

台灣間爬岩鰍種內棲息環境差異於極端洪水事件 後溪流棲地復育之運用

APPLICATION OF INTRASPECIFIC HABITAT ENVIRONMENT VARIATION AMONG *HEMIMYZON FORMOSANUS* FOR
HABITAT RESTORATION AFTER EXTREME FLOODS

國立成功大學
水利及海洋工程學系
博士生研究生

呂映昇
Ying-Sheng Lu

國立成功大學
水利及海洋工程學系
教授

孫建平*
Jian-Ping Suen

摘要

魚類棲地適合度曲線、物理棲地模擬系統 (PHABSIM) 等量化研究已大量運用於水利工程溪流棲地復育，本研究嘗試於水利疏濬工程加入種內棲息環境差異之考量，探討河川內迴游魚種於極端洪水事件後所需復育條件。本研究於楠梓仙溪中上游，以電格法進行研究魚種台灣間爬岩鰍採樣，並量測電格物理環境流速、水深、底質與水質資訊，經統計分析，證實台灣間爬岩鰍成、幼魚在各種空間尺度下所棲息之量化環境均有差異。2009 年楠梓仙溪經歷了極端的洪水事件，本研究建議河道因大量淤積需辦理疏濬時，可考量台灣間爬岩鰍族群種內棲息環境差異進行河道整治，可加速台灣間爬岩鰍族群之復育，並作為水利工程生態檢核之參考。

關鍵詞：台灣間爬岩鰍、種內棲息差異、空間尺度。

* 通訊作者 · 國立成功大學水利及海洋工程學系教授
701 台南市東區大學路 1 號 · jpsuen@mail.ncku.edu.tw

APPLICATION OF INTRASPECIFIC HABTIAT ENVIRONMENT VARIATION AMONG *HEMIMYZON FORMOSANUS* FOR HABITAT RESTORATION AFTER EXTREME FLOODS

Ying-Sheng Lu

National Cheng Kung University
Department of Hydraulic & Ocean Engineering

Jian-Ping Suen*

National Cheng Kung University
Department of Hydraulic & Ocean Engineering

ABSTRACT

Quantitative studies such as the Habitat Suitability Curve and Physical Habitat Simulation System (PHABSIM) have been widely used in stream habitat restoration of hydraulic engineering. We attempt to provide an integrated approach to engineering and ecology applied to the context of future projects involving river dredging after extreme floods. In this study, in the middle and upper reaches of Nanzihisian River, the research fish species, *Hemimyzon formosanus*, were sampled by the electric grid method, and the physical environment of the electric grid was measured, including the data of flow velocity, water depth, substrate, and water quality. Statistical analyses confirmed the differences in the intraspecific hydraulic habitat environment of *Hemimyzon formosanus*. The Nanzihisian River experienced an extreme flood event in 2009. This study suggests that after extreme events when dredging is required due to massive siltation of the river, the environment can be rehabilitated according to the preferred habitat of the *Hemimyzon formosanus* population, which can speed up the restoration of the *Hemimyzon formosanus* population.

Keywords: *Hemimyzon formosanus*, Intraspecific habitat variation, Spatial scale.

一、前言

Guy *et al.* (2016) 提出大多數關於淡水環境變化影響的研究都集中在平均條件的增量變化上，而較少著重於熱浪、寒流、乾旱、洪水或野火等波動或極端事件，但這些事件卻可能會產生更深遠的後果，隨著全球氣候變化，此類事件的頻率、強度和持續時間都會增加，許多系統將面臨近期歷史上沒有先例的條件。楊正雄等 (2017) 依據國際自然保育聯盟 (International Union for Conservation of Nature) 紅皮書受脅與評估系統 (IUCN Red List of Threatened Species™) 的建議類別與標準，將台灣間爬岩鰍列為國家接近受脅 (NNT) 類別淡水魚。陳建延 (2007) 指出石岡壩附設魚道採集迴游魚類發現台灣間爬岩鰍與埔里中華爬岩鰍在相同季節期間有相同的上溯行為，並認定此兩魚種為河川迴游性物種。行政院農業委員會特有生物研究保育中心 (2017) 利用「階段式決策架構」進行指標魚類選擇，其中考量研究環境為溪流生態，指標生物標的在於「可以作為調查水利工程施作前後環境變動的指標物種」，其生活史可能受到工程施作的影響。指標生物以分布/數量較為優勢的及以溪流性的純淡水或陸封性生活史的魚類為優先考量。廖德裕等 (2003) 說明平鰭鰍科魚類偏好於底床由礫石組成的急瀨區域，平時攀附在礫石上以刮食藻類以及小型水生昆蟲維生，為了更適應這種極端的溪流環境，演化出許多特殊的型態結構，台灣間爬岩鰍體型為扁平型。Lee and Suen (2012) 說明台灣間爬岩鰍為偏好急流的底棲性魚種，其偏好淺水流動性快且成魚體長小於 10 cm，扁長型體型與特殊的腹鰭提供穩定的功能允許自己得以棲息在強勁的水流裡，台灣間爬岩鰍為草食性魚種魚種，有下傾式的魚嘴，主要攝食藻類。綜合以上評估，本研究於楠梓仙溪以台灣間爬岩鰍為指標生物。Michael *et al.* (2014) 說明資源會被族群裡的每個個體取用，為了得到有限的資源，同種個體間會彼此競爭，即為種內競爭 (intraspecific competition)。此種共用資源產生的間接互動可稱為資源剝奪競爭 (exploitation competition)。張學文 (1999) 提到有時因為族群密度太大，生存不易，或因棲地品質下降，就有個體會主動離開棲息地及族群，有時是競爭力較弱或較老的離開，有時會是強者離開，原族群個體數目減少，密度下降，競爭壓力也少了，對整個族群來說是個健康的現象。本研究最主要為想了解影響台灣間爬岩鰍族群種內棲息環境差異，本研究假設台灣間爬岩鰍成、幼魚量化水力棲息環境有所差異，以減少空

間利用之競爭。另外 2009 年 8 月楠梓仙溪經歷了極端的洪水事件，魚類棲息地遭毀滅性的破壞，台灣間爬岩鰍族群數量驟降，其後，政府部門為了河防安全於 2009 年後持續多年辦理河川疏濬及整治工程，將河道整治為形狀單一深槽及缺乏底質多元性，進而擾動台灣間爬岩鰍棲息地並延長其族群復育至極端洪水發生前水準之時間。胡通哲與葉明峰 (2002) 及柳文成等 (2004) 所提魚類棲地適合度曲線、物理棲地模擬系統 (PHABSIM) 等量化研究已大量運用於水利工程溪流棲地復育，本研究嘗試於水利疏濬或整治工程加入種內量化水力棲息環境差異之生物因子，探討河川內迴游魚種於極端的洪水事件後所需復育條件，以期作為水利工程生態檢核之參考。

二、研究方法

本研究於高屏溪支流楠梓仙溪中上游進行採樣。最上游樣站至最下游樣站依序為民權大橋、都卜魯安橋、錫安山橋、大武壠橋及小林橋。以河心距離計算兩樣站間距，民權大橋與都卜魯安橋 5.6 公里，都卜魯安橋與錫安山橋間距 3.4 公里，錫安山橋與大武壠橋 3.6 公里，大武壠橋與小林橋間距 3.8 公里，民權大橋與小林橋間距 16.4 公里。若以空間直線距離計算民權大橋與小林橋間距 12 公里，如圖 1。

2021 年 1 月至 4 月採樣民權大橋 (2 月、3 月)、都卜魯安橋 (2 月、4 月)、錫安山橋 (3 月、4 月)、大武壠橋 (2 月、3 月) 及小林橋 (2 月、3 月)，每一樣站各採樣 2 次。2008 年 11 月至 2009 年 3 月採樣民權大橋 (11 月、12 月、1 月、2 月、3 月) 及錫安山橋 (12 月、1 月、2 月、3 月)。2011 年 12 月至 2012 年 3 月採樣民權大橋 (12 月、1 月、2 月、3 月) 及錫安山橋 (12 月、1 月、2 月)。

本研究利用 Prepositioned areal electrofishing devices (PAEDs) 進行採集研究魚種，並利用呂映昇與孫建平 (2010) 文內所述之方法，於採樣點電格面積為 1 m × 1 m 內，收集電量之魚群後，進行棲地環境因子流速、水深、底質序號量測，流速及水深均為 1 m² 內均勻測量 9 點之平均值，底質序號為參考 Platts *et al.* (1983) 所提表面目視法 (surface-visual-method) 配合本研究自製之 1 m × 1 m 內有 100 格的壓克力板，測量各種底質粒徑之百分比，底質粒徑序號之取得來自修改 Bovee and Milhous (1978) 所提底質粒徑分類，並修正自 Statzner *et al.* (1988) 所提底質序號計算公式計算採樣點平均底質序號，如表 1。楊正雄等 (2020) 提

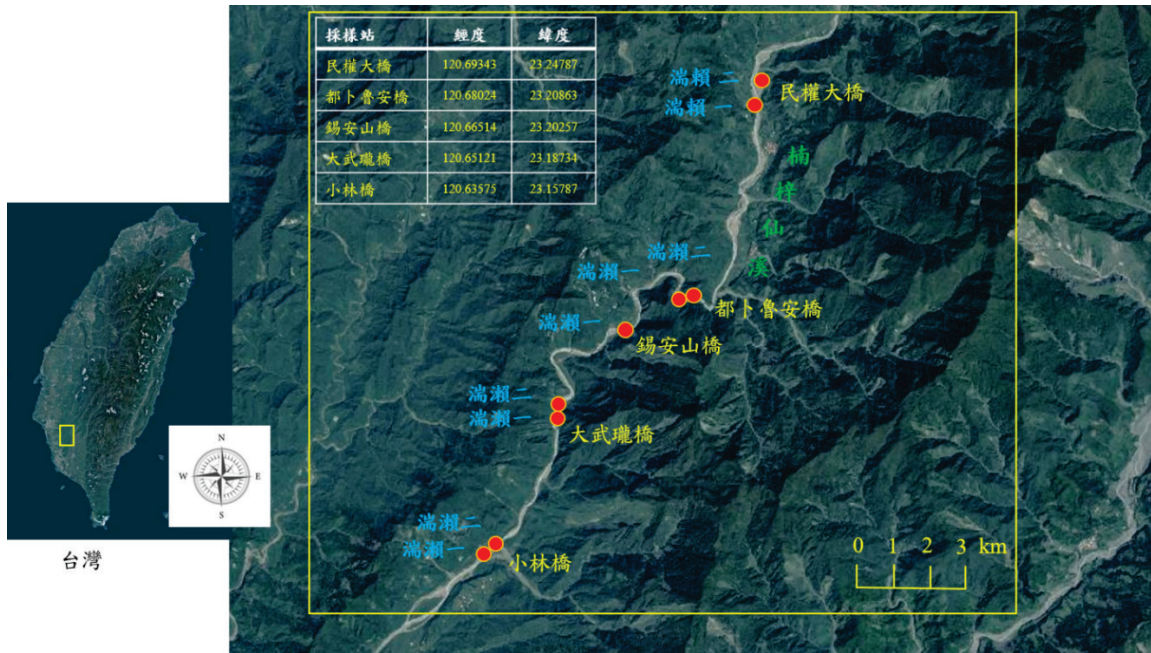


圖 1 採樣地點 (修改自內政部營建署城鄉發展分署國土規劃地理資訊圖台)

表 1 底質粒徑分類表 (修改自 Bovee and Milhous (1978)) 及計算公式

底質粒徑	底質種類	底質序號	佔有百分比
1.5	砂	< 2 mm	α_1
3.5	礫石	2 - 64 mm	α_2
5.5	鵝卵石	64 - 256 mm	α_3
7	小漂石	256 - 512 mm	α_4
8	大漂石	> 512 mm	α_5

平均底質粒徑序號 = $\alpha_1 \times 1.5 + \alpha_2 \times 3.5 + \alpha_3 \times 5.5 + \alpha_4 \times 7 + \alpha_5 \times 8$ (修改自 Statzner *et al.* (1988))

出台灣間爬岩鰍的族群成熟體長 (ML 50) 為 4.7 cm, 並參考呂映昇 (2009) 所用成幼魚分類依據採用台灣間爬岩鰍 5.0 cm 以上為成魚, 本研究採用體長 5.0 cm 以上為成魚, 3.9 cm 以下為幼魚。

Frissell *et al.* (1986) 將空間尺度由大到小分為溪流尺度、河段尺度、深潭/湍瀨系統尺度、微棲地尺度。我們以 2021 年採樣數據在各種空間尺度下進行台灣間爬岩鰍族群種內棲息差異之分析及研究, 研究步驟為分別於 5 個樣站中, 先以目視方式找尋深潭系統, 因本研究採樣地點位於河流的中上游, 棲息地型態主要以深潭湍瀨接連連續, 深潭的上游及下游為湍瀨系統, 湍瀨系統長度約 30~50 公尺左右不等, 隨後量測湍瀨系統平均流速及平均水深, 如平均流速為 0.6 m/s 以上及平均水深 20~50 cm, 以確認為湍瀨系統, 並由下游往上游隨機於深潭上游及下游之湍瀨系統進行電格採樣。深潭上游或下游其中之一的湍瀨系統, 空間尺度上可視為深潭/湍瀨系統空間尺度, 民權大橋、

都卜魯安橋、大武瓏橋及小林橋各有 2 個湍瀨系統, 本研究稱湍瀨一與湍瀨二, 惟錫安山橋僅有 1 個湍瀨系統。若將深潭上游及下游之湍瀨系統, 兩者 (湍瀨一與湍瀨二) 合併, 空間尺度上可視為河段空間尺度, 故民權大橋、都卜魯安橋、大武瓏橋及小林橋各有 1 個河段空間尺度的湍瀨, 最後, 5 個樣站合併之空間尺度可視為溪流空間尺度。另上述電格可視為最小空間尺度的微棲地空間尺度, 如圖 2。

放大到河段空間尺度, 相當於 5 個樣站中的每一個樣站, 即在河段尺度對各別樣站進行台灣間爬岩鰍成幼魚種內量棲地環境差異分析。台灣間爬岩鰍可分為成魚與幼魚 2 個群組, 接著利用統計工具獨立樣本 t 檢定 (t 檢定通過的標準為 $p \leq 0.05$), 比較 2 個群組之間之平均流速、水深、底質是否有顯著差異, 若有顯著差異, 則符合本研究假設, 代表在河段空間尺度下有種內棲息棲地環境差異。湍瀨系統空間尺度與溪流空間尺度統計分析步驟同河段空間尺度。

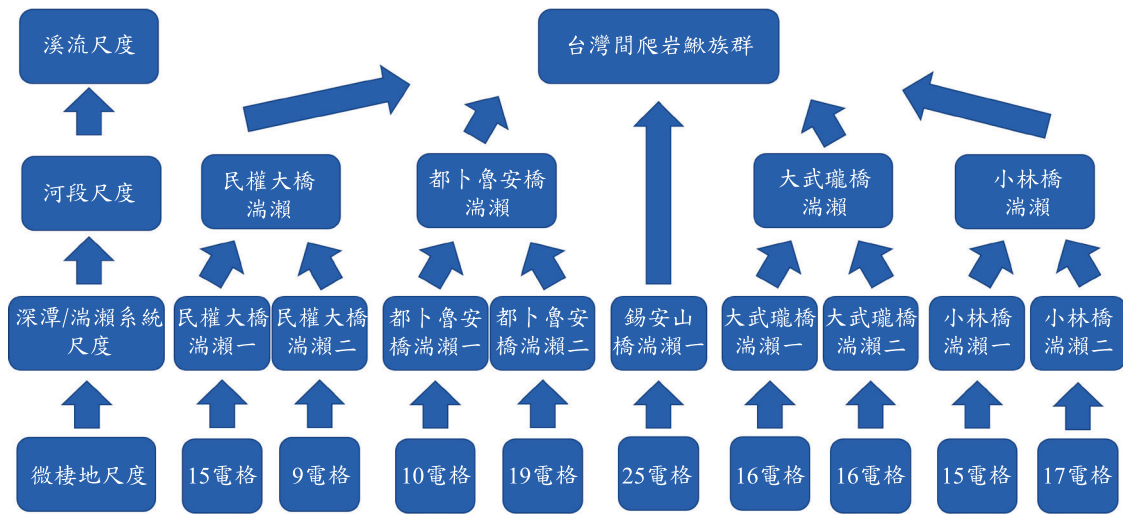


圖 2 不同空間尺度下的湍瀨棲息地

另外檢視溪流空間尺度上，利用統計工具 t 檢定台灣間爬岩鰍成魚迴游移動情形。利用比較每個樣站的平均樣點物理參數（水深、流速、底質）及平均樣點魚類密度（隻/ m^2 ），若有顯著差異，代表成魚向上游迴游拓殖族群。舉例來說，台灣間爬岩鰍的平均樣點成魚密度在上游樣站顯著大於在下游樣站的台灣間爬岩鰍平均樣點成魚密度。

時間尺度的部份，本研究所調查資料 2008~2009 年、2011-2012 年及 2021 年均常在常流（12 月至翌年 4 月）時所採樣。2008~2009 年 3 月採樣後，2009 年 8 月發生極端洪水事件（莫拉克颱風），將棲息地摧毀殆盡，所以 2008~2009 年採樣資料可代表為極端洪水事件前棲息地環境及台灣間爬岩鰍族群之樣本，2011~2012 年採樣資料代表棲息地經歷極端洪水事件後及水利疏濬及整治工程之干擾，棲息地環境及台灣間爬岩鰍族群尚未復原之樣本。2021 年採樣資料可代表為棲息地環境及台灣間爬岩鰍族群已恢復至極端洪水事件發生前之樣本。因 2011 年至 2012 年與 2008 年至 2009 年採樣站僅有民權大橋與錫安山橋，故最後以 2021 年民權大橋與錫安山橋採樣資料，比對 2009 年極端的洪水事件發生前及發生後 3~4 年之 2011~2012 年同採樣站之採樣資料，來了解在經歷極端洪水事件 12 年後之 2021 年，台灣間爬岩鰍族群及其棲息地環境復育之情形，並提出極端洪水事件後之溪流復育策略。

三、研究結果

台灣間爬岩鰍 (*Hemimyzon formosanus*) 於楠梓

仙溪採樣期間為 2021 年 1 月至 2021 年 4 月，共進行 10 次魚類採樣調查，總計有 142 個採樣點（電格），2021 年民權大橋 24 個樣點，都卜魯安橋 29 個樣點，錫安山橋 25 個樣點，大武瓏橋 32 個樣點，小林橋 32 個樣點。2008 年 11 月至 2009 年 3 月總計有民權大橋 52 個樣點加上錫安山橋 37 個樣點共 89 採樣點。2011 年 12 月至 2012 年 3 月總計有民權大橋 25 個樣點加上錫安山橋 24 個樣點共 49 採樣點。

2021 年 1 月至 4 月台灣間爬岩鰍採樣 4,270 隻，民權大橋有 1,333 隻，都卜魯安橋 1,149 隻，錫安山橋有 734 隻，大武瓏橋有 562 隻，小林橋 492 隻。2008 年 11 月至 2009 年 3 月總計有民權大橋採樣 269 隻加上錫安山橋 263 隻共 532 隻。2011 年 12 月至 2012 年 3 月總計有民權大橋採樣 112 隻加上錫安山橋 82 隻共 194 隻。

微棲地空間尺度部分，台灣間爬岩鰍成魚、幼魚均在流速 1.8~2.0 m/s 有適合度峰值（100%），如圖 3(a)。另兩者在水深 40~45 cm 均有適合度峰值，如圖 3(b)。成魚在底質序號 7.5~8.0 有適合度峰值，幼魚在底質序號 6.5~7.0 有適合度（密度）峰值，如圖 3(c)。

於湍瀨系統空間尺度部份，各採樣站湍瀨一及湍瀨二各小站台灣間爬岩鰍成幼魚數量及量化棲地環境差異比較如表 2。各採樣站兩類量化棲地環境及其同齡魚類密度差異如表 3。而錫安山橋採樣站僅有採樣 1 類型之湍瀨。

於河段空間尺度部份，民權大橋、都卜魯安橋、大武瓏橋、小林橋各樣站台灣間爬岩鰍成幼魚數量及其量化棲地環境差異如表 4。錫安山橋採樣站未有 2 類型湍瀨（未有湍瀨一與湍瀨二合併為河段尺度的湍瀨），故未進行分析。

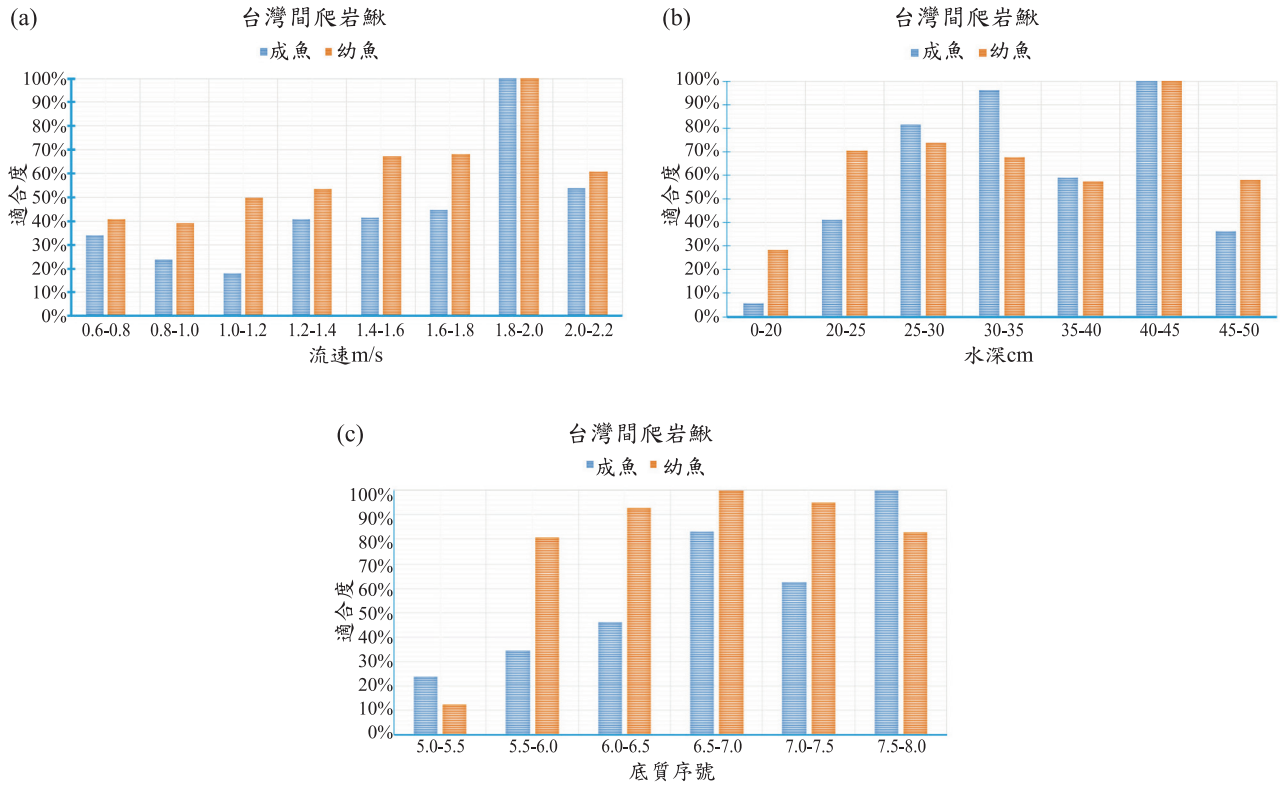


圖 3 台灣間爬岩鰻 (a) 流速-適合度分布、(b) 水深-適合度分布、(c) 底質序號 -適合度分布

表 2 各採樣站湍瀾系統空間尺度湍瀾一、二台灣間爬岩鰻棲息環境 (2021 年)

棲地環境 採樣站 魚齡		湍瀾一				湍瀾二			
		流速 (m/s)	水深 (cm)	底質序號	數量 (隻)	流速 (m/s)	水深 (cm)	底質序號	數量 (隻)
民權大橋	成魚	1.28	42.8	7.299	78	1.65	34.0	7.343	57
	幼魚	1.26	40.9	7.156	287	1.63	33.4	7.274	366
都卜魯安橋	成魚	1.43	28.4	6.421	27	1.63	35.6	7.563	202
	幼魚	1.41	28.4	6.396	181	1.73	43.1	7.670	280
錫安山橋	成魚	1.48	34.2	7.226	54	—	—	—	—
	幼魚	1.41	32.5	7.147	431	—	—	—	—
大武瓏橋	成魚	1.46	39.1	7.344	11	1.54	30.7	7.553	29
	幼魚	1.34	28.4	6.795	221	1.49	31.0	7.516	140
小林橋	成魚	1.25	32.0	7.325	12	1.77	35.1	7.477	21
	幼魚	1.29	33.0	7.434	114	1.47	33.3	7.320	177
平均值差異的顯著性 (t-test p value)		0.482	0.468	0.050	—	0.665	0.078	0.280	—
		0.716	0.983	0.738		0.002	0.000	0.014	
		0.095	0.155	0.186		—	—	—	
		0.180	0.000	0.019		0.382	0.837	0.692	
		0.425	0.659	0.099		0.000	0.075	0.182	

表 3 各採樣站湍瀨物理環境及魚種密度 (2021 年)

棲地環境及魚類密度 湍瀨類型		流速 (m/s)	水深(cm)	底質序號	魚類密度 (number/m ²)		樣本 電格
					成魚	幼魚	
民權大橋	湍瀨一	1.15	29.6	6.781	3.5	13.5	15
	湍瀨二	1.59	40.7	7.278	6.3	40.7	9
都卜魯安橋	湍瀨一	1.35	29.6	6.350	4.7	18.1	10
	湍瀨二	1.63	40.5	7.630	10.5	14.0	19
錫安山橋	湍瀨一	1.42	32.7	7.177	2.2	17.2	25
大武瓏橋	湍瀨一	1.30	30.6	6.880	0.7	13.8	16
	湍瀨二	1.52	33.4	7.510	1.8	8.8	16
小林橋	湍瀨一	1.27	33.6	7.440	0.8	7.6	15
	湍瀨二	1.41	33.8	7.350	1.2	10.4	17
平均值差異的顯著性 (t-test p value)		0.001	0.002	0.050	0.086	0.002	—
		0.037	0.048	0.000	0.065	0.296	—
		—	—	—	—	—	—
		0.068	0.429	0.009	0.017	0.049	—
		0.185	0.930	0.553	0.432	0.184	—

表 4 各採樣站河段空間尺度湍瀨台灣間爬岩鰍棲息環境 (2021 年)

棲地環境		流速 (m/s)	水深 (cm)	底質序號	數量 (隻)
採樣站	魚齡				
民權大橋	成魚	1.43	37.4	7.284	138
	幼魚	1.46	37.1	7.178	287
都卜魯安橋	成魚	1.611	34.8	7.428	229
	幼魚	1.606	37.3	7.170	461
大武瓏橋	成魚	1.52	33.0	7.496	40
	幼魚	1.40	29.4	7.075	361
小林橋	成魚	1.58	34.0	7.422	33
	幼魚	1.40	33.2	7.364	291
平均值差異的顯著性 (t-test p value)		0.367	0.689	0.032	—
		0.858	0.036	0.000	
		0.016	0.011	0.000	
		0.008	0.451	0.461	

表 5 溪流空間尺度各採樣站間台灣間爬岩鰍密度與棲息環境比較 (2021 年)

採樣站	魚類密度、棲地環境		流速 (m/s)	水深 (cm)	底質 序號
	魚類密度 (number/m ²)				
	成魚	幼魚			
民權大橋	4.333	20.79	1.295	33.2	7.029
都卜魯安橋	6.939	13.97	1.481	36.8	7.142
錫安山橋	2.250	17.71	1.420	32.7	7.177
大武瓏橋	1.250	11.28	1.407	32.0	7.197
小林橋	1.031	9.09	1.349	33.7	7.397
平均值差異的顯著性(t-test p value, 與下游的採樣站相比)	0.181	0.083	0.036	0.226	0.529
	0.014	0.209	0.512	0.196	0.831
	0.047	0.005	0.875	0.781	0.899
	0.549	0.191	0.462	0.427	0.180

於溪流空間尺度部分，台灣間爬岩鰍成魚密度及幼魚密度分別於 5 樣站間之差異情形如，如表 5。台灣間

爬岩鰍成魚與幼魚棲息環境差異，如表 6。

最後，台灣間爬岩鰍族群經歷極端洪水事件後及

表 6 溪流空間尺度湍瀨台灣間爬岩鰍棲息環境 (2021 年)

採樣站 魚齡	棲地環境	流速 (m/s)	水深 (cm)	底質 序號	數量
	民權大橋 都卜魯安橋 錫安山橋 大武瓏橋 小林橋	成魚	1.537	35.23	7.371
	幼魚	1.461	34.48	7.178	2220
平均值差異的顯著性 (t-test p value)		0.000	0.165	0.000	—

表 7 各年份台灣間爬岩鰍密度與棲息環境比較

採樣站 棲地環境 年份	民權大橋						錫安山橋						
	魚類密度 (number/m ²)		流速 (m/s)	水深 (cm)	底質 序號	樣本 (電格)	魚類密度 (number/m ²)		流速 (m/s)	水深 (cm)	底質 序號	樣本 (電格)	
	成魚	幼魚					成魚 密度	幼魚 密度					
2008-2009 年	2.96	2.21	0.86	34.6	6.837	52	0.622	6.486	0.794	33.2	5.886	37	
2011-2012 年	0.32	4.04	0.96	34.1	4.883	25	0.083	3.333	0.735	31.4	5.130	24	
2021 年	4.33	20.8	1.296	33.2	7.029	24	2.16	17.2	1.42	32.7	7.177	25	
平均值差異的 顯著性 (t-test p value, 與下 面的年份相 比, 第三行為 2008-2009 與 2021 之比較)	0.000	0.044	0.179	0.872	0.000	—	0.019	0.031	0.303	0.673	0.011	—	
	0.000	0.000	0.000	0.742	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.729		0.000
	0.043	0.000	0.000	0.950	0.088		0.002	0.000	0.000	0.884	0.000		

疏濬與河道整治工程干擾之魚類密度與棲息環境變化如表 7, 2008 ~ 2009 年調查資料為極端洪水事件 (莫拉克颱風) 前所調查資料。

討論

微棲地空間尺度下, 成魚偏好棲地之底質粒徑 (適合度峰值 7.5 ~ 8.0) 大於幼魚 (適合度峰值 6.5 ~ 7.0)。湍瀨系統空間尺度下, 於民權大橋湍瀨一、大武瓏橋湍瀨一, 成魚偏好棲地之底質粒徑顯著大於幼魚 ($p=0.05$ 、 0.019)。河段空間尺度下, 於民權大橋、都卜魯安橋、大武瓏橋, 成魚偏好棲地之底質粒徑顯著大於幼魚 ($p=0.032$ 、 0.000 、 0.000)。

溪流空間尺度下, 再次藉由獨立樣本 t 檢定證實台灣間爬岩鰍成魚偏好棲地之底質粒徑顯著大於幼魚 ($p=0.000$)。另外於溪流空間尺度成魚迴游移動情形, 成魚密度的分布 (由上游民權大橋至下游小林橋), 由上游至下游密度有逐漸降低之趨勢。幼魚由上游往下游密度有下降趨勢, 於大武瓏橋時, 已顯著低於錫安

山橋, 於小林橋最低。台灣間爬岩鰍成魚之分布曲線形狀為於偏上游之都卜魯安橋有密度峰值, 往上游至民權橋密度稍降, 往下游顯著降低, 至小林橋最低之曲線, 幼魚分布線形則為民權橋密度最高, 小林橋最低之平滑下降趨勢線, 本研究認為成魚分布曲線具有山峰曲線分布之特性, 且其生理上較幼魚成熟, 具有較佳之移動能力, 並利用其向上游移動特性進行與幼魚降低種內空間競爭。

張學文 (1999) 提出族群遷移的最大原因當然是為了生存, 為了族群的延續。足夠的食物及溫和的氣候, 能使個體成熟, 生育可以存活的下一代。Michael *et al.* (2014) 種內競爭有時互相競爭的兩個個體不會有機會和對方直接互動。但是只要一方用掉了資源, 另一方就少了一些東西可以用。進而影響生命現象, 包括存活、生長和繁殖的效率, 競爭的後果通常讓個體攝入資源的速率降低, 導致生長或發育速率變慢, 可能使得儲存的養分變少。

Lee and Suen (2012) 提出微棲地偏好的分化吻合其更多的生態特性如特殊的地貌、體型的不同及垂直與水平空間的使用, 所以認為台灣間爬岩鰍、南台吻

表 8 楠梓仙溪台灣間爬岩鰍族群數量各年份調查結果

採樣站	樣站 海拔 (m)	台灣間爬岩鰍 (隻)							
		2018 年 (高雄市政府)		2021 年 (本研究)		2009 年 (本研究)		2012 年 (本研究)	
		成魚	幼魚	成魚	幼魚	成魚	幼魚	成魚	幼魚
一溪吊橋	610	23	30	—	—	—	—	—	—
西安吊橋	550	44	44	—	—	—	—	—	—
民權大橋	480	20	28	138	287	74	55	6	58
長春谷/都卜魯安橋	420	31	35	229	461	—	—	—	—
錫安山橋	400	10	8	54	431	16	191	2	59
小林橋	360	5	4	33	291	—	—	—	—
贏橋	270	1	1	—	—	—	—	—	—

鰕虎、高身白甲魚、台灣石魚賓生態區位是分化的，因此表示於湍瀨棲地裡，魚類群落裡有種間競爭的存在，另外型塑楠梓仙溪魚類群集之生物因子為競爭，而非掠食。本研究證實在不同空間尺度下台灣間爬岩鰍成魚與幼魚量化棲息環境有所差異，也符合成、幼魚的生態特徵，如體型大小、游泳能力的差異，成魚較有能力移動至較大粒徑之底質棲息，另外在溪流空間尺度下，成魚與幼魚的密度峰值分佈是錯開分佈，所以綜合以上兩原因，我們認為成魚與幼魚兩者棲息環境有所差異有助於降低種內空間競爭。

Tew *et al.* (2002) 與 Han *et al.* (2007) 提出在台灣山區溪流以颱風為擾動的研究顯示它們導致溪流棲地與魚類族群數量的顯著性改變，但是在颱風過後，魚類族群數量復原相當迅速。Tew *et al.* (2002) 提出由鄰近的或由來自避難處倖存個體再拓殖顯示魚類族群也許可在 2 年內復原至颱風前的狀況。Lee and Suen (2012) 說明這反映展現出在台灣山區溪流魚類已適應突然性的洪水事件，這似乎魚類群落通常持續存在早期演替階段與也許永不達到最高穩定的階段。於民權大橋與錫安山橋採樣站，2008~2009 年之台灣間爬岩鰍成魚密度與幼魚密度均顯著大於 2011~2012 年，表示經過極端事件及水利工程之干擾，2011~2012 年台灣間爬岩鰍族群及其棲息地仍未復育完全。2011~2012 年台灣間爬岩鰍族群所棲息的底質粒徑顯著小於 2008~2009 年及 2021 年，這也是導致台灣間爬岩鰍成魚與幼魚密度顯著較小之原因。由我們的研究資料及整理高雄市政府 (2018) 於楠梓仙溪所調查結果顯示 (表 8)，經過極端洪水事件及河道疏濬與整治工程之持續干擾，台灣間爬岩鰍族群接近 10 年的時間尚未恢復至發生極端洪水事件前之水準，復育的時間比文獻所提 2 年要更久許多。

台灣間爬岩鰍族群所棲息之底質為小漂石及大漂

石等之組合，也是該族群復育是否成功之關鍵。由 2021 年資料顯示，於民權大橋與錫安山橋之台灣間爬岩鰍族群棲息地已恢復含有小漂石及大漂石等組合之底質，台灣間爬岩鰍成、幼魚密度更勝極端事件發生前，所以我們認為台灣間爬岩鰍族群經歷 2009 年毀滅性的極端洪水事件及疏濬與河道整治工程完成後，其族群數量已恢復至極端洪水事發生前之水準。

五、結論

Chiu and Suen (2016) 提出莫拉克颱風過後，疏浚工程考慮了人體和建築物的安全，但由於人為和自然的影響，楠梓仙溪部分河段被型塑成多河道，在疏浚活動中提供多通道斷面可以改善魚類棲息環境。本研究進一步說明，發生洪水極端事件後，河道大量淤積砂石，如需辦理河川疏濬及整治河道時與提出溪流復育策略，須考量如何台灣間爬岩鰍族群棲息環境之生物因子，如上述多通道外，應避免形成單一尺寸深槽，應有深潭與湍瀨系統交替連續，湍瀨系統空間尺度應保有水深 25 cm ~ 50 cm、流速 0.8 ~ 2.2 m/s、底床含有鵝卵石至大漂石之湍瀨棲地；河段空間尺度至溪流空間尺度下亦應保有棲地底質多元化；考量河川迴游性物種及族群拓殖等特性，橫向水工結構物應避免有過大之落差或應設有魚道，較為符合台灣間爬岩鰍生命週期之行為習性。

六、謝誌

本研究承蒙國科會專題研究計畫 101-2628-E-006-008 經費補助，特此申謝。感謝國立成功大學水利

及海洋工程學系水資源生態環境系統研究室所有成員的鼎力相助。另外，感謝審查委員細心審閱，提供諸多寶貴的意見和建議，使本文更臻完整。

參考文獻

1. Bovee, K.D. and Milhous, R.T., "Hydraulic Simulation in Instream Flow Studies: Theory and Techniques", Instream Flow Information Paper NO.5. Washington DC: U.S. Fish and Wildlife Service, OBS78, 33, pp.1-131, 1978.
2. Chiu, H.P. and Suen, J.P., "The Importance of Providing Multiple-Channel Sections in Dredging Activities to Improve Fish Habitat Environments," *Water*, 8, 36. 2016.
3. Frissell, C.A., Liss, W.J., Warren, C.E., and Hurley, M.D., "A Hierarchical Framework for Stream Habitat Classification; Viewing Streams in A Watershed Context," *Environmental Management*, Vol.10, No.2, 199-214, 1986.
4. Guy, W., Nuria, B., Lee, E.B., Russell, G.D., Isabelle, D., Clare, G., Sally, H., Mark, E.L., Alexander, M.M., Steve, J.O., Ross, M.T., and Samraat, P., "The Effects of Climatic Fluctuations and Extreme Events on Running Water Ecosystems," *The Royal Society, Phil. Trans. R. Soc. B* 371: 2016.
5. Han, C.C., Tew, K.S. & Fang, L.S., "Spatial and Temporal Variations of Two Cyprinids in a Subtropical Mountain Reserve - A Result of Habitat Disturbance," *Ecology of Freshwater Fish*, Vol.16, pp.395-403, 2007.
6. Lee, P.Y. and Suen, J.P., "Niche Partitioning of Fish Assemblages in a Analysis Mountain Stream with Frequent Natural Disturbances - An Examination of Microhabitat in Riffle Areas," *Ecology of Freshwater Fish*, Vol. 21, No.2, pp.255-265, 2012.
7. Michael, B., Robert, W.H., and Colin, R.T., *Essentials of Ecology*, 4e, Chapter 3, pp. 88, John Wiley and Sons, Inc., 2014.
8. Platts, W.S., Megahan, W.F., and Minshall, G.W., "Methods for Evaluating Stream, Riparian, and Biotic Conditions," Ogden: U.S. Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report INT, 138, pp.1-70, 1983.
9. Statzner, B., Gore, J.A., Resh, V.H., "Hydroulic Stream Ecology: Observed Patterns and Potential Applications," *Journal of The North American Benthological Society*, Vol.7, pp.307-360, 1988.
10. Tew, K.S., Han, C.C., Chou, W.R., and Fang, L.S., "Habitat and Fish Fauna Structure in a Subtropical Mountain Stream in Taiwan Before and After a Catastrophic Typhoon," *Environmental Biology of Fishes*, Vol.65, pp.457-462, 2002.
11. 行政院農業委員會特有生物研究保育中心，河川原生魚種及棲地適合度曲線調查與資料庫建置(3/5)，第五章，5-4-5-5 頁，經濟部水利署水利規劃試驗所，台中市，2017。
12. 呂映昇，「物理環境因子與魚類棲地喜好度之關係-多變量分析之應用」，國立成功大學水利及海洋工程學系碩士論文，2009。
13. 呂映昇和孫建平，「魚類於生命週期的不同階段棲地使用與物理棲地因子之量化關係」，*農業工程學報*，第 56 卷，第 1 期：40-51 頁，2010。
14. 柳文成、胡通哲、謝文雄，「溪流生態工法之規劃-以霧社溪為例」，*聯合學報*，第 24 期，73-104 頁，2004。
15. 胡通哲、葉明峰，「基隆河員山子至八堵河段環境基流量之研究」，*中華水土保持學報*，第 33 卷，第 3 期：241-247 頁，2002。
16. 高雄市政府，楠梓仙溪野生動物保護區溪流監測、保育講習會與生物復育示範計畫，附件，62-71 頁，2018。
17. 陳建延，「石岡壩附設魚道迴游生物利用的情形」，國立清華大學生命科學系碩士論文，2007。
18. 張學文，*生物族群與群落*，第五章，44-45 頁，台灣書店發行，中山學術文化基金會，台北市，1999。
19. 楊正雄、葉明峰、何東輯、李訓煌、何珮琳和曾晴賢。「河川原生魚種生活史研究成果與應用」，*動物行為與生態學研討會*。2020。
20. 楊正雄、曾子榮、林瑞興、曾晴賢和廖德裕，2017 台灣淡水魚類紅皮書名錄，第 3.5 節，16 頁，行政院農業委員會特有生物研究保育中心、行政院農業委員會林務局，南投市，2017。
21. 廖德裕、王子元、曾晴賢，「台灣產平鰭鰍科魚類」，*自然保育季刊*，第 44 期，65-71 頁，2003。

收稿日期：民國 112 年 08 月 24 日
修改日期：民國 112 年 10 月 18 日
接受日期：民國 112 年 11 月 20 日