

魚類個體生態矩陣於溪流棲息地模擬之應用

蘇瑋哲¹ 孫建平²

¹ 國立成功大學水利及海洋工程學系／碩士班研究生／n8695116@mail.ncku.edu.tw

² 國立成功大學水利及海洋工程學系／助理教授／jpsuen@mail.ncku.edu.tw

摘要

台灣的溪流物種豐富且擁有許多特有魚種，以目前國內的生態工程溪流整治而言，了解當地棲息的魚種以及評估該地區魚種偏好的棲息地可視為營建生態工程的重要參考資料。本研究在 2007 年末到 2008 年初期間，在曾文溪流域進行魚類及棲息地環境因子調查，測站點為長枝坑溪大同三號橋、後堀溪水庫一號橋、頭份橋、鹽水坑橋共四站，利用方格電魚法不定點多次採樣共 74 次，捕獲的魚種計 6 科 15 種共 622 尾，主要魚種為極樂吻蝦虎(*Rhinogobius giurinus*)、埔里中華爬岩鰍(*Sinogastromyzon puliensis*)、短吻褐斑吻鰍虎(*Rhinogobius rubromaculatus*)、粗首鱨(*Zacco pachycephalus*)。棲息地調查的結果依水深、流速經由模糊控制理論 (Fuzzy control) 分類成深潭、深湍瀨、淺湍瀨、淺灘共四類。

魚類採樣的資料藉由 Suen and Herricks (2006) 的魚類個體生態矩陣計算出魚類偏好的棲息地，並與實際採樣的棲息地環境因子驗證，建立溪流棲息地模擬的架構系統。此系統依歷史採樣的魚種可模擬出該河道於採樣時的棲息地百分比，研究結果可提供作為棲地復育和生態工程營建的參考資料，以達到維護生態完整性及多樣性的目標。

關鍵字：魚類矩陣、棲息地、生物多樣性

The Application of Fish Autecology Matrix to Habitat Simulation

Abstract

Although Taiwan is a small island, it possesses extraordinarily abundant biodiversity resources and many endemic species. Understanding the fish assemblage composition and assessing their habitat preferences is an important reference for the ecological engineering work in river restoration. In this research, fish and habitat data were collected in Tsengwen River basin including 4 sampling sites from the late 2007 to early 2008. Electrofishing was used to collect fish in grids and not positioned repeatedly sampling 74 times. A total number of 622 samples was obtained, including 6 genera and 15 species, and the dominant species are *Rhinogobius giurinus*, *Sinogastromyzon puliensis*, *Rhinogobius rubromaculatus*, *Zacco pachycephalus*. Fuzzy control theory is applied to model habitats as deep pool, deep riffle, shallow riffle, and shallow pool – which are defined by surveyed depth and velocity.

Fish sampling data was analyzed by a fish autecology matrix (Suen and Herricks, 2006) to identify the fish habitat preferences, and was validated by surveyed habitat data for establishing stream habitat simulation system. By using historical fish sampling data, the system could simulate stream habitat percentage composition. This study can provide a reference of stream restoration and ecological engineering to maintain the ecological integrity and diversity in the rivers.

Keywords: Fish Autecology Matrix, Habitats, Biodiversity

一、前言

大自然千變萬化，溪流中物種的環境需求則更為複雜，尤其站在工程界的角度，確實難以取得準確的數值或是方程式解釋整個生態系統，吾人所能退而求其次的方法，即是利用現有的資料推估溪流中生態偏好的特性。如何進一步地將生態的理念及相關的生態資訊，並考量魚類群落對棲息地之需求，有效地整合入水利工程的規劃、設計、施作，後續的監測與維護工作，實為推動生態工程的首要工作（曹先紹，2000；Herricks and Suen, 2003）。

影響魚類群落分佈的因素很多，過去有許多研究特別指出溪流中的物理因子，如泥沙的傳遞、河道的形狀及大小、溪流坡度、大型木質碎屑（Sullivan et al., 2006）對魚類群落分佈有著相當程度的影響，由於棲息地偏好的環境因素，不論是直接或是間接都會造成魚類群落不同的分佈（Moyle and Vondracek, 1985），因此在溪流整治以及管理的過程中，對於棲息地環境的重視是工程成功的重要關鍵。Yu and Lee（2005）藉由調查台灣西部河川生態，了解魚類物種與棲息地之間的關係，結果顯示台灣鏟頰魚、台灣石魚賓、吳郭魚偏好水深較深的深潭棲息地，短吻褐斑吻鰕虎、台灣間爬岩鰕、埔里中華爬岩鰕、台灣纓口鰕偏好類似急流淺瀨的棲息地，顯示棲息地與魚類群落之間微妙的關連性。因此進行河川整治工程的同時，對於棲息地環境的營造也是不能被輕易忽視的工程項目，以生態復育的觀點來看，原生種（Native species）及特有種（Endemic species）往往是復育工作的參考魚種，外來魚種的入侵狀況亦反應了河川生態環境的惡化（孫建平等，2005），因此本研究的目的希望以研究地點的魚類歷史資料，代表棲地未受破壞時當地魚種群落具有的特性，推估出當時魚種偏好的棲息地類型，確保生態工程在營建上能達到原生物種的環境需求。為了有效掌握魚類與棲息地的偏好，並且完整結合天然狀態時魚類及棲息地的資訊，本研究進行野外魚類採樣及棲息地環境物理因子的調查，並將結果經由應用魚類個體生態矩陣（Herricks and Suen, 2006），建立魚類棲息地模擬模式，利用推估的棲息地型態可做為未來溪流生態工程整治的參考資料，以達到溪流原生物種復育且追求生態完整性及多樣性的目標。

二、生態調查方法

2.1 樣點概述

本溪流研究區域為曾文溪上游流域的兩條支流—長枝坑溪與後堀溪，本研究總共設置 4 個採樣站點（如圖 1），環境較未受人為干擾，且歷史資料紀錄（韓僑權與方力行，1997）具有比上游更豐富的物種，適合做為研究的採樣地段。

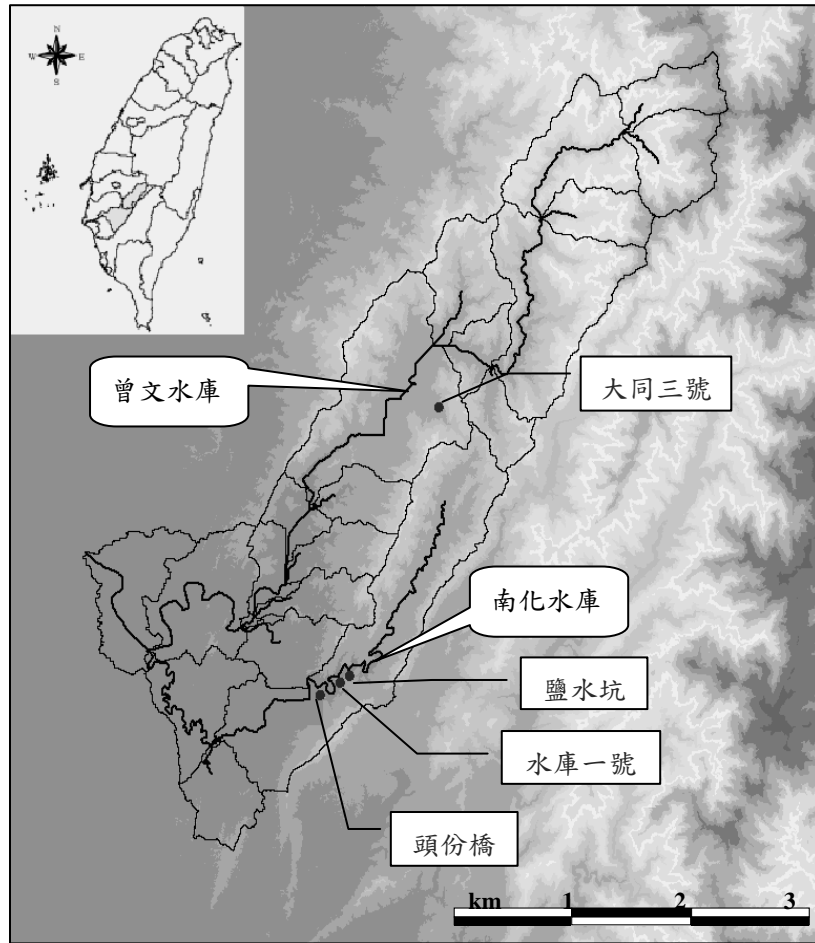


圖 1 採樣站點位置圖

2.2 魚類採樣及棲息地物理因子調查

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, 以盡量未擾動魚類及棲息地環境的狀態下進行採樣, 使所有魚類個體在最自然棲息的狀況下被捕獲, 取得最有效且具詮釋意義的資料。

採樣方法簡介如下, 在選定的調查樣點範圍選擇 6 個小樣格, 每一小樣格長 1 公尺、寬 1 公尺, 面積 1 平方公尺, 由兩根等長電棒組成所謂之「電格」。當供電系統放電時, 經預備試驗證實 (葉明峰, 2002), 在一般溪流裡, 此一電格系統通電瞬間足以使電格內的魚暈厥, 暫時喪失逃逸能力。當電格架設完成後, 人員應儘量遠離以避免干擾, 每一電格至少靜候 11 分鐘以上 (Bain et al., 1985) 的時間待棲地環境恢復常態後開始採樣, 當放電之瞬間由至少 2 人手持大型手操網迅速移至電格下游處, 將暈厥順流而下的漁獲撈起。電擊時間 60 秒斷電後, 立刻蒐齊漁獲鑑定魚種、測量體長、體重或體高並予以記錄, 隨即將漁獲放回原溪段。完成魚類採樣後, 於電格內測量四個角落及中心點的流速及水深, 以其平均值代表電格之平均流速及平均水深, 另並記錄底質組成之狀況。每筆調查的資料稱為一個「單位棲息地」。

2.3 調查結果

採樣時間於 2007 年 10 月 8 日至 2008 年 1 月 29 日，總計採樣 74 格單位棲息地有採樣到魚類的棲息地資料共 68 格，總計 6 科 15 種 622 條魚。主要魚種為極樂吻鰕虎 (*Rhinogobius giurinus*)、短吻褐斑吻鰕虎 (*Rhinogobius rubromaculatus*)、埔里中華爬岩鰕 (*Sinogastromyzon puliensis*)、明潭吻鰕虎 (*Rhinogobius candidianus*)、粗首鱨 (*Zacco pachycephalus*)、鰲條 (*Hemiculter leucisculus*)，次要魚種為高體高鬚魚 (*Hypsibarbus pierrei*)、吳郭魚 (*Tilapia mossambica*)、台灣馬口魚 (*Candidia barbatus*)、短吻小鰾魷 (*Abbottina brevirostris*)、脂鯢 (*Pseudobagrus adiposalis*)、台灣間爬岩鰕 (*Hemimyzon formosanum*)、南台吻鰕虎 (*Rhinogobius nantaiensis*)、鮡魚 (*Silurus asotus*)、翹嘴紅鰱鮠 (*Culter erythropterus*)。

三、研究分析

3.1 魚類個體生態矩陣之應用

魚類個體生態矩陣的建立，是整合台灣淡水魚類對棲息地、物理環境需求、水質容忍度及生活史的偏好特性，並以 0 跟 1 的資料庫型式統整，可有效的應用於考量魚種對棲息環境的需求。孫建平等 (2005) 發展以魚類個體生態矩陣分析方法 (autecology matrix analysis)，以魚類資料透過魚類個體矩陣證據權重法 (weight of evidence) 計算，推估該地區魚類群落的環境需求矩陣 R。公式如式(1)：

$$R = \frac{S \times A}{n_s} \dots\dots\dots (1)$$

其中

S 為該採集點所採集之魚種資料矩陣

A 為魚類生態矩陣

n 為該採集點所採集之魚種數目

R 為該採集點所採集之魚類群落之環境需求矩陣

魚類群落環境需求矩陣 R 中，表示該魚類群落對環境需求因子之需求度，經由證據權重概念了解採集期間採集點所可能呈現的環境概況。本研究應用魚類個體生態矩陣，分析樣本採用 68 筆具有魚類出現的魚類採樣資料，探討魚種與物理棲息地之間的關連性，且嘗試利用現地魚種與棲息地調查資料建立其模擬模式，本研究以 12 個物理棲息地因子進行分析，分別是：棲息地偏好深潭、棲息地偏好深湍瀨、棲息地偏好淺湍瀨、棲息地偏好淺灘、流速無、流速慢、流速中、流速快、底質偏好泥沙、底質偏好小石頭、底質偏好鵝卵石、底質偏好大石頭。

3.2 運用模糊控制理論之棲息地分類

過去國內對於棲息地之分類研究，大多以水深及流速作潭、瀨二分法分類，面對不同尺度的溪流以相同數值的環境因子分類，考量現地溪流狀態實有不妥，例如同樣被定義為深潭的棲息地，在上游所量測到的水深、流速與下游就有所差異，因此以定值的劃分上下游河道中的棲息地，有時稍欠客觀。本研究認為河川中棲息地分類之界限，有許多用數字難以界定判斷的地帶，需藉由人類的思考邏輯判斷；模糊控制理論的優點在於能模擬類似人類思考邏輯而做出推論，適合用在分類河道中的棲息地類型。此外也同時結合前人的研究成果，以汪靜明(2000)之棲息地分類標準為參考，並將水深、流速作為分類棲息地的輸入變數，結合模糊控制系統的方式，輸出值為棲息地類型，分類為深潭、深湍瀨、淺湍瀨、淺灘四類。詳細分類內容，請參考蘇璋哲(2008)。

以野外調查量測到的平均水深及平均流速做為輸入值，而輸出值為各組單位棲息地之歸屬值，根據模糊控制理論的方法，分類 68 筆單位棲息地所屬的棲息地類型，而後將輸出之歸屬值對應棲息地輸出值歸屬函數，並依其最大歸屬推論各單位棲息地之棲息地類型。

3.3 成果分析

應用魚類環境需求矩陣及模糊控制分類棲息地的結果，建立複線性迴歸模式，分析的依變數資料包括實際值的四種棲息地型態，深潭、深湍瀨、淺湍瀨、淺灘的百分比，而自變數則是魚類環境需求矩陣中的 12 個環境因子，經過「逐步迴歸選取法」選擇對依變數有顯著影響的因子。總體而言整個模式的建立是以模擬出的環境因子結果，推測實際值棲地百分比，而估計棲息地的方程式也呈現高度相關的結果。迴歸模式請參考表 1。

四、討論

棲息地迴歸模式代表的物理意義，可說明依變數（物種群落偏好環境需求）與自變數（實際值棲地）之間的正負關聯性。例如棲息地型態—深潭的迴歸模式：魚類群落偏好淺湍瀨的百分比越低，推估該採樣河段中實際棲地類型的深潭比例越高，彼此之間呈現負相關。檢視四組推估模式發現，因為在溪流生態系統中棲息地是魚類生存的重要考量，藉由魚類個體生態矩陣之詳細資料，以魚類群落推估出對各環境因子的偏好，這些因子對棲息地分布的影響有著高度的關連性，因此才能建立如此高判定係數的複線性迴歸模式。深湍瀨的複線性迴歸模型 R^2 高達 0.910，淺灘的 R^2 則是 0.573，淺湍瀨的 R^2 達到 0.853，皆為相當高解釋程度的推估方程式，棲息地類型的推估方程式中唯有「深潭」的解釋程度較低，判定係數為 0.351，根據觀察的結果主要原因是深潭的採樣資料較為缺乏，樣本數相較其他三個類型的棲息地較為不足，採樣到的魚種對於棲息地的偏好不明顯，在魚類矩陣的資料中適合多樣的棲地類型，因此解釋性較低，未來若能增加深潭處的採

樣資料蒐集到更多對深潭棲息地有特殊偏好的魚種，相信可以推測出更具代表性的模式。

本研究的目的在於探討魚類棲息地之間的關連性，由於生態復育的地點多屬於野溪中上游，魚種組成分布甚少、物種較為固定，相較於下游河口處有周緣性淡水魚出沒，魚類物種組成會受季節性影響，上游處集水區的魚類群落並不因時間產生過多變化；影響中上由魚類群落的因素，主要是還是棲息地，魚類對於生活環境、覓食、避難空間及棲息的偏好，受不同物種對棲息地的偏好而影響其出沒，因此時間因子對於模式的建立及應用並無直接影響，本研究選擇跳脫時間的考量，以考量研究目標的方式採樣，蒐集棲地與魚類最直接的關係。

表 1 棲息地迴歸模式

棲息地型態-深潭 (DP)				
依變數	自變數	顯著性	R 平方	方程式
實際值深潭 (%)	棲息地偏好 淺湍瀨 (%)	0.042	0.351	DP=-0.695[淺湍瀨]+0.642
棲息地型態-深湍瀨 (DR)				
依變數	自變數	顯著性	R 平方	方程式
實際值深湍瀨 (%)	棲息地偏好 深潭 (%)	0.007	0.910	DR=1.077[深潭]-0.679 [淺湍瀨]-0.233[淺灘]-1.17 [流速無]-0.585[鵝卵石]+1.789
	棲息地偏好 深湍瀨 (%)			
	棲息地偏好 淺灘 (%)			
	流速 無 (%)			
	底質偏好 鵝卵石 (%)			
棲息地型態-淺灘 (SP)				
依變數	自變數	顯著性	R 平方	方程式
實際值淺灘 (%)	棲息地偏好 淺灘 (%)	0.045	0.573	SP=0.221[淺灘]+0.735[流速無]+0.664[流速慢]-0.878
	流速 無 (%)			
	流速 慢 (%)			
棲息地型態-淺湍瀨 (SR)				
依變數	自變數	顯著性	R 平方	方程式
實際值淺湍瀨 (%)	棲息地偏好 深湍瀨 (%)	0.022	0.853	SR=-1.94[深湍瀨]+2.079[淺湍瀨]-0.908[深潭]-0.138[流速快]-1.691[泥沙]+1.672
	棲息地偏好 淺湍瀨 (%)			
	棲息地偏好 深潭 (%)			
	流速 快 (%)			
	底質偏好 泥沙 (%)			

五、結論與建議

經由魚類個體生態矩陣的模擬並且對應實際的棲息地型態後，本研究提出四條推估方程式：(1) 深潭棲息地百分比、(2) 深湍瀨棲息地百分比、(3) 淺湍瀨棲息地百分比、(4) 淺灘棲息地百分比。解釋的判定係數表現良好，可推估魚類資料在採樣可能的環境狀況，提供未來生態復育工作時，對魚類群落棲息地需求的參考資訊。

採樣結果顯示，極樂吻蝦虎、短吻褐斑吻蝦虎、埔里中華爬岩鰍、明潭吻蝦虎、粗首鱨、鰲條為採樣站點的優勢物種，與韓僑權、方力行於1997年鄰近地段調查的結果比較，可發現魚類物種的群落並無太大改變，反應了生物群落與環境品質並無惡化狀況。但若能藉由更長時間的定點研究調查，應可對此區域的環境做更合理及完整性評估，並驗證是否有水質、棲息地、魚類群落、天然流態等河川生態品質變化。

參考文獻

- Azzellin, A. and R. Vismara (2001), Pool Quality Index: New Method to Define Minimum Flow Requirements of High-Gradient, Low-Order Streams. *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 127 No.11.
- Rabeni, C. F., K. E. Doisy and D. L. Galat (2002), Testing the Biological Basis of a Stream Habitat Classification Using Benthic Invertebrates, *Ecological Applications*, Vol. 12, No. 3., pp. 782-796.
- Bain, M. B., J. T. Finn, and H. E. Booke (1985), A quantitative method for sampling riverine microhabitats by electrofishing. *North American Journal of Fisheries Management* 5, pp. 489-493.
- Ferguson, R. I. and A. Werritty (1991), Channel change and sedimentology in the R. Feshie: a wandering gravel-bed river, Scottish highlands. In: Werritty, A. (Ed.), *Fluvial Processes in Scottish Highland Rivers: Field Excursion Guide*. Joint International Symposium on Theory in Geomorphology. University of St. Andrews, pp. 17-36.
- Herricks, E. E. and J. P. Suen (2003), Ecological design in Taiwan's rivers: performance expectations considering hydrologic variability. *International workshop on ecohydraulics and eco-rivers engineering*, pp. 25-40.
- Herricks, E. E. and J. P. Suen (2006), Integrative Analysis of Water Quality and Physical Habitat in the Ecological Design of Water Resources Projects, *Journal of Environmental Science and Health, Part A - Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, 41(7), pp. 1303-1314.
- Moyle, P. B. and B. Vondracek (1985), Persistence and structure of the fish assemblage in a small California stream. *Ecology* 66, pp. 1-13.
- Schwartz, J. S. and E. E. Herricks (2004), Use of Prepositioned Areal Electrofishing Devices with Rod Electrodes in Small Streams, *North American Journal of Fisheries Management* 24:1330-1340.
- Sullivan, S. P., M. C. Watzin and W. C. Hession (2006), Influence of stream geomorphic condition on fish communities in Vermont, U.S.A. *Freshwater Biology* 51, pp. 1811-1826.

- Suen, J. P. and E. E. Herricks (2006), Investigating the Causes of Fish Community Change in the Dahan River (Taiwan) Using an Autecology Matrix, *Hydrobiologia* 568, pp. 317-330.
- Schwartz, J. S. and E. E. Herricks (2007), Fish use of ecohydraulic-based mesohabitat units in a low-gradient Illinois stream: implications for stream restoration, *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*.
- Yu, S. L. and T. W. Lee (2005), Habitat segregation by fishes in western Taiwan rivers, *J. Appl. Ichthyol.* 21, pp. 531-534.
- 汪靜明 (2000), 「大甲溪水資源環境教育」, 經濟部水資源局, pp.30-15。
- 林曜松、梁世雄 (1996), 「臺灣野生動物資源調查~淡水魚資源調查手冊」, 行政院農業委員會。
- 孫建平、曹先紹、E. E. Herricks (2005), 「魚類生態矩陣之建立及其於生態工程之應用」, 台灣水利第 53 卷第 2 期, pp.86-93。
- 陳義雄、方力行 (1996), 「台灣河川湖泊魚類的生態特性與棲地現況」, 1999 年生物多樣性研討會論文集。
- 曹先紹 (2000), 「生態面面觀」, 生態工法—理論與實務研討會論文集, 台北, pp. 79-90。
- 葉明峰 (2002), 「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, 講題 pp.1-15。
- 葉明峰, 張世倉, 林斯正 (2003), 「台灣櫻花鉤吻鮭域外放流棲地之評估」, 特有生物研究5(2), pp.15-32。
- 賴建盛 (1996), 櫻花鉤吻鮭的物理棲地關係之探討, 台灣大學地理研究所碩士論文。
- 韓橋權、方力行 (1997), 台南縣河川湖泊魚類誌, 台南縣政府。