

國立臺灣大學生命科學院生態學與演化生物學研究所

碩士論文

Institute of Ecology and Evolutionary Biology

College of Life Science

National Taiwan University

Master Thesis



挖子尾自然保留區彈塗魚分布與底質關係之探討

Distribution and sediment preference of mudskippers in

Wazihwei Nature Reserve

黃書彥

Shu-Yann Huang

指導教授：李培芬 博士

Advisor: Pei-Fen Lee, Ph.D.

中華民國 105 年 7 月

July, 2016

## 致謝



陽光煦煦，蟬聲唧唧，望著窗外舟山路上偶爾穿梭而過的行人與腳踏車，碩士班三年的生活隨著鍵盤敲下的一字一句，逐漸接近尾聲……。

這篇論文能夠完成首先要感謝我的指導教授李培芬老師，讓我自由的去探索想做的題目，並給予實驗上的建議及幫助，使我能順利完成研究。感謝口試委員陳章波老師、謝蕙蓮老師、李英周老師及林惠真老師給予論文修改上的建議，讓我發現自己不足和需要改進的地方，老師們的教誨使我獲益良多。

感謝一起幫忙出野外的致穎、文琪、家琪、廷互、季青、可為、承浩、哲勛，還有借我實驗器材和幫忙樣本送驗的健恆學長，沒有你們我的實驗不可能順利完成。感謝小柯的鼓勵及引導，使我不會偏離正軌，每次跟你討論後總是能發現自己思考上的盲點、解開煩惱已久的問題讓心情豁然開朗，真的很感謝你總是這麼的照顧我們這些學弟妹：) 感謝志融學長、宛均學姊、采諭學姊、亞融和 Henry 對我論文的關心與建議。感謝在口試時提供好多幫助的富安、欣怡、俊怡、家琪、旻萱、偉凱、羅萱。感謝灘地患難兄弟 gene，灘地調查的辛苦你最能懂 QQ 感謝生科九怪 Frank Chen、勇迷小汪陪我打球，讓我研究所三年不至於變成一個肥宅 XD 還有同窗的徐昕、大忙人曉平、所學會舞王覓菜、社子島島主玉米、好麻吉瞎咖重威以及空間生態實驗室的大家，帶給我交織著歡笑、汗水與淚水充實的三年。

最後謹將此論文獻給在背後默默支持著我的家人。感謝我的父母願意放手讓我去探索自己的興趣、追尋自己的夢想。感謝我的妹妹，因為有妳的陪伴，讓我的生活充滿歡笑而不孤單。只能說沒有你們就不會有這本論文，謝謝。

## 摘要



淡水河口的挖子尾自然保留區屬於潮間帶河口濕地生態系，蘊含著豐富的生物資源。彈塗魚類在濕地生態系中扮演了許多重要的角色，如穩固食物網的組成、環境污染的監測、評估河口濕地生態系的指標物種等。臺灣早期嚴重開發破壞濕地，近年雖訂立濕地保育法，推行國家重要濕地保育計畫，使濕地生態系逐漸受到重視，但台灣的濕地仍受到許多人為開發與破壞的壓力。目前國內彈塗魚相關研究十分缺乏，若欲知棲地改變會對彈塗魚造成什麼影響，需先了解其在灘地的分布及棲地偏好。本研究調查挖子尾地區彈塗魚的分布狀況，探討土壤含水量、底質粒徑大小、土壤有機物含量等底質環境因子對其分布的影響，並估算族群量，以做為濕地經營管理之參考。

結果顯示挖子尾地區共有三種彈塗魚分布，分別為青彈塗魚(*Scartelaos histophorus*)、大彈塗魚(*Boleophthalmus pectinirostris*)及跳彈塗魚(*Periophthalmus modestus*)。青彈塗魚數量最多，廣泛分布於挖子尾灘地，為該地區的優勢種彈塗魚；大彈塗魚調查到的數量次之，主要分布於低潮位水岸旁的開闊灘地；跳彈塗魚數量最少，僅零星分布於鄰近紅樹林邊緣的高潮位灘地。從底質環境因子分析顯示，三種彈塗魚對土壤含水量偏好有明顯差異，跳彈塗魚主要分布於土壤含水量較低的地區；大彈塗魚分布於含水量較高的灘地；青彈塗魚則從土壤含水量高到低的灘地皆有分布。三種彈塗魚對底質粒徑的偏好無明顯差異，皆分布於粒徑較小、偏向泥質的底質環境。大彈塗魚分布區域的土壤有機物含量顯著高於跳彈塗魚；土壤有機物含量高的樣區，大彈塗魚及青彈塗魚的數量也較多。

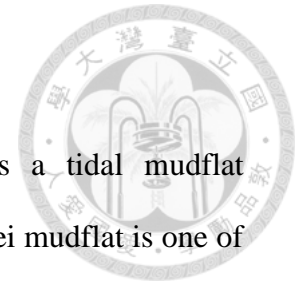
本研究是首次探討挖子尾地區彈塗魚分布和底質之間關係的研究，結果顯示挖子尾地區的彈塗魚在棲地底質選擇上的偏好是造成三種彈塗魚分布上差異的重要因素，且微棲地底質條件的差異會影響彈塗魚的數量及分布。了解彈塗魚對不同底質環境因子的偏好，可以更有效的評估泥灘地彈塗魚的分布狀況和族群數

量，作為濕地復育經營管理之參考。

關鍵字：彈塗魚、族群分布、底質、棲地偏好、挖子尾自然保留區



## Abstract



Located at Tamsui estuary, Wazihwei Nature Reserve is a tidal mudflat ecosystem. With so many creatures blooming in this area, Wazihwei mudflat is one of the most valuable ecological wetland resources of Taiwan. Mudskippers are euryhaline and amphibious fish, and play important roles in tidal mudflats, Such as stabilizing the food web and considered as environmental pollutant indicator. Due to human development, anthropogenic disturbance and pollution, wetlands are currently deteriorating and disappearing at an accelerating rate. Therefore, understanding how environmental changes will influence the mudskippers requires more research; especially knowing the habitat preference of mudskippers. However, there is a lack of studies in Taiwan about the habitat preference of mudskippers. The factors that influence the distribution of mudskippers in the field are still unclear. This study focuses on how sediment conditions such as soil water content, particle size and soil organic content, affects the distribution of mudskippers in Wazihwei Nature Reserve.

According to the result, three species of mudskippers were recorded in our study site, including *Periophthalmus modestus*, *Boleophthalmus pectinirostris* and *Scartelaos histophorus*. *S. histophorus* is the most abundant species which occupied almost the entire mudflat area. *B. pectinirostris* were found at open mudflat areas and the riverbank at low tide level. In contrast, only a few individuals of *P. modestus* were found scattered at the mangrove edge. There is significant preference of soil water content in three mudskippers. *B. pectinirostris* were distributed where the soil water content was high, and *P. modestus* were distributed near lower soil water content areas while *S. histophorus* were distributed across both high and low soil water content areas. There is no significant preference in sediment particle size for the three

species of mudskippers since they all prefer fine sediment. On the other hand, *B. pectinirostris* were distributed where the soil organic content was high, *P. modestus* were distributed where the soil organic content was much lower.

This research shows the different distribution of three mudskippers at Wazihwei Nature Reserve which is mainly due to their sediment preference. Understanding the habitat preference of mudskippers can evaluate and monitor their populations more efficiently. This study provides a preliminary research of mudskippers' distribution and their sediment preference at Wazihwei wetland.

Keywords : Mudskippers, Population distribution, Sediment, Habitat preference,

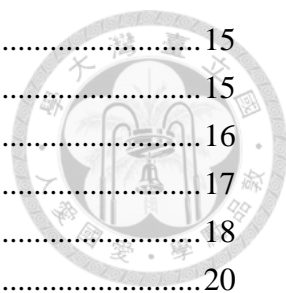
Wazihwei Nature Reserve

# 目錄



摘要.....	i
Abstract.....	iii
目錄.....	v
圖目錄.....	vii
表目錄.....	ix
第一章、前言.....	1
一、河口濕地生態系.....	1
二、彈塗魚在濕地生態系中的角色.....	1
三、文獻回顧.....	2
四、研究動機與目的.....	3
第二章、材料與方法.....	5
一、研究地點.....	5
二、挖子尾地區的彈塗魚.....	5
1、跳彈塗魚( <i>Periophthalmus modestus</i> ).....	5
2、大彈塗魚( <i>Boleophthalmus pectinirostris</i> ).....	6
3、青彈塗魚( <i>Scartelaos histophorus</i> ).....	6
三、實驗設計.....	7
1、調查時間.....	7
2、樣點規劃與設置.....	7
3、彈塗魚計數.....	7
4、底質採樣.....	8
四、底質分析.....	8
1、土壤含水量.....	8
2、底質粒徑.....	8
3、有機物含量.....	8
五、族群量估算.....	9
六、資料分析.....	10
第三章、結果.....	11
一、彈塗魚調查數量與分布.....	11
二、底質環境因子.....	12
1、土壤含水量.....	12
2、底質粒徑.....	12
3、有機物含量.....	13
三、數量與環境因子.....	13
四、族群量估算.....	14

第四章、討論.....	15
一、彈塗魚調查數量與分布.....	15
二、彈塗魚與底質環境因子.....	16
三、族群量估算.....	17
四、濕地經營管理建議.....	18
第五章、結論.....	20
參考文獻.....	21
附錄.....	47





## 圖目錄

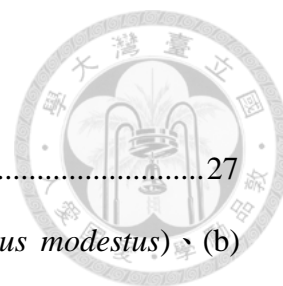


Fig. 1. 挖子尾自然保留區位置與範圍圖 .....	27
Fig. 2. 挖子尾自然保留區的彈塗魚(a)跳彈塗( <i>Periophthalmus modestus</i> )、(b) 大彈塗魚( <i>Boleophthalmus pectinirostris</i> )、(c)青彈塗魚( <i>Scartelaos histophorus</i> ) .....	28
Fig. 3. 挖子尾灘地各樣區面積示意圖 .....	29
Fig. 4 各樣方點位位置圖 .....	30
Fig. 5. 各彈塗魚種數量總計的月份變化(a)跳彈塗、(b)大彈塗魚、(c)青彈塗 魚。(2015年12月至2016年2月無調查資料).....	31
Fig. 6. 各樣區六個月彈塗魚調查數量總計 .....	32
Fig. 7. 土壤含水量比較(a)彈塗魚物種間比較、(b)樣區間比較(不同字母表示 彼此間有差異)(*號代表該筆資料為離群值).....	33
Fig. 8. 物種間11月份底質粒徑比較(a)平均粒徑、(b)粒徑中間值(不同字母 表示彼此間有差異)(*號代表該筆資料為離群值).....	34
Fig. 9. 樣區間11月份底質粒徑比較(a)平均粒徑、(b)粒徑中間值(不同字母 表示彼此間有差異).....	35
Fig. 10. 土壤有機物含量11月份比較(a)物種間比較、(b)樣區間比較(不同字 母表示彼此間有差異).....	36
Fig. 11. 土壤含水量-彈塗魚數量散佈圖(a)大彈塗魚、(b)跳彈塗、(c)青彈塗 魚.....	37
Fig. 12. 11月份土壤有機物含量-彈塗魚數量散佈圖(a)大彈塗魚、(b)跳彈塗、 (c)青彈塗魚.....	38
Fig. 13. 11月份平均粒徑-彈塗魚數量散佈圖(a)大彈塗魚、(b)跳彈塗、(c)青 彈塗魚.....	39

Fig. 14. 11 月份粒徑中間值-彈塗魚數量散佈圖(a)大彈塗魚、(b)跳彈塗、(c)青彈塗魚.....	40
Fig. 15. 挖子尾地區彈塗魚分布範圍示意圖 .....	41
Fig. 16. (a)挖子尾紅樹林消退區域、(b)紅樹林消退灘地有陸域化情況 .....	42

## 表目錄



Table 1 各月份有彈塗魚樣方之彈塗魚密度(mean±sd.) (隻/ m <sup>2</sup> ) (N 為樣方數) .....	43
Table 2 各項因子與彈塗魚數量之斯皮爾曼等級相關係數值結果 .....	44
Table 3 各樣區彈塗魚平均密度 95%信賴區間(隻/ m <sup>2</sup> ) (“-“表示該樣區無分布 紀錄).....	45
Table 4 挖子尾灘地各樣區彈塗魚估算族群量(隻) (“-“表示該樣區無分布紀錄) .....	46

# 第一章、前言



## 一、河口濕地生態系

河口濕地生態系位於河海交界處，河水所帶來的大量泥沙及有機質因下游流速變慢而在河口堆積，形成開闊的泥灘地地形。在河口區內，耐鹽草澤植物、底棲微藻及浮游植物是最主要的生產者，由於河水帶來源源不絕的有機物及營養鹽，加上充足的陽光照射，使得此區生產力極高。潮汐是影響此區域的主要因素，受海水漲退潮的影響，能忍受乾旱、溫度及鹽度變化的動植物才能在此生存，如彈塗魚、招潮蟹、茫茫鹹草及紅樹林植物等。由於外在物理環境變化劇烈，能在此區生存並繁衍後代的物種相對較少，也因此佔據此生態棲位(niche)的生物往往個體數量非常地多。濕地的高生產力，以及環境條件短時間內變動劇烈造成的生存壓力，使得濕地生物多特化出適應此類環境的特性，並對此環境產生高度依賴(Gibbs, 2000)。

濕地具有許多功能，如調節水量、穩固海岸、淨化水質，提供生物棲地及維繫生物多樣性等(Keddy, 2010)。台灣早期在缺乏明確法條及對濕地範圍的劃定不清下，濕地生態系經常受到人為的干擾，諸如水質及垃圾汙染、人為開發、棲地破碎化、遊憩利用伴隨的破壞等。近年雖訂立濕地保育法，推行國家重要濕地保育計畫，使濕地生態系逐漸受到重視，但台灣的濕地仍舊面臨許多人為的破壞與壓力。本研究的地點挖子尾自然保留區被列為國家級濕地(國家重要濕地保育計畫網站 <http://wetland-tw.tcd.gov.tw/purpose.php>)，為台灣重要的濕地生態資源。

## 二、彈塗魚在濕地生態系中的角色

彈塗魚(mudskipper)是一種水陸兩棲、廣鹽性(euryhaline)的魚類，生活於河

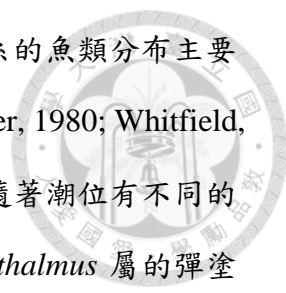
口水域、沼澤、泥灘及紅樹林灘地。分類上屬於蝦虎魚科(Gobiidae)、背眼蝦虎魚亞科(Oxudercinae)的成員，目前已知共有 10 屬 40 種(Murdy, 1989; Larson et al., 2008)，廣泛分布於非洲西岸、印度、太平洋水域的熱帶及亞熱帶近岸淺水區(美洲無分布)，有些種類可分布至溫帶的日本、韓國(Murdy, 1989)。

河口濕地生態系的特色之一就是物種數少但族群量大，彈塗魚在河口濕地生態系中扮演初級和次級消費者(Ansari et al., 2014)，亦是許多水鳥、候鳥及其他魚類的食物來源。由於其族群的數量龐大，在食物網組成及穩固上扮演著重要的角色(Huang, 2014)。彈塗魚生活於陸域和水域的交界，易受到來自陸地和海洋的人為干擾及污染的衝擊(Polgar, 2009)，牠們對環境污染的忍耐力加上其在食物網營養階層中的位置，使得環境中的污染物例如重金屬、環境賀爾蒙、有機污染物、油污等，會在其體內進行生物堆積(Bioaccumulation)，可做為監測環境污染的物種(Shirani et al., 2012; Sinaei and Rahmanpour, 2013; Ansari et al., 2014)。生態經營管理時常藉由參考生態指標，了解目前環境的狀況或管理的成效(Fairweather, 1999)。通常相似的環境條件會有相似的物種出現，因此彈塗魚的群聚結構可做為判斷棲地狀態的指標之一(Polgar and Crosa, 2009)，若能了解各種彈塗魚棲地對應到的環境狀態，對於濕地經營管理具有相當的參考價值。

### 三、文獻回顧

彈塗魚生活於河口潮間帶灘地，具有廣鹽性及獨特的兩棲性(amphibious)行為，能往返水陸兩種不同呼吸介質中，其生理調節的適應及呼吸器官的解剖構造一直是廣泛關注的議題。目前彈塗魚的研究大致可歸納為下列五個方向：(1)呼吸作用、(2)鰓部構造、(3)代謝作用、(4)滲透壓調節、(5)生態習性及微棲地選擇(張，1997；朱，1999；蘇，1999)。有關彈塗魚野外行為觀察與環境因子關係的研究則相對較少。

生物的分布受到許多因子的影響，包括生物因子和非生物因子等，而非生物



因子是決定一物種是否能分布於此環境的重要因素。河口生態系的魚類分布主要受到鹽度、溫度、潮汐、溶氧量和底質特性等環境因子影響(Blaber, 1980; Whitfield, 1996; Marshall and Elliott, 1998)。研究指出不同種類的彈塗魚隨著潮位有不同的分布，*Periophthalmus* 屬的彈塗魚分布較偏向高潮位；*Boleophthalmus* 屬的彈塗魚則多分布於低潮位無遮蔽的開闊灘地(Takita et al., 1999; Polgar and Crosa, 2009)。溫度會影響彈塗魚的活動力(Ikebe and Oishi, 1996, 1997)以及卵和仔稚魚的發育(張與洪, 2006)，當溫度低於 15°C 時彈塗魚幾乎不活動，過低的溫度也會影響魚卵的孵化；跳彈塗偏好的水溫為 30°C (Gordon et al., 1985)，大彈塗魚偏好的水溫為 27 至 34°C (Chen et al., 2008)。由於彈塗魚屬於廣鹽性的魚類，跳彈塗在鹽度實驗方面沒有特別的偏好，唯獨會避開純淡水的環境(Gordon et al., 1985)。許多文獻指出底質(sediment)是影響彈塗魚分布的重要因子(Chen et al., 2008; Polgar and Crosa, 2009; Huang, 2014)，但多是定性描述，定量分析及相關研究仍十分缺乏。總結來說，溫度和鹽度影響彈塗魚大尺度空間分布的界線；而在微棲地的選擇上底質是最主要的影響因子(Chen et al., 2008)。一個灘地是否有彈塗魚出現，其出現的地點和分布的範圍都跟當地的底質環境條件息息相關。

#### 四、研究動機與目的

挖子尾自然保留區為國家級重要濕地，孕育豐富的動植物資源，為台灣重要的濕地。但近年來其鄰近地區陸續有大型開發工程，如淡江大橋工程、台北港工程、淡海新市鎮開發等，皆有可能對挖子尾當地的環境和生態產生衝擊。若欲知棲地改變會對彈塗魚造成什麼影響，需先了解其在灘地的分布和棲地偏好以及該物種的族群量。

底質因子是最主要影響河口潮間帶生物分布的因素之一，包括土壤粒徑、有機物含量與含水量等(Crane, 1975)。有機物含量可代表一地生產力的高低，研究發現河口地區物種多樣性的高低跟生產力有關(Mandal et al., 2013)。土壤粒徑能

顯著的顯示出蟹類豐富度(Frusher et al., 1994)，彈塗魚的出現與否跟底質的環境狀況有很大的關係(Khaironizam and Norma-Rashid., 2005)。由王 (1985)的研究得知挖子尾地區三種彈塗魚的陸適性有差異，推測土壤含水量亦是影響彈塗魚分布的因素之一。

挖子尾地區彈塗魚的分布狀況目前尚未有完整的紀錄，對其棲息環境主要也以定性的描述為主，缺乏定量的分析，相關研究鮮少著重於彈塗魚分布與環境因子間的探討。本研究的三個主要研究目的為：(1)了解挖子尾地區彈塗魚分布狀況；(2)探討影響彈塗魚分布的底質環境因子，包括：土壤含水量、底質粒徑和土壤有機物含量；(3)挖子尾地區彈塗魚族群量的估算。

藉由調查淡水河口挖子尾濕地彈塗魚的分布並分析其環境因子，除了了解影響彈塗魚分布的環境因子外，亦可做為淡江大橋工程施工前對挖子尾濕地彈塗魚類群聚的調查，提供資料給往後研究進行比較及參考。

## 第二章、材料與方法



### 一、研究地點

本研究地點為挖子尾自然保留區(Fig. 1)，位於新北市八里區，淡水河出海口左岸。此地為一典型的潮間帶河口生態系，水筆仔攔截淡水河挾帶之大量泥沙及有機物，形成一佔地約 30 公頃的開闊灘地。棲地類型可概分為泥質灘地、砂質灘地、水筆仔純林、次生林等。生物資源部分，植物共計 35 科 119 種，除了水筆仔外，還有蘆葦等耐旱耐鹹的植物；鳥類共計 31 科 98 種，魚類共計 17 科 21 種以及 7 科 23 種的蟹類(盧等，2012)。1994 年將其劃定為自然保留區以保育當地生態，2013 年訂立濕地保育法，屬於國家級濕地，為台灣重要的濕地資源。近年來由於附近的大型開發案陸續動工，如：淡江大橋工程、台北港工程等，可能導致本區的棲地環境變化甚多值得重視。

### 二、挖子尾地區的彈塗魚

由台灣淡水及河口魚類誌(陳與方，1999)、台灣魚類資料庫及 Huang (2014) 的文獻顯示，台灣至少有五種彈塗魚，分別為跳彈塗(*Periophthalmus modestus*)、大彈塗魚(*Boleophthalmus pectinirostris*)、青彈塗魚(*Scartelaos histophorus*)、大青彈塗魚(*Scartelaos gigus*) 及銀身彈塗魚(*Periophthalmus argentilineatus*)。根據分類學分類，彈塗魚可依據第一背鰭鰭條數區分為：1、五條鰭條數之大彈塗魚、青彈塗魚及大青彈塗魚；2、鰭條數介於 10-17 如跳彈塗及銀身彈塗魚(附錄一)。由 2015 年 3 至 6 月的前置調查得知挖子尾自然保留區至少有跳彈塗、大彈塗魚和青彈塗魚三種。詳細介紹如下：

#### 1、跳彈塗(*Periophthalmus modestus*)

第一背鰭有 9-13 根鰭條，第二背鰭有 11-13 根鰭條；胸鰭尖圓，基部有臂



狀肌柄；頭部寬大、側扁、體延長，腹鰭癒合成吸盤狀，胸鰭肉質化適於爬行，體色呈灰褐色調，腹面灰白，背鰭近上緣處有一灰色帶，第二背鰭有深色斑點；體側具有數條向前下斜的黑色縱帶(Fig. 2a)。成魚體長通常為 3 至 8 公分，最大體長可達 10 公分。靠其胸鰭和尾部爬行及跳躍，遇到危險時會用蜻蜓點水(dragonfly touch)的跳躍方式逃離危險。肉食性，以浮游生物、昆蟲及其他無脊椎生物為主食(王等, 2012)。主要分布於中國東南沿海，南從香港、台灣，北至日本、韓國(Murdy, 1989)。

## 2、大彈塗魚(*Boleophthalmus pectinirostris*)

第一背鰭有五根鰭條，第二背鰭有 24-26 根鰭條；體色呈灰褐色，頭部大、眼大而突出，身體粗壯，腹鰭癒合成吸盤狀；體側、背鰭、尾鰭上密佈淡藍色斑點，有些個體體側有 5-6 條黑褐色略向前下斜的縱紋(Fig. 2b)；口裂大，呈水平狀，上頷延伸可達眼前緣下方。成魚體長約 10 至 15 公分，最大可達近 20 公分。穴居性魚類，主要以刮食灘地上的藻類為食(Yang et al., 2003)，攝食時會有獨特的擺頭動作，可作為辨別的依據之一。分布於台灣、中國東南沿海、日本、馬來西亞及印尼(Murdy, 1989; Polgar and Crosa, 2009)。

## 3、青彈塗魚(*Scartelaos histophorus*)

第一背鰭有 5 根鰭條，第二背鰭有 24-27 根鰭條；第一背鰭第三棘延長呈天線狀，為辨別特徵之一；體背呈灰黑色，體側顏色略淡呈淺藍灰色，腹部為淡藍色，頭部及背鰭上散佈著黑色小點，腹面有一縱列的黑色短橫斑(Fig. 2c)；身體相較大彈塗魚顯得細長，下頷腹側具短鬚。成魚體長約 6 至 12 公分，最大可達約 18 公分。穴居性魚類，食性為雜食，以藻類、底棲無脊椎動物為食。從巴基斯坦、印度、中國東南沿海，至日本、澳洲皆有分布(Murdy, 1989)，為挖子尾

三種彈塗魚中世界分布最廣的種類。



### 三、實驗設計

#### 1、調查時間

本研究調查時間為 2015 年 8 至 11 月、2016 年 3 至 4 月，於每月中潮期(中潮期為農曆的初三至初六、初十一至初十三、初十八至初二十一、初二十六至初二十八)進行調查，每次調查於乾潮發生前後兩小時內完成。選擇溫度高於 18°C 且沒有下雨的時候調查，避免因低溫或陰雨造成彈塗魚活動力下降而影響結果 (Ikebe and Oishi, 1997)。2015 年 12 月至 2016 年 2 月由於溫度過低且陰雨天數多，故無進行調查。期間於 2015 年 8 月和 9 月各有一次颱風干擾實驗。

#### 2、樣點規劃與設置

首先由現地調查，以主觀判斷採樣法(Judgmental sampling)選定採樣區域，將挖子尾灘地分成 A、B、C 三個樣區(Fig. 3)，其中 A 樣區位於高潮位，B 和 C 樣區位於低潮位；B 樣區和 C 樣區之間有一槽溝將兩樣區分隔開。潮位之劃分依據浸沒潮時間區分，以最乾潮發生後三小時內被潮水淹沒的區域為低潮位灘地，三小時後至最高潮才被潮水淹沒的地方為高潮位灘地。每個樣區內選擇有彈塗魚分布的地方設置 10 個樣方(Fig. 4)(樣方座標詳見附錄二)，每個樣方以竹竿設置一 5×5 公尺的範圍(附錄三)。因 8 月份颱風將 A 樣區編號第 4、6 和 10 號的樣方破壞，使得這些樣方無調查資料，A 樣區的結果為剩餘 7 個樣方的資料。

#### 3、彈塗魚計數

由於彈塗魚對外界環境變動具高度警覺性並不容易調查，因此參考 Polgar(2009)之調查方法，每次移動至距樣方 10 公尺處，便不再移動並靜待 5 分

鐘，待多數彈塗魚重新回到地面活動後，以雙筒望遠鏡(倍率 10 × 25)計算樣方內彈塗魚的種類及數量。每個樣方計數 10 分鐘，每種彈塗魚重複計數兩次，選擇記錄時間內所出現的最高數量，並記錄當時氣溫。



#### 4、底質採樣

依底泥採樣方法 NIEA S104.31B，於每個樣方正中央，利用長約 30cm 直徑 2cm 的塑膠管，採集地表 10cm 深的土壤，低溫保存帶回實驗室做土壤含水量、粒徑和有機物含量分析。

### 四、底質分析

#### 1、土壤含水量

將六個月採集的土壤樣本秤重得到濕重(W1)，置於 105°C 的烘箱內烘乾 24 小時，待冷卻後秤重得到乾重(W2)，參考環保署公布之 NIEA S280.61C，測定底質土壤含水量百分率。其公式如下：

$$\text{土壤含水量}(\%) = \{(W1-W2)/W2\} \times 100\%$$

#### 2、底質粒徑

將 8 月份和 11 月份的土壤樣本，以雷射粒徑分析儀(Laser diffraction particle analyzer)，廠牌與型號為 Beckman Coulter LSI3-320，進行土樣的分析，得到平均粒徑和粒徑中間值。將粒徑中間值對照粒徑分類表(Folk, 1966)，可得到土壤樣本的粒徑類別(附錄四)。

#### 3、有機物含量

將 11 月份的土壤樣本以熱重量分析法(Thermogravimetric Analysis)分析其土

壤有機物含量。所謂熱重量分析法是在一控制的氣體環境下(惰性氣體)，測量物質重量改變的量或速率與溫度或時間的關係，可用來決定物質的組成或推測物質的熱穩定性。取烘乾後的土樣 20 mg 置於熱重分析儀內，加熱至 1000°C 得到質量—溫度曲線，又稱為熱重量曲線(Thermogravimetric curve)，取 100°C 到 550°C 之間所減少的重量作為有機物的重量(江，2007)。利用下列公式求得有機物含量百分比：

$$\text{有機物含量(\%)} = (\text{損失的重量} / \text{土樣重量}) \times 100\%$$

## 五、族群量估算

估計生物族群量需依照生物之特性而變動，常用的方法有區塊法(Quadrat counts)、穿越線法(Line transect methods)、移除法(Removal methods)、標記再捕捉法(Mark-recapture methods)等，依生物之特性選擇適當的族群估算方法。

彈塗魚族群量的估算過去較少有研究探討，本研究參考台江國家公園管理處的報告(王等，2012)，採用區塊法(Quadrat counts)估算彈塗魚的族群數量，將整個挖子尾分成三個樣區(Fig. 3)，分別估算每個樣區的彈塗魚族群量，之後加總得到整個挖子尾地區彈塗魚的族群量。利用 2015 年挖子尾地區 Google Earth Pro 空拍圖，以 ArcGIS 10.3 軟體，計算三個樣區的區域面積，並以該樣區彈塗魚平均密度的 95% 信賴區間之上下界，計算樣區內彈塗魚的族群量，得到所估算族群量的上下界。其方法如下：

族群量上界 = 分布樣區面積 × 平均密度的 95% 信賴區間上界

族群量下界 = 分布樣區面積 × 平均密度的 95% 信賴區間下界

## 六、資料分析

調查資料皆使用 SYSTAT 13 統計軟體進行分析。利用單因子變異數分析 (one-way ANOVA) 比較不同種彈塗魚對土壤含水量、平均粒徑、粒徑中間值、土壤有機物含量偏好是否有顯著差異，若有顯著差異再以 Scheffé 事後檢定進行兩兩比較。其中土壤含水量資料不符合變方同質性的假設，以 Games-Howell 事後檢定進行比較。

利用單因子變異數分析比較不同樣區的土壤含水量、平均粒徑、粒徑中間值、土壤有機物含量是否有顯著差異，若有差異以 Scheffé 事後檢定進行兩兩比較。其中平均粒徑和粒徑中間值資料不符合變方同質性的假設，以 Games-Howell 事後檢定進行比較。

將 11 月份資料以 Two-Sample t-test 比較有和沒有跳彈塗 (*P. modestus*) 的樣方之土壤含水量是否有差異；由於平均粒徑、粒徑中間值和有機物含量資料不符合常態，以 Mann-Whitney U-Test 進行比較。以 Mann-Whitney U-test 比較有沒有大彈塗魚 (*B. pectinirostris*) 的樣方之土壤含水量、平均粒徑、粒徑中間值、有機物含量是否有差異。

將彈塗魚的數量與土壤含水量、平均粒徑、粒徑中間值、有機物含量做相關係數分析，探討各因子與數量間的關係及影響程度。由於資料不為常態分布，因此以斯皮爾曼等級相關係數 (Spearman's rank correlation coefficient) 進行比較。

### 第三章、結果



根據六個月份的調查結果，共記錄到三種彈塗魚：分別為跳彈塗魚(*Periophthalmus modestus*)、大彈塗魚(*Boleophthalmus pectinirostris*)和青彈塗魚(*Scartelaos histophorus*)。

#### 一、彈塗魚調查數量與分布

跳彈塗魚六個月的調查共記錄到 57 隻，數量最多的月份為 2015 年 8 月，記錄到 26 隻；數量最少的月份為 2016 年 3 月，僅記錄到 3 隻(Fig. 5a)。平均密度為 0.13(隻/ m<sup>2</sup>)，密度最高的月份為 2015 年 8 月和 2016 年 4 月的 0.2(隻/ m<sup>2</sup>)；密度最低的月份為 2016 年 3 月的 0.06(隻/ m<sup>2</sup>)(Table 1)。幾乎全部跳彈塗魚記錄於 A 樣區，僅有一筆資料記錄於 C 樣區，由於往後的調查皆無於 C 樣區發現跳彈塗魚，研判該樣區並非跳彈塗魚的適合棲地。

大彈塗魚六個月的調查共記錄到 586 隻，數量最多的月份為 2016 年 4 月，記錄到 198 隻；數量最少的月份為 2015 年 8 月，記錄到 16 隻(Fig. 5b)。平均密度為 0.27(隻/ m<sup>2</sup>)，密度最高的月份為 2016 年 4 月的 0.4(隻/ m<sup>2</sup>)；密度最低的月份為 2015 年 8 月的 0.06(隻/ m<sup>2</sup>)(Table 1)。所有大彈塗魚的記錄皆位於 B 和 C 樣區，A 樣區無記錄到該物種。

青彈塗魚六個月的調查共記錄到 1243 隻，數量最多的月份為 2015 年 11 月，記錄到 278 隻；數量最少的月份為 2016 年 3 月，記錄到 123 隻(Fig. 5c)。平均密度為 0.36(隻/ m<sup>2</sup>)，各月份密度差異不大，最高為 11 月的 0.43(隻/ m<sup>2</sup>)(Table 1)。青彈塗魚在所有樣區皆有調查記錄。

各樣區彈塗魚數量部分，A 樣區共記錄跳彈塗魚 56 隻、大彈塗魚 0 隻、青彈塗魚 436 隻；B 樣區共記錄跳彈塗魚 0 隻、大彈塗魚 509 隻、青彈塗魚 542 隻；C 樣區共記錄跳彈塗魚 1 隻、大彈塗魚 77 隻、青彈塗魚 265 隻。以 B 樣區記錄到的

彈塗魚總數最多(Fig. 6)。



## 二、底質環境因子

### 1、土壤含水量

三種彈塗魚對土壤含水量的偏好有顯著差異( $F_{2,242}=17.44$ ,  $p<0.01$ )，Games-Howell 事後檢定結果顯示三種彈塗魚對土壤含水量偏好皆不同(Fig. 7a)。跳彈塗魚偏好的土壤含水量為  $47.10\pm 9.18(\%)$ ；大彈塗魚偏好的土壤含水量為  $71.5\pm 15.9(\%)$ ；青彈塗魚偏好的土壤含水量為  $64.33\pm 17.18(\%)$ 。

比較有跳彈塗魚樣方和沒有跳彈塗魚的樣方之土壤含水量，結果顯示兩者有顯著差異( $p<0.05$ )，有跳彈塗魚樣方之土壤含水量低於沒有跳彈塗魚的樣方；比較有和沒有大彈塗魚樣方的土壤含水量，有大彈塗魚樣方之土壤含水量顯著高於沒有大彈塗魚的樣方( $p<0.05$ )。

樣區間土壤含水量比較，三樣區間有顯著差異( $F_{2,159}=186.51$ ,  $p<0.001$ )，Scheffé 事後檢定結果，B 樣區和 A、C 樣區間土壤含水量不同(Fig. 7b)，B 樣區平均含水量為  $81.34\pm 8.33(\%)$ ，高於 A 樣區的  $50.6\pm 10.77(\%)$ 和 C 樣區的  $51.6\pm 9.97(\%)$ ，A 樣區和 C 樣區間則無顯著差異。

### 2、底質粒徑

三種彈塗魚在平均粒徑和粒徑中間值的偏好上皆沒有顯著差異，三者的平均粒徑介於  $139\sim 142\ \mu\text{m}$  (Fig. 8a)；粒徑中間值介於  $85\sim 103\ \mu\text{m}$  (Fig. 8b)。根據底質粒徑分類表(附錄四)，三者分布的棲地底質類型為極細砂(very fine sand)。

有跳彈塗魚和沒有跳彈塗魚之樣方比較結果，平均粒徑和粒徑中間值皆沒有顯著差異( $p=0.87$ )；大彈塗魚有和無之樣方比較結果，兩者也均無顯著差異( $p=0.52$ )。

樣區間平均粒徑比較結果顯示，C 樣區和 A、B 樣區間有顯著差異，C 樣區

平均粒徑為  $167.67 \mu\text{m}$ ，高於 A 樣區的  $74.25 \mu\text{m}$  和 B 樣區的  $21.74 \mu\text{m}$  (Fig. 9a)；粒徑中間值 B 和 C 樣區間有差異，C 樣區粒徑中間值為  $98.67 \mu\text{m}$ ，高於 B 樣區的  $16.99 \mu\text{m}$  (Fig. 9b)；底質類型方面 A 樣區為極細砂至粉砂，B 樣區為粉砂，C 樣區為細砂至粉砂。

### 3、有機物含量

大彈塗魚偏好的棲地平均有機物含量 4.09% 最高；青彈塗魚 3.92% 次之；跳彈塗 3.43% 最低，統計結果三者間有顯著差異 ( $F_{2,45}=3.63, p<0.05$ ) (Fig. 10a)。

有跳彈塗樣方之有機物含量與沒有跳彈塗的樣方間無顯著差異 ( $p=0.064$ )；有大彈塗魚樣方之有機物含量則顯著高於沒有大彈塗魚的樣方 ( $p<0.01$ )。

樣區間比較結果顯示三個樣區的土壤有機物含量有顯著差異 ( $F_{2,24}=16.14, p<0.001$ )，且三個樣區有機物含量皆不同。平均有機物含量以 B 樣區 4.28% 最高；C 樣區 3.85% 次之；A 樣區 3.35% 最低 (Fig. 10b)。

### 三、數量與環境因子

土壤含水量(相關係數 0.866)與有機物含量(相關係數 0.825)和大彈塗魚的數量有顯著高度正相關 ( $p<0.01$ ) (Fig. 11a, 12a)；平均粒徑(相關係數 -0.518)和粒徑中間值(相關係數 -0.266)則與大彈塗魚的數量呈現負相關 ( $P<0.05$ ) (Fig. 13a, 14a)。土壤含水量(相關係數 0.52)與青彈塗魚數量有正相關 ( $p<0.05$ ) (Fig. 11c)；平均粒徑(相關係數 -0.574)和粒徑中間值(相關係數 -0.494)與青彈塗魚數量呈現負相關 ( $P<0.05$ ) (Fig. 13c, 14c)；有機物含量(相關係數 0.297)與青彈塗魚數量關係不顯著 ( $p=0.059$ ) (Fig. 12c) (Table 2)。跳彈塗因資料樣本數過少，所以在本項分析中不予探討。



#### 四、族群量估算

挖子尾地區的三種彈塗魚並非均勻分布於整個灘地，跳彈塗魚和大彈塗魚有不同的分布範圍，且各樣區間的底質環境因子也有顯著差異，因此彈塗魚族群量的估算不能將整個灘地視為一個整體進行估算。根據樣區間底質研究結果的差異，將挖子尾灘地分成 A、B、C 三個樣區，計算樣區內各彈塗魚種平均密度的 95% 信賴區間(Table 3)，再乘上該樣區面積來估算該彈塗魚種的族群量(Fig. 3)。A、B、C 三樣區面積分別為 26988.73 m<sup>2</sup>、6347.53 m<sup>2</sup> 和 11888.55 m<sup>2</sup>，共 45224.81 m<sup>2</sup>。跳彈塗魚的族群於 A 樣區有 3778±2159 隻，其餘樣區無分布；大彈塗魚於 B 樣區估計有 2349±381 隻，C 樣區有 1189±357 隻，A 樣區無分布，共 3538±738 隻；青彈塗魚於 A、B、C 樣區分別估計有 12145±2159 隻、2349±317 隻和 2972±594 隻，共 17466±3070 隻(Table 4)。

## 第四章、討論



本研究調查挖子尾地區彈塗魚的分布狀況，並探討分布與底質環境因子間的關係。結果顯示挖子尾地區三種彈塗魚在土壤含水量及有機物含量的偏好上有差異，且挖子尾灘地並非均質的泥灘地，不同樣區間的底質環境有所不同，這些差異是造成這三種彈塗魚有不同分布範圍的原因。

### 一、彈塗魚調查數量與分布

挖子尾地區的彈塗魚各有其偏好分布的範圍，其中跳彈塗(*P. modestus*)皆紀錄於高潮位靠近紅樹林邊緣的灘地，低潮位的 B 樣區均無記錄，顯示其分布的範圍較偏向高潮帶(Fig. 15)，符合 Polgar and Crosa (2009)所提及 *Periophthalmus* 屬的彈塗魚分布較偏向高潮位的敘述。其調查數量從 2015 年 8 月後銳減，之後調查僅見零星個體分布於紅樹林邊緣，其他無紅樹林的高潮位灘地也未見有其分布。由於跳彈塗食性為肉食性，主要以昆蟲、底棲無脊椎動物等為食(王等，2012)，紅樹林可提供跳彈塗豐富的食物來源，因此推測紅樹林對跳彈塗的分布十分重要。由於該區紅樹林消退嚴重(盧，2015)，甚至有明顯陸化現象(Fig. 16)，導致適合跳彈塗的棲地減少，此現象應與跳彈塗調查數量的下降有關，跳彈塗與紅樹林的關係還有待後續進一步的研究。

大彈塗魚(*B. pectinirostris*)皆紀錄於低潮位的 B 和 C 樣區，主要活動範圍在槽溝的兩側，以 B 樣區調查到數量最多，顯示其分布主要位於低潮位的開闊灘地靠近水源處，在低潮位灘地與青彈塗魚有共域的情況(Fig. 15)。調查時可見牠們在灘地上刮食藻類的擺頭動作，8 月至 11 月及隔年 4 月有觀察到跳躍、展鰭擺尾等求偶動作，與文獻記載大彈塗魚的繁殖期為 4 月至 10 月大致相符。其調查數量從 2015 年 8 月至 11 月逐漸增加(Fig. 5)，由於 8 月份和 9 月份受到颱風干擾的影響，導致族群量較不穩定，加上大量漂流木及垃圾堆積於灘地使調查不易，

因而造成 8 月份調查到的數量最少；10 月和 11 月無颱風的干擾且有新生的大彈塗魚開始出現，使調查到的數量較多。3 月份調查到的大彈塗魚數量稀少，推測與調查時的氣溫較低有關(3 月調查的平均氣溫 21.5°C)，4 月份的調查大彈塗魚數量就明顯回升(4 月調查的平均氣溫為 29.5°C)，由此可發現氣溫的高低也會影響可調查到的大彈塗魚數量，當氣溫過低時大彈塗魚多待在洞穴內而較少到灘地表面活動(Yang et al., 2003)。

青彈塗魚(*S. histophorus*)於挖子尾 A、B、C 三樣區皆有紀錄且各月份調查數量相對穩定，為挖子尾地區的優勢種彈塗魚。其主要分布於低潮位至中潮位表面有積水的開闊灘地，少數會分布至高潮位灘地，紅樹林內部沒有發現紀錄，在高潮位灘地與跳彈塗有共域的情況(Fig. 15)。調查數量以 B 樣區最多，同為低潮位且僅隔一條槽溝之 C 樣區調查到的數量卻最少，與兩地的底質環境差異有關。其調查數量在 2016 年 3 月及 4 月皆較 2015 年的調查來的低，由於青彈塗魚在世界分布上屬於緯度較低的熱帶魚種(Murdy, 1989)，推測其出來活動所偏好的溫度較高，但 3、4 月份的溫度相對較低導致調查到的數量較少。

大彈塗魚和青彈塗魚的調查數量皆以 B 樣區最高，對比同一潮位的 C 樣區可發現在土壤含水量、底質粒徑、有機物含量上兩者有顯著差異。B 樣區的土壤含水量和有機物含量皆較 C 樣區高，底質平均粒徑和粒徑中間值則小於 C 樣區，由此可知微棲地底質條件的差異會影響彈塗魚的數量及分布狀況。

## 二、彈塗魚與底質環境因子

結果顯示三種彈塗魚對土壤含水量的偏好有明顯差異，大彈塗魚分布於土壤含水量高的地方，青彈塗魚次之，跳彈塗則分布於土壤含水量較低的地方，與王(1985)的研究，跳彈塗的陸適性大於大彈塗魚及青彈塗魚，兩者可互相印證；彈塗魚鰓的型態與結構研究結果也顯示，大彈塗魚和青彈塗魚水性較強，跳彈塗較適應陸域的環境(潘等，2010)。

三種彈塗魚具有相似的底質偏好，偏好粒徑較小、底質類型為粉砂(grain size $<62.5\ \mu\text{m}$ )至極細砂(grain size $<125\ \mu\text{m}$ )的土壤；跳彈塗有時會分布至底質類型為細砂(grain size $<250\ \mu\text{m}$ )的區域。現地觀察發現底質類型較偏向粗顆粒的砂質地型皆無彈塗魚的分布，推測此三種彈塗魚皆偏好較為泥質的環境。

灘地土壤有機物的主要來源為植物的碎屑及表面的底棲微藻。大彈塗魚與跳彈塗分布的土壤有機物含量有明顯不同，推測與兩者食性的差異有關。主要以刮食灘地表面底棲藻類為生的大彈塗魚分布於有機物含量較高的地方；跳彈塗食性為肉食性，並不以藻類為主食，有機物含量的多寡對其分布影響不大，加上其分布偏向高潮位含水量低的灘地，因此土壤有機物含量相對較低。

以斯皮爾曼相關係數檢測各項底質環境因子與彈塗魚數量的關係，結果顯示土壤含水量對大彈塗魚和青彈塗魚的數量有顯著正相關，含水量越高的地區大彈塗魚和青彈塗魚的數量也隨之增多；平均粒徑和粒徑中間值與大彈塗魚及青彈塗魚的數量呈現負相關，顯示底質顆粒越大，兩者的數量呈現下降趨勢。有機物含量與大彈塗魚的數量呈現高度正相關，與雜食性的青彈塗魚數量關係則不顯著。

綜合上述結果，有跳彈塗的分布代表該地的底質環境為含水量較低的高潮位灘地；有大彈塗魚分布代表該地底質環境為含水量較高的低潮位泥質灘地；有機物含量越高的區域，大彈塗魚和青彈塗魚數量越多。由於本研究沒有在彈塗魚未分布的地方設置調查樣方，無法比較無任何彈塗魚分布的地方與有彈塗魚分布地方環境因子間的差異，未來實驗可於沒有彈塗魚分布的地方設置採樣的對照組進行比較。

### 三、族群量估算

六個月的調查結果顯示大彈塗魚於挖子尾地區有穩定的族群分布，經估算其族群量約為 2800 至 4275 隻。由於大彈塗魚生性機警，且多生活於低潮位靠近水岸邊，一有風吹草動即潛入水中或鑽入洞裡，加上其分布的地方多泥濘且易陷入

灘地中難以到達，因此有可能低估了其族群數量。

青彈塗魚經估算族群量約為 14395 至 20537 隻，其平均密度與大彈塗魚的平均密度其實相差不多，但因 A、B、C 三個樣區內皆有分布，較廣的分布面積使得其有三者中最大的族群量。青彈塗魚同樣也有觀測困難的問題，因此也有可能低估了其族群數量。

跳彈塗魚經估算其族群量為 1619 至 5938 隻，其估算族群量上界較大彈塗魚來的高，但實地調查卻發現跳彈塗魚的數量比大彈塗魚還要少。由於我們族群量的估算是使用區塊法(Quadrat counts)，即面積乘以密度來估算，此種方法適用於分布均勻型的物種，跳彈塗魚於 A 樣區呈現零星分布而非均勻分布於該樣區，較不適用本研究的族群估算方法，且因其樣本數少，導致估算的結果偏差較大。

相較於招潮蟹族群的估算方法已有多篇文獻探討(陳，2009)，彈塗魚族群量的估算至今仍沒有一套完整的方法，相關文獻也鮮少有提及彈塗魚數量估算方法的比較。由調查經驗得知不同種類的彈塗魚需依其不同棲地偏好及分布範圍，採用不同的估算方法。本研究結合現地調查及地理資訊系統，將灘地依底質環境條件分成不同區塊，依照不同種彈塗魚偏好的棲地範圍進行族群量的估算，期望能提供後續彈塗魚族群量估算及相關研究一個參考方向。

#### 四、濕地經營管理建議

生態監測中常用到 BACI (Before-After Control-Impact)比較一地開發前和開發後對環境生態的衝擊，尤其是族群量評估和監測的應用(Underwood, 1991, 1992; Popescu et al., 2012)。本研究可做為淡江大橋施工前(Before)對挖子尾自然保留區彈塗魚類群聚的調查，提供資料給淡江大橋施工後(After)的調查進行對照。經作者的觀察，淡水河流域的關渡自然保留區彈塗魚群聚與挖子尾地區最為相似，建議可做為淡江大橋工程對挖子尾彈塗魚生態影響的對照(Control)地點。

在彈塗魚調查的部分，應依據不同彈塗魚種的分布範圍及其棲地偏好設置調

查或監測樣點，而非於整個灘地隨機選取調查地點。調查方法可以區塊法或穿越線法為主，由於彈塗魚的活動力強、活動範圍較大，蟹類調查常用的樣方大小可能較不適合，所設置的樣方應大於 2×2 公尺較容易調查到彈塗魚。

挖子尾自然保留區紅樹林破壞及高潮位灘地陸化情形嚴重，調查時常可發現大量垃圾堆積，且曾經見過有汙水排放至灘地，這些皆可能嚴重影響跳彈塗生存的棲地；另外紅樹林的消退會使該處的侵蝕作用增強，帶走粒徑較小之泥沙，使底質轉變為粒徑較大的砂質灘地(Alfaro, 2010)，對偏好泥質灘地的大彈塗魚和青彈塗魚亦可能會造成影響。因此挖子尾自然保留區開闢泥質灘地和紅樹林的維護及跳彈塗族群量的監測是目前十分重要的課題。

## 第五章、結論



本研究探討挖子尾地區彈塗魚分布狀況、分布與底質環境因子間的關係，並進行族群量的估算。結果顯示挖子尾地區共有三種彈塗魚，三種彈塗魚各自有不同的分布範圍，跳彈塗魚分布於紅樹林邊緣的高潮位灘地；大彈塗魚分布於低潮位開闊灘地；青彈塗魚則分布最廣，從高至低潮位的灘地皆可見其分布。三種彈塗魚對於土壤含水量偏好有明顯差異，大彈塗魚偏好土壤含水量高的灘地，顯示其生活較靠近水邊；跳彈塗魚偏好土壤含水量較低的高潮位灘地，顯示其陸適性較其他兩者好；青彈塗魚對土壤含水量的偏好則介於兩者之間。三種彈塗魚對底質粒徑的偏好無顯著差異，皆分布於粒徑較小、偏向泥質的底質環境；顆粒較粗、偏砂質的灘地未見有彈塗魚分布。土壤有機物含量大彈塗魚顯著高於跳彈塗魚，推測與其以藻類為主食有關；土壤有機物含量高的樣區，大彈塗魚及青彈塗魚的數量也較多。挖子尾地區彈塗魚族群量以青彈塗魚最多，為該地的優勢種彈塗魚；大彈塗魚的數量雖然不多，但有一定的族群量；跳彈塗魚族群量估算出的上下界範圍很大，且數量與實地調查情況不符，推測跳彈塗魚不適用本研究的族群估算方法。

本研究是首次探討挖子尾地區彈塗魚分布和底質之間關係的研究，結果顯示挖子尾地區的彈塗魚在棲地底質選擇上的偏好是造成三種彈塗魚分布上差異的重要因素，微棲地底質條件的差異會影響彈塗魚的數量及分布。本研究提供了挖子尾地區彈塗魚分布的概況，並對彈塗魚棲地選擇的偏好進行了初步的探討，但相關結果可能僅適用於挖子尾地區，還有賴更多的實驗及其他地方的研究來驗證。了解彈塗魚對不同底質環境因子的偏好，可以更有效的評估一地區彈塗魚的分布狀況和族群數量，作為濕地復育經營管理之參考。目前台灣彈塗魚的相關研究仍十分缺乏，希望未來能多重視彈塗魚生態及相關研究。

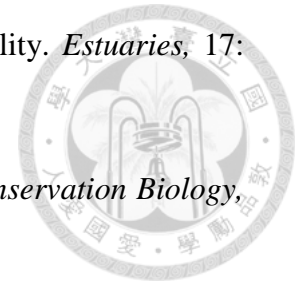
## 參考文獻



- Alfaro, A. C. 2010. Effects of mangrove removal on benthic communities and sediment characteristics at Mangawhai Harbour, northern New Zealand. *Journal of Marine Science*, 67: 1087-1104.
- Ansari, A. A., Trivedi, S., Saggu, S., and Rehman, H. 2014. Mudskipper: A biological indicator for environmental monitoring and assessment of coastal waters. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 2(6): 22-33.
- Blaber, S. J. M., and Blaber, T. G. 1980. Factors affecting the distribution of juvenile estuarine and inshore fish. *Journal of Fish Biology*, 17: 143-162.
- Chen, S. X., Hong, W. S., Zhang, Q. Y., and Su, Y. 2007. Why does the mudskipper *Boleophthalmus pectinirostris* form territories in farming ponds. *Journal of the Marine Biological Association U.K.*, 87: 615-619.
- Chen, S. X., Hong, W. S., and Zhang, Q. Y. 2008. Microhabitat selection in the early juvenile mudskipper *Boleophthalmus pectinirostris*. *Journal of Fish Biology*, 72: 585-593.
- Crane, J. 1975. Fiddler Crabs of the World (Ocypodidae: Genus *Uca*). Princeton University Press, Princeton.
- Fairweather, P. G. 1999. Determining the 'health' of estuaries: Priorities for ecological research. *Australian Journal of Ecology*, 24: 441-451.
- Folk, R. L. 1966. A review of grain-size parameters. *Sedimentology*, 6: 73-93.
- Fox, J., and Monette, G. 1992. Generalized collinearity diagnostics. *Journal of the American Statistical Association*, 87: 178-183.
- Frusher, S. D., Giddins, R. L., and T. J. S. 1994. Distribution and abundance of grapsid crabs (Grapsidae) in a mangrove estuary: Effects of sediment



characteristics, salinity tolerances, and osmoregulatory ability. *Estuaries*, 17: 647-654.



Gibbs, J. P. 2000. Wetland loss and biodiversity conservation. *Conservation Biology*, 14: 314-317.

Gordon, M. S., Gabaidon, D. J., and Yip, A. Y.W. 1985. Exploratory observations on microhabitat selection within the intertidal zone by the Chinese mudskipper fish *Periophthalmus cantonensis*. *Marine Biology*, 85: 209-215.

Huang, M. C. 2014. Mudskippers in Tainan: The ecology and lifestyle of mudskipper *Periophthalmus modestus* in Tainan coastal wetland. *International Journal of Science and Engineering*, 3: 37-43.

Ikebe, Y., and Oishi, T. 1996. Correlation between environmental parameters and behaviour during high tides in *Periophthalmus modestus*. *Journal of Fish Biology*, 49: 139-147.

Ikebe, Y., and Oishi, T. 1997. Relationships between environment factors and diel and annual changes of the behaviors during low tides in *Periophthalmus modestus*. *Zoological Science*, 14: 49-55.


Keddy, P. A. (2010). *Wetland ecology: principles and conservation*. Cambridge University Press, Cambridge.

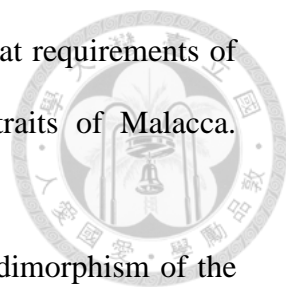
Khaironizam, M. Z., and Norma-Rashid., Y. (2005). *Distribution of mudskippers (Gobiidae: Oxudercinae) on the Selangor coast*. University of Malaya Press, Kuala Lumpur.

Larson, H. K., Jaafar, Z., and Lim, K. K. P. 2008. An annotated checklist of the gobioid fishes of Singapore. *The Raffles Bulletin of Zoology*, 56: 135–155.

Mandal, B., Mukherjee, A., and Banerjee, S. 2013. A review on the ichthyofaunal diversity in mangrove based estuary of Sundarbans. *Reviews in Fish Biology*

*and Fisheries*, 23: 365-374.

- 
- Marshall, S., and Elliott, M. 1998. Environmental influences on the fish assemblage of the Humber estuary, U.K. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 46: 175-184.
- Murdy, E. O. 1989. A taxonomic revision and cladistic analysis of the oxudercine gobies (Gobiidae: Oxudercinae). *Records of the Australian Museum*, 11: 1-93.
- Nursall, J. R. 1981. Behavior and habitat affecting the distribution of five species of sympatric mudskippers in Queensland. *Bulletin of Marine Science*, 31: 730-735.
- Polgar, G. 2009. Species-area relationship and potential role as a biomonitor of mangrove communities of Malayan mudskippers. *Wetlands Ecology and Management*, 17: 157-164.
- Polgar, G., and Crosa, G. 2009. Multivariate characterization of the habitats of seven species of Malayan mudskippers (Gobiidae: Oxudercinae). *Marine Biology*, 156: 1475-1486.
- Popescu, V. D., Valpine, P. D., Tempel, D., and Peery, M. Z. 2012. Estimating population impacts via dynamic occupancy analysis of Before–After Control–Impact studies. *Ecological Applications*, 22: 1389-1404.
- Shirani, M., Mirvaghefi, A., and Farahmand, H. 2012. Biomarker responses in mudskipper (*Periophthalmus waltoni*) from the coastal areas of the Persian Gulf with oil pollution. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 34: 705-713.
- Sinaei, M., and Rahmanpour, S. 2013. Evaluation of Glutathione S-Transferase activity as a biomarker of PAH pollution in mudskipper, *Boleophthalmus dussumieri*, Persian Gulf. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 90: 369-374.

- 
- Takita, T., Agusnimar, and Ali, A. B. 1999. Distribution and habitat requirements of oxudercine gobies (Gobiidae: Oxudercinae) along the Straits of Malacca. *Ichthyological Research*, 46, 131-138.
- Townsend, K. A., and Tibbetts, I. R. 2005. Behaviour and sexual dimorphism of the blue mudskipper *Scartelaos histophorus*. *Proceedings of the Royal Society of Queensland*, 112: 53-62.
- Underwood, A. J. 1991. Beyond BACI: Experimental designs for detecting human environmental impacts on temporal variations in natural populations. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 42: 569-587.
- Underwood, A. J. 1992. Beyond BACI: the detection of environmental impacts on populations in the real, but variable, world. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 161: 145-178.
- Washio, M., Komiya, S. I., and Takita, T. 1993. Maturation of the mudskipper *Boleophthalmus pectinirostris* distributed in the mudflats of Midori River, Kumamoto prefecture. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 59: 575-580.
- Whitfield, A. K. 1996. A review of factors influencing fish utilization of South African estuaries. *Transactions of the Royal Society of South Africa*, 51: 115-138.
- Yang, K. Y., Lee, S. Y., and Williams, G. A. 2003. Selective feeding by the mudskipper *Boleophthalmus pectinirostris* on the microalgal assemblage of a tropical mudflat. *Marine Biology*, 143: 245-256.
- Zulkifli, S. Z., Mohamat-Yusuff, F., Ismail, A., and Miyazaki, N. 2012. Food preference of the giant mudskipper *Periophthalmodon schlosseri* (Teleostei: Gobiidae). *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 405: 1-10
- 王司文。1985。台灣產彈塗魚類適陸性之比較研究。中國文化大學碩士論文，台



北。

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

朱純蒼。1999。大彈塗與跳彈塗面對鹽度轉變時之滲透壓調節。東海大學碩士論文，台中。

江政穎。2007。利用熱重分析法探討高濃度有機物污染之土壤失重行為。高雄科技大學碩士論文，高雄。

吳怡慧。2007。水文-土壤-植物變動對香山濕地台灣招潮蟹棲息之影響。台灣大學碩士論文，台北。

林世偉。2005。以判別分析探討香山濕地台灣招潮蟹棲地特性。台灣大學碩士論文，台北。

張其永、洪萬樹。2006。大彈塗魚研究的回顧與展望。廈門大學學報，45：97-108。

張詣奇。1997。兩棲性行為對跳彈塗離子調節的影響。東海大學碩士論文，台中。

陳義雄、方力行。1999。台灣淡水及河口魚類誌。國立海洋生物博物館。

陳曉怡。2008。台灣招潮蟹棲地保育之底質特徵探討：以麥寮為例。台灣大學碩士論文，台北。

陳耀弘。2009。台灣西南部七股溪口紅樹林沙洲招潮蟹密度影響因子之研究。台灣大學碩士論文，台北。

歐姿慧。2013。東沙島潮間帶招潮蟹之分布與其棲地類型底質之分析：海洋國家公園管理處。

潘雷雷、張桂蓉、魏開建、張潔。2010。4種彈塗魚鰓的形態度量學比較及其生態學意義。中國動物學誌，45：1-10。

盧致穎。2015。淡水河紅樹林林緣擴縮對蟹類群集的影響。台灣大學碩士論文，台北。

盧道杰、施上栗、黃國文。2012。淡水河紅樹林、挖子尾與關渡三個自然保留區  
經營管理效能的系統評量。國家公園學報，22： 34-46。

蘇珊慧。1999。漲潮期間跳彈塗離水上岸行為之探討。東海大學碩士論文，台中。



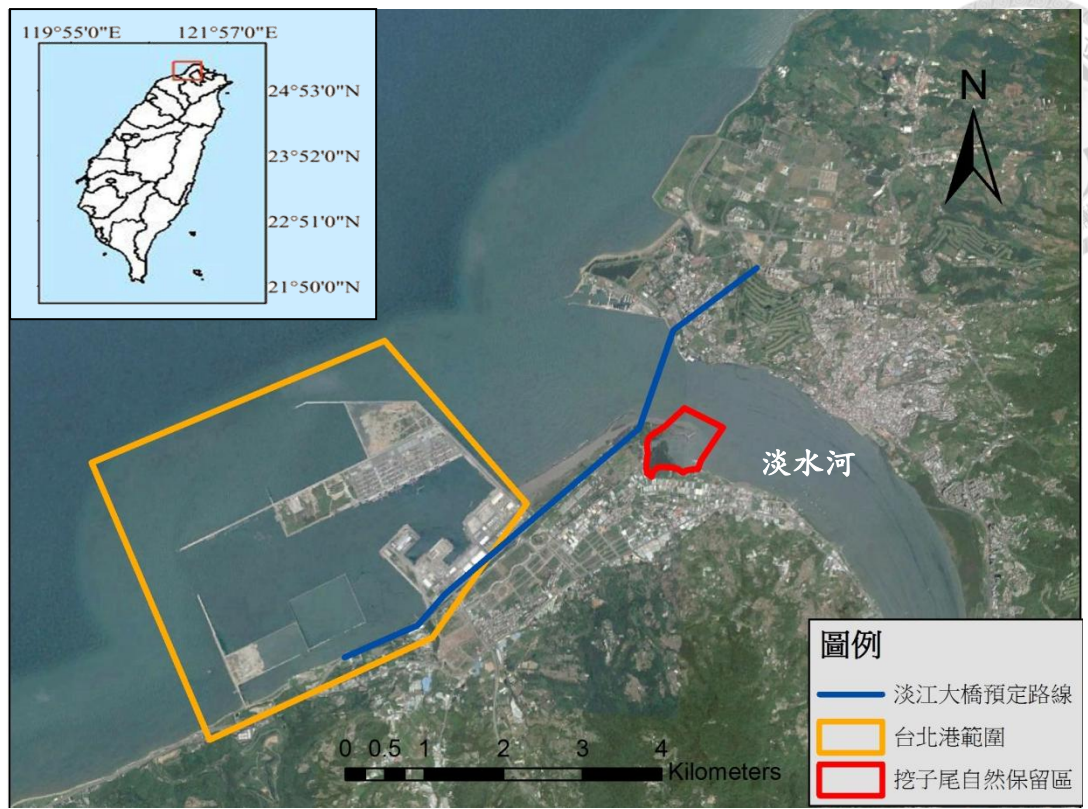


Fig. 1. 挖子尾自然保留區位置與範圍



(a)



(b)



(c)



Fig. 2. 挖子尾自然保留區的彈塗魚(a)跳彈塗(*Periophthalmus modestus*)、(b)大彈塗魚(*Boleophthalmus pectinirostris*)、(c)青彈塗魚(*Scartelaos histophorus*)



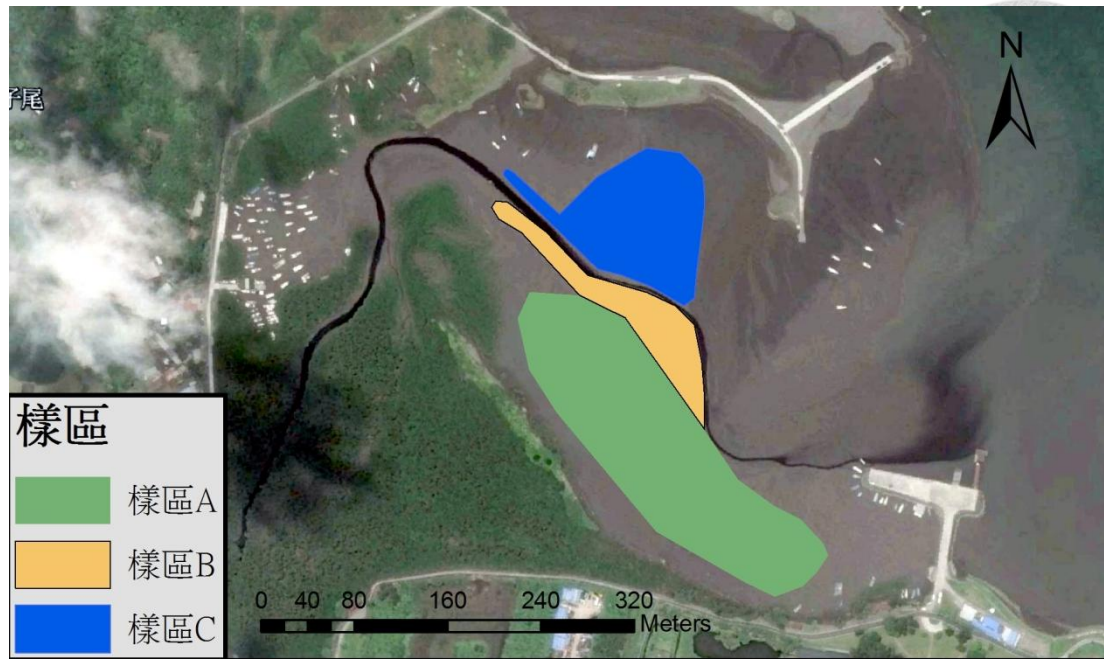


Fig. 3. 挖子尾灘地各樣區面積示意圖



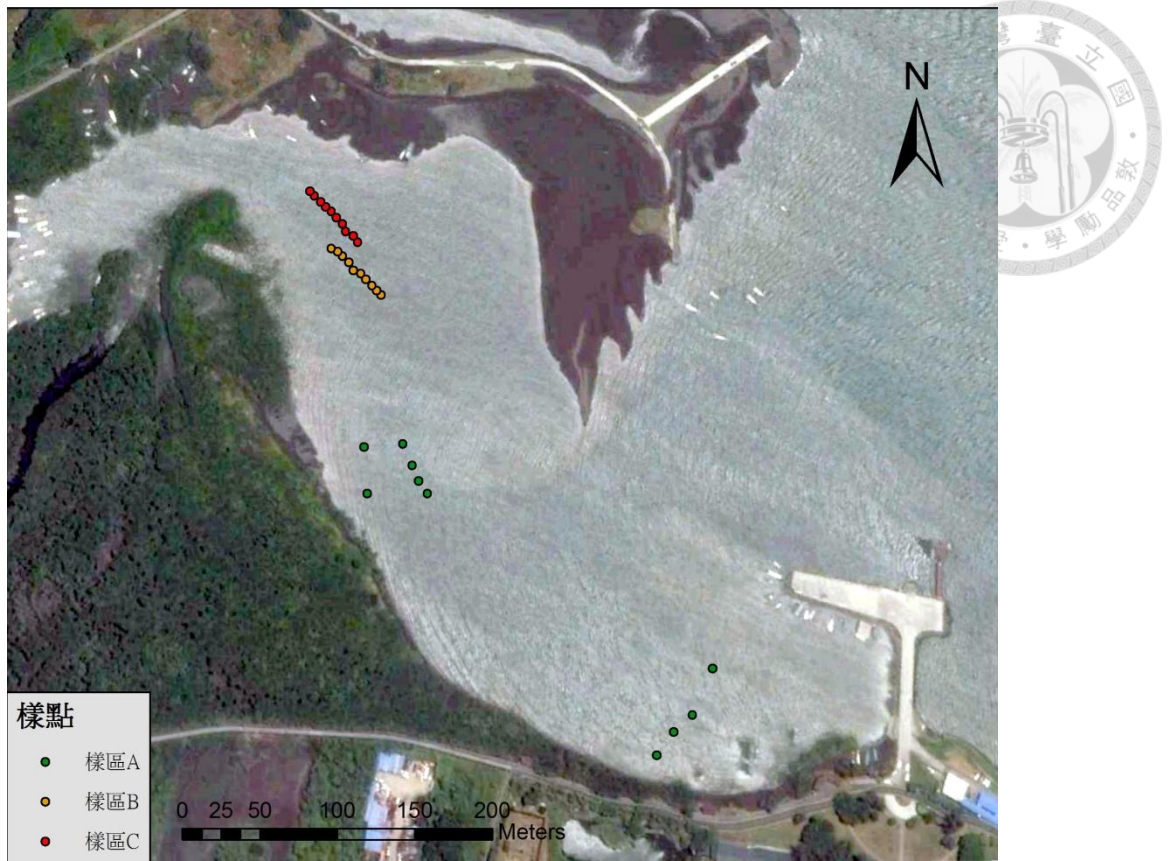
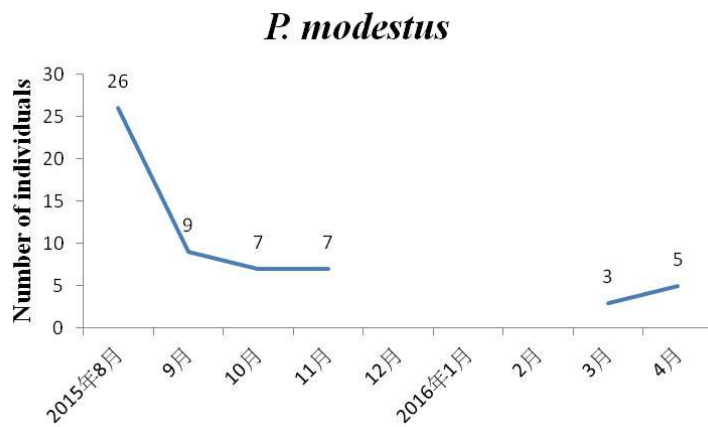


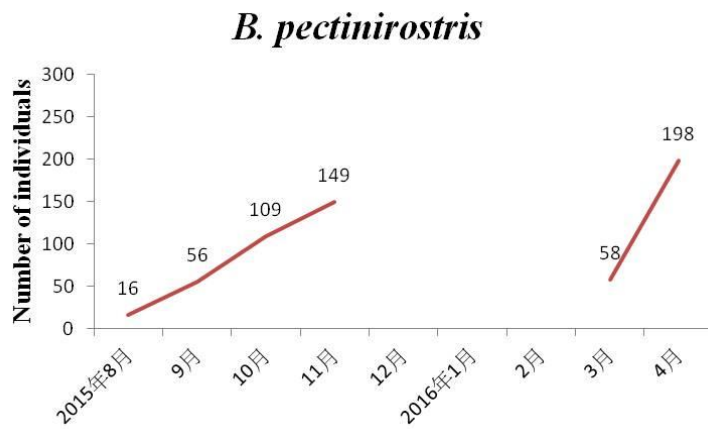
Fig. 4 各樣方點位位置圖



(a)



(b)



(c)

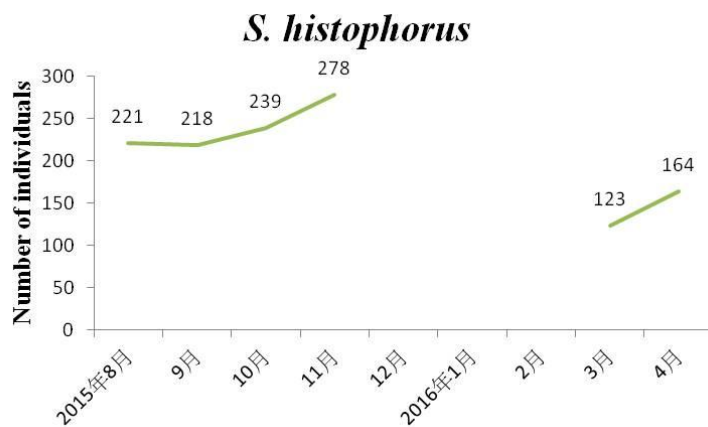


Fig. 5. 各彈塗魚種數量總計的月份變化(a)跳彈塗、(b)大彈塗魚、(c)青彈塗魚 (2015年12月至2016年2月無調查資料)

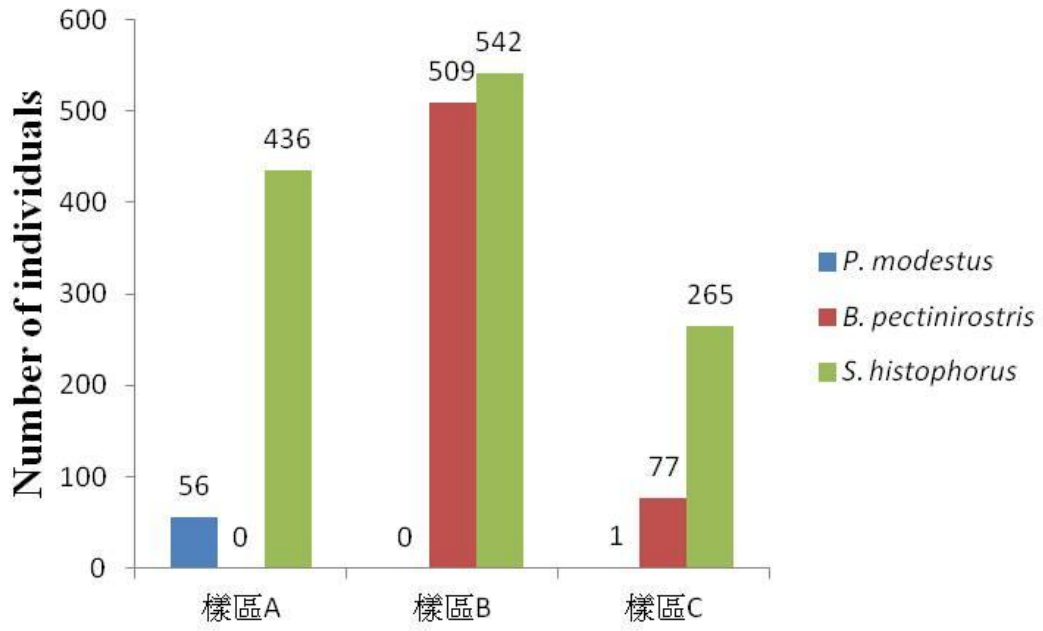


Fig. 6. 各樣區六個月份彈塗魚調查數量總計

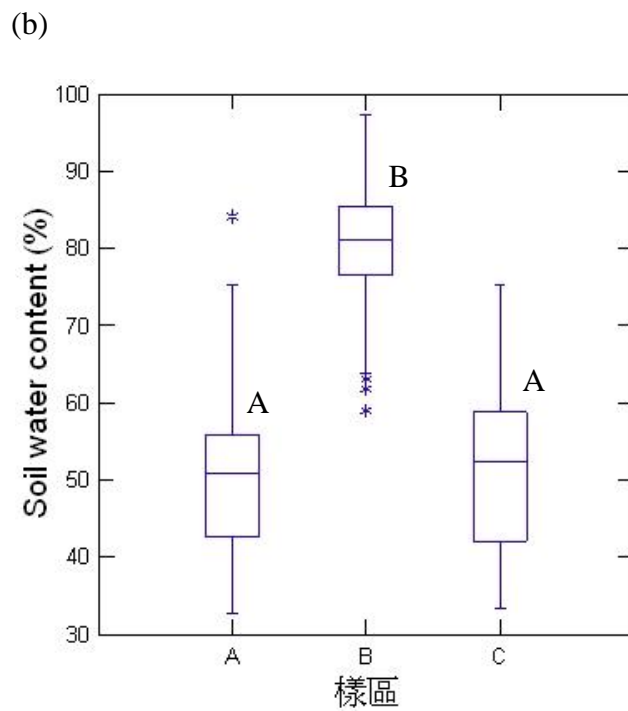
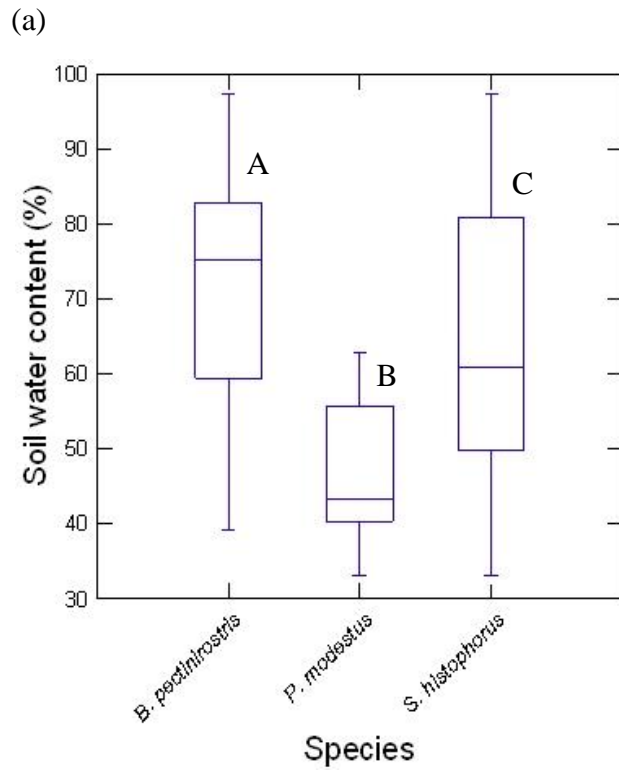


Fig. 7. 土壤含水量比較(a)彈塗魚物種間比較、(b)樣區間比較(不同字母表示彼此間有差異)(\*號代表該筆資料為離群值)

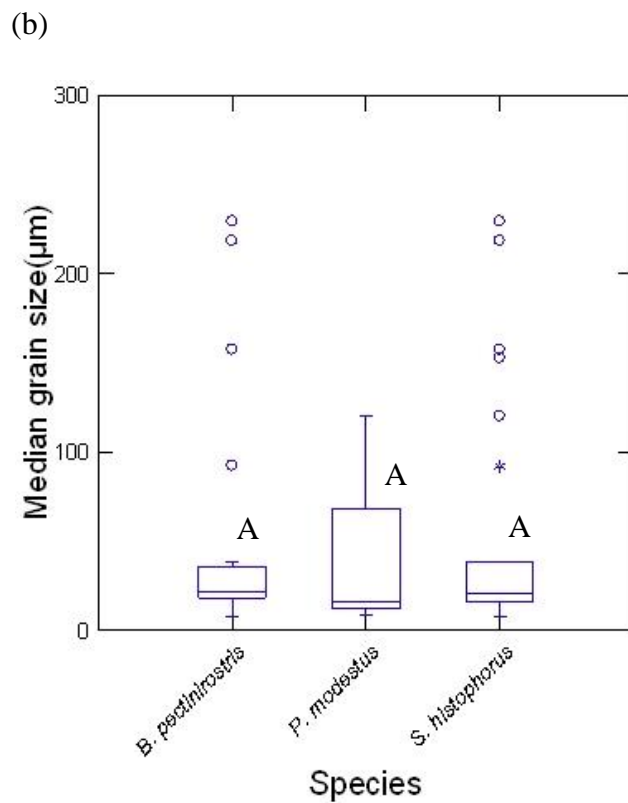
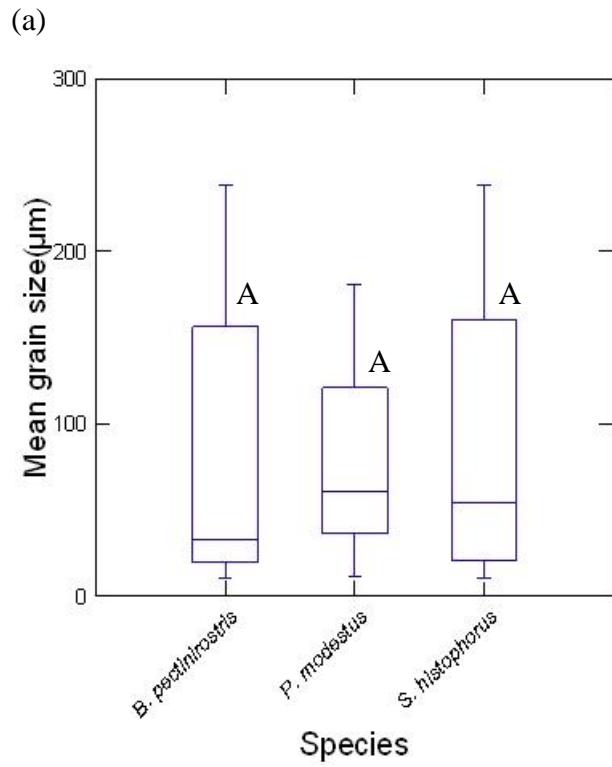


Fig. 8. 物種間 11 月份底質粒徑比較(a)平均粒徑、(b)粒徑中間值(不同字母表示彼此間有差異) (\*號代表該筆資料為離群值)

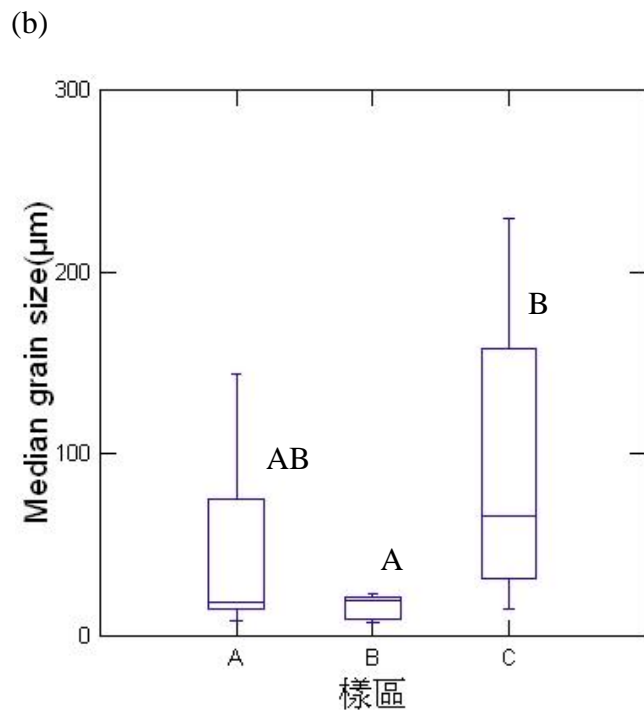
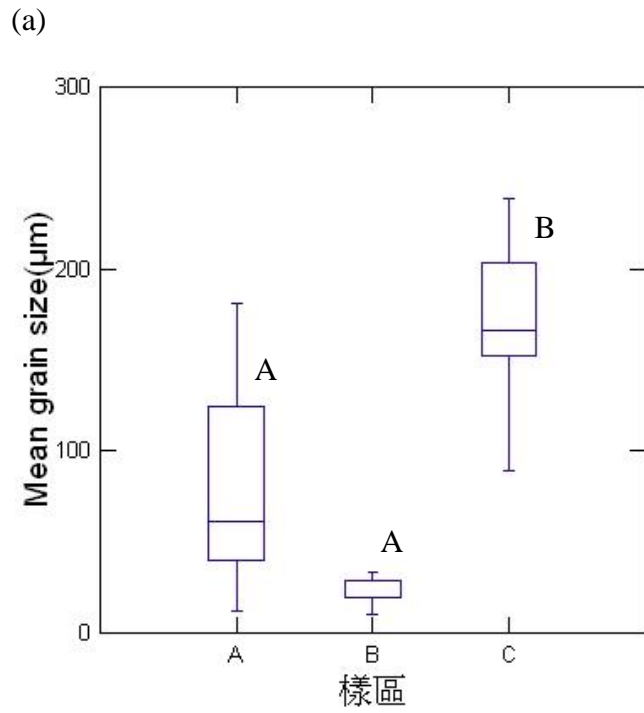


Fig. 9. 樣區間 11 月份底質粒徑比較(a)平均粒徑、(b)粒徑中間值(不同字母表示彼此間有差異)

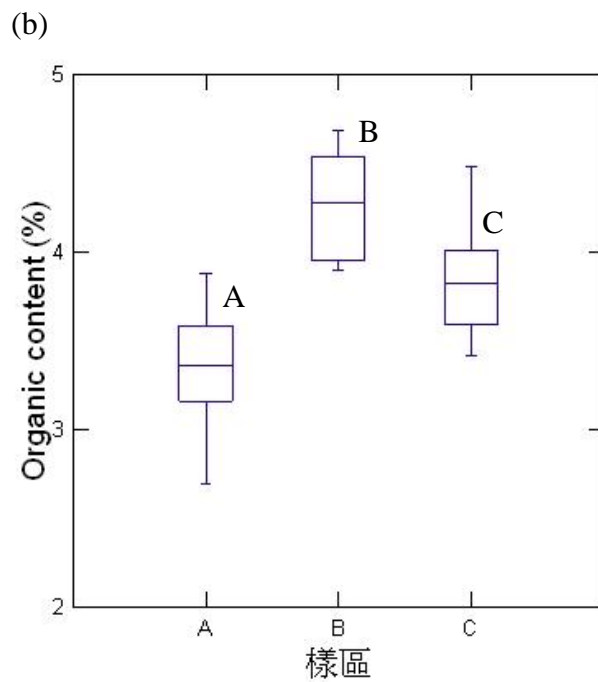
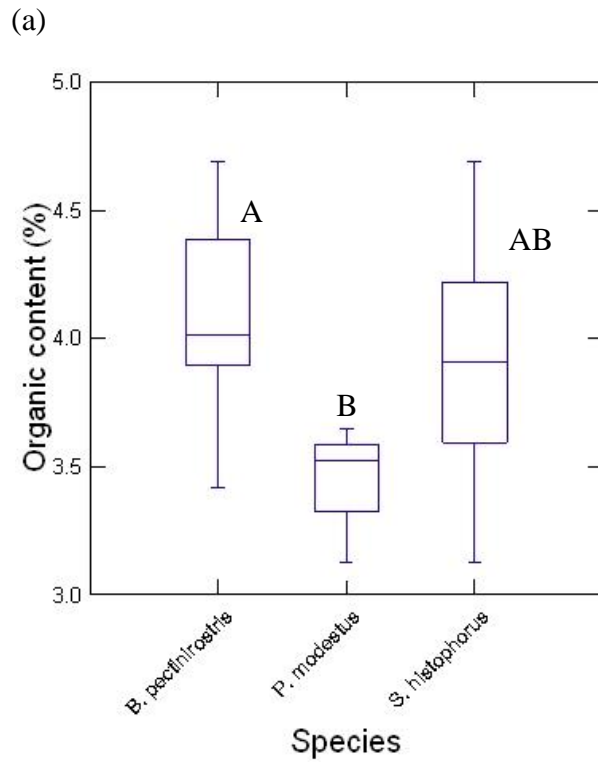
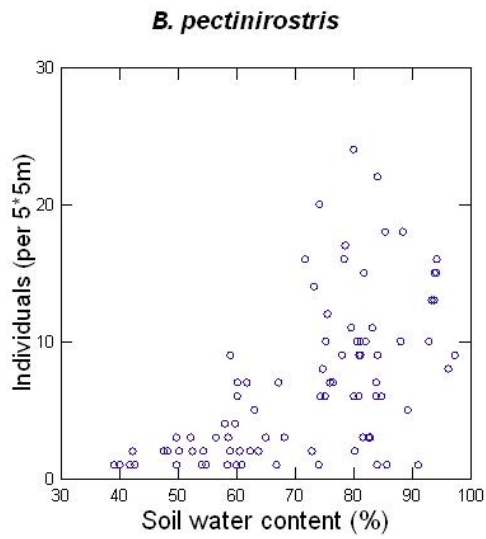


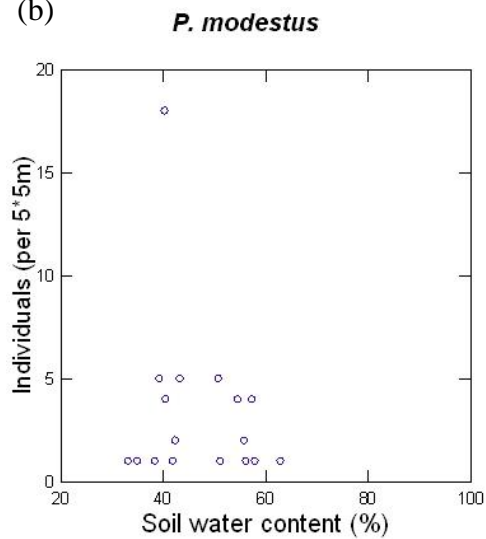
Fig. 10. 土壤有機物含量 11 月份比較(a)物種間比較、(b)樣區間比較(不同字母表示彼此間有差異)



(a)



(b)



(c)

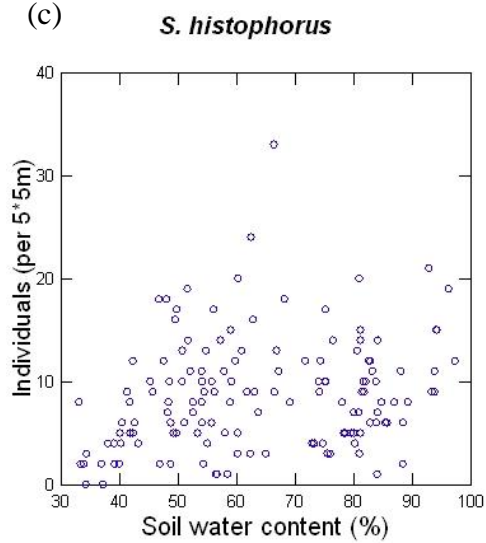
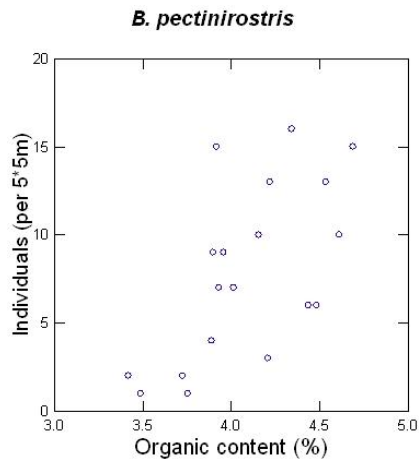


Fig. 11. 土壤含水量-彈塗魚數量散佈圖(a)大彈塗魚、(b)跳彈塗、(c)青彈塗魚

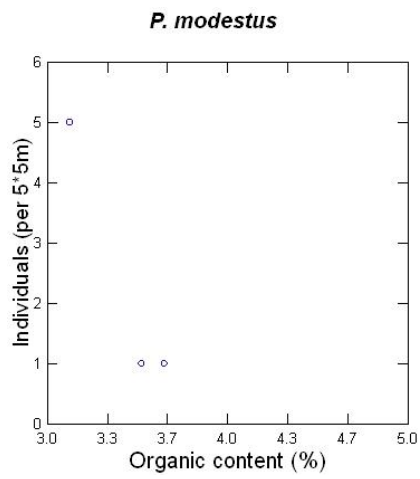




(a)



(b)



(c)

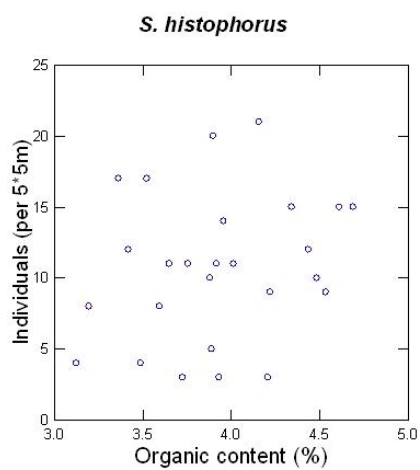
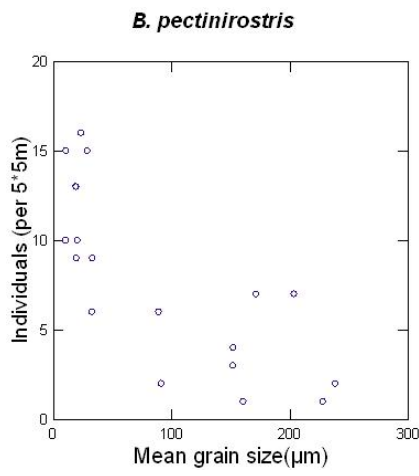


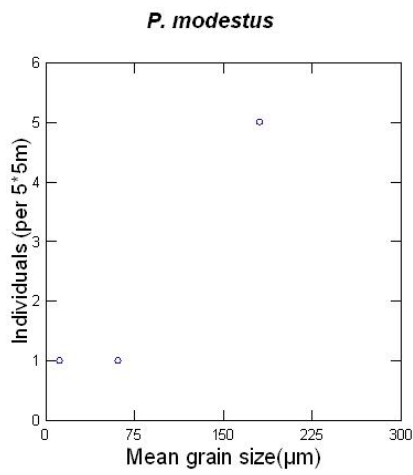
Fig. 12. 11 月份土壤有機物含量-彈塗魚數量散佈圖(a)大彈塗魚、(b)跳彈塗、(c)青彈塗魚



(a)



(b)



(c)

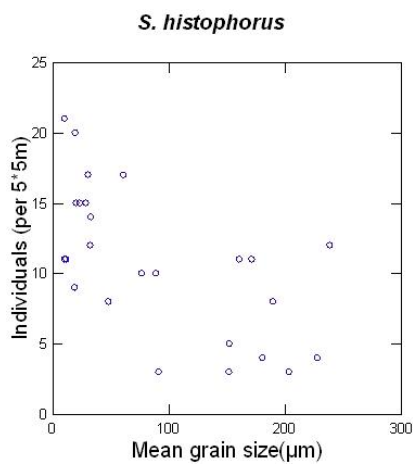


Fig. 13. 11 月份平均粒徑-彈塗魚數量散佈圖(a)大彈塗魚、(b)跳彈塗、(c)青彈塗魚

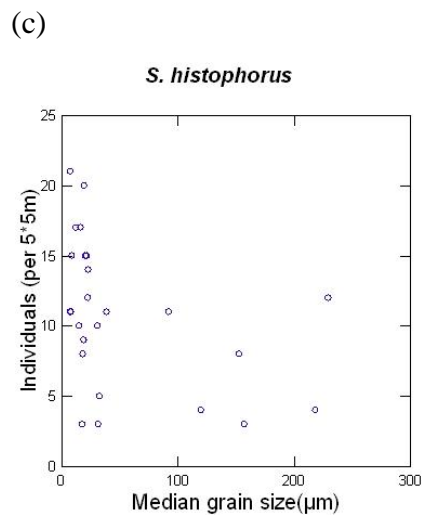
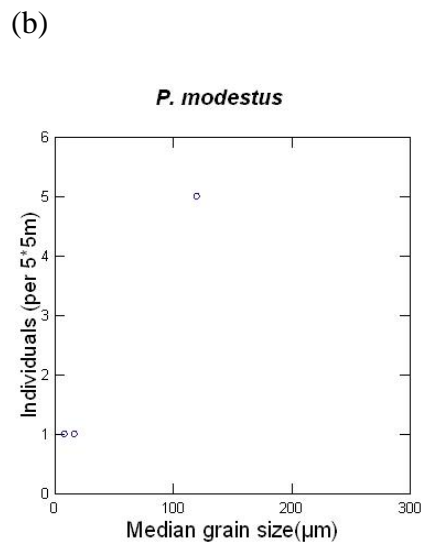
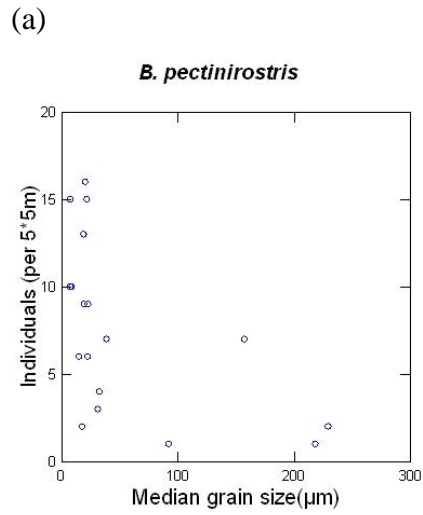


Fig. 14. 11 月份粒徑中間值-彈塗魚數量散佈圖(a)大彈塗魚、(b)跳彈塗、(c)青彈塗魚

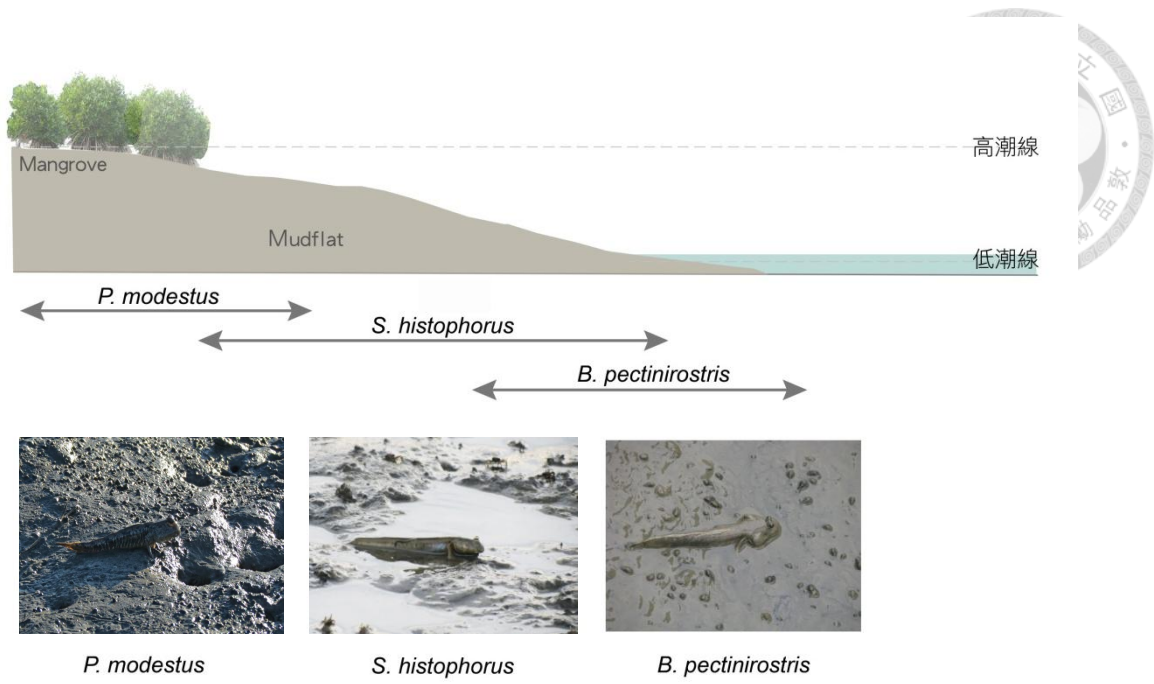


Fig. 15. 挖子尾地區彈塗魚分布範圍示意圖

(a)



(b)



Fig. 16. (a)挖子尾紅樹林消退區域、(b)紅樹林消退灘地有陸域化情況

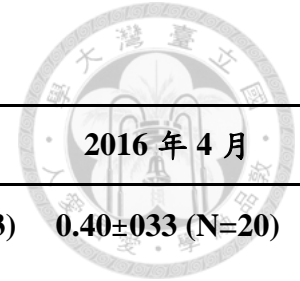


Table 1 各月份有彈塗魚樣方之彈塗魚密度(mean±sd.) (隻/ m<sup>2</sup>) (N 為樣方數)

	2015 年 8 月	2015 年 9 月	2015 年 10 月	2015 年 11 月	2016 年 3 月	2016 年 4 月
<i>B. pectinirostris</i>	0.06±0.03 (N=10)	0.22±0.09 (N=10)	0.29±0.16 (N=19)	0.31±0.20 (N=19)	0.18±0.15 (N=13)	0.40±0.33 (N=20)
<i>P. modestus</i>	0.20±0.30 (N=5)	0.18±0.03 (N=2)	0.07±0.06 (N=3)	0.09±0.09 (N=3)	0.06±0.03 (N=2)	0.20 (N=1)
<i>S. histophorus</i>	0.33±0.16 (N=27)	0.34±0.19 (N=23)	0.37±0.16 (N=26)	0.43±0.21 (N=26)	0.31±0.25 (N=16)	0.35±0.32 (N=19)

Table 2 各項因子與彈塗魚數量之斯皮爾曼等級相關係數值結果

	<i>B. pectinirostris</i>	<i>S. histophorus</i>
Soil water content	0.866 **	0.520 **
Mean grain size	-0.518 **	-0.574 **
Median grain size	-0.266 *	-0.494 *
Organic content	0.825 **	0.297

\*\* : p<0.01   \* : p<0.05

Table 3 各樣區彈塗魚平均密度(隻/ m<sup>2</sup>)的 95%信賴區間(“-“表示該樣區無分布紀錄)

	<i>B. pectinirostris</i>	<i>P. modestus</i>	<i>S. histophorus</i>
樣區 A	-	<b>0.14±0.08</b>	<b>0.45±0.08</b>
樣區 B	<b>0.37±0.06</b>	-	<b>0.37±0.05</b>
樣區 C	<b>0.10±0.03</b>	-	<b>0.25±0.05</b>



Table 4 挖子尾灘地各樣區彈塗魚估算族群量(隻) (“-“表示該樣區無分布紀錄)

樣區	面積(m <sup>2</sup> )	<i>B. pectinirostris</i>	<i>P. modestus</i>	<i>S. histophorus</i>
樣區 A	26988.73	-	3778±2159	12145±2159
樣區 B	6347.53	2349±381	-	2349±317
樣區 C	11888.55	1189±357	-	2972±594
合計	45224.81	3538±738	3778±2159	17466±3070

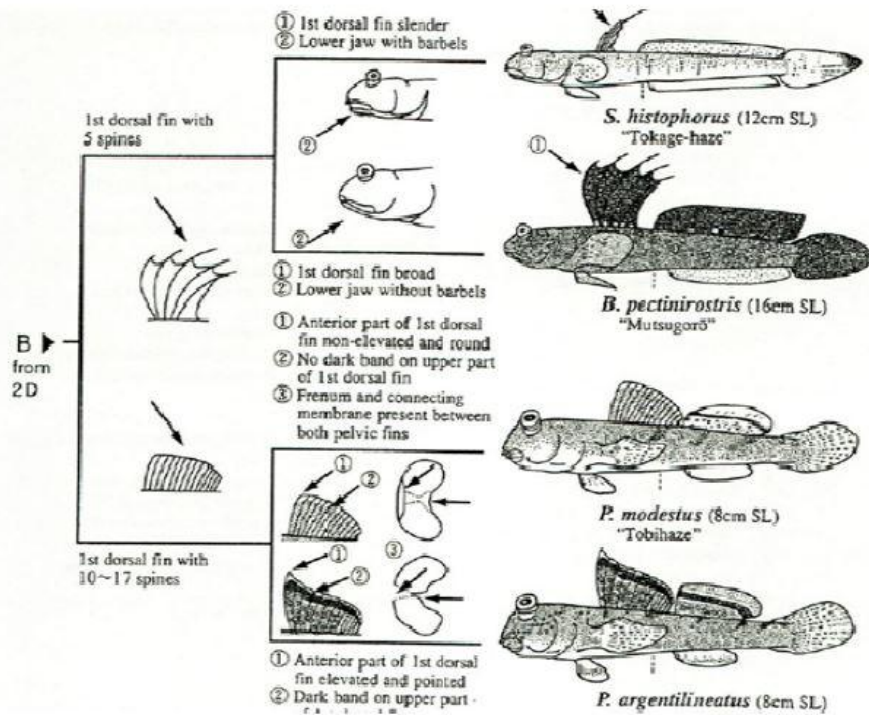
# 附錄



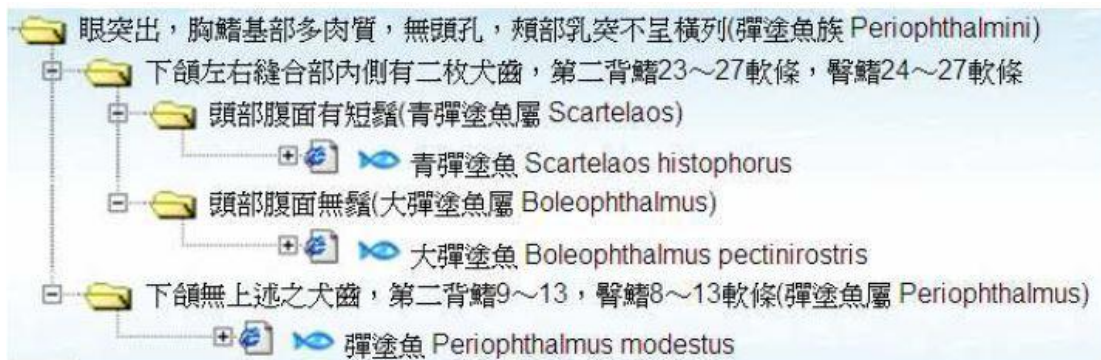
附錄一、彈塗魚種分類(a)取自(王等, 2012)、(b)取自台灣魚類資料庫

(<http://fishdb.sinica.edu.tw/chi/home.php>)

(a)



(b)



附錄二、調查樣方二度分帶(TWD97)座標點位



樣方	橫坐標(X)	縱坐標(Y)
WAa1	292448	2783993
WAa2	292459	2784008
WAa3	292471	2784019
WAa4	292484	2784049
WAa5	292261	2784162
WAa6	292259	2784192
WAa7	292284	2784194
WAa8	292290	2784180
WAa9	292294	2784170
WAa10	292300	2784162
WAb1	292270	2784290
WAb2	292267	2784293
WAb3	292264	2784296
WAb4	292260	2784300
WAb5	292257	2784304
WAb6	292252	2784306
WAb7	292249	2784311
WAb8	292245	2784315
WAb9	292242	2784318
WAb10	292238	2784320
WAc1	292255	2784324
WAc2	292252	2784328
WAc3	292247	2784331
WAc4	292245	2784336
WAc5	292241	2784340
WAc6	292238	2784344
WAc7	292234	2784347
WAc8	292231	2784350
WAc9	292227	2784354
WAc10	292224	2784357



附錄三、調查樣方照片(5×5 公尺)



附錄四、土壤粒徑分類表(Folk, 1966)



---

粒徑(公釐)

---

<b>&lt;0.0039</b>	<b>黏土(clay)</b>
<b>0.039~0.0625</b>	<b>粉砂(silt)</b>
<b>0.0625~0.125</b>	<b>極細砂(very fine sand)</b>
<b>0.125~0.25</b>	<b>細砂(fine sand)</b>
<b>0.25~0.5</b>	<b>中砂(medium sand)</b>
<b>0.5~1</b>	<b>粗砂(coarse sand)</b>
<b>1~2</b>	<b>極粗砂(very coarse sand)</b>

---

附錄五、實驗數據-彈塗魚調查

日期	乾潮時間	氣溫(°C)	樣區	物種	數量	密度(隻/m <sup>2</sup> )	土壤含水量(%)
20150815	17:27	34	WAb1	大彈塗	3	0.12	82.89
20150815	17:27	34	WAb1	青彈塗	6	0.24	82.89
20150815	17:27	34	WAb10	青彈塗	5	0.2	81.22
20150815	17:27	34	WAb2	青彈塗	6	0.24	88.44
20150815	17:27	34	WAb3	青彈塗	8	0.32	86.99
20150815	17:27	34	WAb4	青彈塗	9	0.36	81.43
20150815	17:27	34	WAb5	大彈塗	2	0.08	72.92
20150815	17:27	34	WAb5	青彈塗	4	0.16	72.92
20150815	17:27	34	WAb6	大彈塗	2	0.08	63.80
20150815	17:27	34	WAb6	青彈塗	7	0.28	63.80
20150815	17:27	34	WAb7	大彈塗	2	0.08	80.25
20150815	17:27	34	WAb7	青彈塗	4	0.16	80.25
20150815	17:27	34	WAb8	大彈塗	1	0.04	85.73
20150815	17:27	34	WAb8	青彈塗	6	0.24	85.73
20150815	17:27	34	WAb9	大彈塗	1	0.04	74.08
20150815	17:27	34	WAb9	青彈塗	10	0.4	74.08
20150819	7:23	33	WAa1	青彈塗	4	0.16	40.32
20150819	7:23	33	WAa1	跳彈塗	18	0.72	40.32
20150819	7:23	33	WAa2	青彈塗	14	0.56	57.32
20150819	7:23	33	WAa2	跳彈塗	4	0.16	57.32
20150819	7:23	33	WAa3	青彈塗	20	0.8	60.29
20150819	7:23	33	WAa5	青彈塗	8	0.32	33.15
20150819	7:23	33	WAa5	跳彈塗	1	0.04	33.15
20150819	7:23	33	WAa7	青彈塗	7	0.28	52.60
20150819	7:23	33	WAa8	青彈塗	6	0.24	55.81
20150819	7:23	33	WAa8	跳彈塗	2	0.08	55.81
20150819	7:23	33	WAa9	青彈塗	14	0.56	84.15
20150820	7:58	32.5	WAc1	大彈塗	1	0.04	66.88
20150820	7:58	32.5	WAc1	青彈塗	13	0.52	66.88
20150820	7:58	32.5	WAc10	青彈塗	2	0.08	40.03
20150820	7:58	32.5	WAc2	青彈塗	14	0.56	51.78
20150820	7:58	32.5	WAc3	大彈塗	1	0.04	60.97

20150820	7:58	32.5	WAc3	青彈塗	13	0.52	60.97
20150820	7:58	32.5	WAc4	青彈塗	6	0.24	54.17
20150820	7:58	32.5	WAc5	青彈塗	8	0.32	69.18
20150820	7:58	32.5	WAc6	青彈塗	9	0.36	56.30
20150820	7:58	32.5	WAc7	大彈塗	2	0.08	58.97
20150820	7:58	32.5	WAc7	青彈塗	8	0.32	58.97
20150820	7:58	32.5	WAc8	青彈塗	5	0.2	60.26
20150820	7:58	32.5	WAc9	大彈塗	1	0.04	41.88
20150820	7:58	32.5	WAc9	青彈塗	5	0.2	41.88
20150820	7:58	32.5	WAc9	跳彈塗	1	0.04	41.88
20150925	14:13	33	WAa1	青彈塗	6	0.24	40.51
20150925	14:13	33	WAa1	跳彈塗	4	0.16	40.51
20150925	14:13	33	WAa2	青彈塗	10	0.4	59.19
20150925	14:13	33	WAa3	青彈塗	13	0.52	50.79
20150925	14:13	33	WAa3	跳彈塗	5	0.2	50.79
20150925	14:13	33	WAa5	青彈塗	3	0.12	34.47
20150925	14:13	33	WAa7	青彈塗	8	0.32	48.42
20150925	14:13	33	WAa8	青彈塗	6	0.24	42.66
20150925	14:13	33	WAa9	青彈塗	10	0.4	54.16
20150925	14:13	33	WAb1	大彈塗	6	0.24	80.08
20150925	14:13	33	WAb1	青彈塗	7	0.28	80.08
20150925	14:13	33	WAb10	大彈塗	7	0.28	61.83
20150925	14:13	33	WAb10	青彈塗	9	0.36	61.83
20150925	14:13	33	WAb2	大彈塗	5	0.2	89.27
20150925	14:13	33	WAb2	青彈塗	8	0.32	89.27
20150925	14:13	33	WAb3	大彈塗	3	0.12	82.65
20150925	14:13	33	WAb3	青彈塗	12	0.48	82.65
20150925	14:13	33	WAb4	大彈塗	8	0.32	96.23
20150925	14:13	33	WAb4	青彈塗	19	0.76	96.23
20150925	14:13	33	WAb5	大彈塗	3	0.12	82.89
20150925	14:13	33	WAb5	青彈塗	12	0.48	82.89
20150925	14:13	33	WAb6	大彈塗	3	0.12	68.23
20150925	14:13	33	WAb6	青彈塗	18	0.72	68.23
20150925	14:13	33	WAb7	大彈塗	9	0.36	81.21
20150925	14:13	33	WAb7	青彈塗	14	0.56	81.21

20150925	14:13	33	WAb8	大彈塗	5	0.2	63.09
20150925	14:13	33	WAb8	青彈塗	9	0.36	63.09
20150925	14:13	33	WAb9	大彈塗	7	0.28	76.52
20150925	14:13	33	WAb9	青彈塗	14	0.56	76.52
20150929	17:31	30.5	WAc1	青彈塗	10	0.4	55.80
20150929	17:31	30.5	WAc10	青彈塗	0	0	37.25
20150929	17:31	30.5	WAc2	青彈塗	10	0.4	48.60
20150929	17:31	30.5	WAc3	青彈塗	5	0.2	53.43
20150929	17:31	30.5	WAc4	青彈塗	6	0.24	48.81
20150929	17:31	30.5	WAc5	青彈塗	1	0.04	56.73
20150929	17:31	30.5	WAc6	青彈塗	2	0.08	48.82
20150929	17:31	30.5	WAc7	青彈塗	4	0.16	38.10
20150929	17:31	30.5	WAc8	青彈塗	2	0.08	33.99
20150929	17:31	30.5	WAc9	青彈塗	0	0	34.35
20151012	16:45	25	WAa1	青彈塗	9	0.36	54.53
20151012	16:45	25	WAa1	跳彈塗	4	0.16	54.53
20151012	16:45	25	WAa2	青彈塗	16	0.64	62.90
20151012	16:45	25	WAa2	跳彈塗	1	0.04	62.90
20151012	16:45	25	WAa3	青彈塗	18	0.72	46.81
20151012	16:45	25	WAa5	跳彈塗	1	0.04	38.36
20151012	16:45	25	WAa7	青彈塗	4	0.16	55.08
20151012	16:45	25	WAa8	青彈塗	6	0.24	51.16
20151012	16:45	25	WAa8	跳彈塗	1	0.04	51.16
20151012	16:45	25	WAa9	青彈塗	11	0.44	52.15
20151020	8:24	28	WAc1	青彈塗	9	0.36	66.52
20151020	8:24	28	WAc10	青彈塗	2	0.08	46.95
20151020	8:24	28	WAc2	大彈塗	2	0.08	47.61
20151020	8:24	28	WAc2	青彈塗	12	0.48	47.61
20151020	8:24	28	WAc3	青彈塗	9	0.36	41.38
20151020	8:24	28	WAc4	大彈塗	4	0.16	59.81
20151020	8:24	28	WAc4	青彈塗	12	0.48	59.81
20151020	8:24	28	WAc5	大彈塗	3	0.12	49.79
20151020	8:24	28	WAc5	青彈塗	5	0.2	49.79
20151020	8:24	28	WAc6	大彈塗	2	0.08	48.29
20151020	8:24	28	WAc6	青彈塗	7	0.28	48.29



20151020	8:24	28	WAc7	大彈塗	1	0.04	40.14
20151020	8:24	28	WAc7	青彈塗	5	0.2	40.14
20151020	8:24	28	WAc8	青彈塗	5	0.2	49.28
20151020	8:24	28	WAc9	青彈塗	2	0.08	33.45
20151026	15:37	31	WAb1	大彈塗	6	0.24	83.86
20151026	15:37	31	WAb1	青彈塗	10	0.4	83.86
20151026	15:37	31	WAb10	大彈塗	15	0.6	81.84
20151026	15:37	31	WAb10	青彈塗	9	0.36	81.84
20151026	15:37	31	WAb2	大彈塗	7	0.28	83.90
20151026	15:37	31	WAb2	青彈塗	6	0.24	83.90
20151026	15:37	31	WAb3	大彈塗	10	0.4	75.28
20151026	15:37	31	WAb3	青彈塗	10	0.4	75.28
20151026	15:37	31	WAb4	大彈塗	11	0.44	83.25
20151026	15:37	31	WAb4	青彈塗	11	0.44	83.25
20151026	15:37	31	WAb5	大彈塗	10	0.4	80.66
20151026	15:37	31	WAb5	青彈塗	13	0.52	80.66
20151026	15:37	31	WAb6	大彈塗	9	0.36	59.02
20151026	15:37	31	WAb6	青彈塗	15	0.6	59.02
20151026	15:37	31	WAb7	大彈塗	10	0.4	82.11
20151026	15:37	31	WAb7	青彈塗	10	0.4	82.11
20151026	15:37	31	WAb8	大彈塗	10	0.4	88.07
20151026	15:37	31	WAb8	青彈塗	11	0.44	88.07
20151026	15:37	31	WAb9	大彈塗	9	0.36	97.31
20151026	15:37	31	WAb9	青彈塗	12	0.48	97.31
20151106	13:15	30.5	WAa1	青彈塗	4	0.16	43.28
20151106	13:15	30.5	WAa1	跳彈塗	5	0.2	43.28
20151106	13:15	30.5	WAa2	青彈塗	17	0.68	56.16
20151106	13:15	30.5	WAa2	跳彈塗	1	0.04	56.16
20151106	13:15	30.5	WAa3	青彈塗	11	0.44	57.92
20151106	13:15	30.5	WAa3	跳彈塗	1	0.04	57.92
20151106	13:15	30.5	WAa5	NA	0	0	32.62
20151106	13:15	30.5	WAa7	青彈塗	8	0.32	54.08
20151106	13:15	30.5	WAa8	青彈塗	10	0.4	50.79
20151106	13:15	30.5	WAa9	青彈塗	17	0.68	75.23
20151109	15:40	22.5	WAc1	大彈塗	7	0.28	67.25

20151109	15:40	22.5	WAc1	青彈塗	11	0.44	67.25
20151109	15:40	22.5	WAc10	青彈塗	8	0.32	41.84
20151109	15:40	22.5	WAc2	大彈塗	6	0.24	75.18
20151109	15:40	22.5	WAc2	青彈塗	10	0.4	75.18
20151109	15:40	22.5	WAc3	大彈塗	3	0.12	65.06
20151109	15:40	22.5	WAc3	青彈塗	3	0.12	65.06
20151109	15:40	22.5	WAc4	大彈塗	7	0.28	60.24
20151109	15:40	22.5	WAc4	青彈塗	3	0.12	60.24
20151109	15:40	22.5	WAc5	大彈塗	4	0.16	58.08
20151109	15:40	22.5	WAc5	青彈塗	5	0.2	58.08
20151109	15:40	22.5	WAc6	大彈塗	2	0.08	62.37
20151109	15:40	22.5	WAc6	青彈塗	3	0.12	62.37
20151109	15:40	22.5	WAc7	大彈塗	1	0.04	54.08
20151109	15:40	22.5	WAc7	青彈塗	11	0.44	54.08
20151109	15:40	22.5	WAc8	大彈塗	2	0.08	42.35
20151109	15:40	22.5	WAc8	青彈塗	12	0.48	42.35
20151109	15:40	22.5	WAc9	大彈塗	1	0.04	39.17
20151109	15:40	22.5	WAc9	青彈塗	4	0.16	39.17
20151110	16:19	20	WAb1	大彈塗	6	0.24	74.40
20151110	16:19	20	WAb1	青彈塗	12	0.48	74.40
20151110	16:19	20	WAb10	大彈塗	9	0.36	84.14
20151110	16:19	20	WAb10	青彈塗	14	0.56	84.14
20151110	16:19	20	WAb2	大彈塗	9	0.36	80.99
20151110	16:19	20	WAb2	青彈塗	20	0.8	80.99
20151110	16:19	20	WAb3	大彈塗	10	0.4	92.89
20151110	16:19	20	WAb3	青彈塗	21	0.84	92.89
20151110	16:19	20	WAb4	大彈塗	13	0.52	93.83
20151110	16:19	20	WAb4	青彈塗	9	0.36	93.83
20151110	16:19	20	WAb5	大彈塗	16	0.64	94.24
20151110	16:19	20	WAb5	青彈塗	15	0.6	94.24
20151110	16:19	20	WAb6	大彈塗	15	0.6	94.15
20151110	16:19	20	WAb6	青彈塗	15	0.6	94.15
20151110	16:19	20	WAb7	大彈塗	10	0.4	81.20
20151110	16:19	20	WAb7	青彈塗	15	0.6	81.20
20151110	16:19	20	WAb8	大彈塗	13	0.52	93.37

20151110	16:19	20	WAb8	青彈塗	9	0.36	93.37
20151110	16:19	20	WAb9	大彈塗	15	0.6	93.86
20151110	16:19	20	WAb9	青彈塗	11	0.44	93.86
20160322	16:41	19.5	WAa1	青彈塗	5	0.2	42.39
20160322	16:41	19.5	WAa1	跳彈塗	2	0.08	42.39
20160322	16:41	19.5	WAa2	青彈塗	8	0.32	52.61
20160322	16:41	19.5	WAa3	青彈塗	19	0.76	51.67
20160322	16:41	19.5	WAa5	跳彈塗	1	0.04	34.98
20160322	16:41	19.5	WAa7	青彈塗	10	0.4	45.31
20160322	16:41	19.5	WAa8	青彈塗	9	0.36	45.76
20160322	16:41	19.5	WAa9	青彈塗	24	0.96	62.52
20160330	8:52	23.5	WAb1	青彈塗	3	0.12	81.02
20160330	8:52	23.5	WAb10	大彈塗	8	0.32	74.79
20160330	8:52	23.5	WAb10	青彈塗	4	0.16	74.79
20160330	8:52	23.5	WAb2	大彈塗	1	0.04	91.05
20160330	8:52	23.5	WAb3	大彈塗	12	0.48	75.59
20160330	8:52	23.5	WAb3	青彈塗	3	0.12	75.59
20160330	8:52	23.5	WAb4	大彈塗	1	0.04	84.05
20160330	8:52	23.5	WAb4	青彈塗	1	0.04	84.05
20160330	8:52	23.5	WAb5	大彈塗	7	0.28	76.03
20160330	8:52	23.5	WAb5	青彈塗	3	0.12	76.03
20160330	8:52	23.5	WAb6	大彈塗	3	0.12	81.68
20160330	8:52	23.5	WAb6	青彈塗	10	0.4	81.68
20160330	8:52	23.5	WAb7	大彈塗	9	0.36	78.09
20160330	8:52	23.5	WAb7	青彈塗	8	0.32	78.09
20160330	8:52	23.5	WAb8	大彈塗	6	0.24	80.94
20160330	8:52	23.5	WAb8	青彈塗	7	0.28	80.94
20160330	8:52	23.5	WAb9	大彈塗	6	0.24	84.79
20160330	8:52	23.5	WAb9	青彈塗	8	0.32	84.79
20160330	8:52	23.5	WAc1	大彈塗	1	0.04	58.51
20160330	8:52	23.5	WAc1	青彈塗	1	0.04	58.51
20160330	8:52	23.5	WAc10	NA	0	0	35.93
20160330	8:52	23.5	WAc2	NA	0	0	56.96
20160330	8:52	23.5	WAc3	NA	0	0	56.95
20160330	8:52	23.5	WAc4	大彈塗	1	0.04	60.04

20160330	8:52	23.5	WAc5	NA	0	0	53.77
20160330	8:52	23.5	WAc6	大彈塗	2	0.08	52.54
20160330	8:52	23.5	WAc7	NA	0	0	48.67
20160330	8:52	23.5	WAc8	大彈塗	1	0.04	49.81
20160330	8:52	23.5	WAc9	NA	0	0	38.42
20160420	16:07	29.5	WAc1	大彈塗	2	0.08	60.60
20160420	16:07	29.5	WAc10	NA	0	0	35.77
20160420	16:07	29.5	WAc2	大彈塗	3	0.12	56.56
20160420	16:07	29.5	WAc2	青彈塗	1	0.04	56.56
20160420	16:07	29.5	WAc3	大彈塗	2	0.08	54.39
20160420	16:07	29.5	WAc3	青彈塗	2	0.08	54.39
20160420	16:07	29.5	WAc4	大彈塗	3	0.12	52.25
20160420	16:07	29.5	WAc5	大彈塗	3	0.12	58.65
20160420	16:07	29.5	WAc6	大彈塗	6	0.24	60.19
20160420	16:07	29.5	WAc7	大彈塗	2	0.08	50.28
20160420	16:07	29.5	WAc8	大彈塗	1	0.04	42.70
20160420	16:07	29.5	WAc9	NA	0	0	40.35
20160421	16:40	29.5	WAa1	青彈塗	2	0.08	39.25
20160421	16:40	29.5	WAa1	跳彈塗	5	0.2	39.25
20160421	16:40	29.5	WAa2	青彈塗	17	0.68	49.84
20160421	16:40	29.5	WAa3	青彈塗	13	0.52	54.87
20160421	16:40	29.5	WAa5	青彈塗	2	0.08	36.97
20160421	16:40	29.5	WAa7	青彈塗	16	0.64	49.56
20160421	16:40	29.5	WAa8	青彈塗	18	0.72	48.11
20160421	16:40	29.5	WAa9	青彈塗	33	1.32	66.43
20160421	16:40	29.5	WAb1	大彈塗	18	0.72	88.44
20160421	16:40	29.5	WAb1	青彈塗	2	0.08	88.44
20160421	16:40	29.5	WAb10	大彈塗	20	0.8	74.22
20160421	16:40	29.5	WAb10	青彈塗	9	0.36	74.22
20160421	16:40	29.5	WAb2	大彈塗	18	0.72	85.44
20160421	16:40	29.5	WAb2	青彈塗	6	0.24	85.44
20160421	16:40	29.5	WAb3	大彈塗	24	0.96	80.07
20160421	16:40	29.5	WAb3	青彈塗	5	0.2	80.07
20160421	16:40	29.5	WAb4	大彈塗	11	0.44	79.62
20160421	16:40	29.5	WAb4	青彈塗	5	0.2	79.62

20160421	16:40	29.5	WAb5	大彈塗	14	0.56	73.30
20160421	16:40	29.5	WAb5	青彈塗	4	0.16	73.30
20160421	16:40	29.5	WAb6	大彈塗	17	0.68	78.63
20160421	16:40	29.5	WAb6	青彈塗	5	0.2	78.63
20160421	16:40	29.5	WAb7	大彈塗	16	0.64	78.40
20160421	16:40	29.5	WAb7	青彈塗	5	0.2	78.40
20160421	16:40	29.5	WAb8	大彈塗	22	0.88	84.12
20160421	16:40	29.5	WAb8	青彈塗	7	0.28	84.12
20160421	16:40	29.5	WAb9	大彈塗	16	0.64	71.77
20160421	16:40	29.5	WAb9	青彈塗	12	0.48	71.77

附錄六、實驗數據-11 月份底質環境因子

樣區	土壤含水量(%)	平均粒徑( $\mu\text{m}$ )	粒徑中間值( $\mu\text{m}$ )	有機物含量(%)
WAa1	43.28	180.8	120.1	3.125
WAa2	56.16	61.22	16.63	3.523
WAa3	57.92	11.85	8.34	3.649
WAa5	32.62	172.6	143.6	2.691
WAa7	54.08	48.29	18.42	3.196
WAa8	50.79	76.74	31.08	3.88
WAa9	75.23	30.67	12.48	3.363
WAb1	74.40	32.63	22.74	4.435
WAb2	80.99	19.54	19.45	3.898
WAb3	92.89	10.44	7.59	4.156
WAb4	93.83	19.25	19.21	4.534
WAb5	94.24	23.47	20.53	4.342
WAb6	94.15	28.85	21.81	4.689
WAb7	81.20	20.43	8.91	4.61
WAb8	93.37	19.12	19.1	4.219
WAb9	93.86	10.57	7.6	3.917
WAb10	84.14	33.09	22.96	3.956
WAc1	67.25	171.5	38.85	4.013
WAc2	75.18	89.14	15.25	4.483
WAc3	65.06	152	31.52	4.207
WAc4	60.24	203.6	157.4	3.931
WAc5	58.08	152.2	32.7	3.889
WAc6	62.37	91.39	17.95	3.725
WAc7	54.08	160.7	92.31	3.755
WAc8	42.35	238.6	229.5	3.418
WAc9	39.17	228	218.5	3.488
WAc10	41.84	189.6	152.7	3.594