

臺灣早招潮的分布與族群量

張凱¹，張英宸¹，許智惟¹，施習德^{1,2,5}，施鈞瀚³，許鴻龍⁴

¹國立中興大學生命科學系；²國立中興大學全球變遷生物學研究中心；³國立彰化師範大學地理學系；⁴視群傳播事業有限公司；⁵通訊作者 E-mail: htshih@dragon.nchu.edu.tw

[摘要] 本研究於 2020 年 7 月至 2022 年 8 月期間，針對臺灣特有屬特有種招潮蟹—臺灣早招潮 (*Xeruca formosensis*)，進行分布調查及族群量估算。結果顯示臺灣早招潮分布的南北界分別為高雄林園及新北淡水，估算族群總量約為一百萬隻；其中最多數量的區域位於濁水溪口南北岸，估計達 87 萬隻。調查過程中，發現本種正面臨許多生存壓力，包括外來紅樹林改變棲地、棲地開發、環境污染等，這些因素對其族群建立及維持均存在著威脅，更可能導致小族群的滅絕。本物種為世界上少見的特有屬與特有種招潮蟹，其目前棲地受威脅的程度日益升高，容易導致部分族群的滅絕，建議應將本種列入保育類野生動物，並進行長期監測調查，以了解本種在不同棲地的族群狀況。

關鍵字：臺灣早招潮、特有屬、特有種、分布調查、族群量

Distribution and Population Size of Taiwanese Fiddler Crab *Xeruca formosensis*

Kai Chang¹, Ying-Chen Zhang¹, Jhih-Wei Hsu¹, Hsi-Te Shih^{1,2,5}, Chun-Han Shih³
and Hong-Long Hsu⁴

¹Department of Life Sciences, National Chung Hsing University; ²Research Center for Global Change Biology, National Chung Hsing University, ³Department of Geography, National Changhua University of Education; ⁴Taiwan Original Vision Communication Co., LTD.; ⁵Corresponding author E-mail: htshih@dragon.nchu.edu.tw

ABSTRACT The distribution and the population size of *Xeruca formosensis*, a Taiwanese endemic fiddler crab, were studied from July 2020 to August 2022. The results showed that the northern and southern boundaries of this species were Danshuei (also known as Tamsui) of New Taipei City and Linyuan of Kaohsiung City, respectively. The total populations was estimated to be about one million and the region with the largest population size (about 870,000) was located at the estuary of Jhuoshuei River. During the surveys, we found that this species continues to face pressures of survival, including the expansion of the invasive mangroves, development taking place in the habitats, and environmental pollutions, all threatening the establishment and maintenance of *Xeruca formosensis* populations and even causing extinction of small populations. With habitats under high degree of threat, certain populations of this rare fiddler crab and an endemic genus and endemic species to Taiwan faces possible extinction. In light of the situation, we suggest listing *Xeruca formosensis* as a protected wildlife species and conducting long-term monitoring surveys to understand its population status.

Keywords: *Xeruca formosensis*, endemic genus, endemic species, distributional range, population size

前言

臺灣早招潮 (*Xeruca formosensis*) (圖 1A、1B) 在分類上屬於沙蟹科早招潮屬 (genus *Xeruca*)，也是臺灣的特有屬與特有種招潮蟹 (HT Shih 2015; HT Shih *et al.* 2016)。在行為生態的研究中，生殖季時雄性會以垂直揮舞大螯方式進行求偶，並在配對成功後建造煙囪狀的地表結構物，此種生殖行為目前尚未在其他招潮蟹物種中出現過 (HT Shih *et al.* 2005)。其他近期的研究，包含溞狀幼體 (zoea) 之形態描述 (Zhang & HT Shih 2022) 及粒線體基因體 (mitochondrial genome) 之研究 (Liu & HT Shih 2022)。除了分類及行為上的特殊性，臺灣早招潮偏好的棲地類型也十分特殊，過去研究顯示其偏好高潮帶的空曠灘地，棲地組成極細砂、粉泥及黏土質 (圖 1D) (HT Shih *et al.* 1999; 林世偉等 2006; 陳曉怡 2008; Liao *et al.* 2008; 歐姿慧 2014; HT Shih *et al.* 2015)。

施習德 (1997) 與 HT Shih *et al.* (1999) 回顧臺灣早招潮過去的研究及分布，最早是 1918 由牧茂市郎 (Mouitirou Maki) 在彰化鹿港的採集，隨後在宜蘭、基隆、新北淡水、新竹香山、台中梧棲、彰化伸港、芳苑、嘉義東石、台南北門、七股、安平、高雄永安與澎湖等地也有紀錄。HT Shih (2015) 再次更新本種的分布範圍，其北界與南界分別為新北淡水與台南安平，然而澎湖的族群已經消失 (施習德 2008)。

對於臺灣早招潮的族群量估算研究，目前均為區域性或僅針對族群密度的計算，如劉烘昌與李家維 (1994) 在新竹香山的研究中，針對客雅溪口至三姓公溪口、海山漁港至鹽港溪口的棲地，估算族群量為 10,000 隻以上；楊樹森 (2017; 2019; 2021) 在香山多個樣點的調查中，估算族群量由 2016 年的 80,000 隻增加至 2021 年的 430,000 隻。

估算蟹類之族群量可用於物種的保育規劃 (例如聖誕島的聖誕仿地蟹 *Geccarcoidea natalis*, Adamczewska & Morris 2001; 日本沖繩海洋博公園的椰子蟹, Oka *et al.* 2021) 與漁

業的資源評估 (例如西南非的怪蟹屬 *Geryon*, Melbille-Smith 1988)。然而目前在臺灣早招潮的相關研究中，仍缺乏大尺度的分布及族群量調查。有鑑於此，本研究以過去的採集點或潛在的棲地為調查點，針對臺灣早招潮進行全面性的分布調查及族群量估算，其結果將能為後續的保育工作提供參考數據。

材料與方法

自 2020 年 7 月至 2022 年 8 月，在臺灣本島西海岸及澎湖進行野外普查，記錄臺灣早招潮的分布狀況，並估計其族群量；調查時間為大潮期之滿潮後兩小時，此時段為臺灣早招潮進行地表活動之活躍期 (圖 1C) (HT Shih *et al.* 2005)。

調查樣點之選擇依據如下：(1) 過去文獻紀錄：參考施習德 (2008)、劉靜榆 (2012)、洪昆璿 (2015)、HT Shih (2015)、HT Shih *et al.* (2015) 及楊樹森 (2017; 2019; 2021) 所記載過之地點。(2) 研究室紀錄：本研究室野外調查之歷史資料。(3) 新探勘樣點：於 Google Earth Pro 7.3.4.8642 (Google 2022) 中，逐一檢視西部河口的衛星影像，挑選可能具有臺灣早招潮的潛在棲地。(4) 媒體、網路社群資料：於報章、網路社群 (Facebook、Youtube) 中瀏覽相關影像紀錄，並聯絡發現者確認詳細地點。

由於不同樣點的特性與調查時間限制，無法採用單一方式進行估算，本研究依據樣點特性及棲地狀況，採用最適合的估算方法：(1) 樣框估算：參考劉烘昌與李家維 (1994) 及 Nobbs & McGuinness (1999) 之調查方法，使用長度 8m 之粗棉繩與鐵絲製成 2m × 2m 樣框 (quadrat) (圖 2A)，觀察者距樣框 2m 以上，並以望遠鏡、長焦相機進行觀察與記錄。待樣框內蟹類回復行為後 (約為 10 mins) 始進行數據記錄，觀察距離與時間參考 Skov & Hartnoll (2001) 與 Keeratipattarakarn *et al.* (2021)，記錄項目包含臺灣早招潮的個體數和性別，以及弧邊管招潮 (*Tubuca arcuata*)、北方丑招潮

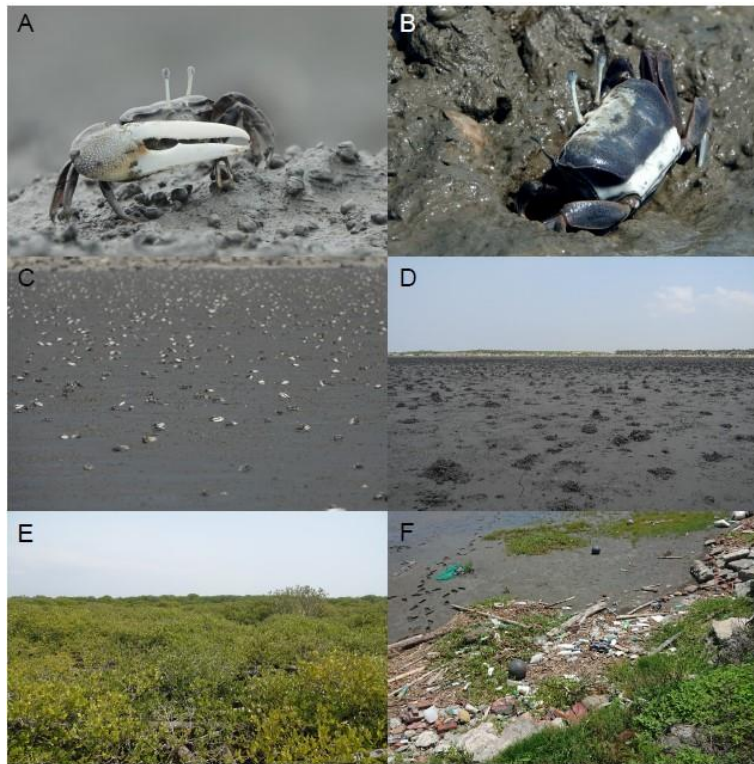


圖 1. 臺灣旱招潮及其棲地。A: 雄蟹(彰化大城); B: 雌蟹(新竹香山); C: 進行地表活動之個體(雲林麥寮); D: 典型棲地(雲林麥寮); E: 密布的紅樹林(台南七股); F: 海岸廢棄物(雲林麥寮)

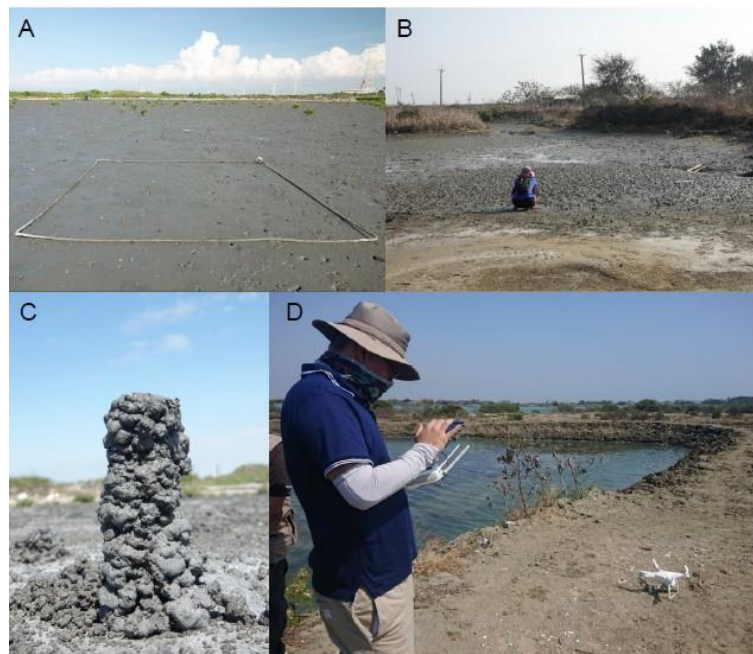


圖 2. 本研究採用臺灣旱招潮之族群估算方法。A: 樣框調查; B: 直接計數; C: 以煙囪數量估算個體數; D: 空拍機估算

(*Gelasimus borealis*)、乳白南方招潮 (*Austruca lactea*) 的個體數。依據 HT Shih (1999) 及 HT Shih *et al.* (2015)，作為招潮蟹之辨識依據。估算之分布範圍於調查前以 GPS 進行定位，後續再以 Google Earth Pro 之尺規工具估算面積，將各樣框內臺灣早招潮的平均密度 (隻/m²) 乘上估算範圍，即為估算的族群量 (Adamczewska & Morris 2001)。(2)直接計數：針對小面積且族群密度低之棲地，參考 Skov & Hartnoll (2001)，以望遠鏡或長焦相機，直接計算 30 mins 內地表活動之臺灣早招潮個體數量作為族群量 (圖 2B)。(3)煙囪估算：針對大潮時期觀察不易之區域，採用計算煙囪 (圖 2C) 數量並結合性比之方式進行估算。由於煙囪為雄蟹在與雌蟹成功配對後建造之結構物 (HT Shih *et al.* 2005)，因此煙囪數可視為雌蟹數量，再參考鄰近族群之性比計算雄蟹數量，加總後即為族群估算量。(4)空拍機估算：對於人員難以靠近之棲地，採 DJI P4P 飛行器 (DJI, China) 於高空攝影方式估算，距地面約 60m，飛行速度 3m/s，地面採樣距離 (ground sample distance, GSD) 為 1.5 cm/像素，航線中影像重疊率為 80%、航線間重疊率則為 70% 以產生高度重疊的航拍影像，疊圖軟體使用 PIX4D (Küng *et al.* 2011)，疊圖組合後即為完整棲地照；低空攝影距地面 15m，飛行速度 3m/s，GSD 為 0.5cm/像素，沿飛行路徑錄製影像，並分析地表活動之個體密度。以 VirtualDub2 對低空攝影結果進行逐格檢視，計算影像中臺灣早招潮個體密度後，乘上計算之棲地面積即為估算族群量 (圖 2D)。

結果

本研究共調查 22 樣點 (圖 3)，其中 15 處有臺灣早招潮分布，其北界與南界分別為新北淡水 (淡水紅樹林自然保留區) (圖 4A) 及高雄林園 (汕尾漁港) (圖 4F)；7 處未發現個體 (蘭陽溪口、關渡、麗水、東石、大鵬灣、青螺、菜園)。調查結果顯示臺灣早招潮可出

現在不同類型的棲地，例如：(1)河口或周圍的開闊泥灘地，包含香山 (圖 4B)、清水、龍井、伸港 (圖 4C)、線西、大城 (圖 4D)、麥寮 (圖 3D) 等，為大部分族群之典型棲地；(2)河口內的感潮河段 (tidal river)，為河岸的沖積灘地，包含淡水、北門與位於台江國家公園內的七股、安南 (圖 4E) 等；(3)海堤水閘門內小面積灘地，包含新豐、後龍等；(4)內陸廢棄魚塭，距離海岸線較遠，可達 1.6km，如香山部分棲地及芳苑；(5)漁港內淤積灘地，如林園 (圖 4F)。除河口開闊灘地為黏土質外，其餘四類棲地基質皆為黏土混合砂質。

臺灣早招潮之總族群量估算約為 1,000,000 隻 (表 1)，個體數量最多的區域在濁水溪口南北岸，共占 87.5%，包含彰化大城及雲林麥寮，兩地皆為河口處之開闊黏土質潮間帶；其次為香山濕地，占 10.6%，此棲地縱跨約 7km 之海岸線，涵括多種棲地。最常與臺灣早招潮共域之招潮蟹為弧邊管招潮與乳白南方招潮，北方丑招潮則因偏好砂質之棲地，僅於台南安南有共域現象。

討論

一、分布範圍與族群量

依據本調查結果，臺灣早招潮目前分布於淡水河口及高屏溪口之間 (圖 3)，與 HT Shih (2015) 比較，分布南界由台南安平延伸至高雄林園。此外本研究增加了數個地點的新紀錄，如新豐、後龍、線西、林園等，雖然這些樣點的族群量較小且不穩定，仍顯示若有合適棲地，臺灣早招潮仍有建立族群之可能性。然而在關渡及東石之族群，在研究期間並未觀察到，推測原因可能為此兩棲地之紅樹林較為密集，導致基質過於泥濘，不利臺灣早招潮族群維持及建立 (歐姿慧 2014)，未來可針對此些棲地進行更詳細的調查。根據劉靜榆等 (2022) 的資料顯示，仍有其他過去記錄過的地區並未包含於本次調查中，這些族群目前的狀況如何，有待未來持續加以調查。

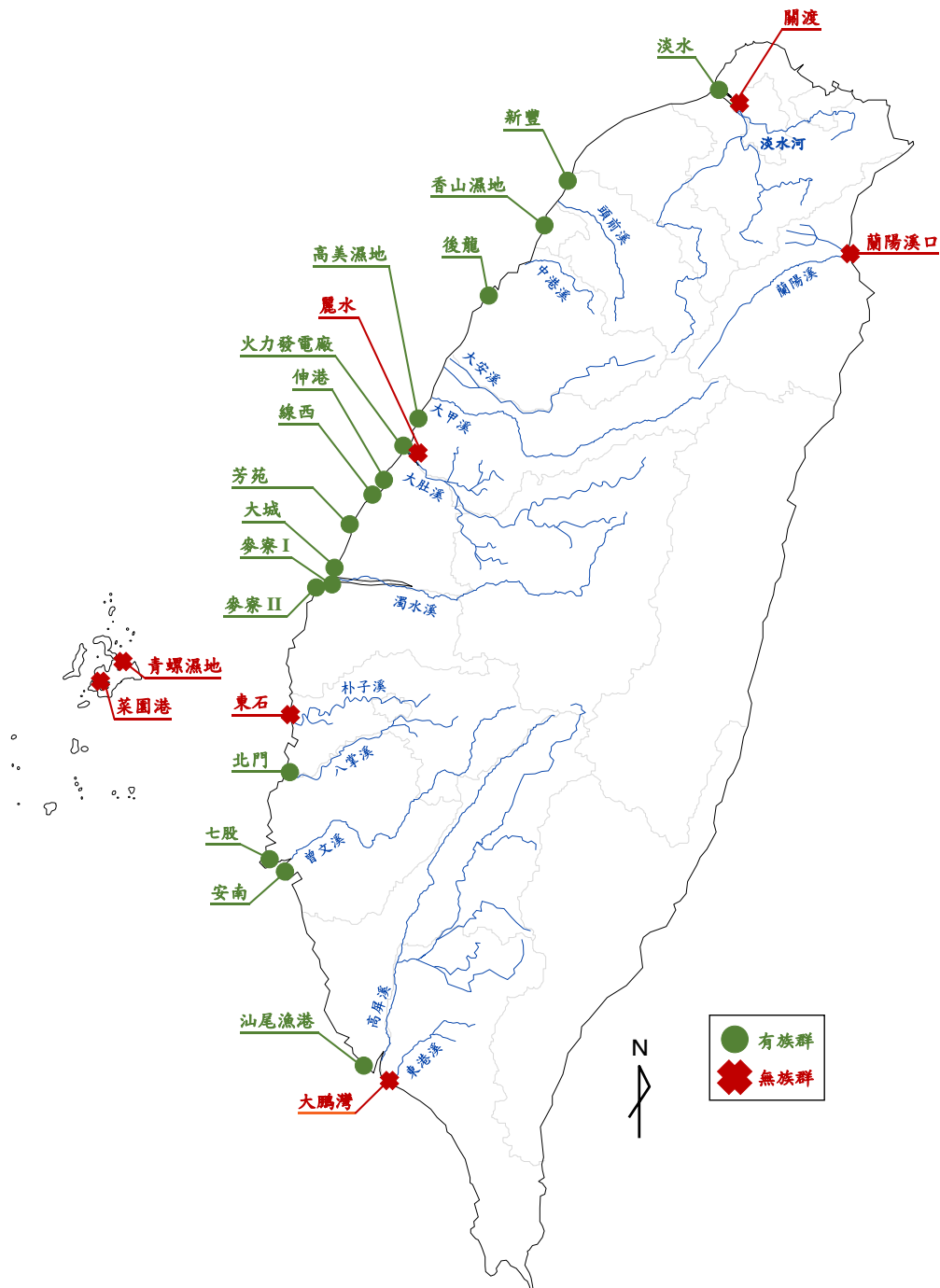


圖 3. 本研究調查樣點及臺灣旱招潮分布範圍

本研究為首次對臺灣旱招潮族群量的大尺度估算，估算之個體數約為 1,000,000 隻，其中 98% 集中於香山及濁水溪口（大城、麥寮），屬於塊狀分布 (patchily distributed) (HT Shih *et al.* 1999)，也凸顯其餘 12 處棲地之族群

可能較不穩定，也較容易有生存之壓力。香山濕地估算之族群量為 105,676 隻 (表 1)，與楊樹森 (2017；2019；2021) 估算之 430,000 隻有明顯差距，推測原因如下。在估算方法上，楊樹森 (2017、2019) 中「族群量估計」之數值為

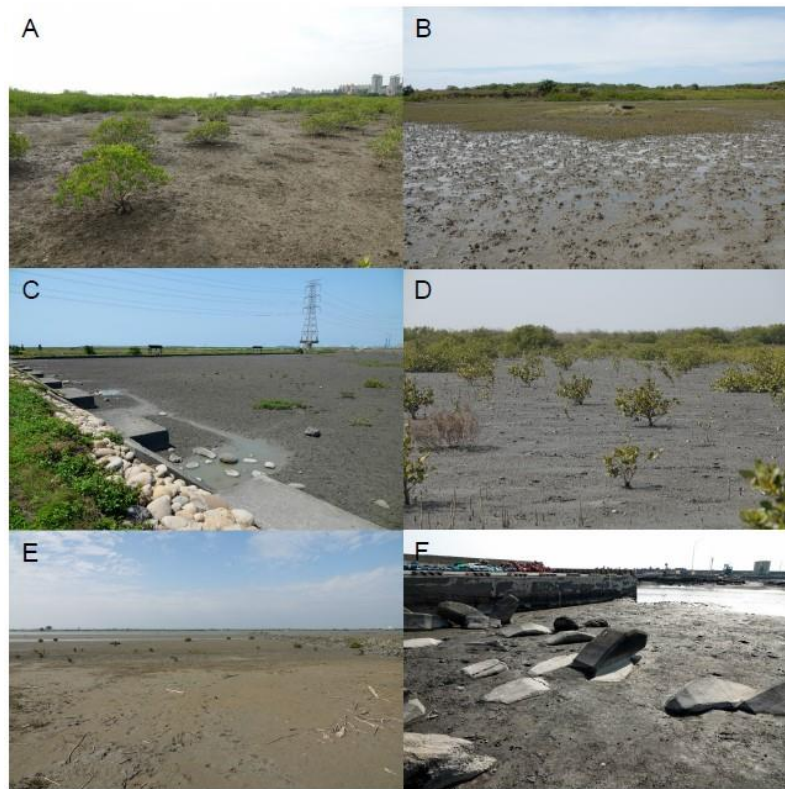


圖 4. 臺灣旱招潮之棲地環境。A: 紅樹林自然保留區(新北淡水)；B: 海山漁港南側灘地(新竹香山)；C: 大肚溪口野生動物保護區(彰化伸港)；D: 大城南段海堤外側灘地(彰化大城)；E: 曾文溪南岸灘地(台南安南)；F: 汕尾漁港(高雄林園)

雄性密度與有效面積乘積的兩倍，應是將臺灣旱招潮性比 (sex ratio) 界定為 1。不同種類的招潮蟹其性比可能不同，包含大於 1 (雄蟹多於雌蟹)、近於 1 (雄蟹與雌蟹數量相近) 或小於 1 (雄蟹少於雌蟹) (Johnson 2003)，多數印度-西太平洋的窄額類群，其性比多於 1，例如西方丑招潮 (*Gelasimus hesperiae*) 為 1.94、四角丑招潮 (*G. tetragonon*) 為 2.00、呼喚丑招潮 (*G. vocans*) 為 1.95 或 4.00、阿氏管招潮 (*Tubuca alcocki*) 為 2.35、鉗指管招潮 (*T. forcipata*) 為 1.20、烏氏管招潮 (*T. urvillei*) 為 2.96 (Frith & Brunenmeister 1980；Emmerson 1994；Weis & Weis 2004)。本研究在分析 30 個香山樣框以及 14 個大肚溪口 (龍井及伸港) 樣框後，計算兩區域的臺灣旱招潮性比分別為 2.13 及 1.75，此數值符合上述的類群。又因楊樹森 (2021) 為楊樹森 (2017、2019) 的後續研究並引用其數

據，因此結果推測是高估所造成的。另外一個原因，可能是樣區選擇範圍的不同，本研究在劃定估算區域時僅選擇空曠灘地，若區域已有植被，則不列入實際估算面積，因此本研究之估算數量低於楊樹森 (2017；2019；2021) 的結果。

二、族群估算方法之誤差

蟹類族群量估算法中，以直接挖掘所得之數據較為準確 (Skov & Hartnoll 2001；Skov *et al.* 2002；Jordão & Oliveira 2003；Keeratipattarakarn *et al.* 2021)，然而此法會造成棲地干擾與破壞。另外由於臺灣旱招潮的洞穴深度多為 40cm 以上，甚至可超過 100cm (HT Shih *et al.* 2005；劉靜榆等 2022)，破壞範圍相當大，因此本研究改以其他方式進行估算。樣框估算及直接計數僅計算在地表活動之

表 1. 各樣點調查方法及估算之臺灣旱招潮族群量

		調查樣點	調查方法	調查年份	估算族群量
新北	淡水	紅樹林自然保留區 (圖 4A)	直接計數	2021	219
	新豐	鳳坑海堤內灘地	直接計數	2021	8
新竹	香山	香山濕地 (圖 4B)	直接計數	2020–2022	105,676
			煙囪估算 (性比 2.13) 樣框估算 (44 樣框)		
苗栗	後龍	過港海堤水門內灘地	直接計數	2022	7
台中	清水	高美濕地	煙囪估算 (性比 1.75)	2021	3,256
	龍井	大肚溪口野生動物保護區	樣框估算 (2 樣框)	2021	3,090
	伸港	大肚溪口野生動物保護區 (圖 4C)	直接計數	2021	5,188
			樣框估算 (12 樣框)		
彰化	線西	線西水道北岸灘地	直接計數	2021	40
	芳苑	海尾二排水溝北側廢棄魚塭	樣框估算 (3 樣框)	2020	568
	大城	大城南段海堤外側灘地 (圖 4D)	樣框估算 (24 樣框)	2021、2022	264,233
雲林	麥寮	麥寮海埔新生地北側灘地	樣框估算 (12 樣框)	2021	111,816
		許厝寮漁港北側灘地 (圖 3D)	樣框估算 (16 樣框)	2021	496,829
	北門	八掌溪南岸灘地	直接計數	2021	57
台南	七股	曾文溪北岸灘地	空拍機估算	2021	115
	安南	曾文溪南岸灘地 (圖 4E)	樣框估算 (7 樣框)	2022	6,335
高雄	林園	汕尾漁港 (圖 4F)	直接計數	2020	2
總數					997,439

個體，無法包含躲藏於洞穴中之個體，因此會造成低估 (Jordão & Oliveira 2003)。本研究選擇於滿潮後個體出洞覓食時，此時出洞之個體最多 (HT Shih *et al.* 2005)，可改善低估的數量 (Skov & Hartnoll 2001)。煙囪數結合性比之估算法方面，由於估算基礎為具生殖力之雌蟹，且煙囪為雄蟹與雌蟹配對後之產物 (HT Shih *et al.* 2005)，因此會遺漏稚蟹或尚未配對成功之個體，造成低估；空拍機估算因解析度緣故，可能將體色與臺灣旱招潮相近之共域物種計入，如曾文溪口記錄過的窄管招潮 (*Tubuca coarctata*)、屠氏管招潮 (*T. dussumieri*) 或體色較深的弧邊管招潮。未來可針對同一區域的族群量，採多次重複估計以及不同方法估計，以降低各方法估算所造成的誤差。

三、紅樹林之影響

本研究調查過程中，發現臺灣旱招潮面臨多樣生存壓力，特別是紅樹林的人為栽植與擴張，例如淡水、線西、芳苑、大城、七股等地，為早期人為栽植之水筆仔、海茄苳 (圖 1E)，已造成棲地之基質改變。

過去已有許多國內研究提出紅樹林對臺

灣旱招潮的威脅，例如施習德 (1997) 就發現到龐大的臺灣旱招潮族群都處於開闊無紅樹林的泥灘地，反之有紅樹林的環境，臺灣旱招潮數量很少；謝蕙蓮等 (2004) 認為大尺度影響中，紅樹林會使水流減緩而造成細泥顆粒沉降、累積，易使灘地陸化，潮間帶範圍因而縮小，小尺度的影響則包含食物來源改變、視覺阻礙、空間複雜化、競爭者及捕食者數量增加等；施習德 (2008) 報導澎湖青螺之族群，由於棲地被欖李 (*Lumnitzera racemosa*) 占據而消失；Chen *et al.* (2018) 及 Chen & CH Shih (2019) 提到紅樹林的入侵會迫使原生物種遷移到無紅樹林處，在紅樹林移除後則會回到原棲地。目前國內已有部分地區著手進行紅樹林移除或疏伐，如香山濕地自 2007 至 2019 年，已將原本 141 公頃的紅樹林控制至 10 公頃內 (張登凱 2021)；芳苑目前也正在著手進行 (Chen & CH Shih 2019)。許多國外的灘地環境亦深受紅樹林危害，並投入大量資源進行移除，如紐西蘭 (Alfaro 2010)、夏威夷 (Allen 1998; Siple & Donahue 2013)、香港 (Chan *et al.* 2011) 等地。本研究調查結果發現目前淡水 (圖 4A)、線西、芳苑及七股 (圖 1E) 等地，都已有

密集的海茄苳和水筆仔植株，大城（圖 4D）、麥寮及伸港等地之海茄苳亦有擴張趨勢，若無法及時清除並阻止其擴張，該區域臺灣早招潮族群可能也會很快消失。

四、未來保育規劃

根據本研究結果，臺灣早招潮所估計的族群量，在不同區域有很大的差異，有的族群量可以達到近 500,000 隻（例如麥寮許厝寮漁港北側灘地）；然而有些棲地卻僅有 10 隻以下（例如新豐、後龍及林園）。在這種差異極大的分布模式上，較小的族群相對較為脆弱，也存在著滅絕的風險。在調查過程中，也發現到其餘生存壓力，包括麗水、伸港、安南等地之棲地開發（包含非法魚塭、光電工程、錯誤生態工法）、海岸廢棄物（漁網、塑膠垃圾等；圖 1F）、工業區排放廢水等。

未來規劃應考慮將保留自然棲地及棲地恢復作為重要目標之一，包含移除紅樹林、避免光電工程設置等，並持續調查分布狀況、族群量，也建議加入行為及幼體入添（larval recruitment）資訊，作為族群能否維持的指標。透過長期監測數據之比較，可評估各族群的消長狀況與生物特性，期能建構臺灣早招潮完整的分布與族群資料，作為日後制定法規與物種保育策略之參考。

HT Shih *et al.* (1999) 提出臺灣早招潮保育的四個方針，包括避免棲地開發、禁止紅樹林栽植、更多相關生物學研究，以及應將本種列為保育類物種。然而經過 20 多年，多處臺灣早招潮的族群已銳減（例如伸港、七股、淡水）或幾近滅絕（澎湖青螺、嘉義東石），呈現出明顯的不連續分布，使其族群間的關聯性降低；而紅樹林的擴張範圍逐年增加，但移除的速度相對緩慢，導致合適的棲地愈來愈少，容易造成區域性的滅絕。

在東亞其他國家中，日本已將特有種小笠原擬瘦招潮（*Paraleptuca boninensis*）列為「稀少野生動植物種」加以保護，其瀕危等級為「極危」（CR: Critically Endangered）（<https://www>.

env.go.jp/press/103813.html）；南韓則將乳白南方招潮列入保育類物種（protected species），屬於瀕危等級 II（endangered class II）（Hwang *et al.* 2015）。臺灣早招潮除了是特有種外，也是僅存於臺灣的特有屬招潮蟹，具有更珍貴的分類地位，加上如前述其棲地受到不同程度的威脅，造成族群間的關聯性降低，部分族群容易滅絕，有必要將其列為臺灣的保育類野生動物，使本物種及其族群得以永續。

結論

本研究為首次針對臺灣早招潮進行大尺度的分布調查及族群量估算，結果顯示本種目前分布於新北淡水至高雄林園間，共記錄 16 個分布區域，估算總數量約為 1,000,000 隻，最多數量的區域位於濁水溪口南北岸。本種目前面臨多種的生存壓力，其中以紅樹林擴張的威脅最為嚴重，建議規劃保留自然棲地及棲地恢復，並進行長期監測。由於本物種為特有屬與特有種，但目前棲地受威脅程度增高，導致部分族群容易滅絕，建議將本種列為保育類野生動物，才能讓此稀有的招潮蟹永存於臺灣。

誌謝

本研究經費由科技部計畫（編號 MOST 108-2621-B-005-002-MY3; 111-2621-B-005-003）與日月光文教基金會補助支持；施喜、楊茵洳、楊信得、蔡鵬如等人提供臺灣早招潮之紀錄樣點；新竹市政府生態保育課及林務局協助進入香山樣區許可之申請與核准；研究室成員陳旻宛、紀重佑、黃郁軒、張海宜、薛堯勵、梁伯睿、王壯平、徐宇呈協助野外調查，兩位審查委員提供寶貴意見，在此一併致謝。

引用文獻

林世偉、廖少威、張文亮。2006。香山濕地臺

- 灣招潮蟹棲地類型底質特性研究。農業工程學報 52(4):1-14。
- 施習德。1997。屬於福爾摩莎的「臺灣招潮」，何去何從？—記臺灣特有種招潮蟹的現況。臺灣博物季刊 54:68-80
- 施習德。2008。澎湖招潮蟹的多樣性與群落結構之初步探討。野生動物保育彙報及通訊 12:17-21。
- 洪昆瑑。2015。臺灣西部沿海臺灣招潮蟹族群的遺傳與形態變異。私立東海大學生命科學系碩士論文，64 頁。
- 張登凱。2021。109-110 年度新竹市濱海野生動物保護區維護計畫成果報告。新竹市政府，51 頁。
- 陳曉怡。2008。臺灣招潮蟹棲地保育之底質特徵探討：以麥寮為例。國立臺灣大學漁業科學研究所碩士論文，66 頁。
- 楊樹森。2017。105-106 年度香山重要濕地（國家級）基礎調查計畫成果報告。國立清華大學，新竹市，235 頁。
- 楊樹森。2019。107-108 年度香山重要濕地（國家級）生態及水質監測計畫成果報告。國立清華大學，新竹市，204 頁。
- 楊樹森。2021。109-110 年度新竹市香山重要濕地（國家級）臺灣旱招潮蟹族群、經濟性採集底棲無脊椎動物生態暨溼地水質監測調查計畫成果報告。國立清華大學，新竹市，149 頁。
- 劉烘昌、李家維。1994。新竹香山潮間帶的螃蟹。海岸溼地生態及保育研討會論文集，中華民國野鳥學會，台北。pp. 103-113。
- 劉靜榆。2012。曾文溪口臺灣招潮蟹棲地特性研究。臺灣生物多樣性研究 14(1-2):1-25。
- 劉靜榆、林惠真、洪昆瑑。2022。臺灣旱招潮族群消長、分布變遷及棲息環境特徵分析。臺灣生物多樣性研究 24(3):1-76。
- 歐姿慧。2014。臺灣產招潮蟹棲地類型之研究。國立中興大學生命科學系碩士論文，161 頁。
- 謝蕙蓮、陳章波、林柏芬。2004。紅樹林對濕地多樣性保育的衝擊：以臺灣招潮蟹為例。臺灣濕地雜誌 47:21-33。
- Adamczewska AM & Morris S. 2001. Ecology and behavior of *Gecarcoidea natalis*, the Christmas Island red crab, during the annual breeding migration. *Biological Bulletin* 200:305-320.
- Alfaro AC. 2010. Effects of mangrove removal on benthic communities and sediment characteristics at Mangawhai Harbour, northern New Zealand. *ICES Journal of Marine Science* 67:1087-1104.
- Allen J. 1998. Mangroves as alien species: the case of Hawaii. *Global Ecology & Biogeography Letters* 7:61-71.
- Chan PK, Ching SH & Erftemeijer PLA. 2011. Developing a mangrove management strategy in the estuaries of Deep Bay, Shan Pui River and Tin Shui Wai drainage channel. In *Proceedings of the CIWEM Hong Kong Water Conference*, Hong Kong, China, pp. 11-12.
- Chen YC, Chu TJ, Wei JD & Shih CH. 2018. Effects of mangrove removal on benthic organisms in the Siangshan Wetland in Hsinchu, Taiwan. *PeerJ* 6:e5670.
- Chen YC & Shih CH. 2019. Sustainable management of coastal wetlands in Taiwan: A review for invasion, conservation, and removal of mangroves. *Sustainability* 11:4305.
- Emmerson WD. 1994. Seasonal breeding cycles and sex ratios of eight species of crabs from Mgazana, a mangrove estuary in Transkei, southern Africa. *Journal of Crustacean Biology* 14:568-578.
- Frith DW & Brunenmeister S. 1980. Ecological and population studies of fiddler crabs (Ocypodidae, genus *Uca*) on a mangrove shore at Phuket Island, western peninsular Thailand. *Crustaceana* 39:157-184.
- Hwang H, Han JH, Lee S, Ryu YM, Paik IH, Min HK & Paek WK. 2015. Invertebrates fauna in the intertidal regions of Yubudo Island, South Korea. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity* 8:66-71.
- Johnson P. 2003. Biased sex ratios in fiddler crabs (Brachyura, Ocypodidae): a review and evaluation of the influence of sampling method, size class, and sex-specific mortality. *Crustaceana* 76:559-580.
- Jordão JM & Oliveira RF. 2003. Comparison of non-invasive method for quantifying population density of the fiddler crab *Uca tangeri*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 83:981-982.
- Keeratipattarakarn K, Tina FW, Sangngam R, Thongsri K & Suphap A. 2021. 'Photography' as a useful method for estimating the density, sex-ratio and body size of the surface-active *Austruca perplexa* (H. Milne Edwards, 1852) (Brachyura, Ocypodidae). *Crustaceana* 94:1429-1440.
- Küng O, Strecha C, Beyeler A, Zufferey JC, Floreano D, Fua P & Gervais F. 2011. The accuracy of

- automatic photogrammetric techniques on ultra-light UAV imagery. In Proceedings of the UAV-g 2011-Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, Zurich, Switzerland, 14–16, September 2011.
- Liao SW, Chang WL & Lin SW. 2008. Status and habitat preferences for endemic inhabitants of fiddler crab *Uca formosensis* in Hsiang-Shan wetland, Taiwan. *Environmental Monitoring and Assessment* 143:203–214.
- Liu MY & Shih HT. 2022. The complete mitogenome of *Xeruca formosensis* (Rathbun, 1921) (Crustacea: Brachyura: Ocypodidae), a fiddler crab endemic to Taiwan, with its phylogenetic position in the family. *Zoological Studies* 61:69.
- Melville-Smith R. 1988. Comparative population size estimates for a portion of the red crab *Geryon maritae* stock off the South West African coast. *South African Journal of Marine Science* 6:23–31.
- Nobbs M & McGuinness KA. 1999. Developing methods for quantifying the apparent abundance of fiddler crabs (Ocypodidae: *Uca*) in mangrove habitats. *Australian Journal of Ecology* 24:43–49.
- Oka SI, Tokutake K & Inoue T. 2021. Growth analysis and population size estimation of coconut crabs based on a large recapture dataset. *Crustacean Research* 50:145–150.
- Shih HT. 2015. *Uca (Xeruca)*, a new subgenus for the Taiwanese fiddler crab *Uca formosensis* Rathbun, 1921 (Crustacea: Decapoda: Ocypodidae), based on morphological and molecular evidence. *Zootaxa* 3974:151–169.
- Shih HT, Chan BKK, Teng SJ & Wong KJH. 2015. *Crustacean Fauna of Taiwan: Brachyuran Crabs, Volume II—Ocypodoidea*. National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, 320 pp.
- Shih HT, Mok HK & Chang HW. 2005. Chimney building by male *Uca formosensis* Rathbun, 1921 (Crustacea: Decapoda: Ocypodidae) after pairing: a new hypothesis for chimney function. *Zoological Studies* 44:242–251.
- Shih HT, Mok HK, Chang HW & Lee SC. 1999. Morphology of *Uca formosensis* Rathbun, 1921 (Crustacea: Decapoda: Ocypodidae), an endemic fiddler crab from Taiwan, with notes on its ecology. *Zoological Studies* 38:164–177.
- Shih HT, Ng PKL, Davie PJF, Schubart CD, Türkay M, Naderloo R, Jones DS & Liu MY. 2016. Systematics of the family Ocypodidae Rafinesque, 1815 (Crustacea: Brachyura), based on phylogenetic relationships, with a reorganization of subfamily rankings and a review of the taxonomic status of *Uca* Leach, 1814, sensu lato and its subgenera. *Raffles Bulletin of Zoology* 64:139–175.
- Siple MC & Donahue MJ. 2013. Invasive mangrove removal and recovery: Food web effects across a chronosequence. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 448:128–135.
- Skov MW & Hartnoll RG. 2001. Comparative suitability of binocular observation, burrow counting and excavation for the quantification of the mangrove fiddler crab *Uca annulipes* (H. Milne Edwards). *Hydrobiologia* 449:201–212.
- Skov MW, Vannini M, Shunula JP, Hartnoll RG & Cannicci S. 2002. Quantifying the density of mangrove crabs: Ocypodidae and Grapsidae. *Marine Biology* 141:725–732.
- Weis JS & Weis P. 2004. Behavior of four species of fiddler crabs, genus *Uca*, in southeast Sulawesi, Indonesia. *Hydrobiologia* 523:47–58.
- Zhang YC & Shih HT. 2022. First zoeal stage of 15 species of fiddler crabs (Crustacea: Brachyura: Ocypodidae) from Taiwan. *Zoological Studies* 61:71.