

酸性對陽明山拉都希氏赤蛙蝌蚪的影響

計畫主持人：楊育昌、陳俊宏

委託單位：內政部營建署陽明山國家公園管理處

執行單位：國立台灣大學動物學研究所

中華民國八十五年六月

謝 辭

這本研究報告的完成，主要感謝內政部營建署的寶貴意見以及陽明山國家公園在經費上的提供，陽明山國家公園保育課詹德樞課長、黃光瀛先生及羅淑英小姐在行政事務上的大力支援，以及台大動物系林曜松主任的關心及教誨；此外，更謝謝台大動物系蘇逸峰小姐在會計事務上多方協助。由於大家的幫忙，使得這個計畫可以順利完成，並得以在計畫執行期間獲得許多寶貴的經驗。

另外，也謝謝陽明山國家公園管理處各位前輩在簡報期間賜予建議，相信大家的建議對於日後兩生類保育及國家公園的經營管理上一定會有所幫助。

最後，要謝謝在計畫執行期間參與協助野外調查的台大同學們；大家在調查期間所提供的友情，是身為野外工作者在工作中的心靈良藥，使得在風雨飄搖夜晚中的差事不再使人感到痛苦。

對於在實驗期間所犧牲的蝌蚪及青蛙們，在此亦獻上感謝：由於你們的付出，使人們在生物學上有了更進一步的認識。

目錄

謝辭

緒言.....1

實驗方法

第一部份：酸性對拉都希氏胚胎孵化及蝌蚪成長的影響實驗.....3

第二部份：野外族群及環境因子變化調查.....7

實驗結果

第一部份：酸性對拉都希氏赤蛙胚胎孵化及蝌蚪成長影響實驗之結果
.....11

第二部份：野外族群及環境因子變化調查結果.....13

討論.....16

結論及建議.....20

參考文獻.....21

圖表目錄

圖 1、各調查地點分佈圖.....	26
圖 2、蝌蚪在 Stage25 及 Stage43 的外型狀況.....	27
圖 3、拉都希氏赤蛙蝌蚪孵化後畸型狀況.....	27
圖 4、拉都希氏赤蛙胚胎孵化結果.....	28
圖 5、拉都希氏赤蛙蝌蚪在不同酸性處理下存活狀況.....	28
圖 6、拉都希氏赤蛙蝌蚪取食狀況.....	29
圖 7、拉都希氏赤蛙蝌蚪體長變化狀況.....	29
圖 8、各種兩生類成蛙及幼蛙出現環境之群集分析狀圖.....	30
圖 9、各種兩生類蝌蚪出現環境之群集分析樹狀圖.....	31

表 1、控制細胞鈉離子通透性實驗中，拉都希氏赤蛙胚胎的孵化狀況	32
表 2、調查期間各種兩生類出現地點及總數量.....	33
表 3、各種兩生類成蛙及幼蛙總數的變化.....	34
表 4、各種兩生類蝌蚪的數量變化.....	35
表 5、各調查點在調查期間內的各種環境因子平均值.....	36
表 6、各調查點在調查期間的酸性狀況.....	37
表 7、成幼蛙活動和各環境因子的相關性.....	38
表 8、成幼蛙活動的主成份分析結果.....	39
表 9、成幼蛙出現的種間相關性.....	40
表 10、蝌蚪出現和各環境因子的相關性.....	41
表 11、蝌蚪出現環境的主成份分析結果.....	42
表 12、蝌蚪出現的種間相關性.....	43
表 13、各調查點的生態介量分析結果.....	44
表 14、各兩生類物種的生態介量分析結果.....	45

緒言

陽明山國家公園位於台灣島的東北部，屬於濕潤多雨的副熱帶氣候(陳和蔡, 1984)；由於環境濕潤及雨量豐沛的緣故，陽明山國家公園區內的青蛙、蟾蜍等無尾兩生類的種類及族群數量一向豐富；根據林等(1986)及呂等(1987)所進行的全區兩生爬蟲類調查結果，陽明山國家公園內的無尾兩生類共有21種，佔了台灣30種無尾兩生類的三分之二以上，其中的梭德氏赤蛙、長腳赤蛙、面天樹蛙、褐樹蛙及台北樹蛙等5種蛙類更是本島的特有種(楊, 1993)；由此可見陽明山地區對台灣兩生類繁衍的重要性。

近來，在美國(Nichols & McRoberts, 1986)、加拿大(Dupond & Grimard, 1986)及德國(Schoen, 1986；Wieting, 1986)等地的科學家分別在他們的研究報告中指出：現代工業副產物之一的大氣污染物和日益嚴重的淡水酸化現象有著密不可分的關係(金, 1988)。其中由工廠、汽機車所排放的二氧化硫(SO₂)及氮氧化物(NO_x)是主要的空氣污染物，這些物質除了本身的水溶液(亞硫酸H₂SO₃及亞硝酸HNO₂)呈酸性之外，和空氣中過氧化氫(H₂O₂)作用後會造成酸性更強的硫酸(H₂SO₄)及硝酸(HNO₃)，而引起雨水酸化的現象(Charlson & Wigley, 1994)，這些酸性的雨水可能造成池塘、湖泊等靜水域中水溫、化學物質及酸鹼度的改變，進而影響了生活其中的兩生類及其幼體的生存。

在陽明山國家公園內諸多的無尾兩生類動物中，拉都希氏赤蛙(*Rana latouchii*)是分佈範圍最廣且每年出現時間最長的種類。其蝌蚪一年四季均可在陽明山國家公園內的靜水域或水流不急的緩流中出現，基於牠們在分佈及數量上的普遍性，故選擇此一蛙種的胚胎及蝌蚪進行酸性實驗，以了解日益嚴重的水質酸化現象是否會對陽明山的兩生類動物造成影響。另一方面，本實驗亦在陽明山國家公園內選擇11個靜水域及1個流水域調查點(圖1)調查兩生類成、幼體數量及物理化學環境因子，以研究

靜水域環境因子和兩生類數量之間的關係，以確定何種環境因子的變化較容易影響到兩生類族群數量的變化。本實驗共分兩個部份進行：第一部份主要研究酸性因子對於拉都希氏赤蛙孵化及蝌蚪發育的影響；第二部份探討拉都希氏赤蛙及其他無尾兩生類動物的成蛙及蝌蚪在野外環境因子變化的狀況下，其族群的消長情形，以了解各種環境因子對於各兩生類族群數量的可能影響。

經由實驗的結果，可以幫助我們了解陽明山地區兩生類適於生存的環境條件；同時在長期監測各種環境因子的狀況之下，我們可藉著氣溫、濕度、天氣狀況以及水中的化學組成等各種環境因子的變化來預測兩生類族群(populations)的波動及兩生類群聚(community)的消長情形，進而擬定保育經營方針，或是以整理棲地的方式來維持本區的兩生類動物相。

實驗方法

第一部份：酸性對拉都希氏赤蛙胚胎孵化及蝌蚪成長的影響實驗

(一)實驗溶液的調配：

本實驗所用的溶液 (Artificial soft water, ASW) 係根據Pierce et al. (1984) 的研究報告中的方法調配：在每公升去離子水 (de-ionized water) 中分別加入 NaHCO_3 (48mg)、 CaSO_4 (24mg)、 MgSO_4 (30mg) 及 KCl (2mg) 以維持一定的滲透壓，其酸鹼度約為pH 7.4至pH 7.5；再以濃度為0.025M的硫酸水溶液調節水溶液的酸鹼度，以達到各處理所需的酸鹼值。

本實驗中所用的兩生類均採集自陽明山國家公園內的大屯自然公園。以往在陽明山區水質記錄的最低pH值為夢幻湖的pH 4.16(鄭和劉, 1987)，故本實驗中酸性最強的處理組為pH 4.0，以了解在如此酸性環境下，兩生類的孵化是否受影響。

(二)酸性對拉都希氏赤蛙胚胎孵化的影響：

自野外採集配對中的拉都希氏赤蛙，帶至室溫攝氏25度及光照、黑暗期各為12小時的實驗室中待其產卵；逢機取每50顆卵為一組，放入pH 7.5、6.0、5.0及4.0四種處理狀況下，共有 50顆卵 x 4處理 = 200 顆卵；每日計算存活數、移除死亡的胚胎並換水，至10天後蝌蚪孵化並發育到其外部形態穩定 (依據Gosner index, 發育至stage 25) 時結束實驗。實驗結束時計算存活的蝌蚪數目，以內插法求出胚胎的酸性半致死濃度 (LC50)，並比較各處理間的存活率有無差異。

(三)、在鈉離子通道受抑制下的胚胎孵化實驗：

在本實驗中所用的藥品(amiloride)為一種細胞膜表面鈉離子通道(sodium channels)的抑制物(inhibitor)，與細胞膜表面某些對amiloride敏感的鈉離子通道(amiloride-sensitive sodium channels)結合後，可阻止鈉離子通過此通道，進而降低細胞內外鈉離子和氫離子間的平衡能力。因此常被作為研究細胞內外鈉離子及氫離子平衡之用(Lyall *et al.*, 1994 ; Norris *et al.*, 1994)

在本實驗中，拉都希氏赤蛙胚胎飼養在攝氏15度及25度的恆溫培養箱中，控制箱內的照明時間為每日12小時/12小時的光照/黑暗期；將胚胎分別飼養在pH 7.0、 5.0及 4.0的三種溶液中；每一酸鹼度又有0、0.1及0.5 mM三種濃度的 amiloride作交叉處理；全部的處理組共有 2溫度 x 3藥品濃度 x 3酸鹼度 = 18組。由野外採集拉都希氏赤蛙(*Rana latouchii*)剛產下的卵，在pH 7.5下馴養一天，以等待受精卵發育。選取發育中的胚胎每50顆為一組置於不同的處理溶液之中，每天以0.025M 硫酸水溶液滴定以維持各處理組的酸鹼值；實驗持續至10天後各組蝌蚪完全孵化時為止，在實驗結束後計算孵化出的蝌蚪數。

(四)蝌蚪的存活率實驗：

由野外採集剛孵化的蝌蚪帶回實驗室，在pH 7.5的溶液之中馴養數日，待蝌蚪發育到達一定階段（係依據Gosnar在1960年所定的無尾兩生類發育階段表之stage 25，Duellman & Trueb, 1986）後，開始進行實驗。本實驗進行期間，實驗室內維持攝氏25度的室溫，並控制每日光照及黑暗期各為12小時。

實驗共分五種酸鹼值處理：pH 7.5、 6.0、 5.0、 4.0及 3.5，每處理各三組重覆，每重覆的溶液體積各200ml，各處理每組放入10隻個體，因此共需150隻蝌蚪；各實驗組每天換乾淨的溶液以維持水質的清潔及酸鹼度（以目標值的正負0.1pH單位內為溶液酸鹼度的誤差容許範圍），同時移除死亡蝌蚪及記錄存活蝌蚪的數目。

本實驗進行的時間為24天，在第24天時計算各組蝌蚪的存活數量，並計算出存活率。在實驗結束後，依各處理的存活率畫出圖表，以內插法計算出各種蝌蚪的酸性半致死濃度（LC50），以了解拉都希氏赤蛙蝌蚪的對酸性的忍受能力。

（五）蝌蚪的成長及取食率實驗：

在實驗開始時取10隻蝌蚪，測量其體長（mm）及發育階段（圖2;根據Gosnar, 1960），以得知實驗前的平均體長及發育階段。

以市售浮水性飼料（VOSSO SeaPalace）餵食蝌蚪，每天記錄飼料的消耗量。為維持水質清潔，飼料數量以蝌蚪恰可吃完為原則；若前一天的飼料全部吃完，則第二天平均每隻蝌蚪多供應0.2顆飼料（總數若不足一顆，則以一顆計算）；並且每五天一次比較各處理下蝌蚪平均取食量之間有無明顯差異。

平均每三天抽樣五分之一的蝌蚪為樣本，以刻度為1mm的尺測量體長，估計至0.1mm，以得知蝌蚪在不同酸性環境下的體長變化。實驗進行至其中一組處理的蝌蚪開始進入變態（metamorphosis）時期，體長變短（約為Gosnar發育階段的Stage 43）時為止。將每隻蝌蚪各別測量記錄其體長、體重（以液晶電子秤測量至0.01g），同時觀察並記錄其發育階段。

在實驗結束之後，根據實驗期間蝌蚪每天的存活狀況、取食狀況以及每次測量的蝌蚪平均體長，作出蝌蚪的每日存活率、取食率以及蝌蚪在實驗期間的存活曲線。

以最小平方法(method of least squares)算出各處理下實驗日數和蝌蚪體長之間的迴歸直線，此直迴歸線的斜率即為蝌蚪的每日成長速率(mm/日)。另就實驗結束時所記錄的各種蝌蚪體長、體重及發育階段的資料，以單因子變異數分析(One-Way ANOVA)配合Tukey test兩兩比較各處理組間有無差異；並算出體長及發育階段之間的相關係數(correlation coefficient) 值。

學明一國書

第二部份：野外族群及環境因子變化調查

(一)調查地點及介紹：

本實驗調查期間由民國84年11月至85年5月，在陽明山國家公園範圍內選定夢幻湖、冷水坑、竹子湖、二子坪、面天堂、向天池、前山公園、辛亥光復樓、實驗水池、大屯山以及大屯自然公園等地共十一個靜水域調查兩生類及環境因子；並選定流水域的大屯瀑布以比較靜水及流水域的物種及水質之用(圖1)。各調查地點的介紹如下：

- 1、夢幻湖：位於七星的東坡，海拔約860公尺；湖水的來源主要為雨水，故湖域面積時有變化；另一方面，由於常受東北季風所帶來雲氣的影響，時而有雲霧裊繞。由於夢幻湖底質呈酸性，故在低水位期間，池水的酸鹼度較低。
- 2、冷水坑：位於七星山下的山谷中，有多處冷泉；本實驗所調查的池塘亦由冷泉形成，位於往擎天岡的公路旁。
- 3、竹子湖：位於大屯主峰東麓的山谷中，住有幾戶人家，並種植花卉及蔬菜為主；本實驗調查地點為竹子湖的海芋田。
- 4、二子坪：位於大屯主峰西麓山谷，包括兩個相連的主要水池及其間的緩流溪水。
- 5、面天堂水池：位於二子坪往三聖宮的步道旁，距面天堂約50公尺；池水來源亦為雨水，故其面積及深度亦受雨量的影響。
- 6、向天池：位於向天山山麓，海拔約825公尺；平時乾枯，只有在連日下雨之後方有積水，水域面積大小亦受雨量的影響。
- 7、實驗池：位於面天山麓，三聖宮往面天堂的步道旁，海拔約755公尺。本池原無名稱，因之前台大動物所在此研究台北樹蛙、白領樹蛙及面天樹蛙而以"實驗池"名之；池水的來源為雨水。
- 8、前山公園水池：位於紗帽山下，陽投公路旁；池中遍植睡蓮並養殖錦鯉，附近並有溫泉浴場及溫泉排水溝。

- 9、光復樓水池：位於陽明山公園的辛亥光復樓附近，各有一小型人工溪流注入及流出；池中亦植有睡蓮及養殖錦鯉。
- 10、大屯山水池：位於大屯主峰車道旁的山坡上，係山坡水土保持工程所形成，共有四個混凝土所圍成的水池；其池水主要來自雨水及順著山坡流下的小山泉。
- 11、大屯瀑布：位於陽明山公園附近，北投往陽明山的產業道路旁；為一山間溪流，其中有人為工程所形成的水潭及噴水設施；此處是為對照流水及靜水域蛙種之用而取的流水域調查點。

(二)記錄資料：

在本實驗中，兩生類的數量以下列三種方法表示：

- 1、成蛙及幼蛙：直接記錄出現的隻數。
- 2、蝌蚪：由於蝌蚪的數量常常多得不可勝數，在有限的調查時間下無法一一計算；故其大略數量以等級表示；* 為1至10隻；** 為11至100隻；*** 為101隻以上。

(三)環境因子的測定：

本實驗中將環境因子分為物理因子(Physical factors)及化學因子(Cheical factors)兩類；並將氣候因子歸入物理因子之中。各類環境因子所記錄的資料如下：

1、物理因子：

- (1)氣溫：在調查兩生類的同時以溫度計測量當地的氣溫(記錄攝氏溫度)。
- (2)濕度：調查時同時以濕度計測量當時大氣中的濕度。
- (3)水深：在距岸邊約60公分之處以木棒探測池水深度，在水池周圍取三點測水深後記錄其平均值。

(4)水溫：以小型的攜帶式溫度計測量調查地點池水的攝氏溫度。

2、化學因子：

基於空氣污染物中含有亞硫酸、氮氧化物，而磷酸鹽類為常見的水污染物；故本實驗中共分析了水樣中的酸鹼度(pH)、硝酸根離子(NO_3^-)、亞硝酸根離子(NO_2^-)、鐵離子(Fe^{2+})、總硬度(total hardness)、磷酸鹽含量(PO_4^{3-})、總鹼度(total alkalinity)、亞硫酸鹽(SO_3^{2-})、氯離子濃度(Cl^-)及銨根離子(NH_4^+)等10種化學因子。其中酸鹼度以JENCO 6071桌上型酸鹼度計測量；硝酸根離子、鐵離子、5mg/l以上的磷酸鹽及銨根離子以MERCK公司所出品的RQflex水質測定儀測量；而總硬度、總鹼度、亞硫酸鹽、氯離子及5mg/l以下的磷酸鹽係以HANNA公司所出品的水質測定試劑測量其含量。

(四)資料分析：

1、資料的記錄及統計：

資料以Microsoft Excel 5.0建檔記錄各筆實驗數據；並計算蛙類數量和環境因子數值之間的相關係數，來了解各兩生類物種和環境因子之間的相關性。

對於各環境因子和蛙類群聚之間的關係，則以SYSTAT統計軟體中的主成份分析法(Principle Components Analysis; PCA)找出主成份軸，來代表各環境因子對於蛙類群聚的影響狀況。

此外，並就各蛙種出現的時間及地點以SYSTAT作群集分析(Cluster Analysis)，以找出各兩生類的生態同功群(guilds)。

2、生態介量的計算：

在本實驗中另外就各調查點所出現蛙類的種類及數量資料，計算兩生類物種以及各棲地環境的生態介量。其中棲地介量包括各調查點的種類

豐富度(Species richness)和歧異度(Diversity)以及各兩生類物種出現的頻度(Frequency)和數量豐富度(Abundance), 各介量的計算方法如下:

(1)種類豐富度:

$$d = S / N \text{ (Menhinick, 1964)}$$

其中d為棲地的種類豐富度; S為兩生類的種數; N為該地點記錄之兩生類總隻數。

(2)歧異度:

本實驗中採用的歧異度計算法為Simpson diversity index。

$$D = 1 - \sum (ni/N)^2$$

其中D為該地物種歧異度; ni為各種兩生類的隻數; N為該地兩生類總隻數。

(3)頻度分析:

$$F \% = x/n * 100\% \text{ (Raunkiaer, 1934)}$$

其中x為該種所出現的調查地點數; n為所有調查地點數(在本實驗中為12個調查地點)。

(4)物種豐富度:

$$A = X/x \text{ (Whitford, 1949)}$$

其中X為該種調查所得總隻數; x為該種所出現的調查地點數。

實驗結果

第一部份：酸性對拉都希氏赤蛙胚胎孵化及蝌蚪成長的影響實驗

(一)、酸性處理下的拉都希氏赤蛙蝌蚪孵化及畸型數：

在攝氏25度實驗室內經過10天孵化過程之後，在pH 值為7.5、 6.0、 5.0及 4.0的四組處理下之孵化百分率分別為58.0、 58.0、 60.0及58.0% ，各組處理間無顯著差異 ($0.95 < p < 0.975$)。

孵化後蝌蚪共有眼睛棒狀、尾部彎曲以及腹部漲大等畸型形式(圖3)；以變異數分析比較畸型蝌蚪數量後，各處理組間的蝌蚪畸型數量無顯著差異($0.25 < p < 0.50$)；圖4)。

(二)、鈉離子通道受抑制下的胚胎孵化數：

拉都希氏赤蛙胚胎孵化率如表1所示。由各處理下的孵化狀況可知：單純只有溫度、酸性或amiloride濃度的變化並不影響胚胎的孵化率；但酸性和amiloride之間對胚胎孵化率有顯著的交互作用存在($p < 0.001$)，在濃度較高(0.5mM)的amiloride下，pH4.0處理組的胚胎孵化率為0，明顯較0.1mM組及控制組(不加amiloride)為低。

(三)、酸性對拉都希氏赤蛙蝌蚪存活及發育的影響：

各酸性處理下拉都希氏赤蛙蝌蚪的存活率如圖5所示。經由內插法的計算，拉都希氏赤蛙蝌蚪的酸性半致死濃度為pH 3.80。

酸性對拉都希氏赤蛙蝌蚪的取食狀況(圖6)及成長狀況(圖7)的影響結果極為相似：pH 4.0處理下的均明顯地低於pH 7.5、 6.0及 5.0三組；其餘的三組間並無明顯的差異。

pH 4.0處理組蝌蚪在變態前的體長、體重及發育階段均和pH 7.5、6.0及 5.0三組處理有明顯的差異($p < 0.01$)，其中體長和發育階段間的相關係數值為0.7499，顯示此兩項形質間有高度的關係。

由此結果看來，酸性在拉都希氏蛙蝌蚪存活上的效應十分明顯；而酸性對拉都希氏赤蛙蝌蚪所產生的亞致死效應(sub-lethal effect)亦顯著地影響pH 4.0處理組蝌蚪的發育狀況。

陽明大學

第二部份：野外族群及環境因子變化調查

在計畫執行前期(84年11月至85年2月)的調查次數為每月一次，調查時間為每月上旬至中旬；後期(85年3月至5月上旬)則增加為每月兩次，每月上旬、下旬各調查一次。調查的結果如下：

(一)野外兩生類族群變化：

各種兩生類幼蛙及成蛙在各次調查的出現地點及總數量如表2所示，其中盤古蟾蜍、拉都希氏赤蛙及艾氏樹蛙在各調查點均有分佈，是廣泛分佈的種類；而古氏赤蛙、牛蛙、莫氏樹蛙及褐樹蛙均只在單一地點出現，其分佈較為狹隘。

兩生類成蛙及幼蛙在調查期間的數量變化狀況則如表3所示。由此結果看出：盤古蟾蜍及拉都希氏赤蛙的出現並無特定的時間性，在調查期間每次均有發現；而台北樹蛙、長腳赤蛙為冬季的蛙類，長腳赤蛙多集中於11月至2月出現，而台北樹蛙的生殖期可延續至4月初(5月的記錄為剛由蝌蚪變態而成的幼蛙)；其他種類則於2月之後才陸續出現。

蝌蚪出現時間及大略數量如表4所示，大致和成蛙相似；由於腹斑蛙的蝌蚪為一年生，因此出現的時間較久。拉都希氏赤蛙的蝌蚪在12月及1月數量較少。

(二)環境因子和兩生類活動的關係：

各調查地點所得環境因子的平均值如表5所示，由於相關性均不高，故就相關係數之絕對值在0.3以上的項目來討論。

各環境因子和兩生類成蛙、幼蛙數量之間的相關性如表6；經主成份分析取三個主成份軸(表7)，結果顯示影響兩生類成蛙、幼蛙活動的第一

主成份軸主要和氯離子、鐵離子、亞硫酸鹽、硝酸鹽及銨根離子等水質化學因子有關；而第二主成份軸和氣溫、水深及濕度等物理性因子有關；第三主成份軸則和鹼度、pH值、硬度、磷酸鹽及水溫等水質因子有關。

而各兩生類成蛙及幼蛙出現的種間相關性則如表8所示。成蛙及幼蛙的生態同功群經群集分析的結果則如圖8所示，大致和其生殖季及出現地點類似。其中拉都希氏赤蛙因生殖季最長且出現地點最多，故和其他蛙類的距離最大。

由於氣溫及濕度這兩種氣候因子對於生活在水中的蝌蚪影響不大，故對於蝌蚪僅就水域環境因子加以討論。水域環境因子和蝌蚪的關係如表9所示；表10則顯示主成份分析的結果，第一主成份軸主要和鐵離子、氯離子、銨根離子、亞硫酸鹽、硝酸鹽及硬度有關；第二主成份軸和pH值、磷酸鹽及鹼度有關，第一及第二軸均以化學因子為主；第三軸則為水溫及深度這兩項物理因子所組成。

蝌蚪的種間關係列於表11；各種蝌蚪出現的時間地點經群集分析所得之關係樹形圖如圖9所示，分佈較廣的盤古蟾蜍及拉都希氏赤蛙蝌蚪和其他種類蝌蚪的距離較長，冬季繁殖的台北樹蛙及長腳赤蛙亦和其餘春季生殖蛙類區隔。

(三)生態介量分析結果：

1、各調查點的分析結果

如表12所示，各調查點的種豐富度以大屯瀑布的0.90及冷水坑的0.87最高；大屯山的0.33最低。而種歧異度以向天池的0.85最高，大屯山的0.24最低。

2、各種類的分析結果：

如表13所示，各兩生類物種在各調查點的出現頻度以盤古蟾蜍、拉都希氏赤蛙及艾氏樹蛙最高，皆為100%；其次為面天樹蛙的92%；古氏赤

蛙、牛蛙及莫氏樹蛙記錄的地最少，各只在一個調查記錄到，其出現頻度為8%。

物種在所有調查地點的豐富度以拉都希氏赤蛙最高，平均每個出現的調查點記錄了77.67隻次；而盤古蟾蜍、台北樹蛙及腹斑蛙在有出現的調查點記錄亦都在30隻次以上；而澤蛙、古氏赤蛙、褐樹蛙及莫氏樹蛙所記錄的平均值則在5隻次以下。



討論

不同種類的兩生類胚胎受到環境中酸鹼度的影響各不相同：Griffiths et al. (1994)發現在pH 4.45下的*Triturus vulgaris*幼體有孵化時間及孵化時發育階段太早、體型較小的狀況，但同屬的*T. helveticus*卻不受影響。顯示出即使相近種之間胚胎孵化率受酸性影響的狀況亦有差異；而Picker, McKenzie and Fielding亦發現胚胎外部的膠質膜(jelly membrane)對中和酸性的能力不同，因而造成了*Xenopus gilli*及*X. leavis*胚胎耐酸力的差異；Dale等人(1985)在調查野外兩生類及棲地因子時發現，因部份兩生類(如*Rana sylvatica*)可在酸性環境下生殖及孵化，造成了不同棲地內兩生類群聚的組成差異。

本實驗的結果顯示pH 4.0以上的酸性環境並不影響拉都希氏赤蛙胚胎的孵化率，亦不造成拉都希氏赤蛙的蝌蚪畸型率差異。但因野外另外存在許多環境因子，在過低的酸鹼度之下，其他環境因子和酸性間會因交互作用而對兩生類造成影響。以兩生類的胚胎發育為例，Pierce & Wooten (1992)曾推論酸性和環境中多種陰離子(anions)的共同作用會抑制美洲蟾蜍*Ambystoma texanum*胚胎的生長；Beattie et al. (1992)、Bradford et al. (1994)、Clark & Hall (1985)及Tyler-Jones & Beattie (1989)皆認為鋁離子和酸性的交互作用會降低水中胚胎的存活率，Freda & McDonald (1993)更進一步認為鋁離子和酸性的交互作用主要來自鋁離子和水中有機物形成毒性複合物所致。

在本實驗中針對鈉離子通道及耐酸力的實驗結果顯示，在pH 4.0下可孵化的拉都希氏赤蛙胚胎在鈉離子通道功能受抑制時，死亡率顯著增加，可知細胞鈉-氫離子交換蛋白(Na^+/H^+ exchanger)在胚胎對酸性忍受力的調節上佔有極重要的地位。Robinson (1993)發現鈉離子在短期酸性下的流失速率較長期酸性為快，因此酸雨(acid rain)在短期內對兩生類幼體鈉離子平衡的影響程度可能較長期的棲地酸化(habitat acidification)為大。

溫度亦為影響胚胎耐酸力的因子之一：Beattie et al. (1992)發現酸性和溫度之間的交互作用會影響*Rana temporaria*胚胎的存活；而Horne & Dunson(1994)亦肯定溫度及酸鹼度對美洲蟾蜍孵化有交互作用存在。但此酸鹼度-溫度間的交互作用卻不足以影響拉都希氏赤蛙的孵化。

在本實驗中，蝌蚪的存活模式和國外大多數研究結果類似：在酸性最強的環境(pH 3.5)下的蝌蚪死亡率最高；而在中性(pH 7.0)及弱酸性(pH 6.0、pH 5.0及pH 4.0)下蝌蚪存活率均無顯著差異。此結果可證明在中強酸性的環境下，拉都希氏赤蛙蝌蚪的存活確實會受到不良的影響。

而根據國外的報告指出：在在pH值為4.5的酸性環境之下，兩生類會有取食行為受抑制(Griffiths, 1993)的情形；而在本實驗中拉都希氏赤蛙蝌蚪在pH 4.0的酸性之下亦發生取食量降低的狀況；此影響造成了pH 4.0處理組蝌蚪的總食量較低，可知酸性對於拉都希氏赤蛙蝌蚪亦有抑制取食行為的影響。

由拉都希氏赤蛙蝌蚪在各處理下的成長率可知：在pH 4.0的酸性環境下，蝌蚪有生長速率緩慢的狀況，可證實台灣的拉都希氏赤蛙幼體會受到酸性環境的影響而生長狀況不良。

在存活率最高的pH 7.5、6.0及5.0處理下蝌蚪的成長率反而不及pH 4.0。由此結果可知長期在亞致死酸性下的澤蛙蝌蚪其成長速率並不一定會受到抑制，長期酸性因子在某些無尾兩生類幼體的作用亦可能有刺激成長的狀況發生；推測可能是蝌蚪在一段適應期後，為早日擺脫環境壓力陰影而加快生理機能的結果。在蝌蚪變態前的體長比較上，蝌蚪的體長亦受酸性影響。在pH 4.0處理和其他各組(pH 7.5、6.0、5.0)處理的比較時呈現顯著的差異($p < 0.001$)，顯示在長期的酸性環境下，蝌蚪的變態前體長會受到影響。

在變態前的體重比較上，拉都希氏赤蛙蝌蚪(在pH 4.0處理下個體顯著較輕 $p < 0.001$)，亞致死效應明顯。此結果亦符合國外學者認為剛變態兩生類會因酸性造成體重差異而影響幼體競爭能力的說法。

由成蛙、幼蛙與環境因子的主成份分析結果可知，三個主成份軸所能解釋成蛙及幼蛙活動的變異量總計只有68.8%，可知在本實驗中所取的環境因子對於解釋成蛙及幼蛙活動況仍嫌不足；而本實驗中所要探討的酸性因子主要和第三軸有關，可見酸性和成蛙及幼蛙活動的相關性並不大。國外的研究結果亦指出蛙類對產卵地的選擇與該地的酸鹼度無關 (Aston et al., 1987)，然而太強的酸性 (pH 4.45以下)對兩生類幼體確有不良影響，因此酸化問題對於兩生類族群的衝擊不可輕視。

蝌蚪與水域因子經主成份分析所得結果較成蛙及幼蛙為佳，三個軸可解釋的變異量達92.0%。蝌蚪的出現主要和水中化學因子有關，水溫及水深所佔的份量並不重。Dale等人(1985)在Nova Scotia地區野外調查的結果發現當地11種兩生類可依環境因子分為兩群，且這兩群之間有互斥的情形；顯示蝌蚪對於水中各種化學因子的適應力及可忍受程度的不同會影響兩生類群聚的組成。

在本實驗中，不論成蛙及幼蛙或蝌蚪的出現均和鹼度、pH值大小等代表水體對酸性緩衝力狀態(Buffer status)的因子呈正相關，此結果和Glooschenko et al. (1992)及Rowe & Dunson (1993)的研究結果一致，由此可知棲地的酸性中和力確實會影響到兩生類在酸化環境下的族群變動。

Glooschenko et al. (1992)在實驗報告中敘述*Hyla crucifer*的出現和鎳、鎘、硫酸鹽等污染物呈負相關，Horne & Dunson (1994)亦指出在兩生類生殖失敗的水池中鋁、鋅、硫酸鹽及氫離子的含量偏高。而在本實驗中則發現兩生類蝌蚪的出現和水中磷酸鹽有負相關，顯示人為的污染物對水中的兩生類幼體有不良的影響，在日後的經營上，宜對於上述重金屬及其他污染物作詳細的追蹤監測，以了解兩生類棲地的環境品質。

由於在大屯山的調查次數較其他地點為少，記錄種數不多，故所得的歧異度以及種類的豐富度最低。而在大屯瀑布除了廣泛分佈的盤古蟾蜍、拉都希氏赤蛙之外，尚記錄到在靜水域繁殖的面天樹蛙及長腳赤蛙，再加上活動於流水域的古氏赤蛙、斯文豪氏赤蛙及褐樹蛙，使得此調查點的種類豐富度最高。

在物種出現的頻度上，艾氏樹蛙、盤古蟾蜍及拉都希氏赤蛙均出現在每一個地點，故這三種兩生類的出現頻度均為100%，而古氏赤蛙、牛蛙及莫氏樹蛙的出現地點只有一處，其頻度最低。

在兩生類的豐富度上，台北樹蛙及腹斑蛙為局部地區數量頗多的種類；而盤古蟾蜍及拉都希氏赤蛙在查點的平均數量亦多，故上述四種兩生類的數量豐富度較高。

陽明山國家公園內的拉都希氏赤蛙及盤古蟾蜍族群不論在分佈地點及數量上均名列前茅，堪稱陽明山國家公園內最常見的種類；黑眶蟾蜍及腹斑蛙只侷限於少數地點活動；至於莫氏樹蛙在以前的調查記錄(林等, 1987；呂等, 1988；楊, 1991)中並無發現，在本實驗調查中所記錄的個體，證明陽明山國家公園內已有此種兩生類族群的存在。

結論及建議

綜合以上結果，可以得知酸性對於拉都希氏赤蛙的胚胎的影響要在鈉離子平衡能力受到抑制時才會顯現；但蝌蚪的生存、取食及成長都會受到酸性的影響，可見環境中酸性狀況對陽明山區的拉都希氏赤蛙族群極為重要。

在本實驗野外調查期間，陽明山區水質最酸的記錄為夢幻湖的pH 4.1(表6)，依室內實驗的結果，此酸鹼度可能對拉都希氏赤蛙蝌蚪的生長及取食產生較大的影響，在空氣污染繼續惡化的環境下，水質的pH值有可能持續降低，而對在此地生活的拉都希氏赤蛙及其他兩生類族群產生更嚴重的影響，故建議在夢幻湖進行長期的追蹤調查。

環境因子對於陽明山國家公園內兩生類的活動有相當程度的影響；由於本計畫執行的期間有限，只累積了半年的資料，故無法對於陽明山國家公園內所有的兩生類物種做更詳細的研究。在此建議管理單位能夠有計畫的規劃陽明山國家公園內的環境因子及兩生類調查，畢竟環境變動所造成的影響是長期的，必須要累積足夠的資料才能進一步談到要如何經營管理。

參考文獻

- 呂光洋、葉冠群、陳世煌、林政彥、陳賜隆, 1987, 陽明山國家公園兩棲和爬蟲之生態調查, 陽明山國家公園管理處。
- 呂光洋、林政彥、莊國碩, 1990. 台灣區野生動物資料庫 (一) 兩棲類 (II) 行政院農委會
- 林曜松、顏瓊芬、關永才, 1986. 陽明山國家公園動物生態景觀資源, 陽明山國家公園管理處。
- 陳文恭、蔡清彥, 1984. 陽明山國家公園之氣候, 內政部營建署。
- 張淑美, 1989. 白頰樹蛙生殖行為之研究, 國立台灣大學動物研究所碩士論文
- 張耀文, 1989. 面天樹蛙生殖行為之研究, 國立台灣大學動物研究所碩士論文
- 黃增泉、江蔡淑華、陳尊賢、黃淑芳、楊國禎、陳香君, 1988. 夢幻湖植物生態系之調查研究, 中華民國自然生態保育協會
- 楊平世, 1992. 陽明山國家公園大屯自然公園水生動物生態調查, 陽明山國家公園管理處。
- 楊懿如, 1991. 蛙-訪陽明山公園的無尾兩生類, 陽明山國家公園管理處。
- 楊懿如, 1987. 台北樹蛙生殖行為之研究, 國立台灣大學動物研究所碩士論文

鄭先祐, 1987. 陽明山國家公園夢幻湖生態保護區生態系之研究, 陽明山國家公園管理處。

Aston, R. J., R. C. Beattie and A. G. Milner. 1987. Characteristics of spawning sites of the common frog (*Rana temporaria*) with particular reference to acidity. *Journal of Zoology*. 213: 233-242.

Beattie, R. C., R. Tyler-Jones, and M. J. Baxter. 1992. The effects of pH, aluminium concentration and temperature on the embryonic development of the European common frog, *Rana temporaria*. *Journal of Zoology*, 228(4): 557-570.

Blaustein, A. R. , D. B. Wake, and W. P. Sousa. 1994. Amphibian declines: judging stability, persistence, and susceptibility of populations to local and global extinctions. *Conservation Biology*. 8(1): 60-71.

Bradford, D. F. , M. S. Gordon, D. F. Johnson, R. D. Andrews, and W. B. Jennings. 1994. Acidic deposition as an unlikely cause of amphibian population declines in the Sierra Nevada, California. *Biological Conservation*. 69: 155-161.

Charlson, R. J., and M. L. Wogley. 1994. Sulfate aerosol and climatic change. *Scientific American*. 28-35.

Clark, K. L.; R. J. Hall. 1985. Effects of elevated hydrogen ion and aluminum concentrations on the survival of amphibian embryos and larvae. *Canadian Journal of Zoology*. 63: 116-123.

- Dale, J. M. ., and B. Freedman. 1985. Acidity and associated water chemistry of amphibian habitats in Nova Scotia. *Canadian Journal of Zoology*. 63: 97-105.
- Dupond, J., and Y. Grimard. 1986. Systematic study of lake water acidity in Quebec. *Water, Air and Soil Pollution*. 31:223-230.
- Freda, J. D. G. McDonald. 1993. Toxicity of amphibian breeding ponds in the Sudbury region. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 50(7): 1497-1503.
- Glooschenko, V. W. F. Weller, P. G. R. Smith, R. Alvo, and J. H. G. Archbold. 1992. Amphibian distribution with respect to pond water chemistry near Sudbury, Ontario. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 49(114-121).
- Griffiths, R. A. 1993. The effect of pH on feeding behaviour in newt larvae (*Triturus*: Amphibia). *Journal of Zoology*. 231: 285-290.
- Griffiths, R. A. ., P. de Wijer, and L. Brady. 1993. The effect of pH on embryonic and larval development in smooth and palmate newts, *Triturus vulgaris* and *T. helveticus*. *Journal of Zoology*. 230: 401-409.
- Horne, M. T. ., and W. A. Dunson. 1994. Exclusion of the Jefferson salamander, *Ambystoma jeffersonianum*, from some potential breeding ponds in Pennsylvania: Effects of pH, temperature, and metals on embryonic development. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 27(3): 323-330.

- Nichols, D. S., and R. McRoberts. 1986. Relations between lake acidification and sulfate deposition in Northern Minnesota, Wisconsin, and Michigan. *Water, Air and Soil Pollution*. 31:669-688.
- Picker, M. D. ,. C. J. McKenzie, and P. Fielding. 1993. Embryonic tolerance of *Xenopus* (Anura) to acidic blackwater. *Copeia*. 1993(4): 1072-1081.
- Pierce, B. A.; D.K.Wooten. 1992. Acid tolerance of *Ambystoma texanum* from central Texas. *Journal of Herpetology*. 26(2): 230-232.
- Robinson, G. D. 1993. Effects of reduced ambient pH on sodium balance in the red-spotted newt, *Notophthalmus viridescens*. *Physiological Zoology*. 66: 602-618.
- Rowe, C. L. , and W. A. Dunson. 1993. Relationships among abiotic parameters and breeding effort by three amphibians in temporary wetland of Central Pennsylvania. *Wetlands*. 13(4): 237-246.
- Schoen, R.. 1986. Water acidification in the Federal Republic of Germany proved by simple chemical models. *Water, Air and Soil Pollution*. 30:381-386.
- Tyler-Jones, R. and R. C. Beattie. 1989. The effects of acid water and aluminium on the embryonic development of the common frog, *Rana temporaria*. *Journal of Zoology*. 219: 355-372.
- Wieting, J.. 1986. Water acidification by air pollutants in the Federal Republic of Germany. *Water, Air and Soil Pollution*. 31:247-256.

圖4. 拉都希氏蛙胚胎孵化數及畸型數; 檢驗結果各處理下孵化率 ($0.95 < p < 0.975$)及蝌蚪畸型率($0.25 < p < 0.50$)皆無顯著差異

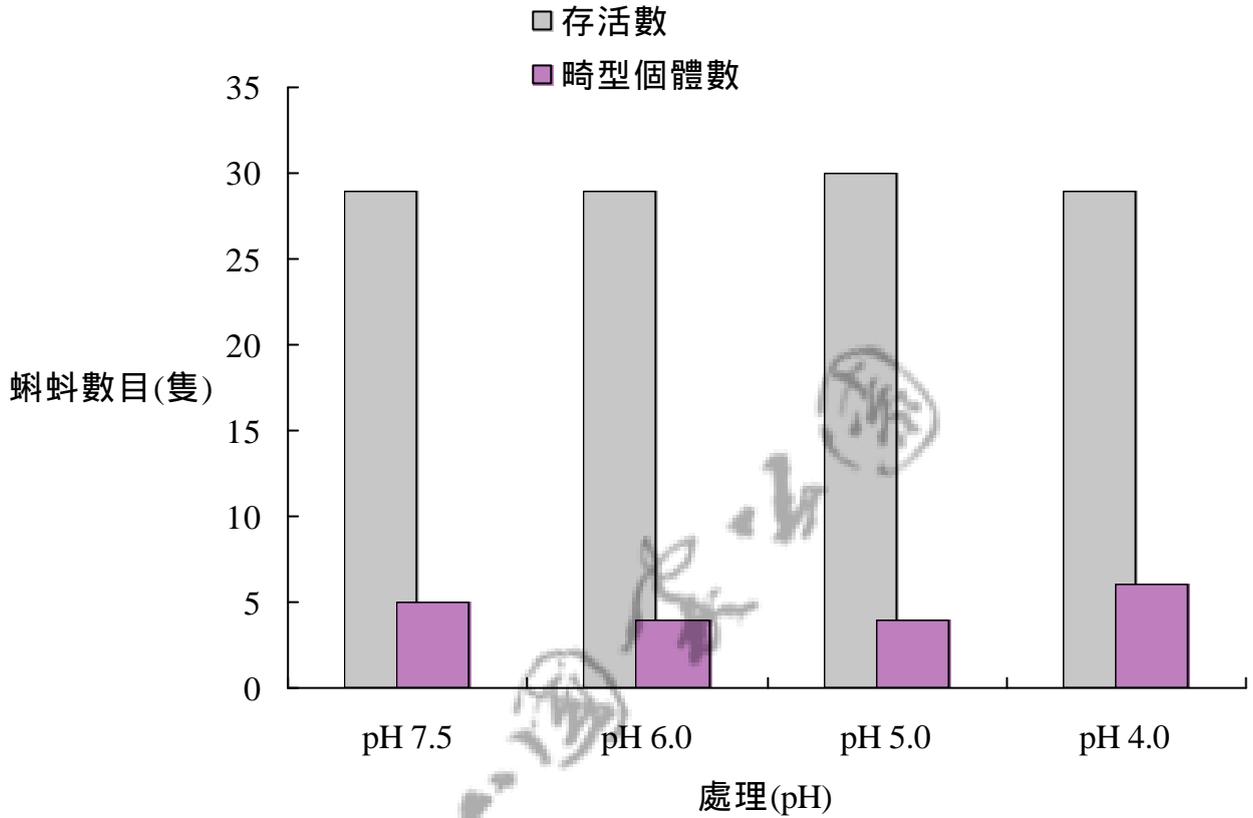


圖5. 各種酸性處理下拉都希氏蛙蝌蚪的存活比例, pH3.5處理下的蝌蚪存活率明顯地低於其他各處理

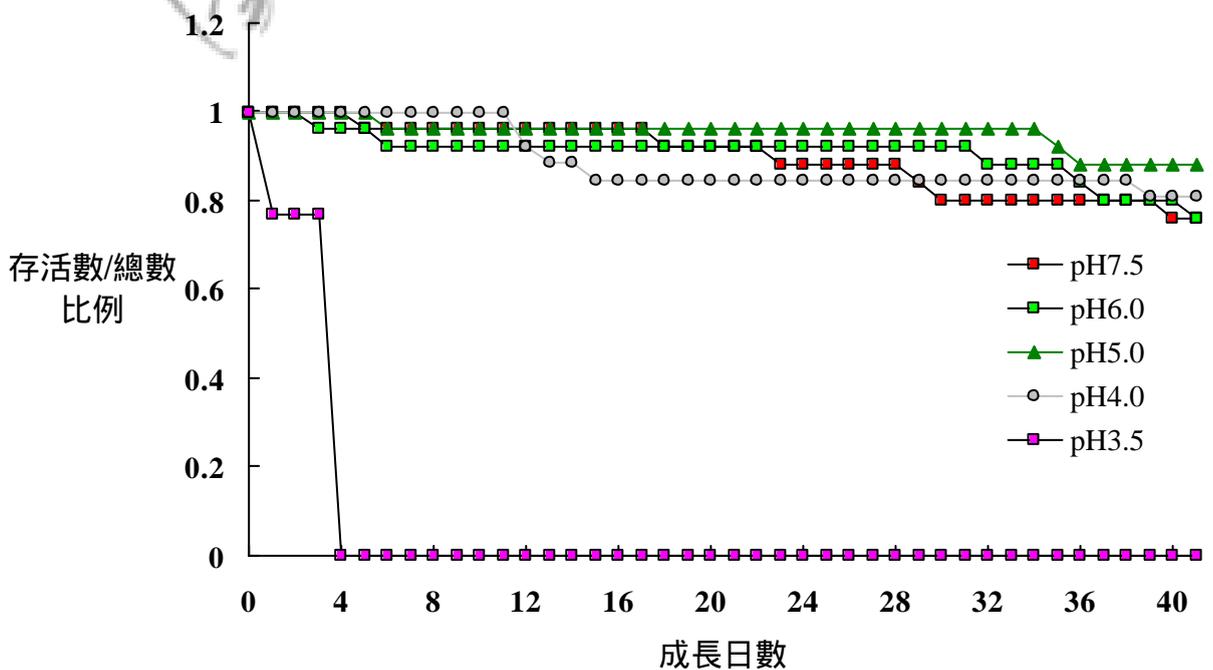


圖6.拉都希氏蛙蝌蚪取食率;pH4.0處理取食率明顯較pH7.5, pH6.0及pH5.0三處理為低

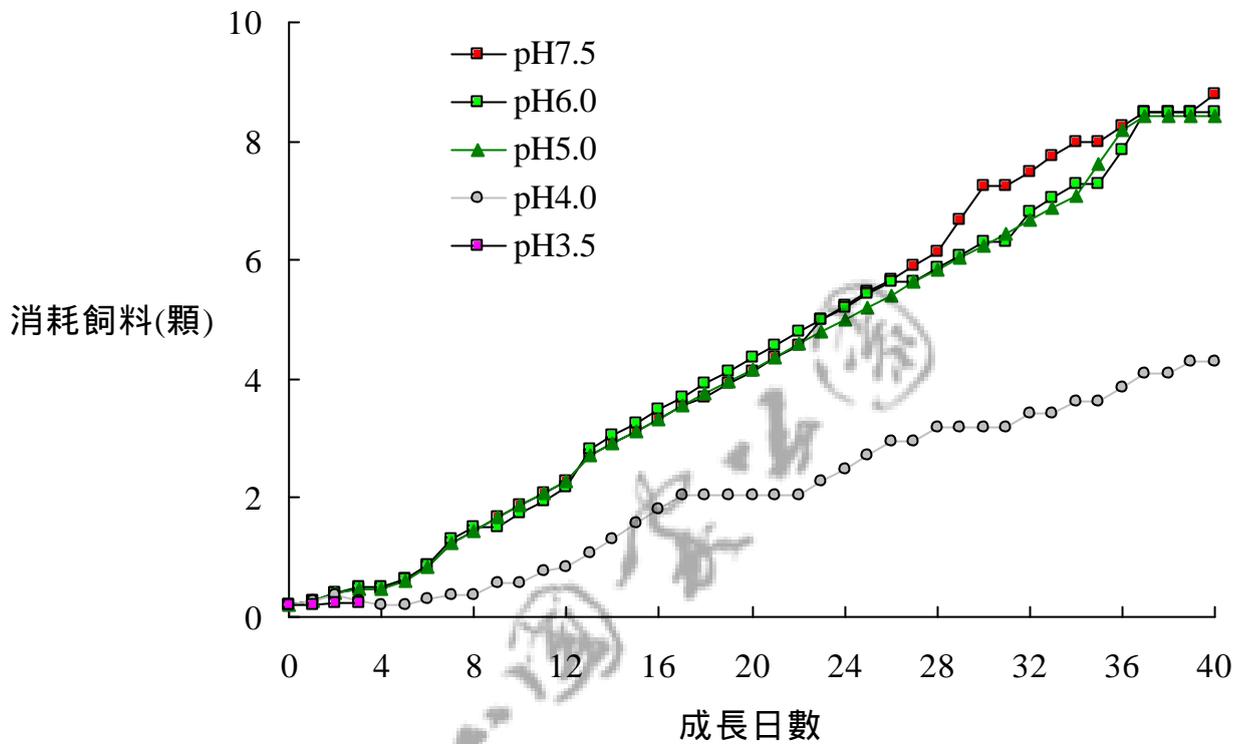
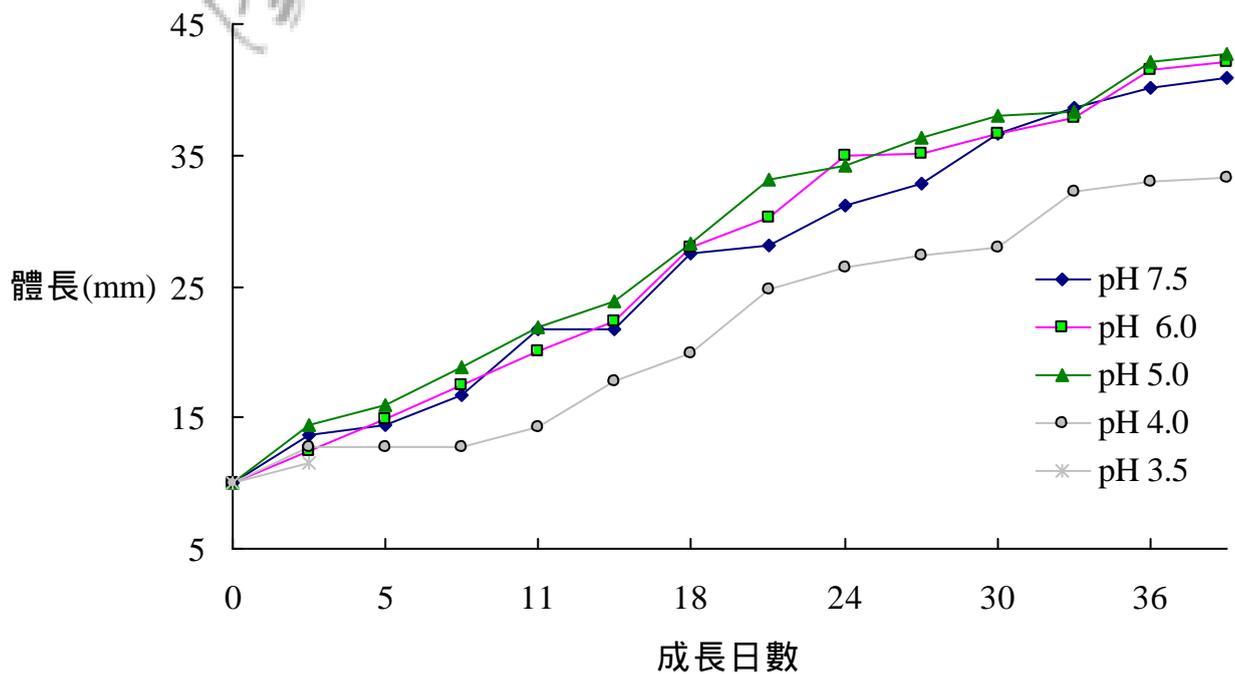


圖7.拉都希氏蛙蝌蚪在實驗過程中的體長變化,pH4.0處理明顯成長慢;其他三組間的成長速率無差異



溫度	aa	15度			25度		
酸鹼度	amiloride	0mM	0.1mM	0.5mM	0mM	0.1mM	0.5mM
pH7.0		50	49	49	50	50	50
pH5.0		50	49	48	50	50	48
pH4.0		50	46	0	50	31	0

表1.拉都希氏赤蛙胚胎在各處理下的孵化率.
受amiloride及pH交互作用影響

	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.-1	Ma Apr.-1	Apr.-2	May
盤古	71	42	71	70	57	94 14	45	58
黑眶	1	0	0	1	0	0 0	2	4
拉都	13	44	75	114	187	## 7	104	180
澤蛙	0	0	0	1	1	1 0	2	1
長腳	4	19	12	42	0	0 0	0	0
尖鼻	1	12	14	4	8	10 0	1	4
腹斑	2	0	1	0	62	62 0	2	24
貢德	0	0	0	0	1	1 0	11	19
樹蟾	0	0	0	0	29	41 0	40	30
艾氏	1	0	0	23	50	77 1	14	28
面天	0	0	0	0	11	48 2	50	67
台北	24	97	83	137	97	## 10	0	3
白額	0	0	0	0	0	0 0	40	68
小雨	0	0	0	0	0	0 0	0	3
古氏	0	0	0	1	0	0 2	1	1
褐樹	0	0	0	0	2	2 0	0	4
牛蛙	0	0	0	1	0	1 0	4	4
莫氏	0	0	0	0	1	2 0	0	0

	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.-1	Ma Apr.-1	Apr.-2	May
盤古	***	***	***	***	***	*****	***	***
拉都	***	**	**	***	***	*****	***	***
長腳	*	**	***	***	**	0 0	0	0
尖鼻	0	0	0	0	0	0 0	*	**
腹斑	*	*	*	0	**	0 *	*	**
樹蟾	0	0	0	0	0	* *	**	**
白額	0	0	0	0	0	0 0	**	**
台北	**	***	**	***	**	** **	**	*
古氏	0	0	0	0	0	0 **	**	**

表1、50顆拉都希氏赤蛙胚胎在各處理下的孵化數量；受amiloride及pH值交互作用的影響，pH 4.0處理下胚胎在細胞鈉離子通道受抑制時的孵化數明顯較控制組(不加amiloride)為少。

		溫度()			25		
酸鹼度	amiloride	0	0.1	0.5	0	0.1	0.5
	濃度(mM)						
pH7.0		50	49	49	50	50	50
pH5.0		50	49	48	50	50	48
pH4.0		50	46	0	50	31	0

表2、調查期間在各調查點所觀察到之無尾兩生類種類。

	面天堂 水池	二子坪 水池	光復樓 水池	大屯瀑 布	前山公 園水池	冷水坑	夢幻湖	大屯自 然公園	竹子湖	實驗池	向天池	大屯山 水池
盤古蟾蜍	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
黑眶蟾蜍	*		*		*							
拉都希氏蛙	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
澤蛙		*	*	*				*			*	
長腳赤蛙	*	*		*		*		*	*		*	
斯文豪氏蛙			*	*								
腹斑蛙							*					
貢德氏蛙			*	*	*	*		*			*	
牛蛙								*				
古氏赤蛙				*								
中國樹蟾	*	*				*	*	*	*	*	*	*
艾氏樹蛙	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
面天樹蛙	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*
台北樹蛙	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*
莫氏樹蛙										*		
白額樹蛙	*	*	*			*	*	*		*	*	*
褐樹蛙				*								
小雨蛙						*		*				

表3、各種無尾兩生類成、幼蛙在調查期間(84年11月至85年5月)的數量變化圖。大多數種類的出現有季節性，但拉都希氏赤蛙及盤古蟾蜍較不受影響，在每次調查中均有記錄。

調查時間	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar. 第1次	Mar.-2 第2次	Apr.-1 第1次	Apr.-2 第2次	May
盤古蟾蜍	71	42	71	70	57	94	14	45	58
黑眶蟾蜍	1	0	0	1	0	0	0	2	4
拉都希氏蛙	13	44	75	114	187	656	7	104	180
澤蛙	0	0	0	1	1	1	0	2	1
長腳赤蛙	4	19	12	42	0	0	0	0	0
斯文豪氏蛙	1	12	14	4	8	10	0	1	4
腹斑蛙	2	0	1	0	62	62	0	2	24
貢德氏蛙	0	0	0	0	1	1	0	11	19
中國樹蟾	0	0	0	0	29	41	0	40	30
艾氏樹蛙	1	0	0	23	50	77	1	14	28
面天樹蛙	0	0	0	0	11	48	2	50	67
台北樹蛙	24	97	83	137	97	154	10	0	3
白額樹蛙	0	0	0	0	0	0	0	40	68
小雨蛙	0	0	0	0	0	0	0	0	3
古氏赤蛙	0	0	0	1	0	0	2	1	1
褐樹蛙	0	0	0	0	2	2	0	0	4
牛蛙	0	0	0	1	0	1	0	4	4
莫氏樹蛙	0	0	0	0	1	2	0	0	0

表4、各種無尾兩生類蝌蚪在陽明山區出現的時間及大略數量。

(*為1至10隻；**為11至100隻；***為100隻以上)

調查時間	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Mar.	Apr.	Apr.	May
					第1次	第2次	第1次	第2次	
盤古蟾蜍	***	***	***	***	***	***	***	***	***
拉都希氏蛙	***	**	**	***	***	***	***	***	***
長腳赤蛙	*	**	***	***	**	0	0	0	0
斯文豪氏蛙	0	0	0	0	0	0	0	*	**
腹斑蛙	*	*	*	0	**	0	*	*	**
中國樹蟾	0	0	0	0	0	*	*	**	**
白額樹蛙	0	0	0	0	0	0	0	**	**
台北樹蛙	**	***	**	***	**	**	**	**	*
古氏赤蛙	0	0	0	0	0	0	**	**	**

表5、各調查地點在調查期間各種環境因子的平均值。

	水溫 ()	濕度 (%)	水溫 ()	深度 (cm)	pH值	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	Fe ²⁺ (mg/L)	鹼度 (mg/L)	SO ₃ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	硬度 (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)
面天堂水池	14.1	79.6	14.0	29.2	6.3	0.33	0.02	1.67	0.33	31.2	0.62	6.1	23.1	2.8
二子坪水池	11.9	77.2	16.1	40.9	7.7	0.22	0.02	0.89	0.11	37.0	0.74	9.2	26.1	2.4
光復樓水池	16.4	76.3	16.0	34.3	7.2	2.22	0.09	2.67	0.22	35.9	1.39	16.6	43.3	3.3
大屯瀑布	16.9	78.1	16.4	23.7	6.4	1.67	0.09	1.67	5.78	50.2	1.90	19.9	52.3	3.4
前山公園	16.4	75.2	17.7	47.8	6.9	0.33	0.02	1.56	0.33	39.7	1.13	7.0	36.8	3.3
冷水坑	15.4	79.1	16.4	41.1	5.6	0.44	0.02	2.67	0.33	18.8	1.22	30.0	101.3	3.1
夢幻湖	13.0	80.7	13.6	39.8	4.9	0.11	0.00	0.11	0.00	6.8	2.64	7.3	7.7	2.6
大屯自然公園	13.7	82.0	14.7	41.2	6.6	0.44	0.00	0.78	0.44	11.2	0.80	7.3	7.6	2.7
竹子湖	14.7	78.3	14.4	11.8	6.8	2.00	0.11	2.22	0.11	22.3	0.90	7.3	15.8	2.9
實驗池	13.4	78.8	13.3	23.7	5.8	0.78	0.00	1.33	0.44	8.6	0.64	10.7	10.3	2.7
向天池	12.7	80.1	12.3	6.1	6.1	1.11	0.00	0.78	0.11	11.0	0.60	10.9	10.9	2.5
大屯山水池	15.2	80.8	15.4	39.6	6.8	0.00	0.02	0.20	1.00	19.4	0.50	9.0	27.0	3.0

表6、各調查地點酸鹼度(pH值)的最高、最低值及平均值，以夢幻湖的酸性最強。

	面天堂 水池	二子坪 水池	光復樓 水池	大屯瀑 布	前山公 園水池	冷水坑	夢幻湖	大屯自 然公園	竹子湖	實驗池	向天池	大屯山 水池
最低	5.4	7.1	5.3	6.4	6.6	4.4	4.1	6.2	6.4	5.4	6.2	6.6
最高	7.2	8.7	7.7	7.6	7.4	7.3	5.4	7.1	7.0	6.1	6.8	7.0
標準差	0.7	0.6	0.7	0.4	0.3	1.3	0.4	0.3	0.2	0.3	0.5	0.2
平均值	6.3	7.7	7.2	6.9	6.9	5.6	4.9	6.6	6.8	5.8	6.1	6.8

表7、陽明山區各種兩生類成、幼蛙數量和環境因子的相關係數(r)對應表

	氣溫 ()	濕度 (%)	水溫 ()	水深 (cm)	pH值	硝酸鹽 (mg/L)	銨根 (mg/L)	磷酸鹽 (mg/L)	鐵離子 (mg/L)	鹼度 (mg/L)	亞硫酸鹽 (mg/L)	氯離子 (mg/L)	硬度 (mg/L)
盤古蟾蜍	-0.21	-0.19	-0.05	-0.12	0.07	-0.02	-0.04	-0.04	0.04	0.14	0.08	0.21	0.12
黑眶蟾蜍	0.14	-0.02	0.13	0.13	0.17	0.03	0.17	0.19	-0.03	0.16	-0.03	-0.04	-0.02
拉都希氏蛙	0.11	-0.05	0.05	0.04	0.10	-0.13	0.06	-0.12	-0.01	-0.01	-0.07	-0.09	-0.04
澤蛙	0.01	0.02	0.03	0.01	0.19	-0.08	0.12	0.03	-0.02	0.05	-0.06	-0.06	-0.03
長腳赤蛙	-0.18	0.00	0.56	-0.12	0.17	-0.10	-0.07	-0.09	-0.04	0.16	-0.04	-0.02	0.02
斯文豪氏蛙	0.28	-0.08	0.20	-0.05	0.04	0.27	0.05	-0.08	0.22	0.29	0.11	0.25	0.13
腹斑蛙	0.09	0.08	0.07	0.07	-0.24	-0.06	-0.05	-0.12	-0.02	-0.11	0.05	-0.07	-0.09
貢德氏蛙	0.27	-0.03	0.10	0.14	0.00	-0.08	-0.04	-0.08	-0.02	-0.09	-0.10	-0.08	-0.09
中國樹蟾	0.23	0.05	0.04	0.06	-0.14	-0.13	-0.10	-0.05	-0.02	-0.24	-0.09	-0.10	-0.10
艾氏樹蛙	-0.09	0.00	-0.04	0.14	-0.02	-0.26	0.05	-0.09	-0.05	-0.17	0.08	-0.13	-0.07
面天樹蛙	0.25	0.04	0.01	0.27	-0.07	-0.19	-0.08	-0.12	-0.01	-0.25	-0.15	-0.15	-0.21
台北樹蛙	-0.26	-0.02	-0.07	-0.31	-0.05	-0.15	-0.12	-0.13	-0.08	0.03	0.13	-0.03	0.00
白額樹蛙	0.24	-0.03	0.05	0.30	-0.06	-0.15	-0.10	-0.03	-0.01	-0.17	-0.09	-0.08	-0.14
小雨蛙	0.19	0.01	0.07	0.12	0.01	-0.02	-0.05	-0.12	0.00	-0.09	-0.05	-0.04	-0.01
古氏赤蛙	0.08	0.16	0.00	-0.03	-0.02	0.06	0.15	0.20	0.36	0.07	0.15	0.22	0.16
褐樹蛙	0.25	-0.06	0.10	-0.04	-0.26	0.06	0.47	-0.12	0.90	-0.04	0.38	0.57	-0.11
牛蛙	0.06	0.01	0.01	0.10	0.03	-0.05	-0.07	-0.14	0.01	-0.10	-0.09	-0.06	-0.11
莫氏樹蛙	-0.07	0.02	-0.09	-0.08	-0.10	-0.10	-0.06	-0.04	-0.01	-0.10	-0.04	-0.04	-0.06

表8、各主成份軸所能解釋成、幼蛙活動的百分比：

	第一軸	第二軸	第三軸
可解釋變異	32.1%	21.2%	15.4%
累計解釋量	32.1%	53.3%	68.7%

構成各主成份軸的環境因子及其相關性：

	第一軸	第二軸	第三軸
氯離子	0.96	-0.07	0.16
鐵離子	0.95	0.17	-0.09
亞硫酸鹽	0.91	-0.32	-0.02
銨根離子	0.81	0.25	0.11
硝酸鹽	0.63	0.21	0.57
氣溫	0.19	0.84	-0.20
深度	-0.34	0.77	-0.32
鹼度	0.33	-0.27	0.88
pH值	-0.42	-0.05	0.79
硬度	0.30	-0.32	0.77
磷酸鹽	0.09	0.41	0.59
水溫	-0.02	0.01	0.45
濕度	-0.19	0.42	-0.15

表9、陽明山地區兩生類成、幼蛙的種間相關係數(r)對應表

	盤古蟾蜍	黑眶蟾蜍	拉都希氏蛙	澤蛙	長腳赤蛙	斯文豪氏蛙	腹斑蛙	貢德氏蛙	中國樹蟾	艾氏樹蛙	面天樹蛙	台北樹蛙	白額樹蛙	小雨蛙	古氏赤蛙	褐樹蛙	牛蛙	莫氏樹蛙
盤古蟾蜍	1.00																	
黑眶蟾蜍	-0.03	1.00																
拉都希氏蛙	-0.14	-0.03	1.00															
澤蛙	-0.04	0.20	-0.02	1.00														
長腳赤蛙	0.11	-0.06	-0.02	-0.07	1.00													
斯文豪氏蛙	0.00	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	1.00												
腹斑蛙	-0.08	-0.03	-0.04	-0.03	-0.04	-0.04	1.00											
貢德氏蛙	-0.06	0.15	-0.01	0.25	-0.07	-0.07	0.03	1.00										
中國樹蟾	-0.10	-0.08	0.02	0.23	-0.11	-0.10	0.22	0.60	1.00									
艾氏樹蛙	0.18	-0.08	0.10	0.18	-0.05	-0.10	0.08	0.04	0.07	1.00								
面天樹蛙	-0.05	-0.07	0.23	0.13	-0.12	-0.10	0.09	0.53	0.64	0.20	1.00							
台北樹蛙	0.26	-0.12	0.04	-0.01	0.20	-0.16	0.01	-0.15	-0.14	0.31	-0.17	1.00						
白額樹蛙	0.03	-0.05	0.01	0.07	-0.08	-0.07	-0.02	0.47	0.46	0.12	0.83	-0.15	1.00					
小雨蛙	0.02	-0.03	0.00	0.38	-0.04	-0.04	-0.02	0.45	0.13	0.00	0.21	-0.09	0.05	1.00				
古氏赤蛙	-0.01	-0.04	-0.05	-0.04	-0.05	0.11	-0.03	-0.05	-0.07	-0.07	-0.08	-0.11	-0.05	-0.03	1.00			
褐樹蛙	0.07	-0.03	-0.03	-0.03	-0.04	0.39	-0.02	-0.03	-0.05	-0.04	-0.04	-0.09	-0.04	-0.02	0.32	1.00		
牛蛙	0.02	-0.04	0.03	0.28	-0.02	-0.03	-0.02	0.64	0.39	-0.03	0.32	-0.08	0.09	0.61	-0.03	-0.02	1.00	
莫氏樹蛙	0.20	-0.03	-0.03	-0.03	-0.04	-0.04	-0.02	-0.04	-0.05	0.36	0.03	0.09	-0.04	-0.02	-0.03	-0.02	-0.02	1.00

表10、陽明山區各種兩生類蝌蚪和水域環境因子之間的相關係數(r)對應表。

	水溫 ()	水深 (cm)	pH值	硝酸鹽 (mg/L)	銨根離子 (mg/L)	磷酸鹽 (mg/L)	鐵離子 (mg/L)	鹼度 (mg/L)	亞硫酸鹽 (mg/L)	氯離子 (mg/L)	硬度 (mg/L)
盤古蟾蜍	0.18	0.13	0.32	-0.09	-0.13	-0.21	-0.05	0.17	0.03	-0.12	-0.02
拉都希氏蛙	0.01	0.12	0.13	0.01	-0.06	-0.07	-0.02	-0.11	-0.01	-0.10	-0.09
長腳赤蛙	0.25	-0.10	0.11	-0.10	-0.09	-0.16	-0.04	0.05	-0.03	-0.05	-0.04
斯文豪氏蛙	0.21	-0.05	-0.06	0.25	0.21	-0.10	0.50	0.22	0.24	0.41	0.09
腹斑蛙	0.09	0.07	-0.23	-0.07	-0.05	-0.11	-0.02	-0.10	0.05	-0.06	-0.07
中國樹蟾	0.03	0.06	-0.15	-0.11	-0.09	-0.04	-0.01	-0.24	-0.07	-0.09	-0.08
台北樹蛙	0.27	-0.19	0.12	-0.10	-0.10	-0.09	-0.05	0.16	0.02	-0.07	-0.01
白額樹蛙	0.03	0.44	0.02	-0.14	-0.10	-0.07	-0.01	-0.16	-0.08	-0.07	-0.13
古氏赤蛙	0.03	-0.03	-0.10	0.07	0.27	0.14	0.56	-0.01	0.25	0.35	0.05

表11、各主成份軸所能解釋蝌蚪出現時間地點的百分比：

	第一軸	第二軸	第三軸
可解釋變異	56.2%	27.9%	7.9%
累計解釋量	56.2%	84.1%	92.0%

構成各主成份軸的水域環境因子及其相關性：

	第一軸	第二軸	第三軸
鐵離子	0.97	-0.23	0.05
氯離子	0.96	-0.17	0.14
銨根離子	0.95	-0.29	0.07
亞硫酸鹽	0.94	-0.07	0.24
硝酸鹽	0.91	0.02	0.08
硬度	0.83	0.16	0.52
pH值	-0.19	0.87	-0.03
磷酸鹽	0.49	-0.72	-0.16
鹼度	0.45	0.70	0.53
水溫	0.00	0.58	0.77
深度	-0.21	0.06	-0.94

表12、陽明山國家公園內兩生類蝌蚪的種間相關係數(r)對應表

	盤古蟾蜍	拉都希氏蛙	長腳赤蛙	斯文豪氏蛙	腹斑蛙	中國樹蟾	台北樹蛙	白額樹蛙	古氏赤蛙
盤古蟾蜍	1.00								
拉都希氏蛙	0.06	1.00							
長腳赤蛙	0.45	0.08	1.00						
斯文豪氏蛙	-0.11	-0.11	-0.03	1.00					
腹斑蛙	-0.03	-0.06	-0.03	-0.03	1.00				
中國樹蟾	-0.10	0.05	-0.09	-0.10	0.25	1.00			
台北樹蛙	0.34	-0.08	0.53	-0.05	0.00	-0.08	1.00		
白額樹蛙	0.00	0.17	-0.06	-0.07	-0.02	0.10	-0.06	1.00	
古氏赤蛙	-0.08	-0.08	-0.04	0.29	-0.02	-0.07	-0.05	-0.05	1.00

表13、各調查地點的蛙類種數及總數量經計算所得的種豐富度及種歧異度結果；種類豐富度以大屯瀑布最高，種歧異度以向天池最高。

	兩生類總數	種類數	種豐富度	種歧異度
面天堂水池	252	9	0.57	0.76
二子坪水池	235	9	0.59	0.75
光復樓水池	111	9	0.85	0.61
大屯瀑布	100	9	0.90	0.71
前山公園水池	71	7	0.83	0.56
冷水坑	133	10	0.87	0.76
夢幻湖	255	9	0.56	0.76
大屯自然公園	319	13	0.73	0.79
竹子湖	298	7	0.41	0.67
實驗池	204	8	0.56	0.82
向天池	210	10	0.69	0.85
大屯山水池	495	7	0.33	0.24

表14、陽明山地區各兩生類物種經生態介量分析所得在各調查點的出現頻度及數量豐富度。其中盤古蟾蜍、拉都希氏赤蛙及艾氏樹蛙的出現頻度最高；而數量豐富度以拉都希氏赤蛙最高。

種類	總隻數	頻度(%)	豐富度
盤古蟾蜍	465	100	38.75
黑眶蟾蜍	8	25	2.67
拉都希氏赤蛙	932	100	77.67
澤蛙	5	42	1.00
長腳赤蛙	41	58	5.86
斯文豪氏赤蛙	46	25	15.33
腹斑蛙	91	17	45.50
貢德氏蛙	31	33	7.75
古氏赤蛙	5	8	5.00
牛蛙	10	8	10.00
中國樹蟾	111	75	12.33
小雨蛙	3	17	1.50
艾氏樹蛙	144	100	12.00
面天樹蛙	167	92	15.18
台北樹蛙	508	83	50.80
白額樹蛙	108	75	12.00
褐樹蛙	6	17	3.00
莫氏樹蛙	2	8	2.00