

研究報告

臺灣中部森林系統取樣植群調查： 以南投林管處轄國有林事業區爲例

李祈德^{1,2} 曾喜育¹ 曾彥學^{1,*}

【摘要】本研究利用第四次全國森林資源調查，南投林管處所轄223個系統取樣的樣區調查資料，排除其中58個非森林植物社會樣區，將165個森林樣區進行植群物種組成與分類分析。共計調查木本植物57科131屬236種，以樟科25種占最多；物種組成中，臺灣特有種有75種，瀕臨滅絕有2種，易受害有2種。矩陣群團分析結果區分出山黃麻林型、香楠林型、長葉木薑子林型、霧社木薑子林型、假長葉楠林型、野桐—山埔姜林型、青剛櫟林型、臺灣肉桂林型、木荷林型、赤柯—長尾栲林型、臺灣杜鵑林型、狹葉櫟林型、紅檜林型、臺灣鐵杉林型、臺灣冷杉林型、臺灣二葉松林型、臺灣雲杉型、稜果榕林型、香青林型等19個植群型。降趨對應分析與典型對應分析顯示，研究區的植群分布主要受海拔、全天光空域、水分指標及平均年雨量等環境因子影響，而以海拔的影響最大。

【關鍵詞】第四次全國森林資源調查、系統取樣、植群調查、矩陣群團分析

Research paper

Forest Vegetation survey by Systematic Sampling in Central Taiwan: A Case Study in National Forest Working Circle of Nantou Forest District

Chi- Te Lee^{1,2} Hsy- Yu Tzeng¹ Yen- Hsueh Tseng^{1,*}

【Abstract】 On the basis of the Fourth National Forest Resource Inventory data from the Nantou Forest District Office, the study analyzed 165 of 223 Systematic sample plots, excluding 58 non-forest ones, for vegetation composition and classification. It investigated 236 species of woody plants, including 57 families and 131 genera. Among them, the Lauraceae (25 species) Family contains most species. Also, 75 species are endemic, 2 species are endangered, and 2 species are vulnerable. By using Matrix cluster analysis, plant communities are classified into 19 major vegetation types, namely the *Trema orientalis* type, *Machilus*

1. 國立中興大學森林學系，402臺中市國光路250號。

Department of Forestry, National Chung- Hsing University 250 Kuokwang Rd., Taichung 402, Taiwan.

2. 林務局南投林區管理處，542南投縣草屯鎮史館路456號。

Nantou Forest District Office, Forest Bureau, 456 Shiguan Rd., Caotun Town, Nantou 542, Taiwan.

* 通訊作者。Corresponding author, e-mail: tseng2005@nchu.edu.tw

Phone number: (04) 2284-0345#139

zuihoensis type, *Litsea acuminata* type, *Litsea elongata* var. *mushaensis* type, *Machilus japonica* type, *Mallotus japonicas-Buddleja asiatica* type, *Cyclobalanopsis glauca* var. *glauca* type, *Cinnamomum insulari-montanum* type, *Schima superba* type, *Castanopsis cuspidata* var. *carlesii*-*Cyclobalanopsis morii* type, *Rhododendron formosanum* type, *Cyclobalanopsis stenophylloides* type, *Chamaecyparis formosensis* type, *Tsuga chinensis* var. *formosana* type, *Abies kawakamii* type, *Pinus taiwanensis* type, *Picea morrisonicola* type, *Ficus septica* type, and *Juniperus squamata* type. In addition, the results of detrended correspondence analysis and canonical correspondence analysis indicate that altitude, whole light sky, moisture gradient, and annual precipitation have influence on vegetation composition, with the altitude the most influential.

【Key words】Fourth National Forest Resource Inventory Vegetation, systematic sampling, vegetation survey, Matrix cluster analysis

一、前言

森林調查是獲取森林資源訊息和進行林業各種分析決策的基礎性技術工作(史京京等, 2009), 而調查目的在掌握森林資源現狀及監測資源的消長變化。全國性森林資源調查的成果可以瞭解全國森林面積、調查全國森林資源現狀、建立森林資源監測系統、推估全國森林碳吸存量, 及提供森林資源現況資訊, 以協助經營者制定林業施政方針、調整林業政策及經營規劃森林資源(黃群修和林奐宇, 2009)。

臺灣約每隔15年進行全國性森林資源調查, 依第三次全國森林資源調查結果, 覆蓋臺灣的森林面積約有210萬公頃, 占全島陸地面積58.5% (臺灣省農林廳林務局, 1995), 足見森林是本島寶貴的資源和資產, 而調查資料實為掌握森林資源經營管理重要依據。林木除本身的經濟價值外, 對國土保安、涵養水源、戶外遊憩以及生物多樣性的保護, 都扮演著重要角色, 因此森林資源的掌握與調查均為世界各國所重視。林務局於2008至2013年間進行第四次全國森林資源調查工作, 對於範圍廣袤的森林, 結合地面實地調查與航照攝影技術(邱志明等, 2012), 以建構綿密完整的取樣系統, 期所獲調查資料能更深入了解臺灣森林之組成。

臺灣森林生態調查多採主觀取樣

(subjective sampling), 在時間及經費有限之情況, 由調查者選出數個代表性之樣區加以調查, 雖然快速易行, 但不符合統計學原理, 若主觀稍有偏差, 將導致極大錯誤, 故理論不宜採用。不過, 目前臺灣一般生態調查似乎以採本法為多(蘇鴻傑, 1977), 且在考量經費、人力與可及性等因素下, 樣區通常選擇往來較方便之地(黃增泉和陳秀琴, 1968), 故資料多集中於步道沿線易到達處。採系統取樣之調查方式, 除可排除主觀取樣之缺點外, 將具有獲得更多空白區域植群訊息的優點。

臺灣中部山區群峰錯聳, 溪溝縱橫, 氣候溫暖而濕潤, 植物種類繁多(許炳修等, 2006), 自1999年921大地震後造成多條路線崩壞, 使南投山區地質更形脆弱, 在探究森林植群資源研究上有諸多難以到達之處(陳恩倫等, 2009), 使得部分區域資料處於極度缺乏的狀態, 形成資訊空窗。本研究依據林務局第四次全國森林資源調查方式, 以系統取樣針對南投林管處所轄國有林事業區範圍進行調查, 藉以瞭解更多空白區域的植群訊息。

二、研究區概況

(一) 範圍

南投林區管理處(以下稱南投林管處)是林務局所屬8個管理處之一, 位處臺灣地理中

心，轄管國有林地以南投縣為主，臺中市與雲林縣則零星分布，共區劃為濁水溪、埔里、丹大、巒大及阿里山等5個事業區 (如圖1)，共計449個林班，面積計213,267 ha (行政院農業委員會林務局南投林區管理處，2014)。轄管範圍

圍北起北港溪源頭與臺中市交界，東隔中央山脈與花蓮縣為界；南隔秀姑巒山、陳有蘭溪與嘉義林管處毗鄰；西至阿里山山脈瀕臨臺灣西部平原。

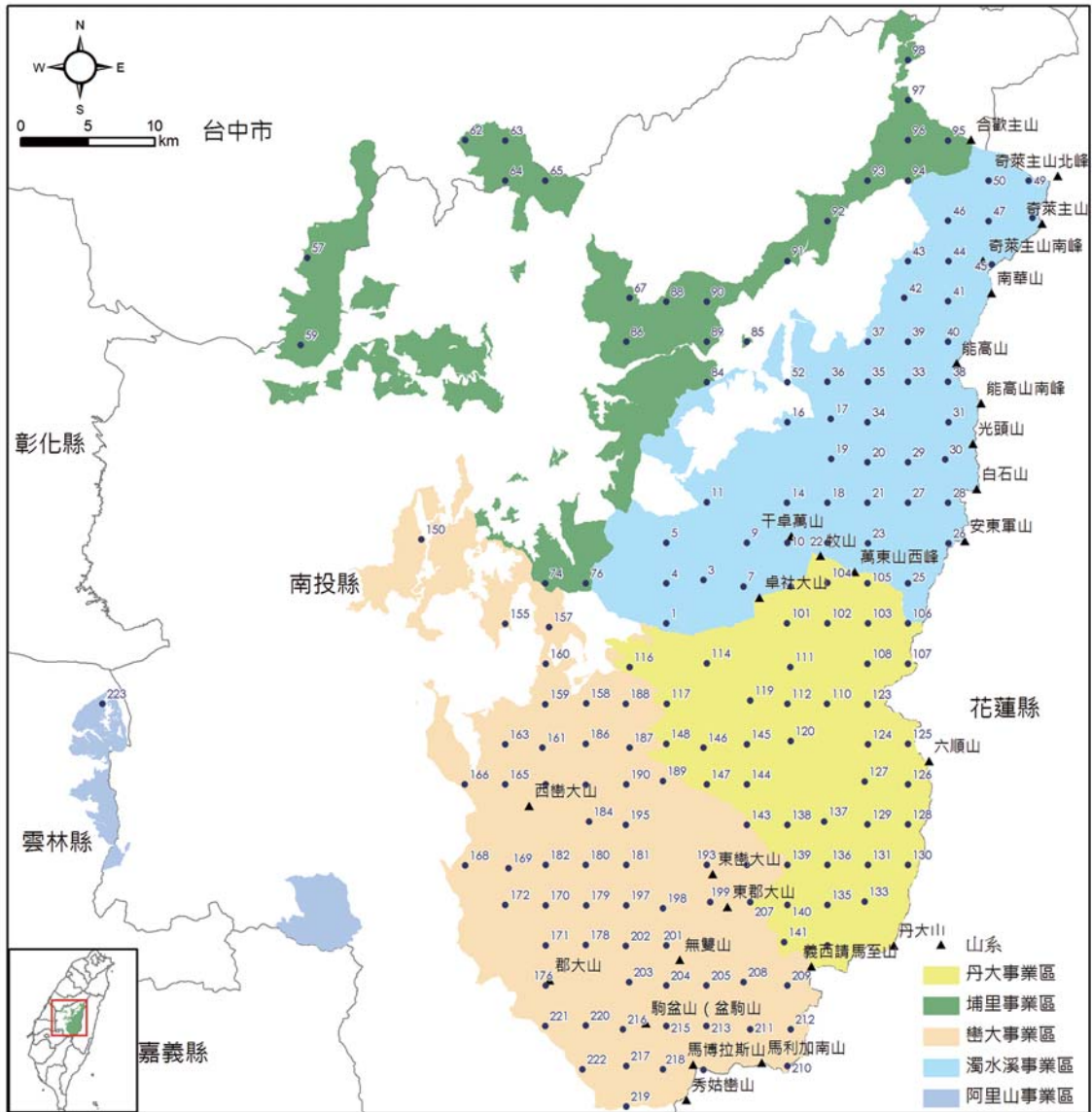


圖1. 南投林管處轄管國有林事業區範圍及樣區分布圖。

Fig. 1. The national forest working circles and the sampling locations administered by Nantou Forest District Office.

(二) 地形地質

各事業區地形複雜，山地、盆地、谷地和平原均具備，其中山地所占面積最大，以中央山脈為主，玉山山系北上綿延而來。巒大事業區由巒大山山系組成，其中有秀姑巒山、望鄉山、西巒大山、東巒大山及郡大山；丹大事業區以丹大山系為主，如丹大山、干卓萬山等；阿里山事業區為阿里山山系分歧而成；埔里、濁水溪事業區之地勢自東北向西北走向，東部、東南部多崇山峻嶺，西部、西南部一帶地勢較平坦，有合歡山主峰、奇萊山北峰、奇萊主山、能高山、能高南峰、安東軍山、卓社大山等22座3,000 m以上高山。山系分布於林區之東北及西向，形成陡峭急峻之地勢，濁水溪、卡社溪、郡大溪、陳有蘭溪、清水溪、北港溪、南港溪、萬大溪等主要河流穿梭其中。

地質多屬第三紀上部粘板岩系，以粘板岩、頁岩及砂岩為主，土壤以沙質壤土居多，其中摻雜礫質壤土，土壤深度中位，地質乾燥並缺乏腐植質，表土疏鬆、淺薄、蓄水力甚弱，致形成林地瘠薄現象(林振亨等，2010；黃耀能，2002)。

(三) 氣候

區內層巒疊翠、山稜起伏地形複雜，氣候多受局部地形影響，蘇鴻傑(1978)指出本區氣候，隨山地海拔之差異，有亞寒帶、冷溫帶、暖溫帶及亞熱帶之別。每年5-8月為雨季，10月至隔年1月為乾季，雨量稀少空氣乾燥。以崔瓦沙氣候分類，本區平地丘陵範圍屬亞熱帶夏季濕潤炎熱氣候(Cfa)；海拔600-1,500 m為山地亞熱帶夏季濕潤炎熱氣候(GCfa)；海拔1,500-3,000 m為山地亞熱帶夏季濕潤涼爽氣候(GCfb)；至於海拔3,000 m以上高山，屬於山地溫帶海洋性夏涼氣候(GDob)(邱祈榮等，2004)。全年無缺水或僅少量缺水(陳正祥，1957)。Su(1985)所劃分之地理氣候區，本區屬於夏雨型氣候中西部內陸區(Central west inland region, CWI)，特徵是雨量集中在夏天，除夏季午後雷陣雨外，夏秋季都有颱風侵襲帶

來大量雨量，但受到中央山脈阻隔，及玉山山脈、阿里山山脈的包夾，對強風有阻擋之效。

三、材料及方法

(一) 取樣方式及樣區調查方法

依據林務局2008年地面樣區設置與調查工作手冊，樣區採系統取樣方式設置，以臺北中正紀念堂TM二度分帶方格交點為原點，每隔3 km選定1個地面樣點。樣區採矩形方式設置，樣區長寬為28.4×17.6 m (0.05 ha)，調查胸高直徑(DBH) ≥ 6 cm林木，取樣同時記錄樣區的坐標、海拔、坡度、坡向、地形位置等環境因子，並將各樣區未知植物種類，均加以拍照及攜回鑑定，標本存放國立中興大學森林系臘葉標本館(TCF)。本次調查時間自2008年7月起至2013年1月，共設置223個樣區，排除其中58個非森林植物社會樣區，將165個森林樣區進行分析。植物中文名及學名均以臺灣植物誌第2版第6卷(Bufford *et al.*, 2003)為依據。

(二) 環境因子之觀測與評估

植物生長與分布常會被環境因子影響，其間具有複雜的反應關係，所以植群生態的研究，不僅探討植物群聚所形成的植群體，亦加以探討影響植群分布的環境因子。依據林務局所訂的調查工作手冊，針對海拔(Altitude)、坡度(Slope)、方位(Aspect)與水分指標(Moisture gradient)和地形位置(Topographic position)等環境直接觀測紀錄；另外為更廣泛評估其他環境因子，再增加全天光空域(Whole light sky)(Lai *et al.*, 2010)及平均年降雨量(Annual precipitation)(Chiu *et al.*, 2009)等2項環境估計值一併進行分析。

(三) 植群資料之統計分析

將野外調查原始資料於文書處理軟體中輸入樣區、植物種類與各株之胸高直徑後，再轉換成資料庫格式。樣區之植物社會介量以重要值(Important value, IV)表示，也就是將各種植物在各樣區中之密度及優勢度，再轉換成相對值，每一樣區之總和為200，其意義代表某

植物在林分樣區中所占有之重要性。算出各樹種之IV值後，編輯成一個樣區×樹種的原始矩陣，轉成符合PC-ORD套裝軟體 (McCune and Mefford, 1999) 的分析格式，以便進行植群型之分析。

(四) 植群多變數分析

本研究採用矩陣群團分析 (Matrix cluster analysis) 進行植群分類，先以Sørensen相似性指數計算樣區間的相似性，再以最近連結法 (nearest neighbor) 將樣區間作連結並繪製成樹形圖，主要利用優勢種來命名 (蘇鴻傑，2004)；此外，利用分布序列法 (Ordination) 之降趨對應分析 (Detrended correspondence analysis, DCA) 和典型對應分析 (Canonical correspondence analysis, CCA) 進行植群與環境因子關係之探討。植群分析使用套裝軟體PC-ORD 5.0進行資料分析。

(五) 稀有植物保育評估

本研究之稀有植物以特有生物研究保育中心與臺灣植物分類學會依據世界保育聯盟紅皮書等級 (IUCN, 2001; 2003) 出版的「臺灣維管束植物紅皮書初評名錄」(王震哲等，2012) 作為標準，列出嚴重瀕臨滅絕 (Critically Endangered, CR)、瀕臨滅絕 (Endangered, EN)、易受害 (Vulnerable, VU) 等3級族群生存受威脅之物種。

(六) 取樣結果比較

臺灣於2008年完成「國家植群多樣性調查及製圖計畫」，並提出適用於臺灣之植群分類系統 (Li *et al*, 2013)，依據此分類系統後續臺灣生物多樣性保育學會與林務局合作出版「臺灣現生天然植群圖集」(邱祈榮等，2009)，其植群調查採主觀取樣方式，本研究利用地理資訊系統 (Geographic Information Systems, GIS)，以「臺灣現生天然植群圖集」，進行研究區域數值圖資料分析、套疊及比對。

四、結果與討論

(一) 植物種類清單

本次共分析165個樣區之植群組成，計有木本植物57科131屬236種，以松科 (Pinaceae)、樟科 (Lauraceae) 及殼斗科 (Fagaceae) 較占優勢，各科種數以樟科25種占最多，依序為殼斗科20種、茶科 (Theaceae) 15種及大戟科 (Euphorbiaceae) 13種，合占所有物種數31 %。總調查株數共8,511株，以科別來看松科2,088株最多，其次為樟科993株及殼斗科937株，占總調查株數47 %。若以株數而言，臺灣二葉松 (*Pinus taiwanensis*) 1,096株最多，其次依序為臺灣鐵杉 (*Tsuga chinensis var. formosana*) 521株、臺灣冷杉 (*Abies kawakamii*) 243株、臺灣赤楊 (*Alnus formosana*) 234株及西施花 (*Rhododendron leptosanctum*) 210株。總體而言，優勢組成集中於少數樹種，而數量稀少之種類增加樣區物種的多樣性，在統計上少於20株有159種植物，其中39種植物在調查中僅為1株。

在調查的236種木本植物中，有75種為臺灣特有種，占有物種32%，高於臺灣植物誌的全臺特有率26.2 % (Hsieh, 2002)。依IUCN評估準則之等級 (IUCN, 2001; 2003)，在植物組成中評估為瀕臨絕滅等級有南洋紅豆杉 (*Taxus sumatrana*)、臺灣杉 (*Taiwania cryptomerioides*) 等2種；評估為易受害等級有巒大杉 (*Cunninghamia konishii*)、臺灣紅豆樹 (*Ormosia formosana*) 等2種。

(二) 植群分類

植群分類的群團分析是採用所有組成樹種來計算樣區之相似性或距離，樣區依相似性之高低逐一連結合併 (蘇鴻傑，1996)，將矩陣群團分析之結果製成樹形圖 (如圖2)。Mueller-Dombois and Ellenberg (1974) 曾建議採用維持度 (information remaining) 25-50 %作為劃分植群的臨界值標準，可依研究區之情況而調整之。本研究區海拔230-3,555 m，依分析結果與現場環境，物種組成與結構相對照，選定訊息維持度25 %為植群劃分標準，將森林植物社會劃分為19個林型，各林型描述如下：

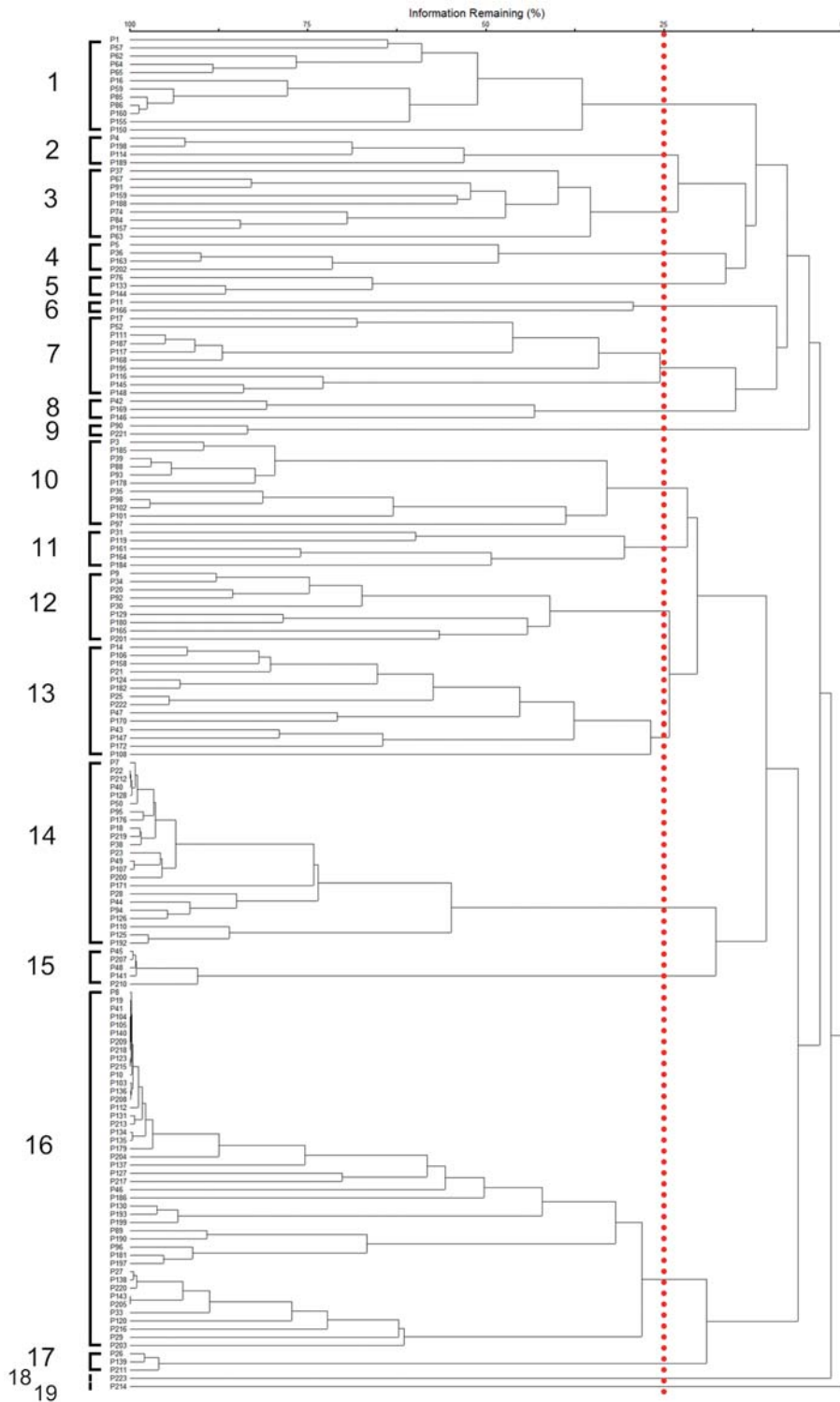


圖2. 南投林管處165個森林植群樣區之相似性樹形圖。

Fig. 2. The vegetation similarity of 165 plots administered by Nantou Forest District Office.

1. 山黃麻林型 (*Trema orientalis* type)

本林型包括編號1、16、57、59、62、64、65、85、86、150、155及160等12個樣區，樣區分布於眉溪、草湖溪、乾溪、卡社溪、益則坑支流附近山地，及白毛山、九九峰、眉原山近溪流處，海拔307-1,306 m，平均海拔約730 m，坡度20-50°，水分指標為3-14，對水分適應寬。優勢種為山黃麻 (*T. orientalis*)、白匏子 (*Mallotus paniculatus*)，次優勢伴生種有鵝掌柴 (*Schefflera octophylla*)、山香圓 (*Turpinia formosana*)、九芎 (*Lagerstroemia subcostata*)、石朴 (*Celtis formosana*)、土肉桂 (*Cinnamomum osmophloeum*)、小梗木薑子 (*Litsea hypophaea*)、樹杞 (*Ardisia sieboldii*)。此林型通常分布於陡峭的稜線或河床地，為演替中過渡群落，冠層尚鬱閉，將來之演替情況亦就當地環境而定 (許炳修等，2006；劉靜榆等，2006)，在森林演替推估屬於演替初期階段。

2. 香楠林型 (*Machilus zuihoensis* type)

本林型為編號4、114、189及198等4個樣區，分布於巒大西溪上游及卡社溪旁支棧及密西可彎山山脈末端，分布海拔1,058-1,744 m，平均海拔約1,300 m，坡度30-40°，水分指標為12-14，屬潮濕環境。優勢種為香楠 (*Ma. zuihoensis*)，次優勢伴生種有三斗石櫟 (*Pasania hancei* var. *ternaticupula*)、石朴、櫟 (*Zelkova serrate*)、山香圓、臺灣赤楊、青剛櫟 (*Cyclobalanopsis glauca* var. *glauca*)、鵝掌柴、樟葉槭 (*Acer albopurpurascens*)。本林型常位於土壤水分適中之山腰處，因林相組成尚有臺灣赤楊，推測冠層尚有干擾，導致陽性先驅樹種入侵，但在未來冠層逐漸鬱閉後，陽性樹種將逐漸被取代，在森林演替推估屬於演替中期階段。

3. 長葉木薑子林型 (*Litsea acuminata* type)

本林型有編號37、63、67、74、84、91、157、159及188等9個樣區，分布巒大山系、水

社大山、武界越山及關刀山等鞍部處，海拔1,274-1,580 m，平均海拔約1,400 m，坡度30-40°，水分指標為13-16，屬於潮濕環境。優勢種為長葉木薑子 (*L. acuminata*)、鵝掌柴，次優勢伴生種有香楠、香桂 (*C. subavenium*)、木荷 (*Schima superba*)、豬腳楠 (*M. thunbergii*)、黃杞 (*Engelhardtia roxburghiana*)、墨點櫻桃 (*Prunus phaeosticta*)、紫珠葉泡花 (*Meliosma callicarpaefolia*)、臺灣八角、山紅柿 (*Diospyros morrisiana*)、白匏子、大葉石櫟 (*P. kawakamii*)。本林型之長葉木薑子、香楠及香桂等樟科植物均具備各種徑級分布，族群尚屬穩定，但其間尚有干擾發生，使部分樣區白匏子小苗數量多，在森林演替推估屬於演替中期階段。

4. 霧社木薑子林型 (*Litsea elongata* var. *mushaensis* type)

本林型為編號5、36、163及202等4個樣區，分布於卓棍溪、濁水溪旁山地及北萬大山稜線，分布海拔714-2,065 m，平均海拔約1,400 m，坡度35-45°，水分指標為6-12，為中等至較濕的環境。優勢種為霧社木薑子 (*L. elongata* var. *mushaensis*)，次優勢伴生種有茜草樹 (*Randia cochinchinensis*)、三斗石櫟、杜虹花 (*Callicarpa formosana*)、山香圓。在本林型最具優勢的霧社木薑子幾乎具有各種徑級，其代表族群能自行更新，在森林演替推估屬於演替後期階段。

5. 假長葉楠林型 (*Machilus japonica* type)

本林型為編號76、133及144等3個樣區，分布東光溪、丹大溪近溪谷處，海拔1,406-2,204 m，平均海拔約1,800 m，坡度28-40°，水分指標為6-9，為中等至較潮濕的環境。優勢種為假長葉楠 (*Ma. japonica*)，次優勢伴生種有長葉木薑子、紫珠葉泡花、山龍眼 (*Helicia formosana*)、霧社木薑子。本林型中優勢的假長葉楠及長葉木薑子雖有部分徑級分布中斷，但仍具大多徑級，其族群更新應無問題，在森林演替推估屬於演替後期階段。

6. 野桐—山埔姜林型 (*Mallotus japonicas-Buddleja asiatica* type)

本林型有編號11及166等2個樣區，分布螺婆間山稜線及西巒大山山腹，海拔1,126-1,664 m，平均海拔約1,300 m，坡度27-32°，水分指標為4-7，屬較乾燥的環境。優勢種為細葉鰻頭果 (*Glochidion rubrum*)、野桐 (*M. japonicas*)、山埔姜 (*B. asiatica*)，次優勢伴生種有小桑樹 (*Morus australis*)、小梗木薑子、楓香 (*Liquidambar formosana*)、粗糠柴 (*M. philippensis*)、水麻 (*Debregeasia orientalis*)、臺灣欒樹 (*Koelreuteria henryi*)、山枇杷 (*Eriobotrya deflexa*)、長梗紫麻 (*Oreocnide pedunculata*)。本林型多以野桐、山埔姜、小桑樹等先驅陽性樹種組成，且徑級分布不連續，無法持續更新，處於干擾動態中，在森林演替推估屬於演替初期階段。

7. 青剛櫟林型 (*Cyclobalanopsis glauca* var. *glauca* type)

本林型有編號17、52、111、116、117、145、148、168、187及195等10個樣區，主要分布郡大溪、丹大溪、巒大溪、卡社溪及十八重溪及支流溪谷處，海拔838-1,691 m，平均海拔約1,000 m，坡度28-48°，水分指標為6-9，但也有1或16，水分環境變化較寬。林型優勢種為青剛櫟，次優勢伴生種有櫟、黃連木 (*Pistacia chinensis*)、阿里山千金榆、小梗木薑子、無患子 (*Sapindus mukorossii*)、石朴、山埔姜、木蠟樹 (*Rhus succedanea*)、臺灣肉桂 (*C. insulari-montanum*)、大葉溲疏 (*Deutzia pulchra*)。本林型占優勢的青剛櫟和櫟，雖幾乎具有各種徑級分布，但40 cm以上之徑木數量仍顯太少，且林中尚有相思樹、山埔姜等陽性樹，顯示仍有干擾持續進行，在森林演替推估屬於演替中期階段。

8. 臺灣肉桂林型 (*Cinnamomum insulari-montanum* type)

本林型為編號42、146及169等3個樣區，分布塔羅灣溪、十八重溪及丹大溪靠近溪谷，

海拔1,374-1,524 m，平均海拔約1,467 m，坡度30-40°，水分指標為13-16，屬潮濕的生育環境。優勢種為臺灣肉桂，次優勢伴生種有棟木 (*Swida macrophylla*)、大葉溲疏、野核桃 (*Juglans cathayensis*)。臺灣肉桂為本林型優勢冠層，並具有各種徑級分布，但大徑木數量略低，且林中尚有臺灣赤楊、山胡椒 (*L. cubeba*) 等陽性樹種，顯示尚有干擾產生，在森林演替推估屬於演替中期階段。

9. 木荷林型 (*Schima superba* type)

本林型為編號90及221等2個樣區，位於栗栖溪上游旁山地及八通關古道附近，海拔1,092-1,750 m，平均海拔約1,400 m，坡度35-40°，水分指標為1-6，屬乾燥至中等之環境。優勢種為木荷，次優勢伴生種有小花鼠刺 (*Itea parviflora*)、山枇杷、菱果石櫟 (*P. synbalanos*)、三斗石櫟、青楓 (*Acer serrulatum*)、木蠟樹。木荷雖在本林型中具各種徑級分布，但幼苗仍需要充足的陽光才能生長良好，未來當森林覆蓋完整時，林下較差的光照條件將會影響其幼苗生長，使其死亡率較高 (胡喜生等，2007)，目前似乎自上次干擾後冠層一直未鬱閉，才能讓木荷幼苗得以順利長大，故在森林演替推估屬於演替中期階段。

10. 赤柯—長尾栲林型 (*Cyclobalanopsis morii-Castanopsis cuspidata* var. *carlesii* type)

本林型有編號3、35、39、88、93、97、98、101、102、178及185等11個樣區，多分布南投力行、翠峰、卓社大山及北巒大山海拔2,043-2,354 m小稜線或支稜山腹或靠近山腹處，平均海拔約2,200 m，坡度20-40°，水分指標為4-13，環境中水分環境變異較大。優勢種為赤柯 (*Cy. morii*)、長尾栲 (*Ca. cuspidata* var. *carlesii*)，次優勢伴生種有西施花、高山新木薑子、昆欄樹 (*Trochodendron aralioides*)、紅淡比 (*Cleyera japonica*)、豬腳楠、臺灣赤楊、薯豆 (*Elaeocarpus japonicus*)、細枝柃木 (*Eurya loquaiana*)、長葉木薑子、福建賽衛矛 (*Microtropis fokiensis*)。本林型主要的冠層由

長尾栲及赤柯組成，各徑級林木多有存在，在未來演替趨勢中，由這些樹種形成極盛相社會應無問題，但林型環境變異大，部分樣區內尚有臺灣赤楊，在森林演替推估屬於演替中後期階段。

11. 臺灣杜鵑林型 (*Rhododendron formosanum* type)

本林型計有編號31、119、161、164及184等5個樣區，分布北巒大山鄰近支稜及東加年端山，海拔1,777-2,638 m，平均海拔約2,100 m，坡度20-40°，水分指標為2-10，為乾燥至中等環境。優勢種為臺灣杜鵑 (*R. formosanum*)，次優勢伴生種有豬腳楠、細枝柃木、西施花、香桂、玉山灰木 (*Symplocos morrisonicola*)、長尾栲、臺灣扁柏 (*Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*)、霧社木薑子、大頭茶 (*Gordonia axillaris*)、高山新木薑子、香楠、大葉石櫟 (*Pasania kawakamii*)。此林型多分布山頂或稜線衝風處，位於櫟林帶範圍內，與劉靜榆等 (2006) 所劃分屬楠櫟林帶過渡到櫟林帶的植物社會，尚有差異。本型中臺灣杜鵑及豬腳楠幾乎囊括各徑級分布，其代表小苗能自行更新；尤其臺灣杜鵑對於其他植物會產生異體受害 (allelopathy) 現象 (邱清安等, 1998)，以抑制其他植物入侵，在森林演替推估屬於演替後期階段。

12. 狹葉櫟林型 (*Cyclobalanopsis stenophylloides* type)

本林型為編號9、20、30、34、92、129、165、180及201等9個樣區，分布於立鷹山、合流點山及萬大南北溪、栗栖溪、丹大東溪、郡大溪上游及人倫林道，海拔1,403-2,372 m，平均海拔約1,900 m，坡度30-40°，水分指標為2-4和13-16，潮濕或乾燥環境皆有分布。優勢種為狹葉櫟 (*Cy. stenophylloides*)，次優勢伴生種有大葉石櫟、山香圓、長葉木薑子、長梗紫麻、山枇杷、臺灣烏心石 (*Michelia compressa* var. *formosana*)、豬腳楠、香楠。本林型中狹葉櫟、大葉石櫟及昆欄樹都具有各種徑級分

布，若無大規模干擾，得以維持其穩定狀態，在森林演替推估屬於演替後期階段。

13. 紅檜林型 (*Chamaecyparis formosensis* type)

本林型有編號14、21、25、43、47、106、108、124、147、158、170、172、182及222等14個樣區，分布於尾上山、干卓萬山、萬東山、密西可彎山、治茆山北峰等山腹處，及卡社溪、丹大溪、郡大溪上游與郡大林道、八通關古道等海拔2013-2,550 m位置，平均海拔約2,358 m，坡度20-50°，水分指標為10-16，屬濕潤的環境。優勢種為紅檜 (*Ch. Formosensis*)，次優勢伴生種有高山新木薑子、昆欄樹、狹葉櫟、霧社木薑子、細枝柃木、臺灣鐵杉、臺灣鵝掌柴、赤柯、三斗石櫟、玉山灰木、長尾栲。

檜木為盛行雲霧帶常見的林型，因檜木喜歡潮濕的海洋性氣候，所以常見於臺灣及日本，為海島特有霧林型 (劉靜榆, 1991)。論其生育地氣候，乃與櫟林帶相當，且當檜木林發展之某一程度，林下第二層樹冠即出現櫟林帶之常綠闊葉樹，故檜木林與櫟林帶之常綠闊葉林實為演替先後階段 (蘇鴻傑, 1988)。

14. 臺灣鐵杉林型 (*Tsuga chinensis* var. *formosana* type)

本林型有編號7、18、22、23、28、38、40、44、49、50、94、95、107、110、125、126、128、171、176、192、200、212及219等23個樣區，分布於瑞岩溪上游、馬海濮溪及萬大南溪溪谷，及櫻櫻峰、瀧奧山、奇萊主山南北峰、能高山、干卓萬山、卓社山及卡社大山支稜稜線或鞍部，海拔2,217-3,180 m都有分布，樣區平均海拔約2,600 m，坡度24-48°，部分達50°，水分指標8-14，對水分需求中等至潮濕。

優勢種為臺灣鐵杉，次優勢伴生種有臺灣扁柏、厚葉柃木、玉山杜鵑 (*R. pseudochrysanthum*)、狹葉櫟，地被多為玉山箭竹 (*Yushania niitakayamensis*)。林型優勢木組成冠層高，上木及地被覆蓋良好，幼苗更新良

好，族群結構穩定與陳明義等 (2004) 及陳信佑 (1993) 結果相似，在森林演替上推估屬於演替後期階段。

15. 臺灣冷杉林型 (*Abies kawakamii* type)

本林型有編號45、48、141、207及210等5處樣區，分布於奇萊山、郡東山及馬利加南山東峰等山區近稜線位置，海拔3,020-3,438 m，平均海拔約3,200 m，地被為玉山箭竹純林，坡度24-45°，水分指標11-16，為較濕潤環境。優勢種主要為臺灣冷杉，次優勢伴生種有玉山杜鵑、香青，地被為玉山箭竹。本林型臺灣冷杉鬱閉良好時，仍有幼木發生，且具有各徑級分布，實為全齡林分 (all-age stand) (劉靜榆，1991)，應能永續更新，在森林演替推估屬於演替後期極盛相階段。

16. 臺灣二葉松林型 (*Pinus taiwanensis* type)

林型計有編號8、10、19、27、29、33、41、46、89、96、103、104、105、112、120、123、127、130、131、134、135、136、137、138、140、143、179、181、186、190、193、197、199、203、204、205、208、209、213、215、216、217、218及220等44個樣區，多分布於丹大、巒大山系稜線及山腰，及丹大溪、郡大溪及萬大南溪流域上游海拔994-3,195 m，平均海拔約2,255 m，坡度10-40°，部分達50-70°，水分指標3-11，為水分變化較寬之環境。優勢種為臺灣二葉松，次優勢伴生種有臺灣赤楊、栓皮櫟 (*Quercus variabilis*)、臺灣華山松 (*Pi. armandii* var. *masteriana*)、南燭、臺灣鐵杉、臺灣五葉松 (*Pi. morrisonicola*)、大葉溲疏。此林型分布範圍廣泛，多位於日照充足之南向坡，林型層次構造簡單 (傅國銘等，2004)。本林型中臺灣二葉松、臺灣赤楊、栓皮櫟等雖具有有各徑級分布，但都為陽性樹，且為演替初期之先驅樹種；其中最主要臺灣二葉松，則常因林火呈週期性的發生，演替因而停頓，並重新開始而為次極盛相 (subclimax) (劉棠瑞、蘇鴻傑，1978)。

17. 臺灣雲杉型 (*Picea morrisonicola* type)

本林型有編號26、139及211等3個樣區，分布於馬利加南溪溪谷及九華山西峰、安東軍山等支稜地形陡峭處，海拔2,438-2,666 m，樣區平均海拔約2,540 m，地被多以玉山箭竹為主，坡度20-30°，水分指標6-15，屬中等至潮濕環境。優勢種為臺灣雲杉 (*Pic. morrisonicola*)，次優勢伴生種有臺灣二葉松、臺灣鐵杉，地被多以玉山箭竹為主。臺灣雲杉主要分布陰濕的坡面，土壤層肥厚之生育地，所以林下植物豐富且複雜，在典型的臺灣雲杉純林在臺灣並不多見，常呈小面積之塊狀分布，一般臺灣雲杉林則多混其他針闊葉樹，僅臺灣雲杉占優勢而已 (蘇鴻傑，1978)。

18. 稜果榕林型 (*Ficus septica* type)

本林型僅編號223樣區，位於雲林縣林內鄉坪頂，海拔230 m左右，坡度44°，水分指標為1，為乾燥之環境。優勢種為稜果榕 (*F. septica*)，次優勢伴生種有血桐 (*Macaranga tanarius*)、無患子，與楊迪嵐等 (2009) 調查斗六丘陵中分布於果園邊緣、小面積旁開闊地或平坦溪流兩旁河床之血桐一構樹型 (*Mac. tanarius-Broussonetia papyrifera* Type) 植物社會組成相似。本林型主要以稜果榕為主，但徑級多屬中小徑木分布，在森林演替推估屬於演替初期階段。

19. 香青林型 (*Juniperus squamata* type)

本林型僅編號214樣區，分布於烏拉孟斷崖附近靠近稜線處，海拔為3,555 m，地被多為苔類，坡度14°，附近林相多為香青 (*J. squamata*) 純林。本林型調查僅香青1種，地被多為苔類，冠層僅由香青構成，且各徑級分布存在，顯示其族群應可以穩定持續，在森林演替推估屬於演替後期極盛相階段。

(三) 植群型與環境因子相關性

原始矩陣經過DCA排序分析之後，產生三個變異軸，各軸的軸長 (gradient length) 分別為12.682、6.493及5.537，累積變異解釋率為7.844%。從排序圖 (圖3) 可了解各軸所隱喻之環境梯度，第1軸由左至右大致將樣區由高海

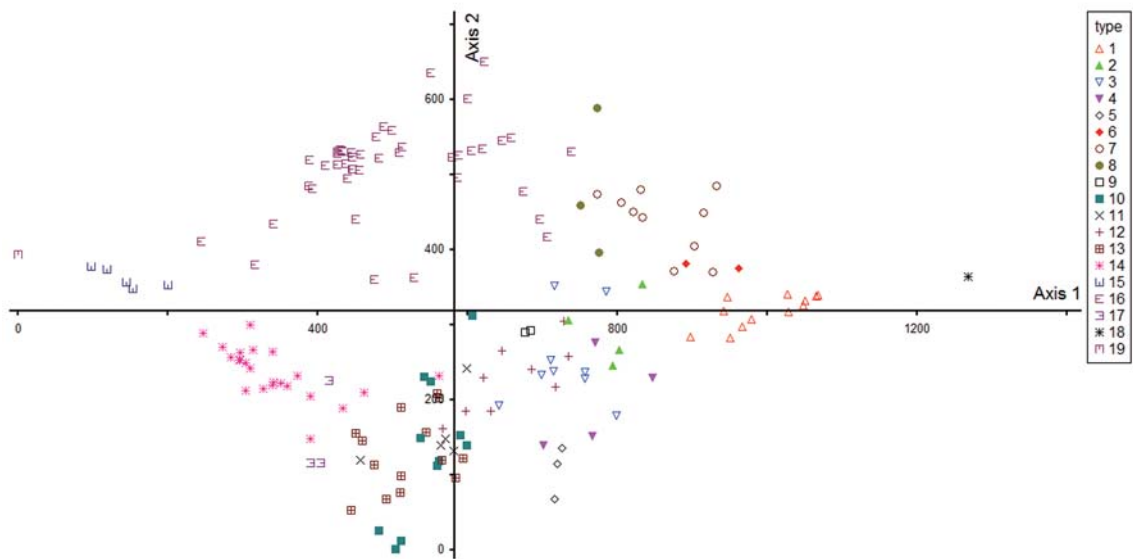


圖3. 南投林管處165個樣區之DCA排序圖。

Fig. 3. The DCA ordination diagram of 165 plots administered by Nantou Forest District Office.

拔排列至低海拔，左端為香青林型，右端為稜果榕林型；第2軸由上至下則顯示樣區分布由稜線到溪谷，最上端為臺灣二葉松林型，最下端端則為赤柯—長尾栲林型。

軸長代表樣區或物種在軸上的分數 (score)，是以物種轉換之平均標準偏差 (average standard deviation of species turn-over) 為單位，或稱SD。Gauch (1982) 認為樣區中的物種組成轉換大約在4個標準偏差 (4SD)，由本研究第一軸之軸長12.682可知，在最主要的環境梯度上，研究區內不會有恆存種，因為梯度兩端的最大差異超過12個標準偏差。透過DCA排序法與排序圖可直接了解環境與植群關係，本研究顯示依序列分布在軸兩端的樣區並無共同物種，物種於環境梯度上呈單峰反應，適合使用CCA分析 (ter Braak and Šmilauer, 2002)。

進一步以CCA分析物種與環境因子間皮爾森 (Pearson) 相關性，以第一軸的特徵值0.803最大，三軸可解釋之總變異量為4.400 %。從序列分布圖來看 (如圖4) 第一軸為植群變異的

主要方向，且與海拔及平均年雨量具顯著差異，第二軸植群變異與相對水分指標、全天光空域具顯著差異，主要影響研究地區植群分布的環境因子為海拔、全天光空域、相對水分指標及平均年雨量，受海拔的影響最大。雖然從CCA可以呈現出物種與環境因子的相關性，但無法很明確地把植群型區分 (圖4)，原因可能在於臺灣之植物多樣性高，植物社會組成頗複雜，以植群形相為準之山地森林帶或氣候植群帶劃分法，並無法呈現 (蘇鴻傑與劉靜榆，2004)，如同物種組成太複雜，無法利用少數的環境因子來解釋變異量，亦有些物種如臺灣二葉松分布梯度極大所造成的結果。

(四) 取樣方式比較

利用GIS套疊「臺灣現生天然植群圖集」(邱祈榮等，2009) 之圖資，南投林管處轄區內之植群共含有29種群系 (formation)，先扣除非森林型態11種群系，包括亞高山—上部山地—山地岩壁及碎石坡植群、下部山地—低地岩壁及碎石坡植群、下部山地—低地草本植群、下

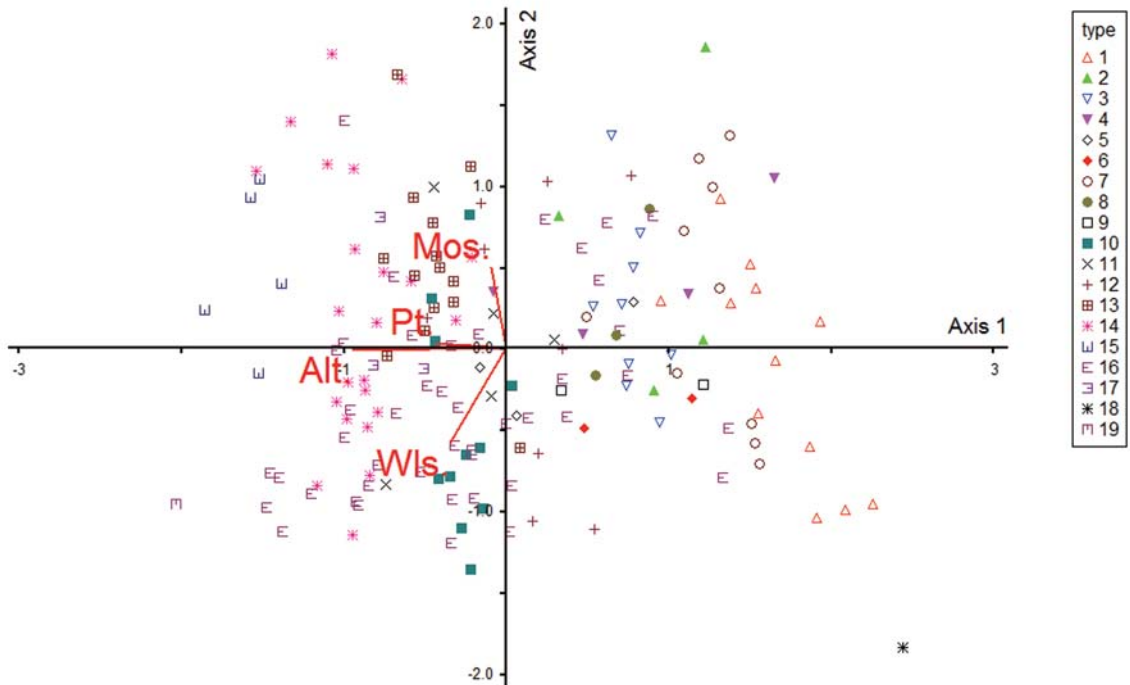


圖4. 南投林管處165個樣區與環境因子之CCA第一、二軸序列分布圖。(Mos.代表相對水分指標，Pt.代表平均年雨量，Alt.代表海拔，Wls.代表全天光空域)

Fig. 4. The CCA ordination diagram of 165 plots in axis 1 and axis 2 administered by Nantou Forest District Office. (Mos. means Moisture gradient, Pt. means Annual precipitation, Alt. means Altitude, Wls. means Whole light sky)

部山地—低地闊葉灌叢、人工林、耕地、竹林、建地、天然裸露地、水域及公園墓地等。森林型態則有18種群系，如高山針闊葉灌叢、亞高山針葉林、亞高山—上部山地—山地草本植群、亞高山—上部山地—山地針闊葉灌叢、上部山地—山地—下部山地崩塌地次生落葉闊葉林、上部山地針葉林、上部山地—山地—下部山地次生針葉林、上部山地針闊葉混淆林、上部山地—山地—下部山地針闊葉次生混淆林、山地常綠闊葉林、山地常綠闊葉矮林、山地—下部山地—低地次生落葉闊葉林、山地—下部山地—低地半落葉闊葉林、山地針葉林、山地針闊葉混淆林、下部山地常綠闊葉林、下部山地—低地次生常綠闊葉林、低地常綠闊葉

林等。

本次調查的165樣區中，經與「臺灣現生天然植群圖集」(邱祈榮等，2009)進行比對，共有158個樣區位在森林型群系，另有7個位於非森林型群系。將位於森林型群系的158個樣區之林型優勢種與圖集中植群型群系優勢種進行比對，本研究之林型可對應該圖集中的14個群系，但上部山地針闊葉混淆林、山地常綠闊葉矮林、山地—下部山地—低地次生落葉闊葉林、低地常綠闊葉林等4個群系未有樣區對應，歸納此4群系未能有相對應樣區之原因為，群系分布面積小且較為分散，4群系總面積為365.81 ha，僅占南投林管處所轄面積之0.17%，非屬系統取樣能涵括範圍。另7個位

於非森林型群系的樣區應屬圖集中的水域、竹林、亞高山—上部山地—山地草本植群及耕地，然本研究7個樣區現場調查結果為山黃麻林型、臺灣二葉松林型及稜果榕林型，多屬森林演替初期之植物社會，而非圖集中之群系，其原因可能與圖集繪製過程之調查與取樣方式與本研究之系統調查方式不同所致。

本研究以調查樣區內之優勢種與「臺灣現生天然植群圖集」之群系植群型優勢種比對結果大致都能相符，惟圖集中的山地針葉林群系中，未出現本研究調查所得的臺灣雲杉林型；圖集的上部山地—山地—下部山地針闊葉次生混淆林群系中，並未出現本研究之香楠林型、野桐—山埔姜林型、青剛櫟林型及山黃麻林型；圖集之下部山地常綠闊葉林群系中，未出現本研究之木荷林型；本研究上述的林型則位於圖集中其他海拔高度的群系。森林演替除考量植群的組成結構外，亦須考量環境因子等外在條件的配合，本研究經比對邱清安等(2008)所劃分的林型發現，香青林型應屬邱清安等(2008)之亞寒帶下常綠針葉—常綠闊葉混交矮盤灌叢(NEMK)；臺灣冷杉林型為冷溫帶下常綠針葉純林(NP)；臺灣鐵杉林型與臺灣雲杉林型屬常綠針葉混交林(少量闊葉樹)(ND'E'M)；紅檜林型、赤柯—長尾栲林型、臺灣杜鵑林型及狹葉櫟林型為涼溫帶中常綠針葉—常綠落葉闊葉混交林(NDEM)；臺灣肉桂林型、長葉木薑子林型、霧社木薑子林型、假長葉楠林型及木荷林型屬於暖溫帶中常綠闊葉混交林(少量針葉樹)(EN'M)；香楠林型及青剛櫟林型則屬於亞熱帶涼段。此結果顯示本研究19種林型中，上述的15種林型，大致已達該盛行氣候之極盛相階段，而臺灣二葉松林型、野桐—山埔姜林型、山黃麻林型及稜果榕林型等4林型則未能對應邱清安等(2008)所劃分之分類階層，顯示尚未達該盛行氣候之極相。

本研究165個樣區分析所得的19個林型，其中18個林型可與「臺灣現生天然植群圖集」中的群系相對應，剩餘未能與該圖集群系相對

應的為稜果榕林型，原因可能為本研究於低海拔500 m以下之樣區數不足，僅具1個樣區，所得的結果未能完全代表低地常綠闊葉林組成，另該圖集在本群系的總面積亦僅占約14 ha，調查面積亦偏小，因此導致本研究於本群系之優勢種與之未能相同。

五、結論

南投林管處所轄事業區調查範圍內胸高直徑 ≥ 6 cm之木本植物計有57科131屬236種，以樟科25種最多；其中75種為臺灣特有種(占有物種32%)，經評估有2種為瀕臨絕滅，2種屬易受害。總計調查木本植物有8,511株，以松科2,088株最多。經矩陣群團分析，本區植群型可分為山黃麻林型、香楠林型、長葉木薑子林型、霧社木薑子林型、假長葉楠林型、野桐—山埔姜林型、青剛櫟林型、臺灣肉桂林型、木荷林型、赤柯—長尾栲林型、臺灣杜鵑林型、狹葉櫟林型、紅檜林型、臺灣鐵杉林型、臺灣冷杉林型、臺灣二葉松林型、臺灣雲杉型、稜果榕林型、香青林型等19個植群型。植群分布主要受海拔、全天光空域、相對水分指標及平均年雨量等環境因子影響，而以海拔的影響最大。

以「臺灣現生天然植群圖集」比對本次研究樣區資料的結果大致相符。對於未能對應之植群圖集群系，實為圖集中該群系之現生分布面積太小，系統取樣調查未能涵蓋小面積之群系研究，且植群圖集調查之空白區域太多，多數範圍未有現場調查，僅以正射影像判讀，在訊息的呈現上易有誤差，而系統取樣具備客觀取樣的優點，可減少人為主觀的判斷所衍生的取樣偏差。全國森林資源調查的地面樣區採系統取樣的目的是在於，能結合航空像片樣點來估算森林蓄積，並非以植群調查分類為目的。本研究嘗試利用本次大規模系統取樣，分析系統取樣與主觀取樣方法之結果進行比較，顯示兩種取樣方法在植群調查與分類上確有異同，在植群圖集的繪製上若能結合主觀取樣與系統取

樣，當可使圖集的繪製更為精準。「臺灣現生天然植群圖集」目前僅公布圖檔資料，其所提供分類僅為「群系」階段，在未來公布細部的群團或各調查樣區資料，將更能比對其兩種取樣方式下森林組成之不同。

本研究所採取之系統取樣調查，具有可避免因人為主觀選擇樣區所造成的偏差，且獲得更多空白區域之植群訊息。但對於族群分布僅侷限於小範圍的受威脅等級物種，以系統取樣調查方式較無法有效獲得資訊，顯見系統取樣較不適合用於受威脅物種的族群調查。本研究進行時，僅調查胸高直徑 ≥ 6 cm 以上之木本植物，與一般調查胸高直徑 ≥ 1 cm 之方式有所不同，本研究調查方式在結果的分析上較無法深入了解森林結構組成及小苗更新情形。建議未來林業管理機關在進行相關植群研究與調查時，可從調查結果提供的數據能否與學術單位或團體的調查結果結合來考量，適當的調整調查方式，讓調查的數據能提供林業管理機關更多的訊息，俾利林業政策的擬定與經營管理。

六、致謝

本文承蒙林務局「第四次全國森林資源調查」計畫支持，南投林管處森林資源調查隊同仁吳進華先生、曾德懋先生及楊榮明先生協助野外調查工作；南投處作業課藍其安課長、洪淑瑜技正，及林務局林奐宇先生與徐白吟小姐，於計畫執行時在行政業務上的鼎力協助，在此一併誌謝。

七、引用文獻

王震哲、邱文良、張和明 (2012) 臺灣維管束植物紅皮書初評名錄。特有生物研究保育中心、臺灣植物分類學會，南投。共94頁。

史京京、雷淵才、趙天忠 (2009) 森林資源抽樣調查技術方法研究進展。《林業科學研究》22(1): 101-108。

行政院農業委員會林務局 (2008) 第四次全國森林資源調查地面樣區設置與調查工作手

冊。行政院農業委員會林務局，臺北。共27頁。

行政院農業委員會林務局南投林區管理處 (2014) 統計要覽。行政院農業委員會林務局南投林區管理處，南投。共89頁。

林振亨、白隆慧、陳國村 (2010) 南投林區管理處之森林與林業經營。南投縣志卷四經濟志林業篇。南投縣政府，南投。12-87頁。

邱志明、呂明倫、彭炳勳 (2012) 森林資源調查技術演進。《林業研究專訊》19(5): 19-24。

邱祈榮、梁玉琦、賴彥任、黃名媛 (2004) 臺灣地區氣候分區與應用之研究。《臺灣地理資訊學刊》1: 41-62。

邱祈榮、陳子英、劉和義、王震哲、葉慶龍、謝長富 (2009) 臺灣現生天然植群圖集。行政院農業委員會林務局 共419頁。

邱清安、呂金誠、歐辰雄 (1998) 插天山自然保留區植群之研究。《國立中興大學實驗林研究彙刊》20(1): 57-80。

邱清安、林鴻志、廖敏君、曾彥學、歐辰雄、呂金誠、曾喜育 (2008) 臺灣潛在植群形相分類方案。《林業研究季刊》30(4): 89-111。

胡喜生、洪傳、吳承禎、洪滔、范海蘭、宋萍 (2007) 木荷天然種群生命表分析。《廣東植物》27(3): 469-474。

許炳修、李金玲、陳德仁、呂福原、陳重銘 (2006) 銃櫃溪集水區植群生態之研究。《中華林學季刊》39(2): 147-162。

陳正祥 (1957) 氣候之分類與分區。國立臺灣大學農學院實驗林，臺北。共174頁。

陳明義、陳文明、陳恩倫、羅南璋、劉思謙 (2004) 北港溪南集水區天然植群之研究。《林業研究季刊》26(4): 39-50。

陳信佑 (1993) 瑞岩溪自然保護區植群之研究。國立中興大學植物研究所碩士論文。共95頁。

陳恩倫、陳文民、陳宗駿、陳鳳華、俞秋豐、陳明義 (2009) 烏溪流域天然林植群多樣性

- 分類及製圖。林業研究季刊 31(2): 1-13。
- 傅國銘、歐辰雄、呂福原 (2004) 丹大地區植群之研究。臺灣大學生物資源暨農學院實驗林研究報告 18(4): 247-260。
- 黃群修、林奐宇 (2009) 第4次全國森林資源調查之規劃與推動情形。農政與農情 205: 46-51。
- 黃增泉、陳秀琴 (1968) 植物社會調查法之比較。臺灣大學農學院實驗林研究所報告第65號。共18頁。
- 黃耀能 (2002) 南投林區管理處之森林與林業經營。南投縣志卷四經濟志林業篇。南投縣政府，南投。7-118頁。
- 楊迪嵐、曾喜育、蘇冠宇、朱恩良、賴國祥、曾彥學 (2009) 斗六丘陵植群生態之研究。林業研究季刊 31(3): 17-33。
- 臺灣省農林廳林務局 (1995) 第三次臺灣森林資源及土地利用調查。臺灣省農林廳林務局，臺北。共258頁。
- 劉棠瑞、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因子之研究。臺大實驗林研究報告 121: 207-239。
- 劉靜榆 (1991) 臺灣中部沙里仙溪集水區植群生態之研究 (I) 植群分析與森林演替之研究。國立臺灣大學森林學研究所碩士論文。共131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。
- 蘇鴻傑 (1977) 臺灣北部烏來一小集水區闊葉樹林群落生態之研究 (二) 地形與樹木分佈形式及其取樣方法之關係。國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林研究報告 119: 201-215。
- 蘇鴻傑 (1978) 中部橫貫公路沿線植被、景觀之調查與分析。臺灣大學與觀光局合作研究報告。95-176頁。
- 蘇鴻傑 (1988) 臺灣國有林自然保護區植群生態之調查研究－雪山香柏保護區植群生態之研究。臺灣省農林廳林務局保育研究系列。共123頁。
- 蘇鴻傑 (1996) 植群生態多變數分析法之研究IV 植群分類法及相關環境因子之分析。臺灣省立博物館年刊 39: 249-265。
- 蘇鴻傑 (2004) 植群之多樣性及多樣化之分類法。國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林研究報告。18(3): 207-220。
- 蘇鴻傑、劉靜榆 (2004) 論植相社會學之植群分類法。國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林研究報告 18(3): 129-151。
- Bufford, D. E., H. Ohashi, T. C. Huang, C. F. Hsieh, J. L. Tsai, K. C. Yang, C.I. Peng, C. S. Kuoh, and A. Hsiao (2003) A checklist of the vascular plants of Taiwan. p.18-139. In: Bufford, D. E., C. F. Hsieh, T. C. Huang, K. C. Kuoh, H. Ohashi, P. I. Peng, J. L. Tsai and K. C. Yang, (eds.) Flora of Taiwan, 2nd ed. Editorial Committee, Department of Botany, National Taiwan University press, Taipei, Taiwan.
- Chiu, C. A., P. H. Lin, and K. C. Lu (2009) GIS-based tests for quality control of meteorological data and spatial interpolation of climatic data: a case study in mountainous Taiwan. *Mountain Research and Development*. 29(4): 339-349.
- Gauch, H. G. (1982) *Multivariate Analysis in Community Ecology*. Cambridge University Press. Cambridge. 298pp.
- Hsieh, C. F. (2002) Composition, endemism and phytogeographical affinities of the Taiwan Flora. *Taiwania* 47(4): 298-310.
- IUCN (2001) IUCN Red List categories. Version 3.1. Prepared by the IUCN Species Survival Commission. World Conservation Union, Gland, Switzerland and Cambridge, United Kingdom. 32 pp.
- IUCN (2003) Guidelines for Application of IUCN

- Red List Criteria at Regional and National Levels: Version 3.0. IUCN Species survival commission. IUCN, Gland, Switzerland. 41 pp.
- Lai, Y. J.; M. D. Chou and P. H. Lin (2010) Parameterization of topographic effect on surface solar radiation. *Journal of Geophysical Research* 115, D01104, doi: 10.1029/2009JD012305.
- Li, C. F., M. Chytrý, D. Zelený, M. Y. Chen, T. Y. Chen, C. R. Chiou, Y. J. Hsia, H. Y. Liu, S. Z. Yang, C. L. Yeh, J. C. Wang, C. F. Yu, Y. J. Lai, W. C. Chao and C. F. Hsieh (2013) Classification of Taiwan forest vegetation. *Applied Vegetation Science* 16(4): 698-719.
- McCune, B. and M. J. Mefford (1999) PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data, Version 4. Glednen Beach,OR, MjM Software Desing. 237 pp.
- Mueller-Dombois, D. and H. Ellenberg (1974) Aims and Methods of Vegetation Ecology. John Wiley and Sons, New York, USA. 547pp.
- Su, H. J. (1985) Studies on the climate and vegetation types of the natural forests in Taiwan. (III). A scheme of geographical climatic regions. *Quarterly Journal of Chinese Forestry* 18(3): 33-44.
- ter Braak, C. J. F. and P. Šmilauer (2002) CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination version 4.5. Microcomputer Power. Ithaca NY, USA. 500pp.