

四草紅樹林及防風林的飛蟲調查

黃文伯¹，林廷翰¹，葛兆年^{2,3}

¹國立臺南大學生態科學與技術學系；²行政院農業委員會林業試驗所森林保護組；³通訊作者

E-mail: nien@tfri.gov.tw

[摘要] 本文探討台江國家公園四草地區紅樹林與防風林棲地的飛蟲組成、季節性消長與環境溫度的關係。調查時間為 2010 年 4 月至 2011 年 3 月，每個研究區以 3 個窗式攔截器懸掛於樹枝上，在每個月收集兩週下，於紅樹林研究區共捕獲飛蟲 64 種 265 隻次，防風林研究區 109 種 641 隻次。在防風林研究區的飛蟲物種豐度、個體數量、多樣性指數皆高於紅樹林研究區，但防風林研究區物種均勻度則低於紅樹林研究區。紅樹林昆蟲物種豐度在各月的分佈波動較小，防風林研究區則在秋冬季節有較高的物種豐度及個體數量。在防風林研究區中飛蟲隻次對數值與溫度有顯著負相關，而物種均勻度指數對數值則與溫度有顯著正相關。紅樹林中飛蟲個體數量佔優勢的科別為膜翅目的蟻科和雙翅目的搖蚊科，而在防風林則為半翅目的木蝨科和蚜蟲科。

關鍵字：飛蟲、物種多樣性、紅樹林、防風林、四草

Flying Insects of a Mangrove Forest and a Windbreak in Sihcao

Wenbe Hwang¹, Ting-Han Lin¹ and Chao-Nien Koh^{2,3}

¹Department of Ecoscience and Ecotechnology, National University of Tainan; ²Department of Forest Protection, Taiwan Forestry Research Institute; ³Corresponding author E-mail: nien@tfri.gov.tw

ABSTRACT The objective of this study was to investigate the flying insects, their seasonality and possible relationship with temperature on flying insect species richness, abundance, diversity index and evenness of a mangrove forest and a windbreak, respectively, in Sihcao of Taijiang National Park, Tainan, Taiwan. Flight-intercepted traps were used to catch insects in the mangrove and the windbreak where the vegetations were different but both in stable conditions. Sixty-four species and 265 individuals of insects were captured in the mangrove, and 109 species and 641 individuals in the windbreak from April 2010 to March 2011. The species richness, abundance, and diversity index of the insect community in the windbreak were higher than those in the mangrove except that the evenness of the insect community in the windbreak was lower. The species richness and abundance of the insect community were higher during fall and winter in the windbreak where we found a negative correlation between log-abundance of the insect community and the temperature, but a positive correlation between log-evenness of the insect community and the temperature. The dominant insect families were Formicidae of Hymenoptera and Chironomidae of Diptera in the mangrove while those were Psyllidae and Aphididae of Hemiptera in the windbreak.

Keywords: flying insect, species diversity, mangrove, windbreak, Sihcao

前言

臺灣西南部沿海的四草濕地，在 2007 年由內政部營建署評選為「國際級濕地」，2009 年成立的「台江國家公園」，更是將此一地區納入國家公園範圍，但由於長期以來的人為開發，目前廢棄魚塢及舊鹽田散佈其中，鹽生草澤廣佈於各區。林地參雜在四草濕地中，屬於面積較小的區塊，不論是紅樹林或防風林因生長環境或人為需求，皆呈現帶狀分佈，沿感潮溝生長的紅樹林兩側為較開闊的魚塢與草澤，而防風林一側為魚塢與草澤外，另一側則為濱臨臺灣海峽的沙灘。由於區塊的大小形狀會影響區塊邊緣所佔的比例，區塊面積越小或形狀越狹長，邊緣所佔比例越高，邊緣效應越明顯，物種豐富度也應越高，例如 Lövei *et al.* (2006) 針對破碎化林地內的步行蟲作調查，即呈現此一結果。四草的紅樹林與防風林的帶狀分布增加了棲地邊界對面積的比值，在與開闊地接觸面較大的情況下，紅樹林與防風林內的物種應深受周圍生態系統所影響，昆蟲組成除了原紅樹林與防風林的物種外，很可能混雜了開闊地的物種在內，目前除黃秀雯(2005)曾調查七股野生動物重要棲息地之林地昆蟲相外，其他地點昆蟲相的調查並不多，因此本研究目的之一即在於調查四草濕地中紅樹林棲地與防風林棲地中飛行昆蟲的組成，並分析可能的原生及非原生物種，做為四草林地管理的基礎，並可在環境變遷下，做為監測四草林地的依據。

在生物群聚的研究中，經常使用物種豐富度(species richness)與物種勻度(species evenness)來定義物種多樣性(species diversity) (Molles 2006, Smith and Smith 2009)。例如北美 New Hampshire 四十年老林中，以飛行攔截器(flight intercept trap)或稱窗式攔截器(window traps)調查球蕈蟲科(Leiodidae)昆蟲的季節性物種豐富度變化，並以多樣性指數探討不同地點的群聚差異(Chandler and Peck 1992)；或是在墨西哥兩林中，使用物種豐富度、物種多樣性指數和較

早期物種勻度(equitability)的概念，比較不同棲地間糞食性與屍食性金龜子亞科(Scarabaeinae)昆蟲群聚結構的差異(Halfpiter and Favila 1993)；甚至在全球各生物地理區的糞金龜(dung beetles)功能群比較研究中，物種豐富度與物種多樣性指數亦為不可或缺的工具之一(Davis and Scholtz 2001)。一個棲地的物種多樣性和群聚組成，受到生物性因子或非生物性因子的影響：在生物性因子上，資源的競爭會影響物種對棲地的選擇(MacArthur & Levins, 1964)；而在非生物性因子上，棲地物理條件時間性的變化，亦可能影響昆蟲的分佈，例如溫度影響步行蟲(Haysom *et al.* 2004)、螞蟻(Kaspari *et al.* 2000)的活動，照度影響甲蟲(Antvogel and Bonn 2001)、螞蟻(Gano and Rogers 1983)的活動力。此外，環境異質性(environmental heterogeneity)提供生物不同的棲位選擇(Potts *et al.* 2004)，隨著不同植被類型棲地結構的不同，物種的組成也會有所差異，並對昆蟲的活動造成影響，植被狀態造成微棲地的條件不同，也是影響昆蟲季節性波動的重要因子。林冠遮蔽度、灌叢及草本植物覆蓋度、土壤濕度、枯枝落葉與腐木數量及礫岩等棲地的異質程度，皆可能影響昆蟲物種豐富度與個體數量(Lassau *et al.* 2005)。

紅樹林與防風林兩種棲地在植物種類或是物理結構上大不相同，前者林底為水域，後者為陸域，除植被類型不同，造成資源提供的差異外，隨時間不同的溫度或照度皆可能影響昆蟲的群聚。紅樹林由於林底即為水域，較適用懸掛式的陷阱，為了以相同方法比較紅樹林與防風林兩棲地的昆蟲相，本研究僅針對兩棲地飛行昆蟲進行調查，除了解紅樹林與防風林棲地飛蟲的組成之外，比較兩棲地飛蟲物種組成的差異，並找出兩棲地飛蟲的季節性變化，以及了解溫度及照度與飛蟲相的關係。

材料與方法

一、研究地點

研究地點位於台江國家公園四草的紅樹林與防風林，紅樹林研究區(座標為 N23°02'15", E120°05'45")為一流向鹿耳門溪的感潮溝，附近多為已開發之魚塢，西南側緊鄰防風林，東南邊接鹿耳門溪，研究區內有為數眾多的紅樹林植物欖李(*Lumnitzera racemosa* Willd.)沿感潮溝及堤岸生長，且高度達 2~3 m，除欖李外，其他植物甚少。

防風林研究區(座標為 N23°01'59", E120°05'36")為曾文溪口南岸沿海岸線生長的防風林帶，西側是緊鄰臺灣海峽的沙灘，東側為大片養殖魚塢，樹林成狹長帶狀分佈，優勢植物為木麻黃(*Casuarina equisetifolia* L.)，血桐(*Macaranga tanarius* (L.)Muell.-Arg)則散生其中，底層植被以大黍(*Panicum maximum* Jacq.)為主，另外長有大花咸豐草(*Bidens pilosa* L. var. *radiata* Sch.)，樹冠層遮蔽度高，林內除了幾條小步道偶有人跡外，幾乎沒有人為干擾，研究區設置在防風林的中心位置(圖 1)。



圖 1. 台江國家公園四草飛蟲研究區(引自 Google Earth 空拍圖)。a：防風林(城西保安林區)、b：紅樹林(城西濕地景觀區)，星號為窗式攔截器放置點

二、調查方法

從 2010 年 4 月起至 2011 年 3 月止，參考西太平洋暨亞洲國際生物多樣性網絡(DIWPA)所提供的窗式攔截器(window traps) (陸聲山等 2007)，以自製之窗式攔截器，捕捉在防風林

及紅樹林飛行穿梭的昆蟲，窗式攔截器為取直徑 30 cm，高 10 cm 的圓形塑膠盆作為底部集蟲水盆，水盆水面滴入一般市售清潔劑破壞其表面張力，並在距離水盆頂端 2 cm 的盆壁上，用鑽子沿圓周取平均距離鑽 8 個小洞，避免大量的降雨造成水面高漲溢出盆外，影響實驗的結果。塑膠水盆上方以四片寬 15 cm，高 30 cm 的透明壓克力板組成十字型擋板，中央及外側分別固定在鐵條上，擋板上方、距離水盆頂端約 50 cm 處再覆以邊長 50 cm 的塑膠板，防止雜物及雨水落入盆內(圖 2)。

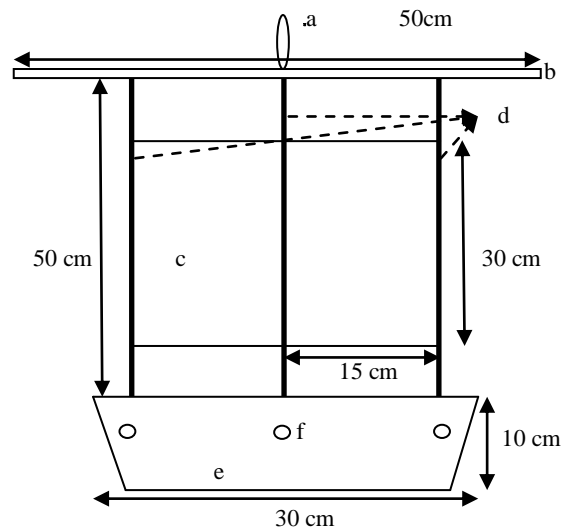


圖 2. 窗式攔截器剖面圖(a：繩索、b：塑膠遮雨板、c：透明壓克力擋板、d：鐵條、e：塑膠水盆、f：排水孔)

在紅樹林及防風林兩研究區以隨機的方式分別以繩子吊掛 3 組在樹枝上，盆底離地面或水面約 1 m，每月後半月連續收集 2 週的資料。採集到的昆蟲先區分至形態種，標本以 75% 的酒精溶液浸泡保存置於國立臺南大學榮譽校區 B305 室標本保存櫃中，並請陽明大學生命科學系曹順成教授協助鑑定半翅目、國立自然科學博物館的詹美玲博士協助鑑定嚙蟲目、行政院農委會農業試驗所的李奇峰博士協助鑑定鞘翅目、李後鋒博士協助鑑定等翅目、農委會林業試驗所葉文琪先生協助鑑定膜翅目、臺灣大學昆蟲學系楊世綵小姐協助鑑定

雙翅目，最少分類至科級單位。在紅樹林及防風林研究區中心離地約 1 m 的樹枝上吊掛 HOBO 溫度照度記錄器，於每月兩週懸掛陷阱的期間，每 30 min 記錄溫度及照度資料一次，並在統計時取其平均值進行分析。

三、資料統計及分析

本研究以多樣性指數(Shannon-Wiener index)、均勻度指數(Pielou's evenness index)、相似度指數(Bray-Curtis similarity index)來比較紅樹林及防風林兩棲地的群聚差異，皆以 PRIMER 5 來處理，簡單線性迴歸(simple linear regression)則使用 SPSS17.0 來分析。

多樣性指數採用 Shannon-Wiener index (H')來比較各研究區以及各月份的昆蟲物種多樣性(Shannon and Weaver 1949, 引自 Magurran 2004)。 H' 值的大小並無固定範圍，數值愈高代表生物多樣性愈高，公式如下：

$$H' = -\sum P_i \ln P_i$$

H' ：Shannon-Wiener index

S ：物種數

P_i ：第 i 個物種所佔之比例

均勻度指數採用 Pielou's evenness index 來比較各研究區以及各月份的飛蟲調查均勻度(Pielou 1975, 引自 Magurran 2004)，將昆蟲的物種數及隻次資料其值介於 0~1 之間，數值越大代表均勻度越高，公式如下：

$$J = H' / H_{\max}$$

H' ：Shannon-Wiener index

H_{\max} ： $\ln S$

S ：物種數

相似度指數以 Bray-Curtis similarity index (Bray and Curits 1957)來進行分析，在 PRIMER 5 統計軟體中，將各物種隻次資料以 $\log(X+1)$ 作轉換，再以 Bray-Curtis similarity index 相似性矩陣方式呈現各研究區及各月份彼此之間

的相似性，公式如下：

$$BC_{jk} = 100\{1 - [\sum_{i=1}^p |y_{ij} - y_{jk}| / k^p_{i=1} (y_{ij} + y_{jk})]\}$$

y_{ij} ：第 i 種生物數量在第 j 個樣本內的數量

為探討環境溫度與照度對紅樹林及防風林棲地飛蟲的影響，以窗式攔截器捕獲的昆蟲物種豐度、隻次、多樣性指數、均勻度指數等資料以 $\log(X+1)$ 作轉換，以 simple linear regression 分別比較溫度、照度對紅樹林及防風林的昆蟲物種豐度對數值、隻次對數值、多樣性指數對數值、均勻度指數對數值之影響。

結果

一、紅樹林及防風林飛蟲之比較

2010 年 4 月到 2011 年 3 月每月一次以窗式攔截器在紅樹林共採集到昆蟲 64 種 265 隻次，除了鱗翅目(Lepidoptera)的 6 種(14 隻次)及纓翅目(Thysanoptera)的 2 種(3 隻次)無法鑑定科別之外，其餘共記錄 31 科 56 種 248 隻次，而在防風林 12 次調查共採集到昆蟲 109 種 641 隻次，除了鱗翅目(Lepidoptera)的 8 種(52 隻次)及纓翅目(Thysanoptera)的 2 種(5 隻次)無法鑑定科別之外，其餘共記錄 56 科 99 種 584 隻次(附錄 1)。

不論是昆蟲物種豐度或是個體數量，在防風林皆高於在紅樹林。兩棲地之物種多樣性比較，防風林的昆蟲多樣性指數為 3.64，高於紅樹林的 3.43，但在物種均勻度指數方面，則是紅樹林的 0.83 高於防風林的 0.78。而兩棲地的飛蟲相似度，只有 21.79% (表 1)。

表 1. 2010 年 4 月到 2011 年 3 月四草紅樹林及防風林以窗式攔截器捕獲昆蟲之物種豐度、隻次、多樣性指數、均勻度指數及相似度指數之比較

研究區	物種 豐度	隻次	多樣性 指數	均勻度 指數	相似度 指數
紅樹林	64	265	3.43	0.83	21.79
防風林	109	641	3.64	0.78	

二、紅樹林及防風林飛蟲的月變化

紅樹林飛蟲物種豐度在紅樹林為 6 月和 1 月最低，10 月最高，防風林在 5 月和 9 月最低，11 月最高。相對於紅樹林的昆蟲物種豐度，防風林各月的物種豐度值波動較大(圖 3)，在防風林 10 月到 3 月(秋冬季)昆蟲物種豐度比 2010 年 4 月到 9 月(春夏季)還要多。

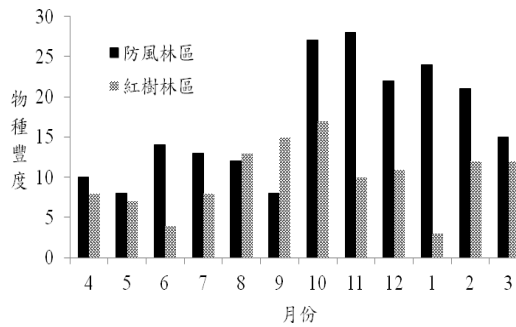


圖 3. 2010 年 4 月到 2011 年 3 月四草紅樹林及防風林以攔截器捕到的飛蟲物種豐度月變化

防風林的飛蟲個體數量在 5 到 9 月偏低，10 到 4 月數量較多，尤以 12 到 3 月為最，而紅樹林區與防風林區比起來，數量都偏低，只在 10 月有一高峰(圖 4)。

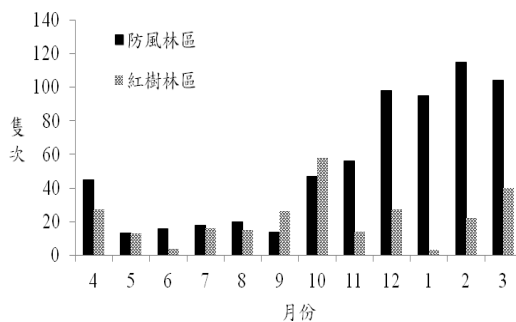


圖 4. 2010 年 4 月到 2011 年 3 月四草紅樹林及防風林以攔截器捕到的飛蟲個體數量月變化

兩棲地各月份的飛行昆蟲物種多樣性以 Shannon-Wiener index 來呈現，在紅樹林多樣性指數由 4 月到 6 月漸漸下降，6 月到 8 月逐漸上升，冬季則以 1 月的指數 1.10 為最低，而在防風林多樣性指數由 6 月開始到 9 月逐漸下降，10 月的指數 3.07 為最高，11 月的 2.98

次之，12 月則降低到 1.91，然後逐漸上升到 2 月的 2.56 (圖 5)。

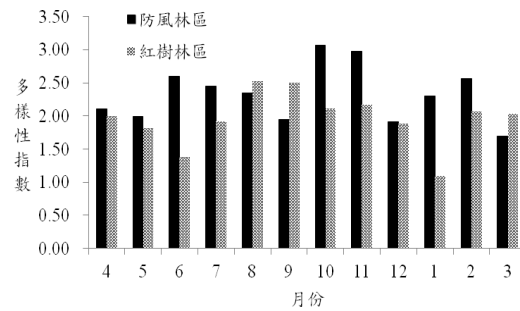


圖 5. 從 2010 年 4 月到 2011 年 3 月四草紅樹林及防風林飛蟲物種多樣性指數月變化

三、環境溫度及照度與飛蟲相之關係

分析環境溫度與照度對紅樹林及防風林棲地飛蟲的影響，結果顯示溫度僅與防風林棲地產生相關，在防風林昆蟲隻次對數值與溫度呈現顯著負相關(圖 6a, $r^2 = 0.83$, $p < 0.001$, $n = 12$)，而均勻度指數對數值與溫度則有顯著正相關(圖 6b, $r^2 = 0.61$, $p = 0.003$, $n = 12$)，物種豐度對數值與多樣性指數對數值皆無顯著相關($p > 0.05$)，在紅樹林此四項飛蟲指標對數值亦與溫度無顯著相關性($p > 0.05$)，而照度對兩研究區的物種豐度對數值、隻次對數值、多樣性指數對數值、均勻度指數對數值亦無顯著相關性($p > 0.05$)。

四、紅樹林及防風林飛蟲優勢科別比較

紅樹林中以窗式攔截器捕獲的飛行昆蟲主要是膜翅目(Hymenoptera)蟻科(Formicidae)，蟻科昆蟲佔物種豐度的 14.06%，其相對豐量為 27.55%，雙翅目(Diptera)的搖蚊科(Chironomidae)居次，佔物種豐度的 9.38%，其相對豐量為 18.11%。防風林中個體數量佔優勢的為半翅目(Hemiptera)的木蝨科(Psyllidae)和蚜蟲科(Aphididae)，但木蝨科僅佔物種豐度 2.75%，但其相對豐量則高達 23.09%，蚜蟲科居次，亦僅佔物種豐度的 2.75%，其相對豐量則為 11.70% (表 2)。

表 2. 2010 年 4 月到 2011 年 3 月四草紅樹林和防風林以窗式攔截器捕獲優勢昆蟲的物種豐度、隻次及相對豐量

研究區	目名	科名	物種豐度	隻次	相對豐量
防風林	半翅目 Hemiptera	木蝨科 Psyllidae	3	148	23.09%
	半翅目 Hemiptera	蚜蟲科 Aphididae	3	75	11.70%
紅樹林	膜翅目 Hymenoptera	蟻科 Formicidae	9	73	27.55%
	雙翅目 Diptera	搖蚊科 Chironomidae	6	48	18.11%

討論

自 2010 年 4 月到 2011 年 3 月，在四草紅樹林及防風林中以窗式攔截器捕捉飛行昆蟲，不論是物種豐度、個體數量、多樣性指數，在防風林棲地皆高於在紅樹林棲地，只有在均勻度方面在紅樹林略高於在防風林。本研究雖未以植物種類與冠層高度量化兩棲地的異質性，但由於防風林為木麻黃和血桐鑲嵌式分佈，底層植被除了以大黍為主，尚有大花咸豐草與其他草本植物，而紅樹林林底為水域，且僅以欖李為主，無其他植物參雜，故可推論防風林植被的異質性應較紅樹林為高。棲地異質性越高，資源越豐富，能容納較多物種生存 (Ricklefs and Lovette 1999, Potts *et al.* 2004)，而植被結構的複雜度，對昆蟲的多樣性則是有直接的影響 (Lassau *et al.* 2005)。防風林的昆蟲物種豐度、數量及多樣性皆比紅樹林高，即可能為植被結構較紅樹林複雜，防風林各種植物交錯下，提供了不同種類的食物資源，未若紅樹林僅有欖李一種植物，兩種棲地的飛蟲相，即可能是受到棲地異質性的影響。為了解棲地異質性和紅樹林及防風林飛蟲的關係，未來將可利用不同的採集方法，全面性調查各種微棲地昆蟲物種，並以功能群角度來探討異質性與多樣性的相關性。

物種相似度可用來比較棲地間物種組成結構的差異，以及長期監測同一棲地的群聚變化，相似度越高顯示群聚結構越一致。同一林地前後兩年間的物種相似度卻可高達 62% (黃

文伯、葛兆年 2011)。四草紅樹林及防風林同是林地，飛蟲物種相似度僅為 21.79%，其原因可能是基於植被類型的差異。

在防風林及紅樹林棲地中，兩研究區秋季節的物種豐度及個體數量皆高於春夏季節，而此現象在防風林中尤為明顯，這可能與環境溫度的高低有關。在本研究中，物種豐度對數值與多樣性指數對數值與溫度皆無顯著相關下，溫度與防風林的昆蟲隻次對數值有顯著的負相關，而與均勻度指數對數值則有顯著正相關。飛蟲的均勻度指數對數值越高，顯示並未有單一物種出現大量個體活動的情況，而均勻度降低且個體數量較多，則顯示了少數物種被捕獲的機率大為增加。在四草防風林及紅樹林的季節變化中，各月份多樣性指數並無顯著變化，但在四草防風林中，溫度越低昆蟲個體數目卻越多，而導致均勻度卻下降，此結果顯示在較寒冷的季節中，林地有少數物種以大量個體出現，比較本研究中防風林溫度較低的季節，12 月到 2 月之間採集到大量木蝨個體，而 3 月則是捕獲許多蚜蟲個體，此即造成低溫期均勻度較低，而個體數較高的現象。大量半翅目的木蝨與蚜蟲於較低溫的季節出現在林地的原因，值得深入探討。本結果僅在量化數值分析下觀測到此現象，進一步則需研究半翅目木蝨科與蚜蟲科優勢物種的生活史，以及比對防風林週遭開闊性棲地相同物種季節性出現的時間。

紅樹林中優勢的飛蟲為蟻科與搖蚊科，因紅樹林林底為水域，搖蚊科為優勢類群無庸置疑，但蟻科個體數目甚至高過搖蚊科，可能的原因有二：一是螞蟻在棲地結構複雜度低的區域有較高的物種豐度及個體數量 (Lassau and Hochuli 2004)，紅樹林的植被結構相當單純，其棲地異質性與複雜度皆較防風林為低；二是由於陷阱所攔截的為飛行中的昆蟲，具翅的螞蟻多為婚飛交配的個體，鄰近紅樹林的開闊地可能是螞蟻築巢的所在，紅樹林有可能是婚飛所需的場域，或是蟻科個體婚飛時，鄰近紅樹林所致，2010 年 4 月到 2011 年 3 月同時在曾

文溪北岸草地以掉落式陷阱所捕獲的昆蟲顯示，膜翅目蟻科在白茅所組成的草地中，即為最優勢的類群，物種數量佔了總物種數的 23.6%，個體數量亦佔總個體數量的 54.8%，而以狗牙根所組成的草地中，蟻科物種則佔了 15.3%，蟻科個體數量則佔 22.39% (林廷翰 2011)，由於紅樹林呈帶狀分佈，與周圍開闊地接觸面積相對較大，所捕捉到的蟻科個體有一部份很可能是來自鄰近的草地，加上本研究為針對飛行昆蟲進行調查，所捕獲的螞蟻皆是婚飛個體，對在紅樹林中築巢及在樹枝上活動的螞蟻並未捕捉，因此欲了解蟻科物種是長駐在紅樹林中，或是由鄰近棲地擴散進來，則建議再以其他的方法調查，以釐清蟻科在紅樹林中優勢的原因。

搖蚊科物種幼蟲期生活於水域環境，較可能為紅樹林原生物種，以紐西蘭紅樹林物種為例，昆蟲中僅有搖蚊科物種出現(Morrisey *et al.* 2007)，但在印度紅樹林的研究中，亦有高達 9 目 101 種昆蟲的捕獲記錄(Senthil and Varadharajan 1995)，不同的調查結果很可能與研究者採集的方法有關，雖然本研究僅調查飛行中的昆蟲，但在為期一年的調查中，亦捕獲了 7 目 64 種 265 隻昆蟲，其中亦包含了可能危害紅樹林的植食性昆蟲(Kathiresan and Bingham 2001)，例如造瘿的半翅目(Diptera)與食葉的鱗翅目(Lepidoptera)昆蟲等(Kathiresan 1992)。上述昆蟲雖是零星出現，由於生物活動與環境緊密結合，藉由長期監測適當的指標物種，能獲得相關訊息以瞭解環境改變的原因及影響程度(Freedman 1995)，因此若能簡單以幾個重要的類群或關鍵物種，來評估整體生態的動態變化，進而反映環境變遷的程度，即有助於管理策略的制訂，作為環境監測的方式，亦可根據調查的資料來發展預測模型。由此可知，昆蟲的組成與數量可以顯現出環境變遷的程度，提供我們即時訊息，以利環境管理與政策調整。

本研究中發現紅樹林與防風林以膜翅目、雙翅目與半翅目為主，由於台江國家公園內各溪流河口與感潮溝遍佈紅樹林，並包含了

臺灣目前僅存的五梨跤、水筆仔、欖李、海茄苳四種(薛美莉 1995)，近年來紅樹林的復育已有相當的成效(范貴珠等 2003，范貴珠、葉慶龍 2005，范貴珠 2007)，四草紅樹林設置的保護區，和大眾廟綠色隧道的生態旅遊，都可看出紅樹林在台江國家公園生態環境的重要性。本研究已初步調查欖李紅樹林的飛蟲組成，建議台江國家公園擴大調查其他三種紅樹林植物上的飛蟲相。

在陸域海岸線以及溼地生態環境的長期監測中，可考慮以紅樹林飛蟲多樣性為重點調查與監測的對象，深入研究四種紅樹林植物的昆蟲群聚，進而建立紅樹林健康指標，做為經營管理台江國家公園紅樹林生態系的參考。

誌謝

本研究承蒙國立陽明大學生命科學系曹順成教授協助鑑定半翅目、國立自然科學博物館的詹美玲博士協助鑑定嚙蟲目、行政院農委會農業試驗所的李奇峰博士協助鑑定鞘翅目、李後鋒博士協助鑑定等翅目、農委會林業試驗所葉文琪先生協助鑑定膜翅目、臺灣大學昆蟲學系楊世綵小姐協助鑑定雙翅目，以及台江國家公園採集證核發，特此一併感謝。

引用文獻

- 林廷翰。2011。曾文溪口不同植被類型對昆蟲群聚的影響。碩士論文。國立臺南大學，臺南市。
- 范貴珠、葉慶龍、張志遠。2003。台南市安平港之紅樹林復育-直插五梨跤胎生苗之適應性研究。中華林學季刊季刊36(3):221-234。
- 范貴珠、葉慶龍。2005。PVC 管在安訂港紅樹林復育上之應用。台灣林業 31(2):18-23。
- 范貴珠。2007。台南市龍岡河道之紅樹林復育成效探討。台灣林業 33(6):13-24。
- 陸聲山、趙榮台、林朝欽、葉文琪。2007。寄生性膜翅目昆蟲之多樣性及其保育。林業

- 研究專訊 14:37-40。
- 黃文伯、葛兆年。2011。哈盆自然保留區屍食性甲蟲物種生物多樣性監測與氣候變遷之關係。環境與生態學報 4(1):17-34。
- 黃秀雯。2005。七股野生動物重要棲息地之林地昆蟲相與茄二十八星瓢蟲生命表。碩士論文。國立中興大學，臺中市。
- 薛美莉。1995。消失中的濕地森林-記台灣的紅樹林。行政院農委會特有生物研究保育中心。
- Antvogel H and A Bonn. 2001. Environmental parameters and microspatial distribution of insects: a case study of carabids in an alluvial forest. *Ecography* 24:470-482.
- Bray RJ and JT Curtis. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monograph* 27: 325-349.
- Chandler, DS and SB Peck. 1992. Diversity and seasonality of leiodid beetles (Coleoptera: Leiodidae) in an old-growth forest and a 40-year-old forest in New Hampshire. *Environmental Entomology* 21:1283-1293.
- Davis, ALV and CH Scholtz. 2001. Historical vs. ecological factors influencing global patterns of Scarabaeine dung beetle diversity. *Diversity and Distributions* 7:161-174.
- Freedman B. 1995. *Environmental Ecology*. (2nd ed.). SanDiego: Academic.
- Gano KA and LE Rogers. 1983. Colony density and activity times of the ant camponotus semitestaceus (Hymenoptera: Formicidae) in a shrub steppe community. *Annals of the Entomological Society of America* 76(6):958-963.
- Halfpeter, G and ME Favila. 1993. The Scarabaeinae (Insecta: Coleoptera) an animal group for analyzing, inventorying and monitoring biodiversity in tropical rain forests and modified landscapes. *Biology International* 27:15-21.
- Haysom KA, DI McCracken, GN Foster and NW Sotherton. 2004. Developing grassland conservation headlands: response of carabid assemblage to different cutting regimes in a silage field edge. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 102:263-277.
- Kaspari M, L Alonso and S O'Donnell. 2000. Three energy variables predict ant abundance at a geographical scale. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B* 267:485-489.
- Kathiresan, K. 1992. Insect folioivory in Mangroves. *Environment and Ecology* 10:988-89.
- Kathiresan, K and BL Bingham. 2001. Biology of mangroves and mangrove ecosystems. *Advances in Marine Biology* 40:81-251.
- Lassau SA and DF Hochuli. 2004. Effects of habitat complexity on ant assemblages. *Ecography* 27:157-164.
- Lassau SA, DF Hochuli, G Cassis and CAM Reid. 2005. Effects of habitat complexity on forest beetle diversity: do functional groups respond consistently? *Diversity and Distributions* 11:73-82.
- Lövei GL, T Magura, B Tóthmérész and V Ködöböcz. 2006. The influence of matrix and edges on species richness patterns of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in habitat islands. *Global Ecology and Biogeography* 15:283-289.
- MacArthur R and R Levins. 1964. Competition, habitat selection, and character displacement in a patchy environment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 51:1207-1210.
- Magurran, AE. 2004. *Measuring biological diversity*. Malden, MA: Blackwell Publishing.
- Molles, Jr, MC. 2006. *Ecology: Concepts and Applications*. 3rd edition. McGraw-Hill.
- Morrisey, D, C Beard, M Morrison, R Craggs and M Lowe. 2007. *The New Zealand Mangrove: Review of the Current State of Knowledge*. Auckland Regional Council Technical Publication Number 325.
- Pielou EC. 1975. *Ecological diversity*. New York: Wiley InterScience.
- Potts, MD, SJ Davies, WH Bossert, S Tan and MN Nur Supardi. 2004. Habitat heterogeneity and niche structure of trees in two tropical rain forests. *Oecologia* 139(3):446-453.
- Ricklefs RE and IJ Lovette. 1999. The roles of island area per se and habitat diversity in the species-area relationships of four Lesser Antillean faunal groups. *Journal of Animal Ecology* 68:1142-1160.
- Senthil, R and M. Varadharajan. 1995. Proceeding of the national symposium on recent trends in wild life research. A.V.C. College, Mayiladuthurai 609(35):30-35.
- Shannon, CE and W Weaver. 1949. *The mathematical theory of communication*. Urbana, IL: University of Illinois Press.
- Smith, TM and RLS Smith. 2009. *Elements of Ecology*. 7th edition. Benjamin Cummings.

附錄 1. 2010 年 4 月到 2011 年 3 月四草防風林及紅樹林以窗式攔截器捕獲昆蟲之科別物種豐度及個體數量

目名	科名	物種豐度		個體數量		
		防風林	紅樹林	防風林	紅樹林	
Coleoptera	Anthicidae	1	0	1	0	
	Anthribidae	1	1	4	1	
	Cerambycidae	0	1	0	2	
	Ciidae	0	1	0	1	
	Coccinellidae	5	0	11	0	
	Corylophidae	1	0	1	0	
	Cryptophagidae	3	0	6	0	
	Curculionidae	2	1	4	1	
	Dermestidae	1	1	1	1	
	Elateridae	2	0	4	0	
	Hydrophilidae	1	1	1	1	
	Lathridiidae	1	0	1	0	
	Limnichidae	1	0	1	0	
	Lycidae	1	0	3	0	
	Nitidulidae	1	0	1	0	
	Scarabaeidae	2	1	8	2	
	Staphylinidae	1	2	3	4	
	Trogossitidae	1	0	1	0	
	Diptera	Acartophthalmidae	1	0	1	0
Calliphoridae		0	1	0	1	
Ceratopogonidae		3	1	5	2	
Chironomidae		2	6	6	48	
Chloropidae		0	1	0	3	
Culicidae		1	1	2	1	
Dolichopodidae		4	3	19	6	
Lonchaeidae		0	1	0	1	
Mycetophilidae		0	1	0	1	
Phoridae		1	1	1	1	
Sarcophagidae		0	1	0	1	
Sciaridae		3	2	27	10	
Syrphidae		1	0	1	0	
Tephritidae		1	0	1	0	
Tipulidae		0	1	0	1	
Hemiptera		Alydidae	1	0	1	0
		Aphididae	3	3	75	9
	Cicadidae	1	1	1	1	
	Miridae	5	0	54	0	
	Psyllidae	3	0	148	0	
Hymenoptera	Rhyparochromidae	1	0	1	0	
	Apoidea	0	1	0	1	
	Bethylidae	3	0	3	0	
	Braconidae	4	0	4	0	
	Chalcididae	1	0	1	0	
	Diapriidae	1	0	1	0	
	Eucoilidae	1	0	1	0	
	Eulophidae	3	0	25	0	
	Eurytomidae	0	1	0	1	
	Formicidae	6	9	44	73	
	Ichneumonidae	1	1	1	1	
	Scelionidae	1	4	1	6	
	Isoptera	Rhinotermitidae	1	0	2	0
Lepidoptera	Choreutidae	1	0	1	0	
	Crambidae	1	0	1	0	
	Geometridae	3	0	7	0	
	Noctuidae	1	0	1	0	
	Opostegidae	1	1	16	10	
	Pyalidae	1	0	2	0	

(續) 附錄 1. 2010 年 4 月到 2011 年 3 月四草防風林及紅樹林以窗式攔截器捕獲昆蟲之科別物種豐度及個體數量

目名	科名	物種豐度		個體數量	
		防風林	紅樹林	防風林	紅樹林
	尚待鑑定	8	6	52	14
Neuroptera	Chrysopidae	1	0	1	0
	Hemerobiidae	1	0	1	0
Psocoptera	Caeciliusidae	1	0	11	0
	Ectopsocidae	2	3	3	11
	Peripsocidae	2	1	7	25
	Philotarsidae	1	0	12	0
	Psocidae	1	2	23	21
Thysanoptera	尚待鑑定	2	2	5	3