

## 研究報告

# 雪山山脈臺灣冷杉林 (*Abies kawakamii* (Hayata) Ito) 地被植群多樣性

廖敏君<sup>1</sup> 邱清安<sup>1,2</sup> 林鴻志<sup>1</sup> 曾彥學<sup>1</sup> 曾喜育<sup>1,3</sup> 呂金誠<sup>1</sup>

【摘要】臺灣冷杉 (*Abies kawakamii* (Hayata) Ito) 是臺灣特有之冰河孑遺針葉樹種，為森林界限樹種組成之一。本研究針對雪山山脈臺灣冷杉林地被植物組成多樣性、地被植物與環境因子相關分析和物種多樣性探討，以期瞭解臺灣亞高山生態系臺灣冷杉林型地被環境對於臺灣冷杉之相關性。本研究設置39個樣區 (10 m × 25 m)，調查計得維管束植物50科、99屬、145種 (含種以下分類群) 植物，其中為臺灣特有種62種，特有種比例約42.8%。分析生活型譜以半地中植物77種最多，依序是挺空植物、地表植物、地中植物、一年生植物。依據群團分析及降趨對應分析結果，臺灣冷杉林下地被植群型可分為5型：1. 臺灣冷杉-臺灣鬼督郵型；2. 臺灣鬼督郵-玉山耳蕨型；3. 玉山當歸-臺灣繡線菊型；4. 玉山箭竹-臺灣鬼督郵型；5. 玉山箭竹-玉山杜鵑型。加入環境因子及多樣性指數進行典型對應分析結果，雪山山脈臺灣冷杉林型地被植物多樣性指數與全天空域呈負相關，顯示臺灣冷杉林下地被植物組成與樣區受到地形遮蔽後光照範圍所影響。此外，由於林下玉山箭竹具有緻密的地下莖及密度極高的莖程，是影響臺灣冷杉林下地被物種多樣性及臺灣冷杉天然更新的重要因素。

【關鍵詞】臺灣冷杉、地被植群、群團分析、序列分析、物種多樣性

## Research paper

## Understory vegetation diversity at *Abies kawakamii* (Hayata) Ito forest in Mt. Shei

Min-Chun Liao<sup>1</sup> Chin-An Chiu<sup>1,2</sup> Hung-Chih Lin<sup>1</sup> Yen-Hsueh Tseng<sup>1</sup>  
Hsy-Yu Tzeng<sup>1,3</sup> King-Cherng Lu<sup>1</sup>

【Abstract】*Abies kawakamii* (Hayata) Ito (Taiwan fir) is an endemic of glacial relic species. It is one of the species which composed the forest line. They are usually gregarious pure forest type at the subalpine ecology in Taiwan, and then became the important one of subalpine vegetation. The object of this study is to investigate the understory vegetation of Taiwan fir forest and classify, discussing the correlation with the environmental factors at the subalpine in Taiwan. Totally we set up 39 plots (10 m × 25 m), in the floristic

- 
1. 國立中興大學森林學系，40227臺中市國光路250號  
Department of Forestry, National Chung Hsing University, 250 Kuokwang Rd., Taichung City 40227, Taiwan.
  2. 國立中興大學實驗林管理處，40227臺中市國光路250號  
Experimental Forest, National Chung Hsing University, 250 Kuokwang Rd., Taichung City 40227, Taiwan.
  3. 通訊作者 Corresponding author, e-mail: erecta@dragon.nchu.edu.tw

surveys of vascular plant, 145 species (including under taxa species) belonging to 99 genera in 50 families. We found 62 species are endemic in Taiwan (endemic ratio is 42.8%). According the plant life form spectrum, there are 77 understory species classified into hemicryptophytes. Analyses the results of cluster and detrended correspondence analysis (DCA), the understory vegetation can be classified into 5 types: (1)*Abies kawakamii*-*Ainsliaea latifolia* type; (2)*Ainsliaea latifolia*-*Polystichum morii* type; (3)*Angelica morrisonicola*-*Spiraea formosana* type; (4)*Yushania niitakayamensis*-*Ainsliaea latifolia* type; (5)*Yushania niitakayamensis*-*Rhododendron pseudochrysanthum* type. Adding the environmental factors and diversity indexes to do CCA analysis, the diversity indexes are negative correlation with whole light sky (WLS). It means the species composition of understory vegetation in *Abies* forest would effected by solar radiation based on the topography shelter. Furthermore, because of the dense rhizome and extremely high stem of *Yushania niitakayamensis* is an important role to affect the understory diversity and regeneration of *Abies kawakamii*.

【Key words】*Abies kawakamii*, understory vegetation, cluster analysis, ordination, species diversity

## 一、前言

植群具有水平及垂直層次結構之形態特徵，可為植群中植物間及植物與環境間之相互關係的表現；垂直結構 (vertical structure) 是指植物群落在空間上的垂直分化，分為地上分層 (supraterraneous stratification) 及地下分層 (subterraneous stratification)，大多研究探討垂直結構多以地上分層為主；地上分層是指植物同化器官在地面以上不同高度所形成的垂直層次結構，根據生長型可分為喬木層 (tree layer)、灌木層 (shrub layer)、草本層 (herb layer) 和由苔蘚、地衣構成的地被層 (field layer, ground layer) (宋永昌，2001)。在森林生態系中地被層植物 (understory species) 之豐富度、分布情形反映微環境特徵、樹冠層植物 (overstory species) 天然更新情形及森林長期動態過程，更可做為估計森林生態系中物種多樣性，以及微環境之分化指標指數 (indicator index) (Whittaker, 1967; 章樂民，1968；劉棠瑞、蘇鴻傑，1983)。由於地被層定義及名詞相當多樣如：草本層 (herbaceous layer, herbaceous (or herb) stratum)、草本地被層 (herbaceous understory)、地被層 (ground layer)、地被植群 (ground vegetation)，甚至

以森林上層優勢種之更新類型定義為更新層 (regeneration layer, step-overs)，未有一致的用法及定義，因此許多學者於研究前均會確定名制 (Gilliam and Roberts, 2003)。

地被層依據生活史特性 (life-history characteristics) 及演替過程，具有兩種功能群 (functional group)：1. 長期居住物種 (resident species)：生長高度1-1.5 m以下之植物 (或依據研究各別定義高度)，包括一年生 (annuals)、多年生草本 (herbaceous perennials) 及低矮灌木 (low-growing shrubs)；2. 轉換層物種 (transient species)：此類功能群具有能力發展至更高之分層結構，因此短暫地處於地被層中，包括灌木、下層植物 (understory layers) 及上層植物 (overstory layers) 幼年期 (juveniles, i.e., seedling and sprouts) 均屬此類型 (Gilliam and Roberts, 2003)。然而植群組成的種類會因為環境差異而有所不同，在某植群型中可能會有一些植物種類對該植群型之親和性較其他物種更為敏感，因此可利用具有明顯指示性的植物進行植群分類，並作為環境的指標 (Augusto *et al.*, 2003; Mataji *et al.*, 2010)。這些植物包括特徵種 (character species)、分化種 (differential species) 和恆存半生種 (constant companion species)，通

稱為鑑別種群 (diagnostic species) (劉靜榆等, 2006)。由於溫帶或高海拔地區樹木組成頗為簡單, 廣泛分佈出現於差異相當大之生育環境, 但下層或草本植物, 則在不同生育地呈現明顯分化, 若以下層灌木或地被植物之優勢度進行植群分類, 可找出各類生育地中之特徵種及指標物種 (劉棠瑞、蘇鴻傑, 1983; Pitkänen, 1997)。

臺灣冷杉 (*Abies kawakamii* (Hayata) Ito) 是臺灣特有之冰河孑遺針葉樹種, 為森林界限 (forest line) 樹種組成之一, 分布海拔介於 2,400-3,600 m (Liu, 1971), 主要分布北起太平山、南湖大山, 南迄卑南主山, 大致呈連續性分布, 常以純林型式群聚於臺灣亞高山生態環境, 為最具代表性之臺灣亞高山植群 (subalpine vegetation)。全世界冷杉屬 (*Abies* Mill.) 植物大多分布於寒帶及溫帶氣候地區, 而臺灣冷杉為 2 種分布於亞熱帶地區之一, 是本屬分布之南界生態指標 (Liu, 1971)。由於臺灣冷杉林下之地被組成可大致區分成玉山箭竹與苔蘚 2 種優勢類型 (歐辰雄, 2008), 且地被植群之組成對於樹種天然更新、物種多樣性有關 (廖敏君等, 2012); 因此本研究針對雪山山脈臺灣冷杉林地被植物組成多樣性、地被植物與環境因子相關分析和物種多樣性加以探討, 以期瞭解臺灣亞高山生態系臺灣冷杉林地被環境對於臺灣冷杉之相關性。

## 二、研究方法

### (一) 研究區域

本研究以雪山山脈臺灣冷杉林型 (*Abies kawakamii* forest type) 為範圍 (林鴻志, 2005; 王偉等, 2010), 樣區主要位於雪山主峰線、武陵四秀線、雪山西稜線、大小劍線等 4 條主稜線。研究區域地質屬中央山脈地質區之西部亞區的雪山山脈帶, 由第三紀的亞變質岩組成, 地質帶中以深灰色的硬頁岩和板岩為主 (何春蓀, 1986)。另依據劉桓吉等 (2004) 研究, 雪山主峰沿線地區出露之岩層, 大致以海

拔 3,000 m 為界, 界線以上稜線和接近稜線部分之山坡為白冷層的變質砂岩, 3,000 m 以下為出露佳陽層之板岩。顏江河 (2011) 於雪山主峰線沿海拔梯度上升調查土壤性質, 分析結果顯示所有樣點土壤都呈現極酸性、有效磷缺乏、置換性鋁極高等不利植物生長的情形。魏聰輝與林博雄 (2011) 於 2009 年在雪山高山地區海拔 3,100-3,584 m 分別設立 4 處氣象站, 以雪山圈谷 2010 年氣象站資料顯示最冷月為 1 月 (月均溫  $-0.11^{\circ}\text{C}$ ), 最熱月為 7 月 (月均溫  $9.02^{\circ}\text{C}$ ), 年均溫約為  $4.86^{\circ}\text{C}$ , 年降雨量為 2,284.5 mm。雪山山脈冬季均有積雪情形, 雪霸國家公園於 2009 年起即設置高山氣象站, 直至 2011 年 4 月, 共有 71 場降雪事件, 風速年變化以冬季時受東北季風影響較大 (魏聰輝、林博雄, 2011)。

### (二) 資料蒐集

植群調查樣區共設置 39 個  $10\text{ m} \times 25\text{ m}$  臨時樣區, 海拔高度介於 2,680-3,520 m; 樣區代號以雪山主峰線 (XZ)、武陵四秀線 (JS)、雪山西稜線 (DX)、大小劍線 (DS) 等稜線區分。樣區資料分為物種及環境因子兩類, 記錄地被層植物之覆蓋度及相關環境因子資料。本研究亦將樹高小於 1.3 m 或胸高直徑小於 1 cm 之木本植物列入記錄, 因此將森林上層木本植物之小苗或稚樹列為地被層植物, 記錄其樹冠覆蓋面積。本研究調查之植物學名主要依據 *Flora of Taiwan* (Bufford *et al.*, 2003)。樣區環境因子則記錄海拔高度、方位角、坡向、坡度、全天光空域等, 並以全球衛星定位儀 (Global Position System, GPS) 記錄樣區位置。

### (三) 資料分析

#### 1. 植物生活型譜 (life form spectrum)

本研究依據 Raunkiaer (1934) 生活型分類方式將種子植物區分為 5 型: (1) 挺空植物 (phanerophytes, P): 多年生具有背地性之莖或枝條頂端, 如喬木、灌木; (2) 地表植物 (chamaephytes, Ch): 生存芽位於離地面甚近之枝上 (通常不超過 25 cm), 如小灌木或亞灌木

植物，其植物體及花軸均為背地性，花只出現於生長季；(3)半地中植物 (hemicyptophytes, H)：生長芽位於土表，可受冬雪、落葉層及土壤之保護，大多數二年生或多年生草本均屬此類型；(4)地中植物 (geophytes, G)：生存芽完全埋入土中，在不良季節時可受土壤保護；(5)一年生種子植物 (therophytes, T)：無生存芽，植物在極短之生長季中完成生活週期，而以種子之休眠型態渡過不良季節。計算各生活型種類所佔比例，繪製生活型譜。蕨類植物 (Pteridophyte, Pt) 在植群中佔有相當份量，蕨類植物出現種類之多寡可與地上植物生活型相呼應，因此另外計算蕨類商數 (Pteridophyte-Quotient, Ptp-Q)，公式如下： $Ptp-Q=(A \times 25)/B$  (A為蕨類植物種數，B為種子植物種數) (劉棠瑞、蘇鴻傑，1983)。

## 2. 物種多樣性指數

計算各樣區種豐富度指數 (species richness, S)、均勻度指數 (evenness, E)、Shannon多樣性指數 (Shannon's diversity index, H) 及Simpson多樣性指數 (Simpson's index diversity, D') (劉棠瑞、蘇鴻傑，1983)，用以探討臺灣冷杉不同地被植物社會中物種多樣性及個體於種類的分布優勢程度及其相關性。

## 3. 地被植群分類及序列分析

將樣區內所得維管束植物之相對優勢度 (relative coverage)，以八分制級值 (octave scale) 轉化為0-9級格式後 (Gauch, 1982)，進行群團分析 (cluster analysis, CA) 分群。另以PC-ORD 5.0 (McCune and Mefford, 1999) 之降趨對應分析 (detrended correspondence analysis, DCA) 將樣區排序，另加入海拔 (Alt.)、坡度 (Slope)、水分梯度 (Moist.)、全天光空域 (WLS) 等4種環境因子矩陣及多樣性指數種豐富度指數、Shannon多樣性指數及Simpson多樣性指數等3種多樣性指數，進行典型對應分析 (canonical correspondence analysis, CCA)，藉以瞭解各樣區於環境梯度上排序情形 (ter Braak, 1998)。同時參考地被植群分類結果及實際生育地情形，

探討雪山山脈臺灣冷杉林地被植群物種分布趨勢及與環境因子之關係；環境因子則以Monte-Carlo測驗分析相關性。

## 4. 統計分析

為瞭解玉山箭竹優勢度、生育地環境對臺灣冷杉優勢度、物種數和物種多樣性指數之影響，本研究利用SPSS12.0進行Spearman相關分析。以Mann-Whitney U 統計量檢定不同地被類型對臺灣冷杉更新之差異，瞭解玉山箭竹與苔蘚類型對物種多樣性及臺灣冷杉之影響。

## 三、結果與討論

### (一) 植物生活型譜及多樣性指數

共記錄維管束植物50科、99屬、145種 (含種以下分類群) 植物，蕨類植物24種，種子植物中裸子植物 (Gymnosperms) 5種、被子植物116種；被子植物中雙子葉植物 (Dicotyledons) 93種、單子葉植物 (Monocotyledons) 23種。臺灣特有種數62種，特有種比例約42.8% (表1)。蕨類植物種數最多科別為鱗毛蕨科 (Dryopteridaceae) 及蹄蓋蕨科 (Athriaceae) 各5種，蕨類商數為4.96。菊科 (Compositae) (15種)、薔薇科 (Rosaceae) (12種)、禾本科 (Gramineae) (11種) 為被子植物種數最多之前三科；此三科屬於熱帶及溫帶植物區系典型之種類，反映出雪山山脈植物地理區系之特色 (鄭婷文等，2012)。

雪山山脈臺灣冷杉林地被植物之植物生活型譜以半地中植物 (H) 77種 (63.6%) 最多，依序是挺空植物 (P) 20種 (16.5%)、地表植物 (Ch) 12種 (9.9%)、地中植物 (G) 11種 (9.1%)，而以一年生植物 (T) 1種 (0.8%) 最少 (圖1)。由於雪山山脈海拔超過3,000 m以上地區，白天日照輻射量強、日夜溫差大且冬季有積雪情形，因此本地區植物生活型多為二年生以上草本或半地中之禾本科植物類型 (鄭婷文等，2012)，在亞高山 (subalpine) 至高山 (alpine) 植物區系中是非常明顯及重要之特徵 (Körner, 2003)。



表1. 雪山山脈臺灣冷杉林地被植群植物分類群統計表

Table 1. Number of taxa in the vascular flora at the *Abies kawakamii* forest type in Mt. Shei

類別	科	屬	種	特有種比例(%)
蕨類植物(Pteridophytes)	8	12	24	4(16.7%)
裸子植物 (Gymnosperms)	2	4	5	2(40.0%)
雙子葉植物 (Dicotyledons)	34	69	93	53(57.6%)
單子葉植物 (Monocotyledons)	6	20	23	3(12.5%)
總計	50	105	145	62(42.8%)

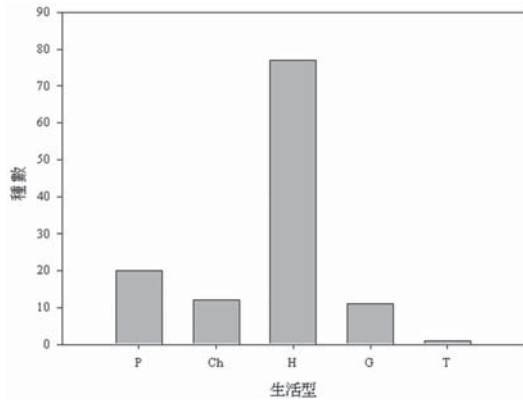


圖1. 雪山山脈臺灣冷杉林地被層植物生活型譜。P：挺空植物；Ch：地表植物；H：半地中植物；G：地中植物；T：一年生植物。

Fig. 1. The plant life form spectrum at the *Abies kawakamii* forest in Mt. Shei. (P: phanerophytes; Ch: chamaephytes; H: hemicryptophytes; G: geophytes; T: therophytes.)

(二) 地被植群分類及序列分析

以群團分析結果道先以25%訊息保持度 (information remaining) 為門檻分成2個類群：第一群以苔蘚為優勢組成，第二群則以玉山箭竹為單一優勢組成；另以50%訊息保持度細分成5型，進一步解釋不同微環境物種之差異 (圖2)。命名規則以樣區內地被優勢度最多前二名為命名依據：

1. 臺灣冷杉—臺灣鬼督郵型 (*Abies kawakamii*-*Ainsliaea latifolia* type) (Type I-1)：共計8個樣區 (XZ2, XZ5, XZ6, XZ7, XZ8, XZ16, XZ23, XZ24)，位於雪山主峰線海拔3,350-3,550 m。本型地被木本植物為臺灣冷杉、玉山杜鵑 (*Rhododendron pseudochrysanthum*)、玉山圓柏 (*Juniperus squamata*) 等小苗，以及玉山小蘗 (*Berberis morrisonensis*) 等組成；草本植物為臺灣鬼督郵 (*Ainsliaea latifolia*)、高山白珠樹 (*Gaultheria itoana*)、高山珠蕨 (*Cryptogramma brunoniana*)、大霸尖山酢醬草 (*Oxalis acetocella* ssp. *taemoni*) 等。
2. 臺灣鬼督郵—玉山耳蕨型 (*Ainsliaea latifolia*-*Polystichum morii* type) (Type I-2)：共計4個樣區 (XZ9, XZ10, XZ11, XZ12)，位於雪山主峰線海拔3,345-3,375 m。本型地被木本植物有臺灣冷杉、巒大花楸 (*Sorbus randaiensis*)；草本植物為臺灣鬼督郵、玉山耳蕨 (*Polystichum morii*)、高山珠蕨、山酢醬草 (*Oxalis acetocella* ssp. *griffithii*)、貧子水苦蕒 (*Veronica oligosperma*)、刺果豬殃殃 (*Galium echinocarpum*) 等數量較豐富。
3. 玉山當歸—臺灣繡線菊型 (*Angelica morrisonicola*-*Spiraea formosana* type) (Type I-3)：共計2個樣區 (XZ14, XZ15)，位於雪山主峰線海拔3,300-3,310 m 地區。本型地被層植物以玉山當歸 (*Angelica*

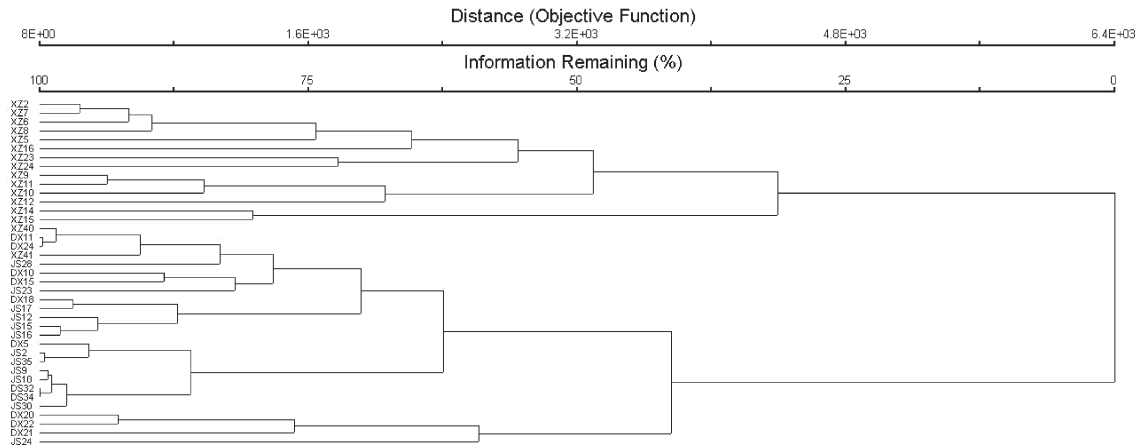


圖2.雪山山脈臺灣冷杉林地被植群矩陣群團分析樹形圖。

Fig. 2. Dendrogram based on matrix cluster analysis of understory vegetation at the *Abies kawakamii* forest type in Mt. Shei.

*morrisonicola*)、臺灣繡線菊 (*Spiraea formosana*)、黃菀 (*Senecio nemorensis* var. *dentatus*)、玉山耳蕨、臺灣茶藨子 (*Ribes formosanum*)、玉山小蘗等為主。

4. 玉山箭竹—臺灣鬼督郵型 (*Yushania niitakayamensis*-*Ainsliaea latifolia* type) (Type II-1)：共計21個樣區 (XZ40, XZ41, DX5, DX10, DX11, DX15, DX18, DX24, JS2, JS9, JS10, JS12, JS15, JS16, JS17, JS23, JS28, JS30, JS35, DS32, DS34)，位於雪山主峰線、武陵四秀線、雪山西稜線、大小劍線之海拔2,680-3,355 m處，本型以玉山箭竹為單一優勢地被，部份樣區已達臺灣冷杉分布海拔下限，並與臺灣鐵杉 (*Tsuga chinensis* var. *formosana*) 形成交會帶。由於玉山箭竹生長優勢，本型物種多樣性指數較其他類型低，地被層零星出現臺灣鬼督郵、高山白珠樹、裂葉樓梯草 (*Elatostema trilobulatum*) 等。
5. 玉山箭竹—玉山杜鵑型 (*Yushania niitakayamensis*-*Rhododendron pseudochrysanthum* type) (Type II-2)：共計4個樣區 (DX20、DX21、DX22、JS24)，位於雪山山脈雪山西稜線及大小劍線海拔3,357-3,508 m處。以玉山箭

竹、玉山杜鵑為優勢，玉山圓柏、臺灣冷杉為主要之木本植物小苗組成，其他伴生植物有臺灣鬼督郵、玉山小蘗等。

依據群團分析結果進行DCA序列分析 (圖3)，結果顯示DCA序列分布第一軸軸長為4.692、第二軸軸長為3.285，第三軸軸長為2.553。DCA變異解釋率第一軸為10.8%，第二軸變異解釋率為6.4%，第三軸變異解釋率為9.9%；DCA分析結果大致與群團分析相符。而CCA分布序列結果，第一軸變異解釋率9.9%、第二軸變異解釋率5.9%、第三軸變異解釋率3.3%；前三軸軸長分別為0.611、0.368、0.204，總變異量則為6.1926。第一軸與全天光空域呈正相關、與海拔、多樣性指數呈負相關 (圖4、表2)，第三軸與濕潤指數呈正相關 (圖5)。玉山箭竹—臺灣鬼督郵型 (Type II-1) 與全天光空域呈正相關，與多樣性指數、海拔因子呈負相關，表示全天光空域越大，樣區中所能接受太陽輻射的空域越大，表示林下之玉山箭竹生長環境需於較多光和較低的海拔才能獲得優勢。Frelich *et al.* (2003) 亦認為森林下層地被植群組成受到微環境因子土壤及光度影響甚大。

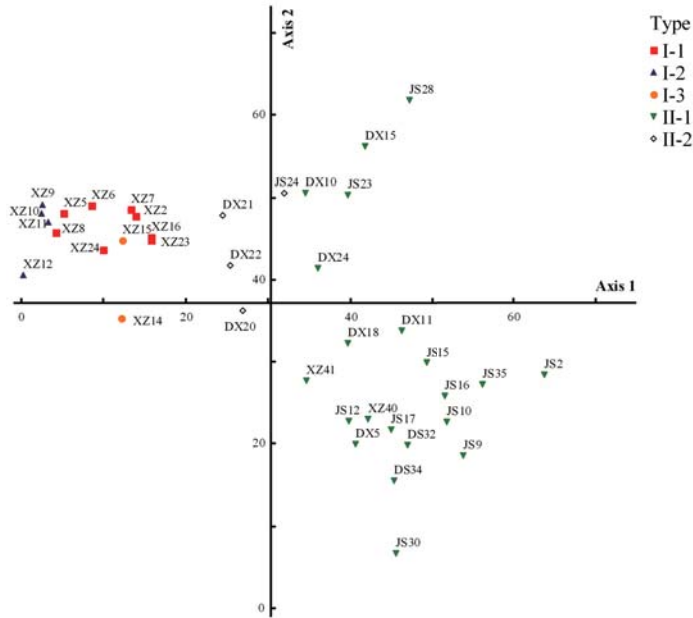


圖3. 雪山山脈臺灣冷杉林地被植群樣區DCA第一軸與第二軸之分布圖。

Fig. 3. DCA ordination plot of the first two axis at the *Abies kawakamii* forest type in Mt. Shei.

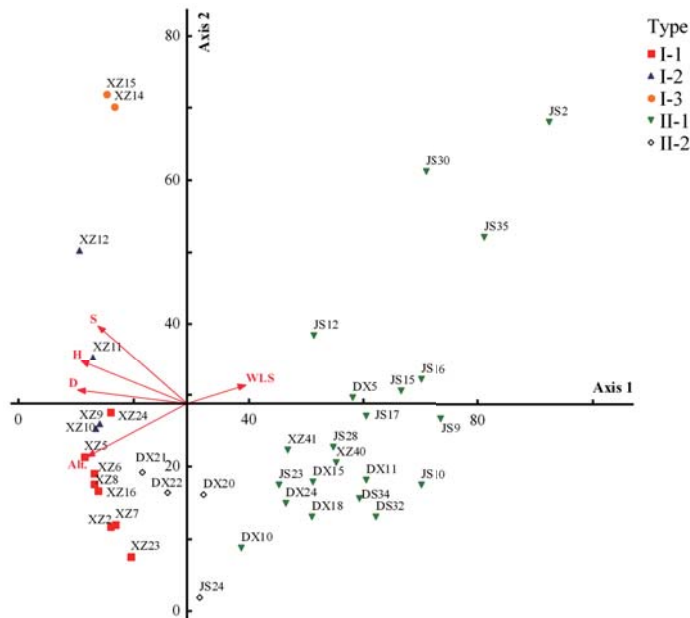


圖4. 雪山山脈臺灣冷杉林地被樣區環境因子與多樣性指數CCA第一軸與第二軸分布圖。Alt. : 海拔 ; D : Simpson多樣性指數 (Simpson's index diversity) ; H : Shannon多樣性指數 (Shannon's diversity index) ; S : 種豐富度指數 (species richness) ; WLS : 全天空空域。

Fig. 4. CCA ordination biplot of axis 1 and axis 2 of understory vegetation plots with environment variables and diversity indices at the *Abies kawakamii* forest type in Mt. Shei.

表2. 雪山山脈臺灣冷杉林各樣區環境因子、多樣性指數與CCA之前三軸相關性及演算分數表

Table 2. Pearson correlation of environmental factors, diversity indices and CCA first three axes and CCA biplot scores at the *Abies kawakamii* forest type in Mt. Shei

變數	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	-0.869	-0.397	-0.210	-0.768	-0.309	-0.141
坡度	0.072	0.165	-0.056	0.064	0.128	-0.037
全天光空域	0.504	0.134	0.084	0.446	0.105	0.056
濕潤指數	-0.313	0.384	0.642	-0.276	0.299	0.431
種豐富度	-0.772	0.588	-0.225	-0.682	0.458	-0.151
Shannon's diversity	-0.911	0.317	-0.011	-0.806	0.247	-0.008
Simpson's diversity	-0.950	0.098	-0.010	-0.840	0.077	-0.006

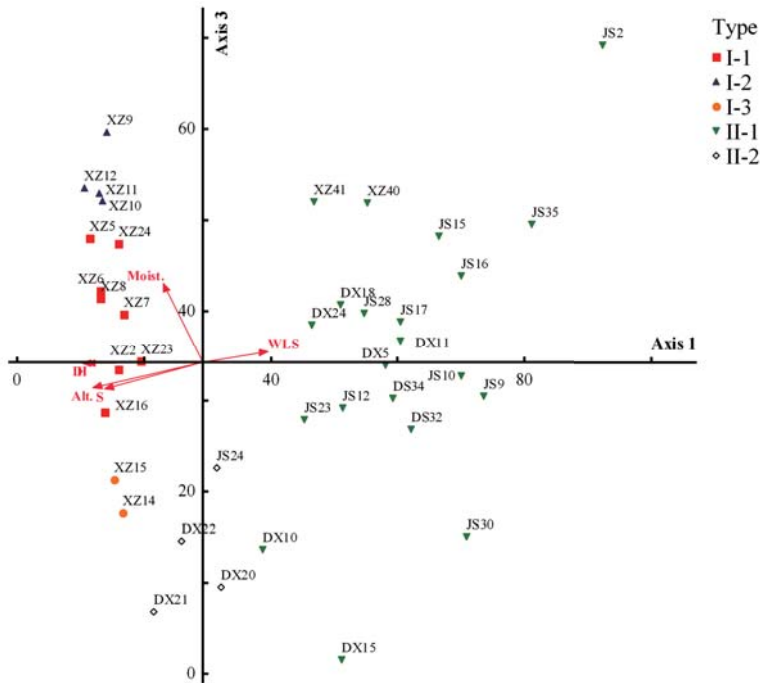


圖5. 雪山山脈臺灣冷杉林地被樣區多樣性指數與環境因子CCA第一軸與第三軸分布圖。

Fig. 5. CCA ordination biplot of axis 1 and axis 3 of understory vegetation plots with environment variables and diversity indices at the *Abies kawakamii* forest type in Mt. Shei.



### (三) 物種多樣性探討

雪山山脈臺灣冷杉林型之地被物種多樣性分析結果顯示，在玉山箭竹優勢地被組成的林分中，物種數或物種多樣性較以苔蘚等植物地被組成來得低 (表3)，以Mann-Whitney U 統計量檢定兩類群的Simpson 多樣性指數結果顯示，玉山箭竹優勢之地被植群，其物種多樣性明顯較非玉山箭竹優勢之地被植群來得低 ( $U=16.000, p<0.001$ )。玉山箭竹緻密的地下莖、密度極高的莖桿，以及高達2 m的植株，不僅阻礙臺灣冷杉的更新與種子苗建立，對於其他木本植物或低矮的草本地被植物亦影響甚大 (廖敏君等, 2012)。

朱登強等 (2008) 研究西藏色季拉山西坡急尖長苞冷杉 (*A. georgei* var. *smithii*) 林物種多樣性結果認為林下物種多樣性指數與海拔有極顯著負相關，該地區林下均為苔蘚優勢生長。然而本研究林下物種多樣性指數與海拔略呈正相關與朱登強等 (2008) 研究相反，此可能因海拔位於2,600-3,300 m樣區臺灣冷杉林下層主要以玉山箭竹優勢而物種多樣性較低，海拔位於3,300-3,500 m樣區之地被類型多以苔蘚優勢，物種多樣性指數較高所致。另一方面，本研究發現，玉山箭竹在雪山主峰線3,400 m以上之臺灣冷杉林下幾不見玉山箭竹分布，只有在孔隙存在的林分才可見玉山箭竹分布，而在3,600 m雪山1號圈谷中亦僅見2叢玉山箭竹，顯示玉山箭竹在雪山山脈臺灣冷杉林下分布可能受到海拔、林下光度 (孔隙存在與否)、坡向等環境因子影響。海拔因子為一間接因子，其主要反映在溫度效應上 (Körner, 2003)，而溫度為植物生存、生長所需之熱能，玉山箭竹為陽性植物，在海拔3,400 m以上則難以在鬱閉的臺灣冷杉林下生存，所以必需在光度足夠的孔隙下生長。Taylor *et al.* (2004) 於中國四川冷杉—樺木 (*Abies-Betula*) 森林進行樹冠層與林下竹類動態研究時，發現樹冠孔隙的大小及數量，讓下層林木及竹類的更新受到影響；然而在缺乏孔隙之森林下層，成熟及綿密的竹類確實會阻礙林

木更新及林分發展。

然而在臺灣相關研究臺灣冷杉植群結果發現，地被植物雖多為玉山箭竹優勢類型，但由5種地被型之組成可發現，臺灣鬼督郵均出現在各分型中，顯示臺灣鬼督郵對於臺灣冷杉林下之微環境適應廣泛。綜合各樣區下層植物優勢度前五名結果，臺灣冷杉林型之地被木本植物主要為臺灣冷杉、臺灣鐵杉、玉山圓柏、玉山杜鵑、玉山箭竹、臺灣茶藨子；草本組成為臺灣鬼督郵、裂葉樓梯草、臺灣龍膽 (*Gentiana davidii* var. *formosana*)、大霸尖山酢醬草等。然而森林環境中影響地被植群組成及多樣性因素很多種，例如上層植物年齡及組成 (Whitney and Foster, 1988; Pitkänen, 1997)、土壤因子 (Pitkänen, 1997; Augusto *et al.*, 2003; Mataji *et al.*, 2010)、光度 (Frelich *et al.*, 2003) 及物種競爭 (Bucci and Borghetti, 1997; Martens *et al.*, 2001) 等。對於森林生態系應盡可能蒐集各項環境因子及物種間關係，以釐清影響地被組成類型之因素。

### (四) 臺灣冷杉之天然更新

本研究臺灣冷杉小苗在各樣區均有出現，經由無母數統計分析 (以Spearman's rho 係數表示) 環境因子、多樣性指數與臺灣冷杉、玉山箭竹優勢度之相關性 (表4)。結果發現臺灣冷杉與玉山箭竹優勢度呈負相關 ( $\rho=-0.322, p<0.05$ )，然而在多樣性指數較低、玉山箭竹優勢度較高之地被植群型 (Type II-1、II-2)，亦可見到臺灣冷杉小苗存在，惟數量較低。現場調查發現，臺灣冷杉小苗在第二類型 (Type II-1、II-2) 地被樣區大多發生在森林上層破空所出現之孔隙 (gap)，孔隙提供更多實生苗的生長空間，因此樹冠層結構會影響木本植物實生苗及箭竹的分布及豐富度 (Taylor and Zisheng, 1992) 然而在第一類型 (Type I-1、I-2、I-3) 樣區中，雖無玉山箭竹覆蓋優勢且地被植物種類相當較多，但可能因為地被層有綿密的苔蘚覆蓋，當臺灣冷杉種子掉落在苔蘚層後發芽，若在生長階段根系未到達土壤層之前

表3. 雪山山脈臺灣冷杉林各樣區地被植物多樣性表

Table 3. The table of understory species diversity at the *Abies kawakamii* forest type in Mt. Shei

植 群 型	樣 區	海拔高(m)	S	E	H	D'	
I	I1	XZ2	3520	26	0.692	2.253	0.8637
	I1	XZ5	3435	27	0.846	2.788	0.9159
	I1	XZ6	3440	26	0.717	2.337	0.8449
	I1	XZ7	3450	14	0.631	1.666	0.7334
	I1	XZ8	3450	22	0.622	1.921	0.7677
	I1	XZ16	3550	27	0.739	2.435	0.8691
	I1	XZ23	3450	21	0.797	2.425	0.8816
	I1	XZ24	3380	23	0.806	2.527	0.8779
	I2	XZ9	3345	19	0.801	2.357	0.8856
	I2	XZ10	3370	18	0.523	1.512	0.6400
	I2	XZ11	3375	32	0.793	2.748	0.9102
	I2	XZ12	3365	37	0.858	3.098	0.9400
	I3	XZ14	3300	43	0.784	2.948	0.9138
	I3	XZ15	3310	41	0.838	3.112	0.9344
	II1	XZ40	3100	6	0.229	0.411	0.1656
	II1	XZ41	3115	10	0.459	1.057	0.4540
	II1	DX5	3173	9	0.191	0.420	0.1534
	II1	DX10	3344	15	0.525	1.422	0.6703
	II1	DX11	3182	4	0.218	0.303	0.1501
	II1	DX15	3206	18	0.413	1.195	0.4461
II1	DX18	3122	10	0.576	1.326	0.6103	
II1	DX24	3355	4	0.369	0.512	0.2545	
II1	JS2	2680	8	0.194	0.403	0.1584	
II1	JS9	3114	7	0.165	0.321	0.1188	
II1	JS10	3205	3	0.035	0.039	0.0116	
II1	JS12	3266	16	0.360	0.998	0.4029	
II	II1	JS15	2965	9	0.367	0.806	0.3363
II1	JS16	2923	10	0.446	1.026	0.4319	
II1	JS17	3064	8	0.487	1.012	0.4922	
II1	JS23	3324	13	0.496	1.272	0.5283	
II1	JS28	3184	12	0.460	1.144	0.4754	
II1	JS30	2904	16	0.200	0.554	0.1827	
II1	JS35	2911	6	0.164	0.295	0.1197	
II1	DS32	3290	2	0.603	0.418	0.2512	
II1	DS34	3224	3	0.497	0.546	0.3017	
II2	DX20	3357	17	0.471	1.335	0.5508	
II2	DX21	3468	33	0.765	2.676	0.9030	
II2	DX22	3508	25	0.656	2.112	0.8238	
II2	JS24	3403	17	0.746	2.112	0.8194	

S : 種豐富度指數 (species richness)

E : 均勻度指數 (evenness)

H : Shannon多樣性指數 (Shannon's diversity index)

D' : Simpson多樣性指數 (Simpson's index diversity)

表4. 雪山山脈臺灣冷杉林各樣區環境因子、多樣性指數與玉山箭竹、臺灣冷杉優勢度相關分析表(以 Spearman's rho 係數表示)

Table 4. Environmental factors, diversity indices, and *Yushania niitakayamensis*, *Abies kawakamii* dominant correlation at the *Abies kawakamii* forest type in Mt. Shei

	海拔 (Alt.)	坡度 (slope)	全天光 空域 (WLS)	種豐 富度 (species richness)	均勻度 指數 (Eveness)	Shannon's diversity	Simpson's diversity	<i>Y. niitakay- amensis</i>	<i>A. kawakamii</i>
坡度 (slope)	-0.193								
全天光空域 (WLS)	-0.211	0.072							
種豐富度 (species richness)	0.522**	0.015	-0.310*						
均勻度指數 (Eveness)	0.740**	-0.060	-0.284*	0.692**					
Shannon's diversity	0.732**	0.042	-0.334*	0.825**	0.940**				
Simpson's diversity	0.730**	0.001	-0.331*	0.791**	0.960**	0.992**			
<i>Y. niitakay- amensis</i>	-0.671**	-0.037	0.389**	-0.747**	-0.811**	-0.824**	-0.822**		
<i>A. kawakamii</i>	0.456**	-0.289*	-0.189	0.334*	0.433**	0.441**	0.479**	-0.322*	

\*\* p<0.01 (單尾)。

\* p<0.05 (單尾)。

就已經耗盡自身能量而死亡，使得臺灣冷杉幼苗長成稚樹階段之更新過程更顯困難，因此在亞高山針葉林更新機制研究中，地被層之苔蘚亦扮演相當重要之決定因子(藺菲，2007)。

#### 四、結論(Conclusion)

(一) 本研究調查雪山山脈臺灣冷杉林型39個樣區，共記錄維管束植物50科、99屬、145種(含種以下分類群)植物；其中臺灣特有種數為62種，特有種比例約42.8%。

(二) 本研生活型譜以半地中植物77種(63.6%)最多，依序是挺空植物20種(16.5%)、地表植物12種(9.9%)、地中植物11種(9.1%)、一年生植物1種(0.8%)。

(三) 依據群團分析結果，臺灣冷杉林下地被植群型可分為5型：1. 臺灣冷杉-臺灣鬼督郵型；2. 臺灣鬼督郵-玉山耳蕨型；3. 玉山當歸-臺灣繡線菊型；4. 玉山箭竹-臺灣鬼督郵型；5. 玉山箭竹-玉山杜鵑型等。

(四) 根據典型對應分析結果，雪山山脈臺灣冷杉林型地被植物多樣性指數與全天光空域呈負相關，顯示臺灣冷杉林下地被植物組成與樣區受到地形遮蔽光照範圍所影響。

#### 五、參考文獻(Reference)

王偉、邱清安、蔡尚惠、許俊凱、曾喜育、呂金誠 (2010) 雪山主峰沿線植物社會調查研究。林業研究季刊32(3): 15-34。

- 朱登強、王軍輝、張守攻、張建國、茹廣欣、羅大慶、潘剛 (2008) 西藏色季拉山西坡急尖長苞冷杉林物種多樣性及群落結構的垂直分布格局。西北林學院學報23(5): 1-6。
- 何春蓀 (1986) 臺灣地質概論。經濟部中央地質調查所。
- 宋永昌 (2001) 植被生態學。華東師範大學出版社。
- 林鴻志 (2005) 雪霸國家公園植群分類之研究。國立中興大學森林學系碩士論文。
- 邱清安、曾彥學、王志強、廖敏君、曾喜育 (2010) 臺灣高山寒原植群之商榷及其在生態氣候觀點下的潛在位置。林業研究季刊32(3): 89-102。
- 陳明義、陳恩倫、周文郅、蔡佳育、陳志豪、林聖峰、裘君慧、劉思謙、陳文民 (2010) 大甲溪中上游植群之分類與製圖。林業研究季刊32(1): 1-18。
- 章樂民 (1969) 臺灣北部柳杉林地位指標植物之研究。臺灣省林業試驗所報告第182號。
- 廖敏君、蔡尚憲、王偉、曾喜育、歐辰雄 (2012) 雪山主峰線臺灣冷杉族群結構研究。林業研究季刊(審查中)。
- 劉桓吉、俞錚皞、楊金臻 (2004) 岩石的故事：雪霸國家公園地形地質解說專書。雪霸國家公園管理處。
- 劉棠瑞、蘇鴻傑 (1983) 森林植物生態學。臺灣商務印書館，共462頁。
- 劉靜榆、蘇鴻傑、曾彥學 (2006) 臺灣中西部氣候區楠櫛林帶植群分類系統之研究。特有生物研究8(2): 53-85。
- 歐辰雄 (2008) 雪山主峰線臺灣冷杉族群動態監測。雪霸國家公園管理處委託研究計畫報告書。
- 鄭婷文、曾喜育、邱清安、劉思謙、王秋美、曾彥學 (2012) 雪山主峰東線步道維管束植物生活型之研究。國家公園學報22: 41-51。
- 顏江河 (2011) 第三章、雪山地區主要林型菌根共生關係之研究，第3-1頁-第3-27頁。收錄於歐辰雄、呂金誠 (2011) 雪山地區高山生態系長期監測與研究。雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 魏聰輝、林博雄 (2011) 第一章、高山微氣象與熱量收之研究，第1-1頁-第1-133頁。收錄於歐辰雄、呂金誠 (2011) 雪山地區高山生態系長期監測與研究。雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 藺菲、郝占慶、李步杭、葉吉、戴冠華、張健、倪偉東 (2007) 長白山暗針葉林苔蘚植物群落特徵與林木更新的關係。生態學報27(4): 1308-1314。
- Augusto, L., J.-L. Dupouey, and J. Ranger (2003) Effects of tree species on understorey vegetation and environmental conditions in temperate forests. Annual of Forest Science 60: 823-831.
- Boufford, D. E., C. F. Hsieh, T.-C. Huang, C.-S. Kuoh, H. Ohashi, C.-I. Peng, J.-L. Tsai, and K. C. Yang (2003) Flora of Taiwan II (6). Department of Botany, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, ROC.
- Bucci, G. and M. Borghetti (1997) Understorey vegetation as a useful predictor of natural regeneration and canopy dynamics in *Pinus sylvestris* forests in Italy. Acta Oecologica 18(4): 485-501.
- Frelich, L. E., J.-L. Machado, and P.B. Reich (2003) Fine-scale environmental vegetation and structure of understorey plant communities in two old-growth pine forest. Journal of Ecology 91: 283-293.
- Gauch, H. G. (1982) Multivariate Analysis in Community Ecology. Cambridge University Press, Cambridge. 298 pp.
- Gillian, F. S. and M. R. Roberts (2003) The Herbaceous Layer in Forests of Eastern North America. Oxford University Press. 408

- pp.
- Körner, C. (2003) *Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. 2<sup>nd</sup>ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 344 pp.
- Martens, S. N., D. D. Breshears, and F. J. Barnes (2001) Development of species dominance along an elevational gradient: population dynamics of *Pinus edulis* and *Juniperus monosperma*. *International Journal of Plant Sciences* 162(4): 777-783.
- Mataji, A., P. Moarefvand, S. B. Kafaki, and M. M. Kermanshahi (2010) Understory vegetation as environmental factors indicator in forest ecosystems. *International Journal of Environmental Science and Technology* 7(4): 629-638.
- Pitkänen, S. (1997) Correlation between stand structure and ground vegetation: an analytical approach. *Plant Ecology* 131: 109-126.
- Taylor, A. H. and Z. Qin (1992) Tree regeneration after bamboo die-off in *Abies-Betula* Forests, Wolong Natural Reserve, China. *Journal of Vegetation Science* 3: 253-260.
- Taylor, A. H., J. Y. Huang, and S. Q. Zhou (2004) Canopy tree development and undergrowth bamboo dynamics in old-growth *Abies-Betula* forests in southwestern China: a 12-year study. *Forest Ecology and Management* 200: 347-360.
- ter Braak, C. J. F. (1998) *CANOCO 4 User's Manual*, Wageningen Press, Netherlands.
- Whittaker, R. H. (1967) Gradient analysis of vegetation. *Biological Review* 42: 207-264.



