

行政院農業委員會林務局補助計畫 99-林管-02.1-保-29(2)號

■公開

□限閱

外來入侵種族群控制與監測計畫—亞洲錦蛙（三）

Controlling and monitoring population of the invasive frog,

Kaloula pulchra, in Taiwan (III)

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

中華民國 一〇一 年 二 月 一 日



林務局補助計畫 99-林管-02.1-保-29(2)號 外來入侵種族群控制與監測計畫—亞洲錦蛙 (三) 侯平君 民國一百年二月

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) 針對各區域的亞洲錦蛙進行監測，並與 2005-2008 年的結果比較，以了解各區年間的族群動態；(2) 探討亞洲錦蛙之生殖行為與生態學（聲音溝通），以建立誘捕及干擾生殖之方法；(3) 以高雄市都會公園之族群為例，進行亞洲錦蛙族群特徵參數的蒐集與族群動態和管理的模擬分析；(4) 亞洲錦蛙移除和監測之經費及人力評估；此外，也繼續 (5) 通報系統之維護及 (6) 志工培訓與教育宣導。

本年度重新調查了 2005-2008 年所調查過的台南、北高雄、南高雄與屏東區域，共 258 個調查樣點，其中有 84 個樣點發現有亞洲錦蛙的分佈，我們利用棲地佔據模式 (occupancy model) 中的多季模式 (multi-season model)，分別估算各區域亞洲錦蛙不同年的棲地佔有率，以瞭解各區域性的族群動態，結果顯示亞洲錦蛙在南高雄地區的棲地佔有率近年有顯著的增加，而在台南與北高雄地區則有顯著減少的趨勢，顯示南高雄地區的族群有持續擴張的可能，未來應優先採取族群抑制的措施。

本年度收集並分析了 29 隻雄蛙的鳴叫聲音，對其聲音特質有初步的認識，未來將可以此為基礎，再進一步探討亞洲錦蛙的聲音行為，以期應用在未來的誘集陷阱上。

我們在高雄市都會公園標記再捕捉亞洲錦蛙，以 Jolley-Seber full model 進行族群量的估算，結果顯示七月份的族群量最高為 1478 ± 472.8 隻；此外，並蒐集其族群特徵參數進行族群動態及管理的模擬分析，結果發現亞洲錦蛙的雄雌性比為 2.45:1，窩卵數平均為 4785.1 ± 1644.75 顆，而卵孵化率平均為 $33.37 \pm 25.39\%$ 。以這些參數進行族群動態模擬分析的結果發現，單獨移除 50% 卵與蝌蚪或只捕捉

30%成蛙與小蛙的方案，效果並不顯著；需移除 90%以上的卵與蝌蚪才有效果。然而，只要同時移除 50%的卵與蝌蚪以及 30%的成蛙與小蛙，即可在五年內使其族群量降至原來的 20%，是未來一個控制其族群量的理想模式。

根據前述同時移除卵、蝌蚪、小蛙以及成蛙的方案，初步評估一年中需執行為期 6 個月的族群抑制工作，所需人力總共為 84 人天，約需 12,6000 元的經費。

本年度透過亞洲錦蛙調查網站及通報系統的持續運作，得知一個在已知分布範圍外的新分佈點－雲林縣北港鎮，故未來有必要對該區域的族群分佈狀況進行瞭解。

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) compare the occupancy rates among years (2005-2010) within each region; (2) investigate the reproductive behavior (acoustic communication) and ecology for the development of population control; (3) obtain the population parameters of those frogs occurring in Kaohsiung Metropolitan Park for modeling the population dynamics and different management scenarios; (4) estimate preliminarily the efforts and costs for controlling the population; in addition, maintaining the webpage and promoting public awareness were also carried out.

A total of 258 study sites investigated between 2005 and 2008 were revisited and Asian Painted Frog occurred in 84 sites. Occupancy rates of the years were estimated by using the multi-season model of the species occurrence model for each of the 4 regions. The results revealed that the rates in South Kaohsiung region increased between 2006 and 2010, while those in Tainan and North Kaohsiung decreased between 2008 and 2010, indicating the priority of control management in South Kaohsiung.

The advertisement calls from 29 males were collected and analyzed this year. Future studies of behavioral responses to the calls are needed for developing acoustic traps to control the populations.

Population estimation using mark-recaptured frogs with Jolley-Seber full model indicated the peak abundance of 1478 ± 472.8 frogs occurred in July in Kaohsiung Metropolitan Park. The parameters estimated from the population in the park were the sex ratio ($\text{♂}:\text{♀} = 2.45:1$), average clutch size (4785.1 ± 1644.75 eggs), and average hatching rate ($33.37 \pm 25.39\%$). Results of the modeling analyses using these parameters showed that removals of either 30% of the adult and juvenile frogs or 50% of the eggs and tadpoles were not effective, however, the removal of $>90\%$ of eggs and tadpoles could be effective in controlling the population. A combination of removing 50% of the eggs and tadpoles and 30% of the adults and juveniles could reduce the population to 20% of the current level in 5 years.

The estimated efforts based on the scenario of combined removals of the eggs, tadpoles, juveniles, and adult frogs for 6 months in the park were 84 person-days and the estimated costs were NT\$12,6000 per year.

A report of occurrence in Beikang Village, Yulin County, indicated the

distribution of Asian Painted Frog in Taiwan might be larger than the currently known range and need further investigations.

目錄

中文摘要	I
英文摘要	III
目錄	V
表目錄	VI
圖目錄	VII
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	9
五、建議	16
六、參考文獻	17
附錄一、各調查樣點之二分帶座標	37
附錄二、調查樣點的棲地類別	41
附錄三、2010 年台灣南部有亞洲錦蛙分佈之樣點的調查結果	42

表目錄

表一、亞洲錦蛙在各地區不同年的棲地佔有率	20
表二、高雄市都會公園的亞洲錦蛙族群特徵參數	21
表三、2010 年在高雄市都會公園各次所捕捉到的亞洲錦蛙隻數	22
表四、2010 年在高雄市都會公園各次捕捉工作中所捕捉到的亞洲錦蛙個體數量	23
表五、各次標記再捕捉的亞洲錦蛙數量	24
表六、以 Jolley-Seber full model 估算亞洲錦蛙族群量的結果	25
表七、2010 年在高雄市都會公園，以 catch-effort model 估算亞洲錦蛙小蛙數量的結果	26
表八、高雄市都會公園亞洲錦蛙族群動態與管理模擬之模式參數值	27

圖目錄

圖一、本年度各調查區域與新增通報地區之相對位置圖	28
圖二、高雄市都會公園園區配置圖	29
圖三、亞洲錦蛙生活史各階段之示意圖	30
圖四、2010 年調查發現亞洲錦蛙之樣點的棲地類型比例	31
圖五、亞洲錦蛙在各區域不同年間的棲地佔有率變化	32
圖六、亞洲錦蛙叫聲的波形圖與頻譜圖	33
圖七、2010 年於高雄市都會公園不同時間所捕捉到的亞洲錦蛙個體體長	34
圖八、高雄市都會公園的亞洲錦蛙族群動態及管理模擬結果	36

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佈於台南縣（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，且族群數量龐大，不過，尚未進一步瞭解其區域性的族群動態。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，研究抑制其族群的方法，以控制其族群擴張速率，並評估進行管理控制所需之人力與經費，提供管理單位參考，亦有其必要性。由於亞洲錦蛙在部分地區的分佈呈現不連續、局部地區有龐大族群的情形，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，入侵生物的教育實在需要更廣泛的宣導與加強。

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) 針對各區域的亞洲錦蛙進行監測，並與2005-2008年的結果比較，以了解各區年間的族群動態；(2) 探討亞洲錦蛙之生殖行為與生態學（聲音溝通），以建立誘捕及干擾生殖之方法；(3) 以高雄市都會公園之族群為例，進行亞洲錦蛙族群特徵參數的蒐集與族群動態和管理的模擬分析；(4) 亞洲錦蛙移除管理經費及人力之初步評估；(5) 通報系統之維護，以迅速掌握亞洲錦蛙之分佈範圍；(6) 與楊懿如教授主持的兩棲類調查志工培訓計畫合辦入侵亞洲錦蛙的教育宣導。

三、研究材料及方法

亞洲錦蛙區域性的族群監測

(1) 調查範圍：本年度擬於2005-2008年所調查過的區域(即台南、北高雄、南高雄與屏東地區，圖一)，再次進行亞洲錦蛙族群的分佈調查。

(2) 樣點選擇：本年度沿用過去(2005-2008年)所設立的調查樣點，並將部分距離過於接近(<300公尺)，或已發生嚴重變化的樣點剔除，而不另外新增樣點，故本年度在台南、北高雄、南高雄與屏東地區分別保留了111、38、56與53個調查樣點，共258個調查樣點(附錄一)，此外，根據樣點的土地利用形式，我們將所有樣點分別歸為農墾旱地、農墾溼地、建構地、荒地、人為綠地、林地與水域，七種不同的棲地類型(附錄二)。

(3) 野外調查：於雨季期間選擇出現連續數天降雨的期間至各樣點進行調查，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。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。此外，亦記錄發現個體所在的微棲地(如道路、樹上或水溝等資料)。

(4) 資料統計：亞洲錦蛙在每個調查樣點的相對豐度，以3次調查之累計鳴叫數量等級及累計個體數兩種方式呈現。而發現頻度則為3次調查中發現亞洲錦蛙的次數。另外，利用棲地佔據模式(occupancy model)來估算本年度與2005-2008年在調查區域中亞洲錦蛙的棲地佔據率(occupancy rate)，以瞭解過去2-3年間，亞洲錦蛙在這些區域中的族群動態，並作為日後持續族群監測的比較基礎。

亞洲錦蛙雄蛙聲音溝通之研究

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，故在這之前需要針對亞洲錦蛙的雄蛙叫聲特質，與雌蛙對叫聲的偏好進行基本的生物學研究。本年度將先收集亞洲錦蛙的雄蛙叫聲，並分析其叫聲特質，以作為雌蛙偏好實驗的基礎。未來，擬製作具有不同叫聲特質的叫聲，或加入不同聲音干擾的設計，對雌蛙進行回播實驗，以找出提高與降低叫聲對雌蛙吸引力的因子，而這些研究結果，將運用在聲音陷阱的設計上，以增加未來在野外對亞洲錦蛙誘捕的效率。

族群特徵參數的蒐集與族群動態和管理的模擬分析

(1) 樣區的選擇：以高雄市都會公園中的亞洲錦蛙族群為對象，調查樣區為都會公園東北角區域之一期環園步道（圖二），大約介於溫室與活動中心部分的區段，區段內之步道全長約340公尺，步道兩側各有一條排水溝渠，兩旁為園方所種植之樹林區域（包含鳳凰木、紅蝴蝶、黑板樹、銀葉樹等樹種），由過去的觀察可知，生殖季期間，都會公園的亞洲錦蛙主要聚集在此區段的水溝中進行生殖，而周圍的樹林中，亦常發現有成蛙或小蛙個體出現活動。

(2) 族群特徵參數的蒐集：本年度5月至7月期間，我們選擇在降雨過後的晚上，進入樣區收集已成功抱接的成對亞洲錦蛙個體，將之帶回實驗室後，每對分別置於一個35 cm x 20 cm x 30 cm的飼養箱中，並給予適量的曝氣水，讓牠們可以在飼養箱中產卵，隔日再將雌雄個體移出飼養箱，並計算其所產下的卵數

（clutch size）；兩天之後，再計數其中成功孵化（發育至Gosner stages 20）的卵數，以計算孵化成功率（hatching rate）。在6月期間的雨後，我們在樣區中隨機挑選了20個10 cm x 10 cm的水域，計數取樣範圍內的亞洲錦蛙蝌蚪(Gosner stages

20-46)數量，並量測該處的水深，計算水域的平均體積，以估算水域中蝌蚪密度 (tadpole density)。另外，我們以5-11月期間所捕捉到的個體數量 (見下段)，來計算亞洲錦蛙雌蛙與雄蛙的性別比例 (sex ratio)。

(3)族群量的估算：我們以標記再捕捉的方式，並利用Jolley-Seber full model (Pollock et al., 1990)來進行族群量的估算。在5-11月期間，大約每個月進行一次至少連續3天的捕捉，而通常在第3天所能捕捉到的個體數量，會低於該次總捕獲量 (3天的總個體數) 的15%，但若高於15%，則再進行第4天的捕捉，直到最後一次捕獲量低於該次總捕獲量的15%才停止，以盡可能捕獲當次生殖活動的大部分個體。我們選擇在降雨之後的晚上19:00至23:30間，進入樣區中，以徒手捕捉的方式捕捉所有發現的亞洲錦蛙個體，將其帶回實驗室後，記錄其體長、體重與性別，並以軟性螢光標誌 (Visible Implant Fluorescent Elastomer tags; Northwest Marine Technologies, Inc.) 進行標記，而小蛙因體型太小難以此方式標記，故以剪趾法取代之，所有的個體均在標記完成後一起放回原捕捉地。

(4) 族群趨勢的模擬分析：我們將亞洲錦蛙的生活史分成幼體期 (卵與蝌蚪)、小蛙 (未成熟個體) 與成蛙 (性成熟個體) 三個階段 (圖三)，幼體期是從受精卵孵化至Gosner 46期之蝌蚪，約需28天的發育時間 (Sbahriza, 1997)，未成熟個體為變態後不滿一年的小蛙，此階段個體的生殖腺均未成熟，不具有生殖能力，成熟個體則為一歲以上且已具有生殖能力的個體。以所蒐集的各項族群特徵參數為基礎，並在RAMAS EcoLab軟體 (Applied Biomathematics, Inc.) 的設定中，將參數做不同程度的調整，以進行亞洲錦蛙族群量變化及管理的模擬分析，並討論有效抑制亞洲錦蛙族群的可能方式。

移除與監測之經費及人力評估

綜合本年度及前幾個年度累積之亞洲錦蛙基礎資訊，提出未來特定地區族群控制及管理 (包含移除及監測等) 之可能方式，並初步評估所需之經費及人力。

通報系統之維護

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。

教育宣導

本年度與楊懿如教授主持之兩棲類調查志工培訓計畫合作，於八月其培訓活動中，加入入侵種亞洲錦蛙的介紹課程，並配合發放摺頁及海報，以增加民眾對入侵種兩棲類防治的參與。

四、結果與討論

亞洲錦蛙區域性的族群趨勢

本年度在台南、北高雄、南高雄與屏東地區的三次調查工作，分別於5月24日至6月5日，7月19日至7月29日及10月4日至10月16日期間完成，共計進行了771點次的分佈調查。在所有發現紀錄中（132點次紀錄），以鳴叫計數法共記錄了54點次亞洲錦蛙的叫聲，而以目視遇測法則有78點次發現亞洲錦蛙個體的紀錄，總計目視有154隻次，其中雌蛙、雄蛙、亞成體（2.5-5公分）與幼蛙（小於2.5公分）各有30、93、11與20隻次，綜合鳴叫計數法與目視遇測法的調查結果，在所有樣點（258個樣點）中，共有84個樣點發現亞洲錦蛙，其中有63個樣點發現1次、另外18個樣點發現2次亞洲錦蛙，而有3個樣點則在3次調查中均發現亞洲錦蛙（附錄三）。目視發現亞洲錦蛙的樣點裡（共61個樣點），其棲地類型以農墾旱地（圖四，有17個樣點）為最多，其次為林地（有15個樣點），再其次為農墾溼地（有12個樣點），而亞洲錦蛙個體主要是在這些環境中的溝渠、水池、道路或樹上被發現，與過去的調查結果類似。

於2006-2008年期間，我們曾陸續在台南、高雄與屏東地區進行了亞洲錦蛙的分佈調查（南高雄地區的調查年度為2006和2007年，北高雄、台南與屏東地區的調查年度則同為2008年）；因此，加入本年度（2010年）的調查資料後，我們利用棲地佔據模式中的多季模式（multi-season model），分別估算亞洲錦蛙在各個區域的棲地佔有率，以瞭解在過去2-3年之間，亞洲錦蛙區域性的族群動態。由於單一區域的樣點數量未達到可加入共變因子的標準（ $N/40 > V$ ， N ＝樣點數量， V ＝變數數量），故我們以最簡約的模式（ $\phi(\cdot), \gamma(\cdot), \varepsilon(\cdot), p(\cdot)$ ）進行估算，即在估算模式當中不加入可能影響棲地佔有率（ ϕ ）、拓殖率（ γ ）、滅絕率（ ε ）與偵測率（ p ）的共變因子，估算結果發現，亞洲錦蛙的偵測率並不高，在四個地區當中，以南高雄地區較容易調查發現（ $p=0.3837 \pm 0.0353$ ），台南地區次之（ $p=0.3151 \pm 0.0472$ ），北高雄地區再次之（ $p=0.3081 \pm 0.0502$ ），屏東地區則為最

不易調查發現 ($p=0.2101\pm 0.0617$)；而不同年間，亞洲錦蛙在各地區的棲地佔有率介於 0.2457-0.7268 之間 (表一)，其中亞洲錦蛙在南高雄地區的棲地佔有率有顯著增加的趨勢(圖五, 2006 vs. 2007 t test: $p<0.001$; 2007 vs. 2010 t test: $p<0.001$; 2006 vs. 2010 t test: $p<0.001$)，而其在台南(t test: $p<0.001$)與北高雄地區(t test: $p=0.042$)則呈現顯著減少的趨勢，另外，在屏東地區，亞洲錦蛙的棲地佔有率雖有增加的趨勢，但在統計上卻不顯著 (t test: $p=0.246$)。本年度結果顯示：除了台南地區之外，亞洲錦蛙在所調查的地區中已有很高的佔有率 (至少 65% 以上的調查樣點)，而過去 4 年之間 (2006-2010 年)，亞洲錦蛙在南高雄地區的分佈範圍正快速的擴張了 25% (其棲地佔有率由 2006 年的 0.4662，增加為 2010 年的 0.7219)。因此，對於南高雄地區的亞洲錦蛙族群應優先採取族群抑制的措施，以避免其再持續的快速擴張，雖然目前並未發現其他地區的亞洲錦蛙族群有顯著的擴張趨勢，但未來仍須繼續監測其族群動態。

亞洲錦蛙雄蛙聲音特質之分析

本年度共收集了 29 隻亞洲錦蛙雄性個體的叫聲，野外錄音時的氣溫與水溫分別為 $22.63\pm 2.24^{\circ}\text{C}$ (19-25.9°C) 與 $24.81\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ (22.4-27.2°C)，而雄蛙個體的體長與體重則分別為 $66\pm 3.73\text{ cm}$ (55.58-73.33 cm) 與 $31.99\pm 6.97\text{ g}$ (16.6-47.7 g)，雄蛙叫聲在距離約 1 公尺下所測得的聲量為 $78.9\pm 2.29\text{ dB}$ (72.61-87.47dB)。利用聲音分析軟體 (Avisoft-SASLab Pro ver.5.1, Avisoft Bioacoustics, Inc.) 在個人電腦上進行叫聲特質的分析，發現亞洲錦蛙的叫聲為一個音量漸強而後減弱的音節 (圖六)，平均叫聲長度為 $0.58\pm 0.11\text{ sec}$ (0.42-0.8 sec)，叫聲中的最大聲量出現在叫聲開始後的 $0.3\pm 0.07\text{ sec}$ (0.16-0.44 sec) 處，大約位於整個叫聲的中央，亞洲錦蛙叫聲的主要頻率為 $632.4\pm 465.2\text{ Hz}$ (190-1598 Hz)，所涵蓋的頻率範圍為 190-2300 Hz。未來將以這些聲音特質的資料為基礎，合成一族群標準叫聲以進行雌蛙趨聲實驗，並在野外測試以聲音陷阱誘集亞洲錦蛙的效果。

族群特徵參數的蒐集與族群動態和管理的模擬分析

(1) 族群特徵參數：我們共收集了12對在野外成功抱接的亞洲錦蛙個體，其中有10對在實驗室中成功產卵，且孵化為蝌蚪，發現每隻雌蛙所產下窩卵數平均為 4785.1 ± 1644.75 顆（2103-7378顆），而卵孵化率平均為 $33.37 \pm 25.39\%$

（0.78-69.7%）（表二）。在樣區中，有蝌蚪出現的水域，平均水深為 3.02 ± 1.57 cm，而在 $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ 大小的範圍之內，平均有 26.45 ± 8.67 隻蝌蚪，以此推算蝌蚪的密度為 0.105 ± 0.051 隻/ cm^3 （表二）。另外，在高雄市都會公園中，我們總共捕捉了615隻亞洲錦蛙個體（表三），其中包含了346隻雄蛙與141隻雌蛙，可知雄蛙與雌蛙的性別比例為2.45：1，相較於梁高賓（2005）在高雄市鳳山水庫地區所估計之1.75:1，高雄市都會公園的雄蛙佔有較高的比例，這可能是因為我們在高雄市都會公園中的樣區範圍，恰是亞洲錦蛙的生殖場，而一般雄蛙在生殖季期間主要會集中在生殖場中，而梁高賓在鳳山水庫中的取樣並非只針對生殖場，因此造成兩地區所得之性比有所差異。另外，在拉都希氏赤蛙研究中，發現在非生殖季或非生殖地可觀察到性比，將會更接近1：1（卓，2002）。

(2) 族群量的估算：我們進行了7次的捕捉工作（表四），但是第7次並未捕捉到任何亞洲錦蛙個體，總共捕捉到615隻次亞洲錦蛙個體，其中有71隻次的個體有再捕捉記錄，因此，整個生殖季中，亞洲錦蛙在高雄市都會公園的再捕捉率約為11.54%，而生殖季初期（5-7月）所捕捉到的成蛙個體，其體長顯著大於後期所捕捉到的成蛙（圖七，雄蛙：ANOVA, $F_{4,342}=11.51, P<0.001$ ，雌蛙：ANOVA, $F_{3,135}=2.88, P=0.038$ ），而體型較大的兩棲類，通常也表示其為較老熟或生理狀況較佳的個體，這可能顯示較老熟或生理狀況較佳的亞洲錦蛙，會在生殖季前期就進入生殖場，而體型較小的成體可能因成熟度或生殖經驗不足，傾向在生殖季後期才出現，以避開與優勢成蛙的競爭，另外，初期（7月）被捕捉到的小蛙個體，其體長則是顯著小於後期所捕捉到的小蛙（圖七，ANOVA, $F_{3,124}=43.55, P<0.001$ ），這可能是初期的小蛙剛變態不久，故體型相對較小，而後期則有較多已變態2-3個月的小蛙，因此有相對較大的體型。根據本年度的捕捉資料顯示，

高雄市都會公園的亞洲錦蛙在5-10月之間均有活動，在7月之後開始出現大量的小蛙個體（表四），而9月以後則幾乎不再有成體出現，此結果表示5-9月可能為其生殖季節，且又以5-7月為高峰。

我們將標記再捕捉的資料（表五），以Jolley-Seber full model進行族群量的估算，不過，由於9-11月期間並無任何被捕捉第二次的個體出現，因此無法估算此時期的族群量。估算結果顯示，在5月底，高雄市都會公園的族群數量（N）為 1478 ± 472.8 隻（表六），若將資料中的小蛙排除後再重新估算，則發現5月底的族群量並不改變，但該次新增個體數量（Number Joining, B值）會由 32.1 ± 32.8 變為 -54.4 ± 33.0 （表六），其中B值代表整體族群在兩次調查間，族群增加的個體數量，在僅以成蛙資料進行估算的情況下，B值為負值，表示成蛙有離開生殖場的現象，而在以所有個體（包含有小蛙）資料進行估算的情況下，B值為則正值，可推測在此期間新加入族群的主要是小蛙。由於小蛙的再捕捉率非常的低，因此，我們再以Catch-Effort model來估算小蛙的數量，而得到7、8與9月份的小蛙數量分別為 157.5 ± 42.8 隻、 31.54 ± 0.4 隻與 23.25 ± 42.5 隻（表七），顯示大部份小蛙於7月變態後離開生殖場。

（4）族群動態趨勢及管理的模擬分析：我們以實驗所得之各項族群特徵參數，作為模擬分析之參數的基礎值（表八），單一隻成熟個體在整個生殖季的生殖力（ F_{31} ）為462.84（窩卵數 \times 孵化率 \times 性比 \times 單一生殖季的產卵次數 $= 4785.1 \times 0.3337 \times (1/(2.45+1)) \times 1$ ），蝌蚪變態成小蛙的存活機率（ P_{12} ）為0.009 (Sbahriza, 1997)，小蛙則由於很容易受外在環境、食物等因素的影響，使得其存活率的變異很大（0-90%），故將小蛙成長至性熟的存活機率（ P_{23} ）直接設定為0.5，而成熟個體的存活率（ P_{33} ）（梁，2005）則為0.73。另外，起始族群數量的參數設定，成蛙（Breeder）在第一年設定為本年度族群估算之最高值1478隻，卵與小蛙在各年之起始值則皆設定為0（生殖季開始前狀況）。族群動態模擬，依照以下6種不同程度的管理模式調整參數，以討論高雄市都會公園的亞洲錦蛙，在各種管理情境下的族群趨勢。

(a) 模式O：對目前的族群不做任何管理。在此情況下（表八），模擬發現其族群量將迅速的攀升（圖八a），顯示若放任高雄市都會公園的亞洲錦蛙族群不管理，其在未來有極高的可能持續擴張。

(b) 模式A：移除100%的卵與蝌蚪。每年將所有卵與蝌蚪移除，使 $F_{31}=0$ 和 $P_{12}=0$ ，由於未來無法有新的個體加入，整個族群僅剩現有的成蛙（表八），結果顯示，其族群量將隨著時間快速下降，第二年數量降至50%，第三年降至30%，第五年降至10%以下（圖八b）。

(c) 模式B：移除90%的卵與蝌蚪。因為實際工作很難達到卵與蝌蚪的完全移除，若每年實際移除量為90%，僅剩10%的卵與蝌蚪（表八）。族群量下降情形與模式A類似，第二年的族群量降至60%，第五年降至10%以下（圖八c），顯示此方法可使亞洲錦蛙族群量快速降低。

(d) 模式C：移除 50% 的卵與蝌蚪。若每年卵與蝌蚪的移除工作僅達理想中的50%（表八），則族群量在第七年才開始有下降的趨勢（圖八d），且下降速度相當緩慢，顯示此管理模式可能無法達到抑制其族群的效果。

(e) 模式D：移除30%成蛙與小蛙。依本年度進行標記再捕捉的經驗，在生殖場以徒手捕捉的方式進行個體的移除，可能僅能捕捉到整個族群的10-30%，若設定每年移除30%的成蛙與小蛙進行模擬（表八），結果顯示其族群量會有上升與下降的週期性波動（圖八e），但整體來說，族群量在十年內並不會明顯下降，可知倘若僅移除成蛙與小蛙的話，亦難以達到抑制其族群量的效果。

(f) 模式E：移除50%的卵與蝌蚪且移除30%的成蛙與小蛙。上述模式C與模式D，各自的管理效果雖然並不理想，但若將其合併實施（表八），結果顯示可使其族群量迅速的下降（圖八f），在第三年的族群量即降至原來的一半，而第五年更降至原來的20%，雖然移除率未臻完全，卻是一個足以控制其族群量的理想模式。

綜合上述的模擬結果可知，單獨移除亞洲錦蛙的卵與蝌蚪，減少有新個體的加入，可能是降低族群量較有效果的方法，不過，若一方面配合成蛙與小蛙個體

的移除，將可大為增加族群控制的成效，而未來對於亞洲錦蛙的族群抑制工作，應該以同時移除成蛙、小蛙、卵與蝌蚪的方式來進行。

移除與監測之經費及人力初步評估

我們以高雄市都會公園為例，提出抑制該地亞洲錦蛙族群的方式，與其所需的經費及人力評估。在高雄市都會公園的亞洲錦蛙族群抑制工作，主要應該在其生殖季期間（5-10月）進行，以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50%的卵與蝌蚪以及30%的成蛙與小蛙（亦即前述之模式E），以達到降低其族群量的效果。此為期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。而我們亦可以不同年間的移除個體數量作為族群監測的依據，若在未來幾年發現所能捕捉到的個體顯著減少了，則表示已達到該地區族群抑制的效果。

通報系統之維護

除了由調查人員進行調查以獲得亞洲錦蛙的分佈現況之外，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，雖然大部分的通報資料都顯示，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，不過，本年度新增了一筆在雲林縣北港鎮的通報記錄（圖一），經由通報者所附之照片，確實可以判斷其所見之物種為亞洲錦蛙，由於接獲此通報訊息時已是11月，此時期的亞洲錦蛙在野外已幾近不活動，所以目前尚無法對亞洲錦蛙在北港一帶的分佈狀況有更進一步的瞭解。不過，此通報信息已使我們有重新審視亞洲錦蛙分佈範圍的必要，由於介於雲林與台南之間的嘉義地區，尚無調查或通報發

現有亞洲錦蛙的記錄，因此，我們初步推測雲林地區的亞洲錦蛙可能是經由人為傳播的方式拓散到當地，才造成如此不連續的分佈模式，未來有必要優先瞭解此一新通報地區（雲林縣北港鎮）的亞洲錦蛙族群分佈，若確定該地區族群為獨立分佈或新建立的族群，則應評估是否該對其進行族群抑制的工作，以避免再進一步的擴大其分佈範圍。

教育宣導

本年於八月二日，主持人參與楊懿如教授主持之兩棲類調查志工培訓活動中，加入外來入侵生物及亞洲錦蛙的介紹課程，並配合發放摺頁及海報。此外，於九月間亦曾協助高雄衛武營都會公園調查亞洲錦蛙，並張貼海報及發放摺頁。

五、建議

本年度重新調查了已有亞洲錦蛙基礎分佈資料的區域，並以棲地佔據模式估算亞洲錦蛙區域性的族群動態，發現在南高雄地區的亞洲錦蛙族群，在過去 4 年（2006-2010 年）之間，其棲地佔有率顯著上升，族群有擴張的趨勢，建議對於南高雄地區的亞洲錦蛙族群應優先採取族群抑制的措施，以避免其再持續的快速擴張，而其他未有顯著擴張趨勢的地區，未來仍須繼續監測其族群動態。

以高雄市都會公園的亞洲錦蛙為對象，蒐集其族群特徵參數，並進行族群動態及管理的模擬分析，結果發現，若只捕捉 30% 的成蛙與小蛙或是只移除 50% 的卵與蝌蚪，對抑制族群量效果並不顯著；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 50% 的卵與蝌蚪以及 30% 的成蛙與小蛙，即可在五年內使其族群量降至原來的 20%，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。本年已收集並分析了亞洲錦蛙叫聲的基礎資料。因此，建議未來除了以人工捕捉的方式來移除之外，應以陷阱的捕捉來配合進行，而如何加強陷阱的效果（如配合叫聲誘集）或有其他更好的方式，則是未來需加強研究的重點。

亞洲錦蛙的分佈持續有新的通報記錄，且位於已知分布範圍之外，為不連續的分布，故可能有人為刻意散布的情形，因此未來應該持續對一般民眾進行外來入侵物種防治的教育宣導。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。
- 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.
- 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、亞洲錦蛙在各地區不同年的棲地佔有率。

地區	2006 年	2007 年	2008 年	2010 年
台南	--	--	0.3553 (0.0576)	0.2457 (0.0584)
北高雄	--	--	0.7268 (0.0997)	0.6689 (0.1406)
南高雄	0.4662 (0.0764)	0.6147 (0.0643)	--	0.7219 (0.0648)
屏東	--	--	0.6070 (0.1881)	0.6508 (0.1982)

註：“--”表示該年度無調查資料，數值為平均值及標準誤（括號內）。

表二、高雄市都會公園的亞洲錦蛙族群特徵參數。

參數	Mean	STD	Min	Max
窩卵數	4785.1	1644.8	2103	7378
卵孵化率 (%)	33.37	25.39	0.78	69.47
蝌蚪密度 (individual/cm ³)	0.105	0.051	0.048	0.26
雄蛙體長 (mm)	67.31	3.07	49.57	81.95
雄蛙體重 (g)	28.86	2.12	9.4	52.3
雌蛙體長 (mm)	71.04	2.91	54.04	84.10
雌蛙體重 (g)	36.44	3.62	15.8	67.6
小蛙體長 (mm)	41.22	9.3	27.49	53.96
小蛙體重 (g)	5.32	4.95	1.0	14.3

表三、2010 年在高雄市都會公園各次所捕捉到的亞洲錦蛙隻數。

次數	開始日期	雄蛙	雌蛙	小蛙	總個體數
1	5 月 1 日	75	19	0	94
2	5 月 25 日	215	109	0	324
3	7 月 21 日	47	20	89	156
4	8 月 24 日	10	6	27	43
5	9 月 29 日	3	1	11	15
6	10 月 21 日	0	0	1	1
7	11 月 27 日	0	0	0	0
總隻次		346	141	128	615

表四、2010 年在高雄市都會公園各次捕捉工作中所捕捉到的亞洲錦蛙個體數量。

起始日期	捕捉個體數	第一天	第二天	第三天	第四天	第五天	第六天
5/1	當日隻數(%) ^a	76 (100%)	7 (8.4%)	11 (11.7%)			
	累積隻數	76	83	94			
5/25	當日隻數(%) ^a	75 (100%)	26 (25.7%)	24 (19.2%)	120 (49%)	41 (14.3%)	38 (11.7%)
	累積隻數	75	101	125	245	286	324
7/21	當日隻數(%) ^a	49 (100%)	60 (55.0%)	25 (18.7%)	22 (14.1%)		
	累積隻數	49	109	134	156		
8/24	當日隻數(%) ^a	27 (100%)	11 (28.9%)	5 (11.6%)			
	累積隻數	27	38	43			
9/29	當日隻數(%) ^a	3 (100%)	10 (76.9%)	2 (13.3%)			
	累積隻數	3	13	15			
10/21	當日隻數(%) ^a	0 (-)	1 (100%)	0 (0%)			
	累積隻數	0	1	1			
11/27	當日隻數(%) ^a	0 (-)	0 (-)	0 (-)			
	累積隻數	0	0	0			

^a：當日隻數/累積隻數。

-：無法計算。

表五、各次標記再捕捉的亞洲錦蛙數量。

(包含有成蛙與小蛙個體資料)

No.	Date	Days	TC	TR	NC	R	Recapture by ordinal number							
							1	2	3	4	5	6	7	
1	5/1	-	94	94	94	0	-							
2	5/25	24	324	306	274	32	32	-						
3	7/21	57	156	156	121	35	10	25	-					
4	8/24	34	43	43	39	4	0	0	4	-				
5	9/29	36	15	0	15	0	0	0	0	0	-			
6	10/21	22	1	1	1	0	0	0	0	0	0	-		
7	11/27	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	

(僅計有成蛙個體資料)

No.	Date	Days	TC	TR	NC	R	Recapture by ordinal number							
							1	2	3	4	5	6	7	
1	5/1	-	94	94	94	0	-							
2	5/25	24	324	306	274	32	32	-						
3	7/21	57	67	67	32	35	10	25	-					
4	8/24	34	16	16	14	2	0	0	2	-				
5	9/29	36	4	0	4	0	0	0	0	0	-			
6	10/21	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-		
7	11/27	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	

No. = ordinal number ; TC = total captures ; TR =total released ; NC = new captures ; R = recaptures 。

表六、以 Jolley-Seber full model 估算亞洲錦蛙族群量的結果。

(包含有成蛙與小蛙個體資料的估算結果)							
Time(l)	proportion Marked (α)	Estimated Total population (N)	Probability of Survival (PHI)	Number Joining (B)	S.E. N	S.E. PHI	S.E. B
1	---	---	1.597	---	---	0.445	---
2	0.102	1478	0.083	32.1	472.8	0.016	32.8
3	0.229	152.6	0	0	10.1	0	0
4	0.114	0	0	0	0	0	0
(僅計有成蛙個體資料的估算結果)							
Time(l)	proportion Marked (α)	Estimated Total population (N)	Probability of Survival (PHI)	Number Joining (B)	S.E. N	S.E. PHI	S.E. B
1	---	---	1.597	---	---	0.445	---
2	0.102	1478	0.083	-54.4	472.8	0.016	33
3	0.529	66.1	0	0	10.1	0	0
4	0.176	0	0	0	0	0	0

表七、2010 年在高雄市都會公園，以 catch-effort model 估算亞洲錦蛙小蛙數量的結果。

No.	Date	Catchability	Population size	S.E.	Lower 95% CI bound	Upper 95% CI bound
1	5/1	0	--	--	--	--
2	5/25	0	--	--	--	--
3	7/21	18.78%	157.51	42.75	73.71	241.31
4	8/24	47.68%	31.54	0.38	30.81	32.28
5	9/29	19.05%	23.25	42.46	-59.97	106.47
6	10/21	0	--	--	--	--
7	11/27	0	--	--	--	--

註：“--”表示該筆資料無法估算。

表八、高雄市都會公園亞洲錦蛙族群動態與管理模擬之模式參數值。

處理模式	參數				
	孵化率	F ₃₁	P ₁₂	P ₂₃	P ₃₃
模式 O	0.3337	462.84	0.0090	0.5	0.73
模式 A	0	0	0	0.5	0.73
模式 B	0.0334	46.28	0.0009	0.5	0.73
模式 C	0.1669	231.42	0.0045	0.5	0.73
模式 D	0.3337	462.84	0.0090	0.35	0.511
模式 E	0.1669	231.42	0.0045	0.35	0.511

F₃₁：單一隻成熟個體在整個生殖季的生殖力，為（窩卵數）×（孵化率）×（性比）×（單一生殖季的產卵次數），其中雌雄性比為 2.45：1，窩卵數為 4785.1，單一生殖季的產卵次數為 1。

P₁₂：蝌蚪變態成小蛙的存活機率。

P₂₃：小蛙成長至性熟的存活機率。

P₃₃：成熟個體的存活率。

模式 O：不做任何移除工作。

模式 A：移除所有的卵與蝌蚪。

模式 B：移除 90%的卵與蝌蚪。

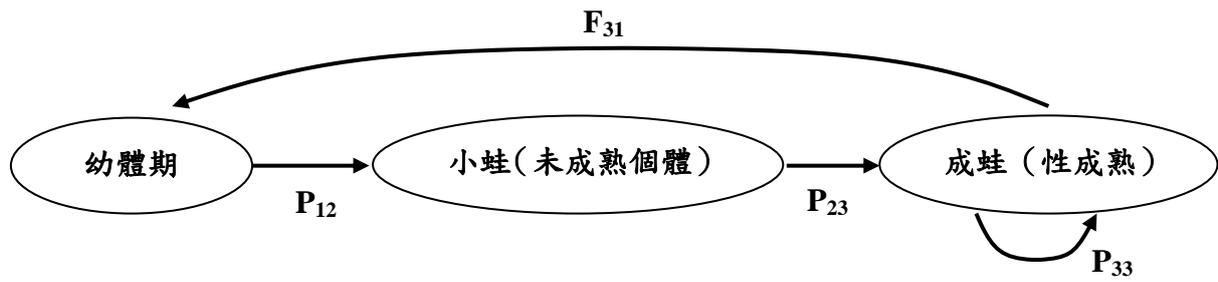
模式 C：移除 50%的卵與蝌蚪。

模式 D：移除 30%的小蛙與成蛙。

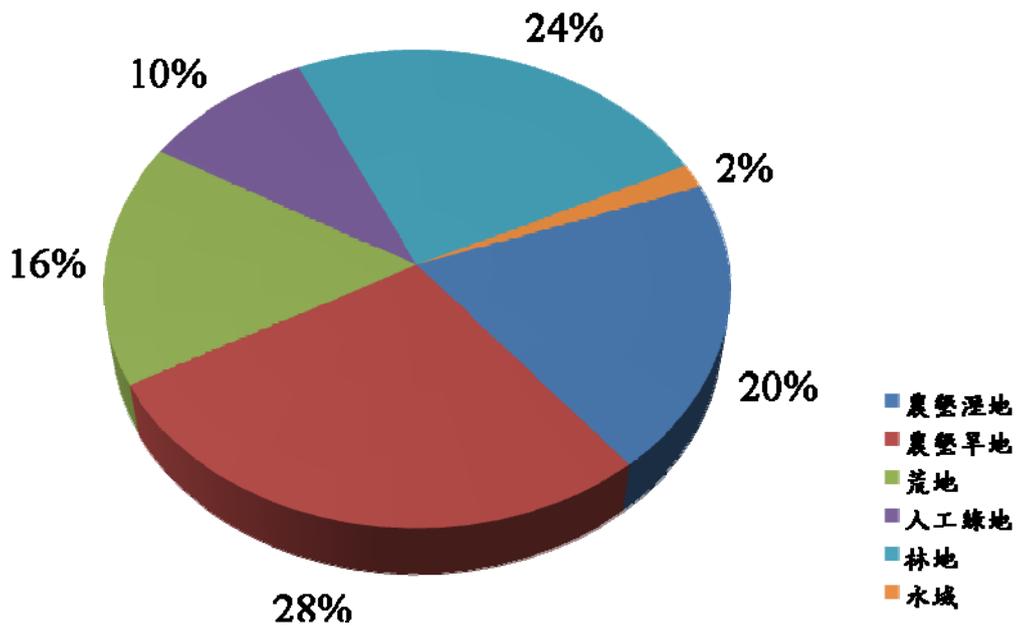
模式 E：模式 C+模式 D。



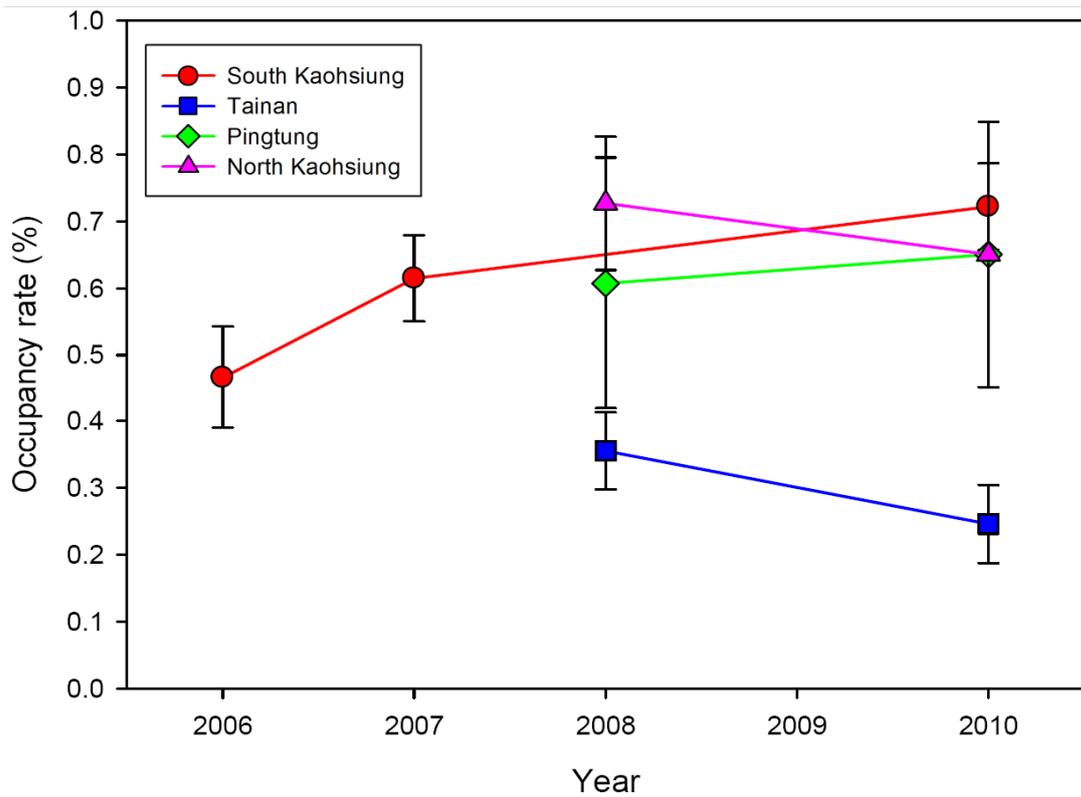
圖一、本年度各調查區域與新增通報地區之相對位置圖。



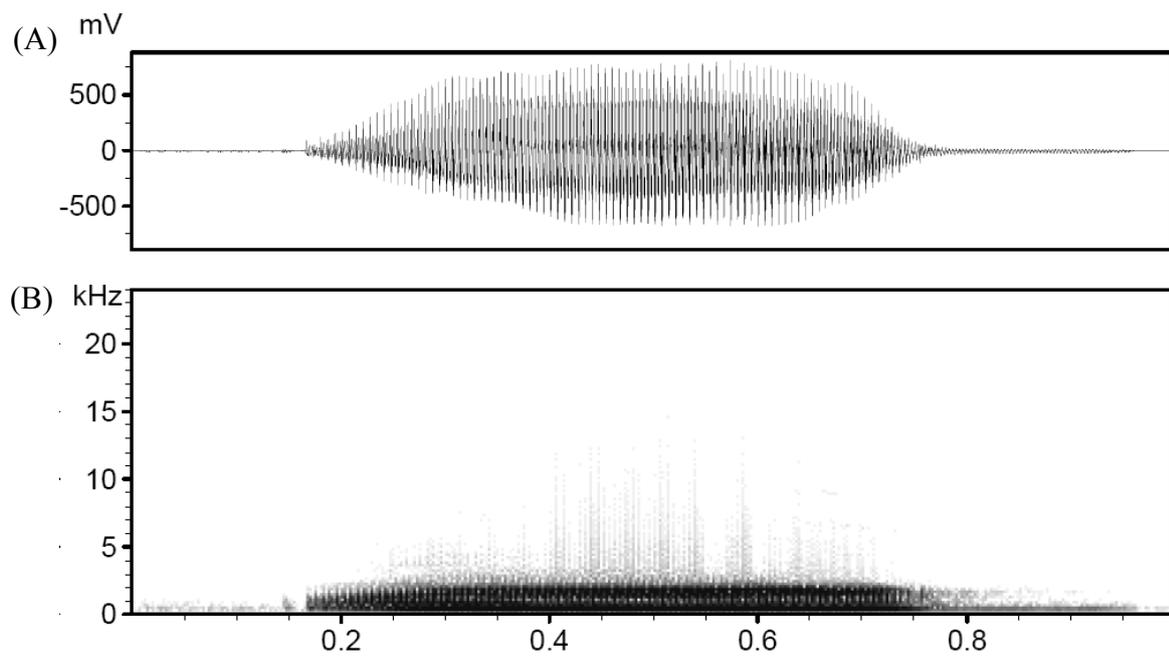
圖三、亞洲錦蛙生活史各階段之示意圖。 F_{31} ：成熟個體在生殖季中的生殖力， P_{12} ：卵至蝌蚪變態成小蛙的存活機率， P_{23} ：小蛙成長至性熟的存活機率， P_{33} ：成熟個體的存活率。



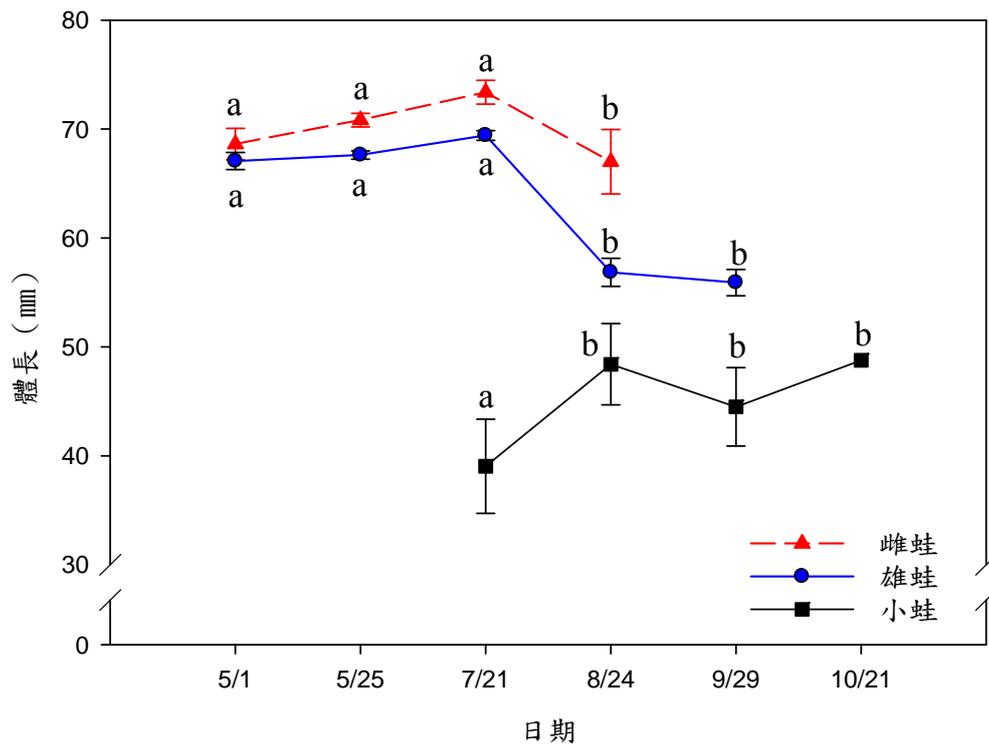
圖四、2010年調查發現亞洲錦蛙之樣點的棲地類型比例。



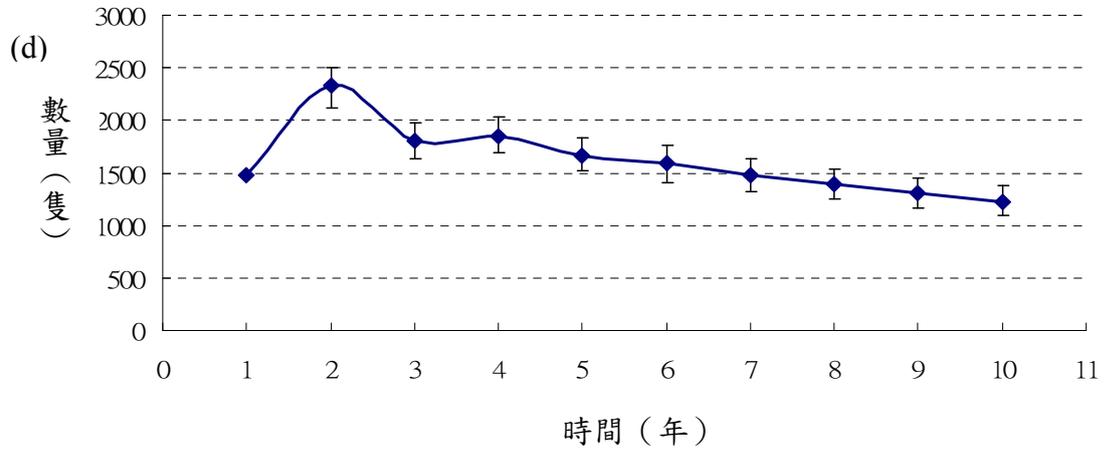
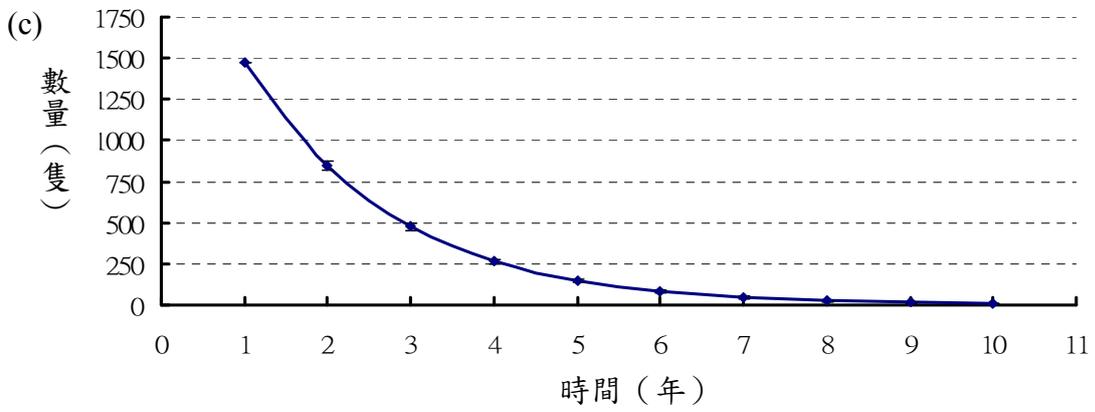
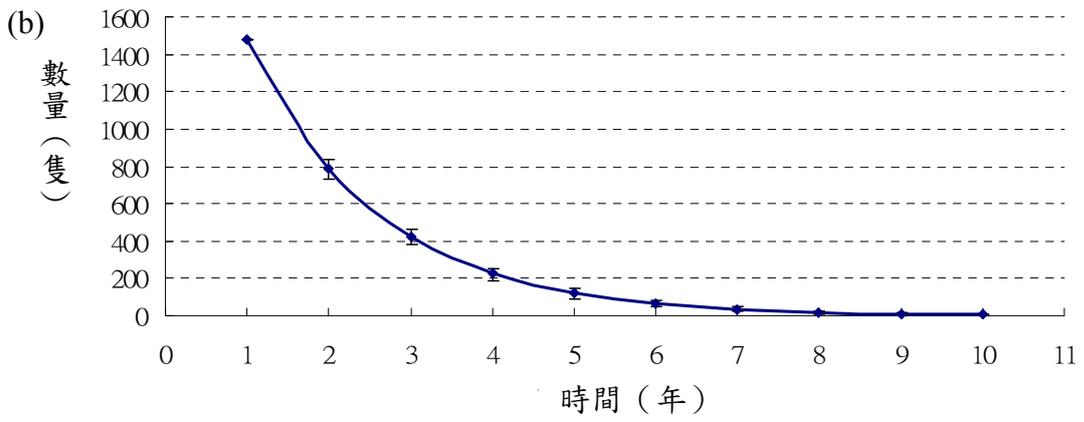
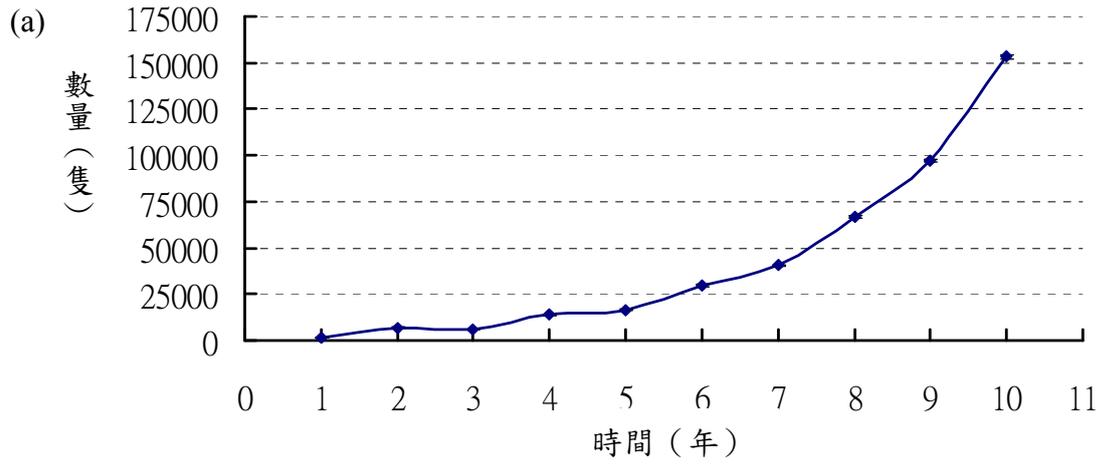
圖五、亞洲錦蛙在各區域不同年間的棲地佔有率變化。南高雄地區的棲地佔有率有顯著上升的趨勢 (2006 vs. 2007, t test, $p < 0.001$; 2007 vs. 2010, t test, $p < 0.001$; 2006 vs. 2010, t test, $p < 0.001$) ; 台南 (t test, $p < 0.001$) 與北高雄地區 (t test, $p = 0.042$) 則呈現顯著減少的趨勢 ; 屏東地區的變化趨勢統計上並不顯著 (t test, $p = 0.246$) 。

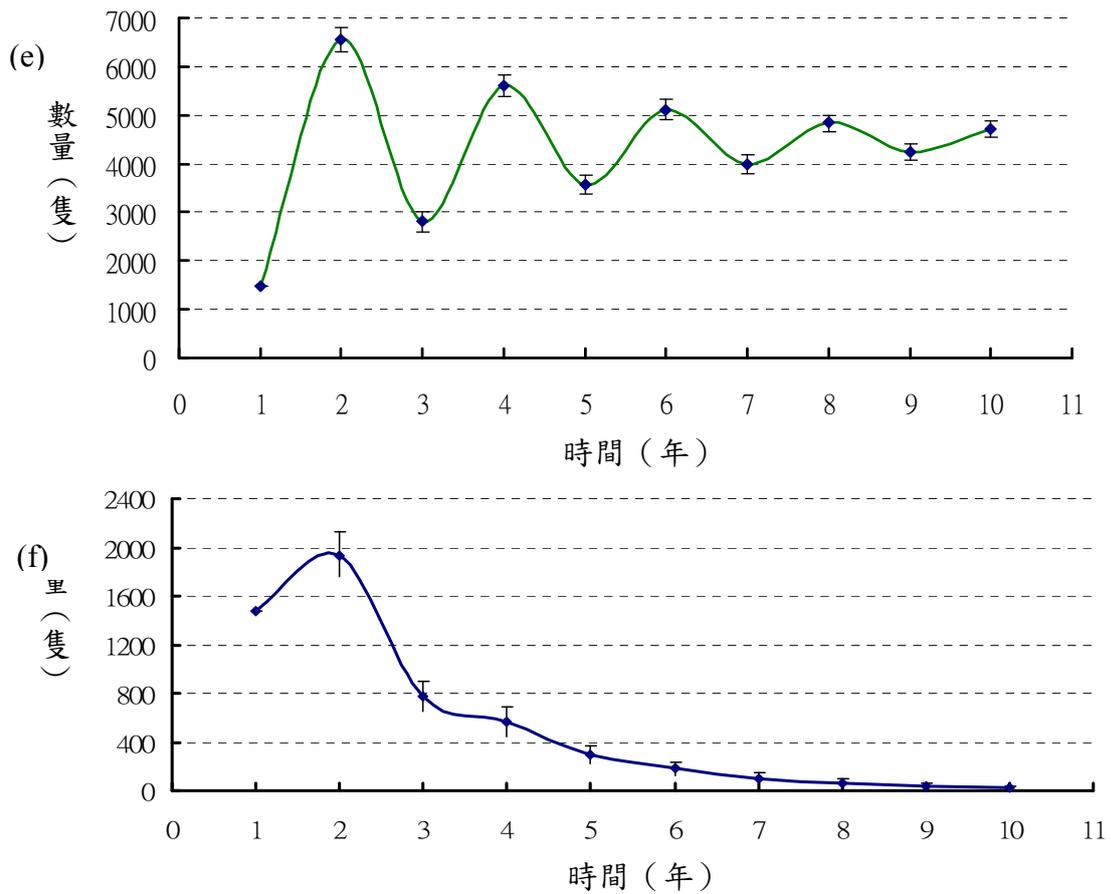


圖六、亞洲錦蛙雄蛙宣告叫聲的波形圖 (A) 與頻譜圖 (B)。



圖七、2010年於高雄市都會公園不同時間所捕捉到的亞洲錦蛙個體體長。不同英文字母表示不同時間資料之間有顯著差異 (Tukey's t test, $p < 0.05$)。





圖八、高雄市都會公園的亞洲錦蛙族群動態及管理模擬結果。(a) 為模式 O，不做任何管理的情況，(b) 為模式 A，移除所有卵與蝌蚪的情況，(c) 為模式 B，移除 90% 卵與蝌蚪的情況，(d) 為模式 C，移除 50% 卵與蝌蚪的情況，(e) 為模式 D，移除 30% 成蛙與小蛙的情況，(f) 為模式 E，移除 50% 卵與蝌蚪，及 30% 成蛙與小蛙的情況。

附錄一、各調查樣點之二分帶座標 (TWD67)。

樣方編號	座標	樣方編號	座標
A001	173436 2542965	A037	183398 2540511
A002	174081 2543035	A038	184605 2540655
A003	175142 2542780	A039	185668 2540710
A004	176911 2542033	A040	171728 2539081
A005	177408 2542076	A041	172824 2539671
A006	178544 2542566	A042	173374 2539556
A007	179080 2542852	A043	174242 2539327
A008	180624 2542352	A044	175386 2539373
A009	181574 2542328	A045	176921 2539579
A010	181956 2542924	A046	177372 2539143
A011	183394 2542466	A047	179095 2539166
A012	184452 2542225	A048	180891 2540031
A013	185728 2542916	A049	182387 2539713
A014	172681 2541273	A050	184470 2539228
A015	173244 2541794	A051	185288 2539219
A016	174444 2541130	A052	172666 2538563
A017	175789 2541577	A053	173527 2538289
A018	176714 2541427	A054	174050 2538520
A019	177441 2541555	A055	175647 2538909
A020	179452 2541784	A056	176395 2538848
A021	180891 2541059	A057	177307 2538470
A022	181585 2541737	A058	178160 2538965
A023	182797 2541517	A059	179100 2538342
A024	183608 2541111	A060	180817 2538237
A025	184196 2541545	A061	182422 2538538
A026	171574 2540543	A062	183479 2538207
A027	172520 2540183	A063	185380 2538642
A028	173765 2540830	A064	172200 2537174
A029	174400 2540481	A065	173634 2537741
A030	176055 2540378	A066	174134 2537399
A031	177617 2540642	A067	175504 2538012
A032	178369 2540533	A068	176392 2537233
A033	179623 2540648	A069	178620 2537953
A034	180549 2540358	A070	179192 2537819
A035	181690 2540268	A071	181167 2537207
A036	182378 2540851	A072	181671 2537816

(續附錄一)

樣方編號	座標	樣方編號	座標
A073	182614 2537198	A109	182631 2534115
A074	183699 2537210	A110	183761 2534451
A075	184110 2537772	A111	184860 2533683
A076	185352 2537959	B001	171368 2517389
A077	173133 2536440	B002	172087 2516974
A078	174180 2536223	B003	173682 2517529
A079	175101 2536822	B004	174359 2517686
A080	176898 2537062	B005	175547 2517157
A081	177595 2536959	B006	176772 2517352
A082	178820 2536251	B007	177500 2517373
A083	179579 2536339	B008	179101 2517441
A084	180165 2536087	B009	180536 2517147
A085	181835 2536905	B010	180534 2517755
A086	183035 2536485	B011	181434 2517449
A087	184237 2536577	B012	171533 2516502
A088	172138 2535680	B013	173309 2516198
A089	173783 2535131	B014	174428 2516315
A090	174603 2535868	B015	175209 2516442
A091	175529 2535502	B016	176491 2516359
A092	176224 2535390	B017	177758 2516359
A093	178801 2535477	B018	178453 2516614
A094	181016 2535893	B019	179457 2516679
A095	182000 2535614	B020	180351 2516566
A096	183323 2535320	B021	180946 2516404
A097	184351 2535165	B022	172242 2515533
A098	185168 2535906	B023	173273 2515509
A099	172740 2534501	B024	174039 2515653
A100	173370 2534305	B025	175183 2515579
A101	174747 2534734	B026	176857 2515759
A102	175756 2534511	B027	177397 2515450
A103	176392 2534685	B028	178989 2515222
A104	177516 2534346	B029	179674 2515732
A105	178289 2534376	B030	180273 2515450
A106	180012 2534650	B031	181090 2515091
A107	180807 2534810	B032	172593 2514792
A108	181313 2534739	B033	172936 2514339

(續附錄一)

樣方編號	座標	樣方編號	座標
B034	174898 2514881	C032	188963 2497317
B035	176411 2514572	C033	188733 2496300
B036	177567 2514559	C034	189559 2496579
B037	178198 2514591	C035	191083 2497022
B038	179189 2514358	C036	190236 2496221
C001	184884 2502405	C037	185392 2495951
C002	186907 2502610	C038	185670 2494398
C003	187567 2502803	C039	186026 2495545
C004	188550 2503155	C040	187571 2495592
C005	188533 2502634	C041	187327 2494981
C006	189089 2502613	C042	185194 2493144
C007	185659 2501629	C043	185722 2492497
C008	186188 2501160	C044	187408 2493859
C009	187356 2501498	C045	186272 2492121
C010	187587 2500652	C046	187998 2492642
C011	188461 2501116	C047	184689 2491128
C012	189173 2501451	C048	185732 2491055
C013	188746 2500614	C049	184292 2490157
C014	189767 2500635	C050	185612 2490302
C015	184722 2499259	C051	186503 2491421
C016	184293 2498839	C052	187751 2491410
C017	185456 2498822	C053	186386 2490586
C018	186578 2499746	C054	187203 2490359
C019	187232 2499694	C055	186351 2489443
C020	186603 2498196	C056	187087 2489180
C021	187307 2498640	D001	211279 2507261
C022	188311 2499212	D002	207556 2506795
C023	189499 2499623	D003	208644 2506717
C024	188831 2498404	D004	209261 2506504
C025	189359 2498182	D005	211180 2506442
C026	184976 2497125	D006	207091 2505820
C027	185144 2497645	D007	207608 2505303
C028	185685 2496371	D008	208159 2505496
C029	187524 2497190	D009	209623 2505777
C030	186306 2496831	D010	211042 2505290
C031	187752 2496288	D011	206541 2504675

(續附錄一)

樣方編號	座標	樣方編號	座標
D012	207785 2504822	D033	205487 2499846
D013	209739 2504550	D034	206347 2499183
D014	210706 2504493	D035	208969 2499903
D015	206551 2503966	D036	209807 2499256
D016	207521 2503755	D037	210814 2499298
D017	208558 2503903	D038	205763 2498446
D018	209863 2503752	D039	206489 2498209
D019	210907 2503289	D040	207305 2498546
D020	206423 2502413	D041	208105 2498876
D021	208173 2502700	D042	209095 2498159
D022	210182 2502596	D043	210267 2498696
D023	205404 2501695	D044	205726 2497605
D024	207435 2501156	D045	208404 2497739
D025	208621 2501263	D046	209054 2497526
D026	209738 2501638	D047	210325 2497589
D027	205335 2500768	D048	205852 2496789
D028	206543 2500331	D049	206861 2496218
D029	207184 2500232	D050	207953 2496344
D030	208277 2500893	D051	208765 2496903
D031	209662 2500703	D052	209658 2496701
D032	210127 2500363	D053	210101 2496568

附錄二、調查樣點的棲地類別。

類別名稱	說明
農墾旱地	施以農耕但不長期蓄水於其中之田園或土地，如鳳梨田、香蕉園、芒果園、檳榔園等。
農墾溼地	施以農耕且有長期蓄水於其中之土地，如水稻田、菱角田等。
建構地	工廠、住宅等人工建構物出現之區域，或地表為不透水鋪面範圍。
荒地	雜草地、空地等未被利用的區域。
人為綠地	由人工營造或定期有人為管理之綠地，如校園操場、公園、苗圃、墓地等。
林地	竹林、雜木林、次生林、天然林。
水域	溪流、渠道、塘埤、草澤、水池、魚塭。
其他	其餘無法歸屬於上列七個項之棲地類型。

附錄三、2010 年台灣南部有亞洲錦蛙分佈之樣點的調查結果。

樣點	發現鳴叫次數	鳴叫等級總分數	目視發現次數	目視總個體數	目視成體/亞成體/幼體個體數	總發現次數	發現率(%)
A046	0	0	1	2	1/1/0	1	33.33%
A047	1	3	0	0	0/0/0	1	33.33%
A053	1	1	0	0	0/0/0	1	33.33%
A055	0	0	1	1	1/0/0	1	33.33%
A068	0	0	1	1	1/0/0	1	33.33%
A071	0	0	2	8	7/0/1	2	66.67%
A080	2	2	2	3	1/1/1	3	100.00%
A081	1	1	1	1	1/0/0	1	33.33%
A086	0	0	1	1	1/0/0	1	33.33%
A087	0	0	1	1	1/0/0	1	33.33%
A094	0	0	1	1	1/0/0	1	33.33%
A095	1	3	1	3	3/0/0	1	33.33%
A105	1	3	1	1	1/0/0	1	33.33%
A106	1	1	0	0	0/0/0	1	33.33%
A107	1	2	0	0	0/0/0	1	33.33%
A109	2	5	2	4	4/0/0	2	66.67%
A110	0	0	2	2	2/0/0	2	66.67%
A111	0	0	2	3	2/0/1	2	66.67%
B002	0	0	3	3	1/1/1	3	100.00%
B003	0	0	1	1	1/0/0	1	33.33%

(續附錄三)

樣點	發現鳴叫次數	鳴叫等級總分數	目視發現次數	目視總個體數	目視成體/亞成體/幼體個體數	總發現次數	發現率(%)
B004	0	0	1	3	0/0/3	1	33.33%
B006	0	0	1	1	0/0/1	1	33.33%
B008	1	1	0	0	0/0/0	1	33.33%
B009	0	0	1	2	0/0/2	1	33.33%
B011	0	0	1	1	0/1/0	1	33.33%
B015	1	1	0	0	0/0/0	1	33.33%
B018	1	1	0	0	0/0/0	1	33.33%
B026	0	0	1	1	0/0/1	1	33.33%
B027	1	1	0	0	0/0/0	1	33.33%
B028	2	2	3	15	13/2/0	3	100.00%
B031	1	1	0	0	0/0/0	1	33.33%
B033	0	0	1	1	0/1/0	1	33.33%
B036	0	0	1	1	0/0/1	1	33.33%
B037	1	2	0	0	0/0/0	1	33.33%
B038	1	1	0	0	0/0/0	1	33.33%
C001	1	1	1	1	1/0/0	1	33.33%
C002	0	0	1	3	0/0/3	1	33.33%
C003	0	0	1	1	0/0/1	1	33.33%
C005	1	1	1	1	1/0/0	1	33.33%
C007	0	0	1	3	2/0/1	1	33.33%

(續附錄三)

樣點	發現鳴叫次數	鳴叫等級總分數	目視發現次數	目視總個體數	目視成體/亞成體/幼體個體數	總發現次數	發現率(%)
C008	0	0	1	1	1/0/0	1	33.33%
C009	1	1	1	1	1/0/0	1	33.33%
C013*	0	0	1	0	0/0/0	1	33.33%
C015	1	0	0	1	0/1/0	1	33.33%
C016	0	0	1	1	1/0/0	1	33.33%
C017	1	0	0	1	0/1/0	1	33.33%
C018	0	0	1	1	0/0/1	1	33.33%
C021	1	1	0	0	0/0/0	1	33.33%
C027	0	2	1	2	0/2/0	1	33.33%
C028	1	0	1	2	1/1/0	2	66.67%
C029	0	1	2	2	1/1/0	2	66.67%
C030	1	1	2	1	1/0/0	2	66.67%
C031	1	0	1	1	0/1/0	2	66.67%
C034	1	1	0	0	0/0/0	1	33.33%
C036	1	0	0	1	1/0/0	1	33.33%
C038	0	1	1	2	2/0/0	1	33.33%
C041	1	0	2	2	2/0/0	2	66.67%
C042	0	1	2	0	0/0/0	2	66.67%
C043	1	1	0	1	1/0/0	1	33.33%
C044*	1	1	1	0	0/0/0	2	66.67%

(續附錄三)

樣點	發現鳴叫次數	鳴叫等級總分數	目視發現次數	目視總個體數	目視成體/亞成體/幼體個體數	總發現次數	發現率(%)
C045	1	2	1	3	3/0/0	2	66.67%
C048*	1	0	1	0	0/0/0	1	33.33%
C050	0	1	1	2	2/0/0	1	33.33%
C051	1	1	1	0	0/0/0	1	33.33%
C053	1	1	0	1	1/0/0	1	33.33%
C055	1	1	1	0	0/0/0	1	33.33%
C056	1	1	0	0	0/0/0	1	33.33%
D002	1	1	0	4	4/0/0	1	33.33%
D008	1	2	1	1	1/0/0	1	33.33%
D009	1	0	1	12	12/0/0	1	33.33%
D010	0	3	2	13	13/0/0	2	66.67%
D013	2	0	2	1	1/0/0	2	66.67%
D014*	0	3	1	17	17/0/0	1	33.33%
D019	1	0	2	1	1/0/0	2	66.67%
D022	0	3	1	1	1/0/0	1	33.33%
D023	1	2	1	1	1/0/0	1	33.33%
D026	2	2	1	1	1/0/0	2	66.67%
D027	0	0	1	1	1/0/0	1	33.33%
D032	1	2	2	7	7/0/0	2	66.67%
D039	1	1	0	0	0/0/0	1	33.33%

(續附錄三)

樣點	發現鳴叫次數	鳴叫等級總分數	目視發現次數	目視總個體數	目視成體/亞成體/幼體個體數	總發現次數	發現率(%)
D043	1	2	0	0	0/0/0	1	33.33%
D045	1	1	1	1	1/0/0	2	66.67%
D052	0	0	1	1	0/0/1	1	33.33%
D053	1	2	0	0	0/0/0	1	33.33%

*：該樣點有調查發現亞洲錦蛙的卵或蝌蚪。