

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高中組 動物與醫學科

052004

入侵種斑腿樹蛙對彰化青蛙多樣性的影響

學校名稱：國立溪湖高級中學

作者： 高一 謝宜洛 高一 莊文凱	指導老師： 楊雅雯
-------------------------	--------------

關鍵詞：夏農生物多樣性指數、貢德氏赤蛙、年雨量

# 摘要

利用夜間調查與 Excel 資料分析 2008~2023 年 1 月的資料顯示，彰化平地黑眶蟾蜍最易見，其次為澤蛙、斑腿樹蛙、貢德氏赤蛙等 8 種。而淺山地區依序為拉都希氏赤蛙、黑眶蟾蜍、澤蛙、貢德氏赤蛙、斑腿樹蛙等 15 種。分析黑眶蟾蜍、澤蛙、斑腿樹蛙與貢德氏赤蛙，牠們鳴叫的季節與環境非常類似，顯示可能有繁殖或蝌蚪上的競爭。探討彰化在斑腿樹蛙入侵前後青蛙種類與數量的變化，發現平地的貢德氏赤蛙在數量與分布上都明顯變少，淺山的貢德氏赤蛙與布氏樹蛙的數量似乎也變少。利用夏農生物多樣性指數來進行各年分析，其變動與中部年雨量有一致性。進一步利用兩棲類調查志工的資料分析全台斑腿樹蛙入侵區 32 個樣點中，有 16 個有貢德氏赤蛙減少的現象，需要後續持續追蹤。

## 壹、前言

### 一、研究動機

從 2010 年加入台灣兩棲類動物調查志工的大家族，在夜間進行蛙類的調查，是我的日常。我們的樣點在 2012 年之後陸陸續續開始出現斑腿樹蛙，這個入侵外來種真的會讓蛙類生物多樣性下降嗎？還是彰化平地本來就沒什麼樹蛙，斑腿樹蛙的入侵可以補進這個生態空缺，讓彰化平地蛙類種數加一，生物多樣性升高！為了想找出藏在調查數據裡的故事，我們試圖先分析彰化青蛙的時空分布，再利用全台兩棲類動物調查志工的資料來進行全台斑腿樹蛙入侵區更大規模的分析，想知道入侵種斑腿樹蛙在彰化造成的影響，是否在其他地方也有發生。

### 二、研究目的

- (一) 了解彰化地區青蛙的種類與數量。
- (二) 了解彰化地區青蛙出現與繁殖的氣候環境。
- (三) 了解斑腿樹蛙入侵後，對彰化青蛙生物多樣性的影響。
- (四) 分析全台斑腿樹蛙入侵區，是否有跟彰化一致的趨勢。

### 三、文獻探討

斑腿樹蛙(*Polypedates megacephalus*)屬於樹蛙科(Rhacophoridae)泛樹蛙屬(*Polypedates*)，體型大而修長，雄蛙體長平均 5 公分，雌蛙平均 7.4 公分。原產於中南半島、華南地區與印度(楊懿如和李鵬翔，2019)。2006 年在台中梧棲首度被發現，推測是由彰化縣田尾鄉的植栽商業意外引進，後續幾年逐漸擴散到台灣西部，在 2008 年被列入外來種。在 2010 年經由兩棲志工調查，新北市八里區、鶯歌區已經有分布；2022 年全台除台東縣以外皆有分布，是強勢入侵種(楊懿如，2023)。

外來入侵的蛙類在生態的危害，主要為捕食原生小型蛙種、帶來傳染病和與生態地位相近的生物發生競爭(劉家瑞，2019)，有研究資料顯示斑腿樹蛙會吃掉原生小型蛙種(陳立瑜，2014)，劉家瑞(2019)的研究提到斑腿樹蛙的蝌蚪在競爭上比原生蛙種更有優勢。陳建志(2015)指出在新北、桃園、彰化、台中都呈現一個快速擴張的趨勢，尤其是開墾地、靜止水域與流動水域，都是牠喜歡利用的棲地類型。在八卦山與大肚山的調查資料都發現，自從斑腿樹蛙入侵後，布氏樹蛙的數量大幅減少(楊懿如，2023)。

生物多樣性包含了遺傳多樣性、物種多樣性與生態系統多樣性。物種多樣性包含了物種數與相對豐量，而物種多樣性越高就代表生態系統愈不會因為少數物種的變動而造成環境重大的改變，維持生物多樣性便可維持生態系的穩定及平衡(金恆鏞和趙榮台，2011)。生態學家發展出許多物種多樣性的指數，最常用的就是夏農生物多樣性指數 (Shannon-Wiener's diversity index,  $H'$ )，它可以反映在一個生態系統中，不同物種的豐富度 (即物種的數量) 和均勻度 (即物種數量之間的平衡)。即：

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \log p_i$$

S：群落的物種數





$p_i$ ：第 i 種物所占的比例

$H'$  的最小值為 0，即為群落中僅有單一物種， $H'$  會隨生物種類豐富度及個體數在種間是否分配均勻而遞增。

彰化縣屬於亞熱帶季風氣候區，年平均溫度約在 23°C 左右，氣候溫和怡人，冬季為乾季，以東北季風為主。全縣面積約 107,440 公頃，已開發登錄用途的土地佔全縣土地之 94%，其中又以農牧用地及養殖用地佔地最廣(農委會，2007)。平地佔 87.71%、山坡地區(標高 100 公尺至 1,000 公尺下)佔 9.33%，主要分布於彰化縣東側之八卦山脈地區(農委會，2007)。一個以平地、農牧開墾地為主的縣市，會有那些蛙種？季節的影響大不大？斑腿樹蛙入侵的影響大不大？

斑腿樹蛙與本土原生種布氏樹蛙(*Polypedates braueri*)外貌十分相似。有許多論文都在討論斑腿樹蛙與布氏樹蛙間的競爭關係(蔡玉如，2013；劉家瑞，2019；楊懿如，2021)。但彰化平地並沒有布氏樹蛙分布，甚至樹棲性的蛙類都相當罕見。那斑腿樹蛙入侵後，是補進這個生態的空缺，讓彰化平地蛙類種數加一，生物多樣性升高？還是依舊有與之競爭的受災戶呢？

## 貳、 研究設備與材料

頭燈	水溫度計	溫溼度計	記錄本
			

圖一、夜間調查所需要的設備

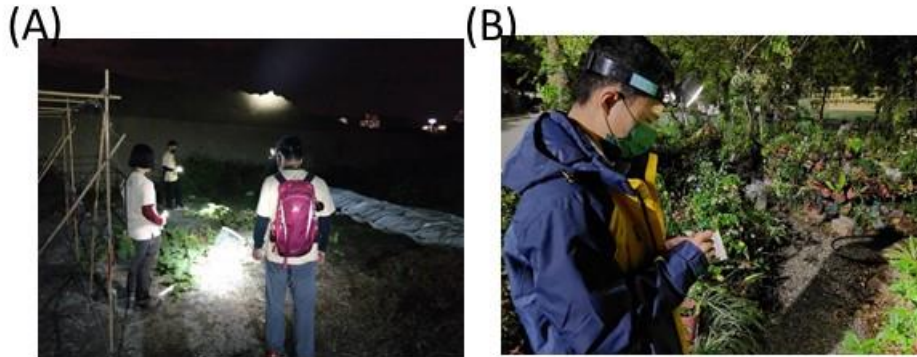
## 參、 研究過程與方法

### 一、夜間調查

進行夜間調查時，我們會先記錄環境因子，包括水溫、氣溫和相對溼度。而調查蛙種用的方式有兩種：

(一)目視遇測法(Visual encounter method)：在特定時間內，有系統的走過一特定路線或區域，記錄其蛙種，然後沿路返回，若與相同蛙種則不再記錄。

(二)鳴叫計數法(Audio strip transects)：利用蛙種特殊的求偶鳴叫計數，計算雄蛙的數量，進而推算數量及物種。(陳建志，2015)



圖二、夜間觀察與資料蒐集

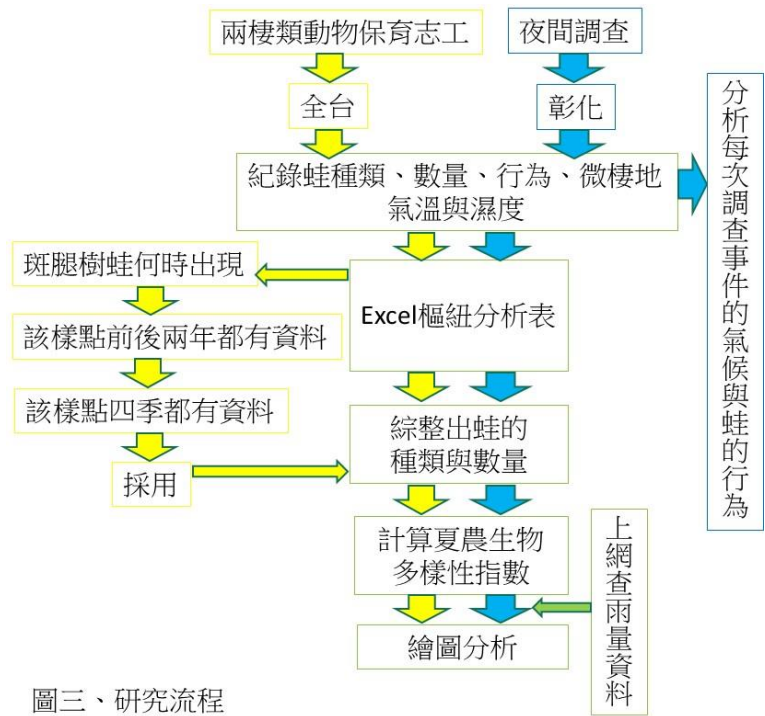
### 二、用 EXCEL 進行樞紐分析與夏農生物多樣性指數計算與分析

如圖三研究流程所示，我們先分析了彰化的資料(藍色)，裡面包含了 2008~2023 年彰化蛙蛙蛙團隊與 2021~2023 年石碑蛙最棒團隊的調查資料。分析每趟調查的氣溫、濕度、青蛙種類與數量。並找出在斑腿樹蛙出現前後都有調查的兩個樣點(稻香農場、八卦山蝴蝶園)進行生物多樣性—夏農指數的分析。

在於兩棲類調查資訊網(2023)取得全台兩棲類調查的資料(黃色)，將收集到的調查資料彙整成樞紐分析表，確認該樣點在斑腿樹蛙出現前後都有超過 2 年的調查資料，且盡量有四季調查資料，否則則放棄分析該樣點。待檢查完各地點的資料後，統整出保留資料的蛙種與數量，接著開始計算出每次調查事件的夏農指數，並將計算出的數值繪成

折線圖。

由於生物多樣性的變化不限於入侵種的影響，所以我們也上網查了該地區的雨量資料(水文資料整合服務系統，2022)，藉此確認該地區生物多樣性的變動是否與環境或斑腿樹蛙的入侵有關。



圖三、研究流程

## 肆、研究結果

### 一、彰化地區青蛙的種類與數量

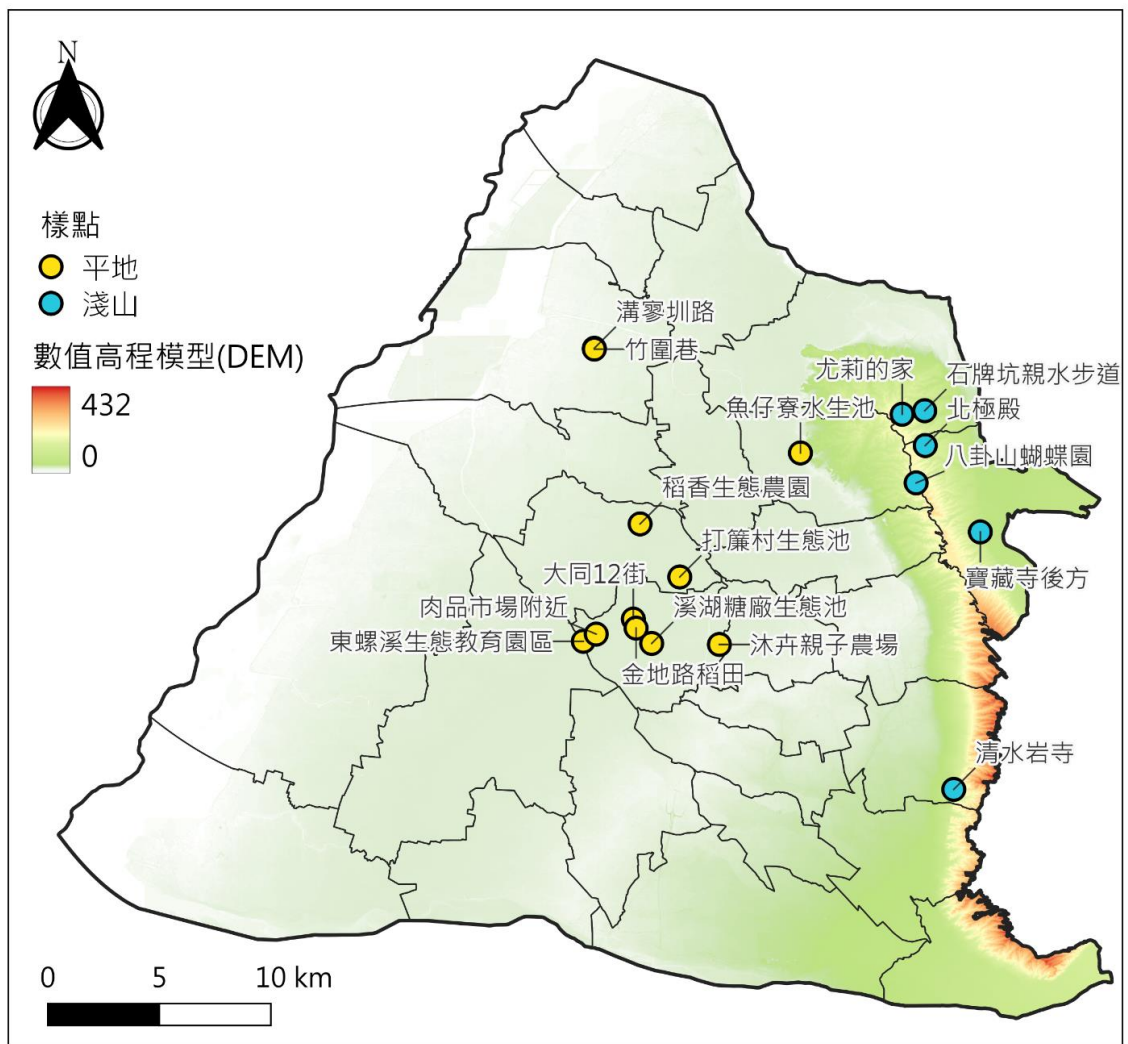
表一與圖四為 2008 年到 2023 年 1 月，兩棲類動物調查志工在彰化地區進行調查的地點與時間，共 17 個樣點，199 次調查事件，1602 筆資料。(作者之一 [REDACTED] 在 2010 年開始加入彰化蛙蛙蛙團隊，參與彰化地區的調查。共參與了 13 個樣點，154 次調查事件，1479 筆資料)

彰化是一個很早開發的地方，擁有平地與淺山，參考兩棲類調查年報的分類方式(李承恩 2020)，將海拔 100 公尺以下稱為平地，100 公尺以上稱為淺山。將所有調查資料依平地與淺山分開，顯示平地的蛙類最常見的為黑眶蟾蜍，其次為澤蛙，再來為斑腿樹蛙、貢德氏赤蛙、小雨蛙、拉都希氏赤蛙、虎皮蛙、腹斑蛙，到目前一共記錄到 8 種(圖五)。而淺山地區最常見的為拉都希氏赤蛙，其次為黑眶蟾蜍，再來為澤蛙、貢德氏赤蛙、斑腿樹蛙等，到目前一共記錄到 15 種(圖六)。可以看出淺山的物種多樣性高出平地許多。圖七為調查期間所拍攝的生物照，辨識腿紋是區分斑腿樹蛙與布氏樹蛙的重要方法(圖七 C)。

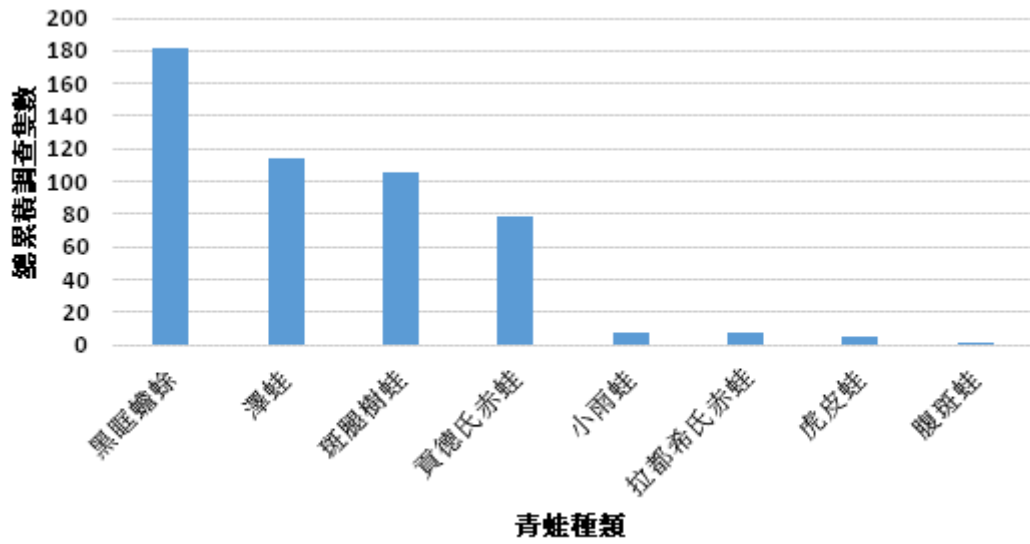
表一、彰化的調查樣點資料

名稱	調查期間	海拔	調查事件(次)	作者參與調查次數
打簾村生態池	2009	3	4	0
溝寮圳路	2019	7	1	1
竹圍巷	2017	10	2	2

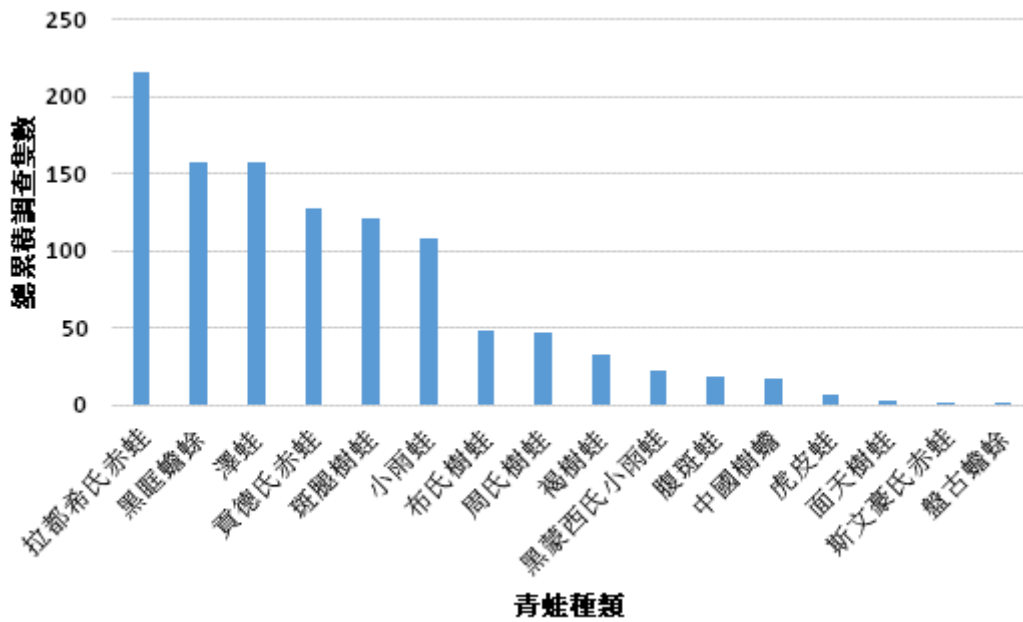
稻香生態農園	2008~2023	13	平地	61	52
東螺溪生態教育園區	2023	14		1	1
肉品市場附近	2015~2019	16		11	11
溪湖糖廠生態池	2022	19		1	1
魚仔寮水生池	2008	22		4	0
大同 12 街	2014~2019	23		6	6
金地路稻田	2019	23		1	1
沐卉親子農場	2014	24		3	3
石牌坑親水步道	2021~2023	102		10	0
寶藏寺後方	2019	105	淺山	1	1
清水岩寺	2017~2023	125		23	23
北極殿(豬母湖北側)	2018~2020	146		11	11
尤莉的家	2021~2023	184		9	0
八卦山蝴蝶園	2008~2020	214		50	41



圖四、彰化調查樣點分布位置



圖五、2008~2023 年彰化平地樣區、青蛙種類與數量的調查



圖六、2008~2023 年彰化淺山樣區、青蛙種類與數量的調查

(A)黑眶蟾蜍



(B)澤蛙



(C)斑腿樹蛙



(D)拉都希氏赤蛙



(E)貢德氏赤蛙



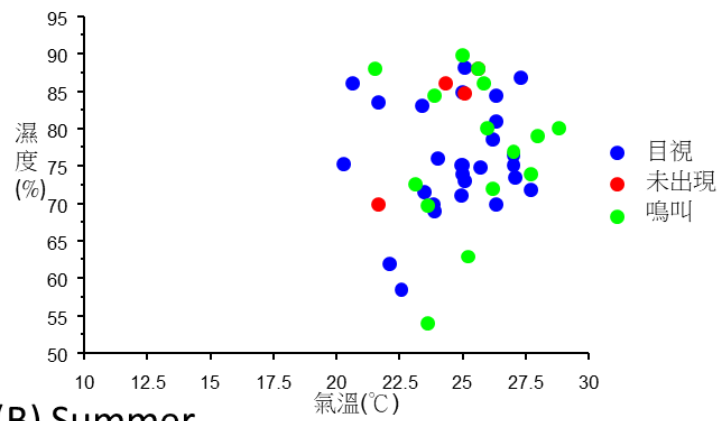
圖七、彰化常見青蛙的生態照(自行拍攝)

## 二、彰化地區青蛙出現與繁殖的氣候環境

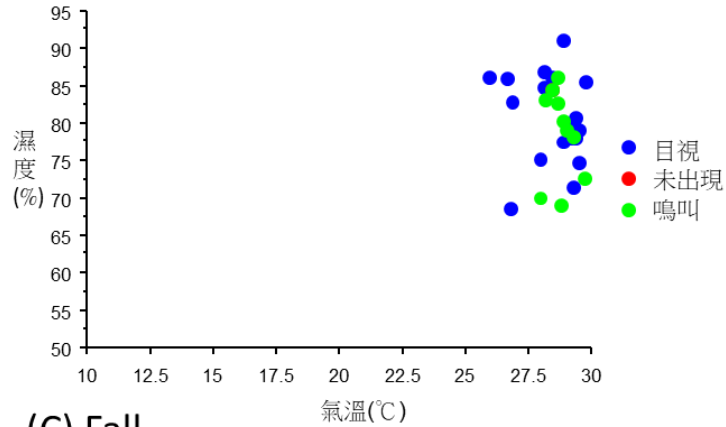
我們把 3~5 月的調查資料歸類在春天、6~8 月稱為夏天、9~11 月稱為秋天、12~2 月稱為冬天。分析彰化平地地區四種常出現的青蛙：黑眶蟾蜍、澤蛙、貢德氏赤蛙與斑腿樹蛙，所出現的季節、溫度與溼度。發現牠們的鳴叫聲(繁殖季)都集中在春夏，而冬末 2 月較溫暖的夜裡，黑眶蟾蜍就會開始鳴叫(圖八)，是彰化最早開始繁殖的蛙種。秋天澤蛙還有零星的鳴叫(圖九)，是彰化較晚結束繁殖季的蛙種，其他蛙種則非常少在 9~11 月的秋天鳴叫。但青蛙們似乎要在秋天多覓食，以準備過多，所以秋天的夜間調查很容易目視到青蛙。貢德氏赤蛙在冬天幾乎不出現(圖十)，黑眶蟾蜍、澤蛙與斑腿樹蛙在溫暖一些的冬天會出現，而斑腿樹蛙曾經在 13°C 的夜晚被捕獲(凍僵狀態)，那一天的日夜溫差很大、白天很溫暖(圖十一 D)。



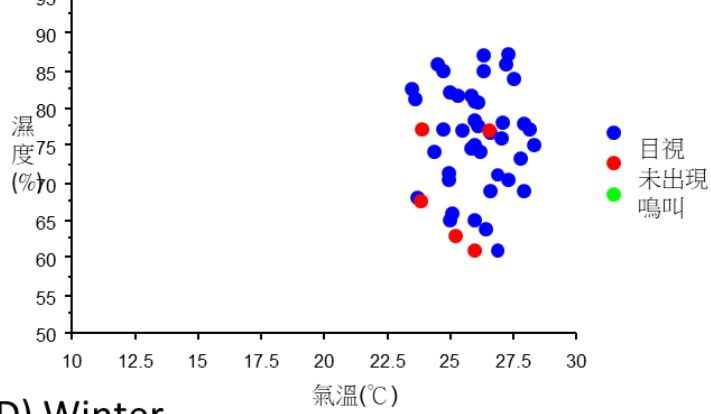
(A) Spring



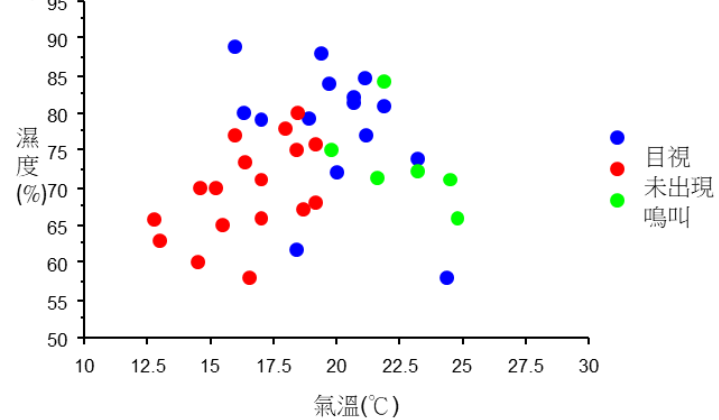
(B) Summer



(C) Fall

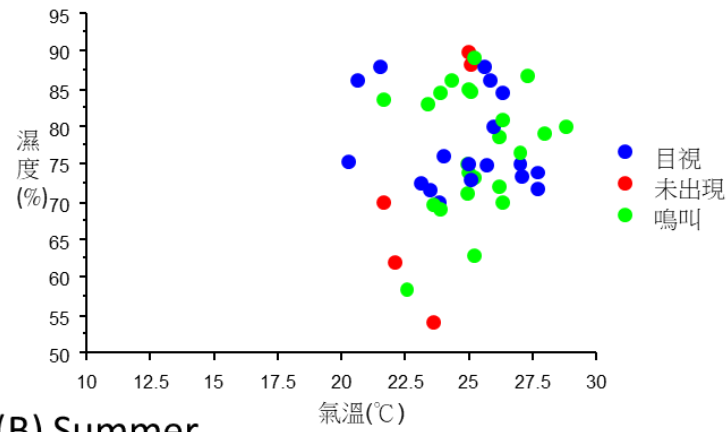


(D) Winter

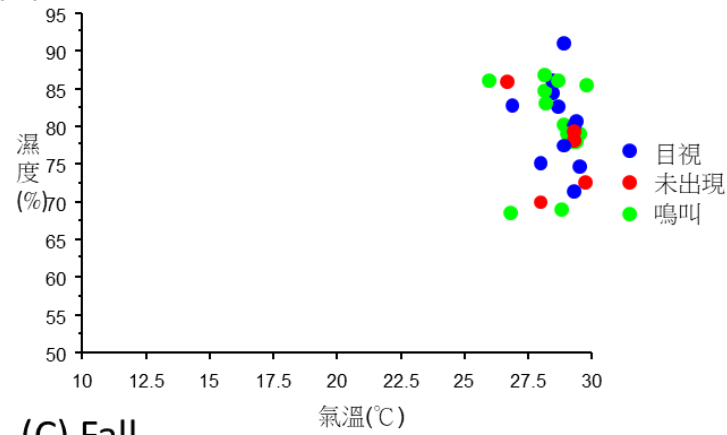


圖八、四季黑眶蟾蜍的出現和鳴叫與溫溼度間的關係

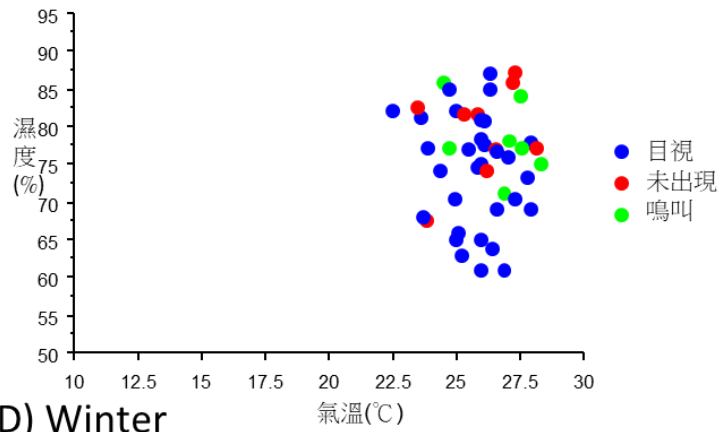
(A) Spring



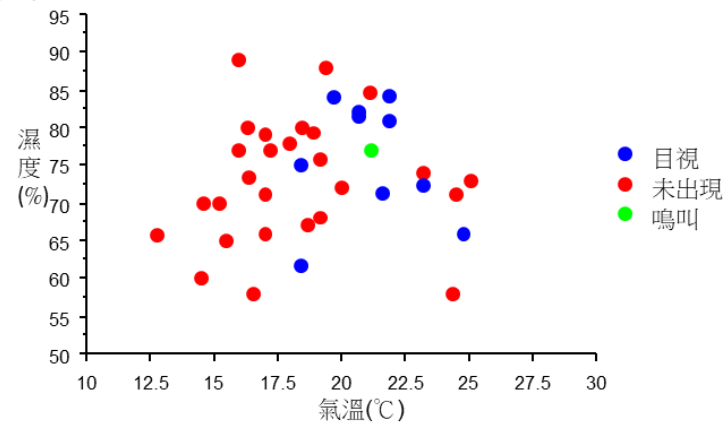
(B) Summer



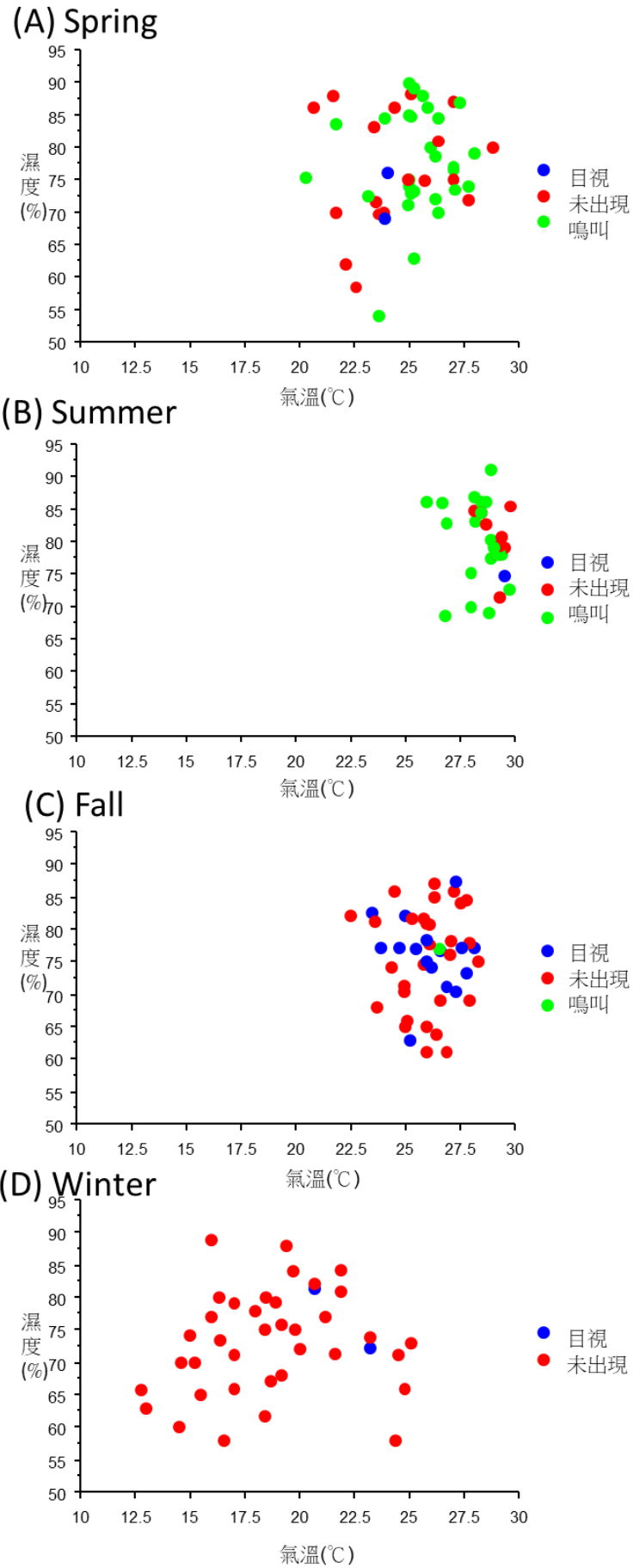
(C) Fall



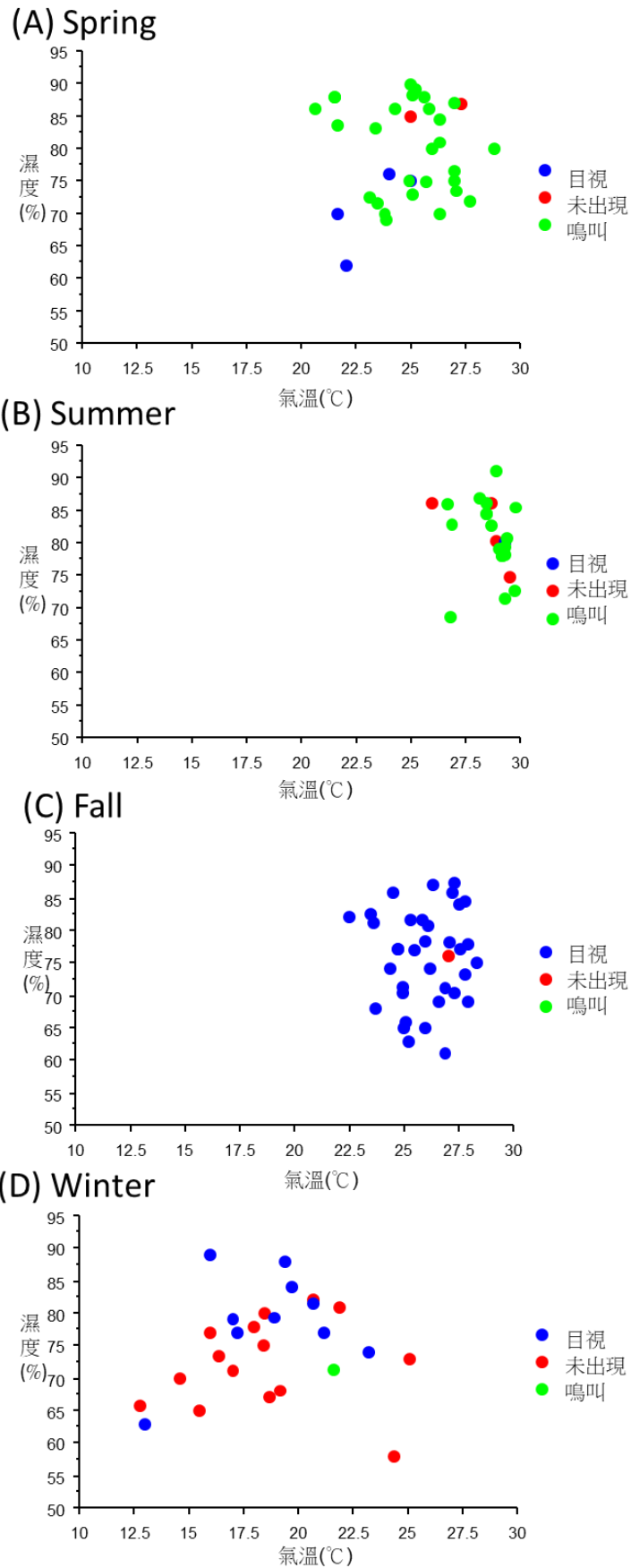
(D) Winter



圖九、四季澤蛙的出現和鳴叫與溫溼度間的關係



圖十、四季貢德氏赤蛙的出現和鳴叫與溫溼度間的關係



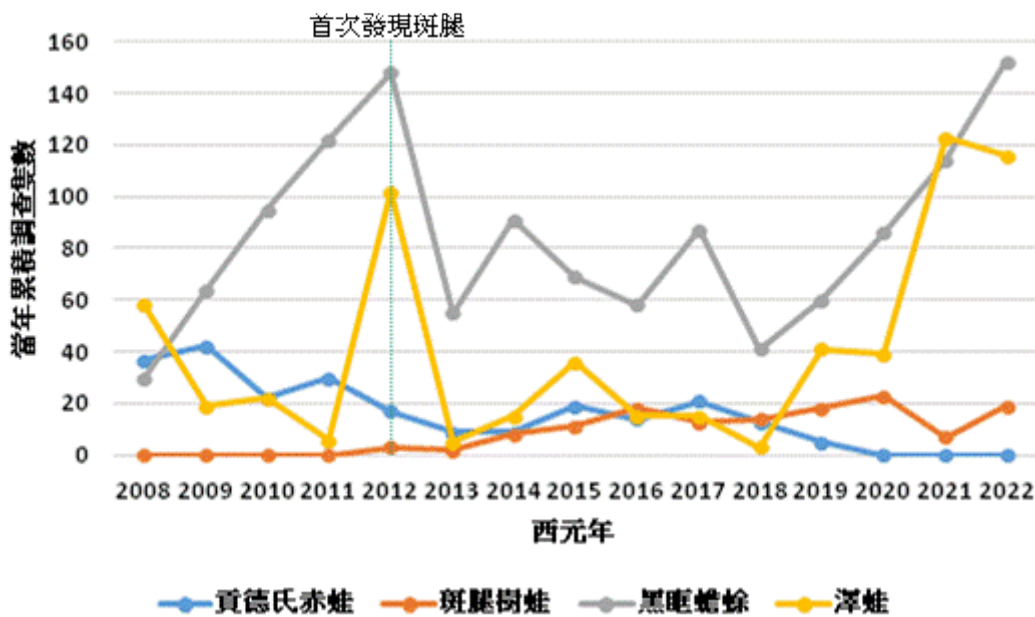
圖十一、四季斑腿樹蛙的出現和鳴叫與溫溼度間的關係

### 三、斑腿樹蛙入侵，對彰化青蛙生物多樣性的影響

#### (一)稻香農場

稻香農場周圍在 2012 年 4 月首次發現斑腿樹蛙，在調查時如果有辦法捕捉就會進行移除。以稻香農場最常見的五種青蛙繪製年間變化(圖十二)，可以見到斑腿樹蛙入侵後，即使有進行移除，但數量依舊成長，以發現斑腿樹蛙的前一年 2011 開始繪製斑腿樹蛙數量變化的趨勢線為  $y=1.6x+1.2$ 。在 2008~2017 年數量相當多的貢德氏赤蛙，卻漸漸地減少，近兩年完全沒有發現 (貢德氏赤蛙數量變化的趨勢線  $y=-2x+24$ )。

2012、2021 與 2022 年澤蛙與黑眶蟾蜍觀察數量大量增加，是因為調查時剛好遇到雄蛙集體鳴叫，記錄到的隻數就會比較多。而澤蛙與黑眶蟾蜍常被發現在水田裡鳴叫，而農業大縣的彰化水田很多，可能因此數量維持在平地的一、二名(圖五)。

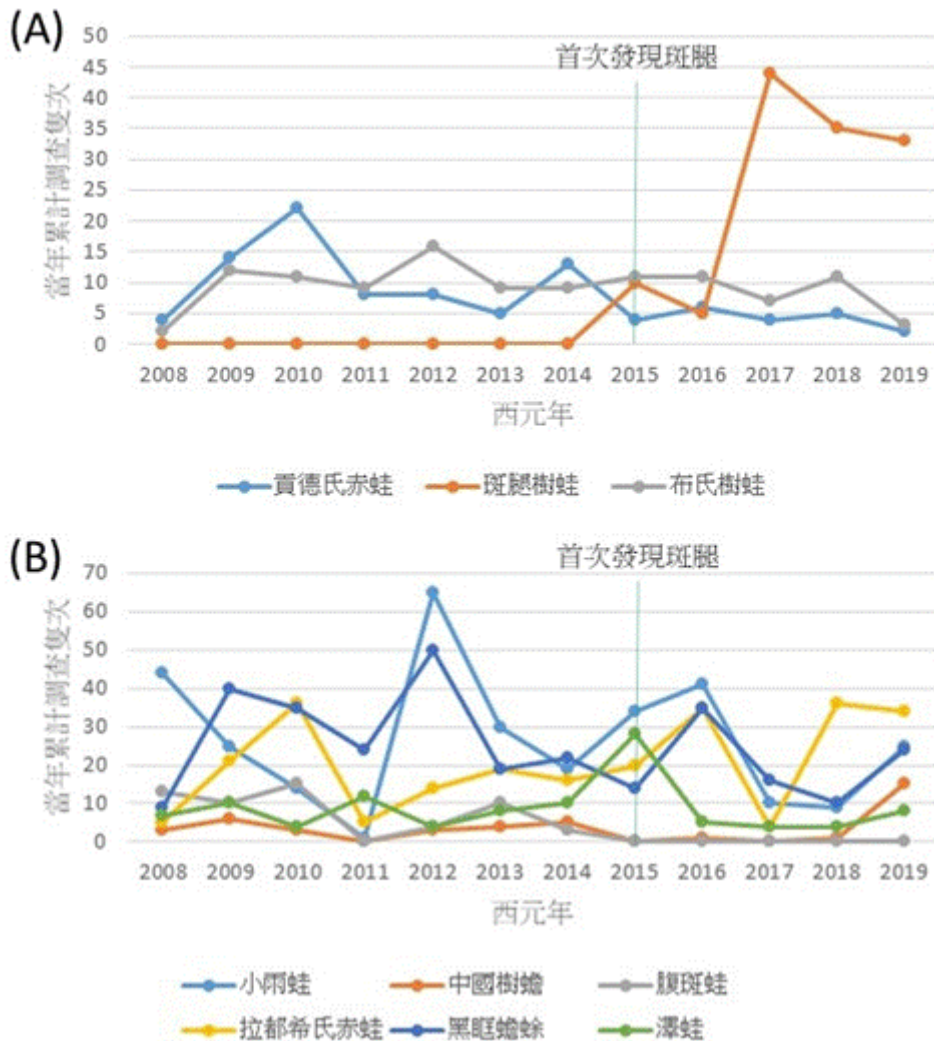


圖十二、2008~2022 年稻香農場五種青蛙的數量變化

#### (二)八卦山蝴蝶園

八卦山蝴蝶園在 2015 年 4 月首次發現斑腿樹蛙，比平地樣點晚了 3 年，在調查時如果有辦法捕捉就會進行移除。以八卦山蝴蝶園最常見的九種青蛙繪製年間變化(圖十三)，發現斑腿樹蛙入侵後，數量快速成長，而貢德氏赤蛙與布氏數蛙似乎越來越少(圖十三 A)。利用斑腿樹蛙尚未出現的那幾年的數量的平均值當作起始值進行趨勢線分析，貢德氏赤蛙的趨勢線為  $y = -1.1959x + 9.4476$ ；布氏樹蛙的趨勢線為  $y = -1.0449x + 12.276$ 。其他六種青蛙的數量則沒有明顯的變化趨勢(圖十三 B)。

2015 年調查時，發現生態池的底部防水布似乎有破損，導致蓄水功能受到影響，水變得越淺，植物越會往池塘長過去，生物相有演替的狀況。在調查資料上出現數量的高峰，常是因為遇到一群雄蛙一同鳴叫，觀測到的數量才會突然增加。



圖十三、2008~2019年八卦山蝴蝶園九種青蛙數量變化

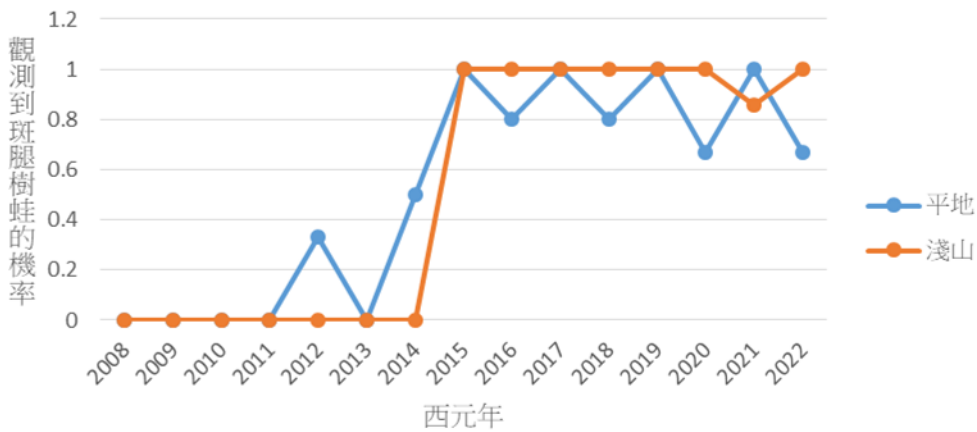
### (三) 青蛙的分布是否在變動？

稻香農場(圖十二)與八卦山蝴蝶園(圖十三 A)的貢德氏赤蛙都在減少，但不知道八卦山蝴蝶園貢德氏赤蛙的減少是否是生態池蓄水功能減弱造成，我們決定增加個分析方法。

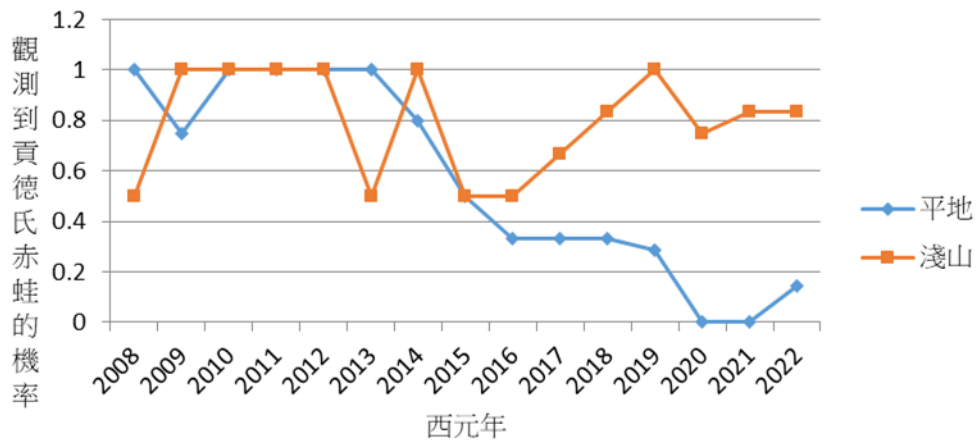
利用 2008~2022 年春、夏最容易觀察到青蛙的季節的調查資料，將資料分為平地與淺山(表一)，依據那幾次的調查事件是否觀測到斑腿樹蛙，繪製出當年每趟夜間調查能觀測到斑腿樹蛙的機率(圖十四 A)，也用相同的方法分析貢德氏赤蛙(圖十四 B)。

結果顯示，斑腿樹蛙進駐之後，淺山區的觀測機率幾乎是 100%，淺山這適合蛙類生存的地方，斑腿樹蛙來了也很喜歡這環境。平地的觀測率變動較大，我們認為是平地受人類活動影響更大，所以環境因子變動更大。而貢德氏赤蛙分布的減少，平地非常的明顯，並非只發生在我們長期調查的稻香農場(圖十四 B)。而淺山還需要更多資料才看得出來。

### (A) 斑腿樹蛙



### (B) 貢德氏赤蛙



圖十四、2008~2022 年的調查事件中，觀測到該蛙種的機率

#### (四)利用夏農生物多樣性指數分析

生物的種類與數量起起落落，變化很大(圖十二、十三)，很難看得出這個樣點的生物多樣性是維持、還是變差了，尤其我們想分析斑腿樹蛙的入侵，是不是會降低該地的生物多樣性，所以我們找了生態學課本提到的夏農生物多樣性指數來整合分析我們的數據。

我們把 0 代表發現斑腿樹蛙首度出現的那一年，A1 代表斑腿樹蛙入侵之後的一年，B1 代表斑腿樹蛙入侵之前的一年，繪製成圖十五。可以看到稻香農場在 B1~B2 的時候已經開始下降了，而八卦山蝴蝶園是 A1~A2 時下降(圖十五)。



圖十五、發現斑腿樹蛙前後之年分、夏農生物多样性指數之變化

#### (五)加上年雨量資料分析

生物多样性的下降，真的是入侵種的影響嗎？有沒有可能只是環境比較差，導致生物多样性下降呢？

青蛙是喜歡水的生物，所以我們把歷年生物多样性的資料與中區年雨量一起繪圖，發現稻香農場的生物多样性指數與年雨量有相當一致的變化(圖十六)。而八卦山蝴蝶園2009~2010年生物多样性的降低，與稻香農場及年雨量趨勢一致，但2016~2017年生物多样性的降低則與年雨量無關。

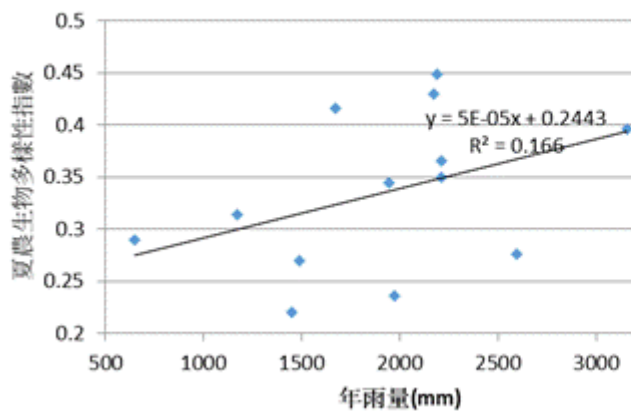


圖十六、稻香與八卦山蝴蝶園生物多样性指數與中部年雨量之變化

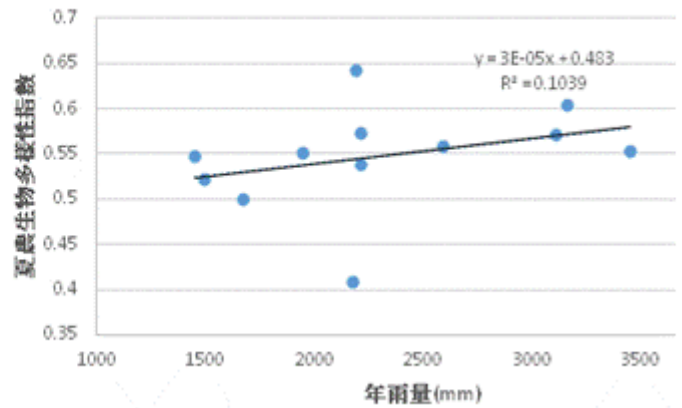
進一步將年雨量資料與夏農生物多样性指數做相關性分析，發現皆為正相關(圖十七)。



(A) 稻香農場



(B) 八卦山蝴蝶園



圖十七、稻香與八卦山蝴蝶園夏農指數與年雨量之相關性

#### 四、分析全台斑腿樹蛙入侵區，是否有跟彰化一致的趨勢

到底斑腿樹蛙的入侵會不會降低生物多樣性？我們利用全台兩棲調查志工的資料進行分析，試圖了解全台斑腿樹蛙入侵區，是否有跟彰化的樣點一樣，有生物多樣性指數下降，或有貢德氏赤蛙減少的情況。

我們先過濾有出現斑腿樹蛙的樣點，再檢查這個樣點的調查資料，必須在斑腿樹蛙出現前 2 年就開始調查，在斑腿樹蛙出現後還有超過 2 年的調查資料。最後收錄的分析樣點如表二與圖十八，共 32 個樣點。

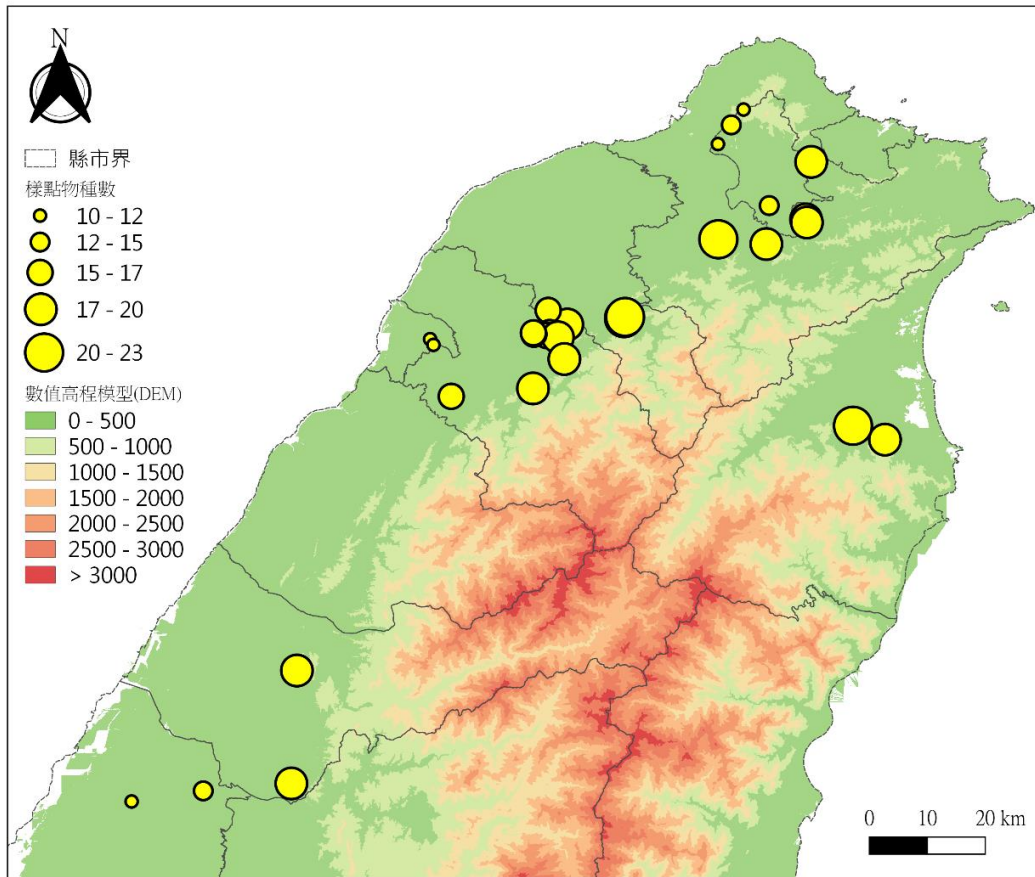
表二、全台斑腿樹蛙入侵區的調查樣點資料

團隊名稱	縣市	鄉鎮	地點	海拔 (m)	斑腿首現	物種數	夏農指數	夏農指數趨勢
宜蘭李佳翰團隊	宜蘭縣	冬山鄉	三富農場	100	2018.6	20	0.878	$y = -0.0283x + 0.97$
	宜蘭縣	冬山鄉	淋漓坑水生池	113	2017.4	21	0.903	$y = -0.0001x + 0.91$
深坑大頭蛙	新北市	深坑區	王軍寮母子樹	109	2017.9	19	0.986	$y = 0.0012x + 0.99$
	新北市	深坑區	阿柔洋產業道路	145	2016.8	18	0.915	$y = 0.0605x + 0.76$
台北快樂蛙	新北市	土城區	山中湖	297	2015.6	22	1.097	$y = 0.0084x + 1.07$
親親小蛙	新北市	淡水區	二子坪	832	2019.7	12	0.752	$y = -0.0099x + 0.78$
天羽蛙	新北市	汐止區	翠湖	75	2018.4	18	0.966	$y = -0.0204x + 1.29$
	台北市	北投區	貴子坑水保園	126	2019.6	14	0.757	$y = 0.0205x + 0.61$

關渡自然公園蛙蛙小組	新北市	新店區	青潭里	65	2017.7	20	0.913	$y = -0.0104x + 1.2$	
	台北市	北投區	關渡自然公園	13	2013.5	10	0.536	$y = 0.0065x + 0.57$	
富陽	台北市	大安區	富陽自然公園	0	2014.7	15	0.859	$y = -0.0087x + 0.94$	
百吉國小	桃園市	大溪區	百吉國小	290	2017.4	23	0.840	$y = -0.0168x + 0.9$	
	桃園市	大溪區	竹林步道	304	2017.4	19	0.910	$y = 0.0085x + 0.82$	
	桃園市	大溪區	花開了	285	2017.4	19	0.927	$y = -0.002x + 0.98$	
	桃園市	大溪區	慈惠堂	289	2017.4	21	0.783	$y = -0.0649x + 1.09$	降
桃園藍鵲家族	桃園市	龍潭區	南窩口	314	2017.1	19	0.956	$y = 0.0036x + 0.94$	
	桃園市	龍潭區	渴望村水池	308	2016.10	16	0.865	$y = 0.0197x + 0.76$	
鹹菜甕蛙蛙	新竹縣	關西鎮	不動明王廟	195	2019.4	16	0.520	$y = -0.0484x + 0.61$	降
	新竹縣	關西鎮	中豐路詹家菜園	170	2017.5	16	0.530	$y = 0.0226x + 0.45$	
	新竹縣	關西鎮	仁安里土地公廟	163	2016.9	16	0.440	$y = -0.0114x + 0.48$	
	新竹縣	關西鎮	四寮溪步道	179	2020.10	20	0.815	$y = -0.0300x + 0.86$	降
	新竹縣	關西鎮	玉山菜田學校	346	2020.4	20	0.838	$y = -0.0207x + 0.89$	
	新竹縣	關西鎮	南山里 4 鄰	143	2018.11	17	0.720	$y = -0.0144x + 0.76$	
	新竹縣	關西鎮	南山里 3 鄰	115	2018.7	16	0.616	$y = 0.0007x + 0.58$	
	新竹縣	峨眉鄉	峨眉國中	97	2019.11	17	0.777	$y = -0.0228x + 1.22$	
新竹荒野	新竹縣	橫山鄉	豐田村油羅田	200	2020.4	18	0.851	$y = -0.027x + 0.9$	
新竹蛙保	新竹市	東區	高峰植物園	76	2019.4	11	0.802	$y = -0.0434x + 0.92$	降
	新竹市	東區	清大蝴蝶園	116	2019.7	11	0.728	$y = -0.0329x + 0.82$	降
TNRS 團隊	台中市	豐原區	烏牛欄溪	246	2019.10	18	0.747	$y = -0.0158x + 0.78$	
台中烏榕頭	台中市	霧峰區	霧峰球場	261	2020.7	19	0.843	$y = 0.0297x + 0.78$	
彰化蛙蛙蛙團隊	彰化縣	芬園鄉	八卦山蝴蝶園	214	2015.4	14	0.823	$y = -0.0071x + 0.56$	
	彰化縣	埔鹽鄉	稻香農園	13	2012.5	10	0.424	$y = -0.0002x + 0.32$	

※黃底字為夏農指數趨勢下降樣點 (斜率介於-0.0649~-0.0300，為後 25%)

紅字為貢德氏赤蛙在減少的樣點



圖十八、全台斑腿樹蛙入侵區的調查樣點分布位置

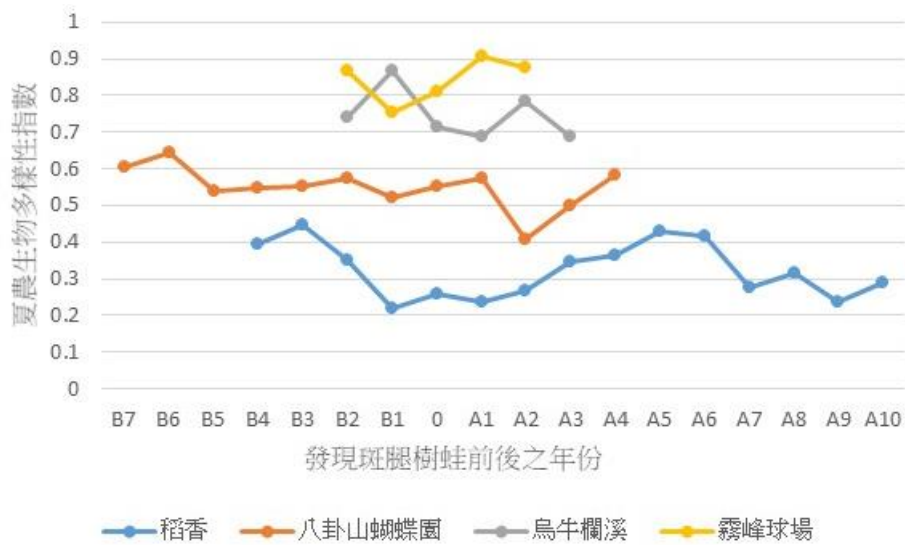
(一)中部樣點

篩選後，除了原來我們彰化的兩個樣點，中部樣點符合要求的只剩烏牛欄溪與霧峰球場。將四個樣點與中部年雨量一同做圖，結果顯示，烏牛欄溪與霧峰球場 2020~2022 年的多樣性指數變化與年雨量趨勢相似(圖十九)。但進一步分析這兩個樣點夏農指數與年雨量之相關性時，則沒有明顯的趨勢。



圖十九、中部樣點生物多樣性指數與中部年雨量之變化

我們再用首次發現斑腿樹蛙的年份為 0 的方式分析，可以看到烏牛欄溪 B1~A1 有個多樣性下降出現，而霧峰球場則無下降趨勢（圖二十）。



圖二十、中部地區，發現斑腿樹蛙前後之年份、生物多样性指數之變化

## (二) 北部樣點

我們先分析中部樣點，是因為與彰化的青蛙種類較為相似，但符合要求的中部樣點實在很少。所以我進一步分析團隊與樣點較多的北部，篩選出符合要求的 28 個樣點，計算出每個調查事件的夏農指數，再計算出平均值，成為那個樣點的夏農指數(表二)。利用斑腿樹蛙尚未出現的那幾年的夏農指數的平均值當作起始值進行趨勢線分析，發現有 5 個樣點生物多样性指數有下降的趨勢(介於-0.0649~-0.0300，為後 25%)，有 1 個樣點有上升的趨勢(介於 0.0300~0.0605，為前 25%)，樣點的詳細資料在表二。

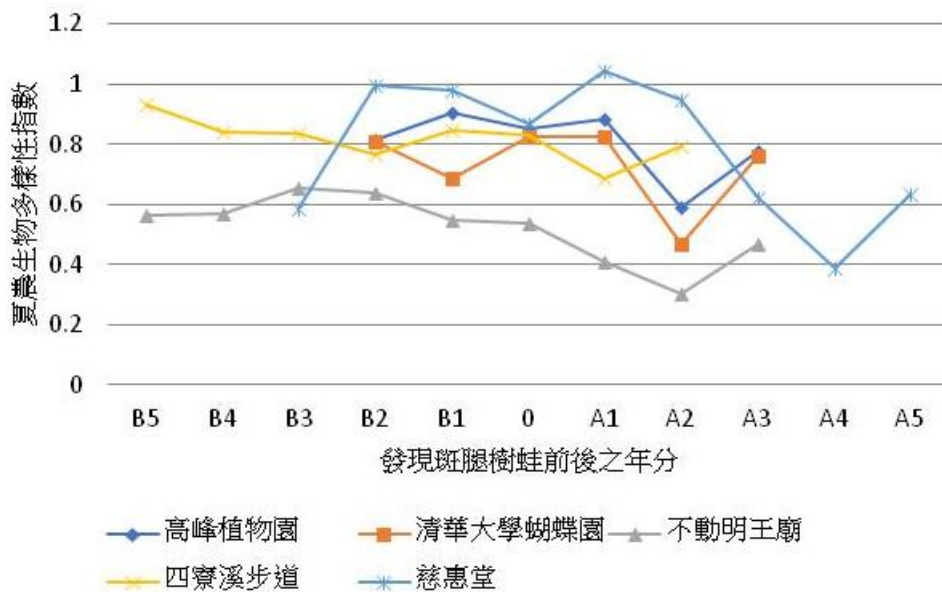
我們依照前面的分析方式，將這五個樣點(慈惠堂、不動明王廟、四寮溪步道、高峰植物園、清大蝴蝶園)與北部年雨量(圖二十一)與斑腿樹蛙出現前後關係(圖二十二)繪製成圖。

根據圖二十一，這五個樣點夏農指數的變化跟年雨量實在看不出有什麼關聯性。



圖二十一、北部生物多樣性指數降低的樣點與北部年雨量之關係

根據圖二十二，斑腿樹蛙入侵前後，生物多樣性都在下降。不過，這是我們特別挑出生物多樣性下降的樣點，還有其他 22 個樣點生物多樣性持平，或是變動很大看不出趨勢，有 1 個樣點上升(表二)。



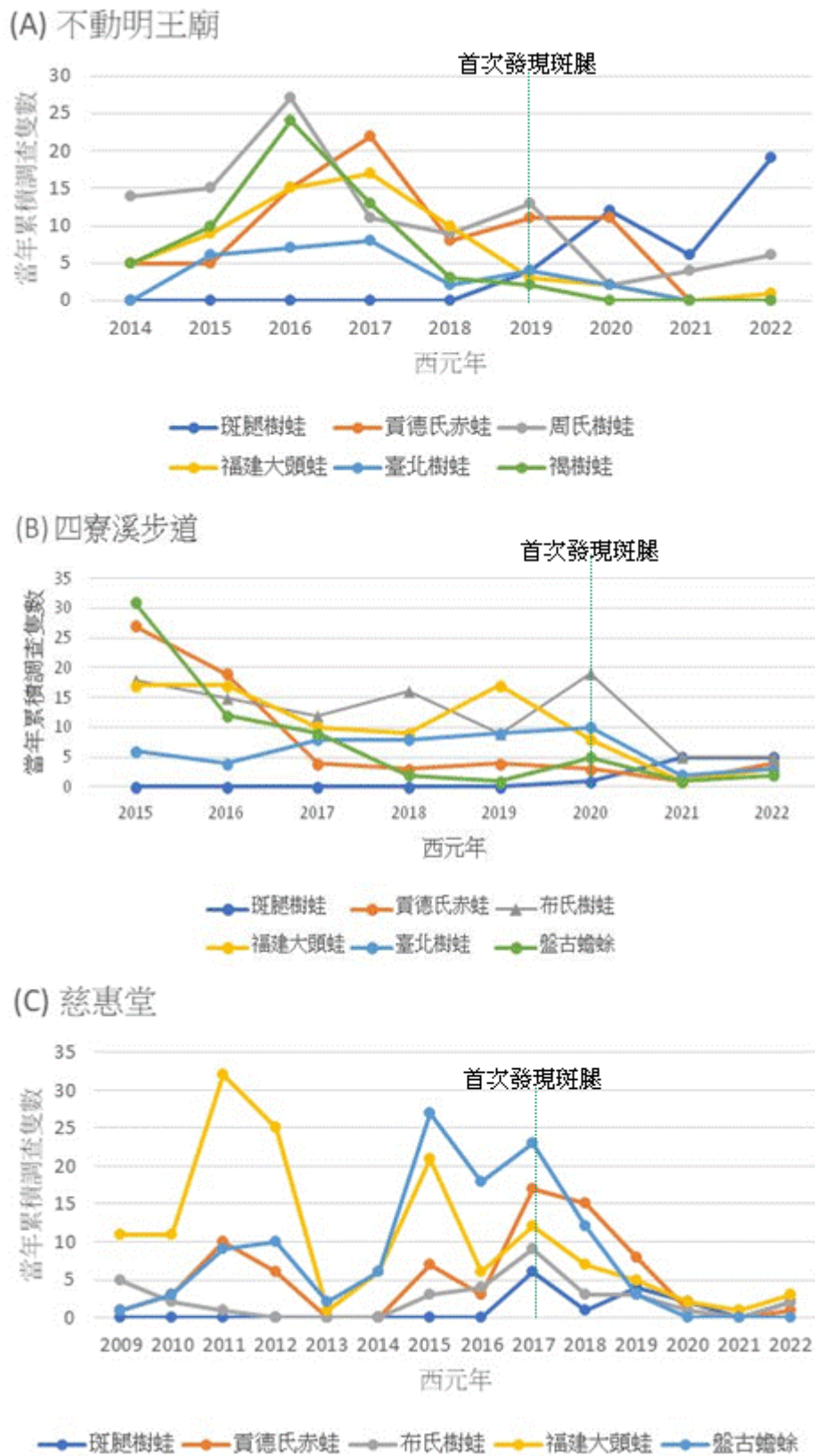
圖二十二、北部地區五個樣點，發現斑腿樹蛙前後之年份、生物多樣性指數之變化

### (三)進一步分析生物多樣性指數下降的樣點

我們很好奇生物多樣性下降的這些樣點到底發生了什麼事，稻香農場是貢德氏赤蛙在減少(圖十二)、八卦山蝴蝶園是貢德氏赤蛙與布氏蛙在減少(圖十三 A)。

我們利用斑腿樹蛙尚未出現的那幾年的青蛙數量的平均值當作起始值進行趨勢線分析，

找出每個樣點數量有下降趨勢的蛙種，加上斑腿樹蛙的數量變化，繪製成圖二十三、二十四。結果顯示，要在夏農生物多樣性指數上看到下降，往往都需要有多個物種發生數量下降。

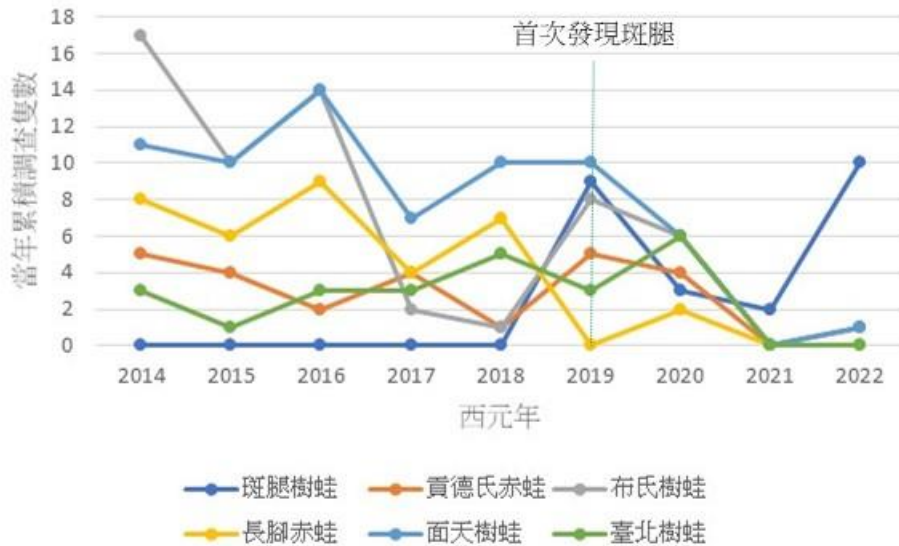


圖二十三、不動明王廟、四寮溪步道與慈惠堂青蛙種類與數量的變化

(A) 高峰植物園



(B) 清大蝴蝶園



圖二十四、高峰植物園與清大蝴蝶園青蛙種類與數量的變化

綜整北部夏農指數下降的五個樣點(圖二十三、圖二十四)，及彰化的稻香農場與八卦山蝴蝶園(圖十二、圖十三)數量減少的蛙種，繪製成表三。分析發現七個樣點都有貢德氏赤蛙減少的情況，六個樣點有布氏樹蛙分布、其中五個樣點有減少的情況。四個樣點有盤古蟾蜍分佈，其中兩個樣點有減少，兩個樣點只出現過一次不易分析。五個樣點有台北樹蛙分布，其中四個樣點有減少的情況。有三個樣點有福建大頭蛙分布，全部都有減少的情況(表三)。

表三、綜整北部夏農指數下降的 5 個樣點及彰化樣點，數量減少的蛙種

地點	減少的蛙種				
不動明王廟	貢德氏赤蛙	台北樹蛙	福建大頭蛙	周氏樹蛙	褐樹蛙
四寮溪步道	貢德氏赤蛙	布氏樹蛙	台北樹蛙	盤古蟾蜍	福建大頭蛙
慈惠堂	貢德氏赤蛙	布氏樹蛙	盤古蟾蜍	福建大頭蛙	
高峰植物園	貢德氏赤蛙	布氏樹蛙	台北樹蛙		
清大蝴蝶園	貢德氏赤蛙	布氏樹蛙	台北樹蛙	長腳赤蛙	面天樹蛙
稻香農場	貢德氏赤蛙				
八卦山蝴蝶園	貢德氏赤蛙	布氏樹蛙			

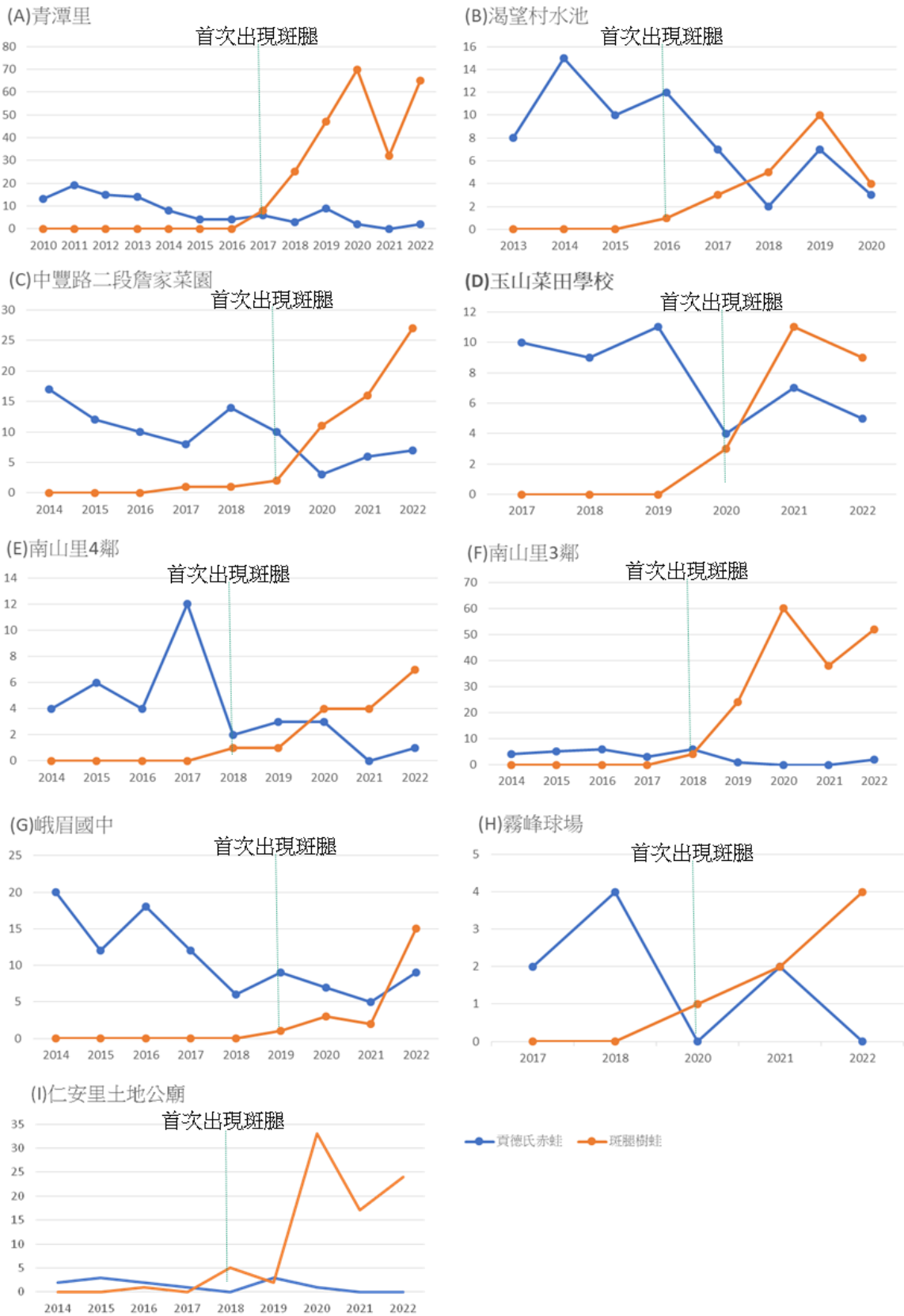
(四)還有貢德氏赤蛙減少的區域嗎？

原來要看到夏農生物多樣性指數的下降，要有多個物種的數量減少才看得到(圖二十、表三)。那我們就好奇是不是有生物多樣性指數未明顯下降的區域，也有貢德氏赤蛙減少的情況？

除了彰化的 2 個樣點(已繪製在圖十二、十三)與夏農指數明顯下降的 5 個樣點(已分析在表三)，在生物多樣性指數未明顯下降的 25 個樣點裡，有 9 個樣點斑腿樹蛙的增加伴隨著貢德氏赤蛙的減少(圖二十五)。詳細的樣點資料在表二紅字處。



當年累計調查隻數



圖二十五、斑腿樹蛙增加、伴隨貢德氏赤蛙減少的樣點

## 伍、討論

### 一、入侵種會讓夏農生物多樣性指數下降嗎？

斑腿樹蛙是布氏樹蛙的近似種，許多論文都在討論兩著間的競爭關係(蔡玉如，2013；劉家瑞，2019；楊懿如，2021)，但彰化平地並沒有布氏樹蛙分布，也罕有樹棲性的蛙類分布，我們本以為斑腿樹蛙的入侵對彰化平地來說是物種多樣性增加，而謝宜洛(2022)小論文分析了稻香農場與新竹的不動明王廟，意外的發現生物多樣性指數的下降。而在做完這個科展後發現，稻香農場 2009~2011 年生物多樣性指數的下降與中部年雨量的下降有高度相關(圖十六)；而不動明王廟有多種蛙類都在減少(圖二十三 A)，才會明顯看到生物多樣性指數在下降(圖二十二)，可能不是一種入侵種蛙類就在帶來這麼大規模傷害。分析全台 32 個斑腿樹蛙入侵區的夏農生物多樣性指數的趨勢(表二)，只有 5 個樣點有較明顯的下降趨勢，所以只能說謝宜洛(2022)小論文的結果是一連串的巧合造成的。

而夏農生物多樣性指數受到種類與數量的連動影響，在分析外來入侵種對當地同類生物的影響上相當不靈敏，往往要有多個物種都有減少的情況，才看得到指數的下降(圖二十二~二十四)。也因為是同類生物，所以在其他原生物種都不改變的情況下，加了一種外來種，夏農生物多樣性指數是會升高的。

我們也曾考慮扣掉斑腿樹蛙，再去算夏農生物多樣性指數，但在討論後覺得不太合理。因牠們是同類生物，共同分享當地「環境最大負荷量」，所以本研究以所有青蛙一起計算夏農生物多樣性指數。

### 二、沒有生物多樣性指數的下降，也有受災戶

沒有生物多樣性指數的下降，就沒有蛙類因斑腿樹蛙的入侵而受害嗎？還是有潛在的受災戶尚未被發現？我們的探索結果似乎顯示貢德氏赤蛙就是那受災戶，尤其我們彰化平地的樣點真的很嚴重(圖十四)。以彰化平地常見的四種青蛙的鳴叫狀況分析，黑眶蟾蜍是除了春夏，還會往前跨到一點冬天(圖八)；而澤蛙是春夏，在往後跨到一點秋天(圖九)。且這兩個物種都會利用水稻田繁殖。而貢德氏赤蛙與斑腿樹蛙都只利用春夏繁殖(圖十、十一)，且很少看到會去利用水稻田，所以牠們可能比較有機會成為競爭對手，至於貢德氏赤蛙到底在哪一方面競爭輸了，會是蝌蚪嗎？需要進一步的研究才會知道。

稻香農場 2010 年的貢德氏赤蛙的數量就下降了，但那個時候斑腿樹蛙尚未入侵(圖十二)！對照圖十五，就可以知道 2010 與 2011 的年雨量較少，整體的青蛙生物多樣性都受到影響。但在年雨量上升，稻香農場整體蛙況逐漸變好時，貢德氏赤蛙卻悄悄地消失了。所以，競爭不見得要面對面打架或搶食，在**由衰轉盛時，恢復得比較快，也是種競爭優勢**。

彰化是否存在「沒有斑腿樹蛙入侵，貢德氏赤蛙的數量依舊很多」的對照組區域呢？有！2022 年 4 月受湖埔社區大學邀約進入溪湖糖廠生態池做夜間觀察導覽，溪湖糖廠四周都是兩公尺高水泥牆，阻擋了 2012 年才來到溪湖的斑腿樹蛙。當晚調查到 19 隻貢德氏赤

蛙，完全沒有斑腿樹蛙。而僅距離 6 公里外的稻香農場，從 2008 年 4 月貢德氏赤蛙 19 隻、2009 年 4 月 18 隻，慢慢減少到 2020 年之後鳴叫聲完全消失。溪湖糖廠生態池這個樣點的資料也呈現在圖十四的 2022 年，讓 2020 年之後都沒有調查到貢德氏赤蛙的平地，能再多了一筆觀測資料。

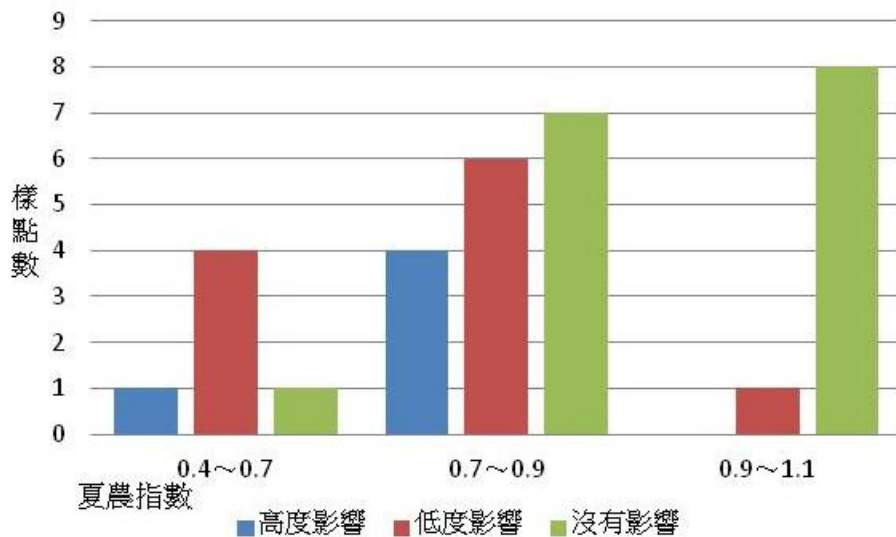
但不是每個同時有斑腿樹蛙與貢德氏赤蛙的區域兩者的數量都呈現負相關，我們認為應該是跟合適青蛙生活的區域大小有關。我們的稻香農場與八卦山蝴蝶園適合青蛙生活的地方都是人為營造出來的，範圍並不大，外來種入侵後的競爭就會比較明顯。

貢德氏赤蛙的數量曾經一度極為稀少，因而在 1989 年被列為保育類。隨著捕捉與販售的減少，加上對都市周邊和郊區的適應能力，根據全台兩棲志工的調查資料顯示數量逐漸增加，因此在 2008 年恢復為一般類動物(台灣地區兩棲類物種描述資料，2011)。但我們的研究顯示在分析的 32 個樣點中，有 16 個樣點有減少的狀況(表二)。彰化的平地除了上述的溪湖糖廠生態池，在平地幾乎看不到了(圖十四)！這情況還需要兩棲類保育志工與協會持續追蹤，並適時提出政策上的建議。

從全台斑腿入侵區的資料分析，發現許多也可能是斑腿樹蛙入侵之後的受災戶，例如：布氏樹蛙、盤古蟾蜍、台北樹蛙、福建大頭蛙。不過，數據只能顯示隨著時間這些蛙類在減少，到底是外來種的影響，還是氣候的影響，還是都有影響，其因果關係相當不容易釐清，所以生態的長期監測是非常重要的。

### 三、外來種入侵後的受災程度是否與當地生物多樣性有關？

從表二可以得知各樣點的夏農指數介於 0.424~1.097 之間，我們將其等分 3 等分，0.4~0.7 當作生物多樣性低 (低 33%)、0.7~0.9 當作中 (中 33%)，0.9~1.1 當作高 (高 33%)；把夏農指數下降的 5 個點當作高度影響，只有貢德氏赤蛙減少的地區當作低度影響，其他當作沒有影響，繪製圖二十六。我們發現夏農生物多樣性指數低的區域，的確較容易受到影響而發生數量或種類的變化。而彰化平地這個很早就開發的地區，生物多樣性落在低，貢德氏赤蛙就從原本的很常見，到後來的近乎消失(圖十四)。彰化的淺山生物多樣性落在中，斑腿樹蛙入侵後似乎愉快地建立了穩定的族群，對其他蛙種的影響還須持續監測，最好能夠適度作移除，減少對原生蛙種的衝擊。



圖二十六、不同生物多樣性的區域，受入侵種影響的變動程度

## 陸、結論

- 一、彰化平地依常見程度依序為黑眶蟾蜍、澤蛙、斑腿樹蛙、貢德氏赤蛙、小雨蛙、拉都希氏赤蛙、虎皮蛙、腹斑蛙，到目前一共記錄到 8 種。而淺山地區依常見程度依序為拉都希氏赤蛙、黑眶蟾蜍、澤蛙、貢德氏赤蛙、斑腿樹蛙、小雨蛙等 15 種。
- 二、分析彰化地區平地的貢德氏赤蛙與斑腿樹蛙，發現牠們繁殖的季節、氣候環境與棲地非常類似。
- 三、在斑腿樹蛙入侵後，彰化平地的貢德氏赤蛙數量與分布大量減少，淺山的貢德氏赤蛙與布氏樹蛙似乎也受影響。
- 四、彰化青蛙夏農生物多樣性指數升降的模式與中部年雨量有一致性，與斑腿樹蛙入侵的關聯性還不清楚。
- 五、夏農生物多樣性指數往往要有多個物種都有減少的情況，才看得到指數的下降。
- 六、全台斑腿樹蛙入侵區，32 個樣點中，有 16 個樣點有貢德氏赤蛙減少的現象，可能是斑腿樹蛙入侵後的潛在受災戶。
- 七、低生物多樣性區，是受入侵種影響的高風險區。

## 柒、參考文獻資料

- 台灣地區兩棲類物種描述資料（2011） 貢德氏赤蛙。行政院農業委員會林務局  
（<https://metadata.froghome.org/page.php?namecode=416165>）
- 水文資料整合服務系統（2022年2月2日）。經濟部水利署水文資訊網  
（<https://gweb.wra.gov.tw/HydroInfo/StDataInfo/StDataInfo?RA&01C57>）
- 李承恩（2020）。2020 台灣兩棲類保育志工調查成果報告。2020 年度蛙報。台灣兩棲類動物  
保育協會
- 兩棲類資源調查資訊網（2023年2月6日）（<https://tad.froghome.org/>）
- 金恆鏞、趙榮台（2011）。生態學概念與應用。台北市：滄海。
- 陳立瑜（2014）。台灣外來入侵種斑腿樹蛙（*Polypedates megacephalus*）食性研究。國立東  
華大學自然資源與環境學系 碩士論文
- 陳建志。（2015）。台灣外來種斑腿樹蛙分布之研究。國立東華大學自然資源與環境學系 碩  
士論文
- 楊懿如（2021）。布氏樹蛙遇見斑腿樹蛙。科學人 234 期 8 月
- 楊懿如、李鵬翔（2019）。台灣蛙類與蝌蚪圖鑑。台北市：貓頭鷹出版
- 楊懿如、吳聲海、林思民（2022）。台灣蛙類寫真。行政院農業委員會林務局
- 楊懿如（2023）。斑腿樹蛙控制手冊。行政院農業委員會林務局
- 彰化縣農地資源空間規劃計畫（2007）。彰化縣環境現況分析。行政院農業委員會
- 劉家瑞（2019）。斑腿樹蛙與布氏樹蛙蝌蚪的共域競爭探討。國立東華大學自然資源與環境  
學系 碩士論文
- 蔡玉如（2013）。外來種斑腿樹蛙與原生種白領樹蛙對棲地之活動能力比較研究。國立臺灣  
大學生物環境系統工程學研究所 碩士論文

## 【評語】 052004

本研究利用夜間調查與 Excel，分析了彰化地區 2008 年至 2023 年 1 月兩生類的資料，並對於這些物種的族群變動提出了可能的原因。非常可貴的是同學親自參與了其中長達 10 年的觀察，提供了上千筆的觀測數據，顯示其研究熱誠與對土地鄉里的熱情，令人感動。

但是本實驗有些部分可再加強，例如：

1. 數據分析可更長更久：該研究僅分析了 2008 年至 2023 年 1 月的資料，這可能限制了對物種在其他時間段的變化和行為的了解。進一步的長期觀察和更廣泛的時間範圍可能提供更全面的結果，未來可再收集其他研究單位 2008 年之前的數據與累積 2023 年之後的數據做更深入分析；
2. 族群變動因素探討不夠完全：儘管觀察到了物種種類和數量的變化，但該研究無法確定這些變化的原因和與其他因素的關聯性。進一步的實驗和分析可能需要考慮其他可能的影響因素，如棲息地變化、環境污染和競爭關係等。

3. 斑腿樹蛙入侵對其他物種影響結果無一致性，很難下結論斑腿樹

蛙的入侵對其他物種族群變動有絕對的影響。

# 作品海報



入侵種斑腿樹蛙對彰化  
青蛙多樣性的影響



# 摘要

利用夜間調查與Excel資料分析2008~2023年1月的資料顯示，彰化平地黑眶蟾蜍最易見，其次為澤蛙、斑腿樹蛙、貢德氏赤蛙等8種。而淺山地區依序為拉都希氏赤蛙、黑眶蟾蜍、澤蛙、貢德氏赤蛙、斑腿樹蛙等15種。分析黑眶蟾蜍、澤蛙、斑腿樹蛙與貢德氏赤蛙，牠們鳴叫的季節與環境非常類似，顯示可能有繁殖或蝌蚪上的競爭。探討彰化在斑腿樹蛙入侵前後青蛙種類與數量的變化，發現平地的貢德氏赤蛙在數量與分布上都明顯變少，淺山的貢德氏赤蛙與布氏樹蛙的數量似乎也變少。利用夏農生物多樣性指數來進行各年分析，其變動與中部年雨量有一致性。進一步利用兩棲類調查志工的資料分析全台斑腿樹蛙入侵區32個樣點中，有16個樣點有貢德氏赤蛙減少的現象，需要後續持續追蹤調查，以作為管理與保育的重要依據。

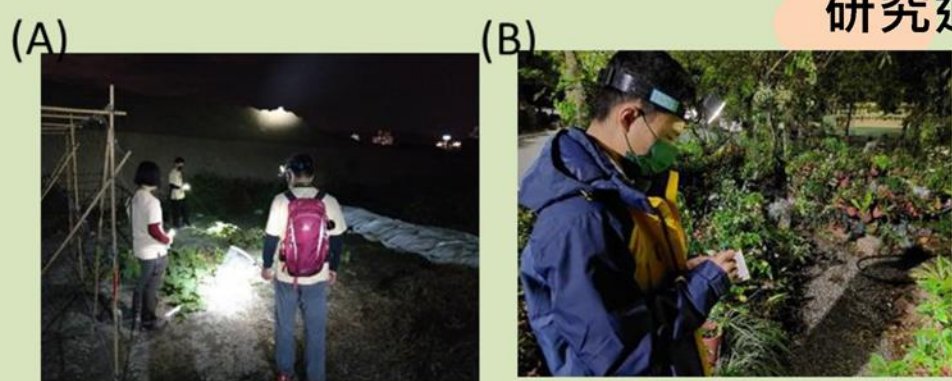
## 研究動機

我們的樣點在2012年之後陸陸續續開始出現斑腿樹蛙，這個入侵外來種真的會讓蛙類生物多樣性下降嗎？還是因為彰化平地本來就沒什麼樹蛙，斑腿樹蛙的入侵可以補進這個生態空缺，讓彰化平地蛙類種數加一，生物多樣性升高！為了想找出藏在調查數據裡的故事，我們試圖先分析彰化青蛙的時空分布，再利用全台兩棲類動物調查志工的資料來進行全台斑腿樹蛙入侵區更大規模的分析，想知道入侵種斑腿樹蛙在彰化造成的影響，是否在其他地方也有發生。

## 研究目的

- 一、了解彰化地區青蛙的種類與數量。
- 二、了解彰化地區青蛙出現與繁殖的氣候環境。
- 三、了解斑腿樹蛙入侵後，對彰化青蛙生物多樣性的影響。
- 四、分析全台斑腿樹蛙入侵區，是否有跟彰化一致的趨勢。

## 研究過程與方法

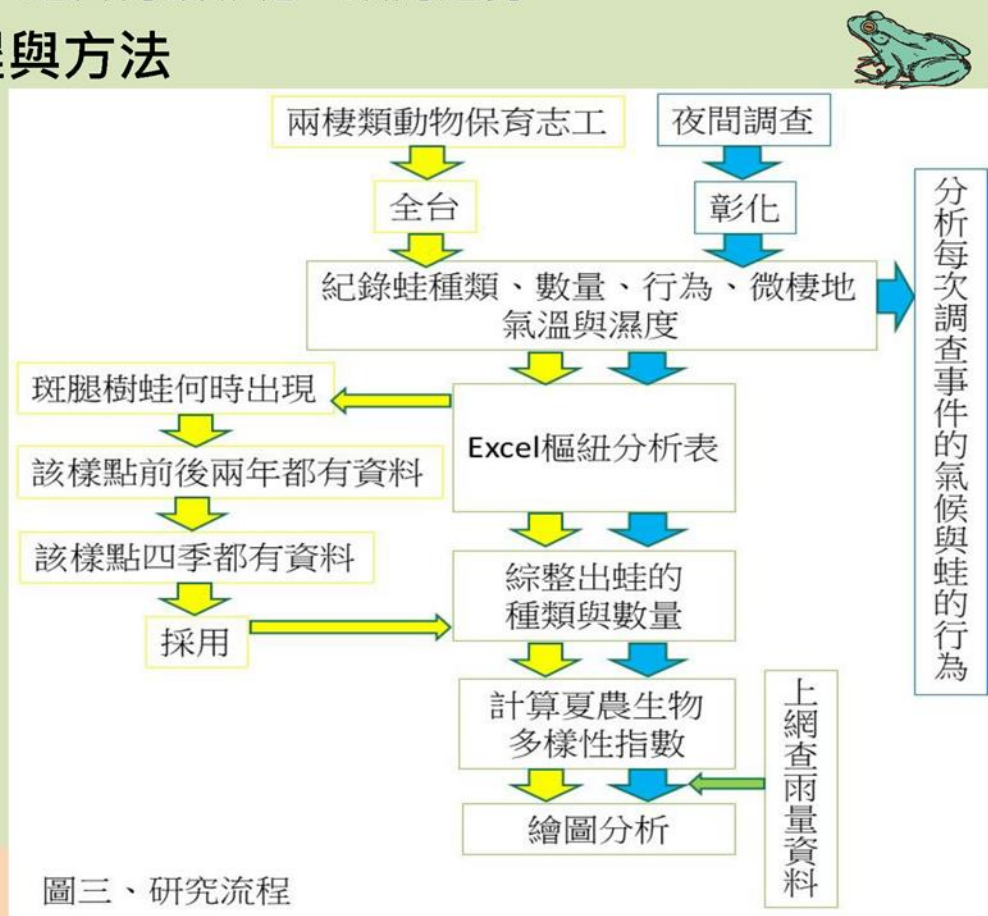


圖二、夜間觀察與資料蒐集

夏農生物多樣性指數  
(Shannon-Wiener's diversity index,  $H'$ )

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log p_i$$

S: 各群聚中所記錄到之動物種數  
Pi: 各群聚中第i種物種所占的數量百分比



圖三、研究流程

## 研究結果

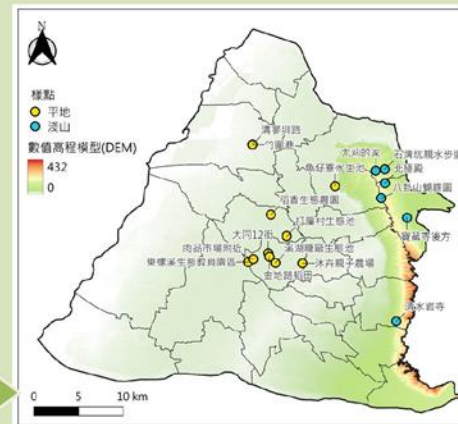
### 一、彰化地區青蛙的種類與數量

表一與圖四為2008年到2023年1月，兩棲志工在彰化地區進行調查的地點與時間，共17個樣點，199次調查事件，1602筆資料。

表一、彰化的調查樣點資料

名稱	調查期間	海拔	調查事件(次)	作者參與調查次數
打簾村生態池	2009	3	4	0
溝窰圳路	2019	7	1	1
竹圍巷	2017	10	2	2
稻香生態農園	2008~2023	13	61	52
東螺溪生態教育園區	2023	14	1	1
肉品市場附近	2015~2019	16	11	11
溪湖糖廠生態池	2022	19	1	1
魚仔寮水生池	2008	22	4	0
大同12街	2014~2019	23	6	6
金地路稻田	2019	23	1	1
沐卉親子農場	2014	24	3	3
石牌坑親水步道	2021~2023	102	10	0
寶藏寺後方	2019	105	1	1
清水岩寺	2017~2023	125	23	23
北極殿(豬母湖北側)	2018~2020	146	11	11
尤莉的家	2021~2023	184	9	0
八卦山蝴蝶園	2008~2020	214	50	41

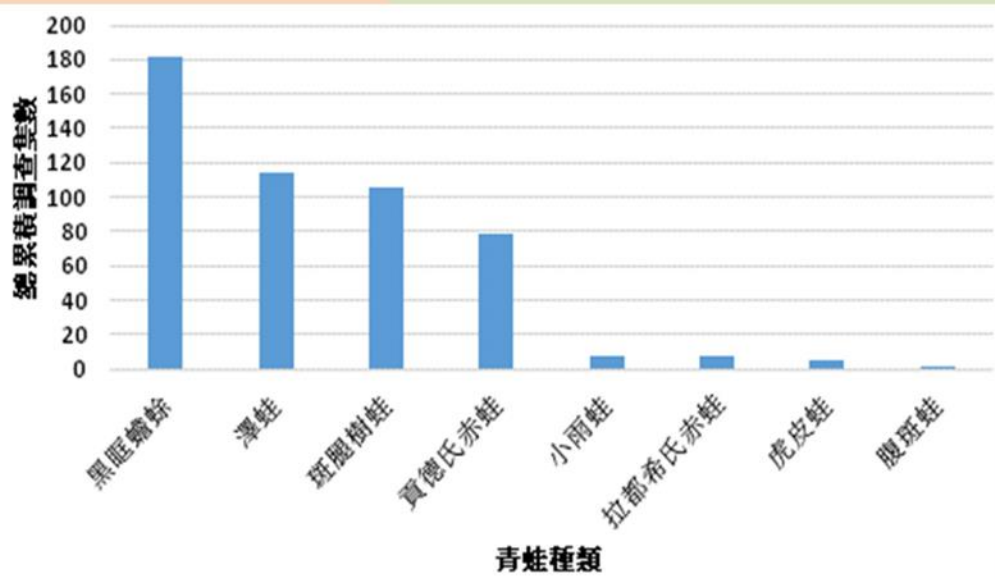
彰化是一個很早開發的地方，幾乎沒有原始林。我們參考兩棲類調查年報的分類方式，將海拔100公尺以下稱為平地，100公尺以上稱為淺山。



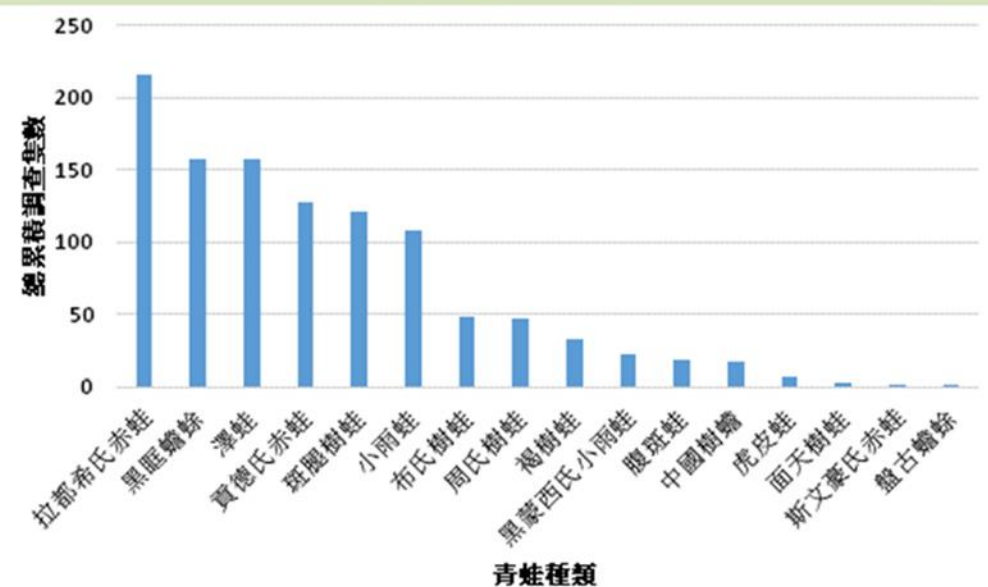
圖四、彰化調查樣點位置



圖七、彰化常見青蛙的生態照(自行拍攝)



圖五、彰化平地樣區、青蛙種類與數量的調查

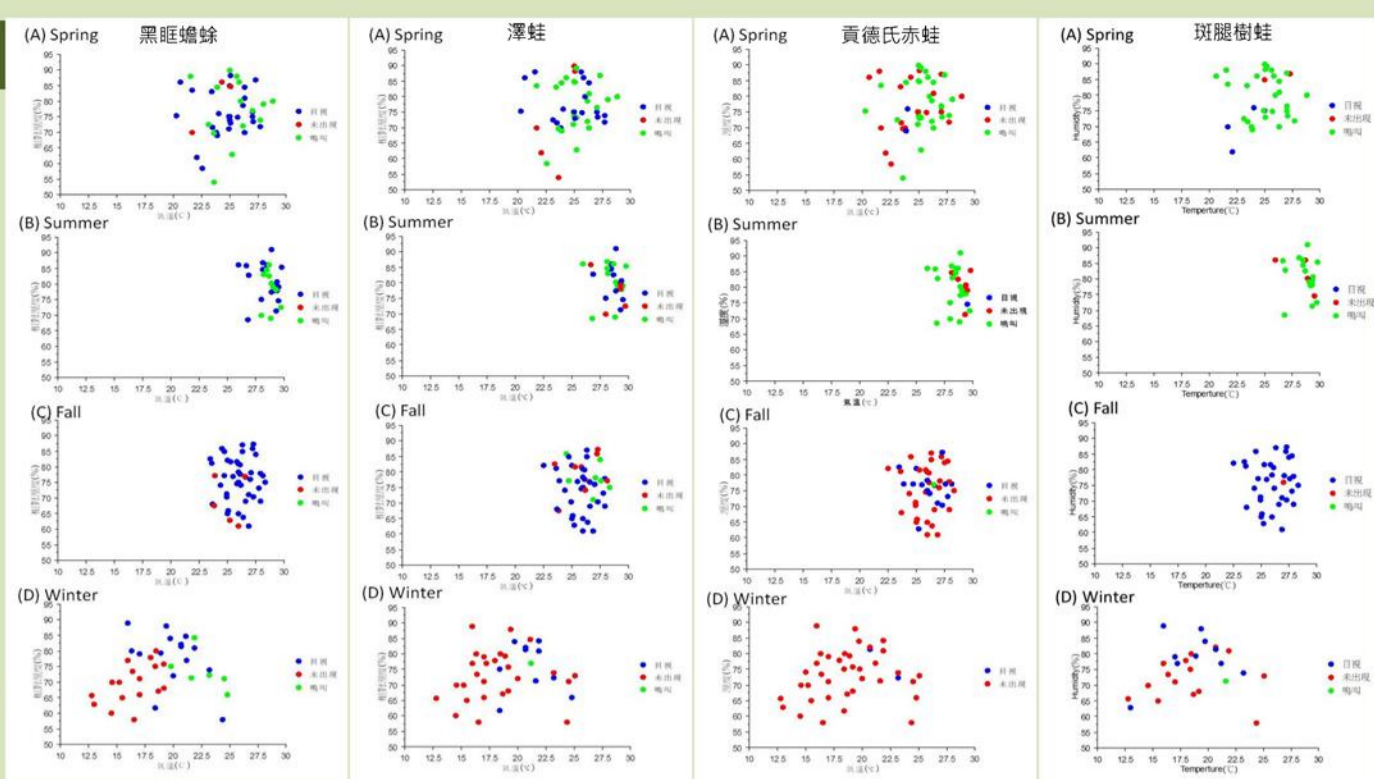


圖六、彰化淺山樣區、青蛙種類與數量的調查

## 二、彰化青蛙出現與繁殖的氣候環境

我們把3~5月的調查資料歸類在春天、6~8月稱為夏天、9~11月稱為秋天、12~2月稱為冬天。分析彰化平地地區四種常出現的青蛙：黑眶蟾蜍、澤蛙、貢德氏赤蛙與斑腿樹蛙，所出現的季節、溫度與相對溼度。發現牠們的鳴叫聲(繁殖季)都集中在春夏，而冬末2月較溫暖的夜裡，黑眶蟾蜍就會開始鳴叫(圖八左一)，是彰化最早開始繁殖的蛙種。秋天澤蛙還有零星的鳴叫(圖八左二)，是彰化較晚結束繁殖季的蛙種。

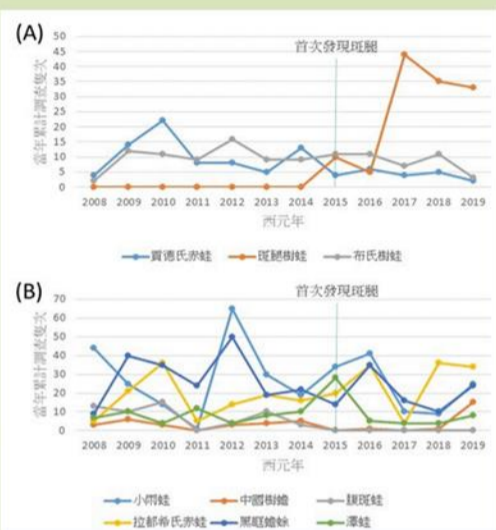
圖八、四季黑眶蟾蜍、澤蛙、貢德氏赤蛙、斑腿樹蛙的出現和鳴叫與溫溼度間的關係



## 三、斑腿樹蛙入侵，對彰化青蛙生物多樣性的影響



圖十二、2008~2022年稻香農場五種青蛙的數量變化



圖十三、2008~2019年八卦山蝴蝶園九種青蛙數量變化

### (一) 稻香農場

稻香農場周圍在2012年4月首次發現斑腿樹蛙，在調查時如果有辦法捕捉就會進行移除。以稻香農場最常見的五種青蛙繪製年間變化(圖十二)，可以見到斑腿樹蛙入侵後，即使有進行移除，但數量依舊成長。在2008~2017年數量相當多的貢德氏赤蛙卻漸漸減少，近兩年完全沒有發現。

2012、2021與2022年澤蛙與黑眶蟾蜍觀察數量大量增加，是因為調查時剛好遇到雄蛙集體鳴叫，記錄到的隻數就會比較多。而澤蛙與黑眶蟾蜍常被發現在水田裡鳴叫，而農業大縣的彰化水田很多，可能因此數量維持在平地的一、二名。

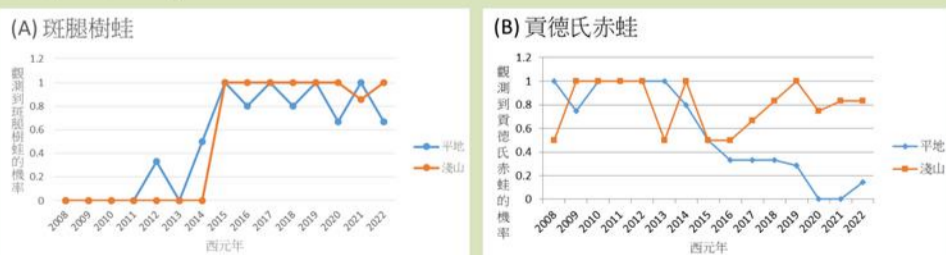
### (二) 八卦山蝴蝶園

八卦山蝴蝶園在2015年4月首次發現斑腿樹蛙，比平地樣點晚了3年，在調查時如果有辦法捕捉就會進行移除。以八卦山蝴蝶園最常見的九種青蛙繪製年間變化(圖十三)，發現斑腿樹蛙入侵後，數量快速成長，而貢德氏赤蛙與布氏樹蛙似乎越來越少(圖十三A)，其他六種青蛙的數量則沒有明顯的變化趨勢(圖十三B)。出現數量的高峰，常是因為遇到一群雄蛙一同鳴叫，觀測到的數量才會突然增加。

### (三) 青蛙的分布是否在變動？

利用2008~2022年春、夏最容易觀察到青蛙的季節的調查資料，將資料分為平地與淺山(表一)，依據那幾次的調查事件是否觀測到斑腿樹蛙，繪製出當年每趟夜間調查能觀測到斑腿樹蛙的機率(圖十四A)，也用相同的方法分析貢德氏赤蛙(圖十四B)。

結果顯示，斑腿樹蛙進駐之後，淺山區的觀測機率幾乎是100%(圖十四A)，淺山這適合蛙類生存的地方，斑腿樹蛙來了也很喜歡這環境。平地的觀測率變動較大，我們認為是平地受人類活動影響更大，所以環境因子變動更大。而貢德氏赤蛙在平地的分布明顯的減少(圖十四B)。



圖十四、2008~2022年的調查事件中，觀測到該蛙種的機率

### (四) 利用夏農生物多樣性指數分析

生物的種類與數量起起落落，變化很大(圖十二、十三)，很難看得出這個樣點的生物多樣性是維持、還是變差了，尤其我們想分析斑腿樹蛙的入侵，是不是會降低該地的生物多樣性，所以我們找了生態學課本提到的夏農生物多樣性指數來整合分析我們的數據。

我們把0代表發現斑腿樹蛙首度出現的那一年，A1代表斑腿樹蛙入侵之後的一年，B1代表斑腿樹蛙入侵之前的一年，繪製成圖。可以看到稻香農場在B1~2的時候已經開始下降了，而八卦山蝴蝶園是A1~A2時下降(圖十八)。

### (五) 加上年雨量資料分析

生物多樣性的下降，是入侵種的影響嗎？是否可能只是環境比較差，導致生物多樣性下降呢？青蛙是喜歡水的生物，所以我們把歷年生物多樣性的資料與中區年雨量一起繪圖，發現稻香農場的生物多樣性指數與年雨量有相當一致的變化(圖十七)。而八卦山蝴蝶園2009~2010年生物多樣性的降低，與稻香農場及年雨量趨勢一致，但2016~2017年生物多樣性的降低則與年雨量無關。



圖十八、發現斑腿樹蛙前後之年份、圖十七、中部樣點生物多樣性指數與中部年雨量之變化

## 四、分析全台斑腿樹蛙入侵區，多樣性變化趨勢

我們利用全台兩棲調查志工的資料進行分析，試圖了解全台斑腿樹蛙入侵區，是否有跟彰化的樣點一樣，有生物多樣性指數下降的情況。經篩選51個樣點後，最後收錄32個的樣點如表二。

表二、全台斑腿樹蛙入侵區的調查樣點資料

團隊名稱	縣市	鄉鎮	地點	海拔(m)	地點 暫現	物種數	夏農 指數
宜蘭李佳翰 團隊	宜蘭縣	冬山鄉	三富農場	100	2018.6	20	0.878
			淋瀝坑水生池	113	2017.4	21	0.903
深坑大頭蛙	新北市	深坑區	王軍寶母子樹	109	2017.9	19	0.986
			阿柔洋產業道路	145	2016.8	18	0.915
台北快樂蛙	新北市	土城區	山中湖	297	2015.6	22	1.097
觀親小蛙	新北市	淡水區	二子坪	832	2019.7	12	0.752
天羽蛙	新北市	汐止區	翠湖	75	2018.4	18	0.966
			貴子坑水保園	126	2019.6	14	0.757
關渡自然公 園蛙蛙小組	新北市	新店區	清潭里	65	2017.7	20	0.913
富陽	台北市	北投區	關渡自然公園	13	2013.5	10	0.536
			富陽自然公園	0	2014.7	15	0.859
			百吉國小	290	2017.4	23	0.840
百吉國小	桃園市	大溪區	竹林步道	304	2017.4	19	0.910
			花園	285	2017.4	19	0.927
			慈惠堂	289	2017.4	21	0.783
桃園藍鳥家 族	桃園市	龍潭區	南窩口	314	2017.1	19	0.956
			渴望村水池	308	2016.10	16	0.865
鹹菜鹽蛙蛙	新竹縣	關西鎮	不動明王廟	195	2019.4	16	0.520
			中寮路詹家菜園	170	2017.5	16	0.530
			仁安里土地公廟	163	2016.9	16	0.440
			四寮溪步道	179	2020.10	20	0.815
			玉山菜田學校	346	2020.4	20	0.838
			南山里4鄰	143	2018.11	17	0.720
			南山里3鄰	115	2018.7	16	0.616
峨嵋國中	97	2019.11	17	0.777			
新竹荒野	新竹縣	橫山鄉	豐田村油羅田	200	2020.4	18	0.851
			高峰植物園	76	2019.4	11	0.802
新竹蛙保	新竹市	東區	清大蝴蝶園	116	2019.7	11	0.728
			烏牛欄溪	246	2019.10	18	0.747
TNRS團隊	台中市	霧峰區	霧峰球場	261	2020.7	19	0.843
彰化蛙蛙蛙 團隊	彰化縣	芬園鄉	八卦山蝴蝶園	214	2015.4	14	0.823
			稻香農場	13	2012.5	10	0.424

※黃底字為夏農生物多樣性指數下降樣點  
紅字為貢德氏赤蛙在減少的樣點

發現有5個樣點生物多樣性指數有下降的趨勢(圖十九~二十)，進一步分析是那些物種減少了(表三、圖二十一~二十五)，發現5個樣點都有貢德氏赤蛙的減少。

表三、綜整生物多樣性指數下降的樣點與彰化樣點，其減少的蛙種

地點	減少的蛙種				
不動明王廟	貢德氏赤蛙	台北樹蛙	福建大頭蛙	周氏樹蛙	褐樹蛙
四寮溪步道	貢德氏赤蛙	布氏樹蛙	台北樹蛙	盤古蟾蜍	福建大頭蛙
慈惠堂	貢德氏赤蛙	布氏樹蛙	盤古蟾蜍	福建大頭蛙	
高峰植物園	貢德氏赤蛙	布氏樹蛙	台北樹蛙		
清大蝴蝶園	貢德氏赤蛙	布氏樹蛙	台北樹蛙	長腳赤蛙	面天樹蛙
稻香農場	貢德氏赤蛙				
八卦山蝴蝶園	貢德氏赤蛙	布氏樹蛙			



圖二十一、北部生物多樣性指數降低的樣點與北部年雨量之關係



圖二十、北部五樣點，發現斑腿樹蛙前後年份、生物多樣性指數變化



圖二十一~二十五、五個生物多樣性指數下降樣點，青蛙種類與數量的變化

## 五、還有貢德氏赤蛙減少的區域嗎？

原來要看到夏農生物多樣性指數的下降，要有多個物種的數量減少才看得到(表三、圖二十一~二十五)。那我們就好奇是不是有生物多樣性指數未明顯下降的區域，也有貢德氏赤蛙減少的情況？

扣除彰化的兩個我們的樣點(圖十二、十三)與夏農生物多樣性指數明顯下降的5個樣點(已分析在表三)，生物多樣性指數未明顯下降的25個樣點裡，有9個樣點斑腿樹蛙的增加伴隨著貢德氏赤蛙的減少(圖二十六)。詳細的樣點資料在表二紅字處。



圖二十六、斑腿樹蛙增加、伴隨貢德氏赤蛙減少的區域

## 結論

- 彰化平地依常見程度依序為黑眶蟾蜍、澤蛙、斑腿樹蛙、貢德氏赤蛙、小雨蛙、拉都希氏赤蛙、虎皮蛙、腹斑蛙，到目前一共記錄到8種。而淺山地區依常見程度依序為拉都希氏赤蛙、黑眶蟾蜍、澤蛙、貢德氏赤蛙、斑腿樹蛙、小雨蛙等15種。
- 分析彰化地區平地的貢德氏赤蛙與斑腿樹蛙，發現牠們繁殖的季節、氣候環境與棲地非常類似。
- 在斑腿樹蛙入侵後，彰化平地的貢德氏赤蛙數量與分布大量減少，淺山的貢德氏赤蛙與布氏樹蛙似乎也受影響。
- 彰化青蛙夏農生物多樣性指數升降的模式與中部年雨量有一致性，與斑腿樹蛙入侵的關聯性還不清楚。
- 夏農生物多樣性指數往往要有多個物種都有減少的情況，才看得到指數的下降。
- 全台斑腿樹蛙入侵區，32個樣點中，有16個樣點有貢德氏赤蛙減少的現象。顯示貢德氏赤蛙可能是斑腿樹蛙入侵後的潛在受災戶。

## 討論

### 一、入侵種會讓夏農生物多樣性指數下降嗎？

斑腿樹蛙是布氏樹蛙的近似種，許多論文都在討論兩者間的競爭關係，但彰化平地並沒有布氏樹蛙分布，也罕有樹棲性的蛙類分布，我們本以為斑腿樹蛙的入侵對彰化平地來說是物種多樣性增加，而謝(2022)分析了稻香農場與新竹的不動明王廟，意外的發現生物多樣性指數的下降。而在做完這個科展後發現，稻香農場2009~2011年生物多樣性指數的下降與中部年雨量的下降有高度相關(圖十七)；而不動明王廟有多種蛙類都在減少(圖二十一)，才會明顯看到生物多樣性指數在下降(圖二十)，可能不是一種入侵種蛙類就在帶來這麼大規模傷害。

而夏農生物多樣性指數受到種類與數量的連動影響，在分析外來入侵種對當地同類生物的影響上相當不靈敏，往往要有多個物種都有減少的情況，才看得到指數的下降。也因為是同類生物，所以在其他原生物種都不改變的情況下，加了一種外來種，夏農生物多樣性指數是會升高的。

### 二、沒有生物多樣性指數的下降，也有受災戶

沒有生物多樣性指數的下降，就沒有蛙類因斑腿樹蛙的入侵而受害嗎？還是有潛在的受災戶尚未被發現？我們的探索結果似乎顯示貢德氏赤蛙就是那受災戶，而且這個現象還不只在彰化，在其他的斑腿樹蛙入侵區域也有發現(圖二十六)。以彰化平地常見的四種青蛙的鳴叫狀況分析，黑眶蟾蜍是除了春夏，還會往前跨到一點冬天(圖八)；而澤蛙是春夏，再往後跨到一點秋天(圖八)。且這兩個物種都會利用水稻田繁殖。而貢德氏赤蛙與斑腿樹蛙都只利用春夏繁殖(圖八)，且都不會利用水稻田，所以牠們可能比較有機會成為競爭對手，至於貢德氏赤蛙到底在哪一方面競爭輸了，會是蝌蚪嗎？需要進一步的研究才會知道。

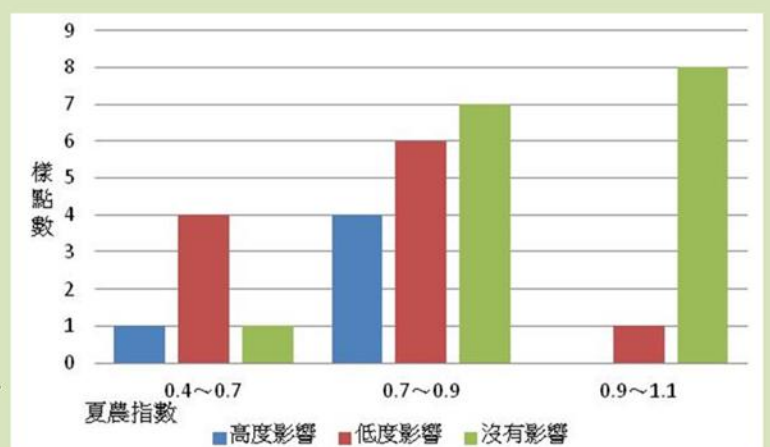
稻香農場2010年的貢德氏赤蛙的數量就下降了，但那個時候斑腿樹蛙尚未入侵(圖十二)！對照圖十七，就可以知道2010與2011的年雨量較少，整體的青蛙生物多樣性都受到影響。但在年雨量上升，稻香農場整體蛙況逐漸變好時，貢德氏赤蛙卻悄悄地消失了。所以，競爭不見得要面對面打架或搶食，在由衰轉盛時，恢復得比較快，也是種競爭優勢。

但不是每個同時有斑腿樹蛙與貢德氏赤蛙的區域兩者的數量都呈現負相關，我們認為應該是跟合適青蛙生活的區域大小有關。我們的稻香農場與八卦山蝴蝶園適合青蛙生活的地方都是人工營造出來的，範圍並不大，外來種入侵後的競爭就會比較明顯。

從全台斑腿入侵區的資料分析，發現許多也可能是斑腿樹蛙入侵之後的受災戶，例如：布氏樹蛙、盤古蟾蜍、台北樹蛙、福建大頭蛙(表三)。不過，數據只能顯示隨著時間這些蛙類在減少，到底是外來種的影響，還是氣候的影響，還是都有影響，其因果關係相當不容易釐清，所以生態的長期監測是非常重要的，呼應SDG 15。

### 三、低生物多樣性區，是受外來種影響的高風險區

分析表二，將夏農指數0.4~0.7當作生物多樣性低、0.7~0.9當作中，0.9~1.1當作高；把生物多樣性指數下降的5個點當作高度影響，只有貢德氏赤蛙減少的地區當作低度影響，繪製圖二十九。夏農生物多樣性指數低的區域，的確較容易受到影響而發生數量或種類的變化。



圖二十九、不同生物多樣性的區域，受影響的變動程度