

目 錄

三套超音波偵測系統運用於蝙蝠回聲定位研究之比較.....	129
.....周政翰、林芸安、胡伯齊、張簡琳玟、鄭錫奇	
湖山水庫地區鳥類保育優先次序評估系統.....	143
.....方偉、林瑞興、范孟雯	
台灣黑枕藍鶇(<i>Hypothymis azurea</i>)的鳥巢形值與巢材.....	167
.....陳華香、陳東瑤、林瑞興	
圈養狀況下之斑腿樹蛙生活史.....	177
.....吳和瑾、林春富、葉大詮、呂光洋	
富營養珊瑚礁中觀生態池內氮的收支模式.....	187
.....林蔚任、鍾佳芸、林幸助	
台灣產片葉蘚屬 5 個新紀錄種.....	201
.....姚奎宇、林善雄	
台灣產細刺毛蓼之確認及其與兩相近分類群之分類研究.....	213
.....葉大裕、陳世輝、吳明洲	
Morphology and Ultrastructure of Root-Fungus Association of <i>Rhododendron formosanum</i> Hemsl. in Sanlinchi Forest of Central Taiwan.....	225
..... Lei-Chen Lin, Ming-Jen Lee and Yei-Zeng Wang	

行政院農業委員會特有生物研究保育中心 編印
Published by Endemic Species Research Institute,
Council of Agriculture, Taiwan, R. O. C.



GPN : 2009900002
定價：新台幣100元整

台灣生物多樣性研究 Taiwan Journal of Biodiversity

原為《特有生物研究》期刊
Continuation of former journal
of "Endemic Species Research"

第12卷第2期
Vol. 12, No. 2

中華民國99年4月
April 2010





封面圖說／

台灣鼠耳蝠(*Myotis taiwanensis*)是台灣特有種蝙蝠，通常棲息在洞穴型棲所，主要捕食雙翅目昆蟲。

(周政翰 攝)

台灣生物多樣性研究

(原為《特有生物研究》半年刊，2010年元月起更名，並以季刊發行)

發行人／湯曉虞
總編輯／李訓煌
主編／鄭錫奇、許再文

執行編輯／(依姓氏筆劃序)

何健鎔、林瑞興、許再文、陳志輝
陳榮宗、張和明、詹芳澤、蔡奇立
鄭錫奇、劉靜榆、薛美莉

編輯諮詢委員／(依姓氏筆劃序)

于宏燦、方力行、王穎、王震哲
王鑫、呂光洋、呂福原、李玲玲
汪靜明、周昌弘、吳忠宏、吳錫圭
吳繼光、邵廣昭、林幸助、林耀松
郭城孟、陳明義、陳章波、許建昌
張清風、黃生、游祥平、彭鏡毅
楊平世、楊政川、廖一久、裴家騏
趙榮台、劉小如、蔡住發、鄭蕙燕
歐辰雄、蔣鎮宇

英文編輯／蔡住發
助理編輯／羅華娟

出版／農委會特有生物研究保育中心
住址／南投縣集集鎮 552 民生東路 1 號
電話／049-2761331 轉 315
網址／<http://www.tesri.gov.tw>
印刷／財政部印刷廠
出版日期／中華民國 99 年 4 月
創刊日期／中華民國 88 年元月
出版登記／局版台誌第 10207 號

定價／新台幣 100 元整

展售處／
五南文化廣場 04-22260330
台中市中山路 2 號
國家書店松江門市 02-25180207
台北市松江路 209 號 1 樓
國家網路書店
<http://www.govbooks.com.tw>

特有生物研究保育中心消費合作社
南投縣集集鎮民生東路 1 號
049-2762490

Taiwan Journal of Biodiversity

(Continuation of former journal of "Endemic Species Research", 1999-2009)

Publisher / Hsiao-Yu Tang
Editor-in-chief / Hsun-Hwang Lee
Editors / Hsi-Chi Cheng and Tsai-Wen Hsu

Executive Editors /

Jen-Zon Ho, Ruey-Shing Lin,
Tsai-Wen Hsu, Chih-Hui Chen,
Rung-Tsung Chen, Ho-Ming Chang,
Fang-Tse Chan, Chi-Li Tsai,
Hsi-Chi Cheng, Ching-Yu Liou,
May-Li Hshiu

Editorial Board /

Hon-Tsen Yu, Lee-Shing Fang,
Ying Wang, Jenn-Che Wang,
Shin Wang, Kuang-Yang Lue,
Fu-Yuan Lue, Ling-Ling Lee,
Ching-Ming Wang, Chang-Hung Chou,
Homer C. Wu, Shi-Kuei Wu,
Chi-Guang Wu, Kwang-Tsao Shao,
Hsing-Juh Lin, Yao-Sung Lin,
Chen-Meng Kuo, Ming-Yih Chen,
Chang-Po Chen, Chien-Chang Hsu,
Ching-Fong Chang, Shong Huang,
Hsiang-Ping Yu, Ching-I Peng,
Ping-Shih Yang, Jeng-Chuan Yang,
I-Chiu Liao, Kurtis Jai-Chyi Pei,
Jung-Tai Chao, Lucia Liu Severinghaus,
Chu-Fa Tsai, Huei-Yann Joann Jeng,
Chern-Hsiung Ou, Tzen-Yuh Chiang

English Editor / Chu-Fa Tsai

Assistant Editor / Hua-Chuan Lo

Published by Endemic Species Research Institute
1 Ming-Shen E. Road, Jiji, Nantou 552,
Taiwan, R.O.C.
Tel: 886-49-2761331 ext. 315
<http://www.tesri.gov.tw>

Published Date: April 2010

GPN: 2009900002
ISSN: 2076-6971

Contents

Comparison of Three Ultrasonic Detecting Systems for Bat Echolocation Study..... Cheng-Han Chou, Yun-An Lin, Po-Chi Hu, Lin-Wen Chang-Chien and Hsi-Chi Cheng	129
An Avian Conservation Priority System for the Hushan Reservoir Area..... Wei Fang, Ruey-Shing Lin and Meng-Wen Fan	143
Nest Materials and Measurements of the Black-Naped Monarch (<i>Hypothymis azurea</i>) in Taiwan..... Hua-Hsiang Chen, Tung-Yao Chen and Ruey-Shing Lin	167
Life History of the Spot-Legged Tree Frog <i>Polypedates megacephalus</i> in Captivity... Ho-Chin Wu, Chun-Fu Lin, Ta-Chuan Yeh and Kuang-Yang Lue	177
Nitrogen Budgets in Nutrient Enriched Coral Reef Mesocosms..... Wei-Jen Lin, Chia-Yun Chung and Hsing-Juh Lin	187
Five Species of <i>Riccardia</i> Newly Recorded to Taiwan..... Kuei-Yu Yao and Shan-Hsiung Lin	201
Confirmation on the Occurrence of <i>Persicaria barbata</i> (L.) Hara var. <i>gracilis</i> (Danser) Hara in Taiwan with Notes on Its Two Related Taiwanese Taxa..... Ta-Yu Yeh, Shih-Huei Chen and Ming-Jou Wu	213
Morphology and Ultrastructure of Root-Fungus Association of <i>Rhododendron</i> <i>formosanum</i> Hemsl. in Sanlinchi Forest of Central Taiwan..... Lei-Chen Lin, Ming-Jen Lee and Yei-Zeng Wang	225

三套超音波偵測系統運用於蝙蝠回聲定位研究之比較

Comparison of Three Ultrasonic Detecting Systems for Bat Echolocation Study

周政翰¹ 林芸安² 胡伯齊² 張簡琳玟³ 鄭錫奇^{3,*}

Cheng-Han Chou¹, Yun-An Lin², Po-Chi Hu², Lin-Wen Chang-Chien³
and Hsi-Chi Cheng^{3,*}

¹ 私立真理大學休閒遊憩事業學系 台南縣麻豆鎮北勢里北勢寮 70 之 11 號

² 國立台灣大學生態學與演化生物學研究所 台北市羅斯福路四段 1 號

³ 行政院農業委員會特有生物研究保育中心 南投縣集集鎮民生東路 1 號

¹ Department of Recreation and Leisure, Aletheia University, Tainan, Taiwan

² Institute of Ecology and Evolutionary Biology, National Taiwan University, Taipei, Taiwan

³ Endemic Species Research Institute, Jiji, Nantou, Taiwan

* 通訊作者: chenghc@tesri.gov.tw

* Corresponding author: chenghc@tesri.gov.tw

摘要

本研究運用 AnaBat、Pettersson 及 Avisoft 等 3 套超音波偵測與錄音系統檢視台灣蝙蝠超音波，分析探討其功能上之差異，以確認每套系統對於蝙蝠超音波研究之應用面。本研究選定使用變頻式(FM)超音波之台灣鼠耳蝠(*Myotis taiwanensis*)及常頻式(CF-FM)音頻的台灣葉鼻蝠(*Hipposideros terasensis*)為測錄對象，並比較其音頻特徵值之差異，包括最高頻率、最低頻率、特徵頻率及持續時間。在相同的條件下，同時以 3 套系統進行蝙蝠超音波的測錄及比較，結果顯示使用不同超音波類型的蝙蝠種類、各系統錄音感度與硬體配備，以及各套裝系統分析軟體判定有效蝙蝠音頻之功能等因素會導致判定的有效音頻數及各項音頻特徵測量值有顯著的差異。我們建議 AnaBat 系統適用於蝙蝠類動物的普查與監測，而 Pettersson 與 Avisoft 二系統則可用於進行較精細的蝙蝠聲音學與行為生態學研究。

Abstract

We used three bat detector systems, AnaBat, Pettersson and Avisoft, to record and analyze echolocations of two bat species with different echolocation types: *Myotis taiwanensis* with FM type and *Hipposideros terasensis* with CF-FM type. Maximum frequencies, minimum frequencies, characteristic frequencies and durations of pulses of the bat echolocations were described and compared among the three systems. The results showed that the function and application of each of the detector systems depend on sensitivity of its recording apparatus and analytical software and on the echolocation type (FM or CF-FM) of the bat. The AnaBat system is useful for bat fauna survey and long-term monitoring, whereas the Pettersson and Avisoft systems are suitable for behavior study and for solving echolocation issues.

關鍵詞：回聲定位、蝙蝠偵測器、台灣鼠耳蝠、台灣葉鼻蝠

Key words: echolocation, bat detector, *Myotis taiwanensis*, *Hipposideros terasensis*

收件日期：98年8月27日

接受日期：98年11月25日

Received: August 27, 2009

Accepted: November 25, 2009

緒 言

蝙蝠為唯一具有飛行能力的哺乳類動物。全世界蝙蝠物種約有 1,000 多種，約占已知哺乳動物種數的 1/5，而台灣地區(包含離島)迄今已發現至少有 35 種蝙蝠(鄭及張簡 2008)，約占台灣陸域哺乳類動物種總數的 40%，其中僅台灣狐蝠(*Pteropus dasymallus formosus*)、印度犬果蝠(*Cynopterus sphinx*)及棕果蝠(*Rousettus leschenaultii*)為食果性蝙蝠，其餘 32 種皆為食蟲性蝙蝠。由於食蟲性蝙蝠晝伏夜出之習性與夜間靈巧的飛行能力，導致觀察不易且捕捉困難，因而在台灣有關哺乳類調查與研究中，蝙蝠類是較為缺乏的一類。直至 1988 年起，始有國內的研究者著手進行包括物種調查、分類鑑定、活動模式、空間分布、資源利用等研究

(盧 1988；鄭及張簡 2008)，然迄今仍有諸多知識尚待發掘釐清。為解決此困境，許多外國的蝙蝠研究者運用食蟲性蝙蝠回聲定位(echolocation)的獨特性進行相關研究，並根據超音波性質持續研發出不同的套裝蝙蝠偵測系統，且各系統也隨著近幾年資訊產品的發展而有改良的儲存裝置。台灣過去對於蝙蝠超音波回聲定位的研究不多，林等(2004)所編著之《台灣的蝙蝠》一書中列有 6 種台灣蝙蝠之單一頻譜資料，但未實際運用任何超音波測錄系統進行研究，乃由日籍學者松村澄子所提供的資料。趙(2001)曾運用 AnaBat 系統錄製東亞家蝠(*Pipistrellus abramus*)、摺翅蝠(*Miniopterus schreibersii*)、台灣小蹄鼻蝠(*Rhinolophus monoceros*)及台灣葉鼻蝠(*Hipposideros terasensis*)自由飛行之回聲定位叫聲，並進行比較 4 種蝙蝠

回聲定位叫聲特性，結果指出叫聲頻率最高的是台灣小蹄鼻蝠，最低的是東亞家蝠。周及李(2006)曾針對 AnaBat 及 Pettersson 系統的使用及背景文獻回顧並探討此二系統的系統原理，但無同時以二系統偵測蝙蝠回聲定位叫聲來比較實際錄音的差異。李(2007)利用 Pettersson 錄製台灣葉鼻蝠室內飛行操作實驗，發現台灣葉鼻蝠在同時飛行時具有避免干擾反應(jamming avoidance response)。鄭及周(2007)利用 AnaBat 系統建置了台灣地區 11 種食蟲性蝙蝠之回聲定位叫聲資料庫。近年來，台灣地區蝙蝠研究者引進使用的套裝測錄系統有 3 種，分別為澳洲製的 AnaBat 系統、瑞典製的 Pettersson 系統及德國製的 Avisoft 系統，其系統原理分述如下：

一、AnaBat system (Titley Electronics, Ballina, New South Wales, Australia)

本系統主要原理是將所錄得蝙蝠的超音波除以 1 個基數讓蝙蝠超音波降至人耳可聽到的範圍，此方法稱為「分頻法」(frequency division)。1998 年之前 AnaBat II 需以磁帶記錄蝙蝠回聲定位聲音，並由電腦控制錄音系統的起始與各項設定；1999-2006 年時期記錄設備轉變成為小尺寸快閃記憶體(compact flash)，並發表記錄器 CF ZCAIM；2006 年後則將偵測系統與記錄器整合，發表 AnaBat SD1 之型號。AnaBat 的器材主體結構包含 1 個超音波接收麥克風(接收範圍為 10-200 千赫)及一控制分頻法之主機，此外，後端連接一處理器搭配儲存及記錄裝置(zero-crossing interface module, ZCAIM)，以點狀資料描述記錄蝙蝠之超音波頻譜。

二、Pettersson system (Pettersson Elektronik AB, Tallbacksvagen 51, S-75645 UPPSALA, Sweden)

本系統之原理除了上述的分頻法外，另運

用 2 種方法可將超音波降至人耳可聽音頻，分別為慢速播放的時間擴張法(time expansion)及選定只轉換某個頻率訊號的外差法(heterodyne)。本研究所採用的 D980 偵測器本體包含 1 個超音波音頻麥克風(音頻接收範圍為 10-200 千赫)，其後接有一雜訊過濾器(Pettersson F2000 control/filter unit)，藉由時間擴張法將蝙蝠叫聲之類比資訊通過快速擷取卡(DAQ Card-6062E)的處理後，傳至電腦軟體(BatSound Pro 3.31b)運算，以數位檔案(.wav)格式儲存於電腦中。2005 年發表的 D1000X 則是利用小尺寸快閃記憶體儲存聲音資料，並以數位(.wav)格式儲存。

三、Avisoft system (Avisoft Bioacoustics Kirchstr. 11 13158, Berlin, Germany)

本系統為一廣用型的聲音記錄分析系統，可利用不同的麥克風及不同的濾波器測錄不同音頻範圍的聲音。針對蝙蝠而言，主要利用慢速播放的時間擴張法將超音波降至人耳可聽音頻。Avisoft 本體結構包含 1 個高音音頻接收麥克風(本研究所採用的音頻範圍 10-750 千赫)，後端連接一快速擷取濾波器(本研究採用 USG 416 H)，經由濾波器進行快速傅立葉轉換(fast Fourier transfer, FFT)，將蝙蝠聲音類比訊號轉換為數位訊號，再將訊號送往電腦軟體(Avisoft-SASLab Pro 4.3)記錄聲音資料，並以數位(.wav)格式儲存。

本研究目的在於運用目前台灣蝙蝠研究者所使用的 3 套蝙蝠回聲定位錄音系統進行超音波偵測與錄音功能異同之檢視，並分析探討運用於台灣地區蝙蝠物種研究之適當性。

材料與方法

一、蝙蝠研究對象選定與採集方法

食蟲性蝙蝠超音波音頻型態分為常頻式(constant frequency, CF，主要特徵音頻多為固

定不變橫平型)及變頻式(frequency modulated, FM, 音波頻率為落差變化大的斜線型)2型(Schnitzler and Kalko 2001)。因此本研究選定台灣地區使用不同型超音波的2種特有種蝙蝠為研究對象,選擇包括使用變頻式(FM)超音波音頻之台灣鼠耳蝠(*Myotis taiwanensis*)及使用常頻式但於末端含一變頻式超音波音頻(CF-FM)的台灣葉鼻蝠,此2種蝙蝠皆為台灣地區典型的洞穴型食蟲性蝙蝠。台灣鼠耳蝠採自棲息在屏東縣萬巒鄉之人工排水渠道的群集,而台灣葉鼻蝠採自棲息在台南縣東山鄉之人工排

水渠道的群集;2物種皆選取雌雄成蝠各5隻作為超音波音頻測錄與分析之樣本。

二、錄音系統的架設與錄音方式

(一) 錄音系統的架設

將3套錄音系統之麥克風固定於一木板底座上,確保每次錄音時3型麥克風接收器皆位於同一接收平面,再以麥克風延長線連接到後端記錄器,木板下方以雲台連接至腳架,架設高度約離地1.5m高(圖1)(參考Fenton *et al.* 2001)。



圖 1. 架設於平台上的3模組蝙蝠偵測器的麥克風,由左至右依序為 Pettersson、Avisoft、AnaBat 系統。

Fig. 1. Microphones of Pettersson (left), Avisoft (center) and AnaBat (right) ultrasonic detecting systems on the platform.

(二) 野外錄音工作

蝙蝠超音波資料收集是在野外蝙蝠棲息洞穴外周遭的空曠處進行。因蝙蝠類為晝伏夜出的動物,為避免過度干擾棲息中的蝙蝠群集,研究人員選擇蝙蝠即將離巢的黃昏時刻進入洞穴內,以手撈網撈捕停棲在岩壁上的蝙蝠個體。當採得5隻雄性及5隻雌性成熟個體(成

幼體之判斷依據指骨軟骨間隔帶之有無判定;Kunz and Robson 1995)即停止撈捕動作。所有被捕獲的蝙蝠個體均暫時放置於透氣布袋中。當黑夜降臨,洞穴中的蝙蝠群集陸續外飛且遠離棲所後始開始進行錄音工作。每次錄音工作僅以1隻個體為操作對象。首先,研究人員在所捕獲個體的腹面以醫學用黏膠 Skin-Bond

(Smith & Nephew Pty. Ltd.)黏貼一螢光棒(2.9×23 mm)，以協助夜間觀察測錄(螢光棒將於數天後自動脫落)。接著，將蝙蝠個體自然含握在手中，讓其發出超音波，以進行錄音設備的最後調校，並將各錄音系統調整至單一個體之最適感度；調校確定後，接著拋擲鑰匙以其發出高頻之聲響作為錄音檔案的開始記號，並隨後在距離麥克風約5-10m處釋放蝙蝠，讓蝙蝠個體朝向3組麥克風架設處飛行，並由3套系統同時進行超音波的測錄工作。每回合錄音時間約持續15 sec。

三、分析比較蝙蝠回聲定位因子

將測錄所得之聲音片段，根據Kingston *et al.* (2003)以7個連續音頻作為蝙蝠正常飛行下所發出的音頻作為有效音頻之判斷。有效音頻

分別以不同的蝙蝠偵測套裝原件之處理軟體進行篩選處理，並將各系統所錄得的蝙蝠超音波之最高頻率(Fmax, maximum frequency)、最低頻率(Fmin, minimum frequency)、特徵頻率(Fc, characteristic frequency, referring to the flattest part of the pulse)及持續時間(Dur, duration of pulse)等聲音特徵值匯入統計軟體(SAS 9.0)進行單一叫聲的測量，所得之測量值將作為單一因子，進行多重比較分析(MANOVA)比較。各系統之對應的分析軟體及處理方式分述如下：

(一) AnaBat 系統

將測錄之蝙蝠音頻檔案匯入Analog (Version 4.9j)軟體後，將高頻之鑰匙標示音及其他非蝙蝠所發出的雜音以人工篩選方式剔除(圖2)，並以內建自動測量系統測量特徵值並匯出資料。

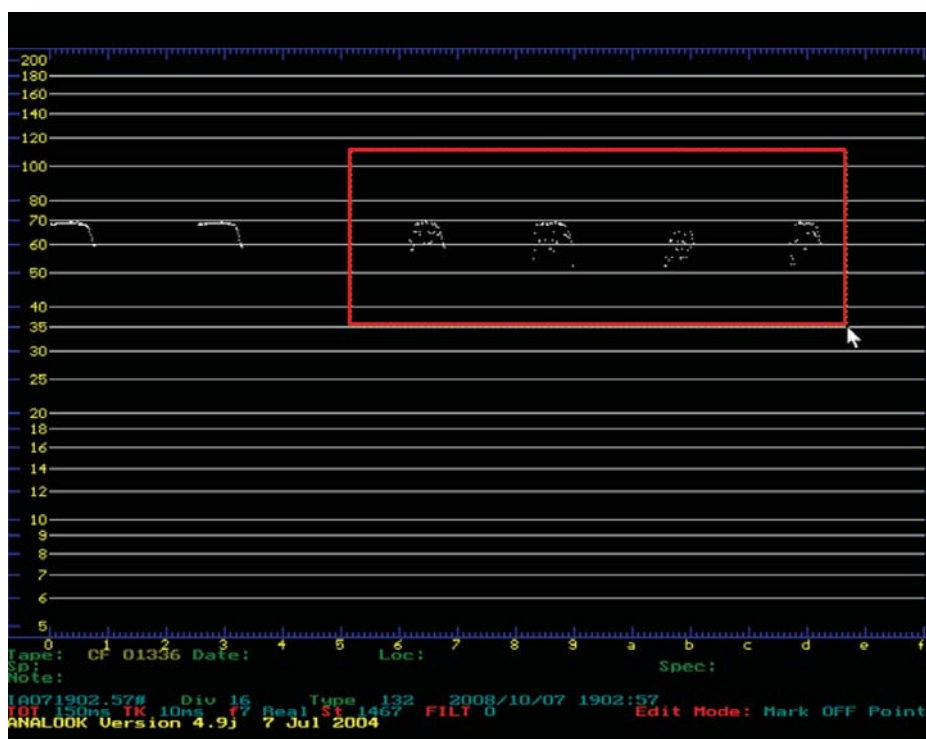


圖 2. 選定並剔除不完整音頻之 Analog 畫面(如紅色框所示)。

Fig. 2. Checking and removal of noise and fragmented echoes (red square area) from AnaBat spectrum.

(二) Pettersson 系統

將測錄之蝙蝠音頻檔案利用 BatSound Pro (Version 3.31b) 軟體去除非蝙蝠叫聲之低音頻雜訊，並進行音頻資料的測量，以所得之清晰叫聲進行分析數值比較。為避免失真的蝙蝠音頻造成測量上的誤差，所選取範圍為高頻之鑰匙標示音後的叫聲中，未超過本系統最大能量值的叫聲，使用 BatSound Pro 內建之過濾背景雜訊，讓所分析的叫聲呈現雜訊較低的圖譜

(圖 3)。除特徵音頻根據 AnaBat 系統之定義以人工方式針對每一有效音頻進行檢視測量外，其餘的最高、最低及週期 3 種音頻值皆使用 BatSound Pro 軟體進行自動測量。將自動量測之判定叫聲的最小能量值設定為 -16dB，視為可辨別叫聲波形圖，因此我們選取叫聲波形圖大於 -16dB 之叫聲進行聲音特徵值之測量。然而每個蝙蝠叫聲不盡相同，因此會再以人工判別選取最適當能量值作為設定自動分析的依據。

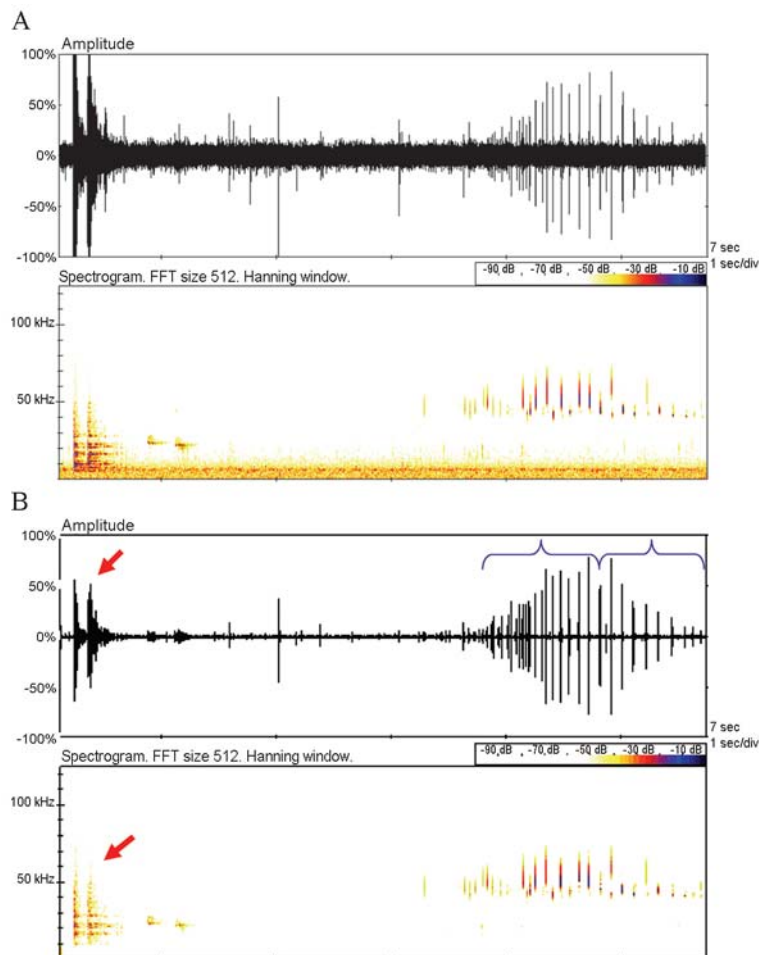


圖 3. 過濾低頻雜音前的高頻之標示音及完整叫聲(A)及過濾低頻雜音後的高頻之標示音及完整叫聲(B)。B圖中紅色箭頭處為標示音；圖右之藍色括號左為蝙蝠飛近麥克風，右為蝙蝠遠離麥克風時的叫聲。

Fig. 3. The recorded files before filtrationing (A) and after filtrationing (B) (red arrows, marking sound; left blue bracket, bat approaching the microphone; right bracket, bat away from the microphone).

(三) Avisoft 系統

將測錄之蝙蝠音頻檔案利用 Avisoft-SASLab Pro (Version 4.3) 軟體去除非蝙蝠叫聲之低音頻雜訊，並將所得之清晰叫聲進行分析數值比較。所選取的範圍為高頻之鑰匙標示音後的叫聲，選取未超過最大能量值的叫聲，以避免失真的蝙蝠音頻，造成測量上的誤差，而使用 Avisoft-SASLab Pro 內建之過濾背景雜訊可讓所分析的叫聲呈現雜訊較低的圖譜(圖 4)。除

特徵音頻根據 AnaBat 系統之定義以人工針對每一有效音頻進行檢視測量外，其餘的最高、最低及週期 3 種音頻值皆使用 Avisoft-SASLab Pro 軟體進行自動測量。將自動量測判定叫聲的最小能量值設定為 -16dB，視為可辨別叫聲波形圖，因此我們選取叫聲波形圖大於 -16dB 之叫聲進行聲音特徵值之測量。然而每個蝙蝠叫聲不盡相同，因此會再以人工判別選取最適當能量值作為設定自動分析的依據。

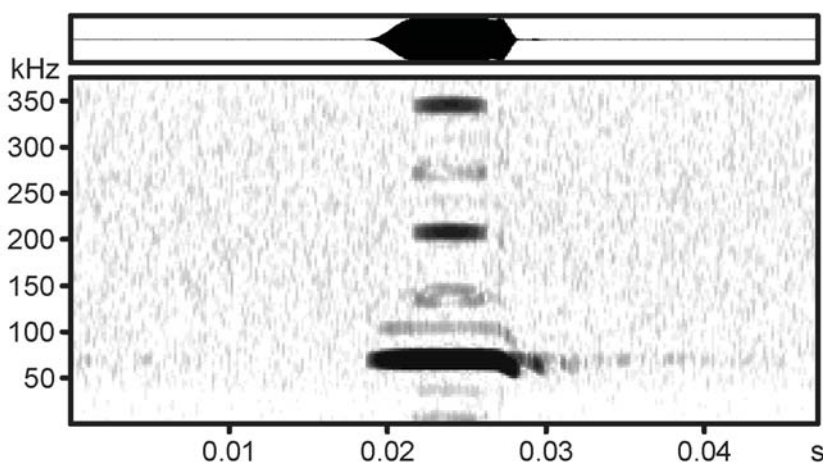


圖 4. 因聲音能量大於麥克風所能蒐錄的範圍而造成的失真音頻。

Fig. 4. Overloading of the energy of echoes over the system.

結 果

一、音頻量測值

(一) AnaBat 系統

本研究以 AnaBat 系統所錄得台灣鼠耳蝠之可判別音頻檔案共計有 10 個檔案，包含 355 個有效叫聲。最高音頻範圍為 62.10 ± 7.28 千赫(kHz)，最低為 45.95 ± 1.98 kHz，特徵音頻為 52.89 ± 3.76 kHz，持續時間為 1.38 ± 0.56 毫秒(ms)。所錄得台灣葉鼻蝠之可判別音頻檔案共計有 8 個檔案，包含 143 個有效叫聲。最高音頻範圍為 68.75 ± 0.66 kHz，最低為 60.17 ± 3.01 kHz，特徵音頻為 68.32 ± 1.20 kHz，持續

時間為 7.19 ± 1.92 ms (表 1)。

(二) Pettersson 系統

本研究以 Pettersson 系統所錄得台灣鼠耳蝠之可判別音頻檔案共計有 10 個檔案，包含 268 個有效叫聲。最高音頻範圍為 59.63 ± 5.99 kHz，最低為 42.81 ± 3.11 kHz，特徵音頻為 46.11 ± 2.40 kHz，持續時間為 2.01 ± 0.83 ms。所錄得台灣葉鼻蝠之可判別音頻檔案共計有 8 個檔案，包含 184 個有效叫聲。最高音頻範圍為 69.06 ± 0.67 kHz，最低為 59.79 ± 3.13 kHz，特徵音頻為 68.01 ± 0.63 kHz，持續時間為 7.83 ± 1.58 ms (表 1)。

表 1. AnaBat、Pettersson 及 Avisoft 等 3 套蝙蝠偵測器所測量之台灣鼠耳蝠及台灣葉鼻蝠聲音測量值。利用最小顯著性差異測驗檢視 3 系統之錄音狀態，並以此方法將 3 系統之 4 個聲音特徵值比較分群，^A、^B、^C 分別表示具優劣顯著差異的類群

Table 1. Characters of echo calls of *Myotis taiwanensis* and *Hipposideros terasensis* recorded by three ultrasonic detecting systems and grouped by the least significant difference test (LSD) for their maximum frequencies (Fmax), minimum frequencies (Fmin), characteristic frequencies (Fc), and durations of frequencies (Dur)

System	Species	Valid calls	Fmax (kHz) (range)	Fmin (kHz) (range)	Fc (kHz) (range)	Dur (ms) (range)
AnaBat	<i>M. taiwanensis</i>	355	62.10±7.28 ^B (49.84-84.66)	45.95±1.98 ^A (40.71-53.33)	52.89±3.76 ^A (43.96-60.61)	1.38±0.56 ^C (0.60-3.27)
	<i>H. terasensis</i>	143	68.75±0.66 ^C (66.39-70.18)	60.17±3.01 ^B (53.87-68.67)	68.32±1.20 ^A (58.18-69.57)	7.19±1.92 ^B (0.48-10.19)
Pettersson	<i>M. taiwanensis</i>	268	59.63±5.99 ^C (41.50-72.75)	42.81±3.11 ^B (36.13-53.71)	46.11±2.40 ^C (39.30-53.60)	2.01±0.83 ^B (0.91-4.60)
	<i>H. terasensis</i>	190	69.06±0.67 ^B (67.87-69.34)	59.79±3.13 ^B (56.15-67.87)	68.01±0.63 ^B (66.20-68.70)	7.83±1.58 ^A (3.33-9.29)
Avisoft	<i>M. taiwanensis</i>	246	76.73±8.28 ^A (55.67-98.56)	45.69±2.61 ^A (38.85-56.36)	52.19±4.13 ^B (40.20-65.90)	2.81±1.43 ^A (0.81-9.17)
	<i>H. terasensis</i>	244	69.61±0.78 ^A (67.61-71.50)	61.72±2.40 ^A (56.95-69.53)	65.83±1.39 ^C (62.20-71.00)	7.56±1.48 ^A (4.56-12.07)

^A The group with the highest LSD (Fisher's least significant difference) values among three systems.

^B The group with the medium LSD values.

^C The group with the lowest LSD values.

(三) Avisoft 系統

本研究以 Avisoft 系統所錄得台灣鼠耳蝠之可判別音頻檔案共計有 10 個檔案，包含 246 個有效叫聲。最高音頻範圍為 76.73±8.28 kHz，最低為 45.69±2.61 kHz，特徵音頻為 52.19±4.13 kHz，持續時間為 2.81±1.43 ms。所錄得台灣葉鼻蝠之可判別音頻檔案共計有 10 個檔案，包含 244 個有效叫聲。最高音頻範圍為 69.61±0.78 kHz，最低為 61.72±2.40 kHz，特徵音頻為 65.83±1.39 kHz，持續時間為 7.56±1.48 ms (表 1)。

二、音頻圖譜

將測錄後的台灣鼠耳蝠叫聲經由 AnaBat 系統之分頻法轉換，並將單一時間點上最強之聲音位點以點標示為聲音圖譜(圖 5)。台灣鼠耳蝠的超音波屬於曲線型(curvilinear)變頻式音波。而以 BatSound Pro 或是 Avisoft-SASLab Pro 經由快速傅立葉轉換(FFT)所記錄的台灣鼠耳蝠回聲定位聲音之聲音圖譜(圖 6)主要為一基本音頻(能量較強、聲紋較深色者)以及一高音和弦(harmonic)。台灣葉鼻蝠的叫聲由 AnaBat 系統分頻法轉換後的聲音圖譜，將時間軸上最強之聲音位點以點標示後的聲音圖譜(圖 7)。

台灣葉鼻蝠的超音波包含一常頻音波及末端的降頻音波(即CF-FM型)，而以BatSound Pro或是 Avisoft-SASLab Pro 經由快速傅立業轉換所

記錄的台灣葉鼻蝠超音波聲音之圖譜(圖 8)，主要為一基本音頻(能量較強聲紋較深者)以及一高音和弦。

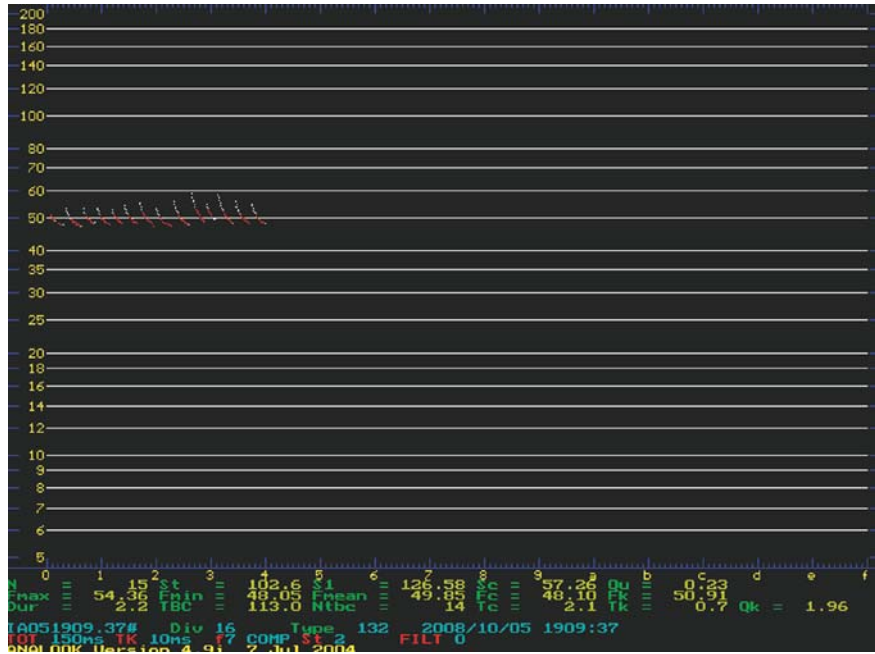


圖 5. 由 AnaBat 系統所測得之台灣鼠耳蝠的超音波圖譜。

Fig. 5. The frequency spectrum of *Myotis taiwanensis* recorded by the AnaBat system.

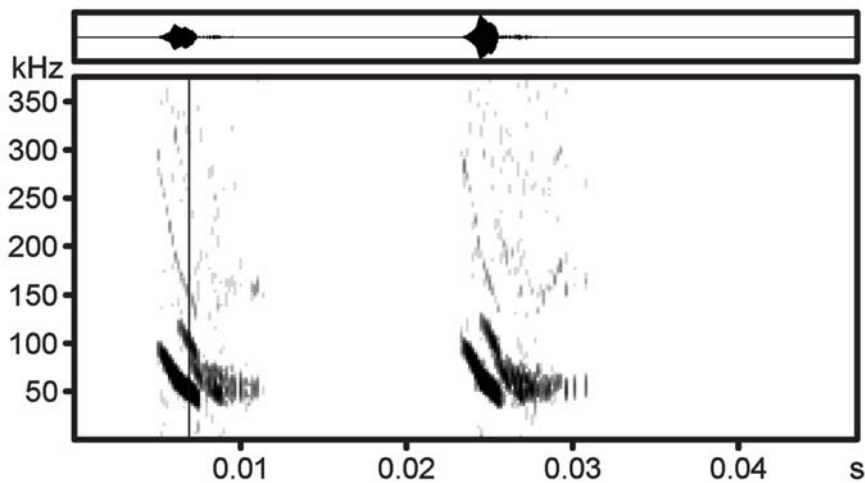


圖 6. 台灣鼠耳蝠經由快速傅立業轉換之超音波圖譜。

Fig. 6. The frequency spectrum of *Myotis taiwanensis* recorded on fast Fourier transfer.

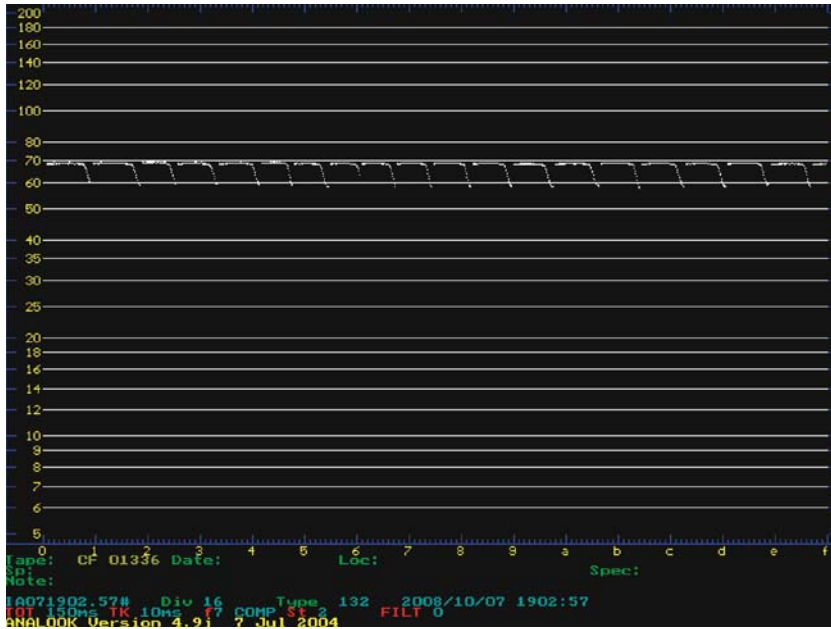


圖 7. 由 AnaBat 系統所測得之台灣葉鼻蝠超音波圖譜。

Fig. 7. The frequency spectrum of *Hipposideros terasensis* recorded by the AnaBat system.

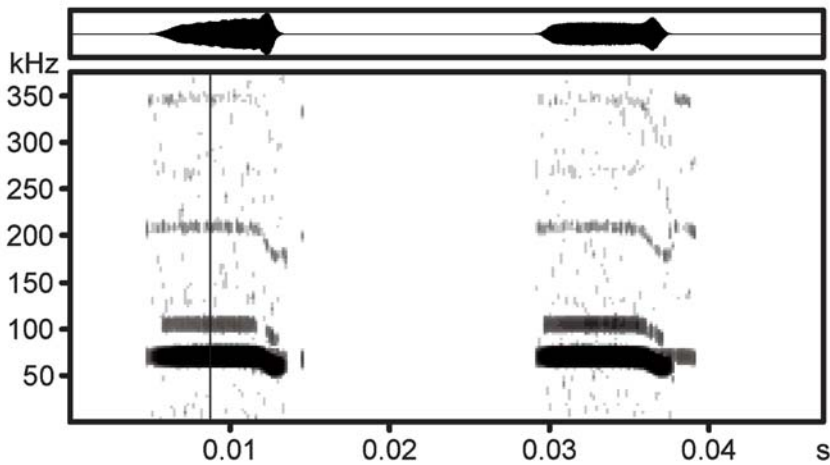


圖 8. 台灣葉鼻蝠經由快速傅立葉轉換之超音波圖譜。

Fig. 8. The frequency spectrum of *Hipposideros terasensis* recorded on fast Fourier transfer.

討 論

一、敏感度及解析度之比較

Schnitzler and Kalko (2001)指出由於不同

種的蝙蝠使用不同的超音波類型，且其體型與覓食策略的不同會導致其回聲定位強度不同。而本研究結果顯示，各系統錄音麥克風之敏感度及用於判定有效蝙蝠音頻的分析軟體之不

同，會導致所判定的有效音頻數及各項音頻特徵測量值具有顯著的差異(表 1)，而這些差異也突顯各套系統對於偵測不同種蝙蝠的超音波類型有其優缺點。利用多變量分析之最小顯著差異分析(Fisher's least significant difference, LSD)顯示變頻式蝙蝠之最高頻率、最低頻率及持續時間等 3 項測量值均以 Avisoft 系統所測得之數值歸為顯著性最大(歸於 A 群)，此表示 Avisoft 系統所測得的結果於統計上皆顯著大於其他二系統，而這個差異也顯示於同狀態下錄音，Avisoft 系統具有較高的解析度。另利用最小顯著差異分析歸類此三系統所測得的特徵音頻則以 AnaBat 系統顯著性最大(歸於 A 群)，此表示 AnaBat 系統對所測得的結果顯著優於另二系統，主要原因來自於特徵音頻為 AnaBat 系統中軟體測量自動判斷回聲定位特徵，其定義為單一音波中最平處(斜率為 0)之頻率值，且點狀音頻特徵較聲紋特徵之判定誤差較小。而 Pettersson 系統於最低音頻及持續時間這 2 項特徵值，以最小顯著差異分析歸類為 3 者之中間(歸於 B 群)，此表示於此二特徵顯著優於 AnaBat 系統，但較 Avisoft 系統略差。於偵測定頻式蝙蝠的結果發現，最高頻率、最低頻率及持續時間等 3 項測量值皆可以發現 Avisoft 系統為 3 型偵測器中最大值(歸為 A 群)，顯著優於其他二系統，而這個差異也顯示於同狀態下錄音，Avisoft 系統具有較高的解析度；特徵頻率則以 AnaBat 系統(歸類為 A 群)顯著大於另 2 套系統；另 Pettersson 系統與 Avisoft 系統的持續時間特徵值並列為 A 群，顯著優於 AnaBat 系統，但 Pettersson 系統於最高頻率及最低頻率皆為三系統之中等解析度(歸為 B 群)，但於特徵音頻顯著優於 Avisoft 系統，亦為三系統之中等解析度。

變頻式蝙蝠之音頻能量及其超音波會因蝙蝠活動於不同的空間及時間而改變(Schnitzler and Kalko 2001)，但相對於變頻式蝙蝠，常頻式蝙蝠之音頻不會因為時空環境而改變其能量

及音頻，是故其音頻較為穩定。針對本研究所使用之 3 套錄音敏感度及解析度之比較分述如下：

(一) 敏感度

蝙蝠變頻式音波之測錄效果以 AnaBat 系統可得到最多筆有效音頻，主要原因在於 AnaBat 系統只要是可接受之蝙蝠叫聲就會以點記錄音波，並無能量過大而導致音頻失真現象。至於另 2 套具有音波能量因子的錄音系統(Pettersson 及 Avisoft 系統)則會有能量過小而導致自動分析軟體判定為無效音頻，抑或能量過大而有失真音頻的現象。因此在變頻型音波蝙蝠偵測上，AnaBat 系統會有較高的錄音敏感度。Fenton *et al.* (2001)比較 AnaBat 與利用快速傅立葉轉換之原理的結果亦發現，AnaBat 系統之麥克風相較其他超音波偵測系統擁有較高的敏感度。蝙蝠定頻式音波雖然具有較穩定的音波能量，但於 AnaBat 系統記錄時若無完整之定頻音頻，則皆不納入音頻分析(圖 2)，以避免因測量最高及最低音頻失真而導致值誤差，是故 AnaBat 在本研究所採用的常頻式蝙蝠中之有效音頻數判定會遠小於其他 2 套系統。相對而言，Avisoft 系統可獲得最多筆常頻式蝙蝠(台灣葉鼻蝠)的有效音頻，而 Pettersson 系統於此 2 類型音波皆屬中等狀態的偵測敏感度。

(二) 解析度

解析度的判定主要來自錄音過程環境雜音的影響程度及有效音頻的判定。AnaBat 系統之有效音頻判定以人工檢視點狀頻譜圖，判定是否為蝙蝠完整之音頻，再予以選定或刪除，而 Pettersson 及 Avisoft 系統則可設定一能量基準值來篩選判定有效音頻。以有效音頻測量值的標準偏差來判斷自動分析及人工篩選有效音頻及測量上的偏差可知，AnaBat 系統的蝙蝠變頻式音波之偏差最小，主要原因應來自變頻式蝙蝠音波因空間不同而發出的音頻所致。AnaBat 系統於人工判定過程會將部分聲音片段判定為不完整音頻而刪除，其餘二系統以能

量因子為判定依據，只要大於此能量閾值即進行測量。蝙蝠常頻式的音波由於音頻能量較為固定，是故於解析度上而言可發現誤差最小之

系統為 Avisoft 系統，而 Pettersson 系統於此 2 類型超音波音頻均屬中等狀態的準確度。

表 2. AnaBat、Pettersson 及 Avisoft 等 3 套蝙蝠偵測器軟硬體功能差異及應用比較
Table 2. Differences in function and application of three ultrasonic detecting systems

Functions	Systems		
	AnaBat	Pettersson	Avisoft
File size	Small	Medium	Large
Frequency response (kHz)	10-200	10-384	10-750
Relative sensitivity	Low	Medium	High
Noise reduce	Medium	Low	High
Compatibility	Low	Medium	High
Convenient	High	Low	Medium
Electric power supply	Low	High	Medium
Recording type	Point	Vocal print	Vocal print
Play back	No	Yes	Yes
Function of software	Weak	Medium	Strong
Personal equation	High	Low	Medium
Applications	Survey and monitoring	Behaviors and ecological study	Behaviors and ecological study
Price	Low	Medium	High

二、系統優勢與缺點

(一) AnaBat 系統與其他 2 套系統之比較

以本研究所測得之 10 筆台灣鼠耳蝠音頻檔案為例，AnaBat 系統以點資料記錄蝙蝠時間軸上最強之音頻，其音頻檔案較小，僅 24.6 kb，而以 Pettersson 系統所測得同樣 10 筆台灣鼠耳蝠之音頻檔案即占了 71.5 Mb (約為 AnaBat 系統檔案大小的 3,000 倍)，而 Avisoft 系統更高達 112 Mb (約為 AnaBat 系統檔案大小的 4,600 倍)。雖然 AnaBat 系統於檔案大小上有顯著的優勢(占相對小之檔案容量)，但根據持續時間及最高音頻之比較可發現當蝙蝠音頻的起始點或是結束點為較微弱的聲音時，AnaBat 系統將會忽略此微弱音頻而導致所測量的資料明顯較其他 2 套系統不完整。然而，對於蝙蝠

的超音波而言，其起始音頻及結束音頻通常是蝙蝠具有特殊生物意義的音頻。另外，AnaBat 系統僅記錄時間點上的最強音頻並以點狀表示 (Partridge 1967; Simmons *et al.* 1979)，因此往往容易忽略掉音頻本身的音頻寬帶(broadband)及可能存在的和弦(Fenton *et al.* 2001)。此外，由於 AnaBat 系統沒有記錄能量因子，僅以單一點記錄單一時間點的能量最強的聲音，因此若處於環境背景聲音吵雜的錄音情況下，例如較高的蟲鳴聲或高音頻電器的雜訊干擾，即無法錄得蝙蝠的聲音；Pettersson 及 Avisoft 系統由於是以聲音檔記錄蝙蝠聲音，所以在吵雜的環境下仍可錄得蝙蝠的聲音。Parsons *et al.* (2000) 認為 AnaBat System 是適合做為蝙蝠類動物普查(survey)時使用的工具，本研究亦有

相同的結論，因為雖然 AnaBat 系統會忽略部分音頻特徵，但其內建的 11 個音頻特徵所歸納出各物種之鑑別能力足以彌補其缺點。此外，AnaBat 系統具有儲存檔案所需容量較小、價格較便宜、麥克風具防水性等特性，對於長期在野外進行調查或監測而言，相較於其他 2 套系統具有其優勢。相對而言，Pettersson 與 Avisoft 系統用於蒐集超音波資訊之麥克風為金屬薄膜，具有高感度錄音功能，而就測錄的音頻範圍而言，二者皆可處理相當高頻的聲音 (10-200 kHz 及 10-384 kHz)，並且可測錄完整、質優、高解析度的聲紋資訊(Parsons *et al.* 2000)，適用於作較精細的蝙蝠聲音學及其相關的行為生態學的研究(李 2007)，惟其可能會受台灣地區的潮濕天氣而影響收音品質，必需特別注意；此外，其價格偏高(約 300,000-500,000 元)，也算是缺點之一。

(二) Pettersson 與 Avisoft 系統比較

Pettersson 系統及其分析軟體 BatSound Pro 皆為設計於測錄分析蝙蝠超音波音頻專用的工具，是故其軟體的使用上會針對蝙蝠可能的音頻特徵作為考量；Avisoft 系統及其分析軟體 Avisoft-SASLab Pro，可因應不同的收音器及設定，測錄分析不同類別生物包含鳥類、鼩鼯、鯨豚，是故其軟體內可以設定不同的測量音頻方式，但若在設定上不瞭解其音頻測量值上的定義，則易誤用所得的測量值。此外，在感度及雜訊抑制方面，Avisoft 系統的表現顯著優於 Pettersson 系統。

(三) 3 套系統與電腦連接的相容性與便利性

AnaBat 系統所需的電腦硬體需求為三系統中最低者，但其所使用的通訊閘口(RS 232)並無與電腦連接的介面，且相容性及便利性均不太理想。本研究所採用的 Pettersson D980 與電腦連接時需要連接 1 個訊號過濾器，再接上 1 個快速擷取卡才得與電腦連接，而且不僅 D980 本身需要電源，訊號過濾器亦需要電源供應，雖快速擷取卡支援熱插拔，但其連接性

及相關外露線材在野地操作，皆會對偵測器與電腦的通訊造成影響，而導致無法錄音。另外，Avisoft 系統將快速擷取卡及訊號過濾器整合為一體，且其為 USB 介面，因此是 3 套系統中與電腦連接性與相容性都屬最好的一個系統。

不同的蝙蝠超音波偵測系統有其不同的功用及優缺點，3 套蝙蝠偵測套裝系統之軟硬體及原理比較請參照表 2。本研究建議，AnaBat 系統僅需要一小尺寸快閃記憶體及提供 AnaBat 系統的電池即可在野地進行蝙蝠超音波的偵測與錄音工作，可謂相當便利；相對而言，若欲進行野地的長期監測及調查，Avisoft 系統及 Pettersson 系統所需的電腦記錄配備及其所需大量的儲存容量，對於野地調查將是一個很大的負擔。然而，對於蝙蝠的聲音學及行為生態研究而言，由於 AnaBat 的原理及特性所忽略的部分可能是重要的音頻特徵，導致訊息資訊不全，而 Pettersson 與 Avisoft 系統的高感度錄音功能則具有其優勢。因此必需視研究者的不同需求及研究目的而選用不同的蝙蝠偵測系統。此外，錄音品質與環境狀況亦有顯著的相關性，若欲錄得一個好的聲音檔案則需避免周邊任何的高頻音影響，如電器、蟲鳴音、水流聲等因素，而這部分 Pettersson 與 Avisoft 系統的表現較佳。最後，本研究所比較之 3 套系統之有效音頻判定及音頻特徵的測量皆需倚賴研究人員的精準判定，是故研究人員對於蝙蝠超音波的認知與操作熟悉度，以及對音頻特徵的判定經驗亦將是運用蝙蝠超音波偵測系統進行研究成功與否重要關鍵之一。

謝 誌

感謝行政院農業委員會特有生物研究保育中心提供經費和儀器的協助，以及特有生物研究保育中心動物組黃光隆及張鈞翔於野外錄音上的協助，感謝台南縣東山鄉仙湖農場於錄音

過程中的協助。

引用文獻

- 林良恭、李玲玲、鄭錫奇。2004。台灣的蝙蝠（再版）。國立自然科學博物館。台中。台灣。177 頁。
- 李秉容。2007。台灣葉鼻蝠回聲定位叫聲的避免干擾反應。國立台灣大學生態學與演化生物學研究所碩士論文。64 頁。
- 周政翰、李秉容。2006。淺談 AnaBat 和 Pettersson 蝙蝠超音波偵測系統的優缺點。野生動物保育彙報與通訊 (NOW)。國立屏東科技大學野保所發行。第十卷第二期：35-36 頁。
- 趙念民。2001。利用回聲定位叫聲特性鑑別東亞家蝠、摺翅蝠、台灣葉鼻蝠和台灣小蹄鼻蝠之研究。國立中山大學生物學研究所碩士論文。64 頁。
- 鄭錫奇、張簡琳玟。2008。台灣蝙蝠的多樣性、研究現況與度冬遷移推論。2008 蝙蝠研究研討會論文集。台灣蝙蝠學會主辦。5-15 頁。
- 鄭錫奇、周政翰。2007。台灣地區食蟲性蝙蝠超音波資料庫之建置與應用。野生動物保育與研究學術研討會論文集。199-204 頁。
- 盧道杰。1988。竹東地區東亞家蝠活動模式之研究。國立台灣大學動物學研究所碩士論文。64 頁。
- Fenton, M. B., S. Bouchard, M. J. Vonhof and J. Zigouris. 2001. Time-expansion and zero-crossing period meter systems present significantly different views of echolocation calls of bats. *Journal of Mammalogy* 82: 721-727.
- Kunz, T. H. and S. K. Robson. 1995. Postnatal growth and development in the Mexican free-tailed bat (*Tadarida brasiliensis mexicana*): Birth size, growth rates, and age estimation. *Journal of Mammalogy* 76: 769-783.
- Kingston, T., G. Jones, A. Zubaid and T. H. Kunz. 2003. Alternation of echolocation calls 5 species of aerial-feeding insectivorous bats from Malaysia. *Journal of Mammalogy* 84: 205-215.
- Partridge, G. R. 1967. A high-speed transient analyzer. *Journal of the Audio Engineering Society* 15: 171-175.
- Parsons, S., A. M. Boonman and M. K. Obrist. 2000. Advantages and disadvantages of techniques for transforming and analyzing chiropteran echolocation calls. *Journal of Mammalogy* 81: 927-938.
- Simmons, J. A., M. B. Fenton, W. R. Ferfuson, M. Jutting and J. Palin. 1979. Apparatus for research on animal ultrasonic signals. *Life Science Miscellaneous Publications, Royal Ontario Museum*. p.1-31.
- Schnitzler, H. U. and E. K. V. Kalko. 2001. Echolocation by insect-eating bats. *Bioscience* 51: 557-569.

湖山水庫地區鳥類保育優先次序評估系統

An Avian Conservation Priority System for the Hushan Reservoir Area

方偉 林瑞興 范孟雯*

Wei Fang, Ruey-Shing Lin and Meng-Wen Fan*

行政院農業委員會特有生物研究保育中心 南投縣集集鎮民生東路1號

Endemic Species Research Institute, Jiji, Nantou, Taiwan

* 通訊作者: luna@tesri.gov.tw

* Corresponding author: luna@tesri.gov.tw

摘 要

雲林湖山水庫此種大型工程雖可提供區域發展用水、促進產業推展，但也會造成棲地喪失及零碎化，對當地環境生態造成衝擊。盡量減少工程對野生動物棲地的破壞及在水庫鄰近地區進行棲地補償與復育，可以減少水庫興建工程對該區生態造成的負面影響與擾動。本研究目的為建構一湖山水庫地區鳥類保育優先次序評估系統，以篩選出該區需優先關注類群的鳥類，並針對此類群鳥種之棲地資源利用特性，提出相關建議供棲地改善工作參考。湖山水庫地區鳥類保育優先次序評估系統，係以紐西蘭自然保育部的評估系統為核心架構，同時參酌世界自然保育聯盟、自然服務協會、飛羽夥伴與加拿大鳥類研究計畫之保育優先次序評估系統，並考量研究範圍內原生鳥類(97種)的基礎研究資料可獲得性、分類地位、生物特性、在不同地理尺度的生存現況及受工程干擾程度後建立。經套用湖山水庫地區鳥類生物特性資料庫的資料於本系統後，篩選出25種屬優先關注類群的鳥類，其中森林性鳥類即占21種。分析優先關注類群鳥種之棲地利用特性及受威脅情況，綜整未來棲地改善建議包括：棲地改善應以建構森林環境為主要方向，提高植被結構複雜性及植物種組成多樣性，以提供較多樣的棲地予較多的鳥種棲息；保留森林溪流兩岸之河濱林帶供森林溪流型鳥種利用，且作為移動能力差之鳥種於棲地區塊間移動的生態廊道；對於河道中自然叢生之草生地，應減少人為干擾，以提高草生地鳥種的多樣性；河濱之岩壁、石穴及土堤

等繁殖資源應予以保留，避免於森林內小溪谷、山溝進行非必要工程；最後，為避免干擾鳥類繁殖，工程應儘可能避開繁殖期，以減少大型機具及車輛噪音的干擾。

Abstract

The on-going Hushan Reservoir construction project in Yunlin County of the central-west Taiwan will provide additional water supply for local and regional economic development, but it will inevitably result in loss and fragmentation of wildlife habitats, causing severe negative effects on local environments. In order to mitigate the negative effects, the strategies that have been taken by the project are to minimize wildlife habitat destruction during the construction and to restore the habitats in the neighboring areas. The objectives of this study were 1) to establish an avian conservation priority ranking system for the Hushan Reservoir Area, 2) to identify avian target species for the conservation, and 3) finally to propose conservation measures for increasing carrying capacities of the target species. With considering references available, taxonomic status, population status, distribution patterns, life cycles, environmental requirements, and vulnerability to the disturbance from the construction for all (97) native species of the birds found in the area, we built an avian conservation priority ranking system, using New Zealand's system as the core framework with those of IUCN, NatureServe, Partners in Flight, and Bird Studies Canada as the references. Twenty five species were identified as the target species for the system. Of them, 21 species were forest dependent. Accordingly, we concluded that top priority for the avian conservation in the Hushan Reservoir Area is to restore lowland broadleaf forests to increase habitat diversity for the target species. We also suggested to preserving riparian vegetation and grasslands along streams, protecting nesting sites at the banks, and avoiding disturbance of breeding activities of the birds during the construction.

關鍵詞：鳥類保育優先次序評估系統、棲地改善、湖山水庫、台灣

Key words: avian conservation priority ranking system, habitat improvement, Hushan Reservoir, Taiwan

收件日期：98年7月21日

接受日期：98年11月27日

Received: July 21, 2009

Accepted: November 27, 2009

緒 言

大型工程的開發雖然能夠促進地方或區域的產業發展，但同時也會讓棲地消失及零碎化，對原來的地景與棲地造成激烈且不可逆的改變(Agostinho *et al.* 2008; Dunkin *et al.* 2009)。常見的棲地零碎化負面效應是棲地區塊面積(patch size)縮小、棲地區塊間隔離(isolation)程度提高與邊緣效應(edge effect)。另零碎化和棲地消失經常產生加成效果，因而擴大野生物族群所遭受的衝擊，最終使得生物分布範圍減少、族群數量降低(Schmiegelow and Monkkonen 2002; Bani *et al.* 2005)。水庫的興建可提供區域發展用水，但也會對當地環境生態造成衝擊，影響所及，包括當地原有水文系統、生態系功能、生產力結構、棲地品質與生物相組成動態的轉變(Crivelli *et al.* 1995; Agostinho *et al.* 2008)。其中，最顯著的轉變當屬水庫蓄水區的出現，不僅造成集水區棲地零碎化、改變原本溪流的水生生態系統，也使淹沒區的陸域生物消滅或遷出(Gleick 1992; Baker *et al.* 2000; Agostinho *et al.* 2008)，而從淹沒區遷出的生物，將造成鄰近地區生物相組成動態的轉變與資源利用的競爭壓力(Gleick 1992; Crivelli *et al.* 1995; Baker *et al.* 2000)。另工程區新增的道路亦會導致原棲地生物死亡、路死(road kill)、動物行為改變、物理化學環境擾動、外來種與人類干擾頻度增加等負面效應的產生(Trombulak and Frissell 2000)。

湖山水庫開發工程計畫於 2000 年通過行政院環境保護署環境影響評估之審查，並於 2001 年由行政院核定實施。湖山水庫位於雲林縣斗六市東南方約 10 km 處，座落之行政區分隸雲林縣斗六市及古坑鄉，水系屬北港溪支流梅林溪上游(財團法人中華顧問工程公司及民翔環境生態研究有限公司 2005)。工程計畫區範圍共 459 ha，土地覆蓋類型主要是由 47% 的麻竹(*Dendrocalamus latiflorus*)、22.8% 的闊葉

樹和 9.79% 的檳榔(*Areca cathechu*)等組成(林等 2009)。完工後，工程計畫區範圍內海拔 215m 以下的各類環境將被水淹沒，面積約 235 ha (財團法人中華顧問工程公司及民翔環境生態研究有限公司 2005)。由於工程計畫區位於全球性易危性物種(vulnerable species)——八色鳥(*Pitta nympha*)之分布熱點(hotspot)，因而爆發開發與保育之間的衝突議題(李等 2005; Ko *et al.* 2009)，故湖山水庫開發案生態保育措施之規劃與落實，始終廣受社會關注(特有生物研究保育中心 2008)。

針對鳥類部分，為了降低水庫施工對鳥類造成的衝擊，必須評估可能受到衝擊的鳥種以及範圍，採用經濟與適當的方式改善水庫鄰近地區的棲地品質，藉此增加鄰近地區對因水庫工程而被迫外移物種之承載量。但在資源有限的情況下，試圖去滿足所有鳥種的需求有其困難，所以，本研究期望以保育優先次序評估系統篩選出在湖山水庫地區族群生存較易受害之優先關注類群鳥種(avian target species)，優先針對該類群鳥種的需求進行棲地保護或改善(habitat improvement)，期能經濟且快速的保育因湖山水庫工程而受害之鳥種。在湖山水庫過往的復育計畫及環境影響評估報告中(財團法人中華顧問工程公司及民翔環境生態研究有限公司 2005; 中興工程顧問股份有限公司 2006; 賴等 2006; 水利署中區水資源局 2007)，一般是以台灣保育類物種為優先關注類群(target species group)的選定準則，但依行政院農業委員會(2008)公告的保育類野生動物評估分類作業要點，評估陸域脊椎動物之尺度係以台灣地區為主，並未考慮各鳥種於湖山水庫地區等較小尺度之生存現況，亦未考量水庫施工所造成的衝擊及各鳥種之易受害性(vulnerability)，因此於衝擊評估及復育策略擬定時，除了鳥種是否為保育類外，如能進一步考慮各鳥種受工程之衝擊程度及其於施工地區面臨之威脅，將能更符合特定地區之現況與適用性。

有鑑於國內尚無相關研究可供借鏡，故本研究期能以鳥類為標的，建立一套適用於湖山水庫工程計畫區域尺度與工程性質的鳥類保育優先次序評估系統，再依據該區各鳥種的族群現況、分類地位、面臨威脅及易受害性，用定量的評估方式篩選出屬於優先關注類群的鳥種，並於歸納優先關注類群鳥種的棲地資源使用特性後，建議未來棲地改善工作方向與策略。

材料與方法

一、研究地區介紹

研究地區北起雲林縣林內鄉丘陵地，南至古坑鄉黃德坑溪集水區(120°37'E, 23°41'N)，包含湖山水庫庫區及其北側之丘陵地，本文統稱為湖山水庫地區(Hushan Reservoir Area) (如

圖 1)，總面積約 40 km²，海拔多在 500m 以下；依蘇(1984)對台灣中部山地植群帶之劃分，本區屬於榕楠林帶，原生樹種主要為楠木類(*Machilus* spp.)及榕屬(*Ficus* spp.)植物。賴(2008)調查指出，本區環境植被組成以高度人為擾動之次生林為主，在地勢平緩區域多已開發利用，主要種植柑橘(*Citrus poonensis*)、柚子(*C. grandis*)、柳丁(*C. sinensis*)、檳榔及麻竹；山區多為麻竹林及檳榔園，僅有少數次生林分布於稜線及溪谷等不易耕作之環境。樣區內狩獵活動十分活躍，研究人員於 2007-2008 年調查期間，曾多次遇到獵人進出該地區，並發現陷阱及鳥網，且當地居民亦反應當地狩獵活動頻繁(張景開，私人通訊)，該區物種除了需面對環境開發過程產生之生存壓力外，亦需面對非法獵捕的壓力。

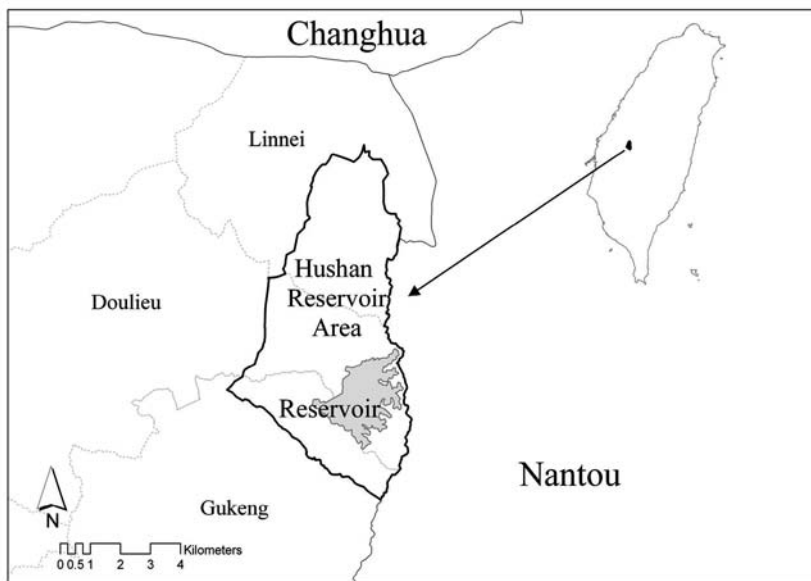


圖 1. 湖山水庫地區位在雲林縣林內鄉、斗六市及古坑鄉的東部區域。

Fig. 1. The Hushan Reservoir Area located in the eastern part of Linnei Township, Douliou City and Gukeng Township of Yunlin County.

二、鳥類保育優先次序評估系統的建立

比較世界自然保育聯盟(The International

Union for Conservation of Nature and Natural Resources, IUCN)、飛羽夥伴(Partners in Flight,

PIF)、自然服務協會(NatureServe)、加拿大鳥類研究計畫(Bird Studies Canada, BSC)及紐西蘭自然保育部(New Zealand Department of Conservation)的保育優先次序評估系統(Molly and Davis 1992; 陳 1999; Couturier 1999; IUCN 2001; Panjabi *et al.* 2005; NatureServe 2007), 其中以紐西蘭自然保育部的系統評估面向較廣, 其具 5 大類評估因子: (一)分類特殊性(taxonomic distinctiveness); (二)物種現況(status of the species); (三)物種面臨的威脅(threats facing of the species); (四)物種的易受害性(vulnerability of the species)及(五)人文價值(human values)。其他評估系統皆以族群現況及物種面臨威脅為主要考量, 或有再加入分類特殊性因子者, 但不及紐西蘭自然保育部的評估系統全面, 而評估標準則以世界自然保育聯盟及飛羽夥伴二系統量化程度最高。因此湖山水庫地區鳥類保育優先次序評估系統, 係修改紐西蘭自然保育部的保育優先次序評估系統作為主體架構, 再綜整前述 5 種評估系統之標準, 並依資料之可得性、評估之可行性及適用於鳥類及水庫施工影響考量等原則, 篩選出適用於湖山水庫地區之評估標準; 最後, 參考世界自然保育聯盟及飛羽夥伴二系統之評估標準量化方式, 設計本評估系統之定量標準, 但考量單一量化標準不見得完全適用於各類鳥種, 且多數鳥種之基礎資料缺乏, 故仍保留部分描述性標準。

本評估系統主要是以生物特性的角度評估各鳥種之保育優先次序, 因此去除紐西蘭自然保育部系統中之人文價值因子後得到 4 大因子: (一)族群現況(population status); (二)分類地位(taxonomic status); (三)面臨威脅(threats)及(四)易受害性(vulnerability)。每個因子下面包含 1-5 個評估標準(總計 12 個), 每一個評估標準下又包含 3-5 個選項(共計 58 個)(附錄 I), 每一因子及其含括之標準、選項代表的意義如下:

(一) 族群現況

單以野生個體之數量來評估族群是否有滅絕的疑慮是不適當的; 評估一物種現況時, 不僅需考量族群大小, 更應考量其有效族群量(effective population size)及其族群結構是否足以維持一個活性族群(minimum viable population)(金 2000)所展現出的族群量變化趨勢。因此本評估系統在族群現況因子中, 含括野生族群分布模式(分布面積、與歷史比較之分布現況、族群之隔離現象)、野生族群(成年個體)目前族群量、野生族群之族群量變化趨勢, 並依族群之發展優劣給 1-5 分。

(二) 分類地位

特有種與特有亞種乃指只存在於世界某個特定地區的種或亞種, 代表該特定地區長期演化下的珍貴自然資產與獨特的基因庫。僅生存於台灣的獨特物種, 若其滅絕, 表示其也將永遠在地球上消失。因此依特有種、特有亞種及與國外分布同種者 3 類評分。特有種 3 分, 特有亞種 2 分, 與國外分布同種者 1 分, 本研究之分類地位參考中華民國野鳥學會鳥類紀錄委員會(2008)公告之台灣鳥類名錄。

(三) 面臨威脅

根據 Nilsson (1983)的整理, 鳥類滅絕原因有 22%是因為人類引進貓、狗、牛、鼠、兔等外來種, 20%是因棲息地破壞, 18%是狩獵、捕獵, 4%是環境改變、農藥汙染等, 而有 36%原因不明。扣除不明原因及環境改變, 採用鳥類滅絕之 3 大原因為本因子之評估標準, 分別為: 棲地消失之速率、被獵捕及利用之壓力及外來入侵種危害, 在此 3 項標準中, 並依威脅之大小給 5-1 分。

(四) 易受害性

當棲地資源缺乏時, 對於資源利用專一性或特殊性愈高之鳥種, 其所面臨之生存衝擊也愈大(Molly and Davis 1992; 陳 1999; Couturier 1999)。對水庫施工產生的棲地改變或噪音干擾較為敏感的物種, 很可能導致其離開原生活棲地或棄巢, 以致其族群量下降(Forman and

Deblinger 2000)。另對於飛行能力較低之鳥種，當其由水庫移棲至其他地區時，也易因穿越道路造成路死(Seibert and Conover 1991; Cleverger *et al.* 2003)。至於森林消失或道路增加後造成的棲地隔離效應，對活動力強、活動範圍大的鳥種，尤其是遷徙性鳥種影響較小，但對於行動力較差之鳥種，在該地族群之存續則易受棲地隔離效應威脅(Bani *et al.* 2005)。綜上所述，本評估系統中易受害性因子包括棲地及覓食空間專一性、食性專一性、繁殖資源特殊性、繁殖敏感度及移動能力 5 項標準。

Mehlman *et al.* (2004) 比較世界自然保育聯盟、自然服務協會及飛羽夥伴三者的評估系統應用於北美地區的結果，發現此三系統評估結果於保育優先性最高(highest conservation priority)與最低(lowest conservation priority)兩類群物種相當一致，但中間區位的物種則因評估的尺度不同，而有較大的差異。因此在評估湖山水庫地區鳥類保育優先次序時，將同時考量不同尺度，以期得出較切合實際狀況之鳥類保育優先次序。

加拿大鳥類研究計畫的評估方法係依序考量全球、全國、全省(州)至欲評估地區等尺度後，將每一個尺度的得分再加權相乘得到最後的評估結果(Couturier 1999)。但考量到台灣全島及湖山水庫地區鳥類的生物資料缺乏，如採用加拿大鳥類研究計畫系統的各尺度得分加權方式，可能有許多項目的評分結果皆為不確定，反而造成較大之誤差，而這些誤差再經過加權相乘後反而會被放大。因此修改加拿大鳥類研究計畫系統的尺度評估方式，也就是在針對一物種評估時，分別考量其在全球性、全國性及地區性尺度下所受到的影響，並評估在個別尺度下所得之分數，最後以各尺度中最高之分數為其最終得分。

但族群現況因子則另外考量，其中遷徙鳥種(包含候鳥、過境鳥及迷鳥)以全球尺度為原則，避免過度關注不以台灣為主要遷徙地，且

全球族群現況安全無慮之鳥種。留鳥族群則以全球及台灣尺度考量，以兩尺度之最高得分給分，避免過度關注不以雲林斗六丘陵地為主要棲息地之鳥種，並且對於資料不完備之物種，則參考世界自然保育聯盟之建議，持保守態度給分(IUCN 2001)(例如：如有報告指出某物種野生族群成年個體目前族群量為 2,500 隻左右，但懷疑還會更低，則依保守態度判斷其族群量為 2,500 隻以下)。

計分時，係將每一個評估因子內的分數加總平均後，得到該評估因子之分數，接著加總各評估因子分數得到評估總分，因此，總分介於 4 到 18 分間。其中，若物種之總分為 4 分，表示該物種目前族群發展現況無虞、面臨威脅及易受害性的壓力小；反之，若物種之總分為 18 分，表示該物種族群發展現況堪慮、面臨威脅及易受害性的壓力大。

綜觀目前各保育優先次序評估系統在篩選保育類等優先關注類群物種門檻之選定，多採專家群之討論結果為依據(Molly and Davis 1992; Couturier 1999; IUCN 2001; Panjabi *et al.* 2005; NatureServe 2007)。至於台灣在評估保育類物種名錄時，亦是採取此類由專家群依評估分類作業要點共同討論篩選之結果(行政院農業委員會 2008)。因此本研究參考上列研究之保育類物種篩選邏輯，綜合考量所有鳥種之評分結果之後，將總分大於 9 分且族群現況、面臨威脅與易受害性等 3 項因子中有 1 項之分數大於 3 分者，表示該物種之族群呈現危險狀態，應列入優先關注類群。

三、湖山水庫地區鳥類名錄及生物特性資料收集

收集區內 1993-2008 年之生態調查資料(欣德工程顧問有限公司 2000；雲林縣野鳥學會 2001；中興工程顧問股份有限公司 2006；賴等 2006；水利署中區水資源局 2007；觀察家生態顧問公司 2007；特有生物研究保育中心

2008)，剔除外來種後，建立湖山水庫地區鳥類名錄，鳥種使用名稱係參考中華民國野鳥學會鳥類紀錄委員會(2008)公告之台灣鳥類名錄用法，再參考台灣大學生態學與演化生物學研究所(2007)、特有生物研究保育中心(2007)及 BirdLife International (2007)的鳥類資料庫與相關鳥類書籍、研究論文及報告等相關文獻共 42 篇(附錄 II)，建立湖山水庫地區鳥類生物特性資料庫，主要內容包含鳥類利用的棲地類型、覓食場所、覓食方式、食性、分布範圍及海拔、活動模式、活動類型、生態壓力、繁殖期、繁殖力、繁殖位置、遷留狀態、特有性、保育等級及其他特性等資料。其中棲地類型(habitat type)的分類，是依鳥種主要利用的棲地將其分為：(一)非邊緣性森林型(forest type)：主要棲地以森林為主者；(二)森林邊緣型(forest edge type)：主要棲息於森林與其他類型棲地交界處；(三)草生地型(grassland type)：以草生地為主要棲地者；(四)水域型(water type)：主要棲息於溪流及湖泊等棲地者；(五)聚落型(village type)：以人類聚落為主要棲息地者；(六)開墾地型(farmland type)：主要棲息於果園、菜園及檳榔園等農耕地者；(七)多樣棲地型(diverse habitat type)：利用之棲地不僅以 1 種為主，會利用多種棲地者。

四、資料分析

利用無母數變方分析法(Kruskal-Wallis test)檢測優先關注類群及非優先關注類群(non-target species group)間在各評估標準的得分是否有顯著差異，所有測試均採雙尾(two tailed)檢定，顯著水準訂為 $p < 0.05$ 。

結 果

1993-2008 年間在湖山水庫地區共記錄到 37 科 97 種鳥類，其中 20 種為保育類。這 97 種鳥類依所利用的棲地類型可區分為非邊緣性

森林型 35 種、水域型 17 種、草生地型 11 種、開墾地型 11 種、森林邊緣型 10 種、聚落型 7 種及多樣棲地型 6 種(附錄 III)。

本研究篩選出之優先關注類群鳥類共計 25 種，依總分高低列表(如表 1)，其中保育類鳥種有 13 種，占湖山水庫地區保育鳥種數的 65%，而未列入優先關注類群的保育鳥種共 7 種，分別為黃嘴角鴉(*Otus spilocephalus*)、領角鴉(*O. bakkamoena*)、赤腹鷹(*Accipiter soloensis*)、灰面鵟鷹(*Butastur indicus*)、燕鴿(*Glareola maldivarum*)、紅尾伯勞(*Lanius cristatus*)及野鴿(*Luscinia calliope*)。將優先關注類群鳥種依棲地類型分，包括非邊緣性森林型 15 種(60%)、森林邊緣型 4 種(16%)、水域型 3 種(12%)、草生地型 2 種(8%)及開墾地型 1 種(4%) (如表 1)，以森林及其周邊環境為主要棲地者，除了非邊緣性森林型鳥種及森林邊緣型鳥種外，尚包含台灣紫嘯鶇(*Myophonus insularis*)及白尾鴿(*Myiomela leucura*)等 2 種以森林溪流為主要棲地之水域鳥種。因此，被篩選出之優先關注類群鳥種多以森林及其周邊環境為主要棲地(計 21 種，占 84%)。

檢測優先關注類群及非優先關注類群鳥種間在各評估標準的得分是否有差異時，由於棲息在湖山水庫地區的鳥種以非邊緣性森林型鳥種占多數(35 種，36%)，故以此類型鳥種進行檢測比較，樣本數較足夠。因此，比較非邊緣性森林型中 15 種優先關注類群鳥種與 20 種非優先關注類群鳥種於各項評估標準之得分(表 2)，發現在野生動物族群分布模式、野生族群(成年個體)目前族群量、分類地位及特有性、獵捕壓力、外來入侵種危害、棲地及覓食空間專一性及生殖敏感度等標準，均有顯著差異($p < 0.05$)，顯示湖山水庫地區非邊緣性森林型優先關注類群鳥種主要面臨之受害壓力分別為：一、獵捕壓力大；二、外來入侵種迫害；三、對於棲地及覓食空間的利用較專一；四、繁殖時較敏感易棄巢。

表 1. 湖山水庫地區優先關注類群鳥種評估總分排序及其利用棲地類型

Table 1. Habitat types and ranking of conservation priorities based on the conservation priority ranking system for target avian species in the Hushan Reservoir Area

Chinese names	Scientific names	Habitat types	Population status	Taxonomic status	Threats	Vulnerability	Total scores
藍腹鷓	<i>Lophura swinhoii</i>	Forest	4	3	2.67	3.6	13.27
台灣山鷓鴣	<i>Arborophila crudigularis</i>	Forest	4	3	2.33	3.8	13.13
朱鷓	<i>Oriolus traillii</i>	Forest	4	2	3	3.4	12.4
台灣藍鵲	<i>Urocissa caerulea</i>	Forest	2.67	3	4	1.6	11.27
白尾鳩	<i>Myiomela leucura</i>	Water	2.67	2	3	3.2	10.87
紅頭綠鳩	<i>Treron formosae</i>	Forest	4	2	1.67	3	10.67
灰腳秧雞	<i>Rallina eurizonoides</i>	Forest edge	4	2	2	2.6	10.6
大彎嘴	<i>Pomatorhinus erythrogenys</i>	Forest	3	2	2.33	3.2	10.53
小彎嘴	<i>Pomatorhinus ruficollis</i>	Forest	2.33	2	3	3.2	10.53
松雀鷹	<i>Accipiter virgatus</i>	Forest	3.33	2	2.67	2.4	10.4
台灣紫嘯鶇	<i>Myophonus insularis</i>	Water	2.33	3	1.67	3.2	10.2
棕三趾鶇	<i>Turnix suscitator</i>	Grassland	2.67	2	2	3.4	10.07
頭烏線	<i>Alcippe brunnea</i>	Forest	2.33	2	2.67	3	10
八色鳥	<i>Pitta nympha</i>	Forest	3	1	3	3	10
翠鳥	<i>Alcedo atthis</i>	Water	3	1	2.33	3.6	9.93
黑枕藍鶇	<i>Hypothymis azurea</i>	Forest edge	3	2	2.33	2.6	9.93
翠翼鳩	<i>Chalcophaps indica</i>	Forest	3.33	1	2.33	3.2	9.87
棕面鶇	<i>Abroscopus albogularis</i>	Forest	3	1	3	2.8	9.8
綠鳩	<i>Treron sieboldii</i>	Forest	3	2	2	2.8	9.8
棕噪鶇	<i>Garrulax poecilorhynchus</i>	Forest	3	2	2	2.8	9.8
鳳頭蒼鷹	<i>Accipiter trivirgatus</i>	Forest	3	2	2.33	2.4	9.73
大冠鶇	<i>Spilornis cheela</i>	Forest edge	3	2	2.33	2.4	9.73
鵲鶇	<i>Glaucidium brodiei</i>	Forest edge	3	1	2.33	3.2	9.53
八哥	<i>Acridotheres cristatellus</i>	Farmland	3	2	3	1.4	9.4
小雲雀	<i>Alauda gulgula</i>	Grassland	3	1	2.67	2.4	9.07

表 2. 以 Kruskal-Wallis Test 檢驗非邊緣性森林型優先關注類群及非優先關注類群鳥種之各評估標準分數差異

Table 2. A comparison of the scores for various criteria of the conservation priority ranking system between the target species group and the non-target species group of forest type birds in the Hushan Reservoir Area (Kruskal-Wallis Test; H-values; *P*-values, probability)

	Target species group		Non-target species group		H	<i>P</i> *
	Median	Average rank	Median	Average rank		
Population status						
Distribution	3	24.1	2	13.4	10.38	0.001
Abundance	3	23.2	2	14.1	7.75	0.005
Population trend	4	20.1	3	16.4	1.39	0.239
Taxonomic status	2	22.4	1	14.7	5.87	0.015
Threats						
Habitat loss	3	20.5	2.5	16.1	2.07	0.15
Hunting	3	22.3	2	14.8	5.13	0.024
Invasive species	1	21.3	1	15.5	7.53	0.006
Vulnerability						
Diet specificity	2	17.5	3	18.4	0.06	0.802
Habitat specificity	3	23.1	2	14.2	8.14	0.04
Reproductive specificity	2	20.7	2	15.9	2.14	0.144
Reproductive sensitivity	3	23.6	2	13.8	8.54	0.003
Movement	3	21.4	3	15.4	3.15	0.076

*Bold numbers, significant difference at or less than 5% level.

討 論

本系統於評估各項標準之得分時，是同時考量全球、台灣及湖山水庫地區 3 種尺度，可避免因尺度考量的不同，而造成評估結果偏差。同時持保守態度給分，係因應台灣地區鳥類基礎研究資料缺乏之困境，避免因資料不足而低估鳥種受威脅程度。另外除考量族群量、特有性、受威脅程度，在易受害性方面，更加入了工程施工對鳥類之影響，未來亦可供其他工程之生態保育措施規劃與棲地改善工作參考。然而，此系統雖採用許多評估因子及標準，且持保守之態度評估，以期客觀篩選出需

優先關注之鳥種。但情況相似或研究資訊缺乏的鳥種，其排名順序難免失真，故於棲地改善時，不建議僅以單一鳥種之需求作為棲地改善方向，應以優先關注類群鳥種之整體生物特性及主要棲地需求為依歸。

未列入優先關注類群之 7 種保育類鳥種，僅黃嘴角鴉與領角鴉為留鳥，其他 5 種鳥類均為候鳥或過境鳥，且具有以下特點：一、這些鳥種除燕鴿外，皆未在台灣或湖山水庫地區繁殖，但燕鴿的繁殖棲地位於旱田耕地(鄭等 1996)，適應農耕活動，且此類棲地短期內亦無消失之危機；二、皆非台灣特有種或特有亞種；三、族群狀況穩定；四、無受外來入侵種

危害之問題，因此在資源有限的情況下，不將其列入優先關注類群應為合理。另領角鴉為多樣棲地類型鳥種，目前發現可於人為活動之校園、公園及果園等區域棲息、繁殖，且族群數量尚普遍，對人為干擾環境適應性較好(賴等 2006)，因此，雖未列名於優先關注類群，但其族群生存應不致因水庫工程而遭受危害。至於黃嘴角鴉為非邊緣性森林型鳥種，且和優先關注類群中的鵯鵯(*Glaucidium brodiei*)同屬於鴉科類的鳥類，若於棲地改善時，採用以優先關注類群整體生物特性及棲地需求為主軸的方式進行，應可兼顧到黃嘴角鴉的保育。

分析優先關注類群鳥種之棲地特性，可知優先關注類群中有 84% 是以森林及其周邊環境為主要棲地。森林相較於草地、聚落及農墾地等棲地類型，具有較複雜的結構及多樣的植物組成；愈複雜的結構能提供愈多的生態棲位(niche)，鳥類多樣性亦隨之增加(MacArthur and MacArthur 1961; Karr 1968; Karr and Roth 1971; Wilson 1974)。愈多樣的植物種組成可提供愈多樣的食物資源，在類似的植被形相結構下，植物種組成較多樣的棲地有較多的鳥種棲息(Karr 1971; Rotenberry 1985)。優先關注類群中亦有部分的水域型鳥種，包含白尾鷓、台灣紫嘯鶇及翠鳥(*Halcyon coromanda*)，其中白尾鷓及台灣紫嘯鶇是以森林中的溪流為主要生活水域，而翠鳥雖可生存於較多樣之水域，但在湖山水庫地區主要利用之棲地亦以溪流及部分農塘為主，因此於本研究地區此三鳥種應可歸類為森林溪流型鳥種。以這類鳥種而言，河濱林帶(riparian woodland)可提供良好的棲息環境(Naiman and Decamps 1997)，且可作為生態廊道(corridors)，其可提供鳥類較多的活動棲地(Bentley and Catterall 1997; Martin *et al.* 2006)，亦可供移動能力較差之鳥種於零碎棲地間移動、覓食及繁殖，故河濱林帶應儘量保存。若需以人為方式營造生態廊道，則其結構應仿照目標鳥種之棲地型態，對移動能力較差之森林

性鳥種而言，除了樹冠植被外，更重要的是下層灌叢植被，其可提供下層活動鳥種更多的遮蔽、食物及保護，讓此類鳥種更容易使用生態廊道(Parsons 2007)。白尾鷓、台灣紫嘯鶇及翠鳥會築巢於岩壁縫隙、石穴或土堤(張簡等 2006; 台灣大學生態學與演化生物學研究所 2007)，因此河濱之岩壁、石穴及土堤應予以保留，避免於森林內小溪谷、山溝進行非必要工程，如不得不進行護岸工程時，則應避免過度水泥化，以打樁編柵、土堤護岸或砌石護岸為優先考量。

相較於森林，雖然草地環境單一化程度較高，鳥種的多樣性及密度是較低的(柯 2004; 袁等 2004)，但優先關注類群中亦有少部分為草地鳥種(8%)，包含棕三趾鶇(*Turnix suscitator*)及小雲雀(*Alauda gulgula*)。於湖山水庫地區此 2 種鳥類多出現於雜草叢生之河道及農耕地，但私有農耕地不易介入管理，且粗放草地的物種多樣性優於精耕的草地(Barnett *et al.* 2004)，若能儘量減少溪流中草地之人為干擾，應可提高此類鳥種之多樣性。

優先關注類群鳥種中僅八哥(*Acridotheres cristatellus*)為開墾地型鳥類，八哥目前並無棲地喪失問題，被列入優先關注類群是因其族群數量稀少、受外來入侵鳥種嚴重威脅且被獵捕的壓力大，此三部分得分較高。其所面臨之問題，應由主管機關擬訂外來入侵種防治計畫，並加強非法獵捕的查緝，同時應進行八哥族群數量的普查，以便於其族群數量太少時，採取必要的保育措施。

本研究建議棲地改善應以復育森林環境為主要方向，因此，了解棲息於森林內鳥種之受害情況及特性，將可供擬訂森林環境復育方針時參考。由結果可知優先關注類群中的非邊緣性森林型鳥種具有 4 大受害情況及特性，以下則就各項受害情況及特性討論其因應方式：一、獵捕壓力：湖山水庫地區之非法狩獵活動猖獗，研究人員於此曾多次遭遇獵人或是發現

其架設之陷阱及鳥網，此區之生物承受極高之獵捕壓力，此應由主管機關依野生動物保育法，嚴格查緝非法狩獵，並呼籲大眾避免消費野生動物。二、外來入侵種迫害：外來入侵種是影響生物多樣性的主要原因之一(Hunter 1996; Stiling 2002)，而在入侵初期投入較高的移除努力量，不僅可以直接降低族群數量，在達成計畫目標的全程期間，需被移除的個體總數也將較少，較符合經濟和道德上的考量(Ellis and Elphick 2007)，但相較於控制已經在野外建立族群的外來入侵種，預防外來種成功入侵所需的花費更是低廉(Mack *et al.* 2000)，因此主管機關可參考台灣外來種陸域脊椎動物風險評估系統(范等 2006)，評估各物種之危害潛力，建立嚴格的境管機制，避免有害外來種引入，迫害本土生物多樣性。此外，對於已侵入台灣野外之外來種，則需評估移除之優先性及可行性後擬訂防治計畫。三、棲地及覓食空間專一性：植物結構之複雜度與生態棲位之多樣性具正相關(MacArthur and MacArthur 1961; Karr 1968; Karr and Roth 1971; Wilson 1974)，且在類似的植被形相結構下，植物種類較多樣的棲地可提供較多樣的食物資源(Karr 1971; Rotenberry 1985)，因此棲地改善工作，應增加棲地內植被結構複雜度及植物種類多樣性，以提供更多棲息空間及食物資源。四、許多鳥類繁殖時較敏感易棄巢：為保護像朱鸕(*Oriolus traillii*)、大彎嘴(*Pomatorhinus erythrogenys*)、小彎嘴(*P. ruficollis*)及棕三趾鶉等繁殖敏感的鳥類(賴等 2006)，應避免於繁殖期間施工，並減少干擾，以確保其能順利繁殖。

結論與建議

湖山水庫地區鳥類所面臨之生存壓力，主要是水庫開發工程、非法獵捕及外來入侵種的迫害等 3 項。其中非法獵捕及外來入侵種迫害問題，有賴主管機關對於法令的嚴格執行及對

外來種引入的管控。水庫開發工程造成的棲地喪失及零碎化問題，目前復育規劃單位的策略是以防止水庫周邊現存棲地劣化加劇為優先，其次則是藉由改善湖山水庫鄰近地區之棲地品質，補償原棲地喪失的衝擊，延續生物多樣性(特有生物研究保育中心 2008)。本研究之目的即在利用鳥類保育優先次序評估系統，篩選出湖山水庫地區優先關注類群鳥種，經由分析優先關注類群鳥種之棲地利用特性及受威脅情況，提出供未來棲地改善工作參考之建議包括：一、棲地改善應以建構森林環境為主要方向，提高植被結構複雜性及植物種組成的多樣性，以提供較多樣的棲地予較多的鳥種棲息。二、保留森林溪流兩岸之河濱林帶，以供森林溪流型鳥種利用，且可作為移動能力差之鳥種於棲地區塊間移動之生態廊道。三、在較寬廣河道中自然叢生之草生地盡量減少人為干擾，以提高草生地鳥種的多樣性。四、河濱之岩壁、石穴及土堤等繁殖資源也應予以保留，避免於森林內小溪谷、山溝進行非必要工程，如不得不進行護岸工程時，則應避免過度水泥化，以打樁編柵、土堤護岸或砌石護岸為優先考量。五、工程之進行應避開繁殖期，減少大型機具及車輛產生之噪音，以免干擾鳥類的繁殖等 5 項。

利用湖山水庫鳥類復育優先次序評估系統，可快速篩選出在湖山水庫地區族群生存較易受害之優先關注類群鳥種；但在評估復育優先次序時，常因相關族群調查資料的缺乏，而無法均以量化的標準進行評估，因此情況相似的鳥種，其排名順序難免失真，但本系統採用許多評估因子及標準，且持保守之態度評估，應可減低失真的程度。惟於擬訂棲地改善或復育策略時，應以優先關注類群整體生物特性及棲地需求為主，不建議以單一鳥種之需求作為主要棲地改善方向，俾兼具整體性與經濟效益。另由於本土鳥類相關研究資料的貧乏，對於許多鳥種的生物特性無法有太深入之了解，

於考量個別鳥種所需特殊資源部分，難免有所疏漏，且棲地改善是個「作中學」的工作，建議棲地改善工作執行時，應建立觀測指標，了解棲地及鳥類的變化，並適時修正棲地改善策略。

謝 誌

本研究感謝林育秀小姐協助資料整理，並承蒙經濟部水利署中區水資源局提供經費，另蒙蔡住發博士對文稿之校閱與指正，謹致謝忱。

引用文獻

- 中華民國野鳥學會鳥類紀錄委員會。2008。台灣鳥類名錄。2009年2月取自：<http://www.bird.org.tw/docs/TaiwanBirdChecklist.htm>
- 中興工程顧問股份有限公司。2006。湖山水庫工程計畫環境影響調查報告書(修正本)。經濟部水利署中區水資源局。
- 水利署中區水資源局。2007。湖山水庫工程計畫施工導水路工程—生態調查月報表。經濟部水利署中區水資源局。
- 台灣大學生態學與演化生物學研究所。2007。台灣大學動物博物館：鳥類資料庫。2007年10月取自：<http://archive.zo.ntu.edu.tw/>
- 行政院農業委員會。2008。野生動物評估分類作業要點。自然保育季刊 61: 72-75。
- 李培芬、白梅玲、林瑞興。2005。利用遙測與GIS探討瀕危物種八色鳥之棲地喜好與分布。農委會94年度遙測應用計畫成果發表會專刊 1-10 頁。農委會林務局。
- 林瑞興、李培芬、陳怡秀、柯智仁、陳宛均。2009。湖山水庫棲地復育基地選擇之空間模式研究。湖山水庫工程計畫生態保育措施—森林、溪流生態系統之調查研究規劃(97年度工作計畫)成果報告書 153-176 頁。經濟部水利署中區水資源局。
- 欣德工程顧問有限公司。2000。雲林縣湖山、湖南水庫環境影響評估報告書。經濟部水利處水利規劃試驗所。
- 金恆鏞。2000。國家公園的生物多樣性保育。生物多樣性保育策略研討會論文集 13-35 頁。國立台灣大學生物多樣性研究中心。
- 柯智仁。2004。觀霧地區森林地景與鳥類群聚的關係。國立台灣大學森林學系碩士論文。
- 范孟雯、林瑞興、黃雅倫、林德恩。2006。台灣外來種陸域脊椎動物風險評估系統。特有生物研究 8(2): 7-22。
- 鄭錫奇等。1996。台灣保育類野生動物圖鑑。農委會特有生物研究保育中心。
- 特有生物研究保育中心。2007。台灣野生動物資料庫查詢系統網站。2007年10月取自：<http://twd.tesri.gov.tw/twd/>
- 特有生物研究保育中心。2008。湖山水庫工程計畫生態保育措施—森林、溪流生態系統之調查研究規劃(96年度工作計畫)成果報告書。經濟部水利署中區水資源局。
- 袁孝維、謝欣怡、沈聖峰。2004。梅峰地區不同演替階段棲地鳥類相調查。台大實驗林研究報告 18: 1-7。
- 財團法人中華顧問工程司、民翔環境生態研究有限公司。2005。湖山水庫工程計畫生態保育措施。經濟部水利署中區水資源局。
- 張簡琳玟、黃獻文、何健鎔、沈秀雀、姚正得、黃朝慶、張仕緯、林宗以、范孟雯。2006。本土物種生活史與生態需求之調查研究與資料建立。行政院農業委員會特有生物研究保育中心九十五年度科技計畫研究報告 95-148 頁。農委會特有生物研究保育中心。
- 陳志輝(譯)。1999。紐西蘭受威脅動植物保育優先次序之評定。自然保育季刊 26: 47-62。
- 雲林縣野鳥學會。2001。阿里山事業區第 61-73 林班八色鳥(*Pitta nympha*)族群分布調查。行政院農業委員會林務局。

- 賴國祥、鄭錫奇、彭仁傑、林瑞興、林德恩、池文傑、楊嘉棟、許再文、沈明雅、朱恩良、陳榮宗、張世倉。2006。湖山水庫施工導水路工程生物相調查及生態保育措施。經濟部水利署中區水資源局。
- 賴國祥。2008。湖山水庫及鄰近地區植物資源與植被調查。湖山水庫工程計畫生態保育措施—森林、溪流生態系統之調查研究規劃(96年度工作計畫)成果報告書9-66頁。經濟部水利署中區水資源局。
- 蘇鴻傑。1984。台灣天然林氣候與植群型之研究(二)山地植群帶與溫度梯度之關係。中華林學季刊 17: 57-73。
- 觀察家生態顧問公司。2007。二高沿線環境特性調查與國道計畫環境復育之研究(第一期)。交通部台灣區國道新建工程局。
- Agostinho, A. A., F. M. Pelicice and L. C. Gomes. 2008. Dams and the fish fauna of the Neotropical region: Impacts and management related to diversity and fisheries. *Brazilian Journal of Biology* 68: 1119-1132.
- Baker, D., J. Young and J. M. Arocena. 2000. An integrated approach to reservoir management: The Williston Reservoir case study. *Environmental Management* 25: 565-578.
- Bani, L., D. Massimino, L. Bottoni and R. Massa. 2005. A multiscale method for selecting indicator species and priority conservation areas: A case study for broadleaved forests in Lombardy, Italy. *Conservation Biology* 20: 512-526.
- Barnett, P. R., M. J. Whittingham and R. B. Bradbury. 2004. Use of unimproved and improved lowland grassland by wintering birds in the UK. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 102: 49-60.
- Bentley, J. M. and C. P. Catterall. 1997. The use of bushland, corridors, and linear remnants by birds in Southeastern Queensland, Australia. *Conservation Biology* 11: 1173-1189.
- BirdLife International. 2007. BirdLife international: Data zone. Available from: <http://www.birdlife.org/datazone/index.html>
- Clevenger, A. P., B. Chruszcz and K. E. Gunson. 2003. Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. *Biological Conservation* 109: 15-26.
- Couturier, A. 1999. Conservation priorities for the birds of southern Ontario. Available from: <http://www.bsc-eoc.org/conservation/municipal/report/cpmain.pdf>
- Crivelli, A. J., P. Grillas, H. Jerrentrup and T. Nazirides. 1995. Effects on fisheries and waterbirds of raising water levels at Kerkini Reservoir, a Ramsar site in Northern Greece. *Environmental Management* 19: 431-443.
- Dunkin, S. W., F. S. Guthery, S. J. Demaso, A. D. Peoples and E. S. Parry. 2009. Influence of anthropogenic structures on northern bobwhite space use in western Oklahoma. *Journal of Wildlife Management* 73: 253-259.
- Ellis, M. M. and C. S. Elphick. 2007. Using a stochastic model to examine the ecological, economic and ethical consequences of population control in a charismatic invasive species: Mute swans in North America. *Journal of Applied Ecology* 44: 312-322.
- Forman, R. T. T. and R. D. Deblinger. 2000. The ecological road-effect zone of a Massachusetts (USA) suburban highway. *Conservation Biology* 14: 36-46.
- Gleick, P. H. 1992. Environmental consequences of hydroelectric development - the role of facility size and type. *Energy* 17: 735-747.
- Hunter, M. L. Jr. 1996. *Fundamentals of conservation biology*. Blackwell Science, Cambridge. Ma-

- ssachusetts, USA.
- IUCN. 2001. IUCN Red List Categories: Version 3.1. IUCN species survival commission, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- Karr, J. R. 1968. Habitat and avian diversity on strip-mined land in east-central Illinois. *Condor* 70: 348-357.
- Karr, J. R. 1971. Structure of avian communities in selected Panama and Illinois habitats. *Ecological Monograph* 41: 207-233.
- Karr, J. R. and R. R. Roth. 1971. Vegetation structure and avian diversity in several new world areas. *American Naturalist* 105: 423-435.
- Ko, C. Y., P. F. Lee, M. L. Bai and R. S. Lin. 2009. A rule-based species predictive model for the vulnerable Fairy Pitta *Pitta nympha* in Taiwan. *Taiwania* 54: 28-36.
- MacArthur, R. H. and J. W. MacArthur. 1961. On bird species diversity. *Ecology* 42: 594-598.
- Mack, R. N., D. Simberloff, W. Mark Lonsdale, H. Evans, M. Clout and F. A. Bazzaz. 2000. Biotic invasions: Causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecological Applications* 10: 689-710.
- Martin, T. G., S. McIntyre, C. P. Catterall and H. P. Possingham. 2006. Is landscape context important for riparian conservation? *Birds in grassy woodland*. *Biological Conservation* 127: 201-214.
- Mehlman, D. W., K. V. Rosenberg, J. V. Wells and B. Robertson. 2004. A comparison of North American avian conservation priority ranking systems. *Biological Conservation* 120: 383-390.
- Molly, J. and A. Davis. 1992. Setting priorities for the conservation of New Zealand's threatened plants and animals. Department of Conservation, Wellington, New Zealand.
- Naiman, R. J. and H. Decamps. 1997. The ecology of interfaces: Riparian zones. *Annual Reviews in Ecology and Systematics* 28: 621-658.
- NatureServe. 2007. NatureServe: NatureServe conservation status. Available from: <http://www.natureserve.org>
- Nilsson, G. 1983. *The endangered species handbook*. Animal Welfare Institute. Washington, DC., USA.
- Panjabi, A. O., E. H. Dunn, P. J. Blancher, W. C. Hunter, B. Altman, J. Bart, C. J. Beardmore, H. Berlanga, G. S. Butcher, S. K. Davis, D. W. Demarest, R. Dettmers, W. Easton, H. Gomez de Silva Garza, E. E. Inigo-Elias, D. N. Pashley, C. J. Ralph, T. D. Rich, K. V. Rosenberg, C. M. Rustay, J. M. Ruth, J. S. Wendt and T. C. Will. 2005. *The partners in flight handbook on species assessment*. Version 2005. Partners in Flight Technical Series No. 3. Available from: <http://www.rmbo.org/pubs/downloads/Handbook2005.pdf>
- Parsons, H. 2007. Best practice guidelines for enhancing urban bird habitat: Scientific report. Birds in Backyards Program. Available from: http://www.birdsinbackyards.net/documents/doc_13_guidelines_review.pdf
- Rotenberry, J. T. 1985. The role of habitat in avian community composition: Physiognomy or floristics? *Oecologia* 67: 213-217.
- Schmiegelow, F. K. A. and M. Monkkonen. 2002. Habitat loss and fragmentation in dynamic landscapes: Avian perspectives from the boreal forest. *Ecological Applications* 12: 375-389.
- Seibert, H. C. and J. H. Conover. 1991. Mortality of vertebrates and invertebrates on an Athens County, Ohio, highway. *Ohio Journal of Science* 91: 163-166.

Stiling, P. 2002. Ecology: Theories and applications (4th ed.). Prentice-Hall Publication, New Jersey, USA.

Trombulak, S. C. and C. A. Frissell. 2000. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology* 14: 18-30.

Wilson, M. F. 1974. Avian community organization and habitat structure. *Ecology* 55: 1017-1029.

附錄 I. 湖山水庫地區鳥類保育優先次序評估系統

Appendix I. The avian conservation priority ranking system for Hushan Reservoir Area

一、評估原則

- (一) 給分時，係考量該鳥種之全球、台灣及雲林斗六丘陵地(北起林內鄉，南至古坑鄉)等不同尺度，以各尺度中最高(最保守)得分給分。但族群現況評估因子則是例外，其中遷徙性鳥種(候鳥、過境鳥及迷鳥)以全球尺度為原則，留鳥族群則以全球及台灣尺度考量，取 2 者中最高(最保守)得分給分。
- (二) 對於資料不完備之鳥種，持保守態度(例如：如有報告指出某鳥種野生族群成年個體目前族群量為 2,500 隻左右，但懷疑還會更低，則依保守態度判斷，其族群量為 2,500 隻以下)給予各選項適當的分數。
- (三) 參考相關資訊時，以量化標準為優先參考對象，無足夠資料支持量化標準時，再採用描述性標準。

二、評估系統

(一) 族群現況

1. 野生族群分布模式

分 級	給 分	描述性標準	量 化 標 準
第一級	1	非常普遍	已有觀察、推論或預測達以下任一標準者 1. 其目前族群分布範圍占其歷史分布範圍的 80% 以上 2. 其出現面積 > 10,000 km ² 者
第二級	2	普遍	已有觀察、推論或預測達以下任一標準者 1. 其目前族群分布範圍占其歷史分布範圍的 50%-80% 之間 2. 其出現面積在 2,000-10,000 km ² 之間者
第三級	3	不普遍	已有觀察、推論或預測達以下任一標準者 1. 其目前族群分布範圍占其歷史分布範圍的 30%-50% 之間 2. 其出現面積在 500-2,000 km ² 之間者
第四級	4	零星分布	已有觀察、推論或預測達以下任一標準者 1. 其目前族群分布範圍占其歷史分布範圍的 10%-30% 之間 2. 其分布分散，族群之間有隔離之現象 3. 其出現面積在 100-500 km ² 之間者
第五級	5	侷限分布	已有觀察、推論或預測達以下任一標準者 1. 其目前族群分布範圍占其歷史分布範圍的 10% 以下 2. 90% 的個體存在於單一族群 3. 其出現面積 < 100 km ² 者

2. 野生族群(成年個體)目前族群量

分 級	給 分	描述性標準	量 化 標 準
第一級	1	非常多	已有觀察、推論或顯示其目前成年個體數為 50,000 隻以上
第二級	2	多	已有觀察、推論或顯示其目前成年個體數為 10,000-50,000 隻之間
第三級	3	少	已有觀察、推論或顯示其目前成年個體數為 2,500-10,000 隻之間
第四級	4	稀少	已有觀察、推論或顯示其目前成年個體數為 250-2,500 隻之間
第五級	5	非常稀少	已有觀察、推論或顯示其目前成年個體數為 250 隻以下

3. 野生族群之族群量變化趨勢

分 級	給 分	描述性標準	量 化 標 準
第一級	1	快速上升中	已有觀察、推論或預測顯示其族群量在 10 年或 3 代間(取時間較長者)的上升速率超過 20% 者
第二級	2	上升中	已有觀察、推論或預測顯示其族群量在 10 年或 3 代間(取時間較長者)有上升，但上升速率低於 20% 者
第三級	3	數量穩定	已有觀察、推論或預測顯示其族群量在 10 年或 3 代間(取時間較長者)沒有明顯的變化
第四級	4	下降中	已有觀察、推論或預測顯示其族群量在 10 年或 3 代間(取時間較長者)有減少，但減少速率低於 20% 者，或有非規律性振盪但振幅小於 30% 者
第五級	5	快速下降中	已有觀察、推論或預測顯示其族群量在 10 年或 3 代間(取時間較長者)的減少速率超過 20% 者，或有非規律性大幅振盪且振幅大於 30% 者

(二) 分類地位

分 級	給 分	評 估 標 準
第一級	1	與國外分布者同種
第二級	2	台灣特有亞種
第三級	3	台灣特有種

(三) 面臨威脅

1. 棲地消失之速率

分 級	給 分	評 估 標 準
第一級	1	在 5-10 年內其棲地將喪失 10%以下
第二級	2	在 5-10 年內其棲地將喪失 10-25%
第三級	3	在 5-10 年內其棲地將喪失 25-50%
第四級	4	在 5-10 年內其棲地將喪失 50-75%
第五級	5	在 5-10 年內其棲地將喪失 75%以上

2. 被獵捕及利用之壓力

分 級	給 分	評 估 標 準
第一級	1	幾無獵捕及利用之壓力
第二級	2	被獵捕及利用之壓力對其生存產生輕度影響，或影響未知，但懷疑是輕微的
第三級	3	被獵捕及利用之壓力對其生存產生中等程度影響
第四級	4	被獵捕及利用之壓力對其生存產生高度影響
第五級	5	被獵捕及利用之壓力對其生存產生嚴重影響

註：不論是爲了放生、除害、觀賞、食用、飼養、娛樂或誤捕等理由，而使其族群遭受生存威脅者，皆歸類於本標準給分。

3. 外來入侵種危害

分 級	給 分	評 估 標 準
第一級	1	外來種對其生存無明顯影響
第二級	2	已有對其生存有影響之外來種引進台灣
第三級	3	對其生存有影響之外來入侵種已在台灣建立族群
第四級	4	有證據顯示外來入侵種對本鳥種產生危害
第五級	5	外來入侵種已對本物種造成嚴重且無法回復之危害

(四) 易受害性

1. 棲地、覓食空間專一性

分 級	給 分	評 估 標 準
第一級	1	無任何棲地 / 空間專一性
第二級	2	棲地 / 空間專一性不影響其生存
第三級	3	輕度的棲地 / 空間專一性
第四級	4	中等的棲地 / 空間專一性
第五級	5	高度的棲地 / 空間專一性
		極高度的棲地 / 空間專一性

註：可在越多樣棲地(森林、平原、濕地等……)及空間(樹冠、樹林中層、灌叢、地面等……)活動之鳥種，適應能力越強，亦較不易因部分棲地 / 空間喪失而導致鳥種消失。

2. 食性專一性

分 級	給 分	評 估 標 準
第一級	1	可高度利用人類資源(農作物、廚餘、碎屑)
第二級	2	雜食性鳥種
第三級	3	果食性或蟲食性鳥種
第四級	4	食性限於少數物種
第五級	5	食性限於少數物種，且食物來源有滅絕危機

註：食性越複雜之鳥種，其食物來源越多，即使棲地或氣候改變造成某一類食物減少，也較容易取得替代之食物；本標準係依各鳥種食性的寬廣度及其食物來源的可得性給分。

3. 繁殖資源特殊性

分 級	給 分	評 估 標 準
第一級	1	對繁殖資源無特殊之需求
第二級	2	繁殖資源的特殊需求輕微限制此物種的繁殖成功率
第三級	3	繁殖資源的特殊需求中度限制此物種的繁殖成功率
第四級	4	繁殖資源的特殊需求高度限制此物種的繁殖成功率
第五級	5	繁殖資源的特殊需求嚴重限制此物種的繁殖成功率

註：鳥類在繁殖時若有特定資源需求，如樹洞、特殊坡面、特殊巢材或巢樹等，當該項資源可獲得性改變時，可能影響該鳥種之繁殖成功率。尤其是該項資源較少，且較易因工程施作而消失時，其影響尤大。本標準評估各鳥種繁殖時是否對特定資源有專一性。

4. 繁殖敏感度

分 級	給 分	評 估 標 準
第一級	1	破壞性之干擾發生，才會導致繁殖失敗或不在台灣繁殖者(例：小卷尾、赤腹鷹)
第二級	2	繁殖期可高度忍受外力干擾(例：黑枕藍鶺)
第三級	3	繁殖期可中度忍受外力干擾(例：繡眼畫眉)
第四級	4	繁殖期可輕度忍受外力干擾(例：頭烏線)
第五級	5	繁殖期無法忍受任何之外力干擾(例：朱鷗)

註：繁殖期敏感度高之鳥種，較易因外來干擾而導致棄巢的發生。尤其是工程施作期間，大型機具進出，其噪音及震動皆大，對敏感鳥種之繁殖成功率更會造成極大傷害。

5. 移動能力

分 級	給 分	評 估 標 準
第一級	1	飛行速度快，常大量大範圍移動(例：小環頸鴿等候鳥)
第二級	2	飛行速度快，移動範圍大(例：大冠鷲等猛禽)
第三級	3	飛行速度快，移動範圍小(例：小卷尾)
第四級	4	飛行速度慢，移動範圍小(例：小彎嘴)
第五級	5	不會飛行或甚少飛行(例：竹雞)

註：移動能力強之鳥種，在水庫施工後，即可因發現棲地改變，而更換棲地，展開另一個新生活。但移動力較弱之鳥種於更換棲地時，較易受車輛撞擊而造成路死(road kill)及受到隔離效應的影響，影響個體存續狀況。

附錄 II. 湖山水庫地區鳥類生物特性資料庫參考文獻**Appendix II. References of avian characteristic database of the Hushan Reservoir Area**

- 方偉宏。2005。台灣受脅鳥種圖鑑。貓頭鷹出版社。
- 王源。1997。四季之歌—鷺鷥繁殖週期行為觀察紀錄。動物園雜誌 66: 25-29。
- 王玢瑩、許維樞、程學義、趙正階、鄭光美、顏重威、譚耀匡。1996。中國野鳥圖鑑。翠鳥文化事業有限公司。
- 王嘉雄、吳森雄、黃光瀛、楊秀英、蔡仲晃、蔡牧起、蕭慶亮。1991。台灣野鳥圖鑑。台灣野鳥資訊社。
- 王穎。1986。台灣山鳥舉隅—溪谷紫琉璃：紫嘯鶇。大自然 12: 62-65
- 王穎、裴家騏。1984。紫嘯鶇育雛行為之初步研究。師大生物學報 19: 83-93。
- 何玉輝。1989。陽明山國家公園五色鳥之生物學研究。國立台灣大學動物學研究所碩士論文。
- 李采燕。2008。棕沙燕在八掌溪河岸的棲地選擇與群集繁殖。國立嘉義大學生物資源學系碩士論文。
- 李培芬。1994。台灣地區國家公園動物生態資料庫報告。內政部營建署。
- 周大慶。2005。墾丁國家公園墾丁地區大冠鶯(*Spilornis cheela hoya*)繁殖及棲地利用之調查研究。內政部營建署墾丁國家公園管理處。
- 周大慶。2006。台大校園賞鳥 II。台大校友雙月刊 46: 24-27。
- 周大慶。2006。墾丁國家公園墾丁地區大冠鶯(*Spilornis cheela hoya*)繁殖及棲地利用之調查研究(二)。內政部營建署墾丁國家公園管理處。
- 周大慶。2007。台大校園賞鳥 III：鷹與鳩。台大校友雙月刊 50: 29-32。
- 周鎮。1994。台灣鳥圖鑑。國立鳳凰谷鳥園。
- 林世松、林孟雄。1986。滿洲地區獵捕灰面鷲之調查。內政部營建署墾丁國家公園管理處。
- 林瑞興。1995。繡眼畫眉(*Alcippe morrisonia*)生殖及鳥群生態之研究。國立台灣大學動物學研究所碩士論文。
- 邱良彥。1986。恒春地區伯勞鳥生態及狩獵現況之初步調查。內政部營建署墾丁國家公園管理處。
- 姚正得。1997。淺淡台灣松雀鷹。自然保育季刊 18: 49-51。
- 姚正得。2002。台灣中部地區黑冠麻鷲(*Gorsachius melanolophus*)之生殖生態。東海大學生物學系碩士論文。
- 姚正得。2006。奧萬大國家森林遊樂區利用鳥巢箱鳥類之生殖習性調查及監測。農委會林務局南投林區管理處。
- 約翰·馬敬能、卡倫·菲利普斯、何芬奇。2003。中國鳥類野外手冊。湖南教育出版社。
- 范孟雯、方偉。2006。協尋白腰鵲鴝—已在台灣野外立足的入侵鳥種。自然保育季刊 56: 24-27。
- 孫元勳。2001。玉山國家公園台灣山鷓鴣一般習性之調查(二)。內政部營建署玉山國家公園管理處。
- 張簡琳玟等。2005。宜蘭縣的野生動物。農委會特有生物研究保育中心。
- 張簡琳玟、黃獻文、何健鎔、沈秀雀、姚正得、黃朝慶、張仕緯、林宗以、范孟雯。2006。本土物種生活史與生態需求之調查研究與資料建立。行政院農業委員會特有生物研究保育中心九十五年度科技計畫研究報告 95-148 頁。農委會特有生物研究保育中心。
- 許晃哲。2004。福山試驗林繡眼畫眉巢位棲地生態之研究。國立台灣大學動物學研究所碩士論文。

- 郭宗明、陳傳、胡錦羸。2006。棕頭鴉雀的巢生境因子分析和雛鳥的生長發育。四川動物 25: 858-861。
- 陳宛均。2007。台灣中部低海拔森林燕雀目鳥種灌叢巢與地面巢的天敵掠食風險。國立台灣大學生態學與演化生物學研究所碩士論文。
- 陳忠應。2005。紅冠水雞(*Gallinula chloropus*)之生態學研究。國立中山大學生物科學系研究所碩士論文。
- 陳傳、郭宗明、胡錦羸、余志傳。2006。四川南充市白頭鵝的繁殖習性及雛鳥的生長發育。動物學雜誌 41: 107-111。
- 黃光瀛。2000。陽明山國家公園猛禽生活史及生態研究。內政部營建署陽明山國家公園管理處。
- 劉小如、徐景彥。1998。陽明山國家公園內台灣藍鵲合作生殖之研究。內政部營建署陽明山國家公園管理處。
- 劉萬鈞。1990。中台灣地區白頭錦鵲的一夫多妻制。東海大學生物學研究所碩士論文。
- 鄭錫奇等。1996。台灣保育類野生動物圖鑑。農委會特有生物研究保育中心。
- 歐保羅。1987。玉山國家公園藍腹鵲自然史調查研究。內政部營建署玉山國家公園管理處。
- 賴國祥、鄭錫奇、彭仁傑、林瑞興、林德恩、池文傑、楊嘉棟、許再文、沈明雅、朱恩良、陳榮宗、張世倉。2006。湖山水庫施工導水路工程生物相調查及生態保育措施。經濟部水利署中區水資源局。
- 謝孝同、劉小如。1987。帝雉、藍腹鵲生態調查研究報告。內政部營建署玉山國家公園管理處。
- 顏重威。1995。鷺鷥築巢的高度材料和大小。台灣省立博物館年刊 38: 125-133。
- 羅宏仁。2000。玉山國家公園台灣山鷓鴣一般習性之調查。內政部營建署玉山國家公園管理處。
- 羅宏仁、董景生。1995。玉山國家公園藍腹鵲繁殖習性之調查研究報告。內政部營建署玉山國家公園管理處。
- 羅柳擘、鄭峰茂。2007。棕扇尾鶯與褐頭鶯在農田中繁殖生態之比較。特有生物研究 9: 23-35。
- 鐘裕。1991。台灣竹雞之生態學研究。國立台灣師範大學生物學研究所碩士論文。

附錄 III. 湖山水庫地區各棲地類型鳥種名錄

Appendix III. A list of the bird species found at different habitat types in the Hushan Reservoir Area

棲地類型 Habitat types	優先關注類群 Target species group	非優先關注類群 Non-target species group
非邊緣性森林型 (Forest type)	藍腹鵯 (<i>Lophura swinhoii</i>) 台灣山鷓鴣 (<i>Arborophila crudigularis</i>) 朱鷓 (<i>Oriolus traillii</i>) 台灣藍鵲 (<i>Urocissa caerulea</i>) 紅頭綠鳩 (<i>Treron formosae</i>) 大彎嘴 (<i>Pomatorhinus erythrogenys</i>) 小彎嘴 (<i>Pomatorhinus ruficollis</i>) 松雀鷹 (<i>Accipiter virgatus</i>) 頭烏線 (<i>Alcippe brunnea</i>) 八色鳥 (<i>Pitta nympha</i>) 翠翼鳩 (<i>Chalcophaps indica</i>) 棕面鵯 (<i>Abroscopus albogularis</i>) 綠鳩 (<i>Treron sieboldii</i>) 棕噪鵯 (<i>Garrulax poecilorhynchus</i>) 鳳頭蒼鷹 (<i>Accipiter trivirgatus</i>)	山紅頭 (<i>Stachyris ruficeps</i>) 台灣擬啄木 (<i>Megalaima nuchalis</i>) 竹雞 (<i>Bambusicola thoracicus</i>) 黃嘴角鴉 (<i>Otus spilocephalus</i>) 綠畫眉 (<i>Erpornis zantholeuca</i>) 灰林鴿 (<i>Columba pulchricollis</i>) 小卷尾 (<i>Dicrurus aeneus</i>) 灰鶯 (<i>Pyrrhula erythaca</i>) 綠繡眼 (<i>Zosterops japonicus</i>) 繡眼畫眉 (<i>Alcippe morrisonia</i>) 黑冠麻鷺 (<i>Gorsachius melanolophus</i>) 樹鵲 (<i>Dendrocitta formosae</i>) 小啄木 (<i>Dendrocopos canicapillus</i>) 灰喉山椒 (<i>Pericrocotus solaris</i>) 赤腹鷹 (<i>Accipiter soloensis</i>) 灰面鵯 (<i>Butastur indicus</i>) 虎鶯 (<i>Zoothera dauma</i>) 中杜鵑 (<i>Cuculus saturatus</i>) 赤腹鶯 (<i>Turdus chrysolaus</i>) 極北柳鶯 (<i>Phylloscopus borealis</i>)
森林邊緣型 (Forest edge type)	灰腳秧雞 (<i>Rallina eurizonoides</i>) 黑枕藍鶯 (<i>Hypothymis azurea</i>) 大冠鶯 (<i>Spilornis cheela</i>) 鸚鵡 (<i>Glaucidium brodiei</i>)	白環鸚嘴鶯 (<i>Spizixos semitorques</i>) 紅嘴黑鶯 (<i>Hypsipetes leucocephalus</i>) 短翅樹鶯 (<i>Cettia diphone</i>) 黃尾鶯 (<i>Phoenicurus aureus</i>) 藍磯鶯 (<i>Monticola solitarius</i>) 灰斑鶯 (<i>Muscicapa griseisticta</i>)
水域型 (Water type)	白尾鶯 (<i>Myiomela leucura</i>) 台灣紫嘯鶯 (<i>Myophonus insularis</i>) 翠鳥 (<i>Alcedo atthis</i>)	白腹秧雞 (<i>Amaurornis phoenicurus</i>) 綠蓑鶯 (<i>Butorides striata</i>) 白鶯 (<i>Motacilla alba</i>) 灰鶯 (<i>Motacilla cinerea</i>) 黃鶯 (<i>Motacilla flava</i>) 紅冠水雞 (<i>Gallinula chloropus</i>) 棕沙燕 (<i>Riparia paludicola</i>) 小白鶯 (<i>Egretta garzetta</i>) 夜鶯 (<i>Nycticorax nycticorax</i>) 小環頸鶯 (<i>Charadrius dubius</i>) 中白鶯 (<i>Egretta intermedia</i>)

附錄 III. (續)

Appendix III. (cont.)

棲地類型 Habitat types	優先關注類群 Target species group	非優先關注類群 Non-target species group
		磯鶇 (<i>Actitis hypoleucos</i>) 池鷺 (<i>Ardeola bacchus</i>) 東方環頸鴿 (<i>Charadrius alexandrinus</i>)
草生地型 (Grassland type)	棕三趾鶉 (<i>Turnix suscitator</i>) 小雲雀 (<i>Alauda gulgula</i>)	粉紅鸚嘴 (<i>Paradoxornis webbianus</i>) 斑紋鷓鴣 (<i>Prinia crinigera</i>) 黃頭扇尾鶯 (<i>Cisticola exilis</i>) 褐頭鷓鴣 (<i>Prinia inornata</i>) 斑文鳥 (<i>Lonchura punctulata</i>) 白腰文鳥 (<i>Lonchura striata</i>) 灰頭鷓鴣 (<i>Prinia flaviventris</i>) 棕扇尾鶯 (<i>Cisticola juncidis</i>) 大葦鶯 (<i>Acrocephalus orientalis</i>)
聚落型 (Village type)		小雨燕 (<i>Apus nipalensis</i>) 叉尾雨燕 (<i>Apus pacificus</i>) 家燕 (<i>Hirundo rustica</i>) 赤腰燕 (<i>Cecropis striolata</i>) 洋燕 (<i>Hirundo tahitica</i>) 東方毛腳燕 (<i>Delichon dasypus</i>) 麻雀 (<i>Passer montanus</i>)
開墾地型 (Farmland type)	八哥 (<i>Acridotheres cristatellus</i>)	大卷尾 (<i>Dicrurus macrocercus</i>) 珠頸斑鳩 (<i>Streptopelia chinensis</i>) 棕背伯勞 (<i>Lanius schach</i>) 燕鴿 (<i>Glareola maldivarum</i>) 紅尾伯勞 (<i>Lanius cristatus</i>) 白頭翁 (<i>Pycnonotus sinensis</i>) 紅鳩 (<i>Streptopelia tranquebarica</i>) 鵟 (<i>Buteo buteo</i>) 紅隼 (<i>Falco tinnunculus</i>) 黃頭鷺 (<i>Bubulcus ibis</i>)
多樣棲地型 (Diverse habitat type)		金背鳩 (<i>Streptopelia orientalis</i>) 赤翡翠 (<i>Halcyon coromanda</i>) 領角鴉 (<i>Otus bakkamoena</i>) 山鵲 (<i>Scolopax rusticia calliope</i>) 褐色柳鶯 (<i>Phylloscopus fuscatus</i>)

台灣黑枕藍鶇(*Hypothymis azurea*)的鳥巢形值與巢材

Nest Materials and Measurements of the Black-Naped Monarch (*Hypothymis azurea*) in Taiwan

陳華香¹ 陳東瑤¹ 林瑞興^{2,*}

Hua-Hsiang Chen¹, Tung-Yao Chen¹ and Ruey-Shing Lin^{2,*}

¹ 靜宜大學生態學系 台中縣沙鹿鎮中棲路 200 號

² 行政院農業委員會特有生物研究保育中心 南投縣集集鎮民生東路 1 號

¹ Department of Ecology, Providence University, Taichung, Taiwan

² Endemic Species Research Institute, Jiji, Nantou, Taiwan

* 通訊作者：rslin@tesri.gov.tw

* Corresponding author: rslin@tesri.gov.tw

摘 要

本研究測量及檢視 36 個於 2007-2008 年繁殖季期間，由雲林縣林內鄉及斗六市採集而來的黑枕藍鶇(*Hypothymis azurea*)鳥巢的形值及巢材。黑枕藍鶇鳥巢的外徑長、外徑寬、內徑長、內徑寬、巢外高及巢內深的平均值及 SE 分別為 66.9 ± 0.88 mm、 58.6 ± 0.83 mm、 52.8 ± 0.70 mm、 45.1 ± 0.52 mm、 67.3 ± 2.22 mm 及 29.9 ± 0.98 mm。鳥巢乾重則為 3.3g (SE = 0.17)。竹葉是黑枕藍鶇最重要的巢材，其在鳥巢的出現率為 100%，另占乾重的 72.2%，其餘出現率大於 50% 的巢材種類包括苔蘚(100%)、絲(100%)、樹皮(83.3%)、吹棉介殼蟲(*Icerya purchasi*) (72.2%)、樹葉(66.7%)及小皮傘屬(*Marasmius* spp.)菌絲束(58.3%)等。

Abstract

We measured and examined building materials of 36 nests of the black-naped monarch (*Hypothymis azurea*). They were collected from a hilly area covered predominantly with bamboo forests and secondary growth broad-leaf trees in the west-central Taiwan, 2007 to 2008. The measurements (mean \pm SE, mm) were 66.9 ± 0.88 for the maximum nest diameters, 58.6 ± 0.83 for the minimum nest diameters, 58.6 ± 0.83 for the maximum cup diameters, 45.1 ± 0.52 for the minimum cup diameters, 67.3 ± 2.22 for the nest depths and 29.9 ± 0.98 for the cup depths. The dried nest weights were 3.3 ± 0.17 g. Bamboo leaves were found in all the nests, occupying 72.2% of the dried nest weight; they were the most important nest building materials. The other materials that occurred more than 50% of nests were moss (100%), silk (100%), barks (83.3%), cottony cushion scale (*Icerya purchasi*) (72.2%), tree leaves (66.7%), and horse-hair fungus (*Marasmius* spp.) (58.3%).

關鍵詞：吹棉介殼蟲、小皮傘屬真菌、巢材、鳥巢形值、台灣

Key words: *Icerya purchasi*, *Marasmius*, nest materials, nest measurements, Taiwan

收件日期：98年8月5日

接受日期：98年12月31日

Received: August 5, 2009

Accepted: December 31, 2009

緒 言

黑枕藍鶇(*Hypothymis azurea*)屬於雀形目(Passeriformes)王鶇科(Monarchidae)，廣泛分布於南亞及東南亞，出現於台灣的黑枕藍鶇(*H. azurea oberholseri*)屬台灣特有亞種(Coates *et al.* 2006)。黑枕藍鶇為台灣平地至中海拔(<1,600m)普遍的留鳥(翟 1977)，棲地適應亦相當廣泛，只要有面積樹木連續生長之處，都有出現的機會(王等 1991)。其個性機警好動，通常單獨或成對在樹林中層活動，以昆蟲為主食。另其繁殖季在4-7月間(李 1986)，喜在樹冠中、下層的細小枝椏或藤蔓間築杯形巢(周 1995；林等 2010)。雖然黑枕藍鶇無論在台灣或其他分布範圍內，數量均屬普遍，但有

關其鳥巢形值與所使用的巢材，存在的參考資料仍然有限。蘇拉威西(Sulawesi)及其附近小島亞種(*H. azurea puella*)鳥巢的外徑約65 mm、內徑約52 mm、巢外高約65 mm、巢內深則約為38 mm(Coates *et al.* 2006)。至於巢材方面，多為簡單敘述，如提及以芒草莖、穗、蜘蛛絲、青苔，交雜細樹根或其他纖維等(周 1995；林 1997)。本研究除提供2007-2008年於雲林縣林內鄉及斗六市所尋獲的黑枕藍鶇鳥巢的形態測值外，也仔細分析鳥巢各分層所使用的材料。

材料與方法

本研究於雲林縣林內鄉及斗六市東側的丘陵地，即湖本重要野鳥棲地(Huben Important

Bird Area, 120°37'E, 23°44.5'N)的範圍內進行，研究地區海拔高度介於 50-200m 之間，氣候屬於夏季炎熱潮濕、冬季乾涼的亞熱帶氣候型態，5-10 月為濕季，雨量約為 1,800 mm，乾季則從 11 月至翌年 4 月，雨量常少於 300 mm (廖 2001；陳 2007)。研究地點的植被組成以人為種植的麻竹(*Dendrocalamus latiflorus*)為最優勢，次生闊葉樹種則主要生長於不容易開墾的地形或荒廢的農園。

於 2007 年及 2008 年的 3-8 月，由 1-2 位調查人員在樣區內沿著村落道路、產業道路、河床、果園、山坡地，藉由觀察及追蹤成鳥任何與繁殖有關的行為，如警戒、求偶、咬巢材及口啣食物等，另亦注意幼鳥索食聲，來搜尋巢位的所在地。找到正在築巢或使用中的鳥巢後，每隔 2-3 日巡巢 1 次，記錄日期、蛋或雛鳥數量、親鳥行為及離巢幼鳥數等繁殖狀況，直到幼鳥成功離巢或繁殖失敗為止。

將不再使用的鳥巢，以修枝剪小心剪斷支撐的樹枝，隨即使用游標尺(Mitutoyo, 最小刻度 0.05 mm)測量以下 6 個鳥巢特徵，各特徵的定義及測量位置參考自 Hansell (2005)對杯形巢形態測量的說明。

- 一、巢外徑長(maximum nest diameter)：巢外徑最大值；
- 二、巢外徑寬(minimum nest diameter)：巢外徑最小值；
- 三、巢內徑長(maximum cup diameter)：巢內徑最大值；
- 四、巢內徑寬(minimum cup diameter)：巢內徑最小值；
- 五、巢外高(nest depth)：巢外側高度；
- 六、巢內深(cup depth)：巢裡側深度。

鳥巢重量則在鳥巢取回並於 75°C 的烘箱內連續烘烤 48 hr (許 2003)後，以微量天平(Jadever SUNG II-150, 最小單位 0.001g)秤重。

隨後將鳥巢拆解，記錄各分層情形與巢材種類。鳥巢結構依據 Hansell (2005)的建議分

成 4 層，分別為：一、連結巢材及固定鳥巢於巢枝上的「聯繫區(attachment area)」；二、位於鳥巢表面、有裝飾外觀以達到隱蔽效果的「外層(outer layer)」；三、防止鳥巢變形、分解、維持鳥巢主體結構完整性的「結構層(structural layer)」；以及四、在結構層裡面無維持結構功能的「內襯層(lining layer)」。

結果與討論

2007-2008 年繁殖季共尋獲黑枕藍鶺鴒鳥巢 58 個，至鳥巢不再使用時形態仍維持完整且可測量的鳥巢有 36 個。黑枕藍鶺鴒的鳥巢屬杯狀巢，開口向上呈三角形酒杯狀，少數略呈半橢圓形(圖 1)，鳥巢的外徑長、外徑寬、內徑長、內徑寬、巢外高及巢內深的平均值及 SE 分別為 66.9 ± 0.88 mm、 58.6 ± 0.83 mm、 52.8 ± 0.70 mm、 45.1 ± 0.52 mm、 67.3 ± 2.22 mm 及 29.9 ± 0.98 mm，鳥巢乾重則為 3.3 ± 0.17 g (表 1)。就形態測量值而言，蘇拉威西亞種與台灣亞種並無明顯差別。

將使用的巢材分為 11 類(表 2)。以鳥巢整體來看，出現率 100% 的有絲(蜘蛛絲狀物)、苔蘚及竹葉；絲為構築鳥巢所必需，但其重量甚輕，平均重量為 1.2g (SE = 0.20)，百分比僅占 1.2%，另苔蘚出現率雖高，但相較於竹葉的重量(72.2 ± 9.29 g)和百分比(72.2%)而言，其使用量顯著較少(8.4 ± 1.21 g, 8.4%) (表 2)。

各分層主要使用的材料有所不同(附錄)，絲及苔蘚出現在聯繫區及外層，樹葉出現在外層及結構層，而竹葉則為結構層最重要材料；外層除絲、苔蘚及樹葉外，吹棉介殼蟲(*Icerya purchasi*)及其所吹出的白棉也出現於 26 巢(72.2%)上，另人工塑膠繩則僅出現於住家附近 3 個(8.3%)鳥巢的外層上。由於在 23 個(69.4%)鳥巢的結構層內側，可分離出一個猶如小淺盤並可輕易從巢中拿出的構造，依其仍具有明顯的結構維持功能(Hansell 2005)，我們將之定義

為內結構層(圖 2)，亦即結構層區分為外結構層及內結構層。外結構層是鳥巢分層中取材最複雜的，但以竹葉、樹皮、樹葉及花序最為普遍。竹葉(出現率 = 100%)於各巢之外結構層均大量出現，有 3 巢占材料的九成以上，其他巢材出現率依序為樹皮(83.3%)、樹葉(66.7%)及花序(47.2%)。花序以五節芒(*Miscanthus floridulus*)為主。另重量輕又細小的筆筒樹(*Cyathea lepifera*)鱗片也被使用於 12 個(33.3%)

巢的外結構層中。小皮傘屬(*Marasmius* spp.)的菌絲束(rhizomorph)為內結構層最常見的材，有 14 巢全由其構成，另有 2 巢全為竹葉，4 巢由竹葉及菌絲束組合而成。其他有 2 個使用五節芒花序，1 個由白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)與鰾魚草(*Eragrostis amabilis*)組合而成。另因結構層內沒有另外獨立且無維持結構功能的材料(Hansell 2005)，依此定義，黑枕藍鵲鳥巢無內襯層。

表 1. 2007-2008 年雲林縣林內鄉及斗六市丘陵地區黑枕藍鵲(*Hypothymis azurea*)鳥巢形態測量值 (n = 36)

Table 1. Measurements of 36 black-naped monarch (*Hypothymis azurea*) nests from Linnei Township and Douliou City, Yunlin County in west-central Taiwan, 2007 to 2008

Nest characteristic	Mean ± SE	Median	Range
Weight (g)	3.3 ± 0.17	3.1	1.51 - 5.58
Maximum nest diameter (mm)	66.9 ± 0.88	67.4	47.6 - 80.7
Minimum nest diameter (mm)	58.6 ± 0.83	59.6	42.9 - 64.6
Maximum cup diameter (mm)	52.8 ± 0.70	51.9	45.8 - 65.2
Minimum cup diameter (mm)	45.1 ± 0.52	45.1	35.7 - 50.2
Nest depth (mm)	67.3 ± 2.22	66.7	40.3 - 95.4
Cup depth (mm)	29.9 ± 0.98	28.9	15.6 - 42.5

表 2. 2007-2008 年雲林縣林內鄉及斗六市丘陵地區黑枕藍鵲(*Hypothymis azurea*)鳥巢(n = 36)各巢材類別之出現率(%)、重量(g)及其所占比例(%)

Table 2. Occurrence (%), weight (g) and weight proportion (%) of the material items for 36 black-naped monarch (*Hypothymis azurea*) nests collected from Linnei Township and Douliou City, Yunlin County in west-central Taiwan, 2007 to 2008

Material items	Occurrence (%)	Weight	
		Mean ± SE (g)	%
Bamboo leaves	100	72.2 ± 9.29	72.2
Moss	100	8.4 ± 1.21	8.4
Silk	100	1.2 ± 0.20	1.2
Barks	83.3	14.0 ± 2.45	14.0
Cottony cushion scale (<i>Icerya purchasi</i>)	72.2	0.5 ± 0.08	0.5
Tree leaves	66.7	72.2 ± 9.29	4.9
Horse-hair fungus (<i>Marasmius</i> spp.)	58.3	4.9 ± 1.34	3.6
Inflorescence	47.2	3.6 ± 0.83	3.0
Fruit stalks	22.2	3.0 ± 1.54	0.7
Plant stems	8.0	0.7 ± 0.31	0.3
Others	44.4	1.0 ± 0.39	1.0



圖 1. 黑枕藍鶇(*Hypothymis azurea*)呈杯形(上圖)或半橢圓形(下圖)的鳥巢範例。

Fig. 1. A cup-shaped nest (upper figure) and a bowl-shaped nest (lower figure) of the black-naped monarch (*Hypothymis azurea*).



圖 2. 黑枕藍鵲(*Hypothymis azurea*)鳥巢內結構層範例。

Fig. 2. An inner-structural layer of a black-naped monarch (*Hypothymis azurea*) nest.

竹葉在本研究地區黑枕藍鵲的鳥巢扮演非常重要的角色，不但是結構層的主要材料，而且所占的重量百分比很高。鳥類選擇巢材除了考量延展性及絕緣效果之外，亦會考量能否保持鳥巢的乾燥(Slagsvold 1989)，黑枕藍鵲大量選用竹葉當巢材，除了研究地區竹子為主要植被，取材容易且可與環境融合之外，其質輕快乾的特性，可能也是被大量採用的原因。

聯繫區一致使用大量絲狀物，除了緊密結合巢材之外，另一個重要的功能是把巢緊緊黏附在巢枝上，大部分巢拆解時非常費力。絲及苔蘚此類具有彈性的材料可克服巢的空間限制，以便巢杯在雛鳥數目及體型大小有變動時具有展開的彈性(Slagsvold 1989)；苔蘚也扮演聯繫的角色，但數量及比例不如絲。

白色的吹棉介殼蟲出現在外層的比例非常

高(72%)，常常和苔蘚形成深綠和亮白交錯的模樣(圖 1)。藉由比較不同國家黑枕藍鵲的鳥巢照片，顯示鳥巢外層散布白色塊狀物不僅在台灣很普遍，於其他地區(如馬來西亞、蘇門達臘及印度)的鳥巢外層(<http://orientalbirdimages.org/index.php>)也經常呈現相似的模式，但由照片判斷，使用的白色物質與吹棉介殼蟲並不相似。在樹冠高層的鳥巢常見綴以節肢動物分泌的白色絲狀物或顏色偏白綠的地衣，其功能除可模擬築巢所在位置的顏色外，亦很可能藉由暗色和亮色的安排，造成光線錯落的假象，達到偽裝的效果(Hansell 1996)。吹棉介殼蟲為台灣柑橘科作物上常見的昆蟲，由於柳丁正好是研究地區最普遍的經濟作物之一，其被廣泛使用可能與其容易取得有關，惟其確實的功能仍待進一步探究。

被普遍使用於黑枕藍鶇鳥巢內結構層的小皮傘屬菌絲束，至今已知有其他至少 41 種棲息於熱帶森林與溫帶山區之鳥類會用來築巢 (Freyman 2008)，在台灣也曾在繡眼畫眉 (*Alcippe morrisonia*) 鳥巢中記錄 (許 2003)，由於早期此類菌絲束經常被誤判為不知名的樹根 (McFarland and Rimmer 1996)，且小皮傘屬及與其血緣相近的他屬擔子菌門 (Basidiomycetes) 真菌廣布於五大洲 (Corner 1996)，推測使用此類巢材築巢的鳥類，可能遠多於已知的種類。Freyman (2008) 測試此類菌絲束的物理性質，發現相較於草本植物的纖維，其具有張力強及不吸水的優點。雖然，以物理性質可解釋鳥類偏好使用的原因，但小皮傘屬真菌早已被發現具有抗菌的功能 (Melin *et al.* 1947; Bendz *et al.* 1948; Kavanagh *et al.* 1949)，且部分種類帶有特殊氣味 (Rapier *et al.* 1997)，而已知有少數鳥類會利用新鮮綠色植物或具強烈氣味的植物來防止寄生蟲或吸血昆蟲的攻擊 (Clark and Mason 1985; Lafuma *et al.* 2001)，使用該類植物鳥巢的幼鳥身體狀況亦較為理想 (Mennerata *et al.* 2009)，故被鳥類採集來的小皮傘屬菌絲束，由築巢期至幼鳥離巢這段時間是否仍保有抗菌功能或其如何影響鳥類適存度 (fitness)，也是一個頗值得探討的議題。

謝 誌

衷心感謝張景開及陳嘉宏於尋找鳥巢上提供的莫大協助，陳欣一幫忙巢材鑑定，Mr. Mark Bruce Wilkie 及蔡住發博士協助英文摘要的潤飾，兩位審查委員提供諸多改善的建議，謹此一併致上最深之謝意。

引用文獻

王嘉雄、吳森雄、黃光瀛、楊秀英、蔡仲晃、蔡牧起、蕭慶亮。1991。台灣野鳥圖鑑。

亞舍圖書有限公司。

李沛沂。1986。黑枕藍鶇的自然史及其在混合鳥群中的覓食行為。東海大學生物學研究所碩士論文。

周鎮。1995。台灣鳥圖鑑第一卷。台灣省立鳳凰谷鳥園。

林文宏。1997。台灣鳥類發現史。玉山社出版事業股份有限公司。

林瑞興、陳華香、陳東瑤。2010。台灣中部黑枕藍鶇之鳥巢掠食風險與巢位特徵。台灣生物多樣性研究 12(1): 29-42。

許晃哲。2003。福山試驗林繡眼畫眉巢位棲地生態之研究。國立台灣大學生態學與演化生物學研究所碩士論文。

陳宛均。2007。台灣中部低海拔森林燕雀目鳥種灌叢巢與地面巢的天敵掠食風險。國立台灣大學生態學與演化生物學研究所碩士論文。

廖世卿。2001。台灣重要野鳥棲地手冊。中華民國野鳥學會。

翟鵬。1977。台灣鳥類生態隔離的研究。東海大學生物學研究所碩士論文。

Bendz, G., G. Wallmark and K. Öblom. 1948. The antibiotic agent from *Marasmius ramealis*. *Nature* 162: 61-62.

Clark, L. and J. Mason. 1985. Use of nest material as insecticidal and anti-pathogenic agents by the European starling. *Oecologia* 67: 169-176.

Coates, B. J., G. C. L. Dutton and C. E. Filardi. 2006. Family Monarchidae (Monarchs). pp. 244-329. In: J. del Hoyo, A. Elliott and D. A. Christie (eds.). *Handbook of the Birds of the World Vol. 11*. Lynx Edicions, Barcelona, Spain.

Corner, E. J. H. 1996. The agaric genera *Marasmius*, *Chaetocalathus*, *Crinipellis*, *Heimiomyces*, *Resupinatus*, *Xerula* and *Xerulina* in Malesia. *Nova Hedwigia* 111: 1-175.

- Freyman, B. P. 2008. Physical properties of fungal rhizomorphs of marasmioid basidiomycetes used as nesting material by birds. *Ibis* 150: 395-399.
- Hansell, M. H. 1996. The function of lichen flakes and white spider cocoons on the outer surface of birds' nests. *Journal of Natural History* 30: 303-311.
- Hansell, M. 2005. Bird nests and construction behaviour. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Kavanagh, F., A. Hervey and W. Robbins. 1949. Antibiotic substances from basidiomycetes. IV. *Marasmius conigenus*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 35: 343-349.
- Lafuma, L., M. Lambrechts and M. Raymond. 2001. Aromatic plants in bird nests as a protection against blood-sucking flying insects? *Behavioural Processes* 56: 113-120.
- McFarland, K. P. and C. C. Rimmer. 1996. Horsehair fungus, *Marasmius androsaceus*, used as nest lining by birds of the subalpine spruce-fir community in the northeastern United States. *Canadian Field Naturalist* 110: 541-543.
- Melin, E., T. Wikén and K. Oblom. 1947. Antibiotic agents in the substrates from cultures of the genus *Marasmius*. *Nature* 159: 840-841.
- Mennerata, A., P. Perreta, P. Bourgault, J. Blondela, O. Gimenez, D. W. Thomasc, P. Heebb and M. M. Lambrechtsa. 2009. Aromatic plants in nests of blue tits: Positive effects on nestlings. *Animal Behavior* 77: 569-574.
- Rapier, S., S. Breheret, T. Talou and J. M. Bessièrè. 1997. Volatile flavor constituents of fresh *Marasmius alliaceus* (garlic *Marasmius*). *Journal of Agricultural Food Chemistry* 45: 820-825.
- Slagsvold, T. 1989. On the evolution of clutch size and nest size in passerine birds. *Oecologia* 79: 300-305.

附錄. 2007-2008 年雲林縣林內鄉及斗六市丘陵地區黑枕藍鶇(*Hypothymis azurea*)鳥巢聯繫區、外層、外結構層及內結構層出現之巢材類別 (n = 36)

Appendix. Materials found in different parts of the 36 nests of the black-naped monarch (*Hypothymis azurea*) from Linnei Township and Douliou City, Yunlin County in west-central Taiwan, 2007 to 2008

Nest parts	Material items
Attachment area	Silk
	Moss
Outer layer	Moss
	Tree leaves
	Silk
	Cottony cushion scale (<i>Icerya purchasi</i>)
Outer structural layer	Others
	Bamboo leaves
	Barks
	Tree leaves
	Plant stems
	Inflorescence
	Fruit stalks
	Others
Inner structural layer	Horse-hair fungi (<i>Marasmius</i> spp.) hypha
	Bamboo leaves

圈養狀況下之斑腿樹蛙生活史

Life History of the Spot-Legged Tree Frog

Polypedates megacephalus in Captivity

吳和瑾¹ 林春富^{1,*} 葉大詮¹ 呂光洋²

Ho-Chin Wu¹, Chun-Fu Lin^{1,*}, Ta-Chuan Yeh¹ and Kuang-Yang Lue²

¹ 行政院農業委員會特有生物研究保育中心 南投縣集集鎮民生東路1號

² 國立台灣師範大學生命科學系 台北市汀州路四段88號

¹ Endemic Species Research Institute, Jiji, Nantou, Taiwan

² Department of Life Science, National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan

* 通訊作者: spring@tesri.gov.tw

* Corresponding author: spring@tesri.gov.tw

摘要

為了解斑腿樹蛙(*Polypedates megacephalus*)的生活史特性, 2007年10月我們從馬祖地區採集了3隻雄性及2隻雌性斑腿樹蛙攜回實驗室進行為期1年的圈養與觀察。這些雌蛙在2008年3-8月間, 共產下10堆卵泡, 每堆卵泡平均約有639個卵。在16.6-29.3°C的環境溫度下, 卵約3-8天可孵出, 各卵泡的孵化時間與當時的室外溫度呈現負相關, 其孵化率約為92.3%。在19.5-29.8°C的環境溫度下, 蝌蚪從孵化到Gosner第37發育期的時間平均為36.1天, 而蝌蚪發育到Gosner第42發育期的時間平均為46.6天, 蝌蚪的變態率平均為3.3%。雌雄蛙在體型及體色上均呈現明顯的二型性, 雌性斑腿樹蛙的體型(吻肛長 7.4 ± 0.9 cm、體重 32.6 ± 9.1 g)大於雄蛙(5.0 ± 0.3 cm、 9.8 ± 3.6 g)的體型; 雌蛙體色呈暗褐色, 而雄蛙體色會隨外界飼養環境的改變而轉換, 其顏色可為黃色、淺褐色或暗褐色。依據趾骨鑑齡法判別該2隻雌蛙的年齡均為7歲, 其他5隻雄蛙的年齡在3-6歲間。此外, 文中也將斑腿樹蛙與台灣其他樹蛙的生態資料一併進行討論。

Abstract

Three males and two females of the spot-legged tree frog *Polypedates megacephalus* were collected from the Matsu islands off the coast of Mainland China in October 2007. They were kept in captivity in the laboratory for a year and their life-history was observed. The females deposited 10 clutches of foam nests at an average of 639 eggs per clutch from March to August 2008. The eggs hatched 3-8 days after the deposition at 16.6-29.3°C. The hatching periods were negative correlated to the ambient temperatures. The hatching rate was 92.3%. At 19.5-29.8°C the hatchlings took an average of 36.1 days to reach Gosner's stage 37 and 46.6 days to stage 42. The mean metamorphic rate was 3.3%. There was sexual dimorphism in size and coloration. The adult females were larger (SVL, 7.4 ± 0.9 cm; weight, 32.6 ± 9.1 g) than the adult males (5.0 ± 0.3 cm and 9.8 ± 3.6 g). The females were darkish brown in color while the male's color varied widely: yellow, light brown or darkish brown depending on the surrounding environments. According to skeletochronology, the two females examined were 7 years old and the five males were 3 to 6 years old. Also, ecological traits of *P. megacephalus* and other tree frogs in Taiwan were discussed.

關鍵詞：斑腿樹蛙、生活史、馬祖

Key words: *Polypedates megacephalus*, life history, the Matsu islands

收件日期：98年4月20日

接受日期：98年10月30日

Received: April 20, 2009

Accepted: October 30, 2009

緒 言

兩棲類的生命週期(life cycle)包含了卵、蝌蚪及成體等不同的生活階段，而各時期的成長、發育及存活比率等資料，組合成該物種生活史的基本內容，而物種的生殖行為則扮演著延續此生命週期的重要角色。在天擇的作用下，物種為了達到最高的適存度(fitness)，通常會因應環境的變化而調整其生殖型式，進而演化出較佳的生殖策略(Duellman and Trueb 1994)。

本研究的斑腿樹蛙(*Polypedates megacephalus*)為馬祖地區所發現的新紀錄種蛙類(張 2008)。

我們於 2007 年在馬祖地區的南竿島進行兩棲類動物資源普查時，發現疑似樹蛙的兩棲類，帶回台灣後經本文第四作者及其研究生鑑定確認為斑腿樹蛙。該樹蛙分布於中南半島、華南等地區，過去在台灣的中、彰、化等地區也有分布紀錄，不過據推測該族群的來源可能為近期人類活動時所引入(張 2008)，由於目前該種蛙在台灣並無進一步的研究資料，因此我們選擇進行該蛙種基本生活史之觀察與記錄。

野外物種生活史的研究通常需要對同一族群或個體進行長時間的觀察，並藉由不同時期的重複觀察與測量來增加生活史資料的正確性。由於馬祖地區目前仍屬於軍事用途區域，

山勢陡峭且林相茂密，調查人員較難深入調查，在生態學的研究上有許多的限制。短暫的觀察通常只能得到橫斷面的資料，對於族群數量較少的物種，其生活史的縱向研究，有必要以圈養的方式來進行。因此為進一步了解斑腿樹蛙各發育階段的生態資料，我們將其攜回實驗室圈養，以建立其生活史之基礎生態資料。由於生活史的研究著重在不同物種間生態參數的比較 (Begon *et al.* 1990)，所以本文也將台灣其他樹蛙科動物與斑腿樹蛙的生活史參數並列，以期能夠對該蛙種的生活史有更深入的了解。

材料與方法

一、研究地點與研究動物

馬祖地區屬亞熱帶海洋性氣候，其全年之雨量豐枯季相當明顯，每年 10 月至翌年 2 月為枯水季，而雨季集中在 4-9 月間的梅雨季及颱風季。本中心於 2007 年 10 月在馬祖南竿島 (26°10'N, 119°55'E) 進行兩棲類調查時，在山區的樹林內及其附近積水的溝渠中，發現 3 隻雄性及 2 隻雌性的斑腿樹蛙。為方便研究，我們將此 5 隻樹蛙攜回台灣本島。由於馬祖的緯度略高於台灣，氣溫較低，因此我們將這些蛙類飼養於位於本島中部海拔約 257m 的特有生物研究保育中心 (23°50'N, 120°48'E)，此區春季與夏季的溫度也較類似於馬祖地區。我們將這些樹蛙飼養於長 2m、寬 1m 及高 2m 的網狀帳棚中，棚內放入枯枝落葉堆、姑婆芋、水盆等以模擬野外棲所，並將整組帳棚放置於室外。每隔 3 日餵予蟋蟀一批約 50 隻，視其進食狀況調整餵食頻度，以確保食餌的活力及數量上的充裕。蛙類經飼養 1 年後，於 2008 年 9 月前往南竿島釋放時，再度發現 3 隻雄性斑腿樹蛙。我們將此 6 隻雄蛙及 2 隻雌蛙分別測量其吻肛長與體重，並剪下左後腳中趾趾節約 4 mm 後，隨同 2007 年所繁衍的幼蛙一併放回

原棲地。

二、成蛙性別二型性指數及年齡鑑定

由此 8 隻斑腿樹蛙的吻肛長，我們計算出該蛙體型性別二型性 (sexual size dimorphism, SSD) 指數，其計算公式為：SSD 指數 = 雌雄吻肛長差 / 雌蛙吻肛長 (參考 Gibbons and Lovich 1990)。此外，利用趾骨鑑齡法 (skeletochronology) 判定該群樹蛙的年齡結構，其操作流程如下：於野外取樣時，先將剪下的趾骨浸泡於 10% 的福馬林中固定，切片前再將趾骨置換到 5% 的硝酸中使其硬骨軟化，再經自來水清洗、中和後，進行冷凍切片。切片的部位為骨節中段，厚度為 10 μ m，組織以 Erlich's haematoxylin 染色，再經自來水清洗、褪染後，以 50% 的甘油封片封存 (參考蔡 2002)。最後，在顯微鏡下檢視骨骼切片中之成長停滯環 (line of arrested growth, LAG) 數目，以判讀該個體的年齡。

三、產卵數與卵的孵化

我們每日觀察斑腿樹蛙是否有產卵，若發現有卵泡產出則將它摘取移至小型採集盒上方，以便於將來孵化蝌蚪數量的計算。當卵泡底部逐漸液化，蝌蚪完全掉入盒內積水處後，我們將卵泡浸入水中，把未孵化卵粒洗出，並計算其數目。記錄項目包含：產卵日期、卵孵化成蝌蚪的時間、卵泡期平均氣溫、每窩卵泡的卵粒數目 (將孵出的蝌蚪數加上未能孵化的卵粒數)；卵泡的體積引用自 Seymour and Lovridge (1994) 的計算公式： $V = (2\pi/3) r^2 d$ ，其中 V 代表卵泡體積 (ml)，r 代表卵泡的半徑，其計算的方式為卵泡的長加寬除以 4，d 代表卵泡高度 (cm)。飼養期間，我們也記錄每日的最高與最低氣溫，取其平均值視為當日的氣溫，以利後續的分析之用。卵泡期的平均氣溫，則以該時期每日的氣溫再次取平均值來代表。

四、蝌蚪的發育

我們將孵化後的蝌蚪置入已鋪設 1.5 cm 底泥厚的水缸中飼養，定時置換曝氣過的自來水，以每 2 日的頻度餵予魚飼料及煮爛的菠菜。蝌蚪的發育階段參考 Gosner (1960) 對蝌蚪的分期標準，所記錄項目有：蝌蚪孵化率(孵化蝌蚪數/卵粒數目)、蝌蚪孵化後至第 37 發育期(長出後肢且 5 趾均已分開)及第 42 發育期(伸出前肢)的日數、蝌蚪發育期所經歷的平均氣溫(以該時期每日的氣溫再次取平均值來代表)，並計算蝌蚪發育至第 46 期的變態率(第 46 發育期蝌蚪數/該窩所有蝌蚪數)。

五、統計分析

各發育階段之生活史參數以其平均數 ± 1 標準偏差(standard deviation, SD)來表示，並依此計算其變異係數(coefficient of variation, CV)。斑腿樹蛙卵孵化時間與環境溫度以及蝌蚪成長時間與平均溫度的關係，則以皮耳森相關性係數(Pearson correlation coefficient)進行統計檢定，並以 $\alpha = 0.05$ 作為是否有達統計上顯著性

差異的標準。

結 果

在為期 1 年的圈養過程中，2 隻斑腿樹蛙雌蛙在 3-8 月間，共產下 10 堆卵泡。此 9 次的產卵間隔歷時約 141 天，由此推算平均每隻雌蛙約 31 天左右可再次產卵。卵泡的平均長、寬、高分別為 9.3 ± 1.9 cm、 7.6 ± 1.2 cm 及 8.8 ± 2.4 cm，經估算後平均每個卵泡體積為 335.0 ± 151.5 ml，平均每個卵泡內的卵數為 639 ± 291 顆，卵泡間卵粒數目之 CV 為 46% (表 1)，各卵泡的體積與其卵粒數並無顯著性的相關($r = 0.52$, $df = 9$, $p = 0.1249$)。除了第 10 個卵泡未受精外，其餘各批卵泡均能成功孵出蝌蚪。不同批卵泡的孵化期間，所經歷的每日溫度範圍從 16.6°C 到 29.3°C 之間，卵的平均孵化時間為 5.8 ± 1.6 天，不同批卵泡的卵孵化時間與當時平均溫度呈現顯著性負相關($r = -0.84$, $df = 8$, $p = 0.0044$)，即溫度越高卵泡中蝌蚪所需孵化的時間越短；卵的平均孵化率為 $92.3 \pm 3.6\%$ ，不同批卵泡之卵孵化率 CV 為 4% (表 2)。

表 1. 圈養中的斑腿樹蛙於 2008 年 3 月 30 日到同年 8 月 17 日間，所產出的卵泡大小與其窩卵數
Table 1. Sizes of foam nests and egg clutches of *P. megacephalus* deposited from 30 March to 17 August 2008 in captivity

Foam nests	Dates of deposition	Height (cm)	Width (cm)	Depth (cm)	Volume (ml)	Clutch sizes (Number of eggs)
# 1	30 March	8.0	6.5	11.0	302.6	944
# 2	14 April	13.0	7.0	11.0	575.7	1037
# 3	15 April	9.5	8.0	5.5	220.4	473
# 4	2 May	12.0	10.0	9.0	569.9	419
# 5	23 May	8.5	7.0	9.0	282.9	499
# 6	9 June	8.5	7.0	9.0	282.9	542
# 7	12 July	10.0	8.5	11.0	492.6	1077
# 8	20 July	7.5	6.0	9.0	214.6	707
# 9	3 August	11.0	8.5	4.3	213.9	488
# 10	17 August	5.0	7.5	9.5	194.2	204
Mean		9.3	7.6	8.8	335.0	693
SD		2.3	1.2	2.3	151.5	292
CV (%)						46

剛孵化的蝌蚪體色略淺，全長約為 0.95 cm，孵化初期蝌蚪通常靜止伏貼於飼養缸壁，一直要到腹中的卵黃消化吸收後，才開始活躍游動於飼養缸中。除第 3 批蝌蚪於飼養初期因不明原因而集體死亡外，其餘各批蝌蚪均能有個體變態成為小蛙。不同批卵泡的蝌蚪發育期間，所經歷的每日溫度範圍從 19.5°C 到 29.8°C 之間，蝌蚪平均 36 ± 3.5 天達第 37 發育期，

46 ± 3.2 天達第 42 發育期，蝌蚪變成小蛙的變態率為 $3.3 \pm 4.0\%$ ，不同卵泡間蝌蚪之變態率 CV 為 120% (表 2)。至於蝌蚪的發育時間(到達第 37 發育期或第 42 發育期)與發育期間的平均溫度(範圍從 19.5°C 到 29.8°C)，則無顯著的相關(分別為 $r = 0.06$, $df = 7$, $p = 0.8825$; $r = -0.54$, $df = 7$, $p = 0.1660$)。

表 2. 圈養中的斑腿樹蛙於 2008 年 3 月 30 日到同年 8 月 17 日間，所產出不同窩的蝌蚪孵化率、發育狀態與變態率

Table 2. Hatching rates, developmental statuses, and metamorphosis rates of egg clutches (form nests) of *P. megacephalus* deposited from 30 March to 17 August 2008 in captivity

Foam nests	Hatching days	Hatching rate (%)	Tadpoles to Gosner's 37 (day)	Tadpoles to Gosner's 42 (day)	Metamorphosis rate (%)
# 1	8	92.6	32	49	1.7
# 2	7	95.0	38	44	5.0
# 3	6	90.0	-	-	-
# 4	7	92.4	30	40	12.2
# 5	6	94.4	37	48	4.9
# 6	6	84.1	36	46	1.5
# 7	5	95.0	37	48	0.3
# 8	3	95.5	38	48	0.3
# 9	4	91.8	41	50	0.5
# 10	-	-	-	-	-
Mean	5.8	92.3	36.1	46.6	3.3
SD	1.6	3.6	3.5	3.2	4.0
CV (%)		4			120

在所調查到的 8 隻斑腿樹蛙中，雄蛙(n = 6)平均吻肛長為 5.0 ± 0.3 cm，平均體重為 9.8 ± 3.6 g，若以 1 個成長停滯環代表 1 年的話，雄蛙平均年齡為 4.3 ± 1.0 歲，範圍由 3-6 歲(圖 1)；雌蛙(n = 2)平均吻肛長為 7.4 ± 0.9 cm、平均體重為 32.6 ± 9.1 g、年齡均為 7 歲(表 3)。以吻肛長所計算之性別二型性指數為 0.32，雌蛙體型明顯較雄蛙大。除此之外，雌雄蛙也有明顯的體色二型性(圖 2)，雌蛙體色呈暗褐色，而雄蛙體色會隨外界飼養環境的改變而轉換，其顏色可為黃色、淺褐色或暗褐色。

討 論

物種的生殖、成長、發育、壽命與體型的大小等元素，是生活史研究中重要的探討議題(Begon *et al.* 1990)。動物的生殖力(reproductive value)代表著生育力(fecundity)與存活力(survivorship)的總和(Williams 1966)。生育力是指當時的生殖產出，例如當季的產卵次數、產卵間隔或窩卵數等；存活力是指能持續貢獻於族群數量上的參數，例如各階段的存活率、一生中可參與生殖的次數等。本研究在為期 1 年

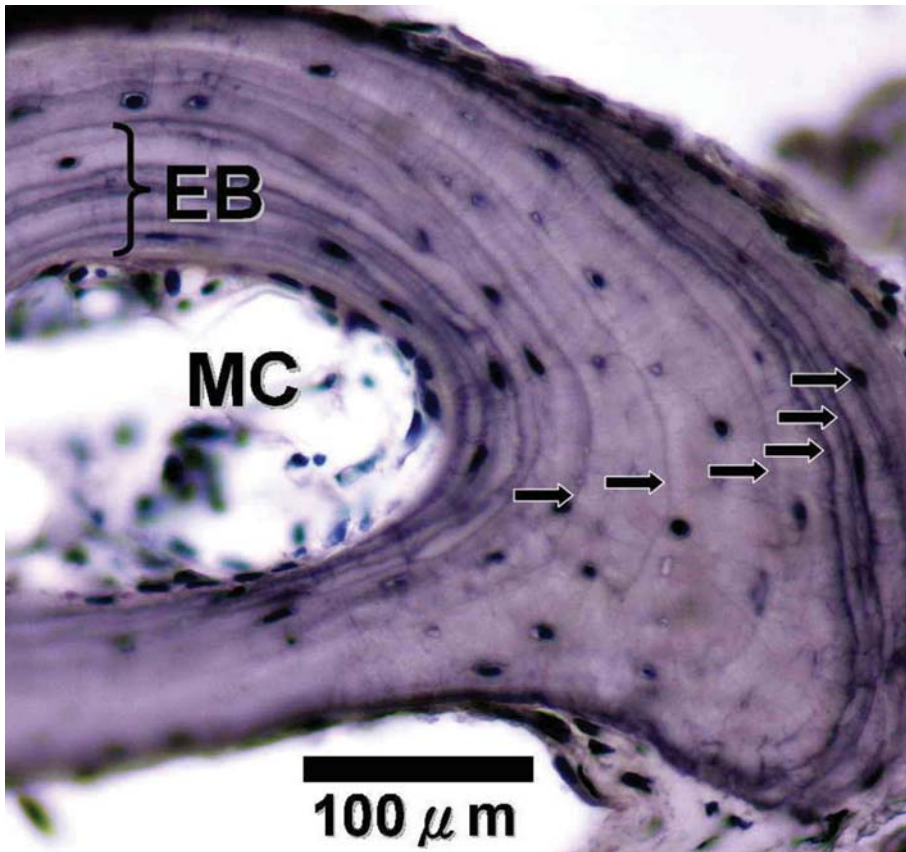


圖 1. 以蘇木紫染色的雄性斑腿樹蛙趾骨切片。水平箭頭表示成長停滯線；MC代表髓腔；EB代表內骨骼。

Fig. 1. A phalangeal cross-section of male *P. megacephalus* (horizontal arrows, lines of arrested growth; MC, marrow cavity; EB, endosteal bone).

表 3. 不同性別之斑腿樹蛙的年齡結構與其體型大小

Table 3. Sexual differences in age structures and body sizes of *P. megacephalus*

Individuals	Snout-vent length (cm)	Body weight (g)	Age (year)	Sex
# 1	5.0	7.5	4	♂
# 2	4.5	5.5	3	♂
# 3	5.5	8.0	5	♂
# 4	5.2	15.8	4	♂
# 5	5.1	11.2	6	♂
# 6	4.9	10.6	4	♂
# 7	8.0	39.0	7	♀
# 8	6.8	26.2	7	♀



圖 2. 斑腿樹蛙體型及體色二型性。

Fig. 2. Sexual dimorphism in size and coloration of *P. megacephalus*.

的圈養中發現，斑腿樹蛙在食物充足的情況下，每隻雌蛙平均產卵頻度可達 5 次，並在產後約 30 天左右即可補充成熟的卵粒並再次進行生殖。相較於 5 種台灣樹蛙科動物繁殖期間產卵現象的研究結果 (表 4)，台灣樹蛙科動物 1 年內的產卵次數約 1-5 次，其間隔約 30-109 天，產卵數約 76-639 個卵 (張 1989；Ueda 1986；莊 1988；陳 1992；溫 2001)。其中斑腿樹蛙的平均產卵間隔最短，但產卵次數與卵泡中的卵粒數目卻最多。在這些比較的研究中，Ueda (1986) 的報告與本研究是在實驗室中進行，而其他的研究則來自野外的調查，由於野外的調查頻度無法如圈養狀況下每天觀察，其結果可能會低估物種的生殖次數 (或高估其產卵間隔)。因此本次的觀察僅代表著在給予充足的食物下，斑腿樹蛙所具備的生育力潛能。至於存活力方面，我們比較了斑腿樹蛙卵的孵化率與蝌蚪的變態率，實驗室發現卵的孵化率

高達 92%，而各卵泡間的孵化率變異係數僅 4%，顯示各卵泡的孵化過程均能順利將蛙卵大量地轉變為蝌蚪。在蝌蚪的變態率方面，雖然蝌蚪的平均變態率僅 3.3%，但由於該蛙卵數多，孵化率高，因此雖然變態率較低，但最後每窩卵泡變態為小蛙的平均數目也約有 20 隻。此外由於各批蝌蚪間的變態率 CV 達 120%，若能找出影響蝌蚪成功變態的因素，將可提高該物種的存活力。另由趾骨切片得知 2 隻雌性斑腿樹蛙已達 7 歲，且尚具有生殖能力，此存活力的表現因其較長的壽命可能對於族群數量會有較持續性的貢獻。

位於熱帶或亞熱帶的無尾目兩棲類其生殖週期通常較長且連續，野外或圈養的個體均有多次產卵的現象 (Duellman and Trueb 1994)。該生殖策略與物種本身的特質或環境間的交互作用有關 (Begon *et al.* 1990)。一般而言，雌蛙卵成熟所需要的能量，主要由產卵前體內所儲

存的脂肪體或後續的攝食所供應(Wells 1976)。雌蛙的營養狀態直接影響到其卵的形成(Holland and Dumont 1975)與卵的數量多寡(Duellman and Trueb 1994)；由於斑腿樹蛙雌蛙體型較雄蛙大，其發育過程中需要吸收更多的能量，以提供成長或生殖所需。由於本研究提供了充足的食物，使得該 2 隻雌蛙與 3 隻雄蛙有能力在繁殖期間接續產出 10 堆卵泡。在產卵的時機上，雖然我們沒有測量所有環境因子，但觀察

發現斑腿樹蛙產卵的行為多發生在雨後。具有多次生殖的物種，通常會保持體內有充足的卵粒，以待環境適合時，馬上進行生殖活動(Begon *et al.* 1990)。研究顯示斑腿樹蛙卵巢中卵子的成熟並不同步，推測 1 年中應有多次產卵的潛能(蔡 1979)。因此，充足的食物補充，配合潮濕且雨後的積水環境，可能是本研究之斑腿樹蛙能有多次生殖的重要原因。

表 4. 台灣 5 種樹蛙的生殖次數、產卵間隔與其窩卵數之比較，括弧內為樣本數

Table 4. A comparison of egg deposition frequencies, deposition intervals, and clutch sizes of five tree frogs of Taiwan (sample sizes in parentheses)

Species	Clutch deposition frequencies	Clutch deposition intervals	Clutch sizes	References
	number per year	days	eggs	
<i>Polypedates megacephalus</i>	5 (2)	30 (8)	639 (10)	This study
<i>Polypedates</i> sp.*	2 (16), 3 (2)	32 (20)	349 (25)	張 1989
<i>Kurixalus eiffingeri</i>	1 (1), 2 (1), 3 (1), 5 (4)	60 (5)	76 (28)	Ueda 1986 ; 莊 1988
<i>Rhacophorus prasinatus</i>	2 (4), 3 (1)	95 (6)	419 (49)	陳 1992
<i>Rhacophorus moltrechti</i>	1 (most cases), 2 (1)	109 (1)	175 (45)	溫 2001

* Previously designated as *Polypedates megacephalus* (see 張 2008)。

許多研究顯示窩卵數與雌蛙的體型呈現正相關，但與雄蛙體型較無關(Gunzburger 2005)；在同一生殖模式下，兩棲類的體型與其卵數呈現正相關(Duellman and Trueb 1994)。因此我們重新整理並計算 9 種台灣產樹蛙雌雄 SSD 指數與其窩卵數的關係(表 5)，結果發現本研究之斑腿樹蛙 SSD 指數與其窩卵數均較其他樹蛙較高，顯示雌性斑腿樹蛙體型比雄蛙大很多，且雌蛙體內具有比其他樹蛙更多的卵粒。台灣產樹蛙的 SSD 指數與其窩卵數間呈顯著性的正相關($r = 0.76$, $df = 8$, $p = 0.0166$)，表示台灣的樹蛙雌雄體型差異越大者，其所產的卵數也較多。但由於本研究之斑腿樹蛙雌蛙樣本僅 2 隻，有待未來增加更多的樣本數以提高

此相關性的證據力。

馬祖地區由於地幅小、地勢落差大，雨水容易流失，少有天然的水池或溪流，故當地居民建築了許多零散的小水庫或蓄水池以儲水，再加上因軍事用途所挖掘的積水溝渠或設施，提供了許多兩棲類活動及繁殖的場所，但由於地處戰地前線，人口出入控管嚴格，管制禁入區域也多，不易深入進行生態調查與研究，因此我們將斑腿樹蛙攜回圈養觀察，建立圈養狀況下的生活史基本資料，以利將來進一步研究或保育活動時之參考。由於本研究的取材來自當地少數斑腿樹蛙的成體，尚未在野外發現其卵泡或蝌蚪，因此該樹蛙野外生活史應是未來需加強的研究方向。

表 5. 台灣的樹蛙體型二型性指數與其窩卵數間的關係

Table 5. Sexual size dimorphism and egg clutch sizes of the tree frogs of Taiwan (sample sizes in parentheses)

Species	♂ SVL	♀ SVL	SSD	Clutch sizes	References
	cm	cm	index	eggs	
<i>Polypedates megacephalus</i>	5.0	7.4	0.32	639 (10)	This study
<i>Rhacophorus arvalis</i>	4.4	6.3	0.30	376 (8)	林 1999
<i>Kurixalus idiootocus</i>	3.1	4.2	0.26	179 (26)	張 1989
<i>Rhacophorus prasinatus</i>	5.6	7.2	0.22	419 (49)	陳 1992
<i>Polypedates</i> sp.*	5.5	7.0	0.21	349 (25)	張 1989
<i>Rhacophorus taipeianus</i>	4.1	5.0	0.18	350 (21)	楊 1987
<i>Rhacophorus moltrechti</i>	4.5	5.3	0.15	175 (45)	溫 2001
<i>Rhacophorus aurantiventris</i>	5.6	6.6	0.15	22 (52)	李 2002
<i>Kurixalus eiffingeri</i>	3.3	3.6	0.08	76 (28)	Ueda 1986 ; 莊 1988

* Previously designated as *Polypedates megacephalus* (張 2008)。

引用文獻

- 李文傑。2002。橙腹樹蛙生殖行為及生態學之研究。國立台灣師範大學生物研究所碩士論文。
- 林春富。1999。諸羅樹蛙之生態學及繁殖行為研究。特有生物保育研討會。特有生物研究保育中心。
- 莊國碩。1988。艾氏樹蛙生殖生物學之研究。國立台灣師範大學生物研究所碩士論文。
- 張天祐。2008。台灣區內白領樹蛙複合種群 (*Polypedates leucomystax* species complex) 族群遺傳結構與分類地位之探討。國立台灣師範大學生命科學研究所碩士論文。
- 張淑美。1989。白領樹蛙生殖行為之研究。國立台灣大學動物研究所碩士論文。
- 張耀文。1989。面天樹蛙生殖行為之研究。國立台灣大學動物研究所碩士論文。
- 陳賜隆。1992。翡翠樹蛙 (*Rhacophorus smaragdinus*) 生殖行為及生態學之研究。國立台灣師範大學生物學系碩士論文。
- 楊懿如。1987。台北樹蛙生殖行為之研究。國立台灣大學動物研究所碩士論文。
- 溫華霞。2001。太魯閣國家公園布洛灣地區莫氏樹蛙 (*Rhacophorus moltrechti*) 生殖生態學研究。國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文。
- 蔡明章。1979。32 種福建兩棲類繁殖習性的觀察。福建師大學報(自然科學版) 1: 71-75。
- 蔡雅芬。2002。古氏赤蛙體型性別二型性之研究。私立東海大學生物系碩士論文。
- Begon, M., J. L. Haper and C. R. Townsend. 1990. Ecology: Individuals, populations and communities. Blackwell Scientific Publications, London.
- Duellman, W. E. and L. Trueb. 1994. Biology of amphibians. The Johns Hopkins University Press. Maryland.
- Gibbons, J. W. and J. E. Lovich. 1990. Sexual dimorphism in turtles with emphasis on the slider turtle (*Trachemys scripta*). Herpetological Monographs 4: 1-29.
- Gosner, K. L. 1960. A simplified table for staging anuran embryos and larvae with notes on

- identification. *Herpetologica* 18: 183-190.
- Gunzburger, M. S. 2005. Reproductive ecology of the green treefrog (*Hyla cinerea*) in North-western Florida. *American Midland Naturalist* 155: 321-328.
- Holland, C. A. and J. N. Dumont. 1975. Oogenesis in *Xenopus laevis* (Daudin). IV. Effects of gonadotropin, estrogen and starvation on endocytosis in developing oocytes. *Cell and Tissue Research* 162: 177-184.
- Seymour, R. S. and J. P. Loveridge. 1994. Embryonic and larval respiration in the arboreal foam nests of the African frog *Chiromantis xerampelina*. *Journal of Experimental Biology* 197: 31-46.
- Ueda, H. 1986. Reproduction of *Chirixalus eiffingeri* (Boettger). *Scientific Reports of Laboratory of Amphibian Biology, Hiroshima University* 8: 109-116.
- Wells, K. D. 1976. Multiple egg clutches in the green frog (*Rana clamitans*). *Herpetologica* 32(1): 85-87.
- Williams, G. C. 1966. *Adaptation and natural selection*. Princeton University Press. New Jersey.

富營養珊瑚礁中觀生態池內氮的收支模式

Nitrogen Budgets in Nutrient Enriched Coral Reef Mesocosms

林蔚任* 鍾佳芸* 林幸助*

Wei-Jen Lin*, Chia-Yun Chung* and Hsing-Juh Lin*

國立中興大學生命科學系 台中市國光路 250 號

Department of Life Sciences, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan

* 通訊作者: hjlin@dragon.nchu.edu.tw

* Corresponding author: hjlin@dragon.nchu.edu.tw

摘要

人類行為產生的廢水排放流入海洋，常導致海水中含有大量的營養鹽，形成沿岸優養化，造成藻類優勢。本研究整合珊瑚礁中觀生態池模擬台灣墾丁南灣海域優養化的實驗數據，並回顧前人對於各種藻類吸收營養鹽的研究，計算在富營養的環境下，珊瑚礁生態系統對於氮元素(N)的收支模式，並比較中觀生態池中主要物種在第 1 天及第 75 天氮的吸收與儲存量。結果顯示中觀生態池無人為添加營養鹽的控制組有 40-46% N 被綠藻吸收，有 15% N 被珊瑚吸收；營養鹽添加組中雖僅有 2-20% N 被綠藻吸收，但只有 0.37% N 被珊瑚吸收。海葵和浮游藻類無論是在控制組或是營養鹽添加組中吸收量都 < 1% N。實驗 75 天後在生物量的表現上，控制組中珊瑚生物量上升了 8%，但綠藻下降了 7%；在營養鹽添加組中珊瑚生物量下降了 66%，綠藻則上升了 67%。本研究顯示在富營養的珊瑚礁環境下，綠藻是主要吸收添加 N 的物種，且會累積在其生物量上而造成藻類優勢。

* 林蔚任與鍾佳芸對本文的貢獻程度相同。

* Wei-Jen Lin and Chia-Yun Chung contributed equally to this paper.

Abstract

Waste water produced by human activities causes nutrient enrichment in the coastal zone, resulting in algal bloom by stimulating the growth of macroalgae. We used the results of a nutrient enrichment experiment of coral reef mesocosms, of which coral reefs were from the Nanwan Bay of the southern Taiwan. Nitrogen budgets were calculated and responses of the major biotic components to the nutrient enrichment were compared. Results showed that in the controlled mesocosms, N uptakes were 40-46% by green algae and 15% by corals without obvious difference between the 1st day and the 75th day of the experiment. On the 75th days of the experiment, the coral biomass increased 8% but green algae decreased 7% in the controls, while the coral biomass decreased 66% but green algae increased 67% in the enriched mesocosms. The N uptakes by sea anemones and phytoplankton were negligible in both controlled and enriched mesocosms. The results demonstrated that green algae up took most of the added N and accumulated it in its biomass in the nutrient enriched condition.

關鍵詞：氮吸收、珊瑚、綠藻、海葵、生物量

Key words: nitrogen uptake, corals, green algae, sea anemone, biomass

收件日期：98年10月22日

接受日期：99年1月18日

Received: October 22, 2009

Accepted: January 18, 2010

緒 言

人類在陸地上各種農業活動及日常生活造成的廢水，排放至海洋後，使沿海營養鹽濃度升高，造成水質受到汙染，引起藻華，常讓棲息的生物缺氧死亡，因此沿岸優養化已成爲全球性的問題(Anderson *et al.* 2002)。在珊瑚礁生態系，優養化會使珊瑚優勢的狀況發生改變，除了讓藻類大量繁殖，還使珊瑚的覆蓋度減少，生態系發生相變(Liu *et al.* 2009)。

近年來人類活動例如農業、都市化及觀光，都顯著的增加了人爲營養鹽對河口及沿海的輸入(Maestrini *et al.* 1999)。Anderson *et al.*

(2002)認爲海水營養鹽的濃度和綠藻的數量是呈現正向的關係。當營養鹽濃度越高時，綠藻生長的速率也越快(Littler *et al.* 2006)，生物量也越大(McClanahan *et al.* 2007)。當環境中可利用的營養鹽變多時，藻類會爲了生長空間或光源與珊瑚競爭(McCook *et al.* 2001)。若藻類與珊瑚接觸，就會影響珊瑚光合作用的速率，使珊瑚礁生態系相變爲藻類優勢的環境。除此之外，數量大增的藻類也有可能聚集在珊瑚表面，使珊瑚缺氧而死亡(Tomas 1991; McCook *et al.* 2001)。

優養化環境下，浮游藻類在生長的過程會同時消耗氮和磷(Ryther and Dunstan 1971)。氮

(N)和磷(P)是2個影響優養化最重要的元素，尤其是N對初級生產力的影響最大(Anderson *et al.* 2002)。N對控制綠藻(Maestrini *et al.* 1999)或浮游藻類(Ignatiades and Moschopoulou 1988)的生長都很重要。

爲了要了解優養化珊瑚礁生態系中的營養如何被生物利用，我們以N爲食物網流通元素，並以模擬墾丁珊瑚礁生態系統的中觀生態池所獲結果(Liu *et al.* 2009)爲基礎，從相關文獻中尋找各種珊瑚礁生物吸收與排出N的速率，建構N的收支模式，並比較在營養鹽添加組及無添加人爲營養鹽的控制組環境下，各種珊瑚礁生物的生物量及吸收與儲存N的差異。

材料與方法

一、中觀生態池

中觀生態池設置於國立海洋生物博物館(National Museum of Marine Biology and Aquarium, NMMBA)內，爲長3m、寬2m的橢圓水缸，體積約爲5.14 m³(圖1)，共有6個。爲模擬墾丁南灣陸源營養鹽(Lin *et al.* 2007)的輸入對珊瑚礁生態系的影響，隨機選定3個每天添加5.5 mmol m⁻²d⁻¹的NO₃⁻及0.48 mmol m⁻²d⁻¹的PO₄³⁻(營養鹽添加組)，其餘3個則不添加營養鹽作對照(控制組)。爲模擬南灣水體置換率，每日水體置換率爲10%。水溫維持約25°C，用以模擬南灣海域春季的平均海水溫度。每日光照10 hr，黑暗14 hr。



圖1. 設於國立海洋生物博物館內的中觀生態池。

Fig. 1. Mesocosms in the National Museum of Marine Biology and Aquarium, southern Taiwan.

經過測量，在控制組的中觀生態池內，每天皆因為水體交換而有 $0.13 \text{ mmol m}^{-2}\text{d}^{-1}$ 的 $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ 進入系統內(Liu *et al.* 2009)。第 1 天系統內 $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ 的濃度為 $1.44 \mu\text{m}$ ，且 N 的總吸收量為 9.58 mg ；第 75 天系統內 $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ 的濃度為 $2.37 \mu\text{m}$ ，且 N 的總吸收量為 17.64 mg 。在營養鹽添加組的中觀生態池內，第 1 天系統內 $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ 的濃度為 $4.51 \mu\text{m}$ ，且 N 的總吸收量為 112.39 mg ；第 75 天系統內 $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ 為 $3.89 \mu\text{m}$ ，且 N 的總吸收量為 89.21 mg 。

中觀生態池內有美麗軸孔珊瑚(*Acropora muricata*)及其他數種珊瑚、松藻(*Codium edule*)及其他大型藻類、海葵、雀鯛、海參、海膽、砗磲貝等海洋生物(Liu *et al.* 2009)。因考慮異營生物不會直接吸收水中的 N，又本實驗期間大型藻類中僅有綠藻會因營養鹽增加而有大量生長的現象，故本研究中只著重於珊瑚、綠藻、海葵及浮游藻類等自營生物之 N 吸收與排出等收支計算。

二、N 吸收排放速率

(一) 珊瑚和海葵

珊瑚體內共生藻(zooxanthellae)會吸收水中的 N 提供珊瑚及本身生長所需能量。珊瑚表面平均每 1 cm^2 有 10^6 個共生藻(Drew 1972)，且共生藻對 N 營養鹽的吸收速率為 $48 \text{ fmol N d}^{-1} \text{ zoox}^{-1}$ (Grover *et al.* 2003)。珊瑚的 N 代謝物則假設會被共生藻全部吸收，所以珊瑚的 N 排放量定為 0。

海葵亦具有共生藻，與珊瑚的情況類似，因此我們也利用共生藻對 N 營養鹽的吸收速率，來算出海葵吸收 N 的量，而 N 排放量同樣定為 0。

(二) 綠藻

藻類吸收 N 營養鹽的速率會因為環境中存在有營養鹽濃度的高低而影響吸收速率的快慢，且速率會以 Michaelis-Menten model 呈現(Duke *et al.* 1989)，而 Michaelis-Menten model 則是

以 V_{max} 和 K_s 兩個參數計算而成。在本研究中，尋找文獻中對於類似物種所測定的 V_{max} 和 K_s ，再以中觀生態池內測到 N 營養鹽的濃度，計算出各物種對於 N 營養鹽的吸收速率。

本研究中松藻的 N 吸收速率計算選用的是同屬藻類(*C. fragile*)的 V_{max} 與 K_s ，分別為 $9.58 \mu\text{mol g dw}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 與 $7.65 \mu\text{m}$ (Hanisak and Harlin 1978)，其中 g dw 為生物乾重。

粗硬毛藻(*Chaetomorpha crassa*)的吸收速率計算則使用同屬藻類(*C. linum*)的 V_{max} 和 K_s 參數，兩個參數各為 $30 \mu\text{mol g dw}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 及 $3 \mu\text{m}$ (Pedersen and Borum 1997)。

網石蓴(*Ulva reticulata*)的吸收速率計算使用同屬藻類(*U. lactuca*)的 V_{max} 和 K_s 參數， V_{max} 為 $116 \mu\text{mol g dw}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ， K_s 為 $34 \mu\text{m}$ (Runcie *et al.* 2003)。

直立絨扇藻(*Avrainvillea erecta*)及總狀蕨藻(*Caulerpa racemosa*)因在文獻中沒有找到同屬藻類的 V_{max} 和 K_s 參數，於是尋找外形相近的綠藻，借用其 V_{max} 和 K_s 兩個參數來使用。本研究中使用 *C. fragile* 的參數來代替直立絨扇藻和總狀蕨藻的參數。

為計算綠藻排放 N 營養鹽的速率，依據 Naldi and Wheeler (2002) 測定網石蓴(*U. reticulata*)的同屬藻類(*U. fenestrata*)得知其排放速率約為吸收速率的 13%。其他 4 種綠藻則因沒有找到文獻中對於 N 排放速率的研究，所以在本研究中假設其他 4 種綠藻的 N 排放速率為 N 吸收速率的 20%。

(三) 浮游藻類

浮游藻類吸收 N 的速率通常也是以 Michaelis-Menten model 呈現。從前人的研究中可以得到浮游藻類 V_{max} 和 K_s 的測定， V_{max} 為 $0.0163 \mu\text{mol g dw}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ， K_s 則為 $0.16 \mu\text{m}$ (Shiomoto *et al.* 1994)。

浮游藻類 N 營養鹽排出的量，經 Collos (1998) 測定，在 N 營養鹽的總吸收量中會有 63% 又被排出。

(四) 其他環境因素

光照是影響藻類生長的一個因素。以蕨藻屬(*Caulerpa*)而言，光的可利用性是蕨藻生長與散布的主要控制因子(Burfeind and Udy 2009)。因此在本研究中計算N營養鹽的吸收量時，加入每天光照與黑暗時間比計算，但本研究假設N營養鹽排放時並不受光照影響。

三、N 收支模式計算

在生物量的計算，藻類可以直接測量重量而得到生物量；珊瑚則是取數塊樣本，算出樣本表面積與重量的平均比，進而估算出珊瑚整體的重量。均質珊瑚組織後，在顯微鏡下計數共生藻細胞數，計算出N吸收速率，而其重量可和藻類一起計算生物量的百分比。

藻類的N吸收速率是利用 Michaelis-Menten model 來計算，如公式(1)：

$$N \text{ uptake rate} = \frac{V_{max} \times S}{K_s + S} \quad (1)$$

V_{max} 為該物種對 N 的最大吸收速率，單位為 $\mu\text{mol g dw}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ， K_s 為 Michaelis-Menten 係數，單位為 μm ， S 為環境中 N 營養鹽的濃度，單位為 μm 。計算出來的 N 吸收速率單位則為 $\text{mg N g dw}^{-1} \text{ d}^{-1}$ 。其中為了配合與生物濕重(g ww)同單位，將單位中乾重換算為濕重而成 $\text{mg N g ww}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ，藻類乾濕重換算如公式(2)：

$$1 \text{g dry weight} = 5.71 \text{g wet weight} \quad (2)$$

藻類的 N 排放速率計算，如公式(3)：

$$N \text{ release rate} = N \text{ uptake rate} \times P \quad (3)$$

P 為 N 排放速率占吸收速率的百分比，以網石蓴為例，則為 13%。

N 的吸收量與排放量是利用公式(4)計算：

$$N \text{ uptake} = B \times N \text{ uptake rate} \times L \quad (4)$$

其中 B 為物種生物量，單位為 g ww，L 為光照黑暗時間比。在計算 N 吸收量時為 0.4167 ($= \frac{10}{24}$)，而計算 N 排放量時則不乘 L。

計算 N 的淨吸收量則是將 N 吸收量扣除 N 排出量，如公式(5)：

$$\text{net N uptake} = N \text{ uptake} - N \text{ release} \quad (5)$$

四、吸收速率修正

在營養鹽添加組第 75 天時，發現由於水體內含有充足的 N 營養鹽，使得松藻生物量大量增加，形態則呈現表面緊密無縫的球形。推估松藻僅利用球形表面積吸收 N 營養鹽，球形內部因表面緊密而無法有水體交換，因此沒有 N 營養鹽的吸收，故原以生物量的計算方式會高估松藻的 N 吸收量。本研究則利用球體體積與表面積的比值，如公式(6)，修正松藻的 N 吸收量。

$$\frac{V}{A} = \frac{\frac{4}{3} \pi r^3}{4 \pi r^2} = \frac{r}{3} \quad (6)$$

其中以 V、A 及 r 分別代表松藻形成之球體體積、表面積及半徑。

結 果

在控制組第 1 天，中觀生態池水體因置換水帶入系統內的 N 營養鹽有 55.36% 被生物吸收，其中綠藻吸收 40.35%，比珊瑚多了約 25%，海葵也吸收了 0.32% (表 1)。到了第 75 天 N 營養鹽的生物吸收提高到 61.20%，雖然其中的松藻和總狀蕨藻已經幾乎消失，但綠藻的吸收仍有 46.34%，比珊瑚多了約 31%，海葵的吸收量為 0.18% (表 2)。不過浮游藻類的 N 營養鹽吸收量皆低於 0.01%，和其他生物相比仍屬微量。

不論是第 1 天或第 75 天，都有約 40% 的 N 營養鹽累積在中觀生態池內未被利用。

在控制組第 1 天，珊瑚生物量占全部的 85.39%，綠藻占 12.43% (表 1)；在第 75 天時，珊瑚增加至 93.10%，而綠藻減少為 5.53% (表 2)。

在營養鹽添加組的環境下，第1天水體交換和人為加入系統內的N營養鹽有0.37%被珊瑚吸收，2.93%被綠藻吸收(表3)。到第75天時，珊瑚的吸收量下降到0.23%，綠藻的吸收量卻大幅上升到20.44%(表4)。在營養鹽添加組中的浮游藻類和華美中海葵(*Mesactinia genesis*)，N營養鹽的吸收量都很微量，低於0.01%。第1天有約96%的N營養鹽留在中觀生態池的水體內，第75天則有約80%的N營養鹽沒有被生物利用。

在營養鹽添加組的第1天，珊瑚的生物量占全部的86.91%，綠藻占11.16%(表3)，但在第75天，綠藻的生物量比例提高至78.52%，而珊瑚減少至20.91%(表4)。

討 論

中觀生態池中N營養鹽會影響各種藻類的生長或死亡。在控制組維持低營養鹽濃度的環境下，隨著時間到第75天，發現松藻和總狀蕨藻2種大型藻類幾乎消失。本研究結果，支持蕨藻屬藻類在低營養鹽環境時，光合作用效率下降，導致無法生存而死亡(Malta *et al.* 2005)。一般而言，大型藻類會累積超過本身所需的營養鹽於細胞內，以供外界缺乏營養鹽時細胞代謝生長所需。在控制組，藻類會逐漸消耗累積的養分，當累積的養分不足時即會開始內耗，使個體越來越小(Fujita *et al.* 1989)。我們推測松藻生物量減少消失原因亦同。

另一方面，若將控制組的營養鹽組成與營養鹽添加組作比較(Liu *et al.* 2009)，營養鹽添加組還有 PO_4^{3-} 的添加。控制組中 PO_4^{3-} 的濃度卻維持在營養鹽添加組的1/20，明顯低於一般珊瑚礁海域的 PO_4^{3-} 濃度($< 0.3 \mu\text{m}$)，故推測松藻也可能因P限制而無法生存。

在營養鹽添加組中，由於穩定的供給營養鹽，我們發現藻類有明顯的成長。網石蓴的生

物量增加最多，足足增加了50多倍，而直立絨扇藻雖然體型增加最少，但也增加了3倍之多。Fujita *et al.* (1989)的實驗也發現在高營養鹽的環境下，藻類能快速生長。經過比較，浮游藻類對N的吸收量遠低於大型綠藻對N的吸收，而且因為每天有10%的海水置換率，故在生物量的增加幅度遠低於綠藻。

珊瑚對N的吸收量，在實驗進行過程中並沒有改變。由於珊瑚與共生藻互利共生，共生藻的光合作用產物不只可以提供自己所需的養分，也可以供給珊瑚作為呼吸、生長和繁殖所需，而珊瑚的代謝廢物也可提供共生藻合成再利用(Burris 1984; Roopin and Chadwick 2009)，養分自給自足，且珊瑚生長速率緩慢，因此珊瑚的生物量沒有太大的差別。但由於美麗軸孔珊瑚因松藻的覆蓋而導致部分死亡(Liu *et al.* 2009)，使得在營養鹽添加組第75天時，珊瑚整體對N的吸收量下降。

由生物量來看，可以發現控制組從第1天到第75天都沒有太大的改變，珊瑚的生物量占全部的85%以上，顯示珊瑚在低營養鹽濃度的環境下是較有優勢(圖2)。但在營養鹽添加組，可以發現在第1天，珊瑚生物量占全部的87%，但在第75天時，卻下降為21%，反而藻類的生物量由11%提升至79%(圖2)。由這個現象，可以推知在富營養鹽的環境，不利珊瑚的成長，卻能助長藻類的繁殖，轉化為藻類優勢。

從本研究可以得知在富營養珊瑚礁環境中，各主要物種利用N的百分比。雖然僅以前人研究的數據計算本研究的結果，但本研究建立的富營養珊瑚礁中觀生態池N的收支模式(圖3、圖4)，可運用作為墾丁海域珊瑚礁生態系統的經營策略，或可利用藻類做為水質污染的指標，甚至可利用藻類迅速吸收N營養鹽的特性，作為人為廢水排入海洋前的處理方法。

表 1. 控制組中觀生態池中第 1 天各主要物種平均生物量(g ww/tank)及對 N 的平均吸收與排放量 (mg/tank)

Table 1. Mean biomass (g ww/tank), and N uptakes and releases (mg/tank) of major biotic components in the controlled mesocosms on the 1st day of the experiment

Species	Biomass (%)	Nitrogen		
		Uptakes	Releases	Net uptakes (%)
Corals				
<i>Acropora muricata</i>	547 (29.84)	0.480	0.000	0.480 (5.13)
<i>Fungia</i> spp.	288 (15.70)	0.252	0.000	0.252 (2.70)
<i>Heliopora coerulea</i>	254 (13.87)	0.223	0.000	0.223 (2.38)
<i>Porites</i> sp.	476 (25.97)	0.417	0.000	0.417 (4.46)
Sea anemone				
<i>Mesactinia genesis</i>	40 (2.18)	0.030	0.000	0.030 (0.32)
Chlorophyta				
<i>Codium edule</i>	126 (6.87)	2.940	1.411	1.529 (16.34)
<i>Avrainvillea erecta</i>	76 (4.14)	1.766	0.847	0.919 (9.82)
<i>Caulerpa racemosa</i>	11 (0.60)	0.254	0.122	0.132 (1.41)
<i>Chaetomorpha crassa</i>	12 (0.65)	1.779	0.854	0.925 (9.89)
<i>Ulva reticulata</i>	3 (0.16)	0.392	0.122	0.270 (2.89)
Phytoplankton	2.53×10^{-4}	9.11×10^{-8}	5.72×10^{-8}	3.37×10^{-8} (0.01)

表 2. 控制組中觀生態池中第 75 天各主要物種平均生物量(g ww/tank)及對 N 的平均吸收與排放量 (mg/tank)

Table 2. Mean biomass (g ww/tank), and N uptakes and releases (mg/tank) of major biotic components in the controlled mesocosms on the 75th day of the experiment

Species	Biomass (%)	Nitrogen		
		Uptakes	Releases	Net uptakes (%)
Corals				
<i>Acropora muricata</i>	547 (32.54)	0.480	0.000	0.480 (5.13)
<i>Fungia</i> spp.	288 (17.12)	0.252	0.000	0.252 (2.70)
<i>Heliopora coerulea</i>	254 (15.13)	0.223	0.000	0.223 (2.38)
<i>Porites</i> sp.	476 (28.32)	0.417	0.000	0.417 (4.46)
Sea anemone				
<i>Mesactinia genesis</i>	23 (1.37)	0.017	0.000	0.017 (0.18)
Chlorophyta				
<i>Codium edule</i>	0 (0.00)	0.000	0.000	0.000 (0.00)
<i>Avrainvillea erecta</i>	63 (3.75)	2.172	1.043	1.129 (12.07)
<i>Caulerpa racemosa</i>	0 (0.00)	0.000	0.000	0.000 (0.00)
<i>Chaetomorpha crassa</i>	25 (1.49)	5.036	2.417	2.619 (28.00)
<i>Ulva reticulata</i>	5 (0.30)	0.853	0.266	0.587 (6.27)
Phytoplankton	5.43×10^{-4}	2.03×10^{-7}	1.28×10^{-7}	0.75×10^{-7} (0.01)

表 3. 營養鹽添加組中觀生態池中第 1 天各主要物種平均生物量(g ww/tank)及對 N 的平均吸收與排放量(mg/tank)

Table 3. Mean biomass (g ww/tank), and N uptakes and releases (mg/tank) of major biotic components in the enriched mesocosms on the 1st day of the experiment

Species	Biomass (%)	Nitrogen		
		Uptakes	Releases	Net uptakes (%)
Corals				
<i>Acropora muricata</i>	657 (33.36)	0.576	0.000	0.576 (0.14)
<i>Fungia</i> spp.	361 (18.33)	0.317	0.000	0.317 (0.08)
<i>Heliopora coerulea</i>	254 (12.91)	0.223	0.000	0.223 (0.05)
<i>Porites</i> sp.	440 (22.31)	0.385	0.000	0.385 (0.09)
Sea anemone				
<i>Mesactinia genesis</i>	38 (1.93)	0.059	0.000	0.059 (0.01)
Chlorophyta				
<i>Codium edule</i>	133 (6.75)	11.571	5.554	6.017 (1.48)
<i>Avrainvillea erecta</i>	58 (2.94)	5.095	2.445	2.650 (0.65)
<i>Caulerpa racemosa</i>	11 (0.56)	0.960	0.461	0.499 (0.12)
<i>Chaetomorpha crassa</i>	15 (0.76)	4.122	1.979	2.143 (0.53)
<i>Ulva reticulata</i>	3 (0.15)	0.869	0.271	0.598 (0.15)
Phytoplankton	1.23×10^{-3}	4.75×10^{-7}	2.99×10^{-7}	1.76×10^{-7} (0.01)

表 4. 營養鹽添加組中觀生態池中第 75 天各主要物種平均生物量(g ww/tank)及對 N 的平均吸收與排放量(mg/tank)

Table 4. Mean biomass (g ww/tank), and N uptakes and releases (mg/tank) of major biotic components in the enriched mesocosms on the 75th day of the experiment

Species	Biomass (%)	Nitrogen		
		Uptakes	Releases	Net uptakes (%)
Corals				
<i>Acropora muricata</i>	0 (0.00)	0.000	0.000	0.000 (0.00)
<i>Fungia</i> spp.	361 (7.16)	0.317	0.000	0.317 (0.08)
<i>Heliopora coerulea</i>	254 (5.04)	0.223	0.000	0.223 (0.05)
<i>Porites</i> sp.	440 (8.71)	0.385	0.000	0.385 (0.09)
Sea anemone				
<i>Mesactinia genesis</i>	29 (0.57)	0.045	0.000	0.045 (0.01)
Chlorophyta				
<i>Codium edule</i>	3287 (65.12)	48.299	23.182	25.118 (6.19)
<i>Avrainvillea erecta</i>	188 (3.72)	14.885	7.144	7.741 (1.91)
<i>Caulerpa racemosa</i>	266 (5.27)	21.089	10.122	10.967 (2.70)
<i>Chaetomorpha crassa</i>	83 (1.64)	21.642	10.387	11.255 (2.77)
<i>Ulva reticulata</i>	139 (2.75)	40.507	12.637	27.870 (6.87)
Phytoplankton	1.55×10^{-3}	5.94×10^{-7}	3.74×10^{-7}	2.20×10^{-7} (0.01)

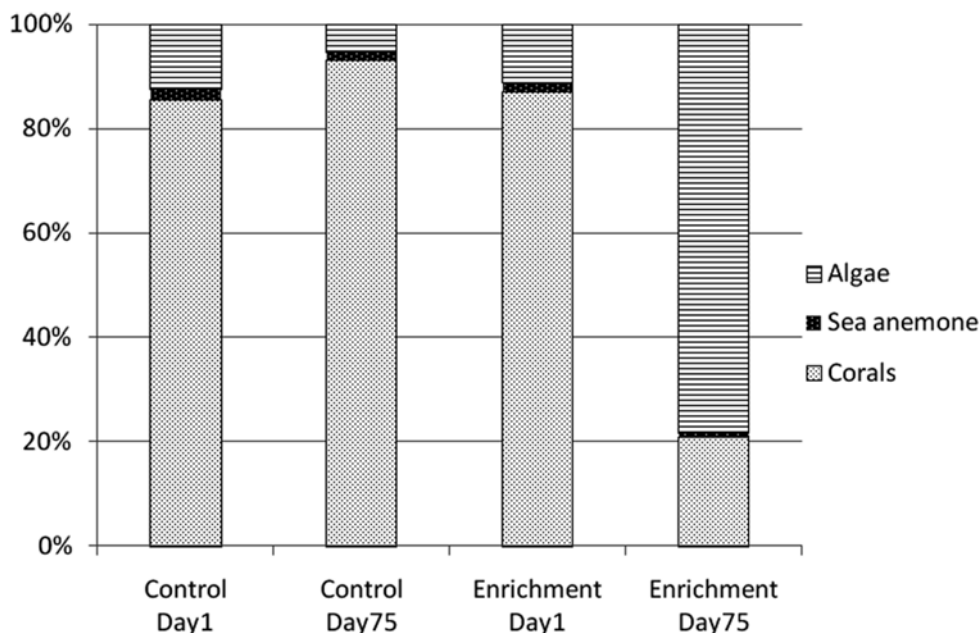


圖 2. 珊瑚、海葵與綠藻在不同中觀生態池實驗組的生物量百分比。

Fig. 2. Standing crops of corals, algae, and phytoplankton in the controlled and nutrient enrichment mesocosms.

謝 誌

本文得以完成，感謝國立海洋生物博物館及樊同雲博士提供中觀生態池設施及實驗場所。感謝劉弼仁博士、林學銘先生和張又仁先生提供實驗數據，在此一併致謝。

引用文獻

Anderson, D. M., P. M. Glibert and J. M. Burkholder. 2002. Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries* 25(4b): 704-726.

Burfeind, D. D. and J. W. Udy. 2009. The effect of light and nutrients on *Caulerpa taxifolia* and growth. *Aquatic Botany* 90: 105-109.

Burris, R. H. 1984. Nitrogen metabolism in the coral-algal symbiosis. *Proceedings of the American Philosophical Society* 128(1): 85-92.

Collos, Y. 1998. Nitrate uptake, nitrite release and uptake, and new production estimates. *Marine Ecology Progress Series* 171: 293-301.

Drew, E. A. 1972. The biology and physiology of alga-invertebrate symbioses II. The density of symbiotic alga cells in a number of hermatypic corals and alcyonarians from various depths. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 9: 71-75.

Duke, C. S., W. Litaker and J. Ramus. 1989. Effects of temperature, nitrogen supply, and tissue nitrogen on ammonium uptake rates of the chlorophyte seaweeds *Ulva curvata* and *Codium decortcatum*. *Journal of Phycology* 25: 113-120.

Fujita, R. M., P. A. Wheeler and R. L. Edwards. 1989. Assessment of macroalgal nitrogen limitation in a seasonal upwelling region. *Marine Ecology Progress Series* 53: 293-303.

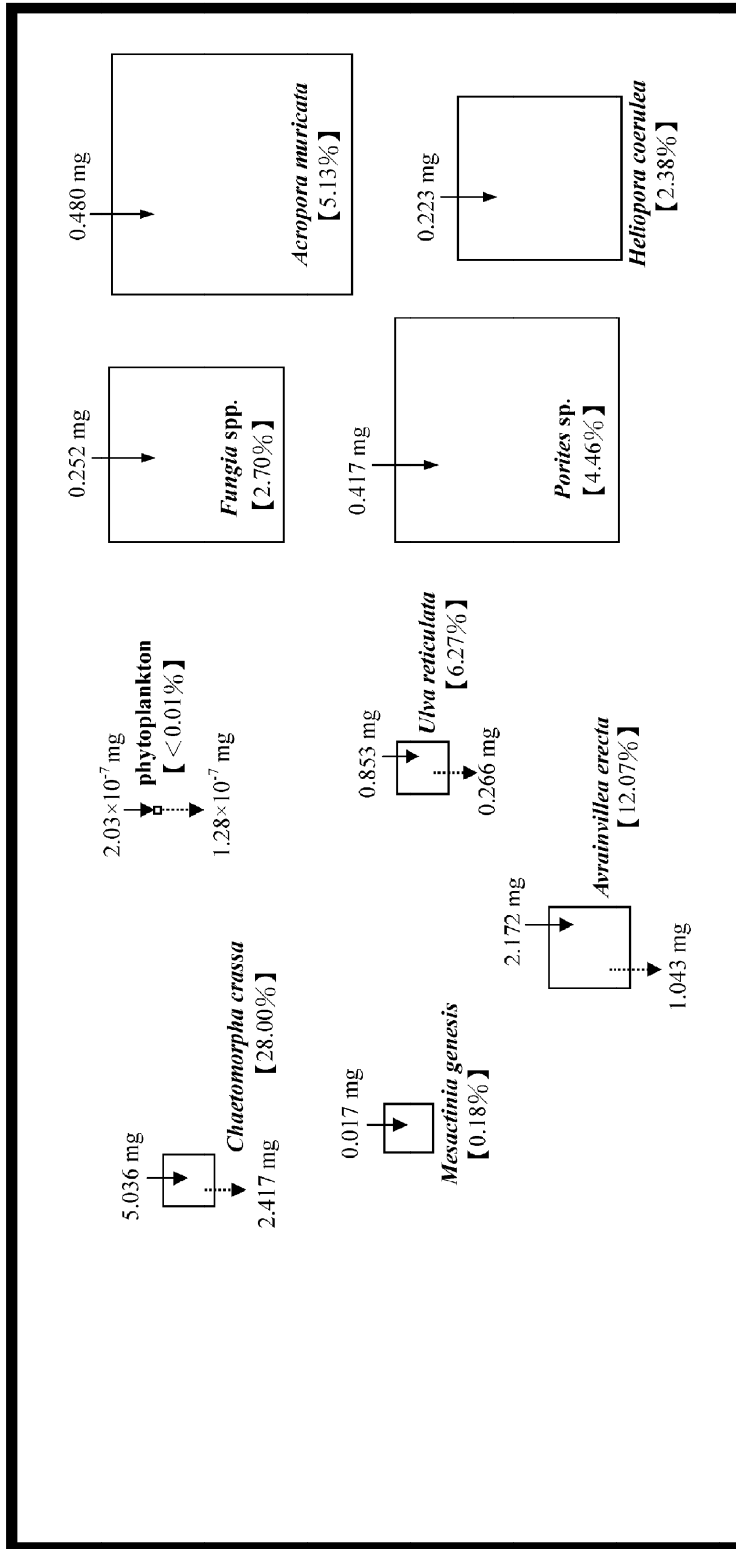


圖 3. 在控制組第 75 天各主要物種對氮(N)的平均吸收量、排出量及平均淨吸收量百分比(%)。正方形面積大小表示該物種之相對生物量。

Fig. 3. Mean nitrogen (N) uptakes, releases, and net uptakes (%) of major biotic components in the controlled mesocosms without nutrient addition on the 75th day of the experiment (square areas, proportion to relative biomass).

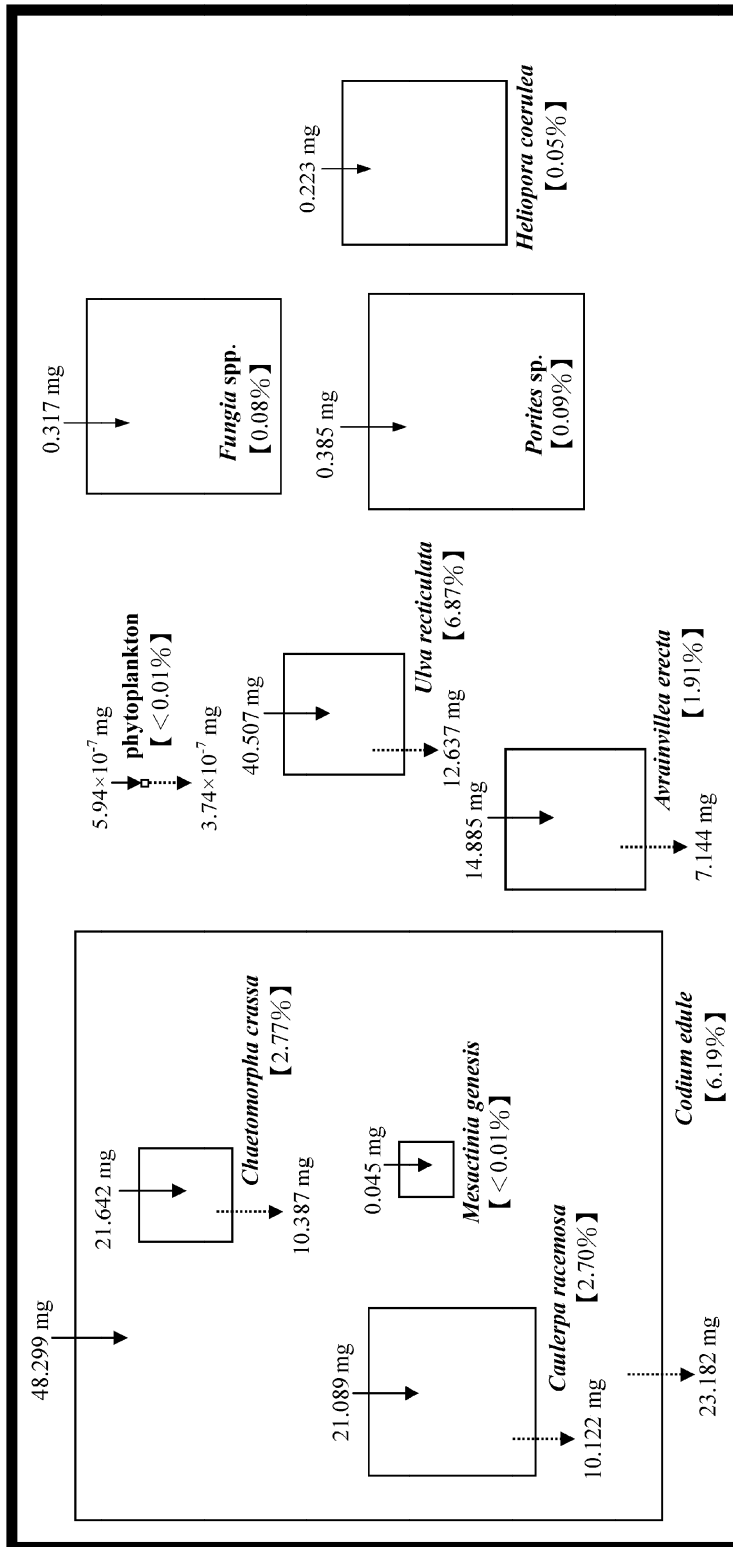


圖 4. 在營養鹽添加組第 75 天各主要物種對氮(N)的平均吸收量、排出量及平均淨吸收量百分比(%)。正方形面積大小表示該物種之相對生物量。

Fig. 4. Mean nitrogen (N) uptakes, releases, and net uptakes (%) of major biotic components in the nutrient enriched mesocosms on the 75th day of the experiment (square areas, proportion to relative biomass).

- Grover, R., J. F. Maguer, D. Allemand and C. Ferrier-Pagès. 2003. Nitrogen uptake in the *Scleractinian pistillata*. *Limnology and Oceanography* 48(6): 2266-2274.
- Hanisak, M. D. and M. M. Harlin. 1978. Uptake of inorganic nitrogen by *Codium fragile* subsp. *tomentosoides* (Chlorophyta). *Journal of Phycology* 14: 450-454.
- Ignatiades, L. and N. Moschopoulou. 1988. Nitrogen as a factor affecting algal growth potential of an oligotrophic coastal environment of eastern Mediterranean sea. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie* 73(4): 457-464.
- Lin, H. J., C. Y. Wu, S. J. Kao, W. Y. Kao and P. J. Meng. 2007. Mapping anthropogenic nitrogen through point sources in coral reefs using $\delta^{15}\text{N}$ in macroalgae. *Marine Ecology Progress Series* 335: 95-109.
- Littler, M. M., D. S. Littler and B. L. Brooks. 2006. Harmful algae on tropical coral reefs: Bottom-up eutrophication and top-down herbivory. *Harmful Algae* 5: 565-585.
- Liu, P. J., S. M. Lin, T. Y. Fan, P. J. Meng, K. T. Shao and H. J. Lin. 2009. Rates of overgrowth by macroalgae and attack by sea anemones are greater for live coral than dead coral under conditions of nutrient enrichment. *Limnology and Oceanography* 54(4): 1167-1175.
- Maestrini, S. Y., M. Balode, C. Bechemin, I. Purina and U. Botva. 1999. Nitrogen as the nutrient limiting the algal growth potential, for summer natural assemblages in the Gulf of Riga, eastern Baltic Sea. *Plankton Biology and Ecology* 46(1): 1-7.
- Malta, E. J., D. G. Ferreira, J. J. Vergara and J. L. Pérez-Lloréns. 2005. Nitrogen load and irradiance affect morphology, photosynthesis and growth of *Caulerpa prolifera* (Bryopsidales: Chlorophyta). *Marine Ecology Progress Series* 298: 101-114.
- McClanahan, T. R., M. Carreiro-Silva and M. Di-lorenzo. 2007. Effect of nitrogen, phosphorous, and their interaction on coral reef algal succession in Glover's Reef, Belize. *Marine Pollution Bulletin* 54: 1947-1957.
- McCook, L. J., J. Jompa and G. Diaz-Pulido. 2001. Competition between corals and algae on coral reefs: A review of evidence and mechanisms. *Coral Reefs* 19: 400-417.
- Naldi, M. and P. A. Wheeler. 2002. ^{15}N measurement of ammonium and nitrate uptake by *Ulva fenestrata* (Chlorophyta) and *Gracilaria pacifica* (Rhodophyta): Comparison of net nutrient disappearance, release of ammonium and nitrate, and ^{15}N accumulation in algal tissue. *Journal of Phycology* 38: 135-144.
- Pedersen, M. F. and J. Borum. 1997. Nutrient control of estuarine macroalgae: Growth strategy and the balance between nitrogen requirements and uptake. *Marine Ecology Progress Series* 161: 155-163.
- Roopin M. and N. E. Chadwick. 2009. Benefits to host sea anemones from ammonia contribution of resident anemonefish. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 370: 27-34.
- Runcie, J. W., R. J. Ritchie and A. W. D. Larkum. 2003. Uptake kinetics and assimilation of inorganic nitrogen by *Catenella nipae* and *Ulva lactuca*. *Aquatic Botany* 76: 155-174.
- Ryther, J. H. and W. M. Dunstan. 1971. Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in the coastal marine environment. *Science* 171 (3975): 1008-1013.
- Shiomoto, A., K. Sasaki, T. Shimoda and S.

Matsumura. 1994. Kinetics of nitrate and ammonium uptake by the natural populations of marine phytoplankton in the surface water of the Oyashio region during spring and summer. *Journal of Oceanography* 50: 515-529.

Tomas, T. 1991. Settlement patterns of Caribbean scleractinian corals on artificial substrata along a eutrophication gradient, Barbados, West Indies. *Marine Ecology Progress Series* 77: 261-269.

台灣產片葉蘚屬 5 個新紀錄種*

Five Species of *Riccardia* Newly Recorded to Taiwan

姚奎宇¹ 林善雄^{2,*}

Kuei-Yu Yao¹ and Shan-Hsiung Lin^{2,*}

¹ 行政院農業委員會特有生物研究保育中心 南投縣集集鎮民生東路 1 號

² 東海大學生命科學系 台中市台中港路三段 181 號

¹ Endemic Species Research Institute, Jiji, Nantou, Taiwan

² Department of Life Science, Tunghai University, Taichung, Taiwan

* 通訊作者: slin@thu.edu.tw

* Corresponding author: slin@thu.edu.tw

摘要

片葉蘚屬植物為綠片蘚科植物的 1 個屬，台灣本屬前人記載有 9 種。本研究報導了 5 種新紀錄種，分別為線疣片葉蘚、黃片葉蘚、兒玉氏片葉蘚、雙毛片葉蘚太平洋變種及矮片葉蘚。它們的分類處理包含台灣產本屬物種之檢索表、物種描述、評論、生長基質、採集地點、世界分布及繪圖都分別詳細描述。

Abstract

There are 9 species of the genus *Riccardia* (Aneuraceae) that have been reported from Taiwan so far. This paper describes five species newly recorded to Taiwan with illustrations. They are *R. crassa*, *R. flavovirens*, *R. kodamae*, *R. marginata* var. *pacifica* and *R. pumila*. Their habitats, localities and distributions, and a key to the species of Taiwan are provided.

* 本文為第一作者姚奎宇(2007)東海大學生命科學系碩士論文《臺灣產綠片蘚科的分類研究》(A taxonomic study of Aneuraceae of Taiwan)的一部分。

關鍵詞：片葉蘚屬、新紀錄、油體、分類、台灣

Key words: *Riccardia*, new record, oil body, taxonomy, Taiwan

收件日期：98年9月14日

接受日期：99年1月5日

Received: September 14, 2009

Accepted: January 5, 2010

緒 言

片葉蘚屬(*Riccardia*)為綠片蘚科(Aneuraceae)下的1屬,台灣產本屬植物最早的紀錄可追溯到 Stephani (1917)所發表的新種台灣綠片蘚 *Aneura formosensis* Steph. [= 台灣片葉蘚 *Riccardia formosensis* (Steph.) Horik.] ,其後台灣報導此屬的文章有 Horikawa (1934)、Yang (1960)、林(1980, 1981, 2000),其中林(2000)在《台灣蘚類植物彩色圖鑑》報導了台灣本屬植物有9種,即狹片葉蘚 *R. angustata* Horik.、波葉片葉蘚 *R. chamedryfolia* (With.) Grolle、細圓齒片葉蘚 *R. crenulata* Schiffn.、台灣片葉蘚 *R. formosensis* (Steph.) Horik.、寬片葉蘚 *R. latifrons* (Lindb.) Lindb.、羽枝片葉蘚 *R. multifida* (L.) S. Gray.、掌狀片葉蘚 *R. palmate* (Hedw.) Carruth.、寬枝片葉蘚 *R. platyclada* Schiffn. [= 格氏片葉蘚 *R. graeffei* (Steph.) Hews.]及亞羽片葉蘚 *R. submultifida* Horik.。

本文報導了台灣過去未曾記錄的5種本屬植物,包括線疣片葉蘚 *R. crassa* (Schwaegr.) Carring. et Pears.、黃片葉蘚 *R. flavovirens* Furuki、兒玉氏片葉蘚 *R. kodamae* Mizut. et Hatt.、雙毛片葉蘚太平洋變種 *R. marginata* (Col.) Pears. var. *pacifica* Furuki 及矮片葉蘚 *R. pumila* Furuki。

Mizutani and Hattori (1957)及 Schuster (1987)認為油體是研究本科分類的重要形態特

徵。然而,過去台灣記錄的片葉蘚屬植物,包括 Stephani (1917)、Horikawa (1934)及林(1980, 1981, 2000)等人的物種描述中都沒有油體特徵的記載,可能是忽略了油體的分類價值,或鏡檢時的植物多為乾燥標本,油體已消失。乾燥過的片葉蘚屬植物,其組織常會萎縮扭曲,造成細胞形狀失真,而難以辨識,油體也常被分解掉。因此本研究在取材上儘量採用新鮮標本為主。

材料與方法

標本的採集與保存方法

採集時用皮刀將片狀體自基質分離,標本乾燥後其形態特徵會變得極難辨識(如油體的分解),因此採得的新鮮標本必須注意保濕,置於生長盒(生長盒要能保持溼度,最好有個可以提供氣體交換的開孔)內,在低溫(低於18°C)環境中培養,以備研究,由於置放過久標本會變得難以辨識,培養時間以1個月為限。採集紀錄包括生育環境、生長基質、採集日期、採集地點、海拔高度、採集者及其採集編號。標本並在鏡檢後記錄油體的型式及分布。標本鑑定後風乾,存放於標本室。乾燥標本則於檢視前,浸泡於清水或6% KOH水溶液中,使之膨潤,恢復原形。各標本於實驗室中以解剖及光學顯微鏡配置繪圖器,作形態分類之描述、量度及繪圖。

本研究所檢視之標本，除特別註明標本館代號者，皆收藏於東海大學苔蘚實驗室(TUNG)。

台灣產片葉蘚屬物種檢索表

1. 片狀體表面具線狀排列疣線疣片葉蘚 *R. crassa*
1. 片狀體表面平滑或近乎平滑 2
2. 黏液毛僅分布在片狀體的腹面 3
2. 黏液毛分布在片狀體的背及腹兩面雙毛片葉蘚太平洋變種 *R. marginata* var. *pacifica*
3. 末羽片橫切面翼部(2) 3-5 個細胞寬 4
3. 末羽片橫切面不具有翼部或 1-2 (3)個細胞寬 8
4. 片狀體表面觀邊緣突出呈細圓齒狀 5
4. 片狀體表面觀邊緣不突出呈細圓齒狀 7
5. 片狀體小型；1-2 回羽狀分枝 細圓齒片葉蘚 *R. crenulata*
5. 片狀體中至大型；1-3 回羽狀分枝 6
6. 雌雄同株 羽枝片葉蘚 *R. multifida*
6. 雌雄異株 亞羽片葉蘚 *R. submultifida*
7. 油體每個細胞 1 個 黃片葉蘚 *R. flavovirens*
7. 油體每個細胞 1-5 個 格氏片葉蘚 *R. graeffei*
8. 片狀體羽片向上斜離或立離基質 矮片葉蘚 *R. pumila*
8. 片狀體羽片不向上斜離或立離基質 9
9. 邊緣細胞表面觀時厚壁；橫切面表皮細胞遠小於內層細胞 兒玉氏片葉蘚 *R. kodamae*
9. 邊緣細胞表面觀時薄壁或略為厚壁；橫切面表皮細胞略小或與內層細胞等大 10
10. 片狀體 1-2 回規則羽狀分枝 狹片葉蘚 *R. angustata*
10. 片狀體 1-3 回不規則羽狀分枝 11
11. 雌雄同株 12
11. 雌雄異株 13
12. 油體水滴狀，透明無色，直徑小於 2.5 μm ，每個細胞 0-20 個；片狀體表面具有結晶 寬片葉蘚 *R. latifrons*
12. 油體橢圓形、卵圓形至橢圓形，褐色，長度大於 2.5 μm ，每個細胞 1-5 個；片狀體表面不具有結晶 波葉片葉蘚 *R. chamedryfolia*
13. 片狀體小型；表皮細胞幾乎與內層細胞等大 掌狀片葉蘚 *R. palmata*
13. 片狀體中型；表皮細胞小於內層細胞 台灣片葉蘚 *R. formosensis*

分類處理

線疣片葉蘚(圖 1)

Riccardia crassa (Schwaegr.) Carring. et Pears.,

Proc. Linn. Soc. N. S. W. **12**: 1056. 1888.

片狀體新鮮時黃綠色，乾燥後深褐色，大型，1-2 回不規則羽狀分枝。主軸表面觀可達 1.3 mm 寬；橫切面平凸至稍微兩面凸出，

7-10層細胞厚，邊緣鈍頭，翼部1個細胞寬或無翼部。末羽片背面觀先端凹陷，0.5-0.8 mm寬；橫切面平凸，4-6層細胞厚，邊緣鈍頭至銳頭，翼部1個細胞寬。上表皮細胞背面觀時 $30-75\ \mu\text{m} \times 17-30\ \mu\text{m}$ ，表面具有線狀排列的微疣；橫切面觀的上表皮細胞的面積為內層細胞

的 $1/2-1/4$ 。內層細胞背面觀時 $90-150\ \mu\text{m} \times 50-67.5\ \mu\text{m}$ 。油體褐色，圓球形、卵圓形至蟲形，每個細胞1-2個；在上表皮細胞內 $20-50\ \mu\text{m} \times 7.5-18.8\ \mu\text{m}$ ；在內層細胞內 $17.5-50\ \mu\text{m} \times 12.5-20\ \mu\text{m}$ 。黏液毛兩列，著生於片狀體的腹面。

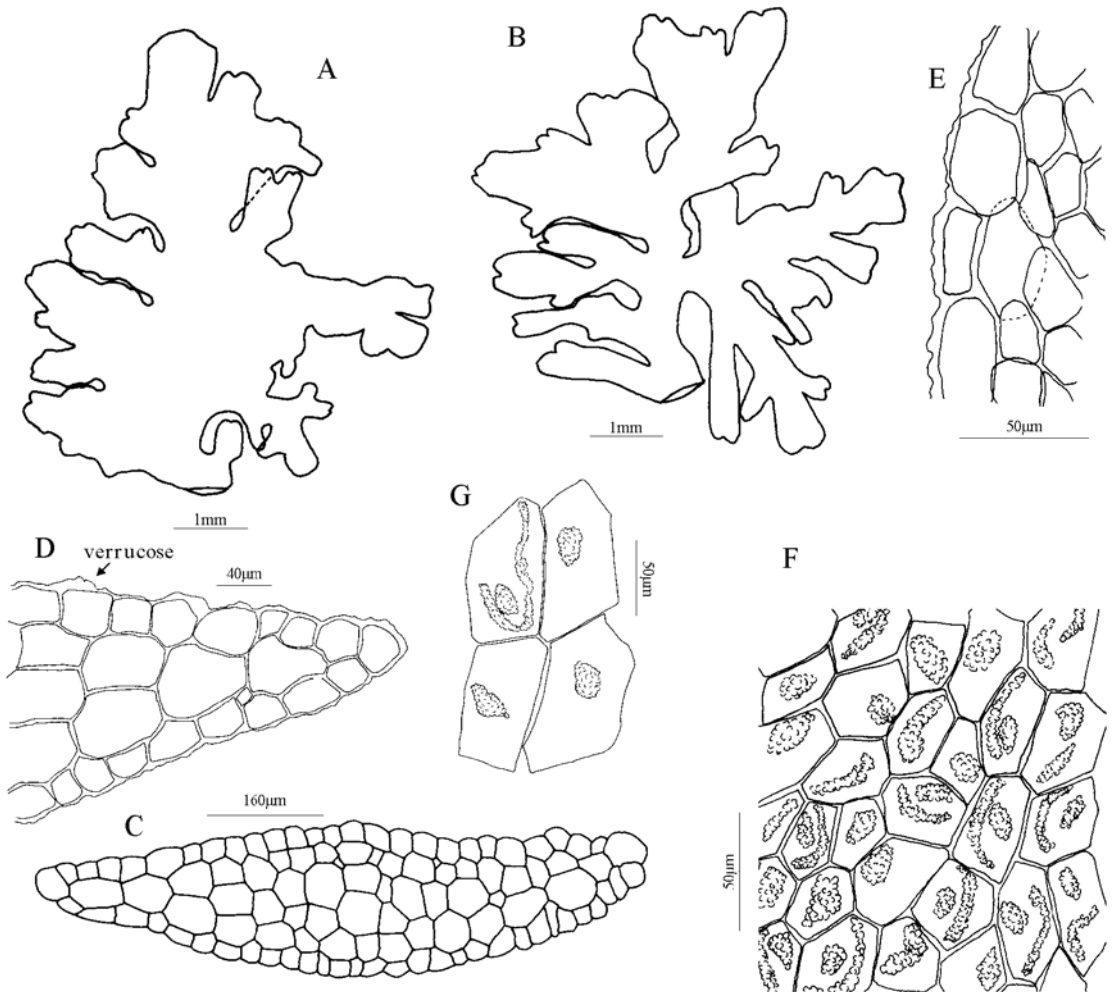


圖 1. 線疣片葉蘚 *Riccardia crassa* (Schwaegr.) Carring. et Pears. ◦ A-B. 片狀體；C. 末羽片橫切；D. 末羽片翼部橫切，具有疣；E. 邊緣細胞；F. 表皮細胞及油體；G. 內層細胞及油體。(A-G, 繪自 Yao 9309095。)

Fig. 1. *Riccardia crassa* (Schwaegr.) Carring. et Pears. ◦ A-B. thalli; C. cross-section of ultimate pinnule; D. cross-section of marginal part of ultimate pinnule, verrucose; E. marginal cells; F. dorsal epidermal cells and oil bodies; G. inner cells and oil bodies. (A-G, drawn from Yao 9309095.)

藏精器及藏卵器未見。

孢子體未見。

附生於腐木。分布於澳大利亞、日本、美拉尼西亞、紐西蘭、美洲南部、亞洲熱帶地區及台灣。

引證標本 台東縣：達仁鄉，浸水營，1933年1月，*Horikawa 10610*、*10687* [HIRO, Horikawa 鑑定為 *Riccardia sinuata* (Dicks.) Trev.]。花蓮縣：秀林鄉，太魯閣清水大山，海拔約 2,000m，附生於腐木，2004年9月，*Yao 9309095*。

評論 本種特徵為片狀體表面有線狀排列的微疣、翼部狹窄、植物體大型、所有細胞有油體，背面觀時，表皮細胞的油體占了細胞面積的 1/5-1/2，有時可以到達 2/3。本種與日本產的 *Riccardia tamariscina* (Steph.) Schiffn. 近似，表面都具有疣，但據 Furuki (1991)，本種的疣為線狀排列，後者為不規則排列，二者得以區別。

黃片葉蘚(圖 2)

Riccardia flavovirens Furuki, J. Hattori Bot. Lab. **70**: 333. 1991.

片狀體新鮮時黃綠至深綠色，乾燥後淡褐色，中型至大型，先端平滑或凹陷，不規則羽狀至 3 回羽狀分枝，羽片很發達。主軸表面觀 0.6-1.2 mm 寬；橫切面平凸至線形，中央 5-6 層細胞厚，邊緣鈍頭，翼部 1-2 個細胞寬。末羽片一般緊貼在基質上，有時多少斜離基質，表面觀 0.4-1.2 mm 寬；橫切面平凸至線形，中央 3-4 層細胞厚，邊緣長尖，翼部 2-4 個細胞寬。上表皮細胞背面觀時 $37.5-75 \mu\text{m} \times 25-35 \mu\text{m}$ ；橫切面觀的上表皮細胞面積為內層細胞的 1/3-1/6。內層細胞背面觀時 $125-175 \mu\text{m} \times 50-70 \mu\text{m}$ 。邊緣細胞背面觀時薄壁。油體褐色，圓形、橢圓形至腎形，每個細胞 1-2 個；在上表皮細胞內 $12.5-15 \mu\text{m} \times 10-12.5 \mu\text{m}$ ；在內層細胞內 $25-30 \mu\text{m} \times 15-20 \mu\text{m}$ 。黏液毛兩

列，著生於片狀體的腹面。

雌雄雜生同株，具有雌、雄及雌雄同苞之生殖枝，雄生殖枝側生在主軸或是初生枝上，藏精器兩列。雌生殖枝側生在主軸或是初生枝上，藏卵器兩列。

蒴壁外層在向射壁及內切壁上增厚，也常稍微延伸到外切壁上；蒴壁內層增厚的情況不明顯。

石生、土生或附生於腐木。分布於日本及台灣。

引證標本 台北縣：烏來鄉，桶後古道，海拔 500m，瀑布下石生，2007年3月，*Yao 9603001*、*Yao 9603002*。南投縣：鹿谷鄉溪頭銀杏林步道，海拔 1,200m，附生於腐木，2006年10月，*J.-D. Yang s.n.*；2006年12月，*Yao 9512009*、*Yao 9512030*；仁愛鄉能高山雲海，土生，*J.-D. Yang 3317*。宜蘭縣：大同鄉，太平山三疊瀑布步道，海拔 800-1,800m，附生於腐木，2006年8月，*Yao 9508605*；石生，2006年8月，*Yao 9508613*、*Yao 95408664*。

評論 本種特徵為所有細胞都有 1-2 個大油體、末羽片橫切面的翼部細胞 2-4 個細胞寬以及雌雄雜生同株。本種與 *R. chamedryfolia* 近似，後者表皮細胞油體 1-2 個，內層細胞油體 1-4 個，上表皮細胞背面觀較大，為 $50-150 \mu\text{m} \times 40-75 \mu\text{m}$ ，且為雌雄同株異苞。本種也與 *R. graeffei* 近似，後者每個細胞內有 1-5 個油體，末羽片翼部 3-5 個細胞寬。

兒玉氏片葉蘚(圖 3、圖 4)

Riccardia kodamae Mizut. et Hatt., J. Hattori Bot. Lab. **18**: 57. 1957.

植物體深綠，有時帶有褐色，小型，先端凹陷，1-3 回不規則羽狀分枝。主軸表面觀 0.4-0.7 mm 寬；鞭狀枝經常出現；橫切面平凸至兩面凸出，中央 5-7 層細胞厚，邊緣圓頭、鈍頭至銳頭，翼部 1-2 個細胞寬。末羽片表面觀 0.3-0.8 mm 寬；橫切面平凸至兩面凸出，中

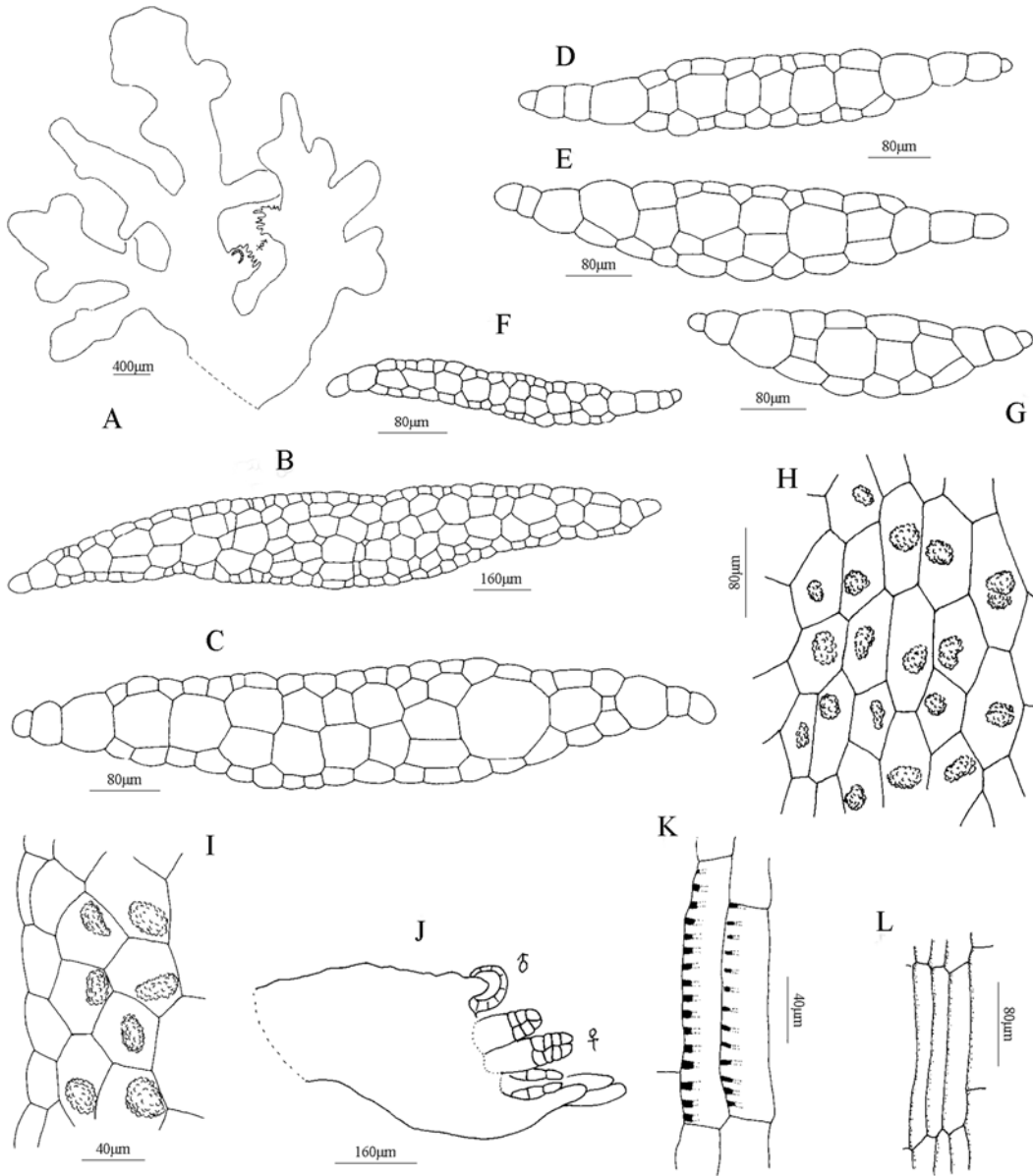


圖 2. 黃片葉蘚 *Riccardia flavovirens* Furuki。A. 雌雄同苞之片狀體；B. 主軸橫切；C-G. 末羽片橫切；H. 表皮細胞及油體；I. 邊緣細胞；J. 雌雄同苞之生殖枝縱切；K. 蒴壁外層；L. 蒴壁內層。(A, I-J, 繪自 Yao 9512009；B, D-F, H, K-L, 繪自 Yao 9508605；C, 繪自 Yang s. n.；G, 繪自 Yao 9512030。)

Fig. 2. *Riccardia flavovirens* Furuki. A. thallus with paroicous branches; B. cross-section of main axis; C-G. cross-sections of ultimate pinnules; H. dorsal epidermal cells and oil bodies; I. marginal cells; J. cross-section of paroicous branch; K. outer layer of capsule wall, external view; L. inner layer of capsule wall, internal view. (A, I-J, drawn from Yao 9512009; B, D-F, H, K-L, drawn from Yao 9508605; C, drawn from Yang s. n.; G, drawn from Yao 9512030.)

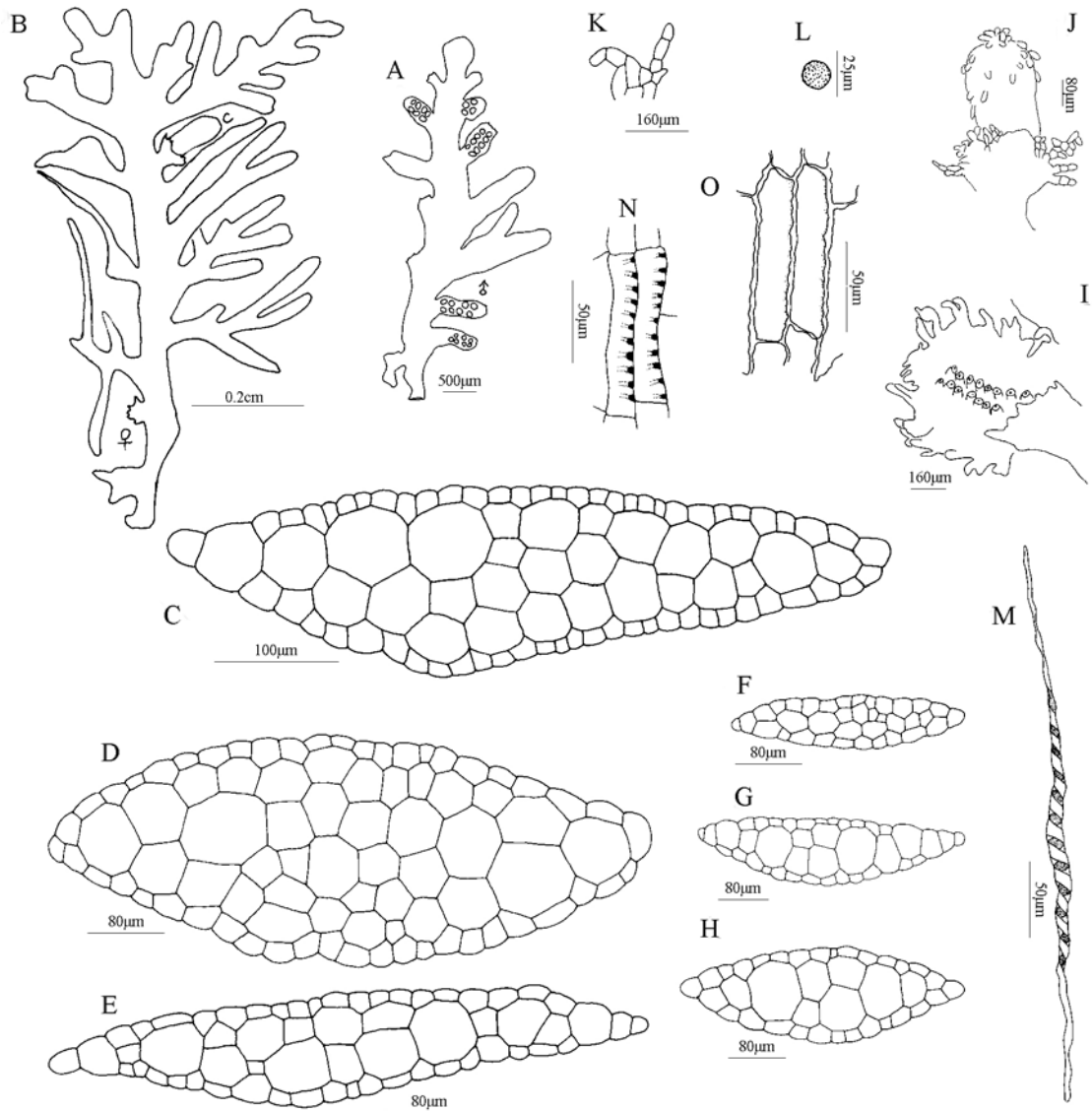


圖 3. 兒玉氏片葉蘚 *Riccardia kodamae* Mizut. et Hatt. ◦ A. 雄性片狀體；B. 雌性片狀體；C-D. 主軸橫切；E-H. 末羽片橫切；I. 雌生殖枝；J. 蒴帽，表面有膨大細胞散生；K. 側絲；L. 孢子；M. 彈絲；N. 蒴壁外層；O. 蒴壁內層。(A, C, L-O, 繪自 Yao 9503011；B, D-E, H, 繪自 Yao 9509018；F-G, 繪自 Yao 9508651；I-K, 繪自 Yao 9508671。)

Fig. 3. *Riccardia kodamae* Mizut. et Hatt. A. male thallus; B. female thallus; C-D. cross-sections of main axes; E-H. cross-sections of ultimate pinnules; I. female branch; J. calyptra with scattered, enlarged cells; K. paraphysis; L. spore; M. elaster; N. outer layer of capsule wall, external view; O. inner layer of capsule wall, internal view. (A, C, L-O, drawn from Yao 9503011; B, D-E, H, drawn from Yao 9509018; F-G, drawn from Yao 9508651; I-K, drawn from Yao 9508671.)

中央 3-4 層細胞厚，邊緣鈍頭至銳頭，翼部 2-3 個細胞寬。上表皮細胞背面觀時 $36-81\ \mu\text{m} \times 16-30\ \mu\text{m}$ ；橫切面觀時表皮細胞的面積為內層細胞的 $1/4-1/14$ 。內層細胞背面觀時 $96-205\ \mu\text{m} \times 40-65\ \mu\text{m}$ 。邊緣細胞背面觀時厚壁，比上表皮細胞小。油體褐色，圓形、橢圓形至多少有點腎形；在表皮細胞內不具有油體或在翼部細胞出現油體；在內層細胞內每個細胞 1-3 個， $10-24\ \mu\text{m} \times 10-16\ \mu\text{m}$ 。黏液毛兩列，著生於片狀體的腹面。

雌雄異株。雄生殖枝側生在主軸或是初生枝上，藏精器兩列。雌生殖枝側生在主軸或是初生枝上，藏卵器兩列。蒴帽外壁具有稀疏的膨大細胞。

蒴壁外層在向射壁及內切壁上增厚，也常稍微延伸到外切壁上；蒴壁內層增厚的情況不明顯。

附生於倒木或腐木。分布於日本及台灣。

引證標本 南投縣：鹿谷鄉，溪頭登山步道，海拔 1,500m，附生於腐木，2006 年 3 月，*Yao 9503011*、*Yao 9503012*、*Yao 9503013*；

2006 年 12 月，*Yao 9512005*、*Yao 9512006*。嘉義縣：阿里山鄉，阿里山特富野古道，海拔 1,700-2,200m，附生於腐木，2006 年 9 月，*Yao 9509018*、*Yao 9509027*。宜蘭縣：大同鄉，太平山，三疊瀑布步道，海拔 800-1,800m，附生於腐木，2006 年 8 月，*Yao 9508604*、*Yao 9508626*、*Yao 9508651*、*Yao 9508665*。花蓮縣：瑞穗鄉，海拔 1,250m，附生於倒木，2007 年 1 月，*J.-D. Yang 3333* (TAIE)；池南，1940 年 8 月 6 日，*中村泰造 96* (TAI)。

評論 本種特徵為上表皮細胞無油體、橫切面觀時上表皮細胞通常比內層細胞小很多、片狀體邊緣細胞背面觀時厚壁、雌雄異株。本種與 *R. multifida* (L.) Gray subsp. *decrescens* (Steph.) Furuki 相似，本種末羽片橫切面翼部為 2-3 個細胞寬，上表皮細胞橫切面比內層細胞小很多，片狀體小型，後者為 3-5 個細胞寬，上表皮細胞比內層細胞略小，片狀體中型至大型，兩者有別。台灣本種與日本產 *R. nagasakiensis* (Steph.) Hatt. 的水生品種(form)很相似，該品種為水生，較小又不規則羽狀分

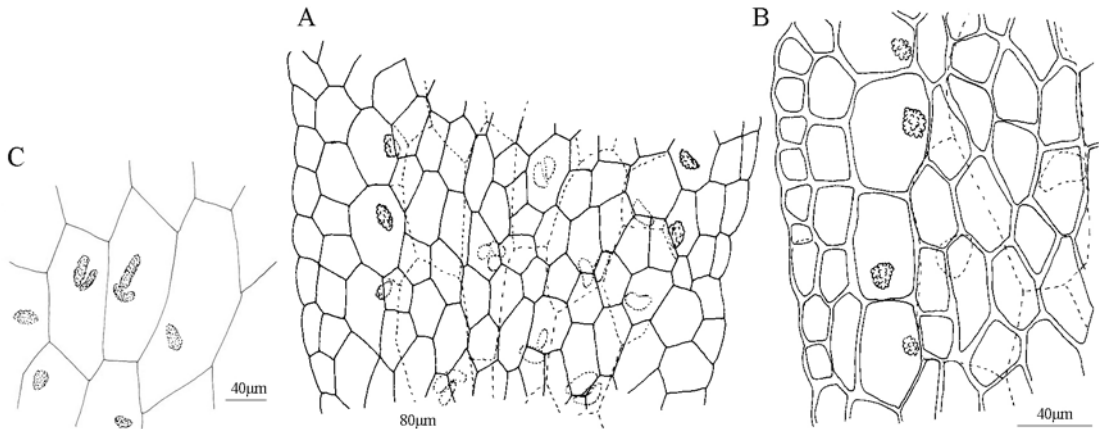


圖 4. 兒玉氏片葉蘚 *Riccardia kodamae* Mizut. et Hatt.。A. 表皮細胞及油體；B. 邊緣細胞；C. 內層細胞及油體。(A, C, 繪自 *Yao 9509018*；B, 繪自 *Yao 9508651*。)

Fig. 4. *Riccardia kodamae* Mizut. et Hatt. A. dorsal epidermal cells and oil bodies; B. marginal cells; C. inner cells and oil bodies. (A, C, drawn from *Yao 9509018*; B, drawn from *Yao 9508651*.)

枝，但台產本種上表皮細胞表面觀時較大，後者則較小，且據Furuki (1990)報導 *R. kodamae* 幼體每個上表皮細胞都有油體，成體的上表皮細胞則不具有油體，日本產的 *R. nagasakiensis* 則幼體及成體上表皮皆不具有油體，是二者明

顯的區別。

雙毛片葉蘚太平洋變種(圖 5、圖 6)

Riccardia marginata (Col.) Pears. var. *pacifica*

Furuki, J. Hattori Bot. **70**: 380. 1991.

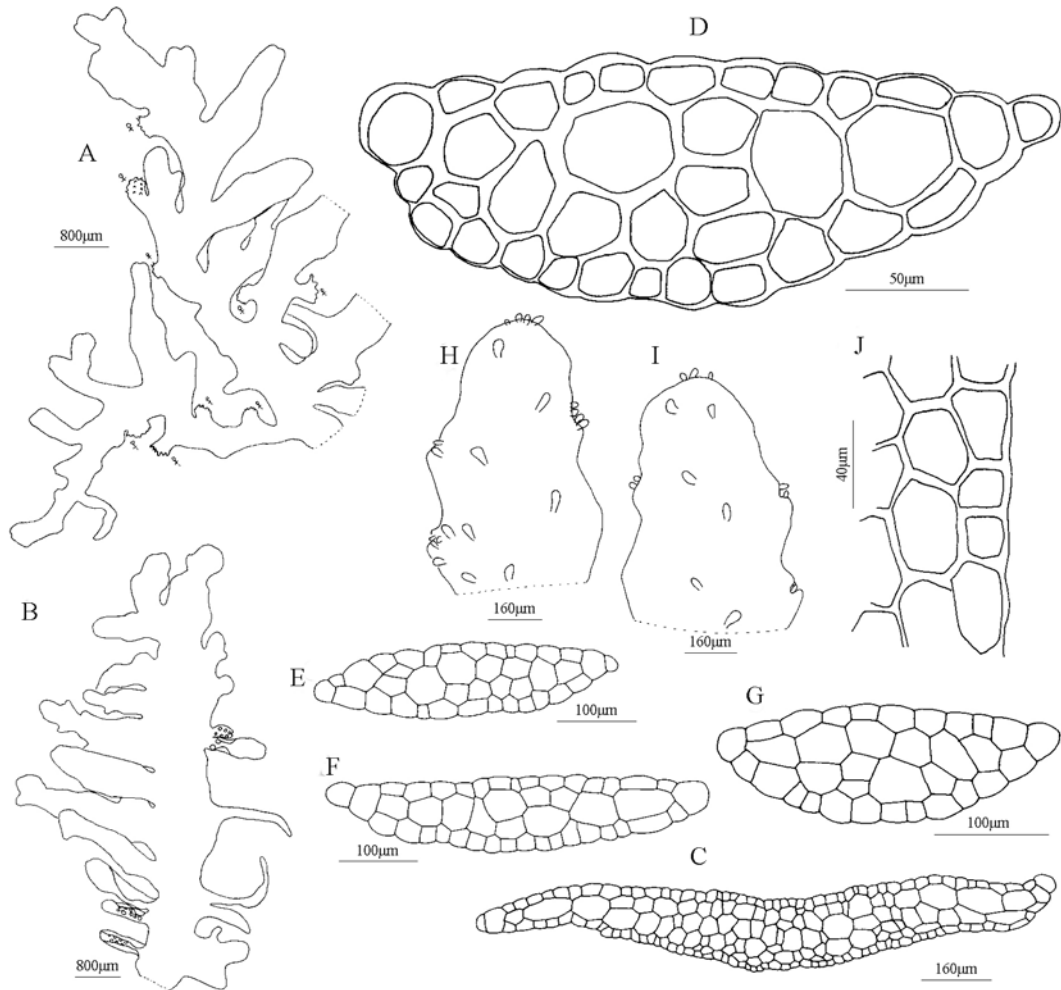


圖 5. 雙毛片葉蘚太平洋變種 *Riccardia marginata* (Col.) Pears. var. *pacifica* Furuki。A. 雌性片狀體；B. 雄性片狀體；C. 主軸橫切；D-G. 末羽片橫切；H. 片狀體腹面，有二列黏液毛；I. 片狀體背面，有二列黏液毛；J. 邊緣細胞。(A-I, 繪自 Yao 9508501；J, 繪自 Yao 9508533。)

Fig. 5. *Riccardia marginata* (Col.) Pears. var. *pacifica* Furuki. A. female thallus; B. male thallus; C. cross-section of main axis; D-G. cross-sections of ultimate pinnules; H. ventral view of thallus with mucilage hairs in two rows; I. dorsal view of thallus with mucilage hairs in two rows; J. marginal cells. (A-I, drawn from Yao 9508501; J, drawn from Yao 9508533.)

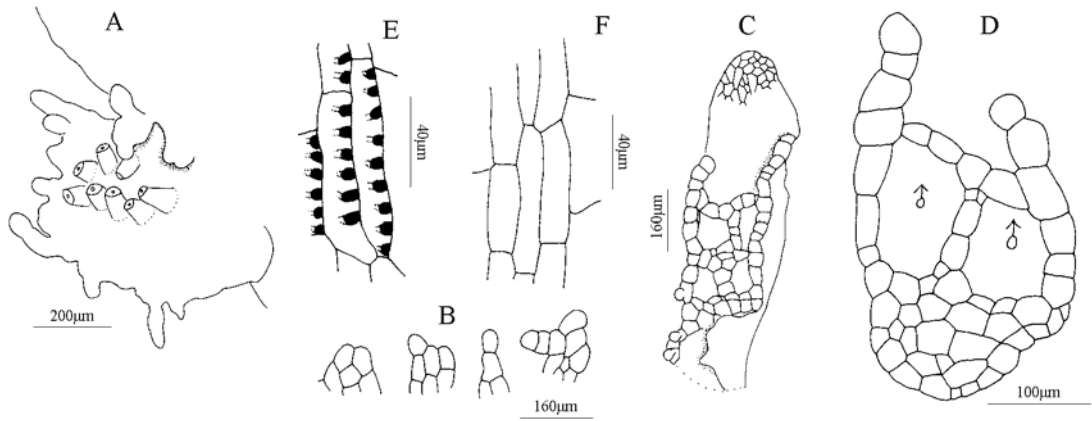


圖 6. 雙毛片葉蘚太平洋變種 *Riccardia marginata* (Col.) Pears. var. *pacifica* Furuki。A. 雌生殖枝；B. 側絲；C. 雄生殖枝；D. 雄生殖枝橫切；E. 蒴壁外層；F. 蒴壁內層。(A-D, 繪自 Yao 9508501；E-F, 繪自 Yao 9508533。)

Fig. 6. *Riccardia marginata* (Col.) Pears. var. *pacifica* Furuki. A. female branch; B. paraphyses; C. male branch; D. cross-section of male branch; E. outer layer of capsule wall, external view; F. inner layer of capsule wall, internal view. (A-D, drawn from Yao 9508501; E-F, drawn from Yao 9508533.)

片狀體新鮮時淡綠色至深綠色，乾燥後淡褐色，中型，先端凹陷，1-3 回不規則羽狀分枝，常出現鞭狀枝。主軸表面觀 0.7-1 mm 寬；橫切面平凸、凹凸至線形，中央 5-7 層細胞厚，邊緣鈍頭至銳頭，翼部 1-2 個細胞寬。末羽片表面觀 0.3-0.7 mm 寬；橫切面平凸至兩面凸出，中央 4-5 層細胞厚，邊緣鈍頭至銳頭，翼部 1-2 個細胞寬。上表皮細胞背面觀時 $25-55 \mu\text{m} \times 15-25 \mu\text{m}$ ；橫切面觀時上表皮細胞面積為內層細胞的 1/3-1/6。內層細胞背面觀時 $75-150 \mu\text{m} \times 35-50 \mu\text{m}$ 。邊緣細胞背面觀時厚壁。油體透明灰色，圓形至卵圓形；在上表皮細胞內不具有油體；在內層細胞內每個細胞 2-3 個。黏液毛兩列，著生於片狀體的背面及腹面。

雌雄異株。雄生殖枝側生在主軸或是初生枝上，藏精器兩列。雌生殖枝側生在主要枝幹或是初生枝上，藏卵器兩列。

蒴壁外層在向射壁及內切壁上增厚，也常

常稍微延伸到外切壁上；蒴壁內層增厚的情況不明顯。

土生。分布於日本及台灣。

引證標本 宜蘭縣：大同鄉，太平山山毛櫸步道，海拔 2,000m，土壁生，2006 年 8 月，Yao 9508501、Yao 9508533、Yao 9508580。

評論 此變種特徵為片狀體背面及腹面有兩列黏液毛、片狀體邊緣細胞背面觀時為厚壁及雌雄異株。Furuki (1991) 將 *Riccardia marginata* 區分為兩變種，此變種與承名變種 (var. *marginata*) 之不同在於前者為雌雄異株，後者為雌雄同株。承名變種的分布地區為紐西蘭，太平洋變種的分布地區則為日本及台灣。

矮片葉蘚(圖 7)

Riccardia pumila Furuki, J. Hattori Lab. **70**: 361. 1991.

片狀體新鮮時黃綠至深綠色，乾燥後褐色，小型，先端凹陷，規則 1-2 回羽狀分枝，

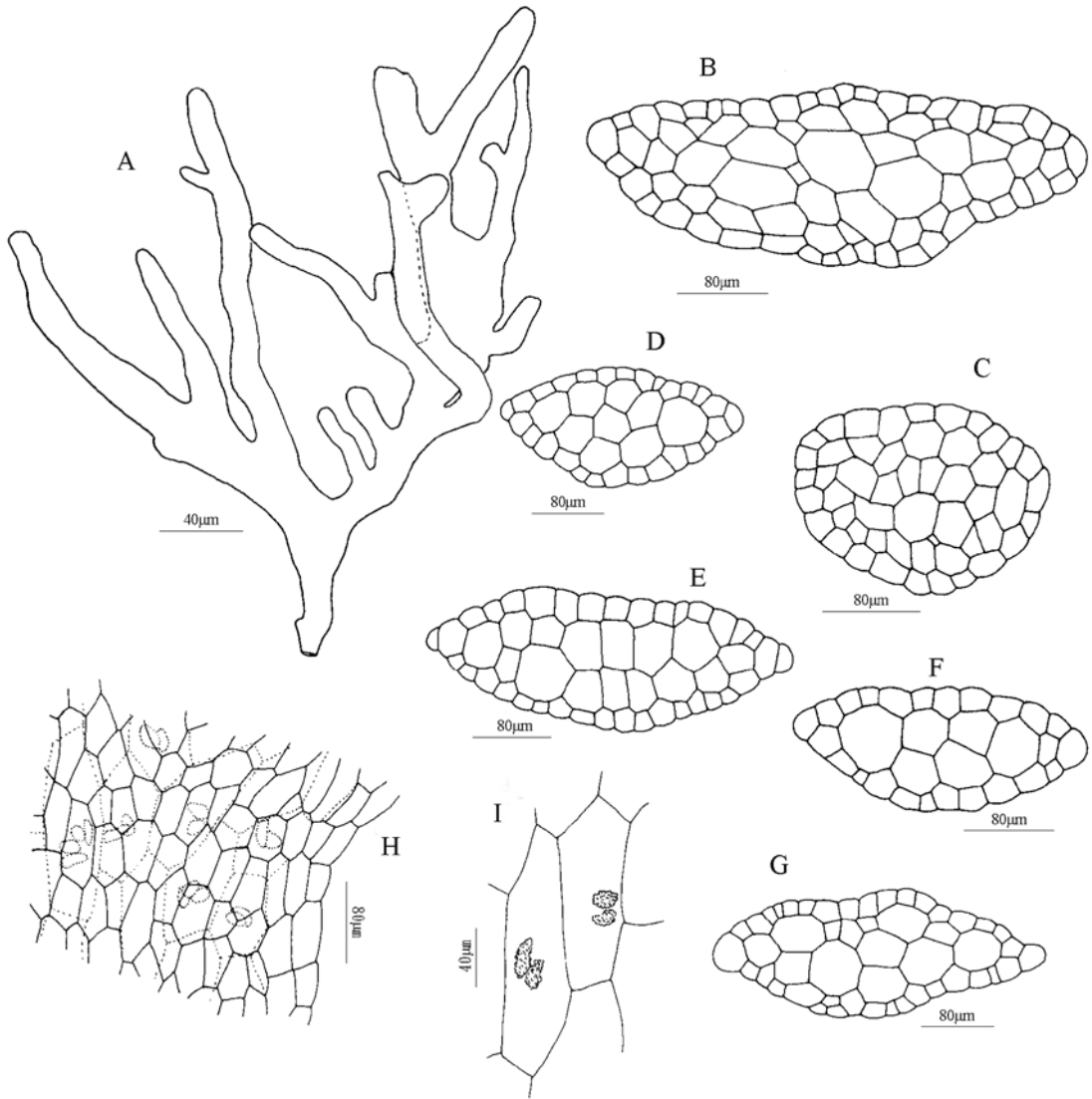


圖 7. 矮片葉蘚 *Riccardia pumila* Furuki。A. 片狀體；B-C. 主軸橫切；D-G. 末羽片橫切；H. 表皮細胞及油體；I. 內層細胞及油體。(A-I, 繪自 Yao 9512008。)

Fig. 5. *Riccardia pumila* Furuki. A. thallus; B-C. cross-sections of main axes; D-G. cross-sections of ultimate pinnules; H. dorsal epidermal cells and oil bodies; I. inner cells and oil bodies. (A-I, drawn from Yao 9512008.)

分枝向上斜離或立離基質。主軸表面觀時 0.26-0.4 mm 寬；橫切面雙凸，中央 4-6 層細胞厚，邊緣圓頭至鈍頭，翼部 1 個細胞寬或無翼部。末羽片表面觀時 0.12-0.16 mm 寬；橫切

面雙凸，中央 4-5 層細胞厚，邊緣鈍頭至銳頭，翼部 1-2 個細胞寬。上表皮細胞背面觀時 30-70 μm \times 20-35 μm ；橫切面觀時上表皮細胞的面積為內層細胞的 1/2-1/5。內層細胞背面觀

時 100-175 μm \times 35-50 μm 。邊緣細胞背面觀時薄壁。油體褐色，圓形、卵圓形至橢圓形；表皮細胞內不具有油體；內層細胞內每個細胞 1-3 個，7.5-20 μm \times 15-50 μm 。

藏精器及藏卵器未見。

孢子體未見。

石生。分布於日本及台灣。

引證標本 南投縣：鹿谷鄉，溪頭，海拔 1,300m，岩壁生，2006 年 12 月，*Yao 9512008*。

評論 本種的特徵為片狀體小型、分枝向上斜離或立離基質、表皮細胞無油體、末羽片橫切翼部狹窄。本種與 *Riccardia palmata* (Hedw.) Carruth. 相似，但本種內層細胞有 1-3 個油體，主軸橫切面 4-6 層細胞厚，後者為 1-7 個，主軸橫切面為 5-11 層細胞厚，二者有別。

謝 誌

本研究之完成要感謝日本國立科學博物館 (TNS) 研究員樋口正信 (Masanobu Higuchi) 博士在研究資料的提供，日本千葉縣立中央博物館古木達郎 (Tatsuwo Furuki) 博士在標本鑑定方面的協助，廣島大學理學部生命科學科植物標本館 (HIRO) 苔蘚教授出口博則 (Hironori Deguchi) 博士和山口富美夫 (Tomio Yamaguchi) 博士之借閱堀川芳雄 (Yoshio Horikawa) 所採之台產標本，以及國立台灣大學植物標本館 (TAI) 郭城孟館長和行政院農業委員會特有生物研究保育中心 (TAIE) 楊嘉棟先生在標本方面的提供。

引用文獻

林善雄。1980。玉山國家公園苔蘚植物之調查
(一)。內政部營建署玉山國家公園管理處。
林善雄。1981。玉山國家公園苔蘚植物之調查
(二)。內政部營建署玉山國家公園管理處。
林善雄。2000。台灣蘚類植物彩色圖鑑。行政院農業委員會。

姚奎宇。2007。台灣產綠片蘚科的分類研究。
私立東海大學生命科學系碩士論文。
Furuki, T. 1990. The young stages in some species of the Japanese Aneuraceae (Hepaticae). *Natural History Research* 1: 57-64.
Furuki, T. 1991. A taxonomical revision of the Aneuraceae of Japan. *The Journal of the Hattori Botanical Laboratory* 70: 293-397.
Horikawa, Y. 1934. Monographia Hepaticarum Australi-Japonicarum. *Journal of Science of the Hiroshima University. Ser. B, div. 2, 2*: 101-325, pls. 11-21.
Mizutani, M. and S. Hattori. 1957. An etude on the systematics of Japanese Riccardia. *The Journal of the Hattori Botanical Laboratory* 18: 27-64.
Schuster, R. M. 1987. Studies on Metzgeriales I. North American Aneuraceae. *The Journal of the Hattori Botanical Laboratory* 62: 299-329.
Stephani, F. 1917. *Species Hepaticarum, VI.* Geneve et Bale.
Yang, B. Y. 1960. Studies on Taiwan hepaticae, a preliminary list of the hepaticae of Taiwan. *Quarterly Journal of the Taiwan Museum* 13: 231-235.

台灣產細刺毛蓼之確認及其與兩相近分類群之分類研究

Confirmation on the Occurrence of *Persicaria barbata* (L.)
Hara var. *gracilis* (Danser) Hara in Taiwan, with Notes on
Its Two Related Taiwanese Taxa

葉大裕 陳世輝* 吳明洲

Ta-Yu Yeh, Shih-Huei Chen* and Ming-Jou Wu

國立東華大學生物資源與科技研究所 花蓮市華西路 123 號

Graduate Institute of Biological Resources and Technology, National Dong Hwa University, Hualian, Taiwan

* 通訊作者: shc@mail.ndhu.edu.tw

* Corresponding author: shc@mail.ndhu.edu.tw

摘 要

細刺毛蓼 [*Persicaria barbata* (L.) Hara var. *gracilis* (Danser) Hara] 廣泛分布於印度、中國南部至琉球群島。本研究確認本分類群出現於台灣。本文討論台灣產細刺毛蓼及其相近分類群：毛蓼 [*P. barbata* (L.) Hara var. *barbata*] 與蠶繭草 [*P. japonica* (Meisn.) Nakai] 之分類，除提供描述、圖幅外，並報導這三者之染色體數，其中，細刺毛蓼染色體 $2n = 40$ 為首次報導。本文針對這 3 分類群比較外部性狀，以 SEM 比較花粉粒及瘦果，結果顯示，細刺毛蓼這一變種是否應提升到種的位階，值得進一步探討。

Abstract

Persicaria barbata (L.) Hara var. *gracilis* (Danser) Hara is widely distributed in India to southern China and the Ryukyu Islands. This paper confirms its presence in Taiwan, and discusses its taxonomy with two related congeneric Taiwanese taxa, *P. barbata* (L.) Hara var. *barbata* and *P. japonica* (Meisn.)

Nakai. The descriptions, illustrations and chromosome numbers are provided. The chromosome number of $2n = 40$ is the first report for *P. barbata* var. *gracilis*. Diagnostic characters and SEM micrographs of pollen grains and achenes are compared among the three taxa. A further study is needed to determine whether the status of *P. barbata* var. *gracilis* should be elevated from the present rank of variety to the rank of species.

關鍵詞：毛蓼、細刺毛蓼、蠶繭草、分類學、台灣

Key words: *Persicaria barbata* var. *barbata*, *P. barbata* var. *gracilis*, *P. japonica*, taxonomy, Taiwan

收件日期：98年9月22日

接受日期：99年1月18日

Received: September 22, 2009

Accepted: January 18, 2010

緒 言

春蓼屬 [*Persicaria* (L.) Mill.] 全世界約有 150 種 (Kubitzki *et al.* 1993; Qaiser 2001)，全球廣泛分布 (Hinds and Freeman 2005)，主要分布於北半球溫帶地區。本屬植物曾包含於廣義蓼屬 (*Polygonum s. l.*) 之中，由葉柄與莖的解剖、花部及瘦果微形態、花粉類型及分子資料等證據，近代許多學者多將其分離出來獨立為 1 屬 (Haraldson 1978; Ronse Decraene and Akeroyd 1988; Ronse Decraene *et al.* 2000; Kim and Donoghue 2008)。台灣廣義蓼屬有 37 分類群及 1 疑問種 (Kuo *et al.* 1996)，其中 32 分類群可歸屬於春蓼屬。本屬植物為 1 年生或多年生草本，遍布台灣各地，生長於山溝石壁、水田河岸、沼澤溼地及潮溼廢田。細刺毛蓼 [*Persicaria barbata* (L.) Hara var. *gracilis* (Danser) Hara] 為分布於東南亞、菲律賓、台灣至琉球的多年生水生植物，最早由 Danser (1927) 發表為毛蓼的亞種 (*Polygonum barbatum* L. ssp. *gracile* Danser)，Steward (1930) 則將它處理為變種 [*Polygonum barbatum* L. var. *gracile*

(Danser) Steward]，Hara (1982) 重新組合置入春蓼屬中，稱為 *Persicaria barbata* (L.) Hara var. *gracilis* (Danser) Hara。本變種在中國稱為細刺毛蓼 (貴州植物誌編委會 1982)，Li (1995) 及 Li *et al.* (2003) 將本分類群處理為圓基長鬚蓼 (*Polygonum longisetum* Bruijn var. *rotundatum* A. J. Li)。Steward (1930) 建立本變種時曾引證 Henry 1168 (MBG, NY) 及 Matsuda 696 (UC) 2 份台灣產之標本，於處理此一分類群學名時並列有「*Polygonum serrulatum* Lagasc.” Hook. f. 38 (1886)」之說明，而且在台灣最早的採集紀錄文獻 Henry (1896) (引證標本：*Henry 1121, 1286, S. Cape*)，以及 Matsumura and Hayata (1906) 的植物名錄中均列有 *P. serrulatum* Lagasc. 一名，因之 Henry 可能是本分類群在台灣最早的紀錄者，隨後 Hsu (1967) 在其蓼科植物研究中提及 *Polygonum barbatum* L. var. *gracile* (Danser) Steward 這一分類群，但並無記述。Liu *et al.* (1976) 在台灣植物誌第 1 版中將本分類群併入毛蓼中。由於植株近似蠶繭草 (*Polygonum japonicum* Meisner)，Chen (1992)、Kuo *et al.* (1996) 及 Kuo (1999) 均將本分類群誤認

為蠶繭草，因此學名 *P. barbatum* var. *gracile* 30 年來在台灣植物文獻中均未出現。近年研究者在台灣春蓼屬植物分類研究中，發現本分類群確實出現於台灣，然而因外形與毛蓼及蠶繭草相近，常混雜於毛蓼標本中，或被錯誤鑑定為蠶繭草。

本文除對細刺毛蓼做分類上的描述外，並針對兩相近分類群毛蓼及蠶繭草做形態學、染色體及 SEM 花粉粒、瘦果的比較，以進一步釐清分類上的混淆。

材料與方法

一、形態觀察

野外採集之植物，部分帶回花房種植提供解剖拍照(Nikon SMZ 1500)與實驗使用，其餘則製成證據標本，用於形態觀察及描述。此外，檢視國立台灣大學植物標本館(TAI)、林業試驗所植物標本館(TAIF)、國立台灣師範大學生命科學系植物標本館(TNU)、國立自然科學博物館植物標本館(TNM)、國立東華大學美崙校區生物資源與科技研究所植物標本館(NHU)之保存標本，以及中央研究院植物標本館(HAST)網站所提供之標本照片，做形態比較。

二、染色體觀察

將野外採得新鮮植物帶回花房栽種，當植物體發出新根後，將新根尖取下(約 1 cm)，放入 70 ppm cycloheximide 和 250 ppm 8-hydroxyquinoline (1:1)混合液中做 4 hr 之前處理，溫度維持在 18°C。隨後以 95% ethanol 和 glacial acetic acid (3:1)固定 4 hr，固定後以 70% ethanol 保存。壓片時取 1-2 段根尖放入 1N HCl 溶液中處理 3 min 將根尖軟化，溫度維持在 62°C。最後以 2% aceto-carmine 染色 10 min 後進行壓片，並以光學顯微鏡(Nikon Eclipse 80i)進行觀察及拍照。

三、花粉粒測量

將新鮮花藥放置載玻片上，滴入 1 滴醋酸洋紅溶液，再將花藥搗碎並挑除碎塊，封片後以光學顯微鏡進行觀察及測量。

四、花粉粒及瘦果 SEM 觀察

花粉粒取自新鮮花藥以醋酸分解法 Erdtman (1952)進行處理。處理後的花粉粒以 50%、70%、95% 及 100% ethanol 系列脫水，脫水完成後再將花粉粒吸至濾膜上風乾。最後將濾膜貼至鋁台上鍍金，再以掃描式電子顯微鏡(Hitachi S-800)進行觀察及拍照。瘦果取自己烘乾之標本，並以雙面膠固定於鋁台上鍍金，再以掃描式電子顯微鏡進行觀察及拍照。

分類特徵

本研究依據野外觀察、標本館標本檢視及實驗室的處理，針對細刺毛蓼、蠶繭草(*P. japonica*)及毛蓼(*P. barbata* var. *barbata*)等三分類群以外形形態構造、染色體數及花粉粒、瘦果電子顯微形態比較分析，提出其差異，結果如下：

一、莖

細刺毛蓼莖表面完全光滑，蠶繭草莖表面光滑至稀疏毛，毛蓼莖表面稀疏至明顯粗毛(圖 1)。

二、葉

Mitchell (1971)在水生蓼屬的研究顯示，葉的性狀可為美洲地區種的分類依據，本研究中 3 個分類群，在外觀上也有明顯差異，依據葉片形狀、葉基、葉主側脈數、主側脈之間脈、葉柄及托葉鞘(ocrea)等特徵(圖 2)，比較差異如表 1。

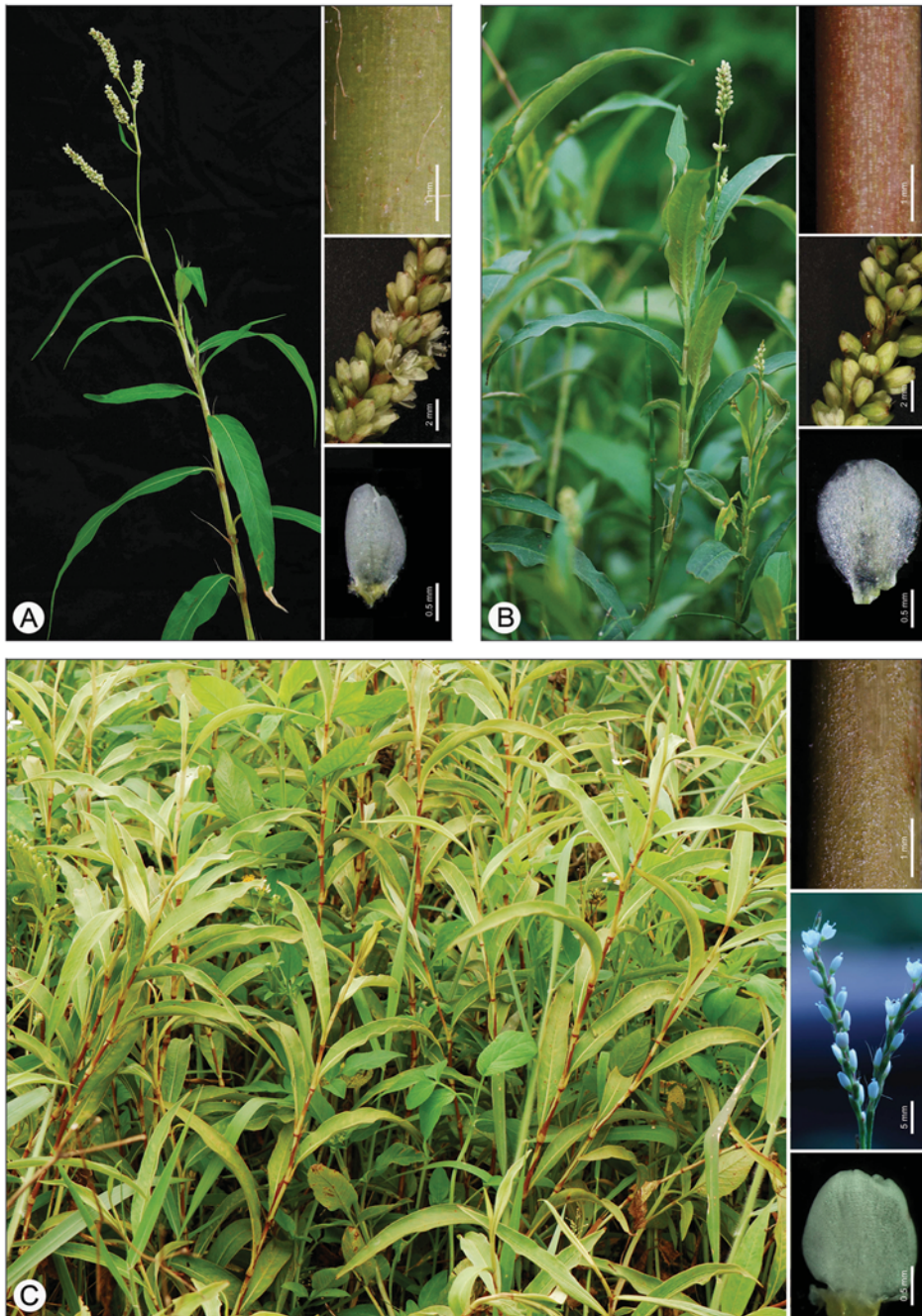


圖 1. A.毛蓼；B.細刺毛蓼；C.蠶繭草。A、B、C 圖：外形(左)，莖表面(右上)，花序著生狀態(右中)，花被片(右下)。

Fig. 1. Habit (left figure), stem surface (upper right figure), flowers in rachis (middle right figure), and tepal (lower right figure) of *Persicaria barbata* var. *barbata* (A), *P. barbata* var. *gracilis* (B), and *P. japonica* (C).

表 1. 台灣產毛蓼、細刺毛蓼、蠶繭草葉性狀特徵的比較

Table 1. Comparison of leaf characters among *Persicaria barbata* var. *barbata*, *P. barbata* var. *gracilis* and *P. japonica* of Taiwan

Taxa	<i>P. barbata</i> var. <i>barbata</i>	<i>P. barbata</i> var. <i>gracilis</i>	<i>P. japonica</i>
Characters			
Leaf shape	Elliptic, narrowly elliptic to linear lanceolate, 7-18.5 cm long, 1.5-3 cm wide	Oblong to narrowly linear lanceolate, 8-15.5 cm long, 1-2 cm wide	Linear lanceolate, 10-13.5 cm long, 1.5-2 cm wide
Leaf base	Cuneate	Rounded	Obtuse
Leaf surface	Sparsely to densely strigose	Glabrous	Sparsely to densely strigose
Secondary vein numbers	16-20	10-13	13-17
Intersecondary veins	Conspicuous	Inconspicuous	Inconspicuous
Petiole length	5-10 mm	0-2 mm	0-5 mm
Ocrea	Densely strigose, bristles wavy, nearly as long as ocrea	Sparsely strigose, bristles straight, nearly as long as 2/3 ocrea	Densely strigose, bristles slightly wavy, nearly as long as 1/2 ocrea

三、花序

本研究三分類群花序皆為穗狀之圓錐花序，然而花的著生與花序枝不同(圖 1)。細刺毛蓼花序分枝為 1-3 枝，表面光滑，花密集排列；蠶繭草花序分枝 1-3 枝，表面具平貼毛，花排列鬆散；毛蓼花序則為 3-6 枝，表面毛常曲折，花密集排列。

四、花

在花的性狀上(圖 1)，蠶繭草花較大型，花被片 3-4 mm 長，為寬卵形，雪白色，而另兩者則花較小，細刺毛蓼花被片 2.5-3 mm 長，倒卵形，乳黃色至白綠色，毛蓼花被片 2.0-2.5 mm 長，橢圓形，乳黃色至白綠色；除蠶繭草的小花梗較長(3.5-4 mm)伸出苞片外，另兩者小花梗(3 mm)均隱藏於苞片內。

五、花粉粒

Hedberg (1946)針對廣義蓼屬花粉粒進行

研究，提出 10 個花粉類型，本研究三分類群皆為春蓼型(*Persicaria* type)花粉，過去蓼科植物花粉粒的研究(Wodehouse 1931; Hedberg 1946)顯示，多數春蓼組植物為春蓼型花粉，本研究也發現這三分類群花粉相當一致(圖 2)。在 SEM 下，這三者的花粉粒都呈現球形，多孔，無蓋頂層，具棒狀突起，表面紋飾為多角形網狀紋飾，然而其大小有不同，細刺毛蓼在 51-65 μm 之間，平均 56 μm ；蠶繭草在 56-69 μm 之間，平均 58 μm ；而毛蓼較小，為 31-60 μm 之間，平均 46 μm 。

六、瘦果

瘦果性狀可為種的分類重要依據(Martin 1954; Ronse Decraene *et al.* 2000)，本研究三分類群瘦果(圖 2)為褐色至黑褐色，蠶繭草為雙凸形，細刺毛蓼及毛蓼為三稜形。在瘦果大小上，毛蓼最小，1.8-2 mm，而細刺毛蓼及蠶繭草較大，2.3-2.5 mm。在解剖顯微鏡下觀察，表面

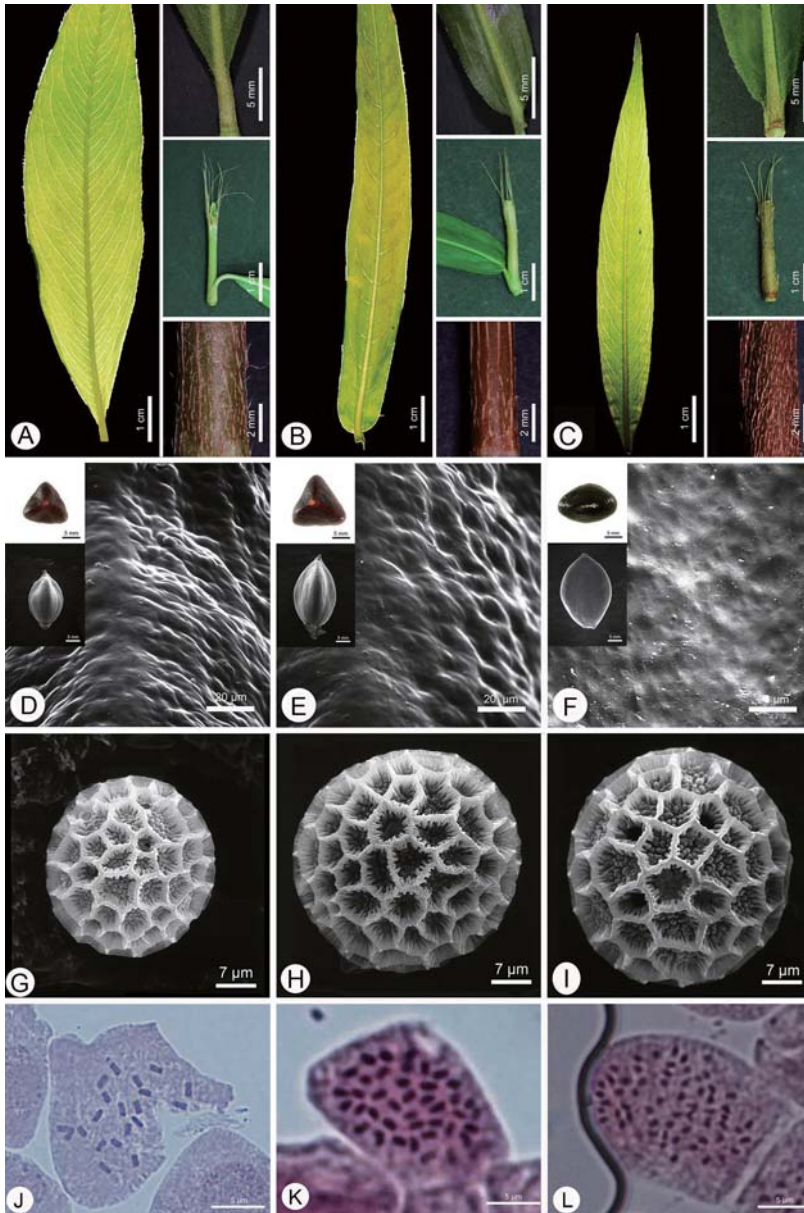


圖 2. 毛蓼(A、D、G及J)、細刺毛蓼(B、E、H及K)及蠶繭草(C、F、I及L)。A-C. 葉片(左)，葉基(右上)，托葉鞘(右中)，托葉鞘表面(右下)；D-F. 瘦果頂面觀(左上)，SEM 瘦果表面及正面；G-I. SEM 花粉粒；J-L. 染色體；J. $2n = 20$ ；K. $2n = 40$ ；L. $2n = 60$ 。

Fig. 2. Leaves (A-C. left figure, leaf shape; upper right figure, leaf base; middle right figure, ocrea; lower right figure, ocrea surface); achenes (D-F. upper left figure, top view; lower left figure, side view; SEM photographs of pericarp); pollen grains (G-I. SEM photographs); and chromosomes (J. $2n = 20$; K. $2n = 40$; L. $2n = 60$) of *Persicaria barbata* var. *barbata* (A, D, G, J), *P. barbata* var. *gracilis* (B, E, H, K), and *P. japonica* (C, F, I, L).

均平滑具光澤；以 SEM 檢視果皮表面紋飾，則顯示細刺毛蓼與毛蓼相近，表面粗糙，具橫條網紋，而蠶繭草則較光滑，網紋不明顯。

七、染色體數

春蓼屬染色體基數 $x = 10, 11, 12$ (Hinds and Freeman 2005)，過去研究中，細刺毛蓼染色體數未有記載，而毛蓼有 $2n = 20, 22, 40, 60$ (Jaretsky 1928; Fedorov 1969; Li *et al.* 2003)，蠶繭草有 $2n = 40, 44, 50$ (Doida 1960; Iwatsuki *et al.* 2006) 的報導，本研究觀察這三分類群發現：毛蓼 $2n = 20$ ，細刺毛蓼 $2n = 40$ ，蠶繭草 $2n = 60$ (圖 2)。這一結果顯示台灣的蠶繭草與過去的報告不同，此一數據為新增紀錄，而細刺毛蓼 $2n = 40$ 為首次報導。

地理分布

在全世界的地理分布上，亞洲為毛蓼、細刺毛蓼主要分布地區，毛蓼分布較廣，北至琉球，南至澳洲(Iwatsuki *et al.* 2006)，細刺毛蓼分布範圍較窄，琉球為其北限(Iwatsuki *et al.* 2006)，而蠶繭草僅侷限東北亞，台灣為其南限(Steward 1930; Iwatsuki *et al.* 2006)。

在台灣這三分類群大都生長在平原濕地，低海拔山區偶爾可見。蠶繭草比較少見，北、中、南地區有零星分布；毛蓼最為常見，遍及全島，生育地以溪流旁、水溝邊及廢田為主；細刺毛蓼以東部為主，北部偶爾可見，常生長於溪流旁與水溝邊，少數在廢田中。

分類處理

1. *Persicaria barbata* (L.) Hara, Fl. E. Himal. 70. 1966; Hara *et al.*, Enum. Fl. Pl. Nepal 3: 175. 1982; Qaiser, Fl. Pakistan 205: 45. 2001; Iwatsuki *et al.*, Fl. Japan 2(a): 162. 2006.

Polygonum barbatum L., Sp. Pl. 362. 1753;

Liu *et al.* in Li *et al.*, Fl. Taiwan 2: 264. 1976.

台灣毛蓼有兩變種：

1. 莖被糙伏毛；托葉鞘表面密毛覆蓋，剛毛與托葉鞘等長或長於托葉鞘，常波狀曲折，葉具短柄，葉基楔形；總花軸具毛，花序分枝 3-6 1a. var. *barbata*
2. 莖光滑；托葉鞘表面稀疏毛覆蓋，剛毛約為托葉鞘 2/3 長，葉近無柄，葉基圓形；總花軸光滑，花序分枝 1-3 1b. var. *gracilis*
 - 1a. *Persicaria barbata* (L.) Hara var. *barbata*
毛蓼(圖 1A)

Polygonum barbatum L., Sp. Pl. 1: 362. 1753;

Danser, Bull. Jard. Bot. Buitenzorg, ser. 3, 8: 145. 1927; Steward, Contr. Gray Herb. 88: 52. 1930; Hsu, Polygonaceae, Amaranthaceae, Chenopodiaceae & Moraceae, Taiwan 10. f. 6. 1967; Kuo *et al.* in Huang *et al.*, Fl. Taiwan 2nd ed 2: 298. 1996; Kuo in Yang *et al.*, Man. Taiwan Vasc. Pl. 2: 91. phot. 266. 1999; Li *et al.* in Wu *et al.*, Fl. China 5: 288. 2003.

莖斜上至直立，3-5 mm 寬，節間長 2-4 cm，接近莖節處具毛，常捲曲，長 1.8 mm。托葉鞘長 1.5-3 cm，表面具密毛，上緣剛毛長 11-32 mm，常波狀曲折；葉柄 5-10 mm；葉身橢圓、窄橢圓至長披針形，長 7-18.5 cm，寬 1.5-3 cm，基部楔形，葉緣毛長 1-1.2 mm，葉兩面稀疏至密毛覆蓋。穗狀圓錐花序，長 3-6 cm，寬 8 mm；總花軸長 3-6.5 cm，表面具密毛；苞片 2.5-3 mm 長，1.5-2 mm 寬，上緣剛毛長 1.5-5 mm。花 3-5 朵成 1 簇，花被裂片橢圓形至倒卵形，2.5 mm 長，1 mm 寬；雄蕊 1-1.5 mm 長，內藏；花柱 0.9 mm 長，子房 0.7 mm 長。瘦果黑色，1.8-2 mm 長，0.9-1 mm 寬。

地理分布：琉球、台灣、中國、印度、印尼、菲律賓與澳洲北部(Steward 1930; Iwatsuki *et al.* 2006)。

引證標本：台北縣：淡海，20 Jul. 1995,

C. F. Kuo 52 (TAIF)。桃園縣：八德，30 Sep. 1986, *S. Y. Lu s. n.* (TAIF)。新竹縣：內灣，20 Nov. 1966, *C. C. Chuang & M. T. Kao 4704* (TAI)。苗栗縣：造橋，26 Oct. 1977, *J. C. Ou & M. T. Kao 8846* (TAI)。台中市：北屯區，25 Sep. 1997, *C. M. Wang 02826* (TNM)。南投縣：信義-和社，24 Jun. 1970, *T. C. Huang & M. T. Kao 5293* (TAI)。雲林縣：麥寮，29 Sep. 1992, *J. C. Wang & J. J. Yang s. n.* (TNU)。嘉義縣：大埔，19 Feb. 2006, *C. M. Wang & C. Y. Li 08610* (TNM)。台南縣：桂田，4 Jun. 1995, *C. F. Kuo 571* (TAIF)。高雄縣：霧頭山，3 Nov. 1995, *C. F. Kuo 334* (TAIF)。屏東縣：涼山，8 May 2008, *T. Y. Yeh 81* (NHU)。宜蘭縣：壯圍，14 Jul. 2001, *C. C. Lin 301* (TAIF)。花蓮縣，花蓮市，7 Jun. 2009, *T. Y. Yeh 245* (NHU)。台東縣：池上，10 Dec. 2000, *S. M. Ku s. n.* (TNM)；蘭嶼，20 Jul. 2003, *S. W. Chung 6574* (TAIF)。

毛蓼在野外顯著特徵為幼株時常呈紅褐色，被覆糙伏毛，葉基楔形，極易與細刺毛蓼分辨，且毛蓼側脈數多，間脈明顯，使葉脈間距變得狹窄，在細刺毛蓼與蠶繭草葉脈上則無此特徵，雖然植株有時粗壯如絨毛蓼(*Persicaria pulchra* (Blume) Soják)，但絨毛蓼全株被覆柔毛與毛蓼的糙伏毛不同，托葉鞘剛毛長度毛蓼遠長於絨毛蓼，在花、果大小上，絨毛蓼皆大於毛蓼，而絨毛蓼瘦果為雙凸形，而毛蓼為三稜形。

1b. *Persicaria barbata* (L.) Hara var. *gracilis* (Danser) Hara, Enum. Fl. Pl. Nepal 3: 175. 1982; Ali et Qaiser, Fl. Pakistan 205: 45. 2001; Iwatsuki et al., Fl. Japan 2(a): 163. 2006.

細刺毛蓼(圖 1B)

Polygonum barbatum L. var. *gracile* (Danser) Steward, Contr. Gray Herb. 88: 55. 1930; Fl. Kweichow Ed. Comm., Fl. Kweichow 1: 191. 1982; Wang in Fl. Kwangsi 1: 554. f. 227-5, 6, 7. 1986.

Persicaria barbata subsp. *gracilis* (Danser) Soják, Preslia 46: 152. 1974.

Polygonum barbatum L. subsp. *gracile* Danser, Bull. Jard. Bot. Buitenzorg, ser. 3, 8: 146. f. 2. 1927.

Polygonum japonicum acut. non Meisner: Chen, Illustr. Aquat. Wetl. Pl. Ilan 164-165. f. 80. 1992; Kuo et al. in Huang et al., Fl. Taiwan 2nd ed. 2: 302. 1996; Kuo in Yang et al., Man. Taiwan Vasc. Pl. 2: 93. 1999.

Polygonum trigonocarpum acut. non (Makino) Kudo & Masamune: Kuo et al. in Huang et al., Fl. Taiwan 2nd ed. 2: 312. 1996.

莖斜上至直立，常在基部分枝，光滑，3-4 mm 寬，節間長 2.5-5.5 cm。托葉鞘長 1.5-2.5 cm，上緣剛毛長 10-20 mm，表面具稀疏毛；葉柄 0-2 mm，光滑；葉身長橢圓至窄橢圓狀線形，長 8-15.5 cm，寬 1-2 cm，基部圓形，葉緣毛長 0.9 mm，葉兩面光滑，葉背具腺點。穗狀圓錐花序，長 3-4.5 cm，寬 8-9 mm；總花軸 2.5-3.5 cm 長，光滑；苞片 4 mm 長，2 mm 寬，上緣剛毛長 2-4 mm。小花梗長 3 mm；花 4-5 朵合成 1 簇，花被裂片寬倒卵形，3 mm 長，1.3 mm 寬；雄蕊 1-1.5 mm 長，內藏；花柱 0.7 mm 長，子房 0.8 mm 長。瘦果黑色，2.2-2.5 mm 長，1.3-1.6 mm 寬。

地理分布：琉球、台灣、中國、印度、印尼與菲律賓(Steward 1930; Iwatsuki et al. 2006)。

引證標本：台北縣：蘆洲，15 Aug. 2005, *R. S. Huang s. n.* (NHU)。花蓮縣：花蓮市，7 Jun. 2009, *T. Y. Yeh 244* (NHU)；新城，5 Oct. 2000, *T. T. Chen 11082* (TAIF)；三農場，11 Oct. 2001, *T. T. Chen 11685* (TAIF)。

本變種在中國大陸 Li (1995) 曾將之處理為圓基長鬚蓼(*Polygonum longisetum* var. *rotundatum*)，然而圓基長鬚蓼為 1 年生植物，本分類群為多年生；前者植株高僅 30-60 cm，而後者一般在 60-80 cm；托葉鞘筒與上緣剛毛之長度比，前者近等長，後者明顯剛毛短於鞘筒；

花色在圓基長鬚蓼為粉紅至紅紫色，而本分類群則為綠白色。最近Iwatsuki *et al.* (2006)也將本分類群與 *P. longisetum* var. *rotundatum* 分開，而且引用 *P. longisetum* var. *rotundatum* 部分資料(*pro parte*)處理為 *Persicaria erectominor* (Makino) Nakai 之異名。

本變種外形與毛蓼有明顯不同，雖然Dansen、Steward認為本分類群與毛蓼差異少，只有葉基及花序長短與分枝數目的不同而處理為變種，近代有些植物誌作者也接受這一觀點(Qaiser 2001; Iwatsuki *et al.* 2006)。然而從上述分類特徵比較，這2分類群還是有相當的不同，且就野外觀察，雖兩者生育地相似，大都在河溝、渠道或水田邊，常有混生，然而兩者壁壘分明，未見有性狀介於兩者間的植株。由於研究者只有台灣的植物資料，未能與亞洲其他地區標本做比對，討論它的分類地位可能言之武斷，本研究暫且以變種地位處理，然而本變種是否應提升至種(*species*)的位階，值得進一步探討。

2. *Persicaria japonica* (Meisner) Nakai, Rigakkaiv 24: 300. 1926; Sasaki, List Pl. Formosa 169. 1928; Iwatsuki *et al.*, Fl. Japan 2(a): 163. 2006.

蠶繭草(圖 1C)

Polygonum japonicum Meisner, DC., Prodr. 14(1): 112. 1856; Steward, Contr. Gray Herb. 88: 55. 1930; Hsu, Polygonaceae, Amaranthaceae, Chenopodiaceae & Moraceae, Taiwan 18. f. 16. 1967; Liu *et al.* in Li *et al.*, Fl. Taiwan 2: 272. 1976.

Polygonum pseudo-japonicum Ohki, Bot. Mag. Tokyo 39: 263. 1925.

Persicaria pseudo-japonica (Ohki) Sasaki, List Pl. Formosa 170. 1928.

多年生草本，高可達 120 cm，常具走莖。莖斜上至直立，3 mm 寬，節間長 3-4 cm，光滑至稀疏毛，長 0.8 mm。托葉鞘長 2-2.5 cm，基部膨大，上緣平整具剛毛 9-11 mm 長，表面具密毛；葉柄長 0-5 mm，具密毛；葉身長披

針形，長 10-13.5 cm，寬 1.5-2 cm，頂端漸尖，基部鈍尖，葉緣具毛，葉兩面稀疏或密生細毛。穗狀圓錐花序，長 5 cm，寬 8 mm，頂生和腋生，直立或下垂，花排列鬆散；總花軸長 4.5-6 cm，具密毛；苞片光滑至疏毛，長 2.5 mm，寬 2.5 mm，上緣具剛毛 2.5 mm 長。小花梗伸出苞片外，長 3-4 mm；花被裂片 5，白色，寬卵形，長 3-3.5 mm，寬 2-2.5 mm；雄蕊(4)-5-7 枚，花柱 1，頂端 2 叉，偶 3 叉，子房雙凸，偶三稜，乳白色，長 1 mm；長柱型花：雄蕊 2 mm 長，花柱 2.5 mm 長，伸出花被外；短柱型花：雄蕊 3 mm 長，伸出花被外，花柱 1.5 mm 長。瘦果被宿存花被包覆，黑色，雙凸，偶三稜，長 2.2-2.5 mm，寬 1.5-2 mm，表面光滑，具光澤。

地理分布：日本、韓國、台灣與中國(Steward 1930; Iwatsuki *et al.* 2006)。

引證標本：台北縣：北投，1 Apr. 1966, K. S. Hsu s. n. (TAIF)。桃園縣：新屋，27 May 2009, T. Y. Yeh 246 (NHU)。新竹縣：蓮花寺，22 Dec. 1996, T. C. Huang, S. F. Huang & H. W. Lin 16953 (TAI)；竹北，6 Nov. 1927, Yaiti Simada 4216 (HAST)；香山，20 Jul. 1977, C. I Peng 3228 (TAI)。彰化縣：鹿港，25 Jul. 1969, K. S. Hsu s. n. (TAIF)；田中，1 Nov. 1984, S. F. Huang 2066 (TAI)。雲林縣：斗南，30 Oct. 1987, H. F. Yen 01871 (TNM)。宜蘭縣：宜蘭市，14 Nov. 2000, C. C. Lin 31 (TAIF)。

本種植株與細刺毛蓼相似，都較毛蓼纖細，但兩者在葉片、花、果有不同，尤其在花的性狀上差異極明顯。在地理分布上，本種侷限東北亞，台灣為其南限。蠶繭草的花為異型花柱，或許是此原因造成本分類群不易結果(Hiratsuka and Nakao 1996)，而染色體數 $2n = 60$ 為 6 倍體，依據 Kim *et al.* (2008)的研究，本種為異源多倍體種化(allopolyploid speciation)而來。

謝 誌

本研究蒙 HAST、TAI、TAIF、TNM、TNU 等標本館給予檢視標本之方便，並蒙教育部 97 年度東部教學資源研究計畫及國科會 NSC96-2621-B-259-002My3 計畫部分經費補助，兩位審稿委員增補文獻並提供寶貴意見，謹申謝忱。

引用文獻

- 貴州植物誌編委會。1982。貴州植物誌(第一卷)。蓼科。182-213 頁。貴州人民出版社。
- Chen, S. H. 1992. Illustrations of aquatic and wetland plants of Ilan. p. 164-165. National Hualian Teachers College, Hualian.
- Danser, B. H. 1927. Die Polygonaceen Niederlandisch-Ostindiens. Bulletin du Jardin Botanique, serie 3(8): 117-261.
- Doida, Y. 1960. Cytological studies in *Polygonum* and related genera I. The Botanical Magazine Tokyo 37: 337-340.
- Erdtman, G. 1952. Pollen morphology and plant taxonomy: Angiosperms. Almqvist & Wiksells, Uppsala.
- Fedorov, A. 1969. Chromosome numbers of flowering plants. Leningrad, Nauka.
- Hara, H. 1982. Polygonaceae. In: H. Hara *et al.* (eds.). An enumeration of the flowering plants of Nepal 3: 172-187. Trustees of British Museum (Natural History), London.
- Haraldson, K. 1978. Anatomy and taxonomy in Polygonaceae subfam. Polygonoideae Meisn. emend. Jaretzky Symbolae Botanicae Upsalienses 22: 1-95.
- Hedberg, O. 1946. Pollen morphology in the genus *Polygonum* L. s. l. and its taxonomical significance. Svensk Botanisk Tidskrift 40: 371-404.
- Henry, M. A. 1896. A list of the plants from Formosa, with some preliminary remarks on the geography, nature of the flora and economic botany of the island. Transactions of the Asiatic Society of Japan 24 Supplement: 76.
- Hinds, H. R. and C. C. Freeman. 2005. *Persicaria*. In: C. C. Freeman *et al.* (eds.). Flora of North America 5: 574-579. Oxford University, New York.
- Hiratsuka, A. and R. Nakao. 1996. *Persicaria japonica* (Meisn.) H. Gross, a heterostylous species in the Polygonaceae. The Journal of Japanese Botany 71: 98-104.
- Hsu, C. C. 1967. The Polygonaceae, Amaranthaceae, Chenopodiaceae and Moraceae of Taiwan. p. 10-12. Department of Botany, National Taiwan University, Taipei.
- Iwatsuki, K., D. E. Boufford and H. Ohba. 2006. Polygonaceae. In: K. Iwatsuki *et al.* (eds.). Flora of Japan 2a: 122-174. Kodansha Ltd., Tokyo.
- Jaretzky, R. 1928. Histologische und karyologische studien an Polygonaceen. Jahrbücher für Wissenschaftliche Botanik 69: 357-491.
- Kim, S. T. and M. J. Donoghue. 2008. Molecular phylogeny of *Persicaria* (Persicarieae, Polygonaceae). Systematic Botany 33(1): 77-86.
- Kim, S. T., S. E. Sultan and M. J. Donoghue. 2008. Allopolyploid speciation in *Persicaria* (Polygonaceae): Insights from a low-copy nuclear region. Proceedings of the National Academy of Sciences 105(34): 12370-12375.
- Kubitzki, K., J. G. Rohwer and V. Bittrich. 1993. The families and genera of vascular plants, vol. 2. p. 542-543.
- Kuo, C. F., H. Y. Liu and Y. P. Yang. 1996. *Polygonum*. In: T. C. Huang *et al.* (eds.). Flora of Taiwan 2nd ed. 2: 295-313. Editorial

- Committee of the Flora of Taiwan, Second Edition, Taipei.
- Kuo, C. F. 1999. *Polygonum*. In: Y. P. Yang *et al.* (eds.). Manual of Taiwan vascular plants 2: 89-97. The Council of Agriculture, The Executive Yuan, Taipei.
- Li, A. R. 1995. New taxa of *Polygonum* (Polygonaceae) from China. Bulletin Botanical Research 15(4): 413-418.
- Li, A. R., A. E. Grabovskaya-Borodina, S. P. Hong, J. McNeill, H. Ohba and C. W. Park. 2003. *Polygonum*. In: Z. I. Wu *et al.* (eds.). Flora of China 5: 278-315. Science Press, Missouri Botanical Garden, USA.
- Liu, T. S., S. S. Ying and M. J. Lai. 1976. Polygonaceae. In: H. L. Li *et al.* (eds.). Flora of Taiwan 2: 259-292. Epoch Publishing Co., Ltd., Taipei.
- Martin, A. C. 1954. Identifying *Polygonum* seeds. The Journal of Wildlife Management 18(4): 514-520.
- Matsumura, J. and B. Hayata. 1906. Enumeratio plantarum. Journal of the College of Science, Imperial University, Tokyo, Japan 22: 334-343.
- Mitchell, R. S. 1971. Comparative leaf structure of aquatic *Polygonum* species. American Journal of Botany 58(4): 342-360.
- Qaiser, M. 2001. *Persicaria*. In: S. I. Ali and M. Qaiser (eds.). Flora of Pakistan 205: 21-57. Department of Botany, University of Karachi, Karachi and Missouri Botanical Garden, Missouri, USA.
- Ronse Decraene, L. P. and J. R. Akeroyd. 1988. Generic limits in *Polygonum* and related genera (Polygonaceae) on the basis of floral characters. Botanical Journal of the Linnean Society 98: 321-371.
- Ronse Decraene, L. P., S. P. Hong and E. Smets. 2000. Systematic significance of fruit morphology and anatomy in tribes Persicarieae and Polygonaceae (Polygonaceae). Botanical Journal of the Linnean Society 134: 301-337.
- Steward, A. N. 1930. The Polygonaceae of Eastern Asia. Contributions from the Gray Herbarium of Harvard University 5: 1-129.
- Wodehouse, R. P. 1931. Pollen grains in the identification and classification of plants VI. Polygonaceae. American Journal of Botany 18 (9): 749-764.

Morphology and Ultrastructure of Root-Fungus Association of *Rhododendron formosanum* Hemsl. in Sanlinchi Forest of Central Taiwan

中台灣杉林溪森林中台灣杜鵑根菌結合體之形態及微細構造

Lei-Chen Lin^{1, 2}, Ming-Jen Lee^{2, *} and Yei-Zeng Wang³

林瑞進^{1, 2} 李明仁^{2, *} 王也珍³

¹ Endemic Species Research Institute, Jiji, Nantou, Taiwan

² Graduate Institute of Agriculture, National Chiayi University, Chiayi, Taiwan

³ National Museum of Natural Science, Taichung, Taiwan

¹ 行政院農業委員會特有生物研究保育中心 南投縣集集鎮民生東路1號

² 國立嘉義大學農學研究所 嘉義市鹿寮里學府路300號

³ 國立自然科學博物館 台中市館前路1號

* Corresponding author: mjlee@mail.ncyu.edu.tw

* 通訊作者：mjlee@mail.ncyu.edu.tw

Abstract

This paper describes mycorrhizal character of the Formosan azalea (*Rhododendron formosanum* Hemsl.), an indigenous ericoid plant in the Sanlinchi forest of Central Taiwan. The root-fungus associations were categorized into 6 morphological types with light microscopy. The root ultrastructure examined with scanning electron microscopy revealed that hyphal complex and hyphal coil structures were present in cortical cells. The isolated fungal strains had slow-growing septate hyphae. The results suggested that the root-fungus association of the Formosan azalea belong to ericoid mycorrhiza.

摘要

本研究探討中台灣杉林溪森林中台灣杜鵑之菌根特徵。台灣杜鵑根系之根菌結合體可區分為6種形態。其根部組織之微細構造顯示，皮層細胞內有菌絲複合體及菌絲圈之構造。自根系分離純化培養之菌株具有生長緩慢之隔膜菌絲。研究結果證實，杉林溪台灣杜鵑根系之根菌結合體屬於杜鵑類菌根。

Key words: *Rhododendron formosanum*, ericoid mycorrhiza, morphology, ultrastructure

關鍵詞：台灣杜鵑、杜鵑類菌根、形態、微細構造

Received: December 7, 2009

Accepted: January 18, 2010

收件日期：98年12月7日

接受日期：99年1月18日

Introduction

Harley (1969) categorizes mycorrhizae of Ericales into ericoid mycorrhizae and arbutoid mycorrhizae. Ericoid mycorrhizae belong to endomycorrhizae that have septate hyphae, intracellular hyphae and hyphal coils without arbuscular hyphae, mantle, Hartig net and vesicles. Arbutoid mycorrhizae belong to ectendomycorrhizae that have endomycorrhizal features of septate hyphae, intracellular hyphae, hyphal coils, ectomycorrhizal features of mantle, and Hartig net.

Ericoid mycorrhizae are present in many species of Ericales, belonging to the genera *Calluna* (Nieuwdrop 1969; Bonfante-Fasolo and Gianinazzi-Pearson 1979), *Erica*, *Vaccinium* (Nieuwdrop 1969; Bonfante-Fasolo *et al.* 1981), and *Rhododendron* (Peterson *et al.* 1980).

In respect to the microscopic structure of ericoid mycorrhizae, Rayner (1927) points out that the characteristic of ericoid mycorrhizae is

that the development of hyphae in their cells leads to the formation of characteristic hyphal coils which fill the whole cells, and the invasion of a mycorrhiza into the surface cells gives rise to generate intracellular hyphal coils which grow spirally in the epidermal cells. Therefore, fungi infect epidermal cells, spreading and ramifying over the root surface but seldom extending from a cell to another (Bonfante-Fasolo and Gianinazzi-Pearson 1979; Duddridge and Read 1982). With the advancement of instruments, Peterson *et al.* (2004) point out that within an ericoid mycorrhiza, there might be a narrow hypha that can penetrate into adjacent cells.

Although many studies have been carried out on flora of Ericales in Taiwan (Lee 2000; Tseng and Lu 2003), they were limited to physiology or ecology; there was no study on their underground mycorrhizae. Therefore, this study was intended to examine the morphology and structure of root systems of the Formosan azalea to explore if the

structural characteristics of ericoid mycorrhizae are present.

Materials and Methods

Sampling of root soil

Formosan azalea endemic to Taiwan is an evergreen shrub with herbaceous leaves, canescent of verso, and corolla white or pink in color (Liu *et al.* 1994). Sixty soil-core samples (5 cm in diameter) containing roots of the Formosan azalea were randomly collected in Spring 2006 from a Formosan azalea forest (120°47'31.35" E longitude and 23°38'9.85" N latitude; altitude 1700m) with stems up to 15 cm in dbh in the Sanlinchi Recreational Park in Chushang Township, Nantou County, Taiwan. The soil samples were brought to the laboratory.

Soil chemistry

Each of the soil samples was mixed in distilled water at a soil water ratio of 1:10 and the pH was measured. Cation-exchange capacity (CEC) of the sample was determined by the conventional NH_4OAc method (Gillman 1979).

Morphology of root association

The soil samples collected were rinsed with running tap water for 3 min, and cleaned with a ultrasonic oscillator. Morphology of root-fungus association was examined under a stereo microscope (Usuki and Narisawa 2005).

Isolation and purification of hyphae

Swollen root segments with hyphae complex were sterilized with 30% H_2O_2 for 1 min (Berch *et al.* 2002), sectioned and cultured on 1% water agar culture medium (Xiao and Berch 1992), and

incubated for 14-21 days at 20°C under dark condition. Hyphae grew slowly from edge of the root section. They were isolated and transferred into 1% MEA (malt extract agar) culture media for purification (Johansson 2001). The isolated fungal strains were assigned the number of Rf as for *R. formosanum*.

Morphology and growth of fungus colonies

The purified hyphae were transferred to 2% MEA (malt extract agar) culture media and cultivated at 20°C in a dark incubator. The growth rate of the colony and morphological characters of the hyphae were recorded at scheduled intervals daily (Hutton *et al.* 1994; Hambleton and Currah 1997; Tsai 2003).

Scanning electron microscopy of root samples

Root samples were fixed in 2.5% glutaraldehyde fixative at room temperature for a day. Then, they were rinsed with 0.1M phosphate buffer solution 3 times, each for 15 min, and then, followed by serial dehydration in 10, 30, 50, 70, 90, 95, 100% ethanol and 100% acetone. They were critical-point dried in a critical point dryer using liquid carbon dioxide. The dried samples were mounted on an aluminum stub, coated with gold, and observed under a scanning electron microscope (Tsai 2003).

Results and Discussion

Soil and litter characteristic at site

Most roots of the *Rhododendron formosanum* grew on O (organic) and OA (mixing of organism and mineral) horizons. The results of this study indicated that the soil reactions were strongly acidic (O: pH 3.267, OA: 3.30). The values of

cation-exchange capacities (CEC) were 70.51 cmol/kg (O) and 80.00 cmol/kg (OA). The organic

matters were 62.69% (O) and 52.93% (OA) (Table 1).

Table 1. The soil characters (means \pm standard deviation, $n = 2$) of the root-fungus associations of *Rhododendron formosanum*

Horizons	pH*	Organic matters (%)	CEC (cmol/kg)
O	3.267	62.69 \pm 2.66	70.51 \pm 7.75
OA	3.300	52.93 \pm 6.44	80.00 \pm 13.26

* Water: soil volume ratio, 1:10.

O: organic horizon. OA: mixing horizon of organism and mineral.

Morphology of root-fungus association

The swollen root-fungus associations in the root samples of Formosan azalea were classified into six types according to the morphological characters. Type 1 was stalked, cylindrical, 0.3 mm in diameter, and creasy. Upper cylinder was golden yellow in color, fading upon aging (Fig. 1A). Type 2 was sessile, cylindrical, and yellowish brown at its initial stage (Fig. 1B). Type 3 was sessile, bi-segmented, the anterior segment conical, yellowish brown, and the anterior segment cylindrical and golden yellow (Fig. 1C). Type 4 was short and stout, corresponding to the initial stage of mycorrhizal formation, yellow in color and sparsely covered with setae (Fig. 1D). Type 5 was monilioid golden yellow at the initial stage of mycorrhizal formation, brown when aged, and sparsely covered with setae (Fig. 1E). Type 6 was bi-segmented cylindrical, growing from the lateral side of the main root. It can be subdivided into Subtype 1 with anterior segment longer than posterior segment and Subtype 2 with anterior segment shorter than posterior segment; golden yellow at the initial stage, becoming yellowish brown when mature, and surface densely covered with setae, with a peltate end (Fig. 1F).

Characters of colonies and hyphae

Fungal strains isolated and cultured from swollen root associations are described as follows:

Colonies of Rf 9, incarnate with flocculent edge (Fig. 2A), yellow pigments appeared, growth rate 0.82 ± 0.05 mm/day. Hyphae septate, 2.5-1.25 μ m in width (Fig. 2B). Colonies of Rf 28, dark green in color (Fig. 2C), growth rate 1.0 ± 0.6 mm/day. Hyphae dark green, septate, 2.5-5 μ m in width (Fig. 2D). Colonies of Rf 32, brown in color (Fig. 2E), growth rate 1.0 ± 0.05 mm/day. Hyphae septate, 2.5-1.25 μ m in width (Fig. 2F). Colonies of Rf-3, gray in color (Fig. 2G), growth rate 0.54 ± 0.02 mm/day. Hyphae septate, 2.5-1.25 μ m in width (Fig. 2H).

Ultra-structure of root-fungus association

The ultrastructures of root fungus associations were divided into two categories: the hyphae complex with microsclerotia or hyphal ring (Duclos *et al.* 1983; Perotto *et al.* 1995; Massicotte *et al.* 2005), and loose arrangement of branching hyphae (Massicotte *et al.* 2005).

There were hyphae sparsely attached on the surface of root systems (Fig. 3A). The invading point of a hypha with a width of 0.7 μ m was also found (Fig. 3B). Hyphal complexes (Fig. 3C-3F)

and branching hyphae were observed. Most of the hyphal complexes in the root tissues were

microsclerotia that were distributed in the epidermal cells (Fig. 3C).



Fig. 1. Types of mycorrhizae of the *Rhododendron formosanum*. A. type 1; B. type 2; C. type 3; D. type 4; E. type 5; F. type 6.

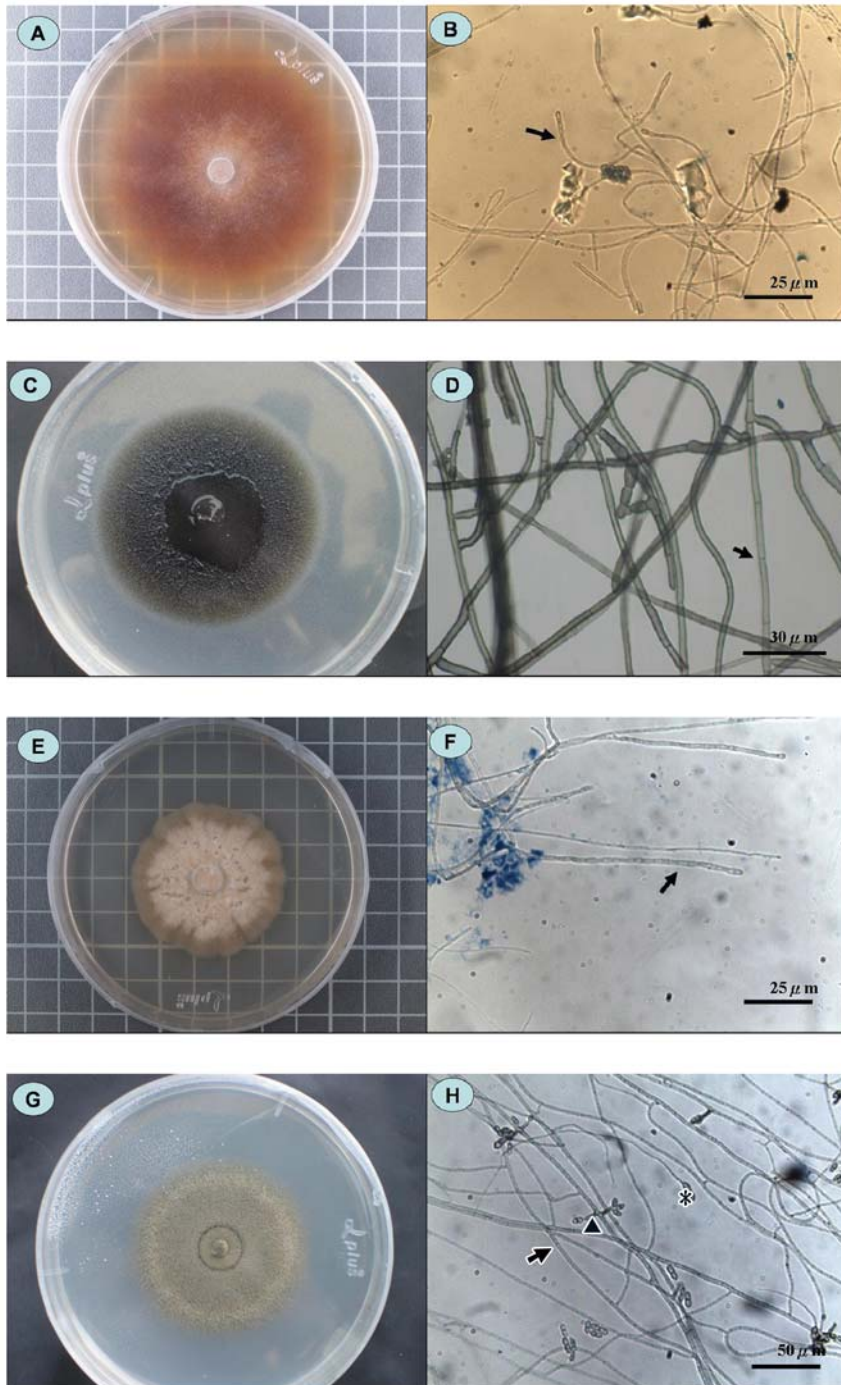


Fig. 2. Endophytes of the *Rhododendron formosanum*. Colony (A) and hyphae (B) of strain Rf 9; colony (C) and hyphae (D) of strain Rf 28; colony (E) and hyphae (F) of strain Rf 32; colony (G) and hyphae (H) of strain Rf-3; arrows, septate; arrowheads, conidiophore; *, conidium.

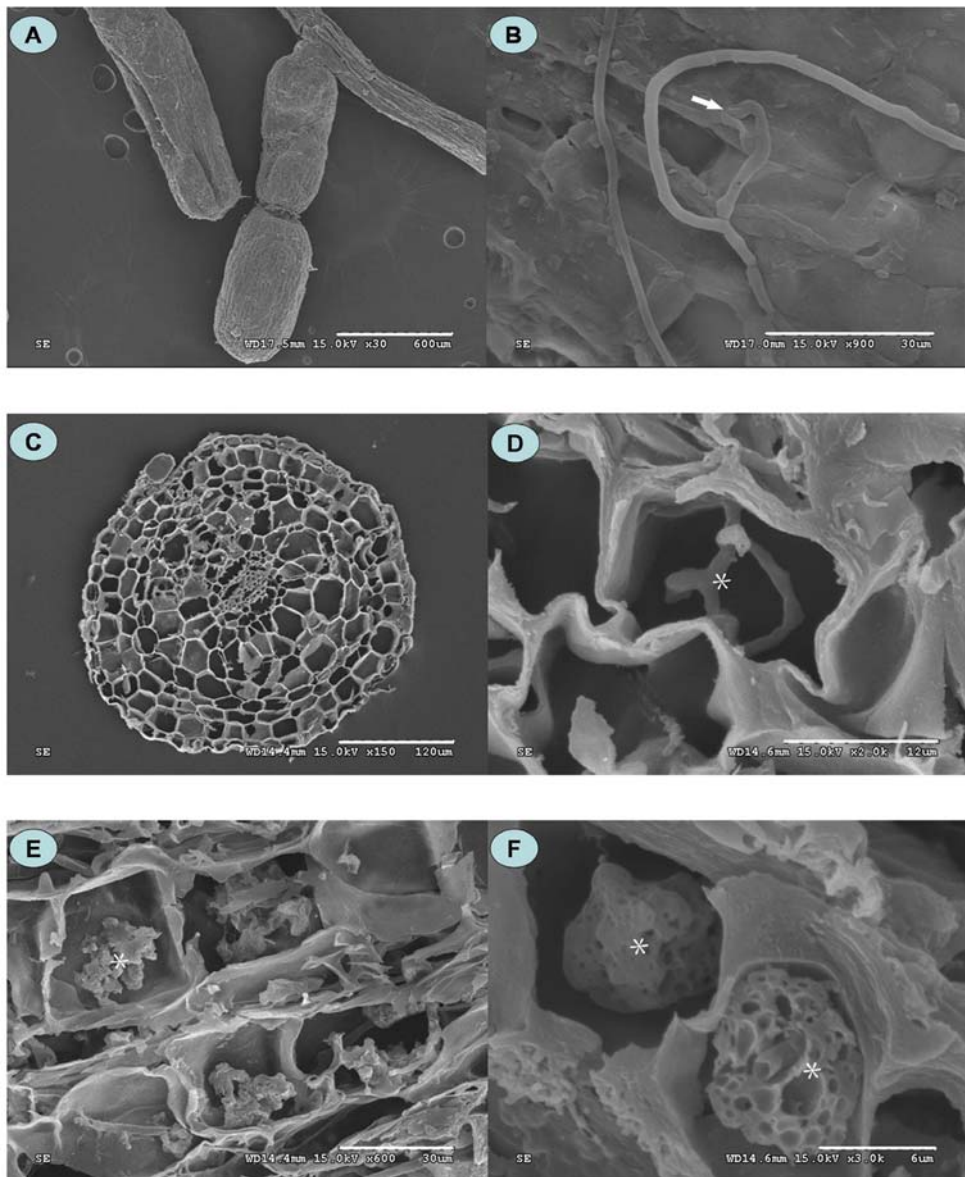


Fig. 3. Ultrastructure of mycorrhiza of the *Rhododendron formosanum*. A. surface of hairy root covered with hyphae; B. hyphae within intercellular spaces (arrow); C. a cross section of mycorrhiza; D. branching hyphae (*); E. breakdown microsclerotia (*) and F. microsclerotia (*).

Conclusions

It is estimated that there are approximately 850 species of *Rhododendron* in the world, among

which about 500 to 600 species are in tropical regions of East Asia and Southeast Asia. Henry (1896) recorded 2 species: *R. oldhamii* Maxim. and *R. formosanum* Hemsl. from Taiwan. Recently

Tseng and Lu (2003) studied the wild *Rhododendron* flora of Taiwan and found 15 indigenous species of which 11 were endemic. Although there are many endemic species of *Rhododendron* in Taiwan, there has been no study on ericoid mycorrhizae. In contrast to Taiwan, the studies on ericoid mycorrhizae have a relatively long history in other countries. It has been found that in a stress environment with extreme climate conditions and/or poor soil conditions, *Rhododendron* has been frequently found to become dominant species after forming mycorrhizae with ericoid mycorrhizal fungi.

The results of this study showed that ericoid mycorrhizae structures such as hyphae complex and branching hyphae existed in root epidermal cells of the Formosan azalea. The endophytes had slow-growth and septate hyphae coincided with the characteristics of ericoid mycorrhizal fungi. Therefore, the root association of the Formosan azalea in the Sanlinchi forest belonged to ericoid mycorrhiza.

Literature Cited

- Berch, S. M., T. R. Allen and M. L. Berbee. 2002. Molecular detection, community structure and phylogeny of ericoid mycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 244: 55-66.
- Bonfante-Fasolo, P. and V. Gianinazzi-Pearson. 1979. Ultrastructural aspects of endomycorrhiza in the Ericaceae. I. Naturally infected hair roots of *Calluna vulgaris* L. Hull. *New Phytologist* 83: 739-744.
- Bonfante-Fasolo, P., G. Berta and V. Gianinazzi-Pearson. 1981. Ultrastructural aspects of endomycorrhiza in the Ericaceae. II. Host-endophyte relationships in *Vaccinium myrtillus* L. *New Phytologist* 89: 219-224.
- Duclos, J. L., R. Pépin and G. Bruchet. 1983. Etude morphologique, anatomique et ultra-structural endomycorrhizes synthétiques d'*Erica carnea*. *Canadian Journal Botany* 61: 466-475.
- Duddridge, J. A. and D. J. Read. 1982. An ultra-structural analysis of the development of mycorrhizas in *Monotropa hypopitys* L. *New Phytologist* 92: 203-214.
- Gillman, G. P. 1979. A proposed method for the measurement of exchange properties of highly weathered soils. *Australian Journal Soil Research* 17: 129-139.
- Hambleton, S. and R. S. Currah. 1997. Fungal endophytes from the roots of alpine and boreal Ericaceae. *Canadian Journal Botany* 75(9): 1570-1581.
- Harley, J. L. 1969. The biology of mycorrhiza. London, England: Leonard Hill. 283 pp.
- Henry, A. 1896. A list of plants from Formosa with some preliminary remarks on the geography, nature of the flora and economic botany of the island. *Transactions of the Asiatic Society of Japan* 24 Suppl: 1-118.
- Hutton, B. J., K. W. Dixon and K. Sivasithamparam. 1994. Ericoid endophytes of Western Australian heaths (Epacridaceae). *New Phytologist* 127: 557-566.
- Johansson, M. 2001. Fungal associations of Danish *Calluna vulgaris* roots with special reference to ericoid mycorrhiza. *Plant and Soil* 231: 225-232.
- Lee, C. S. 2000. Studies on plant community of *Rhododendron formosanum* Hemsl. in fenghuang mountains (Master thesis). Taipei, Taiwan, School of Forestry and Resource Conservation, National Taiwan University.

- 85 pp. (In Chinese).
- Liu, Y. C., F. Y. Lu and C. H. Ou. 1994. Trees of Taiwan. College of Agriculture, National Chung-Shing University. 925 pp. (In Chinese).
- Massicotte, H. B., L. H. Melville and R. L. Peterson. 2005. Structural characteristics of root-fungal interactions for five ericaceous species in eastern Canada. *Canadian Journal Botany* 83: 1057-1064.
- Nieuwdrop, P. J. 1969. Some investigations on the mycorrhiza of *Calluna*, *Erioid* and *Vaccinium*. *Acta Botanica Neerlandica* 18: 180-196.
- Perotto, S., R. Peretto, A. Faccio, A. Schubert, A. Varma and P. Bonfante. 1995. Ericoid mycorrhizal fungi: Cellular and molecular bases of their interactions with the host plant. *Canadian Journal Botany* 73: S557-568.
- Peterson, T. A., W. C. Mueller and L. Englander. 1980. Anatomy and ultrastructure of a *Rhododendron* root-fungus association. *Canadian Journal Botany* 58: 2421-2433.
- Peterson, R. L., H. B. Massicotte and L. H. Melville. 2004. *Mycorrhizas: Anatomy and cell biology*. Ottawa, Ont., Canada: NRC Reserch Press. 173 pp.
- Rayner, M. C. 1927. Mycorrhiza. *New phytologist* 15: 246.
- Tsai, L. C. 2003. Effects of orchid mycorrhizal fungi and plant growth substances on the growth and development of *Paphiopedilum* spp. (Master thesis). Department of Horticulture, National Taiwan University. 79 pp. (In Chinese).
- Tseng, Y. H. and S. Y. Lu. 2003. Introduction of *Rhododendron* sp. in the field. *Nature Conservation Quarterly* 43: 18-30. (In Chinese).
- Usuki, F. and K. Narisawa. 2005. Formation of structures resembling ericoid mycorrhizas by the root endophytic fungus *Heteroconium chaetospora* within roots of *Rhododendron obtusum* var. *kaempferi*. *Mycorrhiza* 15: 61-64.
- Xiao, G. and S. M. Berch. 1992. Ericoid mycorrhizal fungi of *Gaultheria shallon*. *Mycologia* 84 (3): 470-471.

《台灣生物多樣性研究》稿約

壹、一般說明

- 一、《台灣生物多樣性研究》為行政院農業委員會特有生物研究保育中心出版之學術期刊，歡迎國內外學者發表有關生物多樣性或自然保育之學術論文，但以未曾在其他刊物發表之原創研究為限。
- 二、本刊為季刊，每年 1 月、4 月、7 月及 10 月出版，隨時接受投稿。
- 三、撰稿中、英文均可，來稿請寄送完整文稿紙本 1 式 3 份或以電子檔案傳送(e-mail: tjbd@tesri.gov.tw)。原圖、表及以紙本投稿者之電子檔案俟審查通過後再通知寄送。
- 四、經本刊接受刊登之稿件，投稿著作所有列名作者皆同意授權本刊單位以非專屬授權之方式再授權，並得為重製、公開傳輸、授權用戶下載、列印等行為。為符合資料庫之需求，並得進行格式之變更。
- 五、稿件無稿酬，但經刊登之文稿贈送抽印本 50 份，作者如需額外的抽印本，可於校稿時登記份數，並負擔其費用。
- 六、來稿由本刊送請相關學者專家審查、簽註意見或修改，如須修改者再送請作者自行補充修正，作者應於收稿 2 週內完成修正，如於收稿 2 個月後仍未將修正稿件寄回者，視同放棄投稿。稿件付印前作者應負責校對。
- 七、來稿請寄：南投縣集集鎮(郵遞區號 552)民生東路 1 號特有生物研究保育中心「台灣生物多樣性研究」期刊編輯委員會收。

貳、文稿章節順序

依照 1. 題目，2. 作者姓名、服務單位、地址，3. 通訊作者之 e-mail，4. 摘要，5. 關鍵詞，6. 緒言，7. 材料與方法，8. 結果與討論(可分列)，9. 結論(可省略)，10. 謝誌(可省略)，11. 引用文獻等順序撰寫；其中 1 至 5 項請中英文並列，本文為中文撰寫者，依先中文後英文順序；本文為英文撰寫者，則先英文後中文。

文章若屬於研究短報(Note)者可不分章節。

另附標題頁(cover page)，註明簡題(short running title)及作者或聯絡人之姓名、電話、傳真、住址、e-mail 位址。

參、文稿結構

- 一、題目以 30 字為限。
- 二、作者中英文姓名之右上角以縮小數字標示服務單位註記。作者的英文姓名需列全名，名在前姓在後；複姓複名者，二字間用“-”相連；作者若為兩人，姓名間以“and”連接；若為三人或以上，除最後一人與其前一人間以“and”連接外，其餘之間以半形逗號連接。
- 三、中英文摘要以 500 字為限，摘要內容應以結果及結論為主，目的及方法可簡潔敘述或省略。避免使用條列式的摘要。

四、中英文關鍵詞以 5 個為限。

肆、文稿書寫應注意事項

一、文稿須以 Microsoft Word 可讀取之軟體編輯，以 A4 (30cm × 21cm) 白紙單面雙空行(double spaces)列印，文稿之天、地、左、右須留白 3cm，於每頁正下方註記頁碼。

二、本文敘述，應用數字編號時，其層次：

中文用：一、(一)、1、(1)、①...

英文用：I、(I)、1、(1)、A、a、(a)...

三、中英文單位請用公制之符號，例如：kg、mg、ml、ppm、pH、cm 等，數值請以阿拉伯數字表示之，年代一律採用西元。

四、插圖請用白紙(或繪圖紙)以黑墨水精繪，亦可採電腦製圖，惟須以雷射印表機列印；照片限原始攝影採光面相紙沖印者，幻燈片限用原片；未按規定之插圖致圖片模糊無法製版者不予受理。

五、圖片之標題在下方，表格標題在上方，標題須中英文並列，圖的說明應中英文對照另頁繕打，不可附在繪圖及相片上面。本文中圖表順序以圖 1，圖 2，表 1，表 2...，Fig. 1，Fig. 2，Table 1，Table 2，...等表示。

六、圖表內容請用英文，表格不加縱線。圖、表均以 A4 大小列印，定稿後圖、表請送原稿。

七、引用文獻以確經引用者為限，文中提到之文獻，請列出姓氏、年代。

八、引用文獻書寫方式：先列中、日、韓文，次列西文，其書寫方法按作者、年份、題目、發刊物名稱(全名，不採用縮寫)、卷期及頁號順序。

例：1. 中、日文期刊：柳樞、徐國士。1971。台灣稀有及有絕滅危機之動植物種類。中華林學季刊 4 (4): 89-96。

2. 中、日文書籍：徐國士。1980。台灣稀有及有絕滅危機之植物。台灣省教育廳。

3. 中、日文彙編書籍：徐國士。1987。台灣的稀有植物。周昌弘、彭鏡毅、趙淑妙撰(編)。台灣植物資源與保育 139-157 頁。中華民國自然生態保育協會。

4. 英文期刊：Clough, B. 1998. Mangrove forest productivity and biomass accumulation in Hinchinbrook Channel, Australia. *Mangroves and Salt Marshes* 2: 191-198.

5. 英文期刊：Pimm, S. L. and J. L. Gittleman. 1992. Biodiversity: Where is it? *Science* 255: 940.

6. 英文期刊：Baker, C. S., F. Cipriano and S. R. Palumbi. 1996. Molecular genetic identification for whale and dolphin products from commercial markets in Korea and Japan. *Molecular Ecology* 5: 671-685.

7. 英文書籍：Soule, M. E. and B. A. Wilco. 1980. *Conservation biology: An evolutionary-ecological, approach*. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.

8. 英文彙編書籍：Jinchu, H. and W. Fuwen. 1990. Development and progress of breeding and rearing giant pandas in captivity within China. pp. 322-325. *In*: H. Jinchu (ed.). *Research and progress in biology of the giant panda*. Sichuan Publishing House of Science and Technology, Sichuan, People's Republic of China.

Notice to Contributors

I. General Guides:

1. The Taiwan Journal of Biodiversity is published quarterly (January, April, July and October) by the Endemic Species Research Institute, Council of Agriculture. The journal is an academic publication that welcomes the submission of manuscripts of various biological disciplines in the field of biodiversity. The manuscripts are limited to original work previously unpublished in any other journal.
2. The journal accepts manuscripts written in either Chinese or English. Submit 3 copies of manuscript by mail to the Editor-in Chief, Endemic Species Research Institute, No.1, Ming-Shen East Road, Jiji, Nantou 552, Taiwan, or by online in WORD format to the e-mail address: tjbd@tesri.gov.tw. However, the original high quality photos should be sent by mail.
3. Manuscript submitted will be sent to at least two referees in the field of its specialty for peer review and comments. Revised manuscript will be reexamined by the Editorial Board. Author(s) are responsible for proof correction of the printer's copy to ensure accuracy.
4. Corresponding author is required to sign a Copyright Transfer Agreement for the paper accepted for publication to the journal publisher, the Endemic Species Research Institute.
5. Fifty reprints will be supplied free of charge to corresponding author once at the time of publication.

II. Manuscript Preparation:

1. Manuscript should be written in a sequence of 1) Title, 2) Authors' full name, 3) Author(s) affiliations(s) and address(es), 4) Abstract, 5) Key words, 6) Introduction, 7) Materials and methods, 8) Results, 9) Discussion, 10) Conclusions, 11) Acknowledgements, 12) Literature Cited. Of them 1 to 5 should be written in dual languages, Chinese and English.
2. Cover page should contain title of manuscript, author name(s), author's(s') affiliation(s), corresponding author's name, telephone number, fax number and e-mail address, and a short running title.
3. Title should be less than 30 words. Capitalize the first letter of each word except articles, conjunctions and prepositions.
4. Author's name should be first name first followed by surname. For multiple authors, use comma to separate the names but the last two names by "and" .
5. Running title should be less than 50 letters including spaces.
6. Abstract must be a single paragraph not exceeding 500 words.
7. Key words should be no more than 5 words.

III. Manuscript Format:

1. Manuscript must be typed using standard software (Microsoft Word) with top, bottom, left and right. Mark page numbers on the bottom.

2. Manuscript should be typed in a uniform character size. There is no need to differentiate paragraph, title, subtitle or contents by using large or small characters.
3. Measurements should use International System of Units (kg, mg, km, m, cm... etc.). All numerals or quantities should be expressed in Arabic numbers. Years in the text should use A. D. universally.
4. Figures and tables in the text should be sequenced by Arabic numbers (e. g. Fig. 1 and Table 1). Both graphs and photos use same "Fig." designation.
5. Common name of an animal or plant that appears in title and first appears in abstract and text should be accompanied with scientific name. All scientific names in manuscript should be italic.
6. When citing a reference in text, use surname and year, e. g. (Clough 1998) for single author, use "and" to link authors, e. g. (Pimm and Gittleman 1992) for double authors, and use "*et al.*" e. g. (Baker *et al.* 1996) for multiple authors. When citing multiple references, separate them with semi-colons in a chronological order.
7. Using the following system for arranging references in literature cited.

For journals:

Clough, B. 1998. Mangrove forest productivity and biomass accumulation in Hinchinbrook Channel, Australia. *Mangroves and Salt Marshes* 2: 191-198.

Pimm, S. L. and J. L. Gittleman. 1992. Biodiversity: Where is it? *Science* 255: 910-940.

Baker, C. S., F. Cipriano and S. R. Palumbi. 1996. Molecular genetic identification of whale and dolphin products from commercial markets in Korea and Japan. *Molecular Ecology* 5: 671-685.

For books and symposiums:

Soule, M. E. and B. A. Wilco. 1980. *Conservation biology: An evolutionary-ecological approach*. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.

Jinchu, H. and W. Fuwen. 1990. Development and progress of breeding and rearing giant pandas in captivity within China. pp. 322-325. *In*: H. Jinchu (ed). *Research and progress in biology of the giant panda*. Sichuan Publishing House of Science and Technology, Sichuan, China.

8. Table should be typed on a separate sheet and be headed by a title of dual languages (Chinese and English). It consists of only horizontal lines and typed with English terms (if possible) and Arabic numerals. If foot notes are required, mark with superscripts ¹, ², *, #, etc.
9. Figure should be drawn with black ink on a separate white tracing paper with a figure legend of the dual languages below. Computer graph made from laser printer is acceptable.
10. Photograph should be a glossy black and white shot with sufficient resolution to be clearly legible after reduction. When multiple photos are employed, the author should arrange them in plates. Micrographs should include bars indicating scales of magnification. Photos should be pasted on white A4 paper loosely with the figure legend below.