

國立臺灣大學生命科學院生態學與演化生物學研究所

Institute of Ecology and Evolutionary Biology

College of Life Science

National Taiwan University

Master Thesis



淡水河度冬水鳥族群的長期趨勢

Long-term population trends
of the wintering waterbirds at Tamsui River, Taiwan

賴怡蒨

Yi-Chien Lai

指導教授：李培芬 博士

Advisor: Pei-Fen Lee, Ph.D.

中華民國 102 年 7 月

July 2013

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書



淡水河度冬水鳥族群的長期趨勢

Long-term population trends of the wintering
waterbirds at Tamsui River, Taiwan

本論文係賴怡蒨君（學號R98B44017）在國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所完成之碩士學位論文，於民國102年07月11日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

臺灣大學生態學與演化生物學研究所

李培芬 博士

李培芬

臺灣大學生態學與演化生物學研究所

沈聖峰 博士

沈聖峰

臺灣大學生態學與演化生物學研究所

謝志豪 博士

謝志豪

特有生物保育中心

林瑞興 博士

林瑞興

所長

鄭文義

(簽名)

誌謝



很感謝指導教授李培芬老師，在這段時期的照顧，以及分享擔任環評委員時的所見所聞。並感謝瑞興學長、謝志豪老師、沈聖峰老師撥空擔任口試委員，給予指導與建議，許多分析上的建議來不及在論文中修改，但仍讓我獲益良多！

此外非常感謝台北市野鳥學會、中華民國野鳥學會以及參與台灣海岸地區環境生態敏感區鳥類相調查的所有調查人員，辛苦調查才得以累積豐碩的資料。

碩士生涯感謝有小柯，總是不厭其煩地跟我討論，甚至是給我壓力，才有可能生出這篇論文，但同時卻又是能跟我分享心事的好友。還有感謝我的好室友孫孫，一路看著我進實驗室，給我的論文很多很多的建議，也一路陪伴我、助我堅強。還有一起上山下海的好夥伴 Amy，苦悶的趕論文時光有妳陪伴變得好有趣，碩士生涯也多了很多很美好的回憶。

感謝實驗室的大夥們，芳儀、宛君、彩諭、文玉、怡茹、志慧、彭均毅學長、欽國學長、小連、志融學長、承恩學長、文傑學長，一路來給予許多研究上的建議，還有學弟妹們亞融、家琪、軒羽、威捷，讓實驗室生活多了好多樂趣。也謝謝大家在口試時的幫忙，看到台下有你們在，就覺得好安心！

還要感謝我大學的導師陳淑華老師，在我生病時來探望我，帶我重新走上生態之路；以及東海水鳥研究群的蔣忠祐大哥，讓我近距離地認識水鳥，並提供好多增廣見聞的機會。

最後要謝謝我的爸媽與姊姊，以及郭俊麟跟他的家人，在這取得碩士學位的漫漫長路上的陪伴及照顧。

中文摘要



水鳥是淡水河重要的生態資產，過去已有許多局部樣區內的短期族群變動研究，推測淡水河的水質惡化、陸域化，可能致使水鳥族群下降。但遷徙性的水鳥族群，同時受到在地與國際因素影響，須先釐清何者扮演較重要的影響因子。此外，鳥群會在各樣區間移動，單一樣區的狀況無法代表整體淡水河的狀況。因此本研究以整條淡水河下游為群聚單位，藉由長期族群資料，試圖從水鳥的生物特徵，解釋族群變動的原因。

本研究以 1991 至 1995、1997、1999 及 2011 八年的冬季資料（11 月至隔年 2 月），涵蓋挖子尾、關渡、社尖、社淡、成子寮、蘆洲、華江橋、華中橋、中正橋等九個樣站，以廣義線性模型進行卜瓦松迴歸，建立 27 個常見物種 20 年的長期趨勢。另以七項分屬棲地偏好、食性及國際因素等三大項水鳥生物特徵，與長期趨勢指數進行單變項及多變項分析，找出較能解釋族群趨勢的生物特徵。之後將研究尺度縮小至樣區內，檢視樣區尺度與整體尺度的狀況有何異同，以及不同生物特徵類群在樣區間的分布差異，更全面性地了解淡水河的狀況。

研究結果發現，27 個常見物種的長期族群趨勢，10 個物種顯著增加 ($P < 0.05$)，另僅紅嘴鷗及小水鴨此 2 物種顯著減少。樣區尺度的結果顯示，僅關渡及蘆洲有較佳的水鳥族群狀況，其他樣區中多數族群趨勢卻在下降。原因探究方面，廣狹食性是最重要的因素，狹食性物種有較差的族群趨勢；在度冬地的棲地偏好是次要的因素，鹹水型物種相較廣適型有較差的族群趨勢。本研究推論，水質汙染可能是造成狹食性物種族群狀況較差的原因。輔助的地景資料則證明，棲地陸域化使部分樣區棲地劣化，卻並非淡水河下游整體面臨的問題。至於國際因素，包括國際族群趨勢、度冬地區域、繁殖地區域、在繁殖地的棲地偏好等，都不是解釋族群變遷的重要因子。

本研究釐清淡水河各鳥種 20 年的族群趨勢狀況，以及水鳥在淡水河內分布情形的改變；生物特徵分析的結果雖然對於水鳥面臨的環境問題僅能作出推測，但

已能肯定在地因素相較國際因素是較重要的影響因子，且應與食物資源有關，並可建議未來持續針對狹食性及鹹水型這兩種族群狀況較差的物種進行監測。此外，這樣的研究若能擴展至全台灣的尺度，將對台灣整體的水鳥狀況，以及台灣在東亞遷徙線上扮演的角色，有更全面的認識。



關鍵字：水鳥、長期趨勢、生物特徵、淡水河

ABSTRACT



Waterbirds are one of the important natural resources of Tamsui River. There have been many studies focusing on short-term population change of them, mostly based on single sample site. Those studies suggested that pollution and terrestrialization might be the causes of population decline. But population trends of migratory waterbirds are affected by both local and global factors, it should be verified in the first step. Besides, the trend within a single site doesn't represent the situation of the whole Tamsui River. Therefore, this study regards the populations at downstream of Tamsui River as one community, constructs long-term population trends, and explains the interspecies differences of population trends by biological traits.

The data of waterbirds in wintering season (Nov. to next Feb.) are collected from 1991 to 1995, in 1997, 1999, and 2011, covering 9 sample sites. The long-term population trends of 20 years of 27 common species are constructed using poisson regression log-linear model. Then univariate and multivariate analysis are conducted between population trends and 7 biological traits, related to habitat preference, food preference, and global factors, identifying the biological traits that better explain population trends. The study also replicates the analyses on the scale of individual sample sites, attempting to find out the differences between different study scales.

In the results, most of the long-term population trends of 27 common species are positive, 10 species have significantly increased ($P < 0.05$), only 2 species, common teal and black-headed gull have significant decreased. The results on the sample-site scale indicate the Guan Du and Lu Zhou support more waterbirds now, but most populations in other sample sites have decreased in the past 20 years. Among all biological traits, food preference explains the population trends best. Compared to food generalists,

specialists have more negative population trends. The second important trait is habitat preference. Compared to those relying on both coastal and freshwater habitats, the species depending only on coastal habitats have more negative population trends. The study As to global factors, including global population trend, wintering location, breeding location, and habitat preference in breeding location, can't well explain the trend in Tamsui River.

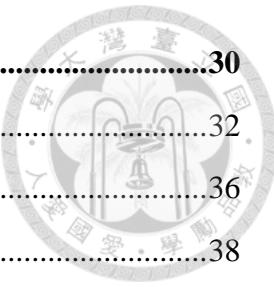
This study is the first one which constructs the 20-years-long population trends of waterbirds in Tamsui River. It also provides suggestion for monitoring those species that are food specialists or coastal-habitats-dependent in the future. Besides, the methods of this study can be applied to those studies focusing on waterbird populations of Taiwan.

key words: waterbirds, biological traits, long-term trend, Tamsui River

目錄



誌謝	ii
中文摘要	iii
ABSTRACT	v
目錄	vii
圖目錄	ix
表目錄	x
前言	1
材料與方法	5
資料收集與處理	5
研究樣區	6
族群長期趨勢分析	8
生物特徵定義	9
生物特徵與族群趨勢之關聯	11
單變項分析	12
多變項分析	12
物種替換 (Species shift)	13
樣區尺度的分析	13
棲地地景變化	14
結果	15
族群趨勢分析	16
生物特徵與族群趨勢之關聯	18
單變項分析	18
多變項分析	20
物種替換	20
樣區尺度的族群趨勢分析	21
樣區尺度的生物特徵分析	27
棲地地景變化	28



討論	30
引用文獻	32
附錄一	各樣站調查日期及資料來源	36
附錄二	淡水河常見度冬水鳥物種名錄及生物特徵	38
附錄三	淡水河稀有度冬水鳥物種名錄及生物特徵	40
附錄四	九個樣區的遙測影像及地景分類	42
附錄五	27 種常見鳥種的趨勢分析	50
附錄六	27 種常見鳥種於四個樣區的趨勢分析	55

圖目錄



圖 1 淡水河樣站分布圖	6
圖 2 淡水河水鳥冬季的總量豐度變化	15
圖 3 淡水河水鳥冬季的物種數變化	15
圖 4 常見鳥種在淡水河的族群數量趨勢	17
圖 5 不同生物特徵間族群趨勢之差異	19
圖 6 兩項生物特徵類群的相對物種數變化	21
圖 7 27 種常見鳥種於挖子尾的族群趨勢	22
圖 8 27 種常見鳥種於關渡的族群趨勢	23
圖 9 27 種常見鳥種於社子島區的族群趨勢	24
圖 10 27 種常見鳥種於新店溪區的族群趨勢	25
圖 11 淡水河五個樣區的水鳥總量豐度	26
圖 12 淡水河五個樣區的水鳥物種數	26
圖 13 各樣區的廣狹食性生物特徵類群間的族群趨勢差異	27
圖 14 各樣區的棲地偏好生物特徵類群間的族群趨勢差異	28
圖 15 泥灘地面積	29
圖 16 行水區內草生地面積	29
圖 17 紅樹林面積	29



表目錄

表 1 各資料來源的年份及調查方法	5
表 2 生物特徵分類表	9
表 3 棲地偏好的分類方式	10
表 4 樣區列表	13
表 5 樣站遙測影像年份及影像類型	14
表 6 淡水河冬季優勢物種的族群量及 20 年變化量	18
表 7 多變項分析結果：以 AICc 選出的五個較佳模型	20
表 8 不同的廣狹食性分類方法	30

前言



暫時性或週期性被水淹蓋，以及長期性被水淹沒，但長有高於水面植被的低地，如沼澤、沼泥地、泥煤地等，都屬於濕地 (Bildstein et al., 1991)。濕地提供人類許多重要的生態系服務，與人類文化息息相關 (Russi et al., 2013)。濕地同時也是重要的生物棲息地，特別是位於海陸交界帶的河口濕地。由於河口生態系中吸納了上游及潮水帶來的初級生產者，包括浮游藻類、底棲微藻、大型藻類以及草澤、林澤的枯落物 (Underwood & Kromkamp, 1999 ; Peterson et al., 1985)，加上潮流及水流的營力，促使養分及食物能在系統內循環，使得濕地土壤中蘊留豐富的營養鹽，生物得以使用較多的能量，故得以支撐起龐大的底棲無脊椎動物相，如多毛綱生物、昆蟲、蝦蟹貝類等，因而河口生態系擁有非常高的次級生產量 (Odum, 1978 ; Bildstein et al., 1991 ; Levin et al., 2001)。

然而，隨著人口增加及工業化發展，全世界的河口及沿海濕地均受到人類活動的嚴重威脅 (Dayton, 2003)。大量汙水的排入與開發行為對生物造成的影響，有的較易觀察，例如直接造成棲地面積的縮減，有的則是透過競爭、捕食等關係，影響濕地的生物多樣性。如在溫暖的河口，優養化使得底棲生物相從多種甲殼動物群聚，變成以泥食性 (deposit-feeder) 環節動物為優勢族群 (Levin et al. 2001)；又如優養化使得波羅的海一處的蝦虎，其主食由雙殼綱的獵物轉為腹足綱，而蝦虎對於腹足綱的食物消化效率較低，顯示食物網結構的改變可能影響掠食者的健康狀況 (Aarnio & Bonsdorff, 1997)。

水鳥為溼地的高階消費者，無論是濕地面積消失或濕地品質下降，都會影響水鳥的族群狀況。水鳥，指的是在生態上依賴濕地的鳥類 (Ramsar Convention, 1987)，包括如鴕科 (Charadriidae)、鶲科 (Scolopacidae)、長腳鶲科 (Recurvirostridae)、鷺科 (Ardeidae)、雁鴨科 (Anatidae)、鷗科 (Laridae)、燕鷗科 (Sternidae)、秧雞科 (Ralliae)、鸕鷀科 (Ciconiidae)、科 Threskiornithidae)、鸕鷀鶲科 (Podicipedidae)、鷓鷯鷺科 (Phalacrocoracidae) 等。水鳥利用濕地的方式依物種而異，例如鶲、鴕科多在灘地上覓食，為了取食不同類型的食物，牠們演化出各式長短、形狀不一、



具備不同功能的嘴喙 (Durell, 2000)；鶲鷥科偏好選擇紅樹林這類林澤作為繁殖的場所，也會在灘地或淺水區中覓食；雁鴨科常被見到在水體上濾食水中生物，或在林澤、草澤內休憩。由於濕地的高生產力，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的依賴 (Gibbs, 1995)，而多數的水鳥則是透過長距離遷徙行為，適應濕地急劇變化的環境狀況 (Wetlands International, 2012a)。

在全球 871 種水鳥中，有 24 % 在 2012 年的 IUCN 紅皮書中，被列為受威脅 (threatened) 的物種；而在亞洲，381 個以生物地理區界定、趨勢已知的水鳥族群中，則有 38 % 族群趨勢下降，僅有 13 % 族群趨勢上升 (Wetlands International, 2012b)。水鳥對人類來說，一直有著很高的觀光及藝術價值，且由於其群棲的特性，使得水鳥調查容易進行，故是很好的濕地環境指標，因此水鳥族群的監測及保育，一直是國際溼地保育行動中非常重要的一環 (Wetlands International, 2012b)。

台灣位於候鳥的東亞澳遷徙線 (East Asian-Australasian Flyway, EAAF) 上，遷徙線指的是候鳥每年度在繁殖地及度冬地間遷徙的途徑，包含路途中停留或覓食的過境點。全世界大致可分為 9 個主要的遷徙線，而東亞澳遷徙線涵蓋的區域包括最北的阿拉斯加、俄國的泰梅爾半島、東亞、東南亞、以及澳洲、紐西蘭等地區，每年約有 5 千萬隻的遷徙性水鳥在這條遷徙線上 (Partnership for the EAAF)。然而它同時也是人口壓力最大的地區，超過 1/3 的世界人口居住其中；在中國及南韓，已經分別有 37 % 及 43 % 的潮間帶溼地，因為人為開墾而消失，帶給遷徙性水鳥龐大的族群壓力 (Kirby *et al.*, 2008)。

淡水河為台灣第三大河流，也是最北邊的大型河口生態系，從河口往上游約 25 公里都屬於感潮河段，因此沿岸形成許多潮間帶溼地，提供候鳥覓食及棲息的場所，由於曾經支持東亞遷徙線上 1 % 的小水鴨 (*Anas crecca*) 族群數量，被列為國際重要野鳥棲地之一 (Li *et al.*, 2009)。然而淡水河亦同時位於台灣人口密度最高的台北盆地，使得淡水河生活汙水及工業汙水的汙染嚴重，部分河段水層溶氧常低於動物存活所需 (謝蕙蓮等, 2008)，重金屬元素濃度也比全球河流的平均濃



度高出許多（方天熹，1999）。從 2003 年至今，淡水河的小水鴨數量，都未再達到遷徙線上的 1% (Li et al., 2009)。

在河流生態系變遷的過程中，作為生態指標的水鳥，其對應的族群變化是一個非常值得探討的課題。由於淡水河部分河段在過往數十年間生態環境已有顯著變化，包括汙染、河水流量減少、溼地陸域化等（謝蕙蓮等，2008），然同時有若干棲地復育行動在推展，如野雁保護區的濕地復育、關渡自然公園的棲地管理及營造，以及五股溼地棲地保護等。加上淡水河有較豐富的鳥類調查資料，使得淡水河成為適合探討水鳥族群和河流生態系關係的良好研究地點，同時得以檢視相關保育作為，對區域內水鳥族群的助益。

過往淡水河的鳥類研究，大多分別針對少數樣區進行探討，如關渡（林明志，1994；林佩佩，1995；林芳儀，2001；李允如，2005；戴漢彰，2009）、華江橋（方偉達等，2008；謝蕙蓮，2011），然而水鳥常會在樣區間遷移，當棲地環境有變動時，牠們有遷移到鄰近樣區的能力，故單一樣區的狀況並不能代表淡水河整體的情況。跨樣區的尺度，則僅有 1998 年潘天祺針對淡水河下游所有陸域與水域鳥類的整體趨勢研究，但其並未針對水鳥的個別物種進行分析，而是將水鳥的以水域泥岸游涉禽、泥灘涉禽及水域高草游涉禽同工群分類，將同功群內各物種的族群量加總後進行趨勢分析。但是水鳥群聚的特性是，優勢物種的族群量常可達其他物種的數十、甚至數百倍，因此其趨勢結果可能完全受優勢物種主導。例如水域泥岸游涉禽的趨勢幾乎由小水鴨的趨勢主導，而泥灘涉禽則幾乎受黑腹濱鶲 (*Calidris alpina*) 的趨勢主導。

至於對導致淡水河鳥類族群變動原因的探究，由於淡水河地景變遷明顯且易於觀察，因此在過去小樣區尺度研究中，地景變遷為最常被用來作為水鳥族群變動的解釋因子（林明志，1994；林芳儀，2001；李允如，2005；戴漢彰，2009）。然而，以候鳥為主的水鳥，其活動範圍廣大，繁殖地區、過境地及其他度冬地區的環境狀態均可能會影響其族群量，因此在探討淡水河的水鳥族群趨勢的同時，須同時考量由整體活動範圍（國際因素）至在地性的棲地變遷影響等不同空間尺度的影響。



本研究目的為：(1) 利用 1991 至 2011 年間，共八個年份的淡水河冬季水鳥調查資料，並以淡水河下游整體為群聚單位，建立常見物種的長期族群趨勢；(2) 依據具不同國際及在地因素生物特徵的水鳥類群，檢驗其族群趨勢的異同，藉此找出能解釋族群變遷的生物特徵及其所反應的環境問題；(3) 從樣區尺度探討族群趨勢以及空間分布的狀況，以探討不同空間尺度，即特定樣區和淡水河下游整體範圍水鳥族群趨勢的異同。

材料與方法



資料收集與處理

淡水河的水鳥以冬候鳥為主，潘天祺（1998）的研究顯示，11-2月是淡水河冬候鳥的數量高峰，故本研究只使用11月至隔年2月的資料，並以此定義冬季的年份範圍，例如1991/1992年冬季，指的是1991年11月至1992年2月。

資料來源為台北市野鳥學會（簡稱台北鳥會）與中華民國野鳥學會進行的「淡水河沿岸濕地鳥類調查」（中華民國野鳥學會，1992；台北市野鳥學會，1997）、「台灣海岸地區環境生態敏感區鳥類相調查」（劉小如，2001），以及2011年本研究與台北鳥會合作進行的調查（表1）。各樣站的調查日期如附錄一。

表1 各資料來源的年份及調查方法

調查名稱	分析時採用的資料年份	調查樣站	調查方法	說明
淡水河沿岸濕地鳥類調查	1991-1995/1996、1997/1998、1999/2000	挖子尾、關渡、社尖、社淡、成子寮、華江橋、華中橋、中正橋	每月一次各站同步調查，每次停留6個小時以涵蓋乾潮及滿潮	此調查從1991年進行至2001年，但初期的資料較完整
台灣海岸地區環境生態敏感區鳥類相調查	1999/2000	同上	各樣站選擇適當潮汐時間，每月一次非同步調查，每次計數沒有重複	淡水河沿岸濕地鳥類調查於1999年的資料缺漏頗多，故以此資料補足
本研究	2011/2012	增加蘆洲樣區	調查次數每月1-2次，乾潮前後約2小時內進行，每次調查重複計數1-3次	



以上各資料來源的水鳥調查均採用群集計數法，記錄各次調查樣站內所有觀測到的水鳥物種及數量。進行淡水河整體族群分析時，針對同步調查的資料，將各鳥種於所有樣站的族群數量加總，取當次調查的最大值；非同步調查者，則是取個別樣站的各鳥種當次調查最大值後，再將所有樣站的數值加總。

研究樣區



圖 1 淡水河樣站分布圖

九個樣站是淡水河主流以及新店溪河段中，幾塊較大型的溼地（圖 1），從出海口往內陸依序如下：

挖子尾站

位於出海口南岸，由於其地理位置，可能是南遷候鳥來台第一站、北遷候鳥



離台的末站，因此在候鳥過境期常有過境水鳥短暫停留。此區在 1990 年代初期，陸續有幾個開發案件開始動工，包括 1992 年的八里污水處理廠、1993 年河口外南邊的台北港，以及 1994 年的淡海新市鎮（李培芬等，2007）。為了保育當地的紅樹林生態系，1994 年被劃定為「挖子尾自然保留區」。

關渡站

關渡站的範圍為關渡自然公園，1996 年成立關渡自然公園，並於 2001 年委由台北鳥會經營管理，他們持續進行棲地養護，包括除草、水池維護等等。由於位於堤防內，關渡的水不會直接與淡水河的交換，而是人為控制水閘門的開關。

社尖站

位於基隆河及淡水河交會處，包括社子島尖端及關渡自然保留區。關渡自然保留區的紅樹林在 1970 年代末期開始出現，那個時期當地常遭非法佔用，甚至被傾倒垃圾及廢土，因此於 1986 年成立以紅樹林為保育對象的自然保留區。

社淡站

位於社子島南岸，長條型的泥灘地，在 1990 年代初期只有小片的紅樹林，於 2011 年紅樹林已成為最主要的植被。

成子寮站

位於二重疏洪道的下游出口及其南側，從遙測影像來看，疏洪道出口的灘地是在 2000 年代初期才漸漸形成，漁民也曾口頭描述近年才有這片灘地出現。

蘆洲站

在 1990 年代的調查樣站並未涵蓋蘆洲站，從早期的 SPOT 衛星影像、農林航空測量所的航空照、以及 Google Earth 提供的歷史影像皆顯示，1990 年代初期此處僅有非常狹窄的灘地，在 2002 及 2003 年左右，才開始有較寬廣的灘地，台北市野鳥學會的鳥類資料庫中，此站至 2000 年才開始有賞鳥資料。由於此站與社尖、社淡只有一河之隔、在最低潮時與成子寮相連，故本研究認為有必要將其納入研究範圍，成為 2011 年的新增樣區。



華江橋站

位於新店溪與大漢溪匯流之處，於 1983 年被公告為「臺北市中興橋-華江橋候鳥生態保育區」，以雁鴨科為最主要的保育物種。謝蕙蓮等（2011）認為此處近年面臨棲地惡化，其根本的原因為水質汙染及水量不足，當地的底棲動物相為耐污染種類，且極具優勢性（施上粟等，2006），水量不足除使汙染加劇，也使得泥沙無法排離，造成溼地陸域化，此處離出海口較遠，已無紅樹林，陸域化後主要形成高莖草地，並有零星樹木生長其上。1997 年，保護區由此處延伸至新店溪的永福橋，並改名「台北市野雁保護區」。

華中橋站

位於新店溪光復橋及華中橋間、新店溪彎道內側，河道內的島狀草澤，邊緣有泥灘地。

中正橋站

位於新店溪中正橋與永福橋間、河道中央的溼地，於 1990 年代初期，是僅在乾潮時才露出水面的泥灘地，但至 2011 年則轉變成以高莖草澤為最主要的地景。

各樣站的影像請見附錄四。

族群長期趨勢分析

由於族群量太小的鳥種不適合進行趨勢分析，本研究只選擇 8 年冬季中，在任何一年內、於淡水河流域的族群總數曾達 20 隻以上的 27 種常見鳥種（附錄二），以廣義線性模型（Generalized linear model, GLM），將「族群數量」對「年份」進行卜瓦松迴歸（Poisson regression in log-linear model），將迴歸結果中，「年份」的係數作為族群趨勢指數，例如：

$$\log(\text{族群數量}) = a + b * \text{年份}$$

則 b 即為族群趨勢指數。



值得注意的是，有些鳥種在某幾次調查中沒有紀錄到，因此族群數量有時會出現 0 值，若這與此鳥種的遷徙習性有關，則本研究會將這些資料拿掉。例如小瓣鶲 (*Vanellus vanellus*) 在 11 月完全沒有紀錄，紅嘴鷗 (*Larus ridibundus*) 則是在 11 月明顯數量少很多，而金斑鶲 (*Pluvialis fulva*) 則是在 1、2 月幾乎都是 0 值，本研究認為這是由於此三種鳥種的度冬期較短的緣故，因此把這幾個月份的資料刪去，避免影響分析結果。本研究的統計分析皆以 R 軟體 (R core team, 2013) 進行。

生物特徵定義

本研究選擇 7 個可能與族群趨勢有關的生物特徵，分別屬於在地及國際因素，並依據文獻或資料庫，將各物種進行以下分類（表 2），各鳥種的分類結果請見附錄二及附錄三。

表 2 生物特徵分類表

生物特徵	類別
在地因素	
1. 棲地偏好	Coastal / Freshwater / Both
2. 廣狹食性	Generalist / Specialist
3. 肉草食性	Carnivorous / Omnivorous / Herbivorous
國際因素	
4. 國際趨勢	Decrease / Increase / Stable
5. 度冬區域	High arctic / South Russia / East Asia / Taiwan Resident
6. 繁殖區域	East Asia / South East Asia / Oceania / Taiwan Resident
7. 繁殖地棲地偏好	Coastal / Freshwater / Both

1. 棲地偏好：

參考 Amano *et al.* (2010) 以世界鳥書 (del Hoyo *et al.*, 1992) 為依據，將



鶲、鴕科分成鹹水型（Coastal）、淡水型（Freshwater）以及廣適型（Both）三類。針對非鶲、鴕科的水鳥，同樣採用 Amano *et al.* (2010)的分類方式，依據世界鳥書中，針對各鳥種「度冬時」棲地偏好的描述進行分類 (del Hoyo *et al.*, 1992) (表 3)。

表 3 棲地偏好的分類方式

世界鳥書中的棲地描述	棲地偏好類別	常見鳥種的 分類結果	資料年份內所有 鳥種的分類結果
coasts, intertidal mudflat, estuary, coral reef, sandy beach, salt-pan, brackish wetland	鹹水型	3 種	18 種
floodplain, river, stream, freshwater, inland wetland	淡水型	7 種	23 種
以上兩種描述皆有	廣適型	17 種	35 種

2. 廣狹食性：

鳥類的食物種類非常龐雜，故參考 de Graaf *et al.* (1985) 的食性分類研究，將鳥類的食物類別分成九類，包括脊椎動物、甲殼動物、漿果、穀物種子、植物根莖葉、昆蟲、軟體動物、魚、以及環節動物。本研究從世界鳥書中蒐集鳥類的食性資料，將此資料依據 de Graaf *et al.* (1985) 的分類方法分類，則淡水河的鳥類所吃的食品從 3 類至 9 類不等，因而把吃 3-5 類的鳥種歸為狹食性 (specialist)，而吃 6-9 類者被歸為廣食性 (generalist)。在 27 種常見鳥種中，狹食性、廣食性分別為 15 及 12 種，而在淡水河這 8 年冬季中曾出現的 80 種鳥種中，則分別為 49 及 28 種，其中 3 種沒有資料。

3. 肉草食性：

資料來源與 2. 相同，以食物是否為動物、植物、或兩者皆食為判斷依據。



4. 國際趨勢：

國際趨勢資料來源為國際鳥盟的線上資料庫(BirdLife International, 2013)，它的資料主要取自國際溼地組織的「水鳥族群量估算」(Wetlands International, 2013)，以及部分其他來源的資料，他們將水鳥族群的趨勢分作增加、減少、以及穩定。在國際溼地組織的資料庫中，是以生物地理區作為水鳥族群估算的單位，然而東亞遷徙線上的族群趨勢資料非常缺乏，因此國際鳥盟在引用時，是蒐集各個遷徙線上的資料，對各鳥種的趨勢作全球性的描述。

5. 度冬區域：

本研究參考 Amano 等 (2010)，將鶴、鵝科的度冬區域，依其南界，分為東亞 (East Asia)、東南亞 (Southeast Asia)、大洋洲 (Oceania) 三類，另外加入留鳥 (Taiwan Resident) 類別。針對鶴、鵝科以外的水鳥，則依據國際鳥盟線上資料庫的分布資料進行分類。雖然本研究是針對水鳥的度冬族群，但有些鳥種的度冬族群與留鳥族群或過境族群難以區分，例如淡水河的小白鷺 (*Egretta garzetta*) 可能同時有度冬族群及留鳥族群，因此本研究將在冬季出現的鳥種全部納入研究範圍，即便是留鳥，也視作「留鳥於冬季的族群狀況」。另外，不遷徙的外來種埃及聖鶲 (*Threskiornis aethiopicus*) 也被歸在留鳥類別。

6. 繁殖區域：

資料來源及分類方式如同 5.，將水鳥依據繁殖區域的北界分成高緯地區 (High arctic)、俄國南部 (South Russia)、東亞 (East Asia)，以及留鳥 (Taiwan Resident) 共四類。

7. 繁殖地棲地偏好：

資料來源及分類方式如同 1.，只是在從世界鳥書中蒐集棲地資料時，是針對鳥類在「繁殖地」時的棲地偏好。

生物特徵與族群趨勢之關聯



單變項分析

分別以上述 7 種生物特徵將物種分成不同的類群，利用排列檢定 (permutation test) 進行 ANOVA 或 t test，以檢驗不同類群間的族群趨勢指數是否有顯著差異。

排列檢定是利用隨機調換原始資料的順序，重複計算統計值 (statistic)，以此建立虛無假設 (null hypothesis) 的機率分布，進而計算「取得比原始資料的統計值還極端的統計值」的機率為何。由於排列檢定可利用原始資料的重複排列建立虛無假設的機率分布，因此無須假設母體呈常態分布 (Anderson, 2001)。

多變項分析

為了考量多個生物特徵共同對族群趨勢造成的影響，本研究也進行多變項分析，從單變項分析的結果中，選擇了四個 P 值較小的生物特徵，以這四個生物特徵的組合作為自變項 (independent variable)，族群趨勢作為依變項 (dependent variable)，建立 多變項線性迴歸模型 (multiple linear regression model)。之後利用 AICc (corrected Akaike information criterion) 選出較佳的模型，從較佳的模型中確認哪些生物特徵與族群趨勢較有關聯。

AIC 與概似度 (likelihood) 有關，一個模型若有較小的 AIC 值，表示在此模型的條件下，出現我們所觀測到的資料狀況之機率便越高，也代表它是較佳的模型 (Burnham, 2004)。因此最佳的模型有最小的 AIC 值，若以最佳模型的 AIC 值為基準，可計算出其他模型的 AIC 相對值：

$$\Delta_i = AIC_i - AIC_{min}$$

一般而言， $\Delta_i \leq 2$ 的模型，代表資料對其具有相當的支持力，仍算是較佳的模型。另一個可以參考的數值是權重 (weight)：

$$w_i = \frac{\exp(-\frac{\Delta_i}{2})}{\sum_{j=1}^J \exp(-\frac{\Delta_j}{2})}$$

，J 為所有模型的數量，所以此權重代表的是每個模型的「相對概似度」，也可以



視作「此模型為最佳模型的機率值」。由於本研究資料筆數太小（27 個常見物種的族群趨勢，所以只有 27 筆資料），因此必須使用 AICc。

物種替換 (Species shift)

相較於「族群趨勢」探討族群數量的年間變化，物種替換則是從群聚的角度探討物種數的年間變化。分別以「廣狹食性」及「棲地偏好」將淡水河的所有鳥種分群，檢視不同類群的鳥種數是否有相似的年間差異，由於每年出現的總鳥種數不同，故以當年各類群的物種數佔總物種數的比例作為相對物種數：

$$\text{相對物種數} = \text{某類群物種數} / \text{當年總物種數}$$

樣區尺度的分析

以淡水河整體為研究單位，可以排除樣區間的族群遷移，全面性地了解淡水河所面臨的情況，並釐清是在地因素或國際因素在影響淡水河的族群，然而在確定有在地因素的影響後，以樣區尺度進行分析，能更細緻地解讀淡水河的狀況。

本研究引用潘天祺（1998）的研究結果，他利用 1991 至 1996 年間的調查資料（與本研究的資料來源相同），以水鳥數量計算各樣站的 Sorenson 相似係數，進行群集分析。若將其分析結果分成四群，分別是（1）挖子尾，（2）社尖、社淡、成子寮，（3）華江橋、華中橋、中正橋，以及（4）關渡，這四群位於淡水河的不同河段，群內的水鳥應有頻繁的交流，因此本研究將 9 個樣站歸於四個樣區（表 4）。

表 4 樣區列表

樣區	樣站組成
挖子尾	挖子尾
關渡	關渡
社子島區	成子寮、社尖、社淡
新店溪區	華江橋、華中橋、中正橋



在四個樣區內進行 27 個常見鳥種的族群趨勢分析，並進行樣區內的族群趨勢與生物特徵（僅針對棲地偏好與廣狹食性）間的單變項分析，分析方法與淡水河整體流域的分析方法相同。

棲地地景變化

本研究欲以棲地地景變化檢視淡水河的棲地陸域化狀況，故選擇兩個時期的影像進行人為地景判釋，2010 年代影像拍攝時間在乾潮前 2 小時，1990 年代不確定拍攝時間，但從 1993-1996 年間所能取得的航空照及 SPOT 衛星影像判斷，應也是在乾潮前後（遙測影像請見附錄四），表 5 為本研究使用的遙測影像資料。

表 5 樣站遙測影像年份及影像類型

樣站	1990 年代初期		2010 年代	
	年分	影像類型	年分	影像類型
挖子尾	1994	黑白航空照片	2011	福衛二號衛星影像
關渡、成子寮、 社尖、社淡、 蘆洲、華江橋、 華中橋	1993	黑白航空照片	2010	彩色正攝化影像
中正橋	1994	黑白航空照片	2010	彩色正攝化影像

* 除福衛二號衛星影像為自行在網路上截圖外，其餘為農林航空測量所航測；彩色正攝化影像已經過航測所定位，另外兩種影像為自行定位。

地景主要分成泥灘地、紅樹林、行水區內草生地、樹，以及其他（包括公園綠地、人工建物等），由於從影像上無法區分陸生草地或草澤，因此都歸屬於行水區內草生地。遙測影像分析以軟體 ArcGIS10 進行。

結果



整體而言，淡水河水鳥冬季的量豐度 (abundance) 呈現下降的趨勢 (圖 2)，而物種數 (richness) 每年皆有變動 (圖 3)，各年物種數在 37 種 (1997/1998 年) 至 48 種 (1993/1994 年) 之間。在八個冬季，淡水河總共記錄有 80 種水鳥 (附錄二及附錄三)，其中僅有 22 種每年皆出現。

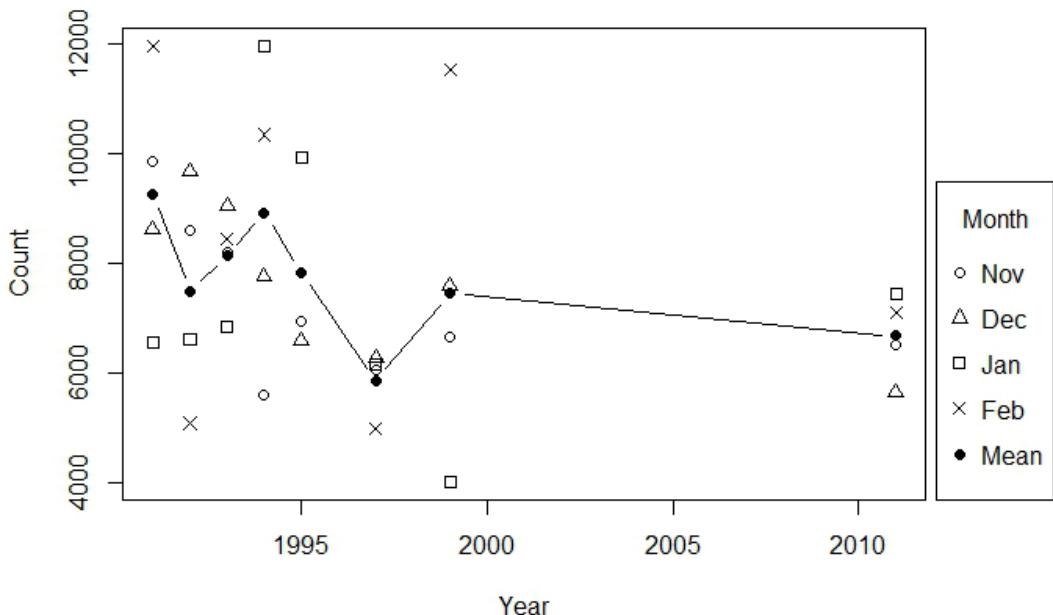


圖 2 淡水河水鳥冬季的總量豐度變化

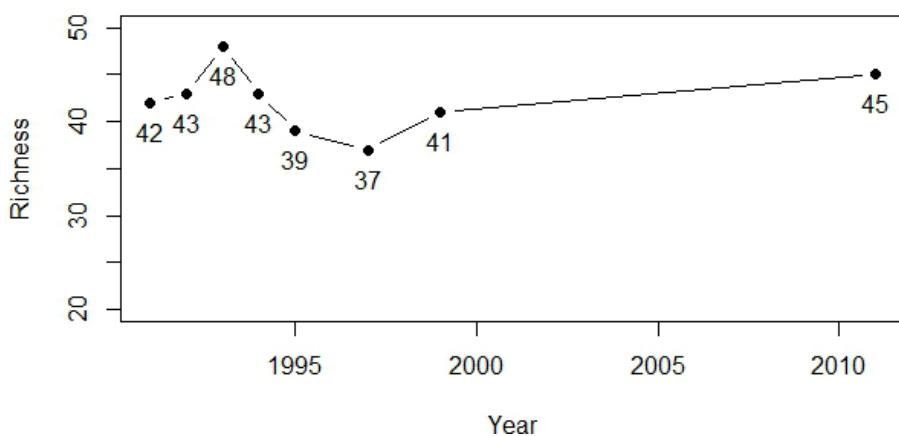


圖 3 淡水河水鳥冬季的物種數變化



族群趨勢分析

27 種常見鳥種的總數量，在所有 8 年的資料中，平均占淡水河水鳥總數的 99.6%，顯示這 27 種為研究期間主要的優勢物種。各物種族群趨勢分析結果如圖 4，有 18 種 (66.7%) 族群趨勢為正，9 種 (33.3%) 為負，其中顯著增加 ($P < 0.05$) 的有 10 種，包括蒼鷺 (*Ardea cinerea*)、大白鷺 (*Egretta alba*)、尖尾鴨 (*Anas acuta*)、埃及聖鶲、青足鶲 (*Tringa nebularia*)、高蹠鶲 (*Himantopus himantopus*)、田鶲 (*Gallinago gallinago*)、金鵝、紅冠水雞 (*Gallinula chloropus*)、鷺斑鶲 (*Tringa glareola*)，顯著減少 ($P < 0.05$) 的有 2 種，分別是小水鴨及紅嘴鷗 (*Larus ridibundus*)（各物種的族群量年間變化及趨勢線請見附錄五）。

在這 27 種當中，紅嘴鷗在前七年有穩定度冬族群(冬季有 2 個月以上的紀錄，於 1992/1993 年有最大量 60 隻)，至 2011 年則僅在 12 月記錄到 2 隻；另鷺斑鶲在 1991/1992 年沒有紀錄，但 2011/2012 年有穩定的度冬族群 (冬季每月皆有紀錄，最大量 41 隻)，高蹠 鶲在前七年每年僅有 10 隻以內的記錄，2011/2012 年時則增加為有穩定族群 (最大量 303 隻)。

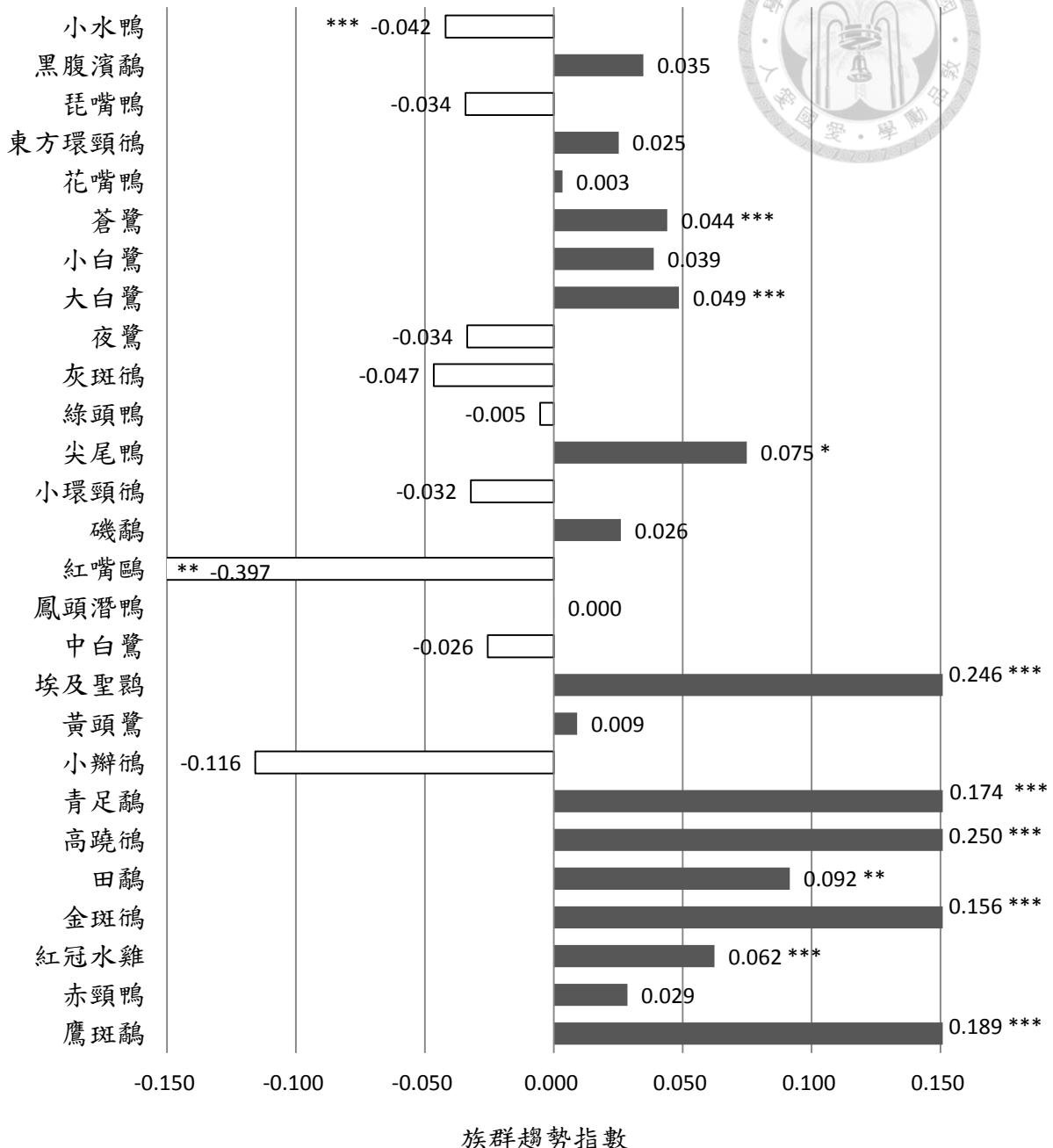


圖 4 常見鳥種在淡水河的族群數量趨勢

(物種順序依 1991 年冬季平均族群數量由大至小排列。)

* : $P < 0.05$, ** : $P < 0.01$, *** : $P < 0.001$)

在優勢度較小的 10 個鳥種中，有 9 種族群趨勢是增加的，且其中 7 種是顯著增加（即前述顯著增加的末 7 種鳥種）。然而淡水河最主要的優勢物種—小水鴨—在這段期間大幅下降，若以族群趨勢指數估算這 20 年間的變化量，其下降了 57 %



(表 6)。

表 6 淡水河冬季優勢物種的族群量及 20 年變化量

1991 年前五名優勢物種			2011 年前五名優勢物種		
物種	1991 年 平均族群量	20 年間族群 變化之估算量*	物種	2011 年 平均族群量	20 年間族群 變化之估算量
小水鴨	5928	-57%	小水鴨	2341	-57%
黑腹濱鶲	1413	100%	黑腹濱鶲	1686	100%
琵嘴鴨	586	-50%	東方環頸鵠	590	66%
東方環頸鵠	566	66%	琵嘴鴨	276	-50%
花嘴鴨	253	7%	蒼鷺	256	141%

* 20 年間族群變化之估算量，是以 GLM 之趨勢分析結果所得的「族群趨勢指數」計算而得，並非直接由 1991 及 2011 年之平均族群量計算。

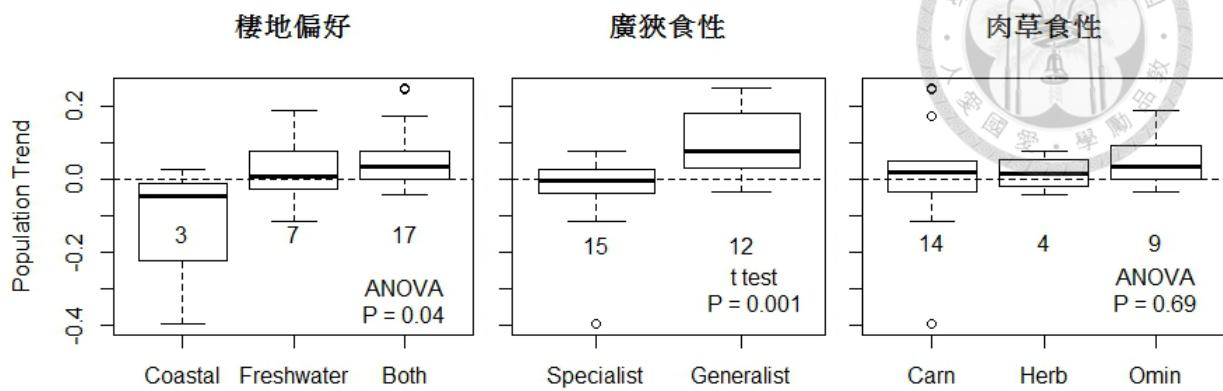
生物特徵與族群趨勢之關聯

單變項分析

在 7 項生物特徵中（圖 5），僅「棲地偏好」及「廣狹食性」在類群間的族群趨勢有顯著差異。在「棲地偏好」的類群間，鹹水型物種較廣適型有較負向的族群趨勢 ($P = 0.04$)，在「廣狹食性」的類群間，狹食性物種較廣食性也有較負向的族群趨勢 ($P = 0.001$)。這兩項生物特徵都屬於在地因素，而肉草食性以及與國際因素有關的生物特徵，其類群間的族群趨勢無顯著差異。



(a) 與在地因素有關的生物特徵



(b) 與國際因素有關的生物特徵

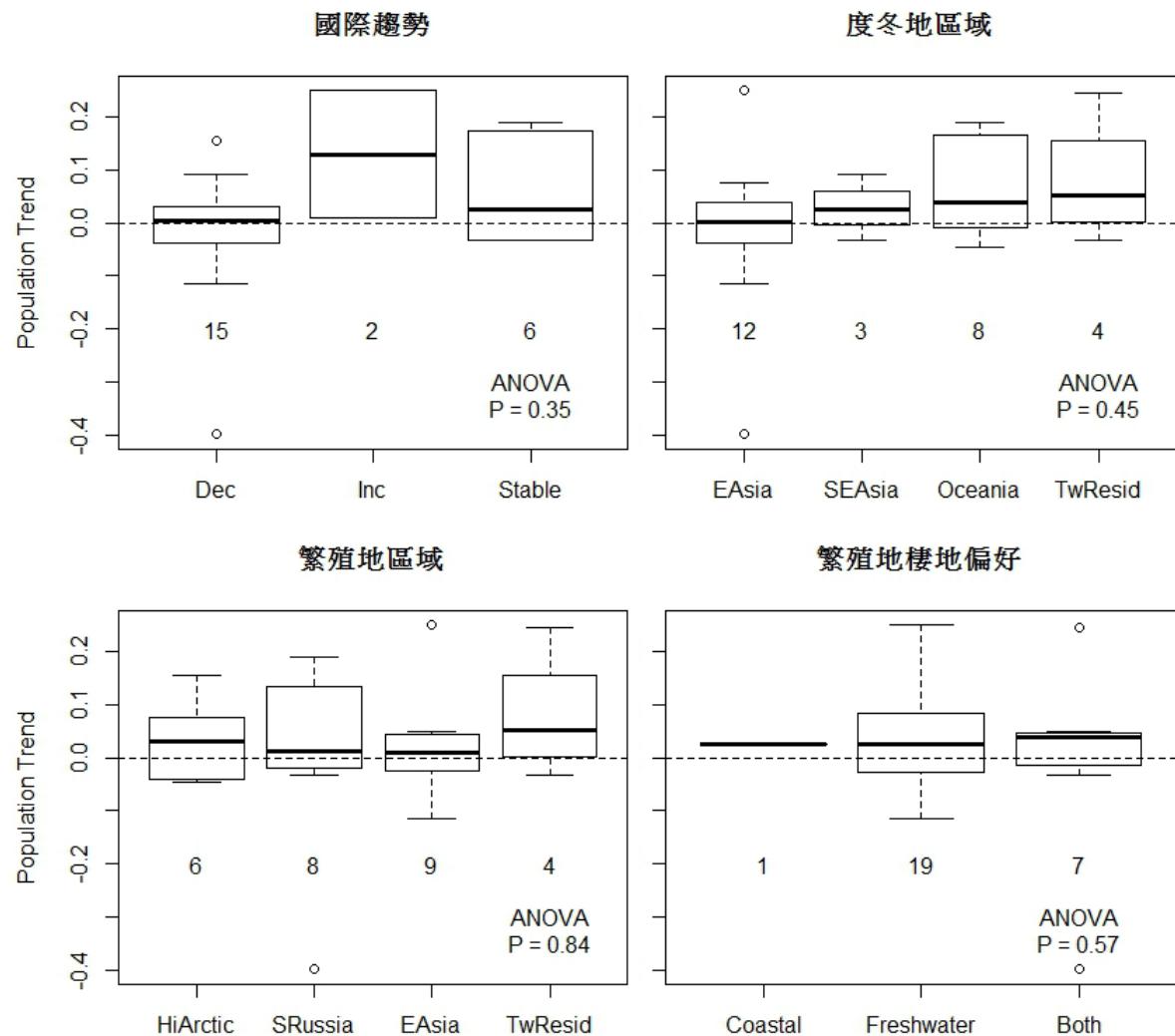


圖 5 不同生物特徵間族群趨勢之差異

(數字為樣本數)



多變項分析

以 AICc 進行多變項迴歸模式選擇，只有 2 個較佳的模型 ($\Delta_i \leq 2$)，而且此二者的權重 (Weight) 明顯大於之後幾個模型，表示應該只有這兩個模型較為適當 (表 7)。結果顯示，「廣狹食性」是最能解釋族群趨勢的因子，狹食性物種的族群趨勢比廣食性差；其次是「棲地偏好」，鹹水型物種的族群趨勢比廣適型差。國際因素，包括國際趨勢、度冬區域、繁殖區域，以及繁殖地棲地偏好，都不是重要的因子。這樣的結果與單變項分析的結果一致。

表 7 多變項分析結果：以 AICc 選出的五個較佳模型

編號	自變項	AICc	Weight	Intercept	FG.Spec	HT.Fresh	HT.Both
1	FG	-39.5	0.51	0.10	-0.13 **		
2	HT + FG	-38.8	0.35	-0.04	-0.10 *	0.12	0.15 *
3	HT	-35.3	0.06	-0.14		0.17 *	0.20 **
4	HT + WL	-33.5	0.02	-0.23		0.15 *	0.25 **
5	HT + FG + WL	-33.3	0.02	-0.13	-0.08	0.12	0.20 **

FG：廣狹食性，HT：棲地偏好，WL：度冬區域

* : $P < 0.05$, ** : $P < 0.01$

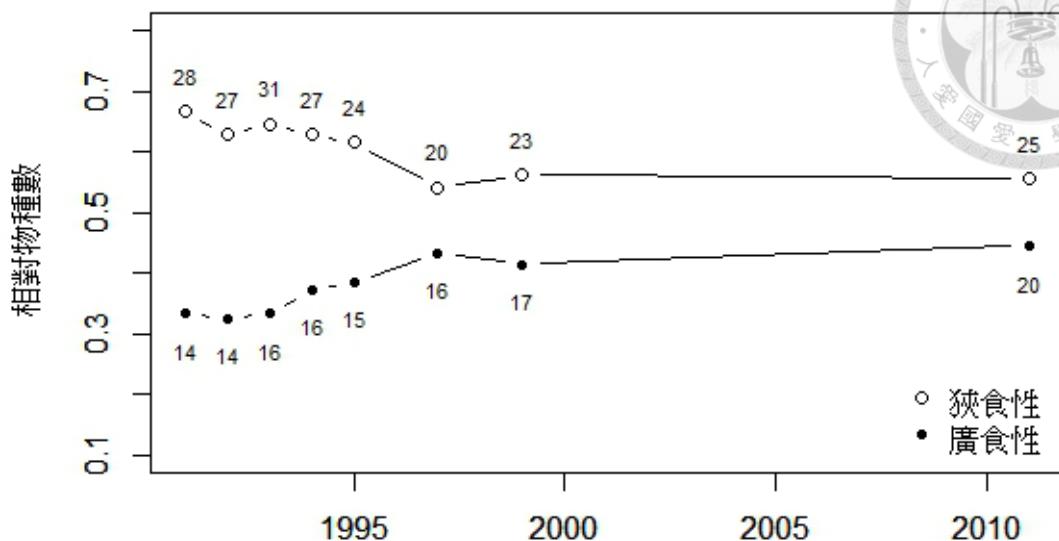
物種替換

生物特徵的分析，只能用於 27 個已建立長期族群趨勢的常見物種，然而淡水河在所探討的 8 個冬季共記錄到 80 種水鳥，其中僅有 22 種每年都會出現，顯示群聚內的物種組成勢必於年間有所變動。

從物種替換的分析結果可以發現，針對廣狹食性這項生物特徵，狹食性物種所占的比例越來越少，而廣食性物種的比例則越來越多 (圖 6)，顯示淡水河的環境現在對於狹食性物種是較不利的，這個結果與 27 個常見物種的族群趨勢有一樣的狀況；在棲地偏好這項生物特徵中，則看不出明顯的趨勢。



(a) 廣狹食性



(b) 樓地偏好

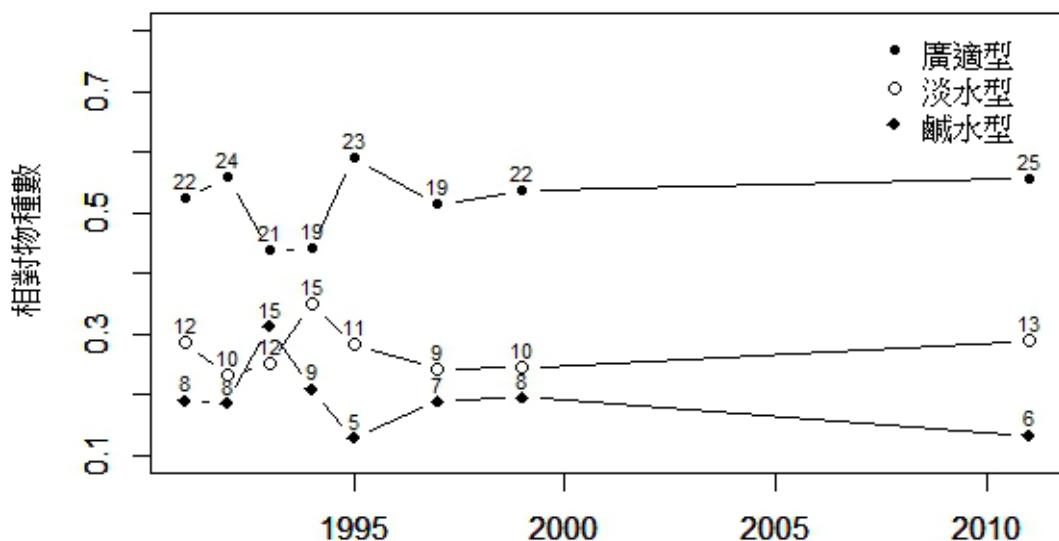


圖 6 兩項生物特徵類群的相對物種數變化

樣區尺度的族群趨勢分析

樣區內的族群趨勢分析結果顯示，只有關渡是多數鳥種都呈現正向的族群趨勢，其他三區則是多數鳥種呈現負向的族群趨勢（圖 7 至 圖 10，「NA」表示該鳥種在該區的族群大小未曾達到 10 隻以上，各物种的族群量年間變化及趨勢線請見附錄六）。



挖子尾

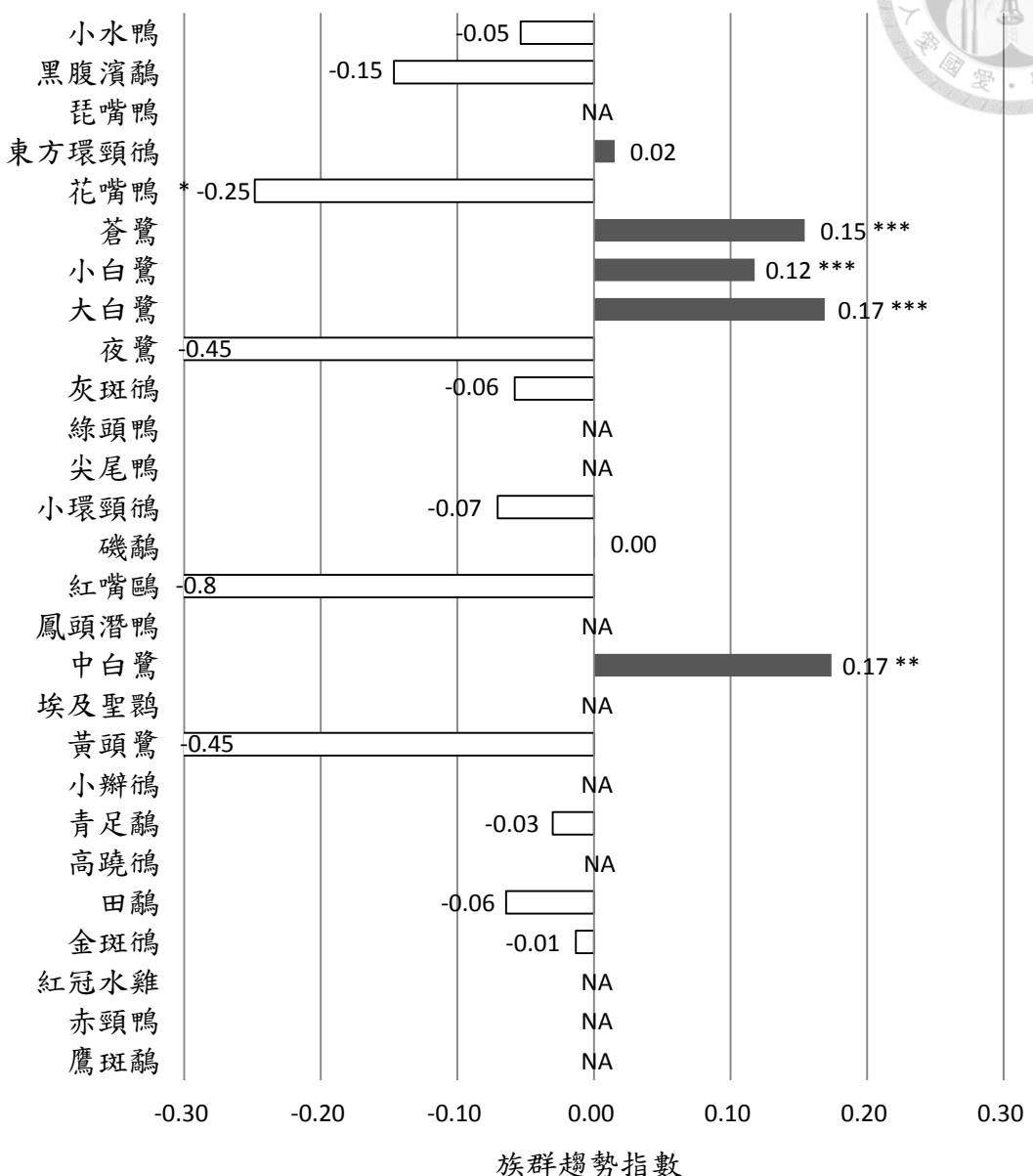


圖 7 27 種常見鳥種於挖子尾的族群趨勢

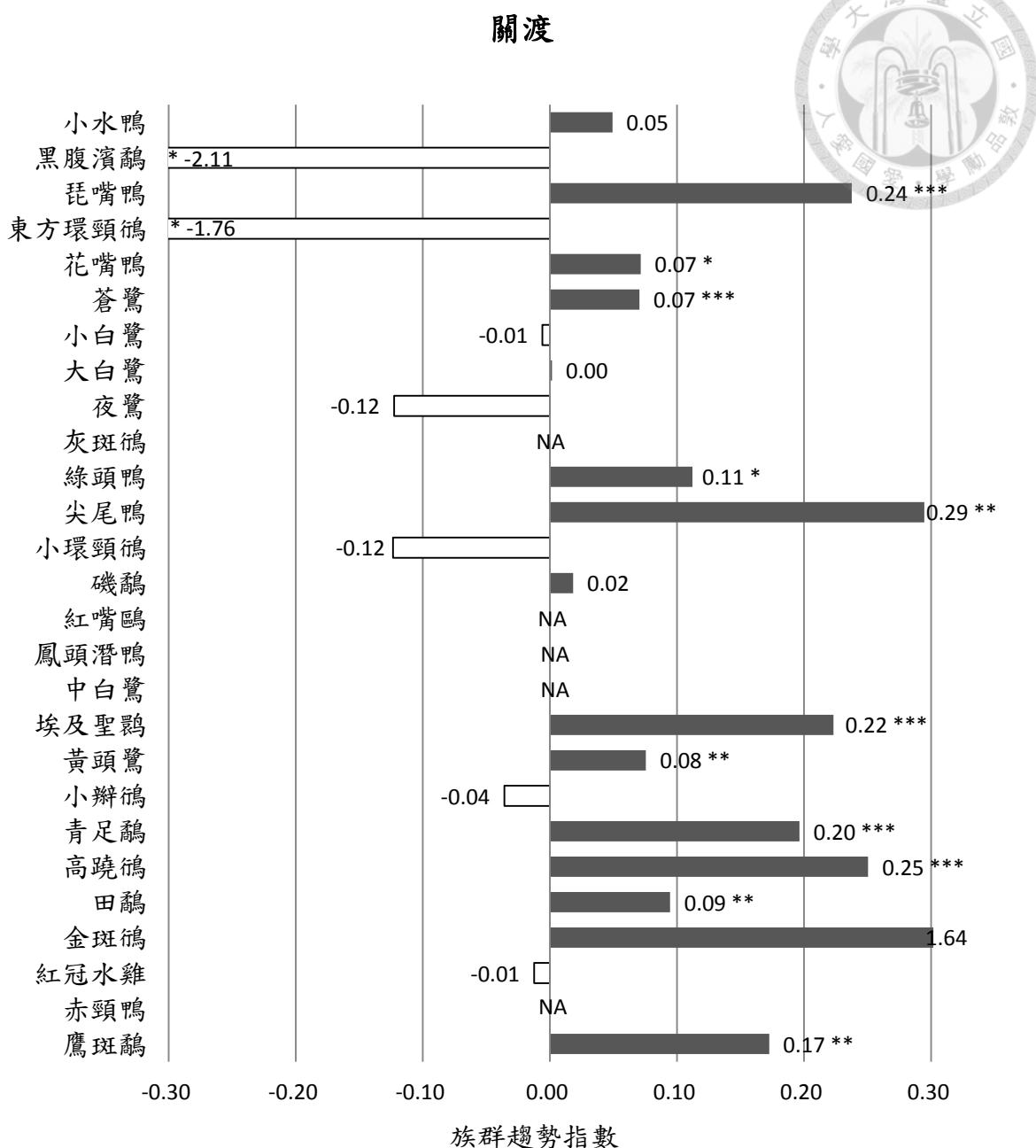


圖 8 27 種常見鳥種於關渡的族群趨勢



社子島區

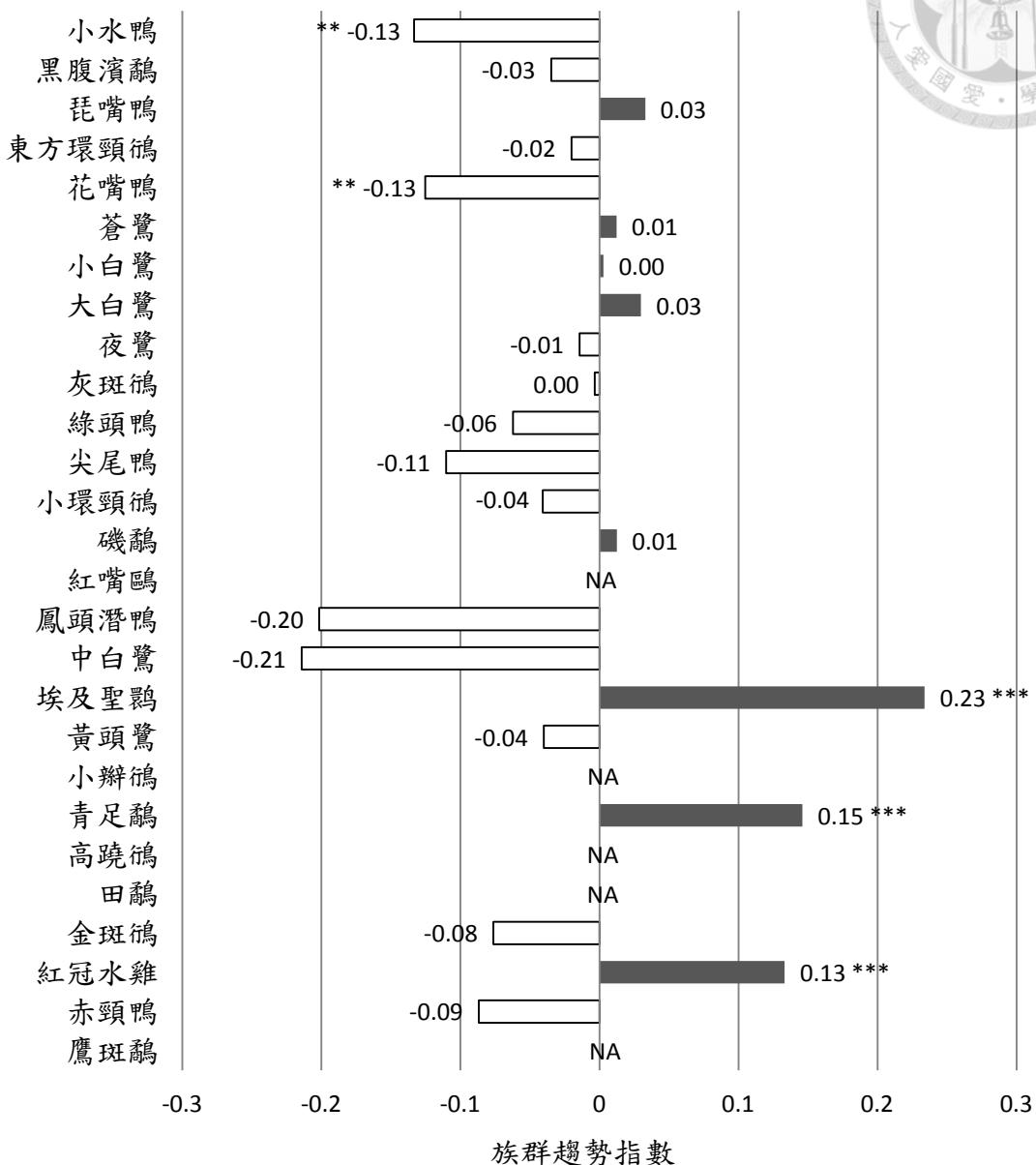


圖 9 27 種常見鳥種於社子島區的族群趨勢

新店溪區

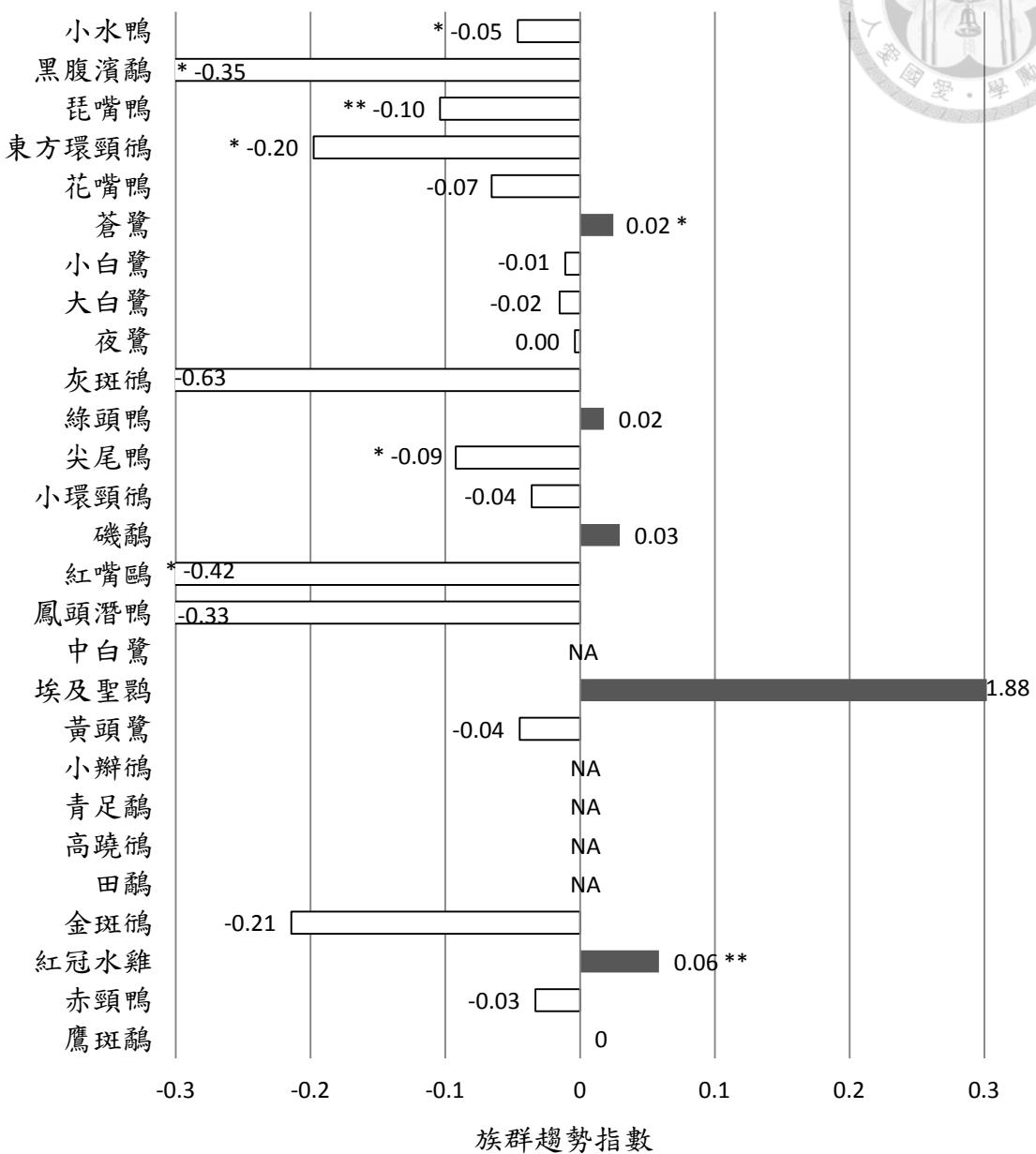


圖 10 27 種常見鳥種於新店溪區的族群趨勢



若從各樣區的水鳥總豐度（圖 11）及物種數（圖 12）來看，前期水鳥數量與物種數皆最多的為新店溪區及社子島區，2011 年則是蘆洲及關渡，在水鳥的數量及物種數皆最高。

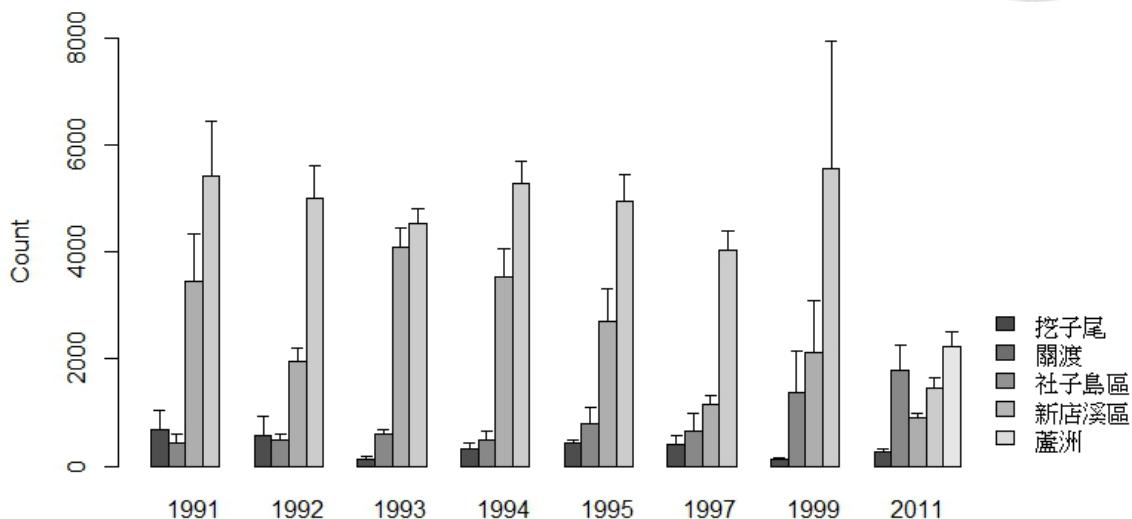


圖 11 淡水河五個樣區的水鳥總量豐度
(誤差線為四個月的標準誤 (standard error))

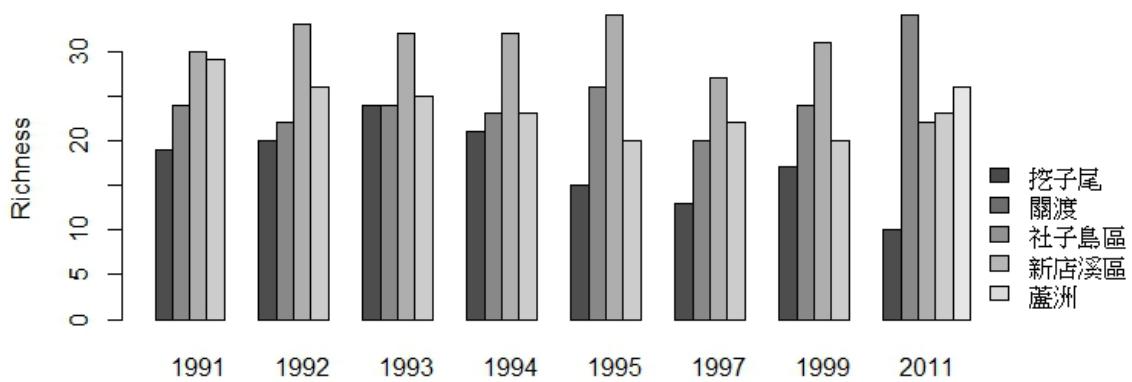


圖 12 淡水河五個樣區的水鳥物種數

樣區尺度的生物特徵分析



在樣區尺度中，針對「廣狹食性」的單變項分析結果（圖 13）顯示，僅有社子島區在兩類群間在族群趨勢上有顯著差異 ($P = 0.029$)，狹食性物種的族群趨勢指數顯著高於廣食性物種，在其他樣區，兩類群間的族群趨勢則無顯著的差異。

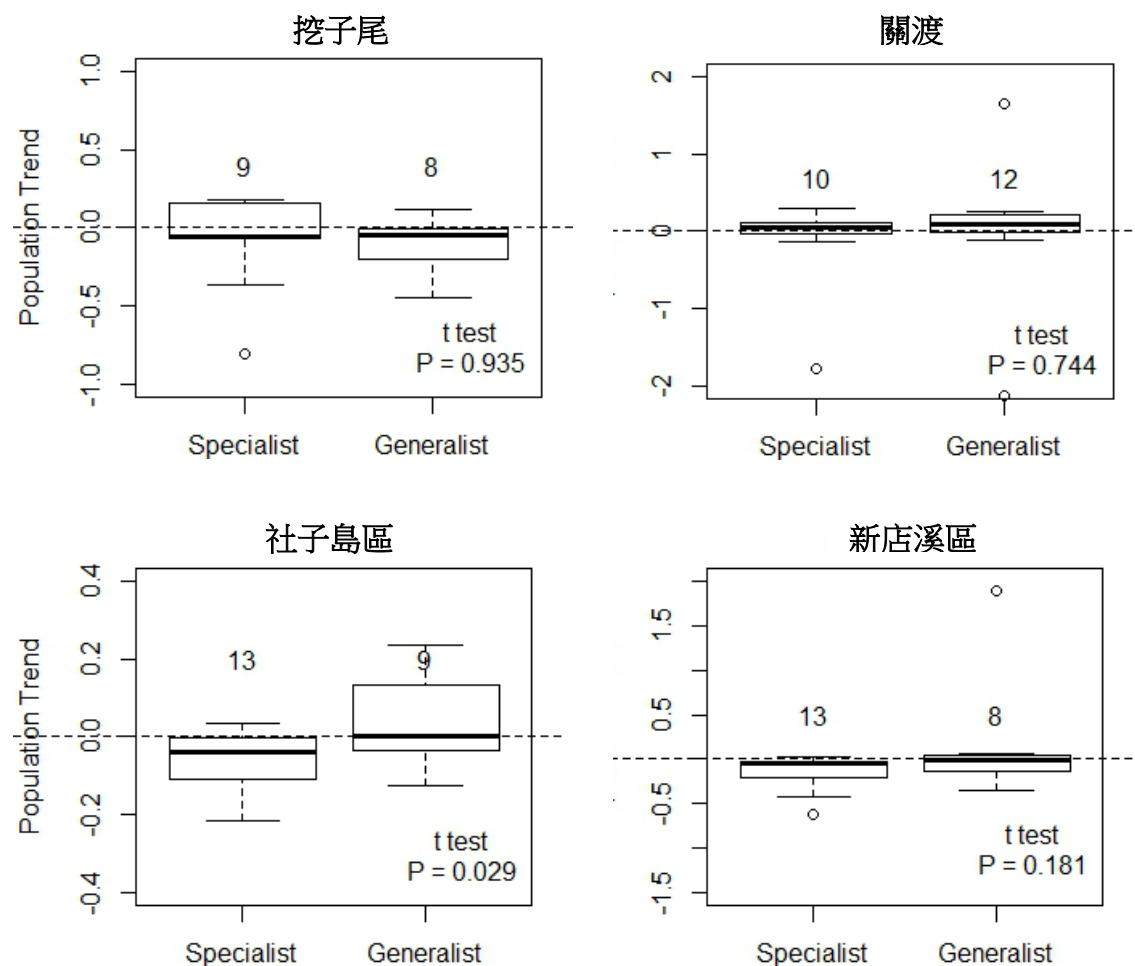


圖 13 各樣區的廣狹食性生物特徵類群間的族群趨勢差異



在「棲地偏好」方面，在所有樣區中，三類群的族群趨勢皆未達顯著差異（圖 14）。

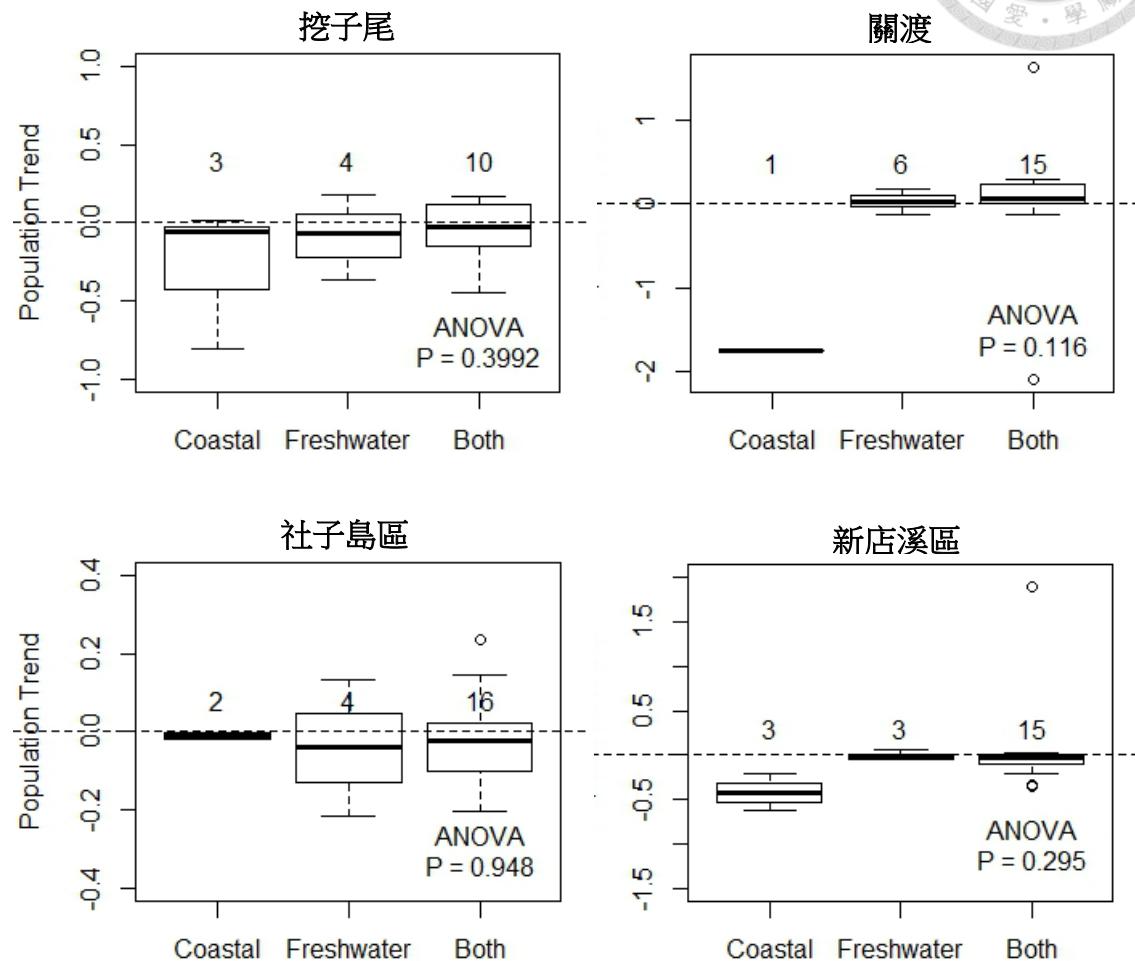


圖 14 各樣區的棲地偏好生物特徵類群間的族群趨勢差異

棲地地景變化

近 20 年間，新店溪區及社尖、社淡的泥灘面積下降，蘆洲卻形成了大面積的泥灘地圖 15)，使得整體泥灘面積不減反增（各樣區地景判釋結果見附錄四）。

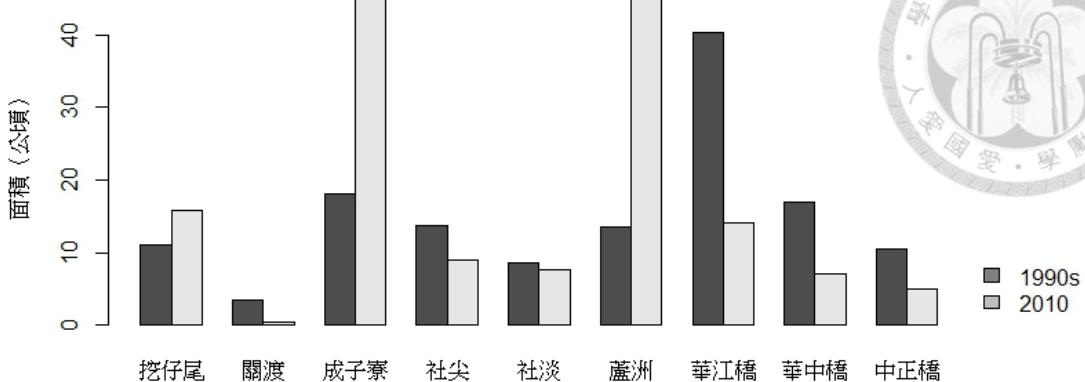


圖 15 泥灘地面積

新店溪區泥灘地面積下降主要是因陸域化及草生地擴張（圖 16）。

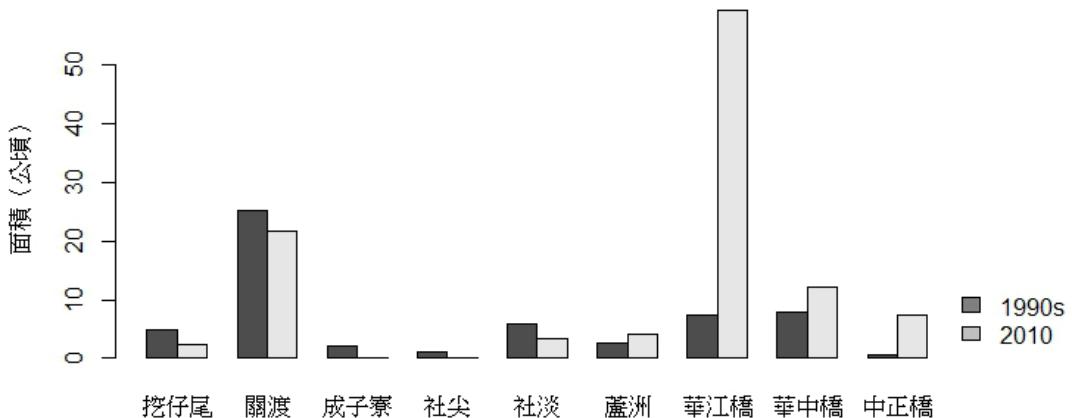


圖 16 行水區內草生地面積

而社尖、社淡的泥灘地下降則是由於紅樹林的擴張（圖 17）。

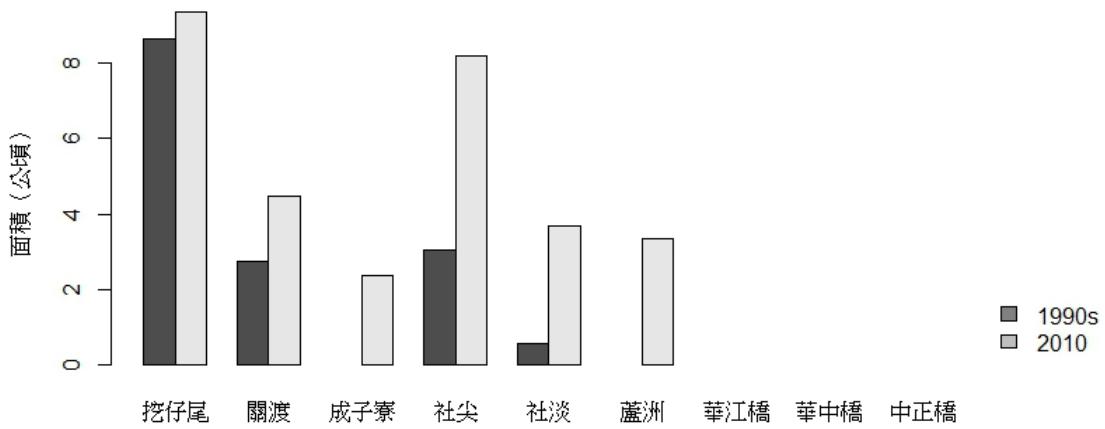


圖 17 紅樹林面積



討論

淡水河的水鳥現況與 20 年前相比，究竟是好是壞？若從淡水河整體尺度來說，整體總數量下降，然而此下降趨勢是由優勢物種小水鴨的下降造成，常見鳥種中有 66.7 % 的物種族群數量是增加的。小水鴨在這 8 年資料當中，平均占整體水鳥總數的 64.9 %，但在 2011 年只占了 36.4 %，顯示其優勢度下降了。這也證明，過去的研究若未從個別水鳥的族群變遷進行分析，幾乎會以小水鴨的族群狀況概括了整體水鳥的狀況。

在水鳥族群趨勢的原因探究方面，本研究的結果顯示在地因素比國際因素重要。在在地因素中，過去在華江及關渡觀察到的陸域化情形，並不能普遍性地描述淡水河整體的情況。社尖、社淡及成子寮站，雖然都面臨紅樹林擴增的問題，但是其對岸的蘆洲卻產生了比前述三站早期更大片的新生灘地，多數鳥種族群也因此未呈現下降趨勢。

水質汙染則有可能解釋淡水河整體水鳥的族群趨勢，河川的汙染問題可能改變食物網的結構 (Levin et al., 2001)，廣食性物種在環境發生擾動時，通常比狹食性物種更易轉變其食物類型 (Mihuc & Minshall, 1995)，因此狹食性物種較易受到棲地擾動影響，例如有研究指出，以有機農法施作的農田相較慣行農法，能支持更多狹食性鳥種 (Ondine et al., 2009)。因此在淡水河觀察到狹食性物種族群趨勢較廣食性物種差的現象，可能代表水質汙染影響了水鳥的食物資源。

本研究中廣狹食性的分類較為武斷，直接以食物類別數定義，分析時採用分類方法一（表 8），目的是讓 27 種常見物種中，狹食性物種數及廣食性物種數較為平均，然本研究曾以分類方法二進行分析，仍能得到相同的結論。

表 8 不同的廣狹食性分類方法

	分類方法一		分類方法二	
	食物類別數	物種數	食物類別數	物種數
狹食性	3-5	15	3-4	11
廣食性	6-9	12	5-9	16

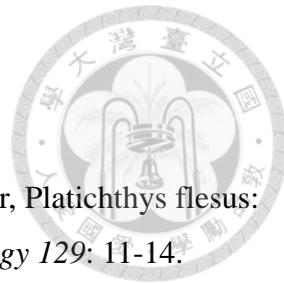
在國際因素方面，國際上的不同地區可能面臨不同的環境問題，例如東亞的沿海濕地受人為圈佔而大量消失 (Barter, 2002；Kirby et al., 2008)，高緯地區則可能受氣候變遷影響水鳥的繁殖成功率 (Mustin et al., 2007)。然而本研究在與國際因素相關的分析中，無法證明它們是影響淡水河水鳥族群趨勢的重要因子，相較於國際因素，在地因素對淡水河水鳥的族群變遷有較大影響。

從樣區尺度探討水鳥族群的現況，早期水鳥數量及物種數以社子島區、新店溪區最多，在2011/2012年時則以關渡及蘆洲水鳥數量及物種數最高，但是這兩個樣區能支持的水鳥總數，卻無法與早期的前兩者相比擬。戴漢彰（2009）針對關渡1998至2007年的鳥類相研究指出，2001年台北鳥會接管關渡自然公園後，進行一連串的棲地改善工程，使得以水鳥為主的三個棲地同功群—水域泥岸游涉禽、水岸高草游涉禽，以及泥灘涉禽—在量豐度及物種數都有明顯的提升，但在此時期的末期，牠們的量豐度已達到穩定，因此若其他樣區的鳥類族群趨勢持續下降，未來關渡可能不再能彌補這樣的惡化情況。

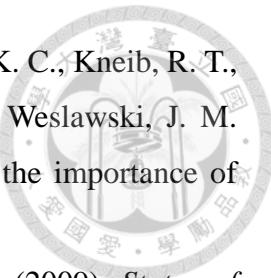
淡水河整體流域面臨的環境狀況，在各樣區內未必一致，例如華江橋因泥沙淤積使泥灘地面積大幅下降，但在蘆洲卻因泥沙淤積而產生新生灘地，本研究也發現水鳥的族群趨勢在整體流域尺度與樣區尺度下並不相同。關渡自然公園對棲地的經營管理使水鳥族群數量上升（戴漢彰，2009），或許會成為其他樣區欲複製的成功案例，然而關渡自然公園位於堤防內，並未位於河川泥沙及水量動態平衡的系統內，因此若要對其他樣區進行棲地的經營管理，應以淡水河整體流域為規畫單位。

由於多數水鳥的遷移能力強，本研究以兩種不同的尺度建立族群趨勢，也觀察到兩種尺度間的差異，未來若能將研究擴展至全台灣的尺度，將對台灣整體的水鳥狀況，以及台灣在東亞遷徙線上扮演的角色，有更全面的了解。

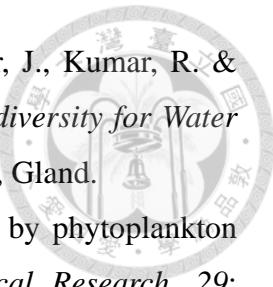
引用文獻



- Aarnio, K., Bonsdorff, E. (1997). Passing the gut of juvenile flounder, *Platichthys flesus*: differential survival of zoobenthic prey species. *Marine Biology*, 129: 11-14.
- Amano, T., Székely, T., Koyama, K., Amano, H., & Sutherland, W. J. (2010). A framework for monitoring the status of populations: An example from wader populations in the East Asian–Australasian flyway. *Biological Conservation*, 143: 2238-2247.
- Anderson, M. J. (2001). Permutation tests for univariate or multivariate analysis of variance and regression. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58: 626-639.
- Barter, M. (2002). Shorebirds of the Yellow Sea: Importance, Threats and Conservation Status. Wetlands International Global Series 9. International Wader Studies 12, Canberra.
- Bildstein, K. L., Bancroft, G. T., Dugan, P. J., Gordon, D. H., Erwin, R. M., Nol, E., Payne, L. X., & Senner, S. E. (1991). Approaches to the conservation of coastal wetlands in the western-hemisphere. *Wilson Bulletin*, 103: 218-254.
- BirdLife International.(2013). Retrieved from <http://www.birdlife.org/datazone/species/search> on Sunday 23 Jun 2013.
- Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2004). Multimodel inference: understanding AIC and BIC in model selection. *Sociological Methods & Research*, 33: 261-304.
- de Graaf, R. M., Tilghman, N. G., & Anderson, S. H. (1985). Foraging guilds of North American birds. *Environmental Management*, 9: 493-536.
- del Hoyo, J., Elliott, A., & Sargatal, J., Cabot, J. (1992). Handbook of the Birds of the World. Barcelona: Lynx Editions.
- Dayton, P. K. (2003). The importance of the natural sciences to conservation. *The American Naturalist*, 162: 1-13.
- Durell, S. E. A. L. V. (2000). Individual feeding specialisation in shorebirds: population consequences and conservation implications. *Biological Reviews*, 75: 503-518.
- Kirby, J. S., Stattersfield, A. J., Butchart, S. H. M., Evans, M. I., Grimmett, R. F. A., Jones, V. R., O'Sullivan, J., Tucker, G. M. & Newton, I. (2008). Key conservation issues for migratory land- and waterbird species on the world's major flyways. *Bird Conservation International*, 18: S49-73.



- Levin, L. A., Boesch, D. F., Covich, A., Dahm, C., Erséus, C., Ewel, K. C., Kneib, R. T., Moldenke, A., Palmer, M. A., Snelgrove, P., Strayer, D. & Weslawski, J. M. (2001). The function of marine critical transition zones and the importance of sediment biodiversity. *Ecosystems*, 4: 430-451.
- Li, Z.W.D., Bloem, A., Delany S., Martakis G. and Quintero J. O. (2009). *Status of Waterbirds in Asia - Results of the Asian Waterbird Census: 1987-2007*. Wetlands International, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Mihuc, T. B., & Minshall, G. W. (1995). Trophic generalists vs. trophic specialists: implications for food web dynamics in post-fire streams. *Ecology*, 76: 2361-2372.
- Mustin, K., Sutherland, W. J., & Gill, J. A. (2007). The complexity of predicting climate-induced ecological impacts. *Climate research*, 35: 165.
- Nebel, S., Porter, J. L., & Kingsford, R. T. (2008). Long-term trends of shorebird populations in eastern Australia and impacts of freshwater extraction. *Biological Conservation*, 141: 971-980.
- Ondine, F. C., Jean, C., & Romain, J. (2009). Effects of organic and soil conservation management on specialist bird species. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 129: 140-143.
- Odum, Eugene P. (1978). The value of wetlands: a hierarchical approach. *PEJRC a. JEC Gresson (ed.) Wetland Functions and Values: the State of Our Understanding*. American Water Resources Association.
- Partnership for the EAAF (East Asia-Australasian Flyway)
<http://www.eaaflyway.net/flyways.php>
- Peterson, B. J., Howarth, R. W., & Garrett, R. H. (1985). Multiple stable isotopes used to trace the flow of organic matter in estuarine food webs. *Science*, 227: 1361-1363.
- R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
URL <http://www.R-project.org/>.
- Ramsar Convention. (1987). Convention on wetlands of international importance especially as waterfowl habitat. Ramsar (Iran), 2 February 1971. UN Treaty Series No. 14583. As amended by the Paris Protocol, 3 December 1982, and Regina Amendments, 28 May 1987.



- Russi, D., ten Brink, P., Farmer, A., Badura, T., Coates, D., Förster, J., Kumar, R. & Davidson, N. (2013). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity for Water and Wetlands*. IEEP, London and Brussels; Ramsar Secretariat, Gland.
- Underwood, G. J. C., & Kromkamp, J. (1999). Primary production by phytoplankton and microphytobenthos in estuaries. *Advances in Ecological Research*, 29: 93-153.
- Wetlands International. (2012a). Saving waterbirds. Retrieved from <http://www.wetlands.org/tabcid/176/Default.aspx> on Monday 17 Jun 2013.
- Wetlands International. (2012b). Waterbird Population Estimates, Fifth Edition. Summary Report. Wetlands International, Wageningen, The Netherlands.
- Wetlands International. (2013). Waterbird Population Estimates. Retrieved from <http://wpe.wetlands.org> on Sunday 23 Jun 2013.
- Wilson, H. B., Kendall, B. E., Fuller, R. A., Milton, D. A., & Possingham, H. P. (2011). Analyzing variability and the rate of decline of migratory shorebirds in Moreton Bay, Australia. *Conservation Biology*, 25: 758-766.
- 方天熹（1999）。溶解態重金屬元素在淡水河海域及其支流的分布。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告書，台北市。
- 方偉達、薛怡珍、何一先（2008）。河川匯流處低水護岸之生態影響現象—以華江雁鴨自然公園為例。國立臺南大學「環境與生態學報」，1(2)，1-14。
- 中華民國野鳥學會（1992）。淡水河沿岸濕地鳥類調查(一)。中華民國野鳥學會鳥類研究保育叢刊第1號，台北市。
- 台北市野鳥學會（1997）。淡水河沿岸濕地鳥類調查(五)。台北市野鳥學會，台北市，120頁。
- 李允如（2005）。關渡自然公園內棲地管理對水鳥之影響。台灣大學碩士論文，台北市。
- 李培芬、柯佳吟（2007）。從業餘觀察到學術研究：談挖子尾自然保留區的鳥類監測。華江濕地研討會論文集（摘要），台北市。
- 林明志（1994）。關渡地區鳥類群聚動態與景觀變遷之關係。輔仁大學碩士論文，新北市。
- 林佩佩（1995）。關渡自然公園預定地景觀變遷對鳥類群聚結構的影響。台灣大學碩士論文，台北市。



- 林芳儀（2001）。景觀變遷對於鳥類群聚時空分布之影響—以關渡自然公園為例。台灣大學碩士論文，台北市。
- 施上粟、陳章波、胡通哲、葉明峰（2006）。淡水河江子翠地區河防安全及河川生態棲地檢討規劃。經濟部水利署第十河川局，台北市。
- 潘天祺（1998）。台灣北部淡水河沿岸鳥類及源之組成與時空變異。台灣大學碩士論文，台北市。
- 劉小如（2001）。台灣海岸地區環境生態敏感區鳥類相調查。行政院環保署，台北市。
- 戴漢彰（2009）。關渡自然公園棲地經營管理對鳥類相的影響。台灣大學碩士論文，台北市。
- 謝蕙蓮、陳章波、黃守忠、范嵐楓、陳佳宜、蔡碧芝（2008）。淡水河大漢新店濕地復育與經營管理之研究。第一屆亞洲濕地大會中文論文集，65-79 頁。
- 謝蕙蓮（2011）。淡水河大漢新店濕地 復育與經營管理之研究 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告書，台北市。

附錄一 各樣站調查日期及資料來源附錄一



冬季年份	月份	挖子尾	關渡 自然公園	關渡* 自然保留區	社尖	社淡	成子寮	蘆洲	華江橋	華中橋	中正橋
1991	11	11/10	11/10	11/10	11/10	11/10	11/10		11/10	11/10	11/10
	12	12/8	12/8	12/8	12/8	12/8	12/8		12/8	12/8	12/8
	1	1/19	1/19	1/19	1/19	1/19	1/19		1/19	1/19	1/19
	2	2/16	2/16	2/16	2/16	2/16	2/16		2/16	2/16	2/16
1992	11	11/15	11/15	11/15	11/15	11/15	11/15		11/15	11/15	11/15
	12	12/20	12/20	12/20	12/20	12/20	12/20		12/20	12/20	12/20
	1	1/17	1/17	1/17	1/17	1/17	1/17		1/17	1/17	1/17
	2	2/28	2/28	2/28	NA	2/28	2/28		2/28	2/28	2/28
1993	11	11/21	11/21	11/21	11/21	11/21	11/21		11/21	11/21	11/21
	12	12/19	12/19	12/19	12/19	12/19	12/19		12/19	12/19	12/19
	1	1/23	1/23	1/23	1/23	1/23	1/23		1/23	1/23	1/23
	2	2/20	2/20	2/20	2/20	2/20	2/20		2/20	2/20	2/20
1994	11	11/20	11/20	11/20	11/20	11/20	11/20		11/20	11/20	NA
	12	12/18	12/18	12/18	12/18	12/18	NA		12/18	12/18	NA
	1	1/15	1/15	1/15	1/15	1/15	1/15		1/15	1/15	1/15
	2	2/19	2/19	2/19	2/19	2/19	2/19		2/19	2/19	2/19

* 關渡自然保留區的資料被併入社尖，而本文中的「關渡」只包含現在關渡自然公園的範圍。



冬季年份	月份	挖子尾	關渡 自然公園	關渡 自然保留區	社尖	社淡	成子寮	蘆洲	華江橋	華中橋	中正橋
1995	11	11/19	11/19	11/19	11/19	NA	11/19		11/19	11/19	11/19
	12	12/17	12/17	12/17	12/17	12/17	NA		12/17	12/17	12/17
	1	1/21	1/21	1/21	1/21	1/21	1/21		1/21	1/21	1/21
	2 **	NA	NA	NA	2/11	2/11	NA		2/11	2/11	2/11
1997	11	11/23	11/16	11/16	11/16	11/16	11/16		11/16	11/16	NA
	12	12/21	12/21	12/21	12/21	12/21	12/21		12/21	12/21	12/21
	1	1/18	1/18	1/18	1/18	1/18	1/18		1/18	1/18	1/18
	2	2/22	2/22	2/22	2/22	2/22	2/22		2/22	2/22	2/22
1999	11	11/21	11/21	11/21	11/21	11/21	11/27 *		11/21	11/21	11/21
	12	12/26	12/19	12/19	12/20	12/26	12/25 *		12/26	12/2	NA
	1	1/16	1/16	1/16	1/16	1/30	1/22 *		1/16	1/16	1/16
	2	2/20	2/24 * 2/24+29 *	2/24+29 *	2/29 *	2/28	2/26 *		2/26 *	NA	2/7
2011 #	11	11/27	11/12、26	11/8、23	11/30	11/30	11/22	11/22	11/--	11/24	11/24
	12	1/1	12/17	12/7、23	12/28	12/28	1/2	1/2	12/10	12/26	1/3
	1	1/21	1/7	1/5	1/31	1/31	1/31	1/31	1/25	1/30	1/30
	2	2/29	2/11	2/11	2/14	2/14	2/13	2/13	2/11	2/28	2/22

** 1995 年 2 月因過多樣站缺少資料，故只採計 11 月至 1 月。

* 資料來源為「台灣海岸地區環境生態敏感區鳥類相調查」，關渡自然保留區分兩天作完調查。

2011 年的調查，除關渡與華江橋由台北鳥會執行，其餘由本研究進行。關渡自然公園及關渡自然保留區在某些月份進行兩次調查，在進行與數量相關的分析時，採用兩次數量平均；與物種數相關的分析，則只採用當月第一次調查。

附錄二 淡水河常見度冬水鳥物種名錄及生物特徵



編號	物種俗名	學名	生物特徵						繁殖地 棲地偏好
			棲地偏好	廣狹食性	肉草食性	國際趨勢	繁殖區域	度冬區域	
1	大白鷺	<i>Egretta alba</i>	Both	Specialist	Carn	Dec	EAsia	Oceania	Both
2	小水鴨	<i>Anas crecca</i>	Both	Specialist	Herb	Dec	HiArctic	EAsia	Freshwater
3	小白鷺	<i>Egretta garzetta</i>	Both	Generalist	Carn	NA	TwResid	TwResid	Both
4	小環頸鶲	<i>Charadrius dubius</i>	Freshwater	Specialist	Carn	Stable	EAsia	SEAsia	Freshwater
5	小瓣鴕	<i>Vanellus vanellus</i>	Freshwater	Specialist	Carn	Dec	EAsia	EAsia	Freshwater
6	中白鷺	<i>Egretta intermedia</i>	Freshwater	Specialist	Carn	Dec	EAsia	Oceania	Freshwater
7	田鶴	<i>Gallinago gallinago</i>	Freshwater	Generalist	Omn	Dec	SRussia	SEAsia	Freshwater
8	尖尾鴨	<i>Anas acuta</i>	Both	Specialist	Herb	Dec	HiArctic	EAsia	Freshwater
9	灰斑鴕	<i>Pluvialis squatarola</i>	Coastal	Specialist	Carn	Dec	HiArctic	Oceania	Freshwater
10	赤頸鴨	<i>Anas penelope</i>	Both	Specialist	Herb	Dec	HiArctic	EAsia	Freshwater
11	夜鷺	<i>Nycticorax nycticorax</i>	Both	Generalist	Carn	Stable	TwResid	TwResid	Both
12	東方環頸鶲	<i>Charadrius alexandrinus</i>	Coastal	Specialist	Carn	Dec	EAsia	SEAsia	Coastal
13	花嘴鴨	<i>Anas poecilorhyncha</i>	Both	Generalist	Herb	Dec	EAsia	EAsia	Both

(續)



編號	物種俗名	學名	生物特徵							繁殖地 棲地偏好
			棲地偏好	廣狹食性	肉草食性	國際趨勢	繁殖區域	度冬區域		
14	金斑鶴	<i>Pluvialis fulva</i>	Both	Generalist	Omn	Dec	HiArctic	Oceania	Freshwater	
15	青足鶲	<i>Tringa nebularia</i>	Both	Generalist	Car	Stable	SRussia	Oceania	Freshwater	
16	紅冠水雞	<i>Gallinula chloropus</i>	Freshwater	Generalist	Omn	NA	TwResid	TwResid	Freshwater	
17	紅嘴鷗	<i>Larus ridibundus</i>	Coastal	Specialist	Carn	Dec	SRussia	EAsia	Both	
18	埃及聖鶲	<i>Threskiornis aethiopicus</i>	Both	Generalist	Carn	NA	TwResid	TwResid	Both	
19	高蹠鶲	<i>Himantopus himantopus</i>	Both	Generalist	Carn	Inc	EAsia	EAsia	Freshwater	
20	琵嘴鴨	<i>Anas clypeata</i>	Both	Specialist	Omn	Dec	SRussia	EAsia	Freshwater	
21	黃頭鶩	<i>Bubulcus ibis</i>	Freshwater	Specialist	Carn	Inc	EAsia	Oceania	Freshwater	
22	黑腹濱鶲	<i>Calidris alpina</i>	Both	Generalist	Omn	Dec	HiArctic	EAsia	Freshwater	
23	綠頭鴨	<i>Anas platyrhynchos</i>	Both	Specialist	Omn	Dec	SRussia	EAsia	Freshwater	
24	蒼鷺	<i>Ardea cinerea</i>	Both	Specialist	Carn	NA	EAsia	EAsia	Both	
25	鳳頭潛鴨	<i>Aythya fuligula</i>	Both	Specialist	Omn	Stable	SRussia	EAsia	Freshwater	
26	磯鶲	<i>Actitis hypoleucos</i>	Both	Generalist	Omn	Dec	SRussia	Oceania	Freshwater	
27	鷹斑鶲	<i>Tringa glareola</i>	Freshwater	Generalist	Omn	Stable	SRussia	Oceania	Freshwater	

這 27 種是用來作趨勢分析的常見物種。

附錄三 淡水河稀有度冬水鳥物種名錄及生物特徵



編號	物種俗名	學名	生物特徵		編號	物種俗名	學名	生物特徵	
			棲地偏好	廣狹食性				棲地偏好	廣狹食性
1	大杓鶴	<i>Numenius arquata</i>	Both	Generalist	16	白腰草鶴	<i>Tringa ochropus</i>	Freshwater	Specialist
2	大紅鶴	<i>Phoenicopterus roseus</i>	NA	NA	17	白腹秧雞	<i>Amaurornis phoenicurus</i>	Freshwater	Generalist
3	大麻鳩	<i>Botaurus stellaris</i>	Freshwater	Specialist	18	白額雁	<i>Anser albifrons</i>	Freshwater	Specialist
4	大濱鶴	<i>Calidris tenuirostris</i>	Coastal	Specialist	19	尖尾鶴	<i>Calidris acuminata</i>	Both	Specialist
5	小青足鶴	<i>Tringa stagnatilis</i>	Both	Specialist	20	帆背潛鴨	<i>Aythya valisineria</i>	NA	NA
6	小燕鷗	<i>Sterna albifrons</i>	Coastal	Specialist	21	豆雁	<i>Anser fabalis</i>	Freshwater	Specialist
7	小鶲	<i>Lymnocryptes minimus</i>	Freshwater	Specialist	22	赤足鶴	<i>Tringa totanus</i>	Coastal	Generalist
8	小鷺鷥	<i>Tachybaptus ruficollis</i>	Freshwater	Specialist	23	赤膀鴨	<i>Anas strepera</i>	Both	Specialist
9	中地鶴	<i>Gallinago megala</i>	Freshwater	Specialist	24	岩鷺	<i>Egretta sacra</i>	Coastal	Specialist
10	反嘴鴒	<i>Recurvirostra avosetta</i>	Both	Generalist	25	東方白鶲	<i>Ciconia boyciana</i>	Freshwater	Specialist
11	反嘴鶲	<i>Xenus cinereus</i>	Coastal	Specialist	26	花鳧	<i>Tadorna tadorna</i>	Coastal	Generalist
12	巴鴨	<i>Anas formosa</i>	Freshwater	Specialist	27	長嘴半蹼鶲	<i>Limnodromus scolopaceus</i>	Both	Generalist
13	白冠雞	<i>Fulica atra</i>	Freshwater	Generalist	28	冠鷺鷥	<i>Podiceps cristatus</i>	Both	Specialist
14	白眉鴨	<i>Anas querquedula</i>	Coastal	Generalist	29	紅胸秋沙	<i>Mergus serrator</i>	Coastal	Specialist
15	白琵鷺	<i>Platalea leucorodia</i>	Both	Generalist	30	紅胸濱鶴	<i>Calidris ruficollis</i>	Both	Specialist

(續)



編號	物種俗名	學名	生物特徵		編號	物種俗名	學名	生物特徵	
			棲地偏好	廣狹食性				棲地偏好	廣狹食性
31	紅領瓣足鶴	<i>Phalaropus lobatus</i>	Coastal	Specialist	43	黑嘴鷗	<i>Larus saundersi</i>	Coastal	NA
32	紅頭潛鴨	<i>Aythya ferina</i>	Both	Generalist	44	緋秧雞	<i>Porzana fusca</i>	Freshwater	Specialist
33	秧雞	<i>Rallus aquaticus</i>	Freshwater	Generalist	45	蒙古鶲	<i>Charadrius mongolus</i>	Coastal	Specialist
34	斑背潛鴨	<i>Aythya marila</i>	Both	Generalist	46	劍鶲	<i>Charadrius placidus</i>	Freshwater	Specialist
35	紫鷺	<i>Ardea purpurea</i>	Both	Specialist	47	鴻雁	<i>Anser cygnoides</i>	Freshwater	Specialist
36	雲雀鶴	<i>Calidris subminuta</i>	Coastal	Specialist	48	瀆鳧	<i>Tadorna ferruginea</i>	NA	Generalist
37	黃小鷺	<i>Ixobrychus sinensis</i>	Freshwater	Specialist	49	翻石鶲	<i>Arenaria interpres</i>	Coastal	Generalist
38	黃足鶴	<i>Tringa brevipes</i>	Both	Specialist	50	羅文鴨	<i>Anas falcata</i>	Both	Specialist
39	黑尾鷗	<i>Larus crassirostris</i>	Coastal	Specialist	51	鐵嘴鶲	<i>Charadrius leschenaultii</i>	Coastal	Specialist
40	黑尾鶴	<i>Limosa limosa</i>	Both	Generalist	52	鶴鶲	<i>Tringa erythropus</i>	Both	Generalist
41	黑面琵鷺	<i>Platalea minor</i>	Both	Specialist	53	鷙鷲	<i>Phalacrocorax carbo</i>	Both	Specialist
42	黑腹燕鷗	<i>Chlidonias hybrida</i>	NA	Specialist					

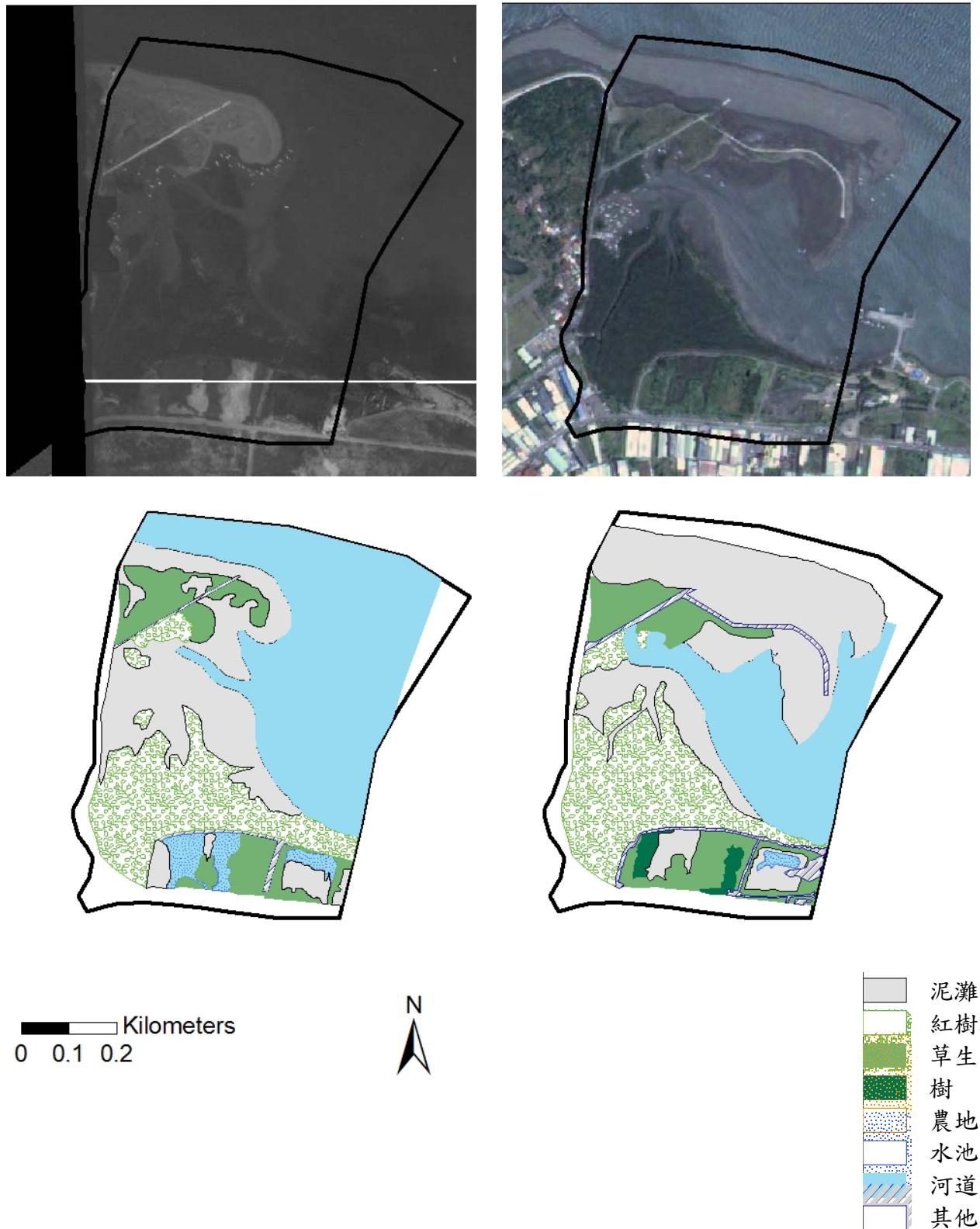
附錄四 九個樣區的遙測影像及地景分類



挖子尾站

1994 年

2011 年

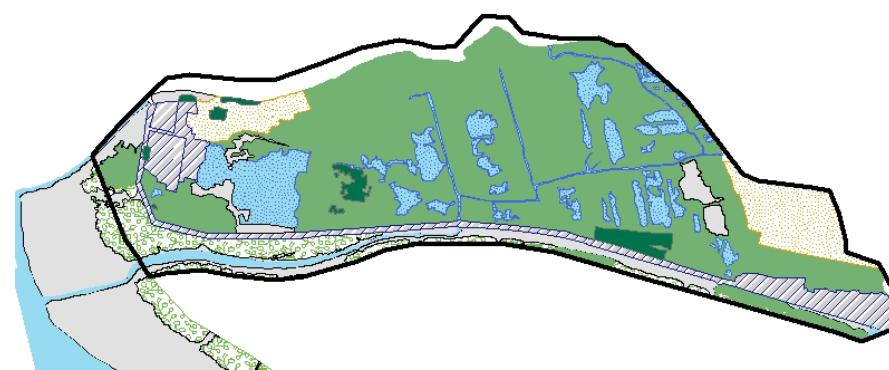


關渡站

1993 年



2010 年



泥灘地
紅樹林
草生地
樹
農地
水池
河道
其他

Kilometers
0 0.15 0.3



社尖、社淡、成子寮站



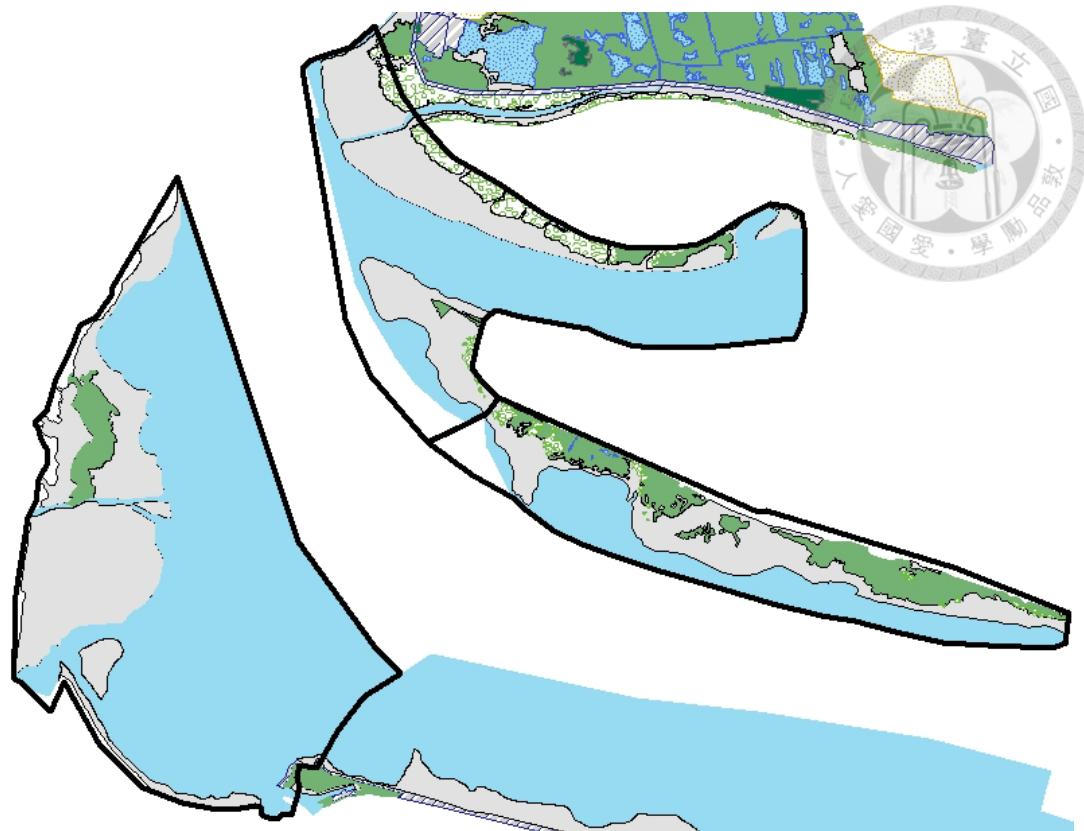
1993 年



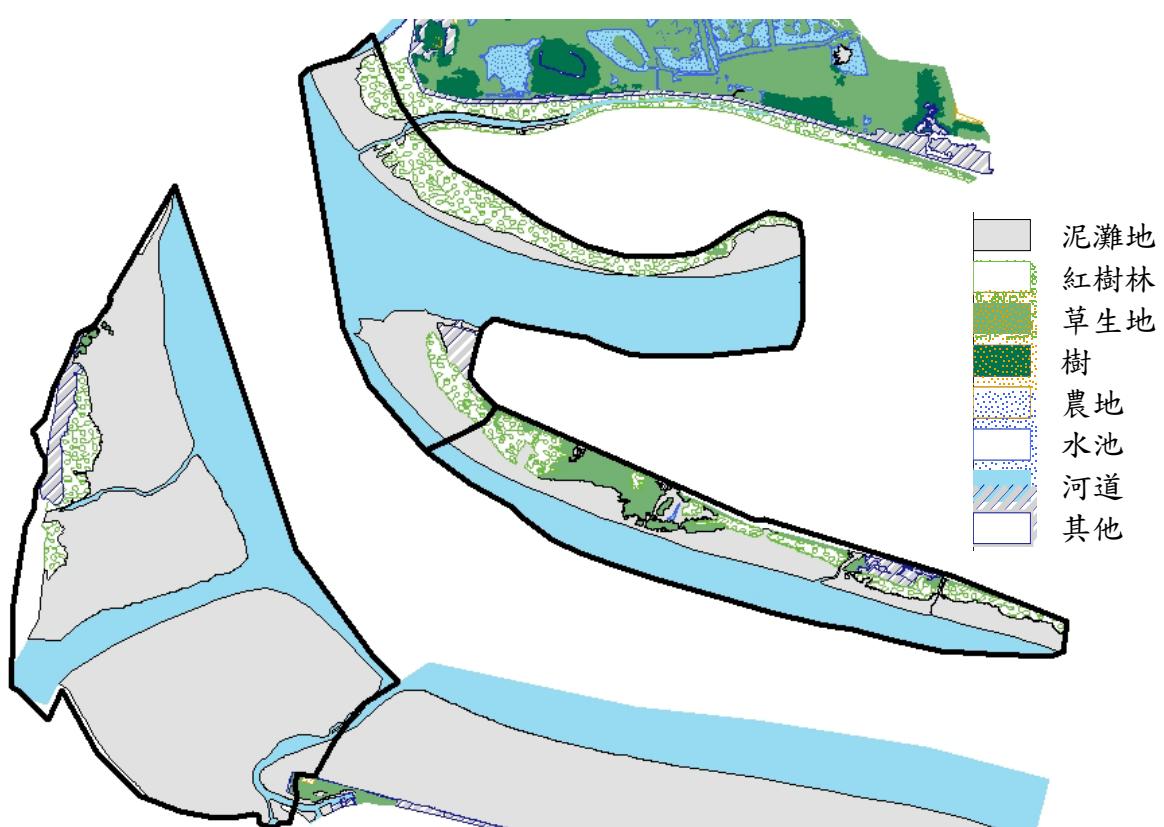
2010 年

Kilometers
0 0.25 0.5





1993 年



2010 年

Kilometers
0 0.25 0.5



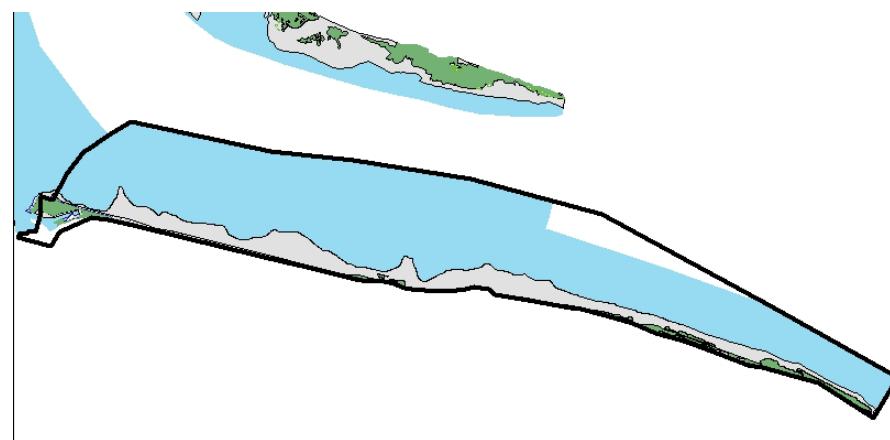


蘆洲站

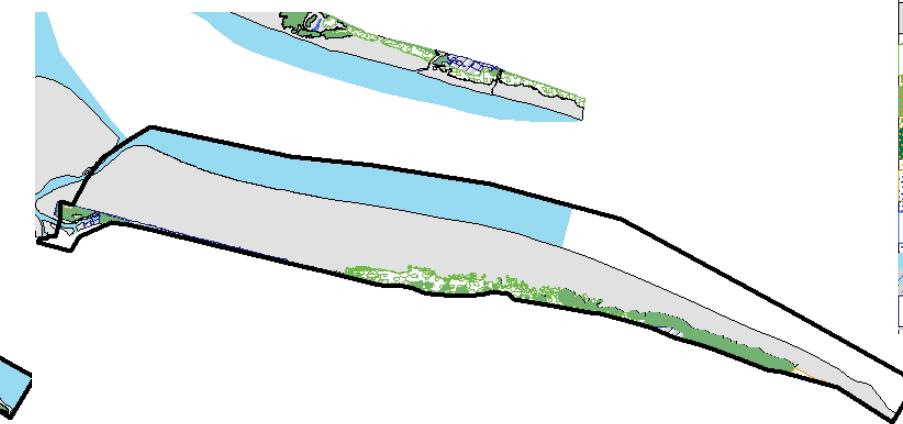
1993 年



2010 年



Kilometers
0 0.3 0.6



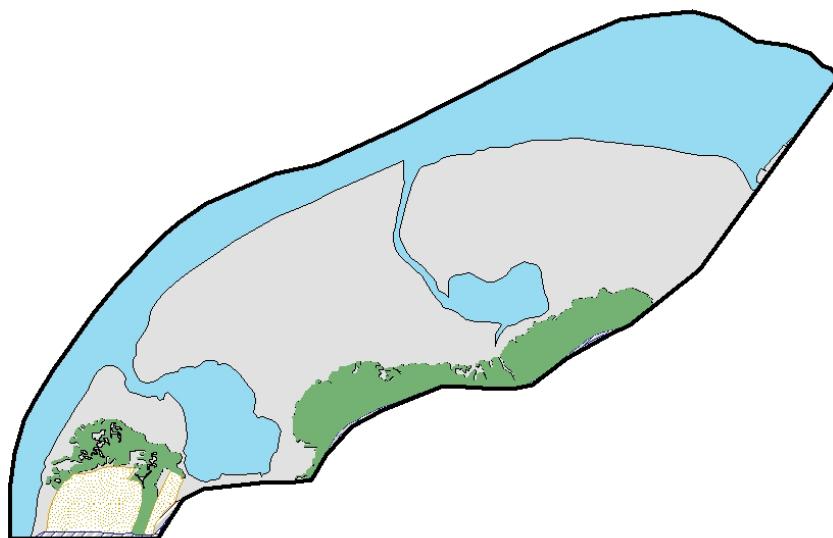
- 泥灘地
- 紅樹林
- 草生地
- 樹
- 農地
- 水池
- 河道
- 其他

華江橋站

1993 年



2010 年



0 0.15 0.3 Kilometers

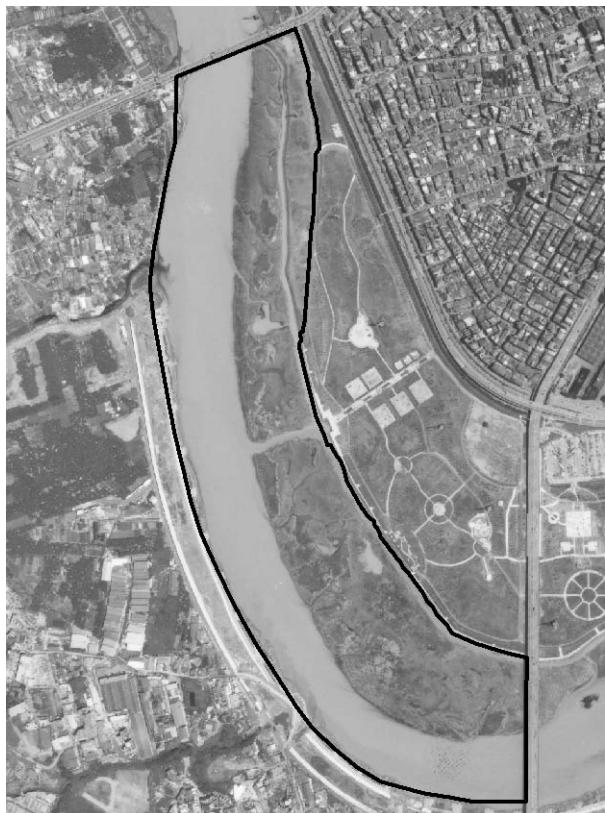


47

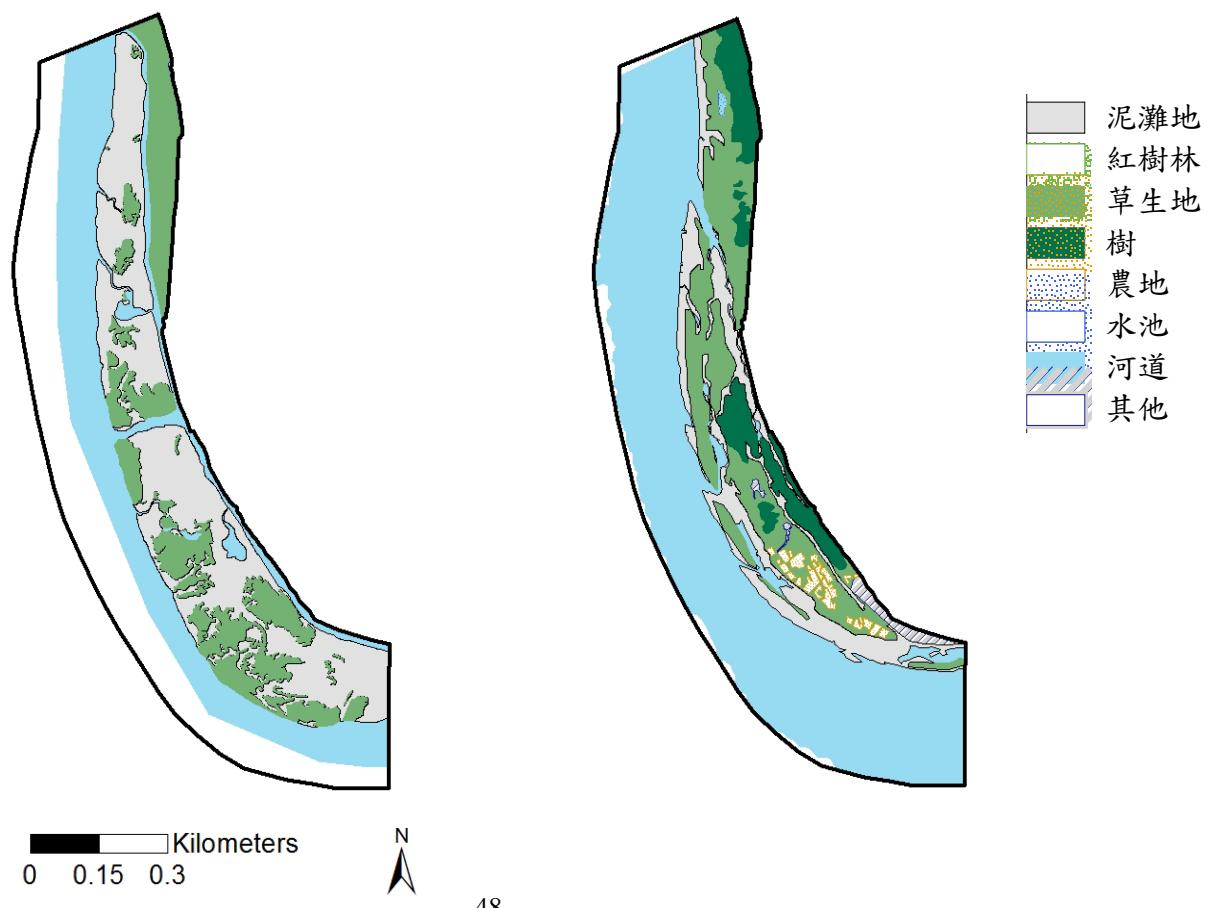
泥灘地
紅樹林
草生地
樹農地
水池
河道
其他

華中橋站

1993 年



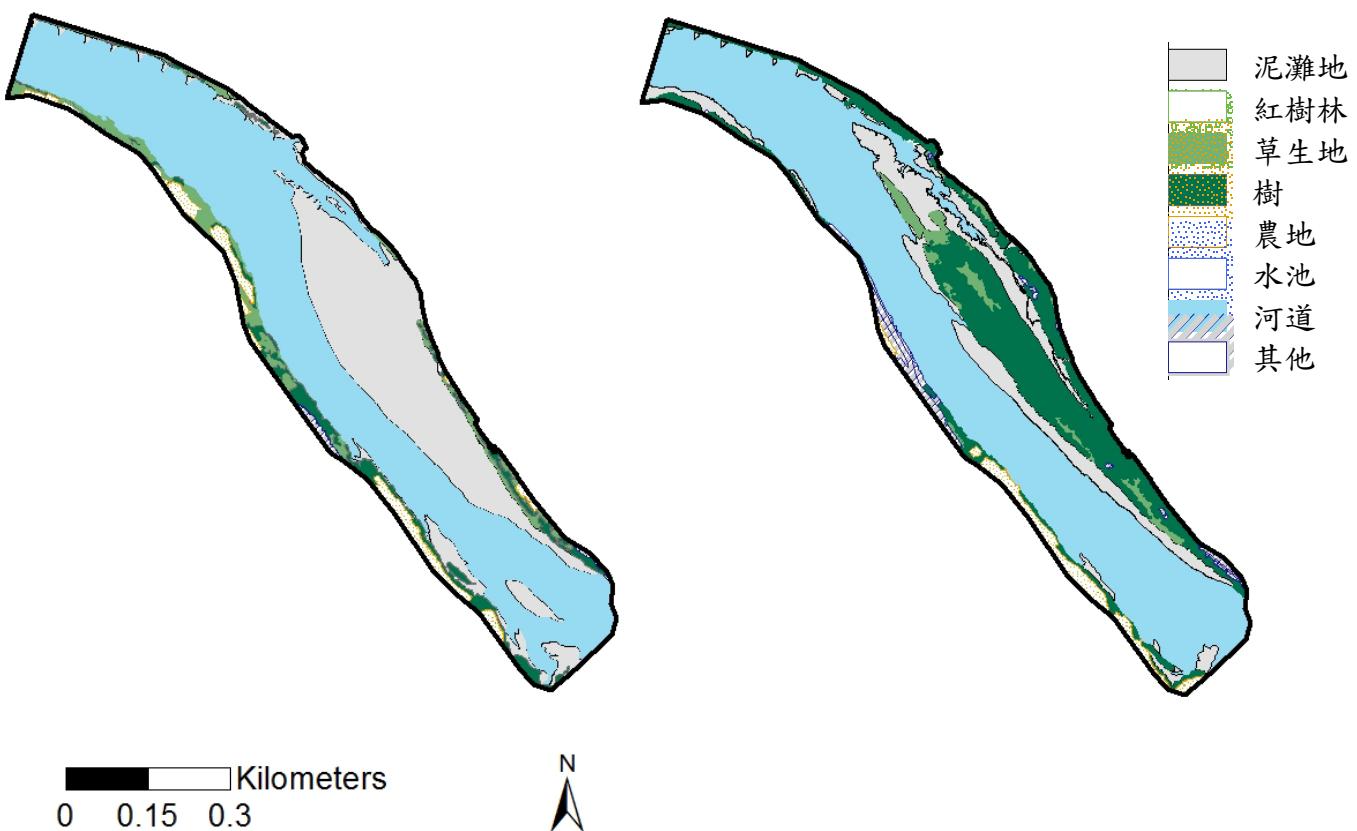
2010 年



中正橋站

1994 年

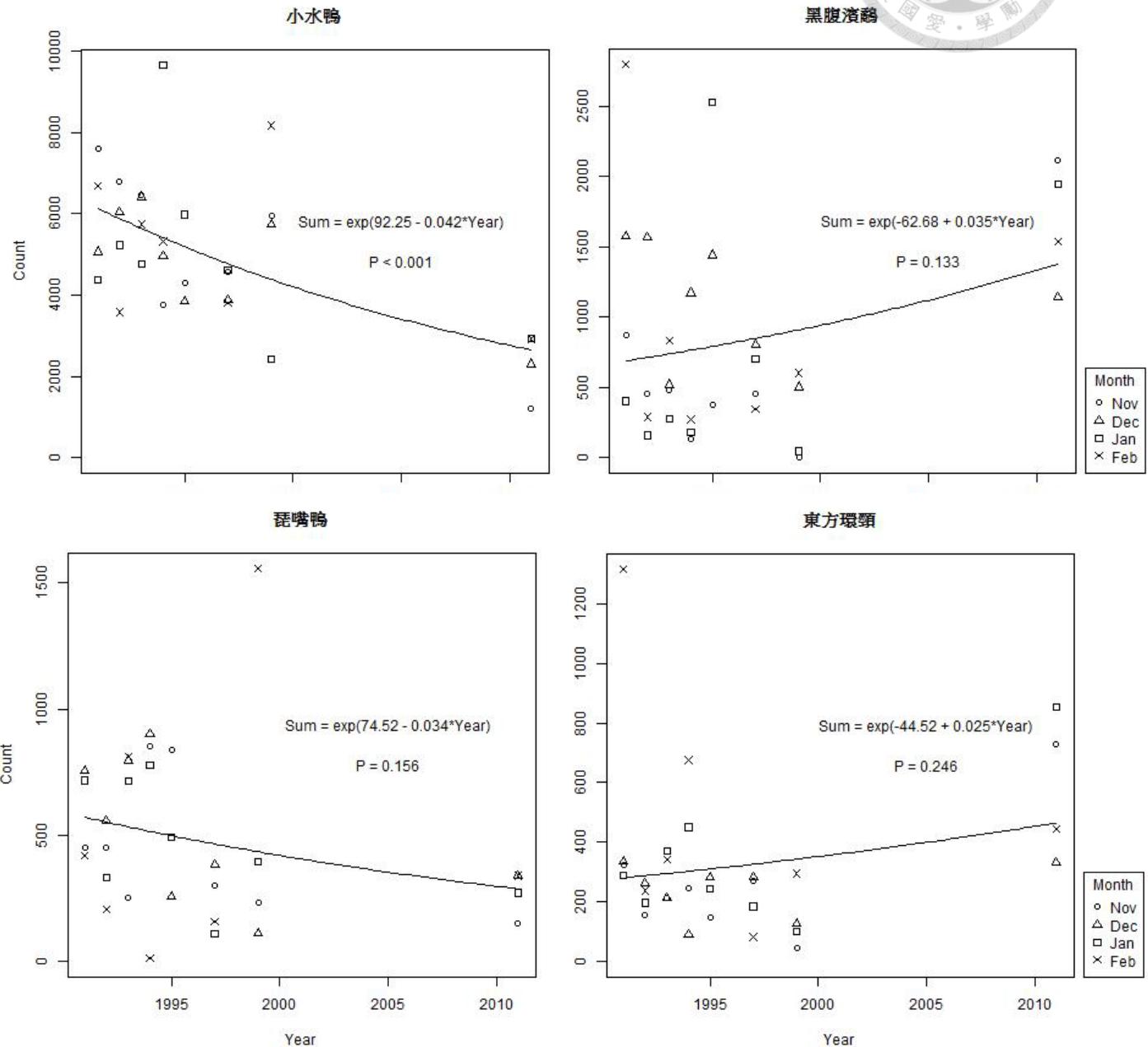
2010 年

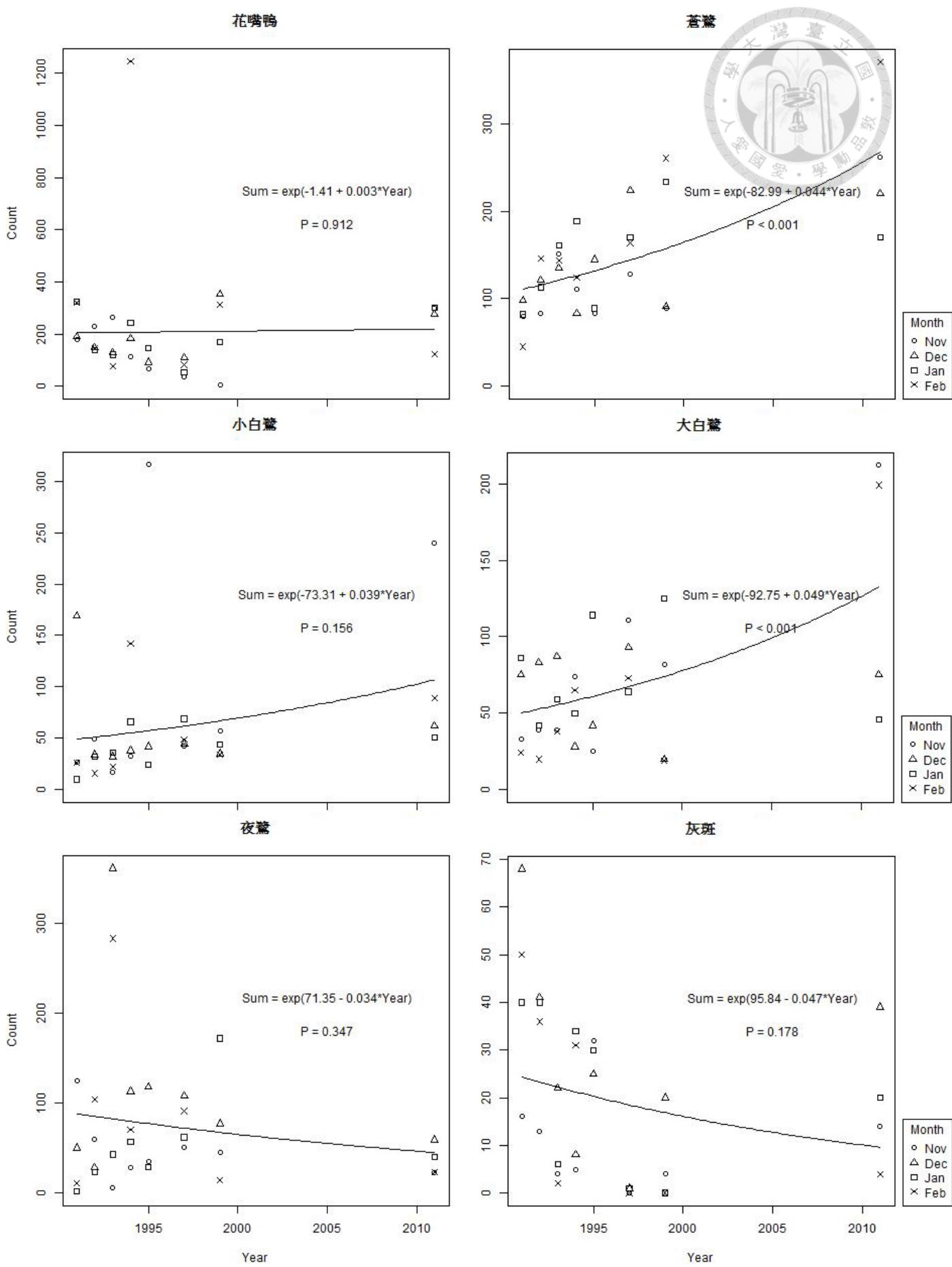


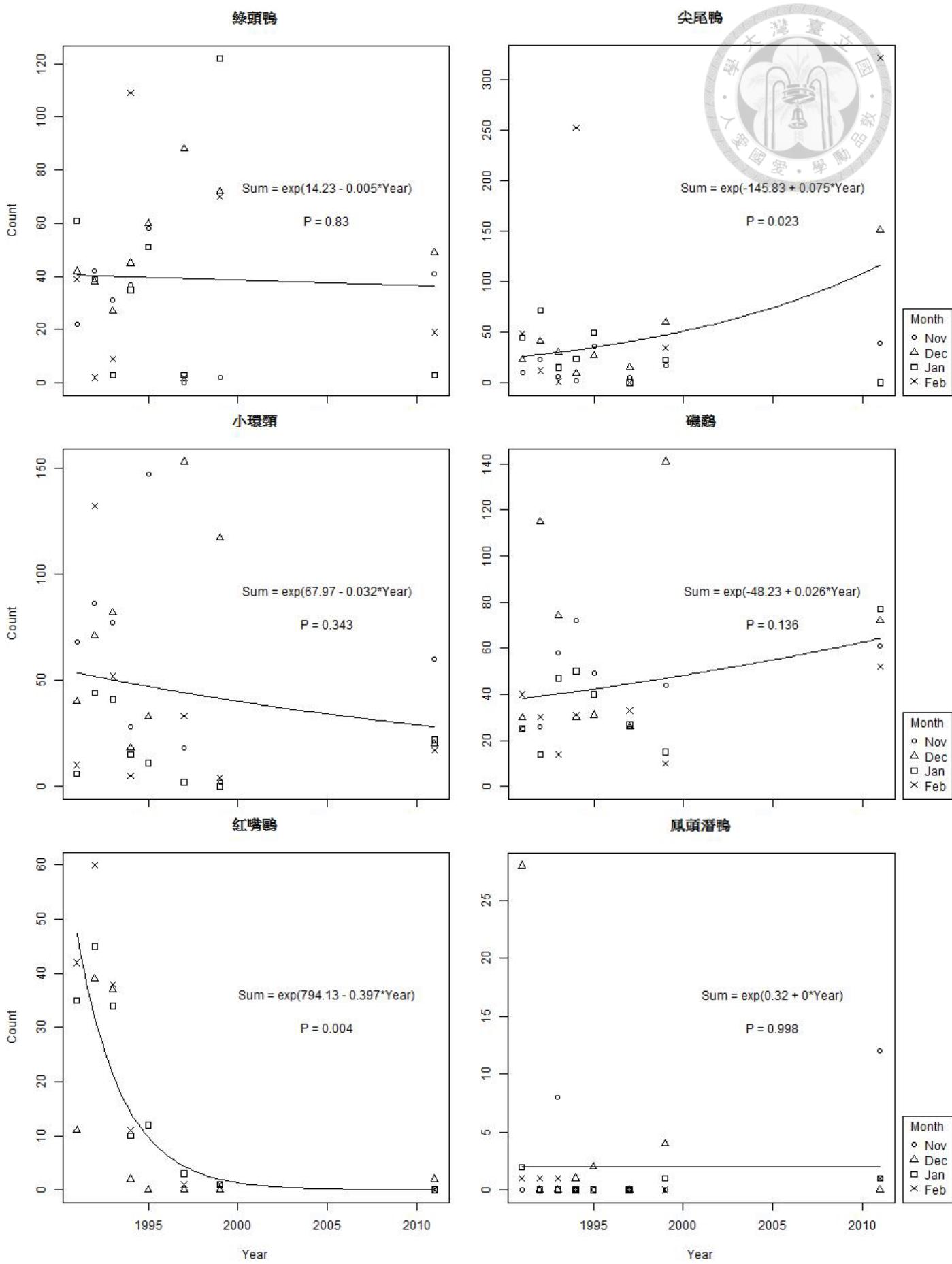
附錄五 27 種常見鳥種的趨勢分析

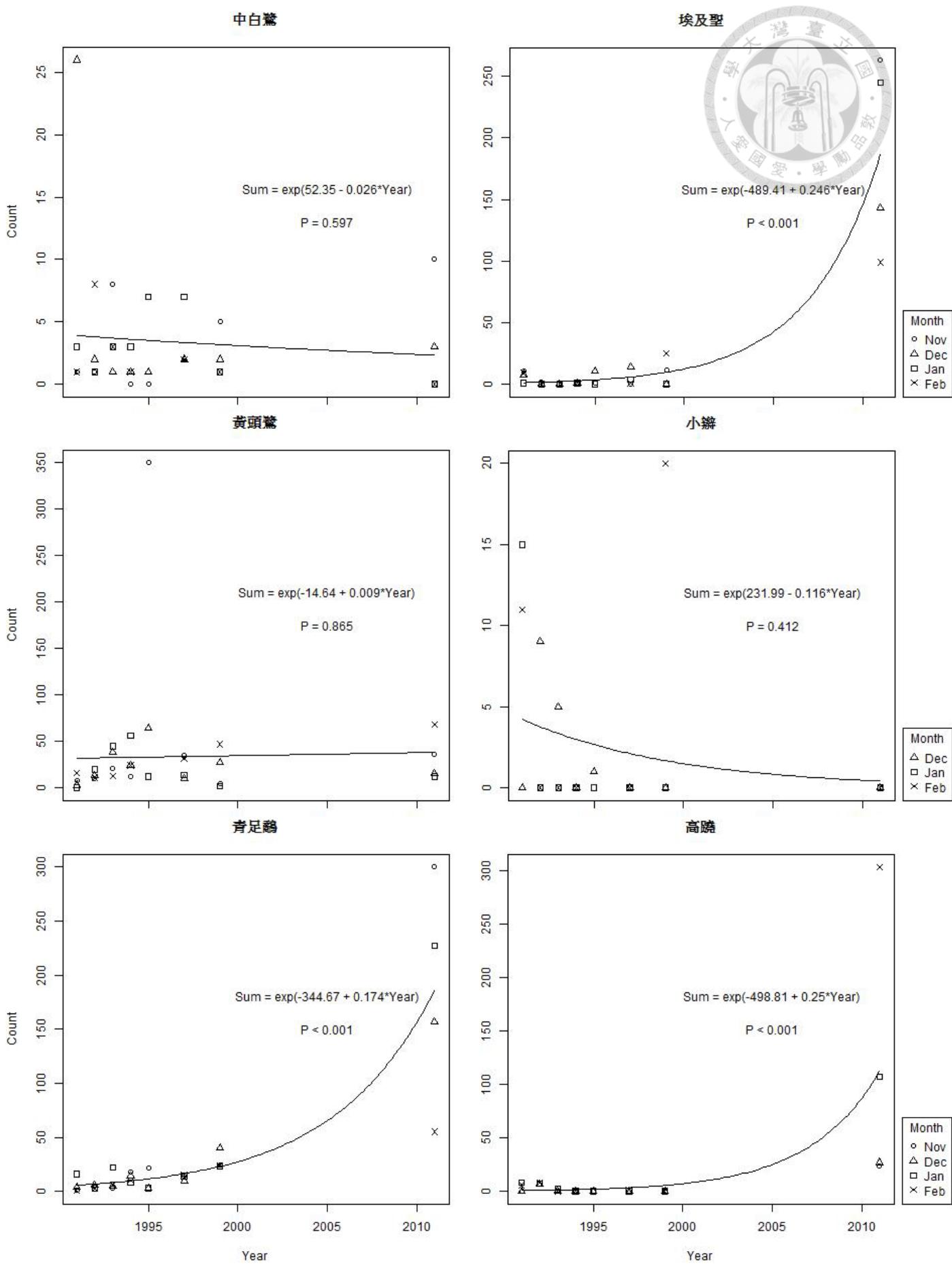


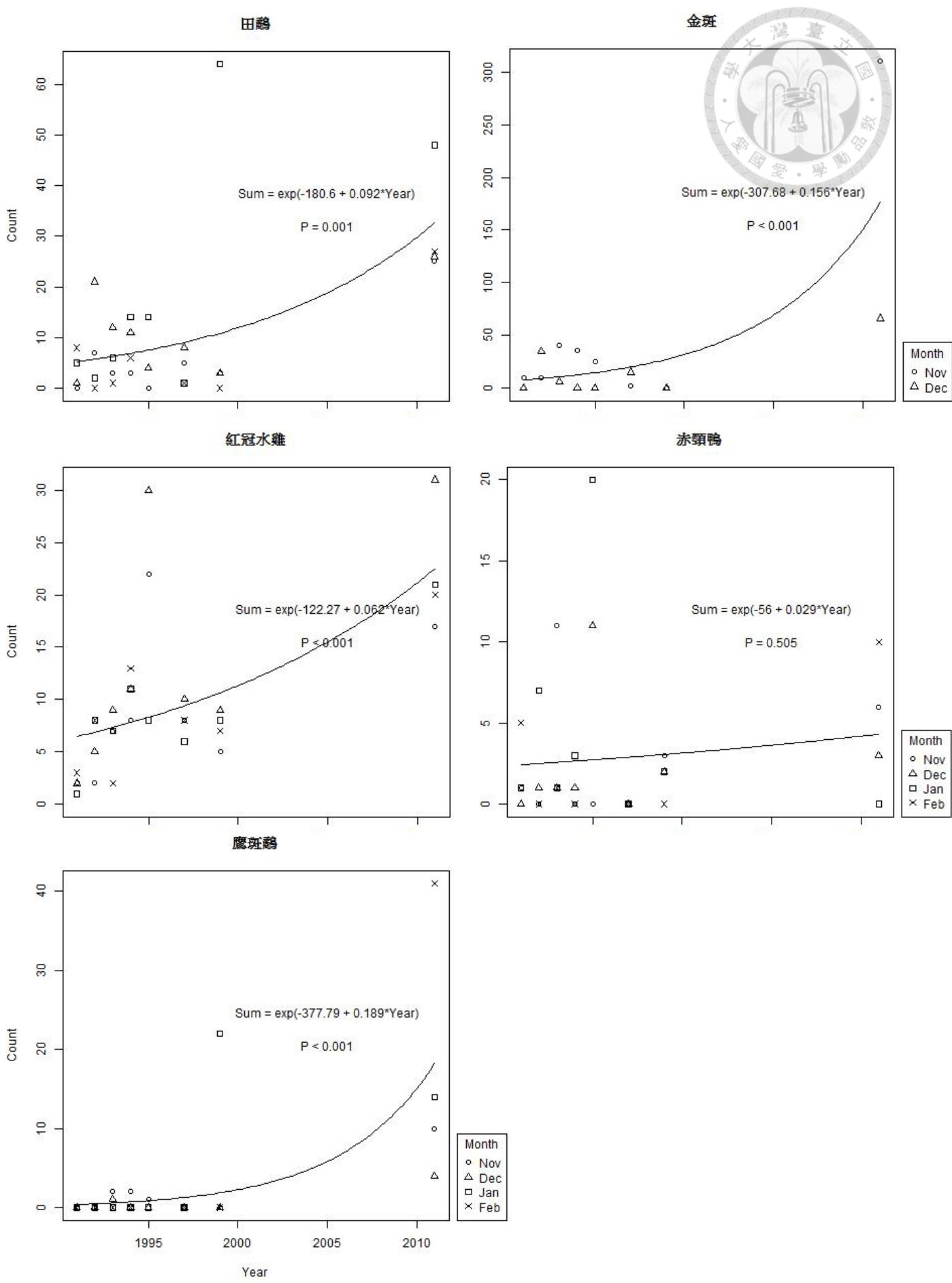
順序依照 1991 年的族群平均大小排列。







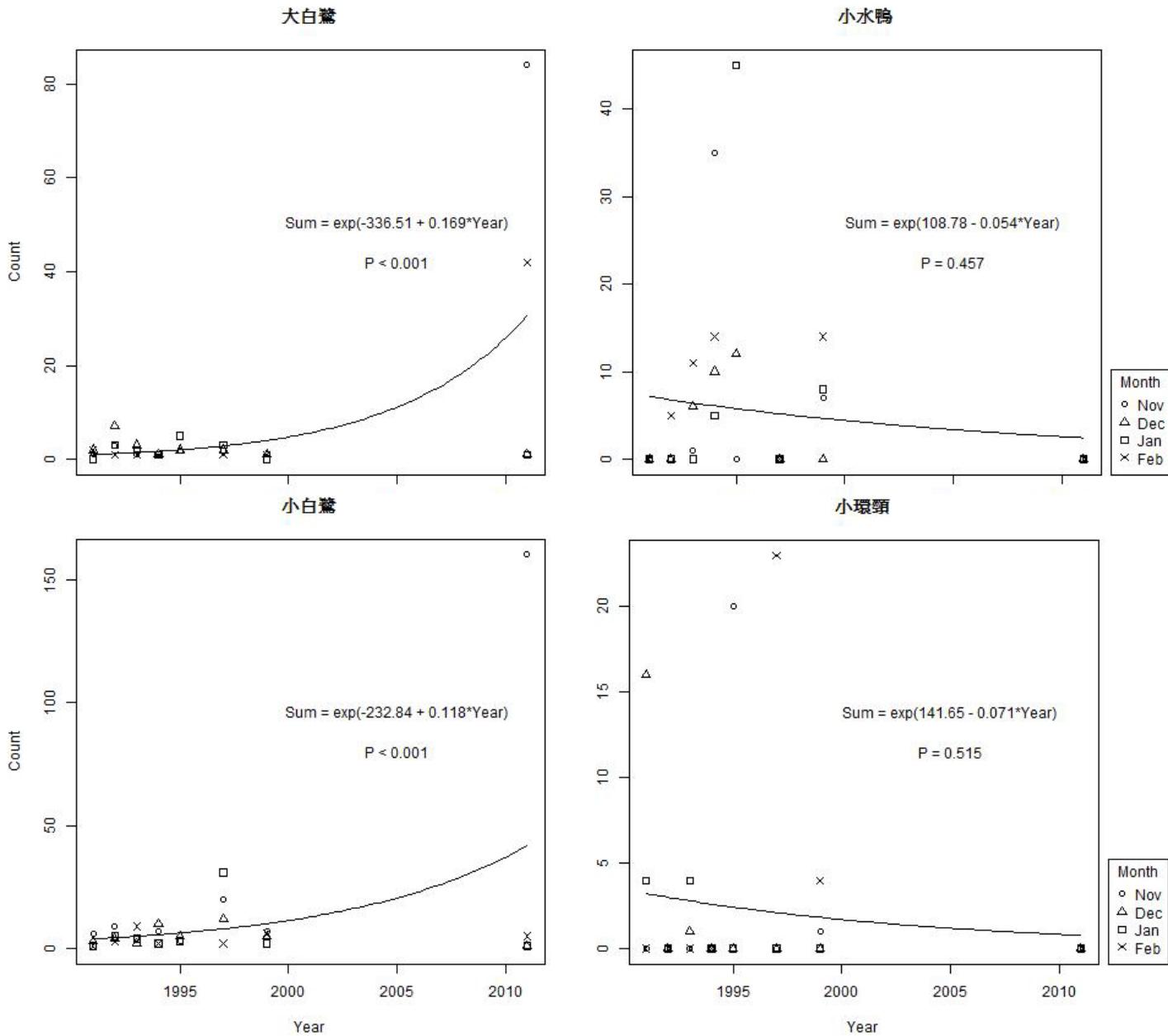


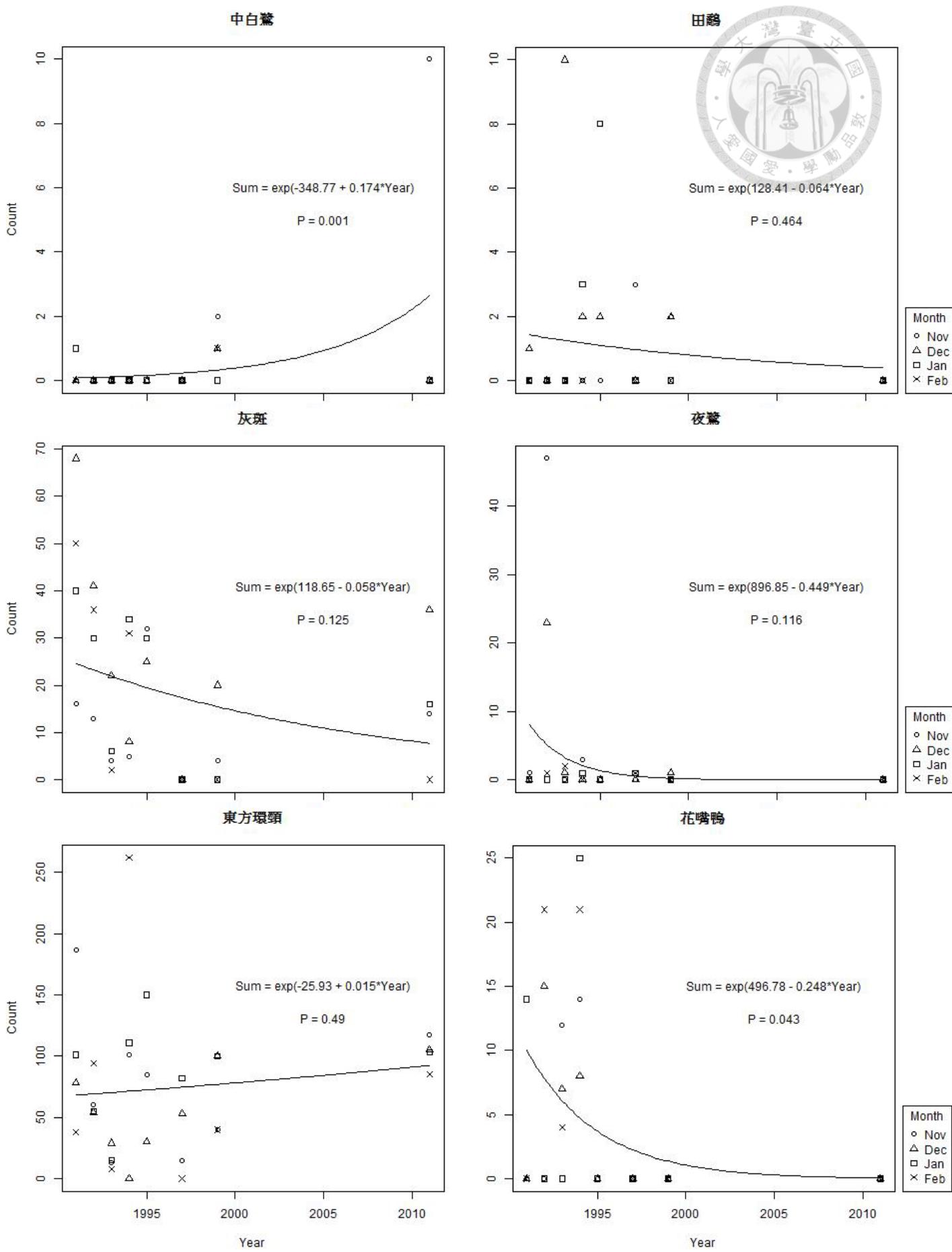


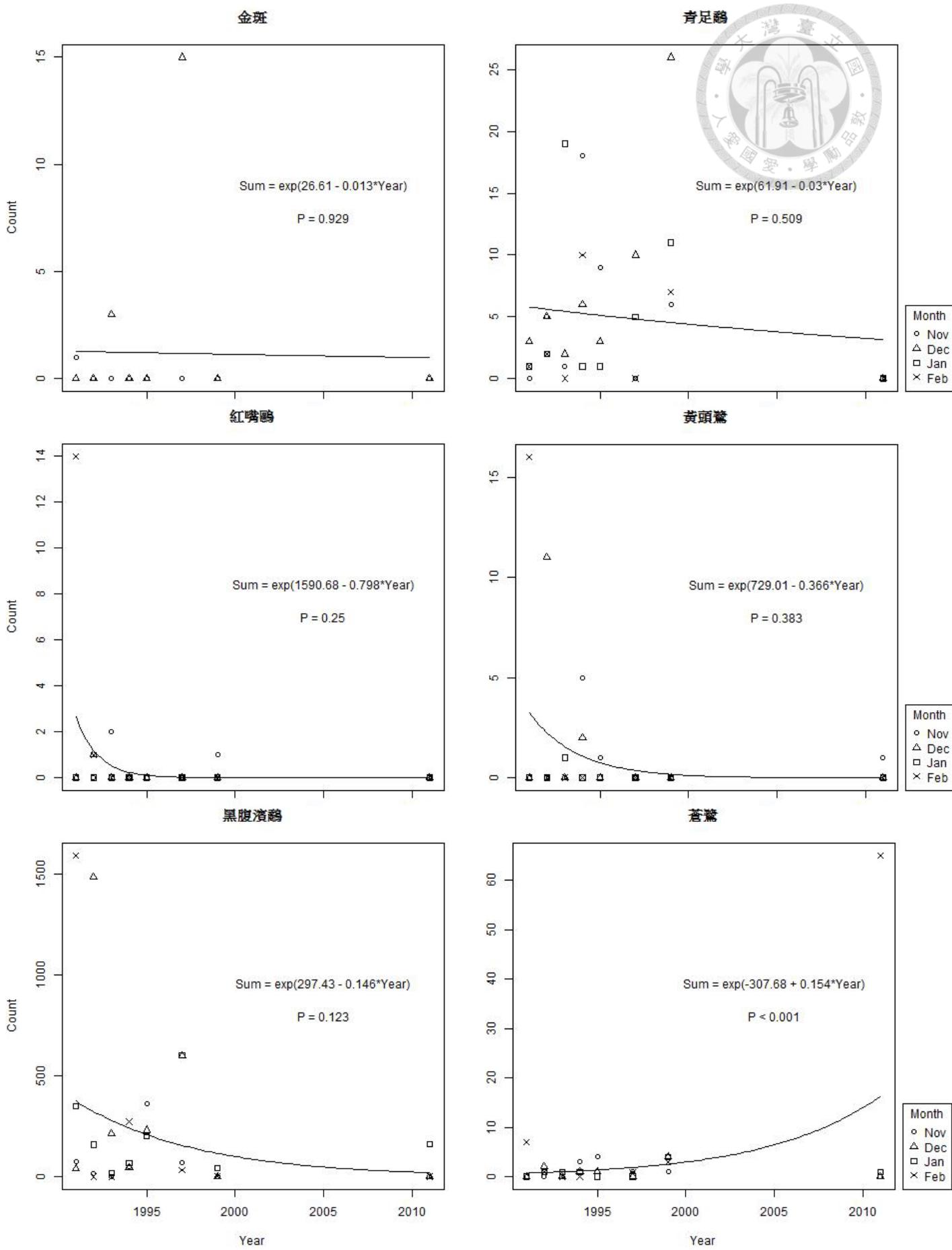
附錄六 27 種常見鳥種於四個樣區的趨勢分析

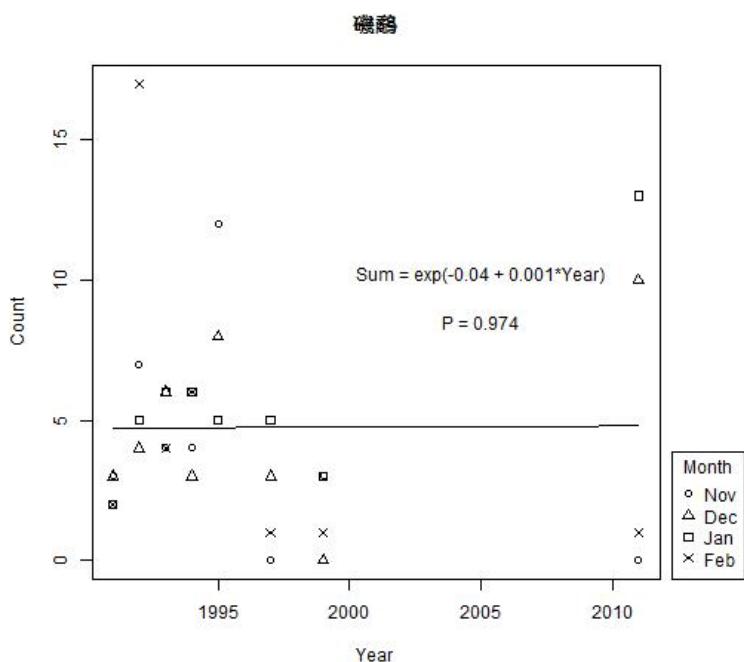


(a) 挖子尾（僅 17 個物種之族群量達 10 隻以上）

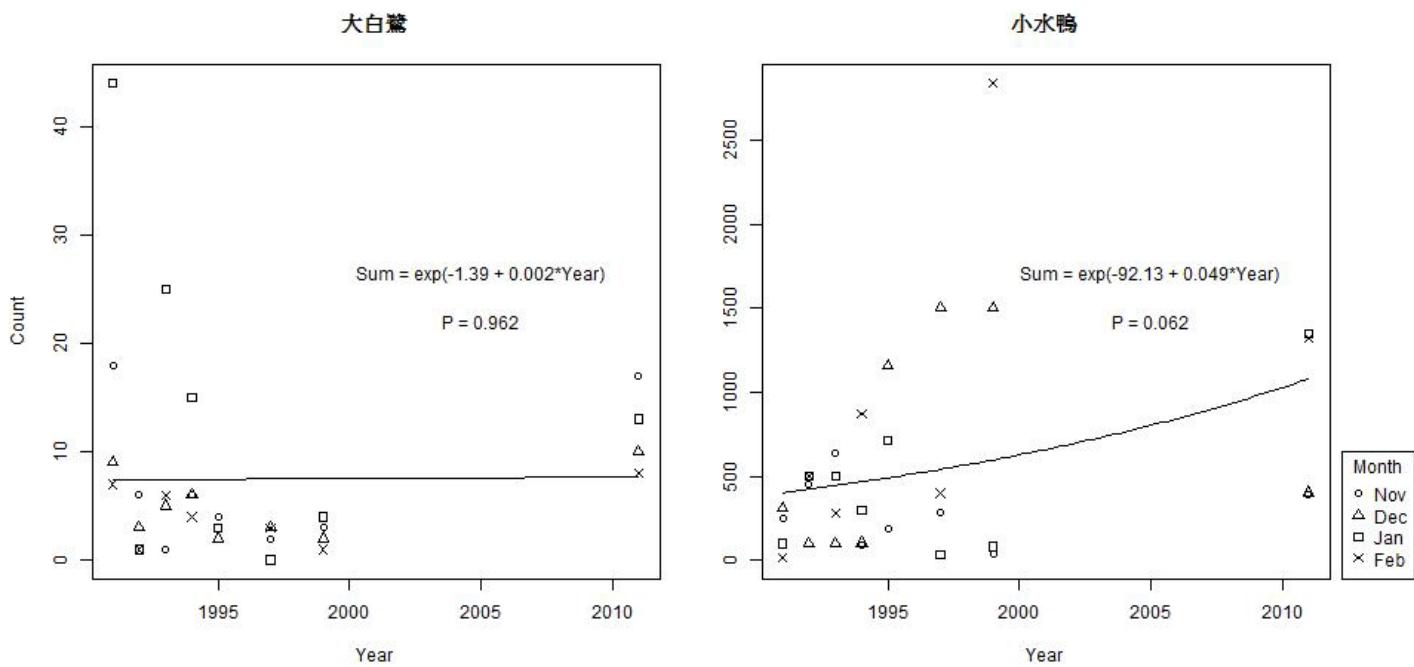


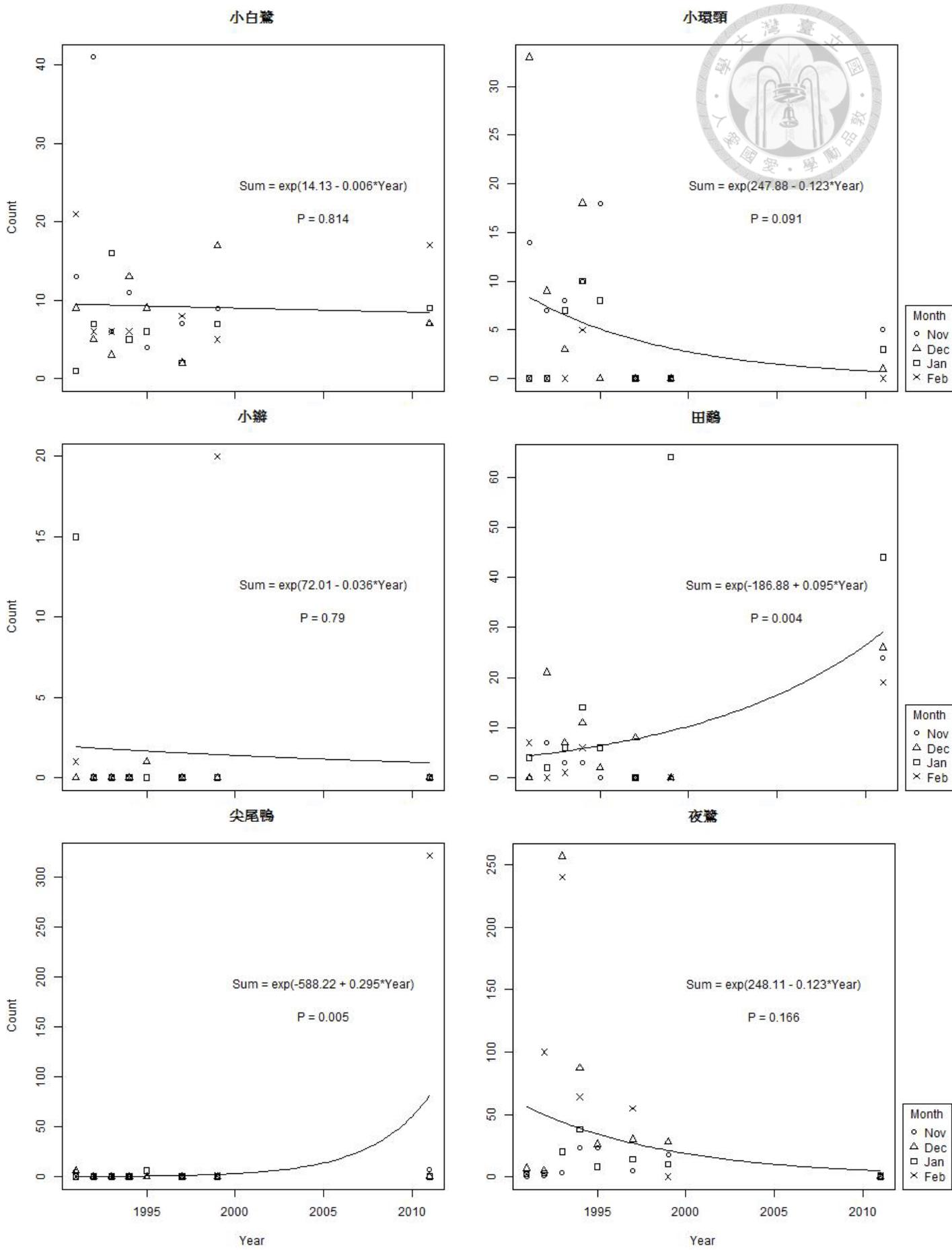


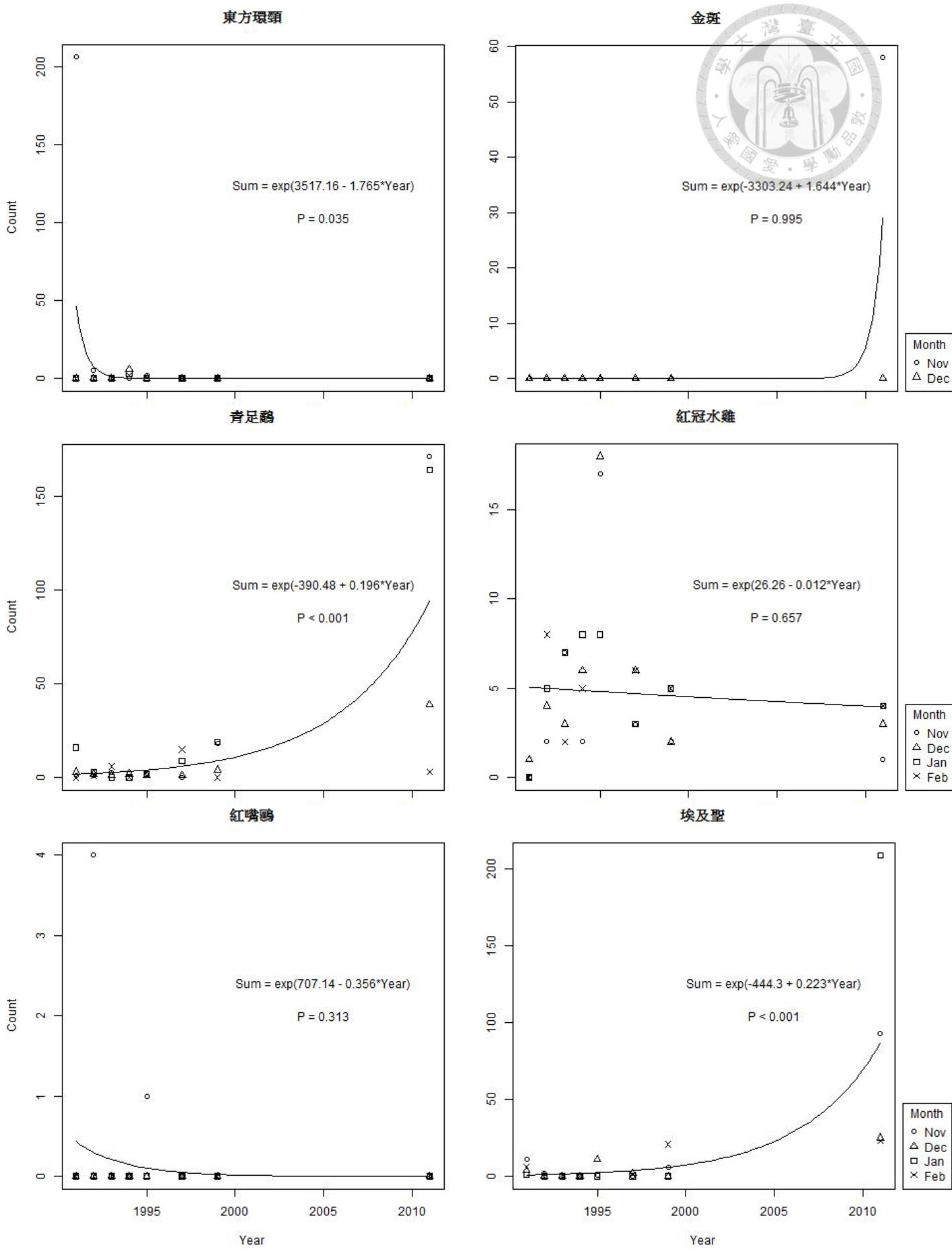


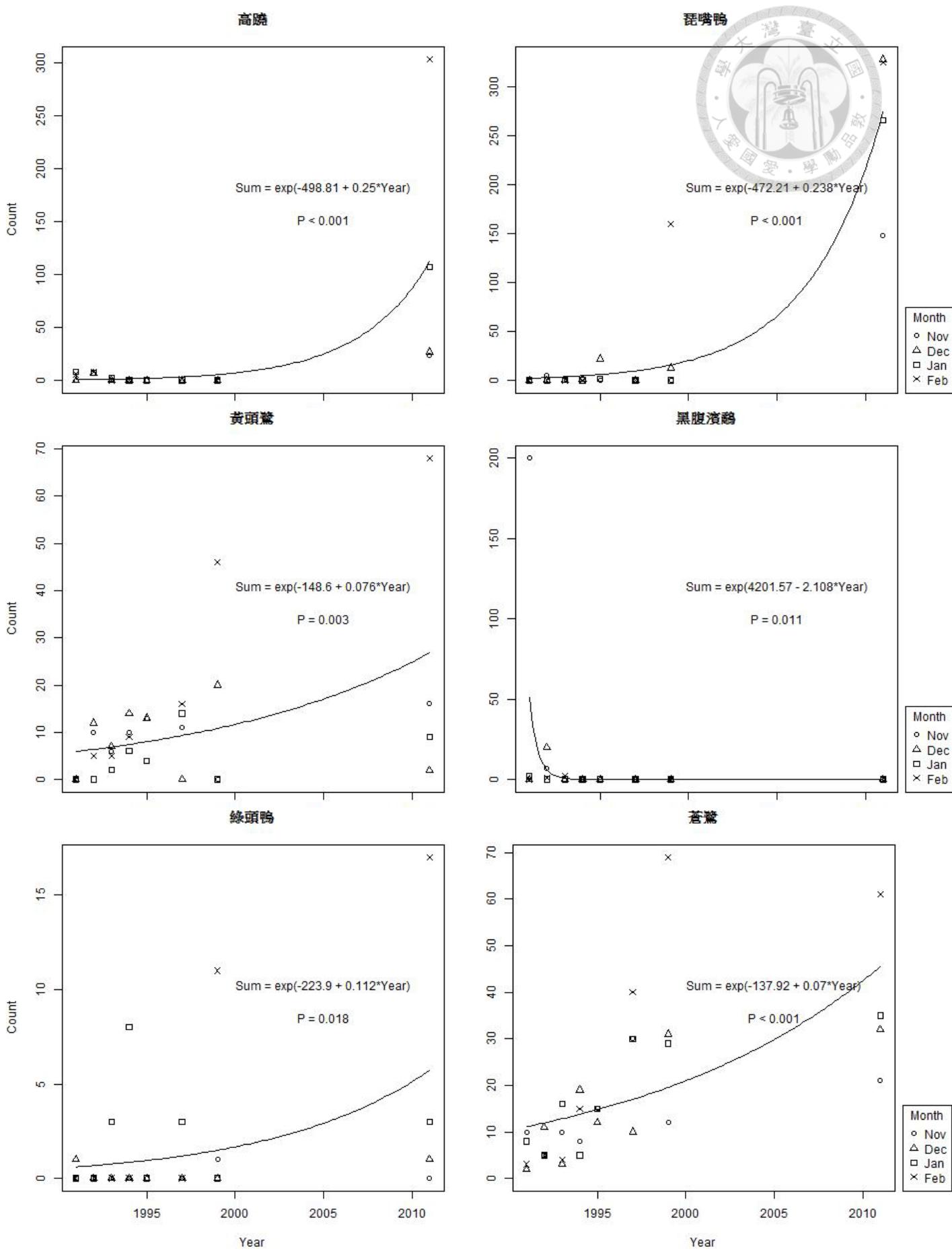


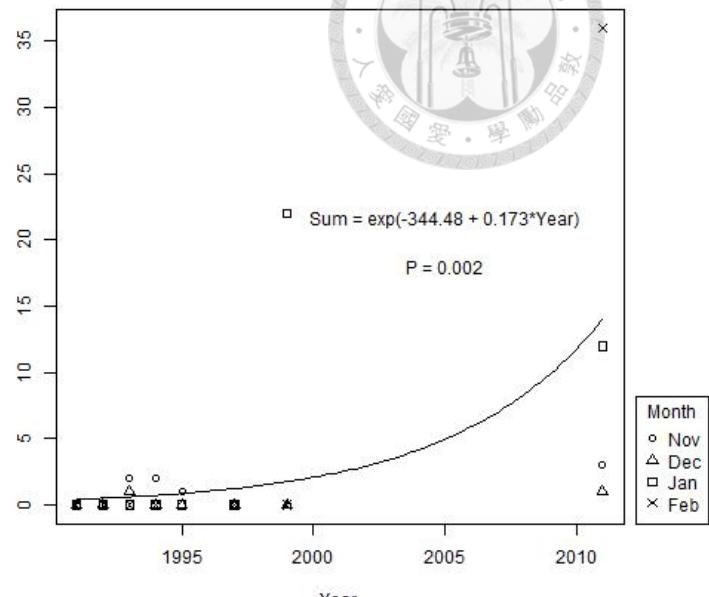
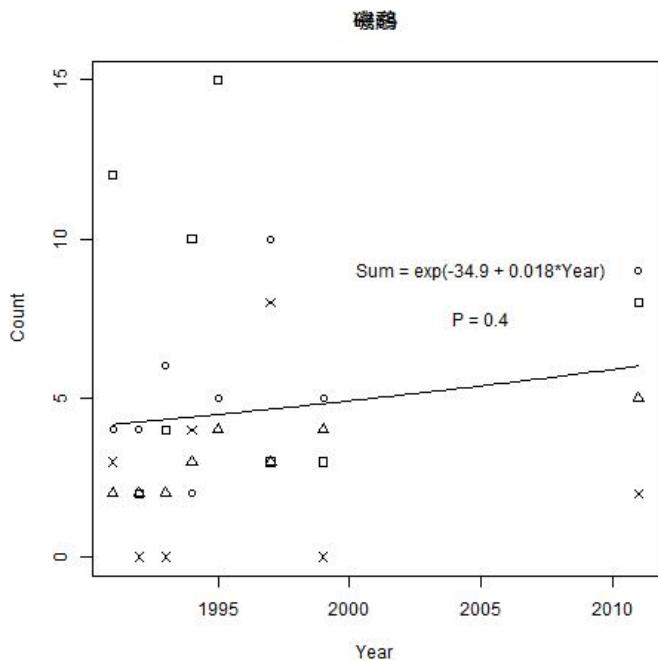
(b) 關渡（僅 22 個物種之族群量達 10 隻以上）



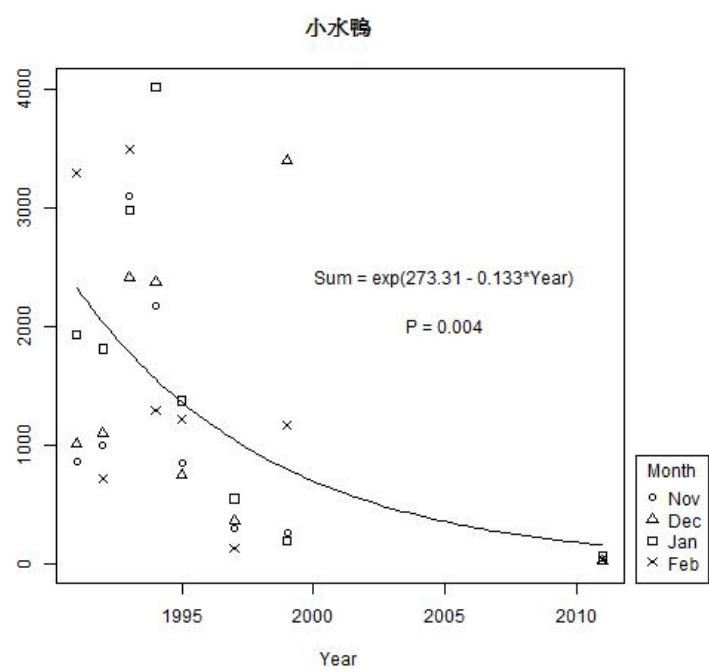
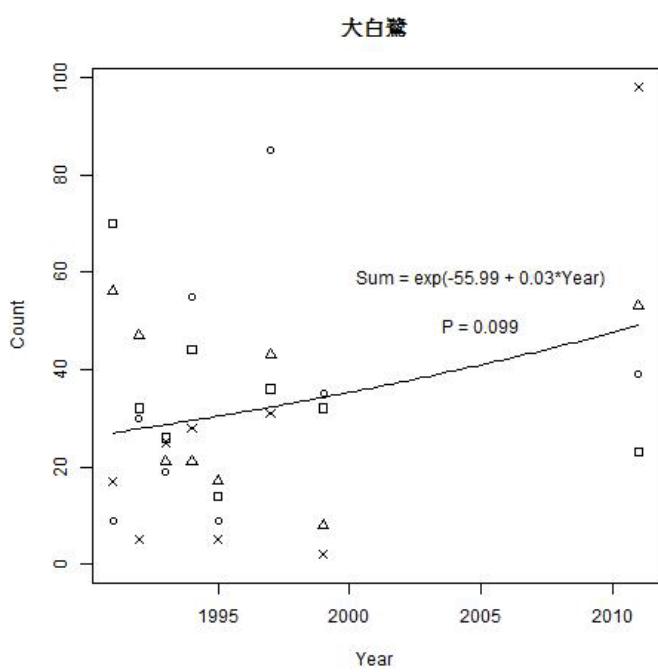


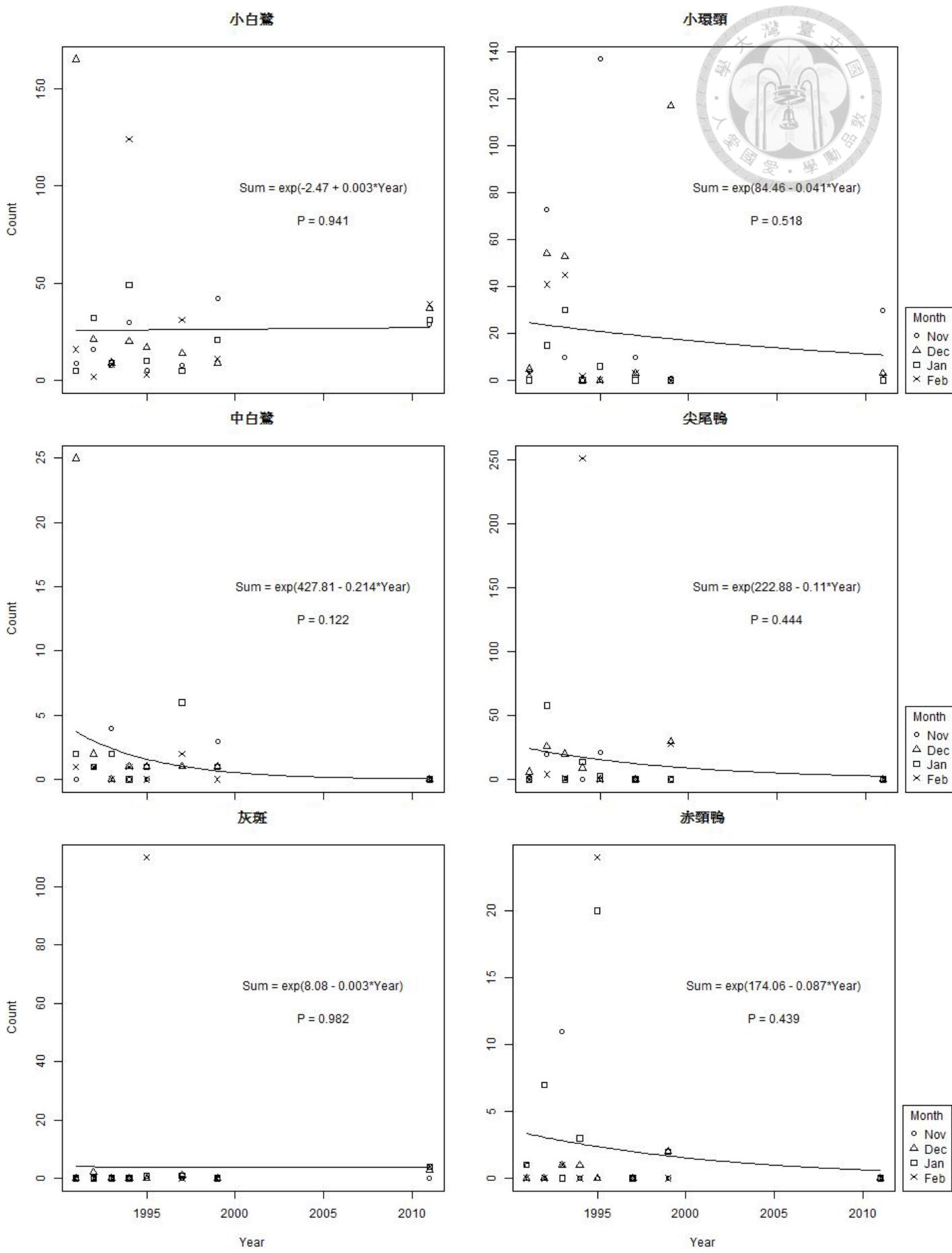


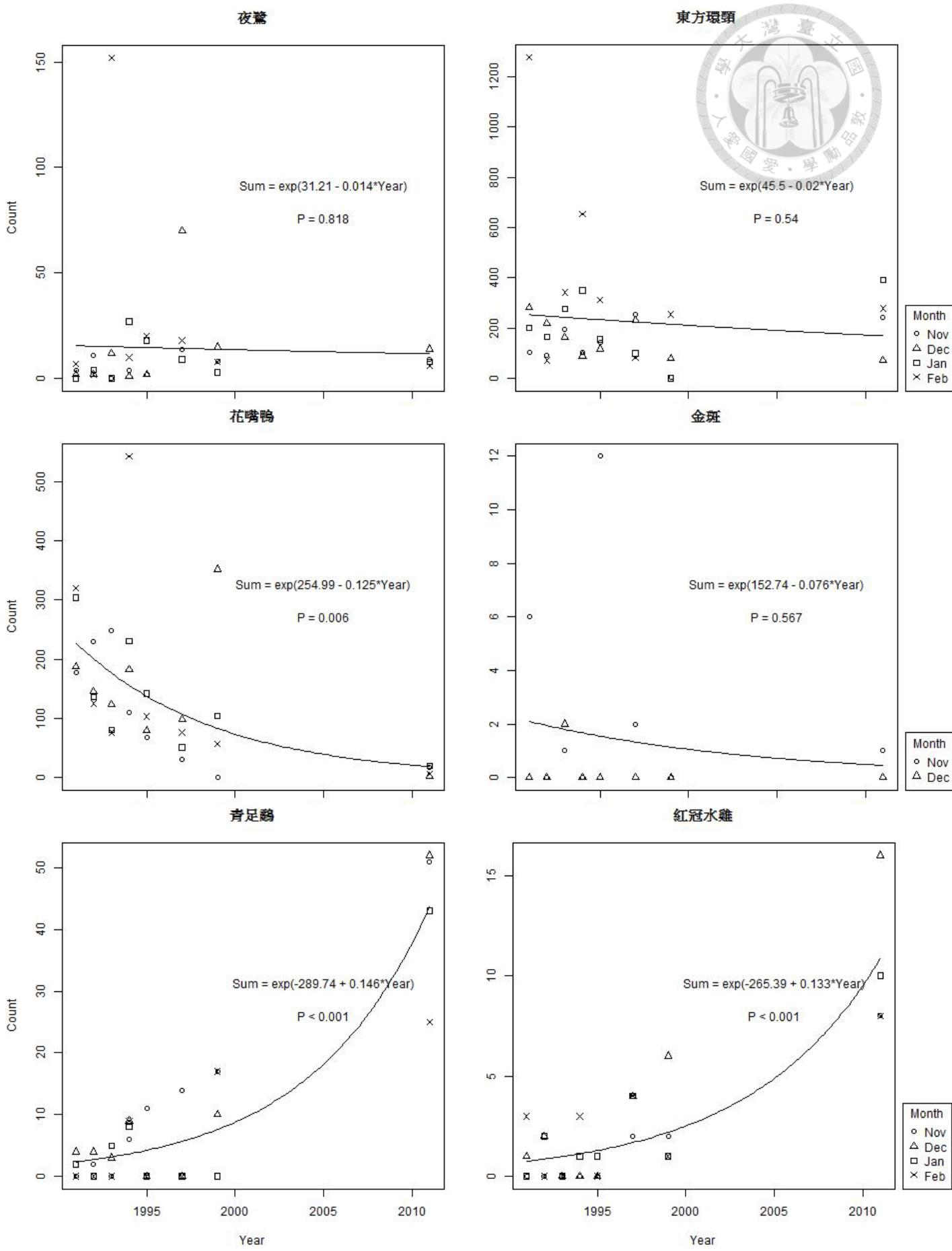


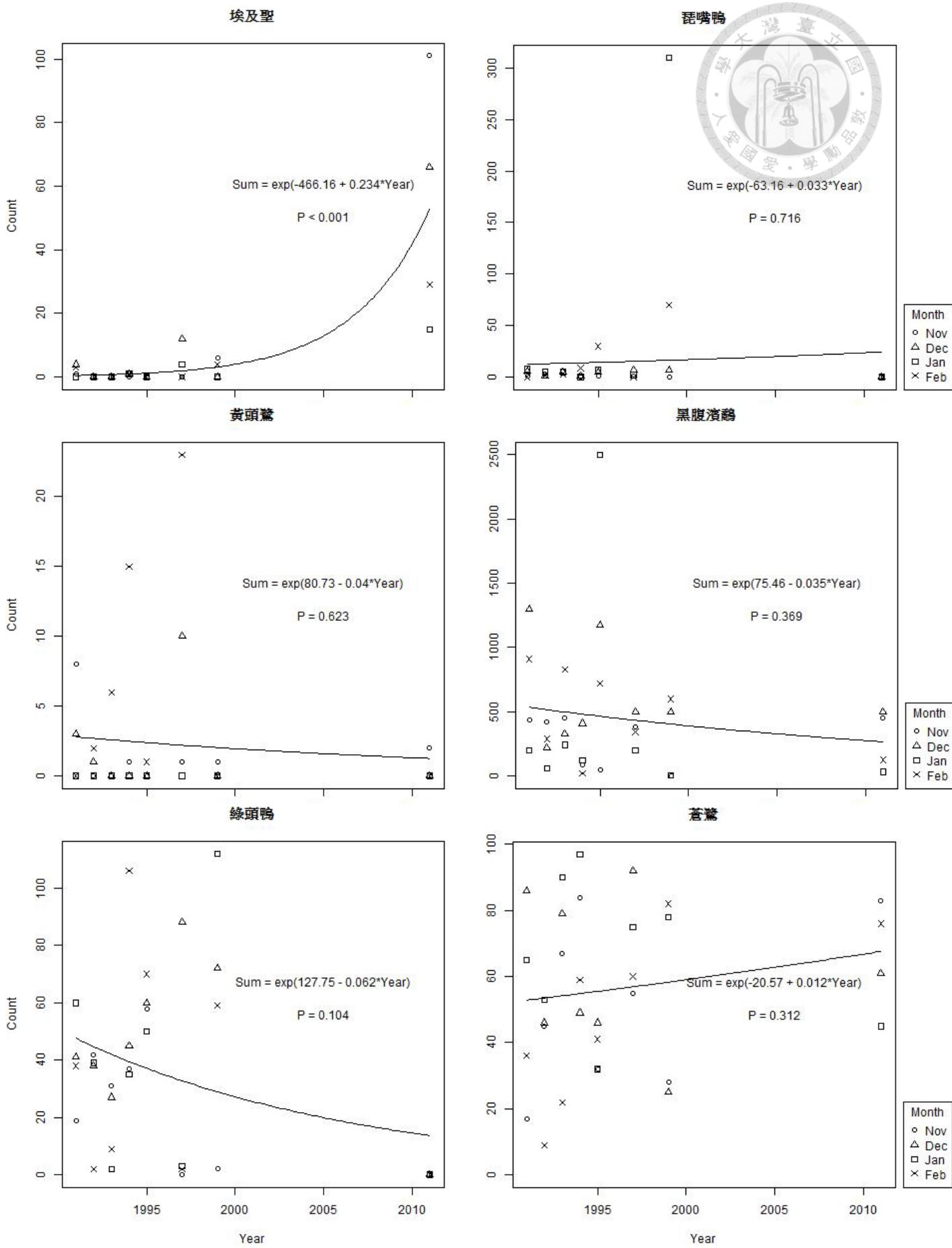


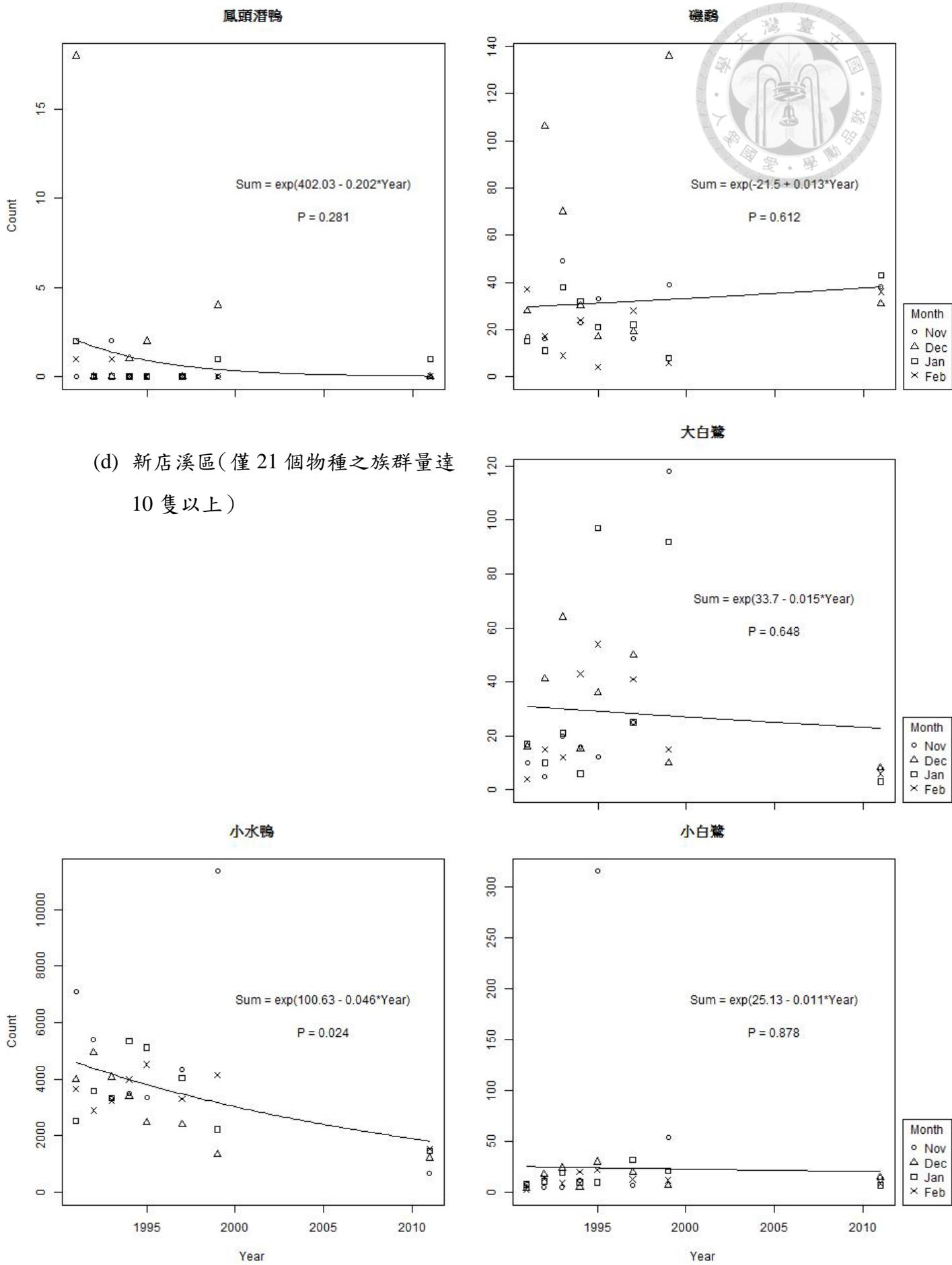
(c) 社子島區（僅 22 個物種之族群量達 10 隻以上）











(d) 新店溪區(僅 21 個物種之族群量達 10 隻以上)

