

TAIWAN

ISSN 10158413

國家公園學報

第32卷第2期
2022年

Journal of National Park

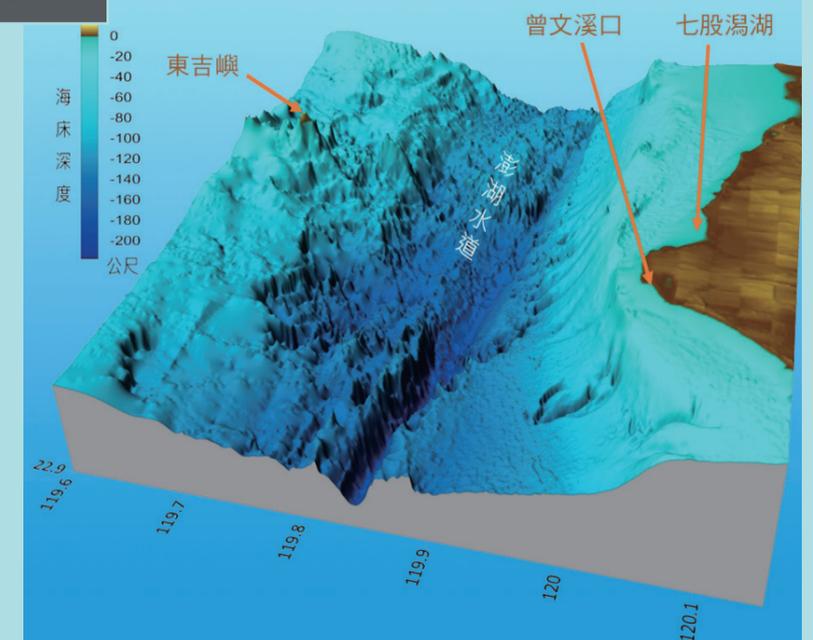
In Chinese with English abstract, or
In English with Chinese abstract

Vol 32 • No 2, 2022

國家公園學報

第三十二卷第二期

中華民國二十二年十二月



內政部營建署 出版
Construction and Planning Agency
Ministry of the Interior



GPN: 2007800044

定價: 新台幣150元整

國家公園學報

JOURNAL OF NATIONAL PARK

Vol. 32, No. 2

December 2022

出版者：內政部營建署

發行人：吳欣修

總編輯：金恒鏞

編輯委員：

李玲玲、林俊全、林登秋、林朝欽、裴家麒
趙榮台、劉益昌、林幸助、袁孝維、江柏煒
黃躍雯、劉莉蓮、蘇淑娟、郭美華、顧坤惠
王筱雯、官文惠、戴興盛、朱有田

編輯顧問：

林文和、盧淑妃、楊模麟、楊金臻、張維銓
鄭瑞昌、徐韶良、張登文、陳貞蓉、謝偉松
孫維潔、賴建良、黃子娟、張杏枝

執行編輯：陸聲山

助理編輯：陳怡穎

洽詢單位：

內政部營建署(編輯部)
地址：10556 臺北市松山區八德路二段 342 號
電話：(02) 8771-2345
網址：<http://www.cpami.gov.tw>
<https://goo.gl/eMv992>

創刊日期：中華民國七十八年六月

封面說明：

上：台江國家公園海洋管制區優勢蟹類—短刺伊氏蟹 (陳姿君 攝)

下：台江國家公園海底地形剖面圖 (陳國書 製)

Published by: Construction and Planning Agency,
Ministry of the Interior, Taiwan, R.O.C.

Publisher: HH Wu

Editor-in-Chief: HB King

Editorial Board:

LL Lee, CC Lin, TC Lin, CC Lin, CC Pei, JT
Chao, YC Liu, HJ Lin, HW Yuan, BW Chiang,
YW Huang, LL Liu, SJ Su, MH Kuo, KH Ku, HW
Wang, WH Kuan, HS Tai, YT Ju

Advisors:

WH Lin, SF Lu, ML Yang, JJ Yang, WC Chang,
JC Cheng, SL Hsu, TW Chang, CJ Chen, WS
Shieh, WJ Sun, JL Lai, TC Huang, HC Chang

Executive Editor: SS Lu

Assistant Editor: YY Chen

Editorial Office:

Construction and Planning Agency, Ministry of
the Interior, Taiwan, R.O.C.
No.342, Sec. 2, Bade Rd., Songshan Dist., Taipei
City 10556, Taiwan (R.O.C.)
Tel : (+886) 2 8771-2345

Subscription Enquiries: Construction and Planning
Agency, Ministry of the Interior, Taiwan, R.O.C.

Cover Illustrations:

Top: Benthic crabs of marine existing use area in
Taijiang National Park-*Izanami curtispina*
(Courtesy of Tzu-Chun Chen)

Bottom: 3D perspective view showing the submarine
topography in Taijiang National Park, Taiwan
(Provided by Kuo-Shu Chen)

內政部營建署

出版

Published by
Construction and Planning Agency
Ministry of the Interior, Taiwan, R. O. C.

GPN : 2007800044 ISSN : 10158413

出版頻率：每年二期

下載處：臺灣國家公園官網/下載專區/國家公園學報 <https://goo.gl/eMv992>

Publication frequency: Two issues per year

Download website: <https://goo.gl/eMv992> (in Chinese)

國家公園學報

JOURNAL OF NATIONAL PARK

Vol. 32, No. 2

DECEMBER 2022

目次

研究報告

| | |
|---------------------------------------|----|
| 2010 及 2011 年秋季玉山國家公園塔塔加地區過境猛禽調查..... | 1 |
| 陳炤杰，陳惠玲，劉姿岑，吳禎祺，林可欣 | |
| 台江國家公園濕地生態系及防風林的哺乳動物多樣性..... | 15 |
| 高梅婷，葉俊佑，洪語晨，周政翰，劉士豪，張簡琳玟，林德恩，劉建男 | |
| 澎湖南方四島國家公園微孔珊瑚骨骼硼同位素組成及海洋酸化速率之評估..... | 30 |
| 林彥伯，游鎮烽，鍾全雄 | |
| 台江國家公園海域底棲蟹類的多樣性..... | 42 |
| 陳姿君，陳國書，陳煦森，陳志遠，陳孟仙 | |
| 國家公園學報投稿須知..... | 53 |

CONTENTS

Research Papers

| | |
|---|----|
| Autumn Migratory Raptor Count in the Tataka Area, Yushan National Park, Taiwan, 2010-2011..... | 1 |
| <i>Chao-Chieh Chen, Hui-Ling Chen, Tzu-Tsen Liu, Jane-Chi Wu and Ke-Shin Lin</i> | |
| Mammal Diversity of Wetland Ecosystem and Coastal Forests in Taijiang National Park, Taiwan..... | 15 |
| <i>Mai-Ting Kao, Chun-You Yeh, Yu-Chen Hung, Shi-Hao Liu, Cheng-Han Chou, Lin-Wen ChangChien, Te-En Lin and Jian-Nan Liu</i> | |
| The Boron Isotopic Composition in <i>Porites</i> sp. Coral Skeletons and an Evaluation of Ocean Acidification in South Penghu Marine National Park..... | 30 |
| <i>Yen-Po Lin, Chen-Feng You and Chuan-Hsiung Chung</i> | |
| Biodiversity of Benthic Crabs in the Waters of Taijiang National Park, Taiwan..... | 42 |
| <i>Tzu-Chun Chen, Kuo-Shu Chen, Hsu-Sen Chen, Chiee-Young Chen and Meng-Hsien Chen</i> | |

內政部營建署
出版

Published by
Construction and Planning Agency
Ministry of the Interior
Taiwan, R. O. C.

2010 及 2011 年秋季玉山國家公園塔塔加地區過境猛禽調查

陳炤杰^{1,3}，陳惠玲¹，劉姿岑¹，吳禎祺²，林可欣¹

¹高雄醫學大學生物醫學暨環境生物學系；²屏東鳥會；³通訊作者 E-mail: chen5123@kmu.edu.tw

[摘要] 2010 及 2011 年秋季，我們選在赤腹鷹(*Accipiter soloensis*)及灰面鵟鷹(*Butastur indicus*)過境臺灣的高峰期各 11 天，在塔塔加地區進行過境猛禽定點調查(麟趾山及自忠)。兩地調查時間皆從 6-7 點到中午 12 點。兩年共記錄到過境猛禽 8 種 69,980 隻，其中灰面鵟鷹 (35,118 隻，50.18%)和赤腹鷹 (34,755 隻，49.66%)佔絕大多數。灰面鵟鷹與赤腹鷹在塔塔加的過境量相近，這與墾丁赤腹鷹遠多於灰面鵟鷹的情形不一致，此結果可能導因於取樣誤差或這兩種遷移性猛禽過境臺灣的路線不同。我們也發現 2010 年赤腹鷹及灰面鵟鷹在塔塔加的單日過境量與隔日墾丁的過境量皆呈顯著正相關，若將兩年資料或兩鷹種合併做迴歸分析，更達高度顯著正相關。顯示塔塔加應該位於這二種遷移性猛禽在臺灣的主要遷移路線上，特別是灰面鵟鷹，因此塔塔加的每日過境量有潛力用以預測隔天墾丁的過境量。這樣的預報模式若能建立，對臺灣賞鷹活動的推展將有莫大的助益。

關鍵字：灰面鵟鷹、赤腹鷹、遷移性猛禽、秋過境期、過境地

Autumn Migratory Raptor Count in the Tataka Area, Yushan National Park, Taiwan, 2010-2011

Chao-Chieh Chen^{1,3}, Hui-Ling Chen¹, Tzu-Tsen Liu¹, Jane-Chi Wu² and Ke-Shin Lin¹

¹Department of Biomedical Science and Environmental Biology, Kaohsiung Medical University;

²Wild Bird Society of Pingtung County; ³Corresponding author E-mail: chen5123@kmu.edu.tw

ABSTRACT We conducted an 11-day raptor count during the main migration period of Chinese sparrowhawk (*Accipiter soloensis*) and grey-faced buzzard (*Butastur indicus*) in the Tataka area in the autumns of 2010-2011. Our fieldwork began at 6-7 a.m. and lasted until 12 a.m. at two sites. In total, 69,980 migratory raptors of eight species were recorded, and they were predominantly the grey-faced buzzard (35,118; 50.18%) and Chinese sparrowhawk (34,755; 49.66%). Passage numbers of these two migratory raptor species in Tataka showed different trends from those recorded in Kenting, where the Chinese sparrowhawk often outnumbered the grey-faced buzzard by three to five times. The discrepancy might have resulted from sampling error or because these two migratory raptor species took different routes when passing through Taiwan. In addition, the daily passage of both the Chinese sparrowhawk and grey-faced buzzard in Tataka were positively correlated with those counted in Kenting on the following day in 2010. Linear regression models incorporating data from both years or from both species showed a highly positive correlation. This implies that Tataka might be located on the main migration route of migratory raptors, especially for the grey-faced buzzard, and thus the daily count in Tataka provides a predictor of the passage number in Kenting the following day. Elaboration of forecast models would further promote hawk-watching

activity and research in Taiwan.

Keywords: grey-faced buzzard, Chinese sparrowhawk, migratory raptor, fall migration, forecast models, stopover site

前言

臺灣位於東亞澳候鳥遷移路徑 (East Asian-Australasian Flyway) 的中間位置，很多候鳥在春、秋過境期會從臺灣經過，其中也包含灰面鵟鷹 (*Butastur indicus*) 及赤腹鷹 (*Accipiter soloensis*) (Lin and Severinghaus 1998, Miltom 2003, Yong *et al.* 2015, Chen *et al.* 2020, 2022)。這兩種猛禽也是沿著東亞海洋性遷移路徑 (East-Asian Oceanic Flyway) 遷移的主要鷹種，近年在墾丁的秋過境數量已突破 30 萬隻 (陳炤杰及鄭宇容 2019, 曾建偉 2020, 2021)，總過境量位居東亞第二位，僅次於泰國春蓬的 Khao Dinsor (>50 萬)，但該處以黑冠鵟隼 (*Aviceda leuphotes*)、蜂鷹 (*Pernis ptilorhynchus*) 及赤腹鷹居多 (Decandido *et al.* 2004, Limparungpatthanakij *et al.* 2019)。

墾丁國家公園從事秋過境猛禽調查已超過 30 年，是國內歷史最悠久的調查點之一。然而除了墾丁及幾個低海拔山區的賞鷹熱點 (如彰化八卦山、新北觀音山、高雄鳳山丘陵、臺東樂山及屏東禮納里) 較為人熟知外 (林柏壽等 2011, 李璟泓 2014, 王克孝等 2016)，很少有來自中、高海拔地區的賞鷹報導 (沙謙中 1989, 蔡志遠 2005)。蔡志遠 (2005) 曾於 2002 年秋過境期在南投梅峰 (海拔 2,219 m) 做了 15 天的調查。期間共記錄到 1,690 隻猛禽，其中以赤腹鷹佔絕大多數 (1,600 隻)，且推估是往玉山方向飛去。而從沙謙中 (1989) 在塔塔加地區的秋過境調查得知，灰面鵟鷹的單日最大量將近 1,000 隻。因此，2009 年起我們便嘗試在塔塔加地區從事過境猛禽調查，期望對當地遷移性猛禽的過境狀況有更進一步的了解 (陳炤杰等 2009)。

除了墾丁及八卦山有較長期的地面調查外，其餘散布在低海拔山區的調查點資料並不

齊全。因此我們對這兩種猛禽過境臺灣時，在島內的移動路線仍不甚了解。雖然近年屏東科技大學的氣象雷達資料分析，以及林務局、墾丁國家公園管理處及科技部對少數個體的衛星追蹤 (劉小如 2011, 郭貴嵐 2015, 黃馨儀 2016, 孫元勳及鄧財文 2016, 孫元勳 2017, 張宏銘及蔡若詩 2016, 2017, 2018, Tsai 2020)，已稍微釐清灰面鵟鷹及赤腹鷹在島內的可能遷移路線。不過目前衛星追蹤的數量仍然有限；且氣象雷達易受山脈阻擋，加上來自中、高海拔山區的調查非常稀少，因此若要明確定出灰面鵟鷹及赤腹鷹在島內的遷移路線，地面調查仍有其必要性，特別是在深山地區。

本研究的目的在於 (1) 調查秋季過境塔塔加地區的遷移性猛禽的種類及數量，以及 (2) 比較赤腹鷹與灰面鵟鷹在塔塔加的過境量與墾丁的過境量是否有關係。

材料與方法

一、研究地點

2010 及 2011 年秋季，我們在麟趾山及自忠同步調查日行性過境猛禽。麟趾山 (23°28'33"N, 120°53'38"E) 海拔高度為 2,854 公尺，位於塔塔加鞍部西側，西北方為神木 (和社) 溪谷，東北是沙里仙溪溪谷，東邊為玉山群峰；向西連接到鹿林山、鹿林前山、石山，甚至更遠的自忠隘口都在視野範圍內。麟趾山頂視野絕佳，可近距離觀察赤腹鷹及灰面鵟鷹盤旋及南飛；不過從步道口到山頂距離約 1 km，可及性較差。自忠 (23°28'59"N, 120°49'49"E) 海拔高度為 2,335 公尺，位於神木溪谷上游集水區西南面山坡，緊鄰自忠山，是阿里山山脈和玉山山脈往西稜線交接的隘口，從自忠俯瞰神木溪谷，可直接觀察到起鷹的狀況。觀測點位於原雪峰檢查哨 (或現在的公廁) 沿新中橫公

路往塔塔加的第一個轉彎間，不過後半段近年來已被樹木擋住視線。

二、調查方法

調查期間主要是參考秋季赤腹鷹與灰面鵟鷹過境墾丁的高峰期 (陳世中及孫元勳 2007, 陳世中 2008), 選定 9 月 14 到 24 日 (赤腹鷹), 及 10 月 9-19 日 (灰面鵟鷹) 各 11 天進行調查。兩處調查點的起始時間都在 06:00-07:00 之間, 自忠因交通方便可較早就位, 但往麟趾山之道路因有交通管制, 6 點後方可進入, 再步行到達麟趾山頂時已接近 7 點。之後皆持續調查到中午 12 點, 起霧濃密時會提早結束調查。若遇颱風則停止當天調查, 下雨則暫停。調查時, 主要以雙筒望遠鏡配合單筒望遠鏡及相機, 記錄過境猛禽的種類、數量、出現時間及天氣資料等, 基本上依循墾丁的記錄方法及表格 (陳世中 2008)。

我們合併兩個月資料來計算各種猛禽之過境總量, 但在做統計分析時, 赤腹鷹及灰面鵟鷹則分別以 9 月及 10 月資料為主, 並將 2010 及 2011 年資料分開處理。因每日過境量不具常態分布, 因此數量資料皆先以 \log_{10} 轉換後再進行分析。首先檢定塔塔加的赤腹鷹過境數量佔同時期墾丁過境量的比例是否與灰面鵟鷹相同。因塔塔加距墾丁約 170 km, 所以我們假定過境塔塔加的遷移猛禽至少會晚一天從墾丁出海, 因此便以塔塔加調查期間內 (如赤腹鷹 9/14-24 日) 記錄到的過境數量除以次日 (9/15-25 日) 在墾丁記錄到的過境數量, 並以 Z 檢定比較過境塔塔加的赤腹鷹與灰面鵟鷹相對於同時期墾丁過境量之比例是否相同。此外, 我們也用簡單線性迴歸分析赤腹鷹與灰面鵟鷹在塔塔加的單日過境量與隔日墾丁過境量之關係 (墾丁資料取自許育誠 2010 及楊建鴻 2011), 先逐年分開做分析, 再合併資料重做分析。

結果

2010 及 2011 年各完成了 20 及 22 天的記錄。兩年調查期間共記錄到過境猛禽 8 種 69,980 隻 (表 1)。其中, 灰面鵟鷹 35,118 隻 (50.18%), 赤腹鷹 34,755 隻 (49.66%), 兩種數量相當接近且佔絕大多數。其餘包含少量的東方蜂鷹 (*Pernis ptilorhynchus*) 81 隻、魚鷹 (*Pandion haliaetus*) 6 隻、遊隼 (*Falco peregrinus*) 11 隻、燕隼 (*Falco subbuteo*) 4 隻、紅隼 (*Falco tinnunculus*) 4 隻及日本松雀鷹 (*Accipiter gularis*) 1 隻。

2010 年, 赤腹鷹過境塔塔加的數量僅佔同時期過境墾丁數量的 9.7%, 顯著小於灰面鵟鷹的 47% ($Z = 140, P < 0.0001$)。2011 年, 塔塔加赤腹鷹過境量佔墾丁同時期過境量之比例有明顯增加 (44.1%), 但仍顯著小於灰面鵟鷹之 55% ($Z = 33.3, P < 0.0001$)。

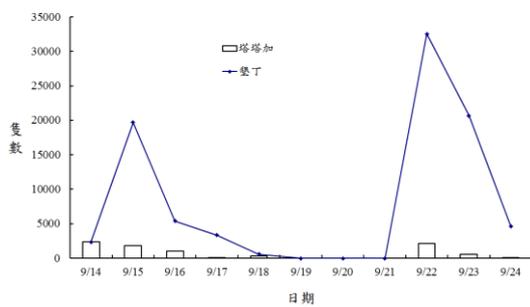
雖然赤腹鷹在塔塔加的總過境量明顯比墾丁少很多, 但其單日過境量的變動趨勢與墾丁卻非常相似。赤腹鷹在塔塔加的高峰日約略出現在墾丁高峰日的前一天 (圖 1a, 1c), 因此我們把調查期間塔塔加赤腹鷹的單日過境量之對數值與墾丁隔日的過境量之對數值做一迴歸分析, 發現 2010 年兩者具顯著正相關 ($r^2 = 0.7596, n = 7, P < 0.05$, 圖 2a); 2011 年兩者雖具正相關, 但並未達顯著水準 ($r^2 = 0.1878, n = 9, P = 0.2439$; 圖 2c)。若合併兩年資料做迴歸分析, 仍具顯著相關 ($r^2 = 0.4141, n = 16, P < 0.01$; 圖 3a)

塔塔加灰面鵟鷹單日過境量的變化趨勢與同時期墾丁過境量的關係也與赤腹鷹類似, 都出現延遲一天的現象 (圖 1b, 1d)。2010 年灰面鵟鷹在塔塔加的單日過境量之對數值與隔日墾丁的過境量之對數值, 其迴歸分析呈現顯著正相關 ($r^2 = 0.5843, n = 10, P < 0.01$; 圖 2b), 2011 年則不具相關性 ($r^2 = 0.0699, n = 10, P = 0.4603$, 圖 2d)。若合併兩年資料做迴歸分析, 則具顯著正相關 ($r^2 = 0.3558, n = 20, P < 0.01$; 圖 3b)。最後, 若將兩種資料合併做分析, 塔塔加的單日過境量與隔日墾丁過境量則呈現高度顯著正相關 ($y = 2.39 + 0.38x$,

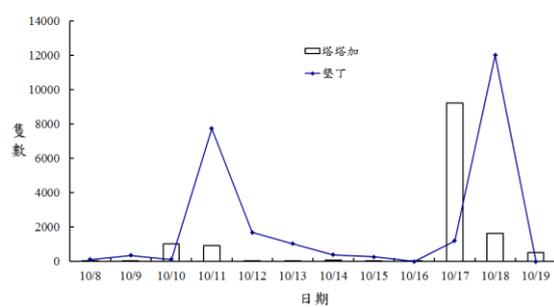
表 1. 2010 及 2011 年塔塔加過境猛禽調查各種記錄數量及比例

| 種類 | 2010 | 2011 | 合計 | % |
|-------|--------|--------|--------|-------|
| 灰面鵟鷹 | 13,515 | 21,603 | 35,118 | 50.18 |
| 赤腹鷹 | 8,487 | 26,268 | 34,755 | 49.66 |
| 東方蜂鷹 | 56 | 25 | 81 | 0.12 |
| 遊隼 | 6 | 5 | 11 | 0.02 |
| 魚鷹 | 4 | 2 | 6 | 0.01 |
| 燕隼 | 4 | | 4 | <0.01 |
| 紅隼 | 2 | 2 | 4 | <0.01 |
| 日本松雀鷹 | 1 | | 1 | <0.01 |
| 合計 | 22,075 | 47,905 | 69,980 | |

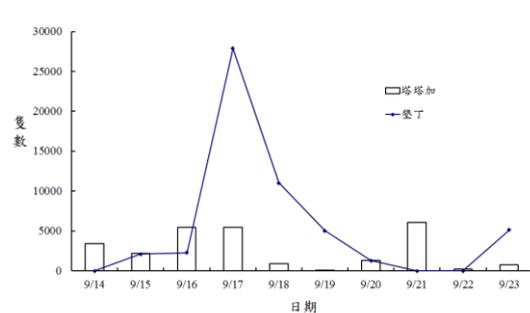
(a) 2010 赤腹鷹



(b) 2010 灰面鵟鷹



(c) 2011 赤腹鷹



(d) 2011 灰面鵟鷹

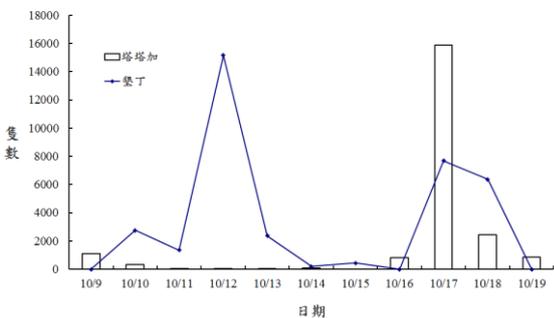


圖 1. 2010-2011 年塔塔加與墾丁 9 月份同時期赤腹鷹過境數量比較(a, c)，及 10 月份灰面鵟鷹過境數量比較(b, d)。2010 及 2011 年墾丁資料引用自許育誠(2010)及楊建鴻(2011)。

$F_{1,34} = 22.38, r^2 = 0.3970, n = 36, P < 0.0001$;
圖 3c)。

討論

2010 及 2011 年秋過境期在塔塔加記錄到的赤腹鷹數量與灰面鵟鷹差距並不大 (表 1)，這與墾丁的紀錄並不一致。歷年來赤腹鷹在墾丁的過境量明顯高於灰面鵟鷹，一般是 3 倍至

5 倍之多，如 2013 年 (162,726/36,029 = 4.52 倍，楊建鴻 2013)或是 2019 年 (257,971/71,045 = 3.63 倍，陳炤杰及鄭宇容 2019)。塔塔加這兩種數量相近，有可能是 11 天的調查太短，出現取樣上的偏差所致。2010 及 2011 年塔塔加記錄到的灰面鵟鷹約佔同期墾丁過境量的 47% 及 55%，而赤腹鷹只佔墾丁的 9.7% 及 44.1%。相對而言，灰面鵟鷹在這二年過境塔塔加的數量較穩定，約是墾丁的一半。但赤腹

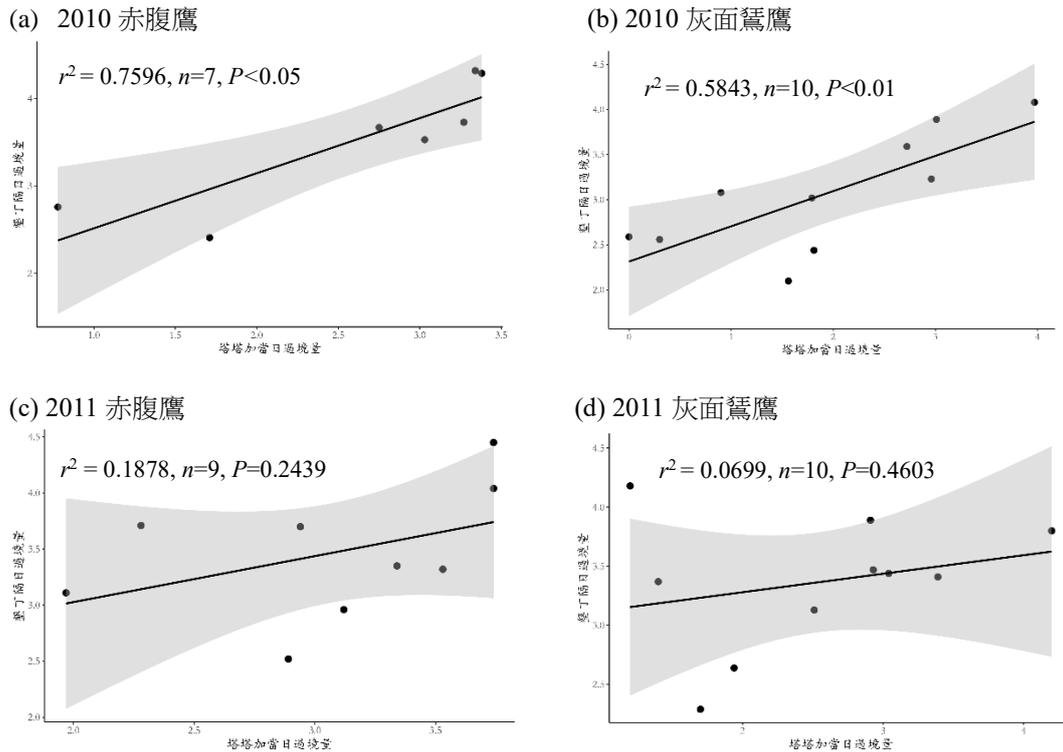


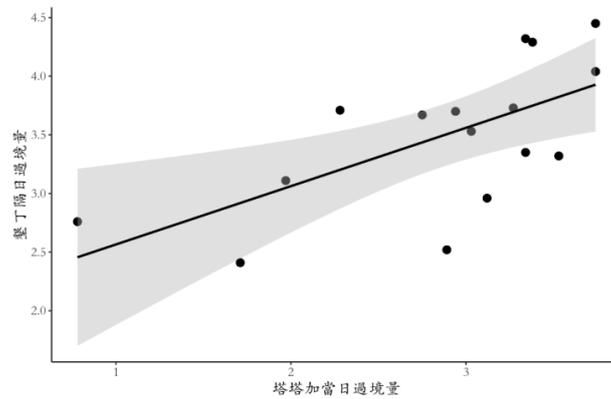
圖 2. 2010 及 2011 年赤腹鷹(a, c)和灰面鵟鷹(b, d)在塔塔加的單日過境量與隔日墾丁過境量之簡單迴歸分析。過境量先取 \log_{10} 再做分析，墾丁資料引用自許育誠(2010)及楊建鴻(2011)。僅 2010 年資料達顯著正相關(赤腹鷹： $y = 1.88 + 0.63x$, $F_{1,5} = 15.80$, $r^2 = 0.7596$, $P < 0.05$ ；灰面鵟鷹： $y = 2.32 + 0.39x$, $F_{1,8} = 11.25$, $r^2 = 0.5843$, $P < 0.01$)。

鷹在年度間的波動頗大且比例也較灰面鵟鷹低，顯示 11 天的調查或許適合灰面鵟鷹，但對過境期較長的赤腹鷹來說應該是不夠的。若以墾丁過去 17 年的資料來做一計算 (曾建偉 2020, 臺灣猛禽研究會 <https://raptor.org.tw/>)，灰面鵟鷹在 10 月 10-20 日過境墾丁的比例佔該季總過境量的 80.2%。可見塔塔加 11 天的調查 (10/9-19 日) 已大致涵蓋到灰面鵟鷹過境臺灣的高峰期。不過就赤腹鷹來說，11 天的調查 (9/15-25 日) 僅佔墾丁總過境量的 55.9%，明顯較低。因此若要涵蓋赤腹鷹在墾丁 80% 以上的過境量，則至少需調查 18 天。

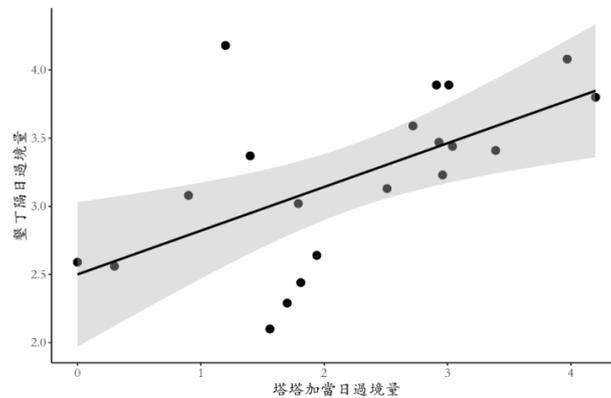
另外，塔塔加赤腹鷹偏少，也可能是因為兩者過境臺灣時採取不同的遷移路線所致。可能的解釋是塔塔加位於灰面鵟鷹的主要遷移路徑上；但赤腹鷹的遷移路徑可能較分散或主要遷移路徑不從塔塔加經過，所以數量比預期

來得少。2002 年 9 月 15 日臺東縣樂山曾記錄到近 4.5 萬隻赤腹鷹過境，這是墾丁以外記錄到的單日最大量 (蘇俊榮 2014)。跟塔塔加的單日最大量 5-6 千隻相比，達 9 倍之多。臺東鳥會也估計每年有逾 10 萬隻赤腹鷹會從臺東知本過境 (臺東縣政府 2014)，而這個數目也比塔塔加的 2-3 萬隻多出好幾倍。屏科大的氣象雷達資料分析 (孫元勳及鄧財文 2016, 孫元勳 2017) 也顯示從北部下來的赤腹鷹主要沿著東部山區往南遷徙。而 2016-2017 年臺灣猛禽研究會在墾丁繫放的 12 隻衛星追蹤個體中，有 3 隻於隔年秋季過境臺灣南遷時，都是穿越中央山脈從臺東出海的 (蔡岱樺等 2018)。以上數據顯示，赤腹鷹在秋季過境臺灣時偏好走東部南下是極為可能的推測。因為九月份東北季風還不是很強盛，所以上揚氣流在中央山脈以東較旺盛，更有利於猛禽遷移。

(a) 赤腹鷹



(b) 灰面鵟鷹



(c) 赤腹鷹和灰面鵟鷹

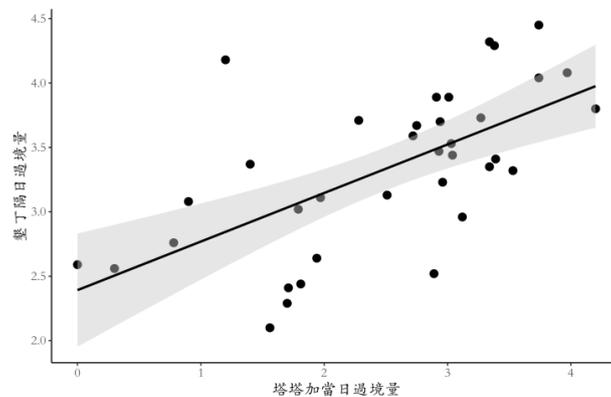


圖 3. 2010 及 2011 兩年合併資料之簡單迴歸分析，兩鷹種在塔塔加的單日過境量與隔日墾丁過境量皆呈顯著正相關。過境量先取 \log_{10} 再做分析，墾丁資料引用自許育誠(2010)及楊建鴻(2011)。
a)赤腹鷹($y = 2.07 + 0.50x$, $F_{1, 14} = 9.90$, $r^2 = 0.4141$, $P < 0.01$)、b)灰面鵟鷹($y = 2.50 + 0.32x$, $F_{1, 18} = 9.94$, $r^2 = 0.3558$, $P < 0.01$)及 c)兩種合併($y = 2.39 + 0.38x$, $F_{1, 34} = 22.38$, $r^2 = 0.3970$, $P < 0.0001$)。

不過到了十月份，因東北季風轉強，從日本琉球群島南下的灰面鵟鷹大多選擇走海線。Nourani *et al.* (2018)以衛星追蹤 6 隻在九州繫放的灰面鵟鷹，發現牠們都沒有過境臺灣，而是直接從琉球群島飛往菲律賓。另外氣象雷達

資料分析也發現有一部分灰面鵟鷹是從蘇澳直接出海飛往菲律賓(孫元勳及鄧財文 2016, 孫元勳 2017)。因此十月份從東部過境的灰面鵟鷹(約占全台過境量 1/4; 孫元勳 2017)，可能僅一小部分會沿東部山區走陸路南下，且很

可能在臺東卑南溪附近即出海南飛了(蘇俊榮及王克孝 2012, 李璟泓 2014, 王克孝等 2016), 這也可以說明為何在蘭嶼記錄到的灰面鵟鷹遠比樂山所記錄到的數量還多(蘇俊榮等 2012)。而從墾丁過境的灰面鵟鷹絕大多數應該是從中央山脈西邊南下的鷹群, 因而在屏東禮納里才會記錄到墾丁以外的單日最大量, 而禮納里的北邊約 90 km 處就是塔塔加了, 所以塔塔加跟禮納里很可能都位在從西部南遷的灰面鵟鷹的主要遷移路徑上。

赤腹鷹及灰面鵟鷹在塔塔加的單日過境量與墾丁隔日過境量的迴歸分析只有 2010 年呈現顯著正相關, 不過在合併 2 年資料, 或是合併兩種資料後, 因樣本數增加, 顯著水準也提高了。這說明赤腹鷹和灰面鵟鷹在塔塔加的過境量與隔日墾丁的過境量確實有些許相關性, 值得進一步探究。

氣象雷達資料顯示, 灰面鵟鷹在春季北返, 經過恆春半島以北的淺山地區的平均飛行速度是 37.8 km/h (陳韻如等 2007)。而黃馨儀(2016)分析 2014 及 2015 年秋季墾丁氣象站雷達資料時發現, 灰面鵟鷹在通過恆春半島及出海時的平均速度是 37.4 及 36.2 km/h。另外李璟泓(2014)以數量相近的鷹群從屏東高樹飛到八卦山之時間距離計算出平均飛行速度約 30 km/h, 而 Tsai (2020)以衛星追蹤赤腹鷹所得的平均遷移速度是 35 km/h。因此若以 30-40 km/h 作為猛禽在山區的遷移速度來推算, 從塔塔加到墾丁社頂 170 km, 約需 4.3-5.7 h 可到達。若天氣許可的話, 應是在中午過後到 3 點之間, 此時也許來不及出海, 但加入隔天的遷移行列應該是極為可能的, 這也是塔塔加單日過境量會跟墾丁隔日過境量呈現正相關的原因。

迴歸分析顯示赤腹鷹及灰面鵟鷹在塔塔加的過境量有潛力可以用來預測隔日墾丁的過境量。不過此迴歸線的 r^2 只有 0.4 左右, 解釋度仍有待提升。2020 年塔塔加已重新啟動遷移猛禽調查(吳宜蓁 個人聯繫), 若能持續增加樣本數, 未來一定可以建構出最佳的預測

模式, 這對臺灣賞鷹活動的推展將有莫大的助益。

猛禽一般會沿著明顯的地標遷移, 特別是南北走向的山稜線或海岸線等 (Mueller and Berger 1967)。當猛禽在陸地上遷移時, 一般是靠熱上升氣流或是吹拂山脊線之上揚氣流, 以節省能量 (Kerlinger 1989, Hedenström 1993, Agostini *et al.* 2015)。自忠剛好位於阿里山山脈旁東側又緊鄰神木溪溪谷, 位置絕佳。我們在自忠看到的鷹群, 明顯有兩個來源, 一部分是由神木溪谷起鷹的個體, 比較零散。另一部分則是沿阿里山山脈南下的鷹群, 牠們來到自忠時已有相當的高度, 且會在附近的山頭(如自忠山)尋找上升氣流以便再度抬升高度往南遷移。自忠隘口因有兩股鷹群匯聚, 所以不管是赤腹鷹或是灰面鵟鷹, 數量上都明顯較麟趾山多, 此現象與沙謙中 (1989)的調查相吻合, 也凸顯出自忠所在位置的特殊性。

調查人員在麟趾山頂做觀測時, 時常會看到猛禽從下東埔部落週遭盤旋而上的景象。另外, 陳炤杰及劉姿岑 (2012)在神木溪谷的調查也發現, 下午 2-3 點之後, 常可見大量鷹群從北邊不斷飛進神木溪谷底部, 應是準備夜棲於集水區周邊森林之中。可見塔塔加北邊溪谷, 特別是神木溪及沙里仙溪, 應該是灰面鵟鷹的重要夜棲地 (沙謙中 1989), 因此值得進一步做更詳細的調查。2010 及 2011 年的 10 月 17 日塔塔加都出現萬隻級的超大過境高峰。推測是受到前面幾日連續壞天氣的阻擋所產生的塞車效應(李璟泓 2014)。可見天氣對於猛禽遷移時程的影響至為關鍵, 而位在主要遷移路徑上又適合作為夜棲地的地點, 在遇到惡劣天氣時就更顯其重要性, 因此這些夜棲地的原生棲息環境也就特別值得保護 (沙謙中 1989)。

目前國內尚無特別為過境猛禽設立的保護區或野生動物重要棲息地, 而赤腹鷹及灰面鵟鷹之跨海遷移能力相當高, 對這群北來的過客, 我們不能再像以前不懂保育的年代一樣, 「來一萬、死九千」, 而是要加倍去保護牠們。因此未來除了在春、秋過境期努力調查掌握赤

腹鷹及灰面鵟鷹穿越臺灣的遷移路徑外，也應更全面地尋找及保護其夜棲地，若我們能善盡過境地對候鳥遷移的保育之責，臺灣也可以是生態保育大國。

建議

一、赤腹鷹及灰面鵟鷹在塔塔加的每日過境量有潛力用來預測隔日墾丁的過境數量，因此建議玉山國家公園管理處繼續收集塔塔加過境猛禽資料，並延長赤腹鷹的調查時間到 18 天 (9/10-27 日)，以完整涵蓋其主要過境期。當未來累積更多資料時，便能建構出較佳的預測模式，對賞鷹之推展會有莫大的助益。

二、距離阿里山較近的自忠，近年已發展成另一個觀日出的景點。可惜導遊們因不知此地在此 9-10 月間也是猛禽過境的熱點，因而常錯失了觀賞此生態奇觀的大好機會。建議可在此地設立一塊解說牌，明確標示賞鷹的季節及時間 (如赤腹鷹：九月中、下旬，8-10 點間，灰面鵟鷹：十月中旬，7-9 點間)，以推展高海拔的賞鷹生態觀光。塔塔加秋高氣爽，景色宜人，與墾丁的賞鷹活動各有千秋，值得大力推動。

三、在塔塔加地區記錄到的鷹群，大部分夜棲於神木溪及沙里仙溪溪谷兩岸的森林中。沙里仙溪流域本已劃設在玉山國家公園範圍內，較無疑慮。然而神木溪流域尚有 2/3 在國家公園範圍之外，因此建議農委會應儘速針對神木溪河谷進行詳細的過境猛禽調查，並啟動將國家公園外之神木溪流域集水區劃設為野生動物重要棲息地的可行性研究。

引用文獻

王克孝、林澤經、徐宗興、蘇俊榮。2016。2012 年台東樂山秋季遷移性猛禽調查。臺灣猛禽研究 16:40-51。
沙謙中。1989。遷移記聞。中華飛羽

2(11):13-24。

李璟泓。2014。彰化八卦山灰面鵟鷹春季遷徙之年齡區別及族群遷徙模式研究。國立中興大學生命科學院碩士在職專班碩士論文，61 頁。

林柏壽、林文宏、陳世中。2011。臺灣北端觀音山春季遷徙性猛禽調查 1991-2010。臺灣猛禽研究 11:1-23。

孫元勳。2017。赤腹鷹與灰面鵟鷹在台遷移模式之年變化。科技部專題研究計畫成果報告，18 頁。

孫元勳、鄧財文。2016。赤腹鷹與灰面鵟鷹在臺灣的遷移模式。科技部專題研究計畫成果報告，13 頁。

許育誠。2010。九十九年度墾丁國家公園春季及秋季過境猛禽族群量調查。墾丁國家公園管理處，75 頁。

郭貴嵐。2015。利用氣象雷達探討恆春半島 2014 年秋季赤腹鷹之遷徙模式。國立屏東科技大學野生動物保育研究所碩士論文，35 頁。

陳世中。2008。九十七年度墾丁國家公園春季及秋季過境猛禽族群調查。墾丁國家公園管理處，73 頁。

陳世中、孫元勳。2007。九十六年度墾丁國家公園春季及秋季過境猛禽族群調查。內政部營建署墾丁國家公園管理處，86 頁。

陳炤杰、鄭宇容。2019。108 年度墾丁國家公園秋季過境猛禽族群調查計畫。墾丁國家公園管理處，56 頁。

陳炤杰、劉姿岑。2012。過境猛禽於塔塔加地區夜棲地點資料收集計畫。玉山國家公園管理處，10 頁。

陳炤杰、蔡哲民、陳惠玲、王秀惠。2009。玉山國家公園鳥類之資源清查與族群監測系統規劃及資料庫建置。玉山國家公園管理處，62 頁。

陳韻如、孫元勳、鄧財文。2007。2005 年春季灰面鵟鷹在臺灣中南部之北返遷徙模式。臺灣林業科學 22(2):159-167。

- 曾建偉。2020。109 年度墾丁國家公園秋季過境猛禽族群調查計畫。墾丁國家公園管理處，64 頁。
- 曾建偉。2021。100 年度墾丁國家公園秋季過境猛禽族群調查計畫。墾丁國家公園管理處，64 頁。
- 張宏銘、蔡若詩。2016。105 年度墾丁國家公園秋季過境猛禽族群量調查暨赤腹鷹衛星追蹤計畫。墾丁國家公園管理處，162 頁。
- 張宏銘、蔡若詩。2017。106 年度墾丁國家公園秋季過境猛禽族群調查暨赤腹鷹遷徙衛星追蹤計畫。墾丁國家公園管理處，151 頁。
- 張宏銘、蔡若詩。2018。107 年度墾丁國家公園秋季過境猛禽族群量調查暨赤腹鷹衛星追蹤資料分析計畫。墾丁國家公園管理處，134 頁。
- 黃馨儀。2016。利用氣象雷達探討 2014 年和 2015 年秋季灰面鵟鷹在恆春半島的遷徙模式。國立屏東科技大學野生動物保育研究所碩士論文，36 頁。
- 楊建鴻。2011。一〇〇年度墾丁國家公園春季及秋季過境猛禽族群數量調查。墾丁國家公園管理處，95 頁。
- 楊建鴻。2013。102 年度墾丁國家公園春季及秋季過境猛禽族群調查。墾丁國家公園管理處，72 頁。
- 蔡志遠。2005。2002 年秋季梅峰地區猛禽遷移調查。臺灣猛禽研究 4:35-41。
- 蔡岱樺、蔡宜樺、曾建偉。2018。赤腹鷹的遷徙之路。自然保育季刊 104:26-37。
- 臺東縣政府。2014。九降風起兮鷹飛揚知本樂山賞鷹正對時。https://www.taitung.gov.tw/News_Content.aspx?n=13370&s=34790/. Accessed 17 April 2021.
- 劉小如。2011。灰面鵟鷹遷移之衛星追蹤。行政院農業委員會林務局，19 頁。
- 蘇俊榮。2014。台東樂山。<https://raptor.org.tw/raptor-migration-sites/>. Accessed 17 April 2021.
- 蘇俊榮、王克孝。2012。2009 及 2010 年秋季台東縣遷移性猛禽調查。臺灣猛禽研究 13:1-13。
- 蘇俊榮、王克孝、林澤經、徐宗興。2012。2010 年秋季蘭嶼遷移性猛禽調查。臺灣猛禽研究 13:14-23。
- Agostini N, M Panuccio and C Pasquaretta. 2015. Morphology, flight performance, and water crossing tendencies of Afro-Palaearctic raptors during migration. *Current Zoology* 61:951-958.
- Chen C-C, J-C Wu, BA Walther and P-J Chiang. 2020. Nocturnal migration in the Tataka Area, Yushan National Park, Taiwan in autumn 2014. *Ornithological Science* 19:135-144.
- Chen C-C, J-G Lin, Y-J Cheng, T-C Chen, J-S Tsai, Y-H Sun. 2022. Autumn migration of diurnal raptors across Kenting National Park, Taiwan, along the East-Asian oceanic flyway. *Journal of Raptor Research* 56(1):95-100.
- Decandido R, C Nualsri, D Allen and KL Bildstein. 2004. Autumn 2003 raptor migration at Chumphon, Thailand: a globally significant raptor migration watch site. *Forktail* 20:40-54.
- Hedenström A. 1993. Migration by soaring or flapping flight in birds: The relative importance of energy cost and speed. *Philosophical Transactions of Royal Society London: Biological Sciences* 342:353-361.
- Kerlinger P. 1989. Flight strategies of migrating hawks. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA.
- Limparungpatthanakij W, C Nualsri, A Jearwattananakok, C Hansasuta, K Sutasha, R Angkaew and PD Round. 2019. Abundance and timing of migratory raptors passing through Khao Dinsor, southern Thailand, in autumn 2015-2016. *Forktail* 35:18-27.
- Lin WH and LL Severinghaus. 1998. Raptor migration and conservation in Taiwan. pp. 631-639. In *Chancellor RD, B-U Meyburg and JJ Ferrero (eds.), Holarctic birds of prey*, Merida, Spain.
- Miltom D. 2003. Threatened shorebird species of the East Asian-Australasian Flyway: significance for Australian wader study groups. *Wader Study Group Bulletin* 100:105-110.
- Mueller HC and DD Berger. 1967. Wind drift, leading lines, and diurnal migrations. *Wilson Bulletin* 79:50-63.
- Nourani E, K Safi, NM Yamaguchi and H Higuchi. 2018. Raptor migration in an oceanic flyway: wind and geography shape the migratory route of grey-faced buzzards in East Asia. *Royal Society Open Science* 5:171555.
- Tsai J-S. 2020. The migratory ecology of Chinese

陳炤杰，陳惠玲，劉姿岑，吳禎祺，林可欣

Sparrowhawks (*Accipiter soloensis*): the investigation on weather factors and different migration routes. Ministry of Science and Technology, Taipei, Taiwan.
Yong DL, Y Liu, BW Low, CP Española, C-Y Choi

and K Kawakami. 2015. Migratory songbirds in the East Asian-Australasian Flyway: a review from a conservation perspective. *Bird Conservation International* 25:1-37.

附錄 1. 2010 年麟趾山秋季過境猛禽種類及數量

| 日期 | 天氣 | 赤腹鷹 | 灰面鵟鷹 | 蜂鷹 | 魚鷹 | 遊隼 | 燕隼 | 紅隼 | 日本松雀鷹 | 當日總數 |
|-------|---------|-------|-------|----|----|----|----|----|-------|-------|
| 9/14 | 陰偶陣雨 | 91 | | 1 | | | | | | 92 |
| 9/15 | 晴~多雲 | 1,086 | | | | | | | | 1,086 |
| 9/16 | 晴~多雲 | 1,012 | | | | | | | | 1,012 |
| 9/17 | 陰 | 5 | | | | | | | | 5 |
| 9/18 | 陰多雲轉晴有雲 | 336 | | 1 | | | | | | 337 |
| 9/22 | 晴~多雲 | 272 | | 4 | | 1 | | | | 277 |
| 9/23 | 晴~多雲 | 134 | | | | 1 | | | | 135 |
| 9/24 | 晴~多雲 | 51 | | | | | | | | 51 |
| 10/8 | 晴時多雲陰有霧 | | 2 | | | | | | | 2 |
| 10/9 | 晴時多雲陰有霧 | 1 | 20 | | | | | | | 21 |
| 10/10 | 晴時多雲 | 17 | 418 | | | | | | | 435 |
| 10/11 | 晴時多雲 | | 101 | 2 | | | | | | 103 |
| 10/12 | 晴時多雲 | | 59 | | | | | | | 59 |
| 10/13 | 晴時多雲 | | | | | | 1 | 1 | | 2 |
| 10/14 | 晴時多雲 | | 46 | | | | | | | 46 |
| 10/15 | 晴時多雲偶陣雨 | | 3 | 2 | | | | | | 5 |
| 10/16 | 晴時多雲 | | 5 | | | | | | | 5 |
| 10/17 | 晴時多雲 | | 2,693 | | | | 1 | | | 2,694 |
| 10/18 | 多雲 | | 1,497 | 1 | | 1 | | | | 1,499 |
| 10/19 | 陰時多雲 | | 457 | | | | | | | 457 |
| 總計 | | 3,005 | 5,301 | 11 | 0 | 3 | 2 | 1 | 0 | 8,323 |

附錄 2. 2010 年自忠秋季過境猛禽種類及數量

| 日期 | 天氣 | 赤腹鷹 | 灰面鵟鷹 | 蜂鷹 | 魚鷹 | 遊隼 | 燕隼 | 紅隼 | 日本松雀鷹 | 當日總數 |
|-------|-----------|-------|-------|----|----|----|----|----|-------|--------|
| 9/14 | 陰偶陣雨 | 2,298 | | 1 | | | | | | 2,299 |
| 9/15 | 晴無雲~多雲 | 763 | | | | | | | | 763 |
| 9/16 | 多雲 | 55 | | | | | 1 | 1 | | 57 |
| 9/17 | 陰 | 1 | | 1 | | | | | | 2 |
| 9/18 | 陰多雲轉晴有雲 | 25 | | 3 | | | | | | 28 |
| 9/22 | 晴~多雲 | 1,902 | | 3 | | | | | | 1,905 |
| 9/23 | 雲有霧 | 423 | | 3 | | | | | | 426 |
| 9/24 | 晴時多雲有霧 | | | 4 | | | | | | 4 |
| 10/8 | 陰時多雲 | | | 3 | 1 | | | | | 4 |
| 10/9 | 多雲時陰 | | 16 | 6 | | 1 | | | | 23 |
| 10/10 | 晴時多雲午起霧 | | 597 | 4 | | | | | | 601 |
| 10/11 | 晴時多雲午起霧 | | 819 | | | | | | | 819 |
| 10/12 | 晴時多雲午起霧 | | 2 | 3 | | | | | | 5 |
| 10/13 | 晴時多雲午起霧 | | 1 | | | 1 | | | | 2 |
| 10/14 | 晴時多雲午起霧 | | 19 | 2 | | | | | | 21 |
| 10/15 | 陰時多雲 | | | 7 | 1 | | | | | 8 |
| 10/16 | 多雲時晴 | | 3 | 2 | 1 | | 1 | | 1 | 8 |
| 10/17 | 多雲時晴 | 15 | 6,547 | 3 | 1 | 1 | | | | 6,567 |
| 10/18 | 晴時多雲轉陰 | | 144 | | | | | | | 144 |
| 10/19 | 陰時多雲偶陣雨有霧 | | 66 | | | | | | | 66 |
| 總計 | | 5,482 | 8,214 | 45 | 4 | 3 | 2 | 1 | 1 | 13,752 |

附錄 3. 2011 年麟趾山秋季過境猛禽種類及數量

| 日期 | 天氣 | 赤腹鷹 | 灰面鵟鷹 | 蜂鷹 | 魚鷹 | 遊隼 | 紅隼 | 當日總數 |
|-------|---------|-------|------|----|----|----|----|-------|
| 9/13 | 陰時多雲 | 471 | | | | | | 471 |
| 9/14 | 晴朗無雲 | 2320 | | 1 | | | | 2321 |
| 9/15 | 晴朗無雲 | 591 | | | | | | 591 |
| 9/16 | 晴朗無雲 | 95 | | 2 | | | | 97 |
| 9/17 | 晴朗無雲 | 951 | | | | | | 951 |
| 9/18 | 晴朗無雲 | 242 | | | | | | 242 |
| 9/19 | 晴朗有雲 | 93 | | | | | | 93 |
| 9/20 | 晴朗無雲轉多雲 | 1302 | | | | | | 1302 |
| 9/21 | 晴朗無雲轉多雲 | 4354 | | 2 | | | | 4356 |
| 9/22 | 多雲 | 177 | | 1 | | | | 178 |
| 9/23 | 晴朗有雲轉陰 | 782 | | | | | | 782 |
| 10/9 | 陣雨 | | | | | | 1 | 1 |
| 10/10 | 下雨無法調查 | | | | | | | 0 |
| 10/11 | 下雨無法調查 | | | | | | | 0 |
| 10/12 | 陰天有陣雨 | | 5 | | | | | 5 |
| 10/13 | 多雲濃霧 | 5 | 14 | | | 1 | | 20 |
| 10/14 | 陰天陣雨 | 14 | 30 | 1 | | | | 45 |
| 10/15 | 濃霧下雨 | 2 | | | | | | 2 |
| 10/16 | 晴天轉多雲起霧 | | | | | | | 0 |
| 10/17 | 晴天轉多雲起霧 | 1 | 61 | | | 1 | | 63 |
| 10/18 | 晴天轉多雲起霧 | | 17 | 2 | | 3 | | 22 |
| 10/19 | 晴天轉多雲起霧 | | 227 | 2 | | | 1 | 230 |
| 總計 | | 11400 | 354 | 11 | 0 | 5 | 2 | 11772 |

附錄 4. 2011 年自忠秋季過境猛禽種類及數量。

| 日期 | 天氣 | 赤腹鷹 | 灰面鵟鷹 | 蜂鷹 | 魚鷹 | 遊隼 | 紅隼 | 當日總數 |
|-------|---------------|-------|-------|----|----|----|----|-------|
| 9/14 | 晴~多雲 | 1064 | | 2 | | | | 1066 |
| 9/15 | 陰多雲 | 1577 | | 1 | | | | 1578 |
| 9/16 | 晴朗無雲 | 5351 | | 3 | | | | 5354 |
| 9/17 | 晴朗無雲，山谷有霧 | 4496 | | 1 | | | | 4497 |
| 9/18 | 晴朗無雲，山谷有霧 | 619 | | 1 | | | | 620 |
| 9/19 | 陰有霧 | | | | | | | 0 |
| 9/20 | 晴朗有雲，山谷有霧 | 17 | | 1 | | | | 18 |
| 9/21 | 晴朗無雲，山谷有霧 | 1728 | | | | | | 1728 |
| 9/22 | 晴朗有雲，山谷有霧 | 13 | | 1 | | | | 14 |
| 9/23 | 晴朗有雲 | 2 | | | | | | 2 |
| 10/9 | 陰，下小雨 | | 1106 | | | | | 1106 |
| 10/10 | 陰，下小雨 | | 320 | | | | | 320 |
| 10/11 | 下小雨 | | 16 | | | | | 16 |
| 10/12 | 陰多雲 | | 20 | | | | | 20 |
| 10/13 | 晴朗有雲 | | 36 | | | | | 36 |
| 10/14 | 陰，下小雨，8 點後放晴 | 1 | 57 | | 1 | 1 | | 60 |
| 10/15 | 起濃霧，下雨，無鷹 | | 0 | | | | | 0 |
| 10/16 | 晴朗有雲，山谷濃霧 | | 819 | | | | | 819 |
| 10/17 | 晴朗無雲 | | 15816 | 1 | | | | 15817 |
| 10/18 | 晴朗無雲，山谷有霧 | | 2435 | 3 | | 2 | | 2440 |
| 10/19 | 晴朗有雲，8 點後山谷有霧 | | 624 | | 1 | | | 625 |
| 總計 | | 14868 | 21249 | 14 | 2 | 3 | 0 | 36136 |

台江國家公園濕地生態系及防風林的哺乳動物多樣性

高梅婷¹，葉俊佑¹，洪語晨¹，周政翰¹，
劉士豪¹，張簡琳玟²，林德恩²，劉建男^{1,3}

¹國立嘉義大學森林暨自然資源學系暨研究所；²行政院農業委員會特有生物研究保育中心；

³通訊作者 E-mail: jnliu@mail.ncyu.edu.tw

[摘要] 過去臺灣地區有關濕地生態系哺乳動物資源的基礎資料較為缺乏。本研究以台江國家公園及周緣地區為主要範圍，探討濕地生態系及沿海防風林的哺乳動物多樣性。本研究彙整 2012-2018 年的臺灣動物路死觀察網資料，並於 2008 及 2019 年以目視觀察、紅外線自動相機、籠具和網具捕捉及蝙蝠超音波偵測器等方法進行哺乳動物相調查。此外，本研究在 2019 年設置 8 個固定樣區每季調查 1 次，固定樣區資料進行哺乳類 Shannon 多樣性指數及各物種的活動模式與相對豐富度分析，並探討犬、貓對小型哺乳動物相對豐富度的影響。結果顯示，研究範圍內除犬、貓以外，共記錄到包含 10 種蝙蝠在內的 23 種野生哺乳動物。非飛行性野生哺乳動物以臭鼬分布最廣且捕捉數量最多，其次為小黃腹鼠，蝙蝠以東亞家蝠及高頭蝠有較多的音頻紀錄，野生食肉目動物僅記錄到白鼻心一種。貓及小型哺乳類主要為夜間活動，犬則偏日間活動。固定樣區內的犬、貓的數量或相對豐富度與小型哺乳類的 Shannon 多樣性指數或個別物種相對豐富度皆無顯著的相關；然而，犬、貓與共域的野生動物相遇時，仍可能獵捕而造成野生動物傷亡，未來應減少犬、貓在國家公園範圍內活動。

關鍵字：自動相機、動物相、相對豐富度、Shannon 多樣性指數、蝙蝠超音波偵測器

Mammal Diversity of Wetland Ecosystem and Coastal Forests in Tajiang National Park, Taiwan

Mai-Ting Kao¹, Chun-You Yeh¹, Yu-Chen Hung¹, Shi-Hao Liu¹, Cheng-Han Chou¹,
Lin-Wen ChangChien², Te-En Lin² and Jian-Nan Liu^{1,3}

¹Department of Forestry and Natural Resources, National Chiayi University; ²Endemic Species Research Institute, Council of Agriculture; ³Corresponding author E-mail: jnliu@mail.ncyu.edu.tw

ABSTRACT Study on mammals of wetland ecosystem in Taiwan is relatively scarce. In this study, we aimed to understand the mammal diversity of wetlands and coastal forests in Tajiang National Park, Taiwan. We investigated mammalian fauna using visual survey, live traps, camera traps, and bat detectors in 2008 and 2019. We also collected roadkill data that were uploaded to the Taiwan Roadkill Observation Network from 2012 to 2018. In 2019, we set up eight sampling sites and each site was surveyed once per season. Data of these sites were used to analyze Shannon diversity index of each site, activity patterns of each species, and the effect of dogs and cats on the diversity and relative abundance of

small mammals. During the study periods, in addition to dogs and cats, we recorded a total of 23 native mammalian species, including 13 non-volant species and 10 bat species. *Suncus murinus* was the most abundant non-volant species, followed by *Rattus losea*. Among the bat species, *Pipistrellus abramus* and *Scotophilus kuhlii* had more acoustic records than other species. *Paguma larvata taiwana* was the only native carnivore recorded. Both small ground-foraging mammals and cats were more active during the night, whereas dogs were more active during the day. The number or relative abundance of dogs and cats was not significantly correlated to the Shannon diversity of small mammals or relative abundance of each species. Despite this, dogs and cats would hunt small mammals if they encounter them. Therefore, there is a need to reduce the number of dogs and cats in Taijian National Park.

Keywords: camera trap, fauna, relative abundance, Shannon diversity, bat detector

前言

濕地生態系統具有極高的生產力，並具有營養鹽循環、蓄洪儲水、淨化水質、穩定海岸線及提供許多野生物棲息地等重要的生態服務功能 (Maltby and Acreman 2011)。自 2010 年起，國內陸續推動各濕地的保育計畫，以「維護濕地生態穩定及多樣性、明智利用濕地資源、重建濕地與社區文化互動與傳承」作為目標 (內政部 2010)。我國的濕地保育法於 2015 年開始實施，目的在確保濕地功能、維護其生物多樣性及促進濕地生態保育。

臺灣的濕地生態系統分為陸域濕地生態系及沿海濕地生態系 (莊玉珍和王惠芳 2001)，其中沿海濕地生態系包含防風林、紅樹林以及水域環境。臺灣過去沿海濕地生態系生物多樣性相關的研究，多著重於植物、鳥類、水域生物及無脊椎動物 (如：李培芬等 2018，成功大學水工試驗所 2018，黃守忠 2018)，詳細的哺乳動物調查資料較少，僅在無尾港水鳥保護區 (宜蘭縣政府 2015)、鰲鼓溼地 (內政部 2018b) 及許厝港重要濕地 (內政部 2018a) 等重要濕地保育計畫中有哺乳動物名錄資料，蝙蝠類群僅鰲鼓濕地有詳細調查資料，共記錄到 11 種 (方引平 2017)。

哺乳動物在生態系中扮演重要角色 (Gedan *et al.* 2009, Kunz *et al.* 2011, Lacher Jr. *et al.* 2019)，例如協助花粉及種子傳播 (Muscarella and Fleming 2007, Kunz *et al.* 2011,

Ripple *et al.* 2014)、控制害蟲數量 (Kunz *et al.* 2011)、促進表層土壤的擾動 (Martin 2003)、維持原生植物多樣性和群聚結構、促進生態系統有機物質的能量循環及維持生態系統穩定等 (Mass *et al.* 2016)。研究指出部分嚙齒類哺乳動物會偏好特定微棲地類型，因此其活動範圍會受棲地結構的限制 (Dooley Jr. and Bowers 1996)，而飛行性的蝙蝠雖然具有良好的移動能力能橫跨不同的地景結構，但對於溫度變化及棲地干擾相當敏感 (Russo and Jones 2015)，兩者被認為可作為反映人為活動或氣候變遷造成環境變化的指標生物 (Russo and Jones 2015, Ofori *et al.* 2016)。雖然在濕地生態系中，哺乳動物的多樣性通常比鳥類等其他類群低，但仍扮演不可或缺的角色 (Batzer *et al.* 2006, Gedan *et al.* 2009)。

台江國家公園位於臺灣本島西南部，範圍內包含潟湖、海埔新生地、離岸河口沙洲、防風林及紅樹林等多種棲地類型，更包含曾文溪口和四草等兩個國際級濕地。國家公園成立以來，針對黑面琵鷺及其棲地的保育與環境因子的監測已進行許多研究 (如：林幸助等 2011，王穎等 2012，郭東輝 2018)，近年來陸續進行兩生爬行類 (張原謀等 2018) 及植物資源的調查 (謝宗欣 2019)。哺乳動物部分則僅有零星的調查資料，包括國家公園成立前在七股鹽田、曾文溪口、四草地區和鹽水溪口等 4 個樣區記錄到包括刺鼠 (*Niviventer coninga*) 及外來種緬甸小鼠 (*Rattus exulans*)、犬 (*Canis*

familiaris)、貓 (*Felis catus*) 在內共 13 種哺乳動物(衍生工程顧問有限公司 2010),另周政翰(2017)在安南區台江國家公園管理遊客中心附近以蝙蝠超音波偵測器進行 2 次的錄音,記錄到 8 種蝙蝠的回聲定位叫聲。

本研究目的在了解台江國家公園沿海防風林及濕地生態系之野生哺乳動物的種類組成、分布概況及物種的相對豐富度,並確認外來種緬甸小鼠、犬和貓的分布狀況。此外,自由活動的犬、貓可能造成原生物種族群量的下降(Yen *et al.* 2019)。因此,本研究亦探討犬、貓對小型哺乳動物相對豐富度的影響。

材料與方法

一、研究地區及資料來源

本研究以台江國家公園的陸域區域為主要調查範圍,包括七股及安南 2 個區域,面積約 5,050 ha。然而,多數哺乳動物移動性佳,因此將國家公園外圍 1 km 內的區域亦列入調查範圍,各樣點資料參考圖 1。本報告資料包含三個來源,(一)2008 年 3 至 9 月的現地調查,(二)由臺灣動物路死觀察網(簡稱路殺社)所蒐集自 2012 年 5 月至 2018 年 10 月的路殺資料,及(三)2019 年 2 至 11 月的現地調查。2019 年資料中,缺乏 1 月及 12 月的資料,將 2-3 月定義為第一季、4-6 月為第二季、7-9 月為第三季、10-11 月為第四季。

二、調查方法

(一) 2008 年現地調查

2008 年 3-9 月,以下列四種方法進行調查:

1. 目視觀察法:於四草大橋及安平區周邊之既有道路(如:林道、步道、或公路),以騎乘機車、緩慢開車或步行的方式,於研究範圍內隨機搜尋,記錄哺乳動物的各種跡象,包括個體、屍體、叫聲及排遺等,記錄發現時間、地點及物種。此外,於青草里青草國小校園(圖 1 B8)的蒲葵樹進行蝙蝠觀察。

2. 籠具捕捉法:2008 年 3 月 24-26 日於七股區曾文溪口(圖 1 B6)及安平區四草大橋(圖 1 B19)、及 6 月 25-27 日於安南區鹿耳門聖母廟(圖 1 B9),分別進行連續 2 夜次捕捉,每個區域設置 20 個捕捉籠,每個捕捉籠相距 10 m,第 5、10、15 及 20 個捕捉籠為臺製松鼠籠,其餘 16 個為薛門式捕捉籠(9.5 × 8.5 × 26.5 cm,三寬有限公司,臺灣)。籠內以地瓜切塊沾花生醬為誘餌,誘餌每天更換以保持新鮮增加誘捕率。天黑前完成捕捉籠設置並於隔天清晨巡查,每個樣點進行連續 2 夜的小型哺乳動物捕捉。

3. 蝙蝠網具捕捉法:2008 年 3 月 24 日在七股區曾文溪口(圖 1 B6)、6 月 26 日在安平漁光社區(圖 1 B21)及 7 月 30 日在億載金城(圖 1 B20),分別架設霧網及豎琴網各 1 張,豎琴網捕捉整晚,霧網捕捉入夜後 2 小時。

4. 蝙蝠超音波偵測器調查法:2008 年 9 月 24 日於曾文溪口(圖 1 B6),在傍晚 18:00-18:30 期間,開車以每小時約 10-20 km 緩速前進的方式,利用超音波偵測器(Anabat SD1, Titley Electronics, Australia)進行蝙蝠音頻側錄。

(二) 2012-2018 年路殺調查資料

「路殺社」是由農業委員會特有生物研究保育中心主持和推動的公民科學計畫,正式名稱為「臺灣動物路死觀察網」(<https://roadkill.tw>)。本研究使用路殺社提供之 2012 年 5 月至 2018 年 10 月間,由民眾以智慧型手機拍照、定位後回報在台江國家公園及其範圍 1 km 內之路殺資料。路殺個體的資料包括發現時間、點位座標、證據照片及拍照記錄者名字,每一筆路殺資料經由專屬網路應用程式(<https://roadkill.tw/app>)上傳登錄至路殺資料庫中,並給予獨立編碼,每一筆回報資料都會先由資料庫管理員初步審核是否完整,再由哺乳動物專業人員進行辨識鑑定,儘量辨識到種的階層。

(三) 2019 年現地調查

依據不同活動習性的哺乳動物,使用下列調查方法:

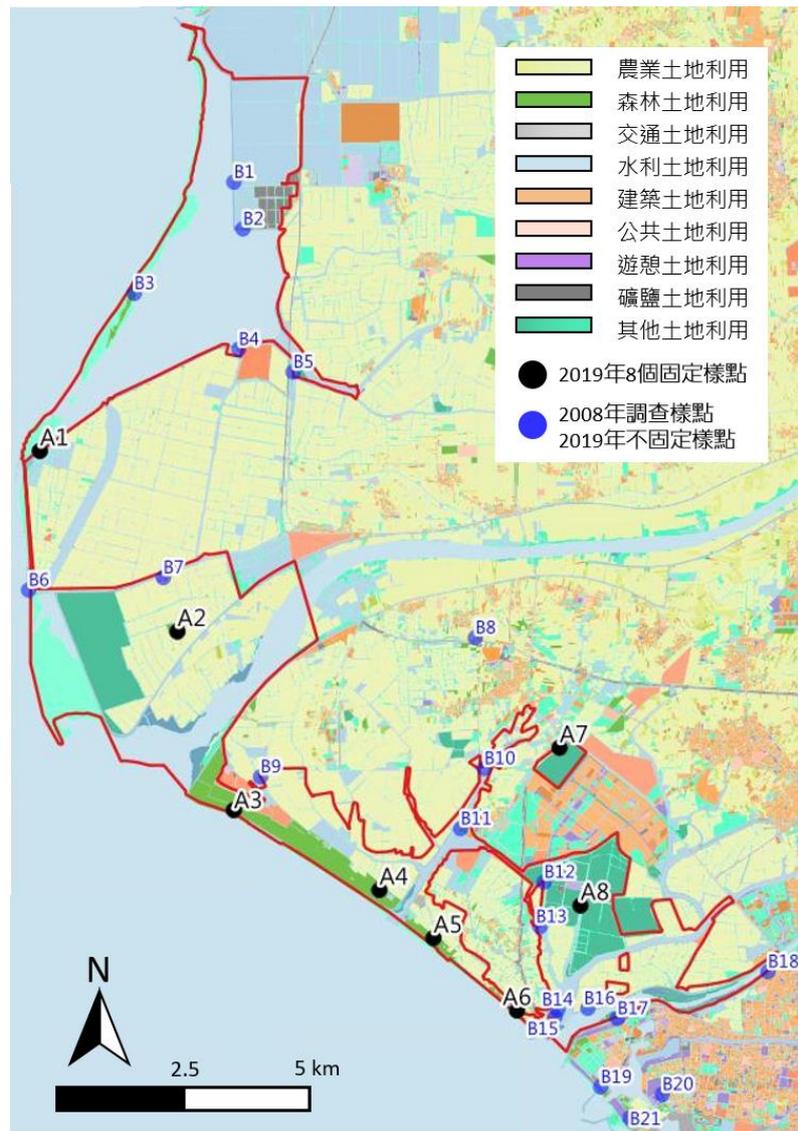


圖 1. 台江國家公園及其周緣地區之調查樣點位置。紅框線為國家公園範圍。黑色圓點 A1 至 A8 為 2019 年之 8 個固定樣點、藍色圓點 B1 至 B21 為 2008 年之調查樣點及 2019 年不固定樣點。各樣點描述見內文。

1. 目視觀察法：

在研究範圍內以騎乘機車、緩慢開車或步行的方式隨機搜尋，記錄哺乳動物的各種跡象，包括個體、屍體、叫聲及排遺等，記錄發現時間、地點及物種，每季調查 3 次。

2. 自動相機調查法：

在研究範圍內設置 8 個 1 km x 1 km 固定樣區，其中七股區 2 個 (圖 1 A1、A2) 和安南區 6 個 (圖 1 A3-A8)。A1 位於七股區南灣碼頭至國聖港燈塔間，包含雜木林灌叢以及以木

麻黃為主的防風林；A2 位於七股重要野鳥棲地，包含木麻黃為主的雜木林及堤防邊的草地；A3 位於城西垃圾焚化廠後的防風林；A4 位於鹿耳門溪北岸城西海岸的雜木林；A5 位於府城天險至四草海岸間的防風林；A6 位於四草大橋至鹿耳門安檢所間的防風林；A7 位於鵲鴿科生態保護區，包含廢棄魚塭、紅樹林以及以銀合歡、大葉欖仁為主的雜木林；A8 位於北汕尾水鳥生態保護區，包含雜木林及紅樹林。

本研究每一個固定樣區各架設 1 部紅外線自動相機 (Redleaf RD1005, Shenzhen Redleaf Technology Company Limited, China), 但調查過程在 A5 拍攝到白鼻心 (*Paguma larvata larvata*), 由於白鼻心是研究範圍內唯一的野生食肉目動物, 且 A5 樣區之防風林範圍較為廣闊並鄰近 A4 樣區, 為增加調查努力量以了解白鼻心的分布及相對豐富度, 因此在 A4 及 A5 樣區於 2019 年 5 月各增設 1 部相機。相機架設高度離地面約 30-60 cm, 以俯角約 45° 拍攝。拍攝到的動物照片儘可能辨識到種的分類階層, 但照片中鼯形目種類除了臭鼯 (*Suncus murinus*) 以外, 難以準確辨識到種, 因此臭鼯以外的物種以「鼯形目」統稱, 嚙齒目之鼠科多數個體亦難以準確辨識到種, 因此以「鼠科」統稱。此外, 若有拍攝到犬、貓時, 依據身體花紋及毛色進行個體辨識, 計算每個樣區的個體數量。

3. 籠具捕捉法：

上述 8 個固定樣區分別設置 1 條 1 km 長的調查樣線, 每條樣線每 1 季設置 15 個薛門式捕捉籠 (9.5×8.5×26.5 cm, 三寬有限公司, 臺灣) 及 5 個雙門臺製捕獸籠 (43×18×15 cm, 總捉捕鼠捕獸器, 臺灣) 進行連續 4 夜的捕捉, 每個籠具間隔約 50 m, 以連續 3 個薛門氏捕捉籠後設置 1 個臺製捕獸籠的排列方式配置。薛門式捕捉籠以捕獲較小型的嚙齒目及鼯形目動物為主, 臺製捕獸籠則可捕獲鬼鼠、溝鼠及松鼠等較大型的嚙齒目動物。籠具捕捉之餌料以地瓜沾花生醬為主, 並在籠位附近灑魚粉或蝦粉以吸引鼯形目種類, 開籠期間每天早上巡籠及視需要更換餌料。捕獲的個體辨識到種的分類階層、記錄性別、並於體側不同部位減去部分毛髮, 作為連續 4 夜調查期間是否有重複捕捉的依據, 結束後隨即野放回原捕捉地點。此外, 為擴大調查範圍, 選取 16 個非固定樣區 (圖 1 B1-B5、B7、B9-B18), 每個非固定樣區設置 4-20 個薛門式捕捉籠或臺製捕獸籠, 進行 1 次 1 夜或連續 2 夜的捕捉。

4. 蝙蝠網具捕捉法

上述 8 個固定樣區中, 每個樣區選擇 1 個調查樣點, 每 1 季以豎琴網或霧網進行 2 個不連續夜晚的捕捉, 霧網捕捉時間為入夜後 2 個小時, 豎琴網捕捉時間為整夜。捕捉到的蝙蝠辨識到種的分類階層, 並於前臂配戴具有不同編號的鋁製翼環 (Porzana Ltd., UK) 作為個體標記後原地釋放。

5. 蝙蝠超音波偵測器調查法

上述 8 個固定樣區中, 每個樣區選擇 1 個樣點設置 1 台超音波偵測器 (Anabat SD2, Titley, Australia 或 Song Meter SM3BAT, Wildlife Acoustic, U.S.) 進行整夜的蝙蝠超音波側錄。每個樣點第一季錄 2 夜, 第二季起錄 3 夜。蝙蝠的回聲定位叫聲頻率及結構具有種間差異, 可作為判別物種依據 (Jones and Teeling 2006)。錄到的蝙蝠回聲定位音頻參考 Chou and Cheng (2012) 及鄭錫奇等 (2017a) 進行種類判別, 儘可能辨識到種的分類階層, 但部分家蝠屬、鼠耳蝠屬及管鼻蝠屬同屬物種的音頻非常相似不易區分, 因此以家蝠屬、鼠耳蝠屬及管鼻蝠屬統稱, 如因錄音品質不佳等因素導致無法有效辨別種類之音頻, 則歸類為無法辨識。蝙蝠超音波偵測器所側錄之資料, 以每一個 Anabat 系統 (最長為 15 秒) 或 SM3BAT (每個錄音檔案以 15 秒為 1 個檔案) 所記錄的檔案為單元, 若同一單元內同種蝙蝠記錄到多筆聲音資料, 仍視為 1 筆有效音頻。

三、資料分析

2008 年現地調查、2012-2018 年路殺社之資料、2019 年目視觀察法、蝙蝠捕捉及超音波偵測器調查法、以及非固定樣區的調查結果僅作為哺乳動物種類組成及分布使用。

2019 年固定樣區紅外線自動相機資料除種類組成之外, 用來分析不同物種的相對豐富度及日活動模式, 並用以探討犬、貓對野生動物的影響。本研究計算各物種或類群 (例如嚙齒目鼠科鼠類) 在每個固定樣區全年度的出現頻度指數 (Occurrence Index, OI) 作為物種相對豐富度的指標。本研究以 1 小時內同一個物

種無法判定為不同個體的照片皆視為同 1 筆有效照片，以第 1 張照片的時間當作該筆有效照片的活動時間，出現頻度指數 $OI = (\text{一物種在該樣點的有效照片數} / \text{該樣點的總工作時數}) \times 1,000 \text{ 小時}$ (裴家騏和姜博仁 2002)。A4 及 A5 樣區各有 2 台相機，各台相機先以總工作時數和有效照片數分別計算 OI 值後，再將 2 台相機的 OI 值取平均。由於犬、貓的相片可以辨識到個體，因此每個固定樣區分別計算拍攝到的隻數，將隻數與該樣區全年度的 OI 值進行斯皮爾曼相關分析 (Spearman correlation coefficient)，以了解 OI 值與隻數是否呈現正相關。另分別以每個樣區犬、貓的隻數及 OI 值分別與其他小型哺乳類的 OI 值進行斯皮爾曼相關分析。

日活動模式部分，將一天分為 24 個 1 小時的時段，去除第一天及最後一天不足 24 小時的部份後，以每一個物種 (或類群) 在個別時段的有效照片數占該物種所有有效照片數的比例，視為該時段的相對活動量。將上述個別物種每小時拍到的有效照片數，以核密度估計法 (kernel density estimation) (Ridout and Linkie 2009) 去估算個別物種在每個時段活動的機率密度函數 (probability density function)，並分別計算兩個物種的平均活動重疊係數 (coefficient of activity overlap, $\Delta 1$, Ridout and Linkie, 2009; Monterroso *et al.* 2014) 及 95% 信賴區間。兩個物種的活動重疊係數 $\Delta 1$ 介於 0 到 1 之間， $\Delta 1=0$ 代表兩個物種活動完全沒有重疊， $\Delta 1=1$ 代表兩個物種活動完全重疊。本計畫依照 Monterroso *et al.* (2014) 的定義方式，兩個物種活動重疊係數 $\Delta 1 < 0.5$ 視為低度重疊， $0.5 < \Delta 1 \leq 0.75$ 視為中度重疊， $\Delta 1 > 0.75$ 視為高度重疊。相關分析以 R 軟體 (R Development Core Team, 2008) 執行。

2019 年固定樣區的籠具捕捉資料，以捕獲到的哺乳動物總隻次除以總籠夜數來計算每樣區在各季的捕獲率 (毛俊傑 2006, 裴家騏 2010)。捕捉資料並用來計算各樣區各季小型哺乳動物的 Shannon 多樣性指數 (Shannon

diversity index, H')，其公式為 $H' = -\sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$ ，其中 S 為各樣區中所記錄到之物種數，而 p_i 為各樣區中第 i 物種所占的數量百分比 (Shannon 1948)。各樣區的小型哺乳動物的 Shannon 多樣性指數值與犬、貓的個體數及 OI 值分別進行斯皮爾曼相關分析。

結果

一、2008 年現地調查

總計調查到 3 種蝙蝠及 5 種非飛行性哺乳動物。蝙蝠部分，在漁光社區 (B21) 及億載金城 (B20) 目擊多隻東亞家蝠 (*Pipistrellus abramus*)，於青草國小校園 (B8) 目擊多隻東亞家蝠及在 1 棵華盛頓椰子樹觀察到約 90 隻高頭蝠 (*Scotophilus kuhlii*)；捕捉部分，於七股曾文溪口 (B6) 捕獲 4 隻東亞家蝠、安平漁光社區捕獲 1 隻東亞家蝠、安平億載金城捕獲 1 隻東亞家蝠。蝙蝠超音波偵測器於七股曾文溪口側錄到東亞家蝠、高頭蝠、東亞摺翅蝠 (*Miniopterus fuliginosus*) 等 3 種蝙蝠音頻。非飛行性哺乳類部分，在億載金城目擊溝鼠 (*Rattus norvegicus*) 2 隻及於七股曾文溪口發現臺灣鼫鼠 (*Mogera insularis*) 地道。於曾文溪口捕捉到 3 隻小黃腹鼠 (*Rattus losea*)、1 隻田鼫鼠 (*Mus caroli*) 及 1 隻臭鼩，於四草大橋 (B19) 周邊捕捉到 3 隻小黃腹鼠、1 隻田鼫鼠及 4 隻臭鼩，另於安南區鹿耳門聖母廟 (B9) 捕捉到 3 隻小黃腹鼠 (表 1，圖 2)。

二、2012-2018 年路殺調查資料

路殺社於 2012 至 2018 年期間，經由註冊會員之民眾上傳的台江國家公園及周緣地區之哺乳動物資料共有 278 筆，其中有 210 筆可以辨識出 14 種，分別為溝鼠 69 隻、小黃腹鼠 45 隻、鬼鼠 (*Bandicota indica*) 33 隻、田鼫鼠 10 隻、亞洲家鼠 (*Rattus tanezumi*) 2 隻、赤背條鼠 (*Apodemus agrarius*) 1 隻、臭鼩 31 隻、灰麝鼩 (*Crocidura tanakae*) 1 隻、小麝鼩 (*Crocidura shantungensis hosletti*) 1 隻、東亞家

表 1. 統整本研究及前人文獻於台江國家公園及周緣地區之哺乳動物名錄

| 目名 | 科名 | 中文名 | 來源 1 | 來源 2 | 2008 現地 調查 | 本研究 | | | | | |
|-------|-----|------|---------|---------|------------------|--------------------------|-----------|-----------------|--------------------|------------|--|
| | | | | | | 2012- 2018 路殺 社 | 目視觀 察法 | 籠具、 網具捕 捉 | 2019 自動相 機相機 | 超音波 偵測器 | |
| 食肉目 | 靈貓科 | 白鼻心 | v | | | | | | v | | |
| | 犬科 | 家犬 | v | | | v | v | | v | | |
| | 貓科 | 家貓 | v | | | v | | | v | | |
| 嚙齒目 | 松鼠科 | 赤腹松鼠 | | | | | v | | v | | |
| | 鼠科 | 小黃腹鼠 | v | | v | v | v | v | | | |
| | | 溝鼠 | v | | v | v | v | v | | | |
| | | 田鼯鼠 | v | | v | v | | v | | | |
| | | 家鼯鼠 | v | | | | | v | | | |
| | | 鬼鼠 | v | | | v | v | v | | | |
| | | 亞洲家鼠 | | | | v | | | | | |
| | | 赤背條鼠 | | | | v | | v | | | |
| | | 臭鼩 | v | | v | v | v | v | v | | |
| | | 小麝鼩 | v | | | v | | v | | | |
| 灰麝鼩 | | | | v | | v | | | | | |
| 鼯鼠目 | 鼯鼠科 | 臺灣鼯鼠 | | | v | | | | | | |
| | 翼手目 | 蝙蝠科 | 堀川氏棕蝠 | | v | | | | | v | |
| 高頭蝠 | | | | v | v | v | | | v | | |
| 絨山蝠 | | | | v | | | | | v | | |
| 東亞家蝠 | | | v | v | v | v | v | v | v | | |
| 山家蝠 | | | | v | | | | | v | | |
| 金黃鼠耳蝠 | | | | v | | | | | v | | |
| 長尾鼠耳蝠 | | | | | | v | | | | | |
| 長趾鼠耳蝠 | | | | v | | | | | | | |
| 臺灣管鼻蝠 | | | | | | | | | | v | |
| 摺翅蝠科 | | | 東亞摺翅蝠 | | | v | | | | v | |
| 游離尾蝠科 | | | 東亞游離尾蝠 | | v | | | | | v | |
| 總計 | | | | | | 26 | | | | | |

資料來源：1、衍生工程顧問有限公司 (2010)；2、周政翰 (2017)。

註：來源 1 有記錄到刺鼠及緬甸小鼠，推測為小黃腹鼠的誤判，因此不列入。

蝠 12 隻、高頭蝠 2 隻、長尾鼠耳蝠 (*Myotis frater*) 1 隻、犬 1 隻及貓 1 隻 (表 1)，所有物種路殺點位如圖 3。

三、2019 年現地調查

1. 目視觀察法

2019 年 2 月至 11 月記錄到 13 筆哺乳動物屍體資料，包括鬼鼠 3 筆、溝鼠 2 筆、小黃腹鼠 3 筆、臭鼩 3 筆及無法辨識種類之嚙齒類 2 筆，其他跡象包括目擊赤腹松鼠 (*Callosciurus erythraeus taiwanensis*) 活體 7 隻次、小黃腹鼠 2 隻次和臭鼩 1 隻次 (表 1)。犬在國家公園範圍內經常可見，另在傍晚常見東

亞家蝠在天空飛行。

2. 自動相機調查法

調查期間 8 個固定樣區自動相機總工作時數為 45,803 小時，共拍得哺乳動物有效照片 1,460 張。記錄到可以辨識到種的種類有白鼻心 (*Paguma larvata larvata*)、赤腹松鼠、臭鼩、犬及貓等 5 種，另有無法準確辨識到種的嚙齒目鼠科及鼯形目 (表 2)。野生動物以臭鼩 OI 值最高且分布最廣，除 A3 樣區外，其餘 7 個固定樣區皆有拍攝紀錄，野生食肉目動物僅白鼻心 1 種，在 A5 及 A6 樣區有拍攝紀錄 (表 2、圖 2)。

3. 籠具捕捉法

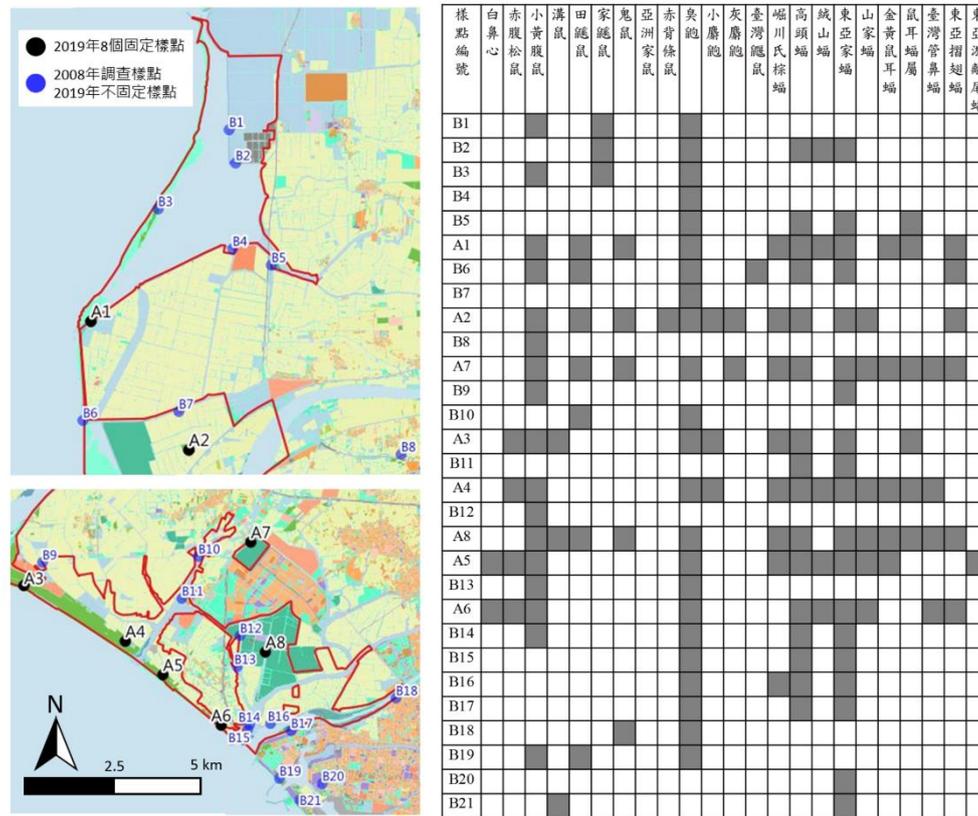


圖 2. 台江國家公園野生哺乳動物在各樣點的分布圖。灰色格為樣點有調查到該物種、白格為樣點無調查到該物種。

在 8 個固定樣區共捕獲 2 目 8 種 457 隻次的小型哺乳動物。其中以臭鼩最優勢，在 8 個樣區共捕獲 323 隻次，其次為小黃腹鼠在 8 個樣區捕獲 81 隻次、田鼯鼠在 4 個樣區捕獲 27 隻次、鬼鼠在 4 個樣區捕獲 12 隻次、小麝鼩在 3 個樣區捕獲 5 隻次、溝鼠在 2 個樣區捕獲 5 隻次、灰麝鼩在 2 個樣區捕獲 2 隻次及赤背條鼠在 1 個樣區捕獲 2 隻次。第一季到第四季小型哺乳動物整體捕獲率分別為 18.9%、19.2%、13.6%及 19.8% (圖 4)。除哺乳類外，研究期間第二季到第四季捕獲寄居蟹和蜥蜴等非哺乳動物的籠夜數量分別為 123 (19%)、181 (29%) 及 67 (3%)，第一季沒有完整記錄非哺乳動物的捕獲數量。8 個固定樣區全年 Shannon 多樣性指數以 A8 (北汕尾水鳥生態保護區) 最高，A7 (鵲鴿科生態保護區) 次之，A5 及 A6 最低 (表 3)。

在 16 個非固定樣區共捕獲 2 目 3 科 5 種 59 隻次，以臭鼩在 13 個樣點 (B9、B11、B12 以外) 捕獲 44 隻次最多，其次為小黃腹鼠在 6 個樣點 (B1、B3、B9、B12、B13-B14) 捕獲 8 隻次、家鼯鼠 (*Mus musculus*) 在 3 個樣區 (B1-B3) 捕獲 5 隻次、鬼鼠 (B18) 和田鼯鼠 (B10) 各 1 隻。總計籠具捕捉法共捕獲 9 種哺乳動物 (表 1，圖 2)。

4. 蝙蝠網具捕捉法

2019 年調查期間，蝙蝠網具共捕獲東亞家蝠 8 隻。第一季分別於 A3、A5 使用豎琴網捕捉到 3 隻東亞家蝠，第二季未捕獲任何蝙蝠，第三季分別於 A1、A6 使用豎琴網捕捉到 3 隻東亞家蝠，第四季於 A8 使用霧網捕捉到 2 隻東亞家蝠 (圖 2)。

5. 蝙蝠超音波偵測器調查法

2019 年於 8 個固定樣區蝙蝠超音波偵測

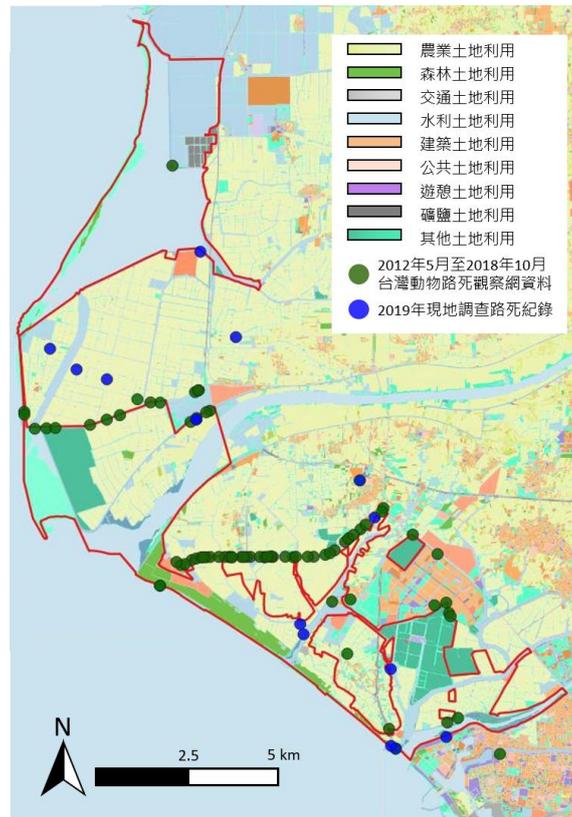


圖 3. 台江國家公園及其周緣地區哺乳動物路殺樣點分布。綠色圓點為 2012 年 5 月至 2018 年 10 月的臺灣動物路死觀察網資料、藍色圓點為 2019 年現地調查之路死紀錄。紅色框線為國家公園範圍

表 2. 2019 年台江國家公園內 8 個固定樣區以紅外線自動相機調查之工作時數、調查到之種類及出現頻度指數 (Occurrence Index, OI 值, 定義為每 1,000 相機工作小時拍攝到的有效照片數)

| 樣區 | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 總工作時數 | 5,468 | 3,689 | 5,961 | 7,320 | 7,611 | 6,596 | 4,565 | 4,593 |
| 白鼻心 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.48 | 0.15 | 0 | 0 |
| 赤腹松鼠 | 0 | 0 | 1.34 | 3.02 | 0.55 | 1.21 | 0 | 0 |
| 嚙齒目鼠科 | 94.55 | 31.99 | 0 | 1.4 | 6.34 | 2.27 | 10.51 | 7.84 |
| 臭鼬 | 2.19 | 2.44 | 0 | 0.99 | 5.75 | 6.97 | 0.44 | 0.22 |
| 鼯鼠目 | 0 | 0.54 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 犬 | 0.37 | 1.36 | 0.50 | 15.67 | 14.96 | 27.90 | 2.41 | 5.88 |
| | (1) | (3) | (1) | (12) | (17) | (10) | (2) | (6) |
| 貓 | 0 | 2.17 | 0.17 | 1.49 | 1.25 | 14.10 | 0 | 6.31 |
| | (0) | (1) | (1) | (3) | (1) | (5) | (0) | (1) |

註：犬及貓括弧中的數字為可辨識出的個體數；A4 及 A5 樣區各物種的 OI 值為 2 台紅外線自動相機 OI 值的平均值。

器共錄得蝙蝠有效音頻 25,324 筆，其中 4,073 筆僅能辨識到鼠耳蝠屬、114 筆僅能辨識到管鼻蝠屬，其餘 21,137 筆共辨識出 3 科 9 種 (表 1)，其中以東亞家蝠及高頭蝠有錄到較多的音

頻，且在 8 個固定樣區皆有紀錄。列為國家紅皮書國家易危等級 (Nationally Vulnerable, NVU) 之金黃鼠耳蝠 (*Myotis formosus flavus*) 在 A1、A4、A7、A8 等樣區有音頻紀錄 (圖 2)。

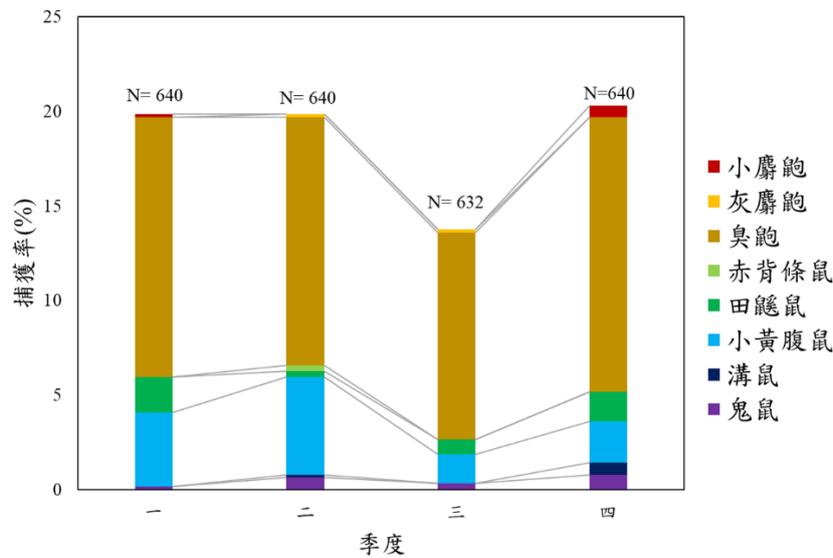


圖 4. 2019 年固定樣點籠具捕捉之各物種捕獲率。N 為每季之總籠次。第三季部分籠具遭竊，故不足 640 籠次。本研究第一季為 2-3 月、第二季為 4-6 月、第三季為 7-9 月、第四季為 10-11 月

表 3. 2019 年台江國家公園各季節 8 個固定樣區籠具捕捉之小型哺乳類 Shannon 多樣性指數 (H')。粗體為各季生物多樣性指數最高的樣區。各樣區位置參照圖 1。

| H' | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|--------------|
| 第一季 (2-3 月) | 0.659 | 0.898 | 0.726 | 0.641 | 0.535 | 0.287 | 1.103 | 1.321 |
| 第二季 (4-6 月) | 0.453 | 0.514 | 0.942 | 0.803 | 0.660 | 0.854 | 1.518 | 1.155 |
| 第三季 (7-9 月) | 0.185 | 0.569 | 0 | 0.562 | 0 | 0 | 0.927 | 1.433 |
| 第四季 (10-11 月) | 0 | 0.684 | 0.802 | 0.830 | 0.314 | 0.199 | 1.295 | 1.164 |
| 全年度 | 0.484 | 1.146 | 0.938 | 0.693 | 0.230 | 0.229 | 1.298 | 1.387 |

四、犬、貓對小型野生哺乳動物的影響

紅外線自動相機資料顯示，犬在 8 個樣區皆有紀錄，各固定樣區可辨識的個體數介於 1 到 17 隻之間，貓在 6 個樣區有紀錄，個體數介於 1 到 5 隻之間 (表 2)，A4 及 A8 樣區各拍攝到 1 筆貓捕食鼠類的照片。各樣區犬、貓的隻數與 OI 值呈現顯著正相關 (犬： $r=0.874$, $P=0.005$ ；貓： $r=0.507$, $P=0.305$)；各樣區犬、貓的隻數及 OI 值分別與臭鼯、鼠科鼠類之 OI 值及樣區內小型哺乳類的 Shannon 多樣性指數值進行斯皮爾曼相關分析，結果皆無顯著相關 (所有 $P>0.05$)。針對有效照片數較多的臭鼯、鼠科鼠類、犬及貓進行日活動模式分析，結果顯示臭鼯為夜行性，鼠科鼠類偏夜行

性，但白天有少許活動紀錄，犬偏日行性，上午及下午各有一個活動高峰，貓則偏夜行性 (圖 5)。犬與鼠科鼠類及臭鼯的平均活動重疊係數分別為 0.38 (95%CI: 0.34-0.42) 及 0.23 (95%CI: 0.17-0.28)，貓跟鼠科鼠類及臭鼯的平均活動重疊係數分別為 0.84 (95%CI: 0.76-0.90) 及 0.79 (95%CI: 0.71-0.86)。

討論

一、台江國家公園的哺乳動物組成

本研究在台江國家公園範圍及周緣地區共記錄到 4 目 8 科 23 種野生動物 (表 1) 及外來種的犬與貓。與前人的文獻比較，本研究未

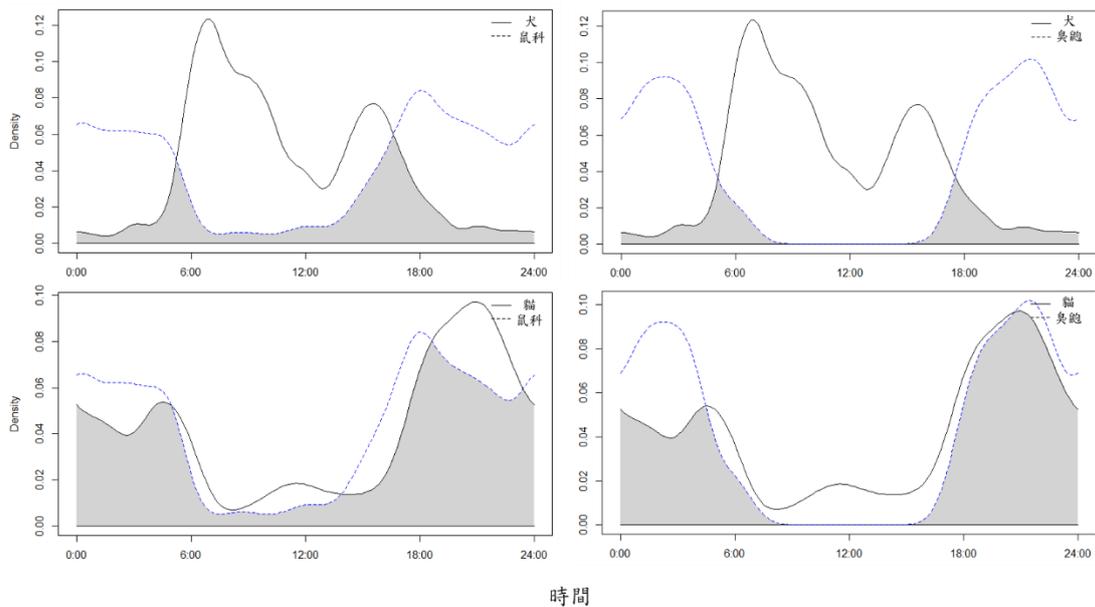


圖 5. 台江國家公園犬、貓、鼠科鼠類和臭鼩的活動模式，灰色區域代表活動時間重疊。活動重疊係數，犬與鼠科鼠類為 0.38 (95%CI: 0.34-0.42)，犬與臭鼩為 0.23 (95%CI: 0.17-0.28)，貓與鼠科鼠類為 0.84 (95%CI: 0.76-0.90)，貓與臭鼩為 0.79 (95%CI: 0.71-0.86)。

記錄到刺鼠、緬甸小鼠 (衍生工程顧問有限公司 2010)及長趾鼠耳蝠 (*Myotis secundus*) (周政翰 2017)。前人文獻中提及之刺鼠及緬甸小鼠皆於安南沿岸保安林特別景觀區所捕獲 (衍生工程顧問有限公司 2010)，即本研究 2019 年現地調查的 A5、A6 固定樣區。刺鼠主要分布在臺灣中低海拔的森林，而過去發現的緬甸小鼠主要分布在花蓮縣吉安鄉，棲息地偏好於 1 m 以下非禾本科草本植物 (吳海音等 2001)。本研究在多數捕捉樣點皆捕獲到小黃腹鼠，但無捕獲刺鼠或緬甸小鼠。A5 及 A6 樣區屬於台江國家公園安南沿岸保安林特別景觀區，在過去 10 年間並無明顯棲地改變，應無導致該兩物種族群消失的因子，而刺鼠及緬甸小鼠的體型及外部形態與小黃腹鼠相近，本研究推論前人文獻中有關刺鼠及緬甸小鼠的紀錄極有可能皆為小黃腹鼠的誤認。

本研究記錄到長尾鼠耳蝠的路殺個體及管鼻蝠屬蝙蝠的音頻，兩者皆為台江國家公園的新紀錄。臺灣已知有 6 種管鼻蝠屬種類 (Huang *et al.* 2020)，部份種類其超音波頻率及結構相似，難以用來準確區分物種，然而本團

隊過去在低海拔地區捕獲的管鼻蝠屬物種皆為臺灣管鼻蝠 (*Murina puta*) (劉建男未發表資料)，且嘉義東石鰲鼓濕地有臺灣管鼻蝠記錄 (方引平 2017)，因此本研究記錄到的種類推測為臺灣管鼻蝠。台江國家管理處同仁指出民眾曾於鹽水溪沿岸之湖濱水鳥公園目擊臺灣野兔 (*Lepus sinensis formosus*) 出沒 (郭暉嫩 私人通訊)，然而本文作者於 11 月中旬以步行的方式於湖濱水鳥公園沿岸之草地進行調查，沒有發現任何野兔的排遺或其他跡象，因此無法確定是否有臺灣野兔的分布。綜合本研究及前人研究，刪除刺鼠與緬甸小鼠後，台江國家公園及周緣地區之陸域野生哺乳動物共 4 目 8 科 24 種，加上外來種的犬、貓則有 26 種哺乳動物 (表 1)。

二、物種分布及相對豐富度

在台江國家公園的沿海防風林及濕地生態系，非飛行性哺乳類以臭鼩最優勢且分布最廣，幾乎在所有捕捉樣區或自動相機樣點都有發現，其次為小黃腹鼠，這結果與其他沿海濕地哺乳動物相調查結果吻合 (宜蘭縣政府

2015, 李培芬等 2018)。田鼯鼠分布於 A1、A2、A7、A8，家鼯鼠則分布於鹽田海堤觀夕步道周遭 (B1)、觀海樓 (B2)、網仔寮沙洲 (B3)，兩者分布不重疊。在國外的研究中，此兩物種分布不重疊，田鼯鼠主要活動於稻田、甘蔗田、草地，家鼯鼠則與人類關係密切 (Auffray and Britton-Davidian 2012)，與本研究結果類似。

除赤腹松鼠以外，台江國家公園的小型哺乳動物主要活動於森林底層或落葉層、灌木叢或草地。國外的研究顯示，小型哺乳類是濕地生態系重要的消費者，而部分植食或雜食性的小型哺乳類，對於植物種子傳播、植物更新、抑制優勢植物種類、維持原生植物多樣性和群聚結構可能扮演重要角色 (Crain 2008, Gendan *et al.* 2009)。臺灣沿海有許多重要的濕地，這些重要濕地的哺乳動物相關研究相當缺乏，目前皆僅有名錄的調查，未來研究可朝向了解哺乳類在臺灣沿海溼地生態系所扮演的生態系統服務功能進行探討。

沿海濕地及防風林通常棲地較零碎且無大面積森林，因此食肉目動物種類較少，本研究在安南沿岸保安林特別景觀區 (A5、A6) 記錄到白鼻心。白鼻心廣泛分布在低到高海拔的森林、果園及農墾地，對環境的適應力佳。近幾年在臺中市區及臺南市區皆有白鼻心在民宅附近出沒、甚至生殖的紀錄 (林文隆、曾翌碩未發表資料)，何宗恆 (2019) 亦在雲林新虎尾溪下游的濱溪植群中有記錄到白鼻心活動。本研究推測沿海防風林的白鼻心可能是透過濱溪綠帶由淺山地區擴散而來。

本研究在台江國家公園記錄到 9 種蝙蝠，以東亞家蝠及高頭蝠分布最廣 (圖 2)，幾乎在每個超音波偵測器的樣點皆有發現記錄。東亞家蝠廣泛分布在低海拔地區，會利用住家或建築物做為棲所，本研究亦觀察到東亞家蝠棲息在台江國家公園管理處 (行政中心) 的蚵殼裝飾牆內。本研究範圍內沒有發現高頭蝠的日棲所，但位於安南區青草國小內的華盛頓椰子有高頭蝠的日棲所，七股黑面琵鷺生態展示館周邊的蝙蝠屋亦曾有高頭蝠使用紀錄。本研究在

A1、A4、A7 及 A8 樣區錄到臺灣陸域哺乳類紅皮書名錄中列為國家易危等級的金黃鼠耳蝠 (鄭錫奇等 2017b) 的回聲定位叫聲，但未發現其日棲所。金黃鼠耳蝠於春季至夏末主要分布於嘉南平原及鄰近地區，棲息於建築物或樹葉叢，偏好於開闊地 (如田間) 覓食，關於該物種的分布與數量目前所知有限 (張恆嘉等 2005, 何英毅等 2014)。

三、犬、貓對野生哺乳動物的影響

本研究 8 個樣區皆有犬及貓分布。許多國外的研究顯示，犬對於哺乳動物的分布及豐富度皆有不良的影響 (e.g., Doherty *et al.* 2017, Farris *et al.* 2017)，Yen *et al.* (2019) 在陽明山國家公園的研究亦顯示，犬會降低哺乳動物的活動量。台江國家公園範圍內體型較大的野生哺乳動物僅有白鼻心一種，僅侷限分布在安南沿岸保安林特別景觀區 (A5 及 A6 樣區)，由於白鼻心相片資料不足，無法分析是否其活動是否受到犬的影響。嚙齒目鼠科及鼩形目等小型哺乳動物活動以夜間為主，犬隻則主要在白天活動，所以犬隻雖然廣泛分布，但兩者的活動時間重疊度低，兩者 OI 值亦沒有顯著相關，推測在台江國家公園犬對小型哺乳動物的數量或活動影響不大。然而，貓偏夜間活動，與嚙齒目鼠科及鼩形目的活動時間重疊度高，有較高的機會遇到並捕食小型哺乳動物，本研究自動相機亦拍攝到數筆貓於夜間捕捉到鼠類的照片，但貓在樣區範圍的數量較少，因此在小型哺乳動物的 OI 值上並沒有呈現顯著的負面影響。犬貓對野生動物除了獵捕及競爭以外，也可能會造成跨物種疾病感染 (Doherty *et al.* 2017, Yen *et al.* 2019)；因此，降低國家公園內的遊蕩犬貓數量，仍有其必要性。

結論

本研究在台江國家公園濕地生態系記錄到 23 種野生哺乳動物。其中，非飛行性哺乳動物以鼩形目臭鼩及嚙齒目小黃腹鼠最為優

勢，野生食肉目則僅有白鼻心 1 種，蝙蝠以東亞家蝠及高頭蝠有最多的音頻紀錄。本研究呈現台江國家公園防風林及溼地生態系的哺乳動物種類組成、分布及相對豐富度，提供未來深入探討這些哺乳動物在食物網的能量流動、害蟲數量控制、植物種子傳播、更新及生物多樣性維持等生態系統服務功能上所扮演的角色的基礎。

台江國家公園具有多樣的棲地類型及豐富的生物多樣性，其中食肉目的白鼻心及臺灣陸域哺乳類紅皮書名錄中列為國家易危等級的金黃鼠耳蝠的族群現況較不清楚，可列為未來調查及監測的重點物種。國家公園雖然對於棲地有極佳的保護，然而國家公園內仍可發現遊蕩犬貓，對野生哺乳類及其它野生動物具有一定程度的威脅。因此，降低國家公園範圍內遊蕩犬貓的數量，尤其 Shannon 多樣性指數最高鹿耳門鸕鶿科生態保護區 (A7)及北汕尾水鳥生態保護區 (A8)，應視為重要的工作。

誌謝

本研究承蒙台江國家公園的經費補助 (108 年度台江國家公園陸域哺乳類生態資源基礎調查，契約編號：108-C23)及各級長官與郭暉嫩小姐在行政作業上的協助，另生態保護區巡查員許滄逸先生、黃奕超先生及邱姿儀小姐協助研究人員進入樣區調查，特此致謝。另感謝臺南市政府農業局在行政作業上的協助，以及國立嘉義大學森林暨自然資源學系劉昀杰、郭景嘉、劉晉廷、楊景文、羅文玟、動物科學系郭綦穎、水生生物學系黃彥惟協助野外工作。

引用文獻

內政部。2010。國家重要濕地保育計畫 (100-105 年)。
內政部。2018a。許厝港重要濕地 (國家級)保育利用計畫。

內政部。2018b。鰲鼓重要濕地(國家級)保育利用計畫。

方引平。2017。鰲鼓與水社寮蝙蝠資源調查及「夜婆」再版製作委託研究案。行政院農業委員會林務局嘉義林區管理處。

毛俊傑、鄭祖浩、鄭倩嫻、戴士恩、蘇庭弘。2006。大礁溪林場野生哺乳動物資源調查。宜蘭大學生物資源學刊 1:43-51

王穎、許嘉恩、黃家勤、黃銘志。2012。台江國家公園黑面琵鷺族群生態及棲地經營管理計畫 (101)。台江國家公園管理處，臺南市。

何宗恆。2019。新虎尾溪濱水帶植群組成與動物調查之研究。國立嘉義大學森林暨自然資源學系碩士論文，75 頁。

何英毅、周政翰、林清隆、張恆嘉、陳宏彰、張育誠、蕭淳任、尤宜雅。2014。金黃鼠耳蝠於嘉南平原及周邊地區之分布及數量調查。行政院農委會林務局。

吳海音、吳逸華、儲瑞華、林耀松。2001。緬甸小鼠在臺灣之發生及防治。植物保護學會會刊 43:205-214。

李培芬、林志融、曾威捷、周時平。2018。106-107 年度許厝港重要濕地(國家級)基礎調查計畫。桃園市政府海岸管理處，桃園市。

周政翰。2017。台江國家公園試行公民科學家蝙蝠回聲定位調查計畫 (106)。台江國家公園管理處，臺南市。

宜蘭縣政府。2015。無尾港水鳥保護區保育計畫。內政部。

林幸助、李麗華、邵廣昭、邱郁文、張原謀、許皓捷、陳宣汶、陳添水、劉弼仁、薛美莉、謝宗欣、謝蕙蓮、羅文增。2011。台江國家公園及周緣地區重要生物類群分佈及海岸濕地河口生態系變遷。台江國家公園管理處，臺南市。

成功大學水工試驗所。2018。成龍濕地保育利用及經營管理規劃 (第三年)。內政部營建署。

衍生工程顧問有限公司。2010。台江黑水溝國

- 家公園區內生態旅遊資源調查暨經營管理先期規劃案。內政部營建署。
- 張恒嘉、林良恭、鄭先祐。2005。金黃鼠耳蝠 (*Myotis formosus*) 在臺灣西南部城鄉林地之棲所選擇與數量變動。臺灣人文生態研究 7:79-96
- 張原謀、莊孟憲、宋紹民、黃議新、藍浩維、楊智宇、鄭智軒、吳俊毅、王朝威。2018。臺江國家公園兩棲爬蟲動物相調查。國家公園學報 28(2):56-70。
- 郭東輝。2018。107 年台江國家公園及其週緣地區黑面琵鷺數量調查。台江國家公園管理處。
- 黃守忠。2018。106-107 年度大肚溪口國家級重要濕地基礎調查。社團法人臺灣濕地學會。
- 裴家騏、姜博仁。2002。大武山自然保留區和周邊地區雲豹及其他中大型哺乳動物之現況與保育研究 (一)。行政院農委會林務局研究系列 90-6 號。
- 裴家騏。2010。100 年度墾丁國家公園陸域野生哺乳類動物調查。墾丁國家公園管理處。
- 鄺錫奇、方引平、周政翰。2017a。臺灣蝙蝠圖鑑 (第三版)。行政院農業委員會特有生物研究保育中心。
- 鄺錫奇、張簡琳玟、林瑞興、楊正雄、張仕緯。2017b。2017 臺灣陸域哺乳類紅皮書名錄。行政院農業委員會特有生物研究保育中心。
- 謝宗欣。2019。台江國家公園植物資源調查。台江國家公園管理處，台南市。
- 莊玉珍、王惠芳。2001。臺灣的濕地。遠足文化。
- Auffray JC and J Britton-Davidian. 2012. The house mouse and its relatives: systematics and taxonomy. pp. 1-34. In Macholán M, SJE Baird, P Munclinger and J Piálek (eds), Evolution of the House Mouse, Cambridge University Press, Cambridge, England.
- Batzer DP, R Cooper, and SA Wissinger. 2006. Wetland animal ecology. Ecology of freshwater and estuarine wetlands. University of California Press, Berkeley, CA, USA, 242-284.
- Chou C-H and H-C Cheng. 2012. Echolocation calls of insectivorous bats of Taiwan. *Taiwan Journal of Biodiversity* 14:33-62.
- Crain CM. 2008. Interactions between marsh plant species vary in direction and strength depending on environmental and consumer context. *Journal of Ecology* 96:166-173
- Doherty, TS, CR. Dickman, AS Glen, TM Newsome, DG Nimmo, EG Ritchie, AT Vanak, AJ Wirsing. 2017. The global impacts of domestic dogs on threatened vertebrates. *Biological Conservation* 210:56-59.
- Dooley Jr JL and MA Bowers. 1996. Influences of patch size and microhabitat on the demography of two old-field rodents. *Oikos* 75:453-462.
- Farris ZJ, BD Gerber, K Valenta, R Rafaliarison, JC Razafimahaimodison, E Larney, T Rajaonarivelo, Z Randriana, PC Wright, CA Chapman. 2017. Threats to a rainforest carnivore community: A multi-year assessment of occupancy and co-occurrence in Madagascar. *Biological Conservation* 210:116-124.
- Gedan KB, CM Crain and MD Bertness. 2009. Small-mammal herbivore control of secondary succession in New England tidal marshes. *Ecology* 90:430-440.
- Huang, CJ, YY Ho and HC Kuo. 2020. Illustrated field keys to the bats (Mammalia: Chiroptera) of Taiwan. *Journal of Threatened Taxa* 12:15675-15710.
- Jones G and E Teeling. 2006. The evolution of echolocation in bats. *Trends in Ecology and Evolution* 21:149-156.
- Kunz TH, E Braun de Torrez, D Bauer, T Lobova, and TH Fleming. 2011. Ecosystem services provided by bats. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1223:1-38
- Lacher Jr TE, AD Davidson, TH Fleming, EP Gómez-Ruiz, GF McCracken, N Owen-Smith, CA Peres and SB Vander Wall. 2019. The functional roles of mammals in ecosystems. *Journal of Mammalogy* 100:942-964.
- Maltby E and MC Acreman. 2011. Ecosystem services of wetlands: pathfinder for a new paradigm. *Hydrological Sciences Journal* 56:1341-1359.
- Martin G. 2003. The role of small ground-foraging mammals in topsoil health and biodiversity: Implications to management and restoration. *Ecological Management & Restoration* 4:114-119.
- Mass B, DS Karp, S Bumrungsri, K Darras, D Gonthier, J-C Huang, CA Lindell, JJ Maine, L Mestre, NL Michel, EB Morrison, I Perfecto, SM Philpott, CH Sekercioglu, RM Silva, PJ Taylor, T Tschardtke, SA Van Bael, CJ Whelan and WG Kimberly. 2016. Bird and bat predation services in tropical forests and agroforestry landscapes. *Biological Reviews* 91:1081-1101.
- Monterroso, P, PC Alves and P Ferreras. 2014. Plasticity in circadian activity patterns of mesocarnivores in Southwestern Europe:

- implications for species coexistence. *Behavioural and Ecological Sociobiology* 68:1403-1417.
- Muscarella R and TH Fleming. 2007. The role of frugivorous bats in tropical forest succession. *Biological Reviews* 82:573-590.
- Ofori BY, DK Attuquayefio, EH Owusu, Y Musah and Y Ntiamo-Baidu. 2016. Spatio-temporal variation in small mammal species richness, relative abundance and body mass reveal changes in a coastal wetland ecosystem in Ghana. *Environmental monitoring and assessment* 188:330.
- R Development Core Team. 2008. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>
- Ridout M and M. Linkie. 2009. Estimating overlap of daily activity patterns from camera trap data. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics* 14:22-337.
- Ripple WJ, JA Estes, RL Beschta, CC Wilmers, EG Ritchie, M Hebblewhite, J Berger, B Elmhagen, M Letnic, MP Nelson and OJ Schmitz. 2014. Status and ecological effects of the world's largest carnivores. *Science* 343:1241-1248.
- Russo D and G Jones. 2015. Bat as bioindicators: an introduction. *Mammalian Biology* 80:157-158.
- Shannon CE. 1948. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal* 27:379-423 and 623-656.
- Yen, SC, YT Ju, P.J.L Shaner and HL Chen. 2019. Spatial and temporal relationship between native mammals and free-roaming dogs in a protected area surrounded by a metropolis. *Scientific Reports* 9:8161.

澎湖南方四島國家公園微孔珊瑚骨骼 硼同位素組成及海洋酸化速率之評估

林彥伯¹，游鎮烽^{1,2}，鍾全雄¹

¹國立成功大學 地球科學系；²通訊作者 E-mail: cfy20@mail.ncku.edu.tw

[摘要] 海洋碳酸鈣中的硼同位素比值可做為海水 pH 值代用指標，用以回推過去海洋酸鹼值變化。本研究以 2008 年採集澎湖南方四島國家公園東吉嶼的塊狀微孔珊瑚 (*Porites* sp.) 骨骼中硼同位素組成，來估算澎湖南方四島海水 pH 值。所採集珊瑚骨骼切片之 X 射線照相顯示，此珊瑚群體生長於 1988-2008。1999-2005 珊瑚骨骼硼同位素組成($\delta^{11}\text{B}$)為 24.9‰至 26.7‰，季節變化差異最大可達 1.8‰；配合七美嶼海洋監測站 pH 資料，推算出澎湖珊瑚骨骼與海水間硼同位素之分化係數為 1.0194，並依此計算當地海水 pH 變化範圍在 8.1-8.3 間，夏季有較低的 pH 值。此結果未來將可應用於估算長時間尺度海洋酸化速率，並評估海洋酸化對於澎湖珊瑚礁生態系統的影響。

關鍵字：澎湖、珊瑚、硼同位素、海洋酸化、pH

The Boron Isotopic Composition in *Porites* sp. Coral Skeletons and an Evaluation of Ocean Acidification in South Penghu Marine National Park

Yen-Po Lin¹, Chen-Feng You^{1,2} and Chuan-Hsiung Chung¹

¹Department of Earth Sciences, National Cheng Kung University; ²Correspondence:
cfy20@mail.ncku.edu.tw

ABSTRACT The boron isotopic composition of marine calcium carbonate is widely used as a proxy for seawater pH. In order to evaluate the ocean acidification rate in South Penghu Marine National Park (SPMNP), a massive living coral colony *Porites* sp. was collected around the offshore of Dongji Island in 2008. The X-ray photograph reveals that the collected specimen grew in 1988-2008. The $\delta^{11}\text{B}$ of Dongji Island *Porites* ranged from 24.9‰ to 26.7‰ and the annual variation was up to 1.8‰ during the growth period of 1999 to 2005. Combining the boron isotopic proxy results with the *in situ* seawater pH measurement, the boron isotopic fractionation factor between the coral skeleton and seawater in the studied region was estimated to be 1.0194. The calculated pH values in the Dongji Island coral area were 8.1-8.3 with low pH during the summer period. These results enabled us to calculate long-term ocean acidification rate in Penghu and evaluate how coral reefs of SPMNP are influenced by ocean acidification.

Keywords: Penghu, coral, boron isotope, ocean acidification, pH

前言

一、海洋酸化與 pH 值代用指標

評估過去海水酸鹼值變化並瞭解海洋酸化趨勢，是研究環境變遷的重要議題。過去 250 年來，大氣二氧化碳濃度顯著提升，從工業革命前約 280 ppm 至今超過 400 ppm (Etheridge *et al.* 1996)。人類排放的二氧化碳約有 30-40% 會溶解至海洋、河流和湖泊等水體中 (Millero 1995, Feely *et al.* 2004)，溶解的二氧化碳會和水生成碳酸，導致海水的酸度上升。大氣二氧化碳濃度提升將使海水 pH 值下降。過去三十年以來，表層海水的 pH 值平均每十年下降 0.02，自工業革命以來平均表層海水 pH 值已下降超過 0.1 (Hoegh-Guldberg and Bruno 2010)。海洋酸化將降低海水碳酸鈣飽和濃度，對於碳酸鈣殼體海洋生物 (珊瑚、鈣質有孔蟲) 的骨骼構造以及環境生態上有顯著影響 (Orr *et al.* 2005, Mora *et al.* 2013)。

珊瑚礁生態系統為澎湖南方四島國家公園重要而珍貴的海洋資源，需瞭解此區域海洋酸化速率，並評估海洋酸化對珊瑚生態系之影響。珊瑚礁生態系具有高經濟價值的觀光、休憩、漁撈等功能，但對於環境因素反應靈敏，海洋酸化將使珊瑚鈣化作用速率的降低，影響珊瑚造礁速率，嚴重海洋酸化將導致珊瑚礁生態系統破壞。海洋酸化速率受各地海水二氧化碳溶解度、水氣交換速率等因素影響，各區域有顯著異 (Caldeira and Wickett 2003, Takahashi *et al.* 2009, Bates *et al.* 2014)；需瞭解過去澎湖海洋酸化速率，才能預測未來海水 pH 變化並評估未來海洋酸化對澎湖珊瑚生態系統的衝擊。

珊瑚骨骼中的硼同位素比值可做為海水 pH 值代用指標，可記錄過去百年來海洋酸鹼值變化 (Sanyal *et al.* 1995)。珊瑚廣泛生長於熱帶淺海水域，而珊瑚骨骼中的化學組成變化，會受到環境因素 (如溫度、pH 值等) 影響 (Hönisch *et al.* 2004)，且部分珊瑚骨

骼具有清晰易辨的生長紋可供精確定年，故珊瑚可提供長期而連續的環境紀錄 (Wefer *et al.* 1999)。

珊瑚骨骼中硼同位素比值主要受 pH 值因素所控制，但也會受溫度、鹽度等海水物理特性而變化。不同區域由於其海水物理特性不同，需建立各區域不同的硼同位素對海水 pH 值變化之校正曲線 (Krief *et al.* 2010)。本研究預期精確分析澎湖珊瑚骨骼硼同位素組成，並與現有海域水質監測與指標資料進行對比，建立澎湖地區硼同位素對海水 pH 值之關係公式，以期未來能應用於百年時間尺度的海洋酸化速率評估。

二、臺灣珊瑚骨骼硼同位素記錄相關研究

使用珊瑚骨骼中硼同位素組成，用以評估臺灣周遭海域海洋酸化速率，為新興且重要之研究。過去在綠島與蘭嶼的微孔珊瑚硼同位素相關研究，已證明臺灣珊瑚硼同位素能反映過去海水 pH 值。綠島珊瑚骨骼硼同位素的季節性變化可能主要與黑潮的季節性擺盪、菲律賓海與南海水團的分佈、湧升流強度的變化有關 (王博賢 2005)。蘭嶼珊瑚硼同位素有季節性的變化，在較冷的時期則有高的 pH 值，此結果與在西太平洋所觀測到的現代表水 pCO_2 變化相符。證實蘭嶼珊瑚所記錄的硼同位素值可以忠實反映西太平洋海水 pH 值變化 (林佩穎 2009)。黃國芳 (2017) 研究東沙微孔珊瑚，其結果顯示硼同位比值與佈放的 pH 探針所記錄結果變化相近，並有望用於探討海洋酸化對東沙環礁生態系統的影響 (黃國芳 2017)。

由上述研究可知，珊瑚骨骼中硼同位素組成可用以估算臺灣周遭海域海洋 pH 值，且 pH 值的季節性變化與週期性的黑潮擺盪及水溫有密切相關。各區域硼同位素比值隨季節變化程度仍有所差異。澎湖海域夏季之西南季風使黑潮增強，黑潮支流大部份進入臺灣海峽，使澎湖周遭海域水溫及

鹽度上升；冬季時東北季風增強，中國沿岸冷流增強，使澎湖區域海水水溫較臺灣沿海岸水溫度較低。王玉懷等 (2012)對澎湖南方四島及周遭島礁進行海流監測，澎湖海域海流主要受到潮汐漲退影響，島附近流場方向則受地形主導；全年平均海流以夏季流場較冬季流場強，漲潮流場又比退潮流場強。澎湖區域海水溫度與水團來源隨季節變化顯著，澎湖珊瑚骨骼儲存了周遭海域酸鹼值隨季節變化之紀錄，因此硼同位素組成應可做為靈敏的環境紀錄器。

澎湖周遭烏坎、紗帽山、龍門、吉貝嶼、七美嶼、望安嶼等海域，以及外垵四海湮外皆有海水水質測站，量測氣溫、水溫、鹽度、酸鹼值等重要參數。將近期珊瑚骨骼中硼同位素比值與海水測站中各參數對比，建立澎湖附近海域珊瑚硼同位素與 pH 值關係曲線。未來研究可將分析海水水質測站建立以前的珊瑚樣品，並將硼同位素分析結果與 pH 值關係曲線結合，推算水質測站建立以前的澎湖海水 pH 變化。由於海水 pH 值變化受控於溫度以及洋流的影響，因此不只可準確得知過去每年各季節的 pH 值變化甚至可推估過去黑潮強弱擺盪變化。

珊瑚硼同位素並不限於瞭解季節性的 pH 值變化，長年 pH 值紀錄也可用於研究海水酸化速率。Shinjo *et al.* (2013)研究 1940–1999 年關島過去微孔珊瑚骨骼的硼同位素變化，硼同位素比值共下降 0.39%，指示表面海水 pH 值下降 0.05–0.08。由於各海域海洋酸化速率不同，建立澎湖硼同位素與 pH 值關係曲線後，亦可用來評估澎湖長時間尺度海洋酸化速率。

三、珊瑚骨骼硼同位素作為海水 pH 值相關原理

硼在自然界有兩個穩定核種，¹¹B 和 ¹⁰B，豐度分別為 80%與 20%。硼同位素表示方法為：

$$\delta^{11}\text{B} = \left[\frac{(^{11}\text{B}/^{10}\text{B})_{\text{sample}}}{(^{11}\text{B}/^{10}\text{B})_{\text{std}}} - 1 \right] \times 1000\text{‰}$$

(¹¹B/¹⁰B)_{sample}與(¹¹B/¹⁰B)_{std}分別為硼同位素在樣品與標準品 NIST SRM 951 的同位素比值。

硼在海水中以 B(OH)₃與 B(OH)₄兩種形式存在，B(OH)₃與 B(OH)₄兩者的硼同位素比值(δ¹¹B_{B(OH)₄}⁻、δ¹¹B_{B(OH)₃})隨海洋 pH 變化。δ¹¹B_{B(OH)₄}⁻、δ¹¹B_{B(OH)₃}隨 pH 降低而下降，在 pH=7-10 環境下 δ¹¹B_{B(OH)₄}⁻與 δ¹¹B_{B(OH)₃}對 pH 變化極為靈敏，可適用於評估海水 pH 值變化 (現在海水 pH=8.2)。

δ¹¹B_{B(OH)₄}⁻對 pH 的理論公式為：

$$\text{pH} = \text{pK}_B - \log \left[\frac{\delta^{11}\text{B}_{\text{sw}} - \delta^{11}\text{B}_{\text{B(OH)}_4^-}}{\delta^{11}\text{B}_{\text{B(OH)}_4^-} \cdot \alpha - \delta^{11}\text{B}_{\text{sw}} + 1000 \cdot (\alpha - 1)} \right]$$

在分化係數 (α)、解離常數 (K_B)、海水硼同位素 (δ¹¹B_{sw}) 已知情況下，可由 B(OH)₄⁻硼同位素 (δ¹¹B_{B(OH)₄}⁻) 估算海洋 pH 值。

珊瑚骨骼等碳酸鹽為評估海洋 pH 值的重要材料。在海洋碳酸鹽沉澱過程中，海水中 B(OH)₄⁻會與碳酸鹽形成共沉澱，並紀錄海水中 B(OH)₄⁻硼同位素比值，過去許多研究證明，碳酸鹽中的硼同位素比值會與環境 pH 值有良好關係，如無機方解石 (Sanyal *et al.* 2000)、生物性方解石 (有孔蟲) (Spivack *et al.* 1993; Sanyal *et al.* 1995)與叢石 (珊瑚) (Hönisch *et al.* 2004)。當使用碳酸鹽估算海洋 pH 值，有三個重要假設 (Hemming and Hanson 1992, Hemming *et al.* 1995):

- (1) 只有 B(OH)₄⁻才會與碳酸鹽產生共沉澱，碳酸鹽所紀錄的硼同位素比值可視為過去海水 B(OH)₄⁻的硼同位素比值。
- (2) 碳酸鹽沉澱過程沒有額外的硼同位素分化。
- (3) 在駐留時間內的海水硼同位素組成沒有顯著變化，將海水的硼同位素組成視為恆定。

當上述假設成立時，可藉由量測碳酸

鹽中硼同位素比值，視為海水中 $B(OH)_4^-$ 硼同位素比值並用以計算過去海水 pH 值。

隨著珊瑚相關研究的持續進步，Allemand *et al.* (2004) 指出，珊瑚骨骼的形成受生理作用影響，在不同種屬中有明顯差異。但沉澱的霰石微量元素來自周圍海水，仍可作為反映環境的代用指標 (Allemand *et al.* 2004)。Hönisch *et al.* (2004) 則是針對珊瑚鈣化生理過程對硼同位素影響進行評估。在相同環境下，相同種屬的珊瑚骨骼具有相近的同位素比值，而不同種屬間則有顯著差異。透過這些珊瑚生理作用對硼同位素的影響的研究，可使得估算過去海水 pH 變化能更加精確。

材料與方法

一、本研究標本係於 2008 年 8 月以潛水採集，生活於水深 5 公尺之現生團塊型微孔珊瑚 (*Porites* sp.)；採集點 WGS84 座標系統定位是北緯 23°15'14.5"，東經 119°39'54.5" (圖 1)，距離東吉嶼碼頭海堤以西約 150 公尺處。對珊瑚骨骼取回後進行拍照與初步觀察。

樣品微取樣 (sub-sampling) 是使用珊瑚骨骼中同位素作為環境代用指標的重要工作。將標本清洗後，珊瑚標本切鋸成厚約 1 公分之薄片，鋸片機附有水冷裝置，可降低切割過程因鋸片過熱所造成之樣品損壞。

進行微取樣前，先以 X 射線照相珊瑚骨骼切片；所觀察的明暗帶可辨識此珊瑚骨骼生長輪紋，有助於判斷珊瑚生長的時間；造礁珊瑚在夏季生長速率快，骨骼相對較疏鬆，X 射線照相顯示為亮帶。於生長軸上規劃微取樣位置，用手持鑽頭沿珊瑚生長剖面進行樣品微取樣，每個樣品約取樣 3 毫克，取 1999 年到 2004 年，時間解析度約為 6 個月，共採 12 個樣品 (圖 2)。

二、化學前處理與硼同位素分析

珊瑚之清洗與化學前處理步驟是參考

Hönisch and Hemming (2005) 的方法。將樣品以 6-14% NaOCl 與去離子水清洗後，可去除表面有機物質與可溶性鹽類，之後加入 1N HNO₃，將珊瑚骨骼樣品進行溶樣。硼元素純化則採用 Wang *et al.* (2010) 所發表的微昇華純化技術，其優點為可避免繁瑣的管柱純化，並有效除去有機質和鹽類的干擾。適用於珊瑚、有孔蟲等碳酸鹽生物殼體的硼元素純化技術。

硼同位素分析使用國立成功大學地球科學系多接受器感應耦合電漿質譜儀 (Multicollector inductively coupled plasma mass spectrometry, MC-ICP-MS) 進行分析。並同時分析國際標準品 NBS SRM 951 與生物性碳酸鈣測定選用標準品 (standard material) JcP-1 (現生珊瑚 *Porites* sp.)。對化學分析進行品質控管，以達高精確度之硼同位素分析成果。

三、建立澎湖南方四島及附近海域珊瑚硼同位素與 pH 值關係曲線

將珊瑚骨骼中硼同位素比值與周遭海水測站中 pH 值、溫度、鹽度進行對比。過去研究表明，珊瑚骨骼中硼同位素比值主要受 pH 值因素所控制，但也會受溫度、鹽度等物理特性影響。因此需對數據做謹慎評估，探討此區域硼同位素變化是否主要受 pH 值影響，以及硼同位素比值在鹽度與溫度改變時所產生的影響。

若此區域 pH 值為硼同位素變化主要控制因素，便可建立澎湖南方四島附近海域珊瑚硼同位素與 pH 值關係曲線，並將溫度、鹽度的影響修正。Krief *et al.* (2010) 研究顯示，在溫度、鹽度固定條件下 (鹽度 36.4‰、27°C)，珊瑚骨骼硼同位素值與 pH 值有良好相關性，並由此相關性得出珊瑚骨骼與海水間硼同位素分化係數為 1.0194。然而當鹽度與溫度改變時，珊瑚骨骼硼同位素的分化係數便會有所改變。由於澎湖區域海水溫度、鹽度隨季節變化明顯 (附錄二)。因此

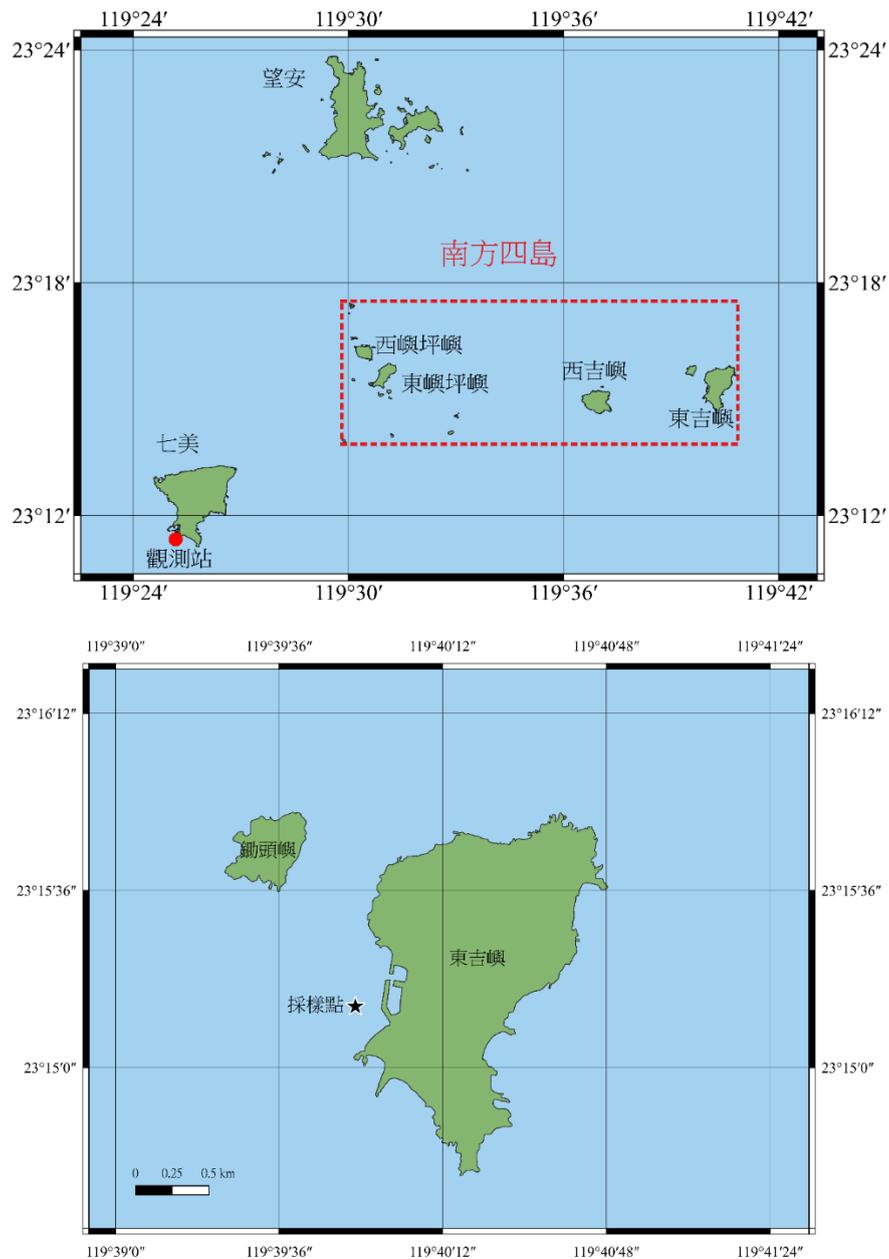


圖 1. (a) 澎湖南方四島國家公園示意圖。紅點為七美海水測站位置。(b) 東吉嶼地圖，星號為採樣點位置

現有的校正曲線可能並不完全適用，需由已知鹽度與溫度找出適合的硼同位素分化係數，才能建立此區域的關係曲線。檢視硼同位素對 pH 值靈敏程度。建立硼同位素與 pH 值關係曲線後，將現有硼同位素數據帶入推算，並將由硼同位素所計算的 pH 值與真實的 pH 值分析兩者相關性，用以評估

澎湖南方四島海域硼同位素對 pH 值靈敏程度，判斷澎湖珊瑚硼同位素是否可用於準確估算過去澎湖海水 pH 值變化。

結果與討論

一、珊瑚生長速率與標本 X 射線照相影像

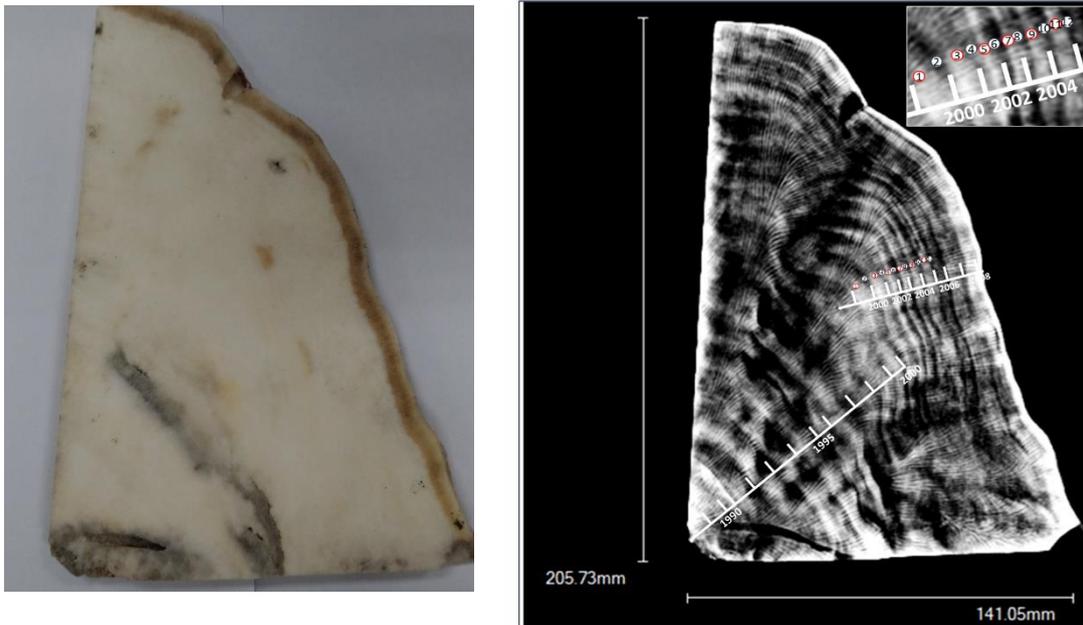


圖 2. (a) 東吉嶼珊瑚標本切片；厚約 1 公分。(b) 珊瑚標本切片 X 射線照相拍攝影像，可清楚顯現珊瑚生長輪紋，助於定年與微取樣；圓圈標示 12 個微取樣點

珊瑚骨骼切片高約 20.5 公分 (圖 2a)，根據 X 射線照相 (圖 2b) 所觀察的明暗帶辨識此珊瑚骨骼生長輪紋，夏季生長速率高於冬季，因此骨骼密度較低 (Knutson *et al.* 1972, Le Tissier *et al.* 1994)。明暗帶共有 20 輪，指示採集之珊瑚骨骼生長於 1988-2008 (附錄一)。

二、澎湖東吉嶼珊瑚骨骼硼同位素組成變化與 pH 值關係曲線

澎湖東吉嶼珊瑚骨骼硼同位素 1999 年至 2005 年 $\delta^{11}\text{B}$ 數值變化介於 24.9‰ 至 26.7‰，時間解析度約為 6 個月。珊瑚骨骼中硼同位素比值主要受 pH 值因素所控制，但各區域可能有不同的硼同位素對海水 pH 變化之校正曲線。在全國環境水質監測網中，並無東吉嶼 1999 年至 2005 年水質監測資料，但在鄰近七美海域測站自 2001 年開始，有每三個月一筆的水質監測資料 (附錄二)；2001 年至 2004 年的海水 pH 值變化範圍在 8.1-8.3、溫度變化範圍 22.1°C-28.2°C、鹽度變化範圍 33.4 psu-34.9 psu (Practical salinity units)；夏季海水溫度較高且鹽度較低，冬

季時海水溫度較低且鹽度較高。

珊瑚骨骼硼同位素與 pH 值成曲線關係，兩者的曲線曲率受硼同位素分化係數影響。珊瑚硼同位素分化係數可能會隨珊瑚種屬與區域環境改變，海水中 $\text{B}(\text{OH})_4^-$ 理論值的分化係數為 1.0272 (Klochko *et al.* 2006)，而過去研究 *Porites* 分化係數為 1.0194 (Hönisch *et al.* 2004)。將澎湖東吉嶼珊瑚骨骼硼同位素使用兩個不同分化係數進行計算，將計算結果與七美海域測站海水 pH 數據對比，東吉嶼塊狀 *Porites* sp. 珊瑚硼同位素分化係數與過去其他地點粗枝狀的 *Porites cylindrica* 分化係數 ($\alpha=1.0194$, Hönisch *et al.* 2004) 相符。

澎湖珊瑚硼同位素與 pH 關係式為：

$$\text{pH} = \text{pK}_B - \log \left[\frac{\delta^{11}\text{B}_{\text{sw.}} - \delta^{11}\text{B}_{\text{B}(\text{OH})_4^-}}{\delta^{11}\text{B}_{\text{B}(\text{OH})_4^-} * \alpha - \delta^{11}\text{B}_{\text{sw.}} + 1000 * (\alpha - 1)} \right]$$

分化係數 $\alpha=1.0194$ 、解離常數 $\text{K}_B=8.597$ 、海水硼同位素 $\delta^{11}\text{B}_{\text{sw.}} = 39.6‰$ 。使用硼同位素所估算出 2001 年至 2005 年海水 pH 變化範圍在 8.16-8.27，符合實際測站

觀測結果(圖 3)。東吉嶼珊瑚骨骼夏季硼同位素與 pH 平均為 25.4‰、8.20；冬季平均為 25.4‰、8.25。硼同位素與 pH 呈現夏季稍低，冬季稍高的變化(圖 3、附錄一)。

圖 3 估算 pH 值與測站資料、兩者變化趨勢並未完全一致，可能主要原因有二。測站與珊瑚骨骼取樣時間解析度不同(附錄二)，測站間隔三個月記錄下當天的 pH 值，而珊瑚骨骼微取樣相當於半年生長骨骼碳酸鈣，珊瑚骨骼所計算的 pH 值應視為半年的平均 pH 值。測站 pH 紀錄精確度受限。測站 2001 年至 2005 年中除 2003 年 5 月紀錄資料，測站 pH 紀錄都僅至小數點第一位。14 筆資料中 pH 8.1、pH 8.2 占了 11 筆，受限於 pH 紀錄精確度，難以與硼同位素估算 pH 詳細對比。

三、臺灣珊瑚骨骼硼同位素記錄前人研究

王博賢(2005)分析綠島 *Porites* sp. 珊瑚骨骼硼、氧與碳同位素，配合水文資料及 Sr/Ca 溫度指標，探討影響珊瑚硼同位素組成的因素。結果顯示 1998 年至 1990 年 $\delta^{11}\text{B}$ 最高為 1989 夏季(29.1‰)，最低為 1989 冬季(23.1‰)。換算成相對應 pH 值範圍自 7.6 至 8.3。該研究成果指出綠島微孔珊瑚骨骼硼季節性的變化可能主要與季節性黑潮的擺盪、菲律賓海與南海水團的分佈、湧升流強度的變化有關，受溫度驅動，使微環境中夏季有較高 pH 值(王博賢 2005)。林佩穎(2009)分析 1991 年至 1996 年蘭嶼 *Porites lobata* 珊瑚骨骼硼同位素， $\delta^{11}\text{B}$ 最低為 1991 年夏季(23.6‰)，最高為 1992 年冬季(25.1‰)有 2‰ 的變化。蘭嶼珊瑚硼同位素有季節性的變化，在較冷的時期則有高的 pH 值，此結果與在西太平洋所觀測到的現代表水 pCO_2 變化相符。證實蘭嶼珊瑚所記錄的硼同位素值可以忠實反映西太平洋海水 pH 值變化(林佩穎 2009)。

黃國芳(2017)分析 2010-2013 連續 19 個月東沙微孔珊瑚 *Porites* sp. 骨骼硼、氧同位

素， $\delta^{11}\text{B}$ 最低為 2011 年夏季(22‰)，最高為 2011 年冬季(25‰)有 3‰ 的變化，珊瑚骨骼硼同位素所記錄的夏季海水 pH 值較冬季時低，且與佈放的 pH 探針所記錄結果變化相近(黃國芳 2017)。

從上述三項結果顯示，僅有綠島在夏天有最高 $\delta^{11}\text{B}$ ，且一年內 $\delta^{11}\text{B}$ 變化可達 8‰，pH 變化可達 0.7。蘭嶼與東沙環礁珊瑚骨骼 $\delta^{11}\text{B}$ 隨季節變化趨勢接近， $\delta^{11}\text{B}$ 與 pH 值皆為冬季高夏季低，蘭嶼與東沙環礁 $\delta^{11}\text{B}$ 隨季節的變化則分別為 1-2‰與 2-3‰，pH 變化為 0.1-0.2 與 0.2-0.3。指示臺灣離島各區域的 $\delta^{11}\text{B}$ 與 pH 季節性變化仍有差異。

四、澎湖東吉嶼珊瑚骨骼硼同位素組成變化及其環境意義

澎湖地理位置獨特，澎湖海域夏季(七月)受黑潮支流和南中國海季風流的影響較大，此時海水溫度較高且鹽度較低。在冬季(一月)時受中國沿岸冷流的影響顯著，海水溫度較低且鹽度較高。澎湖地區水團受黑潮支流、南中國海季風流與中國沿岸冷流強烈影響，硼同位素比值除了 2001 夏季與 2002 冬季，整體呈現夏季稍低，冬季稍高的變化，並與溫度冬低夏高呈相反變化趨勢(圖 4)；與鹽度呈相近變化趨勢(圖 5)。

珊瑚硼同位素過去被認為主要受控於海水 pH 值的變化(Krief *et al.* 2010)；海水溫度影響較小。D'Olivo 等研究大堡礁 1939-2013 珊瑚硼同位素變化，若討論年平均變化，海水 pH 值與海水溫度對硼同位素影響分別為 82%與 17%，海水 pH 值為主要控制因素。若探討季節性的硼同位素變化，海水溫度則變為主要控制因素(D'Olivo *et al.* 2019)。主要控制因素改變，是由於溫度與海水 pH 值在季節性與年平均的變化量有明顯差異。工業革命以來，大堡礁周遭海水 pH 下降約 0.1，溫度上升 0.5°C。而季節性的海水 pH 與溫度變化分別 0.1 與 5°C，由於不同季節溫度明顯變化，所以對於硼同位

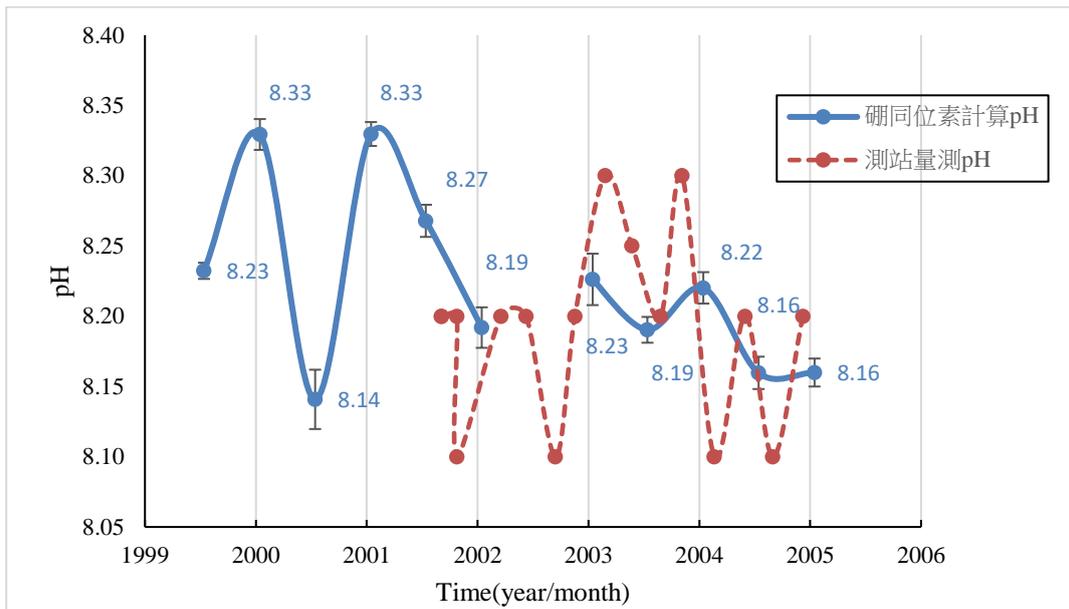


圖 3. 硼同位素估算 pH 值與測站 pH 值對比圖。藍色實線 1999-2005 東吉嶼估算海水 pH 值，使用分化係數 1.0194 計算。紅色虛線為七美嶼測站所記錄海水 pH 值

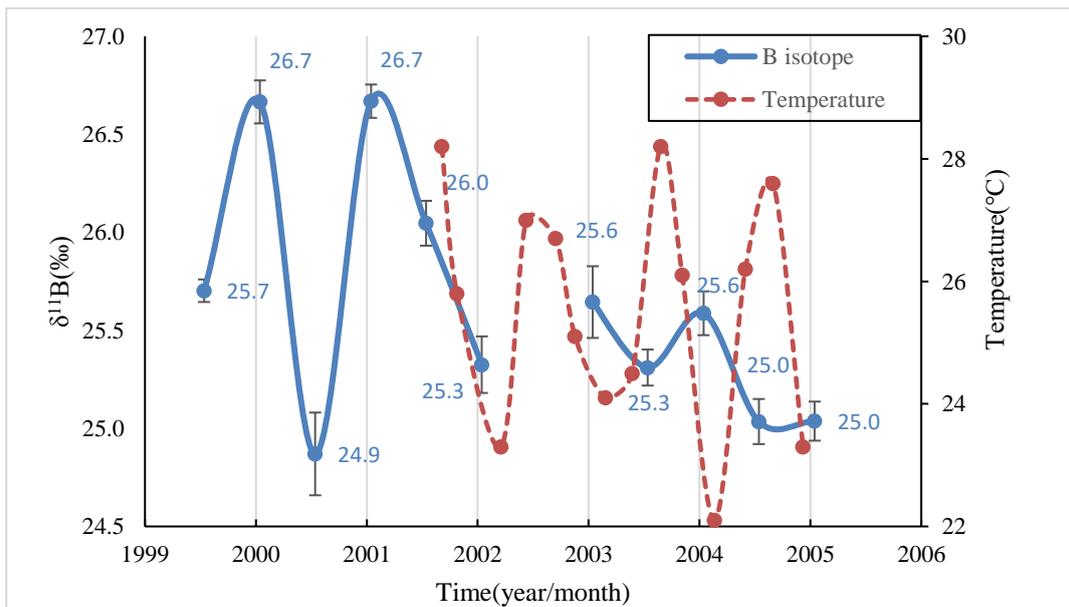


圖 4. 硼同位素與測站溫度對比圖。藍色實線 1999-2005 東吉嶼硼同位素比值。紅色虛線為 2001-2005 七美嶼測站所記錄海溫度

素季節性的變化，溫度比海水 pH 值有更重要的影響。本研究結果之珊瑚骨骼硼同位素季節性的變化，可能主要與季節性海潮變化相關，若以珊瑚硼同位素主要受控於海水 pH 值討論，夏季 (七月) 硼同位素比值較低，可能指示黑潮支流具較低 pH 值；而

中國沿岸冷流則具較高 pH 值。澎湖海域季節溫度變化大 (>5°C)，珊瑚骨骼硼同位素季節性的變化，亦可能受到黑潮支流與中國沿岸冷流溫度變化影響。

1999-2005 珊瑚硼同位素並未觀察出明顯海洋酸化，須以更長時間評估。1999-

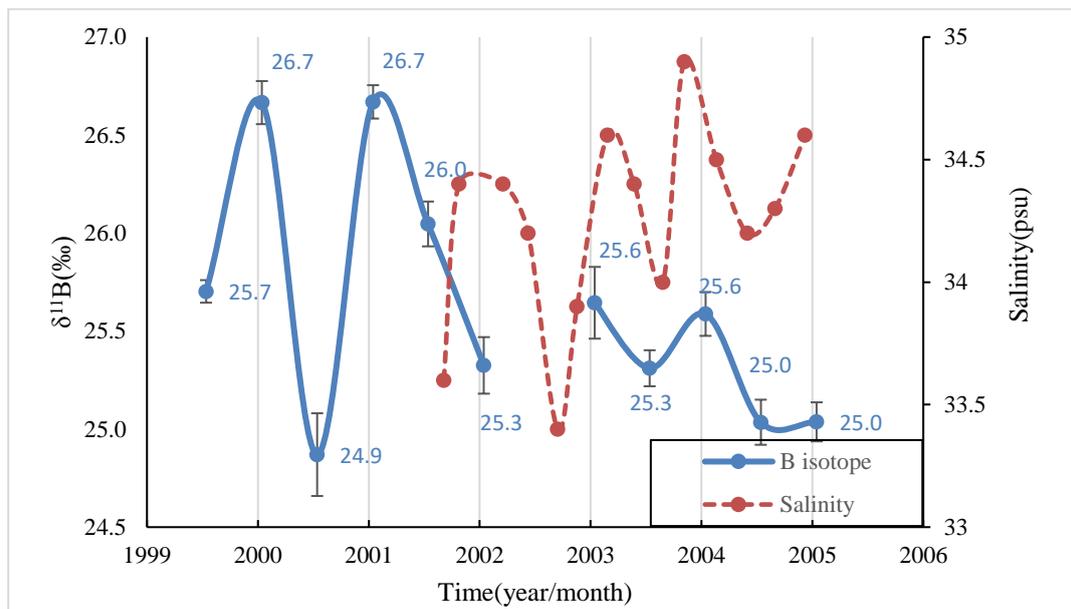


圖 5. 硼同位素與測站鹽度對比圖。藍色實線 1999-2005 東吉嶼硼同位素比值。紅色虛線為 2001-2005 七美嶼測站所記錄海水鹽度

2005 珊瑚硼同位素可觀察明顯季節變化，未有年平均明顯上升或下降趨勢。D’Olivo 等研究大堡礁 1939-2013 珊瑚硼同位素變化，已觀察出長時間海洋酸化趨勢。珊瑚骨骼中 Sr/Ca 與 Li/Mg 可作為溫度代用指標用來計算海水溫度 (Alibert and McCulloch 1997, D’Olivo *et al.* 2018)，由於不同季節 (月份) 溫度有明顯差異，分析樣品中的 Sr/Ca 與 Li/Mg 有助於對比珊瑚生長時間 (月份)，使樣品時間分辨率可達月或週。量測珊瑚生長軸上不同月份樣品長度與 X 射線照相對比圖譜，可計算珊瑚在不同月份的生長速率與骨骼密度，並進一步計算出鈣化速率。

1939-2013 大堡礁附近海水 pH 下降 0.1，珊瑚鈣化效率、生長速率與骨骼密度皆明顯下降 (D’Olivo *et al.* 2019)。若要評估澎湖數十年海洋酸化與長時間對珊瑚生態影響，須做分析更長時間尺度的珊瑚樣品。臺灣周遭海域珊瑚骨骼中硼同位素組成具有研究潛力，評估各區域海洋酸化程度需進一步研究。

結合本次與過去研究成果，硼同位素證實可估算臺灣周遭海域海水 pH 值。澎湖、

蘭嶼、東沙環礁珊瑚骨骼 $\delta^{11}\text{B}$ 與 pH 值皆為冬季高夏季低，各區域的季節性的 $\delta^{11}\text{B}$ 與 pH 值的變化仍有差異。然而受限於現有資料，並無法有效對比各海域酸化程度差異，主要有以下原因。

(1) 各地分析時間區段與時間解析度不同

若要對比不同區域硼同位素變化與海洋酸化程度，所分析時間區段與時間解析度都需考量(例如比較不同區域，十年來每月珊瑚硼同位素變化)，目前現有分析數據各地時間區段與時間解析度不同，無法有效對比。

(2) 過去海水水質紀錄資料不足

目前全國水質環境資訊網可查詢綠島與蘭嶼 2002 年之後的水質資料，但此資料無法與現有綠島 (1988-1990)、蘭嶼 (1991-1996) 硼同位素分析結果為進行對比。若有詳盡水質資料與珊瑚硼同位素比值對比，能更加詳細釐清控制各區域硼同位素變化的因素與機制。

整體而言，目前雖已確定臺灣周遭海域珊瑚骨骼中硼同位素與周圍海水 pH 值密切相關，並建立計算公式。若要詳細評估

全球暖化與二氧化碳濃度提升對各區域海洋酸化速率差異與環境衝擊，仍須各地系統性的採樣，並搭配對比水質監測資料，方能進一步釐清。

結論

一、分析 1999-2005 澎湖東吉嶼珊瑚骨骼硼同位素組成 $\delta^{11}\text{B}$ 分布從 24.9‰ 至 26.7‰。夏天硼同位素比值較低，隨季節變化差異最大可達 1.8‰。

二、硼同位素比值結果與現有海域水質監測資料 pH 值進行對比，並建立硼同位素對海水 pH 之關係公式。澎湖附近海域微孔珊瑚 (*Porites* sp.) 可適用於硼同位素分化係數 $\alpha=1.0194$ ，利用硼同位素代用指標估算出 1999-2005 澎湖東吉嶼 pH 變化範圍在 8.1-8.3。

三、澎湖地區水團受黑潮支流、南中國海季風流與中國沿岸冷流強烈影響，且硼同位素比值與季節、溫度和鹽度對比，皆可看出一定相關性。指示澎湖東吉嶼珊瑚硼同位素比值與海水 pH 值，受控於黑潮、中國沿岸冷流等海流震盪變化。

四、澎湖珊瑚硼同位素比值可用於估算澎湖海水每年 pH 值隨季節改變。若有年代較久且保存良好的珊瑚樣品，硼同位素資料可用於估算數十年到百年的海水 pH 值變化，瞭解此區域長期海洋酸化程度。

引用文獻

王玉懷。2014。澎湖南方四島海域水文環境及底質的觀察。國家公園學報 24(2):1-14。

王博賢。2005。利珊瑚骨骼硼同位素記錄與其環境意義。國立成功大學地球科學系碩士論文。

林佩穎。2009。利用多接收器感應耦合電漿質譜儀量測珊瑚骨骼硼同位素值及應用。國立成功大學地球科學系碩士論文。

黃國芳。2017。探討氣候變遷對臺灣地區侵蝕風化作用及海洋酸化之影響(第 3 年)。科技部補助專題研究計畫成果報告。

Alibert C and McCulloch MT. 1997. Strontium/calcium ratios in modern *Porites* corals from the Great Barrier Reef as a proxy for sea surface temperature: calibration of the thermometer and monitoring of ENSO. *Paleoceanography* 12:345-363.

Bates, N. R., Y. M. Astor, M. J. Church, K. Currie, J. E. Dore, M. Gonzalez-Davila, L. Lorenzoni, F. Muller-Karger, J. Olafsson, and J. M. Santana-Casiano (2014), A time-series view of changing surface ocean chemistry due to ocean uptake of anthropogenic CO₂ and ocean acidification. *Oceanography* 27(1):126-141.

Caldeira K. and Wickett M. E. 2003. Anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature* 425:365.

D'Olivo JP, Ellwood G, DeCarlo TM and McCulloch MT. 2019. Deconvolving the long-term impacts of ocean acidification and warming on coral biomineralisation. *Earth and Planetary Science Letters* 526:115785.

D'Olivo JP, Sinclair DJ, Rankenburg K and McCulloch MT. 2018. A universal multi-trace element calibration for reconstructing sea surface temperatures from long-lived *Porites* corals: removing 'vital-effects'. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 239:109-135.

Etheridge DM, Steele LP, Langenfelds RL, Francey RJ, Bm'nola JM and Morgan VI. 1996. Morgan, Natural and anthropogenic change in atmospheric CO₂ over the last 1000 years from air in Antarctic ice and firm. *Journal of Geophysical Research* 101:4115-4128.

Feely RA, Sabine CL, Lee K, Berelson W, Kleypas J, Fabry VJ, Millero FJ. 2004. Impact of anthropogenic CO₂ on the CaCO₃ system in the oceans. *Science* 305(5682):362-366.

Hemming NG and Hanson G. N. 1992. Boron isotopic composition and concentration in modern marine carbonates. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 56: 537-543.

Hemming NG, Reeder RJ and Hanson GN. 1995. Mineral-fluid partitioning and isotopic fractionation of boron in synthetic calcium carbonate. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59:371-379.

Hoegh-Guldberg O and Bruno JF. 2010. The impact of climate change on the world's marine ecosystems. *Science* 328(5985):1523-1528.

- Hönisch B, Hemming NG, Grottoli AG, Amat A, Hanson GN and Bijma J. 2004. Assessing scleractinian corals as recorders for paleo-pH: empirical calibration and vital effects. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 68: 3675-3685.
- Hönisch B, and Hemming NG. 2005. Surface ocean pH response to variations in pCO₂ through two full glacial cycles. *Earth and Planetary Science Letters* 236:305-314.
- Klochko K, Kaufman AJ, Yao W, Byrne RH and Tossell JA. 2006. Experimental measurement of boron isotope fractionation in seawater. *Earth and Planetary Science Letters* 248:276-285.
- Knutson D W, Buddemeier RW and Smith SV. 1972. Coral chronologies: seasonal growth bands in reef corals. *Science* 177:270-272.
- Krief S, Hendy EJ, Fine M, Yam R, Meibom A, Foster GL and Shemesh A. 2010. Physiological and isotopic responses of scleractinian corals to ocean acidification. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 74:4988-5001.
- Le Tissier MD' AA, Clayton B, Brown BE and Spencer Davies P. 1994. Skeletal correlates of coral density banding and an evaluation of radiography as used in sclerochronology. *Marine Ecology Progress Series* 110:29-44.
- Millero F J. 1995. Thermodynamics of the carbon dioxide system in the oceans. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59(4):661-677.
- Mora C, Wei CL, Rollo A, Amaro T, Baco AR, Billett D, Bopp L, Chen Q, Collier M, Danovaro R, Gooday AJ, Grupe BM, Halloran PR, Ingels J, Jones DO, Levin LA, Nakano H, Norling K, Ramirez-Llodra E, Rex M, Ruhl HA, Smith CR, Sweetman AK, Thurber AR, Tjiputra JF, Usseglio P, Watling L, Wu T, Yasuhara M. 2013. Biotic and human vulnerability to projected changes in ocean biogeochemistry over the 21st century. *Plos Biology*: 11.
- Orr JC, VJ Fabry, O Aumont, L Bopp, SC Doney, RA Feely, A Gnanadesikan, N Gruber, A Ishida, F Joos, RM Key, K Lindsay, E Maier-Reimer, R Matear, P Monfray, A Mouchet, RG Najjar, GK Plattner, KB Rodgers, CL Sabine, JL Sarmiento, R Schlitzer, RD Slater, I Totterdell, MF Weirig, Y Yamanaka, and A Yool. 2005. Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature* 437(7059):681-686.
- Sanyal A, Hemming NG, Broecker WS and Hansont GN. 1995. Evidence for a higher pH in the glacial ocean from boron isotopes in foraminifera. *Nature* 373:234-236.
- Sanyal A, Nugent M, Reeder RJ and Bijma J. 2000. Seawater pH control on the boron isotopic composition of calcite: Evidence from inorganic calcite precipitation experiments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 64:1551-1555.
- Shinjo R, Asami R, Huang KF, You CF and Iryu Y. 2013. Ocean acidification trend in the tropical North Pacific since the mid20th century reconstructed from a coral archive. *Marine Geology* 342:58-64.
- Spivack AJ, You CF and Smith HJ. 1993. Foraminiferal boron isotope ratios as a proxy for surface ocean pH over the past 21 Myr. *Nature* 363:149-151.
- Takahashi T, Sutherland SC, Wanninkhof R, Sweeney C, Feely R., Chipman DW, Hales B, Friederich G, Chavez F, Sabine C, Watson A, Bakker DCE, Schuster U, Metzl N, Yoshikawa-Inoue H, Ishii M, Takashi M, Nojiri Y, Körtzinger A, Steinhoff T, Hoppema M, Olafsson J, Arnarson TS, Tilbrook B, Johannessen T, Olsen A, Bellerby R, Wong CS, Delille B, Bates NR, Baar HJW. 2009. Climatological mean and decadal change in surface ocean pCO₂, and net sea-air CO₂ flux over the global oceans. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 56(8-10):554-577.
- Wang BS, You CF, Huang KF, Wu SF, Aggarwal SK, Chung CH and Lin PY. 2010. Direct separation of boron from Na- and Ca- rich matrices by sublimation for stable isotope measurement by MC-ICP-MS. *Talanta* 82:1378-1384.
- Wefer G, Berger WH, Bijma J, Fischer G. 1999. Clues to ocean history: a brief overview of proxies. *Use of Proxies in Paleoceanography: Examples from the South Atlantic Gerhard Fischer, Gerold Wefer (eds.):*1-68.

附錄 1. 珊瑚骨骼微取樣樣品相對生長年份、硼同位素比值、分析誤差、估算 pH。估算 pH 分別採用分化係數 1.0186、1.0194，後者因估算 pH 與七美嶼測站數值較為接近而選用作為後續討論。編號 7 樣品處理過程未成功，而未標示出數據

| 樣品編號 | 相對生長年份 | $\delta^{11}\text{B}$ | 2SE | 估算 pH | 估算 pH |
|------|--------|-----------------------|--------|-----------------|-----------------|
| | | (‰) | 2SE(‰) | $\alpha=1.0186$ | $\alpha=1.0194$ |
| 1 | 1999/夏 | 25.7 | 0.06 | 8.17 | 8.23 |
| 2 | 2000/冬 | 26.7 | 0.11 | 8.27 | 8.33 |
| 3 | 2000/夏 | 24.9 | 0.21 | 8.07 | 8.14 |
| 4 | 2001/冬 | 26.7 | 0.09 | 8.28 | 8.33 |
| 5 | 2001/夏 | 26.0 | 0.11 | 8.21 | 8.27 |
| 6 | 2002/冬 | 25.3 | 0.14 | 8.12 | 8.19 |
| 7 | 2002/夏 | -- | -- | -- | -- |
| 8 | 2003/冬 | 25.6 | 0.18 | 8.16 | 8.23 |
| 9 | 2003/夏 | 25.3 | 0.09 | 8.12 | 8.19 |
| 10 | 2004/冬 | 25.6 | 0.11 | 8.15 | 8.22 |
| 11 | 2004/夏 | 25.0 | 0.12 | 8.09 | 8.16 |
| 12 | 2005/冬 | 25.0 | 0.10 | 8.09 | 8.16 |

附錄 2. 七美嶼測站 2001-2004 海域水質資料，節錄自海洋委員會海洋保育署。網址為 https://iocean.oca.gov.tw/OCA_OceanConservation/PUBLIC/Marine_WaterQuality.aspx。造訪日期 20220806

| 採樣日期 | 採樣時間 | 水溫 | 鹽度 | 酸鹼值 |
|------------|-------|------|------|------|
| | | °C | psu | pH |
| 2001/09/05 | -- | 28.2 | 33.6 | 8.2 |
| 2001/10/25 | -- | 25.8 | 34.4 | 8.1 |
| 2002/03/19 | 15:17 | 23.3 | 34.4 | 8.2 |
| 2002/06/10 | 12:05 | 27.0 | 34.2 | 8.2 |
| 2002/09/15 | -- | 26.7 | 33.4 | 8.1 |
| 2002/11/18 | 10:20 | 25.1 | 33.9 | 8.2 |
| 2003/02/26 | 13:05 | 24.1 | 34.6 | 8.3 |
| 2003/05/25 | 9:54 | 24.5 | 34.4 | 8.25 |
| 2003/08/27 | 16:28 | 28.2 | 34.0 | 8.2 |
| 2003/11/06 | 15:28 | 26.1 | 34.9 | 8.3 |
| 2004/02/20 | 15:35 | 22.1 | 34.5 | 8.1 |
| 2004/06/01 | 15:33 | 26.2 | 34.2 | 8.2 |
| 2004/08/31 | 17:40 | 27.6 | 34.3 | 8.1 |
| 2004/12/08 | 12:15 | 23.3 | 34.6 | 8.2 |

台江國家公園海域底棲蟹類的多樣性

陳姿君¹，陳國書²，陳煦森³，陳志遠⁴，陳孟仙^{1,5,6}

¹國立中山大學海洋科學系；²國家海洋研究院海洋生態及保育研究中心；

³國立屏東科技大學水產養殖系；⁴國立高雄科技大學海洋環境工程系；

⁵國立中山大學海洋生態與保育研究所；⁶通訊作者 E-mail: mhchen@mail.nsysu.edu.tw

[摘要] 2016-2019 年於台江國家公園海域，以海研三號進行 16 航次 51 網次的採樣，共採得 2,051 隻樣品，記錄 19 科 40 屬 53 種及未知 9 種的蟹類。在海管一(水深 12-76 m)和海管二(93-173 m)，兩海域分別累計 28 和 47 蟹種。經集群分析得知，調查海域的底棲蟹類組成，明顯分成海管一的沿岸群和海管二的水道群。海管一的前三優勢蟹為矛形劍泳蟹(*Xiphonectes hastatooides*)、紅星梭子蟹(*Portunus sanguinolentus*)和銀光單梭蟹(*Monomia argentata*)；而海管二則為短刺伊氏蟹(*Izanami curtispina*)、矛形劍泳蟹和雙斑蟚蛄(*Charybdis bimaculata*)。除水深影響外，兩海區的優勢蟹種依偏好的底層鹽度和溫度分為三類，(一)廣鹽廣溫的矛形劍泳蟹、銀光單梭蟹和漢氏單梭蟹(*Monomia haanii*)，分布範圍為 33.67-34.58 psu 和 21.7-28.7°C，(二)廣鹽狹高溫的紅星梭子蟹分布於 33.81-34.25 psu 和 26.5-27.5°C，(三)狹鹽狹低溫的短刺伊氏蟹和雙斑蟚蛄，為 34.32-34.66 psu 和 19.4-23.2°C。

關鍵字：蟹類群聚、矛形劍泳蟹、短刺伊氏蟹、廣溫性、狹溫性

Biodiversity of Benthic Crabs in the Waters of Taijiang National Park, Taiwan

Tzu-Chun Chen¹, Kuo-Shu Chen², Hsu-Sen Chen³,
Chiee-Young Chen⁴ and Meng-Hsien Chen^{1,5,6}

¹Department of Oceanography, National Sun Yat-sen University; ²Marine Ecology and Conservation Research Center, National Academy of Marine Research; ³Department of Aquaculture, National Pingtung University of Science and Technology; ⁴Department of Marine Environmental Engineering, National Kaohsiung University of Science and Technology; ⁵Institute of Marine Ecology and Conservation, National Sun Yat-sen University; ⁶Corresponding author E-mail: mhchen@mail.nsysu.edu.tw

ABSTRACT Benthic crabs were collected by beam trawl net onboard Ocean Researcher III in Taijiang National Park, off southwestern Taiwan, from 2016 to 2019. In total, 2,051 crabs were obtained, including 19 families 40 genera, 53 identified species and nine unknown species. Twenty-eight and 47 species were recorded in MEUA1 and MEUA2, respectively, in 2016-2019. The multidimensional scaling analysis revealed a significant spatial difference, dividing into coastal group at MEUA1 and channel group at MEUA2. The top three dominant species were *Xiphonectes hastatooides*, *Portunus sanguinolentus*, and *Monomia argentata* in MEUA1, whereas it was *Izanami curtispina*,

X. hastatooides, and *Charybdis bimaculata* in MEUA2. Except for the influence of water depth, the dominant crab species can be divided into three categories according to their preferred bottom water temperature: (1) Eurythermal *X. hastatooides*, *M. argentata*, and *Monomia haanii* preferred water salinity and temperature in the range of 33.67-34.58 psu and 21.7-28.7°C, (2) high stenothermal *P. sanguinolentus* preferred the range of 33.81-34.25 psu and 26.5-27.5°C, (3) low stenothermal *I. curtispina* and *C. bimaculata* preferred water salinity and temperature in the range of 34.32-34.66 psu and 19.4-23.2°C.

Keywords: crab assemblage, *Xiphonectes hastatooides*, *Izanami curtispina*, optimum temperature, eurythermal, stenothermal.

前言

螃蟹為變溫動物 (Poikilothermic)，其體溫會隨環境溫度而改變。而短尾蟹類 (Brachyuran crabs) 的分布由水深 6,000 m 的海底到海拔 2,000 m 的高山皆可見其蹤跡，並且能在溫鹽劇烈波動的河口佔據優勢 (Ng *et al.* 2008)。根據 Ng *et al.* (2008) 的回顧整理，全球短尾類螃蟹有 93 科 1,271 屬 6,793 種 (包含淡水種)。臺灣周邊海域因有溫暖的黑潮流經，記錄多樣的蟹類，在臺灣產短尾蟹類名錄中有 74 科 803 種 (含陸蟹)，其中 250 多種是近十年發現的，且多屬深海蟹種 (Ng *et al.* 2017)。生活史中未返回海洋的淡水蟹類約佔所有蟹類 18.8% (Cumberlidge *et al.* 2009)，有 80% 以上的蟹類生活在海洋或部分生活史與海洋有關。2017 年後臺灣仍有許多蟹種被發現，例如 Huang and Shih (2021) 利用粒線體 DNA 和形態分析技術，報導梭子蟹科 14 個新紀錄種，累積臺灣產梭子蟹科至 89 種。

前人的研究發現，各式海洋環境因子都會影響大型底棲動物群聚的組成與分布，包含水團所致水文的差異 (Palma *et al.* 2005) 及海床底質類型的不同 (Sanchez-Mata *et al.* 1993)，使得大型底棲甲殼類動物有空間分布的差異；此外，鹽度的變化 (Poizat *et al.* 2004) 和季節變化 (Le Loeff and Intes 1999) 亦會促使蟹類群聚組成的改變。

台江國家公園的海域部分包括臺南沿岸水深 20m 以淺海域之海洋管制區一 (簡稱海管一, Marine Existing Use Area 1, MEUA1)，以

及由東吉嶼橫越澎湖水道至鹿耳門溪口寬 5km 長 54km 海域之海洋管制區二 (簡稱海管二, Marine Existing Use Area 2, MEUA2)，海管二橫跨黑水溝海谷地形，海床崎嶇不平，水深變化介於 60-180m。園區海域終年有由南向北流來自赤道和熱帶溫暖的黑潮支流水和南海表層水流經，在冬天，本海域是寒冷的大陸沿岸水南下經臺灣海峽北部可達臺灣沿海的最南端，有明顯的季節水團的變化 (Jan *et al.* 2002, 2010)；過去 (Chou *et al.* 1999) 在臺南沿岸水深 10-20 m 樣區 (SBT) 調查記錄有 25 種蟹類 (含 3 種異尾類中的蟬蟹和瓷蟹) 以及 2013 年由台江國家公園管理處出版之蝦蟹寶貝 (2013) 一書中，記錄台江潮間帶蟹類有 59 種 (含 3 種陸寄居蟹)，都屬於潮間帶、濕地和河口的研究調查。至於園區海域包含沿海 3 海裡以內的海管一和橫跨澎湖水道的海管二之蟹類種類組成，皆未曾被報導過，此外，兩海域不同海床深度及水文條件是否會影響本海域底棲蟹類組成更是值得研究探討的課題。基於國家公園的物種保育和資源永續利用，本研究首次報導台江園區海域底棲蟹類生物相及其分布，以及優勢蟹種之偏好生態因子。

材料與方法

一、研究時間、地點和方法

本研究調查海域及測站位置與陳國書等 (2020) 和陳煦森等 (2021) 的調查研究相同，為其中同步採樣的蟹類樣品。採樣時間同為 2016-2019 年，採樣測站同為位臺灣臺南縣七

股鄉外海之台江國家公園的海域一般管制區一 (海管一, MEUA1)所設立的 C1、C2 和 C3 測站，以及海域一般管制區二 (海管二, MEUA2)由澎湖水道之東南向西北依序設置的 T1、T2、T3 和 T4 測站 (圖 1)。兩海域共進行 16 航次 51 次有效底拖網次，其中在海管一 (採樣水深 12-76m)有 35 次有效底拖網次，在海管二 (採樣水深 93-173m)有 16 次有效底拖網次。

調查方法是以海研三號研究船配備之桁桿式蝦拖網 (網寬 6m，網尾網目 2.5cm)，以船速兩節進行 30 分鐘拖網。採樣時，同步以溫深鹽測定儀記錄底層海水水溫和鹽度。海管一的水深範圍 12-76m，底水溫範圍為 20.9-30.3°C，底水鹽度範圍為 32.5-34.7 psu，底質中值粒徑範圍為 208-229 μm ；海管二的水深範圍 93-167 m，底水溫範圍為 18.2-25.1°C，底水鹽度範圍為 33.6-34.8 psu，底質中值粒徑範圍為 82-341 μm 。以上測值在各測站的總平均值和標準偏差詳列於陳國書等 (2020)之表 1 和表 2。蟹類樣本攜回實驗室後，參考相關圖鑑及文獻 (武田正倫 1982, 三宅貞祥 1983, 戴愛雲等 1986, Holthuis and Manning 1990, 黃榮富和游祥平 1997, Ng 1998, Chan *et al.* 2009, Chan 2010, 楊思諒等 2012, Ng *et al.* 2017)進行鑑定至最小可分類階層。由於本研究的標本是 2016-2019 年採獲及鑑定。之後，Huang and Shih (2021)發表以 DNA 定序方式發現更多梭子蟹科的新種，其中矛形劍泳蟹 (*Xiphonectes hastatoides*) 包含有假矛形劍泳蟹 (*X. pseudohastatoides*)和 *X. subtilis* (Wong *et al.* 2010, Nguyen and Ng 2021)。且銀光單梭蟹 (*Monomia argentata*)，包含有 *M. lucid* 耀斑單梭蟹 (Koch and Āuriš 2018)以及圓弧圓水神蟹 (*Cycloachelous orbitosinu*)包括 *C. levigatus* (Koch 2021)亦有新種被描述。為了解本研究鑑種的可能錯誤，利用 2020 年所採集的蟹類樣本進行鑑定，並將樣本送交臺中科博館蒐藏 (登目號 NMNS-8626-001~NMNS-8626-016)，以為後續比對之用。

二、分析數據

採用 Microsoft Excel 2016 軟體製作圖表，於 Primer v6.1 & Permanova plus 軟體中，輸入各網次之底棲蟹類豐度以 Log (1+X)進行轉換，透過 Bray Curtis similarity 算出不同樣本間的相似矩陣，並利用多變數統計方法分析中的集群分析 (Primer v6.1, Cluster analysis) (Clarke and Gorley 2006)，瞭解各測點群聚組成在深度與季節變化上的相似性，經過 ANOSIM (Analysis of Similarities)檢驗群聚結構差異的顯著性，透過 SIMPER (Similarity Percentages - species contributions)解析影響分群的主要蟹種。

結果

一、蟹種組成

2016-2019 年在台江國家公園海域所執行 51 個網次，共得 19 科 40 屬 53 種及未知 9 種合計 62 種。海管一海域在 35 次有效底拖網次下，共計得 28 蟹種，物種累積曲線已趨緩，而海管二在 16 次有效網次下，獲得 47 蟹種，物種累積曲線仍處於陡升的狀態 (圖 2)。

本海域共採獲 2,051 隻，個體數量的前六種蟹依序為矛形劍泳蟹 (*Xiphonectes hastatoides*)、短刺伊氏蟹 (*Izanami curtispina*)、雙斑蟳 (*Charybdis bimaculata*)、紅星梭子蟹 (*Portunus sanguinolentus*)、銀光單梭蟹 (*Monomia argentata*)和漢氏單梭蟹 (*Monomia haanii*)。本研究記錄 62 蟹種中，在海管一和海管二海域均可採獲的蟹種有 13 種 (表 1)，其中前三種依序為矛形劍泳蟹 868 隻、短刺伊氏蟹 400 隻、雙斑蟳 158 隻。僅在海管一可採獲有 15 蟹種，前三種依序為紅星梭子蟹 132 隻和勝利黎明蟹 (*Matuta victor*)36 隻和長螯毛指蟹 (*Hiplyra platycheir*)16 隻。僅在海管二可採獲的蟹種有 34 種，其前三種依序為中型鱗斑蟹 (*Demanina intermedia*)22 隻、毛刺蟹屬 (*Pilumnus* spp.)12 隻和莫氏毛刺蟹 (*Pilumnus murphyi*)12 隻。

將 62 蟹種 (含未鑑定至最小階層的 9 種)，

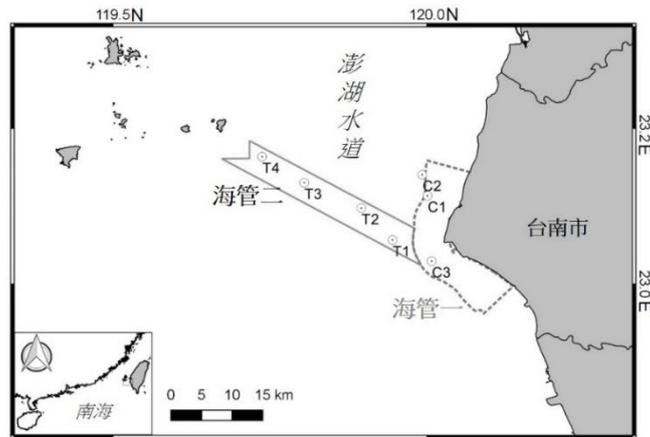


圖 1. 台江國家公園海域及本研究的測點。C1-C3 為海管一測站，T1-T4 為海管二測站

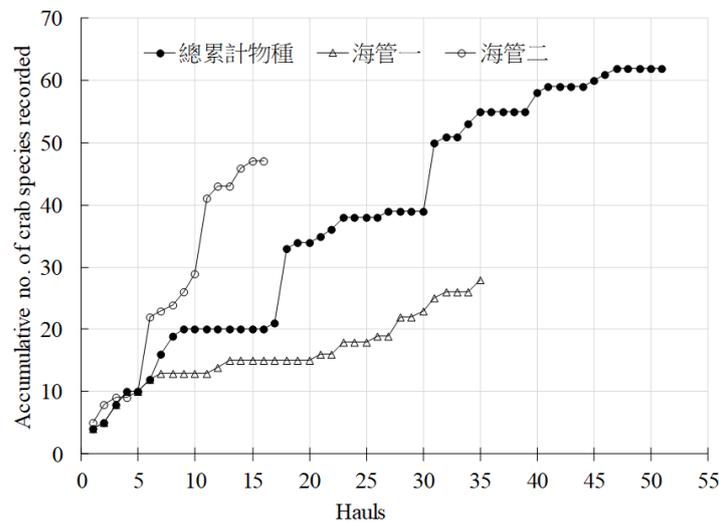


圖 2. 台江國家公園海域海管一及海管二底棲蟹類調查之網次數與累計記錄蟹種數的折線圖。海管一：35 網次 28 種；海管二：16 網次 47 種；兩海域合計 51 網次 62 種(不重複計算相同的蟹種)

經單位努力量化後排序累計至 95% 有 22 蟹種，詳列如表 1。海管一和海管二海域的單位努力量化後的總平均豐度明顯不同，以海管一明顯低於海管二。海管一的總平均豐度和測站間標準差為 $17.3 \pm 6.8 \text{ ind./}10^4\text{m}^2$ ，其前四優勢蟹種依序為矛形劍泳蟹佔 43.4%、紅星梭子蟹 16.9%、銀光單梭蟹 10.3% 和勝利黎明蟹佔 5.0%。海管二的總平均豐度達 $80.3 \pm 34.4 \text{ ind./}10^4\text{m}^2$ ，其前四優勢蟹種依序為短刺伊氏蟹佔 36.7%、矛形劍泳蟹佔 36.1%、雙斑蟳佔 9.0% 和漢氏單梭蟹佔 2.1% (表 1)。

以表 1 所列的前 22 豐度優勢蟹種經群集

分析，得知園區的海蟹可明顯區分為沿岸和水道兩群 (圖 3)，沿岸群為海管一 C1-C3 測站的海蟹，水道群為海管二 T1-T4 測站的海蟹 (ANOSIM, $p=0.001$, $\text{Global } R=0.678$)。沿岸群和水道群分別以矛形劍泳蟹和短刺伊氏蟹為最優勢 (表 1)。短刺伊氏蟹、矛形劍泳蟹、雙斑蟳和紅星梭子蟹依序為貢獻 10% 以上的前四名優勢蟹種 (SIMPER, 累積貢獻 58.99%) (表 2)，為台江國家公園海域蟹類種類組成分群的關鍵物種。

研究期間在本海域海管一 ($20.9\text{-}30.3^\circ\text{C}$ ， $32.5\text{-}34.7 \text{ psu}$) 所測得的底水溫和鹽度變動範

表 1. 2016-2019 年台江國家公園海域底拖調查之前 22 優勢蟹種之平均豐度 (ind./10⁴m²)及相對豐度百分比 (Relative abundance of species, RA %)。C1-C3 為台江國家公園海洋管制區一，簡稱海管一 (MEUA 1)測點，T1-T4 為台江國家公園海洋管制區二，簡稱海管二 (MEUA 2)測點

| Species | 中文名 | 海管一 (MEUA 1) | | | | | | 海管二 (MEUA 2) | | | | | | Total | | | | |
|-------------------------------------|--------|--------------|------|------|------|-----|------|--------------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
| | | C1 | C2 | C3 | Mean | SD | RA% | T1 | T2 | T3 | T4 | Mean | SD | RA% | Mean | SD | RA% | |
| <i>Xiphonectes hastatoides</i> * | 矛形劍泳蟹 | 2.0 | 7.3 | 13.3 | 7.5 | 5.6 | 43.4 | 115.2 | 0.5 | | | | 28.9 | 57.5 | 36.1 | 19.8 | 42.4 | 37.1 |
| <i>Izanami curtispina</i> | 短刺伊氏蟹 | 0.1 | | | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 1.1 | 23.4 | 49.5 | 43.9 | 29.5 | 22.0 | 36.7 | 16.8 | 22.1 | 31.6 | |
| <i>Charybdis bimaculata</i> | 雙斑蟳 | | | 0.4 | 0.1 | 0.3 | 0.8 | 3.9 | 23.8 | 1.3 | | 7.2 | 11.1 | 9.0 | 4.2 | 8.7 | 7.9 | |
| <i>Monomia argentata</i> * | 銀光單梭蟹 | 1.5 | 3.0 | 0.9 | 1.8 | 1.1 | 10.3 | 0.2 | 0.2 | 1.3 | 2.5 | 1.1 | 1.1 | 1.3 | 1.4 | 1.1 | 2.6 | |
| <i>Portunus sanguinolentus</i> | 紅星梭子蟹 | 2.6 | 5.0 | 1.2 | 2.9 | 1.9 | 16.9 | | | | | | | | 1.3 | 1.9 | 2.4 | |
| <i>Monomia haanii</i> | 漢氏單梭蟹 | 0.7 | 1.3 | | 0.7 | 0.7 | 3.8 | 0.5 | | 5.4 | 0.8 | 1.7 | 2.5 | 2.1 | 1.2 | 1.9 | 2.3 | |
| <i>Lupocycloporus gracilimanus</i> | 纖手狼環孔蟹 | 0.2 | 0.2 | | 0.1 | 0.1 | 0.7 | 5.2 | | | | 1.3 | 2.6 | 1.6 | 0.8 | 2.0 | 1.5 | |
| <i>Demania intermedia</i> | 中型鱗斑蟹 | | | | | | | | 0.2 | | 4.7 | 1.2 | 2.3 | 1.5 | 0.7 | 1.8 | 1.3 | |
| <i>Lupocyclus inaequalis</i> | 不等狼牙蟹 | | 0.1 | 0.4 | 0.1 | 0.2 | 0.8 | 1.3 | 0.4 | | 2.8 | 1.1 | 1.3 | 1.4 | 0.7 | 1.0 | 1.3 | |
| <i>Phalangipus longipes</i> | 長足長跨蟹 | 0.1 | | 2.2 | 0.8 | 1.2 | 4.4 | | | | 1.2 | 0.3 | 0.6 | 0.4 | 0.5 | 0.9 | 0.9 | |
| <i>Pilumnus</i> spp. | 毛刺蟹屬 | | | | | | | | 0.4 | | 2.6 | 0.7 | 1.3 | 0.9 | 0.4 | 1.0 | 0.8 | |
| <i>Phalangipus hystrix</i> | 銳刺長跨蟹 | 0.2 | | | 0.1 | 0.1 | 0.5 | 0.2 | | | 2.4 | 0.6 | 1.2 | 0.8 | 0.4 | 0.9 | 0.7 | |
| <i>Matuta victor</i> | 勝利黎明蟹 | 1.5 | 0.5 | 0.6 | 0.9 | 0.6 | 5.0 | | | | | | | | 0.4 | 0.6 | 0.7 | |
| <i>Hiplyra platycheir</i> | 長螯毛指蟹 | 0.1 | 0.2 | 2.1 | 0.8 | 1.1 | 4.5 | | | | | | | | 0.3 | 0.8 | 0.6 | |
| <i>Pilumnus murphyi</i> | 莫氏毛刺蟹 | | | | | | | | 2.2 | | | 0.5 | 1.1 | 0.7 | 0.3 | 0.8 | 0.6 | |
| <i>Tokoyo eburnea</i> | 象牙常世蟹 | | | | | | | | 0.4 | | 1.8 | 0.5 | 0.9 | 0.7 | 0.3 | 0.7 | 0.6 | |
| <i>Charybdis variegata</i> | 雜色蟳 | | | | | | | | | | 2.0 | 0.5 | 1.0 | 0.6 | 0.3 | 0.8 | 0.5 | |
| <i>Demania</i> sp. | 鱗斑蟹屬 | | | | | | | | | | 2.0 | 0.5 | 1.0 | 0.6 | 0.3 | 0.8 | 0.5 | |
| <i>Sakaija japonica</i> | 日本蜘蛛蟹 | | | | | | | | | | 1.8 | 0.4 | 0.9 | 0.6 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | |
| <i>Lissoporcellana quadrilobata</i> | 四葉光滑瓷蟹 | | | | | | | | | | 1.7 | 0.4 | 0.8 | 0.5 | 0.2 | 0.6 | 0.5 | |
| <i>Charybdis feriatius</i> | 鏽斑蟳 | 0.2 | 0.2 | 0.5 | 0.3 | 0.2 | 2.0 | 0.4 | | | | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | |
| <i>Liocarcinus corrugatus</i> | 皺褶大蟾蟹 | | | | | | | | | | 1.3 | 0.3 | 0.7 | 0.4 | 0.2 | 0.5 | 0.4 | |
| Other | 其他 | 0.7 | 1.2 | 1.6 | 1.2 | 0.5 | 6.7 | 1.6 | 4.0 | 0.4 | 6.6 | 3.2 | 2.7 | 3.9 | 2.3 | 2.2 | 4.3 | |
| Total | 總計 | 9.8 | 19.1 | 23.1 | 17.3 | 6.8 | 100 | 129.5 | 55.3 | 58.0 | 78.2 | 80.3 | 34.4 | 100 | 53.3 | 41.7 | 100 | |
| Number of Species | 種類數 | 17 | 18 | 14 | 28 | | | 12 | 21 | 5 | 29 | 47 | | | 62 | | | |
| Hauls | 網次 | 15 | 15 | 5 | | | | 5 | 5 | 2 | 4 | | | | 51 | | | |

*附註：本表中的 *Xiphonectes hastatoides* 矛形劍泳蟹，可能包括 *X. pseudohastatoides* 假矛形劍泳蟹和 *X. subtilis*；*Monomia argentata* 銀光單梭蟹，可能包括 *M. lucid* 耀斑單梭蟹

圍都較海管二 (18.2-25.1°C, 33.6-34.8 psu) 為大，且在海管一的底層有水溫較高、鹽度較低的情形。將本研究前六優勢蟹種採獲當時的底層水溫和鹽度經四分位數分析並以盒鬚圖 (圖 4) 呈現，結果顯示矛形劍泳蟹 (可能包括 *X. pseudohastatoides* 假矛形劍泳蟹和 *X. subtilis*)、銀光單梭蟹 (可能包括 *M. lucid* 耀斑

單梭蟹) 和漢氏單梭蟹的採獲鹽溫範圍最寬，為廣鹽廣溫種，其 50% (Q1-Q3 間) 的鹽溫範圍分別為 33.67-34.58 psu 和 21.7-28.7°C，與短刺伊氏蟹及雙斑蟳顯著不同；紅星梭子蟹的採獲溫度範圍較窄，屬廣鹽狹高溫種，其百分之 50 的採獲鹽溫範圍分別為 33.81-34.25 psu 和 26.5-27.5°C，其最適鹽度顯著較漢氏單梭蟹為

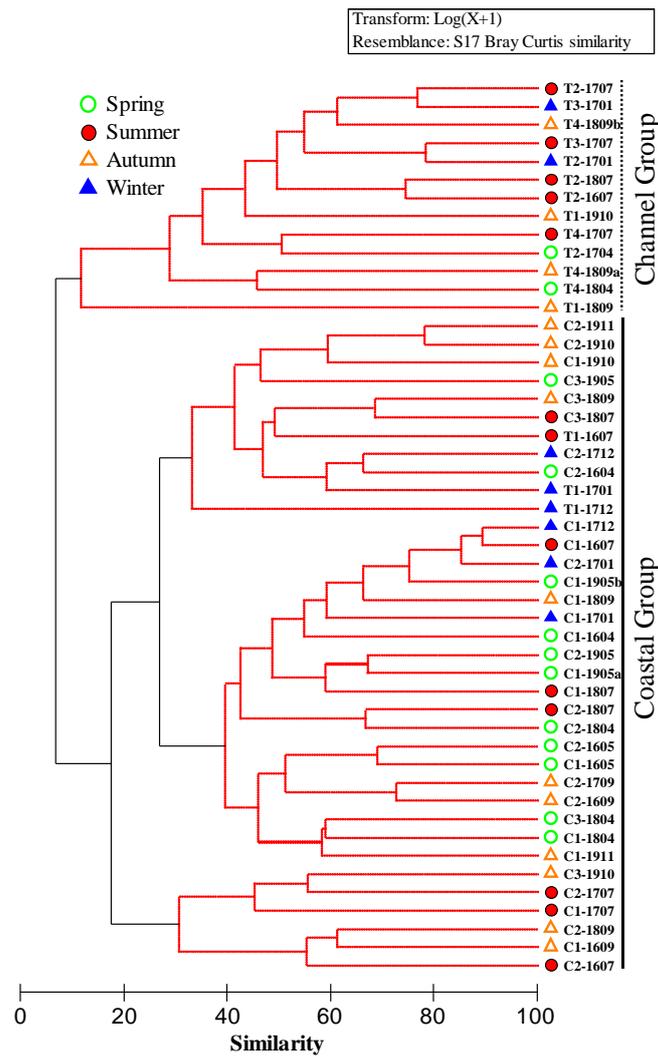


圖 3. 台江國家公園海域底棲蟹類群聚之集群分析樹狀圖

表 2. 2016-2019 年台江國家公園海域底棲蟹類群聚間主要物種組成之比較

| 中文名 Species | 海管一 平均豐度 | 海管二 平均豐度 | 平均相異性 | 貢獻度% | 累積貢獻度% |
|--|-------------|-------------|-------|-------|--------|
| 短刺伊氏蟹 <i>Izanami curtispina</i> | 0.02 | 2.32 | 22.25 | 24.27 | 24.27 |
| 矛形劍泳蟹* <i>Xiphonectes hastatoides</i> | 1.06 | 0.82 | 11.81 | 12.87 | 37.14 |
| 雙斑蟳 <i>Charybdis bimaculata</i> | 0.03 | 1.09 | 10.71 | 11.68 | 48.82 |
| 紅星梭子蟹 <i>Portunus sanguinolentus</i> | 1.00 | 0.00 | 9.32 | 10.17 | 58.99 |

*附註：本表中的 *Xiphonectes hastatoides* 矛形劍泳蟹，可能包括 *X. pseudohastatoides* 假矛形劍泳蟹和 *X. subtilis*

高，但顯著較短刺伊氏蟹及雙斑蟳為低，其最適溫度除與漢氏單梭蟹相似外，皆顯著較其他四種蟹類為高；短刺伊氏蟹及雙斑蟳的採獲鹽

溫範圍較其他四種為窄，屬狹鹽狹低溫種，其 50% 的底層鹽溫範圍分別為 34.32-34.66 psu 和 19.4-23.2°C (圖 4)。

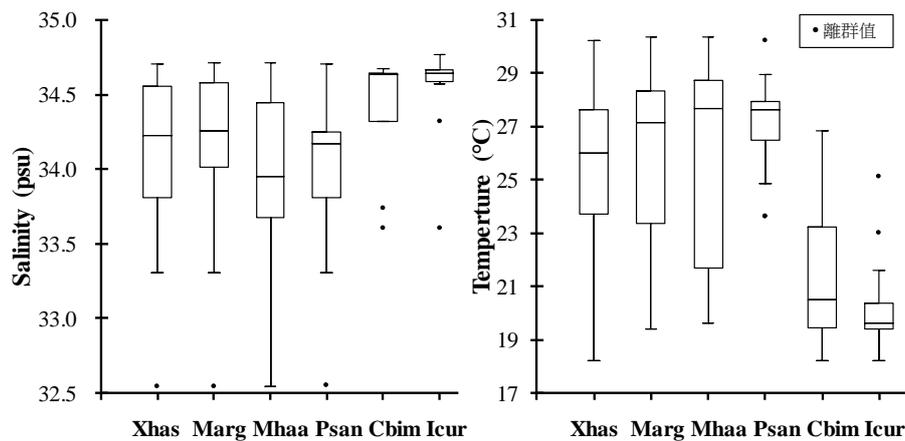


圖 4. 台江國家公園海域前六優勢底棲蟹類採獲時溫度和鹽度之盒鬚圖。每個箱型由下至上依序為最小值、第一四分位數 Q1、中位數、第三四分位數 Q3 和最大值。Xhas=*Xiphonectes hastatoides* 矛形劍泳蟹*，Marg=*Monomia argentata* 銀光單梭蟹*，Mhaa=*Monomia haanii* 漢氏單梭蟹，Psan=*Portunus sanguinolentus* 紅星梭子蟹，Cbim=*Charybdis bimaculate* 雙斑蟳，Icur=*Izunami curtispina* 短刺伊氏蟹。*附註：本圖中的 *X. hastatoides* 矛形劍泳蟹，可能包括 *X. pseudohastatoides* 假矛形劍泳蟹和 *X. subtilis*。*M. argentata* 銀光單梭蟹，可能包括 *M. lucid* 耀斑單梭蟹

討論

台江國家公園海域經本研究調查後，發現沿岸海域的海管一之蟹種累積曲線已呈現平緩 (圖 2)，在 35 網次下共記錄到 28 種，未來發現新增蟹種的可能性較小 (Moreno and Halffter 2001, Ugland *et al.* 2003)。反觀，海管二區域之蟹種累積曲線尚未趨緩，在 16 網次下已記錄到 47 種蟹種，未來還有可能發現新增蟹種。此外，海管二的總平均豐度 (80.3 ind./10⁴m²) 亦明顯較海管一 (17.3 ind./10⁴m²) 高 4 倍之多 (表 1)，呈現海管二的蟹種數和豐度均較海管一為高的情形。

兩海域均可採獲的蟹種有 13 種，但海管二有高達 34 蟹種未能在沿岸的海管一發現，反之，海管一可見但未見於水道海域的海管二有 15 種 (表 3)。海管二蟹種較多，推測可能與海管二的底質多樣和溫鹽穩定有關。海管二之底質中值粒徑在 82-341 μm ，較海管一 208-229 μm 的範圍為大 (陳國書等 2020)，提供各式粗細的底土棲地類型。此結果與同步調查的底棲魚類 (陳國書等 2020) 和蝦類 (陳煦森等 2021) 有相同的趨勢，同樣呈現底質粒徑差異

所致之蟹類群聚分群現象。

本研究調查結果發現台江家公園海域有明顯的蟹類地理分布，沿岸種有紅星梭子蟹、勝利黎明蟹和長螯毛指蟹，離岸深水種為象牙常世蟹 (*Tokoyo eburnea*) 和雙斑蟳。在沿岸海管一高豐度的紅星梭子蟹、勝利黎明蟹和長螯毛指蟹，僅分布在水深 80 m 以淺的沿岸海域，在離岸水深 93-167 m 的海管二測站則均未採獲，與 Lai *et al.* (1997) 在高雄港內 15 m 以淺、Chou *et al.* (1999) 在臺灣西部海域水深 2-260 m 和 Hsueh *et al.* (2006) 在臺灣周邊海域水深 10-130 m 泥至砂的底質的調查結果中相同，皆在較淺海域 (< 70 m) 發現紅星梭子蟹、勝利黎明蟹和長螯毛指蟹，但 Wang *et al.* (2017) 在臺灣東北部大溪漁港 (作業水深 200-500 m) 有發現紅星梭子蟹和長螯毛指蟹。然而，Chou *et al.* (1999) 和 Hsueh *et al.* (2006) 的研究，在深水域 (130-260 m) 皆未採獲紅星梭子蟹、勝利黎明蟹和長螯毛指蟹，與本篇研究結果及 Wang *et al.* (2017) 西南部東港漁港 (100-600 m) 的採樣結果相同，皆未能在西部近海深水域發現紅星梭子蟹和長螯毛指蟹 (表 3)，與紅星梭子蟹多棲息在 10-30 m 的砂泥底質之習性有關

表 3. 本研究 2016-2019 年在台江國家公園海管一測站 (12-76m)和海管二測站 (93-173m)之底棲蟹類名錄及其採獲隻數和臺灣周邊海域文獻紀錄之蟹種比較。總短尾類種數為各研究深度所採得之蟹種數，總個體數為該篇研究水深實際採得之短尾蟹類個體數量

| Family | 中文 科名 | Scientific name | 中文名 | 本研究 | | Chou <i>et al.</i> | | Hsueh <i>et al.</i> | | Lai <i>et al.</i> | Wang <i>et al.</i> | |
|------------------|------------|----------------------------------|----------|--------|---------|--------------------|----------|---------------------|-------|-------------------|--------------------|----------|
| | | | | 2021 | 2017 | 1999 | 2006 | 2006 | 1997 | 2017 | 2017 | |
| | | | | 12-76m | 93-173m | 2-40m | 200-260m | 10-70m | 130m | <15m | 200-500m | 100-600m |
| Brachyura | 短尾類 | | | | | | | | | | | |
| Calappidae | 饅頭蟹科 | <i>Calappa lophos</i> | 卷折饅頭蟹 | 3 | | 7 | | 6 | 7 | | ✓ | |
| | | <i>Calappa philargius</i> | 逍遙饅頭蟹 | 4 | | 53 | | 228 | | | ✓ | |
| | | <i>Calappa</i> spp. | 饅頭蟹屬 | 9 | | | | | | | | |
| Corystidae | 盔蟹科 | <i>Jonas choprai</i> | 蕭氏瓊娜蟹 | | 5 | | | | | | | |
| Dorippidae | 關公蟹科 | <i>Dorippe quadridens</i> | 四齒關公蟹 | 2 | | | | 55 | | | | ✓ |
| | | <i>Heikeopsis japonica</i> | 日本平家蟹 | | 6 | 15 | | 138 | 1 | ✓ | | ✓ |
| | | <i>Paradorippe granulata</i> | 顆粒擬關公蟹 | 4 | | | | 2 | | | ✓ | |
| Dromiidae | 綿蟹科 | <i>Conchoecetes artificiosus</i> | 幹練居殼蟹 | | 1 | | | | | | ✓ | |
| Epialtidae | 臥蜘蛛蟹科 | <i>Doclea canalifera</i> | 日本絨球蟹 | 1 | 1 | 17 | | 102 | | | ✓ | ✓ |
| | | <i>Hyastenus diacanthus</i> | 雙角互敬蟹 | | 2 | | | 15 | 1 | | ✓ | |
| | | <i>Hyastenus</i> sp. | 互敬蟹 | | 3 | | | | | | | |
| | | <i>Phalangipus hystrix</i> | 銳刺長跨蟹 | 4 | 10 | | | 27 | | | ✓ | |
| | | <i>Phalangipus longipes</i> | 長足長跨蟹 | 14 | 5 | | | 3 | | | | |
| Goneplacidae | 長腳蟹科 | <i>Carcinoplax</i> sp. | 隆背蟹 | | 5 | | | | | | | |
| Homolidae | 人面蟹科 | <i>Homola orientalis</i> | 東方人面蟹 | | 3 | | | | | | ✓ | ✓ |
| Inachidae | 尖頭蟹科 | <i>Achaeus</i> sp. | 英雄蟹屬 | | 1 | | | | | | | |
| | | <i>Cyrtomaia murrayi</i> | 莫氏刺蛛蟹 | | 1 | | | | | | ✓ | ✓ |
| Latreilliidae | 蛛形蟹科 | <i>Latreillia valida</i> | 強壯蛛形蟹 | | 1 | | | | | | ✓ | ✓ |
| Leucosiidae | 玉蟹科 | <i>Arcania elongata</i> | 長形栗殼蟹 | | 1 | | | 1 | | | ✓ | |
| | | <i>Arcania undecimspinosa</i> | 十一刺栗殼蟹 | 2 | 2 | | | | | | ✓ | ✓ |
| | | <i>Hiplyra platycheir</i> | 長螯毛指蟹 | 16 | | 13 | | 373 | | ✓ | ✓ | |
| | | <i>Myra fugax</i> | 遁行長臂蟹 | 1 | | | | | | | ✓ | |
| | | <i>Tokoyo eburnea</i> | 象牙常世蟹 | | 10 | | | | 8 | | ✓ | ✓ |
| Majidae | 蜘蛛蟹科 | <i>Leptomithrax edwardsii</i> | 艾氏牛角蟹 | | 2 | | | | | | ✓ | |
| | | <i>Sakaija japonica</i> | 日本蜘蛛蟹 | | 8 | | | | | | | ✓ |
| Matutidae | 黎明蟹科 | <i>Izanami curtispina</i> | 短刺伊氏蟹 | 1 | 399 | 1 | | 2 | 1 | | ✓ | |
| | | <i>Matuta victor</i> | 勝利黎明蟹 | 36 | | | | | | ✓ | | |
| Pilumnidae | 毛刺蟹科 | <i>Harrovia elegans</i> | 美麗短角蟹 | | 1 | | | | | | | |
| | | <i>Pilumnus murphyi</i> | 莫氏毛刺蟹 | | 12 | | | | | | | |
| | | <i>Pilumnus</i> spp. | 毛刺蟹屬 | | 12 | | | | | | | |
| Polybiidae | 多樣蟹科 | <i>Liocarcinus corrugatus</i> | 皺褶大蟾蟹 | | 6 | | | | | | ✓ | |
| Portunidae | 梭子蟹科 | <i>Charybdis anisodon</i> | 異齒蟬 | 1 | | 445 | | 17 | | ✓ | | |
| | | <i>Charybdis bimaculata</i> | 雙斑蟬 | 2 | 156 | | | 622 | 6,727 | ✓ | ✓ | ✓ |
| | | <i>Charybdis feriatas</i> | 鏽斑蟬 | 11 | 2 | 21 | | 47 | 1 | ✓ | ✓ | |
| | | <i>Charybdis granulata</i> | 顆粒蟬 | 1 | 2 | 2 | | 54 | | | ✓ | |
| | | <i>Charybdis hellerii</i> | 赫氏蟬(鈍齒蟬) | 1 | | 15 | | 8 | | ✓ | | |
| | | <i>Charybdis hongkongensis</i> | 香港蟬 | | 1 | 1 | | | | | | |

(續) 表 3. 本研究 2016-2019 年在台江國家公園海管一測站 (12-76m)和海管二測站 (93-173m) 之底棲蟹類名錄及其採獲隻數和臺灣周邊海域文獻紀錄之蟹種比較。總短尾類種數為各研究深度所採得之蟹種數，總個體數為該篇研究水深實際採得之短尾蟹類個體數量

| Family | 中文科名 | Scientific name | 中文名 | 本研究, 2021 | | Chou <i>et al.</i> 1999 | | Hsueh <i>et al.</i> 2006 | | Lai <i>et al.</i> 1997 | Wang <i>et al.</i> 2017 | |
|------------------|------------|-------------------------------------|----------|-----------|-----------|-------------------------|----------|--------------------------|-----------|------------------------|-------------------------|-----------|
| | | | | 12-76m | 93-173m | 2-40m | 200-260m | 10-70m | 130m | <15m | 200-500m | 100-600m |
| | | <i>Charybdis miles</i> | 武士蟳 | | 1 | | | 2 | 2 | | ✓ | ✓ |
| | | <i>Charybdis natator</i> | 善泳蟳 | 1 | | 10 | | 81 | | ✓ | ✓ | |
| | | <i>Charybdis sagamiensis</i> | 相模蟳 | | 2 | | | | | | ✓ | |
| | | <i>Charybdis sp.</i> | 蟳屬 | | 1 | | | | | | | |
| | | <i>Charybdis variegata</i> | 雜色蟳(變態蟳) | | 9 | 21 | | 73 | | ✓ | ✓ | |
| | | <i>Cycloachelous orbitosinus</i> | 圓弧圓水神蟹* | 2 | | 1 | | | | | ✓ | |
| | | <i>Lupocycloporus gracilimanus</i> | 纖手狼環孔蟹 | 6 | 29 | 3 | | 516 | 1 | | ✓ | |
| | | <i>Lupocyclus inaequalis</i> | 不等狼牙蟹 | 3 | 21 | | | 39 | | | ✓ | |
| | | <i>Monomia argentata</i> | 銀光單梭蟹* | 79 | 14 | 152 | | 650 | 2 | ✓ | ✓ | |
| | | <i>Monomia haanii</i> | 漢氏單梭蟹 | 32 | 18 | 37 | | 316 | 2 | | | |
| | | <i>Podophthalmus vigil</i> | 看守長眼蟹 | | 1 | 101 | | 3 | | ✓ | ✓ | |
| | | <i>Portunus pelagicus</i> | 遠海梭子蟹 | 6 | | 108 | | 373 | | ✓ | | |
| | | <i>Portunus sanguinolentus</i> | 紅星梭子蟹 | 132 | | 118 | | 1,210 | | ✓ | ✓ | |
| | | <i>Scylla serrata</i> | 鋸緣青蟳 | | 1 | 2 | | | | ✓ | ✓ | |
| | | <i>Xiphonectes hastatoides</i> | 矛形劍泳蟹* | 225 | 643 | 2,275 | | 13,081 | | ✓ | ✓ | |
| Trapeziidae | 梯形蟹科 | <i>Quadrella sp.</i> | 四齒蟹屬 | | 1 | | | | | | | |
| Xanthidae | 扇蟹科 | <i>Calvactaea tumida</i> | 肥胖禿頭蟹 | | 1 | | | | | | | |
| | | <i>Demania intermedia</i> | 中型鱗斑蟹 | | 22 | | | | | | | |
| | | <i>Demania sp.</i> | 鱗斑蟹屬 | | 9 | | | | | | | |
| | | <i>Paraxanthodes obtusidens</i> | | | 1 | | | | | | | ✓ |
| | | <i>Pseudactea corallina</i> | 珊瑚假銀杏蟹 | | 1 | | | | | | | |
| | | Xanthidae | 扇蟹科 | | 6 | | | | | | | |
| | | Number of other species | 其他短尾蟹種數 | | 24 | 5 | 31 | 8 | 29 | 62 | 50 | |
| | | Number of total species | 總短尾類種數 | 27 | 45 | 46 | 5 | 59 | 19 | 44 | 95 | 62 |
| | | Total individuals | 總個體數 | 601 | 1,450 | 3,746 | 12 | 19,271 | 6,958 | - | - | - |
| Anomurans | 異尾類 | | | | | | | | | | | |
| Albuncidae | 管須蟹科 | <i>Albunea groeningi</i> | 葛氏管須蟹 | 2 | | | | | | | | |
| Porcellanidae | 瓷蟹科 | <i>Lissoporcellana quadrilobata</i> | 四葉光滑瓷蟹 | | 5 | | | | | | | |
| | | <i>Petrolisthes militaris</i> | 好鬥岩瓷蟹 | | 6 | | | | | | | |

*附註：本表中的 *Cycloachelous orbitosinus* 圓弧圓水神蟹，可能包括 *C. levigatus*; *Monomia argentata* 銀光單梭蟹，可能包括 *M. lucid* 耀斑單梭蟹；*Xiphonectes hastatoides* 矛形劍泳蟹，可能包括 *X. pseudohastatoides* 假矛形劍泳蟹和 *X. subtilis*

(Sumpton *et al.* 1989)。象牙常世蟹僅在離岸海管二發現，為分布在水深 100 m 以深的蟹種，它亦在 Hsueh *et al.* (2006)於水深 130 m 測站和

Wang *et al.* (2017)在臺灣東西部 100 m 以深的漁船作業海域有記錄 (表 3)。雙斑蟳在沿岸淺海的海管一和離岸深海的海管二均有分布，但

海管二捕獲佔比明顯較海管一高，此情形在 Hsueh *et al.* (2006) 的調查研究相同，因此推測雙斑蟳為棲息在較深海域的蟹種 (表 3)。

本海域的最優勢蟹種矛形劍泳蟹 (可能包含 *X. pseudohastatoides* 假矛形劍泳蟹和 *X. subtilis*)，廣泛分布在臺灣西部沿海水深 10-130 m 環境 (Hsueh *et al.* 2006, 陳姿君 2010)，與本研究另兩種廣布型優勢種銀光單梭蟹 (可能含有 *M. lucida* 耀斑單梭蟹) 和漢氏單梭蟹分布在 10-180 m 水深的棲地重疊，且同屬廣鹽廣溫蟹種，但紅星梭子蟹的溫度範圍較窄，為廣鹽狹高溫種。海管二水道海域的優勢蟹種，短刺伊氏蟹和雙斑蟳為分布在水深 90 m 以深的狹鹽狹低溫蟹種 (圖 4)。Hsueh *et al.* (2006) 亦曾報導在深水域發現此兩種蟹，但並無說明採獲時海洋環境的溫鹽條件，本篇研究是首次報導此兩種蟹在臺灣海域的分布及其生境的溫鹽條件。

影響台江國家公園海域蟹類組成分群的短刺伊氏蟹、雙斑蟳和紅星梭子蟹，均有偏好的海水溫度範圍，由陳國書等 (2020) 人的結果得知海管一 C1-C3 測站平均底水溫為 26.4-27.2 °C，標準差在 1.2-2.5 °C，海管二 T1-T4 測站的平均底水溫為 19.0-22.1 °C，標準差在 0.4-1.3 °C，呈現海管二海域的底水溫及其標準差均較海管一為低和窄，是導致蟹類組成明顯分群的環境因子之一，目前的調查結果呈現此分群無月別、季節及年間的差異。此外，海管一和海管二海域底質中值粒徑範圍的差異，也可能是兩海域蟹種群聚差異的原因之一。

總的來說，台江國家公園海域的多樣地形，適合多種蟹類棲息，而海管二的超過 90m 水深的環境擁有多樣的海蟹，值得未來再深入的調查研究。因矛形劍泳蟹和銀光單梭蟹有同屬相似物種的發現，值得未來深入研究，以釐清此兩類廣布種分布在臺灣西岸 (Hsueh *et al.* 2006, 陳姿君 2010) 的情形。本研究成果為台江國家公園海蟹多樣性的首次報導，此研究成果有助於臺灣西部海域底棲蟹類資源永續利用和保育策略擬定之用。

誌謝

本研究承蒙內政部營建署台江國家公園管理處委託研究計畫經費補助 (GRB 編號：PG10PG10PG10 801 -0040) 及國科會台江國家公園之永續發展計畫補助 (MOST108-2621-M-110-003; MOST109-2621-M-110-002; MOST 110-2621-M-110-001; MOST111-2621-M-110-002)。感謝研究期間參與採樣工作的實驗室同仁。更感謝審查委員在審稿期間的建議，使本篇研究更臻完整。

引用文獻

- 三宅貞祥。1983。原色日本大型甲殼類圖鑑(II)。保育社，日本。
- 台江國家公園管理處。2013。蝦蟹寶貝-台江蝦蟹螺貝類圖鑑。台江國家公園管理處，臺南市。
- 武田正倫。1982。原色甲殼類檢索圖鑑。北隆館，日本。
- 陳姿君。2010。臺灣西南部沿海蟹類的種類組成及優勢種之時空分佈。國立中山大學海洋資源學系研究所碩士論文，132 頁。
- 陳國書、陳煦森、蘇彥霖、陳志遠、陳孟仙。2020。台江國家公園海域底棲魚類相與環境分析。國家公園學報 30(2):42-59。
- 陳煦森、陳國書、陳志遠、陳孟仙。2021。台江國家公園海域底棲蝦種組成與空間分布。國家公園學報 31(2):1-14。
- 黃榮富、游祥平。1997。臺灣產梭子蟹類彩色圖鑑。國立海洋生物博物館籌備處，屏東縣。
- 楊思諒、陳惠蓮、戴愛雲。2012。中國動物誌-無脊椎動物第四十九卷:甲殼動物亞門十足目梭子蟹科。科學出版社，北京。
- 戴愛雲、楊思諒、宋玉枝、陳國孝。1986。中國海洋蟹類。海洋出版社，北京。

Chan TY. 2010. Crustacean fauna of Taiwan: Crab-

- like anomurans (Hippoidea, Lithodoidea and Porcellanidae). *National Taiwan Ocean University*, Keelung.
- Chan TY, PKL Ng, ST Ahyong and SH Tan. 2009. Crustacean fauna of Taiwan: Brachyuran crabs, Volume 1 – Carcinology in Taiwan and Dromiacea, Raninoida, Cyclodorippoida. *National Taiwan Ocean University*, Keelung.
- Chou WR, SH Lai and LS Fang. 1999. Benthic crustacean communities in waters of southwestern Taiwan and their relationships to environmental characteristics. *Acta Zoologica Taiwanica* 10(1):25-33.
- Clarke KR and RN Gorley. 2006. *Primer*. PRIMER-e, Plymouth.
- Cumberlidge N, PKL Ng, DC Yeo, C Magalhães, MR Campos, F Alvarez, ... and M Ram. 2009. Freshwater crabs and the biodiversity crisis: importance, threats, status, and conservation challenges. *Biological Conservation* 142(8):1665-1673.
- Holthuis LB and RB Manning. 1990. Crabs of the Subfamily Dorippinae MacLeay, 1838, from the Indo-West Pacific Region (Crustacea: Decapoda: Dorippidae). *Researches on crustacean, Special number 3*:1-135.
- Hsueh PW, PKL Ng and HT Hung. 2006. Brachyuran crab assemblages in subtidal soft-bottom habitats of Taiwan. *Journal of the Fisheries Society of Taiwan* 33(3): 281-294.
- Huang YH and HT Shih. 2021. Diversity in the Taiwanese swimming crabs (Crustacea: Brachyura: Portunidae) estimated through DNA barcodes, with descriptions of 14 new records. *Zoological Studies* 60:1-45.
- Jan S, J Wang, CS Chern and SY Chao. 2002. Seasonal variation of the circulation in the Taiwan Strait. *Journal of Marine System* 35:249-268.
- Jan S, YH Tseng and DE Dietrich. 2010. Sources of water in the Taiwan Strait. *Journal of Oceanography* 66(2):211-221.
- Koch M. 2021. *Cycloachelous levigatus* sp. nov., a new swimming crab (Crustacea: Decapoda: Portunidae) from the South China Sea. *Zootaxa* 4970(2):325-339.
- Koch M and Đuriš Z. 2018. *Monomia lucida* sp. nov., a new swimming crab (Crustacea: Decapoda: Portunidae) from the South China Sea. *Zootaxa* 4387(3): 567-579.
- Lai SH, JF Huang and LS Fang. 1997. Crab fauna of Kaohsiung Harbor, southwestern Taiwan. *Annual of Taiwan Museum* 40:225-240.
- Le Loeuff P and A Intes. 1999. Macrobenthic communities on the continental shelf of Cote-d'Ivoire. Seasonal and diel cycles in relation to hydroclimate. *Oceanologica Acta* 22:529-550.
- Moreno CE and G Halffter. 2001. On the measure of sampling effort used in species accumulation curves. *Journal of Applied Ecology* 38(2):487-490.
- Ng PKL. In: KE Carpenter and VH Niem (Eds.). 1998. Crabs. In FAO Species identification guide for fishery purposes, The living marine resources of the Western Central Pacific. Volume 2: Cephalopods, crustaceans, holothurians and sharks. *Food and Agriculture Organization*. Rome. 1045-1155.
- Ng PKL, D Guinot and PJF Davie. 2008. Systema Brachyurorum: Part I. An annotated checklist of extant brachyuran crabs of the world. *The raffles bulletin of zoology* 17(1):1-286.
- Ng PKL, CH Wang, HT Shih, PH Ho and CH Wang. 2017. An updated annotated checklist of brachyuran crabs from Taiwan (Crustacea, Decapoda). *Journal of the National Taiwan Museum* 70(3&4):1-185.
- Nguyen TS and Ng PKL. 2021. A revision of the swimming crabs of the Indo – West Pacific *Xiphonectes hastatoides* (Fabricius, 1798) species complex (Crustacea: Brachyura: Portunidae). *Arthropoda Selecta* 30(3):386-404.
- Palma M, E Quiroga, VA Gallardo, W Arntz, D Gerdes, W Schneider and D Hebbeln. 2005. Macrobenthic animal assemblages of the continental margin off Chile (22 to 42S). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 85:233-245.
- Poizat G, E Rossecchi, P Chauvelon, P Contourmet and AJ Crivelli. 2004. Long-term fish and macrocrustacean community variation in a Mediterranean lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 59:615-624.
- Sanchez-Mata A, M Lastra and J Mora. 1993. Macrobenthic crustacean characterization of an estuarine area. *Crustaceana* 64:337-355.
- Sumpton WD, GS Smith and MA Potter. 1989. Notes on the biology of the portunid crab, *Portunus sanguinolentus* (Herbst), in subtropical Queensland waters. *Marine and Freshwater Research* 40(6):711-717.
- Ugland KI, JS Gray and KE Ellingsen. 2003. The species-accumulation curve and estimation of species richness. *Journal of Animal Ecology* 72(5):888-897.
- Wang TW, PH Kuo, CW Lin, CW Huang, TY Chan and BKK Chan. 2017. Assessing the biodiversity of deep-sea large crustaceans through fishing ports. *Journal of Crustacean Biology* 37(4):490-495.
- Wong KJH, Leung KMY and Chan BKK. 2010. On the identities of three common shallow-water swimming crabs *Portunus hastatoides* Fabricius, 1798, *P. dayawanensis* Chen, 1986, and *P. pseudohastatoides* Yang and Tang, 2006 (Crustacea: Decapoda: Portunidae): essentials for benthic ecological monitoring and biodiversity studies. *Zoological Studies* 49(5):669-680.

《國家公園學報》投稿須知

一、 徵收研究論文稿：

《國家公園學報》係內政部營建署正式出版的刊物，預計每年出版一卷兩期，自第 28 卷改為線上出版，以未曾刊載於其他刊物者為限。稿件送請兩位專家學者匿名審查，審查意見供編輯委員會作文稿捨用之參考。

凡與國家公園相關之研究、監測、生態旅遊、環境教育、文化史蹟、社會人文、經營管理、資訊管理、自然環境與生態環境等主題、國內外有關國家公園自然、社會或經營管理科學研究相關議題發展趨勢等之稿件，皆在歡迎之列。論文稿須附英文摘要。稿件可為研究報告(research paper)、研究簡報(research note)，論述或論壇(review or forum)。研究簡報須附中英文摘要、關鍵字與引用文獻，內文可不須分章節撰寫，並於投稿時註明。來稿請附〈作者簽署投稿同意書〉。107 年度起進行最佳論文評選，選出當年度投稿獲選論文中最優 2 名，優選 1 名給予獎金 2 萬元，佳作 1 名獎金 1 萬元，敬請踴躍投稿。

二、 一般稿件之撰寫原則：

來稿請用 18 級打標題，其餘用 12 級新細明體打正文，以 A4「直向」左右兩邊各留 3.17cm 空間，上下各留 2.54cm，列與列之間 1.5 倍行高打字。所有表格亦請以「直向」為原則，字級最小可縮至 9 級。

研究論文依下次序撰寫：

- 標題頁：包括題目(以簡明扼要為原則)、作者所屬機構及小標題(中文以 15 字，英文以 10 字為原則)。標題右上角請註明通訊作者的姓名、地址、電話及電子郵件。
- 中文摘要：以不超過全文 3% 的長度為原則，並應附為數不超過 5 個的關鍵字，以頓號分隔。
本文：包括前言、材料與方法、結果、討論、結論、建議(可略)。
誌謝(請提供補助機構及計畫編號)。
引用文獻。
- 英文題目、作者、摘要及關鍵字，文中之英文不得斷字。
- 表格：表格不得劃縱線，橫線亦應儘量少用。
- 圖版或圖片：用電子檔寄送。

三、 文字內容：

文字內容力求清晰簡明，稿件請編頁碼。對於過長之稿件，本刊有權要求作者縮短。拉丁學名以斜體表示。來稿一律採用公制國際系統單位(SI)，如 m, ml, l, kg 等，數值以阿拉伯數字表示。標點符號之使用，請參照本刊最新一期之論文。單位、數字與前後文字之間須有一空格，但℃與%不須有空格。數學符號與前後數字或文字之間須有一空格。區間數字之表示，在中、英文一律用「如 20-90」，與前後數字間不須有空格。

- 本文中引用之文獻：
中文作者用全名及英文作者用姓氏，公元年排列順序，以年代先後為準。例如一位作者：(Wu 1993)；兩位作者：(Jander and Jander 1970)或 Jander and Jander (1970)；三位作者以上：(Koeniger *et al.* 1988)或 Koeniger *et al.* (1988)。同作者多篇文獻時，如(Koeniger *et al.* 1988a, b)或 Koeniger *et al.* (1988a, b)，(Koeniger *et al.* 1988, 1989)或 Koeniger *et al.* (1988, 1989)。
- 引用文獻：
引用文獻依姓氏字母順序排列，先列中文與日文(若為漢字)，再列其他文字。同一作者之發表作品依年代順序排列。第一作者相同時，以作者人數排序。雜誌須寫出全名。引用雜誌名稱之英文須全名。其他請參考 CBE Style Manual。例如：
吳珮瑛、蘇明達。2001。墾丁國家公園資源經濟效益評估-兼論資源保育之哲學觀與資源價值之內涵。國家公園學報 11(1):1-29。

四、 其它規格：中文一律用新細明體，英文用「Times New Roman」。

接受之稿件：

- 校對：
稿件刊登前，先送通訊作者負責校對清樣，並只能就關鍵部分略作修正。本刊編輯不負責檢查完稿校樣之印刷正確性，因此每篇論文之通訊作者必須負責校樣內容的正確性。
- 抽印本：
來稿一經接受刊登，作者將接到文章電子檔(PDF)；本刊不提供紙本抽印本。
- 所有作者要填寫〈著作授權同意書〉。

五、 投稿地點：

請用 word 電子檔格式將檔案寄送至國家公園學報編輯委員會 E-mail 信箱。

E-mail：sse.org3@gmail.com 及 taiwancnps@gmail.com

如需寄授權書等文件，可簽名、掃描後回傳檔案至前述之 E-mail 信箱，或郵寄至 10099 台北南海郵局第 112 號信箱

六、 版權：

依著作授權書內容。

七、 論文寄出前之格式檢查：

1. 作者相關資料

- 首頁右上方請標明「通訊作者的 e-mail 地址」。
- 作者英文名字須寫全名。
- 校對所屬機關名稱。

2. 標題與摘要

- 中英文摘要需分別撰寫。
- 標題中之生物分類學名需註明拉丁學名。
- 英文標題除介系詞外，每個單字第一字母須大寫。
- 中英文摘要下須各附中英文關鍵字，以不超過六個為原則(中文詞間字以頓號分開)。如關鍵字：生態旅遊、太魯閣國家公園、生態系管理。
- 英文關鍵詞頭字母勿大寫。Keywords: decomposition, ecotourism, ecoinformatics, adaptive management. 每一 Keywords 勿超過 3 字。
- 摘要不分段落，以不超過全文 3% 的長度為原則。
- 附小標題(中文以 15 字，英文以 10 字為原則)。

3. 表格圖片

- 表格不得劃縱線，橫線亦應儘量少用。
- 度量衡單位縮寫依照國際標準單位(SI)，如 h, min, s, d, wk, mo, yr。
- 圖片須原版之電子檔。

4. 正文

- 在文中引用文獻，中、日文(若為漢字)作者全名，其他外文作者用姓，年代用公元。如 Koeniger *et al.* 1988。引用文獻之排列以發表年代先後為順序。
- 度量衡單位採用公制之國際系統單位(SI)，如 m, cm, mol, l, kg, g 等。數值以阿拉伯數字表示，數值與單位間空一格。
- 拉丁學名斜體，文中第一次出現時，可加命名者。
- 中文報告章節之劃分以一、二、...等，小節以 1., 2. ...等，小節分項以(1), (2)...等。
- 結果與討論最好要分開撰寫。

5. 引用文獻

- 一律以依所引用之原文列出，中、日文(若為漢字)先列，英文隨後。皆依姓氏筆劃或字母、年代先後順序排列。
 - 舉例如下：
 - 林晏州。2003。玉山國家公園步道遊憩承載量及經營管理策略之研究。國家公園學報 13(2):27-48。
 - 徐國士。1985。墾丁國家公園熱帶海岸林復舊造林技術研究。墾丁國家公園管理處保育研究報告第 112 號，47 頁。
 - 廖洪正。1992。東方蜜蜂生物學研究。臺灣大學植物病蟲害學研究所碩士論文，72 頁。
 - 宋聖榮。2007。臺灣第四紀火山活動：經濟部中央地質調查所特刊第 18 號：111-142。
 - 于淑芬、林幸助、陳伯中。2006。武陵地區溪流石附生藻類時間及空間分佈。特有生物研究 8(2):39-51。
 - Campbell AC. 1973. The national park and reserve system in Botswana. *Biological Conservation* 5(1):7-14.
 - Holling CS. 1978. *Adaptive environmental assessment and management*. John Wiley & Sons, Inc., London.
 - O'leary J, J Behrens-Tepper, F McGuire and FD Dottavio. 1987. Age of first hunting experience: results from a nationwide recreation survey. *Leisure Sciences* 9(4):225-233.
 - Vieira DLM and A Scariot. 2006. Principles of natural regeneration of tropical dry forests for restoration. *Restoration Ecology* 14(1):11-20.
 - Vaughan MR. 2002. Oak trees, acorns, and bears. pp. 224-240. In *McShea WJ and WM Healy (eds.), Oak forest ecosystems: ecology and management for wildlife*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland.
6. 其他資訊請洽內政部營建署之網站 <http://np.cpami.gov.tw/>。