

研究報告

雪山翠池地區玉山圓柏林林分結構

林志銓¹ 曾喜育² 王志強³ 蔡尚蕙⁴ 呂金誠⁵

【摘要】翠池地區玉山圓柏群落依形態及林分組成，可區分為矮盤灌叢、喬木林及交會帶之玉山圓柏林，本研究主要針對喬木型及交會帶之玉山圓柏林，進行林分結構的調查與分析。結果得知以負指數函數擬合喬木型玉山圓柏林，以及交會帶玉山圓柏、臺灣冷杉的直徑分佈，均屬反J型直徑分佈。本研究發現喬木型玉山圓柏3個生長階段，以負指數分布函數模擬，適當反應出林分的相對密度及連續直徑階之間的削減速率，結果顯示初期階段削減速率最高、其次是晚期、中期階段削減速率低，而交會帶玉山圓柏亦有類似現象。透過密度—胸高直徑半對數圖，利用簡單線性迴歸驗證玉山圓柏林三種生長階段對數林分密度中，各生長階段之直徑階間的負斜率，可瞭解不同生長階段之遞減速率的差異，反映出老熟林不對稱U型死亡率之現象，即玉山圓柏為長壽型，且為長期處優勢之樹種表現，上揭研究結果可供後續對玉山圓柏林分動態研究參考。

【關鍵詞】玉山圓柏、林分結構、負指數函數、生長階段、削減率

Research paperStand Structure of *Juniperus morrisonicola* Forest at Cuei-Chih Area in Mt. ShyeChih-Chuan Lin¹ Hsy-Yu Tzeng² Chih-Chiang Wang³ Shang-Te Tsai⁴ King-Cherng Lu⁵

【Abstract】*Juniperus morrisonicola* (juniper tree) forest community at Cuei-Chih Area in Mt. Shye of Taiwan, according to physiognomy and composition it can be divided into 3 categories of sites as following arbor forest, ecotone between *J. morrisonicola* and *Abies kawakamii*, and krummholz. In this paper, the class of diameter at breast height (DBH) of *J. morrisonicola* and *A. kawakamii* in the sample plots were surveyed. The results showed that the diameter distributions of trees including *J. morrisonicola* and *A. kawakamii* at arbor forest and ecotone sites were exhibited as inverse J-shaped. According to DBH size,

1. 國立中興大學森林學系 博士班學生

PhD program graduate student, Department of Forestry, National Chung-Hsing University.

2. 國立中興大學森林學系 助理教授

Assistant Professor, Department of Forestry, National Chung-Hsing University.

3. 國立屏東科技大學森林系 副教授

Associate Professor, Department of Forestry, National Pingtung University of Science and Technology.

4. 環球科技大學環境資源管理系 助理教授 (通訊作者)

通訊地址：41250 臺中市大里區立新街一巷六號

Assistant Professor, Department of Environmental Resources Management, TransWorld University

5. 國立中興大學森林學系 教授

Professor, Department of Forestry, National Chung-Hsing University.

both of *J. morrisonicola* individuals at arbor forest and ecotone sites can be divided into 3 growth stages that were as early stage (ES), middle stage (MS) and late stage (LS) respectively. Here we can see a trend in diminished rate of these 3 growth stages, as highest diminished rate in ES, followed by LS and MS. The slope of simple regression of the density-diameter distribution on the Semi-log graph can be revealed the decreasing rate at different growth stages. It reflected the phenomenon of asymmetric U-shaped mortality in the *J. morrisonicola* forest stand and also suggested *J. morrisonicola* were the dominant species with long longevity at this area. All of results provide new information for further forest dynamic researches in the future.

【Key words】 *Juniperus morrisonicola* Hay., Tree characteristics, Stand structure, negative exponential function, diminished rate

一、前言

林分結構為林分特徵 (stand characteristics) 的重要表示方法，常以胸高直徑分布加以描述，是一種對林分數量化評估方式 (Herrick, 1945)，除應用於人工林的研究外，亦廣泛應用於天然林的林分結構研究 (歐辰雄等，2003；陳文年等，2005；楊勝任等，2008；王偉等，2010；Stambaugh *et al.*, 2002; Milios *et al.*, 2007; van Auken and McKinley, 2008; Aynekulu *et al.*, 2009; Chang *et al.*, 2010)。其中，數學函數常被用來擬合徑級分布用以代表林分結構的特性，如Weibull函數 (Weibull function) (李久先、陳朝圳，1991；顏添明，1997；Bailey and Dell, 1973; Westphal *et al.*, 2006)、負指數函數 (negative exponential function) (胡云云等，2011；謝小魁等，2010；Leak, 1996; Gul *et al.*, 2005) 及多項式函數 (polynomial function) 等 (周盈杉、謝宗欣，2008；辛冠霆、謝宗欣，2010；Lin *et al.*, 2005)。蘇鴻傑 (1988) 進行玉山圓柏 (*Juniperus morrisonicola* Hay.) 胸高直徑與年齡具直線相關 (linear correlation)，並推測樹齡有2千年以上之玉山圓柏林存在於翠池地區。在森林發展理論中，Oliver and Larson (1996) 認為老熟林通常會在大型干擾 (disturbance) 下遭到摧毀，如果在小型干擾下，下層林木取代上層木的更新生長；又Westphal *et al.*, (2006) 認為反J型直徑分布是老熟林 (old-growth forest) 的特徵。翠

池地區玉山圓柏群落可區分為矮盤灌叢、喬木林及交會帶之玉山圓柏林，然因矮盤灌叢結構特殊，迥異於喬木型，故本研究主要僅針對喬木型及交會帶之玉山圓柏林進行研究，並假設此區域玉山圓柏林為相對穩定之老熟林，以徑級分布之反J型圖形趨勢，分割不同的生長階段，並利用負指數函數進行徑級分布的模擬，藉以探討玉山圓柏之林分結構特性。

二、材料與方法

(一) 研究區域

本研究主要針對林務局雪霸自然保護區之雪山主峰及翠池地區 (圖1) 為主要研究區域，範圍自雪山主峰 (3,886 m) 至北稜角 (3,880 m)，下切至翠池谷地，西至下翠池，西南至翠池三叉山 (3,565 m) 等玉山圓柏群落分布之區域。在玉山圓柏植物社會方面，就形態及林分組成可分喬木林 (arbor forest)、交會帶 (ecotone) 及矮盤灌叢 (krummholz) 之玉山圓柏林，灌木層有玉山圓柏與臺灣冷杉之稚樹、玉山杜鵑 (*Rhododendron pseudochrysanthum* Hay.) 及玉山小蘗 (*Berberis morrisonensis* Hay.)，地被層以高山珠蕨 (*Cryptogramma brunoniana* Wall. ex Hook. Et Grev.)、玉山金梅 (*Potentilla leuconota* D. Don)、玉山卷耳 (*Cerastium trigynum* Vill. var. *morrisonense* (Hay.) Hay.)、冷蕨 (*Cystopteris fragilis* (L.) Bernh.)、大花傅氏唐松草 (*Thalictrum urbaini* Hay. var. *majus* T.

Shimizu) 及玉山箭竹 (*Yushania niitakayamensis* (Hay.) Keng f.)、曲芒髮草 (*Deschampsia flexuosa* (L.) Trin.)、臺灣鵝觀草 (*Agropyron formosanum* Honda)、宿蹄蓋蕨 (*Athyrium anisopterum* Christ)、臺灣烏頭 (*Aconitum fukutomei* Hay.)、早田氏香葉草 (*Geranium hayatanum* Ohwi) 等植物為其主要組成 (林志銓等, 2011)。雪山高山地區的土壤，約可分成二類：森林界限以上地區，大多為粘板岩風化而成的岩海地區，土壤淺薄，多由岩礫構成，而森林地區或高山草原，多以土壤或腐質土為主 (應紹舜, 1976)。

(二) 調查與分析

1. 樣區設置與調查

本研究設置1個1 ha (100 m×100 m) 喬木型玉山圓柏林樣區，樣區編號為F樣區；在翠

池至下翠池周圍，玉山圓柏與臺灣冷杉 (*Abies kawakamii* (Hay.) Ito) 鑲嵌而生，礙於地形現況，故交會帶處樣區設置3個0.1 ha樣區 (25 m×40 m)，樣區編號分別為A、B及C樣區。樣區內針對植株高於1.3 m且胸高直徑>1 cm之木本植物加以調查；調查項目包括植物種類、胸高直徑。

2. 資料分析

研究中以SigmaPlot v.11 (2008) 統計繪圖軟體進行胸高直徑資料分析，採敘述統計及迴歸分析。徑級結構以負指數函數 (Leak, 1996; Gül *et al.*, 2005) 加以模擬分析，函數式為 $f=ae^{-bx}$ ，f為頻度，x為直徑階，a、b為參數常數。並利用F檢定 (F test) 檢測迴歸模型是否符合該模式 (林傑斌等, 2004)，以顯示迴歸模型對該林分結構分布模擬之統計意義。

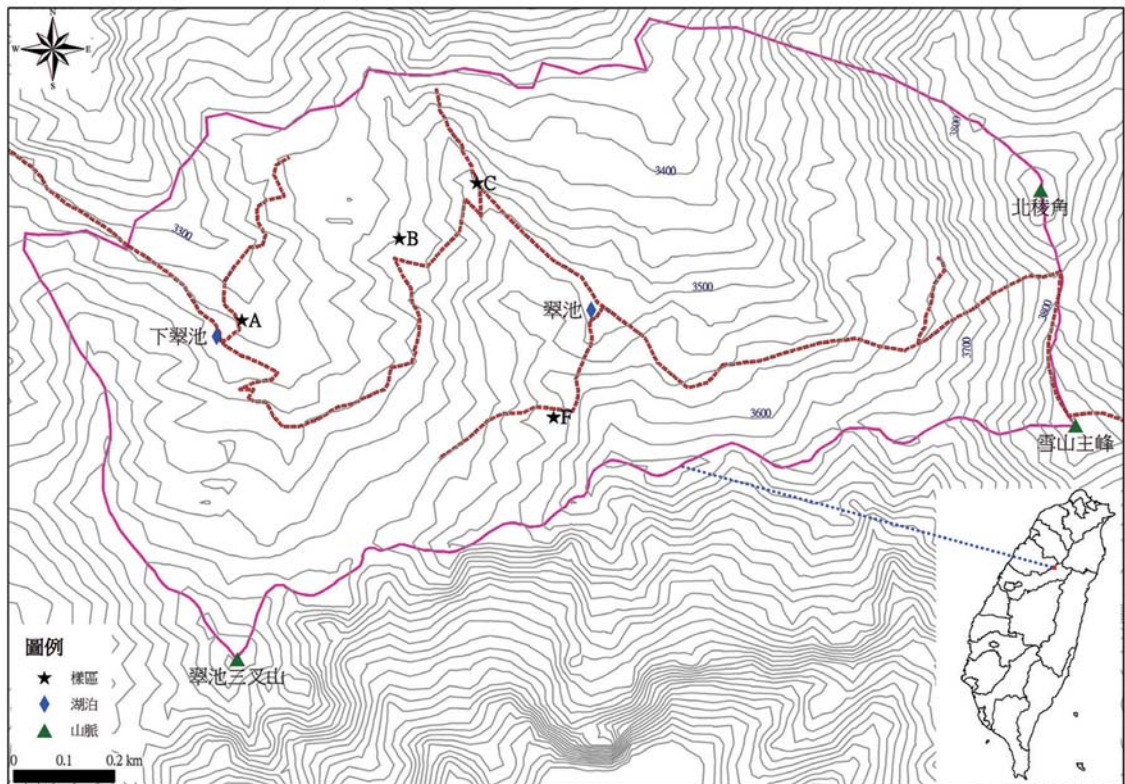


圖1. 雪山翠池玉山圓柏林研究樣區位置圖

Fig.1. Location of the study plots of *Juniperus morrisonicola* Forest at Cui-Chih area in Mt. Shye

三、結果

(一) 敘述統計分析

本研究之喬木型玉山圓柏林之平均胸高直徑為 17.3 ± 22.3 cm，其中胸高直徑最大者為162.0 cm。交會帶之玉山圓柏的平均胸高直徑為 14.1 ± 21.2 cm，臺灣冷杉為 14.4 ± 13.2 cm，其中玉山圓柏最大DBH為127.0 cm，臺灣冷杉DBH最大值為105.5 cm。

(二) 徑級分布

1. 喬木型玉山圓柏林

玉山圓柏於喬木型1 ha永久樣區直徑分布，屬反J型直徑分布（圖2），在直徑階0~10 cm的稚樹株數明顯較多，顯示其更新良好，利用負指數函數擬合結果：迴歸式為 $f = 18115.707e^{-0.263x}$ ($F=371$, $R^2=0.961$, $p<0.001$)（圖2a）。

依胸徑高直徑大小分布趨勢，將樣區內玉山圓柏分成3個直徑分布階段；即胸高直徑在0~30 cm者為初期階段 (early stage, ES)、胸高直徑介於30~100 cm間為中期階段 (Middle stage,

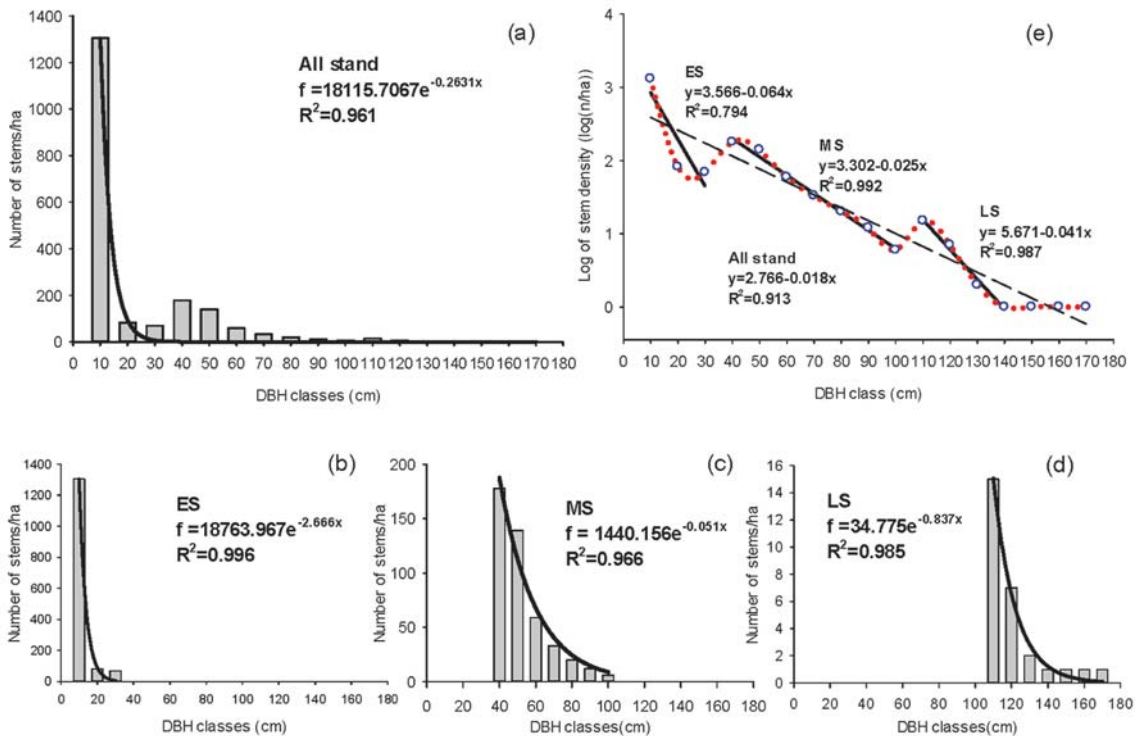


圖2. F樣區玉山圓柏胸高直徑分布及林分密度—胸高直徑半對數圖

(a) F樣區玉山圓柏胸高直徑分布圖，(b~d) F樣區三個生長階段胸高直徑分布圖。(e) F樣區三個生長階段密度—胸高直徑半對數圖（實線為各階段之迴歸線，破折線為全林分之迴歸線，空心圓為觀測值，點狀線為觀測值之平滑曲線）

Fig. 2. DBH class distribution and Semi-log graph of density-DBH class with three growth stages of F plot (a) DBH class distribution of F plot, (b~d) DBH class distribution of 3 growth stages of F plot, (e) Semi-log graph of density-DBH class of F-plot with three growth stages (note:solid line were the regression lines of different growth stages; the broken line showed the regression line of whole stand; hole cycles were the measured values and the dotted line was the spline line of measured values.)

MS)，以及胸高直徑大於100 cm者後期階段 (Late stage, LS)，而此3個不同的生長階段均符合負指數函數。玉山圓柏初期階段直徑分布迴歸式為 $f=18763.967e^{-2.667x}$ ($F=251$, $R^2=0.996$, $p=0.040$) (圖2b)；中期階段直徑分布迴歸式為 $f=1440.156e^{-0.051x}$ ($F=140$, $R^2=0.966$, $p<0.001$) (圖2c)；後期階段直徑分布迴歸式為 $f=34.775e^{-0.837x}$ ($F=323$, $R^2=0.985$, $p<0.001$) (圖2d)，即皆屬反J型分布。

林分密度與胸高直徑方面，在喬木型玉山圓柏林半對數圖 (semi-log graph) 上 (圖2e)，呈現波動型 (waved form) 或稱拉長S型 (rotated sigmoid form)，在3個不同生長階段中，以初期生長階段直徑階間的斜率 (slope) 較高。

2. 交會帶玉山圓柏林

玉山圓柏與臺灣冷杉於研究區內海拔高3,300~3,500 m有明顯混生情形，植群型中以玉山圓柏與臺灣冷杉為優勢之族群，徑級結構均屬反J型分布 (圖3)，利用負指數函數分別模擬玉山圓柏及臺灣冷杉之胸高直徑分布，結果得知玉山圓柏胸高直徑分布迴歸式為 $f=5507.679e^{-2.164x}$ ($F=1,012$, $R^2=0.989$, $p<0.001$) (圖3a)，臺灣冷杉直徑分布迴歸式為 $f=1104.901e^{-0.059x}$ ($F=194$, $R^2=0.956$, $p<0.001$) (圖3b)，顯示兩者之胸高直徑分布均符合負指數函數的分布模式。

喬木型玉山圓柏林，屬玉山圓柏林純林，其生長無受其他物種之交互作用影響；反之，交會帶玉山圓柏林與臺灣冷杉鑲嵌而生，與之存在著尚未明確之交互作用，故本文將交會帶玉山圓柏依現場調查及觀察結果，切分成3個生長階段：胸高直徑在0~30cm者為初期階段 (early stage, ES)、胸高直徑介於30~90 cm間為中期階段 (Middle stage, MS) 及胸高直徑大於90 cm者後期階段 (Late stage, LS) 3個不同的生長階段。以負指數分布模擬，玉山圓柏初期階段直徑分布迴歸式為 $f=5656.366e^{-0.219x}$ ($F=624$, $R^2=0.998$, $p=0.025$) (圖3c)；中期階段直徑分布迴歸式為 $f=251.589e^{-0.044x}$ ($F=45$, $R^2=0.918$,

$p=0.003$) (圖3d)；後期階段直徑分布迴歸式為 $f=97.044e^{-0.026x}$ ($F=7$, $R^2=0.784$, $p=0.115$) (圖3e)。

就整體交會帶玉山圓柏林中，從玉山圓柏林分密度—胸高直徑分布在半對數圖上 (圖2f)，與喬木型玉山圓柏林相似，亦呈現波動型之狀態，在3個不同生長階段中，以仍初期生長階段直徑階間的斜率 (slope) 較高。而臺灣冷杉呈現一簡單迴歸曲線 (圖2g)，而胸高直徑70 cm以上趨於平緩 (圖2g)。

四、討論

(一) 玉山圓柏群落現況

翠池周邊玉山圓柏喬木林純林 (海拔高3,400~3,600 m之區域) 及玉山圓柏與臺灣冷杉之交會帶，其交會帶寬度長度約50~200 m，在交會帶區域內玉山圓柏林與臺灣冷杉鑲嵌並存。本研究調查最大株之玉山圓柏胸高直徑達162 cm，蘇鴻傑 (1974) 調查雪山翠池及南湖大山 (南湖池畔) 等高山地區玉山圓柏群落，發現雪山翠池及秀姑巒山皆有DBH大於100 cm之玉山圓柏植株，其中雪山翠池可見DBH達到140~150 cm者；另柳樞 (1971) 指出雪山翠池之玉山圓柏DBH最大者可達180 cm，而本調查研究中發現亦有相當數量的玉山圓柏巨木分布於雪山翠池周遭。

就喬木型玉山圓柏林整體而言，既有多數的幼苗又有老熟林的特徵，在直徑階20~30 cm的林木株數有偏低的現象；在本研究區之枯立木的調查中 (未發表)，顯示在直徑階20~30 cm的株數居高，推測玉山圓柏生長過程中在直徑階20~30 cm時，在無大型干擾的證據前提下，推測可能遭環境的逆境干擾或環境資源競爭造成自疏 (self thinning)，其真正原因仍待進一步研究。

(二) 不同型態玉山圓柏林分結構的探討

1. 喬木林徑級結構的探討

各種林分性狀介量中，以胸高直徑分布最為常用，不但易於測計且能表示林分的結構

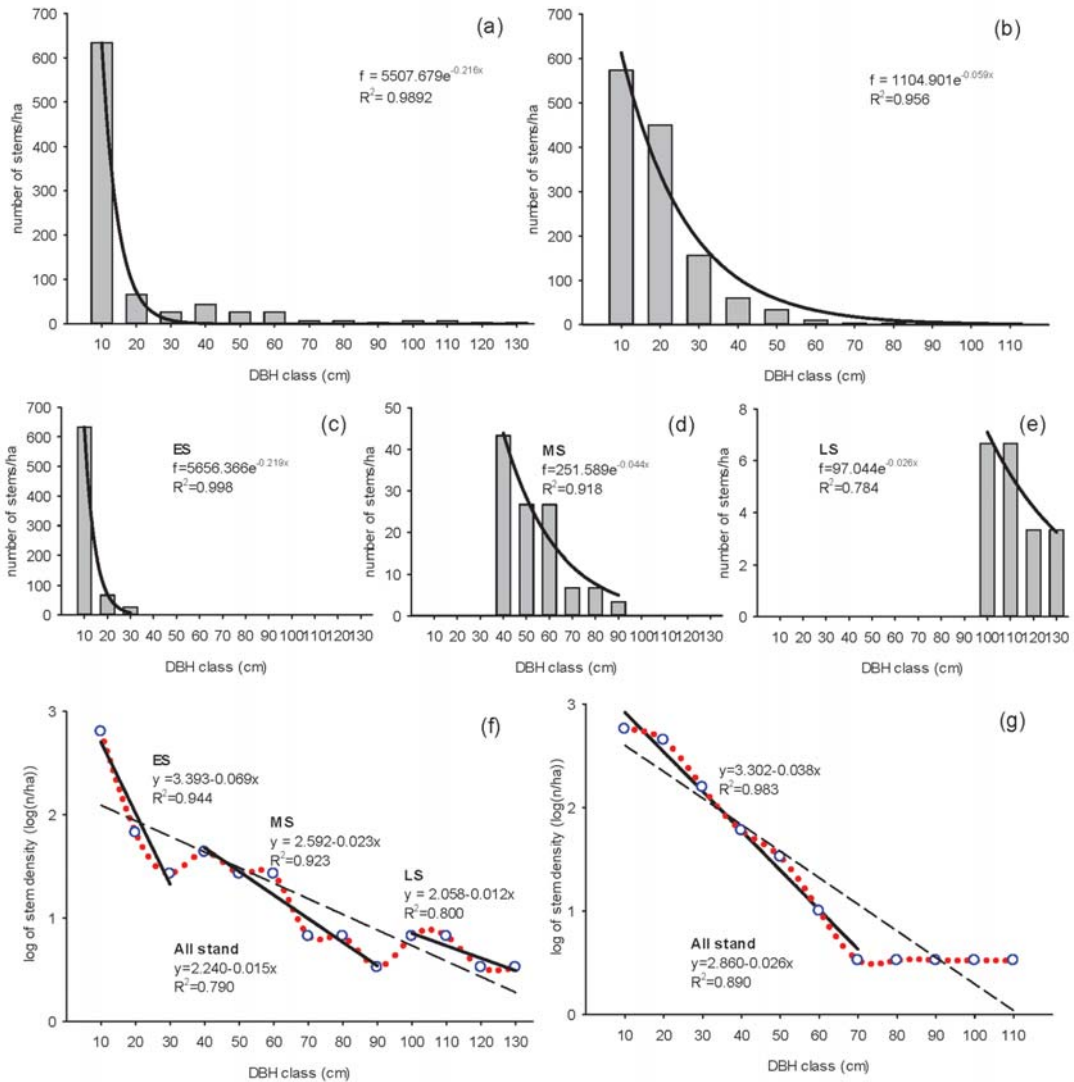


圖 3. 交會帶樣區直徑分布圖及密度-胸高直徑半對數圖

(a) 玉山圓柏直徑分布圖, (b) 臺灣冷杉直徑分布圖, (c~e) 玉山圓柏三個生長階段直徑分布圖, (f) 玉山圓柏三個生長階段密度-胸高直徑半對數圖, (g) 臺灣冷杉密度-胸高直徑半對數圖 (實線為各階段之迴歸線, 破折線為全林分之迴歸線, 空心圓為觀測值, 點狀線為觀測值之平滑曲線)

Fig. 3. DBH class distribution and Semi-log graph of density-DBH class with three growth stages of ecotone plots.

(a) DBH class distribution of *J. morrisonocola* of ecotone plots., (b) DBH class distribution of *A. kawakamii* of ecotone plots., (c~e) DBH class distribution of 3 growth stages of ecotone plots., (f) Semi-log graph of density-DBH class of *J. morrisonocola* of ecotone plots with three growth stages., (g) Semi-log graph of density-DBH class of *A. kawakamii* of ecotone plots with three growth stages. (note: solid line were the regression lines of different growth stages; the broken line showed the regression line of whole stand; hole cycles were the measured values and the dotted line was the spline line of measured values.)

組成與蓄積(顏添明, 1997)。本研究喬木型玉山圓柏林及交會帶玉山圓柏林直徑分布, 整體上屬負指數分布; Westphal *et al.* (2006) 研究結果表示負指數分布可適用於反J型分布的模擬。故本研究結果可藉以說明玉山圓柏林屬反J型徑級分布。Milios *et al.* (2007) 針對希臘圓柏 (*J. excelsa* Bieb.) 最大林齡約300年的原始林分進行調查, 在未被干擾的林分中亦都呈現反J型直徑分布; 另國內重要之針葉樹如鐵杉 (*Tsuga chinensis* Pritz.) (張至善, 1992; 張哲彰, 1993; 辛冠靈、謝宗欣, 2010)、臺灣冷杉(黃群修, 1994)、紅檜 (*Chamaecyparis formosensis* Matsum.) (林旭宏、賴國祥, 1999) 及臺灣穗花杉 (*Amentotaxus formosana* Li) (楊勝任等, 2008) 等亦成反J型直徑分布。Westphal *et al.* (2006) 認為反J型直徑分布是穩定平衡之老熟林的基本特徵; 反J型直徑分布代表著有大量的小苗出現, 但小苗(或小徑級)的苗木死亡率很高(周盈杉、謝宗欣, 2008)。就林分結構而言, 很大數量的小苗或小徑木出現在干擾產生以後, 而初期這些林分可能是比較年輕的林分, 又當林分之林木底面積增加時, 林分之密度會降低, 顯已進入老熟林(van Auken and McKinley, 2008)。

2. 交會帶徑級結構的探討

交會帶玉山圓柏與臺灣冷杉為反J型直徑分布且符合負指數分布, 屬結構穩定之林分, 負指數函數參數a及b, 可用以比較兩不同林分之林分結構(胡云云等, 2011; 謝小魁等, 2010; Gül *et al.*, 2005)。本研究中以林分密度比較兩林分之特性, 玉山圓柏與臺灣冷杉之交會帶中, 玉山圓柏直徑分布迴歸式中參數 $a=5507.679$, 參數 $b=0.216$; 臺灣冷杉直徑分布迴歸式中參數 $a=1104.901$, 參數 $b=0.059$, 顯示玉山圓柏之負指數分布參數a、b均大於臺灣冷杉, 理應反映玉山圓柏具較高的林分相對密度(relative density)及徑級間較高的削減速率(diminished rate), 惟此現象僅表現在初期生長階段, 因2樹種在生活史略策之不同, 玉山

圓柏屬長壽型, 具有較大的直徑階之間的削減速率, 而臺灣冷杉壽命較短, 以相等直徑階而言, 初期直徑階之削減速率遠小於玉山圓柏。又因中後期生長階段因玉山圓柏與臺灣冷杉之種間交互作用的關係, 致使兩者間在數量及與空間方面的波動。

(三) 不同生長階段徑級結構

Goff and West (1975) 假設穩定森林植群結構中3個森林層次, 包含下層木(understory)、初生上層木(vigorous overstory)及老熟上層木(old or senescent overstory)等。由於玉山圓柏樹木個體之壽命極長(蘇鴻傑, 1988), 就玉山圓柏直徑分布圖(圖2a), 雖符合負指數分布, 但嚴格來說, 直徑分布圖形仍為拉長S型分布的(rotated sigmoid distribution)型態, 顯示玉山圓柏更新出現於不同生長階段, 使林分結構曲線波動拉長而趨於平緩(圖2a), 此與van Auken and McKinley (2008) 對鉛筆柏(*J. virginiana* L.) 林分結構研究結果相同。Goff and West (1975) 認為拉長S型分布是受到死亡率及直徑生長率的影響, 而Bongers *et al.* (1988) 認為此現象可能為林分更新良好且為不連續的世代補充(good reproduction and discontinuous recruitment)所致, 此現象在日本的老熟林研究中發現相似的現象(Tanouchi and Yamamoto, 1995), 在臺灣針葉樹中的臺灣油杉(*Keteleeria davidiana* (Franchet) Beissner var. *formosana* Hayata) 林亦有此一現象發生(楊遠波, 2007)。

Goff and West (1975) 所指出林分結構中不同生長階段有著不同死亡率。本研究以負指數函數進行迴歸分析, 模擬玉山圓柏林分林分結構顯示不同生長階段之死亡率有所差異。Gül *et al.* (2005) 指出負指數函數模擬徑級分布, 其參數a代表的林分的相對密度, 而參數b代表連續直徑階之間的削減速率。就本研究喬木型玉山圓柏林所主觀劃分3個不同生長階段, 發現初期階段直徑分布負指數函數迴歸式中a值 $=18,763.967$, b值 $=2.267$ 、中期階段直徑分布迴歸式a值 $=1,440.156$, b值 $=0.051$ 及後期階段

直徑分布迴歸式中a值=34.775，b值=0.837等結果，顯示初期階段削減速率最高、其次是晚期、中期階段削減速率低（圖2b~d），交會帶之玉山圓柏亦有此類似現象（圖3c~e）。

(四) 密度—胸高直徑半對數圖

透過喬木型玉山圓柏林密度—胸高直徑半對數圖（圖2e）及交會帶玉山圓柏（圖3f），可以驗證玉山圓柏林三種生長階段林分密度中，各生長階段之直徑階間的負斜率（negative slope），可以說明各生長階段之遞減速率的不同，本研究結果以初期階段斜率最高、其次是晚期、中期階段削減速率低互相呼應。此亦反映Lorimer *et al.* (2001) 所提出之老熟林呈現不對稱U型死亡率（asymmetric U-shaped mortality）之現象。此外，研究發現喬木型玉山圓柏林中，胸高直徑大於140 cm者呈現一水平直線（圖2e），交會帶玉山圓柏胸高直徑大於120 cm亦同（圖3f），若無天然災害應可持續生長至自然衰老而死，此結果表現出玉山圓柏為長壽型且長期處於優勢之高山樹種。而交會帶之台灣冷杉徑級結構（圖3g），在胸高直徑0~70 cm呈現一簡單線性關係，胸高直徑於70~110 cm亦呈現一水平直線。以玉山圓柏與臺灣冷杉族群構成之近純林植群交會地帶而言，此交會帶區域2樹種分布皆可能屬非最適宜地區，因此兩者共存機制值得深入研究。

五、結論

- (一) 以負指數函數模擬玉山圓柏於喬木型玉山圓柏林及交會帶玉山圓柏林之玉山圓柏與臺灣冷杉直徑分佈，均屬反J型直徑分佈。
- (二) 本就發現喬木型玉山圓柏林之玉山圓柏3個生長階段，以負指數分布函數擬合，適當反應出林分的相對密及連續直徑階之間的削減速率，結果顯示初期階段削減速率最高、其次是晚期、中期階段削減速率低，而交會帶玉山圓柏林分結構亦有此類似現象。

- (三) 透過密度—胸高直徑半對數圖，簡單線性迴歸驗證玉山圓柏然林三種生長階段林分密度中，以各生長階段之直徑階間的負斜率，說明各生長階段之遞減速率的不同，反映出老熟林不對稱U型死亡率之現象。

六、謝誌

本研究承蒙行政院農業委員會林務局東勢林區管理處之經費補助外，於研究期間之協助及提供寶貴意見，特此致謝，另國立中興大學森林學系森林植物分類與生態研究室同學們於野外調查之辛勞，謹此致上由衷謝意。

七、引用文獻

- 王偉、邱清安、蔡尚惠、許俊凱、曾喜育、呂金誠 (2010) 雪山主峰沿線植物社會調查研究。林業研究季刊 32(2): 15-34。
- 李久先、陳朝圳 (1991) 濁水溪集水區天然林林分結構與樹種組成之研究。臺灣省立博物館年刊 34: 11-31。
- 辛冠霖、謝宗欣 (2010) 塔關山鐵杉林動態樣區樹種組成。環境與生態學報 3(2): 1-19。
- 周盈杉、謝宗欣 (2008) 南橫中之關暖溫帶闊葉林植群分析。環境與生態學報 1(2): 27-46。
- 林旭宏、賴國祥 (1999) 瑞岩溪紅檜林型組成及其徑級分布之研究。特有生物研究1(1): 49-60。
- 林志銓、曾喜育、蔡尚惠、王志強、王偉、呂金誠 (2011) 雪山翠池玉山圓柏林植物社會之研究。林業研究季刊 33(4): 33-50。
- 林傑斌、林川雄、劉明德、飛捷工作室 (2004) SPSS 12統計建模與應用實務。博碩文化共814頁。
- 柳楮 (1971) 臺灣植物群落之分類II 高山寒原及針葉樹林群系。臺灣省林業試驗所報告 203: 1-24。
- 胡云云、閔志強、高延、馮啓祥 (2011) 擇伐對天然雲冷杉林林分生長和結構的影響。林

- 業科學 47(2): 15-24。
- 張至善 (1992) 北大武山針闊葉樹自然保護區鐵杉林分組成與塊集構造之研究。國立臺灣大學森學研究所碩士論文，共68頁。
- 張哲彰 (1993) 北大武山針闊葉樹自然保護區鐵杉林森林動態之研究。國立臺灣大學森學研究所碩士論文，共63頁。
- 陳文年、吳寧、羅鵬 (2005) 岷江上游祁連山圓柏群落結構研究。應用生態學報 16(2): 197-202。
- 黃群修 (1994) 雪山北坡臺灣冷杉林森林動態與族群結構之研究。國立臺灣大學森學研究所碩士論文，共89頁。
- 楊勝任、吳禎祺、陳建帆、陳君傑 (2008) 臺灣穗花杉族群之植物社會結構組成分析。中華林學季刊 41(3): 295-308。
- 楊遠波 (2007) 臺灣油杉植群統整之研究。行政院農業委員會保育研究系列95-29號，共58頁。
- 歐辰雄、呂金誠、林鴻志 (2003) 大雪山地區植群生態之調查研究。國家公園學報 13(1): 33-61。
- 應紹舜 (1976) 雪山地區高山植群的研究。中華林學季刊9(3): 119-135。
- 謝小魁、蘇東凱、劉正綱、于大炮、周莉、代立民 (2010) 長白山原始闊葉紅松林徑級結構模擬。生態學雜誌 29(8): 1477-1481。
- 顏添明 (1997) 臺灣大雪山地區紅檜人工林生長收穫系統之研究。國立中興大學森林學系博士論文，共178頁。
- 蘇鴻傑 (1974) 臺灣高山地區之香柏群落。台大實驗林研究報告113: 101-112。
- 蘇鴻傑 (1988) 雪山香柏保護區植群生態之研究。林務局保育研究系列，共123頁。
- Aynekulu, E., M. Denich, D. Tsegaye (2009) Regeneration response of *Juniperus procera* and *Olea europaea* subsp. *cuspidata* to exclosure in a dry Afromontane forest in northern Ethiopia. Mountain Research and Development 29(2): 143-152.
- Bailey, R. L., and T. R. Dell. (1973) Quantifying diameter distribution with the Weibull function. Forest Science 19: 97-104.
- Bongers, F., J. Popma, J. M. del Castillo, and J. Carabias (1988) Structure and floristic composition of the lowland rain forest of Los Tuxtlas, Mexico. Vegetatio 74(1): 55-80.
- Chang, L. W., J. L. Hwong, S. T. Chiu, H. H. Wang, K. C. Yang, H. Y. Chang, and C. F. Hsieh (2010) Species composition, size-class structure, and diversity of the Lienhuachih forest dynamics plot in a subtropical evergreen broad-leaved forest in central Taiwan. Taiwan Journal of Forest Science 25(1): 81-95.
- Goff, F. G., and D. West (1975) Canopy-understorey interaction effects on forest population structure. Forest Science 21: 98-108.
- Gül, A. U., M. Misir, N. Misir, and H. Yavuz (2005) Calculation of uneven-aged stand structures with the negative exponential diameter distribution and Sterba's modified competition density rule. Forest Ecology and Management 214: 212-220.
- Herrick, A. M. (1945) A numerical evaluation of stand structure. Journal of Forestry 43(12): 891-899.
- Leak, W. B. (1996) Long-term structural change in uneven-aged northern hardwoods. Forest Science 42(1): 160-165.
- Lin, H. Y., K. C. Yang, T. H. Hsieh, and C. F. Hsieh (2005) Species composition and structure of a montane rainforest of Mt. Lopei in northern Taiwan. Taiwania, 50(3): 234-249.
- Lorimer, C. G., S. E. Dahir, and E. V. Nordheim (2001) Tree mortality rates and longevity in

- mature and old-growth emlock-hardwood forests. *Journal of Ecology* 89(6): 960-971
- Milios, E., E. Pipinis, P. Petrou, S. Akritidou, P. Smiris, and M. Aslanidou (2007) Structure and regeneration patterns of the *Juniperus excelsa* Bieb. stands in the central part of the Nestos Valley in the northeast of Greece, in the context of anthropogenic disturbances and nurse plant facilitation. *Ecological Research* 22: 713-723.
- Oliver, C. D., and B. C. Larson (1996) *Forest Stand Dynamics*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- SigmaPlot v.11 (2008) Systat Software, Inc. USA.
- Stambaugh, M.C., R. M. Muzika, and R. P. Guyette (2002) Disturbance characteristics and overstory composition of an old-growth shortleaf pine (*Pinus echinata* Mill.) Forest in the Ozark Highlands, Missouri, USA. *Natural Areas Journal* 22: 108-119.
- Tambe, S., and G. S. Rawat (2010) The alpine vegetation of the Khangchendzonga landscape, Sikkim Himalaya. *Mountain Research and Development* 30(3): 266-274.
- Tanouchi, H., and S. Yamamoto (1995) Structure and regeneration of canopy species in an old-growth evergreen broad-leaved forest in Aya district, southwestern Japan. *Vegetatio* 117: 51-60.
- van Auken O. W., and D. C. McKinley (2008) Structure and Composition of *Juniperus* Communities and Factors That Control Them. In O.W. van Auken (ed.), *Western North American Juniperus Communities: A Dynamic Vegetation Type*, pp.19-47. Springer Science Business Media, USA.
- Westphal, C., N. Tremer, G. von Oheimb, J. Hansen, K. von Gadow, and W. Härdtle (2006) Is the reverse J-shaped diameter distribution universally applicable in European virgin beech forests? *Forest Ecology and Management* 223: 75-83.