

水岸邊坡設計與面天樹蛙行為能力之關係研究

The relationship between lake banks design and *Chirixalus Idiotoocus* active ability

侯文祥

張源修

Wen-Shang Hou

Yuan-Hsiou Chang

國立台灣大學生物環境系統工程系
副教授

國立台灣大學生物環境系統工程研究所
博士生

摘 要

台灣的湖泊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循環行為多在水岸邊發生,而台灣目前尚無相關設計規範可提供參考。本研究選擇與湖泊水岸邊關係最為密切、體型較一般蛙類小(張,1989),且為台灣本土特有種(楊,1998)的兩棲動物『面天樹蛙』為指標性生物,探討雌雄種類面天樹蛙對邊坡土、石、木、砂、草等五種基質及生態箱用玻璃基質,與0°、15°、30°、45°、60°、90°等六種坡度設計的行為能力。實測其體長、體重、趾表面積、四肢吸附能力、跳高能力、跳遠能力。經由實驗得知,雌性比雄性的行為能力佳,單位體重的跳高能力高約10%。而雄性群中,行為能力明顯可區分出較佳與較差等兩群,在單位體重的跳高能力差異約達28%。至於五種不同邊坡材質影響樹蛙的吸附能力差異,雄性較佳群以0°平緩坡度為例,砂質基質只有芒草基質的28%,兩者差異達3.6倍;以卵石基質邊坡為例,坡度由0°至90°變化,影響吸附能力差異也達3倍。綜合得知,邊坡材質以植物被覆對樹蛙行為能力最佳,其他材質效果自優而劣依序為木材、卵石、黏土、砂質等。本研究之湖泊水岸邊坡材質與坡度組合,對於日後從事改造台灣本土化湖泊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：湖泊水岸、生態工程、面天樹蛙、邊坡基質

ABSTRACT

The concreting problem of lakes banks in Taiwan has become serious nowadays. Because there is not any related law to regulate and control it at present. The people also are deficient in the environment maintenance and protection knowledge. In consideration of this, the author collects, analyzes and discusses the way of developed country in dealing with lake banks, and brings up the essential factors that cause the lakes banks problem and set up the category of lakes banks in Taiwan local. Since there are numerous kinds of organism in the ecological Environment of Taiwan and we are unable to discuss them one by one due to the time limitation, this current study chooses a special type of Taiwan, *Chirixalus Idiotoocus* that has close relationship with lakes banks and which capacity in going ashore is not good, as the target organism. We discuss the problem thoroughly in accordance with the absorbability of its limbs, habitat demand and reproduction environment and bring up a suitable environment for the living of *Chirixalus Idiotoocus*. Its environmental factors will be set and according to these items. Eventually, we choose a case study of typical lake banks of Taiwan ~ "Chang Pei Lake" in I-Lan County and execute the reformation simulation and evaluation of the case study according to the planned procedures and principle.

The overall area of Chang-Pei Lake in I-Lan County is 3.5 hectares with the overall length about 340 meters, its banks drops more than 30cm. This current study makes a thorough discussion of the absorbability system of the limbs of *Chirixalus Idiotoocus*, high jump capacity, long jump capacity, habitat demand and reproduction environment in accordance to the real measurement value of the physiology capability of *Chirixalus Idiotoocus* to gain the optimal gradient and basic substances of the lake banks.

Through the experiments, the present study acquires the most suitable substances and gradient for *Chirixalus Idiotoocus*, which can be used as the reference for the researchers engaging in the reformation engineering works related to lake banks of Taiwan. To reform the ecological environment of Taiwan, first, we must start at Taiwan's catchment because the fountainhead is the necessity of all organisms and most of the ecological activities are gathered around the catchment area.

Keywords : lake banks , ecological engineering , *Chirixalus Idiotoocus* (tree frog), banks material.

一、前言

隨著社會環境變遷，建設湖泊水岸乃為顧及人民休閒、經濟性與施工便利之需求，但往往忽略休閒、安全與生態其實是可以兼具的。宜蘭縣三星鄉的長埤湖為湖泊水岸邊混凝土化很典型例子，海拔高為 175 至 190 公尺，總面積約 3.5 公頃，湖泊總長約 300 餘公尺；湖寬平均約 30 餘公尺；平均水深約 2.1 公尺（鍾，1992），此湖泊為自然形成，主要水源是由中央山脈匯入，再由湖泊底層滲透或蒸發（宜蘭縣政府，1994）。其水岸被建設為垂直角度，岸邊的混凝土人行步道約 2 公尺寬，岸高與湖水面高差約 25 公分，但在乾旱期常乾枯見底，落差更高達 2.3 公尺，如此落差連人之行動都很困難，更別考慮此地域生物活動的棲地環境維護了。

湖泊水岸邊為生物在陸域與水域間之介面，亦是許多生物棲息、繁殖、活動、避敵與覓食等不可缺之區域，本研究以台灣特有種面天樹蛙為指標性生物，主要因為面天樹蛙為本土型兩棲類生物，與湖泊水岸密不可分；其體型較其它樹蛙略小，行為能力較其他蛙類差，雄性體長約 2-3 公分、雌性 4-5 公分（楊，1998）；產卵與活動行為多在湖泊水岸邊進行（張，1989）等三項因素。

本研究試圖依據面天樹蛙本身特性在湖泊水岸混凝土化後對於它們所產生的衝擊，並藉由實驗室中的樹蛙身體量測、行為能力量測，再探討各種基質、各坡度之變因對於面天樹蛙吸附能力之適應程度，藉以找出最佳之湖泊水岸邊建設模式，並依研究結果繪製邊坡設計剖面示意圖，提出以生態工法設計模式改造之可行性。

二、文獻回顧

內政部建研所於 2003 年提出綠建築評估九大指標（綠建築解說與評估手冊，2003），其中說明生態綠網、小生物棲地、植物多樣性與土壤生態等四項必須保持其完整性。杉山（1987）提出「濃縮式自然生態環境」（簡稱：濃縮環境），內容說明生物多樣化的世界必須要具備多樣化的地形、地質環境。內政部建研所譯編的「綠建築設計彙編」（2001）以透過生態角度加以改造，在池岸邊以石頭堆砌成緩坡，種植多樣性的水生植物，來豐富水池的生態環境。韓（1998）翻譯「德國道路與水域之生態系統規劃」一書，說明靜水區的生態體系較接近於封閉狀態，因此靜水區中生態系的生物鏈是環環相扣的，必須保留其多樣化環境。

長埤湖因人為開發將湖泊水岸邊以混凝土建造為步道，使得生物無法活動於水岸之間，尤其是影響面天樹蛙之棲息、繁殖與活動行為。以面天樹蛙為例，其活動範圍大多在離水域 140 公分以內，而其卵塊分佈也大多在 60 公分以內，最重要的是其築巢產卵必須是使用黏土與砂所構成之土壤（張，1989）。

關於樹蛙之行為能力有許多學者提出相關研究，如 Lee et al.（2001）以高倍數顯微鏡觀測樹蛙肉趾細胞。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，往上吸附能力上限約為 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°。Cadiergues et al.（2000）比較貓蚤與狗蚤之跳高和跳遠能力，提出以厚紙張

捲成直徑 1 公分圓筒狀，經過刺激讓跳蚤跳高，計量其跳高高度；而跳遠則是以平鋪紙板，經過刺激讓跳蚤跳動而量出跳遠距離的實驗方法。至於生物實驗取樣最少必要數目，參考俞（1976）提出的計算公式決定樣本數量。而實驗資料統計分析法乃參考沈（2001）計算其誤差量與標準差。

三、材料與方法

1. 取樣與分群方式

面天樹蛙因具有季節性活動特徵，因此，在 2003 年的春季四月間採集宜蘭長埤湖邊的面天樹蛙，研究其行為能力，作為本研究改善對象區。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共採集面天樹蛙雄性 8 隻、雌性 3 隻等兩群，考慮面天樹蛙經過長期飼養可能影響其行為能力，本實驗在捕捉後 14 天內即完成計測。於實驗室中進行面天樹蛙之跳高、跳遠行為能力，以及其四肢肉趾吸盤對於不同基質與角度之吸附能力。

2. 樣本之基本條件及行為能力量測

由於台灣本土種面天數蛙體型較國外文獻的實驗對象樹蛙體型小很多，因此為了比較研究結果與國外文獻結果差異，必須先計測本土樹蛙樣本的基本條件量測，包括體重、體長與趾表面積量測。前兩項依據張（1989）所提出，以電子式計重秤量計體重，單位為公克；體長量計則將面天樹蛙身體拉直再以游標卡尺進行量測；趾表面積量測則依據 Lee et al.（2001）以掃描式電子顯微鏡進行實體拍攝，再放入 CAD 軟體進行面積計測。至於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 100×100 cm 以上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 cm，高度分別為 5、20 cm 的紙筒，各紙筒間高度差 1 cm，將面天樹蛙置於不同筒內，以芒草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。在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. 面天樹蛙在不同基質、角度變化以及群別中相較對於吸附能力之探討

選擇在生態工程中經常使用的材料做為本研究之實驗基質，分別為卵石、木材（柳安木）、砂質、葉子（芒草）、黏土等，玻璃材料則作為生態箱製作，且可與 Hanna（1991）文獻結果相比對。

依據 Emerson and Diehl（1980）實驗方式，將各項基質表面加濕至 100% 含水率，與 0°、15°、30°、45°、60°、90° 等六種坡度設計，量測其吸附能力。由於各項基質都加濕至飽和含水狀況，礙於砂質與黏土的基質特性，只能進行 0° 實驗；植物方面因其實際種植並無一定規則排序，本實驗先以面天樹蛙最喜歡的植栽芒草作為基質（張，1989），只計測 0° 實驗。

參考 Green（1981）文獻，以濕布包裹面天樹蛙身體，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，逐漸往後拉而求得樹蛙四肢吸附能力，單位為牛頓（N），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。整理出各群樹蛙之吸附能力上限，探討最適合湖泊水岸邊之基質種類與坡度設計上限機制。

4. 生態工法設計模式建議

為同時兼顧生物保育能力與工程經濟性之生態工法，以上實驗結果可據以製作出合適的邊坡材質之坡度上限設計剖面圖，應用至研究對象區宜蘭長埤湖岸的改良設計，提出更周全之湖泊水岸生態棲地工程建造模式建議。

四、結 果

1. 樹蛙之身體計量與行為能力量測結果

雌雄樹蛙的身體計量結果示於表1，樣本中雄性體重平均 1.34 ± 0.09 克；雌性則為 1.93 ± 0.02 克，雌性較雄性重約0.59克，且雄性群間的重量極為相近。雄性體長為 3.26 ± 0.08 cm；雌性為 4.35 ± 0.08 cm，雌性較雄性平均長1.09cm。樹蛙四肢肉趾之總面積雄性平均為 2.57 ± 0.12 c m²；雌性為 2.78 ± 0.01 c m²。由以上可知，樹蛙四肢肉趾總面積在雌性間差異很小，雄性間在體重與趾面積兩項身體計量的差異度則稍大，而且雌雄性別間差異度更大。因此表現在跳高、跳遠、吸附能力等行為能力上也有所差異。由於雄性體型與跳高、跳遠能力差異明顯，在資料分析與討論過程，乃將雄性區分為行為能力較佳與較差者兩群。雌性能力相近，不予分群，因此共分為三群。分別表示為雄性第一群（ α_1 ）；雄性第二群（ α_2 ）；雌性第三群（ β ），表2為三群的身體計量與跳高、跳遠行為能力關係結果。

表1 雌雄樹蛙之身體計量

基本條件	平均體重	平均體長	平均四肢肉趾表面積
性別	(g)	(cm)	(c m ²)
雄	1.34 ± 0.09	3.26 ± 0.08	2.57 ± 0.12
雌	1.93 ± 0.02	4.35 ± 0.08	2.78 ± 0.01

表2 三群間之身體計量、行為能力與行為關係

分類/計測範圍	身體計量			行為能力		行為能力關係				無因次分析	
	【1】	【2】	【3】	【4】	【5】	【6】	【7】	【8】	【9】	【10】	【11】
項目	體重	體長	肉趾面積	跳高	跳遠	【4】 / 【1】	【5】 / 【1】	【4】 / 【3】	【5】 / 【3】	【6】 / 【7】	【8】 / 【9】
單位	g	cm	c m ²	cm	cm	cm/g	cm/g	cm/c m ²	cm/c m ²	(cm/g) / (cm/g)	(cm/c m ²) / (cm/c m ²)
α_1	1.28 ± 0.06	2.76 ± 0.05	2.49 ± 0.03	13.14 ± 0.67	24.35 ± 3.67	10.29 ± 0.96	18.98 ± 2.29	5.22 ± 0.22	9.68 ± 1.54	0.55 ± 0.12	0.55 ± 0.12
α_2	1.37 ± 0.10	2.76 ± 0.24	2.60 ± 0.15	7.98 ± 0.93	20.64 ± 4.08	5.83 ± 0.60	15.11 ± 2.92	3.07 ± 0.28	7.95 ± 1.49	0.40 ± 0.11	0.40 ± 0.11
β	1.93 ± 0.02	4.35 ± 0.08	2.78 ± 0.01	13.60 ± 0.07	25.94 ± 1.65	7.04 ± 0.08	13.42 ± 0.83	4.89 ± 0.04	9.33 ± 0.59	0.53 ± 0.04	0.53 ± 0.04

在身體計量方面不論體重、體長與肉趾表面積，雌性均明顯較雄性優勢，以體重來說雌性較雄性第一群高出0.65g（50%）；也比雄性第二群高出0.56g（41%）；體長方面雌性比雄性平均高出1.59cm（高約58%）；四肢肉趾總表面積方面，雌性比雄性高 $0.18\sim 0.29$ c m²，約7%~15%，雄性之間的體型差異較小，體重差僅約7%，體長則無差異；但在跳高行為差異上，兩雄性群間卻高達5.16公分，約60%差異；跳遠能力也有5.6cm差異，達27%。亦即，雌性與雄

性第一群的行為能力極為相近,不論由單位體重的跳高與跳遠能力比值或單位肉趾面積的跳高與跳遠能力比值來看,均在 0.53 ~ 0.55 間,且雌性較雄性中能力較佳的第一群更具有行為相似性,即偏差度更少。由圖 1 與圖 2 可分別得知群間能力的關係回歸式。

由以上結果可明顯推論,在大自然中(張, 1989)指出雄性的個體數量雖較雌性數量多,但雄性群內明顯可區分出行為能力優劣差異的兩群,且兩群間的跳高與跳遠能力差異程度分別達到約 27 ~ 70%,顯示此生物應具有明顯的自然淘汰現象。

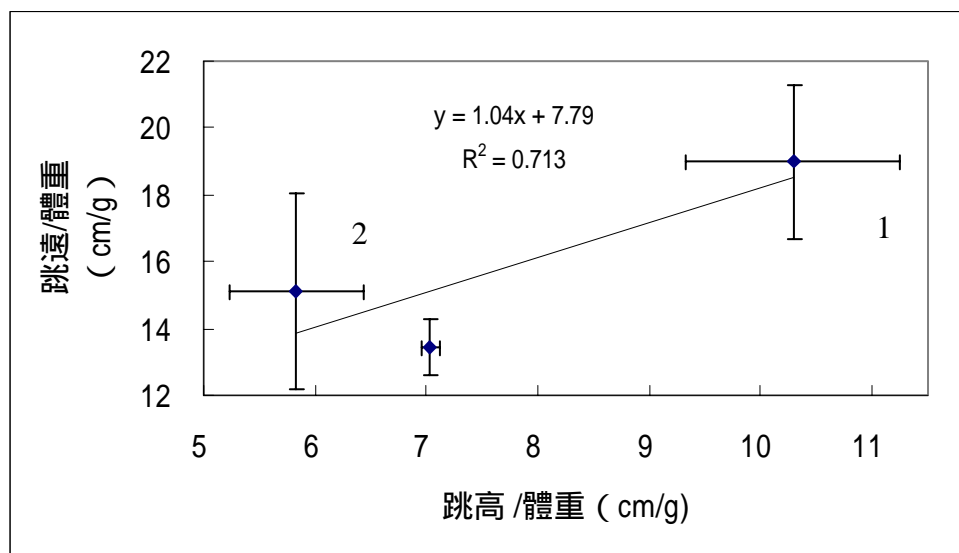


圖 1 雌雄群每單位體重之跳高、跳遠能力關係圖

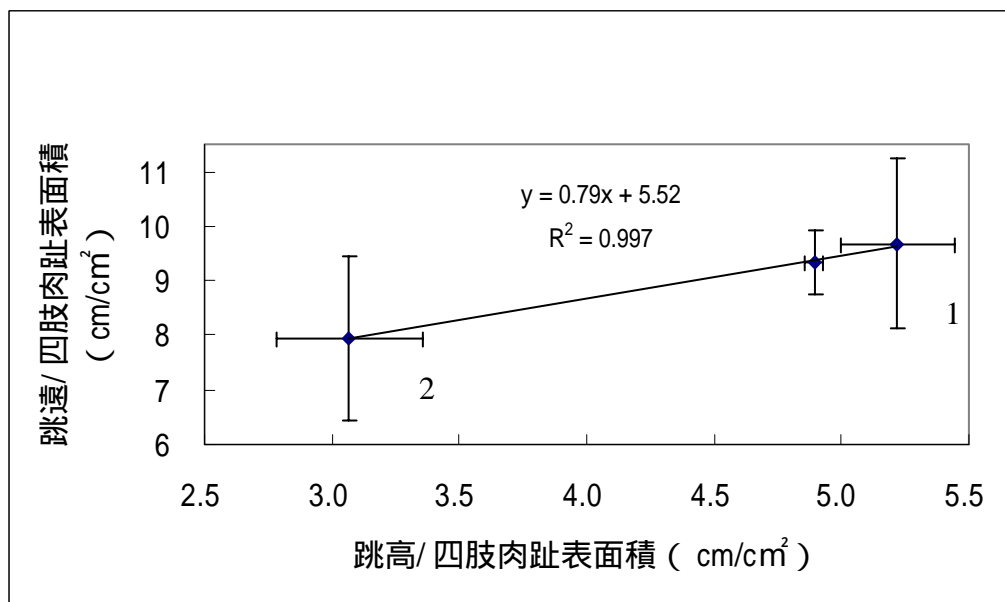


圖 2 雌雄群每單位肉趾面積之跳高、跳遠能力關係圖

2. 面天樹蛙在不同基質、角度變化以及群別之吸附能力差異

(1) 平緩邊坡 (0°) 的不同基質與雄雌三群的吸附能力關係

樹蛙在平緩邊坡（0°）之吸附能力結果，於性別差異上顯示 1 群較 2 群在玻璃基質上的吸附能力差異最明顯，達 1.82 倍；在黏土與木質基質上能力相近。雄性 1 群與 2 群的吸附能力差異不大，僅約 0.85 ~ 1.16 倍。至於在玻璃基質上，則有較大差異，能力較佳的 1 群僅為 2 群的 0.69 倍。顯示雄雌性別間對於不同基質之吸附能力差異甚大，而雄性之中兩群則差異不大，如表 3 所示。

以 1 為例，可以得知不同基質對於樹蛙吸附能力之差異程度，若以芒草最佳為 100 %，則其次為木質（83 %）；第三為卵石（57 %）；最差為砂質，只有芒草 28 % 之吸附能力。

表 3 三群在各種基質於緩坡（0°）之吸附能力關係（ $\times 10^{-2}$ N）

項目	群別	玻璃	卵石	木質	砂質	芒草	黏土
群別	1	1.75±0.12	2.31±0.31	3.39±0.31	1.15±0.20	4.09±0.21	1.97±0.27
	2	2.52±0.21	2.72±0.24	3.11±0.24	0.99±0.22	3.99±0.32	1.98±0.16
		3.19±0.57	2.65±0.33	3.69±0.35	1.53±0.13	4.93±0.28	2.13±0.13
性別	/ 1	1.82	1.15	1.09	1.33	1.21	1.08
差異	1/ 2	0.69	0.85	1.09	1.16	1.03	0.99
材質性能百分比 (以 1 為例)		43 %	57 %	83 %	28 %	100 %	48 %

(2) 邊坡各種基質之坡度變化與雄雌三群的吸附能力關係

測試六種基質與六種坡度變化的吸附能力結果，示於圖 3。不論雄雌性別，三群在卵石上吸附能力在 60° 以上時都出現能力降低現象；在木材與玻璃上則自 45° 以上起即出現吸附能力降低現象，減低約 23 %，顯示在 45° 以上有明顯減少現象。在 45° 以上其吸附能力隨坡度增加而遞減，其遞減速度約為 -1.6 % / 度，亦即坡度每增加 1 度吸附行為能力減低 1.6 %，且隨角度增加而呈線性負關係。至於在 0° 水平面上的吸附能力，不論雌雄性別，均以在芒草上的吸附能力最高，達 $4.09 \times 10^{-2} \text{ kg m/s}^2$ ，木材次之，卵石再次之，而以黏土、砂質較差。且雌性又比雄性有較佳的吸附能力。因此，可歸納得以下設計重點。若考慮面天樹蛙之棲地活動需求，以在水岸邊植草的方式是良好的選擇之一，其次是木質與卵石。兼顧工程經濟與生物可容許行為能力，以卵石構成之湖泊水岸，60° 坡度為設計之上限；以木質材料來建構水岸邊，建議合理坡度應為 45° 以下為佳。而在 0° ~ 15° 之間（平緩地區水岸），基質選擇亦是以水岸邊植生為最佳。

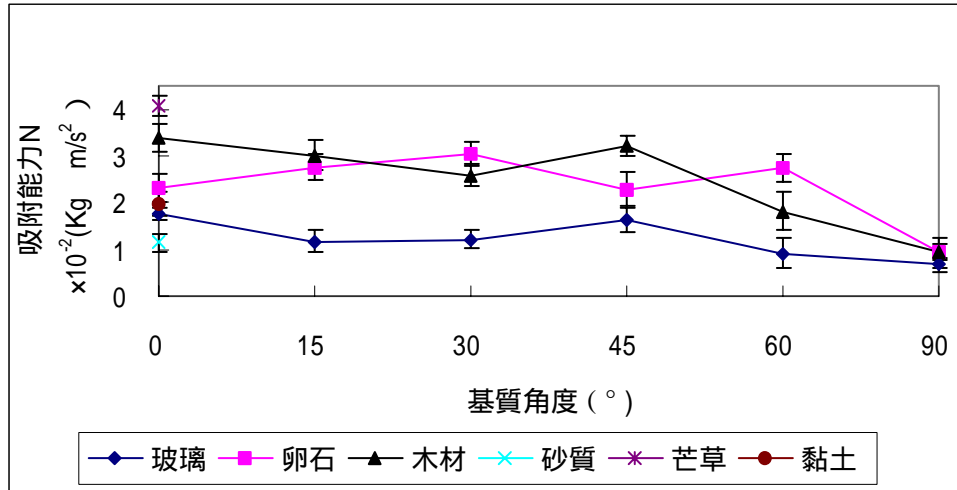


圖 3 第一群雄性樹蛙 (1) 在各種基質與角度之吸附能力關係圖

(3) 較佳三種邊坡材質的坡度設計上限與樹蛙吸附能力關係

表 4 較佳三種邊坡材質之坡度設計上限與樹蛙吸附能力及性別能力差異 ($\times 10^{-2}$ N)

材質 優劣 順位	材質	坡度設計上限	樹蛙吸附能力			性別能力差異	
			1	2		/ 1	1/ 2
1	芒草	任何坡度均可植草	4.09±0.21	3.99±0.32	4.93±0.28	1.21	1.03
2	木材	45°	3.22±0.22	2.92±0.26	3.15±0.29	0.98	1.10
3	卵石	60°	2.75±0.30	2.85±0.30	3.08±0.31	1.12	0.96

依據上述三群樹蛙對於基質與邊坡變因所得出之吸附能力數據經過分析,選出三種最佳之湖岸邊坡基質與其坡度之設計上限,其吸附能力材質優劣順位分別以芒草最佳、木材次之(45°)、卵石第三(60°)。以雄性為例,芒草、木材與卵石材質差異分別達 36% 及 38%,如圖 4 表示。

由此可知於湖泊邊坡以植生的方式較拋置卵石對於樹蛙之吸附能力可增加約 38% 效能。而群別間能力差異方面,於芒草基質中 1 群優於 2 群 1.21 倍為最高;差距最少的則是雄性 1 群與 2 群於卵石基質(60°) 差距只有 0.96 倍。

(4) 生態箱用玻璃材質與樹蛙吸附能力關係

一般市面上所使用之寵物飼養箱或是生態箱,為方便觀察多以玻璃基質為主要材料,而一般之生態箱四面週邊多半以垂直 90° 之四方盒子形狀為主。由實驗數據顯示 90° 之角度樹蛙吸附能力數值最低,即四方盒子形狀之生態箱並不有利於樹蛙活動。其吸附能力為 $0.67 \times 10^{-2} \text{ kg m/s}^2$,與 0° 坡度相差 $1.08 \times 10^{-2} \text{ kg m/s}^2$,而與 60° 相差有 $0.25 \times 10^{-2} \text{ kg m/s}^2$,顯示 45° 坡度可較適合樹蛙活動。

Green (1981) 以 *Hyla versicolor* 樹蛙置於 0° 坡度且濕潤之玻璃基質,實驗得知其吸附能力為 $30.18 \times 10^{-2} \text{ kg m/s}^2$,與本研究結果 1 能力差異將近 16 倍。其原因乃 *Hyla versicolor* 樹蛙其體型較大,體長於 4.06 ~ 8.05cm,而本研究之面天樹蛙體長 2.76 ~ 4.35cm,相差僅約 1.5 ~ 1.9 倍,明顯印證本土種面天樹蛙為行為能力較差的物種。Hanna (1991) 以 *Osteopilus*

eptentrionalis 樹蛙置於濕潤之玻璃面上，吸附能力為 $21.54 \pm 3.03 \text{ kg m/s}^2$ ，與本研究 1 差異達 12 倍。以上差異主要原因在於國外 *Osteopilus eptentrionalis* 種之樹蛙體型較大，其體重約為 $6 \sim 16\text{g}$ ，而本研究台灣本土種面天樹蛙體重僅約 $1.34 \sim 1.93\text{g}$ ，相差達 4 ~ 8 倍，如表 5 所示。

表 5 生態箱用玻璃材質與樹蛙吸附能力關係與文獻數值對照表 (平均值 $\times 10^{-2}$)

項目	性別	0°	15°	30°	45°	60°	90°
本研究成果	1	1.75 ± 0.12	1.17 ± 0.23	1.21 ± 0.19	1.63 ± 0.25	0.92 ± 0.32	0.67 ± 0.15
	2	2.52 ± 0.21	1.05 ± 0.22	0.97 ± 0.19	1.57 ± 0.29	1.07 ± 0.33	0.49 ± 0.14
		3.19 ± 0.57	2.03 ± 0.18	1.32 ± 0.18	1.93 ± 0.23	1.01 ± 0.23	0.67 ± 0.19
文獻數值			備註				
(Green, 1981) Tree frogs of <i>Hyla versicolor</i>		30.18	文獻資料 30.8 (g-f) 計測體長 4.06 ~ 8.05cm				
(Hanna, 1991) Tree frogs of <i>Osteopilus eptentrionalis</i>		21.54 ± 3.03	文獻資料 $215.4 \pm 30.3\text{mN}$ 計測體重 6 ~ 16g				

註：1gram-force (g-f) = 0.0098N；1mN=0.001N

3. 生態工法邊坡設計

目前的宜蘭縣長埤湖之湖岸是以混凝土樁固定於地面下，樁上方再澆置混凝土而成之環湖步道，在漲潮期時湖泊水面與步道面有 20 ~ 30cm 之落差；而枯水期落差則高達 230cm 以上，對於面天樹蛙之水、路介面區域活動、生殖與棲息確有困難，如圖 10 所示。根據上述研究結果以芒草之吸附能力最佳，故於護岸邊坡採植栽設計並且應具有挺水、浮葉、漂浮與沈水等多樣性與多層次之水生植物作設計，以滿足樹蛙棲地之各項需求。張 (1989) 描述面天樹蛙喜棲息於燈心草及芒草上曬太陽，於湖泊水岸邊植草不但可滿足面天樹蛙之理想棲地，成為良好避敵場所，且植栽根部土壤亦可成為樹蛙築巢棲地，下雨時隨湖水漲潮，卵塊可順著水流入湖泊完成蝌蚪孵化過程，建議可分別以緩坡水岸與陡坡水岸植草的工法改善。

木質水岸之設計模式，不但可以滿足避免水岸邊坡遭到湖水沖刷所造成之土壤流失問題，且因木質水岸的多孔隙更是形成樹蛙避敵之場所，而木質材料因年久腐爛即成為昆蟲棲息與生殖之要地，當然亦是樹蛙食物的來源。而以卵石設計水岸，其介面必須使用黏土或砂質填縫固定，如此溝縫間即會長出植物以便面天樹蛙棲息與活動，坡度以 60° 以下為宜。

水岸邊坡若因落差過大時，在腹地面積較大狀況，即可設計成複式斷面之水岸設計模式，可因應各地區之生物特性，調整各坡段之不同斜率，且搭配不同之水岸基質類型。

五、結 論

- 1、 ρ_1 群與 ρ_2 群的行為能力，不論在跳高、跳遠等能力差異均不明顯；而 ρ_3 群則與另兩群差異近 50 %。
- 2、面天樹蛙之跳高能力達 6.41 ~ 14.2 cm；跳遠能力則達 9.87 ~ 34.24 cm，其中能力強弱差異大，可提供生態工程人員在設計生態湖泊水岸時，兼顧生物行為能力與工程經濟之參考，例如，以卵石或木頭作為基質時，每塊基質的適當大小與鋪設方式所造成的堆疊落差等工程細部設計。
- 3、樹蛙對芒草基質方面的吸附能力為所有基質中最佳者，可適合於任何邊坡使用，如張（1989）文獻指出，芒草為面天樹蛙最喜愛的植栽，而木材與卵石次之。
- 4、對雄性群能力較佳的 ρ_1 群而言，以芒草吸附能力為 100 %，其次為木質 83 %；第三為卵石 57 %；最差為砂質，只有芒草 28 % 之吸附能力。
- 5、面天樹蛙在木材基質的吸附能力，坡度超過 45°時，每增加 1 度吸附行為能力減低 1.6 %，木質基質的邊坡設計上限應以 50°以內較佳。卵石基質邊坡的設計上限則建議為 60°。
- 6、黏土雖適合面天樹蛙築穴、產卵，但黏土在飽和含水率時不適合面天樹蛙的吸附，因此須與木材、卵石、植草等材質搭配使用。
- 7、面天樹蛙在生態箱的玻璃基質中，45°以下吸附能力差異不明顯，90°時吸附能力則減少一半，故 45°較適合面天樹蛙之活動需求，為增加其活動空間，此結果可提供製作生態箱時參考。
- 8、若水岸邊坡可利用腹地面積較大，或水面與岸邊落差大時，可依據各地域指標生物的行為能力上限與基質就地取材的便利性，設計成複式斷面之水岸。

謝 誌

感謝國立台灣師範大學生物學系呂光洋教授於資料蒐集與物種鑑定的幫助，台灣大學昆蟲研究所呂曉鈴同學於生物實驗上的協助，特此申謝。

參考文獻

1. 呂光洋（1996），「兩棲類動物資源調查手冊」，行政院農委會，p.31 ~ 33。
2. 沈明來（2001），「生物統計學入門」，九州圖書文物有限公司，p.7 ~ 58。
3. 宜蘭縣政府編輯小組（1994），「宜蘭縣地理圖集」，宜蘭縣政府，p.40。
4. 俞渭江（1976），「生物統計附試驗設計」，農應出版社，p.234 ~ 262。
5. 張耀文（1989），「面天樹蛙生殖行為之研究」，國立台灣大學動物學系碩士論文，p.12 ~ 54。
6. 楊懿如（1998），「蛙」，內政部營建署陽明山國家公園管理處，p.30 ~ 34。
7. 鍾溫清（1992），「長埤湖遊憩區開發事業計劃」，宜蘭縣政府暨三星鄉公所，p.17 ~ 50。
8. Cadiergues, M. C., C. Joubert and M. Frane（2000），“ 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.
9. Driscoll, D. A.（1999），“ Genetic neighborhood and effective population size for two

- endangered frogs," *Biological Conservation*, 88 : 221 229.
10. Driscoll, D. A. (1998) , " Genetic structure, met population processes and evolution influence the conservation strategies for two endangered frog species," *Biological Conservation*, 83 : 43 54.
 11. Emerson, S. B. and D. Diehl (1980) , " Toe pad morphology and mechanisms of sticking in frogs," *Biological Journal of the Linnean Society*, 13:199 216.
 12. Gillespie, G. R. (2002) , " 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.
 13. Green, D. M. (1981) , " Adhesion and toe-pads of tree frogs," *Copeia*, 1981:790 796.
 14. Green, D. M. and J. Carson. (1988) , " The adhesion of tree frog toe-pads to glass: cryogenic examination of a capillary adhesion system," *Journal of Natural History*, 22:131 135.
 15. Hamer, A. J., S. J. Lane and M. J. Mahony (2002) , " 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.
 16. Hanna, G. and W. J. Barnes (1991) , " Adhesion and detachment of the toe pads of tree frogs," *J. Exp. Biol.*, 155:103 125.
 17. Jansen, A. and M. Healey (2003) , " Frog communities and wetland condition relationships with grazing by domestic livestock along an Australian floodplain river," *Biological Conservation*, 109:207 219.
 18. Lemckert, F. (1999) , " Impacts of selective logging on frogs in a forested area of northern New South Wales," *Biological Conservation*, 89:321 328.
 19. Laurance, W. F. (1996) , " Catastrophic declines of Australian rainforest frogs is unusual weather responsible? " *Biological Conservation*, 77 : 203 212.
 20. Lee, W. J. , K. Y. Lue and C. H. Lue (2001) , " The SEM comparative study on toe among 19 species of tree frogs from Taiwan," *BioFormosa*, 36:27 36.