

太魯閣國家公園莫氏樹蛙(*Rhacophorus moltrechti*)繁殖活動之海拔變異

蔡雯嘉¹，楊懿如^{1,2}

¹國立東華大學自然資源與環境學系；²通訊作者 E-mail: treefrog@mail.ndhu.edu.tw

[摘要] 本研究探討太魯閣國家公園內莫氏樹蛙族群的繁殖活動是否會受不同海拔的環境因子的影響而有所差異。研究樣區選擇中部橫貫公路沿線，共 6 個樣區，分別為低海拔(0-800 m)：砂卡礑、布洛灣；中海拔(800-2,000 m)：西寶、洛韶、新白楊；高海拔(2,000 m 以上)：碧綠神木。調查時間與頻度為 2009 年 12 月至 2011 年 3 月，每月至每個樣區 2 次。研究採野外調查法，記錄莫氏樹蛙繁殖活動及環境因子等。結果顯示，太魯閣國家公園內不同海拔莫氏樹蛙族群的繁殖活動有所不同，低海拔砂卡礑及布洛灣樣區莫氏樹蛙族群之繁殖期具有週期性，繁殖季節以秋、冬、春季為主；中海拔西寶及洛韶樣區莫氏樹蛙族群繁殖期、繁殖季節為全年；中海拔新白楊及高海拔碧綠神木樣區莫氏樹蛙族群具有週期性，繁殖季節以春、夏季為主。各樣區內的莫氏樹蛙繁殖活動強度受氣溫影響，與濕度無關。本研究亦發現莫氏樹蛙族群繁殖活動會受到繁殖棲地影響。

關鍵字：繁殖活動、海拔、莫氏樹蛙、環境因子

Reproductive Activities of Moltrecht's Treefrog (*Rhacophorus moltrechti*) Vary Among Different Altitudes in Taroko National Park

Wen-Chia Tsai¹ and Yi-Ju Yang^{1,2}

¹Department of Natural Resources and Environmental Studies, National Dong Hwa University;

²Corresponding author E-mail: treefrog@mail.ndhu.edu.tw

ABSTRACT The reproductive activities of Moltrecht's tree frog (*Rhacophorus moltrechti*) at Taroko National Park were studied to understand whether they varied among different altitudes. Six sample areas were chosen along the Central Cross-Island Highway, which were Shakadang and Buluowan at low altitudes (0-800 m); Xibao, Luoshao, and Xinbaiyang at mid altitudes (800-2,000 m); Bilu Sacred Tree at high altitudes (2,000 m above). The research was conducted from December 2009 to March 2011, and each area was visited twice a month. We surveyed the tree frog's reproductive activities, and the environmental factors in the field. The results showed that the reproductive activities of *Rhacophorus moltrechti* varied at different altitudes. The breeding seasons of Moltrecht's tree frog at low altitudes (Shakadang and Buluowan) were periodic, mainly in autumn, winter and spring. The tree frogs at mid altitudes (Xibao and Luoshao) bred all year long, while those at a little higher mid altitudes (Xinbaiyang) and high altitudes (Bilu Sacred Tree) bred mostly in spring and summer. In

this research, we found out that the intensity of Moltrecht's tree frog's reproductive activities in each area was affected by temperatures, not by humidity. Also, their breeding was affected by habitats.

Keywords: reproductive activities, altitudes, *Rhacophorus moltrehti*, environmental factors

前言

生物為了適應不同的環境，會在形態、存活率、生理適應及行為上出現不同的反應，這些反應的形成可能由環境因子在發育過程中誘發其表型(phenotype)產生變異，或是環境的選汰壓力使其基因型(genotype)產生改變(Berven *et al.* 1979, Duellman and Trueb 1994, Laugen *et al.* 2003, Morrison and Hero 2003, Schmidt *et al.* 1998, Uller *et al.* 2006)。

近年來的研究發現，生活史特徵(life history traits)與生物適應度(fitness)息息相關。部分研究已發現，生活史特徵變異具有遺傳上的基礎(Laugen *et al.* 2003, Laugen 2003, Morrison and Hero 2003, Danchin *et al.* 2008, Chan and Zamudio 2009)。若有一物種廣泛分布在海拔差異甚大的區域，不同海拔族群間所面臨的環境差異會隨著分布範圍的擴大而增加(Fiona and Richard 1998, Robbie 2001, Iván and Tejedo 2002)。在極端不同的環境中，族群之間的生活史特徵可能會出現變異，這個現象在兩棲類尤其明顯(Morrison and Hero 2003, Lauck 2005, Navas and Otani 2007)，進而使兩棲類產生不同的適應策略。

氣候是限制兩棲類分布的主要環境因素，而海拔和緯度同時影響著環境的氣候型態(Morrison and Hero 2003)。環境的氣溫、濕度會隨著空間及時間有很大的變化，導致兩棲類的能量運用、新陳代謝、行為等表現產生差異(Beattstom 1979, Duellman and Trueb 1994)。不同環境因子造成的選汰壓力不同，可能使棲息於特定環境之族群產生分化(Chan and Zamudio 2009)。加上兩棲類生活範圍含括水域及陸域，使其生活史特徵對環境的改變十分敏感(Berven *et al.* 1979, Skelly 2004)，而生活史

特徵變異所造成的生殖隔離，更有可能促進其族群間分化的速度(Uller *et al.* 2006)。

臺灣位處亞熱帶，又因中央山脈縱走其間，造就了複雜的地形、物候，依據海拔高度、溫量指數等，可將臺灣山地植群帶劃分為榕楠林帶、楠櫛林帶、櫟林帶、鐵杉雲杉林帶、冷杉林帶、高山植群帶(Su 1984)。由於不同海拔所形成的環境可能導致兩棲類在不同海拔族群間生殖特徵(Morrison and Hero 2003, Skelly 2004, Lauck 2005, Marshall *et al.* 2008)與發育特徵(Loman 2003)產生變異，使臺灣山地成為研究廣泛分佈於不同海拔之兩棲類適應策略的極佳場所。

太魯閣國家公園海拔分佈高度自海平面至 3,742 公尺之高山，受地形、地勢之變化影響，造成複雜的氣候帶及景觀，並蘊育豐富的生態資源。氣溫隨著海拔高度的上升而遞減，年雨量均在 2,000 毫米以上，雨量隨著海拔而有所差異。楊懿如(2006)於太魯閣國家公園執行的兩棲類調查與監測計畫，發現太魯閣國家公園境內有 13 種兩棲類，其中莫氏樹蛙分佈海拔為 0 至 2,000 公尺。本研究將探討太魯閣國家公園內不同海拔莫氏樹蛙族群的繁殖活動，以了解不同海拔所造成的環境因子是否會影響莫氏樹蛙族群的繁殖活動。

材料與方法

一、研究樣區描述

本研究於太魯閣國家公園中部橫貫公路沿線，共選擇 6 個樣區，樣區地點為砂卡礑、布洛灣、西寶、洛韶、新白楊、碧綠神木(圖 1)，海拔介於 60 至 2,156 公尺，所有的樣區面積皆以約 100 m×100 m 為調查範圍。但各樣區內受到山壁及溪流等環境的侷限，而有無法調查

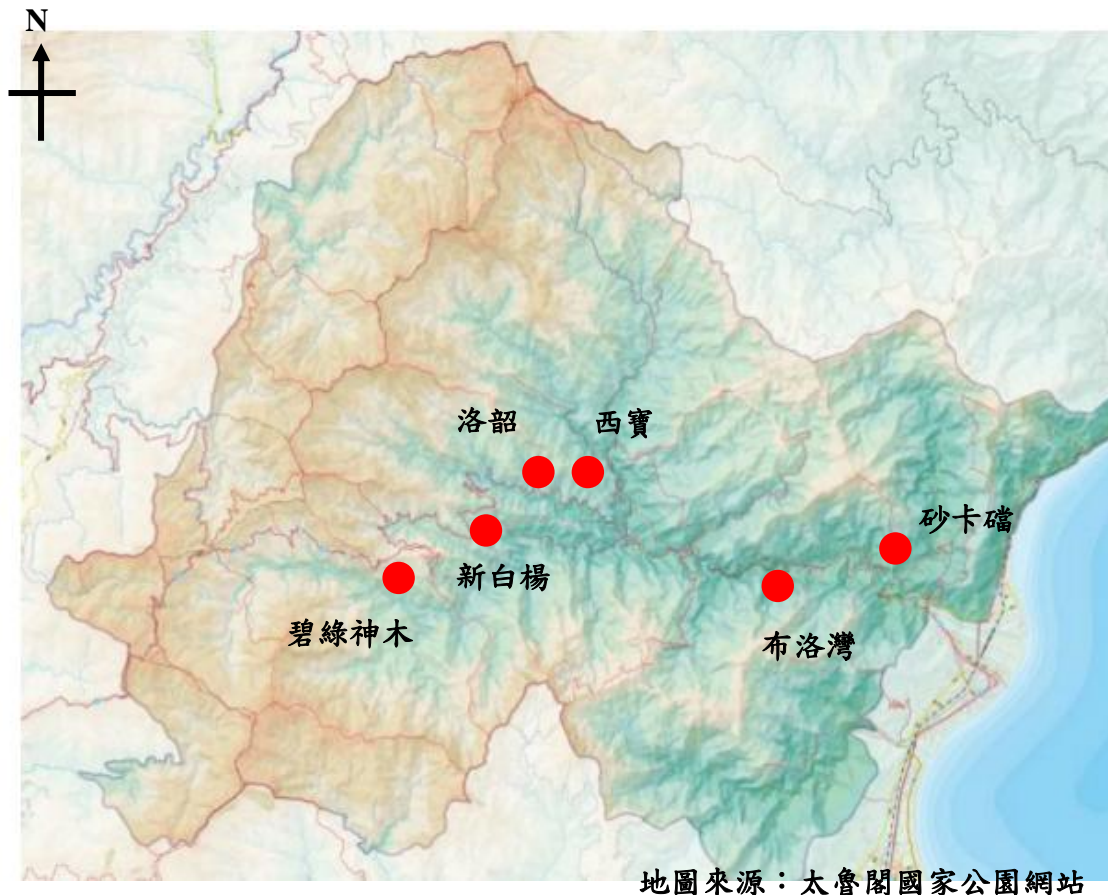


圖 1. 太魯閣國家公園不同海拔莫氏樹蛙族群樣區分佈圖

到的狀況。

砂卡礑樣區(24°10'7.94N, 121°36'32.04E)以步道起點至五間屋，海拔為 60 公尺，距離步道口約 2.2 公里。步道旁有砂卡礑溪，屬於陰濕的河谷地形，但植物生態卻呈現出乾濕兩型的特色。坡度較緩的地方，生長高大且層次豐富的林木；坡度較陡的地方，只見低矮的岩生植物，以臺灣蘆竹(*Arundo Formosan*)和沿階草(*Ophiopogon japonicas*)居多，其環境提供兩棲類適宜的棲息環境。五間屋為原住民保留區，因此種植許多山蘇(*Asplenium nidus*)及香蕉等作物，該地有一約 10 m² 灌溉用水池。砂卡礑溪旁之大石上常有兩個暫時性水域，其一為約 30 cm×18 cm，深 13 cm 的水域，另一為約 28 cm×17 cm，深 10 cm 的水域，底質均為枯枝落葉。

布洛灣樣區(24°10'16.57N, 121°33'55.65E)於中橫公路 180 公里處溪畔隧道東口沿聯外

道路約 26 公尺處的苗圃，海拔約為 370 公尺，植被為次生演替樹林。苗圃內有兩個水池，一為水溝匯流而形成之約 15 m² 水池，另一為面積 10 m² 之水池，水池旁種植芭蕉、山蘇為主，水池一側為馬路，另一側為土質鬆軟的緩坡。

西寶樣區(24°12'30.63N, 121°28'27.18E)以西寶台地上之西寶國小為主要調查地區，海拔約 915 公尺，植被為次生演替樹林。本樣區屬於人為開墾地，有人工生態池及教室，附近居民種植高麗菜等作物之菜園等，有灌溉用水桶及人工水道流經；人工水道寬約 1 m，其源頭水源豐富，水道內有五節芒(*Miscanthus floridulus*)等植物生長。

洛韶樣區(24°12'34.38N, 121°26'35.95E)為民宅旁的水溝，海拔約 1,117 公尺；周圍無樹林，水溝水源穩定，底質有鬆軟之淤泥，淤泥深約 23 cm，有十字花科的挺水性植物覆蓋在淤泥上，水面有苔蘚類植物，水溝一側為水

泥牆，牆上有蕨類及苔蘚類植物生長，另一側為馬路。

新白楊樣區(24°11'53.05N, 121°25'58.17E)以中橫公路旁的公共廁所附近為主要調查地點，海拔為 1,644 公尺；其環境較周圍的草地潮濕，附近多為五節芒草地，植被以臺灣赤楊(*Alnus formosana*)為主的次生演替樹林，附近水溝多維持在有水的狀態。

碧綠神木樣區(24°10'49.66N, 121°24'12.33E)位於中橫公路 128 公里處，海拔約為 2,156 公尺，屬於針闊葉混生林，上層為雲杉(*Picea morrisonicola*)、鐵杉(*Tsuga chinensis*)及二葉松(*Pinus taiwanensis*)等針葉樹，中層則以樟科、殼斗科等闊葉樹種為主，其地面有許多落葉覆蓋及潮濕的土壤，並且有固定積水 2 m² 的小水窪。

二、研究動物描述

莫氏樹蛙(*Rhacophorus moltrechti*)屬於兩棲綱無尾目樹蛙科樹蛙，為臺灣特有種，在 1908 年由英國兩爬學者 G. A. Boulenger 命名發表。繁殖季及生活史隨地區有所不同，臺灣北部及東北部一般在春天及夏天繁殖；中南部在夏天及秋天；東部花蓮則是在冬季；在潮濕的山區則終年可以繁殖。莫氏樹蛙為中小型樹蛙，公蛙體長約 4-4.5 cm，母蛙體長約 4.5-5.5 cm，背面墨綠色，指(趾)端有吸盤，眼睛虹膜及大腿內側橘紅色，體側及四肢內側有許多小黑斑。莫氏樹蛙是臺灣分佈最廣的樹蛙，廣泛分布於全省，由北到南，從低海拔的樹林、果園、開墾地到兩千多公尺高山針葉林(向高世、李鵬翔、楊懿如 2009)。

三、調查時間與頻度

本研究野外調查自 2009 年 12 月至 2011 年 3 月，每月至每個樣區 2 次。每次調查兩天，時間約在 18:30-22:30。每個樣區約停留 1 小時。

四、研究方法

1. 野外調查

調查採用穿越帶鳴叫辨識法(audio strip transect, AST)和目視遇測法(visual encounter method, VES)。調查進行時，研究者以手電筒為照明工具，聆聽到鳴叫聲及目視莫氏樹蛙時予以紀錄。紀錄方式採用設計好的表格搭配拍照。表格內容參考溫華霞(2001)所使用之項目：發現日期、棲地及發現時的氣溫及濕度，成蛙記錄性別及行為。

2. 莫氏樹蛙繁殖期

野外調查記錄到莫氏樹蛙鳴叫之月份視為其繁殖期，並以聆聽鳴叫聲及地毯式翻開落葉尋找莫氏樹蛙與卵泡。

3. 氣溫及濕度

於每次至各樣區調查時，用 Wisewind 四合一溫/濕度計測量各樣區當日當次的氣溫及濕度。測量時於樣區內的固定地點，將溫濕度計靜至在地面 15 分鐘後，再予以記錄。

4. 繁殖棲地

莫氏樹蛙主要利用水域環境進行繁殖，因此每次調查時，於每個樣區記錄該樣區內水域環境的變化，記錄項目包括水域面積、岸邊植物、水域底質、是否有人為整理等狀況，用以了解野外的水域環境變化是否會影響莫氏樹蛙的利用情形。

五、資料分析

本研究將野外調查資料以 Microsoft excel 2007 整理資料，並運用 SPSS(Statistical Product and Service Solutions)12.0 版分析資料，以單因子變異數分析(One-way ANOVA)探討不同海拔各樣區氣溫、濕度及莫氏樹蛙族群繁殖活動數量之差異；以線性迴歸分析莫氏樹蛙繁殖活動數量與氣溫及濕度之關係，所有記錄之數量(包含無繁殖活動)皆會納入分析計算，用來了解繁殖數量是否會因氣溫或濕度的改變而有不同。

結果

一、莫氏樹蛙繁殖活動

本研究在 2009 年 12 月至 2011 年 3 月的野外調查，6 個樣區共調查到莫氏樹蛙 885 隻次(表 1)，此記錄包含目視及鳴叫兩種調查方式。

低海拔砂卡礑與布洛灣樣區共記錄到 374 隻次(目視 30 隻，鳴叫 344 隻)；由表 1 可看出莫氏樹蛙主要出現在 10 月至隔年 4 月，此時聽到鳴叫並發現卵泡，是繁殖期。中海拔西寶與洛韶樣區記錄到莫氏樹蛙 457 隻次(目視 30 隻，鳴叫 427 隻)；每個月都可以聽到其鳴叫，故繁殖活動為全年，但以 1 月至 3 月的數量較多(表 1)。中海拔新白楊與高海拔碧綠神木樣區之族群繁殖活動相似，主要出現於 4 月至 10 月，共記錄到 83 隻次(目視 11 隻，鳴叫 72 隻)。

利用單因子變異數分析比較不同海拔樣區之數量，發現有顯著差異($F=6.67$, $P<0.001$, $df=6$)；中海拔西寶、洛韶樣區莫氏樹蛙族群繁殖活動的數量最多，低海拔砂卡礑、布洛灣樣區族群次之，中海拔新白楊樣區及高海拔碧綠神木族群為最少(表 1)。

綜合以上結果得知，低海拔砂卡礑、布洛灣樣區莫氏樹蛙族群之繁殖活動具有週期性(僅在特定季節鳴叫繁殖，非全年)，繁殖季節在秋、冬、春季；中海拔西寶及洛韶樣區莫氏樹蛙族群繁殖活動為全年；中海拔新白楊及高海拔碧綠神木樣區莫氏樹蛙族群之繁殖活動也具有週期性，繁殖季節在春、夏季。繁殖期以中海拔最長、低海拔次之，高海拔最短。

二、莫氏樹蛙繁殖活動與氣溫及濕度之關係

1. 不同海拔 6 樣區之氣溫及濕度分析：

(1) 氣溫

2009 年 12 月至 2011 年 3 月 6 個樣區 32 次調查所測得之氣溫範圍為 1.5°C 至 27.8°C，最低溫為 2011 年 12 月碧綠神木樣區，最高溫於 2010 年 7 月砂卡礑樣區測得。各樣區之間所測得之氣溫有顯著性差異 ($F=21.19$, $P<0.0001$, $df=6$)。

(2) 濕度

2009 年 12 月至 2011 年 3 月 6 個樣區 32 次調查之濕度範圍為 40% 至 98%，最低在 2010 年 12 月碧綠神木樣區，最高在 2010 年 5 月砂卡礑樣區。各樣區之間的所測得之濕度有顯著差異($F=14.12$, $P<0.001$, $df=6$)，LSD 事後檢定結果顯示低海拔砂卡礑、布洛灣樣區與其他樣區均有顯著差異，平均濕度為 81.07%；中海拔西寶樣區與洛韶樣區間無顯著差異，平均濕度為 71.97%，與其他樣區則有顯著差異；中海拔新白楊樣區與高海拔碧綠神木樣區無顯著差異，平均濕度為 66.3%，與其他樣區則有顯著差異。平均濕度隨海拔上升而下降，距離較相近的兩個樣區所測得之濕度差異較小。

2. 不同海拔之莫氏樹蛙繁殖活動數量與氣溫及濕度分析：

莫氏樹蛙進行繁殖活動時才會鳴叫，本研究以莫氏樹蛙鳴叫的記錄代表當日調查時莫氏樹蛙進行繁殖活動的數量。以下針對莫氏樹蛙繁殖活動的數量與氣溫及濕度之關係進行分析：

(1) 綜合 6 個樣區：

迴歸分析顯示莫氏樹蛙族群的繁殖活動數量受到當日氣溫($R^2=0.3$, $P<0.001$, $n=192$)，但不受濕度($R^2=0.05$, $P>0.05$, $n=192$)影響。繁殖活動的氣溫範圍約於 13°C 至 23°C 之間，濕度約為 42% 至 90% 之間(圖 2)。

(2) 不同海拔各樣區：

不同海拔各樣區之莫氏樹蛙繁殖活動數量與溫濕度關係如圖 3，因為低海拔砂卡礑(圖 3a)及布洛灣(圖 3b)、中海拔西寶(圖 3c)及洛韶(圖 3d)、中海拔的新白楊(圖 3e)及高海拔的碧綠神木(圖 3f)的繁殖期及濕度相似，故分別合併分析數量和溫、濕度的關係。

低海拔砂卡礑與布洛灣樣區莫氏樹蛙數量與氣溫有顯著負相關($R^2=0.28$, $P<0.001$, $n=64$)，與濕度則無顯著關係($R^2=0.02$, $P>0.1$, $n=64$)；其繁殖活動較頻繁的氣溫約在 15°C 至 22°C 之間，濕度約在 60% 至 90% 之間；當 5 月氣溫持續升高至 23°C 以上後，就停止繁殖

表 1. 2009 年 12 月至 2011 年 3 月太魯閣國家公園不同海拔樣區每次調查之莫氏樹蛙數量(隻次)

| 年份 | 月份 | 砂卡礑 | 布洛灣 | 西寶 | 洛韶 | 新白楊 | 碧綠神木 |
|------|----|------|------|------|------|------|------|
| 2009 | 12 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 14 | 7 | 17 | 8 | 0 | 0 |
| 2010 | 1 | 16 | 9 | 12 | 3 | 0 | 0 |
| | | 21 | 6 | 10 | 30 | 4 | 0 |
| | 2 | 19 | 7 | 12 | 16 | 5 | 0 |
| | | 4 | 12 | 16 | 17 | 5 | 0 |
| | 3 | 2 | 12 | 9 | 6 | 9 | 0 |
| | | 2 | 6 | 6 | 7 | 0 | 0 |
| | 4 | 3 | 4 | 6 | 9 | 2 | 2 |
| | | 1 | 3 | 7 | 9 | 3 | 3 |
| | 5 | 0 | 6 | 6 | 7 | 8 | 6 |
| | | 0 | 0 | 4 | 8 | 5 | 7 |
| | 6 | 0 | 0 | 2 | 7 | 1 | 4 |
| | | 0 | 0 | 2 | 3 | 0 | 1 |
| 7 | 0 | 0 | 5 | 2 | 0 | 3 | |
| | 0 | 0 | 8 | 1 | 0 | 3 | |
| 8 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 3 | |
| | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | |
| 9 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 | |
| | 0 | 1 | 1 | 3 | 0 | 2 | |
| 10 | 3 | 2 | 6 | 1 | 0 | 0 | |
| | 5 | 4 | 9 | 13 | 0 | 3 | |
| 11 | 1 | 3 | 2 | 6 | 0 | 0 | |
| | 16 | 4 | 2 | 4 | 0 | 0 | |
| 12 | 7 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| | 10 | 6 | 4 | 5 | 0 | 0 | |
| 2011 | 1 | 10 | 8 | 2 | 4 | 0 | 0 |
| | | 6 | 8 | 6 | 6 | 0 | 0 |
| | 2 | 9 | 16 | 20 | 6 | 0 | 0 |
| | | 15 | 22 | 15 | 28 | 1 | 0 |
| | 3 | 5 | 26 | 12 | 25 | 0 | 0 |
| | | 6 | 20 | 2 | 10 | 0 | 0 |
| 平均 | | 5.47 | 6.22 | 6.47 | 7.81 | 1.38 | 1.22 |
| 標準差 | | 6.41 | 6.78 | 5.41 | 7.61 | 2.49 | 1.88 |
| 合計 | | 175 | 199 | 207 | 250 | 44 | 39 |

活動，直至 10 月氣溫降至約 22°C 時再度開始繁殖活動。中海拔西寶與洛韶樣區莫氏樹蛙繁殖的數量與氣溫 ($R^2=0.04$, $P>0.05$, $n=64$) 及濕度 ($R^2=0.04$, $P>0.05$, $n=64$) 皆呈現無相關，其繁殖活動較頻繁的氣溫約在 11°C 至 20°C 之間，濕度約在 50% 至 90% 之間。中海拔新白楊與高海拔碧綠神木樣區莫氏樹蛙繁殖的數量則與氣溫有顯著正相關 ($R^2=0.17$, $P<0.001$, $n=64$)，與濕度無顯著相關 ($R^2=0.07$, $P>0.01$, $n=64$)，其繁殖活動較頻繁的氣溫約在 12°C 至 18°C 之間，濕度約在 50% 至 90% 之間。

綜合以上結果發現，在氣溫較高的低海拔地區莫氏樹蛙數量與氣溫呈現負相關，中海拔的氣溫適合莫氏樹蛙繁殖而呈現數量與氣溫

無相關性，在氣溫較低的高海拔地區莫氏樹蛙數量與氣溫則呈現正相關。各海拔平均濕度都在 50% 以上，皆適合莫氏樹蛙進行繁殖活動，因此，各樣區莫氏樹蛙繁殖活動強度不受濕度影響。

三、莫氏樹蛙繁殖棲地環境

本研究共記錄到 814 筆鳴叫，以下依照各樣區莫氏樹蛙所利用的繁殖棲地分別敘述：

低海拔砂卡礑與布洛灣樣區的莫氏樹蛙皆以灌溉水池或石頭上的暫時性水域為主要繁殖水域環境，樣區附近為樹林及灌叢，成蛙多於樹林底層 ($n=151$)、水池岸邊 ($n=118$) 及人工建物 ($n=43$) 鳴叫，會利用水域周圍的植物、

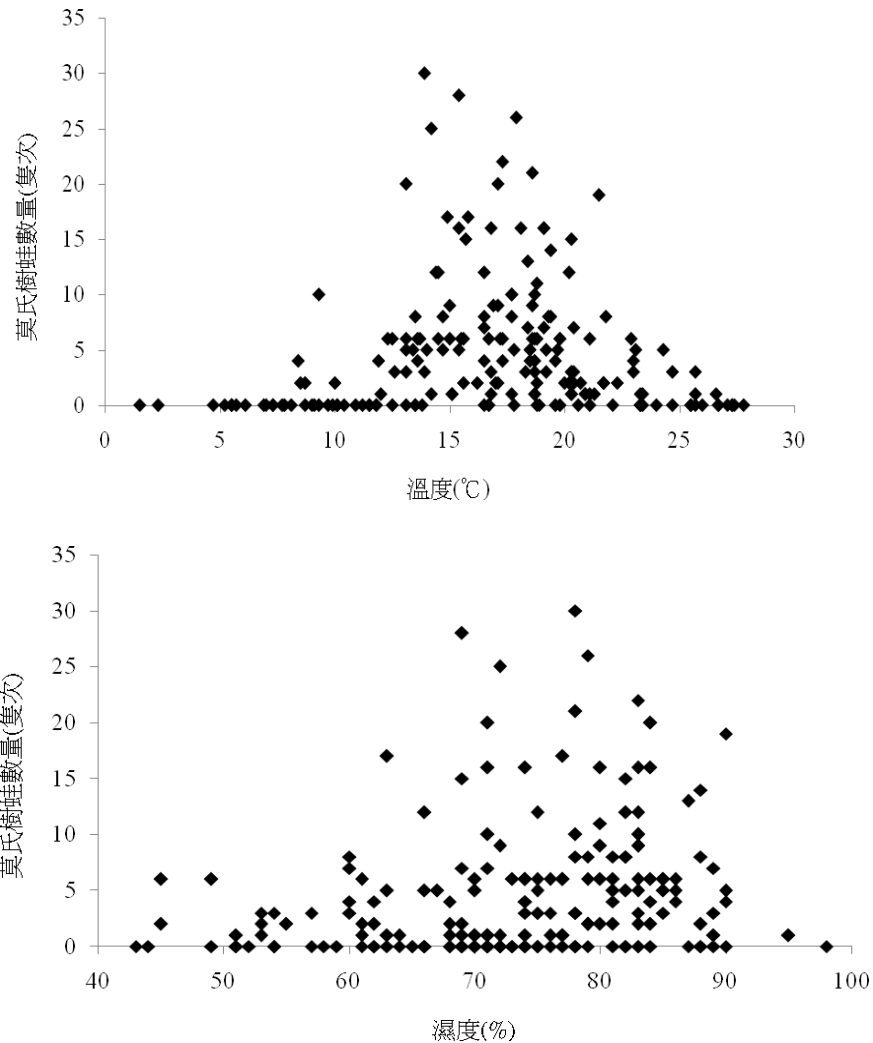


圖 2. 2009 年 12 月至 2011 年 3 月太魯閣國家公園不同海拔樣區之莫氏樹蛙數量與當日調查氣溫 ($P < 0.001$) 及濕度關係圖 ($P > 0.05$)

落葉等作為遮蔽物。石頭上暫時性水域旁有卵泡 ($n=3$) 記錄。

中海拔西寶與洛韶樣區以人為開墾的水域環境為主要繁殖場所，西寶樣區周圍為次生林，成蛙多於附近的樹林底層 ($n=87$)、人工水道中的雜草 ($n=61$) 及菜園 ($n=38$) 裡鳴叫。洛韶樣區周圍無樹林，成蛙於水溝旁的淤泥 ($n=110$)、水溝邊坡 ($n=93$) 及樹林底層 ($n=25$) 鳴叫，並於淤泥與挺水植物間、水溝邊坡上的苔蘚類植物下發現卵泡 ($n=8$)。

新白楊樣區為開墾地，附近為樹林及灌

叢，莫氏樹蛙於公廁旁的草坡 ($n=23$) 及樹林底層 ($n=16$) 有鳴叫記錄，成蛙會躲藏於草坡泥土下鳴叫，也會出現在人工木棧道的欄杆上 ($n=1$)。碧綠神木樣區以樹林及暫時性水域為主要的繁殖環境，地上有數個大小不一的暫時性水域，成蛙於樹林底層 ($n=16$) 及暫時性水域上方的植物 ($n=11$) 鳴叫。

不同海拔莫氏樹蛙族群的繁殖棲地環境大致相同，除洛韶樣區外，莫氏樹蛙成蛙利用的繁殖棲地多以樹林底層 (33.09%) 及水域附近遮蔽物 (33.34%) 為主；洛韶樣區屬於人為開

期為春、夏季。中海拔西寶及洛韶樣區繁殖期最長、繁殖活動數量最多，低海拔砂卡礑與布洛灣樣區次之，中海拔新白楊與高海拔碧綠神木樣區繁殖期最短、繁殖活動數量最少。

Rana temporaria 繁殖時間會隨著海拔每上升 100 公尺延後 6 天，從海拔 46 至 838 公尺繁殖時間平均延後 53 天，延後的日數與海拔上升成正比(Beattie 1985)此集中繁殖型的蛙類繁殖期的不同與積溫效應(temperature-sum effect)有關；意即當成蛙累積至一定的氣溫總量後，便開始進行繁殖活動並產卵，而氣溫隨著海拔升高而遞減，因此海拔愈高，成蛙需要累積氣溫總量的日數就愈多，第一次進行繁殖活動的時間就愈晚。但本研究莫氏樹蛙族群的繁殖時間屬於長時間型而非集中繁殖型，無法用積溫效應來解釋太魯閣國家公園內不同海拔莫氏樹蛙族群的繁殖期變化情形。溫帶兩棲類通常對高溫的耐受性(CTMax)會有調適(acclimation)的反應，一些分佈廣的物種也會出現海拔和高溫耐受性負相關。但有些熱帶種類，例如波多黎各樹蛙(*Eleutherodactylus coqui*)沒有溫度調適的反應，不同海拔的高溫耐受性沒有差異(Christian *et al.* 1988)。分布於熱帶及亞熱帶的莫氏樹蛙，是否因溫度調適反應而產生不同海拔有不同的繁殖期，值得探究。

除了上述氣溫的影響外，本研究亦發現莫氏樹蛙的繁殖活動受水域環境變化的影響大，這些水域環境的變化包括自然因素及人為干擾因素，自然因素包含水量增減、降雨等，人為干擾因素包含水域岸邊除草、清除水域的底泥等。當繁殖的水域環境變化大時，各樣區內莫氏樹蛙進行繁殖活動的數量也會有所不同。Lauck(2005)提出雌性選擇的產卵地點會受到繁殖棲地的影響而有不同。莫氏樹蛙繁殖時偏好陸地上的水域環境，且有植物覆蓋在水體上的會吸引其前往進行繁殖活動(林春富、呂光洋 2004)。若水源穩定或有長時間積水的暫時性水域，且人為干擾的情況不高的話，則莫氏樹蛙進行繁殖活動的數量就會較穩定。前人

研究也指出繁殖環境的多樣性對生殖策略、族群的地區性適應、族群的基因結構組成有重要的影響(Lauck 2005, Marshall *et al.* 2008, Chan and Zamudio 2009)，太魯閣國家公園不同海拔莫氏樹蛙族群是否會有基因上的不同則有待進一步探討。

本研究顯示，不同海拔莫氏樹蛙的繁殖活動有所不同，前人研究針對兩棲類族群與全球氣候之關係進行探討，證實兩棲類會反應變暖的氣候，尤其是暖冬/春時會影響成蛙身體狀況，使其提早繁殖，亦會影響蝌蚪發育，成為族群動態的潛在影響因子(Jørgensen 1986, Blaustein *et al.* 2001, Gardner 2001, Davidson 2004, Garner *et al.* 2005, Reading 2007)，推測全球氣候變遷可能會對太魯閣國家公園不同海拔的莫氏樹蛙族群產生影響，未來需要透過長期監測不同海拔莫氏樹蛙族群的繁殖情況，了解氣候變遷是否會對莫氏樹蛙族群產生影響。

結論

太魯閣國家公園境內莫氏樹蛙的繁殖活動在不同海拔間有所差異，氣溫是影響太魯閣國家公園不同海拔莫氏樹蛙族群繁殖活動的主要因素，繁殖棲地亦會影響莫氏樹蛙族群的繁殖活動。不同海拔莫氏樹蛙族群繁殖活動的差異是否會造成族群間的分化，則有待進一步探討。

誌謝

感謝侯平君博士及吳海音博士對研究成果的指正與討論。本研究獲得太魯閣國家公園管理處研究生研究計畫補助。

引用文獻

- 向高世、李鵬翔、楊懿如。2009。台灣兩棲爬行類圖鑑。貓頭鷹出版社，118 頁。
林春富、呂光洋。2004。台灣中部蛙類與蟾蜍

- 在時間分布、空間偏好與生殖高峰的海拔差異。特有生物研究 6(1):39–50。
- 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。國立東華大學自然資源管理所碩士論文，86 頁。
- 楊懿如。2006。太魯閣國家公園兩棲類調查與監測計畫。內政部營建署太魯閣國家公園管理處，78 頁。
- Beattstom BH. 1979. Amphibian temperature regulation studies in the field and laboratory. *American Zoologist* 19:345-356.
- Berven KA, DE Gill and SJ Smith-Gill. 1979. Countergradient selection in the green frog, *Rana clamitans*. *Evolution* 33:609-632.
- Beattie RC. 1985. The date of spawning in populations of the common frog (*Rana temporaria*) from different altitudes in northern England. *Journal of Zoology London* 205:137–154.
- Blaustein AR, LK Belden, DH Olson, DM Green, TL Root and JN Kiesecker. 2001. Amphibian breeding and climate change. *Conservation Biology* 15(6):1804-1809.
- Chan LM and ZK Ramudio. 2009. Population differentiation of temperate amphibians in unpredictable environments. *Molecular Ecology* 18:3185-3200.
- Christian KA, F Nunez, L Clos and L Diaz. 1988. Thermal relations of some tropical frogs along an altitudinal gradient. *Biotropica* 20(3):236–239.
- Davidson C. 2004. Declining downwind: amphibian population declines in California and historical pesticide use. *Ecological Applications* 14:1892–1902.
- Duellman WE and L Trueb. 1994. Biology of amphibian. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland.
- Fiona JQ and S Richard. 1998. Geographic variation in lizard phenotypes importance of the incubation environment. *Biological Journal of the Linnean Society* 64:477–491.
- Garner TWJ, S Walker, J Bosch, AD Hyatt, AA Cunningham and MC Fisher. 2005. Chytrid fungus in Europe. *Emerging Infectious Diseases* 11:1639–1640.
- Gardner T. 2001. Declining amphibian populations: a global phenomenon in conservation biology. *Animal Biodiversity and Conservation* 24.2:25–44.
- Iván GM and M Tejedo. 2002. Geographic variation in asymmetric competition—a case study with two larval anuran species. *Ecology* 83(8):2102–2111.
- Jørgensen CB. 1986. External and internal control of patterns of feeding, growth and gonadal function in a temperate zone anuran, the toad *Bufo bufo*. *Journal of Zoology* 210:211–241.
- Lauck B. 2005. Life-history studies and the impact of recent forest harvesting on two frog species, *Crinia signifera* and *Litoria ewingii*. *Tasforests* 16:83-94.
- Laugen AT. 2003. Local adaptation, countergradient variation and ecological genetics of life-history traits in *Rana temporaria*. Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertation from the Faculty of Science and Technology 818, Acta Universitatis Upsaliensis.
- Laugen AT, A Laurila, K Räsänen and J Merilä. 2003. Latitudinal countergradient variation in the common frog (*Rana temporaria*) development rates – evidence for local adaptation. *Journal of Evolutionary Biology* 16:996–1005.
- Loman J. 2003. Growth and development of larval *Rana temporaria*: local variation and countergradient selection. *Journal of Herpetology* 37(3):595–602.
- Marshall DJ, R Bonduriansky and LF Bussière. 2008. Offspring size variation within broods as a bet-hedging strategy in unpredictable environments. *Ecology* 89(9):2506–2517.
- Morrison C and JM Hero. 2003. Geographic variation in life-history characteristics of amphibians: a review. *Journal of Animal Ecology* 72:270–279.
- Navas CA and L Otani. 2007. Physiology, environmental change, and anuran conservation. *Phycologia* 6(2):83–103.
- Reading CJ. 2007. Linking global warming to amphibian declines through its effects on female body condition and survivorship. *Oecologia* 151:125–131.
- Robbie SW. 2001. Geographic variation in thermal sensitivity of jumping performance in the frog *Limnodynastes peronii*. *Journal of Evolutionary Biology* 204:4227–4236.
- Schmidt BR, H Hotz, BR Anholt, GD Guex and RD Semlitsch. 1998. Factors contributing to the maintenance of the genetic polymorphism at the locus LDH-B in the pool frog, *Rana lessonae*. *Canadian Journal of Zoology* 76:795–804.
- Skelly DK. 2004. Microgeographic countergradient variation in the wood frog, *Rana sylvatica*. *Evolution* 58(1):160–165.
- Su HJ. 1984. Studies on the climate and vegetation types of the natural forests in Taiwan (II). Altitudinal vegetation zones in relation to temperature gradient. *Quarterly Journal of Chinese Forestry* 17(4):57–73.
- Uller T, J Sagvik and M Olsson. 2006. Crosses between frog populations reveal genetic divergence in larval life history at short geographical distance. *Biological Journal of the Linnean Society* 89:189–195.