

# 水庫集水區生態環境評估與綜合成效指標之建立

## Ecological Assessment and Integrated Effective Index of Reservoir Watershed

國立中興大學水土保持學系

教授兼系主任

陳樹群

Su-Chin Chen

研究助理

鄒青穎

Ching-Ying Tsou

博士班研究生

安軒霈

Shiuan-Pei An

碩士班研究生

方琦萱

Chi-Hsuan Fang

### 摘 要

溪流整治工程為水庫集水區治理相當重要的一環，隨著人們對生態環境的重視，量化人為介入對水庫集水區溪流生態環境之影響性亦顯得重要，因此，需要一包含物理、化學及生物之綜合評估方法來達到此目標，本研究由河川型態五層分類法架構，以可跨越性溪流快速生物評估法（RBP）及河溪環境快速評估系統（SERAS）為基礎，建構包含物理性棲地、水質及水生物之綜合評估指標，並以中華大學於民國 94 年 12 月「石門水庫集水區溪流生態環境情勢調查研究報告」中三民溪、霞雲溪、榮華溪及卡拉溪四條支流之水質及魚類調查資料為基礎，選取相同調查點位實地調查河川之棲地物理組成特性，取得並彙整該調查棲地之成果後，做為棲地優劣之評估基礎，分析結果顯示，此法能量化人為介入後對棲地之影響性，且由結果得知，生態環境之健全與否乃取決於物理性棲地的好壞。

關鍵詞：綜合成效指標，物理棲地，河相學



## Abstract

River training work is one of the important part of reservoir watershed management. With the emphasis on the ecological quality the assessment of ecological status of the reservoir watershed has become obligatory. Human impacts on the in-stream environment should be quantified and evaluated. For this purpose in-stream habitat related integrated assessment methods which describe the physical, chemical and biological factors of the ecological status in habitat restoration are needed. In order to achieve this object, the integrated effective index, based on the framework of the classification of river morphology with five levels, Rapid Bioassessment Protocols (RBP), and Stream Environment Rapid Assessment System (SERAS), is proposed here. The integrated effective index is divided into the three assessment units “Physical Form,” “Water Quality” and “Biology.” The index was applied to four rivers in Shihmen reservoir watershed. This study collected water quality data and fish data from the previous study (CHU, 2005) and physical habitat data investigated from field measurement. The assessment results enable a quantification of the level of human impact on the in-stream environment. Moreover, the assessment results reveal that the sound ecological status of the in-stream habitat depends on the characteristic of the physical habitat.

Keywords: *Integrated effective index, physical habitat, river morphology*



## 一、前言

近年來生態工法的推動已逐漸受到各界的重視，於「挑戰 2008 國家發展計畫一水與綠建設」中亦明定相關水利工程需兼顧生態保育之趨勢與要求，而溪流整治工程為水庫集水區治理相當重要的一環，由於水庫集水區面積廣大，以複雜之生物、化學及物理成份組成一個龐大的環境複合體，每一種組成特性之評估又有專門之學術領域與復育方法，故了解及評估環境的綜合生態組成，勢必成為一龐大且複雜之工程。

目前國內溪流整治施作前之生態環境評估及施作後之成效指標仍尚未成熟，而國外溪流棲地評估則有相當的發展，大致發展成生物、化學及物理與綜合性之評估指標；生物方面選擇能反應溪流生態環境變化的指標生物建立指標，如選擇水生昆蟲所發展之 Hilsenhoff 科級生物指標 (Family-level Biotic Index, FBI) (Hilsenhoff, 1987)，考量魚類的生物評估指標有生物整合指標 (Index of Biotic Integrity, IBI) (Karr, 1981)；溪流水質評估國內則常用環保署訂定之河川污染指標 (River Pollution Index, RPI)，水庫水質優養化一般常用卡爾森優養指數法 (CTSI)，物理性之評估則視河段棲地是否符合水棲生物的生長需求，如著重現地棲地調查的定性棲地評估指標 (Qualitative Habitat Evaluation Index, QHEI) (Rankin, 1989)、加州河川生態評估準則 (California Stream Bioassessment Procedure, CSBP) (CDFG, 1999) 及生息環境評估法 (Habitat Index Method, HIM) (森下郁子等, 2000)，而物理性棲地模擬系統 (Physical Habitat Simulation System, PHABSIM) (Milhous *et al.*, 1990) 與深潭品質指標 (Pool Quality Index, PQI) (Azzellino *et al.*, 2001) 則分別以數值模式模擬流量變化或底床型態對棲地環境之影響性，以上這些指標屬於個別型的評估技術。為了進行綜合之環境棲地評估，美國環保署 (1989) 提出可跨越性溪流快速生物評估法 (Rapid Bioassessment Protocols, RBP)，其具有成本效益，同時兼具科學的程序、可提供單一季節多個地點的調查、可快速回報結果給決策者、轉換為管理與公共政策、有益於環境的操作程序等特性 (Barbour *et al.*, 1999)，快速生物評估模式是一種整合評估、棲地比較、水質與生物調查的方法，此模式最主要的調查評估主體包含棲息地評估及魚類、藻類及底棲大型無脊椎動物調查，不同的評估對象該選



用何種評估方式與對象，需依目的與資料的完整性來決定；1999 年澳洲維多利亞省自然資源與環境部發展出溪流狀況指標（Index of Stream Condition, ISC）（Ladson *et al.*, 1999），主要調查水文、物理型態、濱水區域、水質與水生物等五大項目；國內巨廷公司（2005）以澳洲河溪狀況指數（ISC）概念及國內發展的河川生態品質評估系統（ASREQ）架構（龐元勳，1999）為基礎，結合工程外在表現、河川及水文特性與生態系內部之結構，提出符合台灣河川水文環境與生態特性的河溪環境快速評估系統（Stream Environment Rapid Assessment System, SERAS），該系統由棲地物化環境與水生物群聚兩部份組成，對於各評估項目以分數分級，以加總方法整體評估溪流生態棲地之組成好壞。

由於水庫集水區生態環境評估、生態工程種類之選定與施作皆需考量不同之河川屬性及河相特性，故本研究以生態之角度及河相為基礎出發，了解整體集水區之環境組成因子間之交互影響，順應大尺度之河相及地貌特性，由河川型態五層分類法架構，彙整相關評估模式之細部項目，融合各評估指標之中心價值，以可視化、快速評估為原則，以可跨越性溪流快速生物評估法（RBP）及國內發展之河溪環境快速評估系統（SERAS）為基礎，建構包含物理性棲地評估指標、水質指標及水生物指標之綜合評估指標，更臻完整地考量生態結構性、變化性及完整性。

## 二、研究區位與方法

### 1. 研究區位

本研究以中華大學水域生態環境研究中心於民國 94 年 12 月「石門水庫集水區溪流生態環境情勢調查研究報告」中四條支流之水質及魚類調查資料為基礎，並選取相同調查點位做為棲地生態環境變遷過程探討之示範區，藉由實地調查河川之棲地物理組成特性，取得並彙整該調查棲地之成果後，做為棲地優劣之評估基礎，彙整物理、化學及生物之調查結果，綜合評估不同河相與棲地環境間之關係。石門水庫集水區調查範圍為包含海拔高度 500 公尺以上的卡拉溪與榮華溪、海拔 500 公尺以下的三民溪及霞雲溪，相



對位置如圖 1。

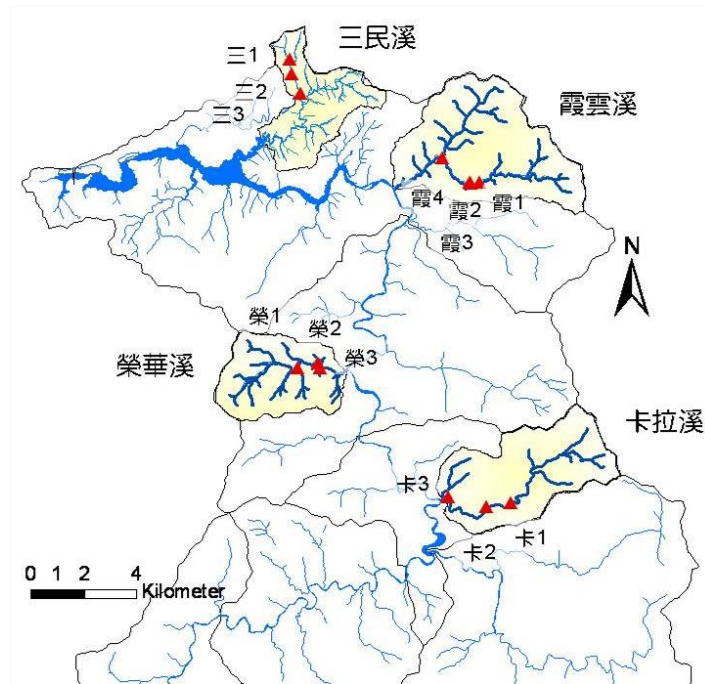


圖 1 調查河段及點位相對位置圖

## 2. 河川型態五層分類法

本研究採用陳樹群（2002）所發展出的河川型態五層分類法做為物理棲地復育規劃之理論基礎。原河川型態五層分類法中自第一層至第五層共包含流域特性、主流特性與棲地特性。為落實以空間、時間尺度做為分層之原則，其進一步改良河川型態五層分類法之理論架構，將原有第四層之水流、泥砂特性提出，並將其擴展為在不同時間與空間尺度下影響河川型態之各項營力因子，同時以其做為各層河川型態演化之動力基礎。為進一步落實河川型態五層分類法中之空間分層概念，故將原第一層流域特性中之水系部份加以提出，並將其擴充並獨立成第二層水系特性，原第二層主流特性與第三層縱橫剖面特性則分別更改為第三與第四層，原第四層棲地特性則與原第五層棲地單元特性合併成第五層之棲地單元特性。

台灣河川型態五層分類法乃用空間尺度特性做為分層架構(如圖 2)，依其觀察之空間尺度大小與河川型態之維度將河川型態分為五大層，即以流域尺度或二維之角度來觀察之第一層流域特性，以網之尺度或一至二維間之角度觀察之第二層水系特性，以主流之尺度或一維之角度來觀察之第三主流特性，以點至一維之角度或線段之尺度來觀察之第四層河道特性，及以點位來觀察之第五層棲地特性。



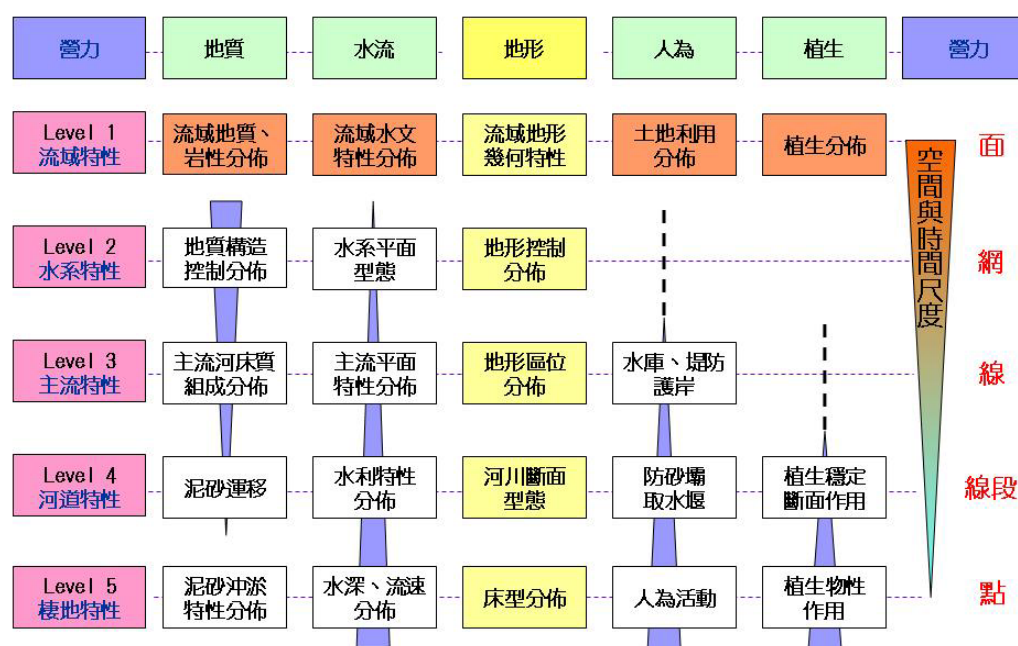


圖 2 台灣河川型態五層分類法架構圖

### 3. 綜合成效評估指標

#### (1) 棲地物理組成調查與評估指標

為探討河相與棲地間之關連，並提出棲地復育時對棲地特性之定量描述，本研究主要之評分架構參考美國環保署（1989）提出的「可跨越性溪流快速生物評估法（RBP）」中棲息地評估指標之評分模式，並引入五層分類法之理念，即將第四層棲地分成水域及濱水區，而兩區域則再細部分析其第五層之泥砂、水流、地形、人為與植生，以此作為本評估項目之建立。本評估指標以評估棲地之物理環境組成為目的，棲地之物理組成多樣性為其中心價值，並以項目給分的方式建立適合台灣河川型態之棲地物理組成評分，並以實地評估之經驗修正其細項，以更明確之描述令評分時之判別更加精準。評估表格如表 1 所示：

表 1 河溪物理性棲地環境評估表

水域					
泥砂	底質孔隙多樣性	卵石、礫石、塊石間之 孔隙被砂粒填滿25%	礫石、卵石、塊石間之 孔隙被砂粒填滿	礫石、卵石、塊石間之 孔隙被砂粒填滿	礫石、卵石、塊石間之 孔隙被砂粒填滿75%



		以下，表層提供多樣的孔隙。	25%~50%。	50%~75%。	以上。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
	土砂堆積程度	少於5%的的水域受到泥沙堆積影響。	主要由礫石、砂與細砂組成，5~30%的水域受到泥沙堆積影響，深潭中輕微泥沙淤積或出現穩定沙洲。	中度泥沙堆積，30~50%(緩坡50~80%)的水域受到泥沙堆積影響，水道阻礙、束縮、彎曲處及深潭受到中等泥沙淤積影響或出現複列式沙洲。	強烈的泥沙堆積，或大量沙洲增長，為不穩定沙洲，50%以上的水域受到泥沙堆積影響，深潭因而幾乎消失。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
水流	水流穩定性	日常流量下有效河道皆有水流流動，只有很少的河川底質暴露出來。	日常流量下水流填滿有效河道之75%以上，或是少於25%的河床底質暴露出來。	日常流量下水流填滿有效河道之25~75%，或淺灘的底床質出露。	日常流量下河道幾乎無水流，或只在深潭中存在水流，形成靜水潭。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
	水流多樣性	淺灘/淺流/深潭/深流四種型態皆出現。	淺灘/淺流/深潭/深流四種型態出現其中三種。	淺灘/淺流/深潭/深流四種型態出現其中二種。	淺灘/淺流/深潭/深流四種型態出現其中一種。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
地形	基質之穩定性	超過70%的穩地底床質適合營造新的棲地，或可供水域生物生存，此類區通常存有不是新落下斷落樹枝、深	40~70%之底床質適合生物拓殖使用，或較為穩定不常被移除。	20~40%之底床質適合生物拓殖使用，基質經常被擾動或移除。	少於20%的穩定良好棲息地存在，底床質不穩定或缺乏。



		潭、草木的突出部份、  巨礫/大卵石或其他穩定棲息地之要素。			
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
	地形多樣性	淺瀨出現頻率高，淺瀨間距與河寬之比值小於1，溪流中淺瀨具有連續性，且淺瀨為自之塊石或更大之石塊所組成。	淺瀨出現頻率低，淺瀨間距與河寬之比值為1~2。	淺瀨不常見，底床提供些許棲地空間，淺瀨間距與河寬之比值為3~5。	大量平坦河床或水流全為淺水之淺瀨，淺瀨間距與河寬之比值大於5。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
人為	人工構造物種類	沒有人工構造物，也無工程活動。	人工構造物為自然資材。	人工構造物為自然資材加人造。	人工構造物全為人造。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
	人工構造物高度	沒有人工構造物，也無工程活動。	人工構造物高度0.3~1m，抑制了區段裡生物之移動，如：固床工。	人工構造物高度1~5m，也許附設功能良好魚道，如：潛壩。	人工構造物高度5m以上，也許附設功能良好魚道，如：防砂壩。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
	人工構造物排列密度	沒有人工構造物，也無工程活動。	只有單一構造物。	連續的人工構造物。	密集的人工構造物，甚至水域底床為水泥封底。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
濱水區及沙洲					
泥砂	泥砂孔隙多樣性	卵石、礫石、塊石間之	礫石、卵石、塊石間之	礫石、卵石、塊石間之	礫石、卵石、塊石間之





		孔隙被砂粒填滿25%以下或無邊灘出現，表層提供多樣的孔隙。	孔隙被砂粒填滿25%~50%。	孔隙被砂粒填滿50%~75%。	孔隙被砂粒填滿75%以上。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
	土砂堆積程度	少數邊灘出現，或凸岸具有邊灘。	邊灘由礫石、細砂所組成，除凸岸外有少數邊灘。	新舊邊灘上有中等程度的礫石、細砂淤積。	大量細顆粒泥沙淤積並使邊灘增長。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
地形	河岸穩定度	河岸穩定，幾乎很少被沖刷，小於5%的河岸受到影響。	中度穩定，有小區域的沖刷發生但回復穩定，5~30%的河岸有被沖刷的影響。	中度不穩定，30~60%的河岸受到沖刷影響，在洪水期間，有高度被沖刷的可能	極不穩定，河岸明顯的被破壞，60%以上的河岸受到沖刷影響
	左岸	9-10	6-8	5-3	0-2
	右岸	9-10	6-8	5-3	0-2
植生	河岸植生群保護程度	濱水區植生覆蓋超過90%，包括各類溪濱植物，沒有明顯的人為放牧及除草行為，植生大部分都自然地生長。	濱水區植生覆蓋在70~90%之間，少許人為活動介入，但不影響大部分自然植生的生長情況。	濱水區植生覆蓋在50~70%之間，明顯的人為擾動，河岸存在赤裸的荒地或植生非濱溪植生而為農作物。	濱水區植生覆蓋小於50%，高度人為開發活動，嚴重破壞溪濱植生環境。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
	植生族群種類	出現喬木。	出現灌木。	出現草本植物。	無植生出現。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
	豐多度	四種以上。	三~四種。	一~二種。	無。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5



人為	人為影響程度	河岸被渠道化或挖浚的程度很低，保有原始的自然狀態。	通常只有在橋樑附近，有部分河岸被渠道化，有少許挖浚，人為設施是原有的不是新介入的。	河岸被渠道化的程度很高，堤防或是截彎出現在兩側河岸，40~80%的河岸被改變或擾動。	河岸為箱籠或水泥，超過80%的河川被渠道化或擾動，使得兩岸棲地環境大多被影響甚至完全破壞。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
	資材種類	無，範圍或影響不大。	只有堤防或只有砌石護岸。	砌石護岸比例大於水泥護岸。	水泥護岸多數。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5

棲地經評分之後，即可得到棲地物理環境中五項因子之評分值，由於每項因子之評估項目不同，故各項因子之總評分值並不相同，因此本研究再將其正規化成 0 至 100 分，將其繪製成雷達圖後，即可用以分析該點之五項因子在棲地環境中之影響。本研究提出在不同河相下會演化出不同棲地環境之概念，因此將不同河相中之棲地物理組成評估分數加以比較，會產生無法評比出棲地好壞之問題，即每個棲地物理組成之評分無法直接指明該棲地環境是好或是已遭受破壞。因此本研究提出棲地物理組成之相對評估指標，即以在同一河相下之自然棲地環境做為比較之基準，而該河相下經過人為整治或處理之河段評估值，再與原始之自然棲地比較，評估該人為介入棲地之評估值降低多少個等級。如此，以本研究所提出之相對性的棲地物理組成評估指標，即可明確地表示該人為棲地對環境之影響程度。

由於本研究所提出之評估表將每項因子分成四個等級，而每項因子之總分又皆正規畫成 0 至 100 分，因此可將每項因子評分趨分為 4 個等級，每個等級之級距為 25 分。將此四個等級以評分區間在 100~75 分者定義為等級 A；74~50 分者定義為等級 B；49~25 分者定義為等級 C；24~0 分者定義為等級 D。

在人為棲地介入對棲環境之影響方面，本研究以同一河相中之自然棲地作為標準，人為介入之棲地評分與自然棲地做比較。如在自然棲地之泥砂評分為 80 分，而人為介



入治理之棲地泥砂評分降為 50 分，則治理後之棲地泥砂評分變化值則為-30 分。由於每一個等級之級距是 25 分，因此棲地評分降低 30 分即代表該棲地在人為介入後，泥砂之評估下降了 1.2 個等級。人為介入後之棲地泥砂評分為 50 分，其所在之等級為等級 B，而與自然棲地比較，人為介入後對造成棲地之泥砂評估值降了 1.2 個等級，如此即可定義該點之棲地泥砂物理組指標為「B50,-1.2」，成如此定義人為介入後棲地環境物理組成之現況與棲地環境破壞或改進之程度。

## (2) 水質評估指標

為量化水質參數，本研究以國內環保單位常使用環保署公告之河川污染指標 (RPI) 進行水質評比，選擇四項水質參數 (指標污染物)，包含生化需氧量 (BOD)、溶氧量 (DO)、氨氮 (NH<sub>3</sub>-N) 及懸浮固體 (SS) 作為評估項目，由檢測數據換算得各項目之點數，並將其累加求取平均值，其值介於 1 至 10 之間，值越小表污染程度越小，反之，則污染程度越嚴重，相關分類方式如表 2 所示。

表 2 RPI 河川污染程度分類表

污染程度項目	未受(稍受)污染	輕度污染	中度污染	嚴重污染
溶氧量(DO) mg/L	6.5 以上	4.6~6.5	2.0~4.5	2.0 以下
生化需氧量(BOD <sub>5</sub> ) mg/L	3.0 以下	3.0~4.9	5.0~15	15 以上
懸浮固體(SS) mg/L	20 以下	20~49	50~100	100 以上
氨氮(NH <sub>3</sub> -N) mg/L	0.50 以下	0.50~0.99	1.0~3.0	3.0 以上
點數	1	3	6	10
積分	2.0 以下	2.0~3.0	3.1~6.0	6.0 以上

註：表內之積分數為 DO，BOD<sub>5</sub>，SS 及 NH<sub>3</sub>-N 點數之平均值。

資料來源：行政院環境保護署 (1998)

河溪環境快速評估系統 (SERAS) 之水質指標以河川污染指標 RPI 為基礎，以 RPI 計算所得之數值進行水質等級評價，此等級數值介於 0 至 4 之間，其值越大表污染程度越少，越小則表污染程度越嚴重，表 3 為河川污染指標 RPI 與 SERAS 水質等級的評估準則。



表 3 SERAS 水質評估準則

分級	RPI 指標	等級
未受(稍受)污染	$RPI < 2$	4
輕度污染	$3 \geq RPI \geq 2$	3
中度污染	$6 \geq RPI > 3$	2
嚴重污染	$8 \geq RPI > 6$	1
極度污染	$10 \geq RPI > 8$	0

資料來源：巨廷公司（2005）

表 4 SERAS 魚類數量組成評估準則

分級	特徵	等級
原生種 (含特有種) 比例	$FG_r = 1$	4
	$1 > FG_r \geq 0.75$	3
	$0.75 > FG_r \geq 0.5$	2
	$0.5 > FG_r \geq 0.25$	1
	$FG_r < 0.25$	0

資料來源：巨廷公司（2005）

### (3) 水生物評估指標

生物組成則由自然生態棲地中所有的生物元素所組成，如魚類之種類、數量、歧異度、族群數量、耐污染魚種等，亦包含其他之水生動植物之生物特性。溪流生態系中，生物族群消長能反應溪流營養分與污染之狀況時，此生物可作為溪流生態之指標；大型無脊椎動物中魚類位於生物食物鏈中之頂層，因此選用魚類作為水生物指標不僅提供大尺度區域的指標且容易定義；魚類族群可以直接或間接的方式反應整各河溪生態系統的狀態，故往往以魚類族群之組成與分布情形，反應該河川集水區的生態系統狀況(Fausch *et al.*, 1990)，河溪環境快速評估系統(SERAS)以原生種與特有種佔全部捕獲魚類數量之比例( $FG_r$ )來評估溪流魚類組成狀況，即當無外力介入情況下，河溪魚類應為該地的原生種(或特有種)，惟現今台灣河溪普遍存在由外地引入之經濟型或觀賞型的外來魚種，因此評估系統除考量原生種(或特有種)外，亦需考慮外來種的影響，河溪原(特)生種魚的數量愈多，表示原始狀態愈好或受人為干擾度較低，反之，如果外來種所佔比例愈多，表示愈背離原始狀態及已受人為之干擾(巨廷公司，2005)，為了反應溪流魚類群聚組成結構，本研究採河溪環境快速評估系統(SERAS)之魚類組成結構次指數(如表 4)做為水域生態系評估及量化魚類資料之評價方法，此等級數值介於 0 至 4 之間，其值越大表河溪原生魚種數量越多，即原始狀態愈好，越小則表愈背離原始狀態。



## 四、棲地環境變遷過程探討與評估指標

### 1. 棲地物理性評估

#### (1) 丘陵蜿蜒粗顆粒 V 型河谷

此河相之特性河床邊界受岩性及構造控制，河段屬於河川之上游，行經較堅硬的岩層而發展成峽谷，使得河槽斷面呈現較深之 V 型河谷。較大的差別在於蜿蜒河川具有明顯凹岸沖刷，凸岸淤積之現象，此區凹岸通常為山壁，水流沖刷但沒有立即之淘刷影響，而在凸岸通常有邊灘增長情形。

表 5 為丘陵蜿蜒粗顆粒 V 型河谷評估之正規化得分情形。在人為評分方面，屬於自然棲地代表之三 2、霞 1、霞 3 及霞 4 之整體棲地之縱橫向連續性得分可達 100 分，而人為介入程度高之地點三 3 在棲地整體連續性便降至 24 分，因為其縱向與橫向構造物皆為全水泥材料，無考慮到天然環境之多孔隙特性因此造成分數大幅下降；三 1 僅以砌石護岸，除加強河岸之穩定性亦增加了孔隙。

連續性固床工方面，除阻隔棲地縱向連續性，其上游因泥砂淤積而改變棲地特性，階梯深潭等構造遭土砂淤埋而降低水流乃水域地形之多樣性，另在流速方面減緩，使得細顆粒泥沙淤積增加，降低孔隙多樣性。

在泥砂特性部份，在自然棲地中泥砂粒徑仍以粗顆粒分佈居多，細顆粒泥沙淤積卵、礫石及塊石間之孔隙情形不嚴重，棲地仍能提供足夠及多樣的孔隙空間；水域及邊灘土砂堆積程度輕微，因此泥砂整體平均分數為 76 分。而在人為介入地點，泥砂平均分數為 67 分這是因為橫向構造物經常造成上游泥砂淤積情形，使得細顆粒泥砂容易淤積且堵塞孔隙空間，也使得棲地土砂堆積情形變嚴重。

在水流特性部份，蜿蜒河道具有較高的水流多樣性，容易在沖刷處形成深潭或深流，在凸岸堆積處形成淺流，在彎曲間之過度順直帶中出現淺瀨，水流平均分數為 88 分。而在人為介入地點則因為人為橫向構造物經常改變了原本存在之水流狀態，而以固定的水流型態出現，例如固床工之興建雖增加水流穩定性，但也造成水流單調化情形，因此人為工程介入後，此區分數降為 53 分。





在地形特性部分，在自然棲地下，因為此區兩岸多沿山勢而行，兩岸皆為山壁岩盤，因此兩岸地形皆屬穩定，水域中也有連續淺瀨之地形出現，平均分數為 92 分，橫向構造物的興建後，造成水流狀態改變，使得原本之淺瀨消失，因此三 3 分數降為 58 分，霞 2 位於施工中之點位，配合護岸之興建使得河岸穩定度降低，因此分數降為 80 分。

在植生特性部份，自然棲地之濱水區之植生覆蓋程度明顯，且其棲地可提供較佳之植生生長基礎，故植生穩定性佳，棲地可供喬木生長，平均分數為 62 分，三 3 與霞 2 分別受到土地利用與施工之影響，因此分數分別降為 13 分及 2 分，即植生覆蓋由 90% 左右降至 50% 以下，或植生種類由木本植物出現改變為僅出現草本，而植生族群亦僅剩餘一種左右甚至無植生之情形。。

總結此河川型態下之自然棲地物理性環境表現，其在物理性棲地之評估分數平均為 84 分，人為介入後之地點評估分數平均為 61 分。

由表 5 中可看出本河相之河段人為影響則主要反應在水流與植生兩大因子上，尤其以河岸植生保護程度及豐多度降低最為明顯，其棲地之植生評估值可降低三個等級左右，而水流之多樣性亦受工程影響降低，其棲地之水流評估值可降低一個等級以上。

## (2) 山區蜿蜒粗顆粒 V 型河谷

由表 6 中可看出自然棲地中，卡拉溪在棲地之泥砂特性方面，底床質由巨石所組成，基質稱定性佳，而泥砂孔隙被填滿程度較小，因此孔隙之多樣性亦佳。在水流特性方面，河道斷面幾乎皆有水流流動，加以河道中巨石遍佈，進而造成多淺流、淺瀨、深流與深潭等多樣性之水流流況。在地形特性部份，此河相之粒徑組成多元，有大塊石、巨礫，及斷落樹枝等穩定基質，具有穩定環境及營造新棲地之潛勢，大多數自然棲地調查地點皆有連續深潭淺瀨出現，而在兩岸地形穩定部份，因此區兩岸多沿山勢而行而穩定，因此，卡拉溪之泥砂、水流與地形之分數值可達 90 以上。相較於卡拉溪，榮華溪有沖蝕及沉滓特徵，具土石流潛勢，在調查自然棲地榮 1 時，也發現因河道泥砂供應量豐富，水域及濱水區皆有泥沙淤積與邊灘產生，水流穩定性上也受此影響，透過評分得到泥砂分數為 71 分，水流之分數為 70 分。

防砂壩工程對棲地環境影響方面，全封閉型防砂壩會嚴重阻隔棲地縱向連續性，其





上游因泥砂淤積而改變棲地特性，自然的階梯深潭等構造將遭土砂淤埋而降低水域地形之多樣性(如榮 2 點位)，在防砂壩下游則因泥沙淤積在構造物上游，使得下游土砂供應銳減，反而造成基礎淘刷；而榮 3 點位出現砌石護岸及防砂壩之人為介入方式，因本區之河床質粒徑多樣化，具有穩定之基質可供生物拓殖且地形多樣性較高，在構造物進入此河段後使基質穩定性遭受破壞，護岸對河寬之比例相對來說影響較大，但護岸興建後束縮河道反而使水流集中增加水流之穩定性，橫向構造物雖然會破壞水流之狀況，但因壩體下游容易沖刷出深潭或是連續性低矮固床工營造出連續性的淺瀨使水流多樣性增加，在此河相下之人為介入棲地泥砂、水流及地形評估指標經過增減之後並無明顯變化。

在泥砂特性部份，卡 2 河床質粒徑多樣化，在自然棲地中細顆粒泥砂淤積卵、礫石及塊石間之孔隙情形不嚴重，水域及邊灘土砂堆積程度輕微，棲地能提供足夠及多樣的孔隙空間，泥砂評估分數為 72 分；而榮 1 與榮 2 則受上游土砂影響，除造成較多之泥砂堆積，亦使底質孔隙多樣性約略降低，此兩點位泥砂平均分數為 55 分，而在人為介入地點，榮 3 泥砂平均分數提昇為 57 分，這是因為壩體下游容易沖刷底床，使得細顆粒泥砂搬移，表層則提供了多樣性的孔隙。

在水流特性部分，在自然棲地中，河道斷面幾乎皆有水流流動，加以河道中巨石遍佈，進而造成多淺流、淺瀨、深流與深潭等多樣性之水流流況。而在人為介入之調查地點，因為人為橫向構造物，如防砂壩、固床工等，會破壞原本河段之自然水流狀況，但也容易在構造物下游沖刷出深潭，有時護岸的興建束縮了河道，限制水流橫向擺盪，也使得水路趨中造成流量集中的現象，使得人為介入對於水流狀態改變，但分數沒有影響。

在地形特性部份，人為干擾會使得基質被破壞，但人為橫向低矮構造物則容易創造出連續淺瀨，護岸的興建也使得兩岸穩定，如卡 1 之水泥護岸介入，增加了地形的穩定性，使地形指標略為上升。

在植生特性部份，此河相下水域內行水區無出現沉水植物，兩岸因為為山壁岩盤的關係，植生亦較難生長，但部分調查地點在邊灘會出現茂密植生，平均分數為 33 分，人為介入對於植生無深入影響，平均分數為 32 分。

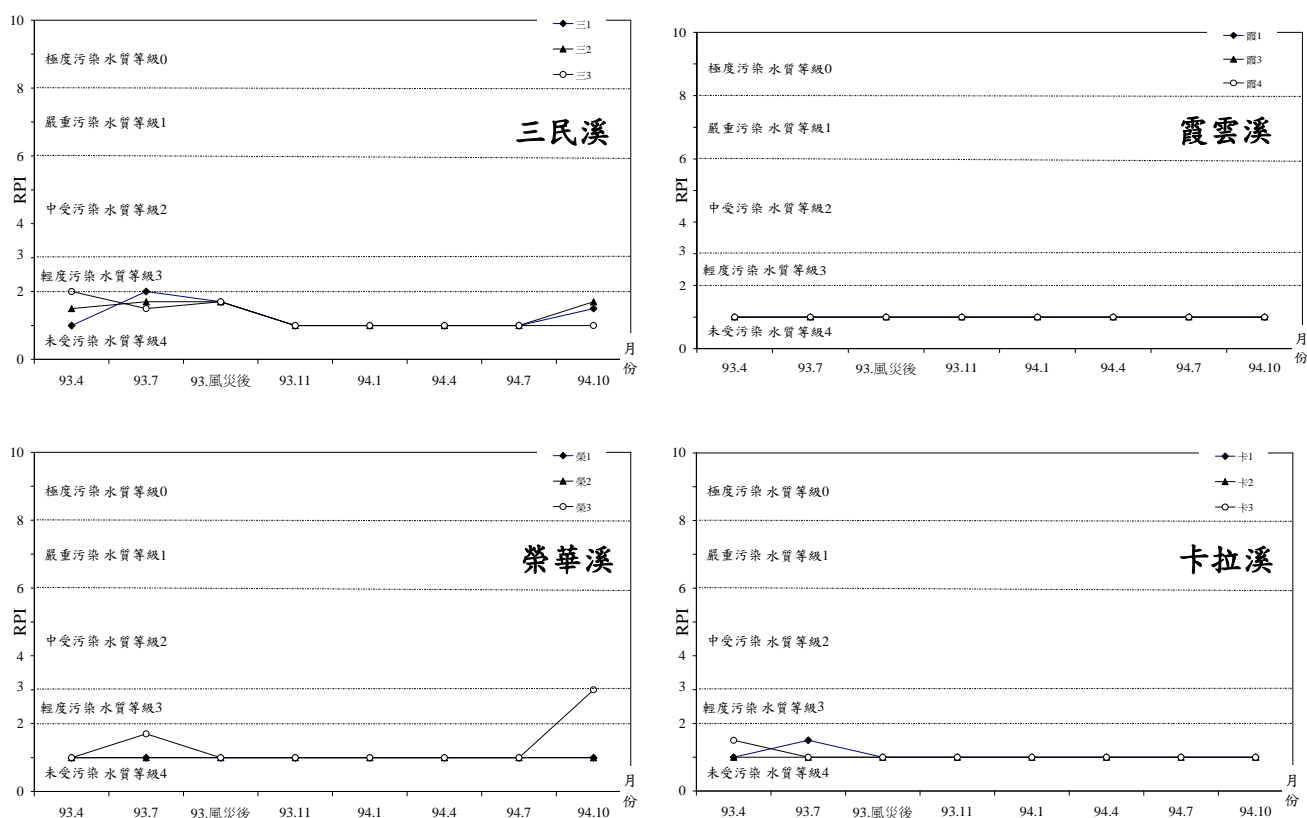
總結此河川型態下之自然棲地物理性環境表現，其在物理性棲地之評估分數平均為



75 分，人為介入後之地點評估分數平均為 71 分。

## 2. 水質評估

當水質污染嚴重時，河川中生物特性便會受到嚴重之影響與大規模之變動，分析中華大學（2005）之水質調查資料，以河川污染指標（RPI）進行四條溪流之水質評比(圖 3)，四條溪流調查點位多位於較上游處，附近無大量住戶，故無大量之生活污水流入水中，且溪水較易得到充分曝氣，溶氧量亦佳，因此，調查年度內之溪流水質狀況皆相當良好，多屬於稍受（未受）污染等級，而榮華溪下游在 94 年 10 月份之 RPI 值偏高調查，可能因修復工程所致，使水中濁度仍高於榮華溪其他樣點，而此影響，將隨著工程完工受到控制；由河溪環境快速評估系統（SERAS）水質評估準則換算 RPI 值，得到水質指標 4，水質情況佳。



資料來源：整理自中華大學（2005）

圖 3 石門水庫集水區溪流 RPI 季節變化圖



### 3. 水生生物評估

中華大學 (2005)「石門水庫集水區溪流生態環境情勢調查研究報告」書中之魚類調查結果指出，在 93 年 4 月至 94 年 10 月間進行了八次調查中，集水區四條支流共記錄到魚類 5 目 10 科 21 種，分別是鮭形目 (Salmoniformes) 鮭科 (Salmonidae) 的虹鱒 (*Oncorhynchus mykiss*)，鯉目平鰭鯽科的台灣纓口鯽、台灣間爬岩鯽，鯉科的臺灣石斑、臺灣馬口魚、鯽魚、羅漢魚、台灣鏟頰魚、平頰鰱與粗首鰱，鱧科的七星鱧，鯽科的中華花鯽與泥鯽，鱸目慈鯛科的吳郭魚，鰕虎科的明潭吻鰕虎、極樂吻鰕虎與短吻紅斑吻鰕虎，鯰目黃顙魚科的脂鯢，鯰科的鯰魚，合鰓目鰾科的黃鰹，其中台灣纓口鯽、台灣間爬岩鯽、臺灣石斑、臺灣馬口魚、粗首鰱、明潭吻鰕虎、短吻紅斑吻鰕虎及脂鯢為臺灣特有種魚類，而虹鱒與吳郭魚則為外來種，調查中尚未發現屬於保育類之物種。

調查年度中分別發生了數個颱風，其中以 93 年 8 月艾莉颱風影響最大，當時榮華溪採樣點 (榮 1) 因此而損毀，在隔年 7 月至 10 月間海棠、馬莎、泰利與龍王颱風也造成不小影響，由圖 4 可看出颱風影響溪流魚類族群及數量的變化，颱風頻率及強度高時，自然恢復力量跟不上，對棲息地破壞難以弭平；榮華溪及卡拉溪之現地底床質調查資料顯示，颱風過後大量巨石堆積，大漂石有明顯增多趨勢 (中華大學，2005)，造成深潭減少與淺灘增加，砂石堆積也造成魚類生殖場與食物資源減少 (Turnpenny *et al.*, 1980)，魚類棲地破壞下，使得魚群數量銳減，分析艾莉風災後之魚群數量變化，榮華溪及卡拉溪之魚群數量平均損失到 9/10 以上，隨著自然恢復力量的調整，魚群數量則有回升之趨勢；而人為衝擊影響、地形、氣候與水文特性等也影響著該河段的魚群組成及族群分布，使得產生魚類數量隨季節變化之情形。以河溪環境快速評估系統 (SERAS) 之魚類組成結構次指數分析河溪原生魚種數量所佔之比例，除受颱風影響外，整體而言，此指標值平均為 3 或 4，即溪流狀況受人為干擾活動少，外來魚種亦較少入侵，溪流原始狀況佳。





表 5 丘陵蜿蜒粗顆粒 V 型河谷棲地現況與評分雷達圖


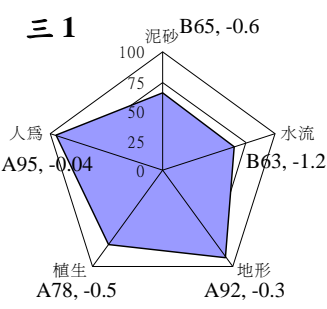

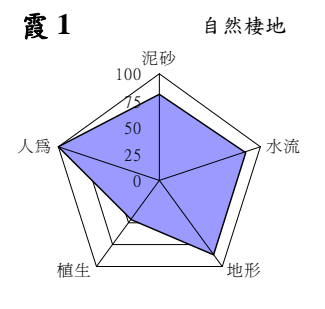

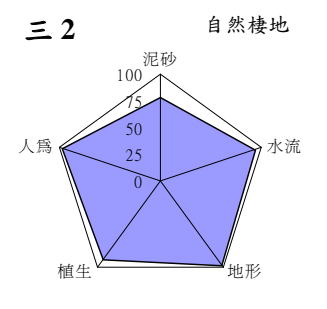

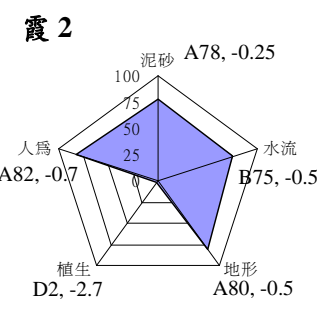

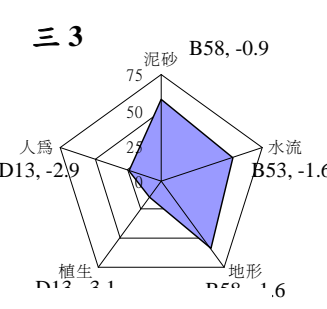

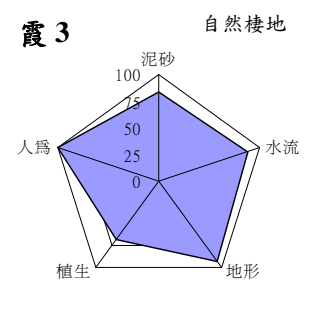

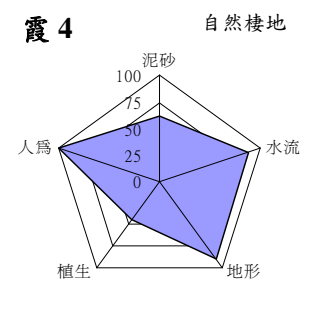

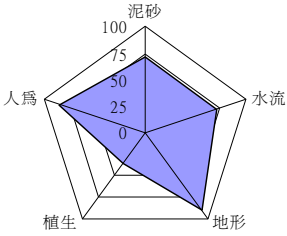

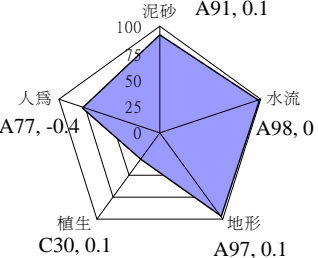

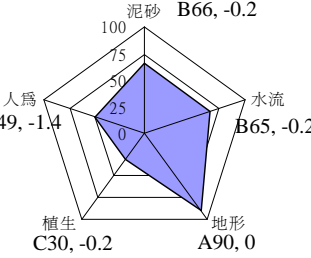

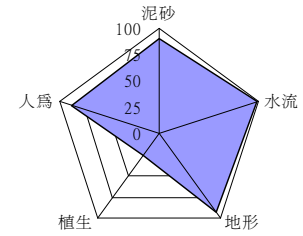

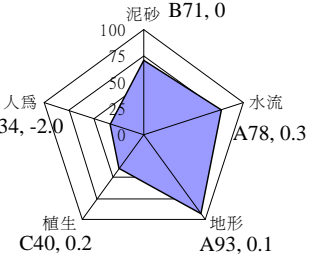

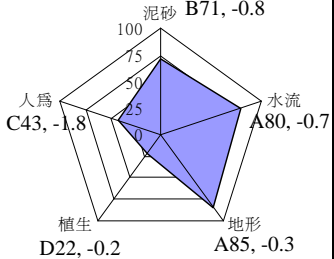
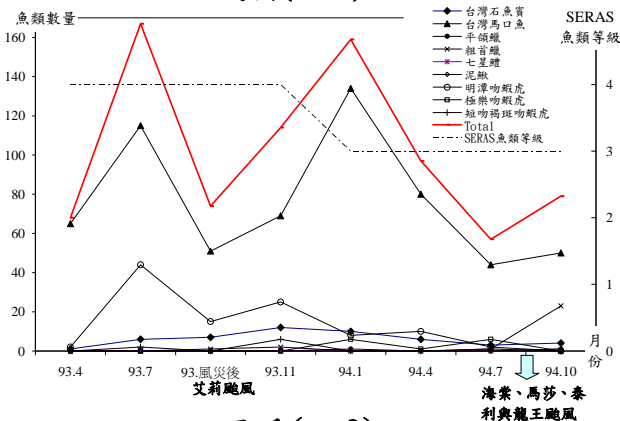
三民溪相片(2007.10.16)	棲地評分雷達圖	霞雲溪相片(2007.10.16)	棲地評分雷達圖
	<p><b>三 1</b></p>  <p>泥砂 B65, -0.6 水流 B63, -1.2 地形 A92, -0.3 植生 A78, -0.5 人爲 A95, -0.04</p>		<p><b>霞 1</b> 自然棲地</p>  <p>泥砂 水流 地形 植生 人爲</p>
	<p><b>三 2</b> 自然棲地</p>  <p>泥砂 水流 地形 植生 人爲</p>		<p><b>霞 2</b></p>  <p>泥砂 A78, -0.25 水流 B75, -0.5 地形 A80, -0.5 植生 D2, -2.7 人爲 A82, -0.7</p>
	<p><b>三 3</b></p>  <p>泥砂 B58, -0.9 水流 B53, -1.6 地形 D12, -2.1 植生 D13, -2.9 人爲</p>		<p><b>霞 3</b> 自然棲地</p>  <p>泥砂 水流 地形 植生 人爲</p>
			<p><b>霞 4</b> 自然棲地</p>  <p>泥砂 水流 地形 植生 人爲</p>

表 6 山區蜿蜒粗顆粒 V 型河谷棲地現況與評分雷達圖

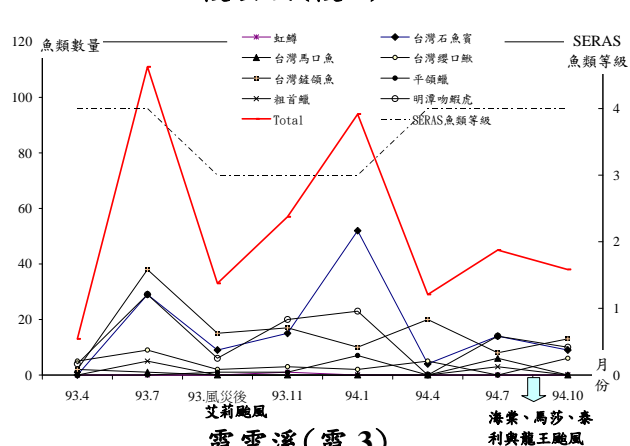
榮華溪相片(2007.10.17)	棲地評分雷達圖	卡拉溪相片(2007.10.17)	棲地評分雷達圖
	<p><b>榮 1</b> 自然棲地</p> 		<p><b>卡 1</b></p> 
	<p><b>榮 2</b></p> 		<p><b>卡 2</b> 自然棲地</p> 
	<p><b>榮 3</b></p> 		<p><b>卡 3</b></p> 



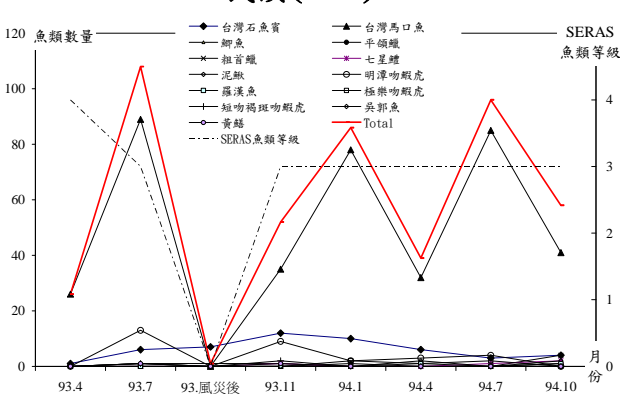
三民溪(三 1)



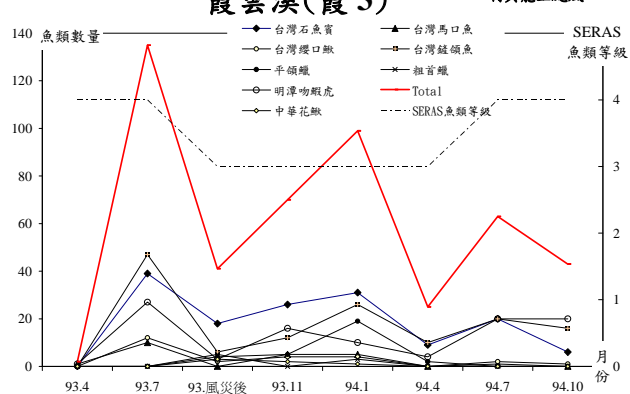
霞雲溪(霞 1)



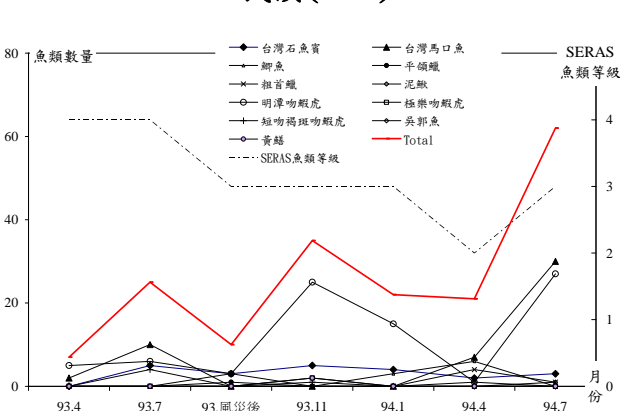
三民溪(三 2)



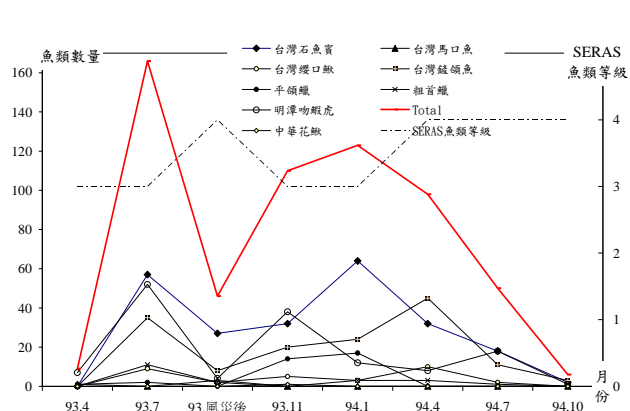
霞雲溪(霞 3)



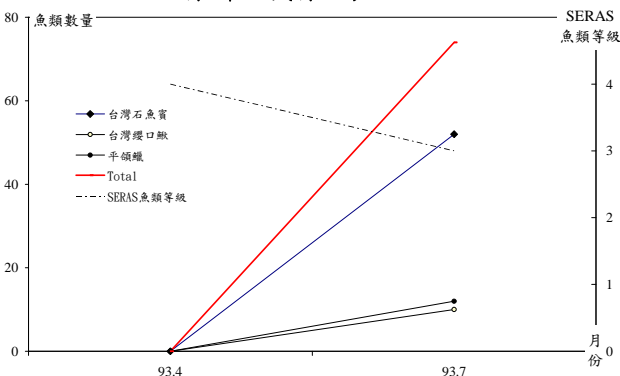
三民溪(三 3)



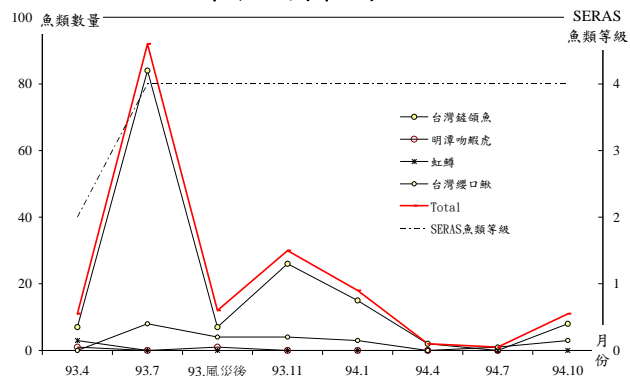
霞雲溪(霞 4)



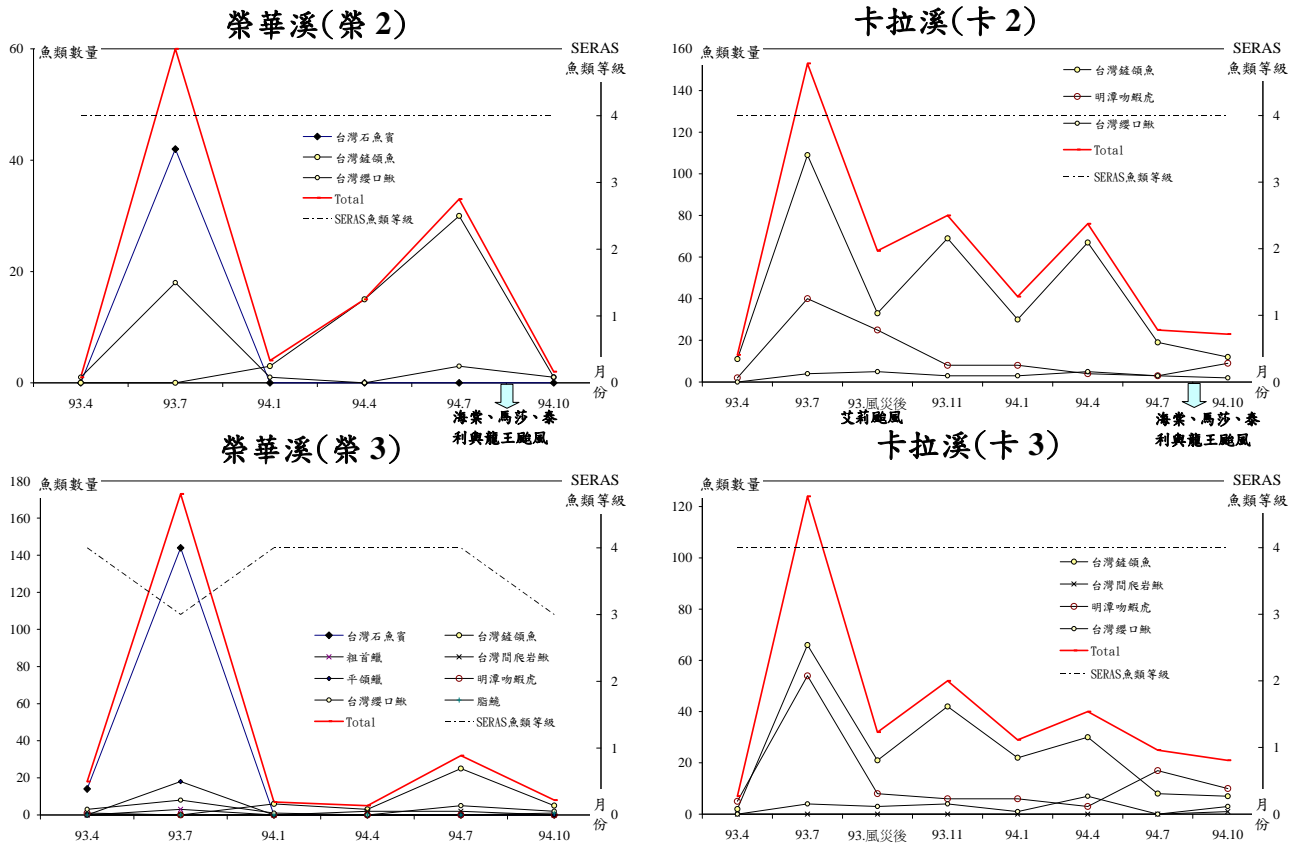
榮華溪(榮 1)



卡拉溪(卡 1)







資料來源：整理自中華大學（2005）

圖 4 石門水庫集水區溪流魚類季節變化圖

## 六、結論

生態棲地之組成主要可分為三大部份，即物理組成、化學組成與生物組成三者，在三種棲地組成之交互作用方面，物理組成乃在建構「河川」之整體要素。而棲地物理組成特性亦會影響化學與生物棲地之特性，如水庫提供了高水深與低流速之廣大靜水區，如此便會造成河川化學特性之改變，同時因物理特性單調化，亦將影響水庫水生生物之族群等生物特性之改變。雖然化學與生物特性亦會影響物理棲地特性，但常需累積長時間之變化，方得以影響物理棲地之特性並造成變動。由此可知，物理組成特性在生態棲地環境中扮演控制者之角色（第一層控制者）；化學組成特性亦會影響生物之特性，河川受污染時，生物特性便會受到嚴重之影響與大規模之變動，雖然生物組成之元素亦會造成化學組成特性之變化，如水庫藻類大量生長造成水庫水質優氧化，但總體來講，化



學組成特性對生物組成特性之影響仍屬於大者（第二層控制者）；至於生物組成特性則受物理與化學兩者之控制（受制者）。綜合以上所論述可得知，集水區中四條溪流之生態棲地之健全與否，乃架構於物理性棲地的好壞，因此，透過量化棲地物理指標，可將河相之棲地上限值定出，並了解該河相下之棲地發展特性。另由棲地評估之雷達圖亦可看出其自然棲地中各項因子發展之趨勢，若棲地經人為破壞後，即可再次經由評估，以了解棲地各項因子之變化，並以其做為棲地復育時之參考。

## 參考文獻

1. 中華大學水域生態環境中心，2005，「石門水庫集水區溪流生態環境情勢調查研究報告」，經濟部水利署北區水資源局。
2. 巨廷公司，2005，「河溪生態工法參考手冊」，行政院公共工程委員會。
3. 行政院環保署，1998，「國家環境保護計畫」。
4. 陳樹群、彭思顯，2002，「台灣地區河川型態五層分類法研究」，中華水土保持學報，33(3)：175~190。
5. 森下郁子、森下雅子、森下依理子，2000，「川のHの條件陸水生態學からの提言」，山海堂(東京)，p. 150。
6. 龐元勳，1999，「整合性河川生態評估」，淡水河系生物相調查及生物指標手冊建立。第八章。行政院環境保護署，pp. 8~1、8~56。
7. Azzellino A., and Vismara, R., 2001, "Pool Quality Index: New Method to Define Minimum Flow Requirements of High-Gradient, Low-Order Streams,". *Journal of Environmental Engineering*, 127(11).
8. Barbour, M. T., Gerritsen J., Snyder, B. D., and Stribling, J. B., 1999, "Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish," 2nd. ed. EPA 841-B- 99- 002. US. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington.
9. CDFG, 1999, "California Stream Bioassessment Procedure. Protocol brief for biological and physical/habitat assessment in wadeable streams," California Department of Fish and Game, Water Pollution Laboratory, Aquatic Bioassessment Laboratory.



10. Fausch, K. D., J. Lyons, J. R. Karr, and P. L. Angermeier, 1990, "Fish communities as indicators of environmental degradation," American fisheries society symposium 8: 123-144.
11. Hilsenhoff, W. L., 1987, "An Improved Bioticindex of Organic Stream Pollution," *The Great Lakes Entomology*, 20: 31-39.
12. Karr, J. R., 1981, "Assessment of Biotic Integrity Using Fish Communities," *Fisheries*, 6(6): 21-27.
13. Ladson, A. R., White L.J., Doolan J.A., Finlayson B.L., Hart B.T., Lake P.S., and Tilleard J.W., 1999, "Development and Testing of an Index of Stream Condition for Waterway Management in Australia," *Freshwater Biology*, 41: 453-468.
14. Milhous, R. T., Updike, M., and Schneider, D., 1990, "User's Guide to the Physical Habitat Simulation (PHABSIM)-Version II," *Biological Report.*, U.S. Fish and Wildlife Service.
15. Rankin, E. T., 1989, "The Qualitative Habitat Evaluation Index (QHEI), Rationale, Methods, and Application," Ohio EPA, *Division of Water Quality Planning and Assessment*, Ecological Assessment Section, Columbus, Ohio.
16. 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.
17. U.S. EPA., 1989, "Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Rivers: Benthic Macroinvertebrates and Fish," U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

