

外來入侵種族群控制與監測計畫 — 亞洲錦蛙（四）

Controlling and monitoring populations of the invasive
frog, *Kaloula pulchra*, in Taiwan (IV)

計畫編號：100 林發-7.1-保-26(2)

執行單位：國立成功大學生命科學系

研究主持人：侯平君

研究人員：陳清旗、陳麗文、賴建志

中華民國 一〇二年 二月 二十三日



中文摘要

關鍵字：亞洲錦蛙、入侵種、兩棲類、族群監測、族群動態、族群控制

亞洲錦蛙(*Kaloula pulchra*)原產於台灣以外的東南亞地區，近年發現在南台灣的台南縣、高雄縣市與屏東縣地區建立了龐大的族群。本年度的主要目標是：

- (1) 針對亞洲錦蛙分佈區域的棲地因子進行瞭解，以作為未來棲地管理之參考；
- (2) 以高雄市都會公園之族群為例，進行亞洲錦蛙族群滅絕機率的模擬分析，以提供未來擬定管理策略之重要依據；
- (3) 探討干擾亞洲錦蛙生殖之方法（聲音誘集或聲音干擾），以建立可廣泛應用之族群抑制方法；
- (4) 瞭解新通報區域的族群分佈狀況；
- (5) 持續維護亞洲錦蛙通報系統與教育宣導，以迅速掌握亞洲錦蛙之分佈範圍。

本年度分析 2010 年在南高雄及台南地區亞洲錦蛙調查樣點之棲地因子，並與各樣點之棲地佔據率 (occupancy rate) 進行相關分析。各樣點之棲地因子測量，以調查樣點為中心，分二個尺度半徑 100 m、1000 m 進行。在此二個尺度下，將棲地分別劃分為 10 m^2 和 100 m^2 的網格，並將每網格歸類為一種棲地類型（共分 11 種），計算每一種尺度下，每種棲地類型的網格數。再利用棲地佔據模式 (occupancy model) 選出最能解釋各樣點亞洲錦蛙棲地佔據率的棲地類型因子。結果顯示：亞洲錦蛙在荒地、林地或旱田面積比例高的地點，出現機率較高；在水田面積比例高的地點，出現機率較低；但不同地區亞洲錦蛙出現較多的棲地類型，不盡相同。

亞洲錦蛙族群動態模擬，是以 2010 年在高雄市都會公園調查之結果，獲得族群量估值、族群存活及生殖的參數，再將這些數值代入所建立的模式進行預測。在不考慮環境承載量及天敵抑制等因素之下，若不進行族群管理，高雄市都會公園之族群（只計算雌性個體）10 年後，將會暴增約 39000 倍；而且至少要移除 30% 成蛙和小蛙加上移除 70% 以上之卵和蝌蚪，10 年後可將族群控制在 300 隻以下；上述模擬結果顯示：能有效的管理亞洲錦蛙的生殖水域，是抑制其族群的

關鍵。

本年度對台南、高雄與屏東地區，進行亞洲錦蛙個體採集，帶回實驗室分別以單隻鳴叫、合唱團鳴叫和白噪音進行趨聲的回播實驗，結果顯示，亞洲錦蛙不論公蛙或母蛙，都沒有顯著趨向同種叫聲，但都有顯著遠離白噪音的情形；這顯示利用白噪音對生殖場進行生殖干擾，可能是另一個控制亞洲錦蛙族群成長的選項。

本年度在新通報地點的週邊區域—雲林縣和嘉義縣，共設立了 35 個調查樣點，涵蓋約 15 km x 16 km 的範圍。但今年並未在新通報區域發現亞洲錦蛙，這可能顯示該地的族群尚小或尚未建立，建議應該持續進行調查，以確定該地區是否有亞洲錦蛙的族群。

透過亞洲錦蛙調查網站及通報系統的持續運作，今年有 9 個新通報記錄，其中一個點在屏東縣的嚮潭國小，在調查的樣區涵蓋範圍的南端，但過去並無在鄰近的樣點發現，這顯示亞洲錦蛙可能又再往南擴散了。建議應該在亞洲錦蛙目前的分佈範圍的邊界，建立防堵的機制，以防止亞洲錦蛙持續擴散。

英文摘要

Key words: Asian Painted Frog, invasive species, amphibian, monitoring, population dynamics, population control

Asian Painted Frog, *Kaloula pulchra*, distributed mainly in mainland Southeast Asia has recently established populations in Tainan, Kaohsiung, and Pingtung Counties of southern Taiwan. The major aims of this year's project is to (1) consider the habitat types as covariates to explain the variations in the occupancy rate of the populations in southern Kaohsiung and Tainan; (2) model the population dynamics and different management scenarios with the parameters obtained in 2010; (3) investigate the reproductive behavior (acoustic communication) and ecology for the development of population control; (4) survey the incipient population newly reported in 2010; (5) maintain the report webpage for receiving the information from the public.

The Google Satellite Map was divided into 100x100 m² grid cells on a radius 1000 m scale. Each cell was classified into a habitat type. The same procedure was done on a radius 100 m scale but the smaller cell with area 100 m². The percentage of the cells belonging to the habitat type of the survey site was a measure of the habitat type. There were 11 habitat types as covariates of the occupancy rate which were analyzed in the Presence. The results showed different habitat types were related to the variations of the occupancy rates at different regions. In South Kaohsiung, The areas of abandoned areas and forest areas were positively related to the occupancy rate, but was dry agricultural area in Tainan.

Results of the modeling analyses using these lifecycle parameters showed the abundance of the population in Kaohsiung Metropolitan Park will burst up to 39000 times the current level if no control action, however, a combination of removing 70% of the eggs and tadpoles and 30% of the adults and juveniles could reduce the population to 300 individuals in 10 years.

Fifteen males and fifteen females were collected to examine the response to conspecific advertisement calls and white noise. The results of this playback behavior test showed Asian painted frogs tried to keep away from white noise. This result suggested that white noise can be used to interfere with the success of the reproductive behavior at the breeding site.

The incipient population in Beikang Village, Yulin County was not found this year. The confirmation of the absent population should be continued for the next several years. There were nine new report from the website and the factor that individuals found beyond the southernmost of the known distribution means that the population may distribute further southwards.

目錄

中文摘要	I
英文摘要	III
目錄	IV
圖目錄	V
表目錄	VI
一、前言	1
二、研究目的	4
三、研究材料及方法	5
四、結果與討論	10
五、建議	16
六、參考文獻	17
附錄一、雲林地區亞錦調查樣方之二分帶座標。	47
附錄二、2011 年高雄都會公園亞洲錦蛙再捕捉數。	48
附錄三、亞洲錦蛙回播實驗每隻個體的趨聲分數。	49
附錄四、亞洲錦蛙雲林樣區的蛙類調查結果表。	50

圖目錄

圖一、單一樣點的網格劃分圖。	32
圖二、高雄市都會公園園區配置圖。	33
圖三、亞洲錦蛙族群分析模式示意圖。	34
圖四、2011年雲林亞洲錦蛙分佈調查的樣點分布地圖。	35
圖五、2007年南高雄地區亞洲錦蛙調查偵測率和當天降雨量的關係。	36
圖六、2007年南高雄地區在100公尺半徑尺度下林地面積與亞洲錦蛙棲地佔有率的關係。	37
圖七、2007年南高雄地區在1000公尺半徑尺度下荒地、林地與水田面積與亞洲錦蛙棲地佔有率的關係。	38
圖八、2010年台南地區在100公尺半徑尺度下水田與旱田面積與亞洲錦蛙棲地佔有率的關係。	39
圖九、2010年台南地區在1000公尺半徑尺度下旱田面積與亞洲錦蛙棲地佔有率的關係。	40
圖十、2011年高雄都會公園亞洲錦蛙捕捉個體數與族群估算值。	41
圖十一、亞洲錦蛙族群動態及管理模擬結果。	45
圖十二、亞洲錦蛙在單隻鳴唱、合唱和白噪音的回播實驗的趨聲分數箱型圖。	46

表目錄

表一、GIS 網格的棲地類別表。	20
表二、高雄都會公園亞洲錦蛙族群生活史特徵參數與移除方案模式。	21
表三、天氣因子納入 2007 年高雄地區亞洲錦蛙調查棲地佔據的模式選擇結果。	22
表四、2007 年南高雄地區亞洲錦蛙棲地佔據的 100 m 尺度下棲地因子模式選擇 結果。	23
表五、2007 年南高雄地區亞洲錦蛙棲地佔據的 1000 m 尺度下棲地因子模式選擇 結果。	24
表六、2010 年台南地區亞洲錦蛙棲地佔據在 100 m 尺度下棲地因子模式選擇結 果。	25
表七、2010 年台南地區亞洲錦蛙棲地佔據在 1000 m 尺度下棲地因子模式選擇結 果。	26
表八、在高雄市都會公園各次所捕捉到的亞洲錦蛙隻數與平均吻肛長。	27
表九、以 Jolly-Seber model 估算亞洲錦蛙族群量的結果。	28
表十、2011 年高雄都會公園亞洲錦蛙捕捉個體數、估算族群數與環境因子之皮 爾森相關分析。	29
表十一、使用符號等級檢定 (Wilcoxon Signed Rank Test) 統計亞洲錦蛙是否會顯 著趨近同種叫聲。	30
表十二、使用符號等級檢定 (Wilcoxon Signed Rank Test) 統計亞洲錦蛙是否會顯 著遠離聲源。	31

一、前言

人類在世界各地的交通貿易往來日益頻繁，這些活動有意無意間增加了動植物及微生物在世界各地非自然力的擴張。這些出現在之前未分布地區的非本地的物種我們稱為外來種。外來種若是在被引入的地區建立自然族群，即成為入侵。外來種許多是人類有意引進作為經濟作物，例如：全球有將近 20 種非原生地植物，是重要的農作糧食來源 (Mooney, 2005)，或是作為漁獵對象、寵物娛樂、食物牲畜、農業利用或生物防治等。這些有意引進和其它無意間引進的外來種造成嚴重危害的機率並不會很高：大約 100 種引入後會有 10 種有機會生存下來，而只有 1 種可能成為有害生物 (Cox, 1999)。但是這少數的一兩種可能會造成極大的問題 (Williamson, 1996)。外來入侵種在當地不但會影響自然演化的過程，干擾生態系及群聚，造成農林漁牧及經濟上的重大損失，甚至威脅人類的健康財富 (Mooney, 2005；Wittenberg and Cock, 2001)。此外，外來種的引入是全球生物多樣性流失的原因之一 (Wilcove *et al.*, 1998；Mack *et al.*, 2000)。外來種對本地物種可藉由捕食、競爭、引入傳染疾病、和本地物種交配及擾動物理或化學生態環境等不同機制衝擊原生物種的生存 (White and Harris, 2002)，嚴重時甚至會改變或危及當地的生態體系。在美國，野外族群數下降至瀕臨絕種及受威脅程度的 958 種物種中，約有 400 種 (42%) 的發生原因和外來種的入侵有關 (Pimentel, 2002；Wilcove *et al.*, 1998)。因為島嶼生態系對外來種的抵抗力特別差，所以外來種對島嶼生態系生物多樣性的威脅更是嚴重 (Whittaker, 1998)。

當外來種在當地建立小族群後，常會進入一陣潛伏期，和大量爆發產生危害有一段時間差。這潛伏期在植物可由幾年到 20 年，甚至長達 300 年 (Wade, 1997)。例如切葉起絨草 (*Dipsacus laciniatus*) 早在 1800 年就由歐洲移民帶至北美洲 (Solecki, 1993)，直到 1900 年中期，其範圍仍限制在紐約州北部，但過去數十年其迅速擴散至中西部幾個州，且形成濃密族群排擠其他植物。動物也有相同的狀態，例如棕樹蛇 (*Boiga irregularis*) 於二次大戰期間引入關島，直到數十年後

才產生嚴重破壞。所以，不可因為入侵族群尚小或局限分布而輕忽。

外來種兩棲動物所引發的負面衝擊案例雖較少，歷史也較短，但其造成的影響卻不容輕忽。著名的例子包括海蟾蜍 (*Bufo marinus*) 引入澳洲造成的危害以及波多黎各樹蛙 (*Eleutherodactylus coqui*) 引進夏威夷所產生的影響。海蟾蜍在 1935 年被引入澳洲為了防治甘蔗害蟲 (Lever, 2001)，結果不但沒有控制害蟲，反而成為有害生物。海蟾蜍因為皮膚分泌物有毒，對貓狗等寵物、人類以及當地的捕食者 (如：蛇類、哺乳類) 造成威脅 (Phillips *et al.*, 2003)。此外，因其食性廣泛、繁殖力高，也影響當地的生物多樣性以及養蜂業者 (Catling *et al.*, 1999; Crossland, 2000)。波多黎各樹蛙原產於加勒比海波多黎各島，約在 1988 年以前透過園藝貿易進入夏威夷，1994 年首度被報導出現在少數園藝苗圃，短短數年間族群迅速增加，到 2002 年已出現在 300 多個地點 (Kraus and Campbell, 2002)，某些地點的族群量更高達每公頃 50000 隻以上，是原產地密度的 2 倍多

(Woolbright *et al.*, 2006)。其捕食效應對當地的原生種昆蟲造成威脅，而大量的排遺，也改變了當地森林的養分循環速度以及植物的生長速率 (Sin *et al.*, 2008)。加上其叫聲宏亮 (相距 0.5 公尺約 80-90 dB)，影響安寧，使被入侵的住宅區房價下跌，造成居民經濟損失。波多黎各樹蛙入侵夏威夷雖然在很早期就已經發現，卻因主管單位人手與經費不足、防治行動遲緩以及不相信入侵會造成重大危害等因素，錯失根除的黃金時間 (Kraus and Campbell, 2002)。

和夏威夷同為島嶼的台灣，已知在野外建立族群的外來兩棲爬蟲類有：牛蛙 (*Rana catesbeiana*)、海蛙 (*Fejervarya cancrivora*) 和亞洲錦蛙 (*Kaloula pulchra*)。牛蛙早在日治時代就曾引進養殖，目前已是零散分布於全省郊區靜水池 (呂等, 1999; 楊, 1998)。海蛙雖然在日據時代的文獻中曾記載為台灣的蛙種，但因過去幾十年均未有發現紀錄，只於 2006 年在屏東縣東港及佳冬一帶被採集到，究竟是原生種亦或是入侵種，有待進一步確認。亞洲錦蛙又名花狹口蛙，原產於尼泊爾及印度東北部，向東分佈從緬甸、泰國到中國南部的廣東、廣西、雲南、海南島、香港等地，向南至馬來西亞及新加坡等地 (Inger, 1999)。亞洲錦蛙於原生

棲地的垂直分佈高度侷限於海拔兩百公尺以下，是夜行性的兩棲類，白天大多躲藏於自己挖掘的土洞中或是樹皮縫內，而夜晚的出現和整年的生殖行為則與降雨有密切的關連。在新加坡，全年都有亞洲錦蛙的蹤跡，但大量出現在 2 月、6-12 月，這時期也是生殖鳴叫的高峰，而卵則出現在 2、6、7、10 及 11 月(Berry, 1964)。除了原產地外，紐西蘭曾發現亞洲錦蛙躲藏於進口的木雕像中入境 (Gill *et al.*, 2001)。在台灣，亞洲錦蛙於 1997 年於高雄縣鳳山水庫附近被發現；最近幾年陸續在台南縣關廟、高雄縣市、屏東縣林邊及內埔等地出現。目前已有台灣師大生科所梁高賓的碩士論文，對鳳山水庫之族群進行基礎生物學研究。其研究結果顯示：亞洲錦蛙成體活動範圍侷限在 100 m² 以內，利用的棲地類型相當廣泛，與黑眶蟾蜍的食性很類似，且所有研究個體的基因型完全相同，可能來自單一地區或單一雌性個體。有關其詳細的分佈及對本地生物多樣性及生態系的影響，則尚未有研究。

我們自 2005 年 4 月開始，接受農委會林務局的委託，對亞洲錦蛙在台灣的分佈進行調查。截至 2009 年，確認亞洲錦蛙主要分布於台南縣（包括關廟、仁德與歸仁）、北高雄地區（高雄市都會公園一帶）、南高雄地區（包括小港、大寮、林園鄉等地）與屏東科技大學附近，族群數量龐大而且在南高雄區域的族群有持續擴張的可能。雖然目前亞洲錦蛙對本地物種及生態系沒有明顯的負面影響，以其高繁殖力與適應力的特質來看，仍是相當危險的入侵生物；若放任其族群快速擴張，可能產生的後果和損失實在難以預料。因此，我們需要了解亞洲錦蛙族群動態，研究抑制其族群的方法，並且發展有效的調查與移除策略，以便未來能控制其族群擴張速率。

二、研究目的

本計畫之全程目標為：研究抑制亞洲錦蛙族群量之方法，並配合民眾回報系統及志工團隊之建立，持續監測其分佈動態，做為未來廣泛執行族群控制之基礎，以減緩族群擴增可能產生的衝擊。

本年度的主要工作目標為：(1)針對亞洲錦蛙分佈區域的棲地因子進行瞭解，以作為未來棲地管理之參考；(2)以高雄市都會公園之族群為例，進行亞洲錦蛙族群滅絕機率的模擬分析，以提供未來擬定管理策略之重要依據；(3)探討干擾亞洲錦蛙生殖之方法（聲音誘集或聲音干擾），以建立可廣泛應用之族群抑制方法；(4)瞭解新通報區域的族群分佈狀況；(5)持續亞洲錦蛙通報系統之維護與教育宣導，以迅速掌握亞洲錦蛙之分佈範圍。

三、研究材料及方法

棲地因子對於亞洲錦蛙族群分佈的影響之研究

本年度擬以2007年南高雄和2010年台南地區的調查資料，將調查時的天氣狀況與樣點的棲地因子納入棲地佔有率的模式分析，期望能找出影響亞洲錦蛙偵測率的天氣因子和最能解釋亞洲錦蛙分佈的棲地因子。

(1) 影響偵測率的天氣因子：利用2007年南高雄的調查資料，將調查當天的平均溫度 (T) 和降雨量 (P) 納入棲地佔據模式的分析。

(2) 影響棲地佔有率的棲地因子：透過Google Earth之衛星相片，分析2007年在南高雄及2010台南地區亞洲錦蛙調查樣點的各棲地類型比例，並與各樣點的棲地佔據率 (occupancy rate) 進行佔據率模式計算。各樣點之棲地因子測量，以調查樣點為中心，分二個尺度 (半徑100 m、1000 m) 進行。如圖一所示，在每個尺度下，將棲地劃分為100 m x 100 m的網格 (100 m尺度網格大小為10 m x 10 m)，並將每網格歸類為一種棲地類型 (表一)，計算此二種尺度下，每種棲地類型佔該尺度下總網格數的比例。再利用棲地佔據模式 (occupancy model) 選出最能解釋各樣點亞洲錦蛙棲地佔據率的棲地類型因子。

族群動態和管理的模擬分析

以2010年在高雄市都會公園調查之結果，獲得族群量估計值、族群存活率及生殖率的參數，再將這些數值代入所建立的模式進行預測。

(1) 實驗樣區：實驗地點為高雄市都會公園，以園中的亞洲錦蛙族群為研究對象。主要樣區位於公園東北角區域的一期環園步道 (圖二)，範圍是介於溫室與活動中心間的步道，該區段全長約 340公尺，步道兩側各有一條排水溝渠，為亞洲錦蛙主要的生殖場域。步道兩側種有豆科鳳凰木、豆科紅蝴蝶、夾竹桃科黑板樹、梧桐科銀葉樹 (呂, 楊, 陳 1995)，提供亞洲錦蛙棲息與庇護，樹林中亦可發現成蛙或小蛙出現活動。

(2) 調查方式：本年度從3月29日至10月4日，固定每週一次進行調查，共計28次。實驗時間約為晚上20:00至凌晨00:00，沿著樣區中的步道開始調查，以徒手捕捉的方式蒐集發現的所有亞洲錦蛙，捕獲的個體使用軟性螢光標記（Visible Implant Fluorescent Elastomer tags; Northwest Marine Technologies, Inc.）標示初次捕捉的日期。標記的方式是以紅、橙、黃、綠、藍等五種顏色的螢光標記和標記位置（亞洲錦蛙的四肢）的不同排列組合標示初次捕捉的日期。當晚捕捉的個體立即標記，完成後直接放回原捕捉地，並紀錄個體吻肛長（SVL）、體重（BW）、性別、環境溫度與濕度。

(3) 族群數量估算與環境因素相關分析：實驗樣區為都會公園的一小部分，樣區內的亞洲錦蛙族群會有出生、死亡、遷出及遷入，屬於開放族群（Open population），因此本研究使用Jolley-Seber full model (Pollock et al., 1990) 來估算每週的族群數量。

(4) 捕捉個體數、估算族群數與環境因子的相關分析：一般蛙類的出現與環境因子有關，尤其在下雨天時很容易發現蛙類的蹤跡。因此本次實驗對溫度、濕度、雨量（中央氣象局高雄站，N 22°34' 04" ；E 120°18' 29" ）等環境因子，與族群數和捕捉個體數進行相關分析（Pearson correlation analysis）。

(5) 模擬族群動態模式：我們使用Leslie matrix model建構以生活史時期為結構的族群模型。將亞洲錦蛙族群結構分為兩個時期（圖三）：(1) 幼體期（卵、蝌蚪與小蛙）；(2) 成蛙（性熟個體）。幼體期是從受精卵孵化至變態後不滿一年的小蛙，此階段生殖腺均未成熟；成蛙是指個體一歲以上且具有生殖能力的個體。再以2010年蒐集的參數（表二）與今年族群數量的估算，分析各項參數對亞洲錦蛙族群數量的影響，推測未來都會公園的族群變動，並模擬各種情境，探討未來移除時，可針對某項參數設計有效的方式，減少人力與經濟的浪費。

亞洲錦蛙對同種叫聲的偏好之研究

對於利用具有專一性的叫聲作為配對訊號的蛙類來說，一旦配對的聲音訊號

受到干擾，則可能降低其配對的成功機會，因此，我們希望在移除工作當中，可以配合利用聲音干擾方式或聲音陷阱的誘捕，來降低亞洲錦蛙的生殖成功率或增加在野外對亞洲錦蛙誘捕的效率，故在這之前需要針對亞洲錦蛙對同種叫聲的偏好進行基本的生物學研究，探討亞洲錦蛙對同種叫聲的偏好和對噪音的反應。

(6) 實驗個體：從今年八月至十一月從台南、高雄和屏東等地，共收集了15隻公蛙和15隻母蛙。公蛙體長體重分別為 59.62 ± 6.44 mm與 20.27 ± 7.92 g (mean \pm s.d.)；母蛙體長體重分別為 58.45 ± 8.20 mm、 18.01 ± 8.79 g (mean \pm s.d.)。每次採集回來後，每隻個體給予編號，並單獨放置於一個容器中休息一天後再進行實驗。

(7) 回播聲音：本年度擬以先前(2010年)的亞洲錦蛙雄蛙叫聲特質的分析結果為基礎，挑選特質較為普遍(主要頻率390 Hz，脈衝速率150~170 pulses/sec)的單隻公蛙鳴叫聲音；還有收集到的較多個體同時鳴叫的合唱團聲音；並且使用聲音分析軟體(Avisoft-SASLab Pro ver.5.1, Avisoft Bioacoustics, Inc.)製作白噪音作為控制組。使用這三種聲音在實驗室中進行公蛙和雌蛙的回播實驗。

(8) 實驗場地：實驗場地為二公尺見方的場地，整個場地外圍除了底部外皆鋪上隔音海綿，以減低外部聲音和回播聲音反射的干擾。每一次的實驗，一個擴音器隨機放置於場地四個側邊的中央，測試個體則放置於場地中央，測試個體和擴音器的初始距離為一公尺，根據野外觀察的經驗，公蛙個體間距離至少為1公尺，為避免公蛙不再趨近，故回播聲音模擬成2公尺的音量(~73 dB SPL)。實驗期間，室內的溫溼度分別為 $29.8 \pm 1.4^{\circ}\text{C}$ 與 $79 \pm 8\%$ 。

(9) 為評定亞洲錦蛙的趨聲行為，我們在每隻個體每個聲音測試結束時，依測試個體最後位置和擴音器的距離給予等級分數-4、-3、-2、-1、1、2、3、4，此分數反映了實驗個體對聲音的趨近程度，正分代表測試個體趨近聲源，負分表示為遠離聲源。各分數對應的距離分別為175~200、150~175、125~150、100~125、75~100、50~75、25~50、<25 cm。若個體在測試結束之時，僅在原地轉向或完全不動，則給予0分。測試結束的判定原則為回播聲音開始30 min內個體在原地不動或僅轉向，或者實驗已經過30min，個體雖有移動，但已超過10min不再移

動，或者個體移動超出實驗場地，此時分數則定為超出場地前的距離。

(10) 統計分析：統計使用無母數方法的威爾卡森符號等級檢定 (Wilcoxon Signed Rank Test)，統計亞洲錦蛙的趨近分數是否顯著大於或小於0。

新通報區域的族群分佈狀況之調查

由於上一年度（2010年）所接獲的亞洲錦蛙新發現地點（雲林縣北港鎮）在已知分佈範圍的北方約70公里處，其間的區域均未有任何發現或通報紀錄，此非常不連續分佈的族群，極有可能是因人為傳播所造成的區域性族群，本年度擬以夜間調查與實地訪談的方式，對該區域的亞洲錦蛙族群分佈進行初步的瞭解，將先以通報地點為中心，其周圍10km×10km的範圍為進行調查與訪談的主要區域，由調查人員沿主要道路（19號省道與145號、155號及164號線道）選擇適當地點進行調查，並以GPS對調查樣點定位，樣點之間至少距離1km，若發現該區域的亞洲錦蛙族群分佈超過此範圍，則再依實際情況往外延伸調查與訪談的範圍，夜間調查將在雨季（4-10月）中，選擇出現連續數天降雨的期間進行，每次於到達調查點後，先安靜等候至少3分鐘，此後3分鐘內聽聲音辨識蛙類，並記錄數量等級。數量共分四級：0、I（1-5隻）、II（6-10隻）和III（11隻以上）。聽聲辨識之後，再進行5分鐘的目視搜尋，記錄看到的種類、個體數、卵及蝌蚪情況，而訪談則於白天對該地區之民眾進行。預計至少調查30個樣點，每個樣點進行2次調查。本年度對該區域族群分佈的調查結果，將作為評估未來是否進一步對其進行管理與監測之依據。

(1) 調查範圍：本年度在新通報地點的週邊區域—雲林縣和嘉義縣，設立了35個調查樣點（圖四；附錄一），涵蓋雲林縣北港鎮、水林鄉、四湖鄉、元長鄉和嘉義縣六腳鄉、新港鄉，總共約15 km x 16 km的範圍。

(2) 樣點選擇：依照過去（2009年）在台南、高雄、屏東設立樣點的方法：先參考五萬分之一的地圖，在地圖上尋找水塘、公園、學校、綠地或溝渠等亞洲錦蛙（或一般兩棲類）可能利用的棲地環境或生殖場，再經由實地勘查後劃定調

查樣點，並對每個樣點進行衛星定位、拍照與棲地描述。為方便調查的進行，原則上，我們沿著主要道路（省道或縣道）進行樣點的劃設，每個樣點之間至少距離2公里，以避免某些調查樣點過於集中在局部區域。

(3) 野外調查：調查開始於8月中，屬於雨季後期，但調查工作仍然選擇降雨或降雨後的兩天內進行。每個樣點進行3次調查，每次調查至少間隔2週以上。調查時間為晚上19:00至23:00，以定點鳴叫計數及目視遇測法估計亞洲錦蛙以及其他兩棲類的相對族群豐度。每次於到達調查點後，先安靜等候至少3分鐘，此後3分鐘內聽聲音辨識蛙類，並記錄數量等級。數量共分四級：0、I（1-5隻）、II（6-10隻）和III（11隻以上）。聽聲辨識之後，再進行5分鐘的目視搜尋，記錄看到的種類、個體數、卵及蝌蚪情況。若聽聲辨識時無蛙鳴，於目視搜尋期間聽到蛙類鳴聲仍須記錄。

(4) 資料統計：由於今年在新通報區域，並無調查到亞洲錦蛙，故僅整理今年調查中本地物種在該區域的發現記錄。

通報系統之維護與教育宣導

我們將繼續維護與更新亞洲錦蛙的專屬網站（<http://apel.bio.ncku.edu.tw/earm/index.php>），並增加入侵種防治的其他相關知識，以利民眾的通報與訊息交流。並多印製1000份的摺頁，提供民眾和相關宣導活動索取。

四、結果與討論

棲地因子對於亞洲錦蛙族群分佈的影響之研究

以天氣因子為共變數進行佔據模式分析，結果發現雨量是最能解釋不同次調查亞洲錦蛙偵測率的因素（表三）。降雨量在 40 公釐以下，亞洲錦蛙的偵測率隨著降雨量的增加而增加，當降雨量過大時，亞洲錦蛙的偵測率反而大幅的降低（圖五），大約在 30-50 公釐亞洲錦蛙被偵測到的機率最大，最大偵測率可大於 80%。在我們的調查經驗中，若不是下雨天，是很難遇到亞洲錦蛙，因為亞洲錦蛙的生殖活動，通常集中在下雨天，其他時候會躲起來，很難被調查到。當降雨量過大，除了影響調查人員調查時的視線這個因素外，我們也發現亞洲錦蛙在大雨時在調查區域的活動個體也比較少。

最能解釋亞洲錦蛙棲地佔據率變異的棲地類型，在南高雄和台南地區的分析結果是有差異的。其中在南高雄地區的分析結果中，半徑 100 公尺的尺度下，以林地面積（FA）最能解釋亞洲錦蛙棲地佔據率的變異（表四），而且佔據率是隨著林地面積的增加而增加，直到達到飽和（圖六）；在半徑 1000 公尺的尺度下，荒地（WL）、林地（FA）與水田（WAG）面積是三個較好的解釋因子，可分別解釋佔據率的變異（表五）。荒地和林地面積在佔據率到達 100%之前，是與佔據率呈現正相關的關係（圖七），荒地面積超過 30%、林地面積超過 20%，亞洲錦蛙的棲地佔據率會到達 100%。水田面積則和佔據率呈現負向線性相關的關係（圖七），這表示水田面積百分比大，較不利於亞洲錦蛙的族群的建立。

在台南地區的分析結果中，半徑 100 公尺的尺度下水田（WAG）和旱田（DAG）面積可各別解釋亞洲錦蛙在台南地區棲地佔據率的變異（表六）。水田面積在 20%以下，佔據率隨著水田面積增加而急速下降，在超過 20%之後，佔據率則維持在很低的程度（圖八）；旱田面積和佔據率呈現較緩的正向線性相關，且在旱田面積超過 50%之後，佔據率上升的幅度更加平緩（圖八）。在半徑 1000 公尺的尺度下，在我們的模式中旱田（DAG）面積是唯一較適當的因子可以解釋亞洲

錦蛙在台南地區佔據率的變異（表七），結果和半徑 100 公尺的尺度下旱田面積與佔據率的關係類似，只是佔據率在此尺度下，隨著旱田面積的增加上升的幅度較大（圖九）。

上述的結果發現，亞洲錦蛙的棲地佔據率，在不同地區影響的因子不太相同。和佔據率呈現正向關係的因子，在南高雄地區是荒地和林地面積，在台南地區則是旱田面積，推測這結果和這兩個地區的調查區域土地利用方式不同有關。另外，這正向的關係在台南地區比在南高雄地區來得平緩，以往年的調查資料來看，台南地區亞洲錦蛙的棲地佔據率較小，所以可能稀釋了旱田面積這個因子的影響效果。水田面積在兩個地區都是解釋有些區域亞洲錦蛙棲地佔據率較少的重要因素，這顯示水田的耕作不利於亞洲錦蛙棲地佔據率的擴張。

在未來對亞洲錦蛙族群的抑制管理，可以有效率地針對該地區林地、荒地與旱田面積較大的重點區域，進行宣導與鼓勵當地居民參與移除工作。

族群動態和管理的模擬分析

(1) 調查結果與族群量估算

根據本年度每週定期調查結果，高雄都會公園地區從四月至十月皆可發現亞洲錦蛙的個體，除了 5/17 與 6/28 的捕捉數較多外，其他次調查的捕捉數量皆很少。這是因為本年度實驗的調查方式是間隔固定時間的系統性調查，並非針對亞洲錦蛙偏好的天氣狀況（下雨），所以捕捉的個體數受到調查日期天氣狀況的影響，相較於去年實驗的雨後連續捕捉，今年度每月能捕捉到的亞洲錦蛙數量降低許多（表八）。

本年度共進行了 28 次的捕捉工作，每次的捕捉與再捕捉數量結果如附錄二，總共捕捉到 492 隻次亞洲錦蛙個體，其中有 62 隻次的再捕捉個體，再捕捉率為 12.60%，與 2010 年的 11.54% 相近。在所有捕捉個體中，包含雄蛙 337 隻、雌蛙 140 隻與小蛙 15 隻，雄蛙與雌蛙的性比（♂:♀）為 2.41:1，也和去年的 2.45:1 相近。

Jolley-Seber full model 估算族群數量的結果如表九所示，從第 5 週（4 月 26 日）至第 16 週（7 月 12 日）的族群量變動很大，此結果與實際捕捉數相似（圖十），這現象顯示因天氣的關係，造成捕捉數量的變化，也會影響到實際族群的估算，所以還是要選擇亞洲錦蛙偏好活動的天氣，進行再捕捉實驗，避免亞洲錦蛙個體受到天氣的影響而不進入生殖場，造成取樣上的偏差。

(2) 捕捉個體數、估算族群數與環境因子的相關分析

為了解捕捉效率最好的時候，我們將每次調查所捕捉到的個體數和環境因子作相關分析，發現捕捉個體數和相對溼度、降雨量有顯著的正相關（表十），這結果與之前的調查經驗相符。另外，捕捉個體數和捕捉日的平均溫度有顯著的負相關（表九）。所以亞洲錦蛙在下雨而且氣溫較為低（約 23-25°C）的天氣下，較容易出現而被捕捉到。

估算族群數和環境因子相關性的分析結果，如表九所示，估算的族群數只和調查日的平均溫度有顯著的負相關（ $R=-0.669$, $p=0.002$ ）。因為估算族群數和捕捉數有很高的相關（圖十），所以此結果和捕捉數與平均溫度的關係相似。這顯示在適當的溫度，亞洲錦蛙的個體會大量進入生殖場，因為遷入的關係，造成捕捉量增加，族群估算量也增加。

(3) 參數模擬族群量變化

利用 2010 年蒐集的參數（表二），模擬各種移除方案對族群量的影響。原參數分析的結果，表現出高雄都會公園族群在未來極可能持續擴張（圖十一），且都會公園旁有後勁溪與大排水溝，很容易讓族群向外擴散，因此設計經濟有效的防治方法是必要且迫切的。以下便針對不同移除項目進行模擬分析：

a. 方案 0：不作任何處理。在不考慮資源消耗與環境限制的情況下，族群會穩定的成長（圖十一 a）。

b. 方案 A：移除 100% 的卵與蝌蚪。雌蛙族群量會因為成體的死亡率而逐漸下降（圖十一 b），且不再有新的成體補充。

c. 方案 B：移除 90%的卵與蝌蚪。與方案 A 雷同，雌蛙族群量逐漸下降(圖十一 c)。

d. 方案 C：移除 80%的卵與蝌蚪。無法有效抑制雌蛙族群量，雌蛙數量仍隨著時間逐漸增加 (圖十一 d)，因此僅依靠移除卵與蝌蚪是不可行的。

e. 方案 D：移除 30%的成蛙與小蛙。因為亞洲錦蛙活動範圍必定超過人為設定的樣區，若要捕捉樣區中所有發現的成蛙與小蛙，通常很難超過總族群量的 30% (侯，2010)，因此方案 D 設定移除 30%的成蛙與小蛙。然而此方案無法抑制雌蛙族群量，反而呈現急遽的成長 (圖十一 e)。

f. 方案 E：移除 90%的卵與蝌蚪 + 30%的成蛙與小蛙。搭配兩種移除方案，雌蛙族群量下降情況較方案 B 快，第二年數量可降至 50%，第五年降至 10%以下 (圖十一 f)，顯示此方法可使亞洲錦蛙族群量快速降低。

g. 方案 F：移除 80%的卵與蝌蚪 + 30%的成蛙與小蛙。若單只移除 80%的卵與蝌蚪或 30%的成蛙與小蛙，二者族群量皆會上升，但兩個方案搭配後，族群量會逐漸下降 (圖十一 g)，下降幅度類似方案 A。

h. 方案 G：移除 70%的卵與蝌蚪 + 30%的成蛙與小蛙。雌蛙族群量在第一年略微反彈回升，之後便開始緩慢下降 (圖十一 h)。

i. 方案 H：移除 60%的卵與蝌蚪 + 30%的成蛙與小蛙。若蝌蚪與卵的移除率只達 60%，即使兩種方案搭配，仍無法有效抑制族群量 (圖十一 i)。

綜合以上的模擬結果，必須要成體、小蛙、卵、蝌蚪皆一併移除，且陸上的成蛙與小蛙至少需移除 30%，水域的卵與蝌蚪至少需移除 70%以上，才有機會抑制高雄地區的亞洲錦蛙族群量。因此能有效的管理生殖水域為抑制族群的重要關鍵。

綜合上述結果，在重點區域的移除工作上，應該集中在四月至七月的生殖高峰期，密集在雨後進行移除成體、蝌蚪、卵的工作。其中卵與蝌蚪移除工作最為關鍵，因此需要盡可能掌控所有的生殖水域，持續進行撈捕的動作，或是在水域上方放置阻擋物，使成蛙無法成功產卵，藉此提高移除卵與蝌蚪的效率。

亞洲錦蛙對同種叫聲的偏好之研究

亞洲錦蛙對同種叫聲，包括單隻個體鳴叫、合唱團，還有噪音的趨聲反應實驗結果如圖十二所示。經過威爾卡森符號等級檢定，不管公蛙和母蛙，都沒有顯著趨向聲源（表十一），但都會顯著遠離白噪音（圖十二；表十二），而且母蛙不但沒有趨向單隻公蛙的叫聲，反而顯著地遠離（圖十二；表十二）。

此次實驗結果顯示，白噪音可能干擾亞洲錦蛙的生殖行為，若在生殖場播放白噪音，可能讓公蛙和母蛙不接近生殖場，達到降低其生殖成功率的效果。但是野外的生殖場不容易掌握，恐怕只是將生殖個體趕到另一個生殖場，所以仍需詳細評估此作法的效果。另外，雖然此次實驗結果不管公蛙和母蛙都沒有顯著趨向聲源，但是在實驗的過程中，不管公蛙或母蛙，都有少數個體會有很明顯趨向同種叫聲的行為（附錄三，得到 4 分的個體），仍可在未來評估回播同種叫聲誘捕亞洲錦蛙的可行性。

新通報區域的族群分佈狀況之調查

本年度在雲林地區的進行了二次調查工作，分別於 8 月 13、14 日和 9 月 28 日完成，共計進行了 70 點次的分佈調查。在今年的 35 個樣點，兩次調查的記錄中（附錄四），並無發現亞洲錦蛙。由往年的資料可知，亞洲錦蛙被調查到的偵測率並不高（偵測率約 0.2~0.4），再加上新通報地點族群量可能不高，所以會比較難調查到亞洲錦蛙。所以在此區域的調查，可能必須提高調查努力度，並選擇適當的天氣（當天降雨量 30-50 公釐，日均溫 23°C-25°C）進行調查，才能提高偵測率，確定新通報地點的亞洲錦蛙分佈區域和族群狀況，以便研擬管理措施。

通報系統之維護與教育宣導

本年度民眾亦持續利用亞洲錦蛙的專屬網站

(<http://apel.bio.ncku.edu.tw/earm/index.php>)或通報信箱(tadpolelab@gmail.com)

來通報發現亞洲錦蛙的地點。今年共計有 9 筆新通報記錄，大部分通報發現亞洲

錦蛙的地點均在過去已知的台南、高雄與屏東地區內。其中一個通報地點在屏東縣嚮潭國小，由發現者的照片，確定是亞洲錦蛙。此地點雖在過去的涵蓋樣區內，但在過去的調查中並未發現。另外，在恆春一間私人農場，有通報小蛙的記錄，但因未留相片，無法證實是否真的是亞洲錦蛙。

五、建議

根據今年度的分析結果，在南高雄地區，造成亞洲錦蛙棲地佔據率的增加的棲地類型是荒地和林地面積；但在台南地區，則是旱田面積。這顯示這樣的關係是有地區性的，所以未來對亞洲錦蛙的棲地管理，應該要依地區而制定。例如在南高雄地區，應該對荒地或林地進行亞洲錦蛙的調查管理，而在台南地區，則需將重點工作放在旱田上。

今年對高雄都會公園亞洲錦蛙族群動態及管理的模擬分析，將模式中的發育階段，簡化成只分為卵、蝌蚪與小蛙、成蛙兩階段。結果發現，若只捕捉 30% 的成蛙與小蛙或是只移除 60% 的卵與蝌蚪，並無法抑制族群量的成長；若投入高努力度移除 90% 以上的卵與蝌蚪，則可在 5 年內大量降低其族群量；然而，只要同時移除 70% 的卵與蝌蚪以及 30% 的成蛙與小蛙，即可有效使族群量下降，建議未來制訂亞洲錦蛙的族群控制方案時，應考慮同時進行移除卵與蝌蚪以及成蛙與小蛙。

目前發現亞洲錦蛙分佈的棲地，多屬於隱蔽性較高的環境，這對於以人力去進行捕捉移除的工作，相當不利。並且亞洲錦蛙個體的出現數量，受到天候因子的影響很大，若單純的以人力投入移除工作，恐怕不易有效率的進行。除了移除外，也可在生殖場播放白噪音，進行生殖干擾的處理。因為今年的回播行為的結果發現，白噪音對驅離亞洲錦蛙的公蛙和母蛙有顯著的效果。

亞洲錦蛙的分佈持續有新的通報記錄，且使得亞洲錦蛙的分佈範圍更往南延伸，因此未來應該針對亞洲錦蛙分佈的邊界，進行亞洲錦蛙族群控制的動作，以防堵其族群持續擴散。此外，應持續維持通報與訊息交流管道，以落實早期偵測與迅速移除的策略。

六、參考文獻

- 呂光洋、杜銘章、向高世，1999。台灣兩棲爬行動物圖鑑。中華民國自然生態保育協會，大自然雜誌社出版，台北。
- 呂勝由、楊國楨、陳舜英。1995。高雄都會公園植物解說手冊(續)。內政部營建署。台北。
- 卓瓊玟。2002。霧社地區拉都希氏赤蛙的族群生態研究。國立台灣師範大學生物系碩士論文。
- 侯平君、陳清旗、陳麗文。2010。外來入侵種族群控制與監測計畫—亞洲錦蛙(三)。
- 梁高賓，2005。台灣地區外來種亞洲錦蛙 (*Kaloula pulchra*) 族群來源與生態研究。國立台灣師範大學生命科學系碩士論文，台北。
- 楊懿如，1998。賞蛙圖鑑。中華民國自然生態攝影學會出版，台北。
- Berry, P. Y. 1964. The breeding patterns of seven species of Singapore anura. The Journal of Animal Ecology. 33(2):227-243.
- Catling, P. C., A. Hertog, R. J. Burt, J. C. Wombey, and R. I. Forrester. 1999. The short-term effect of cane toads (*Bufo marinus*) on native fauna in the Gulf Country of the Northern Territory. Wildlife Research 26:161-185.
- Cox, G.W. 1999. Chapter 2, North American invaders: the invited and the uninvited. In Alien species in North America and Hawaii, Island Press, Washington, USA.
- Crossland, M. R. 2000. Direct and indirect effects of the introduced toad *Bufo marinus* (Anura: Bufonidae) on populations of native anuran larvae in Australia. Ecography 23:283-290.
- Gill, B. J., D. Bejakovich, A. H. Whitaker. 2001. Records of foreign reptiles and amphibians accidentally imported to New Zealand. New Zealand Journal of Zoology. 28:351-359.

- Inger, R. F. 1999. Distribution patterns of amphibians of Southern Asia adjacent islands. In Duellman, W. E. (Ed.). *Patterns of Distribution of Amphibians: A Global Perspective*, pp. 445-482. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, USA.
- Kanamadi, R.D., Kadadevaru, G.G., 2002. Advertisement call and breeding period of the frog, *Kaloula pulchra* (Microhylidae). *Herpetological Review*, 33(1): 19-21
- Kraus, F. and E. W. Campbell. 2002. Human-mediated escalation of a formerly eradicable problem: the invasion of Caribbean frogs in the Hawaiian Islands. *Biological Invasions* 4: 327-332.
- Lever, C. 2001. The cane toad: the history and ecology of a successful colonist. Westbury Academic and Scientific Publishing, Yorkshire, United Kingdom.
- Mack, R. N., D. Simberloff, W. M. Lonsdale, H. Evans, M. Clout and F. Bazzaz. 2000. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences and control. *Issues in Ecology* 5: 1-19.
- Mooney, H.A. 2005. Invasive alien species: the nature of the problem. In H. A. Mooney, R. N. Mack, J.A. McNeely, L.E. Neville, P. J. Schei, and J. K. Waage (ed.) *Invasive alien species: a new synthesis*. Island Press, Washington, USA, pp 1-15.
- Phillips, B. L., G. P. Brown, and R. Shine. 2003. Assessing the potential impact of cane toads on Australian snakes. *Conservation Biology* 17:1738-1747.
- Pimentel, D. 2002. Introduction: Non-native species in the world. In: D. Pimentel (eds.) *Biological Invasions: Economic and Environmental Costs of Alien Plant, Animal and Microbes Species*. CRC Press, Boca Raton, FL., USA. pp. 3-8.
- Pollock, K. H., J. D. Nichols, C. Brownie, and J. E. Hines. 1990. Statistical inference for capture-recapture experiments. *Wildlife Monograph* 107: 1-97.
- Sbahriza B. S., 1997. The breeding and development of *Polypedates leucomystax* and

Kaloula pulchra and the effects of “tea seed cake” and carbofuran to their larvae.

- Sin, H., K. H. Beard, W. C. Pitt. 2008. An invasive frog, *Eleutherodactylus conqui*, increases new leaf production and leaf litter decomposition rates through nutrient cycling in Hawaii. *Biological Invasions* 10: 335-345.
- Solecki, M.K. 1993. Cut-leaves and common teasel(*Dipsacus laciniatus* L. and *D. sylvestris* Huds.): Profile of two invasive aliens. In B.N. Mcknight (ed.) *Biological pollution: the control and impact of invasive exotic species*. Indiana Academy Press, Indianapolis, USA. Pp.85-92
- Wade, P.M. 1997. Predicting plant invasions: making a start. In J.H. Brock, P.M. Wade, D. Pysek and D. Green (eds.) *Plant invasions: Studies from North America and Europe*. Leiden Backhuys Publishing. Pp.1-18
- White, P.C.L. and S.Harris. 2002. Chapter seven, Economic and environmental costs of alien vertebrate species in Britain. In: D. Pimentel (eds.) *Biological Invasions: Economic and Environmental Costs of Alien Plant, Animal and Microbes Species*. CRC Press, Boca Raton, FL., USA. pp 113-149.
- Whittaker, R. 1998. *Island Biogeography: Ecology, Evolution and Conservation*. Oxford University Press, London, UK, 304pp.
- Wilcove, D. S., D. Rothstein, J. Dubow, A. Phillips and E. Losos. 1998. Quantifying threats to imperiled species in the United States. *BioSci.* 48: 607-615.
- Williamson, M. 1996. *Biological Invasion*. Chapman & Hall, London
- Wittenberg, R. and M.J.W. Cock. 2001. *Invasive Alien Species. A toolkit of best prevention and management policies*. CABI Publishing, Oxfordshire, UK, 228pp.
- Woolbright, L. L., A. H. Hara, C. M. Jacobsen, W. J. Mautz, and F. L. Benevides. 2006. Population densities of the Coqui, *Eleutherodactylus conqui* (Anura: Leptodactylidae) in newly invaded Hawaii and in Native Puerto Rico. *Journal of Herpetology* 40: 122-126.

表一、GIS 網格的棲地類別表。

英文 (代號)	類別	說明
dry agricultural area (DAG)	農墾旱地	施以農耕但不長期蓄水於其中之旱田或土地，如鳳梨田、高麗菜田、蔥田。
wet agricultural area	農墾溼地	施以農耕且有長期蓄水於其中之土地，如水稻田 (paddy field)、菱角田等。
rural garden (RG)	果園	香蕉園、芒果園、檳榔園 (betel nut plantation) 等。
anthropogenic area (AN)	人工化區域 ^a	工廠、住宅等人工建築物，或地表為不透水鋪面範圍。
wasteland/abandoned area (WL)	荒地	雜草地、空地等未被利用的區域。
anthropogenic green area (AG)	人為綠地	半人工營造之綠地，如校園操場、公園、苗圃、墓地等。
forest area (FA)	林地	竹林、雜木林、次生林、天然林。
Water area (WA)	水域	溪流、渠道、塘埤、草澤、水池、魚塭等。
house (H)	房舍 ^a	住宅、工廠等。
paved area	人工鋪面區域 ^a	柏油或水泥鋪面之道路、空地。
Other (O)	其他	其餘無法歸屬於上列棲地類型者，如海域。

註^a：在 100 m-radius 尺度下，將人工化區域再細分為房舍與人工鋪面兩棲地。

表二、高雄都會公園亞洲錦蛙族群生活史特徵參數與移除方案模式。

方案	移除卵、蝌蚪	移除小蛙、成蛙	$S_0 \times M$	$S_A \times M$	S_0	S_A
0	無	無	2.085	3.044	0.500	0.730
1	100%	0%	0.000	0.000	0.500	0.730
2	90%	0%	0.209	0.304	0.500	0.730
3	80%	0%	0.417	0.609	0.500	0.730
4	0%	30%	1.459	2.131	0.350	0.511
5	90%	30%	0.146	0.213	0.350	0.511
6	80%	30%	0.292	0.426	0.350	0.511
7	70%	30%	0.438	0.639	0.350	0.511
8	60%	30%	0.584	0.852	0.350	0.511

M：成熟雌蛙在整個生殖季的生殖力，為（平均卵數 C_{egg} ）×（孵化率 S_e ）×（小蛙存活率 S_0 ）×（性比）

S_t ：蝌蚪變態成小蛙的存活率， S_a ：成蛙從t-1年至t年的存活率

註：2010年蒐集的參數： $S_0=0.5$ ； $S_e=0.334$ ； $S_t=0.009$ ； $S_a=0.73$ ； $C_{egg}=4785.1$

2011年蒐集的參數：性比=0.29；M=4.17

表三、天氣因子納入 2007 年高雄地區亞洲錦蛙調查棲地佔據的模式選擇結果。

模式	AIC 值	Δ AIC	AIC 權重	參數數量
$\phi(\cdot), p(P)$	151.48	0.00	0.7188	3
$\phi(\cdot), p(P+T)$	153.36	1.88	0.2808	4
$\phi(\cdot), p(T)$	167.82	16.34	0.0002	3
$\phi(\cdot), p(\cdot)$	168.14	16.66	0.0002	2

P: 雨量

T: 日均溫

表四、2007 年南高雄地區亞洲錦蛙棲地佔據的 100 m 尺度下棲地因子模式選擇結果。

模式	AIC 值	Δ AIC	AIC 權重	參數數量
ϕ (FA100), p (P)	139.65	0.00	0.8766	4
ϕ (WAG100), p (P)	145.33	5.68	0.0512	4
ϕ (WL100), p (P)	145.75	6.10	0.0415	4
ϕ (.), p (P)	149.12	9.47	0.0077	3
ϕ (AG100), p (P)	149.84	10.19	0.0054	4
ϕ (WA100), p (P)	150.92	11.27	0.0031	4
ϕ (H100), p (P)	151.04	11.39	0.0029	4
ϕ (DAG100), p (P)	151.07	11.42	0.0029	4
ϕ (RG100), p (P)	151.11	11.46	0.0028	4
ϕ (PA100), p (P)	151.11	11.46	0.0028	4

P：雨量

FA：林地；WAG：農墾溼地；WL：荒地；AG：人為綠地；WA：水域；H：房舍；DAG：農墾旱地；RG：果園；PA：人工鋪面區域

表五、2007 年南高雄地區亞洲錦蛙棲地佔據的 1000 m 尺度下棲地因子模式選擇結果。

模式	AIC 值	Δ AIC	AIC 權重	參數數量
ϕ (WL1000), p (P)	75.97	0.00	0.3180	4
ϕ (FA1000), p (P)	76.14	0.17	0.2921	4
ϕ (WAG1000), p (P)	77.36	1.39	0.1587	4
ϕ (.), p (P)	78.86	2.89	0.0750	3
ϕ (DAG1000), p (P)	80.20	4.23	0.0384	4
ϕ (AG1000), p (P)	80.56	4.59	0.0320	4
ϕ (AN1000), p (P)	80.72	4.75	0.0296	4
ϕ (RG1000), p (P)	80.81	4.84	0.0283	4
ϕ (WA1000), p (P)	80.83	4.86	0.0280	4

P: 雨量

FA: 林地; WAG: 農墾溼地; WL: 荒地; AG: 人為綠地; WA: 水域; DAG: 農墾旱地; RG: 果園; AN: 人工化區域

表六、2010年台南地區亞洲錦蛙棲地佔據在100 m尺度下棲地因子模式選擇結果。

模式	AIC 值	Δ AIC	AIC 權重	參數數量
ϕ (WAG100), $p(\cdot)$	80.31	0.00	0.3694	3
ϕ (DAG100), $p(\cdot)$	81.59	1.28	0.1948	3
$\phi(\cdot)$, $p(\cdot)$	83.09	2.78	0.0920	2
ϕ (H100), $p(\cdot)$	83.30	2.99	0.0828	3
ϕ (PA100), $p(\cdot)$	84.14	3.83	0.0544	3
ϕ (WL100), $p(\cdot)$	84.30	3.99	0.0502	3
ϕ (RG100), $p(\cdot)$	84.57	4.26	0.0439	3
ϕ (FA100), $p(\cdot)$	84.70	4.39	0.0411	3
ϕ (AG100), $p(\cdot)$	84.96	4.65	0.0361	3
ϕ (WA100), $p(\cdot)$	85.02	4.71	0.0351	3

FA：林地；WAG：農墾溼地；WL：荒地；AG：人為綠地；WA：水域；H：房舍；DAG：農墾旱地；RG：果園；PA：人工鋪面區域

表七、2010 年台南地區亞洲錦蛙棲地佔據在 1000 m 尺度下棲地因子模式選擇結果。

模式	AIC 值	Δ AIC	AIC 權重	參數數量
ϕ (DAG1000), $p(\cdot)$	76.25	0.00	0.7927	3
ϕ (AN1000), $p(\cdot)$	80.66	4.41	0.0874	3
ϕ (WAG1000), $p(\cdot)$	82.63	6.38	0.0326	3
$\phi(\cdot)$, $p(\cdot)$	83.09	6.84	0.0259	2
ϕ (WA1000), $p(\cdot)$	84.25	8.00	0.0145	3
ϕ (WL100), $p(\cdot)$	84.34	8.09	0.0139	3
ϕ (FA1000), $p(\cdot)$	84.53	8.28	0.0126	3
ϕ (AG100), $p(\cdot)$	84.84	8.59	0.0108	3
ϕ (RG1000), $p(\cdot)$	85.09	8.84	0.0095	3

FA：林地；WAG：農墾溼地；WL：荒地；AG：人為綠地；WA：水域；DAG：農墾旱地；RG：果園；AN：人工化區域

表八、在高雄市都會公園各次所捕捉到的亞洲錦蛙隻數與平均吻肛長。

週次	日期	總個體數	SVL(總)	雄個體	SVL(雄)	雌個體	SVL(雌)	幼體	SVL(幼)
1	3/29	0	-	-	-	-	-	-	-
2	4/5	0	-	-	-	-	-	-	-
3	4/12	0	-	-	-	-	-	-	-
4	4/19	39	67.11	29	67.18	10	66.89	0	-
5	4/26	6	62.50	5	62.88	1	60.58	0	-
6	5/3	1	59.84	1	59.84	0	-	0	-
7	5/10	2	62.58	1	63.60	1	61.56	0	-
8	5/17	254	65.70	203	64.28	51	71.32	0	-
9	5/24	13	65.05	5	61.21	8	67.45	0	-
10	5/31	3	67.64	1	67.66	2	67.63	0	-
11	6/7	4	67.59	4	67.59	0	-	0	-
12	6/14	4	46.25	2	56.70	1	51.66	1	19.93
13	6/21	5	56.34	4	65.47	0	-	1	19.83
14	6/28	112	63.22	63	61.12	49	65.92	0	-
15	7/5	5	63.77	3	58.75	2	71.31	0	-
16	7/12	5	62.80	2	52.07	3	69.95	0	-
17	7/19	1	73.25	0	-	1	73.25	0	-
18	7/26	1	73.08	0	-	1	73.08	0	-
19	8/2	3	72.27	1	71.30	2	72.75	0	-
20	8/9	2	62.67	0	-	1	72.34	1	53
21	8/16	1	56.64	0	-	0	-	1	56.64
22	8/23	1	70.44	0	-	1	70.44	0	-
23	8/30	13	67.69	7	67.42	6	68.01	0	-
24	9/6	1	35.89	0	-	0	-	1	35.89
25	9/13	4	50.22	1	62.67	0	-	3	46.07
26	9/20	6	53.68	3	67.49	0	-	3	39.88
27	9/27	3	54.39	2	63.19	0	-	1	43.56
28	10/4	3	43.56	0	-	0	-	3	43.56

-表該日無發現屬於該類別的個體

表九、以 Jolly-Seber model 估算亞洲錦蛙族群量的結果。

日期	週次	捕捉總數	再捕捉數	個體標記率 (α)	估計族群數 (N)	個體存活率 (PHI)	個體增加數 (B)	標準誤 N	標準誤 PHI	標準誤 B
* 3/29	1	0	0	---	---	---	---	---	---	---
* 4/5	2	0	0	---	---	---	---	---	---	---
* 4/12	3	0	0	---	---	---	---	---	---	---
* 4/19	4	39	0	---	---	0.198	---	---	0.039	---
4/26	5	6	0	0.25	420	1.158	608	137.7	0.699	3,217.9
5/3	6	1	0	0.143	1,094.3	0.425	-327.1	3,259.0	0.244	1,393.0
* 5/10	7	2	0	---	---	---	---	---	---	---
5/17	8	254	20	0.5	138	2.862	463.2	307.9	0	891.6
5/24	9	13	7	0.233	858.2	0.279	-66.9	241.1	0.183	68.6
5/31	10	3	1	0.643	172.1	0.274	16.2	116.7	0.207	45.4
6/7	11	4	1	0.5	63.3	1.812	37.7	51.4	1.731	144.5
6/14	12	4	1	0.4	152.5	0.953	7.1	177.5	1.159	161.3
6/21	13	5	2	0.4	152.5	1.109	-27.2	177.5	1.364	149
6/28	14	112	15	0.5	142	0.565	116.7	145.5	0.572	76.3
* 7/5	15	5	2	---	---	---	---	---	---	---
7/12	16	5	2	0.212	197	0.115	10.4	103.1	0.115	16.8
7/19	17	1	0	0.455	33	0.143	1.3	32.9	0.124	12.5
7/26	18	1	1	0.5	6	1	-2	12.4	0	12.2
8/2	19	3	2	1	4	1.167	1.6	2.1	0	1.7
8/9	20	2	1	0.75	6.2	0.971	2.2	3.4	0.731	4.7
* 8/16	21	1	0	---	---	---	---	---	---	---
* 8/23	22	1	1	---	---	---	---	---	---	---
8/30	23	13	3	0.667	8.3	0.615	7.7	7.3	0.409	1.5
* 9/6	24	1	0	---	---	---	---	---	---	---
9/13	25	4	0	0.313	12.8	0.133	10.3	2	0.162	28.5
9/20	26	6	2	0.167	12	0	0	28.1	0	0
* 9/27	27	3	1	---	---	---	---	---	---	---
10/4	28	3	0	0.308	0	0	0	0	0	0

* 表示該週次無法估算

表十、2011 年高雄都會公園亞洲錦蛙捕捉個體數、估算族群數與環境因子之皮爾森相關分析。

		平均 溫度	相對 濕度	降雨量
捕捉 個體數	相關係數	-0.376	0.489	0.532
	P-value	0.048	0.008	0.004
估計 族群數	相關係數	-0.669	0.124	0.166
	P-value	0.002	0.625	0.510

表十一、使用符號等級檢定 (Wilcoxon Signed Rank Test) 統計亞洲錦蛙是否會顯著趨近同種叫聲。

		N	N for Test	Wilcoxon Statistic	P	Estimated Median
Male	S	15	12	58.0	0.073	1.250
	C	15	11	37.0	0.378	0.000
	W	15	9	0.0	0.997	-1.000
Female	S	15	12	17.0	0.961	-1.500
	C	15	12	47.0	0.278	0.500
	W	15	13	13.0	0.989	-2.000

S：單隻個體鳴叫聲音；C：合唱團鳴叫聲音；W：白噪音

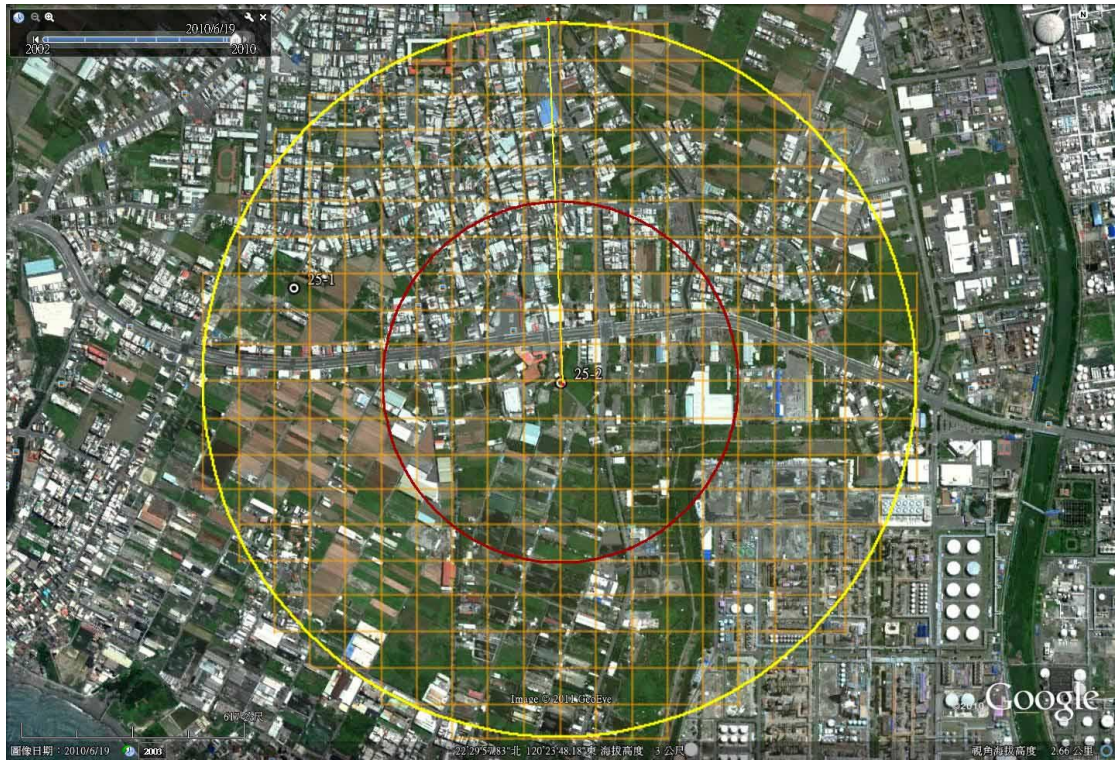
註：測試中位數是否顯著大於0

表十二、使用符號等級檢定 (Wilcoxon Signed Rank Test) 統計亞洲錦蛙是否會顯著遠離聲源。

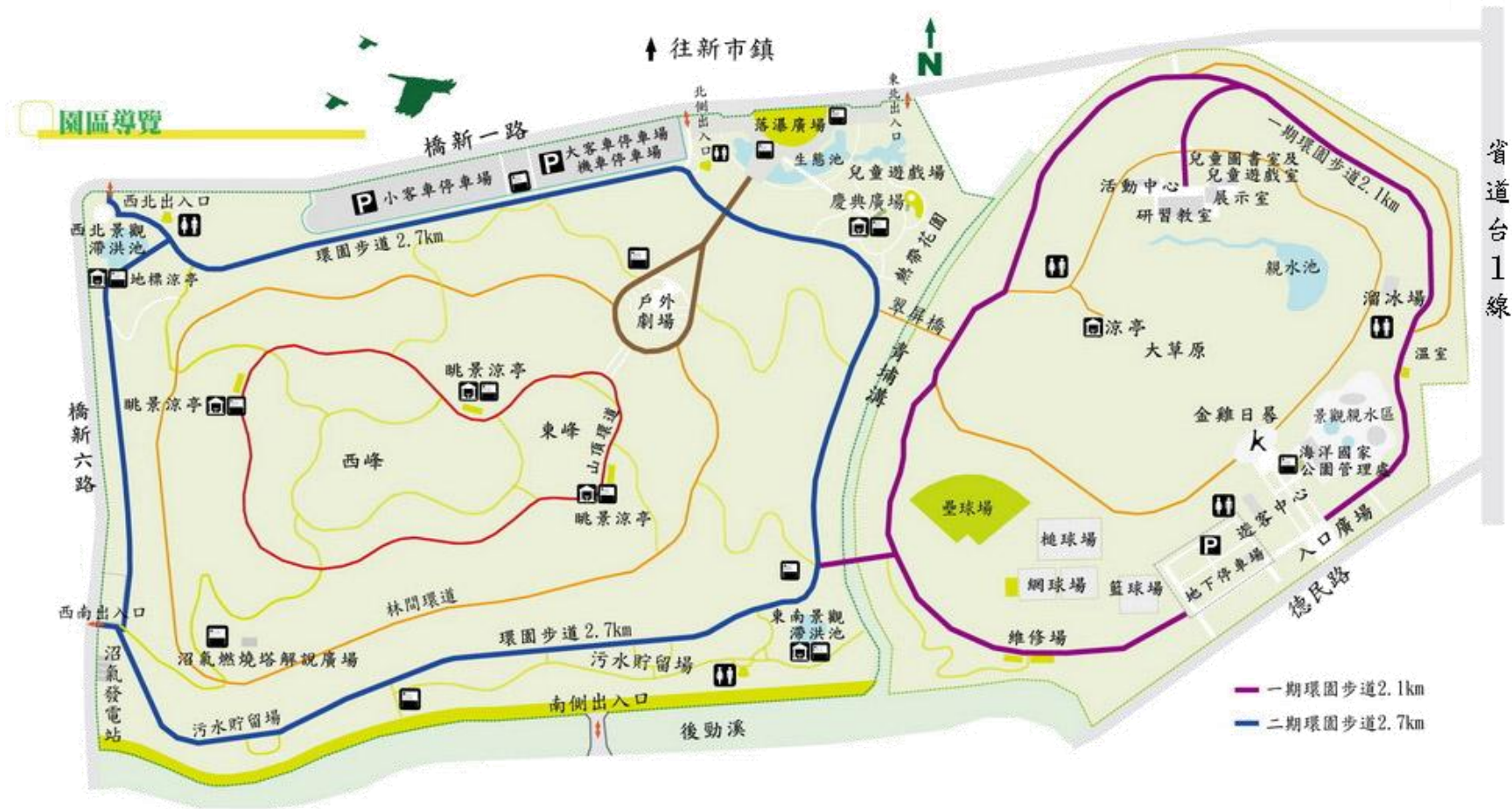
		N	N for Test	Wilcoxon Statistic	P	Estimated Median
Male	S	15	12	58.0	0.937	1.250
	C	15	11	37.0	0.655	0.000
	W	15	9	0.0	0.005	-1.000
Female	S	15	12	17.0	0.046	-1.500
	C	15	12	47.0	0.748	0.500
	W	15	13	13.0	0.013	-2.000

S：單隻個體鳴叫聲音；C：合唱團鳴叫聲音；W：白噪音

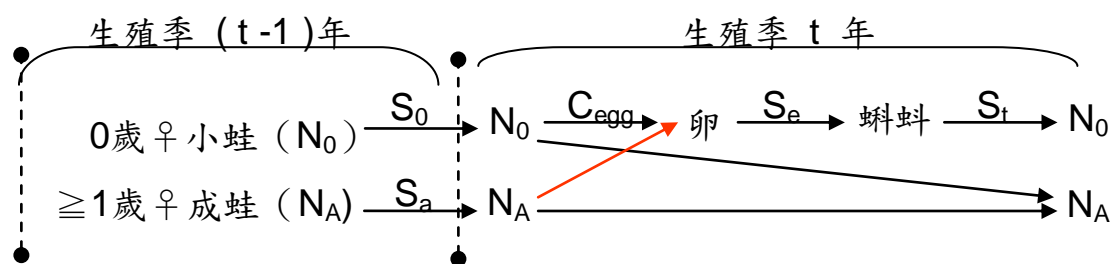
註：測試中位數是否顯著大於0



圖一、單一樣點的網格劃分圖，圖中紅色圓為 500 m 尺度，黃色圓為 1000 m 尺度，1 個網格大小為 100 m。



圖二、高雄市都會公園園區配置圖。右上角方框中表示調查的一期環園步道區段。

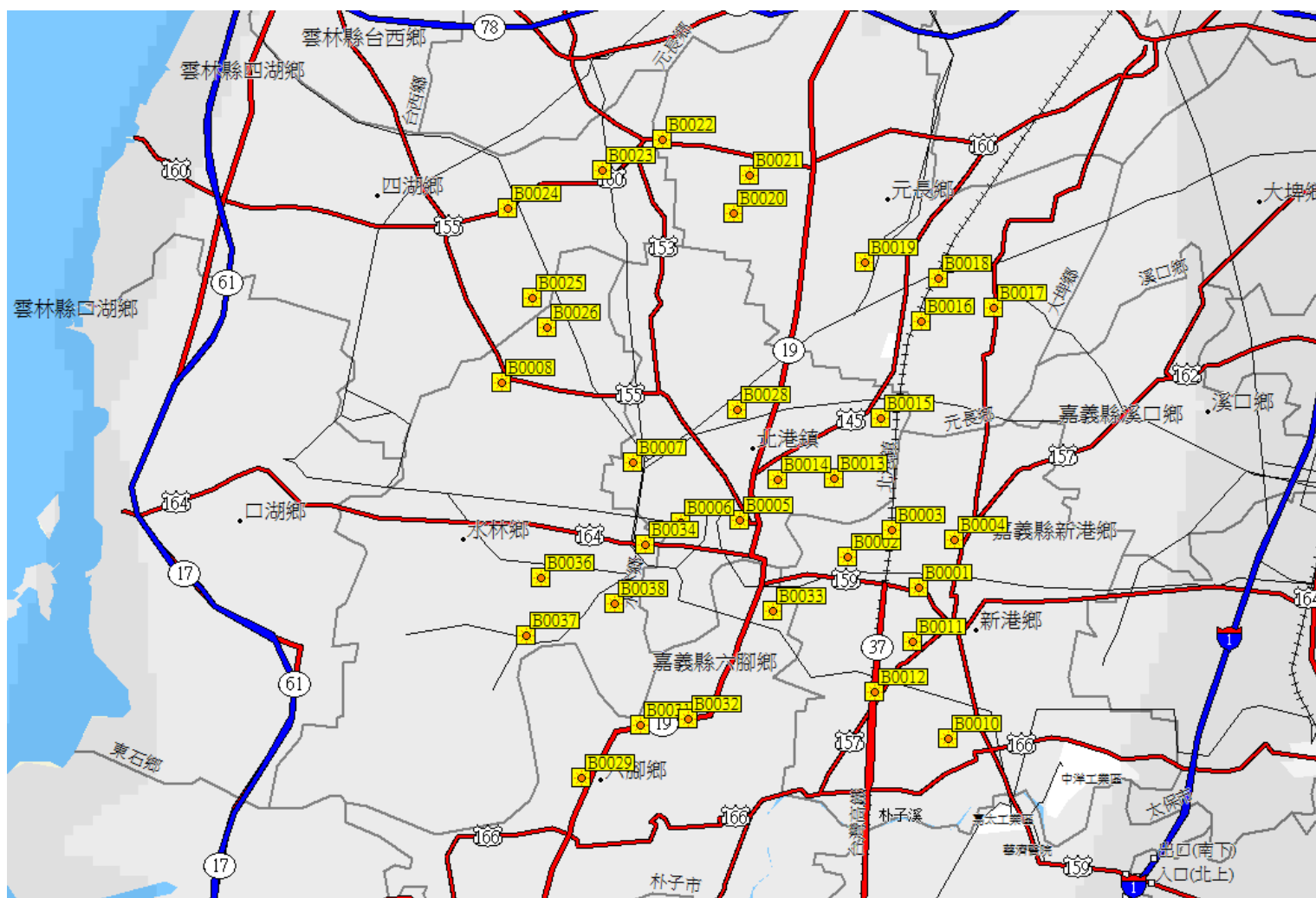


$$\begin{bmatrix} N_{0,t} \\ N_{A,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_0 m & S_A m \\ S_0 & S_A \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} N_{0,t-1} \\ N_{A,t-1} \end{bmatrix}$$

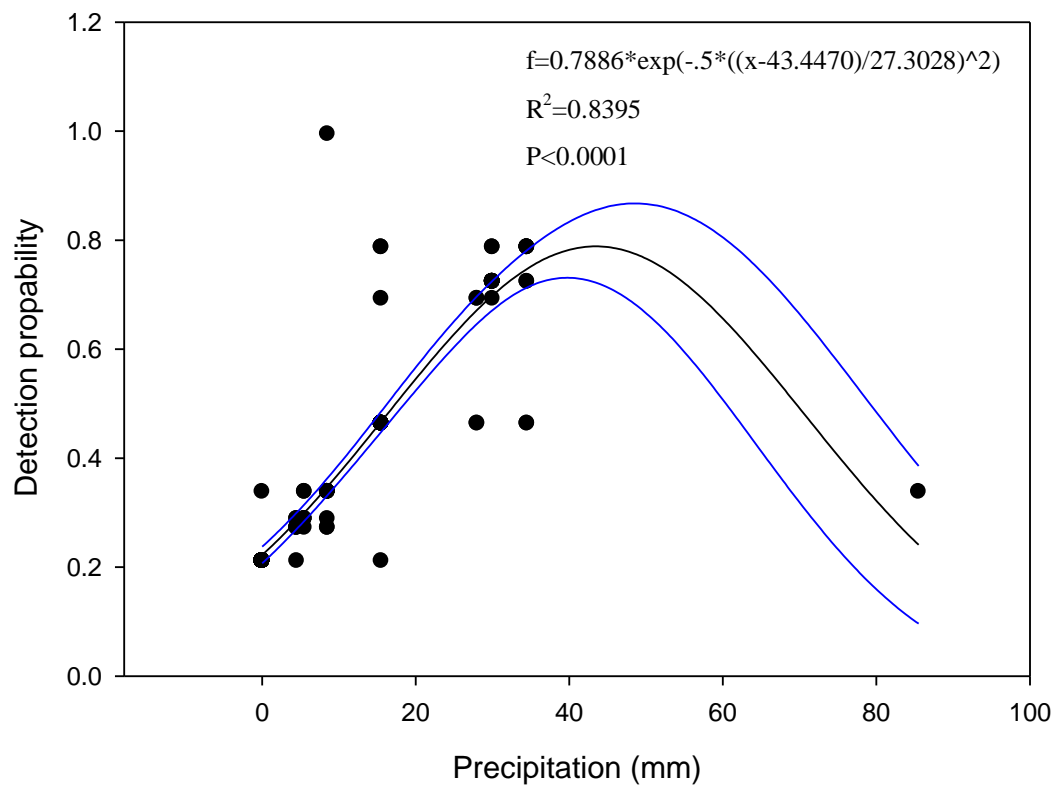
$$N_{0,t} = N_{0,t-1} \times S_0 \times m + N_{A,t-1} \times S_A \times m$$

$$N_{A,t} = N_{0,t-1} \times S_0 + N_{A,t-1} \times S_A$$

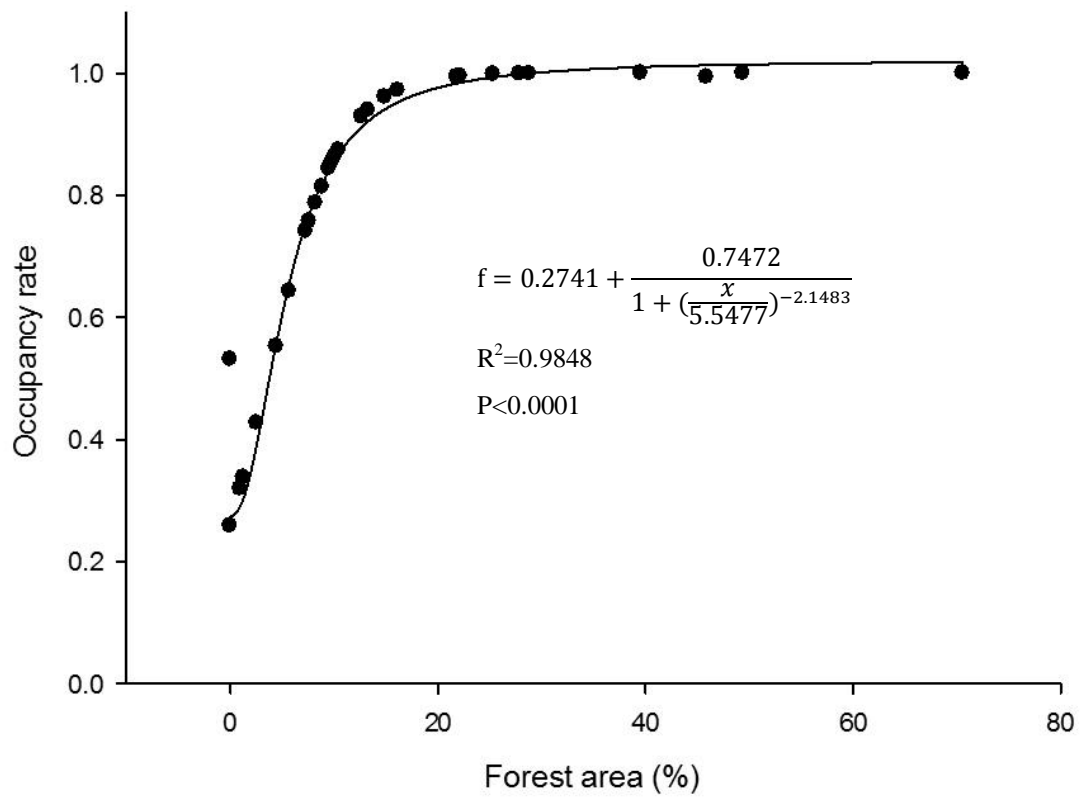
圖三、亞洲錦蛙族群分析模式示意圖。 S_0 ：小蛙從t-1年至t年的存活率， S_e ：卵孵化成蝌蚪的成功率， S_t ：蝌蚪變態成小蛙的存活率， S_a ：成蛙從t-1年至t年的存活率， C_{egg} ：平均卵數。



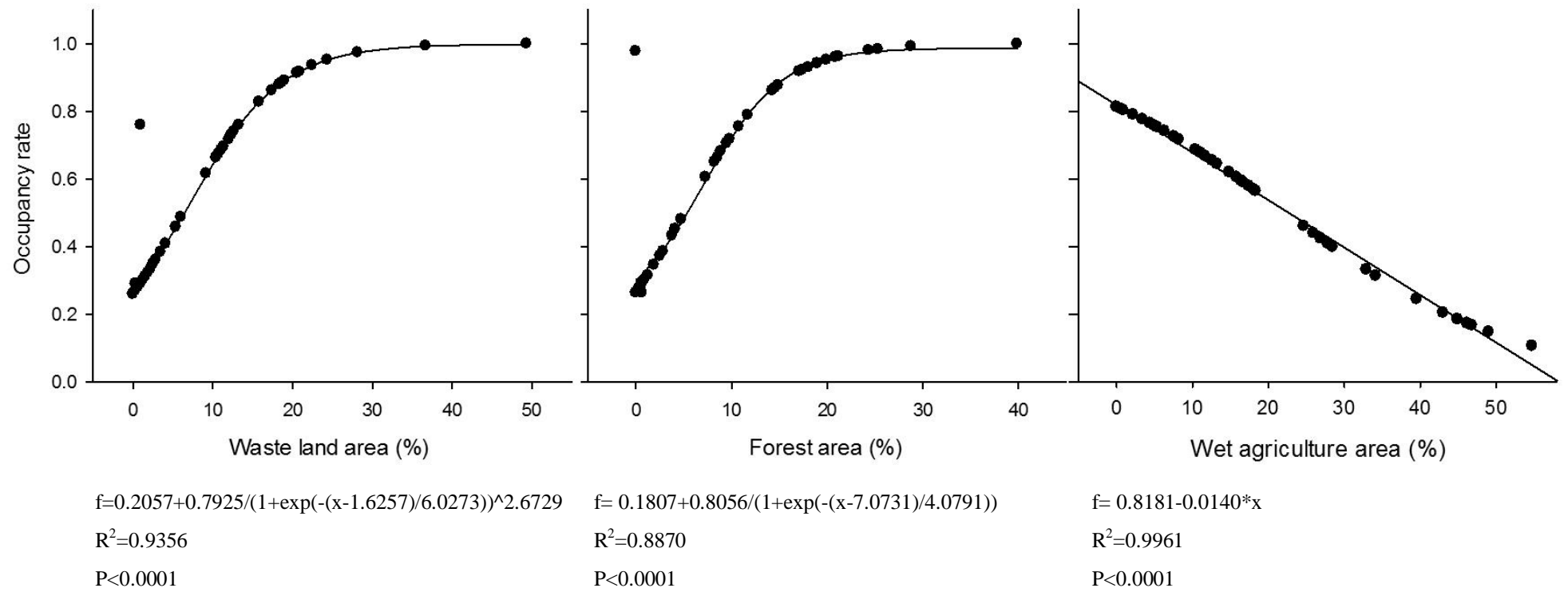
圖四、2011年雲林亞洲錦蛙分佈調查的樣點分布地圖。



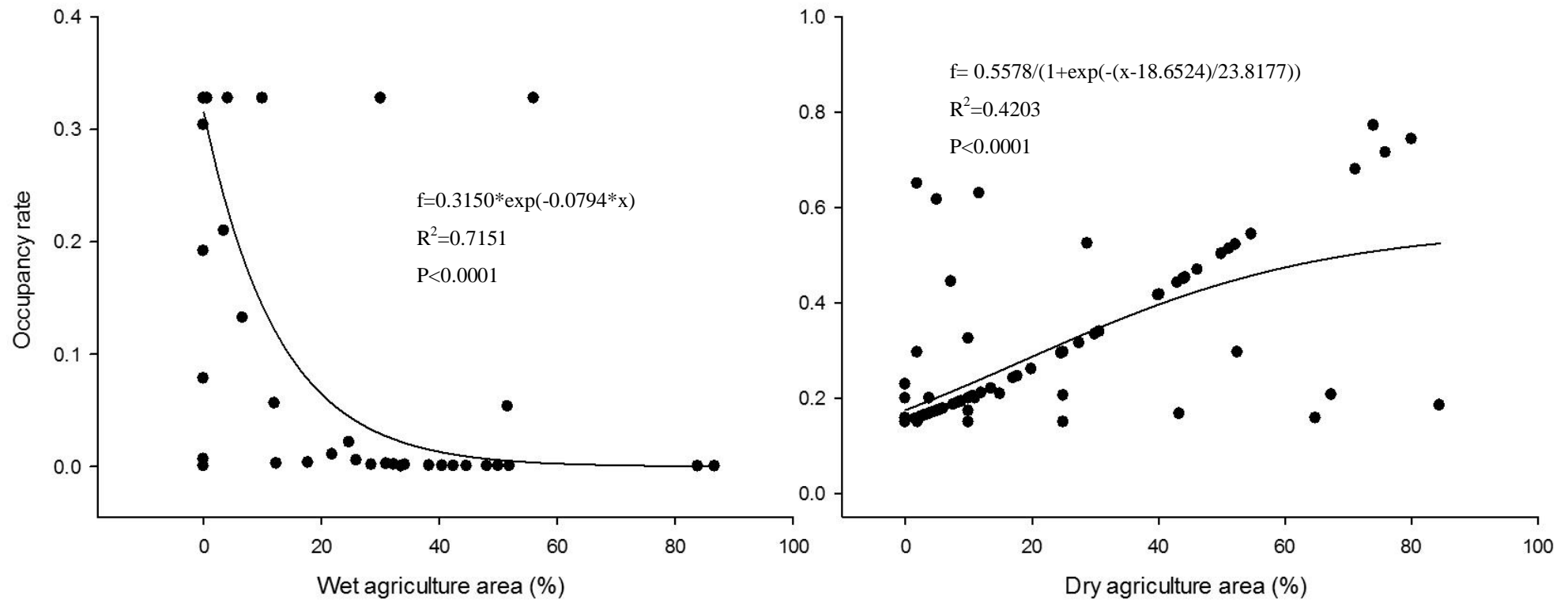
圖五、2007 年南高雄地區亞洲錦蛙調查偵測率和當天降雨量的關係。



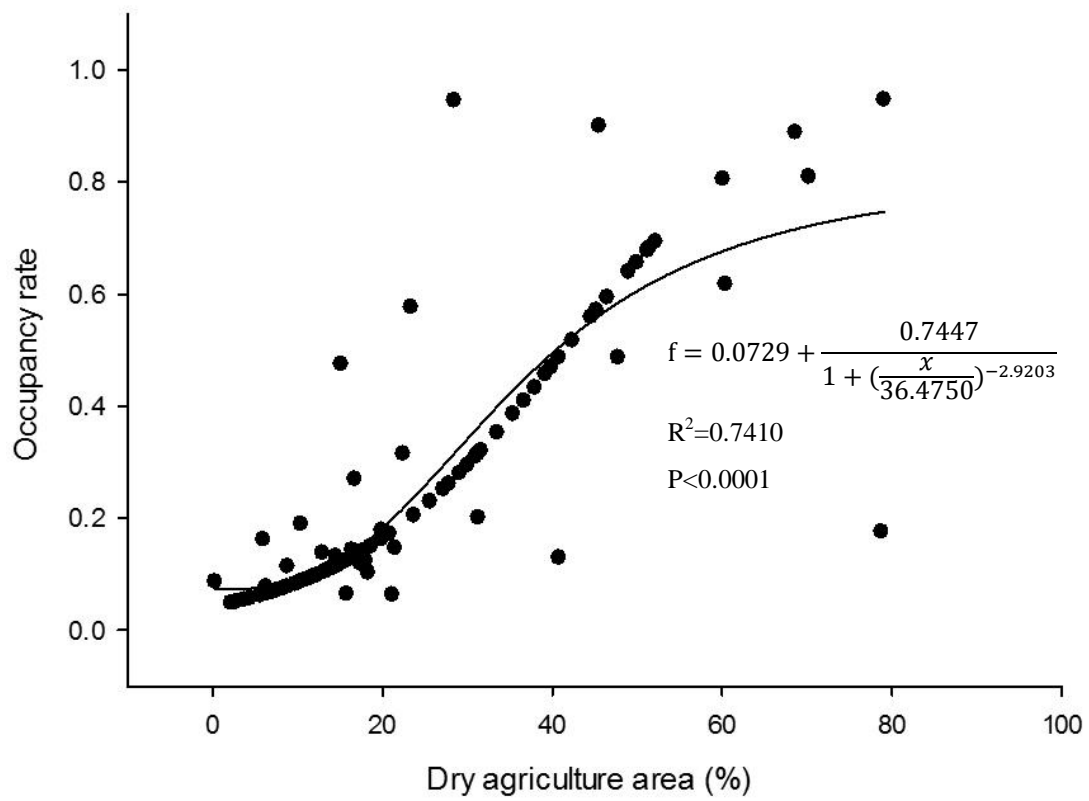
圖六、2007 年南高雄地區在 100 公尺半徑尺度下林地面積與亞洲錦蛙棲地佔有率的關係。



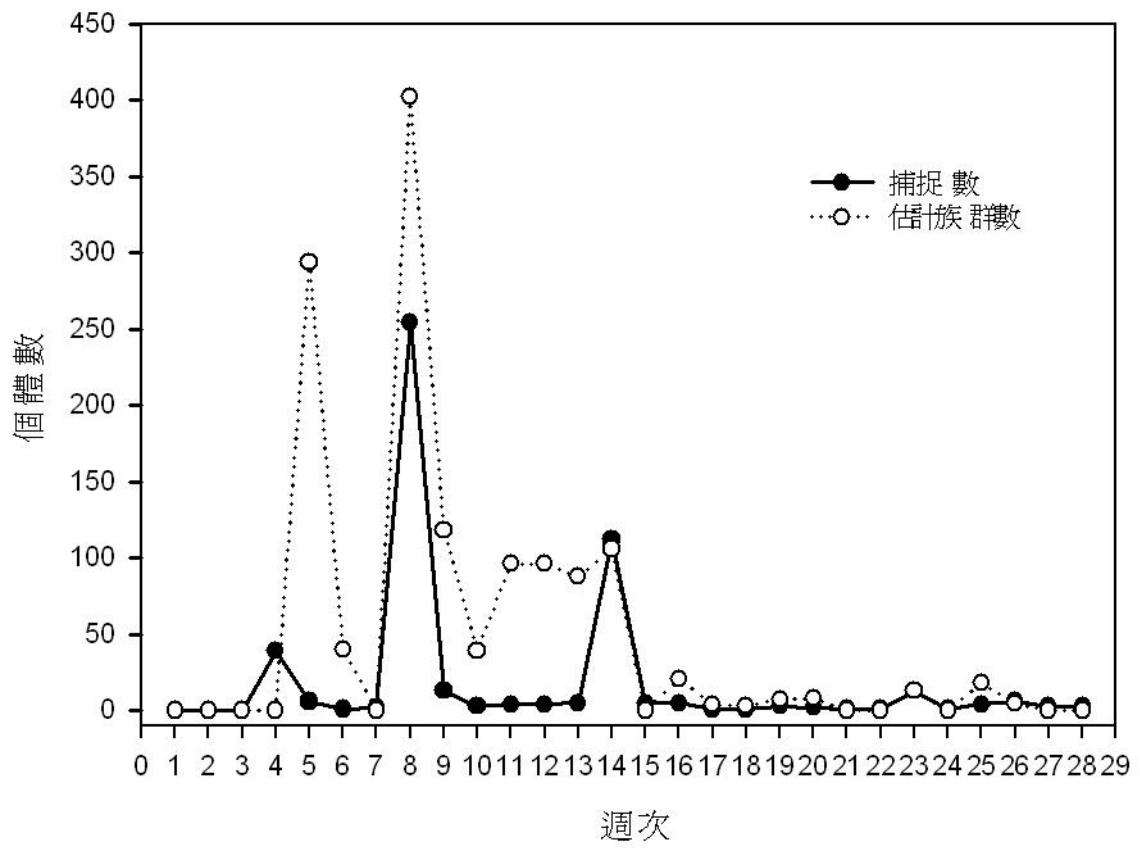
圖七、2007 年南高雄地區在 1000 公尺半徑尺度下荒地、林地與水田面積與亞洲錦蛙棲地佔有率的關係。



圖八、2010年台南地區在100公尺半徑尺度下水田與旱田面積與亞洲錦蛙棲地佔有率的關係。

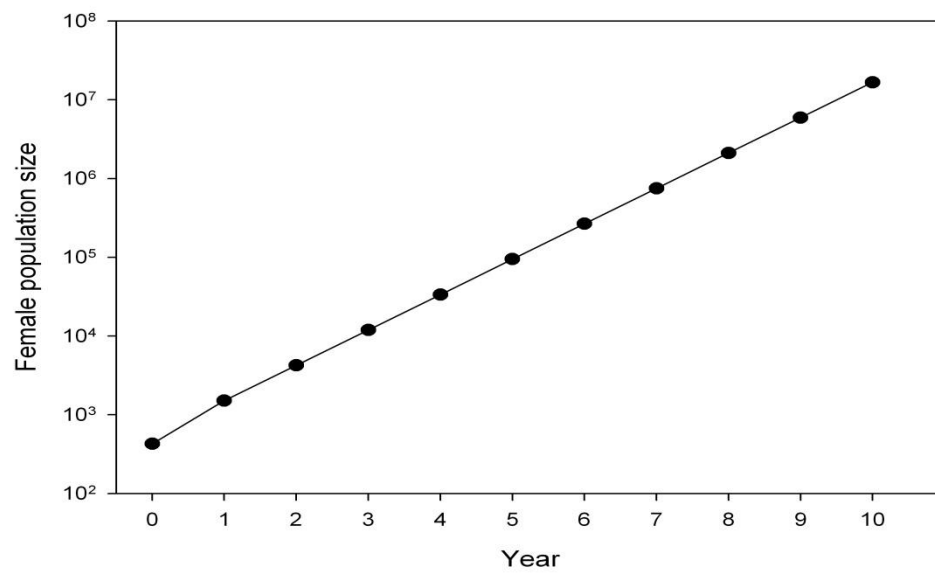


圖九、2010年台南地區在1000公尺半徑尺度下旱田面積與亞洲錦蛙棲地佔有率的關係。

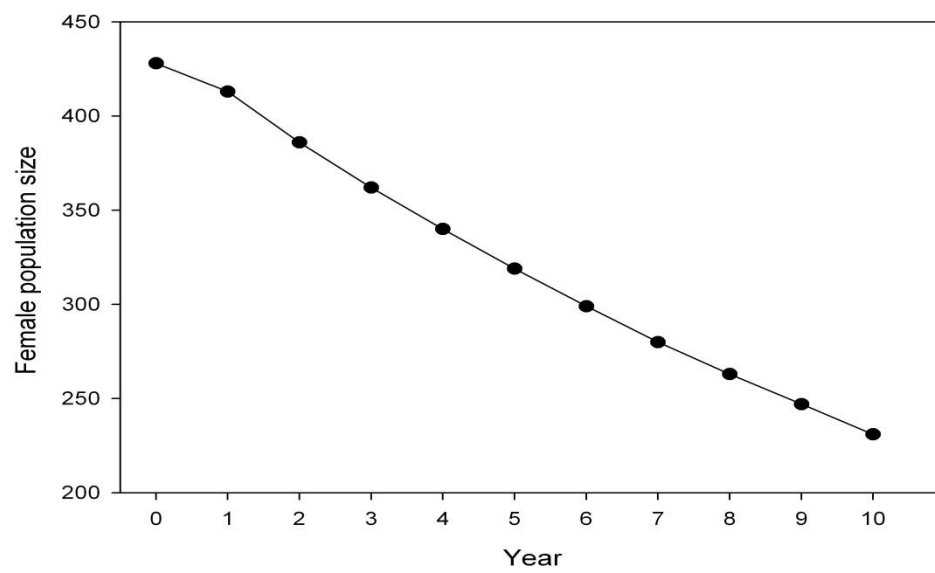


圖十、2011 年高雄都會公園亞洲錦蛙捕捉個體數與族群估算值。

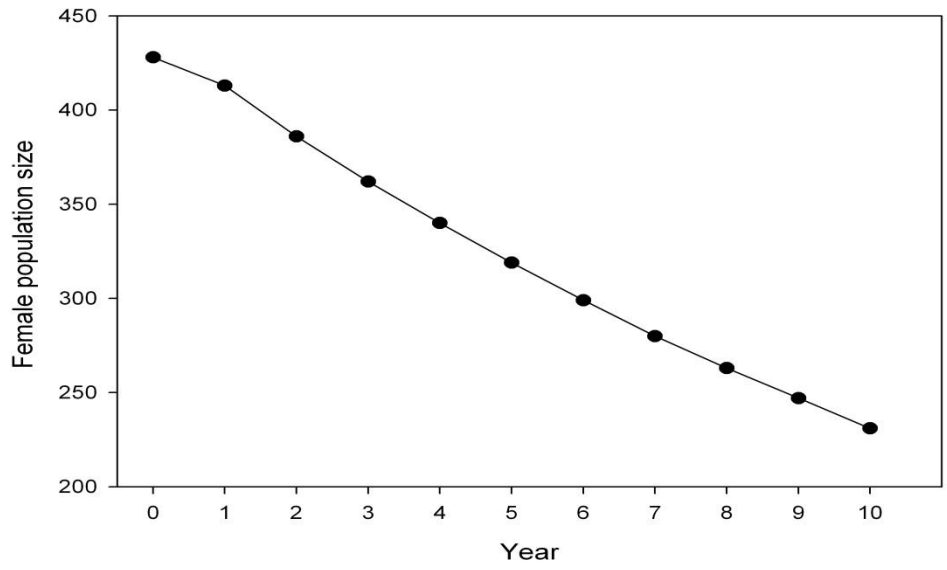
(a) 方案0：不作任何管理



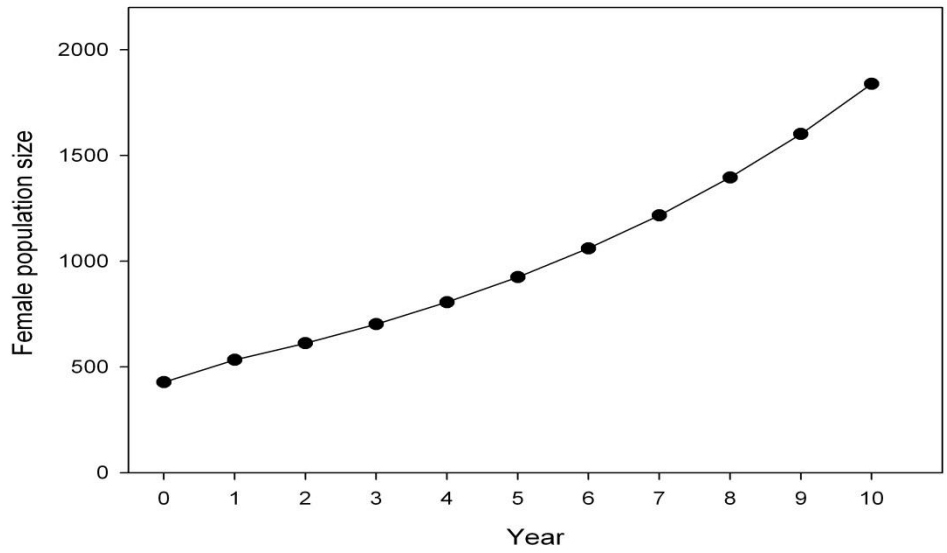
(b) 方案A：移除 100% 卵與蝌蚪



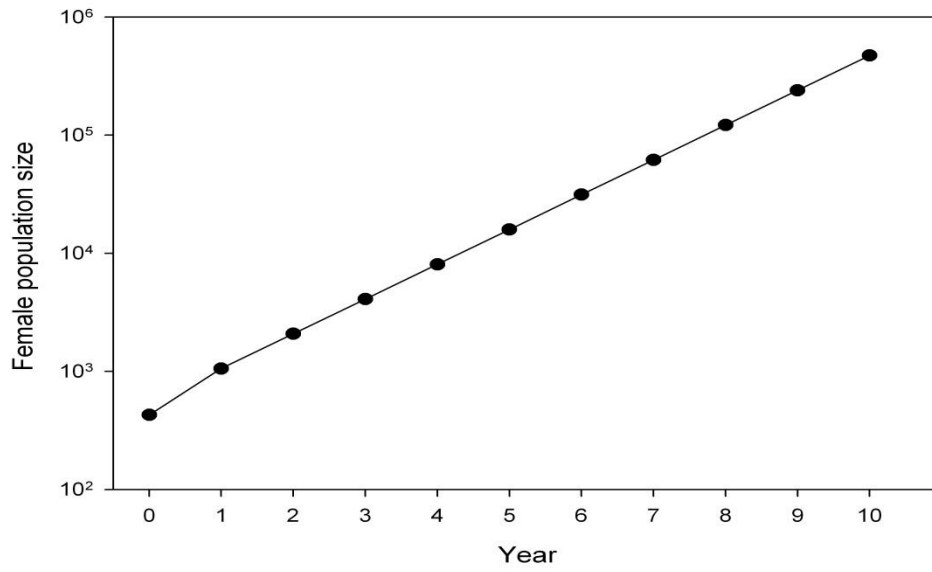
(c) 方案B：移除 90% 卵與蝌蚪



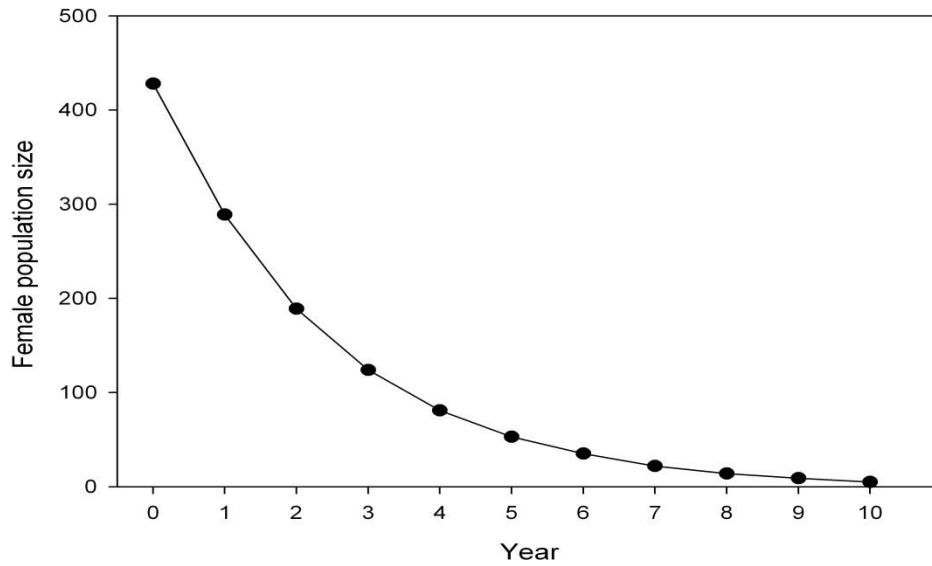
(d) 方案C：移除 80% 卵與蝌蚪



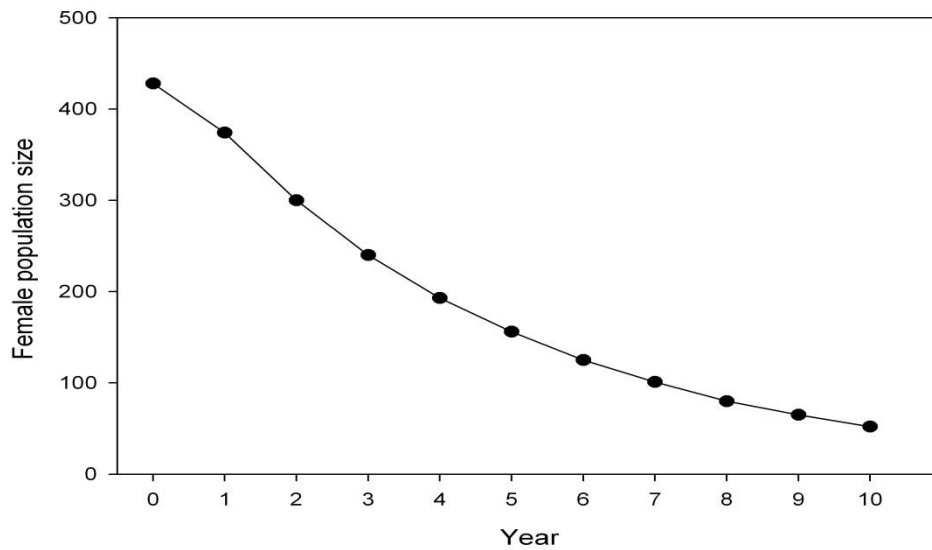
(e) 方案D：移除 30% 成蛙與小蛙



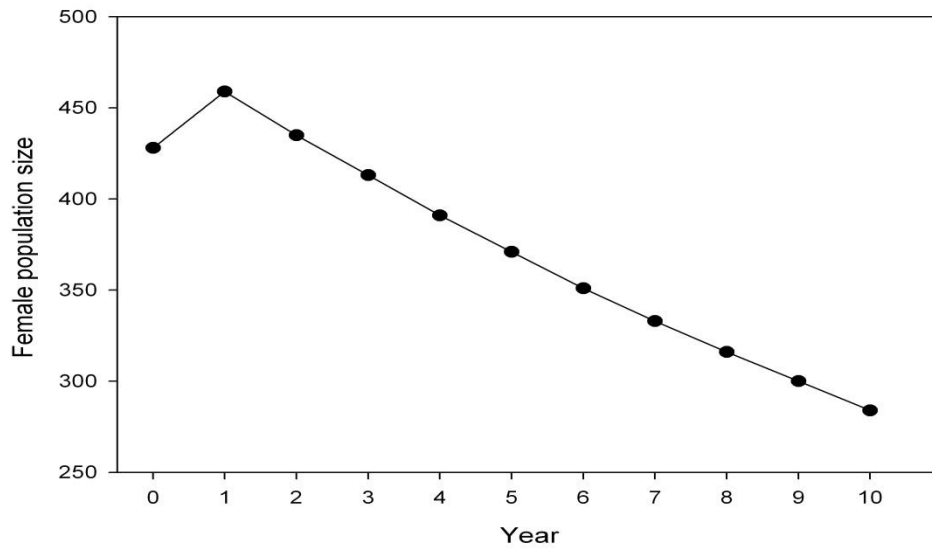
(f) 方案E：移除 90% 卵與蝌蚪 + 30% 成蛙與小蛙



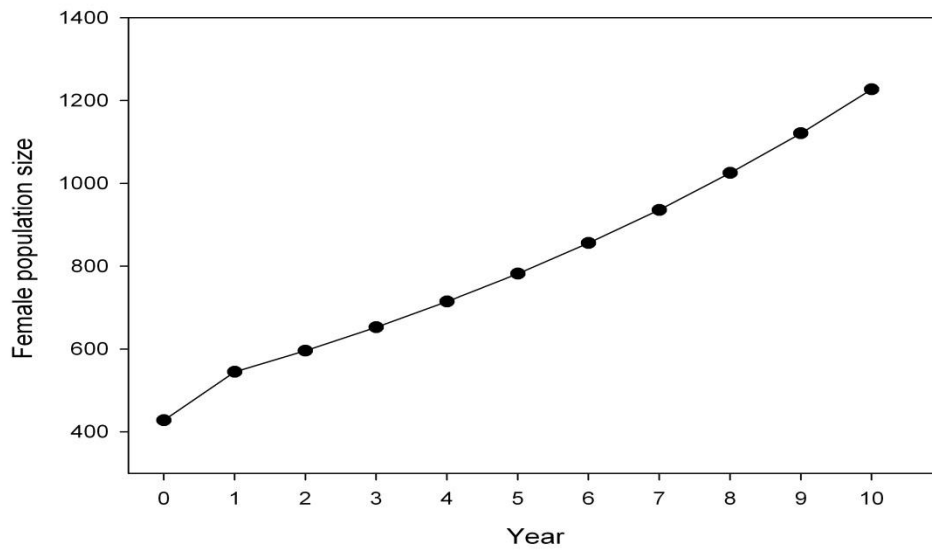
(g) 方案F：移除 80% 卵與蝌蚪 + 30% 成蛙與小蛙



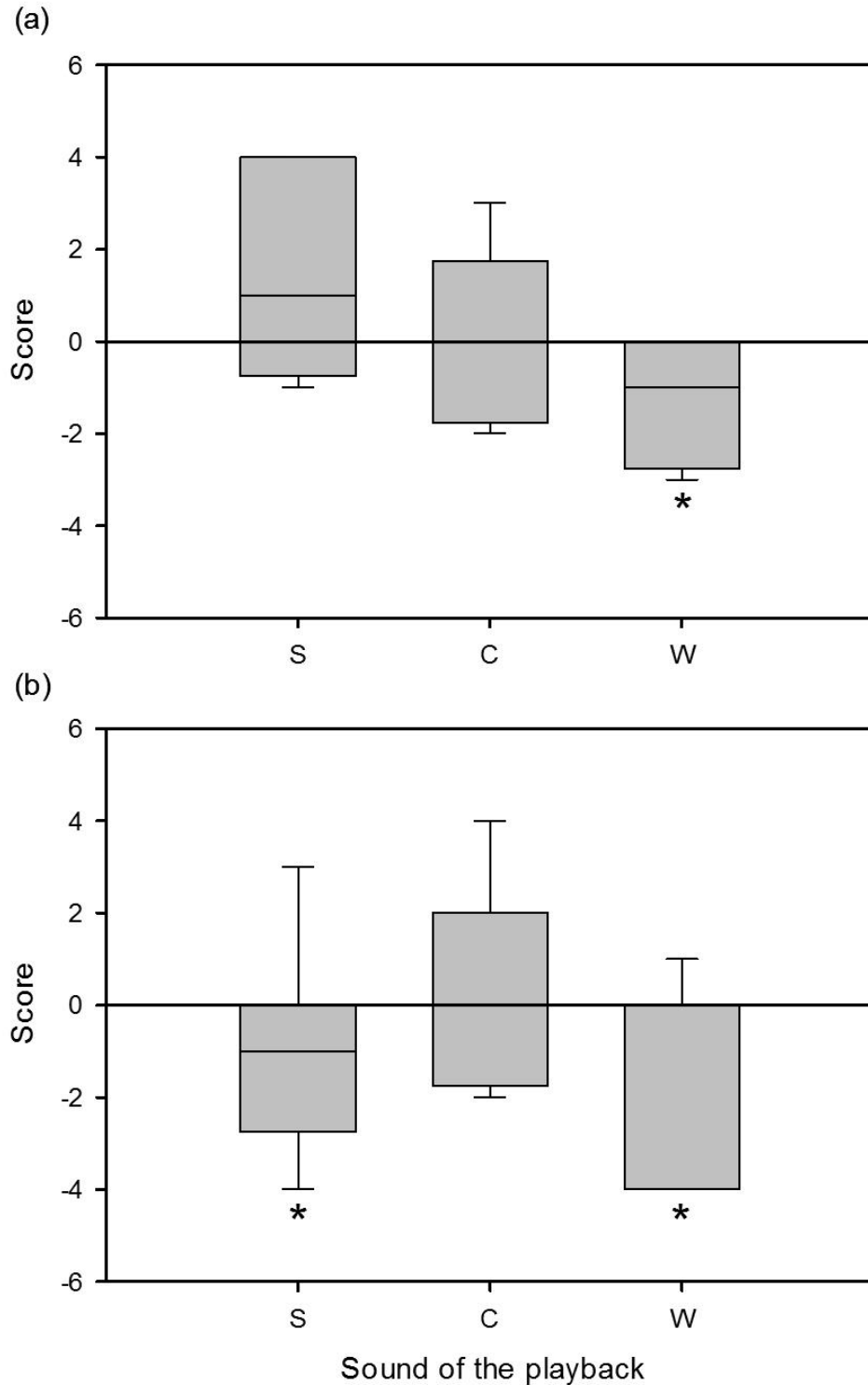
(h) 方案G：移除 70% 卵與蝌蚪 + 30% 成蛙與小蛙



(i) 方案H：移除 60% 卵與蝌蚪 + 30% 成蛙與小蛙



圖十一、亞洲錦蛙族群動態及管理模擬結果。



圖十二、亞洲錦蛙在單隻鳴唱、合唱和白噪音的回播實驗的趨聲分數箱型圖。(a)圖為公蛙結果，(b)圖為母蛙結果。箱型圖中橫線為中位數，上下界分別為75與25百分位數，上下誤差條分別表示90與10百分位數。S代表單隻鳴唱，C代表合唱，W代表白噪音。箱型圖下方的星號代表趨聲分數顯著小於0(星號： $P < 0.05$ ；威爾康辛符號等級檢定)。

附錄一、雲林地區亞錦調查樣方之二分帶座標。

樣點編號	座標 (TWD67)	棲地描述
B0001	181639 2606502	水池、人工綠地、周圍有稻田
B0002	179914 2607265	人工綠地、水田、旱田、十字路口
B0003	180983 2607911	水田、旱田、菱角
B0004	182520 2607652	大埤塘、人工綠地
B0005	177272 2608180	甘蔗
B0006	175818 2608124	水溝邊、雜木林、對面有稻田、甘蔗
B0007	174651 2609578	雜木林、稻田、水溝
B0008	171450 2611529	果園
B0010	182353 2602843	苗圃 (南洋杉)、旁有稻田
B0011	181488 2605193	稻田、農舍後苗圃
B0012	180553 2603979	雞舍旁有雜木林、稻田
B0013	179570 2609174	苗圃、竹園、墓園附近
B0014	178195 2609148	住宅旁果園、雜木林、荒空地
B0015	180719 2610627	雜木林、稻田、水溝
B0016	181722 2612985	竹園、周圍水稻、空屋
B0017	183497 2613304	甘蔗、住家周圍菜園
B0018	182157 2614028	雜木林、旱田、小排水溝、高鐵
B0019	180369 2614416	小廟人工綠地、前有稻田、旁有排水溝、小雜木林
B0020	177152 2615625	排水溝、旱田、廢棄住家
B0021	177555 2616560	元長環保公園、稻田、灌溉水道、金母宮
B0022	175421 2617431	雜木林、住家後稻田
B0023	173962 2616702	稻田、旁有雜木林、墓園、竹林
B0024	171644 2615781	荒地、路上會經過苗圃、椰棗在旁邊
B0025	172231 2613592	草澤、竹林、荒地
B0026	172565 2612879	菱角田、荒地、三合院在旁邊
B0028	177234 2610852	荒地、雜木林
B0029	173356 2601933	稻田
B0030	178957 2607548	竹林
B0031	174800 2603209	渠道邊
B0032	175988 2603336	路邊、草澤、廢耕田、香蕉園
B0033	178078 2605945	田邊水溝、廟前空地 (聖安宮)
B0034	174946 2607594	人工林、甘蔗田、土溝
B0036	172391 2606803	住家前水池
B0037	172032 2605395	荒地、水池、住家旁
B0038	174195 2606141	真玄宮前水池

附錄二、2011 年高雄都會公園亞洲錦蛙再捕捉數。

No.	日期	TC	NC	R	逐次再捕捉數																								
					4/19	4/26	5/3	5/10	5/17	5/24	5/31	6/7	6/14	6/21	6/28	7/5	7/12	7/19	7/26	8/2	8/9	8/16	8/23	8/30	9/6	9/13	9/20	9/27	10/4
1	3/29	0	0	0																									
2	4/5	0	0	0																									
3	4/12	0	0	0																									
4	4/19	39	39	0	~																								
5	4/26	6	6	0		~																							
6	5/3	1	1	0			~																						
7	5/10	2	2	0				~																					
8	5/17	254	234	20	17	2	1		~																				
9	5/24	13	6	7				7	~																				
10	5/31	3	2	1					1	~																			
11	6/7	4	3	1				1																					
12	6/14	4	3	1																									
13	6/21	5	3	2						1																			
14	6/28	112	97	15	1			11	1	1																			
15	7/5	5	3	2																									
16	7/12	5	3	2																									
17	7/19	1	1	0																									
18	7/26	1	0	1																									
19	8/2	3	1	2	1																								
20	8/9	2	1	1																									
21	8/16	1	1	0																									
22	8/23	1	0	1																									
23	8/30	13	10	3																									
24	9/6	1	1	0																									
25	9/13	4	4	0																									
26	9/20	6	4	2																									
27	9/27	3	2	1																									
28	10/4	3	3	0																									
SUM		492	430	62	19	2	1	0	19	2	2	1	1	1	5	0	1	1	1	2	1	0	0	1	0	1	1	0	0

No.= 週次； TC = 總捕捉數； NC = 新捕捉個體數； R = 再捕捉個體數。

附錄三、亞洲錦蛙回播實驗每隻個體的趨聲分數。

趨聲得分	male			female		
	S	C	W	S	C	W
01	-4	-2	-1	-1	2	-1
02	4	0	0	0	-4	-4
03	-1	-1	-3	-2	0	-4
04	0	0	0	-1	1	1
05	4	1	-4	0	1	0
06	0	-2	-1	3	0	4
07	4	0	-2	-2	4	-2
08	4	2	-3	-1	-2	-4
09	-1	1	-3	3	0	1
10	-1	3	0	0	4	0
11	1	-2	-1	-4	-1	-4
12	1	-4	0	-4	2	-4
13	0	0	0	-3	-2	-4
14	1	4	-1	-3	3	-4
15	4	3	0	-2	-2	-4

S: 單隻個體鳴叫聲音

C: 合唱團鳴叫聲音

W: 白噪音

附錄四、亞洲錦蛙雲林樣區的蛙類調查結果表。

樣點編號	亞洲錦蛙	黑眶蟾蜍	澤蛙	虎皮蛙	貢德氏赤蛙	小雨蛙	中國樹蟾	諸羅樹蛙
B0001	0/0/0	0/0/0	2/0/1	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
B0002	0/0/0	0/1/1	2/0/1	0/0/0	0/0/0	2/0/1	0/0/0	0/0/0
B0003	0/0/0	1/2/2	1/7/2	0/1/1	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
B0004	0/0/0	0/1/1	0/11/2	0/0/0	1/0/1	0/0/0	0/0/0	0/0/0
B0005	0/0/0	0/1/1	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
B0006	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
B0007	0/0/0	0/1/1	0/3/1	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
B0008	0/0/0	0/7/2	0/1/1	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
B0010	0/0/0	0/2/1	3/4/2	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
B0011	0/0/0	0/0/0	3/4/2	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
B0012	0/0/0	1/2/2	3/2/1	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
B0013	0/0/0	0/9/2	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
B0014	0/0/0	0/8/2	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
B0015	0/0/0	0/2/1	1/1/1	0/1/1	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
B0016	0/0/0	0/6/2	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
B0017	0/0/0	0/1/1	0/1/1	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
B0018	0/0/0	0/2/2	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
B0019	0/0/0	0/11/2	0/1/1	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
B0020	0/0/0	2/6/2	0/2/2	0/0/0	2/0/1	0/1/1	0/0/0	0/0/0

註：結果顯示為「最大鳴叫等級/目視調查總隻次/物種被發現次數」

續附錄四

樣點編號	亞洲錦蛙	黑眶蟾蜍	澤蛙	虎皮蛙	貢德氏赤蛙	小雨蛙	中國樹蟾	諸羅樹蛙
B0021	0/0/0	0/1/1	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
B0022	0/0/0	0/1/1	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
B0023	0/0/0	0/6/2	0/3/1	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
B0024	0/0/0	0/0/0	0/1/1	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
B0025	0/0/0	0/8/2	0/0/0	0/0/0	2/0/1	2/1/2	0/0/0	0/0/0
B0026	0/0/0	0/1/1	1/2/2	0/0/0	1/0/1	0/0/0	0/0/0	0/0/0
B0029	0/0/0	0/9/0	0/1/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
B0030	0/0/0	0/0/1	0/0/1	0/0/0	0/0/0	0/0/0	3/5/0	3/0/0
B0031	0/0/0	0/3/0	0/2/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/2	0/0/1
B0032	0/0/0	1/1/2	1/0/1	0/1/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
B0033	0/0/0	0/1/2	0/2/1	0/0/1	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
B0034	0/0/0	0/0/1	2/3/1	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
B0035	0/0/0	0/0/0	2/0/2	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
B0036	0/0/0	0/0/0	2/2/1	0/0/0	0/0/0	2/0/0	0/0/0	0/0/0
B0037	0/0/0	0/0/0	2/0/1	0/0/0	0/0/0	0/0/1	0/0/0	0/0/0
B0038	0/0/0	0/0/0	0/0/1	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0

註：結果顯示為「最大鳴叫等級/目視調查總隻次/物種被發現次數」

附錄

台灣入侵蛙種 — 亞洲錦蛙防治作業程序建議書

執行單位：國立成功大學生命科學系

研究主持人：侯平君

研究人員：陳清旗、陳麗文、賴建志

目錄

序.....	4
一、生物多樣性與外來種.....	5
1.1. 生物多樣性.....	5
1.2. 生物多樣性的現況.....	5
1.3. 外來種、入侵種、有害生物.....	6
1.4. 入侵成功的條件.....	6
1.5. 引入管道.....	7
1.6. 造成危害的機制.....	7
1.7. 兩棲類案例.....	7
1.8. 入侵台灣的兩棲類.....	9
二、亞洲錦蛙分佈、形態與相關研究.....	13
2.1. 原分佈區域.....	13
2.2. 亞錦在台灣.....	13
2.3. 亞洲錦蛙形態介紹.....	14
2.4. 台灣相關研究.....	15
2.5. 結論與展望.....	21
三、兩棲類調查方法簡介.....	22
3.1. 目視遇測法.....	23
3.2. 鳴叫計數法.....	23
3.3. 方塊取樣法.....	24
3.4. 自動錄音法.....	24
3.5. 陷阱法.....	25
3.6. 掩蔽物調查法.....	25
3.7. 道路死亡動物調查法.....	25

3.8.	個體追蹤調查	26
3.9.	亞洲錦蛙調查記錄表使用指南	27
四、	外來種兩棲類的管理與防治方法	31
4.1.	外來種的防治	31
4.2.	外來兩棲類的移除方法	31
4.3.	亞洲錦蛙的長期防治與管理方式.....	32
五、	結語	35
六、	參考文獻.....	36

序

外來種 (exotic species) 生存在其自然分布範圍之外，大部份很難存活，僅少部分的物種能在新環境中擴張族群。而且外來物種成為有害生物的比例並不算高，但只要有一種成為有害生物，都會造成極其嚴重的後果。例如與原生種競爭資源或是經由捕食原生物種造成其族群下降，更多危害的途徑也逐漸被發現。

亞洲錦蛙原產於東南亞一帶，在台灣最早在 1998 年由楊懿如博士在高雄市的林園、鳳山水庫一帶發現。成功大學生命科學系侯平君教授實驗室團隊 (即我們)，自 2005 年 4 月開始，接受農委會林務局的委託，對亞洲錦蛙在台灣分布情況進行調查，目前所知其分佈範圍，往北到台南縣關廟鄉、龍崎鄉，往南到高雄縣林園鄉，往東則到屏東縣內埔鄉、萬巒鄉，另外，在高雄縣美濃鎮地區亦有零星分佈，而且在南高雄的族群，有擴張的情況。面對調查範圍逐年擴大，以現有人力及方法已無法做整個面的長期監測。未來將朝向大尺度生態學數學模式推估及鼓勵志工參與的方式，來掌握亞洲錦蛙族群分布的動態。

為了長期管理與防治亞洲錦蛙的族群，本文整理過去的研究結果和調查的經驗，並參考過內外研究的相關文獻，提出長期管理與防治外來種亞洲錦蛙的作業程序建議書，供主管單位參考運用及推擴。

一、生物多樣性與外來種

外來物種對本地生態的影響近年逐漸受到重視，因為外來生物的入侵是全球生物多樣性喪失最主要的原因之一。然而，什麼是生物多樣性？生物多樣性與我們的生活又有何關係？外來生物是如何進入的？生物進入一個新的地區會產生什麼影響？又該如何處理？

1.1. 生物多樣性

生物多樣性 (biodiversity) 指的是地球上所有的生命形式，包括：遺傳物質、物種及生態系等，由於生命的形式非常分歧而多樣，所以稱為生物多樣性。例如：目前已知且已命名的物種就有 170 多萬種，據估計全世界的生物種類至少在 1000 萬種以上，所以我們目前最多只知道所有物種的 1/8。此外，因為遺傳物質的不同，即使是同種生物內也有許多的變異或不同的品系。例如：我們食用的亞洲稻 (*Oryza sativa*) 包含了 5 個亞種和 200 個以上的栽培品系。另外，在一個地區特定的氣候、光線、土壤、水文等非生物條件下，不同種的植物、動物、微生物藉由彼此的交互作用（如：捕食、寄生、疾病、互利、競爭等）形成生態系 (ecosystem)。每個生態系都是獨特的，即使是氣候條件類似，因為其中組成的生物種類及非生物物質都不盡相同，除了人類建構的生態系，自然界幾乎找不到兩個完全相同的生態系。生態系中，非生物和生物之間藉由能量和物質的交換，提供人類所需的糧食、原料物質、乾淨的水和空氣等，稱為生態系服務 (ecosystem service)。因此，整體生物多樣性的維持，也就是保障人類自身生存的基礎。

1.2. 生物多樣性的現況

二十世紀以來的人口增加，造成人類對自然資源的需求增加，人類的

農業活動、工業化及化石燃料的使用、都市化與道路的修建以及頻繁的國際貿易，使得生物多樣性迅速喪失，也導致嚴重的全球氣候變遷，直接威脅到人類未來的生存。據估計目前物種絕種的速率大約是每天 72 種，每小時 3 種，是地球過去自然絕種率的 100-1000 倍。造成生物多樣性快速喪失的直接因素包括：棲地喪失、碎化或劣化（包含污染）、引進外來物種、過度利用資源等，這些因素互相影響再加上氣候變遷的效應，使得全球生物多樣性面臨空前的浩劫，有人稱其為地球歷史上的「第六次大滅絕」。

引進外來種對於島嶼生物多樣性的影響尤其重大。例如：位於加州沿岸的聖卡塔莉納島，因引進山羊、豬、鹿等動物啃食，造成當地 48 種原生植物滅絕；關島因為引進棕樹蛇，使得 11 種森林鳥種中的 8 種滅絕；位於南太平洋的社會群島因為引進捕食性蝸牛用於生物防治，導致群島 50 種以上的本地蝸牛滅絕。然而，並非所有外來種生物都是有害生物。

1.3. 外來種、入侵種、有害生物

外來種 (exotic species) 是指因為人類活動而出現在其自然分布範圍之外的物種。外來種若是在被引入的地區建立自然族群，並且族群擴張威脅原生物種生存者，稱為入侵種 (invasive species)。入侵種若是對人類經濟或生活造成損傷，便成為有害生物 (pest)。大部分的生物在其自然分布範圍之外，很難存活，僅有很少部分的物種 (<1%) 能在新環境中擴張族群。一般而言，進入新環境存活下來的物種中，有 1/10 會變成有害生物 (Williamson and Brown, 1986)。雖然外來物種成為有害生物的比例並不算高，但只要有一種成為有害生物，都會造成極其嚴重的後果。例如：紅火蟻入侵美國後造成的經濟損傷為每年 20 億美金，而美國每年因為各種入侵生物的經濟損傷總和高達 1370 億美金 (Pimentel, 2002)。

1.4. 入侵成功的條件

一個外來種能成為入侵物種，除了引進地區的環境條件和其原生棲息環境相似外，引進地區缺乏其天敵（捕食者、寄生生物及病原菌）或是競爭對手，或是引進地區具有豐富的食物資源，且入侵種本身具有高繁殖力及環境適應力，也都是重要原因。

1.5. 引入管道

外來生物進入一個地區有許多種不同的方式：(一)隨人類移居而引入，例如：許多歐洲的動植物隨移民進入紐西蘭、澳洲、北美洲及南非等地；(二)因觀賞、農牧水產及水土保持需要而刻意引進，而後逸出野外；(三)隨人類運輸意外引進，如：雜草種子混在作物種子中一同輸入、老鼠、蛇類及昆蟲等隨運輸工具進入、病原和寄生生物隨其宿主進入、透過船舶壓艙水（ballast water）的排放而引進；(四)因生物防治之需要而引進等。

1.6. 造成危害的機制

一種生物入侵後對當地原生物種的衝擊，可能是透過與原生種競爭資源（食物、棲地、生殖場等），或是經由捕食原生物種造成其族群下降，或是藉由改變棲地環境造成原生物種無法存活，或經由病原及寄生物的引進危害原生物種。透過這些作用，一種生物入侵往往造成引進地區生物組成改變，甚至影響整個生態系的功能和過程，例如：初級生產以及養分循環。

1.7. 兩棲類案例

全球百大入侵物種，屬於兩棲類的有牛蛙（*Rana catesbeiana*）、海蟾蜍（*Bufo marinus*）及波多黎各樹蛙（*Eleutherodactylus coqui*）。

牛蛙

牛蛙原產於美國中部、東部及加拿大的東南部。從十九世紀末開始被引進美國西部作為食物（蛙腿），二十世紀陸續被引進世界各地養殖，目前已經入侵美國西部、夏威夷、加拿大西部、墨西哥、加勒比海各國、南美洲、歐洲及亞洲。牛蛙捕食水域、地面或空中飛行的昆蟲、無脊椎動物、甚至小型脊椎動物；其蝌蚪以水生藻類為食，也會捕食其他種類蝌蚪。雌蛙一次最多可以產下 40000 顆卵，而且在適當環境下，可以在一個生殖季中進行多次生殖。蝌蚪存活率很高，且具有化學防禦物質使許多魚類不喜捕食；在受人類污染的靜水域也能生存。入侵牛蛙常對當地原生的水生與陸域的無脊椎動物與小型脊椎動物造成危害。在美國西部，牛蛙的入侵與當地原生蛙類（如：紅腿蛙 *Rana aurora*、豹蛙 *Rana onca* 和太平洋樹蛙 *Hyla regilla*）的減少有關。此外，牛蛙也被認為是兩棲類壺菌病（chytridiomycosis）的帶原者，可能傳染給野生蛙類，而壺菌病的蔓延是全球兩棲類衰退的重要原因之一。

海蟾蜍

海蟾蜍原來分布在南美洲，在二十世紀初被引進世界各地用於甘蔗害蟲的防治，故又稱蔗蟾蜍。海蟾蜍於 1935 年被引進澳洲，於防治害蟲失效後，逸入野外。其分布於幾十年之間，由昆士蘭北部向南擴張至新南威爾斯省，亦向西跨越乾燥的地區擴張至北領土（Northern Territory）（Sutherst et al., 1995）。此種蟾蜍繁殖力超強，每次最高可產 8000-35000 個卵，其皮膚有毒性分泌物，使許多野生動物捕食者中毒死亡，而狗貓等寵物及人類也有誤食中毒的例子。海蟾蜍也會捕食蜜蜂，對養蜂業造成影響；此外，也會捕食本地動物，並且帶有病菌，可以傳染給其他的野生動物。海蟾蜍入侵澳洲北領土，在短期間內已對澳洲野狗（*Canis lupus dingo*）以及鞘翅目

昆蟲產生負面影響，長期則可能對其他同為吃昆蟲的原生種兩棲類、蜥蜴、蛇及鳥類造成競爭排擠效應 (Catling et al., 1999)。澳洲政府每年花費上百萬澳幣防治海蟾蜍的入侵，至今仍未能獲得控制。

波多黎各樹蛙

波多黎各樹蛙原產於加勒比海波多黎各島，二十世紀末陸續在加勒比海其他島嶼、加拉巴哥群島、紐西蘭、美國佛羅里達州、紐奧良及夏威夷等地被發現。其中，又以入侵夏威夷造成的危害最嚴重。波多黎各樹蛙約在 1988 年以前透過園藝販售進入夏威夷，1994 年首度被報導出現在少數園藝苗圃，短短數年間族群迅速增加，到 2002 年已出現在 300 多個地點 (Kraus and Campbell, 2002)，某些地點的族群量更高達每公頃 50000 隻以上，是原產地密度的 2 倍多 (Woolbright et al., 2006)。其捕食效應對當地的原生種昆蟲造成威脅，而其大量的排遺，也改變了當地森林的養分循環速度以及植物的生長速率 (Sin et al., 2008)。加上其叫聲宏亮 (相距 0.5 公尺約 80-90 dB)，影響安寧，使被入侵的住宅區房價下跌，造成居民經濟損失 (Kraus and Campbell, 2002)。波多黎各樹蛙入侵夏威夷雖然在很早期就已經發現，卻因主管單位人手與經費不足、防治行動遲緩以及不相信入侵會造成重大危害等因素，錯失根除的黃金時間 (Kraus and Campbell, 2002)。

1.8. 入侵台灣的兩棲類

過去因政府與民間對外來生物的威脅缺乏了解，台灣充斥著許多外來物種，許多動物類群外來種的數目是原生種的好幾倍。以寵物店中的兩棲類為例，外來種約為原生種的 1.5 倍 (Hou et al., 2006)；而外來種爬蟲類是原生種的 3 倍 (Shiau et al., 2006)。

目前已確定入侵台灣的兩棲類有牛蛙和亞洲錦蛙 (*Kaloula pulchra*)。

列名百大的海蟾蜍雖曾於 1935 年由糖業試驗所從夏威夷引進飼養與野放，所幸在近二十年的調查結果中，均未發現海蟾蜍。而最近雖在寵物店中發現販售波多黎各樹蛙，所幸在野外尚未見其蹤跡。此外，近年在台灣南部出現的海蛙 (*Rana cancrivora*) 及斑腿樹蛙 (*Polypedates* sp.)，是否為入侵種仍有爭議。

牛蛙

牛蛙於民國 13 年首次自日本引進幼蛙 500 隻，經飼養繁殖分配民間獎勵飼養，結果未能成功。迨至民國 58 年，水產試驗所突破繁養殖技術的瓶頸並開發牛蛙浮性飼料成功，使牛蛙養殖事業開展。目前持續有人工養殖及外銷。經由養殖場溢出或人類宗教放生行為等因素，牛蛙已經入侵並廣泛分佈於台灣野外環境。牛蛙體型狀碩，成體會捕食昆蟲、蛇、蛙類、蠍、蝮等，對於體型比他小的物種幾乎無所不吃，其蝌蚪亦會捕食其他共域的蝌蚪，對台灣原生蛙類構成威脅。雖然牛蛙已入侵台灣多年，近年並未發現野外族群有明顯增加現象。然牛蛙為引起蛙壺菌病 (*chytridiomycosis*) 的帶原者，而蛙壺菌病被認為是造成近年全球兩棲類族群衰退的重要原因之一。如何避免養殖牛蛙溢出野外或透過活體販售至世界各地，而傳染蛙壺菌病給野生蛙類，是保育兩棲類非常值得關切的議題。

亞洲錦蛙

亞洲錦蛙又名花狹口蛙 (*Asiatic painted frog*、*Malaysian narrow-mouthed toad*)，原產於尼泊爾及印度東北部區域，從緬甸、泰國向東分布到中國南部的廣東、廣西、雲南、海南島、香港等地，向南至馬來西亞及新加坡等地 (Inger, 1999)；於原生棲地的垂直分布高度僅限於海拔 750 公尺以下。亞洲錦蛙最早在 1998 年由楊懿如博士在高雄市的林園、鳳山水庫一帶發現，目前所知其分佈範圍，往北到台南縣關廟鄉、龍崎鄉，往南到高雄縣林園鄉，往東則到屏東縣內埔鄉、萬巒鄉，另外，在高雄縣美濃鎮地區亦

有零星分佈（侯平君等人，2007；侯平君，2008）。紐西蘭曾發現亞洲錦蛙躲藏於進口的木雕像中入境（Gill *et al.*, 2001）。亞洲錦蛙如何出現在台灣，目前還不清楚。一般推測，可能是經由原木進口而被一起夾帶進來的。前幾年對亞洲錦蛙的研究發現，採樣個體的基因型完全相同，顯示台灣的亞洲錦蛙可能來自單一地區或單一雌性個體（梁高賓，2005）。

亞洲錦蛙在狹口蛙科的成員當中，屬於體型較大者，雄蛙體長約 5-6 公分，雌蛙體長約 6-7.5 公分，而台灣的其他四種原生狹口蛙（史丹吉氏小雨蛙、黑蒙希氏小雨蛙、小雨蛙、巴氏小雨蛙）體型則均不超過 3 公分。亞洲錦蛙的外表肥胖，吻極短，皮膚厚而光滑，但有一些圓形顆粒，背部顏色對比明顯，有一個深褐色的大三角形斑塊，斑塊兩側則為土黃色的帶狀區域，由頭部往兩邊腹側延伸，而有些個體的帶狀區域的顏色則會較偏向橘紅色，看起來很像一個花瓶。四肢粗壯有力，指（趾）端呈方形平切狀，膨大成吸盤，因此具有很好的攀爬能力，會爬樹藏身於樹洞中；後腳的內蹠突發達，善於利用後腳挖洞，僅需數秒鐘即可將身體埋入土中。

亞洲錦蛙是夜行性的兩棲類，白天時多躲藏於自己挖掘的土洞中或是樹皮縫內，而夜晚的出現與整年的生殖行為與降雨有密切的關連。亞洲錦蛙在台灣活動的時間主要是四~十月，屏東地區甚至早在二月即有其活動記錄。其皮膚表面會分泌黏性很強的黏液，有助於攀爬，或讓雄蛙在抱接時較不易從雌蛙背上滑落。亞洲錦蛙的生性並不害羞，活動場所的隱蔽度通常不是很高，但遇到攻擊或刺激時，會將身體像吹氣球般的鼓起，或分泌白色分泌物來防衛，食性廣泛，蟑螂、螞蟻等在地面活動的昆蟲他都來者不拒，也有個體出現在蜂箱前面，捕食蜜蜂的記錄。成蛙多利用靜水環境生殖，雄蛙會發出低沉、嘹亮的「貓乂～」或「嗯～」叫聲來吸引雌蛙前來配對。

亞洲錦蛙相較於其他蛙種，似乎更能適應不同的棲地，除了農田、果園外，在人工的道路、水溝中也常被發現，在含有很多腐植質的積水環境

中也可出現。其雌蛙具有驚人的生殖潛力，體內的卵可多達 2 萬粒，而蝌蚪期僅需約 2-3 星期即可變態成小蛙，且在台灣目前缺少捕食者的抑制，只知眼鏡蛇是他的天敵。因此，目前亞洲錦蛙的族群有持續擴張的趨勢，是否對其他物種造成衝擊，需要持續觀察。

海蛙

海蛙在 2005 年才在林邊、佳冬一帶被發現，目前族群分佈於台灣東港、林邊、佳冬、枋寮一帶。雖然目前海蛙的資料甚少，但依照廣島大學住田正幸教授團隊之研究結果 (Kurniawan *et al.* 2010)，認為台灣佳冬的海蛙族群與印尼之族群親源關係較近，與離台灣較近的海南島、中國及菲律賓族群親源較遠。因此，台灣的海蛙族群很可能是從印尼引進的，但仍需進一步確認。牠們的棲地分佈於淡鹹水交界地帶，喜好鹽分較高的沼澤和紅樹林。在台灣常見於養殖魚塭和周邊的水溝。另外像是積水的檳榔園、果園、草澤也常見牠們的蹤跡，依目前兩年的調查監測，未見其族群有擴大的跡象。

斑腿樹蛙

斑腿樹蛙在分類上屬白領樹蛙複合種群 (*Polypedates leucomystax* species complex) 與台灣島內產原生種白領樹蛙 (*Polypedates* sp.) 外觀非常相近，但遺傳距離與宣告叫聲和台灣島內其他族群相差甚多，卻與馬祖 (林春富等，2009) 及海南島族群非常接近 (張天祐，2008)；因此，很可能是隨水生植物一同引入的外來種。目前在台分佈於台中石崗與彰化田尾一帶，亦聽說台中清水一帶也有發現，但尚未確認。根據訪談資料顯示斑腿樹蛙有排擠原生種白領樹蛙的可能性而且數量也有越來越多的趨勢。

二、亞洲錦蛙分佈、形態與相關研究

2.1. 原分佈區域

亞洲錦蛙原產於尼泊爾及印度東北部區域，從緬甸、泰國向東分布到中國南部的廣東、廣西、雲南、海南島、香港等地，向南至馬來西亞及新加坡等地 (Inger, 1999)；於原生棲地的垂直分布高度僅限於海拔 750 公尺以下。

亞洲錦蛙是夜行性的兩棲類，白天時多躲藏於自己挖掘的土洞中或是樹皮縫內，而夜晚的出現與整年的生殖行為與降雨有密切的關連。在新加坡，全年都有亞洲錦蛙的蹤跡，但大量出現是在 2 月、6-12 月，這時期也是生殖鳴叫的高峰，



而卵則出現在 2、6、7、10 及 11 月 (Berry, 1964)。除了原產地外，紐西蘭曾發現亞洲錦蛙躲藏於進口的木雕像中入境 (Gill *et al.*, 2001)。

2.2. 亞錦在台灣

最初發現亞洲錦蛙的時間差不多在 1997 年底，是由台大動物研究所畢業的

潘彥宏在服役的部隊中意外發現，起初，沒有人相信有小雨蛙長得跟腳踏車踏板一樣大，還認為他當兵當昏頭了！直到隔年七月，經由楊懿如老師親自到高雄林園查探，才證實這個大傢伙已經在當地生活下來了，之後則陸續在北高雄、屏東林邊及內埔等地有出現報導。目前還不清楚亞洲錦蛙如何出現在台灣，一般推測，可能是經由原木進口而被一起夾帶進來的。

2.3. 亞洲錦蛙形態介紹

亞洲錦蛙 (*Kaloula puchra*) 又名花狹口蛙 (Asiatic painted frog、Malaysian narrow-mouthed toad)，在狹口蛙科的成員當中，算是個大傢伙，雄蛙體長約 5-6 公分，雌蛙體長約 6-7.5 公分，而台灣的其他四種原生狹口蛙 (史丹吉氏小雨蛙、黑蒙希氏小雨蛙、小雨蛙、巴氏小雨蛙) 體型則均不超過 3 公分。

亞洲錦蛙的外表肥胖，吻極短，皮膚厚而光滑，但有一些圓形顆粒，背部顏色對比明顯，有一個深褐色的大三角形斑塊，斑塊兩側則為土黃色的帶狀區域，由頭部往兩邊腹側延伸，而有些個體的帶狀區域的顏色則會較偏向橘紅色，看起來很像一個花瓶。四肢粗壯有力，指 (趾) 端呈方形平切狀，膨大成吸盤，因此具有很好的攀爬能力，會爬樹藏身於樹洞中；後腳的內蹠突發達，善於利用後腳挖洞，僅需數秒鐘即可將身體埋入土中。

其皮膚表面會分泌黏性很強的黏液，有助於攀爬，或讓雄蛙在抱接時較不易從雌蛙背上滑落。亞洲錦蛙的生性並不害羞，活動場所的隱蔽度通常不是很高，但遇到攻擊或刺激時，會將身體像吹氣球般的鼓起，或分泌白色分泌物來防衛，食性廣泛，螞蟻、螞蟻等在地面活動的昆蟲他都來者不拒，也有個體出現在蜂箱前面，捕食蜜蜂的記錄。成蛙多利用靜水環境生殖，雄蛙會發出低沉、嘹亮的「貓乂～」或「嗯～」叫聲來吸引雌蛙前來配對。



雄性成體的喉部有黑色，且明顯鬆弛的皮膚，為其鳴囊所在（如圖）。

亞洲錦蛙的蝌蚪在外形上與小雨蛙的蝌蚪近似，蝌蚪身體部分渾圓，不過，小雨蛙的蝌蚪身體為透明狀，腹部有銀色色素沈澱，而亞洲錦蛙的蝌蚪則身體不透明，且腹部並無色素沈澱，可清楚看見腹內器官，另外，亞洲錦蛙的蝌蚪多半出現在有機質沈澱物較多的靜水環境中，屬於底棲性活動的蝌蚪，偶而才會浮出水面，明顯和在水域中層活動的小雨蛙，與在水域上層活動的黑蒙希氏小雨蛙不同；而亞洲錦蛙的蝌蚪生長快速，在短短不到3個星期的時間就可以變態成小蛙。

2.4. 台灣相關研究

目前已有台灣師範大學生命科學系呂光洋教授所指導的研究生梁高賓，其碩士論文即對鳳山水庫之亞洲錦蛙族群進行基礎生物學研究。其研究結果顯示：亞洲錦蛙成體活動範圍侷限在 100 m^2 以內，利用的棲地類型相當廣泛，與黑眶蟾蜍的食性很類似，且所有研究個體的基因型完全相同，可能來自單一地區或單一雌性個體，而根據趾骨切片的結果，推測其研究地區最老的亞洲錦蛙個體約為6歲（梁高賓，2005）。

成功大學生命科學系侯平君教授實驗室團隊(即我們),自 2005 年 4 月開始,接受林務局農委會的委託,對亞洲錦蛙在台灣的分佈情況進行調查。

第一年(2005 年 4 月-2006 年 5 月):

我們針對高雄與屏科大地區進行調查,依五萬分之一的地圖,選出 74 個 2×2 km 的樣方,再從調查方格中找出水塘、公園、學校、綠地或溝渠等亞洲錦蛙可能利用的生殖場,經由實地勘查,從每一調查方格中選出 1 個調查樣點代表該調查方格,於下雨當天或雨後兩天內至每個樣點進行調查。

第一年當中,每個樣點進行 6 次調查,每次調查間隔至少兩週以上。調查時間為晚上 19:00 至 23:00,以定點鳴叫計數法及目視遇測法估計亞洲錦蛙的相對族群豐度(Heyer *et al.*, 1994)。每次於到達調查點後,先安靜等候至少 3 分鐘,此後 5 分鐘內聽聲音辨識亞洲錦蛙,並記錄數量等級。數量共分四級:0、I(1-5 隻)、II(6-10 隻)和 III(成群鳴叫不可數)。聽聲辨識之後,再進行 5 分鐘目視搜尋,記錄看到的成體數、卵及蝌蚪情況。若聽聲辨識時無蛙鳴,於目視搜尋期間聽到亞洲錦蛙鳴聲仍須記錄。此外,有些較隱蔽的生殖場,會於白天視線較佳時再進行輔助調查,以確定是否有亞洲錦蛙蝌蚪及卵的存在。

這一年的調查結果發現,亞洲錦蛙主要分佈於南高雄地區(包括小港、大寮、林園等)與屏科大地區,另外,藉由通報的資料,得知美濃、杉林和澄清湖也可能有亞洲錦蛙出現(侯平君與杜銘章,2006)。

第二年(2006 年 5 月-2007 年 4 月):

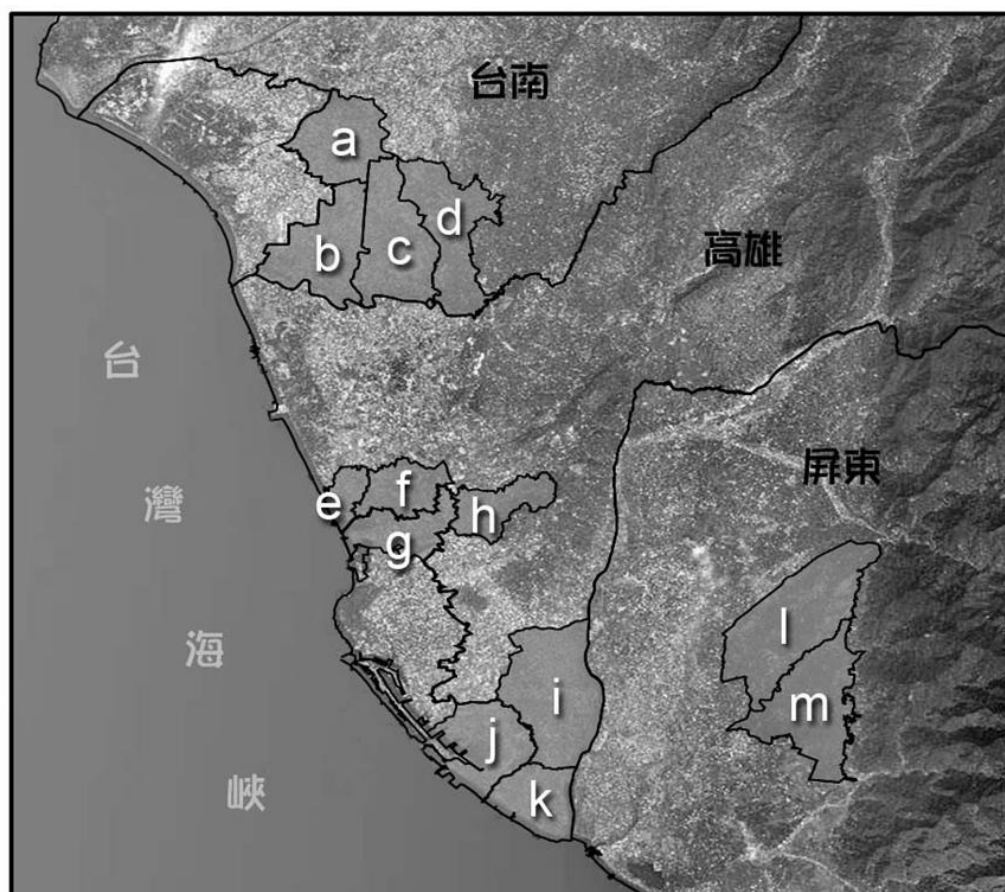
我們繼續針對亞洲錦蛙的分佈範圍作調查,並改以 106 個 1×1 km 的樣方來進行調查,調查的範圍涵蓋了南高雄地區、北高雄地區、屏科大地區、美濃鎮地區與杉林鎮地區。結果發現亞洲錦蛙在南高雄地區和屏科大地區都已有廣泛分佈且數量龐大的族群(侯平君等人,2007),而北高雄地區則主要是分佈在高雄都會公園周遭,美濃鎮地區則主要分佈在龍肚國中周圍區域,而這一年,我們更得

知台南關廟地區也已發現亞洲錦蛙的蹤跡，這意味著來年的調查範圍可能必須繼續擴大，而我們也思索著，亞洲錦蛙如何能夠在短時間內達到現在的分布狀況呢？

第三年（2007年5月-2008年4月）：

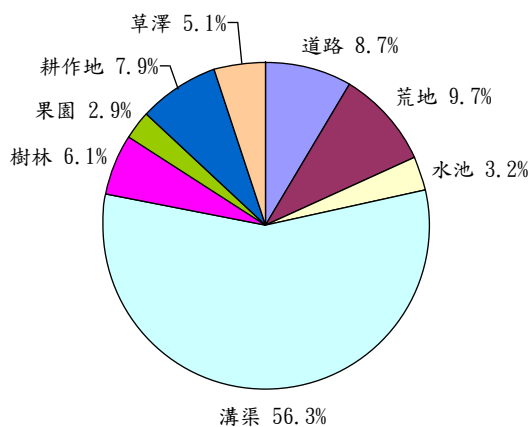
我們以相同的調查方法對亞洲錦蛙在台南地區的分布情況進行調查，同時也試著找出高雄都會公園地區與屏科大地區的分布邊界，結果發現，亞洲錦蛙在台南的仁德、歸仁、關廟、龍崎地區亦是廣泛分布的情況，在屏科大地區的分布則包含內埔與萬巒，北高雄地區則從橋頭鄉到梓官鄉地區都有分布（侯平君，2008）。因此，現階段可以知道亞洲錦蛙在台南、高雄及屏東都有地區性的廣泛分布範圍（如下圖），而這些區域之間是否亦有亞洲錦蛙的分布，則是未來需要進一步確認的。

- a. 仁德
- b. 歸仁
- c. 關廟
- d. 龍崎
- e. 梓官
- f. 橋頭
- g. 楠梓
- h. 大社
- i. 大寮
- j. 小港
- k. 林園
- l. 內埔
- m. 萬巒

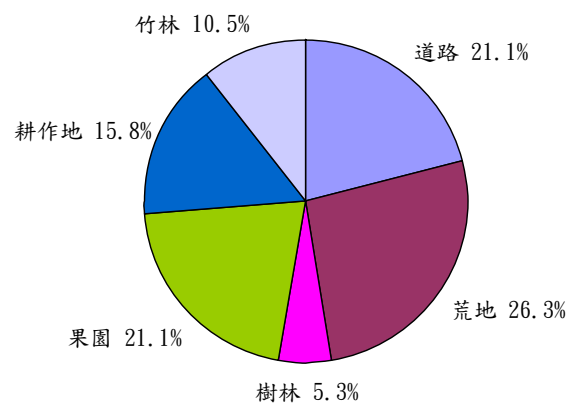


在調查中發現，亞洲錦蛙在台灣活動的時間主要是4-10月，其中屏科大校園的後山甚至早在2月即有其活動記錄；且其使用的棲地類型相當廣泛，以2007年5月-2008年4月的調查為例，共在9種不同類型的棲地環境裡出現。依發現率的高低分別為溝渠（52.7%）、荒地（10.8%）、道路（9.5%）、耕作地（8.4%）、樹林（6.1%）、草地（4.7%）、果園（4.1%）、水池（3%）與竹林（0.7%）。若將成體與小蛙的棲地分開計算，可發現小蛙在荒地的發現率（26.3%）最高，其次為道路與果園（均為21.1%）；成體則是在溝渠的發現率（56.3%）最高，其次為荒地（9.7%），再其次為道路（8.7%）。因為水域環境是大部分兩棲類的生殖場所，所以在調查中發現僅亞洲錦蛙的成體會在溝渠中出現。而道路、果園與荒地等環境相對有較豐富的食物資源，為亞洲錦蛙的覓食場所，尤其有些屬於果園類型的棲地中有蜂箱的設置，可觀察到亞洲錦蛙直接停留在蜂箱前捕食蜜蜂。因此，可推測亞洲錦蛙小蛙所出現的棲地環境，主要是為了滿足其食物的需求。因為調查發現的亞洲錦蛙以成體居多，且有許多出現在水域進行生殖活動，所以將成體與小蛙加在一起計算時，會發現在溝渠的個體比例為最高，而其他為了覓食活動的個體則會出現在有較多食物資源的棲地。

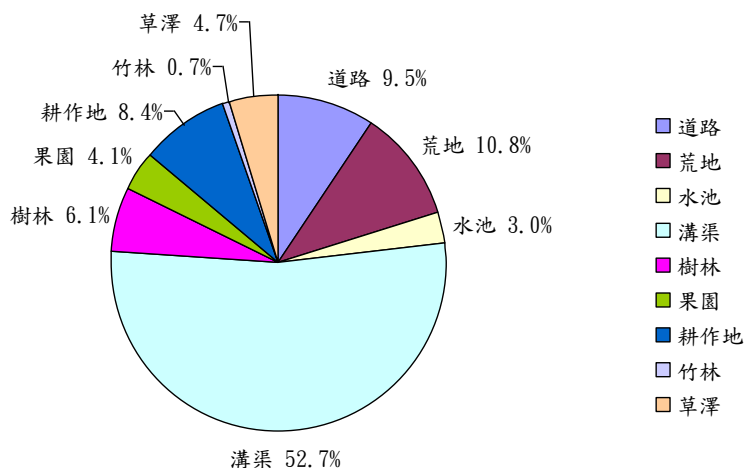
成體棲地利用百分比



幼體棲地利用百分比

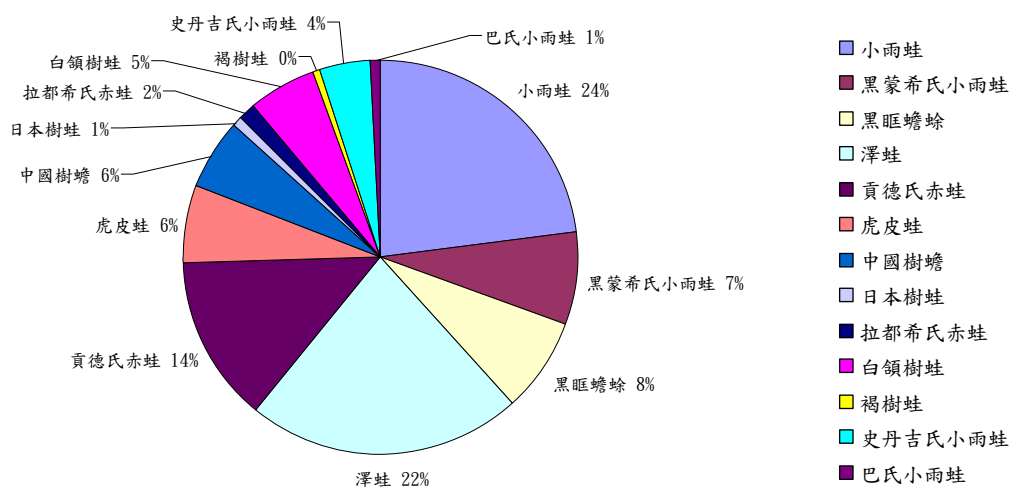


成體與幼體綜合之棲地利用百分比

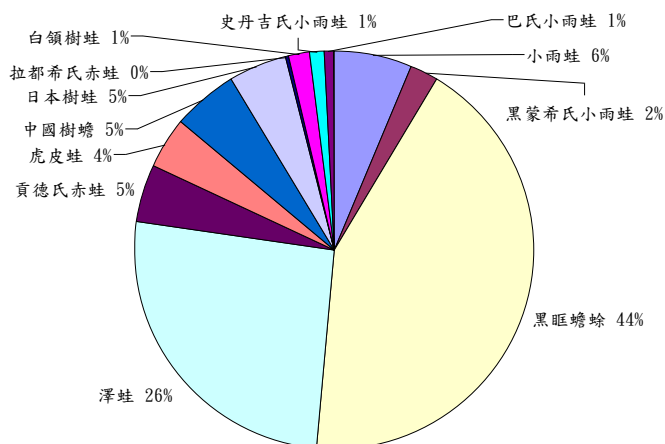


另外，在調查中共發現 13 種與亞洲錦蛙共域的蛙類，分別為蟾蜍科的黑眶蟾蜍，赤蛙科的澤蛙、貢德氏赤蛙、虎皮蛙與拉都希氏赤蛙，樹蟾科的中國樹蟾，狹口蛙科的小雨蛙、黑蒙西氏小雨蛙、史丹吉氏小雨蛙與巴氏小雨蛙，及樹蛙科的日本樹蛙、白領樹蛙與褐樹蛙。以鳴叫計數法調查的發現率最高者為小雨蛙（23.1%），其次為澤蛙（22.4%），再其次為貢德氏赤蛙（13.7%）；以目視遇測法調查的發現率則以黑眶蟾蜍為最高（42.7%），其次為澤蛙（26.0%），再其次為小雨蛙（6.3%）。

鳴叫計數法結果



目視遇測法結果



其中牛蛙與史丹吉氏小雨蛙只有在目視遇測法調查中發現，而小雨蛙與黑蒙西氏小雨蛙則因躲藏較隱密，不容易以目視搜尋發現，所以在目視遇測法調查的結果中比例較低。同樣的，所發現的黑眶蟾蜍多數為正進行覓食活動的個體，所以在鳴叫計數法的調查結果中也呈現較低的比例。整體而言，調查結果中的共域蛙類以黑眶蟾蜍、澤蛙、小雨蛙與貢德氏赤蛙的相對數量較多。此結果與梁高賓 (2005) 在鳳山水庫地區的研究結果大致相同。另外，梁高賓也在其研究中發現，雖然亞洲錦蛙在棲地資源的利用方面與其共域蛙類的重疊度並不高，但其食性卻與共域的黑眶蟾蜍有非常高的重疊度 (以螞蟻為主要食物)。雖然目前並無任何資料顯示亞洲錦蛙的入侵會對共域的蛙類族群造成影響，未來其是否會對本地蛙類造成影響，則需進一步的監測。

2.5. 結論與展望

這幾年的分布調查發現，亞洲錦蛙在台灣南部地區呈現不連續、局部地區有龐大族群的情形。不連續分布的原因，除了被都會區及河流等地形阻隔外，人為主動散佈也是可能的原因。因此，入侵生物的教育宣導，實在刻不容緩。另外，面對調查範圍逐年擴大，以現有人力及方法已無法做整個面的長期監測。未來將朝向大尺度生態學 (macro-ecology) 數學模式推估及鼓勵志工參與的方式，來掌握亞洲錦蛙族群分布的動態。

雖然目前亞洲錦蛙對共域的本地蛙類及生態系沒有明顯的負面影響，以其高繁殖力與適應力的特質來看，仍是相當危險的入侵生物。通常生物入侵後，因為族群剛剛建立、數量較低，很難看出明顯效應，待其族群增多，產生明顯負面影響，再考慮移除或防治措施時，通常都是為時已晚。因此，國際間對於已入侵生物的態度，目前多採取儘早根除或防堵的策略。以亞洲錦蛙目前在台灣的分布範圍，要完全根除已非常困難，然而若放任其族群快速擴張，可能產生的後果和損失實在難以預料。以其目前分布屬於局部地區大量出現、並依賴靜水域繁殖的習性，若能抑制源頭族群 (source population) 的繁殖力，減少族群向外圍地區的拓殖，應可減緩目前族群迅速擴張的狀況，降低未來危害的風險。

三、兩棲類調查方法簡介

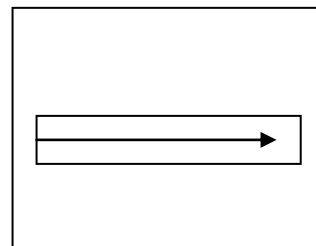
對於兩棲類的調查，往往依不同的條件和目的，而有不同的調查方法，因此，在面臨調查方法的選用時，得先考慮調查的目的為何，要回答什麼問題，調查範圍有多大，進行調查的時間有多長，希望得到什麼類型的資料等，否則將會耗費許多人力、物力，卻無法得到適切的調查資料。

大部分的調查都需要重複造訪所調查的地區，若以獲得該地區的物種名錄為目標，可以盡量同時採用多種方法來進行調查，以避免遺漏，因為所有物種可能不易在單一方法中都被調查發現；若想知道某特定物種是否在該地區中出現，則應該針對該目標物種的生物特性來設計調查方法、調查時間與選取所調查的樣點，以提高調查的效率。就長期監測而言，其目的主要是在觀察一個族群或群落，隨時間的變化趨勢，為了讓所得的調查資料能夠進行比較分析，通常會以固定的幾種調查方法，和統一的量化標準來進行調查，若條件許可，每次進行調查的人員組成也需相同，另外，調查的時機也很重要，若以年為單位的話，必須選定同一時節進行調查（如生殖期），且每日進行調查的時段也需相同，此外，進行調查時需注意調查的人力與天候狀況的記錄，一些特殊情況的觀察記錄也很重要，如此才能讓調查資料更完整。

以下簡單介紹幾種兩棲類調查方法，其中目視遇測法與鳴叫計數法，由於在操作上較為簡單，花費較少，是目前兩棲類調查中，最常同時被使用的兩種方法，唯調查人員必須先經過物種辨識能力的訓練，而單一名調查人員也通常僅能負責有限樣點數的調查工作；自動錄音法則可以同時在許多樣點收集聲音資料，不過，所得的聲音資料必須以人耳進行分析，較為耗費時間，而如何利用電腦來協助處理龐大資料量的分析，是此方法目前亟待突破的問題；最後，個體追蹤調查可以獲得動物對各類棲地所利用的比例資料，但大多是在特定的研究題目中才會被使用。

3.1. 目視遇測法

此為最常使用的兩棲類調查法之一，通常會先在調查樣區中劃設固定距離的穿越線，每次進行調查時，由固定數量的調查員（通常是 2-3 人），在一定時間內，以徒步緩行的方式，有系統的走過穿越線，並搜尋穿越線兩旁 1 公尺範圍內所有可能出現兩棲類的棲地，記錄沿線看到的物種、數量與出現地點，只能聽見聲音而無法以目視發現者，調查者也應該予以記錄，且註明該筆資料是由聲音辨識所得，雖然，該筆資料通常不會被納入統計分析之中，但對於建立物種名錄或物種活動的時節仍是具有意義的，若調查結束後沿相同路徑返回，途中遇到先前已記錄過的物種時，為避免計數到重複個體，通常不再列入記錄中，只需記錄先前未發現的物種。有些物種容易受到驚嚇而逃跑或躲藏起來，或是個體的特徵不明顯而不易辨識，則需要捕捉個體以作進一步的鑑定。此調查方法雖然容易忽略一些躲藏在較隱蔽棲地中的物種，然而，在面臨樣區中微棲地環境的變異較大時，因為所設置的穿越線可以經過較多棲地類型，使此調查方法更具適用性。如果調查的區域很廣，則須設較長及較多條穿越線，每條穿越線需間隔 20 公尺以上。



3.2. 鳴叫計數法

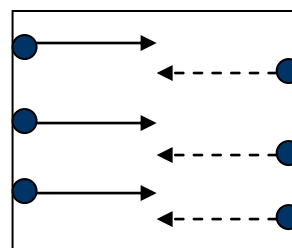
此為另一種最常被使用的兩棲類調查法，雖然兩棲類容易受到驚嚇而逃跑，或躲藏在複雜的棲地當中不易被發現，然而，大部分的兩棲類都擁有各自獨特鳴叫聲，可供辨別。此調查方法主要是利用物種鳴叫聲的特徵來分辨不同物種，對於不易看見的兩棲類來說，是一個很方便的調查方法，可再分為：

- (1) 定點鳴叫計數法：調查者每次調查時均到達一固定位置，在該位置進行物種鳴叫聲的判別與鳴叫個體數的計數
- (2) 穿越帶鳴叫計數法：調查者沿事先劃設好的穿越線移動，並對沿線所聽到的鳴叫聲進行物種的判別與鳴叫個體數的計數。

對於鳴叫個體數的計數，通常是以鳴叫等級來表示，等級 0：沒有鳴叫個體，等級 1：1-5 隻鳴叫個體，等級 2：6-10 隻鳴叫個體，等級 3：11 隻以上的鳴叫個體。以此方法進行調查時，需避免因調查人員的活動而影響到動物的鳴叫活動，通常在到達調查樣點時，調查人員需先安靜、不活動至少 5 分鐘，讓該地區的動物恢復原本的鳴叫活動，之後再開始進行鳴叫計數法的調查取樣，調查時間長短通常為 3 或 5 分鐘。

3.3. 方塊取樣法

在欲調查的區域中，事先劃設固定大小的樣方，樣方大小通常為 3 公尺×3 公尺或 5 公尺×5 公尺，太大或太小的樣框都容易導致誤差的增加，調查時由 4-6 名調查人員分為兩組進行，每次兩組人員先站於樣框相對的兩邊，然後交錯地往



對邊方向直線移動（如右圖），直到對邊為止，移動中盡可能翻開地面的枯枝、落葉和石塊，或在樹根下搜索樣可能出現的兩棲類個體，將所找到之個體先裝入採集箱以免重覆計數，樣框中所搜尋到的個體將待調查完成之後，辨識並記錄種類與數量，然後原地釋放。此方法需要較多的人力和調查時間，但可估算出該地區的兩棲類密度，通常在森林棲地中使用。

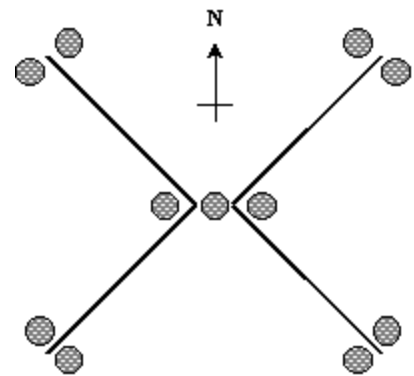
3.4. 自動錄音法

以錄音機配合定時裝置做成自動錄音系統（或以具有多時段自動錄音設定的數位錄音筆取代之），搭配防雨的保護箱盒之後，放置於調查的樣點，利用自動錄音系統來記錄樣點中兩棲類的鳴叫聲，調查人員只需於固定時間間隔前往為系統更換電池，並帶回錄音帶或錄音檔案，回到實驗室後，由固定的調查人員，以人耳分析，藉由兩棲類的鳴叫聲來辨別種類與鳴叫個體的數量（通常以鳴叫等級表示，等級 0：沒有鳴叫個體，等級 1：1-5 隻鳴叫個體，等級 2：6-10 隻鳴叫個體，等級 3：11

隻以上的鳴叫個體)。通常研究者也可以利用此類資料進行兩棲類的整日鳴叫模式分析，以掌握其活動的最佳時間。

3.5. 陷阱法

第一次調查前，將陷阱設置在動物可能出現的棲地中，陷阱為埋在地面下深約 50 公分的塑膠桶，並使桶口與地面齊高，另需在桶口加裝格板，以防止青蛙跳出，或具攀爬能力的樹蛙爬出。調查時調查者將蓋子打開，並於裡面置放濕海綿或盛水容器，以防止掉落的動物因脫水而死亡，為避免捕食者也意外掉入陷阱中而將其他物種捕食殆盡，調查者最好可以固定於每日上午巡視每一個陷阱，記錄前一晚所捕捉到的物種與數量，之後便將動物釋放，調查結束後並將蓋子關上。陷阱的設置通常會利用 30-50 公分高的檔板做為圍籬，以增加攔截的範圍，也可以在圍籬兩端都設置陷阱桶，或設置更多陷阱桶（如右圖），以增加捕獲率。



3.6. 掩蔽物調查法

有些動物的隱蔽性很高，會導致在調查的過程中記錄的遺漏，而許多兩棲類喜歡躲藏在掩蔽物的下方，如落葉、植被下、樹根下、樹洞或地面凹洞、土洞中，因此，可以在調查的區域中設置人工掩蔽物，以適當的方式排列，提供動物做為休息或躲藏之用，在進行調查時，只需檢查所設置的人工掩蔽物即可記錄到該物種的資料，藉此也可以增加發現該物種的機會。此方法雖尚未被廣泛測試，不過對於偏好在陸域環境活動的兩棲類來說，應是具有相當的潛力。

3.7. 道路死亡動物調查法

以現成的道路作為調查的樣線，利用步行與乘坐車輛的方式，以固定速度，沿

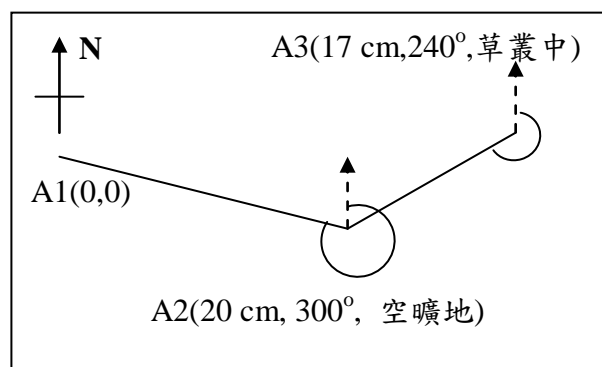
途檢視調查路線上出現的動物屍體遺骸，藉由動物特殊的外部形態，像是體型大小、顏色、斑紋與獨特的特徵等，來做為辨識物種的依據，對於發現的動物屍體應與移除，以避免下次調查重複計數。然而，動物死亡的時間過長的話，屍體通常會變得難以辨別，而目前此方法較常用於爬蟲類的調查。

3.8. 個體追蹤調查

兩棲類的追蹤方式有無線電發報器、放射性標籤與線團追蹤法等方式。由於放射性元素會對環境及研究人員造成污染，近年來已較少人使用。而無線電發報器及相關設備的價格昂貴，加上發報器的壽命和重量的關係，較適用於大型蛙類。相較之下線團追蹤法的成本較便宜，不但能得知青蛙所利用的微棲地類型、移動距離及活動範圍，且能顯現青蛙移動時的路徑。

線團追蹤法（亦稱繭式線團法）是以白色或黃色的釣魚線捲成繭狀，一個1.0-1.5 g的繭式線團線長約40-50 m，先將線團固定在一背負系統上，再讓青蛙背上，背負系統可以用有平板的束線帶，或依兩棲類體型剪裁成大小適中的背心，通常一個繭式線團加上背負系統重約1.5~2.0 g（一般追蹤盡量將追蹤器控制於動物體重的5%以內，以避免動物負重太大而影響其活動）。

追蹤時，將線頭固定於捕捉點附近的石頭或樹枝上，並綁上色帶於線頭固定物上標示個體編號及時間，青蛙移動時會不斷釋出線來，待隔日清晨研究者可以依循著釣線找到青蛙的位置，並且依據其移動所釋出的線，在每個轉折點（角度大於 15° ）記錄兩折點間的距離、北方與此段路線的順時針夾角（如右圖）、路徑



類型；再依這些數據轉換成座標點即可匯出路徑圖。最後找到青蛙的位置必須記

錄其微棲地類型，並且將線剪除重新綁於其附近。追蹤期間，若線快用完則需更換線團並記錄換線時間。

3.9. 亞洲錦蛙調查記錄表使用指南

一、基礎資料

1. 日期：調查當天的日期，填寫方法 20080830 或 2008 8/30
2. 天候：小雨 大雨 雨後一天 雨後兩天

當下簡單判斷：

小雨：毛毛細雨，還不會想撐傘

大雨：需要撐傘，可能還有躲雨的必要

交通部中央氣象局標準：

小雨：24 小時累計雨量為 50 毫米以下。

大雨：指 24 小時累積雨量達 50 毫米以上，且其中至少有 1 小時雨量達 15 毫米以上之降雨現象。

※調查當下可先以簡單判斷進行填寫，之後利用中央氣象局當天雨量資訊確定。

3. 記錄者：包含此次參與調查所有的人員姓名，而填寫表格者的姓名通常會列於第一個，或劃上底線來標示，以方便日後資料整理者，對於記錄的字跡有閱讀上的困難時，可以直接詢問該記錄者。

二、樣點資料

1. 樣點編號
2. 溫度：氣溫(測量時應遠離車體)
3. 起迄時間：調查時間相當於調查努力度，於不同樣點進行調查時，努力度不

應該相差太多，因此記錄調查開始與結束的時間，可用來評估調查結果的差異，是否來自某些樣格停留太長的時間或停留的時間不足。以亞洲錦蛙分布調查為例，在一個樣點的調查時間總和為10分鐘，其中，前5分鐘以鳴叫計數法調查，之後的5分鐘則進行目視搜尋。

4. 亞洲錦蛙：聲音計數

0 =沒有任何個體鳴叫。

<5 (I) =1~5 隻個體鳴叫。

II =6~10 隻個體鳴叫。

III =11 隻以上的個體鳴叫。

5. 亞洲錦蛙：目視計數，針對成體、幼體、蝌蚪與卵。

成體 為性熟之個體，見一隻算一隻。

幼體 尚未性熟之個體，見一隻算一隻。

蝌蚪 等級I:約1~500隻 II:約501~1000隻 III:1000隻以上。

卵 等級I:約1~500個 II:約501~1000個 III:1000個以上。

※亞洲錦蛙雌蛙每次約可產上千粒的卵(體內可含500~20000粒卵不等，通常因體型大小而有差異)。若調查的物種不產粒粒分明的卵而是卵泡(如白領樹蛙)，則記錄卵泡的數目即可。

亞洲錦蛙：微棲地記錄

道路 荒地 水池 溝渠 樹林 果園 耕作地 竹林 溪流

園圃 草澤 其他_____ 附註:

※ 用於填寫在特定微棲地類型中，目視發現的成蛙或小蛙個體數。一般以鳴叫計數法調查時，因為看不到青蛙，難以確定他的確切位置，所以不記錄其微棲地類型，倘若能夠其鳴叫所在位置，亦可先將該筆資料以附註方式記錄下來，供日後參考用。

6. 共棲蛙種

記錄所計數到的成蛙和小蛙個體數總和，而一般對於蝌蚪與卵的種類判別並不容易，因此不列入記錄。聲音計數與目視計數方法同亞洲錦蛙的測量。記錄時，需寫物種名稱，可用縮寫，且將數量填於括弧中。

例如：白領樹蛙(2) or 白(2)

貢德氏赤蛙(1) or 貢(1)

黑眶蟾蜍(III) or 黑眶(III)

黑蒙西氏小雨蛙(II) or 黑蒙(II) 這兩種就不要只寫”黑”囉

表一、亞洲錦蛙調查記錄表

亞洲錦蛙/海蛙調查紀錄表

調查日期：

天氣：大雨小雨雨後一天雨後兩天以上

調查人員（第一名為紀錄者）：

編號	開始時間	鳴叫計數法		目視遇測法				共棲蛙類
		亞/海	等級	亞/海	stage	隻數	發現棲地	
	結束時間							目視遇測法
	氣溫							鳴叫計數法
	濕度							鳴叫計數法（範圍外）
編號	開始時間	鳴叫計數法		目視遇測法				共棲蛙類
		亞/海	等級	亞/海	stage	隻數	發現棲地	
	結束時間							目視遇測法
	氣溫							鳴叫計數法
	濕度							鳴叫計數法（範圍外）
編號	開始時間	鳴叫計數法		目視遇測法				共棲蛙類
		亞/海	等級	亞/海	stage	隻數	發現棲地	
	結束時間							目視遇測法
	氣溫							鳴叫計數法
	濕度							鳴叫計數法（範圍外）

Stage：雄蛙(M)、雌蛙(F)、亞成體(S)、幼體(J)、蝌蚪(T)、卵(E)。(T與E直接估數量。)

四、外來種兩棲類的管理與防治方法

4.1. 外來種的防治

要減少外來種產生的損傷，最好的方法就是預防其進入。因此，海、陸、空關防的檢查與攔截是非常重要的。對於一些可能隨宿主夾帶入境的外來生物，可以要求進口前進行噴藥或滅菌處理。對於有極高危害風險的生物，甚至可以禁止其貿易。但即使在嚴密的關防下，仍可能有漏網之魚。一但外來生物進入本地的生態系後，不論其是否可能造成危害，最好能在其族群未擴張前就被發現，並立刻移除（預防原則）。此時，發現者的通報與紀錄便非常珍貴。若是有越來越多的通報紀錄，則可能是該外來生物的族群正在擴增中，值得主管機關注意，並擬定管理計畫。管理計畫的內容包括：入侵生物目前分布的範圍、評估可能產生的衝擊、目前分布地點的棲地價值以及族群控制的困難程度。有了上述的資訊後，主管機關才能擬定更進一步的根除（eradication）、圍堵（containment）或防治（control）計畫。根除是指將入侵生物完全拔除，方式包括對其棲地的管理或是直接的撲殺。圍堵一般用於無法根除時，藉由設立屏障使其不易向外擴散，將其影響控制在較小的區域。若是根除和圍堵都無法成功，外來生物已成為有害生物，則需進行防治。防治的主要目的是將有害生物的族群密度，控制在我們可以忍受的經濟損傷水準以下，並不是根除；方法包括：機械性、化學性、生物性、棲地的管理或是上述方法的整合使用。總而言之，預防外來種進入以及在野外建立族群還最有效的管理方法，一但外來種變成有害生物，通常是很難根除或圍堵，只能透過耗費人力或經費方法，進行長期的防治，以減低其危害。

4.2. 外來種兩棲類的移除方法

外來種兩棲類的移除方法，必須根據外來種活動的地理類型，選擇適當的方法。在水域的捕捉，像是水池或河流，可以使用蝦籠式陷阱、射擊、電魚法或撈網法進行捕捉或移除。若是陸域，可以使用掉落式陷阱或徒手捕捉進行移除。另

外，也可以使用化學藥劑來消滅外來種，以下針對這幾種方法進行說明：

陷阱法

捕捉兩棲類的陷阱，可以架設在牠們平時活動的區域，一般會以圍籬加掉落式陷阱的設計（如前一節，陷阱調查法的說明）進行架設。但此方法只能針對在地面活動的物種，而且此方法的捕獲率並不高（關永才等人，2004）。另外，對於水中的蝌蚪，國外會使用類似蝦籠設計的陷阱（minnow trap），捕捉牛蛙的蝌蚪（Johnson et al., 2006）。

化學防治法

曾認為有效可用來防治外來種青蛙的化學藥品，包括 16%的檸檬酸、3%的水解石灰和 2%的咖啡因（Sin and Radford, 2007）。施用方式則是將這些藥劑調配好後，放入農藥噴灑器中，針對入侵蛙類密集活動的區域，進行噴灑。但是化學藥劑的壞處就是可能對噴灑區域的其他物種（包括植物）造成毒害，而且牽涉到相關法令的規定與限制。

徒手捕捉、射擊與電魚法

徒手捕捉依靠人力，對外來種活動的區域，進行全面的搜尋，捕捉所有發現的個體。這是最簡單，但卻最耗費人力的方式。國外使用射擊，主要是針對大型的牛蛙，且因法令限制，並不適用於台灣。電魚法主要是殺死水域中的蝌蚪。

4.3. 亞洲錦蛙的長期防治與管理方式

由於亞洲錦蛙已入侵台灣一段時間，在野外已建立穩定的族群，所以防治亞洲錦蛙，必須建立長期的管理策略。評估亞洲錦蛙在台灣現況，還有參考近幾年對移除亞洲錦蛙所做的相關研究，並且參考國外的經驗。我們規劃三部份的工作必須長期進行：

基礎生物學與移除方法的研究

目前對亞洲錦蛙的相關研究並不多，所以對於牠們可能對本土生態造成的影響並不了解，必須進行相關的研究。若能早期偵測到牠們造成的影響，將可作出更有效的對應方式，減輕此影響的程度。兩棲類物種隱蔽性很高，尤其像亞洲錦蛙休息時，會往土裡挖洞躲起來，夜間活動時，也常爬到樹上，所以即使進行全面性的搜索與移除，效率並不是很高。所以對於移除方法的研究，也是急切需要的。所以應該要有相應的計畫與經費支持相關的研究。

族群變動的監測與即時回報系統的建立

對於亞洲錦蛙在台灣南部族群是否持續擴張，是否有新族群的建立，移除工作的進行是否有成效，都需要持續對此族群進行調查才能了解。大範圍的調查，需要大量的人力，除了與學術單位的合作調查外，建議可與楊懿如教授的志工團隊合作，建立長期的監控網絡。對於外來種的移除，能夠早期發現，早期移除的成效是最好的，所以若能定期舉行生態教育，鼓勵民眾通報發現的亞洲錦蛙，如果將有助於新族群的早期發現，並即時作出反應進行移除。

重點區域亞洲錦蛙的移除 (以高雄都會公園族群為例)

移除工作

根據在侯平君等人在 101 年的研究結果，在日雨量 30-50 公釐亞洲錦蛙的調查偵測率最高，日均溫在 23-25°C 的捕捉量較高，所以移除工作，建議在 5-10 月的下雨天進行，尤其是連續下雨的日子。此外，由 Leslie matrix model 的族群動態模式分析結果 (侯平君等人，2012)，每年蝌蚪和卵必須至少移除 70%，成體與小蛙必須至少移除 30%，才能有效地使亞洲錦蛙的族群量逐年下降。所以建議兩個人為一個工作組，分別需在夜間捕捉活動的成蛙或小蛙個體，而在白天則需進行水溝中卵與蝌蚪的撈除，每個月選擇在降雨之後執行一回夜間的捕捉工作，

每回連續捕捉五個夜晚，以盡可能將所有個體移除；而白天的撈除工作，則每個月進行兩次（大約兩週一次），如此，至少可以移除 70% 的卵與蝌蚪以及 30% 的成蛙與小蛙，以達到降低其族群量的效果。

經費估算

以一年為期 6 個月的族群抑制工作，所需的人力總共為 84 人天，若以勞務臨時工資 1500 元/人天來估算，約需 12,6000 元的經費。

五、結語

自 94 年亞洲錦蛙的分佈調查到 101 年的模式分析與移除方法的研究，這當中經過了很多的努力，包括棲地佔據模式的分析、網路回報系統的建立、志工培訓、族群量的估算、族群動態的預測等，讓亞洲錦蛙的監控系統得以建立起來。未來仍需對移除方法、族群的動態和可能的危害，進行深入的研究。

感謝林務局長期以來計畫與經費的支持，讓此計畫能順利地展開與結束，希望這份文件，能助於相關單位對外來種亞洲錦蛙進行長期的管理與防治。

六、參考文獻

- 呂光洋等合編，1996。台灣野生動物資源調查～兩棲類資源調查手冊。行政院農業委員會出版。
- 林春富、張天祐、葉大詮、呂光洋，2009。馬祖地區的兩棲類生物相及其棲地特色。自然保育季刊 66: 26-31。
- 韋昕林、侯平君，2002。南仁山盤古蟾蜍的日活動模式與微棲地利用。2002年動物行為暨生態研討會論文集。自然科學博物館，台中。
- 侯平君，1998。全球變遷：南仁山森林生態系研究—兩棲類與爬蟲類動物群落結構之研究（二）。台灣長期生態研究八十六年專題研究計畫成果報告。行政院國家科學委員會生物科學發展處。
- 侯平君與杜銘章。2006。入侵亞洲錦蛙與沙氏變色蜥之族群分布調查。行政院農業委員會林務局保育研究系列 94-4 號。
- 侯平君，杜銘章與毛俊傑。2007。入侵亞洲錦蛙族群分布監測與沙氏變色蜥移除計劃。行政院農業委員會林務局保育研究系列 95-4 號。
- 侯平君，2008。入侵亞洲錦蛙族群抑制與分布監測委託研究計畫。行政院農業委員會林務局補助計畫 97-林發-03.1-保-36 號。
- 梁高賓，2005。台灣地區外來種亞洲錦蛙 (*Kaloula pulchra*) 族群來源與生態研究。國立台灣師範大學生命科學系碩士論文，台北。
- 張原謀、侯平君，2001。以線團追蹤兩棲類初探。台灣長期生態研究簡訊。
- 張天祐，2008。台灣區內白領樹蛙複合種群 (*Polypedates leucomystax* species complex) 族群遺傳結構與分類地位之探討。國立台灣師範大學生命科學系碩士論文，台北。
- 關永才、吳奇勳、徐敏益、林逸賢、莊銘豐，2004。台灣兩棲類調查方法的比較及應用評估。整合性生物資源調查人力培訓研習會講義，pp.13~29。國立中興大學，台中。

- Akçakaya, H. R., Burgman, M. A., Kindvall, O., Wood, C. C., Sjögren-Gulve, P., Hatfield, J.S. & McCarthy, M.A. 2004. Species conservation and management. Oxford University Press, Inc.
- Berry, P. Y. 1964. The breeding patterns of seven species of Singapore anura. *The Journal of Animal Ecology*. 33(2):227-243.
- Catling, P. C., A. Hertog, R. J. Burt, R. I. Forrester, and J. C. Wombey. 1999. The short-term effect of cane toads (*Bufo marinus*) on native fauna in the Gulf Country of the Northern Territory. *Wildlife Research* 26 (2): 161-185.
- Gill, B. J., D. Bejakovich, and A. H. Whitaker. 2001. Records of foreign reptiles and amphibians accidentally imported to New Zealand. *New Zealand Journal of Zoology* 28:351-359.
- Heyer, W. R., M. A. Donnelly, R. W. McDiarmid, L.-A. C. Hayek, and M. S. Foster, editors. 1994. *Measuring and Monitoring Biological Diversity: Standard Methods for Amphibians*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.
- Hou, P.-C. L., T.-W. Shiau, M.-C. Tu, C.-C. Chen, T.-Y. Chen, Y.-F. Tsai, C.-F. Lin, and S.-H. Wu. 2006. Exotic amphibians in the pet shops of Taiwan. *Taiwania* 51(2): 87-92.
- Inger, R. F. 1999. Distribution patterns of amphibians of Southern Asia adjacent islands. In Duellman, W. E. (Ed.). *Patterns of Distribution of Amphibians: A Global Perspective*, pp. 445-482. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, USA.
- Johnson, S. A., Langan, E. M., and McGarrity, M. E. 2006. Monitoring and excluding frogs from agricultural fields in South Florida. Final Report to VegPro, Quebec, Canada, 36 pp.
- Kurniawan, N., M. M. Islam, T. H. Djong, T. Igawa, M. B. Daicus, H. S. Yong, M. Wanichanon, Md. M. R. Khan, D. T. Iskandar, M. Nishioka, and M. Sumida. 2010.

- Genetic divergence and evolutionary relationship in *Fejervarya cancrivora* from Indonesia and other Asian countries inferred from allozyme and mtDNA sequence analyses. *Zoological Science* 27: 222-233
- Kraus, F. and E. W. Campbell. 2002. Human-mediated escalation of a formerly eradicable problem: the invasion of Caribbean frogs in the Hawaiian Islands. *Biological Invasions* 4: 327-332.
- Pimentel, D. 2002. Introduction: Non-native species in the world. In: D. Pimentel (ed.) *Biological Invasions: Economic and Environmental Costs of Alien Plant, Animal and Microbes Species*. CRC Press, Boca Raton, FL., USA. pp. 3-8.
- Shiau, T.-W., P.-C. Hou, S.-H. Wu, and M.-C. Tu. 2006. A survey on alien pet reptiles in Taiwan. *Taiwania* 51(2): 71-80.
- Sin, H., Radford, A. 2007. Coqui frog research and management efforts in Hawaii. *Managing Vertebrate Invasive Species: Proceedings of an International Symposium* (G. W. Witmer, W. C. Pitt, K. A. Fagerstone, Eds). USDA/APHIS/WS, National Wildlife Research Center, Fort Collins, CO.
- Sin, H., K. H. Beard, W. C. Pitt. 2008. An invasive frog, *Eleutherodactylus conqui*, increases new leaf production and leaf litter decomposition rates through nutrient cycling in Hawaii. *Biological Invasions* 10: 335-345.
- Sutherst, R. W, R. B. Floyd, and G. F. Maywald, 1995. The potential geographical distribution of the cane toad, *Bufo marinus*, in Australia. *Conservation Biology* 9(6): 294-299.
- Williamson, H. and K. C. Brown, 1986. The analysis and modeling of British invasions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 314:505-522.
- Woolbright, L. L., A. H. Hara, C. M. Jacobsen, W. J. Mautz, and F. L. Benevides. 2006. Population densities of the Coqui, *Eleutherodactylus conqui* (Anura: Leptodactylidae)

in newly invaded Hawaii and in Native Puerto Rico. *Journal of Herpetology* 40:
122-126.