

魚類棲地多樣性與空間層級系統之關係探討 及其於溪流復育之應用

Relationship between Fish Habitat Diversity and Hierarchical Spatial Framework and Its Application in River Restoration

呂映昇^{1,2} 孫建平^{1,*}

Ying-Sheng Lyu^{1,2} and Jian-Ping Suen^{1,*}

¹ 國立成功大學水利及海洋工程學系 台南市大學路1號

² 宜蘭縣政府工務處水利科 宜蘭市縣政北路1號

¹ Department of Hydraulic and Ocean Engineering, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan

² Public Works Department, Yilan County Government, Yilan, Taiwan

* 通訊作者: jpsuen@mail.ncku.edu.tw

* Corresponding author: jpsuen@mail.ncku.edu.tw

摘 要

本研究於高屏河流域藉由單位棲息地之電魚法進行魚類棲地喜好度之生態調查。結果顯示台灣間爬岩鰍、高身鯿魚等不同魚種偏好不同特性之棲地(湍瀨、深流與深潭)，即使同一魚種於生命週期不同階段所需求之棲地亦不同，如高身鯿魚幼魚偏好之底質粒徑較成魚廣泛，成魚主要生活於大漂石與小漂石棲地，成、幼魚對水深及流速之偏好也有所不同。將採樣之微棲地尺度(單位棲息地)擴大為區段尺度(segment scale)與溪流尺度(stream scale)時，亦可發現台灣間爬岩鰍與高身鯿魚的成魚與幼魚之棲地，分別位於兩種不同物理環境型態的區段溪流，如台灣間爬岩鰍成魚在底質粒徑較大的區段溪流中有較大的魚類密度，而幼魚卻是與成魚相反。故進行魚類棲地復育設計時，不僅需要考量區段尺度的溪流棲地多樣性，溪流尺度的河川縱向棲地多樣性與棲地連結亦是必須的。

Abstract

We used electrofishing to investigate microhabitat preferences of fishes in the Kao-Ping River. The results showed that the preferences differed at the reach scale among fish species (e.g. *Hemimyzon formosanum* and *Onychostoma alticorpus*) as well as between the adult and juvenile fish. Juveniles of *O. alticorpus* had a wider range of substrate preferences, while the adults only preferred the substrates composed of small and big boulders. They also differed in water velocity and depth preferences. In the segment scale and stream scale, the adults and juveniles of *H. formosanum* and *O. alticorpus* occurred in different areas of the stream with different physical environments. The density of the adults of *H. formosanum* was higher in areas with large sediment sizes but the juveniles in areas of the small sizes. For stream habitat restoration, habitat diversity at the segment scale and different habitat preferences of adult and juvenile fish should be incorporated in the design.

關鍵詞：台灣間爬岩鰍、高身鮎魚、空間層級系統、河川縱向棲地多樣性、區段溪流棲地多樣性

Key words: fish, *Hemimyzon formosanum*, *Onychostoma alticorpus*, hierarchical spatial framework, segment scale habitat diversity

收件日期：98年7月13日

接受日期：98年10月12日

Received: July 13, 2009

Accepted: October 12, 2009

緒 言

溪流的物理棲地型態對維持魚類族群之穩定及多樣性極為重要，瞭解魚類族群及溪流物理棲地間之關係，並進一步考量空間與時間尺度下的層級式棲地分類(hierarchical classification)有助於了解溪流生態與河川有效管理(Ward 1989)。Frissell *et al.* (1986)利用空間層級式系統將溪流棲地予以分類，依不同之空間尺度大小，溪流棲地可分為5類，由大到小分別為溪流系統(stream system)、區段溪流系統(segment system)、河段系統(reach system)、深潭 / 湍瀨系統(pool/riffle system)與微棲地系統

(microhabitat system)；Thomson *et al.* (2001)進一步說明區段溪流系統會因溪流的大小、級序或型態而有不同物理環境型態，例如必須注意的，雖有類似之物理棲地環境條件，在某一空間尺度被評估為良好之棲地，在另一空間尺度卻不一定是好的棲地。Harvey *et al.* (2008)亦提出不同物理環境型態的區段溪流系統會有不同特性之棲地群集：第一種河段為階梯式深潭棲地(step-pool)，主要是由階梯流(cascade)、湍瀨與深流(run)所組合之河相，其分布於溪流坡度較陡與高程位置較高之上游河川；第二種河段為湍瀨 / 深潭棲地，主要是由湍瀨、深流與淺流(glide)所組合之河相，其分布於溪流坡

度中等與高程位置中等之中游河川；第三種河段為淺流深潭棲地(glide-pool)，主要是由深潭、深流與淺流(glide)所組合之棲地群集，其分布於溪流坡度平緩與高程位置較低之下游河川。

水力棲地分類系統必須經由與生物資料之連結，才可提供有效的資訊於溪流棲地復育之應用(Clarke *et al.* 2003)。Schwartz and Herricks (2008)於區段溪流尺度下將棲息地分為9個中型棲息地類型(mesohabitat)，討論每個棲地之特性與魚類棲地利用之關係，並指出不同之魚類所需求之棲地有所不同，區段尺度下的溪流棲地多樣性對魚類來講是重要的。孔(2006)指出因雨旱季節差異，魚類會呈現不同棲地利用之情形，雨季時台灣石鱮(*Acrossocheilus paradoxus*)普遍分布在溪流各處，旱季時，小魚在急流內，中、大魚則在潭區。大嘴鱸(*Micropterus salmoides*)成魚在夏季利用溪流迴水環境，秋季時為了適應低水位而遷移至無流速、具有豐富水生植物與較深的河岸區(Karchesky and Bennett 2004)。胡及葉(2002)利用採樣與物理棲地參數結合，建立台灣特有魚種(台灣石鱮、台灣間爬岩鰍與明潭吻鰍虎)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。以上的成果說明了以生物資料來確認棲地分類的重要性。

功能棲地(functional habitat)係採由下至上的方式來探討棲地與生物之間的關係，可分為16種類型，主要分類依據是由底質類型或是水生植物類型來區分，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(physical biotopes)則為由上至下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者是量化之雷諾數與福祿數(Newson *et al.* 1998)；近10年來，學者們將功能棲地與水流型態做連結(Newson *et al.* 1998; Harvey *et al.* 2008)，如此一來就能將生物資料(如無脊椎動物)與物理

環境做連結，可提供河川管理者依不同的復育標的，選擇合適之棲地類型。然而以上之研究集中於河川物理環境因子之探討，其與魚類棲地利用之關係則較為缺乏(Clifford *et al.* 2006)，甚至認為幼魚的棲地偏好不固定會影響分析之結果，反而將幼魚資料剔除，不列入研究分析中(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不同階段所需求之棲地，並分別考量各階段之棲地適合度指標，才能有效地達到棲地復育之目標(Raleigh *et al.* 1986)。

建立量化溪流棲地分類系統，對於評估棲息地之狀況與溪流生態之健康非常重要(Barbour *et al.* 1999)。有關國內棲地分類系統，汪(2000)將大甲溪上游到下游的水域型態分類為5種，分別為淺流、淺瀨、深潭、深流與岸邊緩流。Vadas and Orth (1998)認為過去研究將棲地粗分為3種(如：深潭、湍瀨與深流)對河川管理目的是不夠的，因為實際上潭是有深有淺，湍瀨亦是有慢有快，將棲地細分亦有助於了解魚類對棲地之偏好。粗略分類的系統通常缺乏量化之標準(如水深、流速與底質)，要利用視覺精確辨識不同類型之棲地是非常困難，視覺上看起來相似之兩個湍瀨，經過實際測量後其水力因子、底質粒徑與底質穩定度都明顯不同(Pedersen and Friberg 2007)。

本研究結合上述文獻之優點，並以溪流型態與棲地尺度為核心，利用量化之數據說明魚類於生命週期不同階段其棲地利用與物理環境因子之關係，並強調溪流型態之整體性在魚類保育與復育上的重要性。

材料與方法

一、採樣地點與空間層級系統之關係

本研究為了解不同物理環境下之棲地與魚類棲地利用之關係，故選點時以主觀的方式，選擇在視覺上物理環境型態不同之採樣站作為

研究地點。本研究於高雄縣高屏溪支流楠梓仙溪野生動物保護區內進行魚類生態調查，採樣站為民權大橋站(Min-Cyuan Bridge)與 12 號橋站(Twelfth Bridge)，河川級序都為 4 級，屬於

自然的溪流環境。每個採樣站中以隨機取樣方式，分多天由下游往上游採集，民權大橋站有 62 個單位棲地(1m × 1m 的單位電格)，12 號橋站有 42 個單位棲地。



圖 1. 楠梓仙溪採樣點(使用網際水利地理資訊系統 http://gmap.wra.gov.tw/wrahub_3wgis/)。

Fig. 1. The sampling sites at the Nan-Zih-Sian River (From http://gmap.wra.gov.tw/wrahub_3wgis/).

表 1. 採樣站之 TWD97 二度分帶座標及物理環境資料

Table 1. TWD97 coordinates and physical environmental data of sampling sites at the Nan-Zih-Sian River

Environmental data	Min-Cyuan Bridge #1	Min-Cyuan Bridge #2	Twelfth Bridge #1	Twelfth Bridge #2
X coordinates	218678	218679	215906	215996
Y coordinates	2571705	2571889	2566768	2566842
Gradient	0.0593	0.0437	0.0211	0.0111
Sampling range (m)	80	90	60	110
Average width of water surface (m)	27	28	33	34

本研究採樣時以微棲地尺度來收集魚類資料，接著統計分析魚類棲地利用與量化物理棲地因子之關係；最後，利用不同單位棲息地(單位電格)之結合，將微棲地尺度擴大為區段尺度與溪流尺度，以找尋較大尺度棲地因子與成、幼魚棲地利用之關係；而非利用河段或區段溪流系統的變數(如Fayram and Mitro 2008)。民權大橋站與 12 號橋站都可分為兩個小採樣站，各兩小採樣站都在橋之上游(圖 1)。每個小採樣站都包含多種不同類型之棲地，如深潭、湍瀨、淺流、深流等，故民權大橋 1 號站、民權大橋 2 號站、12 號橋 1 號站與 12 號橋 2 號站都可說是河段尺度下之棲地，表 1 所示為各小站之座標與物理環境相關資料。若以

民權大橋站與 12 號橋站比較的話，溪流坡度有漸漸變緩的趨勢。將民權大橋 1 號站與民權大橋 2 號站(或 12 號橋 1 號站與 12 號橋 2 號站)合併時，兩站之間並無支流流入，且兩站之距離約 200m 長，符合區段尺度之空間長度，民權大橋 1 號站與民權大橋 2 號站合併後稱之為民權大橋站，12 號橋 1 號站與 12 號橋 2 號站合併後稱之為 12 號橋站，故民權大橋站與 12 號橋站可算是區段尺度下之棲地。民權大橋與 12 號橋兩站距離約 8 km (直線距離約 5.5 km)，已符合溪流尺度之空間長度，故本研究在楠梓仙溪當民權大橋與 12 號橋資料合併時亦可算是溪流尺度的棲地研究，詳細情形請參考圖 2。

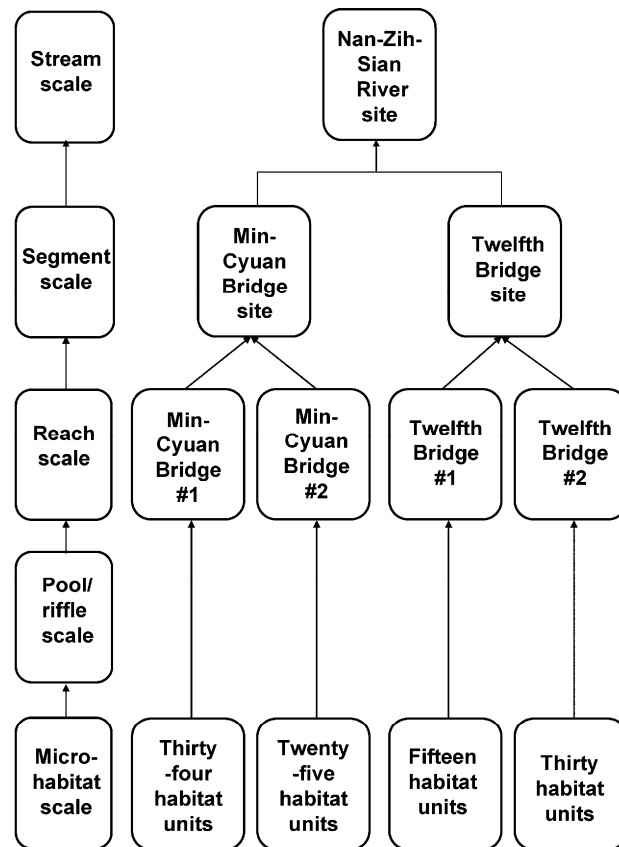


圖 2. 空間層級系統與棲地之關係。

Fig. 2. A hierarchical spatial framework of fish habitat.

二、物理棲地之量測方式

本研究使用之電棒長度為 1m，兩電棒距離 1m，形成 1m × 1m 的電格範圍；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；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百分比；底質粒徑的分類則參考 Bovee and Milhous (1978) 所分類之方式，但作者將底質分類為 9 類，並給予底質粒徑序號 1-9，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 1990)，故本研究將大、小鵝卵石合併為鵝卵石(cobble)，大、小礫石合

併為礫石(gravel)，砂以下合併為細顆粒(sand)，底質序號分別改為 5.5、3.5 與 1.5，再加上小漂石(small boulder)與大漂石(big boulder)共計 5 類，詳細底質分類與序號如表 2 所示。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：

$$\text{底質平均粒徑序號(單位電格m}^2\text{)} = \alpha_1 * 1.5 + \alpha_2 * 3.5 + \alpha_3 * 5.5 + \alpha_4 * 7 + \alpha_5 * 8$$

其中 α_1 、 α_2 、 α_3 、 α_4 與 α_5 分別為細顆粒、礫石、鵝卵石、小漂石與大漂石在電格的百分比。

表 2. 粒徑分類比較表

Table 2. The classification of substrate sizes

Bovee and Milhous (1978)			This study	
Substrate size (mm)	Substrate type	Code	Substrate type	Code
<1	Silt	1	Sand	1.5
1-2	Coarse sand	2		
2-16	Fine gravel	3		
16-64	Coarse gravel	4	Gravel	3.5
64-128	Pebble	5		
128-256	Cobble	6	Cobble	5.5
256-512	Small boulder	7	Small boulder	7
>512	Big boulder	8	Big boulder	8
	Rock	9		

三、統計方法

本研究使用的統計工具為多變量變異數分析(multivariate analysis of variance)與獨立性卡方檢定(Chi-square test)。多變量變異數分析可利用來客觀地判別不同採樣站的棲地因子是否顯著差異；獨立性卡方檢定則可利用來判別成、幼魚的數量分布在不同採樣站中是否有顯著差異。

結 果

一、魚類採樣結果

本研究採樣時間為 2008 年 10 月至 2009 年 4 月，共計採集 3 科 5 種 945 隻魚，其中優勢魚種為台灣間爬岩鰕(*Hemimyzon formosanum*) 計 775 隻、高身鰻魚(*Onychostoma alticorpus*) 計 242 隻與明潭吻鰕虎(*Rhinogobius candidianus*)

計 355 隻，次要魚種則為台灣石鱚(*Acrossocheilus paradoxus*)與台灣馬口魚(*Candidia barbata*)。為了解魚類於生命週期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，由於魚類體長的伸展與年齡的增加有比例關係，由此，通常以體長做為年齡推定的依據未必是不

可行的(朱 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(曾晴賢，私人通訊)方式，來訂定成、幼魚之體長界線(表 3)，為降低成、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 3. 台灣間爬岩鰍及高身鯽魚之成魚與幼魚之分類方式

Table 3. The classification of adult and juvenile fish by body length for *Hemimyzon formosanum* and *Onychostoma alticorpus*

Species	This study	陳及方(1999)	方等人(1996)	曾晴賢(私人通訊)
<i>H. formosanum</i>	Adults (> 5 cm)	Sexual maturity		Adults
	Juveniles (< 4 cm)	(4-8 cm)		(> 5 cm)
<i>O. alticorpus</i>	Adults (> 15 cm)	Sexual maturity	Juveniles	Adults
	Juveniles (< 8 cm)	(20-30 cm)	(< 8 cm)	(>15 cm)

二、採樣站的物理環境因子比較

由多變量變異數分析結果得知(表 4)，民權大橋站與 12 號橋站流速與水深相近($p > 0.05$)，但底質粒徑方面卻有顯著差異($p < 0.05$)。由於河床自然演變的結果，民權大橋與 12 號橋的溪流型態已漸漸產生不同，如圖 3 與圖 4

所示，民權大橋無明顯主(水深最深連線)、副河道，水面寬較小、蜿蜒度低；12 號橋則相反。民權大橋站主要的底質為大、小漂石；12 號橋主河道多由大、小漂石與細顆粒組成(水面寬約 7m)，副河道則由小漂石與鵝卵石底質所組成(水面寬約 27m)。

表 4. 民權大橋與 12 號橋溪流型態差異之統計結果

Table 4. The results of MANOVA for the differences in physical stream types of the Nan-Zih-Sian River between Min-Cyuan Bridge and Twelfth Bridge

Environmental variables (average)	Min-Cyuan Bridge	Twelfth Bridge	Difference	P-value
Substrate (code)	6.84	5.95	0.89	0.000
Velocity (m/s)	0.794	0.721	0.073	0.834
Depth (cm)	38	37	1	0.995

三、魚類於不同採樣站間之分布

本研究進行獨立性卡方檢定時，發現有較多台灣間爬岩鰍與高身鯽魚成魚出現於民權大橋站，較少出現於 12 號橋站；相反的，台灣間爬岩鰍與高身鯽魚幼魚較多出現於 12 號橋站，較少出現於民權大橋站(圖 5，圖 6)；台灣

間爬岩鰍與高身鯽魚的成、幼魚密度於民權大橋站與 12 號橋站的分布型態差異相當懸殊($p < 0.05$)，12 號橋站之台灣間爬岩鰍與高身鯽魚幼魚密度幾乎是民權大橋站的 3 倍(表 5)。這也表示了台灣間爬岩鰍與高身鯽魚成魚是較偏好民權大橋站所具備的物理環境型態，而幼

魚則較偏好 12 號橋站所具備的物理環境型態。



圖 3. 民權大橋以大、小漂石為主且無明顯主副河道的溪流型態。

Fig. 3. The stream type of big and small boulders with no obvious main channel at Min-Cyuan Bridge.



圖 4. 12 號橋底質粒徑廣泛且有明顯主副河道之溪流型態。

Fig. 4. The stream type of wide range substrates with obvious main channel at Twelfth Bridge.

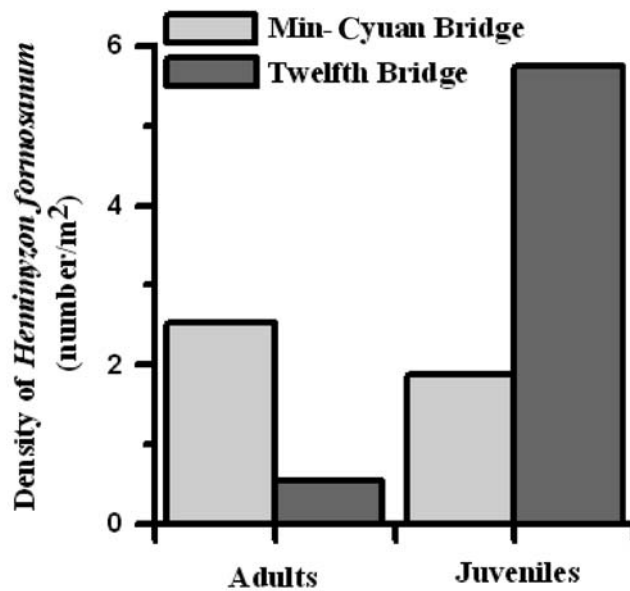


圖 5. 台灣間爬岩鰍於民權大橋站與 12 號橋站之分布比較。

Fig. 5. The density distributions of *Hemimyzon formosanum* in the Nan-Zih-Sian River at Min-Cyuan Bridge and Twelfth Bridge.

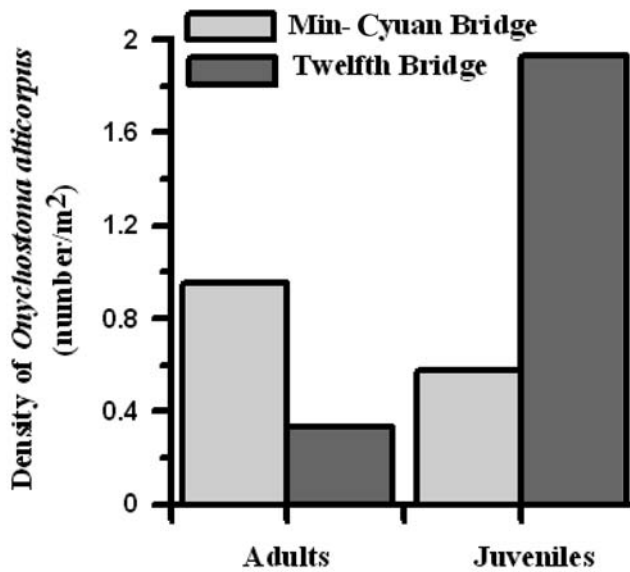


圖 6. 高身鰻魚於民權大橋站與 12 號橋站之分布比較。

Fig. 6. The density distributions of *Onychostoma alticorpus* in the Nan-Zih-Sian River at Min-Cyuan Bridge and Twelfth Bridge.

表 5. 台灣間爬岩鰍與高身鯛魚之成、幼魚於民權大橋與 12 號橋之數量分布統計結果

Table 5. A comparison of adult and juvenile density distributions in the Nan-Zih-Sian River between Min-Cyuan Bridge and Twelfth Bridge for *Hemimyzon formosanum* and *Onychostoma alticorpus*

Species	Method	Chi-square value	P-value
<i>H. formosanum</i>	Pearson Chi-square	30.26	0.000
	Phi (Φ)	0.543	0.000
<i>O. alticorpus</i>	Pearson Chi-square	13.68	0.001
	Phi (Φ)	0.540	0.001

討 論

在了解魚類棲地需求與棲地型態上，本文所探討的空間尺度，主要集中於區段系統與溪流系統。為有助於了解在不同空間尺度下，魚類棲地需求與棲地型態之關係，並說明為何台灣間爬岩鰍與高身鯛魚成、幼魚於民權大橋與 12 號橋的數量分布有顯著差異，以下就台灣間爬岩鰍與高身鯛魚成、幼魚對底質粒徑及水深、流速之偏好，探討魚類棲地需求與棲地型態之關係。

台灣間爬岩鰍成、幼魚偏好棲地之水深與流速差異不大，在流速範圍於 0.75-1.8 m/s 與水深於 52 cm 以下，對台灣間爬岩鰍成、幼魚是一個適合生存之棲地(呂 2009)。台灣間爬岩鰍可適應的流速比大部分魚類快，推測可能的原因為其體型呈扁平且具吸盤。方等人(1995)亦指在水流流速高情況下，容易對魚類產生紊流效應與遮蔽性效應而不容易掌握獵物之行蹤，進而減少被捕食之機率。比較不同的是，台灣間爬岩鰍成、幼魚對底質粒徑之偏好有顯著差異，成魚偏好大漂石，而幼魚偏好鵝卵石(表 6，圖 7)。

高身鯛魚成、幼魚都可適應於流速 1.05 m/s 以下之棲地；流速超過 1.05 m/s 之後，高身鯛魚幼魚就無法適應，但成魚可適應於流速大於 1.05 m/s 之棲地；高身鯛魚成魚偏好之水深與底質粒徑值亦大於幼魚，高身鯛魚成魚生活範圍較集中於大粒徑(平均序號 6.49-8.0，大、小

漂石)(表 6 與圖 8)，其原因為大、小漂石之較大粒徑的底質有利於附著性藻類生存，且高身鯛魚主要食物來源為附著性藻類(方等人 1995)，Wang (1989)亦指出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；幼魚的生活範圍則較廣，大、小粒徑都可適應(序號 4.88-8.0，鵝卵石-大漂石)；水深部分，因成魚不適合生存於水深 5-22 cm 棲地(呂 2009)，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)，故偏好水深平均值較幼魚大。

最後，將水深、流速與底質合併以了解魚類棲地利用與棲地型態之關係；台灣間爬岩鰍幼魚偏好鵝卵石棲地(湍瀨、急湍瀨與深湍瀨)與底質為複合型(鵝卵石與小漂石為主)之湍瀨；成魚偏好大漂石棲地(湍瀨、急湍瀨與深急湍瀨)與小漂石棲地(湍瀨、深湍瀨、急湍瀨)，成、幼魚偏好之棲地大都為湍瀨類型。高身鯛魚幼魚偏好湍瀨(鵝卵石、複合型)、深流(小漂石、複合型，礫石與大漂石之結合底質)、中等深潭(小漂石、大漂石)與深潭(小漂石，礫石與大漂石之結合底質)；成魚偏好大漂石棲地(深流、深湍瀨、深急湍瀨與深潭)、小漂石深流、複合型深潭等棲地類型，成魚與幼魚都能適應湍瀨、深潭與深流類型棲地，表示高身鯛魚對棲地偏好是廣適型魚種，本研究棲地分類之量化標準如表 7 所示。

表 6. 台灣間爬岩鰍與高身鰻魚對底質偏好之統計驗證

Table 6. The statistic tests of substrate preference of *Hemimyzon formosanum* and *Onychostoma alticorpus* in the Nan-Zih-Sian River

Species	F test	Substrate group	Substrate group	Difference in means of two substrate groups (number/m ²)	Post Hoc test (<i>P</i> -value)
<i>H. formosanum</i> (adults)	F ₃ = (4.709, 0.000)	Big boulder	Cobble	2.74	0.016
			Cobble and small boulder	1.86	0.204
			Small boulder	1.45	0.566
<i>H. formosanum</i> (juveniles)	F ₃ = (8.184, 0.004)	Cobble	Cobble and small boulder	3.81	0.188
			Small boulder	5.43	0.007
			Big boulder	5.69	0.004
<i>O. alticorpus</i> (adults)	F ₃ = (9.710, 0.000)	Big boulder	Cobble	1.63	0.002
			Cobble and small boulder	1.64	0.001
			Small boulder	1.05	0.321
<i>O. alticorpus</i> (juveniles)	F ₃ = (0.850, 0.566)	Cobble	Cobble and small boulder	0.34	1.000
			Small boulder	0.16	0.824
			Big boulder	0.92	0.811

表 7. 依據水力因子分類之棲地類型

Table 7. Habitat classification based on hydraulic conditions

Depth (cm)	Velocity (m/s)			
	Slow velocity (< 0.45)	Medium velocity (0.45-0.74)	Fast velocity (0.75-1.04)	Very fast velocity (1.05-1.8)
Very shallow depth (5-21)	Shallow pool	Riffle	Riffle	Fast riffle
Shallow depth (22-31)	Shallow pool	Riffle	Riffle	Fast riffle
Medium depth (32-51)	Medium pool	Run	Deep riffle	Deep-fast riffle
Deep depth (52-120)	Deep pool	Run	Run	Fast run

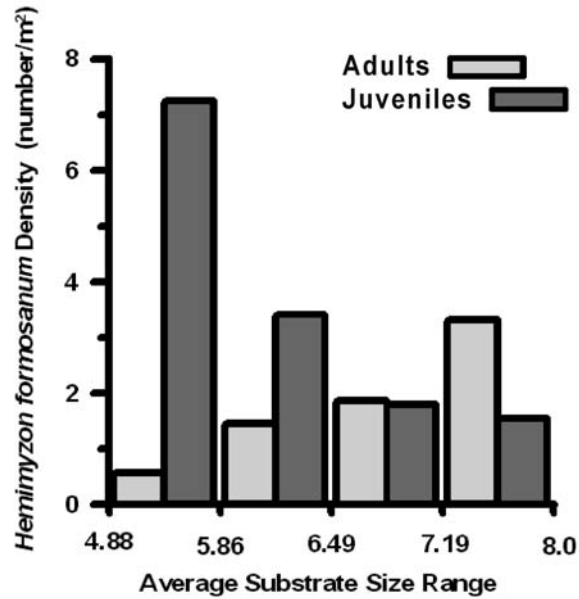


圖 7. 台灣間爬岩鰍對平均粒徑喜好度的分布型態。

Fig. 7. The density distributions of adults and juveniles of *Hemimyzon formosanum* for different substrate groups in the Nan-Zih-Sian River.

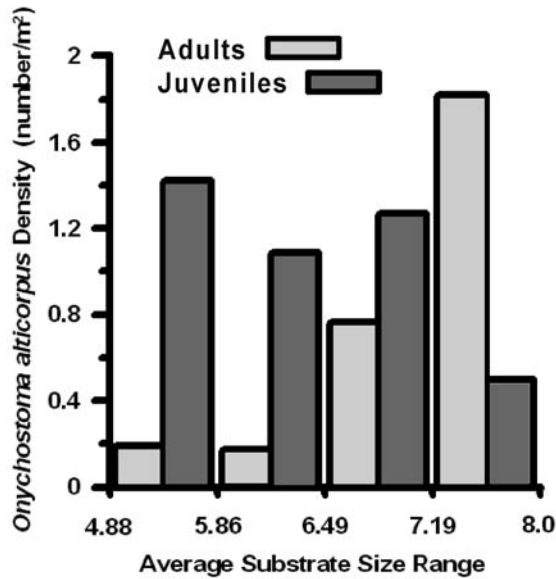


圖 8. 高身鰻魚對平均粒徑喜好度的分布型態。

Fig. 8. The density distributions of adults and juveniles of *Onychostoma alticorpus* for different substrate groups in the Nan-Zih-Sian River.

民權大橋站附近可提供較多的台灣間爬岩鰍與高身鮰魚成魚所需求之棲地，12 號橋站附近則可提供較多幼魚所需求的環境，故造成台灣間爬岩鰍與高身鮰魚之成、幼魚在民權大橋與 12 號橋分布有明顯之差異。除了成、幼魚對物理棲地偏好有不同外，其內在原因可能為成、幼魚之體型、游泳與機動能力，或者是棲地分離策略(減少食物競爭)所造成。陳(2007)將台灣間爬岩鰍與埔里中華爬岩鰍定義為洄游性魚種，並提到兩魚種都有向上洄游到底質粒徑較大的地方生存之習性，符合本研究成魚分布偏上游之情形。殷(1998)亦指出洄游是魚類獲得延續、擴散與增長的重要行為特性，洄游是魚類對環境的一種長期適應，魚類透過洄游變換棲地場所，擴大對環境空間之利用，提高種族存活、攝食、繁殖與避開不良條件的能力。

當把空間尺度放在區段尺度溪流時，我們將民權大橋站與 12 號橋站的魚類棲地利用情形分開來討論。民權大橋站與 12 號橋站都採樣到相同的 5 種魚類，其中，台灣間爬岩鰍與高身鮰魚需求之棲地，已涵蓋了水力棲地多樣性的涵義—由瀨型、深流型與潭型棲地所組合的溪流。所以，棲地復育時，每個區段尺度的溪流必須注意區段溪流的水力棲地多樣性。如區段溪流中必須要有湍瀨、急湍瀨、深流、深湍瀨、深急湍瀨、岸邊緩流、中等深潭與深潭等各種組合，如此方可滿足不同魚類的棲地需求。然而，由本研究結果得知，成、幼魚分別位於不同溪流型態的區段尺度溪流中，區段尺度之水力棲地多樣性只能滿足成魚或幼魚其中之一的棲地利用，所以，必須將民權大橋與 12 號橋兩個有不同溪流型態之溪流予以連結，亦即棲地復育必須考量更大尺度(如溪流尺度)與魚類棲地利用之關係。

當空間尺度放大到溪流尺度時，在兩個區段溪流中，可能因河床底質搬運作用，產生以不同底質為主之棲地，這兩種不同溪流型態的棲地連結，在本文中稱之為「河川縱向棲地多

樣性(底質多樣性)」。區段尺度的溪流除了原有的湍瀨、急湍瀨、深流、深潭與淺潭等形成的水力棲地多樣性，也必須考量到溪流尺度或更大尺度的河川縱向棲地多樣性。如以本研究兩魚種來說明，台灣間爬岩鰍成魚偏好大漂石急湍瀨(民權大橋站)(參考圖 9)，幼魚偏好鵝卵石急湍瀨(12 號橋站)(參考圖 10)，兩者棲地類型依水深與流速都可歸類為急湍瀨，但因成、幼魚對底質之偏好不同，以致於棲地復育時必須考量到以不同底質為主之急湍瀨；又如高身鮰魚成魚偏好由大漂石或小漂石組成之深潭、深流、湍瀨、急湍瀨等(民權大橋站)(參考圖 11)；幼魚偏好的底質廣泛(12 號橋站)，從以大、小漂石與細顆粒為主的主河道到以複合型與鵝卵石為主之副河道都是幼魚可適應之棲地(參考圖 12)。

水深、流速與底質對魚類棲地利用之影響是環環相扣的，故同時考量區段溪流的棲地多樣性與河川縱向棲地多樣性是能讓棲地復育更為完整，因它不只能滿足生物多樣性，亦能滿足魚類生命週期不同階段所需求之棲地。簡單來說，小尺度(河段或區段尺度)的溪流棲地多樣性與大尺度(溪流或更大尺度)的溪流棲地多樣性都是棲地復育的重要考量要點，完整的河川管理政策必須能評估不同尺度下魚類棲地使用與物理環境因子之關係(Thomson *et al.* 2001; Harvey *et al.* 2008)，故本研究建議棲地復育與評估時，於最小的微棲地尺度下，需考量魚類需求之水深、流速、底質等等；於深潭湍瀨尺度下，需考量魚類所偏好之棲地類型(如深潭、湍瀨、深流等)；於河段或區段尺度下，需考量河段或區段溪流的水力棲地多樣性與棲地之組成(棲地群集)，來滿足各魚種之棲地需求；於溪流尺度下，需考量河川縱向棲地多樣性，來滿足魚類於生命週期不同階段之棲地需求或者是魚類洄游以延續、擴散與增長族群；最後，對於河川縱向棲地多樣性之復育，亦應依循底質粒徑從上游到下游慢慢變小之自然特性

(Church 2002)，符合自然之復育工程可減少失敗之機率。



圖 9. 民權大橋之大漂石急湍瀨。

Fig. 9. A big boulder-fast flowing riffle of the Nan-Zih-Sian River at Min-Cyuan Bridge.



圖 10. 12 號橋之鵝卵石急湍瀨。

Fig. 10. A cobble-fast flowing riffle of the Nan-Zih-Sian River at Twelfth Bridge.



圖 11. 以大、小漂石組成之各類型棲地(民權大橋)。

Fig. 11. A habitat assemblage composed of big and small boulders in the Nan-Zih-Sian River at Min-Cyuan Bridge.



圖 12. 鵝卵石-大漂石組成之各類型棲地(12號橋)。

Fig. 12. A habitat assemblage composed of substrates with cobbles to big boulders in the Nan-Zih-Sian River at Twelfth Bridge.

結 論

本研究採用於視覺上棲地物理環境型態有所不同的採樣站做比較，民權大橋站與 12 號橋站之底質粒徑在統計上有顯著差異，民權大橋站底質粒徑以大漂石與小漂石為主，水面平均寬約 28m；12 號橋站副河道底質粒徑以複合型與鵝卵石為主，水面寬約 27m，主河道較常出現大漂石、小漂石與細顆粒，水面寬約 7m；而兩站之流速與水深平均值在統計上皆無顯著差異。

台灣間爬岩鰍與高身鯛魚可能因成、幼魚之體型、游泳與機動能力、洄游習性或者是棲地分離策略等因素，導致一、在民權大橋站與 12 號橋站的成、幼魚數量分布有顯著差異；二、棲地偏好或生態區位不同。台灣間爬岩鰍與高身鯛魚幼魚在 12 號橋站之魚類密度為民權大橋站的 3 倍左右。

棲地復育與評估時，應考量以下幾要點：一、最小的微棲地尺度—考量魚類需求之水深、流速與底質；二、深潭湍瀨尺度—考量魚類偏好之棲地類型(如深潭、湍瀨、深流等)；三、河段或區段尺度—考量河段或區段溪流的棲地多樣性與棲地之組成，來滿足各魚種之棲地需求；四、溪流尺度—考量河川縱向棲地多樣性，來滿足魚類於生命週期不同階段之棲地需求，或者是滿足魚類洄游以延續、擴散與增長族群；五、對於河川縱向棲地多樣性之復育，應考量底質粒徑的分布從上游到下游逐漸變小，符合自然之復育工程可減少失敗之機率。

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。

引用文獻

- 方力行、韓僑權、陳義雄。1995。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。
- 方力行、蘇六裕、陳義雄、韓僑權、陳益惠。1996。高身鯛魚形態、分布及生物學之研究。生物科學 39(1): 78-87。
- 孔麒源。2006。屏東縣萬安溪台灣石鱚之棲地利用與生殖生態。國立屏東科技大學野生動物保育研究所碩士論文。
- 朱祥海。2001。魚類學。水產出版社。
- 呂映昇。2009。物理環境因子與魚類喜好度之關係—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。
- 汪靜明。1990。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。
- 胡通哲、葉明峰。2002。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。
- 殷名稱。1998。魚類生態學。水產出版社。
- 陳建延。2007。石岡壩附設魚道洄游生物利用的情形。國立清華大學生命科學系碩士論文。
- 陳義雄、方力行。1999。台灣淡水及河口魚類誌。國立海洋生物博物館籌備處。
- Barbour, M. T., J. Gerritsen, B. D. Synder and J. B. Stribling. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in wadable streams and rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates, and fish. EPA 841-B-99-002, US Environmental Protection Agency, Washington DC.
- Bovee, K. D. and R. T. Milhous. 1978. Hydraulic simulation in instream flow studies: Theory and techniques. Instream Flow Information Paper NO.5. Washington DC: US. Fish and

- Wildlife Service, OBS78, 33: 1-131.
- Chisholm, I. M., W. A. Hubert and T. A. Weschie. 1987. Winter stream conditions and use of habitat by brook trout in high-elevation Wyoming streams. *Transactions of the American Fisheries Society* 116: 117-184.
- Church, M. 2002. Geomorphic thresholds in riverine landscapes. *Freshwater Biology* 47: 541-557.
- Clarke, S. J., L. Bruce-Burgess and G. Wharton. 2003. Linking form and function: Towards an ecohydromorphic approach to sustainable river restoration. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 13: 439-450.
- Clifford, N. J., O. P. Harmar, G. Harvey and G. E. Petts. 2006. 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.
- Fayram, A. H. and M. G. Mitro. 2008. 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.
- Frissell, C. A., W. J. Liss, C. E. Warren and M. D. Hurley. 1986. A hierarchical framework for stream habitat classification: Viewing streams in a watershed context. *Environmental Management* 10: 199-214.
- Harper, D. M., C. Smith, J. L. Kemp and G. Crosa. 1998. The use of 'functional habitats' in the conservation, management and rehabilitation of rivers. *In: G. Bretschko and J. Helesic (eds.). Advances in River Bottom Ecology.* p. 315-326.
- Harvey, G. L., N. J. Clifford and M. G. Angela. 2008. Towards an ecologically meaningful classification of flow biotope for river inventory, rehabilitation, design and appraisal purposes. *Journal of Environmental Management* 88: 638-650.
- Karchesky, C. M. and D. H. Bennett. 2004. Winter habitat use by adult largemouth bass in the Pend Oreille River, Idaho. *North American Journal of Fisheries Management* 24: 577-585.
- Khan, M. T., T. A. Khan and M. E. Wilson. 2004. Habitat use and movement of river blackfish (*Gadopsis marmoratus* R.) in a highly modified Victorian stream, Australia. *Ecology of Freshwater Fish* 13: 285-293.
- Knighton, D. 1998. *Fluvial forms and processes: A new perspective.* Edward Arnold Publishers, London, p.107.
- Newson, M. D., D. M. Harper, C. L. Padmore, J. K. Kemp and B. Vogel. 1998. A cost-effective approach for linking habitats, flow types and species requirements. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 8: 431-446.
- Pedersen, M. L. and N. Friberg. 2007. Two lowland stream riffles-linkages between physical habitats and macroinvertebrates across multiple spatial scales. *Aquatic Ecology* 41: 475-490.
- Platts, W. S., W. F. Megahan and G. W. Minshall. 1983. *Methods for evaluating stream, riparian, and biotic conditions.* Ogden: US. Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report INT 138: 1-70.
- Raleigh, R. F., L. D. Zuckerman and P. C. Nelson. 1986. Habitat suitability index models and instream flow suitability curves: Brown trout. *Biological Report* 82 (10.124).
- Schwartz, J. S. and E. E. Herricks. 2008. Fish use of ecohydraulic-based mesohabitat units in

- a low-gradient Illinois stream: Implications for stream restoration. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 18(6): 852-866.
- Statzner, B., J. A. Gore and V. H. Resh. 1988. Hydraulic stream ecology: Observed patterns and potential applications. *Journal of the North American Benthological Society* 7: 307-360.
- Thomson, J. R., M. P. Taylor, K. A. Fryirs and G. J. Brierley. 2001. A geomorphological framework for river characterization and habitat assessment. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 11: 373-389.
- Vadas, R. L. and D. J. Orth. 1998. Use of physical variables to discriminate visually determined mesohabitat types in North American stream. *Rivers* 6(3): 143-159.
- Wang, C. M. J. 1989. Environmental quality and fish community ecology in an agricultural mountain stream system of Taiwan. PH.D. Thesis Iowa State Univ., Ames. Iowa. USA.
- Ward, J.V. 1989. The four-dimensional nature of lotic ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society* 8: 2-8.
- Yu, S. L. and T. W. Lee. 2002. Habitat preference of the stream fish, *Sinogastromyzon puliensis* (Homalopteridae). *Zoological Studies* 41(2): 183-187.