

攔沙壩對水生生物多樣性的影響

張明雄¹ 林曜松²

1. 中研院動物所
2. 台大動物系

摘要

台灣的多數河川源於高山，河流短急而落差大，河川集水區往往又過度開發，造成了台灣河川輸沙量嚴重。因此，水土保持單位，在河川上游與支流興建攔沙壩，以減少沙石淤積於河川中游的水庫；據估計台灣溪流平均每一公里河段，至少一座攔沙壩以上。然而攔沙壩對於溪流物化環境，產生的多種負面效應；影響程度則因各生物種的生物特性與需求、溪流水文地理特質與攔沙壩的密度不同而差異，大致可區分為洄游生物阻隔、生物族群縮小與群聚區隔化及棲息地單調化等三種降低水生生物多樣性的效應；其對溪流生物整體的單向基因流動與基因庫零碎化等內在遺傳多樣性的效應，則頗值得後續研究。雖然，國內部份新建造的攔沙壩多有附屬魚道；但因未能充份考量本土地溪流特質與本土魚類特性，造成大部份魚道或是崩塌毀損，或是沙石淤塞，或是已不在行水區之內，或是落差過陡峭，未能發揮應有的補救功能。

一、前言

台灣的自然地形環境與地質條件特殊，上游集水區多屬不穩定的脆弱地質，地面容易崩塌下移，大部份主要溪流發源於海拔高度 2000 公尺以上的崇山峻嶺間，逕流到出海口的流程在百餘公里之內；河川坡陡流急。

台灣經濟發展快速，人們基於嘗鮮喜歡新奇的心理，或是尋求舒適的生活與休憩活動；不僅農業發展由在下游丘陵平原種植傳統的五穀雜糧，轉變為在溪流上游集水區超限開發，種植特用作物(如：高冷蔬果、茶園與檳榔等)；許多遊樂區、私人別墅區與高爾夫球場等，都如雨後春筍般在中低海拔的集水區興建。這些合法或是非法的土地利用，都須把原生長其間的原生或再生林砍伐，再行整地開發；這些行徑破壞林木對土壤的涵養作用，導致一遇雨成澇；台灣各地土石流發生的頻率，也愈來愈頻繁，對人民生命財產的威脅嚴重。另一方面，為了能充份供應人民日常生活飲用水，滿足各項工商活動的用水需求，政府在流量較大而穩定的河川中上游，建築水壩攔河蓄水。然而，隨著沙石的淤積的增加，水庫蓄水容量也會逐漸減少，因而會降低了水庫的使用年限，(如：德基水庫蓄水量為 267,207,000m³，平均年淤沙量都在 1,000,000m³ 以上(中華水土保持學會，1983))。因而，政府在水庫集水區上游興建眾多攔沙壩，減少沙石沖蝕淤積，並減緩落差以穩定河床。

全台灣河流總長度約 3000 公里，至 1991 年止共有可記錄之攔沙壩 2855 座(林務局，1992)；扣除各河川的下游長度，則平均每一公里，至少有一座攔沙壩以上。攔沙壩興建的水土保持相關單位，包括了：水土保持局、林務局、台電公司與地區主管單位等，正以每年增加約 100 座攔沙壩的速率興建中。這些攔沙壩的高度在 3 至 25 公尺

之間，多位於溪流偏僻處，鮮少人曾去分析攔沙壩的功效，以及對水生物影響。有關攔沙壩的生態效應的評估，則是近一兩年來才開始被重視，且多數報告都集中於以溪流魚類為評估對象。本文乃簡略介紹攔沙壩的水理特性，整理國內相關研究，以探討並預測攔沙壩對水生生物生態的影響，期能對未來國內的攔沙壩興建、環境影響評估及研究工作，具有參考價值，並使該等工程對溪流中的水生物與其自然分佈範圍的影響能降低至最低層次。

二、攔沙壩之功能與水理特性

攔沙壩又或名為防砂壩，是以鋼筋水泥結構於溪流兩岸之間上，構築於河道上，而其興建之造形則因設計原理之不同而各有所異；但在理論上，都被認為具有下列各項(1)穩定坡腳，防止崩坍；(2)攔阻或調節河岸砂石；(3)減緩河床坡度，防止縱橫向沖蝕；(4)控制流心，抑止亂流；(5)砂石堆積或沖蝕地區配合整流，防止砂石第二次流失；(6)涵養水源，補注地下水，促進草木之生長正面效果。欲對其功能進一步了解，則須對攔沙壩的水理特性與運作過程做作一簡略介紹(圖一)；攔沙壩上游形成的深潭攔截淤沙，自壩頂而下的水流則對壩下游進行沖蝕的過程；一旦壩上游淤滿，可使壩上游的河床坡度變緩，水流下切與側蝕能力頓減，以減少河床淤沙源與邊坡侵蝕；壩上溢洪口位置控制水流流心，減少對下游不穩定邊坡的繼續沖刷；下沖的水流，可使下游河床重心刷深，降低下游河床坡度。因此，攔沙壩最大的水理特性，與溪流的坡度有關(林，1994)。一旦興建攔沙壩後，隨其逐漸淤積至淤滿，則又開始興建第二座攔沙壩，依此類推，台灣地區的溪流攔沙壩可稱為連續性攔沙壩，藉多重的攔沙壩來加強其攔沙與降低坡度的目的；而兩壩間的水理特性則又與壩距有較明顯的關係；壩距愈遠，壩間水深愈趨於正常水深(潘，1995)。

國內攔沙壩的興建與改進，是以參考美日等先進國家的經驗，與國內諸多水土保持學者專家的研究為主；外形部型態與內部結構都漸次作修改，由早期單一壩體、梳形壩、主副壩相聯貫與連續壩體等類，視各地的水文特性而會有差異；如河床坡度愈陡，通常就須較高的攔沙壩。攔沙壩的目的在穩定河床，減低河道的侵蝕，但是以台灣的水文條件來說，攔沙壩不只很容易在一至二年之內完全被沙礫淤滿，更會因颱風洪水的巨大衝力，與所夾帶的巨石敲擊表層與淘空基底而可能在三、五年內崩潰損毀。更嚴重的影響是壩上河道的剖面坡度減緩會改變自然河道所呈顯的湍瀨、曲流等水生生物的棲地物理環境。以林務局調查全台灣攔沙壩狀況而言，約四分之一的壩已經損毀，僅剩約 13% 仍未淤滿。

三、攔沙壩對水生生物的影響

攔沙壩的興建對水土保持固然有所助益，但未考慮對水域的整體影響。攔沙壩上下游的水理特性與物理環境丕變，就意味水生生物的分佈能力特性受限制、棲息地變化與族群連續性零碎化。所有溪流生物中，魚類的形體最大，活動能力較強，須要較大的活動範圍；但是其所受到的移動限制性卻是最大；因而，攔沙壩對魚類的影響，是最明顯而受注目。

(一) 洄游生物路徑阻隔

攔沙壩的興建後立即出現的影響，是阻隔了原可以在溪流中自由遷徙移動分佈的水生生物，尤其是生活史中具有降、溯河性行為的種類(Mason and Machidori, 1976; Michael, 1983)，如：國內的鱸鰻、白鰻與毛蟹等，在攔沙壩興建後，逐漸在上游溪段

消失。除非溪流位置離出海口近，攔沙壩高度較低，而且垂直面因長期水流與沙石磨擦，變成崎嶇不平的磨擦面，可供少數洄游生物的幼生或具特殊構造(如日本禿頭鯊之吸盤)的魚類沿薄薄下沖水層努力攀爬而上(如：欖仁溪(曾(1986))，表一)與武荖坑溪(宜蘭縣政府(1996)，表二)；否則，只要建第一座攔沙壩，阻擋影響立即出現。在台灣西部的河川下游，多數已因工業、農業與家庭廢污水不當排放，使許多洄游性生物如香魚、鱸鰻、白鰻、日本禿頭鯊、溪鱧與毛蟹等幾至於消跡匿蹤；少數因緣際會，趁夏秋水浪較大之際，得以上溯的洄游性生物，卻會因攔沙壩之故，而無法朝向其較適合的中上游清澈水域分佈。因此，有許多的調查在攔沙壩下游與主流河段，仍能採獲某些稀有性的洄游性水生物(如曾在大甲溪主流捕獲人工流放的白鰻)，但卻不曾在攔沙壩之上有捕獲記錄，如南仁山保護區內下港口溪上游的欖仁溪攔沙壩上游只有褐吻鰕虎與洄游性之日本禿頭鯊兩種魚；壩下游則有褐吻鰕虎與六種洄游性的日本禿頭鯊、鱸鰻、寬頰禿頭鯊、雙帶禿頭鯊、眼斑厚唇鯊與溪鱧的魚類(曾，1986)。

(二)魚類族群縮小與區隔化

以生物不斷擴散分佈的理論而言(Brown, 1984)，自然河域的水生物未遭受各種不可克服的物化環境限制(如：瀑布)時，會持續向溪流上、下游進行雙向擴散，以擴大族群量與分佈範圍。另一方面，以溪流消長理論而言(Shelford, 1911)，隨著溪流在上游沖蝕能力較強，溪流被認為會漸次朝上游縱向發展；所以水生物的分佈也會隨而往上游擴散族群。然而，在攔沙壩阻隔的溪流，不論是雙向分佈或是朝上的消長擴散作用，都受限於攔沙壩所造成的垂直落差而中斷。Gorman(1986)即曾觀察到數種魚類因無法越過河道上的矮壩(Lower head dam)而群集在壩下方；溪流被壩體分隔而成區段化；在相隔兩河段間，都只有向下游的單向分佈；也就是上游的魚類可以隨水流沖激至下游，或是被動地被強大洪峰水流沖至下游；但下游的魚類卻不得凌空躍龍門而往壩上游上溯；尤其是台灣地區每年夏秋之際的颱風所帶來的龐大雨量，對生物的下沖作用，使攔沙壩的阻隔效應更是顯著，這種自然與人為衝擊的效應，尤以七家灣溪的櫻花鉤吻鮭族群分佈與數量最明顯(Lin et al., 1990)。這種阻隔與區隔化效應，也影響了數種台灣溪流數量與分佈最廣的魚類(如鮎魚、縷口鰱、石鱸、台灣間爬岩鰱、溪哥(含粗首鱨與平頰鱨)、褐吻鰕虎與脂鯿等)分佈現狀；且可以發現其等分佈範圍，隨連續數座攔沙壩數增加區隔而愈加萎縮。依據魚種的個別生物特性，可以概分為三種魚類分佈限制類別。

(1)上游魚種分佈下限上移。原本在溪流上游棲息活動的魚類，被洪水沖激至下游，無法在洪水歇止之後，朝原棲息的河域移動；但壩下游河段環境卻不適合該魚種棲息，或無法完成生命史，故造成此魚種有效分佈範圍緊能侷限於溪流攔沙壩上游河域；櫻花鉤吻鮭僅能分佈於七家灣溪上游(圖二)，七家灣溪與雪山溪的攔沙壩(七家灣溪一號壩)即可視為主要的影響。

(2)魚類分佈上限降低。魚類朝上游擴展分佈的能力會被限制於攔沙壩之下，如七家灣溪與雪山溪的鰻魚與縷口鰱，有勝溪的褐吻鰕虎，司界蘭溪的縷口鰱與褐吻鰕虎，合歡溪與南湖溪的台灣間爬岩鰱、石鰻與褐吻鰕虎等的分佈上限，都與其最下游攔沙壩的位置相吻合(林等，1994)(圖二)。又如屬大甲溪中游支流東卯溪與橫流溪最下游第一座攔沙壩上下游河段的棲息魚種即相差六七種以上(張，1994)(表三)。

(3)魚類群聚碎片化。前述兩者攔沙壩限制，都可視為連續性攔沙壩造成魚種分佈範圍碎片化後，所產生最為嚴重的負面效應。在溪流主流與中游活動的魚類，會在生殖季往上游與支流移動進行生殖活動，孵化的仔魚隨水流往中游分佈；這種生殖活動

特性會被攔沙壩阻隔而中斷；若攔沙壩之上或連續攔沙壩之間的河段無法提供足夠的棲息環境、資源與庇蔭處所，則殘存族群自然會漸萎縮而趨崩潰消失(Gaston, 1990)，或是被洪水下衝至主流河域，最終在最下游第一個攔沙壩之上的河段消失(如：東卯溪與橫流溪)；與 Linfield(1985)針對英國魚類活動與連續水壩影關係，即提出水壩越多魚類群聚消失越明顯的假說相符。若該等河段尚能提供此類魚類完成生活史，在洪水季亦有充足的蔽蔭所供其躲避洪水，或是其他因素影響，則魚類群聚與族群量，會出現隨朝上游攔沙壩數增加而明顯遞減的趨勢(如：裡冷溪(表三)，魚種與數量都遞減)，或是在連續壩之後，才出現明顯變化(如：烏石坑溪(表四)發生在第二個壩之後，與西武荖坑溪(表二)出現在第三個壩之後)，或是變化緩慢(如：東武荖坑溪(表二)或是幾乎沒有明顯變化趨勢(如：桶後溪(表五)，但部份魚類數量(如溪哥)仍出現減少的趨勢)。因此，隨溪流水文地理地質、魚種生物特性及攔沙壩位置與數量不同，魚類群聚與族群區隔化程度，也會有消失或是持續小族群殘存的差異性存在，但都可歸屬此類效應所致。

(三)魚類棲息地單調化

越多樣化的溪流棲地，即能提供越多種的魚類(Gorman and Karr,1978)，共同活動與分享食物與空間資源，也較能滿足魚類完成不同生活期的生態需求，更能提供所有魚類作為躲避洪水的沖激的庇護所。由於攔沙壩的目的即在於攔阻沙石；建築完工後，壩上方新形成的水潭隨時間推移，被水流攜帶的沙礫石塊漸次淤滿；淤滿後，壩上方河道落差明顯減緩，水流即減慢，所以沙礫等底質即不斷堆積在壩上方，最終會減少上游河段的適合魚類棲息所需的物理性環境因子與結構性棲地(Alexander and Hansen, 1986)，河道變寬，流速減緩，深度變淺；由水潭、急瀨、緩流與淺瀨等多樣化的流水型棲地變成以河道寬而淺的單調淺瀨流水型為主；原本由巨石、卵石、礫石與細沙共同組成的底質石，變為由細小沙石淤滿與充填底質石間隙為主。沙石堆積會造成魚類的生殖場與食物資源減少(Turnpenny and Williams,1980)若壩之間的距離較短，則壩間的河段，就很快地完全變成一致化的棲地型態。以大甲溪上游的七家灣溪河段三個攔沙壩的魚類棲息地而言：1992 年至 1995 年間，適合櫻花鉤吻鮭成魚活動的深潭與作為產卵孵育場的緩流都減少了(表六)。另以大甲溪中游三條支流—裡冷溪、橫流溪與東卯溪的研究，可以發現在攔沙壩上方河段，棲息地歧異度小於壩下方的河段(表七)；壩距小於 200 公尺的河段的棲息地歧異度也顯著的小於壩距大於 200 公尺的河段(表八)；溪流環境異質度的降低與惡化，魚類等生物棲息地歧異度小意味著提供多種魚棲息活動與完成生活史所需的多樣棲地減少，進而影響該等河段的魚類組成與族群結構。

(四)攔沙壩對其它水生生物的影響

在溪流中常見的其它水生生物，還包括了藻類(如綠藻與矽藻)、水棲昆蟲(如蜉蝣目、雙翅目、蜻蛉目、石蛉目、石蠶目與石蠅目)之部份成蟲與各類幼蟲、軟體動物(如螺與蚌)與甲殼類的淡水蝦與蟹等。這些生物在經濟與休憩價值遠不若魚類，故而較不受到多數人注意其族群量與分佈的變化，甚少研究與文章提及該等生物與攔沙壩數目與位置之關係。另一方面，也由於它們的族群散佈方式較多，或是族群分佈範圍較窄，所受的影響程度不若魚類來得明顯，而未受到注意。藻類與水棲昆蟲不僅可以隨水流分佈，也可以經由空氣與地下水層，進行族群擴散；因而，該等生物受攔沙壩的影響可能較並不顯著。軟體動物與淡水蝦蟹雖然也只能靠溪水河道進行族群分佈，也都會受攔沙壩限制，但是這兩類生物多數是棲息在中低海拔的溪流中，河川的工業廢水、農業排水與家庭污水對它們的效應是較攔沙壩來得嚴重。雖然如此，也有報告

顯示淡水蝦蟹也會因攔沙壩的阻隔而限制其往上游的分佈。如攬仁溪攔沙壩上游有米蝦跟匙指蝦，但壩下游族群數量也多的長臂蝦，則沒有在上游出現(曾，1986)。另外，攔沙壩攔沙造成上游淤沙的單一化棲息環境，與常被水流揚起的沙質所產生的混濁，對整個水生生態系與藻類及水棲昆蟲的種類組成與數量多樣性與，都有負面效應(Rosenberg and Wiens, 1978; Berkman and Rabeni, 1987; Lloyd et al., 1987; Newcombe and MacDonald, 1991)。

(五)水生生物族群基因庫縮小與區隔化

不論何種分佈類別的魚類，或是其它散佈能力不一的水生生物，被封閉在有限的水域內，原來的族群擴散模式阻斷，切割形成眾多幾近隔離的小族群；壩下游的族群藉由壩上游族群主動或被動往下游的分佈，持續進行單向的生殖交流活動，能彼此兩族群交換遺傳物質，維持其族群基因多樣性外。上游的水生物族群，洪水沖激造成族群流失，基因庫因而縮小，而下游族群無法朝上游擴散進行遺傳物質交流，補充上游漸次流失的多樣性，若長久持續此種基因流失，造成其基因流的中斷，使得上游水生物族群因近親交配現象，造成基因庫趨於單一化，該等族群適應環境變化的能力逐漸降低，有消失的危機；此種現象即可能發生於七家灣溪櫻花鉤吻鮭日漸萎縮的族群數量與分佈範圍上(Numachi et al., 1990)。連續攔沙壩所造成的單向擴散與族群區隔化，對各別魚種基因流與基因異質性的影響，則是有待進一步研究的課題。

四、魚道的需求

具有高經濟性大形洄游性魚類(如鮭鱒類)的國家，會設計魚類可以洄游通過水壩等壩體的魚道。通常魚道為連續性和緩落差階梯型的溝渠狀結構，使水流對魚類的衝擊減至最低的情況下，並提供魚類適當休息的空間、上溯的湧昇流助力與隨波流下游的緩衝空間，能讓多數順利魚類通過此巨大的障礙物。

國內第一座魚道是在日據時代(1918年)建造於淡水河上游南勢溪，現今於烏來鄉廣興附近之桂山堰仍可看到還算完整的魚道。自台灣光復後，為減少水庫淤沙量，延長各水庫的使用年限，並降低洪水對中下游沿河岸的居民生命財產威脅，各單位於廣建攔沙壩之時，卻都疏忽了魚道的研究與設計。近年來，國內環保與生態保育的聲浪日熾，人為活動對溪流魚類造成的衝擊，受到廣泛的討論，諸多民間環保與生態保育團體及學者，也大聲疾呼要求於水壩與攔沙壩興建之時須加設魚道；因之，各相關單位(以林務局為主)於1977至1995年間，國內共興建了59座具魚道的攔沙壩。雖然，桶後溪現有魚道之各攔沙壩間的魚類相，並未有明顯變化，卻沒有明確證據顯示這些魚類有利用魚道魚道上溯，而且部份魚道也早已被沙石所淤塞了。

設計魚道需考量各類會利用魚道的水生生物特性，更得注意河川水文與地質特性與攔沙壩的宿命。攔沙壩與魚道的設計都須慎重考慮這些淤滿後的現象。不能因流程短而興建陡峻的魚道，幾乎沒有魚類能逆巨大沖力的流速而上。攔沙壩一旦淤滿，水路的流向改變；不僅容易發生魚道遭沙石堵塞掩埋、河道改流，也容易出現洪水夾帶的巨石砸毀魚道等現象；在此情形之下，魚道的功能完全喪失。總之，國內目前的多數魚道或是設計錯誤、施工不良、淤塞、崩塌及河道改流等原因，多數並未發揮其應有的功效；顯示國內未來對魚道與攔沙壩的設計與施工，不僅要參考以往構築魚道之經驗，更要針對利用魚道的魚種生物特性及游泳衝刺能力等進行研究，才能在未來興建具長效性的攔沙壩魚道。

五、結論

台灣地區因地質脆弱、山高陡峭與水短流急等先天上的因素，加以過去長久以來在水源區的濫墾濫伐與超限利用等後天不當開發，造就了嚴重的水土流失。在溪流上游興建攔沙壩，只能暫時性減少下游淤積。一旦溪流河道第一座攔沙壩將淤滿或是毀損後，必定會在壩上、下游，興建第二座、第三座攔沙壩等等；如此一來，河道的攔沙壩數目有增無減，因而台灣的溪流正以每年約一百座攔沙壩的速率持續增加。

興建攔沙壩後，溪流自上游而下游的陸地--水域交會區、連續性與消長演替都發生改變；就棲息其間的生物而言，洄游生物阻隔、生物族群縮小與區隔化、棲息地單調化、單向基因流動與基因庫零碎化等水生生物群聚外在與內在的負面效應一一浮現；而且，隨河道上攔沙壩的數目增加，與壩間距縮短，攔沙壩對溪流生物多樣性的衝擊更加明顯與嚴重。加以幾乎每年固定襲擊台灣地區的颱風所帶來的洪水，也愈益加重了攔沙壩對水生物多樣性的負面效應了。如何設計水土保持功效長，對溪流生態衝擊較小的攔沙壩；並減少攔沙壩的興建數量，對現存攔沙壩進行生態補救，就成為相關的施工與研究單位的當務之急了。

水土保持與治山防洪，得正本清源，一方面積極收回與取締非法開墾的山坡地，努力造林；另一方面，在溪流兩岸設定緩衝綠帶與栽植林木，減少兩岸水泥護堤的構築，以森林與樹木等自然的過濾與固土作用，來減少泥沙流入河道之中，以減少攔沙壩的興建。

六、參考資料

- 中華水土保持學會，1983，德基水庫集水區水土保持第二期整理規劃報告，臺灣省政府及經濟部德基水庫管理委會委託，中華水土保持學會辦理。
- 林務局. 1992. 台灣省近期防砂壩現況調查報告。
- 林傳茂. 1994. 防砂壩之水理特性研究。台灣大學農業工程學研究所碩士論文。
- 林曜松、張明雄. 1992. 大甲溪魚類生態調查計劃研究報告(II)。台灣電力公司 80 年度研究發展計劃。
- 林曜松、張明雄、莊鈴川、曹先紹，1994，櫻花鉤吻鮭棲地之調查研究(II) 大甲溪上游六條支流，台灣省林務局。
- 宜蘭縣政府. 1997. 武荖坑溪魚類生態調查。台灣漁業技術顧問社。
- 張明雄. 1994. 大甲溪中、下游魚類群聚生態研究。台灣大學動物研究所博士論文。
- 張世倉、李德旺、李訓煌、胡通哲. 1997 烏石坑溪魚道現況功能初步調查評估。曹先紹編. 林務局八十六年度溪流環境保育研討會講義。行政院農委會。
- 曾晴賢. 1986. 欖[仁溪攔沙壩之魚道規劃設計研究。墾丁國家公園管理處。
- 曹先紹、林曜松、莊鈴川. 1996. 烏來鄉溪流劃定生態保護野生動物保護區規劃研究。台灣大學漁業生物試驗所。
- 曹先紹、林曜松. 1997. 櫻花鉤吻鮭棲地之調查研究。曹先紹編. 林務局八十六年度溪流環境保育研討會講義。行政院農委會。
- 陳俊宏、許海龍、楊文衡. 1997. 台灣河川既有魚道效應評估計劃。行政院農委會。
- 潘建中. 1995. 連續性防砂壩之水理特性研究。台灣大學農業工程學研究所碩士論文。
- 賴建盛. 1996. 防砂壩對櫻花鉤吻鮭物理棲地影響之研究。台灣大學地理研究所碩士論文。
- Alexander, G. R., and E. A. Hansen. 1986. Sandbed load in a brook trout stream. *North American Journal of Fish Management* 6:9-23.
- Berkman, H. E., and C. F. Rabeni. 1987. Effect of siltation on stream fish communities. *Environmental Biology of Fishes* 18:285-294.
- Brown, J. H. 1984. On the relationship between abundance and distribution of species. *The American Naturalist* 124:255-279.
- Gaston, K. J. 1990. Patterns in the geographical ranges of species. *Biological Review* 65:105-129.
- Gorman, O. T. 1986. Assemblage organization of stream fishes: the effect of rivers on adventitious streams. *the American Naturalist* 128:611-616.
- Gorman, O. T., and J. R. Karr. 1978. Habitat structure and stream fish communities. *Ecology* 59:507-515.
- Lin, Y.S., S.S., Taso and K.H. Chang. 1990. Population and distribution of the Formosan landlocked salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*) in Chichiawan Stream. *Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica* 29(3, Supplement): 73-85.

- Linfield, R. S. J. 1985. An alternative concept to home range theory with respect to populations of cyprinids in major river systems. *Journal of Fish Biology* 27(Supplement A):187-196.
- Lloyd, D. S., J. P. Koenings, and J. D. Laperriere. 1987. Effects of turbidity in fresh waters of Alaska. *North American Journal of Fisheries Management* 7:18-33.
- Mason, J. C., and S. Machidori. 1976. Populations of sympatric sculpins, *Cottus alerticus* and *Cottus asper*, in four adjacent salmon-producing coastal streams on Vancouver Island, B.C.U.S. *Fisheries Bulletin* 74:131-141.
- Michael, J. H. Jr. 1983. Contribution of cutthroat in headwater stream to the sea-run population. *California Fish and Game*. 69:68-76.
- Newcombe, C. P., and D. D. MacDonald. 1991. Effects of suspended sediments on aquatic ecosystem. *North American Journal of Fisheries Management* 11:72-82.
- Numachi, K.I., T. Kobayashi, K. H., Chang and Y.S. Lin. 1990. Genetic identification and differentiation of the Formosan landlocked salmon, *Oncorhynchus masou formosanus*, by restriction analysis of mitochondrial DNA. *Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica* 29(3, Supplement):61-72.
- Rosenberg, D. M., and A. P. Wiens. 1978. Effects of sedimentation on macrobenthic invertebrates in a northern Canadian river. *Water Research* 12:753-763.
- Shelford, V. E. 1911. Ecological succession. Stream fishes and the method of physiographic analysis. *Biological Bulletin*. 21:9-35.
- Turnpenny, A. W. H., and R. Williams. 1980. Effects of sedimentation on the gravels of an industrial river system. *Journal of Fish Biology* 17:681-693.

七、附表

表一 欖仁溪攔沙壩上下游水生動物分佈表

主流 (港口溪)	褐吻 鰕虎	日本 禿頭 鯊	寬頰 禿頭 鯊	雙帶 禿頭 鯊	眼斑厚 唇鯊	溪 鱧	鱸 鰻	米 蝦	匙 指 蝦	長 臂 蝦	總 計
壩下	25	302	*	*	*	*	*	*	*	*	10
壩上	3	15						*	*		4

資料來源: 曾(1986)

表二 武荖坑溪魚類平均數量表

主流 (新城溪)	鯛魚	褐吻 鰕虎	日本 禿頭 鯊	溪 哥	石 鱚	極樂 吻鰕 稗虎	鱸 鰻	白 鰻	花 鰱	馬 口 魚	總 計
西武老坑溪一號壩(下游)	*	*	*	*	*	*	*	*			9
西武老坑溪二號壩	*	*	*	*	*	*					7
西武老坑溪三號壩	*	*	*	*							5
西武老坑溪四號壩	*	*	*								3
西武老坑溪五號壩(上游)	*	*	*								3
東武老坑溪三號壩(下游)	*	*	*	*	*	*	*	*	*		10
東武老坑溪四號壩	*	*	*	*	*	*	*		*		9
東武老坑溪四號壩上游	*	*	*	*	*		*			*	8

資料來源: 宜蘭縣政府(1997)

溪哥包括了粗首鱚與平頷鱚兩種

表三 裡冷溪、東卯溪與橫流溪魚種的分佈捕獲數量

主流 (大甲溪)	鯛 魚	縷口 鰱	褐吻 鰕虎	馬口 魚	台灣 間爬 岩鰱	石 鱚	脂 鯿	溪哥	台 灣 回	總 種 數	總 魚 數	種 岐 異 度
裡冷溪												
五號壩上(上游)	111	75	62	123	0	0	0	0	0	4	371	1.32
四號壩上	74	108	45	60	12	0	0	0	0	5	299	1.36
三號壩上	70	76	49	67	17	1	1	0	0	7	281	1.48
二號壩上	57	69	99	92	12	12	4	0	0	7	345	1.54
一號壩上	100	122	162	98	22	33	6	0	0	7	543	1.63
一號壩下(下游)	73	213	130	58	35	35	12	13	0	8	569	1.69
東卯溪												
三號壩上(上游)	88	11	34	0	0	0	0	0	0	3	133	0.74
二號壩上	65	19	54	5	0	0	0	0	0	4	143	0.80
一號壩下	190	111	142	70	2	66	6	29	0	8	616	1.50
一號壩下遠(上游)	48	50	191	47	3	185	19	138	0	8	681	1.54

橫 流 溪	四號壩上(上游)	56	16	51	0	0	0	0	0	0	3	123	0.98
	三號壩上	70	85	36	0	0	0	0	0	0	3	191	0.91
	二號壩上	130	69	103	0	0	0	0	0	0	3	302	1.01
	一號壩上	73	39	82	0	0	0	0	0	0	3	194	0.92
	一號壩下	51	51	99	40	12	117	8	67	0	8	445	1.73
	一號壩下遠(下游)	57	97	186	23	13	119	13	79	2	9	589	1.72

資料來源: 張(1994)

表四 烏石坑溪魚類分佈

主流 (大安溪)	鯢魚	短吻 鰕虎	褐吻 鰕虎	馬口 魚	台灣間 爬岩鰍	石鱚	溪哥	脂鯢	香魚	總計
匯流處(下游)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	9
一號壩下	*	*	*	*	*	*	*			7
一號壩上	*	*	*	*	*	*	*			7
二號壩上	*	*	*							3
三號壩上	*	*	*							3
六號壩上	*	*	*							3
七號壩上	*	*	*							3
上游	*	*								2

資料來源: 張等(1997)

表五 桶後溪魚類平均數量表(每站之間皆有攔沙壩分隔)

主流(淡水河之南勢溪)	鯢魚	褐吻 鰕虎	縷口鰍	石鱚	溪哥	脂鯢	總計
攔水堰上	9	6.7	33.3	7.7	3.7		60.4
工作站	8.7	15.3	21.3	13	*1	*1	58.3
最上游	22	20	13	14	3		72

資料來源: 陳等(1997)

* 表平均魚數小於 1

表六 1992-1995 年間,七家灣溪攔沙壩間棲地型態類別的變化

	深潭(%)	淺瀨(%)	緩流(%)	梯狀潭(%)	總長度(m)
三號壩	1992 26.47	37.96	1.76	33.81	1374.8
二號壩間(上游)	1995 15.63	44.57	1.28	38.51	1560.1
二號壩	1992 26.09	37.47	17.4	19	2474.2
一號壩間(下游)	1995 49.53	27.86	0	22.6	2544.8

資料來源: 賴(1996)

表七 大甲溪中游三條支流最下游攔沙壩上、下游棲地因子與魚種種數、魚隻數與種岐異度平均值(標準偏差)之比較

	壩上游 N=11	壩下游 N=5	t - value
寬度	4.8(1.05)	4.5(1.01)	0.53
深度	0.31(0.06)	0.32(0.01)	0.38
流速	0.29(0.09)	0.34(0.08)	1.12
底石指標	3.77(0.45)	3.95(0.15)	0.83
深度岐異度	1.40(0.06)	1.47(0.07)	1.94
流速岐異度	1.42(0.06)	1.47(0.07)	1.28
底石岐異度	1.68(0.05)	1.70(0.04)	0.52
棲地岐異度	2.38(0.45)	2.93(0.13)	2.67*
魚種數	4.05(1.47)	7.25(0.59)	4.65*
魚隻數	66.5(31.7)	145.1(21.6)	3.93*
種岐異度	1.15(0.32)	1.64(0.11)	3.25*

* : t - test, $p < 0.05$

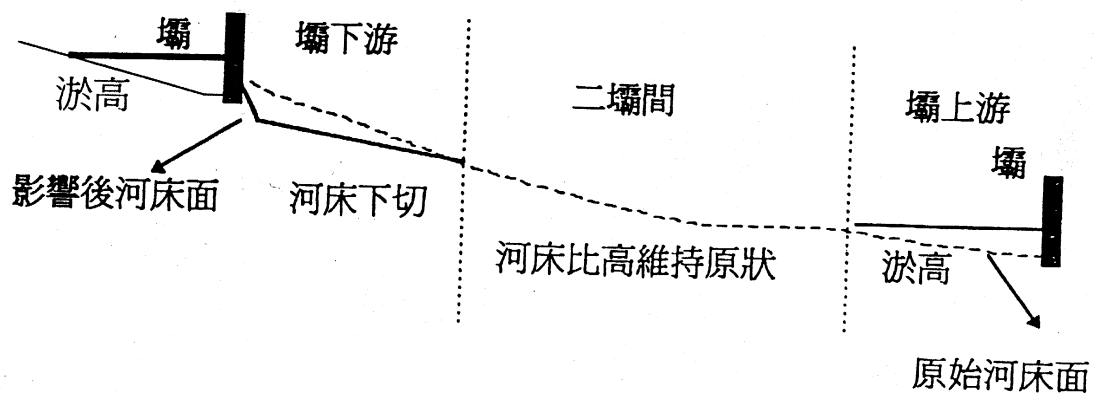
資料來源: 張(1994)

表八 大甲溪中游不同攔沙壩間距棲地因子與魚種數、魚隻數與種岐異度平均值(標準偏差)之比較

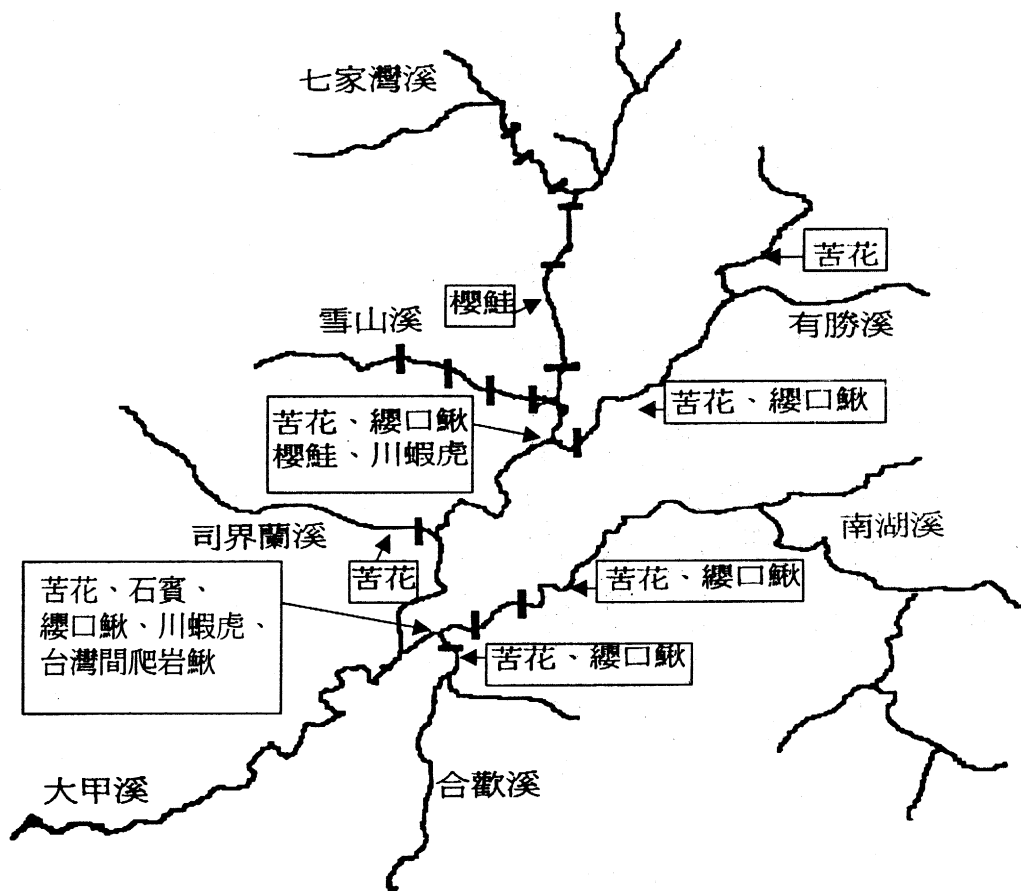
	壩距 <200 m N=6	壩距 >200 m N=5	t - value
寬度	5.4(0.73)	4.0(0.92)	2.71*
深度	0.28(0.06)	0.35(0.04)	2.20
流速	0.27(0.08)	0.32(0.10)	1.01
底石指標	3.45(0.26)	4.16(0.29)	4.32*
深度岐異度	1.38(0.07)	1.44(0.03)	1.80
流速岐異度	1.41(0.07)	1.43(0.06)	0.66
底石岐異度	1.71(0.03)	1.65(0.04)	2.96*
棲地岐異度	2.13(0.26)	2.68(0.45)	2.58*
魚種數	4.29(1.64)	3.75(1.35)	0.59
魚隻數	75.4(32.1)	55.8(30.9)	1.03
種岐異度	1.22(0.31)	1.08(0.34)	0.72

* : t - test, $p < 0.05$

資料來源: 張(1994)



圖一 連續攔沙壩間河道型態示意圖(資料來源：賴，1996)



圖二 大甲溪上游魚類分佈現況(資料來源：林等，1994)