

## 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

### The Relationship between the Habitat Preference of Fish in Different Life Stages and Physical Habitat Parameters

國立成功大學水利及海洋工程學系  
碩士

呂映昇

Ying-Sheng Lyu

國立成功大學水利及海洋工程學系  
助理教授

孫建平\*

Jian-Ping Suen

#### 摘 要

了解魚類偏好之物理環境型態，為溪流棲地復育的重要一環。本研究利用 PAEDs 電格法於曾文溪及高屏河流域進行魚類棲地偏好度之量化生態調查，採樣的空間尺度為微棲地尺度(單位棲息地)，於分析過程中以卡方獨立性檢定與多變量變異數分析之統計方法找出魚類與物理環境因子的關係，可讓河川管理者依不同的復育標的，選擇合適之棲地類型與作為生態工程設計之依據。本研究中主要的分析魚種為台灣特有的台灣間爬岩鰍、明潭吻鰕虎與高身鯛魚，研究結果顯示台灣間爬岩鰍、高身鯛魚與明潭吻鰕虎的成、幼魚棲地偏好有所不同，台灣間爬岩鰍成魚偏好底質粒徑較幼魚大，明潭吻鰕虎與高身鯛魚成魚較幼魚可承受較快之流速，高身鯛魚成魚偏好的底質粒徑為大漂石與小漂石，而高身鯛魚幼魚偏好之底質粒徑範圍較成魚廣泛。本研究除了建立魚類資料與量化物理環境棲地之關係，以供決策者參考使用外，並建議進行棲地復育、棲地適合度指標，或被用於計算魚類可用棲地面積的物理棲地模擬系統(PHABSIM)等相關研究時，應考量到魚類生命週期的不同階段的棲地偏好需求。

**關鍵詞：**魚類適合度指標，多變量變異數分析，卡方獨立性檢定，成魚，幼魚。

#### ABSTRACT

Understanding fish habitat preference plays an important role in river restoration. We use PAEDs method to quantify habitat preferred conditions of fish in the microhabitat

\*通訊作者，國立成功大學水利及海洋工程學系助理教授，70101 台南市東區大學路 1 號，jpsuen@mail.ncku.edu.tw

scale in TsengWen River and KaoPing River. The chi square test and MANOVA analysis method are used to identify the relationship between physical variables and adult and juvenile fish habitat preferences. Three endemic species, *Hemimyzon formosanus*, *Rhinogobius candidianus*, and *Onychostoma alticorpus*, are used in our study, and the results show that the adults and juveniles of each species present in different niches. The adults of *Hemimyzon formosanus* prefer the larger substrate than the juveniles do. The adults of *Rhinogobius candidianus* and *Onychostoma alticorpus* can endure greater velocity than the juveniles do. The adults of *Onychostoma alticorpus* prefer big boulder and small boulder, and the juveniles of *Onychostoma alticorpus* prefer the wider range of substrate sizes than the adults do. We suggest the habitat preferences of fish in different life stages must be considered in habitat suitability index models and Physical Habitat Simulation System in the river restoration and conservation.

**Keywords:** Suitability index, MANOVA, Chi square test, Adults, Juveniles.

## 一、前言

水工結構物破壞了溪流之物理環境型態，導致許多魚種棲地遭受破壞，故了解魚類偏好之物理環境型態，為溪流棲地復育的重要一環。魚類棲地選擇之研究經常是魚類棲地保護與復育的依據(Moran-Lopez *et al.*, 2005)；許多研究顯示微棲地因子(如水深、流速、底質粒徑、水生植物)對魚類的覓食、繁殖、休憩與藏匿有重大的影響(Leveque, 1997; Mattingly and Galat, 2002)；這些知識對於遭受人類水利工程破壞之河川是非常重要的；這方面之研究最常見的有魚類棲地適合度指標(Habitat Suitability Index, 簡稱 HSI)、物理棲地模擬系統(Physical Habitat Simulation System, 簡稱 PHABSIM)、生物整合性指標(Index of Biotic Integrity, 簡稱 IBI)、功能棲地(Functional Habitat)與水流型態物理棲地(Physical Biotope)等。HSI 是一個可量化描述棲地特徵與預測魚類豐富度的模式(Brown *et al.*, 2000)，其是由數個微棲地尺度的棲地因子(Suitability Index, SI)所組成，例如：棲地覆蓋度、水深、流速與底質(Bovee, 1986)；PHABSIM 導入 HSI 概念來預測棲地適合度與面積因流量變化而產生的變化量。功能棲地是一種由下至上(bottom up)的方式來探討棲地與生物之間的關係，功能棲地有 16 種類型，主要

分類依據是由底質類型或者是水生植物類型，每種功能棲地都有明顯不同的無脊椎動物群集(Harper *et al.*, 1998)；水流型態物理棲地則是由上至下來(top down)的方式來探討物理棲地因子與生物間之關係，其主要分類依據為表面水流型態或是量化之雷諾數與福祿數(Newson *et al.*, 1998)；近年來，學者們將功能棲地與水流型態做連結，如此一來就能將生物資料與物理環境連結，可讓河川管理者依不同的復育標的，選擇合適之棲地類型(Newson *et al.*, 1998; Harvey *et al.*, 2008)。然而，應用於魚類棲地復育時，魚類棲地使用與水流型態、功能棲地之關係卻是缺乏的(Clifford *et al.*, 2006)，水力棲地分類系統必經由與生物資料之連結，才可提供有效的資訊於棲地復育(Clarke *et al.*, 2003)。

高身鯛魚、台灣間爬岩鰍與明潭吻鰍虎都為台灣之特有種。國內對於上述魚類的研究較偏向於型態、分佈、生物學或較少考量魚類生命週期不同階段之棲地適合度研究；如高身鯛魚主要以岩石表面之底藻為主要食物來源；洪水時期，底藻受到大量沖刷時，則以水棲昆蟲為食(方力行等人, 1996)。胡通哲和葉明峰(2002)建立台灣石鱚、台灣間爬岩鰍與明潭吻鰍虎之水深與流速適合度值；其中台灣間爬岩鰍適合之流速為 0.8-1.2 m/s、水深為 10-40 cm；明潭吻鰍虎適合

表 1 採樣站座標(TWD97 二度分帶座標)

採樣站	楠梓仙溪		後堀溪	
	民權大橋	12 號橋	水庫一號橋	鹽水坑橋
X 座標	218678	215906	200162	200964
Y 座標	2571705	2566768	2553143	2553726

之流速為 0.2-0.5 m/s、水深為 72~82 cm。然而，對於棲地復育，考量魚類生命週期的不同階段，並量化魚類棲地利用與物理環境因子的關係亦是非常重要的。Raleigh *et al.* (1986)將棕鱒魚生命週期分為四個階段：胚胎(Embryo)、仔魚(Fry)、幼魚(Juvenile)與成魚(Adult)，並分別對這四階段研究棲地因子與魚類適合度之關係；孔麒源(2006)利用體長將台灣石鱚分類為小魚(1~5 公分)、中魚(5~10 公分)與大魚(10 公分以上)，並分別找出其與水溫、水深、流速、溶氧與底質之適合度關係，台灣石鱚大魚與中魚偏好水深 90~120 cm，底質偏好為岩石與漂石，水溫 23~27°C；小魚偏好水深 30~60 cm，水溫 25~27°C，底質偏好漂石。建立量化、可測量與合適的目標，對棲地復育的成功與否是非常關鍵的(Palmer *et al.*, 2005)。許多研究中認為幼魚的棲地偏好不固定會影響分析之結果，故將幼魚剔除，不列入研究分析中(Fayram and Mitro, 2008; Chisholm *et al.*, 1987)，但是一個良好之復育設計應考量到魚類生命週期的不同階段所需求之棲地(Raleigh *et al.*, 1986)。

本研究利用電格法收集魚類資料，並將魚類分為成、幼魚，以客觀之統計原理建立出物理棲地因子分別與成、幼魚棲地偏好之量化關係，提供成、幼魚可適應生存的量化棲地特徵。可讓河川管理者依不同的復育魚種，選擇合適之棲地類型與作為生態復育設計之依據，並建議進行魚類適合度指標與 PHABSIM 模式分析時，將魚類生命週期的不同階段之棲地需求列入考量。

## 二、研究方法

### 2.1 採樣地點

本研究於高雄縣高屏溪支流楠梓仙溪與台



圖 1 採樣站點(a)楠梓仙溪；(b)後堀溪(使用網際水利地理資訊系統 [http://gmap.wra.gov.tw/wrahub\\_3wgis/](http://gmap.wra.gov.tw/wrahub_3wgis/))

南縣曾文溪支流後堀溪進行魚類生態調查，楠梓仙溪採樣站為民權大橋站與 12 號橋站，在後堀溪的採樣站為水庫一號橋站與鹽水坑橋站，採樣站座標如表 1，採樣站位置如圖 1。楠梓仙溪的採樣時間為 2008 年 10 月到 2009 年 4 月，後堀溪為 2007 年 9 月到 2008 年 10 月。楠梓仙溪為高屏溪兩大支流之一，流路長約 117 公里，流域面積約為 741 平方公里，底床平均坡降高達 1：15(龔琪嵐與齊士崢，2004)，流量方面，年平均流量大約 30 cms 左右(楠峰流量站)。後堀溪為曾文溪主要支流之一，流路長有 51.4 公里，流域面積為 161 平方公里，年平均流量大約 8 cms 左右(玉田流量站)。後堀溪因南化水庫阻擋大部份水流，所以流量較小，與楠梓仙溪比較起來，後堀溪的流速較小，流況平緩，水深較淺。

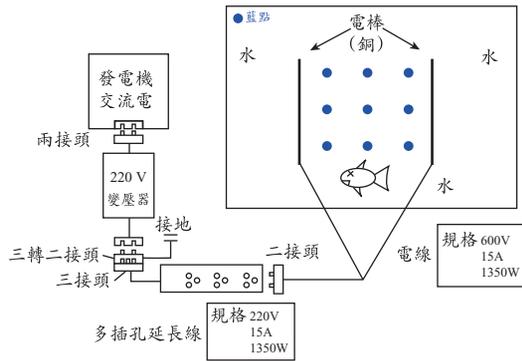


圖 2 採樣配置圖

## 2.2 魚類採樣及物理棲地量測方式

本研究採用美國 PAEDs (Prepositioned Areal Electrofishing Devices) 與國內電格魚法(葉明峰, 2002)結合的電魚採樣法, 使用之電棒長度為 1 公尺, 兩電棒距離 1 公尺, 形成 1 公尺乘 1 公尺的電格範圍, 稱為單位棲地(電格)。將電格設置於河川棲息地後, 電路與發電機連接為採樣之前置作業如圖 2 所示; 水深與流速利用流速計量測, 量測點為均勻分布於電格中, 分別各量 9 點, 並取其平均值為該電格之平均水深與平均流速, 如圖 2 中之圓點位置; 導電度、鹽度、水溫、pH 值、濁度與溶氧則量測電格之中間, 棲地坡度則在電格中間沿著流向, 利用全測站將 1 公尺內每 10 公分量測 1 點, 共 10 點, 用來計算該格點之棲息地坡度。

底質方面採用 Platts *et al.* (1983) 的表面目視法(surface-visual-method)配合本研究自製之底質粒徑百分板來輔助測量電格內之底質粒徑序號百分比, 底質板為 1 公尺乘 1 公尺的壓克力板, 如圖 3, 畫有 100 格 10 公分乘 10 公分之方格。此方法之優點為改善了主觀的人為判斷, 計算底質序號所含的百分比時, 不會因人而有太大的差異。計算底質序號百分比時, 將底質板放於電格之中, 概估某種底質粒徑序號佔幾格, 也就是某種底質序號佔電格的多少百分比的意思, 水深較深時則戴泳鏡沉入水中估算。底質粒徑分類則參考 Bovee and Milhous (1978) 之分類方式, 但作者將底質分類為 9 類, 並給予底質粒徑序號 1~9,

表 2 粒徑分類比較表

粒徑範圍 (mm)	Bovee and Milhous, 1978		本研究	
	底質類型	序號	底質粒徑	序號
<1	淤泥	1	細顆粒	1.5
1~2	大砂子	2		
2~16	小礫石	3	礫石	3.5
16~64	大礫石	4		
64~128	小鵝卵石	5	鵝卵石	5.5
128~256	大鵝卵石	6		
256~512	小漂石	7	小漂石	7
512~	大漂石	8	大漂石	8
	不規則岩盤	9		



圖 3 底質粒徑百分板

由於分得太細對於粒徑計算百分比時會增加許多工作時間與分析複雜度, 亦有研究者建議將鄰近範圍底質粒徑合併(Knighton, 1998; 汪靜明, 1990), 故本研究將大、小鵝卵石合併為鵝卵石, 大、小礫石合併為礫石, 砂以下合併為細顆粒, 底質序號分別改為 5.5、3.5 與 1.5, 詳細見表 2。計算底質平均粒徑方面, Statzner *et al.* (1998) 的計算方法為  $(5C_1 + 3C_2 + C_3)/9$ , 其中  $C_1$ 、 $C_2$  與  $C_3$  為電格內出現頻率最高的前三名底質序號。本實驗因已有計算電格內各種粒徑所含的百分比, 故參考 Statzner *et al.* (1998) 的計算方法並將它修改如下式:

底質平均粒徑(單位電格  $m^2$ ) =

$$\alpha_1 * 1.5 + \alpha_2 * 3.5 + \alpha_3 * 5.5 + \alpha_4 * 7 + \alpha_5 * 8 \dots (1)$$

表 3 棲地因子分類範圍表

魚種	平均流速(棲地數目)	範圍 (m/s)	魚種	平均流速(棲地數目)	範圍 (m/s)
台灣間爬岩鰍	高身鰻魚	流速慢(16)	明潭吻鰕虎	流速極慢(38)	0.00~0.25
		流速中(38)		流速較慢(43)	0.25~0.45
		流速快(33)		流速中(61)	0.45~0.75
		流速極快(17)		流速快(49)	0.75~1.05
		平均水深		流速極快(26)	1.05~1.80
		水深次淺(18)		平均水深	範圍(cm)
		水深淺(32)		水深極淺(40)	5~12
		水深中(37)		水深較淺(50)	12~22
		水深深(17)		水深淺(41)	22~32
		底質粒徑		水深中(55)	32~52
		鵝卵石(26)		水深深(31)	52~120
		複合型(23)		底質粒徑	序號範圍
		小漂石(31)		小鵝卵石(30)	4.88~5.4
		大漂石(22)		大鵝卵石(56)	5.4~5.86
	複合型(45)	5.86~6.49			
	小漂石(43)	6.49~7.19			
	大漂石(33)	7.19~8.0			

其中  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 、 $\alpha_3$ 、 $\alpha_4$  與  $\alpha_5$  分別為細顆粒、礫石、鵝卵石、小漂石與大漂石在電格內所佔的百分比。

### 2.3 物理棲地因子分類

為滿足在分組後樣本數需符合統計假設之限制，將每個棲地因子分為 4 個群組。由於台灣間爬岩鰍與高身鰻魚並未在後堀溪出現，故分析時不包含後堀溪之樣本數，高身鰻魚與台灣間爬岩鰍的棲地因子分類完全相同，兩者都有 104 筆單位電格資料；分為 4 組時滿足統計所需之樣本數(>15)，分為三組雖有較多樣本數，但可能無法更精確的描述魚類所偏好之棲地；明潭吻鰕虎在楠梓仙溪與後堀溪都有出現，共有 217 筆單位電格資料，且後堀溪之水深、流速與底質都較楠梓仙溪小許多，原分為水深次淺、流速慢與鵝卵石群組有較多樣本，故可再細分，共 5 組。Vadas and Orth (1998) 定義流速慢為 0~0.25 m/s，Azzellin and Vismara (2001) 定義流速慢 0~0.3 m/s，兩者都屬於溪流坡度較為緩和，但本採樣站於楠梓仙溪流坡度較陡，且流速 0.5 m/s 以下資料較為不足，故本研究將流速慢標準提高到 0.45 m/s；參

考胡通哲和葉明峰(2002)之棲地因子分類，本研究將 0~22 cm 定義為水深次淺；由於採樣儀器限制，過高之流速與水深無法採樣，深潭與流速極快之棲地樣本數較少，也導致了水深大於 60 公分與流速大於 1.2 m/s 棲地樣本數較少，故將流速 1.05~1.8 m/s 定義為流速極快，水深 52~120 cm 定義為水深深；並參考汪靜明(2000)之棲地分類，水深 22~32 cm 定義為水深淺。底質方面，本研究將底質粒徑介於以鵝卵石為主之棲地與以小漂石為主之棲地定義為複合型棲地，依(1)式求得之平均底質粒徑序號介於 5.86~6.49；底質粒徑大於小漂石為主之棲地稱為以大漂石為主之棲地，平均底質粒徑序號介於 7.19~8.0；詳細分類方式如表 3 所示，括弧內之數字為各棲地因子分類的群組樣本數。

### 2.4 統計方法

#### 2.4.1 統計強韌性

多變量分析結果的強韌性與共變異數矩陣同質性有關，此假定也會影響第一類型錯誤率，故若是各群組變異數不相等時，Wilks' lambda 統計量 W、Pillai's Trace 統計量 V 是較合適的統計

表 4 成魚與幼魚之分類

魚類	本研究	陳義雄與方力行(1999)	曾晴賢(2009)	方力行等人(1996)
台灣間爬岩鰍	成魚 5 公分以上 幼魚 4 公分以下	性成熟體長 4~8 公分	成魚 5 公分以上	—
明潭吻鰕虎	成魚 4 公分以上 幼魚 3 公分以下	性成熟體長 3~6 公分	—	—
高身鯛魚	成魚 15 公分以上 幼魚 8 公分以下	性成熟體長 20~30 公分	成魚 15 公分以上	8 公分以下為幼魚

檢定量(Stevens, 2002)。若在大樣本情況下，適度的違反常態性假設，且即使各群組樣本數不一樣，但只要各群組樣本數約 20 個以上，多變量分析仍可以確認分析結果的強韌性，也就是能確認分析結果正確度之意思，或者是不使得第一類型錯誤率或第二類型錯誤率增加太多(吳明隆，2008)。Seo *et al.* (1995)亦認為在非常態的多變量變異數分析中，總樣本數大於 40 個或各群組樣本數大於 15 時，分析結果能具有強韌性。本研究在各棲地因子的任意群組中，樣本數都至少 15 筆資料以上，總樣本數亦超過 40 筆資料，台灣間爬岩鰍與高身鯛魚均有 104 筆單位棲地資料，明潭吻鰕虎則有 217 筆單位棲地資料，符合 Seo *et al.* (1995)所提出之要求。

#### 2.4.2 事後比較

本研究欲比較各魚種成魚與幼魚偏好之棲地因子，故自變項為各棲地因子，各魚種成魚密度為依變項，而自變項的棲地因子群組分類中，事後比較的功用為可找出哪一個棲地因子分類群組的成、幼魚密度跟另一個棲地因子分類群組的成、幼魚密度有顯著差異，如流速極快的成魚密度與流速慢的成魚密度互相比較時，如果顯著且成魚密度較大，則表示該魚種成魚是較偏好流速極快的，而不偏好流速慢，假如不顯著時，統計上表示該魚種成魚密度在流速慢時與成魚密度在流速極快時是差不多的，表示成魚不會特別偏好流速慢或流速極快。

### 三、研究結果

#### 3.1 魚類採樣結果

楠梓仙溪採樣計有 104 個採樣點(電格)，共 3 科 5 種 945 隻魚，主要魚種有台灣間爬岩

鰍(*Hemimyzon formosanum*)、高身鯛魚(*Onychostoma alticorpus*)與明潭吻鰕虎(*Rhinogobius candidianus*)。後堀溪採樣計有 113 個採樣點(電格)，共 7 科 17 種 1190 隻魚，主要魚種為極樂吻鰕虎(*Rhinogobius giurinus*)、短吻褐斑吻鰕虎(*Rhinogobius rubromaculatus*)、埔里中華爬岩鰍(*Sinogastromyzon puliensis*)、明潭吻鰕虎(*Rhinogobius candidianus*)、粗首恆(*Zacco pachycephalus*)與仔條(*Hemiculter leucisculus*)。其中因為台灣間爬岩鰍、高身鯛魚與明潭吻鰕虎有足夠之樣本數可以符合統計分析之基本樣本數要求，被選為本研究分析之魚種，數量分別為台灣間爬岩鰍 775 隻，明潭吻鰕虎 355 隻，高身鯛魚 242 隻。

為了解魚類於生命週期的不同階段所偏好棲地是否不同，參考 Raleigh *et al.* (1986)的方式利用體長將魚類分為成魚與幼魚。魚類體長的伸展與年齡的增加有比例關係，由此通常使用體長做為年齡推定的依據是未必不可行的(朱祥海，2001)。因成、幼魚之體長各專家說法不一，本研究以參考文獻與詢問專家方式，來訂定成、幼魚之體長界線，為了降低成、幼魚的誤判率，本研究不以二分法的方式來區分，而將中間某一範圍之體長不列入資料分析，以增加成、幼魚之判定可靠度。表 4 為本研究及所參考各文獻之分類方式，其中被列入分析資料的台灣間爬岩鰍成魚有 180 隻，幼魚有 360 隻；明潭吻鰕虎成魚有 116 隻，幼魚有 89 隻；高身鯛魚成魚有 74 隻，幼魚有 117 隻。

#### 3.2 統計分析結果

本研究利用多變量變異數分析來判斷成魚

表 5 類對流速偏好之統計驗證

魚類	最大魚類密度之流速群組 (m/s)	流速群組 (m/s)	平均數差異 (number/m <sup>2</sup> )	事後比較 P 值
台灣間爬岩鰍成魚	流速極快(1.05~1.8)	流速慢(0~0.45)	3.53	0.005
		流速中(0.45~0.75)	3.02	0.015
		流速快(0.75~1.05)	1.82	0.375
台灣間爬岩鰍幼魚	流速快(0.75~1.05)	流速慢(0~0.45)	5.55	0.00
		流速中(0.45~0.75)	3.25	0.048
		流速極快(1.05~1.8)	1.43	0.978
明潭吻鰕虎魚	流速快(0.75~1.05)	流速極慢(0~0.25)	0.88	0.001
		流速較慢(0.25~0.45)	0.62	0.044
		流速中(0.45~0.75)	0.32	0.784
		流速極快(1.05~1.8)	0.25	0.993
明潭吻鰕虎幼魚	流速極慢(0~0.25)	流速較慢(0.25~0.45)	0.26	0.981
		流速中(0.45~0.75)	0.48	0.616
		流速快(0.75~1.05)	0.53	0.562
		流速極快(1.05~1.8)	0.85	0.020
高身鯛魚成魚	流速慢(0~0.45)	流速中(0.45~0.75)	0.01	0.902
		流速快(0.75~1.05)	0.48	0.324
		流速極快(1.05~1.8)	0.40	0.634
高身鯛魚幼魚	流速慢(0~0.45)	流速中(0.45~0.75)	1.47	0.784
		流速快(0.75~1.05)	2.32	0.216
		流速極快(1.05~1.8)	2.75	0.015

或幼魚密度(number/m<sup>2</sup>)在不同棲地因子的分類群組之中是否有顯著差別，進而可判斷成、幼魚所偏好之棲地；表 5 為流速與魚類棲地利用之統計驗證結果，並由此推出台灣間爬岩鰍、高身鯛魚與明潭吻鰕虎所偏好之物理棲地因子，詳見表 6~表 8。

本研究所謂魚類偏好或不適合生存之棲地是指自然的條件下，有其他物種或同種間的互相競爭時，魚類必須考量躲避獵食、休息、覓食等情況所選擇之棲地，有別於一般水族箱無任何競爭狀態。由於水深大於 1.2 m 或流速大於 1.8 m/s 在野外採樣時有安全性之考量，主要的結果與討論範圍都在上述的數值內，上述的數值外的棲地偏好考量，本研究以參考前人文獻方式加入，其中台灣間爬岩鰍在流速 1.8~6 m/s 的適合度指標值幾乎都小於 0.05，故推估流速 1.8 m/s 以上之棲地不利於台灣間爬岩鰍生存；而水深 1.2~5 m 時，其適合度指標值幾乎都小於 0.05，故推估水深 1.2 m 以上之棲地不利於台灣間爬岩

鰍生存(柳文成等人，2004)。明潭吻鰕虎在水深 1.2~1.32 m 的適合度指標值為 0 (胡通哲與葉明峰，2002)，故推估水深 1.2 m 以上之棲地不利於明潭吻鰕虎生存。水深極深(1.2 m 以上)亦是高身鯛魚所偏好的棲地，體長大於 20 cm 之成魚在深潭的出沒頻率遠大於湍瀨棲地(龔誠山等人，2005，方力行等人，1995)。

#### 四、討 論

一般魚類選擇棲所的原因為(1).棲地能提供魚群最大食物能量，使個體獲得最好的生長速率，並提供成功繁殖子代的環境；(2).減少被捕食的風險(方力行等人，1995)。台灣間爬岩鰍成、幼魚偏好流速快之急流型態棲地，本研究猜測可能的原因為其腹部擁有特化的扁平吸盤身體，以力學角度來講，吸盤內空氣量極少，相對於大氣壓力會形成負壓而產生壓力差，因此提供台灣間爬岩鰍強大的正向力，使得台灣間爬岩鰍有足夠摩擦力來抵抗強勁之水流，可讓其在流速快到極

表 6 台灣間爬岩鰍偏好之物理棲地因子

流速棲地(m/s)	流速慢(0.0~0.45)	流速中(0.45~0.75)	流速快(0.75~1.05)	流速極快(1.05~1.8)
成魚	不適	不適	次偏好	偏好
幼魚	不適	不適	偏好	偏好
水深棲地(cm)	水深次淺(5~22)	水深淺(22~32)	水深中(32~52)	水深深(52~120)
成魚	次偏好	偏好	次偏好	不適
幼魚	偏好	偏好	偏好	不適
底質棲地(序號)	鵝卵石(4.88~5.86)	複合型(5.86~6.49)	小漂石(6.49~7.19)	大漂石(7.19~8.0)
成魚	不適	次偏好	次偏好	偏好
幼魚	偏好	次偏好	不適	不適

表 7 明潭吻卟虎偏好之物理棲地因子

流速棲地(m/s)	流速極慢(0.0~0.25)	流速較慢(0.2~0.25)	流速中(0.45~0.75)	流速快(0.75~1.05)	流速極快(1.05~1.8)
成魚	不適	不適	偏好	偏好	偏好
幼魚	偏好	偏好	次偏好	次偏好	不適
水深棲地(cm)	水深極淺(5~12)	水深淺較(12~22)	水深淺(22~32)	水深中(32~52)	水深深(52~120)
成魚	偏好	偏好	偏好	偏好	不適
幼魚	偏好	偏好	次偏好	不適	不適
底質棲地(序號)	小鵝卵石(4.88~5.4)	大鵝卵石(5.4~5.86)	複合型(5.86~6.49)	小漂石(6.49~7.19)	大漂石(7.19~8.0)
成魚	偏好	偏好	偏好	偏好	偏好
幼魚	偏好	偏好	偏好	不適	不適

表 8 高身卟魚偏好之物理棲地因子

流速棲地(m/s)	流速慢(0.0~0.45)	流速中(0.45~0.75)	流速快(0.75~1.05)	流速極快(1.05~1.8)
成魚	偏好	偏好	次偏好	次偏好
幼魚	偏好	偏好	次偏好	不適
水深棲地(cm)	水深次淺(5~22)	水深淺(22~32)	水深中(32~52)	水深深(52~120)
成魚	不適	次偏好	偏好	偏好
幼魚	次偏好	不適	偏好	偏好
底質棲地(序號)	鵝卵石(4.88~5.86)	複合型(5.86~6.49)	小漂石(6.49~7.19)	大漂石(7.19~8.0)
成魚	不適	不適	次偏好	偏好
幼魚	偏好	偏好	偏好	偏好

快下生存；除此之外，高流速會造成其他魚類的紊流效應與視覺遮蔽效應，而減少被捕食之機率(方力行等人，1995)。明潭吻卟鰍成、幼魚都不適合生存於水深深的深潭類型且成、幼魚生態區位有所不同，幼魚偏好流速慢，而成魚偏好流速快，猜測其原因為成魚游泳能力較幼魚好，故可承受之流速較幼魚高。

台灣間爬岩鰍成、幼魚對底質偏好有顯著差異，明潭吻卟鰍成、幼魚對底質偏好也有差異；底質粒徑的大小會影響水生昆蟲與水生植物的

族群分布與族群數量(周心儀，2004)，此外，底質也可提供魚類躲避休憩之功用(曾晴賢，1986)，這也意味著底質粒徑的大小會影響魚類食物的來源與藏匿及休憩場所，因此成為魚類選擇棲地的關鍵之一。由於本研究未做台灣間爬岩鰍與明潭吻卟鰍之食性分析且少有相關的文獻可供參考，故初步猜測台灣間爬岩鰍與明潭吻卟鰍成、幼魚因底質造成棲地分離的原因是為了減少食物之競爭。

高身卟魚成、幼魚都偏好水深深之深潭，其

原因為高身鯛魚活動水域為中下層，流速緩慢之深潭較適合於休息(Muhlfeld *et al.*, 2003)；高身鯛魚成、幼魚的生態區位有所不同，主要的不同是來自於底質與流速之差異；鯛魚族群的靜態生產量與溪流中之巨石底質百分比組成呈現正相關，與砂土百分比組成呈現負相關(Wang, 1989)，其原因為粒徑大之底質適合於附著性藻類生存且高身鯛魚之主要食物亦為藻類(方力行等人, 1995)，通常底質粒徑較大的急流棲地型態的流速也會較大，雖然大漂石可提供較豐富之食物來源，但幼魚尚無抵抗高流速之肌力，故退而求其次選擇中低流速、底質粒徑較小之棲地；幼魚偏好的小漂石或大漂石，主要位於深潭；成魚可能需繁殖後代或者是活動量較大，需要較多的食物來源，故大漂石或小漂石之湍瀨棲地會有較多成魚，造成成魚對底質粒徑的偏好範圍較幼魚小，主要是大漂石或小漂石，詳見表 8；高身鯛魚體型為紡錘型，適合於急流型態之棲地覓食，但長時間於高流速下會浪費過多能量於抵抗水流，故深潭類型棲地的高身鯛魚數量還是會多於急流類型之棲地，這亦是成、幼魚對流速快棲地為次偏好之原因。

本研究中三種魚類之幼魚，在水深淺時之棲地適合度指標值都較成魚適合度指標值大，其原因為成魚體型較大，在淺水地方移動容易受限制，被鳥類捕食機率增加許多(Khan *et al.*, 2004)。底質方面，高身鯛魚與台灣間爬岩鰍成魚偏好大漂石或小漂石，明潭吻鰕虎成魚大小粒徑都偏好，明潭吻鰕虎與台灣間爬岩鰍幼魚都偏好鵝卵石，高身鯛魚幼魚也是大小底質都偏好，由以上結果顯示，成魚相對於幼魚偏好較大的底質粒徑，其理由可能是體型較大的成魚可能更需要更大之底質粒徑來做為躲避獵食及藏匿之場所。

過去研究者常以功能棲地與水流型態之概念作為棲地復育之主軸，但其缺乏與魚類資料做為結合，本研究以台灣特有種魚類做為研究對象，並個別找出其棲地利用與物理棲地因子之關係，可讓河川管理者依不同的復育魚種，選擇合適之棲地類型。本研究結果顯示台灣間爬岩鰍、

高身鯛魚與明潭吻鰕虎的成、幼魚棲地偏好有所不同，其原因為可能為(1)成、幼魚實施棲地分離的生存策略，來避免同種之間的食物競爭；(2)成魚一般來講因肌力發育較幼魚完全，故游泳與機動能力較幼魚為好，有能力尋找更合適之棲地，且成魚之食物需求量可能較幼魚大，故必須離開原來棲息的環境去尋找食物更為豐富之棲地；(3)魚類從魚苗漸漸成熟後，體型會漸漸變大，其原本之棲地所提供的生存條件可能因魚類體型變大後不便在原來之棲地移動、藏匿與躲避獵食等，故成魚必須離開原來之環境來尋找空間更廣闊之棲地；戴永禎(1994)指出高身鯛魚隨著體長的增加，在水深的選擇上亦會增加；孔麒源(2006)研究結果顯示較小之底質粒徑或較淺之水深的台灣石鰍幼魚密度會大於成魚密度；成、幼魚的體型、游泳能力、或者是魚類的生存策略而導致成、幼魚生態區位有所不同，故本研究建議進行棲地復育、魚類棲地適合度指標或計算魚類可用棲地面積的 PHABSIM 模式等相關研究時(Bovee *et al.*, 1998)，應考量到魚類生命週期的不同階段的棲地偏好需求；成、幼魚混合後之適合度指標曲線會與幼魚適合度指標曲線類似，而造成工程設計錯誤或研究分析錯誤等情形。

## 五、結 論

本研究於高屏流域與曾文河流域進行魚類棲地因子調查，並探討成、幼魚棲地偏好是否有所不同與建立魚類棲地適合度指標作為生態工程設計之依據，以下為本研究之結論：

1. 台灣間爬岩鰍成魚的底質粒徑偏好需求較幼魚大，兩者對流速與水深的偏好需求無太大差別；明潭吻鰕虎成魚對流速偏好需求較幼魚快，偏好之底質粒徑與水深範圍較幼魚廣泛；高身鯛魚幼魚偏好之底質粒徑較成魚廣泛，明潭吻鰕虎與高身鯛成魚都比幼魚可適應更快之流速。
2. 成、幼魚的體型、游泳與機動能力、或者是魚類的生存策略的差異而導致成、幼魚生態區位是不同的，本研究經由客觀統計驗證與實際物理意義探討，結果顯示台灣間爬岩鰍、明潭吻

鰕虎與高身鯛魚的成、幼魚生態區位有所不同，未來於建立魚類適合度指標曲線或是運用於 PHABSIM 模式計算魚類可利用之棲地面積時，應考慮將成、幼魚分開考量，來增加分析之正確性。

3. 本研究以量化之形式建立台灣特有魚類(台灣間爬岩鰕、明潭吻鰕虎與高身鯛魚)與物理環境棲地之關係，這些量化之數據可讓河川管理者依不同的復育魚種，選擇合適之棲地類型與作為生態復育設計之依據。此外溪流水資源管理政策或評估指標應考量到在個別棲地復育設計時，溪流是否能提供魚類在生命週期的不同階段所需求之生態區位，才是較完整的管理政策與指標。

## 六、謝 誌

本研究承蒙國立成功大學「標竿創新暨新進學者計畫 C0133」及國科會專題研究計畫 98-2221-E-006-236-MY3 經費補助，特此申謝。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. 方力行、韓僑權、陳義雄，高身鯛魚—台灣溪流中珍貴稀有的原住民，國立海洋生物博物館籌備處，1995。
2. 方力行、蘇六裕、陳義雄、韓僑權、陳益惠，高身鯛魚形態、分佈及生物學之研究，生物科學，39(1): 78-87，1996。
3. 孔麒源，屏東縣萬安溪台灣石鱚之棲地利用與生殖質生態，國立屏東科技大學野生動物保育研究所碩士論文，2006。
4. 朱祥海，魚類學，水產出版社，p.187，2001。
5. 吳明隆，多變量分析實務操作與應用。台北：五南，2008。
6. 汪靜明，大甲溪魚類棲地改善之三年生態評估研究，經濟部水資源局，1990。
7. 汪靜明，大甲溪水資源環境教育，經濟部水資源局，30-34，2000。
8. 周心儀，水生昆蟲在不同流速與底床之分佈與行為做為生態工程設計之依據，國立台灣大學生物環境系統工程學系碩士論文，2004。
9. 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，33(3): 241-247，2002。
10. 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，24，2004。
11. 陳義雄和方力行，台灣淡水及河口魚類誌，國立海洋生物博物館籌備處，287，1999。
12. 曾晴賢，台灣的淡水魚類，台灣省政府教育廳，45，1986。
13. 曾晴賢。Email 詢問。2009。
14. 葉明峰，河川魚類適合度曲線調查技術，河川生態基準流量評估技術研討會，1-15，2002。
15. 戴永禎，高身鏟頰魚活動範圍與棲地環境之研究。自然保育試驗研究成果論文集，行政院農委會，59-67，1994。
16. 龔琪嵐、齊士崢，楠梓仙溪的河階地與地形演育，地理學報，38: 47-62，2004。
17. 龔誠山、劉建邦、謝正國、杜悅元、蔡顯修、林武煌，西寶水利發電計畫河川魚類保育及生態研究計畫第一階段研究，台灣電力公司工安環保處、中興工程顧問公司水利工程部，2005。
18. Azzellino A. and Vismara R., "Pool quality index: new method to define minimum flow requirements of high-gradient, low-order streams", Journal of Environmental Engineering, 127(11), 1003-1013, 2001.
19. Bovee K. D., Lamb B. L., Bartholow J. M., Stalnaker C. B., Taylor J., and Henroksen J., "Stream Habitat Analysis Using The Instream Flow Incremental Methodology. U.S. Geological Survey", Biological Resources Division Information and Technology Report, USGS/BRD-1998-0004, 1-131, 1998.
20. Bovee K. D., "Development and evaluation of habitat suitability criteria for use in the instream flow incremental methodology", Instream Flow

- Information Paper 21, U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report 86(7), 1-235, 1986.
21. 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, 1-131, 1978.
  22. Brown S. K., Buja K. R., Jury S. H., Monaco M. E., and Banner A., "Habitat suitability index models for eight fish and invertebrate species in Casco and Sheepscot bays, Maine", North American Journal of Fisheries Management, 20, 408-435, 2000.
  23. Clarke, S. J., Bruce-Burgess L., and Wharton. G., Linking form and function: Towards and ecohydromorphic approach to sustainable river restoration. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 13, 439-450, 2003.
  24. Chisholm I. M., Hubert W. A., and Weschie T. A., "winter stream conditions and use of habitat by brook trout in high -elevation Wyoming Streams", Transactions of the American Fisheries Society, 116, 117-184, 1987.
  25. Clifford N. J., Harmar O. P., Harvey G., and Petts G. E., "Physical habitat, ecohydraulics and river design: a review and re-evaluation of some popular concepts and methods", Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 16, 389-408, 2006.
  26. Fayram A. H. and Mitro M. G., "Relationships between reach-scale habitat variables and biotic integrity score, brook trout density, and brown trout density in Wisconsin Streams", North American Journal of Fisheries Management, 28, 1601-1608, 2008.
  27. Harper D. M., Smith C., Kemp J. L., and Crosa G., "The use of 'functional habitats' in the conservation, management and rehabilitation of rivers" In Bretschko G. and Helesic J. (Eds), Advances in River Bottom Ecology, 315-326, 1998.
  28. Harvey G. L., Clifford N. J., and Angela M. G., "Towards an ecologically meaningful classification of flow biotope for river inventory, rehabilitation, design and appraisal purposes", Journal of Environmental Management, 88, 638-650, 2008.
  29. Khan, M. T., Khan T. A., and Wilson M. E., "Habitat use and movement of river blackfish (*Gadopsis marmoratus* R.) in a highly modified Victorian stream ", Australia, Ecology of Freshwater Fish, 13, 285-293, 2004.
  30. Knighton D., "Fluvial Forms and Processes: A New Perspective", Edward Arnold Publishers, London, 107, 1998.
  31. Leveque C., "Biodiversity Dynamics and Conservation: The Freshwater Fish of Tropical Africa", UK: Cambridge University Press, 438, 1997.
  32. Mattingly H. T. and Galat D. L., "Distributional patterns of threatened Niangua darter *Etheostoma Nianguae* at three spatial scales, with implications for species conservation", Copeia, 3, 573-583, 2002.
  33. Moran-Lopez R., Perez-bote J. L., Da Silva Rubio E, Corbacho A. C., "Summer habitat relationships of Barbell in South-West Spain", Journal of Fish Biology, 67, 66-82, 2005.
  34. Muhlfeld C. C., Glutting S., Hunt R., Daniels D., and Marotz B., "Winter diel habitat use and movement by subadult bull trout in the Upper Flathead River, Montana", North American Journal of Fisheries Management, 23, 163-171, 2003.
  35. Newson M. D., Harper D. M., Padmore C. L., Kemp J. K., and Vogel B., "A cost-effective approach for linking habitats, flow types and species requirements", Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 8, 431-446, 1998.
  36. Palmer M. A., Bemhardt E. S., Allan J. D., Lake P. S., Alexander G., Brooks S., Carr J.,

- Clayton S., Dahm C. N., Follstad Shah J., Galat D. L., Loss S. G., Goodwin P., Hart D. D., Hassett B., Jenkinson R., Kondolf G. M., Lave R., Meyer J. L., O'Donnell T. K., Pagano L., and Sudduth E., "Standards for ecologically successful river restoration", *Journal of Applied Ecology* 42, 208-217, 2005.
37. 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, 1-70, 1983.
38. Raleigh R. F., Zuckerman L. D., and Nelson P. C., "Habitat suitability index models and instream flow suitability curves: brown trout" *Biological Report*, 82, 10-124, 1986.
39. Seo T., Kanda T., and Fujikoshi Y., "The effects of nonnormality on tests for dimensionality in canonical correlation and MANOVA models". *Journal of Multivariate Analysis*, 52, 325-337, 1995.
40. Statzner B., Gore J. A., and Resh V. H., "Hydraulic stream ecology: observed patterns and potential applications", *Journal of the North American Benthological Society*, 7, 307-360, 1988.
41. Stevens J., "Applied Multivariate Statistics for The Social Sciences", 4<sup>th</sup> ed, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 2002.
42. Vadas R. L. and Orth D. J., "Use of physical variables to discriminate visually determined mesohabitat types in North American Stream", *Rivers*, 6(3), 143-159, 1998.
43. Wang C. M. J., "Environmental quality and fish community ecology in an agricultural mountain stream system of Taiwan", PH.D. Thesis Iowa State Univ, Ames. Iowa. USA, 138, 1989.

收稿日期：民國 98 年 7 月 8 日

修正日期：民國 98 年 8 月 28 日

接受日期：民國 98 年 8 月 31 日