

# 台灣阿里山山椒魚活動力與水邊棲地狀態之關係研究

侯文祥<sup>1</sup> 陳君翔<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 國立台灣大學生物環境系統工程學系/副教授/houws@ntu.edu.tw

<sup>2</sup> 國立台灣大學生物環境系統工程學系/碩士/r93622002@ntu.edu.tw

## 摘要

近年來由於高山地區的觀光事業迅速發展，野溪邊坡整治過程常有混凝土化情形，以維護遊客的安全，但混凝土對於環境及生物活動力的影響還是未知數。本研究以阿里山國家公園內特有種阿里山山椒魚為對象，探討其適應水岸邊坡材質對活動力的影響程度。選擇已混凝土化的地區和其餘二個仍保留原始水區作比較，發現當地經過混凝土施工後，導致水流速度增加，且水深變淺。以生物的活動力來看，選擇棲地現有青苔、岩石、木頭、土壤及外來的混凝土作為水岸邊坡基質，量測阿里山山椒魚的吸附能力。依阿里山地區冬、夏季節影響溫濕度變化的特徵，探討水岸邊坡基質表面在夏季高溫高濕(15°C以上，100%)及冬季低溫高濕(8°C以下，100%)兩種環境對於山椒魚吸附能力的影響。實驗結果得知，山椒魚的吸附能力在低溫時略為降低，以邊坡 45° 為例，平均吸附能力在冬季較夏季約下降 8%。適合阿里山山椒魚的坡度設計上限，以青苔基質表面，建議 $\leq 60^\circ$  為佳；以石頭及木頭作為基質，則建議 $\leq 45^\circ$ ，但若要考慮同時兼顧台灣其他高山地區的兩棲蛙類，如磐古蟾蜍，則坡度建議 $\leq 15^\circ$  較適合；若以混凝土做為施工材料，建議坡度 $\leq 45^\circ$ ；但若就地取材以當地土壤做為邊坡材質，則建議坡度降為 $\leq 30^\circ$  較佳。本研究探討野溪邊坡材質與坡度組合設計之成果，期能對於日後從事高山地區野溪邊坡生態工程技術之相關工程人員提供有用資料。

**關鍵詞：**阿里山山椒魚、水岸邊坡、基質、攀爬能力

## 一、前言

山椒魚屬冰河孑遺生物，台灣為其在世界分布的最南界。山椒魚為兩棲類生物，一生都須依水而居，但由於近年來高山地區觀光事業迅速發展，常會因為環境美化或遊客安全的考量而改變原始野溪的面貌，不論是施工前後環境狀況的改變，或是邊坡的角度變化、接觸面植被種類不同等，都可能影響到山椒魚的棲地生態。在阿里山地區自 2005 年起已在進行山椒魚的小規模復育試驗，顯示有其必要性。期待本研究結果可以提供日後高山地區野溪邊坡設計之工程參考依據。

## 二、文獻回顧

阿里山山椒魚(*Hynobius arisanensis*)在台灣廣泛分布於中央山脈中南段，北起丹大山、南至北大武山；海拔分布範圍在 2000 公尺以上<sup>(9)</sup>。全長大約 11 公分，全身可以明顯的分為頭、軀幹和尾三部分，體背呈深紅褐色，腹部為灰黑色，頭鈍而圓，四肢細短，前肢有

四個趾頭，後肢五個趾頭，運動方式是以左、右前後肢交互進行，淡水棲，肉食性，屬於夜行性動物。外型照片如圖 1。

兩棲類動物的一生會經過四個重要的時期，包括卵塊期、幼體期、變態期和成體，山椒魚也不例外。山椒魚的生活史及生物行為整理如表 1；生活史與棲地喜好性整理如表 2。

圖 2 為呂(2005)自 2002 年 4 月至 2005 年 3 月，在姊妹潭樣區，各月份捕捉到山椒魚的數量，其中 2003 年 12 月的捕獲量為 0。對照本研究的 9 月至 3 月之實驗期間，每月兩天的現地實驗期間，可能捕獲隻數大約為 1 至 7 隻，明顯顯示此族群數量的稀少。



圖片來源：阿里山地區阿里山山椒魚的分布和棲地利用之研究(一)

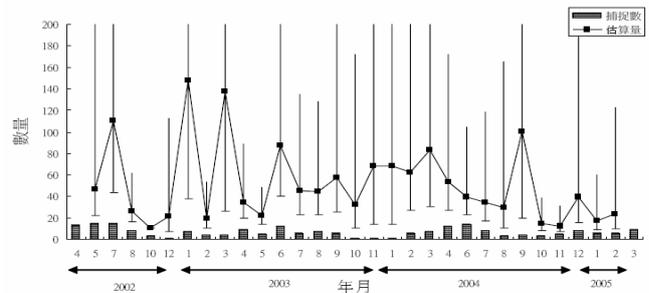


圖 1 阿里山山椒魚外觀

圖 2 姊妹潭樣區山椒魚的各月份捕捉量及族群量估算值曲線圖(呂，2005)

表 1 山椒魚的生活史與生物行為彙整表

體狀	出現時間	生物行為	其他
卵		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 受精後的卵黏附在水中的石頭下或枯枝落葉上<sup>(26)</sup></li> <li>2. 膠質囊通常是牛角形的囊內，每一個囊中約有 4 或 8 顆卵<sup>(26)</sup></li> </ol>	
幼體	產卵後約 2 個月	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 用鰓及皮膚呼吸<sup>(12)</sup></li> <li>2. 草食性<sup>(2)</sup></li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 食物：石頭表面或水生植物上的藻類以及腐爛的植物小碎塊等<sup>(2)</sup></li> </ol>
變態	約 1 個月	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 完成變態時的吻肛長在 14.5mm 左右<sup>(23)</sup></li> <li>2. 直到外鰓消失才算真正的變態完成<sup>(26)</sup></li> </ol>	
成體	全年可見	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 到陸地生活<sup>(12)</sup></li> <li>2. 用皮膜及肺呼吸<sup>(12)</sup></li> <li>3. 活動範圍離水邊不遠<sup>(3)</sup></li> <li>4. 喜歡躲在森林裡陰暗潮濕的地方以及乾淨的山溝和山葵田兩旁<sup>(19)</sup></li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 食物：鼠婦、擬步行蟲、蚯蚓等<sup>(26)</sup></li> <li>2. 天敵：蛇類、雉類等<sup>(26)</sup></li> </ol>
交配	晚冬至早春	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 體外受精<sup>(26)</sup></li> <li>2. 當生殖季來臨時，山椒魚會成對的來到小溪流中的小池塘<sup>(26)</sup></li> <li>3. 交配後，雌山椒魚會產下一對包著卵膠質囊，而膠質囊則黏在石頭的下<sup>(26)</sup></li> <li>4. 山椒魚在產完卵後並不會離開，而會有護卵或護幼的行為<sup>(26)</sup></li> <li>5. 需要有穩定的水源作為其繁殖的場所<sup>(9)</sup></li> </ol>	

表 2 山椒魚的生活史與棲地喜好性彙整表

體狀		陸／水域棲地別	其他
卵	陸域	—	—
	水域	1. 緩流流動水域 <sup>(7)</sup>	1. <i>Hynobius retardatus</i> ：把卵產在水面下 4 公分處，水溫約 10°C <sup>(29)</sup> 2. <i>Hynobius dunni</i> ：產卵在池塘或沼澤中，底部有落葉或枯枝，水溫約 9°C <sup>(30)</sup> 3. <i>Hynobius yiwuensis</i> Cai：卵在 8~10°C 水溫中，40 天左右孵化成幼體，約 3 個月完成變態 <sup>(36)</sup>
幼體	陸域	—	—
	水域		1. <i>Hynobius dunni</i> 的蝌蚪水溫要求在 8~10°C 間 <sup>(30)</sup>
變態	陸域	—	—
	水域		
成體	陸域	1. 棲息環境多在靠近泉源或小溪之腐木下或扁平岩石下面，但也會在森林底層之岩石下出現 <sup>(37)</sup> 2. 遮蔽物類型以石塊為主，其次為木塊 <sup>(11)·(23)</sup> 3. 遮蔽物面積：100~300cm <sup>2</sup> <sup>(23)</sup> 4. 遮蔽物上有植物附著，以苔蘚類為主 <sup>(9)</sup> 5. 窩內基質為泥土 <sup>(4)·(9)</sup> 6. 適合生存氣溫：8~15°C <sup>(33)</sup> 7. 土壤含水量：23.4% 以上 <sup>(23)</sup> 、60~90% <sup>(9)</sup> 8. 土壤有機物含量：2.9~27.3% 間 <sup>(23)</sup> 9. 土壤 pH：3.8~6.7 <sup>(23)</sup> 、5.8~7.0 <sup>(9)</sup>	
	水域		
交配	陸域		
	水域	1. 小溪流所提供的生殖場所水溫不致變得很冷及變化很劇烈 <sup>(24)</sup>	

關於山椒魚的行為能力研究在國內外均仍少見，至於其他兩棲蛙類之行為能力則有許多學者提出相關研究。如 Green(1981)將 *Hyla versicolor* 與 *Hyla chrysoscelis* 兩種樹蛙體長分別為 4.06~5.08cm 與 3.97~4.96cm 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，以拉力計垂直向後拉量測其吸附力；再將樹蛙分別放在蒸餾水、

肥皂水、乙醇之玻璃上，比較與在乾玻璃上吸附之能力之差異。國內侯、張(2004)探討面天樹蛙對邊坡土、石、木、砂、草等五種基質及生態箱用玻璃基質，與 $0^{\circ}$ 、 $15^{\circ}$ 、 $30^{\circ}$ 、 $45^{\circ}$ 、 $60^{\circ}$ 、 $90^{\circ}$ 等六種坡度設計的行為能力。結果顯示，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 $60^{\circ}$ 、木材基質坡度設計上限應小於 $45^{\circ}$ 。另外侯、張(2005)選擇七種涵蓋台灣各地水域，與水岸環境密切的蛙類，以芒草、卵石、木材、黏土及混凝土等五種基質，探討各項基質角度 $15\sim 75^{\circ}$ 各相隔 $15^{\circ}$ 之五種坡度設計，並量測其吸附能力。再模擬台灣氣候環境分為高溫、中溫、低溫及高濕、低濕之組合，共六種模組，探討對蛙類利用不同基質、角度之活動力影響。結果顯示，若考慮季節交替基質表面溫濕度改變對蛙類之行動力的影響，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，故在做水岸邊坡設計上限時，應以夏季高溫低濕與冬季低溫高濕環境作為分析依據。以木質及卵石基質為例，斯文豪氏赤蛙的水岸邊坡設計上限為小於 $45^{\circ}$ ，若考慮拉都希氏赤蛙，則基質角度設計上限應小於 $30^{\circ}$ ，若為適合盤古蟾蜍，則建議坡度小於 $15^{\circ}$ 以下。

### 三、材料與方法

#### 1. 調查區位選定：

區域選定為嘉義縣阿里山鄉阿里山遊樂區內，海拔約為 2270 公尺，在此區選定仍保留原始溪流面貌棲地及正進行人工復育棲地各一處作為野溪對照區，分別為姊妹潭區及師大復育地區；另選擇一處為已完成混凝土邊坡工程的野溪段作為實驗區，為受鎮宮後方混凝土邊坡的溪流區，如圖 3。

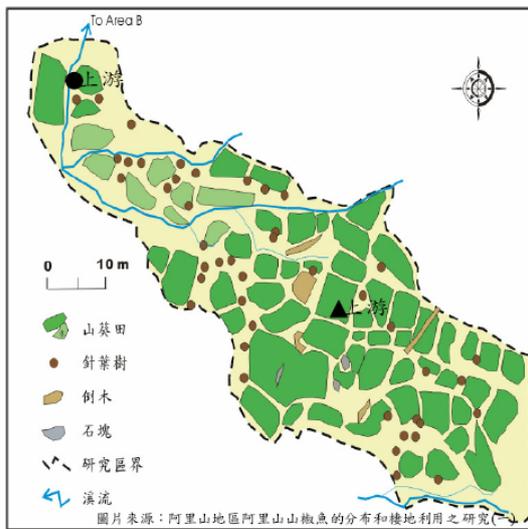


圖 3 阿里山森林遊樂區地理位置圖

#### 2. 環境調查內容：

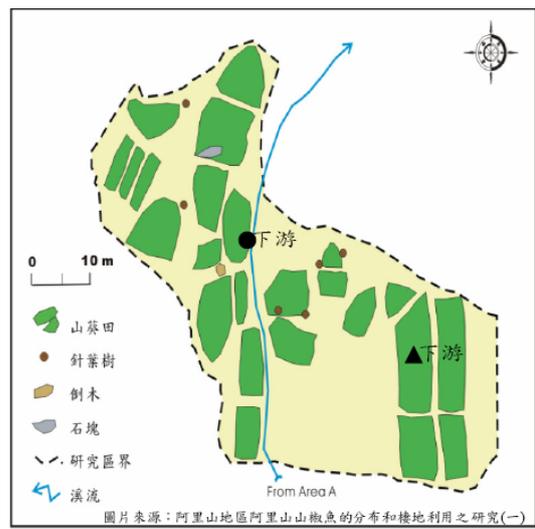
包括人為施工區及野溪對照區共三處進行現場環境調查，調查地點如下圖 4~圖 7。本

研究依阿里山地區氣候特徵，分為夏天及冬天兩種環境狀態進行現場環境調查調查項目整理如表 3。



註：● 為水域環境計測點，▲ 為陸域環境計測點

圖 4 姊妹潭 A 區平面圖



註：● 為水域環境計測點，▲ 為陸域環境計測點

圖 5 姊妹潭 B 區平面圖



註：● 為水域環境計測點，▲ 為陸域環境計測點

圖 6 師大復育地平面圖



註：● 為水域環境計測點，▲ 為陸域環境計測點

圖 7 混凝土邊坡溪流現況

表 3 環境調查內容

環境對象	計測項目
空氣環境	氣溫(°C)、濕度(%)
水質環境	溶氧量(mg/l)、氨氮(mg/l)、酸鹼值、水溫(°C)、濁度(NTU)
水力環境	水路斷面寬(m)、流速(m/s)、水深(m)、流量(m <sup>3</sup> /s)
土壤環境	土壤溫度(°C)、土壤酸鹼度、土壤含水量(%)、土壤有機物含量(%)

三個實驗樣區的空氣環境、水質環境、水力環境、土壤環境等四種環境物質計測時間，分別為94年9月夏季與95年1月冬季的清晨最低溫時段與日間最高溫時段。而生物體計測實驗則為94年9月至95年3月間，每月實驗一次。

#### (1)空氣環境

文獻指出，適合山椒魚生存的環境溫度不能有太劇烈的變化，由阿里山氣象站每月資料顯示，當月份一天中最低溫及最高溫的時間，分別進行環境狀況的量測。夏季最低溫為清晨5:00，最高溫為上午10:00；冬季最低溫為清晨6:00，最高溫為上午11:00。於民國94年9月夏季及95年1月冬季的清晨5~6時與上午10~11時，分別至實驗地點進行李節別與日夜間別的環境調查。

#### (2)水質環境

與上述相同冬、夏季日期的相同日夜間段，以直讀儀器直接量測野溪水流水質。野溪對照區內共計測六個測點，人為施工區內計測二個測點。項目包括水溫、溶氧量、酸鹼值等物質狀況。每計測區各水質均讀取三次資料求其平均。

#### (3)水力環境

與上述相同冬、夏季日期的清晨時間進行量測。野溪對照區內共計測六個測點，人為施工區內計測二個測點。以捲尺量測溪流中每1/4河寬處之水深。因夏、冬兩季水深均極小，僅約1~21cm間變化，因此以乒乓球直接計測表面流速，再以五點平均法計算出斷面流量。

#### (4)土壤環境

與上述相同冬、夏季日期的同日夜間時段，野溪對照區內共計測六個測點，人為施工區內計測二個測點。以直讀儀器直接量測土壤溫度及酸鹼度。再依據環檢所公佈之土壤水分含量測定方法—重量法(NIEA S280.61C)測得土壤含水量，而土壤有機物含量如下列計算式計算。

$$\text{有機物含有率(\%)} = \frac{D-A}{D} \times 100\% \quad \text{其中，D：乾土重，A：灰重}$$

### 3. 生物能力計測：

生物體計測實驗是以徒手翻找法至現場取樣，自民國94年9月至95年3月為止，每月至阿里山森林遊樂區樣區採樣一次，共計七次，於三樣區之山椒魚捕獲量共19隻，分別可進行夏季及冬季攀爬能力試驗之樣本各為12隻及7隻。包括以下兩部份實驗：

#### (1)生物體型量測

取得生物樣本後先計量山椒魚的體長和體重。山椒魚的體長量測方式是將山椒魚身體拉直，再以游標卡尺進行量測，記錄吻肛長，單位為公釐(mm)。對於吻肛長大於45mm之山椒魚進行體重計量及攀爬能力試驗，以電子式計重秤(最小讀數0.01g)計量體重，單位為公克(g)。

#### (2)生物攀爬能力試驗

攀爬能力實驗參考Green(1981)文獻，設計以棉線固定山椒魚身體與電子式拉力計，棉線與拉力計必須平行於基質表面，逐漸往後拉而求得山椒魚四肢的攀爬能力，單位為牛頓N(kg·m/s<sup>2</sup>)，量測三次求其平均值與標準差，且隨時保持山椒魚皮膚濕潤。整理出山椒魚單位體重之攀爬能力上限(N/g)，探討最適合山椒魚之基質種類及坡度設計上限。

參考侯、張(2004)、(2005)，選擇當地棲地材料：青苔、岩石、木頭、土壤，及外來材料混凝土作為山椒魚攀爬能力試驗的基質，探討各項基質角度15~90°間變化，各相隔15°

之六種坡度設計，量測其攀爬能力。每種基質、每種坡度均量測三次求其平均值與標準差。再配合阿里山氣象站1971~2000年的氣象資料得知，阿里山地區全年平均濕度在80%以上，屬全年高濕氣候。全年最高氣溫平均為15.5°C，最低氣溫平均為7.2°C，與文獻Seto(1943)指出，山椒魚適合生存溫度8~15°C的範圍內相吻合。綜合上述文獻資料，本研究設定兩個氣溫上下限的環境模組試驗，一為氣溫低於8°C以下的冬季高濕氣候模擬；另一為氣溫高於15°C以上的夏季高濕氣候模擬，分別探討季節氣溫變化對山椒魚攀爬能力之影響。設計本研究基質表面潮濕至表面水流產生狀態，定義為基質表面濕度100%。

山椒魚攀爬能力試驗步驟：首先把基質固定在支架上，繫繩於山椒魚之頸部，再調整基質的角度及將基質表面噴濕達濕度100%，最後將山椒魚放置在基質表面上即可開始進行攀爬能力實驗，直到山椒魚四肢同時下滑為止。於2005年10月、11月及2006年3月為模擬夏季氣候期間，氣溫控制在15°C以上；2005年12月及2006年1、2月為模擬冬季氣候期間，氣溫控制在8°C以下。

#### 四、結果與討論

##### 1. 山椒魚陸域及水域棲地環境因子比較

針對姊妹潭與師大復育地兩處原始野溪對照區，以及人為施工區，以下分別依空氣環境、水質環境、水力環境及土壤環境調查結果特徵比較如下表4~表7：

表4 山椒魚棲地之空氣環境

(1) 夏季調查結果						(2) 冬季調查結果							
夏季 (2005.9.10)		野溪對照區			人為施工區	文獻回顧	冬季 (2006.1.24)		野溪對照區			人為施工區	文獻回顧
		自然環境		人工復育	人工設施				自然環境		人工復育	人工設施	
		姊妹潭	師大復育地	混凝土邊坡溪流	姊妹潭				師大復育地	混凝土邊坡溪流			
溫度 (°C)	5:00	13.8	11.0	12.5	8~15	溫度 (°C)	6:00	7.0	7.8	6.8	8~15		
	10:00	20.9	20.9	19.7			11:00	10.8	9.8	11.2			
濕度 (%)	5:00	87.0	67.5	80.8	—	濕度 (%)	6:00	100.0	96.0	93.0	—		
	10:00	85.0	70.8	81.3			11:00	97.0	97.2	95.0			

表5 山椒魚棲地之水質環境

(1) 夏季調查結果											(2) 冬季調查結果										
2005.9.10		姊妹潭		師大復育地				混凝土邊坡溪流		文獻回顧	2006.1.24		姊妹潭		師大復育地				混凝土邊坡溪流		文獻回顧
		上游	下游	靜水池	上游	中游	下游	上游	下游				上游	下游	靜水池	上游	中游	下游	上游	下游	
水溫 (°C)	5:00	6.7	7.0	11.5	9.2	8.9	9.5	12.6	11.9	—	水溫 (°C)	6:00	9.3	11.1	12.7	11.2	8.8	8~10*			
	10:00	13.6	13.8	19.2	12.8	12.7	12.8	14.1	14.2			11:00	11.2	12.2	11.6	11.6	10.1				
酸鹼值	5:00	8.00	7.75	—	7.22	7.54	7.95	8.27	8.23	—	酸鹼值	6:00	7.90	8.06	7.20	8.04	8.29	—			
	10:00	8.20	7.73	—	7.94	7.96	7.89	8.40	8.30			11:00	7.87	7.88	7.62	7.64	7.88				
溶氧量 (mg/l)	5:00	7.02	6.71	4.85	7.29	7.54	7.31	7.57	3.67	—	溶氧量 (mg/l)	6:00	7.44	7.53	7.17	7.26	7.83	—			
	10:00	6.45	6.25	5.59	6.13	6.10	5.92	6.69	3.30			11:00	6.49	7.19	7.17	7.09	6.90				
濁度 (NTU)	5:00	3.62	1.24	2.99	0.40	0.41	1.12	1.65	2.23	—	濁度 (NTU)	6:00	4.57	4.81	0.75	28.17	1.28	—			
	10:00	1.43	1.57	1.55	0.52	0.25	0.37	1.96	2.79			11:00	3.76	1.68	0.82	15.13	3.57				
氧氣 (ppm)	5:00	0.05	0.03	0.08	0.10	0	0.04	0	0	—	氧氣 (ppm)	6:00	0.01	0	0.02	0.19	0.09	—			
	10:00	0.20	0.04	0.07	0	0	0	0	0			11:00	0.06	0.03	0.06	0.02	0.10				

表 6 山椒魚棲地之水力環境

(1) 夏季調查結果										(2) 冬季調查結果											
2005.9.10	姊妹潭		師大復育地				混凝土邊坡溪流				文獻 回顧	2006.1.24	姊妹潭		師大復育地				混凝土邊坡溪流		文獻 回顧
	上游	下游	靜水池	上游	中游	下游	上游	下游	上游	下游			上游	下游	上游	中游	下游	上游	下游		
水路斷面寬(m)	0.72	0.60	—	0.90	0.60	1.95	1.30	2.20	—	—	0.65	0.87	—	—	0.51	0.28	0.37	—	—		
流速(m/s)	0.447	0.178	0	0.203	0.336	0.276	0.190	0.603	緩流	—	0	0	—	—	0	0	0	—	—		
水深(m)	0.10	0.15	0.05	0.17	0.10	0.21	0.10	0.02	—	—	0.06	0.15	—	—	0.11	0.01	0.18	—	—		
流量(cms)	0.0185	0.0114	0	0.017	0.014	0.073	0.0168	0.0199	—	—	0	0	—	—	0	0	0	—	—		

表 7 山椒魚棲地之土壤環境

(1) 夏季調查結果										(2) 冬季調查結果									
2005.9.10	姊妹潭		師大復育地				混凝土邊坡溪流		文獻 回顧	2006.1.24	姊妹潭		師大復育地				混凝土邊坡溪流		文獻 回顧
	上游	下游	No.1	No.2	No.3	No.4	上游	下游			上游	下游	No.1	No.2	No.3	No.4	上游	下游	
溫度 (°C)	5:00	12.1	12.0	11.5	12.1	11.8	12.1	11.1	—	6:00	7.4	7.5	7.0	7.1	7.2	7.1	7.6	—	—
	10:00	13.6	13.9	11.5	12.1	11.8	12.1	11.1	—	11:00	7.6	7.6	7.1	7.2	7.4	7.2	7.6	—	—
酸鹼度	5:00	4.4	5.4	7.0	7.0	7.0	7.0	5.4	5.8~	6:00	4.3	5.3	6.6	6.8	6.7	6.9	5.3	5.8~	—
	10:00	4.2	5.5	6.8	6.9	6.9	6.9	5.4	7.0	11:00	4.3	5.3	6.6	6.8	6.9	7.0	5.1	7.0	—
含水量 (%)	5:00	>80	>80	69	61	>80	>80	>80	60~	6:00	>80	>80	75	50	67	40	45	60~	—
	10:00	>80	>80	80	80	72	>80	>80	90	11:00	70	>80	72	50	60	81	28	90	—
有機物含量(%)	10.00	13.53	2.21	4.20	4.82	8.48	3.24	2.91~	27.31	有機物含量(%)	8.09	9.69	2.41	3.53	5.30	5.38	4.83	2.91~	27.31

2. 山椒魚利用不同基質及角度之季節別攀爬能力差異

(1) 山椒魚之樣本體型如圖 8。

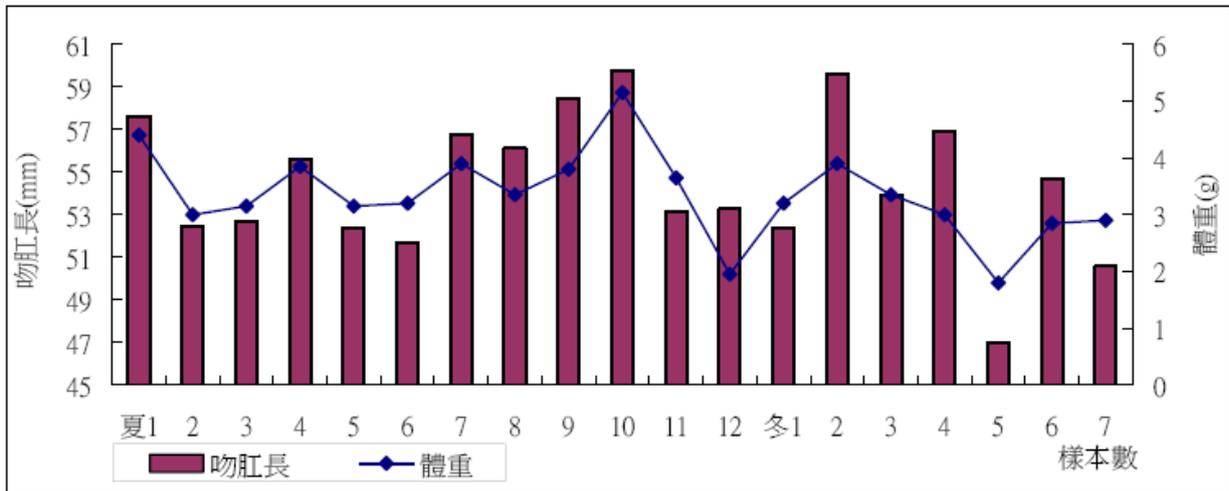


圖 8 山椒魚樣本吻肛長與體重

(2) 山椒魚在夏季之攀爬能力差異如圖9。

將不同基質表面攀爬能力之下降趨勢迴歸後發現，山椒魚在青苔基質表面的攀爬能力約在坡度20°及60°時明顯下降；在岩石基質表面，為邊坡坡度45°時，山椒魚的攀爬能力明顯下降；在土壤基質表面，則為邊坡坡度約35°時，為山椒魚攀爬能力下降的轉折點。意即在日後工程設計時，若以青苔為邊坡基質材料，最佳坡度為20°以下，若因其他因素

限制無法達到此要求，則建議小於 $60^\circ$ 以下；若以岩石當做施工材料，則建議坡度小於 $45^\circ$ ；若以土壤為邊坡施工材料，建議坡度為 $35^\circ$ 以下。結果如圖10所示。

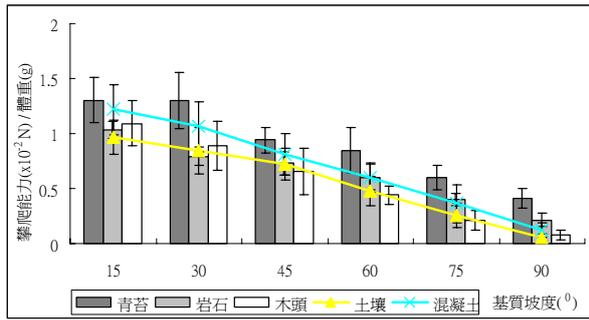


圖9 山椒魚於夏季不同基質、不同角度之攀爬能力

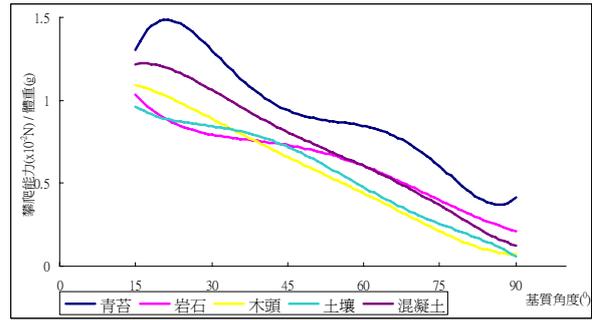


圖10 山椒魚於夏季攀爬能力迴歸曲線圖

(3) 山椒魚在冬季之攀爬能力差異如圖11。

將不同基質表面攀爬能力之下降趨勢迴歸後發現，冬季山椒魚在五種不同基質表面的攀爬能力和邊坡坡度關係，幾乎呈現線性的關係，攀爬能力無較明顯變化的時機。如圖12。

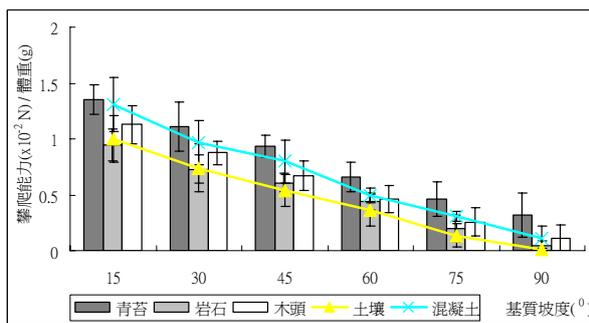


圖11 山椒魚於冬季不同基質、不同角度之攀爬能力

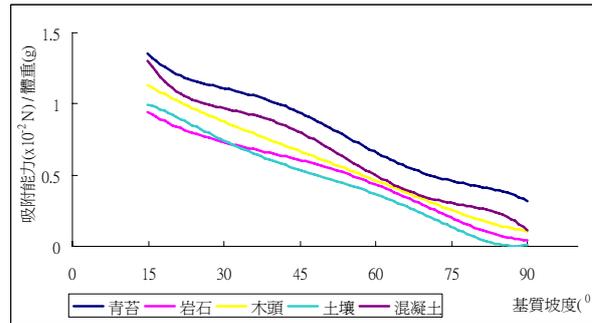


圖12 山椒魚於冬季攀爬能力迴歸曲線圖

(4) 各種基質之適當坡度設計

由阿里山山椒魚活動力實驗結果得知，當攀爬能力大於  $0.02\text{ N}$  時，不論是在何種基質表面，山椒魚皆可在基質表面活動；當攀爬能力小於  $0.02\text{ N}$  時，不論是在何種基質表面山椒魚都只能攀爬在上面，但不能自由活動。根據我們所抓到的山椒魚統計體重之後，算出所有樣本的平均體重為  $3.34\text{ g}$ 。以  $0.02 / 3.34 = 0.60 (\times 10^{-2}\text{ N/g})$  設定為門檻值，比較在相同基質表面，不同溫度下山椒魚攀爬能力的差異，以及選擇冬、夏季能力較差者和門檻值比較，提出與工程設計相關之建議坡度。青苔表面的建議設計坡度小於  $60^\circ$ ；岩石表面的建議設計坡度小於  $45^\circ$ ；木頭表面的建議設計坡度小於  $45^\circ$ ；土壤表面的建議設計坡度小於  $30^\circ$ ；混凝土表面的建議設計坡度小於  $60^\circ$ ，如圖13~圖17。

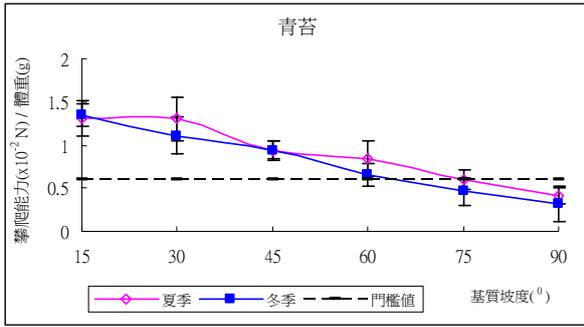


圖13 山椒魚於青苔表面攀爬能力與門檻值比較圖

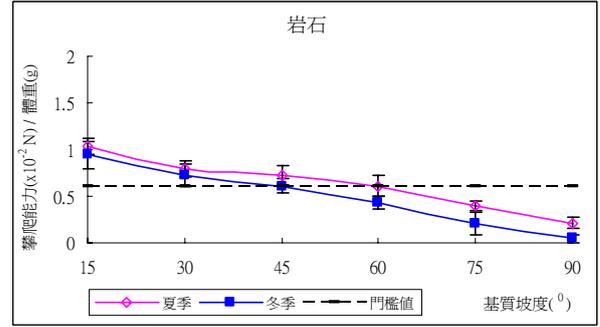


圖14 山椒魚於岩石表面攀爬能力與門檻值比較圖

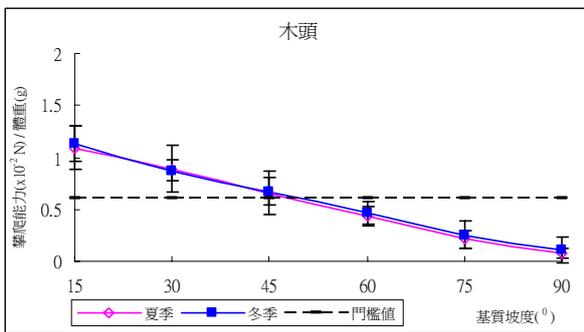


圖15 山椒魚於木頭表面攀爬能力與門檻值比較圖

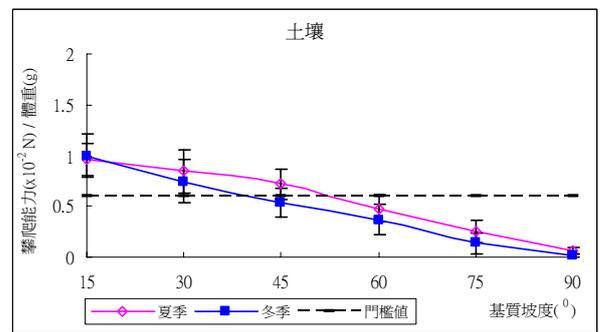


圖16 山椒魚於土壤表面攀爬能力與門檻值比較圖

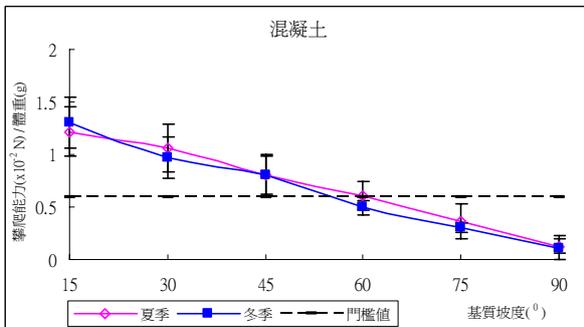


圖17 山椒魚於混凝土表面攀爬能力與門檻值比較圖

### 3. 阿里山山椒魚與其他高山地區蛙類之行為能力比較

阿里山山椒魚在台灣皆出現在海拔2000公尺以上高山地區，參考呂等(1990)台灣區野生動物資料庫（一）兩棲類（II）及侯、張(2005)指出台灣海拔2000公尺以上高山地區出現的兩棲類，分別為盤古蟾蜍、面天樹蛙、斯文豪氏赤蛙及拉都希氏赤蛙等四種，比較提出不同基質之建議坡度。

相關文獻只提到蛙類在芒草、岩石和木頭表面的行為能力，所以根據這三項來進行討論。若要考慮其他高山地區的蛙類，則野溪邊坡之建議設計坡度應再降低，因為盤古蟾蜍

單位體重之行為能力較小，根據侯、張(2004)指出，若以芒草、石頭或木頭為邊坡設計材料，為適合盤古蟾蜍活動，其邊坡設計角度上限建議為 $15^{\circ}$ ，以確保其具有 $0.53\sim 0.63 (\times 10^{-2} \text{ N/g})$ 的能力，與阿里山山椒魚的活動能力相近。相關數據整理如表8。

表 8 以高山地區兩棲類為對象之水域邊坡工程設計建議

基質種類	環境影響	攀爬能力( $\times 10^{-2} \text{ N/g}$ )				
		盤古蟾蜍 (侯、張 2005)	面天樹蛙 (侯、張 2004)	斯文豪氏赤蛙 (侯、張 2005)	拉都希氏赤蛙 (侯、張 2005)	阿里山山椒魚 (本研究)
芒草	高溫高濕	—	—	—	—	—
	低溫高濕	$0.63 \pm 0.14$	$3.79 \pm 0.60$	$0.07 \pm 0.01$	$0.10 \pm 0.07$	—
	基質坡度	$\leq 15^{\circ}$	$\leq 60^{\circ}$	$\leq 45^{\circ}$	$\leq 30^{\circ}$	—
青苔	高溫高濕	—	—	—	—	$0.85 \pm 0.20$
	低溫高濕	—	—	—	—	$0.66 \pm 0.13$
	基質坡度	—	—	—	—	$\leq 60^{\circ}$
石頭	高溫高濕	—	—	—	—	$0.73 \pm 0.10$
	低溫高濕	$0.53 \pm 0.10$	$4.50 \pm 0.81$	$0.28 \pm 0.15$	$0.30 \pm 0.14$	$0.61 \pm 0.08$
	基質坡度	$\leq 15^{\circ}$	$\leq 60^{\circ}$	$\leq 45^{\circ}$	$\leq 30^{\circ}$	$\leq 45^{\circ}$
木頭	高溫高濕	—	—	—	—	$0.66 \pm 0.21$
	低溫高濕	$0.54 \pm 0.10$	$1.66 \pm 0.29$	$0.20 \pm 0.08$	$0.17 \pm 0.07$	$0.67 \pm 0.13$
	基質坡度	$\leq 15^{\circ}$	$\leq 45^{\circ}$	$\leq 45^{\circ}$	$\leq 30^{\circ}$	$\leq 45^{\circ}$
土壤	高溫高濕	—	—	—	—	$0.84 \pm 0.21$
	低溫高濕	—	—	—	—	$0.74 \pm 0.21$
	基質坡度	—	—	—	—	$\leq 30^{\circ}$
混凝土	高溫高濕	—	—	—	—	$0.81 \pm 0.19$
	低溫高濕	—	—	—	—	$0.80 \pm 0.19$
	基質坡度	—	—	—	—	$\leq 45^{\circ}$

條件設定：高溫環境溫度  $15^{\circ}\text{C}$  以上，高濕基質表面含水率 100%

低溫環境溫度  $8^{\circ}\text{C}$  以下，高濕基質表面含水率 100%

## 五、結論與建議

結論：

1. 關於適合阿里山山椒魚的棲地環境，目前各文獻僅止於陸域環境之探討。本研究由各觀測點依冬、夏季節的日間最高溫與夜間最低溫時段，調查阿里山山椒魚之棲地環境，含氣象、水域及陸域環境等。共計三個樣區、八個計測點，提供較完整的環境與棲地研究資料，包括(1)氣溫(2)濕度(3)溶氧量(4)氮氮(5)酸鹼值(6)濁度(7)水溫(8)水路斷面寬(9)流速(10)水深(11)流量(12)土溫(13)土壤酸鹼值(14)土壤含水量(15)土壤有機物含量等，詳列於表4至表7。
2. 本研究使日後復育工作更具彈性，且可同時兼顧工程建設及生態復育工作。
3. 本研究對於阿里山山椒魚的活動力，針對其攀爬能力進行研究，分為冬、夏兩季、不同坡度，試驗山椒魚對使用當地現有材料及外來混凝土材料之攀爬能力的差異，詳圖6及圖8所示。
4. 經實驗數據迴歸後得知，阿里山山椒魚於青苔表面坡度 $20^{\circ}$ 及 $60^{\circ}$ 、岩石表面坡度 $45^{\circ}$ 和土壤表面 $35^{\circ}$ 時為攀爬能力明顯下降之轉折點，在工程設計時建議小於此坡度設計。
5. 由實驗結果得知，為確保山椒魚攀爬能力的下限臨界值為 $0.02\text{ N}$ ，和樣本平均體重 $3.34\text{ g}$ 相除後，可設定山椒魚每單位體重的攀爬能力 $0.60 (\times 10^{-2}\text{ N/g})$ ，作為設計水域不同邊坡及坡度的門檻值。且和高山地區兩棲類無尾目生物比較，可作為兩棲類生物邊坡設計參考。
6. 若以阿里山山椒魚為保育對象，在石頭、木頭及混凝土等水域邊坡基質，建議坡度為 $\leq 45^{\circ}$ ，青苔表面則建議 $\leq 60^{\circ}$ ，土壤表面建議 $\leq 30^{\circ}$ ；但若以高山地區的盤古蟾蜍、面天樹蛙、斯文豪氏赤蛙、拉都西氏赤蛙及阿里山山椒魚等五種兩棲類生物為保育對象，在石頭及木頭基質，則建議 $\leq 15^{\circ}$ 。

建議：

1. 以山椒魚對棲地環境改變之攀爬能力影響結果來看，混凝土並非不佳的施工材料，但若考慮經濟及天然材質等因素，就地取材的石頭及木頭應為較佳的選擇，對於山椒魚的攀爬能力也可達到相同的效果。
2. 邊坡的設計若因地形限制須大於建議設計坡度，可在表面種植青苔，增加山椒魚在邊坡上的攀爬能力。
3. 以高山地區多種兩棲類生物作為指標生物，在設計野溪邊坡坡度時，若以石頭或木頭作為邊坡施工的材料，建議坡度 $\leq 15^{\circ}$ 。
4. 因山椒魚於爬行時，尚有使用腹部貼地運動，因此接觸基質面積不僅止於趾部，建議日後可增加腹部面積的資料做更深入的研究。
5. 本研究僅針對不同溫度、不同基質及不同角度探討山椒魚之攀爬能力，建議日後可增加其他變因做更詳細的探討。

## 六、參考文獻

1. 李培芬、呂光洋、李玉琪、謝佳君、陳宣汶、潘天祺、丁宗蘇，台灣地區野生動物分布資料庫之建立，行政院農委會，405 頁，(1998)。
2. 呂光洋、陳世煌合著，張正雄攝影，台灣的兩棲類，張正雄。台北，(1982)。

3. 呂光洋、羅柳墀撰，譚天錫審訂，蝾螈和山椒魚，圖文出版社。台北，(1983)。
4. 呂光洋、張巍薩、林政彥，太魯閣國家公園大合歡山地區山椒魚調查，內政部營建署太魯閣國家公園、國立台灣師範大學，(1989)。
5. 呂光洋主編，台灣的兩棲類動物，臺灣省政府教育廳，26-29頁，(1990)
6. 呂光洋，台灣野生動物資源調查手冊(2)台灣兩棲爬蟲動物，行政院農委會。台北，(1990)。
7. 呂光洋、林政彥、莊國碩，台灣區野生動物資料庫(一)兩棲類(II)，行政院農委會，(1990)。
8. 呂光洋、陳添喜、高善、孫承矩、朱哲民、蔡添順、何一先、鄭振寬，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、中華民國自然生態保育協會、國立台灣師範大學生物系，148頁，(1996)。
9. 呂光洋，阿里山地區阿里山山椒魚的分布和棲地利用之研究，行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列，(2003~2005)。
10. 沈明來，生物統計學入門，九州圖書文物有限公司，(1999)。
11. 佐藤井岐雄撰，日本產有尾類總說，林松。台北，(1981)。
12. 邱瓊平，山椒魚不是魚！族群數量稀少 值得用心呵護唷，東森新聞報，(2004)。
13. 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，台灣水利季刊52(2)：49~57，(2004)。
14. 侯文祥、張源修，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，農業工程學報51(4)：54-68，(2005)。
15. 侯文祥、張源修，宜蘭氣候環境對面天樹蛙利用水岸邊坡之活動力影響，台灣水利54(1)：67~76，(2006)。
16. 俞渭江，生物統計附設試驗設計，農學出版社，(1986)。
17. 徐貴新編著，水質分析實驗，高立圖書有限公司，(1998)。
18. 陳雅玲，以有限混合分佈理論區分關渡濕地水土環境，國立台灣大學農業工程學研究所，碩士論文，(1999)。
19. 陳琬婷，台灣大自然之歌—動物篇—山椒魚，小作家月刊7(3)：42-47，(2000)。
20. 陳世煌，台灣產山椒魚之生物學研究，國立臺灣師範大學生物學研究所，碩士論文，(1985)。
21. 陳世煌、呂光洋，台灣產山椒魚之研究(一)—研究歷史、分佈和形態學之初步研究，野生動物保育研討會專輯(一)國家公園和自然保留區之野生動物。79-104頁。台北，(1986)。
22. 陳世煌、呂光洋，台灣產山椒魚之研究(二)阿里山地區山椒魚之族群生態研究，師大生物學報21：47-72，(1986)。
23. 葉明欽，臺灣山椒魚棲地與族群變動之師範大學生物學研究所，碩士論文，(1991)。
24. 葉明欽、呂光洋、賴俊祥，阿里山及玉山國家公園台灣山椒魚族群生態之研究，師大生物學報29(2)：79-87，(1994)。
25. 賴俊祥，台灣產山椒魚分類學研究，國立臺灣師範大學生物學研究所，碩士論文，(1995)。
26. 賴俊祥，台灣的冰河孑遺生物—山椒魚，動物園雜誌91：19-22，(2003)。

27. Emerson, S. B. and Diehl, D., Toe pad morphology and mechanisms of sticking in frogs. *Biological Journal of the Linnean Society*, 13: 199-216, (1980).
28. Green, D. M., Adhesion and toe-pads of tree frogs. *Copeia*, 1981(4): 790-796, (1981).
29. Henk Wallays, Breeding experiences with *Hynobius retardatus*.  
[http://www.caudata.ru/henk/hynobius.files/hyn\\_ogl.htm](http://www.caudata.ru/henk/hynobius.files/hyn_ogl.htm), (2004)
30. Henk Wallays, Experiences in keeping, breeding and rearing *Hynobius dunni* with some remarks on other *Hynobius* species.  
[http://www.caudata.ru/henk/hynobius.files/hyn\\_ogl.htm](http://www.caudata.ru/henk/hynobius.files/hyn_ogl.htm) , (2004)
31. Lue, K.Y. and Chuang, K.S., The discovery of metamorphosed juveniles of formosan salamander (*Hynobius formosanus*) in Yu-Shan national park. *Bull. Inst. Zool., Academia Sinica*, 31(4): 312-316, (1992).
32. Lue, K. Y., Lin, C. Y. and Chuang, K. S., Notes on larva of *Hynobius formosanus* found on Yu-Shan National Park. *Acta Zoologica, Sinica*, 31: 68-70, (1992).
33. Seto, T., The salamanders of Formosa. *Transaction Natural History Society Formosa*, 31: 114-124, (1941).
34. Seto, T., and Utsunomiya, T., Chromosome *Hynobius arisanensis* Maki, a salamander *Herpetologica*, 43(1): 117-119, (1987).
35. 中央氣象局網頁，<http://www.cwb.gov.tw/>
36. 2005年10月26日網頁，<http://tech.163.com/04/1122/15/15Q8RGI90009rt.html>
37. 2006年4月10日網頁，<http://www.jgps.ptc.edu.tw/%7Ebhschj/>

# Study of the biological motility and habitat of *Hynobius arisanensis*

Wen-Shang Hou<sup>1</sup> Chun-Hsiang Chen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Bioenvironmental System Engineering, NTU/Associate Professors

<sup>2</sup> Department of Bioenvironmental System Engineering, NTU /Master

## Abstract

With the tourism developing in recent years, there are often concrete constructions by the creeks in order to protect the safety of the tourists, but the effect of concrete on the environment and the mobility of certain species are still unknown. This research is working on a probe into different water bank materials adaption that effect *Hynobius arisanensis's* motility in the national park of Alishan. Comparing concrete area and other two areas where to keep primitive stream, concrete constructs lead to the velocity of flow increase; streams shallow and then effect water quality. In biological motility study, choose the existing moss; rock; wood; soil and concert as water bank materials measure the scramble ability of *Hynobius arisanensis*. According to the seasonal humidity changes in winter and summer of Alishan area, *Hynobius arisanensis's* scramble ability in high humidity high temperature and high humidity low temperature are discussed to find an interval of slope increasing and scramble ability drops rapidly. In the result, the scramble ability of *Hynobius arisanensis* slightly decrease in low temperature, take 45° as an example, in winter the average of scramble ability decline 8% than in summer. The upper limit of design slope suitable for *Hynobius arisanensis*, on the moss surface, propose  $\leq 60^\circ$  is better ; as the surface on rock and wood, propose  $\leq 45^\circ$ , other amphibians of alpine areas in Taiwan such as *Bufo bankorensis* is considered, then the slope  $\leq 15^\circ$  is suitable. Concrete as the water bank material, propose the slope  $\leq 45^\circ$  ; soil as the water bank material, the slope are prefer to  $\leq 30^\circ$ .

**Keywords:** *Hynobius arisanensis*, water bank, material, scramble ability