

烏石坑地區森林與溪流環境兩棲類群聚受地震影響之研究

Study of Earthquake Effects on the Forest and Stream Amphibian Communities in Wushykeng Area

楊育昌^{1,2,*} 劉敏慧¹ 林春富¹ 程忠智¹ 何東輯¹ 何健鎔¹ 林雅玲³

Yu-Chang Yang^{1,2,*}, Min-Huei Liu¹, Chun-Fu Lin¹, Chung-Chih Chen¹,
Tung-Chi Ho¹, Jen-Zon Ho¹ and Ya-Ling Lin³

¹ 行政院農業委員會特有生物研究保育中心

² 國立臺灣大學生命科學院動物學研究所

³ 觀察家生態顧問有限公司

¹ Endemic Species Research Institute, Jiji, Nantou, Taiwan

² Institute of Zoology, College of Life Science, National Taiwan University

³ Observer Ecological Consultant Co., Ltd.

*通訊作者：ycyang@tesri.gov.tw

*Corresponding author: ycyang@tesri.gov.tw

摘 要

本研究分析 1997 至 2008 年春、秋季烏石坑地區無尾目兩棲類固定穿越線監測調查資料。調查路線包含屬於森林與溪流棲地環境各 2 條穿越線；依 921 地震發生及調查路線調整等因素分為 4 個時期。共記錄 13 種兩棲類動物，其中 2 種為地震後的新紀錄種。森林環境地震後一期種數明顯減少可能因植被破壞之故；而地震後二期、三期兩棲類種類數回升，且數量上明顯夏季多而秋季少。溪流環境地震前和地震後一期兩棲類數量同森林棲地般無明顯季節變化，地震後的種數增加則可能是森林性兩棲類另覓生殖場所的結果；且地震後二期、三期因秋季梭德氏赤蛙大量出現，在數量上有明顯的季節性變化，但為夏季少、秋季多的狀況。地震後二、三期秋季溪流環境之各項指數明顯較低，主要因為梭德氏赤蛙單一種數量大增。烏石坑地區斯文豪氏赤蛙族群在地震後一期便已回復到地震前水準，和關刀溪地區的研究結果相符；其族群波動雖然甚不穩定，但大致有森林與溪流棲

地環境彼此消長現象，推測個體會在不同棲地間移動交流。至於梭德氏赤蛙直至地震後二、三期才發生的秋季生殖高峰現象，初步推測可能是溪流環境改變合適梭德氏赤蛙繁殖，加上附近植群回復之結果。

Abstract

Summer and autumn anuran line-transect survey of two forest and two stream transects at Wushykeng area before and after the 921 earthquake (1997 to 2008) was analyzed in this research. We found 13 amphibian species with two new species records after the earthquake. No distinct seasonal variation was found in the number of frogs between pre-quake and the first post-quake periods in forest habitats, but the number of species reduced in the post-quake periods. It might be a result of the destruction of forest vegetation due to the quake. In the second and the third post-quake periods, amphibian abundance recovered but showed seasonal fluctuation with high in the summer and low in the autumn. There was no seasonal population variation in stream habitats in pre-quake and early-post-quake periods. Increase of species numbers might be a result of frogs seeking new breeding sites after forest habitats destruction. The total frog abundance fluctuated conspicuously from low in the summer to high in the autumn due to the explosive increase of *Rana sauteri* individuals in the autumns in the latter post-quake periods. Biodiversity indexes were lower in stream habitats in the latter post-quake periods, resulting from the increase of *Rana sauteri* abundance. The *Odorrana swinhoana* population in Wushykeng recovered in the first post-quake period, probably as a result of the frogs moving between forest and stream habitats. In addition, the autumn *Rana sauteri* population bursts in the latter post-quake periods were presumably due to the stream habitats becoming appropriate for breeding and the recovery of nearby vegetations.

關鍵詞：兩棲類、長期監測、地震、低海拔

Key words : amphibian, long-term monitoring, earthquake, low altitude

收件日期：2013 年 1 月 15 日

接受日期：2013 年 5 月 20 日

Received: January 15, 2013

Accepted: May 20, 2013

前 言

位於臺中市和平區自由里烏石坑地區的行政院農業委員會特有生物研究保育中心低海拔試驗站在成立期間曾爲了提供規劃及未來經營管理依據，自 1992 年 10 月至 1994 年 6 月在此地完整詳細的動物資源先期調查工作(方等 1994；何等 2004)。當時共發現 13 種無尾目兩棲類動物，占台灣 29 種原生無尾目兩棲動物的 40% 以上，足見這個地區兩棲類動物資源相當豐富。

發生於 1999 年的 921 地震重創了中部山林環境及溪流生態，並造成烏石坑山區部份邊坡崩塌、土石裸露，遇到豪雨往往容易發生土石流。2001 年桃芝、娜莉等颱風挾帶風雨更造成後續災害，衝擊山區森林及溪流生態環境。例如烏石坑吊橋原本距溪面約 20 m 深，在多次沖下土石流後僅剩約 7 m；下游烏石坑分校附近跨烏石坑溪的長榮橋原爲雙線道水泥橋，也被沖走兩截橋面並將其餘橋面埋沒(何等 2004)。這些強度干擾對野生動物影響很大，況且兩棲動物相對而言遷移能力較低且皮膚保水能力不佳須依賴水域生活及繁殖(Pough 2007)，對於前述的地震、颱風等劇烈天災事件之應變能力亦相對較弱，棲息地若遭破壞可能導致當地族群的大幅波動。本地區乾溪溪谷原來水量及林相穩定，地震前可以發現此地區大部份兩棲類物種(楊及林 2000)，但地震後乾溪水流時常枯竭而烏石坑溪段亦多遭土石填塞，對兩棲類所造成的影響程度如何，以及需時多久才可回復原本狀態？雖然曾有學者探討過人工林經營如何干擾森林生態系的兩棲類(關等 2007)，或 921 地震的劇烈擾動對於單一溪流性蛙類族群的影響(賴等 2002, 關及賴 2002)，但地震對於兩棲類群聚在森林與溪流環

境之間的消長情形造成何種效應則尚未釐清；這些疑問則有待地震後持續調查研究方可確認。有鑑於此，本研究取烏石坑地區兩棲類監測資料加以分析，藉以評估地震前後該地區森林及溪流棲息環境內兩棲類群聚的變動情況。

由於地震屬於偶發性的天然災害，不易藉著控制實驗及系統性取樣來探討其對於兩棲類的影響程度。但若有長期生態監測地點恰巧位於地震發生區域內，如在 921 地震影響範圍內的關刀溪流域(關 1999)以及本研究的烏石坑溪流域，則可根據地震前後的生物族群及群聚組成調查結果，來進一步推斷地震對生態系之影響範圍、影響時間長度及受到影響的種類。

爲了對照地震發生之前與之後的生態環境狀況，我們在地震後持續調查兩棲類群聚。希望除了瞭解兩棲動物遭受 921 地震干擾的程度，也能提供經營管理及棲地復育措施參考。根據在關刀溪斯文豪氏赤蛙(*Odorrana swinhoana*)研究結果顯示，兩棲類族群在地震後的變化主要受到當地水域改變的直接影響。水域環境變化不但改變族群量，亦影響族群在時間、空間上的分布，甚至干擾了兩棲類的繁殖週期(賴等 2002)。至於此種現象是否亦發生在同樣位於台灣中部且海拔高相當的烏石坑地區，我們將在此研究中作更進一步的探討。

材料與方法

一、研究地點

研究地點爲行政院農業委員會特有生物研究保育中心低海拔試驗站，位於臺中市和平區烏石坑地區，涵蓋國有林大安溪事業區第 122 林班整體。區內以東南方之山椒山(海拔

1834m)為最高點，區域中心一帶坡度較緩和。東邊以乾溪、西邊以烏石坑溪為界，兩溪會合後向西北流經烏石坑社區並注入大安溪。南方則以山嶺與其它林班毗鄰，地形上呈現南北走向，南方地勢高且北偏西方地勢低。林地面積共 353.17ha，含天然林、人工林及苗圃，其中除 107ha 左右為造林地及苗圃外，其餘為楠、櫟林帶樹種為主之原生林，提供多樣化的環境。區內海拔高度 680 m~1834 m，年均溫約為 18°C，年均雨量約 2600mm。烏石坑地區氣候乾、濕季明顯，雨量多集中於 4~9 月；相對濕度高，年平均值約 85.9%，而全年平均有霧日數約為 100 天(試驗站監測資料，未發表)。

二、調查方法

在烏石坑地區的森林棲地環境及溪流棲地環境中各選定兩條固定調查穿越線，包括低海拔試驗站辦公室至南方水源段之右線林道(穿越線 A)、山椒山段之左線林道(穿越線 B)、乾溪段(穿越線 C)及烏石坑溪段(穿越線 D)等 4 條調查路線(圖 1)。各棲地環境之穿越線長約 1 公里。其中森林棲地環境為 A、B 線，屬於坡度陡峭之森林林道，A 線前半段為台灣杉(*Taiwania cryptomerioides*)人工林，後半段為天然低海拔闊葉林；B 線則全線皆為台灣杉人工林；屬於溪流棲地環境的 C、D 線則為水勢湍急的流水域，屬典型台灣上游河川景況，溪中間雜著大小石塊。其中 C 線是乾溪河道，在雨季時水量豐沛，洪水期流水寬度可達 2m，但冬季時上游河段只剩伏流存在；D 線為烏石坑溪主流，水量較 C 線豐沛，全年有水，且溪床石塊所造成之孔隙較多、狀況穩定。

由於烏石坑地區地質脆弱，棲地環境極易受到山區暴雨沖刷及土石崩落的影響，加上 1999 年~2000 年期間因地震、颱風、暴雨等

天然災害造成地質不穩、道路中斷、落石嚴重，在調查路線狀況不良及人員安全考量等因素下，暫時停止固定路線調查。而在 2001 年之後，由於地形地貌的改變，受到邊坡崩塌及地形上有部分路徑中斷，無法依先前調查路線行進，故各棲地環境下調查路徑均稍作調整(圖 1)。本研究中稱 921 地震前為「第一階段」，時間包括 1997 年及 1998 年；而大地震以後則為「第二階段」，涵蓋時間為 2001 年~2008 年。

調查時，以 2~3 人為一組採用目視遇測法調查，並輔以穿越帶鳴叫計數法(呂等 1996)，記錄沿穿越線兩側 2 m 內兩棲動物種類、數量、棲地環境、微棲地狀況。每次選擇無降雨夜晚的 19:00 至 22:00 之間調查，在森林、溪流兩種棲地環境下所使用的總調查時間各約 60 至 90 min。

三、調查時期

由於低海拔試驗站地區的兩棲類長期監測研究經歷了研究人員組成改變、重新規劃調查路線、調整年度調查頻率等各種因素，地震前、後固定穿越線調查之月份亦不盡相同，本研究將其分為下列 4 個時期：

- (一) 地震前：921 地震發生之前 2 年。自 1997 年 1 月起至 1998 年 11 月，每年單數月份依第一階段路線調查 1 次。
- (二) 地震後一期：921 地震發生後重新調查的前 2 年。在 2001 年 6 月、11 月及 2002 年 6 月、9 月，依第二階段路線進行調查 1 次。
- (三) 地震後二期：自 2003 年 6 月起至 2005 年 9 月止，在每年 6 及 9 月份各調查 1 次；依第二階段路線調查各穿越線。
- (四) 地震後三期：自 2006 年 1 月起，目前仍然正在進行中。每月均調查 1 次兩棲類；依第二階段路線調查各穿越線。

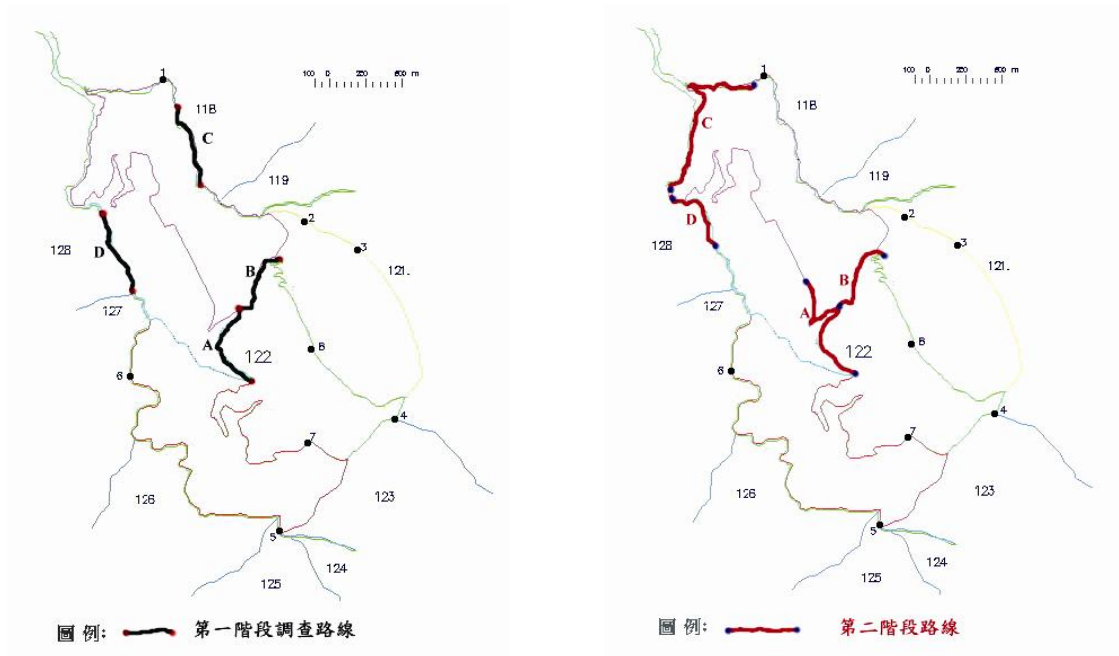


圖 1. 烏石坑地區兩棲類調查穿越線。第一階段為地震發生前的 1997 至 1998 年；第二階段為 2001 年以後。受地震影響，兩階段之間調查路線稍有差異。

Fig. 1 Transects of amphibian survey at Wushykeng area. Stage 1 was from 1997 to 1998 before the earthquake, and stage 2 was after 2001. There was little difference on routes between both stages because of the earthquake.

四、資料分析

在各年度的調查資料中以夏、秋兩季最齊全，此兩季又以 6 月份及 9 月份較完整。故原則上夏季採用 6 月、秋季採用 9 月份數據來統計和比較；當缺乏這兩月份資料時，則以同一季節的其他月份資料代替。在本研究中夏季使用 7 月(1997、1998 年)資料，而秋季則使用 11 月(2001 年)資料來取代。

為瞭解烏石坑地區的兩棲類動物多樣性，除了統計兩棲類種數與族群數量外，並採

用物種豐富度(Species richness)、辛浦森多樣性指數(Simpson's index of diversity)、夏農多樣性指數(Shannon's index of diversity) 以及均勻度指數(Evenness index)來分析兩棲類多樣性。並以 Bray-Curtis similarity 計算各次調查間的物種組成相似度指數(先開根號轉換)，再以 ANOSIM 比較各時期之間的物種組成相似度，以 SIMPER 分析各物種在相似度上所貢獻的百分比，上述方法由 PRIMER 5.2 軟體分析。單因子的比較若資料符合常態分布，採用

變異數分析(ANOVA)，若不符合常態分布，則採用克－瓦二氏(Kruskal-Wallis)變異數等級分析。

結 果

921 地震之後在烏石坑地區共記錄了 13 種兩棲類動物，連同地震前的調查資料，本地區的無尾兩棲類共有 15 種，其中包括兩種地震後才發現的新紀錄種：樹蟾科的中國樹蟾(*Hyla chinensis*)以及狹口蛙科的黑蒙西氏小雨蛙(*Microhyla heymonsi*)。而另外兩種早期有記錄的蛙種，包括赤蛙科的長腳赤蛙(*Rana longicrus*)及樹蛙科的橙腹樹蛙(*Rhacophorus aurantiventris*)，則自 1997 年起未曾再度發現。在所記錄的 15 種無尾兩棲類中，蟾蜍科的盤古蟾蜍(*Bufo bankorensis*)，樹蛙科的莫氏樹蛙(*Rhacophorus moltrechti*)、橙腹樹蛙、褐樹蛙(*Buergeria robusta*)、面天樹蛙(*Kurixalus idiootocus*)，以及赤蛙科的斯文豪氏赤蛙、梭德氏赤蛙(*Rana sauteri*)為台灣特有種，特有蛙類比例超過烏石坑所有蛙類的 40 %。

依據調查成果資料，溪流環境蛙類數量在地震後二期開始顯著增加(ANOVA, $F_{3,16}=3.88$, $p=0.029$)，但森林樣區的蛙類數量在地震前與地震後未觀察到特定的變動模式(ANOVA, $F_{3,16}=1.32$, $p=0.302$)。另外，在地震後二期起，各棲地環境皆開始呈現明顯的季節性波動。森林棲地環境的蛙類數量夏季多、秋季少；而溪流棲地環境蛙類數量卻呈現秋季多、夏季少的狀況(圖 2)。

森林棲地環境下所記錄兩棲類共有 13 種，711 隻次。占總數 80% 以上的常見種為盤古蟾蜍、布氏樹蛙(*Polypedates braueri*)，中文俗名原為白額樹蛙)、莫氏樹蛙、艾氏樹蛙

(*Kurixalus eiffingeri*)、面天樹蛙、斯文豪氏赤蛙、梭德氏赤蛙和拉都希氏赤蛙(*Hylarana latouchii*)。其中地震前的兩棲類共 9 種，數量以莫氏樹蛙、拉都希氏赤蛙和盤古蟾蜍為主。地震後一期蛙種數雖然一度降為 6 種，但地震後二期、三期則增至 10 種；數量上以拉都希氏赤蛙、盤古蟾蜍和斯文豪氏赤蛙為主(圖 3)。常見種類在地震前後數量並無顯著波動(Kruskal-Wallis test, $p>0.05$)，但其中較為特別的是莫氏樹蛙在地震後一期所占百分比明顯降低($\chi^2_3=129.1$, $p<0.001$)，拉都希氏赤蛙則明顯升高($\chi^2_3=97.3$, $p<0.001$ 圖 3)。

在溪流棲地環境下共記錄了 12 種 6786 隻次兩棲類，常見種為盤古蟾蜍、日本樹蛙(*Buergeria japonica*)、褐樹蛙、福建大頭蛙(*Limnonectes fujianensis*)、斯文豪氏赤蛙、梭德氏赤蛙和拉都希氏赤蛙。其中地震前共發現 7 種兩棲類，數量以盤古蟾蜍、褐樹蛙和斯文豪氏赤蛙為主；地震後則增加至 9 種，數量以梭德氏赤蛙、盤古蟾蜍和褐樹蛙為主(圖 4)。其中斯文豪氏赤蛙族群除在森林中的少量族群在地震後二期起有夏季多、秋季少的波動外，只能大致看出有森林與溪流棲地族群彼此消長的現象(圖 5)。而梭德氏赤蛙在地震前和地震後一期數量不多，卻在地震後二期開始有明顯變化，特別是在秋季，地震後二期及三期的數量顯著增加($H=12.89$, $p=0.005$)，所占的數量百分比增加至 80 % 以上(圖 6)。在夏季，褐樹蛙亦在地震後二期及三期數量顯著增加(圖 7, $H=8.79$, $p=0.032$)，而面天樹蛙則是在地震後一期出現較多的數量(圖 7, $H=8.77$, $p=0.032$)。

而在兩棲類多樣性的分析結果，物種豐富度、辛浦森多樣性指數、夏農多樣性指數、均勻度等 4 種指數在地震前(1997-1998 年)和地

震後一期(2001-2002 年)無論是在季節上或是棲地環境類型上的差異均不明顯。但因梭德氏赤蛙大量出現的緣故，2003 年起每年秋季溪流棲地環境之各項指數均明顯較低(表 1)。而物種組成相似度在震前後只有秋季的溪流樣區有顯著差異(ANOSIM, Global R= 0.507,

$p=0.004$)，地震前與地震後一期物種組成相似度高，地震後二期及三期的相似度高，而這兩組間的群聚組成有顯著差異，組間的相似度差異主要由梭德氏赤蛙及盤古蟾蜍所貢獻(SIMPER, 兩物種貢獻的百分比和達 63 %至 76 %)，夏季及森林樣區則無此現象(圖 8)。

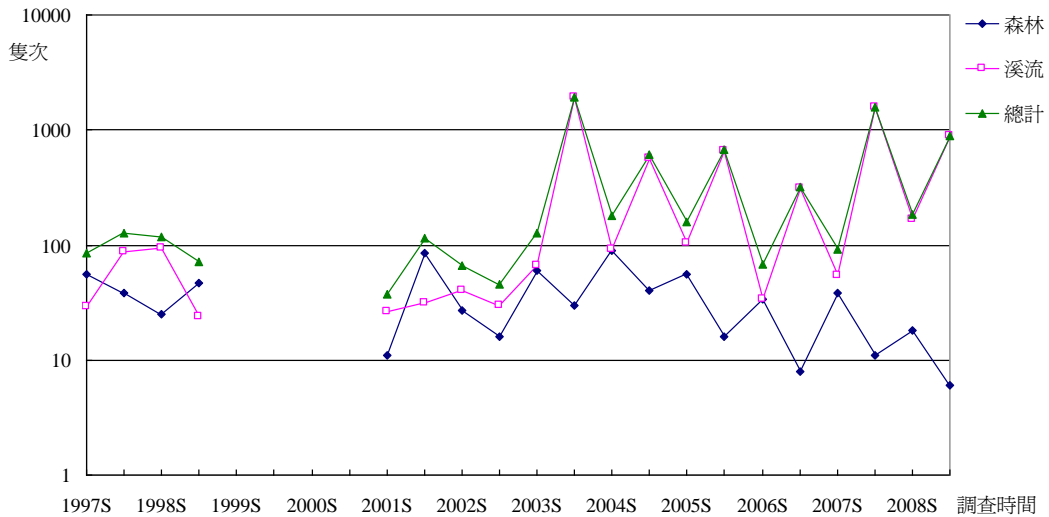


圖 2. 各年夏(S)、秋(A)季烏石坑地區兩棲類總數量；2003 年(地震後二期)起呈現劇烈季節性波動。(Y 軸為 log₁₀ 對數刻度)

Fig. 2 Total number of Wushyrkeng amphibians in the summer and autumn. There were dramatically seasonal fluctuations since 2003 (second post-earthquake) from the beginning to show significant seasonal fluctuations. (Y axis was log₁₀ logarithmic scale)

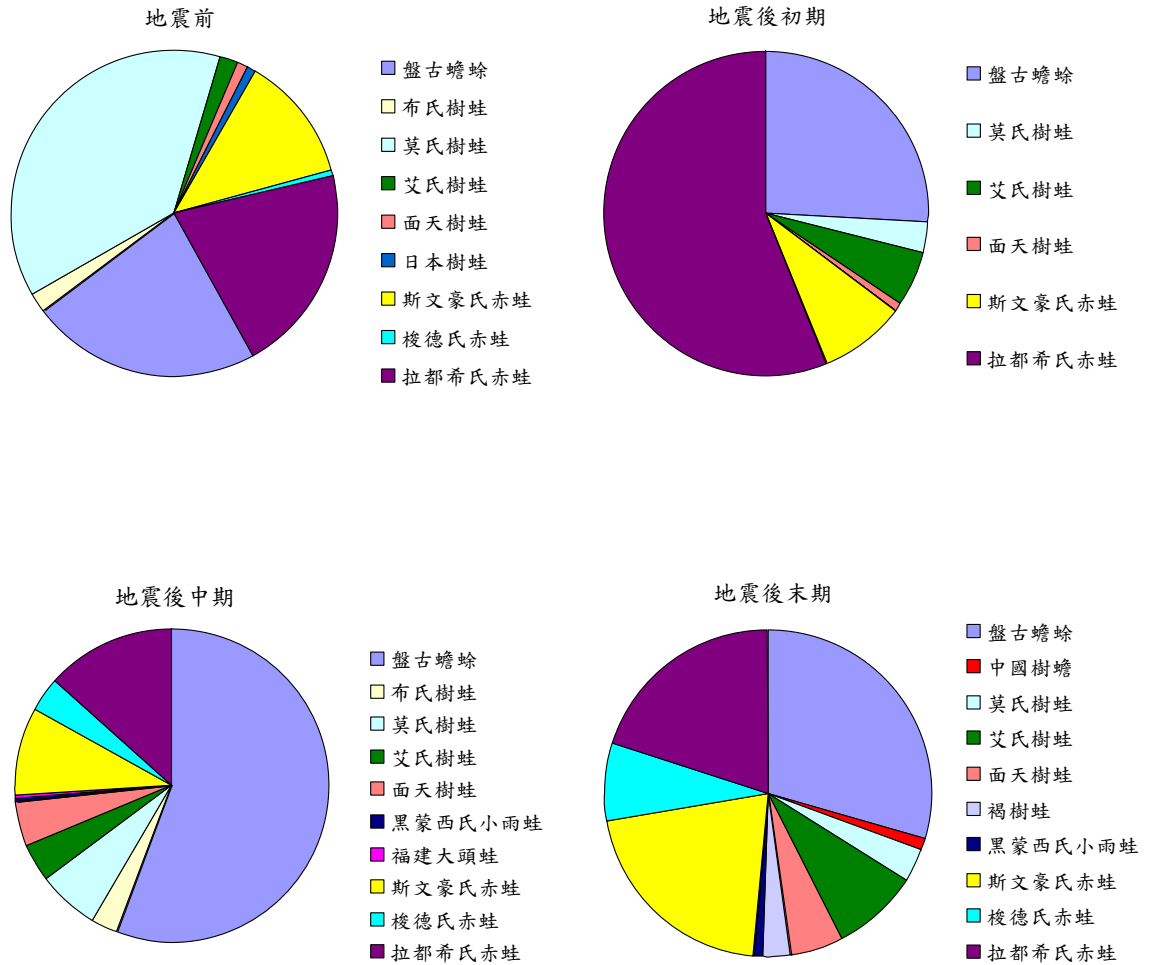


圖 3. 烏石坑地區森林棲地環境在地震前後各時期兩棲類組成。地震後種數顯著減少，且地震前數量最優勢的莫氏樹蛙所占比例亦明顯降低。

Fig. 3 Amphibian assemblages of forest habitats around the earthquake. Species number decreased after the earthquake. The ratio of *Rhacophorus moltrechti*, the most abundant species before the earthquake, also decreased significantly.

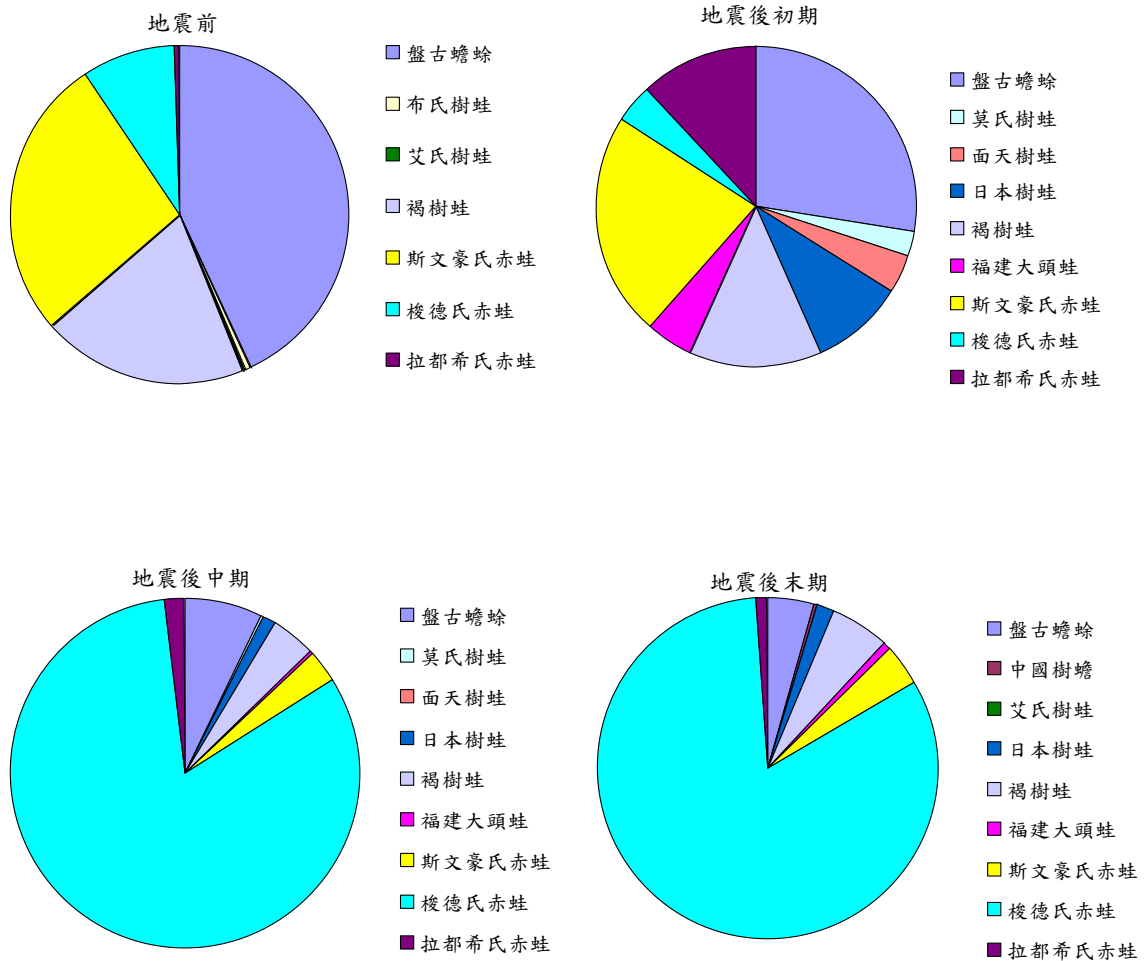


圖 4. 烏石坑地區溪流棲地環境在地震前後各時期兩棲類組成。地震後兩棲類種類數升高，且地震中、後期梭德氏赤蛙所占比例大為增加。

Fig. 4 Amphibian assemblages of stream habitats around the earthquake. Species number increased after the earthquake. The ratio of *Rana sauteri* rose dramatically at mid- and late- post-earthquake periods.

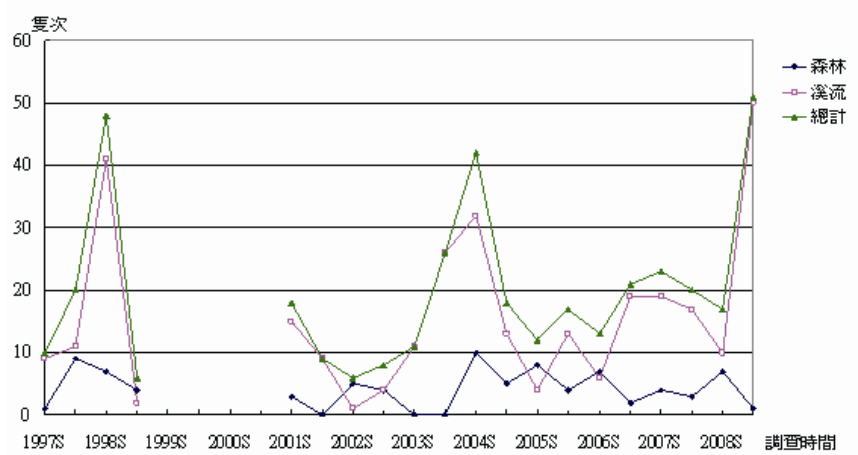


圖 5. 烏石坑地區斯文豪氏赤蛙族群變動狀況。大致上，有森林棲地族群與溪流族群間彼此消長的現象。(S: 夏季)

Fig. 5 Population fluctuation of *Odorrana swinhoana* at Wushykeng area. Roughly, there was an alternation between forest and stream populations. (S: summer)

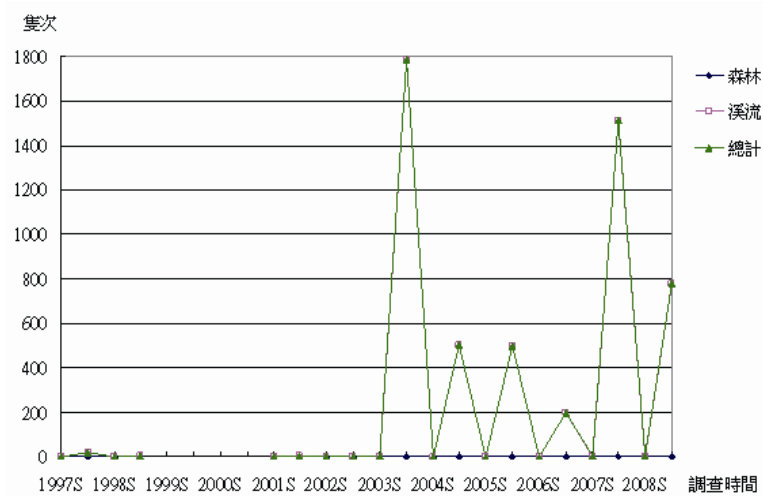


圖 6. 烏石坑地區梭德氏赤蛙族群變動狀況。至 2002 年為止，梭德氏赤蛙總數均在 20 隻以下，但 2003 年(地震後二期)起秋季溪流棲地環境之族群量大幅增加，約在 200 至 2,000 隻之間。(S: 夏季)

Fig. 6 Population fluctuation of *Rana sauteri* at Wushykeng area. Total numbers were under 20 until 2002. However, population at stream habitat increased dramatically between 200 to 2,000 since autumn, 2003. (S: summer)

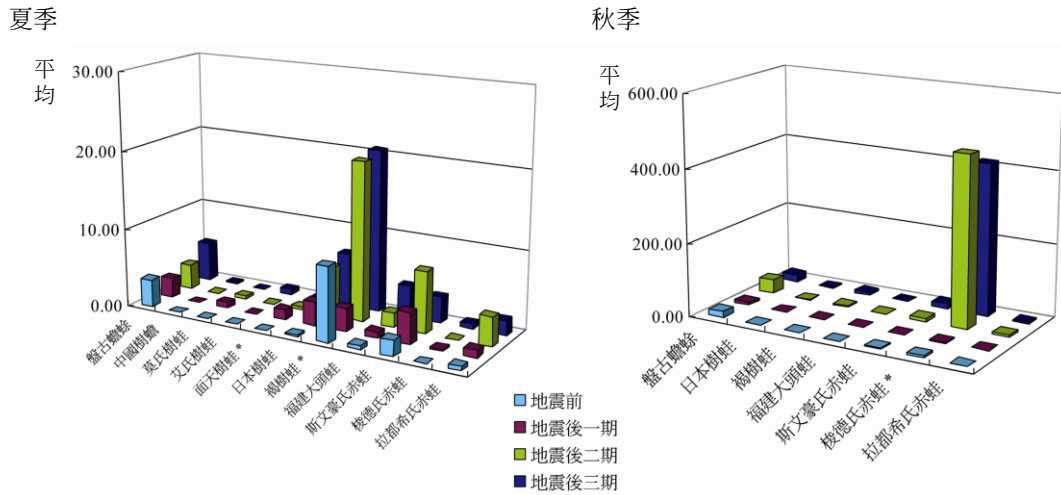


圖 7. 在地震後二、三期溪流環境，夏季面天樹蛙、褐樹蛙及秋季梭德氏赤蛙數量顯著增加。(*表示該物種數量在各時期有顯著差異)

Fig. 7 Abundances of *Kurixalus idiootocus*, *Buergeria robusta* in summer and *Rana sauteri* in autumn increased distinctly in the periods of second- and third-post-earthquake periods. (* represents there was distinct difference of the species.)

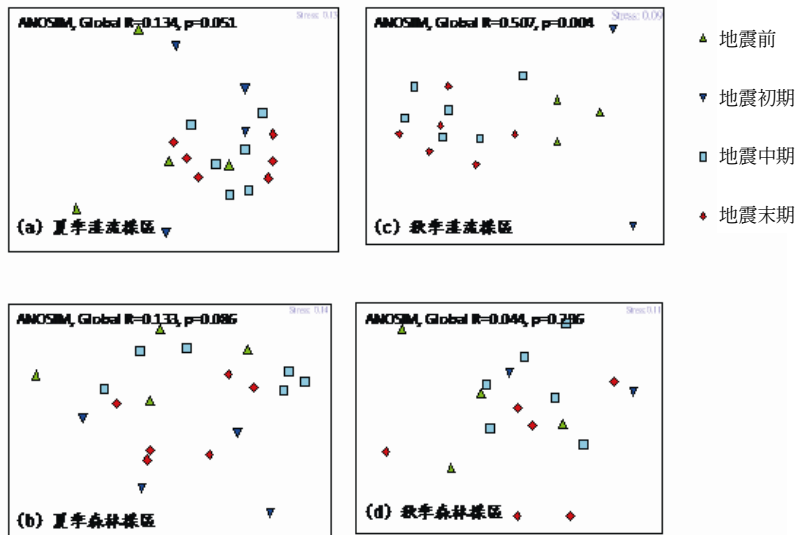


圖 8. 以 ANOSIM 分析各時期兩棲類物種組成相似度，僅秋季溪流樣區的物種相似度有顯著差異。(各點表示各樣線單一次調查的群聚組成，距離越近表示越相似。)

Fig. 8 Similarity of amphibian assemblage was analyzed by ANOSIM. There's only one distinct difference at stream habitat in the autumn. (Each point represents the community composition from a single survey. The shorter the distance between two points the more similarities between them.)

Table 1. 烏石坑地區兩棲類多樣性分析結果。地震前和地震後一期差異不明顯；地震後二期起秋季溪流棲地部份指數明顯較低(粗體字表示有差異但未達顯著，*表示該數值有顯著差異。S: 夏季；A: 秋季)

Table1. Results of diversity analysis of amphibian fauna at Wushykeng area. There is no significant difference between Pre- and first-post-earthquake periods. There were differences of some indexes after second-post-earthquake period (Bold font represents there is a difference but not distinct; * represents there was a distinct difference; S: Summer, A: Autumn)

	1997		1998		2001		2002		2003		2004		2005		2006		2007		2008		
	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	
Species Number	Forest	6	3	6	6	5	3	6	4	7	4	8	6	8	6	7	4	7	4	5	4
	Stream	5	4	3	3	5	4	8	4	6	6	6	5	6	6	6	5	5	6	5	5
Species Abundance	Forest	0.11	0.08	0.24	0.13	0.45	0.04	0.22	0.25	0.12	0.13	0.09	0.15	0.15	0.38	0.21	0.50	0.18	0.36	0.28	0.67
	Stream	0.17	0.05	0.03	0.13	0.19	0.13	0.20	0.13	0.09	0.00*	0.07	0.01*	0.06	0.01*	0.18	0.02*	0.09	0.00*	0.03	0.01*
Simpson's Index	Forest	0.62	0.60	0.83	0.62	0.85	0.36	0.81	0.64	0.56	0.19	0.67	0.68	0.74	0.83	0.82	0.82	0.78	0.67	0.78	0.80
	Stream	0.73	0.61	0.65	0.37	0.61	0.71	0.82	0.75	0.71	0.13*	0.73	0.22*	0.62	0.38*	0.80	0.54	0.76	0.09*	0.59	0.21*
Shannon's Index	Forest	0.51	0.45	0.73	0.53	0.67	0.25	0.70	0.48	0.54	0.19	0.66	0.58	0.68	0.71	0.75	0.57	0.70	0.49	0.63	0.39
	Stream	0.57	0.50	0.46	0.28	0.51	0.57	0.81	0.61	0.63	0.15*	0.64	0.22*	0.56	0.29*	0.71	0.45	0.65	0.11*	0.54	0.21*
Evenness	Forest	0.66	0.95	0.94	0.69	0.96	0.53	0.90	0.80	0.64	0.31	0.73	0.75	0.76	0.91	0.88	0.95	0.83	0.81	0.91	0.65
	Stream	0.82	0.83	0.97	0.59	0.73	0.95	0.90	1.02	0.82	0.19*	0.82	0.32*	0.72	0.38*	0.91	0.65	0.92	0.14*	0.77	0.30*

討 論

烏石坑地區的 15 種兩棲類中，主要分布於苗栗以北的長腳赤蛙(龔及楊 2010)在 1992 至 1994 年間僅有 2 筆調查紀錄且每次僅 1 隻個體；而零星分布於低海拔原始林，但中部地區尚未有正式紀錄(龔及楊 2010)的橙腹樹蛙亦僅有 1 隻個體的紀錄。由於此 2 種在台中低海拔山區數量原本稀少，在後續調查中亦未能再度發現，未來宜繼續長期追蹤並著重生殖季及其生殖水域棲地調查，才能確認其族群狀況。至於在 921 地震後才開始記錄到的中國樹蟾和黑蒙西氏小雨蛙，由於發現頻度及族群數量仍相對較低，其後續族群變動情形亦值得持續加以觀察。

在森林棲地環境下，地震不但造成布氏樹蛙、日本樹蛙、梭德氏赤蛙暫時由森林中消失，莫氏樹蛙所占的百分比亦由 37.95 % 遽降至 2.88 %；但盤古蟾蜍、拉都希氏赤蛙所占比例卻增加，顯示地震對於不同種類的影響有差異。其原因可能因地震造成坡面崩塌、樹木傾倒、土壤岩盤破碎、地下水位變動，使原本鬱閉潮溼的森林變為開闊且乾燥所導致。在植群及微氣候條件未復原的地震後一期，盤古蟾蜍等耐旱種類成為主要組成蛙種；直到地震後二、三期植群逐漸回復(震央九份二山處在地震後二期的 2004 年之植生恢復率已可達 70.1 %，林等 2006)，兩棲類種數才能慢慢地回升。至於莫氏樹蛙數量至今無法回復至地震前規模，則可能是因為森林尚未恢復至鬱閉、易積水狀態，以致其缺乏生活與繁殖場所之故。

和森林棲地相當不同的是，地震造成溪流棲地環境的蛙種從地震前的 7 種，增加到在地震後每個階段皆記錄到 9 種。地震後新出現於溪流棲地環境的蛙種包括主要在森林及靜水

域繁殖的莫氏樹蛙、面天樹蛙，以及在緩流水域繁殖的日本樹蛙及福建大頭蛙。這些種類會出現在烏石坑溪和乾溪中，除了因森林及積水環境改變，迫使利用這些棲地的兩棲類另覓生殖場所外，原本較深、水流較急的溪谷因土石崩坍和雨水沖刷使溪床平坦，開始在溪谷中出現緩流、水潭等合適環境，亦是可能的原因。但近年來由於長期氣候變遷，在降雨日數減少及單次降雨量增加的趨勢下，溪流附近易有偶發性的洪流出現。原本在緩流及靜水域生殖的蛙種，要如何因應這樣大且急的水流，可能需要更進一步的研究觀察。

在南投縣關刀溪流域的長期生態研究結果顯示，斯文豪氏赤蛙族群在地震後數量、存活率均一度明顯下降，在 2000 年 6 月後族群數量雖逐漸恢復，但在體長、體重、年齡結構上皆較地震前為小。可能是由於長年待在溪流中的大型個體因地震而死亡或遷出而消失，被原本在岸上及森林中活動、體型較小的年輕個體取代，建立地震後新族群的結果(賴等 2002)。本研究中並未特別針對斯文豪氏赤蛙探討體型及族群結構，但由 2001 年夏季的資料顯示，烏石坑地區的族群量在 921 地震後一期便可回復到地震前水準，這點則和關刀溪地區的研究結果相符。而烏石坑地區斯文豪氏赤蛙族群波動雖然甚不穩定，但大致有森林與溪流棲地環境彼此消長的現象，推測當地斯文豪氏赤蛙個體在不同棲地環境間移動交流，亦可間接支持關刀溪流域的研究結果(圖 5)。

此外，烏石坑地區溪流棲地環境下的斯文豪氏赤蛙族群達高峰的季節變異很大，這和關刀溪地區族群高峰每年穩定出現在夏、秋季之間的情形略有不同。推測因關刀溪流域研究環境為鬱閉森林中的小山澗及附近數個人工蓄水池，雨季時溪水流量不致過大，而旱季仍有

水池及森林中潮溼的環境供棲息，因此斯文豪氏赤蛙族群可以穩定存在(關及賴 2002)。烏石坑的調查區域則為空曠溪床，不但平時缺乏植群遮蔽，雨後也容易因洪流破壞、砂石沖刷而改變，時有久旱造成溪水枯竭，棲地的劇烈變化可能是斯文豪氏赤蛙族群無法維持穩定的原因。

就單一物種在地震後的族群變動而言，較特殊者為在溪流中繁殖的梭德氏赤蛙。自 1994 年即發現烏石坑地區梭德氏赤蛙開始聚集至溪邊為夏末秋初，最高峰則為冬季(方等 1994；何等 1998；Lin and Lue 2004)，而蝌蚪變態成為小蛙的時間約為次年春季。再根據地震前及地震後一期資料，本種地震前之秋季數量皆不及百隻，2003 年 9 月起卻暴增至 2000 隻左右，之後每年秋季皆維持在 200 至 2000 隻之間(圖 6)。本研究的調查結果雖然初步證實地震後的梭德氏赤蛙繁殖季節與地震前相符合，但其繁殖族群數量呈戲劇性變化之狀況卻值得未來更深入研究。

由於梭德氏赤蛙蝌蚪受到環境溫度的影響甚大，高海拔地區的冬季低溫與低海拔地區的夏季高溫都可能造成生殖失敗。而低海拔地區族群在秋、冬季生殖，可能是因為這段期間的溪水溫度較適合其蝌蚪成長的緣故(賴 2002)。例如 11 月至隔年 3 月是南投縣溪頭地區梭德氏赤蛙繁殖及蝌蚪成長時期，此時該地溪水溫度介於 11.2 °C 至 18.4 °C 之間(Lai *et al.* 2002)；故推測在與溪頭海拔高度相仿的烏石坑，梭德氏赤蛙生殖季溪流水溫應該與溪頭相差不大。而依據 921 地震後烏石坑溪與乾溪匯流口上游段的記錄資料，而 2000 年 3 月至 2001 年 2 月間平均水溫為 20.2 °C，2001 年 3 月至 2002 年 2 月間平均水溫為 18.2 °C(林 2002)；此外，2007 年 3 月至 2008 年 2 月平均水溫為

18.8 °C，而梭德氏赤蛙蝌蚪成長的 9 月至翌年 2 月則為 17.8 °C(李等 2008)，顯見地震後溪水溫度有逐漸變為適合梭德氏赤蛙蝌蚪生長之趨勢。雖然本研究缺乏烏石坑當地的植生恢復狀況之數據，但由 2003 年後 921 地震影響地區河流輸砂濃度開始逐年下降(陳及林 2009)及 2004 年九份二山崩塌地之植生復育狀況可達 70.1%(林等 2006)等前人研究成果來看，不排除烏石坑地區溪流邊坡植群於地震後二期的 2003 至 2004 年亦已逐漸回復，唯其跡象在此階段僅能自溪流蛙類相略見端倪，且與森林內非屬同步而無法擴大解釋至森林性蛙種的族群回復狀況。

相對於森林棲地環境，池塘及溪流等水域環境的兩棲類群聚組成相對較為多變。除了不同蛙種對於水域的利用目的不一，例如因為繁殖、成長、覓食、棲息及躲避天敵而出現水域附近，其出現的數量與時間長度亦各有不同。有些種類是長期生活於其中的居留者(residents)，有些是生殖季出現的種類，更有為了保持體內水份平衡才前往水域的短期過客(關 1999)。在烏石坑地區的長期監測過程中，若需選擇不同棲地類型下的蛙種作為監測指標，則建議選用在該棲地環境中出現時間較長、對棲地忠誠度高、族群達一定程度、對環境變動敏感，且族群波動易於觀察的物種，例如在森林環境的盤古蟾蜍、莫氏樹蛙、艾氏樹蛙、拉都希氏赤蛙，以及溪流環境的褐樹蛙、盤古蟾蜍、斯文豪氏赤蛙、梭德氏赤蛙等。藉著這些指標物種的種類組成及族群變動，或許可以建構出烏石坑地區棲地環境的變動模式，進而瞭解環境變遷對當地生態系的影響。

引用文獻

- 方懷聖、洪典戊、李德旺、陳立禎、盧堅富、何健鎔、林雲龍、林華慶、林春富。1994。臺中烏石坑地區野生動物之調查。台灣省特有生物研究保育中心(動物組)。134-188頁。
- 呂光洋、陳添喜、高善、孫承矩、朱哲民、蔡添順、何一先、鄭正寬。1996。台灣野生動物資源調查—兩棲類動物資源調查手冊。行政院農業委員會。144頁。
- 何東輯、楊吉宗、彭仁傑、黃獻文、方懷聖、林旭宏、薛美莉、張仕緯、張簡琳玟、楊耀隆、鄭錫奇、林斯正、林春富、賴肅如、何健鎔、沈明雅、翁韶良、陳元龍。1998。烏石坑地區生態系長期監測。行政院農業委員會特有生物研究保育中心八十七年度烏石坑地區生態系長期監測試驗研究計畫執行成果。11-18頁。
- 何東輯、劉敏慧、程忠智。2004。烏石坑地區蛙類資源介紹。自然保育季刊 46:36-40。
- 李訓煌、張世倉、薛美莉、朱恩良。2008。烏石坑溪棲地變遷與生物多樣性之研究成果報告書。行政院農業委員會林務局東勢林區管理處。129頁。
- 林昭遠、王祥帆、莊智瑋。2006。應用生態指標探討九份二山崩塌地植生復育變遷之研究。水土保持學報 38(3): 279-286。
- 林斯正。2002。烏石坑溪水生昆蟲長期監測與地震後組成變動。2002年生物多樣性保育研討會論文集。156-175頁。
- 陳宏宇、林冠瑋。2009。山崩、土石流在 921 地震後的演變。921 地震對生態影響與回復論文集。行政院農業委員會。1-10頁。
- 楊吉宗、林春富。2000。烏石坑地區永久樣區兩棲類長期監測(3/3)。行政院農業委員會特有生物研究保育中心八十七年度烏石坑地區生態系長期監測試驗研究計畫執行成果。14-18頁。
- 賴勇志、關永才、謝寶森、李宗翰。2002。地震對斯文豪氏赤蛙(*Rana swinhoana*)族群的影響。2002年動物行為暨生態研討會論文集。第16頁。
- 賴肅如。2002。海拔對臺灣山區梭德氏赤蛙生活史變異之影響。國立臺灣大學動物學研究所博士論文。80頁。
- 關永才。1999。關刀溪森林生態系兩棲動物群聚之研究。林業研究季刊 21(2):33-40。
- 關永才、莊銘豐、劉俊良。2007。人工林經營對兩棲類動物族群及群聚組成之影響。林業研究專訊 14(1):17-19。
- 關永才、賴勇志。2002。地震對斯文豪氏赤蛙族群在時間與空間分佈的影響。全球變遷通訊雜誌 34:21-30。
- 龔文斌、楊懿如。2010。運用志工調查資料進行臺灣蛙類分佈預測。2010數位典藏地理資訊學術研討會論文集。
- Lai, S. J., Y. C. Kam, F. H. Hsu and Y. S. Lin. 2002. Elevational Effects on the Growth and Development of Tadpoles of Sauter Frog, *Rana sauteri* Boulenger in Taiwan. *Acta Zoologica Taiwanica* 13(1): 11-20.
- Lin, C. F. and K. Y. Lue. 2004. Altitudinal Differences in Temporal Distribution, Spatial Preference and Timing of Breeding Climax of Frogs and Toads in Central Taiwan. *Endemic Species Research* 6(1): 39-50.
- Pough, F. H. 2007. Amphibian Biology and Husbandry. *ILAR Journal* 48(3): 203-213

