

季節變化對台灣七種蛙類利用水岸邊坡之活動力影響研究

張源修¹、梁維真²、侯文祥³

¹ 國立台灣大學生物環境系統工程學系 / 博士生 / f89622050@ntu.edu.tw

² 國立台灣大學生物環境系統工程學系 / 大學生 / b93602016@ntu.edu.tw

³ 國立台灣大學生物環境系統工程學系 / 副教授 / houws@ccms.ntu.edu.tw

摘 要

人為不當開發造成台灣水岸混凝土化日益嚴重，但陸水共生之生物大部分生態系統行為多在水岸邊發生，而台灣目前尚無相關設計規範可供參考。本研究選擇七種涵蓋台灣各地水域，與水岸環境密切的蛙類，探討其棲地與行為特性，期能改善水岸混凝土化問題。實測其體長、體重、趾表面積、四肢吸附能力、跳高與跳遠能力，以最適合的四種基質與對照組混凝土比較，配合較佳之五種邊坡坡度，量測蛙類活動能力。依台灣季節影響溫濕度的變化對基質表面之影響，探討對於蛙類行為能力的影響。實驗結果得知，以邊坡 45 度為例，比較同科且相近體型之面天樹蛙與日本樹蛙之單位體重吸附能力在卵石基質與木質基質上，日本樹蛙能力分別只有面天樹蛙能力的 17% 與 16%。至於體型與行為能力之差異性，以同為赤蛙科之斯文豪氏蛙與腹斑蛙為例，雌性第一群中，斯文豪氏赤蛙較腹斑蛙在體重方面高 63%；體長高 30%；四肢肉趾表面積高 44%；而行為能力方面，跳高能力高 15%；跳遠能力高 29%，可知同科別中，體型與行為能力有明顯差異。在吸附能力方面，蛙類體型影響極大，依蛙類體型由大而小，依序為盤古蟾蜍、褐樹蛙、拉都希氏赤蛙與日本樹蛙等作比較，大部分之蛙類適應坡度能力，顯示應小於 30 度為佳。若將條件設定為木質邊坡 30 度，盤古蟾蜍幾乎無吸附能力；日本樹蛙則高出褐樹蛙 59%；褐樹蛙高出拉都希氏赤蛙 67%。本研究之水岸邊坡材質與坡度組合，對於日後從事改造地方本土化水岸生態工程技術之相關工程人員能提供有用資料。

關鍵詞：生態工程、邊坡基質、水岸、蛙

一、前言

蕭(2003)指出建材耗能佔全國 CO₂ 排放量的 28.8% ,而水泥生產能源佔全國生產能源 30.8% ,混凝土材料之 CO₂ 排放量就佔 45% 以上,而台灣砂石有六成為盜採,其中 80% 盜採自河川。台灣當前水岸地區不但遭受盜採砂石的危機甚至還面臨混凝土化的命運,再加上 CO₂ 排放量大增影響環境氣候變遷,對於生物生存與棲地復育可說是多重考驗。工程建設之安全與生態性是可兼具的,本研究延續(侯、張,2004)之實驗模式,範圍擴大至台灣全區之水域環境,包含低中高海拔地區,並選擇具有不同地域性、不同水域環境需求、體型差異及具本土性等共七種蛙類作為指標性生物,對於蛙類適應不同邊坡材質的活動能力進行研究,並配合台灣各水域環境之溫、濕度條件影響不同蛙類行為能力,試圖針對台灣水域岸邊建設工法以蛙類為指標生物提出較佳之棲地環境改善。最後歸納出最佳化之湖泊水岸邊坡角度與基質設計模式,提出以生態工法設計模式改造水岸邊坡之可行性。

二、文獻回顧

台灣地區四季氣候差異頗大,而影響蛙類吸附能力除坡度與基質種類外,氣候環境之變異度亦可能是間接影響因子之一,故需進行溫、濕度氣候調查。涵蓋台灣北、中、南地區,依據中央氣象局台北、台中與恆春氣象站資料,自 1971~2000 年的平均月降雨量,最高在恆春地區八月份 475.2 毫米,降雨日數為 19 天;最低則在台中地區十月份 16.2 毫米,降雨日數為 4 天。平均月氣溫方面,最高為台北地區七月份 29.2°C,最高日氣溫達 34.1°C;最低溫亦為台北地區一月份 15.8°C,最低溫達 13.3°C。在平均月相對濕度方面,以恆春地區六、八月份 84% 最高,最低亦為恆春十一、十二月份的 71%。以上可反映出台灣地區地域之降雨量介於 475.2~16.2 毫米;氣溫介於 34.1~13.3°C;相對濕度則介於 84% ~71%。以圖 1 所示台灣地區氣候圖可知,台灣地區四季氣溫冷、熱分明,屬於亞熱帶季風林氣候區。因此可將季節性環境溫度區分為高溫(夏季)、中溫(春、秋季)、低溫狀態(冬季),而邊坡基質表面含水率則可因水岸之高低水位與雨季區分為高(全濕潤)、低(全乾)。

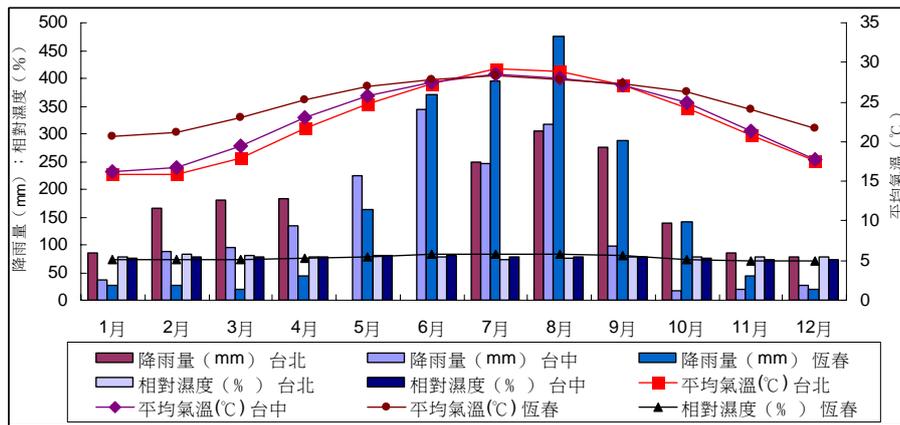


圖 1 台灣北、中、南地區氣候圖 資料來源：整理自中央氣象局（1971~2000）
Figure 1 Climate of North, Middle, South Taiwan. Source: The Central Weather Bureau (1971~2000).

蛙類之特徵與習性方面，李、楊（1999）於青蛙學堂網站說明兩棲類兼具有水棲及陸棲動物兩者的特性。而蛙類生活史包括卵、蝌蚪、幼蛙等三種，牠們通常將卵產在水裡或水邊，幼體蝌蚪在水中發育以鰓呼吸，蝌蚪變態成小蛙，再到陸地生活並用肺呼吸，在牠們的生活史中就具有利用邊坡進行活動的水陸兩個時期。陳（2003）提出台灣 31 種蛙類圖鑑說明基本特徵與習性，盤古蟾蜍為台灣特有種，屬於大型蛙類，活動於海拔 3000 公尺以下，繁殖期在 9-5 月，喜愛空曠草地、靜水域或溪流兩旁為其理想棲地。日本樹蛙為小型蛙種，活動於海拔 1500 公尺以下區域，繁殖月份為 2~10 月，理想棲地為山區溪澗與溝渠附近。七種泛島型分佈之蛙類資料關係比較，如表 1 所示。

表 1 台灣泛島分佈之七種蛙類相關資料
Table 1 Basic Information of the Seven Selected Species.

蛙種	盤古蟾蜍	斯文豪氏	褐樹蛙	腹斑蛙	拉都希氏	面天樹蛙	日本樹蛙
科別	蟾蜍科	赤蛙科	樹蛙科	赤蛙科	赤蛙科	樹蛙科	樹蛙科
體型	大	中大	中大	中	中	小	小
體長 (cm)	♂	6.5-9.2	5.3-7.6	4.4-5.5	4.9-5.7	3.9-5	2.7-3.1
	♀	8-12	7.5-8.5	7.3-8.2	5.3-5.6	5.5-6.1	4
海拔高度 (m)	0-3000	0-2000	0-1500	0-2000	0-2000	0-1500	0-1500
繁殖月份	9-5	1-12	2-9	3-9	1-12	2-9	2-10
棲地、習性與特殊性	空曠草地、靜水域或溪流兩旁。特有種	山中溪流，喜棲息於溪谷的石頭上鳴叫。	山區溪流附近。保育類特有種	靜水域，水生植物茂盛地區。	流動緩慢之溪流邊或溝渠、池塘等積水處。	灌木叢、芒草或山區積水的溝渠。特有種	山區溪澗、溝渠附近活動。

資料來源：整理自陳（2003）

李(1985)說明盤古蟾蜍(*Bufo bankorensis*)在繁殖季節時期活動性增加，多半在水中或水邊活動，除上述行為外尚有休息、游泳、及急轉潛水等，雌雄蟾蜍棲息、求偶及產卵地之選擇依次為凹穴淺水平瀨區、平直淺水平瀨區、深水平瀨區。蟾蜍聚集及進行假交配的行為多半在天氣晴朗及水位低淺時發生，而在水邊活動的蟾蜍數量以雄性者較雌性為多。賴(2001)指出赤蛙科的斯文豪氏赤蛙(*Rana swinboana*)之小蛙與亞成蛙主要生活於河岸旁的陸域棲地，而絕大多數在溪流活動的個體皆為成蛙，小蛙甚少於溪流中出沒。陳(2003)提出同屬赤蛙科的腹斑蛙(*Rana adenopleura*)喜歡靜水域，尤其以水生植物茂盛的地區。潘(2000)於台灣賞蛙記一書中指出腹斑蛙分佈在全島的山區與平地沼澤區，常可在池塘積水處被發現，經常棲息在水澤區域旁的草叢掩蔽處；同屬赤蛙科的拉都希氏赤蛙(*Rana latoucbii*)則遍佈全島，大多棲息在低窪地區的蓄水池、水溝、溪流及一般容易積水的濕地中。陳(2003)亦指出拉都希氏赤蛙喜棲息於流動緩慢的溪流邊或溝渠、池塘等積水處。

林(2001)提出樹蛙科的褐樹蛙(*Buergeri robusta*)有明顯的雌雄二型性，雌蛙平均體長為雄蛙的1.48倍，平均體重為雄蛙的3.7倍，生殖活動受到溫度升高的影響開始，偏好在晴天的夜晚進行生殖活動。雄蛙生殖活動時會偏好停棲在離水邊1m的範圍內、水淺、流速緩的石頭上鳴叫。褐樹蛙族群多分佈在北部雙溪河流域各支流的 upstream，有4條支流(佔66.7%)上游的雄蛙族群數量顯著大於中、下游。雙溪河流域支流中的丁子蘭溪的褐樹蛙族群數量最豐富，底石大小與雄蛙的出現數量有顯著的正相關。

Kuramoto and Wang(1987)提出面天樹蛙(*Chirixalus idiootocus*)生活史，循環過程分別為產卵、蝌蚪、幼蛙、成蛙、求偶至交配時期，其繁殖季在2至10月，對於氣溫的要求於12~24°C之間，繁殖期雨量需求亦在220mm以上。

張(1989)說明面天樹蛙各階段之生活史。產卵時期主要於3至7月，適合在降雨量250mm氣溫20°C之環境條件，雌蛙全部產卵時間由126~368分鐘不等，其中掩巢時間約40~60分，卵塊數量由102~244個不等，雌蛙常會選擇其他雌蛙所產的卵塊上產卵，卵塊需遇水後才會孵化，約10天即可孵化，生殖高峰期於大雨前較乾燥

的時期。產卵地點與離水距離、地形、地表性質、覆蓋物四項因素有相當程度的相關性，其中以離水距離為首要依據，最適地點型態為靠近水線邊緣有較平坦緩坡的疏鬆泥地。面天樹蛙並偏好有覆蓋物的地區，特別是芒草等親水植物覆蓋區。雌蛙亦會選擇有落葉、枯枝或石塊覆蓋的區域產卵。蝌蚪時期亦於 3 至 7 月份，適合水溫在 22℃，在胚胎中的蝌蚪以卵黃為養分，出生後在水底以落葉、腐植質、藻類等有基質為食。幼蛙時期則在 3 至 9 月，開始由蝌蚪長出前後肢，逐漸接觸水面上的生活，由鰓呼吸的器官變成由肺代替。幼蛙生活區離水不遠，在岸邊以小蟲為食，需三、四個月才變成蛙。成蛙時期，全年皆可見到，適合氣溫在 12~24℃，棲息於丘林地、山區竹林、樹林、草叢、濕地等，非繁殖季活動於灌木叢、芒草、池塘、山區積水處，或植物枝葉上，白天喜歡棲息於芒草或燈心草上享受日光浴。求偶時期一般在 3 至 7 月份，適合在降雨量 800~240mm 與氣溫 12~24℃ 之環境條件。雄蛙在池子周圍鳴叫而不入池，每隻雄蛙在水池中平均逗留 2~3 天，雄雌數量比為 10.7。剛入池時多分散在池子周圍的芒草叢中活動，再逐漸往水邊移動，雄蛙每天均由固定地點入池，鳴叫地點離水邊 240 cm 以內。交配時期大多在 2 至 10 月份，適合在降雨量 220mm 以上與氣溫 15~20℃ 之環境條件，生殖活動受氣溫與雨量影響，4~7 月為繁殖高峰期。雌蛙在池外配對後才入池產卵，雄蛙在午夜前入池活動，三時起陸續離開，五時均已離池。

巫 (2002) 提出日本樹蛙 (*Buergeria japonica*) 在不同季節，樣區水溫變化很大，但蝌蚪平均的棲息水溫上限始終維持一致，約 $36.9 \pm 2^\circ\text{C}$ ，這顯示蝌蚪對微棲地的溫度是有選擇的，在冬季水溫較低的情況下，蝌蚪的分佈較為分散，而隨著春夏季水溫升高時，蝌蚪的分佈範圍則變得狹窄，結果顯示高溫耐受度與行為選溫是日本樹蛙蝌蚪因應溫泉高溫環境變化的主要方式。台灣水域因人為開發將水岸邊以混凝土建造步道，使得生物無法活動於水、陸域之間，尤其是影響蛙類之棲息、繁殖與活動行為。

Lemckert (1999) 提出有選擇性的森林砍伐對於 29 種蛙類在 212 種不同的溪流與池塘中之種類豐富度的影響，其中在溪流較池塘棲地之種類豐富度高出 50% 以上。Jansen (2003) 比較 26 個牧場內河川對於濕地與蛙類群落之影響區域內氣溫維持

在 7.5~41°C，相對濕度維持在 26~61%，其濕地條件與物種豐富度之關係係數約 22~71%。Green and Carson (1988) 以電子顯微鏡四種倍數調查樹蛙四肢肉趾表面積對於玻璃基質之吸附機制。Gillespie (2002) 提出水域周邊沈積物的覆蓋洞穴密度與樹蛙蝌蚪體長成正比其實驗數據有助於水岸邊坡之多孔隙設計。Laurance (1996) 提出澳洲東部雨林地區氣候異常造成 14 種蛙類族群數量下降，以 17 個氣象站之氣候資料作為實驗區，選擇溫、濕度變化明顯季節作實驗，結果得知每年平均減少 11.4%，濕季減少 20.2%，乾季增加 8.8%，全乾季減少 5.4%。Hamer et.al. (2002) 提出以管理濕地方式來復育瀕臨絕種的 *Litoria aurea* 蛙之棲地，其中指出水岸邊坡植生有助於水質淨化，利於此蛙種之生物棲地。綜合以上文獻可知，地域性的溫濕度氣候變化與蛙類能力有直接關係。

關於樹蛙之行為能力有許多學者提出相關研究，如 Green and Carson (1988) 即建立以拉力計量測蛙類在玻璃基質上之吸附能力的實驗機制。Green (1981) 將 *Hyla versicolor* 與 *Hyla chrysoscelis* 兩種樹蛙體長分別為 4.06~5.08 公分與 3.97~4.96 公分各九隻的雙足用濕布包裹後以細線網綁，將樹蛙之前雙足放在乾玻璃基質上，再以拉力計垂直向後拉量測其吸附力；再將樹蛙分別放在加蒸餾水、肥皂水、乙醇之玻璃上，比較與在乾玻璃上吸附能力之差異。Hanna and Barnes (1991) 針對約 6 至 16 克體重的樹蛙之吸附能力探討，以玻璃、砂紙等二種基質，以每秒 4.8° 的速度轉動基質，分別求出在各角度變化時樹蛙之吸附能力，指出樹蛙在玻璃基質面上之吸附能力比砂紙基質佳，往上吸附能力上限為 85.1±21.5°；Emerson and Diehl (1980) 以 21 種青蛙其體重由 0.7 至 95 克不等；而肉趾表面積由 0.2 至 1.4cm²，在木頭、玻璃、鐵氟龍、葉子等四種基質，改變基質角度分別為 1°~89°、90°、91°~179°、180° 等四種變化觀測其自然吸附能力，結果以 *Oreohrynella quelchii* 樹蛙於四種基質之吸附力平均較佳；對四種基質之吸附力以鐵氟龍基質最佳，多數樹蛙平均落點在 105°~135°。Bikerman(1971)提出蛙類之吸附能力與基質間相關因子的關係式。侯、張 (2004) 以六種基質更換不同角度探討面天樹蛙的吸附力實驗，結果木質與卵石以 30°~45° 之水岸邊坡角度吸附力效果較佳；以雄性群為例，芒草基質之吸附能力最佳為 100%，其

次為木質 83%、卵石 57%、最差為砂質，只有芒草 28% 之吸附能力。面天樹蛙利用水岸邊坡之吸附能力較佳的三種基質，以芒草基質適合任何水岸坡度、卵石基質坡度設計上限應小於 45°、木材基質坡度設計上限應小於 60°。Bergen et al. (2001) 提出五項生態工程之設計原則：(1) 設計應符合生態原則、(2) 需要有專業的設計背景、(3) 保持生態系統自給自足的機能條件、(4) 自然能量的效能運用與經驗知識的設計、(5) 確認有效價值與達成動機與目標的設計。

三、材料與方法

1. 取樣對象、數量與分群方式

本研究之對象為水岸邊坡，故蛙種必須選擇生活史與水域岸邊關係較為密切之蛙種為優先，其次是依體型、保育類別、特有種、台灣分佈區域、取樣難易性、參考文獻多寡等作綜合評估，最後選擇出盤古蟾蜍、斯文豪氏赤蛙、褐樹蛙、腹斑蛙、拉都希氏赤蛙、面天樹蛙與日本樹蛙等七種，其中包含保育類 1 種、特有種 3 種，相關資料整理於表 1。依據呂 (1996) 對兩棲類動物資源調查手冊所提出之叢塊取樣法至現場取樣；並依據俞 (1976) 對野外試驗生物採集數量要求與捕捉後的能力適應期分別採集各蛙類雄性 30 隻、雌性 10 隻等兩群。將 280 隻蛙類編號，平均飼養在 7 個生態箱。樹蛙在捕捉後分別於 14 天內即完成計測以免影響其行為能力。分群方式以實驗室中進行蛙類之每單位體重與肉趾表面積之跳高、跳遠行為能力為分群依據，每蛙種各將雄 (♂) 雌 (♀) 性區分為行動力強、弱兩群，行動力強者為第一群，弱者為第二群，即區分為 ♂₁、♂₂、♀₁、♀₂。

2. 樣本之身體量測及跳高、跳遠能力量測

依據侯、張 (2004) 對於樹蛙體型及行為能力之量測方式，體重及體長方面依據張 (1989) 以電子式計重秤量計體重，單位為公克；體長量計則將蛙類身體拉直再以游標卡尺量測；趾表面積量測則依據 Lee et al. (2001) 以掃瞄式電子顯微鏡進行實體拍攝，再放入 CAD 軟體進行面積計測。而行為能力量測分為跳高與跳遠能力，依據 Cadiergues et al. (2000) 提出方法，量測跳遠方式以 200×200 cm 之平板將生物置於上方固定位置，以五次跳遠平均值求得其跳遠能力；量測跳高方式則以 1 mm 厚紙板

捲成內徑 5~18 cm，高度分別為 3~60 cm 的紙筒，各紙筒間高度差 2 cm，將蛙類分別置於不同筒內，以芒草或樹枝刺激其跳躍而求得其值，每次跳躍間隔 1 分鐘，測得 5 次求其平均數而得到跳高平均值。實驗中須於適當時間將樹蛙身體噴濕，使其皮膚保持濕潤。

3. 蛙類於不同基質角度變化與各群別之吸附能力量測

延續侯、張 (2004) 實驗結果，選擇較適合之基質分別為葉子 (芒草)、卵石、木材 (柳安木)、黏土等四項基質以及對照組混凝土，探討各項基質角度 15°~75° 各相隔 15° 之五種坡度設計，並量測其吸附能力。參考 Green (1981) 文獻，以濕布包裹蛙類身體，再以綿線固定於樹蛙與電子式拉力計之間，綿線與拉力計必須平行於基質表面，逐漸往後拉而求得蛙類四肢吸附能力，單位為牛頓 N ($\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$)，量測五次求其平均值與標準差，每次間隔 1 分鐘，且保持樹蛙皮膚濕潤。整理出各群蛙類之吸附能力上限，探討台灣不同地區的水域岸邊之適合基質種類與坡度設計上限機制。

4. 台灣氣候環境對蛙類利用不同基質、角度之活動力影響

依據中央氣象局台北、台中與恆春氣象站 (1971-2000 年) 之四季氣候環境計測資料，於恆溫實驗室中進行熱環境模擬，依據邱 (2002) 以 500W/2A/220V 點光源「無紅外線反射膜鹵素鎢絲燈泡」模擬太陽輻射，進行模擬夏季氣溫 32°C 環境；以中國國家標準 CNS10523 (1987)「門窗隔熱試驗法」模式，以室內冷房空調與置放冰塊模擬冬季最低氣溫 14°C 環境；並以恆溫調控模擬春、秋季氣溫於 25°C 環境。參考 Green (1981) 實驗方式，將各項基質表面含水率調整為 0%、100% 二種狀態，分別試驗出基質表面含水率之多寡對於七種蛙類吸附力之影響，其實驗設計模組如表 2 所示。

表 2 邊坡基質表面狀態與氣候環境關係之試驗設計

Table 2 The experimental design for the relationship between bank slope substrate and climatal environment.

濕度 \ 溫度	高濕	中濕	低濕
高濕 (基質表面含水率 100%)	高溫高濕 (夏季-雨天)	中溫高濕 (春、秋季-雨天)	低溫高濕 (冬季-雨天)
低濕 (基質表面含水率 0%)	高溫低濕 (夏季-乾燥)	中溫低濕 (春、秋季-乾燥)	低溫低濕 (冬季-乾燥)

四、結 果

1. 四種不同體型蛙類於各群別間之體型與活動力差異

為探討蛙類體型與活動力關係，選擇大型（盤古蟾蜍）、中大型（褐樹蛙）、中型（拉都希氏赤蛙）、小型（日本樹蛙）來進行比對，實驗結果如表 3 與圖 2 所示。顯示盤古蟾蜍在體型方面佔極大優勢，以♀₂群為例，四種體型蛙類的體重比例由大而小依序為 53:11:5:1，但跳遠能力方面則盤古蟾蜍表現最差，分別為褐樹蛙、拉都希氏赤蛙、日本樹蛙之 21%、29% 與 22%。在跳高能力方面，盤古蟾蜍最差，分別為褐樹蛙、拉都希氏赤蛙、日本樹蛙的 35%、63%、72%。而拉都希氏赤蛙亦只有褐樹蛙跳高能力的 55%。以上結果顯示蛙類的體型與其行為能力未必成正、反比關係。

表 3 四種蛙類四群間之體重 (g) 關係：

Table 3 The Relationship Between the Four Groups of Frogs and Their Weights (g).

群別	體 重 (g)				【1】 / 【2】	【2】 / 【3】	【3】 / 【4】	【1】 / 【4】
	盤古蟾蜍【1】	褐樹蛙【2】	拉都希氏赤蛙【3】	日本樹蛙【4】				
♀ ₁	138.28±28.48	40.01±2.35	18.47±1.46	3.45±0.28	3.46	2.17	5.36	40.13
♀ ₂	203.42±30.28	40.61±0.80	18.74±1.26	3.82±0.05	5.01	2.17	4.91	53.28
♂ ₁	48.22±6.77	10.08±1.66	9.39±3.76	1.65±0.15	4.78	1.07	5.68	29.16
♂ ₂	70.32±14.97	12.75±1.66	15.94±2.85	1.92±0.34	5.51	0.80	8.31	36.64

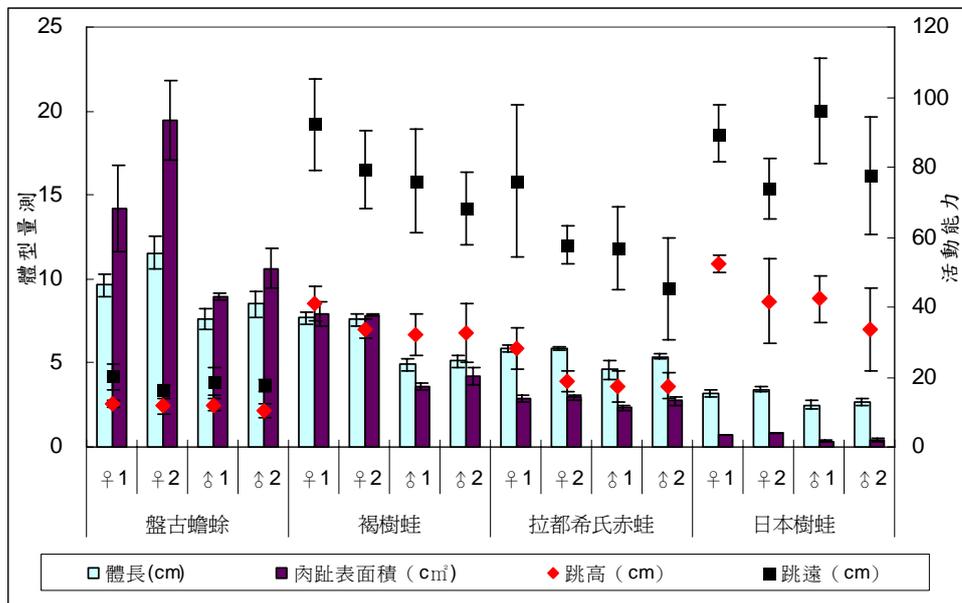


圖 2 盤古蟾蜍、褐樹蛙、拉都希氏赤蛙、日本樹蛙之體長、趾表面積、跳高及跳遠能力。

Figure 2 Physical measurements of *Bufo bankorensis*, *Buergeria robusta*, *Rana latouchii*, and *Buergeria japonica*.

2. 四種不同體型蛙類各群別間之單位體重活動力

即使在相同蛙類的同性別間之活動力差異甚大，為求結果精確而將同性別之蛙類分為活動力強、弱兩群，並依據上述之單位體重的跳高與跳遠能力進行綜合評估分群

考量，如圖 3 所示。結果顯示單位體重之活動能力方面，四種不同體型蛙類之跳高與跳遠關係成正比關係，且 R^2 數值都在 0.95 以上。除拉都希氏赤蛙 ♀₁ 群較 ♂₂ 群能力佳外，其餘三種蛙類的活動能力由大至小排列都是 ♂₁、♂₂、♀₁、♀₂，如圖 3 所示。綜合以上論述，各蛙種之四種群別中大多以雄性優於雌性，而第一群亦優於第二群，其中，又以保育類的褐樹蛙和特有種的盤古蟾蜍等兩種蛙類，在雌雄能力差異程度最大，♀₁ 能力僅為 ♂₁ 能力的三分之一。基於雄、雌樹蛙皆需能適應水岸環境，且雌性蛙群更關係著該物種的存續，在兼顧工程經濟因素考量，本研究選定雌性 (♀₁) 群的活動能力作為本研究設計工程保育之對象。

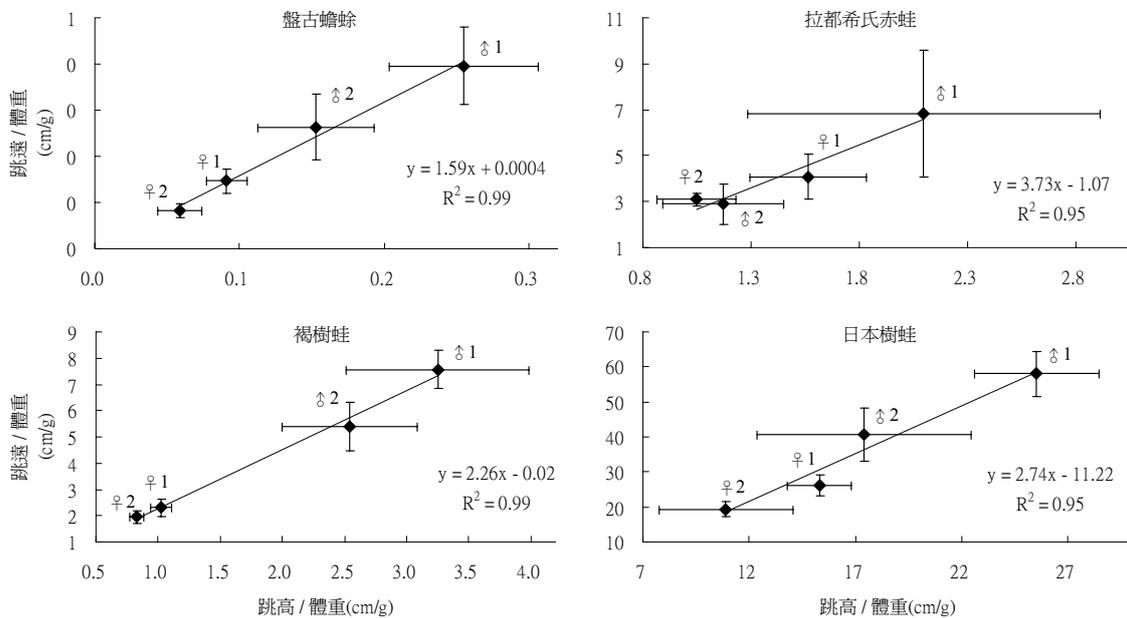


圖 3 四種蛙類每單位體重之跳高、跳遠能力關係圖
Figure 3 Physical Ability per Unit Weight for the Four Species.

3. 台灣氣候環境對蛙類利用不同基質、坡度之活動能力影響

依據上述以保育 ♀₁ 群別為對象，配合台灣四季氣候之溫度與邊坡基質表面含水率變化，探討蛙類於不同水岸邊坡坡度與基質變化對蛙類之吸附能力。本單元分別以不同體型、不同適應動與靜水域棲地、不同科別與不同適應海拔高度四項來選擇蛙種，比較其吸附能力之差異性，以得知最佳之水岸邊坡設計數據。

(1) 不同體型蛙類在不同基質、坡度之吸附能力差異性

依據陳(2003)將蛙類體型區分，選擇大型(盤古蟾蜍)、中大型(褐樹蛙)、中型(拉都希氏赤蛙)、小型(日本樹蛙)，因四種蛙類共同繁殖季於九月，故選擇高溫 32°C ，且基質表面含水率0%之環境設定條件分別進行實驗計測，實驗結果如圖4所示。以木質為例，最大體型的盤古蟾蜍，於邊坡坡度 15° 時，吸附能力為 0.38 ± 0.26 ($\times 10^{-2}\text{N/g}$)，而增加至 30° 已幾乎無吸附能力；在芒草基質表現最佳，於邊坡 45° 時仍有 0.22 ± 0.07 ($\times 10^{-2}\text{N/g}$)，到 60° 以上亦無任何吸附能力。以混凝土基質 30° 邊坡為例，假設最小體型之日本樹蛙吸附力為100%，盤古蟾蜍並無吸附能力，為日本樹蛙能力的0%、褐樹蛙與拉都希氏赤蛙則分別為日本樹蛙能力的50%與30%。而日本樹蛙利用邊坡 15° 之吸附力，在混凝土基質為 0.79 ± 0.08 ($\times 10^{-2}\text{N/g}$)，比使用芒草與黏土基質分別提高0.3與7.7倍的吸附力；但比使用木質與卵石基質，則分別降低40%與23%的吸附能力。得知，在夏季高溫、低濕的炎熱氣候狀態，木質及卵石水岸比混凝土基質更有助於日本樹蛙之棲息與活動。

而對於比較四種不同體型之蛙類，設定芒草基質邊坡 45° 之條件，以日本樹蛙表現最佳 0.38 ± 0.17 ($\times 10^{-2}\text{N/g}$)，分別優於盤古蟾蜍的42%、褐樹蛙的29%、拉都希氏赤蛙的76%。其中，盤古蟾蜍由於體型因素，基質坡度變化對吸附能力表現差異甚大，以 15° 至 30° 之坡度變化，每上升1度其吸附能力則下降 3.8 ($\times 10^{-2}\text{N/g}$)，而 60° 以上坡度則無任何之吸附能力，實驗結果再次證明體型之大小未必與其吸附能力有絕對之正反比關係。

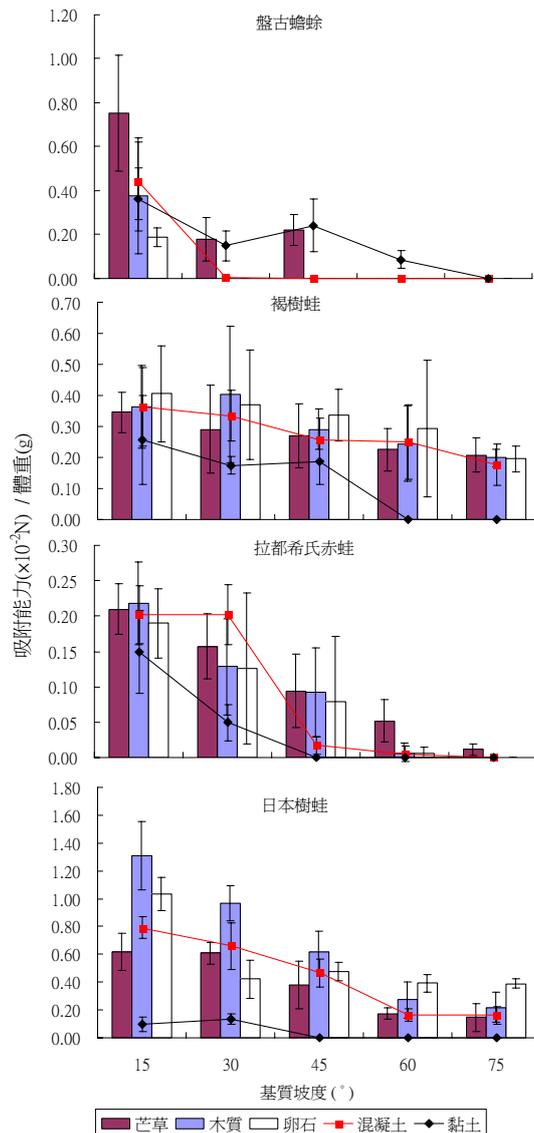


圖 4 不同體型蛙類在不同基質、坡度之活動能力

條件設定：環境溫度 32°C，基質表面含水率 0%，♀₁ 群，盤古蟾蜍（大型）、褐樹蛙（中大型）、拉都希氏赤蛙（中型）、日本樹蛙（小型）。

Figure 4 Physical Ability of Different Body Types at Different Slope Substrates and Angles.

Experimental conditions: temperature: 32 °C; surface humidity: 0%; ♀₁ group; *Bufo bankorensis* (large), *Buergeria robusta* (medium-large), *Rana latouchii* (medium), and *Buergeria japonica* (small).

(2) 不同動、靜水域棲地之蛙類在不同基質、坡度之吸附能力差異性

不同棲地水域環境因素可能是影響蛙類行為能力的條件之一，故本單元比較體型相近，同為中型蛙類的褐樹蛙（溪流-動水域之代表）、及腹斑蛙（水池與湖泊-靜水域之代表），由於配合其繁殖季與流動水域的水岸高低水位變化，將環境條件設定為高溫 32°C 及基質表面 100% 高含水率狀態分別進行實驗，實驗結果如圖 5 所示。結果顯示腹斑蛙之吸附能力與各基質之角度變化，明顯成反比現象。褐樹蛙使用邊坡 30° 混凝土基質為例，吸附能力分別低於同坡度的芒草、木質與卵石等基質達 25%、37% 與 44%，而高於黏土基質 29%。比較褐樹蛙與腹斑蛙使用邊坡 45°~75° 的混凝土

基質，褐樹蛙的吸附能力均較腹斑蛙高 10~45%。褐樹蛙則於在各基質 30° 坡度時均有較佳吸附力，以水岸邊坡芒草基質 30° 為例，褐樹蛙之吸附能力高於腹斑蛙 19%；在木質材質高 23%；在卵石材質高 46%。

由上述結果得知在夏季高溫與高水位的高濕氣候狀態，褐樹蛙之吸附能力比腹斑蛙佳。腹斑蛙對於芒草、木質、混凝土等基質在坡度 45° 以下時的吸附力相近。至於褐樹蛙則在卵石基質的吸附力表現較佳，應與對棲地需求因素有關。

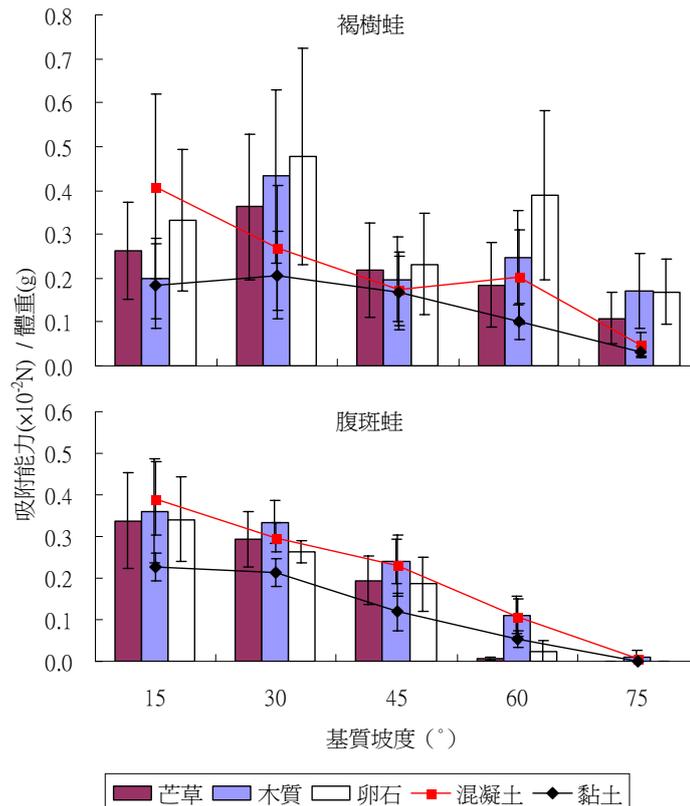


圖 5 不同動、靜水域棲地之蛙類在不同基質、坡度之行為能力
條件設定：氣溫設定為 32°C，基質表面含水率 100%，♀₁ 群，褐樹蛙—溪流（流動水域）；腹斑蛙—水池、湖泊（靜水域）。

Figure 5 Physical Ability of Frogs From Different Natural Habitats.
Experimental conditions: temperature: 32 °C; surface humidity: 100%; ♀₁ group; *Buergeria robusta* of creeks (active water); *Rana adenopleura* of ponds and lakes (still water).

(3) 相同季節之不同科別蛙類在不同基質角度之吸附能力差異性

不同科別之蛙類其身體特徵與習性不同，對於水岸邊坡之需求亦有所選擇，本單元比較繁殖季均在冬季的盤古蟾蜍（蟾蜍科）、斯文豪氏赤蛙（赤蛙科）與日本樹蛙（樹蛙科）等三種，將氣候條件設定低溫 14°C，而水岸邊坡基質表面含水率為 100% 之條件下，分別得出適合各科別之蛙類棲息的最佳基質與角度，結果如圖 6 所示。卵石基質為此三蛙種之共同棲地需求，在坡度 45° 時，日本樹蛙的吸附能力可達 0.59±

0.17 ($\times 10^{-2}$ N/g)，優於其它兩種蛙類，高於盤古蟾蜍 73% ；高於斯文豪氏赤蛙 53% ，而斯文豪氏赤蛙高於盤古蟾蜍 43% 。選擇與卵石相近的混凝土基質作比對，日本樹蛙之吸附能力仍為最高 0.40 ± 0.12 ($\times 10^{-2}$ N/g)，吸附能力高於盤古蟾蜍 20% ；高於斯文豪氏赤蛙 40% 。綜合以上結果，在冬季低溫高濕氣候狀態，樹蛙科之日本樹蛙吸附能力明顯優於赤蛙科之斯文豪氏赤蛙與蟾蜍科之盤古蟾蜍蛙種。

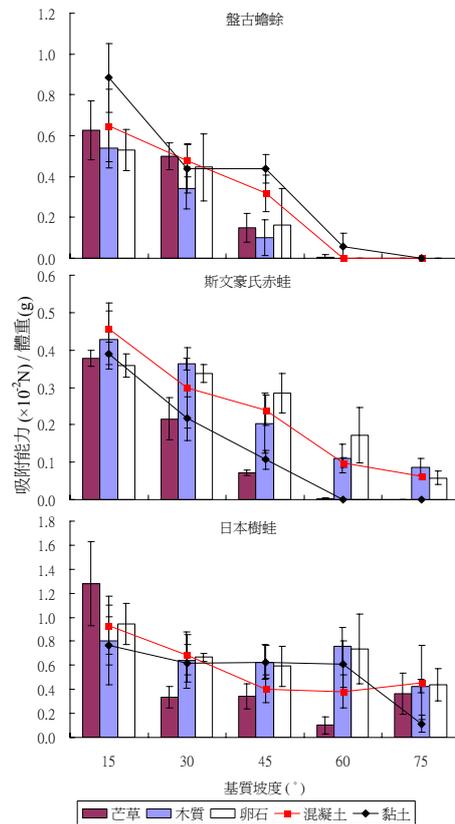


圖 6 相同季節之不同科別蛙類在不同基質、坡度之行為能力

條件設定：氣溫設定 14°C ，基質表面含水率 100%，♀₁群，蟾蜍科—盤古蟾蜍、赤蛙科—斯文豪氏赤蛙、樹蛙科—日本樹蛙。

Figure 6 Physical Ability on Different Slope Substrates and Angles of Frogs from Different Biological Families.

Experimental conditions: temperature: 14°C ; surface humidity: 100%; ♀₁ group; family Bufonidae (*Bufo bankorensis*), family Ranidae (*Rana swinhoana*), family Rhacophoridae (*Buergeria japonica*).

(4) 不同適應海拔高度之蛙類在不同基質坡度之吸附能力差異性

陳 (2003) 提出盤古蟾蜍之海拔適應高度達 3000 公尺；腹斑蛙達 2000 公尺；褐樹蛙可達到 1500 公尺，故本單元除了探討此三者之吸附能力差異外，亦對不同海拔高度之山區水域邊坡開發建設提出設計建議。因位於高海拔地區，故將氣候環境設定於低溫環境 14°C ，且基質表面含水率 0% 的條件下進行實驗計測，實驗結果如圖 7 所示。得知，盤古蟾蜍在邊坡 60° 時，對所有基質已無吸附能力；而褐樹蛙以芒草為例，

在 60° 仍有 0.54 ± 0.19 ($\times 10^{-2} \text{N/g}$) 的高吸附能力；腹斑蛙之吸附能力隨著邊坡坡度成反比現象。以水岸邊坡 45° 為例，褐樹蛙為三者表現最佳，在芒草材質比盤古蟾蜍高 24%，比腹斑蛙高 58%；在木質材質比盤古蟾蜍高 94%，高出腹斑蛙 34%；在卵石材質比盤古蟾蜍高 83%，比腹斑蛙高 67%；在混凝土材質比盤古蟾蜍與腹斑蛙各高 19%；在黏土材質比盤古蟾蜍高 13%，比腹斑蛙高 30%。綜合結論，越高海拔地區，其水岸邊坡設計越應保留其自然緩坡，以盤古蟾蜍為例，水岸邊坡設計應在 15° 以下。

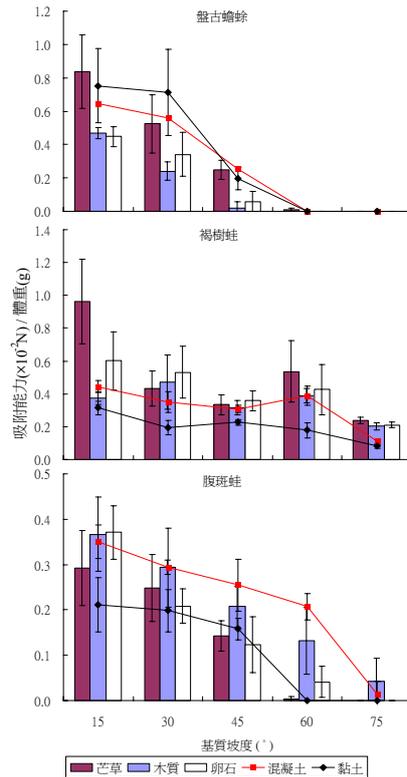


圖 7 不同適應海拔高度之蛙類在不同基質、坡度之行為能力

條件設定：氣溫設定為 14°C，基質表面含水率 0%，♀₁ 群，盤古蟾蜍—適應海拔高度 3000m、褐樹蛙—適應海拔高度 2000m、腹斑蛙—適應海拔高度 1500m。

Figure 7 Physical Ability on Different Slope Substrates and Angles of Frogs from Different Altitudes.

Experimental conditions: temperature: 14 °C; surface humidity: 0%; ♀₁ group; *Bufo bankorensis* (at elevations up to 3000 m), *Buergeria robusta* (at elevations up to 2000 m), *Rana adenopleura* (at elevations up to 1500 m).

(5) 各蛙類對於水岸邊坡基質與坡度之需求

因季節交替基質表面溫濕度改變對於蛙類之行動力會造成影響，故進行水岸坡度設計前必須選擇影響蛙類行動力最大之環境溫濕度因子作為設計之依據。實驗結果各種蛙類普遍以夏季高溫低濕表現較差而冬季低溫高濕環境條件表現次之，以行動力表現最差之盤古蟾蜍環境條件設於黏土 30° 為例，於高溫低濕環境吸附力為 0.15 ± 0.07 ($\times 10^{-2} \text{N/g}$) 表現最差，其餘三種溫濕度條件下比較其吸附力，低溫高濕環境高出 66

%；低溫低濕環境高出 79%；高溫高濕環境高出 83%，如圖 8 所示。故在作水岸坡度設計上限時則以夏季高溫低濕與冬季低溫高濕環境作為分析依據，如表 4 所示。其中，面天樹蛙之吸附力表現最佳，以芒草 60° 為例，其表現可達 $4.54 \pm 0.15 (\times 10^{-2} \text{N/g})$ ，邊坡設計可選擇 60° 以下；而盤古蟾蜍雖體型壯碩，但其吸附能力為七種蛙類中表現最差，故其邊坡設計應低於 15° 為佳。綜合上述分析結果分別選出適合蛙類棲息及吸附能力表現最佳之三種基質與七種蛙類作一綜合性的水岸邊坡設計建議。

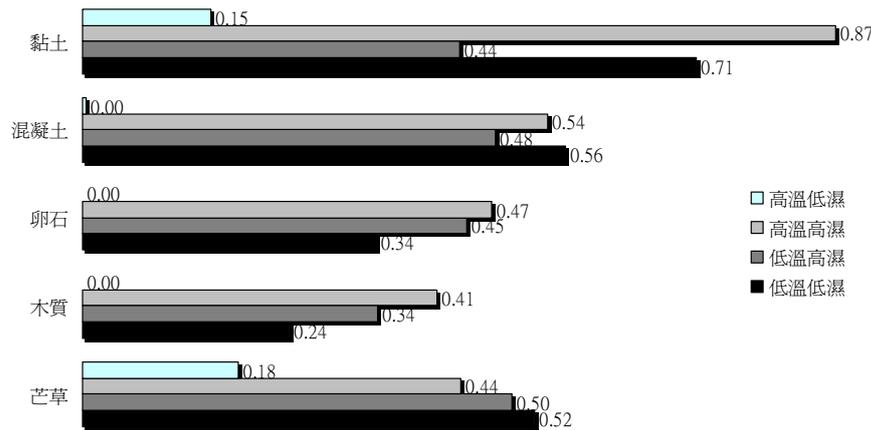


圖 8 四種環境條件對盤古蟾蜍於邊坡 30° 之吸附能力差異 ($\times 10^{-2} \text{N/g}$)

Figure 8 Effects of weather conditions on the sticking ability of Bufo bankorensis at 30° slope ($\times 10^{-2} \text{N/g}$).

表 4 雌性蛙類行為能力最佳之三種適用基質角度設計上限 ($\times 10^{-2} \text{N/g}$):

Table 4 Three types of maximum bank slope angle designs for female frogs ($\times 10^{-2} \text{N/g}$).

Note: The experimental temperature was set to between 32 and 14 °C; and the surface humidity was set to between 0% and 100%.

基質種類	環境影響 (能力最弱期)	盤古蟾蜍	斯文豪氏 赤蛙	褐樹蛙	腹斑蛙	拉都希氏 赤蛙	面天樹蛙	日本樹蛙
芒草	夏季高溫低濕	0.75±0.26	0.26±0.05	0.27±0.10	0.13±0.05	0.16±0.05	4.54±0.15	0.17±0.04
	冬季低溫高濕	0.63±0.14	0.07±0.01	0.20±0.10	0.08±0.03	0.10±0.07	3.79±0.60	0.10±0.03
	基質坡度	≤15°	≤45°	≤45°	≤45°	≤30°	≤60°	≤60°
木質	夏季高溫低濕	0.38±0.26	0.28±0.11	0.24±0.08	0.15±0.05	0.13±0.07	3.90±0.64	0.27±0.11
	冬季低溫高濕	0.54±0.10	0.20±0.08	0.19±0.09	0.15±0.04	0.17±0.07	1.66±0.29	0.76±0.16
	基質坡度	≤15°	≤45°	≤60°	≤45°	≤30°	≤45°	≤60°
卵石	夏季高溫低濕	0.19±0.04	0.19±0.05	0.29±0.10	0.13±0.02	0.13±0.11	2.74±0.57	0.39±0.06
	冬季低溫高濕	0.53±0.10	0.28±0.15	0.17±0.07	0.18±0.07	0.30±0.14	4.50±0.81	0.73±0.29
	基質坡度	≤15°	≤45°	≤60°	≤45°	≤30°	≤60°	≤60°

註：環境條件設定於氣溫 32°C 與 14°C，且基質表面含水率 0% 與 100% 之條件。

五、結論

1. 蛙類體型與活動力關係，選擇大型（盤古蟾蜍）、中大型（褐樹蛙）、中型（拉都希氏赤蛙）、小型（日本樹蛙）來進行比對。盤古蟾蜍在體型方面佔極大優勢，以♀₂群為例，四種體型蛙類的體重比例由大而小依序為 53:11:5:1，但跳遠能力方面則盤古蟾蜍表現最差，分別為褐樹蛙、拉都希氏赤蛙、日本樹蛙之 21%、29% 與 22%。在跳高能力方面，盤古蟾蜍最差，分別為褐樹蛙、拉都希氏赤蛙、日本樹蛙的 35%、63%、72%。而拉都希氏赤蛙亦只有褐樹蛙跳高能力的 55%。以上結果顯示蛙類的體型與其行為能力未必成正、反比關係。
2. 比較四種不同體型之蛙類，設定芒草基質邊坡 45° 之條件，以日本樹蛙表現最佳 $0.38 \pm 0.17 (\times 10^{-2} \text{N/g})$ ，分別優於盤古蟾蜍的 42%、褐樹蛙的 29%、拉都希氏赤蛙的 76%。其中，盤古蟾蜍由於體型因素，基質坡度變化對吸附能力表現差異甚大，以 15° 至 30° 之坡度變化，每上升 1 度其吸附能力則下降 $3.8 (\times 10^{-2} \text{N/g})$ ，而 60° 以上坡度則無任何之吸附能力，實驗結果再次證明體型之大小未必與其吸附能力有絕對之正反比關係。
3. 比較不同動、靜水域棲地環境之蛙類利用不同材質的邊坡之能力，以夏季高溫與高水位的高濕氣候狀態，褐樹蛙之吸附能力比腹斑蛙佳。腹斑蛙對於芒草、木質、混凝土等基質在坡度 45° 以下時的吸附力相近。至於褐樹蛙則在卵石基質的吸附力表現較佳，應與對棲地需求因素有關，印證（陳，2003）褐樹蛙以卵石基質為棲地，腹斑蛙則是以草、土基質為理想棲地。
4. ♀₁群在相同的環境條件下將混凝土基質 75° 之水岸邊坡變更為 15° 植生水岸，盤古蟾蜍於混凝土基質邊坡 75° 時幾乎無吸附力，而其吸附能力因變更而提升 51 倍；斯文豪氏赤蛙提升 8.8 倍；褐樹蛙提升 5.2 倍；腹斑蛙提升 34 倍；拉都希氏赤蛙提升 5 倍；面天樹蛙提升 9.9 倍；日本樹蛙提升 1.5 倍。
5. 不同蛙類對於不同基質與坡度需求完全不同，實驗結果顯示水岸邊坡至少需設計 60° 以下才能滿足其行為需求，尤其以盤古蟾蜍之棲地更加嚴格，需維持在 15° 以下。

六、參考文獻

1. 中國國家標準 CNS10523"門窗隔熱試驗法" (1987)。
2. 呂光洋"兩棲類動物資源調查手冊", 行政院農委會, 第 31-33 頁 (1996)。
3. 李芬蘭"盤古蟾蜍的行為研究", 碩士論文, 國立臺灣師範大學生物研究所, 第 16-47 頁 (1985)。
4. 巫奇勳"溫泉與冷水域日本樹蛙蝌蚪的溫度耐受度與行為選溫之研究", 碩士論文, 彰化師範大學生物學研究所, 第 16-47 頁 (2002)。
5. 邱繼哲"建築物及生物成長設施之誘導式通風冷卻設計研究-以雙層外殼內置流動空氣層構造為例", 碩士論文, 國立台灣大學生物環境系統工程學研究所, 第 57-58 頁 (2002)。
6. 林中一"台北縣雙溪河流域褐樹蛙之生殖生態與族群分布", 碩士論文, 國立台灣大學動物學研究所, 第 28 頁 (2001)。
7. 侯文祥、張源修"水岸邊坡設計與面天樹蛙行為能力之關係研究", 台灣水利, 第五十二卷, 第二期, 第 49-57 頁 (2004)。
8. 俞渭江"生物統計附試驗設計", 農業出版社, 第 234-262 頁 (1976)。
9. 張耀文"面天樹蛙生殖行為之研究", 碩士論文, 國立台灣大學動物學研究所, 第 12-54 頁 (1989)。
10. 賴勇志"地震前後斯文豪氏赤蛙族群動態之研究", 碩士論文, 國立臺灣師範大學生物研究所, 第 27-28 頁 (2001)。
11. 蕭江碧"綠建築解說與評估手冊", 內政部建研所, 第 8-60 頁 (2003)。
12. Bergen, S. D., S. M. Bolton and J. L. Fridley, "Design principles for ecological engineering," *Ecological Engineering*, 18: 201-210 (2001) .
13. Bikerman, J. J., "Theory of adhesive joints. In N. Bikales(Ed.),adhesion and bonding", John Wiley, 35-40 (1971).
14. Cadiergues, M. C., C. Joubert and M. Frane, "A comparison of jump performances of the dog flea, *Ctenocephalides canis*(Curtis,1826)and the cat flea, *Ctenocephalides felis* (Bouche,1835)", *Veterinary Parasitology*, 92:293-214 (2000) .
15. Emerson, S. B., and D. Diehl, "Toe pad morphology and mechanisms of sticking in frogs", *Journal of the Linnean Society*, 13:199-216 (1980) .
16. Green, D. M., "Adhesion and toe-pads of tree frogs", *Copeia*, 4:790-796 (1981) .
17. Green, D. M. and J. Carson., "The adhesion of tree frog toe-pads to glass: cryogenic examination of a capillary adhesion system," *Journal of Natural History*, 22:131-135 (1988) .
18. Gillespie, G. R., "Impacts of sediment loads, tadpole density, and food type on the growth and development of tadpoles of the spotted tree frog," *Biological Conservation*,106:141-150 (2002) .
19. Hamer, A. J., S. J. Lane and M. J. Mahony, "Management of freshwater wetlands for the endangered green and golden bell frog (*Litoria aurea*): roles of habitat determinants and space," *Biological Conservation*, 106: 413-424 (2002) .
20. Hanna, G., and W. J. Barnes, "Adhesion and detachment of the toe pads of tree frogs",

- Journal of Experiment Biological, 155:103-125 (1991) .
- 21.Jansen, A. and M. Healey, "Frog communities and wetland condition relationships with grazing by domestic livestock along an Australian floodplain river," Biological Conservation, 109:207-219 (2003) .
 - 22.Kuramoto, M. and C. S. Wang, "A new Rhacophorid Treefrog from Taiwan,with Comparisons to *Chirixalus eiffingeri*(Anura,Rhacophoridae)", Copeia,4:931-942 (1987) .
 - 23.Laurance, W. F., "Catastrophic declines of Australian rainforest frogs is unusual weather responsible" Biological Conservation,77 : 203-212 (1996) .
 - 24.Lemckert, F.,"Impacts of selective logging on frogs in a forested area of northern New South Wales," Biological Conservation, 89:321-328 (1999) .
 - 25.Lee, W. J., K. Y. Lue and C. H. Lue, "The SEM comparative study on toe among 19 species of tree frogs from Taiwan", BioFormosa, 36:27-36 (2001) .

The Impact of Seasons on the Activity Levels of Seven Species of Frogs Utilizing Aquatic Banks in Taiwan

Yuan-Hsiou Chang¹, Wei-chan Liang², and Wen-Shang Hou³

1. Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University Taipei, Taiwan 106, R.O.C.
2. Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University Taipei, Taiwan 106, R.O.C.
3. Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University Taipei, Taiwan 106, R.O.C.

Abstract

The concreting process on water banks caused by inappropriate human development became a serious problem in Taiwan; however, most ecosystems of amphibian animals took place on lake banks, yet there was no related design solutions offered in Taiwan. This research selected seven species of frogs in Taiwan to discuss their habitats and behavioral characteristics in order to manage the problem of water banks. With measuring of each frog's body length, weight, toe pad area, sticking ability, high jump ability, and long jump ability, this experiment was designed to compare concrete with four substrates which found most suitable in the experiment. Matching them with five appropriate bank angles to test frog's motility, and furthermore, to identify the relation between frog's abilities and surface substrates of water banks as humidity and temperature differ in four seasons. The result showed that even in the same family, each frog may differ significantly in body size and behavioral ability. In the aspect of sticking ability, the body-size variable was an crucial factor, and if frogs were ranked by size, the order was – *Bufo bankorensis*, *Burgeria roubstus*, *Rana latouchii*, and *Buergeria japonicus* – generally most frogs adapted better on bank slope under 30°. *Bufo bankorensis* almost showed no sticking ability at the 30° slope, wooden bank, while *Buergeria japonicus*' sticking ability was 59% stronger than that of *Burgeria roubstus*, and *Burgeria roubstus*' sticking ability was 67% stronger than *Rana latouchii*'s. This research adopted multiple combinations of lake banks' materials and angles could serve as a reference for technician's in future ecological engineering on lake banks in Taiwan.

Keywords: Ecological engineering, Bank substrate, Aquatic bank, Frog.