

台灣生物多樣性研究

第 24 卷第三期
Vol.24 ,No.3

Taiwan Journal of Biodiversity

中華民國 111 年 6 月
Jun 2022



● 目 錄

1. 臺灣旱招潮族群消長、分布變遷及棲息環境特徵分析
劉靜榆¹、林惠真²、洪昆璿³
77. 台灣產蘆屬（莎草科）植物功能形質與土壤濕度梯度之間的關係：以鴛鴦湖為例
劉冠廷^{1 2*}、陳子英²
96. 葉綠素螢光在植物生態生理學研究之應用
王經文¹ 黃盟元² 陳忠偉³ 陳忠義⁴
翁韶良^{1*} 翁仁憲^{2*}

contents ●

1. Succession, distribution, and habitat characteristics of *Xeruca formosensis* in Taiwan
Ching-Yu Liou¹, Hui-Chen Lin², Kun-Chin Hung³
77. The relationship between functional traits of *Carex* (Cyperaceae) species and soil moisture gradient: a case study of Yuanyang Lake
Guan-Ting Liu^{1 2*}, Tze-Ying Chen²
96. Applications of Chlorophyll Fluorescence in Plant Eco-physiological Research
Ching-Wen Wang¹, Meng-Yuan Huang², Chung-Wei Chen³, Chung-I Chen⁴, Shau-Lian Wong^{1*}, Jen-Hsien Weng^{2*}

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 / 楊嘉棟

總編輯 / 薛美莉

執行編輯 / (依姓氏筆劃序)

王經文、朱汶偵、李麗華、呂明倫
林春富、柯智仁、陳志輝、黃書彥
楊正雄、詹芳澤、鄭錫奇、蔡奇立

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、陳章波、陳明義、許建昌
張清風、黃 生、游祥平、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 / 金恆鏞

出版編輯 / 王經文

美 編 / 黃淑芬

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 616

網址 / <http://www.tesri.gov.tw>

出版日期 / 中華民國 111 年 6 月

創刊日期 / 中華民國 88 年元月

出版登記 / 局版台誌第 10207 號

Taiwan Journal of Biodiversity

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

Publisher/Jia-Dong Yang

Editor-in-chief/Mei-Li Hsueh

Executive Editors/

Ching-Wen Wang

Li-Hua Lee,

Chun-Fu Lin,

Chih-Hui Chen,

Cheng-Hsiung Yang,

Hsi-Chi Cheng,

Wen-Chen Chu

Ming-Lun Lu,

Chie-Jen Ko,

Shu-Yen Huang

Fang-Tse Chan,

Chi-Li Tsai,

Editorial Board/

Hon-Tsen Yu,

Ying Wang,

Shin Wang,

Fu-Yuan Lue,

Ching-Ming Wang,

Homer C. Wu,

Chi-Guang Wu,

Hsing-Juh Lin,

Chen-Meng Kuo,

Chang-Po Chen,

Ching-Fong Chang,

Hsiang-Ping Yu,

Jeng-Chuan Yang,

Kurtis Jai-Chyi

Lucia Liu Severinghaus,

Huei-Yann Joann Jeng,

Tzen-Yuh Chiang

Lee-Shing Fang,

Jenn-Che Wang,

Kuang-Yang Lue,

Ling-Ling Lee,

Chang-Hung Chou,

Shi-Kuei Wu,

Kwang-Tsao Shao,

Yao-Sung Lin,

Ming-Yih Chen,

Chien-Chang Hsu,

Shong Huang,

Ping-Shish Yang,

I-Chiu Liao,

Jung-Tai Chao,

Chu-Fa Tsai,

Chern-Hsiung Ou,

English Editors/Hen-Biau King,

Publishing Editors/Ching Wen Wang

Published by Endemic Species Research Institute

1 Min-Sheng E. Road, Jiji, Nantou 55244,

Taiwan, R.O.C.

Tel: 886-49-2761331 ext. 616

<http://tesri.tesri.gov.tw>

Published Date: June 2022

GPN: 2009900002

ISSN: 2076-6971

臺灣旱招潮族群消長、分布變遷及棲息 環境特徵分析

Succession, distribution, and habitat characteristics of *Xeruca formosensis* in Taiwan

劉靜榆¹、林惠真²、洪昆璿³

Ching-Yu Liou, Hui-Chen Lin, Kun-Chin Hung

¹ 行政院農業委員會特有生物研究保育中心 南投縣集集鎮民生東路 1 號

² 東海大學 台中市西屯區台灣大道四段 1727 號

³ 東海大學 台中市西屯區台灣大道四段 1727 號

Endemic Species Research Institute, Chichi, Nantou, Taiwan

Email : lcy@tesri.gov.tw

Tunghai University, No.1727, Sec.4, Taiwan Boulevard, Xitun District, Taichung City
407224, Taiwan R.O.C.

Email : hclin@thu.edu.tw

Tunghai University, No.1727, Sec.4, Taiwan Boulevard, Xitun District, Taichung City
407224, Taiwan R.O.C.

Email : x12127802@hotmail.com

摘要

臺灣早招潮是招潮蟹的特有屬中的特有種。由於它主要分布在高潮位以上的泥灘海岸帶，數十年前曾經因人為開發，導致族群嚴重萎縮，有滅絕之憂。本研究自 2019 年至 2021 年，盤點臺灣 6 處臺灣早招潮族群，將其棲地依河口和地理位置，劃分為香山濕地、高美濕地、大肚溪口、濁水溪口、八掌溪口、曾文溪口等，共規劃 23 個採樣站、185 個 4 m² 的樣區、124 個土壤質地樣區及測量 79 個水質樣點。此外，本研究並回溯 1992-2018 年之調查資料，分析臺灣早招潮的族群消長及棲地特性。臺灣早招潮主要分布在壤質砂土、砂質壤土、砂質黏壤土的高潮線位置，沿著河岸上溯遠達 3-6 公里地區，而香山及高美濕地沿著海岸分布的族群，因周邊長年有淡水排入。香農多樣性指數相對較高的為出現在高美濕地和大肚溪口的樣區內，濁水溪口的族群呈現大面積單一優勢；降趨對應分析 14 種蟹類在 185 個樣區之分布序列，顯示濁水溪口的蟹種組成與其他地理位置分區不同。各種人為開發以及栽植紅樹林或海岸侵蝕，皆會導致棲地流失，進而威脅族群。臺灣早招潮蟹最大的危機是其族群主要分布區大多僅列入重要濕地，卻不在野生動物保護區的範圍，雲林濁水溪口兩岸及臺西海園是目前完全沒有任何法規保護，棲地隨時會被開發利用。

關鍵字：臺灣早招潮、香山濕地、高美濕地、大肚溪口、濁水溪口、八掌溪口、曾文溪口、土壤質地

Abstract

Xeruca formosensis is an endemic genus and species in Taiwan. Distributed mainly in the supratidal zone of the mudflat coast, *Xeruca formosensis* has suffered from habitat destruction for decades, heading towards serious population decline and almost a threatened extinction. This study focuses on six stable populations of *Xeruca formosensis* in the tidal zones of Taiwan from 2019 to 2021. Our study was conducted in Siangshan Wetland, Gaomei Wetland, Dadu estuary, Choshui estuary, Pachang estuary, and Tsengwen estuary. A total of 14 crab species from 185 sampling plots (4 m² per plot) were recorded. In addition, we have included 124 sampling plots for soil texture, and 79 sampling points for hydrology and water quality. Previous data collected from 1992 to 2018 were analyzed to understand the growth and decline of *Xeruca formosensis*, and to explore habitat characteristics and changes in different habitats in Taiwan. *Xeruca formosensis* was mainly distributed in loamy sand, sandy loam, and sandy clay loam in the high tide area along the riverbank, reaching upstream to as far as 3-6 kilometers from the sea shore in the Dadu estuary, Choshui estuary, Pachang estuary, and Tsengwen estuary. By contrast, distribution of *Xeruca formosensis* along the coasts in Siangshan Wetland and Gaomei Wetland was probably due to the long-term fresh water discharge from the surrounding area. Analysis show that the Shannon's index was higher in both Gaomei Wetland and Dadu estuary than in the other four sites, and the largest population occurred in the Choshui estuary among all sites. In the detrended correspondence analysis of 14 crab species in 185 sampling plots, we found that the composition of crab species in the Choshui estuary was different from those in other geographic regions. Artificial developments, artificial planting of mangroves or coastal erosion are a threat to the habitats of *Xeruca formosensis* in Taiwan. Currently, the most populated areas of *Xeruca*

formosensis are only listed in Taiwan's Wetlands of Importance, but not included in the wildlife sanctuary. The Choshui estuary and Taixi Sea Park are currently not protected by any laws, and these habitats can be developed and used at any time.

Keywords: *Xeruca formosensis*, Siangshan Wetland, Gaomei Wetland, Dadu estuary, Choshui estuary, Pachang estuary, Tsengwen estuary, soil texture

前言

1975 年出版的 *Fiddler Crabs of the World* (Crane 1975) 提到 “台灣招潮蟹 (*Uca formosensis*) 於 1921 年發表為新種，其模式標本於 1919 年在彰化縣鹿港採集 (Rathbun 1921; Crane 1975)。本種在 2015 年被獨立為早招潮亞屬 *Xeruca*，為臺灣特有屬，即更名為臺灣早招潮 (*Xeruca formosensis*) (Shih 2015, Shih *et al.* 2016)。全球約有 100 種招潮，臺灣早招潮是臺灣 15 種招潮中唯一的特有種，同時也是唯一用福爾摩莎 (臺灣) 來命名的招潮蟹，是目前頗受關注的明星物種。

盤點 1992 年臺灣幾個數量較大的臺灣早招潮族群，分別在曾文溪口、大肚溪口及香山濕地 (劉等 1993，劉

等 1994，劉 1994a，劉 1994b，劉及李 1994，劉 1997，施 1997)。全臺最早針對臺灣早招潮生態與行為進行完整研究的族群位於大肚溪口的南岸 (李 1991)，當時是呈單一優勢分布。1996 年彰化縣濱海地區海埔地垃圾壓縮填海及土地再生利用計畫完成發包，第一期先行開發 26 公頃 (ha)，然因民眾抗爭，導致無法施作而停工，1998 年底復工，居民再抗爭，又停工。大肚溪口垃圾掩埋場動工就是在潮間帶最外圍築一道堤，並沒有在臺灣早招潮主要棲地上施工，卻造成這裡的族群巨幅下降，整個棲地原本有數百萬臺灣早招潮族群，1998 年大肚溪口臺灣早招潮族群就已是寥寥可數 (劉 1998，劉 1999，劉等 2000，

劉 2001，劉 2002，Shih *et al.* 1999)。2005 年彰化縣政府又在該棲地設立『台灣招潮蟹的故鄉』相關設施，卻將該處變成以弧邊管招潮與乳白南方招潮為優勢之棲地，大肚溪口臺灣旱招潮的族群，因不當施工造成的棲地改變，1991 年記錄的數十萬族群一度消失，之後仍持續有相關研究在此進行 (Shih *et al.* 2005，陳及李 2008，陳 2008，劉 2010，劉 2012)。

臺南曾文溪口的棲地自 1992 年開始進行生態調查，研究結果顯示曾文溪口之臺灣旱招潮總族群量應為當時全臺最大量 (劉等 1993，劉 1994，劉 1994a，劉 1994b，劉 1997，劉等 1999，劉和陳 2005，劉 2008，劉 2009，劉等 2010，湯及劉 2011，劉 2011)，2012 年針對 1992-1994 年及 2008-2010 年調查結果進行曾文溪口地區底棲蟹類群聚分析，探討臺灣旱招潮分布範圍、棲地特性及曾文溪口地區環境變遷等 (劉 2012)。

新竹客雅溪口與大庄里海岸曾經有龐大的臺灣旱招潮族群 (施 1997，

劉和陳 2006，劉 2008，劉 2010b，湯和劉 2011)，2005 年有 11.6 ha 臺灣旱招潮棲地成為水資源回收中心。為此，新竹市政府有執行自然生態調查及教育推廣工作計畫 (尤和張 2009)，在施工前中後期間補助相關學者進行一系列臺灣旱招潮的監測、復育研究 (陳和謝 2003，陳 2005，謝和陳 2005，謝和陳 2006，謝和陳 2007，楊 2007，楊 2008，朱等 2008，施 2008，黃 2008，曾 2009，楊 2011，楊等 2011，楊 2012，楊 2013)，以及棲地改善計畫 (朱等 2008，陳等 2009，楊 2010)。近十多年新竹市政府為了挽救臺灣旱招潮族群，花費了高額的經費移除紅樹林，以營造臺灣旱招潮的棲地 (林 2005，林等 2006，汪等 2007，Liao *et al.* 2008，施 2008，黃 2012，張 2012，張 2014，張 2014，楊和張 2014，劉 2015，楊 2017，楊 2019)。根據新竹市政府委託之台灣旱招潮蟹族群監測計畫結果顯示，香山濕地台灣旱招潮蟹棲息分佈已經擴張至紅樹林清除之後的高灘地，族群數量總數達 43 萬，證實移除

紅樹林有助台灣早招潮族群數量的增長與維持 (楊 2021)。

1999 年施習德整理文獻記載及現有的分布紀錄，包括宜蘭、基隆、淡水、竹圍、關渡、新竹浸水、三姓橋、海山罟、臺中高美、梧棲、麗水、彰化伸港、鹿港、芳苑、大城、雲林麥寮、澎湖菜園、青螺、嘉義東石、布袋、北門、臺南七股、青草崙、安平及高雄永安 (Shih *et al.* 1999, Shih 2015)。同時確認模式標本採集地 - 鹿港，因為工業開發成為彰濱工業區，棲地已消失，另宜蘭、基隆、澎湖等地族群確認滅絕。此外，高屏溪口曾經有記錄 (邱等 2004)，但後來也確認族群消失。

依據曾文溪口臺灣早招潮棲地特性研究 (劉 2015) 顯示，臺灣早招潮棲地位於高潮線際，起伏的地形將會限制潮水漫流，而平坦且坡度 5° 以下之緩坡有利潮水上溯，因此臺灣早招潮對棲地選擇要有夠寬廣的潮間帶才足以滿足其對棲地之需求，此外淡水的注入對臺灣早招潮也很重要，因為

位於高潮帶之棲地會成為鹽漬地，需要淡水週期性淹沒。

由於臺灣早招潮分布地點多在高潮位，因此洞穴深度多為 1 m 以上，交配期會築高塔，多數會在洞內交配，罕見洞外交配 (劉 2015)，抱卵母蟹釋幼後，幼生在河口區成功變態，完成整個生活史。幼生在河口區上溯，單靠著沿岸流，散播的機制受阻，又因為分布在最高潮位，故多人為開發之處，成為工業區、垃圾掩埋場、污水處理廠或開挖魚塭等。

本研究透過全臺各個臺灣早招潮分布區的調查，於 2019-2021 年設置樣區，並以無人載具空拍地形環境，記錄臺灣早招潮全臺的棲地特性，探討棲地變遷對其族群分布消長之影響。為了解臺灣早招潮分布地環境，本研究在進行底棲動物群聚調查時，亦針對周邊的水域進行基礎水質、土壤質地等檢測工作。臺灣的臺灣早招潮分布現況、分布消長及棲地變遷研究採用資料分別來自 1992-2021 年不同的研究計畫，包括臺灣西南沿海生

物資源調查 (劉等 1993, 劉等 1994)、野生動物保護區環境監測模式建立之研究 (劉等 1999, 劉等 2000)、沿海濕地棲地劣化之現況評估與保育策略之探討 (劉等 2005, 劉等 2006)、新竹市濱海野生動物保護區臺灣早招潮蟹族群監測及經營管理之研究 (劉 2015)、曾文溪河岸臺灣早招潮蟹族群分布及棲地維護 (劉和陳 2020)、臺中海岸濕地重金屬監測及蟹類生物群聚研究 (劉 2020) 等, 雖然年度不同, 但調查人員及環境因子檢測操作方式相同, 本研究依據歷史資料、本次調查之樣區、環境因子的資料等, 分析探討不同棲地的族群消長及棲地特性與變遷。

材料與方法

一、全臺海岸潮間帶臺灣早招潮可能分布區普查與採樣站設置

本研究自 2016 年 8 月起針對臺灣早招潮的棲地進行普查, 包括: 宜蘭、基隆、淡水、竹圍、關渡、桃園新屋溪口、新竹新豐濕地、新竹之香山濕地 (包括客雅溪口、三姓溪口、

大庄濕地、朝山、海山罟濕地、鹽港溪口)、苗栗之中港溪口、後龍溪口、臺中之大安溪口、大甲溪口、高美濕地、彰化之大肚溪口、大城濕地、雲林之濁水溪口、臺西海園、嘉義之鰲鼓濕地、朴子溪口、好美寮濕地、臺南之八掌溪口、急水溪口、曾文溪口、高雄之高屏溪口、林園濕地、屏東之大鵬灣、林邊溪口及北勢溪等。普查後確認臺灣早招潮穩定族群分布在客雅溪口以南至鹽港溪口以北之海岸、大甲溪口以南至清水大排以北之海岸, 大肚溪口、濁水溪口分布海岸及溪流兩岸, 另八掌溪口和曾文溪口則以溪流兩岸為主要分布區, 圖 1 將臺灣海岸潮間帶穩定臺灣早招潮族群分布之採樣地點標示於 ArcGIS 圖層中。

二、臺灣早招潮樣區調查方法

全臺海岸潮間帶穩定臺灣早招潮族群分布之採樣調查, 先依據地理位置分區 (geographical region), 新竹客雅溪南側至鹽港溪之香山濕地 (三姓溪口、大庄溪口、朝山濕地、海山罟濕地、鹽港溪口臺 61 線東側)、臺中大

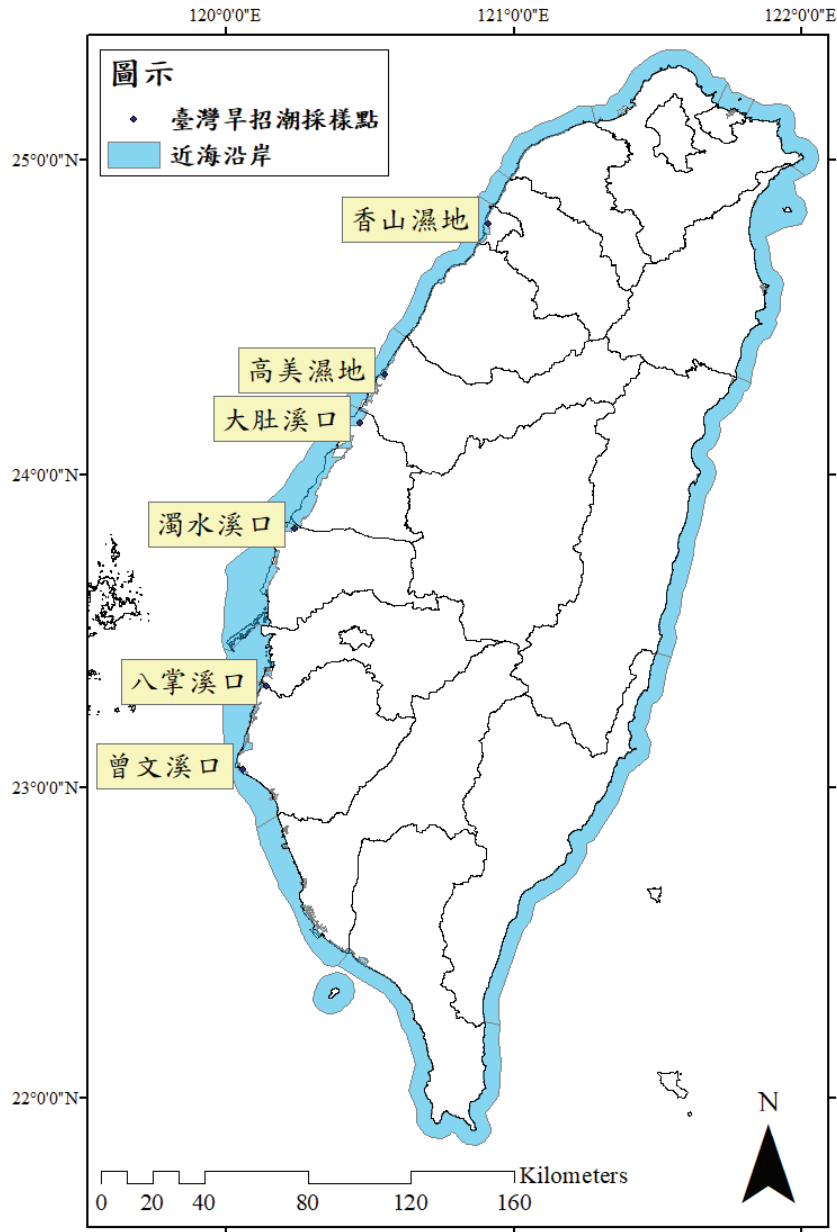


圖 1. 臺灣海岸潮間帶依河口和地理位置劃分之臺灣早招潮採樣站 (香山濕地、高美濕地、大肚溪口、濁水溪口、八掌溪口、曾文溪口)。

Fig.1. *Xeruca formosensis* sampling stations in the tidal zones of Taiwan according to estuary and geographical location (Siangshan Wetland, Gaomei Wetland, Dadu estuary, Choshui estuary, Pachang estuary, Tsengwen estuary).

甲溪口南側(高美濕地)、臺中大肚溪口北岸(麗水濕地、龍井濕地)、彰化大肚溪口南岸(伸港濕地)、彰化濁水溪口北岸(大城濕地)、雲林濁水溪口南岸(麥寮濕地)、雲林臺西海園、臺南八掌溪北岸、八掌溪南岸及臺南曾文溪北岸、曾文溪南岸。再依微棲地狀況細分採樣站(sampling stations)，規劃採樣站，各採樣站內依據蟹類地表活動數量，選擇設置 4 m² 的樣區(sampling plots) 進行調查。

1. 數位影像法：針對臺灣旱招潮族群分布區，沿水分梯度在均質(homogeneous) 棲地設置樣區。由於臺灣旱招潮洞外活動範圍平均超過 1 m，因此設置 4 個緊鄰 1 m² 的樣區(plot)。調查時先以廣角鏡頭拍攝大範圍蟹類地表活動數量，再局部採用攝影連續畫面，現場進行臺灣旱招潮地表活動族群數量計算，無法辨識者，立即以挖掘法確認。
2. 挖掘法：於未出洞活動的季節，採用挖掘法，每個樣區由 4 個 50 cm×50 cm 分散於一均質棲地之小區

(subplot) 組成，即每樣區面積合計 1 m²，每小區以大鏟子從四方迅速挖掘，深 50 cm，同時檢視小區內是否還有更深的洞穴，針對洞穴的方向繼續挖掘，再將四個小區資料合併為一樣區資料。

3. 採用相當潮汐調查，即大潮過後兩小時到最低潮間的取樣時間，並結合數位影像法及挖掘法的資料，以期獲得最正確的族群數量。

三、臺灣旱招潮分布棲地之底棲蟹類群集分析

本研究將記錄不同棲地樣區之間物種組成和變化，但因為是針對臺灣旱招潮單一物種挑選棲地，因此本研究中將使用各物種對重要值(relative important value) 來進行物種群聚分析與降趨分析(DCA)。而各物種的重要值是藉由 4 m² 樣區內每蟹類之相對密度(density, 隻數)、相對頻度(frequency, 小區數目) 及相對優勢度(dominance, 生物量) 三項值之總和 300%，再換算為 100% 表示其相對重要值。其中，蟹種隻數(crab individual

numbers) 與樣區蟹類總隻數之比值為相對密度；每個樣區有 4 個小區，以每蟹種出現小區的數目計算相對頻度；而優勢度以生物量 (biomass) 概念估算，由於物種間體型上差異頗大，因此計算生物量時會以隻數予以權重調整，頭胸甲寬 2-6 cm 權重為 1，頭胸甲寬 1-2 cm 之權重減為 1/2、頭胸甲寬小於 1 cm 之權重減為 1/4，頭胸甲寬超過 6 cm 之權重增為 2。

四、微棲地之土壤質地及水質測定

採樣作業均以行政院環境保護署環境檢驗所公告之採樣法作業。

1. 土壤質地：選擇代表性的樣區 (sampling plot)，採取蟹類樣區範圍內上下兩層土樣，上層樣區為表層土，下層樣區是往下挖 30 cm 的位置所採取的土樣。土壤粒徑分析 (particle size distribution analysis) 以比重計法 (hydrometer method) 分析土壤粒徑計算砂粒 (sand, 2-0.05 mm)、粉粒 (silt, 0.05-0.002 mm) 與粘粒 (clay, < 0.002 mm) 之含量百分比 (Eshel *et al.* 2004)，可由質地三角圖 (textural triangle chart) 劃分質地等級 (textural class)。
2. 水質測定：選擇代表性的樣點的地表水 (sampling point) 於現場測量，以德國 WTW 196T 水質測定儀測定水溫 (water temperature)、導電度 (electrical conductivity)、鹽度 (salinity)、溶氧量 (dissolved oxygen)、氫離子濃度指數 (hydrogen ion concentration, pH)。
3. 土壤質地及水質資料採用 R studio 執行 pairwise Pre-MANOVA test，以便觀察各採樣點之間的差異，也以 R studio 軟體執行分布序列法 (ordination) 之主成分分析 (principal component analysis, PCA) (Jolliffe 1986) 計算各軸之特徵值 (eigen value)、變數負荷量 (variable loading)，繪出分布序列圖，探討各採樣點之間土壤質地及水質資料與臺灣早招潮及其共棲物種之關連性。
4. 地形變化：利用無人載具空拍，依據地面調查資料，透過 Google earth 的年度差異和歷史檔案去追溯。

五、臺灣旱招潮採樣站設置

依據本研究普查後確認臺灣旱招潮穩定族群分布區在客雅溪口至曾文溪口之間，針對臺灣旱招潮的族群數及棲地土壤質地、水質進行採樣。本研究從 6 處地理位置分區規劃 23 個採樣站，共計取得 185 個樣區 (表 1)，調查工作自 2019 年 8 月起至 2021 年 10 月間。

- (一) 新竹香山濕地之三姓溪、大庄、朝山、海山厝各取得 3 個樣區、美山取得 5 個樣區、鹽港濕地(鹽港溪口北岸之臺 61 線東側)取得 13 個樣區，共計 30 個樣區；
- (二) 臺中高美濕地之大甲溪口南側及番仔寮濕地(油管路)各取得 4 個樣區、頂海口圳取得 15 個樣區、下海口圳取得 24 個樣區，共計 47 個樣區；
- (三) 大肚溪口北岸臺中麗水濕地取得 8 個樣區、臺中福田濕地取得 4 個樣區、大肚溪口南岸彰化伸港濕地取得 15 個樣區，共計 27 個

樣區；

- (四) 水溪口南岸雲林麥寮濕地取得 15 個樣區、臺西海埔地有才寮排水南岸之臺西海園取得 3 個樣區，共計 26 個樣區；
- (五) 臺南八掌溪口北岸取得 2 個樣區及八掌溪口南岸取得 3 個樣區，共計 5 個樣區；
- (六) 臺南曾文溪口北岸沙洲取得個 4 樣區，曾文溪北岸海埔堤防水門取得個 18 樣區，曾文溪南岸河岸旁高灘地取得 10 個樣區，曾文溪南岸青草崙魚塢間排水溝取得 6 個樣區，曾文溪南岸青草崙堤防旁濕地取得 12 個樣區，共計 50 個樣區。

結果與討論

若依照地理分區，以濁水溪口地區的分佈面積最大，曾文溪口次之，最小的是八掌溪(圖 2)。細分各採樣站，仍然是濁水溪的南北兩岸分佈面積最大，曾文溪北岸海埔堤防週邊濕

表 1. 臺灣海岸潮間帶臺灣早招潮棲地之 6 處地理位置分區及 23 採樣站

Table 1. Twenty-three sampling stations in six geographical regions of *Xeruca formosensis* habitats in the tidal zones of Taiwan.

行政區	行政分區	地理位置名稱	面積合計 ha	地理位置分區	取樣範圍 ha	採樣站	編號	座標	樣區數
新竹	浸水 大庄 美山 朝山 海山 鹽水	香山濕地	47.10	浸水垃圾掩埋場南側	4.37	三姓公溪口	香1	24°48'02.9"N 120°54'52.1"E	3
				客雅水資源回收中心南側	5.41	大庄溪口	香2	24°47'42.1"N 120°54'59.1"E	3
				美山魚塭外濕地	19.40	美山濕地	香3	24°47'38.6"N 120°54'51.8"E	5
				海山漁港北側	4.91	朝山濕地	香4	24°45'57.8"N 120°54'36.3"E	3
				海山漁港南側	10.80	海山岩濕地	香5	24°45'23.9"N 120°54'16.3"E	3
				鹽港溪口北岸	2.21	鹽港濕地(2.2=1.39+0.82)	香6	24°44'46.9"N 120°54'09.2"E	13
台中	高北 高西	高美濕地	12.44	大甲溪口南岸	1.00	大甲溪口南岸	高1	24°19'32.3"N 120°33'10.5"E	4
				番仔寮海堤油管路	1.10	油管路番仔寮濕地	高2	24°19'23.9"N 120°33'07.2"E	4
	高美濕地木棧道北側			3.96	頂海口圳	高3	24°18'55.8"N 120°33'01.1"E	15	
	高美濕地木棧道南側			6.38	下海口圳	高4	24°18'37.2"N 120°32'58.5"E	24	
彰化	麗水 福田	大肚溪口	23.58	大肚溪口北岸台中電廠東側	1.15	麗水濕地	大1	24°12'39.9"N 120°29'37.0"E	8
				大肚溪口北岸台17線東側	3.73	福田濕地	大2	24°11'24.7"N 120°30'51.7"E	4
雲林	大城 麥寮 台西	濁水溪口	298.27	濁水溪口北岸	196.00	大城濕地	濁1	23°50'54.0"N 120°16'14.5"E	8
				濁水溪口南岸	102.00	麥寮濕地	濁2	23°49'45.0"N 120°14'11.5"E	15
				有才寮排水南岸	0.27	台西海園	濁3	23°44'07.7"N 120°10'34.7"E	3
台南	雙春	八掌溪口	6.44	八掌溪口北側河岸	1.44	八掌溪口北岸	八1	23°19'33.5"N 120°08'18.9"E	2
				八掌溪口南側河岸	5.00	八掌溪口南岸	八2	23°19'11.8"N 120°08'42.4"E	3
	七股 青草	曾文溪口	70.25	曾文溪口北側河岸	6.00	曾文溪口北岸沙洲	曾1	23°03'52.1"N 120°04'42.1"E	4
				曾文溪口北岸海埔堤	50.50	海埔堤防水門	曾2	23°05'04.7"N 120°05'26.3"E	18
				曾文溪口南側河岸	10.30	曾文溪口南岸	曾3	23°04'36.8"N 120°05'34.9"E	10
				曾文溪口南岸排水溝	1.00	青草崙魚塭間排水溝	曾4	23°04'38.5"N 120°05'55.7"E	6
				曾文溪口南岸青草崙堤	2.45	青草崙堤防旁濕地	曾5	23°04'21.0"N 120°05'47.4"E	12
樣區數合計 185									

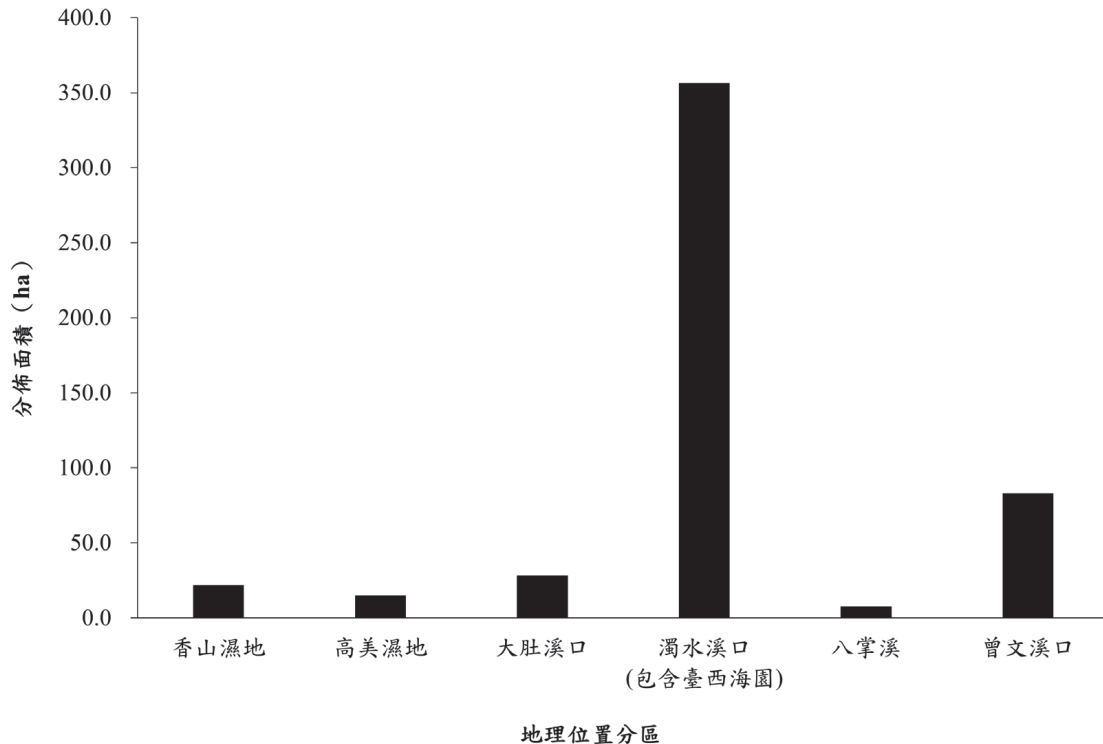


圖 2. 臺灣海岸潮間帶 6 處地理位置分區之臺灣早招潮棲地面積柱狀圖。

Figure 2. Histogram of *Xeruca formosensis* habitat area size in six geographical regions in the tidal zones of Taiwan.

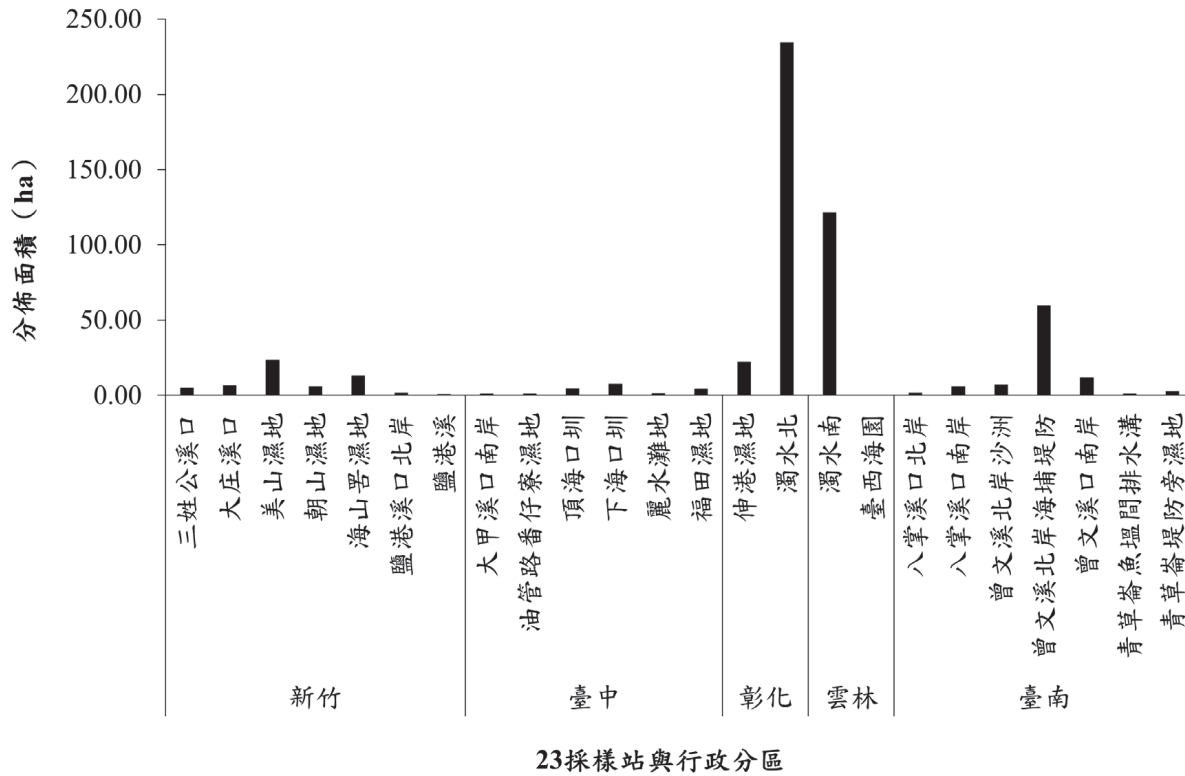


圖 3. 臺灣海岸潮間帶 23 採樣站之臺灣早招潮族群棲地面積柱狀圖。
 Fig.3. Histogram of *Xeruca formosensis* habitat area size in 23 sampling stations in the tidal zones of Taiwan.

地次之，其他地區的面積，受限於周邊的植群分布和人工利用等因素，都在 20 ha 以下 (圖 2)。

一、臺灣早招潮樣區調查結果

數位影像法對於洞穴很深的螃蟹，可以較為精準的計算數量，繁殖期也可以藉由計算高塔的數量，配合挖掘法，估計族群數，但若洞口無高塔，又逢非出洞活動時期，則族群數將嚴重低估，因此必須要多次重複於同一個樣區，長時間觀察，以準確的估算螃蟹活動高峰時間。

根據經驗，若當日潮水會淹到臺灣早招潮棲地，在滿潮前兩個小時臺灣早招潮就已陸續完成封洞，如果不會淹到，則臺灣早招潮會持續洞穴外活動，即使刮強風或下大雨也不進洞。

由於臺灣早招潮的洞穴總是很深，大多數超過 1 m，採樣深度 50 cm 仍不足以挖掘到臺灣早招潮，可以挖到臺灣早招潮常因該個體在緊急狀況進入其他蟹洞穴，而無法繼續往下逃竄，或是因為當時的地下水位很高。此外，雌招潮及小型螃蟹比較不易觀

察，若望遠鏡看不清楚或無法鑑識，就須採用挖掘輔助。

臺灣早招潮的洞穴深度與該棲地的地下水位高度有關，位於最高潮線的族群洞穴深度常常超過 1 m，因挖掘時有些成蟹會由分支通道逃離，本研究採樣深度雖然有 50 cm，仍難以挖掘到臺灣早招潮，挖掘樣區之資料易低估，本研究挖掘的 30 個樣區中有 16 個樣區先以望遠鏡確認為臺灣早招潮的洞穴，卻沒有採集到臺灣早招潮的個體，因此挖掘樣區的資料僅作為確認洞穴內交配狀況及不同潮位、季節洞穴內是否為雌雄成對之輔助參考。

數位影像樣區可記錄較高的單位面積族群數量，但調查時受到棲地狀況、不同潮位及季節影響，又受到臺灣早招潮洞穴內交配進度、是否出洞、出來活動之目的為揮舞、覓食、建築洞口等因素影響，需要長時間的記錄，才可以判斷正確之族群數，同一地點重複取樣只有最大值進入分析。

本研究因為是針對臺灣早招潮取樣，所以有出現臺灣早招潮的樣區才

列入分析，退潮時蟹類沒有出洞活動，即使樣區內有高塔，挖掘樣區有採集臺灣早招潮個體，也不列入分析。在 185 個臺灣早招潮樣區中，弧邊管招潮 (*Tubuca arcuata*) 出現樣區 152 個、乳白南方招潮 (*Austruca lactea*) 出現樣區 145 個、北方丑招潮 (*Gelasimus borealis*) 出現樣區 8 個、淡水泥蟹 (*Ilyoplax tansuiensis*) 出現樣區 6 個、萬歲大眼蟹 (*Macrophthalmus banzai*) 出現樣區 8 個、角眼切腹蟹 (*Tmethypocoelis ceratophora*) 出現樣區 8 個、德氏仿厚蟹 (*Helicana doerjesi*) 出現樣區 69 個、臺灣厚蟹 (*Helice formosensis*) 出現樣區 89 個、秀麗長方蟹 (*Metaplex elegans*) 出現樣區 6 個、近親擬相手蟹 (*Parasesarma affine*) 出現樣區 22 個、雙齒擬相手蟹 (*Parasesarma bidens*) 出現樣區 17 個、鋸緣青蟳 (*Scylla serrata*) 及兇狠圓軸蟹 (*Cardisoma carnifex*) 都只出現 1 個樣區 (表 2)。

根據觀察，退潮初期，洞外活動的族群數較多，以雌蟹為主，即將漲潮時，雄蟹在外活動比例較高。樣區內個體數合計在 185 個 4 m² 樣區中記

錄臺灣早招潮 10,107 隻次、弧邊管招潮 3,402 隻次、乳白南方招潮 8,196 隻次、北方丑招潮 105 隻次、淡水泥蟹 42 隻次、萬歲大眼蟹 111 隻次、角眼切腹蟹 111 隻次、德氏仿厚蟹 759 隻次、臺灣厚蟹 966 隻次、秀麗長方蟹 54 隻次、近親擬相手蟹 123 隻次、雙齒擬相手蟹 99 隻次、鋸緣青蟳及兇狠圓軸蟹都只出現 1 隻 (表 2)，共計 24077 隻次。

臺灣早招潮在 185 個樣區中出現數量最多的是在濁水溪口，單一個 4 m² 樣區有 186 隻，出現數量最少的是在八掌溪口，單一樣區有 36 隻 (表 3)。相對重要值也是在濁水溪口最高，有 2 個樣區達到 100% (表 4)，也就是 4 m² 的範圍內只有記錄到臺灣早招潮，然大多數的樣區都有混棲的物種，最常混棲的物種有乳白南方招潮、弧邊管招潮、臺灣厚蟹、德氏仿厚蟹，依據棲地類型、潮位變化、溫度等差異，記錄到的混棲蟹類的物種及數量會有不同。臺灣早招潮在樣區間的族群數差異很大，出現單一優勢的範圍以濁水溪口為最大，其餘地區皆小於

表 2. 臺灣早招潮棲地 185 個樣區 14 蟹種出現樣區數及個體數統計表

Table 2. Number of plots and individual numbers of 14 crab species in 185 sampling plots in *Xeruca formosensis* habitats, in the tidal zones of Taiwan.

中文名	學名	出現 樣區 數	4m ² 樣區 內個體 數合計	平均1m ² 樣區出現 個體數	標準差 STDEV.S
臺灣早招潮	<i>Xeruca formosensis</i>	185	10107	13.66	43.12
弧邊管招潮	<i>Tubuca arcuata</i>	152	3402	5.60	18.31
乳白南方招潮	<i>Austruca lactea</i>	145	8196	14.13	46.23
北方丑招潮	<i>Gelasimus borealis</i>	8	105	3.28	3.27
淡水泥蟹	<i>Ilyoplax tansuiensis</i>	6	42	1.75	1.38
角眼切腹蟹	<i>Tmethypocoelis ceratophora</i>	8	111	3.47	3.06
萬歲大眼蟹	<i>Macrophthalmus banzai</i>	8	111	3.47	4.00
德氏仿厚蟹	<i>Helicana doerjesi</i>	70	756	2.70	6.73
臺灣厚蟹	<i>Helice formosensis</i>	91	966	2.65	7.33
秀麗長方蟹	<i>Metaplax elegans</i>	6	54	2.25	1.66
近親擬相手蟹	<i>Parasesarma affine</i>	22	123	1.40	2.00
雙齒擬相手蟹	<i>Perisesarma bidens</i>	17	99	1.46	1.89
鋸緣青蟬	<i>Scylla serrata</i>	1	1	0.25	0.07
兇狠圓軸蟹	<i>Cardisoma carnifex</i>	1	1	0.25	0.07

表 3. 臺灣早招潮蟹 6 處地理位置分區內各種蟹類棲息密度取樣統計列表

Table 3. Statistics of crab individuals in *Xeruca formosensis* habitats in six geographical regions, in the tidal zones of Taiwan.

Number of sampling plots	Individuals in 4m ²	臺灣早 招潮	弧邊管 招潮	乳白南 方招潮	北方丑 招潮	淡水泥 蟹	角眼切 腹蟹	萬歲大 眼蟹	德氏仿 厚蟹	臺灣厚 蟹	秀麗長 方蟹	近親擬 相手蟹	雙齒擬 相手蟹	鋸緣青 蟬	兇狠圓 軸蟹
香山濕地 30	MAX	144.00	87.00	246.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.00	9.00	0.00	9.00	6.00	0.00	1.00
	AVERAGE	68.00	25.50	94.80	0.00	0.00	0.00	0.00	7.90	1.10	0.00	0.90	0.40	0.00	0.03
	STDEVA	33.97	25.60	51.65	0.00	0.00	0.00	0.00	9.10	2.43	0.00	2.25	1.52	0.00	0.18
高美濕地 47	MAX	117.00	57.00	144.00	18.00	0.00	18.00	18.00	21.00	39.00	0.00	9.00	12.00	0.00	0.00
	AVERAGE	46.02	15.83	60.19	0.57	0.00	1.28	1.15	5.62	5.04	0.00	0.77	0.96	0.00	0.00
	STDEVA	26.15	13.63	37.24	2.91	0.00	3.99	3.62	6.46	10.11	0.00	2.12	2.59	0.00	0.00
大肚溪口 27	MAX	78.00	57.00	159.00	0.00	12.00	24.00	6.00	27.00	21.00	12.00	9.00	12.00	0.00	0.00
	AVERAGE	30.56	19.00	28.00	0.00	1.33	1.89	0.33	8.89	6.56	2.00	1.67	1.11	0.00	0.00
	STDEVA	17.37	15.45	40.29	0.00	3.36	5.83	1.27	7.78	6.86	3.99	2.92	2.78	0.00	0.00
濁水溪口 26	MAX	186.00	36.00	138.00	0.00	0.00	0.00	48.00	3.00	27.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	AVERAGE	119.77	5.65	8.19	0.00	0.00	0.00	1.85	0.35	6.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	STDEVA	50.60	8.33	27.71	0.00	0.00	0.00	9.41	0.98	6.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
八掌溪口 5	MAX	36.00	75.00	135.00	9.00	3.00	0.00	0.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	AVERAGE	18.00	36.60	49.80	1.80	1.20	0.00	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	STDEVA	11.42	22.69	49.23	4.02	1.64	0.00	0.00	2.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
曾文溪口 50	MAX	111.00	78.00	126.00	33.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.00	0.00	9.00	6.00	1.00	0.00
	AVERAGE	37.50	21.00	26.10	1.38	0.00	0.00	0.00	0.00	6.72	0.00	0.30	0.24	0.02	0.00
	STDEVA	31.49	18.13	26.64	5.43	0.00	0.00	0.00	0.00	6.11	0.00	1.52	1.02	0.14	0.00

表 4. 臺灣早招潮蟹 6 處地理位置分區內各種蟹類相對重要性值列表

Table 4. Relative importance value of *Xeruca formosensis* habitats in six geographical regions, in the tidal zones of Taiwan.

Number of sampling plots			臺灣早招潮	弧邊管招潮	乳白南方招潮	北方丑招潮	淡水泥蟹	角眼切腹蟹	萬歲大眼蟹	德氏仿厚蟹	臺灣厚蟹	秀麗長方蟹	近親擬相手蟹	雙齒擬相手蟹	鋸緣青螞蟧	兇狠圓軸蟹
香山濕地	30	MAX	85.71	37.93	75.93	0.00	0.00	0.00	0.00	17.78	9.23	0.00	5.48	3.28	0.00	0.82
		AVERAGE	44.33	15.91	32.61	0.00	0.00	0.00	0.00	5.17	1.10	0.00	0.65	0.21	0.00	0.03
		STDEVA	17.83	12.58	19.13	0.00	0.00	0.00	0.00	4.94	2.25	0.00	1.61	0.79	0.00	0.15
高美濕地	47	MAX	86.70	57.10	90.20	26.10	0.00	5.90	16.70	20.30	23.10	0.00	20.00	17.40	0.00	0.15
		AVERAGE	41.59	15.77	29.02	0.74	0.00	0.37	1.32	4.81	3.83	0.00	1.18	1.37	0.00	0.00
		STDEVA	20.24	14.52	18.54	3.99	0.00	1.18	3.97	5.48	7.01	0.00	3.74	3.74	0.00	0.00
大肚溪口	27	MAX	92.30	58.10	72.60	0.00	12.80	10.00	6.90	26.90	23.30	14.30	12.50	14.30	0.00	0.00
		AVERAGE	39.33	21.64	14.00	0.00	1.41	0.59	0.38	9.37	7.66	2.06	2.06	1.53	0.00	0.00
		STDEVA	23.97	15.00	17.09	0.00	3.55	2.06	1.45	7.30	8.18	4.22	3.63	3.54	0.00	0.00
濁水溪口	26	MAX	100.00	34.50	76.70	0.00	0.00	0.00	25.80	2.20	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		AVERAGE	82.16	5.81	5.63	0.00	0.00	0.00	0.99	0.21	5.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		STDEVA	23.30	9.08	17.04	0.00	0.00	0.00	5.06	0.59	5.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
八掌溪口	5	MAX	41.40	82.00	69.20	11.80	3.40	0.00	0.00	6.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		AVERAGE	22.18	43.86	28.88	2.36	1.34	0.00	0.00	1.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		STDEVA	14.08	24.03	24.50	5.28	1.84	0.00	0.00	3.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
曾文溪口	50	MAX	97.20	76.50	72.40	40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.80	0.00	11.50	8.20	3.10	0.00
		AVERAGE	42.77	25.56	19.33	2.37	0.00	0.00	0.00	0.00	9.12	0.00	0.44	0.34	0.06	0.00
		STDEVA	25.01	20.14	20.37	8.21	0.00	0.00	0.00	0.00	8.34	0.00	2.18	1.44	0.44	0.00

4 m²。

二、臺灣早招潮分布棲地之底棲蟹類 群聚分析

(一) 樣區物種多樣性

本研究將 2019-2021 年臺灣早招潮族群分布棲息地所採集之 185 個樣區，計算樣區物種多樣性，表 5 列出每樣區之物種數、香農多樣性指數 (Shannon's diversity index) 及均勻度 (Evenness)。

由於臺灣早招潮分布的區域多位於高潮線，每個月會有相當的日數沒有被潮水淹沒，而形成完全乾涸的狀

態，能與其共棲的物種比較少，樣區中出現物種數最多 7 種，這些樣區多位於潮溝週邊的泥灘地，物種多的樣區，臺灣早招潮的數量也會比較低，香農多樣性指數相對較高的分別出現在高美濕地 (1.75) 和大肚溪口 (1.80) 的樣區內，潮水淹沒時間長的樣區物種多樣性指數較高，每個採樣站都有低潮位或是高潮位樣區，因此每一個採樣站的樣區間多樣性的數值有很大的差異。

濁水溪口的臺灣早招潮族群呈現單一優勢，特別在大城濕地有很大的範圍只有臺灣早招潮，因此取得的樣

區中有 2 樣區只有記錄到單一物種，多樣性等於 0，在此採樣站的其他樣區也常形成完全乾涸的狀態，因此多樣性偏低，所以濁水溪口是個特殊的棲息環境，其他的蟹種在這裡難以存活，族群數量相對偏低，但臺灣早招潮族群數可超過 40 隻 /m²，遠遠高於其他採樣站。

(二) 蟹類群聚組成結構分析

本研究藉由多變數統計分析蟹類群聚現象，部分樣區的乳白南方招潮

出現數量多，但物種間體型上差異頗大，因此計算生物量時以權重調整。群集分析結果 (圖 4) 顯示，分析在不同棲地樣區之間物種組成和數量的變化，但因為針對臺灣早招潮單一物種，所以樣區之間的棲地類型差異較小，但還是有部分棲地差異，因此也可以從群集的結果看出主要的共棲物種和次要的共棲物種。在底棲蟹類的群集分析結果，臺灣早招潮、弧邊管招潮、乳白南方招潮、德氏仿厚蟹、臺灣厚

表 5. 臺灣早招潮棲地 185 個樣區蟹類群聚香農多樣性指數表

Table 5. Shannon's diversity index in 185 sampling plots in *Xeruca formosensis* habitats in the tidal zones of Taiwan.

Sample	Index	Evenness	Num.Spec.	Sample	Index	Evenness	Num.Spec.	Sample	Index	Evenness	Num.Spec.	Sample	Index	Evenness	Num.Spec.	Sample	Index	Evenness	Num.Spec.
香1-1	0.54	0.77	2	高2-4	1.25	0.77	5	高4-22	0.86	0.62	4	濁1-8	0.00	0.00	1	曾2-10	1.29	0.80	5
香1-2	0.78	0.71	3	高3-1	0.91	0.83	3	高4-23	1.36	0.85	5	濁2-1	0.24	0.35	2	曾2-11	1.42	0.88	5
香1-3	0.65	0.94	2	高3-2	1.49	0.93	5	高4-24	1.50	0.94	5	濁2-2	0.38	0.55	2	曾2-12	1.16	0.83	4
香2-1	0.98	0.71	4	高3-3	1.55	0.96	5	大1-1	1.35	0.84	5	濁2-3	0.60	0.55	3	曾2-13	0.87	0.79	3
香2-2	0.98	0.90	3	高3-4	1.56	0.97	5	大1-2	1.49	0.92	5	濁2-4	1.00	0.72	4	曾2-14	0.79	0.72	3
香2-3	0.82	0.75	3	高3-5	1.47	0.92	5	大1-3	1.80	0.93	7	濁2-5	1.00	0.72	4	曾2-15	1.00	0.91	3
香3-1	1.05	0.96	3	高3-6	1.21	0.87	4	大1-4	1.68	0.86	7	濁2-6	0.45	0.41	3	曾2-16	1.37	0.99	4
香3-2	0.69	0.99	2	高3-7	1.01	0.92	3	大1-5	1.41	0.79	6	濁2-7	0.34	0.31	3	曾2-17	1.06	0.96	3
香3-3	0.84	0.60	4	高3-8	1.04	0.94	3	大1-6	1.58	0.88	6	濁2-8	0.45	0.41	3	曾2-18	1.17	0.85	4
香3-4	0.41	0.59	2	高3-9	1.09	1.00	3	大1-7	1.43	0.89	5	濁2-9	0.36	0.32	3	曾3-1	1.25	0.90	4
香3-1	0.72	0.65	3	高3-10	1.15	0.83	4	大1-8	1.67	0.93	6	濁2-10	0.17	0.24	2	曾3-2	0.69	1.00	2
香4-2	1.49	0.93	5	高3-11	1.33	0.96	4	大2-1	0.27	0.39	2	濁2-11	0.83	0.76	3	曾3-3	0.83	0.75	3
香4-3	1.36	0.85	5	高3-12	1.32	0.95	4	大2-2	0.66	0.48	4	濁2-12	0.65	0.59	3	曾3-4	1.36	0.98	4
香4-4	1.37	0.85	5	高3-13	1.56	0.97	5	大2-3	0.79	0.72	3	濁2-13	0.08	0.12	2	曾3-5	1.26	0.91	4
香5-1	1.20	0.86	4	高3-14	1.34	0.83	5	大2-4	0.89	0.81	3	濁2-14	0.24	0.22	3	曾3-6	1.31	0.95	4
香5-2	1.12	0.81	4	高3-15	0.54	0.39	4	大3-1	1.54	0.96	5	濁2-15	0.37	0.33	3	曾3-7	1.01	0.92	3
香5-3	1.39	0.86	5	高4-1	0.86	0.79	3	大3-2	0.76	0.69	3	濁3-1	0.64	0.58	3	曾3-8	0.55	0.79	2
香6-1	0.88	0.55	5	高4-2	1.06	0.77	4	大3-3	1.42	0.80	6	濁3-2	1.05	0.96	3	曾3-9	0.82	0.75	3
香6-2	1.27	0.92	4	高4-3	0.97	0.70	4	大3-4	1.51	0.94	5	濁3-3	0.66	0.60	3	曾3-10	1.12	0.81	4
香6-3	1.34	0.83	5	高4-4	1.75	0.90	7	大3-5	1.55	0.87	6	八1-1	1.08	0.99	3	曾4-1	1.28	0.93	4
香6-4	1.27	0.92	4	高4-5	1.74	0.90	7	大3-6	1.74	0.90	7	八1-2	1.27	0.91	4	曾4-2	1.20	0.87	4
香6-5	1.19	0.86	4	高4-6	1.43	0.89	5	大3-7	1.49	0.83	6	八2-1	0.66	0.48	4	曾4-3	1.21	0.87	4
香6-6	1.25	0.78	5	高4-7	1.40	0.87	5	大3-8	1.11	0.80	4	八2-2	0.83	0.76	3	曾4-4	1.18	0.85	4
香6-7	1.27	0.92	4	高4-8	0.92	0.83	3	大3-9	0.90	0.65	4	八2-3	1.27	0.79	5	曾4-5	1.18	0.85	4
香6-8	1.21	0.87	4	高4-9	0.91	0.83	3	大3-10	0.49	0.44	3	曾1-1	1.17	0.84	4	曾4-6	1.02	0.93	3
香6-9	1.44	0.89	5	高4-10	1.09	0.68	5	大3-11	1.32	0.82	5	曾1-2	0.74	0.68	3	曾5-1	0.97	0.70	4
香6-10	1.51	0.84	6	高4-11	1.12	0.70	5	大3-12	1.46	0.81	6	曾1-3	0.43	0.61	2	曾5-2	0.91	0.83	3
香6-11	1.31	0.81	5	高4-12	0.39	0.35	3	大3-13	1.26	0.78	5	曾1-4	1.36	0.85	5	曾5-3	0.67	0.61	3
香6-12	0.60	0.55	3	高4-13	0.99	0.62	5	大3-14	1.56	0.87	6	曾2-1	0.98	0.90	3	曾5-4	0.86	0.78	3
香6-13	0.63	0.45	4	高4-14	0.94	0.68	4	大3-15	1.78	0.92	7	曾2-2	0.92	0.84	3	曾5-5	0.82	0.75	3
高1-1	1.02	0.74	4	高4-15	0.98	0.71	4	濁1-1	0.09	0.13	2	曾2-3	0.94	0.68	4	曾5-6	1.22	0.88	4
高1-2	0.89	0.81	3	高4-16	1.00	0.62	5	濁1-2	0.09	0.12	2	曾2-4	1.27	0.79	5	曾5-7	0.86	0.79	3
高1-3	0.99	0.72	4	高4-17	0.47	0.68	2	濁1-3	0.00	0.00	1	曾2-5	1.10	0.79	4	曾5-8	0.46	0.42	3
高1-4	1.01	0.73	4	高4-18	1.10	0.68	5	濁1-4	0.45	0.41	3	曾2-6	1.40	0.87	5	曾5-9	0.40	0.36	3
高2-1	0.94	0.68	4	高4-19	1.15	0.83	4	濁1-5	0.38	0.34	3	曾2-7	1.16	0.84	4	曾5-10	0.17	0.24	2
高2-2	1.03	0.94	3	高4-20	1.30	0.81	5	濁1-6	0.26	0.23	3	曾2-8	1.04	0.75	4	曾5-11	0.13	0.18	2
高2-3	1.19	0.86	4	高4-21	0.87	0.79	3	濁1-7	0.09	0.13	2	曾2-9	1.16	0.84	4	曾5-12	0.85	0.61	4

蟹是最常混合棲息優先連結，鋸緣青蟬和兇狠圓軸蟹因是偶爾出現，則最後連結 (圖 4)。

圖 5 顯示投影分佈圖以臺灣早招潮為中心，弧邊管招潮、乳白南方招潮、德氏仿厚蟹、臺灣厚蟹最靠近，左上端是萬歲大眼蟹和北方丑招潮，右下端是秀麗長方蟹和淡水泥蟹 (圖 5)。萬歲大眼蟹與北方丑招潮被劃分到第一軸的左側，是因為有調查到濁水溪口南岸的麥寮 (濁 2-12) 臺灣早招潮和大量的萬歲大眼蟹混棲現象，這兩種物種其他地區大範圍也會同時出

現，但在微棲地分布上有差異，取樣時不太會同時記錄到，有明確的分界線。同樣在第一軸最左側的北方丑招潮亦甚少和臺灣早招潮混棲，但卻在曾文溪口南岸數個樣區有記錄共域現象。更少和臺灣早招潮混棲的秀麗長方蟹分布在第一軸的右側與第二軸的下側，因為僅在大肚溪口南岸的伸港有較多紀錄，故可能較無法解釋與臺灣早招潮的共域關係。

而降趨對應分析的 185 個樣區中，分析結果顯示濁水溪的樣區除了臺西 (濁 3) 以外多為臺灣早招潮單一優勢，

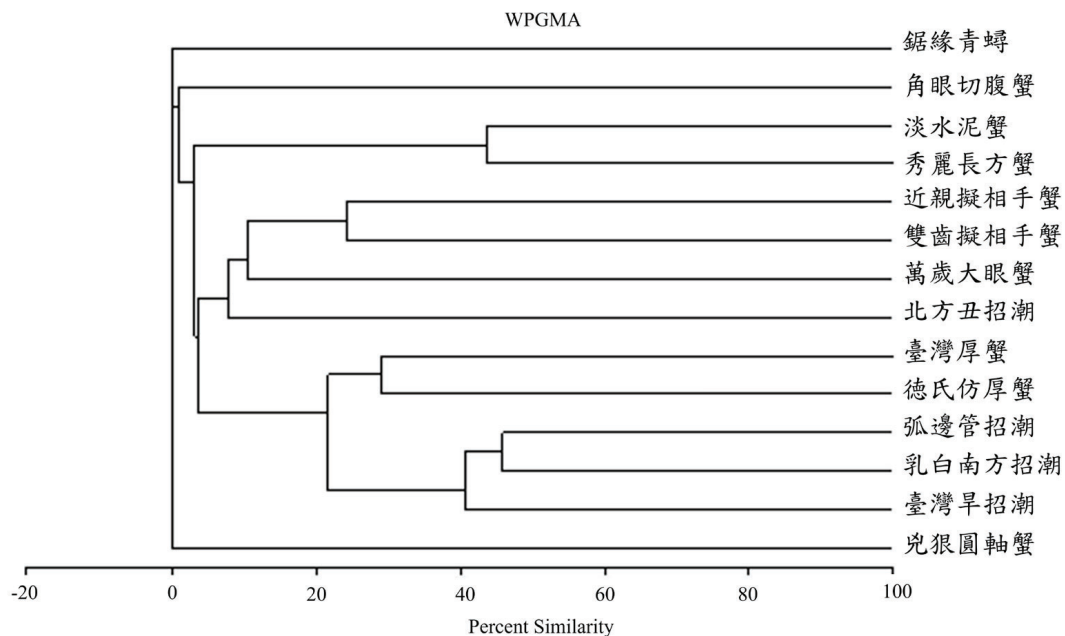


圖 4. 臺灣早招潮蟹棲地樣區 (N=185) 內 14 種蟹類共域關聯度群集分析樹狀圖。

Fig.4. A dendrogram showing similarity in 14 crab species in 185 sampling plots by cluster analysis.

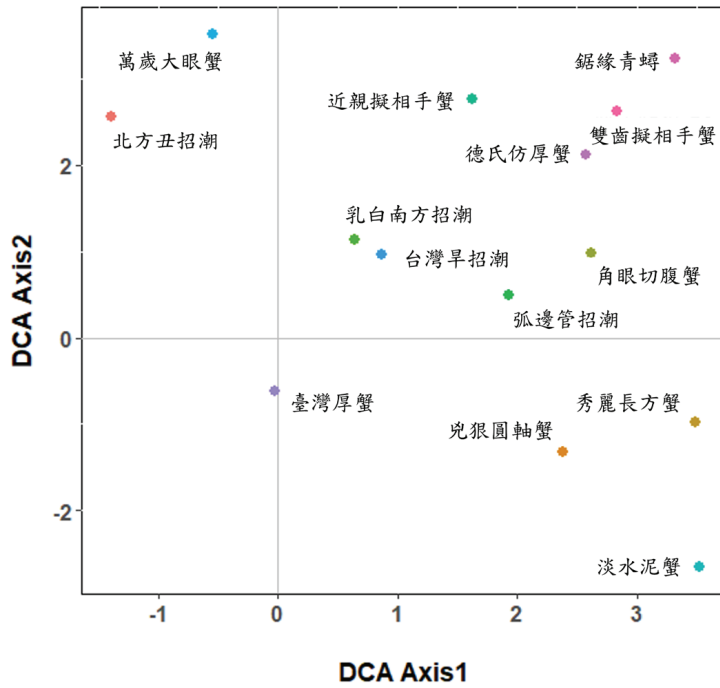


圖 5. 臺灣早招潮蟹棲地樣區 (N=185) 內 14 種共域蟹類分佈特徵 (物種相對重要值) 在 1、2 軸降趨平面之投影分佈圖。

Fig.5. Ordination of 14 crab species along the first two DCA axes by detrended correspondence analysis.

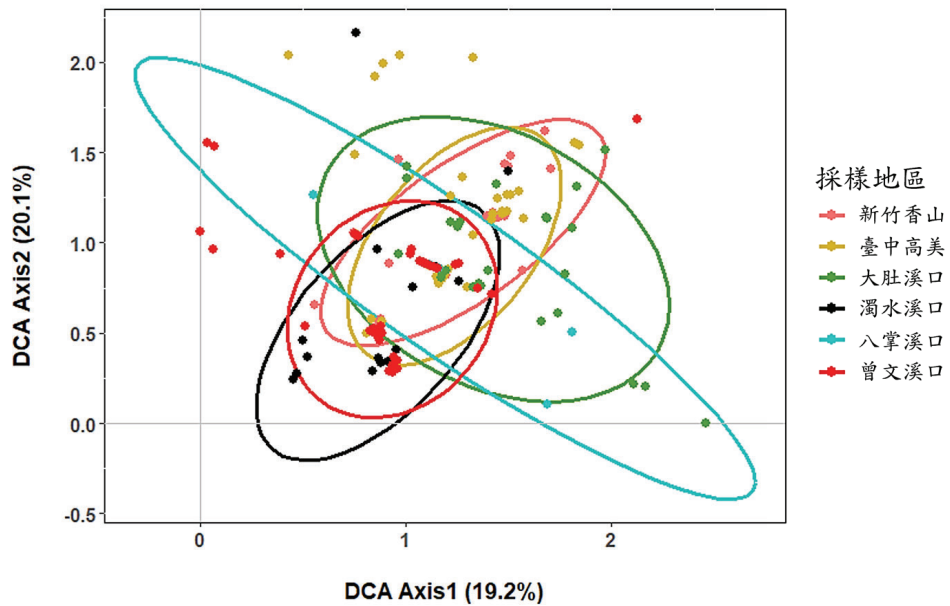


圖 6. 臺灣早招潮蟹 6 處地理位置分區個別樣區 (N=185) 個樣區在 1、2 軸降趨平面之投影分佈圖。

Fig. 6. Ordination of 185 sampling plots in six geographical regions along the first two DCA axes by detrended correspondence analysis.

所以全部都集中在中間（黑色圓圈範圍），與曾文溪口物種較為接近（圖 6）。大肚溪的棲地類型較偏泥灘地，所以有多種屬於泥灘地的螃蟹分布，台灣旱招潮則會呈現與泥灘地類型的螃蟹種類混棲。香山濕地目前有分布台灣旱招潮的樣區，棲地類型較偏砂質灘地，與其他溪口類型棲地較為不同，但是跟高美濕地略為接近。而八掌溪除了跟香山一樣偏砂質以外，棲地也相對較小，因此台灣旱招潮與不同物種共域性較高，也就是棲地類型多樣性較高（圖 6）。

三、微棲地土壤質地及水質測定

為了解台灣旱招潮分布地環境，本研究在進行底棲動物群聚調查時，針對各個台灣旱招潮分布的土壤質地進行採樣，周邊的水域亦進行基礎的水質檢測工作，調查工作自 2019 年 8 月起至 2021 年 10 月間。

土壤質地依據本研究所規劃之地理位置分區及採樣站（表 1）進行採樣，每蟹類樣區範圍內採集上下兩層的土樣，上層樣區為表層土，下層樣區為

同地點 30 cm 採取的土樣。土壤質地樣區因曾文溪口北岸沙洲採樣站（曾 1）缺資料，共計 22 個採樣站，少部分缺下層樣區資料，取得 124 個樣區進入分析。

水質檢測工作依據本研究所規劃之地理位置分區及採樣站（表 1）於現場測量，進行時受限於當時潮位及地形，有時候因為退潮的因素，棲地上沒有水可以測量，或是數個樣區只有一條水道的水源進入，但也有些採樣站會有兩條以上的水流，這些因素讓水質地數據無法和採樣的樣區做對應分析。週邊水質的調查因曾文溪口北岸沙洲採樣站（曾 1）缺資料，共計 22 個採樣站，測得 79 個樣點。

（一）台灣旱招潮棲地樣區之土壤質地

1. 各地理分區土壤質地敘述統計

本研究進行全臺各個台灣旱招潮分布的土壤質地調查，分析 124 個樣區有 89.8% 的土壤類型為壤質砂土或砂質壤土，6.5% 為砂質黏壤土，僅 4% 為砂土。土壤質地砂粒最大值 93%、最小值 51%、平均值 70.6(SD=11.1)；

砂粒最大值 32%、最小值 3%、平均值 17.6(SD=7.7)；粘粒最大值 25%、最小值 4%、平均值 11.7(SD=4.9)。

若將土壤質地依照地理分區(圖 7)，香山濕地分析 34 個樣區土壤質地，砂粒平均值 76.91(SD=9.32)，與八掌溪口的 77.88(SD=10.40)，都是偏砂質。高美濕地分析 16 個樣區，土壤質地砂粒平均值 23.38(SD=6.89)，較多砂質壤土，濁水溪口分析 16 個樣區，砂粒平均值 21.81(SD=7.63)，除砂質壤土外，有部分為砂質黏壤土。曾文溪口分析 24 個樣區，土壤質地粘粒平均值 13.71(SD=4.15)，大肚溪口分析 26 個樣區，土壤質地粘粒平均值 12.77 (SD=5.13)，部分樣區屬於偏壤土或黏壤土。

2. 各樣區土壤粒徑分析

本研究將採樣的土壤粒徑經由 One way-PERMANOVA 分析，結果顯示 2021 年的香山區粒徑組成與高美、濁水溪、曾文溪等地理分區之採樣站差異顯著較大，而八掌溪因為和香山區粒徑都是偏粗，大肚溪口因為採樣站間差異較大，所以與香山區粒徑差

異不顯著。其他區域之間的臺灣早招潮棲地的粒徑組成沒有太大的差異，顯示臺灣早招潮對土壤質地的選擇，偏好濁水溪、曾文溪等地，砂粒比例較高的砂質壤土。特別值得注意的是，海山港漁的北側的朝山濕地和鹽港溪口北岸之臺灣早招潮蟹棲息地都緊鄰著沙丘，大庄溪口南側的美山濕地，在紅樹林完全移除後，土壤粒徑迅速增大，特別在美山濕地北端，部分地區已經成為沙土，這些紅樹林移除後，週邊的粗顆粒沙覆蓋在表層，造成上下兩層的粒徑很大差異的地方，可以看到不同種招潮蟹族群優勢度的轉變。而 2020-2021 年的香山區粒徑組成與 2012 年香山區的粒徑組成有顯著差異 ($F_{6, 166} = 6.89, P < 0.05$)，意味著 2012 年的香山底質組成粒徑較小(表 6)。意味著 2012 年的香山底質組成粒徑較小，而現在的香山區粒徑則有變大的趨勢(圖 7)。

部分樣區土壤上層下層有差異，普遍來說上層的含沙量較高，粘粒的比例較低，朝山臺灣早招潮棲地上層的含沙量顯著較高，美山則是較 2012

表 6. 土壤粒徑在 7 處地理位置分區之 one way-PERMANOVA 差異顯著性

Table 6. Significance of the pseudo-F-statistic described of the soil particle size between seven geographical regions by one way-PERMANOVA

採樣地點	2021 香山濕地	高美濕地	大肚溪口	濁水溪	八掌溪
2021 香山濕地	-	0.02 *	0.48	0.02 *	1
高美濕地	R ² =0.19	-	1	0.34	0.4
大肚溪口	R ² =0.09	R ² =0.08	-	0.97	1
濁水溪	R ² =0.28	R ² =0.17	R ² =0.08	-	0.19
八掌溪	R ² =0.01	R ² =0.22	R ² =0.08	R ² =0.29	-
曾文溪	R ² =0.25	R ² =0.16	R ² =0.03	R ² =0.03	R ² =0.26
2012 香山濕地	R ² =0.19	R ² =0.19	R ² =0.24	R ² =0.29	R ² =0.09

年的含沙量較高。較特別的為曾文溪南岸青草崙堤防旁的廢棄魚塭的沙含量上層和其他的大致相同，但是下層的含沙量竟然高達 93%，屬於砂質土，顯然是有大型的擾動，讓較為細顆粒的土壤覆蓋在砂質土地上面。同樣的高美油管路番仔寮濕地也有下層含沙量高的現象。

檢視 2019-2021 年臺灣旱招潮棲地 6 處地理位置分區與 2012 年香山濕地之分布序列圖 (圖 8)，香山目前臺灣旱招潮棲地，於 2012 年時，因為有紅樹林，紅樹林內的顆粒很小，但外圍是沙灘甚至沙丘，其顆粒很大，所以以主成分分析結果，2012 年香山濕地分散於序列圖左下方。相對的，濁水溪口粉粒、粘粒比例較高，分散於

序列圖右上方。在對應臺灣旱招潮棲地 6 處地理位置分區及 2012 年香山濕地之土壤粒徑盒形圖 (圖 7)，香山濕地與八掌溪口仍是偏沙，濁水溪口粘粒顯著較香山濕地、高美濕地及八掌溪口高，粉粒顯著較香山濕地及八掌溪口高。圖 9 顯示 2020-2021 年 124 樣區在 22 採樣站之盒形圖，濁水溪口北岸砂粒顯著較其他採樣站低，粉粒與高美濕地相當，顯著較其他採樣站高。

根據本研究調查，在 2017 年高美濕地的下海口圳 (高 4 採樣站)，開始出現臺灣旱招潮族群，平均土壤粒徑大小的變化上則是由 2015 年的 0.06 mm 到 2017 年的 0.108 mm，土壤粒徑大小有變大的趨勢 (圖 10)。而伸港

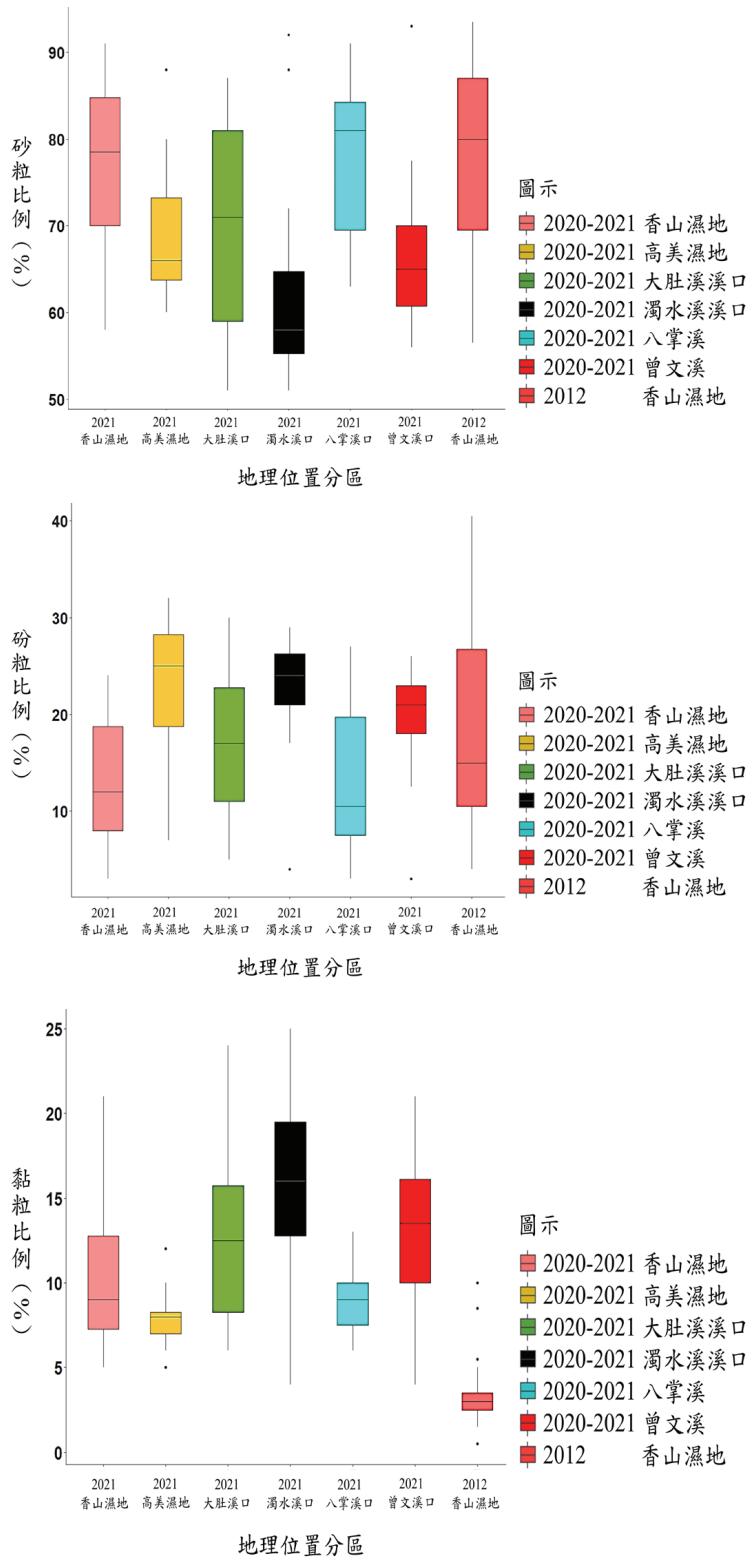


圖 7. 臺灣旱招潮棲地 6 處地理位置分區之土壤粒徑 (砂粒、粉粒、黏粒) 盒形圖。

Fig.7. Boxplot of soil particle size (sand, silt, clay) of six geographical regions in *Xeruca formosensis* habitats in Taiwan.

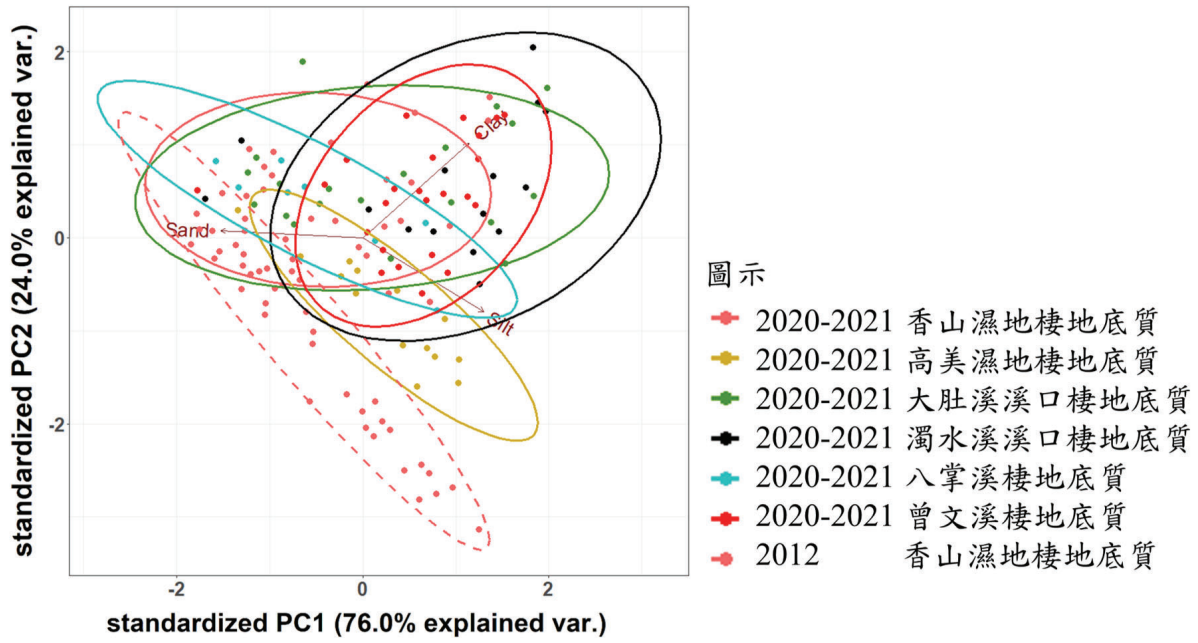


圖 8. 主成分分析臺灣旱招潮棲地 6 處地理位置分區 124 樣區之土壤粒徑分布序列圖。

Fig.8. Ordination of soil particle size (sand, silt, clay) in 124 sampling plots in six geographical regions of *Xeruca formosensis* habitats along the first two PCA axes in Taiwan.

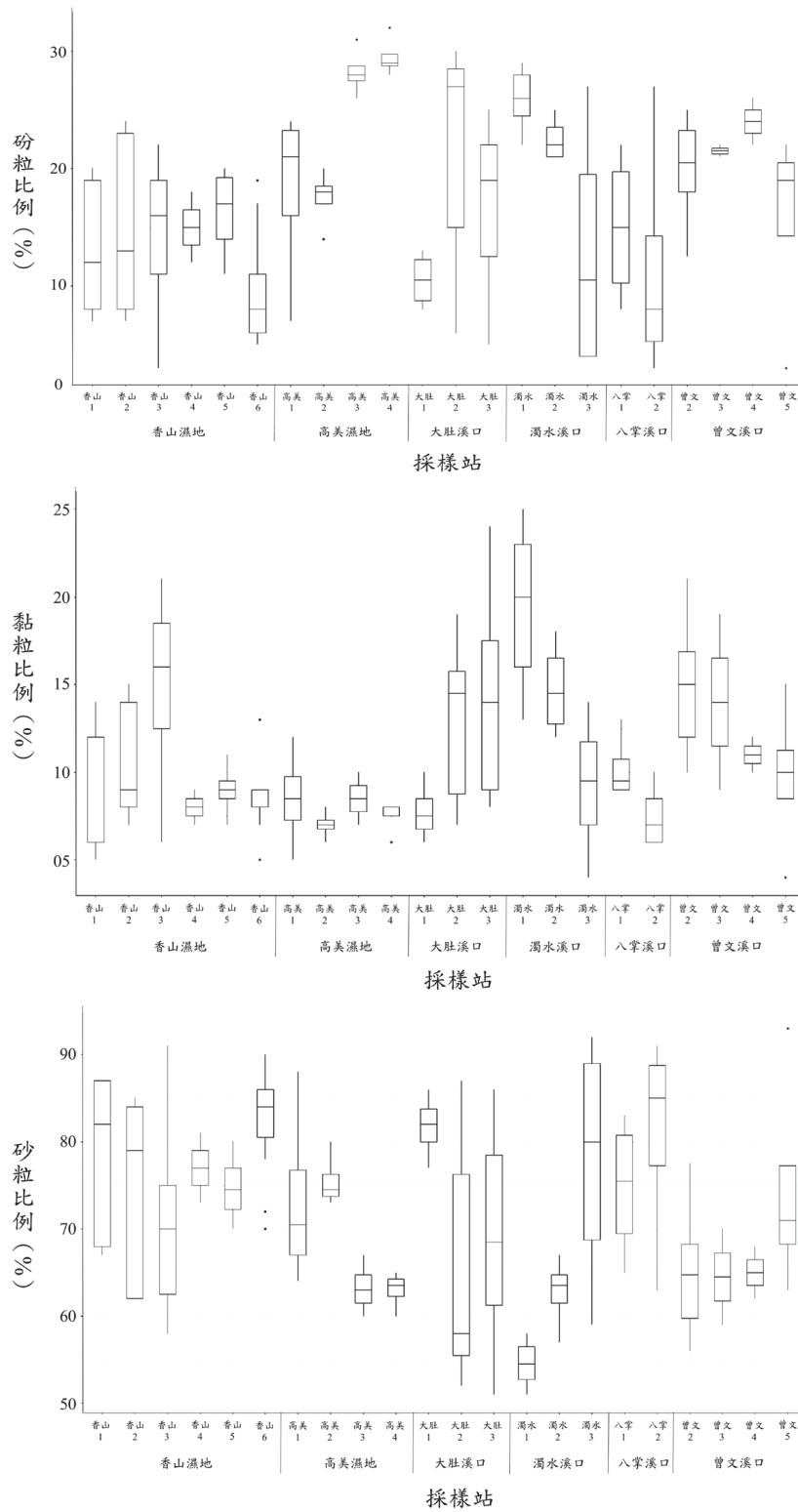


圖 9. 臺灣旱招潮棲地 22 採樣站之土壤粒徑 (砂粒、矽粒、黏粒) 盒形圖。
 Fig. 9. Boxplot of soil particle size (sand, silt, clay) in 22 sampling stations in *Xeruca formosensis* habitats in Taiwan.

濕地(大3採樣站)在2008年調查中,推估族群密度少於0.1隻/m²(2008,陳),而在2015年營建署的大肚溪口招潮蟹棲地改善計畫評估作業成果報告書中指出,伸港濕地約有0.051隻/m²左右。而在平均粒徑調查部分,2008年調查到的平均粒徑約為0.03mm左右(2008,陳),而在2014年調查到的平均粒徑則是大約為0.105mm左右(彰化縣102年大肚溪口招潮蟹棲地改善評估作業成果報告書),與

2017高美出現臺灣旱招潮時的平均粒徑相近(圖10)。

(二)臺灣旱招潮分布區周邊水質之樣點分析

本研究共進行79個周邊的水域進行基礎的水質樣點檢測分析工作,表7顯示臺灣旱招潮的棲地周邊的水域在6處地理位置分區調查結果,再經由One way - PERMANOVA分析6處地理位置分區水質差異(F5, 78 =3.355, P < 0.05),結果顯示高美

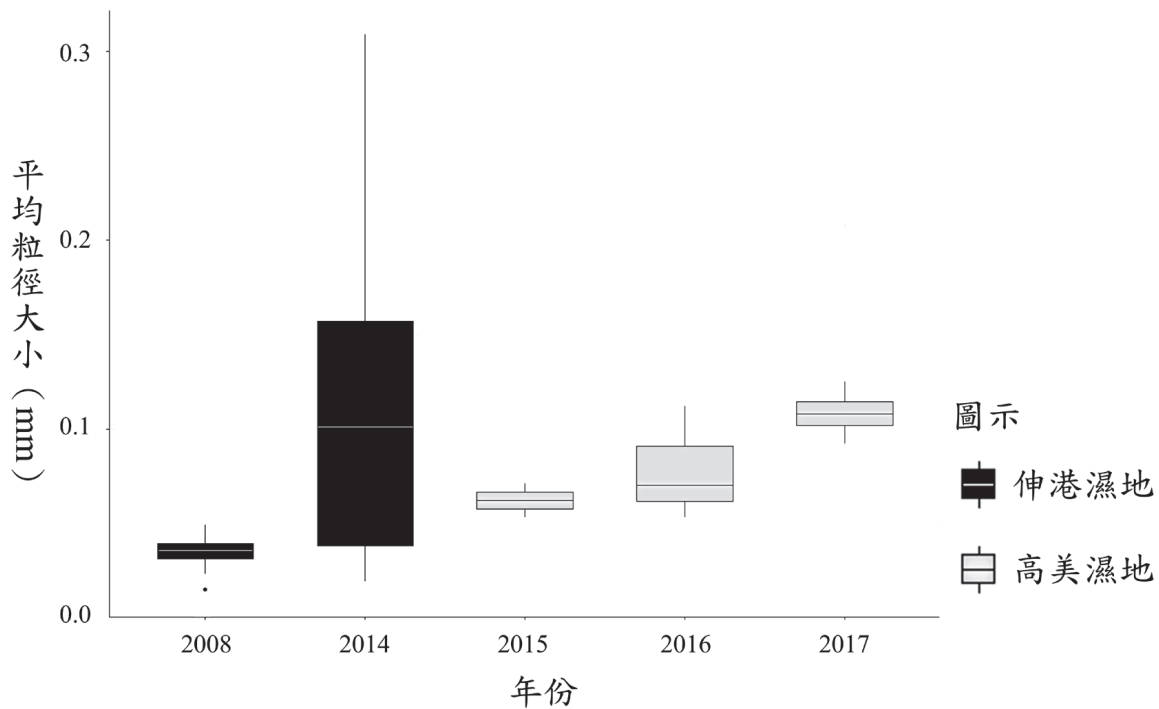


圖 10. 高美濕地與伸港濕地的臺灣旱招潮棲地平均土壤粒徑大小在年度間的差異。
 Fig.10. Average soil particle size of *Xeruca formosensis* habitats in Gaomei and Shengang wetlands between years.

表 7. 臺灣早招潮棲地 79 樣點周邊水質之樣點資料在 6 處地理位置分區敘述統計表

Table 7. Descriptive statistics from 79 sampling points of hydrology and water quality in six geographical regions in *Xeruca formosensis* habitats in Taiwan.

地理位置 分區	樣 點 數		水溫 °C	pH	鹽度 ‰	導電度 ms/cm	溶氧百 分比 %	溶氧量 mg/L
全部樣點	79	MAX	40.10	9.08	41.00	61.00	185.20	11.57
		MIN	18.70	7.12	0.10	0.47	8.70	0.57
		AVERAGE	30.80	8.06	18.93	30.06	94.92	6.26
		STDEVA	3.47	0.35	10.62	15.96	27.33	1.64
香山濕地	23	MAX	40.10	9.08	41.00	61.00	185.20	10.80
		MIN	22.10	7.48	0.60	1.30	8.70	0.57
		AVERAGE	30.48	8.26	22.03	33.67	95.75	6.13
		STDEVA	3.510	0.38	13.23	19.42	39.01	2.12
高美濕地	11	MAX	31.70	8.96	33.00	50.00	115.20	8.50
		MIN	27.70	7.12	0.10	0.47	46.20	3.53
		AVERAGE	29.62	7.77	9.70	15.27	84.55	6.06
		STDEVA	1.33	0.43	11.47	17.29	19.96	1.35
大肚溪口	13	MAX	36.70	8.65	32.70	49.80	137.00	9.24
		MIN	26.30	7.20	1.80	3.41	38.00	2.65
		AVERAGE	30.29	7.87	17.75	27.93	73.26	4.94
		STDEVA	2.65	0.36	8.71	13.21	29.90	1.91
濁水溪口	8	MAX	38.90	8.74	38.60	57.10	139.90	8.53
		MIN	33.10	7.69	12.50	20.50	62.40	3.84
		AVERAGE	36.41	8.23	26.26	40.59	109.50	6.51
		STDEVA	1.88	0.26	4.32	6.02	15.00	0.91
八掌溪口	8	MAX	32.70	8.61	24.00	48.10	175.93	11.57
		MIN	23.20	7.51	3.62	7.31	64.10	4.75
		AVERAGE	28.51	7.88	13.86	27.92	108.68	7.59
		STDEVA	3.04	0.26	7.26	14.41	20.32	1.30
曾文溪口	16	MAX	39.60	8.33	29.90	46.00	130.70	8.32
		MIN	18.70	7.89	3.90	6.80	83.80	5.50
		AVERAGE	30.84	8.14	20.66	32.58	104.31	6.88
		STDEVA	4.38	0.08	5.94	8.80	11.50	0.79

表 8. 臺灣旱招潮棲地 79 樣點在 6 處地理位置分區水質在不同地理位置分區之 One way-PERMANOVA 差異比較

Table 8. Significance of the pseudo F-statistic described of hydrology and water quality between six geographical regions by one way-PERMANOVA.

採樣地點	香山濕地	高美濕地	大肚溪口	濁水溪口	八掌溪	曾文溪口
香山濕地	-	0.54	1	1	1	1
高美濕地	R ² =0.10	-	0.84	0.03 *	1	0.02 *
大肚溪口	R ² =0.05	R ² =0.12	-	0.35	0.86	0.02 *
濁水溪口	R ² =0.06	R ² =0.35	R ² =0.20	-	0.08	1
八掌溪	R ² =0.05	R ² =0.13	R ² =0.13	R ² =0.30	-	0.47
曾文溪口	R ² =0.05	R ² =0.30	R ² =0.20	R ² =0.09	R ² =0.13	-

表格右上為 *p* 值 (* : < 0.05) ; 表格左下為 *F* 值與判定係數 (R²) 。

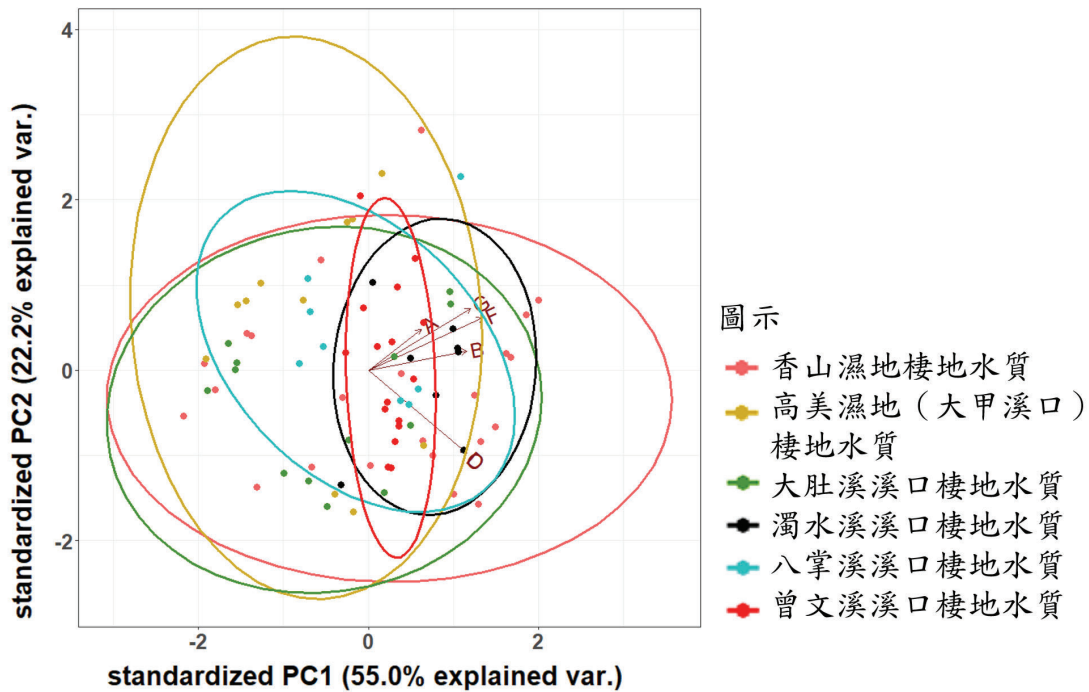


圖 11. 主成分分析 6 處地理位置分區 79 樣點周邊水質樣點資料之分布序列圖 (A : 水溫、B : pH 值、C : 鹽度、D : 導電度、F : 溶氧量) 。

Fig.11. Ordination of hydrology and water quality in 79 sampling plots, in six geographical regions, along the first two PCA axes in Taiwan (A: Water temperature, B: pH value, C: salinity, D: conductivity, F: dissolved oxygen).

濕地分別與濁水溪口和曾文溪口有顯著差異，且大肚溪口與曾文溪口也有顯著差異(表 8)另以主成分分析周邊水質樣點資料，分布序列圖呈現 6 處地理位置分區 79 樣點之水溫、pH 值、鹽度、導電度、溶氧量(圖 11)。圖 12 及圖 13 分別呈現在 6 處地理位置分區及 22 採樣站的溶氧量、鹽度、pH 值之盒形圖。

檢視表 7，平均水溫 30.8°C，最低為冬季調查時在曾文溪口北岸之海埔堤防水門測得的 18.7°C，最高是新竹的鹽港濕地 40.10°C，為淺水環境。鹽度的變化非常劇烈，平均鹽度為 18.3‰，顯示臺灣早招潮可以忍受鹽度變化從 0.10‰ 到 38.6‰，算是耐受性非常高的蟹種。因為調查的時間多是退潮，所以多數樣點測得的鹽度比平均海水鹽度 33‰ 低，高於 33‰ 是因為水份蒸發，鹽度最高的是在濁水溪口大城濕地，新竹的美山濕地、鹽港濕地也偏高。最低的是大甲溪口南岸，三姓溪口、大庄溪口、大甲溪口南岸、頂海口圳及下海口圳，都是屬於趨近於淡水的環境。

臺灣早招潮的棲地周邊水域的 pH 變化幅度算是非常的大，pH 值平均為 8.08，約略低於海水的平均 pH 值，最低的值出現在高美濕地下海口圳為 7.12，三姓溪口、大庄溪口、大甲溪口南岸、頂海口圳及下海口圳，pH 值也相當低。pH 值與鹽度的相關性高，通常鹽度低的環境 pH 值會趨近於 7，朝山濕地測得 8.79，鹽度為 37.90‰。但部分地區的 pH 數值偏高，最高的為鹽港溪口達到 9.08、大甲溪口南岸測得 8.96、麥寮濕地測得 8.74、伸港濕地也測得 8.65 的高值，與鹽度無顯著的相關性，卻與溶氧量有顯著的相關性，可能與藻類繁生有關。

水域中的溶氧量平均為 6.26 mg/L，最大值 11.57 mg/L，出現在八掌溪河口，本棲地溶氧量 4.75 – 11.57 mg/L，而香山濕地、濁水溪北岸的大城濕地也出現較高溶氧量值，是相對較穩定臺灣早招潮族群分布之棲地。最小值 0.57 mg/L 則是在新竹的美山濕地，臺灣早招潮族群分布初期，只有小型的亞成蟹。大庄溪口溶氧量 1 mg/L

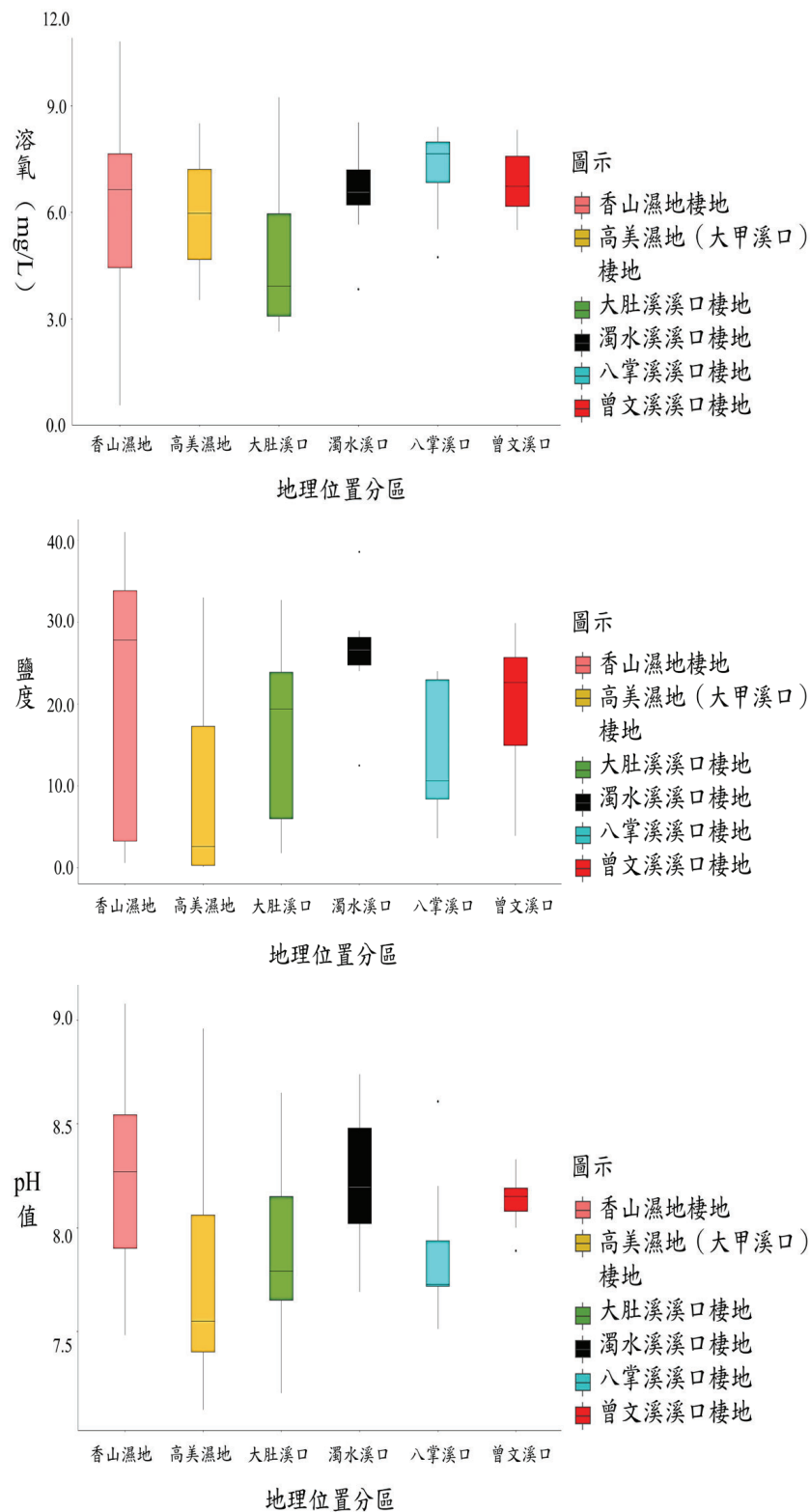


圖 12. 臺灣早招潮棲地 6 處地理位置分區周邊水質樣點資料之盒形圖。

Fig.12. Boxplot of hydrology and water quality in 23 sampling stations in *Xeruca formosensis* habitats in Taiwan.

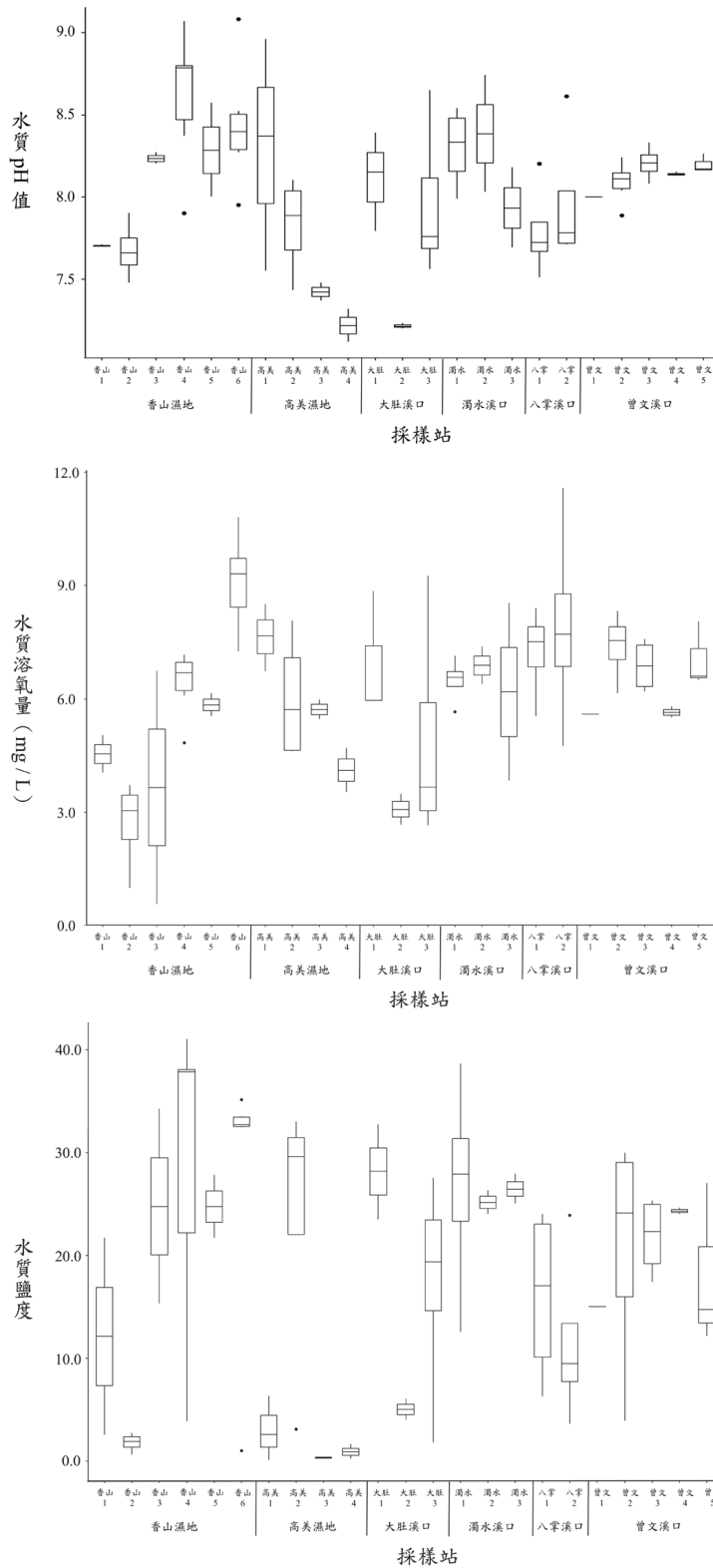


圖 13. 臺灣早招潮棲地 23 採樣站周邊水質樣點資料之盒形圖。
 Fig.13. Boxplot of hydrology and water quality in 22 sampling stations in *Xeruca formosensis* habitats in Taiwan.

L，臺灣早招潮族群數低，伸港濕地溶氧量變化幅度則是落在 2.65 – 9.24 mg/L 之間，有些溶氧量低的樣點，也是只有小型的亞成蟹。

五、臺灣早招潮分布變遷歷史、共棲物種及微環境描述

本研究將 2019-2021 年臺灣早招潮族群分布棲息地所採集之 185 個樣區，經由多變數分析，並整理 1992-2018 年間之調查資料，比對後進行臺灣早招潮分布變遷歷史描述。本研究所設置之臺灣早招潮採樣站，其水質除了受潮汐漲退影響外，每個棲地周邊有主要淡水來源，這些水源也影響植群、土壤質地及共域之底棲物種，因此大至大型人工建物造成的海岸侵淤，小至水流對微環境改變等，都對臺灣早招潮族群數量及分布範圍有影響，以下分地理位置及採樣站敘述之。

(一) 香山濕地：客雅溪口以南至鹽港溪口以北之海岸 (新竹)

香山濕地位於客雅溪口至鹽港溪口以北，1990-1995 年因建置浸水垃

圾掩埋場，於客雅溪至三姓溪間的河口濕地施工，2006-2008 年建置客雅水資源回收中心，於三姓溪至大庄溪口間之河口濕地施工。浸水垃圾掩埋場，曾經有臺灣早招潮族群 (施 1997)，當年已知是臺灣西北部最主要的臺灣早招潮棲地。客雅水資源回收中心開發過程中因圍堤改變棲地的淹水時間及食物的補充，基地填土則改變棲地泥砂含量比例，終導致該棲地臺灣早招潮的全部死亡 (汪等 2012)。依據內政部營建署城鄉發展分署官網的資料，臺灣早招潮族群量銳減 75% (15,000 隻)，剩餘約 25% (5,000 隻) 的族群量，上述兩個開發案造成的棲地破壞，屬於不可恢復。

香山濕地原本為大片的沙泥灘地，早在 1959 年於海山厝及 1989 年於客雅溪，即有人為栽植水筆仔 (*Kandelia obovata*)，1996 年再栽植海茄苳 (*Avicenia marina*) 及紅海欖 (*Rhizophora stylosa*)，1997 年由新竹市政府委託行政院退除役官兵輔導委員會大規模種植水筆仔後，紅樹林快速蔓

延，潮水漲退變緩，增加土壤黏粒及重金屬含量，改變此海岸生態環境及物種組成(吳 1992，張和劉 2009，劉 2010a，楊 2012，張 2012，劉 2012，劉 2015)。為重新營造適合臺灣早招潮等原生物種之族群生存，新竹市政府自 2007 年到 2014 年花費 1700 多萬以人工砍除的方式，逐年進行，累計清除 65.6 ha 的紅樹林(張和劉 2009，楊 2013，張 2012，張 2014)。2015 年後開始以機械方式進行清除，完成 348 ha 的清除工作，至 2019 年累積花費 3721 多萬，目前除鹽港溪北側濕地留存，大致上已經全面清除。歷經十多年移除紅樹林營造臺灣早招潮棲地，讓香山濕地的臺灣早招潮數量比 2008 年施工後已有增加，證實紅樹林與臺灣早招潮之消長關係。

香山濕地北段臺灣早招潮族群密度較高的區域(圖 14)分別有三姓溪口(香 1)臺灣早招潮棲地面積約 4.37 ha，設置 3 樣區，大庄溪口(香 2)臺灣早招潮面積約 5.41 ha，設置 3 樣區，美山濕地(香 3)棲地面積約 19.4 ha，

近幾年移除紅樹林的強度較大，棲地的類型明顯改變，因此設置 5 樣區，這 3 區沿著海岸受到同樣的潮水，但因為各有不同的排水道排入，所以匡列範圍時區隔開來。

香山濕地中段為海山漁港南北兩側，海山漁港北側之朝山海岸面積約 4.91 ha(香 4)，海山漁港南側之海山厝面積約 10.8 ha(香 5)，族群密度較高的區域沿臺 61 線西側塊狀分布，分別設置 3 樣區。

香山濕地南段之鹽港溪口，族群密度較高的區域分別在鹽港溪口北側及臺 61 線東側，這 2 區被臺 61 線隔開，面積約 2.2 ha(香 6)，取得 13 個樣區。

本研究 2019-2021 年於香山濕地臺灣早招潮棲地取樣範圍合計 47.10 ha，共計 30 個樣區(表 1)，各樣區蟹類相對重要值統計表(表 9)。

1. 三姓溪口 24°48'02.9"N 120°54'52.1"E

本棲地位於浸水垃圾掩埋場南側及客雅水資源回收中心北側，三姓溪



圖 14. 香山濕地臺灣早招潮棲地採樣站範圍。

Fi.14. Range of sampling stations in *Xeruca formosensis* habitats in Siangshan Wetland, Taiwan.

表 9. 香山濕地臺灣早招潮棲地之 30 個樣區蟹類相對重要值統計表

Table 9. Percentage of crabs relative importance value in 30 sampling plots in *Xeruca formosensis* habitats in Siangshan Wetland.

採樣站	樣區數		臺灣早招潮	弧邊管招潮	乳白南方招潮	德氏仿厚蟹	臺灣厚蟹	近親擬相手蟹	雙齒擬相手蟹	兇狠圓軸蟹
香1	3	MAX	35.14	5.00	75.93	2.50	1.85	0.00	0.00	0.00
		AVERAGE	28.29	1.67	68.60	0.83	0.62	0.00	0.00	0.00
		STDEVA	6.49	2.89	6.35	1.44	1.07	0.00	0.00	0.00
香2	3	MAX	52.17	13.19	63.83	4.35	2.20	0.00	0.00	0.00
		AVERAGE	39.04	7.97	50.80	1.45	0.73	0.00	0.00	0.00
		STDEVA	11.69	4.63	12.41	2.51	1.27	0.00	0.00	0.00
香3	5	MAX	85.71	20.00	45.26	1.43	2.86	0.00	0.00	0.00
		AVERAGE	62.68	4.79	31.67	0.29	0.57	0.00	0.00	0.00
		STDEVA	16.71	8.67	12.20	0.64	1.28	0.00	0.00	0.00
香4	3	MAX	46.67	25.46	23.64	12.31	9.23	0.00	0.00	0.00
		AVERAGE	41.20	23.36	20.19	8.75	6.51	0.00	0.00	0.00
		STDEVA	4.98	2.94	3.36	3.10	2.80	0.00	0.00	0.00
香5	3	MAX	54.55	35.56	24.44	9.84	4.44	0.00	0.00	0.00
		AVERAGE	45.30	25.23	20.98	7.02	1.48	0.00	0.00	0.00
		STDEVA	14.25	8.95	3.24	2.66	2.57	0.00	0.00	0.00
香6	13	MAX	82.11	37.93	75.34	17.78	2.11	5.48	3.28	0.82
		AVERAGE	42.69	21.44	26.01	7.65	0.16	1.51	0.48	0.06
		STDEVA	19.75	12.30	16.50	5.08	0.58	2.21	1.17	0.23

口採樣站(香1)臺灣早招潮棲地面積約4.37 ha，進行3個樣區的採樣(表1)。

本棲地紅樹林2009-2011年人工移除3 ha，並於移除作業後持續維護，避免幼苗再次繁生(張和劉2009，楊2013)。移除紅樹林後成為以鹽地鼠尾粟(*Sporobolus virginicus*)為優勢及小範圍海馬齒(*Sesuvium portulacastrum*)的乾土環境。本棲地臺灣早招潮相關的調查研究計畫很多，自2007年即有長期追蹤資料(汪等2007，朱等2008，黃2008，張和劉2009)，原本為香山濕地臺灣早招潮密集區(楊2011，楊等2011，楊2012，楊2013，楊和張2014)，但目前族群數不多，南方乳白招潮優勢。

本棲地土壤類型為壤質砂土及砂質壤土，砂粒64-87%、粉粒7-20%、粘粒5-14%，上下層的差異不大。三姓溪口沿著本棲地的北邊，浸水垃圾掩埋場南堤，匯流出海，與客雅水資源回收中心的外圍堤防之間形成一片高灘地，越往西側，臺灣早招潮密度越低。三姓溪測得鹽度2.5‰的淡水，

降低高灘地的鹽度。本棲地曾於2012年調查，2020-2021再次設置樣區，南方乳白招潮為主要優勢，平均重要值達68.60%。本棲地目前於東南角臺灣早招潮密度較高區，土壤類型為砂質壤土。比較2012年調查，臺灣早招潮、弧邊管招潮族群數量略為下降，臺灣早招潮之平均重要值僅28.29%(表9)。三姓溪口西南側低潮線，部分為砂土，部分為砂質黏壤土，罕見臺灣早招潮。

2. 大庄溪口 24°47'42.1"N 120°54'59.1"E

本棲地位於客雅水資源回收中心南側，大庄溪口採樣站(香2)臺灣早招潮棲地面積約5.14 ha，進行3個樣區的採樣。

本棲地為原本臺灣早招潮分布棲地，自2008年進行臺灣早招潮復育，有長期追蹤資料，本棲地紅樹林高大且以海茄苳為主，2008年人工移除2 ha，大型機械清除1 ha。本棲地曾於2012年設置樣區，2020-2021年已經出現鹽地鼠尾粟的乾土環境，發現約0.02 ha小面積高密度臺灣早招潮單一

優勢族群。劉 (2015) 研究顯示移除紅樹林後，再持續清除幼苗的維護區域，可有效減緩重金屬的累積速度，達到近乎臺灣早招潮適生棲地之重金屬含量的容許值 (劉 2012, 2015)。兩次調查比較，臺灣早招潮之族群數有大幅增加，但南方乳白招潮仍為優勢，平均重要值 52.17%，臺灣早招潮之平均重要值 39.04%，弧邊管招潮 7.97%，德氏仿厚蟹的比例為 1.45% (表 9)。

大庄溪水主要流向西北，沿客雅水資源回收中心外圍堤防，臺灣早招潮小面積密集分布。大庄溪測得鹽度 0.6-2.2‰ 的淡水，降低高灘地的鹽度。本棲地土壤類型為壤質砂土及砂質壤土，砂粒 62-85%、粉粒 7-24%、粘粒 7-15%，下層的砂粒略高。

3. 美山濕地 24°47'38.6"N 120°54'51.8"E

本棲地位於大庄溪口以南，美山濕地採樣站 (香 3) 臺灣早招潮棲地面積約 19.40 ha，進行 5 個樣區的採樣。

本棲地原本紅樹林茂密，自 2010-2012 年以人工移除，2013 年 9-10 月

進行機械清除長 900 m、寬 45 m、面積 4 ha 之紅樹林，並將水筆仔等植株以怪手埋入原泥灘中，2015-2016 年再以機械方式利用怪手挖除紅樹林 62 ha。本棲地曾於 2012 設置樣區，2020-2021 再次設置樣區，兩次調查比較，原本 2012 年只有弧邊管招潮及乳白南方招潮，2020 年的取樣美山濕地北段，臺灣早招潮已經成為優勢，可發現約 0.05 ha 小面積高密度臺灣早招潮單一優勢族群。2021 年約有 5 ha 高密度臺灣早招潮族群，且大量出現 1-2 公分左右的臺灣早招潮亞成蟹，數量高於乳白南方招潮。臺灣早招潮之平均重要值 62.68%，乳白南方招潮 31.67% (表 9)，弧邊管招潮則集中在水域旁邊，帶狀分布，平均重要值 4.79%。

美山濕地的近岸處的海釣場和養殖魚塭區，長年排放淡水，降低本棲地的鹽度，移除紅樹林後有雲林莞草 (*Bolboschoenus planiculmis*) 在此生長。本棲地土壤質地砂粒 58-91%、粉粒 3-22%、粘粒 6-21%，美山濕地的北段土壤類型為砂土、壤質砂土或砂質

壤土，南段為砂質壤土或砂質黏壤土。美山濕地的北段臺灣旱招潮數量多，越往南越少，至惠民宮前灘地仍可發現少數臺灣旱招潮。

4. 朝山濕地 24°45'57.8"N 120°54'36.3"E

本棲地位於海山漁港北側，靠近臺61線的泥灘地，朝山濕地採樣站(香4)臺灣旱招潮棲地面積約 21.5 ha，進行 3 個樣區的採樣。

本棲地曾於 2009 年人工清除面積 5 ha 紅樹林，2015 年再以機械方式利用怪手挖除紅樹林 5.8 ha。本棲地東南角是臺灣旱招潮的主要分布區域，原本紅樹林清除後的樹根部分還留存在原地，土壤仍然是屬於比較多泥的狀況，2020 年之後根部完全清除，2021 年臺灣旱招潮族群大增，出現大量 1-2 公分左右的臺灣旱招潮亞成蟹，臺灣旱招潮之平均重要值達 41.20%，弧邊管招潮 23.36%，乳白南方招潮 20.19% (表 9)。朝山濕地北端為壤質沙土，是雲林莞草生育地和鴨嘴海豆芽 (*Lingula anatina*) 棲地，最特別處

為朝山濕地南端，與主要臺灣旱招潮分布地區鄰近數 m 的距離有沙丘，規模不大。

本棲地有洪水港溪支流流經，淡水量少，棲地的鹽度偏高，最高達 41‰。本棲地外圍是沙質灘地，土壤類型壤質砂土，土壤質地砂粒 81-73%、粉粒 12-18%、粘粒 7-9%，本棲地 2012 至 2021 年間粒徑變化明顯，2021 年上下層間砂粒含量的差異大，上層砂粒含量較高。

5. 海山罟濕地 24°45'23.9"N 120°54'16.3"E

本棲地位於海山漁港南側，海山罟濕地採樣站(香5)臺灣旱招潮棲地面積約 10.8 ha，進行 3 個樣區的採樣(表 1)。

臺灣旱招潮主要分布區域鄰近臺61線泥灘地，依據 Google Earth 衛星影像圖顯示，2002 年海山罟僅有塩水(24°45'12.3"N 120°54'18.7"E)有紅樹林分布(0.4 ha)，至 2010 年有 26 ha 紅樹林生長，其中 2005 年有進行一次嘗試性的清除工作，2007 年進行海山

漁港南側 1 ha 的人工清除，2010 年進行 6 ha 的人工清除，2012 年進行 4 ha 的人工清除工作，利用鍊鋸鋸斷大植株，以掘仔連根剷除中小植株，並將海茄苳及水筆仔等枝幹從原灘地中移除。移除最外圍約 10 ha，留下內側 21 ha 紅樹林，2015 年再以機械移除 5.9 ha。

海山罟濕地為原本已知的臺灣早招潮分布棲地，本棲地有長期追蹤資料，筆者於 2012 年在本棲地進行調查時，正值進行紅樹林移除，因此調查時進行移除前後之土壤重金屬濃度分析，結果顯示，紅樹林清除後可降低土壤中重金屬濃度，海山罟以人力進行紅樹林移除，在移除初時，鋅是顯著增加，隔一年後多項元素的數值都有下降的趨勢(劉 2015)。硫在紅樹林清除前後有極明顯變化，在移除作業完成初期驟降，密林有顯著的減低，變化量高達 69.2% (劉 2015)。2017-2018 及 2020-2021 年有再次進行土壤重金屬含量分析，長期監測濃度變化。

移除紅樹林後臺灣早招潮族群數量較移除前略為增，平均重要值

45.30% (表 9)，弧邊管招潮 25.23%，乳白南方招潮 20.98%，德氏仿厚蟹為 7.02%。

本棲地有洪水港溪流經，土壤質地砂粒 73-80%、粉粒 11-20%、粘粒 7-11%，土壤類型為砂質壤土或壤質砂土。

6. 鹽港濕地 (鹽港溪口北岸外灘及鹽港溪臺 61 線東側) 24°44'46.9"N 120°54'09.2"E

鹽港濕地採樣站 (香 6) 分兩區，分別在鹽港溪口北岸外灘臺灣早招潮棲地面積約 1.39 ha(香 6-1) 及鹽港溪北側臺 61 線東側臺灣早招潮棲地面積約 0.82 ha(香 6-2)，小計約 2.21 ha。鹽港溪口北岸 2 區來源水皆為鹽港溪，但棲地被臺 61 大型人工建物阻隔，臺 61 線東側棲地海水交換受限，有時漲滿潮也無潮水流入，然而卻出現密集的臺灣早招潮高塔。本棲地無長期追蹤資料，因此進行了 13 個樣區的採樣 (表 1)。

鹽港溪口北岸外灘 (香 6-1) 因為緊鄰著臺 61 公路，為海岸防護之用，

歷年紅樹林清除計畫皆留存此區沒有清除。目前茂密紅樹林區與外圍沙丘間的灘地出現穩定臺灣早招潮族群，是全臺灣之臺灣早招潮穩定分布區鄰近沙丘距離最近的族群。

鹽港溪口北側臺 61 線東側濕地 (香 6-2)，目前僅能利用臺 61 線下方之涵洞或部分破口進行漲退潮，最大潮時才有鹽港溪水流入，每年秋季淹水最深約 20 cm。本棲地面積雖小，棲地類型變化大，積水處可分為南北兩處，北區有一淺水泥灘，退潮時有時仍保持有水的狀態，南區只有漲潮時會進水，積水侷限於極小區域，積水處土壤氧化還原電位值很低，土壤硫化嚴重，水質也有優氧化的情形，但主要積水處蟹類密度很高，蟹種組成均勻度亦高，2021 年臺 61 線下方之涵洞由公路局進行疏通，漲退潮的水量增大。本棲地緊鄰防風林，樣區中曾經出現一抱卵的兇狠圓軸蟹，與臺灣早招潮共棲。臺灣早招潮棲地周邊有記錄麗彩擬瘦招潮 (*Paraleptuca splendida*) 族群，但未與臺灣早招潮共棲。

本棲地鹽港溪口測得鹽度 1‰ 的淡水，滲流入本棲地，降低高灘地的鹽度。本棲地為全臺灣之臺灣早招潮穩定分布區土壤質地最粗的，上下層的差異不大，砂粒 70-90%、粉粒 5-19%、粘粒 5-13%，土壤類型為壤質砂土或砂質壤土。

(二) 高美濕地：大甲溪口以南至清水大排以北之海岸 (臺中)

臺中自大甲溪口南岸至臺中港北側，45 年前曾是一片沙灘，當時還規劃為高美海水浴場，1976 臺中港興建完成，北防沙堤的突堤效應造成泥沙日漸淤積，海水浴場變成了沼澤地，逐漸成為全臺最大的雲林莞草草澤。高美濕地原本並無臺灣早招潮分布，這數十年來淤積陸化明顯，直到 2017 年在頂海口圳與下海口圳出現少許族群後往北擴散，2020 年在大甲溪口南岸及番仔寮濕地局部區域出現大量的幼蟹。

高美近期逐漸發現的臺灣早招潮族群密度較高的區域 (圖 15) 分別在大甲溪口南岸 (高 1) 臺灣早招潮棲地



圖 15. 高美濕地臺灣早招潮棲地之採樣站範圍。

Fig.15. Range of sampling stations in *Xeruca formosensis* habitats in Gaomei Wetland, Taiwan.

表 10. 高美濕地臺灣早招潮棲地之 47 個樣區蟹類相對重要值統計表

Table 10. Percentage of crabs relative importance value of 47 sampling plots in *Xeruca formosensis* habitats in Gaomei Wetland.

採樣站	樣區數		臺灣早招潮	弧邊管招潮	乳白南方招潮	北方丑招潮	角眼切腹蟹	萬歲大眼蟹	德氏仿厚蟹	臺灣厚蟹	近親擬相手蟹	雙齒擬相手蟹
高1	4	MAX	65.39	14.29	51.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.86	7.69
		AVERAGE	57.70	11.60	27.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71	2.92
		STDEVA	13.72	2.35	16.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.43	3.70
高2	4	MAX	18.18	57.14	65.63	0.00	0.00	14.29	9.38	0.00	14.29	4.76
		AVERAGE	10.27	43.41	33.07	0.00	0.00	6.14	2.34	0.00	3.57	1.19
		STDEVA	6.17	15.12	26.79	0.00	0.00	7.27	4.69	0.00	7.14	2.38
高3	15	MAX	86.67	50.00	57.14	26.09	0.00	0.00	20.34	23.08	20.00	17.39
		AVERAGE	36.26	20.81	25.01	1.74	0.00	0.00	6.02	6.49	1.62	2.05
		STDEVA	17.35	13.50	15.46	6.74	0.00	0.00	6.98	8.68	5.21	5.46
高4	24	MAX	81.97	29.91	90.20	8.70	5.88	16.67	13.64	20.80	7.48	9.76
		AVERAGE	47.46	8.71	31.20	0.36	0.72	1.55	5.27	3.45	0.57	0.72
		STDEVA	18.33	8.69	19.87	1.78	1.58	4.35	4.62	6.53	1.71	2.46

面積約 1 ha，取得 4 個樣區、油管路番仔寮濕地 (高 2) 臺灣早招潮棲地面積約 1.1 ha，取得 4 個樣區、高美濕地北區頂海口圳 (高 3) 臺灣早招潮棲地面積約 3.96 ha，取得 15 個樣區；高美濕地南區下海口圳支線 (高 4) 臺灣早招潮棲地面積約 6.38 ha，取得 24 個樣區。高美濕地合計 12.44 ha，共計 47 個樣區 (表 1)，各樣區蟹類相對重要值統計表 (表 10)。這 4 區在高灘地有鹽地鼠尾粟，臺灣早招潮就分布在這些植物群落間的空地上，延伸至低潮線有雲林莞草草澤，沿著海岸受到同樣的潮水，但因為各有不同的排水道排入，因此匡列範圍時區隔開來。土壤多屬於壤質砂土或砂質壤土，比較歷年資料，平均粒徑大小有逐年上升的趨勢。

1. 大甲溪口南側 24°19'32.3"N 120°33'10.5"E

本棲地位於大甲溪口南側沿番仔寮海堤外側小潮溝，主要水系為大甲溪，大甲溪口南側採樣站 (高 1) 臺灣早招潮棲地面積約 1 ha，進行 4 個樣區的採樣 (表 1)，大甲溪口南岸退

潮時鹽度 30.9‰，臺灣早招潮體型極小，甲殼寬 1 cm 以下的數量約 50%，2020 年調查時，臺灣早招潮甲殼寬 1-2 cm 的數量約 50%，甲殼寬 2 cm 以上 10%，確定為新棲地，2021 年亞成蟹的比例仍維持相當高。河岸周邊水域有鑲嵌塊狀的草澤，蘆葦 (*Phragmites communis*)、鹽地鼠尾粟和少數水筆仔。

沿番仔寮海堤段外側，大甲溪南岸水道退潮時測得鹽度 0.1‰ 的淡水，流入本棲地，降低高灘地的鹽度。上下層有顯著差異，棲地上層砂粒 64-68%，粉粒 23-24%，下層砂粒 73-88%，粉粒 7-19%，下層的土壤粒徑較粗。

2. 油管路番仔寮濕地 24°19'23.9"N 120°33'07.2"E

本棲地位於大甲溪口南側沿番仔寮海堤外側之油管路往西，主要水系為護岸路內側之農田排水，番仔寮濕地採樣站 (高 2) 面積約 1.1 ha，進行了 4 個樣區的採樣 (表 1)。臺灣早招潮分布週邊積水區會看到大指泥蝦

(*Laomedia astacina*) 群落，棲地多樣性高，底棲動物群落形成鑲嵌狀。延伸至低潮線有雲林莞草草澤，以乳白南方招潮及北方丑招潮為主要優勢，較高潮位處有鹽地鼠尾粟，臺灣旱招潮就分布在這些植物群落間的空地上，但極罕見臺灣旱招潮佔優勢的群落。本棲地弧邊管招潮、乳白南方招潮主要優勢，萬歲大眼蟹、德氏仿厚蟹也很多，採樣站在油管路的南邊，少數的臺灣旱招潮，平均重要值僅 10.27% (表 10)，主要是弧邊管招潮 43.41%、乳白南方招潮 33.07%、萬歲大眼蟹 6.14%、德氏仿厚蟹 2.34%，挖掘樣區弧邊管招潮 9 隻 /m²。

本棲地退潮時鹽度 3.1‰，上下層略有差異，上層砂粒 73-74%，粉粒 18-20%，下層砂粒 75-80%，粉粒 14-18%，下層的土壤粒徑較粗。棲地的外圍是沙質土，為雲林莞草生育地，極罕見臺灣旱招潮，以乳白南方招潮及北方招潮為優勢，再往西側為沙丘地形，無臺灣旱招潮分布。

3. 高美濕地北區 24°18'55.8"N
120°33'01.1"E

本棲地位於高美濕地木棧道北側，主要水系為頂海口圳支線，其出海口兩側的高灘地，高美濕地北區採樣站(高3)臺灣旱招潮棲地面積約 3.96 ha，進行了 15 個樣區的採樣 (表 1)。

本棲地原無臺灣旱招潮分布，經數十年淤積陸化，海堤外高灘地長滿了各種高莖植物，包括外來種互花米草 (*Spartina alterniflora*)，目前有關單位正積極以小型怪手將互花米草進行移除。約 2017 年開始在頂海口圳高灘地發現臺灣旱招潮，數量逐漸增多，並有築高塔現象，顯示有交配行為，屬於穩定族群。臺灣旱招潮地表活動最高為 29 隻 /m²，臺灣旱招潮體型甲殼寬 1 cm 以下的數量約 10%，甲殼寬 1-2 cm 的數量約 25%，甲殼寬 2 cm 以上 65%。臺灣旱招潮的重要值最高為 86.67%，平均 36.26% (sd=17.35) (表 10)，乳白南方招潮最高為 57.14%，平均 25.01% (sd=15.46)，弧邊管招潮最高為 50.00%，平均 20.81% (sd=13.50)，德氏仿厚蟹最高為 20.34%，平均 6.02% (sd=6.98)。

頂海口圳支線測得鹽度 0.2-0.4‰

的淡水，流經本棲地，降低高灘地的鹽度。土壤類型為砂質壤土，上下層的差異不大，砂粒 60-67%，粉粒 26-31%，黏粒 7-10%。本棲地緊鄰高美海堤，往西側為雲林莞草生育地，以乳白南方招潮及北方招潮為優勢，即罕見臺灣早招潮。頂海口圳支線南北兩側高灘地臺灣早招潮族群的擴散，受限於高莖植物分布及鹽地鼠尾粟密生程度。

4. 高美濕地南區 24°18'37.2"N 120°32'58.5"E

本棲地位於高美濕地木棧道南側，主要水系為下海口圳支線，高美濕地南區採樣站(高 4)臺灣早招潮棲地面積約 6.38 ha，進行 24 個樣區的採樣(表 1)，臺灣早招潮棲地面積約 5 ha，高美濕地南區的高程較低，加上清水大排帶來的水源，漲潮時幾乎可以完全淹沒，這種棲地臺灣早招潮很難大面積形成單一優勢，因此樣區中的物種均勻度指數高。本棲地樣區間略有差異，鄰近下海口圳支線兩側，角眼切腹蟹及乳白南方招潮為優勢，

高灘地有鹽地鼠尾粟，臺灣早招潮分布在高美海堤與這些植物群落間的空地上，大約海堤向外延伸 100m，2020 年開始可以發現以臺灣早招潮為優勢的族群，2021 年木棧道的兩側也有分布，偶可見與北方丑招潮共棲。延伸至低潮線之雲林莞草草澤，即極罕見臺灣早招潮。

臺灣早招潮的重要值最高為 81.97%，平均 47.46% (sd=18.33) (表 10)，乳白南方招潮最高為 90.20%，平均 31.20% (sd=19.87)，弧邊管招潮最高為 29.91%，平均 8.71% (sd=8.69)，德氏仿厚蟹最高為 13.64%，平均 5.27% (sd=4.62)，角眼切腹蟹最高為 5.88%，平均 0.72% (sd=1.58)。

下海口圳支線測得 0.2-1.6‰ 的淡水，流入本棲地，降低高灘地的鹽度。土壤類型為砂質壤土，上下層的差異不大，砂粒 60-65%、粉粒 28-32%、粘粒 6-10%。海口圳支線兩側高灘地臺灣早招潮族群，往北已經擴散到木棧道，往南因有清水大排，積水時間長，以乳白南方招潮為優勢。

(三) 大肚溪口兩岸(臺中、彰化)

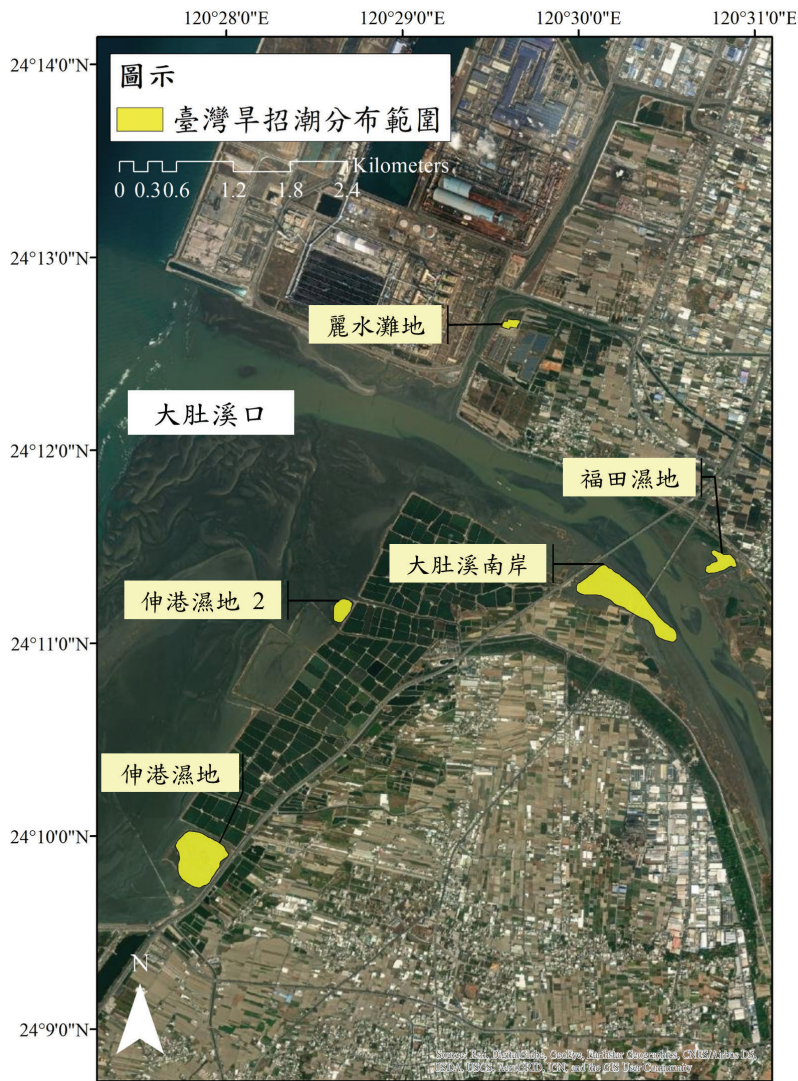


圖 16. 大肚溪口臺灣旱招潮棲地之採樣站範圍。

Fig.16. Range of sampling stations in *Xeruca formosensis* habitats in the Dadu estuary, Taiwan.

表 11. 大肚溪口臺灣旱招潮棲地之 27 個樣區蟹類相對重要值統計表

Table 11. Percentage of crabs relative importance value of 27 sampling plots in *Xeruca formosensis* habitats in the Dadu estuary.

採樣站	樣區數		臺灣旱招潮	弧邊管招潮	乳白南方招潮	淡水泥蟹	角眼切腹蟹	萬歲大眼蟹	德氏仿厚蟹	臺灣厚蟹	秀麗長方蟹	近親擬相手蟹	雙齒擬相手蟹
大1	8	MAX	51.60	31.00	26.70	0.00	0.00	6.90	13.30	23.30	0.00	12.50	0.00
		AVERAGE	34.33	17.75	16.45	0.00	0.00	1.28	8.53	16.23	0.00	5.41	0.00
		STDEVA	13.69	11.53	6.64	0.00	0.00	2.55	4.07	5.31	0.00	4.52	0.00
大2	4	MAX	92.30	33.30	72.60	0.00	0.00	0.00	11.10	16.70	0.00	7.70	8.30
		AVERAGE	41.44	21.70	22.33	0.00	0.00	0.00	2.78	4.18	0.00	1.93	2.08
		STDEVA	27.22	10.31	34.43	0.00	0.00	0.00	5.55	8.35	0.00	3.85	4.15
大3	15	MAX	86.70	58.10	72.60	12.80	10.00	0.00	26.90	21.40	14.30	4.50	14.30
		AVERAGE	32.35	24.83	16.43	2.53	1.05	0.00	11.93	5.13	3.70	0.30	1.80
		STDEVA	22.00	17.05	21.33	4.50	2.71	0.00	7.97	6.68	5.15	1.16	4.11

大肚溪出海口主要由廣闊潮間帶與草澤溼地所組成，雖 1994 年公告設立大肚溪口野生動物保護區，但 2005 年因不當施工造成大肚溪口南岸彰化伸港濕地棲地改變，臺灣早招潮的族群降為不足百隻。臺中龍井原本 2007 年後被認為已經在麗水消失的臺灣早招潮族群，再度找到殘存的棲地。

大肚溪口兩岸臺灣早招潮族群密度較高的區域(圖 16)分別有大肚溪北岸麗水濕地，臺灣早招潮棲地面積約 1.15ha，取得 8 個樣區，大肚溪北岸福田濕地，臺灣早招潮棲地面積約 1.61 ha，取得 4 個樣區，大肚溪口南岸彰化伸港濕地，臺灣早招潮棲地面積約 16 ha，取得 15 個樣區，三區各自獨立，來源水及棲地類型也不同。大肚溪口兩岸共計面積約 18.76 ha，取得 27 個樣區(表 1)，各樣區蟹類相對重要值統計表(表 11)。此外，近年在大肚溪口北岸之火力發電廠南側，及大肚溪口南岸之中彰大橋旁、西部濱海快速道路旁和伸港濕地 2 偶有發現臺灣早招潮的族群，但是規模並不大且零散，目前未列入採樣站範圍，

將持續監測族群變化。

1. 大肚溪北岸麗水濕地 24°12'39.9"N 120°29'37.0"E(臺中)

本棲地位於龍井區麗水里，濕地位於龍井大排、臺中電廠東側、廢棄電塔基座下方，主要水系為龍井大排水，麗水採樣站(大 1)臺灣早招潮棲地面積約 1.15ha，進行了 8 個樣區的採樣(表 1)。龍井大排水出海口西側灘地也有零星臺灣早招潮分布，未取樣。

主要優勢臺灣早招潮，積水處萬歲大眼蟹、臺灣厚蟹，潮溝旁弧邊管招潮老熟成蟹，南方乳白管招潮體型也較大，臺灣早招潮也都是成熟個體，同一灘地上，萬歲大眼蟹和臺灣早招潮壁壘分明，高潮位為臺灣厚蟹優勢。

本棲地距海 3.5km，小潮溝退潮時鹽度為 23.5-32.7‰，溶氧量 5.95-8.85mg/l。本棲地早期已種植紅海欖及欖李(*Lumnitzera racemosa*)，但並沒有大幅擴散。砂粒 77-87%，粉粒 6-13%，黏粒 6-10%，屬於壤質砂土，樣區間及上下層差異不大。

2. 大肚溪北岸福田濕地 24°11'24.7"N
120°30'51.7"E(臺中)

本棲地位於龍井區福田里，大肚溪北岸臺 17 線東側之壘球場外側泥灘地，主要水系為大肚溪，福田濕地採樣站(大2)臺灣早招潮棲地面積約 1.61 ha，進行了 4 個樣區的採樣(表 1)。

本棲地距離大肚溪出海口交會處遠達 6 km，是所有臺灣早招潮在臺灣各地穩定族群的棲地距離海岸最遠的區域。早期曾有臺灣早招潮分布紀錄，2020 年地表活動的主要優勢種有弧邊管招潮 16 隻 /m²，週邊高灘地壤土厚蟹 6 隻 /m²、相手蟹 8 隻 /m²，極少量的南方乳白管招潮，2021 年變成臺灣早招潮優勢。

本棲地位於大肚溪岸距海 6 km，鹽度為 4-6 ‰，幾近淡水，流入本棲地，降低高灘地的鹽度。砂粒 52-82%，粉粒 6-30%，黏粒 7-19%，是採樣中土壤粒度最細的，樣區間之差異大於上下層差異。

3. 大肚溪口南岸伸港濕地
24°09'53.7"N 120°27'54.0"E(彰化)

本棲地位於大肚溪口南岸，主要水系為寮地溝水圳及魚塭排水，彰化伸港濕地採樣站(大3)臺灣早招潮棲地面積約 18.7 ha，取得 15 個樣區(表 1)。此外，沿大肚溪出海口往南之伸港鄉魚塭區西側沿岸也有零星的臺灣早招潮分布，只是本次未設置樣區。

臺灣進行臺灣早招潮完整生態研究最早的地方就是在彰化伸港，包括領域行為、活動概況、封洞行為、洞穴型式、交配行為、揮舞方式、攝食行為、雌雄比等(李 1991)，伸港為當時臺灣早招潮最大的棲地之一。但當 1996 年彰化縣濱海地區海埔地垃圾壓縮填海及土地再生利用計畫完成發包，在潮間帶外圍築一道堤後，族群數量就大幅減少。

1998-2000 年筆者曾於大肚溪口設置 9 個採樣站，分四季採樣，以挖掘法取得 36 個樣區資料(劉 2002)，其中有 4 個樣區在伸港採集到臺灣早招潮，每個樣區分為 4 個小區，採獲最多的是在 5 月，4 個小區全部都有採集到，2 月有兩個小區採獲，最少的是 9 月和 11 月，只有 1 個小區有採集

到。最重的是 21.4g 的雄蟹，捕獲的雌雄比大約 3：7，會造成差異是因為雌雄活動特性及採樣因素。當時在沿著大肚溪南岸也有零星的臺灣早招潮分布，只是當時樣區中沒有採得，目前仍有少數臺灣早招潮族群。

2000 年伸港樣區採獲臺灣早招潮主要是集中在本棲地近岸處，但是 2005 年彰化縣政府為增設「臺灣早招潮蟹的故鄉」，在高灘處設立步道堤防，潮水僅能透過堤防下大型涵洞進退，因改變潮流速度、淹水時間、土壤顆粒大小，造成大肚溪口南岸族群由數百萬隻減為低於十隻，幾乎滅絕，之後改名為「招潮蟹的故鄉」。近期，彰化縣政府近期積極協調拆除部分防波堤，有助於潮水進退，雖然原來規劃範圍內族群數量仍然偏低，但是範圍外之西側，即 2005 年施作的步道堤防和 1996 年所圍成的潮間帶，族群有逐漸增加，證實堤防與臺灣早招潮之消長關係。2020 年調查時，臺灣早招潮甲殼寬 1-2 cm 的數量約 50%，2021 年調查時甲殼寬 1-2 cm 約 80%，顯示棲地改善，族群正逐漸復原。

臺灣早招潮的重要值最高為 86.7%，平均 32.35% (sd=22) (表 11)，乳白南方招潮的重要值最高 72.6%，平均 16.43% (sd=21.33)，弧邊管招潮的重要值最高為 58.1%，平均 24.83% (sd=17.05)，德氏仿厚蟹的重要值最高為 26.9%，平均 11.93% (sd=7.97)，樣區間的差異性大，有些為弧邊管招潮優勢，有些為臺灣早招潮優勢。

本棲地土壤類型大多為砂質壤土及砂質黏壤土，砂粒 51-86%，粉粒 5-25%，黏粒 8-24%，部分樣區土壤粒度偏細，為砂質黏壤土，此類棲地以弧邊管招潮優勢。伸港濕地樣區間之差異大於上下層差異，部分新增的臺灣早招潮分布區，其棲地下層土壤粒度顯著大於上層，顯示當棲地由砂質土轉變為壤質土，臺灣早招潮對應乳白南方招潮的優勢度也逐漸增加。

另外，調查發現在線西工業區的潮間帶浮筒太陽能板案場北側近岸處 (24°07'30.9"N 120°25'59.7"E) 也有台灣早招潮的棲地，王功漁港外 (23°58'05.6"N 120°19'25.5"E) 也有族群存在。但是因為族群相對較小且都

鄰近人為開發區域，有待後續持續觀測與追蹤。

(四) 濁水溪口兩岸 (彰化、雲林)

濁水溪口是近十年來新的臺灣旱招潮棲地，2008 年之前都還是經營的魚塢，2019-2021 年發現臺灣旱招潮分布更廣，族群數量增加，估計有數十萬隻。濁水溪口棲地無長期追蹤資料，濁水溪口兩岸臺灣旱招潮族群密度較高的區域有濁水溪口北岸彰化大城濕地 (圖 17)，臺灣旱招潮棲地面積約 196 ha，取得 8 個樣區，濁水溪口南岸雲林麥寮濕地，臺灣旱招潮棲地面積約 102 ha，取得 15 個樣區，雲林臺西海園臺，灣旱招潮棲地面積約 0.27 ha，取得 3 個樣區，濁水溪口兩岸及臺西海園共計 298.27 ha，取得 26 個樣區 (表 1)，各樣區蟹類相對重要值統計表 (表 12)。

1. 濁水溪口北岸大城濕地 23°50'54.0"N 120°16'14.5"E (彰化)

本棲地位於濁水溪出海口北岸高灘處，主要水系為下海墘排水，彰化大城濕地採樣站 (濁 1) 臺灣旱招潮棲

地面積約 196 ha，進行了 8 個樣區的採樣 (表 1)。

大城濕地臺灣旱招潮密集分布於棲地的東半部，常看見大面積單一優勢，廢棄魚塢區為臺灣旱招潮的主要棲地，越往西半部，因部分區域之土壤為粒徑偏大的砂土，所以臺灣旱招潮呈群落式鑲嵌分布。

本棲地位於大城鄉臺西村，舊名「下海墘厝」，原本並無臺灣旱招潮分布，根據資料顯示，濁水溪北岸的魚塢開發最主要是集中在 2000 年開始，到 2002 年已經頗具規模 (圖 18)。2009 年的大水讓濁水溪北岸已開闢魚塢破損嚴重，導致無法修復，部分魚塢區已經完全恢復成河口灘地，成為近十年來新出現的臺灣旱招潮棲地。造就臺灣最大的臺灣旱招潮族群，而且是單一優勢族群，類似於臺南曾文溪口 30 年前尚未有魚塢時的景象。

本棲地土壤類型為砂質黏壤土、壤土及砂質壤土，砂粒 51-58%，矽粒 22-29%，黏粒 13-25%，大城濕地樣區間及上下層之粒徑差異皆不大，8 個土壤樣本的平均砂粒 54.63%，平均



圖 17. 濁水溪口臺灣早招潮棲地之採樣站範圍。

Fig.17. Range of sampling stations in *Xeruca formosensis* habitats in the Choshui estuary, Taiwan.

採樣站	樣區數		臺灣早招潮	弧邊管招潮	乳白南方招潮	萬歲大眼蟹	德氏仿厚蟹	臺灣厚蟹
濁1	8	MAX	100.00	5.10	0.00	0.00	0.00	6.80
		AVERAGE	95.94	1.81	0.00	0.00	0.00	2.25
		STDEVA	4.49	2.13	0.00	0.00	0.00	2.63
濁2	15	MAX	98.40	25.50	8.30	25.80	2.20	20.00
		AVERAGE	84.45	4.35	1.66	1.72	0.36	7.45
		STDEVA	11.39	7.22	3.28	6.66	0.76	5.66
濁3	3	MAX	77.80	34.50	76.70	0.00	0.00	5.60
		AVERAGE	33.93	23.73	40.50	0.00	0.00	1.87
		STDEVA	38.97	9.47	38.53	0.00	0.00	3.23

表 12. 濁水溪口臺灣早招潮棲地之 26 個樣區蟹類相對重要值統計表

Table 12. Percentage of crabs relative importance value of 26 sampling plots in *Xeruca formosensis* habitats in the Choshui estuary.

份粒 25.88%，平均黏粒 19.5%。本棲地無論是廢棄魚塭區內，或是河岸邊，每個月都會有數日極端的乾燥期，海鹽完全在土壤表層結晶。本研究調查 4 月至 9 月有新築高塔的現象，塔高度約 10 至 20 公分。本棲地臺灣早招潮的密度、優勢度都很高，在各樣區內比例至少有 65.3%，甚至有好幾次取樣，在 4 m² 內的紀錄 100% 全部都是臺灣早招潮，地表活動的臺灣早招潮高達 44 隻 / m²，臺灣早招潮的重要值最高為 100%，平均 95.94% (sd=4.49) (表 12)，共域的蟹類最常見的是臺灣厚蟹，重要值在樣區內最高為 6.8%，平均 2.25% (sd=2.63)，濁水溪口北岸物種與全臺灣各棲地比最為單純。

2. 濁水溪口南岸麥寮濕地 23°49'45.0"N 120°14'11.5"E (雲林)

本棲地位於濁水溪口南岸，主要水系為濁水溪，雲林麥寮濕地 (濁 2) 採樣站臺灣早招潮棲地面積約 102 ha，進行了 15 個樣區的採樣。臺灣早招潮主要分布在三盛村許厝寮和麥寮海埔新生地之間，是約 10 年前新形成

的濁水溪水道，兩區海埔新生地之間的溪床，在退潮時可以步行通過。

根據 1984 年之衛星圖，濁水溪南岸即已開闢大面積的魚塭，1989 年六輕的圍堤施工開始在海岸線進行，到 1996 年防波堤的範圍大致上已達現今的規模，1997 年濁水溪口洪水氾濫，溪水改道，將大部分的魚塭沖毀，2002 年有部分修復，2009 年又一次氾濫，造成魚塭圍堤破損，加上近年來養殖不利，殘留魚塭保持現今的規模。棄養的魚塭區有部分成為臺灣早招潮的棲地，部分魚塭區甚至已經完全恢復成河口灘地，與濁水溪口北岸 -- 彰化大城濕地，隔約 2 km 的濁水溪，併列為臺灣最大的臺灣早招潮族群分布區。

濁水溪南岸大部分範圍為蘆葦等高莖植物，無植物覆蓋處多數時間呈現乾涸狀態。本棲地土壤類型為砂質壤土，砂粒 57-67%，份粒 21-25%，黏粒 12-18%，樣區間及上下層之粒徑差異皆不大。麥寮濕地臺灣早招潮的密度、優勢度都很高，2020 年調查期間，4 月有高密度的高塔，10 月仍可

發現殘存的高塔，顯示潮水強度低，可長時間維持塔型。2021 年調查時，甲殼寬 1-2 cm 的臺灣早招潮數量大幅增加，約佔族群數的 50%，地表活動的臺灣早招潮高達 47 隻 / m²，臺灣早招潮的重要值最高為 98.40%，平均 84.45% (sd=11.39) (表 12)，共域的蟹類有萬歲大眼蟹，通常這兩種蟹類會沿著水份梯度有明顯的分界，但在麥寮濕地其中 1 樣區中是完全共域，因此萬歲大眼蟹重要值最高達 25.8%，但平均僅 1.72% (sd=6.66)，顯示萬歲大眼蟹甚少和臺灣早招潮共域。常共域的臺灣厚蟹，在這裡也很常見，重要值最高為 20.0%，平均 7.45% (sd=2.63)。濁水溪口南岸物種相對單純，乳白南方招潮、弧邊管招潮的數量與全臺灣各棲地比明顯偏低。

3. 有才寮排水南岸臺西海園 (雲林)

23°44'07.7"N 120°10'34.7"E

本棲地位於有才寮排水至馬公厝排水間，1989 年開闢為臺西觀光海園，主要水系為有才寮排水，臺西海園採樣站 (濁 3) 面積約 0.27ha，進行

了 3 個樣區的採樣 (表 12)。

雲林海岸早期規劃臺西區海埔新生地，面積 777 ha，主要利用為養殖魚貝類。臺西海園在佔地 53 ha，最著名地標建物為海螺圓環，但才剛完工，臺西海園就被改編為工業用地而荒廢。因為人工建物堤岸多已破損，潮水自然漲退，逐漸帶入各種底棲生物，棲地有高低灘地、石縫、潮池等。臺西海園自 2005 年起即調查到穩定的臺灣早招潮族群，沿著水道兩旁長帶狀分布，範圍約有 1.5 ha，因地下水位高故無臺灣早招潮的高塔，共域的蟹類最特別的是北方丑招潮。2010 年因雲林縣永續藍帶空間營造計畫，著手修復臺西海園。2020-2021 年調查時，臺灣早招潮族群分布被壓縮到僅剩下臺西海園的東北角 (圖 18)，臺灣早招潮與乳白南方招潮、弧邊管招潮共域。臺西海園原本水道兩旁長帶狀分布的臺灣早招潮密度極低，相較於 2005 年到 2010 年間調查到的族群數量大幅的減少，大約只剩下 1%，這也是不當施工造成的棲地改變。

臺西海園的東北角土壤類型為



圖 18、濁水溪口北岸大城濕地 2002 及 2012 之地形差異。

Fig.18. Topographical difference between 2002 and 2012 in Dacheng Wetland of Choshui estuary.

砂質壤土，砂粒 59-72%，粉粒 17-27%，黏粒 11-14%，臺灣旱招潮與弧邊管招潮共同優勢，水道兩旁長帶狀為壤質砂土，其棲地下層土壤屬於砂土，粒度大於上層，此類棲地以乳白

南方招潮為主要優勢。

(五) 八掌溪口兩岸 (臺南)

八掌溪原本臺灣旱招潮的分布點位於出海口位置，目前上溯到距離海岸較遠的河岸，這些是新分布點皆是

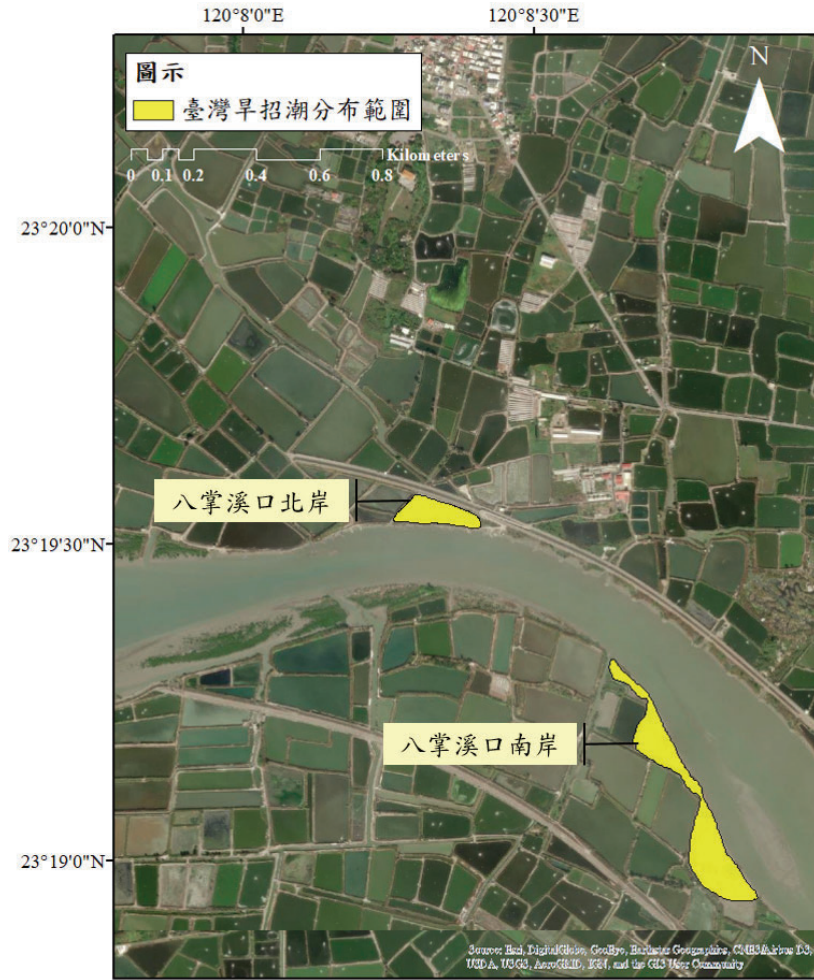


圖 19. 八掌溪口臺灣早招潮棲地之採樣站範圍。

Fig.19. Range of *Xeruca formosensis* sampling stations in Pachang estuary, Taiwan.

採樣站	樣區數		臺灣早招潮	弧邊管招潮	乳白南方招潮	北方丑招潮	淡水泥蟹	德氏仿厚蟹
八1&2	5	MAX	41.38	81.97	69.23	11.77	3.45	6.90
		AVERAGE	22.17	43.87	28.89	2.35	1.35	1.38
		STDEVA	14.09	24.02	24.51	5.26	1.84	3.08

表 13. 八掌溪口兩岸臺灣早招潮棲地之 5 個樣區蟹類相對重要值統計表

Table 13. Percentage of crabs relative importance value of five sampling plots in *Xeruca formosensis* habitats in the Pachang estuary.

因為原有魚塭受到洪水沖毀後棄養所留下的濕地(圖 19)。臺灣早招潮族群密度較高處在八掌溪口北岸，臺灣早招潮棲地面積約 2.32 ha，取得 2 個樣區及八掌溪口南岸，臺灣早招潮棲地面積約 5 ha，取得 3 個樣區，八掌溪口兩岸計 7.32 ha，共取 5 個樣區(表 1)，各樣區蟹類相對重要值統計表(表 13)。

1. 八掌溪口北岸 23°19'33.5"N
120°08'18.9"E

八掌溪口北岸採樣站(八 1)臺灣早招潮棲地面積約 2.32ha，主要水系為八掌溪，進行了 2 個樣區的採樣。早期八掌溪的族群因為魚塭開發及洪水的關係，已經消失殆盡。本研究調查發現之新棲地，族群低於千隻，為全臺灣各地穩定族群中較低的，距離河口海岸線(八掌溪口北岸沙洲外圍)直線距離大約 2.6 km。本棲地距離八掌溪堤防只有 60 m，因為侵蝕的關係原本的魚塭破損不堪使用，且侵蝕仍然持續，因此沿著河岸還有放置消波塊減緩侵蝕作用。本棲地為海茄冬外

圍的灘地，土壤類型有壤質砂土、砂質壤土及壤土，距離八掌溪河岸 3-5 m，面臨海岸侵蝕危機，以乳白南方招潮優勢，臺灣早招潮只有小面積群聚，因地下水位較高，沒有築高塔現象。本棲地進行 2 個樣區的採樣，併入八掌溪口南岸分析(表 13)。

2. 八掌溪口南岸 23°19'11.8"N
120°08'42.4"E

本棲地位於八掌溪口南岸採樣站(八 2)臺灣早招潮棲地面積約 5 ha，進行了 3 個樣區的採樣。本調查發現之新棲地，主要水系為八掌溪，族群低於千隻，距離八掌溪口北岸採樣站往上游上溯約 1 km，與河口雙春海岸線直線距離大約 3 km。八掌溪口南岸原本是緊鄰河岸的魚塭，分別於 2008 年、2018 年、2018 年因洪水，河岸退縮約 130 m，魚塭暫時無法修復，成為臺灣早招潮新棲地，目前侵蝕危機已較緩和。

本研究在八掌溪口南北兩岸共進行了 5 個樣區的採樣，臺灣早招潮的重要值最高為 41.38%，平均

22.17% (sd=14.09)，弧邊管招潮最高為 81.97%，平均 43.87% (sd=24.02)，乳白南方招潮 69.23%，平均 28.89% (sd=24.51) (表 13)，偶見北方丑招潮、德氏仿厚蟹和淡水泥蟹。

八掌溪口南岸臺灣早招潮分布面積較八掌溪口北岸大，雖無強烈侵蝕危機，但卻面臨新魚塭開闢壓力。八掌溪口南北兩岸土壤類型大多為砂質壤土及砂質黏壤土，砂粒 63-91%，矽粒 3-27%，黏粒 6-13%，部分樣區土壤粒度偏粗，偏砂土，此類棲地以乳白南方招潮優勢。

(六) 曾文溪口兩岸 (臺南)

曾文溪口北岸有設置樣區的調查自 1992-1994 年開始設置樣區，之後每年皆有進行現場複查，2008-2010 年再次設置樣區，2019-2020 年再次進行調查，雖有長期調查資料，但早期設置的樣區大多已經因為侵蝕而消失，目前族群密度較高的區域 (圖 20) 分別在曾文溪北岸沙洲，臺灣早招潮棲地面積約 6 ha，取得個 4 樣區，曾文溪北岸海埔堤防水門，臺灣早招潮

棲地面積約 50.5 ha，取得個 18 樣區，曾文溪南岸河岸旁高灘地，臺灣早招潮棲地面積約 10.3 ha，取得 10 個樣區，曾文溪南岸魚塭間排水溝，臺灣早招潮棲地面積約 1 ha，取得 6 個樣區，曾文溪南岸青草崙堤防旁濕地，臺灣早招潮棲地面積約 2.45 ha，取得 12 個樣區，共計 50 個樣區 (表 1)，各樣區蟹類相對重要值統計表 (表 14)。

自 1992-2010 年曾文溪口臺灣早招潮的調查都針對北岸，當時的棲地可以分成 3 區，其中一區因新浮崙沙洲南端流失而不復見，另在曾文溪北岸河海堤內黑面琵鷺保護區的範圍，七股河海堤圍起來的範圍為 827ha，西半部之浮覆地面積約 280 ha，原本是臺灣早招潮棲地，1992 年曾經記錄高密度的族群，大面積分布且單一優勢。1994 年之後浮覆地南側逐漸被魚塭佔滿，族群急速萎縮。280 ha 之浮覆地於 2002 年劃設為臺南曾文溪口北岸黑面琵鷺野生動物保護區，2008 年調查時臺灣早招潮族群分布範圍為 40 ha，棲地寬度有 420 m，長度 960 m，

與海岸線距離 600-800 m，與曾文溪河岸距離 2400m(劉 2011)。該棲地目前由於難以進入，本研究沒有重新調查，依據 2008 年調查，以乳白南方招潮為優勢，優勢度 50-90%，臺灣早招潮洞外活動族群數量約 1-6 隻 / m²，低潮位處(平均低潮線以下)可見與萬歲大眼蟹或北方丑招潮共棲，但數量很少，優勢度 10% 以下。

本研究 2019-2020 年再次進行曾文溪口北岸調查有 2 區，曾文溪之北河岸沙洲(曾 1)採樣站，距離海岸大約 3 km 處；曾文溪海埔堤防兩側(曾 2)採樣站，距離海岸大約 5 km 處，因為大部分都已經是魚塭，臺灣早招潮族群主要分布在廢棄魚塭和魚塭間之排水溝，極小部分地區呈現單一優勢。曾文溪南岸臺灣早招潮的分布非常破碎，大概可以分成 3 區(曾 3、曾 4、曾 5)採樣站，距離海岸大約 4-5 km，因為臺灣早招潮的棲地之間受到魚塭明顯的區隔，距離遠，分布非常的零散，各區有不同水道，暫時列為獨立的族群，分別取樣分析。

1. 曾文溪口北岸沙洲 23°03'52.1"N

120°04'42.1"E

本棲地位於曾文溪口北岸採樣站(曾 1)臺灣早招潮棲地面積約 6 ha，進行了 4 個樣區的採樣(表 14)。

根據曾文溪口北岸 1994 年之調查(劉等 1993, 劉等 1994)，新浮崙沙洲南端與曾文溪北岸交會處的沙灘，原有大面積的臺灣早招潮單一優勢，1995 年之後全部佔滿了魚塭，但仍然有殘存的臺灣早招潮在廢棄的魚塭存活，但曾文溪口北岸及新浮崙沙洲南端嚴重內縮，2009 年後原分布此處之臺灣早招潮，已因侵蝕而消失殆盡。2008 年至 2010 年發現曾文溪岸沙洲中間有一大群單一優勢臺灣早招潮(劉 2012)，沙洲與河口海岸線(七股河海堤交會處)直線距離大約 3km，歷經 3 年調查，臺灣早招潮的族群數穩定，雖然 2009 莫拉克颱風有造成影響，於 2009 年 8-11 月，有 4 個月的砂粒含量略高，且有一處臺灣早招潮棲息的河岸被沖蝕而消失，水災後約 6 個月族群大致復原。追蹤 2007 年以來曾文溪北岸河岸沙洲的衛星圖，發現沙洲面積原本約有 27ha，2012 年減少一半



圖 20. 曾文溪口臺灣早招潮棲地之採樣站範圍。

Fig.20. Range of *Xeruca formosensis* sampling stations in the Tsengwen estuary, Taiwan.

表 14. 曾文溪口臺灣早招潮棲地之 50 個樣區蟹類相對重要值統計表

Table 14. Percentage of crabs relative importance value of 50 sampling plots in *Xeruca formosensis* habitats in the Tsengwen estuary.

採樣站	樣區數		臺灣早招潮	弧邊管招潮	乳白南方招潮	北方丑招潮	臺灣厚蟹	近親擬相手蟹	雙齒擬相手蟹	鋸緣青螿
曾1	4	MAX	84.80	38.70	72.40	35.50	10.30	0.00	0.00	0.00
		AVERAGE	31.38	22.10	32.65	8.88	5.00	0.00	0.00	0.00
		STDEVA	35.97	13.96	35.08	17.75	5.78	0.00	0.00	0.00
曾2	18	MAX	69.20	57.90	24.00	0.00	20.40	11.50	8.20	3.10
		AVERAGE	43.79	34.60	9.61	0.00	9.66	1.22	0.95	0.17
		STDEVA	16.85	12.82	8.09	0.00	6.37	3.56	2.31	0.73
曾3	10	MAX	52.90	76.50	70.00	40.00	21.40	0.00	0.00	0.00
		AVERAGE	25.53	19.57	37.09	8.32	9.48	0.00	0.00	0.00
		STDEVA	13.73	27.96	23.72	13.45	8.60	0.00	0.00	0.00
曾4	6	MAX	43.50	53.30	18.80	0.00	30.80	0.00	0.00	0.00
		AVERAGE	22.03	47.27	9.32	0.00	21.38	0.00	0.00	0.00
		STDEVA	11.54	7.29	6.17	0.00	6.91	0.00	0.00	0.00
曾5	12	MAX	97.20	25.60	57.60	0.00	15.10	0.00	0.00	0.00
		AVERAGE	69.75	7.30	19.69	0.00	3.24	0.00	0.00	0.00
		STDEVA	20.77	6.68	19.31	0.00	5.42	0.00	0.00	0.00

年，剩 13.5 ha，之後年年減少，河岸再退縮，目前河道寬度已增加 150m。2019 年沙洲中心仍可發現小群單一優勢臺灣旱招潮，但大多數是和乳白南方招潮、弧邊管招潮共棲。

曾文溪北岸沙洲土壤類型為壤質砂土，臺灣旱招潮的重要值最高為 84.8%，平均 31.38% (sd=35.97)，乳白南方招潮最高為 72.40%，平均 32.65% (sd=35.08)，弧邊管招潮最高為 38.7%，平均 22.1% (sd=13.96)，北方丑招潮最高為 35.50%，平均 8.88% (sd=17.75) (表 14)。

2. 曾文溪北岸海埔堤防水門兩側 23°05'04.7"N 120°05'26.3"E

本棲地位於曾文溪北岸海埔堤防水門兩側採樣站 (曾 2) 臺灣旱招潮棲地面積約 50.5ha，共進行了 18 個樣區的採樣 (表 14)。

海埔堤防採樣站距離曾文溪海口交會處遠達 5 km，是臺灣旱招潮在臺灣各地穩定族群中的棲地，距離海次遠的區域。隔七股河堤有部分廢棄之魚塭，有約數千隻族群。追蹤 2007

年之衛星圖，曾文溪北岸明顯侵蝕已經後退 150 m(圖 21)。本棲地所有的潮水都是由大排水溝的涵洞進入，主要的潮水來自於與曾文溪相通的大排水，另有極小部分則是從海埔堤旁的排水溝，整塊棲地目前被土提大略分為三區，最靠近大排水的區域是臺灣旱招潮的數量最多，主要的共棲物種是弧邊管招潮和臺灣厚蟹。本小區常呈現極度乾燥的情形，許多區塊在大退潮時有海鹽結晶，4 月到 6 月間有許多新築的高塔。中間一區的高程較低，經常處於淹水的狀態，以弧邊管招潮為主要優勢，與大彈塗魚共棲，罕見臺灣旱招潮。最西邊的區域，植生繁茂，高灘地有少數海茄苳生長，臺灣旱招潮主要出現在植群間的空地，4 月到 10 月間有許多高塔，在大退潮時有海鹽結晶，土壤明顯龜裂。

臺灣旱招潮的重要值最高為 69.2%，平均 43.79% (sd=16.85)，常見弧邊管招潮最高為 57.90%，平均 34.60% (sd=12.82)，乳白南方招潮最高為 24.00%，平均 9.61% (sd=8.09)，臺灣厚蟹最高為 20.40%，平均 9.66%

(sd=6.73) (表 14)。本棲地最特別的就是有大量的鋸緣青蟬出沒，也吸引捕抓紅蟬的居民，經常在低潮位的泥灘地上搜捕，留下密集的腳印，紅蟬偶爾也會跑到較為乾燥的高灘地，和臺灣旱招潮共同出現。同一地點歷經多次採樣發現，以臺灣旱招潮為主要優勢的位置，有時也會變成弧邊管招潮優勢。

本棲地土壤質地砂粒 56-77%，矽粒 12.5-25%，黏粒 10-21%，土壤類型大多為砂質壤土，少數樣區土壤粒度偏細，為砂質黏壤土，此類棲地以弧邊管招潮優勢。

3. 曾文溪南岸河岸旁高灘地

23°04'36.8"N 120°05'34.9"E

本棲地位於曾文溪南岸灘地距離河海交會口 4-5 km，為狹長型的棲地，曾文溪南岸旁高灘地採樣站 (曾 3) 臺灣旱招潮棲地面積約 10.3 ha，進行了 10 個樣區的採樣 (表 14)。

本棲地土壤質地砂粒 59-70%，矽粒 21-22%，黏粒 9-19%，土壤類型為砂質壤土。曾文溪南岸高灘地部分

區域有海茄冬，臺灣旱招潮主要分布於海茄冬之間的空地，有些廢棄魚塭因為土堤崩垮，潮水可以直接進退，形成臺灣旱招潮的新棲地，曾文溪南岸灘地族群約數千隻。臺灣旱招潮的重要值最高為 52.90%，平均 25.53% (sd=27.96)，乳白南方招潮最高為 70.00%，平均 37.09% (sd=23.72)，弧邊管招潮最高為 76.50%，平均 19.57% (sd=27.96)，北方丑招潮最高 40.00%，平均 8.32% (sd=13.45) (表 14)，和北方丑招潮混棲的臺灣旱招潮皆為亞成蟹，集中於較低潮線處。

4. 曾文溪南岸魚塭區排水溝

23°04'38.5"N 120°05'55.7"E

本棲地位於曾文溪南岸東側魚塭區之主要水道，大退潮時會退乾至完全無水，2019 年之前無調查資料，曾文溪南岸魚塭區排水溝採樣站 (曾 4) 臺灣旱招潮棲地面積約 1 ha，進行 6 個樣區的採樣 (表 14)。

臺灣旱招潮族群很少會棲息在排水溝，因為排水溝的坡度通常較陡，泥灘地的面積比較狹窄，不符合臺灣

旱招潮的基本需求。本棲地是臺灣各地穩定族群中，少數分布於魚塭區排水溝的族群，且有高塔的現象，很特別，曾文溪南岸排水溝族群約千隻。

本棲地土壤質地砂粒 62-68%，矽粒 22-26%，黏粒 10-12%，土壤類型為砂質壤土。臺灣旱招潮的重要值最高為 43.5%，平均 22.03% (sd=11.54)，乳白南方招潮最高為 18.80%，平均 9.32% (sd=6.17)，弧邊管招潮最高為 53.30%，平均 47.27% (sd=7.29)，厚蟹最高為 30.80%，平均 21.38% (sd=6.91) (表 14)。

5. 曾文溪南岸青草崙堤防

23°04'21.0"N 120°05'47.4"E

本棲地為緊鄰青草崙堤防旁之廢棄魚塭，2019 年之前無調查資料，曾文溪南岸青草崙堤防採樣站 (曾 5) 臺灣旱招潮棲地面積約 2.45 ha，進行了 12 個樣區的採樣 (表 14)。

本棲地距離河岸與海岸較遠，主要的潮水應來自於與曾文溪相通的排水溝，原本 2008 年之前已開闢成為魚塭，2012 年之後沿著青草崙堤防之魚塭逐漸荒廢至今，但 2019 年有部分廢棄之魚塭又重新開闢 (圖 21)。本棲地被一條小路區隔為東西兩塊，兩區各有一條水道大部分的泥灘地有明顯的乾燥期，主要臺灣旱招潮單一優勢範圍，常呈現極度乾燥的情形，許多區塊在大退潮時有海鹽結晶，東西區 4



圖 21. 曾文溪口 2007 及 2019 之地形差異。

Fig.21. Topographical difference between 2007 and 2019 in the Tsengwen estuary.

月到6月間有許多新築的高塔。樣區間的差異大，西區臺灣早招潮單一優勢範圍，有時候是乳白南方招潮優勢，排水道旁經常處於淹水的範圍，以弧邊管招潮為主要優勢，有時又是臺灣早招潮，時間的差異也很大。

曾文溪南岸青草崙堤防旁臺灣早招潮有小面積單一優勢，族群估計數千隻，重要值最高為97.20%，平均69.75% (sd=20.77)，乳白南方招潮最高為57.60%，平均19.69% (sd=19.31)，弧邊管招潮最高為25.60%，平均7.30% (sd=6.68)，臺灣厚蟹最高為15.10%，平均3.24% (sd=5.42) (表14)。

本棲地土壤質地砂粒63-93%，粉粒3-22%，黏粒4-15%，土壤粒徑差異大，類型大多為砂質壤土，其中1樣區的下層取得砂粒93%的砂粒，該樣區上層僅70%的砂粒，顯示部分地區曾有劇烈擾動。

六、臺灣早招潮棲地環境因子綜合效應與分布範圍

臺灣早招潮為臺灣特有種，只分布在臺灣。本研究藉由全臺灣的臺灣

早招潮棲地調查，掌握臺灣早招潮的分布，對應歷史族群變化，推論臺灣早招潮對於棲地需求。臺灣早招潮的調查因挖掘干擾有些成蟹會由分支通道逃離，臺灣早招潮的洞穴極深，比對早期的挖掘樣區資料，族群常會被低估。後續使用影像觀察法，可以較為精準的計算數量，但需有豐富的調查經驗，由於這種螃蟹不出洞的時候，會把洞口完全封起來，因洞口被封閉的地方完全看不出來有螃蟹棲息，因此數量估算不易，調查時又受到潮位影響。本研究新作樣區調查及早期挖掘樣區的資料，後續比對等皆為筆者親自進行，以減少人為誤差。累積近30年的經驗及資料，確認臺灣早招潮穩定族群分布範圍雖是動態，但對於棲地需求有相當環境綜合效應。

(一) 環境因子綜合效應

水溫受到季節變化的影響，鹽度受到漲退潮的影響，溶氧量的受到生物作用的影響，監測水質的鹽度pH值和溶氧量客提供基本的來源水狀況，通常鹽度在平均海水33‰時，pH

值約為 8.1。檢測棲地週邊水域，鹽度的變化非常的大，幾乎是從淡水到超過平均海水鹽度 33%，而且棲地在小潮之全乾早期，還會形成棲地表面土壤海鹽的結晶。

土壤質地受到地形、水流速度、淹水時間等因素的影響，因低潮線的位置淹水時間長，每個月有 10 天可以完全淹沒，高潮線的位置淹水時間短，每個月有 10 天不會淹水，再加上地形影響，坡度陡流速比較快，土壤的粒徑較大，坡度平緩或是地形有下凹，潮水進退緩慢，粒徑較小，就組合出各種不同的棲地類型。

臺灣早招潮主要分布的土壤質地可分為壤質砂土、砂質壤土、砂質黏壤土三種，對應影響淹水時間的低、中、高潮線位置，可歸納出與臺灣早招潮共棲物種之差異。

1. 高潮線之砂土及壤質砂土以乳白南方招潮優勢，臺灣早招潮少量；高潮線之砂質壤土為臺灣早招潮優勢、乳白南方招潮共棲；高潮線之砂質黏壤土為臺灣早招潮單一優勢，共棲物種臺灣厚蟹，極少量。

地形或堤防等人工構造物影響導致積水，使淹水時間變長，雖位於高潮線的位置，共棲物種會有差異，例如高美堤防前方，因為堤腳沖刷導致地勢較低，雖位於高潮線的位置，但卻是中潮線的淹水時間。

2. 中潮線之砂土及壤質砂土為臺灣早招潮、乳白南方招潮共同優勢；中潮線之砂質壤土臺灣早招潮、乳白南方招潮、弧邊管招潮共同優勢；中潮線之砂質黏壤土臺灣早招潮、弧邊管招潮共同優勢，德氏仿厚蟹、臺灣厚蟹少量共棲。
3. 低潮線之砂土及壤質砂土為乳白南方招潮、北方丑招潮共同優勢，臺灣早招潮少量；低潮線之砂質壤土弧邊管招潮優勢，臺灣早招潮極少量；低潮線之砂質黏壤土以萬歲大眼蟹優勢，臺灣早招潮極少量。

(二) 未有臺灣早招潮紀錄之海岸

1. 臺灣自淡水河以北，整個北海岸，往東，整個東北角海岸，整個東海岸，往南，整個恆春半島，由恆春半島往北，至高屏溪口，從未有臺

灣旱招潮的紀錄。除澎湖外之所有離島，亦從未有臺灣旱招潮的紀錄。

2. 臺灣西海岸之桃園、苗栗、臺中市的大甲溪口以北，從未有臺灣旱招潮的紀錄。
3. 曾有臺灣旱招潮紀錄，目前已經消失的棲地，包括蘭陽溪、淡水河口、彰化芳苑、鹿港、臺南安平、高雄永安、高屏溪口、澎湖青螺地區。嘉義縣東石朴子溪口曾有紀錄，但目前並未發現，持續探尋中。

(三) 臺灣旱招潮成蟹之棲地特徵

臺中海岸從大甲溪北岸到苗栗都沒有臺灣旱招潮的分布，原本高美濕地也沒有，後來逐漸在高美開始出現，目前延伸往北到大甲溪南岸，而且可以明確的觀察到該棲地的族群才剛建立，都是幼小的亞成蟹，向南延伸到清水大排，在高美的族群已經穩定繁殖，高塔的類型是屬於高瘦型。大肚溪南岸的臺灣旱招潮族群也在逐漸恢復中，

臺灣旱招潮的分布有些沿著海

岸，有些沿著河岸上溯，甚至遠達 5 km 以上，然並非沿著海岸的鹽度就會比較高，臺中海岸最主要的棲地特性為湧泉發達，因此測得的鹽度較其他的海岸為低，特別是許多已經位於潮間帶，仍然可以測到接近淡水的鹽度。因此有海岸湧泉的高美濕地鹽度偏低，而新竹美山濕地亦因海釣場和養殖魚塭區長年排放淡水，降低棲地的鹽度，所以雖沿著海岸，在環境的綜合效應下，也有類似大肚溪口、濁水溪口、八掌溪口、曾文溪等河岸離海遠達 3-6 km 地區的條件。

2021 年 3 月至 5 月之間降雨量較往年偏低，發現海岸的潮水上漲的高度較往年為低，發現多處臺灣旱招潮蟹族群，族群數略有增加，亦有新分布的範圍，但分布區互有消長。降雨量及洪水都會造成棲地的變化，改變臺灣旱招潮族群分布的位置，甚至影響繁殖期是建築高塔的高峰期，高美濕地在 4-5 月份調查時，並無明顯高塔，但 7-8 月就發現許多高塔，而且高美濕地的族群都是非常幼小的個體，佔了八成以上，即使是成熟個體，

也是交配次數較為少的年輕螃蟹。香山濕地、濁水溪及曾文溪口 4-5 月份調查時就發現許多高塔，通常 6 月之後就罕見新築的高塔，2021 年 6 月的洪水造成濁水溪北岸 9 月仍在築新塔。

七、臺灣早招潮族群分布區法規保護現況及開發威脅

臺灣早招潮分布在香山濕地、高美濕地、大肚溪口、濁水溪口、八掌溪口和曾文溪口，其中列入國家重要濕地的有香山濕地、高美濕地、大肚溪口、八掌溪口和曾文溪口，但是臺灣早招潮蟹族群主要的分布區大多不在野生動物保護區的範圍，例如：三姓溪口、大庄溪口、美山濕地、朝山濕地、鹽港溪口臺 61 線東側、大肚溪口北岸麗水、八掌溪口等處皆在野生動物保護區的範圍之外。曾文溪口同時受到野動法、濕地法和國家公園法的保護，但是主要密集分布的區域也都沒有在保護的範圍內。雲林濁水溪口兩岸及臺西海園是目前完全沒有任何法規保護的棲地。

(一) 香山濕地：客雅溪口以南至鹽港

溪口以北之海岸(新竹)

浸水垃圾掩埋場及客雅水資源回收中心的用地，位在香山濕地的北區，當時的紀錄，臺灣早招潮蟹常出現單一優勢，且數量龐大，後來浸水垃圾掩埋場及客雅溪污水處理廠陸續興建。2001 年公告 1,600 ha 之新竹市濱海野生動物保護區，當時紅樹林的分布仍非常零星，但迅速蔓延，10 年間就占滿高灘地，紅樹林逐漸成林，適合臺灣早招潮蟹的棲地大幅減少。再來，香山濕地因紅樹林移除，臺灣早招潮族群逐漸增加，部分地區已經成為優勢蟹種。因為位於高灘地，經確認是國家重要濕地範圍，但目前三姓溪口(香 1 採樣站)、大庄溪口(香 2 採樣站)、美山濕地(香 3 採樣站)等 3 處範圍，全部未列入新竹市濱海野生動物保護區，朝山濕地(香 4 採樣站)大部分範圍亦未列入新竹市濱海野生動物保護區，僅海山罟濕地(香 5 採樣站)及香山 6 採樣站鹽港溪口北岸(香 6-1 採樣站)有納入香山濕地野生動物保護區的緩衝區。但臺 61 線東側鹽港濕地(香 6-2 採樣站)並非保

護區也不是國家重要濕地，目前沒有任何法源保護。

鹽港濕地漲退潮原本藉由大型涵洞，因農民刻意阻塞公路下方多處涵洞水流，目前涵洞口堆疊磚頭，即使是大潮漲滿，大型涵洞也無潮水流入，導致臺灣早招潮蟹棲地劣化、族群萎縮，有滅絕之慮。經與公路局第一工程處會勘後，確認需進行涵洞整治，卻遭居民強烈反對，經溝通後需協助改善週邊農地遭受潮水影響。新竹市政府根據香山濕地外緩衝區經營管理辦法，執行土堤施作等措施，原為爭取居民認同，期能有效阻止臺灣早招潮在此棲地滅絕，但 2020 年初步執行土堤施作措施不當，2021 年族群數已大幅減少，僅存約 2020 年調查數量的 1/10，甚為可惜。有幸公路局已移除涵洞的阻塞物，潮水漲退量增大，棲地有復原機會，特別的是鹽港濕地是唯一有記錄到麗彩擬瘦招潮族群的棲地，有別於其他棲地，值得優先保育。

(二) 高美濕地：大甲溪口以南至清水大排以北之海岸(臺中)

2004 年依據野生動物保育法公告為臺中縣高美野生動物重要棲息環境，並劃設為臺中縣高美野生動物保護區，並由內政部重要濕地審議小組所指定之國家級濕地。

大甲溪南岸兩處新的臺灣早招潮棲息地，有時會出現大量的幼蟹，族群尚未穩定，高美海堤外高灘地臺灣早招潮，有交配行為，屬於穩定族群，整體族群的擴散，受限於紅樹林、高莖植物分布及鹽地鼠尾粟密生程度，需要人為介入經營管理。

(三) 大肚溪口北岸臺中麗水濕地(臺中、彰化)

彰化縣政府與臺中縣政府於 1994 年會銜公告設立之大肚溪口野生動物保護區，也是內政部重要濕地審議小組所指定之國家級濕地，但麗水及伸港濕地 2 採樣站皆非保護區的範圍內。麗水濕地臺灣早招潮棲地周圍目前有光電工程進行，2020 年基地的南邊正在填土，未來光電工程持續擴建，可能威脅臺灣早招潮族群。

(四) 濁水溪口兩岸(彰化、雲林)

濁水溪口為近 10 年新的臺灣早招潮分布，濁水溪口北岸的廢棄魚塭區中有非常大面積的臺灣早招潮蟹單一優勢，目前並非保護區，也不是國家重要濕地，所以沒有任何法源保護，棲地隨時會被開發利用。

麥寮地區面臨最大的問題就是冬季在河口地區形成的嚴重漂砂，讓在地居民強烈要求進行河川整治，2019 年河川局的整治工程卻掩埋了一大片臺灣早招潮分布範圍。目前濁水溪南岸高密度臺灣早招潮族群面臨的威脅是濁水溪出海口生態保育創生園區計畫，已獲得第四河川局支持，基地在臺 61 線以西共計 1400 ha，將打造全臺最大河口生態園區。

(五) 八掌溪口兩岸 (臺南)

僅有內政部重要濕地審議小組所指定之國家級濕地，但八掌溪北岸臺灣早招潮分布區原為魚塭，並沒有列入國家重要濕地範圍，目前還面臨海岸侵蝕危機。八掌溪口南岸棲地原也是魚塭，雖列入國家重要濕地範圍，但仍隨時會被開發利用為魚塭。

(六) 曾文溪口兩岸 (臺南)

2002 年劃設為臺南曾文溪口北岸黑面琵鷺野生動物保護區，及「臺南縣曾文溪口野生動物重要棲息環境」，也是內政部重要濕地審議小組所指定之國家級濕地，2009 年 12 月 28 日成立臺江國家公園。

原本臺灣早招潮在曾文溪口高密度單一優勢的分布範圍廣闊 (劉等 1993, 劉等 1994, 劉 2012)，但目前曾文溪口兩岸族群累計僅存約數萬隻，肇因為曾文溪口北岸侵蝕日益嚴重，估計曾文溪口北岸沙洲 (曾 1 採樣站) 數年內應會流失。其次魚塭的開闢佔據臺灣早招潮最適棲地，若無法控管魚塭的擴展，則臺灣早招潮的族群量難以復原 (劉 2012)。2021 年交通部公路總局西部濱海公路南區臨時工程處著手進行連接十分交流道與臺江大道的「西濱快速公路曾文溪橋段新建工程」，曾文溪口兩岸之曾 2-5 採樣站，包括曾文溪北岸海埔堤防水門兩側、曾文溪南岸河岸旁高灘地、魚塭區排水溝及青草崙堤防旁之廢棄魚塭，都距離曾文溪橋的施工地點很

近，有些就位於橋墩施作會影響的區域，受到人為施工干擾，有滅絕之憂。

結論與建議

一、結論

鹽港溪臺 61 線東側的鹽港濕地和大肚溪北岸的麗水，這兩個棲地的臺灣旱招潮個體都非常的成熟，從大螯的外型可以確認交配次數很多，是一個老熟的族群，且經過 2 年密集調查，亦確認族群的年齡結構分布平均，然而棲地面積過小，既不在保護區內，也不是公有土地，所以若受到人為干擾，將有滅絕之憂。

高美海堤外高灘地，有紅樹林、高莖植物及鹽地鼠尾粟繁生，限縮臺灣旱招潮存活空間。

雖然濁水溪口現在的臺灣旱招潮棲地面積相當的大，但是目前正進行的濁水溪漂砂整治，已經掩埋一大片臺灣旱招潮蟹單一優勢的棲地，後續規劃大面積的濁水溪出海口生態保育創生園區計畫，勢必嚴重影響這族群

的永續。

八掌溪口及曾文溪口因海岸侵蝕，導致 1992-2008 年原有調查之臺灣旱招潮棲地已流失，無恢復機會。

八掌溪口兩岸臺灣旱招潮分布區，2016 年前還是魚塭，目前北岸面臨海岸侵蝕危機，南岸面臨新魚塭開闢壓力。

曾文溪橋段新建工程橋墩施作會影響臺灣旱招潮分布的區域，大量族群減損，幾無可避免。

二、建議

臺灣旱招潮是臺灣特有屬及特種，數十年前曾經因人為開發等因素，導致族群嚴重萎縮，本研究盤點臺灣幾個數量較大的臺灣旱招潮族群，根據目前共域種、優勢種、蟹類組合及微棲地特徵，並回溯 1992-2018 年之調查資料，進行不同棲地臺灣旱招潮的族群消長與分布變遷探討分析，基於棲地特性及上述可能危機，提出以下數點具體建議：

- (一) 香山濕地野生動物保護區的範圍應調整涵蓋高灘地，並將臺 61 線東側鹽港濕地納入保護，需要人為介入經營管理。
- (二) 高美濕地高灘地需要人為介入處理迅速擴張的外來種高莖植物。
- (三) 麗水及伸港臺灣旱招潮分布區應納入大肚溪口野生動物保護區。
- (四) 濁水溪口臺灣旱招潮分布區應劃設野生動物保護區，並檢討濁水溪口漂砂整治工程，追蹤保育創生園區計畫，避免發生不可逆的棲地破壞。
- (五) 八掌溪北岸臺灣旱招潮分布區建議列入國家重要濕地範圍。
- (六) 追蹤曾文溪橋段新建工程橋墩規劃及施作過程，盡量迴避現有臺灣旱招潮分布區，以減低衝擊。

參考文獻

Crane, J. 1975 Fiddler Crabs of the world: Ocypodidae: Genus Uca. Princeton, NJ: Princeton University

Press.

Gauch, H. G. Jr. 1982. Multivariate Analysis in Community Ecology. Cambridge University Press, New York.

Hill, M. O., and H. G. Gauch, Jr. 1980. Detrended correspondence analysis: an improved ordination technique. *Vegetatio* 42:47-58.

Kovach, W. L. 1999. MVSP Multi-Variate Statistical Package for Windows, ver.3.1 Kovach Computing Services, Pentraeth, Wales, U.K.

Liao, S. W., W. L. Chang, and S. W. Lin. 2008. Status and habitat preferences for endemic inhabitants of fiddler crab *Uca formosensis* in Hsiang-Shan wetland, Taiwan. *Environmental Monitoring and Assessment* 143:203-214.

Rathbun, M. J. 1921. New species of crabs from Formosa. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 34, 155-156.

Shih, H.T., H. K. Mok, H. W. Chang, and S. C. Lee. 1999. Morphology

- of *Uca formosensis* Rathbun, 1921 (Crustacea: Decapoda: Ocypodidae), an endemic fiddler crab from Taiwan, with notes on its ecology. *Zoological Studies* 38(2):164-177.
- Shih, H. T., H. K. Mok, and H. W. Chang. 2005. Chimney building by male *Uca formosensis* Rathbun, 1921 (Crustacea: Decapoda: Ocypodidae) after Pairing: a new hypothesis for chimney function. *Zoological Studies* 44(2): 242-251.
- Shih, H. T. 2015. *Uca* (*Xeruca*), a new subgenus for the Taiwanese fiddler crab *Uca formosensis* Rathbun, 1921 (Crustacea: Decapoda: Ocypodidae), based on morphological and molecular evidence. *Zootaxa* 3974: 151–169.
- Shih, H. T., K. L. N. Peter, J. F. D. Peter, D. S. Christoph, T. Michael, N. Reza, J. Diana, and M. Y. Liu. 2016. Systematics of the family Ocypodidae Rafinesque, 1815 (Crustacea: Brachyura), based on phylogenetic relationships, with a reorganization of subfamily rankings and a review of the taxonomic status of *Uca* Leach, 1814, sensu lato and its subgenera. *Raffles Bulletin of Zoology* 64: 139–175.
- 尤少彬、張文亮。2009。新竹市客雅水資源回收中心自然生態教育推廣計畫。國立中興大學執行。新竹市政府委託，173 頁。
- 汪淑慧、郭一羽、朱達仁、苗華涓、陳柏成。2007。新竹市客雅水資源回收中心建置對臺灣招潮蟹之影響研究。29 屆海洋工程研討會論文集 p.493-498。國立成功大學。
- 朱達仁、何平台、汪淑慧、張小娟。2008。新竹市客雅水資源回收中心生態復育區棲地改善計畫—台灣招潮蟹及其棲地研究。新竹市政府委託計畫。
- 李曉易。1991。台灣招潮蟹的生態與行為研究。中山大學海洋生物研究所論文。
- 林世偉。2005。以判別分析探討香山溼地臺灣招潮蟹棲地特性。國立臺灣大學生物環境系統工程學研

- 究所碩士論文，指導教授：張文亮，44 頁。
- 林世偉、廖少威、張文亮，2006。香山溼地臺灣招潮蟹棲地類型底質特性研究。農業工程學報 52: 1-14。
- 林惠真。2015。高美野生動物保護區資源監測計畫。臺中市政府農業局補助辦理計畫成果報告。
- 邱永昌、陳俊強、呂宗明，2004。高屏溪口蟹類資源。高雄縣中芸國小，高雄，50 頁。
- 洪昆璿。2015。臺灣西部沿海台灣招潮蟹族群的遺傳與形態變異。東海大學生命科學研究所碩士論文，指導教授：林惠真。
- 施習德。1997。屬於福爾摩莎的「台灣招潮」，何去何從？—記臺灣特有種招潮的現況。臺灣博物 54: 68-80。
- 施習德。1999。以形態、遺傳及生態研究臺灣特有種台灣招潮蟹之分類系統。國立中山大學海洋生物研究所博士論文，指導教授：莫顯蕎、張學文、李信徹。
- 施習德。2008。新竹市客雅水資源回收中心生態復育區棲地改善計畫—台灣招潮及其棲地研究。新竹市政府委託計畫。
- 彰化縣政府、臺中縣政府。1994。大肚溪口鳥類保護區保育計畫書。
- 彰化縣政府。2013。102 年度大肚溪口招潮蟹棲地改善評估作業成果報告書。
- 陳有祺、周文杰、張登凱、陳賜賢。2009。新竹市客雅水資源回收中心生態復育區棲地改善計畫—復育區棲地研究改善。新竹市政府委託計畫。
- 陳章波。2005。客雅水資源回收中心預定地台灣招潮蟹及其他物種遷移與後續監測。中央研究院生物多樣性研究中心執行，新竹市政府委託，79 頁。
- 陳章波、謝蕙蓮。2003。新竹市濱海野生動物保護區生態保育對策及紅樹林調查研究成果報告。中央研究院生物多樣性研究中心執行，新竹市政府委託，71 頁。
- 陳曉怡。2008。台灣招潮蟹棲地保育之底質特徵探討：以麥寮為例。

- 臺灣大學漁業科學研究所碩士論文，指導教授：陳章波。
- 張登凱、劉月梅。2009。三姓溪口西區紅樹林清除計畫成果報告。社團法人中華民國荒野保護協會新竹分會執行。98年度新竹市政府委託計畫，60頁。
- 張登凱。2012。新竹市濱海野生動物保護區復育與維護計畫。社團法人中華民國荒野保護協會新竹分會執行。101年度新竹市政府委託計畫，35頁。
- 張登凱。2014。新竹市濱海野生動物保護區復育計畫。社團法人中華民國荒野保護協會新竹分會執行。103年度新竹市政府委託計畫，53頁。
- 曾晴賢。2009。新竹市野生動物保護區環境生物監測計畫成果報告。國立清華大學執行。新竹市政府委託計畫，59頁。
- 黃宏正。2008。海埔地開發工程預定地台灣招潮蟹及其他物種後續監測計畫。社團法人新竹市野鳥學會執行，新竹市政府委託。
- 黃淑琴。2012。新竹市濱海野生動物保護區復育計畫實施成效之研究。中華大學景觀建築學系碩士論文，指導教授：陳有祺，88頁。
- 楊樹森。2007。新竹市濱海野生動物保護區人類活動影響分析及管理策略研究成果報告。國立新竹教育大學執行。96年度新竹市政府委託計畫，27頁。
- 楊樹森。2008。大庄紅樹林及海山罟對照區底棲蟹類食性及覓食微棲地之研究成果報告。國立新竹教育大學執行。新竹市政府委託計畫，140頁。
- 楊樹森。2010。國家重要濕地生態環境調查及復育計畫 - 香山濕地紅樹林清除及效益評估計畫成果報告。國立新竹教育大學執行。102年新竹市政府委託計畫，32頁。
- 楊樹森。2011。新竹市濱海野生動物保護區及其保育計畫書的檢討與修正成果報告。國立新竹教育大學執行。新竹市政府委託計畫。
- 楊樹森。2012。香山濕地棲地復育生態調查計畫成果報告。國立新竹

- 教育大學執行。101 年新竹市政府委託計畫，195 頁。
- 楊樹森。2013。香山濕地棲地復育生態調查計畫成果報告。國立新竹教育大學執行。102 年新竹市政府委託計畫，116 頁。
- 楊樹森。2017。香山重要濕地(國家級)基礎調查計畫成果報告。國立新竹教育大學執行。105-106 年新竹市政府委託計畫，235 頁。
- 楊樹森。2019。香山重要濕地生態及水質監測計畫成果報告。國立新竹教育大學執行。107-108 年新竹市政府委託計畫，204 頁。
- 楊樹森。2021。新竹市香山重要濕地(國家級)台灣早招潮蟹族群、經濟性採集底棲無脊椎動物生態暨濕地水質監測調查計畫成果報告。國立新竹教育大學執行。109-110 年度新竹市政府委託計畫，148 頁。
- 楊樹森、李清福，江慧真。2011。新竹市客雅水資源回收中心完工後生態監測與維護管理計畫。國立新竹教育大學執行。新竹市政府委託計畫，53 頁。
- 楊樹森，張筱筠。2014。新竹市濱海野生動物保護區紅樹林清除與台灣招潮蟹。2014 年動物行為暨生態學研討會。東海大學主辦。
- 湯曉虞、劉靜榆。2010。走訪嘉南海岸生態(上)-談黑面琵鷺與臺灣招潮蟹保護史。大自然 110:4-11。
- 湯曉虞、劉靜榆。2011。走訪嘉南海岸生態(下)-談黑面琵鷺與臺灣招潮蟹保護史。大自然 111:16-27。
- 劉建伸。2010。新竹香山紅樹林疏伐與台灣招潮蟹棲地復育關係之評估。中華大學碩士論文，指導教授：陳有祺。
- 劉烘昌、李家維。1994。新竹香山潮間帶的螃蟹海岸濕地生態及保育研討會論文集，103-113 頁。
- 劉靜榆。1994a。曾文溪口生物資源調查。生物資源調查研討會。臺灣省特有生物研究保育中心，355-402 頁。
- 劉靜榆。1994b。曾文溪口生物世界探

- 索。臺灣省特有生物研究保育中心，72 頁。
- 劉靜榆。1997。觀潮 - 黑面琵鷺棲息地導覽。臺南縣政府、臺灣省特有生物研究保育中心，136 頁。
- 劉靜榆。1998。大肚溪口野生動物保護區生態導覽。特有生物研究保育中心及彰化縣政府出版。160 頁。
- 劉靜榆。1999。大肚溪口野生動物保護區生態導覽。彰化縣政府、特有生物研究保育中心，160 頁。
- 劉靜榆。2001。大肚溪口地區環境監測研究。國立臺灣博物館年刊 43:1-25。
- 劉靜榆。2002。大肚溪口潮間帶地區大型底棲動物群聚現象與相關重金屬含量分析。特有生物研究 4(2):9-29。
- 劉靜榆。2008。臺灣產招潮蟹。綠野 21：52-55。
- 劉靜榆。2009。臺南縣河口域台灣招潮群聚與棲地特性之研究。2009 沿海濕地與水鳥保育國際研討會，341-346 頁。
- 劉靜榆。2010。走訪臺灣西海岸(Ⅱ)－中彰雲段沿海生態介紹。自然保育季刊 71:65-77。
- 劉靜榆。2011。曾文溪口台灣招潮棲地特性與行為研究。2011 年黑面琵鷺與沿海濕地保育國際研討會論文集。特有生物研究保育中心、臺江國家公園主辦，共 205 頁。
- 劉靜榆。2011。臺南海岸環境變遷與底棲性蟹類群聚現象之研究。2011 生物多樣性研討會論文摘要集。特有生物研究保育中心主辦。
- 劉靜榆。2012a。曾文溪口台灣招潮棲地特性研究，特有生物研究 14(1-2):1-25。
- 劉靜榆。2012b。走過工業開發夢魘的臺南曾文溪口海岸－談黑面琵鷺與台灣招潮保護史。「共話特生保育情」20 週年紀念專冊 182-194 頁。行政院農業委員會特有生物研究保育中心。
- 劉靜榆。2015。新竹市濱海野生動物保護區土壤重金屬含量分析。特有生物研究 17(3):153-189。
- 劉靜榆。2018。從臺灣早招潮族群雪

崩式下降，談桃園大潭棲地不可取代性。2018 年動物行為與生態研討會 147-150 頁，國立清華大學主辦，共 329 頁。

劉靜榆。2020。臺中海岸濕地重金屬監測及蟹類生物群聚研究。特有生物研究保育中心 109 年度試驗研究計畫執行成果。

劉靜榆、賴國祥、曾彥學、林旭宏、侯安璟。1993 臺灣西南沿海生物資源調查 I·曾文溪口生物資源調查。臺灣省特有生物研究保育中心 82 年度試驗研究計畫執行成果，71-121 頁。

劉靜榆、顏仁德、賴國祥、曾彥學、林旭宏、侯安璟。1994。臺灣西南沿海生物資源調查 II·臺南縣市沿海生物資源調查。臺灣省特有生物研究保育中心 83 年度試驗研究計畫執行成果，101-151 頁。

劉靜榆、李訓煌、曾彥學、沈慧萍。1998。野生動物保護區環境監測模式建立之研究。臺灣省特有生物研究保育中心 87 年度試驗研究計畫執行成果。18-27 頁。

劉靜榆、李訓煌、曾彥學、沈慧萍。

1999。野生動物保護區環境監測模式建立之研究—以大肚溪口及四草野生動物保護區為例。臺灣省特有生物研究保育中心 88 年度試驗研究計畫執行成果。1-13 頁。

劉靜榆、曾彥學、吳萃慧、李訓煌。

1999。臺灣西南沿海生物資源調查。特有生物保育研討會論文集，16-47 頁。

劉靜榆、李訓煌、曾彥學、陳添水、沈慧萍。2000。野生動物保護區環境監測模式建立之研究—以四草及大肚溪口為例。特有生物研究保育中心 89 年度試驗研究計畫執行成果，145-153 頁。

劉靜榆、陳添水。2005。沿海濕地棲地劣化之現況評估與保育策略之探討。特有生物研究保育中心 94 年度試驗研究計畫執行成果，683-700 頁。

劉靜榆、陳添水。2006。沿海濕地棲地劣化之現況評估與保育策略之探討。特有生物研究保育中心 95 年度試驗研究計畫執行成果，17

頁。

劉靜榆、陳添水、顏江河、林子超、曾彥學、薛攀文。2010。臺南地區野生動物保護區生物監測及經營管理之研究。特有生物研究保育中心 99 年度試驗研究計畫執行成果，1-29 頁。

劉靜榆、陳昭倫 2020。曾文溪河岸臺灣早招潮蟹族群分布及棲地維護計畫。通部公路總局西部濱海公路南區臨時工程處委託計畫，147 頁。

謝蕙蓮、陳章波。2005。沿海濕地復育研究－以新竹香山台灣招潮蟹棲地復育為例，中央研究院生物多樣性研究中心執行。行政院農業委員會委託，36 頁。

謝蕙蓮、陳章波。2006。沿海濕地復育研究－以新竹香山台灣招潮蟹棲地復育為例 (II)，中央研究院生物多樣性研究中心執行。行政院農業委員會委託，64 頁。

謝蕙蓮、陳章波。2007。新竹市客雅水資源回收中心生態復育計畫－台灣招潮蟹 (*Uca formosensis*) 幼

苗、放苗及監測計畫。中央研究院生物多樣性研究中心執行。新竹市政府委託，77 頁。

臺灣產蘆屬（莎草科）植物功能形質與土壤濕度梯度之間的關係：以鴛鴦湖為例

The relationship between functional traits of *Carex* (Cyperaceae) species and soil moisture gradient: a case study of Yuanyang Lake

劉冠廷^{1 2*}、陳子英²

Guan-Ting Liu^{1 2*}, Tze-Ying Chen²

¹ 行政院農業委員會林業試驗所植物園組 1006 臺北市南海路 53 號

² 國立宜蘭大學森林暨自然資源學系 260 宜蘭縣宜蘭市神農路一段 1 號

¹ Botanical Garden Division, Taiwan Forestry Research Institute, Taipei, Taiwan

² Department of Forestry and Natural Resources, National Ilan University.

* 通訊作者：carex1111@gmail.com

* Corresponding author: carex1111@gmail.com

摘要

物種與環境間具有交互的關係，物種為適應不同環境類型，衍生之功能形質與此有關，因此一般高歧異度之棲地具多樣性的種類與形態。故本研究以鴛鴦湖湖泊至森林下層之蘆屬植物作為研究對象，在鴛鴦湖地區以目標取樣法對蘆屬植物進行採樣，並量測環境因子，使用歸群分析及梯度分析對蘆屬植物的樣本進行

功能形質分群、環境與功能形質的關係探討。結果顯示鴛鴦湖地區的 6 種薹屬植物各有不同的功能形質趨勢，適應鴛鴦湖多樣的棲地並形成土壤濕度梯度，且功能形質多樣性高，薹屬植物的生長策略也隨濕度梯度變化形成功能形質梯度。另外，鴛鴦湖湖域周圍之單穗薹，可能具有特殊的生長策略以適應鴛鴦湖的水位變化。

Abstract

There exists an interactive relationship between species and their environment in which different functional traits would evolve for species to adapt to different environments. This in turn results in a significant species and morphological diversity while an obvious environmental gradient exists. We investigated the relationship between functional traits of *Carex* (Cyperaceae) species and soil moisture gradient by conducting a case study at Yuanyang Lake. Target sampling method was used to collect understory samples of *Carex* species and environmental factors were measured at Yuanyang Lake. Cluster analysis of *Carex* species was conducted for grouping functional traits and gradient analysis was applied to explore the relationship between specific functional traits and environment variables. The result showed that six *Carex* taxa at Yuanyang Lake had different trends in functional trait and functional diversity. Each *Carex* taxon not only adapted to specific habitats by its functional traits and formed a soil moisture gradient, but also revealed an evident functional gradient along the soil moisture conditions. Furthermore, our research found *Carex capillacea* along the lakeshore had growth strategies to suit water level change.

關鍵詞：莎草、功能形質、土壤濕度梯度、分布序列分析、脈衝現象。

Key words: sedge, functional trait, soil moisture gradient, ordination analysis, flood plus

前言

蘆屬 (*Carex* L.) 為莎草科 (Cyperaceae) 植物，在被子植物中生育地多樣性最高，也是世界分布最廣泛屬之一，全世界超過 2,000 種 (廖 2014; Koyama *et al.* 2000)。臺灣目前紀錄蘆屬植物約 60 種，其中 12 種為特有種 (Endemic species)，僅 1 種為歸化種 (Koyama 1978; Koyama *et al.* 2000; 梁 2001; 許 2022; 許與鐘 2017)，在臺灣維管束植物中，也是種類最多的屬 (Hsieh 2002)。臺灣原生的蘆屬植物垂直分布廣泛，低海拔到高海拔皆可見，生育環境從海岸、岩屑地、山壁、森林底層、池沼濕地、至高山草生地 (Koyama *et al.* 2000)，擁有高度多樣的棲地。

物種與環境間的交互關係常反映在外部形態的形質上，因此高異質性的環境將有比較高的物種多樣性 (Linder 2005)，在植物社會尺度下，植物的功能群型組成在不同環境梯度下佔有不同的優勢度 (Siben *et al.* 2010)，依靠各自的功能形質去適應高異質性的棲地；同屬植物在異

質環境下可能擁有不同的功能形質，以適應環境梯度並有不同生態棲位 (Maurin *et al.* 2016)，其中蘆屬植物顯著受到生物與非生物因子的影響 (Naczi *et al.* 1998; Vellend *et al.* 2000b)，使種間對生育地偏好有明顯不同，隨著環境異質性的增加、環境梯度的改變，也同時會使蘆屬植物多樣性提升 (Vellend *et al.* 2000a)，而蘆屬植物分布多與濕度有關 (Uriarte *et al.* 2014)，大部分種類集中在濕度較高之區域，如湖泊濕地周邊 (郭 1975)。

經初步觀察與文獻參考，本研究提出鴛鴦湖蘆屬植物可能依靠不同功能形質，來適應濕度狀態之假說。因此我們將以蘆屬植物之功能形質去探討蘆屬植物分布與環境因子的關係，故本研究主要想探討：(1) 鴛鴦湖蘆屬植物之主要功能形質。(2) 蘆屬植物分布與鴛鴦湖微環境條件是否存在相關性。(3) 因應棲地環境差異，鴛鴦湖蘆屬植物如何以不同功能形質調節適應棲地條件。

材料與方法

一、研究樣區

研究樣區位鴛鴦湖自然保留區（圖 1），行政區屬新竹縣尖石鄉，同時是國有林大溪事業區第 89、90 與 91 林班，海拔高度約 1670 – 2450m，年均溫約為 13 °C，全年年雨量約 4,000mm，地形有濕地面積共 374ha，其中湖域 3.6ha，沼澤地 2.2ha，其餘面積則為山地，受到東北季風及颱風所帶來的雨水影響，全年水源充足，湖水自西南方缺口處流入塔克金溪，然後再匯入大漢溪。2022 年陳子英等人在鴛鴦湖的植群調查結果顯示，森林的植群型為臺灣扁柏（*Chamaecyparis obtusa* Siebold & Zucc. var. *formosana* (Hayata) Rehder）型、臺灣杜鵑（*Rhododendron formosanum* Hemsl.）—臺灣扁柏亞型、臺灣鐵杉（*Tsuga chinensis* (Franchet) Pritz. ex Diels var. *formosana* (Hayata) Li & Keng）—臺灣扁柏亞型、巒大杉（*Cunninghamia konishii* Hayata）—臺灣扁柏亞型與玉山箭竹（*Yushania nitakayamensis* (Hayata) Keng f.）—

臺灣扁柏亞型，主要為臺灣扁柏型植物社會，分布在中坡至稜線，伴生種有臺灣鐵杉、昆欄樹（*Trochodendron aralioides* Sieb. & Zucc.）、厚皮香（*Ternstroemia gymnanthera* (Wight & Arn.) Sprague）、白花八角（*Illicium anisatum* L.）、臺灣杜鵑、臺灣樹參（*Dendropanax dentiger* (Harms ex Diels) Merr.）、林下伴生種有深山野牡丹（*Barthea barthei* (Hance) Krass）、臺灣鵝掌柴（*Schefflera taiwaniana* (Nakai) Kanehira）、深紅茵芋（*Skimmia reevesiana* Fortune）等，在海拔 1700m 以上之稜線，則以臺灣鐵杉為優勢種，林下伴生優勢物種為玉山箭竹，物種組成單純；鴛鴦湖湖面狹長，東西向分布，湖域以高山芒（*Miscanthus sinensis* Andersson）型最為優勢種；另外有東亞黑三稜（*Sparganium fallax* Graebn.）、箭葉蓼（*Persicaria sagittata* (L.) H. Gross）、白穗刺子莞（*Rhynchospora alba* (L.) Vahl）、單穗藎（*Carex capillacea* Boott）等稀有植物。

二、研究方法

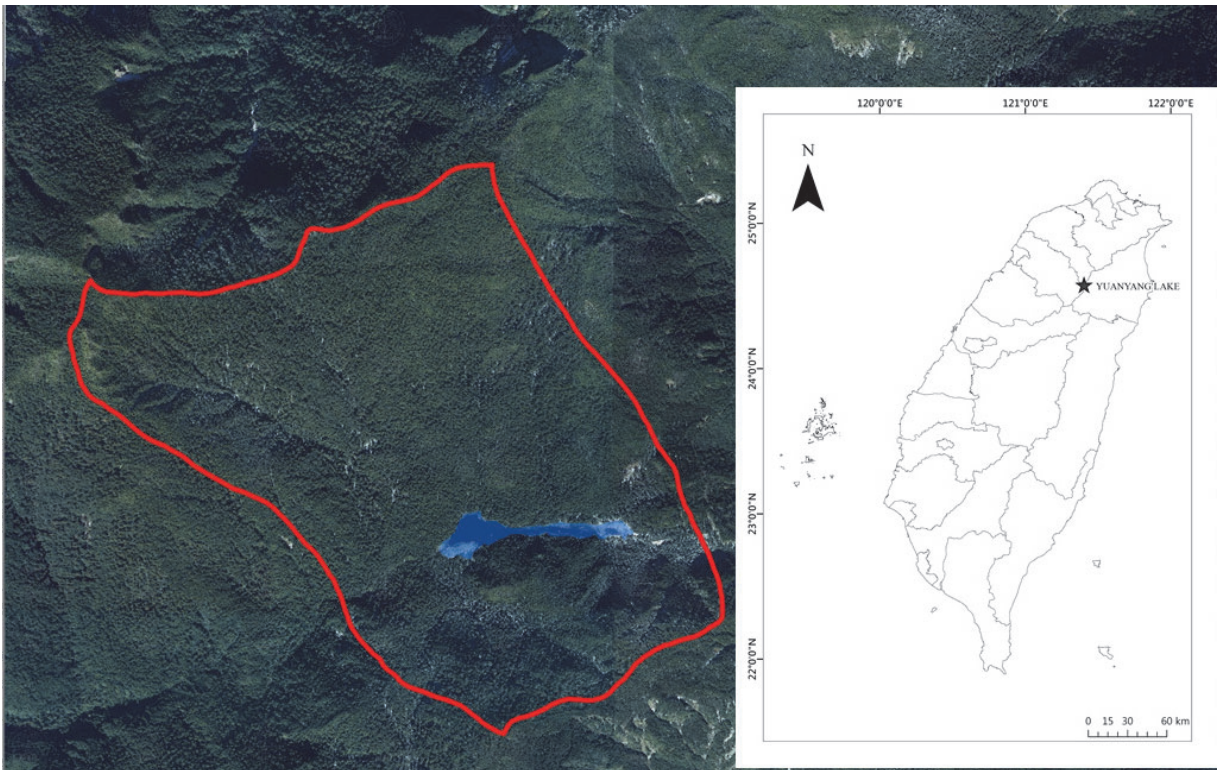


圖 1. 鴛鴦湖位置與範圍。

Fig 1. Location of study plot in Yuanyang Lake area.

本研究在鴛鴦湖地區對蕁屬植物進行目標取樣法，從湖泊至稜線進行採集，每個分類群至少五份個體，樣本個體參考數量分類學 (Numerical taxonomy) 原理 (徐 1994) 建立樣本編碼、性狀的選擇與性狀編碼，即每樣本代表一個運算分類單位 (Operation taxonomic unit, OTU)，依此建立物種與功能形質關係之表格。功能形質方面，每一樣本個體取 3 片葉片量測，並在樣區現場量測、紀錄每一樣本個體的生長環境因子。

環境因子量測 (參考 Vellend *et al.* 2000a; 蘇 1987; 蘇 1996)：(1) 海拔 (Elevation)：依據衛星定位取得海拔高程值。(2) 土壤濕度 (Soil moisture)：使用三合一土壤檢測儀對土壤濕度進行 1 – 10 級分級。(3) 樹冠開闊度 (Canopy openness)：使用單眼相機及魚眼鏡頭於離地面 1.3m 拍攝樹冠影像，使用 Gap Light Analyzer 軟體計算樹冠開闊度之百分比。(4) 岩石率 (Rock rate)：直接估測樣區內地表大於 30cm 以上之岩

石覆蓋百分比。(5) 含石率 (Stone rate)：直接估測樣區內地表小於 30cm 以上之岩石覆蓋百分比。

功能形質量測 (參考 Pérez-Harguindeguy *et al.* 2013)：(1) 植物高度 (Plant height)：使用 30cm 直尺量測，從植物主要光合組織 (葉片) 頂端垂直地面之最短距離，以 m 作單位表示；一般依營養器官做量測，不包含花序等生殖器官；如生殖器官上有明顯的光合作用組織，可另外量測紀錄。(2) 葉片寬度 (Leaf width)：一個樣本挑選三片葉子，使用 HANLIN - 1052 游標卡尺進行量測後取其平均值，以 mm 作單位表示。(3) 葉片厚度 (Leaf thickness, Lth)：一個樣本挑選三片葉子，使用 TECLOCK SM - 112 厚度計進行量測後，計算出三片葉片共 12 個點位之平均值，以 mm 作單位表示。(4) 葉乾物質含量 (Leaf dry mass content, LDMC)：一個樣本挑選三片葉子，以電子秤測量新鮮重量，精確度最小至 0.0001g，得葉片新鮮重後，放入紙袋內並置於烘箱，溫度控制在 70°C 至少 72h，乾燥後放入電子

秤得葉片絕乾重，上述兩者相除得葉乾物質含量，並將三片葉子之數值平均；計算公式： $LDMC (mg g^{-1}) = \text{葉片絕乾重 (mg)} / \text{葉片新鮮重 (g)}$ 。

(5) 葉片面積 (Leaf area, LA)：一個樣本挑選三片葉子並去除葉鞘，使用掃描器掃描成 300dpi 相片，以 Image J 進行面積計算並平均得葉片面積 (mm^2)。(6) 比葉片面積 (Specific leaf area, SLA)：將第 5 項量測之葉片面積除第 4 項之葉片絕乾重，即可得比葉片面積；計算公式： $SLA (mm^2/mg) = \text{葉片面積 (mm}^2) / \text{葉片絕乾重 (mg)}$ 。(7) 生殖期 (Reproductive period)：植物之開花結果期，查詢標本與文獻統計具花、果之月份並總合月數。(8) 根莖 (Rhizome)：植株具根莖者，代表可以快速建立族群，並使族群規模增加；二態定性 (Two-state qualitative) 形質編碼紀錄 (0) 無 (1) 有。

三、分析方法

使用 Microsoft office excel 2019 進行資料彙整，建立功能形質與環境因子矩陣，移除明顯紀錄量測之錯誤資

料，轉存為 txt 檔案，使用 R x64 3.6.3 並根據 *vegan* 及 *cluster* 組件進行後續分析。

為了解各樣本可否依據功能形質分群，本研究使用歸群分析 (Cluster analysis) 對樣本進行分群，使用階層式 (Hierarchical) 的集結法 (Agglomerative method)，兩點間距離使用 Euclidean Distance) 計算完成矩陣，群集間距離使用彈性 β 法 (flexible-beta method) 進行分群，係數設定為 -0.25。

為了探討鴛鴦湖蘆屬各分類群與功能形質的關係和蘆屬植物之功能形質與環境的關係，本研究使用梯度分析 (Gradient analysis) 進行，蘆屬分類群與功能形質方面，以主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA) (Legendre and Gallagher 2001) 進行，並將歸群分析之結果套疊至 PCA 結果上，比較蘆屬各分類群與功能形質的關係與樣本間是否有相似性；蘆屬功能形質與環境方面，以物種形質矩陣作為介量與環境資料矩陣進行冗餘分析 (Redundancy Analysis, RDA) (Legendre and Gallagher 2001)，環

境資料矩陣包含海拔、土壤濕度、樹冠開闊度、岩石率和含石率，再以前進選擇法 (Forward selection) 進行顯著環境因子篩選，最後將 PCA 與 RDA 結果皆繪製成雙序圖 (Bi-plot) 用於後續討論。

結果

一、鴛鴦湖地區蘆屬植物種類

本研究在鴛鴦湖地區蘆屬植物採集共 80 個樣本，分別量測 8 個功能形質與 5 個環境因子；經整理後，75 號樣本因人為記錄錯誤而移除，最後共有 79 個樣本，種類有紅鞘蘆 (*C. filicina* Nees)、抱鱗宿柱蘆 (*C. tristachya* Thunb. var. *pocilliformis* (Boott) Kük.)、鏡子蘆 (*C. phacota* Spreng.)、單穗蘆 (*C. capillacea* Boott)、川上氏蘆 (*C. alopecuroides* D.Don ex Tilloch & Taylor) 和束草 (*C. brunnea* Thunb.) 等六種蘆屬植物。經本研究觀察鴛鴦湖地區蘆屬植物分布現況，紅鞘蘆與抱鱗宿柱蘆生長在經干擾之森林或林緣，但在檜木林下亦有發現；鏡子蘆在湖邊、湖邊倒木、

泥沼、森林積水處皆有分布；單穗薑僅在湖邊可見；川上氏薑分布在經干擾之林緣，常大面積覆蓋生長；束草分布在多石礫的林下、山壁或有明顯干擾之步道邊，分布環境與其他種類相對較惡劣。

二、鴛鴦湖地區薑屬植物功能形質之關係

歸群分析結果（圖 2）顯示在相異性 7.5 的位置可將 6 種薑屬 79 個樣本分為 6 群。將歸群分析結果疊加至 PCA 結果（圖 3 左），薑屬植物樣本在 PCA 軸上可明顯分為 6 群，大部分樣本能依據不同功能形質分開，僅第

一群與第三群範圍有重疊，但兩群功能形質趨勢不同，第一群與葉片厚度、葉片面積、葉片寬度、植物高度有正相關，第三群與葉乾物質含量、生殖期有正相關；若根據薑屬種類（圖 3 右），薑屬植物各分類群也可依不同功能形質有所分群，僅第三群包含兩個薑屬物種，分別是抱鱗宿柱薑和束草，兩種薑屬植物在 PCA 軸上相當接近，顯示歸群分析結果與 PCA 結果相近，支持該兩種薑屬植物可能有相似的功能形質。

各群團關係中，第四群在 PCA 結果上與其他群距離最遠，與比葉片面

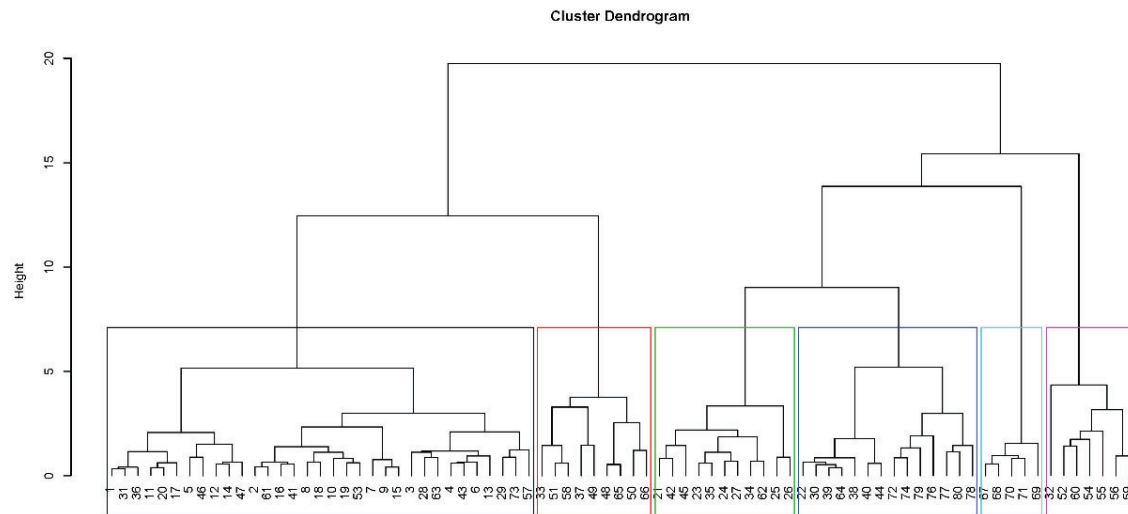


圖 2. 歸群分析結果。歸群分析結果顯示在歐基里德距離 7.5 的位置可將 6 種薑屬 79 個樣本分為 6 群。

Fig 2. Result of cluster analysis. Diagram shows 79 samples distinguished into six groups in ca. 7.5 Euclidean distances.

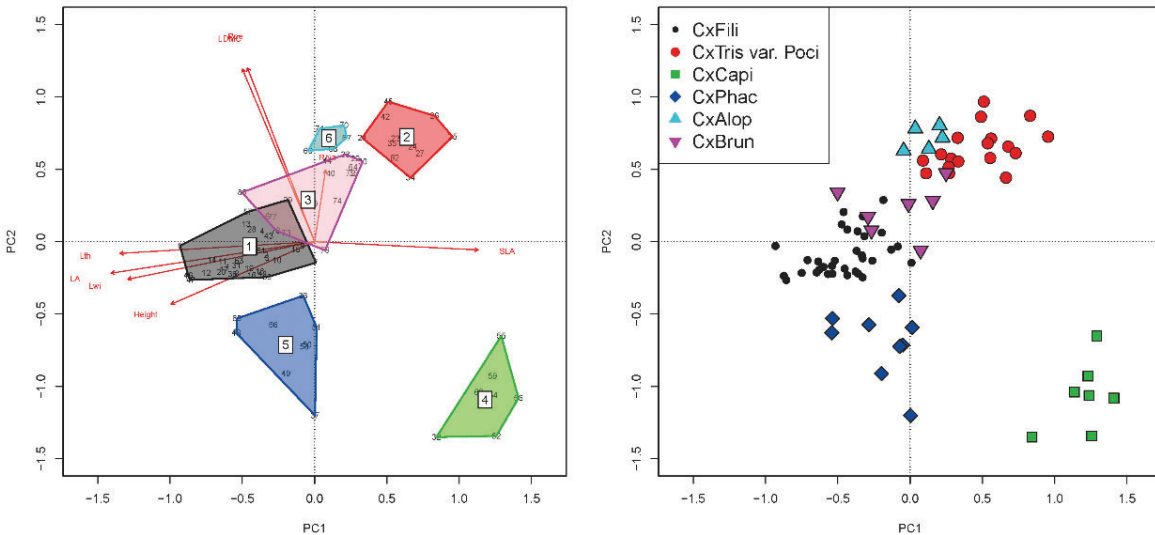


圖 3. 左圖是薹屬植物的功能形質進行主成分分析之結果，各群範圍依照歸群分析之結果劃分；右圖表示薹屬植物種類在軸上之位置。變量間的夾角指各個變量之間的相關性，其長度指變量對樣本的相對重要性與趨勢。第一、二軸解釋特徵變量有 63%。形質編碼縮寫解釋：植物高度 (Height)、葉片寬度 (Lwi)、葉片厚度 (Lth)、葉片乾燥物質含量 (LDMC)、葉片面積 (LA)、比葉片面積 (SLA)、生殖期 (Rpe)、走莖 (Rhiz)。物種名稱縮寫解釋：紅鞘薹 (CxFili)、抱鱗宿柱薹 (CxTris var. Poci)、單穗薹 (CxCapi)、鏡子薹 (CxPhac)、川上氏薹 (CxAlop)、束草 (CxBrun)。

Fig 3. Left bi-plot is a principal component analysis of functional traits of *Carex*, and each group was distinguished by cluster analysis. Right bi-plot is a principal component analysis showing position of *Carex* species at axes. The variables are indicated by vectors pointing in the direction of maximum variation. Long vectors indicate strong trends, and the angle between pairs of vectors approximates the correlation between the respective variables. First and second axes had 63% explained variation in total. Trait abbreviations: Height, Plant height; Lwi, Leaf width; Lth, Leaf thickness; LDMC, Leaf dry mass content; LA, Leaf area; SLA, Specific leaf area; Rpe, Reproductive period. Rhiz, rhizome. Species abbreviations: Cxfili, *Carex filicina*; CxTris var. Poci, *Carex tristachya* var. *pocilliformis*; CxCapi, *Carex capillacea*; Cxphac, *Carex phacota*; CxAlop, *Carex alopecuroides*; CxBrun, *Carex brunnea*.

積有明顯強烈趨勢，與生殖期、葉乾物質含量、葉片厚度、葉片面積、葉片寬度和植物高度皆為負趨勢，因此與其他群明顯不同；第二群雖然與比葉片面積和葉乾物質含量皆有相關，但歸群分析結果和 PCA 之樣本分布結果皆顯示本群與第三群、第六群較為相近；第一群與第五群都與葉片厚度、葉片面積、葉片寬度、植物高度有正相關，但第五群不似第一群有顯著之趨勢。

綜合上述，可大致將薑屬植物依據功能形質區分為三個功能群趨勢：

1. 比葉片面積，代表物種有單穗薑。
2. 葉乾物質含量和生殖期，代表物種有束草、川上氏薑與抱鱗宿柱薑。
3. 葉片厚度、葉片寬度、葉片面積與植物高度，代表物種有紅鞘薑與鏡子薑。

三、薑屬植物之功能形質與環境的關係

經前進選擇法篩選環境因子，僅剩土壤濕度 ($r^2 = 0.122, p = 0.001$)、海拔 ($r^2 = 0.167, p = 0.004$) 有非常顯著相關（圖 4）。土壤濕度與比葉片面積有明顯正相關趨勢，與葉乾物質

含量、生殖期、走莖、葉片厚度等有負相關；海拔與葉片面積、葉片寬度、生殖期有正相關，僅植物高度有輕微的負相關，而本研究的海拔代表地形，即鴛鴦湖地區從湖邊至森林稜線，與海拔正相關表示物種生長環境多屬於在森林，與海拔負相關表示物種生長環境鄰近湖邊，故此處海拔並非真實海拔上的意義。

討論

第一群為紅鞘薑，功能形質方面，經觀察及採集的樣本葉片寬度、葉片厚度、葉面積與植物高度之平均顯示在鴛鴦湖薑屬植物中皆為最高者，PCA 結果與實際現況相符，另外本種與比葉片面積成負相關，但物種與環境分析結果方面，RDA 結果顯示本種主要功能形質是以葉片面積、葉寬為主，與比葉片面積沒有相關趨勢。紅鞘薑主要分布在鴛鴦湖湖邊至稜線的森林下層，在湖泊周邊及乾燥之區域僅有少量個體與 RDA 結果相符，但本研究之海拔趨勢僅能表示其分布可以遠離湖域生長，土壤濕度趨勢則

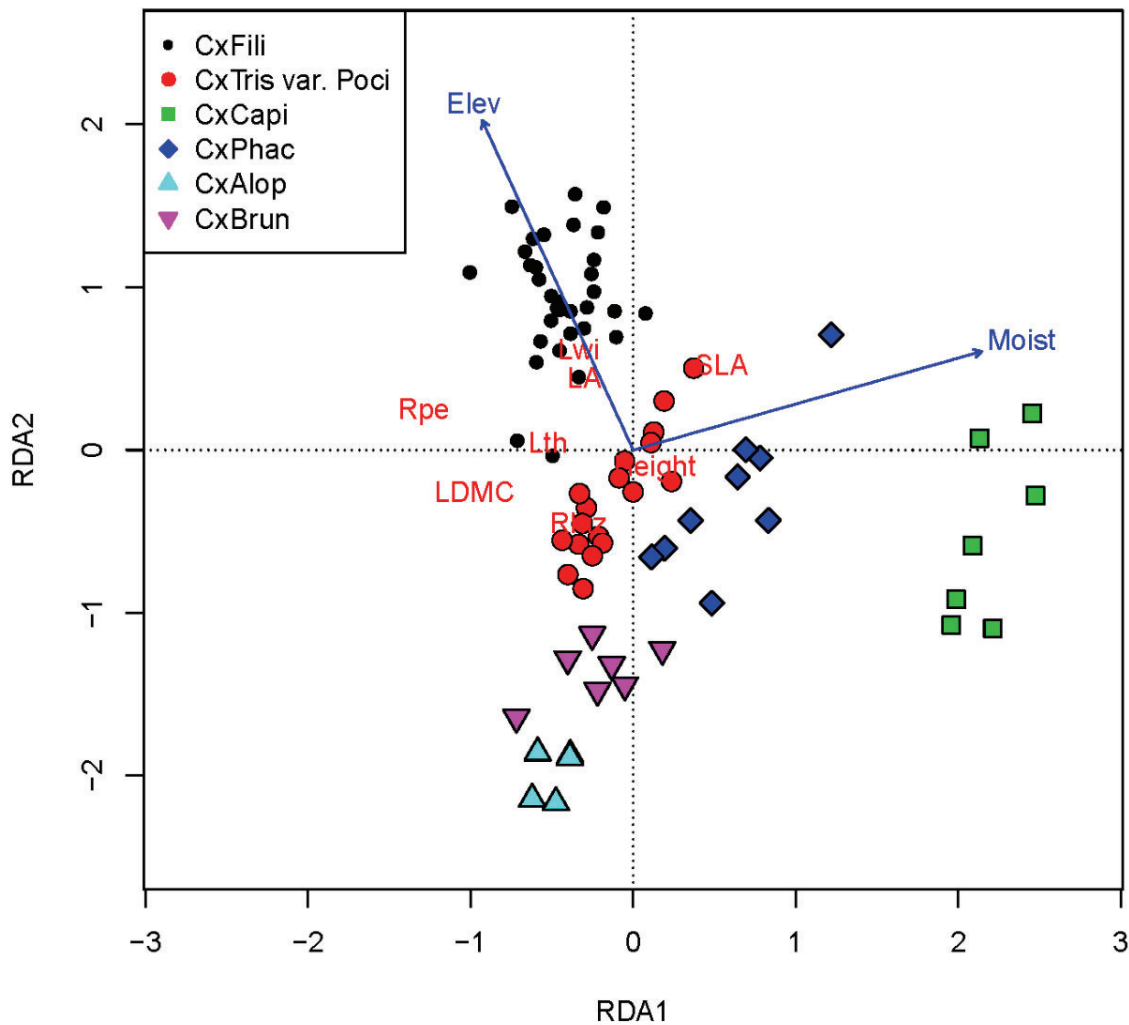


圖 4. 冗餘分析之結果，藍色為環境變量，紅色為功能形質。

形質編碼縮寫解釋：植物高度 (Height)、葉片寬度 (Lwi)、葉片厚度 (Lth)、葉片乾燥物質含量 (LDMC)、葉片面積 (LA)、比葉片面積 (SLA)、生殖期 (Rpe)、走莖 (Rhiz)。環境編碼縮寫解釋：海拔 (Elev)、土壤濕度 (Moist)、樹冠開闊度 (Open)、含石率 (Stone)、岩石率 (Rock)。物種名稱縮寫解釋：紅鞘薹 (CxFili)、抱鱗宿柱薹 (CxTris var. Poci)、單穗薹 (CxCapi)、鏡子薹 (CxPhac)、川上氏薹 (CxAlop)、束草 (CxBrun)。環境編碼縮寫解釋：海拔 (Elev)、土壤濕度 (Moist)。

Fig 4. Bi-plot of redundancy analysis, in which blue text is environmental variables and red text is functional traits. Trait abbreviations: Height, Plant height; Lwi, Leaf width; Lth, Leaf thickness; LDMC, Leaf dry mass cntect; LA, Leaf area; SLA, Specific leaf area; Rpe, Reproductive period. Rhiz, rhizome. Species abbreviations: Cxfili, *Carex filicina*; CxTris var. Poci, *Carex tristachya* var. *pocilliformis*; CxCapi, *Carex capillacea*; Cxphac, *Carex phacota*; CxAlop, *Carex alopecuroides*; CxBrun, *Carex brunnea*. Environmental abbreviations: Elev, elevation; Moist, soil moist.

顯示本種偏好之濕度梯度介於鴛鴦湖地區之薑屬種類的中間值，即潮濕的湖域周邊至森林乾燥地之間。根據 Pérez-Harguindeguy *et al.* (2013) 提出高的植物高度可避免遭其他草本掩蓋、葉片較厚的物種多具較高光合作用速率和葉片壽命、葉片寬度和葉片面積代表物種可生長環境溫度較低，但 RDA 結果顯示植物高度與環境沒有明顯相關趨勢，故推測紅鞘薑是利用厚的葉片增加光合作用效率使植株生長速度提高，也使葉片物理抗性增加減少能量消耗，加強在植物社會之競爭力，而葉片面積、葉片寬度正相關顯示本物種可生長海拔較其他種類高，有助於適存在不同類型的棲地。

第二群為抱鱗宿柱薑，根據觀察本種常與紅鞘薑在森林下層共域生長，但植株形態卻有明顯差異，PCA 結果也顯示兩種薑屬植物的功能形質趨勢明顯不同，本種植株低矮、葉片細小、且與葉片厚度呈負相關，功能形質皆與紅鞘薑不同；RDA 結果也顯示抱鱗宿柱薑偏好之環境些微與紅鞘薑不同。根據 Liu *et al.* (2009) 研究

紀錄抱鱗宿柱薑是火災後適存種，可在火災後 80 年仍然存在，吳等 (2014) 研究顯示薑屬植物會在火燒後使用土壤種子庫 (soil seed bank) 進行更新，根據以上文獻推論本種應屬演替前期物種，可再環境遭受破壞或干擾發生後，使用土壤種子庫之種實更新，而研究及標本記錄抱鱗宿柱薑有長達 8 個月的生殖期，此特性可能與利用土壤種子庫更新有關，表示有更長的時間可以產生較多種實，以利下次干擾後的更新；本種同時也與葉乾物質、比葉片面積成正相關，葉乾物質含量對物理危害抵抗性佳、延長葉片壽命已達到減少能量消耗，高的比葉片面積者則有較好的光合作用速率與植株生長率 (Pérez-Harguindeguy *et al.* 2013)。因此我們推測現存林下之抱鱗宿柱薑為殘留族群，在比葉片面積與葉乾物質含量間取得良好的平衡，使其能在森林遭到干擾後快速發芽生長並適應環境恢復之棲地，同時兼具植株生長速度、葉片強度與環境資源使用之調節，抱鱗宿柱薑的種子發芽之限制因子、環境因子需求與成熟植

株不同，也與文獻相符（*Uria-Diez et al.* 2014）；故本種的主要功能形質趨勢雖然與紅鞘蘆不同，但生態棲位卻十分相近。

第三群為束草，PCA 結果顯示本種與葉乾物質含量和生殖期有明顯正相關趨勢，與比葉片面積之相關性則無明顯趨勢，但在物種與環境分析結果方面，本種樣本多分布在 RDA 軸上之濕度梯度低點，表示在蘆屬植物中屬於偏好土壤濕度較乾燥的物種，並與比葉片面積呈現負相關，另外與葉乾物質含量有正相關與 PCA 結果相同。*Pérez-Harguindeguy et al.* (2013) 提出高的葉乾物質含量代表該物種葉片物理抗性高，即葉片會較為堅韌可以抵抗風、動物等侵害，束草的生長策略與 *Huang et al.* (2018) 相似，使用少部分資源來產生高質量的葉片，藉此在環境資源缺乏的情況下保存資源養分繼續生存，而根據 PCA 顯示束草與葉片寬度、葉片面積呈負相關趨勢，顯示同葉片面積下本種葉片較窄、較厚，這些特點也與 *Huang et al.* (2018) 的保守型資源利用植物的生

長策略相同，因此本種樣本在 PCA 軸上雖然很靠近紅鞘蘆，但仍可以被歸群分析結果依據功能形質明顯分開。

第四群為單穗蘆，根據觀察本種分布在鴛鴦湖邊坡、腐殖層堆積上、或乾季時生長在湖邊臺灣杜鵑貼近水面的側枝上，植株叢生狀，僅有一枚葉片存於基部，面積小且無氣孔，植株大部分看似葉片者為稈，外觀形態跟鴛鴦湖其他蘆屬植物差異甚大，功能形質較其它種類不同，PCA 結果也顯示鴛鴦湖地區的蘆屬植物中，僅本種與比葉片面積有強烈的顯著相關與其它葉部功能形質則皆呈負相關，RDA 結果方面顯示本種與土壤濕度有強烈趨勢，比葉片面積也與濕度梯度有正相關。鴛鴦湖具脈衝現象（*阮等* 2008），即短暫強降雨使水位快速高起又下降；由於湖面水位在短時間內快速地變化，使鄰近湖泊周圍邊坡植被受水位變化影響產生水伐，一般苗木難以適應這種巨大的擾動與環境快速的變化致更新或生長困難，因此地被植物間競爭力道相對薄弱。根據文獻紀錄單穗蘆生殖期集中 4、5 月（*廖*

2014)，在鴛鴦湖薑屬植物中有最短的生殖期，Boedeltje *et al.* (2004) 顯示脈衝現象區域的薑屬植物生殖月份也較其他物種早，根據過往研究鴛鴦湖水位在春天最低也最為穩定，六月進入夏季有颱風夾帶大量雨水、冬季有東北季風造成湖水擾動頻繁、變化大且平均水位較高，可以推測本種依高的比葉片面積在鴛鴦湖水位尚未劇烈變化前快速生長結實（Pérez-Harguindeguy *et al.* 2013），並利用脈衝現象傳播種子或繁殖體（Boedeltje *et al.* 2004）和水位變化產生之水伐取得生長空間（Bill *et al.* 1999），而高的比葉片面積和低的葉乾物質含量的生長策略與快速生長的陽性樹種相同（Huang *et al.* 2018）。

第五群為鏡子薑，PCA 結果顯示本種功能形質上與紅鞘薑類似，與葉片面積、葉片寬度、植物高度、葉片厚度有正相關，與生殖期、葉乾物質含量呈負相關；環境與功能形質方面，RDA 結果卻顯示本種與葉片寬度、葉片面積呈負相關，而植物高度與海拔、土壤濕度無明顯相關趨勢。鏡子薑根

據過往紀錄及觀察，多生長在水陸交界帶，例如湖邊、森林濕地或季節性濕地，因此 RDA 結果會偏向土壤濕度較高的區域，但 RDA 的功能形質趨勢與 PCA 結果不同，推測可能受同為喜好潮濕土壤之單穗薑葉片形態影響，導致本種生長環境雖然與濕度有正相關，但 PCA 功能形質結果較偏向紅鞘薑，或介於紅鞘薑與單穗薑之間。綜合實際觀察、PCA 與 RDA 結果推測鏡子薑屬溼地至森林演替間過度的物種，有高葉片寬度、葉片面積可以適應低溫環境（Pérez-Harguindeguy *et al.* 2013），與短的生殖期跟低的葉乾物質含量可以快速地達到成熟植株產生種實，以適應季節性濕地的不定期干擾（Huang *et al.* 2018；Pérez-Harguindeguy *et al.* 2013），另外根據觀察，本種在水淹季節時，會提升植株高度避免葉片浸泡於水下，單歲薑則無此生長策略，因此 PCA 結果才會顯示本種與植株高度較有正相關。此外，本研究發現鴛鴦湖薑屬植物中，僅鏡子薑的葉片背面及果囊有較明顯的蓮花效應（Lotus effect），使葉片

具良好的疏水性，果囊則能藉此漂浮於水面上，Bill *et al.* (1999) 顯示種子在水面之浮力對森林溼地的植物傳播相當重要，而本種分布在湖邊、森林積水處及季節濕地與水位及水流有關 (Boedeltje *et al.* 2004)，依此適應濕地短暫的水位變化和達成種子傳播之目的。

第六群為川上氏蘆，在 PCA 結果上與第二、第三群相近，與葉乾物質含量、生殖期呈正相關，但本種是本研究蘆屬植物中唯一有走莖的類群，因此歸群分析結果可以明確區別，RDA 結果顯示本種樣本分布在土壤濕度低點，即偏好乾燥的環境，與生殖期、葉乾物質含量、葉片厚度、走莖有正相關，與比葉片面積呈負相關，RDA 結果與束草相似。分析結果皆顯示川上氏蘆的環境與生長策略都和束草類似，僅走莖異於束草，可推測本種除了依靠葉乾物質含量、葉片厚度等功能形質增加葉片強度 (Pérez-Harguindeguy *et al.* 2013)，也可依靠地下走莖無性繁殖，快速佔據空間，依此增加競爭力並適應多樣的棲地

(Chen *et al.* 2015)。但根據過往紀錄與筆者觀察，本種亦可生長在潮濕林緣，可能因本次研究採集樣本距離過於靠近導致環境棲地很相似，未來應再擴大取樣範圍以取得不同環境參數。

結論

綜合歸群分析、PCA 與 RDA 之結果，蘆屬植物對光環境需求沒有明顯差異，土壤濕度則有明顯梯度存在，不同蘆屬植物各自有不同葉片形態適應湖泊、林緣到森林形成之濕度梯度，分布在湖泊周圍濕度最高的蘆屬植物代表功能形質是比葉片面積和短的生殖期，較乾燥的林緣是葉乾物質含量和長的生殖期，森林則是葉片厚度、葉片寬度、葉片面積、先出葉和走莖，這些功能形質隨棲地反映不同種蘆屬植物的適應方式。此外，單穗蘆在臺灣已知僅分布鴛鴦湖湖泊區域周邊，本研究透過掃描式電子顯微鏡發現單穗蘆稈上方具氣孔、葉片則無，此特化現象也可能與其為適應環境的生長策略有關。

致謝

本研究感謝兩位委員的審查與建議；感謝國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所 David Zelený 助理教授與陳建帆學長在研究分析方面的協助與建議；感謝林奐宇與張智翔學長協助校稿。

參考文獻

- 吳博昕、蔡尚惠、邱清安、王偉、曾喜育、呂金誠。2014。惠蓀林場土壤種子庫組成。林業研究季刊 36 (2) : 85 – 100。
- 阮忠信、陳子英、毛俊傑、邱孟韋、陳廷綱。2008。南澳神秘湖自然保留區湖沼演替之脈衝穩定性理論探討。宜蘭大學生物資源學刊 4 (1) : 91 – 98。
- 徐克學。1994。數量分類學。科學出版社。中國北京。
- 梁慧舟。2001。台灣維管束植物簡誌第 5 卷。pp.68 – 81。行政院農業委員會。台北。
- 許天銓。2022。臺灣莎草植物誌六新增物種。台灣生物多樣性研究 24(2) : 17-37。
- 許天銓、鐘詩文。2017。龍氏薑（莎草科）：台灣第一種歸化之薑屬植物。台灣生物多樣性研究 19 (2) : 207 – 213。
- 郭長生。1975。台灣產薑屬植物（莎草科）之分佈。師大生物學報 10: 43 – 52。
- 廖俊奎。2014。台灣產薑屬（莎草科）植物之分類研究。國立中山大學生物科學系研究所博士論文。高雄市。
- 蘇鴻傑。1987。植群生態多變數分析法之研究 III 降趨對應分析及相關分布序列法。中華林學季刊 20 (3) : 45 – 68。
- 蘇鴻傑。1996。植群生態多變數分析法之研究 IV. 植群分類法及相關環境因子之分析。台灣省立博物館年刊 39: 249 – 268。
- Boedeltje, G., J. P. Bakker, A. T. Brinke, J. M. van Groenendael, M. Soesbergen. 2004. Dispersal phenology of hydrochorous plants in relation

- to discharge, seed release time and buoyancy of seeds: the flood pulse concept supported. *Journal of Ecology* 92: 786 — 796.
- Bill, H C., P. Poschlod, and M. Reich. 1999. Experiments and observations on seed dispersal by running water in an Alpine floodplain. *Bulletin of the Geobotanical Institute* 65:13 — 28.
- Chen, X. S., Y. F. Li, Y. H. Xie, Z. M. Deng, X. Li, and Z. Y. Hou. 2015. Trade-off between allocation to reproductive ramets and rhizome buds in *Carex brevicuspis* populations along a small-scale elevational gradient. *Scientific Reports* 5: 12688.
- Hsieh C. F. 2002. Composition, Endemism and Phylogeographical Affinities of the Taiwan Flora. *Taiwania* 47(4): 298 — 310.
- Huang, Y., X. Zhang, R. Zang, S. Fu, X. Ai, L. Yao, Y. Ding, J. Huang, and X. Lu. 2018. Functional recovery of a subtropical evergreen-deciduous broadleaved mixed forest following clear cutting in central China. *Scientific Reports* 8: 16458.
- Koyama, T. 1978. *Carex* pp. 303 — 372. In: H. L. Li, T. S. Liu, T. C. Huang, T. Koyama, and C. E. DeVol (eds.). *Flora of Taiwan*, Vol. 5. Epoch Publishing, Taipei, Taiwan.
- Koyama, T., C. S. Kuoh, and W. C. Leong. 2000. *Carex*. pp. 194 — 237. In: Editorial Committee of *Flora of Taiwan* (eds.). *Flora of Taiwan* (2nd ed.) Vol. 5. Editorial Committee of the *Flora of Taiwan*, 2nd Edition, Taipei, Taiwan.
- Legendre, P. and E. D. Gallagher. 2001. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia* 129:271 — 280.
- Linder, H. P. 2005. Evolution of diversity: the Cape flora. *Trends in Plant Science* 10(11): 536 — 541.
- Liu, B. F., G. J. Liu, and Z. C. Wang. 2009. Structure changes and succession dynamic of the natural second-

- ary forest after severe fire interference. *Journal of Forestry Research* 20(2) 123 – 130.
- Maurin, O., A. M. Muasya, P. Catalan, E. Z. Shongwe, J. Viruel, P. Wilkin, and M. van der Bank. 2016. Diversification into novel habitats in the Africa clade of *Dioscorea* (Dioscoreaceae): erect habit and elephant's foot tubers. *BMC Evolutionary Biology* 16: 238.
- Naczi, R., A. Reznicek, and B. Ford. 1998. Morphological, geographical, and ecological differentiation in the *Carex willdenowii* complex (Cyperaceae). *American Journal of Botany* 85(3): 434 – 447.
- Pérez-Harguindeguy, N., S. Díaz, E. Garnier, S. Lavorel, H. Poorter, P. Jaureguiberry, M. S. Bret-Harte, W. K. Cornwell, J. M. Craine, D. E. Gurvich, C. Urcelay, E. J. Veneklaas, P. B. Reich, L. Poorter, I. J. Wright, P. Ray, L. Enrico, J. G. Pausas, A. C. de Vos, N. Buchmann, G. Funes, F. Quétier, J. G. Hodgson, K. Thompson, H. D. Morgan, H. ter Steege, M. G. A. van der Heijden, L. Sack, B. Blonder, P. Poschlod, M. V. Vaieretti, G. Conti, A. C. Staver, S. Aquino, and J. H. C. Cornelissen. 2013. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* 61:167 – 234.
- Siben, E. J. J., C. F. Morris, D. C. Kotze, and A. M. Muasya. 2010. Changes in plant form and function across altitudinal and wetness gradients in the wetlands of the Maloti-Drakensberg, South Africa. *Plant Ecology* 207(1): 107 – 119.
- Uria-Diez, J., A. Gazol, and R. Ibáñez. 2014. Drivers of a riparian forest specialist (*Carex remota*, Cyperaceae): It is not only a matter of soil moisture. *American Journal of Botany* 101 (8): 1286 – 1292.
- Vellend, M., M. J. Lechowicz, and M. J. Waterway. 2000a. Environmental

distribution of four *Carex* species (Cyperaceae) in an old-growth forest. *American Journal of Botany* 87(10): 1507 – 1516.

Vellend, M., M. J. Lechowicz, and M. J. Waterway. 2000b. Germination and establishment of forest sedges (*Carex*, Cyperaceae): tests for home-site advantage and effects of leaf litter. *American Journal of Botany* 87(10): 1517 – 152.

葉綠素螢光在植物生態生理學研究之應用

Applications of Chlorophyll Fluorescence in Plant Eco-physiological Research

王經文¹ 黃盟元² 陳忠偉³ 陳忠義⁴ 翁韶良^{1*} 翁仁憲^{2*}

Ching-Wen Wang¹, Meng-Yuan Huang², Chung-Wei Chen³, Chung-I Chen⁴, Shau-Lian Wong^{1*}, Jen-Hsien Weng^{2*}

¹ 行政院農業委員會特有生物研究保育中心 552 南投縣集集鎮民生東路 1 號

² 國立中興大學生命科學系 402 台中市南區國光路 250 號

³ 行政院農業委員會茶業改良場魚池分場 555 南投縣魚池鄉中山路 270 巷 13 號

⁴ 國立屏東科技大學森林學系 912 屏東縣內埔鄉學府路 1 號

¹ Assistant research fellow, Endemic Species Research Institute. No.1, Minsheng E. Rd., Jiji Township, Nantou County 55244, Taiwan.

² Assistant research fellow, Tea Research and Extension Station, No. 13, Ln. 270, Zhongshan Rd., Yuchi Township, Nantou County 555009, Taiwan.

³ Department of Life Sciences and Innovation and Development Center of Sustainable Agriculture, National Chung Hsing University, Taichung, 40227, Taiwan.

⁴ Department of Forestry, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung 91201, Taiwan.

* 通訊作者 : shaulian@tesri.gov.tw; jhweng@mail.cmu.edu.tw

*Corresponding author : shaulian@tesri.gov.tw; jhweng@mail.cmu.edu.tw

摘要

葉綠素螢光可作為光合作用研究之有用探針，能反映光合作用的光能吸收、消散及傳遞等訊息，並與光合系統 II 效率、電子傳遞速率、質子梯度、ATP 合成及二氧化碳固定等「生理現象」相關。是植物逆境生理及生態生理學研究上的重要指標，可應用於農業生產、棲地復育及生態監測等方面。近年來，在葉綠素螢光測定之試驗設計，以及螢光參數的進階應用上，均有長足進步，使其在植物生態生理之應用更加廣泛。葉綠素螢光測定技術具有測定簡單、快速、準確性高、非破壞性及儀器輕巧等優點，可在野外現場大量測定，提供各項光生理參數。惟葉綠素螢光牽涉到複雜的生理機制，因此，做好試驗設計及拿捏測定時機是為成功關鍵。

關鍵詞：葉綠素螢光、光合系統 II 效率、電子傳遞速率、非光化學消散、光保護、光抑制

Abstract

Chlorophyll fluorescence is a useful tool for photosynthesis research. It can reflect the light reaction process of photosynthesis, such as absorption, quenching and transfer, efficiency of photosystem II, electron transport rate, proton gradient, ATP synthesis, and CO₂ fixation. Therefore, chlorophyll fluorescence can provide several important indicators for stress- and eco-physiological researches of plants in the fields of agricultural production, habitat construction, and ecological monitoring. In recent years, great progress has been made in experimental design and advanced applications of chlorophyll fluorescence parameters, making it more widely used in the plant eco-physiology field. The chlorophyll fluorescence measurement has the advantages of being simple, fast, reliable, non-destructive, and as a light instrument; it also provides various photo-physiological parameters in large quantities in the field. However, chlorophyll fluorescence involves many complicated physiological mechanisms. Therefore, the experimental design of a

research and the timing to determine these parameters are very important.

Key words: Chlorophyll fluorescence, PSII efficiency, electron transport rate, non-photochemical quenching, photoprotection, photoinhibition

縮寫表

Fv/Fm, Potential quantum efficiency of PSII, 光合系統 II 最大光化學潛能

$\Delta F/F_m'$, Actual quantum efficiency of PSII, 光合系統 II 實際效率

ETR, Electron transport rate, 電子傳遞速率

NPQ, Non-photochemical quenching, 非光化學消散

qE, Energy-dependent quenching, 依賴葉黃素循環之熱消散 (較快的部分)

qZ, Xanthophyll cycle-dependent energy quenching, 依賴葉黃素循環之熱消散 (較慢的部分)

qT, phosphorylation shift-dependent quenching, 依賴磷酸化轉變消散

qI, Photoinhibitory quenching, PSII 的傷害所造成的光抑制

公式表

- (1) F_0 (minimum fluorescence), 代表天線系統的最小放射量。
- (2) F_m (maximum fluorescence), 其放出的最大螢光放射量, 是代表天線系統及 PSII 反應中心放出的螢光總量。
- (3) F_v (variable fluorescence, $F_v = F_m - F_0$), 為暗適應後由 PSII 反應中心所放出之螢光放射量, 可代表具活性之 PSII 反應中心的潛在量。
- (4) F_0' (minimum fluorescence in the light-adapted state), 照光下的最小螢光量。
- (5) F_s (the steady state fluorescence), 光照下 PSII 經由電子傳遞鏈將電子傳至 PSI 達到穩定階段的螢光放射量。
- (6) F_m' (maximum fluorescence in the light-adapted state), 光照下 PSII 關閉時最大

螢光放射量。

(7) ETR (electron transport rate) = $\Phi_{PSII} \times 0.5 \times 0.84 \times PPFD$ ，電子傳遞速率。

(8) $\Delta F / F_m' = (F_v' / F_m') / (F_v / F_m)$ ，實際 PSII 效率之比例。

(9) NPQ (non-photochemical quenching) = $(F_m / F_m') - 1$ ，非光化學消散。

(10) $qE = (F_mT - F_m') / F_m'$ ，NPQ 中最快反應的部分，T 為暗期時間 (2 分鐘)。

(11) $qZ = (F_mT - F_m') / F_m'$ ，NPQ 中較慢反應的部分，T 為暗期時間 (4-30 分鐘)。

(12) $qT = (F_mD30 - F_mT) / F_mT$ ，NPQ 中 (LHC) II 的磷酸化移動的部分，T 為暗期時間。

(13) $qI = (F_mO - F_mD30) / F_mT$ ，NPQ 中光抑制的部分，O 為未照光時，T 為暗期時間。

一、前言

植物生態生理學就乃是：探討植物對環境反應及適應之生理機制的科學。綠色植物藉由光合作用，利用太陽能將無機物同化 (assimilation) 成有機物。同化能力會影響植物之生產力，對經濟植物及整個生態系均有深遠的影響，同化能力會受到自然環境條件及植物本身之生態生理特性之影響。植物之光合特性通常會因其生活型態、生長環境以及演替類型而異 (Wong et al. 2016)。研究不同物種之光合作用和環境間之關係是植物生態生

理研究，及稀有物種經營管理之重要手法。

台灣的面積雖然不大，卻擁有複雜的生物棲地，如平地到海拔近 4,000 m 之高山，溫度每升高 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，加上坡度及坡向之影響更形複雜。各種植物為了適應不同的環境，在形態及生理上亦有不同的表現，因此擁有相當高歧異度的植物相。這樣的環境是探討植物生態生理的良好場所，但是欲得知在野外自然條件下，植物

於不同環境因子下之光合特性，傳統上必須使用複雜且操作繁瑣之儀器，親臨現場接觸植物才能準確獲得，所以對現場測定而言，相當不容易進行。若能利用較簡單的方法，將對植物生態生理之研究有莫大之助益，近年發展之葉綠素螢光測定已可解決很多問題。由於葉綠素螢光之測定具有儀器輕巧，測定簡單、省時、方便、準確性高及非破壞性等優點，並可作為長時間追蹤 (Weng et al. 2005)，以了解植物長期的生理反應，可以取代氣體交換測定過程繁瑣、儀器昂貴及移動較不便的缺點，可在野外現場獲得大量資料，更有利於生態生理研究或生態監測 (Weng 2006; Wong et al. 2012a)。

二、葉綠素螢光之生理意義

植物在進行光合作用時，葉綠素會吸收光能，其所吸收之光能除了用作光合作用 (光化學消散, photochemical quenching) 之外，多餘的能量會以熱或螢光的方式消散 (非光化學消散,

non-photochemical quenching)，若無法消散時，過剩光能會使光系統活性降低，影響光合效率及葉綠素螢光，即是所謂光抑制 (photoinhibition) (Demmig-Adams and Adams 1992; Demmig-Adams et al. 1996; Maxwell and Johnson 2000; Müller et al. 2001)。在不同條件下，以上三種能量 (光合作用、非光化學消散、過剩光能) 會互相消長，故測定葉綠素螢光可獲得植物之光合效率及光能消長之許多訊息 (Demmig-Adams et al. 1996; Maxwell and Johnson 2000; Müller et al. 2001)。而且葉綠素螢光之測定簡便迅速，只需數秒即可測得一筆資料，又可在野外現場做作非破壞性連續測定，故成為植物生理及生態生理研究之重要手法 (Maxwell and Johnson 2000)。

三、重要葉綠素螢光參數之介紹及應用例

葉綠素螢光參數很多 (Demmig-Adams et al. 1996; Roháček and Barták 1999; Maxwell and Johnson 2000)，在此只介紹幾種較重要者。

(一)、**Fv/Fm: PSII** 的最大光化學潛能，判定植物受逆境危害程度之重要指標

Fv/Fm 值乃葉片經 20-30 分鐘，或隔夜之暗適應後，所測得葉綠素螢光之可變 (Fv) 與最大 (Fm) 量螢光比值，其中 Fv 為最大螢光值 (Fm) 減去基礎螢光值 (Fo) 所得。Fv/Fm 可代表光系統 II (PSII) 的最大光化學潛能，為判定植物受逆境危害程度之重要指標 (Roháček and Barták 1999; Maxwell and Johnson 2000)。如低溫會使酵素活性降低，缺水會促使氣孔關閉阻礙 CO₂ 進入葉片，此二者都會使光合作用之暗反應能力下降，如又遇到強光時，植物所吸收之光能容易過剩，會導致光合效率的下降 (Da'Matta et al. 1997; Kao et al. 1998; Warren et al. 1998; Liu et al. 2020)。其他環境條件如高溫也會使植物所吸收之光能容易過剩，而抑制光合作用 (Thomas and Turner 2001; Colom et al. 2003; Slavka et al. 2019)。測定葉片之 Fv/Fm 值即可偵出 PSII 受影響之程度，相關文獻不勝枚舉，但是要清楚黑暗中及照光

下 PSII 效率之變化情形，才能做好實驗設計及拿捏測定時機。

圖 1 乃以甘露醇 (mannitol) 所造成不同程度滲透壓之水分逆境處理後，榕樹 (*Ficus microcarpa*) 葉片在未照光前、強光照射期間及之後的黑暗處理期間，其 PSII 之光化學效率，包括在暗處測得之最大光化學潛能 (Fv/Fm)，及在光線照射下，PSII 之實際光化學效率 ($\Delta F/Fm'$) 之變化情形 (Weng et al. 2011)。如圖所示，榕樹切斷葉片經不同程度的水分逆境處理 15 小時後 (圖 1 之 Time 0 hr)，只要不照光，其 Fv/Fm 仍能維持在正常值 (≈ 0.8) 附近。但是一開始照光後，其 $\Delta F/Fm'$ 即迅速降低。在關燈後之 20 分鐘內，受逆境影響程度較低者，其 Fv/Fm 會迅速回升，之後則緩慢回升。過夜後，未處理之 Fv/Fm 可回復到正常值，受逆境影響程度越大者，則無論在關燈後 20 分鐘，或過夜後，切斷葉片 Fv/Fm 之回復程度均越差。

開始照光後之幾分鐘內， $\Delta F/Fm'$ 會迅速降低。原因乃葉片在強光下，其所吸收之光能無法全用於

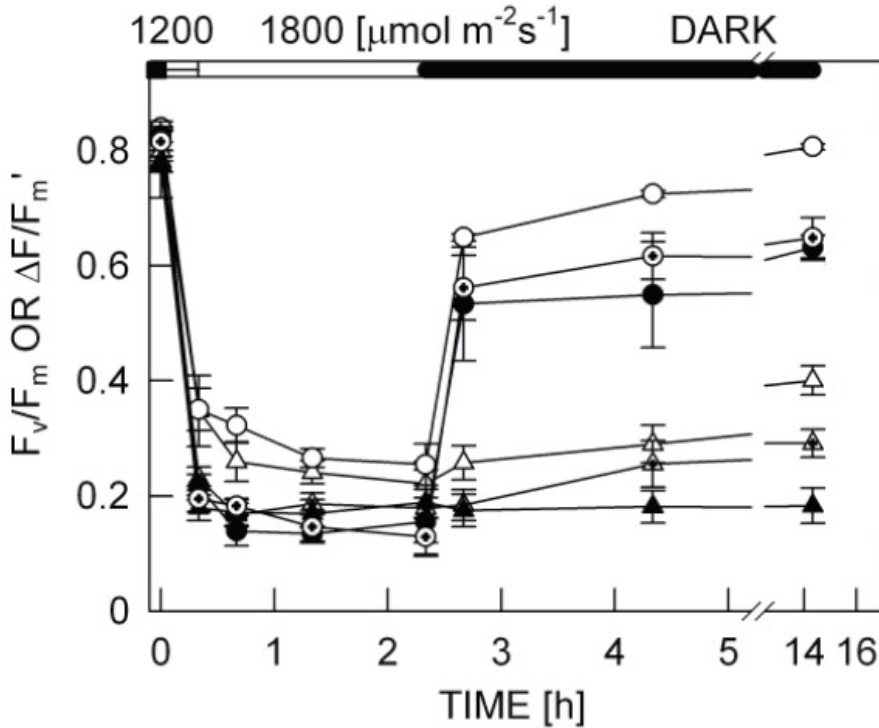


圖 1. 榕樹 (*Ficus microcarpa*) 之著生 (圓形) 及切斷 (三角) 葉片，經不同程度之缺水處理 (空心：0 M mannitol，內十字記號：0.5 M mannitol，實心記號：1.0 M mannitol) 後；在未照光前，強光 (1,200 及 1,800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD) 照射期間，及之後的黑暗處理期間，其 PSII 之光化學效率 [F_v/F_m (暗期) 及 $\Delta F/F_m'$ (明期)] 之變化情形 (Weng et al. 2011)。

Fig. 1. PSII efficiency (F_v/F_m and $\Delta F/F_m'$) of osmotic-stressed and control *Ficus microcarpa* leaves under the time course of illumination at 1,200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD for 20 min, followed by 1,800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD for 120 min, and then at darkness for 12 h. Values are means \pm SE; \circ and Δ : no osmotic stress; \oplus and \triangleoplus : 0.5 M mannitol; \bullet and \blacktriangle : 1.0 M mannitol; circle and triangle symbols: attached and detached leaves, respectively (Weng et al. 2011).

光合作用上，葉綠體會啟動非光化學消散 (NPQ)，將過剩光能以熱之形式釋出，使 PSII 效率下降，避免光系統受到傷害，是一種保護作用 (Demmig-Adams and Adams 1996; Li et al. 2000; Adams et al. 2004)。因光保護引起之 PSII 效能下降可在關燈後迅速回復，屬於 PSII 效率的向下調節 (down regulation)。照光一段時間後， $\Delta F/F_m'$ 緩慢降低之原因為過剩光能傷害了 PSII，使其 $\Delta F/F_m'$ 在 30 分鐘的暗處理，甚至過夜後仍無法回復，是為光抑制 (Verhoeven et al. 1999; Werner et al. 2002)。

1. 暗適應 20-30 分鐘所測得之 F_v/F_m 值包含了短期 + 長期光抑制

如圖 1 所示，照光後的葉片經 20-30 分鐘暗適應後，即使是未處理之葉片，其 F_v/F_m 仍未能回到正常水準 (≈ 0.8)，需經過夜暗處理後才能完全回復。逆境導致之 PSII 效能 (F_v/F_m) 下降，能在隔夜回復之部分稱為短期光抑制 (temporary or dynamic photoinhibition)，隔夜不能回復之部分稱

為長期光抑制 (chronic photoinhibition) (Werner et al. 2002)。目前多數文獻都只測定暗適應 20-30 分鐘之 F_v/F_m 值，但從圖 1 可看出，不同缺水處理之間，其短期光抑制與長期光抑制之間還是有很多差異，必要時可將處理過的材料在暗處過夜，於次日黎明再次測其 F_v/F_m ，分別探討短期及長期光抑制。

2. 黎明 F_v/F_m 之測定例

如上段所述，葉片於逆境處理後在暗處過夜，在次日黎明照光前測其 F_v/F_m 值，若其值較逆境處理前為低，則表示其 PSII 遭受傷害，不能在夜間修復，或者逆境導致因光保護 (累積大量玉米黃素 zeaxanthin 及花質素 antheraxanthin) 引起之 PSII 效能下降未能回復 (Verhoeven et al. 1999; Adams et al. 2004)，屬長期光抑制。為探討高山冬季低溫對植物光合作用之影響，自 1999 至 2001 連續三年於南投縣信義鄉塔塔加現場 (23°29'N, 120°53'E, 2,650 m) 測定臺灣雲杉 (*Picea morrissonicola*) 光合能力及黎明 F_v/F_m 值之季節變化。結果 (圖 2, Weng et al.

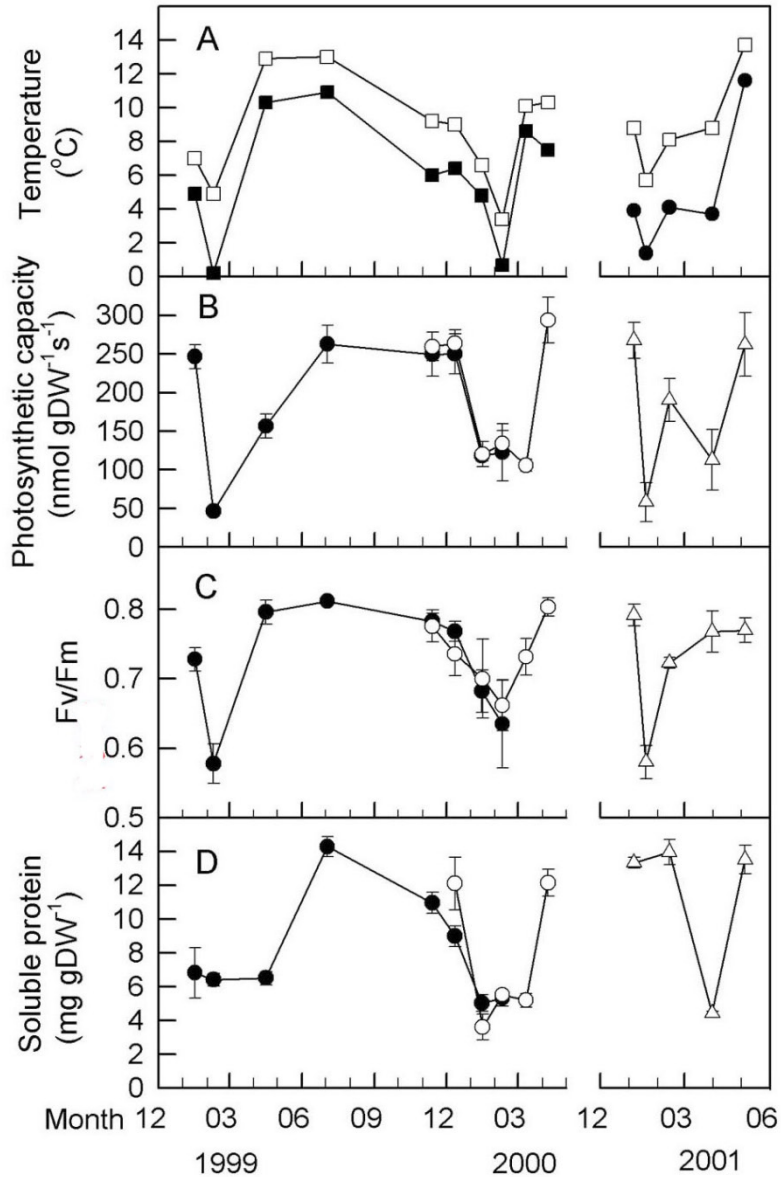


圖 2. 塔塔加現場 (23°29' N, 120°53' E, 2600 m) 測定日之均溫 (□) 及最低溫 (■) (A)、雲杉之光合能力 (B)、葉綠素螢光 (C) 和針葉可溶性蛋白之變化 (D) (Weng et al. 2005)。

Fig. 2. Mean (□) and minimum (■) daily temperatures of each measuring day (panel A), seasonal variations in photosynthetic capacity (panel B), chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) (panel C), and soluble protein of needles (panel D) of Taiwan spruce measured at the Tatchia forest site (23°29'N, 120°53'E, 2600 m). ●, ○ and △ : needles emerged in the spring of 1998, 1999, and 2000, respectively. Vertical bars indicate the standard errors (n = 3–4) (Weng et al. 2005).

2005) 顯示，除了 3-4 月份新葉生長季節外，從晚春經秋冬至次年初春，氣溫、 F_v/F_m 與光合能力之變化相當一致。至於 3-4 月份新葉生長季節 CO_2 固定能力偏低，究其因乃是新葉生長之需，針葉中之可溶性蛋白質被挪用，濃度降低所致 (圖 2D)。此外，在同地 1999-2003 年，以台灣二葉松 (*Pinus taiwanensis*) 為對象所測得之結果亦有相同之趨勢，在低溫下台灣二葉松的光合作用變化與環境溫度的季節性變化一致 (Weng et al. 2009)。這些結果顯示，儀器輕巧，且容易測定之葉綠

素螢光，可取代光合作用儀器笨重且操作繁瑣之氣體交換資料，對長期生態研究及監測有莫大助益。

3. 在野外測定時 F_v/F_m 容易低估及其解決之道

如圖 3 所示，當溫度超過臨界點 ($40.31^\circ C$) 時，量測油菜 (*Brassica napus*)、芥藍菜 (*B. oleracea*)、萵苣 (*Lactuca sativa*)、豌豆 (*Pisum sativum*)、玫瑰 (*Rosa rugosa*)、櫻桃 (*Prunus campanulata*)、臺灣野梨 (*Pyrus koehnei*) 及台灣赤楊 (*Alnus for-*

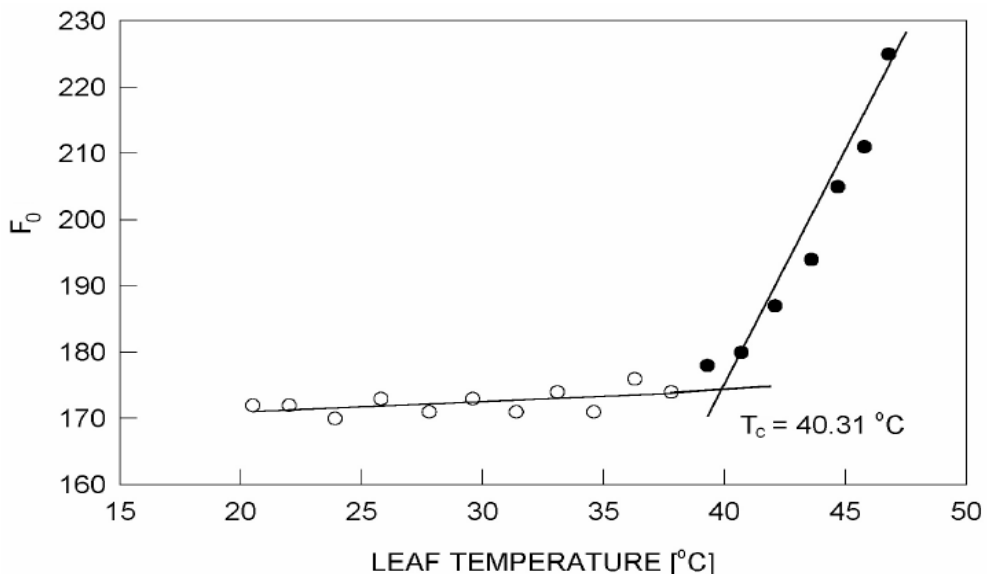


圖 3. 溫度超過臨界點 (T_c) 時，葉片之 F_o 會急遽增加。(Weng and Lai 2005)

Fig. 3. When the temperature exceeds the critical point (T_c), the F_o of the leaves will increase sharply (Weng and Lai 2005)

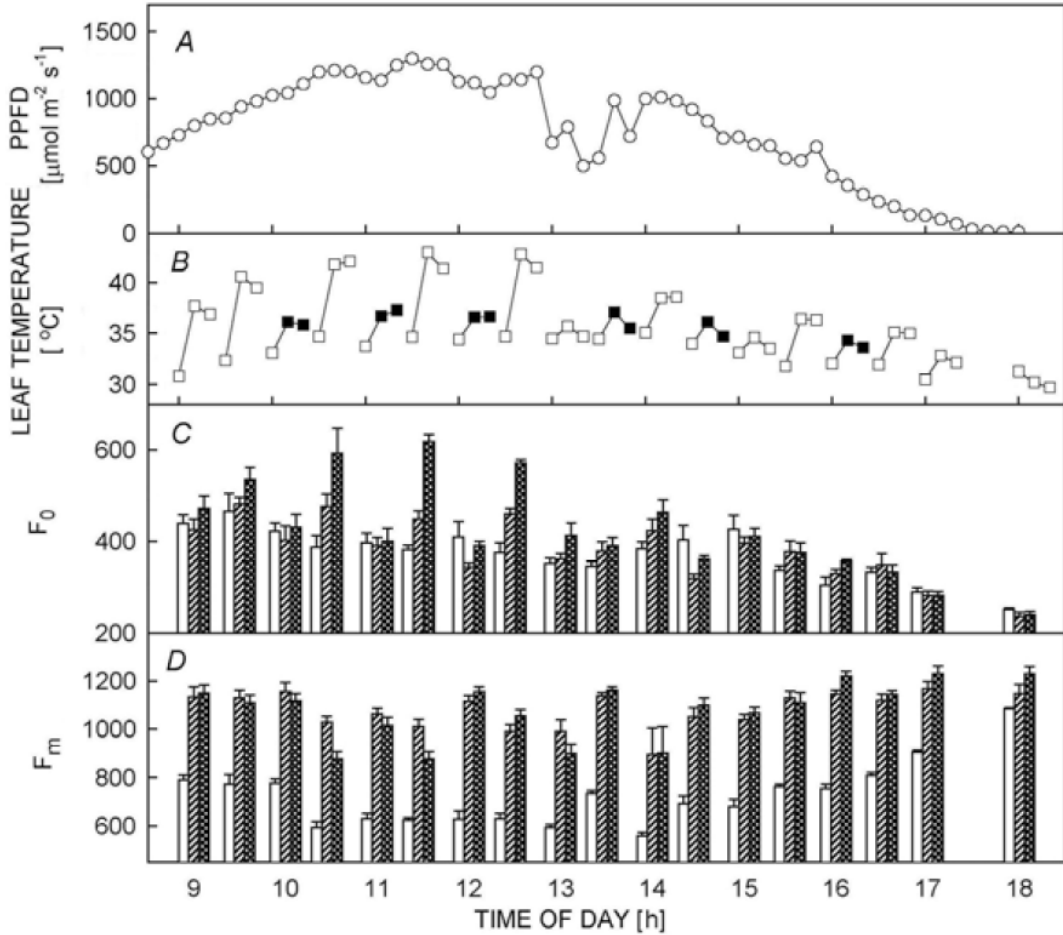


圖 4. 日射量 (PPFD)、夾上葉夾之葉溫 (□: 日光照射下, ■: 遮陰), 最大 (F_m) 及基礎螢光值 (F_0) 之日變化。空心、左斜及網柱分別代表夾上葉夾後立即、夾上 10 分鐘及 20 分鐘之測定值 (Weng 2006)。

Fig. 4. Diurnal variation of photosynthetic photon flux density (PPFD) of solar radiation (panel A); leaf temperature (□: under irradiation, ■: leaf clips were shaded with Styrofoam plate, panel B), and minimal and maximal chlorophyll fluorescence (F_0 and F_m , panel C and D) taken immediately after (open bars), 10 min (diagonal-marked bars) and 20 min (crossed bars) after the leaves were darkened with leaf clips (Weng 2006).

mosana) 等 8 種植物葉片之 F_o 會急遽增加，而導致 F_v/F_m 值 ($F_v = F_m - F_o$) 降低。在野外測定 F_v/F_m 時，通常會以葉夾 (leaf clip) 夾住葉片，進行暗處理。Weng (2006) 發現，若葉夾曬到強烈陽光時 (圖 4, 1030、1130 及 1230 hr)，夾內溫度會上升，導致 F_o 急遽增加，使 F_v/F_m 值低估。為了避免此低估現象，建議避免太陽直射到葉夾 (圖 4, 1000、1100 及 1200 hr 以保麗龍板遮陰)。或者以葉夾夾住葉片之瞬間所測得之 F_o 值代替夾住葉片一段時間 (20-30 min) 後所測得之 F_o 值。因為如圖 4 所示，在葉夾內溫度尚未達到影響 F_o 值之前 (0900 hr 及 1630-1800 hr)，葉夾剛夾住葉片時所測得之 F_o 值，與夾住葉片 10 分鐘及 20 分鐘後所測得之 F_o 值並無顯著差異 (Weng 2006)。

4. 無逆境時， F_m 值會隨葉綠素而增加，而 F_v/F_m 則變化不大，約 0.8

如圖 5 所示，針對不同葉色之介藍 (*B. oleracea* L.) 進行葉綠素含量與最大螢光值 (F_m) 量測，顯示葉綠素含量愈高的品種其 F_m 有愈高的趨勢，

因為 F_m 代表葉綠素光能最大吸收能力 (黃, 2000)，惟其 F_v/F_m 的比例仍會維持 0.8 左右，顯示 F_v/F_m 為相當穩定的光合生理指標。

(二)、 $\Delta F/F_m'$ 及 **ETR**: 光照下 PSII 之實際光化學效率及經電子傳遞鏈輸出之電子流量

$\Delta F/F_m'$ 為在光線照射下，PSII 之實際光化學效率，而 ETR (electron transport rate, 電子傳遞速率) 則是由 $\Delta F/F_m'$ 乘以所吸收之光能 (光強度 \times 吸收率) 而得，表示 PSII 吸收光能後，實際能經電子傳遞鏈輸出之電子流量 (Krall and Edwards 1992; Maxwell and Johnson 2000)。

1. **ETR** 可直接推估葉片在光照下即時之光合速率

因為光合作用之二氧化碳固定是 PSII 電子的一個主要接收者，因此 ETR 與光合速率互有關聯 (Krall and Edwards 1992; Wong et al. 2012b)。同時在許多場合，ETR 和二氧化碳固定之光反應曲線相似 (Franco and Lüttge 2002; Coopman et al. 2008)。

然而在 C_3 型植物，因二氧化碳

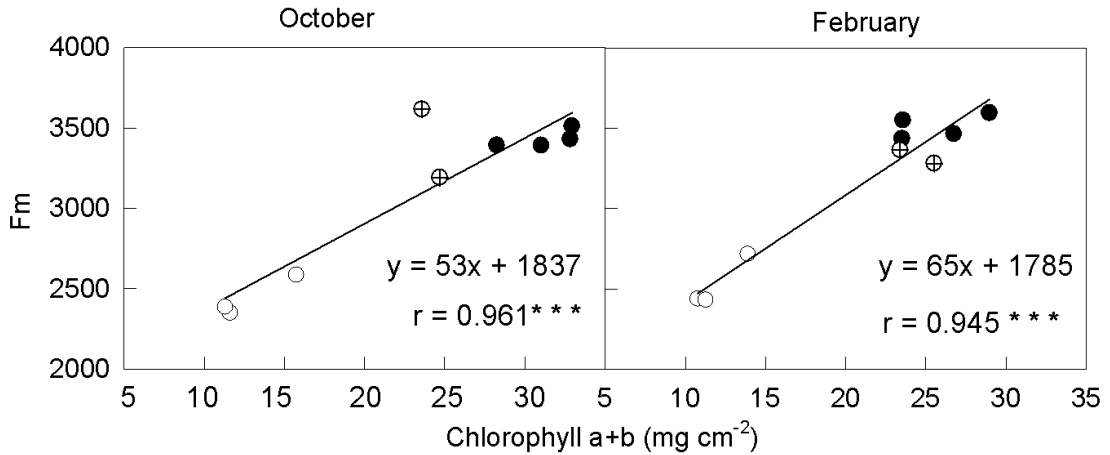


圖 5. 不同葉色 (○: 黃綠, ⊕: 綠, ●: 深綠) 之芥藍 (*Brassica oleracea* L.) 品種, 其最大螢光值 (Fm) 與葉綠素含量之關係 (黃, 2000)。

Fig. 5. The relationship between the maximum fluorescence value (Fm) and chlorophyll content of *Brassica oleracea* L. with different leaf colors (○: yellow-green, ⊕: green, ●: dark-green) (Huang, 2000).

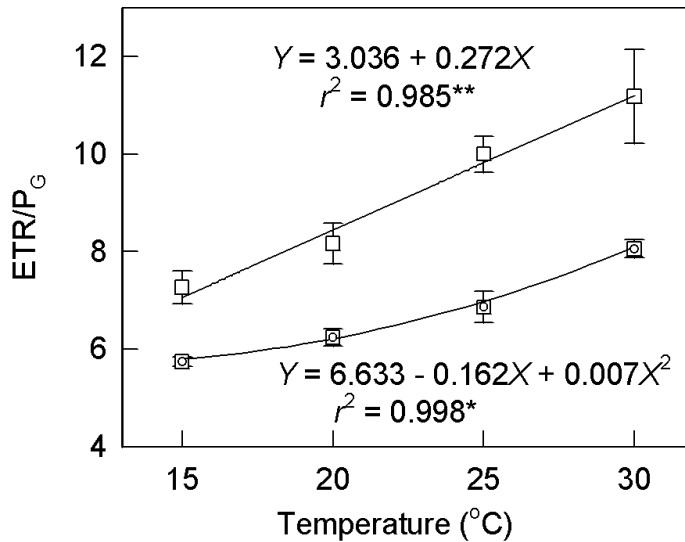


圖 6. 台灣赤楊 (⊠) 及石葦 (□), 在各測定溫度下, ETR/P_G (電子傳遞速率 / 光合速率) 比之變化情形。每個點代表 4 – 6 片葉在 100、200、400、800、1,200 及 2,000 μmol m⁻² s⁻¹ PPFD 所測得之平均值 (Wong et al. 2012a)。

Fig. 6. The relationship between ratio of ETR/P_G and leaf temperature of *Alnus formosana* (⊠) and *Pyrrhosia lingus* (□). Each point represents the mean value of four to six leaves measured at 100, 200, 400, 800; 1,200; and 2,000 μmol m⁻² s⁻¹ photon flux density. Data are means ± SD. *: P<0.05, **: P<0.01 (Wong et al. 2012a).

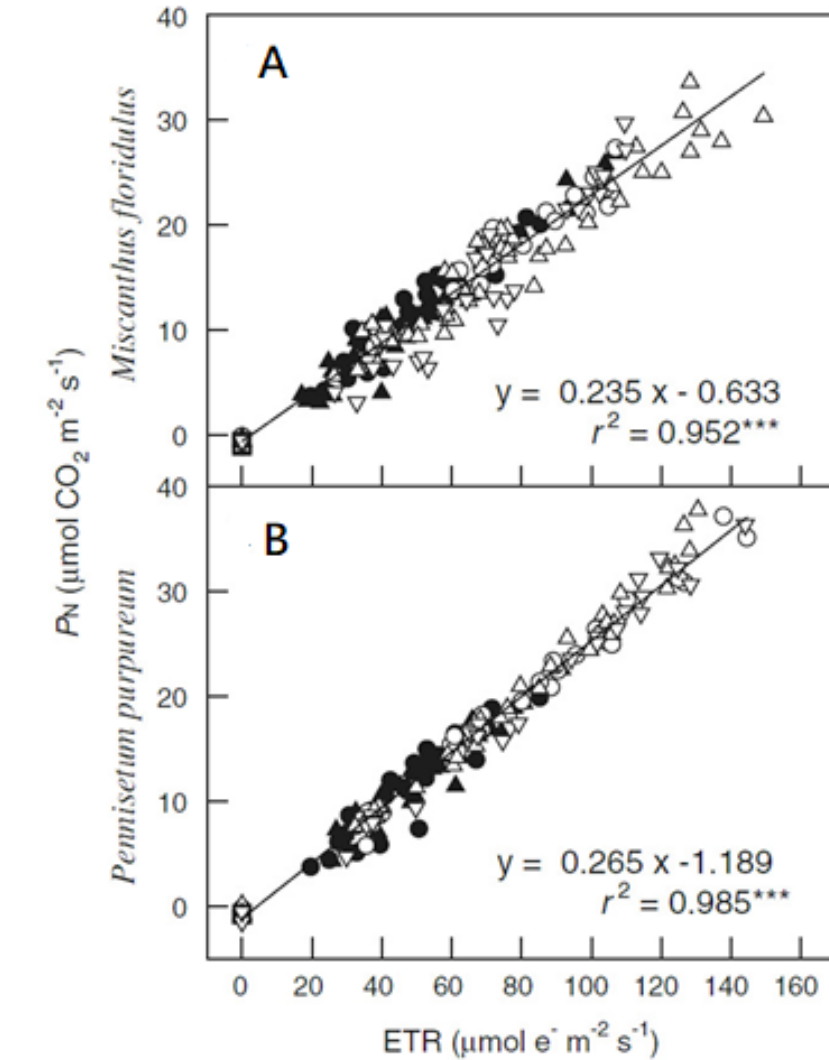


圖 7. 在不同溫度及溼度 (●、▲、○、△：分別代表在 15°C、20°C、25°C、30°C 及 60% RH; ▽：30°C 及 40% RH) 條件下，五節芒 (*Miscanthus floridulus*) 及狼尾草 *Pennisetum purpureum*) 葉片之光合速率 (P_N) 與電子傳遞速率 (ETR) 之關係 Wong et al. 2014a)。

Fig. 7. The correlation of electron transport rate (ETR) with net photosynthetic rate (P_N) for *Miscanthus floridulus* (panel A) and *Pennisetum purpureum* (panel B) under different temperatures and humidities (●, ▲, ○, △: respectively represent 15 °C, 20 °C, 25 °C, 30 °C and 60% RH; ▽: 30 °C and 40% RH) conditions. ***: $P < 0.001$ (Wong et al. 2014a).

固定與光呼吸同為 PSII 電子的主要接收者，因此，ETR 與光合速率之比例通常會隨二氧化碳分壓之下降 (Krall and Edwards 1992)、或溫度 (Oberhuber and Edwards 1993; Wong et al. 2012a) 及氧氣分壓 (Ripley et al. 2007) 升高而增加。因為這些情況均會導致光呼吸增加而使光合速率下降。因此，僅在無光呼吸或溫度、二氧化碳、氧氣濃度接近之情況下，C₃ 植物之 ETR 和光合速率間才具有顯著相關 (Cheng et al. 2001; Pérez-Torres et al. 2007; Ripley et al. 2007)。

雖然如此，我們發現只要加以溫度校正，就能以 ETR 推估 C₃ 型植物的光合速率。因為在野外條件下，二氧化碳、氧氣濃度之變化通常不會太大，容易變化的只有溫度一項。如圖 6 所示，在不同光度下所測得之 ETR 與葉片光合速率的比值 (ETR/ P_G)，均會隨溫度增加而呈直線或曲線上升 (但會隨物種而異)，能以 1 次式或 2 次式表示之 (石葦 P_G = ETR/(3.036 + 0.272•T, P<0.01)，赤楊 P_G = ETR/(6.633 - 0.162•T + 0.007•T², P < 0.05，

T 為葉片溫度，圖 6)。在實用上便可在不同溫度及光度條件下，以容易測得之 ETR 及溫度，利用 ETR/ P_G 與溫度的關係，推估即時的光合速率。我們以此二迴歸方程式推估台灣赤楊與石葦在 15 – 30°C，及 0 – 2000 μmol m⁻² s⁻¹ PPFD 之 P_G 值，發現推估值與實測值之間呈極顯著之正相關 (r² 各為 0.916 及 0.964，P<0.001) (Wong et al. 2012a)。

至於 C₄ 型植物五節芒 (*Miscanthus floridulus*) 及狼尾草 (*Pennisetum purpureum*) 等，因無光呼吸，不會因為溫度升高造成產光合下降，所以在各溫度下，其 ETR 與光合速率間之關係均呈現隨不同溫度及溼度增加而呈直線上升，因而比 C₃ 型植物更容易直接以 ETR 推估光合速率，而不須溫度校正 (圖 7，Wong et al. 2014a)。

2. ETR 的快速光曲線：可在 2 分鐘之內推估葉片在各光照下的光合效率

光合作用之光反應曲線 (light-response curve of photosynthesis) 可顯示葉片在各種光強度下之光合效率，是

重要的生態生理特性，可用來探討植物的生產性及光適應性。在傳統上，光反應曲線是以紅外線光合測定儀測得，在每種光度下，至少需花費 8-16 分鐘的測定時間 (Wong et al. 2012a)。如圖 8 所示，測定石葦 (*Pyrrosia lingu*) 與臺灣原始觀音座蓮 (*Archangiopteris somai*) 葉片在 7 種 (0、100、200、400、800、1,200、2,000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD) 光度下之光合速率，總時間約需 1.5-2 小時。若是以快速光曲線法 (rapid light curve method) 來測定，則每種光度只需 10 秒 (Huang et al. 2021a)。以圖 8 右為例，測完 7 種光度只須 70 秒。Huang et al. (2021a) 以 5 種不同耐陰性及水分適應性不同的木本植物及 4 種不同耐陰性之蕨類植物為材料，以傳統紅外線光合測定儀，及葉綠素螢光測定儀測定同一片葉片的光合速率及 ETR_R 。結果如圖 8 所示，在水分充足之情況下，兩者的變化趨勢很相似。70 秒就能測出的快速光曲線，也能夠顯示陰性植物的特性：低光合速率、低光飽和點。此點非常重要，可以迅速偵知陰性植物的

生產性及光適應性。

值得注意的是，若是要以 ETR_R 推估光合速率，前項已述及在 C_3 型植物需考慮光呼吸之影響，在自然情況下，溫度是最大的光呼吸影響因子，故圖 8 是同在 25°C 下所做的比較。此外，如圖 8 的比較也須在不缺水的情況下， ETR_R 與光合速率才會有相同趨勢。圖 9 就顯示，當台灣赤楊缺水時，光合速率之下降程度就會比 ETR_R 大很多。其原因是因為光合速率會受到氣孔關閉之影響，而測 ETR_R 時，每種光度只照射 10 秒，受到氣孔的影響很少。

既然圖 9 顯示當台灣赤楊缺水時，光合速率會受到氣孔關閉之影響，而 ETR_R 受到氣孔的影響較少。所以在邏輯上就可以將 ETR_R 加上氣孔的影響因素 (g_s = 氣孔導度)，再與光合速率比較。結果如圖 10 所示，光合速率與 ($ETR_R \times g_s$) 之間呈極顯著的曲線正相關 ($r = 0.962$, $P < 0.001$)。由於 ETR_R 及 g_s 都能快速測得，可用來推估光合速率，非常有利於生態生理研究。不但是 C_3 型植物，我們還探討了 C_4 型

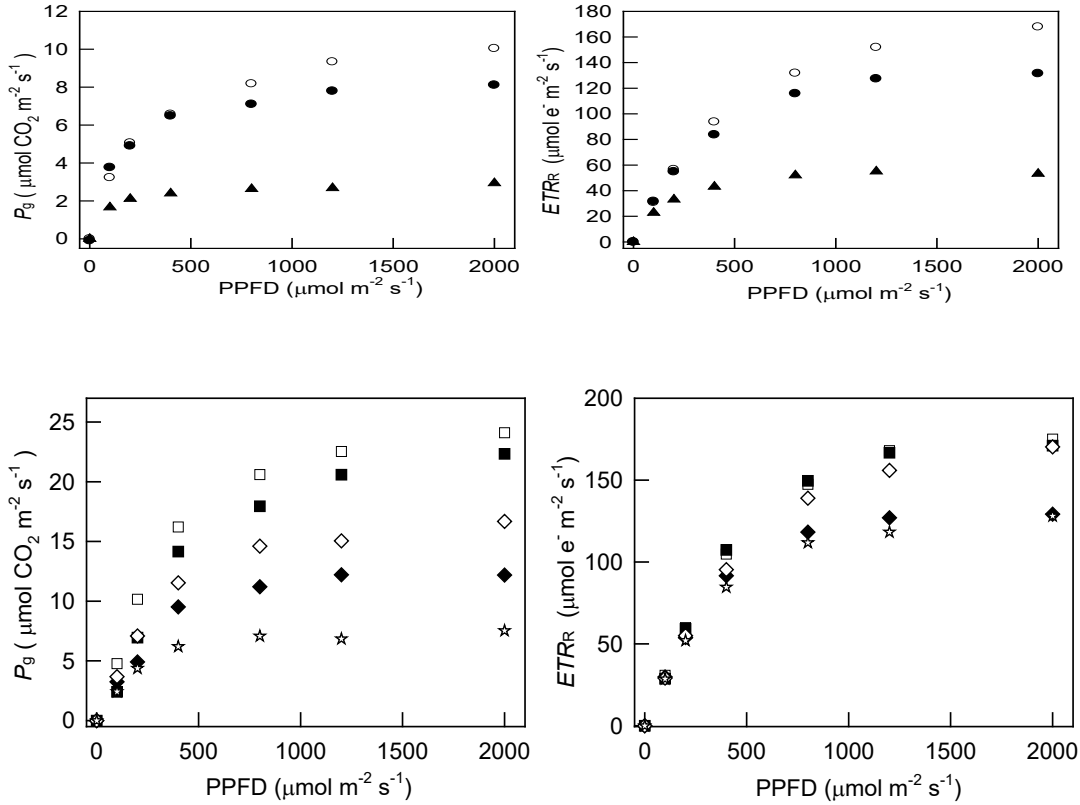


圖 8. 水份充足時，在不同光度 (PPFD, 光合有效光子密度) 下， P_g (粗光合速率) 與 ETR_R (以快速光曲線法所測得之電子傳遞速率) 之比較。○及●：分別代表在全光及 90% 遮光下栽培之石葦 (*Pyrrosia lingus*, 適於輕度遮陰)，▲：90% 遮光下栽培之台灣原始觀音座蓮 (*Archangiopteris somai*, 適於重度遮陰)。(依 Huang et al. 2021a 數據作圖)。

Fig. 8. Light-response curves of gross photosynthetic rate (P_g) and ETR_R for *Pyrrosia lingus* and *Archangiopteris somai* under different PPFD. ETR_R is electron transport rate obtained from rapid light response. ○ and ●: *Pyrrosia lingus* (light shade-tolerant plant adapted to slight shade) cultivated under full sunlight and 90% shading, respectively. ▲: *Archangiopteris somai* (adapted to heavy shade) cultivated under 90% shading. (Data from Huang et al. 2021a.)

圖 9. 在不同光度 (PPFD, 光合有效光子密度) 下，台灣赤楊 (*Alnus formosana*) 之 P_g (粗光合速率) 與 ETR_R (以快速光曲線法所測得之電子傳遞速率) 之比較。方形記號代表不缺水，菱形記號代表中度缺水，星形記號代表重度缺水。(依 Huang et al. 2021a 數據作圖)

Fig. 9. Light-response curves of gross photosynthetic rate (P_g) and ETR_R for *Alnus formosana* under different PPFD. ETR_R is electron transport rate obtained from rapid light response. Squares, diamonds, and stars indicate measurement under well-watered, and mild and severe drought conditions, respectively. (Data from Huang et al. 2021a.)

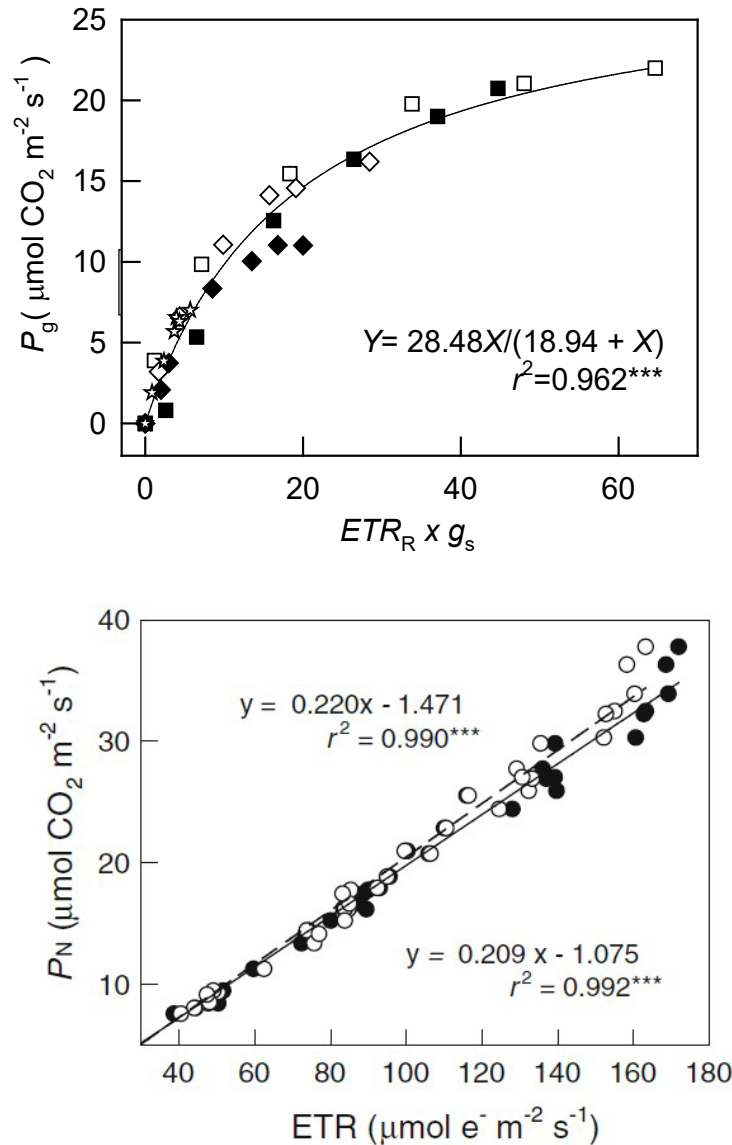


圖 10. 台灣赤楊 (*Alnus formosana*) 之 P_g (粗光合速率) 與 $ETR_R \times g_s$ (g_s = 氣孔導度) 之關係。方形記號代表不缺水，菱形記號代表中度缺水，星形記號代表重度缺水 (Huang et al. 2022a)。

Fig. 10. Relationship between gross photosynthetic rate (P_g) and $ETR_R \times g_s$ for *Alnus formosana*. Squares, diamonds, and stars indicate measurement under well-watered, and mild and severe drought conditions, respectively (Huang et al. 2022a).

圖 11. 狼尾草 (*Pennisetum purpureum*) 以兩種方法所得之 ETR 與光合速率之關係。實心記號及實線：以 $\alpha = 0.84$ 計算 ETR。空心記號及虛線：以實測 α (0.80–0.89) 來計算 ETR (Wong et al. 2014a)。

Fig. 11. The association of electron transport rate (ETR) and net photosynthetic rate (P_N) for *Pennisetum purpureum*. Closed symbol and solid line vs. open symbol and dotted line: $\alpha = 0.84$ and 0.80–0.89 respectively, used for calculating ETR. ***: $P < 0.001$ (Wong et al. 2014a).

光合速率與 ($ETR_R \times g_s$) 間之關係，也顯示出相同的結果。值得注意的是，因 C_4 型無光呼吸，所以在各溫度下，其 ETR_R 與光合速率間之關係均相同，不須溫度校正 (Huang et al. 2022a)。

3. 如何計算 ETR

ETR 是由 $\Delta F/F_m'$ 乘以所吸收之光能 (光強度 \times 吸收率) 而得，其公式為：

$$ETR = \Delta F / F_m' \times PPFD \times \alpha \times f$$

(Maxwell and Johnson 2000)

PPFD 為光合有效光子密度， α 為葉片對光線的吸收率，由於入射到葉片表面的光能平均有 84% 被葉片吸收 (Björkman and Demmig 1987)，故一般將 α 設為 0.84。 f 為光能在兩個光系統間的分配系數， C_3 型植物為 0.5 (Maxwell and Johnson, 2000)， C_4 型植物為 0.4 (Yin and Struik 2012)。由於葉綠素含量會影響葉片的光線吸收率，即使是同一物種，其葉綠素含量也會因季節、光度及營養條件而異。不免令人起疑，使用平均值 0.84 是否會影響 ETR 之準確度？針對此點，我們以圖 7 的狼尾草 (葉綠素含量 0.18–0.55 $g\ m^{-2}$) 為對象，分別以 $\alpha = 0.84$ ，及實測

吸收率 (0.80–0.89) 來計算 ETR，所得之 ETR 分別以實心及空心記號示於圖 11。可看出，兩種方法所得之 ETR 與光合速率之關係非常相近 ($r = 0.990$; $r = 0.992$, $P < 0.001$)。此結果顯示，即使葉綠素含量相差了 3 倍，計算 ETR 時， α 仍可設為 0.84。

(三)、NPQ: 包含了光保護及光抑制

在許多逆境下，光合效能常會受到抑制，使得明反應所吸收之光能超過暗反應所需，而產生過剩光能，此過剩光能若無法排除時，則會傷害光系統，產生光抑制。其中，以葉黃素循環為主的非光化學消散 (non-photochemical quenching, NPQ) 能將過剩光能以熱之形式釋出，是扮演光保護的一個重要角色 (Demmig-Adams and Adams 1996; Müller et al. 2001; Adams et al. 2004)。但是多數文獻所示之 NPQ 實際上包含了幾個成分，而未加以區分。NPQ 至少包括了 2 個重要組成份，1. qE: 依賴葉黃素循環之熱消散 (heat dissipation)，將過剩光能以熱的形式放出，以保護 PSII，為光保護

之主要機制。 qE 之啟動與停止均甚快速，約在光照改變後之數分鐘內即可完成。2. qI : 多為光照對 PSII 的傷害所造成的光抑制，而非光保護，因此其發生及回復所需之時間均較長 (Müller et al. 2001; Morosinotto et al. 2003)。由於 qE 與 qI 兩者之形成機制，以及能解釋之生態生理現象完全不同，只單純使用 NPQ，勢必無法瞭解 PSII 之光保護及光抑制特性。

1. 不同光適應能力之蕨類植物，其 PSII 之光保護及光抑制特性

為瞭解不同光適應能力之蕨類植物，在不同強度光照下之光保護及光抑制特性，以 4 種蕨類，其棲地光度從高至低分別為，石葦 (*Pyrrosia lingua*，適於輕度遮陰)、山蘇花 (*Asplenium antiquum*)、細柄雙蓋蕨 (*Diplazium donianum*) 及台灣原始觀音座蓮 (*Archangiopteris somai*，適於重度遮陰) 為材料進行探討。

如圖 12 所示，4 種材料在 50-2,000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPF 之光照強度下 30 分鐘後，其光合速率及 qE 、 qI 三者之變化情形會依物種之生態習性而

異。圖 12A-D 顯示，越適應高光環境者，其光合速率有越高的趨勢。而 qE 隨光度增加而上升之方式則是：可生存於輕度遮陰之石葦，其 qE 會隨光度增強而呈近於直線之方式上升，而半陰性之山蘇花與細柄雙蓋蕨則以漸近線之方式上升 (圖 12E-G)。在弱 - 中光度 (300-1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPF) 下，比較石葦、山蘇花與細柄雙蓋蕨之 qE 時，發現其高低順序與為細柄雙蓋蕨 > 山蘇花 > 石葦，此順序與其棲地光度及光合能力之高低順序相反。而此 3 種蕨類，其 qI 均隨光度增加而直線上升，而且上升斜率都相同 (slope = 0.001，圖 12I-K)。此結果顯示，雖然此 3 種蕨類植物，其適合之棲地光強度、光合能力及 qE 三者並不相同，但其 qI 對光度之反應則相似。此現象似可解釋為：石葦棲地之光環度較強，靠較高的光合能力來消耗葉片所接受之光能。而山蘇花及細柄雙蓋蕨大多生長於有斑光之林下，平常葉片能捕獲之光能較低，故其光合能力不若石葦。但一旦遭遇較強的斑光時，就能啟動較高效能的 qE ，以消散過多的光

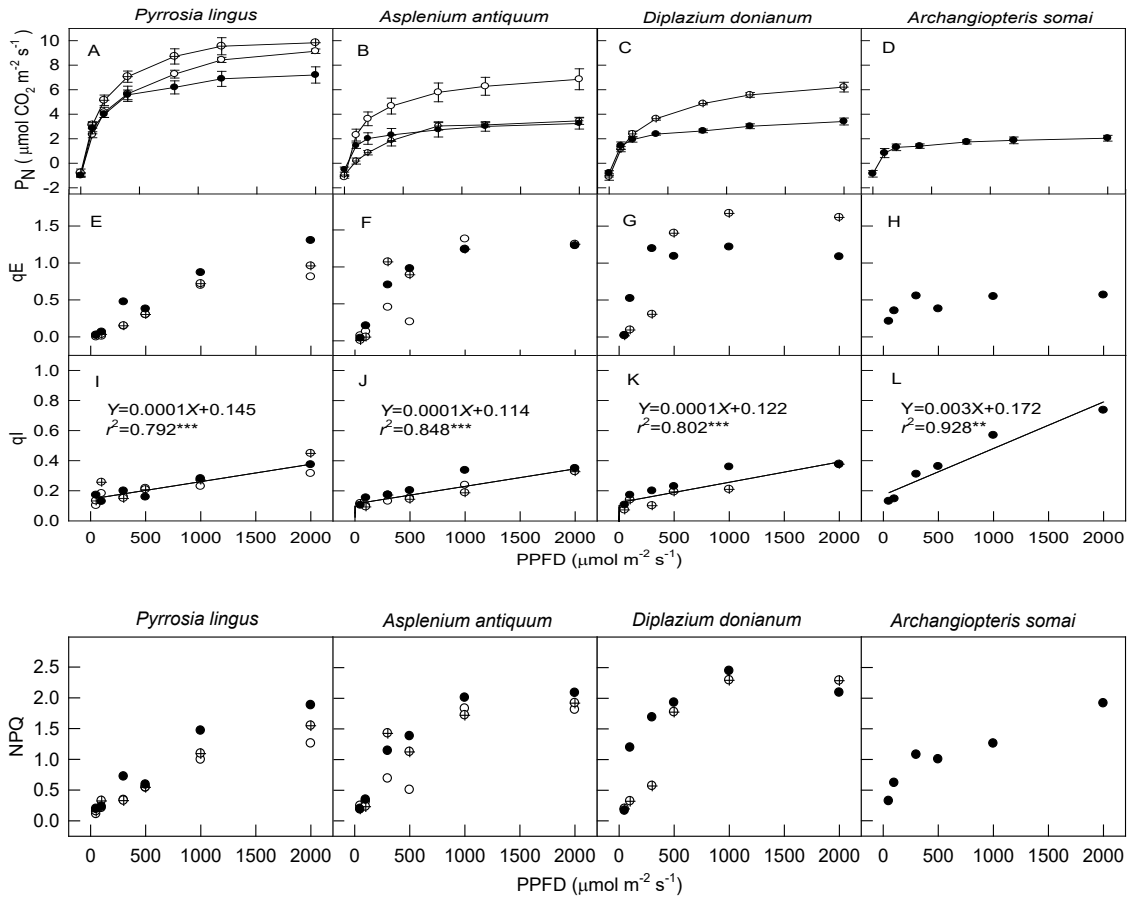


圖 12. 生長於 100% (○)、50% (⊕) 及 10% 日照 (●) 下之石葦 (*Pyrrosia lingus*)、山蘇花 (*Asplenium antiquum*)、細柄雙蓋蕨 (*Diplazium donianum*) 及台灣原始觀音座蓮 (*Archangiopteris somai*) 在 50、100、300、500、1,000、及 2,000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD 等光度下照射 30 分鐘後之光合速率 (P_n)、 qE 及 qI 值。(資料取自 Wong et al. 2012a, 2016)。

Fig. 12. Light-response curves of P_n , qE and qI for *Pyrrosia lingus* (panels A, E, and I), *Asplenium antiquum* (panels B, F, and J), *Diplazium donianum* (panels C, G, and K), and *Archangiopteris somai* (panels D, H, and L) under 50, 100, 300, 500, 1,000, and 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ photosynthetic photon flux density for 30 min. Materials were cultivated under 100% (○), 50% (⊕), and 10% (●) of sunlight for at least six months. **, *** and ns: $P < 0.01$, $P < 0.001$ and not significant. (Data from Wong et al. 2012a, 2016.)

圖 13. 生長於 100% (○)、50% (⊕) 及 10% 日照 (●) 下之石葦 (*Pyrrosia lingus*)、山蘇花 (*Asplenium antiquum*)、細柄雙蓋蕨 (*Diplazium donianum*) 及台灣原始觀音座蓮 (*Archangiopteris somai*) 在 50、100、300、500、1 000、及 2 000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD 等光度下照射 30 分鐘後之 NPQ 值。(資料取自 Wong et al., 2016)。

Fig. 13. Light-response curves of NPQ for *Pyrrosia lingus*, *Asplenium antiquum*, *Diplazium donianum*, and *Archangiopteris somai* under 50, 100, 300, 500, 1,000, and 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ photosynthetic photon flux density for 30 min. Materials were cultivated under 100% (○), 50% (⊕), and 10% (●) sunlight for at least six months. (Data from Wong et al. 2016.)

能，避免光系統遭受強光的破壞。而極陰性之台灣原始觀音座蓮，其棲地光度極低，且幾無斑光，葉片能捕捉到的光能不多，所以光合能力及 qE 均很低 (圖 12D, H)，故一旦遇到強光時，其 qI 就急速上升 (圖 12L)，表示發生較嚴重之光抑制。

圖 13 顯示，如果只測定各種光度下照射 30 分鐘後之 NPQ 值，極陰性的台灣原始觀音座蓮之 NPQ 變化大致與適於輕度遮陰之石葦相同，此結果難以解釋耐陰性能力，但區分 qE 與 qI 後，就可獲得良好的解釋： qE 光保護效果與 qI 光抑制程度 (圖 12)。

2. 以照光後 1-2 分鐘之 NPQ 推估植物之光適應性

由於 qE 之啟動與停止均甚快速，約在光照改變後之數分鐘內即可完成，而 qI 則需時較久。利用此特性就可在照光初期，迅速測得植物之光保護能力。圖 14 顯示，在 $2,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD 光度照射下，各供試物種之 NPQ 在兩分鐘內均見迅速上升，其後則上升速率變緩，但情形各不相同。適合在高光環境下生長的先驅樹種一

台灣赤楊，其 NPQ 在照光 8 分鐘後即達最高點，至照光結束 (30 分鐘) 為止，都不再增加。而兩種蕨類之 NPQ 到照光結束為止都在繼續上升。在開始照光之 1-2 分鐘內所引發之 NPQ 對保護光系統有重要的作用 (Müller et al. 2001; Murchie and Niyogi 2011)。圖 14 亦顯示，越是適應於高光環境下之物種，在開始照光之 1-2 分鐘內所引發之 NPQ 有越高之趨勢，反而是在開始照光 30 分鐘所引發之 NPQ，其物種間差異較小。如圖 14 所示，關燈後 30 分鐘之 NPQ 仍未降至 0 (回復至照光前的狀態)，表示有光抑制的現象。故照光後 30 分鐘後的 NPQ 混雜了光保護 (qE) 及光抑制 (qI) 兩種組成份，難以解釋其代表之意義。但比較在開始照光後 2 分鐘及關燈後 30 分鐘之 NPQ，發現兩者大致呈負相關，表示光保護越佳 (開始照光之 1-2 分鐘內所引發之 NPQ 越高) 者，其光抑制有越低 (關燈後 30 分鐘之 NPQ 越低) 的趨勢。

為了進一步探討光抑制程度與開始照光後 1-2 分鐘 NPQ 之關係，以

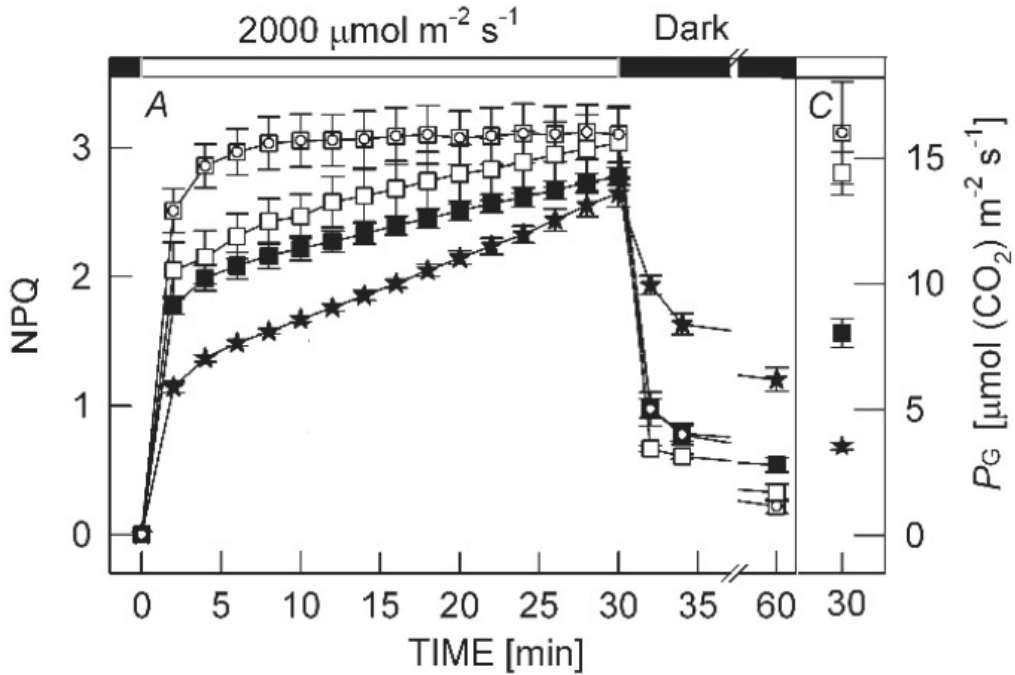


圖 14. 台灣赤楊 (☐), 石葦 (□) 及台灣原始觀音座蓮 (★) 葉片，在未照光前，2000 mol m⁻² s⁻¹ PPFD 強光照射 30 分鐘，及之後的黑暗處理期間，其 PSII 非光化學消散 (NPQ) 之變化情形 (空心記號：培育於全光環境，實心記號：培育於 10% 光環境 (Wong et al. 2014b))。

Fig. 14. Time course of illumination and darkness; and variation in nonphotochemical quenching (NPQ, panel A), and gross photosynthetic rate (P_G) at 30 min after the start of light induction (panel B) in *Alnus formosana* (☐), *Pyrrosia lingus* (□), and *Archangiopteris somai* (★) cultivated under 100% (open symbols) and/or 10% (closed symbols) of sunlight. Variables were measured under 2,000 μmol m⁻² s⁻¹ photosynthetic photon flux density at 25°C and ambient CO₂ concentration. Data are means ± SE (n = 4–6) (Wong et al. 2014b).

1 種闊葉先驅樹種 - 台灣赤楊 (*Alnus formosana*)、2 種闊葉林下灌木 - 朱砂根 (*Ardisia crenata*) 和鐵雨傘 (*Ardisia cornudentata*)，以及前述 4 種不同光適應能力之蕨類為材料進行探討。圖 15 顯示，在 2000 μmol m⁻² s⁻¹ PPFD 光度照射下，開始照光後 1 及 2 分鐘之

NPQ (NPQ1min 及 NPQ2min) 越高者，其在照光 30 分鐘後再暗處理 30 分鐘後所測得之 Fv/Fm 值有越高 (表示光抑制越輕微) 之趨勢。顯示照光後 1-2 分鐘之 NPQ 能推估植物之光適應性。依傳統以照光 30 分鐘，再暗適應 30 分鐘後所測之 Fv/Fm 下降程度 (光抑

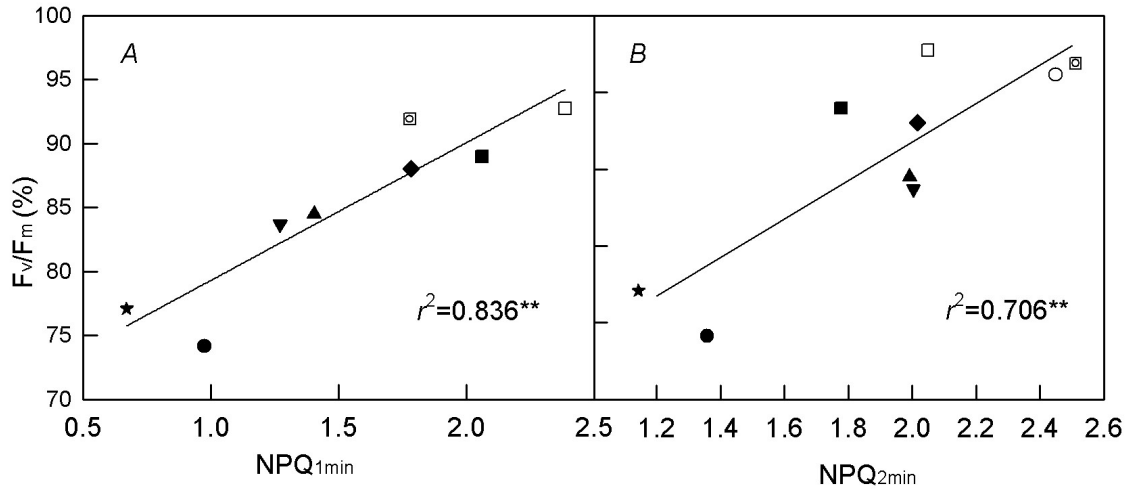


圖 15. 1 種闊葉先驅樹種 - 台灣赤楊 (☐)、2 種闊葉林下灌木 - 朱砂根 (▼) 和鐵雨傘 (▲)，以及 4 種不同光適應能力之蕨類 [石葦 (□)、山蘇花 (○)、細柄雙蓋蕨 (◆) 及台灣原始觀音座蓮 (★)] 葉片，經 $2000 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ PPFD 強光照射 30 分鐘後，其光抑制程度 (Fv/Fm%，照光前之 Fv/Fm 設為 100%) 與其開始照光後 1 及 2 分鐘之 PSII 非光化學消散 (NPQ_{1min} 及 NPQ_{2min}) 之關係 (Wong et al. 2014b)。

Fig. 15. Relation between nonphotochemical quenching (NPQ) values and relative value of potential quantum efficiency of PSII (Fv/Fm%, Fv/Fm of the same leaves before illumination set to 100%), in leaves exposed to $2,000 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ PPFD for 30 min in three woody species [*Alnus formosana* (☐), *Ardisia crenata* (▼), and *Ardisia cornudentata* (▲)] and four fern species [*Pyrrrosia lingus* (□), *Asplenium antiquum* (○), *Diplazium donianum* (◆), and *Archangiopteris somai* (★)] cultivated under 100% (open symbols) and 10% (closed symbols) sunlight. NPQ_{1min} (panel A) and NPQ_{2min} (panel B) were measured when leaves were exposed to $2000 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ PPFD for 1 min and 2 min, respectively (Wong et al. 2014b).

制程度)，來推估植物之光適應性需時 60 分鐘，若以 NPQ 推估則只需 1-2 分鐘，大幅提高檢測效率。

3. NPQ 與 PSII 光化學效能

圖 16 顯示，葉片照光時，其 NPQ 會迅速上升，導致光化學效率 (F_v'/F_m') 迅速下降。上升及下降程度會隨光度增加，及溫度下降而加大。其原因乃高光及低溫會導致過剩光能增加，NPQ 能將過剩光能以熱之形式釋出，降低光化學效率以避免能量過剩，傷害光系統。關燈後，NPQ 會逐漸下降，光化學效率則回升。

NPQ 有幾個組成分，其中能隨光照變化迅速反應的部分為 q_E ，最慢的部分為 q_I ，分別約需數分鐘及數十分鐘以上 (Müller et al. 2001)。居中者為 q_T 與 q_Z ，分別於光照改變後 10 分鐘以內，以及 10–15 分鐘形成與消失 (Müller et al. 2001; Nilkens et al. 2010)。其中， q_E 及 q_Z 與葉黃素循環 (xanthophyll cycle) 有關，屬於光保護。 q_T 與天線複合體 (LHC) II 的磷酸化轉變有關 (Quick and Stitt 1989)， q_I 則為光照對 PSII 的傷害所造成的機能低下

(光抑制)。圖 17 顯示，在中午的自然光度下，甘藷葉片的光系統 II 機能會隨光度 (PPFD) 之增加而降低，其降低程度以黃葉最大，紫葉最小，綠葉居中。

圖 17 顯示了兩種光系統 II 機能，其中 $\Delta F/F_m'$ 是在中午的自然光照下測得，由於自日出至中午已照光數小時，故其 $\Delta F/F_m'$ 的下降與 q_E 、 q_Z+q_T 及 q_I 三者有相關。而 F_v/F_m 是經 20 分鐘暗處理之後所測得，其 q_E 及 q_Z+q_T 均已消失，只剩 q_I ，屬於光抑制的部分。而 $\Delta F/F_m'$ 與 F_v/F_m 的差值則是 $q_E+q_Z+q_T$ ，主屬光保護的部分。故圖 17 可看出不同葉色的甘藷品種，其光保護及光抑制的差異情形。亦即光抑制程度是黃葉 > 綠葉 > 紫葉 (斜率愈大光抑制程度愈高)，在低光照下的光保護程度也是黃葉 > 綠葉 > 紫葉，但是高光照之下則是紫葉 = 綠葉 > 黃葉。

圖 18 顯示，水筆仔在高鹽處理會大幅提高其 NPQ，但是提高的部分並非光保護的部分 (q_E and q_Z+q_T)，而是光抑制的部分 (q_I)。紅海欖在高鹽

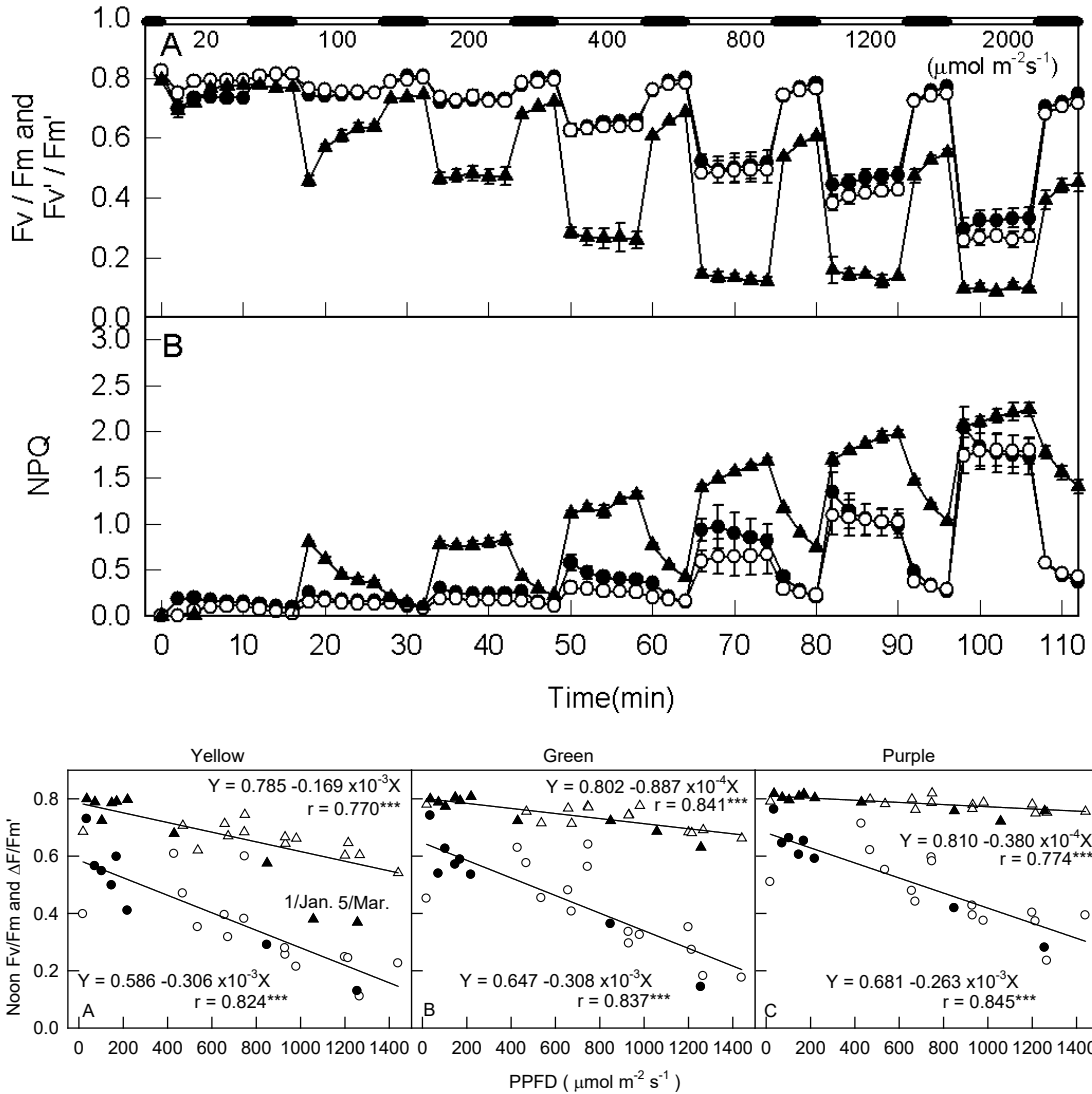


圖 16. 甘藷在不同溫度 (● : 35°C ; ○ : 25°C ; ▲ : 10°C) 與不同光度 (20、100、200、400、800、1200、2000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 明暗處理下，其 NPQ、 F_v/F_m 與 F_v'/F_m' 之變化情形。■ : 黑暗 ; □ : 光照。(莊，2007)

Fig. 16. Variations of F_v/F_m and F_v'/F_m' (panel A) and NPQ (panel B) of sweet potato at different temperatures (●: 35°C; ○: 25°C; ▲: 10°C) and light and dark treatments under different light intensities (20, 100, 200, 400, 800, 1200, 2000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$). ■: Darkness; □: Light. (Jhuang 2007)

圖 17. 不同葉色的甘藷在中午的自然光度下，其 F_v/F_m (三角記號) 與 $\Delta F/F_m'$ (圓記號) 之變化情形。黑色記號表示中午氣溫低於 20°C (Huang et al. 2022b)。

Fig. 17. The changes of F_v/F_m (triangle-symbol) and $\Delta F/F_m'$ (circle) of sweet potatoes with different leaf colors under natural light at noon. The closed symbols mean that the temperature at noon was below 20°C (Huang et al. 2022b).

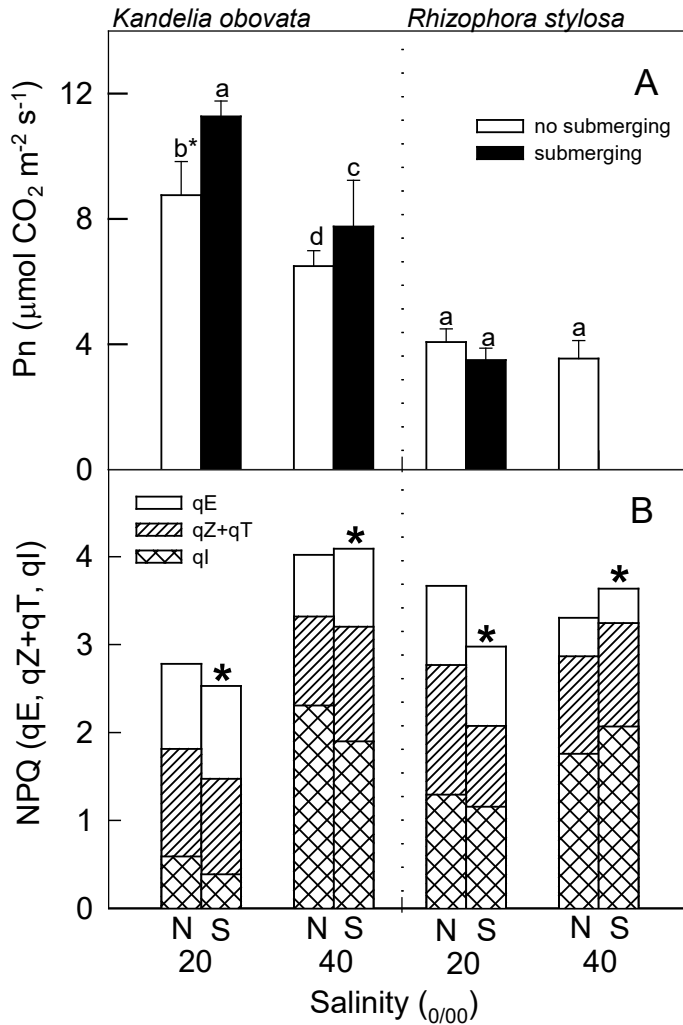


圖 18. 水筆仔 (*Kandelia obovata*) 與紅海欖 (*Rhizophora stylosa*) 於 20‰ 和 40‰ 鹽度培養條件下，經未浸沒和浸沒處理後在 25 °C 和 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ PPFD 下 90 分鐘之光合速率 (A) 和黑暗期 30 分鐘後進行 NPQ 組成 (qE、qZ+qT 和 qI) 的測量 (B)。每個點代表 5 片葉子的平均值。Error bar = standard error。不同的字母表示在八種處理下 Tukey’s HSD 分析的顯著差異 ($P < 0.05$)。*：測量值的 NPQ 在未浸沒和浸沒之間的 T 檢驗存在顯著差異 ($P < 0.05$) (Wang et al. 2021)。

Fig. 18. The photosynthesis and the composition of NPQ (qE, qZ+qT and qI) for *K. obovata* and *Rhizophora stylosa* cultivated under 20‰ and 40‰ salinity with no submerging (N) and submerging (S) treatments. Measurements were made at 25 °C and 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ PPFD in 90 minutes (A) and after dark period 30 minutes (B). Each data point represents the mean of five leaves. Data are mean \pm standard error (SE). Different letters indicate significant differences in the Tukey’s HSD analyses at eight treatments ($P < 0.05$). * : Significant differences in T-tests between no submerging and submerging for NPQ of measured value ($P < 0.05$) (Wang et al. 2021).

處理對 NPQ 之影響較水筆仔為小，但也會大幅提高其 qI。因此，光合越低者，其 qI/NPQ 有越高之趨勢，而在相同光合下比較時，亦發現兩物種在 40‰ 鹽度處理下之 qI/NPQ 較 20‰ 鹽度處理為高。表示低光合及高鹽度處理下，NPQ 增加部分以 qI 所占比例較高。

四、結語

當環境因子(光度、水分、溫度、鹽度...等)改變，或遭受汙染時，植物會調節其生理作用或發生傷害。其在光合作用之改變可由葉綠素螢光偵測而得知，因葉綠素螢光具有儀器輕巧，測定簡單、方便、省時、準確性高及非破壞性等優點，可在在野外現場大量測定，迅速提供植物逆境生理學及生態生理學研究上之相關資訊，並可應用於農業生產推估、棲地復育及生態長期監測上。

五、引用文獻

黃博富。2000。不同葉色芥藍菜品種之光合作用特性及硝酸態氮含量。

國立中興大學植物學研究所。碩士論文：pp. 45-46。

莊禮豪。2007。不同光度和溫度下植物葉綠素螢光特性。國立中興大學生命科學研究所。碩士論文：pp. 85。

Adams, W. W., C. R. Zarter, V. Ebbert, and B. Demmig-Adams. 2004. Photoprotective strategies of overwintering evergreens. *BioScience* 54: 41-49.

Björkman, O. and B. Demmig. 1987. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta* 170: 489-504.

Cheng, L., L. H. Fuchigami, and P. J. Breen. 2001. The relationship between photosystem II efficiency and quantum yield for CO₂ assimilation is not affected by nitrogen content in apple leaves. *J. Exp. Bot.* 52:1865-1872.

Colom, M. R., E. Pini Prato, and R. Giannini. 2003. Chlorophyll fluores-

- cence and photosynthetic response to light in 1-year-old needles during spring and early summer in *Pinus leucodermis*. *Trees* 17: 207–210.
- Coopman, R. E., M. Reyes-Díaz, V. F. Briceño, L. J. Corcuera, H. M. Cabrera, and L. A. Bravo. 2008. Changes during early development in photosynthetic light acclimation capacity explain the shade to sun transition in *Nothofagus nitida*. *Tree Physiol.* 28:1561–1571.
- Da’Matta, F. M., M. Maestri, P. R. Mosquim, and R. S. Barros. 1997. Photosynthesis in coffee (*Coffea arabica* and *C. canephora*) as affected by winter and summer conditions. *Plant Sci.* 128: 43–50.
- Demmig-Adams, B. and W. W. Adams III. 1992. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Annual Review of Plant Physiology* 43:599 – 626.
- Demmig-Adams, B. and W. W. Adams III. 1996. The role of xanthophyll cycle carotenoids in the protection of photosynthesis. *Trends Plant Sci.* 1:21–26.
- Demmig-Adams, B., W. W. Adams III, D. H. Barker, B. A. Logan, D. R. Bowling, and A. S. Verhoeven. 1996. Using chlorophyll fluorescence to assess the fraction of absorbed light allocated to thermal dissipation of excess excitation. *Physiol. Plant.* 98:253–264.
- Franco, A. and U. Lüttge. 2002. Midday depression in savanna trees: Coordinated adjustments in photochemical efficiency, photorespiration, CO₂ assimilation and water use efficiency. *Oecologia* 131:356–365.
- Huang, M. Y., S. L. Wong, and J. H. Weng. 2021a. Rapid light-response curve of chlorophyll fluorescence in terrestrial plants: relationship to CO₂ exchange among five woody and four fern species adapted to different light and water regimes.

- Plants 10: 445.
- Huang, M. Y., C. W. Chen, C. W. Wang, S. L. Wong, and J. H. Weng. 2022a. Useful rapid light-response curve of electron transport rate for estimations of photosynthetic capacity in C₄ species. *Theoretical and Experimental Plant Physiology* Accepted.
- Jiang, C.Y., C.W. Wang, C.I. Chen, C. W. Chen, S. L. Wong, M.Y. Huang, and J.H. Weng. 2022b. Photosystem II efficiency in response to the diurnal and seasonal variations of photon flux density and air temperature for green, yellow and purple leaves of sweet potato. *Botany* In submission.
- Kao, W. Y., T. T. Tsai, and W. H. Chen. 1998. Response of photosynthetic gas exchange and chlorophyll a fluorescence of *Miscanthus floridulus* (Labill) Warb. to temperature and irradiance. *J. Plant Physiol.* 152: 407–412.
- Krall, J.P. and G. E. Edwards. 1992. Relationship between photosystem II activity and CO₂ fixation in leaves. *Physiol. Plant.* 86:180–187.
- 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.
- Liu, X., B. An, N. Gu, C. Guo, X. Sun, and H. Wang. 2020. Response of leaf photosynthetic characteristics of *Syringa oblata* and *Syringa reticulata* var. *mandshurica* to chilling stress. *Journal of Forestry Research* 31: 521–530.
- Maxwell, K. and G. N. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence- a practical guide. *J. Exp. Bot.* 51:659–668.
- Morosinotto, T., S. Caffarri, L. Dall’Osto, and R. Bassi. 2003. Mechanistic aspects of the xanthophyll dynamics in higher plant thylakoids. *Physiol. Plant.* 119:347–354.

- Murchie, E. H. and K. K. Niyogi. 2011. Manipulation of photoprotection to improve plant photosynthesis. *Plant Physiol* 155: 86–92.
- Müller, P., X. P. Li, and K. K. Niyogi. 2001. Non-photochemical quenching. A response to excess light energy. *Plant Physiology* 125: 1558 – 1566.
- Oberhuber, W. and G. E. Edwards. 1993. Temperature dependence of the linkage of quantum yield of photosystem II to CO₂ fixation in C₄ and C₃ plants. *Plant Physiol.* 101:507–512.
- Nilkens, M., E. Kress, P. Lambrev, Y. Miloslavina, M. Müller, A. R. Holzwarth, and P. Jahns. 2010. Identification of a slowly inducible zeaxanthin-dependent component of non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence generated under steady-state conditions in *Arabidopsis*. *Biochimica et Biophysica Acta* 1797: 466–475.
- Pérez-Torres, E., L. A. Bravo, L. J. Cuera, and G. N. Johnson. 2007. Is electron transport to oxygen an important mechanism in photoprotection? Contrasting responses from Antarctic vascular plants. *Physiol. Plant.* 130:185–194.
- Ripley, B. S., M. E. Gilbert, D. G. Ibrahim, and C. P. Osborne. 2007. Drought constraints on C₄ photosynthesis: Stomatal and metabolic limitations in C₃ and C₄ subspecies of *Alloteropsis semialata*. *J. Exp. Bot.* 58:1351–1363.
- Roháček, K. and M. Barták. 1999. Technique of the modulated chlorophyll fluorescence: Basic concepts, useful parameters, and some applications. *Photosynthetica* 37:339–363.
- Slavka, K., T. Elena, P. Valentina. 2019. Morphological, physiological and productivity response in garden pea genotypes during high temperature stress. *Genetika* 51: 417–428.
- Thomas, D.S., Turner, D.W. 2001. Ba-

- nana (*Musa* sp.) leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence in response to soil drought, shading and lamina folding. –*Sci. Hort.* 90: 93–108.
- Verhoeven, A. S., W. W. Adams III, and B. Demmig-Adams. 1999. The xanthophyll cycle and acclimation of *Pinus ponderosa* and *Malva neglecta* to winter stress. *Oecologia* 118: 277–287.
- Wang, C.W., S.L. Wong, T.S. Liao, J.H. Weng, M.N. Chen, M.Y. Huang, and C.I. Chen. 2021. Photosynthesis in response to salinity and submergence in two Rhizophoraceae mangroves adapted to different tidal elevations. *Tree physiology*, tpab167.
- Warren, C. R., M. J. Hovenden, N. J. Davidson, and C. L. Beadle. 1998. Cold hardening reduces photoinhibition of *Eucalyptus nitens* and *E. pauciflora* at frost temperature. *Oecologia* 113: 350–359.
- Weng, J. H. 2006. Underestimate of PS2 efficiency in the field due to high leaf temperature resulting from leaf clipping and its amendment. *Photosynthetica* 44: 467–470.
- Weng, J. H. and M. F. Lai. 2005. Estimating heat tolerance among plant species by two chlorophyll fluorescence parameters. *Photosynthetica* 43: 439–444.
- 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 Physiol.* 25: 973–979.
- Weng, J. H., T. S. Liao, M. Y., Hwang, C. C. Chung, C. P. Lin, and C. H. Chu. 2006. Seasonal variation in photosystem II efficiency and photochemical reflectance index of evergreen trees and perennial Gramineae growing at low and high elevations of sub-tropical Taiwan. *Tree Physiol.* 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., C. T. C. Chien, C. W. Chen, and X. M. Lai. 2011. Effects of osmotic and high light stresses on PSII efficiency of attached and detached leaves of three tree species adapted to different water regimes. *Photosynthetica* 49: 555–563
- Werner, C., O. Correia, and W. Benschlag. 2002. Characteristic patterns of chronic and dynamic photoinhibition of different functional groups in a Mediterranean ecosystem. *Functional Plant Biology* 29: 999–1011
- Wong, S.H., C.W. Chen, H.W. Huang, and J.H. Weng. 2012a. Using combined measurements of gas exchange and chlorophyll fluorescence to investigate the photosynthetic light responses of plant species adapted to different light regimes. *Photosynthetica* 50: 206–214.
- Wong, S.H., C.W. Chen, H.W. Huang, and J.H. Weng. 2012b. Using combined measurements for comparison of light induction of stomatal conductance, electron transport rate and CO₂ fixation in woody and fern species adapted to different light regimes. *Tree Physiol.* 32: 535–544.
- Wong, S. L., C. W. Chen, M. Y. Huang, and J. H. Weng. 2014a. Relationship between photosynthetic CO₂ uptake rate and electron transport rate in two C₄ perennial grasses under different nitrogen fertilization, light and temperature conditions. *Acta Physiologiae Plantarum* 36: 849–857.
- Wong, S. L., M. Y. Huang, C. W. Chen, and J. H. Weng. 2014b. Light

induction of nonphotochemical quenching, CO₂ fixation and photoinhibition in woody and fern species adapted to different light regimes. *Photosynthetica* 52: 272–280.

Wong, S. L., C. W. Chen, and J. H. Weng. 2016. Energy quenching and photoinhibition during light induction in four fern species. *TW J. Biodivers* 18: 173–189.

Yin X., Z. Sun, P. C. Struik, P. E. L. van der Putten, W. van Ieperen, and J. Harbinson 2011. Using a biochemical C₄ photosynthesis model and combined gas exchange and chlorophyll fluorescence measurements to estimate bundle-sheath conductance of maize leaves differing in age and nitrogen content. *Plant Cell Environ* 34: 2183–2199.

「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與有關物種出現資料之資料論文，但未曾曾在其他刊物發表之原創研究及資料為限。
- 二、本刊為網路期刊，隨時接受投稿，並於每年 1 月、4 月、7 月及 10 月在中心網站 (https://www.tesri.gov.tw/A15_2/content/31503) 刊登發行。
- 三、撰稿中、英文均可，來稿以完整微軟 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

一、學術論文部份

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。

二、資料論文部份

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. 物種出現資料之資料集(Dataset)與詮釋資料(Metadata)連結網址，請依據國際共通之達爾文核心集(Darwin Core, DwC)及生態詮釋資料語言(Ecological Metadata Language, EML)格式，儲存於廣用並長存之網路公開空間，如全球生物多樣性資訊機構(GBIF)。

有關資料集，作者應確保其正確性及所有權，並使讀者可讀與清楚瞭解，如有任何異常值或缺少值，應特別標示；有關詮釋資料，至少須包括 1. 資料集概述，2. 資料範圍(含分類、空間、時間等)，3. 採樣方法，4. 智慧財產權聲明，為鼓勵可由使用者自由分享、修改之開放資

料特性，作者應同意完全授權供使用，請參考相關授權資訊，例如：資料集之智慧財產權授權依 Open Data Commons Public Domain Dedication and License (PDDL-By) v1.0 (<http://www.opendatacommons.org/licenses/pddl/1.0/>) 之規定、詮釋資料之智慧財產權授權依 Open Data Commons Attribution License(ODC-By) v1.0 (<https://opendatacommons.org/licenses/by/1.0/>) 之規定。

- 三、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，於每真正下方註記頁碼。
- 二、本文敘述，應用數字編號時，其層次：
中文用：一、(一)、1、(1)、...
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：柳楨、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 an online journal (January, April, July and October, http://tesri.tesri.gov.tw/list_protect.php) 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, including data paper, in the field of biodiversity. The manuscripts are limited to original work and species occurrence data previously unpublished in any other journal.
2. The journal accepts manuscripts written in either Chinese or English. Submission of manuscripts in Microsoft WORD format to be done via email: 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 manuscripts 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. Research paper: 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. Data paper: 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) URL of the website where the dataset and metadata are available. The dataset and metadata should be built in the international standard formats of Darwin Core (DwC) and Ecological Metadata Language (EML). For species occurrence open data repositories, Global Biodiversity Information Facility (GBIF) is suggested. Author(s) must confirm the correctness and authenticity of the data prior to submission. The data should be readable and its meaning obvious for the data user(s). Importantly, if anomalies, outliers, and/or missing values are included in the data, a distinct number or symbol should be used to clearly identify those values. Metadata should be written at least in 1) Dataset content, 2) Coverage (including Taxonomic, Spatial and Temporal aspects), 3) Methods, 4) Intellectual property rights disclaimer. To promote the free dissemination of biodiversity open data, author(s) should not assert any proprietary rights to the dataset and metadata. For example,

This {DATA(BASE)} is made available under the Open Data Commons Public Domain Dedication and License v1.0. (<http://www.opendatacommons.org/licenses/pddl/1.0/>)

This {DATA(BASE)- NAME} is made available under the Open Data Commons Attribution License v1.0. (<https://opendatacommons.org/licenses/by/1.0/>)
3. 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.

4. Title should be less than 30 words. Capitalize the first letter of each word except articles, conjunctions and prepositions.
5. Author's name should be first name first followed by surname. For multiple authors, use a comma to separate the names but the last two names by "and."
6. Running title should be less than 50 letters including spaces.
7. Abstract must be a single paragraph not exceeding 500 words.
8. 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 in italics.
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 chronological order.
7. Use 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.

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.

ISSN 2076697-1



9 772076 697002

GPN:2009900002