

攔砂壩對烏石坑溪生態影響及魚道效用之評估

張世倉、李德旺、李訓煌

台灣省特有生物研究保育中心 南投縣集集镇民生東路一號

摘要

從 1995 年 7 月至 1997 年 5 月止，評估烏石坑溪 7 座攔砂壩對水域物理、化學環境及魚群的影響和 9 座魚道之功用。攔砂壩上方填滿砂石，使得河床坡度減緩，流水面加寬，水深變淺，流速變慢，溶氧量減少、水溫升高，此現象在乾季較明顯。攔砂壩下方河床及兩岸侵蝕嚴重，水濁度及總固體溶解量增加，這種現象以雨季較為明顯。烏石坑溪共記錄 10 魚種，以台灣鏟頰魚為最優勢種。高攔砂壩構成魚類洄游障礙，依攔砂壩上下水域魚群月別體長頻度分布的資料，台灣鏟頰魚成魚在雨季末（10 月）可經由現有之水池式魚道上溯洄游，而雨季初（3 月）下移。台灣間爬岩鰍（*Hemimyzon formosanum*）與台灣鏟頰魚（*Variacorhinus barbatulus*）同時會利用魚道。其他 6 魚種包括褐吻鰍（*Rhinogobius brunneus*）、短吻鰍（*Rhinogobius rubromaculatus*）、台灣馬口魚（*Candidia barbata*）、台灣石鰍（*Acrossocheilus paradoxus*）、粗首鰍（*Zacco pachycephalus*）及脂鯰（*Leiocassis adiposalis*）所得資料顯示可經魚道或攔砂壩上溯的可能性。為了減輕攔砂壩長期對河川生態的影響及其魚道功能不彰，建議以連續性矮壩替代高壩為最佳之解決方案。

關鍵詞：河川生態、淡水魚、族群生態、台灣鏟頰魚、台灣間爬岩鰍

緒言

台灣地形多高山，河流短促坡度陡峭，河川極不穩定。為了穩定河床以防河岸崩坍，建築攔砂壩是台灣過去 50 年來的基本方法。根據台灣省林務局（1991；1992）調查資料，1976 年以前興建 1027 座攔砂壩，1976 年至 1991 年興建 1828 座，合計 2855 座。其中以林務局興建 1681 座，水土保持局興建 519 座，其餘興建單位有台灣電力公司、農田水利會及縣市政府。攔砂壩大小不一，壩高超過 10m 的有 406 座，壩長超過 100m 的有 202 座。以上總合加上 1991 年以後興建之攔砂壩至今將近 3000 座，其中附設有魚道之攔砂壩不超過 100 座。以往興建攔砂壩為水利工程所需，毫無考量河川生態及魚類資源的需要。攔砂壩對河川生態及魚類資源之影響，及魚道是否有功效之相關研究較少。國內開始以開口壩、複式排水斷面魚道及鋼板柵分離砂石的設計改良傳統防砂壩及魚道砂石堵塞的研究（段 1997），亦僅是個

開始。本研究以烏石坑溪為例，探討 1) 攔砂壩對河川生態包括物理環境、魚類分布、族群量及洄游的影響，2) 現有攔砂壩魚道狀況及功能，3) 減輕攔砂壩對生態及魚群影響的關鍵及方法。

材料與方法

一、研究地點和採樣站

烏石坑溪位於台中縣和平鄉為大安溪的支流之一。流長約 12km，河短坡陡，乾溼季節變化明顯，為台灣典型的山區河川。其下游不到 4 公里的河段，設有 7 座攔砂壩及 9 座魚道(圖一，表一)，平均不到 600m 就有 1 座攔砂壩。其中以 4 號攔砂壩最長為 113m，最短是 6 號攔砂壩 30m。壩高以 1 號攔砂壩最低 7.5m，而 2 號攔砂壩最高 13m。這 7 座攔砂壩於 1987 年 1 月至 1989 年 4 月間完工，僅有 10 年左右歷史。

為比較攔砂壩間水域之水文、水質及魚類群聚，共設 8 個採樣站 (圖一)。在 1 號、2 號、3 號及 7 號攔砂壩上下方水域有 6 個採樣站 (St2-7)。靠近大安溪之烏石坑溪口上方設一個採樣站 (St1)。乾季時於上游選擇一個採樣站 (St8) 調查魚類分布。第 1、2 採樣站間和第 7、8 採樣站間均無攔砂壩，而第 3、4、5、6 採樣站上下方水域均有攔砂壩。站間河川生態和魚類族群之差異，可突顯攔砂壩之影響及魚道之效用。

二、採樣項目與方法

水文因子包括河川坡度、河寬、河深、流速及流量。坡度是 1995 年 10 月以坡度計測量採樣站 200m 長河段高差與其間距的比值。河寬以 50m 塑膠尺，於每採樣站選取 2 至 3 條垂直於水流之穿越線，測量至 0.1m 之平均值。河深則以標竿於穿越線間隔每 1m 測量至公分之平均值。流速以流速計 (Swoffer model 2100 series) 於穿越線上每隔 1m 測量距離水面 3/5 深度的流速平均值。每一條穿越線的流量是每個測量點的河深與流速及間隔相乘的總合。烏石坑地區從 1995 年 1 月至 1997 年 12 月止，3 年月別降雨量資料，取於台灣省特有生物研究保育中心低海拔試驗站氣象站。

水質包括水溫、溶氧量、導電度、總固體溶解量、濁度及 pH 值，均以水質分析儀器 (WTW 型號) 校正後直接測量。魚類採集以三至四人為一組，以 8 伏特蓄電池電魚器以 Z 字形路線由下游往上游間歇性放電捕撈。採樣時間每站 30 分鐘，記錄魚種、體長及體重。

自 1995 年 7 月至 1996 年 6 月止，不受攔砂壩影響的第 1 採樣站 (St1) 每月採樣 1 次，以測定烏石坑溪水文、水質及魚群的季節變動。第 2 至第 7 採樣站 (St2-7) 位於攔砂壩間兩個月採樣 1 次。第 8 採樣站僅於乾季時前往上游河段調查 1 次，以全面性的瞭解魚類分布範圍。因為 2 號攔砂壩高且其魚道已損壞，而 1 號攔砂壩魚道仍然完整 (表一)，故 1996 年 7 月起至 1997 年 6 月止則只監測下游 3 個採樣站 (St1-3)。以 1 號攔砂壩上下方水文、水質環境變化及魚類族群變化推測其洄游變動的影響，並間接評估魚道對魚群洄游效用，所採取的水文、水質及魚類族群資料以月別橫向變化分析，和站間縱向變化分析，探測攔砂壩對烏石坑溪生態之影響。

每站所捕獲之各魚種數目為該魚種的單位努力捕獲量 (CPUE=魚數/30 分)，作為該站魚

群密度指數，並以台灣鏟頰魚及台灣間爬岩鰍各站及站間的族群單位努力捕獲量和體長頻度分布之月變化，推測此兩優勢魚種的洄游習性、成長、產卵期及推測攔砂壩對其兩魚種之影響。

結果

一、水文

第 4 採樣站位於 2 號攔砂壩上方為烏石坑溪和乾溪的匯流處，其河床寬闊且平坦，坡度平緩，約 1.6% (圖二)。由此向上游 4 個採樣站 (St5-8) 之河床坡度則有逐漸增加的趨勢，到第 8 採樣站坡度增加至 7.5%。向下游 3 個測站 (St3-1) 河床坡度亦有向下游增加的趨勢，到第 1 採樣站坡度為 3.2%，往下游匯流入大安溪時坡度則減緩為 1.0%。

流量、水深、河寬及流速有明顯的季節變動，測值以雨季 7 月最高而 1 月最低 (圖三)。7 月流量 6.1-7.9cms，約為 1 月 0.07-0.2cms 的 30 倍。河寬 7 月 13.9-19.7m，而 1 月最窄 5.5-7.6m。水深 7 月為 58cm，而乾期 1 月最淺 14cm。流速 7 月達 1.06m/s，而 1 月只有 0.14m/s。按照 1995 年 1 月至 1997 年 12 月的降雨量 (圖四) 和本研究調查的水流量 (圖三) 可將一年分成雨季和乾季；雨季由 4 月起至 9 月止，而乾季從 10 月至 3 月止。雨季期間水流量增高、河寬度增加、水位加深且流速變快，而乾季時相對地水流量減低、河寬度變窄、水位變淺且流速變慢。

1995 年乾、雨季中 1 月份和 7 月份水文站間縱向變化 (圖五)，分別代表烏石坑溪乾季和雨季的水文環境。在雨季，4 號和 7 號攔砂壩下方水域的第 5 及第 6 採樣站的水流量、流速及水深都比上游的第 7 採樣站低 (paired t-test, $p(0.05, n=3)$)。但在乾季流量、河寬、水深及流速在攔砂壩上下方均無顯著差異 ($p(0.05, n=3)$)。

在雨季攔砂壩上下方物理狀況之差異為攔砂壩上方水域砂石堆積，河床坡度減小 (圖二)，河寬變大 (圖五)，一部分成伏流在河床下方流動所致。這種情形在 3 號攔砂壩下方的第 4 採樣站更為嚴重，在乾季河床 6 個月之長 (10-3 月) 乾枯。在攔砂壩下方水流向下沖刷，形成河床及兩岸有掏挖浸蝕現象。此現象在魚道下方出水口常發現，促使魚道與下游之流水面落差加大，如 1 號壩魚道及 7 號壩魚道。

二、水質

自 1995 年 7 月至 1996 年 6 月間烏石坑溪第 1 採樣站，有顯著的季節變化 (圖六)。乾季水溫於 1 月最低 (14.1°C)，雨季 8 月最高 (23.7°C)。水中溶氧量與水溫在乾季水溫低而水中溶氧量高，雨季時水溫高而溶氧量低。濁度在雨季時因受洪水及乾季時受施工之影響起伏不定，變化頗大。導電度、總固體溶解量及 pH 值月別起伏大，乾季比雨季低。

1 號攔砂壩上下方水域 3 個採樣站 (St1-3) 之水質以圖七表示。上方水域 (St3) 之濁度、總固體溶解量及導電度值都比下方者為小，這個現象尤其在雨季時更為明顯，7 月水流量大時，水溫從上游第 7 站的 19.4°C 到下游第 1 站的 20.7°C，其水溫之空間差異不大 (圖八)。但乾季 (1 月) 各站間水溫變化則比雨季為大，第 7 站水溫僅為 13.6°C，往下游至第 2 站已增加至 18.1°C。此乃因為乾季水流量低、水淺、流速慢，水溫易受太陽輻射影響之故。

導電度與總固體溶解量有往下游增加的趨勢。濁度因在雨季時受洪水影響而變化較大，但終年則因攔砂壩上游岩石堆積，水流變緩慢，促使懸浮物質沉澱，而呈現縱向之變異起伏不平。

三、魚類分布

靠近大安溪的第 1 採樣站 (St1)，共發現 10 種魚，脂鯢、香魚及鱸鰻 3 種只發現於第 1 採樣站 (表二)。香魚並非大安溪原生魚種 (詹 1992)，係溪畔養殖外流者。脂鯢乃在乾季從 10 月至 3 月溯游至烏石坑溪口，粗首鱖在第 1 採樣站捕獲較多。而在 1 號壩上第 3 採樣站有 1 隻捕獲紀錄。鱸鰻僅發現 1 隻死體。其餘 6 魚種為常見種，包括台灣鏟頰魚、短吻鱖、褐吻鱖、台灣間爬岩鰻、台灣石鱖及台灣馬口魚。在 1 號壩下的第 2 採樣站和壩上的第 3 採樣站，上述 6 種魚都有發現。台灣石鱖、台灣馬口魚和台灣間爬岩鰻仍為大安溪魚類，而常上溯至烏石坑溪口被捕。其餘 3 種，台灣鏟頰魚、短吻鱖及褐吻鱖為攔砂壩上下方水域普遍分布的優勢種。茲就烏石坑溪第一優勢魚種台灣鏟頰魚及同時分布於大安溪之常見魚種台灣間爬岩鰻，以兩者之族群動態說明其與攔砂壩間的關係。

(一) 台灣鏟頰魚

第 7 採樣站上流的河道，無攔砂壩等人工水利設施。雨季末期乾季初期 (9-11 月) 由於流量降低，魚群密度增加外，雨季 (5-7 月) 和乾季 (1-3 月) 之單位努力捕獲量大約相似，維持在 53-69 隻之間。站間之體長頻度分布也極相似。又每月都有幼魚出現，可推測台灣鏟頰魚是終年繁殖，而維持每月體長頻度分布之相似性 (圖九)。

第 6 採樣站位於 7 號攔砂壩下，第 5 採樣站位於 3 號攔砂壩上方 (圖一)。因為第 2、5 及 7 號攔砂壩魚道已全毀或出入口被堵塞 (表一)，在乾季都無水流，此兩採樣站魚在乾期被困於攔砂壩水域間。其體長頻度分布與上游的第 7 採樣站極為相似，但單位努力捕獲量則有往下游增加的現象 (圖九)。以乾季的 11 月及 1 月最為明顯。此現象似乎為雨季上游的台灣鏟頰魚向下游移動所造成，但其間之體長頻度分布相似乃因其在攔砂壩間均可繁殖之故。

第 4 採樣站在 2 號攔砂壩和 3 號攔砂壩之間，2 號攔砂壩魚道已損壞。乾季 11 月到 3 月河床乾枯無水也無魚。雨季從 5 月開始單位努力捕獲量增加，至 9 月時其單位努力捕獲量甚至比上游的第 7、6、5 採樣站還高 (圖九)。此站之台灣鏟頰魚可說完全由上游族群在雨季向下游移動而來。因為河床寬闊，坡度最為平緩，流速減小，故雨季時由上游洪水衝下之台灣鏟頰魚在此密集避難。當乾季水位下降時，河床乾枯，溪水全部成伏流台灣鏟頰魚可能因河床乾枯而死亡，或向上下游逃避乾枯河床。

位於 1 號攔砂壩上下方水域的第 3 及第 2、1 採樣站，其單位努力捕獲量及體長頻度分布變化 (圖十) 與上游的第 4、5、6 及 7 採樣站 (圖九) 不同。第 1 採樣站因瀕臨道路，常受施工影響，故以攔砂壩上方的第 3 採樣站和下方的第 2 採樣站比較 (圖十)。雨季 5 月及 7 月 1 號攔砂壩上方的第 3 採樣站捕獲量低於下方的第 2 採樣站。乾季 1 月及 3 月則相反，以第 3 採樣站較高，同時第 3 站魚體長組成亦顯著大於第 2 採樣站捕獲之魚 (圖十)。

從 1996 年 7 月到 1997 年 6 月間又重複採樣，以 t-test 比較攔砂壩上下方平均體長 (表二)，攔砂壩下方第 1、2 採樣站水域魚體長 9 月時比第 3 採樣站有顯著較長，11 月及 1 月時魚體長則顯著的較短。1 號攔砂壩上下方水域，台灣鏟頰魚體長頻度分布有明顯季節性變動。顯示台灣鏟頰魚在 1 號攔砂壩上下方水域間有季節性的遷移。

雨季將結束的 9 月，壩下大型的台灣鏟頰魚可能來自大安溪。當流量下降至適當流速時，藉由現有的魚道上溯至 1 號壩上方水域，造成乾季 11 月至 1 月時壩上方水域之台灣鏟頰魚體型比壩下為大之現象。則推估台灣鏟頰魚上溯時間約在 9-10 月左右。但由於 2 號攔砂壩魚道已毀壞，台灣鏟頰魚無法上溯至第 4 採樣站。到了 3 月雨季初期，當溪水上漲時又往下游遷移。估計其上下遷移時的水流量為 0.6cms 到 1cms 間，水溫約 20°C 左右（圖十一）。

(二) 台灣間爬岩鰍

台灣間爬岩鰍生活於溪流急瀨水域，由單月捕獲之體長頻度分布圖（圖十二），可視為 1 年生之魚種，每月均有 3~4cm 的小魚出現，顯示其為整年繁殖，與台灣鏟頰魚相似。

自 1995 年 7 月至 1996 年 6 月的調查，台灣間爬岩鰍僅分布於 1 號攔砂壩上下方水域間，而在 1 號攔砂壩下方水域的第 1、2 採樣站共捕獲 65 隻，大小體型都有。而上方水域的第 3 採樣站，僅在 9 月捕獲 2 隻大型魚（8cm），約占捕獲量的 3%。從 1996 年 7 月到 1997 年 6 月的調查，在 1 號壩下方水域的第 1、2 採樣站共捕獲 85 隻，其中體長以 4cm 最多。而 1 號壩上方水域的第 3 採樣站捕獲 67 隻，體長以 7cm 最多（圖十二）。

以上結果顯示台灣間爬岩鰍雖是活動於大安溪和烏石坑溪的魚種。攔砂壩下方第 1、2 採樣站整年有捕獲，乾季的 9 月至 1 月較多而雨季 3 月至 7 月為少。在攔砂壩上方第 3 採樣站於 9 月到 11 月出現大型魚，1-3 月時其數目減少，雨季末期 5-7 月就不見了。這種現象說明台灣間爬岩鰍有季節性的上溯洄游，而較大型的台灣間爬岩鰍（大於 5cm）可能是經由魚道上溯至上方水域，上下洄游的時間與台灣鏟頰魚同時（圖十一）。攔砂壩對體型較小之幼魚仍為障礙。

討論

台灣山區河川坡度陡峭，水位波動快而幅度大，雨季水位急速升高，常氾濫成災。乾季河床流量驟減，部分河段甚至乾枯，對魚類造成一個極不穩定的生活環境。生活於如此變化極大的環境，台灣山區魚類在型態、習性或繁殖的策略已經過長時間的適應與調整。在烏石坑溪發現的 10 魚種，除了香魚非本溪流的原生魚種外，其餘 9 種魚皆為利用烏石坑溪完成其一部分或全部生活史。

其中平鰭鰍科的台灣間爬岩鰍之型態可說是適應環境最佳的一個例子。台灣間爬岩鰍與中下游河川的鰍科魚種近緣，但其胸、腹鰭向兩側扁伸，而頭胸腹部扁平成一個大吸盤，適應山區急湍水流。還有鰍科的褐吻鰍和短吻鰍，其左右腹鰭結合成一個吸盤。這 3 種魚可藉著吸盤附著岩石表面，避免急水沖走而爬行上溯。

鯉科的台灣鏟頰魚、台灣石鰻、粗首鰻及台灣馬口魚，體型呈流線型，備有較強的溯游能力。在烏石坑溪的台灣鏟頰魚時時皆可繁殖，而新店溪台灣鏟頰魚族群則不同（彭 1986），這種為了適應惡劣的環境調整其繁殖策略，來確保其族群的生存及數量的維持。而大型台灣鏟頰魚則在雨季末期適當的水流量向上溯洄游以延伸其族群的分布範圍，雨季初期則隨流下溯。隨乾雨季流量變動而有上下溯游的習性。其他 3 魚種台灣石鰻、粗首鰻和台灣馬口魚可能也和台灣鏟頰魚有相似的洄游習性，但本研究並沒有足夠資料顯示此習性。

美國威斯康辛州在 1988 年拆掉 Milwaukee 河的一座攔水壩，經過五年的監測研究發現

棲地的改善受自然力的影響甚大，隨著棲地的改變魚類群聚結構也改變 (Paul *et al.* 1997)。研究攔水壩對下游河川生態的影響，從地形學的觀點認為攔水壩的建立本身即是改變了原有河川的地形，將導致生態系列的改變，這才是影響河川生態的重要關鍵 Franklin *et al.* 1995)。例如營養及能量流路產生變化時，物理環境因子及水質環境自然會產生變化，濱溪植物、水中附著生物、無脊椎動物及魚類對棲地的利用也會重新組合。亦有研究顯示攔水壩確實是導致魚類群聚結構改變的主要因素造成，原普遍分布於美國 North Fork 及 Salt Fork 4 種小型鯉科魚種於壩上方水域消失 (Winston *et al.* 1991)。國內研究大甲溪魚類棲地生態及改善時也得到相類似的結果，認為河川棲地的改善確實會改變魚類族群的豐度及歧異度 (汪 1993)。的確攔砂壩切割河床後，上游砂石堆積，而下游流水沖下掏挖成深潭，對河川生態及魚類之影響顯然可知。

攔砂壩原來興建的目的為穩定河床，防止河岸崩坍及防止砂石的流失。但是一個颱風過後，攔砂壩上方已堆滿砂石，便失去攔阻砂石的功能。且壩上砂石堆積使河床提高，河床坡度減緩，砂石河床加寬，水深變淺，流速變慢，河水暴露陽光下，水溫易受影響變動大，溶氧量減少，對魚類棲地造成永久的傷害。在烏石坑溪第 4 採樣站乾季時，全部溪水都成伏流水，表面河床乾枯達有 6 個月之久，魚類棲地全部消失，是最明顯的例子。

因為攔砂壩上方砂石堆積，洪水發生時砂石往攔砂壩下方衝撞。有的砂石衝入魚道而破壞隔板，2 號壩及 7 號壩之魚道隔板無一個能倖存，就是此現象所致，魚道變成了滑水道。有的砂石堆滿魚道，乾季水位低時魚道便無水流。攔砂壩上游砂石堆積是魚道難以維護的主要原因。

由於攔砂壩上游堆滿砂石，河床提高且平坦，洪氾時河水高漲，兩岸土質疏鬆的地方成了新崩坍地。攔砂壩下游因壩上水流向下沖刷，使河床侵蝕加倍嚴重，引起水色變濁，水中總固體溶解量增加。整體而言，攔砂壩雖然穩定了部分河段兩岸，但也增加了其它河段的崩坍及水質變差，對河川生態的影響是利少弊多。

由烏石坑溪魚類之分布情形可知魚種及族群量有下游往上游減少之現象，似乎與河川連續假說 (Mytle 1988)、攔砂壩的位置、魚種習性及生活史有關。1 號攔砂壩魚道仍完整，而 2 號攔砂壩的魚道隔板已全部毀壞 (表二)。結果顯示台灣間爬岩鰍、台灣石𩺰、台灣馬口魚、粗首𩺰四種大安溪魚種極有利用 1 號攔砂壩魚道上溯的可能。攔砂壩對台灣鏟頰魚和兩種𩺰虎分布之影響則不明顯。

本研究探討攔砂壩上下方水域的優勢魚種台灣鏟頰魚及台灣間爬岩鰍族群動態，以述明攔砂壩如何影響其生態。短吻𩺰虎及褐吻𩺰虎也是優勢種，但由於研究初期將兩種混合 (Lee and Chang 1996)，故無法分析探討。

攔砂壩橫切河床，在烏石坑溪下游不到 4km 之河段就有 7 座之多，壩高介於 7.5m 至 13m 之間。雖然分布之魚種已經適應山區急流環境，但攔砂壩的存在，對洄游性魚類而言無疑仍是個障礙。

台灣鏟頰魚為攔砂壩上下游分布的優勢魚種，由於其適應後已能整年繁殖，在攔砂壩上下皆可繁殖，因此攔砂壩的存在對其生存不會有太大的威脅。不過其成魚有季節性上下溯游的習性，攔砂壩對其下溯的影響雖較小，但雨季末期開始上溯時，攔砂壩的存在不利其上溯是非常明顯的。其餘 3 種鯉科魚種，台灣石𩺰、粗首𩺰及台灣馬口魚大都棲息於大安溪。但

是這 3 種魚都集中在 1 號攔砂壩下方水域，1 號壩上方水域捕獲之數量少，而在 2 號壩以上之河段則從未有捕獲紀錄。顯示攔砂壩的存在對鯉科魚種的洄游是不利的。

而平鰭鰍科的台灣間爬岩鰍和鰻虎科的褐吻鰻虎及短吻鰻虎因其頭胸腹合成吸盤狀或腹鰭進化成吸盤，營底棲生活可攀附岩石或石壁，攔砂壩對其影響較小。但是仔細分析在 1 號壩上下方水域捕獲台灣間爬岩鰍之體長組成，可以發現攔砂壩限制了小型台灣間爬岩鰍的上溯活動，對整個族群而言仍有負面的影響。

另外由烏石坑溪魚種及其族群量縱向分布來看，魚種及族群量由下游向上游遞減，到 2 號壩以上河段因為 2 號壩的魚道已毀壞失去功用，僅剩下台灣鏟頰魚、台灣間爬岩鰍及短吻鰻虎 3 魚種的蹤跡了。可知沒有魚道或魚道毀損的攔砂壩對溯游性魚類的影響是要比附設有魚道的攔砂壩影響要大的多。

雨季時山區河川水位暴漲，流速增加，魚群常被水流沖向下游坡度較緩的水域避難。乾季一到水位快速降下，水位變淺，流速減緩，水溫變動幅度大，族群量有減少現象。最嚴重的如第 4 採樣站乾季時河床乾枯，魚類棲地完全消失。

台灣鏟頰魚如上所述，是時時繁殖處處繁殖之魚種，大安溪支流如烏石坑溪，雨季初成魚下溯大安溪，在此地與各支流的成魚互相交配繁殖，其成長之魚在雨季末上溯到各支流與當地族群交配繁殖。上下溯洄游及繁殖習性，使維持大安溪系統台灣鏟頰魚族群的遺傳因子之多樣性 (genetic diversity)。大安溪系統包括所有支流的族群稱為中族群 (meta-population)，而烏石坑溪或別的小支流稱為小族群 (sub-metapopulation)。攔砂壩把烏石坑上游小族群只有下溯而不再受下流上溯魚群之混合。結果可能引起此上流族群近親交配 (inbreeding)，而引起其遺傳因子之退化 (細谷 1998)。雖然烏石坑溪攔砂壩只有約 10 年的歷史，但長期之影響是值得考慮的。

結論與建議

以烏石坑溪 1 號壩上游 (第 3 採樣站) 和下游 (第 1、2 採樣站) 兩年間捕獲之台灣鏟頰魚體長頻度分布之變動情形來看 (圖十)，顯示台灣鏟頰魚在雨季末期，於適當的水流量時可以經由魚道上溯至 1 號壩上方水域 (圖十一)，乾季時則因魚道無水流而無功用。另外台灣間爬岩鰍兩年來捕獲之體長頻度分布資料，也顯示其具有上溯至 1 號壩上游的能力。

其它魚種如台灣馬口魚、台灣石鰻及粗首鰻在 1 號壩上亦有捕獲，顯示台灣馬口魚、台灣石鰻及粗首鰻亦可利用 1 號壩水池式魚道上溯，但其數量甚少，是否受其它如水溫等其它因子的影響，或是其溯游能力較差，則有待進一步研究。此研究結果顯示攔砂壩魚道如有良好的維護，對魚類洄游是有幫助的。雖然對小型魚上溯仍然構成障礙。

本研究結果顯示攔砂壩不僅改變部分河段的物理環境、水質，同時也限制魚種分布，阻隔魚類的洄游，對魚類族群的繁衍有負面的影響。因此如何減輕攔砂壩對河川生態及魚類族群的衝擊，乃是目前河川管理必需面對的問題。從河川生態及魚類資源保育的觀點可從 4 個方向思考處理：

一、維護魚道之基本功能

烏石坑溪 7 座攔砂壩共設置 9 座魚道，除了 5 號攔砂壩有 1 座為導流壁式魚道外，其餘 6 座全為水池式魚道，是台灣最常用的魚道型式。本研究結果顯示水池式魚道對台灣鏟頰魚及其他山區魚類是有功用的。但本島位於夏季颱風路徑之一，洪氾無法避免，且上游河川流心變化大，攔砂壩上游砂石堆積輒堵塞魚道出入口、破壞魚道隔板，為了維護魚道功用，勢必要每年編列預算加以維護清理。以台灣鏟頰魚為例，在雨季末期有上溯的洄游，則魚道必須在其上溯之前清理，方能提高其上溯比率。氣象實難準確預測，雨季魚道之維護不是件容易的事。

二、以簡易式魚道替代

魚道之維護費用難以確保時，或者魚道已毀壞而不能清理時，以簡易式魚道替代將是另一個可以考慮的作法（曾 1997）。在魚類上溯時期設置簡便型魚道，於洪水期前再將其拆下，待下一次再使用，邏輯可行。但是首先必須克服器材的搬運及組合和上述氣象難測等人力及物力問題外，如何確保組合後不再有洪水的威脅，也是必須事先加以考量的。以烏石坑溪為例台灣鏟頰魚上溯時期在雨季末期（圖十二），簡易式魚道組裝更是不易。

三、拆除攔砂壩

雖然魚道之修護可幫助河川魚類上溯洄游，減輕攔砂壩對河川魚類的影響，但是仍然無法解決攔砂壩對整個河川生態系的負面影響。因此如果魚道之維護困難，且攔砂壩對河川生態的影響又無法得以解決，則拆除現有攔砂壩亦可加以考慮。拆除攔砂壩後也沒有維護及清理魚道的問題，但是拆除攔砂壩後大量砂石向下游流竄，下游可能會釀成災害，是否會對人民生命財產構成威脅，值得重視。因此即使攔砂壩需要拆除亦不可同時拆除，試著以階段性的方式予以拆除，使影響減輕至最小。

四、連續性矮壩取代現有的高壩

攔砂壩並非台灣所獨有，鄰近的日本也同樣面臨到攔砂壩對河川生態負面影響的問題。1998 年在台北召開之中日溪流生態保育研討會中，中日雙方研究者對於攔砂壩影響河川生態問題的看法卻相當一致（東 1998；原 1998；張等 1998）。大家都認為以連續性矮壩來取代現有之高壩，不僅可以兼顧河川生態、魚類保育及控制流心減緩洪水衝力，河床兩岸的侵蝕和河岸崩坍就可減少，水質也得以穩定。更重要的是不需考慮魚類上溯洄游的問題，因為連續性矮壩本身即是魚道。長久而整體的考量，連續性矮壩可能是減輕現行高壩影響生態最有效的方法。

誌謝

感謝蔡住發博士細心指導並提供寶貴的意見，還有棲地生態組的葉明峰、張仁川、沈明晃、薛士毅及賴佳郎等不畏艱難地在野外幫忙蒐集資料，一併感謝於斯。

引用文獻

- 台灣省林務局。1991。台灣省近期防砂壩現況調查報告。行政院農業委員會補助。165 頁。
- 台灣省林務局。1992。台灣省近期防砂壩現況調查報告。行政院農業委員會補助。292 頁。
- 汪靜明。1993。大甲溪魚類棲地生態研究及改善計畫。台灣電力公司 80 年發展研究計畫。國立彰化師範大學生物系。第 40 頁。
- 段錦浩。1997。防砂壩魚道防止礫石阻塞之研究。中華水土保持學報 28(1)： 69-73。
- 張世倉、李德旺、李訓煌。1998。烏石坑溪攔砂壩對河川生態的影響及其魚道效用之評估。中日溪流生態保育研討會論文集。第 133-150 頁。
- 彭弘光。1986。□魚生物學的初步研究。水產研究 40： 105-112。
- 曾晴賢。1997。台灣河川魚道設置現況調查及研究。台灣省農林廳林務局保育研究系列 85-10 號。第 8 頁。
- 詹見平、吳世霖。1992。台灣生物地理區南北過度區的魚類生態。中國水產月刊 478： 5-59。
- 東三郎。1998。Principle and application of serial low-dam (bed-stabilization) work。中日溪流生態保育研討會論文集。第 117-130 頁。
- 原健。1998。On the fishways of sabo works and the fish ecology in Japan。中日溪流生態保育研討會論文集。第 131-132 頁。
- 細谷河海。1998。Spatial structure and genetic diversity in the metapopulation of freshwater fishes。中日溪流生態保育研討會論文集。第 183 頁。
- Franklin, K. L., W. E. Dietrich, and W. J. Trush. 1995. Downstream ecological effects of dams. BioScience 45： 183-192.
- Lee, S. T. and J. S. Chang. 1996. A new goby, *Rhinogobius bromaculatus* (Teleostei: Gobiidae), Taiwan Zool Study 35(1): 30-35.
- Moyle, P. B. 1988. Fishes: An Introduction to Ichthyology. (2nd ed.) Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Paul, D. K., J. Lyons, and J. E. Nelson. 1997. Changes in the habitat and fish community of the Milwaukee River, Wisconsin, following removal of the Woolen Mills Dam. N. Amer. Jour. Fish. Manag. 17: 387-400.
- Winston, M. R., C. M. Taylor, and J. Pigg. 1991. Upstream extirpation of four minnow species due to damming of a prairie stream. Trans. Amer. Fish. Soc. 120: 98-105.

Environmental Impact Assessment of Check Dams with Evaluation of the Function of Fishways in the Wushykeng Creek

Shi-Tsang Chang , Teh-Wang Lee, and Hsun-Hung Lee

Taiwan Endemic Species Research Institute, Chichi , Nantou, Taiwan

Abstract

Between July 1995 and May 1997, a survey was conducted to assess the impacts of seven check dams on the Wushykeng Creek, and to evaluate the effectiveness of their fishways for fish upstream migration. The check dams caused the formation of rock and gravel piles in the immediately upstream areas and deep excavation in the immediately downstream areas. The former resulted in decreases in stream slope, surface stream flow, water depth, water flow velocity and dissolved solid content of the stream water, particularly in the raining season. The latter resulted in erosion of stream bed and shores, and increases in turbidity and dissolved solid content of the stream water, particularly in the raining season. The dams became barricades for the upstream migration of fishes. For 10 species of fishes found in the creek, there were circumstantial evidences that *Varicorhinus barbatulus*, *Acrossocheilus paradoxus*, *Candidia barbata*, *Zacco pachycephalus*, *Rhinogobius brunneus*, *Rhinogobius rubromaculatus* and *Hemimyzon formosanum* were able to pass the existing pool-type fishways for upstream migration. However, most of the fishways have been functionally damaged or destroyed for lack of maintenance. For a long-term and cost-effective consideration, serial low-dams to replace the present high rise check dams is recommended.

Keywords : River ecology, freshwater fish, community ecology, *Varicorhinus barbatulus*,
Hemimyzon formosanum

表一、烏石坑溪攔砂壩及魚道現況

Table 1. Check dams and fishways
in the Wushykeng Creek.

表二、1995 年 7 月至 1996 年 6 月烏石坑溪各採樣站魚種分布及總捕獲量

Table 2. Total catches and species composition of fishes at 8
sampling stations at Wushykeng Creek, July 1995 to June 1996.

表三、1996 年 7 月至 1997 年 5 月烏石坑溪 1 號攔砂壩上下方水域捕獲台灣鏟頰魚體長與體重比較

Table 3. A comparison of length and weight of *Varicorhinus barbatulus* between the
downstream and upstream stations of Check Dam 1, July 1996 to May 1997.

圖一、研究站及攔砂壩相關位置圖 (D1-D7 為 7 座攔砂壩代號; St1-St8 為 8 個採樣站代號)。

Figure 1. The study area (solid square in the left lower corner) and the locations
of the check dams (cross line) and sampling stations (open circles, St1 to
St8) at the Wushykeng Creek, Taichung County, Taiwan.

圖二、1995 年 10 月烏石坑溪各採樣站坡度測量值。

Figure 2. Slopes of the sampling stations at the Wushykeng Creek, October, 1995

圖三、1996 年 7 月至 1997 年 6 月烏石坑溪 1 號壩上下方水域每月水文因子變化。

Figure 3. Monthly hydrological changes in the lower section (St1-2) and upper section
(St3) of Check-Dam 1 at the Wushykeng Creek, July 1996 to May 1997.

圖四、1995 年 1 月至 1997 年 12 月烏石坑地區每月降雨量。

Figure 4. Monthly changes of precipitation in the
Wushykeng area, January 1995 to December 1997.

圖五、1995 年 7 月(●)與 1996 年 1 月(○) 7 個採樣站間水文縱向變化 (D1-D7, 攔砂壩之位置)。

Figure 5. Longitudinal changes in hydrological conditions of the Wushykeng Creek,
July 1995 (solid circles) and January 1996 (open circles).

圖六、1995 年 7 月至 1996 年 5 月烏石坑溪第 1 採樣站月別水質變化。

Figure 6. Monthly changes in water quality at St1 of the Wushykeng Creek, July 1995
to May 1996.

圖七、1996 年 7 月至 1997 年 6 月烏石坑溪 1 號壩上 (St3)、下方 (St1-2) 水域每月水質變化。

Figure 7. Changes in water quality in the lower section (St1-2) and upper section
(St3) of Check-Dam 1 at the Wushykeng Creek, July 1996 to May 1997.

圖八、1995 年 7 月(●)與 1996 年 1 月(○)站水質縱向變化。

Figure 8. Longitudinal changes in water quality of the Wushykeng Creek, July 1995 (solid circles) and January 1996 (open circles).

圖九、1995 年 7 月到 1996 年 5 月第 4-7 採樣站隔月捕獲台灣鏟頷魚體長分布。

Figure 9. Bimonthly length frequency distribution of *Variacorhinus barbatulus* at St4-7 of the Wushykeng Creek, July 1995 to May 1996.

圖十、1995 年 7 月至 1996 年 5 月烏石坑溪 1 號壩上(右圖)下(左圖)方水域捕獲台灣鏟頷魚體長分布。

Figure 10. Length frequency distribution of *Variacorhinus barbatulus* in the lower section (left figure) and upper section (right figure) of Check-Dam 1 at the Wushykeng Creek, July 1995 to May 1996.

圖十一、烏石坑溪台灣鏟頷魚及台灣間爬岩鰍洄游流量及洄游時間水溫，(為第 1 年值，(為第 2 年值；流量，(為第 1 年值，(為第 2 年值。

Figure 11. Predicted migration periods of *Variacorhinus barbatulus* and *Hemimyzon formosanum* in relation to water flow in the Wushykeng Creek.

圖十二、烏石坑溪 1 號壩上第 3 採樣站(實心柱狀圖)，壩下第 1, 2 採樣站(空心柱狀圖)捕獲台灣間爬岩鰍體長頻度分布(左圖，1995 年 7 月至 1996 年 5 月；右圖，1996 年 7 月至 1997 年 5 月)。

Figure 12. Bimonthly length frequency distribution of *Hemimyzon formosanum* in the lower section (open columns) and upper section (solid columns) of Check-Dam 1 in the Wushykeng Creek, July 1995 to May 1996 (left figure) and July 1996 to May 1997 (right figure).