

結 果

I. 環境因子：

2003 ~ 2004 年的氣溫及降雨量變化分別為圖 4、5，而水溫（圖 6）和 pH 值（圖 7）的資料只有 4 ~ 9 月，濕度方面因為大部份資料大於 95% 而無法分析。綜合三芝、楊梅及內埔地區，有台北赤蛙出現時的環境因子為：氣溫範圍 10.6°C ~ 28.9°C；水溫範圍 17.0°C ~ 32.1°C；pH 值範圍 4.8 ~ 7.5。

以 two-way ANOVA 分析 2003、2004 年 4 月 ~ 9 月三芝、楊梅、內埔地區的環境因子。水溫方面無顯著差異 ($F = 0.66, P = 0.6575$)。氣溫方面在不同地點間有顯著差異 ($F = 8.17, P = 0.0015$)，以 Tukey HSD test 進一步分析，內埔地區的氣溫 ($27.62 \pm 0.74^\circ\text{C}$) 顯著高於另外兩地，三芝 ($24.24 \pm 0.74^\circ\text{C}$) 和楊梅 ($23.74 \pm 0.74^\circ\text{C}$) 則無顯著差異。

降雨量的分析，只在年間有顯著差異 ($F = 7.54, P = 0.0101$)：2004 年 ($322.81 \pm 42.64\text{mm}$) 顯著高於 2003 年 ($157.28 \pm 42.64\text{mm}$)。

pH 值方面，在地點上有顯著差異 ($F = 11.51, P = 0.0004$)，以 Tukey HSD test 進一步分析，三芝地區 (6.74 ± 0.11) 顯著高於楊梅地區 (6.03 ± 0.11)、內埔地區的 pH 值 (6.14 ± 0.23) 界於前兩地之間，和三芝、楊梅並無顯著差異。

II. 標記-再捕捉資料：

再捕捉率：

在兩年的調查期間，台北赤蛙雄蛙全年的再捕捉率（有再捕捉記錄的個體數 / 總標記個體數）分別為：2003-三芝 — 24.2%；2003-楊梅 — 5.7%；2004-三芝 — 53.0%；2004-楊梅 — 36.4%。雌蛙則只在 2003 三芝地區及 2004 年楊梅地區有再捕捉的記錄（表 1）。因為 2003 年所使用的腰環上標法會有標記遺失的問題，故 2003 年的再捕捉率資料不做後續分析。2004 年楊梅地區的雌蛙再捕捉率（29.4%）和雄蛙再捕捉率（36.4%）並無顯著差異 ($\chi^2 = 1.49, P = 0.2216$)。但是，2004 年

雄蛙的再捕捉率在三芝地區顯著比楊梅地區要高 ($\chi^2 = 6.90, P = 0.0086$)。

合併 2004 年三芝和楊梅地區的資料，分別計算不同剪趾數的再捕捉率：剪 2 趾 — 57.1%；剪 3 趾 — 41.8%；剪 4 趾 — 42.7%；剪 5 趾 — 45.8%；剪 6 趾 — 58.3% (表 2)。以 Contingency analysis 做進一步的分析，不同剪趾數的再捕捉率之間沒有顯著差異 ($\chi^2 = 2.22, P = 0.6953$)。

性比：

2003 ~ 2004 年在三芝和楊梅地區共標記台北赤蛙雄蛙 629 隻、雌蛙 60 隻(表 3)，不同年、不同地區的性比均顯著偏離 1 : 1 ($P < 0.0001$)。

族群數量：

由於 2003 年以腰環上標法標記台北赤蛙個體，到了生殖季後期時，腰環脫落的比例開始增多，因而無法適用 Jolly-Seber method 去估計族群量。為了比較 2003 ~ 2004 年的數量變化，採用 Schnabel method 分別推估三芝和楊梅地區兩年的族群量 (林等, 1996)。三芝地區在 2003 及 2004 年的推估數量分別為：347、203 隻；楊梅地區則為：544、226 隻。

族群變動：

2004 年採用剪趾標記法，以 Jolly-Seber method 推估族群量的變動 (林等, 1996)。三芝地區台北赤蛙的族群量變動約有 2 個高峰，分別出現在 5 月中旬及 7 月上旬 (圖 8)；楊梅地區的族群量高峰也有 2 個：5 月上旬及 7 月中旬 (圖 9)。以 Spearman rank correlation 比較當次調查的推估族群量和實際捕捉量，三芝： $r = 0.65, P = 0.0294$ ；楊梅： $r = 0.55, P = 0.0795$ ，分別是顯著和接近顯著相關。兩地生殖季開始的時間稍有不同：三芝的族群在 4 月下旬才出現，而楊梅的族群則早在 4 月上旬即出現。兩地的生殖季同樣在 9 月上旬結束，楊梅地區的生殖季約比三芝地區長約 1 個月。

存活率及遭遇率：

2003 年的標記-再捕捉資料因部份個體的腰環遺失而不完整，若用來推算存活率會有所偏失，故只用 2004 年的資料。在調查期間，只有楊梅地區有雌蛙的再捕捉資料，所以用楊梅地區的資料推算。由於每個月兩次調查的人數不同，故將每個月的標記-再捕捉資料合併，每個月只剩 1 個調查日期（4/21、5/25、6/29、7/27、8/30、9/21）。利用軟體 MARK5.1 推算台北赤蛙兩次調查之間的存活率及當次調查的遭遇率時，考量的因子有性別、時間、以及兩次調查間的累積降雨量。先以 AIC 值較小、 $\Delta AIC < 2$ 為標準，找出最適合的存活率和遭遇率 model 為： $\{\varphi(g+t)p(g+pre)\}$ 、 $\{\varphi(g+t)p(pre)\}$ （表 4；g—性別；pre—累積降雨量；t—隨時間而變動）。雖然這 2 個 model 的 ΔAIC 很小，可視做等價的 model，但以 AIC 值來看， $\{\varphi(g+t)p(g+pre)\}$ 的 model 有最小值，故選擇 $\{\varphi(g+t)p(g+pre)\}$ 代表楊梅地區的台北赤蛙族群。此 model 推算出兩次調查之間台北赤蛙的存活率，依雄、雌蛙不同分別隨著時間而變動（圖 10）；當次調查的遭遇率則依雄、雌蛙不同分別隨著兩次調查間的累積降雨量而變動（圖 11）。不管是存活率或是遭遇率，均是雄蛙比雌蛙高。

III. 趾骨鑑齡：

年齡判定：

在光學顯微鏡下，可清晰看見台北赤蛙的成長停滯環（圖 12），1 個 LAG 表示個體度過 1 個冬天，將 1 個 LAG 定義為 1 歲，若個體有 4 個 LAG 即是 4 歲。所有的趾骨玻片標本中，可以成功判定年齡的比例達 95.6%（675 / 706）。雄蛙的年齡從 1 歲到 4 歲都有；雌蛙則是從 2 歲到 4 歲。

以 ANOVA 分析 2003 ~ 2004 年三芝和楊梅地區台北赤蛙的生殖族群在年齡上是否有差異：只有在性別上有顯著差異（ $F = 8.19, P = 0.0044$ ），雌蛙的平均年齡（ 2.56 ± 0.09 歲， $n = 51$ ）顯著較雄蛙（ 2.30 ± 0.03 歲， $n = 569$ ）大。若將內埔地區的雄蛙資料加入另行比較，則雄蛙的年齡在地點上有顯著差異（ $F = 3.82, P$

= 0.0225)，以 Tukey HSD test 進一步分析，在內埔地區的台北赤蛙雄蛙平均年齡顯著較老 (2.53 ± 0.08 歲， $n = 54$)，三芝地區 (2.31 ± 0.03 歲， $n = 353$) 和楊梅地區 (2.30 ± 0.04 歲， $n = 216$) 並無顯著差異。

年齡結構：

以年齡資料分別建構 2003 ~ 2004 年三芝和楊梅地區台北赤蛙的族群年齡結構 (圖 13 ~ 16)，雄蛙以 2 歲的個體數最多，3 歲次之，1、4 歲最少；雌蛙也和雄蛙相同，但是無 1 歲的個體。

雌蛙在內埔地區的樣本數非常少，只有 2003 年 1 隻雌蛙的資料，所以在分析年齡結構時，雌蛙只採用三芝和楊梅地區的資料。將雌蛙的資料以年份配合地點分成 4 個部份 (2003-SC, 2003-YM, 2004-SC, 2004-YM)，利用 Contingency analysis 比較年齡結構。分析的結果，雌蛙的年齡結構沒有顯著差異 ($\chi^2 = 2.58, P = 0.8596$)。雄蛙的樣本採自三芝、楊梅和內埔，和年份配合共分成 6 個部份 (2003-SC, 2003-YM, 2003-NP, 2004-SC, 2004-YM, 2004-NP)，以 Contingency analysis 的結果來看，雄蛙的年齡結構 (在不同的年齡層所佔的比例) 有顯著的差異 ($\chi^2 = 53.82, P < 0.0001$)。

將年齡結構分別依年齡層個體數的比例回推至當地的預估族群量，再以此推算出台北赤蛙每個年齡層到下一個年齡層的存活率 (表 5)。但是，在樣區內出現的 1 歲個體數量遠少於次年的 2 歲個體，因此無法推算 1 歲到 2 歲的存活率。同樣的，0 歲到 1 歲的存活率 (完成變態的幼蛙成功度冬) 也無法估算。故表 5 只呈現 2 歲以上的存活率。

外部形質：

測量的台北赤蛙外部形質有吻肛長和體重，因為台北赤蛙屬於中小型蛙類，體重不過 1、2 公克，容易受到攝食與否的影響，故只分析吻肛長。在後續的分析中共有 4 個因子：年齡、性別、年份、地點。其中除了年齡為連續性的自變數外，其餘因子的性質均為 Qualitative，故在分析前先將此 3 個因子進行編碼。性

別編碼：雄性 — 0；雌性 — 1。年份編碼：2003 年 — 0；2004 年 — 1。地點 I 編碼：三芝 — 0；楊梅 — 1；內埔 — 0。地點 II 編碼：三芝 — 0；楊梅 — 0；內埔 — 1。（將三芝當做 baseline；因為有 3 個地點，在編碼後分為 2 個自變數：地點 I、地點 II）。之後，將吻肛長及 5 個自變數的資料以 Multiple Linear Regression 分析，算出的迴歸線為： $\text{吻肛長} = 26.31 + 0.80 \times \text{年齡} + 9.08 \times \text{性別} - 0.81 \times \text{年份} + 1.56 \times \text{地點 I} + 5.61 \times \text{地點 II}$ ， $R^2 = 0.795$ 。5 個自變數對吻肛長均有顯著影響（年齡： $F = 144.21$, $P < 0.0001$ ；性別： $F = 1688.86$, $P < 0.0001$ ；年份： $F = 48.64$, $P < 0.0001$ ；地點 I： $F = 159.80$, $P < 0.0001$ ；地點 II： $F = 652.07$, $P < 0.0001$ ）。

探討年齡的影響時，先將除了年齡之外的自變數都固定，當年齡每增加 1 歲，吻肛長就顯著增加 0.80mm。而在性別方面，在固定了性別之外的自變數之後，雌性的吻肛長顯著比雄性長 9.08mm。另外，2004 年的台北赤蛙吻肛長顯著比 2003 年短 0.81mm，尚未了解其原因。在地點的比較上，三芝地區的台北赤蛙吻肛長最短，楊梅地區顯著比三芝地區長 1.56mm，內埔地區則顯著比三芝地區長 5.61mm。

滅絕機率：

由於表 5 中沒有台北赤蛙 0 到 1 歲、1 到 2 歲的存活率，故以 Herpetology 2nd, Zug *et al.* 書中，生活史類似的 *Rana cascadae*（最長壽命同樣為 4 歲）的存活曲線推估，假設雌雄蛙的存活率沒有差別，則 0 到 1 歲的存活率均為 55%；1 到 2 歲的存活率均為 36%。

每隻雌蛙平均每年可以產生的子代數以窩卵數 × 孵化率 × 變態成功率計算。窩卵數取 430 顆（ $\text{mean} \pm \text{SD} = 354 \pm 76$ 顆, $n = 6$ ）；孵化率因為只有 2 筆資料，且數值相差甚大（14%、78%），故分別代入計算；變態成功率參考 CBSG 上 Wyoming toad (*Bufo baxteri*) 的報告 (Jennings *et al.*, 2001)，取 10% 的變態成功率代入計算。每隻雌蛙平均每年可以產生的子代數分別是 6 隻、34 隻幼蛙。

將上述資料加上台北赤蛙的年齡結構一起整理成表 6，輸入 VORTEX 中分別

去預測兩地族群的存續。模擬時間設定為 100 年，做 100 次重覆。平均子代數的差別主要來自於孵化率的差異，在樣本數只有 2 個且相差很大的情況下，不管是取平均值或是任一個數值都不適當，故將 2 個孵化率算出的平均子代數都輸入程式中模擬。當平均子代數為 34 隻幼蛙時，楊梅地區的族群到未來第 100 年時滅絕的機率是 0，而三芝地區的族群約在未來第 26 年就完全滅絕了；平均子代數為 6 隻時，楊梅地區的族群約在未來 20 年內滅絕，三芝地區的族群則在未來 10 年內完全消失（圖 17）。