

臺灣南部曾文水庫上游集水區植群生態

陳君傑¹，蕭清泉²，楊勝任^{3,4}

¹林務局屏東林區管理處；²臺灣糖業股份有限公司高雄區處；³國立屏東科技大學森林系；⁴通訊作者 E-mail: yangsz@mail.npust.edu.tw

[摘要] 臺灣南部集水區定量植群資料缺乏，尤其是曾文水庫上游流域。因此，本研究的主要目的是闡明植相組成、植群分化，與植群類型有關的主要變數，以協助曾文水庫上游流域未來的經營管理。本研究共設置 34 個 20 x 20 m² 樣區，並量測 10 項變數，以進行多變數分析。研究結果顯示維管束植物有 715 種，稀有植物 21 種，例如固有種臺灣山茶。透過非計量多向度尺度法和雙向指標種分析劃分出 4 個植物社會型，包括昭和草-五節芒型、月橘-龍眼型、江某-咬人狗型和臺灣雅楠-臺灣苦槠型。經降趨對應分析、典型對應分析和 Monte Carlo 顯著性測驗得知，海拔、喬木層高度、地表裸露率、喬木層覆蓋度和坡度為解釋本區植群組成和分布的主要變數。

關鍵字：典型對應分析、多變數分析、植群生態、曾文水庫

Vegetation Ecology in the Upper Watershed of Zengwen Reservoir in Southern Taiwan

Jyuen-Jyie Chen¹, Ching-Chuan Hsiao² and Sheng-Zehn Yang^{3,4}

¹Pingtung Forest District Office, Taiwan Forestry Bureau; ²Kaohsiung District Office, Taiwan Sugar Corporation; ³Department of Forestry, National Pingtung University of Science and Technology; ⁴Corresponding author E-mail: yangsz@mail.npust.edu.tw

ABSTRACT The main objective of the present study is to elucidate the floristic composition, differentiation of vegetation communities and major variables relative to vegetation types in order to assist future management practice of the upper watershed of Zengwen Reservoir in southern Taiwan. Thirty-four 20x20 m² plots were placed and ten variables were estimated in each plot for multivariate analysis. As a result, 715 vascular plant species were recorded, including 21 rare species, such as *Camellia formosensis*, an endemic in Taiwan. Four plant community types were classified using non-metric multidimensional scaling (NMDS) and two way indicator species analysis (TWINSPAN), such as: *Crassocephalum crepidioides* -*Miscanthus floridulus* type, *Murraya paniculata* -*Euphoria longana* type, *Schefflera octophylla*-*Dendrocnide meyeniana* type, *Phoebe formosana*-*Castanopsis formosana* type. By detrended correspondence analysis (DCA), canonical correspondence analysis (CCA) and Monte Carlo permutations test, the results show that altitude, height of tree layer, exposure, cover of tree layer and slope are the major variables to explain floristic composition and their distribution.

Keywords: CCA, multivariate analysis, vegetation ecology, Zengwen Reservoir

前言

曾文水庫位於臺灣嘉義縣曾文溪主流上游，總容量達 7 億 m^3 ，有效容量近 5 億 m^3 ，為臺灣容水量最大的水庫。此集水區崩塌地較易發生之地形坡度集中於 20°-40°(胡原銘 2005)，以東南方坡向較容易發生坍塌，此集水區崩塌地發生地點、發生規模與數量上受降雨量有相當程度的影響。由台 3 線經過曾文水庫集水區觀察植被景觀，沿路可見大面積的竹林和檳榔園，大面積連續分布的天然林已不多見。此集水區當地植被和完整的植物資源調查至今仍然缺乏，防範集水區崩塌地發生等經營管理策略的基礎資訊亦顯不足，茲從保育生物多樣觀點，確實有必要填補曾文水庫一帶原生植物資料的空白。蘇夢淮(2006)提到曾文水庫一帶為臺灣山茶(*Camellia formosensis*)西部族群零星分布點之一；許飛霜(1997)提及稀有蕨類植物-澤瀉蕨(*Hemionitis arifolia*)在全台分布以曾文水庫發現最多，可見本區在該物種分布上頗具重要性。

臺灣地區有其他水庫集水區進行植群研究，植相種類和演替情形差異頗大：如石門水庫集水區記錄 1006 種維管束植物，包括 31 種稀有植物，22 種林型和 2 種草本植物社會，研究顯示該區植群屬演替較後期階段(陳章志 2007)，分布許多如紅檜(*Chamaecyparis formosensis* type)、錐果櫟-臺灣山毛櫟(*Cyclobalanopsis longinux-Fagus hayatae* subtype)、臺灣黃杉(*Pseudotsuga wilsoniana* type)林型等成熟林分。苗栗明德水庫集水區記錄 347 種維管束植物，5 個植群型和 4 個亞型，該區優勢樹種依重要值排序為鵝掌柴(*Schefflera octophylla*)、長尾栲(*Castanopsis cuspidate* var. *carlesii*)、臺灣黃杞(*Engelhardia roxburghiana*)、相思樹(*Acacia confusa*)等，植被屬次生林為主(胡大中 2003)。

由於本區過去文獻資料未見定量的(quantitative)植群生態(vegetation ecology)研究，探討影響植群型分布的環境或生物變數，

本研究目的即在透過植群生態調查方法，建立曾文水庫集水區的植物組成、稀有植物清單和植群生態資料，並利用多變數分析歸納出影響本區植群分布的主要變數，能提供集水區長期監測和施業的依據，有助於日趨重要的水資源利用與生物多樣性保存。

材料與方法

一、植群取樣步驟

本研究區域為曾文水庫集水區曾文溪上游，主要調查範圍由東至西包括茶山村、省道台 3 線、嘉 143 縣道和嘉 145 縣道至南寮村，海拔介於 250-1140 m，面積約 70 km^2 ，調查前先蒐集研究區域二萬五千分之一地形圖、地質、土壤、氣候、水文相關資料。另一方面蒐集研究區域鄰近地區與植物資源相關的研究報告資料。以現有的縣道、產業道路和登山步道作為調查路線，調查路線及樣區分布如圖 1。沿線採集之植物證據標本，存於國立屏東科技大學森林系標本館(Provincial Pingtung Institute, PPI)。本研究依據行政院農委會出版之臺灣稀有及瀕危植物之分級(呂勝由、林明志 1996，呂勝由、邱文良 1997, 1998, 1999，呂勝由等 2000，呂勝由等 2001)，評估植物的稀有等級。植物學名依據 Boufford *et al.* (2003)。

本研究野外植群調查採用歐陸學派常用之單一樣區法(Braun-Blanquet 1932)，挑選環境均質處作為樣區，並盡量避開竹林。樣區大小為 20 x 20 m^2 ，總計設置 34 個樣區(圖 1)。這些樣區位於遠離車輛來往的道路，以消除可能會影響植群的交通干擾。研究區域調查喬木層(trees)、灌木層(shrubs)、草本層(herbs)、藤本植物(lianas)、小苗(juveniles)及附生植物層(epiphytes)，記錄各層次出現的物種種類及覆蓋度，並且估算各層次的覆蓋度。依 Braun-Blanquet 覆蓋度-豐量尺度(cover-abundance scale)使用的 9 級評估各物種級值(van der Maarel 2005)。Braun-Blanquet 覆蓋度-

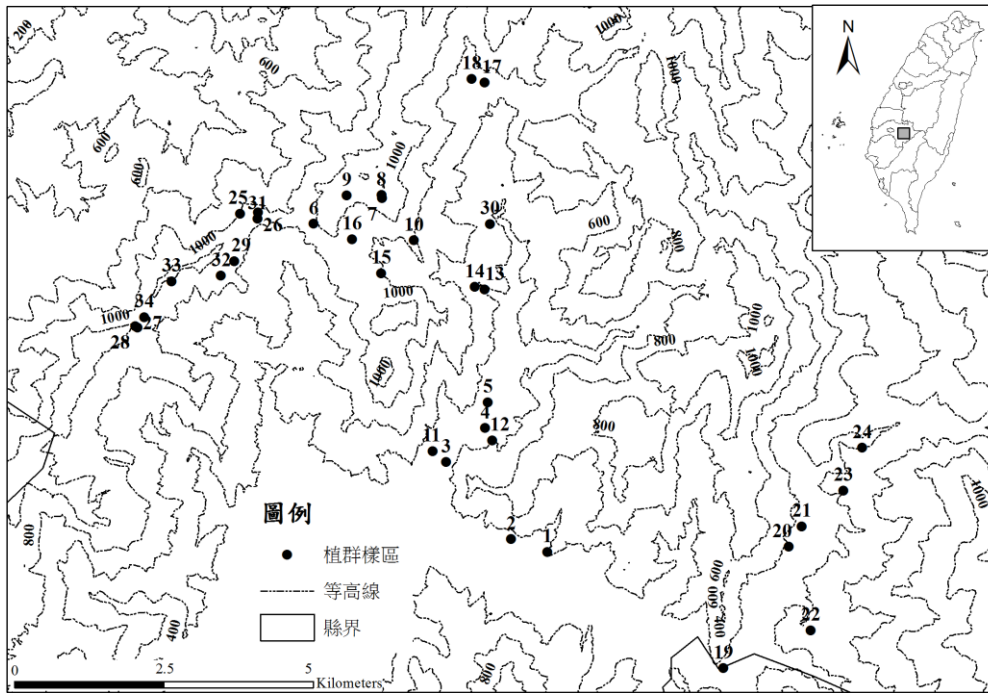


圖 1. 曾文水庫上游集水區植群樣區位置圖

豐量尺度與覆蓋度對照如下所述：r: 只有一株或覆蓋度 < 0.1%；+：幾株個體或覆蓋度很低；1: 覆蓋度 < 5%；2m: 覆蓋度約 5%；2a: 覆蓋度 5-15%；2b: 覆蓋度 15-25%；3: 覆蓋度 25-50%；4: 覆蓋度 50-75%；5: 覆蓋度 75-100%。

二、變數量測

本研究於每個樣區量測 10 項可能的變數，包括海拔 (Altitude, Alt.)、地形位置 (Topography, Top.)、坡度 (Slope, Slo.)、方位 (Aspect, Asp.)、地表裸露率 (Exposed, Exp.)、土壤含石率 (Stoniness, Sto.)、岩石地比例 (Rock, Roc.)、倒木比 (Fallen tree, FalT.)、喬木層高度 (Height of tree layer, H-tree)、喬木層覆蓋度 (Cover of tree layer, C-tree)，以了解植物社會與變數間的相關性。變數資料類型、量測與評估方式見表 1 說明。

三、多變數分析

1. 植物社會分類

為獲得有效的植群和相關環境因素的分析，而採用分類和排列技術。本研究先以 TURBOVEG 軟體 (version 2.40c) (Hennekens and Schaminée 2001) 建立各樣區物種與環境變數資料庫，再將樣區資料匯入 JUICE 軟體 (version 6.5.9) 內建之雙向指標種分析 (two way indicator species analysis, TWINSpan) 將樣區分類 (Tichý 2002)，並依據忠誠度 (fidelity) 排列高低，將植物社會分型。使用 JUICE 內定之 0, 5, 25 三個層級，作為擬種切分層級。忠誠度是指某物種出現於特定植物群叢的程度，忠誠度愈高，則該物種對於該植物群叢愈有偏好，稱為特徵種 (蘇鴻傑、劉靜榆 2004)。在 JUICE 中可設定忠誠度計算法，Chytrý *et al.* (2002) 指出 ϕ 係數與資料子集樣區數無關，並且只些微受植群單位 (vegetation unit) 的相對大小影響，可使用於比較不同大小的資料子集和植群單位。本研究在 JUICE 中以 ϕ 係數計算忠誠度，並透過 Fisher's test ($p < 0.05$)，將門檻值 (threshold) 設定為 55，排列成植物社會綜合表 (synoptic table)，來判定各植物社會型

表 1. 植群樣區變數量測項目表

項目	資料類型	量測法	單位	備註
海拔	G	實測值	m	離海平面之高度，使用 Garmin GPSmsp 60 CSx 內建氣壓計之衛星定位儀器測樣區海拔
方位	G	實測值	級數	依 Whittaker 採用 16 方位評定水分梯度級，其編號越多越乾燥
坡度	G	實測值	度	使用傾斜儀於最大坡面直接量測
地形位置	G	估測值	級數	1：稜線；2：上坡；3：中坡；4：下坡；5：溪谷
喬木層覆蓋度	V	估測值	%	樣區喬木層覆蓋度百分比，依樹冠高度分為 2 級，0.5-6 m (E2 層)、高於 6 m (E3 層)
喬木層高度	V	估測值	m	估測樣區內平均喬木層高度
岩石地比例	H	估測值	%	樣區土壤石塊<30 cm 含量百分比
土壤含石率	H	估測值	%	樣區土壤石塊>30 cm 含量百分比
倒木比	V	估測值	%	樣區倒木覆蓋度總百分比
地表裸露率	H	估測值	%	樣區地面無植生覆蓋百分比

註：G: 地理資料(Geographic data)，H: 生育地資料(Data on habitat)，V: 植群資料(Data on vegetation)

之特徵種。

本文採用非計量多向度尺度法 (non-metric multidimensional scaling, NMDS) 和降趨對應分析 (detrended correspondence analysis, DCA)，配合 TWINSpan 分析劃分本區植群型。NMDS 是 Shepard (1962) 和 Kruskal (1964) 提出多向度尺度法 (multidimensional scaling, MDS) 所衍生出的方法。所謂多向度尺度法即物種位於少數向度或梯度軸的位置，物種在分布圖上以點表示，物種的各點在分布圖上的距離，與物種的相異性矩陣中彼此間數值得排列次序資訊相同。NMDS 不會受到非線性問題所影響 (Podani 1994)，可以減少拱形效應，找出重要梯度，相異性值的任何改變不會影響到排序關係，也就是說次序永存。其比較方法採用最小平方單元回歸 (least square monotone regression) (Kruskal 1964)，以交互法運算計算比較兩者的應力函數值，一直到小於臨界值時則會停止。本研究之 NMDS 在 JUICE 中分析，植物社會型之命名採特徵種在前，優勢種在後命名 (劉崇瑞、蘇鴻傑 1983)。

2. 分布序列分析

分布序列反應物種或樣區於空間上的分布，確定彼此位置，使植群型在相關梯度上得到更佳解釋 (Curtis 1959)。本研究以 CANOCO 4.5 版 (ter Braak and Šmilauer 2002) 進行所有的分布序列分析。典型對應分析 (canonical correspondence analysis, CCA) 則用來分析物種

和樣區在主要環境因子上的分布位置。DCA 和 CCA 在 CANOCO 4.5 版中進行 (ter Braak and Šmilauer 2002)。

DCA 是一種間接梯度分析技術 (Whittaker 1967)，以物種組成和豐富度 (ter Braak 1994) 為基礎，測定樣點所對應的中軸。在植群結構中 (物種組成和豐富度) 比較相似的樣點，在圖表上也顯得更為相近。本研究將樣區原始資料利用 DCA 測試梯度軸長，分析過程中將 JUICE 輸出之原始矩陣的百分比資料以平方根 (square-root) 轉換，並不對稀有種降權 (down-weighted)。初步分析是由 CANOCO 程式中應用 DCA 的內定功能選項，沿著第一排序軸檢查物種組成的變化幅度 (梯度長度以標準偏差 standard deviation, SD 為單位)。由 4SD 值可以預期出相異的樣點沒有共同的物種 (ter Braak 1987)。結果若顯示軸 1 之梯度軸長為大於 4SD，表示物種在環境梯度上呈單峰分布 (unimodal)，無共通物種，適合使用 CCA 作後續分析 (ter Braak and Šmilauer 1998)。在本研究中，在植群資料 DCA 估計的梯度軸長大於 4SD 單位，因此，典型對應分析 (CCA) 是最適當的排列方法進行直接梯度分析 (ter Braak and Prentice 1988)。CCA 是用來確定植群資料與環境變異之間的關係 (Jean and Bouchard 1993)。ter Braak (1986) 建議使用 DCA 和 CCA 一起分析，由環境資料可說明物種資料的變化程度。為減少不重要的變數對分布序列結果造

成影響，本研究使用 CCA 所有內定值，以 Monte Carlo 排列檢驗法(99 permutations; ter Braak, 1990)用於檢測重要的第一個標準軸的特徵值的顯著性和前進選擇法篩選出主要變數(Lepš and Šmilauer 2003)。

CCA 雙序圖中的變量以箭頭表示，指出最大變化量的方向，它們的長度即為成比例的變化率(ter Braak 1986)。每個箭頭可成為一個軸，物種可以投影在此軸上。當樣點垂直投影(延長的)箭頭，其順序表示加權平均數與所涉及的相關因素值變異的排序。

結果

一、植物資源

調查期間共記錄 134 科 460 屬 715 種植物。包含蕨類植物 111 種，裸子植物 4 種，雙子葉植物 487 種和單子葉植物 113 種。物種數最多的前 5 個科為禾本科(Poaceae) (38 種)、菊科(Asteraceae) (33 種)、大戟科(Euphorbiaceae) (30 種)、豆科(Fabaceae) (27 種)和茜草科(Rubiaceae) (25 種)。另外研究區域跨越榕楠和楠櫛林帶(蘇鴻傑 1992)，主要組成樹種樟科(Lauraceae)、桑科(Moraceae)和殼斗科(Fagaceae)，分別有 19、17 和 9 種。在稀有植物資源方面，依行政院農委會臺灣稀有及瀕危植物之分級(表 2，分級 1)，有瀕臨滅絕(EN)3 種、易受害(VU)5 種、接近威脅(NT)4 種；依 Flora of Taiwan 稀有的特有種植物評估(表 2，分級 2)，有接近威脅(II) 3 種、稀有(III)6 種和疑問狀態(IV)3 種。合計本區存在 21 種稀有植物，包含蕨類 6 種，裸子植物 3 種，雙子葉植物 11 種及單子葉植物 1 種，其中臺灣肖楠(*Calocedrus macrolepis* var. *formosana*)、紅檜和巒大杉(*Cunninghamia konishii*) 3 種裸子植物，在研究範圍內屬造林樹種，非其天然分布的區域。

二、植物社會分類

本研究共取得 34 個樣區，共計 445 種植

物，利用 TWINSpan 進行切分，並搭配 NMDS (圖 2)分布序列圖比對分型適切性，進行植物社會分類。表 3 為本研究植物社會綜合表，顯示各植物社會型之環境或植群變數資料，用來了解各型在變數上的差異，並由高至低排序各型物種忠誠度。本研究植物社會命名之特徵種為考量忠誠度最高的幾個物種中選取生物量較大或較具代表性之物種，總計分出 4 個植物社會型，茲將各型之特徵種、優勢種與各垂直分層(喬木層；灌木層；草本層；附生植物；藤本植物)常見之物種組成分述如下：

1. 昭和草 - 五節芒型 (*Crassocephalum crepidioides*-*Miscanthus floridulus* type)

本植物社會型包含 4, 10, 30 樣區，生育地坡度較其他植物社會大，常出現在陡峭的山路邊坡或崩塌地裸露地，為本區域發生崩塌後演替序列初期之植物社會，海拔介於 250-850 m，喬木層樹種稀少或無，有許多先驅植物生長。特徵種為昭和草 (*Crassocephalum crepidioides*)、密花苧麻 (*Boehmeria densiflora*)、臺灣蘆竹、小葉冷水麻 (*Pilea microphylla*)、黃鶴菜 (*Youngia japonica*)、血桐 (*Macaranga tanarius*)、臺灣欒樹 (*Koelreuteria henryi*)、五節芒、山葛 (*Pueraria montana*)等；優勢種有臺灣蘆竹、五節芒；常見草本層植物有棕葉狗尾草 (*Setaria palmifolia*)、同蕊草 (*Rhynchosyris discolor*)、兩耳草 (*Paspalum conjugatum*)、火炭母草 (*Polygonum chinense*)、毛果油點草 (*Tricyrtis formosana* var. *lasiocarpa*)等；藤本植物常見的有漢氏山葡萄 (*Ampelopsis brevipedunculata* var. *hancei*)、猿尾藤 (*Hiptage benghalensis*)、小花蔓澤蘭 (*Mikania micrantha*)、雞屎藤 (*Paederia foetida*)等；附生植物缺乏，偶見稀有植物岩生秋海棠 (*Begonia ravenii*)和布烈氏黃芩 (*Scutellaria playfairi*)。本植物社會常見喬木層樹種的小苗或灌木，如白匏子 (*Mallotus paniculatus*)、九芎 (*Lagerstroemia subcostata*)、賊仔樹 (*Tetradium glabrifolium*)、小葉桑 (*Morus australis*)、山黃麻 (*Trema orientalis*)等。

表 2. 曾文水庫集水區上游稀有植物及稀有等級

物種	中文名	分級 1	分級 2
蕨類植物			
<i>Bolbitis scalpturata</i> (Fee) Ching	紅柄實蕨	VU	
<i>Diplazium pseudodoederleinii</i> Hayata	擬德氏雙蓋蕨		IV
<i>Hemionitis arifolia</i> (Burm.) Moore	澤瀉蕨	EN	
<i>Lycopodium salvinoides</i> (Hert.) Tagawa	小垂枝石松	EN	
<i>Polystichum prionolepis</i> Hayata	鋸葉耳蕨		IV
<i>Selaginella boninensis</i> Baker	小笠原卷柏	NT	
裸子植物			
<i>Calocedrus macrolepis</i> Kurz var. <i>formosana</i> (Florin) Cheng & L.K. Fu.	臺灣肖楠	EN	II
<i>Chamaecyparis formosensis</i> Matsum.	紅檜	VU	IV
<i>Cunninghamia konishii</i> Hayata	巒大杉	VU	III
被子植物			
雙子葉植物			
<i>Begonia ravenii</i> Peng & Chen	岩生秋海棠		III
<i>Callicarpa hypoleucophyll</i> W. F. Lin & J. L. Wang	灰背葉紫珠		II
<i>Castanopsis indica</i> (Roxb.) A. DC.	印度苦槠	NT	
<i>Chirita anachoreta</i> Hance	雙心皮草	VU	
<i>Derris laxiflora</i> Benth.	疏花魚藤		III
<i>Gomphostemma callicarpoides</i> (Yamam.) Masam.	臺灣錐花		III
<i>Heterostemma brownii</i> Hayata	布朗藤	NT	
<i>Paraphlomis formosana</i> (Hay.) T. H. Hsieh & T. C. Huang	臺灣假糙蘇		III
<i>Pilea japonica</i> (Maxim.) Hand.-Mazz.	日本冷水麻	VU	
<i>Scutellaria playfairi</i> Kudo	布烈氏黃芩	NT	
<i>Wikstroemia taiwanensis</i> C. E. Chang	臺灣莧花		II
單子葉植物			
<i>Anoectochilus formosanus</i> Hayata	臺灣金線蓮		III

註：分級 1-行政院農委會臺灣稀有及瀕危植物之分級；分級 2-Flora of Taiwan 稀有的特有種植物評估

2. 月橘-龍眼型(*Murraya paniculata-Euphoria longana* type)

本植物社會型包含 1-3, 5, 11, 13, 19-22 樣區，海拔介於 260-430 m，特徵種有月橘、龍眼、盤龍木(*Malaisia scandens*)、半月形鐵線蕨(*Adiantum philippense*)、酸藤(*Ecdysanthera rosea*)、扛香藤(*Mallotus repandus*)、克蘭樹(*Kleinhovia hospita*)、猿尾藤等；優勢種有龍眼、山棕(*Arenga tremula*)、無患子(*Sapindus mukorossii*)、克蘭樹等；喬木層植物有蟲屎(*Melanolepis multiglandulosa*)、澀葉榕(*Ficus irisana*)、稜果榕(*Ficus nervosa*)、咬人狗(*Dendrocnide meyeniana*)、軟毛柿(*Diospyros eriantha*)、大葉楠和血桐；灌木層植物有無患子、九芎、白匏子、山柚(*Champereia manillana*)、

土密樹(*Bridelia tomentosa*)、石苓舅(*Glycosmis citrifolia*)、披針葉饅頭果(*Glochidion zeylanicum* var. *lanceolatum*)等；常見草本層植物有香澤蘭(*Chromolaena odorata*)、竹葉草(*Oplismenus compositus*)、細葉麥門冬(*Liriope minor* var. *angustissima*)、絹毛鳶尾(*Costus speciosus*)、尖舌草(*Rhynchoglossum obliquum* var. *hologlossum*)、臺灣鱗球花(*Lepidagathis formosensis*)、火筒樹(*Leea guineensis*)等；常見藤本植物有小花蔓澤蘭、柚葉藤(*Pothos chinensis*)、三角葉西番蓮(*Passiflora suberosa*)、風藤(*Piper kadsura*)、海金沙(*Lygodium japonicum*)；小苗常見的有龍眼、月橘、軟毛柿、無患子、小梗木薑子(*Litsea hypophaea*)等；附生植物偶見大星蕨

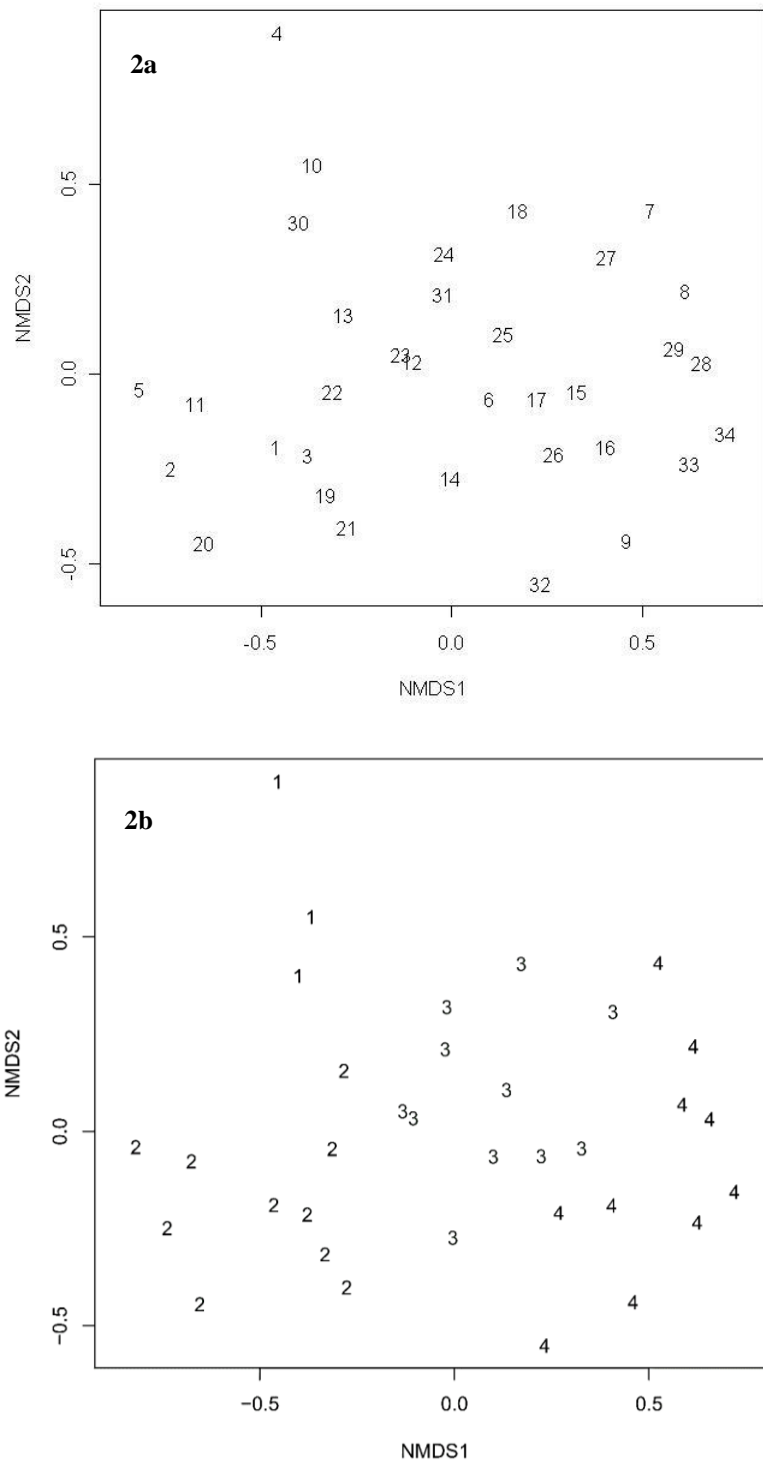


圖 2. 34 個樣區在 NMDS 之分布(2a)及分型結果於 NMDS 分布序列圖上之分布(2b)。註：1: 昭
和草-五節芒型；2: 月橘-龍眼型；3: 江某-咬人狗型；4: 臺灣雅楠-臺灣苦槠型

表 3. 曾文水庫上游集水區 10 個變數與物種忠誠度排列之植物社會綜合表

Type	昭和草-五節芒型	月橘-龍眼型	江某-咬人狗型	臺灣雅楠-臺灣苦槠型
樣區數	3	10	11	10
物種	F	F	F	F
昭和草	94.3**			
密花芋麻	77.5*			
臺灣蘆竹	76.0**			
小葉冷水麻	70.3*			
黃鵪菜	70.3*			
血桐	67.5**			
臺灣欒樹	63.1*			
五節芒	62.1**			
山葛	58.8**			
月橘		93.3**		
龍眼		80.1**		
盤龍木		74.4**		
半月形鐵線蕨		72.8*		
酸藤		66.2*		
扛香藤		65.5		
克蘭樹		65.5		
猿尾藤		60.1**		
蟲屎		58.9*		
無患子		57.9**		
軟毛柿		56.6		
江某			56.8**	
臺灣雅楠				80.1**
臺灣苦槠				66.8*
山香圓				60.9**
黃藤				57.7
石朴				56.7*
變數				
海拔(m)	531.7±301.7	338.2±56.4	636.9±224.2	959.2±111.3
地形位置	2,4	2-5	2-5	1-5
坡度(°)	73.3±12.6	44.1±13.2	43.9±22.7	40.3±16.0
方位(°)	180.0±130.8	158.6±96.5	134.2±92.1	148.0±66.2
地表裸露率(%)	63.3±15.3	43.2±30.5	19.6±15.0	16.0±18.0
土壤含石率(%)	3.3±1.1	41.3±27.8	39.0±25.6	26.9±20.0
倒木比(%)	0.3±0.6	3.6±4.1	3.6±4.1	3.5±3.6
岩石地比例(%)	58.3±33.3	25.2±17.3	46.5±25.3	20.8±15.9
喬木層高度(m)	5.0±8.7	9.9±3.9	11.9±5.2	16.3±3.8
喬木層覆蓋度(%)	6.7±11.5	37.3±14.1	26.8±20.5	45.5±20.7

註 1：地形位置：1.稜線 2.上坡 3.中坡 4.下坡 5.溪谷。註 2：F：忠誠度；*物種恆存度介於 60-80%；**物種恆存度大於 80%；淺色底為忠誠度介於 55-75%；深色底為忠誠度大於 75%

(*Microsorium fortunei*)；稀有植物有澤瀉蕨、小笠原卷柏、疏花魚藤，本研究觀察到的稀有蕨類澤瀉蕨多分布於此類植物社會。

3. 江某-咬人狗型 (*Schefflera octophylla* - *Dendrocnide meyeniana* type)

本植物社會型包含 6, 12, 14, 15, 17, 18, 23-25, 27, 31 樣區，海拔介於 385-935 m，特徵

種有江某，優勢種有咬人狗、腎蕨 (*Nephrolepis auriculata*)、水同木(*Ficus fistulosa*)、冷清草 (*Elatostema lineolatum*)、大葉楠、江某、山黃麻、姑婆芋(*Alocasia odora*)等；喬木層植物有九芎、白匏子、稜果榕和石朴(*Celtis formosana*)等；灌木層植物有山香圓 (*Turpinia formosana*)、石荳舅、臺灣苦槠(*Castanopsis*

formosana)、五掌楠(*Neolitsea konishii*)、幹花榕(*Ficus variegata* var. *garciae*)、烏皮九芎(*Styrax formosana*)、臺灣山桂花(*Maesa perlaria* var. *formosana*)等；常見草本層植物有中國穿鞘花(*Amischotolype hispida*)、五節芒、距花黍(*Ichnanthus vicinus*)、三奈(*Zingiber kawagooi*)、棕葉狗尾草、大線蕨(*Colysis pothifolia*)、觀音座蓮(*Angiopteris lygodifolia*)、絹毛鳶尾、密毛毛蕨(*Cyclosorus parasitica*)、尖舌草、同蕊草等；常見藤本植物有糙莖菝契(*Smilax bracteata* var. *verruculosa*)、小花蔓澤蘭、柚葉藤、三角葉西番蓮、黃藤(*Calamus quiquesetinervius*)、風藤、拎樹藤(*Epipremnum pinnatum*)、血藤(*Mucuna macrocarpa*)等；小苗常見的有山棕、臺灣山桂花、大葉楠、屏東木薑子(*Litsea akoensis*)等；附生植物常見的有山蘇花(*Asplenium antiquum*)、崖薑蕨(*Pseudodrynaria coronans*)、抱樹石葦(*Pyrrhosia adnascens*)等；稀有植物有擬德氏雙蓋蕨、日本冷水麻。

4. 臺灣雅楠 - 臺灣苦槠型 (*Phoebe formosana*-*Castanopsis formosana* type)

本植物社會型包含 7-9, 16, 26, 28, 29, 32-34 樣區，海拔介於 840-1140 m，特徵種有臺灣雅楠、臺灣苦槠、山香圓、黃藤、石朴；優勢種有冷清草、水同木、臺灣苦槠、臺灣雅楠、大葉楠、五掌楠、菲律賓楠(*Machilus philippinense*)等；喬木層植物有白匏子、九芎、江某、山黃麻、樟葉槭(*Acer albopurpurascens*)等；灌木層植物有山香圓、樹杞(*Ardisia sieboldii*)、柳葉山茶(*Camellia salicifolia*)、臺灣山茶(*Camellia sinensis*)、山龍眼、小西氏石櫟(*Pasania konishii*)、長梗紫麻(*Oreocnide pedunculata*)、珊瑚樹(*Viburnum odoratissimum*)、臺灣山桂花等；常見草本層植物有中國穿鞘花、廣葉鋸齒雙蓋蕨(*Diplazium dilatatum*)、萊氏線蕨(*Colysis wrightii*)、普萊氏月桃(*Alpinia pricei*)、姑婆芋、海南實蕨(*Bolbitis subcordata*)、臺灣馬藍(*Strobilanthes formosanus*)、闊葉樓梯草

(*Elatostema platyphylloides*)等；常見藤本植物有拎樹藤、布朗藤(*Heterostemma brownii*)、黃藤、糙莖菝契、柚葉藤、風藤、血藤等；小苗常見的有水同木、江某、小西氏石櫟、臺灣雅楠、菲律賓楠等；附生植物常見的有山蘇花、鵝掌藤(*Schefflera odorata*)、大黑柄鐵角蕨(*Asplenium neolaserpitifolium*)、風不動(*Dischidia formosana*)、崖薑蕨等；稀有植物有紅柄實蕨、雙心皮草、布朗藤。

三、分布序列

本研究 DCA 測試軸 1 之軸長為 4.574，表示物種在環境梯度上呈單峰分布，適合使用 CCA 作後續分析(ter Braak and Šmilauer 1998)。為了解植物社會與各項變數間的相關性，將樣區資料與 10 項變數進行 CCA 分析，顯示軸 1 最能代表植物社會的變異，特徵值(eigen values)為 0.556，其餘依次為軸 2 為 0.391，軸 3 為 0.309，軸 4 為 0.279，特徵值大小代表植物社會矩陣(community matrix)在某梯度軸的變異量程度(Jongman *et al.* 1987)；而特徵值總和為 1.796，軸 1 可解釋物種與變數之關係變異量的 30.9%，軸 1, 2 累積解釋物種與變數之關係變異量的 52.7%，累積前 3 軸可解釋近 69.9%。

為減少不重要的變數對分布序列結果造成影響，本研究以 Monte Carlo 顯著性測驗和前進選擇法(forward selection)篩選出主要變數進行 CCA (Lepš and Šmilauer 2003)。結果共 5 項變數具顯著性，達到極顯著的有 5 項； \dot{e}_A 值表示各項變數解釋變異的程度，由高至低依次為海拔、喬木層高度、地表裸露率、喬木層覆蓋度和坡度(表 4)。

圖 3 顯示植物數據經 CCA 分析的分佈序列結果。34 個樣區沿著軸 1 及軸 2 繪製，且常聚集為 4 個群體。根據表 5 和圖 3 顯示，海拔與地表裸露率於軸 1 呈負相關，在雙序圖左側的樣區海拔較高但地表裸露率較低，海拔愈低則地表裸露率愈高。海拔與喬木層高度和喬木層覆蓋度有正相關，雙序圖左側的樣區海

表 4. 10 項環境或植群變數經 Monte Carlo 顯著性測驗結果

環境變數	$\bar{\epsilon}_A$	P	F
海拔	0.546	0.002**	1.962
喬木層高度	0.407	0.002**	1.441
地表裸露率	0.386	0.002**	1.361
喬木層覆蓋度	0.378	0.002**	1.334
坡度	0.348	0.006**	1.222
地形位置	0.312	0.136	1.094
岩石地比例	0.304	0.244	1.062
土壤含石率	0.291	0.374	1.018
方位	0.287	0.456	1.002
倒木比	0.278	0.580	0.097

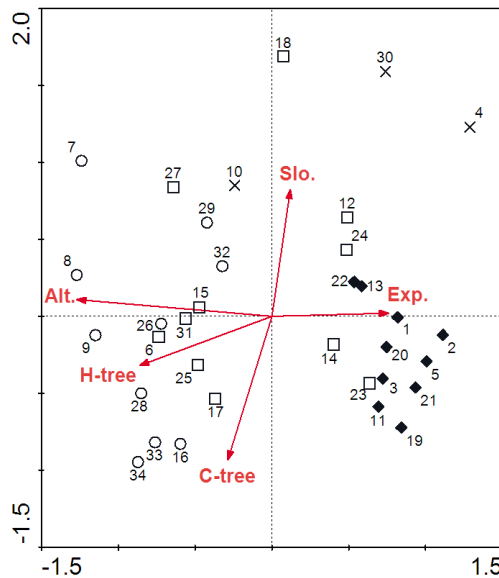


圖 3. 34 個樣區和 5 項主要變數於 CCA 軸 1、2 之雙序圖

註：x: 昭和草-五節芒型；◆: 月橘-龍眼型；□: 江某-咬人狗型；○: 臺灣雅楠-臺灣苦槠型。Alt.-海拔；H-tree-喬木層高度；Exp.- 地表裸露率；C-tree-喬木層覆蓋度；Slo.- 坡度

表 5. CCA 4 個環境梯度軸與 5 項主要變數間之相關性

顯著變數	軸 1	軸 2	軸 3	軸 4
海拔	-0.956	0.097	-0.120	-0.069
喬木層高度	-0.648	-0.286	-0.275	0.240
地表裸露率	0.571	0.018	0.669	-0.003
喬木層覆蓋度	-0.215	-0.836	0.337	-0.250
坡度	0.090	0.739	-0.302	-0.487

拔分布較高且植群的喬木層高度和喬木層覆蓋度有隨海拔遞增而增高的趨勢。坡度與喬木層覆蓋度呈現負相關，即當樣區的坡度愈陡，其植群的喬木層覆蓋度有愈低的現象。從雙序圖來說明植物社會型的分布情形，臺灣雅楠-臺灣苦槠型為海拔分布最高的植物社會，且喬木層高度和喬木層覆蓋度均為本區植物社會

中最高者；江某-咬人狗型海拔次高，但分布範圍大，在其他 4 項顯著環境變數上分布均很廣，月橘-龍眼型和昭和草-五節芒型則分布海拔下段，且地表裸露率較其他植物社會高，而昭和草-五節芒型則分布在坡度較陡處。

討論

一、植物資源重要性

在臺灣極具經濟價值的紅茶-台茶 18 號，紅玉，為臺灣原生的臺灣山茶與緬甸種的阿薩姆紅茶雜交培育而來，具有清淡的薄荷和天然肉桂香氣(邱垂豐等 2004)，頗受市場喜愛，有可觀之經濟價值，其他茶科植物也有選種改良的潛力。而臺灣山茶野外族群只零星分布在臺灣西南部淺山森林和台東永康山區附近，在中央山脈兩側呈現不對稱分布(西部南投以南至屏東較為連續，東部只有一處)(蘇夢淮 2007)。

依據 PPI 標本館臺灣山茶的標本採集資訊，實際到幾處臺灣山茶採集地現場觀察如臺灣南部衣丁山(*G. P. Hsieh* 941)、真笠山(*G. P. Hsieh* 987)、卡山(*C. F. Chen* 511)，臺灣山茶族群週遭均為植被完整的闊葉林環境，部分亦會長在闊葉林緣透光較稍佳處，蘇夢淮(2007)提及臺灣山茶生長在原始常綠闊葉林，屬樹冠層下的物種。本研究另記錄到另一山茶屬的柳葉山茶亦偏好闊葉林相完整的森林下層環境。然而臺灣山茶在本區目前的族群狀態多殘存在竹林和在開墾地間孤立闊葉林裡，少見天然更新小苗。此一物種在本區的族群狀態顯得岌岌可危。因此本研究發現臺灣山茶的族群現況，值得相關單位著手針對本區臺灣山茶野生族群種源的保存、重建等措施。

許飛霜(1997)提及稀有蕨類植物-澤瀉蕨(*Hemionitis arifolia*)在全台分布以曾文水庫發現最多。本研究發現許多次生林地內有不少族群存在，尤其在月橘-龍眼型植物社會內的樣區有多次記錄，經由本次研究可確認其在本區族群數量尚稱穩定。紅柄實蕨於全台的分布點僅侷限在曾文水庫附近和南投蓮華池；雙心皮草亦只分布在曾文水庫附近的嘉義、南投、高雄山地，上述 2 種稀有植物雖非臺灣特有種，但在臺灣呈現分布侷限狹小的情形，值得本區在考量稀有植物存續情形時，對此 2 種植物進行監測。

二、植物社會與環境或植群變數之關係

CCA 分析結果海拔與喬木層高度和喬木層覆蓋度有正相關，尤其是喬木層高度與海拔在雙序圖上夾角較小，關聯性較大，而上述 3 項變數與地表裸露率有負相關。即 4 個植物社會當中，海拔分布愈低者，地表裸露率愈高，且海拔分布愈高的林型，喬木層高度和喬木層覆蓋度也有增加的趨勢。根據現場調查所做觀察，該現象應可指出本區海拔上段的天然植生，森林發育較為完整，喬木層高度和喬木層覆蓋度較高，且由於樹冠較鬱閉，林內環境潮濕，加上森林隨海拔升高愈顯潮濕，使得地被植物發育較佳，而有較低的地表裸露率。

本研究將曾文水庫上游集水區植物社會分為昭和草-五節芒型、月橘-龍眼型、江某-咬人狗型和臺灣雅楠-臺灣苦槠型等 4 型。參照蘇鴻傑(1992)植被帶系統架構，曾文水庫上游集水區天然植生的植物社會沿著本區海拔梯度分布有榕楠林帶(江某-咬人狗型)和楠槠林帶(臺灣雅楠-臺灣苦槠型)，研究區域海拔梯度上段也記錄到如大葉石櫟和短尾葉石櫟等櫟林帶下層樹種。江某-咬人狗型的物種組成演替早期與晚期均有，是本區各種植被類型中，除了竹林以外，分布範圍最大者，適應各種環境。本區月橘-龍眼型地表裸露率相對最高，組成分子有無患子、九芎及其他因氣候過於乾旱致使在冬季落葉的樹種，反應出該區位處西南氣候區，有明顯旱季的氣候特色，也是演替早期的植物社會。昭和草-五節芒型為出現於本區坡度陡峭的岩壁植物社會，該型的小苗或灌木層出現許多陽性樹種，如血桐、山黃麻、白匏子等，屬於演替早期的植物社會。

本區臺灣雅楠-臺灣苦槠型和楠梓仙溪的臺灣苦槠群叢(周富三 2006)植物組成相似，而江某-咬人狗型與香楠-鵝掌柴群叢以及澀葉榕-大葉楠群叢植物組成相似。周富三(2006)提及楠梓仙溪中上游流域的楠槠林帶與櫟林帶交界在海拔 1,200m，本研究取樣之海拔梯度受限於研究區域的海拔分布範圍，最高只達 1,140m，但也在臺灣雅楠-臺灣苦槠型的幾個海拔較高樣區內出現櫟林帶樹種如大葉石櫟

和短尾葉石櫟之族群散佈，可見曾文水庫集水區(曾文溪流上游)與相鄰東側之楠梓仙溪中上游流域楠櫟林帶的海拔分布梯度上限相似。但均較中部櫟林帶(蘇鴻傑 1992)與楠櫟林帶交界的海拔高度降低約 300m。此林帶海拔分布降低的現象與 Su (1984)發現各林帶之海拔高度，從臺灣中部向南北兩端有下降趨勢相符。若比較荖濃溪低海拔區域植物社會優勢樹種組成(陳銘賢 1990)，本區臺灣雅楠-臺灣苦槠型和荖濃溪臺灣栲-瓊楠型組成相似，而本區江某-咬人狗型與大葉楠型組成相似。這些發現顯示曾文水庫上游植被的海拔分布與組成與鄰近楠梓仙溪流域和荖濃溪低海拔區域有很高的相似性，也反應 3 篇研究地理位置屬於西南地理氣候區北側之地理環境。

臺灣雅楠-臺灣苦槠型應該是本研究歸類的 4 個植物社會裡演替階段最晚的林型，該林型在本區呈不連續且呈鑲嵌狀(mosaic)分布，殘存在集水區最高稜線附近的各種地形位置，常常四周緊鄰產業道路、檳榔園、竹林等開墾地，沒有大面積分布。本研究區域存在演替不同階段的森林，臺灣雅楠-臺灣苦槠型分布最為破碎化且狹小，森林結構卻最為完整，有鬱閉的喬木層和其他垂直分層，該型森林亦能提供需要微生育地環境的附生植物生長。該型分布有珍貴具潛在經濟效益的樹種如臺灣山茶和柳葉山茶等，而稀有植物紅柄實蕨、布朗藤、雙心皮草等稀有植物亦生長其中，這些發現顯示臺灣雅楠-臺灣苦槠型的森林植物社會實為本區植物資源管理上最需優先考量的對象。

除海拔上段楠櫟林帶的臺灣雅楠-臺灣苦槠型有分布破碎化的問題外，低海拔榕楠林帶的江某-咬人狗型是演替早晚期均有的植物社會，常有小花蔓澤蘭入侵，演替晚期物種也常未達大樹狀態，或僅存少數幾棵開墾後殘留的大樹如江某、大葉楠、樟葉槭等。分布低海拔之昭和草-五節芒型和月橘-龍眼型，均為陽性物種優勢生長的植物社會，樹冠層開闊或甚至無樹冠層存在，低海拔區域亦分布著大面積的

竹林和開墾地。

本區低海拔缺少未受人為干擾且能達到演替晚期極盛相階段的榕楠林帶森林，顯示本區山坡地曾受到過度開發。現生植群樹冠層開闊以及不完整的分層結構，可能使曾文水庫上游集水區之土壤負荷降雨量的能力較差，造成颱風過後水庫上游的台 3 線和產業道路容易發現許多崩塌地，此現象直接增加水庫淤積、漂流木增加、減少水庫容水量等曾文水庫經營管理問題。本區森林生態系統要能改善，首要需減少低海拔山坡地人為干擾因子，使現存植生能發展至演替晚期森林結構完整的天然植生，並積極保護海拔上段林相且植物資源豐富的臺灣雅楠-臺灣苦槠型植物社會，甚至種植該植物社會的優勢種類，儘早恢復本區天然林相。

結論

曾文水庫上游集水區維管束植物資源多樣化，共出現 715 種維管束植物，更不乏珍貴稀有植物，約有 21 種，本區域發現少量固有種臺灣山茶與紅柄實蕨。本次植群取樣涵蓋森林和草本的植物社會，共設置 34 個樣區，量測 10 項可能影響植物社會分布的環境或植群變數。結果顯示，經由非計量多向度尺度法和雙向指標種分析歸類出 4 個植物社會型，包括昭和草-五節芒型、月橘-龍眼型、江某-咬人狗型和臺灣雅楠-臺灣苦槠型。經典型對應分析與 Monte Carlo 顯著性測驗得知，海拔、喬木層高度、地表裸露率、喬木層覆蓋度和坡度為解釋本區植群組成和分布的主要變數。曾文水庫上游集水區維管束植物資源多樣化，稀有植物的侷限分布與存續情形，值得進一步監測，重要的植群組成和分布以及有關的變數均有助於曾文水庫上游集水區的經營與擬定政策之參考。

引用文獻

- 呂勝由、林明志。1996。臺灣稀有及瀕危植物之等級彩色圖鑑(I)。行政院農委會，163頁。
- 呂勝由、邱文良。1997。臺灣稀有及瀕危植物之等級彩色圖鑑(II)。行政院農委會，162頁。
- 呂勝由、邱文良。1998。臺灣稀有及瀕危植物之等級彩色圖鑑(III)。行政院農委會，163頁。
- 呂勝由、邱文良。1999。臺灣稀有及瀕危植物之等級彩色圖鑑(IV)。行政院農委會，162頁。
- 呂勝由、邱文良、鄭育斌。2000。臺灣稀有及瀕危植物之等級彩色圖鑑(V)。行政院農委會，166頁。
- 呂勝由、邱文良、鄭育斌、陳建文。2001。臺灣稀有及瀕危植物之等級彩色圖鑑(VI)。行政院農委會，166頁。
- 邱垂豐、邱瑞騰、林金池。2004。台茶 18 號(別名「紅玉」)簡介。茶訊 818: 5。
- 周富三。2006。臺灣西南部楠梓仙溪中上游集水區常綠闊葉林植群生態之研究。國立中山大學生物科學學系博士論文，106頁。
- 胡大中。2003。明德水庫集水區次生林植群分析之研究。國立臺灣大學森林系碩士論文，100頁。
- 胡原銘。2005。曾文水庫集水區崩塌特性之探討。長榮大學土地管理與開發研究所碩士論文，94頁。
- 許飛霜。1997。臺灣稀有蕨類植物-澤瀉蕨。自然保育季刊 17:27。
- 陳韋志。2007。石門水庫集水區植群生態之研究。國立中興大學森林系碩士論文，149頁。
- 陳銘賢。1990。臺灣西南部荖濃河流域低海拔區域之植群分析。國立臺灣大學森林系碩士論文，82頁。
- 劉棠瑞、蘇鴻傑。1983。森林植物生態學。臺灣商務印書館，462頁。
- 蘇夢淮。2007。臺灣山茶之分類研究。國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所博士論文，126頁。
- 蘇鴻傑。1992。臺灣之植群：山地植群帶與地理氣候區。臺灣生物資源調查及資訊管理研習會論文集，中央研究院植物研究所專刊 11:39-54。
- 蘇鴻傑、劉靜瑜。2004。論植相社會學之植群分類法。臺大實驗林研究報告 18(3): 129-151。
- Braun-Blanquet J. 1932. *Plant sociology*. Transl. by Fuller GD and HS Conard. McGraw-Hill Book Co. Inc., New York. 439 pp.
- Boufford DE, H Ohashi, TC Huang, CF Hsieh, JL Tsai, KY Yang, et al. 2003. A Checklist of the vascular plants of Taiwan. pp.18-139. In Boufford DE, CF Hsieh, TC Huang, CS Kuoh, H Ohashi, CI Peng and et al. (eds.) *Flora of Taiwan*. National Taiwan University Press, Taipei.
- Chytrý M, L Tichý, J Holt and Z Botta-Dukát. 2002. Determination of diagnostic species with statistical fidelity measures. *Journal of Vegetation Science* 13:79-90.
- Curtis JT. 1959. *The Vegetation of Wisconsin*. University of Wisconsin Press, Madison. 657 pp.
- Hennekens SM and JHJ Schaminée. 2001. TURBOVEG, A comprehensive data base management system for vegetation data. *Journal of Vegetation Science* 12:589-591.
- Jean M and A Bouchard. 1993. Riverine wetland vegetation: importance of small-scale and large-scale environmental variation. *Journal of Vegetation Science* 4:609-620.
- Jongman RHG, CJF ter Braak and OFR Van Tongeren. 1987. *Data Analysis in Community and Landscape Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 299 pp.
- Kruskal CK. 1964. Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a nonmetric hypothesis. *Psychometrika* 29(1):1-27.
- Lepš J and P Šmilauer. 2003. *Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 269 pp.
- Podani J. 1994. *Multivariate data analysis in ecology and systematics*. A methodological guide to the SYN-TAX 5.0 package. Amsterdam, NL: SPB.
- Shepard RN. 1962. The analysis of proximities: multidimensional scaling with an unknown distance function. *Psychometrika* 27:125-39, 219-46.
- Su HJ. 1984. Studies on the climate and vegetation type of the nature forest in Taiwan (I). analysis of the variation in climate factors. *Quarterly Journal of Chinese Forestry* 17(4):57-73.
- ter Braak CJF. 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for

- multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67:1167-1179.
- ter Braak CJF. 1987. Ordination. In Jongman RHG, CJF ter Braak and van Tongeren (eds.), *Analysis in Community and Landscape Ecology*. Pudoc, Wageningen, The Netherlands, 299pp.
- ter Braak CJF and IC Prentice. 1988. A theory of gradient analysis. *Advances in Ecological Researches* 18:271-317.
- ter Braak CJF. 1990. *Update notes: CANOCO version 3.1*. Agricultural Mathematics Group, Wageningen, 35pp.
- ter Braak CJF. 1994. Canonical community ordination. Part 1. Basic theory and linear methods. *Ecoscience* 1:127-140.
- ter Braak CJF and P Šmilauer. 1998. *CANOCO Reference Manual and User's Guide to Canoco for Window: Software for Canonical Community ordination*. (4th ed.) Microcomputer Power, Ithaca. 345 pp.
- ter Braak CJF and P Šmilauer. 2002. *CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination*. Ithaca Press, New York. 500 pp.
- Tichý L. 2002. JUICE, software for vegetation classification. *Journal of Vegetation Science* 13:451-453.
- van der Maarel E. 2005. *Vegetation ecology*. Blackwell, Oxford, UK. 395 pp.
- Whittaker RH. 1967. Gradient analysis of vegetation. *Biological Reviews* 42:207-264.