

國立臺灣大學生物資源暨農學院森林環境暨資源學系

碩士論文

School of Forestry and Resource Conservation

College of Bio-Resources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

鳥類物種豐富度與初級生產力在中臺灣海拔梯度上的
關係

Bird Species Richness and Primary Productivity along an
Elevational Gradient in Central Taiwan



黃可言

Ke-Yen Huang

指導教授：丁宗蘇 博士

Advisor: Tzung-Su Ding, Ph.D.

中華民國 100 年 5 月

May, 2011

謝誌

總算，我也等到這一刻了！象徵著口試結束以及論文修完的最後一個步驟：寫謝誌。曾經我列了一個長長的清單，上面寫著從一開始到最後所要感謝的大家。然而真正開始動筆之際，卻發現自己惶恐地擔心會有所闕漏，若有任何不周到的地方，就還請各位大大們高抬貴手了。

首先要感謝特地前來為我舉辦口試的林登秋老師、許皓捷老師、以及許富雄老師。謝謝林登秋老師，在先前請教老師的過程當中，您不遺餘力地提供我更多的指導與想法，讓我能有更周全的思考，而後來也相當仔細地看過我的論文初稿，更是給了我很多幫助與建議。謝謝許皓捷老師，您在口試當中精闢地點出我仍需思考更清晰的重點，都讓我了解到還有能更謹慎與精進的空間。謝謝許富雄老師，非常詳細地看過了 my 論文初稿。在口試中，您總是和藹地提點我需要更加詳盡的部分，讓我對於口試的恐懼感降低不少。

最感謝的、最勞苦功高的還是指導老師。謝謝丁宗蘇老師，要對您說出的感謝或許寫滿兩頁也寫不完吧！我一直覺得自己很幸運，大學時進入臺大森林系便成為老師的導生，之後便一路受到老師的照顧。大學四年中每一次的歡樂導生宴，老師都會仔細詢問學生的近況與未來計畫，永遠都帶著樂於幫助學生的開朗笑容。後來在思考未來計畫與準備研究所推甄考試的路上，老師總是給了我很多建議與幫助。在如願進入森林生物多樣性研究室之後，更是在各方面都受到老師的教導與支持鼓勵。真的非常謝謝您，在影響我最多的求學階段當中，扮演了一位不可或缺的最佳導師，您不只是在學術方面教導我們，您做人處事的態度也一直都是我們的榜樣與目標。（喝飲料的能力也是）。

我也要感謝鹿兒陽老師。謝謝老師在好幾次的專題討論上，給我許多寶貴的指導與建議。讓我在指導老師出國的期間，還是能持續地追趕研究進度。也謝謝老師給了我擔任課程助教的機會，這是我夢寐以求的嘗試，也謝謝老師一直以來的包容和指導。

接下來這段落，我要謝謝在我研究過程中，協助過我的前輩們。我要謝謝煥彰學長與惟仁學長，謝謝你們都親切地告訴我：「有任何問題都可以一起討論」。而你們的論文一直被迫與我長相左右。謝謝有你們的努力與研究，我的碩士論文才能順利地進行。謝謝菜蟲學長，感謝你在我最弱的統計部分，救了我一把，著實是雪中送炭般的恩情！謝謝大維學長，感謝你在各方面的幫助，你就像是我的碩士論文大助教一般，替我解決許多的疑難雜症。在我煩躁不堪，處處受阻的時候也都以過來人的身份鼓勵我，也情義相挺的擔任我出差調查的司機與小工（真是委屈你了），謝謝你，碩論大助教！（也謝謝你教我很多喝飲料的知識）。謝謝大利學長，在 401 的吉祥物團體—F4 畢業之後，你就像是我們的精神領袖。謝謝你在我碩一時總是鼓勵我要積極認真，給我許多學術上的建議，在我焦頭爛額趕畢業進度時，拿著自己論文來鼓勵我。你許多的經驗分享，都是我碩班路上的

強心劑。

謝謝協助我出差調查的偉大幫手們，沒有你們就沒有這篇論文的誕生！謝謝鳥類調查的四位大大：煥彰學長、建龍學長、大利學長、以及劉鎮。謝謝勞苦功高的植辨高手：阿國葛格、永信學長、阿德、廷略、思怡、錢欣、小金、瀚峯，你們擁有的高超植辨能力實在讓我好羨慕！謝謝陪著我一起伸桿子，一同見證我練就鐵脖子功夫的熊大、Devil、奎佐、佑瑄。感謝你們跟我一起穿梭在臺灣中西部的山區，為了我的研究資料而努力，謝謝你們在每次出差的力挺與相伴，你們都是最棒的！

而這個段落，要給親愛的 401ers。特別要先感謝行政大主管一張美姐，謝謝張美姐多方面的協助，從公文的撰寫與送件，到後來的經費申請，讓我的研究調查能順利進行。謝謝大學姊 Elaine 在 meeting 時給予的精闢建議；謝謝勁廷總是鼓勵著我、盡力幫助我，也常聽我說著不同的煩惱；謝謝隔壁的大叔—Devil 總是不吝伸出援手，感謝你全家！謝謝田婕在我口試預講時認真扮演口試委員的精闢與專業；謝謝佩蓉，總是像位大姊姊一般聽我講著各種心情與進度煩惱，也總是在需要時絕不遲疑的情義相挺。謝謝阿霞兒，一直以來都笑容滿面的替我加油打氣，口試的時候也幫了我好多。謝謝你們，也希望你們的研究都能順利進行！

感謝一路上一起打拚的碩二夥伴們。謝謝文宜與我分享進度彼此鼓勵；謝謝進度超前的育林大助教—小狼，老是被我問很多準備口試的流程與細項；當然還有大一就認識的農化系帥哥班代們：小亮與大白，雖然後來再也沒有一起上課過，但是卻能一直當朋友到現在，偶爾見面聊幾句總都能讓我很開心，有你們的相互鼓勵總能讓我繼續努力奮鬥下去，謝謝你們！謝謝高中的寶貝瑪莉，妳每次督促我不能放棄的模樣，總在我想要偷懶的時候清晰起來，就像當年妳盯著我寫完一篇一篇數學指考考古題一般，對我來說，妳就是個擁有魯夫一般熱血與勇氣的可愛孩子，未來我們還要繼續互相扶持喔！：)

謝謝最特別的佑瑄，雖然你是小我一屆的學弟，但認識你之後，你就是我心中的支柱，也是我在臺北的家人，跟你的相遇很美好。謝謝你帶給我面對未來的開朗心情，也謝謝你陪著我度過最累的伸桿子調查，擔任歡樂搞笑又兼具撫平焦躁情緒功能的好司機好幫手。四年半多的日子當中，我們一起經歷許多不同的事情，或許不是一路平穩到現在，但總是很精彩的故事。希望你的研究也能順利完成，以後的日子也希望能彼此相伴。同時也要謝謝世上最可愛的兩隻小貓：拎拎與必魯（光看名字就知道飼主的嗜好了）。你們也是我的小家人，很高興有你們一起生活，你們可愛的模樣，就是寫論文時最棒的調劑，我愛你們。

最後這段，一定要留給永遠支持我的家人，謝謝爸爸，謝謝媽媽，謝謝哥哥。謝謝父母在我成長過程，供給我一切，給我無憂的學習環境，讓我盡情學習，並且支持我的選擇與決定。在口試將屆的日子裡，不斷鼓勵我的爸媽與相信我且幫我建立自信的哥哥。謝謝有你們，家人就是我此生最幸福的擁有，我好愛你們！

謝謝大家！謝謝那些山啊、樹啊、鳥啊！謝謝我的努力！我要畢業了！

摘要

全球環境現今變遷迅速且劇烈，為避免人為過度開發造成生物多樣性的下降，了解生物多樣性在不同空間尺度下的分布模式與影響因子便成為相當重要的課題。臺灣由於海拔跨幅大，因此相當適合進行生物多樣性在海拔梯度上變化模式的探討。過去在臺灣進行的相關研究尚缺乏對於低海拔鳥類物種豐富度的探討，因此本研究於臺灣中部地區，海拔梯度自平地延伸至合歡山的範圍內(183-3110 m)，於此海拔範圍選擇較少人為擾動的成熟林份，設立 32 個取樣站，調查鳥類群聚與植群組成。主要目的為了解在此海拔梯度內，初級生產力、鳥類族群密度、鳥類物種豐富度、木本植物物種豐富度與鳥類族群能量耗用的變化模式。此外，將更進一步探討鳥類物種豐富度與初級生產力之間的關係，以驗證其是否符合能量限制假說與其運作機制：(1)初級生產力與鳥類族群能量總耗用量的關係、(2)鳥類族群總耗用量與鳥類族群總密度的關係、(3)鳥類族群總密度與鳥類物種豐富度的關係。本研究更嘗試使用以綠葉覆蓋層次做為葉面積指數轉換的調查方式，並將此數據作為淨初級生產力的指標。野外調查於 2009 年至 2010 年間完成，結果發現鳥類物種豐富度與葉面積指數皆在中海拔地區最高，在海拔梯度上呈現駝峰狀分布。而木本植物物種豐富度則是在低海拔地區最高，並且隨著海拔梯度升高而遞減，本研究認為溫度是一重要的影響因素。鳥類物種豐富度與葉面積指數的分析結果支持能量限制假說，且在假說的運作機制部分皆完全符合，也就是鳥類物種豐富度與葉面積指數呈正相關，而各部機制部分也皆呈現正相關。因此，在海拔梯度的空間尺度下，能量的供給是影響鳥類物種豐富度的重要因子，同時，能量指標的選取以及分析方法的判定也都會是影響因素之一。在葉面積指數作為能量指標的部分，本研究亦針對數值轉換與調查法討論出建議的修正方法，以供後續選用此法的研究者參考。

關鍵字：鳥類物種豐富度、海拔梯度、葉面積指數、初級生產力、能量限制假說。



Abstract

With rapid global environment changes and growing human development, studying the distribution pattern of biodiversity at various spatial scales becomes a very important task to conserve biodiversity. Taiwan is an island with wide elevational range and is very suitable to study distribution of species richness along elevational gradient. Previous relevant studies in Taiwan seldom included bird species richness data below 1000 m. I conducted this study in old-growth forests from foothills to Mt. Ho-Haun (183- 3110 m a.s.l.) in central Taiwan in 2009 and 2010. I established 32 sampling stations to investigate community compositions of birds and trees along this elevational gradient. The objectives of this study were to (1) investigate the distribution patterns of primary productivity, bird density, bird species richness, tree species richness, and energy consumption of birds along elevational gradient, (2) examine the relationship between bird species richness and primary productivity, and (3) test three assumptions of energy limitation hypothesis. In this study, I estimated Leaf area index (LAI), an indicator of net primary productivity, by measuring leaf coverage. Results show that both bird species richness and LAI were hump-shaped along with the elevational gradient. However, tree species richness decreased with elevation. Results support energy limitation hypothesis and its three assumptions. I conclude that energy availability is a very important factor in determining bird species richness. In using LAI as index of primary productivity, I also discuss some corrections about the measurement of leaf coverage and the value transformation, which should be useful for future studies.

Keywords: bird species richness, elevational gradient, leaf area index, primary

productivity, energy limitation hypothesis.



目錄

| | |
|-------------------|--------|
| 摘要 | I-II |
| 英文摘要 | III-IV |
| 目錄 | A |
| 圖目錄 | B |
| 前言 | 1-6 |
| 研究區域 | 7-9 |
| 研究方法 | 10-15 |
| 資料分析 | 15-16 |
| 結果 | 17-20 |
| 討論 | 21-30 |
| 參考文獻 | 31-40 |
| 圖 | 41-51 |
| 表一、各海拔梯度之棲地因子平均值 | 52 |
| 附錄一、鳥類物種名錄與特定基礎半徑 | 53-56 |
| 附錄二、木本植物物種名錄 | 57-61 |
| 附錄三、各取樣站棲地因子 | 62 |
| 附錄四、各取樣站鳥種密度表 | 63-67 |

圖目錄

| | |
|-----------------------------|----|
| 圖一、研究樣區分布圖····· | 41 |
| 圖二、木本植物與海拔關係圖····· | 42 |
| 圖三、葉面積指數與海拔關係圖····· | 43 |
| 圖四、鳥類族群總密度與海拔關係圖····· | 44 |
| 圖五、鳥類物種豐富度與海拔關係圖····· | 45 |
| 圖六、鳥類能量總耗用量與海拔關係圖····· | 46 |
| 圖七、鳥類平均體重與海拔關係圖····· | 47 |
| 圖八、葉面積指數與鳥類物種豐富度關係圖····· | 48 |
| 圖九、葉面積指數與鳥類能量總耗用量關係圖····· | 49 |
| 圖十、鳥類能量總耗用量與鳥類族群總密度關係圖····· | 50 |
| 圖十一、鳥類族群總密度與鳥類族群豐富度····· | 51 |

前言

近年來，生物多樣性(biodiversity)保育的意識高漲，由於人們擔憂世界發展速度過快，環境過度破壞，太多生物種類面臨存亡危機，使得人類賴以生存的地球資源將被耗用殆盡且生態系統無法恢復。在這樣的世界潮流下，物種豐富度(species richness)在地球上的分布異質性(heterogeneity)成為生物與生態學家所感興趣的問題，希望透過詳細的了解，使地球上的生物多樣性得以維護在適當的狀況內。地球的多類生態系統中，在熱帶雨林地區的物種多樣性相當高，但在極區或是沙漠地區的生物相卻又是另外一番景象。因此，物種豐富度在不同時空條件下的變化模式，便成為很重要的探討議題。Gaston (2000)整理不同物種在不同空間尺度（區域性或本土性）或環境梯度（緯度、海拔、年降雨量、年均溫等）之下的物種豐富度變化模式，發現其中具有很大的差異性。

影響物種豐富度之分布異質度的各種環境梯度當中，海拔與緯度常是被探討的主題，而一般會認為物種豐富度在海拔梯度上的變化模式，會與其在緯度上的變化模式相同(Stevens 1992; Brown 2001)，也有研究結果顯示物種豐富度在海拔梯度上呈現遞減的變化模式(Navarro 1992; Patterson *et al.* 1998)。但是，Rahbek (1995)統整 90 組研究結果後發現，有將近半數的結果呈現物種豐富度與海拔之間是駝峰狀(hump-shaped)分布的關係，呈現負相關的研究結果則佔 21%。Rowe (2009)在美國猶他州(Utah)山區進行小型哺乳類的多樣性研究發現，其物種豐富度與海拔呈現駝峰狀關係。Marini (2011)指出在歐洲阿爾卑斯山(European Alps)上的蕨類物種豐富度亦隨海拔呈駝峰狀分布。Williams *et al.* (2010)發現澳洲地區鳥類豐富度在海拔梯度上亦呈駝峰狀分布。

臺灣本島面積雖小，但島上的山區約佔全島面積 70%，並且位於臺灣本島中

央的山脈高聳，最高峰將近海拔 4000 公尺，當中包含了熱帶至亞寒帶之間的氣候帶，進而使得臺灣具有極高的生物多樣性（丁宗蘇，1993；許皓捷，1995）。得天獨厚的地理特質與氣候狀況，使得臺灣成為探討物種豐富度於海拔梯度上變化模式的極佳試驗地。在過去研究(許皓捷，2003；許富雄等，2004；Lee *et al.* 2004；Ding *et al.* 2005)中，認為臺灣山區的鳥類物種豐富度在海拔梯度上呈現駝峰狀分布，意即臺灣鳥類物種豐富度會在中海拔地區最高，並往高、低海拔遞減。但在 Ding *et al.*(2005)的研究當中，取樣範圍海拔最低僅達 1400 m，對於中海拔至低海拔地區的探討仍有不足，因此在本研究當中，將取樣海拔範圍向下延伸至 200 m，以呈現出臺灣完整海拔梯度上的鳥類物種豐富度之變化模式。除此之外，同時也在相同的取樣範圍中，探討木本植物物種豐富度在海拔梯度上的變化模式。

了解物種豐富度在海拔梯度上的變化模式之後，進一步問題則是探究影響分布模式的因素。一般而言，一地區所能供給的能量常被認為是很重要的影響因素 (Wright 1983; Gaston 2000; Ding *et al.* 2005; Storch *et al.* 2006; Williams *et al.* 2010)。過去生態學者曾提出，一區域所能供給的有效性能量(available energy)是限制地區中所含物種數的重要因素(Hutchinson 1959; MacArthur 1965,1972)。而地球上生物所利用的能量絕大部分來自於太陽，綠色植物行光合作用將太陽能轉換為化學能以利消費者使用。因此概略來說，有效性能量通常以兩類能量來探討，一是太陽能(solar energy)，另一則是生產能(productive energy) (Storch *et al.* 2006)，前者通常以環境溫度作表示。研究學者認為溫度不同會改變生物族群內的作用效率(例如種化速率)，因而影響物種豐富度的分布模式(Rohde 1992; Allen *et al.* 2002)。後者則常以初級生產力(primary productivity)表示之，可藉由測量植物的初級生產力來估算有效性能量，而初級生產力會藉由食物網的連結影響整體的能量流動，進而影響生物族群的成長(Waide *et al.* 1999; Mittelbach *et al.* 2001)。

一般來說，由於生產能的部分包含了對於食物網的連結與影響，因此淨初級生產力(net primary productivity, NPP)較廣泛為生態界使用，而利用溫度與水分為估算依據的實際蒸發散量(actual evapotranspiration, AET)、以植物葉部面積為探討目標的葉面積指數(leaf area index, LAI)、或是以小面積收穫推估至大範圍生物量(biomass)等都是估算淨初級生產力的良好指標。此外，亦有適用於廣尺度空間研究中的常態化差別性植生指數(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)。本研究著重在探討臺灣中部山區淨初級生產力在海拔梯度上的變化，並且希望以不破壞取樣站原始狀態為準則，而過去同樣在臺灣山區進行的鳥類群聚與能量研究(Ding *et al.* 2005)，由於實際蒸發散量所需的氣候資料集中來自於少數氣候測站，較無法完整代表所有取樣站的淨初級生產力的細微變化。因此本研究將在各取樣站以相同調查人員及方法進行葉面積指數的測量，以此作為本研究中淨初級生產力的指標。

Watson (1947)定義葉面積指數是「每單位土地表面積上的葉片單側面積總和」。藉由研究一地區的葉面積指數可進一步了解在此區域當中林份的能量、氣體等流動情形，也經常作為探討初級生產力的重要指標(Gholz 1982; Bréda 2003)。因此，葉面積指數在森林生理生態的範疇當中，一向被視作相當重要的參數，也進而發展出相當多元的測量與估算葉面積指數的方法，同時也有許多文獻探討各種方法之間的差異與適用性(Chason *et al.* 1991; Smith *et al.* 1991; Dufrière & Bréda 1995)。本研究希望能了解在調查區域當中，林份所提供給鳥類族群的能量與鳥類物種豐富度之間的關係，但不同鳥種之間，對於森林當中不同層次的垂直資源會有不同的利用程度(廖煥彰，2006)。因此在本研究選用延伸自 Levy & Madden (1933)發表之點樣方調查法(point quadrat method)所發展出的葉面積指數測量方法，以此表現林份當中植群垂直結構的組成情形。Levy & Madden (1933)所發表的點樣方調查法原本是在試驗地架設垂直針柱(vertical pins)

來記錄所觸碰到的物種名錄，其後才轉變成為記錄各類物種觸碰針柱次數的調查方法。Groeneveld (1997)以點樣方調查法當中所測得的覆蓋重覆度(cover repetition) (意即同測點上，垂直分層中綠葉覆蓋的平均次數) 與針柱數量的比值作為觸碰頻率(contact frequency)，並且以 N_i 表示之(Goodall 1952)。再利用下列式子(Norman & Campbell 1989)，來求得調查區域中的葉面積指數。

$$N_i = LAI_i \times K_i$$

當中 K_i 為消光係數(extinction coefficient)。 K_i 受到綠葉排列情形與葉片傾斜的方向角所影響，其值與樹木種類、樣區狀況、以及調查方式等有很大相關(Thomas & Winner 2000)。雖然植物的綠葉排列複雜，但仍能透過統計歸納的方法獲得消光係數(Goel & Strebel 1984; Campbell 1986; Wang & Jarvis 1988; Campbell & Norman 1989)。

由於針葉樹種與闊葉樹種葉片排列狀況相異，且在針葉樹種的枝葉普遍會有「結團現象」(clumping)的產生(Nilson 1971)，也就需要進一步的調整。因此在本研究的調查區域中，調查到的針葉樹種，作者亦搜尋過去文獻(Smith *et al.* 1991; Berbigier & Bonnefond 1995; Kiniry 1998; Thomas & Winner 2000; Nagel & O'Hara 2001)，希望獲得個別樹種的 K_i 值以供轉換，惟上列文獻中對於 K_i 值的估算方式不盡相同，且儘管所得 K_i 值與調查中針葉樹種為同屬物種，但不同物種間的枝葉型態與排列情形差異仍大，因此認為 K_i 值在此不適宜以其他研究當中的同屬物種之 K_i 值來替用。另外有研究(Lang 1987; Sophie 2003)以使用光量子光度計(quantum sensor)測量光合作用有效輻射(photosynthetically active radiation, PAR)的樹冠透光法進行葉面積指數的估測，當中此調查方法可依循 Beer-Lambert 定律來反推估林份的 K_i 值，但前提為必須了解林份中的葉面積指數之值，因此在本研究中並不考慮使用。而過去研究(Campbell 1977; Groeneveld 1997)提到，在沒有過多開闊或高光處的林份中， K_i 值可以 0.5 來代入使用，在 Thomas & Winner

(2000)的調查當中，亦顯示相似的結果。本研究當中的葉面積指數希望是能進行不同海拔地區相對比較的大致數值，因此本研究當中的「消光係數」將以 0.5 代入轉換計算，以獲得各取樣站中的葉面積指數，而這樣的轉換數值經過與現地狀況的比較之後，也認為是適當且大致符合實際綠葉覆蓋層次與葉面積的相對關係。在獲得做為淨初級生產力指標的葉面積指數後，本研究亦希望能了解葉面積指數在海拔梯度上的分布模式。

至於能量是如何影響物種豐富度，以及其作用機制又是如何運作的問題，Wright (1983)將物種面積關係(species-area relationship) (Preston 1962)模型中的「面積」置換為「有效性能量」，提出現今為眾人所知的「物種—能量理論」(species-energy theory)來解釋物種豐富度，也就是「能量限制假說」(energy limitation hypothesis)。能量限制假說當中提到，一地區所能提供的能量越高，此地區消費者所能利用的能量越多，生物的族群量就會比較高，進而不易有局部絕種的狀況發生，而地區的物種豐富度提高。過去研究(Williams *et al.* 2010)認為能量限制假說可以解釋物種豐富度在海拔梯度上的變化模式。假若能量限制假說是正確的，則以下能量限制假說的機制部分假說也應該都正確。(1)某地區初級生產力與該地的消費者能量總耗用量呈正相關；(2) 消費者能量總耗用量與消費者族群總密度呈正相關；(3) 消費者族群總密度與消費者物種豐富度呈正相關。在Ding *et al.* (2005)的研究當中檢測調查結果是否符合能量限制假說時，發現鳥類物種豐富度與淨初級生產力之間的關係是為駝峰狀分布，此結果違背了能量限制假說。進一步探討各階段機制，發現鳥類能量總耗用量與鳥類族群總密度呈現駝峰狀分布。Ding *et al.*針對此研究結果深入探討，認為鳥類能量總耗用量與鳥類單一個體能量耗用量之間的 U 型關係可以作為解釋，並討論違背能量限制假說的可能因素。Ding *et al.* (2005)認為在一地區所提供的能量較高與較低之際，單一鳥類個體會使用較多的能量而體型較大，而非單純增加或減少族群個體數。則

本研究也希望在研究區域當中，以鳥類為目標族群，探討研究結果是否符合以上能量限制假說與其機制。

綜合以上所言，為了解初級生產力在不同海拔生態系對於鳥類群聚與物種豐富度的影響，本研究在臺灣中部山區選取演替後期的成熟林帶，探討(1)鳥類物種豐富度在海拔梯度上的變化模式、(2)木本植物物種豐富度在海拔梯度上的變化模式、及(3)葉面積指數在海拔梯度上的變化模式；以了解(4)鳥類物種豐富度與初級生產力的關係用以檢測是否符合能量限制假說。並在檢驗能量限制假說之後，進一步探討能量限制假說的機制部分：(5)初級生產力與鳥類族群能量總耗用量的關係、(6)鳥類族群總耗用量與鳥類族群總密度的關係、(7)鳥類族群總密度與鳥類物種豐富度的關係是否都符合能量限制假說。



研究區域

本研究係比較臺灣鳥類群聚於不同海拔生態系當中的相關模式，因此於南投縣與雲林縣境內選取演替後期的林相，並設置 6 組樣區，共 32 個調查取樣站(圖一)。海拔梯度由 183- 3110 m。這 32 個取樣站分別位於雲林縣林內鄉湖本村(183-243 m) (4 個取樣站) (後文中簡稱湖本村樣區)、行政院農業委員會林業試驗所蓮華池研究中心(646- 715 m) (4 個取樣站) (後文中簡稱蓮華池樣區)、國立臺灣大學實驗林溪頭營林區(1286- 1600 m) (8 個取樣站) (後文中簡稱溪頭樣區)、瑞岩溪野生動物重要棲息環境(2010- 2215 m) (5 個取樣站) (後文中簡稱瑞岩溪樣區)、中橫公路支線之鳶峰路段(2680- 2874 m) (5 個取樣站) (後文中簡稱鳶峰路段樣區)、以及小奇萊登山步道(3103- 3110 m) (6 個取樣站) (後文中簡稱小奇萊樣區)。

本研究設立之取樣站橫跨海拔約 3000 公尺，因此取樣站中植群型態包含 Su (1984b)所提到的榕楠林帶、楠櫛林帶、櫟林帶、鐵杉—雲杉林帶、冷杉林帶、以及箭竹原帶等，皆為臺灣海拔梯度上主要的成熟植群帶。本研究中所包含的各林帶特色與組成介紹如下：

(一) 榕楠林帶

海拔高度分布約為 500 m 以下。本研究中的代表為湖本村樣區，其中以桑科 (Moraceae)榕屬(*Ficus*)與樟科(Lauraceae)的植物為優勢族群。桑科榕屬包含水同木(*Ficus fistulosa*)、稜果榕(*Ficus septica*)、以及澀葉榕(*Ficus irisan*)；樟科包含香楠(*Machilus zuihoensis*)與南投黃肉楠(*Litsea acuminata*)。

(二) 楠櫛林帶

海拔高度分布約為 500 m 至 1500 m。本研究中的代表為蓮華池樣區與部分溪頭樣區，而蓮華池樣區以殼斗科(Fagaceae)與樟科的植物為優勢族群，殼斗科主要有短尾葉石櫟(*Pasania harlandii*)與長尾栲(*Castanopsis cuspidata* var. *carlesii*)，而樟科主要有厚殼桂(*Cryptocarya chinensis*)與香桂(*Cinnamomum subavenium*)；溪頭取樣站同樣以殼斗科與樟科的植物較佔優勢，殼斗科的主要物種為短尾葉石櫟、長尾栲、以及大葉石櫟(*Pasania kawakamii*)，而樟科的主要物種為豬腳楠(*Machilus thunbergii*)、瓊楠(*Beilschmiedia erythrophloia*)、以及假長葉楠(*Machilus japonica*)；此外，還有柏科(Cupressaceae)的紅檜(*Chamaecyparis formosensis*)亦在此地佔有優勢性。

(三) 櫟林帶

海拔高度分布約為 1500 m 至 2500 m。本研究中的代表為部分溪頭樣區與瑞岩溪樣區。溪頭樣區以樟科與殼斗科的植物較佔優勢。樟科的主要物種為豬腳楠、瓊楠、假長葉楠；殼斗科則為長尾栲。瑞岩溪樣區以樟科的假長葉楠最具優勢性，其餘則為樟科的變葉新木薑子(*Neolitsea aciculata* var. *variabilissima*)、殼斗科的長尾栲以及短尾葉石櫟等植物為優勢物種。

(四) 鐵杉—雲杉林帶

海拔高度分布約為 2500 m 至 3100 m。本研究中的代表為鳶峰樣區，其中以松科(Pinaceae)的台灣鐵杉(*Tsuga chinensis* var. *formosana*)於林冠層最具優勢，而林下層的植物群聚則以灰木科(Symplocaceae)的玉山灰木(*Symplocos morrisonicola*)、茶科(Theaceae)的厚葉柃木(*Eurya glaberrima*)、以及衛矛科(Celastraceae)的福建賽衛矛(*Microtropis fokienensis*)為主。

(五) 冷杉林帶

海拔高度分布約為 3100 m 以上。本研究中的代表為小奇萊取樣站的部分取樣站，當中以松科的台灣冷杉(*Abies kawakamii*)為最具優勢的植物物種。

(六) 箭竹原帶

海拔高度分布約為 2500 m 至 3100 m，以及 3100 m 以上較乾燥的區域。本研究中的代表為小奇萊樣區的部分取樣站，當中以禾本科(*Gramineae*)的玉山箭竹(*Yushania niitakayamensis*)為優勢物種。



研究方法

一、 樣區及取樣站的設置

取樣站位置分布於臺灣南投縣與雲林縣境內，除了湖本村的取樣站之外，各組樣區皆位於人為干擾不嚴重的演替後期植群中。取樣站設置盡可能選取植被均勻且同質性的地點，同組樣區的不同取樣站之間水平距離至少相距 200 m，海拔差距約各別相差 50 m。同時會避開森林邊緣、溪流與地勢過於陡峭處，以使調查資料完整不受影響，且能有效查覺鳥類活動與鳴唱行為。

二、 棲地因子調查

各取樣站的棲地因子於 2009 年五月至 2010 年五月由同樣一位調查者(黃可言)調查記錄。於各取樣站中鳥類族群調查點旁選取 15×15 m 的樣方，測量海拔高度，以及記錄樹高高於 1.5 m，且胸高直徑大於 1 cm 的木本植物種類、株數以及胸高直徑。由於在取樣站的成熟林當中，短距離的垂直分層覆蓋層次就有相當程度的差異，因此本研究另外在取樣站的林份當中選取可代表取樣站主要植群組成狀況的兩條穿越線，每條穿越線各 20 m，在其上每隔 0.5 m 設置一測點，總計 82 個測點，以大量調查筆數的平均值來呈現取樣站當中的植群垂直分層狀態。以直立測高桿 (SK 逆目盛檢測桿 AT-12 型) 測量每測點的不同垂直分層內測高桿是否觸及綠葉，以碰觸綠葉的次數記作該分層的覆蓋層次，並將各取樣站中的總覆蓋層次，做為轉換成葉面積指數的依據。垂直分層總共分為 16 層(0-0.5 m, 0.5-1 m, 1-1.5 m, 1.5-2 m, 2-3 m, 3-4 m, 4-5 m, 5-6 m, 6-7m, 7-8 m, 8-9 m, 9-10 m, 10-11 m, 11-12 m, 12-16 m, >16 m)。由以上的調查中，本研究在每個取樣站會獲得以下三項變數：

1. 海拔(Altitude, ALT)：選擇天氣晴朗時，在各取樣站的 15×15 m 樣方內以 GPS(Garmin GPS eTrex Vista)於收訊良好的四處讀取海拔值後求其平均。
2. 樹種豐富度(Tree species richness, TSR)：計算 15×15 m 樣方中所有胸高直徑大於 1 cm，且樹高高於 1.5 m 的樹木種數。
3. 葉面積指數(Leaf Area Index, LAI)：葉面積指數是由以下公式(Norman & Campbell 1989)計算而得。

$$N_i = LAI_i \times K_i$$

此處 N_i 為綠葉觸碰直立測高桿的觸碰頻率，也就是將綠葉觸碰測高桿的次數除以伸桿總次數； K_i 值則為「消光係數」(extinction coefficient)，過去研究 (Campbell 1977, Groeneveld 1997) 提到，在沒有過多開闊或高光處的林份中， K_i 值可以 0.5 來代入使用，在此便使用 0.5 來做為本研究當中的「消光係數」。另外，利於本研究之結果得以與其他研究文獻 (林國銓等，1994；鄭祈全等，1997；陳青香等，2007；彭炳勳與陳朝圳，2008；羅時凡等，2009) 當中的葉面積指數數值進行比較，此處的葉面積指數以等比例 (同除以 4) 縮小至 0-10 的範圍之內。

這部分的調查資料將作為本研究的主要研究結果分析。另外，同時進行 13 項棲地因子的測量與估算，作為本研究各取樣站植群組成與結構上的背景資料，而各取樣站的棲地因子調查資料如附錄三所示。這部分所量測因子如下。

1. 樹木密度(Tree species density, TD)：計算 15×15 m 樣方中所有胸高直徑大於 1 cm，且樹高高於 1.5 m 的各種樹木株數，再推算每公頃的樹木密度。
2. 樹種歧異度(Tree species diversity, TSD)：樹種歧異度是以 Shannon-Wiener diversity index (Krebs 1999) 計算：

$$H' = -\sum Pi \times \ln(Pi)$$

計算樹種歧異度時， P_i 為第 i 種樹種的胸高斷面積和佔全部樹種胸高斷面積和的比例。

3. 總覆蓋層次(Total coverage layers, T-C)：計算所有垂直層次之總覆蓋層次。
4. 平均覆蓋層次(Mean of coverage layers, M-C)：計算所有垂直層次之平均覆蓋層次。
5. 草本層覆蓋層次(Herb coverage layers, H-C)：計算 0-0.5 m 垂直層次的平均覆蓋層次。
6. 灌木層覆蓋層次(Shrub coverage layers, S-C)：計算 0.5-3 m 垂直層次的平均覆蓋層次。
7. 次冠層覆蓋層次(Subcanopy coverage layers, SC-C)：由於每個取樣站之次冠層高度不一，故由現場判斷次冠層之範圍，計算範圍內垂直層次之平均覆蓋層次。
8. 樹冠層覆蓋層次(Canopy coverage layers, C-C)：由於每個取樣站之樹冠層高度不一，故由現場判斷樹冠層之範圍，計算範圍內垂直層次之平均覆蓋層次。
9. 枝葉高度歧異度(Foliage height diversity, FHD)：枝葉高度歧異度是以 Shannon-Wiener diversity index 計算，以 0-2 m 垂直層次的平均覆蓋層次當作第一層，以 2-4 m 垂直層次的平均覆蓋層次當作第二層，加上其他垂直層次

的覆蓋層次來計算。

10. 木本植物平均胸高直徑(Mean of tree diameter at breast height, M-DBH)：木本植物胸高處（距地面高 1.3 m 處）的主幹直徑平均值。
11. 木本植物胸高直徑變異係數(Coefficient of variation of tree diameter at breast height, CV-DBH)：取樣站中木本植物胸高直徑的標準差除以其平均值。
12. 木本植物總胸高斷面積(Total tree basal area, TBA)：計算 15×15 m 方形樣方中所有胸高直徑大於 1 cm，且樹高高於 1.5 m 的各種樹木胸高斷面積，再推算每公頃的木本植物總胸高斷面積。
13. 樹冠層高度(Canopy height, CH)：取樣站內取連續且鬱閉的樹冠層位置，用測高桿輔以測高器量測高度。

三、 鳥類群聚調查

鳥類群聚調查於 2009 年三月開始，至當年七月結束。各組樣區間的調查順序自低海拔往高海拔進行，調查方式以定點計數法(point counts) (Buckland *et al.* 1993)進行取樣站當中鳥類群聚的密度估算。鳥類調查由四位調查人員（廖煥彰、吳建龍、林大利、劉鎮）執行，每位調查者先前皆完成過相似形式的鳥類族群調查，對於工作內容相當熟悉，並且在執行調查工作前，亦進行了針對測距準確度的感知訓練。四位調查者在各取樣站之間，以相同的記錄方式進行各自獨立的調查工作。每位調查者在每一取樣站皆調查一天 4 回，在同個樣區中不同取樣站的調查順序以隨機方式進行，不同調查者在同一樣區會在不同日子進行調查，總計每一取樣站共有 4 天 16 次的鳥類調查資料，且每位調查者對每一取樣站的貢獻

度皆相同，以此將各調查者調查能力差異所造成的影響降至最低。調查工作大致自日出前 15 分鐘至日出後 3 小時內進行，每一取樣站每次停留 6 分鐘，記錄時間內所有目擊與聽到的鳥類種類、數量、狀態、性別以及與調查者間的水平距離，對於持續於空中飛行的種類將不予記錄，鳥類個體與調查者之間的距離則以 10 m 為組距。

鳥類族群密度 D (No./ha) 以下列公式計算(Reynolds *et al.* 1980)：

$$D = \frac{N \times 10^4}{\pi \times R^2 \times C}$$

當中 N 表示距觀察者 R 公尺內所記錄的鳥類隻數； R 為特定基礎半徑(m)，此半徑除了參考丁宗蘇(1993)與廖煥彰(2006)的資料，再輔以調查者在野外調查的經驗(附錄一)判斷而定； C 則為個別取樣站的調查次數。計算鳥類族群密度時，若紀錄是只為公鳥會發出的鳴唱聲紀錄資料，將把此筆紀錄做乘以 2 的加權，代表此記錄為一對鳥。

鳥類族群介量方面計算每個取樣站的鳥種歧異度(diversity index)與鳥種均勻度(evenness index)。鳥類歧異度利用 Shannon-Wiener diversity index (Krebs 1999)，計算式如下：

$$H' = -\sum Pi \times \ln(Pi)$$

H' 代表取樣站的鳥類歧異度； Pi 為第 i 種鳥類族群密度佔取樣站總密度之比例。而鳥種均勻度公式如下：

$$E = \frac{H'}{\log S}$$

S 代表取樣站的鳥種數。

此研究中的鳥類體重資料是依據前人研究報告與出版品(Lee *et al.* 1999,

Shiu *et al.* 2005, 劉小如等, 2010)當中的實測資料, 缺乏實測資料的鳥種, 則引用 Dunning (2007)當中的鳥類體重資料。本研究所記錄到的鳥種, 皆可藉由以上文獻獲得個別體重資料, 惟綠畫眉係引用 Lee 等人(1999)報告中所提出之估測體重資料。

將上述得到的鳥類體重資料(g), 依照下列由 Nagy (1987)所提出燕雀目鳥類能量耗用的公式, 計算得出每一鳥類個體的每日耗用能量:

$$\text{能量消耗量(KJ/day)} = 8.88 \times \text{體重}^{0.749} \text{ (g)}$$

獲得每一鳥類個體的每日耗用能量後, 以其與該鳥種在取樣站的密度相乘並做個別取樣站的所有鳥種資料加總, 便可得各取樣站當中的鳥類每日能量總耗用量。

四、 資料分析

原始資料以 Microsoft Excel 做基本計算與建檔, 並以 R 2.12.0 統計軟體進行 MOS test (Test of Mitchell-Olds and Shaw) (Mitchell-Olds and Shaw 1987) 以及 Kruskal-Wallis one way ANOVA (Kruskal & Wallis 1952) 的資料分析。

MOS test 起始係應用於演化生物學範疇, 對於族群基因演變進行穩定選擇 (stabilizing selection)、定向選擇(directional selection)、以及分裂選擇(disruptive selection)的測試。在本研究中, 是利用 MOS test 來檢測鳥類族群總密度、鳥類豐富度、鳥類平均體型、鳥類族群能量總耗用、葉面積指數等因子在臺灣中部山區海拔梯度上的變化模式。此一統計分析方法依照資料分布狀況預測回歸方程式, 並檢測資料分佈狀況是否呈現正相關、負相關、U 型相關、或是駝峰狀相關。

本研究當中使用統計軟體 R 2.12.0 當中稱作 MOSstest 的統計分析封包 (package), 此一封包是對於資料進行分布狀況的檢定, 其虛無假設(null hypothesis)

為依照資料分布所預測出的二次方程式($Y = a + bX + cX^2$)之極端值(hump or pit)，會落在資料(X)的最小值或最大值。實際進行分析時，結果會分別對極端值位於最小值、極端值位於最大值、以及合併以上兩者的假設進行檢測。而本研究對於此分析結果的顯著判斷標準訂為： $p < 0.1$ ，並只當極端值位於最小值與極端值位於最大值兩項假設的結果皆為顯著時，才駁斥其虛無假設，且二次式係數(c)為負值時，才認定資料的分布狀況為駝峰狀分布。

本研究當中，Kruskal-Wallis one way ANOVA 主要是運用在檢測作為取樣站植群狀況資料的 13 項棲地因子，在不同海拔帶之間的差異性。此一分析方式是使用統計軟體 R 2.12.0 中稱作 `kruskalmc` 的統計分析封包。在本研究中會先進行 Kruskal-Wallis test，若此檢測結果為顯著，則代表此棲地因子在不同海拔帶之間是有顯著差異，則可進行後續各海拔帶之間的多重比較(multiple comparison)來檢測各種棲地因子在個別海拔帶之間是否有顯著差異，而此檢測結果如表一所示。

結果

一、 植群結構與組成

植群物種組成調查到 42 科 126 種，當中以殼斗科(Fagaceae)、樟科(Lauraceae)、桑科(Moraceae)、茶科(Theaceae)、及大戟科(Euphorbiaceae)的植物為多數；植物名錄列於附錄二。

植群組成物種的調查結果，顯示木本植物物種豐富度在低海拔取樣站最高，隨著海拔升高而漸減(MOS test, p of hump at min = 0.85; p of hump at max = 0.08; $R^2=0.31$) (圖二)。本研究當中木本植物物種豐富度的最大值落在蓮華池樣區，豐富度平均值可達 34 種以上 (在 15×15 m 的樣方當中)，是所有樣區當中木本植物物種豐富度平均值 (為 12 種) 近三倍的差異。而小奇萊樣區包含以玉山箭竹為優勢物種的植群類型，木本植物種類偏低，此組取樣站之木本植物豐富度僅 2.5 種。

葉面積指數在海拔梯度上的變化模式為駝峰狀分布(MOS test, p of hump at min = 0.07; p of hump at max < 0.01; $R^2=0.57$) (圖三)，而葉面積指數可視作初級生產力的指標，這樣的結果顯示，初級生產力於中海拔取樣站最高 (溪頭樣區的葉面積指數平均值為 8.46)，向高、低海拔兩側遞減，而非於低海拔地區最高。

另外，做為各取樣站植群組成與結構背景資料的 13 項棲地因子當中，樹木密度、灌木層覆蓋層次、枝葉高度歧異度、以及木本植物胸高直徑變異係數在各植群帶 (海拔帶) 間無顯著差異，其他棲地因子在各海拔帶間皆有顯著差異 (Kruskal-Wallis one way ANOVA, $p < 0.05$)，兩兩之間的植群結構與組成亦有差異

(Dunn test, $p < 0.05$) (表一)。當中 500- 1500 m 與 3100 m 以上之間的植群狀況最具差異性。

二、 鳥類密度與群聚調查

鳥類族群調查共有 5546 筆鳥類調查資料，其中小白鷺(*Egretta garzetta*)、小杜鵑(*Cuculus poliocephalus*)、赤翡翠(*Halcyon coromanda*)以及虎鶉(*Zoothera dauma*)係為冬候鳥或過境鳥，因此刪除此部分記錄資料，實際分析的鳥種則分屬於 31 科 76 種，當中畫眉科(Timaliidae)鳥類有 16 種，是種類較多的科別；鳥類物種名錄與鳥種特定基礎半徑列於附錄一，各取樣站的鳥類族群密度列於附錄四。

調查中鳥類族群總密度隨著海拔梯度上升而下降(MOS test, p of hump at min = 0.14; p of hump at max = 0.01; $R^2 = 0.11$) (圖四)。中、低海拔取樣站的鳥類族群總密度大致皆可達 20 No./ha.，而在高海拔部分，雖有鳥類族群總密度偏高的瑞岩溪樣區(平均值為 21.48 No./ha.)，但小奇萊樣區的鳥類族群總密度卻偏低(平均值為 13.98 No./ha.)，因此整體來說，海拔上升時，鳥類族群總密度的變化趨勢為下降。

鳥類物種豐富度在海拔梯度上的變化模式為駝峰狀分布(MOS test, p of hump at min = 0.03; p of hump at max < 0.01; $R^2 = 0.47$) (圖五)。意即在調查區域中，中海拔地區鳥類豐富度較高。在本研究當中，鳥類豐富度最高的地區為中海拔的溪頭樣區，此區鳥類豐富度在各取樣站的平均值可達 24 種。低海拔區域的湖本村樣區與蓮華池樣區的鳥類豐富度平均值為 22 種，高海拔區域則為 19 種，其中又以小奇萊登山步道樣區為最低(鳥類豐富度平均值為 14 種)。

鳥類能量總耗用量在海拔梯度上的變化模式為駝峰狀分布(MOS test, p of hump at min < 0.01; p of hump at max < 0.01; $R^2=0.68$) (圖六)。在調查區域內，低海拔取樣站當中(湖本村樣區與蓮華池樣區)的鳥類能量總耗用量稍低(平均值為 2502 KJ/ day)，並以中海拔取樣站的鳥類能量總耗用量為最高(平均值為 2627 KJ/ day)，其後隨著海拔梯度攀升而遞減，並以小奇萊樣區為最低(平均值為 929 KJ/ day)。

鳥類平均體重在海拔梯度上的變化模式為駝峰狀分布(MOS test, p of hump at min = 0.04; p of hump at max < 0.01; $R^2=0.52$) (圖七)。在中海拔地區鳥類平均體重最高(瑞岩溪樣區平均值為 45.47 g)，向高、低海拔兩側遞減。

三、 物種豐富度與初級生產力關係(species richness- productivity relationship, SRPR)

在調查區域當中，當葉面積指數上升，鳥類物種豐富度亦呈現遞增趨勢(MOS test, p of hump at min < 0.01; p of hump at max = 0.42; $R^2=0.38$) (圖八)。意即在本研究的調查範圍中，葉面積指數較低的地區(小奇萊樣區葉面積指數平均值為 3.57)，鳥類族群的物種豐富度亦偏低(平均值為 14 種)；而葉面積指數較高的地區(溪頭樣區葉面積指數平均值為 8.46)，鳥類物種豐富度也較高(平均值為 24 種)。

四、 能量限制假說之三項機制

在結果符合能量限制假說之後，進一步檢測其下列三項機制，包含(1)葉面積指數與鳥類能量總耗用量的關係、(2)鳥類能量總耗用量與鳥類族群總密度的關係、以及(3)鳥類族群總密度與鳥類物種豐富度的關係。

在研究區域當中，葉面積指數與鳥類能量總耗用量呈正相關(MOS test, p of hump at min < 0.01; p of hump at max = 0.40; $R^2 = 0.36$) (圖九)。意即在葉面積指數較低的地區(如小奇萊樣區之平均值為 3.57)，鳥類能量總耗用量亦偏低(平均值為 929 KJ/day)；而在葉面積指數較高的樣區(如溪頭樣區之平均值為 8.46)，鳥類能量總耗用量的數值亦偏高(平均值為 2627 KJ/day)。

鳥類能量總耗用量與鳥類族群總密度呈正相關(MOS test, p of hump at min < 0.01; p of hump at max = 0.19; $R^2 = 0.60$) (圖十)。在鳥類能量總耗用量較低的地區(如小奇萊樣區之平均值為 929 KJ/day)，鳥類族群總密度亦偏低(平均值為 13.98 No./ha.)；而在鳥類能量總耗用量偏高的地區(如瑞岩溪樣區之平均值為 2755 KJ/day)，鳥類族群總密度則較高(平均值為 21.48 No./ha.)。

在研究區域當中，鳥類族群總密度與鳥類物種豐富度亦呈正相關(MOS test, p of hump at min < 0.01; p of hump at max = 0.49; $R^2 = 0.63$) (圖十一)。當一區域中鳥類族群總密度偏低(如小奇萊樣區之平均值為 13.98 No./ha.)，則此地區所擁有的鳥類物種豐富度較低(平均值為 14 種)；而當區域中鳥類族群總密度較高(如溪頭樣區與瑞岩溪樣區之平均值分別為 21.30 No./ha.、21.48 No./ha.)，則此地鳥類物種豐富度亦高(平均值分別為 24 種與 22 種)。

討論

一、物種豐富度及生產力在海拔梯度上的分布模式

本研究中物種豐富度與海拔梯度的關係，在鳥類與木本植物呈現不同的分布模式。鳥類族群方面，物種豐富度在中海拔最高（約 1500 m 處），且往低海拔的遞減趨勢較往高海拔的趨勢平緩，整體呈現非對稱性的駝峰狀分布(asymmetrical hump-shaped)，這樣的結果與過去研究相符(Shiu & Lee 2003; Lee *et al.* 2004)。中間地帶效應(mid-domain effect)認為在一區域當中的物種豐富度，會在此界限範圍的中央地帶達最大值，且呈現對稱性(symmetrical)的駝峰狀分布，而部分學者亦認為中間地帶效應是探討物種在空間尺度上分布模式的良好模型(Colwell & Lee 2000; Jetz & Rahbek 2001; Colwell *et al.* 2004)。然而，雖如同上述研究所認定，中間地帶效應在探討駝峰狀分布是相當重要的理論，但此理論在本研究當中無法完全獲得驗證，是由於仍然有其他因子（如淨初級生產力、溫度等），對物種豐富度同時具有相當程度的影響性（許皓捷，2003；許富雄等，2004; Ding *et al.* 2005）。許皓捷(2003)的研究也提出鳥類物種豐富度在臺灣海拔梯度上的分布模式，應為對稱駝峰與線性遞減兩種形式綜合之下的表現，因此對於影響分布的相關假說，也就需要再進一步釐清探討。

影響鳥類族群分布狀況的因子當中，環境溫度常被視作重要的物理性棲地因子(Root 1988)，是由於溫度高低不僅影響消費者的生理活動，亦可做為環境中能量流動的依據。而海拔梯度與溫度的垂直變化有很大的相關性，因此海拔這項因素被認為會直接或間接的影響鳥類生理生態的改變(Shiu & Lee 2003)，進而影響族群的分布狀況(Venier *et al.* 1999)。但過去研究(Shiu & Lee 2003; Lee *et al.* 2004; Ding *et al.* 2005)認為臺灣鳥類物種豐富度與海拔梯度呈駝峰狀關係，而並非如同溫度在海拔梯度上呈現遞減趨勢。本研究則是以系統性的調查，確立了臺灣中部

山區自海拔 183- 3110 m 的範圍當中，鳥類物種豐富度是在中海拔地區最高，而非在低海拔地區最高。這樣的結果也與近年大多數探討海拔與物種豐富度的研究結果相符(Rahbek 1995; Williams *et al.* 2010)。

木本植物物種豐富度的部分，在低海拔地區最高，並往高海拔地區呈現遞減的分布關係，而木本植物豐富度的最高值是落在海拔 600- 800 m 之間的蓮華池樣區。蓮華池樣區人為干擾較少，植群組成多元且垂直層次複雜且維護良好，因而有在調查範圍中最高的木本植物物種豐富度。但同為低海拔地區的湖本村樣區，由於遭受人為干擾的情況較嚴重，因此在湖本村樣區的木本植物物種豐富度並不高。在簡睿涵(2010)的研究當中，以廣義線性模式(Generalized linear model, GLM)探討臺灣木本植物物種豐富度的影響因子，當中包含了地形、氣候以及植群等共 30 項變數。其後以正向逐步選取法(forward stepwise selection)依序選出解釋變量改變(percentage of deviance change)最多的因子，並以卡方檢測檢驗其變量的顯著性。簡睿涵(2010)的研究結果顯示，在各種影響因子當中，年均溫是最佳的描述因子(best-performed descriptor)，可解釋 27% 的偏差(deviance)，因此在簡睿涵(2010)的研究中，認定年均溫是木本植物豐富度最好的預測因子。而溫度是對於植物生存生長最具影響力的因素之一，又溫度隨著海拔梯度升高而遞減，進而影響木本植物豐富度的分布模式。檢視本研究的調查結果可發現是符合簡睿涵(2010)研究結果中對溫度於木本植物豐富度影響之解釋。另外簡睿涵(2010)研究當中的調查資料，顯示木本植物物種豐富度在海拔 500- 1000 m 的範圍當中最高，而 500 m 以下的低海拔地區因取樣數較低而使得木本植物物種豐富度偏低。檢視本研究結果，木本植物物種豐富度亦於海拔 500- 1000 m 範圍內的蓮華池樣區最高，而湖本村樣區則因為受人為干擾情形較為明顯，以至於此處之木本植物物種豐富度無法如預測趨勢達到較大值。綜合以上，本研究認為木本植物物種豐富度因會受到溫度影響，而與海拔梯度呈現遞減關係。但在低海拔地區，由於臺

灣人口過於稠密，人為活動又多集中在臺灣中西部，使得臺灣中西部低海拔地區的成熟林分幾因人類開發行為而破壞殆盡(Ding *et al.* 2005)，以致臺灣中西部低海拔地區可摒除人為干擾影響的成熟林相當難尋，蓮華池樣區即為少數中的一例。因此希望能在臺灣中西部海拔 100- 200 m 的範圍內找尋條件可與中高海拔樣區狀況相近的成熟林分，幾可說是相當困難。而湖本村樣區由於海拔梯度最低，也最接近人類活動範圍，在這樣條件之下，湖本村的林分狀況已算是相當良好的樣區。但若未來能夠有完全排除人為干擾的低海拔林分，相信能夠將木本植物物種豐富度在海拔梯度上的變化模式，做出更加精確的描述。

自然生態當中，綠色植物藉由行光合作用將光能轉換成化學能，而植物的葉部組織是進行光合作用的主要場所，因此葉面積指數在森林生理生態的研究當中常做為一重要指標，同時也普遍認為是探討能量流動的良好指標(Whittaker & Niering 1975; Gholz 1982; 洪富文等，1986；林國銓等，1994；陳青香等，2007)。在臺灣進行葉面積指數的前人研究當中，大致可分為幾個方向，一為針對某地區之葉面積指數與林分狀態（林分生長、建立期或成熟期）間關係探討（林國銓等，1994）。另有探討進行不同時間下（颱風過境前後），同樣區葉面積指數的變動情形，並進一步與林分生產力做關聯性的討論（林登秋等，1999；陳青香等，2007）。此外，也有以不同葉面積指數調查方式所測得數值，進行比較與估算方法的優劣討論（鄭祈全等，1997；林登秋與江智民，2002；彭炳勳與陳朝圳，2008）。以上研究多為單一林分葉面積指數的變動探討，可知臺灣尚缺乏葉面積指數在不同空間尺度下的變化模式（陳青香等，2007）。也幾乎未見探討葉面積指數在臺灣平地至高山的海拔梯度上之變化模式。

本研究運用葉面積指數做為淨初級生產力的指標以探討物種與生產力的關係，同時也發現葉面積指數在海拔梯度上呈現駝峰狀分布。雖然在本研究中，每

一個取樣站所量測到的綠葉覆蓋層次絕對值可能有不少誤差，但是本研究是以同樣的調查人員及調查方法在取樣站重複抽查 82 個點，結果應該可以呈現出葉面積指數在這海拔梯度上的大致變化。在葉面積指數最高的溪頭樣區，其植群垂直結構複雜，覆蓋程度高，不僅是在樹冠層(canopy)覆蓋程度鬱閉，草本層也生長得相當茂密。此外，相較於其他海拔樣區，溪頭樣區在灌木層與次冠層(subcanopy)亦很少出現空缺。過去研究也曾提過，在上層樹冠鬱閉的成熟林分當中，下層植物會增加表面積以增高對光線的吸收(Monk *et al.* 1970; Lewandowska & Jarvis 1977; 林國銓等，1994)。這樣的說法，也在溪頭樣區的葉面積指數獲得證實。

現今研究普遍認為，生態系當中葉面積指數會受到植群種類、植群發育階段、以及環境因子等影響，而在環境因子當中，又以水分與溫度是最主要的影響因素(Waring 1983; Gaston 2000; 林國銓，1989)。在臺灣中部山區溫度與海拔梯度呈現高度負相關，意即溫度隨著海拔上升而下降，而環境溫度越低則使植物無法支持更多營養器官的生長，溫度也就成為高海拔地區植物葉部生長的限制因子。而降水量則是會在中海拔地區達到最大值，並往低、高海拔兩側遞減(Su 1984a; Su 1984b)。在降水量不虞匱乏的地區，植物可進行較旺盛的蒸發散作用而不致因缺水而乾枯，因此水分充足的地區可支持植物保有更多的綠葉面積與氣孔，進行更旺盛的蒸發散作用來提高植物體的光合作用效率與生長。葉面積指數在溫度與降水這兩項因子影響之下，由於臺灣中部地區的低海拔雖環境溫度適宜植物生長，但在冬季常有乾季，使得降水量成為一限制因子，因而葉面積指數並不如中海拔地區。而在中海拔地區環境溫度稍低但不至於成為植物生長的限制，並且降水量豐沛使得中海拔成為葉面積指數最高的地區。

二、 鳥類物種豐富度與初級生產力的關係

物種豐富度與能量之間的關係，一直是全球各地研究學者所重視的議題

(Turner *et al.* 1987; Turner *et al.* 1988; Adams & Woodward 1989; Currie 1991; Rosenzweig & Abramsky 1993; Tilman & Pacala 1993; Wright *et al.* 1993; Huston & DeAngelis 1994; Gaston 2000; Mittelbach 2010)。在這些研究當中，有部分研究者認為物種豐富度與能量之間為正相關(Turner *et al.* 1987; Turner *et al.* 1988; Adams & Woodward 1989; Currie 1991)，而 Gaston (2000)認為，在地理尺度(geographical scale)上，物種豐富度與能量之間的正相關已有相當程度的驗證。但也有部分學者認為是呈現駝峰狀關係(Rosenzweig & Abramsky 1993; Tilman & Pacala 1993; Huston & DeAngelis 1994; Mittelbach 2010)。對於各種不同的研究結果，Wright *et al.* (1993)與 Gaston (2000)認為在不同空間尺度下，或是研究不同目標物種、甚至是依據不同能量指標進行探討，物種豐富度與能量的關係皆會有所出入。依據本研究結果，在臺灣中部山區，鳥類物種豐富度與做為淨初級生產力指標的葉面積指數呈現正相關，也就是當一地區的淨初級生產力越高，當地的鳥類物種豐富度也較高，驗證了能量限制假說。依上述結果，認為在垂直結構越複雜的地區，由於綠色植物為了競爭光線可得性而對光能有較高的利用率，造成葉部面積上升，因此能提供同區域中消費者較多的能量。依照能量限制假說，此地消費者的物種豐富度可因而提高。

在本研究當中，做為樣區能量供給指標的葉面積指數與鳥類物種豐富度，兩者在海拔梯度上的變化模式十分相似(都在 1500 m 最高，並往高、低海拔遞減，且往低海拔的遞減趨勢較往高海拔的趨勢為平緩)，如此結果亦說明在本研究的空間尺度下，淨初級生產力是在探討鳥類物種豐富度分布模式時，除了中間地帶理論與溫度之外，另一項非常重要的影響因子。而 Ding *et al.* (2005)亦曾在臺灣山區進行鳥類物種豐富度與能量關係之探討，其研究結果呈現駝峰狀關係，並進一步提出體型假說(body size hypothesis)解釋此關係。Ding *et al.* (2005)的研究與本研究所使用的初級生產力指標並不相同，前者為實際蒸發散量(actual

evapotranspiration, AET)，而後者是使用依照個別取樣站的現地狀況所估算之葉面積指數。此外，進行 MOS test 分析判讀的方法，前者是以分布資料所預測出二次式之最大最小值落在資料範圍內，則判定關係為駝峰分布或 U 型分布 (U-shaped)。本研究的判讀則加上 p 值應小於 0.1 才判定為駝峰分布或 U 型分布。兩相對照之下，本研究的結果應是較可詳細反應生產力，並且分析更加嚴謹，因此認為在臺灣中部地區不同海拔生態系當中，鳥類物種豐富度與生產力呈現正相關。

三、 能量限制假說

接續上段落當中所提，本研究當中，鳥類物種豐富度與淨初級生產力呈正相關的結果，支持了 Wright (1983) 提出的能量限制假說，但與 Ding *et al.* (2005) 在玉山地區所得到的駝峰狀結果相異。Gaston (2000) 提到，物種豐富度與能量之間的關係，除了與空間尺度、物種等因子具有影響力，獲得能量的估算方式也相當重要。在 Ding *et al.* (2005) 的研究當中，用以估算能量的指標為實際蒸發散量，其值是以月均溫與每月平均降水量 (precipitation) 依照 Thornthwaite & Mather (1957) 所提出的公式獲得，然後以實際蒸發散量的數值代入下列由 Rosenzweig (1968) 提出的轉換公式，獲得估算後的地上部淨生產力 (above-ground net primary productivity)。

$$\log_{10} NPP(g/m^2) = 1.7003 \times \log_{10} AET(mm) - 1.7661$$

但臺灣全年雨量豐沛，所以每月平均降水量在不同取樣站之間並無太大差別，因此在 Ding *et al.* (2005) 的研究中，做為淨生產力指標的實際蒸發散量主要與月均溫的變化有較高的相關性。但臺灣的月均溫與海拔梯度有高度的關聯性，且這兩項數值皆取自取樣站鄰近的氣象站，並無法真實反應出個別取樣站內初級生產力的情況。本研究則是使用各取樣站當中所估算的葉面積指數來代表當地的

能量供應狀況，此葉面積指數是依照取樣站當中平均覆蓋層次換算而得，這樣的資料是較能反應個別取樣站狀況的做法。而綠葉覆蓋程度越高代表此處植物對於光能有較高的利用程度，也就能提供棲地中的消費者更多可利用能量，根據能量限制假說(Wright 1983)，此地會有較高的生物族群個體，因而不易造成局部絕種且物種豐富度提高。

在確認本研究結果符合能量限制假說之後，進一步則希望檢測本研究是否也同時符合能量限制假說的作用機制。所檢測的能量限制假說機制分作三部分：(1)鳥類能量總耗用量與葉面積指數呈正相關；(2)鳥類族群總密度與鳥類能量總耗用量呈正相關；(3)鳥類物種豐富度與鳥類族群總密度呈正相關。本研究在以上三項能量限制假說的作用機制中，以 MOS test 檢測結果皆呈正相關。換句話說，當棲地有越高的淨初級生產力，則能提供給鳥類族群越多的可利用能量，而越多的可利用能量便能供給更多的鳥類個體生存，進而使此一區域中不易發生局部絕種且提高鳥類物種豐富度。依據 Ding *et al.* (2005)的研究結果，在能量限制假說的機制部分，第(1)、(3)項皆符合，惟第(2)項的鳥類族群總耗用量與鳥類族群總密度呈現駝峰狀關係，是以提出體型假說來解釋此現象。認為在棲地所供給的可用能量達到一定程度後，鳥類會增大體型而非增加族群當中的個體數。但由於此項研究與本研究當中用以檢測是否為駝峰狀關係的判定標準不同，且用以代表淨初級生產力的指標亦有不同選擇，因此對於能量限制假說產生不同的解釋。但總括上述兩大部分（物種豐富度與初級生產力的關係、能量限制假說的驗證），由於本研究的研究結果較能代表取樣站當中的生產力狀況，並且有較嚴謹的分布關係分析判定，因此相信臺灣中部地區的鳥類物種豐富度與初級生產力的關係，不僅符合能量限制假說，並在各部機制皆符合假說的設定。

四、 葉面積指數與垂直覆蓋層次

本研究在探討用以代表淨初級生產力的葉面積指數時，使用 Groeneveld (1997)針對葉面積指數的估算方法，並以直立測高桿 (SK 逆目盛檢測桿 AT-12 型) 代替前人研究當中使用的針柱(pins)，做為判斷綠葉分層覆蓋層次的測量儀器。根據 Groeneveld (1997)研究當中的描述，其調查的植群類型多為灌木，而覆蓋層次調查以每株灌木為一單位。因此使用設置上有孔洞與針柱的框架，在此類植群型態中，並不會產生過多的調查困難。然而本研究調查對象以演替後期的成熟林份為主，平均樹冠層高度可達 20 公尺以上。因此，原本的實驗裝置在林地當中進行綠葉覆蓋層次測量時，便有更換調查器具的需要。在本研究當中使用的覆蓋層次調查器具是日製伸縮式測高桿，材質為塑膠，伸縮分作 12 段，最高可達 12 公尺，比起 Groeneveld (1997)研究中使用設有框架的金屬針柱，不僅較適用在平均樹冠層較高的森林當中，伸縮式且材質較為柔軟的直立測高桿，可使測量工作需移動至下個測點時，不至於因森林當中交錯複雜的枝葉影響直立測高桿的移動，進而增加測量工作的困難。

調查者進行綠葉覆蓋層次的測量時，由於直立測高桿較針柱之截面積為大，這樣的測量儀器會明顯提高直立測高桿碰觸綠葉的機率，因此使得覆蓋層次的測量有高估的情形發生。而材質較為柔軟的直立測高桿在向上延伸超過約 10 公尺後，前端較難維持垂直方向。而覆蓋層次的調查部分，雖然為了避免不同調查者會產生的認定偏差，綠葉覆蓋層次的測量皆由同一位調查者進行，但在演替後期的成熟林份當中，樹冠層經常具有較高的覆蓋程度，因此距離與高度的覆蓋層次便同時造成調查者在判定上的困難。除此之外，由於在林份的垂直分層當中，中層（次冠層與灌木層）的葉片大部分為平展角度，因此若每個垂直層次皆使用 0.5 來做為 K_i 值（消光係數）進行轉換，則必然會有高估的情況發生。

在臺灣多處進行葉面積指數的研究（林國銓等，1994；鄭祈全等，1997；陳青香等，2007；彭炳勳與陳朝圳，2008；羅時凡等，2009）當中，其數值皆在 0-10 的範圍之內。前人研究提到，以不同方法測得之葉面積指數並不能直接比較 (Breuer *et al.* 2003)，也曾有過統整性文章提出，葉面積指數的測量結果會影響其數值大小 (Bréda 2003)，但在本研究當中主要為比較不同海拔樣區當中，葉面積指數的相對大小，因此本研究調查方法仍為適用。惟考慮到上段落中詳述的因素，也為了讓本研究的葉面積指數之數值具有與其他研究討論的價值，因此將本研究中估算而得的葉面積指數等比例下降至 0-10 的範圍內。並且建議未來研究中若使用此測量法進行葉面積指數估算時，應注意下列幾點：

- (1) 使用直立測高桿進行覆蓋層次測量時，僅以直立測高桿的單一切面與綠葉觸碰次數記錄之，以降低因調查器材截面積差距而造成的覆蓋層次高估。
- (2) 覆蓋層次調查仍須由相同調查者進行，以屏除不同調查者之間的估算差距。
- (3) 需在光線充足時進行調查，以減低在判斷覆蓋層次時的困難。若有風吹拂，需等待枝葉靜止擺動後才進行覆蓋層次的計算。另直立測高桿也必須盡可能與林地保持垂直。
- (4) 進行 K_i 值轉換時，應依照不同垂直分層的葉片平展或傾斜，來做不同轉換數值的調整。
- (5) 建議可在進行取樣站前試驗時，用測量垂直綠葉覆蓋層次作為葉面積轉換依據的方式，以及利用光學鏡頭拍攝樹冠層覆蓋度估算葉面積指數的方式同時對同一林份進行估測，以推估出兩種估測方法測量數值之間的關係趨勢，並作為後續探討葉面積指數之依據。

希望藉由以上幾項建議，讓未來進行相似調查工作的研究者，能夠獲得更具參考性的葉面積指數。

除了本研究所使用的葉面積指數估測方法，也有許多在執行上較便利的葉面積指數估測方法，近來較常為研究者使用的包含 LI-COR LAI-2000 Plant Canopy Analyzer (林登秋等，1999)、半球面影像技術 (林登秋與江智民，2002)、以及利用衛星遙測的光譜影像 (羅時凡等，2009) 等。以上述的 LAI-2000 為例，使用植冠分析儀(Plant Canopy Analyzer)進行葉面積指數的測量，一般會使用兩組植冠分析儀，同時記錄樹冠層上下方的光照情形，並以相比後數值做為樹冠層之孔隙率(gap fraction)，而後應用儀器所附之應用程式 C2000.EXE，利用下列方程式 (LI-COR, 1992) 估算獲得葉面積指數。

$$LAI = -2 \sum_{i=1}^5 \ln(T(\theta_i)) \cos \theta_i W(\theta_i)$$

當中 $\theta_1 - \theta_5$ 代表散射光來自五個不同的角度。另外，儀器具有濾光鏡可減少測得綠葉葉面所輻射出的光波的可能性。而此種估測方法不僅以為研究者廣泛使用，也有相當多研究討論此種葉面積指數估測方法的相關數值轉換與修正 (Chason *et al.* 1991; Gower and Norman 1991; Smith *et al.* 1993; Stenberg 1996)。上列的葉面積指數測量方式與本研究所使用的葉面積指數估測方式雖不盡相同，但研究者應對自身研究目的有詳細了解，並此以做為選擇測量方式的準則，才能完整呈現其研究的價值。

參考文獻

- 丁宗蘇。1993。玉山地區成熟林之鳥類群聚生態。國立臺灣大學動物學研究所碩士論文。
- 林國銓。1989。葉面積與林木生長及其環境。127-135頁，夏禹九、趙榮台、金恆鑣編輯，生態原則下的森林經營研討會論文集。臺灣省林業試驗所，臺北，中華民國。
- 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。
- 林登秋與江智民。2002。半球面影像在森林生態研究的應用。臺灣林業科學。17(3): 387-400。
- 林登秋、林則桐、江智民、夏禹九、金恆鑣。1999。颱風對臺灣東北部天然闊樹林林冠干擾之研究。中華林學季刊。32(1): 67-78。
- 洪富文、夏禹九、唐凱軍。1986。蓮華池次生溫暖帶山地雨林地上部生物量及葉面積之估算。林業試驗所試驗報告第465號。
- 陳青香、林登秋、黃正良。2007。臺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。臺灣林業科學。22(4): 423-39。
- 許皓捷。1995。臺灣中海拔山區森林鳥類群聚結構與環境因子之關係。國立臺灣大學動物學研究所碩士論文。
- 許皓捷。2003。臺灣山區鳥類群聚的空間及季節變異。國立臺灣大學動物學研究所博士論文。
- 許富雄、姚正得、林瑞興、楊吉宗、賴肅如。2004。臺灣南部地區的鳥類組成與海拔分布。特有生物研究。6(2): 41-66。
- 彭炳勳與陳朝圳。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。
- 鄭祈全、邱祈榮、陳燕章。1997。應用遙測方法估測臺灣杉林分之葉面積指數。臺灣林業科學。12(3): 309-317。
- 廖煥彰。2006。塔塔加地區不同植群演替階段之鳥類群聚研究。國立臺灣大學森林環境暨資源學研究所碩士論文。
- 劉小如、丁宗蘇、方偉宏、林文宏、蔡牧起、顏重威。2010。台灣鳥類誌。行政院農業委員會林務局。
- 簡睿涵。2010。臺灣木本植物多樣性影響因子之探討。國立臺灣大學森林環境暨資源學研究所碩士論文。
- 羅時凡、魏浚紘、李崇誠、陳朝圳。2009。遙測技術應用於溪頭地區柳杉人工林之森林健康調查。林業研究季刊。31(1): 37-54。
- Adams, J. M., and F. I. Woodward. 1989. Patterns in tree species richness as a test of the glacial extinction hypothesis. *Nature* 339: 699-701.
- Berbigier, P., and J. M. Bonnefond. 1995. Measurement and modeling of radiation transmission within a stand of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait). *Annals of Forest Science* 52: 23-42.
- Bréda, N. 2003. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of Experimental Botany* 54, 2403-2417.
- Breuer, L., K. Eckhardt, and H. Frede. 2003. Plant parameter values for models in temperate climates. *Ecological Modelling* 169(2-3): 237-93.
- Brown, J. H. 2001. Mammals on mountainside: elevational patterns of diversity. *Global Ecology and Biogeography* 10: 101-109.
- Buckland, S. T., D. R. Anderson, K. P. Burnham, and J. L. Laake. 1993. Distance sampling: Estimating abundance of biological populations. Chapman & Hall, London, United Kingdom.

- Campbell, G.S. 1977. *An Introduction to Environmental Biophysics*. New York: Springer-Verlag. 159 pp.
- Campbell, G.S., 1986. Extinction coefficients for radiation in plant canopies calculated using an ellipsoidal inclination angle distribution. *Agricultural and Forest Meteorology* 36: 317-321.
- Castelletta, M., J. M. Thiollay and N. S. Sodhi. 2005. The effects of extreme forest fragmentation on the bird community of Singapore Island. *Biological Conservation* 121(1): 135-155.
- Chason J, D. Baldocchi, and M. Hutson. 1991. A comparison of direct and indirect methods for estimating forest leaf area. *Agricultural and Forest Meteorology* 57, 107-128.
- Cleary, D. F. R., T. J. B. Boyle, T. Setyawati, C. D. Anggraeni, E. E. Van Loon and S. B. J. Menken. 2007. Bird species and traits associated with logged and unlogged forest in Borneo. *Ecological Applications* 17(4): 1184-1197.
- Colwell, R. K., and D. C. Lee. 2000. The mid-domain effect: geometric constraints on the geography of species richness. *Trends in Ecology and Evolution* 15: 70-76.
- Colwell, R. K., C. Rahbek, and N. J. Gotelli. 2004. The mid-domain effect and species richness patterns: what have we learned so far? *American Naturalist* 163: 1-23.
- Currie, D. J. 1991. Energy and large-scale patterns of animal- and plant-species richness. *American Naturalist* 137: 27-49.
- Ding, T. S., H. W. Yuan, S Geng, Y. S. Lin, and P. F. Lee. 2005. Energy flux, body size and density in relation to bird species richness along an elevational gradient in Taiwan. *Global Ecology and Biogeography* 14: 299-306.
- Dufrêne, E., and N. Bréda. 1995. Estimation of deciduous forest leaf-area index using direct and indirect methods. *Oecologia* 104: 156-162.

- Dunning Jr., J. B. 2007. CRC handbook of avian body masses, 2nd Edition. CRC.
- Gaston, K. J. 2000. Global patterns in biodiversity. *Nature* 405: 220-227.
- Gholz, H. L. 1982. Environmental limits on aboveground net primary production, leaf area, and biomass in vegetation zones of the Pacific Northwest. *Ecology* 63(2): 469-481.
- Goel, N.S., and D. E. Strebel. 1984. Simple beta distribution representation of leaf orientation in vegetation canopies. *Agronomy Journal* 76: 800-802.
- Goodall, D.W. 1952. Some considerations in the use of point quadrats for the analysis of vegetation. *Australian Journal of Scientific Research* 5: 1-41.
- Gower, S. T., and J. M. Norman. 1991. Rapid estimation of leaf area index in conifer and broad-leaf plantations. *Ecology* 72: 1896-1900.
- Groeneveld, D. P. 1997. Vertical point quadrat sampling and an extinction factor to calculate leaf area index. *Journal of Arid Environment* 36: 475-485.
- Huston, M. A., and D. L. DeAngelis. 1994. Competition and coexistence: the effects of resource transport and supply rates. *American Naturalist* 144: 954-977.
- Hutchinson, G. E. 1959. Homage to Santa Rosalia, or why are there so many kinds of animals? *American Naturalist* 93: 145-159.
- Jetz, W., and C. Rahbek. 2001. Geometric constraints explain much of the species richness pattern in African birds. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* 98: 5661-5666.
- Lang, A. R. G. 1987. Simplified estimate of leaf area index from transmittance of the sun's beam. *Agricultural and Forest Meteorology* 41: 179-186.
- Lee P. F., T. S. Ding, and H. J. Shiu. 1998. Body size relation of breeding bird species in Taiwan. *Acta Zoologica Taiwanica* 1998: 47-59.

- Lee P. F., T. S. Ding, F. S. Hsu, and S Geng. 2004. Bird species richness in Taiwan: distribution on gradients of elevation, primary productivity, and urbanization. *Journal of Biogeography* 31: 307-314.
- Levy, E. B., and E. A. Madden. 1933. The point method of pasture analysis. *New Zealand Journal of Agronomy* 46: 267-279.
- Lewandowska, M. and P. G. Jarvis. 1977. Changes in chlorophyll and carotenoid content, specific leaf area and dry weight fraction in Sitka spruce in response to shading and season. *New Phytologist* 79: 247-256.
- LI-COR, 1992. LAI-2000 Plant Canopy Analyzer Operating Manual. LI-Cor, Lincoln, Nebraska. 90 pp.
- Nagel, L. M., and K. L. O'Hara. 2001. The influence of stand structure on ecophysiological leaf characteristics of *Pinus ponderosa* in western Montana. *Canadian Journal of Forest Research* 31: 2173-2182.
- Kiniry, J. R. 1998. Biomass accumulation and radiation use efficiency of honey mesquite and eastern red cedar. *Biomass and Bioenergy* 15(6): 467-473.
- Krebs, C. J. 1999. *Ecological methodology*. 2nd edition. Addison-Wesley, New York.
- Kruskal, W. H., and W. A. Wallis. 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association* 47 (260): 583-621.
- Kwok, H. K., and R. T. Corlett. 2000. The bird communities of a natural secondary forest and a *Lophostemon confertus* plantation in Hong Kong, South China. *Forest Ecology and Management* 130: 227-234.
- MacArthur, R. H. 1965. Patterns of species richness. *Biological Reviews* 40: 510-533.
- MacArthur, R. H. 1972. *Geographical ecology: patterns in the distribution of species*. Harper & Row, New York.
- MacArthur, R. H., and E. O. Wilson. 1967. *The theory of island biogeography*. Princeton University Press, Princeton.

- Marini, L., E. Bona, W. E. Kunin, and K. J. Gaston. 2011. Exploring anthropogenic and natural processes shaping fern species richness along elevational gradients. *Journal of Biogeography* 38: 78-88.
- Mitchell-Olds, T. and R. G. Shaw. 1987. Regression analysis of natural selection: statistical inference and biological interpretation. *Evolution* 41: 1149-1161.
- Mittelbach, G. G. 2010. Understanding species richness-productivity relationships: the importance of meta-analyses. *Ecology* 91(9): 2540-2544.
- Monk, C. D., G. I. Child, and S. A. Nicholson. 1970. Biomass, litter and leaf surface area estimates of an oak-hickory forest. *Oikos* 21: 138-141.
- Nagy, K. A. 1987. Field metabolic rate and food requirement scaling in mammals and birds. *Ecological Monographs* 57: 111-128.
- Navarro, S. A. G. 1992. Altitudinal distribution of birds in the Sierra Madre del Sur, Guerrero, Mexico. *Condor* 94: 29-39.
- Nilson, T. 1971. A theoretical analysis of the frequency of gaps in plant stands. *Agricultural Meteorology* 8: 25-38.
- Norman, J. M. and G. S. Campbell. 1989. Canopy Structure. In: Pearcy, R.W., Ehleringer, J. R., Mooney, H. A. & Rundel, P.W. (Eds), *Plant Physiological Ecology Field Methods and Instrumentation*, pp. 301-325. London: Chapman and Hall. 457 pp.
- Ohsawa, M. 2004. Comparison of Elaterid biodiversity among larch plantations, secondary forests, and primary forests in the central mountainous region in Japan. *Annals of the Entomological Society of America* 97(4): 770-774.
- Patterson, B. D., D. F. Stotz, S. Solari, J. 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.
- Podulka, S., R. W. Rohrbaugh and R. Bonney. 2004. *Handbook of bird biology*. 2nd

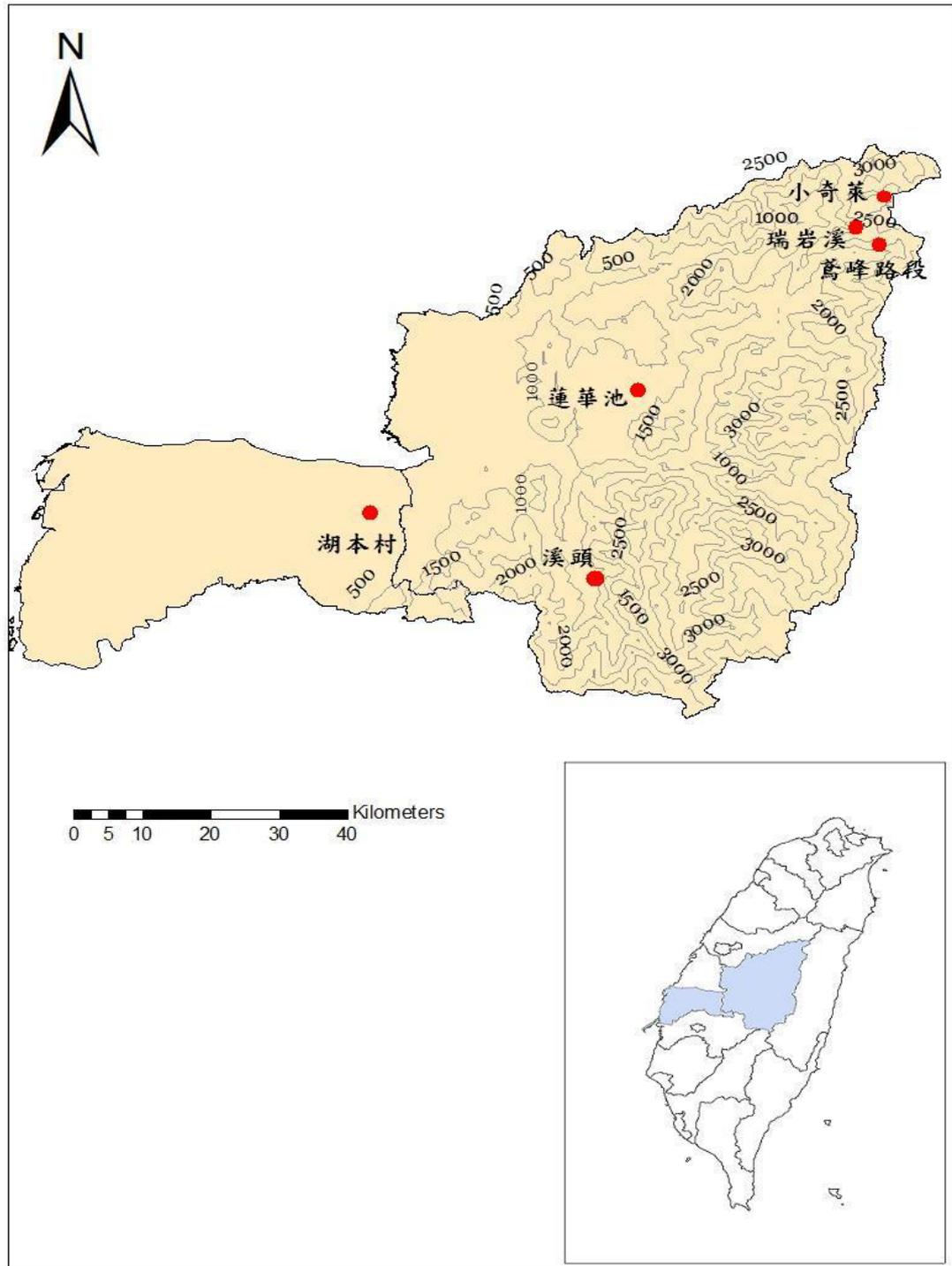
- edition. Princeton University Press. New York.
- Rahbek, C. 1995. The elevational gradient of species richness: a uniform pattern? *Ecography* 18: 200-205.
- Reynolds, R. T., J. M. Scott, and R. A. Nussbaum. 1980. A variable circular-plot method for estimating bird numbers. *Condor* 82: 309-313.
- Rosenzweig, M. L. 1968. Net primary productivity of terrestrial communities: predictions from climatological data. *American Naturalist*: 102: 67-74.
- Rosenzweig, M. L., and Z. Abramsky. 1993. How are diversity and productivity related? Pages 52-65 in R. E. Ricklefs and D. Schluter, editors. *Species diversity in ecological communities*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA.
- Rowe, R. J. 2009. Environmental and geometric drivers of small mammal diversity along elevational gradients in Utah. *Ecography* 32: 411-422.
- Selmi, S., T. Boulinier and B. Faivre. 2003. Distribution and abundance patterns of a newly colonizing species in Tunisian oases: the Common Blackbird *Turdus merula*. *Ibis* 145(4): 681-688.
- Shiu, H. J., T. S. Ding, J. E. Sheu, R. S. Lin, C. N. Koh, and P. F. Lee. 2005. Morphological characters of bird species in Taiwan. *Taiwania* 50(2): 80-92.
- Shiu, H. J., and P. F. Lee. 2003. Seasonal variation in bird species richness along elevational gradients in Taiwan. *Acta Zoologica Taiwanica* 14: 1-21.
- Smith, F. W., D. A. Sampson, and J. N. Long. 1991. Comparison of leaf-area index estimates from tree allometrics and measured light interception. *Forest Science* 37: 1682-1688.
- Smith, N. J., J. M. Chen ,and T. A. Black. 1993. Effects of clumping on estimation of leaf area index using the LI-COR LAI-2000. *Canadian Journal of Forest Research* 23: 1940-1943.

- Sophie, E. H. 2003. The effect of thinning intensity on the below-canopy light environment in Sitka spruce plantation. *Forest Ecology and Management* 179: 341-349.
- Stenberg, P. 1996. Correcting LAI-2000 estimates for the clumping of needles in shoots of conifer. *Agricultural and Forest Meteorology* 79: 1-8.
- Stevens, G. C. 1992. The elevational gradient in altitudinal range: an extension of Rapoport's latitudinal rule to altitude. *American Naturalist* 140: 893-911.
- Storch, D., R. G. Davies, S. Zajicek, C. D. L. Orme, V. Olson, G. H. Thomas, T. S. Ding, P. C. Rasmussen, R. S. Ridgely, P. M. Bennett, T. M. Blackburn, L. P. F. Owens, and K. J. Gaston. 2006. Energy, range dynamics and global species richness pattern: reconciling mid-domain effects and environmental determinants of avian diversity. *Ecology Letters* 9: 1308-1320.
- Su, H. J. 1984a. Studies on the climate and vegetation types of the natural forests in Taiwan (I): analysis of the variations in climatic factors. *Quarterly Journal of Chinese Forestry* 17(3): 1-14.
- Su, H. J. 1984b. Studies on the climate and vegetation types of the natural forests in Taiwan (II): altitudinal vegetation zones in relation to temperature gradient. *Quarterly Journal of Chinese Forestry* 17(4): 57-73.
- Thomas, S. C., and W. E. Winner. 2000. Leaf area index of an old-growth Douglas-fir forest estimated from direct structural measurements in the canopy. *Canadian Journal of Forest Research* 30: 1922-1930.
- Thornthwaite, C. W., and J. R. Mather. 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publications in Climatology* 10: 185-311.
- Tilman, D., and S. Pacala. 1993. The maintenance of species richness in plant communities. Pages 13-25 in R. E. Ricklefs and D. Schluter, editors. *Species*

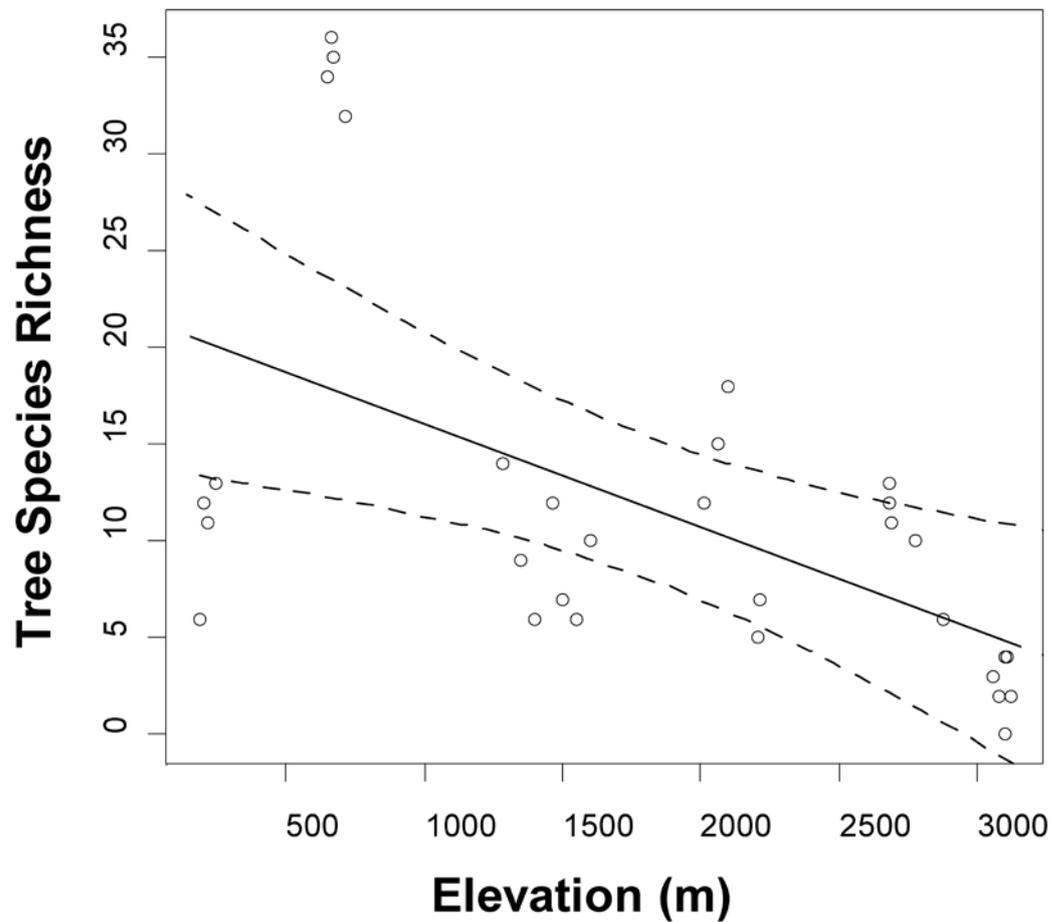
- diversity in ecological communities. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA.
- Turner, J. R. G., C. M. Gatehouse, and C. A. Corney. 1987. Does solar energy control organic diversity? Butterflies, moths and the British climate. *Oikos* 48: 195-205.
- Turner, J. R. G., J. J. Lennon, and J. A. Lawrenson. 1988. British bird species distributions and energy theory. *Nature* 335: 539-541.
- Venier, L. A., D. W. McKenney, Y. Wang, and J. McKee. 1999. Models of large-scale breeding-bird distribution as a function of macro-climate in Ontario, Canada. *Journal of Biogeography* 26: 315-328.
- Wang, Y. P., and P. G. Jarvis. 1988. Mean leaf angles for the ellipsoidal inclination angle distribution. *Agricultural and Forest Meteorology* 43: 319-321.
- Waring, R. H. 1983. Estimating forest growth and efficiency in relation to canopy leaf area. Pages 327-354 in A. MacFadyen, and E. D. Ford, editors. *Advances in ecological research*, Volume 13. Academic Press, New York, New York, USA.
- Watson D.J., 1947. Comparative physiological studies in the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany* 11, 41-76.
- Whittaker, R. H. and W. A. Niering. 1975. Vegetation of the Santa Catalina Mountains, Arizona. V. biomass, production, and diversity along the elevation gradient. *Ecology* 56: 771-790.
- Williams, S. E., L. P. Shoo, R. Henriod, and R. G. Pearson. 2010. Elevational gradients in species abundance, assemblage structure and energy use of rainforest birds in the Australian Wet Tropics bioregion. *Austral Ecology* 35: 650-664.
- Wright, D. H. 1983. Species-energy theory: an extension of species-area theory. *Oikos* 41: 496-506.

Wright, D. H., D. J. Currie, and B. A. Mauer. 1993. Energy supply and patterns of species richness on local and regional scales. Pages 66-74 in R. E. Ricklefs and D. Schluter, editors. Species diversity in ecological communities. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA.

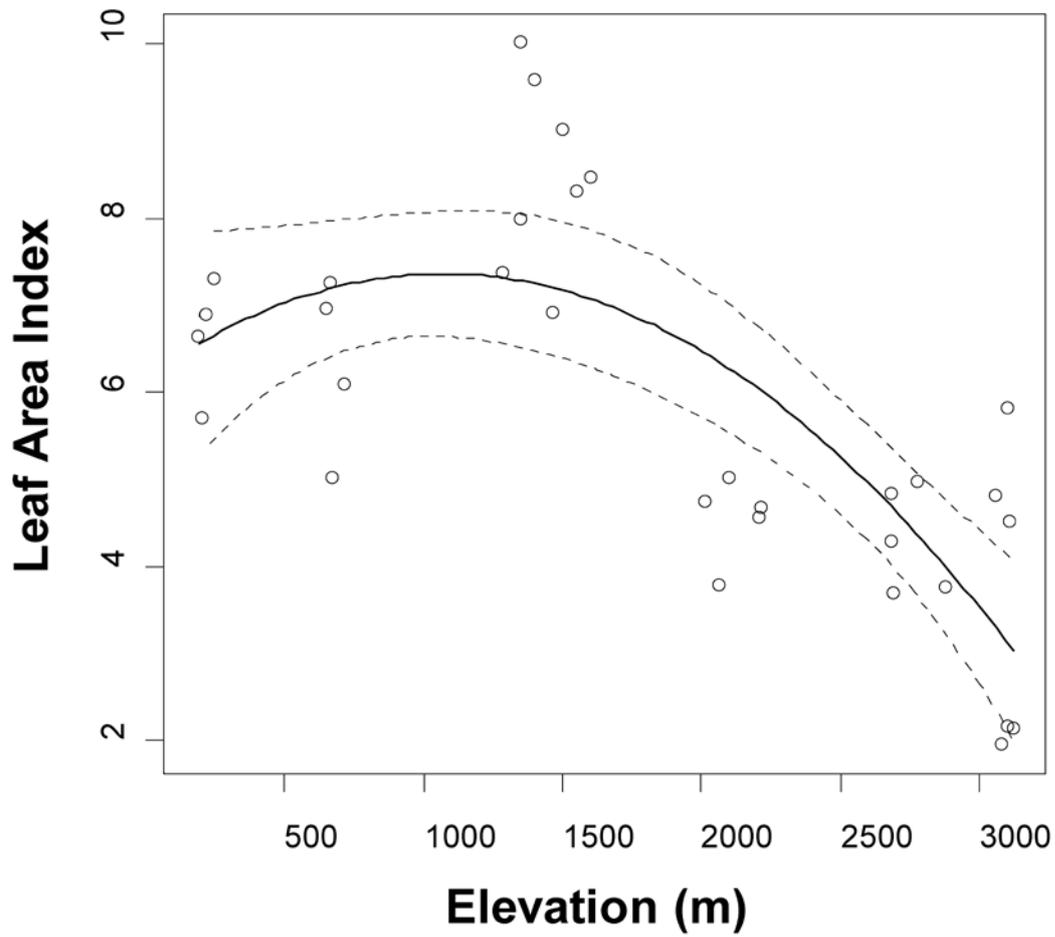




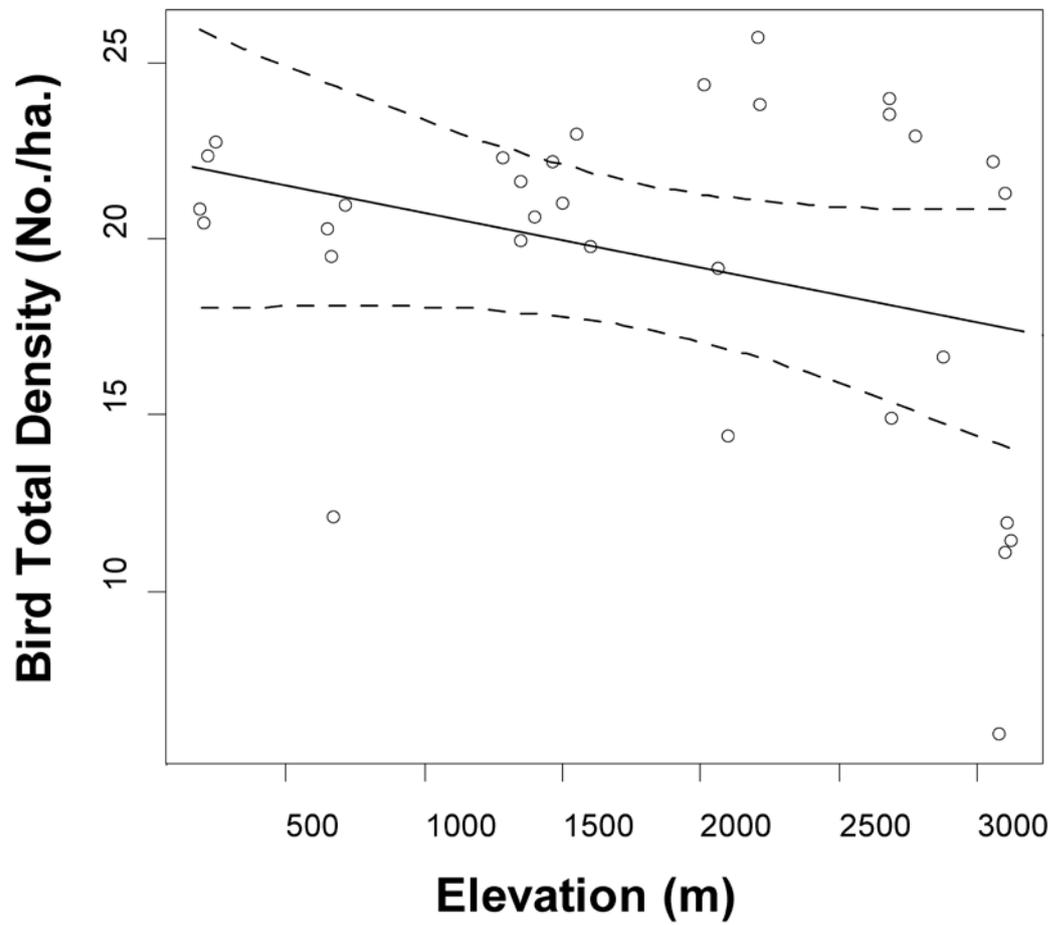
圖一、研究樣區分布圖。標點位置為六組樣區位置，由北至南分別為小奇萊登山步道(3103 m-3110 m)、瑞岩溪野生動物重要棲息環境(2010 m-2215 m)、中橫公路支線之鳶峰路段(2680 m-2874 m)、農委會林業試驗所蓮華池研究中心(646 m-715 m)、雲林縣林內鄉湖本村(183 m-243 m)、以及臺大實驗林溪頭營林區(1286 m-1600 m)。



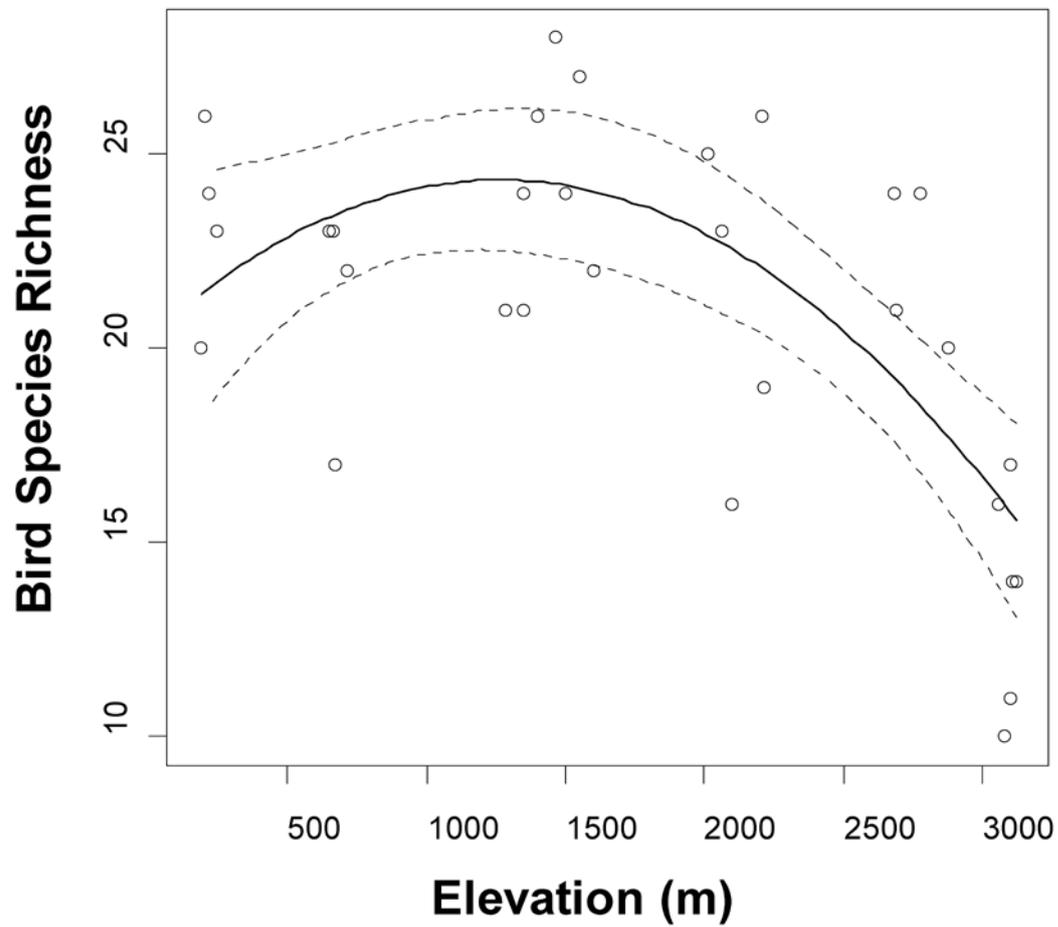
圖二、木本植物物種豐富度在低海拔取樣站最高，隨著海拔升高而漸減(MOS test, p of hump at min= 0.85; p of hump at max= 0.08; $R^2= 0.31$)。虛線範圍是信心水準為 95%的信賴區間(confidence interval)。



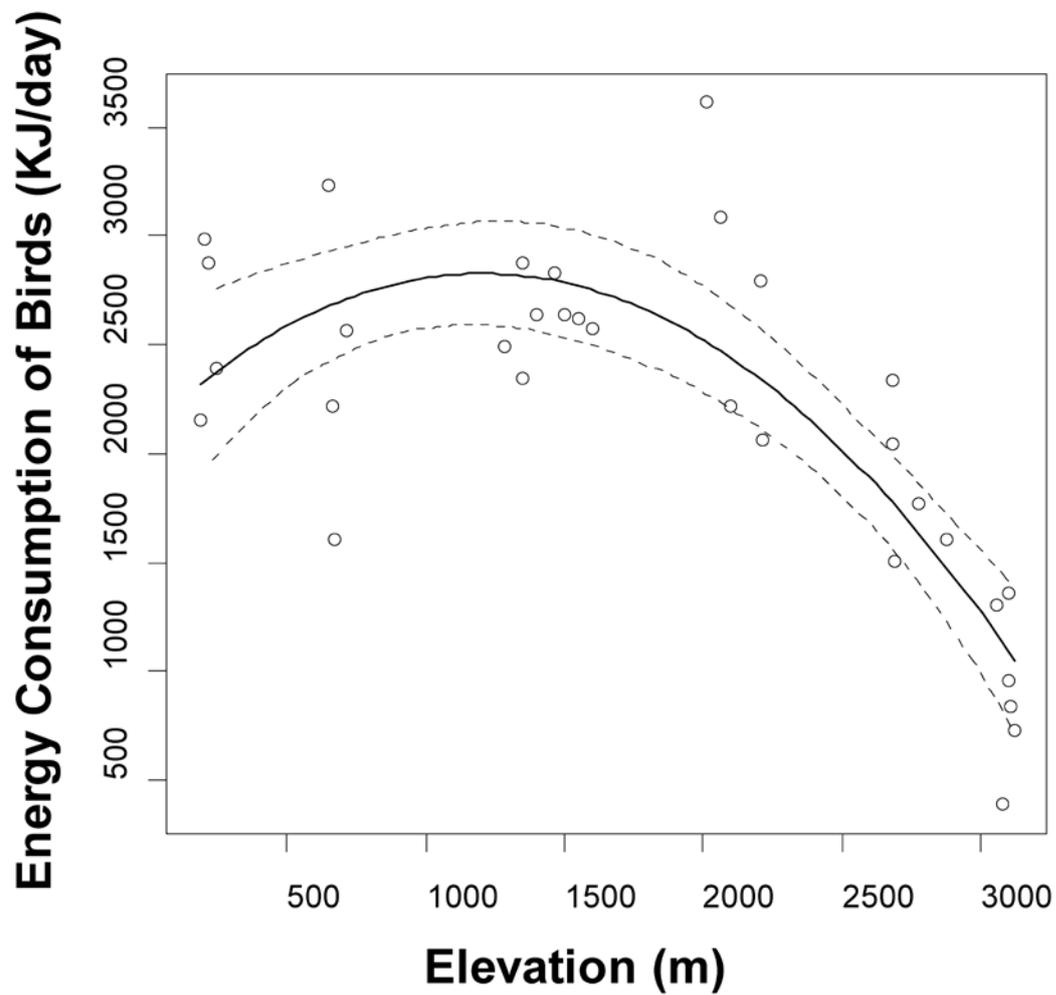
圖三、葉面積指數在海拔梯度上的變化模式為駝峰狀分布 (MOS test, p of hump at min = 0.07; p of hump at max < 0.01; $R^2 = 0.57$)。虛線範圍是信心水準為 95% 的信賴區間。



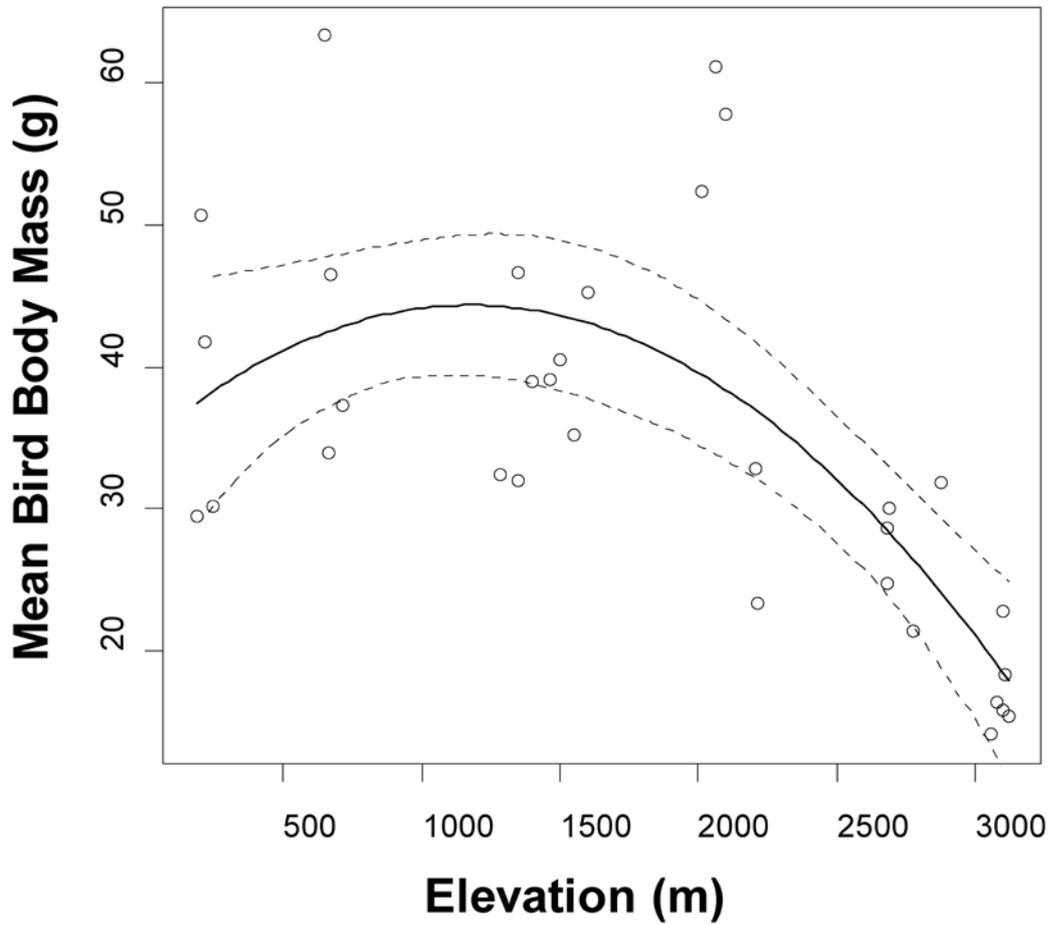
圖四、調查中鳥類族群總密度隨著海拔梯度上升而下降 (MOS test, p of hump at min= 0.14; p of hump at max= 0.01; $R^2= 0.11$)。虛線範圍是信心水準為 95% 的信賴區間。



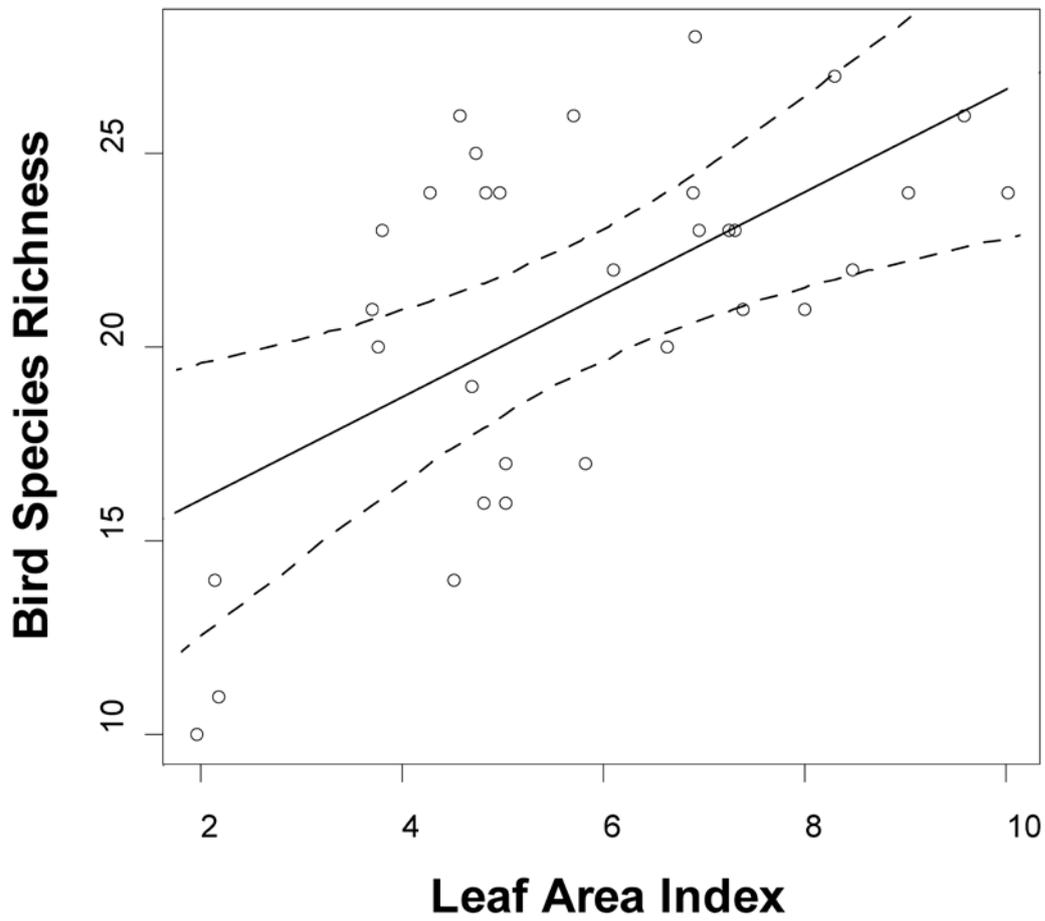
圖五、鳥類物種豐富度在海拔梯度上的變化模式為駝峰狀分布 (MOS test, p of hump at min = 0.03; p of hump at max < 0.01; $R^2 = 0.47$)。虛線範圍是信心水準為 95% 的信賴區間。



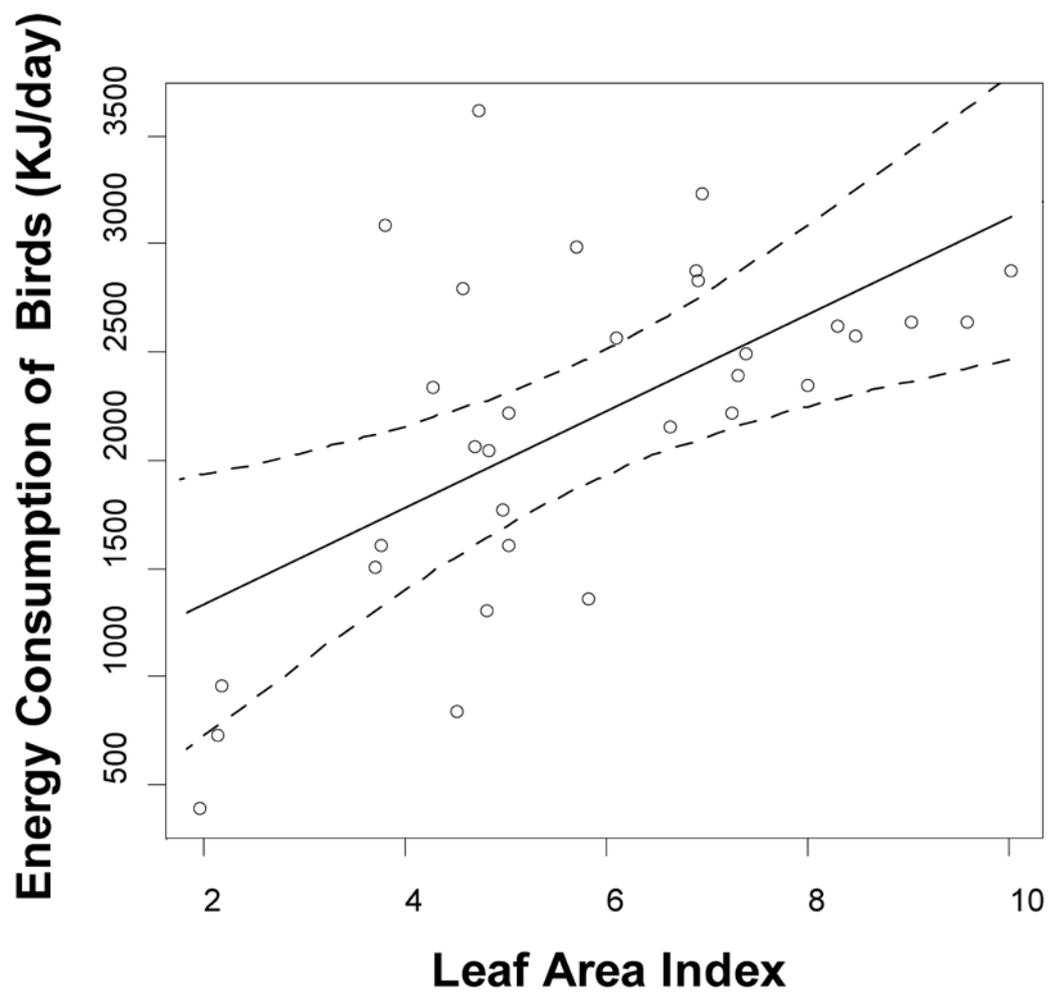
圖六、鳥類能量總耗用量在海拔梯度上的變化模式為駝峰狀分布 (MOS test, p of hump at min < 0.01; p of hump at max < 0.01; $R^2 = 0.68$)。虛線範圍是信心水準為 95% 的信賴區間。



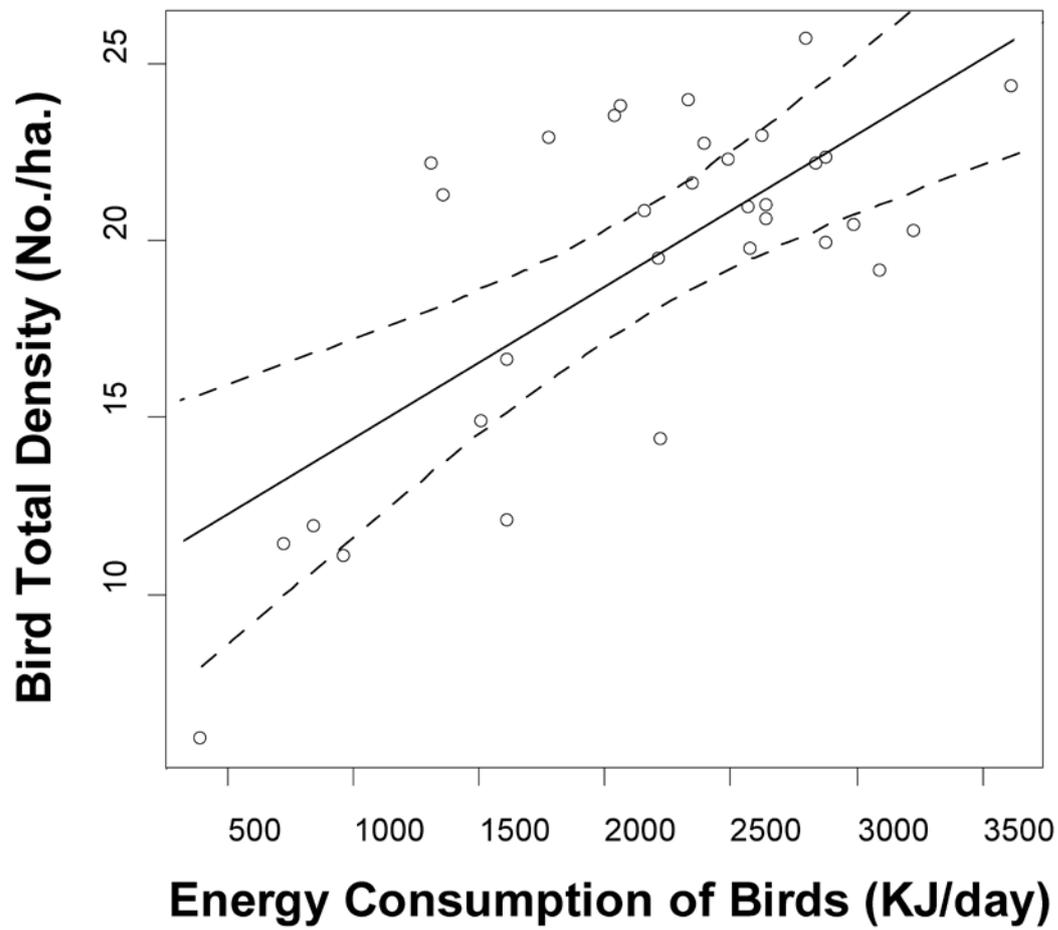
圖七、鳥類平均體重在海拔梯度上的變化模式為駝峰狀分布 (MOS test, p of hump at min = 0.04; p of hump at max < 0.01; $R^2 = 0.52$)。虛線範圍是信心水準為 95% 的信賴區間。



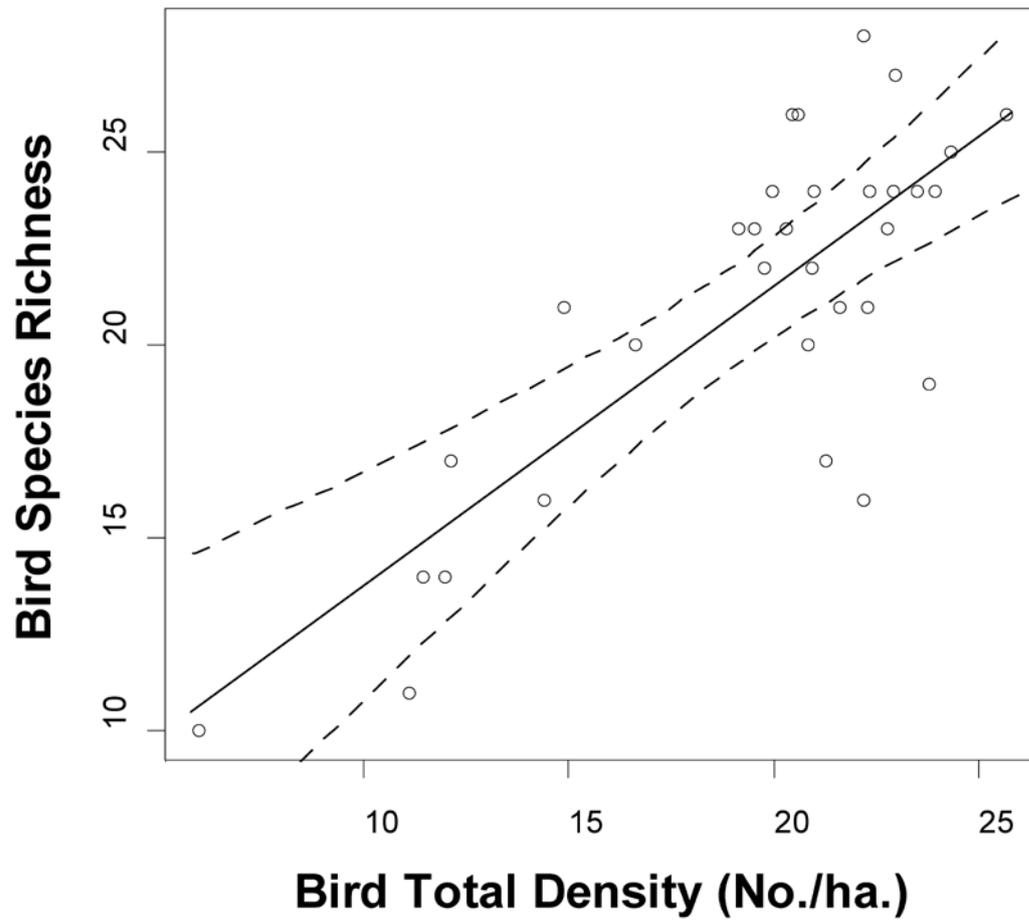
圖八、葉面積指數與鳥類物種豐富度呈現正相關(MOS test, p of hump at min < 0.01; p of hump at max = 0.42; $R^2 = 0.38$)。虛線範圍是信心水準為 95% 的信賴區間。



圖九、葉面積指數與鳥類能量總耗用量呈正相關(MOS test, p of hump at min < 0.01; p of hump at max = 0.40; $R^2 = 0.36$)。虛線範圍是信心水準為 95% 的信賴區間。



圖十、鳥類能量總耗用量與鳥類族群總密度呈正相關 (MOS test, p of hump at min < 0.01; p of hump at max = 0.19; $R^2 = 0.60$)。虛線範圍是信心水準為 95% 的信賴區間。



圖十一、鳥類族群總密度與鳥類族群豐富度亦呈正相關(MOS test, p of hump at min < 0.01; p of hump at max = 0.49; $R^2 = 0.63$)。虛線範圍是信心水準為 95% 的信賴區間。

表一、各海拔梯度棲地因子之平均值，樹木密度(TD)、灌木層覆蓋層次(S-C)、枝葉高度歧異度(FHD)、以及木本植物胸高直徑變異係數(CV-DBH)在各海拔梯度間無顯著差異，其餘棲地因子在各海拔梯度間有顯著差異(Kruskal-Wallis one way ANOVA, $p < 0.05$)，兩兩之間的植群結構與組成亦有差異（相異英文字母表示兩兩間具顯著差異）(Dunn test, $p < 0.05$)。

| | | 0-500 m | 500-1500 m | 1500-2500 m | 2500-3100 m | 3100 m- |
|--------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| TD (No./ha.) | 樹木密度 | 1833.33 ^a | 4173.33 ^a | 2958.73 ^a | 4515.56 ^a | 1533.33 ^a |
| TSD | 樹種豐富度 | 1.21 ^{ab} | 1.62 ^a | 1.22 ^{ab} | 0.90 ^{ab} | 0.13 ^b |
| T-C | 總覆蓋層次 | 13.27 ^{ab} | 15.25 ^a | 11.31 ^{ab} | 8.62 ^b | 7.14 ^b |
| M-C | 平均覆蓋層次 | 0.83 ^{ab} | 0.95 ^a | 0.71 ^{ab} | 0.54 ^b | 0.45 ^b |
| H-C | 草本層覆蓋層次 | 1.89 ^{ab} | 1.99 ^a | 1.64 ^{ab} | 0.48 ^b | 1.67 ^{ab} |
| S-C | 灌木層覆蓋層次 | 1.02 ^a | 1.11 ^a | 0.79 ^a | 0.48 ^a | 0.79 ^a |
| SC-C | 次冠層覆蓋層次 | 0.96 ^a | 0.65 ^{ab} | 0.54 ^{ab} | 0.40 ^b | 0.23 ^b |
| C-C | 樹冠層覆蓋層次 | 0.57 ^{ab} | 1.20 ^a | 0.80 ^{ab} | 1.32 ^a | 0.34 ^b |
| FHD | 枝葉高度歧異度 | 2.28 ^a | 2.35 ^a | 2.36 ^a | 2.19 ^a | 1.07 ^a |
| M-DBH (cm) | 木本植物平均胸高直徑 | 4.52 ^a | 6.89 ^{ab} | 7.29 ^{ab} | 11.69 ^b | 9.68 ^{ab} |
| CV-DBH | 木本植物胸高直徑變異係數 | 0.99 ^a | 1.69 ^a | 1.64 ^a | 1.66 ^a | 0.90 ^a |
| TBA (m²/ha.) | 木本植物總胸高斷面積 | 28.93 ^a | 127.65 ^{ab} | 139.56 ^{ab} | 348.55 ^b | 158.27 ^{ab} |
| CH (m) | 樹冠層高度 | 10.14 ^a | 16.89 ^{ab} | 18.62 ^{ab} | 21.71 ^b | 13.59 ^{ab} |

附錄一、研究當中所有取樣站記錄到的鳥種科名、中文名、學名、以及特定基礎半徑(m)

| 中文名 | 學名 | 特定基礎半徑(m) | 平均體重(g) | 平均體重出處 |
|-------------|---------------------------------|-----------|---------|--------|
| 雉科 | Phasianidae | | | |
| 臺灣山鷓鴣 | <i>Arborophila crudigularis</i> | 60 | 265.0 | 2 |
| 竹雞 | <i>Bambusicola throacica</i> | 50 | 270.0 | 2 |
| 藍腹鵲 | <i>Lophura swinhoii</i> | 20 | 1100.0 | 2 |
| 鷺科 | Ardeidae | | | |
| 黑冠麻鷺 | <i>Gorsachius melanophus</i> | 50 | 414.0 | 4 |
| 鷹科 | Accipitridae | | | |
| 大冠鷲 | <i>Spilornis cheela</i> | 50 | 800.0 | 4 |
| 鳳頭蒼鷹 | <i>Accipiter trivirgatus</i> | 40 | 276.0 | 4 |
| 鳩鴿科 | Columbidae | | | |
| 灰林鴿 | <i>Columba pulchricollis</i> | 60 | 330.0 | 4 |
| 金背鳩 | <i>Streptopelia orientalis</i> | 100 | 215.0 | 2 |
| 珠頸斑鳩 | <i>Streptopelia chinensis</i> | 50 | 159.0 | 4 |
| 翠翼鳩 | <i>Chalcophaps indica</i> | 80 | 124.0 | 2 |
| 綠鳩 | <i>Treron sieboldii</i> | 50 | 245.0 | 4 |
| 杜鵑科 | Cuculidae | | | |
| 鷹鵑 | <i>Cuculus sparverioides</i> | >100 | 151.0 | 4 |
| 中杜鵑 | <i>Cuculus saturatus</i> | 100 | 81.1 | 4 |
| 鷓鴣科 | Strigidae | | | |
| 鴉鷂 | <i>Glaucidium brodiei</i> | 80 | 58.0 | 2 |
| 鬚翼科 | Megalaimidae | | | |
| 五色鳥 | <i>Megalaima nuchalis</i> | 80 | 85.1 | 1 |
| 啄木鳥科 | Picidae | | | |
| 小啄木 | <i>Dendrocopos canicapillus</i> | 40 | 23.3 | 2 |
| 大赤啄木 | <i>Dendrocopos leucotos</i> | 60 | 108.0 | 2 |
| 綠啄木 | <i>Picus canus</i> | 80 | 137.0 | 2 |
| 八色鳥科 | Pittidae | | | |
| 八色鳥 | <i>Pitta nympha</i> | 50 | 74.3 | 3 |
| 山椒鳥科 | Campephagidae | | | |
| 灰喉山椒鳥 | <i>Pericrocotus solaris</i> | 50 | 14.0 | 2 |
| 黃鸝科 | Oriolidae | | | |
| 朱鸝 | <i>Oriolus traillii</i> | 60 | 74.0 | 2 |
| 卷尾科 | Dicruridae | | | |
| 小卷尾 | <i>Dicrurus aeneus</i> | 40 | 27.0 | 2 |

附錄一 (續)、研究當中所有取樣站記錄到的鳥種科名、中文名、學名、以及特定基礎半徑(m)

| 中文名 | 學名 | 特定基礎半徑(m) | 平均體重(g) | 平均體重出處 |
|--------------|---------------------------------|-----------|---------|--------|
| 王鷓科 | Monarchidae | | | |
| 黑枕藍鷓 | <i>Hypothymis azurea</i> | 40 | 12.4 | 1 |
| 鴉科 | Corvidae | | | |
| 松鴉 | <i>Garrulus glandarius</i> | 60 | 161.0 | 2 |
| 臺灣藍鵲 | <i>Urocissa caerulea</i> | 70 | 205.8 | 3 |
| 樹鵲 | <i>Dendrocitta formosae</i> | 70 | 104.0 | 2 |
| 星鴉 | <i>Nucifraga caryocatactes</i> | 100 | | |
| 巨嘴鴉 | <i>Corvus macrorhynchos</i> | 50 | 518.0 | 2 |
| 燕科 | Hirundinidae | | | |
| 東方毛腳燕 | <i>Delichon dasypus</i> | 100 | 145.0 | 2 |
| 山雀科 | Paridae | | | |
| 煤山雀 | <i>Parus ater</i> | 50 | 9.1 | 2 |
| 青背山雀 | <i>Parus monticolus</i> | 50 | 12.3 | 1 |
| 黃山雀 | <i>Macholophus holsti</i> | 40 | 12.5 | 3 |
| 樹鶯科 | Cettiidae | | | |
| 小鶯 | <i>Cattia fortipes</i> | 40 | 10.0 | 2 |
| 深山鶯 | <i>Cerria acanthizoides</i> | 60 | 6.4 | 3 |
| 棕面鶯 | <i>Abroscopus albogularis</i> | 60 | 5.9 | 1 |
| 長尾山雀科 | Aegithalidae | | | |
| 紅頭山雀 | <i>Aegithalos concinnus</i> | 30 | 66.1 | 2 |
| 鴉科 | Sittidae | | | |
| 茶腹鴉 | <i>Sitta europaea</i> | 40 | 22.0 | 2 |
| 鷓鴣科 | Troglodytidae | | | |
| 鷓鴣 | <i>Troglodytes troglodytes</i> | 60 | 8.9 | 2 |
| 鶇科 | Pycnonotidae | | | |
| 白環鸚嘴鶇 | <i>Spizixos semitorques</i> | 30 | 27.9 | 3 |
| 白頭翁 | <i>Pycnonotus sinensis</i> | 50 | 29.9 | 1 |
| 紅嘴黑鶇 | <i>Hypsipetes leucocephalus</i> | 50 | 50.7 | 1 |
| 戴菊科 | Regulidae | | | |
| 火冠戴菊鳥 | <i>Regulus goodfellowi</i> | 30 | 5.9 | 3 |
| 大尾鶯科 | Megaluridae | | | |
| 臺灣叢樹鶯 | <i>Bradypterus alishanensis</i> | 60 | 9.4 | 3 |
| 扇尾鶯科 | Cisticolidae | | | |
| 褐頭鷓鶯 | <i>Prinia inornata</i> | 70 | 8.3 | 1 |

附錄一 (續)、研究當中所有取樣站記錄到的鳥種科名、中文名、學名、以及特定基礎半徑(m)

| 中文名 | 學名 | 特定基礎半徑(m) | 平均體重(g) | 平均體重出處 |
|------------|---------------------------------|-----------|---------|--------|
| 鶯科 | Sylviidae | | | |
| 黃羽鸚嘴 | <i>Paradoxornis verreauxi</i> | 30 | 5.9 | 1 |
| 鶇科 | Muscicapidae | | | |
| 紅尾鶇 | <i>Muscicapa ferruginea</i> | 20 | 12.0 | 2 |
| 黃胸青鶇 | <i>Ficedula hyperythra</i> | 50 | 8.5 | 1 |
| 黃腹琉璃 | <i>Niltava vivida</i> | 60 | 33.0 | 2 |
| 白眉林鶇 | <i>Tarsiger indicus</i> | 60 | 14.1 | 1 |
| 栗背林鶇 | <i>Tarsiger johnstoniae</i> | 40 | 14.5 | 1 |
| 白尾鶇 | <i>Cinclidium leucurum</i> | 60 | 25.1 | 1 |
| 鶇科 | Turdidae | | | |
| 臺灣紫嘯鶇 | <i>Myophonus insularis</i> | 70 | 122.6 | 3 |
| 小翼鶇 | <i>Brachypteryx montana</i> | 50 | 21.6 | 2 |
| 畫眉科 | Timaliidae | | | |
| 白喉噪鶇 | <i>Garrulax albogularis</i> | 60 | 75.5 | 1 |
| 棕噪鶇 | <i>Garrulax poecilorhynchus</i> | 80 | 84.4 | 3 |
| 臺灣噪鶇 | <i>Garrulax morrisonianus</i> | 80 | 99.0 | 2 |
| 黃胸藪鶇 | <i>Liocichla steerii</i> | 60 | 31.6 | 1 |
| 大彎嘴 | <i>Pomatorhinus erythrogeus</i> | 80 | 63.0 | 2 |
| 小彎嘴 | <i>Pomatorhinus ruficollis</i> | 60 | 39.6 | 1 |
| 鱗胸鷓鴣 | <i>Pnoepyga albiventer</i> | 60 | 12.0 | 2 |
| 山紅頭 | <i>Stachyris ruficeps</i> | 70 | 10.5 | 1 |
| 紋翼畫眉 | <i>Actinodura morrisoniana</i> | 40 | 32.1 | 1 |
| 灰頭花翼 | <i>Alcippe cinereiceps</i> | 40 | 10.1 | 1 |
| 頭烏線 | <i>Alcippe brunnea</i> | 60 | 18.7 | 1 |
| 繡眼畫眉 | <i>Alcippe morrisonia</i> | 40 | 14.3 | 1 |
| 白耳畫眉 | <i>Heterophasia auricularis</i> | 80 | 47.6 | 1 |
| 冠羽畫眉 | <i>Yuhina brunneiceps</i> | 60 | 12.4 | 1 |
| 綠畫眉 | <i>Erpornis zantholeuca</i> | 40 | 12.8 | 5 |
| 綠繡眼 | <i>Zosterops japonicus</i> | 30 | 9.0 | 1 |
| 啄花科 | Dicaeidae | | | |
| 綠啄花 | <i>Dicaeum concolor</i> | 50 | 6.2 | 2 |
| 紅胸啄花 | <i>Dicaeum ignipectum</i> | 40 | 6.0 | 2 |
| 岩鷓科 | Prunellidae | | | |

附錄一（續）、研究當中所有取樣站記錄到的鳥種科名、中文名、學名、以及特定基礎半徑(m)

| 中文名 | 學名 | 特定基礎半徑(m) | 平均體重(g) | 平均體重出處 |
|-----------|----------------------------|-----------|---------|--------|
| 岩鷓 | <i>Prunella collaris</i> | 70 | 44.0 | 2 |
| 雀科 | Fringillidae | | | |
| 酒紅朱雀 | <i>Carpodacus vinaceus</i> | 30 | 22.7 | 1 |
| 褐鶯 | <i>Pyrrhula nipalensis</i> | 60 | 24.6 | 4 |
| 灰鶯 | <i>Pyrrhula erythaca</i> | 70 | 21.7 | 1 |

*鳥類名錄依照中華鳥會(2010)發表臺灣鳥類名錄。

*平均體重出處：

- 1: Shiu, H. J., T. S. Ding, J. E. Sheu, R. S. Lin, C. N. Koh, and P.-F. Lee. 2005. Morphological characters of bird species in Taiwan. *Taiwania* 50(2):80-92.
- 2: Lee P. F., T. S. Ding, and H. J. Shiu. 1998. Body size relation of breeding bird species in Taiwan. *Acta Zoologica Taiwanica* 1998: 47-59. (Appendix 1)
- 3: 劉小如、丁宗蘇、方偉宏、林文宏、蔡牧起、顏重威。2010。台灣鳥類誌。行政院農業委員會林務局。
- 4: Dunning Jr., J. B. 2007. *CRC handbook of avian body masses*, 2nd Edition. CRC.
- 5: Lee P. F., T. S. Ding, and H. J. Shiu. 1998. Body size relation of breeding bird species in Taiwan. *Acta Zoologica Taiwanica* 1998: 47-59. (Table 3)

附錄二、研究取樣站所記錄到的木本植物之科名、學名、以及中文名。

| 科名 | 中文名 | 學名 |
|---------------------|-------|--|
| Cyatheaceae 杪欏科 | 筆筒樹 | <i>Cyathea lepifera</i> |
| Podocarpaceae 羅漢松科 | 百日青 | <i>Podocarpus fasciculus</i> |
| Pinaceae 松科 | 二葉松 | <i>Pinus taiwanensis</i> |
| | 華山松 | <i>Pinus armandii</i> var. <i>masteriana</i> |
| | 鐵杉 | <i>Tsuga chinensis</i> var. <i>formosana</i> |
| | 台灣冷杉 | <i>Abies kawakamii</i> |
| Cupressaceae 柏科 | 台灣肖楠 | <i>Calocedrus macrolepis</i> var. <i>formosana</i> |
| | 紅檜 | <i>Chamaecyparis formosensis</i> |
| Juglandaceae 胡桃科 | 黃杞 | <i>Engelhardtia roxburghiana</i> |
| Salicaceae 楊柳科 | 褐毛柳 | <i>Salix fulvopubescens</i> |
| Fagaceae 殼斗科 | 大葉苦槠 | <i>Castanopsis kawakamii</i> |
| | 長尾栲 | <i>Castanopsis cuspidata</i> var. <i>carlesii</i> |
| | 鋸葉長尾栲 | <i>Castanopsis cuspidata</i> var. <i>sessilis</i> |
| | 捲斗櫟 | <i>Cyclobalanopsis pachyloma</i> |
| | 狹葉櫟 | <i>Cyclobalanopsis stenophylloides</i> |
| | 鬼石櫟 | <i>Lithocarpus lepidocarpus</i> |
| | 烏來柯 | <i>Limlia uraiana</i> |
| | 短尾葉石櫟 | <i>Pasania harlandii</i> |
| | 大葉石櫟 | <i>Pasania kawakamii</i> |
| | 油葉石櫟 | <i>Pasania konishii</i> |
| | 南投石櫟 | <i>Pasania nantoensis</i> |
| | 三斗石櫟 | <i>Pasania hancei</i> var. <i>ternaticupula</i> |
| | 高山櫟 | <i>Quercus spinosa</i> |
| Ulmaceae 榆科 | 山黃麻 | <i>Trema orientalis</i> |
| | 阿里山榆 | <i>Ulmus uyematsui</i> |
| | 石朴 | <i>Celtis formosana</i> |

附錄二 (續)、研究取樣站所記錄到的木本植物之科名、學名、以及中文名。

| 科名 | 中文名 | 學名 |
|------------------|--------|---|
| Moraceae | 桑科 | |
| | 大葉榕 | <i>Ficus caulocarpa</i> |
| | 水同木 | <i>Ficus fistulosa</i> |
| | 牛奶榕 | <i>Ficus erecta</i> var. <i>beecheana</i> |
| | 稜果榕 | <i>Ficus septica</i> |
| | 澀葉榕 | <i>Ficus irisana</i> |
| | 大丁黃 | <i>Maclura cochinchinensis</i> |
| Urticaceae | 蕁麻科 | |
| | 水麻 | <i>Debregeasia orientalis</i> |
| | 長梗紫麻 | <i>Oreocnide pedunculata</i> |
| | 長葉苧麻 | <i>Boehmeria watersii</i> |
| Proteaceae | 山龍眼科 | |
| | 山龍眼 | <i>Helicia formosana</i> |
| Magnoliaceae | 木蘭科 | |
| | 烏心石 | <i>Michelia compressa</i> var. <i>formosana</i> |
| Illiciaceae | 八角茴香科 | |
| | 台灣八角 | <i>Illicium arborescens</i> |
| Lauraceae | 樟科 | |
| | 香楠 | <i>Machilus zuihoensis</i> |
| | 豬腳楠 | <i>Machilus thunbergii</i> |
| | 假長葉楠 | <i>Machilus japonica</i> |
| | 香葉樹 | <i>Lindera communis</i> |
| | 長葉木薑子 | <i>Litsea acuminata</i> |
| | 厚殼桂 | <i>Cryptocarya chinensis</i> |
| | 香桂 | <i>Cinnamomum subavenium</i> |
| | 瓊楠 | <i>Beilschmiedia erythrophloia</i> |
| | 變葉新木薑子 | <i>Neolitsea aciculata</i> var. <i>variabilissima</i> |
| Trochodendraceae | 昆欄樹科 | |
| | 昆欄樹 | <i>Trochodendron aralioides</i> |
| Berberidaceae | 小蘗科 | |
| | 台灣小蘗 | <i>Berberis kawakamii</i> |
| Actinidiaceae | 獼猴桃科 | |
| | 水冬瓜 | <i>Saurauia tristyla</i> var. <i>oldhamii</i> |
| Theaceae | 茶科 | |

附錄二 (續)、研究取樣站所記錄到的木本植物之科名、學名、以及中文名。

| 科名 | 中文名 | 學名 |
|----------------|--------|--|
| | 垢果山茶 | <i>Camellia furfuracea</i> |
| | 中國柃木 | <i>Eurya chinensis</i> |
| | 光葉柃木 | <i>Eurya nitida</i> |
| | 厚葉柃木 | <i>Eurya glaberrima</i> |
| | 粗毛柃木 | <i>Eurya strigillosa</i> |
| | 木荷 | <i>Schima superba</i> |
| | 厚皮香 | <i>Ternstroemia gymnanthera</i> |
| | 烏皮茶 | <i>Pyrenaria shinkoensis</i> |
| Hamamelidaceae | 金縷梅科 | |
| | 水絲梨 | <i>Sycopsis sinensis</i> |
| Saxifragaceae | 虎耳草科 | |
| | 小花鼠刺 | <i>Itea parviflora</i> |
| | 華八仙 | <i>Hydrangea chinensis</i> |
| Rosaceae | 薔薇科 | |
| | 台灣老葉兒樹 | <i>Pourthiaea beauverdiana</i> var. <i>notabilis</i> |
| | 墨點櫻桃 | <i>Prunus phaeosticta</i> |
| | 玉山假沙梨 | <i>Photinia niitakayamensis</i> |
| | 巒大花楸 | <i>Sorbus randaiensis</i> |
| | 台灣枇杷 | <i>Eriobotrya deflexa</i> |
| Fabaceae | 豆科 | |
| | 領垂豆 | <i>Archidendron lucidum</i> |
| | 台灣紅豆樹 | <i>Ormosia formosana</i> |
| Euphorbiaceae | 大戟科 | |
| | 白匏子 | <i>Mallotus paniculatus</i> |
| | 血桐 | <i>Macaranga tanarius</i> |
| | 菲律賓饅頭果 | <i>Glochidion philippicum</i> |
| | 裡白饅頭果 | <i>Glochidion acuminatum</i> |
| | 白白 | <i>Sapium discolor</i> |
| | 刺格 | <i>Margaritaria indica</i> |
| | 密花五月茶 | <i>Antidesma japonicum</i> var. <i>densiflorum</i> |
| | 茄冬 | <i>Bischofia javanica</i> |
| Rutaceae | 芸香科 | |
| | 山刈葉 | <i>Melicope semecarpifolia</i> |
| | 賊仔樹 | <i>Tetradium glabrifolium</i> |
| Sapindaceae | 無患子科 | |

附錄二 (續)、研究取樣站所記錄到的木本植物之科名、學名、以及中文名。

| 科名 | 中文名 | 學名 |
|----------------------|--------|---|
| | 龍眼 | <i>Euphoria longana</i> |
| Sabiaceae 清風藤科 | 紫珠葉泡花樹 | <i>Meliosma callicarpifolia</i> |
| | 綠樟 | <i>Meliosma squamulata</i> |
| Aquifoliaceae 冬青科 | 台灣糊櫨 | <i>Ilex ficoidea</i> |
| | 苗栗冬青 | <i>Ilex bioritsensis</i> |
| Celastraceae 衛矛科 | 佩羅特木 | <i>Perrottetia arisanensis</i> |
| | 菱葉衛矛 | <i>Euonymus tashiroi</i> |
| | 福建賽衛矛 | <i>Microtropis fokienensis</i> |
| Staphyleaceae 省沽油科 | 台灣山香圓 | <i>Turpinia formosana</i> |
| Elaeocarpaceae 杜英科 | 杜英 | <i>Elaeocarpus sylvestris</i> |
| | 薯豆 | <i>Elaeocarpus japonicus</i> |
| Myrtaceae 桃金娘科 | 小葉赤楠 | <i>Syzygium buxifolium</i> |
| | 台灣赤楠 | <i>Syzygium formosanum</i> |
| | 檸檬桉 | <i>Eucalyptus maculata</i> var. <i>citriodora</i> |
| Melastomataceae 野牡丹科 | 柏拉木 | <i>Blastus cochinchinensis</i> |
| | 野牡丹 | <i>Melastoma septemnervium</i> |
| Araliaceae 五加科 | 台灣八角金盤 | <i>Fatsia polycarpa</i> |
| | 台灣鵝掌柴 | <i>Schefflera taiwaniana</i> |
| | 江某 | <i>Schefflera octophylla</i> |
| | 裡白刺蔥 | <i>Aralia bipinnata</i> |
| | 台灣樹參 | <i>Dendropanax dentiger</i> |
| Ericaceae 杜鵑花科 | 玉山杜鵑 | <i>Rhododendron pseudochrysanthum</i> |
| | 西施花 | <i>Rhododendron ellipticum</i> |
| Myrsinaceae 紫金牛科 | 小葉樹杞 | <i>Ardisia quinquegona</i> |

附錄二 (續)、研究取樣站所記錄到的木本植物之科名、學名、以及中文名。

| 科名 | 中文名 | 學名 |
|----------------|-------|---|
| | 玉山紫金牛 | <i>Ardisia cornudentata</i> ssp. <i>morrisonensis</i> |
| | 樹杞 | <i>Ardisia sieboldii</i> |
| | 台灣山桂花 | <i>Maesa perlaria</i> var. <i>formosana</i> |
| Ebenaceae | 柿樹科 | |
| | 山紅柿 | <i>Diospyros morrisiana</i> |
| Styracaceae | 安息香科 | |
| | 紅皮 | <i>Styrax suberifolia</i> |
| Symplocaceae | 灰木科 | |
| | 山豬肝 | <i>Symplocos theophrastifolia</i> |
| | 山羊耳 | <i>Symplocos glauca</i> |
| | 尾葉灰木 | <i>Symplocos caudata</i> |
| | 能高灰木 | <i>Symplocos nokoensis</i> |
| | 玉山灰木 | <i>Symplocos morrisonicola</i> |
| Oleaceae | 木犀科 | |
| | 大葉木犀 | <i>Osmanthus matsumuranus</i> |
| Rubiaceae | 茜草科 | |
| | 九節木 | <i>Psychotria rubra</i> |
| | 山黃梔 | <i>Gardenia jasminoides</i> |
| | 狗骨仔 | <i>Tricalysia dubia</i> |
| | 茜草樹 | <i>Randia cochinchinensis</i> |
| | 薄葉雞屎樹 | <i>Lasianthus microstachys</i> |
| | 雞屎樹 | <i>Lasianthus obliquinervis</i> |
| Verbenaceae | 馬鞭草科 | |
| | 龍船花 | <i>Clerodendrum kaempferi</i> |
| | 巒大紫珠 | <i>Callicarpa randaiensis</i> |
| | 台灣紫珠 | <i>Callicarpa formosana</i> |
| | 海州常山 | <i>Clerodendrum trichotomum</i> |
| Caprifoliaceae | 忍冬科 | |
| | 玉山莢迷 | <i>Viburnum integrifolium</i> |
| | 呂宋莢迷 | <i>Viburnum luzonicum</i> |
| | 冇骨消 | <i>Sambucus chinensis</i> |

* 依照 Flora of Taiwan (2nd edition, vol. 6)。

附錄三、各取樣站棲地因子

取樣站編號

| 中文 | 代碼 | A1 | A2 | A3 | A4 | B1 | B2 | B3 | B4 | C1 | C2 | C3 | C4 | D1 | D2 | D3 | D4 | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | G1 | G2 | G3 | G4 | G5 | G6 |
|------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 樹木密度 (No./m ²) | TD | 0.19 | 0.21 | 0.13 | 0.20 | 0.82 | 0.88 | 0.53 | 0.88 | 0.19 | 0.13 | 0.08 | 0.24 | 0.18 | 0.24 | 0.15 | 0.20 | 0.12 | 0.15 | 0.36 | 0.47 | 0.61 | 0.52 | 0.35 | 0.69 | 0.48 | 0.22 | - | 0.22 | 0.08 | 0.32 | 0.23 | 0.07 |
| 樹種歧異度 | TSD | 0.84 | 1.47 | 1.28 | 1.25 | 2.08 | 2.09 | 2.35 | 2.39 | 0.77 | 1.70 | 1.23 | 1.28 | 0.92 | 1.43 | 0.87 | 1.60 | 1.37 | 0.61 | 1.78 | 0.81 | 1.53 | 1.69 | 1.63 | 0.75 | 0.31 | 0.11 | - | 0.26 | 0.27 | 0.13 | 0.08 | 0.03 |
| 總覆蓋度 | T-C | 13.27 | 11.41 | 13.78 | 14.63 | 13.91 | 14.51 | 10.05 | 12.20 | 14.76 | 15.99 | 20.04 | 19.17 | 13.82 | 18.06 | 16.61 | 16.94 | 9.38 | 9.13 | 10.06 | 7.60 | 9.48 | 9.66 | 8.56 | 7.39 | 9.94 | 7.54 | 4.34 | 3.90 | 4.27 | 9.62 | 11.63 | 9.05 |
| 平均覆蓋度 | M-C | 0.83 | 0.71 | 0.86 | 0.91 | 0.87 | 0.91 | 0.63 | 0.76 | 0.92 | 1.00 | 1.25 | 1.20 | 0.86 | 1.13 | 1.04 | 1.06 | 0.59 | 0.57 | 0.63 | 0.47 | 0.59 | 0.60 | 0.54 | 0.46 | 0.62 | 0.47 | 0.27 | 0.24 | 0.27 | 0.60 | 0.73 | 0.57 |
| 草本層覆蓋度 | H-C | 2.13 | 1.44 | 2.05 | 1.93 | 2.26 | 1.48 | 0.99 | 1.46 | 2.59 | 2.59 | 2.17 | 2.18 | 2.07 | 2.11 | 2.15 | 1.82 | 1.51 | 2.11 | 1.43 | 1.21 | 1.27 | 0.40 | 0.22 | 0.62 | 0.62 | 0.51 | 2.23 | 2.00 | 2.11 | 0.93 | 1.43 | 1.33 |
| 灌木層覆蓋度 | S-C | 1.09 | 0.58 | 1.19 | 1.23 | 0.66 | 0.77 | 0.35 | 0.41 | 0.93 | 1.03 | 1.72 | 2.03 | 1.29 | 1.88 | 1.57 | 1.57 | 0.54 | 0.54 | 0.63 | 0.49 | 0.18 | 0.42 | 0.30 | 0.26 | 0.73 | 0.70 | 0.53 | 0.48 | 0.53 | 1.05 | 0.84 | 1.32 |
| 次冠層覆蓋度 | SC-C | 0.87 | 1.07 | 1.00 | 0.92 | 0.73 | 0.75 | 0.63 | 0.65 | 0.75 | 0.78 | 0.65 | 0.54 | 0.20 | 0.86 | 0.88 | 0.58 | 0.48 | 0.29 | 0.52 | 0.46 | 0.57 | 0.56 | 0.63 | 0.28 | 0.36 | 0.15 | - | - | - | 0.32 | 0.61 | 0.47 |
| 樹冠層覆蓋度 | C-C | 0.51 | 0.53 | 0.48 | 0.77 | 1.22 | 1.60 | 1.01 | 1.63 | 0.81 | 0.96 | 1.61 | 1.27 | 1.30 | 0.59 | 0.52 | 1.19 | 0.70 | 1.13 | 0.71 | 0.15 | 1.19 | 1.26 | 0.75 | 1.61 | 1.56 | 1.44 | - | 0.48 | 0.02 | 0.84 | 0.66 | 0.02 |
| 枝葉高度歧異度 | FHD | 2.34 | 2.23 | 2.25 | 2.30 | 2.43 | 2.43 | 2.42 | 2.36 | 2.45 | 2.35 | 2.20 | 2.07 | 2.37 | 2.38 | 2.26 | 2.40 | 2.24 | 2.44 | 2.40 | 2.41 | 2.39 | 2.44 | 2.08 | 2.25 | 1.82 | - | 0.07 | 0.11 | 2.27 | 2.43 | 1.54 | |
| 木本植物平均胸高直徑(cm) | M-DBH | 4.77 | 4.43 | 4.00 | 4.89 | 5.27 | 5.29 | 5.58 | 4.53 | 10.12 | 10.10 | 11.45 | 6.19 | 5.81 | 4.52 | 7.60 | 9.44 | 9.78 | 4.99 | 5.96 | 7.68 | 5.61 | 12.03 | 8.74 | 8.62 | 8.94 | 20.13 | - | 3.58 | 6.40 | 13.94 | 14.12 | 20.06 |
| 木本植物胸高直徑變異係數 | CV-DBH | 0.80 | 1.13 | 0.93 | 1.10 | 1.25 | 1.56 | 1.44 | 1.42 | 3.09 | 1.33 | 1.51 | 1.94 | 1.70 | 1.66 | 1.94 | 1.37 | 1.53 | 1.72 | 1.91 | 1.31 | 1.68 | 1.43 | 1.09 | 1.37 | 2.65 | 1.77 | - | 0.60 | 0.81 | 1.56 | 1.26 | 1.15 |
| 木本植物總胸高斷面積(cm ²) | TBA | 48.05 | 24.59 | 9.76 | 33.32 | 240.12 | 307.75 | 103.12 | 182.29 | 173.35 | 49.58 | 39.20 | 91.19 | 46.93 | 42.93 | 78.59 | 113.09 | 58.93 | 36.10 | 99.77 | 231.82 | 358.59 | 444.51 | 244.76 | 382.03 | 314.94 | 356.50 | - | 73.65 | 26.93 | 273.54 | 314.74 | 260.74 |
| 樹冠層高度(m) | CH | 10.5 | 9.0 | 9.7 | 11.4 | 17.2 | 18.9 | 16.0 | 20.5 | 14.1 | 15.7 | 19.2 | 17.0 | 18.5 | 11.7 | 12.9 | 15.2 | 12.8 | 16.3 | 14.7 | 11.8 | 16.6 | 17.8 | 14.5 | 19.0 | 19.2 | 18.1 | 0.8 | 1.0 | 1.0 | 13.3 | 12.2 | 4.1 |

附錄四、各取樣站鳥種密度表(No./ha)

| 中文名 | 代號 | 學名 | 取樣站編號 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-----|---------------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|
| | | | A1 | A2 | A3 | A4 | B1 | B2 | B3 | B4 | C1 | C2 | C3 | C4 | D1 | D2 | D3 | D4 | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | G1 | G2 | G3 | G4 | G5 | G6 | |
| 繡眼畫眉 | A | <i>Alcippe morrisonia</i> | 2.11 | 1.49 | 2.36 | 3.48 | 3.23 | 2.61 | 2.36 | 2.74 | 1.99 | 3.71 | 1.33 | 0.93 | 0.66 | 0.27 | 0.40 | 0.13 | - | 0.27 | - | - | 0.53 | 0.85 | 1.71 | 0.28 | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 棕面鶯 | AA | <i>Abroscopus albogularis</i> | 0.33 | 0.88 | 1.38 | 1.22 | 0.11 | 0.17 | - | - | 2.77 | 3.07 | 1.30 | 2.36 | 1.53 | 2.42 | 3.60 | 2.48 | 1.41 | 2.36 | 1.18 | 2.30 | 2.06 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 頭烏線 | AB | <i>Alcippe brunnea</i> | 1.55 | 1.77 | 1.33 | 1.44 | 1.49 | 1.88 | 1.88 | 2.65 | 0.88 | 0.59 | 0.24 | 0.24 | 1.89 | 0.59 | - | 0.24 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 紅頭山雀 | AC | <i>Aegithalos concinnus</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | 1.41 | - | - | - | 0.71 | - | 0.47 | - | - | 1.18 | - | - | 3.07 | 2.53 | 1.52 | 1.01 | 0.76 | - | - | - | - | - | 0.94 | 0.24 | |
| 灰頭花翼 | AC2 | <i>Alcippe cinereiceps</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.27 | - | - | - | - | 1.14 | 1.71 | 0.85 | 2.27 | 1.42 | - | 0.13 | 1.06 | 2.52 | 2.25 | 2.25 | |
| 深山竹雞 | AC3 | <i>Arborophila crudigularis</i> | 0.33 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | - | - | - | 0.33 | - | - | 0.12 | - | - | 0.12 | - | - | 0.12 | - | - | 0.35 | 0.53 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 紋翼畫眉 | AM | <i>Actinodura morrisoniana</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.27 | - | 0.27 | - | - | 0.13 | 0.27 | - | - | - | - | 0.85 | 0.57 | 0.28 | - | - | - | - | 0.66 | - | - | |
| 鳳頭蒼鷹 | AT | <i>Accipiter trivirgatus</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.14 | - | - | - | - | - | - | - |
| 臺灣山鷓鴣 | B | <i>Bambusicola throaica</i> | - | 0.80 | 1.03 | - | 0.24 | 0.24 | 0.32 | 0.08 | 0.25 | - | - | - | 0.17 | 0.08 | 0.08 | 0.34 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 臺灣叢樹鶯 | BA | <i>Bradypterus alishanensis</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.12 | 0.12 | - | - | - | - | - | 0.25 | - | 0.13 | 0.25 | 0.25 | 0.65 | 0.12 | 0.12 | 0.41 | 0.06 | 0.06 | |
| 小翼鶉 | BM | <i>Brachypteryx montana</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.17 | - | 0.42 | 0.68 | 1.02 | 1.19 | 1.19 | 0.76 | - | - | - | 0.18 | 0.55 | 0.36 | 0.73 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 巨嘴鴉 | C | <i>Corvus macrorhynchos</i> | - | 0.16 | - | - | - | - | 0.08 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.25 | 0.08 | - | 0.85 | 1.02 | 0.76 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | - | - | - | - | - | - | - |
| 深山鶯 | CA | <i>Cerria acanthizoides</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.35 | 0.06 | 0.06 | 0.12 | 2.46 | 2.15 | 0.88 | 2.34 | 3.54 | 1.77 | 3.07 | 3.54 | 2.83 | 3.18 | 2.83 | |
| 小鶯 | CF | <i>Cattia fortipes</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1.14 | 0.28 | 0.43 | 0.43 | 0.57 | 0.27 | 0.66 | 0.66 | 0.27 | 0.80 | 0.13 | |
| 翠翼鳩 | CI | <i>Chalcophaps indica</i> | - | 0.12 | 0.19 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 灰林鴿 | CN | <i>Columba pulchricollis</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.24 | 0.12 | 0.24 | 0.18 | 0.47 | 0.24 | 0.18 | - | 0.12 | 0.12 | 0.06 | - | - | 0.13 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 中柱鶉 | CS | <i>Cuculus saturatus</i> | 0.16 | 0.12 | 0.32 | 0.02 | - | - | - | - | 0.08 | - | - | 0.13 | 0.08 | - | - | - | - | - | 0.04 | - | - | 0.09 | 0.27 | - | 0.25 | 0.05 | - | - | 0.04 | - | 0.04 | 0.08 | |
| 鷹鴉 | CS2 | <i>Cuculus sparverioides</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.07 | 0.14 | 0.07 | 0.04 | 0.11 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | - | 0.04 | - | - | 0.18 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 酒紅朱雀 | CV | <i>Carpodacus vinaceus</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1.01 | 0.25 | - | 1.52 | 0.76 | 3.07 | 0.24 | 1.18 | 1.41 | 1.18 | 0.24 | |

附錄四 (續)、各取樣站鳥種密度表(No./ha)

| 中文名 | 代號 | 學名 | 取樣站編號 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-----|---------------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|---|---|---|---|---|
| | | | A1 | A2 | A3 | A4 | B1 | B2 | B3 | B4 | C1 | C2 | C3 | C4 | D1 | D2 | D3 | D4 | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | G1 | G2 | G3 | G4 | G5 | G6 | | | | | | |
| 小啄木 | DC | <i>Dendrocopos canicapillus</i> | - | - | 0.25 | 0.87 | 0.50 | 0.37 | - | 0.25 | 0.40 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| 東方毛腳燕 | DD | <i>Delichon dasypus</i> | - | - | - | - | - | 0.08 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| 樹鵲 | DF | <i>Dendrocitta formosae</i> | 0.24 | 0.16 | 0.08 | 0.24 | 0.20 | 0.57 | 0.32 | 0.41 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| 紅胸啄花 | DI | <i>Dicaeum ignipectum</i> | - | - | - | - | 0.37 | 0.62 | - | 0.50 | 1.19 | 0.27 | 0.66 | 0.40 | 0.80 | 2.12 | 1.06 | 0.27 | 0.53 | 1.72 | 0.27 | 0.80 | 0.53 | 0.14 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| 綠啄花 | DIC | <i>Dicaeum concolor</i> | - | - | - | - | 0.56 | 1.27 | 0.56 | 1.27 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 大赤啄木 | DL | <i>Dendrocopos leucotos</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.12 | 0.06 | - | 0.24 | 0.06 | - | - | - | 0.12 | 0.24 | 0.29 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| 綠畫眉 | E | <i>Erpornis zantholeuca</i> | 0.99 | 0.37 | 0.62 | 1.12 | 1.74 | 1.99 | 1.24 | 0.50 | 0.13 | - | - | - | 0.53 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| 黃胸青鵲 | FH | <i>Ficedula hyperythra</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.34 | - | 0.08 | - | 0.34 | 0.17 | - | 1.02 | 0.51 | 0.17 | 0.68 | 0.51 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| 台灣噪鵲 | G | <i>Garrulax morrisonianus</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.07 | - | 0.13 | 0.07 | 1.10 | 1.67 | 1.10 | 0.78 | 1.42 | 1.26 | 0.66 | 0.83 | 1.39 | 1.23 | 1.16 | - | - | - | | | |
| 白喉噪鵲 | GA | <i>Garrulax albogularis</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.12 | - | - | - | - | 0.35 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 鵲鵲 | GB | <i>Glaucidium brodiei</i> | - | - | - | - | 0.06 | - | 0.06 | 0.19 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.07 | 0.07 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 黑冠麻鷲 | GOM | <i>Gorsachius melanophus</i> | - | 0.24 | - | - | 0.24 | 0.08 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 棕噪鵲 | GP | <i>Garrulax poecilorhynchus</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.07 | - | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.27 | 0.07 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 白耳畫眉 | H | <i>Heterophasia auricularis</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | 2.85 | 2.72 | 3.12 | 3.38 | 3.08 | 3.42 | 3.08 | 2.92 | 2.85 | 3.08 | 3.05 | 3.05 | 2.88 | 0.07 | 0.28 | 0.46 | 0.28 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 黑枕藍鵲 | HA | <i>Hypothymis azurea</i> | 4.48 | 2.61 | 4.72 | 3.98 | 2.11 | 1.49 | 0.99 | 1.12 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 紅嘴黑鵲 | HL | <i>Hypsipetes leucocephalus</i> | 1.51 | 1.11 | 1.11 | 0.88 | 2.39 | 1.35 | 0.64 | 3.02 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.17 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 松鴉 | J | <i>Garrulus glandarius</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.12 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 黃胸薺鵲 | L | <i>Liocichla steerii</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | 3.83 | 3.89 | 4.13 | 4.72 | 3.18 | 3.54 | 3.71 | 3.30 | 3.07 | 3.01 | 1.77 | 4.01 | 2.71 | 0.19 | 1.14 | 0.63 | 0.38 | 0.06 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 白眉林鴉 | LI | <i>Tarsiger indicus</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.51 | 0.63 | 0.63 | 1.39 | 0.88 | 0.24 | - | 0.71 | 0.83 | 0.71 | 0.94 | - | - | - | - | - | |

附錄四 (續)、各取樣站鳥種密度表(No./ha)

| 中文名 | 代號 | 學名 | 取樣站編號 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|-----|--------------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|
| | | | A1 | A2 | A3 | A4 | B1 | B2 | B3 | B4 | C1 | C2 | C3 | C4 | D1 | D2 | D3 | D4 | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | G1 | G2 | G3 | G4 | G5 | G6 | | |
| 灰喉山椒鳥 | PS | <i>Pericrocotus solaris</i> | 0.16 | 0.40 | 0.32 | 0.16 | 0.72 | 0.32 | 0.32 | 0.40 | 0.34 | 0.17 | - | - | - | - | - | - | 0.17 | - | - | 0.17 | 0.85 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 白頭翁 | PS2 | <i>Pycnonotus sinensis</i> | 2.63 | 1.99 | 1.51 | 1.51 | 0.16 | - | - | 0.32 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.09 | - | - | - | 0.18 | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 黃羽鸚嘴 | PV | <i>Paradoxornis verreauxi</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1.26 | - | 0.25 | - | - | - | - | 1.41 | 1.89 | - | - | | |
| 灰鶯 | PYE | <i>Pyrrhula erythaca</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.09 | - | - | - | 0.42 | 0.35 | - | 0.13 | 0.26 | 0.35 | - | - | |
| 褐鶯 | PYN | <i>Pyrrhula nipalensis</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.12 | - | - | 0.12 | 0.12 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 火冠戴菊鳥 | R | <i>Regulus goodfellowi</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 3.28 | - | - | 4.04 | 3.28 | - | - | 1.65 | 7.31 | 5.66 | 2.36 | - | |
| 大冠鶯 | S | <i>Spilornis cheela</i> | - | - | - | - | - | - | 0.16 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.17 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 珠頸斑鳩 | SC | <i>Streptopelia chinensis</i> | 0.16 | 0.64 | 0.16 | - | - | 0.16 | - | 0.32 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 茶腹鵲 | SE | <i>Sitta europaea</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.53 | 0.40 | - | 0.27 | - | - | 0.27 | - | 1.06 | 0.80 | - | 0.57 | 0.28 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 金背鳩 | SO | <i>Streptopelia orientalis</i> | - | 0.12 | 0.32 | 0.40 | 0.12 | - | - | 0.08 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 山紅頭 | SR | <i>Stachyris ruficeps</i> | 1.95 | 2.15 | 1.58 | 1.87 | 0.57 | 0.89 | 0.57 | 0.89 | 2.12 | 2.17 | 1.91 | 1.52 | 1.73 | 2.04 | 1.91 | 2.08 | 1.60 | 1.34 | 0.78 | 0.82 | 1.04 | 0.19 | 0.65 | 0.28 | 0.09 | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 白環鸚嘴鵲 | SS | <i>Spizixos semitorques</i> | 0.88 | 1.11 | 1.55 | 1.33 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 綠鳩 | T | <i>Treron sieboldii</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.17 | 0.76 | - | - | 0.34 | 0.34 | - | 0.17 | 0.68 | - | 0.34 | 0.17 | - | - | - | - | 0.55 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 鸛鵒 | TT | <i>Troglodytes troglodytes</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.83 | 0.24 | 0.47 | 1.06 | 0.59 | 0.24 | - |
| 臺灣藍鵲 | U | <i>Urocissa caerulea</i> | - | - | - | 0.08 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 冠羽畫眉 | Y | <i>Yuhina brunneiceps</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.83 | 0.88 | 1.06 | 0.12 | 1.71 | 1.06 | 2.30 | 1.77 | 4.07 | 5.13 | 1.89 | 1.47 | 2.12 | 5.62 | 5.87 | 4.29 | 3.41 | 0.32 | - | 0.12 | - | - | - | - | - | |
| 綠繡眼 | Z | <i>Zosterops japonicus</i> | 0.88 | 0.66 | - | - | - | - | - | 0.88 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 海拔高度 (m) | | | 183 | 198 | 213 | 243 | 646 | 663 | 670 | 715 | 1286 | 1346 | 1345 | 1379 | 1460 | 1500 | 1548 | 1600 | 2215 | 2210 | 2100 | 2060 | 2010 | 2680 | 2681 | 2688 | 2774 | 2874 | 3103 | 3078 | 3122 | 3057 | 3101 | 3110 | - | |
| 鳥類總密度 | | | 20.8 | 20.5 | 22.3 | 22.8 | 20.3 | 19.5 | 12.1 | 20.9 | 22.3 | 21.5 | 19.0 | 19.1 | 21.1 | 19.8 | 22.2 | 19.7 | 23.8 | 25.7 | 14.4 | 19.2 | 24.4 | 23.5 | 24.0 | 14.8 | 22.8 | 16.6 | 11.1 | 5.9 | 11.4 | 22.2 | 21.3 | 11.9 | - | |

附錄四 (續)、各取樣站鳥種密度表(No./ha)

| 中文名 | 取樣站編號 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | A1 | A2 | A3 | A4 | B1 | B2 | B3 | B4 | C1 | C2 | C3 | C4 | D1 | D2 | D3 | D4 | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | G1 | G2 | G3 | G4 | G5 | G6 |
| 鳥類物種豐富度 (種) | 20 | 26 | 24 | 23 | 23 | 23 | 17 | 22 | 21 | 21 | 24 | 26 | 28 | 24 | 27 | 22 | 19 | 26 | 16 | 23 | 25 | 24 | 24 | 21 | 24 | 20 | 11 | 10 | 14 | 16 | 17 | 14 |

