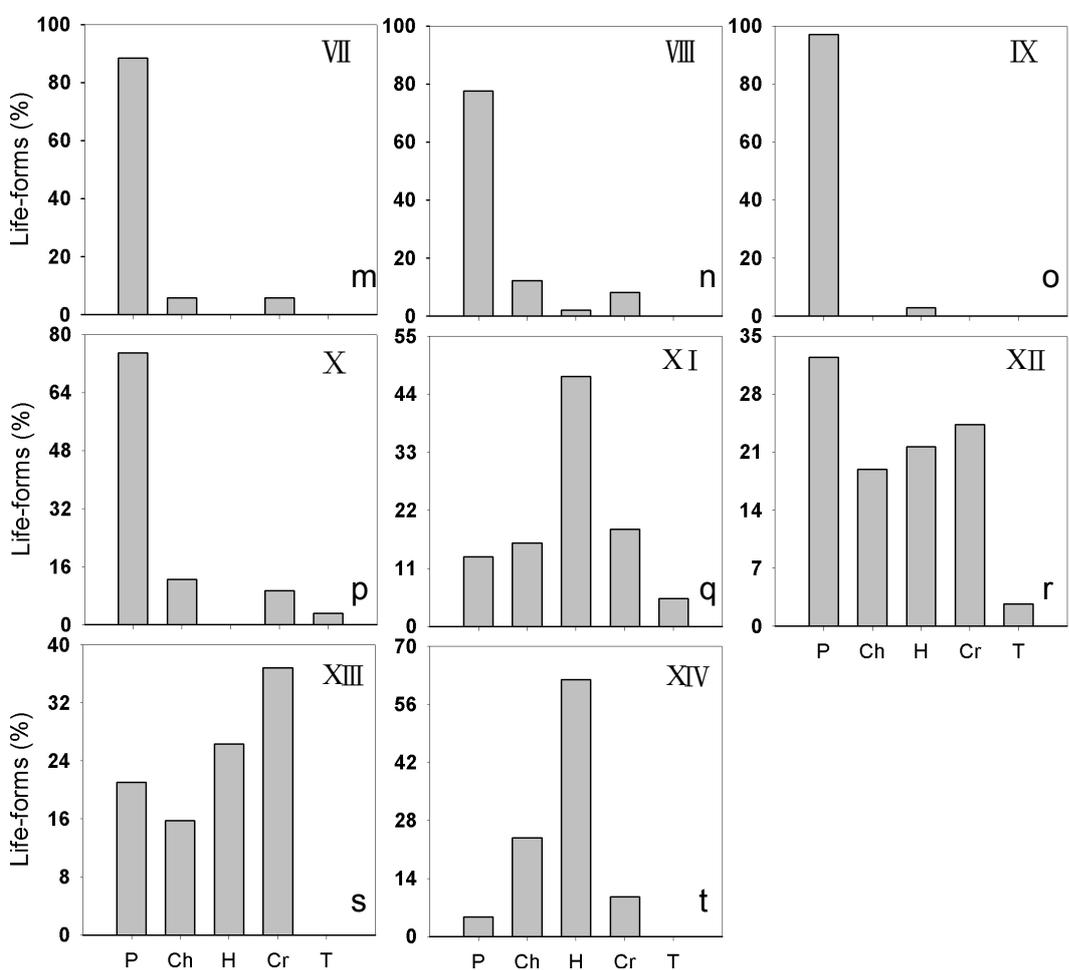


圖 7-11 雪山主峰線高山生態系各植物社會之生活型譜(續)。P: 高位芽植物；Ch: 地上芽植物；H: 地面芽植物；Cr: 地下芽植物；T: 一年生植物。左上圖代號與植群型代號相同。

高山新木薑子-狹葉高山櫟-阿里山灰木型(VII)、臺灣紅豆杉-臺灣灰木型(VIII)、卡氏櫟-西施花型(IX)與紅檜型(X)為櫟林帶之植群，其生活型譜皆以高位

芽植物最為優勢(圖 7-11m~7-11p)，其可能因上述植物社會皆為演替後期植物社會，林下地主組成大多以耐陰性林冠優勢組成之幼木，或陰性植物為主。高山新木薑子-狹葉高山櫟-阿里山灰木型(VII)可能因臺灣瘤足蕨較優勢，致使其他具相同生態位之地上芽、地面芽植物等種類無法與競爭。卡氏櫛-西施花型(IX)以高位芽植物之木本植物佔絕對優勢，地被層以零星耐陰性灌木或幼木點綴組成，缺乏地上芽植物等草本植物，可能反映出林下光度低之生育地環境。

位於雪山圈谷灌叢草本植物社會的玉山圓柏-玉山杜鵑(XI)與高山艾-羊茅型(XIV)的生活型譜相似(圖 7-11q 和 7-11t)，皆以地面芽植物最優勢，圈谷地區的氣候環境相對惡劣，高位芽植物種類皆以灌木型式存在，種類較少，加上圈谷地區以玉山圓柏和玉山杜鵑較優勢，可能使其他木本植僅能在此二種植物之空隙中生存，而玉山圓柏和玉山杜鵑構成之灌叢結構所形成之微環境亦為地上芽、地面芽、地下芽及一年生植物之生存棲所。玉山箭竹-高山芒型(XII)與高山芒型(XIII)皆分布自哭坡嶺線(ca. 2,700 m)至三六九山莊後方(ca. 3300 m)，因組成優勢程度不同，生活型譜亦有所差異。玉山箭竹-高山芒型之高位芽植物比例約略高於地上芽、地面芽和地下芽植物(圖 7-11r)，此生活型譜結構常形成高山疏林景緻；高山芒型以草本植物組成較優勢(圖 7-11s)，高位芽植物比例略低，高山芒在此生育地中常形成叢生狀，與在其玉山箭竹-高山芒型散生之型式不同，可能反映出叢生狀的高山芒限制高位芽植物的入侵。

(六)雪山主峰線沿線植群之物種多樣性

本研究雪山主峰線進行樣區調查，探討喬木層與地被層物種多樣性沿海拔梯度變化趨勢。各樣區喬木層與地被層物種多樣性以 Margalef's richness、Shannon's index of diversity、Simpson's index of diversity 及 Pielou's evenness 進行比較(表 7-9 和 7-10)，並以海拔梯度為 X 軸，多樣性指數為 Y 軸繪製各樣區之多樣性沿海拔變化之散布圖(圖 7-12)。

表 7-9 雪山主峰線高山生態系各樣區喬木層之物種多樣性簡表

植群型	樣區	海拔高 (m)	物種數	個體數	Margalef's 指數	Shannon 指數	Simpson 指數	均勻度 指數		
I	I ₁	L5	3,435	2	18	0.797	0.266	0.1388	0.384	
	I ₁	L6	3,440	1	18	0.000	-	0.000	-	
	I ₁	L8	3,450	1	12	0.000	-	0.000	-	
	I ₁	L9	3,345	1	13	0.000	-	0.000	-	
	I ₁	L10	3,370	1	29	0.000	-	0.000	-	
	I ₁	L12	3,365	2	31	0.671	0.269	0.1407	0.388	
	I ₁	L16	3,550	3	50	1.177	0.508	0.2642	0.463	
	I ₁	L40	3,100	3	16	1.661	0.437	0.2147	0.398	
	I ₁	L7	3,450	3	25	1.431	0.747	0.4613	0.68	
	I ₁	L11	3,375	2	51	0.586	0.629	0.4373	0.908	
	I ₂	L41	3,115	4	122	1.438	1.156	0.6652	0.834	
	I ₃	L14	3,300	7	177	2.669	1.217	0.5613	0.626	
	I ₃	L15	3,310	6	104	2.479	1.317	0.6726	0.735	
	I ₃	W18	3,229	3	98	1.004	0.52	0.267	0.473	
	II		W15	2,778	7	36	3.855	1.585	0.7452	0.815
III	III ₁	L36	2,695	4	59	1.694	1.108	0.6289	0.799	
	III ₁	L44	2,380	8	87	3.609	1.519	0.7146	0.731	
	III ₁	W12	2,340	6	86	2.585	1.34	0.6565	0.748	
	III ₁	W17	2,451	8	136	3.281	1.669	0.7564	0.803	
	III ₁	L45	2,280	5	47	2.392	0.88	0.4245	0.547	
	III ₁	W13	2,750	10	449	3.393	1.469	0.6658	0.638	
	III ₁	W16	2,692	8	145	3.239	1.604	0.7288	0.771	
	III ₁	L42	2,810	6	47	2.99	1.593	0.7687	0.889	
	III ₁	W14	2,839	1	3	0.000	-	0.000	-	
	III ₁	W06	1,832	6	55	2.873	1.535	0.7491	0.857	
	III ₂	W01	1,949	10	70	4.878	1.921	0.8147	0.834	
	III ₃	W02	2,193	12	211	4.733	1.797	0.738	0.723	
	IV	IV ₁	W04	1,881	4	43	1.837	0.715	0.3509	0.516
		IV ₂	W05	1,809	9	62	4.463	1.447	0.6736	0.659
		IV ₂	W11	1,815	15	75	7.466	2.181	0.8316	0.805
IV ₃		W07	1,773	4	28	2.073	1.011	0.5791	0.729	
V		L38	2,920	1	6	0.000	-	0.000	-	
VI		L17	3,570	2	100	0.5	0.147	0.065	0.212	
VII	VII ₁	L43	2,420	11	71	5.402	1.945	0.8161	0.811	
	VII ₂	SPA06	2,500	28	99	13.53	2.597	0.8781	0.779	
VIII		W03	2,217	17	116	7.75	2.279	0.8408	0.804	
IX		W09	2,217	15	189	6.15	2.244	0.8635	0.829	
		W10	2,168	18	129	8.055	2.358	0.8721	0.816	
X		W08	2,196	11	91	5.105	1.847	0.7812	0.770	

表 7-10 雪山主峰線高山生態系各樣區地被層之物種多樣性簡表

植群型	樣區	海拔高	物種數	Margalef's 指數	Shannon 指數	Simpson 指數	均勻度 指數
I	I ₁	L5	3,435	30	10.049	2.208	0.720
	I ₁	L6	3,440	29	9.755	2.737	0.892
	I ₁	L8	3,450	24	8.093	1.982	0.689
	I ₁	L9	3,345	20	6.836	2.628	0.913
	I ₁	L10	3,370	19	6.704	2.171	0.808
	I ₁	L12	3,365	39	12.783	3.39	0.960
	I ₁	L16	3,550	29	10.580	2.774	0.911
	I ₁	L40	3,100	6	2.990	0.874	0.389
	I ₁	L7	3,450	16	5.506	2.169	0.844
	I ₁	L11	3,375	34	11.016	2.985	0.916
	I ₂	L41	3,115	10	4.099	1.457	0.616
	I ₃	L14	3,300	45	15.726	3.21	0.937
	I ₃	L15	3,310	44	15.638	3.355	0.953
	I ₃	W18	3,229	26	9.580	2.466	0.825
II		W15	2,778	24	9.460	1.963	0.662
III	III ₁	L36	2,695	18	7.657	2.121	0.823
	III ₁	L44	2,380	18	7.295	2.049	0.786
	III ₁	W12	2,340	15	5.665	1.982	0.797
	III ₁	W17	2,451	20	8.058	2.096	0.786
	III ₁	L45	2,280	35	13.920	2.565	0.843
	III ₁	W13	2,750	23	8.590	2.207	0.811
	III ₁	W16	2,692	17	6.819	1.967	0.763
	III ₁	L42	2,810	14	5.728	1.837	0.756
	III ₁	W14	2,839	18	6.786	1.898	0.705
	III ₁	W06	1,832	21	10.914	1.805	0.625
	III ₂	W01	1,949	25	11.757	2.136	0.749
	III ₃	W02	2,193	51	20.343	2.808	0.817
IV	IV ₁	W04	1,881	21	9.253	2.191	0.800
	IV ₂	W05	1,809	19	10.165	1.907	0.677
	IV ₂	W11	1,815	68	28.302	3.57	0.946
	IV ₃	W07	1,773	35	14.776	3.024	0.934
V		L38	2,920	15	6.169	1.797	0.746
VI		L17	3,570	35	12.951	2.95	0.925
VII	VII ₁	L43	2,420	27	11.009	2.235	0.743
	VII ₂	SPA06	2,500	47	16.942	2.899	0.878
VIII		W03	2,217	47	17.807	3.356	0.952
IX		W09	2,217	26	11.845	2.681	0.883
		W10	2,168	31	14.019	2.885	0.909
X		W08	2,196	31	13.977	2.593	0.856
XI		L18	3,620	29	10.816	2.513	0.867
		L19	3,740	25	9.729	2.298	0.814
		L21	3,886	32	10.922	2.694	0.851
XII		L37	2,895	27	9.524	2.401	0.838
		L39	3,115	22	8.101	2.265	0.815
		L46	3,060	20	6.691	2.212	0.815
XIII		L13	3,315	22	7.814	2.169	0.756
IX		L20	3,755	26	9.035	2.741	0.908

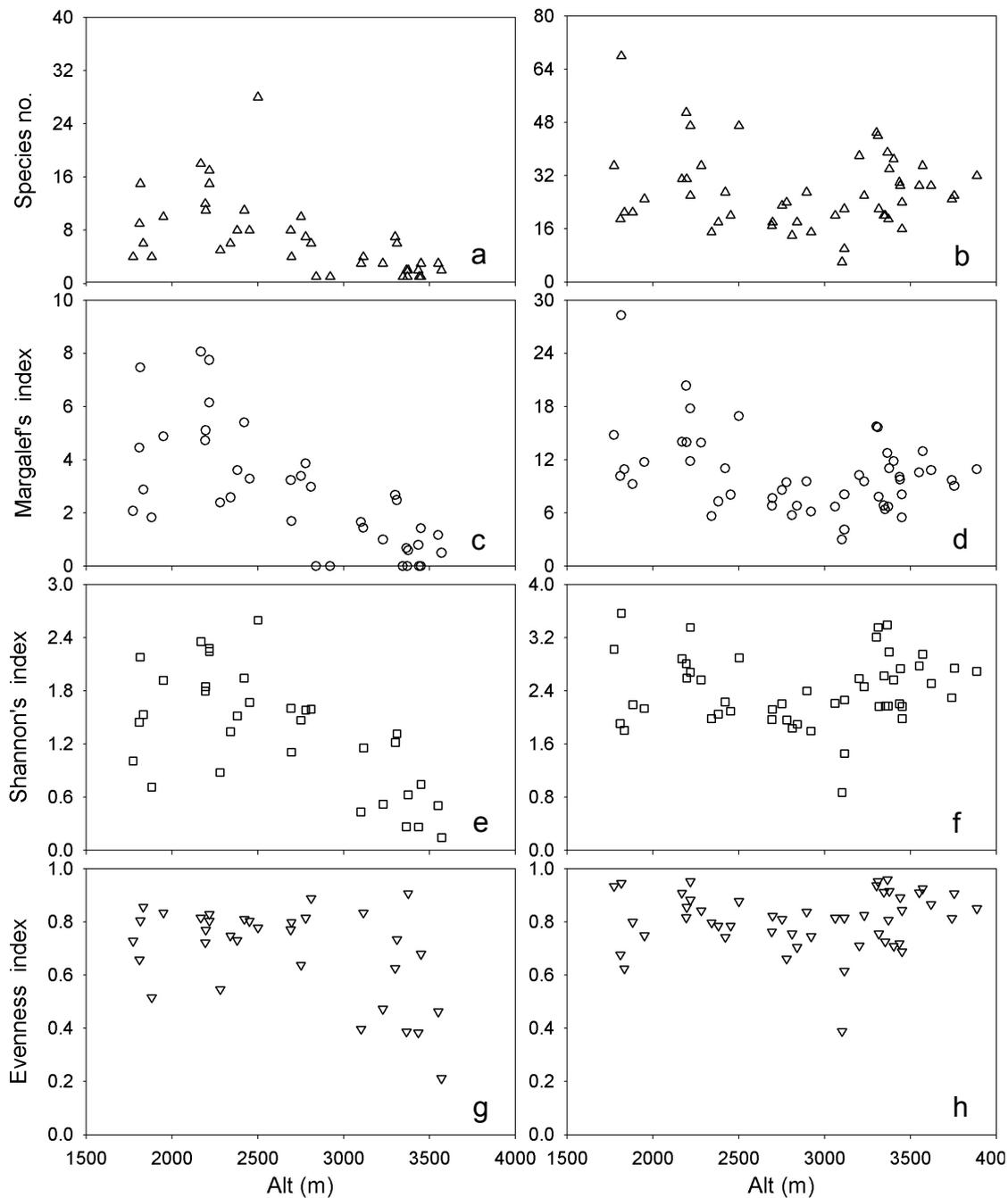


圖 7-12 雪山主峰線高山生態系各樣區喬木層與地被層物種多樣性沿海拔梯度之變化。a, c, e and g 為喬木層之物種豐富度、多樣性及均勻度指數；b, d, f and h 為地被層之豐富度、多樣性及均勻度指數。

雪山主峰線植物社會之喬木層木本植物沿海拔梯度爬升，物種豐富度些許上升，約海拔 2,200 m 高峰後木本植物種類開始遞減(圖 7-12a, c)；Shannon 指數(圖 7-12e)及 Simpson 指數亦為小幅度上升再沿海拔緩緩下降，喬木層木本植物均勻度指數於海拔 1,600-3,100 m 波動不明顯，海拔 3,100-3886 m 開始遞減下降。地

被層之物種豐富度沿海拔上升而遞減，約在 2,800-3,000 m 開始物種豐富度開始上升，但種數增加不若 1,800 m 物種多；Shannon 指數與均勻度指數在海拔 2,800-3,000 m 時最低，約略與物種豐富度與海拔梯度變化相似。

喬木層木本植物在海拔 3,000 m 以下物種多樣性沿海拔上升而增加趨勢，在海拔 3,000 m 以上時喬木層木本植物種類沿海拔上升而遞減，此因 3,000 m 以上常為降雪區域，高山溫度較低，熱量不足以提供作部份木本植物生長發育之需。相較於雪山海拔 3,000 m 以下之物種及環境較多元，雪山地區植群多樣性高，物種數量因上層優勢樹種豐富，使生育地環境之微氣候相當多樣，樣區內不乏大量的附生草本及藤本，空間分布上造就相當多元之結構。在海拔 3,000 m 以上，植群漸漸脫離涼溫帶櫟林帶與冷溫帶之鐵杉雲杉林帶之森林植物社會，開始進入冷溫帶冷杉林帶之森林植物社會，物種組成相對較單純。此結果與陳子英等人 (2008) 臺灣東北部蘭陽河流域之研究一致，渠等研究果顯示物種多樣性指數於較低海拔，因位處雲霧帶下方與楠櫛林帶交接故其林內物種豐富，但隨海拔上升進入檜木群集及台灣鐵杉-台灣雲杉群集，物種數量降低，到了臺灣冷杉群集，上層以冷杉為優勢，地被則以草本為優勢，使該研究區域物種多樣性指數於海拔 3,000 m 處呈現較低。

五、結論與建議

- (一)本團隊共設置6個雪山高山生態系典型植物社會之長期監測樣區供作共同研究之場域，並進行植物社會之分類。分類結果顯示可區分10個森林植物社會和4個灌叢草本植物社會。
- (二)利用矩陣群團分析進行植群分類之結果大致與梯度分析結果相符，海拔為植群分化之主要影響因子，坡度、坡向則影響部份植物社會之分化。
- (三)喬木層與地被層之物種多樣性隨海拔梯度呈現不同的變化趨勢。
- (四)森林植物社會之各主要樹種組成大至呈現反J型，顯示渠等可以在雪山地區維持其族群。
- (五)生活型譜在不同植物社會呈現不同模式，反映在植群形相與結構的特性。
- (六)雪山高山地區生態系面積廣大，植物社會相當多樣；但由於可達性差，部份植物社會離步道較遠致使取樣困難，加上高山地區氣象多變，增加調查難度。因計畫時期略短，加上颱風等因素，致使僅能針對已完成調查之結果略加討論。建議未來針對高山植群調查研究時，應延長調查時間，使取樣數目增加，俾利植群生態之相關分析。

六、參考文獻

- 古心蘭 (1988) 合歡山臺灣冷杉永久樣區之植群分析。國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文。
- 吳勇、蘇智先、方精云 (2006) 沱江源森林群落生物多樣性垂直格局研究。長江流資源與環境 15(4): 447-452。
- 呂金誠 (1999) 武陵地區雪山主峰線植群與植栽應用之研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處八十八年度研究報告。
- 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。
- 呂金誠 (2007) 尖石地區植群生態調查及檜木林結構分析。內政部營建署雪霸國家公園管理處八十八年度研究報告。
- 邱清安 (2006) 應用生態氣候指標預臺灣潛在自然相群之研究。國立中興大學森林學系博士論文。
- 柳樞 (1961) 南坑溪流域森林植物生態之調查。臺灣大雪山林業公司。
- 柳樞 (1963) 小雪山高山草原生態之研究。臺灣省林業試驗所報告第 92 號。
- 柳樞 (1968) 臺灣植物群系之分類。臺灣省林業試驗所報告第 166 號。
- 柳樞 (1971) 臺灣植物社會之分類 II --高山寒原及針葉樹林群系。林試所報告 203: 1-24。
- 唐志堯、方精云 (2004) 植物物種多樣性的垂直分布格局。生物多樣性 12(1): 20-28。
- 莊貴瑜 (1997) 合歡山臺灣冷杉社會樹齡結構與草原推移之研究。國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文。
- 陳玉峰 (1998) 臺灣植被誌 亞高山冷杉林帶與高地草原(上)-第三卷。
- 彭少麟 1996 南亞熱帶森林社會動態學。北京。科學出版社。
- 賀金生、陳偉烈 (1997) 陸地植物群落物種多樣性的梯度變化特徵。生態學報 17(1): 91-99。
- 馮建孟、王襄平、徐成東、楊元合、方精云 (2006) 玉龍雪山植物物種多樣性和社會結構沿海拔梯度的分布格局。山地學報 24(1): 110-116。
- 黃增泉、王震哲、楊國禎、黃星凡、湯惟新 (1988) 雪山—大霸尖山地區植物生態資源先期調查研究報告。內政部營建署。
- 楊遠波 (2004) 太魯閣國家公園高山地區植物資源基礎調查之研究。內政部營建署太魯閣國家公園管理處。
- 劉士華、高信芬、涂禦國、方志強、胡大明、李興貴 (2008) 應用與環境生物學報 14(3): 303-307。

- 劉崇瑞 (1948) 臺灣玉山之高山植物。臺灣省立博物館季刊 1(2): 46-60。
- 劉崇瑞、蘇鴻傑 (1983) 森林植物生態學。臺灣商務印書館股份有限公司。
- 劉業經、呂福原、歐辰雄、賴國祥 (1984) 臺灣高山箭竹草生地之植物演替與競爭機制。中華林學季刊 17(1): 1-32。
- 劉增力、鄭成洋、方精云 (2004) 河北小五台山北坡植物物種多樣性的垂直梯度變化。生物多樣性 12(1): 137-145。
- 歐辰雄 (2002) 雪霸國家公園植群生態調查—大雪山地區。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 歐辰雄 (2003) 雪霸國家公園植群生態調查—尖石地區。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告 92-02。
- 歐辰雄 (2004) 雪霸國家公園植群生態調查—大小劍地區。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 歐辰雄 (2005) 雪霸國家公園植群生態調查—南坑溪地區。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告 94-10。
- 歐辰雄 (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 90-53。
- 歐辰雄 (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 90-53。
- 歐辰雄、呂福原 (1997) 觀霧地區植群生態調查及植栽應用之研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處八十六年度研究報告。
- 賴國祥 (1992) 臺灣亞高山針葉樹林與草生地間推移帶動態結構之探討。國立中興大學植物學研究所博士論文。
- 賴國祥 (2003) 台灣亞高山地區的林火生態。林火生態與管理研討會, 第 48-52 頁。農委會林務局、台灣生物多樣性保育學會。
- 賴國祥 (2005) 合歡北峰台灣二葉松林火燒後之天然更新。特有生物研究 7(1): 61-68。
- 應紹舜 (1976) 大霸尖山高山植群的研究。臺大實驗林研究報告 118: 217-238。
- 蘇鴻傑 (1974) 臺灣高山地區之香柏社會。臺大實驗林研究報告 113: 101-112。
- Baruch, Z. (1984) Ordination and classification of vegetation along an altitudinal gradient in the Benezuelan paramos. *Vegetatio* 55: 115-126.
- Dolezal, J. and M. Srutek (2002) Altitudinal changes in composition and structure of mountain-temperate vegetation: a case study from the Western Carpathians. *Plant Ecology* 158: 201-221.
- Gentry, A. H. (1988) Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographical gradients. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 75: 1-34.

- Hamilton, A. C. and R. A. Perrott (1981) A study of altitudinal zonation in the montane forest belt of Mt. Elgon, Kenya/Uganda. *Vegetatio* 45: 107-125.
- 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.
- Odland, A. and H. J. B. Birks (1999) The altitudinal gradient of vascular plant richness in Aurland, western Norway. *Ecography* 22: 548-566.
- Ojeda, F. Maranon, T. and J. Arroyo (2000) Plant diversity patterns in the Aljibe Mountains (S. Spain): a comprehensive account. *Biodiversity and Conservation* 9: 1323-1343.
- Pett, R. K. (1978) Forest vegetation of the Colorado, Front Range: Pattern of species diversity. *37*: 65-78.
- Rey Benayas, J. M. (1995) Patterns of diversity in the strata of boreal montane forest in British Columbia. *Journal of Vegetation Science* 6: 95-98.
- Ricklefs, R. E. and D. Schluter (1993) Species diversity: regional and historical influences. In: Ricklefs, R. E. and D. Schluter (eds.) *Species Diversity in Ecological Communities*. University of Chicago Press, Chicago, 35-363.
- 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.
- Walter, H. (1979) *Vegetation of the Earth*. Springer, New York.
- Willis, K. J. and R. H. Whittaker (2002) Species diversity- scale matters. *Science* 295: 1245-1248.
- Wilson, J. B., W. G. Lee and A. F. Mark (1990) Species diversity in relation to ultramafic substrate and to altitude in southwestern New Zealand. *Vegetatio* 86: 15-20.
- Whittaker, R. H. (1960) Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. *Ecol. Monogr.* 30: 279-338.
- Whittaker, R. H. and W. A. Niering (1965) Vegetation of the Santa Catalina Mountains, Arizona: a gradient analysis of the South slope. *Ecology* 46: 429-452.
- Whittaker, R. H., K. J. Willis and R. Field (2001) Scale and species richness: towards a general, hierarchical theory of species diversity. *Journal of Biogeography* 28: 453-470.
- Wolf, A. (2005) Fifty year record of change in tree spatial patterns within a mixed deciduous forest. *Forest Ecology and Management* 215: 212-223.
- Yoda, K. A. (1967) Preliminary survey of the forest vegetation of eastern Nepal. *J. Coll. Arts. Sci. Chiba. Univ., Nat. Sci. Ser.* 5: 99-140.

第八章 火燒生態動態研究

中文摘要

火燒為亞高山地區最主要之干擾因子，其影響森林與草生地之分布。雪山三六九山莊附近之草生地於 2008 年 12 月 18 日發生火燒，影響面積約 20 ha。本研究調查火後草生地之植被恢復狀況、優勢物種之季節性變化、林緣苗木之現況及後續之更新情形、植生覆蓋度與小型齧齒類之關係，以建立亞高山地區火後生態系之基礎資訊，供火燒發生後經營管理及決策之參考。至 2009 年 9 月，設置 3×3 m² 之系統樣區及隨機樣區各 36 個。火燒後 9 個月，經調查樣區總覆蓋度為 34.9 %，植物共記錄 38 種，以菊科 6 種最多，百合科 4 種次之。火燒區之地被植生目前以高山芒覆蓋度最高。

關鍵詞：火燒生態、亞高山、雪山、草生地、林緣更新

Abstract

Fire is the main interference of subalpine which effect distribution of forests and grasslands. The grassland near 369 lodeg fired on December 18, 2008 in Syue Mountain. The burned area is nearly 20 ha. This study is monitoring restoration of grassland habitat after burning and seasonal change of dominant, the status and follow-up regeneration of seedlings of forest edge, the relationship between vegetation coverage and small rodents at the burned area. This information will establish a subalpine ecosystem of the region after the fire of the basic information for the operation and management of fire. We set 36 systematic sample plots and 36 random sample plots. Nine months after burning, 34.9% grassland floor was revegetated and 38 species recorded in 72plots. Six species of *Asteraceae* and 4 species of *Liliaceae* are the most among these. Aspect of changes in vegetation, *Miscanthus transmorrisonensis* was dominant ground cover species.

Keyword: Fire ecology, subalpine, Syue Montain, grassland, forest edge regeneration

一、研究緣起與背景

火燒對生態系的影響依其強度有不同結果，嚴重的火燒會破壞當地環境，使其演替階段回至較初期的型態，然而輕微的火燒可使養分回歸土壤、對苗木下種更新、病蟲害控制、野生動物食物來源等皆有不同助益。雪山地區三六九山莊附近草生地，於2008年12月18日晚上發生火燒，至19日下午4時熄滅，延燒面積約20 ha，其中草生地占近19 ha，臺灣冷杉森林約1 ha，為10年來同地區第2次火燒。本研究調查火後草生地之植被恢復狀況及優勢物種之季節性變化、林緣苗木之現況及後續之更新情形及植生覆蓋度與小型齧齒類之關係，以建立雪山地區火後生態系之基礎資訊，供火燒後經營管理及決策之參考。

二、前人研究

柳楷(1963)針對小雪山高山草原生態的研究中，推論火燒為臺灣高山草原形成之主要因素。劉業經等(1984)研究指出，玉山箭竹草生地之形成，係因火燒所造成，且玉山箭竹與臺灣冷杉之間有明顯的推移帶(ecotone)存在。Cierjacks *et al.* (2008)亦認為火燒是樹限下方高山森林鑲嵌分布之主因，火燒導致成熟木及苗木大量死亡，造成其於分布範圍內之不連續分布。

劉崇瑞及蘇鴻傑(1978)研究大甲溪上游臺灣二葉松天然群落組成時，認為連續性之週期性火燒乃是形成臺灣二葉松林之主要原因，在林火發生後，因地表草類及灌木多被清除，礦質土暴露，成為植物下種之優良環境。呂金誠(1990)研究臺灣主要森林生態系火燒後之演替，認為臺灣二葉松林為臺灣最易誘發火燒之林型；陳明義等(1986)指出若無火燒的再次發生，臺灣二葉松將因更新困難而無法繼續存在。呂福原等(1984)亦認為火燒後由於先驅植物迅速入侵，如五節芒、玉山箭竹、巒大蕨等，此類族群一遇乾燥季節，極易引起週期性火燒。

賴國祥及陳明義(1992)指出合歡山地區火燒後植物之恢復以原有之種類占較大優勢，第1年火後7個月(10月)覆蓋度為28%，優勢物種為高山芒、巒大蕨及玉山箭竹，至火燒後19個月覆蓋度可達85%。至於火燒後之齧齒類以森鼠為主。另陳隆陞(1995)調查玉山塔塔加地區1993年元月火燒後之植被演替，指出玉山箭竹及高山芒因具地下莖，火後萌發迅速，其原覆蓋區經6個月後覆蓋度可達65%。Zimmermann *et al.* (2008)指出苗木重建之4項主要影響因子為火燒、競爭者、溼度及種子活性；Bader *et al.* (2007)則認為森林向林限擴展之能力可能受限於低溫、過量的幅射、競爭、土壤性質、散布能力及火燒，並指出遮陰為大多數苗木

生長存活之重要因素。Germino *et al.* (2002)亦指出苗木之存活率除了時間(當時的氣候環境)及空間(方位、微立地狀況等)模式之影響外,若曝露於強光下,將加重低溫及缺水之壓力,限制其在高山地區樹限之苗木重建。Kemball *et al.* (2006)探討不同火燒程度苗床之種子發芽及存活率後指出,火燒嚴重之礦質土苗床發芽率最差,但經過一個生長季後其存活率較高,可是其高的存活率並無超越低發芽率,另不同樹種其適合之苗床亦稍有差異。Eshel *et al.* (2000)火燒後種子之發芽可能受灰燼產生之高 pH 值所抑制。Kalamees *et al.* (2005)則指出 *Pinus patens* 於火燒過及早期演替階段之生育地其發芽及苗木建立有增加現象。

賴國祥(2005)指出臺灣二葉松林發生火燒後,更新狀況需視火燒強度而定,一般中高強度之火燒,若種源足夠,於亞高山地區 7-8 年即可完成,但若發生較高強度之火燒,更新完成時間將超過 10 年。其亦指出天然更新苗木雖於火後即有發生,但大發生似乎於火後 2-3 年才出現。另林外草生地因其乾旱的棲地型態(地表枯枝落葉之含水率不高)及燃料排列方式,一經點燃,燃燒迅速,地表植生常燃燒殆盡,然由於高山芒及玉山箭竹火後萌蘖迅速,大約 6 個月即可恢復覆蓋。至於臺灣冷杉-臺灣鐵杉林則因其富含水分之枯枝落葉及腐植質,在未完全燃燒之狀況下,火燒強度將逐漸減弱,而於林緣地帶熄滅,僅林緣小苗遭火焚燬(賴國祥, 2003)。

三、材料與方法

(一)樣區設置

針對火燒後玉山箭竹及高山芒草生地之覆蓋度及優勢物種季節性變化之調查,本研究以系統取樣及隨機取樣方式進行調查。

1. 系統樣區:於三六九山莊後方臺灣冷杉林緣至步道間之草生地,設定一條水平之高界,間隔 25 m 設立一樣桿,並以樣桿為該樣帶最上部的頂點,下拉 70~100 m 不等之長度,每間隔 10 m 設立一 $3 \times 3 \text{ m}^2$ 樣區(如圖 8-1 所示),每一樣區再劃分成 9 個

1×1 m²之小區。其中4個角落之1×1 m²小區為調查區域。調查各小區之植物種類及各物種之覆蓋面積並拍照建檔。

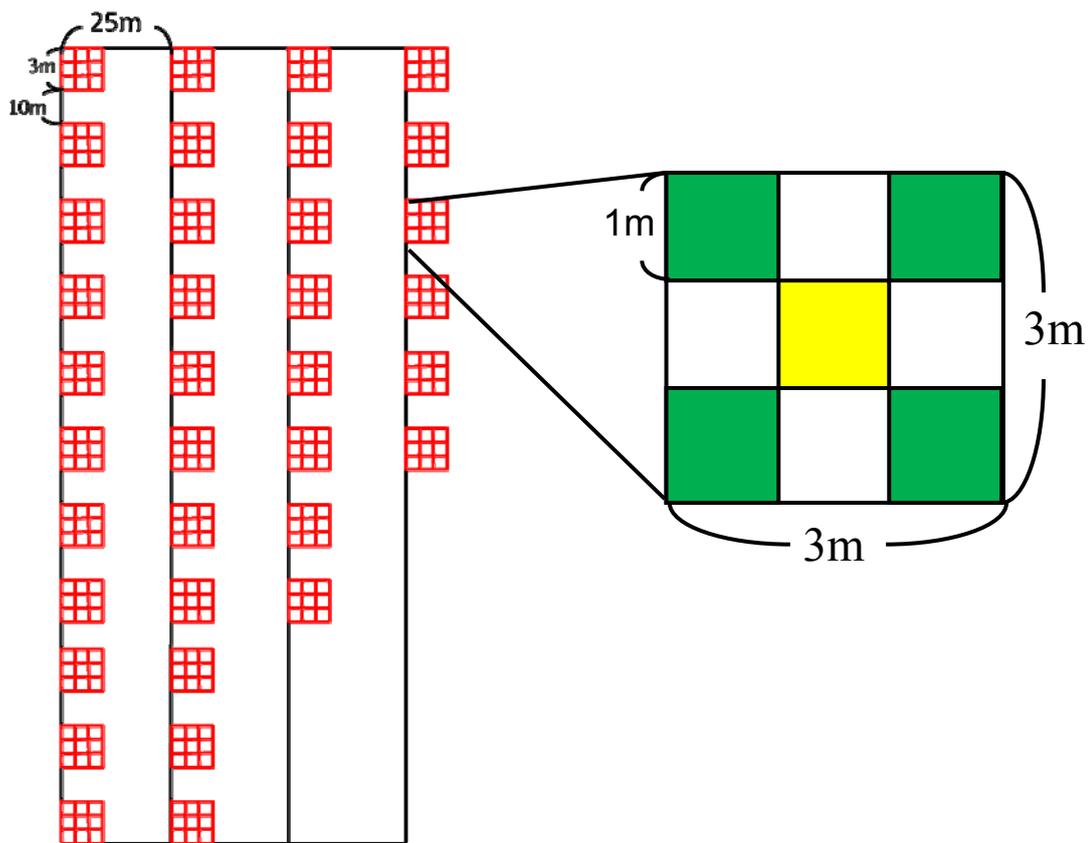


圖 8-1 系統樣區設置示意圖，樣區中角落 4 個綠色區塊之 1×1 m² 小區為調查區域。

2. 隨機樣區：由黑森林入口處至水源地入口下方之草生地，沿步道隨機設立 3×3 m² 之樣區，調查項目及方法同系統樣區。

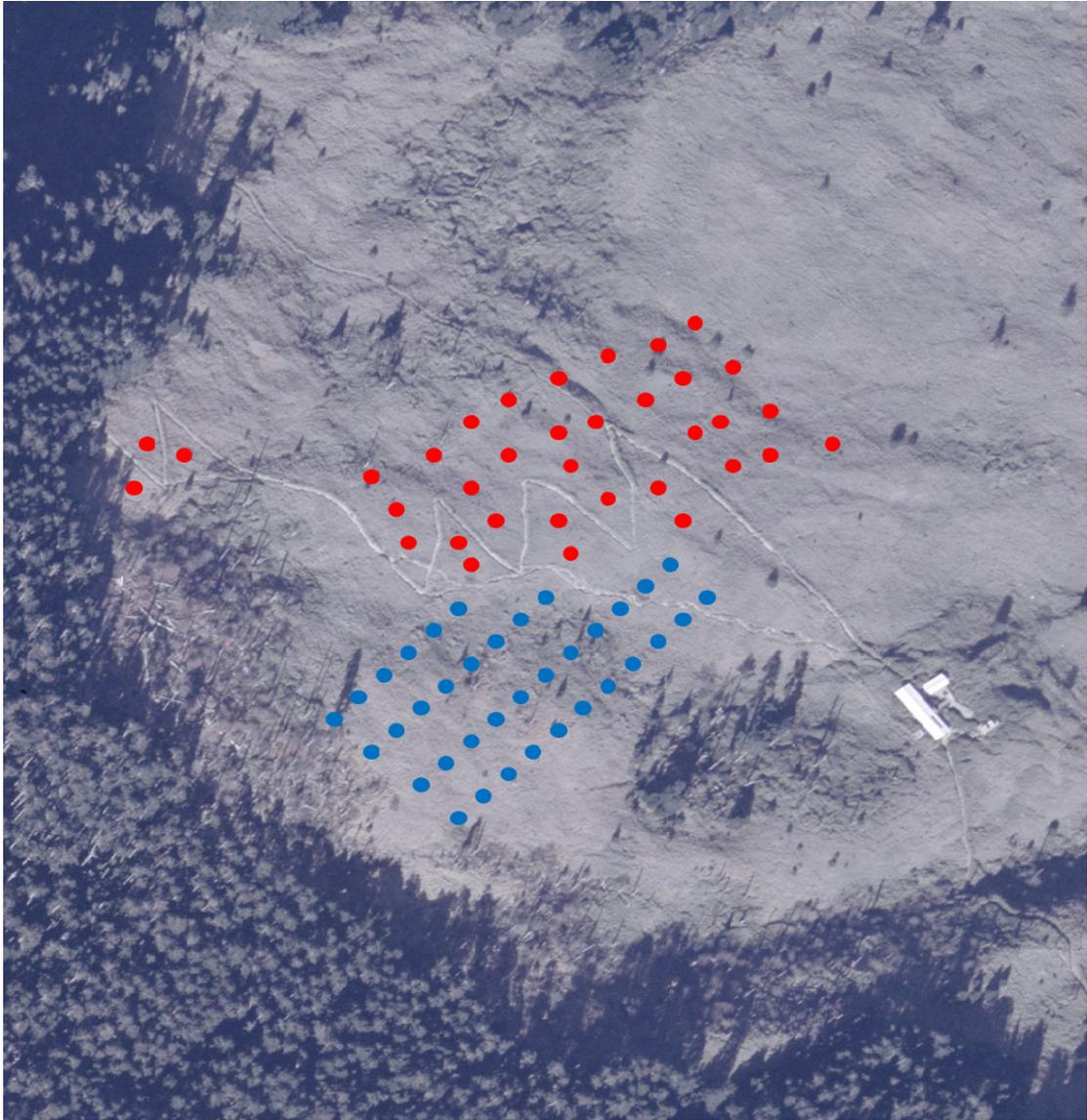


圖 8-2 隨機樣區及系統樣區於雪山三六九山莊後方草生地之設置示意圖。紅點為隨機樣區，藍點為系統樣區。

(二)資料分析

首先對野外調查原始資料之植物種類進行編碼，於文書處理軟體中輸入樣區植物種類、代碼及各物種之覆蓋面積，計算各物種於調查樣區中之頻度及優勢度，再轉換成相對值。樣區各植物之介量以重要值指數(important value index, IVI)表示，其代表某植物在樣區中所占有之重要性。

相關之計算公式如下：

頻度(frequency)=某種植物出現之總樣區數/所調查之總樣區數

優勢度(dominance)=某種植物覆蓋面積總合/所調查之樣區總面積

相對頻度(relative frequency)=某種植物之頻度/所有植物頻度之總和
×100%

相對優勢度(relative dominance)=某種植物之優勢度/所有植物優勢度之
總和×100%

重要值指數(IVI)=相對頻度+相對優勢度

同一時期所有樣區所有物種重要值指數和為 200。

四、結果

(一)樣區設置及調查

設置系統樣區及隨機樣區各 36 個，樣區編號分別為 1~36 號及 37~72 號。系統樣區及隨機樣區分別於 2 月及 3 月進行調查，然合併為 2 月之資料進行分析，此後同時在 4 月、9 月進行複查。資料經分析顯示：樣區中的植物種數及植物覆蓋度隨時間皆有增加之趨勢(詳表 8-1)，其中物種數 2 月、4 月皆為 15 種，至 9 月增至 31 種；總覆蓋度則由 2 月之 3.4%增至 9 月的 34.9%。此外 2 月、4 月與 9 月的豐度比例如圖 8-3 所示，可看出 2 月之曲線變化較劇烈，且最優勢物種之重要值指數占絕大部分，顯示物種組成及覆蓋較不平均；9 月之曲線變化漸趨緩和，優勢物種已呈兩種並立，且物種組成較多且平均。

表 8-1. 調查樣區總覆蓋度及物種數變化情形

	2009/02	2009/04	2009/09
總覆蓋度	3.4%	1.3%	34.9%
物種數	15	15	31

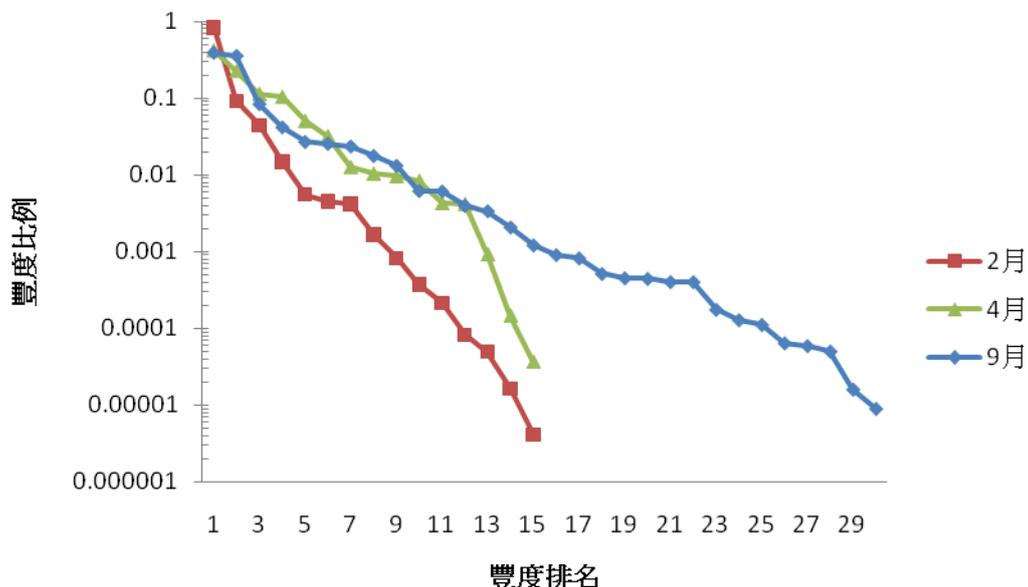


圖 8-3. 2009 年 2 月、4 月及 9 月各樣區物種之豐度比例。2 月之曲線斜率較大，且單一優勢物種之重要值指數占絕大部分，顯示物種組成及覆蓋較不平均；9 月之曲線變化漸趨緩和，優勢物種已呈兩種並立，物種組成較多且平均。

至於樣區出現之物種 2 月以玉山箭竹(*Yushania niitakayamensis*)、玉山石松(*Lycopodium veitchii*)及高山白珠樹(*Gaultheria itoana*)為主，其中玉山箭竹為最優勢物種(表 8-2)；4 月則以玉山箭竹、高山芒(*Miscanthus transmorrisonensis*)、一枝黃花(*Solidago decurrens*)及臺灣藜蘆(*Veratrum formosanum*)為優勢物種。其中玉山箭竹仍為此時期最優勢之物種，高山芒為次優勢。9 月則以高山芒為最優勢物種，其次為玉山箭竹、臺灣藜蘆、

假繡線菊(*Spiraea hayatana*)及一枝黃花。2月之物種大都為度冬且可能為火後留存者，至4月出現多數萌蘗生長之物種，除玉山箭竹、高山芒外，以一枝黃花、臺灣藜蘆之生長情形最為顯著。至9月則以假繡線菊之生長表現最為突出，另外高山芒與玉山箭竹愈顯強勢之生長力，於樣區中占有更大之覆蓋度。另於未受到火燒影響之玉山箭竹草生地樣區內發現臺灣冷杉小苗及稚樹(DBH>1 cm)，與玉山箭竹形成共存情形，可長期監測並探討之。

表 8-2. 調查樣區各時期重要值指數(IVI)前 5 名之物種

2009/02	IVI	2009/04	IVI	2009/09	IVI
玉山箭竹	139.12	玉山箭竹	77.37	高山芒	55.11
玉山石松	30.16	臺灣粉條兒菜	33.44	玉山箭竹	47.88
高山白珠樹	6.55	高山芒	26.83	臺灣藜蘆	20.38
臺灣粉條兒菜	2.12	一枝黃花	25.48	一枝黃花	11.52
玉山杜鵑	2.01	臺灣藜蘆	7.85	假繡線菊	10.46

表 8-3. 調查樣區各時期覆蓋度前 5 名之物種

2009/02	覆蓋度(%)	2009/04	覆蓋度(%)	2009/09	覆蓋度(%)
玉山箭竹	1.75	玉山箭竹	0.30	高山芒	13.35
玉山石松	0.19	高山芒	0.16	玉山箭竹	12.19
高山白珠樹	0.09	一枝黃花	0.08	臺灣藜蘆	2.87
玉山杜鵑	0.03	臺灣粉條兒菜	0.08	假繡線菊	1.43
臺灣粉條兒菜	0.01	臺灣藜蘆	0.04	玉山金絲桃	0.93

各優勢物種之 IVI 值及覆蓋度變化詳表 8-2、表 8-3 及圖 8-4、圖 8-5。其中玉山箭竹之 IVI 值因其他種類出現而漸減；高山芒則漸增，至 9 月已超越玉山箭竹，顯示其強勢之生長力。至於覆蓋度，4 月時部分物種因植株乾枯而減少，後皆逐漸增加，以高山芒及玉山箭竹成長最迅速。

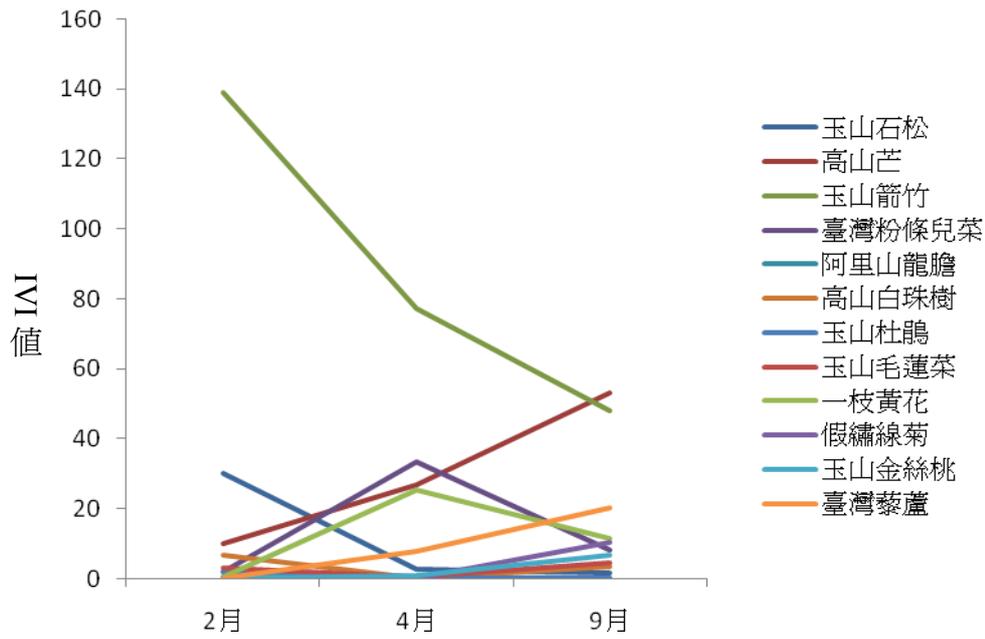


圖 8-4. 優勢物種 2-9 月 IVI 值變化情形。玉山箭竹之 IVI 值因其他種類出現而漸減；高山芒因強勢之生長力而漸增，至 9 月已超越玉山箭竹。

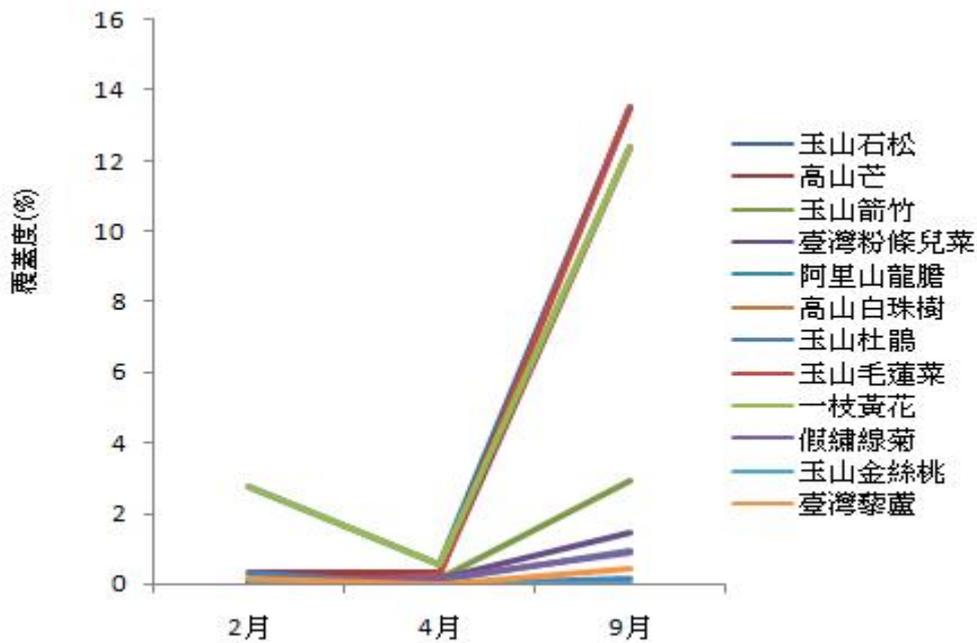


圖 8-5. 優勢物種 2-9 月覆蓋度變化情形。4 月時部分物種因植株乾枯而減少，後皆逐漸增加，以高山芒及玉山箭竹成長最迅速。

五、討論

1963-1991年玉山、太魯閣及雪霸國家公園共發生林火132次，其中86次發生於生態保護區(林朝欽，1993)。可知火燒對一生態系有相當程度的影響，其為決定植群演替方向及速度之主要因子(賴國祥及陳明義，1992)。火燒強度更影響恢復植物之種類，一般草本植物藉種子及萌蘖更新，若輕度干擾，原有種類可快速回復；重干擾區則所有種類拓殖較慢(林朝欽及陳子英，2002)。亞高山草生地火後雖地上部燃燒殆盡，然其因速度快，屬輕度干擾，火後出現之物種以原有種類並具地下部可萌蘖之物種為主，如玉山箭竹、高山芒、巒大蕨、一枝黃花、臺灣粉條兒菜、臺灣藜蘆等(賴國祥及陳明義，1992)，其中除巒大蕨外，皆與本研究相仿。即其早期建立之植物大部分是來自火燒區內之繁殖體，至中後期才會有較多區外之種子進入繁殖。

亞高山地區草生地火後之覆蓋度，本研究至2009年9月(火後9個月)為34.9%，與太魯閣國家公園合歡山區1990年2月之火燒相差不遠(火後7個月為28%)(賴國祥及陳明義，1992)，但與1993年元月玉山國家公園塔塔加地區火燒後6個月可達65%(陳隆陞1995)，則有較大差異，可能是其主要以玉山箭竹及高山芒原覆蓋區為調查區域及生育環境或當年氣候不同有關。至於物種則皆以具地下部之玉山箭竹及高山芒復原最為快速。

本研究2月之植生覆蓋度高於4月，此顯示樣區的植生演替可能發生停頓甚至倒退的情形，將蒐集詳細之氣象資料探討是否因早春之際的乾旱，導致萌蘖乾枯及種子發芽減緩所致。因6-9月颱風為樣區環境帶來豐沛降水，9月的調查結果顯示物種覆蓋度及種數均有大幅增加，推測在6-9月土壤水已得到相當的補充，促進萌蘖生長及種子發芽。

優勢物種覆蓋度一般有季節性變化，尤以冬枯種類更甚，冬季時明顯下降，至隔年生長季再次大量增加。除最優勢物種外，部分物種如一枝黃花、臺灣粉條兒菜及臺灣藜蘆等，雖會隨時間而重要值漸減，然亦顯現季節優勢。本研究調查時間尚不足1年，無法得知整體變化，以目前資料觀察，火後最先出現者主要是具萌蘖能力之草本植物，接著為玉山杜鵑、巒大花楸等灌木，最後則是以種子繁殖之木本植物如臺灣二葉松、臺灣冷杉等(賴國祥及陳明義，1992)。

由於各植物之耐火性及特性不同，經由週期性火燒，只有那些經演化具有地下莖或萌蘖能力者可存活，可說天擇的壓力會使在易發生火燒生育地之植物，發展出適應火燒之特性。

六、結論與建議

- (一)雪山地區三六九山莊附近草生地，於 2008 年 12 月 18 日晚上發生火燒，延燒面積約 20 ha。火燒 9 個月後，共記錄且已鑑定之樣區植物 20 科 32 屬 38 種，以菊科 6 種最多。出現物種數 2 月、4 月皆為 15 種，至 9 月增至 31 種；總覆蓋度由 2 月之 3.4% 增至 9 月的 34.9%。主要優勢物種為高山芒、玉山箭竹、臺灣藜蘆、假繡線菊及一枝黃花，皆為具地下部萌蘖能力之物種。
- (二)本次報告僅 2~9 月之初步成果，研究期間稍短，更因天候因素資料蒐集不易，若能持續調查，除使資料更加齊全外，再配合種子散布蒐集及小型哺乳動物之研究，當可對草生地之火後生態有一較整體之瞭解。
- (三)火燒雖明顯的耗損自然資源，但其對生物多樣性之維持有相當之助益，亦即在亞高山地區其應視為一生態程序，而非災害事件。必需瞭解火對生態系的重要性，除防止不當引火外，更可利用控制燃燒，進行適切影響，進而綜合火燒體制、生態系及其過程，作為自然資源經營之依據。

七、參考文獻

- 呂金誠 (1989) 野火對臺灣主要森林生態系影響之研究。國立中興大學植物學研究所博士論文。
- 呂金誠 (1990) 野火對臺灣主要森林生態系影響之研究。國立中興大學實驗林研究彙刊20(2): 1-15。
- 呂福原、歐辰雄、廖秋成、陳慶芳 (1984) 林火對森林土壤及植群演替影響之研究(二)。嘉義學報10: 47-72。
- 林朝欽 (1993) 玉山、太魯閣及雪霸地區國有林森林火災之研究。中華林學季刊 26(2) : 51-61。
- 林朝欽、陳子英 (2002) 林火對森林植群多樣性之影響。2002年生物多樣性保育研討會論文集pp.121-142。農委會特有生物研究保育中心。
- 柳楷 (1963) 小雪山高山草原生態之研究。林試所報告第九十二號。
- 陳明義 (1997) 野火對環山、雪山地區植群影響之研究(I)。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 陳明義 (1998) 野火對環山、雪山地區植群影響之研究(II)。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 陳明義、劉業經、呂金誠、林昭遠 (1986) 東卯山臺灣二葉松林火後第一年之植群演替。中華林學季刊 19(2) : 1-15。
- 陳隆陞 (1995) 玉山塔塔加森林火燒跡地生態環境變遷及保育措施之研究。國家公園學報 6(1) : 25-46。
- 劉崇瑞、蘇鴻傑 (1978) 大甲溪上游臺灣二葉松天然林之群落組成及相關環境之研究。國立臺灣大學實驗林研究報告 121 : 207-239。
- 劉業經、呂福原、歐辰雄、賴國祥 (1984) 臺灣高山箭竹草生地之植物演替與競爭機制。中華林學季刊 17(1) : 1-32。
- 賴國祥 (2003) 臺灣亞高山地區的林火生態。林火生態與管理研討會，第48-52頁。農委會林務局、臺灣生物多樣性保育學會。
- 賴國祥 (2005) 合歡北峰臺灣二葉松林火燒後之天然更新。特有生物研究7(1) : 61-68。
- 賴國祥、陳明義 (1992) 合歡北峰臺灣二葉松林火燒後之植群與嚙齒類消長。中華林學季刊25(2) : 33-42。
- Bader, M., I. van Geloof, and M. Rietkerk (2007) High solar radiation hinders tree regeneration above the alpine treeline in northern Ecuador. *Vegetatio* 191(1): 33-45.

- Cierjacks, A., S. Salgado, K. Wesche and I. Hensen (2008) Post-Fire Population Dynamics of Two Tree Species in High-Altitude *Polylepis* Forests of Central Ecuador. *Biotropica* 40(2): 176-182.
- Eshel, A., N. Henig-Sever and G. Ne'eman (2000) Spatial variation of seedling distribution in an east Mediterranean pine woodland at the beginning of post-fire succession. *Vegetatio* 148(2): 175-182.
- Germino, M. J., W. K. Smith and A. C. Resor (2002) Conifer seedling distribution and survival in an alpine-treeline ecotone. *Vegetatio* 162(2): 157-168.
- Kalamees, R., K. Püssa, I. Vanha-Majama, and K. Zobel (2005) The effects of fire and stand age on seedling establishment of *Pulsatilla patens* in a pine-dominated boreal forest. *Canadian Journal of Botany* 83(6): 688-693.
- Kemball, K. J., G. G. Wang, and A. R. Westwood (2006) Are mineral soils exposed by severe wildfire better seedbeds for conifer regeneration? *Canadian Journal of Forest Research* 36 (8): 1943-1950.
- Sousa, W.P. (1984) The role of disturbance in natural communities. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 15:323-391.
- Zimmermann, J., S. I. Higgins, V. Grimm, J. Hoffmann, T. Münkemüller and A. Linstädter (2008) Recruitment filters in a perennial grassland: the interactive roles of fire, competitors, moisture and seed availability. *Journal of Ecology* 96(5): 1033-1044.

附錄 8-1 調查樣區植物名錄

蕨類植物

1. Lycopodiaceae 石松科

1. *Lycopodium veitchii* Christ 玉山石松
2. *Lycopodium yueshanense* Kuo 玉山地刷子

2. Osmundaceae 紫萁科

3. *Osmunda claytoniana* L. var. *pilosa* (Wall.) Ching 臺灣絨假紫萁

裸子植物

3. Pinaceae 松科

4. *Abies kawakamii* (Hayata) Ito 臺灣冷杉

雙子葉植物

4. Asteraceae 菊科

5. *Ainsliaea reflexa* Merr. var. *nimborum* Hand.-Mazz. 玉山鬼督郵
6. *Anaphalis morrisonicola* Hayata 玉山抱莖籟簫
7. *Picris morrisonensis* Hayata 玉山毛蓮菜
8. *Solidago virgaurea* var. *leiocarpa* (Benth.) 一枝黃花
9. *Senecio morrisonensis* Hayata 玉山黃菀
10. *Senecio nemorensis* L. var. *dentatus* (Kitam.) H. Koyama 黃菀

5. Crassulaceae 景天科

11. *Sedum morrisonense* Hayata 玉山佛甲草

6. Campanulaceae 桔梗科

12. *Adenophora morrisonensis* Hayata subsp. *morrisonensis* 玉山沙蔘

7. Dianthus 石竹科

13. *Dianthus pygmaeus* Hayata 玉山石竹

8. Ericaceae 杜鵑花科

14. *Gaultheria itoana* Hayata 高山白珠樹
15. *Rhododendron pseudochrysanthum* Hayata 玉山杜鵑
16. *Rhododendron rubropilosum* Hayata 紅毛杜鵑

9. Gentianaceae 龍膽科

17. *Gentiana arisanensis* Hayata 阿里山龍膽
18. *Swertia macrosperma* (C. B. Clarke) C. B. Clarke 巒大當藥

10. Guttiferae 金絲桃科

19. *Hypericum nagasawai* Hayata 玉山金絲桃
20. *Hypericum formosanum* Maxim 臺灣金絲桃

11. Pyrolaceae 鹿蹄草科

21. *Pyrola morrisonensis* (Hayata) Hayata 玉山鹿蹄草

12. Rosaceae 薔薇科

22. *Rosa transmorrisonensis* Hayata 高山薔薇

- 23. *Spiraea hayatana* Li 假繡線菊
- 24. *Spiraea formosana* Hayata 臺灣繡線菊

13. Saxifragaceae 虎耳草科

- 25. *Hydrangea anomala* D. Don 繡球藤

14. Umbelliferae 繖形花科

- 26. *Angelica morii* Hayata 森氏當歸
- 27. *Angelica morrisonicola* Hayata 玉山當歸
- 28. *Pimpinella niitakayamensis* Hayata 玉山茴芹

15. Violaceae 堇菜科

- 29. *Viola senzanensis* Hayata 尖山堇菜

單子葉植物

16. Cyperaceae 莎草科

- 30. *Carex* spp. 薹屬

17. Liliaceae 百合科

- 31. *Aletris formosana* (Hayata) Sasaki 臺灣粉條兒菜
- 32. *Lilium formosanum* Wallace 臺灣百合
- 33. *Smilacina formosana* Hayata 臺灣鹿藥
- 34. *Veratrum formosanum* Loesen f. 臺灣藜蘆

18. Orchidaceae 蘭科

- 35. *Platanthera brevicarata* Hayata 短距粉蝶蘭

19. Poaceae 禾本科

- 36. *Miscanthus transmorrisonensis* Hayata 高山芒
- 37. *Yushania niitakayamensis* (Hayata) Keng f. 玉山箭竹

20. Juncaceae 燈心草科

- 38. *Luzula taiwaniana* Satake 臺灣地楊梅

附錄 8-2 系統取樣 4 條樣帶最高點座標(TWD97)

樣帶\座標	X	Y
第 1 條樣帶	275560.567	2698521.248
第 2 條樣帶	275584.264	2698504.677
第 3 條樣帶	275589.383	2698478.844
第 4 條樣帶	275604.635	2698458.567

附錄 8-3 2009 年 2 月各調查樣區之物種重要值

物種\樣區	3	4	5	11	13	14	19	21	22	29	30	32	33	34	35	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	55	56	57	59	60	61	62	63	64	66	67	68	69		
玉山箭竹	1.07	0.00	1.70	2.14	3.61	0.00	0.89	0.00	0.00	0.00	3.98	0.98	0.00	0.00	0.00	5.31	5.31	4.74	5.31	5.31	1.82	5.31	4.72	1.54	5.31	5.31	5.31	2.20	2.65	2.42	5.31	3.79	3.28	5.31	2.84	5.31	5.31	4.26	3.80	5.31	2.34	5.31	1.18	4.30	4.54		
高山芒	0.68	0.00	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00	2.16	0.44	2.16	0.00	0.00	0.38	0.99	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61	0.00	0.64	0.00	0.54	0.20	0.00			
臺灣粉條兒菜	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.94	0.00	0.00		
一枝黃花	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
高山白珠樹	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.87	0.00	1.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
臺灣冷杉	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
玉山石松	1.33	2.73	1.09	1.63	0.87	2.73	2.27	0.00	2.18	0.00	0.00	1.37	2.26	1.48	1.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60	1.37	0.48	0.00	0.00	1.05	0.00	0.75	0.00	0.00	0.54	0.00	0.00	0.73	0.00	0.00	0.00		
阿里山龍膽	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
玉山毛蓮菜	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.51	0.78		
地刷子	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
莎草	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
玉山佛甲草	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
玉山杜鵑	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
高山薔薇	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
玉山鬼督郵	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55	0.00	0.00	0.00

附錄 8-4 2009 年 4 月各調查樣區之物種重要值

物種\樣區	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	70	71	72
玉山箭竹	3.50	3.40	3.02	1.95	1.72	2.01	2.91	2.34	2.20	2.31	2.08	1.47	1.39	1.76	2.44	0.95	1.76	2.26	2.01	1.81	0.65	4.19	0.51	1.24	2.88	2.49	2.58	1.90	2.74	3.10	1.89	2.96	1.99	0.80	4.19	0.00	0.00	0.00
高山芒	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.72	3.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.66	5.24	9.01
臺灣藜蘆	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.59	2.42	2.84	
臺灣粉條兒菜	0.00	0.40	0.27	1.90	0.69	1.50	0.66	0.56	2.02	1.24	1.06	2.06	0.95	0.44	1.54	0.71	0.51	1.04	0.75	1.05	0.33	0.00	2.04	2.63	0.57	0.68	0.58	1.20	0.95	0.69	0.69	0.00	1.14	2.62	0.00	0.00	0.00	0.00
一枝黃花	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54	0.00	0.73	0.83	1.15	1.06	1.38	0.00	1.56	0.51	0.53	0.48	1.07	0.40	0.00	0.89	0.00	1.25	0.49	0.94	0.69	0.45	0.00	1.68	1.57	0.95	1.34	0.00	1.86	2.25	0.89
臺灣百合	0.00	0.00	0.00	0.57	1.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	2.54	0.00	0.00	0.00	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
玉山金絲桃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
玉山當歸	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00
玉山毛蓮菜	0.00	0.05	0.08	0.00	0.11	0.05	0.08	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
阿里山龍膽	0.00	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
森氏當歸	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.00	0.00	0.64	0.00	0.00	0.00	1.12	0.45	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	0.35	0.77	0.00	0.60	0.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
臺灣絨假紫萁	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
臺灣繡線菊	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.71	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	0.00	0.20	0.31	0.00	0.22	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
玉山石松	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.78	0.00	1.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
臺灣鹿藥	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

附錄 8-5 2009 年 9 月各調查樣區之物種重要值

物種\樣區	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
玉山箭竹	1.70	0.92	0.70	1.04	0.72	0.43	0.64	0.00	0.81	0.29	0.81	0.73	0.61	0.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	1.02	0.44	0.66	0.94	0.65	0.92	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	1.13	0.52	0.77	1.43	0.88	
高山芒	0.63	0.94	0.58	0.58	0.36	1.18	0.51	0.73	0.60	1.12	0.49	0.51	0.82	0.83	0.52	0.89	1.23	1.14	0.70	0.00	0.63	0.40	0.97	0.64	0.09	1.36	1.11	1.07	0.57	1.18	1.26	0.35	1.13	0.28	0.24	0.92	
臺灣藜蘆	0.00	0.22	0.13	0.56	0.44	0.29	0.30	0.38	0.43	0.55	0.28	0.37	0.20	0.30	0.83	0.40	0.00	0.40	0.38	0.00	0.31	0.30	0.00	0.13	0.18	0.00	0.31	0.62	0.41	0.29	0.19	0.29	0.38	0.58	0.15	0.00	
臺灣粉條兒菜	0.00	0.00	0.06	0.28	0.45	0.07	0.11	0.47	0.36	0.13	0.27	0.12	0.00	0.07	0.09	0.21	0.20	0.22	0.11	0.15	0.15	0.26	0.22	0.00	0.07	0.00	0.00	0.14	0.29	0.42	0.00	0.11	0.12	0.23	0.00		
一枝黃花	0.00	0.12	0.20	0.17	0.26	0.08	0.12	0.13	0.00	0.10	0.22	0.13	0.17	0.23	0.20	0.30	0.13	0.09	0.19	0.00	0.19	0.11	0.00	0.11	0.00	0.36	0.23	0.14	0.26	0.00	0.00	0.35	0.20	0.14	0.36	0.00	
毛刺懸鉤子	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	
臺灣地楊梅	0.00	0.09	0.13	0.00	0.05	0.00	0.16	0.00	0.07	0.00	0.00	0.06	0.09	0.14	0.08	0.08	0.00	0.00	0.10	0.00	0.05	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
臺灣百合	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.05	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
臺灣瞿麥	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
玉山抱莖蘚蕭	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
玉山金絲桃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
尖山莖菜	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.07	0.06	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.11	0.08	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.10	0.07	0.14	0.00	0.10	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.22	0.00		
紅毛杜鵑	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
假繡線菊	0.37	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.16	0.38	0.06	0.00	0.04	0.06	0.11	0.00	0.33	0.18	0.41	0.24	0.13	1.18	0.17	0.21	0.27	0.33	0.27	0.00	0.51	0.00	0.41	0.35	0.33	0.21	0.08	0.33	0.00	0.66	
高山白珠樹	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	
玉山鹿蹄草	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
短距粉蝶蘭	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.51	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.07	0.00	0.00	0.00		
藤繡球	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
玉山當歸	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.05	0.00	0.14	0.28	0.00	0.05	0.22	0.06	0.06	0.30	0.33	0.25	0.00	0.00	0.19	0.07	0.19	0.43	0.07	0.13	0.41	0.49	0.28	0.46	0.40	0.15	0.16	0.14	0.00	0.00	
帶大當歸	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	
玉山毛蓮菜	0.00	0.00	0.20	0.00	0.20	0.00	0.12	0.07	0.18	0.22	0.17	0.00	0.00	0.09	0.19	0.10	0.00	0.09	0.11	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	
臺灣金絲桃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.18	0.25	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	0.11	0.08	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00		
臺灣鹿藥	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
臺灣絨假紫萁	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
高山薔薇	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
黃苑	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
玉山黃苑	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
玉山茴芹	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
玉山沙參	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
玉山石松	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
玉山杜鵑	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

附錄 8-5 2009 年 9 月各調查樣區之物種重要值(續)

物種\樣區	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	
玉山箭竹	1.06	1.31	0.53	0.64	0.28	0.68	0.43	0.33	1.11	0.93	0.68	0.59	0.45	0.21	0.99	0.42	1.91	0.75	0.43	0.42	2.73	1.35	0.58	0.71	0.57	0.50	0.78	2.73	1.66	0.74	0.52	0.73	0.00	0.00	0.00	
高山芒	0.49	0.26	0.84	0.71	0.87	0.78	0.80	0.70	0.42	0.62	0.87	0.88	0.70	0.92	0.45	1.40	0.83	0.79	0.99	0.82	0.00	1.24	0.86	0.55	0.78	0.88	0.80	0.00	1.08	0.74	0.90	0.83	0.79	0.85	1.10	
臺灣藜蘆	0.32	0.45	0.21	0.28	0.34	0.27	0.36	0.28	0.34	0.40	0.29	0.23	0.17	0.28	0.05	0.36	0.00	0.15	0.33	0.21	0.00	0.16	0.26	0.36	0.43	0.30	0.28	0.00	0.00	0.25	0.33	0.36	0.54	0.89	0.33	
臺灣粉條兒菜	0.26	0.25	0.25	0.16	0.39	0.00	0.00	0.29	0.00	0.00	0.23	0.12	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.09	0.08	0.06	0.00	0.00	0.00	
一枝黃花	0.14	0.32	0.22	0.05	0.27	0.22	0.24	0.20	0.24	0.08	0.19	0.24	0.36	0.25	0.24	0.08	0.00	0.08	0.16	0.20	0.00	0.00	0.00	0.06	0.12	0.25	0.23	0.26	0.00	0.00	0.34	0.32	0.14	0.17	0.37	0.21
毛刺懸鉤子	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
臺灣地楊梅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
臺灣百合	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
臺灣瞿麥	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
玉山抱莖蕨	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
玉山金絲桃	0.11	0.00	0.27	0.34	0.22	0.37	0.50	0.49	0.27	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.46	0.39	0.37	0.66	0.18	0.00	0.00	0.25	0.52	0.43	0.00	0.00	0.00	
尖山莖菜	0.07	0.00	0.05	0.20	0.05	0.18	0.17	0.04	0.14	0.00	0.06	0.21	0.12	0.09	0.00	0.00	0.00	0.08	0.16	0.07	0.00	0.00	0.06	0.11	0.06	0.00	0.07	0.00	0.00	0.07	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	
紅毛杜鵑	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
假繡線菊	0.06	0.06	0.08	0.21	0.10	0.00	0.10	0.16	0.18	0.00	0.00	0.00	0.21	0.17	0.04	0.00	0.00	0.13	0.14	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.22	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24
高山白珠樹	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.07	0.13	0.34	0.45	0.19	0.00	0.00	0.15	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
玉山鹿蹄草	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
短距粉蝶蘭	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
藤繡球	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11
玉山當歸	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.36	0.04	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.35	0.00	0.10
蠻大當歸	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
玉山毛蓮菜	0.00	0.00	0.14	0.10	0.10	0.06	0.05	0.17	0.07	0.15	0.23	0.15	0.00	0.18	0.06	0.08	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.06	0.10	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.36	0.07
臺灣金絲桃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
臺灣鹿藥	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
臺灣絨假紫萁	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
高山薔薇	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
黃苑	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
玉山黃苑	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
玉山茴芹	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
玉山沙參	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
玉山石松	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.07	0.26	0.00	0.00	0.12	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
玉山杜鵑	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

附錄 8-6. 照片說明



照片 8-1 樣區之最上界設立：以羅盤儀定出一水平線為基準，沿水平線拉皮尺及紅繩，相隔 25m 往下坡拉設樣區(垂直最上界的紅繩)。



照片 8-2 下拉每間隔 10m，以水管及氣球桿設立一 $3 \times 3\text{m}^2$ 樣區，並調查 4 個角落 $1 \times 1\text{m}^2$ 之小區。



照片 8-3. 第 1 條樣帶第 2 小區 2 月(圖 a)4 月(圖 b)及 9 月(圖 c)的比較圖。



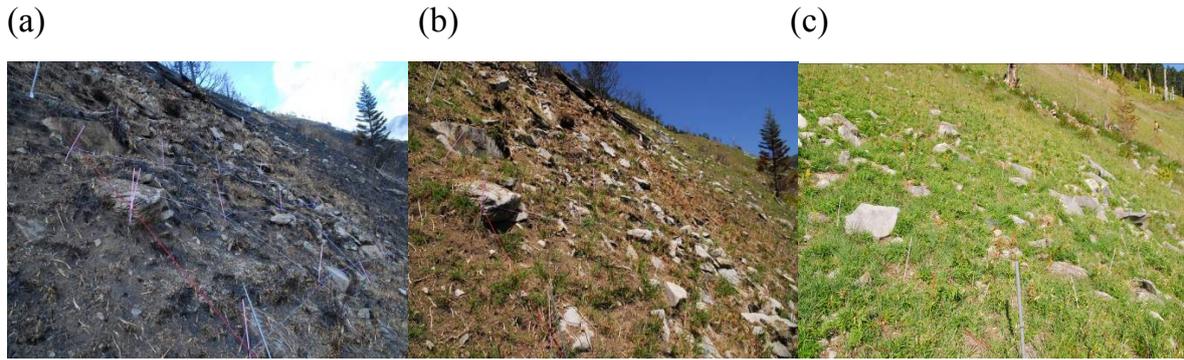
照片 8-4. 第 2 條樣帶第 2 小區 2 月(圖 a)4 月(圖 b)及 9 月(圖 c)的比較圖。



照片 8-5. 第 3 條樣帶第 2 小區 2 月(圖 a)4 月(圖 b)及 9 月(圖 c)的比較圖。



照片 8-6. 第 3 條樣帶第 6 小區 2 月(圖 a)4 月(圖 b)及 9 月(圖 c)的比較圖。



照片 8-7. 第 4 條樣帶第 7 小區 2 月(圖 a)4 月(圖 b)及 9 月(圖 c)的比較圖。



照片 8-8. 53 號樣區受火燒影響較輕微，樣區中有不少臺灣冷杉的小苗及稚樹 (DBH>1 cm)。



照片 8-9. 受火燒影響較嚴重之玉山箭竹樣區。



阿里山龍膽 *Gentiana arisanensis* Hayata



臺灣粉條兒菜 *Aletris formosana* (Hayata)



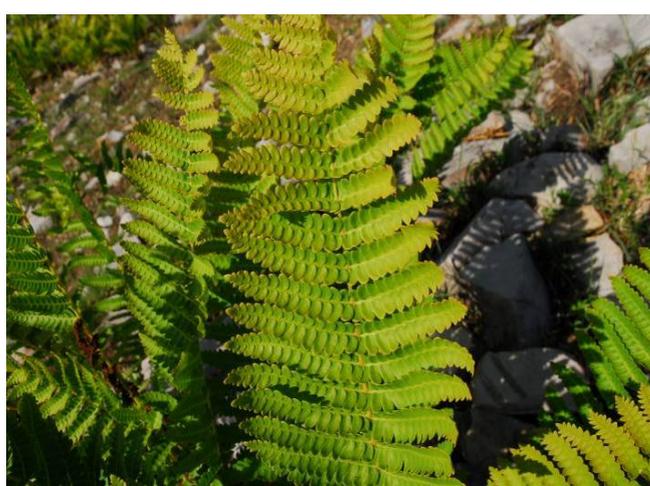
臺灣藜蘆 *Veratrum formosanum* Loesen f.



臺灣百合 *Lilium formosanum* Wallace



巒大當藥 *Swertia macrosperma* (C. B. Clarke) C. B. Clarke



臺灣絨假紫萁 *Osmunda claytoniana* L. var. *pilosa* (Wall.) Ching



森氏山柳菊 *Hieracium morii* Hayata



高山薔薇 *Rosa transmorrisonensis* Hayata



黃菴 *Senecio nemorensis* Linn



假繡線菊 *Spiraea hayatana* Li

第九章 生態資料庫建構

中文摘要

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『臺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。

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。『生態調查資料格式』，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。所有的資料均轉換成 XML 文件，以利後續的整合、保存及資料交換，並同步匯入 EML(Ecological Metadata Language)系統，以利資料分析運用，並針對學名、調查地點、調查時間、經緯度、調查者等重要欄位建立索引，以利資料搜尋，同時建立資料展示及查詢網站。本年度收集植物資料 2,128 筆、昆蟲資料 3,940 筆、氣象資料 5,009 筆(每筆含 25 個測項)、土質資料 30 筆(每筆含 18 個測項)，累計收集植物、昆蟲等物種調查資料共 6,068 筆(涵蓋 2 界 5 門 7 綱 31 目 135 科 173 種生物物種)，氣候土壤等環境資料共 5039 筆(涵蓋 43 個測項)。

關鍵詞：達爾文核心欄位、Darwin Core、生態調查資料

Abstract

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 preserved digitized and is available online

The project sponsors and data providers as well as the general public are welcomed to inquire and download the data as they need.

Keywords: Darwin Core, raw data, Ecological Investigation Data

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。臺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『臺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。

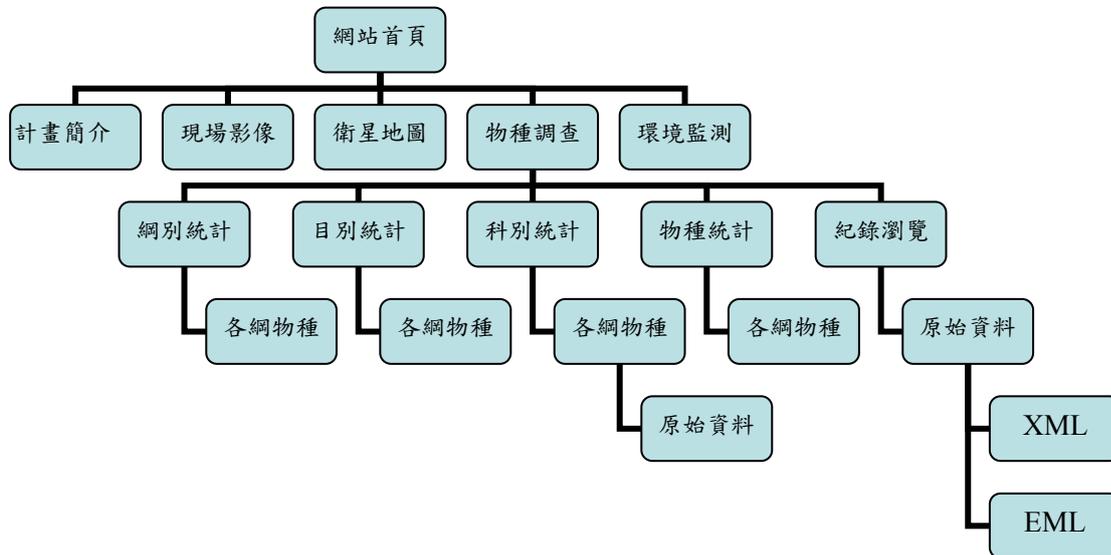
『簡便生態調查資料格式』為中央研究院生物多樣性研究中心所設計，主要以國際通用的達爾文核心欄位 (Darwin Core 2.0) 及 ABCD Schema 為基礎，

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，此外，所有資料也將同步匯入 EML(Ecological Metadata Language)系統，以利資料分析運用，並針對學名、調查地點、調查時間、經緯度、調查者等重要欄位建立索引，以利資料搜尋。

三、成果

(一)規劃網站架構如下：



(二)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 1,2,3。

(三)本年度收集植物資料 2,128 筆、昆蟲資料 3,940 筆、氣象資料 5,009 筆(每筆含 25 個測項)、土質資料 30 筆(每筆含 18 個測項)，累計收集植物、昆蟲等物種調查資料共 6,068 筆(涵蓋 2 界 5 門 7 綱 31 目 135 科 173 種生物物種)，氣候土壤等環境資料共 5,039 筆(涵蓋 43 個測項)，如附圖 5,6,7,8。

四、討論與結論

- (一)由於本計畫尚在初始階段，未來仍須針對各子計劃的特殊需求，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，是否足敷各子計劃的使用需求，尚待使用後進一步討論。

五、研究成果與建議

- (一)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)。
- (二)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。

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) 臺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。臺灣大學。
- 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，昆蟲與蝸蟎標本資源之管理與應用研討會專刊，國立自然科學博物館、臺灣昆蟲學會(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, B. C. J. Ko, L. S. Chen and A. 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.

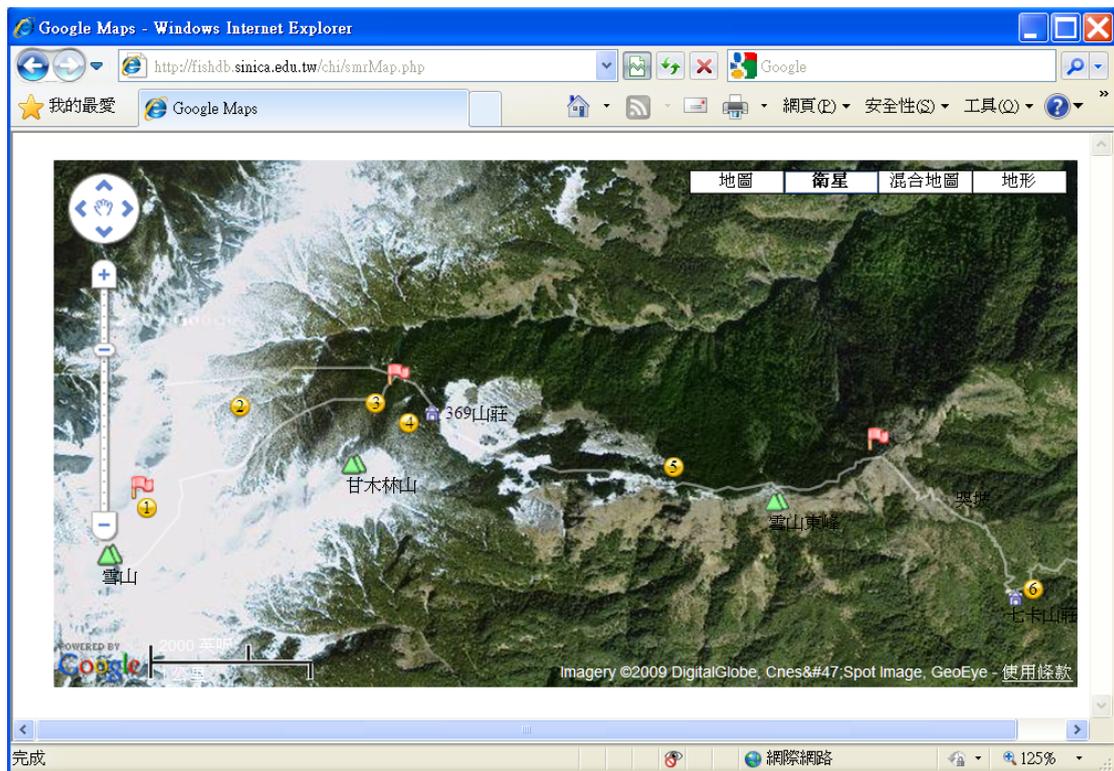


圖 9-1. 雪山衛星影像(含 6 個測站、三個氣象站及相關圖資)。

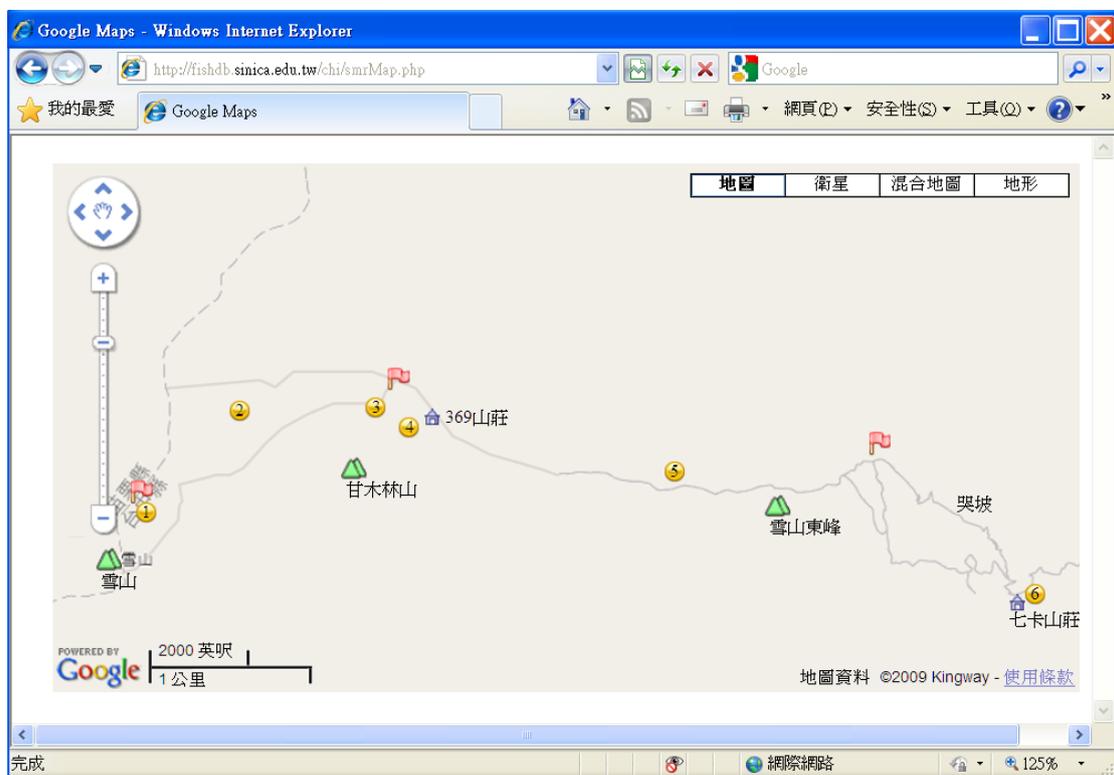


圖 9-2 雪山地圖圖資(含 6 個測站、三個氣象站及相關圖資)。

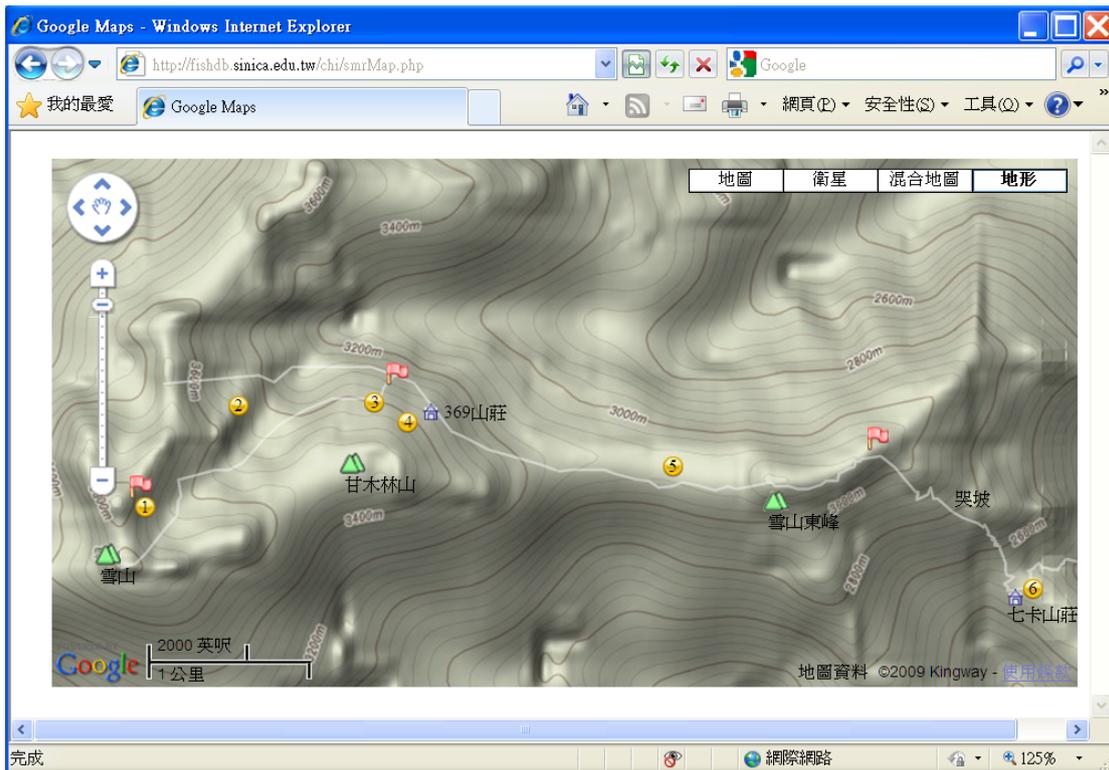


圖 9-3. 雪山地形圖(含 6 個測站、三個氣象站及相關圖資)。



圖 9-4. 現場影像(調查現場照片)。



圖 9-5. 調查生物目別統計。



圖 9-6. 調查生物科別統計。

SYUE - Windows Internet Explorer
 http://syue.biodiv.tw/chi/specieslist.php

雪山地區高山生態系整合調查 內政部營建署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

全部網站共調查 132 種生物 請輸入關鍵字 搜尋

1 2 3 4 5 6 7 共7頁 每頁 20 筆 顯示: 門名 門中 綱名 綱中

目名	目	科名	科	學名	中文	筆數
non-insect				Gen. sp(non-insect-family)		14
Homoptera	同翅目	Family		Gen. sp(Homoptera-Family)	同翅目	10
Homoptera	同翅目	Coccoidea	介殼蟲總科	Gen. sp(Homoptera-Coccoidea)	介殼蟲總科	1
Homoptera	同翅目	Aphididae	蚜科	Gen. sp(Homoptera-Aphididae)	蚜科	24
Homoptera	同翅目	Psyllidae	木虱科	Gen. sp(Homoptera-Psyllidae)	木虱科	25
Homoptera	同翅目	Phylloxeridae	根瘤蚜科	Gen. sp(Homoptera-Phylloxeridae)	根瘤蚜科	1
Homoptera	同翅目	Cercopidae	沫蟬科	Gen. sp(Homoptera-Cercopidae)	沫蟬科	10
Homoptera	同翅目	Adelgidae	球蚜科	Gen. sp(Homoptera-Adelgidae)	球蚜科	6
Homoptera	同翅目	Eriosomatidae	癭綿蚜科	Gen. sp(Homoptera-Eriosomatidae)	癭綿蚜科	6
Homoptera	同翅目	Miridae	盲蝽科	Gen. sp(Hemiptera-Miridae)	盲蝽科	1
Homoptera	同翅目	Miridae	盲蝽科	Stenodema brevinotum	盲蝽科	1
Homoptera	同翅目	Margarodidae	碩介殼蟲科	Gen. sp(Homoptera-Margarodidae)	碩介殼蟲科	2
Homoptera	同翅目	Delphacidae	稻飛虱科	Gen. sp(Homoptera-Delphacidae)	飛虱科	14
Homoptera	同翅目	Pseudococcidae	粉介殼蟲科	Gen. sp(Homoptera-Pseudococcidae)	粉介殼蟲科	1
Homoptera	同翅目	Aleyrodidae	粉虱科	Gen. sp(Homoptera-Aleyrodidae)	粉虱科	1
Homoptera	同翅目	Cixiidae	菱飛虱科	Gen. sp(Homoptera-Cixiidae)	菱飛虱科	4

圖 9-7. 調查生物物種統計。

SYUE - Windows Internet Explorer
 http://syue.biodiv.tw/chi/record_list.php

雪山地區高山生態系整合調查 內政部營建署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

全部網站共調查 1090 筆物種紀錄 Google Map

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 共55頁 每頁 20 筆

科名	學名	日期	地點	緯度	經度	深度	調查者	內容
Adelgidae	Gen. sp(Homoptera-Adelgidae)	2009-04-06	黑森林9K水源附近	24.3940	121.23864	-	葉文斌	🔍
Adelgidae	Gen. sp(Homoptera-Adelgidae)	2009-04-09	雪山東峰後玉山箭竹草地	24.39057	121.26554	-	葉文斌	🔍
Adelgidae	Gen. sp(Homoptera-Adelgidae)	2009-04-10	雪山東峰後玉山箭竹草地	24.39057	121.26554	-	葉文斌	🔍
Adelgidae	Gen. sp(Homoptera-Adelgidae)	2009-04-10	雪山東峰後玉山箭竹草地	24.39057	121.26554	-	葉文斌	🔍
Adelgidae	Gen. sp(Homoptera-Adelgidae)	2009-04-09	七卡山莊旁針闊混合林	24.38361	121.28778	-	葉文斌	🔍
Agromyzidae	Gen. sp(Diptera-Agromyzidae)	2009-04-05	七卡山莊旁針闊混合林	24.38361	121.28778	-	葉文斌	🔍
Agromyzidae	Gen. sp(Diptera-Agromyzidae)	2009-04-09	七卡山莊旁針闊混合林	24.38361	121.28778	-	葉文斌	🔍
Aleyrodidae	Gen. sp(Homoptera-Aleyrodidae)	2009-04-05	七卡山莊旁針闊混合林	24.38361	121.28778	-	葉文斌	🔍
Amphipsocidae	Gen. sp(Psocoptera-Amphipsocidae)	2009-04-09	雪山東峰後玉山箭竹草地	24.39057	121.26554	-	葉文斌	🔍
Anisopodidae	Gen. sp(Diptera-Anisopodidae)	2009-04-09	雪山東峰後玉山箭竹草地	24.39057	121.26554	-	葉文斌	🔍
Anisopodidae	Gen. sp(Diptera-Anisopodidae)	2009-04-05	七卡山莊旁針闊混合林	24.38361	121.28778	-	葉文斌	🔍
Anthomyiidae	Gen. sp(Diptera-Anthomyiidae)	2009-04-06	園谷底	24.38822	121.23289	-	葉文斌	🔍
Anthomyiidae	Gen. sp(Diptera-Anthomyiidae)	2009-04-06	黑森林9K水源附近	24.3940	121.23864	-	葉文斌	🔍
Anthomyiidae	Gen. sp(Diptera-Anthomyiidae)	2009-04-08	雪山東峰後玉山箭竹草地	24.39057	121.26554	-	葉文斌	🔍
Anthomyiidae	Gen. sp(Diptera-Anthomyiidae)	2009-04-05	七卡山莊旁針闊混合林	24.38361	121.28778	-	葉文斌	🔍
Anthomyiidae	Gen. sp(Diptera-Anthomyiidae)	2009-04-05	七卡山莊旁針闊混合林	24.38361	121.28778	-	葉文斌	🔍

圖 9-8. 全部調查物種紀錄。