

## 研究報告

**鳥類與蝙蝠捕食者降低亞熱帶人工林害蟲豐量**葛兆年<sup>1)</sup> 張靖<sup>1)</sup> 莊鈴木<sup>1)</sup> 盧勇仁<sup>1)</sup> 黃文伯<sup>2,3)</sup>**摘 要**

鳥類與蝙蝠是重要的昆蟲捕食者，植食性昆蟲又為害林木生長，因此脊椎蟲食者捕食植食性昆蟲對林木健康可能有促進的作用。本研究以圍網隔絕鳥類與蝙蝠進入林木中，來檢驗從上而下的捕食作用，對無脊椎動物豐量及林木樹葉因植食受損量的影響。以平地森林園區之茄苳及光蠟樹等重要人工林樹種為試驗對象，2016年4~7月於共發現18目1881隻次無脊椎動物，在茄苳的優勢類群依序為蜘蛛目、膜翅目、雙翅目、鱗翅目、半翅目、彈尾目、嚙蟲目，而在光蠟樹則為蜘蛛目、膜翅目、彈尾目、雙翅目、鱗翅目、半翅目與鞘翅目。無論是茄苳或光蠟樹，在架設圍網後，無脊椎動物的豐量皆顯著上升，特別是鱗翅目的幼蟲豐量有顯著的差異，顯示脊椎蟲食者捕食的影響。蜘蛛豐量亦因圍網而顯著增加，原因除了脊椎蟲食者被隔絕，圍網的架設攔截牽絲飄行的蜘蛛，亦造成結網性蜘蛛豐量顯著上升，但並未影響植食性昆蟲數量的增加。本研究顯示脊椎蟲食者可以抑制茄苳與光蠟樹上的鱗翅目幼蟲量，是重要的上層捕食者。人工林因植被單純，應特別預防蟲害爆發，建議人工林納入鳥類與蝙蝠棲地營造，可促成健康的林木以及成功的人工林。

**關鍵詞：**茄苳、光蠟樹、脊椎蟲食者、植食者、圍網。

葛兆年、張靖、莊鈴木、盧勇仁、黃文伯。2019。鳥類與蝙蝠捕食者降低亞熱帶人工林害蟲豐量。台灣林業科學34(1):43-54。

<sup>1)</sup> 林業試驗所森林保護組，10066台北市南海路53號 Division of Forest Protection, Taiwan Forestry Research Institute. 53 Nanhai Rd., Taipei 10066, Taiwan.

<sup>2)</sup> 國立台南大學生態暨環境資源學系，70005台南市中西區樹林街二段33號 Department of Ecology and Environmental Resources, National Univ. of Tainan, 33 Shulin St., Sec. 2, West Central Dist, Tainan 70005, Taiwan.

<sup>3)</sup> 通訊作者 Corresponding author, e-mail:wenbehwang@mail.nutn.edu.tw

2018年6月送審 2018年8月通過 Received June 2018, Accepted August 2018.

Research paper

## Avian and Bat Predators Reduce Pest Abundances in a Subtropical Plantation

Chao-Nien Koh,<sup>1)</sup> Ching Chang,<sup>1)</sup> Ling-Mu Juang,<sup>1)</sup>  
Yung-Jen Lu,<sup>1)</sup> Wenbe Hwang<sup>2,3)</sup>

### 【 Summary 】

Birds and bats are important insect predators. Herbivorous insects have negative effects on tree growth, and thus the health of trees may benefit from foraging by vertebrate insectivores on herbivorous insects. An enclosure experiment was used to examine the top-down effects of birds and bats on invertebrates and leaf damage due to insect herbivory on tree plantations. The experiment was conducted on two common plantation species of *Bischofia javanica* and *Fraxinus griffithii*. In total, there were 18 orders and 1811 individual invertebrates collected from April to July 2016. The dominant insect taxa on *B. javanica* in the order of the number of individuals were of the Araneida, Hymenoptera, Diptera, Lepidoptera, Hemiptera, Collembola, and Psocoptera. On *F. griffithii*, the dominant insect taxa in the order of the number of individuals were of the Araneida, Hymenoptera, Collembola, Diptera, Lepidoptera, Hemiptera, and Coleoptera. The abundance of invertebrates, specifically Lepidoptera larvae, was significantly elevated on *B. javanica* and *F. griffithii* when vertebrate insectivores were experimentally excluded from foraging. Such results demonstrated that vertebrate insectivores suppressed herbivorous insects. The abundance of spiders was also higher on *B. javanica* and *F. griffithii* when vertebrate insectivores were excluded from foraging. In addition to exclusion of vertebrate insectivores, the enclosure might have intercepted the spider's silk and provided extra net structure for the spiders to weave their nets. However, the abundance of herbivorous insects still increased and did not seem to be influenced by the increased number of spiders. From our results, we concluded that vertebrate insectivores limit the abundance of Lepidoptera larvae on *B. javanica* and *F. griffithii*, and thus vertebrate insectivores are important top predators of insect pests. Plantations with a simplified vegetative structure can easily suffer insect pest outbreaks. To prevent severe damage due to insect pest outbreaks on plantations, it is recommended that plantations provide suitable habitats for birds and bats, thus facilitating the health of trees and achieving successful plantations.

**Key words:** *Bischofia javanica*, *Fraxinus griffithii*, vertebrate insectivore, herbivore, enclosure.

**Koh CN, Chang C, Juang LM, Lu YJ, Hwang W. 2019.** Avian and bat predators reduce pest abundances in a subtropical plantation. *Taiwan J For Sci* 34(1):43-54.

### 緒言

昆蟲為節肢動物一大類群，其物種數更是包含了地球上動物界所有物種數中75%以

上，因此昆蟲在森林成長演替成為不可或缺的角色。但是當植食性昆蟲數量過多時，可能

造成林木危害，例如葉片被啃食受損，影響樹木帶給人類的生態系服務及其價值。生態系服務是指自然帶給人類福祉的運作過程(Daily 1997)。樹木提供多種生態系服務，例如吸收臭氧、硫氧化物、氮氧化物等污染氣體(Nowak et al. 2006)。尤其樹葉是樹木發揮淨化空氣作用的主要器官之一，研究發現樹木所能截留的空氣落塵量與其葉面積指數呈正相關(Fan and Lee 1997)，葉面積越大，能截流越多的粒狀物(Huang 2009)。葉面積下降除了影響樹木淨化空氣品質的服務之外，樹葉受損無法正常進行光合作用(Zangerl et al. 2002)，而降低樹木生產力(van Bael and Brawn 2005, Mooney et al. 2010)。

植食性昆蟲特別是鱗翅目幼蟲對林木葉片的損害，經常造成嚴重的經濟損失，例如黑角舞蛾(*Lymantria xyliana* Swinhoe)為害木麻黃、白千層、茄苳、九芎、相思樹、荔枝、龍眼、無花果、油桐、茶等植物(Wu et al. 2013)。台灣林木苗圃中有48種造林樹種遭受昆蟲為害，鱗翅目(Lepidoptera)、半翅目(Hemiptera)及鞘翅目(Coleoptera)等昆蟲是發生最普遍的害蟲類群，主要取食葉部，造成葉片損失或是傳播植物病毒等(Jaung et al. 2014)。食蟲的脊椎動物對植食性昆蟲從上而下(top-down)的捕食作用是一項關鍵性的生態系功能，能抑制植食性昆蟲族群，可減輕林木葉部受損(Mäntylä et al. 2011)，幫助林木維持其生態系服務。脊椎蟲食者被認為是有效的節肢動物捕食者，已有多項研究證實脊椎蟲食者降低植物蟲害，並且減輕樹葉受損，包括了天然林與農耕區(van Bael et al. 2003, Whelan et al. 2008, Johnson et al. 2010, Morrison and Lindell 2012)。在無脊椎動物對植食性昆蟲的捕食方面，蜘蛛同樣扮演相當重要的角色(Nyffeler and Benz 1987, Nyffeler 2000)。

平地造林政策目的在於發揮造林樹種產生的多元化生態系服務功能，先期的研究中，在平地造林區光蠟樹(*Fraxinus griffithii*)樣區共調查到12科16種鳥類，茄苳(*Bischofia javanica*)樣區共調查到13科17種鳥類，其中不乏有以昆蟲

為取食對象的種類(Koh, unpublished data)，在光蠟樹與茄苳的苗木害蟲研究上，則是以鱗翅目幼蟲為主(Jaung et al. 2014)。平地造林區鳥類等脊椎動物是否能抑制植食性昆蟲的數量，其抑制作用是否可以減低樹葉被啃食受損量，則有待進一步的實驗觀察。

相關研究在天然林及農林混合系統中進行(Maas et al. 2015)，造林區甚少被探討，目前僅知在哥斯大黎加南部之復舊造林區，有研究證實鳥類及蝙蝠之脊椎蟲食者具有抑制鞘翅目害蟲生物量的作用，並且明顯減少樹葉受損量(Morrison and Lindell 2012)。本研究於花蓮縣光復鄉的大農大富平地造林區圈定光蠟樹與茄苳為目標樹種，以圍網阻擋脊椎蟲食者取食造林木上的無脊椎動物，探討脊椎蟲食者、無脊椎動物，以及林木之間的關係，亦即調查脊椎蟲食者是否抑制無脊椎動物之植食性昆蟲數量，以及林木樹葉的損害是否因而減輕。

## 材料與方法

### 一、研究地點與方法

以花蓮大農大富平地森林園區作為試驗樣區，造林1000 ha，共栽植18種樹種，主要樹種有光蠟樹(*Fraxinus griffithii*)、台灣欒(*Zelkova serrata*)、茄苳(*Bischofia javanica*)、陰香(*Cinnamomum burmannii*)、楓香(*Liquidambar formosana*)、台灣欒樹(*Koelreuteria henryi*)、杜英(*Elaeocarpus sylvestris*)、樟樹(*Cinnamomum camphora*)、赤楊(*Alnus formosana*)及大葉楠(*Machilus japonica* var. *kusanoi*)等樹種(Taiwan Forestry Bureau 2010)。在前置的實驗中，光蠟樹樣區共調查到12科16種鳥類，依豐量順序有棕背伯勞(*Lanius schach*)、台灣竹雞(*Bambusicola sonorivox*)、大卷尾(*Dicrurus macrocercus*)、紅嘴黑鵝(*Hypsipetes leucocephalus*)、朱鸕(*Oriolus traillii*)、灰頭鷓鴣(*Prinia flaviventris*)、烏頭翁(*Pycnonotus taivanus*)、番鵝(*Centropus bengalensis*)、綠繡眼(*Zosterops japonicus*)、北方中杜鵑(*Cuculus optatus*)、褐頭鷓鴣(*Prinia*

*inornata*)、樹鵲(*Dendrocitta formosae*)、台灣畫眉(*Garrulax taewanus*)、環頸雉(*Phasianus colchicus*)、黑枕藍鶺(*Hypothymis azurea*)與樹鵲(*Anthus hodgsoni*)，茄苳樣區共調查到13科17種鳥類，依豐量順序有紅嘴黑鵝、棕背伯勞、大卷尾、樹鵲、竹雞、朱鷗、綠繡眼、黑枕藍鶺、小啄木(*Dendrocopos canicapillus*)、灰頭鷓鴣、珠頸斑鳩(*Streptopelia chinensis*)、環頸雉、烏頭翁、番鵲、黃尾鳩(*Phoenicurus aureus*)、綠鳩(*Treron sieboldii*)與褐頭鷓鴣，其中不乏有以昆蟲為取食對象的種類。

以茄苳及光蠟樹為試驗樹種，試驗分為不進行干擾操作之控制組與架設圍網之實驗組，兩樹種中每組皆選擇10棵2至4公尺高之樣樹，控制組與實驗組之樹型狀態大小相近。實驗組所架設之圍網為使用PVC管作為支架包圍樣樹，並以2×2 cm之網目之尼龍塑膠網覆蓋，阻擋脊椎蟲食者等脊椎動物進入，但仍可讓小型無脊椎動物，如前往產卵的植食性鱗翅目成蟲，以及可捕食前者的蜘蛛自由進出(van Bael and Brawn 2005, Williams-Guillén et al. 2008, Maas et al. 2013)。

試驗於2016年4月開始，在架設圍網前先行調查一次，架設圍網後4月至7月間每10~15天觀察一次共調查8次。調查方式為目視觀察每株樣樹枝葉上之無脊椎動物各目別數量，每株茄苳樣樹觀察時間為20 min，光蠟樹為15 min，使用Olympus TG-4相機拍攝影像以供後續辨識現場不確定之無脊椎動物。在圍網前進行一次調查，圍網後進行八次調查，目視計算在枝葉上所觀察到的無脊椎動物數量，並分類至目，其中鱗翅目細分為成蟲、幼蟲與蛹，蜘蛛則區分為結網蛛與非結網蛛。在調查時間同步下，使用相依性統計比較控制組與實驗組中各類群的豐量，以檢視圍網對各類群豐量的影響。

除記錄樣樹上出現之生物數量外，亦於每棵樣樹上選取固定健康未受損之成熟葉片五片，即茄苳與光蠟樹的控制組與實驗組每組取樣50個葉片。每次調查以0.5×0.5 cm之透明網格計算葉片之受損面積，當次受損面積減前次調查受損面積，得當次新增之受損面積。惟若

固定標示的葉片遺失，則重新選取另一組葉片替代之，當次新增之受損面積則依照現場情況判斷為取食或是不明原因遺失，若為不明原因則該欄位空白不做紀錄。

### 三、統計分析

以Engelmann (1978)相對豐量範圍所定義的6個優勢度等級，以茄苳與光蠟樹在各目之相對豐量，優勢度等級依個體數量佔總數的百分比區分如下：

真優勢(eudominant): 32.0~100%

優勢(dominant): 10.0~31.9%

亞優勢(subdominant): 3.2~9.9%

劣勢(recedent): 1.0~3.1%

亞劣勢(subrecedent): 0.32~0.99%

稀有(sporadic): 0.32%以下

使用Wilcoxon signed rank sum test比較8次調查中，控制組與架設圍網之實驗組在無脊椎動物豐量上的差異，並比較各類群在控制組與實驗組的豐量差異，以檢視圍網對該類群之影響。使用WSRT比較控制組與架設圍網之實驗組，在樹葉新受損面積上的差異，以檢視圍網對樹葉受損之影響。使用之統計軟體為SPSS 20，以 $p < 0.05$ 視為統計上的顯著性。

## 結果

本研究於花蓮大農大富平地森林園區，在不經任何採樣下，針對茄苳與光蠟樹枝葉上無脊椎動物進行9次目視調查，共發現18目1881隻無脊椎動物，包含軟體動物門(Mollusca)與節肢動物門(Arthropoda)。其中軟體動物門為柄眼目1目，佔2.18%；節肢動物門為蜘蛛目(Araneida)、真蟎目(Acariformes)、恙蟎目(Trombidiformes)、等足目(Isopoda)、彈尾目(Collembola)、蜉蝣目(Ephemeroptera)、革翅目(Dermaptera)、直翅目(Orthoptera)、螳螂目(Mantodea)、蜚蠊目(Blattodea)、嚙蟲目(Pscoptera)、半翅目、鞘翅目、脈翅目(Neuroptera)、膜翅目(Hymenoptera)、鱗翅目、雙翅目(Diptera)17目，佔97.82%。

在茄苳共發現14目1058隻無脊椎動物，而在光蠟樹為15目823隻。依Engelmann (1978)優勢度等級排序，在茄苳的優勢目別依序分別是蜘蛛目28.92%、膜翅目19.28%、雙翅目13.80%、鱗翅目10.49%，亞優勢目別則為半翅

目7.75%、彈尾目5.67%、嚙蟲目4.44%，在光蠟樹的優勢目別依序分別為蜘蛛目26.12%、膜翅目20.17%、彈尾目14.58%、雙翅目11.91%，亞優勢為鱗翅目8.63%、半翅目6.08%、鞘翅目4.13% (Table 1)。

**Table 1. Abundances and relative abundances of invertebrates on *Bischofia javanica* and *Fraxinus griffithii* in Danongdalu Forest Park, Hualien from April to July 2016**

	Abundance		Relative abundance (%)	
	<i>B. javanica</i>	<i>F. griffithii</i>	<i>B. javanica</i>	<i>F. griffithii</i>
Stylommatophora	26	15	2.46	1.82
Araneida	306	215	28.92	26.12
Acariformes	0	9	0.00	1.09
Trombidiformes	1	0	0.09	0.00
Isopoda	15	0	1.42	0.00
Collembola	60	120	5.67	14.58
Ephemeroptera	0	1	0.00	0.12
Dermaptera	27	0	2.55	0.00
Orthoptera	7	1	0.66	0.12
Mantodea	1	4	0.09	0.49
Blattodea	0	1	0.00	0.12
Psocoptera	47	23	4.44	2.79
Hemiptera	82	50	7.75	6.08
Coleoptera	25	34	2.36	4.13
Neuroptera	0	15	0.00	1.82
Hymenoptera	204	166	19.28	20.17
Lepidoptera	111	71	10.49	8.63
Diptera	146	98	13.80	11.91
Total	1058	823		

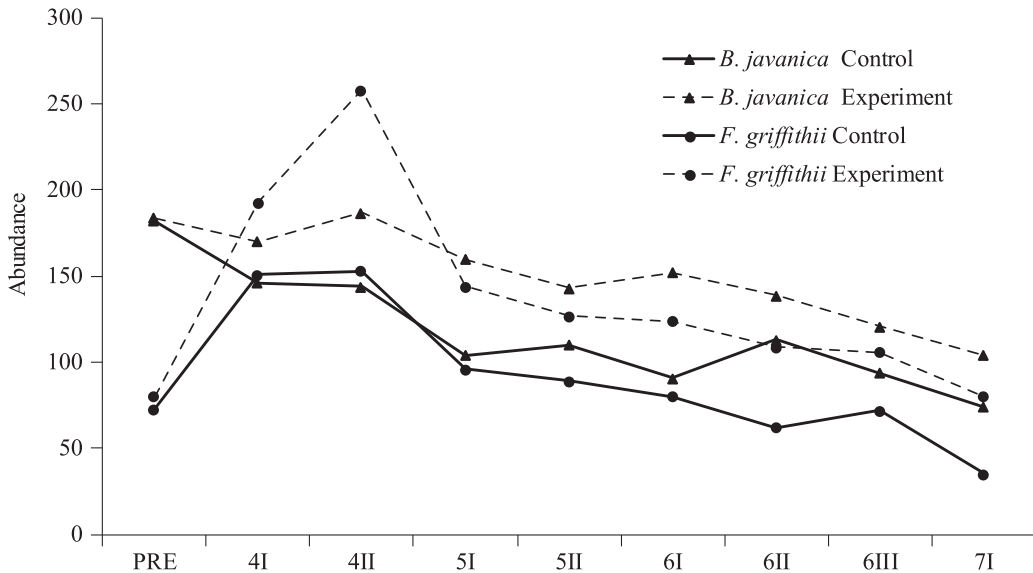
在9次的調查中，兩樹種在架網前，控制組與實驗組無脊椎動物的豐量皆相近(茄苳：控制組182隻、實驗組184隻；光蠟樹：控制組73隻、實驗組80隻)，但於架網後，兩樹種實驗組之豐量皆顯著大於控制組(Wilcoxon signed rank sum test:  $p < 0.05$ ,  $n = 8$ ) (Fig. 1)。

在架設圍網的實驗操作下，圍網所影響的無脊椎動物類群主要為鱗翅目與蜘蛛目，在圍網包覆的茄苳與光蠟樹上，鱗翅目幼蟲與蛹和結網蜘蛛的豐量皆明顯高於不具圍網的控制組。其他受影響的類群則是非結網蜘蛛、彈尾目、直翅目，圍網的包覆使此三類

群在光蠟樹上的豐量顯著高於未包覆的樣樹。此外，受到負面影響的類群則是在茄苳樣樹上的膜翅目與雙翅目，圍網使此兩類群的豐量變低(Table 2)。

鱗翅目幼蟲在圍網包覆樣樹中，幼蟲與蛹的豐量在茄苳(Fig. 2a)與光蠟樹(Fig. 2b)皆顯著較高(Wilcoxon signed rank sum test:  $p < 0.05$ ,  $n = 8$ )，圍網下的幼蟲及蛹的總豐量與無圍網相比，在茄苳多了50%，光蠟樹多了34%，顯示圍網具有阻擋食蟲脊椎動物取食植食性鱗翅目幼蟲的作用。但成蟲在飛行中駐留的比例極低，在數據上豐量未存在顯著差異(Wilcoxon





**Fig. 1.** Fluctuations of abundances of invertebrates on *Bischofia javanica* (▲) and *Fraxinus griffithii* (●) in control treatment (—) and experiment treatment (---) in Danongdafu Forest Park, Hualien from April to July 2016. PRE indicates sampling before the experiment. I, II, and III represent the time sequence of sampling from April to July.

signed rank sum test: 茄苳  $p = 0.336$ , 光蠟樹  $p = 0.157$ ,  $n = 8$ ) (Fig. 2)。

在蜘蛛的部分，不論在茄苳(Fig. 3a)或是光蠟樹(Fig. 3b)實驗組的結網蜘蛛豐量皆顯著高於控制組(Wilcoxon signed rank sum test:  $p < 0.05$ ,  $n = 8$ )。結網蜘蛛的總豐量，茄苳及光蠟樹的實驗組分別比控制組多了198%及231%。而非結網蜘蛛主要如跳蛛科，實驗組在光蠟樹上有較高的豐量(Wilcoxon signed rank sum test:  $p = 0.05$ ,  $n = 8$ )，在茄苳的實驗組雖然亦有較高豐量，但與控制組未達顯著差異(Wilcoxon signed rank sum test:  $p = 0.237$ ,  $n = 8$ )。總豐量方面，非結網蜘蛛在茄苳及光蠟樹的實驗組分別比控制組多了33%及55%。

茄苳及光蠟樹各5組樹葉面積的損失在實驗組與控制組間皆無差異(茄苳：實驗組25.5 cm<sup>2</sup> vs. 控制組23.1 cm<sup>2</sup>, Wilcoxon signed rank sum test:  $p = 0.578$ ,  $n = 7$ ；光蠟樹：實驗組4.7 cm<sup>2</sup> vs. 控制組4.4 cm<sup>2</sup>, Wilcoxon signed rank sum test:  $p = 0.688$ ,  $n = 7$ )。

## 討論

本研究中選擇茄苳與光蠟樹調查無脊椎動物豐量，茄苳具有較高的動物豐量，但在目別數量上，光蠟樹則較多。優勢的目別中，皆以蜘蛛、膜翅目的螞蟻和雙翅目為主，但在茄苳則有較多的鱗翅目幼蟲，而光蠟樹以彈尾目的豐量較高。食蟲的脊椎動物例如鳥類及蝙蝠能有效地減少鞘翅目和鱗翅目(幼蟲)的豐量(van Bael and Brawn 2005, Barber and Wouk 2012, Morrison and Lindell 2012)。本研究裡鞘翅目多為成蟲個體，僅在光蠟樹佔有4.13%的亞優勢，在茄苳則為2.36%的劣勢目別。對於可能潛藏在樹皮內的成蟲與木質部中間的幼蟲，因調查方法無法探究其真實豐量，也無法了解捕食者啄食下的影響。

會影響樹木健康的植食性鱗翅目幼蟲，其豐量在被脊椎動物取食的控制組與架設圍網的實驗組間，存有顯著的差異，不論是在茄苳或是光蠟樹的調查，皆證實了食蟲的脊椎動物

**Table 2. The influence of an enclosure on the abundances of the invertebrates on *Bischofia javanica* and *Fraxinus griffithii* in Danongdafu Forest Park, Hualien from April to July 2016. A plus (+) indicates a significantly higher abundance of the invertebrates on the trees with enclosures. A minus (-) indicates a significantly lower abundance of the invertebrates on the trees with enclosures**

		<i>B. javanica</i>	<i>F. griffithii</i>
Stylommatophora			
Araneida	Web-building spiders	+	+
	Non-web-building spiders		+
Acariformes			
Trombidiformes			
Isopoda			
Collembola			
Ephemeroptera			
Dermaptera			
Orthoptera			
Mantodea			
Blattodea			
Psocoptera			
Hemiptera			
Coleoptera			
Neuroptera			
Hymenoptera			
Lepidoptera	Larva & pupa	+	+
	Adult		
Diptera			

具有抑制鱗翅目幼蟲豐量的作用。Maas et al. (2013)發現蝙蝠和鳥類能增加熱帶作物產量，即因其具有捕食害蟲的作用。本研究在前置鳥類捕食無脊椎動物調查時，在137筆捕食記錄中，捕食者共17種鳥類，其中包含特有種鳥類烏頭翁，以及大卷尾、小卷尾(*Dicrurus aeneus*)、朱鷗、紅嘴黑鵝、黑枕藍鶺鴒、褐頭鷓鴣、樹鵲等特有亞種。雖未能直接記錄鳥類捕食的狀況，但潛在被捕食的無脊椎動物中，可辨識至目者佔72%，其中以鱗翅目成蟲及幼蟲為最大宗佔56%，其次為鞘翅目佔11% (Koh, unpublished data)，可以佐證平地造林區的鳥類可能對植食性昆蟲如鱗翅目幼蟲等有抑制作用。

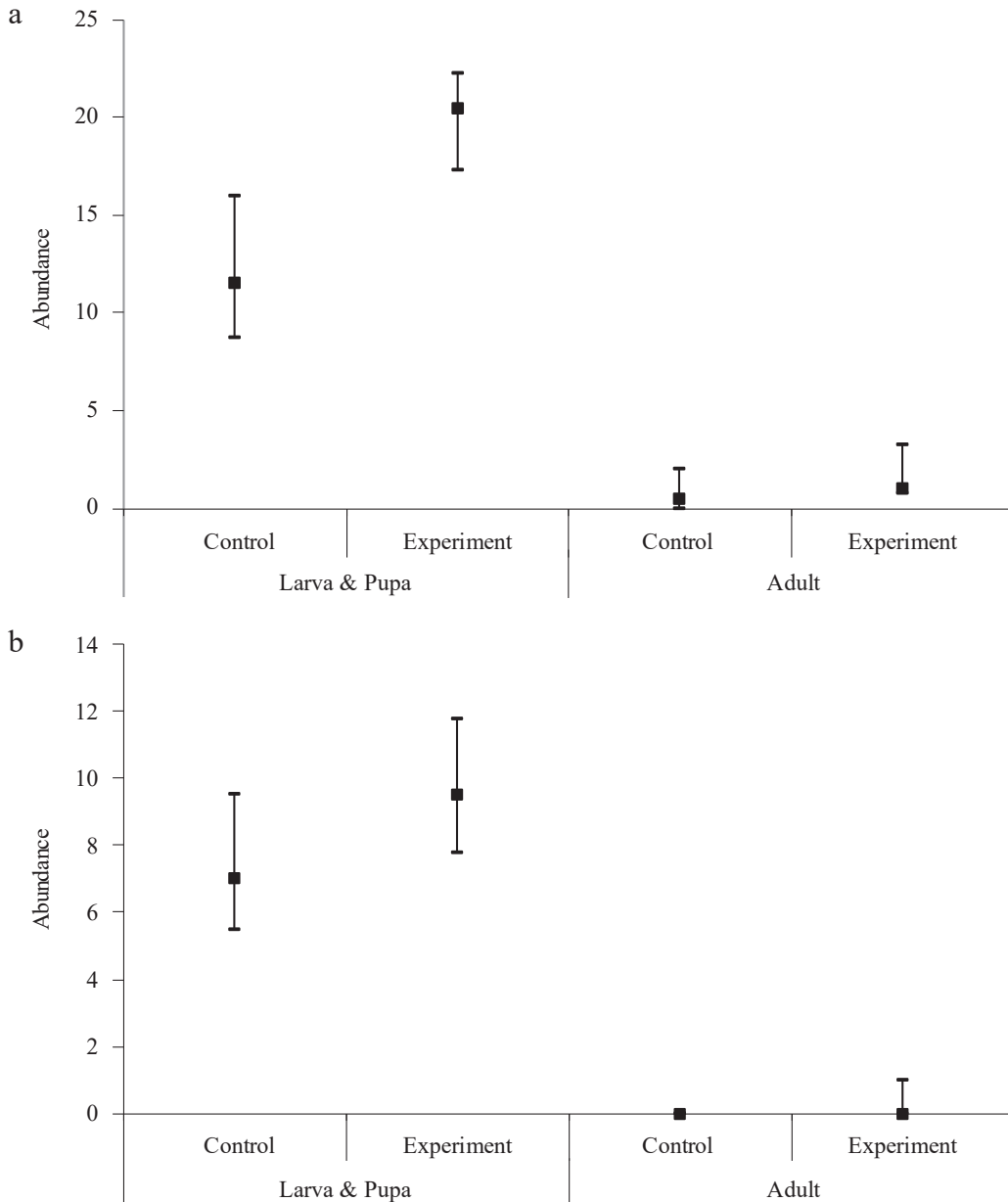
本研究圍網設施的隔離作用包括白天與夜晚，可以防止日行性鳥類及夜行性脊椎動物如蝙蝠取食被圍樹木附近的節肢動

物，因此樹木被隔離所減少的損害除了來自日行性動物，應當也包括夜行性動物。大農大富平地森林園區的蝙蝠，有堀川氏棕蝠(*Eptesicus horikawai kishida*)、絨山蝠(*Nyctalus plancyi velutinus*)、東亞摺翅蝠(*Miniopterus fuliginosus*)、東亞游離尾蝠(*Tadarida insignis*)、家蝠屬(*Pipistrellus* sp.)蝙蝠與鼠耳蝠屬(*Myotis* sp.)蝙蝠等6種(Wu and Fang 2012)，大多數以昆蟲為食。蝙蝠覓食受發聲頻率範圍所影響，頻率範圍對辨識蟲體大小，以及覓食於森林林冠內或開闊地有明顯的關係(Neuweiler et al. 1983)，但上述之蝙蝠數量不明，雖可能具有抑制林木蟲害的作用，未來應補充蝙蝠多樣性調查及取食等相關研究以釐清其影響。

在經濟樹種的研究裡，蜘蛛經常是豐量最

大的節肢動物類群之一(Klein et al. 2002, Maas et al. 2013)，在本研究中，蜘蛛目的豐量亦為最高。在架設圍網之下，因圍網包覆樣樹，致使結網蛛在拖絲隨風飄行時，更容易被網目攔截，而結網於圍網與樣樹之間，故結網蛛的豐

量可能因為網目的攔截作用而大幅提高，非結網蛛的豐量在光蠟樹上也明顯增加，因此圍網影響了樹上蜘蛛豐量。其他研究指出蜘蛛豐量受到鳥或蝙蝠的抑制作用而降低(van Bael et al. 2008, Mooney et al. 2010)。蜘蛛的捕食可以減



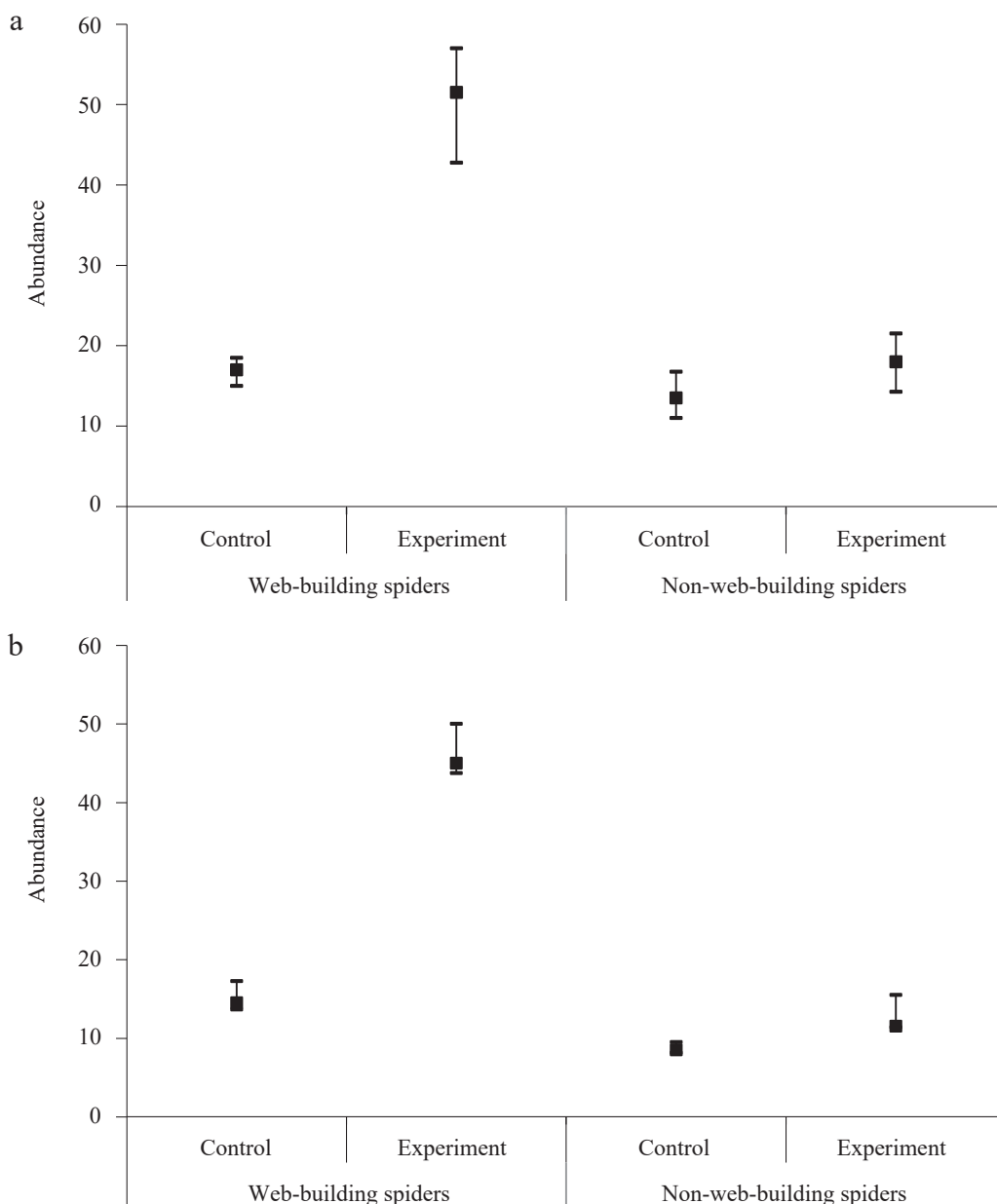
**Fig. 2.** Abundances of Lepidoptera of different stages in control and experimental treatments on (a) *Bischofia javanica* and (b) *Fraxinus griffithii* in Danongdafu Forest Park, Hualien from April to July 2016.



少害蟲在林木上的豐量，進而能降低植物所受的損害(van Bael and Brawn 2005, Sanders and van Veen 2011)。鳥或蝙蝠直接捕食植食性昆蟲而抑制林木害蟲豐量，但也因為同時抑制了捕食者如蜘蛛而削減牠們對林木害蟲的減量作用

(Maas et al. 2016)，植食性昆蟲受惠於捕食者減少而豐量增加(Martin et al. 2013)。

食物鏈上層捕食者對底層生物的影響力，因為中間層的捕食者如蜘蛛而降低的效應(mesopredator release) (Prugh et al. 2009)，被



**Fig. 3. Abundances of web-building spiders and non-web-building spiders in control and experimental treatments on (a) *Bischofia javanica* and (b) *Fraxinus griffithii* in Danongdafu Forest Park, Hualien from April to July 2016.**

認為是造成鳥或蝙蝠對葉片損失沒有明顯影響的可能原因之一(Williams-Guillén et al. 2008, Maas et al. 2013)，但這項效應在本研究無法獲得證實，因此這與本研究圍網實驗組與控制組的葉子損失面積沒有差異的結果可能無關。圍網下的葉子損失並沒有較多，一方面是現場觀測中發現葉子因啃食損害嚴重無法維持而凋落時，導致嚴重的損害無法被記錄，損失面積極可能因此被低估，建議未來葉面積損失調查不必限制每次取相同葉樣本，而應盡量每次取不同的健康葉樣本估算(van Bael and Brawn 2005)。再者，相較於昆蟲之全樹調查，本研究葉片取樣有限，可能因兩者取樣不對等造成無法偵測到樹葉損害量與植食昆蟲量有相同的變化趨勢。植食性昆蟲所造成的損害往往集中於局部的枝條及葉片，調查取樣量建議盡可能增加，可避免涵蓋量不足影響對損害的偵測。

所觀察的無脊椎動物類群中，半翅目昆蟲亦為常見的害蟲種類，以台灣的茄苳白翅葉蟬(*Thaia subrufa*)為例，葉蟬於葉片上刺吸汁液，常造成葉片枯萎，甚至誘發煤煙病，在梅雨季節前即開始出現，若是遭逢乾燥高溫，茄苳白翅葉蟬密度會大為提升，而可見茄苳的黃化現象(Wen 2010)。試驗觀察的半翅目昆蟲在茄苳與光蠟樹皆為亞優勢類群，圍網的架設並未顯現出其豐量變化。在光蠟樹樣區架設圍網後，彈尾目與直翅目的豐量有明顯的變化，直翅目豐量雖然增加，但在8次的調查下其總數量僅為15隻，因此直翅目對實驗樣樹的危害上，並非重要之類群。在4、5月光蠟樹上的彈尾目有較高的豐量，圍網的架設也影響了該類群豐量的變化。不論是半翅目在豐量上未顯差異，或是彈尾目的豐量增加，其原因與哪一類的捕食者相關，是否存在抑制作用，尚須進一步的研究。

單純的林相比較容易爆發嚴重蟲害(Nair 2001)，平地造林的樹種有限，對於害蟲的抵抗力不如生物多樣性較高的天然林，當蟲害例如植食性昆蟲發生時影響林木光合作用可能為造林帶來極大損失。除了木材生產受損之外，平地造林的空氣淨化服務也會因樹葉被啃食而大幅萎縮，因此人工造林經營要維

持它所應有的生態系服務，應特別預防蟲害的爆發。本研究結果顯示脊椎蟲食者等捕食者可以抑制台灣平地主要造林樹種如茄苳與光蠟樹上的鱗翅目幼蟲量，對於預防造林區鱗翅目蟲害的大發生，脊椎蟲食者應能提供一定程度的控制作用，因此建議將鳥類與蝙蝠棲地營造納入人工林經營的一環，吸引上層捕食者如脊椎蟲食者進入造林區，可促進脊椎蟲食者與無脊椎動物之互動關係，並回饋為造林之生態系服務如提高林木生長，實對人工林經營有正面效益。

## 結論

本研究檢驗鳥類與蝙蝠之脊椎蟲食者從上而下的捕食作用，對無脊椎動物豐量及林木樹葉因植食受損量的影響。利用圍網隔絕脊椎蟲食者的靠近及捕食昆蟲，結果茄苳及光蠟樹被圍網後，無脊椎動物的豐量皆顯著多於沒有圍網的樹木，特別是鱗翅目的幼蟲豐量有顯著的差異，顯示脊椎蟲食者捕食具有抑制植食性昆蟲的作用。蜘蛛豐量亦因圍網而顯著增加，原因除了脊椎蟲食者被隔絕，圍網的架設攔截牽絲飄行的蜘蛛，亦造成結網性蜘蛛豐量顯著上升，但並未影響植食性昆蟲數量的增加。茄苳及光蠟樹被啃食的葉子面積沒有因圍網阻隔脊椎蟲食者而有改變，可能與損害偵測度不足有關，建議改進觀測方法以提高損害偵測度。

## 謝誌

本文承蒙行政院農委會林業試驗所科技計畫(編號：105農科-12.3.3-森-G3(3))經費補助，李宜龍先生、許詩涵先生、楊建鴻先生、曾信翰先生協助試驗，特此感謝。

## 引用文獻

Barber NA, Wouk J. 2012. Winter predation by insectivorous birds and consequences for arthropods and plants in summer. *Oecologia*

170:999-1007.

**Daily GC. 1997.** Nature's services Societal dependence on natural ecosystems. Washington, DC: Island Press. 392 p.

**Engelmann HD. 1978.** Zur Dominanzklassifizierung von Bodenarthropoden. *Pedobiologia* 18:378-80.

**Fan JN, Lee QC. 1997.** The comparison of fallout dust cutoff and resistant by local tree plantation. Taipei: Environmental Protection Administration test report. 17 p.

**Huang SY. 2009.** The research of the effect of dust deposition on tree green belt. Pingtung, Taiwan: National Pingtung Univ. of Science and Technology. 45 p.

**Jaung LM, Chao JT, Koh CN. 2014.** A survey of insect damage at 11 forest seedling nurseries in Taiwan. *Formos Entomol* 34:151-65.

**Johnson MD, Kellerman KL, Stercho AM. 2010.** Pest reduction services by birds in shade and sun coffee in Jamaica. *Anim Conserv* 13:140-7.

**Kalka MB, Smith AR, Kalko EKV. 2008.** Bats limit arthropods and herbivory in a tropical forest. *Science* 320:71.

**Klein A, Steffan-Dewenter I, Tscharrntke T. 2002.** Predator-prey ratios on cocoa along a land-use gradient in Indonesia. *Biodivers Conserv* 11:683-93.

**Maas B, Clough Y, Tscharrntke T. 2013.** Bats and birds increase crop yield in tropical agroforestry landscapes. *Ecol Lett* 16:1480-7.

**Maas B, Karp DS, Bumrungsri S, Darras K, Gonthier D, Huang JCC. 2015.** Bird and bat predation services in tropical forests and agroforestry landscapes. *Biol Rev* 91:1081-101.

**Mäntylä E, Klemola T, Laaksonen T. 2011.** Birds help plants: a meta-analysis of top-down trophic cascades caused by avian predators. *Oecologia* 165:143-51.

**Martin EA, Reineking B, Seo B, Steffan-Dewenter I. 2013.** Natural enemy interactions

constrain pest control in complex agricultural landscapes. *Proc Natl Acad Sci USA* 110:5534-9.

**Mooney KA, Gruner DS, Barber NA, Van Bael SA, Philpott SM, Greenberg R. 2010.** Interactions among predators and the cascading effects of vertebrate insectivores on arthropod communities and plants. *Proc Natl Acad Sci USA* 107:7335-40.

**Morrison, EB, Lindell CA. 2012.** Birds and bats reduce insect biomass and leaf damage in tropical forest restoration sites. *Ecol Appl* 22:1526-34.

**Nair KS. 2001.** Pest outbreaks in tropical forest plantations: Is there a greater risk for exotic tree species? Bogor: Centre for International Forestry Research. 82 p.

**Neuweiler G, Singh S, Sripathi K. 1983.** Audiograms of a South Indian bat community. *J Compar Physiol A* 154(1):133-42.

**Nowak DJ, Crane DE, Stevens JC. 2006.** Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban For Urban Green* 4(3-4):115-23.

**Nyffeler M. 2000.** Ecological impact of spider predation: a critical assessment of Bristowe's and Turnbull's estimates. *Bull Br Arachnol Soc* 11:367-73.

**Nyffeler M, Benz G. 1987.** Spiders in natural pest control: a review. *J Appl Entomol* 103:321-39.

**Prugh LR, Stoner CJ, Epps CW, Bean WT, Ripple WJ, Laliberte AS, Brashares JS. 2009.** The rise of the mesopredator. *Bioscience* 59:779-91.

**Sanders D, van Veen F. 2011.** Ecosystem engineering and predation: the multi-trophic impact of two ant species. *J Anim Ecol* 80:569-76.

**Taiwan Forestry Bureau. 2010.** The integrated planning report of Danongdafu Forest Park, Hualien. Taipei, Taiwan: Forestry Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan.

- van Bael SA, Brawn JD. 2005.** The direct and indirect effects of insectivory by birds in two contrasting Neotropical forests. *Oecologia* 145:658-68.
- van Bael SA, Brawn JD, Robinson SK. 2003.** Birds defend trees from herbivores in a Neotropical forest canopy. *Proc Natl Acad Sci USA* 100:8304-7.
- van Bael SA, Philpott SM, Greenberg R, Bichier P, Barber NA, Mooney KA, Gruner DS. 2008.** Birds as predators in tropical agroforestry systems. *Ecology* 89:928-34.
- Wen HC. 2010.** Insect damage diagnosis case: the honey dew drop from bishop tree. *Taiwan Entomol Soc Newsl* 4:3-4.
- Whelan CJ, Wenny DG, Marquis RJ. 2008.** Ecosystem services provided by birds. *Ann NY Acad Sci* 1134:25-60.
- Williams-Guillén K, Perfecto I, Vandermeer J. 2008.** Bats limit insects in a Neotropical agroforestry system. *Science* 320:70.
- Wu CH, Fang YP. 2012.** The study of bat diversity of Hualien and ecology education brochure publish project. Hualien, Taiwan: Hualien Forest District Office, Forestry Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan. 83 p.
- Wu WJ, Wen HC, Lin CS, Li HF. 2013.** Recent occurrence of forest insect pests in Taiwan. 2013 International Symposium on Forest Health Management. 22 p.
- Zangerl AR, Hamilton JG, Miller TJ, Crofts AR, Oxborough K, Berenbaum MR, et al. 2002.** Impact of folivory on photosynthesis is greater than the sum of its holes. *Proc Natl Acad Sci USA* 99(2):1088-91.