

臺灣中部合歡東峰玉山箭竹草地與臺灣冷杉林地被植群之研究

林笈克^{1,2}，黃江綸²，黃建陸²，許秋容¹，楊國禎^{2,3,4}

¹國立中興大學生命科學系；²臺灣生態學會；³私立靜宜大學生態人文學系；

⁴通訊作者 E-mail: yangkuohcheng@gmail.com

[摘要] 玉山箭竹草地與臺灣冷杉林為臺灣亞高山地區鑲嵌地景的主要元素。為瞭解此草地與針葉樹森林兩種植群下層的地被植物組成，以及兩者推移帶的邊緣效應，本研究於 2011 年 3 至 10 月間，在臺灣中部合歡山區 6 公頃森林動態樣區中，系統取樣設置 150 個調查小區，每小區含 3 個 1×1 平方公尺樣方，進行地被植物及 10 項環境因子調查。地被植物共記錄 38 科 52 屬 66 種植物，均為原生種，當中包含 37 種臺灣特有種。在 10 項環境因子中，離森林邊緣距離與玉山箭竹高度呈現正相關，但這兩項各與海拔高度呈現負相關。依據環境因子和地被植物組成以多元回歸樹進行植物社會分類，地被植物社會可區分為三型：(1)玉山箭竹草地區的高山芒型植物社會，(2)臺灣冷杉森林邊緣的假石松—臺灣冷杉型植物社會，(3)臺灣冷杉森林內為裂葉樓梯草型植物社會，第三型並再區分為刺萼寒莓—裂葉樓梯草、高山露珠草—裂葉樓梯草、毛刺懸鉤子—裂葉樓梯草三個亞型植物社會。各型植物社會隨著距離森林邊緣的遠近，呈現梯度性的分佈趨勢。位於森林邊緣的假石松—臺灣冷杉社會可視為是玉山箭竹草地及臺灣冷杉森林的推移帶，顯現歧異度指數增加、蕨類商數，以及平均覆蓋度下降的邊緣效應。

關鍵字：臺灣冷杉、森林動態樣區、推移帶、邊緣效應、多元回歸樹

A Study of the Ground Vegetation of *Yushania niitakayamensis* Grassland and *Abies kawakamii* Forest in the Eastern Peak of Hehuanshan, Central Taiwan

Jei-Ker Lin^{1,2}, Chiang-Luen Huang², Jian-Lu Huang², Chiou-Rong Sheue¹ and Kuoh-Cheng Yang^{2,3,4}

¹Department of Life Sciences, National Chung Hsing University; ²Taiwan Academy of Ecology;

³Department of Ecological Humanities, Providence University; ⁴Corresponding author E-mail: yangkuohcheng@gmail.com

ABSTRACT *Yushania niitakayamensis* grassland and *Abies kawakamii* forest are the major vegetation of mosaic landscape in the subalpine region of Taiwan. The subject of this study focuses on the composition of ground vegetation under these types of grassland and conifer forest, and examines the edge effect in their ecotone. From March to October 2011, ground vegetation and 10 environmental variables were surveyed systematically in 150 subplots, each with three 1x1 m² quadrats, in the 6 ha forest dynamic plot in Hehuanshan, central Taiwan. Sixty-six species belonging to 52 genera

and 38 families were recorded. All were native species and among them 37 were endemic. In the ten environmental variables, the distance to the forest edge and the height of *Y. niitakayamensis* showed positive correlation, but both showed negative correlation with elevation. According to environmental variables and ground plant composition, three types of ground plant community were classified using multivariate regression trees (MRT): (1) the plant community of *Miscanthus transmorrisonensis* type appeared in the *Y. niitakayamensis* grassland, (2) *Lycopodium pseudoclavatum*—*A. kawakamii* type appeared in the *A. kawakamii* forest edge, and (3) *Elatostema trilobulatum* type appeared in the *A. kawakamii* forest interior. The third type can be further divided into three subtypes: *Rubus pectinellus*—*E. trilobulatum*, *Circaea alpina*—*E. trilobulatum* and *R. pungens* var. *oldhamii*—*E. trilobulatum* subtypes. Each plant community showed gradient distribution along the distance from the grassland to the forest edge, and then to the forest interior. *L. pseudoclavatum*—*A. kawakamii* type was regarded as the ecotone between the *Y. niitakayamensis* grassland and the *A. kawakamii* forest. The phenomena of the increasing diversity index, the decreasing of both pteridophyte-quotient and average coverage of this community indicated edge effect in this ecotone.

Keywords: *Abies kawakamii*, forest dynamic plot, ecotone, edge effect, multivariate regression trees

前言

設置大面積森林動態樣區進行森林動態研究為現今全球生態學研究的主要方向之一。動態樣區每木調查提供上層物種組成的資訊外，下層的植物組成也是森林生態系中最基礎的生態資訊(Bormann and Likens 1979)。森林的下層植物，乃指草本層植物以及喬灌木的小苗，架構了森林地被層次的生態系統(鄭育斌 1992)。下層植物所佔生物量雖小，但對於森林生態系能量與養分的循環具有重要的影響力(Muller 1978, Bormann and Likens 1979)。下層植物種類對於森林整體的物種歧異度有相當大的貢獻(Gentry and Emmons 1987, Poulsen and Balslev 1991)，故探討下層植物組成有助於瞭解森林的整體性與物種豐富度。在臺灣南部墾丁國家公園境內，低海拔南仁山溪谷的森林動態樣區中，胸徑大於 1 公分的木本植物共計記錄 43 科 77 屬 109 種(趙國容 2001)，由其內部再系統性取樣調查下層地被植物，記錄多達 88 科 174 屬 210 種(蔡潤苗 2002)。中南部玉山國家公園境內，中海拔南橫中之關地區 2 公頃的暖溫帶闊葉林動態樣區，木本植物共記錄 33 科 57 屬 77 種(周盈山、

謝宗欣 2008)，樣區內的下層地被植物調查則有 41 科 90 種(呂玉萍 2005)。在玉山國家公園境內另一中海拔的楠溪 8.37 公頃的樣區中，木本植物共記錄 27 科 51 屬 64 種(Yang *et al.* 2008)，而樣區內下層地被植物調查則高達 76 科 158 屬 227 種(楊國禎等 2009)。以上資料均足以顯示森林下層之地被層植物在臺灣低海拔與中海拔的闊葉樹森林中，對於森林物種豐富度具有相當的重要性。太魯閣國家公園高海拔的合歡山區，氣候四季變化明顯，夏季潮濕冬季降雪，在亞熱帶地區是少見的溫帶針葉森林生態系。藉由在本區合歡東峰的 6 公頃森林動態樣區內，系統性的設立地被植物樣區，進行物種組成及環境因子調查，以瞭解其地被植物的豐富性；並分析植物社會類型空間分佈與環境因子之關係，探討亞高山草地與森林兩種不同形相(physiognomy)之下層地被植物組成的差異，以及推移帶的邊緣效應(edge effect)。

材料與方法

一、研究區概況

研究地點位於花蓮縣秀林鄉太魯閣國家公園西側特別景觀區境內，合歡東峰東偏北坡

面海拔約 3,000 公尺處(圖 1)。2008 年始於此處設置一 6 公頃森林動態樣區進行每木調查(高文靜 2010)。採用經緯儀以水平 10×10 平方公尺標示四角端點的方式逐一累積劃設整個樣區，形成長 300 公尺，寬 200 公尺，海拔高差 112 公尺，略微東南偏西北走向的長方形，水平面積為 6 公頃的森林動態樣區(高文靜 2010)，樣區內植被相包含玉山箭竹草地(簡稱草地區)與臺灣冷杉森林(簡稱森林區)(圖 1)。樣區西北端點座標為 24°8'26"N, 121°17'18"E，東南端點座標為 24°8'17"N, 121°17'20"E。根據 1991-2008 年中央氣象局合歡山氣象站的氣候統計資料，本區的年平均溫度為 5.5°C，二月月均溫最低，為 -0.1°C，七月月均溫最高，為 10.1°C，年平均降雨量 2,311 mm。氣候全年潮濕，屬於寒帶重濕氣候區(陳正祥 1957)。

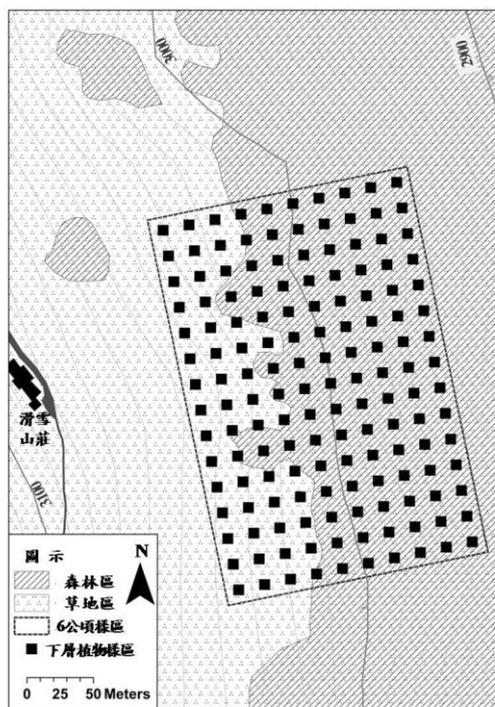


圖 1. 本研究 6 公頃森林動態樣區位置與地被植物調查小區(150 小區)分配圖。

二、調查方法

2011 年 3 至 10 月間，利用合歡東峰 6 公頃森林動態樣區內以經緯儀標示的端點為基

礎，於樣區內每隔 20 公尺設置一小區，總共有 150 個小區(圖 1)，並參考謝長富(2005)之方法於每個小區設置 3 個 1×1 平方公尺的樣方，合計 450 個 1×1 平方公尺的樣方。以樣方作為地被植物的永久樣區，進行地被植物調查，包含：木本植物高度 1 公尺以下的每木調查，於每個樣方記錄高度小於 1 公尺之木本植物，記錄其種類、株數、覆蓋度與高度；地被草本植物調查，於每樣方記錄高度小於 1 公尺之草本植物種類、覆蓋度與高度。6 公頃樣區內，玉山箭竹為全面廣泛分佈的優勢物種，高度介於 1 至 5 公尺間，屬於灌木層次，非歸類為本調查之地被植物，故予以排除，並另視為影響其下層地被植物之環境因子之一。

150 個小區的環境因子調查，共 10 項，包含(1)坡度：6 公頃內每 10×10 平方公尺四角以雷射經緯儀標定的端點所得之高度資料，經 ArcGIS 軟體計算坡度。(2)海拔高度：以 6 公頃樣區西北角測得的海拔高度為基礎，由雷射經緯儀標定小區端點的高差，進行換算所得。(3)凹凸度：以小區端點為中心，四周涵蓋 20×20 平方公尺範圍為基準，以小區端點所在海拔高度減去相鄰 8 個端點的平均海拔表示之(Yamakura *et al.* 1995)。(4)岩石覆蓋度與(5)土壤含石率：以 0~100%分為 10 級，現場估計。(6)腐植層厚度：以鏟子挖掘地下腐植層與土壤，以公分尺從挖掘切面測量腐植層厚度。(7)上層破空度：採用半球攝影法(hemispherical photograph)進行測量，以 Nikon D90 數位機身搭配 Sigma 4.5 mm 魚眼鏡頭，在各小區端點高度 1 公尺處，固定方位，拍攝上部植被與周圍地形的遮蔽度，再以 Gap Light Analyzer 軟體分析照片之破空度。(8)土壤含水率：各小區取約 5 克之土壤樣本，帶回實驗室後先測量其濕重(W0)，標準方式烘乾後取出測量乾重(W1)，含水率 = (W0 - W1) / W0，此步驟每個小區皆進行一次重覆，以兩次計算之平均值做為該區之土壤含水率。(9)玉山箭竹高度，於小區端點以測量尺(單位：公分)量測玉山箭竹的高度。(10)離森林邊緣距離：以 ArcGIS 軟體

測量小區端點至森林邊緣線的水平最小距離(單位:公尺),草地各小區至森林邊緣的距離為負值,森林內部各小區至森林邊緣的距離為正值。

三、資料分析

本研究中,地被植物的優勢度以重要值(important value, IV)代表,此重要值為物種在特定調查小區內之相對覆蓋度與相對高度值合併除以 2 計算之,採用生物量的觀點代表優勢度(劉崇瑞、蘇鴻傑 1983)。植物社會分類採用多元回歸樹(multivariate regression trees, MRT)方法分析,多元回歸樹是一種研究多物種分佈與環境因子間關係的數量分析方法(De'ath 2002)。MRT 採用環境因子梯度作為分類節點,將調查單位盡可能劃分為同質的類別,相較於主觀分類法,其結果較為穩健可靠(賴江山等 2010)。本森林動態樣區的植被形相外觀可區分為以玉山箭竹為主的草地區及以臺灣冷杉為優勢的森林區,採用 MRT,納入所有 150 個小區之資料進行分析,以確認草地區及森林區地被植物組成的差異,同時也特別針對玉山箭竹草地與臺灣冷杉森林下的地被植物社會進行分類和命名。MRT 採用 R 語言 mvpart 程式包的 mvpart 函數進行運算(De'ath 2012)。植物社會類型的命名方式,採用特徵種在前、優勢種在後,兩者聯合之方法。優勢種篩選以該社會組成中,重要值最大的種類代表之。特徵種篩選,採用指示值具體算法(Dufrene and Legendre 1997)來確認,公式為:
$$IndVal_{i,j}=(Nindividuals_{i,j}/Nindividuals_i) \times (Nsites_{i,j}/Nsites_j) \times 100$$
。其中 $IndVal_{i,j}$ 表示物種 i 在植物社會 j 內的指示值; $Nindividuals_{i,j}$ 是物種 i 在植物社會 j 內的平均個體數; $Nindividuals_i$ 是物種 i 在各個植物社會內的平均個體數的和; $Nsites_{i,j}$ 表示物種 i 在植物社會 j 內存在的樣方數; $Nsites_j$ 表示植物社會 j 的樣方總數。本研究記錄地被植物的覆蓋度,故以覆蓋度替代個體數,以小區數替代樣方數,用以計算指示值。指示值僅在同一社會內的不同物種間比較

才具有意義,不同社會間的指示值並不具有可比性(賴江山等 2010)。特徵種需要藉由不同社會間的比較才能顯示其對某社會的忠誠度(fidelity),本研究進一步比對同一物種於各社會間的重要值,則可顯示物種的偏好性(Yang *et al.* 2008)。環境因子間的相關,採用簡單相關建構環境因子兩兩間的相關係數,以瞭解各環境因子彼此間的關係。

根據調查所得地被植物資料,進行各社會的植物覆蓋度、物種數、歧異度與蕨類商數分析。歧異度分析包含:Shannon-Wiener、Simpson 與 Evenness(均勻度)三項歧異度指標來評估。Shannon-Wiener 歧異度指數(H'),指數的最小值為 0,即指單一物種的群落, H' 隨物種豐富度及物種均勻度的增加而遞增,公式為: $H'=-\sum p_i \ln p_i$, p_i 為第 i 物種之個體數佔總樣本個體數之比例(Krebs 1999),本研究以覆蓋度代替個體數。Simpson 歧異度指數(D),指數表示樣區中任兩個個體屬於不同物種的機率,其值介於 0 至 1 之間,若優勢度集中於少數種類,則 D 值越低,公式為: $D=1-\sum p_i^2$ (Krebs 1999)。Evenness 均勻度指數(E),公式為: $E=H'/\ln S$,其中 H' 為 Shannon-Wiener 歧異度指數; S 為樣本的總物種數(Krebs 1999)。蕨類商數(pteridophyte-quotient, Ptp-Q),計算公式: $Ptp-Q=(B \times 25)/A$,其中 B 為蕨類物種數, A 為種子植物種數(Raunkiaer 1934)。

結果

一、物種組成

地被植物的調查共記錄蕨類植物 14 種、裸子植物 2 種、雙子葉植物 35 種、單子葉植物 15 種,合計 66 種植物,分屬 38 科 52 屬。66 種植物均為原生種,其中包含臺灣特有種有 37 種。以重要值代表優勢度,整體來說,高山芒(*Miscanthus transmorrisonensis*)最高,達 38.77%,屬樣區中最優勢的地被植物,排名第二的裂葉樓梯草(*Elatostema trilobulatum*) (13.50%) 與第三的假石松 (*Lycopodium*

pseudoclavatum) (12.64%)均各佔高山芒的 1/3 左右(表 1)。隨後的物種,重要值再大幅遞減,排名第四的毛刺懸鉤子(*Rubus pungens* var. *oldhamii*)的重要值為 4.10,第五至第十五名者為小穎溝浮草(*Aniselytron agrostoides*)、高山白珠樹(*Gaultheria itoana*)、高山露珠草(*Circaea alpina*)、臺灣冷杉、一枝黃花(*Solidago virgaurea*)、刺果豬殃殃(*Galium echinocarpum*)、尖山堇菜(*Viola senzenensis*)、玉山金絲桃(*Hypericum nagasawai*)、寬葉冷蕨(*Cystopteris moupinensis*)、闊葉鱗毛蕨(*Dryopteris austriaca*)、中國地楊梅(*Luzula effusa*),重要值介於 1 至 3 之間。聚生穗序薹(*Carex nubigena*)等之後的 51 種,重要值均小於 1%。整個 6 公頃樣區的地被植物以高山芒、裂葉樓梯草與假石松為優勢組成(表 1)。

二、多元回歸樹分類

以多元回歸樹(MRT)分析方式將整個動態樣區內 150 個小區的地被植物組成與環境因子進行分類,首次分類可以區分為兩類,分別為 49 及 101 個小區,當中從 10 項環境因子挑選出分割的節點項目為玉山箭竹高度 1.64 公尺(圖 2)。6 公頃樣區依照植被形相可明顯區分為玉山箭竹草地區及臺灣冷杉森林區,其中 MRT 區分的 101 小區為分割節點屬玉山箭竹高度 ≥ 1.64 公尺,主要分佈於臺灣冷杉森林區內。取主要出現於森林區的 101 個小區,再以 MRT 進行分類,則區分出五類(圖 3),第一個區分點為離森林邊緣 56 公尺,離森林邊緣 < 56 公尺的部分又以海拔高度 2,998 公尺為分界,區分出 26 個小區(第 I 型)屬於海拔高度 $\geq 2,998$ 公尺,25 個小區屬於海拔高度 $< 2,998$ 公尺(第 II 型);離森林邊緣 ≥ 56 公尺的部分以海拔高度 2,958 公尺為分界,區分出 24 個小區屬於海拔高度 $< 2,958$ 公尺(第 IV 型),26 個小區為海拔高度 $\geq 2,958$ 公尺,這 26 個小區再以離森林邊緣 76.5 公尺區分為 11 及 15 小區(圖 3)。以離森林邊緣 76.5 公尺區分出的兩組,本研究並未探討,僅以合併的 26 小區視

為一類(第 III 型)。將 150 小區分為 49 個小區一組及 101 個小區為另一組,標示於 6 公頃樣區的分佈圖上,49 小區與 101 小區接近全數剛好各自分佈於玉山箭竹草地區及臺灣冷杉森林區(圖 4),顯示 MRT 首次的區分結果(圖 2)與植被形相有高度關聯,森林區以 MRT 區分的四個類別,在空間分佈上,分別由森林邊緣往森林內部呈現梯度性的分佈(圖 4)。10 項環境因子中,兩次 MRT 篩選作為執行分類的環境因子,僅玉山箭竹高度、離森林邊緣距離及海拔高度等三項,反應地被植物組成分類與這三項環境因子有關聯。10 項環境因子中,海拔高度與離森林邊緣距離的相關性最高,相關係數-0.96,其次是海拔高度與玉山箭竹高度(-0.68),以及離森林邊緣距離與玉山箭竹高度(0.64),其他各項間的相關係數則偏低(表 2)。在整個樣區內,MRT 區分出五個類型植物社會的空間分佈,從草地區往森林邊緣,再往森林內部,隨著離森林邊緣距離的遠近,呈現梯度性的分佈變化趨勢(圖 4)。

三、地被植物社會與優勢組成

整個 150 小區根據首次 MRT 區分出的 49 與 101 個小區中,49 個小區主要位於玉山箭竹草地區(圖 4),草地區最優勢與指標值最高的地被植物均為高山芒(表 1、3),本區地被植物社會即屬高山芒型植物社會。優勢前三名的物種為高山芒、假石松與高山白珠樹(表 1)。森林區,位於森林邊緣的第 I 型中,最優勢的物種為臺灣冷杉(表 1)與指標值最高的物種為假石松(表 3),第 I 型即為假石松-臺灣冷杉型植物社會。優勢前三名的物種為臺灣冷杉、假石松與闊葉鱗毛蕨(表 1)。位於森林區的第 II、III 與 IV 型中,最優勢的物種為裂葉樓梯草(表 1),指標值最高的物種也是裂葉樓梯草(表 3),加上這三型的優勢物種前三名都是裂葉樓梯草、毛刺懸鉤子、小穎溝浮草(表 1),這三型皆可視為臺灣冷杉林內的裂葉樓梯草型植物社會。MRT 根據物種組成與環境因子切分出第 II、III、IV 型,顯示這三種社會間

表 1. 地被植物各植物社會型的重要值組成

學名	中名	草地 區	森林 區	森林區各社會				總數
				I	II	III	IV	
<i>Miscanthus transmorrisonensis</i>	高山芒	61.53	0.69	5.16				38.77
<i>Elastostema trilobulatum</i>	裂葉樓梯草		31.73	5.38	37.87	30.29	37.01	13.50
<i>Lycopodium pseudoclavatum</i>	假石松	19.45	2.62	19.93	2.48			12.64
<i>Rubus pungens</i> var. <i>oldhamii</i>	毛刺懸鉤子		11.48		12.21	8.79	18.6	4.10
<i>Aniselytron agrostoides</i>	小穎溝桴草	0.19	6.88	0.72	11.53	8.99	4.70	2.60
<i>Gaultheria itoana</i>	高山白珠樹	3.23	0.39	3.67				2.06
<i>Circaea alpina</i>	高山露珠草		4.84		6.39	7.66	2.70	1.87
<i>Abies kawakamii</i>	臺灣冷杉	0.36	5.05	25.4	0.91	1.76	1.12	1.86
<i>Solidago virgaurea</i>	一枝黃花	2.41						1.54
<i>Galium echinocarpum</i>	刺果豬殃殃	0.11	3.76	1.75	5.60	3.31	4.14	1.51
<i>Viola senzenensis</i>	尖山堇菜	2.39	0.15	1.75				1.49
<i>Hypericum nagasawai</i>	玉山金絲桃	2.12	0.09	0.79				1.39
<i>Cystopteris moupinensis</i>	寬葉冷蕨		3.03		2.67	4.25	3.19	1.11
<i>Dryopteris austriaca</i>	闊葉鱗毛蕨	0.07	2.81	5.67	2.57	2.78	1.88	1.07
<i>Luzula effusa</i>	中國地楊梅	0.14	2.56	1.41	1.38	4.70	1.34	1.04
<i>Carex nubigena</i>	聚生穗序薹	0.04	2.35			4.69	2.02	0.94
<i>Carex tristachya</i> var. <i>pocilliformis</i>	抱鱗宿柱薹	1.41						0.87
<i>Hydrocotyle setulosa</i>	阿里山天胡荽	0.78	0.67	1.75		1.44		0.73
<i>Rubus pectinellus</i>	刺萼寒莓	0.82	0.69	0.86	2.27		0.47	0.72
<i>Lycopodium juniperoideum</i>	玉柏	1.06						0.65
<i>Agrostis infirma</i> var. <i>infirma</i>	玉山翦股穎	0.48	0.76			2.20		0.59
<i>Polygonum pilushanense</i>	畢祿山蓼		1.63		2.66	0.64	2.80	0.57
<i>Trichophorum subcapitatum</i>	玉山針蘭	0.81						0.52
<i>Urtica thunbergiana</i>	咬人貓		1.49		0.29	1.15	3.15	0.51
<i>Tripterospermum lanceolatum</i>	玉山肺形草	0.60	0.23	2.47				0.45
<i>Sedum nokoense</i>	能高佛甲草		1.00	1.75	1.25		1.82	0.41
<i>Arisaema consanguineum</i>	長行天南星	0.08	1.00	0.58	1.24	0.86	1.27	0.40
<i>Cenitis transmorrisonensis</i>	玉山肋毛蕨		1.10	0.79	1.49	1.37	0.78	0.39
<i>Ainsliaea latifolia</i>	臺灣鬼督郵	0.36	0.45	2.26	1.11	0.15		0.39
<i>Eurya glaberrima</i>	厚葉柃木		1.05	1.30	0.35	0.23	2.35	0.36
<i>Athyrium tozanense</i>	蓬萊蹄蓋蕨		0.92		1.82	1.69		0.34
<i>Dennstaedtia scabra</i>	碗蕨		0.94	0.51	0.58	0.52	1.85	0.32
<i>Polystichum stenophyllum</i>	芽苞耳蕨		0.94		0.71	1.74	0.65	0.32
<i>Carex breviculmis</i>	短莖宿柱薹	0.47						0.29
<i>Daphne arisanensis</i>	阿里山瑞香		0.89	4.03			0.74	0.28
<i>Impatiens uniflora</i>	紫花鳳仙花		0.69			2.06		0.23
<i>Trillium tschonoskii</i>	延齡草		0.63	0.93	0.35	1.01	0.31	0.22
<i>Brachypodium sylvaticum</i>	基隆短柄草		0.68	1.82		1.25		0.22
<i>Arenaria takasagomontana</i>	高山無心菜		0.62			0.90	0.96	0.21
<i>Polystichum deltodon</i>	對生耳蕨		0.56			1.09	0.56	0.20
<i>Athyrium oppositipinnum</i>	對生蹄蓋蕨		0.58				1.77	0.20
<i>Senecio nemorensis</i>	黃菀		0.62			1.90		0.19
<i>Arenaria subpilosa</i>	亞毛無心菜		0.53			1.16	0.38	0.19
<i>Geranium suzukii</i>	山牻牛兒苗		0.40	0.58	1.55	0.15		0.15
<i>Dryopteris wallichiana</i>	瓦氏鱗毛蕨		0.36			0.53	0.52	0.13
<i>Ilex bitorisensis</i>	苗栗冬青		0.39				1.18	0.12
<i>Lycopodium complanatum</i>	地刷子	0.18						0.11
<i>Festuca ovina</i>	羊茅	0.17						0.11
<i>Codonopsis kawakamii</i>	玉山山奶草	0.12	0.05	0.58				0.10
<i>Tsuga chinensis</i> var. <i>formosana</i>	臺灣鐵杉		0.28		0.35		0.65	0.10
<i>Berberis kawakamii</i>	臺灣小檗	0.15						0.09

(續) 表 1. 地被植物各植物社會型的重要值組成

學名	中名	草地區	森林區	森林區各社會				總數
				I	II	III	IV	
<i>Lepisorus morrisonensis</i>	玉山瓦葦	0.14						0.09
<i>Goodyera nankoensis</i>	南湖斑葉蘭		0.22	2.40				0.09
<i>Oxalis acetosella</i>	臺灣山酢醬草		0.21	1.68		0.19		0.08
<i>Gentiana davidii</i> var. <i>formosana</i>	臺灣龍膽	0.14						0.08
<i>Sedum morrisonense</i>	玉山佛甲草		0.20	2.03				0.08
<i>Smilacina formosana</i>	臺灣鹿藥	0.06	0.07		0.35			0.06
<i>Berberis morrisonensis</i>	玉山小檗	0.05	0.07	0.65				0.05
<i>Mitella formosana</i>	臺灣噴吶草		0.15				0.45	0.05
<i>Rosa transmorrisonensis</i>	高山薔薇	0.08						0.05
<i>Polygonum nuncinatum</i>	玉山蓼		0.13				0.38	0.04
<i>Dryopteris lepidopoda</i>	厚葉鱗毛蕨		0.11			0.34		0.04
<i>Paris polyphylla</i> var. <i>stenophylla</i>	狹葉七葉一枝花		0.08			0.23		0.03
<i>Rubus taiwanicola</i>	臺灣莓		0.08	0.72				0.03
<i>Hedera rhombea</i> var. <i>formosana</i>	臺灣常春藤		0.07	0.65				0.03
<i>Corydalis ophiocarpa</i>	彎果黃堇		0.04				0.13	0.02

註：草地區為高山芒型；I 為假石松—臺灣冷杉型；II 為刺萼寒莓—裂葉樓梯草亞型；III 為高山露珠草—裂葉樓梯草亞型；IV 為毛刺懸鉤子—裂葉樓梯草亞型植物社會。粗體字表重要值前 3 名。

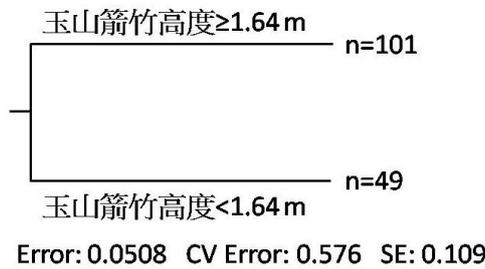


圖 2. 本研究 150 小區地被植物社會分類的多元回歸樹

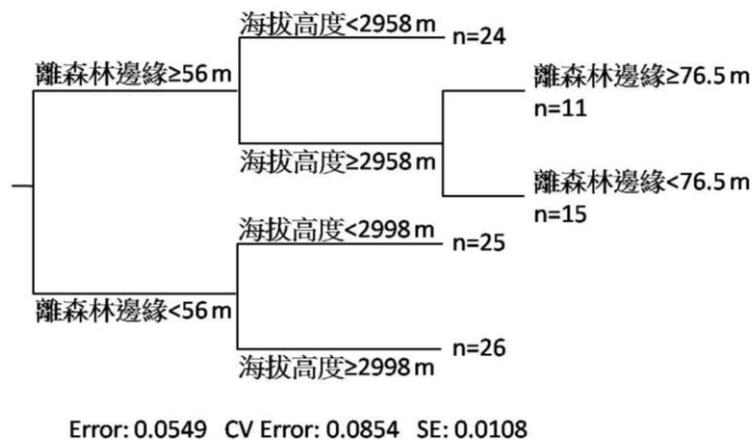


圖 3. 本研究臺灣冷杉林下 101 個小區植物社會分類的多元回歸樹

有差別，進一步選擇這三型指標值次高的種類，第 II 型為刺萼寒莓(*Rubus pectinellus*)、第 III 型為高山露珠草、第 IV 型為毛刺懸鉤子(表 3)，這三個物種於森林區各型間重要值的比

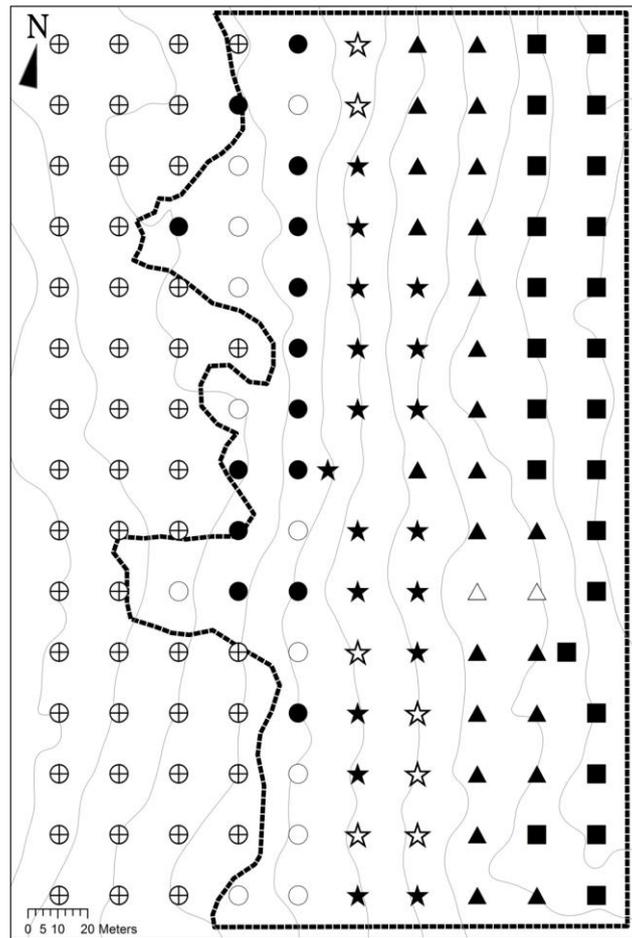


圖 4. 研究樣區地被植物各社會空間分佈圖(⊕為高山芒型植物社會；●與○為假石松—臺灣冷杉型植物社會，○表無記錄地被植物；★與☆為刺萼寒莓—裂葉樓梯草亞型植物社會，☆表無記錄地被植物；▲與△為高山露珠草—裂葉樓梯草亞型植物社會，△表無記錄地被植物；■為毛刺懸鉤子—裂葉樓梯草亞型植物社會。★與■各有一區因地形因素而往西移動 10 公尺設置。虛線範圍內為臺灣冷杉森林覆蓋區域；虛線外左側範圍為玉山箭竹草地區)

表 2. 環境因子相關矩陣

	Rock	Stone	Leave	Water	Open	Elev	Slope	Bam	IC	Edge
Rock	1									
Stone	0.28	1								
Leave	-0.33	-0.49	1							
Water	0.32	-0.1	0.11	1						
Open	-0.01	0.03	0.08	0.06	1					
Elev	-0.08	-0.04	-0.01	-0.06	0.34	1				
Slope	0.29	0.34	-0.19	0.03	-0.06	-0.06	1			
Bam	0.08	0.01	0.08	0.03	-0.42	-0.68	0.07	1		
IC	-0.03	0	0.05	0.13	-0.06	0.29	-0.19	-0.23	1	
Edge	0.1	0.05	-0.03	0.11	-0.35	-0.96	0.02	0.64	-0.2	1

註：Rock:岩石覆蓋度；Stone:土壤含石率；Leave:腐植層厚度；Water:土壤含水率；Open:上層破空度；Elev:海拔高度；Slpoe:坡度；Bam:玉山箭竹高度；IC:凹凸度；Edge:離森林邊緣距離

較，均顯示超過 50%的重要值於所屬的類型中 (表 4)，即刺萼寒莓之於第 II 型、高山露珠草

之於第 III 型、毛刺懸鉤子之於第 IV 型均具有大於 50%的忠誠度。這三型可歸屬於裂葉樓梯

表 3. 本研究各社會物種指標值前五名排序

草地區	森林區								
	I		II		III		IV		
高山芒	860	假石松	8.5	裂葉樓梯草	11.1	裂葉樓梯草	22.4	裂葉樓梯草	32.1
假石松	74.1	臺灣冷杉	4.2	刺萼寒莓	4.7	高山露珠草	15.3	毛刺懸鉤子	13.0
尖山堇菜	21.9	高山白珠樹	3.8	山柃牛兒苗	3.6	寬葉冷蕨	8.5	刺果豬殃殃	4.5
高山白珠樹	14.7	玉山附片草	2.6	刺果豬殃殃	2.5	中國地楊梅	8.4	寬葉冷蕨	3.6
玉山金絲桃	10.5	南湖斑葉蘭	2.6	高山露珠草	2.4	毛刺懸鉤子	7.0	厚葉柃木	2.8

註：草地區為高山芒型；I 為假石松—臺灣冷杉型；II 為刺萼寒莓—裂葉樓梯草亞型；III 為高山露珠草—裂葉樓梯草亞型；IV 為毛刺懸鉤子—裂葉樓梯草亞型植物社會

表 4. 森林下 4 型植物社會間物種重要值差異(選擇各社會指標種前 2 名者)

	I	II	III	IV
假石松	81.19	18.81	0	0
臺灣冷杉	72.52	7.98	9.34	10.17
裂葉樓梯草	2.04	23.46	34.29	40.22
刺萼寒莓	14.52	62.90	0	22.58
高山露珠草	0	25.06	56.17	18.77
毛刺懸鉤子	0	17.51	28.72	53.78

註：I 為假石松—臺灣冷杉型植物社會；II 為刺萼寒莓—裂葉樓梯草亞型植物社會；III 為高山露珠草—裂葉樓梯草亞型植物社會；IV 為毛刺懸鉤子—裂葉樓梯草亞型植物社會

表 5. 本研究樣區各地被植物社會之生物多樣性指數、蕨類商數與平均覆蓋度

	草地區	森林區				全數
		I	II	III	IV	
物種數	31	31	25	33	31	55
歧異度指數						
Shannon-Wiener	1.52	2.88	1.83	1.94	1.83	2.27
Simpson	0.63	0.90	0.65	0.75	0.65	0.73
Evenness	0.44	0.72	0.46	0.48	0.46	0.57
蕨類商數	3.70	2.68	9.72	9.38	7.29	6.25
平均覆蓋度(%)	38.7	5.4	12.9	23.7	22.7	15.8
總小區數	49	26	25	26	24	101
無物種小區數	0	12	7	2	0	21

註：草地區為高山芒型植物社會；I 為假石松—臺灣冷杉型植物社會；II 為刺萼寒莓—裂葉樓梯草亞型植物社會；III 為高山露珠草—裂葉樓梯草亞型植物社會；IV 為毛刺懸鉤子—裂葉樓梯草亞型植物社會。

草型植物社會下區分出的亞型，選擇指標值次高物種與最優勢物種聯名，第 II 型為刺萼寒莓—裂葉樓梯草亞型植物社會；第 III 型為高山露珠草—裂葉樓梯草亞型植物社會；第 IV 型為毛刺懸鉤子—裂葉樓梯草亞型植物社會。

四、地被植物社會間的差異

記錄的 66 種植物，有 31 種出現在草地區的高山芒型植物社會中，55 種出現在森林區(表 5)，森林區第 III 型的種數最多，記錄 33 種，第 II 型種數最少，記錄 25 種。三種歧異度指數 Shannon-Wiener、Simpson、Evenness

均顯示位於森林邊緣的假石松—臺灣冷杉型(第 I 型)植物社會具有最高的數值，且第 I 型相對高於森林區其他三型及草地區的植物社會(表 5)；在森林區刺萼寒莓—裂葉樓梯草亞型(第 II 型)、高山露珠草—裂葉樓梯草亞型(第 III 型)、毛刺懸鉤子—裂葉樓梯草亞型(第 IV 型)植物社會中，第 III 型社會的歧異度指數數值略高其他兩型，差距並不大，而森林四型植物社會的歧異度指數皆大於草地的高山芒型植物社會(表 5)。蕨類商數在森林第 I 型植物社會最低，僅 2.68，其次是草地區的 3.70，森林區第 II、III、IV 型植物社會的蕨類商數遠

高於另兩型植物社會達兩倍以上(表 5)。平均覆蓋度在草地區最高，超過森林區全數覆蓋度兩倍以上，由草地區的植物社會進入森林區邊緣的第 I 型植物社會，平均覆蓋度快速下降，之後至森林區內第 II 型植物社會的平均覆蓋度逐漸上升，森林區第 III、IV 型植物社會的平均覆蓋度變動趨勢則呈現趨緩的現象(表 5)。在草地區的 49 個小區均有記錄物種，進入森林區第 I 型植物社會有 12 個小區(46%)沒有記錄任何物種，在森林區第 II 型植物社會則為 7 個小區(28%)，第 III 型植物社會則僅 2 小區未記錄地被植物種類(表 5)。

討論

一、物種組成

合歡東峰 6 公頃森林動態樣區的植被形相包含玉山箭竹草地與臺灣冷杉森林，森林內的木本植物組成以臺灣冷杉為最優勢，重要值超過 60%，整個樣區森林胸徑超過 1 公分的直立木本植物 13 種(高文靜 2010)，本研究地被植物共 66 種，對於物種多樣性的貢獻程度，地被植物多達 5 倍以上。6 公頃樣區海拔位於 3,000 公尺左右，屬於亞高山臺灣冷杉林帶(Su 1984)，地被植物的優勢組成，在草地區的高山芒、假石松，以及森林區內的裂葉樓梯草，與合歡溪流流域臺灣冷杉群團與玉山石松—高山芒群團的地被植物(陳志豪等 2009)，具有相似的優勢組成。本樣區經過系統記錄地被植物種類，高山芒等優勢的前十個物種，皆記錄於過往合歡山地區廣泛性的植物種類調查(陳玉峰 1994, 賴國祥 2000)，其他種類也大部分雷同。上層木本植物與地被植物的優勢組成與其他合歡山區玉山箭竹草地及臺灣冷杉森林的物種組成相似，顯示這個樣區的植物組成並無特例於合歡山區，為合歡山區臺灣冷杉林帶常見的物種組成。

二、植物社會分類

本研究採用多元回歸樹(MRT)方法進行

植物社會分類，MRT 是在決策樹(decision-trees)基礎上發展起來的一種較新的分類技術(De'ath 2002)。與回歸模型相同，MRT 需要因變量(植物組成)和自變量(環境因子)，然 MRT 不需要在因變量和自變量之間建立參數估計的回歸關係，而是以自變量為分類節點，利用二歧式的分割法(binarysplit)，將由因變量定義空間(樣方)的植物組成逐步劃分為盡可能同質的類別，每一次劃分都由某一自變量(環境因子)的一個最佳劃分值來完成，將因變量定義空間(樣方)的植物組成分成兩個部分(也叫節點，node)，最佳劃分原則是讓兩個節點內部的差異盡量小，節點間的差異盡量大，重複此過程，直到分割結果滿足某種條件或不能再分割為止(Vayssières *et al.* 2000, 曹銘昌等 2005, 賴江山等 2010)。本研究第一次 MRT 區分兩個節點，此兩類型的空間分佈與玉山箭竹草地區及臺灣冷杉森林區分佈位置高度關連(圖 4)，顯示植物社會組成差異源自於草地及森林的形相。第二次再將森林區地被植物組成以 MRT 進行分類，分出五個節點，但僅取第二階四個節點視為四類型植物社會分配，當中位於森林邊緣區的地被植物第 I 型(假石松—臺灣冷杉型植物社會)優勢組成，明顯與第 II、III、IV 型有所差別(表 1)；而第 II、III、IV 型的優勢組成皆為裂葉樓梯草、毛刺懸鉤子、小穎溝浮草，指標數值最高者皆是裂葉樓梯草，三型同質性高，僅指標數值次高者有所差別，故將這三型視為森林區裂葉樓梯草型植物社會之下的三個亞型植物社會。大面積森林動態樣區取樣連續性高，物種組成差異的切分相對不易。但本研究案例顯示，若僅以 MRT 分類結果直接進行社會分類，第一次 MRT 區分兩個節點，符合草地與森林形相，但森林中無法更細部的區隔。第二次將森林的地被植物組成再以 MRT 區分出三階層五個節點，則又過於細微。本研究取二階層四個節點進行社會分類，若將此四個節點區分為獨立的植物社會，則四個社會處於相同階層與現況(兩型社會，其中一型再區分為三個亞型)不符。本研究顯

示 MRT 以環境因子進行切分，提供了基礎分類單位，而各社會的名稱與所在位階，仍須考慮物種的優勢度及指標數值排序，經綜合考量進行社會分類與命名，方才趨於實際現況。

三、邊緣效應(edge effect)

當兩個基本植群單位接觸時，其邊緣有一轉化地帶，寬度通常小於基本植群，但匯合了兩植群之組成及性質，此一地帶稱之為推移帶(ecotone) (劉棠瑞、蘇鴻傑 1983)。6 公頃樣區包含玉山箭竹草地與臺灣冷杉森林兩種植被形相，兩種植被形相交會的森林邊緣，地被植物歸類為假石松—臺灣冷杉型(第 I 型)植物社會，在此型社會中，假石松、高山芒屬於草地區的元素，而裂葉樓梯草與闊葉鱗毛蕨則為森林地被植物的元素(表 1)，故第 I 型植物社會空間位置與組成可歸屬玉山箭竹草地與臺灣冷杉森林的推移帶。森林邊緣的第 I 型植物社會，其寬度為從森林與草地交接的邊緣線至第 I 與第 II 型植物社會交會處，介於 20~60 公尺之間，平均為 34.7 公尺(圖 4)，遠小於草地區與森林區的寬度，符合推移帶的屬性(劉棠瑞、蘇鴻傑 1983)。6 公頃樣區胸徑大於 1 公分的植株密度在森林邊緣線至林內 30~40 公尺之間呈現密度的高峰，40~50 公尺與之後距離尺度的植株密度呈現大幅下降的情形(高文靜 2010)，此一高峰所在寬度與第 I 型植物社會相似。本研究調查顯示從草地區進入森林邊緣區至森林內部的各植物社會，歧異度指數在森林邊緣的第 I 型中，皆較高於相鄰的草地區與第 II 型，而在森林內的第 II、III、IV 型則較相近(表 5)。蕨類商數與平均覆蓋度在森林邊緣的第 I 型也較低於相鄰兩型植物社會的情形(表 5)。早期針對邊緣效應簡單的定義為，在推移帶中，凡生物族群密度或種類歧異度增加之現象稱為邊緣效應(劉棠瑞、蘇鴻傑 1983)，本研究的歧異指數在推移帶增加的趨勢符合這項定義。隨著各類生態系邊緣研究蓬勃發展，邊緣效應有更廣泛的定義，涵蓋非生物效應、直接生物效應與間接生物效應三種類

型。其中，直接生物效應因邊緣物理環境直接的改變，造成物種豐富度及分佈的變動屬之(Murcia 1995)；即在邊緣區生物現象增加或下降均屬邊緣效應。本研究位於臺灣冷杉森林邊緣的第 I 型地被植物社會，歧異度指數、蕨類商數與平均覆蓋度都有增加或下降趨勢，反映出此玉山箭竹草地與臺灣冷杉森林交會帶的邊緣效應。

結論

合歡東峰 6 公頃動態樣區分為玉山箭竹草地及臺灣冷杉森林區兩種植被形相，地被植物共計記錄 66 種均為原生種，分屬 38 科 52 屬，當中包含 37 種臺灣特有種。植物社會分類取 66 種地被植物進行 MRT 分類，配合物種優勢度與指標值，整個樣區地被植物組成區分為草地區的高山芒型植物社會；森林區邊緣的假石松—臺灣冷杉型植物社會；森林區內的裂葉樓梯草型植物社會，後者並可再區分為刺萼寒莓—裂葉樓梯草、高山露珠草—裂葉樓梯草、毛刺懸鉤子—裂葉樓梯草三個亞型植物社會。各植物社會在樣區的空間分佈與離森林邊緣遠近呈現梯度性的變化趨勢。位於森林邊緣的假石松—臺灣冷杉型植物社會，同時具有草地區與森林區地被植物元素，顯示本型社會是玉山箭竹草地及臺灣冷杉森林的推移帶，本型社會的歧異度指數、蕨類商數與平均覆蓋度都呈現增加或下降的趨勢，反映出邊緣效應。臺灣高山島的地形，涵蓋不同海拔梯度的植被帶，國家公園為了因應暖化效應，乃針對重要指標物種進行監測(臺灣國家公園 2009)，未來可藉由本樣區各物種海拔分佈屬性，篩選出可作為長期監測的重要種類，同時經由固定時間複查地被植物物種組成與空間變化，便可瞭解高海拔玉山箭竹草地及臺灣冷杉森林下地被植物的動態變化，建構更完整的亞高山長期生態監測資料。

誌謝

本研究承太魯閣國家公園管理處研究計畫經費資助(計畫編號太行合字第 999086 號)。現地調查所在之 6 公頃森林動態樣區由林務局調查計畫經費支持設置(計畫編號 tibr-970221)。本研究期間感謝太魯閣國家公園管理處及特有生物保育研究中心高海拔試驗站提供合歡山地區相關資訊及行政事項協助，致本研究順利完成，特此一併致謝。

引用文獻

- 台灣國家公園。2009。國家公園與全球暖化，
http://np.cpami.gov.tw/chinese/index.php?option=com_content&view=article&id=2434&Itemid=33(檢索於 2012 年 6 月 30 日)。內政部營建署。
- 呂玉萍。2005。南橫中之關暖溫帶闊葉林地被植物之研究。國立臺南大學教師在職進修自然碩士學位班碩士論文。
- 周盈山、謝宗欣。2008。南橫中之關暖溫帶闊葉林植群分析。國立臺南大學環境與生態學報 1:27-46。
- 高文靜。2010。合歡山區亞高山針葉樹台灣冷杉林的族群結構與空間分佈之研究。靜宜大學生態學系碩士論文。
- 曹銘昌、周廣勝、翁恩生。2005。廣義模型及分類回歸樹在物種分佈模擬中的應用與比較。生態學報 25:2031-2040。
- 陳正祥。1957。台灣之氣候與氣候分區。臺大實驗林林學叢刊第 7 號:174。
- 陳玉峰。1994。太魯閣國家公園高山群落之調查。內政部營建署太魯閣國家公園管理處。
- 陳志豪、陳明義、陳文民、陳恩倫。2009。合歡溪流流域植群分類與製圖。林業研究季刊 31:1-15。
- 楊國禎、蘇夢淮、王豫煌、張又敏。2009。玉山國家公園楠梓仙溪林道地區動植物資源監測調查計畫。內政部營建署玉山國家公園管理處。
- 趙國容。2001。南仁山低地雨林木本植物社會之短期動態。國立臺灣大學植物學研究所碩士論文。
- 劉棠瑞、蘇鴻傑。1983。森林植物生態學。台灣商務印書館。
- 蔡潤苗。2002。南仁山區低地雨林地被層植物之研究。國立臺灣大學植物學研究所碩士論文。
- 鄭育斌。1992。南仁山區亞熱帶雨林地被層植物之研究。國立臺灣大學植物學研究所碩士論文。
- 賴江山、米湘成、任海保、馬克平。2010。基於多元回歸樹的常綠闊葉林群叢數量分類-以古田山 24 公頃森林樣地為例。植物生態學報 34:761-769。
- 賴國祥。2000。合歡山的彩色精靈植物解說圖鑑。行政院農業委員會特有生物研究保育中心。
- 謝長富。2005。植物永久樣區監測方式與功能之分析。國家公園生物多樣性與環境監測研討會。內政部營建署。
- Bormann FH and GE Likens. 1979. Pattern and process in a forest ecosystem. Springer-Verlag, New York.
- De'ath G. 2002. Multivariate Regression Trees: A New Technique for Modeling Species-Environment Relationships. *Ecology* 83:1105-1117.
- De'ath G. 2012. Package 'mvpart': multivariate partitioning. R package version 1.6-0.
- Dufrene M and P Legendre. 1997. Species Assemblages and Indicator Species: The Need for a Flexible Asymmetrical Approach. *Ecological Monographs* 67:345-366.
- Gentry AH and LH Emmons. 1987. Geographical Variation in Fertility, Phenology, and Composition of the Understory of Neotropical Forests. *Biotropica* 19:216-227.
- Krebs C. J. 1999. Ecological Methodology, 2nd edn. Addison-Wesley Longman Inc, Menlo Park, CA.
- Muller RN. 1978. The Phenology, Growth and Ecosystem Dynamics of *Erythronium americanum* in the Northern Hardwood Forest. *Ecological Monographs* 48:1-20.
- Murcia C. 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 10:58-62.
- Poulsen AD and H Balslev. 1991. Abundance and Cover of Ground Herbs in an Amazonian Rain Forest. *Journal of Vegetation Science* 2:315-322.

- Raunkiaer C. 1934. Life-Forms of Plants and Statistical Plant Geography. Clarendon Press, Oxford.
- Su HJ. 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* 17:57-73.
- Vayssières MP, RE Plant and BH Allen-Diaz. 2000. Classification trees: An alternative non-parametric approach for predicting species distributions. *Journal of Vegetation Science* 11:679-694.
- Yamakura T, M Kanzaki, A Itoh, T Ohkubo, K Ogino, EOK Chai, HS Lee and PS Ashton. 1995. Topography of a Large-Scale Research Plot EstabHshed within a Tropical Rain Forest at Lambir, Sarawak. *Tropics* 5:41-56.
- Yang KC, JK Lin, CF Hsieh, CL Huang, YM Chang, LH Kuan, JF Su and ST Chiu. 2008. Vegetation Pattern and Woody Species Composition of a Broad-Leaved Forest at the Upstream Basin of Nantzuhsienhsi in Mid-southern Taiwan. *Taiwania* 53:325-337.