

研究報告

北東眼山常綠闊葉林之微生育地類型及樹種組成

胡元瑋^{1,3)} 曾喜育²⁾

摘 要

本研究探討植群構造與微生育地間的相關性，研究地點為台灣中部北東眼山1 ha的常綠闊葉林樣區。調查各生長型植物(喬木、灌木和草本)的參數，並測定地表高程、光度、土壤有機質、土壤pH值、土壤總碳量、土壤總氮量、樹木胸高斷面積等環境因子，以雙向指標種分析將植群分型，並以降趨對應分析加以印證。調查結果指出，整個樣區屬於紫珠葉泡花樹-長尾尖葉櫛群叢，可再細分為三個亞型，其中紅楠-杏葉石櫛亞型分布於高程較高且土壤肥沃度較差之生育地，圓葉冬青-杏葉石櫛亞型分布於土壤肥沃度較佳之生育地，而臺灣糊樗-假長葉楠亞型則分布於高程較低且土壤肥沃度較差之生育地；此外，土壤肥沃度、喬木胸高斷面積和高程會影響各亞型之植物種數、平均植株密度和平均胸高斷面積。

關鍵詞：常綠闊葉林、重要值指數、微生育地、植群構造、植群型。

胡元瑋、曾喜育。2019。北東眼山常綠闊葉林之微生育地類型及樹種組成。台灣林業科學34(1):13-27。

¹⁾ 林業試驗所集水區經營組，10066台北市南海路53號 Watershed Management Division, Taiwan Forestry Research Institute. 53 Nanhai Rd., Taipei 10066, Taiwan.

²⁾ 國立中興大學森林學系，40227台中市南區興大路145號 Department of Forestry, National Chung Hsing University. 145 Xingda Rd., South Dist., Taichung 40227, Taiwan.

³⁾ 通訊作者 Corresponding author, e-mail: why64@tfri.gov.tw

2018年4月送審 2018年12月通過 Received April 2018, Accepted December 2018.

Research paper

Microhabitat Types and Tree Species Composition in an Evergreen Broadleaf Forest at Mt. Peitungyen

Yuan-Wei Hu,^{1,3)} Hsy-Yu Tzeng²⁾

【 Summary 】

Relationships between microhabitats and vegetation structure were examined in a 1-ha plot established in an evergreen broadleaf forest at Mt. Peitungyen, central Taiwan. Parameters of various growth types (trees, shrubs, and herbs) were recorded. The elevation, irradiance, soil organic matter, soil pH, soil total carbon, soil total nitrogen, and tree basal area were determined. This study classified vegetation types by a two-way indicator species analysis (TWINSpan), and verified them by a detrended correspondence analysis (DCA). The research area belongs to the *Meliosma callicarpifolia*-*Castanopsis cuspidata* var. *carlesii* association, which could be subdivided into 3 subtypes. The *Machilus thunbergii*-*Lithocarpus amygdalifolius* subtype was distributed in higher and less-fertile habitat. The *Ilex goshiensis*-*Lithocarpus amygdalifolius* subtype was distributed in more-fertile habitat. The *Ilex ficoidea*-*Machilus japonica* subtype was distributed in lower and less-fertile habitat. The degree of soil fertility, basal area of trees, and elevation affected the plant species number, average plant density, and average basal area of each subtype.

Key words: evergreen broadleaf forest, importance value index, microhabitat, vegetation structure, vegetation type.

Hu YW, Tzeng HY. 2019. Microhabitat types and tree species composition in an evergreen broadleaf forest at Mt. peitungyen. Taiwan J For Sci 34(1):13-27.

緒言

地形(topography)是重要的地表形態變化，可為生育地創造出不同的空間分化(Ashton 1964, Whitmore 1984)，透過位置(position)、方位(aspect)和坡度(slope)等因子，影響土壤性質、太陽輻射及風的作用力(Liu and Su 1983)，進而影響林木生長，造成林分結構和物種組成的分化(Lugo 1988)。

研究植群構造在異質微環境的變化，有助於瞭解森林微生育地分化和物種的需求，釐清物種多樣性在台灣山區森林的維持機制，對森林生態系及物種多樣性的保育有所助益(Wang et al. 2002)，Nichols (1917)曾提出地形極盛相(topographic climax)假說，指出在一大氣候下，

地形可影響局部氣候，控制局部地點之植群組成及構造。近年來，國外陸續有針對小區域範圍內微地貌變化對環境因子和植物組成影響的研究報告(Basnet 1992, Sakai and Ohsawa 1993, Enoki et al. 1996, Yoshida and Ohsawa 1996)，研究地點多集中在日本與中美洲等地。上述幾個研究區域的森林地勢陡峭，雨量豐沛，與台灣大多數山區的環境相類似，甚具參考價值；就全台灣的尺度來看，山區之不同坡面，因太陽輻射量之差異，會影響熱量分佈、土壤乾燥度及大氣濕度，且坡度越大作用越明顯(Liu and Su 1983)，然相關研究多採定性方式(Su 1977, Hsieh et al. 1998)，且未對植群結構發生變異的

機制提出說明。而在中台灣，曾有學者透過衛星軌載中級解析度成像分光輻射度計(moderate-resolution imaging spectroradiometer, MODIS)觀測資料所產生之level 3地面溫度(land surface temperature, LST)，分析與海拔及緯度的關係，發現其增減趨勢與植群分佈相仿(Lai et al. 2012)，並以大山塊加熱效應(Massenerhebung and Schröter 1908)來加以解釋。

目前台灣有關地形對森林影響的研究，以北部的福山(Lin et al. 1996, Wang et al. 2000, 2002)、烏來(Su 1977)和南部的墾丁(Hseu et al. 2004, Wang et al. 2004)為多。Song (1996)曾在中部的北東眼山研究樹種組成及分布類型與環境變異的關係，以3 ha的樣區資料將森林組成分群，發現當地森林主要由有箭竹出現且樹冠破碎及無箭竹而樹冠完整的區域所組成，然該研究所採用之環境變異尺度較大，無法呈現在一均質的極盛相森林中微生育地分化和物種組成的關係。因此，本研究於北東眼山常綠闊葉樹林中設置1 ha之樣區，以雙向指標種分析(two-way indicator species analysis, 簡稱TWINSPAN)將植群分型，並以降趨對應分析(detrended correspondence analysis, 簡稱DCA)

加以印證，以探討物種組成和微生育地分化的關係，期能瞭解臺灣中高海拔櫟林帶植群之變化趨勢，做為未來區域保育與環境復育的參考。

材料與方法

一、試驗地概述

北東眼山位於南投縣仁愛鄉，屬中興大學園藝學系之高冷地園藝試驗場範圍，於2015年9月在當地選取具代表性之地點，設置一個1 ha (100×100 m)之森林動態樣區，海拔為2035~2062 m，坡向為東北向(53°)，坡度16.7°，樣區中心點之TM2座標為263019、2663575 (東經121°12'80.4"、北緯24°07'71.7") (Fig. 1)。依鄰近之臺灣大學梅峰農場的氣象紀錄(2003~2016年)顯示，平均月均溫為8.3°C(一月)~17.7°C(七月)，年均溫為13.3°C，平均年降雨量為2484 mm，每年的二到八月是濕季，九月到翌年一月是乾季，依崔瓦沙氣候分區系統屬GcFb之山地亞熱帶夏季濕潤涼爽氣候(Chiou et al. 2004)，地質為始新世(Eocene)佳陽層(Chiayang Formation)之板岩夾薄層粉砂岩(slate with thinly bedded

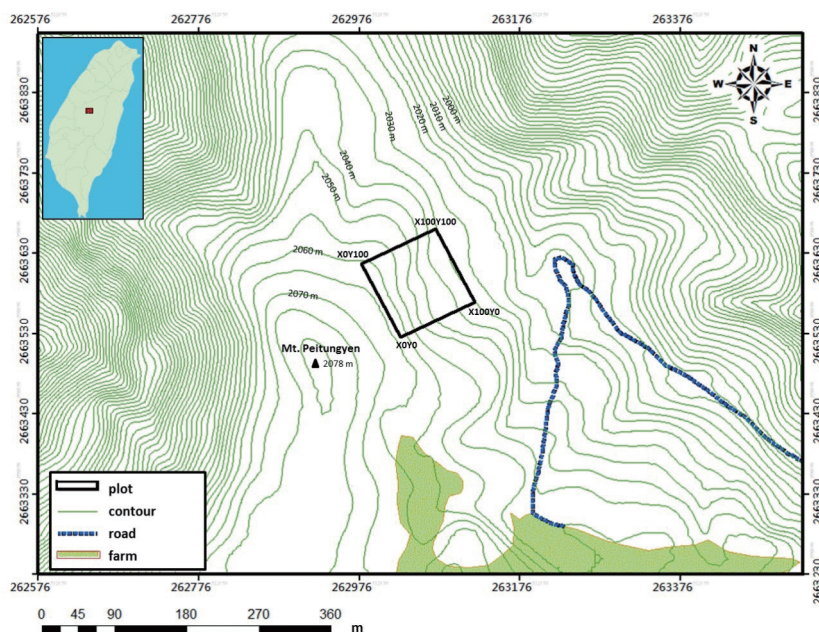


Fig. 1. Location of the forest dynamic plot at Mt. Peitungyen, Taiwan.

siltstone) (Central Geological Survey 2017)。

當地在台灣中西部氣候區之山地植群帶的分化上屬於櫟林帶之紫珠葉泡花樹-長尾尖葉櫟林型，冠層以長尾尖葉櫟(*Castanopsis cuspidata* var. *carlesii*)、杜英(*Elaeocarpus sylvestris*)、杏葉石櫟(*Lithocarpus amygdalifolius*)、長葉木薑子(*Litsea acuminata*)、假長葉楠(*Machilus japonica*)、臺灣烏心石(*Michelia compressa* var. *formosana*)和木荷(*Schima superba*)等為優勢；中間層則以香桂(*Cinnamomum subavenium*)、紫珠葉泡花樹(*Meliosma callicarpaefolia*)、變葉新木薑子(*Neolitsea aciculata* var. *variabilissima*)和大葉灰木(*Symplocos grandis*)等為主；下層的優勢樹種為深山野牡丹(*Barthea barthei*)、細枝柃木(*Eurya loquaiana*)、早田氏冬青(*Ilex hayataiana*)、高山新木薑子(*N. acuminatissima*)和墨點櫻桃(*Prunus phaeosticta*)等(Hu 2018)。

二、調查取樣

將樣區劃分為100個10×10 m的連續小區，調查每個小區內的維管束植物，依其生長型區分成喬木、灌木和草本3類，分別記錄喬木的種類、胸高直徑(diameter at breast height, 簡稱DBH)和株數，灌木的種類和株數，草本的種類和覆蓋度，以代表該小區的植群結構。植物分類及名稱主要依據Flora of Taiwan第二版(Huang et al. 2003)。

依據臺灣地區網格間距5×5 m的數值地形模型(digital terrain model, 簡稱DTM)繪製樣區等高線圖(如Fig. 1)，並以地理資訊系統(geographic information system, 簡稱GIS)計算每個小區中心點的高程，將其標準化(將最低點定為0 m)；然後以2台LiCor 250光度計，於某個晴天的中午11~13時之間，在小區中心和鄰近開闊地距地面0 m處同步進行10秒的掃描，以測定光合作用光子通量密度(photosynthetic photon flux density, 簡稱PPFD)百分比；最後在小區中心取一深度20 cm的土壤樣本(含洗出帶及洗入帶, Forth 1984)，帶回實驗室作進一步分析。

在實驗室中，先將100個土壤樣本放在加熱的空氣爐中以60°C乾燥48小時，磨碎後通過

2 mm網眼的篩子，以去除大的碎片雜質，取其中的10 g樣本製成水和土壤比例為1:1的水溶液，以pH meter測定pH值；其次以燒失量法(loss-on-ignition method)進行成分分析，將剩餘的樣本以瑪瑙研鉢細磨並通過0.177 mm網眼的篩子，取3 g樣本放入105°C烘箱24小時，並以玻璃乾燥皿冷卻1小時後，以550°C灰化爐燃燒4小時，測定土壤的有機質含量(organic material, 以下簡稱OM)、總碳量(total carbon, 以下簡稱TC)及總氮量(total nitrogen, 以下簡稱TN)(均以百分比表示)，每個樣本均進行2次重複處理，取其平均值。

三、資料分析

將每個小區內之喬木(胸徑)、灌木(株數)和草本(覆蓋度)的資料，轉換成相對密度、相對頻度及相對優勢度，並合併成重要值指數(IVI)矩陣檔，其中DBH < 1 cm的喬木歸類為幼木，以S表示。之後將重要值指數除以3後(換算成100%)，再依Table 1轉換成八分級制(Gauch 1982, Su 1986)，並進行雙向指標種分析(TWINSPAN)，本法之初分先將樣區以交互平均法(RA/CA)做排序，再來找尋可能之分化種，設兩群為正與負兩極，之後計算某一種在這兩極之指標值(indicator value)，並依此值將樣區再分成正負兩群，以此類推依序切分n次，分至所設定之終止條件為止(Hill 1979, Su 1996)，本研究設定之切分層級(level)為六級。

以TWINSPAN將小區及植物分別予以排序、分群，進行植群亞型的分類，並以特徵種或特徵優勢種予以命名。因本研究所探討之微生育地型分類，與傳統的歐洲大陸學派或英美學派的植群分類階層不同，故以型(type)稱之。

Table 1. Numeric conversions in the octave scale

Level	IVI (%)	level	IVI (%)
0	0	5	4 ≤ x < 8
1	0 ≤ x < 0.5	6	8 ≤ x < 16
2	0.5 ≤ x < 1	7	16 ≤ x < 32
3	1 ≤ x < 2	8	32 ≤ x < 64
4	2 ≤ x < 4	9	64 ≤ x < 100

x: The IVI of each species.

其次再以降趨對應分析(DCA)針對100個小區內的植群(喬木、灌木和草本)加以分析，以印證植群亞型分類是否合理。DCA為一種間接梯度分析法，由對應分析(correspondence analysis; CA)變化而來，DCA的結果可幫助植群樣區在篩選與歸類上的判斷，DCA的軸長可表示樣區之間物種組成的差異度(Gauch 1982, Su 1987)。DCA在軸長大於4 standard deviation (SD)時，樣區會完全轉換一次(指兩端樣區沒有相同的物種)(Shiu and Lee 2003)，本研究在DCA的segment為30。雙向指標種分析和降趨對應分析皆以軟體PC-ORD 6.0進行。

結果

一、植群型分類

經雙向指標種分析(TWINSPAN)結果，整個研究樣區可分成三個植群亞型，各亞型之分化表如Table 2，分布圖如Fig. 2，其中共同分布之主要優勢種為硃砂根(*Ardisia crenata*)、長尾尖葉櫛、伏牛花(*Damnacanthus indicus*)、深山雙蓋蕨(*Diplazium mettenianum*)、長葉木薑子S、山桂花(*Maesa japonica*)、紫珠葉泡花樹和稀子蕨(*Monachosorum henryi*)，各亞型之基本資料及植物組成如下(Table 3)：

(一)紅楠-杏葉石櫟亞型

主要分布於研究樣區上部高程較高處，共有12個小區，包含54種植物，Simpson氏歧異度指數(Simpson's index)為0.84，Shannon氏歧異度指數(Shannon's index)為2.46，植株密度為150.5 stems/100 m²，胸高斷面積為7428.43 cm²/100 m²，除共同優勢種外，其它優勢種依序為廣葉鋸齒雙蓋蕨(*Diplazium dilatatum*)、臺東鱗毛蕨(*Dryopteris polita*)、杏葉石櫟、紅楠(*Machilus thunbergii*)S和阿里山灰木(*Symplocos arisanensis*)S，亞型特徵種為杜英S、臺灣鱗毛蕨(*Dryopteris formosana*)、紅楠S和阿里山灰木S。

(二)圓葉冬青-杏葉石櫟亞型

為數量最多之亞型，主要分布於研究樣區中、上半部，亦有數個散布於樣區下緣，共有51個小區，包含89種植物，Simpson氏歧異度指數為0.85，Shannon氏歧異度指數為2.54，植株密度為145.4 stems/100 m²，胸高斷面積為9850.45 cm²/100 m²，除共同優勢種外，其它優勢種依序為廣葉鋸齒雙蓋蕨、杏葉石櫟和木荷，亞型特徵種為杜英、圓葉冬青(*Ilex goshiensis*)S和木荷。

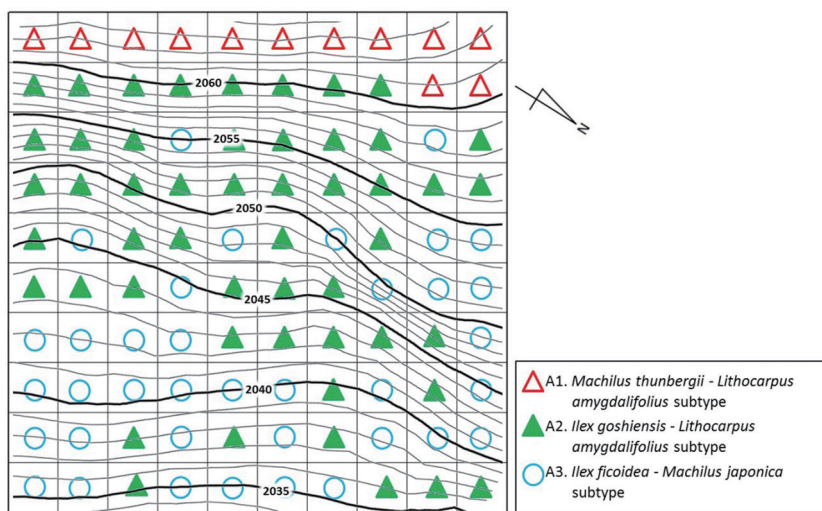


Fig. 2. Distribution of vegetation subtypes in the forest dynamic plot at Mt. Peitungyen.

Table 3. Attributes of vegetation subtypes in the forest dynamic plot at Mt. Peitungyen

Subtype	A1. <i>Machilus</i>	A2. <i>Ilex</i>	A3. <i>Ilex</i>
	<i>thunbergii-Lithocarpus amygdalifolius</i>	<i>goshiensis-Lithocarpus amygdalifolius</i>	<i>ficoidea-Machilus japonica</i>
Number of subplots	12	51	37
Number of species	54	89	76
Simpson's index of diversity	0.84	0.85	0.84
Shannon's index of diversity	2.46	2.54	2.45
Density of trees	150.5 stems/100 m ²	145.4 stems/100 m ²	120.2 stems/100 m ²
Diameter at breast height	7428.43 cm ² /100 m ²	9850.45 cm ² /100 m ²	5756.18 cm ² /100 m ²
Dominant species	<i>Diplazium dilatatum</i> , <i>Lithocarpus amygdalifolius</i> , <i>Dryopteris polita</i> , <i>Machilus thunbergii</i> S, <i>Symplocos arisanensis</i> S	<i>Lithocarpus amygdalifolius</i> , <i>Diplazium dilatatum</i> , <i>Schima superba</i>	<i>Machilus japonica</i> , <i>Ilex ficoidea</i> , <i>Diplazium dilatatum</i>
Characteristic species	<i>Elaeocarpus sylvestris</i> S, <i>Machilus thunbergii</i> S, <i>Symplocos arisanensis</i> , <i>Dryopteris formosana</i>	<i>Schima superba</i> , <i>Elaeocarpus sylvestris</i> , <i>Ilex goshiensis</i> S	<i>Ilex ficoidea</i>

S : The sapling of DBH < 1 cm.

(三)臺灣糊樗-假長葉楠亞型

主要分布於研究樣區下半部，亦有數個分布於樣區右側邊緣，並零星散布於樣區上半部，共有37個小區，包含76種植物，Simpson氏歧異度指數為0.84，Shannon氏歧異度指數為2.45，植株密度為120.2 stems/100 m²，胸高斷面積為5756.18 cm²/100 m²，除共同優勢種外，其它優勢種依序為廣葉鋸齒雙蓋蕨、臺灣糊樗 (*Ilex ficoidea*)和假長葉楠，亞型特徵種為臺灣糊樗。

二、降趨對應分析(DCA)

共計算出三個變異軸，即植物種類及小區之三組分布序列值，由這三組分布序列值所出之序列軸即代表植群之三個主要變異方向，各軸的長度依次為3.265、2.420、2.115 (SD)，總變異量為4.9364 (Table 4)，軸長越長代表樣區間的變異程度越大。各植群亞型之DCA序列圖形如Fig. 3。

討論

綜合前人研究結果，頂坡(crest)及上坡

(upper slope)處的有效土壤較深，坡度較平緩，故林分發育較為良好，有較高的平均冠層高度，林木胸高斷面積和植株密度也較大；而山溝(gully)、山腳(foot slope)和溪谷(bottomland)處因為容易受到沖蝕，土壤淺薄，故平均冠層高度較低，林木胸高斷面積和植株密度也較小，孔隙發生率較高(Wang et al. 2002)。因此，植群的物理結構會受到地形、土壤等環境因子的影響。

而本研究所區分出的三個亞型中，A1.紅楠-杏葉石櫟亞型分布於樣區上部高程較高處，對照環境因子分布，屬於高程較高且土壤肥沃度較差之生育地，所包含的物種數最少(54 taxa)，但平均植株密度最高(150.5 stems/100 m²)，平均胸高斷面積(7428.43 cm²/100 m²)略低於樣區平均數(8047.77 cm²/100 m²)，以廣葉鋸齒雙蓋蕨、臺東鱗毛蕨和杏葉石櫟為優勢，有杜英、紅楠和阿里山灰木的小徑木出現；A2.圓葉冬青-杏葉石櫟亞型分布於樣區中、上半部，亦有數個散布於樣區下緣，在整個研究樣區中，屬於土壤肥沃度較佳之生育地，所包含的物種數最多(89 taxa)，平均植株密度居次(145.4

Table 4. DCA results for the forest dynamic plot at Mt. Peitungyen

Environmental factor	Axis 1	Axis 2	Axis 3
Eigenvalue	0.405	0.290	0.189
Length	3.265	2.420	2.115
Total variance	4.9364		
Tree basal area	-0.474**	0.040	-0.286*
Irradiance	-0.195	-0.053	0.022
Elevation	0.161	0.030	0.156
Soil pH	0.189	-0.190	-0.05
Soil organic matter	-0.233*	-0.048	-0.093
Soil total carbon	-0.225*	-0.033	-0.086
Soil total nitrogen	-0.198*	-0.043	-0.091

* Values with a significant correlation ($p < 0.05$).

** Values with an extremely significant correlation ($p < 0.01$).

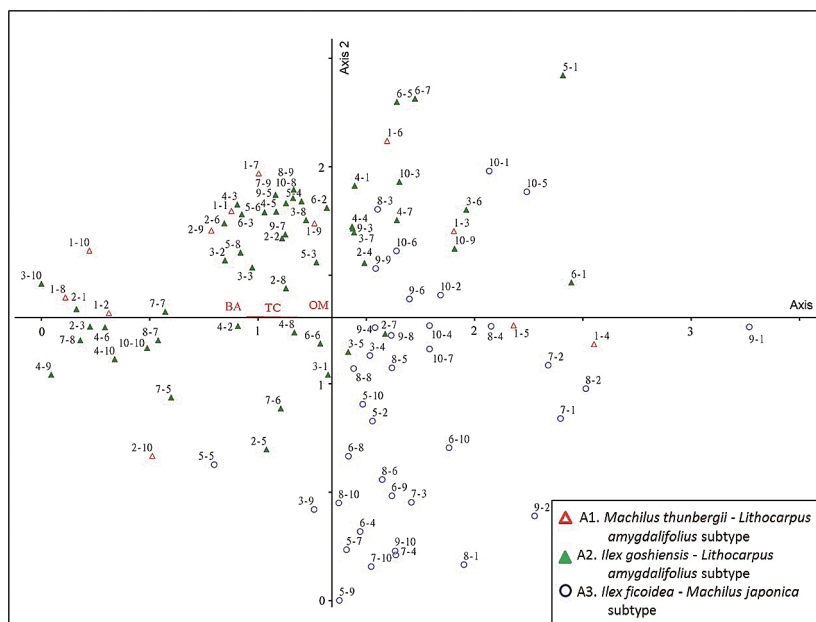


Fig. 3. DCA ordination of vegetation subtypes in the forest dynamic plot at Mt. Peitungyen. (BA, tree basal area; TC, soil total carbon; OM, soil organic matter).

stems/100 m²), 但平均胸高斷面積最大(9850.45 cm²/100 m²), 以廣葉鋸齒雙蓋蕨、杏葉石櫟和木荷為優勢, 有杜英的成樹和圓葉冬青的小徑木出現; A3. 臺灣糊樗-假長葉楠亞型分布於樣區下半部, 亦有數個分布於樣區右側邊緣, 在整個研究樣區中, 屬於高程較低且土壤肥沃度較差之生育地, 所包含的物種數居次(76 taxa),

平均植株密度最低(120.2 stems/100 m²), 平均胸高斷面積最小(5756.18 cm²/100 m²), 以臺灣糊樗假和長葉楠為優勢。從上述結果可知, 生育地的土壤肥沃度越高, 物種數越多, 平均胸高斷面積也越大, 而在土壤肥沃度較差的生育地, 高程會影響平均植株密度和平均胸高斷面積, 亦即高程較高者, 兩者的數值也較大。值

得注意的是，在A1亞型中具優勢且為特徵種的紅楠，在另外兩個亞型中幾乎沒有出現(故被排除在16個主要樹種之外)，究其更新方式，除了種子苗的補充之外，產生萌蘖也是重要的手段之一(Chen 1994)，故族群侷限且集中於該生育環境中。

DCA三軸所代表的植群變異與生育地環境因子的變化有關，由三個軸與七項環境因子之相關性(Table 3)可以得知，與軸1具有顯著相關之環境因子共有四項，其相關係數依次排列為喬木BA (-0.474)、土壤OM (-0.233)、土壤TC (-0.225)及土壤TN (-0.198)，軸2無顯著相關，與3軸具有顯著相關之環境因子僅有喬木BA (-0.286)一項。由此可見，與植物種類樣區之變異有關的環境因子，大致已在軸1上顯示出來，又因3軸之顯著因子(喬木BA)與軸1相同，且軸2之軸長(2.420)較軸3 (2.115)為長，故以軸1和軸2來繪製DCA分布序列(Fig. 3)，將該圖與環境因子相對照，可瞭解各小區隨著環境梯度分布的趨勢，亦即圖中靠近左側的小區之喬木BA、土壤OM、土壤TC及土壤TN的值較大，而右側小區的值較小。將100個小區大致分成左上方的A2群(即圓葉冬青-杏葉石櫟亞型)及右下方的A3群(即臺灣糊樗-假長葉楠亞型)，前者之喬木BA較大且土壤肥沃度較佳，而後者之喬木BA較小且土壤肥沃度較差，與植群亞型分布圖(Fig. 2)之結果相符，至於分布於高程較高且土壤肥沃度較差之A1紅楠-杏葉石櫟亞型，在序列圖上的分群並不顯著。

整體來說，三個植群亞型的物種歧異度差異並不大，Simpson氏歧異度指數介於0.84~0.85之間，Shannon氏歧異度指數介於2.46~2.54之間，由於不同的微地貌及環境條件，可提供不同植物生長所需的不同生育地條件，故由各植群亞型的分類結果顯示，植物組成與微地貌及環境條件間仍存在著關聯性。

Tsui et al. (2004)在墾丁國家公園南仁山生態保護區，以各種養分和離子濃度在不同土層深度的變化，探討地形和土壤對溪谷樣區植被組成的影響，結果顯示主要優勢樹種對各種養分的吸收確與地形及位置有關，如此也印證了

本研究中土壤肥沃度和高程對各亞型的影響。

結論

- 一、本研究樣區位於台灣中部山地，屬於櫟林帶，為山地常綠闊葉林之紫珠葉泡花樹-長尾尖葉櫟群叢，可再細分為三個亞型。
- 二、紅楠-杏葉石櫟亞型分布於高程較高且土壤肥沃度較差之生育地，圓葉冬青-杏葉石櫟亞型分布於土壤肥沃度較佳之生育地，而臺灣糊樗-假長葉楠亞型則分布於高程較低且土壤肥沃度較差之生育地。
- 三、在環境因子的影響方面，土壤肥沃度、喬木BA和高程會影響各亞型之植物種數、平均植株密度和平均胸高斷面積。
- 四、有幾個可能的影響因子在此並未考慮，例如種子散播、種間交互作用、小尺度干擾、動物和微生物的作用等，可作為後續探討的議題。

謝誌

本研究承蒙中興大學森林系學生協助現場調查，洪宗泰同學協助資料分析，林業試驗所黃菊美小姐協助土壤分析，方可順利完成。筆者並特別感謝兩位審查者悉心賜教，使本文更臻完善。

引用文獻

- Ashton PS. 1964.** Ecological studies in mixed dipterocarp forests of Brunei State. Oxford Forestry Memoir 25. Oxford, UK: Oxford Univ. Press. 34 p.
- Basnet K. 1992.** Effect of topography on the pattern of trees in tabonuco dominated rainforest of Puerto Rico. *Biotropica* 24(1):31-42.
- Chen SY, Kao YC. 2004.** Tree species composition and habitat types of a karst forest in Kenting, southern Taiwan. *Taiwan J For Sci*

19(4):323-35. [in Chinese with English summary].

Chiu ST, Yang KJ, Lin CK, Hsu CY. 2005. Permanent plot study of ecotone between evergreen broad-leaf forest and deciduous forest in the middle elevation of Nantzuhsien Creek. Taipei, Taiwan: Forestry Bureau. 94 p. [in Chinese with English summary].

Central Geological Survey. 2017. Integrated Geological Data Inquiry System. Available at <http://gis.moeacgs.gov.tw/gwh/gsb97-1/sys8/index.cfm>. Accessed 22 March 2018.

Chen ZI. 1994. Studies on natural regeneration of major trees in *Castanopsis* forest type of *Machilus-Castanopsis* zone in northern Taiwan [PhD thesis]. Taipei, Taiwan: National Taiwan Univ. 135 p. [in Chinese with English summary].

Chiou CR, Liang YC, Lai YJ, Huang MY. 2004. A study of delineation and application of the climatic zones in Taiwan. *J Taiwan Geogr Inform Sci* (1): 41-62. [in Chinese with English summary].

Enoki T, Kawaguchi H, Iwatsubo G. 1996. Topographic variations of soil properties and stand structure in a *Pinus thunbergii* plantation. *Ecol Res* 11:299-309.

Forth HD. 1984. Fundamentals of soil science. 7th edition. New York: J Wiley & Sons. 435 p.

Gauch HG. 1982. Multivariate analysis in community ecology. Cambridge, UK: Cambridge Univ Press. 298 p.

Hill MO. 1979. TWINSPAN-A Fortran program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. Section of Ecology and Systematics. New York: Cornell Univ. 90 p.

Hseu ZY, Wang HH, Wu SH, Chang IS. 2004. Pedogenesis and classification of the soils in the Kenting Uplifted Coral Reef Nature Reserve. *Taiwan J For Sci* 19(2):153-64.

[in Chinese with English summary].

Hsieh CF, Chen ZS, Hsu YM, Yang KC, Hsieh TH. 1998. Altitudinal zonation of evergreen broad-leaved forest on Mount Lopei, Taiwan. *J Veg Sci* 9:201-12.

Hu YW. 2018. Vegetation dynamics and determinant factors of species richness in temperate evergreen broad-leaved forest of Mt. Peitungyen in Central Taiwan [PhD thesis]. Taichung, Taiwan: National Chung Hsing Univ. 149 p. [in Chinese with English summary].

Huang TC and Editorial Committee of the Flora of Taiwan (editors). 2003. Flora of Taiwan, 2nd ed., Vol. 6. Taipei, Taiwan: Department of Botany, National Taiwan Univ. 343 p.

Lai YJ, Li CF, Lin PH, Wey TH, Chang CS. 2012. Comparison of MODIS land surface temperature and ground-based observed air temperature on complex topography. *Int J Remote Sens* 33(24):7685-702.

Lin KC, Horng FW, Cheng WE, Chiang HC, Chang VC. 1996. Soil survey and classification of the Fushan Experimental Forest. *Taiwan J For Sci* 11(2):159-74. [in Chinese with English summary].

Liu TR, Su HJ. 1983. Forest plants ecology. Taipei, Taiwan: Commercial Press. 462 p. [in Chinese].

Lugo AE. 1988. Diversity of the tropical species. *Biological International. Special issue-19.* Paris, France: IVBS.

Nicholls GE. 1917. The interpretation and application of certain terms and concepts in the ecological classification of plant communities. *Plant World* 20:305-19.

Sakai A, Ohsawa M. 1993. Vegetation pattern and microtopograph on a landslide scar of Mt. Kiyosumi, central Japan. *Ecol Res* 8:47-56.

Schröter C. 1908. Das pflanzenleben der alpen: Eine schilderung der hochgebirgsflora. Zurich, Switzerland: Verlag von Albert Raustein.

Shiu HJ, Lee PF. 2003. Influence of gradient

length on community ordinations. *Taiwan J For Sci* 18(3):201-11. [in Chinese with English summary].

Song GZ. 1996. The composition and distribution type in a warm temperate broad-leaved evergreen forest at Mt Peitungyen, central Taiwan [dissertation]. Taipei, Taiwan: Institute of Plant Biology, National Taiwan Univ. 72 p. [in Chinese].

Su HJ. 1977. Synecological studies on the hardwoods of a small watershed at Wulai in northern Taiwan. (II) Topography in relation to the distributional patterns of trees and the methods of sampling. *Bull Taiwan Univ. Exp For* 119:201-15. [in Chinese with English summary].

Su HJ. 1986. The study of multivariate analysis in vegetation ecology. I. An edition of raw data file. *Q J Chin For* 19(4):87-103. [in Chinese with English summary].

Su HJ. 1987. The study of multivariate analysis in vegetation ecology. III. The method of detrended correspondence analysis and related distribution sequence. *Q J Chin For* 20(3):45-68. [in Chinese with English summary].

Su HJ. 1996. The study of multivariate analysis in vegetation ecology. IV. The analysis of vegetation classification and relative environmental factors. *Ann Taiwan Mus* 39:249-269.

[in Chinese with English summary].

Tsui CC, Hseih CF, Chen ZS. 2004. Relationship between soil properties and landscape in a lowland rain forest of southern Taiwan. *Geoderma* 123(1-2):131-42.

Wang HH, Pan FJ, Liu CK, Yu JH, Horng SF. 2000. Vegetation classification and ordination of a permanent plot in Fushan Experimental Forest, northern Taiwan. *Taiwan J For Sci* 15(3):411-28. [in Chinese with English summary].

Wang HH, Sen YC, Kao YC. 2002. Variation in vegetation structure for different micro-landforms of a steep forest plot in the Fushan Experimental Forest, northern Taiwan. *Taiwan J For Sci* 17(1):99-112. [in Chinese with English summary].

Wang HH, Sun IF, Chien CT, Pan FJ, Kuo CF, Yu MH, et al. 1984. Tropical rain forest of the Far-East. 2nd edition. Oxford, UK: Clarendon Press.

Yoshida N, Ohsawa M. 1996. Differentiation and maintenance of topo-community patterns with regeneration dynamics in mixed cool temperate forests in the Chichiba Mountains, central Japan. *Ecol Res* 11:351-62.

Appendix 1. Raw data of subplots for the forest dynamic plot at Mt. Peitungyen

No. of subplot	Tree basal area	Tree species richness	Shrub species richness	Herb species richness	Irradiance (%)	Elevation (m)	Soil pH	Soil organic matter (%)	Soil total carbon (%)	Soil total nitrogen (%)
X1Y1	18,344.98	7.38	1.86	4.58	6.48	25.8	3.44	25.46	11.67	0.80
X1Y2	61,866.48	12.46	2.12	4.06	2.46	26.4	3.41	20.99	9.91	0.68
X1Y3	456.81	6.12	1.62	4.71	1.56	26.5	3.84	12.40	5.46	0.47
X1Y4	7395.77	6.82	1.55	4.96	0.52	27.1	3.60	13.88	6.18	0.48
X1Y5	14,385.13	6.57	1.63	3.20	0.25	27.0	3.78	16.01	6.98	0.62
X1Y6	25,307.90	6.58	1.68	4.53	0.41	26.7	3.63	14.70	6.35	0.56
X1Y7	43,849.53	7.17	2.53	5.17	0.26	26.8	3.66	16.39	7.13	0.61
X1Y8	51,004.87	7.85	2.29	4.31	3.59	27.4	3.68	17.60	7.61	0.58
X1Y9	2754.06	7.45	1.12	5.08	0.76	26.9	3.80	13.83	5.58	0.49
X1Y10	78,811.33	7.23	2.23	6.08	0.81	26.0	3.58	33.05	17.04	1.04
X2Y1	62,194.42	7.29	1.87	3.97	0.61	21.3	3.40	34.34	17.23	0.97
X2Y2	31,572.64	8.44	1.91	6.47	0.59	21.9	3.80	15.38	6.26	0.56
X2Y3	87,863.26	7.77	1.86	5.40	1.43	23.5	3.70	14.71	6.82	0.54
X2Y4	55,066.53	6.79	2.29	3.26	0.62	23.5	3.64	13.70	6.23	0.49
X2Y5	54,365.74	5.66	1.14	4.86	0.62	23.1	3.75	19.06	8.73	0.71
X2Y6	20,345.72	5.96	1.66	4.19	4.05	23.3	3.84	12.93	5.35	0.47
X2Y7	17,736.73	6.32	2.17	4.32	1.35	23.8	3.61	20.11	9.49	0.68
X2Y8	9533.61	8.48	2.14	4.53	0.45	24.6	3.70	13.53	5.77	0.49
X2Y9	28,218.33	7.93	2.08	5.95	0.56	25.1	3.59	16.36	7.74	0.55
X2Y10	17,520.35	9.84	2.41	4.95	4.49	24.4	3.29	29.37	14.55	0.92
X3Y1	10,532.50	6.07	1.47	4.02	0.38	18.0	3.75	18.78	8.09	0.65
X3Y2	44,652.68	6.53	1.98	3.50	1.09	16.3	3.33	27.04	13.78	0.93
X3Y3	22,483.47	7.22	3.21	4.14	0.81	18.1	3.35	20.30	9.66	0.70
X3Y4	18,234.95	4.77	3.10	6.10	0.44	18.9	3.74	12.65	5.59	0.47
X3Y5	11,607.54	5.92	2.31	4.02	3.45	18.6	3.81	15.27	6.74	0.57
X3Y6	23,238.76	7.77	2.21	4.43	2.58	19.3	3.71	21.32	10.56	0.77
X3Y7	11,965.13	7.49	2.18	5.08	0.15	20.6	3.44	23.78	11.78	0.86
X3Y8	43,915.41	7.99	1.78	3.50	0.27	21.9	3.52	23.22	11.41	0.78
X3Y9	7296.58	8.15	3.03	3.19	1.10	22.8	3.65	18.18	8.29	0.64
X3Y10	39,351.52	8.58	1.98	2.83	0.48	22.6	3.59	16.94	7.73	0.60
X4Y1	38,626.99	5.38	2.15	5.17	0.48	13.3	3.54	30.64	15.10	1.04
X4Y2	32,386.12	8.76	2.88	2.89	2.15	14.3	3.45	25.11	12.36	0.88
X4Y3	7428.42	6.89	2.33	5.17	1.56	16.1	3.25	42.66	22.78	1.41
X4Y4	10,386.37	5.67	2.74	1.91	0.52	15.3	3.68	13.96	5.92	0.50
X4Y5	27,740.36	5.40	2.63	4.54	1.94	14.8	3.83	11.21	4.74	0.41
X4Y6	76,739.65	5.87	1.26	2.90	0.57	15.1	4.03	21.44	9.89	0.73
X4Y7	7258.93	9.20	2.18	5.50	0.48	17.1	3.41	35.46	17.79	1.25
X4Y8	76,063.77	8.86	2.82	4.08	1.84	18.9	3.25	44.36	23.49	1.49
X4Y9	29,562.25	7.42	4.80	4.50	0.35	20.3	3.63	22.94	10.99	0.78
X4Y10	14,795.08	7.93	2.61	4.21	0.36	20.6	3.72	17.74	7.94	0.60
X5Y1	26,559.91	6.50	1.09	3.92	0.67	10.7	3.53	28.48	13.97	0.95
X5Y2	10,353.58	7.28	2.98	4.02	0.51	10.8	3.80	22.31	10.52	0.79

con't										
X5Y3	45,402.74	6.57	2.46	5.74	0.39	12.3	3.35	43.39	22.26	1.31
X5Y4	13,063.15	7.71	3.19	4.76	1.29	13.3	3.67	22.92	11.63	0.71
X5Y5	23,897.94	7.78	2.50	4.45	0.62	13.2	3.74	18.14	8.77	0.61
X5Y6	64,695.08	6.53	1.51	4.46	0.52	12.2	3.81	15.29	6.88	0.54
X5Y7	22,346.19	6.64	1.28	5.27	1.43	13.5	3.54	21.28	10.12	0.74
X5Y8	49,562.33	7.87	1.62	3.46	0.37	16.3	3.58	31.78	15.77	1.08
X5Y9	66,895.25	7.98	1.81	4.64	6.38	17.6	3.54	26.85	12.87	0.91
X5Y10	9166.04	4.45	1.57	3.37	0.35	18.1	3.64	22.14	10.14	0.77
X6Y1	9971.86	6.05	1.05	3.80	2.15	8.6	3.73	15.45	6.84	0.58
X6Y2	25,262.34	6.90	2.50	4.66	1.93	8.8	3.49	17.68	8.33	0.57
X6Y3	115,941.93	6.91	1.40	6.74	1.90	9.1	3.68	18.34	8.41	0.67
X6Y4	12,114.03	6.16	2.27	6.21	0.78	10.0	3.76	39.45	21.03	1.23
X6Y5	17,911.31	8.30	3.42	4.56	1.21	10.5	3.76	15.98	6.85	0.56
X6Y6	25,934.45	7.28	1.66	4.65	0.76	9.8	3.69	20.93	9.79	0.74
X6Y7	14,828.68	5.83	2.27	5.58	0.25	9.3	4.09	29.74	13.70	0.91
X6Y8	16,395.76	6.53	1.96	6.02	0.49	9.3	3.77	24.51	11.22	0.82
X6Y9	6037.44	5.32	2.55	4.99	0.34	15.1	4.06	21.01	9.72	0.74
X6Y10	4878.65	6.41	1.94	4.77	0.47	15.6	3.45	39.19	20.60	1.28
X7Y1	15,643.61	7.54	2.65	3.77	1.80	7.1	3.95	12.96	5.27	0.47
X7Y2	18,057.29	5.47	1.59	5.20	0.24	7.1	3.75	14.86	6.43	0.56
X7Y3	23,716.01	5.72	1.67	5.04	1.09	7.4	3.59	13.64	5.55	0.50
X7Y4	36,288.54	7.18	2.20	3.83	0.88	8.1	3.40	25.47	12.11	0.79
X7Y5	37,002.92	7.60	1.18	5.15	0.41	8.3	3.63	20.06	9.37	0.69
X7Y6	18,854.63	8.05	2.64	4.79	0.40	8.0	4.07	13.97	5.47	0.48
X7Y7	46,740.50	7.67	2.93	7.20	0.33	7.5	3.09	45.89	24.27	1.52
X7Y8	131,282.27	8.57	1.80	4.77	0.50	8.9	3.96	29.04	14.01	0.93
X7Y9	13,692.32	6.62	0.00	3.06	0.41	9.3	3.73	27.51	13.83	0.99
X7Y10	65,790.07	7.14	2.68	6.29	0.15	13.6	3.47	33.29	16.16	1.05
X8Y1	37,280.50	6.48	0.64	4.31	0.24	6.1	3.68	14.55	6.49	0.54
X8Y2	22,717.37	2.74	1.06	6.43	0.38	5.6	3.96	16.62	7.29	0.60
X8Y3	46,074.04	5.92	2.51	5.08	0.46	5.9	3.82	12.96	5.43	0.50
X8Y4	3889.58	3.89	1.87	5.98	0.23	6.0	3.78	15.76	6.75	0.55
X8Y5	24,771.62	5.54	1.38	3.29	0.25	5.5	3.74	18.01	7.75	0.63
X8Y6	16,490.97	7.01	2.46	4.71	0.27	5.0	3.62	24.83	11.52	0.83
X8Y7	24,050.17	9.19	1.98	5.27	0.33	4.7	3.60	24.44	10.85	0.75
X8Y8	20,007.33	5.60	2.53	5.44	0.30	5.4	3.42	30.00	15.23	1.04
X8Y9	31,514.17	7.30	1.90	4.50	0.29	7.4	3.49	30.48	15.18	1.09
X8Y10	8388.67	6.44	2.80	5.06	0.43	9.5	3.63	24.29	11.19	0.89
X9Y1	24,835.67	4.25	0.53	4.26	0.20	4.3	3.86	12.99	5.57	0.48
X9Y2	14,410.75	2.93	0.47	4.31	0.19	4.5	4.08	11.00	4.31	0.39
X9Y3	27,555.26	3.86	1.91	3.67	0.17	3.9	3.97	12.50	5.03	0.46
X9Y4	17,278.67	6.98	0.68	1.56	0.65	3.3	3.87	13.67	5.67	0.49
X9Y5	70,473.81	6.00	2.68	5.06	0.49	2.8	3.57	18.10	8.43	0.64
X9Y6	8117.97	7.12	2.66	6.41	0.25	2.5	3.69	20.20	9.11	0.70
X9Y7	42,909.20	7.75	3.07	3.77	0.25	2.5	3.73	20.23	9.47	0.75

con't										
X9Y8	14,971.74	7.78	2.70	5.77	0.18	3.0	4.05	15.94	6.32	0.51
X9Y9	7498.85	7.60	2.33	4.58	0.18	4.3	3.50	29.81	14.83	1.00
X9Y10	66,013.07	5.60	2.31	4.84	0.21	5.9	6.55	23.97	11.30	0.88
X10Y1	22,637.14	4.47	0.49	2.66	0.23	0.6	3.75	13.21	5.49	0.48
X10Y2	51,683.05	5.83	0.55	4.19	0.28	1.1	3.56	17.78	8.65	0.70
X10Y3	54,651.04	2.50	0.53	5.65	0.24	1.0	3.61	18.80	8.74	0.63
X10Y4	10,011.07	6.11	1.05	5.51	0.41	0.4	3.96	12.82	5.30	0.48
X10Y5	27,127.40	4.69	0.50	5.35	0.51	0.0	3.61	29.13	15.25	0.97
X10Y6	33,138.87	4.35	1.17	5.98	0.13	0.0	3.84	14.46	6.28	0.51
X10Y7	3493.06	7.24	1.47	5.48	0.19	0.3	3.61	24.44	12.65	0.85
X10Y8	73,724.81	6.37	1.99	8.92	0.14	1.0	3.67	20.93	9.79	0.76
X10Y9	5577.77	6.84	2.48	9.15	0.19	1.5	3.68	20.90	11.28	0.66
X10Y10	127,174.21	8.31	1.40	8.06	0.17	1.8	3.65	18.94	8.62	0.66
Mean value	31,696.15	6.75	1.98	4.77	0.90	13.0	3.69	21.50	10.18	0.74
Standard deviation	26,370.14	1.51	0.77	1.24	1.16	8.37	0.35	8.01	4.55	0.25
Variance (%)	83.20	22.30	39.07	26.04	128.89	64.44	9.43	37.25	44.64	33.34

