國立臺灣師範大學生命科學系碩士論文

台灣中部山區森林林木多樣性與林分結構在海拔上的變化趨勢

Elevational patterns in tree species diversity and forest structure in central Taiwan

研 究 生：祁中浩

Chung-Hao Chi

指導教授：林登秋博士

Lin Ten Chiu, Ph.d

中華民國一零二年一月

目錄

圖目錄

表目錄

中文摘要

生物多樣性、森林內林木的結構與葉面積指數等乃是森林生態研究上的重要參數，隨著森林生態研究尺度逐漸擴大，生態學者進一步比較不同緯度或海拔梯度森林之上述各參數所產生的變化與造成的機制。此類研究早期多在中南美洲等熱帶地區或生物多樣性熱點進行，且生物多樣性、生物量累積、樹冠高度、葉面積指數等在大部分的研究都顯示出統一的趨勢，即隨海拔高度而逐漸下降。由於台灣目前少有在海拔梯度上的比較，本研究於台灣中部尋找未受擾動的原生林或次生天然林進行調查，調查記錄樣區內所有高於 1.3 m、胸高直徑(DBH)大於 1 cm 的林木之樹種、樹高與胸高直徑。生物多樣性以豐富度表示，研究並利用二種方法估算估算生物量。此外亦整理有關各個樣區之氣候背景資料，包括歷年之各月平均降雨量、年均溫、蒸發散量與颱風擾動的資料等，並嘗試利用上述資料來解釋生物多樣性、生物量、樹冠高度和葉面積指數在海拔梯度上的趨勢。研究結果顯示生物多樣性隨海拔梯度下降且主要應受到溫度的影響。生物量與樹高皆有隨海拔梯度而增加的趨勢，本研究推測(1)水份（隨海拔上升而增加） (2)颱風擾動（隨海拔而減弱） 可能為主要造成此特殊趨勢之機制。葉面積指數在海拔梯度上呈現駝峰狀，於中海拔最高而在低海拔最低，前人推論該趨勢可能與低海拔冬季時有乾旱有關，然而統

計結果無法支持該項推論；而上述影響冠層高度與生物量累積之颱風擾動或許亦可適用於解釋葉面積指數在海拔梯度上的變化趨勢。

關鍵字：海拔梯度、生物多樣性、物種豐度、生物量、葉面積指數(LAI)、樹冠高度

英文摘要

Biodiversity, forest structure and leaf area index (LAI) are important parameters in forest ecological research. Forest ecologists are interested in understanding changes in these parameters along latitudinal and altitudinal gradients. Early altitudinal studies were conducted in tropical regions (ex. Central and South America) or biodiversity hotspots (ex. Costa Rica) in 1970, and most studies reported a general decreasing trend in biodiversity, biomass accumulation, canopy height, and LAI along the altitudinal gradient. There are very few altitudinal studies in Taiwan, I investigated undisturbed forests in the central Taiwan to examine the patterns of biodiversity, canopy height, biomass, and LAI along the altitudinal gradient. All stem > 1cm and higher than 1.3m in plots were identified to species and diameter at breast height (DBH), and tree height were measured. Biodiversity is presented as species richness. Further, we utilized two equations to biomass estimate. We also collect information of important weather parameters including mean monthly precipitation, annual mean temperature, evapotranspiration and typhoon disturbance to explore their role on controlling the altitudinal pattern of forest structure. The results indicate that biodiversity decreased with increases in altitude and may be influenced by temperature. Biomass and tree height both decreases along the altitudinal gradient. Water availability (increases with elevation) and typhoon disturbance (decreases with elevation) probably contributed to the decreasing trend. LAI showed a "hump-shape" along the altitudinal gradient. Previous research infers that this tendency might be related to occasional drought at low altitude in winter and low temperature at highest altitude. However, statistical result is unable to suppose this inference. We propose that typhoon disturbance may also be important in causing low LAI value at lower elevations in addition to its effects on biomass and tree height.

Key words: altitudinal, species richness, biomass, LAI, typhoon, canopy height

第一章　前言

一. 研究目的

森林在跨越海拔梯度乃至跨越不同地理區系等不同尺度下，其內部的各種特性，如其物種組成、林木結構等之變化，以及造成這些變化的原因，是森林生態研究上備受重視的問題(Currie and Paquin 1987, Proctor et al. 1988, Moser et al. 2007)。跨海拔之森林生態研究早期多在中南美洲或是全球生物多樣性熱點地區之雨林或山地森林進行，如科學家對於 Puerto Rico 與 Costa Rica 等熱帶森林，無論是生物多樣性、森林結構、土壤中的營養與生產力等在海拔梯度上的變化，乃至颶風擾動對森林的影響等等皆已有相當深入而全面的瞭解(Marrs et al. 1988, Brokaw 1991, Lieberman et al. 1996, Waide et al. 1998)。在這些熱帶森林所進行的研究皆發現森林內之生物多樣性、樹冠層高度等隨著海拔上升而逐漸減少或降低的趨勢(Richard 1952, Grubb 1977, Homeier et al. 2010)，並發展出多種用以解釋該現象之假說。其中較廣被接受的假說是：由於海拔梯度直接影響溫度，而溫度可影響多種與生產力相關的要素，包括植物生長季長短或水分的蒸發散、土壤微生物的活性與土壤養分的分解速率等，進而影響樹木的多樣性與結構特性(Currie 1991, Ohsawa 1995, Moser et al. 2008)。而除了進一步討論造成這些生態現象背後之機制與意義外，這些趨勢與背後機制是否具

有普遍性，或是在不同氣候帶可能出現截然不同的趨勢或促成機制亦成為研究的重點，使得跨海拔梯度類型的研究開始出現在其他不同之氣候區帶，如 Ohsawa (1995)比較亞洲地區之森林特性(林型分布、樹高、葉型態、多樣性等)在海拔與緯度上的變化，認為高緯度之溫帶森林林型隨著海拔梯度由常綠闊葉林、落葉林至針葉林，樹冠高度所呈現之變化趨勢較不明顯(直到最高海拔之森林邊界方顯著下降)，反之低緯度之熱帶森林隨海拔上升，樹冠高度通常隨著林型改變而顯著的下降；生物多樣性在海拔上的趨勢亦有類似的現象，熱帶森林的物種多樣性顯著隨海拔改變，而溫帶森林多樣性在海拔上的變動則較不顯著。Fosaa (2004)於溫帶地區之 Faroe Island 所進行之生物多樣性調查亦得到類似的結果，顯示這些森林特性在不同氣候區帶，其背後形成的機制與控制因素亦可能不盡相同。

台灣雖然在緯度上橫跨範圍相當地小，但橫跨了副熱帶與熱帶氣候區，且由於地形落差相當大，自最低海拔到最高海拔有將近 4000 公尺的落差，因此非常適合進行生物多樣性或初級生產力在海拔梯度上的變化等相關研究。然而此類研究目前尚少，多數研究仍聚焦在單一海拔、單一樣區內調查生物多樣性、生物量或是森林的組成結構等等(顏添明等 2004；鄭景鵬 2010)。因本研究調查台灣中部地區森林木本植物的生物多樣性、生物量、樹冠層高度、葉面積指數等結構特

性隨海拔梯度變化的模式，並分析其與氣候因子間的關係，期能對台灣之森林在海拔梯度上變化的關係有更深入的了解；樣區選擇在中部地區，一來因為台灣中部山區公路發達，可以較容易抵達不同海拔的森林，更重要的是中部有許多試驗樣區保有原生林或次生天然林，而且這些地方有相關的氣象資料可用以推斷海拔變化趨勢與氣象因子間的關係。此外，樣區較聚集於中部山區，可減少不同區域間基礎氣候條件，如東北季風影響程度差異的影響。

二. 生物多樣性在海拔梯度上的研究

科學家一直以來對於生物在地表上的異質性分布感到興趣，並提出多種假說來解釋生物多樣性異質性分佈的原因(MacArthur and Wilson 1967, Menge and Sutherland 1976, Harris 1984, Hubbell 2001)。而在眾多關於生物分布異質性分佈的討論中，物種豐度會隨著緯度升降而產生變化的現象為一經典而備受重視的焦點(Fischer 1960, Pianka 1966, Stevens 1989, Rohde 1992, Rosenzweig 1995)；科學家也發現海拔與生物多樣性分佈間的交互作用，似乎與生物多樣性在緯度上的變化有著異曲同工之妙(Stevens 1992, Ohsawa 1995)。

一般認為物種豐度在海拔梯度上的變化模式大致上可分為兩種：一是隨著海拔升高而呈現遞減的模式(Patterson et al. 1998)即與一般

所認為生物多樣性在緯度上的趨勢相似(Stevens 1992)，但是也有另一些學者卻提出物種豐度與海拔或緯度之間存在駝峰狀的分佈關係(Colwell and Hurtt 1994, Rahbek 1997)，Colwell and Lees (2000)提出mid-domain effect 來解釋這種現象，其假設物種之分布範圍為一等邊三角形的模式，若物種的分布範圍在緯度梯度上有兩個限制分布的邊界(例如極地與赤道)，而在界限之內，物種沿緯度的分布位置及分布範圍均為隨機時，在兩端邊界之物種會有最小分布範圍(等邊三角形底邊兩端點)；而分布中點在地理中央之物種，則會有最大分布範圍(等邊三角形頂點)，由於所有物種的分布中點都落在此等邊三角形中；因此分布中點靠近邊界的物種會有較小分布範圍，物種間分布重疊較小，而趨近中間地帶則有較大的物種重疊，故物種豐度在空間梯度的中間地帶達到最高。至今緯度、海拔與生物多樣性間的交互作用，仍然是生態研究上一個廣受討論的議題，台灣近年如葛兆年與李培芬(2003) 、許富雄等(2004)皆於台灣各地分析鳥類多樣性在海拔上的分佈型態並解釋其背後的機制。

三. 森林重要特性--生物量、葉面積指數與樹冠高度

在森林生態的研究中，主要的焦點之一是探討林分的結構特性以及其造成不同森林結構差異的原因。森林結構中物種組成、生物量、

葉面積指數與樹冠高度是常被研究探討的項目，也是本研究調查的主要內容。

3-1. 生物量

生物量是生物在生存的過程中所累積的乾重量，林木生物量是林木光合作用的初級生產量與呼吸作用的消耗、落葉、死亡，以及被植食動物所取食而的消耗量兩者之間的差異，通常會以一區域內之乾物重量來表示(劉棠瑞與蘇鴻傑 1983)。在森林生態學上，估計一個森林中林木的生物量有多種測法(王子定等 1976，王子定與高敏斌 1979，林金樹 1988)分述如下：

(一)皆伐法：皆伐法是將一定單位面積內的所有林木伐倒後測定其各部分(例如樹幹、枝、葉、果實和根系等等)的鮮重，再烘乾後稱其乾重，再將各個部位的乾重量合計，即可測得單株林木的生物量。最後再將各個單株林木的生物量相加，即可得到整個範圍內的森林總生物量。皆伐法所得到的結果通常較準確，但若皆伐面積小，恐有空間代表性的問題，另外由於所花費的時間與人力通常較多，因此一般很少採用此法，使用時多與伐木作業一起進行。

(二)平均木法：此法為先調查出研究區內所有林木平均尺寸(該處所指

的尺寸可為胸高直徑或是樹高等因子)，再選取符合平均尺寸的數株林木，將之伐倒後進行測量分析得出所有樣木之平均生物量，並將此數據作為一平均標準值，再利用此平均標準生物量乘以單位面積之林木數量後，即可獲得此研究區內之林木總生物量。此法較適合應用在人工林或是純林、同齡林。

(三)相對生長法(亦稱為回歸式法或同分計量(allometry))：首先在研究區內進行每木調查，依據林木的種類或是林木胸高直徑之徑級進行分類，並於各個分類類別中選取幾株樣木進行生物量測量，最後利用徑級或是其他參數與生物量進行迴歸分析即可得出整個研究區內的生物量。由於胸徑與樹高為一般立木調查所量測的基本林木性狀，因此也最常被用來建立與推算材積及生物量的變數(Overman et al. 1994, Bartelink 1997)。

雖然回歸式的估測容易因為樹種差異、甚至同一樹種在空間分布上的差異而影響生物量的估算結果；但其好處是可以快速且大面積的推估一範圍內的生物量，因此廣泛被使用(Brown 1997, Chave et al. 2005, 薛銘童與許博行 2003，孫正華等 2011)。

(四)冠層面積法：選定樣木後分析其生物量，再利用樣木之樹冠投影面積，就可求得樹冠面積與生物量之標準比值，並可回推出整個研究

區的總生物量。該方法在生物量的測量上極不普遍，因此少有文獻資料。

(五)遙測：隨著近年來遙測與衛星影像等技術快速發展，各類遙測資料及技術已廣泛應用於森林的研究。例如空載雷射掃瞄系統(Airborne laser scanning system)。根據彭炳勳與陳朝圳(2008)回顧多篇文獻，表示雷射科技能廣泛應用於森林資源調查與繪製，且已應用於木材資源、生物量、冠層立體空間繪製，並且能推導出單株立木位置、樹高及樹種等多種單木層級的資料(Roy and Ravan 1996, Lefsky et al. 1999, Don et al. 2003)。近年來更因為氣候變遷議題備受重視，全球之碳循環監測越顯重要，為了更加快速的測量森林之碳固定量， Lefsky (2002)以 Light detection and ranging (LiDAR)遙測技術測量三個不同生物相之森林並輔以地面調查資料進行驗證，結果顯示遙測所推估的生物量回歸式可解釋 84%之地面資料變異；Lim (2003)更提到 LiDAR 克服了早期 optical sensor 或 radar sensor 等僅較適合於單一林相或結構較不複雜的森林測量的限制。LiDAR 可提供較高解析度之水平與垂直方向資料，由此可直接得到冠層高度等重要參數並藉此推估森林的生物量與冠層容積等，顯示出遙測技術的便利性、實用性與未來在森林生態調查上的發展潛力與普遍性。

3-2. 樹冠高度

樹高是一般立木調查時最基礎而例行量測的林木性狀，是建立與推算材積及生物量常見的預測變數。但目前台灣森林生態研究上，單純針對樹高所作的研究依然甚少，而樹高目前在森林生態學上的用途大致上可分為以下兩種：

(一)樹高與材積式的關係：在受溫室效應影響甚鉅之現今，科學家對於可將二氧化碳轉為碳水化合物並儲存於自身之樹木其碳吸存的能力極為重視。量化樹木每年可固定多少的碳，可利用材積式來推估，而許多材積式的建立需依賴樹高和胸高直徑的測量(馮豐隆與羅紹麟 1986，Gifford 2000, Fukuda et al. 2003, 李宣德與馮豐隆 2008)。此外，由於樹高和胸高直徑兩因子皆可作為量測生物量回歸式之預測變數，且樹高越高，大致反應蘊含了越多的生物量，因此樹木高度在海拔梯度上的變化模式亦可作為生物量於海拔梯度上變化模式的參考。

(二)林分之結構：樹高可用以了解林分的結構，如森林垂直分布帶之組成、冠層層次等等。由於森林之冠層結構直接影響了光線進入森林之路徑與質量，而光線可造成森林冠層及底層之微環境改變，進而影響森林冠層生物多樣性與土壤內種子庫之萌發等等(Turton and Siegenthaler 2004)。

3-3. 葉面積指數(Leaf area index, LAI)在生態上的重要性

森林的能量來源為植物藉由光合作用將能量轉化固定在植物體內，而這些被植物所固定的能量即稱作初級生產力。由於葉片為植物行光合作用最主要的器官，葉面積越大，光合作用潛能越高，此外葉亦為調節蒸散作用之重要器官，可控制水分之散失，對植物的生長與存活極具影響。生態系的葉量常以葉面積指數(leaf area index, LAI)來表示，即單位土地面積上之葉面積的總量，單位為 m^2/m^2。葉面積指數是森林生態系重要的參數，其雖然無法精確地推測出一地區內的初級生產力，但仍常被用來與初級生產力一起討論(林國銓等 1994)或用來推估、代表初級生產力(Gholz 1982, Waring 1983, Wasseige 2003)，因此是許多估算初級生產力的模式裡的重要參數(Bolstad et al. 2001)；此外，葉面積指數也與生態系統內許多與生產力相關的重要指標有所關連，例如：蒸散量(McNaughton 1983)與光的穿透量(Fassnacht 1994)，葉面積指數的變動亦可反應森林受擾動的程度及回復的情形 (林登秋等 1999)。國外有許多文獻探討葉面積指數在海拔上的變化，並認為葉面積指數在海拔上的變化通常與生產力有相似的下降趨勢(Bolstad et al. 2001, Moser 2008)；然而台灣目前此類文獻仍尚少，因此本研究亦探討葉面積指數在台灣中部山區海拔梯度上的變化，期能對台灣森林特性在空間上的變異有進一步的認識。

綜合以上的討論，本研究於台灣中部山區，分析木本植物的多樣性、葉面積指數、生物量與樹冠層高度在海拔梯度上的變化型態，並探討其與環境因子，尤其是氣候因子間的關係。

第二章　實驗方法

一. 樣區概述

本實驗台灣中部山區(南投縣與花蓮縣內)不同海拔選取未遭受明顯人為干擾破壞之天然林。樣區的海拔分為：1000 m 以下、1000 至 2000 m、2000 至 3000 m、3000 m 以上，於各個海拔區中挑選一個地點。每個地點內設置 4 個 10* 15 m 的樣區，樣區間至少距離 20 m 以上。研究於各樣區中隨機挑選 6 個點，以 GPS 量測海拔與主要坡向方位，以坡度計測量坡度。優勢樹種的定義方式為在各海拔 4 樣區中至少出現 3 個樣區(以上)，且本研究僅列舉出冠層樹種。各樣區之海拔、坡度、坡向、優勢植物詳列於 Tab. 1。以下簡介各個海拔森林之氣候與土壤概況。

(一)低海拔森林：蓮華池試驗林

蓮華池試驗林位於南投縣魚池鄉五城村境內，東經 120^{o}54’，北緯 23^{o}54’，為中部濁水溪支流水里溪上游集水區，海拔高度介於 576 到 925 m，為一西陡東緩的小盆地(黃正良等 2002)。在氣候方面，蓮華池溫暖多雨，1961-2007 年間，年平均溫度為 20.8℃，平均年雨量 2,285 mm，平均相對濕度 87.1% (陸象豫等 2008)，雨量集中在 5~8 月間(約占全年雨量之 66.8%)，10~12 月為乾季(約佔全年雨量之 5.4%)。

地質為新生代第三紀砂岩及頁岩所構成，土壤具明顯之趨紅化作用，可歸類為典型濕潤極育土(Typic Paleudults)以及淡瘠弱育土(Typic Dystrochrept)(King 1986)。試驗林面積約 461 ha，目前約有 200 ha 變更為人工林，包括杉木、香杉、台灣杉、台灣肖楠、柳杉、肯氏南洋杉等針葉樹種及少數桉樹類及油茶、香椿等特用植物(黃正良等 2002)。其餘地區為亞熱帶天然闊葉樹樟櫧林，以樟科與殼斗科樹種為主。研究樣區設置在五號集水區(1, 2, 3 號樣區)與蓮華池研究中心東北方 1 公里處(木屋教室附近)之四號林區(4 號樣區)，坡向分別朝向東北方、東方、東南方與西南方，平均坡度為 15°。蓮華池樣區平均之植群密度約為 114 棵/150 m^2，樣區平均樹冠高度約為 11.5 m，平均樣區 DBH 為 5.9 cm，平均樣區植物物種數約為 26 種/150 m^2。

(二)中海拔森林：奧萬大國家森林遊樂區

奧萬大森林遊樂區位於萬大南溪與萬大北溪沖積處(23°56’45”N, 121°10’50”E)，面積約 8 ha，海拔約 1,240 m。根據 1993~2003 年氣象資料顯示該區年均溫 16.6℃，平均年降雨量為 2500mm，本區乾濕季明顯，降雨集中在 4-8 月，約佔全年降雨之 70%，期間有梅雨季並常有颱風帶來大量降雨；乾季為 10 月至翌年 1 月。地質基盤岩石以中新世廬山層板岩為主；第四紀沖積層以未固結之砂

礫層為主，主要分布於平坦階地緩斜坡面，崩積層由陡坡上滾落之岩塊和砂土堆積於坡腳而成；土壤主要以山地石質土為主，以及部份腐植壤土 (鐘國基 2005，曾喜育等 2011)。奧萬大森林遊樂園內多為原生針、闊葉混交林，並有大片之天然楓香純林。研究樣區設在鄰近奧萬大停車場後方之山坡地次生林，並遠離遊客步道以防止人為擾動的影響。樣區坡向主要朝向西南方與南方，平均坡度為 20.75°。樣區平均之植群密度約為 56 棵/150 m^2，樣區平均樹冠高度約為 14 m，平均樣區 DBH 為 10.4 cm，平均樣區植物物種數約為 15 種/150 m^2。

(三)中高海拔森林：台大梅峰山地試驗農場

梅峰農場行政區位在南投縣仁愛鄉，位於合歡山風景線的清境與鳶峰間之山凹處，由於四面環山因此較不受風勢影響，早年被稱為「沒風」。根據梅峰農場所提供的資料，農場本部位於海拔 2100 m，屬於典型的高山型溫帶氣候區。因缺乏詳細氣候資料，依梅峰農場官方網頁上的氣候資料：梅峰農場屬溫帶氣候，年平均氣溫 14℃，年平均雨量 3000 mm。而在土壤方面依張必輝(2002)的研究指出梅峰農場之土壤多屬黏質壤土，石礫所佔比例超過二分之一。區內林相屬於中海拔霧林帶，並包括有原始林、次生林、草原灌叢等演替相貌。研究樣區設置在梅峰農場內作為生態導覽與研究所保留之原始林內，林相多

以高大喬木為主，地被植物主要多是箭竹林。樣區坡向主要朝向東南方與南方，平均坡度為 10.75°。樣區平均之植群密度約為 22 棵/150 m^2，樣區平均樹冠高度約為 20.3 m，平均樣區 DBH 為 19 cm，平均樣區植物物種數約為 9 種/150 m^2。

(四)高海拔森林：特有生物研究保育中心－高海拔試驗林

高海拔樣區位於台 14 甲 35.5k 處附近，海拔約 3000 m，佔地約 250 ha。依據中央氣象局合歡山站 1990 年至 2008 年期間之氣溫、降雨量資料，本區平均年降雨量達 3787 mm，平均全年降水日數可達 155 天，主要雨量集中在 5~6 月份，平均月雨量約 550~630 mm 之間，而降雨量較少月份則是在 11~12 月期間，平均月降水量 80~90 mm (古心蘭，1999)。合歡山區域之年平均氣溫為 5.5℃， 7~8 月平均氣溫可達 9.5~9.2℃左右，而 1~2 月平均氣溫僅約有-0.3~0.4℃，並且晝夜溫差大，相對濕度在 80%左右(古心蘭 1999)。地質與土壤方面，依據金恆鑣等人(1990)針對合歡山玉山箭竹草原土壤之發育與分類研究結果指出，此處土壤環境係由崩積頁岩屑及頁岩母質發育而成，並且深度越深，質地越粗糙，表層(0~40 cm 間)為坋質黏土，至低層處(70~110 cm)為砂質壤土。其土壤大致是呈現酸性土壤，表土層之酸鹼值(pH 值)為 4.34，隨土壤深度越深，漸呈弱酸性(5.52)。有機物堆積

層約有 18 cm 厚度，土壤質地為細黏質性，依新美國新分類系統可歸為為寒冷的(土壤溫度低於 8~7.7℃左右)典型薄層暗始成土(金恆鑣等 1990)。植被多為冷杉純林、鐵杉林或冷杉林與玉山箭竹草原。研究樣區設置在農委會特有生物研究與保育中心後方之試驗林(1, 2, 3 號樣區)與瑞岩溪自然保護區內(4 號樣區)，樣區坡向分別朝東北、東南、西南與西方，平均坡度為 15.75°。樣區平均之植群密度約為 12 棵/150 m^2，樣區平均樹冠高度約為 19 m，平均樣區 DBH 為 36.3 cm，平均樣區植物物種數約為 3 種/150 m^2。

二. 生物多樣性調查方法

對樣區內的林木進行每木調查，每一樣區內除了樹高不足 1.3 公尺、或是樹木的胸高直徑小於 1 公分者忽略不調查外，其他每株樹木先標上號碼牌，並進行樹葉、枝條採樣，再帶回實驗室進行辨認樹種的工作。若無法進行採樣者(例. 樹木高度太高)，則以拍照記錄，再統計每一樣區內的植群密度、每一個海拔四個樣區內所有的物種數。

前人研究多發現生物多樣性與海拔呈現負相關趨勢，且海拔梯度也也影響溫度與雨量的變化，因此本研究以相關分析比較生物多樣性與海拔、雨量與溫度之間的關係。

三. 生物量的測量

本篇論文參考 Chave et al. (2005)所提出之回歸式：$(AGB)\equiv 0.0509*\rho D^2H$。以樹木的木材比重(ρ)、胸高直徑(D)與樹高(H)三者作為自變數推估林木地上部生物量(後簡稱 AGB 公式)。此回歸式的建構蒐集了 27 篇已發表與未發表的調查文獻，資料來源囊括了美洲、亞洲和大洋洲等地區之熱帶潮濕森林生物量，期能找出能用以概括不同林型、地理位置、氣候、海拔與演替狀態等因子之森林生物量估算的方式。而除了使用上述方法做為生物量的估算外，本研究也利用林木材積式與密度的關係來推測生物量(王義仲 2010)。該方程式為：

全株生物量= (幹材生物量+枝條生物量)*(1+根枝比)。

幹材生物量= 幹材材積*絕乾比重

幹材材積=〔π*（胸高直徑(cm)/200）^{2} *樹高〕/形數值 (形數值:參照 Australia Greenhouse Office，2002 以 3 做計算)；

枝條生物量= 幹材材積*枝條率*絕乾比重

枝條率為枝條材積對樹幹材積之比率，闊葉樹枝條率一般為 21.7~25.8%，取平均數 23.75%做計算；根枝比為地下部生物量與地上部生物量計算時之根枝比(Root/Shoot Ratio)，依 IPCC (2006)之設定值，針葉樹為 0.2，闊葉樹為 0.25。本實驗亦參考林裕仁等(2002)關

於台灣闊葉樹種與針葉樹種木材絕乾比重之調查，但因為文中並沒有詳細列舉出所有台灣樹種的木材絕乾比重，因此分別以針葉樹與闊葉樹種之平均數據(針葉樹木材絕乾比重為 0.42，闊葉樹木材絕乾比重為 0.65)來做計算。

四. 葉面積指數

本實驗利用半球面影像技術估測葉面積指數。半球面影像拍攝強烈地受到當時的天氣所影響，因強光會使樹葉或樹幹反光而高估了樹冠孔隙率與光穿透率，並因此低估葉面積指數(林登秋與江智民 2002)；而陰雨時鏡面可能受水珠干擾而無法拍攝，因此只能挑選黎明、黃昏時無直射光或天空狀態均質的陰天下方可拍攝。拍攝時，將在各個海拔的每個樣區中設置長 25 m 的樣線；樣線的設置為與樣點長軸(15 m)平行、與短軸(10 m)垂直，並以 5 m 為一單位設置拍攝點。若樣點附近皆為平坦地形且無遮蔽，則樣線兩端可延伸出樣點，但若樣點兩端有懸崖或是陡坡等無法到達的地形，則需視情況調整拍攝點(Fig. 1)。每個樣區至少都有 5 個拍攝點，且每個都間隔 5 m。

拍攝半球面影像的設備為 Nikon Coolpix 4500 相機，配合 Nikon FC-E8 魚眼鏡頭。相機需置於展開全長為 1.3 m 的腳架上且需將相機保持水平狀態；拍攝時，機身朝向正南方，使拍攝後所得的圖片上方

皆為北邊以利日後的影像分析。所得的影像以 Hemview3.43 影像分析軟體處理，即可得到該拍攝點上方之葉面積指數。

五. 樹冠高度

樹高的測量利用測高桿與雷射測距儀，雖然測高桿所得的數據較準確，但因為測高桿全長為 15 m，若樹高超過 15 m 以上則利用雷射測距儀(Nikon Laser 550AS)以三角函數求出樹高(Fig. 2)。由於樹冠高度對於林下植群可利用的資源(例. 陽光、被冠層截留的營養)與植群更新等有較顯著的影響，因此每一樣區樹高資料將另取該樣區樹高排名前 20%之資料定義為冠層樹高，並以此數值比較冠層高度在海拔梯度上的變化。

六. 氣象因子

本研究查詢相關文獻、鄰近氣象站或是中央氣象局之測站資料以收集各個樣區近 20 年之氣候資料，包括年均溫資料、雨量資料等(資料期限與來源詳列於 Tab. 2)。由於溫度、雨量、海拔三者之間關係密切且皆有可能對於生物多樣性、生物量、樹冠高度與葉面積指數等造成影響，因此本研究分析年總雨量在海拔梯度上的分佈趨勢、海拔與年均溫之間的關係和年均溫與年總雨量之間的關係。

水份對於植物的生長是不可或缺的必要營養，台灣降雨量雖大，但在時間與空間上的分佈並不均勻。為了進一步了解水份的可利用性是否為造成森林結構在海拔梯度上變化的主要機制，本研究將所收集的雨量資料整理為各樣區平均年總雨量與歷年各月份之平均雨量。然而各樣區的降雨量或許仍不足以代表水份的可利用性，若一地區雨量雖高但蒸發散量亦高，則該地的水份利用性可能依然不足而呈現缺水的狀態。本研究嘗試利用文獻資料以尋求或推算各樣區之蒸發散量，然而蒸發散量的計算相當複雜、需諸多參數，且四個地點唯蓮華池有蒸發散之相關文獻。依施鈞程(2003)曾推估蓮華池、福山、畢祿溪三個森林集水區之蒸發散量，本研究整理該篇論文中有關於蓮華池 1983-1996 年之蒸發散量數據資料，並與近 20 年蓮華池各月平均雨量互做比較(Fig. 3)。由於蒸發散量代表了水份由土壤蒸發或植物體表面蒸散流失的量，Thornthwaite(1948)建議可使用當地降雨量減去蒸發散量以評估該地乾旱程度，Vicente-Serrano(2010)為了改進先前用以計算乾旱程度的乾旱指數(drought index)所發展的 standardized precipitation evapotranspiration index(SPEI)亦使用每月之降雨量與蒸發散量的差為基礎，若蒸發散量高於降雨量則該地即可能為水份來源不足的狀態。從蓮華池的雨量與蒸發散量來看，顯示 10 月至 12 月為缺水月份，其餘月份降雨超過蒸發散量為不缺水月份；奧萬大樣區則

參考曾喜育等(2011)所提供之文獻資料設定10月至1月為缺水月份，高海拔樣區則參考古心蘭(1999)設定為 11 月至 12 月，梅峰因較少研究文獻，因此經詢問當地工作人員後，設定 11 月至 12 月為乾季。各樣區之乾季總雨量與年總雨量首先以相關分析了解兩者之間的關係，且為了進一步瞭解乾季雨量是否為影響森林結構之重要因子，本研究以各樣區乾季雨量總和與各樣區之平均年總雨量分別對生物量、總樹高平均、葉面積指數與生物多樣性做回歸分析，若是乾季總雨量多寡對於森林物種組成與結構極具影響，則回歸分析之結果應出現乾季總雨量與各參數之關係為顯著正相關，並與年總雨量呈現較不顯著之關係。

由於台灣颱風擾動頻繁，且颱風所造成的擾動可以是由巨觀到微觀的，如單株樹木倒塌乃至出現大片倒木或滑坡，也可能重新分配森林之枯落物堆積、改變營養循環與流失，或是枝條葉片斷落所形成之孔隙改變了光的可利用性等等，皆可能對森林之樹冠高度或是生物量累積造成影響，因此亦收集颱風侵襲期間之氣象資料。本研究挑選沿台灣海峽移動，未受中央山脈遮蔽對台灣中部影響較大的颱風，但受限於不同海拔樣地氣象資料不完整，僅有 2012 年 6 月份之泰利颱風(輕度，侵台路徑:九)。本研究整理泰利颱風侵台時在各海拔樣區之風速，以了解颱風擾動程度在海拔上的變化情形。

七. 統計分析

本研究使用one-way ANOVA與Tukey事後比較分析生物多樣性、生物量、樹冠高度與葉面積指數在海拔梯度上的分佈情形與是否達到顯著差異。年總雨量與海拔梯度間的關係、溫度與雨量之間的關係、海拔與年均溫的關係、乾季總雨量與年總雨量之間的關係、生物多樣性與海拔、溫度、雨量等皆係使用相關分析。在氣象因子如年總雨量和乾季總雨量對於生物多樣性、生物量、樹高平均與葉面積指數間的關係使用回歸分析以嘗試解釋影響各參數在海拔梯度上變化的機制。颱風擾動在海拔梯度上的趨勢亦使用 one-way ANOVA 與 Tukey 事後比較分析風速在海拔梯度上的差異。

第三章　結果

一. 木本植物多樣性在海拔上的趨勢

木本植物豐度顯著地與海拔呈現負相關(r = -0.989, p = 0.011)，one-way ANOVA 亦顯示多樣性在海拔梯度上有顯著差異(Fig. 4, $F_{0.05(1), 3, 12}$ = 58.25, p < 0.0001)。最低海拔的蓮華池試驗林記錄到 49 種；在 1200 公尺的奧萬大森林遊樂區共記錄到 34 種，而 2100 m 的台大梅峰農場與 3000 m 以上的合歡山高海拔樣區則分別記錄到 22 種與 7 種。物種豐度和雨量(r = -0.988, p = 0.013)呈現負相關，與年均溫呈顯著正相關(r = 0.975, p = 0.025)。

二. 生物量在海拔上的趨勢

樣區內每棵喬木的生物量在不同海拔間有顯著不同(One-way ANOVA, AGB, $F_{0.05(1), 3, 881}$ = 33.92, p < 0.0001; 材積式, $F_{0.05(1), 3, 881}$ = 37.08, p < 0.0001)，有隨海拔上升而增加的趨勢，且兩種生物量回歸式得到非常相近的結果(Fig. 5)，Tukey 事後比較顯示蓮華池、奧萬大與梅峰之間達到顯著差異，而高海拔樣區與梅峰之差異未達顯著。樣區之平均生物量雖然亦有隨海拔上升而增加的趨勢，二種估算法的結果亦十分接近，但不同海拔間的差異並不顯著(Fig. 6, AGB, $F_{0.05(1), 3 ,12}$ = 1.76, p = 0.21; 材積式, $F_{0.05(1), 3, 12}$ = 2.63, p = 0.098)。

三. 樹高在海拔上的趨勢

樹冠層高度在不同海拔間亦有顯著差異(one-way ANOVA, $F_{0.05(1), 3, 160} = 31.7$, $p < 0.0001$)，Turkey 事後比較顯示，在台大梅峰農場(20.1 m)與高海拔(19.0 m)間無顯著差異，但二者均顯著高於奧萬大(14.1 m)及蓮華池(11.5 m)，而奧萬大又顯著高於蓮華池。總樹高平均則顯示樹高在海拔梯度上亦具顯著差異(one-way ANOVA, $F_{0.05(1), 3, 881} = 42.8$, $p < 0.0001$)並隨海拔升高而逐漸增加，Tukey 事後比較顯示高海拔與梅峰間無顯著差異，且顯著高於蓮華池與奧萬大，後兩者亦無顯著差異(Fig. 7)。

四. 葉面積指數在海拔上的趨勢

葉面積指數在不同海拔間具顯著差異(one-way ANOVA, $F_{0.05(1), 3, 99} = 4.44$, $p = 0.006$) (Fig. 8)。Turkey 事後比較顯示梅峰與蓮華池葉面積指數之差異達顯著水準但與奧萬大無顯著差異；高海拔站、奧萬大、蓮華池之間差異不顯著。

五. 氣候因子

四個樣區的平均年總雨量與海拔具顯著正相關($r = 0.991$, $p = 0.009$)。各月平均雨量之趨勢顯示各樣區之最高雨量集中於夏季，在冬季時雨量普遍的下降，並以蓮華池樣區為最低(Fig. 9)。年均溫顯著

與海拔呈現負相關(r = -0.981, p = 0.019)；年均溫與年總雨量間亦呈現顯著負相關(r = -0.951, p = 0.049)。

各樣區之水份利用情形是否為影響林木結構之重要因子，回歸分析結果顯示乾季雨量和年總雨量與生物量、樹冠高度、生物多樣性三者皆顯著正相關(Fig. 10, 乾季總雨量：總樹高平均：R^2 = 0.917, p = 0.043，生物量$_{AGB}$：R^2 = 0.982, p = 0.009，生物量$_{材積}$：R^2 = 0.966, p = 0.017，生物多樣性：R^2 = 0.996, p = 0.002；年總雨量：總樹高平均：R^2 = 0.987, p = 0.007，生物量$_{AGB}$：R^2 = 0.923, p = 0.039，生物量$_{材積}$：R^2 = 0.931, p = 0.035，生物多樣性：R^2 = 0.975, p = 0.013)，與葉面積指數皆無顯著關係(乾季總雨量，R^2 = 0.058, p = 0.759；年總雨量，R^2 = 0.037, p = 0.808)；乾季總雨量與年總雨量之間呈現顯著正相關(r = 0.984, p = 0.016)。

關於颱風擾動在海拔梯度上其擾動程度是否有所差異，分析結果顯示泰利颱風在發布陸上颱風警報期間，樣區間之風速具顯著差異(One-way ANOVA, p < 0.0001)，以最高海拔的合歡山氣象站風速最強，其次是低海拔的鳳凰氣象站，並逐漸隨著海拔漸升而風速下降(Fig. 11)。

第四章　討論

一. 影響生物多樣性的因子

台灣中部山區木本植物多樣性隨海拔漸增而減少，此現象與大多數之研究結果相符合。大尺度生物多樣性究竟受到何種環境參數影響已有相當可觀的研究量與成果可供參考。如 Moser (2005)發表了於奧地利阿爾卑斯山區眾多氣候、環境異質性等因子對生物多樣性的影響。認為適合植物生長的溫度及潛勢能蒸發散量(potential evapotranspiration, PET)兩者最能用來做為評估植物多樣性分布的因子。另有許多文獻認為溫度與能量是影響物種的分布程度極重要的影響因子(Markley et al. 1982, Blasco 1984, Turner et al. 1987)。Saenger and Moverley (1985)認為溫度與位於澳洲東部海岸線六種植物的分布息息相關，且最主要的限制因素是來自冬季低溫的嚴重性與持續性對植物萌蘗的影響。而在台灣亦有相關文獻，如簡睿涵(2010)在探討影響台灣木本植物多樣性的因子中，作者亦認為年均溫對植物多樣性的影響最鉅。本研究結果顯示樹種多樣性隨著海拔升高而顯著下降，且與年均溫呈顯著正相關，皆支持溫度對生物多樣性的影響。

二. 生物量與樹冠層高度、葉面積指數在海拔上的特殊趨勢

本研究發現台灣中部山區之生物量與樹冠層高度在海拔梯度上

的變化趨勢與多數前人研究結果有明顯的不同，以往多數研究認為高海拔可能因為低溫條件而影響植物的生長，造成植物之生物量累積與低海拔相比之下較為遲緩；國外眾多關於海拔梯度與森林結構間交互作用的研究中，通常可發現樹高在海拔上的趨勢多由低海拔至高海拔漸降(Waide 1998, Aiba 1999)；或是在中海拔達最高，並逐漸往低與高海拔遞減(Lieberman 1996)。但本研究卻觀察到生物量累積在台灣中部山區森林有隨著海拔上升而增加的趨勢。樹冠層高度在海拔 2500 m 以下亦隨海拔上升而增高，且之後並無明顯下降。

本研究嘗試以氣候因子來解釋此特殊之現象，本研究推測低海拔乾季雨量較少可能為影響森林結構之因素，然而經迴歸分析後發現乾季總雨量雖對樹高、生物量或生物多樣性有顯著正相關，但在年總雨量所呈現的結果亦是如此，因此無法證明低海拔有較少的生物量與較低矮的樹高乃是低海拔乾季降水較少所造成的結果；但若由乾季雨量總和與年總雨量皆會與總樹高平均和生物量累積兩者之趨勢呈現高度正相關來看，顯示可利用的水份資源越多，可能對森林之生物量與樹高有促進作用。Fritts (1976)與 Orwig and Abrams (1997)皆指出水份供應顯著的增加植物的胸高直徑；Phillips (2009)為了瞭解氣候變遷導致的降水減少將會如何影響亞馬遜河雨林的碳吸存狀態，因此針對 2005 年發生的一次乾旱進行森林林木普查，而結果顯示乾旱造成該

地每公頃的碳吸存量下降約 5.3 Mg，且乾旱期間總共損失了約 1.2-1.6 Pg 的生物量；此外也有研究提到，水份之輸送也是限制樹高的重要因子之一(Koch et al. 2004)。上述例證皆提出水份對於植物生長的重要性，且年總雨量與海拔呈顯著正相關，顯示台灣低海拔地區可能因可利用的水份較少，進而減緩生物量的累積與樹冠高度的生長。然而，前人在比較福山試驗林(520-1230 m)與蓮華池試驗林(576-925 m)後，發現較低海拔之蓮華池卻擁有較高的冠層高度，而年雨量較高的福山試驗林冠層高度卻較低(Forsyth 2006)，該現象與本篇研究所觀察到的雨量越高的森林樹冠越高的現象不甚符合，顯示除了水的供應外，尚有其它重要因子會影響台灣森林樹高與生物量的空間變動。

颱風擾動亦可能是影響生物量累積和樹冠層高度的原因之一。Gouvenain (2003)整理前人研究文獻，提出馬達加斯加島靠近熱帶颶風(tropic cyclone)路徑之沿岸森林似乎有著與其他熱帶地區森林相較之下更為低海矮的樹冠層，且樹木之密度也顯著地較高，並推測此現象即是由頻繁的熱帶颶風擾動所造成。為了進一步探討此現象是否為馬達加斯加之地區特異性現象，或是更大尺度範圍(本篇所指為整個熱帶地區)之共同表現，Gouvenain (2003)蒐集了多篇文獻，並將其整理為 African、American 和 Indo-Malayan rain forest 三大區域，比較樹冠層高度、森林幹密度與樹幹截面積(Basal area)在盛行熱帶颶風之森

林是否與其他熱帶森林有所差異。其結果顯示大部分有颱風發生的地區樹冠層顯著較低。Forsyth (2006)於台灣的研究觀察到福山經歷颱風擾動的頻率(1.4/year)大於蓮華池試驗林(0.94/year)，而蓮華池之平均冠層高度(12.9 m)則高於福山(10.2 m)，且蓮華池的冠層形狀與福山試驗林相較之下呈現出較為不整齊(less-uniform)的趨勢，皆顯示颱風擾動可能是造成了兩座森林之間差異的主要原因。

然而上述的研究或可解釋颱風擾動造成低海拔的福山森林樹冠層低矮，但颱風擾動是否可以解釋台灣中部樹高在海拔上的變化呢？由本研究所收集的颱風風速資料來看，若先忽略高海拔森林，則可發現有著最高樹冠層的梅峰農場其風速是最低，並依序隨海拔漸低而風速逐漸提高，頗能支持颱風擾動造成林木低矮。然而高海拔氣象站所測量到的風速遠高於其他三者，樹高卻與梅峰相當而高於奧萬大與蓮華池。高海拔氣象站位於無地勢遮掩的高山上，全年風速均相當高。微環境或地理屏障效應對於森林的影響相當的大，Smalley(1984)的研究顯示地形因子可以影響生產力與森林的種類。觀察台灣中部高海拔森林分布的情形可發現森林皆位於背風面，迎風面則多為低矮的灌木或箭竹草原。由於台灣山脈走向皆為南北走向，因此颱風登入本島並朝著內陸前進時，結構即可能遭到山脈地形阻擋並被破壞等，導致風速降低(直到更高海拔處，失去地形屏障後風速方快速升高)，所造成

的擾動亦可能較低海拔為弱,顯示森林在中高海拔處或許較不易受到颱風擾動的影響;低海拔地區可能因為一直處於擾動與復原的過程,造成林木低矮,且生物量累積較慢。

颱風擾動程度在海拔梯度上的差異亦可用於解釋生物多樣性在海拔梯度上的變化。Pillips (1994)為了解釋生物多樣性在低緯度較豐富的原因,對熱帶地區之多個森林進行普查與資料收集,結果顯示森林的多樣性與樣區內的動態(樹木死亡率與再補充率)顯著相關;Burslem (1999)於所羅門群島所進行之調查結果發現樹木之物種豐度、多樣性與族群的變動率(turn-over rate)等皆與擾動的數量呈正相關,並支持 Connell (1978)提出的中等擾動假說(intermediate disturbance hypothesis),認為週期性且適度的擾動或許有助於維持或促進該環境所能容納的物種數。台灣中部山區低海拔颱風擾動較頻繁,可能有較多的孔隙與去枝條作用,並可藉此影響微環境與種子庫導致競爭排除使較多的物種可共存;高海拔擾動輕微,環境變動小,因此當地環境多由優勢種佔據導致生物多樣性的下降。

上述的資料雖然多著重於樹冠層與颱風擾動間之關係而鮮少提及生物量受颱風擾動後的情形,而許多文獻亦沒有著重在此部分上,然而我們可從其他研究中推論生物量在海拔梯度上的變化如何受到颱風所影響。Mabry et al. (1998)調查福山試驗林時發現颱風對台灣森

林所造成的影響有很大一部分是來自風雨的去葉作用(defoliation)，主幹折斷(bole break)或連根拔起(up-root)等佔極低的比例；Lin et al. (2003)於福山試驗林的研究顯示枯落物在年間的重量變異顯著的隨著該年颱風的頻度與強度增加而增加，且在有無颱風襲擊下福山森林的全年枯枝落葉總量可相差一倍以上；這些枯落物對於森林生態系內之營養循環仍有極大影響，大量枯落物代表了大量的生物量與營養的損失，從而影響林木的高度、胸徑增長以及生物量的累積，導致福山與其他副熱帶氣候森林相較之下有著較低的胸高直徑與冠層高度。雖然台灣中部所遭受的颱風擾動頻率低於東北部的福山試驗林，但以全球尺度而言，全台的颱風頻率皆相當高，顯示颱風擾動確實可能對台灣地區低海拔森林之生物量累積與冠層高度造成了限制。

除了冠層高度與生物量外，本研究發現台灣中部山區葉面積指數在海拔梯度上的趨勢與其他國外關於葉面積指數在海拔梯度上變化的相關文獻亦有差異。國外文獻大部分皆顯示葉面積指數隨海拔遞增而漸減，並解釋該趨勢乃由於葉面積指數。本研究卻發現葉面積指數在低海拔與高海拔樣區分別為最低與次低，而在中海拔略高。低溫或許是高海拔地區葉面積指數的限制因子；在低海拔方面，黃可言(2011)在解釋低海拔葉面積指數較低的原因時，推測是因為低海拔冬季時有乾季，使降雨量成為一限制因子。蓮華池之降雨量與蒸發散量

資料顯示低海拔之蓮華池森林在冬季時確實可能有乾旱，然而本研究在葉面積指數與旱季雨量、年總雨量間的迴歸分析均未顯著，推論可能是葉面積指數在梯度之間的差異過小，因此無法以缺水或水份的可利用性解釋葉面積指數在低海拔過低的原因。

颱風在海拔梯度上的擾動差異或許亦是造成低海拔葉面積指數較低的原因之一。台灣頻繁的受到颱風擾動影響，而低海拔森林所受影響較大，造成低海拔森林一直處於擾動回復的過程使得葉面積的累積較低。然而台灣目前在此方面的研究上成果依然較少，許多本研究中所推論的假說或許仍需更進一步的資料收集與驗證，才能對台灣之森林結構樣式與其背後造成該樣式之機制有更深入的了解。

參考文獻

王子定、姚榮鼐、顏秉貞、鄭欽龍 (1976) 森林生物量。中華林學季刊 9(4): 1-35。

王子定、高敏斌 (1979) 再論森林生物量。中華林學季刊 12(3): 1-2。

王義仲 (2010) 篩選淨化空氣污染物及固碳樹種，建立本土性 GIS 碳匯。環保署/國科會空污防制科研合作計畫成果報告。

古心蘭 (1999) 合歡山台灣冷杉永久樣區之植群分析。國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文。

李宣德、馮豐隆 (2008) 森林碳吸存資源調查推估模式系統－以台灣樟樹為例。台灣林業科學 23: 15-26。

林金樹 (1988) 空載多譜掃描資訊測估柳杉林分生物量之研究。國立台灣大學森林研究所博士論文。

林國銓 (1989) 葉面積與林木生長及其環境。台灣省林業試驗所，生態原則下的森林經營研討會論文集 127-135 頁。

林國銓、洪富文、游漢明、馬復京 (1994) 福山試驗林闊葉林生態系生物量與葉面積指數的累積與分布。林業試驗所研究報告季刊 9(4): 299-315。

林登秋 江智民 (2002) 半球面影像在森林生態研究的應用。台灣林業科學 17(3): 387-400。

林登秋、林則桐、江智民、夏禹九、金恆鑣 (1999) 颱風對台灣東北部天然闊葉樹林林冠干擾之研究。中華林學季刊 32(1): 67-78。

林裕仁、李國忠、林俊成 (2002) 以生物量與材積關係式推估臺灣地區森林林木碳貯存量之研究。臺大實驗林研究報告 16(2):71-79。

金恆鑣、唐凱軍、黃正良、李聖餘 (1990) 合歡山玉山箭竹草原土壤之發育與分類。太魯閣國家公園管理處委託計畫成果報告。

施鈞程 (2003) 台灣森林集水區之蒸發散量推估。國立中興大學水土保持學系碩士論文。

洪富文、夏禹九、唐凱軍 (1986) 蓮華池次生暖溫帶山地與林地上部生物量及葉面積之估算。台灣省林業試驗所試驗報告第 465 號。

孫正華、顏添明、李久先 (2011) 不同相對關係式推估針葉樹及竹類地上部生物量之比較。林業研究季刊 33(1)：1-8。

張必輝 (2002) 台大山地實驗農場梅峰地區不同經歷之土壤肥力特性與其上之植物營養特性。台灣大學農業化學研究所碩士論文。

許富雄、姚正得、林瑞興、楊吉宗、賴肅如 (2004) 台灣南部地區的

鳥種組成與海拔分布。特有生物研究 6(2): 41-66。

陳青香、林登秋、黃正良 (2007) 台灣中部蓮華池試驗林天然闊葉林與人工杉木林葉面積指數變動及其對初級生產力估算之影響。台灣林業科學 22(4): 423-439。

陸象豫、黃良鑫、黃惠雪 (2008) 行政院農業委員會林業試驗所，林業試驗所蓮華池研究中心氣象紀錄彙整 (1997-2007)。

彭炳勳、陳朝圳 (2008) 應用空載光達資料推測林木樹高與葉面積指數。航測及遙測學刊 13(2): 85-100。

曾喜育、曾彥學、何伊喬、郭礎嘉、邱清安、呂金誠 (2011) 奧萬大楓林區辛樂克颱風後林木生長與存活研究。林業研究季刊 33(4): 1-20。

馮豐隆、羅紹麟 (1986) 台灣二葉松人工林生長與收穫之研究。中華林學季刊 19(2): 17-31。

黃可言 (2011) 鳥類物種豐富度與初級生產力在中台灣海拔梯度上的關係。國立台灣大學生物資源暨農學院森林環境暨資源學系碩士論文。

黃正良、金恆鑣、陸象豫、廖學誠、陳明杰 (2002) 蓮華池試驗林森林水文研究之回顧分析。國立台灣大學農學院實驗林研究報告 16: 95-114。

葛兆年、李培芬 (2003) 台灣北部繁殖鳥類之海拔分布型態。台灣林業科學 18(4): 349-361。

劉棠瑞、蘇鴻傑 (1983) 臺灣商務印書館，森林植物生態學 462 頁。

鄭景鵬 (2010) 臺灣二葉松人工林生育地環境對林分結構、蓄積量與生物量影響之研究。國立嘉義大學森林暨自然資源學系研究所碩士論文。

薛銘童、許博行 (2003) 關刀溪次生闊葉林地上部生物量與葉面積指數之研究。林業研究季刊 25(2) : 11-24。

鍾國基 (2005) 萬大溪濱溪植群生態研究。國立嘉義大學林業暨自然資源研究所碩士論文。

簡睿涵 (2010) 台灣木本植物多樣性影響因子之探討。國立台灣大學生物資源暨農學院森林環境暨資源學系碩士論文。

葛兆年、李培芬 (2003) 台灣北部繁殖鳥類之海拔分布型態。台灣林業科學 18(4): 349-361

Aiba, S. and Aiba, S. and K. Kitayama. 1999. Structure, composition and species diversity in an altitude-substrate matrix of rain forest tree communities on Mount Kinabalu, Borneo. Plant Ecology 140: 139-157.

Bartelink, H. H. 1997. Allometric relationships for biomass and leaf area of beech (Fagus sylvatica L). Ann Sci For 54: 39-50.

Blasco, F. (1984) Climatic factors and the biology of mangrove plants.

The mangrove ecosystem: research methods. Monographs in Oceanographic Methodology 8: 18-35.

Bolstad, P. V., J. M. Vose, and S. G. McNuIty. 2001. Forest Productivity, Leaf Area, and Terrain in Southern Appalachian Deciduous Forests. Forest Science 47: 419-427.

Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. Forestry Paper 134, Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.

Burslem, D. F. R. P. and Whitmore, T. C. 1999. Species diversity, susceptibility to disturbance and tree population dynamics in tropical rain forest. Journal of Vegetation Science 10: 767-776.

Chave, J. et al. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. Oecologia 145: 87-99.

Colwell, R. K. and D. C. Lees. 2000. The mid-domain effect: geometric constraints on the geography of species richness. Trends in Ecology & Evolution 15: 70-76.

Colwell, R. K. and G. C. Hurtt. 1994. Nonbiological gradients in species richness and a spurious Rapoport effect. The American Naturalist 144: 570-595.

Connell, J.H. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. Science 199: 1302-1310.

Currie, D. J. and V. Paquin. 1987. Large-scale biogeographical patterns of species richness of trees. Nature 329: 326-327.

Currie, D. J. 1991. Energy and Large-Scale Patterns of Animal- and Plant-Species Richness. The American Naturalist 137(1): 27-49.

Don, J., R. K. Kaufmann, R. B. Myneni, C. J. Tucker, P. E. Kauppi, J.

Liski, W. Buermann, V. Alexeyev, and M. K. Hughes. 2003. Remote sensing estimates of boreal and temperate forest woody biomass: carbon pools, sources, and sinks. Remote Sensing of Environment 84: 393-410.

Fassnacht, k. S., S. T. Gower, J. M. Norman, and R. E. McMurtrie. 1994. A comparison of optical and direct methods for estimating foliage surface area index in forests. Agricultural and Forest Meteorology 71: 183-207.

Fischer, A. G. 1960. Latitudinal variations in organic diversity. Evolution 14: 64-81.

Fosaa, A. M. 2004. Biodiversity patterns of vascular plant species in mountain vegetation in the Faroe islands. Diversity and Distributions 10: 217-223.

Fritts, H. C. 1976. Tree rings and climate. Academic Press, London.

Fukuda, M., T. Ieharaa, and M. Matsumoto. 2003. Carbon stock estimates for sugi and hinoki forests in Japan. Forest Ecology and Management 184: 1-16.

Gholz, H. L. 1982. Environmental limits on aboveground net primary production, leaf area, and biomass in vegetation zones of the Pacific Northwest. Ecology 63: 469-81.

Gifford, R. M. 2000. Carbon contents of above-ground tissues of forest and woodland trees. National Carbon Accounting System technical report ; no. 22.

Grubb, P.J. 1977. Control of forest growth and distribution on wet tropical mountains. Annual Review of Ecology & Systematics 8: 83-107.

de Gouvenain, R. C. and J. A. Silander Jr. 2003. Do tropical storm regimes influence the structure of tropical lowland rain forests? Biotropica 35(2): 166-180.

Forsyth, E. 2006. Patterns of Typhoon Damage in Two Subtropical Forests. Candidate for Bachelor of Science in Environmental Science, Brown University.

Harris, L. D. 1984. The fragmented forest: island biogeography theory and the preservation of biotic diversity. University Of Chicago Press, Chicago.

Homeier, J., S. W. Breckle, S. Gu̇nter3, R. T. Rollenbeck, and C. Leuschner. 2010. Tree diversity, forest Structure and productivity along altitudinal and topographical gradients in a species-rich Ecuadorian montane rain forest. Biotropica 42(2): 140-148.

Hubbell, S. P. 2001. The unified neutral theory of biodiversity and biogeography. Princeton University Press, New Jersey.

King, H. B. 1986. The classification of two forest soils in Lien-Hua-Chi experimental watershed: an attempt to use USDA comprehensive system of soil classification. Bull Taiwan For Res Inst New Ser 1(2): 155-76.

Koch, G.W., S. C. Sillett, G. M. Jennings, and S. D. Davis. 2004. The limits to tree height. Nature 428: 851-854.

Lefsky, M. A., D. Harding, W. B. Cohen, G. Parker, and H. H. Shugart. 1999. Surface lidar remote sensing of basal area and biomass in deciduous forests of eastern Maryland, USA. REMOTE SENS. ENVIRON 67: 83-98.

Lefsky, M. A., W. B. Cohen, D. J. Harding, G. G. Parker, S. A. Acker, and

S. T. Gower. 2002. Lidar remote sensing of above-ground biomass in three biomes. Global Ecology & Biogeography 11: 393-399.

Lieberman, D., M. Lieberman, R. Peralta, and G. S. HartshornSource. 1996. Tropical forest structure and composition on a large-scale altitudinal gradient in Costa Rica. Journal of Ecology 84: 137-152.

Lin, K. C., S. P. Hamburg, S. L. Tang, Y. J. Hsia, and T. C. Lin. 2003. Typhoon effects on litterfall in a subtropical forest. Can. J. For. Res. 33: 2184-2192.

Lim, K., P. Treitz, M. Wulder, B. St-Onge, and M. Flood. 2003. Lidar remote sensing of forest structure. Progress in Physical Geography 27: 88-106.

Luo, T., R. P. Neilson, H. Tian, C. J. Vörösmarty, H. Zhu, and S. Liu. 2002. A model for seasonality and distribution of leaf area index of forests and its application to China. Journal of Vegetation Science 13: 817-830.

Luo, T., Y. Pan, H. Ouyang, P. Shi, J. Luo, Z. Yu, and Q. Lu. 2004. Leaf area index and net primary productivity along subtropical to alpine gradients in the Tibetan Plateau. Global Ecology and Biogeography 13: 345–358.

Mabry, C. M., S. P. Hamburg, T. C. Lin, F. W. Horng, H. B. King, and Y. J. Hsia. 1998. Typhoon disturbance and stand-level damage patterns at a subtropical forest in Taiwan. Biotropica 30(2): 238-250.

MacArthur, R. H. and E. O. Wilson. 1967. The theory of island biogeography. Princeton University Press, New Jersey.

Markley, J. L ., C. McMillan, and G. A. Thompson J R. 1982. Latitudinal differentiation in response to chilling temperatures among populations of three mangroves, *Auicemza germinans, Laguncularia raceinosa* and *Rhizophora mangle,* from the western tropical Atlantic and Pacific Panama. Canadian Journal of Botany 60: 2704-27 15.

Marrs, R. H., J. Proctor, A. Heaney, and M. D. Mountford. 1988. Changes in Soil nitrogen-mineralization and nitrification along an altitudinal transect in tropical rain forest in Costa Rica. Journal of Ecology 76: 466-482.

McNaughton, K. G. and P. G. Jarvis. 1983. Predicting effects of vegetation changes on transpiration and evaporation. In water deficits and plant growth. Academic, London, 7: 1-47.

Menge, B. A. and J. Sutherland. 1976. Species diversity gradients: synthesis of the roles of predation, competition, and temporal heterogeneity. The American Naturalist 110: 351-360.

Moser, D., S. Dullinger, T. Englisch, H. Niklfeld, C. Plutzar, N. Sauberer, H. G. Zechmeister, and G. Grabherr. 2005. Environmental determinants of vascular plant species richness in the Austrian Alps. Journal of Biogeography 32: 1117-1127.

Moser, G., D. Hertel, and C. Leuschner. 2007. Atitudinal change in LAI and stand leaf biomass in tropical montane forests: a transect study in Ecuador and a pan-tropical meta-analysis. Ecosystems 10: 924-935.

Moser, G., M. Ro¨derstein, N. Soethe, D. Hertel, and Leuschner, C. 2008. Altitudinal Changes in Stand Structure and Biomass Allocation of Tropical Mountain Forests in Relation to Microclimate and Soil chemistry. Ecological Studies, 198. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 229-242.

National Greenhouse Gas Inventories Programme. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4.

Neilson, R. P. 1995. A model for predicting continental-scale vegetation distribution and water balance. Ecological Applications **5**: 362-385.

Ohsawa, M. 1995. Latitudinal comparison of altitudinal changes in forest structure, leaf-type, and species richness in humid monsoon Asia. Vegetatio 121: 3-10.

Orwig, D. A. and M. D. Abrams. 1997. Variation in radial growth responses to drought among species, site, and canopy strata. Trees 11:474-484.

Overman, J. P. M., H. J. L. Witte, and J. G. Saldarriaga. 1994. Evaluation of regression models for aboveground biomass determination in Amazon rainforest. Journal of Tropical Ecology 10 (02): 207-218.

Patterson, B. D., D. F. Stotz, S. Solari, W. Fitzpatrick, and V. Pacheco. 1998. Contrasting patterns of elevational zonation for birds and mammals in the Andes of southeastern Peru. Journal of Biogeography 25: 593–607.

Phillips, O. L., et al. 2009. Drought sensitivity of the Amazon rainforest. Science 323: 1344-1347.

Phillips, O. L., P. Hall, A. H. Gentry, S. A. Sawyer, and R. Vasouez. 1994. Dynamics and species richness of tropical rain forests. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 91: 2805-2809.

Pianka, E. R. 1966. Lattitudinal gradients in species diversity: A review of concepts. The American Naturalist 100: 33-46.

Proctor, J., Y. F. Lee, A. M. Langley, W. R. C. Munro, and F. M. Robertson. 1988. Ecological studies on Gunung Silam, a small ultrabasic mountain in Sabah. I. Environment, forest structure and floristics. Journal of Ecology 76: 320-340.

Rahbek, C. 1997. The relationship among area, elevation, and regional species richness in Neotropical birds. The American Naturalist 149: 875-902.

Richards, P.W. 1952. The Tropical Rain Forest. Cambridge University Press, London.

Rohde, K. 1992. Latitudinal gradients in species diversity: the search for the primary cause. Oikos 65: 514-527.

Rosenzweig, M. L. 1995. Species diversity in space and time. Cambridge University Press, Cambridge.

Roy, P. S. and S. A. Ravan. 1996. Biomass estimation using satellite remote sensing data—An investigation on possible approaches for natural forest. J. Biosci 21(4): 535-561.

Saenger, P. and J. H. Moverley. 1985. Vegetative phenology of mangroves along the Queensland coastline. Proceedings of the Ecological Society of Australia 13: 257-265.

Smalley, G.W. 1984. Classification and evaluation of forest sites in the Cumberland Mountains. USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station, New Orleans, La., USA. Gen. Tech. Rep. SO-50.

Stevens, G. C. 1989. The Latitudinal gradient geographical range: how so many species coexist in the tropics. The American Naturalist 133:

240-256.

Stevens, G. C. 1992. The elevational gradient in altitudinal range: An extension of Rapoport's latitudinal rule to altitude. The American 140: 893-911.

Thornthwaite, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geogr. Rev 38: 55-94.

Turner, J. R. G., C. M. Gatehouse, and C. A. Corey. 1987.Does solar energy control organic diversity? Butterflies, moths and the British climate. Oikos 48: 195-205.

Turton, S. M. and D. T. Siegenthaler. 2004. Immediate impacts of a severe tropical cyclone on the microclimate of a rain-forest canopy in north-east Australia. Journal of Tropical Ecology 20:583-586.

Vicente-Serrano, S. M., S. Begueria, and J. I. Lopez-Moreno. 2010. A Multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index- SPEI. Journal of Climate 23: 1696-1718.

Waide, R. B., J. K. Zimmerman, and F. N. Scatena. 1998. Controls of Primary Productivity: Lessons from the Luquillo Mountains in Puerto Rico. Ecology 79(1): 31-37.

Waring, R. H. 1983. Estimates of forest growth and efficiency in relation to canopy leaf area. Advances in Ecological Research 13: 327-354.

Wasseige, C. D., D. Bastin, and P. Defourny. 2003. Seasonal variation of tropical forest LAI based on field measurements in Central African Republic. Agricultural and Forest Meteorology 119:

181-194.

Woodward, F. I. 1987. Climate and plant distribution. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Tab. 1.　各樣區之海拔、坡向、坡度與冠層優勢樹種概況

	海拔(m)	坡向(°)	坡度(°)	經緯度	優勢樹種
蓮華池 1	752	109°	19°	N23°55’275-	香桂
蓮華池 2	790	55°	11°	N23°55’895	江某
蓮華池 3	763	242°	10°		黃杞
蓮華池 4	770	98°	20°	E120°53’036- E120°53’655	厚殼桂 長葉木薑子
奧萬大 1	1251	235°	21°	N23°57’16-	杜英
奧萬大 2	1190	230°	9°	N23°57,17	山肉桂
奧萬大 3	1234	211°	27°		青剛櫟
奧萬大 4	1268	182°	26°	E121°10’30 - E121°10’35	青葉楠 台灣赤楠
梅峰 1	2049	152°	11°	N24°05’412-	長尾栲
梅峰 2	2044	155°	11°	N24°05’502	墨點櫻桃
梅峰 3	2064	151°	10°		紫株葉泡花
梅峰 4	2056	156°	11°	E121°10’493- E121°10’649	大葉灰木
高海拔 1	3008	114°	15°	N24°07’202-	鐵杉
高海拔 2	3013	48°	14°	N24°09’698	
高海拔 3	2959	229°	24°		
高海拔 4	2897	249°	10°	E121°15’587- E121°17’172	

Tab. 2. 各樣區之氣象資料來源

	年均溫	年雨量	蒸發散量	風速
蓮華池	陸象豫(2008) (資料期限 1961-2007)	中央氣象局 魚池氣象站 (海拔 724m) (1992-2011)	施鈞程(2003)	中央氣象局 鳳凰氣象站 (海拔 910m) (2011/6/19-21)
奧萬大	曾喜育(2011) (資料期限 1993-2003)	中央氣象局 奧萬大氣象站 (海拔 1275m) (1992-2011)	無資料	中央氣象局 盧山氣象站 (海拔 1562m) (2011/6/19-21)
梅峰	台大梅峰山地 實驗農場提供 (未列資料期 限)	中央氣象局 翠巒氣象站 (海拔 2297m) (1992-2011)	無資料	台大梅峰農場 (海拔 2060m) (2011/6/19-21)
合歡山	古心蘭(1999) (資料期限 1992-1997)	中央氣象局 合歡山氣象站 (海拔 3292m) (1992-2011)	無資料	中央氣象局 合歡山氣象站 (海拔 3292m) (2011/6/19-21)

Tab. 3. 各樣區紀錄之植物名錄

蓮華池

名稱	科名	學名
桃實百日青	羅漢松科 (Podocarpaceae)	*Podocarpus nakaii*
江某	五加科 (Araliaceae)	*Schefflera octophylla*
墨點櫻桃	薔薇科 (Rosaceae)	*Prunus phaeosticta*
九節木	茜草科 (Rubiaceae)	*Psychotria rubra*
柏拉木	野牡丹科 (Melastomataceae)	*Blastus cochinchinensis*
香桂	樟科 (Lauraceae)	*Cinnamomum subavenium*
山龍眼	山龍眼科 (Proteaceae)	*Helicia formosana*
烏皮茶	茶科 (Theaceae)	*Pyrenaria shinkoensis*
紅花八角	八角茴香科 (Illiciaceae)	*Illicium arborescens*
大葉木犀	木犀科 (Oleaceae)	*Osmanthus matsumuranus*
台灣糊樗	冬青科 (Aquifoliaceae)	*Ilex ficoidea*
山豬肝	灰木科 (Symplocaceae)	*Symplocos theophrastifolia*
垢果山茶	茶科 (Theaceae)	*Camellia furfuracea*
裡白饅頭果	大戟科 (Euphorbiaceae)	*Glochidion acuminatum*
白匏子	大戟科 (Euphorbiaceae)	*Mallotus paniculatus*
台灣紅豆樹	豆科 (Fabaceae)	*Ormosia formosana*
黃杞	胡桃科 (Juglandaceae)	*Engelhardtia roxburghiana*
瓜馥木	番荔枝科 (Annonaceae)	*Fissistigma oldhamii*
紅皮	安息香科 (Styracaceae)	*Styrax suberifolia*
厚殼桂	樟科 (Lauraceae)	*Cryptocarya chinensis*
山黃梔	茜草科 (Rubiaceae)	*Gardenla jasminoides*
杜英	杜英科 (Elaeocarpaceae)	*Elaeocarpus sylvestris*
四川灰木	灰木科 (Symplocaceae)	*Symplocos setchuensis*
薯豆	杜英科 (Elaeocarpaceae)	*Elaeocarpus japonicas*
大丁黃	衛矛科 (Celastraceae)	*Euonymus laxiflorus*
厚皮香	茶科 (Theaceae)	*Ternstroemia gymnanthera*
狗骨仔	茜草科 (Rubiaceae)	*Tricalysia dubia*
頷垂豆	豆科 (Fabaceae)	*Pithecellobium lucidum*
茜草樹	茜草科 (Rubiaceae)	*Randia cochinchinensis*
小葉樹杞	紫金牛科 (Myrsinaceae)	*Ardisia quinquegona*
山紅柿	柿樹科 (Ebenaceae)	*Diospyros morrisiana*
瓊楠	樟科 (Lauraceae)	*Beilschmiedia erythrophloia*
烏心石	木蘭科 (Magnoliaceae)	*Michelia compressa*

紅楠	樟科（Lauraceae)	*Machilus thunbergii*
小葉赤楠	桃金孃科（Myrtaceae)	*Syzygium buxifolium*
鋸葉長尾栲	殼斗科（Fagaceae)	*Castanopsis carlesii* var. *sessilis*
長尾栲	殼斗科（Fagaceae)	*Castanopsis cuspidata* var. *carlesii*
火燒栲	殼斗科（Fagaceae)	*Castanopsis fargesii*
玉山紫金牛	紫金牛科（Myrsinaceae)	*Ardisia cornudentata* ssp. *morrisonensis*
小西氏石櫟	殼斗科（Fagaceae)	*Pasania konishii*
杏葉石櫟	殼斗科（Fagaceae)	*Lithocarpus amygdalifoliu*
短尾葉石櫟	殼斗科（Fagaceae)	*Pasania harlandii*
捲斗櫟	殼斗科（Fagaceae)	*Cyclobalanopsis pachyloma*
薄葉雞屎樹	茜草科（Rubiaceae)	*Lasianthus microstachys*
圓葉雞屎樹	茜草科（Rubiaceae)	*Lasianthus plagiophyllus*
琉球雞屎樹	茜草科（Rubiaceae)	*Lasianthus fordii*
變葉新木薑子	樟科（Lauraceae)	*Neolitsea variabillima*
長葉木薑子	樟科（Lauraceae)	*Litsea acuminate*
白新木薑子	樟科（Lauraceae)	*Neolitsea sericea*

奧萬大

名稱	科名	學名
青葉楠	樟科（Lauraceae)	*Machilus zuihoensis*
台灣赤楠	桃金孃科（Myrtaceae)	*Syzygium formosanum*
五掌楠	樟科（Lauraceae)	*Neolitsea konishii*
錐果櫟	殼斗科（Fagaceae)	*Cyclobalanopsis longinux*
青剛櫟	殼斗科（Fagaceae)	*Cyclobalanopsis glauca*
栓皮櫟	殼斗科（Fagaceae)	*Quercus variabilis*
杜虹花	馬鞭草科（Verbenaceae)	*Callicarpa formosana*
牛奶榕	桑科（Moraceae)	*Ficus erecta* var. *beecheyana*
細葉饅頭果	大戟科（Euphorbiaceae)	*Glochidion rubrum*
鹿皮斑木薑子	樟科（Lauraceae)	*Litsea coreana*
黑星紫金牛	紫金牛科（Myrsinaceae)	*Ardisia virens*
楓香	金縷梅科（Hamamelidaceae)	*Liquidambar formosana*
山肉桂	樟科（Lauraceae)	*Cinnamomum insulari-montanum*
土肉桂	樟科（Lauraceae)	*Cinnamomum osmophloeum*
光蠟樹	木犀科（Oleaceae)	*Fraxinus formosana*
小葉桑	桑科（Moraceae)	*Morus australis*
台灣山桂花	紫金牛科（Myrsinaceae)	*Maesa perlaria* var. *formosana*
俄氏柿	柿樹科（Ebenaceae)	*Diospyros oldhamii*
山豬肉	清風藤科（Sabiaceae)	*Meliosma rhoifolia*
食茱萸	芸香科（Rutaceae)	*Fagara ailanthoides*
二葉松	松科（Pinaceae)	*Pinus taiwanensis*
台灣赤楊	樺木科（Betulaceae)	*Alnus formosana*
櫸樹	榆科（Ulmaceae)	*Zelkova serrate*
鐵釘樹	樟科（Lauraceae)	*Lindera erythrocarpa*
阿里山千金榆	樺木科（Betulaceae)	*Carpinus kawakamii*
大葉溲疏	虎耳草科（Saxifragaceae)	*Deutzia pulchra*
疏果海桐	海桐科（Pittosporaceae)	*Pittosporum illicioides*
拓樹	桑科（Moraceae)	*Maclura cochinchinensis*
紅楠	樟科（Lauraceae)	*Machilus thunbergii*
瓊楠	樟科（Lauraceae)	*Beilschmiedia erythrophloia*
杜英	杜英科（Elaeocarpaceae)	*Elaeocarpus sylvestris*
江某	五加科（Araliaceae)	*Schefflera octophylla*
長葉木薑子	樟科（Lauraceae)	*Litsea acuminate*
玉山紫金牛	紫金牛科（Myrsinaceae)	*Ardisia cornudentata* ssp. *morrisonensis*

梅峰

名稱	科名	學名
假長葉楠	樟科 (Lauraceae)	*Machilus japonica*
墨點櫻桃	薔薇科 (Rosaceae)	*Prunus phaeosticta*
胡氏肉桂	樟科 (Lauraceae)	*Cinnamomum macrostemon*
長尾栲	殼斗科 (Fagaceae)	*Castanopsis cuspidata* var. *carlesii*
狹葉櫟	殼斗科 (Fagaceae)	*Cyclobalanopsis stenophylloides*
鬼石櫟	殼斗科 (Fagaceae)	*Lithocarpus lepidocarpus*
紫珠葉泡花	清風藤科 (Sabiaceae)	*Meliosma callicarpaefolia*
著生珊瑚樹	忍冬科 (Caprifoliaceae)	*Viburnum aboricolum*
毛柱楊桐	茶科 (Theaceae)	*Adinandra lasiostyla*
阿里山灰木	灰木科 (Symplocaceae)	*Symplocos arisanensis*
大葉灰木 (瑞岩灰木)	灰木科 (Symplocaceae)	*Symplocos grandis*
大葉木樨	木犀科 (Oleaceae)	*Osmanthus matsumuranus*
香桂	樟科 (Lauraceae)	*Cinnamomum subavenium*
長葉木薑子	樟科 (Lauraceae)	*Litsea acuminate*
白新木薑子	樟科 (Lauraceae)	*Neolitsea sericea*
烏心石	木蘭科 (Magnoliaceae)	*Michelia compressa*
紅楠	樟科 (Lauraceae)	*Machilus thunbergii*
霧社真楠 (青葉楠)	樟科 (Lauraceae)	*Machilus zuihoensis*
山香圓	省沽油科 (Staphyleaceae)	*Turpinia formosana*
台灣山枇杷	薔薇科 (Rosaceae)	*Eriobotrya deflexa*
台灣八角金盤	五加科 (Araliaceae)	*Fatsia polycarpa*
水麻	蕁麻科 (Urticaceae)	*Debregeasia orientalis*

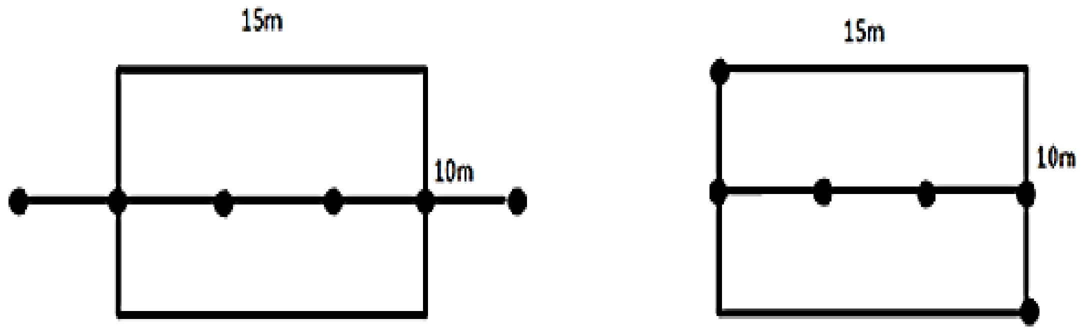

Fig. 1 半球面影像拍攝點於樣點內的分布形式。拍攝點的配置以相隔五公尺為間隔，可超出樣點外圍。

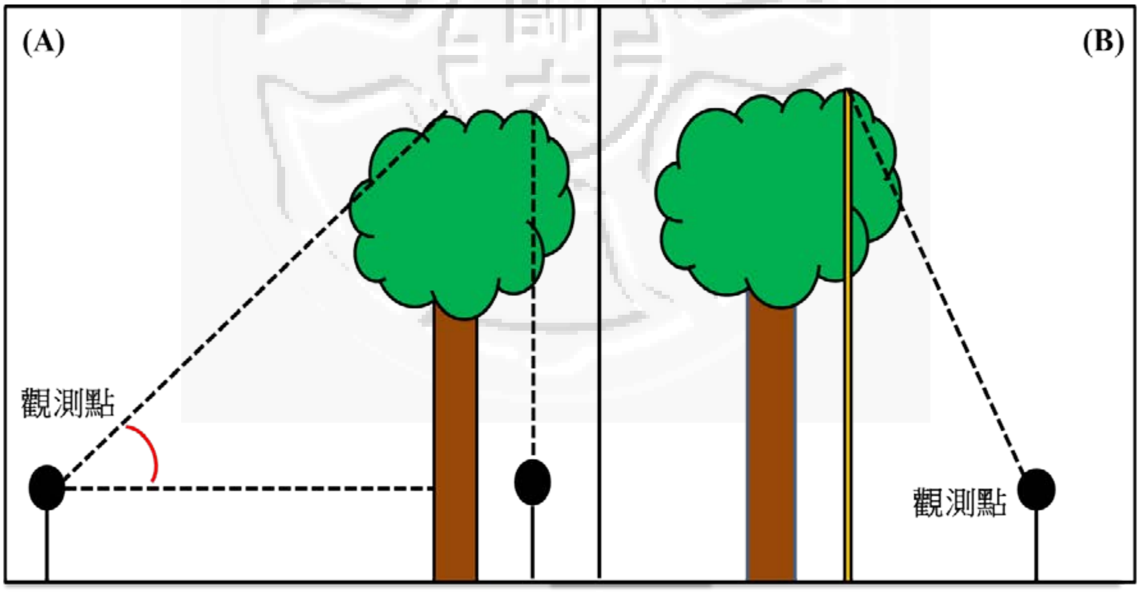

Fig. 2. 測量樹種高度的方法。**A** 為使用測距儀觀測樹高的兩種方法。**B** 為使用測高桿直接測量樹高高度。

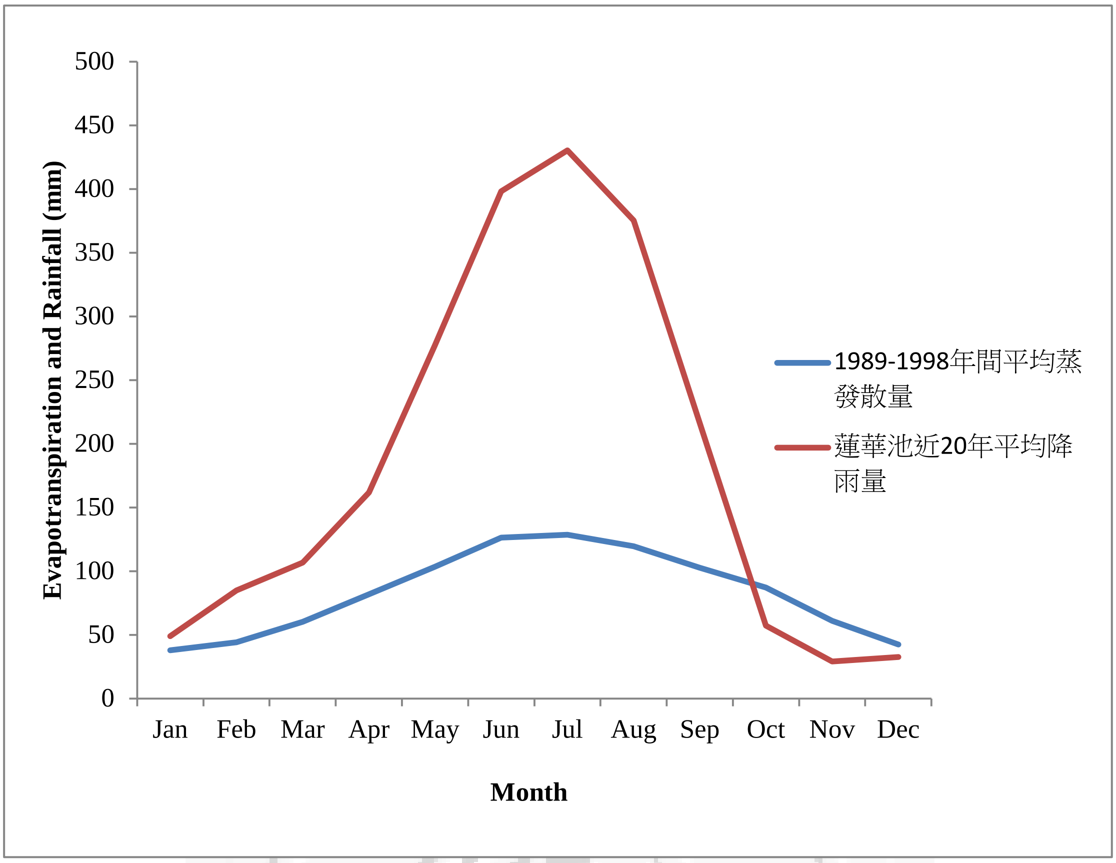

Fig. 3. 蓮華池歷年平均蒸發散量與降雨量間的關係。蒸發散量資料來源取自施鈞程(**2003**)。平均月雨量取自中央氣象局魚池氣象站所提供之 **1992-2011** 年各月平均雨量 。

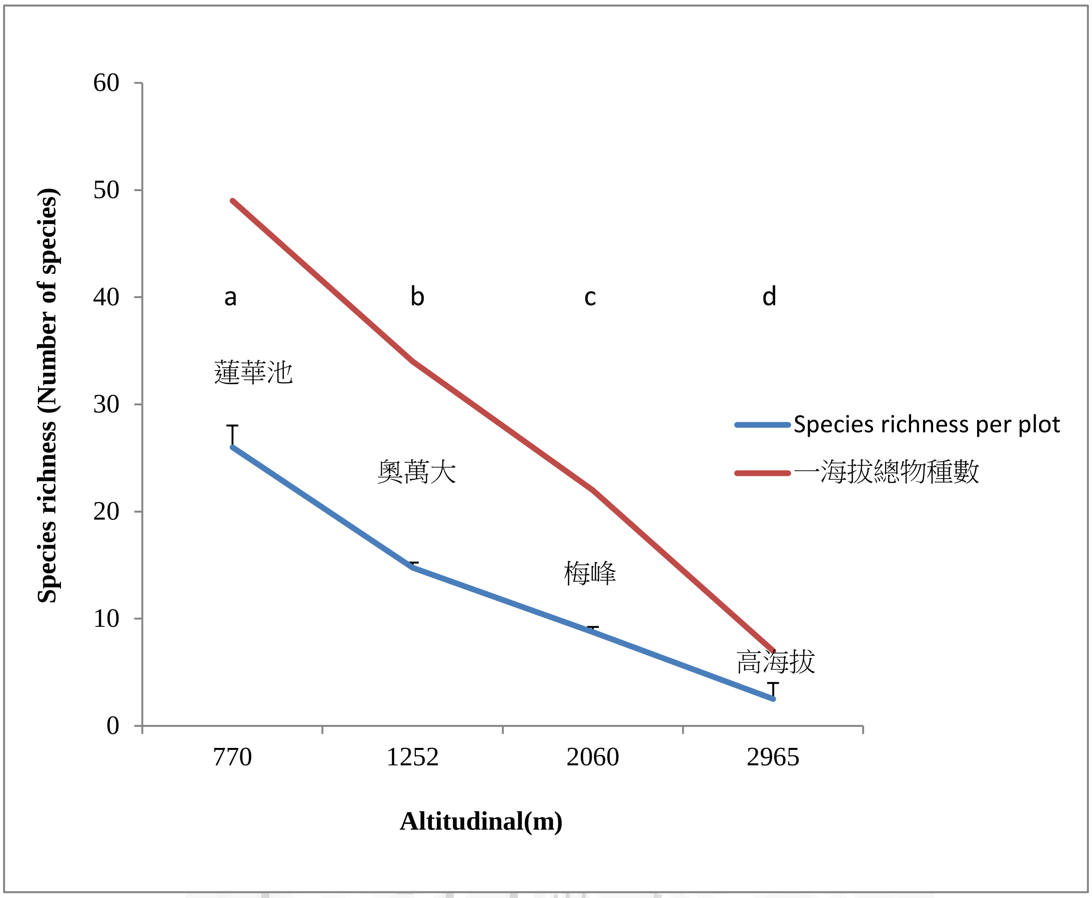

Fig. 4. 樹種豐度在海拔上的趨勢。

誤差線為標準誤差(Standard error of the mean, SEM)。在各點數據上方有任一相同字母表示 Tukey-Kramer HSD 事後比較差異不顯著 (*p* > 0.05)。

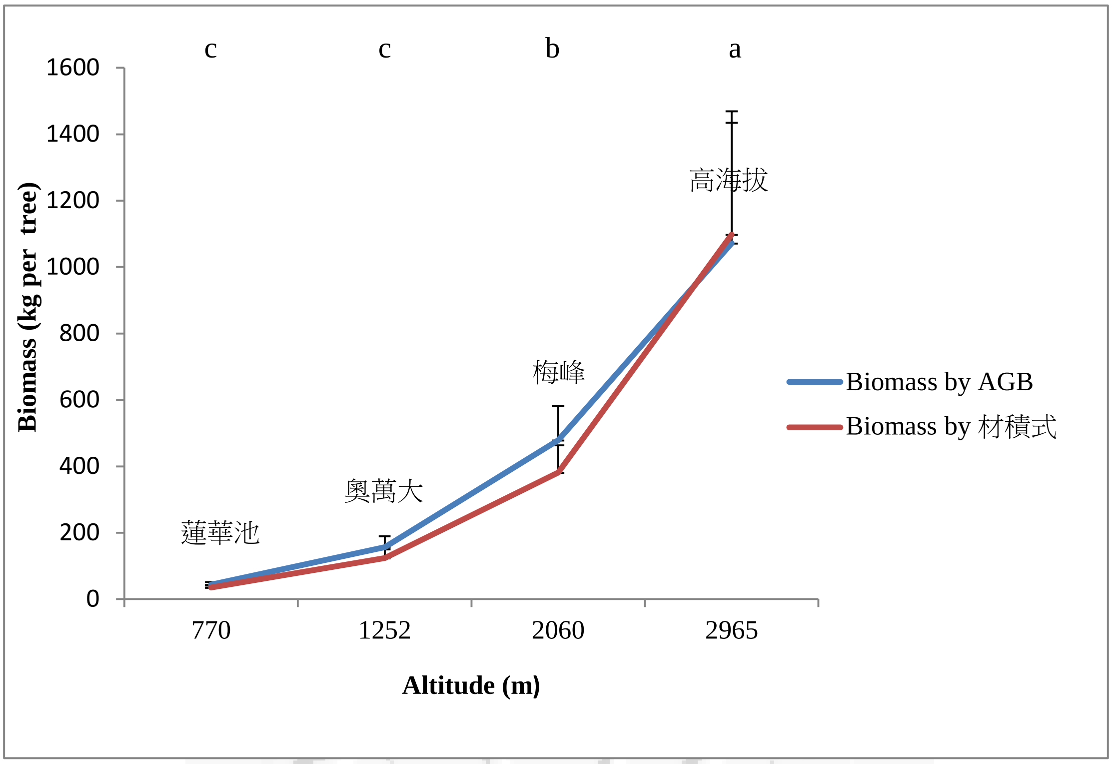

Fig. 5. 兩種公式估算生物量在海拔上的趨勢。誤差線為標準誤差(SEM)。在各點數據上方有任一相同字母表示 **Tukey-Kramer HSD** 事後比較差異不顯著(p > 0.05)

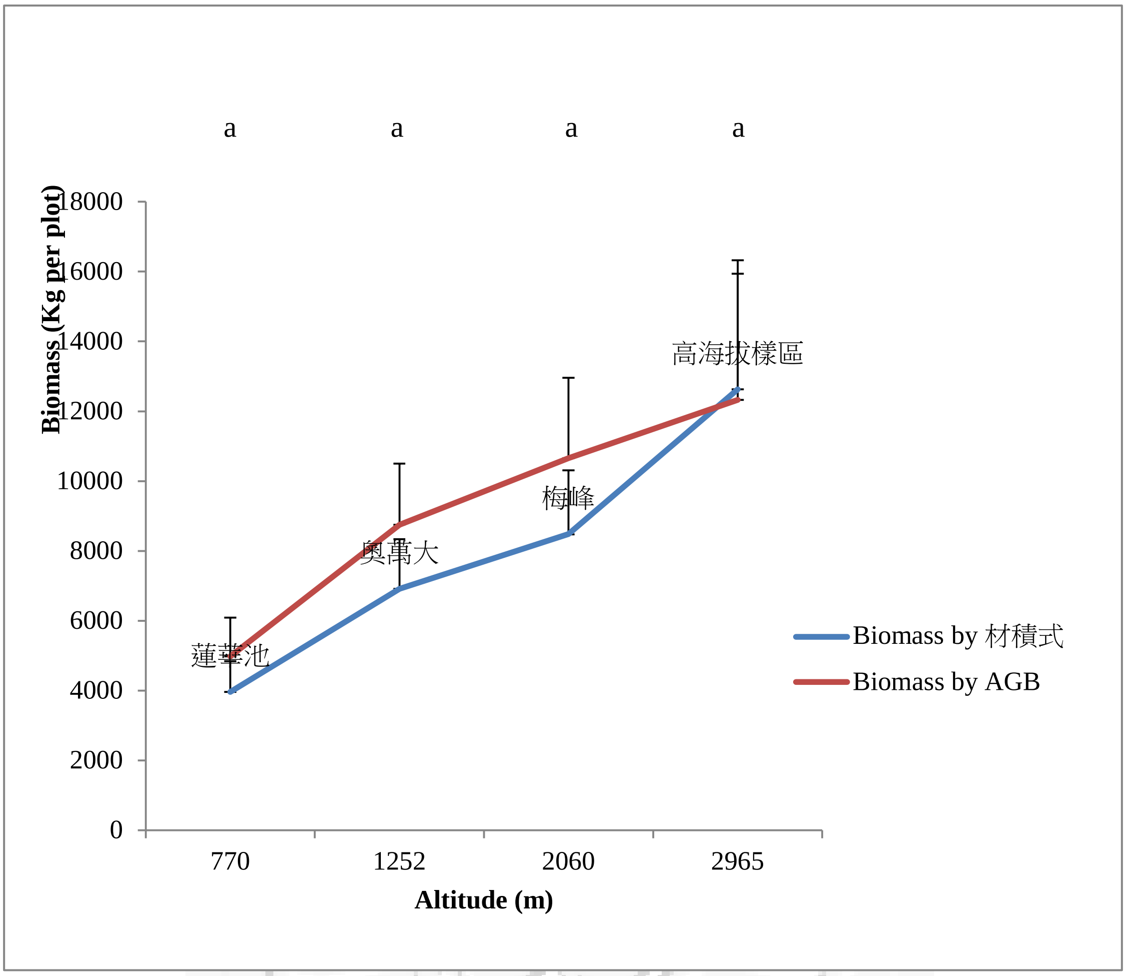

Fig. 6. 總樣區生物量在海拔上的趨勢。誤差線代表標準誤差(**SEM**)。各點數據上方有任一相同字母表示 **Tukey-Kramer HSD** 事後比較差異不顯著(**p > 0.05**)。

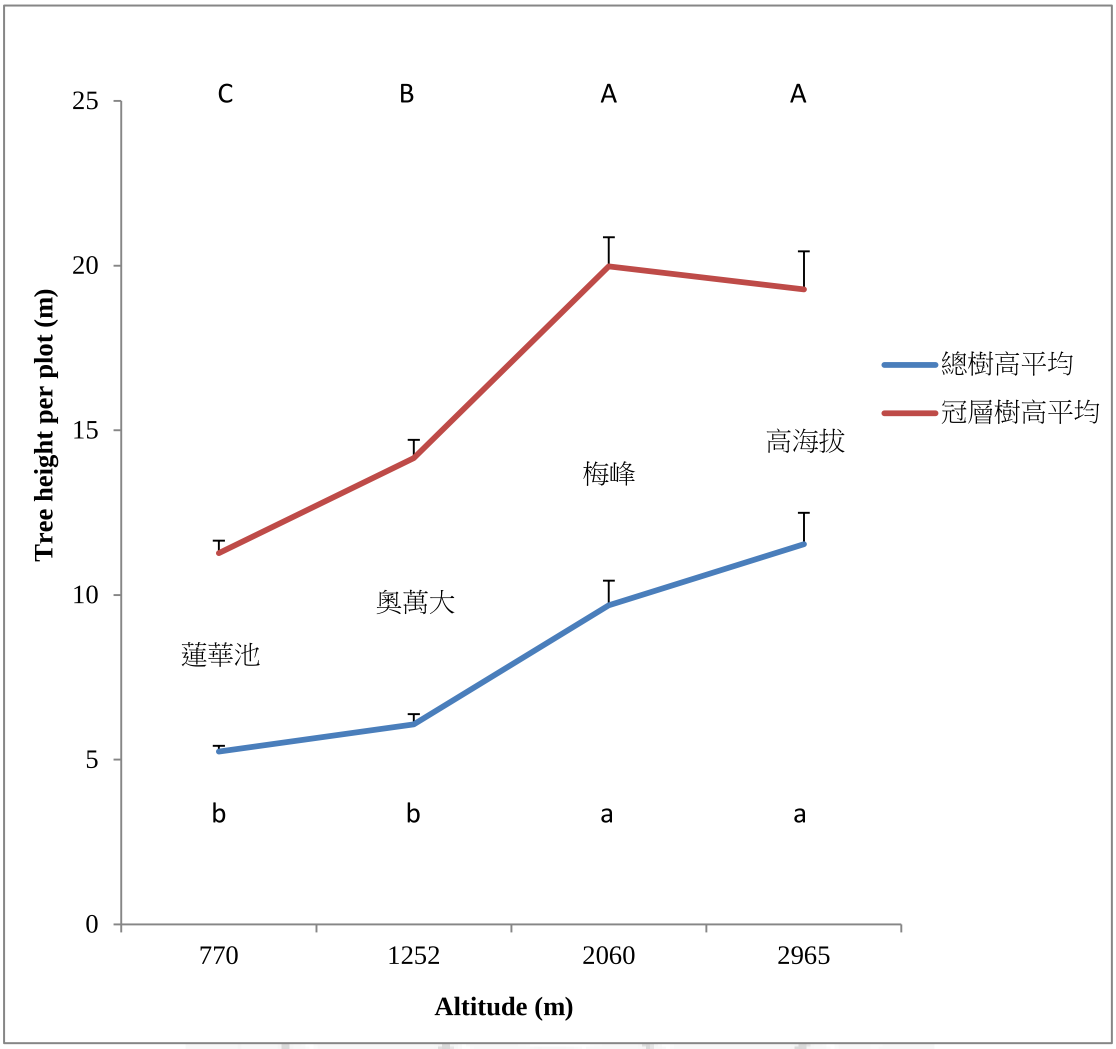

Fig. 7. **樹高平均(藍線)與樹冠高度平均(紅線)在海拔梯度上的趨勢。誤差線的計算用標準誤差(SEM)。各資料點上方有任一相同字母表示 Tukey-Kramer HSD 事後比較差異不顯著($p > 0.05$)**

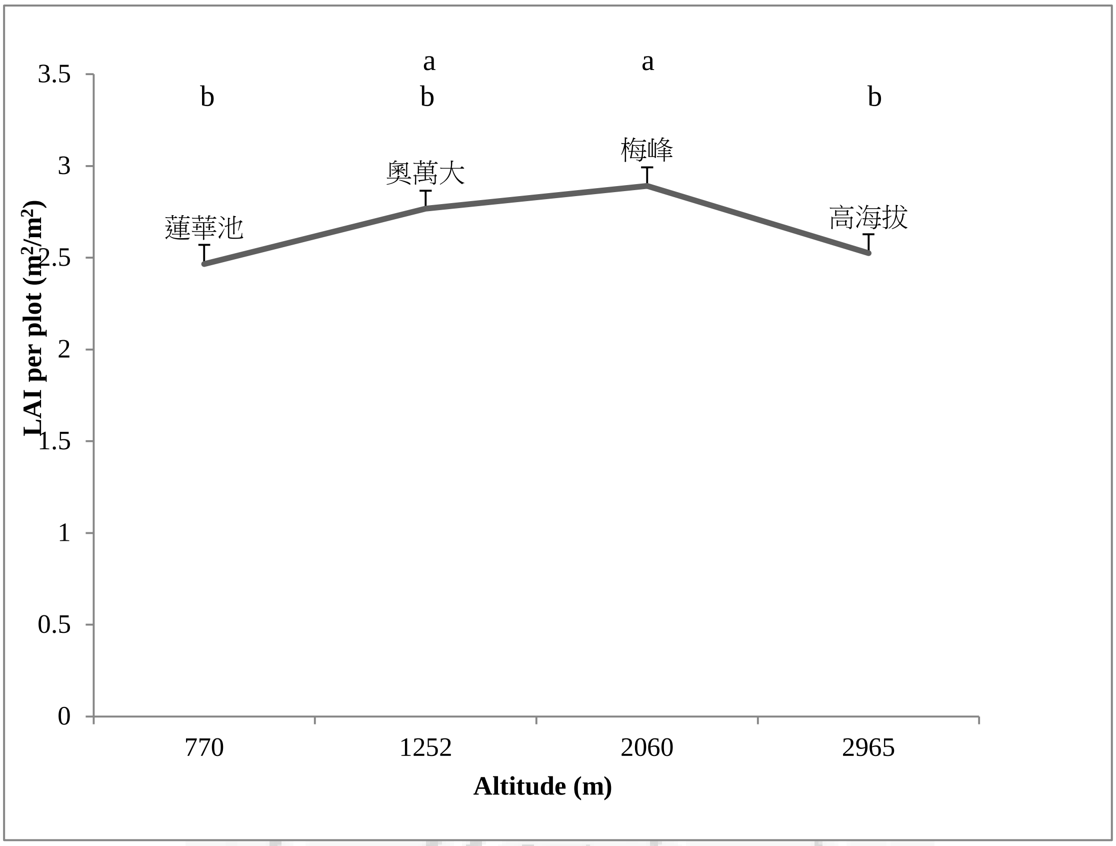

Fig. 8. LAI 在海拔上的趨勢。誤差線為標準誤差**(SEM)**。各資料點上方有任一相同字母表示 **Tukey-Kramer HSD** 事後比較差異不顯著**(p > 0.05)**。

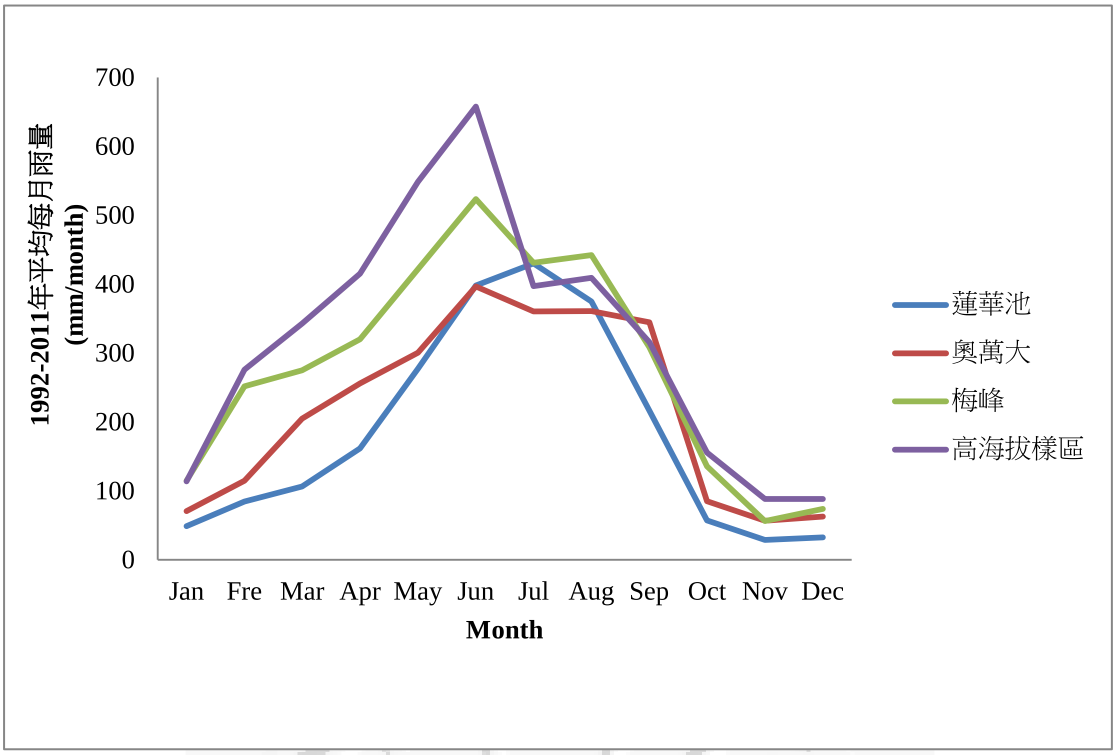

Fig. 9. 各海拔樣區近 1992-2011 之各月份平均雨量。

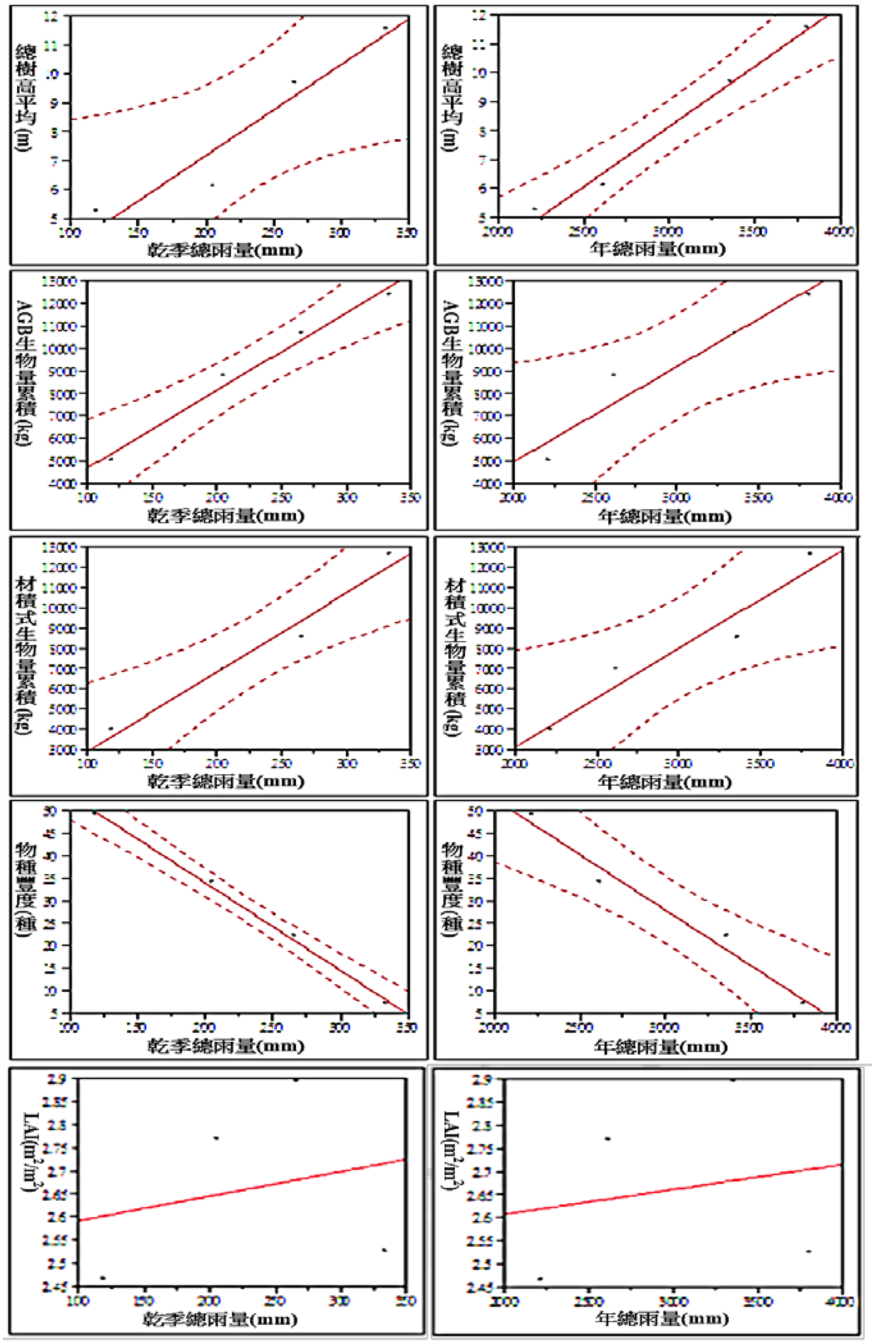

Fig. 10. 乾季總雨量與年總雨量對各項參數的迴歸分析。圖左半部 **X** 軸為乾季總雨量**(mm)**，右半部為年總雨量**(mm)**；**Y** 軸從上而下依序為**:** 總樹高平均**(m)**，**AGB** 所推算之生物量累積**(kg)**，材積式推算之生物量累積**(kg)**，物種豐度(種)，**LAI(m^2/m^2)**。虛線範圍是信心水準為 **95%**的信賴區間。

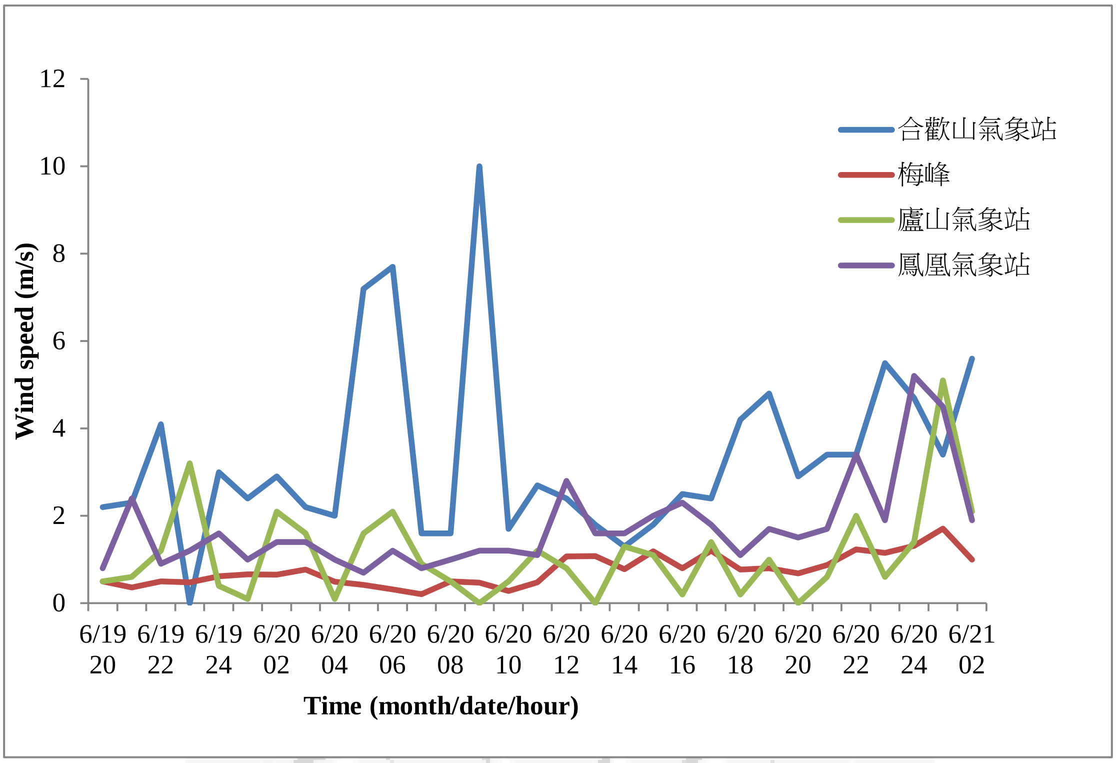

Fig. 11. 2012 年泰利颱風登陸後各海拔之風速。