

## 研究報告

## 雪山雪東線之不同海拔梯度的物種及生活型多樣性

王偉<sup>1</sup> 蔡尚惠<sup>2</sup> 邱清安<sup>3</sup> 許俊凱<sup>4</sup> 曾喜育<sup>1,5</sup> 呂金誠<sup>1</sup>

【摘要】臺灣面積雖小，但因地形起伏差異大，故而孕育多樣的物種。本研究為瞭解雪山雪東線不同海拔梯度之物種多樣性及生活型組成，調查自億年橋 (1,682 m) 沿步道至雪山主峰 (3,886 m) 共44個10×25 m<sup>2</sup>樣區。調查研究共記錄383種維管束植物，喬木層之 $\alpha$ 多樣性隨海拔梯度增加，呈現小幅上升後下降的趨勢；又地被層之 $\alpha$ 多樣性則隨海拔增加而降低，直至海拔2,500-3,000 m後再增加；其中喬木、地被層之均勻度沿海拔梯度皆無明顯變化。另 $\beta$ 多樣性之Jaccard、Sørenson相似性指數則隨海拔梯度上升而遞增，顯示鄰近海拔之樣區間的物種組成相似性高。此外，生活型之豐多度沿海拔梯度增加而有逐漸降低的趨勢，且各植群型之生活型組成具明顯差異。是故藉由研究物種多樣性隨環境梯度之變化，可揭示物種多樣性與環境因子之關聯性；研究中發現高海拔之環境條件較為嚴苛，因而空間異質性較低，而不同植群於其生育地中具所仰賴之生存策略。

【關鍵詞】雪山、海拔梯度、物種豐富度、物種豐多度、相似性指數

## Research paper

## Species and Life-form Diversity along the Altitudinal Gradient on the Mt. Shei Eastern Trail

Wei Wang<sup>1</sup> Shang-Te Tsai<sup>2</sup> Ching-An Chiu<sup>3</sup> Chun-Kai Hsu<sup>4</sup>  
Hsy-Yu Tzeng<sup>1,5</sup> King-Cherng Lu<sup>1</sup>

【Abstract】 This study compiled 44 plots (each 10 × 25 m<sup>2</sup>) and recorded 383 species of vascular plant along the eastern trail of Mt. Shei from 1,682 m to 3,886 m. Overstory species richness and abundance generally increased along the altitudinal gradient until the peak appeared between 2,000 and 2,500 m and

- 
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 Country 40227, Taiwan.
  2. 環球科技大學環境資源管理系，64063雲林縣斗六市鎮南路1221號  
Department of Environmental Resources Management, TransWorld University. No. 1221, Jhennan Rd., Douliou City, Yunlin Country 64063.
  3. 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 Country 40227, Taiwan.
  4. 林業試驗所蓮華池研究中心，55599南投縣魚池鄉郵局5號信箱  
Lienhuachi Research Center, Taiwan Forestry Research Institute. PO Box 5, Yuchih Township, Nantou Country 55599, Taiwan.
  5. 通訊作者  
Corresponding author, e-mail: erecta@dragon.nchu.edu.tw

then declined along the altitudinal gradient. Understory species richness and abundance increased slightly at an altitude of 3,000 to 3,500 m. Overstory and understory evenness indices showed no obvious trends. Jaccard and Sørensen similarity indices decreased with an increase in the altitudinal gradient, This may be caused by environment factors and a decrease in spatial heterogeneity. Along the altitudinal distribution of sample plots, life form abundance clearly decreased. The vegetation distribution showed that the vegetation subtypes differed with the structure and composition of life forms. The structure of plant life-forms in the area may be based on plant survival strategies determined by their habitat.

【Key words】 Mt. Shei, altitudinal gradient, species richness, species abundance, similarity index

## 一、前言

植群之物種多樣性 (species diversity) 沿不同之環境梯度 (environment gradient) 的變化規律，係為研究者所探討 (唐志堯、方精雲，2004；馮建孟等，2006；馮建孟、徐成東，2009；Wilson *et al.*, 1990; Michael and Shmida, 1993; Lieberman *et al.*, 1996; Zhang and Zhang, 2007)。而環境梯度中又以海拔梯度 (elevation gradient) 蘊含不同尺度之溫度、水份及光照條件等因素的綜合影響 (馮建孟等，2006)，且海拔梯度亦代表緯度梯度變化的壓縮 (馮建孟、徐成東，2009)；因此，植群多樣性沿海拔梯度的變化，成為近年生態學家研究的重要課題之一 (唐志堯、方精雲，2004)。

多樣性指數 (diversity index) 能藉由量化的方式使能瞭解研究區域植群中之種數、優勢度 (dominance) 及均勻度 (evenness) 等資訊，不同尺度下的多樣性指數對生態上的詮釋亦有不同的意涵 (唐志堯、方精雲，2004)。透過不同尺度之植物多樣性指數沿海拔梯度的變化，可藉以瞭解並探討各地沿海拔梯度的植群結構變化，是否一致或相異及其原由。影響物種多樣性變化規律的因素亦包括生物地理學、地史演化及環境變遷等不同尺度及時間影響之差異性，故探討物種多樣性的變化規律時，亦須考量物種多樣性的 $\alpha$ 、 $\beta$ 與 $\gamma$ 等3種不同尺度 (唐志堯、方精雲，2004)。

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，生長於特定地區之植物常可反應棲息環境之氣候所特殊習

性，此即植物的生活型 (life-form) (Raunkiaer, 1934; 劉棠瑞、蘇鴻傑，1983)。生活型主要根據植物對不良環境之抵抗力及適應力加以分類，而以生存芽受保護的程度決定對不良環境之適應性 (劉棠瑞、蘇鴻傑，1983；宋永昌，2001)。不同植群的生活型譜 (life-form spectrum) 差異可以用以表示其在各植群結構特性與所處環境之差異 (宋永昌，2001)。職是之故，本研究除探討雪山雪東線之沿線植群之 $\alpha$ 、 $\beta$ 多樣性指數沿海拔梯度變化情形，並分析各植群生活型譜，以瞭解各植群型生活型譜之間的差異，探討各功能群多樣性沿海拔梯度變化之規律性。

## 二、材料與方法

### (一) 研究地區

研究區域由武陵七家灣溪億年橋 (海拔 1,682 m) 起 (圖1)，沿雪山雪東線步道至海拔 3,886 m 雪山主峰，海拔梯度差超過 2,000 m。地質屬於中央山脈地質區之西部亞區中的雪山山脈，由第三紀的亞變質岩所組成，地質帶中以深灰色的硬頁岩和板岩為主 (何春蓀，2003)。雪山地區的土壤，若為森林界線以上地區，多以粘板岩風化而成之岩海地區，土壤淺薄，幾乎由岩礫構成；若為森林地區或草原地區，則土壤多以壤土、腐植土為主，然地形陡處，表土層淺薄多構成瘠土 (應紹舜，1976)。林博雄與魏聰輝 (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，2010 年雪山圈谷氣象站資料顯示最冷

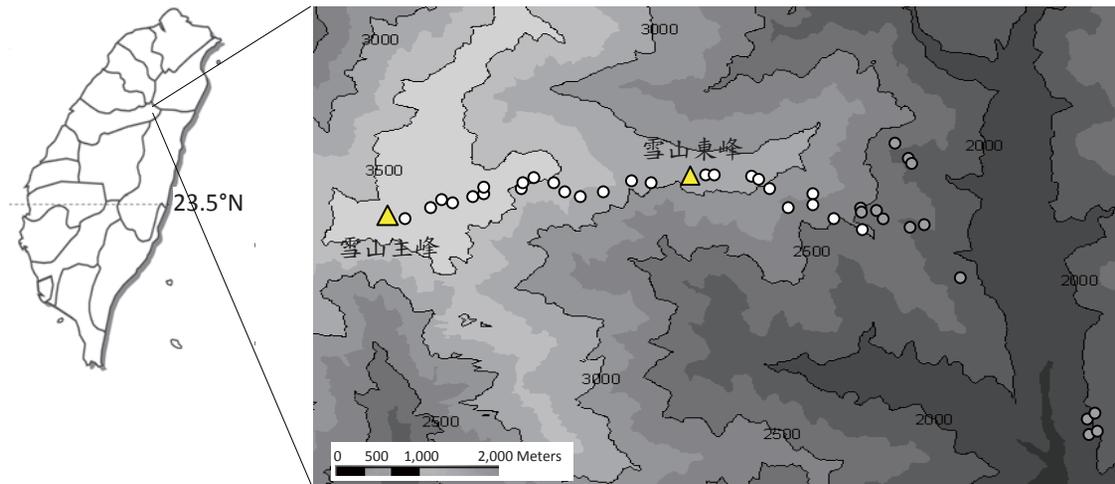


圖1. 雪山雪東線沿線調查樣區及地形位置圖。○ 為王偉等 (2010) 設立之樣區；○ 為呂金誠等 (1999) 設立之樣區。

Fig. 1. The plots of east trail of Mt. Shei and orographic figure. The plots with ○ logo were set by this study; The plots with ○ logo were set by King-Cherng Lu (1999).

月為1月 (月均溫-0.11°C)，最熱月為7月 (月均溫9.02°C)，年均溫約為4.84°C，年降雨量為2,284.5 mm。對照陳正祥 (1957) 對臺灣氣候分類，本研究區包括溫帶重濕型氣候 (AB') 及寒帶重濕氣候 (AC')，溫帶重濕型氣候 (AB') 溫暖重濕，全年無缺水現象，寒帶重濕氣候 (AC') 則溫度低而濕度高，冬季有霧雪。

(二) 調查方法

本研究採多樣區法 (multiple plot method)，於植群組成較均質處設置10×25 m<sup>2</sup>之長方型樣區，並彙整呂金誠 (1999) 之研究(調查方式與本研究一致)，包含39個森林植物社會樣區、1個矮盤冠叢植物社會及4個草原植物社會，樣區分布如圖1。調查時將植物分為喬木層 (overstory) 與地被層 (understory)；樣區內所有喬木層植物記錄植物名稱、胸高直徑，而胸徑未達1 cm者則估計其覆蓋度，而草本植物則記錄物種名稱及覆蓋度。王偉等 (2010) 於雪山地區主峰線植群分析結果，將雪山雪東線植群可分為 I 臺灣冷杉型、II 巒大花楸型、III 玉山圓柏型、IV 臺灣二葉松型、V 狹葉高山櫟型、

VI 臺灣雲杉型、VII 栓皮櫟—化香樹型、VIII 臺灣紅豆杉—臺灣灰木型、IX 卡氏櫛—西施花型、X 高山櫟—鐵杉型、XI 紅檜型等11植群型，I<sub>1</sub> 臺灣冷杉亞型、I<sub>2</sub> 臺灣冷杉—鐵杉亞型、IV<sub>1</sub> 臺灣二葉松—臺灣雲杉亞型、IV<sub>2</sub> 栓皮櫟—臺灣二葉松亞型、V<sub>1</sub> 高山新木薑子—狹葉高山櫟、V<sub>2</sub> 狹葉高山櫟—臺灣赤楊亞型、VII<sub>1</sub> 栓皮櫟亞型、VII<sub>2</sub> 臺灣胡桃—栓皮櫟亞型、VII<sub>3</sub> 栓皮櫟—化香樹亞型9個植群亞型，矮盤灌叢社會為XII 玉山圓柏—玉山杜鵑型，草原植群可分成XIII 玉山箭竹—高山芒型、XIV 高山芒型、XV 高山艾型3個植群型及XIII<sub>1</sub> 玉山箭竹—高山芒亞型，以及XIII<sub>2</sub> 玉山箭竹亞型兩個亞型。

多樣性的資料，是將調查資料依喬木、地被層區分，進一步計算兩部分的多樣性沿海拔變化的趨勢。多樣性的分析主要分為兩個部份探討：

1. 沿海拔梯度多樣性的變化

(1) α多樣性：本研究藉由Margalef 物種豐富度 (Margalef, 1951)、Shannon 多樣性指數

(Shannon and Weaver, 1949), 以及Pielou均勻度指數 (Pielou 1966, 1985) 分析各樣區之 $\alpha$ 多樣性, 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, 茲將各指數計算方法說明如下:

A. Margalef物種豐富度,  $D_{mg}$  (Margalef, 1951)

$$D_{mg} = \frac{S-1}{\ln N}$$

S=種數

N=總個體數

B. Shannon多樣性指數,  $H_{sw}$  (Shannon and Weaver, 1949)

$$H_{sw} = 1 - \sum p_i$$

C. Pielou均勻度指數,  $E_{sw}$  (Pielou, 1966, 1985)

$$E_{sw} = \frac{H_{sw}}{\ln S}$$

(2)  $\beta$ 多樣性: 表示沿環境梯度各棲息地間物種組成相異性, 亦為物種沿環境梯度的轉換速率 (Jaccard, 1901)。本研究探討 $\beta$ 多樣性為相鄰海拔梯度樣區間, 樣區之喬木層與地被層沿海拔梯度物種組成之相似性。以定性之Jaccard相似性指數 (Jaccard, 1901) 和Sørensen相似性指數 (Sørensen, 1948) 加以分析, 並以海拔梯度為X軸, 海拔梯度相鄰兩樣區間之相似性指數為Y軸, 繪製各樣區之多樣性沿海拔變化之散布圖, 兩種 $\beta$ 多樣性指數的公式如下:

A. Jaccard (1901) 相似度指數

$$S_j = \frac{W}{A+B-W} \times 100$$

W=A、B二群落之共有種的種數

A=A群落所含之種數

B=B群落所含之種數

B. B.Sørensen (1948) 相似度指數

$$S_o = \frac{2W}{A+B} \times 100$$

2. 生活型沿海拔梯度的變化

本研究參考Raunkiaer生活型分類系統劃分挺空植物 (phanerophytes, P)、地表植物 (chamaephytes, CH)、半地中植物 (hemicryptophytes, H)、地中植物 (cryptophytes, C)、一年生植物 (therophytes, T) 等5類 (Raunkiaer, 1934), 依雪山主峰沿線各植群所調查植物種類分別歸入其所屬之生活型, 並製成植群之生活型譜, 再依海拔梯度及各樣區所屬之植群進行物種多樣性及生活型多樣性之分析並製圖。

3. 迴歸分析

本研究依物種多樣性及生活型多樣性沿海拔梯度排列繪製圖散布圖 (scatter plot), 並進行多項式迴歸分析 (polynomial regression analysis), 以瞭解物種多樣性及生活型多樣性與海拔梯度關係。

三、結果

雪山地區自武陵管理處起沿步道向上至雪山主峰, 共記錄387種植物, 其中包含木本植物97種、草本植物290種。茲依植群物種多樣性的變化及各植群型之生活型組成進行探討。

(一) 物種多樣性的變化

1.  $\alpha$ 多樣性

雪山雪東線植群之喬木層木本植物沿海拔梯度爬升, Margalef物種豐富度些許上升, 約海拔2,200 m達最大值後, 木本植物種類開始遞減 (圖2) ( $p$ 值 $<0.001$ ); Shannon指數亦為小幅度上升再沿海拔緩緩下降, 喬木層木本植物Pielou均勻度於海拔1,600-3,100 m波動不明顯, 海拔3,100-3,886 m開始遞減下降。地被層之Margalef物種豐富度迴歸式未達顯著性 ( $p>0.05$ ), 其分布趨勢沿海拔上升而遞減, 約在2,800-3,000 m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Pielou均勻度以迴歸式配置, 皆達顯著水準, 且皆於海拔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。綜觀雪山雪東線植群之迴歸分析結果, 可發現喬木層之迴歸分

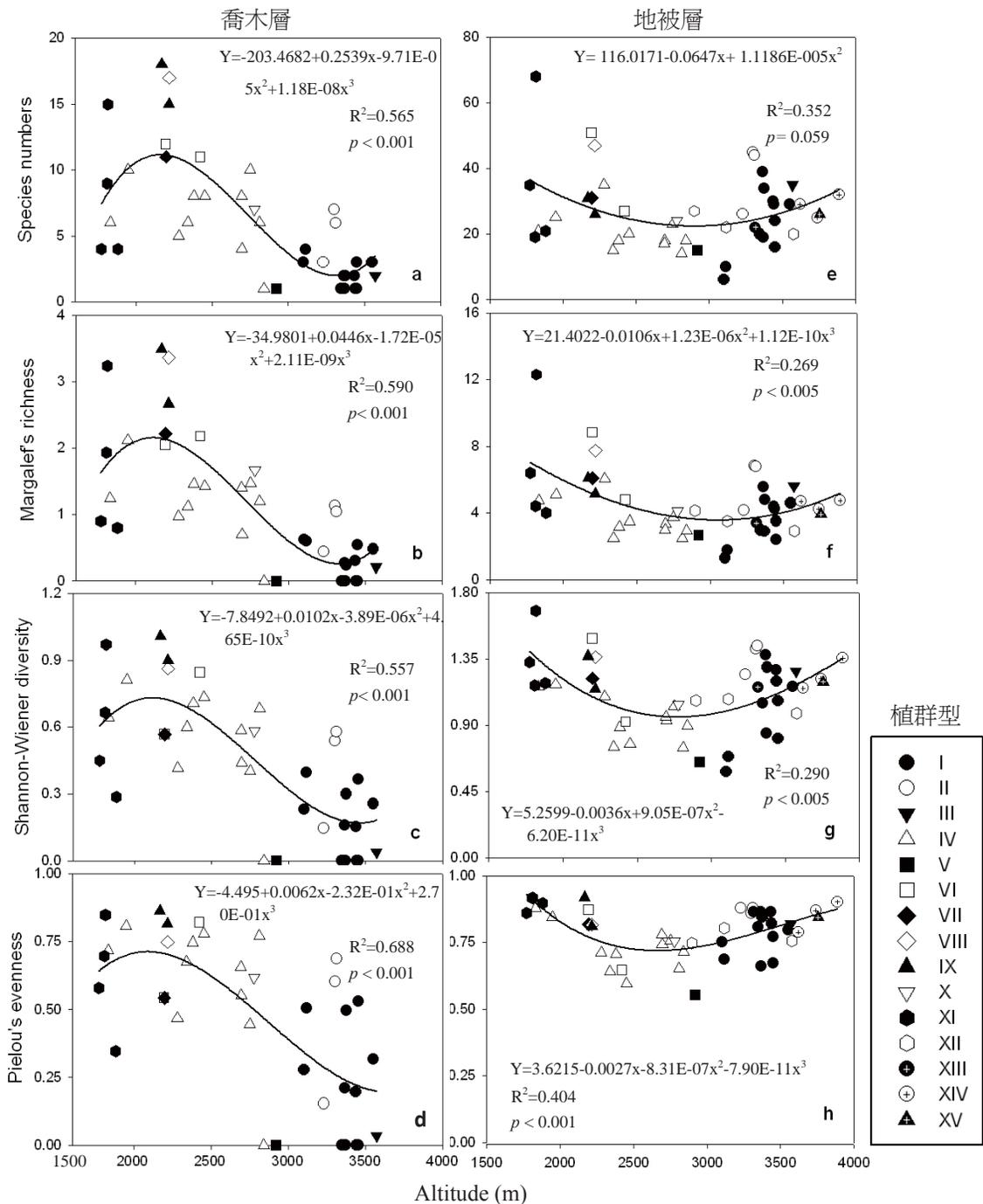


圖2. 雪山雪東線調查樣區之 $\alpha$ 多樣性延海拔梯度變化。圖2a, 2e為物種數；圖2b, 2f為Margalef物種豐富度；圖2c, 2g為Shannon-Wiener指數；圖2d, 2h為Pielou均勻度。

Fig. 2. Alpha diversity of samples along altitudinal gradient in east trail of Shei Mt. Fig. 2a, 2e are species numbers. Fig. 2b, 2f are Margalef richness. Fig. 2c, 2g are Shannon-Wiener index. Fig. 2d, 2h are Pielou evenness.

析結果解釋力較地被層高， $R^2$ 值都有0.5以上，與陳子英等 (2008) 臺灣東北部蘭陽河流域之研究相似。

## 2. $\beta$ 多樣性

本研究以兩種相似度指數呈現 $\beta$ 空間尺度下多樣性沿海拔梯度的變化，相似度指數愈高則多樣性愈低。雪山雪東線植群之喬木層木本植物沿海拔梯度爬升，相鄰樣區間的相似性亦上升 (圖3c及3d) ( $p < 0.05$ )，於海拔3,400 m達最高峰。地被層之相鄰樣區間的相似性度沿海拔上升也呈現上升的趨勢 (圖3a及3b) ( $p < 0.05$ )，約在海拔3,400 m達相似性指數之高峰，沿海拔梯度整體呈現上升的趨勢。整體而言，雪山主峰沿線之 $\beta$ 多樣性沿海拔梯度上升而升高。

## (二) 生活型組成的變化

### 1. 依植群探討生活型結構之差異

每個植群類型由不同生活型的植物所組成，植群不同，其生活型譜亦不相同。本研究將雪山雪東線各植群型內之生活型 (不包括蕨類植物) 占全部物種之比例繪製各植群型之生活型譜 (圖4)，由各植群型之生活型譜發現，不同植群型內部各生活型所佔的百分比有所差異，各植群亞型間亦有差別。

臺灣冷杉亞型 ( $I_1$ ) 以半地中植物為優勢挺空植物次之 (圖4b)，臺灣冷杉—臺灣鐵杉亞型 ( $I_2$ ) 生活型以挺空為優勢組成。巒大花楸型之生活型 (II) 結構 (圖4c) 近於臺灣冷杉亞型 ( $I_1$ )，挺空植物較半地中植物優勢。玉山圓柏

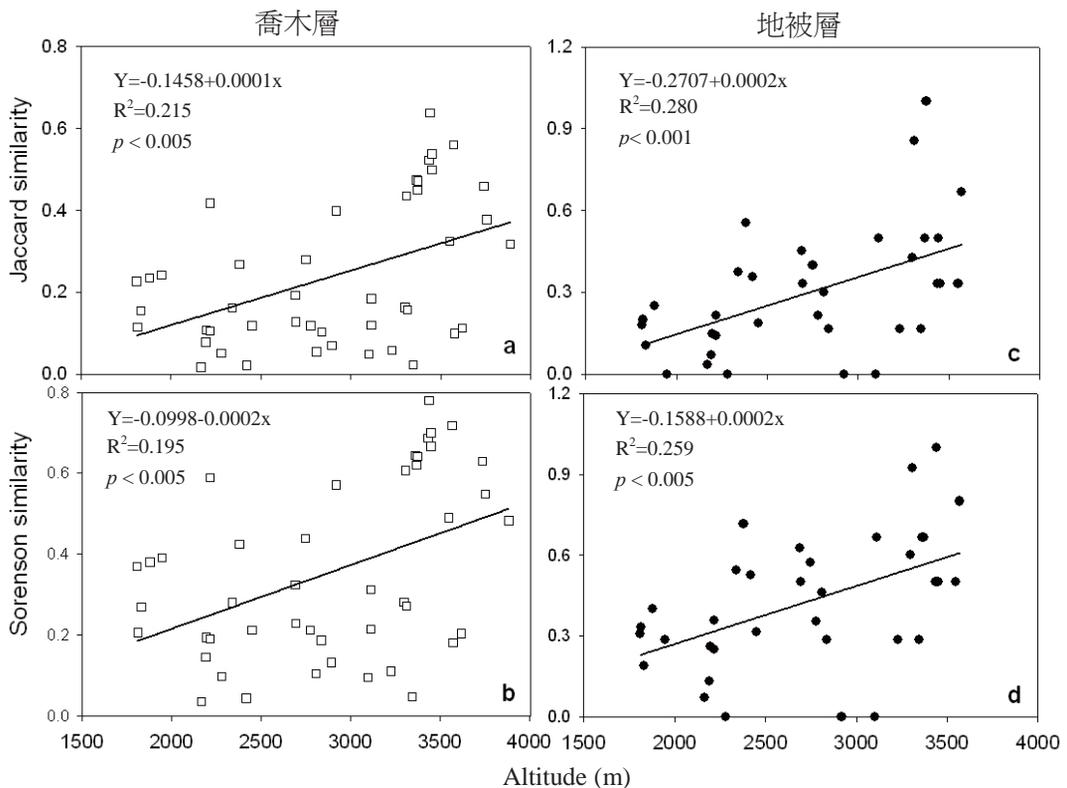


圖3. 雪山雪東線調查樣區之 $\beta$ 多樣性延海拔梯度變化。圖3a、圖3b為海拔梯度鄰近樣區之Jaccard及Sørensen相似性；圖3c、圖3d為海拔梯度鄰近樣區之Jaccard及Sørensen相似性。

Fig. 3. The beta diversity of samples along altitudinal gradient in east trail of Mt. Shei. Fig. 3a, 3b are Jaccard similarity and Sørensen similarity. Fig. 3c, 3d are Jaccard similarity and Sørensen similarity.

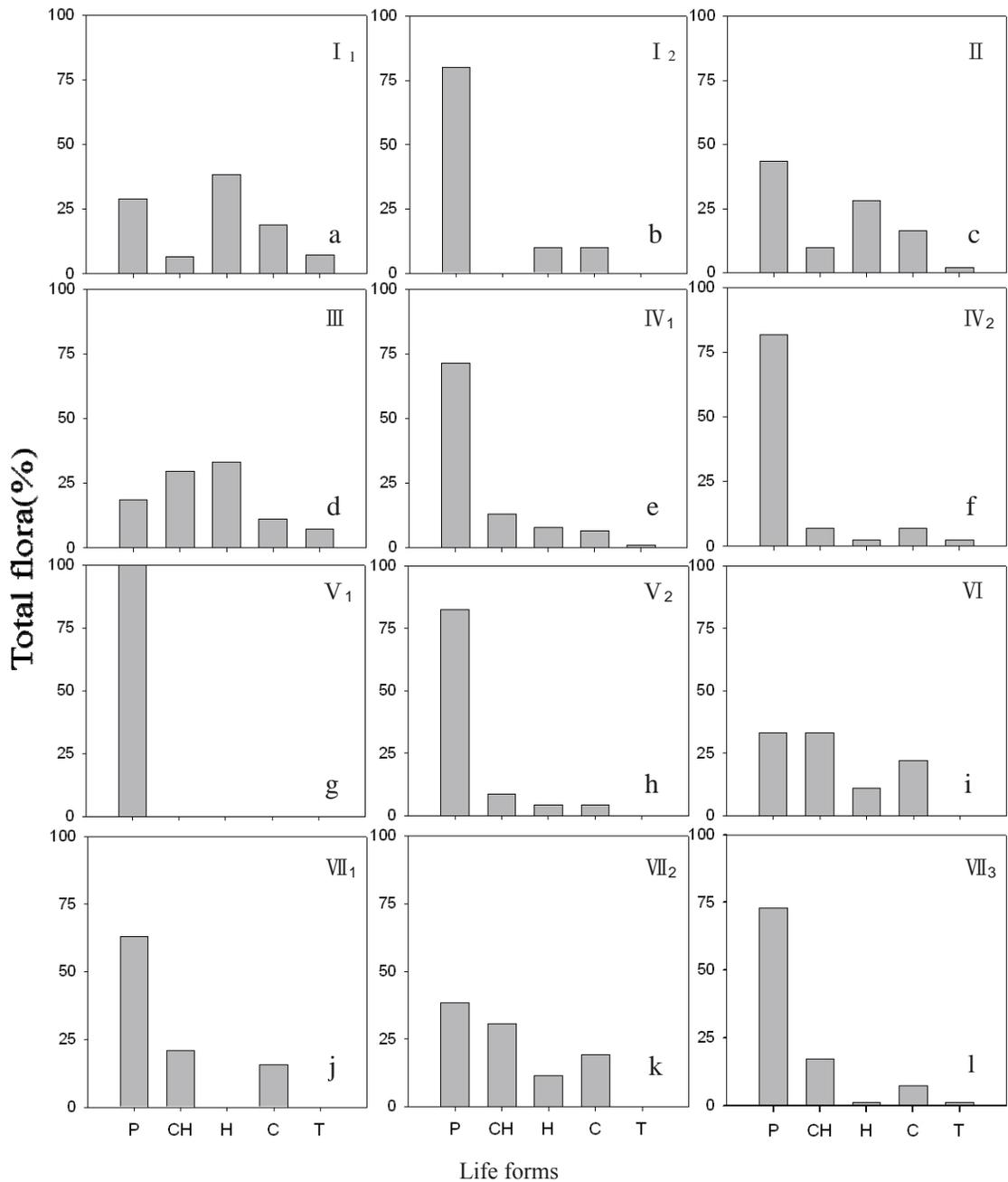


圖4. 雪山雪東線高山生態系各植物社會之生活型譜。P: 挺空植物；CH: 地表植物；H: 地面芽植物；C: 地中植物；T: 一年生植物。右上圖代號為植群型代號。

Fig. 4. The life-form spectrum of vegetation on east trail of Mt. Shei. P: cryptophytes; CH: chamaephytes; H: therophytes; C: phanerophytes; T: hemicryptophytes. The Roman numerals means vegetation type.

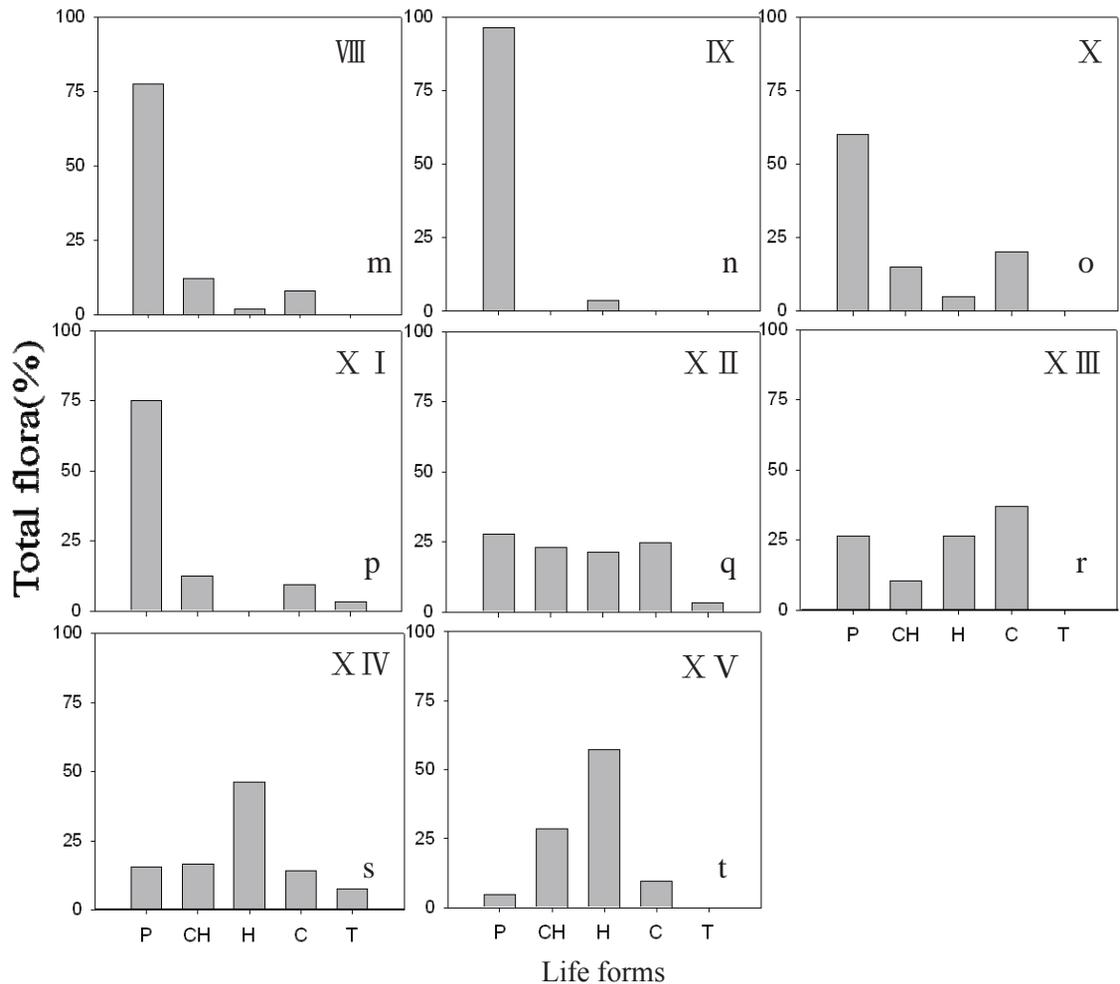


圖4. (續) 雪山雪東線高山生態系各植物社會之生活型譜。P: 挺空植物；CH: 地表植物；H: 地面芽植物；C: 地中植物；T: 一年生植物。左上圖代號為植群型代號。

Fig. 4. The life-form spectrum of vegetation on east trail of Mt. Shei. P: cryptophytes; CH: chamaephytes; H: therophytes; C: phanerophytes; T: hemicryptophytes. The Roman numerals means vegetation type.

型 (III) 以半地中植物較為優勢，挺空植物比例大為縮減。臺灣二葉松型 (IV)、狹葉高山櫟型 (V)、栓皮櫟—化香樹型之生活型 (VII)、臺灣紅豆杉—臺灣灰木型 (VIII)、卡氏櫟—西施花型 (IX)、高山櫟—鐵杉型 (X) 與紅檜型 (XI) 為櫟林帶至鐵杉-雲杉林帶之植群 (圖4e-h及4j-p)，皆以挺空植物為主要生活型組成。栓皮櫟型之三亞型 (圖4j-l) 皆以挺空植物為主要之生活型組成。臺灣雲杉型 (VI) 之生活型組成結

構以挺空植物和地表植物為共優勢生活型 (圖4i)。草原植物社會部分，位於雪山圈谷灌叢草本植群的玉山圓柏—玉山杜鵑 (XII) 以半地中植物最優勢 (圖4g)。高山艾—羊茅型生活型組成以半地中植物為主要生活型組成 (圖4t)，玉山箭竹—高山芒型之挺空植物比例約略高於地表、半地中和地中植物 (圖4r)，高山芒型以草本植物組成中的半地中植物較優勢 (圖4s)，挺空植物比例略低。

2. 生活型豐富度沿海拔梯度之變化

雪山雪東線各生活型物種數沿海梯度變化(圖5)顯示多種趨勢。挺空植物及蕨類植物(圖5a及圖5f) ( $p < 0.001$ 及 $p = 0.001$ ) 隨海拔上升, 種數呈線性顯著減少; 地中植物與海拔梯度形成波動的S型變化, 在較1,600 m與3,200-3,400 m 有較多的地中植物; 一年生植物及半地中植

物(圖5c-e) ( $p < 0.001$ ,  $p < 0.005$ 及 $p < 0.001$ ) 沿海拔梯度上升物種數增加, 但一年生植物在研究區域各海拔植群之種數相當少; 地表植物(CH) (圖5b) ( $p = 0.068$ ) 之物種數與海拔梯度無明顯變化, 亦無法以複迴歸配適其延海拔分布之趨勢, 雪山主峰沿線之生活型豐富度沿海拔梯度上升而下降(圖6) ( $p < 0.001$ )。

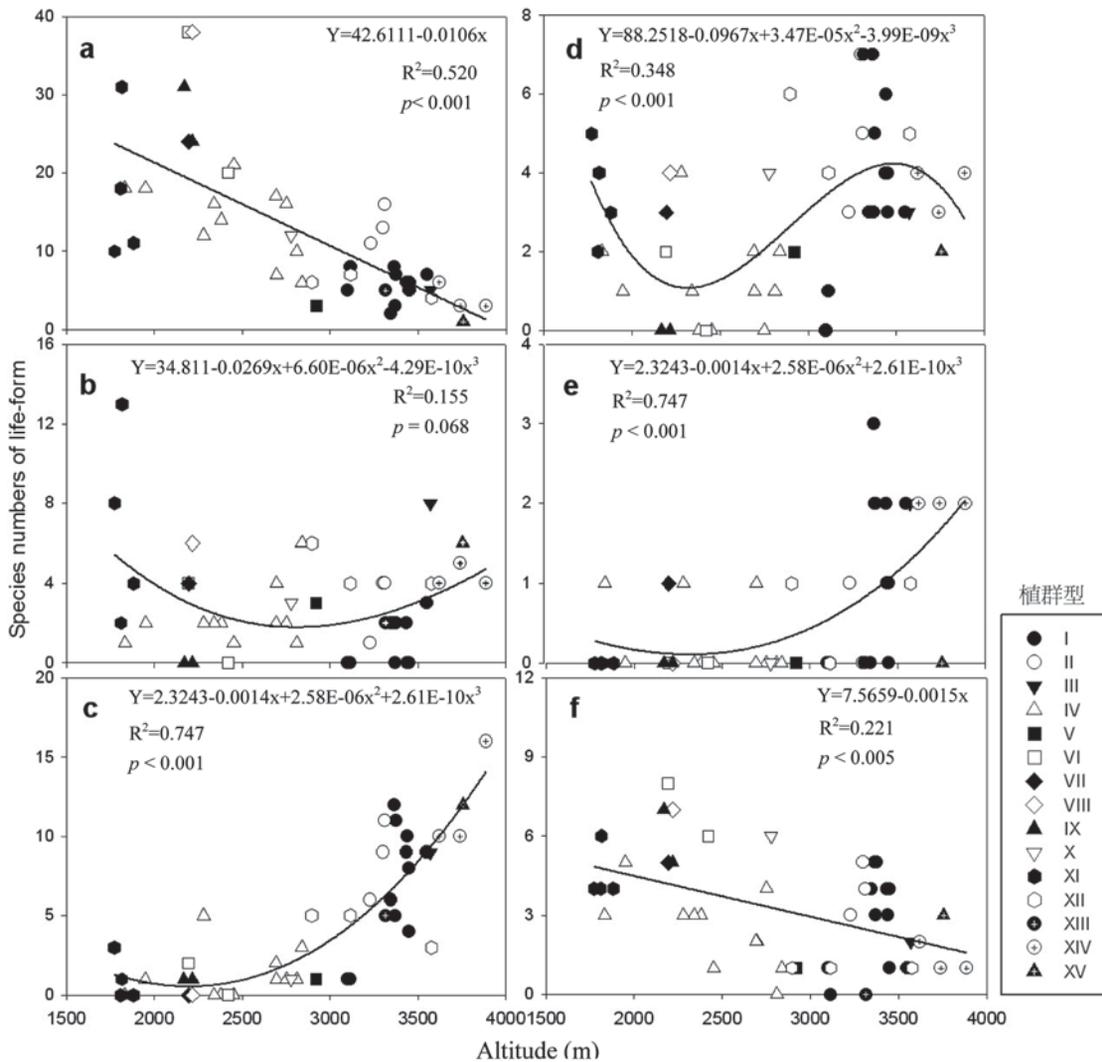


圖5. 雪山雪東線生活型物種數與蕨類種數沿海梯度變化。5a為挺空植物(P)；5b為地表植物(CH)；5c為半地中植物(H)；5d為地中植物(C)；5e為一年生植物(T)；5f為蕨類植物(Y)。

Fig. 5. The species numbers of life forms along altitudinal gradient on east trail of Mt. Shei. 5a: pteridophyte; 5b: chamaephytes, 5c: hemicryptophytes, 5d: cryptophytes, 5e: therophytes, 5f: phanerophytes.

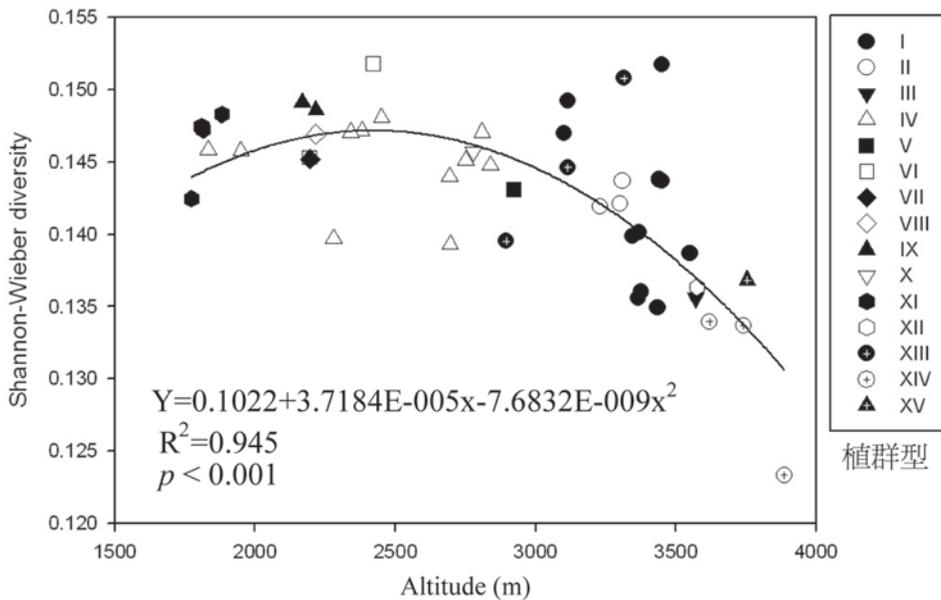


圖6. 雪山雪東線植物社會之生活型豐富度沿海拔梯度變化。

Fig. 6. The Shannon-Wiener index of life forms along altitudinal gradient in east trail of Mt. Shei.

#### 四、討論

$\alpha$ 尺度中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，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。海拔3,000 m以上，植群漸漸脫離涼溫帶之櫟林帶與冷溫帶之鐵杉雲杉林帶之森林植群，開始進入冷溫帶之冷杉林帶之森林植群，物種組成相對較單純。此結果與陳子英等 (2008) 在臺灣東北部蘭陽溪流域之研究一致，該研究結果顯示溪各生長型沿海拔梯度的變化趨勢顯示，木本生活型豐富度及豐富度皆呈現單峰且右尾反勾，推論因研究地區位於海洋邊緣的中海拔有明顯的霧林帶，加上地形雨之因素，雨量多集中在海拔600-1,800 m，因此

物種多樣性多集中於此區域，因而形成多樣型指數於高海拔地區右尾反勾之趨勢。

$\beta$ 尺度下，沿海拔上升Jaccard及Sørensen相似性指數隨之上升，乃因隨海拔上升，植群內的結構組成漸趨單純。七卡山莊相近海拔之植群組成相當豐富，不僅喬木層的優勢組成多元，地被層的種類以及生活型態亦相當複雜，因此相似性指數於此區段之海拔梯度較低。然較高海拔梯度 (海拔2,700-3,000 m)，玉山箭竹 (*Yushania niitakayamensis*) 於鐵杉雲杉林帶間形成優勢地被，地被層之陽性物種較少，以耐陰且適應潮濕之物種 (如裂葉樓梯草 *Elatostema trilobulatum*) 零星分布玉山箭竹覆蓋下，地被層整體歧異性下降而相似性增加。海拔3,000-3,300 m之冷杉林帶仍以玉山箭竹為主要優勢地被層，玉山箭竹覆蓋下仍多以適應陰濕之物種較多；然此區以玉山箭竹—高山芒為優勢物種之灌叢草本植群，不論木本或地被層之物種相似度下降。三六九山莊後方之臺灣冷杉林 (3,300-3,500 m)，則以苔蘚為地被優勢，鄰

近群落之喬木層及地被層更為單純，此區域為研究區相似性指數最高的區域。至玉山圓柏 (*Juniperus squamata* var. *morrisonicola*) 森林界限 (海拔3,600 m)，草本族群間因林內林外環境差異大故相似性降低，然木本族群仍以玉山圓柏為主要優勢，故相似性於海拔3,600 m較不若草本族群之相似性指數有較顯著性的變化。

唐志堯、方精雲 (2004) 指出隨著海拔升高，環境的變化幅度也越劇烈，生長於高海拔的物種因長期的天擇及適應而能存在較嚴峻的環境分布較廣，反之生活於低海拔之物種，棲息環境相對來的穩定，隨海拔上升其分布越受限制，整體而言，隨海拔上升物種數量減少且較為單調，故而 $\beta$ 尺度多樣性漸漸降低。木本及灌木生活型沿海拔梯度上升 $\beta$ 多樣性下降之趨勢與海拔梯度造成的熱量遞減有關，即熱量遞減造成物種豐富度的減少進而引起群落間物種交換量的減少 (馮建孟等，2006)。Vazquez and Givnish (1998) 指出形成線性趨勢是因低海拔能量及溫度等環境條件較高海拔來的優渥，且低海拔的人為干擾及火燒使 $\alpha$ 尺度下之物種多樣性增加使該區域之環境異質性增加，間接造成 $\beta$ 尺度之物種多樣性增加，Wang et al. (2002) 亦指出人為干擾為 $\beta$ 尺度之物種多樣性於低海拔較高之主因。

各植群之生活型組成結果顯示，臺灣冷杉亞型 ( $I_1$ ) 地被多以蘚苔為優勢，故林下植物種類及其他生活型較為多樣，相較臺灣冷杉—鐵杉亞型 ( $I_2$ ) 因玉山箭竹為地被組成之優勢，林下物種相對稀少，歐辰雄 (2006) 針對臺灣冷杉林之研究指出，優勢的玉山箭竹因其走莖佔去大量之空間及資源，因此以玉山箭竹為優勢地被之臺灣冷杉林下物種多樣性較低。巒大花楸型多為玉山箭竹—高山芒草地與臺灣冷杉之推移帶，群落物種組成兼具草原與森林群落，有較多種類之喬木、灌木種類進入，生活型組成亦具多樣性。玉山圓柏型 (III) 位於黑森林近圈谷之區域，入冬季常有積雪，故玉山圓柏林下之挺空植物數量大為減少，生存芽位

於地中或地表之地中及地表植物之比例則提升。高山新木薑子—狹葉高山櫟因臺灣瘤足蕨 (*Plagiogyria formosana*) 較優勢 (圖4g)，致使其他具相同生態位之地表、半地中植物等種類無法與競爭，反觀狹葉高山櫟型之生育環境較為開闊 (圖4h)，地被優勢主以五節芒 (*Miscanthus floridulus*) 零星散布，地表及半地中於林下仍有少量分布。卡氏櫛—西施花型 (IX) 以挺空植物之木本植物佔絕對優勢 (圖4n)，地被層以零星耐陰性灌木或幼木點綴組成，缺乏地表植物等草本植物，可反映出林下光度低之生育地環境。三個栓皮櫟植群型下之亞型，彼此之生活型組成有明顯差異，臺灣胡桃—栓皮櫟亞型 ( $VII_2$ ) 以地表植物為優勢 (圖4k)，地中植物及半地中植物較其他兩個亞型比例顯著提升，因栓皮櫟亞型 ( $VII_1$ ) 栓皮櫟亞型及栓皮櫟—化香樹亞型 ( $VII_3$ ) 之地被組成以臺灣蘆竹 (*Arundo formosana*) 為優勢，臺灣蘆竹之走莖常佔去生育地大量之空間，使其他物種及生活型不易天然下種於栓皮櫟林下。雪山雪東線之臺灣雲杉型 (VI) 為人為栽植之植群型，然臺灣雲杉 (*Picea morrisonicola*) 於此區域生長狀況不佳，因此生育環境多為開闊之林分，有許多物種及生活型進入此植群型。

由於圈谷地區的氣候環境相對惡劣，挺空植物種類以灌木型式存在，種類較少，以玉山圓柏和玉山杜鵑 (*Rhododendron pseudochrysanthum*) 最優勢，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形成之微環境亦為地表、半地中、地中及一年生植物之生存棲所。高山艾—羊茅型 (XV) 與玉山箭竹—高山芒型 (XIII) 及高山芒型 (XIV) 雖同為草原植群，然高山艾—羊茅型是位於較高之海拔梯度 (3,800 m)，故生活型組成以生存芽能抵擋較嚴苛氣候環境之半地中植物為主要生活型組成 (圖4t) 玉山箭竹—高山芒型及高山芒型則分布哭坡嶺線 (2,700 m) 至三六九山莊後方 (3,300 m)，因組成物種優勢程度不同，生活型譜亦有所差異。

由各植群之生活型譜的分析，我們可以了解各植群內，植物所仰賴的生存策略，再藉由沿海拔梯度的變化，可更進一步探討各生活型隨海拔梯度變化所反映的趨勢。因高山地區於高海拔之植群於冬季常受降雪的干擾，故高海拔之區域地中植物及半地中植物常為該區域之優勢族群。一年生植物在乾燥氣候地區之草原與荒漠中佔有較高的比例(宋永昌, 2001)，多屬於快速完成期生活史之繁殖策略的物種，在低海拔人為活動干擾區域較多；在雪山主峰沿線各海拔區域中，一年生植物數量相當少，此可能因森林植群相對較穩定，適合多年生之草本與木本植物建立拓展其族群。一年生數量較多的區域為3,000-3,300 m的玉山箭竹-高山芒組成之草生灌叢植群。高山生態系的一年生植物相對較為稀少(Korner, 1994)，因一年生植物必需在短於1年內完成生活史，而高山生態系生長季節較短與生長速率較低，大多一年生植物無法在短暫時間內完成其生活史所致。

挺空植物因其生存策略，度過不良環境之生存芽高挺入空中，多屬於喬木、藤本植物，也因此所受的保護相對較少，故於高海拔環境條件較嚴苛時，其較不易生存；挺空植物生長隨海拔變化而改變，喬木之樹高與胸徑隨海拔增加而降低(朱彪等, 2004)，在高海拔接近森林界限时，林木漸形成矮盤灌叢，再者，隨海拔梯度上升，能適應的林木種類隨之下降；此與大多數研究結果相近(沈澤昊等, 2001)。蕨類植物在有性世代繁殖過程中，較無法像種子植物可以脫離水分限制，因此多為分布在相對濕潤的環境；隨海拔梯度上升水分條件較嚴苛，蕨類植物種數因而沿海拔上升下降。地表植物可適存於會降冬雪及枯枝落葉層較為豐沛之區域，一般型態多以小灌木及亞灌木為主，因此可以廣泛分布研究區域各海拔梯度(Klimes, 2003; Alan *et al.*, 2001)，沒有呈現明顯的海拔梯度變化。

不同之生活型沿海拔梯度的變化可以了解各生活型於海拔梯度的最適範圍，若將各海

拔梯度之生活型以豐富度的概念分析，可進一步了解沿海拔梯度生活型的優勢變化情形，研究結果顯示沿海拔梯度上升，生活型的類型隨之減少，且在高海拔地區有主要優勢之生活型主導該區域之地被層，不若低海拔地區有多元均勻之生活型。生活型豐富度隨海拔梯度上升下降，主要因環境因子隨海拔上升而變得較為嚴苛，使部分生活型無法適應較高之海拔範圍(如挺空植物)(Mark *et al.*, 2001)，使豐富度指數於高海拔時漸趨下降，特定植物生活型則較能適應且形成優勢(如半地中植物)。此結果與馮建孟等(2006)於中國玉龍雪山之研究相似，馮建孟等指出不同生長型之物種多樣性指數沿海拔梯度的變化結果因研究區域常為干擾，且中海拔之水熱條件較低海拔及高海拔優渥，故生長型之豐富度指數沿海拔梯度遞升形成一單峰曲線的趨勢。

## 五、結論

- (一)  $\alpha$ 尺度下，雪山雪東線喬木層之物種豐富度及豐多度沿海拔梯度的變化呈現先小幅上升後下降的趨勢，地被層之物種豐富度及豐多度隨海拔上升而下降至2,500-3,000 m再上升，喬木層與地被層之均勻度沿海拔梯度無明顯變化趨勢。
- (二)  $\beta$ 尺度下，Jaccard及Sørensen相似性指數皆沿海拔梯度上升而下降。
- (三) 各植群之生活型譜依其海拔分布高低，其內生活型的結構組成有所差異，不同生活型之亞型亦然，植群內生活型的組成結構與該植群於其生育地所仰賴之生存策略有關。
- (四) 樣區之生活型豐多度隨海拔梯度上升而下降。

## 六、致謝

本文承雪霸國家公園管理處提供研究經費和調查工作之協助，以及退輔會武陵農場提供相關協助，特此誌謝。

## 七、引用文獻

- 王偉、邱清安、蔡尚憲、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): 1-20。
- 朱彪、陳安平、劉增力、李光照、方精雲。2004。廣西貓兒山植物群落物種組成、群落結構及樹種多樣性的垂直分布格局。生物多樣性12(1): 44-52。
- 呂金誠。1999。武陵地區雪山雪東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。
- 何春蓀。2003。臺灣地質概論－臺灣地質圖說明書。經濟部中央地質調查所。
- 宋永昌。2001。植被生態學。上海。華東師範大學出版社。
- 沈澤昊、方精云、劉增力、伍杰。2001。貢嘎山東坡植被垂直帶譜的物種多樣性格局分析。植物生態學報25(6): 721-732。
- 邱清安、王志強、呂金誠、林博雄、曾喜育。2008。臺灣半乾旱區域與潛在疏林植群之探討。台灣林業科學23: 23-36。
- 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。
- 陳子英、吳欣玲、劉啓斌、葉清旺、林哲榮。2008。台灣東北部蘭陽流域物種多樣性及物種群沿海拔梯度之分布。第六屆台灣植群多樣性研討會論文集。行政院農委會林務局78-99。
- 陳正祥。1957。氣候的分類與分區。台大農學院實驗林林業叢刊7。
- 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群落結構沿海拔梯度的分布格局。山地學報24(1): 110-116。
- 馮建孟、徐成東。2009。中國種子植物物種豐富度的大尺度分布格局及其與地理因子的關係。生態環境學報18(1): 249-254。
- 應紹舜。1976。臺灣高山植物形態的研究。中華林學季刊9(1): 59-71。
- 劉棠瑞、蘇鴻傑。1983。森林植物生態學。臺灣商務印書館股份有限公司。
- 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。
- 魏聰輝、林博雄。2011。高山微氣象與熱量收支之研究。雪山地區高山生態系長期監測與研究(呂金誠、歐辰雄彙整)。雪霸國家公園管理處委託辦理計畫。
- Alan FM, JM Katharine, J Dickinson, RS Allen and JW Carol. 2001. Vegetation patterns, plant distribution and life forms across the alpine zone in southern Tierra del Fuego, Argentina. *Austral Ecology* 26(4): 423-440.
- Jaccard P. 1901. Étude comparative de la distribution florale dans une portion des Alpes et des Jura. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles* 37: 547-579.
- Klimeš L. 2003. Life-forms and clonality of vascular plants along an altitudinal gradient in E Ladakh (NW Himalayas). *Basic Application Ecology* 26: 423-440.
- Korner C. 1994. Scaling from species to vegetation: the usefulness of functional groups. *Biodiversity and Ecosystem Function*. Springer-Verlag. pp. 117-140.
- Lieberman D, M Lieberman, R Peralta and GS Hartshorn. 1996. Tropical forest structure composition on a large scale altitudinal gradient in Costa Rica. *Journal of Ecology* 84: 137-152.
- Margalef R. 1951. Diversidad de especies en las comunidades naturales. *PubInes. Inst. Biol. apl., Barcelona* 6: 59-72.
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. *General Systematics* 3: 36-71.
- Mark, AF, KJM Dickinson, J Allen, R Smith and CJ West. 2011. Vegetation patterns, plant

- distribution and life forms across the alpine zone in southern Tierra del Fuego, Argentina. *Austral Ecology* 26: 423-440.
- Michael A and A Shmida. 1993. Vegetation change along an altitudinal gradient on Mt Hermon, Israel-no evidence for discrete communities. *Journal of Ecology* 81: 25-33.
- Pielou EC. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal Theoret Biology* 13: 131-144.
- Pielou EC. 1985 *Mathematical Ecology*, 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Raunkiaer C. 1934. *Life-forms of plants and statistical plant geography*. Clarendon Press, Oxford. p. 632.
- Shannon CE and W Wiener. 1949. *The mathematical theory of communication*, University Illinois press, Urbana, IL, Urbana.
- Sørensen T. 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *Biologiske Skrifter/Kongelige Danske Videnskabernes Selskab* 5(4): 1-34.
- Vazquez GJA and TJ Givnish. 1998. Altitudinal gradients in tropical forest composition, structure, and diversity in the Sierra de Manantlan. *Journal of Ecology* 86: 999-1020.
- Wang GH, GS Zhang, LM Yang and ZQ Li. 2002. Distribution, species diversity and life-form spectra of plant communities along an altitudinal gradient in the northern slopes of Qilianshan Mountains, Gansu, China. *Plant Ecology* 165: 169-181.
- Wilson JB, WG Lee and AF Mark. 1990. Species diversity in relation to ultramafic substrate and to altitude in southwestern New Zealand. *Vegetatio* 86: 15-20.
- Zhang JT and F Zhang. 2007. Diversity and composition of plant functional groups in mountain forests of the Lishan Nature Reserve, North China. *Botanical Studies* 48: 339-348.