

目 錄

澎湖岐頭灣海筆的數量與分布研究.....城振誠、林佳樺、蔡萬生	261
烏石坑地區受天然災害引起之地景變遷分析.....呂明倫、何健鎔	275
臺灣小蹄鼻蝠 (<i>Rhinolophus monoceros</i>) 交配行為發現紀實.....周政翰、黃光隆、李銘碩、鄭錫奇	287
利用光化學反射指數推估在高、低海生長之台灣二葉松在不同季節之光合作用效率.....翁韶良、賴冠名、翁仁憲	297
二型葉蕨類假紫萁營養葉與孕性葉之物候差異.....邱子芸、邱文良、黃曜謀	311
台灣芸香科的新紀錄植物—岩花椒.....許再文、王秋美、張坤城、何東輯	323
臺灣產管葉蘚屬(細鱗蘚科)兩個新紀錄種.....楊嘉棟、姚奎宇、林善雄	331
台灣新紀錄蘚類—日本唇鱗蘚.....楊嘉棟、林善雄	343

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

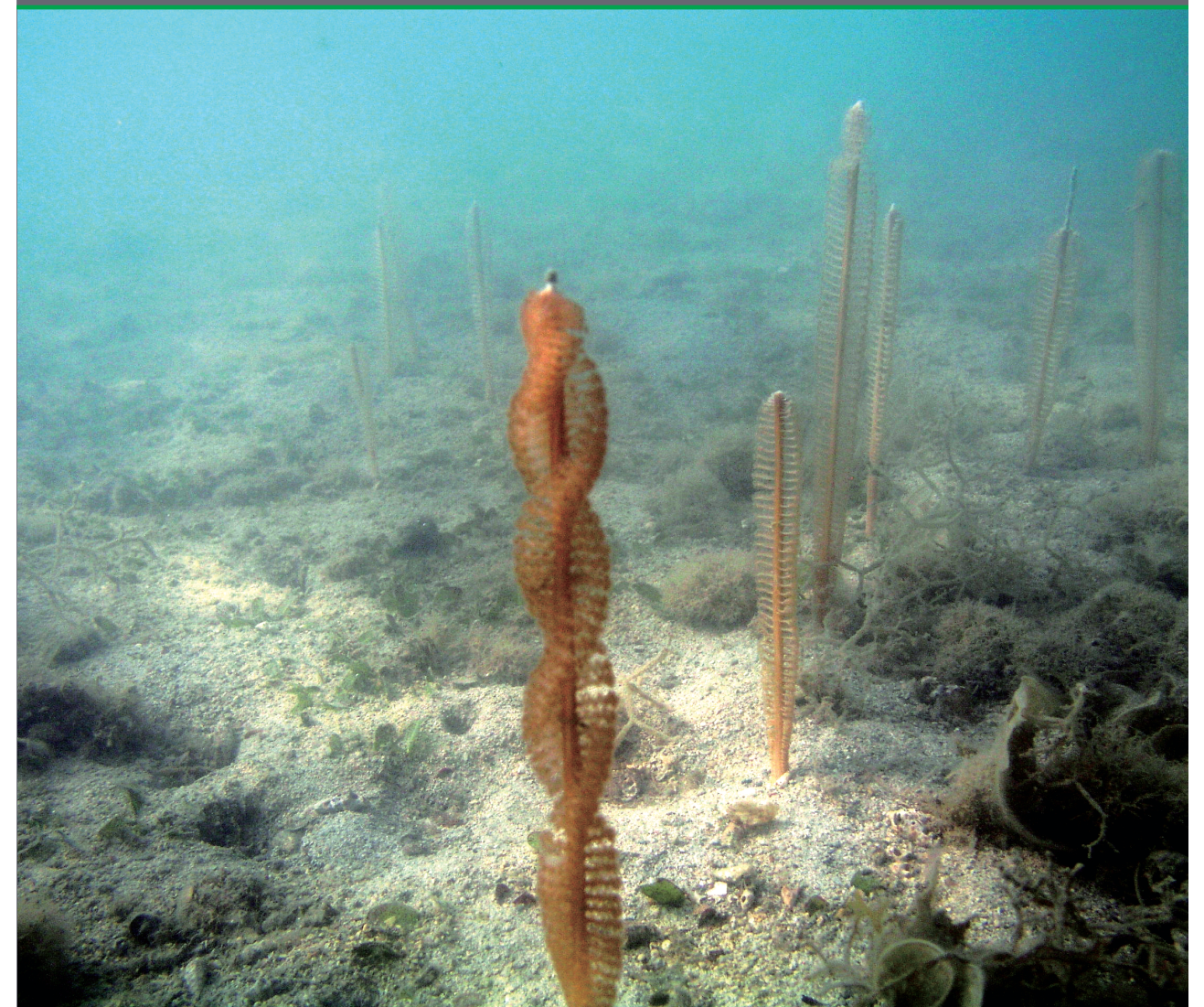
台灣生物多樣性研究

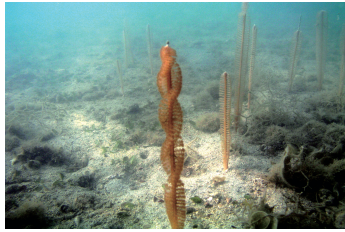
Taiwan Journal of Biodiversity

15 卷 4 期

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

第 15 卷第 4 期 中華民國102年10月
Vol.15, No.4 October 2013





封面圖說／
岐頭灣海底的海筆生態。

(城振誠 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／方國運
總編輯／鄭錫奇

執行編輯／(依姓氏筆劃序)

何健銘、林瑞興、林春富、許再文
陳志輝、張仕緯、張和明、詹芳澤
蔡奇立、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、林曜松
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／金恒鏢
出版編輯／蔡奇立

出版／農委會特有生物研究保育中心
住址／南投縣集集鎮55244民生東路1號
電話／049-2761331 轉 315
網址／<http://www.tesri.gov.tw>
印刷／綠凌興業社
出版日期／中華民國 102 年 10 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 / Kuo-Yun Fang
Editor-in-chief / Hsi-Chi Cheng

Executive Editors /

Jen-Zon Ho,	Ruey-Shing Lin,
Chun-Fu Lin,	Tsai-Wen Hsu,
Chih-Hui Chen,	Shih-Wei Chang
Ho-Ming Chang,	Fang-Tse Chan,
Chi-Li Tsai,	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 / Hen-Biau King
Publication Editor / Chi-Li Tsai
Published by Endemic Species Research Institute
1 Ming-Shen E. Road, Jiji, Nantou 55244,
Taiwan, R.O.C.
Tel: 886-49-2761331 ext. 315
<http://tesri.tesri.gov.tw>

Published Date: October 2013

GPN: 2009900002
ISSN: 2076-6971

Contents

Population and Distribution of Sea Pen (<i>Virgularia juncea</i>) in Chitou Bay, PenghuChen-Cheng Cheng, Chia-Hwa Lin and Wann-Sheng Tsai	261
Analysis of landscape change after natural disasters in the Wu-Shyr-Keng area of Taiwan.....Ming-Lun Lu and Jen-Zon Ho	275
The first record of the Formosan lesser horseshoe bat (<i>Rhinolophus monoceros</i>) mating behavior in Taiwan.....Cheng-Han Chou, Kuang-Lung Huang, Ming-Shuo Li and Hsi-Chi Cheng	287
Using photochemical reflectance index to estimate photosynthetic light-use efficiency of <i>Pinus taiwanensis</i> in high and low elevation in different seasonsShau-Lian Wong, Kuan-Ming Lai and Jen-Hsien Weng	297
Phenological differences between sterile and fertile fronds in a dimorphic fern, <i>Osmundastrum cinnamomeum</i> (L.) C.Presl (Osmundaceae).....Tzu-Yun Chiu, Wen-Liang Chiou and Yao-Moan Huang	311
<i>Zanthoxylum acanthopodium</i> DC. (Rutaceae), a Newly Recorded Plant in TaiwanTsai-Wen Hsu, Chiu-Mei Wang, Kun-Cheng Chang, Tung-Chi Ho	323
Two Species of <i>Colura</i> (Family Lejeuneaceae) Newly Recorded to Taiwan..... Jia-Dong Yang, Kuei-Yu Yao and Shan-Hsiung Lin	331
<i>Cheilolejeunea nipponica</i> (S. Hatt.) S. Hatt., a Newly Recorded Liverwort in Taiwan Jia-Dong Yang and Shan-Hsiung Lin	343

澎湖岐頭灣的海筆數量與分布研究

Population and Distribution of Sea Pen (*Virgularia juncea*) in Chitou Bay, Penghu

城振誠* 林佳樺 蔡萬生

Chen-Cheng Cheng*, Chia-Hwa Lin and Wann-Sheng Tsai

行政院農業委員會水產試驗所澎湖海洋生物研究中心 澎湖縣馬公市

Penghu Marine Biology Research Center, Fisheries Research Institute, COA Magong, Penghu, Taiwan

*通訊作者：chengchencheng@mail.ph.tfrin.gov.tw

*Corresponding author: chengchencheng@mail.ph.tfrin.gov.tw

摘 要

爲了明瞭海筆(*Virgularia juncea*)在岐頭灣的狀況，本研究利用 GPS，並配合潮汐、地形及海筆的生物習性，調查潮間帶及亞潮帶的海筆分布及數量。結果顯示，岐頭灣的海筆集中分布在岐頭灣的中央以北，分布範圍 23°38.530'-38.740' N, 119°36.280'-36.560' E。可測量的海筆分布面積約 6.1ha，該區域的海筆數量介於 0-27 m⁻²，平均密度爲 2.9 m⁻²。分布的位置約在低潮線附近。海筆會棲息在底質粒度中間值介於極粗砂至小礫之間，且篩選度介於尙佳與不佳之間。當底土粒度中間值爲細礫且篩選度不佳時，會有較高的海筆密度。

Abstract

To understand the condition of sea pen (*Virgularia juncea*) in Chitou Bay, Global Positioning System (GPS) was used to investigate the population and distribution of sea pen in the intertidal and subtidal zones. Tides, terrain, and biological behavior of sea pens were also taken into consideration. Results show that sea pens were distributed in the center of Chitou Bay which ranged between 23°38.530'-38.740' N, 119°36.280'-36.560' E. The measurable area of sea pen was about 6.1ha, in which

the population was between 0 to 27 m⁻², and the mean density was 2.9 m⁻². Sea pens were distributed around the low-tide line at spring tides. Sediment particles in sea pen habitats ranged from “very coarse sand” to “pebble,” and the sorting coefficient was between “moderately sorted” and “poorly sorted.” Higher density of sea pens were found out in poorly sorted pebble habitats.

關鍵詞：海筆、分布、潮間帶

Keywords：sea pen, distribution, intertidal zone

收件日期：2013 年 08 月 13 日

接受日期：2013 年 11 月 08 日

Received: August 13, 2013

Accepted: November 08, 2013

前 言

香燭海筆 *Virgularia juncea* (Pallas, 1766)，屬於動物界(Kingdom Animalia)刺細胞動物門(Phylum Cnidaria)、珊瑚蟲綱(Class Anthozoa)、八放珊瑚亞綱(Subclass Octocorallia)、海鰓目(Order Pennatulacea)、海筆科(Family Virgulariidae)。海筆的構造由一根中軸柱支撐，包覆著由水螅體所組成的肉質部分，平時大部分的體幹埋在泥沙下，只露出羽狀水螅體部分(Kükenthal 1915)，由於外形和中世紀所使用的鵝毛筆相似，故而得名。海筆雖然是由無數的珊瑚蟲組成，卻有著高度的協調行為(Bayer 1973)，同時會受到潮汐及光照的影響會進行垂直運動(伸展或收縮)(Hoare and Wilson 1977; Imahara and Ogawa 2006)；受到騷擾時，則整株海筆會縮入泥沙中(Soong 2005)。如果退潮時沒有太大的風浪或太高的氣溫，海筆會保持原狀，其頂端就會露出水面，像是一株秧苗，為數眾多的海筆同時露出水面時，就會像一畝剛插秧的水稻田(圖 1)，是岐頭灣的特色

生物(洪 2000)。這一特殊景象在當地人眼中習以為常，又因本身無經濟價值且不礙事所以就一直被忽略。直到 Chang *et al.* (1981) 在進行岐頭灣的對蝦類稚蝦調查時，才粗略的標示出該海域的海筆分布位置。



圖 1. 岐頭灣的海筆。

Fig. 1. Sea pen *Virgularia juncea* in Chitou Bay.

岐頭灣海域的海筆分布範圍及數量初步調查開始於2001年，以GPS進行分布範圍的記錄，最初的結果顯示岐頭灣的海筆族群分布在岐頭灣的中央，分布的範圍最北為

23°38.70'N、最南為23°38.53'N、最西為119°36.29'E、最東為119°36.56'E。同時為了調查數量，遂在範圍內由東至西設置5條100m測線，測線每間隔10m以1m²的標示框計算海筆的數量。但測線設置時的拉扯會導致海筆受到外力的影響而縮入棲地，同時部分處於潮間帶的海筆也會隨著潮水的退去而隱沒，這樣的方式並無法明確顯示海筆的數量(作者觀察)。GPS的技術成熟且普及後，遂利用GPS作為標示框測點的依據。在南北23°38.530'-38.720'N間每隔0.022'設1測點及東西119°36.290'-36.560'E間每隔0.026'設1測點，共有121個測點進行海筆數量的測量。雖然少了測線設置時對海筆的干擾，且測點的數量增加，但每個測點的距離仍然過大，仍無法明確顯示海筆的分布數量(未發表)。

為了想明確的知道海筆在岐頭灣的分布數量，本研究將建立一種新的調查方法，利用大、小潮低潮時的潮位差異，配合潮間帶的地形及海筆的生物習性，調查潮間帶及亞潮帶海筆分布及數量。

材料與方法

一、岐頭灣的潮位線調查

澎湖最大的潮差>3m，為了避免潮間帶的海筆在調查時因退潮導致棲地裸露而縮入，遂利用潮位與岐頭灣地形的關係，讓被調查的地點能維持在有水覆蓋的狀態。依據交通部中央氣象局出版的中華民國99(2009年11月出版)及100年(2010年12月出版)潮汐表，分別在低潮潮位(中等潮位為基準)為-80±10、-110±10及-140±10 cm時，利用GPS(GPSmap60CSx GARMIN/台灣)記錄岐頭灣的潮位線，並以Garmin Taiwan Top V5.20軟體描繪，作為海筆調查時機的依據。

二、海筆的分布及數量密度調查

海筆調查範圍(23°38.505'-38.745'N, 119°36.275'-36.575'E；東西距離為510m、南北距離為445m)以經度及緯度各0.010分為單位，全部共720個區域進行海筆的記錄(每個區域的面積為314.5m²：東西長約17.0m×南北長約18.5m)(圖2)。記錄的方式以GPS為定位工具，標定每個區域的中心地點，先站在標定點觀察樣區四周記錄有無海筆，再以1m²標示框計算海筆數目(Langton 1990)。每個樣區除了以GPS標定的測量點外，並在樣區內，隨機取2個測量點(隨機測點的方法為：1.繩子長約1.5m，一端繫住鉛錘，另一端綁住浮子。2.隨機拋丟後以鉛錘為基點，鉛錘與浮子所形成的直線便成為標示框的對角線)(圖3)，同樣用1m²標示框計算海筆數量。調查時間從2010年6月到2011年10月，並選擇海水能覆蓋樣區時進行，每個樣區進行2次調查。

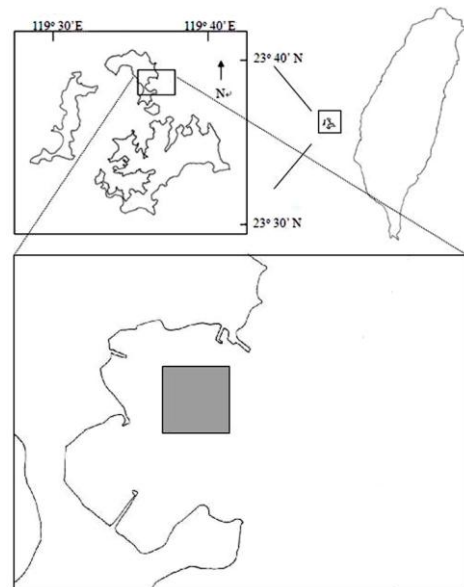


圖 2. 海筆在岐頭灣的調查範圍(灰色區塊)。

Fig. 2. The sampling area (marked gray) of sea pen in Chitou Bay of Penghu, Taiwan.



圖 3. 海筆標示框。

Fig. 3. Sea pen sampling frame.

(一) 底土採樣

底質環境因子包括有機物含量、底土物性之粒度大小、篩選度及粉泥/黏土含量。底土採樣工具使用管徑約 3cm、長約 30cm 的塑膠管，採樣時將塑膠管垂直插入底土取得深>10 cm 的底土，樣品保持低溫帶回實驗室。採樣地點：在海筆的樣區內採樣 9 個點，樣區周圍採樣 16 個點，並特別在海筆密度 $\geq 7.5 \text{ m}^{-2}$ 的地點採樣(圖 4)，比較海筆對棲地底質的喜好。

三、海筆棲地底質環境因子

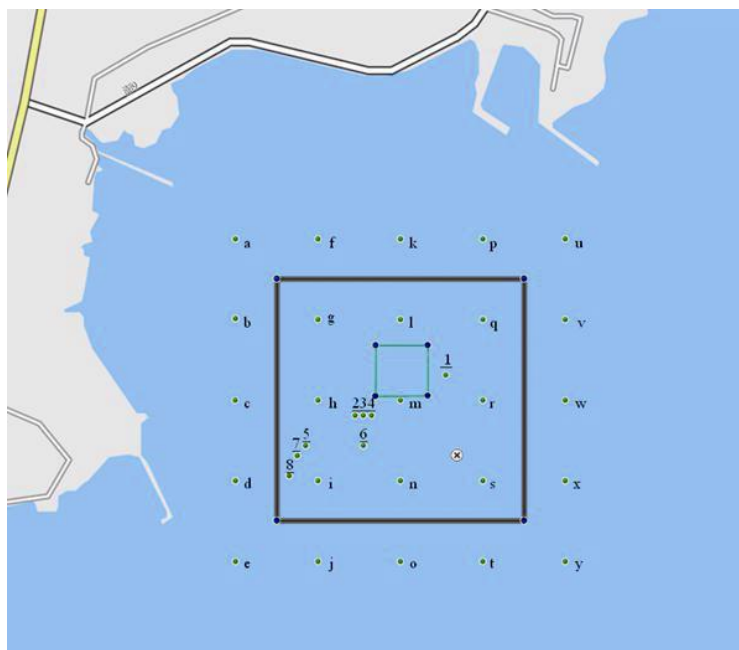


圖 4. 本研究各種調查的範圍及地點。黑色框：海筆調查範圍；1-8 及 a-y:底土分析採樣地點(1-8：海筆密度 $\geq 7.5 \text{ m}^{-2}$ ；g-i、l-n、q-s：海筆樣區；a-f、j、k、o、p、t-y：海筆樣區周圍)；藍色樣框：水質濁度採樣地點；⊗：水溫監測地點。

Fig. 4. Sampling area and sampling points. Black frame: sampling area of sea pen; 1-8 and a-y: sampling point of subsoil (1-8: sea pen $\geq 7.5 \text{ m}^{-2}$; g-i, l-n, q-s: sampling area of sea pen; a-f, j, k, o, p, t-y: around the sampling area of sea pen); blue frame: sampling area of turbidity; ⊗: sampling point of water temperature.

(二) 有機物含量測定

以灰化法(Crisp 1971)的方式進行有機物含量分析，處理的過程如下：將樣品放入坩鍋內置於60℃，烘乾至恆重，記錄此時重(W60)。再將此樣品置於500℃之下，烘四個小時，記錄此時重量(W500)。裝載樣品的坩鍋重量為Wp，因此計算有機物含量(所占百分比含量) Co，如下公式：

$$Co = (W60 - W500) \times 100\% / (W60 - Wp)$$

(三) 粒度分析

將灰化處理之底土樣本以乾篩法並依修正過之潮間帶底棲生態調查法分析(謝等, 1993)。將樣本依序用1.00、0.50、0.25、0.125 及 0.0625 mm 之Wentworth系列鋼網過篩，小於 0.0625 mm 的粉泥與黏土(silt/clay) 部分，進行3階段粒徑沉降實驗。得到各粒徑層及的重量W_{1.00}、W_{0.50}、W_{0.25}、W_{0.125}、W_{0.0625}、TW3、TW2、TW1。換算出以下各種表示粒徑分析結果之參數：

1.粒徑中間值(Median, mm) 對照粒度分類表(Folk 1966)，得到底土的粒度類別。

將1.00 至0.0012 mm 粒徑大小，換算成Phi(φ)值尺度。

$$\phi = -\log_2 (\text{粒徑, mm})$$

依此Phi (φ)值對照各粒徑層級所佔樣品之重量(乾重)累積百分比，畫出曲線圖。由圖中讀取95%、84%、50%、16%、5%之φ值，記錄為φ₉₅、φ₈₄、φ₅₀、φ₁₆、φ₅。中間度(Mdφ)之計算如下式：

$$Md\phi = (\phi_{84} + \phi_{50} + \phi_{16}) / 3$$

$$\text{粒徑中間值(直徑)} = -2^{(Md\phi)} (\text{mm})$$

2.篩選係數(Sorting coefficient)

$$\text{Sorting coefficient} = (\phi_{84} - \phi_{16}) / 4 + (\phi_{95} - \phi_5) / 6.6$$

將此中間值對照篩選分級表(Folk 1966)，得到底質的篩選度，篩選度與篩選係數成反比，係數越高篩選度越不佳，表示底土粒度分布不均。

四、海筆棲地的水溫監測

利用溫度監測儀器(Water Temp Pro v2 Part #U22-001及pendant temp#UA-001-64 HOBO/美國)從2010/4-2011/8置於(23°38.571'N, 119°36.493'E) (圖4)，記錄時間從2010/4/1-2011/8/11，每4小時記錄1次，並用讀取器(Optic USB Base Station Part No.BASE-U-4 HOBO/美國)讀取資料。

五、海筆棲地的水質濁度監測

利用濁度計(Lamotte 2020 Turbidity Meter Hach/美國) 從2011年4-12月，退潮時在岐頭灣的海筆樣區內(23°38.629'-38.679'N, 119°36.395'-36.458'E) (圖4)，每月最少進行1次水質濁度監測，每次採樣3重複。

結 果

一、岐頭灣的潮位線

退潮時潮高為-84 cm 以上的潮位，海水幾乎可覆蓋整個調查範圍。潮高為-105 cm 以上的潮位時有 3/4 以上的調查範圍被海水覆蓋，而潮高為-143cm 以上則有 2/3 以上的調查範圍被海水覆蓋。結果顯示岐頭灣的沿岸較淺中央較深，而調查範圍內有港子航道由西北向東南延伸到中央(圖5)。

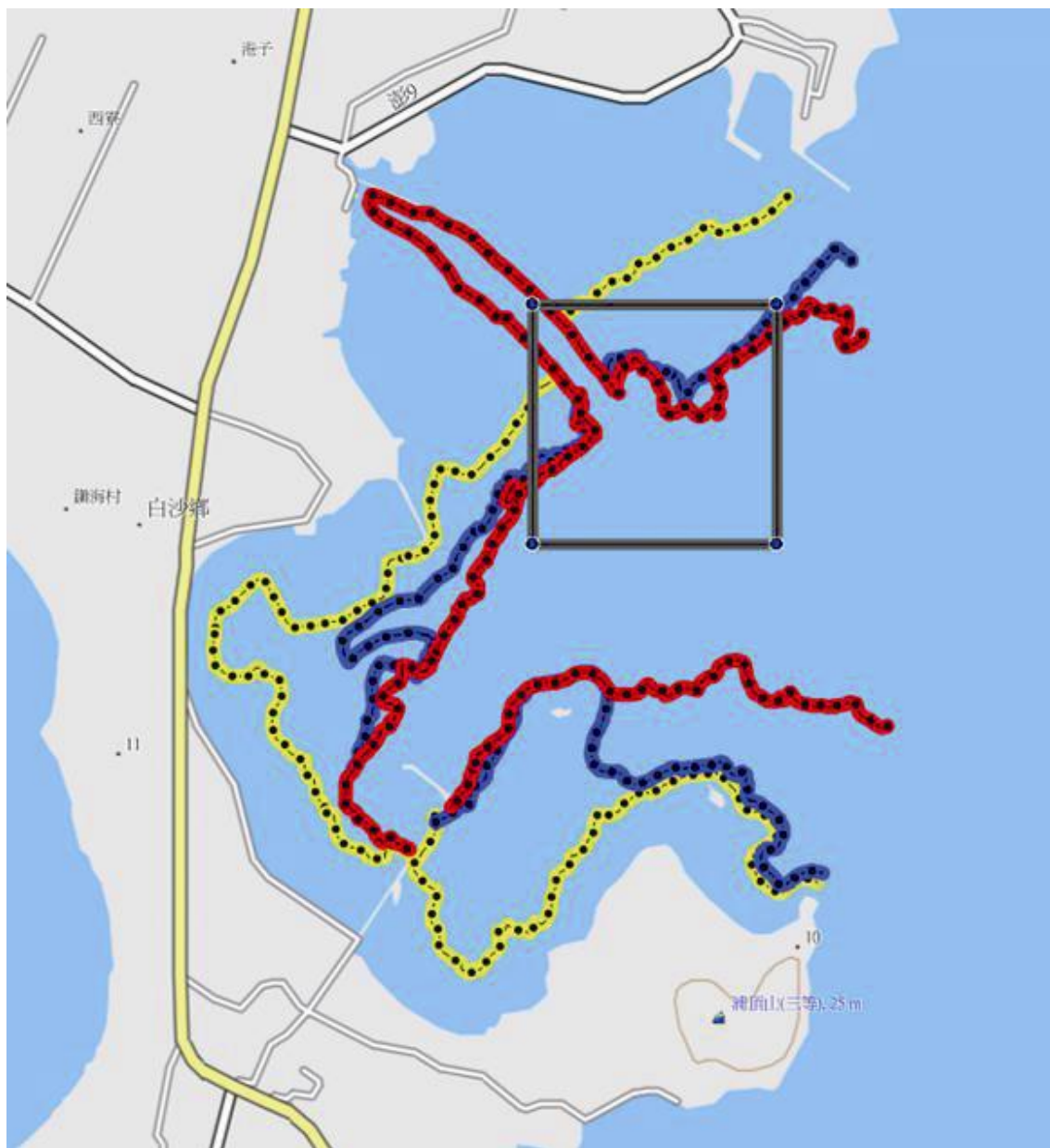


圖 5. 黑色框：海筆調查範圍；黃線：低潮-84cm 的潮位線；藍線：低潮-105cm 的潮位線；紅線：低潮-143 cm 的潮位線(潮高以當年當地中等潮位為基準)。

Fig. 5. Black frame: Sampling area of sea pen; yellow line: low tide -84 cm; blue line: low tide -105 cm; red line: low tide -143 cm (height is relative to local annual mean water level).

二、海筆的分布及數量密度調查

在 720 個樣區中可觀察到海筆的樣區有 262 個(其中 29 個分布在退潮潮位-105cm 以淺的海域)，其分布範圍為 23°38.530'-38.740'N, 119°36.280'-36.560'E 海筆的分布從樣區的東北往西南方向呈帶狀延伸，累計每個區域的面積約 8.3ha(圖 6)。其中平均海筆密度 $\geq 7.5 \text{ m}^{-2}$ 的樣區有 8 個； $5 \text{ m}^{-2} \leq$ 平均海筆密度 $< 7.5 \text{ m}^{-2}$ 的樣區有 29 個； $2.5 \text{ m}^{-2} \leq$ 平均海筆密度 $< 5 \text{ m}^{-2}$

的樣區有 62 個； $0 \text{ m}^{-2} <$ 平均海筆密度 $< 2.5 \text{ m}^{-2}$ 的區域有 96 個；有海筆存在但無法計算的樣區有 67 個。記錄到最大海筆密度為 27 m^{-2} 的地點在(23°38.610' N, 119°36.390' E)。平均海筆的密度 $> 0 \text{ m}^{-2}$ 的 195 個樣區中，平均密度為 2.9 m^{-2} ，最大海筆平均密度為 9.8 m^{-2} ，範圍在 23°38.540'-38.700'N, 119°36.290'-36.560'E。累計 195 個樣區的面積約 6.1ha，並可發現海筆的分布被明顯的分開(圖 7)。

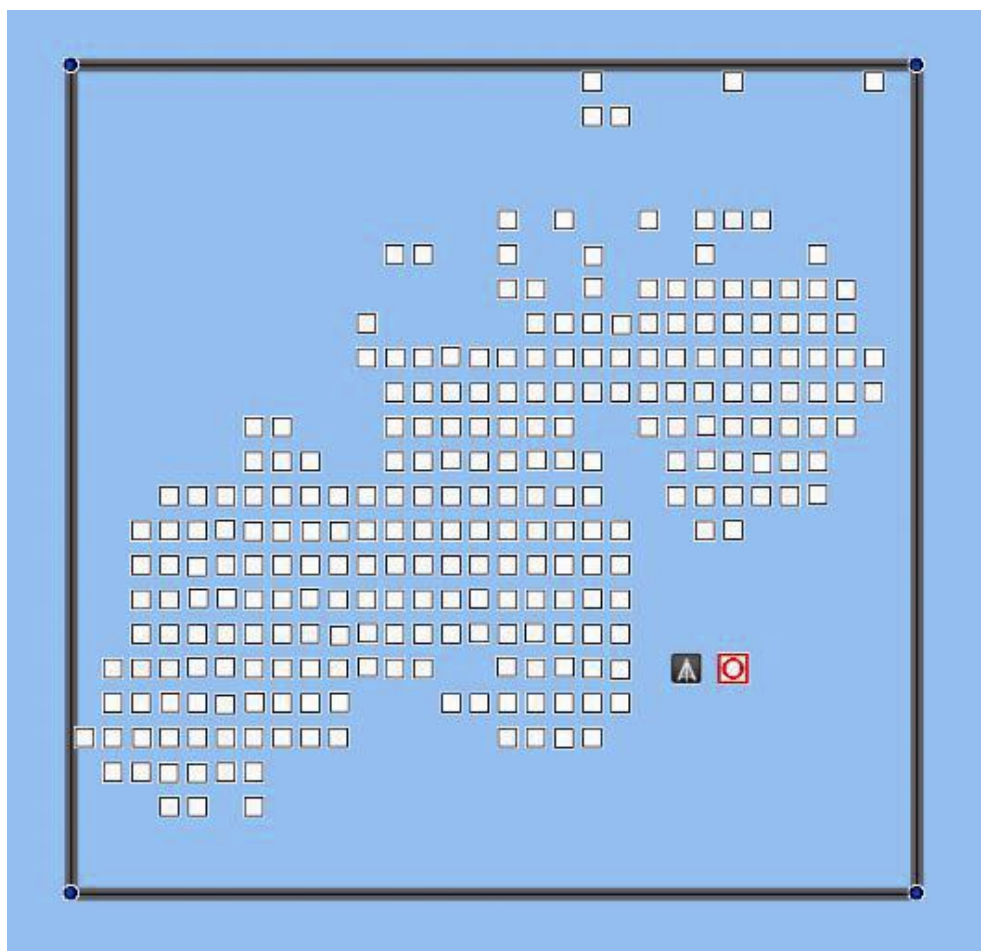


圖 6. 海筆在調查範圍內的分布。黑色框：海筆調查範圍；：水族館取水口；：燈塔。

Fig. 6. Distribution of sea pen in sampling area. Black frame: sampling area of sea pen; : water intake of aquarium; : beacon.

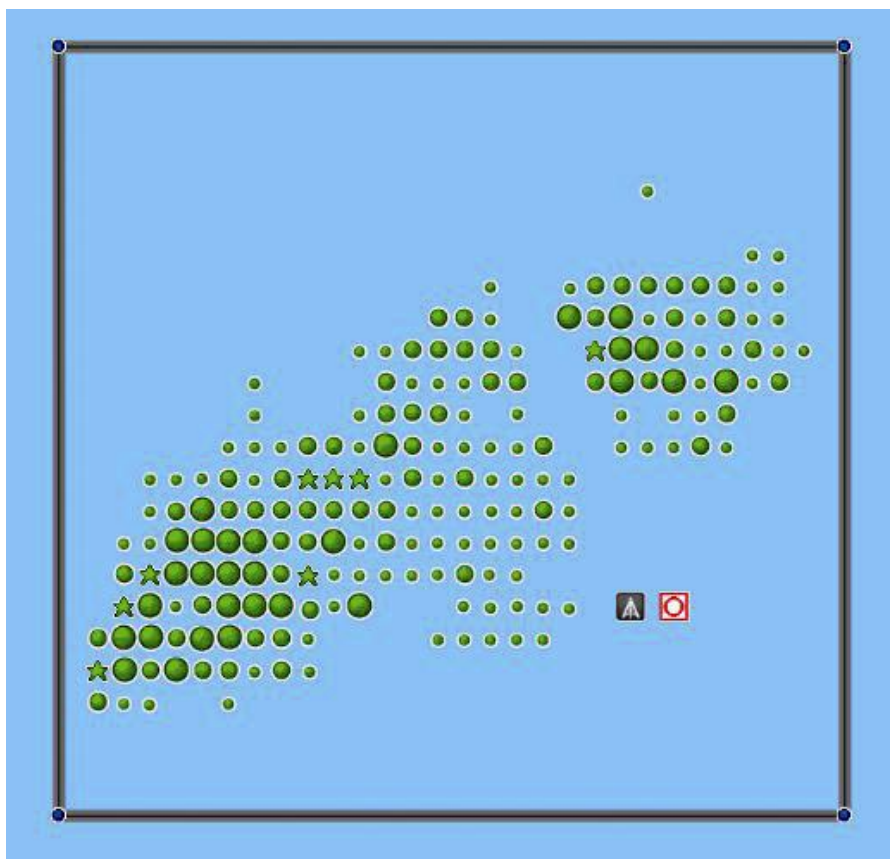


圖 7. 海筆在調查範圍內的數量及分布。黑色框：海筆調查範圍；：水族館取水口；：燈塔；
●：海筆密度 >0 、 $<2.5\text{m}^{-2}$ ；●：海筆 ≥ 2.5 、 $<5\text{m}^{-2}$ ；●：海筆 ≥ 5 、 $<7.5\text{m}^{-2}$ ；★：海筆 $\geq 7.5\text{m}^{-2}$ 。

Fig. 7. Population and distribution of sea pen in sampling area. Black frame: sampling area of sea pen; : water intake of aquarium; : beacon; sea pen density ●: >0 、 $<2.5\text{m}^{-2}$; ●: ≥ 2.5 、 $<5\text{m}^{-2}$; ●: ≥ 5 、 $<7.5\text{m}^{-2}$; ★: $\geq 7.5\text{m}^{-2}$.

三、海筆棲地底質環境因子

岐頭灣底質的有機物含量從 4.82-6.58%；而海筆樣區內的有機物含量從 4.82-6.09%；海筆密度 $\geq 7.5\text{m}^{-2}$ 的有機物含量則從 4.82-5.46%。岐頭灣底質的粒度中間值從 0.33-256(mm)，就是從中等粗砂(medium sand)到巨礫(boulder)；而海筆樣區內的粒度中間值從 1.44-4.43(mm)，就是從極粗砂(very coarse sand)到小礫(pebble)；海筆密度 $>7.5\text{m}^{-2}$ 的粒

度中間值從 2.50-3.89(mm)，則全為小礫。岐頭灣的底質粒徑篩選度從 <0.35 - >4 ，就是從極佳(very well sorted)到極度不佳(extremely poorly sorted)；海筆樣區內的底質粒徑篩選度從 0.78-1.70，就是從尚佳(moderately sorted)到不佳(poorly sorted)，而海筆密度 $\geq 7.5\text{m}^{-2}$ 的底質粒徑篩選度從 0.78-1.37，同樣是從尚佳到不佳，並以不佳居多，採樣點 o 因底質為礁岩所以無法取得樣品(表 1)。

表 1. 岐頭灣底土的有機物含量、顆粒中間值、篩選係數及粉泥/黏土含量 *：為礁岩底質，無法進行採樣

Table 1. Organic content, median, sorting coefficient and slit/clay content of subsoil in Chitou Bay *: rock substrate, no sampling

Sample	Location	Organic content	Median		Sorting coefficient		Slit/Clay content
			Md (mm)	Level	Coefficient	Level	
A	23°38.785N 119°36.225E	5.94%	0.71	coarse sand	3.27	very poorly sorted	2.11%
B	23°38.705N 119°36.225E	5.77%	>256	boulder	<0.35	very well sorted	1.15%
C	23°38.625N 119°36.225E	5.28%	>256	boulder	<0.35	very well sorted	1.51%
D	23°38.545N 119°36.225E	5.04%	>256	boulder	<0.35	very well sorted	0.38%
E	23°38.465N 119°36.225E	5.43%	>256	boulder	<0.35	very well sorted	1.03%
F	23°38.785N 119°36.325E	6.46%	>256	boulder	<0.35	very well sorted	1.85%
G	23°38.705N 119°36.325E	6.09%	3.36	granule	1.70	poorly sorted	4.89%
H	23°38.625N 119°36.325E	4.98%	2.74	granule	1.09	poorly sorted	1.61%
I	23°38.545N 119°36.325E	5.46%	2.32	granule	1.13	poorly sorted	2.15%
J	23°38.465N 119°36.325E	5.92%	>256	boulder	<0.35	very well sorted	0.68%
K	23°38.785N 119°36.425E	5.50%	>256	boulder	<0.35	very well sorted	0.81%
L	23°38.705N 119°36.425E	5.07%	3.59	granule	1.44	poorly sorted	3.47%
M	23°38.625N 119°36.425E	5.33%	4.43	pebble	1.22	poorly sorted	3.03%
N	23°38.545N 119°36.425E	5.23%	1.44	very coarse sand	1.58	poorly sorted	0.86%
O*	23°38.465N 119°36.425E	-	-	-	-	-	-
P	23°38.785N 119°36.525E	5.57%	2.45	granule	0.87	moderately sorted	0.69%
Q	23°38.705N 119°36.525E	4.82%	2.63	granule	0.85	moderately sorted	0.78%
R	23°38.625N 119°36.525 E	4.94%	2.84	granule	0.93	moderately sorted	1.63%
S	23°38.545N 119°36.525E	5.55%	1.92	very coarse sand	0.88	moderately sorted	1.84%
T	23°38.465N 119°36.525E	6.55%	3.25	granule	<0.35	very well sorted	1.84%
U	23°38.785N 119°36.625E	5.70%	0.33	medium sand	>4	extremely poorly sorted	2.47%
V	23°38.705N 119°36.625E	5.78%	>256	boulder	<0.35	very well sorted	0.89%

W	23°38.625N 119°36.625E	6.11%	13.35	pebble	<0.35	very well sorted	0.62%
X	23°38.545N 119°36.625E	6.05%	>256	boulder	<0.35	very well sorted	0.33%
Y	23°38.465N 119°36.625E	6.58%	>256	boulder	<0.35	very well sorted	1.06%
1	23°38.650N 119°36.480E	4.83%	3.89	granule	0.78	moderately sorted	1.33%
2	23°38.610N 119°36.370E	5.29%	3.05	granule	1.23	poorly sorted	2.34%
3	23°38.610N 119°36.380E	5.07%	2.69	granule	1.20	poorly sorted	2.06%
4	23°38.610N 119°36.390E	5.30%	2.96	granule	1.18	poorly sorted	1.43%
5	23°38.580N 119°36.310E	5.10%	2.62	granule	1.15	poorly sorted	2.25%
6	23°38.580N 119°36.380E	5.36%	2.73	granule	1.22	poorly sorted	2.47%
7	23°38.570N 119°36.300E	5.29%	2.50	granule	1.10	poorly sorted	2.42%
8	23°38.550N 119°36.290E	5.23%	2.62	granule	1.31	poorly sorted	2.68%

四、海筆棲地的水溫監測

在研究進行期間岐頭灣的年平均水溫為 $23.22 \pm 4.48^\circ\text{C}$ (2010/7/1-2011/6/30)，8 月份的月平均水溫最高為 $28.84 \pm 1.62^\circ\text{C}$ ，而最高溫

為 2010/8/17 16:00 所記錄的 34.27°C 。1 月份的月平均水溫最低，平均為 $15.94 \pm 1.78^\circ\text{C}$ (圖 8)，而最低溫為 2011/1/30 04:00 所記錄的 11.44°C 。

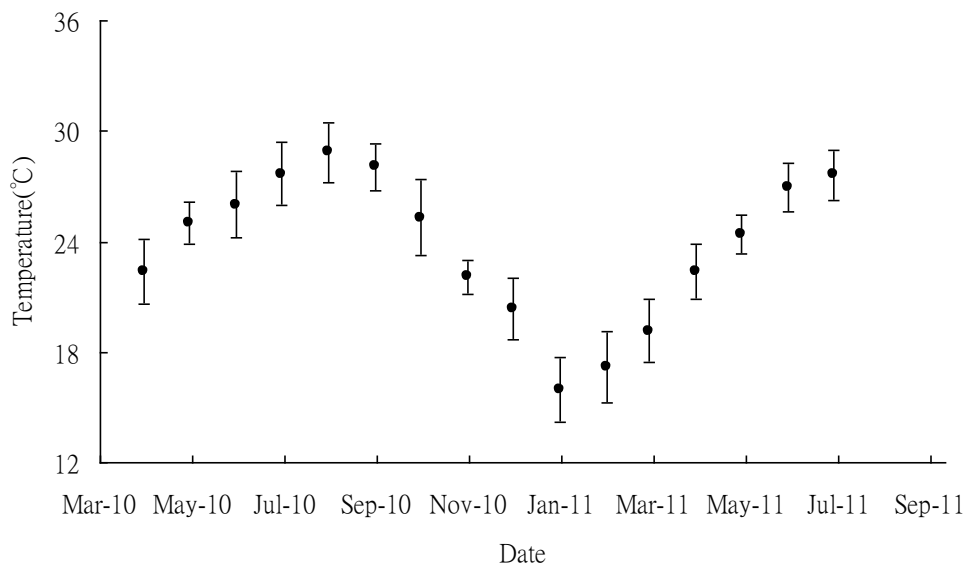


圖 8. 海筆調查範圍的水溫記錄(2010-2011)。

Fig. 8. Water temperature of sea pen sampling area during 2010-2011.

五、海筆棲地的水質濁度監測

在研究進行期間岐頭灣海筆棲地的水質濁度監測，最低為 2011/6/1 所測到的 1.22 ± 0.01

NTU，最高為 2011/10/25 的 10.99 ± 1.50 NTU。冬季的濁度有偏高的趨勢(圖 9)。

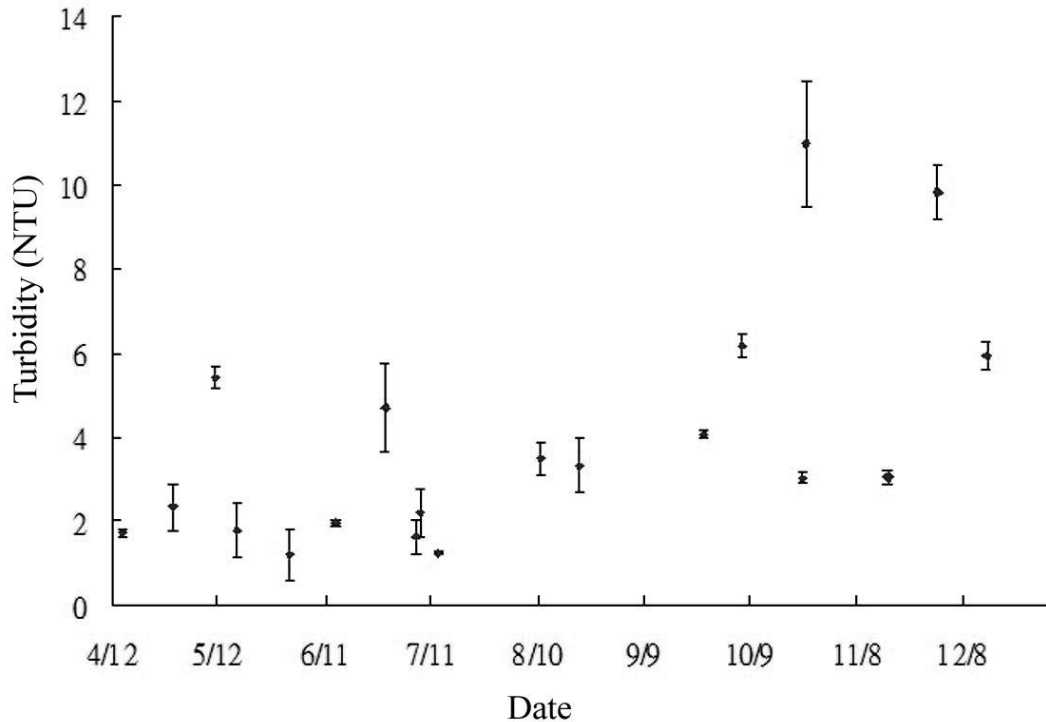


圖 9. 2011 年間海筆調查範圍的濁度記錄。

Fig. 9. Turbidity of sea pen sampling area in 2011.

討 論

岐頭灣的地勢平緩，退潮時水域面積會縮減 2/3，露出廣闊的潮間帶。調查結果顯示僅有零星的海筆會出現在潮位 -105cm 以淺的區域，大部分的海筆(約 88.9%)都分布在潮位線 -105 cm 以深的地方，且全部的海筆都分布在潮位線 -84 cm 以深的地方(2010 及 2011 年最大的退潮潮位分別為中等潮位為基準的 -170 及 -166 cm)。不同潮位的潮位線，影響不同深度的棲地可能裸露在空氣中時間的長短，也代表

海筆能忍受棲地沒有海水覆蓋時間的長短。雖然海筆可以暫時縮入還保有水分之棲地，但岐頭灣的潮間帶大多為中等粗砂以上的底質，若棲地的地勢較高離低潮的水位差距過大，則棲地所保有的水位高度降低，推測可能會造成對海筆生存的限制因子。

底質也可能是海筆分布的一個限制因子。岐頭灣的底土(有機物含量、顆粒中間值及粉泥/黏土含量)與海筆分布(海筆密度 $\geq 7.5\text{m}^{-2}$ 樣點、海筆樣區及海筆樣區周圍)的分析顯示，海筆樣區周圍的底土與海筆樣區及海筆密度

$\geq 7.5 \text{ m}^{-2}$ 樣點的底土有顯著差異($p < 0.05$) (表 2)。調查顯示海筆分布的區域的底質粒度中間值大部分為細礫(granule)，粒徑篩選度大多為不佳，這樣的表層底質可能較適合新生海筆的棲息。另一方面，海筆的形態像一枝長柄的鞭子，有中軸骨支撐的部分約占全長的 2/3

(Soong 2005)，通常露出地表的高度約佔中軸骨的一半，其餘的部分則埋在沙層裡。當海筆受到外在影響時，露出地表的部分會全部縮入沙層裡。雖然在本研究並無量測各測點的砂層厚度，但推測適合海筆的棲地一定要有大於海筆長度的砂層厚度，才能讓海筆完全縮入。

表 2. 岐頭灣的底土(有機物含量、顆粒中間值及粉泥/黏土含量)與海筆分布(海筆密度 $\geq 7.5 \text{ m}^{-2}$ 樣點、海筆樣區及海筆樣區周圍)的關係(*表示差異顯著， $p < 0.05$)

Table 2. Relationship between subsoil (organic content, median and slit/clay content) and sea pen distribution (sea pen $\geq 7.5 \text{ m}^{-2}$, sampling area of sea pen, around the sampling area of sea pen) in Chitou Bay (* indicate the significant difference at 5% level)

Area	Organic content (%)	Medium diameter (mm)	Slit/clay content (%)
Sea pen $\geq 7.5 \text{ m}^{-2}$	5.18 $\pm$ 0.18	2.88 $\pm$ 0.45	2.12 $\pm$ 0.49*
Sampling area of sea pen	5.27 $\pm$ 0.39	2.81 $\pm$ 0.90	2.25 $\pm$ 1.33*
Around the sampling area of sea pen	5.85 $\pm$ 0.46*	172.01 $\pm$ 122.99*	1.16 $\pm$ 0.65

海筆在岐頭灣只棲息在北邊的潮間帶與亞潮帶交接的位置，調查範圍的南邊並無發現海筆的蹤跡。除了底質與潮汐外的因素外，濁度也可能影響海筆的分布。調查發現冬季水質的濁度較高，可能是因為東北季風的吹襲，產生波浪擾動潮間帶的底質所致。若濁度過高或棲息在較深的地方，再加上冬季的光照較弱，光線可能無法提供海筆身上共生藻的光合作用的能力，導致共生藻無法提供營養供給海筆，或是使共生藻離開海筆，終使海筆失去營養而無法存活。這或許可以解釋岐頭灣的海筆為何會只棲息在北邊的潮間帶與亞潮帶交接

的位置。另外，人為的因素可能最直接的影響海筆的分布。在數量分布圖可明顯的看出海筆的範圍被分成 2 區，這可能因為進行取水管鋪設的工程所致。雖然從 2001 年開始進行初步調查時就發現(作者觀察)，10 年後(2011 年)依然如此，這顯示遭破壞的棲地要回復原來的樣貌是不容易的。

底質的性狀影響海筆底棲固著的成敗，潮位的變化影響海筆忍受乾旱的程度，濁度則影響海筆營養的問題，而人為的因素(疏濬)可能最直接也最快就會影響岐頭灣海筆的分布與數量。此外，砂質地容易受到自然天候的影

響(如颱風)或因海岸地貌(築堤、造港)的改變，促使海流變化而導致岐頭灣內的地形變化，這也可能會影響未來海筆的棲息範圍和數量。本研究建立岐頭灣海筆數量及分布的基礎資料，未來將持續監測海筆的分布及數量，同時也記錄潮位線的變化做為岐頭灣海筆變化的依據，並調查其它底棲生物對海筆的影響，做為海筆保育的參考。

謝 誌

本研究承澎湖縣政府 99-離島基金-澎湖-3 計畫補助，及中興大學(2010、2011 年)及海洋大學(2011 年)暑期實習生協助調查工作，方便本研究得以順利完成，謹此一併致謝。

參考文獻

- 洪國雄。2000。澎湖海邊常見生物。澎湖縣政府文化局。
- 謝蕙蓮、黃守忠、李坤瑄、陳章波。1993。潮間帶底棲生態調查法。生物科學 36 (2) : 71-80。
- Bayer, F. M. 1973. Colonial organization in octocorals. In: Boardman R.S., Cheetham A.H., Oliver W.A. (eds.). Animal colonies: development and function through time. Dowden, Hutchinson and Ross, Stroudsburg, Pa., pp. 69-93.
- Chang, K. H., C. P. Chen, H. L. Hsieh, W. C. Su, S. H. Hu and S. C. Lee (1981) Occurrence of juvenile penaeid shrimps in the intertidal area of Chitou Bay. Bull. Inst. Zool., Academia Sinica 20(2) : 1-9.
- Crisp, D. J. 1971. Energy flow measurements. In: Methods for the study of marine benthos, International Biological Program Handbook no. 16, pp. 197-279, Ed. by N. A. Holme and A. D. McIntyre. Oxford and Edinburgh: Blackwell Scientific Publications.
- Folk, R. L. 1966. A review of grain-size parameters. Sedimentology 6:73-93.
- Hoare, R. and E. H. Wilson. 1977. Observations on the ecology of the pennatulid *Virgularia mirabilis* in Holyhead Harbour. In: Keegan, B. F., Ceidligh, P. O., Boaden, P. J. S. (eds.). Biology of benthic organisms. Pergamon Press, Oxford, pp. 329-337.
- Imahara, Y. and K. Ogawa. 2006. Rediscovery of *Virgularia juncea* (Octocorallia, Pennatulacea) from a tidal marsh in Okinawa, with a short note on its peculiar behavior. Proceedings of 10th International Coral Reef Symposium, pp. 9-13.
- Kükenthal, W. G. 1915. Pennatularia. Das Tierreich 43. Friedländer, Berlin
- Langton, R. W. 1990 Distribution, behavior and abundance of sea pens, *Pennatula aculeata*, in the Gulf of Maine. Marine Biology 107: 463-469.
- Soong, K. 2005. Reproduction and colony integration of the sea pen *Virgularia juncea*. Marine Biology 146: 1103-1109.

烏石坑地區受天然災害引起之地景變遷分析

Analysis of landscape change after natural disasters in the Wu-Shyr-Keng area of Taiwan

呂明倫* 何健銘

Ming-Lun Lu* and Jen-Zon Ho

行政院農業委員會特有生物研究保育中心 55244 南投縣集集鎮民生東路1號

Endemic Species Research Institute, Jiji, Nantou, Taiwan

*通訊作者: alan@tesri.gov.tw

*Corresponding author: alan@tesri.gov.tw

摘要

監測自然地景的長期變遷有助於野生物棲息地保育工作的推動。本研究以烏石坑地區為研究區域，利用多時期的*Satellite Pour L'observation de la Terre*衛星遙測資料與影像分類方法，建構不同年份的基本圖資，用於監測地景之變遷過程。1995、2001、2006與2012年等4期之影像分類結果發現，總體準確度均可達90%左右，而各時期的地景變化中，1995至2001年間，受天然災害之影響，森林的面積大幅減少，並轉變為裸露區，另從野生物棲息地的地景結構分析可知，特有生物研究保育中心低海拔試驗站轄管範圍及其周圍鄰近區域歷經災害干擾後，造成地景有出現缺口與破碎化的現象，至2012年已有回復的趨勢，未來仍值得持續觀察是否會對野生物的族群造成其他影響。

Abstract

Understanding the long-term process underlying natural landscape changes is central to drive the conservation efforts of wildlife habitats. We produced multi-temporal land cover maps for monitoring landscape change in the Wu-Shyr-Keng area of Taiwan, using remote sensing data and image classifications from *Satellite Pour L'observation de la Terre*. The results show that overall accuracies of

classification maps for 1995, 2001, 2006 and 2012 are around 90%. The spatial distribution of forest declined sharply, and forests were replaced by bare area between 1995 and 2001 because of natural disasters. Then we analyzed landscape structures across managed range and the surrounding areas at a low altitude experimental station of Endemic Species Research Institute. Our results suggest that although forest covers have restored in 2012, wildlife habitats may suffer from damages and fragmentation. Hence, a sustained research is necessary to observe disturbance effects for wildlife populations.

關鍵字：野生物棲息地、遙測、地景結構、低海拔試驗站、破碎化

Keywords：wildlife habitat, remote sensing, landscape structure, low altitude experimental station, fragmentation

收件日期：2013 年 07 月 23 日

接受日期：2013 年 11 月 08 日

Received: July 23, 2013

Accepted: November 08, 2013

前 言

現今放眼全球，各國受到氣候變遷的影響，極端天氣事件的頻率急遽攀升，所導致的天然災害規模，更是超出以往人類的認知範圍，當環境受到衝擊時，無論自然生態或社會經濟所造成的影響程度，均會相當巨大而深遠。台灣原屬於高災害風險區位，近代國內發生的重大天然災害至今仍記憶猶新，舉凡1999年9月21日發生的集集大地震(芮氏規模7.3)，以及後續的強颱、豪雨等極端天氣事件，使中部山區出現大面積的崩場地，自然環境嚴重受創(黃 2002；陳 2005；壽等 2010)，並且亦影響到野生物族群的分布及組成(林等 2003)。

地景(landscape)係一塊具有明顯可辨之特徵土地，特別視為某些自然作用下的產物(何 2009)，而地景生態學(landscape ecology)則著重於探討環境與生物間之相互關係，因地景於

空間上的大小、種類、排列與配置等結構特徵，與生物族群的活動、覓食、棲息與遷移等，存有密切的相關性，為創造生物多樣性的重要基礎(Forman 1995)。一般而言，地景的變遷反應係具有其特殊之方向性，如地震與颱風的侵襲使原本覆蓋完整的森林植被轉變為裸露地，因此，唯有透過不同時間尺度的地景變遷監測，才能理解其中的變化機制(Antrop 1998)，進一步亦可釐清環境受衝擊的區域、程度與原因為何(Griffiths and Mather 2000)，以及評估地景變遷對生物可能造成的影響(Moseley 2006; Falcucci *et al.* 2007)。

遙測(remote sensing)技術的應用中，常見利用人造資源衛星獲取大尺度的地表資訊，尤其衛星光學影像的分類方法，可依照使用者需求，辨別各種型態的地景特徵，並製作其空間分布圖資，另豐富的歷史影像資料庫，完整記錄地景變遷之演變經過，故已廣泛地被應用於

研究森林植被的分布狀態(陳等 2005; 呂與鍾 2007); 天然災害過後, 林地的崩塌情形(劉與林 2004; 衛 2006; 壽等 2010)及植被復育的成效(林等 2006); 且亦為監測地景變遷過程與量化地景結構特徵(陳等 2005; 鍾與呂 2005)之重要利器。

特有生物研究保育中心低海拔試驗站位於中部烏石坑地區, 1993年9月20日設立, 所轄試驗地具台灣低海拔生態系之代表性, 並受到良好的制度保護, 因此, 動、植物資源相當豐富(楊等 2011), 試驗站本身更負有供台灣特有及珍稀物種飼養、培育、繁殖、種原保存、復育及生態教育等試驗研究之責, 然而, 誠如前文所述, 中部山區受災害干擾後, 勢必也將改變試驗站管轄地之地景原貌, 以及影響野生生物的棲息。有鑑於此, 本研究利用衛星遙測影像作為材料, 探討921集集大地震前、後至近期, 烏石坑地區之地景變遷過程, 期研究結果能提供生物多樣性保育工作之參考。

本研究區位於台中市和平區自由村烏石坑境內, 地理位置如圖1所示, 所轄試驗地為國有林大安溪事業區第122林班, 面積約382 ha, 地形大多以陡峭高山為主, 海拔介於670~1,834 m, 區內以東南方之山椒山為區內最高山, 主要水系為大安溪流域的烏石坑溪支系, 與另一支系乾溪構成大安溪集水區。氣候方面, 年均溫約18°C, 最高溫約35°C, 最低溫約-0.3°C, 平均相對濕度約89%, 平均降雨量達2,600 mm以上。土地覆蓋以森林植被為主要的自然背景, 具優勢的原生植物社會, 由樟科、殼斗科與桑科榕屬組成, 為典型的台灣低海拔闊葉林相。

因某一受保護的地區, 其核心區周邊環境的發展易牽動到整體地景未來的動態方向, 參考有關保護區的地景監測研究, 通常會劃設周邊緩衝區進行比較(Southworth *et al.* 2004; Townsend *et al.* 2009; Sieber *et al.* 2013), 因此, 除低海拔試驗站管轄範圍外, 本研究另劃設周邊範圍, 即距離管轄範圍0~1 km及1~2 km之緩衝帶(圖1), 用以比較3種地景監測範圍受天然災害後之變遷情形。

材料與方法

一、研究區概述

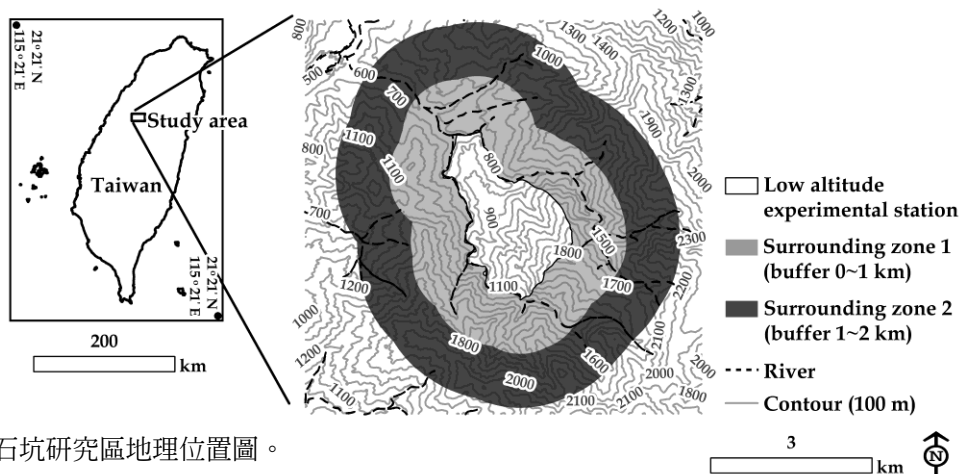


圖 1. 烏石坑研究區地理位置圖。

Fig. 1. General geographical features of this study site in Wu-Shyr-Keng area.

二、研究方法

(一) 衛星影像處理

由中央大學太空及遙測中心選購清晰、雲霧少及已完成幾何糾正(level 3)之 *Satellite Pour L'observation de la Terre* (SPOT) 衛星影像，年份包含發生集集大地震前之 1995 年，地震後之 2001、2006 與 2012 年，皆為冬季影像(表 1)，以最近相鄰法(nearest neighbor assignment)重取樣，使所有影像資料統一為

20×20 m 的空間解析力(spatial resolution)，利用暗值像元去除法(dark-object subtraction)減少大氣散射的干擾(Chavez 1988)，並以超圓方向餘弦轉換法(hyperspherical direction cosine transformation, HDCT)降低地形效應之影響，本法可消除部份地形變異與大氣散射之雜訊，太陽角度效應及散射雜訊在 HDCT 轉換中以簡單的徑向計算(radial measure)加以消除(謝及鄭 1995)。

表 1. 本研究使用之 *Satellite Pour L'observation de la Terre* (SPOT) 衛星影像

Table 1. *Satellite Pour L'observation de la Terre* (SPOT) images used in this study

Sensor	Acquisition dates	Correction levels
SPOT 2	21 th October 1995	Level 3
SPOT 1	20 th November 2001	Level 3
SPOT 4	7 th December 2006	Level 3
SPOT 5	13 th December 2012	Level 3

(二) 地景分類

首先預設研究區之地景類型為森林、裸露區與其他土地使用類型(如建地、農地及水體)，蒐集與表 1 影像日期相近之地面真實參考資料，其中 1995 年參考林務局第 3 次森林資源調查之土地使用圖，2001 年從農林航空測量所蒐集彩色航空正射影像，2006 及 2012 年則參考瑞竣科技公司之雲端服務平台(RiChi GIS Cloud)，所供應的 Formosat 2 融合影像(2×2 m)，並以全球衛星定位系統(global positioning system)進行現地勘查。地景分類係以 ERDAS IMAGINE 8.4 軟體進行操作，方法採混合式分類法(hybrid classification)，即先以非監督性(unsupervise)之 ISODATA 法粗分 20 種地景類型，再參考這些類型之區域配合各年份的地面真實資料，建立森林、裸露區、建地、農地及水體之訓練樣區(training set)，每一類型建立 10~50

個不等，進行監督性(supervise)之最大概似分類法(maximum likelihood classification)演算，由於裸露區與建地、部分農地與森林均有相似的光譜反射特徵，因此，分類完畢後，參考各年份之地面真實參考資料加以判釋，並以手動數化方式區隔這些容易混淆的類型，最終，將建地、農地及水體合併為其他土地使用類型，以森林、裸露區與其他土地使用等 3 種地景類型呈現。

分類後之準確度評估工作，依各地景類型分類結果，利用分層逢機法抽取 450 個檢核樣點，每一樣點參考所蒐集之各年份地面真實參考資料，逐點比對分類正確或錯誤，並產生誤差矩陣表(error matrix)，進而計算生產者準確度(producer's accuracy, PA)、使用者準確度(user's accuracy, UA)及總體準確度(overall accuracy, OA)，演算式如下所述(Congalton 1991)：

$$PA_i = \sum_{i=1}^N X_{ii} / \sum_{i=1}^N X_{i+}$$

$$UA_i = \sum_{i=1}^N X_{ii} / \sum_{i=1}^N X_{i+}$$

$$OA = \sum_{i=1}^N X_{ii} / N$$

式中 N 為檢核樣點數， r 為誤差矩陣表中之行數， X_{ii} 為誤差矩陣表中第 i 行 i 列地景類型之樣點數， X_{i+} 為誤差矩陣表中第 i 列之樣點數總和， X_{+i} 為誤差矩陣表中第 i 行之樣點數總和，當 PA 、 UA 及 OA 統計值愈高，代表地景分類後的準確度愈高。

(三) 地景結構分析

森林為野生動物棲息之重要環境，為分析其地景結構之變化，將 1995、2001、2006 與 2012 年地景類型中的森林視為地景中的嵌塊體(patch)，利用套裝軟體 Fragstats 3.3 計算 3 種監測範圍(圖 1)之地景指標，其中地景百分比(proportion of landscape, PLAND)、平均嵌塊體大小(mean patch size, MPS)、嵌塊體密度(patch density, PD)與邊緣密度(edge density, ED)等，有利於解釋嵌塊體於空間的排列與散布狀態等特徵，各指標演算式如下 (McGarigal and Marks 1995)：

$$PLAND = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100)$$

式中 a_{ij} 為第 i 類型中第 j 個嵌塊體之面積， A 為所有類型嵌塊體之總面積 (m^2)， $0 < PLAND \leq 100$ ，單位為 %。

$$MPS = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} \left(\frac{1}{10,000} \right)$$

式中 n_i 為第 i 類型嵌塊體總數目， $MPS > 0$ ，單位為 ha。

$$PD = \frac{n_i}{A} (10,000)(100)$$

式中 $PD > 0$ ，單位為 $N/100$ ha，當 PD 愈小時，表示嵌塊體於空間上的分布愈單一；愈大時，代表愈破碎。

$$ED = \frac{\sum_{k=1}^m e_{ik}}{A} (10,000)$$

式中 e_{ik} 為第 i 類型中第 k 個嵌塊體之邊緣長度， $ED \geq 0$ ，單位為 m/ha ，當 ED 愈小時，表示嵌塊體之總邊緣長度短；愈大時，代表總邊緣長度長。

結 果

一、地景分類準確度

1995、2001、2006 與 2012 年 SPOT 影像分類後產生森林、裸露區與其他土地使用等 3 種地景類型，分類後圖資之準確度評估結果如表 2 所示，總體來看，各年度 OA 均達 90% 左右，以各別地景類型而言，森林準確度最佳(PA 與 UA 皆高於 90%)，其次為裸露區(PA 與 UA 皆高於 88%)，其他土地使用為所有類型中準確度相對較低者(PA 與 UA 皆未高於 90%)，為誤差之主要來源。

二、地景變遷

本研究之重點乃探討烏石坑經天然災害後，自然地景之演變情形，因此，為排除人為干擾的介入，各年度的分類結果中，其他土地使用類型因含有人為成分居多的建地與農地，因此，將該類型範圍進行遮罩，包括轉變為其他類型的範圍，如其他土地使用轉變為森林及裸露區，或者森林及裸露區轉變為其他土地使用。各年度的地景分類結果如圖 2 所示，

大體觀之，烏石坑地區之地景配置以森林為主，由不同的時間尺度來看，裸露區顯現出不同的變化，1995 年時期，僅有一些零星的裸露區(圖 2a)，然而，2001 年以後，溪流的河床及周邊地帶出現了為數可觀的裸露區分布，特別

是愈靠近河道處，崩塌情形愈明顯，相較於 1995 年的狀態，地景的配置受到明顯的改變，並可發現 2001 及 2006 年類似，皆有大量的裸露區分布(圖 2b、c)，2012 年裸露區才有變少的現象(圖 2d)。

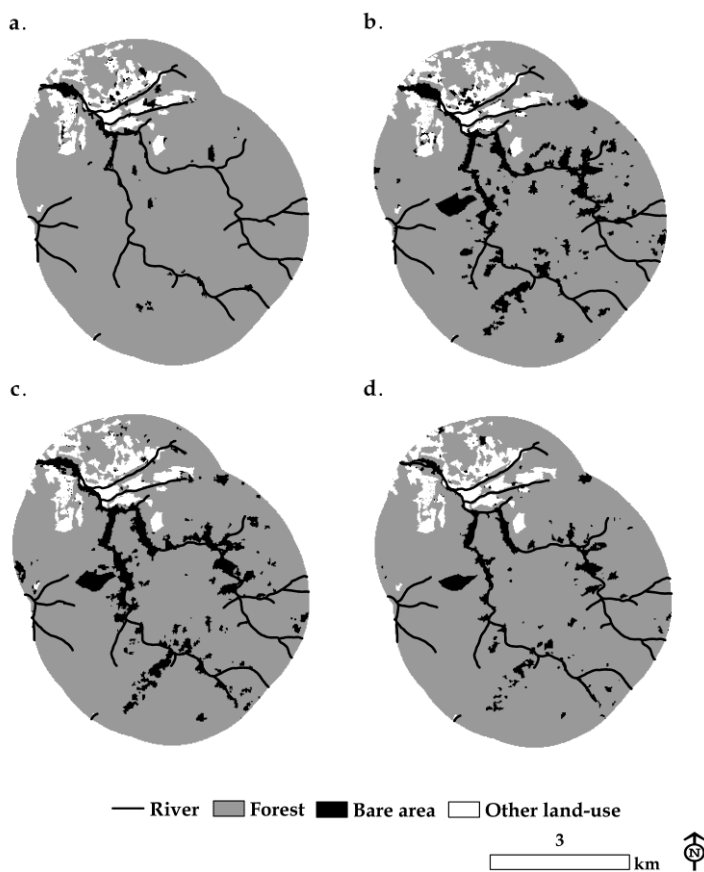


圖 2. 影像分類結果，(a) 1995、(b) 2001、(c) 2006 與(d) 2012 年。

Fig. 2. Post-classification maps for (a) 1995, (b) 2001, (c) 2006, and (d) 2012.

森林與裸露區面積經計算後可知，1995~2001 年森林的面積從 3,097 ha 減少為 2,870 ha 左右，相對裸露區則由 77 ha 擴增至 305 ha 左右，2006 年以後，地景的變遷逐漸趨緩，直至 2012 年呈現反向推進，即森林的植

被有恢復的趨勢(增加約 140 ha)，裸露區面積則縮減(減少約 139 ha)，該現象可能顯示，烏石坑地區的地景已漸趨復原。

三、野生物棲息地之地景結構

森林為野生物棲息之重要環境，利用 PLAND、MPS、PD 與 ED 等 4 種地景指標，量化低海拔試驗站管轄範圍 (Zone 1)、距離管轄範圍 0~1 km 及 1~2 km 之緩衝帶 (分別為 Zone 2 及 Zone 3) 於 1995、2001、2006 與 2012 年，森林嵌塊體之地景結構，3 種監測範圍於各年度之比較如圖 3 所示，PLAND 最低者為 Zone 2，其次為 Zone 1，尤其於 Zone 2 於 1995~2001 年，下降的幅度最大，約 12% (圖 3a)，2001 年以後，3 種地景監測範圍皆呈現平穩且回復的趨勢，而從 MPS 來看，Zone 1 的森林嵌塊體較其他兩種地景監測範圍大而完

整，但值得注意的是，2001~2006 年減少情形較明顯，由原本的 340 ha 減少至 170 ha 左右 (圖 3b)，搭配 PD 的變化發現，Zone 1 於 2001~2006 年為增加之狀態，由 0.26 上升至 0.52，Zone 2 與 Zone 3 於各年度的變化則漸趨下降 (圖 3c)，由此顯示，2001~2006 年 Zone 1 的森林面積雖無巨幅的變化，空間上卻出現小而破碎的嵌塊體，至於從 ED 的計算結果可知，各地景監測範圍之曲線分布形態相似，恰與 PLAND 呈現反向的趨勢 (圖 3a)，即森林的面積減少後，產生許多缺口與邊緣環境，直至 2012 年因森林的面積回復，遂使 ED 下降 (圖 3d)。

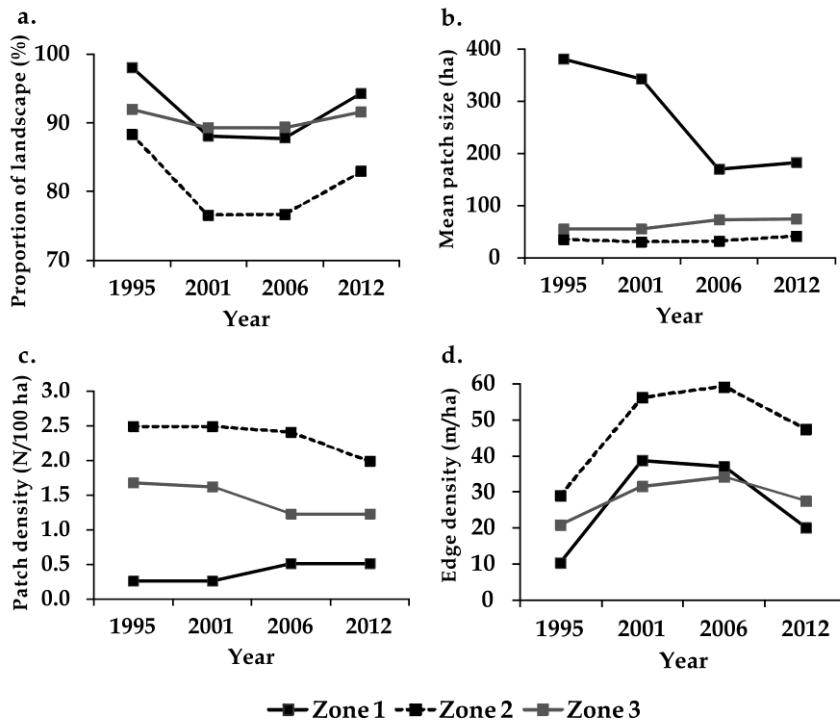


圖 3. 1995~2012 年 3 種範圍內野生物棲息地之地景結構，Zone 1 為低海拔試驗站管轄範圍，Zone 2 及 Zone 3 分別為距離管轄範圍 1 km 及 2 km 之緩衝帶 (參見圖 1)。

Fig. 3. Landscape structures for wildlife habitats in the three zones during 1995~2012. Low altitude experimental station (LAES) is expressed as zone 1 and the buffer 0~1 km and 1~2 km for LAES are denoted as zone 2 and zone 3, respectively (See Fig. 1).

討 論

以SPOT衛星影像進行不同年度的地景分類，各年度分類後之總體準確度約在90%左右，由單一類型而言，森林、裸露區與其他土地使用之生產者與使用者準確度均高於81%以上(表2)，相較於前人研究所建議之衛星影像分類準確度，已達理想之標準(Thomlinson *et al.* 1999; Foody 2002)，另參考與地景變遷監測的相關研究，本研究之分類結果亦足夠進行後續的應用(Bresee *et al.* 2004; Arroyo-Mora *et al.*

2005; Nagendra *et al.* 2006)。由於衛星影像中，森林與裸露地之光譜反射特徵有極大的差異，可準確地區別兩種地物，至於其他土地使用類型尚包含多種地物，其中建地易與裸露區產生混淆，農地中的部分旱作物則會誤判為森林，因此，皆為分類結果之誤差來源。本研究因著重於自然環境的變遷監測，參考地面真實參考資料將人為成分為主的其他土地使用類型判釋並遮罩後，主要誤差像元亦同時被排除，後續的地景結構分析結果相對可提升可信度。

表 2. 1995、2001、2006 與 2012 年影像分類後之準確度評估

Table 2. Accuracy assessment for the image classifications from 1995 to 2012

Classified class	1995		2001		2006		2012	
	PA	UA	PA	UA	PA	UA	PA	UA
Forest	93.51	92.31	91.78	93.49	94.29	90.83	94.79	91.74
Bare area	89.01	88.04	90.74	88.29	91.82	90.99	92.52	90.83
Other land-use	83.59	86.29	84.55	83.87	81.54	87.60	83.33	89.43
OA		89.78		89.56		90.00		90.89

PA=producer's accuracy (%); UA=user's accuracy (%); OA=overall accuracy (%)

烏石坑地區的地景變遷發現，1995~2001年間裸露區於空間的分布遽增(圖2a、b)，此乃因這段期間中部山區歷經1999年的921大地震，除造成大規模的山坡地崩塌外，地質不穩定及土石鬆動的結果，再經颱風與豪雨侵襲，如2001年7月底災情較嚴重的桃芝颱風及其挾帶的豪雨，使多處原本森林覆蓋良好的地景，受土石流和洪水沖蝕轉變為裸露的脆弱區位(林等 2004；陳 2005)，尤其是本研究區溪流周邊屬陡峭山區，加上地形引起的局部性氣候，易使崩塌率提高。爾後至2006年間，裸露區雖無持續擴張，惟仍存在相當的面積(圖

2c、表3)，參考有關監測921集集大地震後之植生變遷的研究結果指出，地震造成的崩塌或裸露地同樣逐漸呈現穩定狀態，植生亦有恢復的情形(黃等 2002；林等 2006；衛 2006)，然而，後續颱風事件，如2004年7月初的敏督莉颱風造成中部山區豪雨成災，仍會使地景系統再次受創(陳 2006；壽等 2010)，直至2012年，裸露區的分布與面積已有部分被森林所取代(圖2d、表3)，近幾年(2012年止)，中部山區受颱風的擾動已較往年緩和，有利先驅性植物入侵裸露區，因此，應為本研究區自然植被恢復之原因。

表 3. 研究區森林與裸露區之面積統計(單位：ha)

Table 3. Areas of forest and bare area types in this study site (unit: ha)

Classified class	1995	2001	2006	2012
Forest	3097.32	2870.16	2870.60	3010.36
Bare area	77.88	305.32	304.80	165.80

野生物棲息地之地景結構分析結果可知，Zone 1、Zone 2及Zone 等3種地景監測範圍中，Zone 2受天然災害影響最大，除植被面積大幅減少外(圖3a)，原本完整性良好的地景創造出許多缺口與邊緣環境(圖3d)，另一方面，Zone 1棲息地受到的衝擊雖不若Zone 2嚴重，但2001~2006年間的颱風干擾，使地景中衍生出許多小而零碎的嵌塊體(圖3b、c)，以往的研究中常提及，棲息地的喪失、邊緣環境與破碎化效應常會使生物多樣性受影響，當某一棲息地形成局部性的缺口時，太陽輻射為生態系帶來能量，促使生態幅度廣、繁殖力強的邊緣或外來物種入侵(Watkins *et al.* 2003; Duguay *et al.* 2007)，初期雖會使物種的多樣性程度增加，惟由於這些具入侵性的物種本身繁殖力與散播力強，長久下來，便會與其他物種發生競爭，並逐漸佔據棲息地，嚴重者將導致原生物種的多樣性衰退(Fahrig 2003; Hill and Curran 2003; Echeverría *et al.* 2007)。綜合以上討論可知，低海拔試驗站轄管範圍與其周圍鄰近區域受天然災害的影響，野生物棲息地的地景結構確實有所改變，至於這些改變是否會對當地的野生物族群造成負面影響，未來可利用遙測技術搭配地面動、植物調查方法，進行更深入的探討。此外，Zone 3為所有範圍中，地景系統較為穩定者，主要原因乃該範圍內的水系分布均為零散的分流，且地景受到切割的情形較少，相對棲息地的植被覆蓋性亦較其他範圍良

好。

結 論

SPOT衛星影像可準確地建置烏石坑地區不同時期的地景類型圖資，並記錄地景的變遷經過。由本研究的結果可知，1995~2006年間，受921集集大地震、颱風與豪雨等天然災害干擾，使地景浮現大量的裸露區，直至2012年，森林面積才有回復的傾向，另從觀察野生物棲息地的地景結構來看，低海拔試驗站轄管範圍經過干擾後，地景有呈現破碎化的現象，且其周圍鄰近區域受到衝擊最明顯。由此顯示，烏石坑地區歷經天然災害後，地景已逐漸穩定且走向回復的趨勢，本研究未來將會持續觀察地景變遷與野生物的族群大小、組成與分布間的關係，以及可能造成的影響。

引用文獻

- 何立德。2009。地景多樣性與地景保育。科學發展 439：22-29。
- 呂明倫、鍾玉龍。2007。墾丁國家公園銀合歡空間分布特徵之研究。特有生物研究 9：7-18。
- 林文賜、黃碧慧、林昭遠、周文杰。2004。921震災崩塌地特性分析及變遷監測之研究。中華水土保持學報 35：141-149。

- 林昭遠、王祥帆、莊智瑋。2006。應用生態指標探討九份二山崩場地植生復育變遷之研究。水土保持學報 38: 279-286。
- 林瑞興、許富雄、姚正得、艾台霖。2003。九二一地震後台灣九九峰鳥類組成變化與植被回復之關係。特有生物研究 5: 47-59。
- 陳添水。2005。九九峰地區九二一地震崩塌植生指數變遷分析。特有生物研究 7: 63-75。
- 陳添水。2006。桃芝與敏督利颱風對濁水溪植被面積變遷之影響-以濁水溪下游西濱至中沙大橋河段及清水溪南雲至龍門大橋河段為例。特有生物研究 8: 57-72。
- 陳朝圳、鍾玉龍、吳守從。2005。應用 SPOT 衛星影像探討墾丁國家公園地景層級之植群變遷。國家公園學報 15: 79-98。
- 黃凱易。2002。九九峰自然保留區地覆變遷之監測與分析。林業研究季刊 24: 35-48。
- 楊育昌、何健銘、何東輯、黃朝卿、張仕緯、林斯正、劉敏慧、程忠智、胡景瀚。2011。特有生物研究保育中心低海拔試驗站長期生態監測之研究：野生動物普查與氣象因子監測。臺大實驗林研究報告 25: 1-23。
- 壽克堅、吳秋靜、許惠瑛。2010。以 SPOT 衛星影像探討 1999 集集地震後之崩塌行為。航測及遙測學刊 15: 17-28。
- 劉守恆、林慶偉。2004。SPOT 衛星影像之崩塌地自動分類研究。航測及遙測學刊 9: 9-22。
- 衛強。2006。以多期遙測衛星影像監測臺大實驗林溪頭營林區三處崩塌地災害。臺大實驗林研究報告 20: 1-14。
- 謝漢欽、鄭祈全。1994。福山地區 SPOT 多期影像植生綠度分析。林業試驗所研究報告季刊 10: 105-120。
- 鍾玉龍、呂明倫。2005。利用衛星遙測影像探討保安林地景結構之研究。航測及遙測學刊 4: 315-326。
- Antrop, M. 1998. Landscape change: Plan or chaos? *Landscape and Urban Planning* 41: 155-161.
- Arroyo-Mora, J. P., G. A. Sánchez-Azofeifa, B. Rivard, J. C. Calvo and D. H. Janzen. 2005. Dynamics in landscape structure and composition for the Chorotega region, Costa Rica from 1960 to 2000. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 106: 27-39.
- Bresee, M. K., J. Le Moine, S. Mather, K. D. Brososke, J. Chen, T. R. Crow and J. Rademacher. 2004. Disturbance and landscape dynamics in the Chequamegon National Forest Wisconsin, USA, from 1972 to 2001. *Landscape Ecology* 19: 291-309.
- Chavez Jr., P. S. 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment* 24: 459-479.
- Congalton, R. G. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* 37: 35-46.
- Duguay, S., F. Eigenbrod and L. Fahrig. 2007. Effects of surrounding urbanization on non-native flora in small forest patches. *Landscape Ecology* 22: 589-599.
- Echeverría, C., A. C. Newton, A. Lara, J. M. R. Benayas and D. A. Coomes. 2007. Impacts of forest fragmentation on species composition and forest structure in the

- temperate landscape of southern Chile. *Global Ecology and Biogeography* 16: 426-439.
- Fahrig, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematic* 34: 487-515.
- Falcucci, A., L. Maiorano and L. Boitani. 2007. Changes in land-use/land-cover patterns in Italy and their implications for biodiversity conservation. *Landscape Ecology* 22: 617-631.
- Foody, G. M. 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment* 80: 185-201.
- Forman, R. T. T. 1995. *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Griffiths, G. S. and P. M. Mather. 2000. Remote sensing and landscape ecology: Landscape patterns and landscape change. *International Journal of Remote Sensing* 21: 2537-2539.
- Hill, J. L. and P. J. Curran. 2003. Area, shape and isolation of tropical forest fragments: effects on tree species diversity and implications for conservation. *Journal of Biogeography* 30: 1391-1403.
- McGarigal, K. and B. J. Marks. 1995. FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. General Technical Report PNW-GTR-351, Portland.
- Moseley, R. K. 2006. Historical landscape change in Northwestern Yunnan China using repeat photography to assess the perceptions and realities of biodiversity loss. *Mountain Research and Development* 26: 214-219.
- Nagendra, H., S. Pareeth and R. Ghate. 2006. People within parks: forest villages and fragmentation in the Tadoba-Andhari Tiger Reserve, India. *Applied Geography* 26: 96-112.
- Sieber, A., T. Kuemmerle, A. V. Prishchepov, K. J. Wendland, M. Baumann, V. C. Radeloff, L. M. Baskin and P. Hostert. 2013. Landsat-based mapping of post-Soviet land-use change to assess the effectiveness of the Oksky and Mordovsky protected areas in European Russia. *Remote Sensing of Environment* 133: 38-51.
- Southworth, J., H. Nagendra, L. A. Carlson and C. Tucker. 2004. Assessing the impact of Celaque National Park on forest fragmentation in western Honduras. *Applied Geography* 24: 303-322.
- Thomlinson, J. R., P. V. Bolstad and W. B. Cohen. 1999. Coordinating methodologies for scaling landcover classifications from sitespecific to global: steps towards validating global map products. *Remote Sensing of the Environment* 70: 16-28.
- Townsend, P. A., T. R. Lookingbill and C. C. Kingdon. 2009. Spatial pattern analysis for monitoring protected areas. *Remote Sensing of Environment* 113: 1410-1420.
- Watkins, R. Z., J. Chen, J. Pickens and K. D. Brososke. 2003. Effects of forest roads on understory plants in a managed hardwood landscape. *Conservation Biology* 17: 411-419.

臺灣小蹄鼻蝠 (*Rhinolophus monoceros*) 交配行為發現紀實

The first record of the Formosan lesser horseshoe bat (*Rhinolophus monoceros*) mating behavior in Taiwan

周政翰^{1,2} 黃光隆¹ 李銘碩² 鄭錫奇^{1*}

Cheng-Han Chou^{1,2}, Kuang-Lung Huang¹, Ming-Shuo Li² and Hsi-Chi Cheng^{1*}

¹ 行政院農委會特有生物研究保育中心 55244 南投縣集集鎮民生東路 1 號

² 台灣蝙蝠學會 11677 台北市汀州路四段 1 號 3 樓

¹ Endemic Species Research Institute, Jiji, Nantou, Taiwan

² Bats Association of Taiwan, Taipei, Taiwan

*通訊作者: chenghc@tesri.gov.tw

*Corresponding author: chenghc@tesri.gov.tw

摘 要

蝙蝠是晝伏夜出且唯一有飛行能力的哺乳類，使得研究者很難在野外觀察到牠們的行為，尤其是交配行為。臺灣小蹄鼻蝠是台灣特有種蝙蝠，屬於典型的洞穴型蝙蝠，經常成群聚集在各類的洞穴或隧道中。本文描述 2012 年及 2013 年 2 月間於臺灣南部屏東縣墾丁地區一處人工坑道內直接觀察到的臺灣小蹄鼻蝠交配行為，交配時間最長超過 30 分鐘。雄蝠在交配時，採頭下腳上以後腳爪掛勾住岩壁，用腹部緊貼雌蝠背部的姿勢進行；同時會有用雙翼環抱並以嘴部咬住雌蝠後頸部之壓迫控制行為發生。此時，雌蝠亦為頭下腳上的姿勢，但在雄蝠壓制下雙腳懸空，可以明顯觀察到雄蝠陰莖插入雌蝠陰道之動作。相對於坑道內其他臺灣小蹄鼻蝠的個體當受到干擾即飛離的狀況，正在進行交配行為的雌雄個體似並不受到干擾，讓研究者得以就近觀察一段時間並攝影記錄。此外，我們在 2013 年間亦陸續在臺灣南部一些其他地區的臺灣小蹄鼻蝠群集中發現交配行為。本文為臺灣小蹄鼻蝠交配行為的第一次描述與影像資料正式發表，也是臺灣首次於野外觀察與攝影存證蝙蝠交配行為的紀錄。根據 2012 至 2013 年間 4 次的觀察紀錄，我們參考相關文獻，嘗試探討牠們的交配季節與婚配制度。

Abstract

Bats are the only mammal that can truly fly. The habit of bats roosting in the day and active during the night lead to observation difficulty, especially when it comes to their mating behavior. The Formosan lesser horseshoe bat (*Rhinolophus monoceros*) is an endemic species and cave dwelling bat in Taiwan. Its impressive colony can contain hundreds or thousands of individuals roost in caves or tunnels. In the paper, we describe the mating behaviors of *Rhinolophus monoceros* observed at an artificial tunnel in southern Taiwan in February of 2012 and 2013. During mating, the male kept in upside down posture behind the female and pressed its abdomen closely against the back of the female. The male suppressed the female by its wings and bit its neck to control its posture while the female hung its legs in the air. The longest mating time of a pair Formosan lesser horseshoe bats in our observations was more than 30 minutes. Furthermore, we found that individuals seemed insensitive to our disturbance during mating than when not, as they usually flee upon our approach. In addition, we also observed some mating behaviors in other colonies in 2013. This paper provides the first published information on the mating behavior of *Rhinolophus monoceros*, and the first field observation and image evidences of mating behavior of bats in Taiwan. Based on our observation during 2012-2013 and review of relative literatures, we try to discuss the mating season and mating system of *Rhinolophus monoceros*.

關鍵詞：臺灣小蹄鼻蝠、交配行為、臺灣南部

Key words : *Rhinolophus monoceros*, mating behavior, southern Taiwan

收件日期：2013 年 08 月 12 日

接受日期：2013 年 11 月 08 日

Received: August 12, 2013

Accepted: November 08, 2013

前 言

目前臺灣地區已記錄約有 35 種蝙蝠(鄭等 2010)，其中僅東亞家蝠(*Pipistrellus abramus*)(可 1995)、臺灣葉鼻蝠(*Hipposideros armiger terasensis*)(陳 1998, 2013)及摺翅蝠(*Miniopterus schreibersii*)(黃 2000, 陳 2013)等 3 種蝙蝠曾被研究者透過組織切片檢視其生殖組織發育現

象的方式，推測其生殖週期。可(1995)指出屏東地區每年 1 月至 2 月中可發現東亞家蝠的雌蝠排卵或受精現象；11 月中可發現雄蝠產精現象旺盛，故推測交配期應發生於 11 月至 2 月間。陳(1998)發現臺灣葉鼻蝠的雄蝠於 6 月間產精達到高峰，8 月底後則無精子儲存現象，而雌蝠排卵受精皆發生在 7、8 月間，因此認為其交配期應該在 8 月上旬。黃(2000)根據生殖切片

資料推測摺翅蝠的交配期應在9至11月；陳(2013)根據生殖切片及賀爾蒙檢測指出摺翅蝠的受精現象應發生於9月。就現有的研究資料，臺灣蝙蝠的交配期似乎主要發生在秋冬季之間。至於臺灣其他種類蝙蝠的生殖資料僅有研究人員於各地調查時，檢視捕獲個體其外生殖器判斷是否達到性成熟的零星紀錄，如陳(2008)依據1996年到2005年之採集紀錄彙整出常見10種蝙蝠之採集時間與生殖狀態。然而，上述的採集資料由於過於零星或無直接證據往往無法確認交配期，因此除了前述三種蝙蝠外，臺灣其他種類蝙蝠的交配季仍待更多研究確認。McCracken及Wilkinson(2000)曾回顧有關蝙蝠生殖的文獻，在其所彙整的蝙蝠婚配制度中，已發表的物種僅占了當時蝙蝠物總種數的6.9%(以969種計)，其中相對於物種歧異度而言，蹄鼻蝠科(Rhinolophidae)與游離尾蝠科(Molossidae)的資料最為缺乏，僅4%的種類被描述過其婚配制度。

臺灣小蹄鼻蝠的生殖週期

臺灣小蹄鼻蝠(*Rhinolophus monoceros*)為臺灣特有種蝙蝠，頭體長3.7~5.1cm，前臂長3.6~4.1 cm，翼展長21.8~24.2 cm，屬於小型蟲食性蝙蝠，以蜘蛛(Arachnida)以及昆蟲的鞘翅目(Coleoptera)和雙翅目(Diptera)等種類為食(周等 2012)；主要棲息於臺灣各海拔天然洞穴、人工隧道、引水渠道、坑道等棲所(鄭等 2010)。關於臺灣小蹄鼻蝠生殖的研究，根據黃(1999)於台北市陽明山一處洞穴進行群集數量變動研究與個體之捕捉檢視紀錄，發現母蝠主要在5月中旬至6月中旬生產仔蝠，而雄蝠於當年10月到隔年4月會有明顯的睪丸腫脹(產精)現象，因而推測臺灣小蹄鼻蝠的交配期可能在秋冬季。我們也曾於2010年5月16日與2012年5

月7日分別在宜蘭縣及台南市記錄到尚有胎盤的臺灣小蹄鼻新生幼蝠；另於2012年5月底及2013年5月初，分別在苗栗及宜蘭地區捕獲接近產仔狀態的懷孕雌蝠(圖1)。

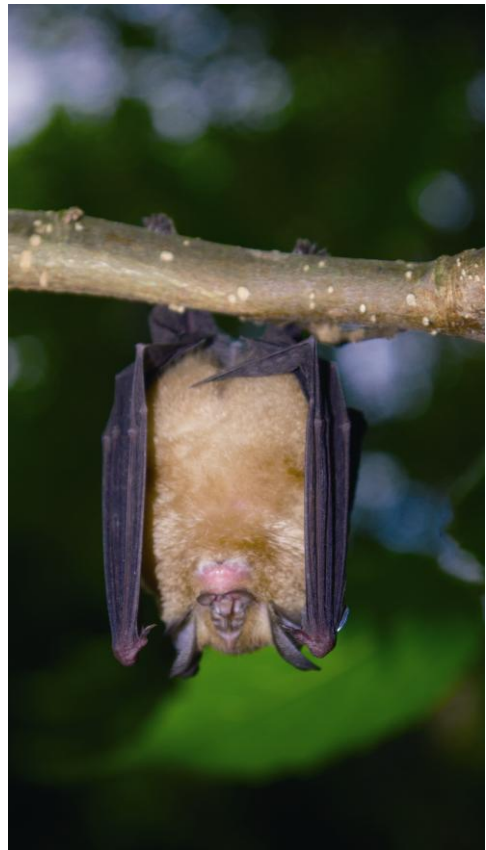


圖 1. 2013 年 5 月 2 日於宜蘭縣發現的臺灣小蹄鼻蝠雌蝠，其下腹部明顯腫脹。

Fig. 1. A pregnant female Formosan lesser horseshoe bat with a swollen belly in Yilan county on 2nd May 2013.

其他關於臺灣小蹄鼻蝠的研究尚包括陳(1995)於台北市陽明山地區臺灣小蹄鼻蝠群集的活動模式與食性的研究、趙(2001)於屏東縣關山地區臺灣小蹄鼻蝠群集的回聲定位音頻結構的研究、Chen *et al.* (2009) 針對不同性

別臺灣小蹄鼻蝠的音頻特性差異研究，以及張(2009)探討臺灣小蹄鼻蝠的體溫調節現象。

臺灣小蹄鼻蝠交配行為首次記錄

2012年2月16日，我們前往屏東縣恆春鎮墾丁地區一處人工坑道進行蝙蝠的調查與監測。此坑道內除了蹄鼻蝠科的臺灣小蹄鼻蝠外，常可發現葉鼻蝠科的臺灣葉鼻蝠及臺灣無尾葉鼻蝠(*Coelops frithii formosanus*)也在此棲息，並在夏季利用此棲所生殖育幼(鄭，未發表資料)。當日調查估計棲息於此坑道的臺灣小蹄鼻蝠約有250隻，臺灣葉鼻蝠與臺灣無尾葉鼻蝠則相對較少，分別約有20隻和30隻。我們於當日14時左右進入坑道，發現臺灣葉鼻蝠棲息於入口處，隨著進入坑道較深處可陸續發現臺灣小蹄鼻蝠與臺灣無尾葉鼻蝠的零星個體倒掛於岩壁上方，在離入口約30公尺的坑道

最深處則發現約有200隻臺灣小蹄鼻蝠聚集。當時多數的臺灣小蹄鼻蝠尚處於休眠狀態，並無騷動或飛離的現象。然而大約經過3分鐘的觀察，大部分的蝙蝠個體陸續甦醒紛飛，卻有2隻臺灣小蹄鼻蝠緊靠著停棲在一處不動，趨近觀察時發現，位於後方的蝙蝠似有抱住前方個體的行為(圖2)。因此，自14時17分起開始以攝影機錄影記錄這2隻蝙蝠的行為，直至這2隻蝙蝠於14時50分飛離，攝錄歷時33分鐘。檢視影像資料顯示後方的個體為雄蝠，在交配時採取頭下腳上且以後腳爪掛勾住岩壁的姿勢，以腹部緊貼位於前方的雌蝠背部，並以雙翼環抱雌蝠；此時，雌蝠亦為頭下腳上的姿勢，但雙腳懸空，雄蝠有時會以嘴部咬住雌蝠後頸部(圖3)，過程中可明顯觀察到雄蝠之陰莖插入雌蝠的陰道(圖4)，因此確認是交配行為。由此推測，2月間應是臺灣小蹄鼻蝠的交配期。



圖 2. 2012 年 2 月 16 日於屏東縣發現臺灣小蹄鼻蝠交配行為，雄蝠在左後，雌蝠在右前。

Fig. 2. The mating behavior of a pair of Formosan lesser horseshoe found on 16th February 2012 in Pingtung county. The male bat is on the left behind the female bat.



圖 3. 臺灣小蹄鼻蝠有時會在交配時咬住雌蝠的後頸部。

Fig. 3. During mating the male *Rhinolophus monoceros* sometimes bites the neck of the female.



圖 4. 2012 年 2 月 16 日交配中的臺灣小蹄鼻蝠，後方雄蝠的陰莖跨過前方雌蝠的股間膜進入其體內。

Fig. 4. Mating behavior of *Rhinolophus monocero* found on 16th February 2012. A male bat in the back inserts its penis into the vagina of a female bat in the front.

2013年2月6日，我們再次前往同一處坑道內，亦觀察到臺灣小蹄鼻蝠的交配行為。雌蝠在交配完畢後停留約1秒隨即飛離，而留在原地的雄蝠陰莖仍處於勃起狀態(圖5)，並在停棲約50秒後才飛離該處。自我們發現這一對蝙蝠

(已在進行交配行為)起到分離僅持續約4.5分鐘，與2012年的紀錄比較應為交配行為的後段。以上結果更加確認2月份為臺灣小蹄鼻蝠的交配期。



圖 5. 2013 年 2 月 6 日在屏東縣發現剛交配後的臺灣小蹄鼻蝠雄蝠的陰莖仍然勃起(箭頭標記處)。

Fig. 5. Penis (arrow) of a male *Rhinolophus monoceros* right after mating found on 6th Feb. 2013 in Pingtung county.

為了確認其他地區的臺灣小蹄鼻蝠在2月間是否也有交配行為，我們於2013年2月5日前往屏東縣萬巒鄉一處臺灣小蹄鼻蝠、臺灣鼠耳蝠(*Myotis taiwanensis*)及摺翅蝠共棲的排水渠道內觀察。發現渠道內有一隻停棲在渠道內的臺灣小蹄鼻蝠雄蝠的陰莖有勃起的現象(圖6)，比對於2012及2013年發現的現象，推測該隻雄蝠應是剛完成交配行為後的狀態。另於2013年2月7日台南市東山區一處有臺灣小蹄鼻蝠、臺灣葉鼻蝠、臺灣鼠耳蝠與摺翅蝠共棲的引水渠道內，亦發現臺灣小蹄鼻蝠的交配行為(圖7)。

根據本研究的觀察紀錄，可以確定臺灣小蹄鼻蝠會在2月份交配，此結果與黃(1999)的推測相符，但與其他已知臺灣蝙蝠種類的交配季發生在秋天的結果(如陳 1998，黃 2000)有所不同。臺灣尚未有研究報告描述蝙蝠的交配行為，亦未有其婚配制度的探討。McCracken 及 Wilkinson (2000)指出，蝙蝠的婚配制度如同其他哺乳動物一般受到許多生態因子的限制，舉凡雌性個體的數量、分布、食物資源及棲所資源等因子，現階段已知的蝙蝠婚配制度，主要可依據組成區分為(1)單一雄性個體/多雌性個體交配群(single male/multi-female mating

groups) (2)多雄性/多雌性的交配群(multi-male/multi-female mating groups) (3)單一雄性/單一雌性的交配群(signal male/signal female mating groups)。其中與台灣小蹄鼻蝠同屬蹄鼻蝠科的 *Rhinolophus ferrumequinum* 的婚配制度被歸納屬於季節性的多公多母交配群(Seasonal Multi-Male/Multi-Female Polygynous Groups)，主要是 McCracken 及 Wilkinson(2000)根據 Dr. Jones 於香港的觀察發現，自9月起雄性蝙蝠會於棲息的洞穴內以自身的氣味標記出咖啡色點狀的領域，而雌性蝙蝠會匯聚於此區域而進行交配，交配行為會延續整個冬眠期，直到隔年4月，可發現母蝠陰道會形成棚狀的栓篩，此狀態即可作為母蝠懷孕的特徵。本文所描述的臺

灣小蹄鼻蝠交配行為主要發生在2月間，然目前尚缺全年度的觀察紀錄，並無法瞭解臺灣小蹄鼻蝠雄性個體是否也會如國外同屬物種 *Rhinolophus ferrumequinum* 一樣會以體味標記自身領域的行為。根據筆者多次觀察臺灣小蹄鼻蝠的交配行為，雖然發現雄蝠交配前及過程中也會待在固定一處，並有吸引多隻母蝠陸續接近牠的現象(類似上述雄蝠的行為)，但是臺灣小蹄鼻蝠的婚配制度是否亦屬於季節性的多雄多雌的交配群，仍需收集更多資料驗證。

本文描述並以影像紀錄臺灣小蹄鼻蝠的交配行為，不僅是該種野外交配行為的首次發現紀錄，也是臺灣蝙蝠交配行為的第一次正式發表。



圖 6. 2013 年 2 月 5 日在屏東縣萬巒鄉另一處臺灣小蹄鼻蝠群集中發現的雄蝠勃起現象，此時這隻雄性個體應是剛完成交配行為。

Fig. 6. The mating behaviour of *Rhinolophus monoceros* found on 6th February 2013 in Pingtung county. This picture shows a male with an erected penis after completing mating.



圖 7. 2013 年 2 月 7 日發現於台南市東山區的臺灣小蹄鼻蝠交配行為。

Fig. 7. Mating behaviour of *Rhinolophus monoceros* found on 7th February 2013 in Dungshan district, Tainan City.

謝 誌

本研究承蒙行政院農委會特有生物研究保育中心於經費上的支持。特別感謝紐西蘭奧克蘭大學生物科學系 Parsons 教授協助對蝙蝠交配行為之確認與相關的討論，另感謝西拉雅國家風景區管理處企劃課林俊儀先生提供進行東山地區臺灣小蹄鼻蝠生殖棲所的位點資訊並協助調查。

參考文獻

可文亞。1995。南台灣屏東地區東亞家蝠生殖週期之研究。東海大學生物所碩士論文。57頁。
周政翰、鄭妤珊、鄭錫奇、蔡淳淳。2012。楠

梓仙溪林道食蟲性蝙蝠食性初探。台灣生物多樣性研究期刊14(1-2)：27-40。

陳家鴻。2008。台灣蝙蝠生殖記事。野生動物保育彙報及通訊。12(1)：14-16。

陳家鴻。2013。台灣地區蝙蝠生殖生態研究。東海大學生命科學系博士論文。124頁。

陳健戊。1998。南投縣中寮地區臺灣葉鼻蝠生殖生態學研究。東海大學生物所碩士論文。68頁。

陳湘繁。1995。陽明山地區共域台灣葉鼻蝠 (*Hipposideros armiger*) 及台灣小蹄鼻蝠 (*Rhinolophus monoceros*) 之活動模式與食性。國立台灣大學動物學研究所碩士論文。80頁。

黃子典。1999。陽明山地區台灣小蹄鼻蝠的族群動態。台灣大學動物學研究所碩士論

文。59頁。

黃雲清。2000。南投縣地利地區摺翅蝠體溫調節之研究。東海大學生物所碩士論文。68頁。

張鈞傑。2009。台灣三種穴居型蝙蝠體溫調控模式、代謝率與水分散失速率之比較。成功大學生命科學研究所碩士論文。65頁。

趙念民。2001。利用回聲定位交生特性鑑別東亞家蝠、摺翅蝠、台灣葉鼻蝠和台灣小蹄鼻蝠之研究。中山大學生物科學系碩士論文。59頁。

鄭錫奇、方引平、周政翰。2010。臺灣蝙蝠圖鑑。行政院農委會特有生物研究保育中心。143頁。

Chen S. F., G. Jones and S. J. Rossiter. 2009. Determinants of echolocation call frequency variation in the Formosan lesser horseshoe bat (*Rhinolophus monoceros*). Proceedings of the Royal Society B 276:3901-3909.

McCracken, G. F. and G. S. Wilkinson. 2000. Reproductive Biology of Bats. Bat mating systems. pp. 321-362. In: E. G. Crichton and P. H. Kruttsch (ed.). Academic Press A Harcourt Science and Technology Company, California, USA.

利用光化學反射指數推估在高、低海生長之台灣二葉松在不同季節之光合作用效率

Using photochemical reflectance index to estimate photosynthetic light-use efficiency of *Pinus taiwanensis* in high and low elevation in different seasons

翁韶良¹ 賴冠名² 翁仁憲^{3,*}

Shau-Lian Wong¹, Kuan-Ming Lai² and Jen-Hsien Weng^{3,*}

¹ 行政院農業委員會特有生物研究保育中心 55224 南投縣集集鎮民生東路 1 號

² 64049 雲林縣斗六市正心路 1 號

³ 中國醫藥大學 40402 台中市學士路 91 號

¹ Endemic Species Research Institute, Jiji, Nantou, Taiwan

² Cheng-Hsin Rd., Tou-liu, Yun-lin County, Taiwan.

³ China Medical University, Taichung, Taiwan

*通訊作者: jhweng@mail.cmu.edu.tw

*Corresponding author: jhweng@mail.cmu.edu.tw

摘 要

本研究以台灣廣範圍海拔分布，且具純林之主要針葉樹種—台灣二葉松(*Pinus taiwanensis* Hay.)為對象，探討在不同季節及海拔塔塔加(約2,600 m)及惠蓀林場(約800 m)之光合作用光利用效率[photosynthetic light-use efficiency, LUE = 光合速率/光合光子流密度 (photosynthetic photon flux density, PPFD)]與葉片反射光譜[光化學反射指數(photochemical reflectance index, PRI), = $(R_{531}-R_{570}) / (R_{531}+R_{570})$]-之關係，以開發簡單、迅速、有效且能用於不同海拔植物之同化能力評估及監測技術。結果顯示，PRI及LUE均會隨光度(PPFD)之增加及溫度之下降而降低。在光度相同之情況下，將在不同季節及海拔所測得之資料合併分析時，LUE與PRI間呈顯著之正相關，兩者

間迴歸方程式之截距及斜率各與PPFD呈顯著之曲線負相關。經複迴歸分析可得到方程式，即：

$$\text{LUE} = 6.505 - 1.470 \cdot \ln(\text{PPFD}) + 0.084 \cdot [\ln(\text{PPFD})]^2 + 70.606 \cdot \text{PRI} - 16.696 \cdot \ln(\text{PPFD}) \cdot \text{PRI} + 0.996 \cdot [\ln(\text{PPFD})]^2 \cdot \text{PRI}$$
 $(r^2 = 0.910, P < 0.001)$ 。將實測之PPFD與PRI代入上式中，便可得LUE之推估值。經單相關迴歸分析發現此推估值與實測值間呈極顯著之直線正相關，其判斷係數數(r^2)高達0.912($P < 0.001$)，而且迴歸方程式也接近 $X=Y$ ，故可利用上述方程式並以容易測得之PPFD與PRI來推估台灣二葉松在不同海拔、季節及光度下之光合效率變化。

Abstract

We investigated the relationship between photosynthetic light-use efficiency [LUE, = (photosynthetic rate) / (photosynthetic photon flux density, PPFD)] and the photochemical reflectance index [PRI, = (R531 - R570)/(R531+ R570)] of pine needles (*Pinus taiwanensis* Hay.) under different PPFD at high (2,600 m a.s.l) and low-elevation (800 m a.s.l) sites through different seasons. Results indicate that both PRI and LUE decreased with the increasing of PPFD and the decreasing of temperature. When data obtained at different elevations and seasons were pooled for analysis, at a given level of illumination, LUE always showed a significant positive correlation with PRI. Because both the intercept and slope of LUE–PRI equation showed a negative regression with PPFD, an empirical regression model, i.e. $\text{LUE} = 6.505 - 1.470 \cdot \ln(\text{PPFD}) + 0.084 \cdot [\ln(\text{PPFD})]^2 + 70.606 \cdot \text{PRI} - 16.696 \cdot \ln(\text{PPFD}) \cdot \text{PRI} + 0.996 \cdot [\ln(\text{PPFD})]^2 \cdot \text{PRI}$, can be appropriate for multiple regression analysis ($r^2 = 0.910, P < 0.001$). Based on the close correlation between the estimated and measured LUE ($Y = 1.001 \cdot X - 0.002, r^2 = 0.912, P < 0.001$), we conclude this empirical regression model can be used to simulate the seasonal and diurnal variations of LUE for *P. taiwanensis* under varied PPFD grown at high- and low-elevation sites.

關鍵詞：海拔、葉片反射光譜、光合效率、台灣二葉松、季節

Key words : altitude, leaf spectral reflectance, photosynthetic light-use efficiency, pine, season.

收件日期：2013 年 07 月 08 日

接受日期：2013 年 08 月 15 日

Received: July 08, 2013

Accepted: August 15, 2013

前 言

台灣之面積雖然不大，卻擁有複雜之生物

棲地，如從平地到海拔近4,000 m之高山，高度每升高100 m，氣溫約降低0.5 °C。年降雨量也可從澎湖之1,000 mm至山區之3,000 mm以

上，再加上坡度及坡向之影響益形複雜。各種生物爲了適應不同海拔之環境，在形態、生理及生態適應上亦有不同之表現，因此擁有相當高歧異度之生物相。如此多樣化之環境是探討生物生態生理之良好場所，也是國外文獻所無法概括，因此建立本土植物之生態生理資料有其必要性。是故亟需開發簡單、迅速、確實又能在野外測定之方法。

然植物生產力對生態系之影響很大，光合能力是影響生產力之重要因子。但是光合能力之測定非但器材昂貴、笨重，過程又繁瑣，因此不易在野外，尤其在山區進行測定。若能以較簡單之方法，尤其是遙感測定之推估方式，將對生態生理研究及長期生態監測有莫大助益。幾種較容易之光合能力推估方法中，尤以葉綠素螢光及葉片反射光譜較常爲學者所採用。利用反射光譜推估光合能力之原理可分幾個方面，其一爲植物葉片所含色素，在不同環境下，植物如遇溫度改變，或缺水等逆境時，其葉片之色素及生理機能會發生改變，也會影響其光合能力及反射光譜。

近年來，學者發現一種葉片反射光譜指數—光化學反射指數[photochemical reflectance index, PRI, $= (R_n - R_m) / (R_n + R_m)$], n 、 m 各爲 570 nm 及 531 nm 波長之反射率]可在不同環境條件下，反映出葉片之光合效能。其原理爲葉片所吸收之光能並非全部能用於光合作用，多餘的光能若無法消散則會引起光抑制(photoinhibition)，而降低葉片之光合效能(Weng *et al.* 2012)。然而，葉綠體通常會利用葉黃素循環(xanthophyll cycle)，藉由葉黃素之改變來消散過剩光能(Li *et al.* 2000; Adams *et al.* 2004; Holt *et al.* 2005)。而葉黃素之改變程度，即過剩光能之消散情形可藉由PRI值之變化程度偵知(Gamon *et al.* 1992)。由於逆境越嚴

重，光合效能越會受到抑制，導致產生較多之過剩光能，葉黃素循環色素及PRI之改變程度便會越大。包括作者等(Weng *et al.* 2006a, 2006b, 2009)及其他研究者(Penuelas *et al.* 1995; Gamon *et al.* 1997; Nichol *et al.* 2000; Zarco-Tejada *et al.* 2000 a,b; Guo and Trotter, 2004; Nakaji *et al.* 2006)之研究結果均顯示，PRI值和光合作用效能間具有良好之相關性。此外，Gamon *et al.* (1997)、Nichol *et al.* (2000)、Zarco-Tejada *et al.* (2000a,b)及Suárez *et al.* (2008)在不同樹種之葉片反射光譜分析中發現，不論是近距離葉片之測量、空中測量或是模擬高空測量，甚至衛星資料分析(Garbulsky *et al.* 2008)，其PRI值和光合效率間均具有一定程度之相關。另一方面，當光度改變時，光合效能及PRI值均會隨之而變(Peguero-Pina *et al.* 2008)，因此亦以生理指數(physiological reflectance index, Gamon *et al.* 1992; Peguero-Pina *et al.* 2008)稱之。

近年來包括作者等在內之研究者(Nakaji *et al.* 2006; Nichol *et al.* 2006; Weng *et al.* 2010, 2012)發現，PRI值除了受到葉黃素循環色素之影響外，尚會受到葉綠素含量及溫度所干擾。爲了排除葉綠素及溫度對光合效能—PRI值間關係之干擾，Nakaji *et al.* (2006)及作者等分別建議將測得之PRI值減去測定日在各種光度下測得之PRI平均值(Nakaji *et al.* 2006)，或減去測定日黎明所測得之PRI值(Weng *et al.* 2006a)加以校正。但是此兩種方式在實務上並不可行，因爲會受到天候及測定時段之影響，且在各種光度下之PRI平均值並不容易測得，另黎明又難以在自然光下測得葉片之反射光譜。

最近我們發現，將在不同季節及海拔所測得之資料合併分析時，儘管在測定時之溫度及葉綠素含量差異很大，但在光度相同之情況

下，其光系統II效能(PSII efficiency)與PRI間即呈顯著之正相關。兩者間迴歸方程式之截距及斜率各與光度[光合電子流密度，[photosynthetic photon flux density (PPFD)]間呈顯著之曲線負相關。經由迴歸分析便可得到方程式： $PSII\ efficiency = c + d \cdot (\ln PPFD) + e \cdot (\ln PPFD)^2 + f \cdot PRI + g \cdot (\ln PPFD) \cdot PRI + h \cdot (\ln PPFD)^2 \cdot PRI$ ，再將實測之PPFD與PRI代入上式中，便可得到光系統II效能之推估值(Weng *et al.* 2010, 2012)。經單相關分析發現，無論是在人工光下，或自然光下，此推估值與實測值間呈極顯著之直線正相關，而且迴歸方程式也接近 $X=Y$ ，故可利用上式，以容易測得之PPFD與PRI來推估不同葉色葉片在不同溫度及光度，甚至不同海拔及季節之光系統II效能(Weng *et al.* 2010, 2012)。

由於以上研究只探討光合作用中，光系統II效能與PRI之關係，尚未探討葉片之固碳效率。為了進一步探討植物之固碳效率與PRI值之關係，本研究以分布於台灣廣範圍海拔(750–3,000 m)之常綠針葉樹—台灣二葉松(*Pinus taiwanensis*)為對象，探討在不同海拔及季節(唯夏季因颱風及豪大雨影響路況而較少測定)之溫度及光度下，以PPFD與PRI來推估葉片光合作用固碳效率之準確性。

材料與方法

一、測定地點及對象

以生長在塔塔加(23°29'N, 120°53'E, 2,600m高海拔)及惠蓀林場(24°02'N, 120°59'E, 800m, 低海拔)東南坡面開闊處，約10年生，3m高之台灣二葉松(*Pinus taiwanensis* Hay.)一年生枝條為測定對象。

二、測定時間、項目及方法

測定自2003年秋至2006年春為止，主要於秋季及冬季至春季時段在現場進行，夏季因颱風及豪大雨影響路況而較少測定。在測定季節，於測定當日之黎明，在現場剪取1年生枝條，每株剪取一枝條後，立即浸於水中再修剪一次使切口不離水，並以透氣膠帶及厚紙板固定針葉，然後攜往距採集地約100m(塔塔加)或300m(惠蓀林場)處，於7:00~15:00進行葉片反射光譜及光合作用固碳效率之測定。

葉片反射光譜之測定係以幻燈機作為光源，將台灣二葉松針葉以200、400、800、1,200及2,000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD之人工光照20 min後，在光照下，以可攜式反射光譜儀(CI-700, CID, Inc., USA)之葉片夾夾住針葉之測定部位，測得台灣二葉松針葉在189 nm至883 nm間之反射光譜值(波距約為0.2 nm至0.3 nm)。經公式計算後求得PRI值[$PRI = (R_{531} - R_{570}) / (R_{531} + R_{570})$] (Gamon *et al.* 1990)。光合速率係以可攜帶式之開放氣體交換系統(LI-6400, Li-Cor Inc, USA)，配合6400-02B型同化箱及人工光源(6400-02, Li-Cor Inc.)，測得台灣二葉松針葉之 CO_2 固定速率。從200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD開始照射，每隔2 min紀錄一次直至 CO_2 固定值趨穩(約20 min)為止。然後以同法依續測定400、800、1,200及2,000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD之 CO_2 固定值。以上測定共使用4個枝條，以每枝條之測定值作為每一重複之值。

由於塔塔加地區及惠蓀林場缺乏長期之氣象觀測資料，故以鄰近且海拔相近之中央氣象局-阿里山氣象站(23°31'N, 120°48'E, 2,408 m)及日月潭氣象站(23°52'N, 120°57'E, 1,014 m)所測得之氣溫為基準。因為在中台灣，海拔每增加100 m氣溫約降低0.5°C (Weng *et al.* 2006b)，故本研究以阿里山氣象測站所得之氣

溫減去1°C作為塔塔加之氣溫，並以日月潭氣象測站所得之氣溫加上1°C作為惠蓀林場之氣溫(Weng *et al.* 2006b)。

結 果

圖1顯示在塔塔加，測定日之日平均溫在3.6至13°C之間，而最低溫在-1.6至9.1°C之間。

在惠蓀林場則於12.5至24.9°C及9.7至22.2°C之間。在 $2,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD光度下所測得之光合速率(P_{2000})於高溫時較高，低溫時較低。而在同光度下，PRI之變化與 P_{2000} 類似。至於葉綠素含量之變化，在塔塔加時會因低溫而大幅降低，但在惠蓀林場則反在高溫季節有較低之趨勢。

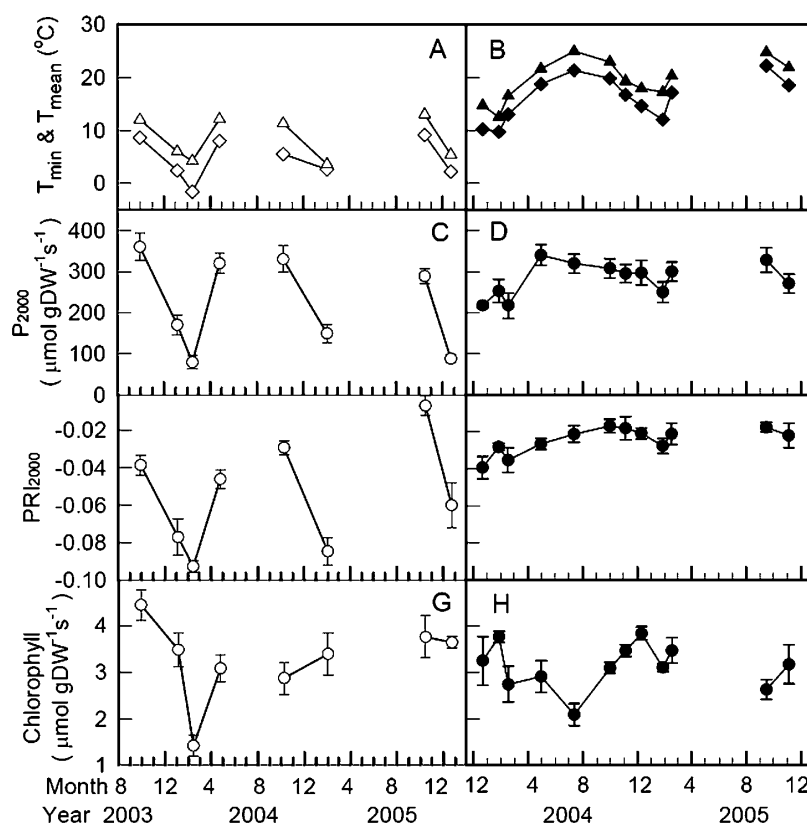


圖 1. 於高海拔(空心記號)及低海拔(實心記號)各測定日之日均溫(Δ 及 $\blacktriangle$)與最低溫($\diamond$ 及 $\blacklozenge$)，台灣二葉松之葉綠素含量及其在 $2,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD下之光合速率(P_{2000})與光化學反射指數(PRI_{2000})之季節變化($\circ$ 及 $\bullet$)。數值為平均 $\pm$ 標準機差；樣本數 = 4。

Fig. 1. Mean (Δ and $\blacktriangle$) and minimum ($\diamond$ and $\blacklozenge$) daily temperatures of each measuring day at high- (open symbols) and low-elevation (closed symbols) sites, seasonal variations in photosynthetic rate and photochemical reflectance index under $2,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD (P_{2000} and PRI_{2000}) as well as chlorophyll content of *Pinus taiwanensis* ($\circ$ and $\bullet$). Values are means $\pm$ SE; $n = 4$.

至於在不同光度下，光合速率、光合作用之光利用效率 (photosynthetic light-use efficiency, LUE，即每單位PPFD之光合效率) 及PRI之變化情形，則以選自3天，分別代表在低溫(當日低溫為2.2℃，2005年12月23日於塔塔加)，中低溫(10.2℃，2003年10月22日於惠蓀林場)及中溫(18.7℃，2004年4月於惠蓀林場)之結果示於圖2。圖中顯示，光合速率會隨PPFD增加呈漸近線上升，而LUE及PRI則隨PPFD上升而下降。惟在高溫下，光合速率、LUE及PRI等三者均較高，而在低溫下則反之。

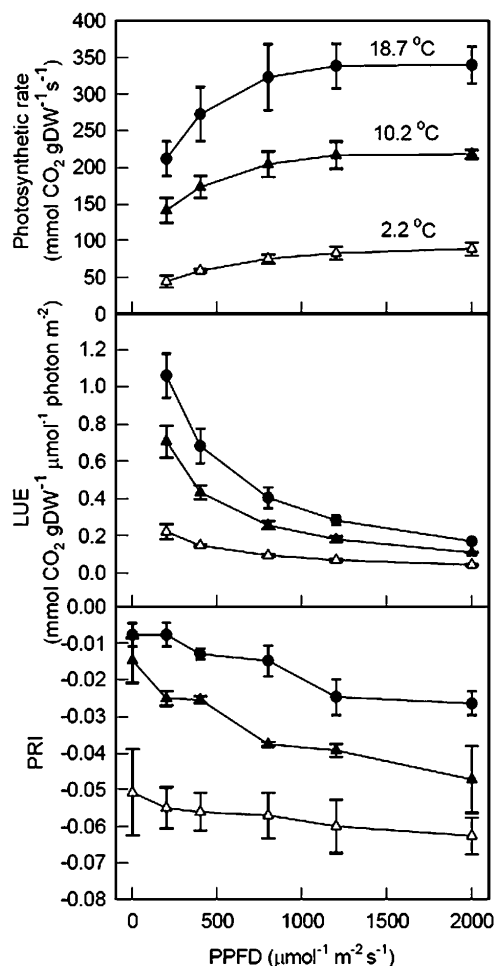


圖 2. 在高海拔及低海拔生長之台灣二葉松於

不同季節，其光合速率、光合作用光利用效率 (LUE，光合速率/光合光子流密度) 及光化學反射指數 (PRI) 之典型光反應曲線。PPFD：光合光子流密度。實心圓：2004 年 4 月 30 日於低海拔測得(測定當日最低溫為 18.7℃)；實心三角形：2003 年 12 月 22 日於低海拔測得 (10.2℃)，空心三角形：2005 年 12 月 23 日於高海拔測得(2.2℃)。數值為平均±標準機差；樣本數 = 4。

Fig. 2. Typical light-response curves of photosynthetic rate, photosynthetic light-use efficiency (LUE, photosynthetic rate/PPFD) and photochemical reflectance index (PRI) of *Pinus taiwanensis* at high- and low-elevation sites in different seasons. PPFD: photosynthetic photon flux density. Symbols: ● = measured on Apr. 30 2004 at low-elevation site (minimum air temperature of measuring day was 18.7 °C), ▲ = measured on Dec. 22 2003 at low-elevation site (10.2 °C), Δ = measured on Dec. 23 2005 at high-elevation site (2.2 °C). Values are means ± SE; n = 4.

圖3則顯示此3天在不同光度下所測得之LUE與PRI之關係，在同一天內，LUE會隨PRI上升而增加，兩者間之關係呈顯著之曲線相關 ($P < 0.01-0.05$)。而於較高溫度下測定時，LUE與PRI間相關曲線之X-截距會較高。將此3天之資料合併分析時，LUE與PRI間之相關性即會大幅降低。惟由圖3之虛線可看出，在相同光度下比較不同測定日之結果時，則發現LUE會隨PRI之增加而上升。

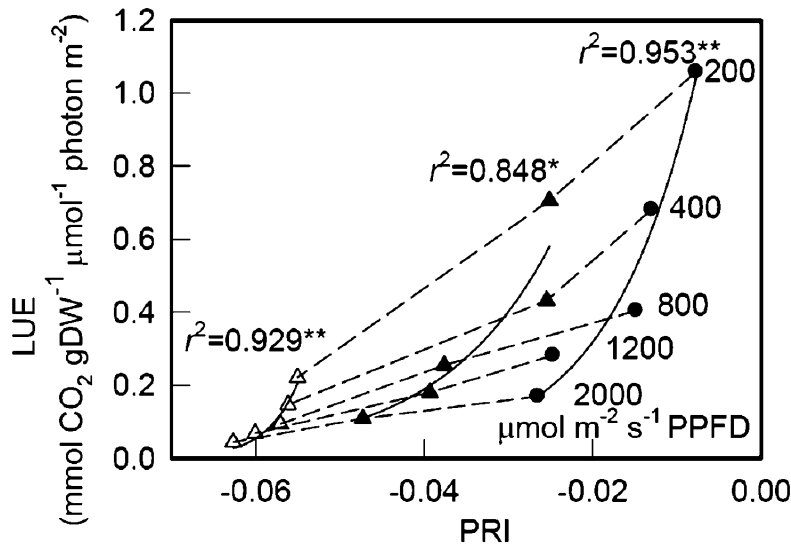


圖 3. 在高海拔及低海拔生長之台灣二葉松於不同季節，在5種不同光合光子流密度(PPFD)下，其典型光合作用光利用效率(LUE，光合速率/光合光子流密度)與光化學反射指數(PRI)之關係。PPFD：光合光子流密度。實心圓：2004年4月30日於低海拔測得(測量當日最低溫為18.7℃)；實心三角形：2003年12月22日於低海拔測得(10.2℃)，空心三角形：2005年12月23日於高海拔測得(2.2℃)。*及**： $P < 0.05$ 及 $P < 0.01$ 。

Fig. 3. Typical relationship between photosynthetic light-use efficiency (LUE, photosynthetic rate/PPFD) and photochemical reflectance index (PRI) of *Pinus taiwanensis* measured under 5 levels of photosynthetic photon flux density (PPFD) at high- and low-elevation sites in different seasons. Symbols: ● = measured on Apr. 30 2004 at low-elevation site (minimum air temperature of measuring day was 18.7 °C), ▲ = measured on Dec. 22 2003 at low-elevation site (10.2 °C), Δ = measured on Dec. 23 2005 at high-elevation site (2.2 °C). * and ** = $P < 0.05$ and 0.01, respectively.

圖4顯示，將不同海拔及季節所測得之資料合併分析時，只要在光度(PPFD)相同之情況下，LUE與PRI之間即呈顯著之正相關，而兩者間之斜率會隨光度增加而趨緩，截距亦降低，並各與PPFD間呈顯著之曲線負相關(圖5)。在此嘗試由PRI及PPFD來推估光合作用效率，即LUE與PRI間之迴歸方程式可由式(1)來表示，式(1)之截距(a)與斜率(b)與PPFD間之關係可由式(2)及式(3)來表示。而結合了式

(1)-(3)，便可得到LUE與PPFD及PRI間之關係式(4)。而經由複迴歸分析便可得到式(4)中之各項係數(式5)。再將實測PPFD與PRI代入式(5)中，便可得到LUE之推估值。圖6顯示，此推估值與實測值間呈極顯著之直線正相關($r^2=0.912$, $P < 0.0001$)，而且迴歸方程式也接近 $X=Y$ ，故可利用式(5)以容易獲得之PPFD與PRI來推估台灣二葉松在不同海拔、季節及光度下之光合作用效率變化。

$$\text{LUE} = a + b \cdot \text{PRI} \quad (1)$$

$$a = c + d \cdot \ln(\text{PPFD}) + e \cdot [\ln(\text{PPFD})]^2 \quad (2)$$

$$b = f + g \cdot \ln(\text{PPFD}) + h \cdot [\ln(\text{PPFD})]^2 \quad (3)$$

$$\text{LUE} = c + d \cdot \ln(\text{PPFD}) + e \cdot [\ln(\text{PPFD})]^2 + f \cdot \text{PRI} + g \cdot \ln(\text{PPFD}) \cdot \text{PRI} + h \cdot [\ln(\text{PPFD})]^2 \cdot \text{PRI} \quad (4)$$

$$\text{LUE} = 6.505 - 1.470 \cdot \ln(\text{PPFD}) + 0.084 \cdot [\ln(\text{PPFD})]^2 + 70.606 \cdot \text{PRI} - 16.696 \cdot \ln(\text{PPFD}) \cdot \text{PRI} + 0.996 \cdot [\ln(\text{PPFD})]^2 \cdot \text{PRI} \quad R^2 = 0.910 \quad (P < 0.001) \quad (5)$$

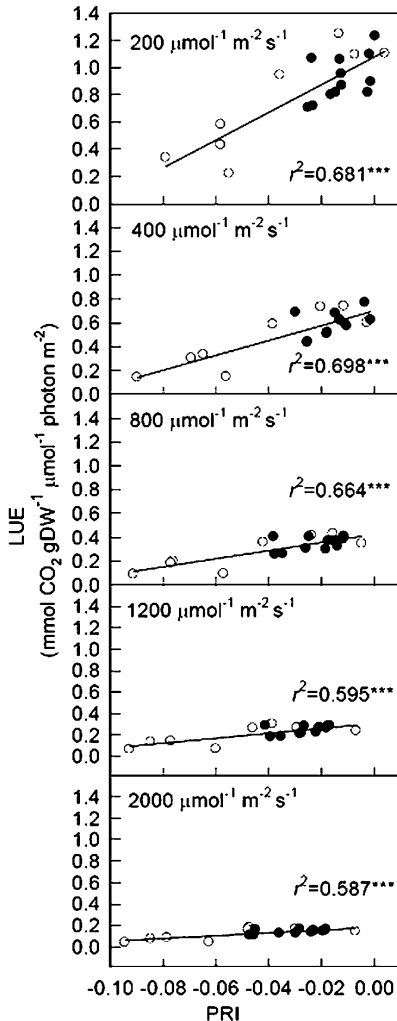


圖 4. 在高海拔(空心圓形)及低海拔(實心圓形)生長之台灣二葉松，於多個季節在5種光合光子流密度下，其光合作用光利用效率(LUE，光合速率/光合光子流密度)與光化學反射指數(PRI)之關係。測量日之最低溫介於-1.6-22.2 °C

間，葉綠素濃度介於1.4-4.5 mg gDW⁻¹ mg。每一點代表4重複之平均值。***: $P < 0.001$ 。

Fig. 4. Relationships between photosynthetic light-use efficiency (LUE, photosynthetic rate/PPFD) and photochemical reflectance index (PRI) of *Pinus taiwanensis* measured under 5 levels of photosynthetic photon flux density (PPFD) at high-(○) and low-elevation (●) sites across many seasons. Daily minimum temperatures of measuring days and needle chlorophyll concentration ranged -1.6-22.2 °C and 1.4-4.5 mg gDW⁻¹ mg, respectively. Each point represents the mean value of 4 replications. *** = $P < 0.001$.

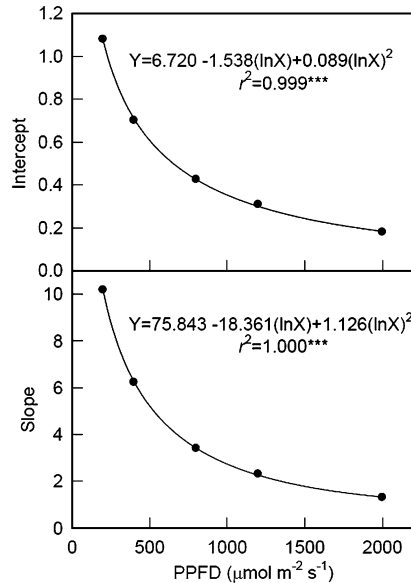


圖 5. 台灣二葉松於不同光合光子流密度(PPFD)

下測得之光合作用光利用效率與光化學反射指數迴歸方程式之截距及斜率與PPFD之關係。***: $P < 0.001$ 。

Fig. 5. Intercepts and slopes of regression equations between photosynthetic light-use efficiency and photochemical reflectance index of *Pinus taiwanensis* in response to photosynthetic photon flux density (PPFD). *** = $P < 0.001$.

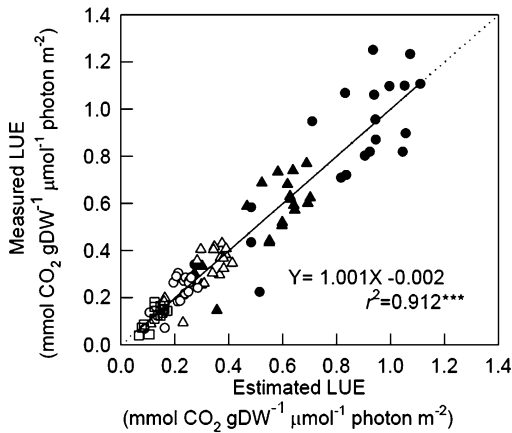


圖6. 由複迴歸方程式 $\{LUE = 6.505 - 1.470 \cdot \ln(PPFD) + 0.084 \cdot [\ln(PPFD)]^2 + 70.606 \cdot PRI - 16.696 \cdot \ln(PPFD) \cdot PRI + 0.996 \cdot [\ln(PPFD)]^2 \cdot PRI\}$ 計算所得之台灣二葉松光合作用光利用效率(LUE)之推估值與實測值之關係。不同記號表示於不同PPFD下測得。(實心圓: $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; 實心三角形: $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; 空心三角形: $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; 空心圓: $1,200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; 空心方形: $2,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); PPFD: 光合光子流密度; PRI: 光化學反射指數。***: $P < 0.001$ 。

Fig. 6. Relationship between measured and estimated photosynthetic light-use efficiency (LUE) of *Pinus taiwanensis* from the equation of $LUE = 6.505 - 1.470 \cdot \ln(PPFD) + 0.084 \cdot [\ln$

$(PPFD)]^2 + 70.606 \cdot PRI - 16.696 \cdot \ln(PPFD) \cdot PRI + 0.996 \cdot [\ln(PPFD)]^2 \cdot PRI$. Symbols indicate measured under different PPFD. (● = $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; ▲ = $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; Δ = $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; ○ = $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; □ = $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); PPFD: Photosynthetic photon flux; PRI: Photochemical reflectance index; and *** = $P < 0.001$.

討 論

在低溫地區，松樹與雲杉之光合速率常與季節溫度(尤其是測定當日之最低溫)呈平行變化(Ottander *et al.* 1995; Schaberg *et al.* 1998; Man and Loeffers 1997; Lundmark *et al.* 1998)。本研究(圖1)及作者等先前之研究結果(Weng *et al.* 2005, 2009)均顯示在塔塔加亦有相同趨勢。從圖1可知，在塔塔加，當測定當日之最低溫低至 -2.2°C 時，台灣二葉松之光合速率可低至秋季之1/4左右。在惠蓀林場，由於試驗地之海拔較低，在冬季測定日之最低溫還有 $9-13^\circ\text{C}$ 左右，此值接近於塔塔加夏季之日低溫，尚不致影響台灣二葉松之光合作用。唯圖1D仍顯示在冬季，生長於惠蓀林場之台灣二葉松，其光合速率仍有下降之現象，其原因可能與缺水有關(Weng *et al.* 2009)。

值得注意的是，在高、低海拔生長之台灣二葉松，在不同季節儘管其光合速率會因不同環境因素之影響而有所變化，但是只要在相同光度下比較時，LUE與PRI之間即呈顯著之正相關(圖4)。造成此結果之原因應是在低溫下，光合作用暗反應(卡式循環)之酵素受到抑制(Öquist *et al.* 1987; Strand and Öquist 1988)。而缺水則造成氣孔關閉，抑制 CO_2 進入葉內而影響光合作用(Berry and Downton 1982)所致。這

些原因都會使固碳能力降低，導致光合作用明反應產生之過剩光能增加。爲了防止過剩光能對光合作用產生傷害，植物會啓動葉黃素循環，以消散過剩光能，同時使PRI值升高(Gamon *et al.* 1992; Nakaji 2006; Weng *et al.* 2010)，所以造成光合速率與PRI間具高度相關。

不過PRI並非單純受到葉黃素循環色素改變之影響，同時也會因溫度及葉片葉綠素含量之改變而受到左右(Nakaji *et al.* 2006; Weng *et al.* 2010, 2012)。由於本研究之數據得自海拔2,600 m之塔塔加及海拔800 m之惠蓀林場，在相同季節兩地溫差約有10°C，若比較惠蓀林場之夏季與塔塔加冬季之溫差更可高達25°C以上(圖1A, B)。而且在兩處所生長之台灣二葉松，其葉綠素含量之季節變化最大可達9倍(圖1G, H)。所以將不同海拔、季節及不同光度下所測得之資料合併分析時，LUE與PRI間之相關性很低(圖3)。雖然如此，我們發現只要在光度相同時，將不同海拔及季節所測得之資料合併進行分析，即可得到顯著的直線正相關(圖4)。表示可消除溫度及葉綠素含量對LUE-PRI間關係之影響。此結果與作者等先前對光系統II活性(Φ PSII)-PRI間關係之研究結果(Weng *et al.* 2010, 2012)一致。本研究結果也可印證爲何先前學者們在 Φ PSII-PRI或LUE-PRI間關係之研究中，顯示具高度相關性之研究大都侷限在光度相近之條件下所測得(Nichol *et al.* 2000; Strachan *et al.* 2002; Stylinski *et al.* 2002; Filella *et al.* 2004)。

由於反射光譜具有測定快速、簡單、方便、準確性高及非破壞性等優點，可作為長時間追蹤，以了解植物長期的生理反應，且可以取代光合作用測定儀器昂貴、笨重及過程繁鎖的缺點，可在短時間內得知植群在野外現場之生理狀態，對植物生態生理研究，及大面積植

群之生態監測應有助益(Grace *et al.* 2007)。而本研究所發展出之經驗複迴歸方程式可消除溫度及葉綠素對LUE-PRI關係之干擾，由此迴歸方程式推估所得之LUE值與實測值之間不但呈高度正相關，而且推估值與實測值也接近1:1。加上此方程式只由2個非常容易獲得之參數，即PRI與PPFD所構成，較方便應用。同時，台灣二葉松可在台灣海拔750 m至3,000 m呈廣範圍分布，而且容易在南面坡形成純林，故本研究結果將有助於台灣二葉松長期生態之研究與監測。

引用文獻

- Adams III, W. W., R. C. Zarter, V. Ebbert and B. Demmig-Adams. 2004. Photoprotective strategies of overwintering evergreens. *BioScience* 54: 41–49.
- Berry, J. A. and W. J. S. Downton. 1982. Environmental regulation of photosynthesis. In: Govindjee (ed) *Photosynthesis*, vol II. Academic Press, London, pp. 263–343.
- Filella, I., J. Peñuelas, L. Llorens and M. Estiarte. 2004. Reflectance assessment of seasonal and annual changes in biomass and CO₂ uptake of a Mediterranean shrubland submitted to experimental warming and drought. *Remote Sensing of Environment* 90: 308–318.
- Gamon, J. A., C. B. Field, W. Bilger, O. Björkman, A. L. Fredeen and J. Peñuelas. 1990. Remote sensing of the xanthophyll cycle and chlorophyll fluorescence in sunflower leaves and canopies. *Oecologia* 85: 1–7.

- Gamon, J. A., J. Peñuelas and C. B. Field. 1992. A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. *Remote Sensing of Environment* 41: 35–44.
- Gamon, J. A., L. Serrano and J. S. Surfus. 1997. The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels. *Oecologia* 112: 492–501.
- Garbulsky, M. F., J. Peñuelas, D. Papale and I. Filella. 2008. Remote estimation of carbon dioxide uptake by a Mediterranean forest. *Global Change Biology* 14: 2860–2867.
- Grace, J., C. Nichol, M. Disney, P. Lewis, T. Quaife and P. Bowyer. 2007. Can we measure terrestrial photosynthesis from space directly, using spectral reflectance and fluorescence? *Global Change Biology* 13: 1484–1497.
- Guo, J. and C. M. Trotter. 2004. Estimating photosynthetic light-use efficiency using the photochemical reflectance index: variations among species. *Functional Plant Biology* 31: 255–265.
- Holt, N. E., D. Zigmantas, L. Valkunas, X. P. Li, K. K. Niyogi and G. R. Fleming. 2005. Carotenoid cation formation and the regulation of photosynthetic light harvesting. *Science* 307: 433–436.
- Li, X. P., O. Björkman, C. Shih, A. R. Grossman, M. Rosenquist, S. Jansson and K. K. Niyogi. 2000. A pigment-binding protein essential for regulation of photosynthetic light harvesting. *Nature* 403: 391–395.
- Lundmark, T., J. Bergh, M. Strand and A. Koppel. 1998. Seasonal variation of maximum photochemical efficiency in boreal Norway spruce stands. *Trees* 13: 63–67.
- Man, R. and V. J. Lieffers. 1997. Seasonal variations of photosynthetic capacities of white spruce (*Picea glauca*) and jack pine (*Pinus banksiana*) saplings. *Canadian Journal of Botany* 75: 1766–1771.
- Nakaji, T., H. Oguma and Y. Fujinuma. 2006. Seasonal changes in the relationship between photochemical reflectance index and photosynthetic light use efficiency of Japanese larch needles. *International Journal of Remote Sensing* 27: 493–509.
- Nakaji, T., R. Ide, K. Takagi, Y. Kosugi, S. Ohkubo, K. N. Nasahara, N. Saigusa and H. Oguma. 2008. Utility of spectral vegetation indices for estimation of light conversion efficiency in coniferous forests in Japan. *Agricultural and Forest Meteorology* 148: 776–787.
- Nichol, C. J., K. F. Huemmrich, T. A. Black, P. G. Jarvis, C. L. Walthall, J. Grace and F. G. Hall. 2000. Remote sensing of photosynthetic-light-use efficiency of boreal forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 101: 131–142.
- Nichol, C. J., U. Rascher, S. Matsubara and B. Osmond. 2006. Assessing photosynthetic efficiency in an experimental mangrove canopy using remote sensing and chlorophyll fluorescence. *Trees* 20: 9–15.
- Schaberg, P. G., J. B. Shane, P. F. Cali, J. R.

- Donnelly and G. R. Strimbeck. 1998. Photosynthetic capacity of red spruce during winter. *Tree Physiology* 18: 271–276.
- Strachan, I. B., E. Pattey and J. B. Boisvert. 2002. Impact of nitrogen and environmental conditions on corn as detected by hyperspectral reflectance. *Remote Sensing of Environment* 80: 213–224.
- Strand, M. and G. Öquist. 1988. Effects of frost hardening, dehardening and freezing stress on in vivo chlorophyll fluorescence of Scots pine seedlings (*Pinus sylvestris* L.). *Plant and Cell Environment* 11: 231–238.
- Stylinski, C. D., J. A. Gamon, W. C. Oechel. 2002. Seasonal patterns of reflectance indices, carotenoid pigments and photosynthesis of evergreen chaparral species. *Oecologia* 131: 366–374.
- Suárez, L., P. J. Zarco-Tejada, G. Sepulcre-Cantó, O. Pérez-Priego, J. R. Miller, J. C. Jiménez-Muñoz and J. Sobrino. 2008. Assessing canopy PRI for water stress detection with diurnal airborne imagery. *Remote Sensing of Environment* 112: 560–575.
- Ottander, C., D. Campbell and G. Öquist. 1995. Seasonal changes in photosystem II organization and pigment composition in *Pinus sylvestris*. *Planta* 197: 176–183.
- Öquist, G., D. H. Greer and E. Ögren. 1987. Light stress at low temperature. In *Photoinhibition*. Eds. D. J. Kyle, C. B. Osmond and C. J. Arntzen. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, pp. 67–87.
- Penuelas, J., I. Filella and J. A. Gamon. 1995. Assessment of photosynthetic radiation-use efficiency with spectral reflectance. *New Phytologia* 131: 291–296.
- Peguero-Pina, J. J., F. Morales, J. Flexas, E. Gil-Pelegrín and I. Moya. 2008. Photochemistry, remotely sensed physiological reflectance index and de-epoxidation state of the xanthophyll cycle in *Quercus coccifera* under intense drought. *Oecologia* 156: 1–11.
- Weng, J. H., T. S. Liao, K. H. Sun, C. C. Chung, C. P. Lin and C. H. Chu. 2005. Seasonal variation in photosynthesis of *Picea morrisonicola* grown in sub-alpine of subtropical Taiwan. *Tree Physiology* 25: 973–979.
- Weng, J. H., Y. N. Chen and T. S. Liao. 2006a. Relationships between chlorophyll fluorescence parameters and photochemical reflectance index of tree species adapted to different temperature regimes. *Functional Plant Biology* 33: 241–246.
- Weng, J. H., T. S. Liao, M. Y. Hwang, C. C. Chung, C. P. Lin and C. H. Chu. 2006b. Seasonal variation in photosystem II efficiency and photochemical reflectance index of evergreen trees and perennial grasses growing at low and high elevations of sub-tropical Taiwan. *Tree Physiology* 26: 1097–1104.
- Weng, J. H., K. M. Lai, T. S. Liao, M. Y. Hwang and Y. N. Chen. 2009. Relationships of photosynthetic capacity to PSII efficiency and to photochemical reflectance index of

Pinus taiwanensis through different seasons at high and low elevations of sub-tropical Taiwan. *Trees* 23: 347–356.

Weng, J. H., L. H. Jhaung, R. J. Lin and H. Y. Chen. 2010. Relationship between photochemical efficiency of photosystem II and the photochemical reflectance index of mango tree: Merging data from different illuminations, seasons and leaf colors. *Tree Physiology* 30: 469–478.

Weng, J. H., S. L. Wong, K. M. Lai and R. J. Lin. 2012. Relationships between photosystem II efficiency and photochemical reflectance index under different levels of illumination: comparison among species grown at high- and low elevations through different seasons. *Trees* 26: 343–351.

Zarco-Tejada, P. J., J. R. Miller, G. H. Mohammed and T. L. Noland. 2000a. Chlorophyll fluorescence effects on vegetation apparent reflectance: I. Leaf-level measurements and model simulation. *Remote Sensing of Environment* 74: 582–595.

Zarco-Tejada, P. J., J. R. Miller, G. H. Mohammed, T. L. Noland and P. H. Sampson. 2000b. Chlorophyll fluorescence effects on vegetation apparent reflectance: II. Laboratory and airborne canopy-level measurements with hyperspectral data. *Remote Sensing of Environment* 74: 596–608.

二型葉蕨類假紫萁營養葉與孕性葉之物候差異

Phenological differences between sterile and fertile fronds in a dimorphic fern, *Osmundastrum cinnamomeum* (L.) C.Presl (Osmundaceae)

邱子芸¹ 邱文良² 黃曜謀^{3,*}

Tzu-Yun Chiu¹, Wen-Liang Chiou² and Yao-Moan Huang^{3,*}

¹國立臺灣大學森林環境暨資源學系 10617 臺北市羅斯福路四段一號

²林業試驗所植物園組 10066 臺北市南海路 53 號

³林業試驗所育林組 10066 臺北市南海路 53 號

¹Department of Forestry and Resource Conservation, National Taiwan University, Taipei, Taiwan.

²Division of Botanical Garden, Taiwan Forestry Research Institute, Taipei, Taiwan.

³Division of Silviculture, Taiwan Forestry Research Institute, Taipei, Taiwan.

*通訊作者: huangym@tfri.gov.tw

*Corresponding author: huangym@tfri.gov.tw

摘 要

假紫萁爲二型葉蕨類，其營養葉與孕性葉外觀形態差異大，本研究選擇台灣東北部草埤濕地假紫萁進行爲期一年之物候調查(2009 年 2 月-2010 年 1 月)，比較兩種葉子物候差異。在所調查的 80 個樣株，所有孕性葉集中在 3 月抽芽，營養葉抽芽期從 4 月至 9 月；孕性葉抽芽月份之月均溫、白天長度及日輻射能均比營養葉抽芽月份來得低。孕性葉葉片壽命僅一個月左右，營養葉則具有較長的壽命，平均 6.3 ± 1.5 個月，另外，營養葉壽命長短與抽芽時間有關，愈接近生長季初期抽芽之葉片壽命愈長，反之，愈接近末期抽芽之葉片壽命愈短。

Abstract

Osmundastrum cinnamomeum (L.) C.Presl (Osmundaceae) is a dimorphic fern with distinct morphology in its sterile and fertile fronds. This study investigated phenology of *O. cinnamomeum* at Cao-Pi wetland in northeastern Taiwan from February 2009 to January 2010, comparing the phenological difference between sterile and fertile fronds. Among the 80 sampled plants, all fertile fronds emerged in March, whereas sterile fronds emerged from April to September. The mean monthly temperature, day length and daily solar radiation during the period of the emergence of fertile fronds were both lower and shorter than those of the sterile fronds. The life span of fertile fronds was ca. 1 month, much shorter than that of sterile fronds (ca. 6.3 ± 1.5 months). Additionally, those sterile fronds emerging early in the growing season usually had longer life span than those emerging later.

關鍵詞：孕性葉、假紫萁、物候學、蕨類植物、營養葉

Key words : fertile frond, *Osmundastrum cinnamomeum*, phenology, Pteridophytes, sterile frond

收件日期：2012 年 11 月 28 日

接受日期：2013 年 11 月 08 日

Received: November 28, 2012

Accepted: November 08, 2013

緒 言

物候學是一門研究週期性生物現象與氣候關係的科學 (van Schaik *et al.* 1993; Mehlreter 2008)。種子植物系統性物候調查已近3個世紀 (Sparks and Carey 1995)，蕨類物候調查則至近20餘年來始較為發展，且多以熱帶及亞熱帶地區的物種為調查對象 (Tanner 1983; Sharpe and Jernstedt 1990; Bittner and Breckle 1995; Ying and Huang 1995; Sharpe 1997; Chiou *et al.* 2001; Schmitt and Windisch 2006; Lee *et al.* 2009a,b)，溫帶地區的蕨類物候研究則相較偏少 (Sato 1982, 1985; Bauer *et al.* 1991; Odland 1995)。

蕨類物候研究以葉片形態發育為主要調

查項目，概分為抽芽、展葉、成熟、枯萎死亡等不同發育階段，若為孕性葉，則再把孢子成熟期及釋放期列入考量 (Lee *et al.* 2009a)。氣候因子以降水量及氣溫最為普遍 (Odland 1995; Sharpe 1997)，季節性氣候強烈表現的地區，蕨類葉片會在乾季末期和雨季時大量抽葉 (Seiler 1981; Tanner 1983; Mehlreter 2006)，而乾濕季不明顯的地區，蕨類抽芽和氣溫因子之相關性較為顯著 (Sato and Sakai 1980; Odland 1995; Chiou *et al.* 2001; Lee *et al.* 2009a)。孢子成熟與釋放時間亦隨氣候區之不同而有所差異；溫帶地區，孢子成熟與釋放的期間較亞熱帶與熱帶地區來得短 (Johnson-Groh and Lee 2002; Lee *et al.* 2008)。同樣地，氣候區也影響

到葉片壽命，溫帶蕨類的葉片壽命較許多熱帶蕨類短(Sharpe 1997)，其它被認為影響蕨類物候的環境因子還包括土溫、白天長度(光週期)及日輻射(Strandberg 2003; Mehltreter and García-Franco 2008; Ellwood 2012)。

蕨類物候現象的差異，除了受到氣候區的影響，同一物種之孕性葉與營養葉也有差異，二型葉蕨類之孕性葉的壽命均比營養葉來得短(Wagner and Wagner 1977; Sharpe and Jernstedt 1990; Mehltreter and Palacios-Rios 2003; Lee *et al.* 2008; Lee *et al.* 2009a)，而單型葉蕨類孕性葉與營養葉片壽命之長短，則因種而異(Chiou *et al.* 2001; Lee *et al.* 2009a)。

假紫萁於1753年由瑞典生物學家林奈(Carl von Linné, Carl Linnaeus)正式命名為 *Osmunda cinnamomea* L.，廣泛分布於亞洲及美洲地區。在臺灣，DeVol (1975)將本種處理為 *Osmunda cinnamomea* L. var. *fokiensis* Copel.，Shieh (1994)則接受 *Osmunda cinnamomea* L. 廣義種處理。Metzgar *et al.* (2008)根據分子證據發現假紫萁與其它現生紫萁屬物種為並系群關係(paraphyly)，為符合單系群分類概念，因此，將假紫萁另移至 *Osmundastrum* 屬下單位，學名更改為 *Osmundastrum cinnamomeum*

(L.) C.Presl，本文亦採此一學名。

根據文獻記載及標本採集證據顯示，臺灣僅在東北部的少數地區曾有假紫萁的出現紀錄(楊等 2001)，各地族群皆面臨族群小且面積狹隘之困境，如草埤濕地為分株假紫萁的最大族群生育地，其成熟植株僅200餘棵，且集中在面積40 m²的小區塊內(高等 2010a)，目前已被評估列為易受害物種(王等 2012)，由實驗室的培養證實，假紫萁可透過孢子進行有性繁殖，獲得大量健康子代，達到區外保育之目的(Huang *et al.* 2004)。

假紫萁孕性葉寬度僅約營養葉寬度的1/4，且孕性葉葉肉組織幾乎完全退化，喪失光合作用功能，不論外觀形態或功能方面，兩種葉片之間均有明顯差別，屬二型性葉片之蕨類(高等 2010b)，當進行物候調查時，理應注意到孕性葉及營養葉之物候表現差別。然而，二型葉蕨類除了少數幾篇研究報告述及葉片壽命外(表1)(Sharpe and Jernstedt 1990; Lee *et al.* 2009a)，其他如孕性葉與營養葉抽芽時間差異及環境調控因子，幾乎未有相關報導。因此，本研究針對草埤地區假紫萁族群進行物候調查，比較孕性葉與營養葉之間物候表現之差異，及其與環境因子之相關性。

表 1. 蕨類植物葉片平均壽命之比較 (單位：月)

Table 1. The average life span of fronds in different ferns (unit: month)

Species	Fertile fronds	Sterile fronds	Fertile fronds / Sterile fronds
Dimorphic			
<i>Danaea wendlandii</i> ²	4.0	39.6	0.10
<i>Osmundastrum cinnamomeum</i> ¹	1.0	6.3	0.16
<i>Plagiogyria adnata</i> ⁶	4.7	30.3	0.16
<i>Plagiogyria dunnii</i> ⁶	4.4	22.1	0.20

Monomorphic

<i>Acrorumohra hasseltii</i> ⁶	23.7	22.7	1.04
<i>Blechnum orientale</i> ⁶	25.9	27.5	0.94
<i>Cyathea hancockii</i> ⁷	15.9	15.0	1.06
<i>Cyathea metteniana</i> ⁷	19.5	21.2	0.92
<i>Cyathea podophylla</i> ⁶	26.1	25.8	1.01
<i>Cyathea podophylla</i> ⁷	26.6	28.3	0.94
<i>Cyathea spinulosa</i> ⁶	6.6	8.0	0.83
<i>Dictyocline griffithii</i> var. <i>wilfordii</i> ⁶	15.1	15.0	1.01
<i>Diplazium dilatatum</i> ⁶	18.3	19.8	0.92
<i>Diplazium doederleinii</i> ⁶	14.2	15.8	0.90
<i>Diplazium petri</i> ⁶	17.5	20.1	0.87
<i>Diplazium pullingeri</i> ⁶	16.8	16.7	1.01
<i>Histiopteris incise</i> ⁶	7.7	6.9	1.12
<i>Pleocnemia rufinervis</i> ⁶	17.2	18.1	0.95
<i>Pteris wallichiana</i> ⁶	6.1	5.1	1.20
<i>Sphaerostephanos taiwanensis</i> ⁶	13.1	12.3	1.07
<i>Thelypteris angustifoia</i> ⁴	9.6	11.0	0.87

Hemidimorphic

<i>Acrostichum danaeifoltum</i> ³	4.1	7.7	0.53
<i>Osmunda claytoniana</i> ⁵	4.7	4.8	1.05

¹ This study. ² Sharpe and Jernstedt 1990. ³ Mehlreter and Palacios, 2003. ⁴ Sharpe, 1997. ⁵ Lee *et al.*, 2008. ⁶ Lee *et al.*, 2009a. ⁷ Lee *et al.*, 2009b.

材料與方法

本研究在臺灣東北部宜蘭縣員山鄉草埤濕地隨機選取80棵植株進行為期一年物候調查(圖1)，時間從2009年2月至2010年1月止，每個月調查一次。每一葉片在抽芽後均以塑膠牌標示，每個月測量其物候狀態，分為抽芽、展葉、枯萎死亡、孢子成熟與釋放等不同階段。本研究以Spearman Rank Correlation計算葉片抽芽數與各月份之平均(氣)溫度、平均日降水量、平均白天長度(日出至日落)、平均日輻射能的相關性係數；溫度、降水量、日輻射量

等氣候資料引用距離本調查區最近之林業試驗所福山研究中心測候站氣象資料(研究區西南方1.7km)(圖1)，由於該測候站無白天長度資料，因此引用中央氣象局宜蘭地區白天時數(日沒-日出時間)資料(圖2)。另外，以單因子變異數分析(One-way ANOVA)與Scheffe事後比較檢定來證明不同時期抽芽之營養葉片平均壽命是否存在差異性。

結 果

在觀測的80個植株中，共記錄了878片

葉，其中包含123片孕性葉與755片營養葉。植株間葉片數差異極大，最多20片，最少僅3片，中位數11。

所有的孕性葉集中在3月抽芽。營養葉抽芽時間較孕性葉晚，發生在4至9月，4、5月為

主要高峰期(78.8%, 595 / 755)。所有觀測植株之抽芽數從4月的391片逐月遞減至6月的73片，隨後的7、8月抽芽數量驟降至3-8片/月，到了9月抽芽數又增至76片(表2)。

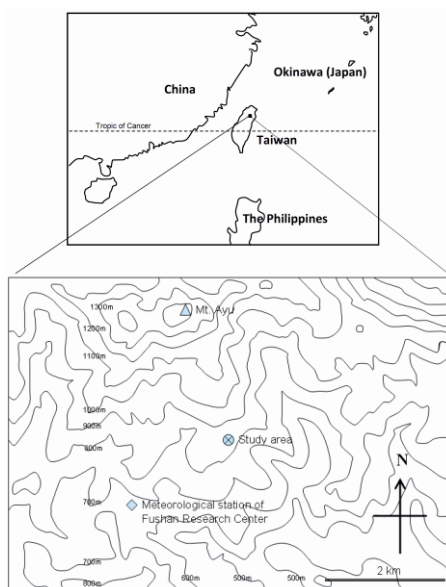


圖 1. 研究區地理位置(修改自 <http://maps.google.com>)。

Fig. 1. Location of the studied area. Map was modified from <http://maps.google.com>.

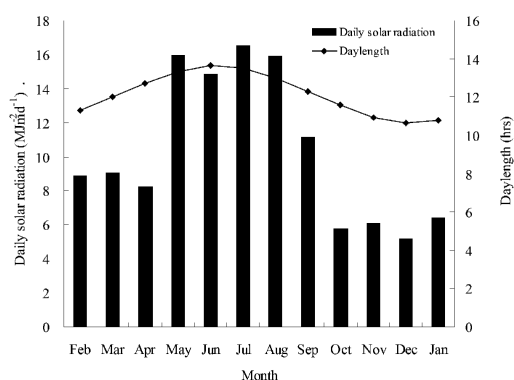


圖2. 研究地區之日輻射能及白天長度(日輻射能及白天長度資料分別來自福山研究中心測候站及中央氣象局；2009年2月至2010年1月)。

Fig. 2. Daily solar radiation and day length of the studied area. (Daily solar radiation and day length are provided by Fushan Research Center and Central Weather Bureau, respectively, from February 2009 to January 2010).

表 2. 假紫萁孕性葉與營養葉不同月份抽芽之平均壽命(月)

Table 2. The life span (mo.) of the fertile and sterile fronds of *Osmundastrum cinnamomeum* emerged in different months in this study

Time	Life span (mean±SD)(no. of fronds)	
	Fertile fronds	Sterile fronds
March	1.0 (123) ^a	
April		7.0±0.9 (391) ^b
May		6.4±0.8 (204) ^{bc}
June		5.6±0.7 (73) ^c
July		4.3±1.2 (3) ^d
August		3.8±0.5 (8) ^{de}
September		2.9±0.6 (76) ^e
Average	1.0 (123)	6.3±1.5 (755)

^{a-e} The same letters indicate the mean life spans of fronds are not significantly different according to One-way ANOVA and Scheffe post-hoc test ($p < 0.05$).

假紫萁孕性葉抽芽的 3 月月均溫(19.4℃)明顯低於營養葉抽芽時的 4-9 月月均溫(21.0℃-28.9℃) (圖 3)。以 2009 年 2 月-2010 年 1 月一整年氣象資料，分析各月營養葉抽芽數與月均溫、白天長度及平均日輻射能之關係，呈顯著或極顯著正相關($r_s = 0.58-0.76$)，但

與月降水量之間則無顯著的相關性存在(表 3)；當進一步以營養葉抽芽期間(4-9 月)之氣象資料做分析時，營養葉抽芽數則除了與月降水量仍維持著無顯著相關性以外，反而與月均溫、白天長度及平均日輻射量呈顯著或極顯著負相關($r_s = -0.60-0.94$) (表 3)。

表 3. 假紫萁營養葉抽芽數與氣候因子之相關性。ns: 不顯著，*: $0.01 < p < 0.05$; **: $p < 0.01$

Table 3. The Spearman rank correlation coefficient (r_s) between the emergence number of sterile fronds of *Osmundastrum cinnamomeum* and climatic factors at different intervals. ns: not significant; *: $0.01 < p < 0.05$; **: $p < 0.01$

Period	Feb,2009-Jan,2010	Apr-Sep, 2009
Mean month temperature (°C)	0.58*	-0.94**
Month precipitation (mm)	-0.15ns	-0.26ns
Mean day length (hrs)	0.76**	-0.60*
Mean daily radiation (MJ/m ²)	0.62*	-0.66**

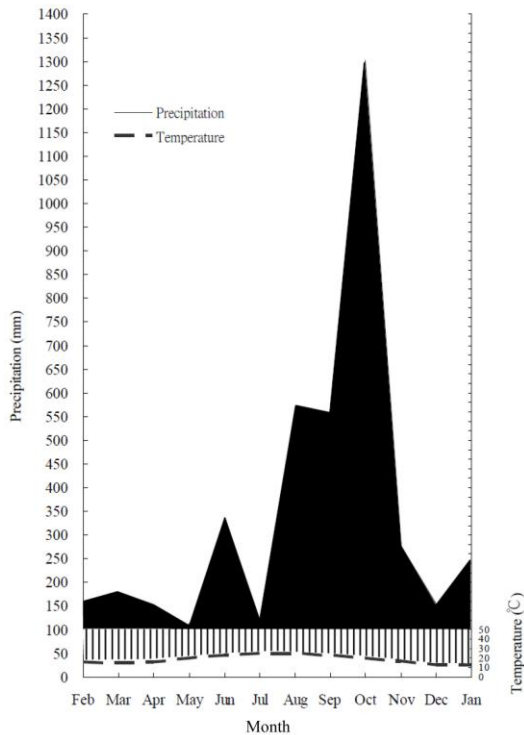


圖 3. 研究地區之生態氣候圖(資料來源：福山研究中心；2009 年 2 月至 2010 年 1 月)。

Fig. 3. Climate diagram of the studied area. Data provided by Fushan Research Center from February 2009 to January 2010.

孕性葉抽芽後即進入展葉、孢子群成熟、孢子囊開裂釋放孢子階段，整個過程在一個月內完成，孢子囊群屬於漸熟型，靠葉身基部羽片著生之孢子囊先行成熟並開裂釋出孢子，而愈靠近葉身末端羽片之孢子囊則較晚成熟，4 月時所有孕性葉枯萎死亡，孕性葉壽命僅有 1 個月時間(表 1)。

營養葉從抽芽至完全展開過程約需 1 個月。6 月後營養葉開始出現枯萎死亡，所有觀測植株 6-9 月期間，死亡葉片數介於 1-7 片/月之間，在這 4 個月裡，死亡的葉片數僅佔全部營養葉片數的 2% (13 / 755)，10-12 月為營養葉死

亡高峰期，10-12 月死亡葉片數依序分別為 121、259 及 347 片，佔全部營養葉片數的 96% (727 / 755)，隔年 1 月植株所有葉片均告枯萎死亡。全部植株營養葉平均壽命為 6.3 ± 1.5 個月(表 2)。不同營養葉片間壽命長短變異大，與抽芽的季節有關，抽芽時間愈接近生長季初期(4 月)之葉片，具有最較長之葉片壽命，愈近生長季末期(9 月)抽芽之葉片，其壽命則愈短，例如：4 月抽芽葉片平均壽命 7.0 ± 0.9 個月，9 月抽芽之葉片平均壽命僅 2.9 ± 0.6 個月，兩者相差約 4 個月(表 2)。

討 論

抽芽期

本研究結果顯示草埤濕地假紫萁孕性葉及營養葉分別在 3 月及 4 至 9 月抽芽，但 Sato (1982) 在日本北海道地區進行蕨類物候調查，發現該地區假紫萁孕性葉及營養葉分別從 5 月中旬及下旬開始抽芽；雖然日本北海道地區假紫萁不論是孕性葉或營養葉均較本研究地區族群晚抽葉芽，但兩地假紫萁孕性葉抽芽都早於營養葉；Cousens (1988) 指出假紫萁孕性葉係利用前一生長季所儲存的養份所構成，其中蔗糖被證實為誘發孢子形成的關鍵養份 (Harvey and Caponetti 1972, 1973)。這種孕性葉較營養葉提早抽芽，也在臺灣中部高海拔地區的絨假紫萁 (*Osmunda claytoniana* L.) 出現，其孕性葉集中在 5 月份抽芽，營養葉則分散在 5-6 月份抽芽 (Lee et al. 2008)。

許多研究顯示植物的物候受到氣溫及植物光合作用影響，距赤道較近地區的植物，其生長季(本研究係指假紫萁葉片存活生長的季節)較早到臨 (Keeling et al. 1996; Randerson et al. 1999)；由於日本北海道緯度(北緯 42-46 度)

高於本研究區(北緯24度)，植物生長季節相對較晚到來，應是造成兩地假紫萁物候表現差異之原因。另外，根據Ellwood (2012)在美國麻薩諸塞州波士頓區氣候實驗地(Boston Area Climate Experiment, BACE, 北緯42度)進行假紫萁生長觀察也發現該地區天然環境下的假紫萁抽葉芽(該篇報告作者未指出孕性葉或營養葉)季節出現在5月初，顯示分布在愈相近緯度的假紫萁植株(日本北海道/美國波士頓)，抽芽時期愈為相似。

有報告指出蕨類植物的抽芽可能受到土溫影響(Odland 1995; Strandberg 2003)；Ellwood (2012)在美國麻薩諸塞州波士頓區氣候實驗地，把假紫萁盆栽置放在不同的加溫條件下，檢視其生殖物候差異，證實相較於未加熱或微加熱(0.86°C)的盆栽，強度及中度加熱盆栽情況下(+3.36, +2.60°C)有效促進提早抽芽(Ellwood 2012)，支持原有蕨類抽芽受土溫所控的推論。本研究假紫萁根莖位處狹葉泥炭苔腐植質<10cm深度，鬆散的腐植質結構，大幅增加與外界空氣接觸面積，土溫(腐植質)與氣溫應為相似，因此，本研究中以氣溫當作土溫的相對指標，發現當月均溫高過14.2°C才開始出現抽芽現象。

鄰近本研究區的福山試驗林(Lee *et al.* 2009a)與其它溫帶地區的蕨類物候調查(Sato and Sakai 1980; Bauer *et al.* 1991; Odland 1995, 1998; Johnson-Groh and Lee 2002)顯示，以全年度的月均溫為分析基準，氣溫的上升明顯有利葉片(孕性葉+營養葉)抽芽，本研究之假紫萁營養葉抽芽數與全年(2009年2月-2010年1月)月均溫具有相同的趨勢，若僅限將營養葉出現的季節(4-9月份)之月均溫作為分析基準時，則呈現極顯著負相關，顯示最適營養葉抽芽的溫度，集中在某一特定範圍內，低於或超過此一

範圍，反而不利於抽芽，4-5月份為營養葉抽芽高峰期，月均溫範圍介於15.5-18.9°C之間。除了氣溫以外，白天長度及日輻射量亦具有相同的趨勢，4-5月份氣象資料顯示此季節之白天長度為12.7-13.3hrs，日輻射量為8.2-16.0MJ/m²。Mehlreter and García-Franco (2008)曾提到白天長度的增加可能是誘發在墨西哥的樹蕨 *Alsophila firma* 抽葉芽的環境因子。但Strandberg (2003)曾分析革葉蕨(*Rumohra adiantiformis*)葉片季節性變化，發現葉片抽芽與日輻射及白天長度無關，和本研究結果有所不同，推測不同蕨類對某些環境因子(如：日輻射及白天長度)，有著不同程度的反應。

孢子成熟與釋放期

部份蕨類植物的孢子具葉綠素，呈現綠色外觀，稱之綠色孢子，此種綠色孢子的成熟與釋出依據發生時間差異可分成兩種類型：(1)孕性葉在生長季末期產生，孢子自前一年秋天持續儲存在孕性葉片上度過冬天，至次年春天再釋放，如莢果蕨屬(*Matteuccia*)、木賊屬(*Equisetum*) (Lovett-Doust and Lovett-Doust 1988)；(2)孕性葉在生長季時大量抽芽，隨即成熟並釋放孢子。本研究中假紫萁孢子在孕性葉3月份抽芽後一個月內迅速成熟與釋放，即屬於第二類型。在自然環境中綠色孢子活力期極短，且不具休眠性，一旦成熟脫離孢子囊有立即發芽的能力(Lovett-Doust and Lovett-Doust 1988)；假紫萁之綠色孢子在生長季初期成熟釋放，將擁有較長的生長期，有利於配子體及幼孢子體的生長。

葉片壽命

蕨類依據孕性葉與營養葉形態之差異，可概分為三類，(1)同型葉 (monomorphic

frond)，兩者外觀輪廓相似，通常具有相似的葉片面積；(2)二型葉(dimorphic frond)，孕性葉外觀輪廓明顯不同於營養葉，且葉片面積通常較小；(3)不完全二型葉(hemidimorphic frond)，孕性葉部份區域(生長孢子囊群位置)面積明顯縮小(Wagner and Wagner 1977)。許多研究顯示具二型葉物種之孕性葉壽命比營養葉來的短，而其它兩種類型物種之孕性葉與營養葉壽命長短則因種而異(Sharpe and Jernstedt 1990; Sharpe 1997; Mehltreter and Palacios-Rios 2003; Lee *et al.* 2008, 2009a) (表1)。本研究之假紫其歸屬二型葉蕨類，其孕性葉之壽命明顯短於營養葉，兩者之平均壽命比為0.16，與其它同屬二型葉之蕨類相似(0.10-0.20)，而明顯低於單型葉及不完全二型葉蕨類(0.53-1.20) (表1)；不完全二型葉蕨類如絨假紫其，雖然孕性葉與營養葉壽命相似，但其孕性葉之孕性羽片壽命長度卻約為非孕性羽片的一半(Lee *et al.* 2008)。

在本本與草本開花植物已被證實，不同物種之間，葉片單位重量(mg /g) 碳/氮比愈高其壽命有愈長之趨勢(Reich *et al.* 1991, 1999; Craine *et al.* 2002; Matsuki and Koike 2006)，類似的情況也出現在蕨類植物(Karst and Lechowicz 2007)。蕨類植物不論是二型葉的孕性葉或不完全二型葉的孕性羽片，可行光合作用之葉肉組織均有相對減少的情況，推測可能造成假紫其孕性葉吸收CO₂能力受限，造成碳/氮比值偏低，因此導致孕性葉片或羽片壽命較短。

相較於演替晚期物種，演替初期物種通常具有較短的葉片壽命及較高的光合作用速率(Kikuzawa 1986; Reich *et al.* 1997; Matsuli and Koike 2006)，這種通則也適用在演替初期的假紫其，如假紫其的營養葉壽命較其他多數蕨類

為短(表1)，但是否同樣具高度光合作用速率則還有待證實。

Oikawa *et al.* (2004)曾研究冬枯型草本的蕨類蕨(*Pteridium aquilinum*) 其營養葉片壽命與生態生理學特性之關係，發現在生長季初期抽芽之葉片較後期抽芽者具有較長之壽命，葉片壽命與單位面積內質量呈正相關，換言之，投資較多能量(質量)的葉片可透過較長的光合作用，獲得較高的能量報酬，吻合高等(2010a)推測本研究之假紫其營養葉壽命長短與葉片的能量投資報酬率有關的論點。

物候學為充分瞭解蕨類植物生活史、生殖與生長季節等資訊的最基本科學方法，可適當掌握孢子成熟與發散季節，採收到繁殖所需的孢子，並提供區外(*ex situ*)繁殖與保育的材料。另外，長期與連續性的物候調查監測，可應用在全球氣候變遷研究，藉以觀察全球暖化與長期氣候變化對於地區性物種物候之影響(Walther *et al.* 2002)。然而，草埔濕地植群生態極為脆弱，過於密集的物候調查將影響其生長與生育地生態，因此本研究先進行一年調查，瞭解其基本物候現象，做為爾後調查之基礎資料。未來可藉由低人為干擾之儀器監測，獲取更為長期且精細的物候資料，再與氣候資料比對分析，以探討氣候變化對其物候之影響。

引用文獻

- 王震哲、邱文良、張和明。2012。臺灣維管束植物紅皮書初評名錄。特有生物保育中心及臺灣植物分類學會。
- 高瑞卿、邱子芸、朱珉寬、黃曜謀。2010a。活化石蕨類假紫其。臺灣博物季刊 29: 40-43。

高瑞卿、邱子芸、朱珉寬、邱文良、黃曜謀。
2010b。草埤地區假紫萁孕性之研究。國立臺灣博物館學刊 63 (4): 15-25。

楊遠波、顏聖紘、林仲剛。2001。臺灣水生植物圖誌(修訂版)。行政院農業委員會。

Bauer, H., C. Gallmetzer and T. Sato. 1991. Phenology and photosynthetic activity in sterile and fertile sporophytes of *Dryopteris filix-max*. *Oecologia* 86: 159-162.

Bittner, J. and S. W. Breckle. 1995. The growth rate and age of tree fern trunks in relation to habitats. *American Fern Journal* 85: 37-42.

Chiou, W. L., J. C. Lin and J. Y. Wang. 2001. The phenology of *Cibotium taiwanense* (Dicksoniaceae). *Taiwan Journal of Forestry Science* 16: 209-215.

Cousens, M. I. 1988. Reproductive strategies of Pteridophytes. pp. 307-328. *In*: J. L. Doust and L. L. Doust (eds.). *Plant reproductive ecology: patterns and strategies*. Oxford University Press, New York, USA.

Craine, J. M., D. Tilman, D. Wedin, P. Reich, M. Tjoelker and J. Knops. 2002. Functional traits, productivity and effects on nitrogen cycling of 33 grassland species. *Functional Ecology* 16: 563-574.

DeVol, C. E. 1975. Osmundaceae. pp. 79-83. *In*: Editorial Committee of the flora of Taiwan (eds.). *Flora of Taiwan I*. Epoch Publishing Co., Ltd., Taipei, Taiwan.

Ellwood, E. R. 2012. Climate change and species phenology at three trophic levels. Boston University, Graduate School of Arts and Sciences. Doctor Dissertation.

Harvey, W. H. and J. D. Caponetti. 1972. In vitro

studies on the induction of sporogenous tissue on leaves of cinnamon fern. I. Environmental factors. *Canadian Journal of Botany* 50: 2673-2682.

Harvey, W. H. and J. D. Caponetti. 1973. In vitro studies on the induction of sporogenous tissue on leaves of cinnamon fern. II. Some aspects of carbohydrate metabolism. *Canadian Journal of Botany* 51: 341-349.

Huang Y. M. and H. M. Chiou. 2004. Density affects gametophytic growth and sex expression of *Osmunda cinnamomea* (Osmundaceae: Pteridophyta). *Annals of Botany* 94: 229-232.

Johnson-Groh, C. L. and J. M. Lee. 2002. Phenology and demography of two species of *Botrychium* (Ophioglossaceae). *American Journal of Botany* 89: 1624-1633.

Karst, A. L. and M. J. Lechowicz. 2007. Are correlations among foliar traits in ferns consist with those in the seed plants? *New Phytologist* 173: 306-312.

Keeling, C. D., J. F. S. Chin and T. P. Whorf. 1996. Increased activity of northern vegetation inferred from atmospheric CO₂ measurements. *Nature* 382: 146-149.

Kikuzawa, K. 1986. Leaf survival strategy of forest trees. *Japanese Journal of Ecology* 36: 131-136.

Lee, P. H., Y. M. Huang, and W. L. Chiou. 2008. The phenology of *Osmunda claytoniana* L. in the Tataka area, central Taiwan. *Taiwan Journal of Forestry Science* 23: 71-79.

Lee, P. H., T. T. Lin and W. L. Chiou. 2009a. Phenology of 16 species of ferns in a

- subtropical forest of northeastern Taiwan. *Journal of Plant Research* 122: 61-67.
- Lee, P. H., W. L. Chiou and Y. M. Huang. 2009b. Phenology of three *Cyathea* (Cyatheaceae) ferns in northern Taiwan. *Taiwan Journal of Forestry Science* 24: 233-242.
- Lovett-Doust, J. and L. Lovett-Doust. 1988. Reproductive strategies of Pteridophytes. pp 319-324. *In*: J. Lovett-Doust and L. Lovett-Doust (eds.). *Plant reproductive ecology: patterns and strategies*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Matsuki, S. and T. Koike. 2006. Comparison of leaf life span, photosynthesis and defensive traits across seven species of deciduous broad-leaf tree seedlings. *Annals of Botany* 97: 813-817.
- Mehlreter, K. 2006. Leaf phenology of the climbing fern *Lygodium venustum* in a semi-deciduous lowland forest on the Gulf of Mexico. *American Fern Journal* 96: 21-30.
- Mehlreter, K. 2008. Phenology and habitat specificity of tropical ferns. pp. 201-222. *In*: T. A. Ranker and C. H. Haufler (eds.). *Biology and evolution of ferns and lycophytes*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Mehlreter, K. and J. G. García-Franco. 2008. Leaf phenology and trunk growth of the deciduous tree fern *Alsophila firma* (Baker) D. S. Conant in a lower montane Mexican forest. *American Fern Journal* 98: 1-13.
- Mehlreter, K. and M. Palacios-Rios. 2003. Phenological studies of *Acrostichum danaeifolium* (Pteridaceae, Pteridophyta) at a mangrove site on the Gulf of Mexico. *Journal of Tropical Ecology* 19: 155-162.
- Odland, A. 1995. Frond development and phenology of *Thelypteris limbosperma*, *Athyrium distentifolium*, and *Matteuccia struthiopteris* in Western Norway. *Nordic Journal of Botany* 15: 225-236.
- Odland, A. 1998. Size of reproduction of *Thelypteris limbosperma* and *Athyrium distentifolium* along environmental gradients in Western Norway. *Nordic Journal Botany* 18: 311-321.
- Oikawa, S., K. Hikosaka, T. Hirose, M. Shiyomi, S. Takahashi and Y. Hri. 2004. Cost-benefit relationships in fronds emerging at different times in a deciduous fern, *Pteridium aquilinum*. *Canadian Journal of Botany* 82: 521-527.
- Randerson, J. T., C.B. Field, I. Y. Fung and P. P. Tans. 1999. Increases in early season ecosystem uptake explain recent changes in the seasonal cycle of atmospheric CO₂ at high northern latitudes. *Geophysical Research Letters* 26: 2765-2768.
- Reich, P. B., C. Uhl, M. B. Walters and D. S. Ellsworth. 1991. Leaf lifespan as a determinant of leaf structure and function among 23 tree species in Amazonian forest communities. *Oecologia* 86: 16-24.
- Reich, P. B., M. B. Walters and D. S. Ellsworth. 1997. From tropics to tundra: Global convergence in plant functioning. *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A.* 94: 13730-13734.

- Reich, P. B., D. S. Ellsworth, M. B. Walters, J. M. Vose, C. Gresham, J. C. Volin and W. D. Bowman. 1999. Generality of leaf trait relationships: a test across six biomes. *Ecology* 80: 1955-1969.
- Sato, T. 1982. Phenology and wintering capacity of sporophytes and gametophytes of ferns native to Northern Japan. *Oecologia* 55: 53-61.
- Sato, T. 1985. Comparative life history of aspidiaceous ferns in northern Japan with reference to fertility during sporophyte development in relation to habitats. *Botanical Magazine of Tokyo* 98: 371-381.
- Sato, T. and A. Sakai. 1980. Phenological study of the leaf of Pterophyta in Hokkaido. *Japanese Journal of Ecology* 30: 369-375. [in Japanese with English summary].
- Schmitt, J. L. and P. G. Windisch. 2006. Phenological aspects of frond production in *Alsophila setosa* in southern Brazil. *Fern Gazette* 17: 263-270.
- Seiler, R. L. 1981. Leaf turnover rates and natural history of the Central American tree fern *Alsophila salvinii*. *American Fern Journal* 71: 75-81.
- Sharpe, J. M. 1997. Leaf growth and demography of the rheophytic fern *Thelypteris angustifolia* (Willdenow) Proctor in a Puerto Rican rainforest. *Plant Ecology* 130: 203-212.
- Sharpe, J. M. and J. A. Jernstedt. 1990. Leaf growth and phenology of the dimorphic herbaceous layer fern *Danaea wendlandii* (Marattiaceae) in a Costa Rican rain forest. *American Journal of Botany* 77: 1040-1049.
- Shieh W. C. 1994. Osmundaceae. pp. 80-83. In: Editorial Committee of the flora of Taiwan (eds.). *Flora of Taiwan I* (2nd edition). Taipei, Taiwan.
- Sparks, T. H. and P. D. Carey. 1995. The responses of species to climate over two centuries: an analysis of the Marsham phenological record, 1736-1947. *Journal of Ecology* 83: 321-329.
- Strandberg, J. O. 2003. Seasonal variations in production and development of leatherleaf fern leaves. *Annals of Applied Biology* 143: 235-243.
- Tanner, E. V. J. 1983. Leaf demography and growth of the tree-fern *Cyathea pubescens* Mett. ex Kuhn in Jamaica. *Botanical Journal of Linnean Society* 87: 213-227.
- van Schaik, C. P., J. W. Terborgh and S. J. Wright. 1993. The phenology of tropical forests: adaptive significance and consequences for primary consumers. *Annual Review of Ecology and Systematics* 24: 353-377.
- Wagner, W. H. and F. S. Wagner. 1977. Fertile-Sterile Leaf Dimorphism in Ferns. *Gardens' Bulletin, Singapore* 30: 251-267.
- Walther, G. R., E. Post, P. Convey, A. Menzel, C. Parmesan, T. J. C. Beebee, J. M. Fromentin, O. Hoegh-Guldberg and F. Bairlein. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416: 389-395.
- Ying, S. S. and Y. M. Huang. 1995. Phenological study on *Sphaeropteris lepifera* at Su-Ao area. *Memoirs of the College of Agriculture, National Taiwan University* 35: 451-464.

Zanthoxylum acanthopodium DC. (Rutaceae), a Newly Recorded Plant in Taiwan

台灣芸香科的新紀錄植物—岩花椒

Tsai-Wen Hsu¹, Chiu-Mei Wang², Kun-Cheng Chang³, Tung-Chi Ho^{1,4}

許再文¹ 王秋美² 張坤城³ 何東輯^{1,*}

¹ Endemic Species Research Institute, Jiji, Nantou 55244, Taiwan

² Department of Botany, National Museum of Natural Science, Taichung 40453, Taiwan.

³ Department of Forestry and Natural Resources, National Chiayi University, Chiayi City 60004, Taiwan.

¹ 農委會特有生物研究保育中心 55244 南投縣集集镇民生東路 1 號

² 國立自然科學博物館 40453 臺中市館前路 1 號

³ 國立嘉義大學森林暨自然資源學系暨研究所 60004 嘉義市鹿寮里學府路 300 號

* Corresponding authors : cole@tesri.gov.tw

*通訊作者：cole@tesri.gov.tw

Abstract

Zanthoxylum, comprising about 200 species in the world, is a large genus of the family Rutaceae. Nine species were recorded in the 2nd edition of Flora of Taiwan. In the course of our botanical inventory, *Z. acanthopodium* DC., heretofore unknown in Taiwan, was collected from central and eastern part of the island. *Z. acanthopodium* is easily distinguished from other congeners by leaf rachises with conspicuous wings, and secondary veins of leaflet adaxially blades evident. In this report we provide a description and colored photographs taken from the wild to aid identification.

摘要

花椒屬為芸香科的一個大屬植物，全球包含約有200種，台灣植物誌第二版紀錄有9種，最近我

們在中部及東部植物調查時發現另一新紀錄植物—岩花椒；該植物以其葉軸具明顯的寬翼以及葉下表面側脈清楚等特徵，可明顯與台灣產本屬其他物種區別。本文提供該種的形態描述、線畫圖與彩色圖片。

keywords : New record, Rutaceae, Taiwan, Taxonomy, *Zanthoxylum*, *Z. acanthopodium*.

關鍵詞：新紀錄、芸香科、台灣、分類、花椒屬、岩花椒

Received: August 19, 2013

Accepted: November 08, 2013

收件日期：2013 年 08 月 19 日

接受日期：2013 年 11 月 08 日

Introduction

Rutaceae consists of 162 genera and 1,650 species (Thorne & Reveal 2007). The genus *Zanthoxylum* (Rutaceae) consists of about 200 species in the world (Hartley 1966; Porter 1976; Reynel 1995). Primarily pantropical, the two subgenera sometimes are regarded as distinct genera (Brizicky 1962). Taiwanese *Zanthoxylum* were recorded seven species by Liu (1955), nine species by Chang (1974), nine species by Chang and Hartley (1993) and Ho (2007) recorded ten species. In the course of our botanical inventory, *Z. acanthopodium* DC. was found in central and eastern Taiwan, representing a new record for this island. *Z. acanthopodium* belongs to the subgenus *Zanthoxylum* L. that comprises about 15 species, and is primarily found in the temperate zone of eastern Asia and north America (Brizicky 1962).

Key to the subgenus of *Zanthoxylum*

A1: Perianth in a single series -----*Zanthoxylum*

A2: Perianth in two series ----- *Fagara*

Key to the species of subgenus *Zanthoxylum* in Taiwan

A1: Leaf rachises with conspicuous wings

B1: secondary veins of leaflet adaxially blades evident----- *Zanthoxylum acanthopodium*

B2: secondary veins of leaflet adaxially blades faint -----*Z. armatum*

A2: Leaf rachises terete or with narrow wings extending to not more than 1 mm on each side

B1: Leaves 3-foliolate ----- *Z. pistaciiflorum*

B2: Leaves 3- 7(or 9)-foliolate

C1: Leaflet membranous, ovate, 2.5-3 cm long ----- *Z. simulans*

C2: Leaflet coriaceous, oblong-lanceolate, 10 cm long ----- *Z. wutaiense*

Taxonomic Treatment

Zanthoxylum acanthopodium DC., Prodr. 1:727.

1824. 岩花椒

Dioecious shrub. Branchlets, glabrous, shallowly rimose, bears lenticels and straight prickles. Prickles, 1.5 cm long, 8 mm wide at base 1.5 mm thick. Young branchlets, glabrous. Leaves odd-pinnate, alternate; leaflets 5~7, lateral leaflets opposite, terminal leaflet the largest. Rachis conspicuously winged, width 1.4~2.5 mm (including the width of petiole), widest near terminal leaflet; glabrous, straight prickles on both surfaces, unequal in length, 1.5~4.5 mm long. Straight prickles paired at base of petiole, subequal in length; tinged red at apex; widened and flattened at base. Terminal leaflet elongate elliptic, 2.9~5.2 cm long, 8.3~12.7 mm wide, thin chartaceous, glabrous on both surfaces. Petiolules 0 (~4.5) mm. Apex acute; base cuneate; margin obtusely serrate, bears pellucid glands at tip. Surface of leaflet blades flat. Midrib straight and glabrous, elevated and bears ca. ascending short prickles abaxially. Lateral veins and veinlets inconspicuous. Lateral leaflets 2~3 pairs, elliptic, 1.3~2.5 cm long 0.6~0.9 cm wide, sessile, the shape and size of each leaflet pairs unequal; glabrous on both surfaces; thin chartaceous. Apex acute; base cuneate to widely cuneate; margin obtusely serrate, bears pellucid glands at tip. Surface of leaflet blades flat. Midrib straight and glabrous. Lateral veins and veinlets inconspicuous.

Flowers unisexual. Pistillate inflorescences terminal on twigs, raceme or short panicle, 1.2 cm long (including peduncle) 0.8 mm across, ca.

9 flowers. Peduncle subsessile, bears short hairs. Bracteole 1, elongate deltoid, brownish, ca. 1 mm long. Pedicels 1.5 mm long 0.4 mm across, bear short hairs. Pistillate flowers: Sepals 6, lanceolate. Petals absent. Staminodes absent. Carpels 2, subovoid, conspicuous, glabrous, bear translucent gland dots on surface, fused at lower part. Gynophore 1, subglobose, about the same size as a carpel, glabrous. Hypogynous. Styles ca. 1 mm long, glabrous, recurved. Stigmas capitate. Ovules 2 per carpel.

Distribution: Bhutan, Burman, India, Indonesia, Laos, Malaysia, Myanmar, Nepal, Pakistan, Sikkim, Thailand, Vietnam, and China. (Hartley, 1966; Zhang *et al.*, 2008.) In Taiwan, found at medium elevations in the central and eastern part.

Specimen examined. **TAIWAN. Nantou County:**

Sinyi Township (23°29'54" N/120°52'52" E)
alt. 2226m Hsu 14240 (TAIE); **Hualien**

County: Zhuilu Old Road

(24°10.581' N/121°31.335' E) alt. 671 m

Hsu 16762 (TAIF).

Acknowledgments

We are thankful to Mr. Sheng Kun Yu for his assistance in field work. This work was supported by the grant from National Science Council (NSC 102-2627-B-329-001) and Council of Agriculture, Taiwan.

Literature Cited

- Brizicky, G. K. 1962. The genera of Rutaceae in the southeastern United States. *Journal of the Arnold Arboretum* 43: 1-22.
- Chang, C. E. 1974. Notes on the Rutaceae of Taiwan. *Quarterly Journal of Chinese Forestry* 7(4): 57-60.
- Chang, C. E. and T. G. Hartley. 1993. Rutaceae. *In*: Huang, T. C. *et al.* (eds.). *Flora of Taiwan* 2nd ed. 3: 510-544. Editorial Committee of the Flora of Taiwan, Department of Botany, NTU, Taipei, Taiwan.
- Chen, I. S. 1972. A new species of *Zanthoxylum* in Taiwan. *Taiwan Sci.* 26(3,4): 56-58.
- Hartley, T. G. 1966. A revision of the Malesian species of *Zanthoxylum* (Rutaceae). *Journal of the Arnold Arboretum* 47: 171-221.
- Ho, T. C. 2007. Revision Rutaceae of Taiwan. *Endemic Species Research* 9(2): 29-52.
- Liu, Y. C. 1955. Studies on the Formosan species of *Zanthoxylum* and *Fagara*. *J. Agric. Forestry* 4: 1-7.
- Porter, D. M. 1976. *Zanthoxylum* (Rutaceae) in North America North of Mexico. *Brittonia* 28: 443-447.
- Reynel C. 1995. New Andean *Zanthoxylum* (Rutaceae) with distinctive vegetative characters. *Novon* 5: 362-367.
- Thorne, R. F. and J. L. Reveal 2007. An updated classification of the Class Magnoliopsida ("Angiospermae"). *The Botanical Review* 73(2): 67-182.
- Zhang, D.-X.; T. G. Hartley, and D. J. Mabberley 2008. Rutaceae. *In* Wu, Z.I. & Peter H. Raven (eds). *Flora of China* 11: 51-97. Science Press, Beijing, and Missouri Botanical Garden Press, St. Louis.

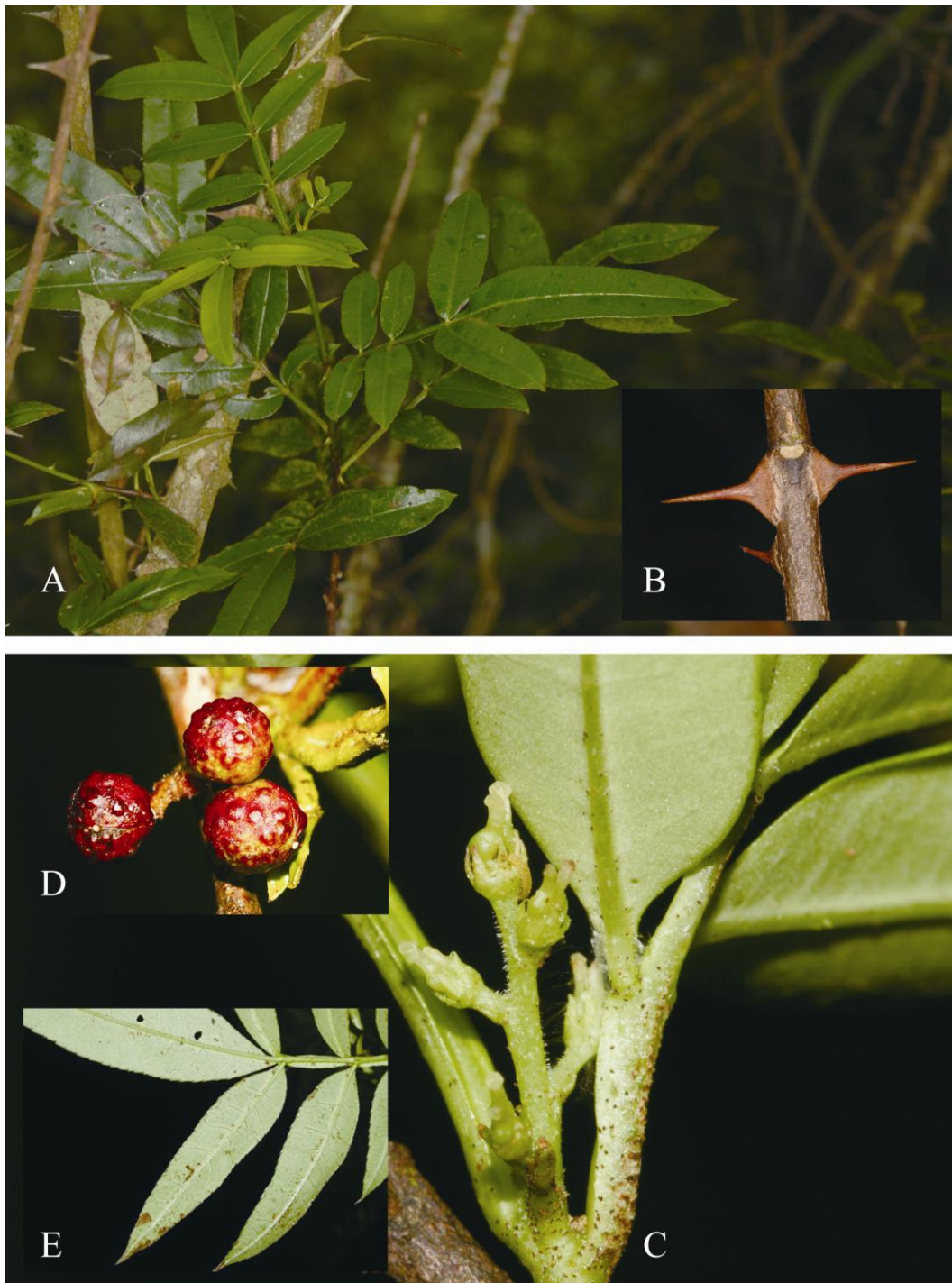


Fig. 1. *Zanthoxylum acanthopodium* DC. A: habit; B: spine; C: female inflorescences; D: fruits; E: secondary veins of leaflet.



Fig. 2. *Zanthoxylum acanthopodium* DC. A: habit; B: female inflorescences; C: fruits; D: secondary veins of leaflet.

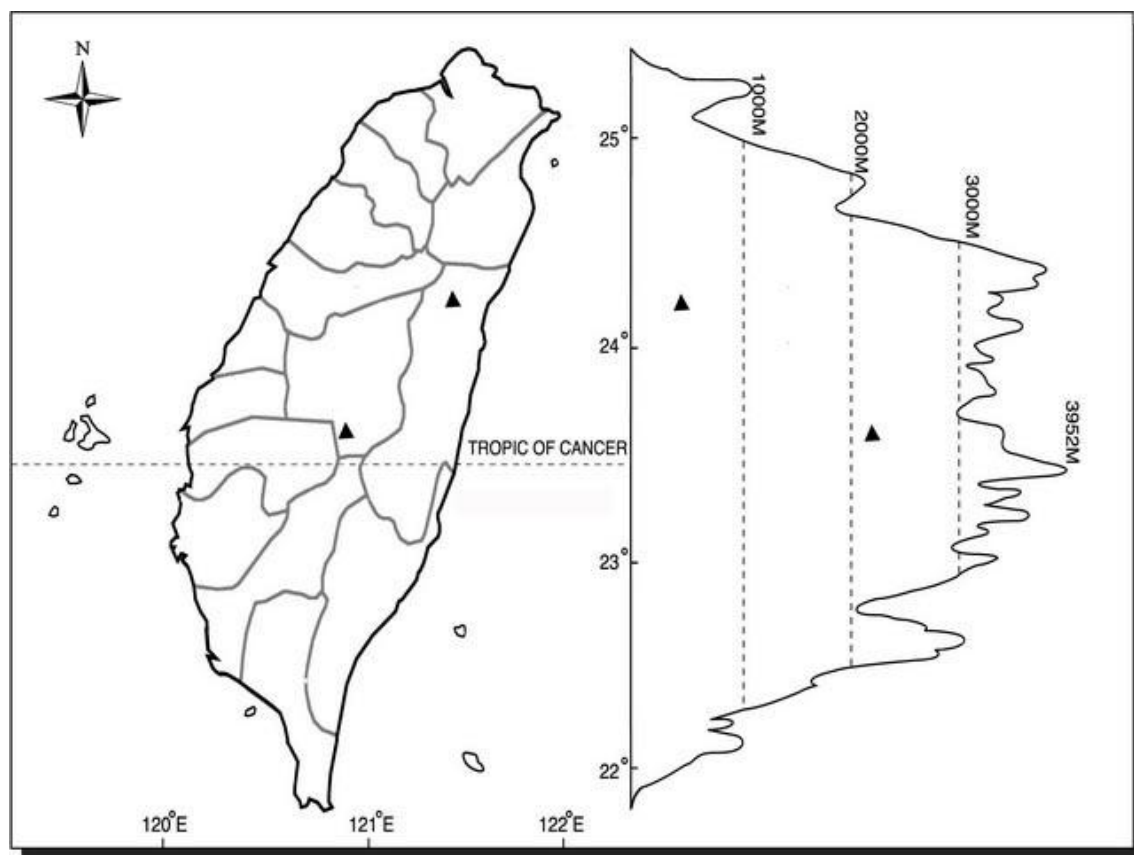


Fig. 3. Distribution of *Zanthoxylum acanthopodium* DC. in Taiwan.

Two Species of *Colura* (Family Lejeuneaceae) Newly Recorded to Taiwan

臺灣產管葉蘚屬(細鱗蘚科)兩個新紀錄種

Jia-Dong Yang^{1,2}, Kuei-Yu Yao¹ and Shan-Hsiung Lin^{2,*}

楊嘉棟^{1,2} 姚奎宇¹ 林善雄^{2,*}

¹ Endemic Species Research Institute, Jiji, Nantou, Taiwan

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

¹ 行政院農業委員會特有生物研究保育中心 55244 南投縣集集鎮民生東路 1 號

² 東海大學生命科學系 40704 臺中市臺灣大道四段 1727 號

* Corresponding authors : slin@thu.edu.tw

*通訊作者：slin@thu.edu.tw

Abstract

There are three species of the genus *Colura* (Lejeuneaceae), *C. acroloba*, *C. inuii* and *C. tenuicornis*, previously reported from Taiwan. This paper describes two newly recorded species, namely *C. calyptrifolia* and *C. conica*. Their illustrations, habitat, and distribution are provided, plus a key to the species of *Colura* in Taiwan, for the identification.

摘要

管葉蘚屬隸屬於細鱗蘚科，臺灣本屬原記載有刀形管葉蘚、印氏管葉蘚及細角管葉蘚等 3 種。本文報導 2 個新紀錄種，僧帽管葉蘚(新擬中名)及尖囊管葉蘚，文中附有此 2 種新紀錄種之形態描述、圖片及棲地與分布等資料，以及臺灣產本屬物種之檢索表。

keywords : *Colura*, *C. calyptrifolia*, *C. conica*, liverwort, Taiwan

關鍵詞：管葉蘚屬、僧帽管葉蘚、尖囊管葉蘚、蘚類、臺灣

Received: May 06, 2013

Accepted: November 08, 2013

收件日期：2013 年 05 月 06 日

接受日期：2013 年 11 月 08 日

Introduction

Colura is a large pantropical genus of Lejeuneaceae, consisting of about 70 species (Gradstein and Costa 2003). *Colura* is easily distinguished from other genera of Lejeuneaceae by having (1) epiphyte or epiphyllous, (2) lateral leaf with a strongly diverging bifid underleaf, (3) leaf lobes with variously saccate upper part and the sac with a pore and valve, and (4) cylindrical and inflated leaf lobule with involute free margin, usually connate with the leaf-lobe (Yang 2009).

Three species of the genus *Colura* have been reported from Taiwan. There are *C. acroloba* (Mont. ex Steph.) Ast, *C. inuii* Horik. and *C. tenuicornis* (A.Evans) Steph. (Piippo 1990, Lin 2000, Zhu and So 2001, Yang 2009, Wang *et al.* 2011). In our recent plant inventory survey of Taiwan, we found *C. calyptrifolia* (Hook.) Dumort. and *C. conica* (Sande Lac.) K.I.Goebel, as two new records to the liverwort flora of Taiwan. This paper briefly describes them with illustrations and information on habitats and geographical distributions. A key to the species of *Colura* in Taiwan is also provided for identification. The voucher specimens are

deposited at the Herbarium of Endemic Species Research Institute (TAIE), the Herbarium of Tunghai University (TUNG), and the Herbarium of Eszterházy College (EGR).

Taxonomic Treatment

Colura (Dumort.) Dumort. 管葉蘚屬

Recueil Observ. Jungerm. :12. 1835. Type: *Colura calyptrifolia* (Hook.) Dumort. (≡ *Jungermannia calyptrifolia* Hook.)

Keys to the species of *Colura* of Taiwan

1. Cells of leaf lobes without trigones and intermediate thickenings; sac with a narrow prolongation at the tip.....2
1. Cells of leaf lobes with distinct trigones and intermediate thickenings; sac ovate to triangular-ovate without a narrow prolongation at the tip.....3
2. Sac fusiform, prolongation shorter, separation between sac and prolongation sharp; keels of perianth short.....*C. calyptrifolia*
2. Sac lanceolate, prolongation strongly elongated, separation between sac and prolongation not sharp; keels of perianth elongated strongly.....

- *C. tenuicornis*
3. Valve connecting with the leaf lobule without hinge cells; leaves entire at margin.....
.....*C. acroloba*
3. Valve connecting with the leaf lobule with hinge cells; leaves nearly entire to slightly denticulate.....4
4. Sac usually acute at apex; valve composed of 13-17 median cells and a circle of 15-16 hyaline cells..... *C. conica*
4. Sac usually rounded at apex; valve composed of 16-20 median cells and a circle of 17-19 hyaline cells..... *C. inuii*

Colura calyptrifolia (Hook.) Dumort., Recueil
Observ. Jungerm. :12. 1835.

僧帽管葉蘚

Figs. 1, 3a–c

Description:

Plants small and prostrate in small dense patches; pale to bright yellowish green in color, occasionally white. Stems up to 5 mm long and 66–97 µm in diameter, with leaves 0.74–1.30 mm wide, irregularly branched. Leaves contiguous, erect-spreading from the substratum, and narrowing toward the apical beak, about 0.3 mm wide and 1.2 mm long including lobular beak, free part of antical lobe convex with margin crossing stem, margins entire. Cells of leaf lobes thin-walled, without trigones and intermediate thickening; median cells 15–22 × 20–46 µm, and basal cells larger. Cuticle smooth. Oil-bodies 7–31 per cell, oblong to orbicular in shape, with minute granules and smooth surface. Leaf lobule about twice as long as lobe, strongly

inflated forming a fusiform sac, with a narrow beak-like prolongation at the tip, free margin involute strongly; valve at the mouth of the sac, ovate to short-ligulate, composed of 13–15 median cells and a circle of 15–16 thin-walled, hyaline marginal cells, and connected with lobule by rectangular hinge cells. Underleaves distant, deeply bilobed; lobes triangulate to lanceolate, up to 280 µm long and 4–8 cells wide at base, margins entire. Perianth obovoid, about 1.3 mm long and 0.5 mm wide, with 5 erected or horizontal horn-like keels and very short beak.

Habitat:

In the British Isles, *C. calyptrifolia* is common in lowland and subalpine at elevations from near the sea-level to 610 m, and found more often on rocks than on trees and shrubs (Paton 1999), whereas, in Brazil it is distributed at high elevations of 2,350m to 2,400m in the Serra do Itatiaia and found on branches and twigs of shrubs (Gradstein and Costa 2003). Our examinations of five specimens reveal that this species is distributed at elevations from 2,170 m to 3,450 m, and all found on tree barks or twigs in American and African,. Apparently, *C. calyptrifolia* is an epiphyte, growing on twigs and bark of shrubs, in the tropical mountains at elevations above 2,000 m, while near the sea level in oceanic temperate regions. In Taiwan, *C. calyptrifolia* is an element of mid-elevation coniferous forests of the Central Mountain Range at elevations above 2,000 m, growing on dead twigs of *Yusania* and dead branches of conifer tree, mixed with *Cololejeunea magnilobula*

(Horik.) S.Hatt., *Lejeunea flava* (Sw.) Nees, *Frullania* sp., *Metzgeria* sp. and *Ulota crispa* (Hedw.) Brid.

Distributions:

Oceanic-temperate regions of Africa, Latin America, western Europe (Gradstein and Costa 2003), and Sikkim Himalaya (Pócs pers. comm.). Common in Atlantic Europe (Jovet-Ast 1954), new to E. Asia and Taiwan.

Specimens examined :

TAIWAN. Ilan County: Twin Brothers Lakes located on northern part of the Central Mountain Range, on dead twigs of the *Yushmania niitakayamensis* (Hayata) Keng f., beside lakes, without any shade, mixed with *Cololejeunea magnilobula* (Horik.) S.Hatt., *Lejeunea flava* (Sw.) Nees and *Ulota crispa* (Hedw.) Brid., at 2,130 m in elevations, 121°28'26"E; 24°28'43" N, Oct. 20, 2011, *J. -D. Yang* 7313 (**TAIE, TUNG, EGR**). **Hualien County:** Along ridge of southern part of the Central Mountain Range, accessed via trails from Tafenjianshan to Heishueitang, on the dead branches of conifer tree, growing with *Cololejeunea magnilobula* (Horik.) S.Hatt., *Frullania* sp. and *Metzgeria* sp., at 3,121 m in elevations, 121°01' 22" E; 23°26' 19" N, Aug. 12, 2011, *J. -D. Yang* 6959 (**TAIE**).

Additional specimens examined:

DOMINICA. Prov. San José de Ocoa, Central Cordillera, road between San José de Ocoa and Valle Nuevo, moist slopes with shrubs and pine forest with *Blechnum* and Lycopodiaceae, in

places with abundant tree ferns above La Nuez, at 2,170-2,200 m in elevations, on twigs of a bush, Apr. 3, 2007, Schäfer-Verwimp & Verwimp 26686 (**EGR**). **VENEZUELA.** Mérida State, Sierra Nevada National Park, La Aguada station, lower edge of the moor, with *Espeletia schulzii*, *Ruilopezia atropurpurea*, *Chaetolepis lindeniana*, etc., on branches, at 3,340-3450 m in elevations, 71°05' W; 8°35' N, Feb. 5, 1997, *T. Pócs* 9702/DF (**EGR**). **TANZANIA.** Kilimanjaro Mountains, Marangu Route, subalpine *Erica arborea* forest around Mandara Hut, corticolous, on *Erica arborea*, at 2,820 m in elevation, May, 19, 22, 1989, *T. Pócs* & *S. Orban* 89145/AD (**EGR**). Mt. Meru, WSW slope, montane rainforest in the Engare Narok Gorge, near the bridge, on decaying Ericaceous twigs, at 2,350 m in elevation, Dec. 13, 1989, *T. Pócs* 89265/C (**EGR**). **UGANDA.** Mbale District, W approach of Mt. Elgon, along Sasa Trail, Around and above Sasa River Camp, bamboo (*Sinarundinaria alpina*) stand with patches of broadleaved *Hagenia-Rapanea-Ocotea-Afrocrania* forest, Undergrowth of *Mimulopsis alpina*, on half woody twigs of *Mimulopsis alpina*, at 2,900 m in elevation, 34°26-27'E; 1°10.3'N, Sep. 21 & 23, 1997, *K. A. Lye* 23016 p. p. (**EGR**).

C. tenuicornis (A.Evans) Steph.: **JAPAN.** Kyushu, Kagoshima-ken, Isl. Yakushima, between Arakawa Dam and Kosugi-dani, at 700 m in elevations, on leaves. Dec.7, 1979, coll. Z. Iwatsuki; det. M. Mizutani [Bryophyta Exsiccata Fasc. 3 (1981) Edited by Z. Iwatsuki & M. Mizutani] (**TUNG**).

Remarks:

Colura calyptrifolia can be distinguished from other *Colura* species of Taiwan based on characters of cells without trigones and intermediate thickenings, lobule strongly inflated forming a fusiform sac and with a narrow beak-like prolongation tip. It is most closely related to the widely distributed pantropical *C. tenuicornis* (A.Evans) Steph. *C. tenuicornis* differs from *C. calyptrifolia* by having a lanceolate sac like lobule; prolongation strongly elongated; separation not sharp between sac and prolongation; perianth with strongly elongated horn-like keels. In Taiwan, *C. tenuicornis* is usually epiphyllous and distributed in lowland, but *C. calyptrifolia* is an epiphyte and only distributed at high mountains. Horikawa (1934) reported *C. pseudocalyptrifolia* Horik. from Mt. Arisan (Shinboku-Numanodaira), Mt. Taiheizan (Toganoodani-Sukoishi-Mururoafu), and Mt. Chipon (Miharashi-Miyama-Kiriyama-Chiponsan) in Taiwan. The syntype of *C. pseudocalyptrifolia* is located at Mt. Taiheizan which is close to our collection of *C. calyptrifolia*. Hattori (1951) treated it as *C. calyptrifolia* var. *pseudocalyptrifolia* (Horik.) S.Hattori, a taxon with a range from Shikoku, Yakushima to Taiwan. He remarked that “*C. tenuicornis* seems to stand near this.” Jovet-Ast (1954) considered *C. calyptrifolia* var. *pseudocalyptrifolia* as a synonym of *C. tenuicornis*. Furthermore, Mizutani (1961) stated that Japanese plants of *C. tenuicornis* are not typically developed as those in the tropical region, and thus approximating *C. calyptrifolia* in size. Accordingly, the plants are often difficult to distinguish from the latter. After examining the

specimen of *C. tenuicornis* from Yakushima, Japan, and the figure of *C. pseudocalyptrifolia* (Horikawa 1934, p. 290), we found that both species have longer sac elongation, slender underleaf-lobe, and elongated horn-like keels of perianth, well agreeing with *C. tenuicornis*, while different from *C. calyptrifolia*.

C. calyptrifolia is an oceanic-temperate species found in the continents of Africa, American and European (Gradstein *et al.* 1983). As it has been also found in Sikkim Himalaya of Asia, the finding of *C. calyptrifolia* in Taiwan reveals a disjunctive distribution. Nevertheless, the oil bodies in the leaf cells of *C. calyptrifolia* are usually homogeneous (Paton 1999), with an exception in Taiwan's collections, which display minute granular, a character occurring in *C. tenuicornis*.

Colura conica (Sande Lac.) K.I.Goebel, Ann. Jard. Bot. Buitenzorg 39: 3. 1928.

尖囊管葉蘚

Figs. 2, 3d, e

Description:

Plants small and prostrate, pale to yellowish green in color. Stems up to 12 mm long, 79–103 µm in diameter, with leaves 1.6–3.1 mm wide, irregularly branched. Leaves imbricate to contiguous, erect-spreading from the substratum, 0.8–1.0 mm long, 0.4–0.7 mm wide; dorsal margin plane, crenulate to serrate or serrulate. Cells of leaf lobes thin-walled, trigones large, intermediate thickenings very distinct; marginal cells quadrate to rectangular, 21–28 × 16–25 µm; median cells isodiametric to hexagonal, 25–46 ×

23–33 μm ; basal cells similar to median cells and larger 49–60 $\times$ 21–34 μm . Cuticle smooth. Oil-bodies up to 35 per cell, oblong to orbicular, granular. Leaf lobules about one and a half as long as lobe, strongly inflated forming a triangular-ovate sac with acute or sometimes round to subacute apex; free lateral margin involute strongly; valve at the mouth of the sac, ovate to short-ligulate, composed of 13–17 median cells and a circle of 15–16 very thin-walled, hyaline marginal cells, and connected with lobule by narrow rectangular hinge cells. Underleaves distant, deeply bilobed, the lobes lanceolate, up to 340 μm long, 4–5 cells wide at base, margins entire. Fertile plants, sporophyte, and gemmae not seen.

Habitat:

Colura conica is epiphyllous. In Borneo it is distributed at lowland, in coastal marsh-forests, mangroves, hygrophilous forests, brooklet or river banks, and Dipterocarpaceous forests at elevations up to 200 m (Jovet-Ast 1954). In China it grows on the leaves of trees and shrubs in the monsoon forest of Hainan Island at elevations of 600–1,200 m (Zhu and So 2001). In Fiji Islands, it is found on living leaves from lowland rainforest to mountain rainforests at elevations up to 1,010 m (Pócs and Eggers 2007). In Taiwan, this species grows in humid hardwood forest at lowlands at elevations below 1,000 m, on the living leaves of ferns, mixed with epiphyllous Lejeuneaceae, e.g. *Leptolejeunea elliptica* (Lehm. & Lindenb.) Schiffn., *Cololejeunea ceratilobula* (Chen) R.M.Schust.,

C. planissima (Mitt.) Abeyw., *C. goebelii* (Gott. ex Schiffn.) Schiffn., *C. spinosa* (Horik.) S. Hatt.

Distribution:

Colura conica is widespread in the Indo-Malesian-Oceanian, with a range in Sri Lanka to Thailand, Vietnam, China (Hainan), the Philippines, Borneo, Papua New Guinea, Australia, New Caledonia, the Carolines, and Samoa (Zhu and So 2001; Pócs and Eggers 2007). It is new to Taiwan.

Specimens examined:

New Taipei City: Fushan reservoir, Ha-pen Trail, Nan-shi Stream watershed, near the 1.5 km trail marker, mixed hardwood forest, epiphyllous on leaves of fern *Cyclosorus truncatus* (Poir.) Farw., mixed with *Cololejeunea spinosa*, *C. goebelii*, *C. ceratilobula*, *C. longifolia*, *Leptolejeunea elliptica*, *Lejeunea anisophylla*, and *L. ulicina*, at 320 m in elevations, 121°31'25.0"E; 24°46'23.7"N, Sep. 14, 2007, J.-D. Yang 4647f (TAIE). Fushan reservoir, Ha-pen Trail, Nan-shi Stream watershed, near the 1 km trail marker, bamboo-hardwood mixed forest, epiphyllous on leaves of fern *Angiopteris lygodiiifolia* Rosenst., mixed with *Cololejeunea ceratilobula*, *C. goebelii*, *C. spinosa*, *C. inflata*, *C. planissima*, *Leptolejeunea elliptica*, *Lejeunea exilis*, *Dipasiolejeunea cavifolia*, and *Radula* sp., at 510 m in elevations, 121°30'37"E; 24°46'41"N, Sep. 14, 2007, J.-D. Yang 4,680m (TAIE). **Hualien County:** Yuli, Chikeshan, near the Fute Temple, creek bank, mixed hardwood forest, epiphyllous, on leaves of fern *Woodwardia* sp., mixed with

Cololejeunea ceratilobula, *C. goebelii*, *C. planissima*, *Leptolejeunea elliptica*, and *Lejeunea anisophylla*, ca. at 850 m in elevations, 121°23'16.2"E; 23°23'15.3"N, Oct. 18, 2007, J.-D. Yang 4738g (TAIE).

Remarks:

Colura conica is characterized by its slightly denticulate leaves, cells with distinct trigones and intermediate thickenings; triangular-ovate sac with acute apex, and valve connected with lobule by narrow rectangular hinge cells. These characters are distinguishable from those of other species of *Colura* of Taiwan. *C. conica* is similar to *C. inuii* Horik., which is only distributed in Taiwan and Japan (Tanegashima and Ryukyu) (Furuki 2001; Zhu and So 2001). The latter differs in the sac rounded at apex and larger valves composed of 16-20 median cells and 17-19 hyaline cells.

Acknowledgements

Thanks are due to James Shevock and Tamás Pócs for providing useful references, specimens and taxonomic opinions; to Chu-Fa Tsai and Ching-I Peng for reading the manuscript and improving the writing. We are grateful to Jiinho Chiou, Hsiu-Jane Chen and Ciou-Yu Yeh who assisted in the field work, and to Kui-Chu Chen for plate preparation. We are indebted to Ho-Ming Chang who helped in identifying ferns. This study was supported in part by the grants of National Science Council (NSC 98-2321-B-329-002) and the Council of

Agriculture, Taiwan.

Literature Cited

- Furuki, T. 2001. Hepaticopsida. pp. 298-299. In: Z. Iwatsuki (ed.). Mosses and liverworts of Japan. Heibonsha Ltd. Publishers, Tokyo, Japan. (In Japanese)
- Gradstein, S. R. and D. P. Costa. 2003. The Hepaticae and Anthocerotae of Brazil. *Memoirs of New York Botanical Garden* 87: 135-137.
- Gradstein, S. R., T. Pócs and J. Váňa. 1983. Disjunct Hepaticae in Tropical America and Africa. *Acta Botanica Hungarica* 29 (1-4): 127-171.
- Hattori, S. 1951. Contributio ad Floram Hepaticarum Yakusimensem (5). *Journal of the Hattori Botanical Laboratory* 5: 43-68.
- Hattori, S. 1952. Hepaticae of Shikoku and Kyushu, Southern Japan (2). *Journal of the Hattori Botanical Laboratory* 8: 21-45.
- Horikawa, Y. 1934. Monographia Hepaticarum Australi-Japonicarum. *Journal of Science of the Hiroshima University Series B, Div.2*, 2: 101-325.
- Jovet-Ast, S. 1954. Le genre *Colura*, Hépatiques, Lejeuneacées, Diplasiae. *Revue Bryologique et Lichénologique* 22(1953): 206-312.
- Lin, S.-H. 2000. The liverwort flora of Taiwan. The Council of Agriculture, Taipei, Taiwan. (In Chinese)
- Mizutani, M. 1961. A revision of Japanese Lejeuneaceae. *Journal of the Hattori Botanical Laboratory* 24: 115-302.
- Paton, J. A. 1999. The liverwort flora of the British Isles. Harley Books, Colchester,

England.

- Piippo, S. 1990. Annotated catalogue of Chinese Hepaticae and Anthocerotae. Journal of the Hattori Botanical Laboratory 68:1–192.
- Pócs, T. and J. Eggers. 2007. Bryophytes from the Fiji Islands, II. An account of the Genus *Colura*, with a description of *C. vitiensis* sp. nov. Polish Botanical Journal 52(2): 81–92.
- Wang, J., M.-J. Lai and R.-L. Zhu. 2011. Liverworts and Hornworts of Taiwan: an updated checklist and floristic accounts. Annales Botanici Fennici 48: 369–395.
- Yang, J.-D. 2009. Liverworts and Hornworts of Taiwan I. Lejeuneaceae. Endemic Species Research Institute, Nantou, Taiwan.
- Zhu, R.-L., and M.-L. So. 2001. Epiphyllous liverworts of China. Nova Hedwigia Beiheft 121: 1–418.

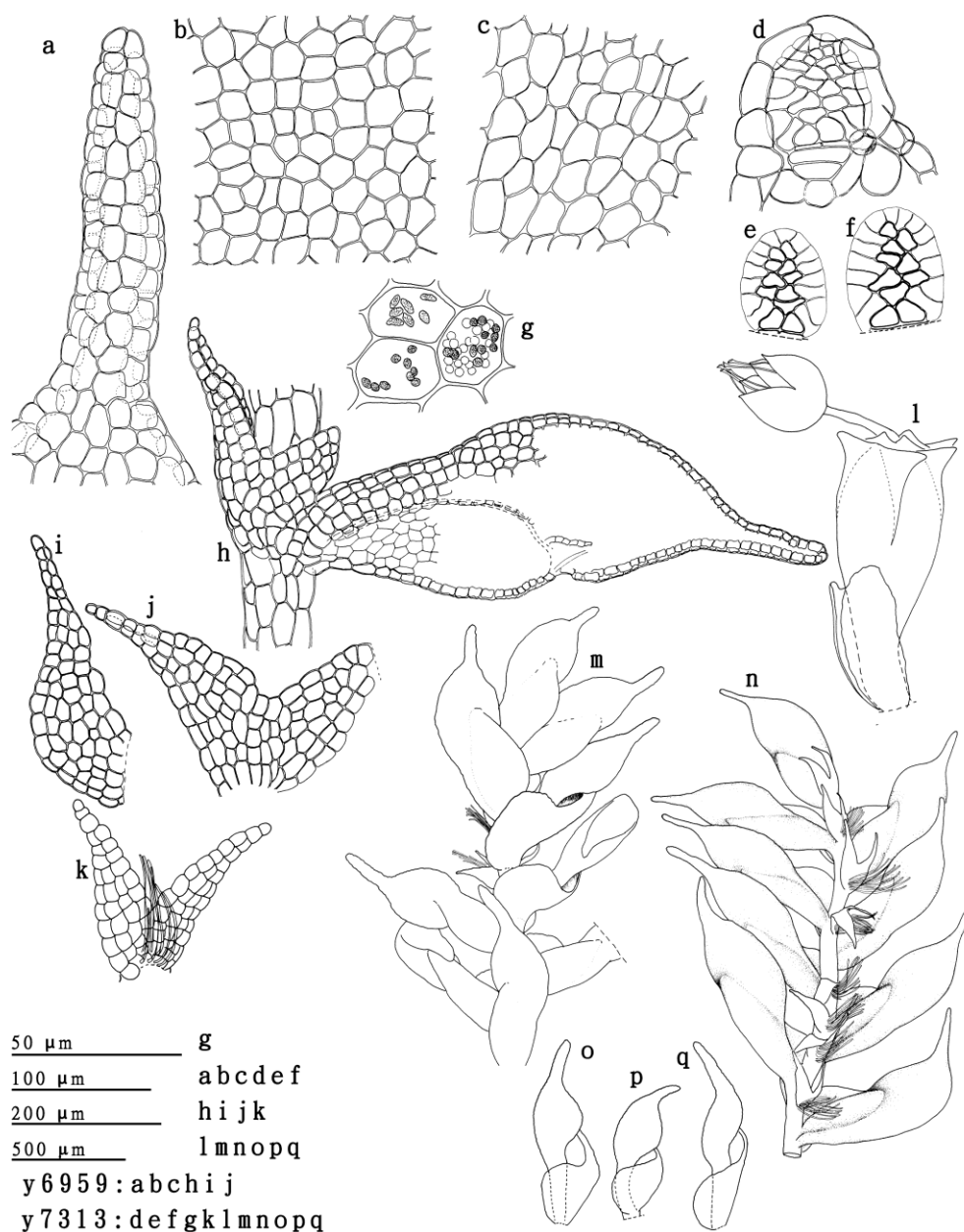


Fig. 1. *Colura calyptrifolia* (Hook.) Dumort.: a. beak-like prolongation at the leaf tip; b. median cells of leaf lobes; c. cells near the leaf base; d. valve at the mouth of the sac, connected with lobule by rectangular hinge cells; e, f. valves; g. oil bodies in the median cells of leaf lobe; h, n. ventral view of a portion of sterile plant; i–k. underleaves; l. perianth and sporophyte; m. dorsal view of a portion of sterile plant; o–q. leaves. Drawn from J. -D. Yang 6959, 7313.

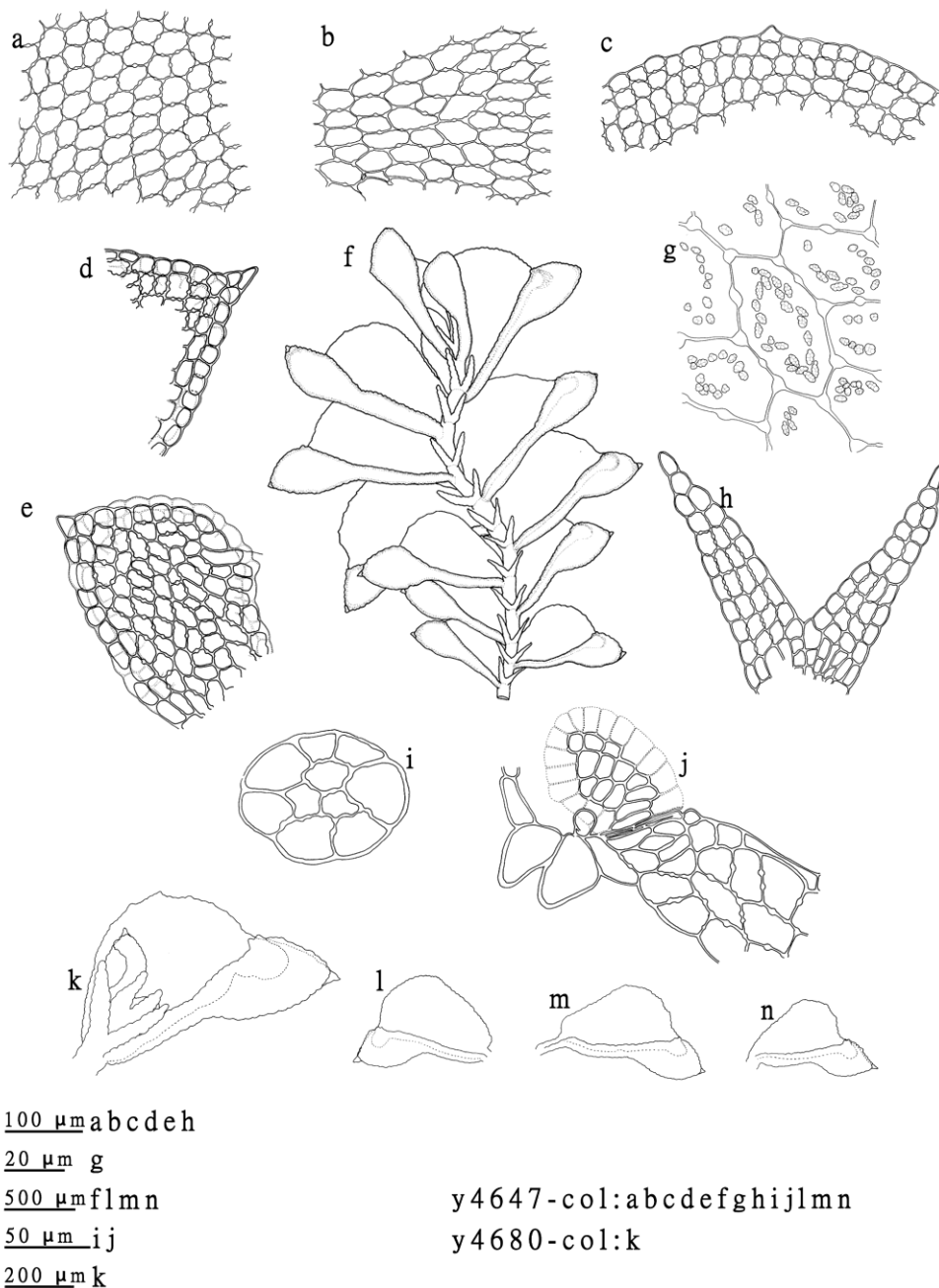


Fig. 2. *Colura conica* (Sande Lac.) K.I.Goebel: a. median cells of leaf lobes; b. basal cells of leaf lobe; c. marginal cells of leaf lobes; d, e. apex of lobule sacs; f. ventral view of a portion of sterile plant; g. oil bodies in the cells of leaf lobe; h. underleaf; i. transverse section of stem; j. valve; k–n. leaves. Drawn from J. -D. Yang 4647f, 4,680m.

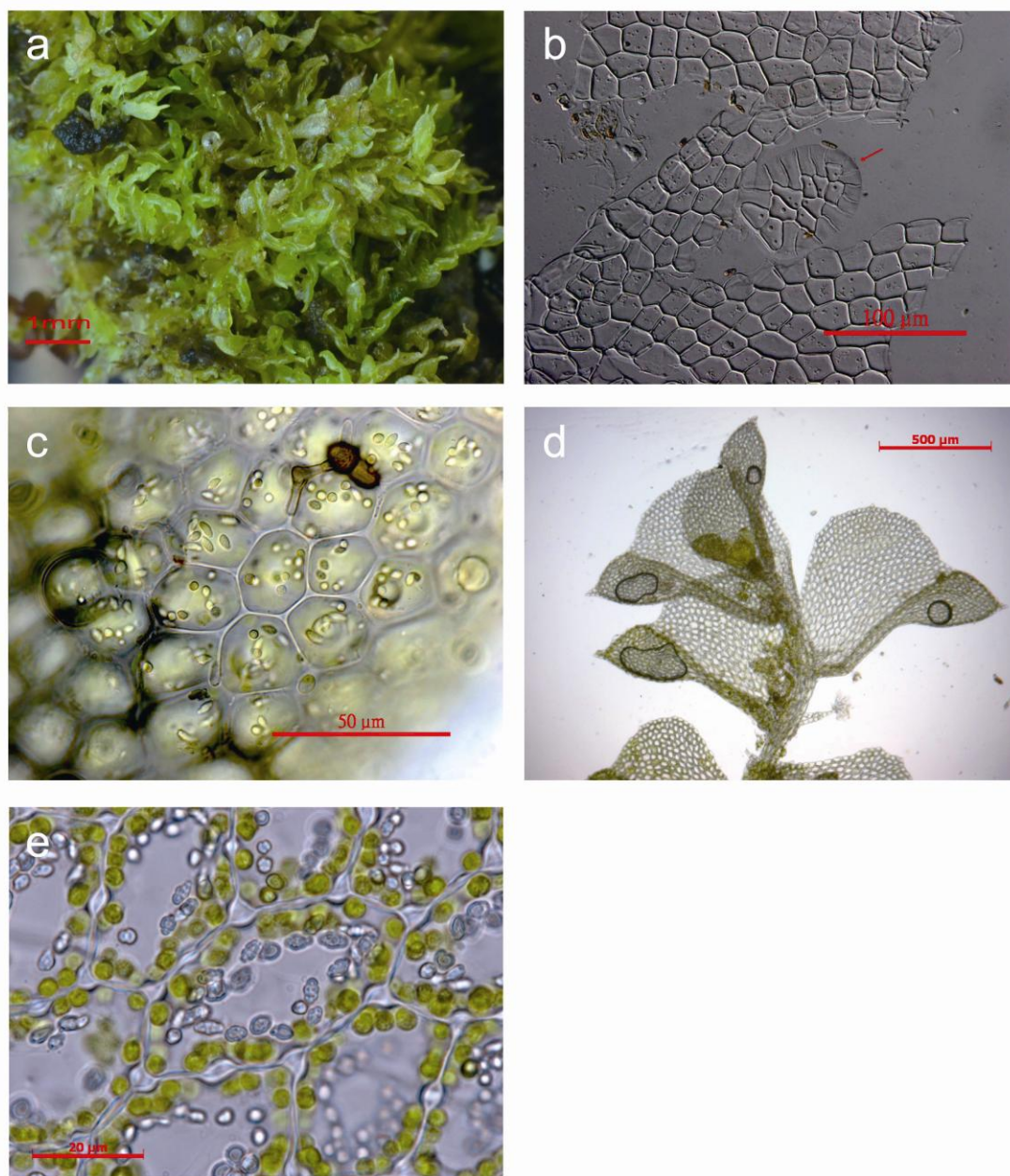


Fig. 3. *Colura calyptrifolia* (Hook.) Dumort.: a. plants; b, valve (arrowed); c, oil bodies in the median cells of leaf lobe. (All photographed from J. -D. Yang 7313); *Colura conica* (Sande Lac.) K.I.Goebel: d. ventral view of a portion of plant; e. oil bodies in the median cells of leaf lobe. (d. photographed from J. -D. Yang 4,680m; e. photographed from J. -D. Yang 4647f).

Cheilolejeunea nipponica (S. Hatt.) S. Hatt., a Newly Recorded Liverwort in Taiwan

台灣新紀錄蘚類—日本唇鱗蘚

Jia-Dong Yang^{1,2} and Shan-Hsiung Lin^{2,*}

楊嘉棟^{1,2} 林善雄^{2,*}

¹ Endemic Species Research Institute, Jiji, Nantou, Taiwan

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

¹ 行政院農業委員會特有生物研究保育中心 55244 南投縣集集鎮民生東路 1 號

² 東海大學生命科學系 40704 臺中市臺灣大道四段 1727 號 1727 號

* Corresponding authors : slin@thu.edu.tw

*通訊作者：slin@thu.edu.tw

Abstract

Thirteen species of the genus *Cheilolejeunea* (Lejeuneaceae) have been reported from Taiwan. This paper describes and illustrates *C. nipponica* (S. Hatt.) S. Hatt. as a new record in Taiwan, and provides with information on its habitats and distribution.

摘 要

唇鱗蘚屬隸屬於細鱗蘚科，臺灣本屬原記載有 13 種。本文增加日本唇鱗蘚為新紀錄種，文中附有此新紀錄種之形態描述、圖片及棲地與分布等資料。

keywords : *Cheilolejeunea*, *C. nipponica*, liverworts, Taiwan

關鍵詞：唇鱗蘚屬、日本唇鱗蘚、蘚類、臺灣

Received: August 27, 2013

Accepted: November 08, 2013

收件日期：2013 年 08 月 27 日

接受日期：2013 年 11 月 08 日

Introduction

The genus *Cheilolejeunea* is a large pantropical genus of the family Lejeuneaceae. Since 2008, three new records have been added to the Taiwanese *Cheilolejeunea* flora (Yang and Lin 2008; Yang and Lin 2012). Furthermore, *Leucolejeunea* was treated as a synonym of *Cheilolejeunea* (Ye and Zhu 2010). Thus a total of 13 species have been reported in Taiwan (Yang 2009; Yang and Lin 2012).

In our recent studies on *Cheilolejeunea* of Taiwan, we found a newly recorded species, *Cheilolejeunea nipponica* (S. Hatt.) S. Hatt., from Orchid Island. This paper briefly describes its characters with illustrations and provides information on its habitats and distribution.

Taxonomic Treatment

Cheilolejeunea nipponica (S. Hatt.) S. Hatt.,
Misc. Bryol. Lichenol. 1 (14): 1. 1957.

日本唇鱗蘚

Fig. 1

Description:

Plants minute, yellowish brown to dark

brown when dried. Stems up to 15 mm long, 51–74 μm in diameter, with leaves 0.43–0.68 mm wide, irregularly branched; ventral merophyte of the stem 2 cells wide; cross-section of the stem consisting of 7 epidermal cells and 8–9 much smaller medullary cells. Leaf-lobes imbricate, obliquely spreading, ovate, slightly falcate, 0.34–0.38 mm long, 0.23–0.26 mm wide, apex rounded, usually slightly incurved; margin entire. Cells of leaf lobes thick walled, trigones small to large and intermediate thickenings indistinct; marginal cells 11–16 $\times$ 9–12 μm , median cells 18–22 $\times$ 15–19 μm , basal cells 21–31 $\times$ 16–19 μm . Cuticle smooth. Leaf lobule ovate to oblong-ovate, 1/2–2/3 as long as the lobe, inflated; free margin sometimes slightly incurved; apex constricted; the first tooth indistinct; the second tooth acute, 1–2 cells long, usually incurved; keel slightly arched. Underleaves distant, 2–3 times as wide as the stem, 0.17–0.20 mm long, 0.15–0.19 mm wide, bilobed to ca. 1/3 of the underleaf length, transversely to subtransversely inserted. Autoicous. Androeceum usually terminal on long branches; bracts 3–8 pairs, closely imbricate; bracteole restricted to the base. Gynoeceum

usually terminal on long branches, with 1–2 subfloral innovations; bract lobes oblong, ca. 0.6 mm long, 0.3 mm wide, with acute apex and entire margin; bract lobule sublinear, ca. 3/5 as long as bract lobe; bracteole oblong to ovate, ca. 0.5 mm long and 0.3 mm wide, with entire margin. Perianth obovate, inflated, with 4–5 smooth keels.

Habitats:

Cheilelejeunea nipponica is usually found on rocks or on bark of trees, and sometimes on soil in lowland forests. In Japan, it is distributed from Honshu to Ryukyu at elevations of 60–400 m (Mizutani 1982). In China it is distributed in the southwest region below 800 m in elevations (Zhu *et al.* 2002). In Taiwan, the specimens were collected from soil, rocks and tree trunks in the tropical monsoon forests of Orchid Island at 20–200 m in elevations.

Distribution:

China and Japan (Mizutani 1961 and 1982, Zhu *et al.* 2002). New to Taiwan.

Specimens examined :

Taitung County: Orchid Island, near the Hsiaotienchih (小天池), on soil, mixed with *Frullania moniliata*, *Drepanolejeunea dactylophora*, *Radula apiculata*. and *Heteroscyphus planus*, ca. 200 m in elevation, 22°04'35" N, 121°30'34" E, 23 July 1997, *Chi-Da Wu et al. 1123a (TAIE, TUNG)*. Orchid Island, near the Hsiaotienchih (小天池), on rocks with thin layer of soil, ca. 200 m in elevation, 22°04'35" N, 121°30'34" E, 23 July 1997,

Chi-Da Wu et al. 1130 (TAIE, TUNG). Orchid Island, near the Chungai Large Bridge (忠愛大橋), on tree, at 20 m in elevation, 22°00'33"N, 121°34'14"E, 22 July 1997, *Chi-Da Wu et al. 1470 (TAIE, TUNG)*. Orchid Island, near the Hsiaotienchih (小天池), on stone, mixed with *Frullania moniliata*, ca. 200 m in elevation, 22°04'35"N, 121°30'34"E, 23 July 1997, *Chi-Da Wu et al. 1898a (TAIE, TUNG)*.

Remarks:

Cheilelejeunea nipponica is distinguishable from other species of *Cheilelejeunea* in Taiwan by having: 1) plants minute, with leaves usually less than 0.7 mm wide, 2) a large leaf lobule with strongly constricted apex, 3) apical tooth acute, 1–2-celled, 1–2 times as long as wide, usually incurved, 4) the bracteole of androecium restricted to the base. It is closely related to *Cheilelejeunea obtusifolia* (Steph.) S. Hatt.; however, the latter differs from *C. nipponica* by the unicellular, strongly elongated apical tooth, 3–6 times as long as wide, presence of male bracteoles throughout the androecium, and leaf lobes squarrose when moist. (Mizutani 1982; Yang and Lin 2012).

Acknowledgements

We are grateful to Chi-Da Wu who assisted in field works, and Kui-Chu Chen who assisted in plate preparation. This study was supported in part by the grants of National Science Council (102-2621-B-329-001-) and the Council of Agriculture, Taiwan.

Literature Cited

- Mizutani, M. 1961. A revision of Japanese Lejeuneaceae. Journal of the Hattori Botanical Laboratory 24: 115–302.
- Mizutani, M. 1982. Note on the Lejeuneaceae. 6. Japanese species of the genus *Cheilolejeunea*. Journal of the Hattori Botanical Laboratory 51: 151–173.
- Yang, J.-D. 2009. Liverworts and Hornworts of Taiwan I. Lejeuneaceae. Endemic Species Research Institute, Nantou, Taiwan.
- Yang, J.-D. and S.-H. Lin. 2008. *Cheilolejeunea falsinervis* (Marchantiophyta) newly recorded for Taiwan. Bryological Research 9(10): 319–321.
- Yang, J.-D. and S.-H. Lin. 2012. Two Species of *Cheilolejeunea* (Family Lejeuneaceae) Newly Recorded to Taiwan. Taiwan Journal of Biodiversity 14 (3–4): 63–73.
- Ye, W. and R.-L. Zhu. 2010. *Leucolejeunea*, a new synonym of *Cheilolejeunea* (Lejeuneaceae), with special reference to new combinations and nomenclature. Journal of Bryology 32: 279–282.
- Zhu, R.-L., M.L. So and Y.-F. Wang. 2002. The genus *Cheilolejeunea* (Hepaticae, Lejeuneaceae) in China. Nova Hedwigia 75: 387–408.

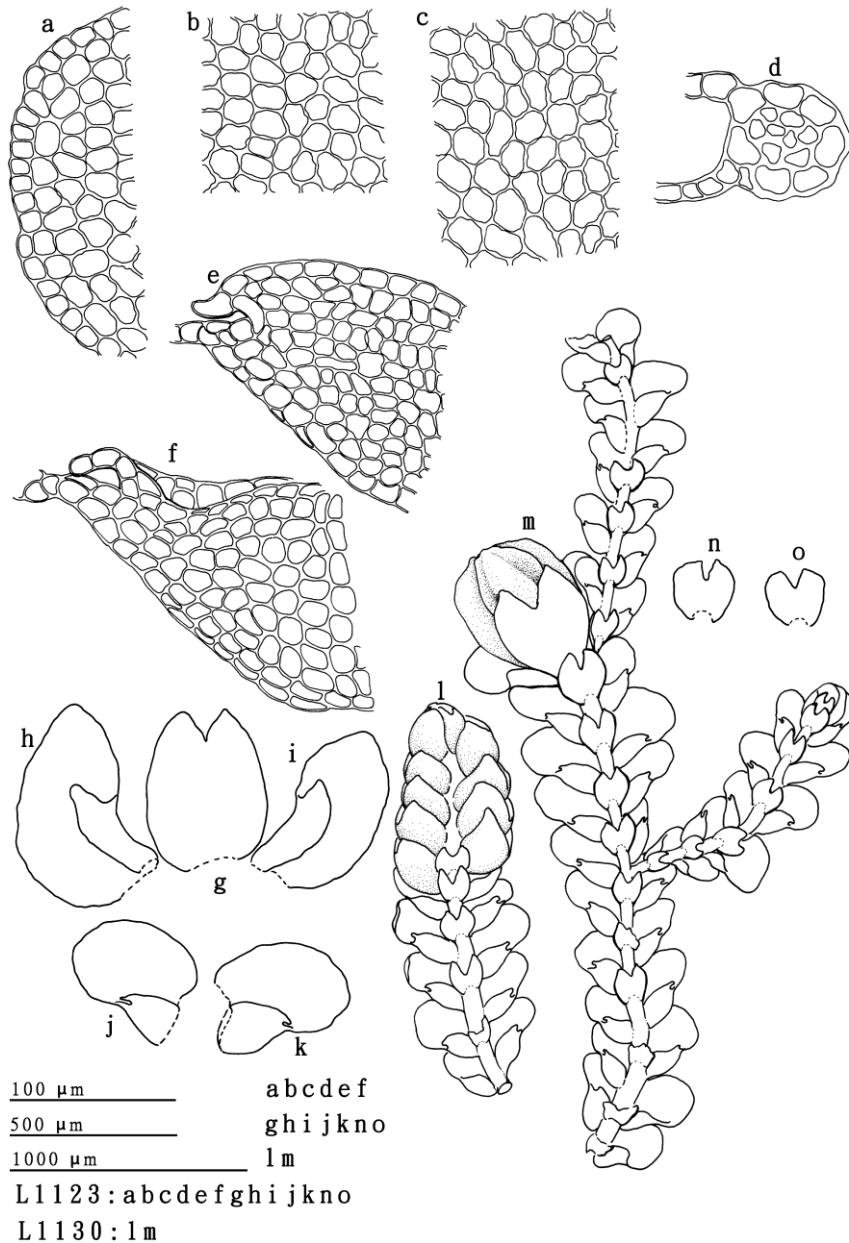


Fig. 1. *Cheilolejeunea nipponica* (S. Hatt.) S. Hatt. a, cells near the leaf apex; b, median cells of leaf lobe; c, cells near the leaf base; d, cross-section of stem; e–f, leaf-lobules; g, female bracteole; h–i, female bracts, j–k, leaf lobules; l, ventral view of male branches; m, ventral view of a portion of plant, with female branch and perianth; n–o, underleaves (Drawn from *Chi-Da Wu et al. 1123a, 1130*).

《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，來稿以完整 WORD 格式文稿電子檔傳送至「台灣生物多樣性研究」期刊編輯委員會電子信箱(email: tjbd@tesri.gov.tw)。
- 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，但經刊登之文稿將提供 Pdf 檔給作者，不另贈送抽印本。
- 六、來稿由本刊送請相關學者專家審查、簽註意見或修改，如需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、通訊作者需在期刊出版前簽署文稿版權轉移同意書給期刊編輯室。

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 3 公分，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，標題需中英文並列，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、發表刊物名稱(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 manuscript by online in WORD format to the e-mail address: tjbd@tesri.gov.tw.
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.

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.