

## 曾文溪口台灣招潮棲地特性研究

# Habitat of *Uca formosensis* in the Zengwen Estuary of Southwestern Taiwan

劉靜榆

Ching-Yu Liou

行政院農業委員會特有生物研究保育中心 南投縣集集镇民生東路 1 號

Endemic Species Research Institute, Chichi, Nantou, Taiwan

通訊作者：lcy@tesri.gov.tw

Corresponding author: lcy@tesri.gov.tw

### 摘 要

台灣招潮為台灣原生招潮中唯一的特有種，近十幾年來 3 個較大的族群數量已驟減。本研究針對 1992-1994 年及 2008-2010 年調查結果，進行曾文溪口地區底棲蟹類群聚分析，探討台灣招潮分布範圍、棲地特性及曾文溪口地區環境變遷等。1992-1994 年調查設置由 4 個 50 cm×50 cm 正方形小區組成的樣區，挖掘樣區內的底棲蟹類，共取得 96 個樣區資料，計算各樣區蟹類之重要值指數，群聚分析利用定量資料，採用多變數分析之分類法及分布序列法來計算樣區間蟹種組成之變異，台灣招潮、乳白招潮、弧邊招潮、北方招潮、萬歲大眼蟹、台灣厚蟹與德氏仿厚蟹在分布序列第 1 軸上分數相當。2008-2010 年之調查再依據動態影像及挖掘樣區，確認其出洞活動時機以計算族群數量。為瞭解台灣招潮棲地特性，分別檢測微棲地之 pH 值、鹽度、電導度、重金屬、土壤粒徑、土壤有機質、水中溶氧量及潮位變化等環境因子資料，台灣招潮主要群聚範圍為高潮線際坡度 5° 以下之壤土。依據台灣地區土壤重金屬含量標準與等級區分表中，曾文溪口重金屬檢測值多介於第 2-3 級，但鎘為第 4 級，毒害級，土壤中有外來重金屬介入，顯示有中度污染之現象。再比較大肚溪口之採樣數據，2008 年於大肚溪口南岸之原台灣招潮棲地，其檢測值遠超過第 5 級，污染程度較曾文溪口高很多。曾文溪口的地形有巨幅變化，新沱崙沙洲南端內縮極為嚴重，原分佈於此之台灣招潮已隨棲地流失而消失，早期台灣招潮原分佈之曾文溪口北岸及主棲地西南區多開發成魚塢。

由於自然及人為因素所造成之地形變化，影響水位、土壤特性、鹽度及其對棲地之利用，新開挖的魚塭佔據台灣招潮最適棲地，若無法控管魚塭的擴展，則台灣招潮的族群量難以復原。

## Abstract

*Uca formosensis* is an endemic fiddler crab to Taiwan. In the past decade, its population has severely decreased. We investigated the crab community and related environmental factors at the Zengwen Estuary in the southwestern Taiwan for the periods of 1992 to 1994 and 2008 to 2010. The crabs were sampled with digging method and digital camera at 96 plots, each with 1 m<sup>2</sup> area divided into four 50×50 cm<sup>2</sup> subplots. For each plot, the species of the crabs were identified and the number of each of the species were counted and presented as the important value index (IVI). Multivariate statistical analysis, classification and ordination, were used for the quantitative analysis of the crab community variations. The species composition of the community, and population sizes of the species and their distribution patterns, habitat types and topography were examined. Environmental factors such as dissolved oxygen saturation in water, and pH, salinity, electric conductivity, heavy metals, particle-sizes, organic matters of the soil were analyzed. Loam in the upper inter-tidal zone with gentle slopes of less than 5° was found to be the most suitable habitat for the crabs. According to soil heavy metal content standards and classification of Taiwan, the heavy metal contents were at the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> grades, while cadmium was at the 4<sup>th</sup> grade, indicating an intermediate pollution. At the Dadu Estuary in the central western Taiwan, the heavy metal contents at the dots where *U. formosensis* were found were over the 5<sup>th</sup> grade, 2008. The topography of the estuary has been changed dramatically due to the natural factors and human activities, affecting water level, soil characters, salinity, and habitat utilization of the crabs. The southern region of the New Fuluen Sandbar almost disappeared, while there were many fish ponds that had been constructed in the higher intertidal zone where was once the most suitable habitat of the crabs. This resulted in a serious reduction of the *U. formosensis* population. The conservation of *U. formosensis* requires minimization of human disturbances, particularly from construction of fish ponds.

**關鍵詞：**台灣招潮、分布序列、降趨對應分析、棲地、重金屬含量、曾文溪口、台灣

**Keywords :** *Uca formosensis*, ordination, detrended correspondence analysis, habitat, heavy metal contents, Zengwen Estuary, Taiwan

收件日期：2011年8月24日

接受日期：2012年2月16日

Received: August 24, 2011

Accepted: February 16, 2012

## 緒 言

台灣招潮(*Uca formosensis*)為台灣特種，其族群數量一直不多，十幾年前台灣尚有幾個數量較大的族群，分別在曾文溪口、大肚溪口及香山濕地(施 1997)，而這三個地方當時都曾是工業區、垃圾掩埋場或污水處理廠的預定地。歷經幾番波折，新竹客雅溪口與大庄里海岸之原台灣招潮棲地，已成為水資源回收中心，為此，新竹市政府配合有一系列台灣招潮的復育研究，棲地現況已有初步掌握及報導(朱等 2008；Liao *et al.* 2008)，目前新竹海岸野生動物保護區範圍內海山厝有較小族群，原棲地族群在施工後僅殘存極少量。全台最早針對台灣招潮生態與行為進行完整研究的族群位於大肚溪口的南岸(李 1991)，之後仍持續有相關研究在此進行(Shih *et al.* 1999, 2005；劉等 2000；劉 1999, 2001, 2002；陳及李 2008)。雖然大肚溪口野生動物保護區是台灣目前海岸保護區中面積最大的，但並未將台灣招潮原棲地列入保護區範圍內，而彰化縣政府在該原棲地設立『台灣招潮的故鄉』相關設施，但卻不慎將該處變成以弧邊招潮(*U. arcuata*)與乳白招潮(*U. lactea*)為優勢之棲地，大肚溪口北岸麗水台灣招潮的族群，亦因棲地改變，已不復見(劉 2010)。台南的棲地因地形變遷，再加上新開挖的魚塭佔據台灣招潮的最適棲地，目前族群數量亦已大幅減少(劉 2008, 2009；湯及劉 2011)。綜觀全台，除雲林台西海園的台灣招潮族群，因早期為人工之遊樂區環境而無記錄，後因荒廢後形成自然感潮，近 8 年有新增加紀錄(劉 2010)，其餘地區的族群量均巨幅滑落，其中澎湖(Shih *et al.* 1999；施 2008)、大肚溪口北岸麗水(劉 2010)及高屏溪口北岸等地區之族群(邱等 2004)已確認消失，特別是高屏溪口族

群是在台灣分布最南界，但莫拉克颱風後該棲地已流失(個人觀察)。

目前新竹市政府正積極移除紅樹林以適合台灣招潮族群生存，但新竹地區之族群僅較移除前略為增加，仍遠低於水資源回收中心興建前之族群(劉及李 1994)。初步研究顯示曾文溪口之總族群量應為全台最大量，然而由於曾文溪口地區之台灣招潮主要分布區不易到達，相關調查研究除特有生物研究保育中心年度試驗研究成果報告(劉等 1993, 1994)、研討會論文(劉 1994a, 2009, 2011；劉等 1999)及書籍出版(劉 1994b, 1997)外，並未曾有正式學術報告發表。

曾文溪口地區雨量較少，平均 1500 mm，且集中於夏季之現象非常明顯，夏季雨量佔全年雨量 80%以上，冬季乾旱。曾文溪口地區的海象方面，將軍最高高潮位 99.8 cm，最低低潮位 -116.8 cm，平均高潮位 58.4 cm，平均低潮位 -53.5 cm(參考中央氣象局將軍及安平 2 潮位測站與七股浮標波浪數值)，但應用上並不很吻合，安平潮位資料差異更大。七股冬季 12-2 月海水表面平均溫度 17.53°C，夏季 6-8 月海水表面平均溫度 32.53°C，月均溫 26.38°C(數值計算自中央氣象局七股浮標 2006-2010 年每月海水表面溫度統計資料)。

曾文溪為台南海岸主要的供沙來源，且沿岸流主向北流，漂沙北上，因此曾文溪北岸較南岸海積現象發達(徐 1962)。曾文溪出海口地質屬第四紀沖積層，由坩砂、黏土、砂和壤土組成，海埔地增長速度，曾於 70 年內(1904-1973)西移達 3.5 km，平均每年約西移 50m(朱等 1990)，依據歷年地形測量圖之分析，曾文溪口附近之淤積於 1904-1919 年間高達 8m/year(郭 1990)。由於長期堆積作用使曾文溪出海口逐漸南移，台南七股地區則形成廣

大之河川新生地，當時的台南縣政府於 1987 年完成曾文溪口新海堤與河堤的施工，圍起面積 827ha 的海埔地，潮水經由閘門漲退，形成約 280 ha 之浮覆地。由於河川上游輸砂被攔阻，新築河海堤改變沿岸流漂沙移動方向，導致地形開始變化，新浮崙沙洲南端急速內縮(劉等 1993, 1994；林等 2000；郭 2001；劉及陳 2005；湯及劉 2010)。

本研究為行政院農業委員會補助之「台灣西南沿海生物資源調查」計畫中 1992-1994 年調查資料與 2009-2010 年「台南地區野生動物保護區生物監測及經營管理之研究」計畫之一部分，依據 1992 年曾文溪口北岸的調查紀錄(劉等 1993)，台灣招潮的群居性強，常呈大面積之單一優勢，台灣招潮比弧邊招潮族群數量多(劉等 1993)，但目前台南河口域僅發現 3 處

較為穩定的台灣招潮群落可供研究取樣。本研究針對 1992-1994 年及 2008-2010 年調查結果，分析曾文溪口地區台灣招潮族群分佈範圍、棲地利用狀況及環境變遷等，主要透過挖掘樣區，再依據動態影像及微棲地水文、水質、土壤等環境因子資料，研究曾文溪口之台灣招潮群聚(community)現象與環境因子之相關性，結合早期資料，歸納出台灣招潮的棲地需求，作為爾後進行相關工程之危害減低、棲地改善及復育策略擬訂之參考。

## 材料與方法

### 一、研究範圍

研究區為曾文溪口地區(圖 1)，區界以國聖大橋以西，北抵九塊厝堤防，沿曾文溪南岸

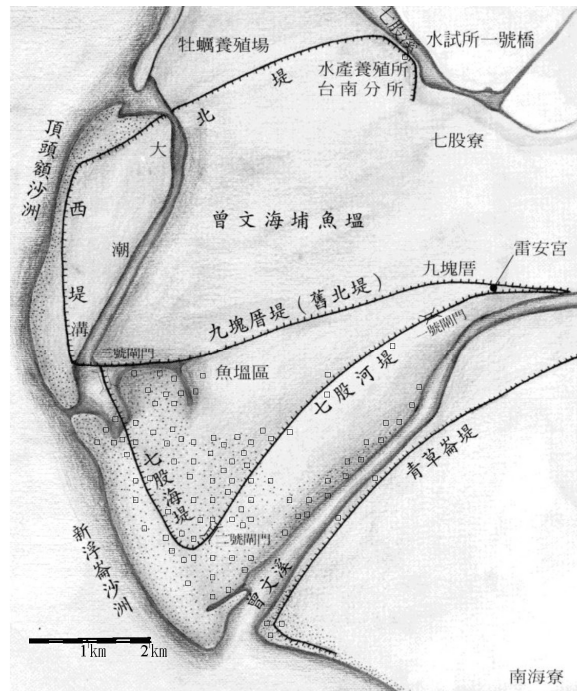


圖 1. 曾文溪口地區第 1 階段調查採樣位置(方框)圖

Fig. 1. Sampling stations (open squares) of crabs with the digging method in the tidal zone of the Zengwen Estuary, 1992-1994.

堤為南界，西達低潮線，涵括新浮崙沙洲。

## 二、挖掘樣區

本研究分析 1992-1994 年資料(以下簡稱第 1 階段調查)，取樣工作自 1992 年 9 月至 1994 年 12 月，調查時沿水分梯度在均質(homogeneous)棲地，每 10m 設置 1 樣區，為避免挖掘時間過久，使樣區內蟹類逃走，每個樣區(plot)由 4 個 50 cm × 50 cm 分散於一均質(homogeneous)棲地之小區(subplot)組成，即每樣區面積合計 1 m<sup>2</sup>，每小區以大鏟子從四方迅速挖掘，深 25 cm，同時檢視小區內是否還有更深的洞穴，針對洞穴的方向繼續挖掘，小區內的底土移至樣區旁由另一組人初步篩選後，再以孔目 5 mm 之篩網篩選土中蟹類。將所挖掘篩選之底棲蟹類分別記錄種名、性別，並量測個體溼重及背甲長寬等數據。計算單位面積底棲蟹類隻數及重量，再將四個小區資料合併為一樣區資料，共計 96 個樣區進入分析，此階段重點在蟹類群聚現象探討。之後 2008-2010 年的取樣工作(以下簡稱第 2 階段調查)則著重在台灣招潮的行為，採用攝影連續畫面。比較兩種調查方法，數位影像樣區可記錄較高的單位面積族群數量，但調查時間受到潮位限制；挖掘樣區不論潮位皆可調查，但因挖掘干擾，有些成蟹會由分支通道逃離，又因台灣招潮的洞穴極深，挖掘樣區之資料易低估，所以第 2 階段僅針對台灣招潮挖掘 18 個樣區，並確認洞穴內交配狀況及不同潮位、季節洞穴內是否為雌雄成對。

## 三、數位影像

第 2 階段的取樣工作自 2008 年 9 月至 2010 年 12 月，針對台灣招潮族群分布區，先以廣角鏡頭拍攝大範圍蟹類地表活動數量，再設置 1×1 m<sup>2</sup>的樣框，架設攝影機，調整拍攝距離，啟動後離開，周邊 10m 範圍內淨空，在

無干擾狀況下錄影，共累計可分析之有效錄影 42hr，包括空間分布及時間尺度的資料。將連續畫面定格計數，所紀錄之時間含出洞時及封洞前後比較，小型及雌蟹的保護色比較不易觀察，肉眼看廣角鏡頭時不清楚，先以長鏡頭拍攝，確認螃蟹種類及數量，對照廣角鏡頭拍攝及 1×1 m<sup>2</sup>的樣框(圖 2)，進行台灣招潮地表活動族群數量計算。

## 四、微棲地水文、水質及土壤測定

### (一) 土壤測定

採樣作業均以行政院環境保護署環境檢驗所公告之採樣法作業，執行品保、品管，每樣點有 3 次的重覆分析。第 1 階段調查，現場測量以德國 WTW 196T 測定儀測土溫(soil temperature, ST)、底土氧化還原電位(oxidation-reduction potential, Eh)及土壤壓縮度(soil compression, SC)。採取表土層之混合土壤，每一土壤樣本採 10 點，合計約 1 kg，陰乾後充分混合，測有機質含量(organic matter, OM)、導電度(electrical conductivity, EC)、鹽度(salinity)、氫離子濃度指數(pH)、陽離子交換量(cation exchange capacity, CEC)、土粒密度(particle density, PD)、土壤含水率(soil moisture content, SMC)、土壤質地(soil texture)、重金屬(heavy metal)，並測全氮量及有效磷、鉀等主要元素含量等。第 2 階段採樣以圓管內徑 5.6 cm，長 60 cm，插入土中約 40 cm，採取土條返實驗室分析。

### 1. 土壤質地

土壤粒徑分析(particle size distribution analysis)計算砂粒(sand, 2-0.05 mm)、粉粒(silt, 0.05-0.002 mm)與黏粒(clay, < 0.002 mm)之含量百分比(Eshel *et al.* 2004；林等 2009)，第 1 階段調查以吸管法(pipette sampling)分析，第 2 階段以比重計法(hydrometer method)

分析土壤粒徑，此 2 種分析所得之粒徑百分比，可由質地三角圖(textural triangle chart)劃分質地等級(textural class)，1994 年另採用濕篩方式(謝等 1993)量測粒度及篩選度，而土壤密度(soil density)則以土罐法(soil core)分析土壤孔隙率(porosity)。

#### 2. 有機質含量

分別以重鉻酸鉀( $K_2Cr_2O_7$ )氧化還原滴定法(oxidation-reduction titration)或乾式灰化法(dry ashing)處理(Crisp 1971)測得有機質含量。

#### 3. 氧化還原層深度(depth of the oxidation reduction layer, DOL)

以透明壓克力採樣圓管，內徑 2.6 cm 長 40 cm，插入土中約 30 cm，或挖掘土壤剖面直接測量，計算氧化還原層深度。

#### 4. 土壤重金屬

傳統重金屬全量分析採行政院環保署環境檢驗所公告的王水消化法(NIEA S321.62C)，將濃鹽酸(HCl)與濃硝酸( $HNO_3$ )所組合之王水(aqua regia)加入樣品，經加熱、迴流溶解後，使用原子吸收光譜法(Atomic absorption spectrometry, AAS)，計算土壤重金屬全量。為配合環保署所訂土壤中重金屬含量分級標準，鎘(Cd)、銅(Cu)、鉛(Pb)、鋅(Zn)、鎳(Ni)、鉻(Cr)等 6 種另以酸性消化法(NIEA S330.60A)，以 0.1N HCl 萃取量分析，測得生物有效性濃度。兩階段之調查檢測各分析 8 種土壤重金屬，除前述之分析外，第 2 階段檢測另增加以環境保護署 2006 年公告之土壤和底泥中元素濃度快速篩選法，利用 X-射線螢光光譜儀(X-ray fluorescence)進行，本研究採用



圖 2. 本研究第 2 階段調查取得數位影像的樣框( $1 \times 1 \text{ m}^2$ )

Fig 2. A sampling station ( $1 \times 1 \text{ m}^2$ ) of crabs with the digital-camera file method in the tidal zone of the Zengwen Estuary, 2008-2010.

美國Thermo NITON手持式XRF分析儀XL3t Series分析 32 種土壤重金屬。第 2 階段曾文溪口地區採樣檢測結果，並與大肚溪口、台西海園等有台灣招潮分布區及台南海岸無台灣招潮分布區之檢測結果進行比較。

## (二) 水文、水質測定

採樣作業均以行政院環境保護署環境檢驗所公告之採樣法作業，執行品保、品管，每樣點有 3 次的重覆分析。現場測量以德國 WTW 196T 水質測定儀測水溫(water temperature, WT)、導電度、鹽度、溶氧量(dissolved oxygen, DO)、氫離子濃度指數。採取水樣返實驗室，分析生化需氧量(biochemical oxygen demand, BOD<sub>5</sub>)、化學需氧量(chemical oxygen demand, COD)、凱氏氮(total Kjeldahl nitrogen, TKN)、氨氮(ammonia nitrogen, NH<sub>3</sub>-N)、總磷(total phosphate, TP)、磷酸鹽(phosphate, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)、硝酸鹽(nitrate)、硫化物(sulfide)、總酚(total recoverable phenolics)、油脂(oil)、懸浮固體(suspended solids, SS)及總鹼度(total alkalinity, TAlk)及鎳、銅、鉛、鋅重金屬含量。

## (三) 蟹類群聚分析

各樣區之底棲蟹類豐富度值(abundance values)以重要值指數(important value index, 簡稱IVI)表示，用原始資料計算各樣區中每一蟹種之密度(隻數)、頻度(小區數目)及優勢度(重量之和)，化為相對值(百分率)後，以三項之總和作為IVI(劉及蘇 1983；Noy-Meir 1973)，此值最高者為 300%，經換算為以 100%為基礎之值。由所得資料運用多變數分析計算樣區間之差異及種的相關性(Everitt 1980)，以群團分析法(cluster analysis)中之階層式群團法(hierarchical clustering analysis)，先算出任何兩樣區間的

Y係數(Yule Coefficient)，然後依Y係數之高低將樣區依序先後合併，依平均聯結法(average linkage)中的加權配對法(weighted pair-group method, WPGMA)，每次將相似性最高的兩樣區或合成樣區合併成新樣區，再續行下一回合聯結，直到全部樣區完成聯結，導出樹狀圖(dendrogram)。本研究再採降趨對應分析(detrended correspondence analysis, DCA) (Hill and Gauch 1980)，運算過程採用加權平均法(weight average, WA)反覆運算。本分析採用Hill降低稀有種權重(rare species downweighted)的運算法，將稀有種(出現率低於 1/5)的權重降低，並在計算過程中利用 26 段重新刻劃(rescaling segments)及 4 次降趨週期(detrending cycles)之步驟，改良軸端壓縮(end compression)及拱形效應(arch effect)，計算各軸之特徵值(eigen value)、變數負荷量(variable loading)，繪出分布序列圖(ordination) (Hill and Gauch 1980；Gauch 1982；劉 2002；劉等 2005)，計算以MVSP(multivariate statistical package)程式來進行(Kovach 1999)，據此分析底棲蟹類群聚現象。

## (四) 潮位變化測量

曾文溪口地區每日 2 次之漲潮高度，有 1 次的潮差較小，在大潮時特別明顯，研究區內又因堤防阻隔，潮水僅能由閘門進出，潮位變化與氣象站資料多有不同。第 1 階段調查以測尺實際測量潮位變化；第 2 階段除前述之分析外，增加以流速計測量流速及流量，2010-2011 年並於河海堤內之浮覆地兩側潮溝各設置固定潮位記錄器，每 30min自動記錄 1 筆資料，進行潮位及水溫記錄。

## 結果與討論

### 一、曾文溪口地區底棲性蟹類群聚

#### (一) 降趨對應分析

透過挖掘記錄之 96 個底棲蟹類 1 m<sup>2</sup> 方形樣區，計算 20 種底棲蟹類重要值指數之資料組成原始矩陣，經降趨對應分析後，變異軸代表主要的底棲蟹類群聚變異方向，前兩軸之變異程度 17.9%(表 2)，各軸之值依次遞減，第 1

軸之特徵值 0.94，第 2 軸為 0.77。(表 3)為 20 種底棲蟹類前 4 軸之變異程度，由降趨對應分析所計算的分數(score)繪出第 1 軸與第 2 軸的分布序列圖(圖 3)，一般軸長大於 4 時，組成物種會完全轉換，由圖可看出第 1 軸之軸長 12，表示樣區之組成物種幾乎已經轉換 3 次。換言之，所有樣區環境梯度對應物種群聚之變異約有 3 次完全轉換。

**表 1.** 樣區內各物種名稱及重要值指數之敘述統計表

**Table 1.** Statistics of important value indices (IVI) of the crabs collected at 96 plots in the tidal zone of the Zengwen Estuary, 1992-1994

Species	Total of IVI	Mean of IVI	Standard deviation	Coefficient of Variance	Number of plots
<i>Mictyris brevidactylus</i>	1022.68	10.65	27.01	2.54	17
<i>Macrophthalmus banzai</i>	437.03	4.55	16.93	3.72	10
<i>Uca formosensis</i>	1186.80	12.36	26.18	2.12	23
<i>Uca lacteal</i>	949.89	9.89	19.67	1.99	30
<i>Uca arcuata</i>	277.45	2.89	8.53	2.95	15
<i>Uca borealis</i>	260.46	2.71	8.45	3.12	12
<i>Scopimera longidactyla</i>	254.10	2.65	8.40	3.17	15
<i>Scopimera bitympana</i>	522.69	5.44	17.76	3.26	15
<i>Ocypode stimpsoni</i>	242.42	2.53	12.96	5.13	10
<i>Ocypode ceratophthalmus</i>	1335.47	13.91	30.25	2.17	19
<i>Matuta victor</i>	247.36	2.58	11.83	4.59	6
<i>Scylla serrata</i>	470.15	4.90	18.78	3.84	8
<i>Parasesarma pictum</i>	242.12	2.52	11.52	4.57	7
<i>Perisesarma bidens</i>	360.62	3.76	15.01	4.00	7
<i>Parasesarma plicatum</i>	284.27	2.96	9.94	3.36	10
<i>Cardisoma carnifex</i>	468.55	4.88	17.90	3.67	7
<i>Helice formosensis</i>	586.63	6.11	13.18	2.16	23
<i>Helicana doerjesi</i>	147.26	1.53	6.30	4.10	9
<i>Varuna litterata</i>	162.34	1.69	7.44	4.40	6
<i>Metopograpsus thukuhar</i>	141.73	1.48	7.95	5.38	5

**表 2.** 降趨對應分析 96 個樣區 20 種底棲蟹類前 4 軸之特徵值**Table 2.** DCA eigen-values on the first 4 axes corresponding to the important value indices for the 20 species of crabs collected at 96 sampling stations

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
Eigen-values	0.942	0.765	0.561	0.227
Percentage	9.895	8.036	5.892	2.38
Cumulative Percentage	9.895	17.931	23.823	26.203

**表 3.** 降趨對應分析 20 種底棲蟹類重要值指數在前 4 軸之序列分數**Table 3.** Ordination corresponding to the important value indices along the first 4 DCA axes for the 20 species of crabs collected at 96 sampling stations

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
<i>Mictyris brevidactylus</i>	5.59	2.52	2.57	1.81
<i>Macrophthalmus banzai</i>	2.56	0.00	0.97	0.86
<i>Uca formosensis</i>	3.43	1.02	1.53	3.68
<i>Uca lactea</i>	4.04	1.41	2.69	2.11
<i>Uca arcuata</i>	3.59	1.80	1.88	2.55
<i>Uca borealis</i>	3.45	0.64	1.03	0.00
<i>Scopimera longidactyla</i>	6.48	4.49	0.50	1.87
<i>Scopimera bitympana</i>	7.79	4.38	0.00	1.63
<i>Ocypode stimpsoni</i>	7.65	0.61	5.96	3.50
<i>Ocypode ceratophthalmus</i>	9.75	3.65	2.19	2.36
<i>Matuta victor</i>	11.35	3.67	2.50	2.42
<i>Scylla serrata</i>	6.65	3.71	2.92	2.40
<i>Parasesarma pictum</i>	1.90	5.23	2.95	2.17
<i>Perisesarma bidens</i>	3.33	6.42	4.96	0.18
<i>Parasesarma plicatum</i>	3.24	5.77	2.66	1.94
<i>Cardisoma carnifex</i>	0.00	4.32	2.64	2.24
<i>Helice formosensis</i>	2.76	3.36	2.11	2.74
<i>Helicana doerjesi</i>	2.68	4.46	3.61	2.83
<i>Varuna litterata</i>	3.98	6.43	1.05	4.55
<i>Metopograpsus thukuhar</i>	5.09	6.72	0.96	4.11

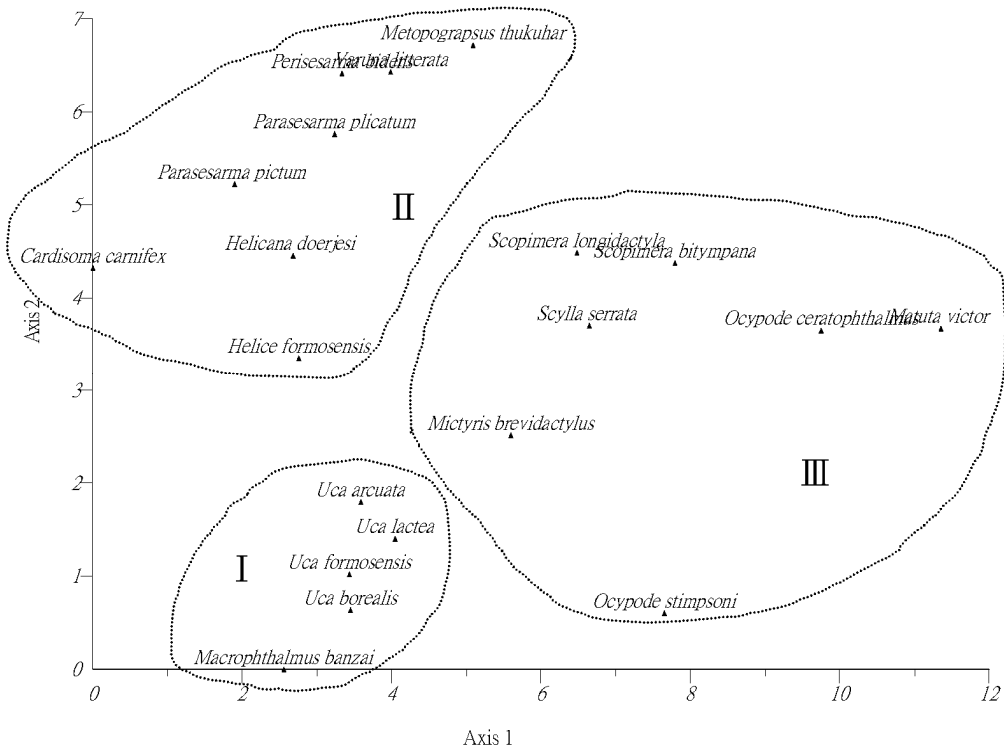


圖 3. 第 1 階段調查 20 種蟹類重要值指數在 DCA 第 1 軸及第 2 軸之分布序列圖

Fig. 3. Ordination of 20 species of crabs from the Zengwen Estuary in correspondence to the important value indices along the first two DCA axes (solid triangles, species), 1992-1994.

## (二) 群團分析

由於生物群聚有連續變異之特性，使降趨對應分析的結果雖然將相似性高的物種呈聚集的現象，但並無法很明確的劃分群聚類型，也就是決定分界線的客觀性。因此本研究再以階層式群團分析法將物種分群，導出樹狀圖(圖 4)，來表示各樣區中所採得的底棲蟹類之層級系統關係。樹狀圖僅顯示物種在不同相似性指數之聯結，即相似性之層級系統關係，尚須主觀設下分類之相似性臨界值。若將臨界值設於 -0.4，則可分為 3 大群，分別是以乳白招潮、

台灣招潮為代表的 I 群；以厚蟹為代表的 II 群；以短指和尚蟹及股窗蟹為代表的 III 群。其中台灣招潮最先與乳白招潮、弧邊招潮連結(圖 4)。

## (三) 分布序列圖與樹狀圖對照分析

對照群團分析之樹狀圖及降趨對應分析之分布序列圖，結果顯示可分為 3 群(圖 3、4)，樹狀圖 I 群可看出 4 種招潮中乳白招潮、弧邊招潮、台灣招潮群聚現象高於北方招潮(*U. borealis*)，北方招潮與萬歲大眼蟹群聚，依據樣區位置第 I 群之棲地多為平坦的泥質灘地，而在台灣招潮棲地內

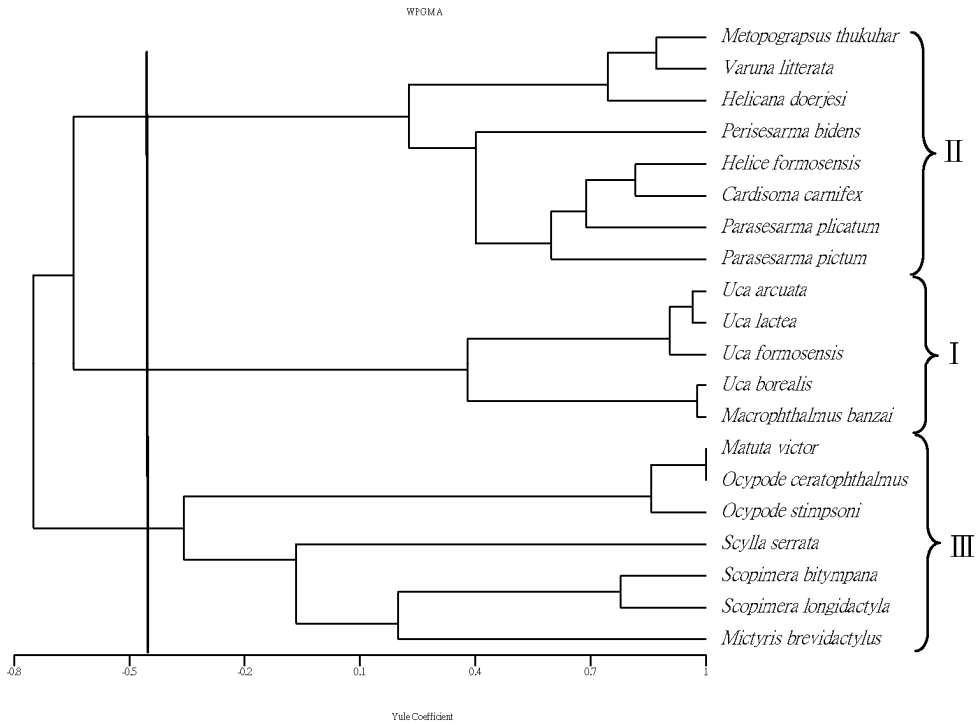


圖 4.第 1 階段調查顯示蟹類重要值指數相關性之樹狀圖

Fig. 4. A dendrogram showing the similarity in important value indices among the species of crabs from the Zengwen Estuary, 1992-1994.

偶見的台灣厚蟹(*Helice formosensis*)、德氏仿厚蟹(*Helicana doerjesi*)則被歸 II 群，第 II 群之棲地常有植生或石塊。2 種厚蟹在分布序列第 1 軸上與乳白招潮、弧邊招潮、台灣招潮、北方招潮與萬歲大眼蟹分數相當，第 2 軸才拉開序列位置。第 III 群之棲地偏砂質的灘地，高潮線際，同一樣區位置，於上、下午 2 次滿潮之不同潮位所記錄之出洞活動蟹種不同，潮位低時為長趾股窗蟹(*Scopimera longidactyla*)，潮位高時為台灣招潮。

## 二、台灣招潮棲地特徵

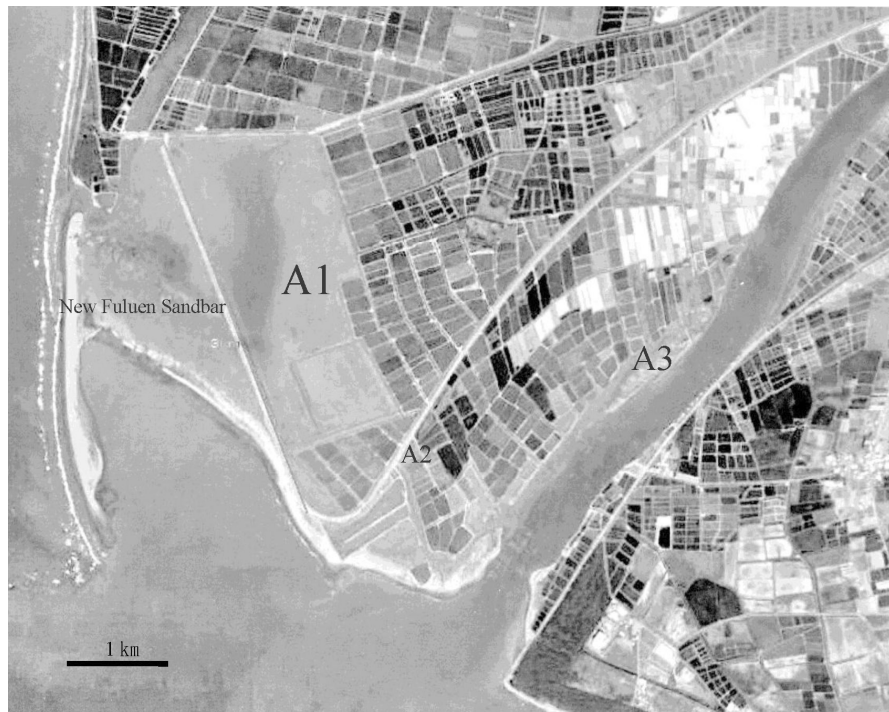
### (一) 曾文溪口地區第 1 階段土壤檢測

本階段取樣為曾文溪口地區(圖 1)之自然感潮區、泥灘、沙洲、土堤及排水道，但不含人工魚塭區，共取得 156 筆樣本，從中篩選台灣招潮棲地土樣資料，計 18 筆資料進入分析(表 4)，測定資料含七股河堤以南至曾文溪北岸(A3 區)、曾文溪口河海堤內之浮覆地(A1 區)、曾文溪口北岸(A2 區)及新浮崙沙洲(目前南端已流失)，所分 3 區位置圖參見圖 5。表 4 列出各土壤檢測項目之平均值(mean)、標準偏差(sd)、變異率(cv)、最大值(max)及最小值(min)。

**表 4.** 曾文溪口地區第 1 階段調查台灣招潮棲地之土壤測定值敘述統計[n=18] (CEC：陽離子交換量，OM：有機質含量，EC：導電度，sand：砂粒，silt：粉粒，clay：黏粒，PD：土粒密度，mean：平均值，SD：標準偏差，CV：變異率，max：最大值，min：最小值)

**Table 4.** Statistics of soil quality parameters at habitat of *Uca formosensis* in the Zengwen Estuary, 1992-1994 (CEC, cation exchange capacity; OM, organic matter; EC, electrical conductivity; PD, particle density; SD, standard deviation; CV, coefficient of variation; number of samples = 18)

	CEC meq/ 100g	OM %	pH	EC mS/cm	N %	P ppm	K ppm	sand% 2.0 mm -0.05 mm	silt% 0.05 mm -0.002 mm	clay% <0.002 mm	PD g/cm <sup>3</sup>
Mean	5.48	0.74	8.18	53.13	0.06	3.02	237.78	48.62	43.86	7.51	2.61
SD	4.31	0.26	0.16	23.89	0.03	1.61	67.61	16.67	15.24	4.20	0.03
CV%	78.68	34.78	2.01	44.96	44.27	53.34	28.43	34.29	34.75	55.86	1.16
Maximum	20.50	1.36	8.60	103.80	0.10	5.97	327.00	75.34	76.67	16.20	2.65
Minimum	1.67	0.27	7.90	32.20	0.03	0.86	162.20	12.67	23.06	1.50	2.58



**圖 5.** 曾文溪口地區台灣招潮族群分佈範圍 (A1：河海堤內浮覆地，海水可由水閘門進出；A2：新浮崙沙洲南端及曾文溪口；A3：曾文溪北岸)

**Fig 5.** The distribution of *Uca formosensis* in the Zengwen Estuary, 2008 (A1, intertidal area confined by the levee, from whose gates water flew in; A2, the southern region of new Fuluen sandbar and the Zengwen Estuary; A3, the northern region of Zengwen River).

1. 第 1 階段之土壤粒徑是以吸管法分析之土壤粒徑，針對台灣招潮棲地，分析 18 個土樣資料，平均黏粒 7.51%、粉粒 43.86%、砂粒 48.62%(表 4)，屬於壤土(loam)、粉質壤土(silt loam)或砂質壤土(sandy loam)，若將台灣招潮優勢度 > 80%，且族群數 > 5 隻/m<sup>2</sup>的棲地列為典型的台灣招潮棲地，其土壤粒徑大約為黏粒 10±2%、粉粒 55±11%、砂粒 35±7%之壤土。另 1994 年配合多毛類及蟹類棲地樣點採集時，其土樣以濕篩方式處理測量土壤粒徑，108 筆資料(劉等 1994；劉 1994a)，其中屬於台灣招潮棲地資料有 17 筆，台灣招潮棲地屬粉泥至極細砂，篩選度不佳至尚佳。採用濕篩方式之處理及計算過程皆較繁瑣，且其計算結果著重篩選度，適合多毛類等小型濾食動物，針對蟹類棲地的粒徑分析，操作較簡易的吸管法之分析結果即足以說明。
2. 土壤質地影響土壤的表面積(specific surface area)，表面積大小又影響陽離子交換，平均陽離子交換容量 5.48meq/100g(表 4)，變異率達 78.68%，顯示採樣點間之差異大，1993 年測得 20.5meq/100g，1994 年測得 9.12meq/100g 的高值都是典型的台灣招潮棲地。平均土粒密度為 2.61g/cm<sup>3</sup>，採樣點間之差異不大。
3. 土壤氫離子濃度指數介於 7.9 至 8.6 之間，屬於弱鹼性土壤，與一般海岸地區測值 8.2±0.4 相當(劉等 1995, 2005；張及蔡 2009)。
4. 有機質含量於 1993 年土壤樣本之測定，採重鉻酸鉀氧化法分析，有機質 0.74%(表 4)，另 1994 年配合多毛類及蟹類棲地樣點採集時，其土樣以灰化法分析 108 樣點(劉 1994a；劉等 1994)，平均有機質含量 4.33%(0.58-26.87%,sd=0.06, cv=148.51%)，顯示有

機質含量於採樣點間之差異極大。

5. 平均導電度 53.13 mS/cm(表 4)，在曾文溪北岸於小潮時之鹽漬地測得 103.8 mS/cm 的高值，此種棲地小潮時潮水無法到達，只有最滿潮前後 4-6 日被淹沒，常為台灣招潮單一種優勢，但僅見稀疏高塔，且未見洞外活動，屬低密度族群；於最滿潮時之高密度族群活動期導電度則為 32.2 mS/cm。數個典型台灣招潮棲地的氧化還原電位為 135-174 mS/cm。
6. 主要元素含量中平均有效性鉀 237.78 ppm，平均有效性磷 3.02 ppm，平均全氮量 0.06%(表 4)。海岸地區氮含量偏低，有效性磷及全氮量之變異率分別為 53.34%及 44.27%，顯示採樣點間有差異，但與台灣招潮選擇之棲地無法確認相關性。

## (二) 曾文溪口地區第 2 階段土壤測定

本階段土壤樣本針對台灣招潮棲地及其周邊之土壤採樣，測定資料含曾文溪口河海堤內之浮覆地(A1)、曾文溪口北岸(A2)及曾文溪北岸(A3)，全部 67 個土樣資料，計 49 筆台灣招潮棲地資料進入分析(表 5)。

1. 土壤質地與台灣招潮選擇之棲地有其相關性(陳等 2009；朱等 2008；施 2008；劉 2009)，本研究第 1 階段調查是以吸管法分析土壤粒徑，吸管法在事先分離砂粒時需要許多額外的事前步驟，而比重計法雖然有少許人為及儀器誤差，但其與吸管法比較的結果無明顯差異(林等 2009)，若樣本數較多時，建議使用比重計法(林等 2009)。因此第 2 階段採比重計法分析土壤粒徑，共計 49 個土樣資料進入分析，平均黏粒 8.25%、粉粒 46.12%、砂粒 45.63%，與第 1 階段調查之測值相當。

**表 5.** 曾文溪口地區第 2 階段調查台灣招潮棲地之土壤測定值敘述統計[n=49] (DOL: 氧化還原層深度, PD 土粒密度, SMC: 土壤含水率, SC: 土壤壓縮度)

**Table 5.** Statistics of soil quality parameters at habitat of *Uca formosensis* in the Zengwen Estuary, 2008-2010 (DOL, depth of the oxidation reduction layer; SMC, soil moisture contents; PD, particle density; SC, soil compression; SD, standard deviation; CV, Coefficient of variation; number of samples = 49)

	DOL cm	pH	sand 2.0 mm- 0.05 mm	silt 0.05 mm- 0.002 mm	Clay <0.002 mm	PD g/cm <sup>3</sup>	porosity%	SMC %	SC %
Mean	33.28	8.20	45.63	46.12	8.25	1.57	39.35	1.24	32.35
SD	16.83	0.25	18.36	15.11	7.7	0.09	4.18	0.20	17.52
CV%	50.58	3.08	40.26	32.77	93.72	6.06	10.63	15.85	54.17
Maximum	76.00	8.42	74.20	77.63	30.44	1.73	48.79	1.57	55.00
Minimum	9.00	7.46	15.98	24.08	0.29	1.36	32.38	0.93	8.00

- 土壤氫離子濃度指數介於 7.46 至 8.42 之間, 平均值與第 1 階段調查之測值相當, 但第 2 階段調查於 2009 年莫拉克颱風之後, 曾文溪北岸(A3) 9 月、10 月及 11 月等 3 個月之測值皆略低, 此因河流冲刷之河砂覆蓋於棲地上方, 覆沙深度 26-30 cm, 當時因土壤層次顏色差異明顯, 特別量測土壤表層與 60 cm 底層之 pH 值, 結果表層數值略低於底層, 約有 0.4-0.7 不等之差異。
- 氧化還原層深度平均 33.28 cm, 採樣分區間之差異大, A1 區平均 30.3 cm, A2 區平均 15.6 cm, A3 區平均 52.0 cm, 與麥寮地區台灣招潮棲地氧化還原層深度相當(陳 2008), 而較特別的是 A3 區莫拉克颱風之後, 因河砂覆蓋, 從土壤剖面可看到 20 cm 以上黃色與灰色土交互夾層, 土壤氧化還原深度達 76 cm。土壤孔隙率平均 39.35%, 含水率平均 1.24%, 採樣點間之差異小, 土壤壓縮度平均 32.35%(表 5)。土壤壓縮度小者代表土壤緊實, 台灣招潮呈低密度單一優

勢; 壓縮度大者, 代表土壤鬆軟, 棲地內將增加乳白招潮、短指和尚蟹及股窗蟹等中小型蟹類, 物種多樣性較高(個人觀察)。

### (三) 土壤重金屬

土壤重金屬第 1 階段所調查之土壤樣本 17 個(表 6), 以王水消化法測得重金屬全量濃度, 另為配合環保署所訂土壤中重金屬含量分級標準, 鎘(Cd)、銅(Cu)、鎳(Ni)、鉛(Pb)、鋅(Zn)、鉻(Cr)等 6 種以 0.1N HCl 抽出量分析(表 7), 測得生物有效性濃度。以 0.1 N HCl 作為萃取劑, 將土壤中可被酸溶解之重金屬溶出, 所萃取之重金屬則被定義為酸可溶態(acid-extractable), 並被認為可能是植物所能吸收之重金屬含量(Nelson *et al.* 1959)。但 0.1 N HCl 之萃取量受到土壤或重金屬性質不同而有所差異, 植物所吸收之重金屬含量亦隨著植物及重金屬種類而有所不同, 且各金屬之 0.1 N HCl 萃取量幾乎均超過生物可利用型態含量

(黃 2003)，因此不易以 0.1 N HCl 萃取量判定土壤之危害程度。土壤重金屬 0.1 N HCl 萃取量與全量濃度之間有一定之比例關係，但兩者之比值常因不同金屬而異(陳等 1992)，且重金屬之全量濃度具有地域性之差異，無法根據其調查結果客觀地評估污染物之再移動性及危害程度(歐 2000；童等 2000)，而重金屬之濃度確實與生物體內的量有關(Judith *et al.* 2002；劉 2002)。本研究依據行政院環境保護署土壤污染防治執行方案(88 年 12 月 27 日環署廢字第 0084446 號函)土壤重金屬含量標準與等級區分表論述污染程度。

1. 第 1 階段分析曾文溪口地區 8 種重金屬全量，分析 17 個樣本(表 6)，依據台灣地區土壤重金屬全量標準與等級區分表中重金屬全量之標準值，汞(Hg)、砷(As)為第 2 級，土壤中重金屬含量低於環境背景值。
2. 鎘、銅、鎳、鉛、鋅另以 0.1 N HCl 萃取量，分析 17 個樣本(表 7)，依據台灣地區土壤重金屬含量標準與等級區分表中 0.1N HCl 的萃取量之標準值，鎘為毒害級，土壤中有外來重金屬介入，鉛、鋅、鎳為第 3 級，土壤中重金屬含量為環境背景值，銅為第 2 級，土壤中銅含量低於環境背景值，無特殊外來污染之現象。

**表 6.** 曾文溪口地區第 1 階段調查台灣招潮棲地之土壤重金屬全量值敘述統計[n=17] (單位: mg/kg)

**Table 6.** Statistics of soil heavy metal contents (mg/kg) at habitat of *Uca formosensis* in the Zengwen Estuary, 1992-1994 (SD, standard deviation; CV, coefficient of variation; number of samples = 17)

	Zn	Cu	Cr	Cd	Pb	Ni	As	Hg
Mean	51.74	15.32	28.60	43.88	14.24	30.66	11.02	0.02
SD	16.96	12.55	4.14	52.78	5.38	7.12	2.24	0.01
CV%	32.78	81.90	14.47	120.30	37.77	23.22	20.31	55.78
Maximum	93.30	39.80	32.90	123.20	25.20	41.10	14.70	0.04
Minimum	36.50	3.33	23.30	0.20	8.38	22.10	9.00	0.01

**表 7.** 曾文溪口地區第 1 階段調查台灣招潮棲地之 0.1 N HCl 萃取土壤重金屬含量敘述統計[n=17] (單位: mg/kg)

**Table 7.** Statistics of soil heavy metal contents (mg/kg) at habitat of *Uca formosensis* in the Zengwen Estuary, 1992-1994 (SD, standard deviation; CV, coefficient of variation; number of samples = 17)

	Zn	Cu	Cr	Cd	Pb	Ni
Mean	14.12	6.53	1.32	33.83	11.27	4.49
SD	3.04	2.13	0.40	22.77	3.64	1.26
CV%	21.53	32.59	30.64	67.30	32.25	27.93
Maximum	17.26	9.33	1.77	61.41	15.46	5.80
Minimum	10.51	4.50	0.73	9.14	5.55	2.58

3. 第 2 階段以 0.1 N HCl 萃取量分析曾文溪口地區 8 種重金屬，分析 42 個樣本(表 8)鎘仍為毒害級，土壤中有外來重金屬介入，其他符合重金屬含量分級標準第 2-3 級，鎘、鉛皆於曾文溪岸採得偏高數值，外來重金屬疑來自曾文溪。
4. 傳統之原子吸收光譜法受限於單一元素定量，大批樣品分析時之效率較低，第 2 階段以 X- 射線螢光光譜儀進行土壤和底泥中元素濃度快速篩選，測 32 種元素濃度，分析 87 個樣本(表 9)，鉬(Mo)、鈾(U)、硒(Se)、鎢(W)未檢出，汞僅一採樣點測出，砷、鋅、鉛的平均值及最大、最小值與第 1 階段土壤重金屬全量測定值比較差異不大，鎘、銅、鎳、鉻測得的平均值較往年低，且樣點間差異大，最小值皆為 0，曾文溪口地區原是鐵砂採礦區，因此鐵含量頗高。

**表 8.** 曾文溪口地區第 2 階段調查台灣招潮棲地之 0.1 N HCl 萃取土壤重金屬含量敘述統計[n=42] (單位: mg/kg)

**Table 8.** Statistics of soil heavy metal contents (mg/kg) at habitat of *Uca formosensis* in the Zengwen Estuary, 2008-2010 (SD, standard deviation; CV, coefficient of variation; number of samples = 42)

	Zn	Cu	Mn	Fe	Mo	Cd	Pb	Ni
Mean	10.63	4.54	276.51	1650.46	24.41	13.94	12.94	4.96
SD	5.89	2.92	111.86	1162.24	9.93	10.29	9.58	3.16
CV%	55.43	64.31	40.46	70.42	40.68	73.83	74.04	63.71
Maximum	24.08	10.54	487.74	4563.63	49.04	36.97	34.55	10.42
Minimum	4.34	0.16	133.21	503.46	13.30	3.12	2.75	1.67

**表 9.** 曾文溪口地區第 2 階段調查台灣招潮棲地土壤金屬含量之敘述統計[n=17] (單位: mg/kg)

**Table 9.** Statistics of soil metal contents (mg/kg) at habitat of *Uca formosensis* in the Zengwen Estuary, 2008-2010 (SD, standard deviation; CV, coefficient of variation; number of samples = 87)

	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	As	Hg	Zn	Cu	Ni	Co	Fe	Mn	Cr
Mean	368.54	94.70	60.34	11.51	14.26	4.90	0.24	50.24	1.71	0.52	11.10	15866	229.09	20.92
SD	169.25	17.40	10.42	3.31	5.35	4.87	2.27	10.85	6.44	4.84	35.78	3545	71.10	19.67
CV%	45.93	18.38	17.27	28.72	37.51	99.45	932.74	21.59	376.79	932.74	322.27	22.34	31.03	94.01
Maximum	1447.12	155.33	83.94	20.06	24.52	14.24	21.16	82.7	32.54	45.15	151.52	25108	472.32	64.61
Minimum	167.34	65.6	34.23	0	0	0	0	28.63	0	0	0	9234	82.31	0

	V	Ti	Sc	Ca	K	S	Ba	Cs	Te	Sb	Sn	Cd	Ag	Pd
Mean	14.33	3256	0.35	7754	13573	240.70	389.18	72.83	121.76	27.20	37.04	3.09	0.36	0.32
SD	24.87	676	2.33	1220	2046	404.78	49.04	15.25	32.42	14.81	9.36	5.18	1.66	2.10
CV%	173.55	20.77	657.66	15.73	15.08	168.17	12.60	20.94	26.62	54.43	25.26	167.31	461.81	656.50
Maximum	76.86	4531	16.62	9973	17583	1767.56	521.83	104.97	190.55	50.21	56.73	16.13	8.59	14.57
Minimum	0	1657	0	4226	7522	0	271.18	36.61	60.15	0	0	0	0	0

5. 除 8 種重金屬有分級標準可以比較外，其餘元素僅能與其他地點比較，本研究第 2 階段採樣比較大肚溪口、台西海園及除曾文溪口地區之台南海岸(包括二仁溪、土城、安平四鯤鯓)等地皆有極嚴重污染(劉等 2010)，這些受污染的棲地除大肚溪口僅殘存極少量台灣招潮外，其他地區並沒有分布。表 10 所列為 2008 年 10 月分別於大肚溪口南岸台灣招潮之原棲地與曾文溪口 A3 區採樣，各採 4 點，且同時進行檢驗分析，比較之下，大肚溪口土壤重金屬 Ni、Cu、Zn、Pb、Cd 之含量較曾文溪口台灣招潮棲地高很多。

#### (四) 微棲地水文、水質測定

分析新浮崙沙洲、曾文溪北岸魚塢區、曾文溪口河海堤內之浮覆地潮溝、2 號及 3 號水閘門內外側潮溝之水文、水質。第 1 階段調查計 27 個採樣點，第 2 階段調查計 29 個採樣點，其敘述統計分別列於表 10 及表 11。

1. 採樣點間之氫離子濃度指數變異不大，第 1 階段調查介於 7.90 至 8.34 之間，第 2 階段調查介於 7.95 至 8.81 之間，偏鹼性，與一

般海水表面之 pH 值相當(甲類海域之 pH 值 7.5-8.5)(陳等 1995)。

2. 第 1 階段調查測得水中溶氧量平均值 8.03mg/l(甲類海域之溶氧量 5.0 以上)，於台灣招潮高密度單一優勢族群分布處周邊水域皆測得 9 mg/l 以上的值；化學需氧量平均 65.24 mg/l，於曾文溪北岸河海堤內之廢棄魚塢測得高達 157 mg/l；生化需氧量平均 5.09 mg/l，生化需氧量於採樣點間之差異極大，以過濾後之濾液分析生化需氧量，數值差異較小，平均 1.16 mg/l(甲類海域之生化需氧量 2 以下)，同樣在堤內之廢棄魚塢測得極高值。各採樣點間之差異受採樣季節影響，特別是 3-4 月份的樣點數值偏高。第 2 階段溶氧量平均 6.76 mg/l，數值略微降低，採樣點間之差異增大，浮覆地潮溝 6 月時褐藻繁生，高達 38.4°C 水溫，水中溶氧量亦高達 11.25 mg/l。一般而言在同一壓力下溶氧量與溫度之間呈負相關，因此海水中的溶氧量會隨溫度呈季節性變化，本調查中溫度變化影響溶氧量的程度不若生物性因子作用來的明顯。

**表 10.** 大肚溪口與曾文溪口台灣招潮棲地土壤重金屬含量(單位: mg/kg)

**Table 10.** Soil heavy metal contents (mg/kg) at habitat of *Uca formosensis* in the Tatu and Zengwen Estuaries, 2008

	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb	Cd	Mo
Tatu St. 1	281.61	2081.33	27.19	22.80	45.83	25.46	25.84	17.22
Tatu St. 2	237.86	1618.49	20.32	15.94	34.98	17.42	18.27	14.15
Tatu St. 3	258.24	1346.64	16.14	12.10	29.49	13.42	12.24	13.69
Tatu St. 4	308.36	1917.59	25.85	19.20	40.93	23.25	22.24	15.18
Zengwen St. 5	240.65	1408.73	3.71	3.76	8.85	2.75	4.56	19.78
Zengwen St. 6	206.60	1437.04	3.44	3.21	7.60	2.99	4.04	17.93
Zengwen St. 7	214.84	1573.01	3.46	3.60	8.18	3.96	4.03	17.04
Zengwen St. 8	236.46	1519.20	3.55	3.78	7.38	3.74	3.12	18.62

**表 11.** 曾文溪口地區第 1 階段調查台灣招潮棲地水文、水質測定值之敘述統計(WT：水溫，DO：溶氧量，BOD<sub>5</sub> 生化需氧量，COD：化學需氧量，凱氏氮：TKN，NH<sub>3</sub>-N 氨氮，TP：總磷，SS：懸浮固體，硫化物：sulfide，PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>：磷酸鹽，TAlk：總鹼度)

**Table 11.** Statistics of water quality parameters at habitat of *Uca formosensis* in the Zengwen Estuary, 1992-1994 (WT, water temperature; DO, dissolved oxygen; BOD, biochemical oxygen demand; COD, chemical oxygen demand; TKN, total Kjeldahl nitrogen; NH<sub>3</sub>-N, ammonia nitrogen; TP, total phosphate; SS, suspended solids; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, phosphate; TAlk, total alkalinity; SD, standard deviation; CV, coefficient of variation; number of samples = 27)

	pH	EC mS/cm	salinity ‰	DO mg/l	COD mg/l	BOD <sub>5</sub> mg/l	BOD <sub>5</sub> *mg/l	TAlk mg/l	SS mg/l	WT °C
Mean	8.13	51.18	33.66	8.03	65.24	5.09	1.16	150.44	58.36	24.97
SD	0.13	9.09	6.24	1.01	36.95	7.41	0.36	91.69	31.85	4.10
CV%	1.60	17.77	18.55	12.58	56.63	145.75	30.84	60.95	54.58	16.40
Maximum	8.34	60.2	40.7	9.5	157	30.2	1.7	379	123	31.3
Minimum	7.9	18.1	11	6.8	23.7	1.1	0.7	85	14	19.3

	TKN Mg/l	NH <sub>3</sub> -N mg/l	TP mg/l	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/l	Oil mg/l	Sulfide mg/l	Zn ppb	Pb ppb	Cu ppb	Cd ppb
Mean	3.59	2.66	0.46	0.19	0.92	0.43	11.35	27.34	6.84	0.45
SD	0.92	0.46	0.41	0.28	0.26	0.32	6.69	22.44	3.07	0.11

**表 12.** 曾文溪口地區第 2 階段調查台灣招潮棲地水文、水質測定值之敘述統計(nitrate：硝酸鹽)

**Table 12.** Statistics of water quality parameters at habitat of *Uca formosensis* in the Zengwen Estuary, 2008-2010 (SD, standard deviation; CV, coefficient of variation; number of samples = 29)

	pH	EC mS/cm	salinity ‰	DO %	DO mg/l	nitrate mg/l	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/l	WT °C	T °C
Mean	8.20	43.56	28.58	95.18	6.76	10.78	0.97	32.34	33.10
SD	0.19	11.08	6.57	0.27	1.54	15.63	1.02	3.49	2.35
CV%	2.26	25.44	23.00	28.60	22.81	145.03	105.43	10.80	7.10
Maximum	8.81	57.10	38.20	176.50	11.25	37.6	2.8	38.40	36.00
Minimum	7.95	18.88	11.30	46.40	3.31	0.4	0.1	24.30	28.10

3. 電導度之值於第 1 階段調查測得平均 51.18 mS/cm，第 2 階段測得平均 43.56 mS/cm，水塘或潮溝在不同的季節間有比較大的差異，5 月梅雨季前測得 57.1 mS/cm，梅雨季

後測得 18.88 mS/cm。堤內浮覆區因海水可由水閘門進出，受漲退潮影響，其導電度值約與海水平均值相當，但颱風時的豪雨會使導電度值降低 20%。電導度可判斷來源水中

海水比例，九塊厝堤兩側之經營魚塭會抽地下水，經由排水流入曾文溪北岸河海堤內浮覆地東側，台灣招潮棲地旁潮溝可測得較低的電導度值。A3 區則受到曾文溪的淡水影響，同樣在台灣招潮棲地旁潮溝，於退潮時段測得較低的值。淡水注入對台灣招潮很重要，因為位於高潮帶之棲地會成為鹽漬地，需要淡水週期性淹沒(個人觀察)。

4. 第 1 階段調查總酚於各採樣點皆未檢出，凱氏氮平均 3.59 mg/l、氨氮平均 2.66 mg/l 及油脂平均 0.92 mg/l 於各採樣點間差異小。而懸浮固體平均 58.36 mg/l，曾文溪口河海堤內之浮覆地以萬歲大眼蟹為優勢的棲地測得 123 mg/l 高值。總鹼度、硫化物、總磷及磷酸鹽之變異率達 60.95-146.86%，顯示採樣點間差異大，特別在各魚塭區有明顯差異，但無法確認與台灣招潮之相關性，第 2 階段磷酸鹽平均 0.97 mg/l、硝酸鹽平均 2.66 mg/l，各種營養鹽之採樣點間差異大，曾文溪岸採得偏高數值，硝酸鹽達 37.6 mg/l，氨氮達 8 mg/l，疑曾文溪偶有高濃度營養鹽摻入。
5. 第 1 階段調查水中重金屬平均含量鎘 0.45 ppb、銅 6.84 ppb、鉛 27.34 ppb、鋅 11.35 ppb，第 2 階段鎘 2.83 ppb、銅 0.13 ppb、鉛 3.00 ppb、鋅 0.07 ppb，依海洋污染防治法之海域環境分類及海洋環境品質標準(環保署 2001.12.26 公告)平均值在容許範圍內，但水中重金屬含量變化較大，不如土壤檢測值的代表性，第 1 階段調查，在魚塭區測得較高的鉛含量值為 27.34 ppb，第 2 階段鎘含量為 2.83 ppb 較早年之 0.45 ppb 高。

#### (五) 潮位及水溫記錄

由於曾文溪口位於將軍及安平 2 測站之間，再加上河海堤堤防影響之浮覆地內漲

退潮時間，經設置潮位記錄器，每 30 min 記錄 1 筆資料，累計長期潮位數值與中央氣象局將軍及安平 2 測站之預報值有頗大差異，延遲漲潮時間差異可達 4hr。大潮平均高潮位夏季 96 cm，冬季 59 cm，颱風之降雨會使潮位高於平均值約 30 cm，而颱風降雨對 A1 區影響較小，對 A2 及 A3 區影響較大。12-2 月平均水域實測溫度 15.64°C (sd=0.24)，6-8 月平均 32.7°C。

(六) 目前曾文溪口地區台灣招潮族群分佈範圍(圖 5)，可區分為 3 處，說明如下

Area 1：曾文溪口河海堤內之浮覆地，為台南曾文溪口北岸黑面琵鷺野生動物保護區範圍內，浮覆地面積約 280 ha，台灣招潮族群分佈範圍為 40 ha，棲地寬度有 420m，長度 960m，與海岸線距離 600-800m，與曾文溪河岸距離 2400m。粒徑分析結果，本區受新浮崙沙洲漂沙影響，含沙粒量 40-70%，略高於台灣招潮對棲地含沙粒量之需求(12-45%)，本區以乳白招潮為優勢，優勢度 50-90%，台灣招潮洞外活動族群數量約 1-6 隻/m<sup>2</sup>，低潮位處(平均低潮線以下)可見與萬歲大眼蟹或北方呼喚招潮共棲，但數量很少，優勢度 10% 以下。

Area 2：新浮崙沙洲南端原為台灣招潮棲地，因地形變遷已流失，族群殘存於曾文溪出海口北側 1 間置魚塭，緊鄰曾文溪口北岸七股堤，面積 1.1 ha，台灣招潮族群分佈範圍 0.64 ha，離海岸距離 95m。粒徑分析結果顯示含黏粒量 20.2-30.4%，略高於台灣招潮對棲地含黏粒量之需求(2-10%)，本區雖以台灣招潮優勢，但族群密度極低，平均約 0.25 隻/m<sup>2</sup>。

Area 3：曾文溪北岸灘地面積 31ha，台灣招潮族群分佈範圍 9.6 ha，棲地寬度

160-230m，長度 930 m，與海岸線距離 2500-3000m，與曾文溪河岸距離 50m。本區是目前台灣僅存之台灣招潮單一優勢，大潮淹過後的退潮時段，台灣招潮洞外活動族群數量最高可達 16 隻/m<sup>2</sup>，族群密度高，優勢度 90%以上，但僅侷限於約 0.05 ha之棲地內。但因 2009.8.8 水災後，曾文溪北岸灘地部分區域遭沖蝕，族群分布區往略下游處位移，當時可見少數成蟹於乾沙區長距離快速移動。A3 區沿七股河堤以南之魚塢逐漸向河岸擴展，可能導致台灣招潮棲地的消失。

## 結論與建議

台灣招潮為台灣原生招潮中唯一的特有種，探討其對棲地的需求，有助於對於將來進行棲地改善工程及復育策略擬訂。

本研究第 1 階段採樣之坩粒平均 43.86%，最大達 76.67%，第 2 階段之坩粒平均 46.12%，最大達 77.63%，同樣的第 1 階段採樣之砂粒平均 48.62%，最大達 75.34%，第 2 階段之砂粒平均 45.63%，最大達 74.20%，兩階段土壤樣本坩粒及砂粒比例皆超過 40%，而黏粒的數值僅佔 7-8% (表 4、5)。綜上所述，台灣招潮主要棲息於坩質壤土、壤土或砂質壤土。在野外觀察土壤時，乾燥時能結成頗穩定的土團，輕壓之不致潰散，濕潤時，稍有塑性，但不能搓成條狀。在高潮處之壤土，坩粒比例越高，台灣招潮呈單一優勢，為最適棲地，若土壤粒徑之砂粒較多，則與乳白招潮混棲；若位於較低潮處，土壤粒徑之黏粒較多，則與弧邊招潮混棲。同一樣區位置，於不同潮位所記錄之出洞活動蟹種不同，也就是棲地利用除水平分布外尚有垂直分布，而影響因子為潮位與

土壤粒徑。如小潮時在高潮線際之坩質壤土，平常地表活動的多是股窗蟹，大潮漫過後的濕潤期，則可記錄 10 隻/m<sup>2</sup>以上之高密度台灣招潮族群量。台灣招潮棲地位於高潮線際，起伏的地形將會限制潮水漫流，而平坦且坡度 5°以下之緩坡有利潮水上溯，因此台灣招潮對棲地選擇要有夠寬廣的潮間帶才足以滿足其對棲地之需求，位於愈高潮線所砌築的煙囪高度愈高(Shih *et al.* 2005)，早期曾文溪口的台灣招潮族群砌築煙囪(圖 6)之特性(劉等 1993；劉 1994b)，較台灣其他棲地之族群更為明顯(李 1991；施 1997, 2008；朱等 2008)。雖 1992 年在曾文溪口有記錄龐大的族群分布，但目前原分布區族群已減少、位移或消失，且其在台南沿海各河口灘地極少發現大量族群。台灣招潮不會分佈於更低潮、積水不易退、且土壤黏粒更多(黏粒 > 40%)之處，亦不會分佈於每個月大潮淹不足 3 日之乾沙處(砂粒 > 80%)(個人觀察)。此外淡水的注入對台灣招潮也很重要，因為位於高潮帶之棲地會成為鹽漬地，需要淡水週期性淹沒(個人觀察)。

依據台灣地區土壤重金屬含量標準與等級區分表，曾文溪口重金屬檢測值多介於第 2-3 級，但鎘濃度偏高(表 6、7)，屬於毒害級之第 4 級，土壤中有外來重金屬介入，顯示有中度污染之現象。土壤重金屬與台灣招潮選擇棲地之相關性方面，重金屬含量高處除有污染源外，通常是積水消退受阻之處，本研究中測得大肚溪口台灣招潮原棲地土壤重金屬含量較曾文溪口高很多，目前含量已是曾文溪口檢驗值的數十倍(表 10)。再追蹤早期的資料，1998-2000 年於大肚溪口之調查數據(劉等 2000；劉 2001, 2002)僅有 1 處鄰近全興工業區排水道的樣站，數值遠高於其他樣站，而當



圖 6. 曾文溪口地區台灣招潮族群於洞口所砌築之煙囪

Fig. 6. A chimney built by *Uca formosensis* in the Zengwen Estuary, 1993.

時台灣招潮棲地樣站的測值還正常，台灣招潮族群也還穩定，顯示重金屬含量對其族群有相當程度的影響。近年來大肚溪口之族群幾乎已經消失殆盡，低潮且土壤粒徑之黏粒較多處僅剩弧邊招潮，稍乾之處僅剩乳白招潮。推論當潮水漲退受阻，潮間帶自淨能力降低，會造成重金屬累積，同時使土壤粒徑變小，棲地活性降低，而不適台灣招潮的生存。

曾文溪口地區已確認之台灣招潮棲地有 3 處，其中曾文溪口河海堤內浮覆地之 A1 區，分布在黑面琵鷺保護區內，在法規上受到保護，然而黑面琵鷺主棲地的高程變化日漸加大，水閘門有時會遭人為不當操控，致漲退潮呈非自然變化，A1 區受匯入之來源水的水質影響，匯入之來源水由 2 號及 3 號水閘門進

出，早期 3 號閘門水源主要來自沿岸潮流，目前開口漸漸向南移，因此亦由大排引入七股潟湖之水源，2 號閘門則受曾文溪出海口之水源影響。比較早期資料(劉等 1993)閘門內側之浮覆地原無海茄苳，目前海茄苳陸續定植，這些海茄苳非人工栽植，而是 2 處閘門匯入水所帶來的，在保護區內，河海堤所圍之浮覆地周圍，海茄苳族群數明顯增多，未來將使台灣招潮分佈範圍更狹隘。比較客雅溪口台灣招潮棲地，正因紅樹林的快速擴張(朱等 2008；陳等 2009；施 2008)，使台灣招潮飽受威脅。由於曾文溪口海茄苳有增多的趨勢，可預期將會壓縮台灣招潮的分佈範圍。早年台灣招潮原分佈於坵粒比例較高的黑面琵鷺主棲地西南區，而這些台灣招潮最適棲地，自 1994 年起即陸續

開發成魚塭，以致目前 A1 區台灣招潮族群數量銳減。

曾文溪口北岸及新浮崙沙洲南端嚴重內縮，原分佈此處之台灣招潮已隨棲地流失而消失，台灣招潮族群僅侷限於 1 廢棄魚塭之東側 (A2 區)，因潮水漲退受阻，此區族群急速萎縮中。此區位於堤防道路邊，為曾文溪口目前 3 處分布區中最易到達處，相關研究皆以此區代表曾文溪口台灣招潮族群(施 2008)。沿七股河堤以南至曾文溪北岸(A3 區)則為高密度單一優勢族群，但分布區與曾文溪河岸距離近，河岸不斷沖蝕，A3 區曾受莫拉克颱風影響，第 2 階段調查 2009 年 8-11 月，有 4 個月的砂粒含量略高，且有一處台灣招潮棲息的河岸被沖蝕而消失，但水災並非主要限制因子，水災後約 6 個月族群大致復原，主要限制因子應是其最適棲地已成為魚塭區。

曾文溪口地區由於自然及人為因素所造成之地形變化，影響了水位、土壤特性、鹽度及其對棲地之利用。原本台灣招潮之合適棲地應位於高潮線區域，但自 1994 年起陸續開挖魚塭，不但佔據其最適棲地，且影響潮水自然漲退，這將限制蟹類幼體由海域返回潮間帶的數量(Brodie *et al.* 2005)。總之，魚塭的開挖佔據台灣招潮最適棲地，若無法控管魚塭的擴展，則台灣招潮的族群量將難以復原。

## 參考文獻

- 朱子豪、徐美玲、張長義、李建堂、姜善鑫、陳明義、王秋原。1990。台灣省沿海土地利用及管制調查—台南、高雄、屏東台灣省地政處。333 頁。
- 朱達仁、何平合、汪淑慧、張小娟。2008。新竹市客雅水資源回收中心生態復育區棲地改善計畫—台灣招潮及其棲地研究。新竹市政府委託計畫。
- 李曉易。1991。台灣招潮的生態與行為研究。中山大學海洋生物研究所論文。
- 林佳燕、蔡義誌、林俐玲。2009。土壤粒徑分析實驗方法之比較。水土保持學報 41(2)：139-152。
- 林世偉、廖少威、張文亮。2006。香山溼地台灣招潮棲地類型底質特性研究。農業工程學報 52: 1-14。
- 林宗儀、蔡金郎、阮香蘭。2001。台灣西南部海岸海灘沈積物特性。第 23 屆海洋工程研討會論文集。453-457。
- 邱永昌、陳俊強、呂宗明。2004。高屏溪口蟹類資源。高雄縣中芸國小，高雄。50 pp.
- 施習德。1997。屬於福爾摩莎的「台灣招潮」，何去何從？—記台灣特有種招潮的現況。台灣博物 54: 68-80。
- 施習德。1999。以形態、遺傳及生態研究台灣特有種台灣招潮蟹之分類系統。國立中山大學海洋生物研究所博士論文。
- 施習德。2008。新竹市客雅水資源回收中心生態復育區棲地改善計畫—台灣招潮及其棲地研究。新竹市政府委託計畫。
- 徐鐵良。1962。台灣海岸地形之研究。中國地質學會會刊 5：29-45。
- 郭金棟。1990。台灣海岸地形變化及其未來之開發利用。成功大學水利及海洋工程研究所。219 頁。
- 郭金棟。2001。台灣海岸防護現況。海岸防護策略研討會。第 1~1-20 頁。
- 張瑀芳、蔡呈奇。2009。宜蘭南澳地區海岸防風林土壤性質的空間變化宜蘭大學生物資源學刊 5(1): 29-39。
- 童翔新、歐育憲、葉奕宏、陳欽昭。2000。土

- 壤中重金屬污染物之生物有效性意義研究。第十五屆廢棄物處理技術研討會論文集。7~1-7 頁。
- 陳有祺、周文杰、張登凱、陳賜賢。2009。新竹市客雅水資源回收中心生態復育區棲地改善計畫－復育區棲地研究改善。新竹市政府委託計畫。
- 陳鎮東、顏仁德、蕭立銘。1995。曾文溪口鄰近海域之水質。海洋科技會刊 18：5-42。
- 陳尊賢、陸瑩、黃東亮、吳芳娥。1992。台灣地區主要農業土壤中重金屬之鹽酸抽出量與全量之相關性。第三屆土壤污染防治研討會論文集。37-41 頁。
- 陳鴻烈、李郁賢。2008。瀕臨絕種台灣招潮蟹之研究。水土保持學報 40(2)：235-256。
- 陳曉怡。2008。台灣招潮棲地保育之底質特徵探討：以麥寮為例。台灣大學漁業科學研究所碩士論文。
- 黃舒瑜。2003。土壤重金屬 0.1 N HCl 萃取量與全量濃度之相關性研究。逢甲大學環境工程與科學學系碩士論文。
- 湯曉虞、劉靜榆。2010。走訪嘉南海岸生態(上)-談黑面琵鷺與台灣招潮蟹保護史。大自然 110: 4-11。
- 湯曉虞、劉靜榆。2011。走訪嘉南海岸生態(下)-談黑面琵鷺與台灣招潮蟹保護史。大自然 111:16-27。
- 劉靜榆、賴國祥、曾彥學、林旭宏、侯安璟。1993。台灣西南沿海生物資源調查 I·曾文溪口生物資源調查。台灣省特有生物研究保育中心 82 年度試驗研究計畫執行成果。71-121 頁。
- 劉烘昌、李家維。1994。新竹香山潮間帶的螃蟹海岸濕地生態及保育研討會論文集。103-113 頁。
- 劉靜榆。1994a。曾文溪口生物資源調查。生物資源調查研討會。台灣省特有生物研究保育中心。355-402 頁。
- 劉靜榆。1994b。曾文溪口生物世界探索。台灣省特有生物研究保育中心。72 頁。
- 劉靜榆、顏仁德、賴國祥、曾彥學、林旭宏、侯安璟。1994。台灣西南沿海生物資源調查 II·台南縣市沿海生物資源調查。台灣省特有生物研究保育中心 83 年度試驗研究計畫執行成果。101-151 頁。
- 劉靜榆。1997。觀潮-黑面琵鷺棲息地導覽。台南縣政府、台灣省特有生物研究保育中心。136 頁。
- 劉靜榆、曾彥學、吳萃慧、李訓煌。1999。台灣西南沿海生物資源調查。特有生物保育研討會論文集。16-47 頁。
- 劉靜榆。1999。大肚溪口野生動物保護區生態導覽。彰化縣政府、特有生物研究保育中心。160 頁。
- 劉靜榆、李訓煌、曾彥學、陳添水、沈慧萍。2000。野生動物保護區環境監測模式建立之研究－以四草及大肚溪口為例。特有生物研究保育中心 89 年度試驗研究計畫執行成果。145-153 頁。
- 劉靜榆。2001。大肚溪口地區環境監測研究。國立台灣博物館年刊 43:1-25。
- 劉靜榆。2002。大肚溪口潮間帶地區大型底棲動物群聚現象與相關重金屬含量分析。特有生物研究 4(2):9-29。
- 劉靜榆、吳萃慧、李訓煌。2005。鰲鼓海岸濕地浮游生物群聚變化。特有生物研究 7(1):31-49。
- 劉靜榆、陳添水。2005。沿海濕地棲地劣化之現況評估與保育策略之探討。特有生物研究保育中心 94 年度試驗研究計畫執行成

- 果。683-700 頁。
- 劉靜榆、陳添水、顏江河、林子超、曾彥學、薛攀文。2010。台南地區野生動物保護區生物監測及經營管理之研究。特有生物研究保育中心 99 年度試驗研究計畫執行成果。1-29 頁。
- 劉靜榆。2008。台灣產招潮蟹。綠野 21: 52-55。
- 劉靜榆。2009。台南縣河口域台灣招潮蟹群聚與棲地特性之研究。2009 沿海濕地與水鳥保育國際研討會。341-346 頁。
- 劉靜榆。2010。走訪台灣西海岸(II)－中彰雲段沿海生態介紹。自然保育季刊 71:65-77。
- 劉靜榆。2011。曾文溪口台灣招潮蟹棲地特性與行為研究。2011 黑面琵鷺與沿海濕地保育國際研討會論文集(印刷中)。
- 劉棠瑞、蘇鴻傑。1983。森林植物生態學。台灣商務印書館。462 頁。
- 歐育憲。2000。土壤中重金屬污染物之生物有效性意義研究。逢甲大學環境工程與科學研究所碩士論文。
- 環境保護署。2006。土壤和底泥中元素濃度快速篩選方法－攜帶式 X-射線螢光光譜儀分析法。環署檢字第 0950006426 號公告。
- 謝蕙蓮、黃守忠、李坤瑄、陳章波。1993。潮間帶底棲生態調查法。生物科學 36(2):71-80。
- Brodie, R. J., M. E. Behum, E. Monroe, N. Glenn and J. L. Staton. 2005. Recruitment to adult habitats following marine planktonic development in the fiddler crabs, *Uca pugilator*, *U. pugnax*, and *U. minax*. Marine Biology 147:105-111.
- Crisp, D. J. 1971. Energy flow measurements. In: Methods for the Study of Marine Benthos, International Biological Program Handbook no.16, pp.197-279, Ed. by N. A. Home and A. D. McIntyre. Oxford and Edinburgh: Blackwell Scientific Publications.
- Everitt, B. 1980. Cluster Analysis. 2nd Edition. Gower Publishing Co., Hampshire, 136 pp.
- Eshel, G., G. J. Levy, U. Mingelgrin and M. J. Singer. 2004. Critical evaluation of the use of laser diffraction for particle-size distribution analysis. Soil Science Society of America Journal 68:736-743.
- Gauch, H. G. Jr. 1982. Multivariate Analysis in Community Ecology. Cambridge University Press, New York.
- Hill, M. O. and H. G. Gauch, Jr. 1980. Detrended correspondence analysis: an improved ordination technique. Vegetatio 42:47-58.
- Kovach, W. L. 1999. MVSP Multi Variate Statistical Package for window, ver.3.1 Kovach Computing Services, Pentraeth, Wales, U.K.
- Liao, S.-W., W.-L. Chang and S.-W. Lin. 2008. Status and habitat preferences for endemic inhabitants of fiddler crab *Uca formosensis* in Hsiang-Shan wetland, Taiwan. Environmental Monitoring and Assessment 143:203-214.
- Nelson, J. L., L. C. Boawn and F.G. Viets, Jr. 1959. A method for assessing zinc status of soils using acid-extractable zinc and "titratable alkalinity" values, Soil Science 88:275-283.
- Noy-Meir, I. 1973. Data transformations in ecological ordination. I. Some advantages of non-centering. Journal of Ecology 61: 329-341.
- Shih, H.-T, H.-K. Mok, H.-W. Chang and S.-C. Lee. 1999. Morphology of *Uca formosensis*

Rathbun, 1921 (Crustacea: Decapoda: Ocypodidae), an endemic fiddler crab from Taiwan, with notes on its ecology. *Zoological Studies* 38(2):164-177.

Shih, H.-T., H.-K. Mok and H.-W. Chang. 2005.

Chimney building by male *Uca formosensis* Rathbun, 1921 (Crustacea: Decapoda: Ocypodidae) after Pairing: a new hypothesis for chimney function. *Zoological Studies* 44(2): 242-251.

Weis, J. S., L. Windham, C. Santiago-Bass and

P. Weis. 2002. Growth, survival, and metal content of marsh invertebrates fed diets of detritus from *Spartina alterniflora* Loisel. and *Phragmites australis* Cav. Trin. ex Steud. from metal-contaminated and clean sites. *Wetlands Ecology and Management* 10:71-84.

