

自動錄音調查應用於玉山國家公園 東埔地區蛙類監測之評估

研究人員：郭淳棻

玉山國家公園保育研究課 自行研究報告

中華民國 110 年 12 月 31 日

本報告內容及建議，純屬研究人員意見，不代表本機關意見

MINISTRY OF THE INTERIOR

RESEARCH PROJECT REPORT

**Evaluation of Automatic Sound Recording
Method to Monitor Frogs in Tungpu
Village of Yushan National Park**

BY

Chun-Fen Kuo

(December 31, 2021)

自動錄音調查應用於玉山國家公園蛙類監測之評估

一、辦理單位	玉山國家公園管理處		
三、年 度	110 年度	計計畫編號	
四、計畫性質	調查監測		
五、計畫期間	108.05.15~110.12.31		
六、本期期間	110.01.01~110.12.31		
七、計畫經費	150 千元		
	資本支出 0 千元	經常支出 150 千元	
	土地建築 0 千元	人事費及材料費 0 千元	
	儀器設備 0 千元	業務費 72 千元	
	其 他 0 千元	差旅費 40 千元	
		設備使用及維護費租金等 0 千元	
		其他 30.5 千元	
		雜支費 7.5 千元	
		行政管理費 0 千元	
八、摘要關鍵詞(中英文各三筆): amphibians, visual encounter survey, automatic sound recording method; 蛙類、目視遇測、自動錄音調查			
九、參與計畫人力資料：			
參與計畫 人員姓名	工作要項或撰稿章節	現職與簡要學經歷	計畫參與期程
許富雄	指導教授、協助資料 分析	嘉義大學生物資源系教授；專 長：動物行為、族群生態學、野 生地理類緣、野生動物資源	108.04.01-110.12.31
郭淳茶	調查、分析及撰寫	林業技術、自然資源保育及管理	同上
陳璿中	野外調查、記錄	嘉義大學生物資源系；專長：自 然資源保育	108.04.01-109.12.31

目錄

摘要	I
一、研究緣起	II
二、研究方法及過程	II
三、重要發現	II
四、主要建議事項	IV
Abstract.....	VI
第一章 緒論	1
第一節 緣起及背景	1
第二節 計畫目標	2
第二章 研究方法	3
第一節 樣區概述	3
第二節 調查方法	7
第三章 研究調查結果	9
第一節 東埔地區的蛙類組成	9
第二節 夜間調查的蛙類記錄	13
第三節 各蛙種的鳴叫強度季節變化	15
第四節 鳴叫活動與天候因子的關係	20
第四章 結論與建議	25
第一節 結論	25
第二節 建議	26
附錄 1、樣區描述與各樣區所使用的調查方法(VES:目視遇測法夜間調查;ASR: 自動錄音調查).....	27
附錄 2、本研究樣區現地照片	28
附錄 2、本研究樣區現地照片(續).....	29
附錄 3、本研究自動錄音調查法之相關錄音設備	30
附錄 4、本研究所記錄蛙種的特徵與生態習性介紹	31
附錄 4、本研究所記錄蛙種的特徵與生態習性介紹(續 1)	32
附錄 4、本研究所記錄蛙種的特徵與生態習性介紹(續 2)	33
附錄 5、本研究所調查記錄的蛙種照片	34
附錄 6、本研究各調查樣區的相對位置圖	35
參考文獻	36
謝 誌	41

表 次

表 1、本研究於 2019 年 5 月至 2020 年 4 月，在研究區域所設置 4 個調查樣區的地理位置及天候資訊	5
表 2、各樣區利用目視遇測法(VES)與自動錄音調查法(ASR)所記錄蛙種、隻次與全年日鳴叫強度分數	14
表 3、各個調查樣區利用目視法(V)與自動錄音調查法(R)所記錄蛙種及數量 ..	14
表 4、本研究 3 個錄音調查樣區之錄音系統設置天數、有效錄音天數(每天完整錄製 8 個取樣單元)、無效錄音天數(每天僅錄製 1-7 個取樣單元)與失敗錄音天數(無錄音資訊)	17
表 5、各樣區具蛙鳴聲紀錄天數中，實際判讀發現有各蛙種鳴叫活動的天數 ..	18

圖 次

圖 1、研究區域在 2019 年 5 月至 2020 年 4 月的月平均氣溫與月累積雨量變化圖 (資料來源：中央氣象局日月潭觀測站 http://www.cwb.gov.tw).....	6
圖 2、本研究 4 個蛙類調查樣區的地理相對位置圖。其中庭院水池(GP)僅進行夜 間調查，農用埤塘(FP)、部落渠道(TD)與沙里仙溪澗(CR)等 3 個樣區均同 時採用夜間調查與自動錄音調查.....	6
圖 3、本研究利用目視遇測法在部落渠道(TD)、農用埤塘(FP)與沙里仙溪澗(CR) 等 3 個樣區所總合記錄各蛙種的隻次比例分布圖.....	12
圖 4、本研究利用自動錄音調查法在部落渠道(TD)、農用埤塘(FP)與沙里仙溪澗 (CR)等 3 個樣區所總合記錄各蛙種的日鳴叫強度比例圖.....	12
圖 5、本研究 4 個現地調查樣區之蛙類組成的群集分析圖。樣區代號：GP 庭院 水池；FP 農用埤塘；TD 部落渠道；CR 沙里仙溪澗.....	15
圖 6、本研究藉由各樣區所設置 HOBO 溫濕度記錄器，記錄 20:00 至 24:00 時段 氣溫，所繪製 3 個錄音調查樣區的月平均氣溫變化圖.....	18

摘要

本研究於 2019 年 5 月至 2020 年 4 月，利用目視遇測法夜間調查及自動錄音調查法在東埔地區共記錄 3 科 9 種蛙類，其中布氏樹蛙是新紀錄種，推測是近年移入東埔棲息。在 4 個調查樣區中，部落渠道(TD)與農用埤塘(FP)等兩個樣區均記錄有 9 種蛙類，沙里仙溪澗(CR)樣區記錄 8 種蛙類，但僅有少數蛙種較活躍，而庭院水池(GP)則僅記錄 4 種蛙類。整體而言，盤古蟾蜍與拉都希氏赤蛙應是東埔地區的優勢蛙種，斯文豪氏赤蛙、莫氏樹蛙與褐樹蛙也頗為普遍，至於梭德氏赤蛙、周氏樹蛙、艾氏樹蛙與布氏樹蛙等 4 種蛙類則僅分布於特定棲地、季節或棲息數量較少。藉由各蛙種的鳴叫物候可將拉都希氏赤蛙與莫氏樹蛙歸為全年連續繁殖型；布氏樹蛙與周氏樹蛙歸為春季延長繁殖型；斯文豪氏赤蛙與褐樹蛙歸為夏季延長繁殖型；而梭德氏赤蛙則歸為秋季延長繁殖型。盤古蟾蜍的鳴叫聲記錄少，但依夜間調查與繁殖狀態紀錄則可類歸為冬季延長繁殖型。所有 9 種蛙類中，有 6 種蛙類的鳴叫強度會受到氣溫、水溫及濕度等天候因子的影響。各樣區利用自動錄音調查法所記錄蛙種稍多，但兩種方法均無法完整偵測各樣區的所有蛙種，顯示兩種調查方法各有其限制但也具有相互輔助功能。自動錄音調查法可應用於玉山國家公園不同海拔之蛙類鳴叫物候的長期監測，以作為園區探討不同海拔梯度與氣候變遷等環境議題的參考。

關鍵字：東埔、目視遇測法、自動錄音調查法、無尾目、鳴叫強度、氣候變遷

一、研究緣起

近年全球氣候變遷影響世界各地的生物與生態環境，亦可能對玉山園區的物種組成與分布造成影響。由於兩棲類屬外溫動物(ectotherms)且具有濕潤的半通透性皮膚，其生活史含括陸域與水域環境，牠們的生態活動及繁殖相當容易受到天候與環境因子改變的影響，非常適合作為監測環境變化的生態指標生物(ecological indicator species)。加上玉山園區所含括範圍的海拔梯度變化大，相當適合監測與探討氣候暖化對兩棲動物之繁殖活動、物候與分布的影響。因此玉山園區有推展兩棲類動物資源監測與相關研究的必要性，但玉山國家公園至今對兩棲類動物仍無系統化或長期的族群監測資料。本研究希望瞭解園區之中低海拔蛙類的物種組成與鳴叫活動，探討其鳴叫活動的季節變化，以及各蛙種鳴叫活動與天候因子的關係，並評估未來應用自動錄音調查法進行園區蛙類調查，作為氣候變遷長期監測之可行性。

二、研究方法及過程

本研究在東埔一鄰部落及沙里仙溪支流鄰近區域架設 3 組自動錄音設備及溫濕度紀錄器，以自動錄音調查法(automatic sound recording method, ASR)定期收集蛙類鳴叫聲及天候資料，並搭配設置 4 條調查穿越帶，每二個月以 3-4 名人力在夜間進行目視遇測法(visual encounter surveys, VES)的夜間調查，即在固定時間內沿調查穿越帶行進，利用聲音辨識及目視方式搜尋穿越帶兩側之蛙種及數量，同時將發現蛙種之生活型態區分為卵塊、蝌蚪、幼蛙、雌蛙、雄蛙等類別，以建立研究區域的蛙種豐富度(species richness)及繁殖狀態資訊，並比較不同蛙種的相對數量、鳴叫活動季節變化、以及鳴叫強度與天候因子的關係，嘗試建立簡易可行的蛙類監測調查方式，同時評估將監測區域轉化為野生動物導覽地點的可行性。

三、重要發現

(一)本研究在東埔部落及沙里仙溪支流區域記錄 3 科 9 種蛙類，若彙整巫奇勳

(2004)及王佳琪(2011)在鄰近區域的調查，累計東埔地區共曾記錄 4 科 10 種

蛙類。其中布氏樹蛙是本研究新記錄蛙種，推測是近年移入東埔棲息，這是否受氣候暖化的影響，有待後續進一步監測與相關研究的探討。而往年王佳琪(2011)報告所述之布農族的傳說民俗蛙種--中國樹蟾則未在本調查被發現。

(二)本研究的夜間調查資料顯示，東埔地區的蛙類大致以春末 4-5 月期間較活躍，另外在秋季也有個較小的活躍期。其中周氏樹蛙、褐樹蛙與布氏樹蛙主要在春、夏季期間活動，梭德氏赤蛙則主要在秋、冬季活動，而其他 5 種蛙類的活動季節則持續較長。

(三)在 4 個調查樣區中，部落渠道(TD)與農用埤塘(FP)等兩個樣區均記錄 9 種蛙類，且夜間調查數量及鳴叫活動都相當頻繁，蛙種組成也頗相似。沙里仙溪澗(CR)共記錄 8 種蛙類，但僅有少數蛙種較活躍。庭院水池(GP)僅記錄 4 種蛙類，但特定蛙種數量高，很可能與該樣區周遭環境較單純所致。

(四)比較 3 個同時採用兩個蛙類調查方法的樣區資料，夜間目視遇測調查法分別記錄有 6-8 種蛙類，而自動錄音調查法則分別記錄有 7-8 種蛙類，自動錄音調查法所記錄蛙種稍多。但兩種調查方法均未能完整記錄東埔地區的 9 種蛙類，顯示兩種調查各有其限制但也具有相互輔助功能。此外，兩種調查方法所記錄各蛙種的相對數量並無一致性，這可能受到兩種調查方法偵測蛙種方式不同與調查持續時期不同的影響。

(五)整體而言，盤古蟾蜍與拉都希氏赤蛙應是東埔地區的優勢蛙種，斯文豪氏赤蛙、莫氏樹蛙與褐樹蛙也頗為普遍，至於梭德氏赤蛙、周氏樹蛙、艾氏樹蛙與布氏樹蛙等 4 種蛙類則僅分布於特定棲地、季節或棲息數量較少。

(六)本研究的自動錄音系統共設置 350 天，各樣區可完整判讀每天 8 個取樣單元的有效錄音天數大致佔總設置天數的 67.4%至 77.1%不等。藉由各蛙種在不同月份的日鳴叫強度，本研究將拉都希氏赤蛙與莫氏樹蛙的繁殖型態類歸為全年連續繁殖型；布氏樹蛙與周氏樹蛙劃歸為春季延長繁殖型；斯文豪氏赤蛙與褐樹蛙劃歸為夏季延長繁殖型；梭德氏赤蛙則劃歸為秋季延長繁殖型。

另盤古蟾蜍的鳴叫聲記錄少，但依夜間調查與繁殖狀態紀錄則可類歸為冬季延長繁殖型。

(七)分析各蛙種日鳴叫強度與天候因子的關係發現，有 2 種蛙類的日鳴叫強度與氣溫變化呈正相關；3 種蛙類的日鳴叫強度與濕度變化呈正相關；2 種蛙類的日鳴叫強度與水溫變化相關，顯示東埔地區蛙類的鳴叫活動會受到天候變化的影響。其中，褐樹蛙的鳴叫活動氣溫($19.63 \pm 1.90^{\circ}\text{C}$)與鳴叫活動水溫($24.50 \pm 2.30^{\circ}\text{C}$)顯著比多種蛙類高，而盤古蟾蜍的鳴叫活動濕度($83.75 \pm 12.00\%$)則明顯比其他蛙種低。

四、主要建議事項

根據本研究發現，提出下列具體建議。以下分別從立即可行的建議、及長期性建議加以列舉。

☐立即可行之建議

主辦機關：玉山國家公園管理處

協辦機關：東埔一鄰部落

建議一、辦理目視遇測法夜間調查活動，讓部落居民更認識當地生態：本研究在夜間調查發現東埔部落及沙里仙溪林道附近，蛙類持續活動時期長，且不同季節經常存在不同蛙種的繁殖活動，同時也有多種夜行性動物活動。透過夜間調查活動的辦理，可讓部落居民更認識社區的生態特色，同時也可推展本處的保育理念。

☐中、長期性建議

主辦機關：玉山國家公園管理處

協辦機關：東埔一鄰部落、國內兩爬專業團隊

將自動錄音調查法應用於玉山國家公園蛙類鳴叫物候監測，作為氣候暖化對園區生態影響監測的指標生物類群，具有節省人力及經費，且可獲取一致並具有比對性的資訊，所收集夜間聲景與天候資料，亦可作為園區蛙類解說教育素材及相關研究與經營管理的應用。

建議二、對東埔地區的蛙類鳴叫物候進行持續性監測：本研究發現東埔一鄰部落及八通關越嶺步道東埔至樂樂、沙里仙林道周邊區域，屬本處西側園區蛙類資源較為豐富的區域，這次調查並發現近年有原本分布於台灣較低海拔的布氏樹蛙移入棲息。建議可持續對東埔周邊區域的蛙類鳴叫物候進行監測，一方面可探討氣候變遷對園區生態的影響，另一方面若能訓練部落居民協助錄音系統之電池更換與資料下載，也可增加部落居民對家園生態及物種的關注，並認同本處之保育理念。此外，藉由蛙類生態監測與介紹，也可鼓勵部落居民定期清理社區水溝、埤塘等水域，甚至進而營造生態水池來美化部落並創造蛙類的棲息空間，藉以增加部落的生態資源，為部落發展生態旅遊與環境教育場域。

建議三、利用自動錄音調查法推展本處不同海拔區域之蛙類鳴叫物候的監測：玉山園區含括低、中、高等不同海拔梯度環境，至少記錄有 17 種蛙種。自動錄音調查法具有持續時間長且資料來源一致性高的優點，若在園區不同海拔區域各尋找適合的靜水域樣區進行持續性的監測，同時蒐集氣溫、水溫及濕度等天候資訊，除可監測氣候暖化對園區蛙類及相關生態的影響，也可建立相關聲景資料，作為園區蛙類與生態解說教育素材。而延續性的天候資料收集，也可提供園區不同海拔生態研究或相關經營管理的參考。

Abstract

By visual encounter surveys (VES), and automatic sound recording method (ASR), we surveyed the anuran communities in 4 sampling areas in Tungpu tribe, Yushan National Park, from May 2019 to April 2020. Nine species of frogs were recorded, including a new recorded species, *Ploypedates braueri*, which seemed to have been a new immigrant in Tungpu tribe these years. In the 4 sampling areas, there were 9 species recorded in the tribal ditch (TD) and in the farm pond (FP). In creek (CR) of Shalisian River, 8 species were recorded, but just a few dominant species. And, only 4 species were recorded in the artificial garden pond (GP). Overall, the dominant species in Tungpu tribe were *Bufo bankorensis*, *Hylarana latouchii*, and *Odorrana swinhoana*, *Rhacophorus moltrechti*, *Buergeria robusta* belonged to common species. The four species, *Rana sauteri*, *B. choui*, *Kurixalus eiffingeri* and *P. braueri* were just recorded in certain habitats or seasons and showed up in low population size. According to the calling phenology of seven anuran species, I suggested *H. latouchii* and *R. moltrechti* to be continuous breeders, *P. braueri* and *B. choui* to be spring prolonged breeders, *O. swinhoana* and *B. robusta* to be summer prolonged breeders, and *R. sauteri* to be autumn prolonged breeders. However, we suggested *B. bankorensis* to be winter prolonged breeders according to the data of VES. In the 9 species, the calling intensity of 6 species were affected by air temperature, water temperature, and humidith. Using ASR could record a little more species number than using VES, but neither the two methods could record all of the species in the sampling areas. This showed the two methods had restriction of their own, but might be able to assist each other. I suggest to keep monitoring the anuran communities in Yushan National Park in order to understand the effects of climate change on the ecosystem.

Keyword: Tungpu tribe, visual encounter method, automatic sound recording method, Anura, calling intensity, climate change

第一章緒論

第一節 緣起及背景

玉山國家公園位於臺灣本島中央地帶，管轄面積 103,121 公頃，園區內高山崢嶸，涵蓋全臺約 3 分之 1 的名山峻嶺，其中玉山主峰海拔高度達 3,952 公尺也是東北亞最高峰。玉山園區具有獨特而豐富的自然景觀，包含古地層結構及斷崖、峭壁、峽谷等各類雄奇地形，降雨豐沛、森林繁盛，也是臺灣中部、南部與東部大河濁水溪、高屏溪、秀姑巒溪之發源地。

此外，玉山園區海拔垂直落差達 3,600 公尺，依不同海拔涵蓋熱帶雨林、暖溫帶雨林、暖溫帶山地針葉林、冷溫帶山地針葉林、亞高山針葉林及高山寒原等各類植群帶，提供各類動物多樣的棲息空間和食物資源，生物多樣性極為豐富。依據許富雄等(2019)清查園區近 30 多年的脊椎動物調查與研究文獻，玉山園區共記錄有 62 種哺乳動物，鳥類 233 種、47 種爬蟲類、18 種兩棲類、及淡水魚類 16 種，兩棲類動物中更有冰河孑遺的一級保育類阿里山山椒魚分布其中。但玉山國家公園成立至今對兩棲類的研究報告並不多，除巫奇勳(2004)及王佳琪(2011)曾在東埔地區進行蛙類的群聚組成調查，翁慶豐(2012, 2014)對園區蛙類之基因型與體色變化進行探討外，另有呂光洋(2008, 2009, 2010, 2011)對園區山椒魚族群進行監測並探討氣候暖化的可能影響，近年則有朱有田(私人通訊)針對玉山園區的山椒魚分布棲地、遺傳結構與生物學進行研究。

兩棲類屬外溫動物且具有濕潤的半通透性皮膚，其生活史含括陸域與水域環境，牠們的活動及繁殖相當容易受到天候與環境因子改變的影響，是非常適合作為監測生態環境變化的指標性動物(Parmesan 2007)。此外，許多蛙類在繁殖季會發出獨特的鳴叫聲，鳴叫聲除可作為蛙類繁殖活動的指標，鳴叫聲調查(acoustic survey)也是許多蛙類研究或監測所常採用的方法(de Solla et al. 2006)。另一方面，物候學(phenology)是探討生物季節活動與氣候變化關係的學問，也是研究生物面臨氣候變遷影響的最直接方式。玉山園區不同區域的海拔梯度變化大，相當適合監測與探討氣候暖化對蛙類群聚組成與鳴叫物候的研究。

近年來，全球有許多兩棲類存在族群衰退與區域性滅絕的問題(Blaustein & Kiesecker 2002, Beebee & Griffiths 2005, Blaustein et al. 2010)，其中氣候變遷更是造成兩棲類族群衰退的重要因素(Alford & Richards 1999, Beebee & Griffiths 2005)。由於蛙類具有對環境敏感及容易監測的特性，國內外有許多研究利用蛙類鳴叫活動來監測各地蛙類群聚組成變化，或利用蛙類鳴叫行為與天候因子的分析來探討氣候暖化對蛙類分布與族群的影響(Gibbs & Breisch 2001, de Solla et al. 2006, Walpole et al. 2012, Klaus & Loughheed 2013, 溫華霞 2001, 蔡雯嘉 2011, 許竹君 2018, 柳宗佑 2020)，這些研究有進行大地理尺度與長時期之蛙鳴聲物候變化探討，有些研究則探討小空間尺度之天候因子對蛙類鳴叫活動的影響。希望藉由相關資訊的收集，來探討全球兩棲類族群衰退的原因並試圖提出改善的策略(Dalton et al. 2000)。

目前玉山國家公園對園區內之蛙類組成、分布與活動季節等基礎調查資訊相當少，我們有必要進一步建立基礎資訊以為相關保育與經營管理的參考，同時也可藉以探討氣候暖化對園區蛙類及其他物種的長期影響。另一方面，利用自動錄音設施來進行蛙類鳴叫活動的監測調查方法，也逐漸受到國內外許多相關研究的應用(de Solla et al. 2006, Glover & Mitchell 2008, Steelman & Dorcas 2010, 侯平君&陳清旗 2008, 許富雄 2015)。因此本研究於玉山園區東埔部落及沙里仙溪支流，以一般傳統的目視遇測法(visual encounter surveys, VES)夜間調查及自動錄音調查法(automatic sound recording method, ASR)，來進行蛙類組成與鳴叫活動等相關資料的收集，以評估園區蛙類監測之相關工作的推展。

第二節 計畫目標

玉山園區海拔梯度變化幅度大，相當適合監測與探討氣候暖化對蛙類之族群變化、分布與繁殖活動等生態習性的影響。而玉山園區的崇山峻嶺與深蝕河谷，也容易限制移動能力較差之蛙類的族群擴散與分布，形成不同區域族群的遺傳阻隔。因此，園區有推展蛙類資源監測與相關研究的必要性，除可建立園區基本的蛙類組成與分布資料，也可藉以探討氣候變遷對園區生態可能造成的影響。唯本處對園區蛙類仍無系統化或長期監測資料，本研究希望藉由傳統的

現地調查，以及近年逐漸受到國內外研究學者所採用的自動錄音系統紀錄，來建立東埔地區的蛙類組成與鳴叫活動物候，執行成果可提供園區長期監測蛙類繁殖物候的參考。

此外，蛙類受限於特殊之水陸兩棲的生活史，大都會棲息在水域棲地的周邊環境中，尤其是在繁殖活動季節。因此本研究分別於東埔部落及鄰近區域的農業灌溉用埤塘、人工營造生態池塘、農業及排水渠道、以及沙里仙溪支溪溪澗等靜止水域與流動水域設置調查樣區，藉以調查不同棲地的蛙類組成與鳴叫活動季節變化，並探討其鳴叫活動與天候因子的關係。同時藉由目視遇測法與自動錄音調查法等不同調查方式的應用，來比較研究區域之不同棲地與不同調查方式所記錄蛙種豐富度及組成的差異，藉以評估園區適合採用的蛙類監測調查方式。並嘗試利用本研究各樣區所記錄的蛙類資訊，來延伸作為園區野生動物解說教育導覽地點的可行性。

第二章 研究方法

第一節 樣區概述

本研究主要在玉山國家公園西北區域的東埔村一鄰部落及沙里仙溪流域附近區域進行調查。研究區域海拔約介於 1,000 至 1,300 公尺之間，其林相屬於暖溫帶雨林，以樟科及殼斗科的植物最多(陳逸君 2015)，屬落葉樹與常綠樹混雜的楠儲林帶植物群落。年平均降雨量約 2,200 公釐而終年濕度高，藤本等著生植物甚多，陰濕的樹幹都為苔蘚、蕨類，主要以人工栽植柳杉(*Cryptomeria japonica*)、桂竹(*Phyllostachys makinoi*)或孟宗竹(*Phyllostachys edulis*)等次生林地及竹林為主，其間散生著臺灣胡桃(*Juglans cathayensis* Dode)、赤楊(*Alnus formosana*)、山黃麻(*Trema tomentosa*)等先驅植物。在鄰近沙里仙溪林道、東埔登山口至沙里仙橋沿線的維管束植物及蜜源植物也相當豐富(陳逸君 2015)。東埔部落位在陳有蘭溪與沙里仙溪流匯流口的東北側，居民大都務農，主要種植蔬菜、水果及茶葉，也有部分居民從事溫室蔬菜種植。山坡地大都栽植一般經濟作物，如：梅子、李子、甜柿、苦茶樹等，較平坦地區則栽種高麗菜、花椰菜、番薯、敏豆、青椒、番茄、彩色甜椒等(陳逸君 2015)。本研究於 2019 年 5 月至 2020 年 4 月期間，

在東埔部落與沙里仙溪支流設置樣區進行蛙類調查，調查期間的年平均氣溫為 19.4°C，年累積雨量為 2,793 mm (圖 1)。本研究參考楊懿如(2010, 2019)對臺灣蛙類監測調查的棲地劃分，分別在研究區域有較多蛙類出沒的棲地：如部落為灌溉短期蔬菜作物所設置的農用埤塘(farm pond, FP)，以及人工營造並栽植有水生植物的庭院水池(garden pond, GP)，在這兩類靜水域分別各設置 1 個調查樣區，另外選擇於穿走東埔部落有經常性流水的排水溝渠(簡稱，部落渠道 tribal ditch, TD)、沙里仙溪林道旁之支流溪澗(簡稱，沙里仙溪澗 creek, CR)等兩類流動水域各設置 1 個樣區(參附錄 1 及附錄 2)，總計設置有 4 個蛙類調查樣區。各樣區的地理位置及天候等基本資料詳如表 1 及圖 2 所示。本研究除庭院水池(GP)樣區僅進行夜間的目視遇測調查之外，其他 3 個樣區除採用夜間調查之外，同時也架設自動錄音裝置來進行相關調查。

表 1、本研究於 2019 年 5 月至 2020 年 4 月，在研究區域所設置 4 個調查樣區的地理位置及天候資訊

樣區	部落渠道 (TD)	農用埤塘 (FP)	沙里仙溪澗 (CR)	庭院水池 (GP)
東經	120°55'30"	120°55'34"	120°55'14"	120°55'21"
北緯	23°33'28"	23°33'4"	23°31'40"	23°33'27"
海拔				
高度 (m)	1,100	1,020	1,260	1,030
平均				
氣溫 (°C)	17.9±3.4	17.7±3.5	16.4±2.4	18.0±2.9
平均				
水溫 (°C)	21.3±2.4	21.5±2.9	16.0±2.3	20.1±1.2
平均				
濕度 (%)	89.1±7.7	91.1±5.5	91.3±7.4	90.9±4.5
錄音				
調查 期間	2019/5/12-2020/4/25	2019/5/12-2020/4/25	2019/5/12-2020/4/25	無錄音調查

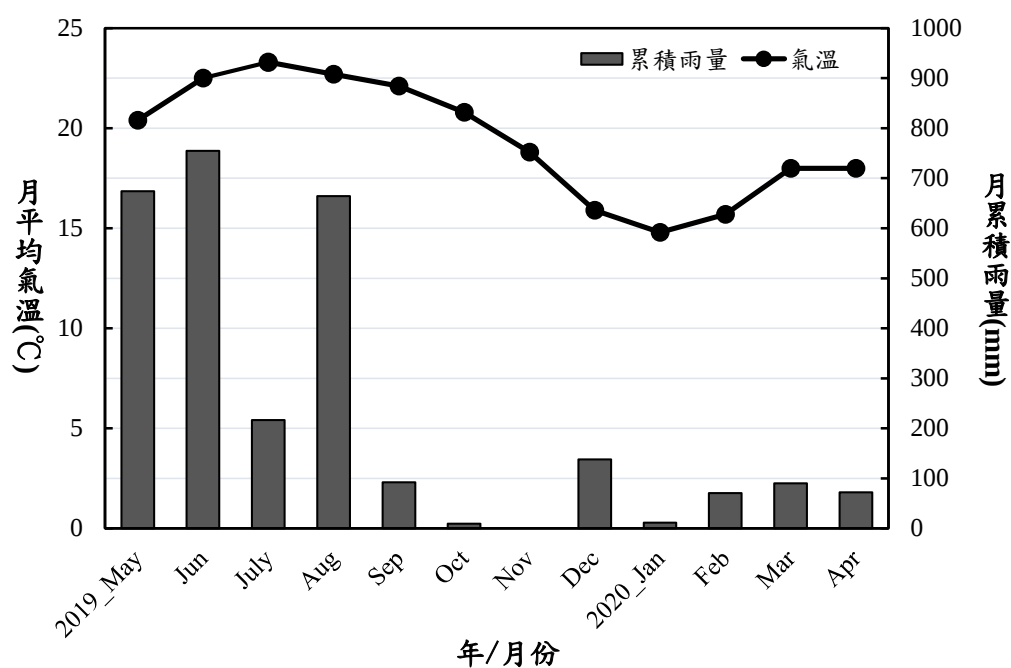


圖 1、研究區域在 2019 年 5 月至 2020 年 4 月的月平均氣溫與月累積雨量變化圖
(資料來源：中央氣象局日月潭觀測站 <http://www.cwb.gov.tw>)。



圖 2、本研究 4 個蛙類調查樣區的地理相對位置圖。其中庭院水池(GP)僅進行夜間調查，農用埤塘(FP)、部落渠道(TD)與沙里仙溪澗(CR)等 3 個樣區均同時採用夜間調查與自動錄音調查。

第二節 調查方法

本研究分別採用目視遇測法(VES)與自動錄音調查法(ASR)來進行各樣區的蛙類調查。在 2019 年 5 月至 2020 年 4 月研究期間，在 4 個樣區分別設置 1 條固定長度的調查穿越帶，每二個月至少進行一次夜間的現地調查，調查時採用目視遇測法(Heyer et al. 1994, 關永才 2004)，即由調查人員以固定速度沿穿越帶緩步前進並輔以探照燈觀察，利用聲音辨識及目視搜尋沿線兩側之蛙類，並記錄所發現蛙種及數量。各調查均於日落後一小時開始，每次以 3-4 人力在樣區沿線進行觀察。調查時除對成蛙進行紀錄外，並搜尋沿線水域中的卵團、蝌蚪與小蛙等繁殖資訊，如無法確認物種，則採集少量蝌蚪或卵團，並帶回實驗室飼養觀察來判定。各蛙種之蝌蚪及卵團的辨識均參考 Chou & Lin (1997)與楊懿如(2019)的描述，以及該樣區所記錄成蛙種類來加以判定。

在自動錄音調查部分，本研究於部落渠道(TD)、農用埤塘(FP)與沙里仙溪澗(CR)等 3 個樣區各選擇 1 處蛙類聚集活動的水域，分別設置一組自動錄音系統，該自動錄音系統由數位錄音筆、外接式麥克風及防雨箱盒所組成。自動錄音系統(參附錄 3)放置於水域旁 2 公尺範圍內，錄音筆置放於防雨箱盒內，外接式麥克風則朝向水域正中央(Saenz et al. 2006)，每月定期更換錄音筆電池並下載錄音資料。自動錄音系統旁同時設置一個溫濕度記錄器(HOBO, Pro v2 Internal Temp/RH Data Logger)，記錄每 30 分鐘的氣溫與濕度變化，其溫度準確度為 0.2°C。溫濕度記錄器設置於離地約 1.5-2 公尺高的樹上，並利用塑膠套包覆以避免日光直接照射與降雨的影響(Steelman & Dorcas 2010)。另外也在水域內設置一個水溫記錄器(HOBO, Pendant Temperature w/Light Data Logger)，該記錄器則懸掛於離岸 0.5 公尺的水面下約 50 公分處(Oseen & Wassesug 2002)。

台灣許多蛙種在日落後至隔日清晨 04:00 間具有較高的鳴叫活動(許富雄 2015, 許竹君 2018)，本研究每天錄製夜間 20:00 至 24:00 時段的錄音資訊，並以半小時為單位進行錄音檔案的分割，即將每天錄音資訊劃分為 20:00-20:29、20:30-20:59、21:00-21:29、21:30-21:59、22:00-22:29、22:30-22:59、23:00-23:29、及 23:30-23:59 等 8 個時段，並以系統取樣方式分別取各時段第 1 分鐘的錄音資料作為判讀單元，即每天進行 8 個判讀單元取樣。調查人員每個月為錄音筆更換

電池同時下載錄音資料，並將錄音資料帶回研究室由經過聲音辨識訓練之研究人員，利用耳罩式耳機以人耳來判讀各取樣單元之鳴叫蛙種及鳴叫強度(calling intensity)等級分數。本研究對鳴叫強度等級的劃分主要是參考北美洲兩棲類監測計畫(North American Amphibian Monitoring Program, NAAMP)及許竹君(2018)在南投縣蓮華池的蛙鳴聲研究，將各蛙種鳴叫強度區分為 5 級：取樣單元內無該蛙種鳴叫聲給 0 分(原 NAAMP 等級 0)；個體鳴叫聲可清楚分辨，且可區別均為同 1 隻個體鳴叫者給 1 分(原 NAAMP 等級 1)；個體鳴叫聲可清楚分辨，且可區別為 2-3 隻個體所發出鳴叫者給 2 分(原 NAAMP 等級 1)；少數個體同時鳴叫，但鳴叫聲重疊度不高，每隻個體的鳴叫聲仍可清楚分辨給 3 分(原 NAAMP 等級 2)；許多個體同時鳴叫，不同個體的鳴叫聲重疊且連續，個體數無法分辨計數給 4 分(原 NAAMP 等級 3)。本研究利用累計方式計算每天 8 個取樣單元之各蛙種的鳴叫強度等級分數，稱為日鳴叫強度(daily call intensity)，因此每天各蛙種的日鳴叫強度分數會介於 0 至 32 分之間。

本研究統合呈現研究區域之蛙類組成與季節變化，計算各月份與樣區的 Margalef's 種豐富度指數(d)與 Shannon-Weiner 種歧異度指數(H')，並以群集分析法(cluster analysis)來比較不同樣區蛙類組成的關係。此外，我比較目視預測法與自動錄音調查法所記錄蛙種差異，並利用 Kendall rank correlation (τ)來檢測兩種調查方法所紀錄各蛙種隻次與日鳴叫強度百分比是否具有一致性。同時繪製各蛙種之日鳴叫強度的月變化圖，藉以類歸不同蛙種的繁殖活動類型(Prado et al. 2005)，並以 Spearman's rank correlation (r_s)來檢測日鳴叫強度與氣溫、水溫及濕度等天候因子的相關性。最後則以無母數 Kruskal Wallis test 來檢測不同蛙種之鳴叫活動日的氣溫、水溫與濕度是否具有顯著性差異，若檢測有顯著差異，則進一步採用鄧恩檢定(Dunn's test)進行事後比較。相關統計主要利用 IBM SPSS statistics 20.0 與 Primer 6.1.13 進行分析，圖表則是以 Microsoft Excel 2016 進行繪製。

第三章研究調查結果

第一節東埔地區的蛙類組成

研究期間共於東埔地區記錄 3 科 9 種蛙類，其 Margalef's (d) 種豐富度指數為 1.25；Shannon-Weiner (H') 歧異度指數為 1.76。所記錄的 9 種蛙類包含有蟾蜍科(Bufidae)的盤古蟾蜍(*Bufo bankorensis*)；赤蛙科(Ranidae)的拉都希氏赤蛙(*Hylarana latouchii*)、斯文豪氏赤蛙(*Odorrana swinhoana*)、梭德氏赤蛙(*Rana sauteri*)等 3 種；以及樹蛙科(Rhacophoridae)的周氏樹蛙(*Buergeria choui*)、褐樹蛙(*Buergeria robusta*)、艾氏樹蛙(*Kurixalus eiffingeri*)、布氏樹蛙(*Ptychocheilus braueri*)、莫氏樹蛙(*Rhacophorus moltrechti*)等 5 種(附錄 4, 附錄 5)，其中盤古蟾蜍、斯文豪氏赤蛙、梭德氏赤蛙、褐樹蛙與莫氏樹蛙等 5 種為台灣特有種。夜間調查總合記錄以拉都希氏赤蛙達 207 隻次為最高，其次則是斯文豪氏赤蛙有 115 隻次，而盤古蟾蜍、褐樹蛙與莫氏樹蛙也都記錄有超過 50 隻次。

採用夜間調查(VES)與錄音調查(ASR)均可完整記錄東埔地區的 9 種蛙類，但各樣區所記錄蛙種則稍有差異(表 2)。部落渠道(TD)共記錄 9 種蛙類，夜間調查與錄音調查分別都記錄有 8 種蛙類，但梭德氏赤蛙僅於夜間調查發現 1 隻次，而艾氏樹蛙則僅在錄音調查中被偵測；農用埤塘(FP)同樣記錄 9 種蛙類，其中夜間調查未發現梭德氏赤蛙與布氏樹蛙而僅記錄 7 種，而錄音調查則記錄有盤古蟾蜍之外的其他 8 種蛙類；沙里仙溪澗(CR)共記錄 8 種蛙類，其中夜間調查記錄有 6 種，而錄音調查則記錄有 7 種；至於僅採用夜間調查的庭院水池(GP)樣區則只記錄盤古蟾蜍、拉都希氏赤蛙、斯文豪氏赤蛙與梭德氏赤蛙等 4 種蛙類。樣區的棲地差異往往影響所棲息的蛙種組成(Wells 2007, Matthiopoulos et al. 2015)，庭院水池(GP)的棲息蛙種少但特定蛙種數量高，很可能與該樣區是一處溫泉湯屋，其周遭環境較單純，其庭院水池經年有水並營造假山與栽植水生植物，而吸引大量拉都希氏赤蛙與斯文豪氏赤蛙棲息所致。

比較 3 個同時採用夜間調查與錄音調查樣區所記錄蛙種發現，夜間調查分別記錄有 6-8 種蛙類，而錄音調查則分別記錄有 7-8 種蛙類，自動錄音調查法所記

錄蛙種稍多(表 2)。但兩種調查方法均未能完整記錄東埔地區的 9 種蛙類，顯示兩種調查各有其限制但也具有相互輔助功能。研究期間共進行 7 月次的夜間調查(表 3)，調查季節與努力量可能影響蛙類的調查結果，尤其是對一些數量較少、季節活動性高或活動習性較為隱密的蛙種(Crump & Scott 1994)。另一方面，生物調查所記錄物種數往往與其調查努力量息息相關(Lande et al. 2000)，de Solla et al. (2005)發現在蛙類繁殖季至少要進行 12 個夜間調查，才能偵測到該地 80%以上的蛙種。本研究夜間調查取樣次數不高，即可能造成無法完整記錄所有蛙種的狀態。錄音調查所記錄蛙種數雖然稍多，但也無法完整記錄各樣區的所有蛙種。自動錄音調查法雖然具有取樣持續時期長的優點，但對較少發出鳴叫聲的蛙種如盤古蟾蜍，叫聲不明顯或活動位置距離錄音裝置較遠與背景聲音干擾太大(如大量降雨或流水聲)等因素也可能影響其調查結果(Plenderleith et al. 2017, 侯平君&陳清旗 2008)。

此外，本研究利用上述 3 個樣區所總合記錄之夜間調查隻次與錄音調查的日鳴叫強度，來比較各蛙種的記錄比例(圖 3, 圖 4)。其中夜間調查共記錄 382 隻次，其中以盤古蟾蜍記錄 91 隻次(佔所有記錄隻次 23.8%)為最高，其次是褐樹蛙與拉都希氏赤蛙分別記錄有 72 及 71 隻次(佔 18.8%及 18.6%)，莫氏樹蛙與斯文豪氏赤蛙均記錄有 50 隻次(佔 13.1%及 13.1%)，其他 4 種蛙類的記錄隻次較少(≤ 6%)。另一方面，錄音調查累計所有蛙種的日鳴叫強度共 3,883 分，其中以拉都希氏赤蛙記錄達 1,402 分為最高(佔所有蛙種日鳴叫強度的 36.1%)，其次是莫氏樹蛙的 940 分(佔 24.2%)及褐樹蛙的 712 分(佔 18.3%)，梭德氏赤蛙、斯文豪氏赤蛙、周氏樹蛙與布氏樹蛙累計日鳴叫強度分數則大致介於 150 至 250 分之間(佔 4.0-6.3%)，而艾氏樹蛙與盤古蟾蜍的鳴叫強度分數最少(表 2, 圖 4)。比較兩種調查方法所記錄蛙種隻次與日鳴叫強度比例並無明顯的一致性($\tau = 0.141$, $P = 0.597$)，這可能受到兩種調查方法偵測蛙種方式不同與調查持續時期不同的影響，如盤古蟾蜍活動力低、易目視偵測但鮮少發出叫聲。但整體而言，盤古蟾蜍與拉都希氏赤蛙應是東埔地區的優勢蛙種，而斯文豪氏赤蛙、莫氏樹蛙與褐樹蛙也較為普遍，至於其他 4 種蛙類則僅分布於特定棲地、季節或棲息數量較少。

表 2、各樣區利用目視遇測法(VES)與自動錄音調查法(ASR)所記錄蛙種、隻次與
全年日鳴叫強度分數

調查樣區	部落渠道		農用埤塘		沙里仙溪澗		庭院水池
蛙種\調查方法	VES	ASR	VES	ASR	VES	ASR	VES
蟾蜍科 Bufonidae							
盤古蟾蜍* <i>Bufo bankorensis</i>	10	9	71		10		4
赤蛙科 Ranidae							
拉都希氏赤蛙 <i>Hylarana latouchii</i>	46	612	22	788	3	4	136
斯文豪氏赤蛙* <i>Odorrana swinhoana</i>	6	16	6	15	38	164	65
梭德氏赤蛙* <i>Rana sauteri</i>	1			240	11	4	3
樹蛙科 Rhacophoridae							
周氏樹蛙 <i>Buergeria choui</i>	9	81	2	75			
褐樹蛙* <i>Buergeria robustus</i>	67	309	5	368		34	
艾氏樹蛙 <i>Kurixalus eiffingeri</i>		2	13	2	10	36	
布氏樹蛙 <i>Polypedates braueri</i>	2	2		181		2	
莫氏樹蛙* <i>Zhangixalus moltrechti</i>	29	666	7	252	14	21	
蛙種數	8	8	7	8	6	7	4
隻次/累積日鳴叫強度	170	1,697	126	1,921	86	265	208
Margalef's richness (<i>d</i>)	1.36		1.24		1.12		0.56
Shannon-Weiner <i>H'</i>	1.55		1.36		1.54		0.78

註：蛙種中文名後方有*上標者，表其為臺灣特有種。

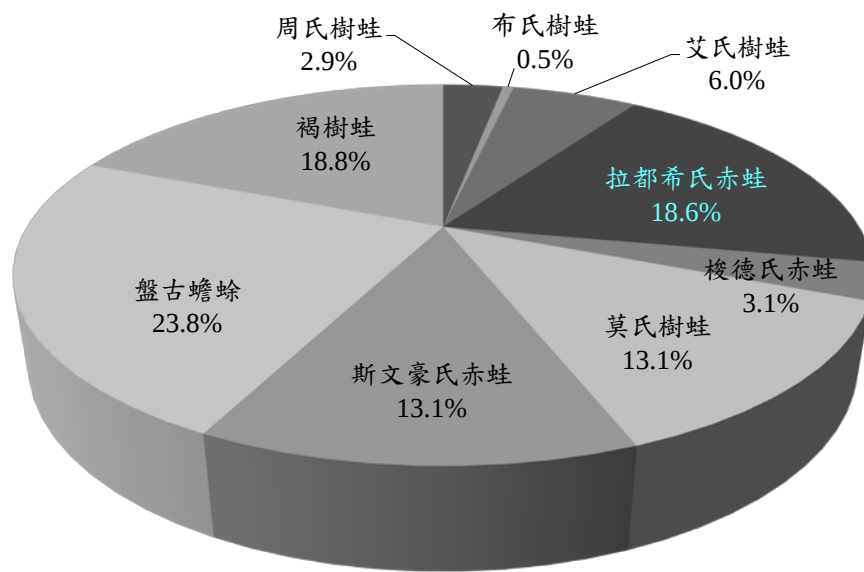


圖 3、本研究利用目視遇測法在部落渠道(TD)、農用埤塘(FP)與沙里仙溪澗(CR)等 3 個樣區所總合記錄各蛙種的隻次比例分布圖。

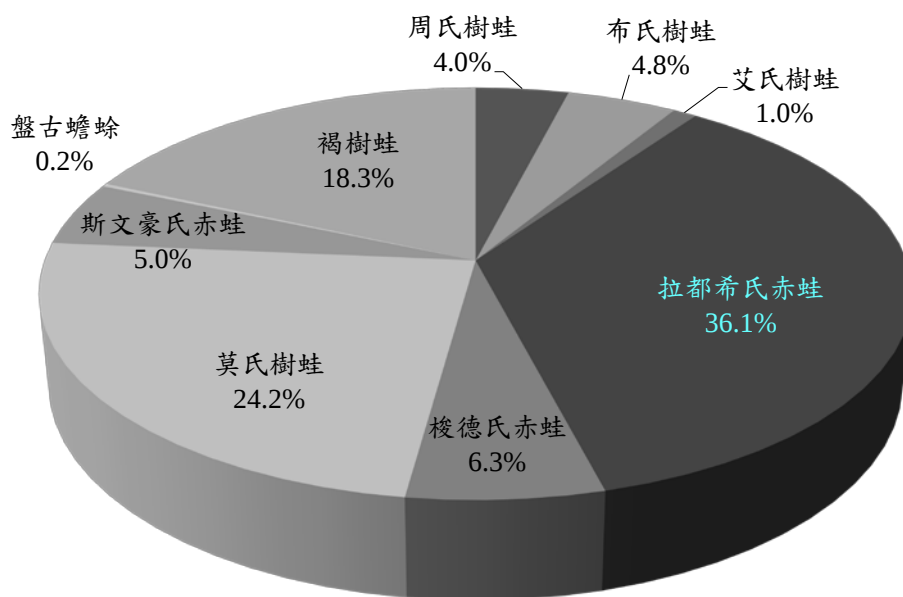


圖 4、本研究利用自動錄音調查法在部落渠道(TD)、農用埤塘(FP)與沙里仙溪澗(CR)等 3 個樣區所總合記錄各蛙種的日鳴叫強度比例圖。

第二節 夜間調查的蛙類記錄

研究期間在所設置 4 個樣區共進行 7 月次夜間調查，記錄有 9 種 590 隻次的蛙類(表 3)，各月所記錄蛙種介於 5 至 8 種，隻次則介於 45 至 181 之間，整體記錄的蛙種數及數量並不高。各月次調查以 2019 年 5 月記錄 7 種 181 隻次較高，其次則是 2020 年 4 月記錄 8 種 120 隻次，以及 2019 年 9 月記錄 7 種 94 隻次，其他月分所記錄的蛙種數及隻次稍低。顯示東埔地區的蛙類大致以春末 4-5 月期間較為活躍，另外在秋季也有個較小的活躍期。其中周氏樹蛙、褐樹蛙與布氏樹蛙主要在春、夏季期間活動，梭德氏赤蛙則主要在秋、冬季活動，而其他 5 種蛙類的活動季節則持續較長(表 3)。而在 4 個樣區的調查中，以部落渠道(TD)樣區記錄蛙種較為豐富(8 種 170 隻次)，庭院水池(GP)樣區雖然記錄有 208 隻次，但只要以拉都希氏赤蛙及斯文豪氏赤蛙為主，其他蛙種記錄不多，其 Margalef's (d)與 Shannon-Weiner (H')指數均較其他樣區低(表 2)。而藉由 4 個樣區之蛙種組成的群集分析圖(圖 5)也可發現，庭院水池(GP)樣區的蛙種組成與其他 3 個樣區具有較大差異，而部落渠道(TD)與農用埤塘(FP)等兩個樣區的蛙種組成較相近而連結形成一個小群集。

夜間調查蛙類數量的季節變化可能受不同蛙種繁殖習性與季節差異的影響(巫奇勳 2004, 楊懿如 2019), Prado et al. (2005)依蛙類繁殖時期的長短將其區分為爆發型繁殖(explosive breeding)、延長型繁殖(prolonged breeding)及連續型繁殖(continuous breeders)等 3 種繁殖類型，本研究也將利用錄音調查所獲得之鳴叫活動強度的季節變化，來進一步區分東埔各蛙種的繁殖類型。此外，本研究彙整往年巫奇勳(2004)及王佳琪(2011)在東埔鄰近區域的蛙類調查紀錄，累計東埔地區共曾記錄 4 科 10 種蛙類。其中布氏樹蛙是本研究在東埔地區新紀錄的蛙種，但王佳琪(2011)所描述中國樹蟾(*Hyla chinensis*)則未在本調查被發現。中國樹蟾主要棲息於台灣 1,000 公尺以下的農墾地及山區(楊懿如 2019)，東埔位於中國樹蟾的海拔分布上限，其棲息族群數量可能較低且分布較侷限，而未於本調查被發現。但詳細檢視王佳琪(2011)的報告發現，中國樹蟾僅被他列述為該地布農族的傳說民俗蛙種，而未列述於 4 條調查樣線的紀錄中，因此中國樹蟾也可能未

曾實際在東埔地區被紀錄。而本研究新增紀錄之布氏樹蛙的鳴叫聲相當特殊，極易和其他蛙種區別，推測布氏樹蛙應是近年移入東埔棲息，這是否受近年氣候暖化的影響，仍有待後續進一步監測與相關研究的探討。

表 3、不同月分在 4 個夜間調查樣區所記錄的蛙種名錄、隻次及繁殖活動狀態

蛙種/月份	2019 年				2020 年			小計
	5 月	7 月	9 月	11 月	1 月	2 月	4 月	
蟾蜍科 Bufonidae								
盤古蟾蜍*	4	6	2	9	13	18	43	95
<i>Bufo bankorensis</i>					◎	◎●	●	
赤蛙科 Ranidae								
拉都希氏赤蛙	52	29	50	15	16	9	36	207
<i>Hylarana latouchii</i>	●★	●	●★	●	●	◎	●★	
斯文豪氏赤蛙*	21	11	25	13	11	13	21	115
<i>Odorrana swinhoana</i>							★	
梭德氏赤蛙*			7	7	1			15
<i>Rana sauteri</i>				●	●	●		
樹蛙科 Rhacophoridae								
周氏樹蛙	1						10	11
<i>Buergeria choui</i>								
褐樹蛙*	35	1	2	2		2	30	72
<i>Buergeria robustus</i>							★	
艾氏樹蛙	3	5	3		3	1	8	23
<i>Kurixalus eiffingeri</i>								
布氏樹蛙	2							2
<i>Polypedates braueri</i>			◎					
莫氏樹蛙*	2	4	5		1	5	33	50
<i>Zhangixalus moltrechti</i>	●	●	●				◎●	
蛙種數	8	6	7	5	6	6	7	9
隻次	120	56	94	46	45	48	181	590
Margalef's richness(<i>d</i>)	1.46	1.24	1.32	1.05	1.31	1.29	1.15	1.25
Shannon-Weiner <i>H'</i>	1.41	1.38	1.31	1.47	1.42	1.48	1.82	1.76

註：◎表示該月分有發現到該蛙種的卵團，●表有蝌蚪紀錄，★表有小蛙紀錄。

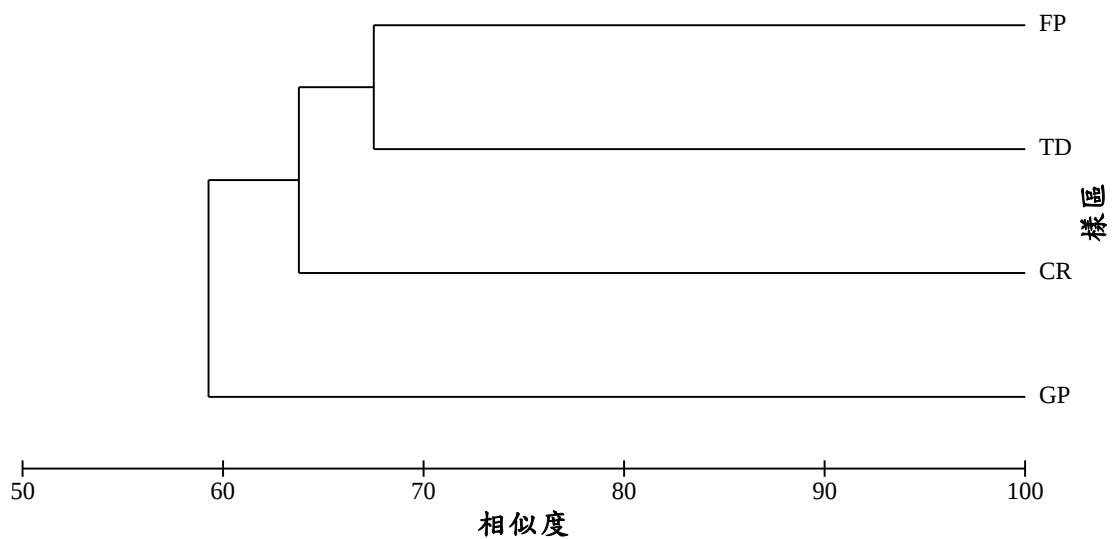


圖 5、本研究 4 個現地調查樣區之蛙類組成的群集分析圖。樣區代號：GP 庭院水池；FP 農用埤塘；TD 部落渠道；CR 沙里仙溪澗。

第三節 各蛙種的鳴叫強度季節變化

本研究自 2019 年 5 月 12 日至 2020 年 4 月 25 日，分別在部落渠道(TD)、農用埤塘(FP)及沙里仙溪澗(CR)等 3 個樣區設置自動錄音系統進行錄音調查，總設置天數為 350 天。期間因錄音設備電力問題或環境因素影響(如豪雨或其他外界聲音干擾影響聲音判讀)，各樣區可完整判讀每天 8 個取樣單元(簡稱：有效錄音天)之日鳴叫強度的取樣天數介於 236 至 270 天之間(表 4)，每天僅能判讀 1 至 7 個取樣單元(簡稱：無效錄音天)的取樣天數則介於 3 至 6 天，完全無任何聲音紀錄(簡稱：失敗錄音天)的天數則在 77 至 108 天之間，各樣區有效錄音天數大致佔總設置天數的 67.4%至 77.1%之間。本研究後續主要採用各樣區之有效錄音天的錄音資訊來進行相關分析。

在 3 個採用錄音調查的樣區中，部落渠道(TD)樣區共獲取 236 個有效錄音天資訊，其中具蛙鳴聲紀錄(日鳴叫強度分數 ≥ 1 分)有 155 天，約佔有效紀錄天數的 65.7%；農用埤塘(FP)樣區共獲取 250 個有效錄音天資訊，具蛙鳴聲紀錄有

195 天(71.4%)；沙里仙溪澗(FP)樣區獲取 270 個有效錄音天資訊，具蛙鳴紀錄則僅有 65 天，僅佔有效紀錄天數的 24.1%。各樣區有蛙鳴聲紀錄天數的比例差異，可能受其棲地環境、棲息蛙種及數量的影響。其中，部落渠道(TD)與農用埤塘(FP)等兩個樣區的海拔高度及不同月分的平均氣溫變化相近(圖 6)，且直線地理距離僅約 500 公尺，其夜間調查及錄音調查所記錄蛙種組成(圖 5, 表 2)也都頗為相似。沙里仙溪澗(FP)樣區的海拔稍高，且 5 至 11 月的平均氣溫比其他兩個樣區低 1.5 至 4.3°C 不等(圖 6)，其蛙鳴聲紀錄主要以斯文豪氏赤蛙為主(表 5)，其天候狀態與蛙鳴聲紀錄明顯與其他兩個樣區具有較大差別。

本研究利用有效紀錄天所判讀各蛙種的日鳴叫強度，來繪製各蛙種鳴叫強度的季節變化圖，繪製時排除盤古蟾蜍及艾氏樹蛙等兩種具鳴叫聲紀錄天數較少的蛙種(表 5)。此外，為降低樣區間蛙種組成與氣溫差異的影響，斯文豪氏赤蛙僅採用沙里仙溪澗(FP)的錄音資料，而拉都希氏赤蛙等其他 6 種蛙類則併合部落渠道(TD)與農用埤塘(FP)等兩個樣區的錄音資訊，來計算各月份的平均日鳴叫強度。結果發現，拉都希氏赤蛙與莫氏樹蛙除 10 至 11 月的鳴叫強度較低之外，幾乎全年都有鳴叫記錄，搭配本研究現地調查結果可將其繁殖型態類歸為全年連續繁殖型(圖 7)；布氏樹蛙與周氏樹蛙則大致以 4 至 7 月具有較明顯的鳴叫強度高峰，可將其類歸為春季延長繁殖型；斯文豪氏赤蛙與褐樹蛙則大致以 7 至 9 月具有較明顯的鳴叫強度高峰，可將其類歸為夏季延長繁殖型；而梭德氏赤蛙則主要在 9 至 10 月間鳴叫，可將其類歸為秋季延長繁殖型(圖 7)。

蛙類的鳴叫聲可作為蛙類繁殖活動的指標(Prado et al. 2005, de Solla et al. 2006)，但各蛙種具有多種不同的鳴叫形式，其鳴叫聲除具有吸引雌蛙功能之外，也具有警示雄蛙或因外來天敵等刺激所引發的不同類型聲音(Akmentins et al. 2014, Halfwerk et al. 2014)。此外，蛙類所棲息的海拔高度、水域類型、周遭棲地、季節、溫度、降雨及濕度等天候因子的變化，對各蛙類之鳴叫活動也都會造成不同程度的影響(Oseen & Wassersug 2002, Cui et al. 2011, Akmentins et al. 2014, 侯平君&陳清旗 2008, 柳宗佑 2020)，還有各樣區所棲息蛙類密度、錄音

裝置的敏感度及取樣努力量，也都會影響自動錄音調查的效能(Parmesan 2007, Schalk & Saenz 2016, Plenderleith et al. 2017)。

本研究分析各蛙種鳴叫強度的季節變化時，排除盤古蟾蜍及艾氏樹蛙等鳴叫紀錄較少的蛙種，即為避免較少發出鳴叫聲及族群密度低之蛙種的影響。此外，本研究所採用的錄音系統大致可收錄半徑 30 公尺內之莫氏樹蛙的鳴叫聲(許富雄 私人通訊)，若研究樣區的蛙類移動至麥克風半徑 30 公尺之外的區域活動，則錄音設施將無法偵測其鳴叫活動。因此，東埔地區各蛙種的繁殖季節與繁殖類型，除藉由鳴叫活動的季節變化來推論外，若再加入現地調查之成蛙數量與繁殖狀態的觀察資料，當可做更準確的推斷。

表 4、本研究 3 個錄音調查樣區之錄音系統設置天數、有效錄音天數(每天完整錄製 8 個取樣單元)、無效錄音天數(每天僅錄製 1-7 個取樣單元)與失敗錄音天數(無錄音資訊)。有蛙鳴聲紀錄表當天判讀日鳴叫強度分數 ≥ 1 分，無蛙鳴聲紀錄即當天 8 個錄音單元均未偵測到任何蛙種的鳴叫聲

錄音紀錄資訊/樣區	部落渠道	農用埤塘	沙里仙溪澗
自動錄音系統設置期間	5/12-4/25	5/12-4/25	5/12-4/25
總設置天數	350	350	350
有效錄音天數	236	250	270
具蛙鳴聲紀錄天數(≥ 1 分)	155	195	65
無蛙鳴聲紀錄天數(0 分)	81	55	205
有效錄音日鳴叫強度總合	1,697	1,921	265
無效錄音天數	6	5	3
具蛙鳴聲紀錄天數(≥ 1 分)	5	2	1
無蛙鳴聲紀錄天數(0 分)	1	3	2
無效錄音日鳴叫強度總合	18	6	1
失敗錄音天數	108	95	77

表 5、各樣區具蛙鳴聲紀錄天數中，實際判讀發現有各蛙種鳴叫活動的天數(各蛙種日鳴叫強度分數 ≥ 1 分)

蛙種/樣區	部落渠道	農用埤塘	沙里仙溪澗	總合
盤古蟾蜍	6	0	0	6
拉都希氏赤蛙	105	156	3	190
斯文豪氏赤蛙	16	10	52	66
梭德氏赤蛙	0	26	3	26
日本樹蛙	13	22	0	35
褐樹蛙	73	59	19	93
艾氏樹蛙	2	2	5	9
布氏樹蛙	1	33	2	34
莫氏樹蛙	107	72	16	136
蛙種數	8	8	7	9
具蛙鳴聲紀錄天數	155	195	65	218

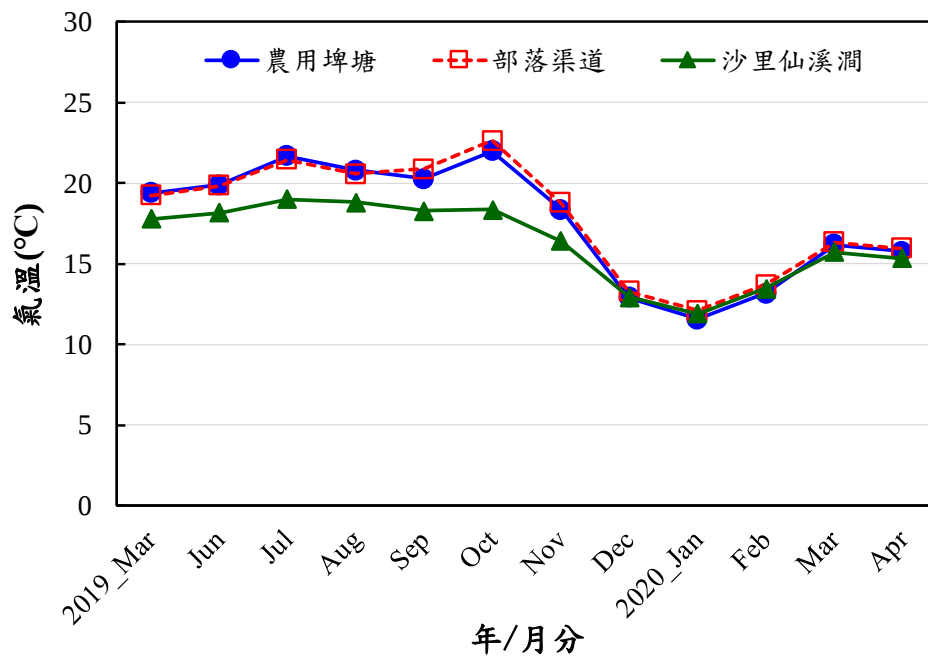


圖 6、本研究藉由各樣區所設置 HOBO 溫濕度記錄器，記錄 20:00 至 24:00 時段氣溫，所繪製 3 個錄音調查樣區的月平均氣溫變化圖。

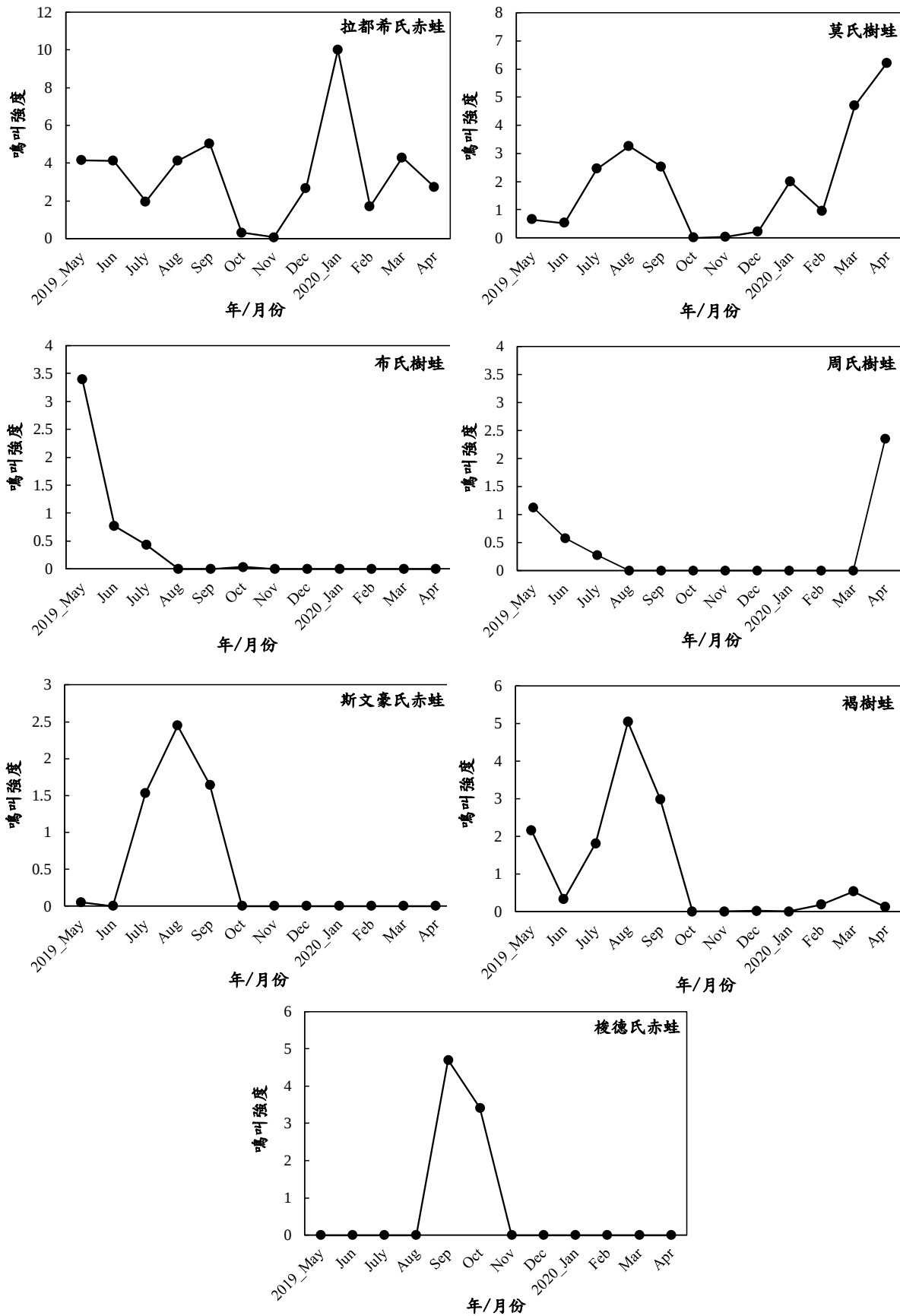


圖 7、各蛙種之不同月份的日鳴叫強度季節變化圖。

第四節 鳴叫活動與天候因子的關係

本研究利用部落渠道(TD)、農用埤塘(FP)與沙里仙溪澗(CR)等 3 個樣區的自動錄音調查資訊，以 Spearman's rank correlation 來分析各蛙種之日鳴叫強度與當天 20:00 至 24:00 之氣溫、濕度、水溫平均值的相關性，藉以探討各蛙種鳴叫活動與天候因子的關係，分析時僅納入日鳴叫強度 ≥ 1 分的資料。結果在所有記錄的 9 種蛙類，盤古蟾蜍的日鳴叫強度與 3 類天候因子均無明顯的相關性，這可能受盤古蟾蜍不常發出鳴叫聲的習性使有效錄音樣本數較低的影響；拉都希氏赤蛙的日鳴叫強度僅與氣溫呈輕微正相關($r_s = 0.14, P = 0.03$)；斯文豪氏赤蛙的日鳴叫強度僅與濕度呈正相關($r_s = 0.51, P < 0.01$)；梭德氏赤蛙的日鳴叫強度與 3 類天候因子均無明顯相關性；周氏樹蛙的日鳴叫強度僅與水溫呈負相關($r_s = -0.54, P = 0.01$)；褐樹蛙的日鳴叫強度僅與氣溫呈正相關($r_s = 0.37, P < 0.01$)；艾氏樹蛙的日鳴叫強度僅與濕度呈正相關($r_s = 0.88, P = 0.02$)；布氏樹蛙的日鳴叫強度與 3 類天候因子均無明顯相關性；莫氏樹蛙的日鳴叫強度則分別與濕度與水溫呈輕微正相關性(分別為 $r_s = 0.17, P = 0.03$ ； $r_s = 0.22, P = 0.01$)。總計有 2 種蛙類的日鳴叫強度與氣溫變化呈正相關；3 種蛙類的日鳴叫強度與濕度變化呈正相關；2 種蛙類的日鳴叫強度與水溫變化相關(表 6, 圖 8)。本研究進一步分析各日所有蛙種的日鳴叫強度總合分數跟天候因子的關係，結果顯示所有蛙種的日鳴叫強度總合分數跟氣溫及水溫均呈輕微的正相關(圖 9)(分別為 $r_s = 0.23, P < 0.001$, $r_s = 0.26, P < 0.001$)。顯示東埔地區在夏季等溫度較高季節有較多蛙類鳴叫活動。

此外，比較各蛙種在進行鳴叫活動(日鳴叫強度 ≥ 1 分)的天候差異，結果發現各蛙種間的鳴叫活動氣溫具有顯著性差異(K-W test, $H = 38.17, P < 0.001$)，其中褐樹蛙的鳴叫活動氣溫($19.63 \pm 1.90^\circ\text{C}$)顯著高於拉都希氏赤蛙($17.87 \pm 3.45^\circ\text{C}$)、周氏樹蛙($16.89 \pm 3.08^\circ\text{C}$)、艾氏樹蛙($16.38 \pm 1.33^\circ\text{C}$)與莫氏樹蛙($17.99 \pm 3.39^\circ\text{C}$)等全年連續繁殖與春季延長繁殖的蛙種(Dunn test, all $P < 0.05$)。各蛙種的鳴叫活動濕度同樣具顯著差異(K-W test, $H = 103.74, P < 0.001$)，其中以盤古蟾蜍的鳴叫活動濕度最低，而斯文豪氏赤蛙、梭德氏赤蛙與褐樹蛙等 3 種主要以流

水域為繁殖棲地蛙種的鳴叫活動濕地則均在 95%以上(表 7)。至於水溫部分，各蛙種間也同樣具有明顯差異(K-W test, $H = 50.48$, $P < 0.001$)，其中屬夏季延長繁殖型之褐樹蛙的鳴叫活動水溫($24.50 \pm 2.30^{\circ}\text{C}$)明顯比拉都希氏赤蛙($22.95 \pm 3.05^{\circ}\text{C}$)、艾氏樹蛙($19.55 \pm 1.67^{\circ}\text{C}$)及布氏樹蛙($22.09 \pm 1.98^{\circ}\text{C}$)高。

保持體溫與水分平衡是蛙類維持生理代謝的重要條件，且蛙類在繁殖季對水域環境的依賴性高，因此溫度、降雨及濕度等天候因子的變化，對蛙類之鳴叫活動均具有相當程度的影響(Carey & Alexander 2003, Akmentins et al. 2015)。適當的溫度環境可以使個體具有較好的生理狀態，將投資在鳴叫行為的能量比例降至最低(Lemckert & Grigg 2010)。高濕度環境可降低蛙類體表水分散失的比例，長時間維持表皮濕潤，降低乾旱的風險(Klaus 2012)。本研究在柬埔寨地區所記錄的 9 種蛙類中，發現有 6 種蛙類的鳴叫活動與氣溫、水溫或濕度變化有關。不同蛙種各有其最適鳴叫的溫度範圍，並進而影響其繁殖活動季節(Saenz et al. 2006)，褐樹蛙的鳴叫強度與氣溫成正相關可能與其主要於夏季進行繁殖有關。斯文豪氏赤蛙長年棲息在高濕度的流水環境附近可能與其生理適應有關，而高濕度環境有助於鳴叫聲傳遞(Harris 1966)也可能使其偏好於高濕度天候下進行鳴叫活動。艾氏樹蛙經常停棲在離水域稍遠的陸域環境鳴叫，高濕度環境有助蛙類維持皮膚濕潤，避免受到乾旱使水分散失的威脅(Klaus & Lougheed 2013)。莫氏樹蛙的鳴叫活動強度與濕度及水溫成正相關，莫氏樹蛙在台灣所棲息的海拔範圍相當廣，經常發現於平地至海拔 2,500 公尺林地下靜水域(楊懿如 2019)。柳宗佑(2020)發現其鳴叫活動與溫度的關係會受到海拔分布的影響，低海拔族群的日鳴叫強度與溫度變化呈負相關，中、高海拔莫氏樹蛙的日鳴叫強度則與溫度變化呈正相關，但其不同海拔族群所偏好鳴叫的氣溫環境則有所不同。Llusia et al. (2013)發現相同蛙種棲息在低溫環境下的個體會在較低氣溫下進行鳴叫活動，棲息在高溫環境的個體則會在較高氣溫下鳴叫。顯示相同蛙種在不同溫度環境下的繁殖鳴叫活動會產生差異，可能是長期演化的生理調適所致。比較特別的是，本研究發現周氏樹蛙的鳴叫活動強度雨水溫呈負相關，這可能與其在柬埔寨地區的早春進行繁殖有關，但因本研究所收集的錄音資訊較少，其詳細影響因素仍有待更進一步的研究探討。

表 6、各蛙種之日鳴叫強度與氣溫、濕度及水溫的 Spearman's 相關性分析

蛙種/天候	氣溫(°C)			濕度(%)			水溫(°C)		
	<i>n</i>	<i>r_s</i>	<i>P</i>	<i>n</i>	<i>r_s</i>	<i>P</i>	<i>n</i>	<i>r_s</i>	<i>P</i>
盤古蟾蜍	6	-0.13	0.77	6	0.39	0.38	3	0.50	0.48
拉都希氏赤蛙	232	0.14	0.03	232	-0.09	0.17	201	-0.08	0.29
斯文豪氏赤蛙	73	-0.02	0.86	73	0.51	<0.01	22	0.05	0.81
梭德氏赤蛙	9	0.57	0.10	9	-0.24	0.51	26	0.26	0.19
周氏樹蛙	25	-0.33	0.10	25	0.05	0.81	24	-0.54	0.01
褐樹蛙	140	0.37	<0.01	140	-0.12	0.15	115	0.10	0.28
艾氏樹蛙	8	-0.48	0.20	8	0.88	0.02	9	-0.49	0.17
布氏樹蛙	27	0.20	0.31	27	-0.06	0.76	34	-0.25	0.16
莫氏樹蛙	178	-0.07	0.35	178	0.17	0.03	129	0.22	0.01
總合所有蛙種	358	0.23	<0.01	358	0.05	0.37	278	0.26	<0.01

表 7、各蛙種進行鳴叫活動(日鳴叫強度 ≥ 1 分)日期的平均氣溫、濕度及水溫

	氣溫(°C)	<i>n</i>	濕度(%)	<i>n</i>	水溫(°C)	<i>n</i>
盤古蟾蜍	17.12±6.04 ^{AB}	6	83.75±12.00 ^{BC}	6	19.82±0.73 ^{ABC}	3
拉都希氏赤蛙	17.87±3.45 ^A	232	91.09±7.94 ^C	232	22.95±3.05 ^B	201
斯文豪氏赤蛙	18.96±1.36 ^{AB}	73	97.48±4.38 ^A	73	24.37±3.27 ^{BC}	22
梭德氏赤蛙	19.54±1.10 ^{AB}	9	96.45±1.67 ^{ABC}	9	23.79±0.76 ^{ABC}	26
周氏樹蛙	16.89±3.08 ^A	25	92.87±8.28 ^{BC}	25	22.98±2.04 ^{ABC}	24
褐樹蛙	19.63±1.90 ^B	140	95.92±3.81 ^B	140	24.50±2.30 ^C	115
艾氏樹蛙	16.38±1.33 ^A	8	94.91±9.35 ^{ABC}	8	19.55±1.67 ^A	9
布氏樹蛙	19.34±0.86 ^{AB}	27	94.49±5.37 ^{BC}	27	22.09±1.98 ^{AB}	34
莫氏樹蛙	17.99±3.39 ^A	178	92.84±7.91 ^B	178	23.71±3.19 ^{BC}	129
<i>H</i>	38.17		103.74		50.48	
<i>P</i>	<0.001		<0.001		<0.001	

註：平均值後方具相同大寫英文字母上標者，表 Dunn test 事後檢定無顯著性差異。

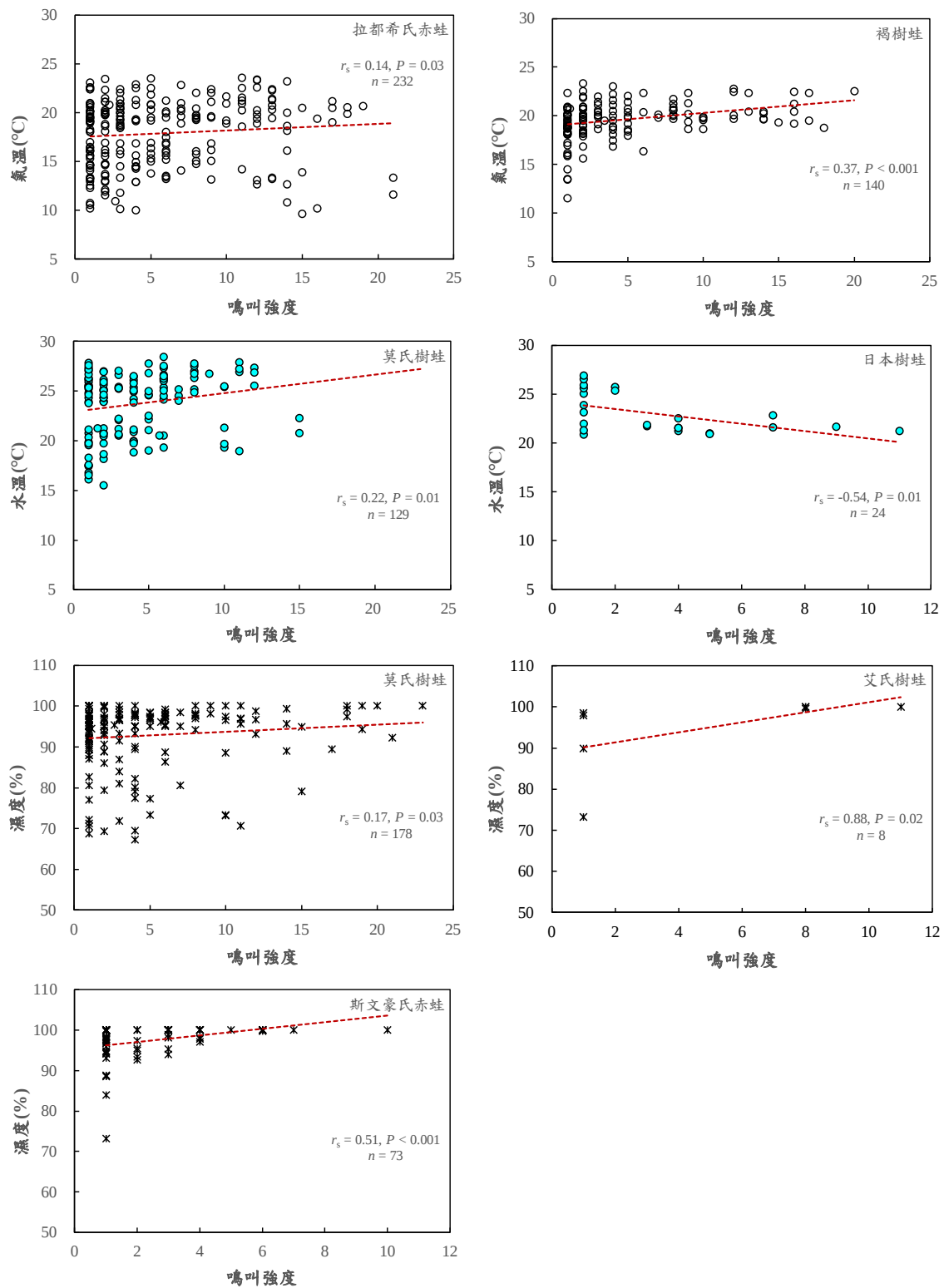


圖 8、蛙種鳴叫強度與各天候因子變化的關係圖。

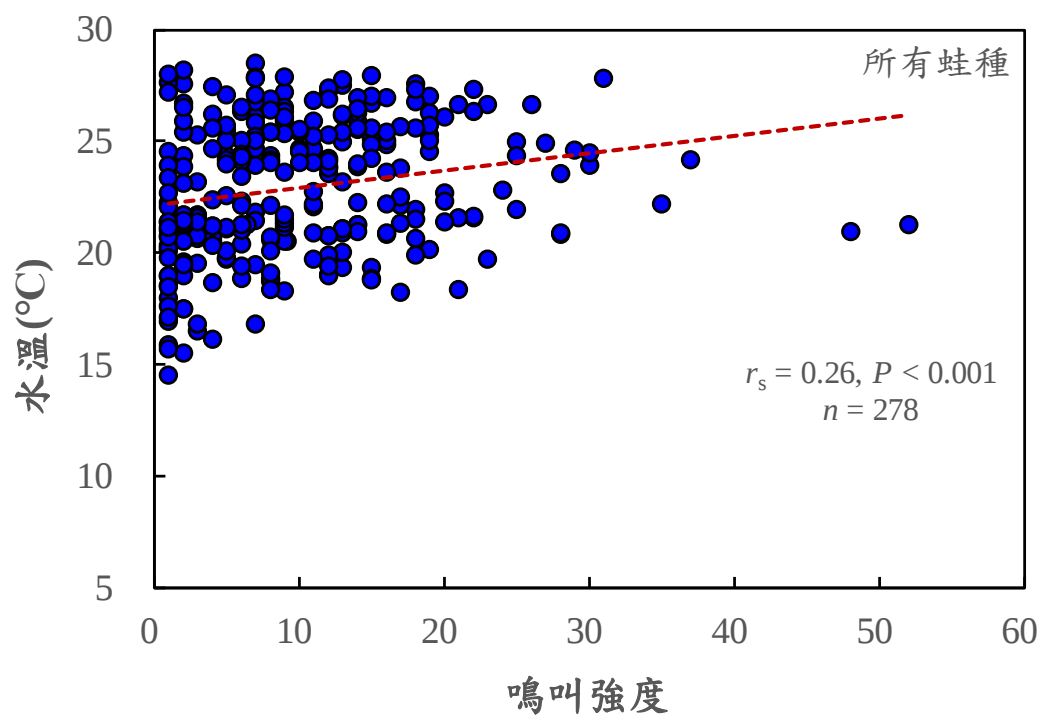
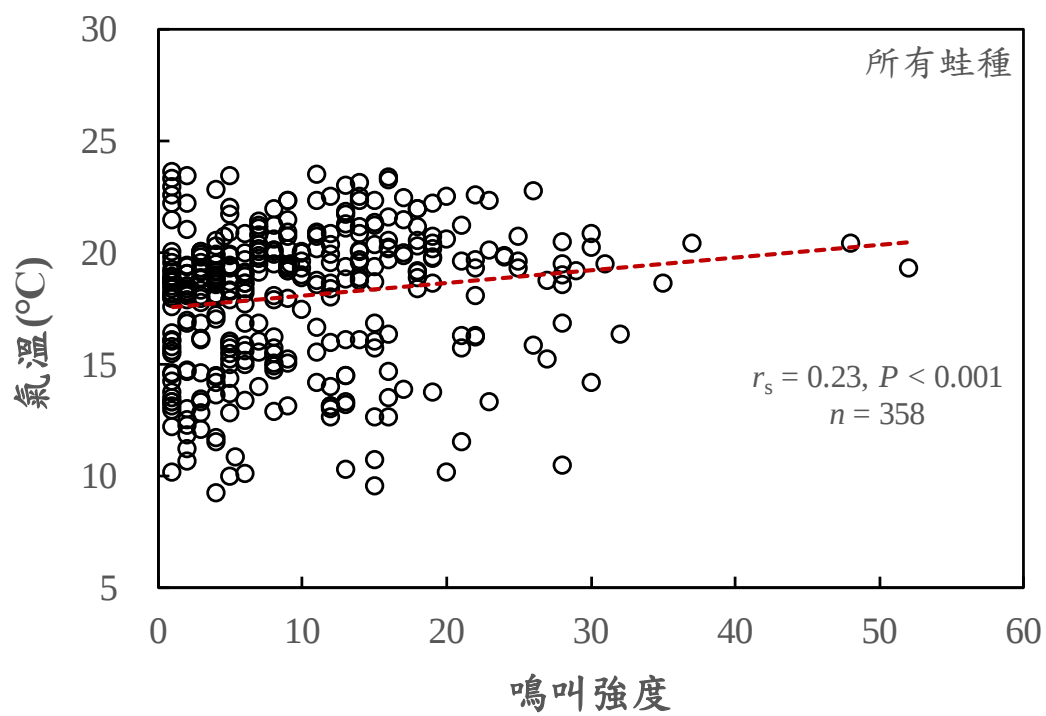


圖 9、總合本研究所有蛙種之日鳴叫強度與氣溫及水溫變化的關係圖。

第四章 結論與建議

第一節 結論

本研究在 2019 年 5 月至 2020 年 4 月研究期間，在東埔地區共記錄有 3 科 9 種蛙類，其中以盤古蟾蜍及拉都希氏赤蛙為優勢蛙種，斯文豪氏赤蛙、莫氏樹蛙及褐樹蛙也相當普遍，梭德氏赤蛙、周氏樹蛙、艾氏樹蛙及布氏樹蛙等 4 種蛙類則僅分布於特定棲地、季節或棲息數量較少。由夜間調查發現東埔地區蛙類在 4-5 月春末期間最為活躍，另外在秋季也有個較小的活躍期。而藉由自動錄音調查法可將拉都希氏赤蛙與莫氏樹蛙歸為全年連續繁殖型；布氏樹蛙與周氏樹蛙歸為春季延長繁殖型；斯文豪氏赤蛙與褐樹蛙歸為夏季延長繁殖型；而梭德氏赤蛙則歸為秋季延長繁殖型，且有 6 種蛙類的鳴叫強度會受到氣溫、水溫及濕度等天候因子的影響。盤古蟾蜍的鳴叫聲記錄少，但依夜間調查與繁殖狀態紀錄則可類歸為冬季延長繁殖型。目視遇測法夜間調查與自動錄音調查法均無法完整偵測各樣區的所有蛙種，自動錄音調查法所記錄蛙種稍多，但不易偵測較少發出叫聲或叫聲較不明顯的蛙種，目視遇測法則易受到調查季節與努力量的影響，兩種調查各有其限制但也具有相互輔助功能。其中布氏樹蛙本研究在東埔地區所發現的新紀錄種，推測布氏樹蛙應是近年移入棲息，這是否受近年氣候暖化的影響，仍有待後續進一步監測與相關研究的探討。總結而言，自動錄音調查法可長期收集特定樣區的蛙類鳴叫活動，減少因調查季節、調查者判別蛙種能力及努力量等因素的影響，如再搭配天候資訊的系統性收集，可完整呈現該樣區蛙類活動的季節變化，同時監測探討氣候變遷等天候因素對園區蛙類棲息與活動的影響，適合於推展特定樣區的蛙類長期監測。但自動錄音調查法不易偵測鳴叫聲較少或不明顯的蛙種如盤古蟾蜍，以及對背景噪音較大干擾較多的場域。因此，若希望獲取特定區域的完整蛙類組成，可搭配夜間目視遇測法的調查來做進一步清查。玉山園區管轄範圍含括低、中、高海拔之不同氣候環境，若能選擇周遭棲地較為穩定的靜水域，對部分易受天候因素影響的蛙種進行鳴叫物候的長期監測，如莫氏樹蛙、拉都希氏赤蛙或布氏樹蛙，當可作為園區探討不同海拔梯度與氣候變遷等環境議題的參考。

第二節 建議

根據本研究之調查結果，針對園區東埔部落及沙里仙溪區域之蛙類監測所提出具體建議，如下：

建議一、辦理目視遇測法夜間調查活動，讓部落居民更認識當地生態：本研究在夜間調查發現東埔部落及沙里仙溪林道附近，蛙類持續活動時期長，且不同季節經常存在不同蛙種的繁殖活動，同時也有多種夜行性動物活動。透過夜間調查活動的辦理，可讓部落居民更認識社區的生態特色，同時也可推展本處的保育理念。

建議二、對東埔地區的蛙類鳴叫物候進行持續性監測：本研究發現東埔一鄰部落及八通關越嶺步道東埔至樂樂、沙里仙林道周邊區域，屬本處西側園區蛙類資源較為豐富的區域，這次調查並發現近年有原本分布於台灣較低海拔的布氏樹蛙移入棲息。建議可持續對東埔周邊區域的蛙類鳴叫物候進行監測，一方面可探討氣候變遷對園區生態的影響，另一方面若能訓練部落居民協助錄音系統之電池更換與資料下載，也可增加部落居民對家園生態及物種的關注，並認同本處之保育理念。此外，藉由蛙類生態監測與介紹，也可鼓勵部落居民定期清理社區水溝、埤塘等水域，甚至進而營造生態水池來美化部落並創造蛙類的棲息空間，藉以增加部落的生態資源，為部落發展生態旅遊與環境教育場域。

建議三、利用自動錄音調查法推展本處不同海拔區域之蛙類鳴叫物候的監測：玉山園區含括低、中、高等不同海拔梯度環境，至少記錄有 17 種蛙種。自動錄音調查法具有持續時間長且資料來源一致性高的優點，若在園區不同海拔區域各尋找適合的靜水域樣區進行持續性的監測，同時蒐集氣溫、水溫及濕度等天候資訊，除可監測氣候暖化對園區蛙類及相關生態的影響，也可建立相關聲景資料，作為園區蛙類與生態解說教育素材。而延續性的天候資料收集，也可提供園區不同海拔生態研究或相關經營管理的參考。

**附錄 1、樣區描述與各樣區所使用的調查方法(VES:目視遇測法夜間
調查;ASR:自動錄音調查)**

	東埔一鄰/部落 渠道(TD)	農用埤塘(FP)	庭院水池(GP)	沙里仙溪支流/ 沙里仙溪澗(CR)
1、樣區坐標	23°33'28"(N) 120°55'30"(E)	23°33'04"(N) 120°55'34"(E)	23°33'27"(N) 120°55'21"(E)	23°31'40"(N) , 120°55'14"(E)
2、海拔高(m)	1,100	1,020	1,030	1,260
3、調查時間 (日落後)	30 - 60 分	30 - 60 分	30 - 60 分	30 - 60 分
4、調查方法	VES/ASR	VES/ASR	VES	VES/ASR
5、樣區間距 離	人工池塘至部 落溝渠及東埔 部落	農用水池至溝 渠及部落	人工池塘至農 用水池	沙里仙溪至人工池 塘
6、穿越帶距 離(m)	700	900	800	1300
7、林相及樣 區周邊	東埔一鄰部落 居民多以農業 為主，栽種各種番茄、彩椒等作唯一經營溫泉 蔬菜，為當地重物，為灌溉農作湯屋的旅館內 要經濟來源。部物而鋪設之人 落內的水溝主 要用來排除家 庭及農作灌溉 廢水。	當地居民種植 高麗菜、青椒、為東埔一鄰內 工蓄水池，自周工造景，周邊並 邊之樂樂溪支 流引水，水池深櫻花等綠美化 約 2 公尺。	本區人工池塘 部所設置之人 種植果樹及山 林木。	

附錄 2、本研究樣區現地照片

東埔一鄰部落農墾地及部落渠道樣區(TD)周遭棲地照



東埔一鄰部落居民灌溉的農用埤塘樣區(FP)周遭棲地照



附錄 2、本研究樣區現地照片(續)

東埔一鄰部落禪說雅築溫泉旅館之庭院水池樣區(GP)周遭棲地照



沙里仙林道及本研究沙里仙溪支流之沙里仙溪澗樣區(GP)周遭棲地照



附錄 3、本研究自動錄音調查法之相關錄音設備

麥克風(左圖)、錄音筆(右圖)



附錄 4、本研究所記錄蛙種的特徵與生態習性介紹

(資料來源:Taibnet 網站及兩棲類資源調查資訊網)

蛙種名稱	特徵與生態習性描述
一、蟾蜍科 Bufonidae	台灣特有種。體長 6 到 11 公分，雌蟾體型明顯比雄蟾大。體色大致呈紅褐色或黑褐色。身上有許多疣狀凸起，眼後有一對大型突出的耳後腺。盤古蟾蜍的耳後腺和疣都會分泌毒液，受到很大的刺激時，會分泌毒液。繁殖期從 9 月到隔年 3 月，尤其秋季經常可見到水池、溪流中到處都是泡在水中的盤古蟾蜍，牠們在水域中求偶、產卵進行繁殖，雄蟾不會主動發出叫聲吸引雌蟾，而是一起聚集到水域，由雄蟾主動追求雌蟾。一次可產 4,000 顆以上的卵粒。蝌蚪常聚集成一大群。
1.蟾蜍屬 <i>Bufo</i>	
盤古蟾蜍*	
<i>Bufo bankorensis</i>	
二、赤蛙科 Ranidae	拉都希氏赤蛙身體背部兩側各有一條明顯的長棒狀皺褶突起，所以又稱為闊褶蛙。體長約 4 到 6 公分，幾乎是整年都有繁殖行為。只要有水，不論是水池、溪流、水溝或路邊的積水，都能利用作為繁殖棲地。從平地到中海拔山區，幾乎都有分布紀錄。牠們幾乎整年都在鳴叫，但以春天及秋天較為活躍。雄蛙僅有內鳴囊，所以叫聲低弱、綿長。拉都希氏赤蛙每次產卵 350-450 粒，卵徑約 1.3-1.5 公釐，具有黏性，呈長條狀纏繞在水草上，或黏在落葉上；或聚成團狀，有時會數十個卵塊聚成一大團。
1.水蛙屬 <i>Hylarana</i>	
拉都希氏赤蛙	
<i>Hylarana latouchii</i>	
2.臭蛙屬 <i>Odorrana</i>	台灣特有種。斯文豪氏赤蛙屬大型蛙，體長約 6 至 10 公分。背部顏色變化多端，主要為綠色、褐色或綠色褐色交雜。身體修長，趾端膨大呈吸盤狀，以適應溪流生活。有一對明顯的外鳴囊，其叫聲「啾—」很像鳥叫，所以又稱為「鳥蛙」。繁殖期可從 2 月持續到 10 月，尤其春、秋兩季特別活躍，叫聲也更為頻繁。常在淺水區域的石頭底下或石縫裡產卵，卵白色大型，卵徑可達 0.3 公分。一次產 40-50 顆，常成小堆產在淺水區域的石頭底下或石縫裡。
斯文豪氏赤蛙*	
<i>Odorrana swinhoana</i>	

附錄 4、本研究所記錄蛙種的特徵與生態習性介紹（續 1）

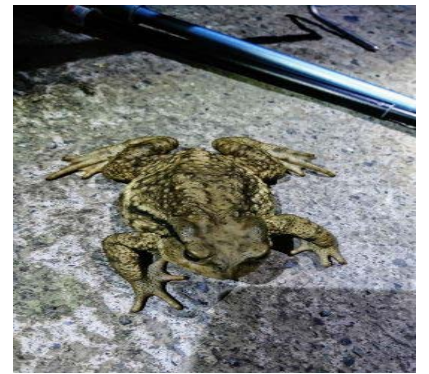
蛙種名稱	特徵與生態習性描述
3.蛙屬 <i>Rana</i>	台灣特有種。梭德氏赤蛙的體長約 4 至 6 公分。鼓膜周圍有一塊黑褐色的菱形斑，並形成一個黑眼罩。背部褐色或灰褐色，經常有一個小小的八字形黑斑，身體兩側各有一條細長明顯的皺褶。每年 9 至 12 月，會從森林底層遷移到溪流裡進行繁殖活動。由於在溪流繁殖，叫聲往往被流水聲掩蓋，雄蛙沒有外鳴囊叫聲不明顯，雄蛙經常大量聚集採主動搜索方式，抱住雌蛙，然後再發出細細柔柔的求偶叫聲「嘖」。卵塊呈透明球狀並具有黏性，經常黏在溪床石頭底下。蝌蚪腹面有吸盤，以適應溪流生活。
梭德氏赤蛙*	
<i>Rana sauteri</i>	
三、樹蛙科	過去被稱為日本樹蛙的族群，近年經研究證實劃分為兩種蛙類。原分布於台灣西南部和東部的族群被命名為太田樹蛙(<i>Buergeria otai</i>)，為台灣特有種，原分布於台灣北部到嘉義朴子溪以北的族群則命名為周氏樹蛙。周氏樹蛙體型不大，體長約 2 至 4 公分。體色常隨環境而變化，背部有 X 形或 H 形深色花紋，腹部白色，前肢及後肢有深褐色橫帶。身體背面有許多顆粒狀突起，背中央近肩胛處有一對短棒狀突起是主要特徵。終年繁殖叫聲不斷，雄蛙有單一外鳴囊，叫聲是高亢短促的「噦、噦、噦」，類似蟲鳴。繁殖期從 2 月到 10 月。
1.溪樹蛙屬 <i>Buergeria</i>	
周氏樹蛙	
<i>Buergeria choui</i>	
(原稱：日本樹蛙)	
(<i>Buergeria japonica</i>)	
2.溪樹蛙屬 <i>Buergeria</i>	台灣特有種。褐樹蛙的體長約 5 到 9 公分，在樹蛙家族屬中大型蛙。雄蛙及雌蛙的體型差異大，這是溪流繁殖蛙類的特性之一。眼睛大而突出，虹膜有銀白色及褐色兩色，好像英文 T 字。雄蛙有單一外鳴囊，經常聚集成小群在石頭上鳴叫。繁殖期 5 月到 8 月，雌蛙體型很大，產卵前，雌蛙會先伸腿交互踢幾下，然後產一小團卵粒，雄蛙也會配合雌蛙動作伸長身體，以提高授精率，每次產卵 300-400 粒，卵小型、一粒粒分離黏在石頭底下，通常聚成一堆。蝌蚪為底棲性，通常吸附在石頭上，出現於溪邊水流較緩的地方。
褐樹蛙*	
<i>Buergeria robusta</i>	

附錄 4、本研究記錄蛙種的特徵與生態習性介紹（續 2）

蛙種名稱	特徵與生態習性描述
3.原指樹蛙屬 <i>Kurixalus</i> 艾氏樹蛙 <i>Kurixalus eiffingeri</i>	艾氏樹蛙體長約 3 至 5 公分，體色多變，可從淡褐色變到綠色。牠們的皮膚上有許多顆粒狀的突起，前肢、小腿及第五趾外側都散布著細小的白點，但以小腿和足部相接處的白點最明顯。不論雌雄蛙，拇指基部都有發達的內掌瘤，呈紅色的突起。台灣西部族群主要繁殖季節為 3 月到 9 月，東部族群則是在 9 月至次年 3 月。除了利用竹筒進行繁殖，積水的樹洞、鐵柱、石縫、甚至水箱、洗衣機的排水管也都被利用。
4.泛樹蛙屬 <i>Polypedates</i> 布氏樹蛙 <i>Polypedates braueri</i>	布氏樹蛙體長約 5 到 7 公分。身體背面為紅褐色、褐色或淺褐色，有 2 到 4 條深褐色縱帶並間雜一些斑點。上唇邊緣為白色，鼓膜上方皮褶為橘紅色，眼鼻線及鼓膜上方的皮褶下側有一條黑線。腹側、鼠蹊部及後肢股部具有黑白相間成網格狀花紋。平常棲息在樹上，在春天及夏天繁殖，約從 4 月到 9 月；尤其喜歡在春雨及梅雨時節活動。繁殖時，常聚集在水邊的植物葉面上或在地面遮蔽物底下鳴叫，雄蛙有單一外鳴囊，牠們的叫聲有如連珠炮般的「搭、搭、搭」。
5.樹蛙屬 <i>Rhacophorus</i> 莫氏樹蛙* <i>Rhacophorus moltrechti</i>	台灣特有種。綠色的中型樹蛙，體長約 4 至 6 公分。大腿內側呈鮮豔的橘紅色或淡橘色。眼睛虹膜橘紅色，在台灣北部及東北部的莫氏樹蛙通常在春天及夏天繁殖；中南部在夏天及秋天產卵；東部花蓮地區則是在冬季繁殖。在潮溼的山區如溪頭，則終年繁殖。近年的研究發現，其繁殖期在不同海拔族群間具有明顯的差異。繁殖時，雄蛙常在落葉底下挖一個淺淺的洞藏身鳴叫，也喜歡躲在水溝旁邊的石縫、鬆鬆的土堆或草根處，有時也會爬到樹上高歌。卵塊是白色泡沫狀，直徑約 8 公分，常產於植物根部或爛泥堆中。蝌蚪大型黑色，尾長為體長兩倍。

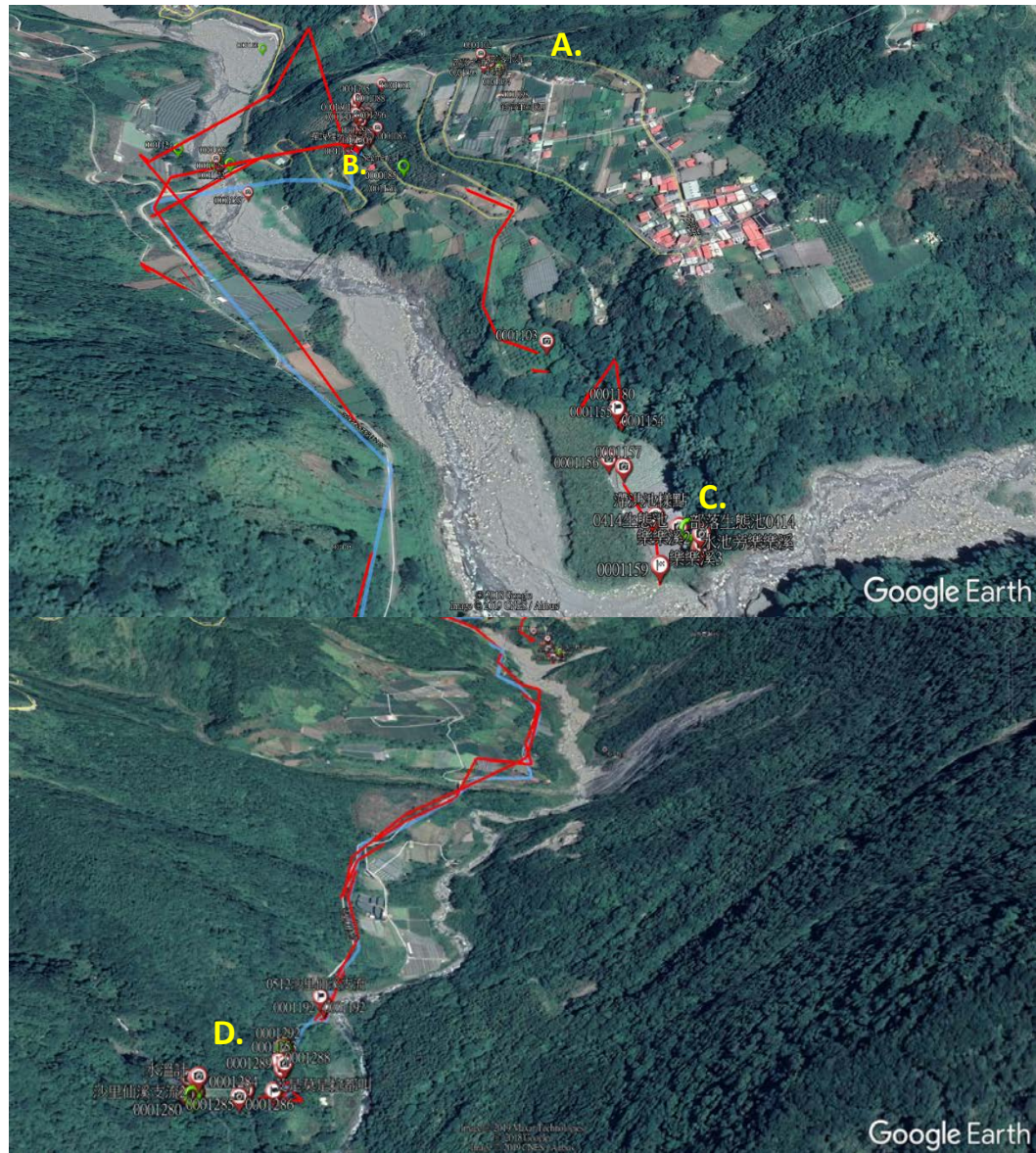
附錄 5、本研究所調查記錄的蛙種照片

莫氏樹蛙(左上圖)、褐樹蛙(上中圖) 盤古蟾蜍(右上圖)、斯文豪氏赤蛙(左中圖)、
梭德氏赤蛙(右中圖)、日本樹蛙(左下圖)、拉都希氏赤蛙(右下圖)



附錄 6、本研究各調查樣區的相對位置圖

部落渠道樣區(A)、庭院水池樣區(B)、農用埤塘樣區(C)、以及沙里仙溪澗樣區(D)
之相對位置圖



參考文獻

- 王佳琪。2011。紅外線數位自動相機應用於野生動物監測及導覽之評估。玉山國家公園管理處。南投縣。
- 呂光洋。2008。國家公園氣候變遷指標動物族群(以山椒魚為例)監測計畫。玉山國家公園管理處。南投縣。
- 呂光洋。2009。氣候暖化對玉山主峰附近山椒魚族群可能影響之探討和監測(1/3)。玉山國家公園管理處。南投縣。
- 呂光洋。2010。氣候暖化對玉山主峰附近山椒魚族群可能影響之探討和監測(2/3)。玉山國家公園管理處。南投縣。
- 呂光洋。2011。氣候暖化對玉山主峰附近山椒魚族群可能影響之探討和監測(3/3)。玉山國家公園管理處。南投縣。
- 巫奇勳。2004 年。東埔地區兩棲爬行動物群聚組成之調查報告。內政部營建署玉山國家公園管理處。南投縣。
- 侯平君、陳清旗。2008。南仁山生態保護區兩棲類族群之長期監測。墾丁國家公園管理處委託研究報告。屏東縣。
- 柳宗佑。2020。不同海拔莫氏樹蛙的鳴叫活動。國立嘉義大學生物資源學系碩士論文。嘉義市。
- 翁慶豐。2012。玉山國家公園高山地區生物多樣性調查-兩棲類指標物種遺傳物質分析。玉山國家公園管理處。南投縣。
- 翁慶豐。2014。玉山國家公園兩生類對環境壓力之適應性調查與生態教材規劃。玉山國家公園管理處。南投縣。
- 陳逸君。2015。104 年度東埔社區生態旅遊發展暨培力計畫（二）。玉山國家公園管理處。南投縣。
- 許竹君。2018。蓮華池地區之蛙類群聚的鳴叫活動季節與日鳴叫模式。國立嘉義大學生物資源學系碩士論文。嘉義市。
- 許富雄。2015。臺灣蛙類熱點族群特徵與群聚結構多樣性之研究—天候因素與靜水域繁殖蛙類之鳴叫物候關係。科技部研究專題計畫。台北市。

- 許富雄、林政道。2019。玉山國家公園長期生態監測與指標生物研究之先期規劃案玉山國家公園管理處。南投縣。
- 許富雄、林政道、郭淳棻。2019。玉山國家公園 1982 至 2018 年之脊椎動物研究回顧與物種清查。國家公園學報 29 (2): 1-27。
- 楊懿如。2010。臺灣蛙類的分布及棲地利用。臺灣博物季刊，29 卷第 3 期，46-49 頁。
- 楊懿如。2018 年。台灣蛙類野外族群趨勢監測研究行政院農業委員會林務局。台北市。
- 楊懿如。2019。台灣蛙類與蝌蚪圖鑑。貓頭鷹出版社。台北市。
- 溫華霞。2001。太魯閣國家公園布洛灣地區莫氏樹蛙生殖生態學研究。國立東華大學自然資源與環境學系碩士論文。花蓮縣。
- 蔡雯嘉。2011。太魯閣國家公園莫氏樹蛙(*Rhacoporus moltrechti*)繁殖活動之海拔變異。國立東華大學自然資源與環境系碩士論文。花蓮縣。
- 關永才。2004。兩棲爬行動物資源調查方法及技術。整合性生物資源調查人力培訓研習會。1-29 頁。行政院農委會林務局。台北市。
- Akmentins, M. S., Pereyra, L. C., Sanabria, E. A., & Vaira, M. 2015. Patterns of daily and seasonal calling activity of a direct-developing frog of the subtropical Andean forests of Argentina. *Bioacoustics* 24(2): 89-99.
- Alford, R. A., & Richards, S. J. 1999. Global amphibian declines: a problem in applied ecology. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 20: 133-165.
- Beebee, T. J. C., & Griffiths, R. A. 2005. The amphibian decline crisis: A watershed for conservation biology? *Biol. Conserv.* 125: 271-285.
- Blaustein, A. R., & Kiesecker, J. M. 2002. Complexity in conservation: lessons from the global decline of amphibian populations. *Ecol. Lett.* 5:597-608.
- Blaustein, A. R., Walls, S. C., Bancroft, B. A., Lawler, J. J., Searle, C. L., & Gervasi, S. S. 2010. Direct and indirect effects of climate change on amphibian populations. *Diversity* 2: 281-313.
- Carey, C., & Alexander, M. A. 2003. Climate change and amphibian declines: is there

- a link? Diversity and Distributions 9(2): 111-121.
- Chou, W. H., & Lin, J. Y. 1997. Tadpoles of Taiwan. Special Publication Number 7. National Museum of Natural Science. Taichung.
- Crump, M. L., & Scott, N. J. 1994. Visual encounter surveys. *In* Measuring and monitoring biological diversity: standard methods for amphibians. Ed. by Heyer, W. R., Donnelly, M. A., McDiarmid, R. W., Hayek, Lee. -Ann., & Foster, M. S. Smithsonian Institution Press, Washington, D. C.
- Cui, J., Song, X., Fang, G., Xu, F., Brauth, S. E., & Tang, Y. 2011. Circadian rhythm of calling behavior in the Emei music frog (*Babina daunchina*) is associated with habitat temperature and relative humidity. Asian Herpetological Research 2(3): 149-154.
- Dalton, R., Diego, S., & Diego, S. 2000. WWW project aims to address worldwide decline in amphibians. Nature 403(3): 471-472.
- de Solla, S. R., Shirosé, L. J., Fernie, K. J., Barrett, G. C., Brousseau, C. S., Bishop, C. A. 2005. Effect of sampling effort and species detectability on volunteer based anuran monitoring programs. Biol. Conserv. 121: 585-594.
- de Solla, S. R., Fernie, K. J., Barrett, G. C., & Bishop, C. A. 2006. Population trends and calling phenology of anuran populations surveyed in Ontario estimated using acoustic surveys. Biodiversity and Conservation 15: 3481-3497.
- Gibbs, J. P., & Breisch, A. R. 2001. Climate warming and calling phenology of frogs near Ithaca, New York, 1900-1999. Conservation Biology 15: 1175-1178.
- Glover, T., & Mitchell, K. 2008. An introduction to Biostatistics. 2nd ed. Waveland Press, Inc. Long Grove, IL.
- Halfwerk, W., Dixon, M. M., Ottens, K. J., Taylor, R. C., Ryan, M. J., Page, R. A., & Jones, P. L. 2014. Risks of multimodal signaling: bat predators attend to dynamic motion in frog sexual displays. The Journal of Experimental Biology 217: 3038-3044.

- Harris, C. M. 1966. Absorption of sound in air versus humidity and temperature. *The Journal of the Acoustical Society of America* 40(1): 148-159.
- Heyer, W. R., Donnelly, M. A., McDiarmid, R. W., Hayek, L. A. C., & Foster, M. S. 1994. *Measuring and monitoring biological diversity, standard methods for amphibians*. Smithsonian Institution Press, Washington, DC.
- Klaus, S. P. 2012. *Correlates and temporal variation in call phenology of eastern Ontario frogs*: Queen's University (Canada). ProQuest Dissertations Publishing.
- Klaus, S. P., & Loughheed, S. C. 2013. Changes in breeding phenology of eastern Ontario frogs over four decades. *Ecology and evolution*, 3(4): 835-845.
- Lande, R., Devries, P. J., & Walla, T. R. 2000. When species accumulation curves intersect: implication for ranking diversity using small samples. *Oikos* 89: 601-605.
- Lemckert, F., & Grigg, G. 2010. Living in the 80s-seasonality and phenology of frog calling activity at Darkes Forest from 1987-1989. *Australian Zoologist*, 35(2): 245-250.
- Llusia, D., Márquez, R., Beltrán, J. F., Benítez, M., & Amaral, J. D. 2013. Calling behaviour under climate change: geographical and seasonal variation of calling temperatures in ectotherms. *Global Change Biology* 19: 2655-2674.
- Matthiopoulos, J., Fieberg, J., Aarts, G., Beyer, H. L., Morales, J. M., & Haydon, D. T. 2015. Establishing the link between habitat selection and animal population dynamics. *Ecological Monographs* 85(3): 413-436.
- Oseen, K. L., & Wassersug, R. J. 2002. Environmental factors influencing calling in sympatric anurans. *Oecologia*, 133(4): 616-625.
- Parmesan, C. 2007. Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming. *Glob. Change Biol.* 13: 1860-1872.
- Plenderleith, T. L., Stratford, D., Lollback, G. W., Chapple, D. G., Reina, R. D., & Hero, J. M. 2017. *Calling phenology of a diverse amphibian assemblage in*

- response to meteorological conditions. *International Journal of Biometeorology*: 62(5): 873-882.
- Prado, C. P. A., Uetanabrao, M., & Haddad, C. F. B. 2005. Breeding activity patterns, reproductive modes, and habitat use by anurans (Amphibia) in a seasonal environment in the Pantanal, Brazil. *Amphibia-Reptilia* 26: 211-221.
- Saenz, D., Fitzgerald, L. A., Baum, K. A., & Conner, R. N. 2006. Abiotic correlates of anuran calling phenology: the importance of rain, temperature, and season. *Herpetological Monographs* 20: 64-82.
- Schalk, C. M., & Saenz, D. 2016. Environmental drivers of anuran calling phenology in a seasonal Neotropical ecosystem. *Austral Ecology* 41(1): 16-27.
- Steelman, C. K., & Dorcas, M. E. 2010. Anuran calling survey optimization: developing and testing predictive models of anuran calling activity. *Journal of Herpetology* 44: 61-68.
- Wells, K. D. 2007. *The Ecology and Behaviour of Amphibians*. University of Chicago Press, Chicago.
- Walpole, A. A., Bowman, J., Tozer, D. C., & Badzinski, S. 2012. Community-level response to climate change: shifts in anuran calling phenology. *Herpetological Conservation and Biology* 7: 249-257.

謝 誌

本研究案首先要感謝鍾銘山處長對於本案的鼓勵與支持，以及許富雄老師在研究過程中給與建議及指導，本自行研究案才得以完成。事實上自從我畢業到現在，雖然曾經寫過一篇關於不同海拔和繁殖棲地對盤古蟾蜍形態之影響的文章，很慚愧地是我對蛙類的繁殖生態與環境因子之間的影響等，相關知識的瞭解及所知仍十分有限。當初跟許老師談到要來執行本研究，其實很心虛，十分感謝許老師仍究以無比包容及耐心提供研究的規劃與指導，並協助本研究的分析及調查資料的斧正，且給予我再一次認識蛙類生態的機會。而開車與學弟們每二個月上山一起去收集蛙蛙的聲音及夜間田野調查，讓我在這段過程中又可以重新學習。除了許老師以外，學弟們在蛙種聲音精準的判識能力都讓我在研究當中有不少的學習。公務生涯當中能有這麼一段單純的田野夜間調查，日後不管是在對蛙類研究的瞭解，或是在東埔村一鄰的生態旅遊的經營管理，都有許多的啟發與助益，也是我的公務生涯當中一段很美好的時光。調查期間，東埔一鄰溪流及池塘型棲地的勘查，謝謝司聖慰(avalı)的協助，有他的幫忙才能順利的在夜晚暢行無阻地在部落的私人水池，或者沙里仙溪瀑布進行觀察，及架設 HOBO 溫、濕度記錄器，不致於被居民當作外來客驅趕或報警處理；很感謝當地白先生願意提供他私人的灌溉水池，以及蟬說雅築溫泉旅館的老闆願意讓我們這一年來，每兩個月的夜晚到訪，研究的池塘型棲地資料收集才得以順遂。司聖慰與曹義春是我東埔一鄰部落的好朋友，在研究期間給予我不少的精神支持，在研究的空檔時間，有時還可以去他們家烤火，砍大山，有他們在部落幫忙，這樣的部落調查格外的比其他人來的幸運。本研究蛙類田野調查，要感謝嘉義大學生物資源學系野生動物實驗室包括：陳璿中、柳宗佑、黃昱凱、李曜丞、蔡東霖、張維升、徐冠儒、陳昱丞及王昱侑等人；感謝他們在野外調查的協助、蛙鳴強度的辨識；因為有他們的協助，本篇文章才能有較完整的野外蛙類繁殖生態與蛙鳴趨勢等相關資訊呈現，特別感謝陳璿中在後續資料分析、彙整，還有煩人的行政事務工作上的協助，還有柳宗佑不管在文獻搜集、野外調查以及後續蛙鳴資料分析方面都提供很多寶貴的建議與協助，也感謝我的家

人，無私的包容，不會過度擔心或過問，讓我能順利的完成這報告，以及曾經對本研究案付出的各位，感謝你們，因為你們的幫忙，研究才能如期完成。



*「本報告僅係個人之研究/規劃意見，僅供玉山國家公園管理處施政之參考」

*「本報告之著作財產權屬玉山國家公園管理處所有，非經玉管處同意，不得重製、仿製或為其他之侵害」