

太魯閣國家公園管理處

委託研究計畫

雪 霸國家公園管理處

「台灣櫻花鉤吻鮭歷史棲地—南湖溪環境生態監測及評估」

計畫

期末報告

案 號：SP971207

委託單位：太魯閣國家公園管理處

雪 霸國家公園管理處

執行單位：明志科技大學環境與安全衛生工程系

國立中興大學昆蟲學系

逢甲大學水利工程與資源保育學系

計畫主持人：官文惠

共同主持人：郭美華、葉昭憲（按姓氏筆劃排列）

執行期間：民國 98 年 1 月 16 日至 98 年 12 月 31 日

98 年度台灣櫻花鉤吻鮭歷史棲地—南湖溪環境生態監測及評估

期末報告

目錄

目錄.....	I
圖目錄.....	III
表目錄.....	V
附表目錄.....	VI
各子計畫項目與內容.....	VII
整合計畫摘要.....	VIII
Abstract.....	XII

第一章 水質監測研究

摘要.....	1-1
ABSTRACT.....	1-3
一、前言.....	1-4
二、材料與方法.....	1-13
三、結果.....	1-19
四、討論.....	1-20
五、結論與建議.....	1-24
5.1 結論.....	1-24
5.2 建議.....	1-24

第二章 物理棲地研究

摘要.....	2-1
ABSTRACT.....	2-3
一、前言.....	2-4
二、材料與方法.....	2-6
三、結果.....	2-7

四、 討論	2-8
五、 結論與建議.....	2-11
5.1 結論	2-12
5.2 建議.....	2-12

第三章 南湖溪水生昆蟲研究

摘要	3-1
ABSTRACT.....	3-4
一、 前言	3-5
二、 材料與方法.....	3-7
三、 結果	3-8
四、 討論	3-10
五、 結論	3-12
六、 研究成果與建議.....	3-13
6.1 研究成果.....	3-13
6.2 建議.....	3-13

第四章 參考文獻

參考文獻	4-1
------------	-----

圖目錄

圖1-1 南湖流域及歷年櫻花鉤吻鮭放流點空照圖.....	1-32
圖1-2 南湖溪各測站位置圖.....	1-33
圖1-3 氮素循環過程.....	1-33
圖1-4 歷年七家灣溪與南湖溪2、4、6、10月PH值之變化.....	1-34
圖1-5 歷年七家灣溪與南湖溪2、4、6、10月溫度之變化.....	1-34
圖1-6 歷年七家灣溪與南湖溪2、4、6、10月導電度之變化.....	1-34
圖1-7 歷年七家灣溪與南湖溪2、4、6、10月溶氧值之變化.....	1-35
圖1-8 歷年七家灣溪與南湖溪2、4、6、10月濁度之變化.....	1-35
圖1-9 歷年七家灣溪與南湖溪2、4、6、10月BOD值之變化.....	1-35
圖1-10 歷年七家灣溪與南湖溪2、4、6、10月 SiO_2 之變化.....	1-36
圖1-11 歷年七家灣溪與南湖溪2、4、6、10月 $\text{NO}^3\text{-N}$ 之變化.....	1-36
圖1-12 歷年七家灣溪與南湖溪2、4、6、10月 $\text{NO}^2\text{-N}$ 之變化.....	1-36
圖1-13 歷年七家灣溪與南湖溪2、4、6、10月 $\text{NH}^3\text{-H}$ 變化.....	1-37
圖1-14 歷年七家灣溪與南湖溪2、4、6、10月 SO_4^{2-} 之變化.....	1-37
圖1-15 歷年七家灣溪與南湖溪2、4、6、10月CL-值變化.....	1-37
圖1-16 歷年七家灣溪與南湖溪2、4、6、10月 PO_4^{3-} 值變化.....	1-38
圖1-17 歷年七家灣溪與南湖溪2、4、6、10月TP之變化.....	1-38
圖1-18 歷年七家灣溪與南湖溪2、4、6、10月TOC之變化.....	1-38
圖2-1 南湖溪之櫻花鉤吻鮭放流點.....	2-15
圖2-2 本年度研究基本流程圖.....	2-16
圖2-3 南湖溪之測量位置圖.....	2-16
圖2-4 南湖溪上游縱斷面高程剖面圖.....	2-17
圖2-5 南湖溪上游斷面1-1剖面高程圖.....	2-17
圖2-6 南湖溪中游斷面高程剖面圖.....	2-17
圖2-7 南湖溪中游斷面1-1剖面高程圖.....	2-18
圖2-8 南湖溪下游斷面高程剖面圖.....	2-18
圖2-9 南湖溪下游斷面1-5剖面高程圖.....	2-18
圖2-10 耳無溪斷面高程剖面圖.....	2-19
圖2-11 耳無溪斷面1-1剖面高程圖.....	2-19
圖2-12 南湖溪上游棲地環境類型分布.....	2-19
圖2-13 南湖溪中游棲地環境類型分布.....	2-19
圖2-14 南湖溪下游棲地環境類型分布.....	2-20
圖2-15 耳無溪棲地環境類型分布.....	2-20
圖2-16 南湖溪11月份各測站棲地分佈類型百分比圖.....	2-20
圖2-17 南湖溪2009/04月份各測站棲地分佈類型百分比圖.....	2-20
圖2-18 南湖溪2009/06月份各測站棲地分佈類型百分比圖.....	2-21
圖2-19 南湖溪2009/10月份各測站棲地分佈類型百分比圖.....	2-21
圖2-20 有勝溪棲地歷年2月份分佈類型百分比圖.....	2-21
圖2-21 有勝溪棲地歷年6月份分佈類型百分比圖.....	2-22
圖2-22 有勝溪棲地歷年11月份分佈類型百分比圖.....	2-22
圖2-23 有勝溪歷年2月份底質分佈類型百分比圖.....	2-23
圖2-24 有勝溪歷年6月份底質分佈類型百分比圖.....	2-23
圖2-25 有勝溪歷年11月份底質分佈類型百分比圖.....	2-24
圖2-26 觀魚臺棲地歷年2月份分佈類型百分比圖.....	2-24

圖2-27 觀魚臺棲地歷年6月份分佈類型百分比圖.....	2-25
圖2-28 觀魚臺棲地歷年11月份分佈類型百分比圖.....	2-25
圖2-29 觀魚臺歷年2月份底質分佈類型百分比圖.....	2-26
圖2-30 觀魚臺歷年6月份底質分佈類型百分比圖.....	2-26
圖2-31 觀魚臺歷年11月份底質分佈類型百分比圖.....	2-27
圖2-32 高山溪棲地歷年2月份分佈類型百分比圖.....	2-27
圖2-33 高山溪棲地歷年6月份分佈類型百分比圖.....	2-28
圖2-34 高山溪棲地歷年11月份分佈類型百分比圖.....	2-28
圖2-35 高山溪歷年2月份底質分佈類型百分比圖.....	2-29
圖2-36 高山溪歷年6月份底質分佈類型百分比圖.....	2-29
圖2-37 高山溪歷年11月份底質分佈類型百分比圖.....	2-30
照片2-1 南湖溪上游斷面1-2上游面(2009/06).....	2-30
照片2-2 南湖溪上游斷面1-2上游面(2009/10).....	2-30
照片2-3 南湖溪上游1-5斷面上游面(2009/06).....	2-30
照片2-4 南湖溪上游1-5斷面上游面(2009/10).....	2-30
照片2-5 南湖溪上游斷面1-1上游面(2009/06).....	2-31
照片2-6 南湖溪中游斷面1-1上游面(2009/10).....	2-31
照片2-7 南湖溪中游斷面1-3上游面(2009/06).....	2-31
照片2-8 南湖溪中游斷面1-3上游面(2009/10).....	2-31
照片2-9 南湖溪中游下游面匯流點(2009/10).....	2-31
照片2-10 南湖溪下游斷面1-1上游面(2009/10).....	2-32
照片2-11 南湖溪下游斷面1-1下游面(2009/10).....	2-32
照片2-12 南湖溪下游斷面1-8上游面(2009/6).....	2-32
照片2-13 南湖溪下游斷面1-8上游面(2009/10).....	2-32
照片2-14 南湖溪下游斷面1-10下游河道(2009/10).....	2-32
照片2-15 耳無溪斷面1-1下游面(2009/06).....	2-33
照片2-16 耳無溪斷面1-1下游面(2009/10).....	2-33
照片2-17 耳無溪斷面1-3上游面(2009/06).....	2-33
照片2-18 耳無溪斷面1-3上游面(2009/10).....	2-33
照片2-29 耳無溪斷面1-5上游面(2009/10).....	2-33
圖3-1 南湖溪之水棲昆蟲監測調查採樣站之相關位置圖.....	3-20
圖3-2 南湖溪採樣站與武陵地區溪流3測站水生昆蟲數量變化圖.....	3-20
圖3-3 南湖溪採樣站與武陵地區溪流3測站水生昆蟲之SHANNON- WIENER'S INDEX.....	3-21
圖3-4 南湖溪採樣站與武陵地區溪流3測站水生昆蟲之RBPII相對分數.....	3-21
圖3-5 南湖溪採樣站與武陵地區溪流3測站水生昆蟲之MDS分析。(圖標數字前二碼表示樣站編號，W1為一號壩、W2為高山溪、W3為有勝溪、S1為南湖溪下游、S2為耳無溪、S3為南湖溪上游及S4為南湖溪中游).....	3-22
圖3-6 南湖溪採樣站與武陵地區溪流3測站之櫻花鉤吻鮭中大體型昆蟲食餌(郭及丘,2008)之數量變化圖.....	3-22

表目錄

表 1-1	採樣地點地理座標.....	1-26
表 1-2	水體樣品保存.....	1-26
表 1-3	97 年 2 月南湖溪溶解態分析數據.....	1-27
表 1-4	97 年 4 月南湖溪溶解態分析數據.....	1-27
表 1-5	97 年 7 月南湖溪溶解態分析數據.....	1-28
表 1-6	97 年 10 月南湖溪溶解態分析數據.....	1-28
表 1-7	98 年 2 月南湖溪溶解態分析數據.....	1-29
表 1-8	98 年 4 月南湖溪溶解態分析數據.....	1-29
表 1-9	98 年 6 月南湖溪溶解態分析數據.....	1-30
表 1-10	98 年 8 月南湖溪溶解態分析數據.....	1-30
表 1-11	98 年 10 月南湖溪溶解態分析數據.....	1-31
表 1-12	肥料要素含量.....	1-31
表 1-13	景美溪實驗數據.....	1-31
表 1-14	世界河川平均所含可溶性物質的濃度.....	1-32
表 2-1	棲地底質分類表.....	2-12
表 2-2	各種物理棲地環境指標定義.....	2-12
表 2-3	南湖溪上游採樣點床面平均坡度表.....	2-12
表 2-4	南湖溪中游採樣點床面平均坡度表.....	2-12
表 2-5	南湖溪下游採樣點床面平均坡度表.....	2-12
表 2-6	耳無溪採樣點床面平均坡度表.....	2-12
表 2-7	棲地底質分類表.....	2-13
表 2-8	2008 年 11 月南湖溪各河段之棲地底質分佈比例.....	2-13
表 2-9	2009 年 04 月南湖溪各河段之棲地底質分佈比例.....	2-13
表 2-10	2009 年 06 月南湖溪各河段之棲地底質分佈比例.....	2-13
表 2-11	2009 年 10 月南湖溪各河段之棲地底質分佈比例.....	2-14
表 2-12	棲地環境類型分析.....	2-14
表 2-13	2008 年 11 月南湖溪各河段棲地環境類型分析.....	2-14
表 2-14	2009 年 04 月南湖溪各河段棲地環境類型分析.....	2-14
表 2-15	2009 年 06 月南湖溪各河段棲地環境類型分析.....	2-14
表 2-16	2009 年 10 月南湖溪各河段棲地環境類型分析.....	2-15

附表目錄

附表 3-1 南湖溪上游於 2009 年之水生昆蟲資源組成及個體數 (INDIVIDUALS / SQUARE METER).....	3-15
附表 3-2 南湖溪中游於 2009 年之水生昆蟲資源組成及個體數 (INDIVIDUALS / SQUARE METER).....	3-16
附表 3-3 南湖溪下游於 2009 年之水生昆蟲資源組成及個體數 (INDIVIDUALS / SQUARE METER).....	3-17
附表 3-4 耳無溪於 2009 年之水生昆蟲資源組成及個體數 (INDIVIDUALS / SQUARE METER).....	3-18

各子計畫項目與內容

計畫項目	主持人	服務機構/所	職稱	計畫內容
子計畫 1	官文惠	明志科技大學環境與安全衛生工程系	副教授	水質監測
子計畫 2	葉昭憲	逢甲大學水利工程與資源保育學系	副教授	水文與物理棲地研究
子計畫 3	郭美華	中興大學昆蟲系	副教授	水棲昆蟲研究

整合計畫摘要

關鍵詞：南湖溪、七家灣溪、櫻花鉤吻鮭、水質監測、水文物理棲地、水生昆蟲

一、研究緣起

台灣櫻花鉤吻鮭過去在大甲溪上游之六條支流中，包括南湖溪均有櫻花鉤吻鮭之分佈，但隨時間之演進，最後僅生存於七家灣溪及高山溪。近年來雪霸國家公園管理處致力於櫻花鉤吻鮭之復育工作，並逐年在司界蘭溪及南湖溪放流，希冀國寶魚櫻花鉤吻鮭可重新悠游於歷史之溪流中。本研究進行南湖溪水質監測，整合歷年七家灣溪之調查結果，比較南湖溪水質與七家灣溪之異同，並探討對櫻花鉤吻鮭之影響及生態意義。期望能將調查結果彙集成文，裨益集水區之經營管理，並提供鮭魚溪流移地保育之評估與建議。

二、研究方法及過程

本研究針對水溫、溶氧、導電度、pH等水質項目進行現場量測；濁度、矽酸鹽、硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮、生化需氧量、氨氮、磷酸鹽、硫酸鹽、氯鹽、總磷、總有機碳，則現地採集樣品後，運回實驗室分析。

水文物理棲地之調查，沿用葉昭憲（2007）於七家灣溪及高山溪相關研究計畫中實施多年之河道斷面測量及物理棲地調查方法。

水生昆蟲之調查係進行櫻花鉤吻鮭之域外放流地南湖溪之生態監測，並建立水生昆蟲相生態資料庫，並利用群聚指數及快速生物評估法II指標監測南湖溪各測站水生昆蟲群聚、棲地變化及水質變化並加以評估，以作為集水區經營管理之參考指標。

三、重要發現

本研究以每季採集一次水樣的進度進行水樣分析，目前採集2月、4月、6月、8月、10月五次水樣，發現南湖溪各測站間pH值極為近似，各月份之數據

也極近似，均在pH8.2~8.6間。不似七家灣溪有季節性趨勢，且有測站間之相關性。導電度均較七家灣溪為高，甚至高於有勝溪測站，愈往南湖溪下游導電度愈高。南湖溪各測站濁度，均略較七家灣溪高，且97年10月甚至高於10NTU，於98年8月、10月皆因為颱風過境，使南湖溪濁度大於999.99 NTU，顯示南湖溪受單一水文事件之影響較七家灣溪為大，惟仍需更多數據始得證實。硝酸鹽濃度近似高山溪測站，硫酸鹽及氯鹽濃度則介於七家灣溪之高山溪與觀魚台測站之間。磷酸鹽濃度在97年7月高達20ppb，矽酸鹽及總有機碳濃度則在97年10月有一高峯值，可能與當時之大雨沖刷有關。南湖溪之水溫在同一季節均較七家灣溪為高，這可能與其海拔較低有關，惟其各測站溶氧尚能維持在8ppm以上。

4月份在南湖溪四處生態採樣區調查結果發現，南湖溪上游與南湖溪中游在棲地分佈與底質分布情況類似；耳無溪則是與南湖溪下游相類似；在11月份調查發現，南湖溪四個生態採樣點，河道無明顯之變化，皆與四月份調查結果相差不大，對大部分的河道而言，淤多於沖。且在棲地分佈上，四個河段急流比例有明顯增加；匯整「武陵地區長期生態監測暨生態模式建立」歷年相關計畫從2005年至今年度(2008年)2月份及11月份之有勝溪測站、一號壩測站以及高山溪測站之研究成果並進行歸納比較，其4月份之調查結果配合彙整群體計畫之三個測站2月份之研究成果，初步歸納比較後，綜合南湖溪四個生態採樣區棲地底質分佈情況較類似於群體計畫之一號壩測站，而11月份調查結果與整群體計畫之三個測站11月份之研究成果比較，則無明顯的差異性；於南湖溪上游(河段一)上方400~500公尺處進行調查，該河段大致上與南湖溪上游(河段一)相似，在棲地分佈上，急流比例明顯高於調查範圍之四個河段，急流類型為主要棲地類型，約略在南湖溪上游(河段一)上方200公尺轉彎處，底質有明顯增大之趨勢。

本年度(2009年) 4測站，2、4、6、8及10月採樣調查水生昆蟲共計有5

目24科43種(Taxa)，水生昆蟲豐度以2月份為最高且與2008年各測站豐度變化並不一致。2008年、2009年各測站之 Shannon-Wiener's 指數值為1.25~2.5之間，介於武陵地區參考站變化區間內。快速生物評估法II評估南湖溪棲地於2008年至2009年則在無損害與中度損害之間。MDS分析顯示南湖溪各測站和武陵地區優良參考站的群聚結構相近。

四、主要建議事項

根據本研究於南湖溪之水質採樣分析、水文物裡棲地調查及水生昆蟲調查研究結果顯示，僅有兩年之數據尚不足以作成長期建議，以目前之研究成果，立即可行之建議事項，敘述如下：

(1)立即可行建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：武陵農場

由調查分析結果顯示，南湖溪水質狀況大致良好，但水溫在春夏季較高，較高導電度在冬季且濁度、磷酸鹽某些採樣點濃度較七家灣溪高，若欲在南湖溪放流櫻花鉤吻鮭，持續監測關鍵水質項目仍屬必要，如水溫、總有機碳 (TOC)、磷酸鹽、硝酸鹽、氨氮、生化需氧量等；河道大致上呈現棲地單一化趨勢與坡度上升之趨勢，且調查時，皆發現水體是混濁樣，即沖刷力大，含砂量大，須持續監測，觀察是否有無持續崩塌(砂量補充來源)，以對後續研究提供詳細資料；經過 2008 年及 2009 年的調查研究，其水棲昆蟲季節性變化已了解為分明的乾溼兩季，而南湖河流域水文事件易受到東部氣候影響，水文變化並不一定和武陵地區同步，因而水棲昆蟲的反應也可能不盡相同，相關資訊仍需多年長期監測，但可訂為每年乾溼兩季二次的調查即可。

(2)長期建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：武陵農場

由調查分析結果顯示，南湖溪水質、物理棲地組成及水生昆蟲組成狀況，近似七家灣溪之高山溪或觀魚台測站，惟各項目間之穩定性與規律性不若七家灣溪流域佳，且受單一事件之影響較大，故持續監測關鍵收集相關數據，以評估是否適合櫻花鉤吻鮭之放流仍有其必要性。

Abstract

Key words: the Nan-Hu stream; the Formosan salmon; the Chi-chia-wan Stream, water quality monitoring,

Formosan landlocked salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*), the scarce protected species, had distributed in the 6 branches of the Da-Chia stream, including the Nan-Hu stream. However, the protected salmon only occur in the Chi-Chia-Wan stream in last a number of decades. Due to the government policy the Shei-Pa National Park recently devotes to recover the salmon and release the cultivated breeds in the Nan-Hu stream. Therefore, the comprehensive assessment and monitoring of the new selected habitats are indispensable. This study was aimed to monitor (a) the water quality, (b) physical habitat patterns, (c) aquatic insect at 4 sampling points including up-stream, middle-stream, and down stream of Nanhu stream as well as the Er-Wu stream. Additionally, the overall evaluating data will be compared to that of the Chi-Chia-Wan stream in order to propose ecologically suggestions for the restoration of the Formosan salmon.

The results of water monitoring displayed that (a) the turbidity of Nan-Hu stream was higher than that of Chi-Chia-Wan stream, moreover, the turbidity monitored at Oct. 2008 was as high as 25 NTU; (b) the dissolved oxygen of 4 sampling points in this study were supersaturated, and ranged between 8~11 mg/L, which value were similar to that of Chi-Chia-Wan stream, (c) the nitrate in Nan-Hu stream were much lower than that in Chi-Chia-Wan stream because there was no agricultural activity near the Nan-Hu stream, however, the phosphate and conductivity concentration is higher than that in Chi-Chia-Wan stream. The sustainable water quality monitoring and evaluation of this phenomenon were necessary.

To understand the channel environment of Nanhu Creek, four observatory reaches were investigated, including cross and longitude sections survey, substrate composition, and physical habitat patterns. This project applied the same survey and analysis methods used in last year's project.

With habitat and substrate analysis, this project found that the conditions of the upstream reach and midstream reach of Nanhu Creek are similar, and the remaining two observatory reaches are alike. Based on the investigations applied at April, June, and November, the channel slopes of these four observatory reaches increase apparently, while the homogenous channel substrate is discovered for all the reaches except Erwu Creek. In general, the channel environment of Nanhu Creek is very similar to that of Guanyutai observatory reach in Chichiawan Creek.

During the research period in 2009, we had recorded 39 taxa of aquatic insects belong to 27 families in 5 orders. We found the no correspondence on abundance dynamic among these sites in 2008 to early 2009. All these sites were Shannon-Wiener's index values between 1.25 and 2.5 in early 2009, which had fell in range of the index at reference sites of Wuling area. Habitat quality of these sites was assayed by RBPII, and evaluations were between non-impaired and moderately impaired in 2008 to early 2009. Using multidimensional scaling plots to analyze the composition similarity of abundances among sampling plots indicated that the community structures of these sites were more similar to reference sites with better habitat of Wuling area.

第一章 水質監測研究

官文惠

蕭翔懌、盧麒承、詹晏權、劉柄伸、張吉正、賴宥蒼

謝忠穎、江宛樺

明志科技大學環境與安全衛生工程系

摘要

關鍵詞：南湖溪、七家灣溪、櫻花鉤吻鮭、水質監測

一、研究緣起

台灣櫻花鉤吻鮭過去在大甲溪上游之六條支流中，包括南湖溪均有櫻花鉤吻鮭之分佈，但隨時間之演進，最後僅生存於七家灣溪及高山溪。近年來雪霸國家公園管理處致力於櫻花鉤吻鮭之復育工作，並逐年在司界蘭溪及南湖溪放流，希冀國寶魚櫻花鉤吻鮭可重新悠游於歷史之溪流中。本研究將進行南湖溪水質監測，整合歷年七家灣溪之調查結果，比較南湖溪水質與七家灣溪之異同，並探討對櫻花鉤吻鮭之影響及生態意義。期望能將調查結果彙集成文，裨益集水區之經營管理，並提供鮭魚溪流移地保育之評估與建議。

二、研究方法及過程

本研究持續針對水溫、溶氧、導電度、pH等水質項目進行現場量測；濁度、矽酸鹽、硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮、生化需氧量、氨氮、磷酸鹽、硫酸鹽、氯鹽、總磷、總有機碳，則現地採集樣品後，運回實驗室分析。

三、重要發現

本研究以每季採集一次水樣的進度進行水樣分析，目前採集2月、4月、6月、8月、10月五次水樣，發現南湖溪各測站在溫度於同一季節均較七家灣溪

高；南湖溪各測站之溶氧值均維持8 ppm以上；南湖溪各測站在濁度方面，因各採樣點附近有山壁崩落的現象，所以濁度略為比七家灣溪還高。

四、主要建議事項

根據本研究於南湖溪之水質採樣分析結果，可做成立即可行及長期建議事項，分述如下：

(1)立即可行建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：太魯閣國家公園管理處

建議事項：由採樣分析結果顯示，南湖溪水質狀況大致良好，但水溫在春夏季較高，較高導電度在冬季且濁度、磷酸鹽某些採樣點濃度較七家灣溪高，若欲在南湖溪放流櫻花鉤吻鮭，持續監測關鍵水質項目仍屬必要，如水溫、總有機碳（TOC）、磷酸鹽、硝酸鹽、氨氮、生化需氧量等。

(2)長期建議：

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：武陵農場、林管處、河川局

建議事項：經由本研究兩年成果顯示，南湖溪水質狀況受單一水文事件（如颱風、暴雨）之影響較七家灣溪大，究其原因可能為兩條溪流區域所屬之降雨型態分區不同，但近兩年內觀測所得較大的水質變異情形，究竟是常態亦或短期水文事件之個別影響宜持續觀察監測，且其他溪流進行放流工作前，亦可以此方法為鏡，先行監測分析並與七家灣溪流域水質進行比較，作為水質適宜性之判定依據。

Abstract

Key words: the Nan-Hu stream, the Formosan salmon, the Chi-chia-wan Stream, water quality monitoring

Formosan landlocked salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*), the scarce protected species, had distributed in the 6 branches of the Da-Chia stream, including the Nan-Hu stream. However, the protected salmon only occur in the Chi-Chia-Wan stream in last a number of decades. Due to the government policy the Shei-Pa National Park recently devotes to recover the salmon and release the cultivated breeds in the Nan-Hu stream. Therefore, the comprehensive assessment and monitoring of the new selected habitats are indispensable. This study was aimed to monitor the water quality at 4 sampling points including up-stream , middle-stream , and down stream of Nanhu stream as well as the Er-Wu stream. Additionally, the overall evaluating data will be compared to that of the Chi-Chia-Wan stream in order to propose ecologically suggestions for the restoration of the Formosan salmon.

The results of water monitoring displayed that (a) the turbidity of down-stream of Nan-Hu was as high as 999.99 NTU because an avalanche near this point, however, the turbidity of other sampling points ranged from 0.4~1.0 NTU; (b) the dissolved oxygen of 4 sampling points in this study were supersaturated, and ranged between 8~11 mg/L, which value were similar to that of Chi-Chia-Wan stream, (c) the nitrate in Nan-Hu stream were much lower than that in Chi-Chia-Wan stream because there was no agricultural activity near the Nan-Hu stream, however, the phosphate concentration is higher than that in Chi-Chia-Wan stream. The sustainable water quality monitoring and evaluation of this phenomenon were necessary.

一、前言

(一) 研究緣起

台灣櫻花鉤吻鮭是冰河時期孑遺的珍貴物種，是北半球鮭魚分佈最南限，冰河時期海平面下降，改變櫻花鉤吻鮭洄游到大海的習性，被阻隔在大甲溪上游之高山溪流中，成為陸封性的鮭魚。過去在日治時代，在大甲溪上游之六條支流中，包括南湖溪均有櫻花鉤吻鮭之分佈，但隨時間之演進，最後僅生存於七家灣溪及高山溪。近年來雪霸國家公園管理處致力於櫻花鉤吻鮭之復育工作，並且進行移地保育（exsitu conservation）工程，亦就是在自然原生地以外的地方進行物種的保育，物種保育整體的經營管理可劃分為就地(in situ)和遷地行動。前者著重在自然族群和生態系統，立即的保護和復育，而後者朝向發展移地的基因保存能力，以便保護物種免於全然絕滅，並補充或復育自然族群。移地保育就像是備分一樣；有時又是一種暫時性的替換手段，目前已逐年於司界蘭溪及南湖溪進行放流，希冀國寶魚櫻花鉤吻鮭可重新悠游於歷史之溪流中。

南湖溪發源於南湖大山，為大甲溪最大的支流，長約30公里，發源於南湖大山、南湖南山、中央尖山、無明山等中央山脈北側斜面3500公尺以上山麓附近。南湖溪與大甲溪呈現並行流路，另有支流耳無溪，由無明山起源，約10.5公里長。於環山部落與合歡溪匯流之後，注入大甲溪，雪霸國家公園管理處於2006及2007年分別放流250及150尾約15公分之之櫻花鉤吻鮭，2008將持續進行放流工作。惟過去南湖溪之溪流生態環境監測與評估之數據較為缺乏，亦無法與櫻花鉤吻鮭目前生存之七家灣溪及高山溪流進行客觀之比較。故本計畫擬針對南湖溪進行水質之初步評估。

(二) 研究目的與內容

本研究樣區主要位於太魯閣國家公園，樣區空照圖與歷年櫻花鉤吻鮭放流

點相關位置如圖1-1所示。本研究將針對南湖溪放流點上中下游及耳無溪之水環境生態進行初步調查與評估，並與櫻花鉤吻鮭目前生存之七家灣溪流域水質進行比較之。

(三) 文獻回顧

櫻花鉤吻鮭棲息地之水質對條件對魚隻數目有相當大之影響。張（1989）與陳（1998）研究指出櫻花鉤吻鮭對水質的要求如下所述，溫度是最直接影響鮭魚的生存條件，鮭魚生存最適溫度在5~17 °C為最佳，孵化時7~12.5 °C，水溫過低攝食率亦隨之降低，過高對魚卵會產生致死作用；水溫升高更會造成溶氧的降低，水溫控制著魚類的攝食、代謝、生長率影響魚類甚巨。pH值介於6.5~8.5時對魚類生產力最好，pH值大於9與低於5.2時對魚類鰓的表面細胞有損害作用；更會產生大量黏液妨害魚類呼吸，另外pH值過高，水中氫會以劇毒性之非離子狀態存在，對魚類更會造成影響。導電度表示水中離子的含量多寡，鮭魚最適水中導電度條件介在120~450 $\mu\text{mho}/\text{cm}$ 之間。冷水性鮭鱒魚類對溶氧的需求在7 ppm以上或飽合度85%以上，溶氧過低會影響消化作用，當低於2.65 ppm以下時便會產生窒息現象；溶氧過高會造成鰓微血管和皮下組織會出現氣泡，妨礙血液循環而使魚類出現呼吸困難導致死亡。濁度的要求在5 NTU之下，濁度對視覺性攝食魚種櫻花鉤吻鮭會造成攝食的有效度降低，懸浮顆粒更容易經由摩擦對水棲生物造成物理性的傷害，若附著於魚卵表面，則其透氧率會降低導致孵化率亦隨之降低。生化需氧量代表著水中有機物質的多寡，其值越低表示其水中有機物的含量越少；水質亦越好。在甲級河川水體其生化需氧量值規定於1 ppm以下，鮭鱒魚類對水中生化需氧量的濃度可忍受在1 ppm以下，孵化時忍受值更低為0.6 ppm以下。硝酸鹽水體未污染之上限濃度為0.5 ppm，若大於10 ppm會加速水中藻類繁殖造成水質優養化，並使溶氧減少。鮭鱒魚類對水中硝酸鹽的濃度可忍受在2 ppm以下。亞硝酸鹽氮為一具有毒性的物質，飲用水規定的最高容許濃度為0.1 ppm，鮭鱒魚類對水中亞硝酸鹽的

忍受濃度為50 ppb，孵化時則需低於30 ppb。在氮的部分其忍耐值需小於12.5 ppb。冷水性鮭鱒魚類對氯極為敏感，水中若含有0.3 ppm的氯，兩個小時內虹鱒便會死亡；含氯0.25 ppm時，4~5個小時便能殺害幼魚。氯的毒性影響常是久遠的且無法復原，在含氯的溪水中會導致魚類的鰓受損而無法保持體內離子平衡。其他化合物與氯結合後大多數具有毒性，生物不能經由代謝而排除致使魚類死亡。環境中的磷大多以磷酸鹽（ PO_4^{3-} ）的型式存在。磷關係著水質優養化的現象發生，溶解性磷酸鹽水體未受污染之上限濃度為0.01 ppm，鮭鱒魚類對水中磷酸鹽的忍受濃度為10 ppb磷酸鹽濃度。

氮及磷等物質進入溪流中之主要作用包括有滲淋、沖蝕，以及降雨逕流三種方式。其中鉀肥及其他陽離子，將造成溪水導電度升高，而氮肥及磷肥則是水中藻類之營養鹽來源。滲淋作用是藉由水在地表下之擴散作用與傳流作用把污染物往下帶動的情形；土壤沖蝕係指藉由雨滴沖刷或逕流沖刷，將附著在土壤顆粒表面之營養鹽，隨土壤顆粒自陸域移動至水域之過程；而降雨逕流則是指一場有效降雨，陸地上的污染物或營養鹽被雨水攜帶進入水體之情形。這三種將污染物或營養鹽自陸域帶入水域之污染方式，稱為非點源污染；而點源污染有如家庭污水及事業廢水污染源都有集中且明確的產生與排放地點，其所造成的污染稱為點源污染。土壤的主要營養元素中，磷素與氮素的行為差異甚大，氮素在土壤之移動或流失容易發生，而磷素移動或流失則較不容易發生。

磷的循環透過物理、化學及生物作用之交互影響及傳輸而決定磷的形式。在土壤中磷主要是以無機和有機的形式存在，有機磷的含量和土壤中的有機質的含量有關，在一般的土壤中有機磷常佔總磷的20~50%。磷在酸性土壤中會被鐵離子和鋁離子吸附，在鹼性土壤中則會被鈣離子吸附。無機磷透過為生物活動將有機磷礦化而增加，在某些情況下無機磷透過固定化過程會轉變為有機磷。無機磷透過風化分解轉變為溶解態及生物可利用之有效磷型態。透過各種化學反應之累積，例如磷固定或沈降，有效磷可被置於土壤中。溶解性磷極易

被植物攝取、淋溶至地表下層或溶至表面逕流水(Wischmeir and Smith, 1978)。磷的傳輸主要是以逕流的方式傳送溶解性磷和吸附在微粒上的粒狀磷。粒狀磷主要藉由降雨所造成之土壤沖刷和雨水逕流兩種形式移動。溶解性磷主要也是藉由逕流作用移動。地表逕流水中磷的濃度就和土壤中5 cm內磷的量有密切之關係(Sherpley, 1995)。

1、氮

(1)氮的來源

楊(1997)說明氮肥的來源之種類甚多，包括有機質與無機質的來源。

A、有機質的來源：

各種有機質中均含有氮的成份，由胺基酸所組成的蛋白質含量甚高，一般在動物性肉及豆科植物中經由共生或非共生將大氣中的氮固定成生物能利用的 NH_3 而合成胺基酸。有機態氮需經分解成小分子或無機態氮後才利於被植物所吸收利用。氮肥中有胺基酸所組成的有機氮肥，施肥進入土壤中大部分都會被分解為無機態氮肥。

B、無機質的來源：

無機氮的來源大多是將大氣中的氮氣經高溫高壓合成 NH_3 之後的產物，或工業合成的氰胺基化鈣(CaCN_2)，少部份來源是由自然界沈積的礦石中來獲得。

(2)氮的型態

土壤中氮素的存在型態可區分為五種分別為有機的氮、在土壤溶液及交換位置的礦物氮、在殘質內的氮、在黏粒中固定的銨態及氣態的氮。因此，土壤的氮可分為「有機態」及「無機態」的氮，各種不同土壤中所佔的比例差異甚大，一般有機態氮的量高出許多，約佔95%以上，無機態氮約僅佔5%以下。

(3) 氮的循環

氮素循環（圖1-3）與土壤微生物的關係甚為密切，與植物營養上的關係更是重要，將各項氮素轉化分述如下：

A、礦質化作用：

動植物體內的有機物分解成無機物，其中微生物是分解菌的主角，分解後的產物是提供植物養分吸收。

B、固氮作用：

空氣中含有大量氮素，植物無法直接利用，只有微生物能有固定氮素的功能。固氮微生物包括非共生、協生及共生三大類。

C、硝化作用：

有機氮素經礦質化作用形成銨態，或使用尿素分解也成銨態氮素，這些土壤中的銨態氮會被硝化菌利用，轉化為亞硝酸態，最後轉化成至態氮，這種轉化作用稱為「硝化作用」。

D、脫氮作用：

土壤通氣排水不良時，脫氮微生物利用硝態氮轉化成氣態氮而揮發散失。

E、氮不移動現象：

氮不移動現象包括氮固定及微生物吸收的固定作用，有些土壤對銨態氮固定較強，使氮不易流失。

(4) 氮的流失

氮肥是最易被流失的養分，流失的方式可分為淋洗作用、氮揮散現象、嫌氣的脫氮作用及硝化作用的脫氮現象等，分別說明如下：

A、淋洗作用：雨水及灌溉排水將可溶性氮肥溶出移出土壤或進入地下水，尤

其是以硝態氮 (NO_3^-) 最易移動而淋洗流失。

B、氮揮散現象：尿素及銨態氮施肥施入pH值大於7.5的鹼性土壤時，易使銨態 (NH_4^+) 轉變為 NH_3 氮之氣體而揮散，尤其在高溫或風大之季節則更嚴重。

C、脫氮作用：

a、嫌氣的脫氮作用：土壤在排水不良的條件下土壤中缺乏氧氣，一群嫌氣的脫氮微生物會將氮肥的硝態氮 (NO_3^-) 轉變為氣態的氧化亞氮 (N_2O) 及氮氣 (N_2)，而導致氣態氮的流失問題，一般土壤可能由脫氮損失氮肥的9%~15%，嚴重者達30%之損失。

b、硝化作用的脫氮現象：土壤在通氣良好的條件時，銨態氮 (NH_4^+) 會被硝化菌先轉化為亞硝酸態氮 (NO_2^-)，再被微生物轉化為硝態氮 (NO_3^-)，此過程稱為硝化作用。硝化作用的過程中微生物也釋放氧化亞氮 (N_2O)，而產生氮肥的流失問題。

2、磷

(1)磷的介紹

磷的循環透過物理、化學及生物作用之交互影響及傳輸而決定磷的形式。在土壤中磷主要是以無機和有機的形式存在，磷的形式會因土壤的成分、結構或因不同土地利用所加入或去除的磷而有所變化。有機磷的含量和土壤中的有機質的含量有關，土壤中之N/P比率，約為0.1~0.3，故土壤有機磷的多寡，隨有機質含量而異，在一般的土壤中有機磷常佔總磷的20~50%。磷在酸性土壤中會被鐵離子和鋁離子吸附，在鹼性土壤中則會被鈣離子吸附。無機磷透過微生物活動將有機磷礦化而增加，在某些情況下無機磷透過固定化過程會轉變為有機磷。無機磷透過風化分解轉變為溶解態及生物可利用之有效磷型態。透過各種化學反應之累積，例如磷固定或沈降，有效磷可被置於土壤中。Wischmeir and Smith (1978) 研究指出溶解性磷極易被植物攝取、淋溶至地表下層或溶至

表面逕流水。

磷的傳輸主要是以逕流的方式傳送溶解性磷和吸附在微粒上的磷（粒狀磷）。粒狀磷被吸附於土壤微粒與有機質當中，並且為耕地主要流失磷的來源（達75~90%）。在草地或林地則溶解性磷占主要的部分。其主要之傳輸方式也可分為滲淋、沖蝕與降雨逕流三種方式。當降雨發生時，因為深層土壤磷含量較少，滲入土壤內之雨水會將土壤中的磷帶到更底層之土壤。但若土壤是含有大量有機質或是泥質性土壤則有機質會隨著磷和鐵、鋁離子一起往下入滲，減少磷被土壤吸附的量。粒狀物磷主要藉由降雨所造成之土壤沖刷和雨水逕流兩種形式移動。當降雨發生時雨水會沖擊土壤表面，若土壤表面沒有很好的覆蓋或保護，很容易造成土壤脫離母體，脫離之土壤又會隨著雨水逕流搬運作用被帶至遠方。溶解性磷主要也是藉由逕流作用移動，雨水逕流會把土壤中還未被植物吸收、溶解於土壤水或不溶於土壤水的磷沖出，之後便隨地表逕流流至遠方。Sherpley（1995）指出地表逕流水中磷的濃度就和土壤中磷的量有密切之關係，尤其和表土五公分土壤中含磷量有相當大之關係。

(2)磷的形態

土壤中磷素的形態主要可區分為下面三類：

- A、土壤有機質內的有機磷。
- B、無機磷，存在於鈣、鎂、鐵、鋁及粘粒結合的磷。
- C、存於生命體中的有機及無機磷。

有機質中的有機磷將受土壤微生物的分解，轉化為無機磷素，這是有機磷的「礦質化作用」。植物在土壤中吸收的磷素形態大都以磷酸二氫及一氫離子（ H_2PO_4^- 及 HPO_4^{2-} ），其中吸收 H_2PO_4^- 較 HPO_4^{2-} 容易，部份有機磷也有少量能被植物吸收。在土壤液中 H_2PO_4^- 及 HPO_4^{2-} 之比例受pH的影響，在偏酸性時則以 H_2PO_4^- 為多；反之則以 HPO_4^{2-} 為多。

(3)磷的移動

土壤的主要營養元素中，磷素與氮素的行為差異甚大，氮素在土壤之移動或流失容易發生，而磷素移動或流失則較不容易發生，

楊與Goen and Notodarmojo (1997, 1995) 提出植物營養元素在土壤中的移動行為是決定正確施肥方法的重要指標，營養元素在根圈上植物吸收，於是根圈中的營養元素逐漸減少，營養元素將從根圈周圍往根移動，移動最快的形式屬隨水流移行的大量移動，例如硝態氮素的移動即屬於大量移動；另一種移動是靠高濃度往低濃度擴散的移動，這種移動的方式甚慢，磷素在土壤中的移動是靠此擴散移動，從根圈外供應根吸收的能力甚低。因此，根吸收磷素是靠根系接觸土壤的方式為主要來源。磷在濕潤的土壤中擴散係數比氮的擴散係數小1000至2000倍，磷素不易從表土中向下移動到深層土壤，尤其粘粒多的土壤更不易移動，有機磷的移動較無機磷高，有機質有助磷素在土壤的移動。然而，磷在低溫時不易被固定；高溫時磷則易被固定。

3、硫

(1)硫的介紹

硫是植物營養的次要元素，其需要量次於氮、磷、鉀三要素。硫為合成植物蛋白質的必需物，亦可協助酵素與維他命的合成，也是葉綠素形成所必需。

土壤中的無機硫是以 SO_4^{2-} 的型態存在，硫酸根呈負價，不易被土壤黏粒與有機質吸附，容易存於土壤的溶液中隨之移動，易被淋洗而流失，會有表土含硫量低，底土含硫量高的現象。

硫肥的來源可分為可溶性硫與不可溶性硫兩大類，可溶性型態的硫肥是以鈣、鉀、銨、鎂、鋅、銅、錳的硫酸鹽類，對農作物的有效性高，但易因被淋洗而流失，尤以砂土質地及雨量多的地方更易流失。不溶性硫是元素硫，不能被植物利用，需經土壤微生物的氧化作用轉化，充分的水分、通氣、較高

的土壤溫度及細粒礦粉等條件有利於元素硫轉化為可溶性之硫酸根而利植物吸收。

(2) 硫的來源

土壤中硫的來源可有以下的來源：

A、硫黃土：

當種植作物的土壤太鹼時，會以鋪硫黃土在土壤中以降低土壤的pH值。

B、土壤：

土壤有機質含有相當多的硫含量。

C、肥料：

農地中硫肥的使用，可溶性硫為硫酸鹽類，不可溶性硫為元素硫。

D、糞便：

動物中的糞便含有大量的硫酸銅，主要以雞糞與豬糞為常用的有機肥料，作為蔬菜的基肥使用。

E、農藥：

使用含硫的農藥。

F、過磷酸鈣：

磷肥中常用的過磷酸鈣即含有11.9%的硫。

G、生物體：

硫是氨基酸的組成元素，即生物體內含有硫。

I、大氣：

大氣中的二氧化硫沉降。

二、材料與方法

計畫樣區主要位於太魯閣國家公園，本計畫將針對南湖溪放流點上中下游及耳無溪之生態環境進行初步調查與評估，實施內容包括：

(一)採樣地點介紹

樣採集樣品點共計有四個測點分別為：南湖溪上游、南湖溪中游、南湖溪下游、耳無溪，其站名與地理座標如表（1-1）所示。

(二) 採樣方法

直接採集河川水體，測其溶解態物質

1.河川水體採樣

確認採樣測站後以面朝河川下游方向之左、右兩側區分為左、右岸，按比例將河川斷面區分為左岸、中央及右岸。再依照不同河川寬度、河水深度等之採樣原則，採集具代表性之水樣。

(1) 不同河川寬度之採樣原則：

河寬小於6公尺時僅於中央處設置採樣點，若河寬大於6公尺時，則分左岸、右岸及河中央各設置採樣點，再依各採樣點之實際水深進行採樣，然後將左岸、中央、右岸採樣點之水樣，等體積比例作最終均勻混合後，分裝入採樣瓶中。

(2) 不同河川深度之採樣原則：

當採樣點水深<1.5公尺時，取0.6公尺水深處之水樣。採樣點水深介於1.5~3公尺間時，分別取水面下0.2、0.8公尺水深之兩層水，將此兩層水等體積比例混合取樣。而當採樣點水深>3公尺時，取0.2、0.6、0.8公尺水深處之三層水，將此三層水等體積比例混合取樣。

河川水體採樣在測站四、五、九採混合取樣，其餘測站皆採取中央處設置

採樣點採樣。

(三) 樣品保存

所採集之溶解態水體樣品保存方式如表(1-2)。另外，直接在現場量測部分有pH、導電度以及溶氧等三項參數。

(四) 溶解態樣品實驗分析方法

包括水溫、酸鹼度、導電度、溶氧、生化需氧量、濁度、硝酸鹽、亞硝酸鹽、氨氮、矽酸鹽、總有機碳、正磷酸鹽、硫酸鹽、氯離子等。溶解態樣品實驗分析方法均根據環境檢驗所之實驗分析方法公告，另二氧化矽是改採用HACH Method 8186。

1.pH：

利用玻璃電極及參考電極，測定水樣中電位變化，可決定氫離子活性，而以氫離子濃度指數(pH)表示之。pH之測定需要用標準pH溶液先行校正pH度計(HACH sension1)後，再測定水樣之pH。

2.導電度：

導電度為將電流通過 1 cm^2 截面積，長 1 cm 之液柱時電阻之倒數，單位為 mho/cm ，導電度較小時以其 10^{-3} 或 10^{-6} 表示，記為 mmho/cm 或 $\mu\text{mho/cm}$ 。導電度之測定需要用標準導電度溶液先行校正導電度計(HACH sension5)後，再測定水樣之導電度。

3.溶氧：

利用溶氧計測定水樣中溶氧值(YSI 500A)。

4.濁度：

在特定條件下，比較水樣和標準參考濁度懸浮液對特定光源散射光的強度，以測定水樣的濁度(WTW TURB350IR)。

5. 矽酸鹽：

水樣經過濾後，矽酸鹽於胺基酸、檸檬酸酸性溶液下與鉬酸鹽反應生成藍色之反應物，以分光光度計（HACH DR/2010）於815 nm 波長處測其吸光度而定量水中矽酸鹽濃度。

6. 硝酸鹽氮：

水樣中之硝酸鹽離子以離子層析儀（DIONEX ICS-1500）分析，隨碳酸鈉及碳酸氫鈉流洗液流經一系列之離子交換層析管時（DIONEX AS4A-SC4mm），即因其與低容量之強鹼性陰離子交換樹脂間親和力之不同而被分離。分離後待測硝酸鹽離子再流經一高容量的陽離子交換樹脂之抑制裝置，而被轉換成具有高導電度酸之形態，移動相溶液則轉換成低導電度之碳酸。經轉換後之待測硝酸鹽離子再流經電導度偵測器，即可依其滯留時間及波峰面積、高度或感應強度予以定性及定量。求得硝酸鹽濃度除轉換係數4.43即為硝酸態氮的濃度。

7. 亞硝酸鹽氮：

磺胺與水中亞硝酸鹽在pH 2.0至2.5之條件下，起偶氮化反應而形成偶氮化合物，此偶氮化合物與N-1-萘基乙烯二胺二鹽酸鹽偶合，形成紫紅色偶氮化合物，以分光光度計在波長 543 nm 處測其吸光度而定量之，並以亞硝酸鹽氮之濃度表示之（Perkin Elmer UV/VIS Spectrometer Lambda 16）。

8. 生化需氧量：

水樣在20 °C 恆溫培養箱中暗處培養5天後，測定水樣中好氧性微生物在此期間氧化水中物質所消耗之溶氧，即可求得5天之生化需氧量。

9. 氨氮：

水樣以鹼液及酸鹽緩衝溶液調整pH值至9.5，加入去氯試劑後，經蒸餾並

以硼酸溶液吸收蒸出液，最後以納氏試劑呈色，以分光光度計於425 nm波長處測其吸光度而定量之（Perkin Elmer UV/VIS Spectrometer Lambda 16）。

10.磷酸鹽：

水樣未經消化處理，加入鉬酸銨、酒石酸銻鉀，使其與正磷酸鹽作用生成一雜多酸——磷鉬酸，經維生素丙還原為藍色複合物鉬藍，以分光光度計於波長880 nm 處測其吸光度定量之（Perkin Elmer UV/VIS Spectrometer Lambda 16）。

11.硫酸鹽：

水樣中之硫酸鹽離子以離子層析儀（DIONEX ICS-1500）分析，隨碳酸鈉及碳酸氫鈉流洗液流經一系列之離子交換層析管時（DIONEX AS4A-SC 4mm），即因其與低容量之強鹼性陰離子交換樹脂間親和力之不同而被分離。分離後待測硫酸鹽離子再流經一高容量的陽離子交換樹脂之抑制裝置，而被轉換成具有高導電度酸之形態，移動相溶液則轉換成低導電度之碳酸。經轉換後之待測硫酸鹽離子再流經電導度偵測器，即可依其滯留時間及波峰面積、高度或感應強度予以定性及定量。

12.氯鹽：

水樣中之氯離子以離子層析儀（DIONEX ICS-1500）分析，隨碳酸鈉及碳酸氫鈉流洗液流經一系列之離子交換層析管時（DIONEX AS4A-SC 4mm），即因其與低容量之強鹼性陰離子交換樹脂間親和力之不同而被分離。分離後待測氯離子再流經一高容量的陽離子交換樹脂之抑制裝置，而被轉換成具有高導電度酸之形態，移動相溶液則轉換成低導電度之碳酸。經轉換後之待測陰離子再流經電導度偵測器，即可依其滯留時間及波峰面積、高度或感應強度予以定性及定量。

13.總磷：

水樣以硫酸、過硫酸鹽消化處理，使其中之磷轉變為正磷酸鹽之形式存在後，再加入鉬酸銨、酒石酸銻鉀，使其與正磷酸鹽作用生成一雜多酸—磷鉬酸，經維生素丙還原為藍色複合物鉬藍，以分光光度計（Perkin Elmer UV/VIS Spectrometer Lambda 16）於波長880 nm 處測其吸光度定量之。

14.總有機碳：

水樣導入可加熱至95~100°C 的消化反應器中，加入過氧焦硫酸鹽溶液，水樣中的有機碳被氧化轉換為二氧化碳，隨即被載流氣體導入可吸收二氧化碳特定波長的非分散式紅外線（NDIR）分析儀，依儀器設定條件（O-I Analytical 1010），求得總有機碳的濃度。

(五) 實驗室品質管制

1.校正曲線：

以檢測儀器測定一系列已知濃度標準品之訊號，求出標準品濃度與訊號之關係，製備成曲線或計算其校正因子或感應因子。此項程序應在儀器量測樣品待測物含量之前建立。檢量線均由校正最低點與校正最高點之間構成「校正範圍」，使用時，不使用外插法；製備檢量線時，依個別檢測方法所規定之步驟，使用適當濃度範圍的標準溶液。並包括至少五種不同濃度的標準溶液。樣品的濃度則應在偵測器的線性濃度範圍內。樣品中待測物之濃度應於檢量線最高濃度之20%至80%間之濃度為適當。

2.實驗室空白樣品：

監測整個分析過程中可能導入污染而設計之樣品，以不含待測物之試劑水、吸收液，由方法空白樣品之分析結果，可判知樣品在分析過程是否遭受污染或樣品之背景值，並以一批次實驗做一實驗室空白樣品分析。

3.查核樣品：

使用濃度經確認之標準品添加於與樣品相似的基質中所配製成的樣品，由查核樣品之分析結果，可確定分析程序之可信度與分析結果之準確性。以一批次實驗做一實驗室查核樣品分析。

4.重覆樣品：

在實驗室將一樣品取二等份，依相同前處理及分析步驟檢測，由重複樣品之分析可確定分析結果之精密度。以一批次實驗做一實驗室樣品重覆分析。

5.添加樣品分析：

添加樣品分析係指將添加樣品依與待測樣品相同前處理及分析步驟執行檢測。以一批次實驗做一實驗室添加樣品分析。

三、結果

溶解態物種實驗採樣98年以每一季進行，目前採集時間為98年2、4、6、8、10月共5筆數據，分析項目包括溶氧、導電度、pH、濁度、生化需氧量、矽酸鹽、硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮、氨氮、正磷酸鹽、硫酸鹽、氯鹽、總磷、總有機碳等14個項目，其去年與今年分析數據如表1-3至表1-11，本計劃以七家灣溪三個測站分別為觀魚台、高山溪、有勝溪過去數年之數據作為比較依據，並探討南湖溪與七家灣溪之水域特性差異。

四、討論

4.1 溶解態實驗分析數據

溶解態物種實驗採樣98年以每一季進行，採樣時間為98年的2、4、6、8、10月，溶解態樣品共14筆數據，如圖（1-4至1-18）。

pH值介於6.5~8.5時對魚類生產力最好，歷年來七家灣溪2月、4月、6月、8月及10月份的pH值介於7.7~8.9間左右呈現中性偏鹼的狀態，七家灣溪上游具有較高的pH值；七家灣溪下游有較低的pH值，而南湖溪2月、4月、6月、8月及10月份的pH值是介於8.1~8.4之間(如圖1-4所示)，與七家灣溪的三個測站歷年之數值相似，同樣是呈現中性偏鹼的情況，且符合櫻花鉤吻鮭適合生產繁殖的酸鹼度。

導電度表示水中離子的含量多寡，鮭魚最適水中導電度條件介在120~450 $\mu\text{mho/cm}$ 之間（陳,1998）。武陵地區各溪流導電度值在400 $\mu\text{mho/cm}$ 以下，桃山西溪與高山溪無農田施作導電度值明顯為武陵地區溪流中最低，觀魚台與司界蘭溪上游兩測站導電度較上游桃山西溪來得高；有勝溪收費口，主要是因為七家灣溪中游與有勝溪有農耕活動的關係。因而可以明顯觀測到農耕行為對武陵地區溪流所造成的影響。另水量的多寡也會影響水中的導電度，在冬、春季為枯水期導電度值較高。南湖溪導電度量測結果顯示，其數據亦如同七家灣溪，具冬季水量少，導電度值高，夏季水量多，導電度值低之現象；此外，導電度值愈往下游，數值愈高。整體而言，南湖溪之導電度值較七家灣溪高，此一現象值得再進一步探討。

溫度、生物間的呼吸作用、光合作用等為主要影響溶氧之因子，動、植物於夜間的呼吸作用與低氧之流水流入則會造成較顯著的耗氧發生，南湖溪之水溫較七家灣溪之觀魚台及高山溪測站高，但較有勝溪低，可能因南湖溪測站多為開闊地形，遮蔽較少有關。武陵地區各溪流生物量不多且無有機物的污染，

另又依亨利定律計算得之飽合溶氧濃度會隨著溫度降低而增加，武陵地區流域大部分水系溶氧值均在7.7~10.2 mg/L之間，數值依然符合冷水性鮭鱒魚類對溶氧的需求在7 ppm以上或飽和度85%以上（陳,1998），武陵地區各溪流的溶氧符合冷水性鮭鱒魚類對溶氧的需求。南湖溪之溶氧量大致與七家灣溪流域樣點近似，甚至更高。

攔砂壩的拆除後其水中濁度已趨於穩定，濁度對視覺性攝食魚種櫻花鉤吻鮭會造成攝食的有效度降低，在有勝溪測站與高山溪測站有較高濁度值，及97年10月份、98年8月與10月份皆於颱風過後採集水樣，導致各測站濁度偏高，但比較七家灣溪與南湖溪流域受颱風影響之程度可發現，南湖溪對水文事件之容忍度較七家灣溪小，這可能和當地地形與地質有關，需較多之數據始得證實。視覺性攝食魚種櫻花鉤吻鮭對濁度的要求在5 NTU之下（陳,1998），武陵地區流域其濁度值在2 NTU以下符合要求。會造成濁度上升的原因往往是因為大雨沖刷的關係所致。濁度高之水質並不會造成魚類立刻死亡，但會增加魚類的染病機率和降低覓食。南湖溪各測站濁度均略高於七家灣溪測站，這部份值得進一步研究。

雪霸國家公園的地質大多屬於板岩、砂岩與頁岩，其組成主要為粘土、石英、長石等礦物，二氧化矽佔其主要成分，因而溪流內矽酸鹽的來源應是與地質相關。

武陵地區各溪流所測得矽酸鹽介於0~9 ppm，以高山溪的數值較高，部分月份也有數值明顯較高的趨勢，如大雨過後之沖刷，將使得礦物溶於水中。南湖溪之矽酸鹽濃度分佈情形與七家灣溪各樣點近似，但98年10月及12月份採樣數據顯示，雖南湖溪濁度值極高(大於999.99 NTU)，但矽酸鹽含量卻未有相對應之極高值。

武陵地區各溪流的硝酸鹽氮含量在七家灣上游的測站點濃度低0.2 ppm，下游測站點濃度均較上游提高至1~2.1 ppm，且趨勢同導電度值。桃山西溪與高山溪無農田施作硝酸鹽氮濃度值明顯為武陵地區溪流中最低，另七家灣溪中處觀魚台明顯比上游有較高的趨勢；司界蘭溪下游皆高於上游，有勝溪收費口的硝酸鹽氮為最高，有此現象發生可能為七家灣溪中游與有勝溪有農耕活動的關係。硝酸鹽氮濃度在中游測站點均較上游桃山西溪來得高。南湖溪硝酸鹽濃度在各測站濃度均與高山溪樣點近似。土壤在好氧的情況中其亞硝酸菌可將氮轉化成亞硝酸根，硝酸菌則將亞硝酸根再轉化成硝酸根，土壤顆粒的表面大多帶負電，因而氮根離子較易被吸附在土壤中，硝酸根與帶負電的黏土礦物表面相斥，極易經由淋洗作用而流入地下水或溪流中。土壤環境若是缺乏氧氣會變成還原性，缺氧的環境有含水量太高的土壤中、深層的土壤等，在還原性環境中硝酸根與亞硝酸根可藉由脫硝菌還原成一氧化二氮或氮氣而回到大氣中。

亞硝酸鹽氮為一具有毒性的物質，在武陵地區溪流的亞硝酸鹽氮濃度值都很低，遠遠低於飲用水規定的最高容許濃度標準100 ppb。鮭鱒魚類對水中亞硝酸鹽的忍受濃度為50 ppb，孵化時則需低於30 ppb（陳,1998），在武陵地區各溪流亞硝酸鹽氮均在5 ppb之下，遠遠低於台灣環保署所規定的飲用水水質標準與保育櫻花鉤吻鮭的水質基準，南湖溪之亞硝酸鹽則均在1 ppb以下。

硫酸鹽在武陵地區上游處桃山西溪與高山溪硫酸鹽濃度較低，有勝溪測站硫酸鹽濃度較高；在冬季也較夏季濃度來得高，而這情形與該區的流量有相關。根據以往的數據顯示在12~4月枯水期時期，硫酸鹽濃度提高；在6~10月豐水期時期，硫酸鹽濃度明顯降低。有勝溪硫酸鹽濃度極高，推測可能是當地農民所使用肥料含有硫酸銨與硫酸鉀兩成份。南湖溪硫酸鹽濃度與七家灣溪之高山溪樣點近似，下游濃度亦較上游高，耳無溪最高。

武陵地區溪流中氯離子的含量除了有勝溪及七家灣溪中游觀魚台附近因有農業活動，所以氯離子含量較高，其餘皆低於1 ppm。南湖溪氯離子含量與

觀魚台樣點近似。

自然界中的含磷量並不多，溪流中磷的來源主要為清潔劑與施肥或土壤中磷沖刷等型式，實驗分析上以正磷酸鹽為主。磷對自然環境水中最顯著的影響為湖泊或是河川的優養化，優養化會使湖泊或河川的藻類大量繁生並間接影響水中生物生態。鮭鱒魚類對水中磷酸鹽的忍受濃度為10 ppb (陳,1998)，樣站之磷酸鹽濃度分佈在N.D.~20 ppb，此一濃度範圍對鮭鱒類之影響，需再作進一步之評估。

武陵地區各溪流中有機碳的來源多為落葉與有機體的分解，有機碳濃度值在七家灣流域變動不大，呈現一致性，介於0.5~1.3 ppm，有勝溪因藻類較多，TOC值亦是所有樣站中最高的。

五、初步結論

5.1 結論

1. 南湖溪四測站間pH值極為近似，各月份之數據也極近似，均在pH8.2~8.6間。不似七家灣溪有季節性趨勢，且有測站間之相關性。
2. 導電度均較七家灣溪為高，甚至高於有勝溪測站，愈往南湖溪下游導電度愈高。水溫在同一季節均較七家灣溪為高，這可能與其海拔較低有關，惟其各測站溶氧尚能維持在8 ppm以上。
3. 南湖溪各測站濁度，均略較七家灣溪高，且97年10月甚至高達25 NTU，98年8月、10月濁度則大於999.9 NTU，顯示南湖溪受單一水文事件之影響較七家灣溪為大，惟仍需更多數據始得證實。
4. 南湖溪之BOD在98年10月較高，可能因8月與10月颱風帶來的雨水沖刷有關。
5. 南湖溪之硝酸鹽濃度近似七家灣溪之高山溪測站。
6. 南湖溪之硫酸鹽及氯鹽濃度介於七家灣溪之高山溪與觀魚台測站之間。
7. 磷酸鹽濃度在97年7月與98年10月有最大值，可能與颱風帶來的雨水沖刷有關，其他時間則無特殊規則。
8. 氨氮從4月到10月濃度均低於0.05 ppm；矽酸鹽及總有機碳濃度則在97年10月有一高峯值，可能與當時之大雨沖刷有關。

5.2 建議

根據本研究於南湖溪之水質採樣分析結果，可做成立即可行及長期建議事項，分述如下：

(1) 立即可行建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：太魯閣國家公園管理處

由採樣分析結果顯示，南湖溪水質狀況大致良好，但水溫在春夏季較高，較高導電度在冬季且濁度、磷酸鹽某些採樣點濃度較七家灣溪高，若欲在南湖溪放流櫻花鉤吻鮭，持續監測關鍵水質項目仍屬必要，如水溫、總有機碳（TOC）、磷酸鹽、硝酸鹽、氨氮、生化需氧量等。

(2) 長期建議：

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：武陵農場、林管處、河川局

經由本研究兩年成果顯示，南湖溪水質狀況受單一水文事件（如颱風、暴雨）之影響較七家灣溪大，究其原因可能為兩條溪流區域所屬之降雨型態分區不同，但近兩年內觀測所得較大的水質變異情形，究竟是常態亦或短期水文事件之個別影響宜持續觀察監測，且其他溪流進行放流工作前，亦可以此方法為鏡，先行監測分析並與七家灣溪流流域水質進行比較，作為水質適宜性之判定依據。

表 1-1 採樣地點地理座標

站名	溪流	地理座標 (經緯度)
南湖溪上游	南湖溪	E 121 ⁰ 20'09 N 24 ⁰ 19'40
南湖溪中游	南湖溪	E 121 ⁰ 19'46 N24 ⁰ 19'37
南湖溪下游	南湖溪	E 121 ⁰ 19'42 N24 ⁰ 19'46
耳無溪	耳無溪	E 121 ⁰ 19'45 N24 ⁰ 19'38

表1-2 水體樣品保存

分析項目	容器	保存方法
濁度	塑膠瓶	暗處，4°C 冷藏
矽酸鹽	塑膠瓶	暗處，4°C 冷藏
硝酸鹽氮	玻璃或塑膠瓶	暗處，4°C 冷藏
亞硝酸鹽氮	玻璃或塑膠瓶	暗處，4°C 冷藏
氨氮	玻璃或塑膠瓶	加硫酸使水樣pH<2，暗處， 4°C 冷藏
正磷酸鹽	1+1熱鹽酸洗淨之玻璃瓶	暗處，4°C 冷藏
硫酸鹽	玻璃或塑膠瓶	暗處，4°C 冷藏
氯鹽	玻璃或塑膠瓶	-
總有機碳	褐色玻璃瓶	加磷酸使水樣pH<2，暗處， 4°C 冷藏 (不得預洗)

表 1-3 97 年 2 月南湖溪溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 μS/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO ₂ mg/L	BOD mg/L	NO ₃ -N mg/L
測站 1	南湖溪上游	晴	2 月 25 日	7.90	313	11.30	1.07	4.47	1.160	0.159
測站 2	南湖溪中游	晴	2 月 25 日	—	—	—	—	—	—	—
測站 3	南湖溪下游	晴	2 月 25 日	8.10	355	11.06	2.1	4.16	1.310	0.180
測站 4	耳無溪	晴	2 月 25 日	8.02	378	11.50	1.81	3.74	0.987	0.208

站號	站名	氣候	採樣日期	NO ₂ -N μg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	PO ₄ ³⁻ mg/L	TP mg/L	NH ₃ -N mg/L	TOC mg/L
測站 1	南湖溪上游	晴	2 月 25 日	N.D.	26.39	0.068	N.D.	N.D.	N.D.	0.935
測站 2	南湖溪中游	晴	2 月 25 日	—	—	—	—	—	—	—
測站 3	南湖溪下游	晴	2 月 25 日	N.D.	30.10	0.107	N.D.	N.D.	N.D.	1.437
測站 4	耳無溪	晴	2 月 25 日	N.D.	34.02	0.110	N.D.	N.D.	N.D.	1.194

*N.D.值：(1) NO₂-N < 0.2 μg/L (2) PO₄³⁻ < 3×10⁻³ mg/L (3) NH₃-N < 3×10⁻³ mg/L
(4) Cl⁻ < 0.01 mg/L

表 1-4 97 年 4 月南湖溪溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 μS/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO ₂ mg/L	BOD mg/L	NO ₃ -N mg/L
測站 1	南湖溪上游	雨	4 月 9 日	8.31	227	9.50	0.78	2.63	1.100	0.130
測站 2	南湖溪中游	雨	4 月 9 日	8.24	256	9.31	1.99	4.06	1.034	0.130
測站 3	南湖溪下游	雨	4 月 9 日	8.24	281	9.43	4.16	2.77	1.030	0.180
測站 4	耳無溪	雨	4 月 9 日	8.18	228	9.41	2.61	5.04	1.108	0.241

站號	站名	氣候	採樣日期	NO ₂ -N μg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	PO ₄ ³⁻ mg/L	TP mg/L	NH ₃ -N mg/L	TOC mg/L
測站 1	南湖溪上游	雨	4 月 9 日	0.3	25.11	0.946	N.D.	0.023	0.400	0.552
測站 2	南湖溪中游	雨	4 月 9 日	N.D.	23.49	1.020	N.D.	0.020	0.400	0.594
測站 3	南湖溪下游	雨	4 月 9 日	N.D.	28.93	1.093	N.D.	0.016	0.500	0.669
測站 4	耳無溪	雨	4 月 9 日	0.9	34.18	1.149	N.D.	0.017	0.500	0.673

*N.D.值：(1) NO₂-N < 0.2 μg/L (2) PO₄³⁻ < 3×10⁻³ mg/L (3) NH₃-N < 3×10⁻³ mg/L
(4) Cl⁻ < 0.01 mg/L

表 1-5 97 年 7 月南湖溪溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 μS/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO ₂ mg/L	BOD mg/L	NO ₃ -N mg/L
測站 1	南湖溪上游	晴	7 月 16 日	8.60	242	8.70	1.69	2.31	0.610	0.104
測站 2	南湖溪中游	晴	7 月 16 日	8.35	241	8.95	0.85	1.43	0.950	0.076
測站 3	南湖溪下游	晴	7 月 16 日	8.35	269	8.87	1.89	2.24	0.747	0.128
測站 4	耳無溪	晴	7 月 16 日	8.36	290	8.66	1.70	2.10	0.540	0.154

站號	站名	氣候	採樣日期	NO ₂ -N μg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	PO ₄ ³⁻ mg/L	TP mg/L	NH ₃ -N mg/L	TOC mg/L
測站 1	南湖溪上游	晴	7 月 16 日	0.4	27.99	0.235	0.020	0.008	0.006	0.214
測站 2	南湖溪中游	晴	7 月 16 日	N.D	28.22	0.169	N.D.	0.000	0.006	0.180
測站 3	南湖溪下游	晴	7 月 16 日	0.9	31.73	0.263	0.010	0.008	0.007	0.254
測站 4	耳無溪	晴	7 月 16 日	0.4	35.11	0.260	0.020	0.005	0.008	0.198

*N.D.值：(1) NO₂-N < 0.2 μg/L (2) PO₄³⁻ < 3×10⁻³ mg/L (3) NH₃-N < 3×10⁻³ mg/L
(4) Cl⁻ < 0.01 mg/L

表 1-6 97 年 10 月南湖溪溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 μS/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO ₂ mg/L	BOD mg/L	NO ₃ -N mg/L
測站 1	南湖溪上游	晴	10 月 21 日	8.41	215	8.80	15.01	6.7	0.060	0.206
測站 2	南湖溪中游	晴	10 月 21 日	8.24	222	8.52	26.26	7.6	0.136	0.176
測站 3	南湖溪下游	晴	10 月 21 日	8.32	225	8.28	16.63	7.3	0.204	0.251
測站 4	耳無溪	晴	10 月 21 日	8.31	230	8.51	1.540	5.4	0.030	0.213

站號	站名	氣候	採樣日期	NO ₂ -N μg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	PO ₄ ³⁻ mg/L	TP mg/L	NH ₃ -N mg/L	TOC mg/L
測站 1	南湖溪上游	晴	10 月 21 日	0.4	26.72	0.681	0.009	0.043	0.016	2.036
測站 2	南湖溪中游	晴	10 月 21 日	N.D	26.11	0.256	0.007	0.055	0.018	2.025
測站 3	南湖溪下游	晴	10 月 21 日	N.D	26.33	1.759	0.008	0.037	0.019	1.791
測站 4	耳無溪	晴	10 月 21 日	N.D	23.63	0.156	0.009	0.003	0.014	2.070

*N.D.值：(1) NO₂-N < 0.2 μg/L (2) PO₄³⁻ < 3×10⁻³ mg/L (3) NH₃-N < 3×10⁻³ mg/L
(4) Cl⁻ < 0.01 mg/L

表 1-7 98 年 2 月南湖溪溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 μS/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO ₂ mg/L	BOD mg/L	NO ₃ -N mg/L
測站 1	南湖溪上游	晴	2 月 11 日	8.31	296	9.60	0.54	3.70	0.31	0.008
測站 2	南湖溪中游	晴	2 月 11 日	8.33	302	9.45	0.74	3.37	0.20	0.087
測站 3	南湖溪下游	晴	2 月 11 日	8.44	308	9.37	0.45	3.59	0.14	0.387
測站 4	耳無溪	晴	2 月 11 日	8.34	315	9.61	0.16	2.73	0.14	0.419

站號	站名	氣候	採樣日期	NO ₂ -N μg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	PO ₄ ³⁻ mg/L	TP mg/L	NH ₃ -N mg/L	TOC mg/L
測站 1	南湖溪上游	晴	2 月 11 日	1.0	41.41	0.950	0.006	0.01	0.100	0.615
測站 2	南湖溪中游	晴	2 月 11 日	1.0	41.79	1.002	0.012	0.01	0.100	1.049
測站 3	南湖溪下游	晴	2 月 11 日	1.0	39.94	0.932	0.008	0.01	0.100	1.151
測站 4	耳無溪	晴	2 月 11 日	N.D	40.06	0.951	0.012	0.02	0.100	1.005

*N.D.值：(1) NO₂-N < 0.2 μg/L (2) PO₄³⁻ < 0.003 mg/L (3) NH₃-N < 0.003 mg/L
(4) Cl⁻ < 0.01 mg/L

表 1-8 98 年 4 月南湖溪溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 μS/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO ₂ mg/L	BOD mg/L	NO ₃ -N mg/L
測站 1	南湖溪上游	晴	4 月 08 日	8.21	272	8.40	0.53	2.64	0.20	0.392
測站 2	南湖溪中游	晴	4 月 08 日	8.16	277	8.07	1.03	2.68	0.34	0.397
測站 3	南湖溪下游	晴	4 月 08 日	8.22	284	8.11	0.85	3.05	0.61	0.433
測站 4	耳無溪	晴	4 月 08 日	8.22	287	8.34	0.48	2.78	0.27	0.449

站號	站名	氣候	採樣日期	NO ₂ -N μg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	PO ₄ ³⁻ mg/L	TP mg/L	NH ₃ -N mg/L	TOC mg/L
測站 1	南湖溪上游	晴	4 月 08 日	0.5	39.81	0.297	0.005	0.010	0.026	0.568
測站 2	南湖溪中游	晴	4 月 08 日	0.6	40.14	0.247	0.006	0.008	0.050	0.558
測站 3	南湖溪下游	晴	4 月 08 日	0.7	38.92	0.403	0.006	0.013	0.030	0.456
測站 4	耳無溪	晴	4 月 08 日	0.5	37.55	0.442	0.006	0.009	0.020	0.547

*N.D.值：(1) NO₂-N < 0.2 μg/L (2) PO₄³⁻ < 0.003 mg/L (3) NH₃-N < 0.003 mg/L
(4) Cl⁻ < 0.01 mg/L

表 1-9 98 年 6 月南湖溪溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 μS/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO ₂ mg/L	BOD mg/L	NO ₃ -N mg/L
測站 1	南湖溪上游	晴	6 月 10 日	8.36	248	8.80	1.02	6.25	0.14	0.240
測站 2	南湖溪中游	晴	6 月 10 日	8.28	250	8.90	1.23	5.88	0.41	0.346
測站 3	南湖溪下游	晴	6 月 10 日	8.36	258	8.30	0.80	5.14	0.14	0.733
測站 4	耳無溪	晴	6 月 10 日	8.34	268	8.56	0.48	6.16	0.54	0.832

站號	站名	氣候	採樣日期	NO ₂ -N μg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	PO ₄ ³⁻ mg/L	TP mg/L	NH ₃ -N mg/L	TOC mg/L
測站 1	南湖溪上游	晴	6 月 10 日	1.3	36.05	2.099	0.005	0.009	0.011	1.162
測站 2	南湖溪中游	晴	6 月 10 日	2.7	34.59	2.363	0.009	0.009	0.004	1.258
測站 3	南湖溪下游	晴	6 月 10 日	1.1	37.54	2.238	0.006	0.011	0.002	1.176
測站 4	耳無溪	晴	6 月 10 日	1.5	34.15	2.157	0.007	0.005	0.003	1.215

*N.D.值：(1) NO₂-N < 0.2 μg/L (2) PO₄³⁻ < 3×10⁻³ mg/L (3) NH₃-N < 3×10⁻³ mg/L
(4) Cl⁻ < 0.01 mg/L

表 1-10 98 年 8 月南湖溪溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 μS/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO ₂ mg/L	BOD mg/L	NO ₃ -N mg/L
測站 3	南湖溪下游	晴	8 月 19 日	8.06	227	7.7	N.D	4.59	—	1.000

站號	站名	氣候	採樣日期	NO ₂ -N μg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	PO ₄ ³⁻ mg/L	TP mg/L	NH ₃ -N mg/L	TOC mg/L
測站 3	南湖溪下游	晴	8 月 19 日	1.0	26.30	0.898	0.006	—	0.023	0.65

*N.D.值：(1) NO₂-N < 0.2 μg/L (2) PO₄³⁻ < 3×10⁻³ mg/L (3) NH₃-N < 3×10⁻³ mg/L
(4) Cl⁻ < 0.01 mg/L (5) 濁度 > 999.99 NTU

表 1-11 98 年 10 月南湖溪溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 μS/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO ₂ mg/L	BOD mg/L	NO ₃ -N mg/L
測站 3	南湖溪下游	晴	8 月 19 日	8.09	213	8.02	N.D	0.14	6.577	0.404

站號	站名	氣候	採樣日期	NO ₂ -N μg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	PO ₄ ³⁻ mg/L	TP mg/L	NH ₃ -N mg/L	TOC mg/L
測站 3	南湖溪下游	晴	8 月 19 日	0.7	25.53	1.255	0.013	0.008	0.010	0.340

*N.D.值：(1) NO₂-N < 2 μg/L (2) PO₄³⁻ < 3×10⁻³ mg/L (3) NH₃-N < 3×10⁻³ mg/L
(4) Cl⁻ < 0.01 mg/L (5) 濁度 > 999.99 NT

表 1-12 肥料要素含量

肥料名稱	要素含量(%)		
	氮	磷	鉀
硫酸銨	21		
硫酸鉀			50
過磷酸鈣		18	

(台灣肥料股份有限公司)

表 1-13 景美溪實驗數據

	世界河川平均值*	景美溪自然橋 ⁺	景美溪深美橋 ⁺	桃山瀑布 ⁺
硫酸鹽 (ppm)	11	19.15	19.66	25.15

(*：郭一羽，水域生態工程，2001)

(⁺：自行採樣分析)

表1-14 世界河川平均所含可溶性物質的濃度

成分	濃度 (mg/L)	成分	濃度 (mg/L)
主要離子		微量元素	
氯	8	硼	10
鈉	6	矽	13100
硫酸鹽	11	氟	100
鎂	4	氮	230
鈣	15	磷	20
鉀	2	鋁	1
碳酸	58	鋅	20
-	-	鐵	670
-	-	銅	7
-	-	錳	7
-	-	鎳	0.3
-	-	鋁	400

(郭一羽，水域生態工程，2001)

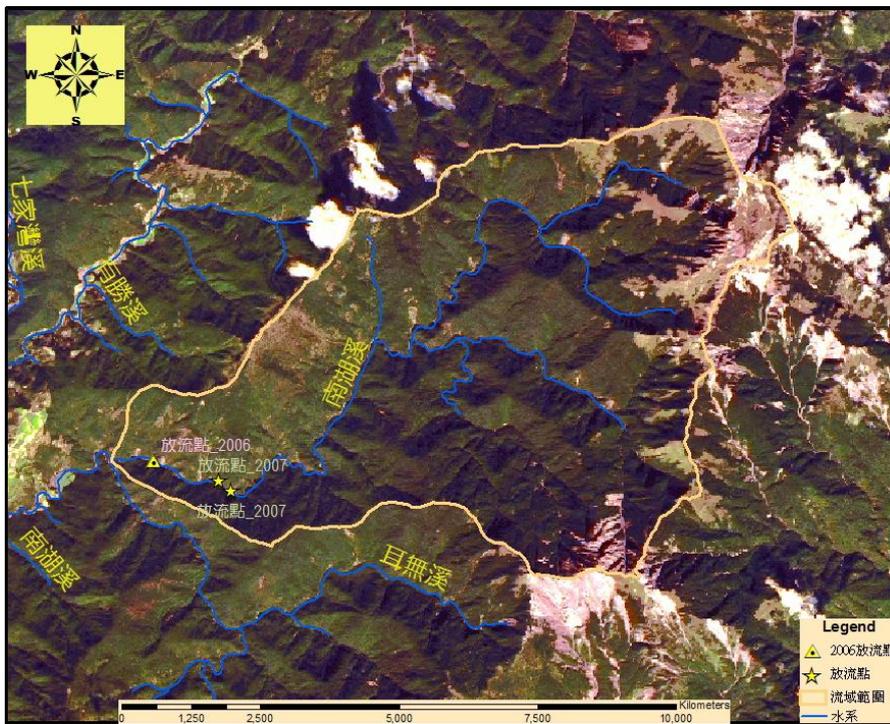


圖 1-1 南湖溪流域及歷年櫻花鉤吻鮭放流點空照圖

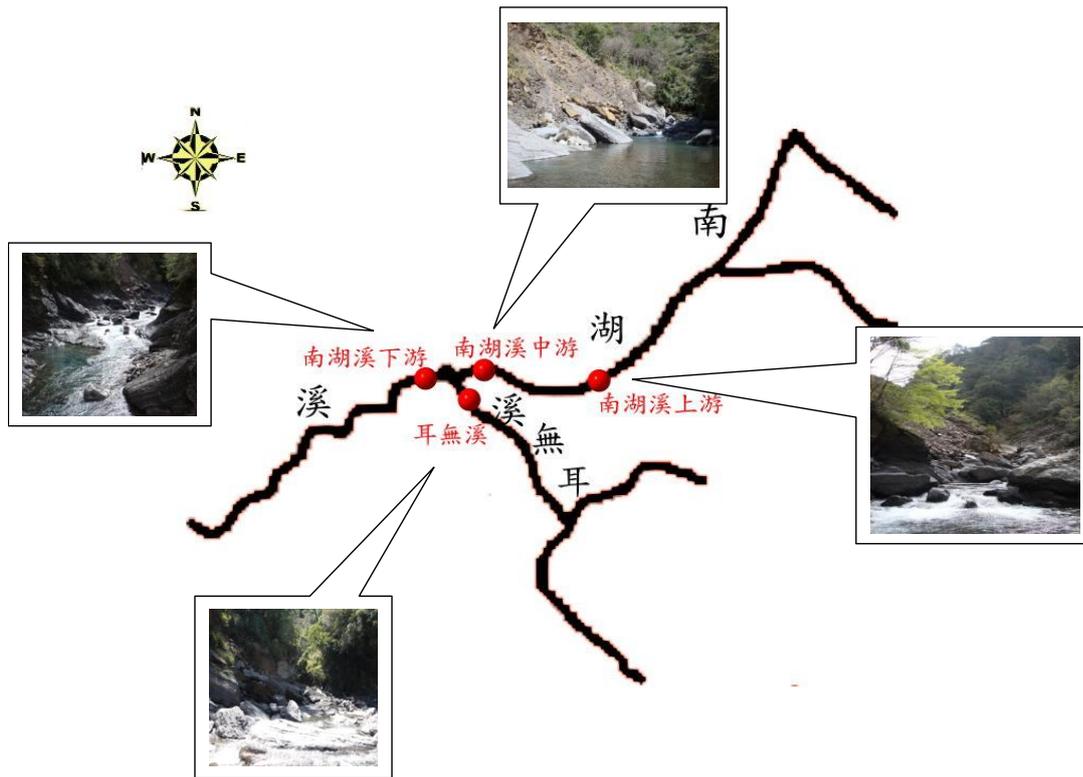


圖 1-2 南湖溪各測站位置圖

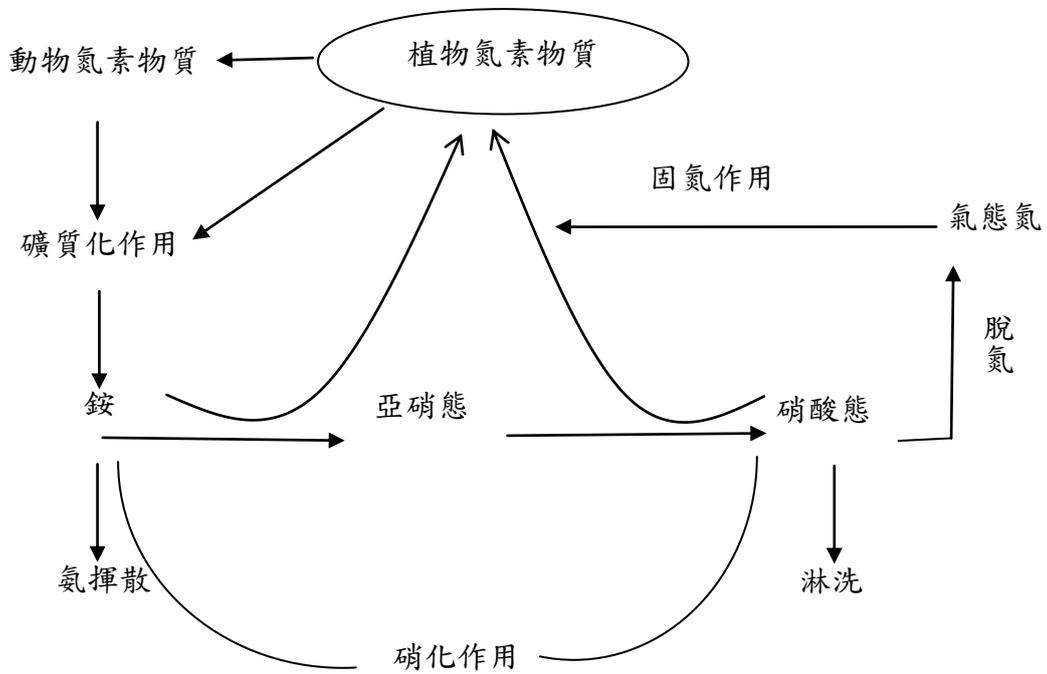


圖 1-3 氮素循環過程

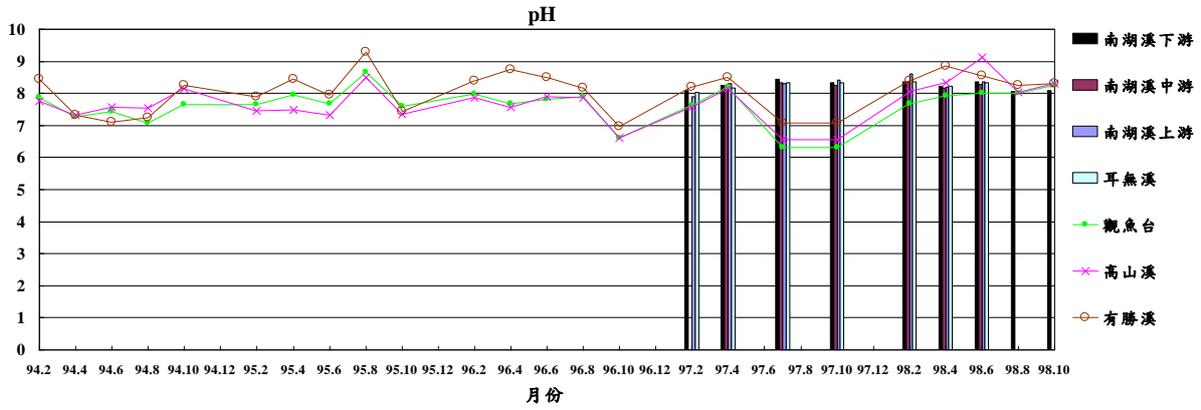


圖 1-4 歷年七家灣溪與南湖溪 pH 值之變化

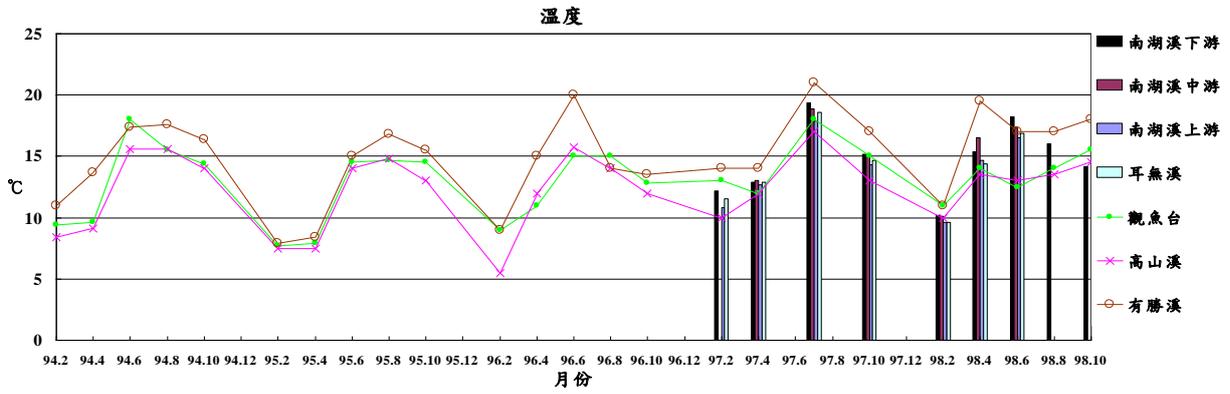


圖 1-5 歷年七家灣溪與南湖溪溫度之變化

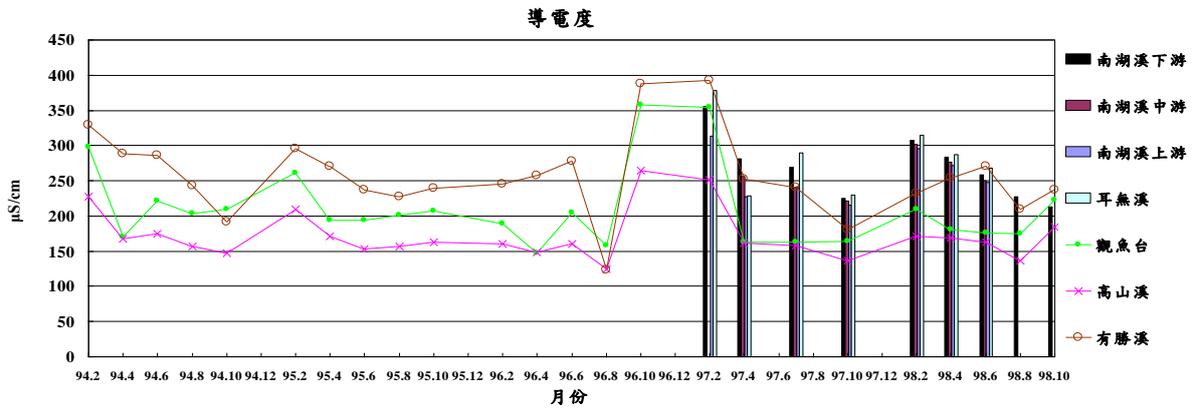


圖 1-6 歷年七家灣溪與南湖溪導電度之變化

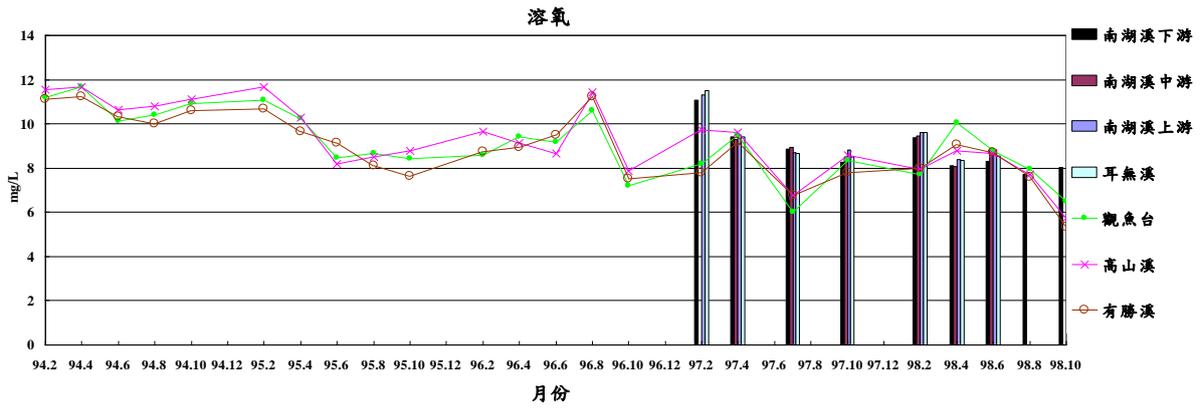


圖 1-7 歷年七家灣溪與南湖溪溶氧值之變化

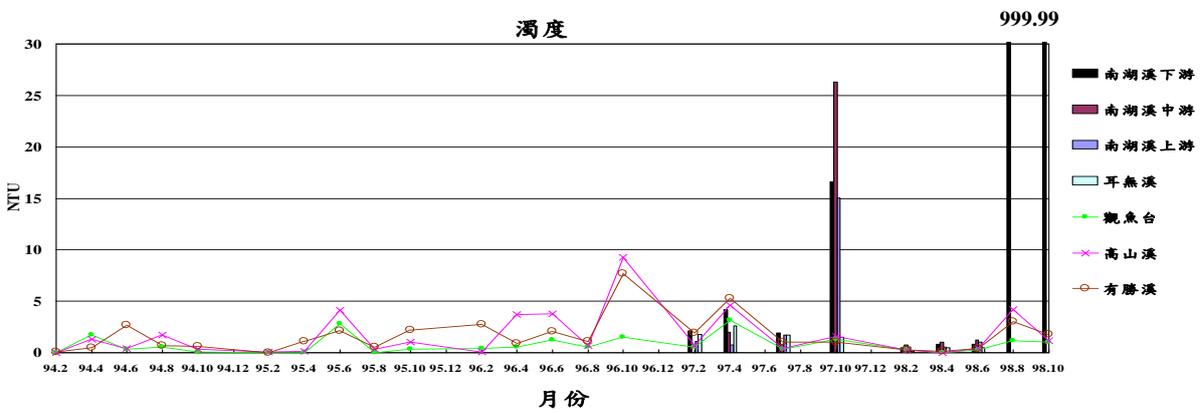


圖 1-8 歷年七家灣溪與南湖溪濁度之變化

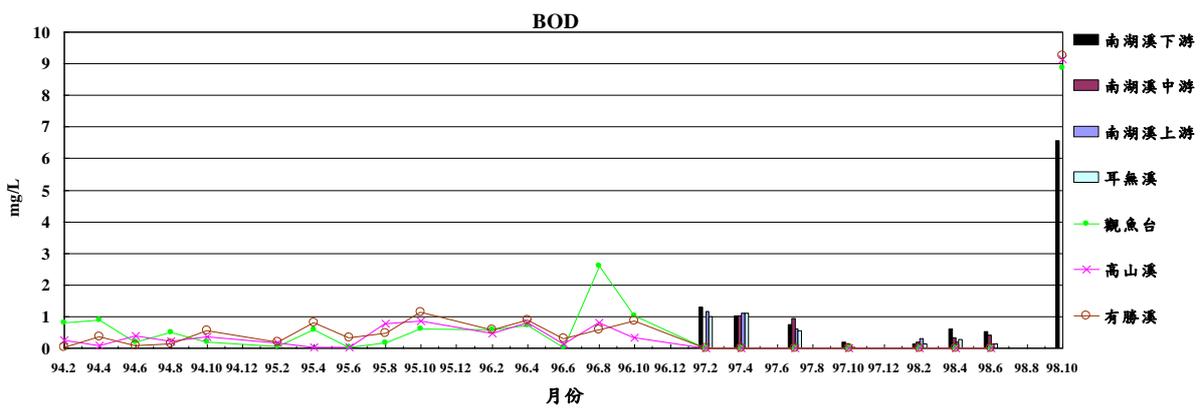


圖 1-9 歷年七家灣溪與南湖溪 BOD 值之變化

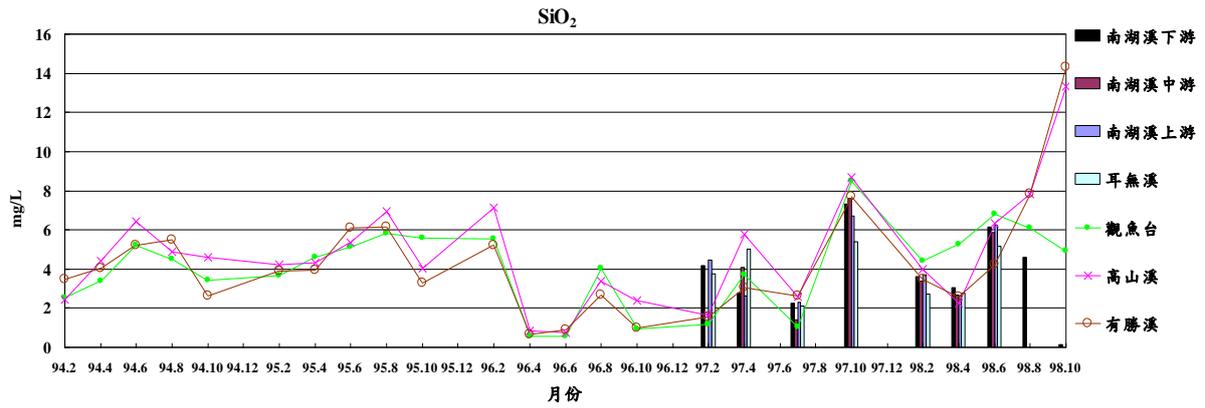


圖 1-10 歷年七家灣溪與南湖溪 SiO₂ 之變化

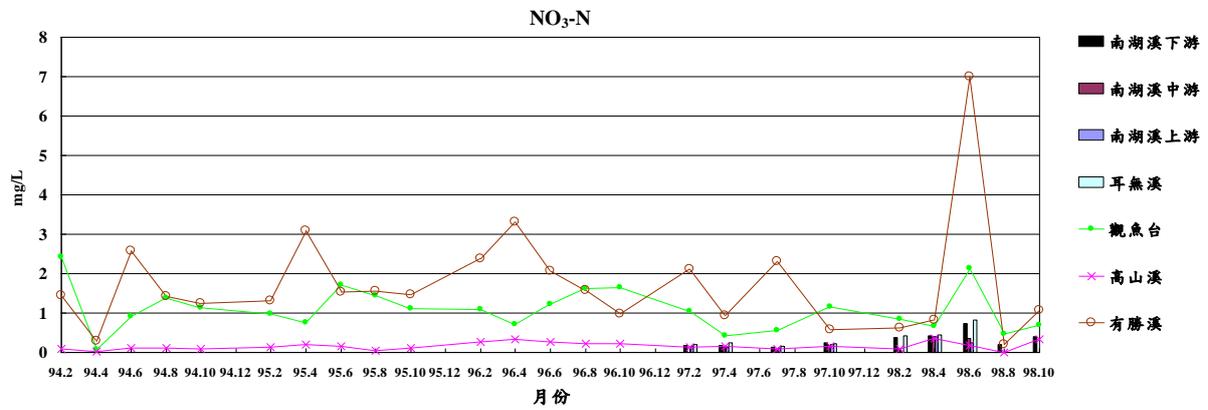


圖 1-11 歷年七家灣溪與南湖溪 NO₃-N 之變化

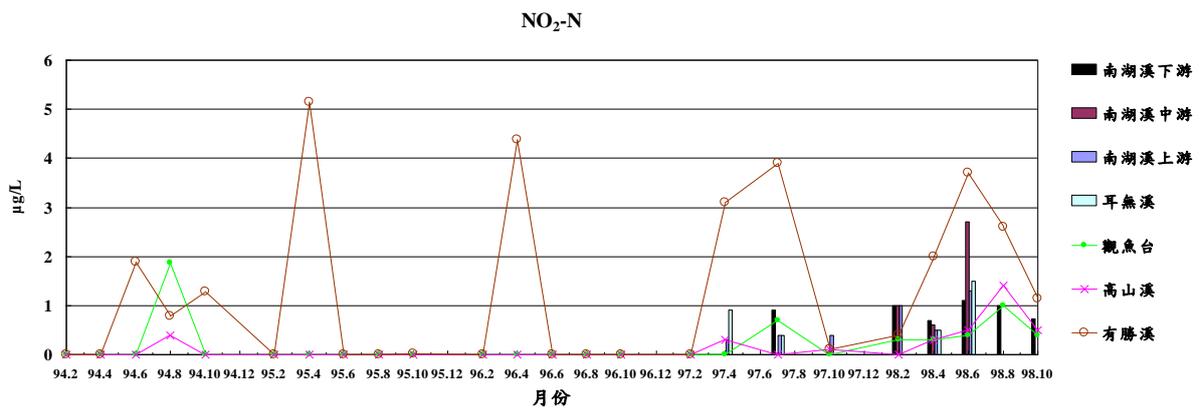


圖 1-12 歷年七家灣溪與南湖溪 NO₂-N 之變化

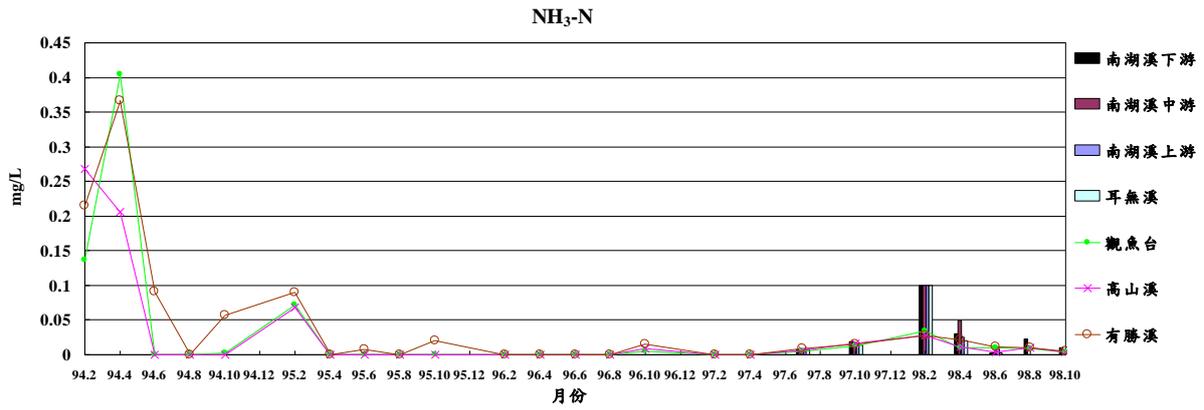


圖 1-13 歷年七家灣溪與南湖溪 NH₃-H 變化

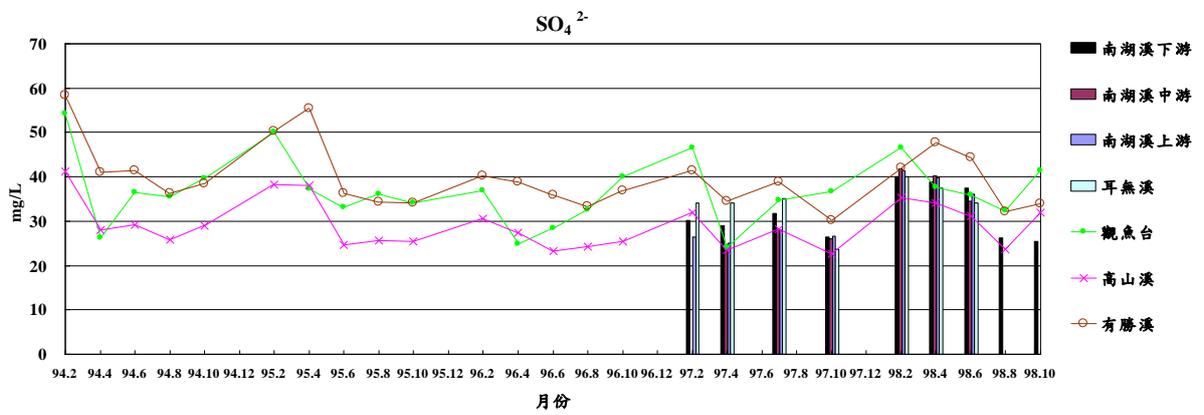


圖 1-14 歷年七家灣溪與南湖溪 SO₄²⁻之變化

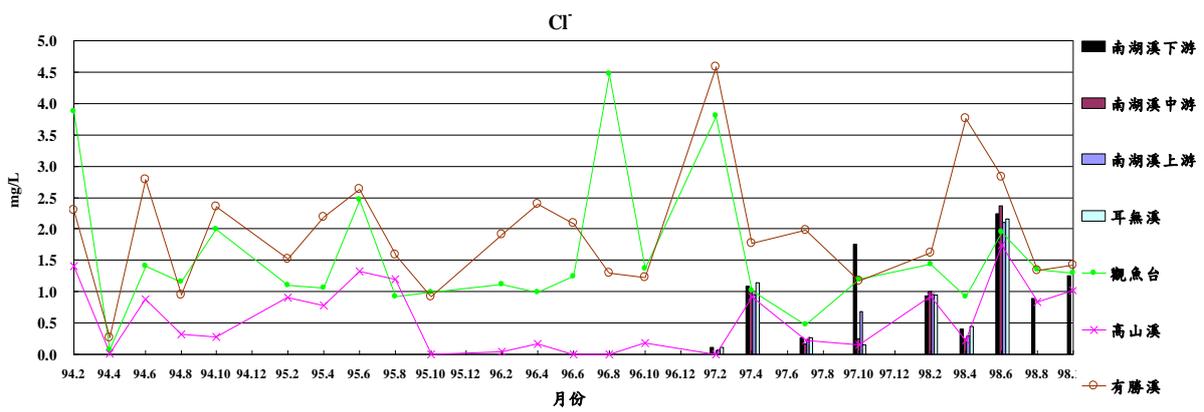


圖 1-15 歷年七家灣溪與南湖溪 Cl 值變化

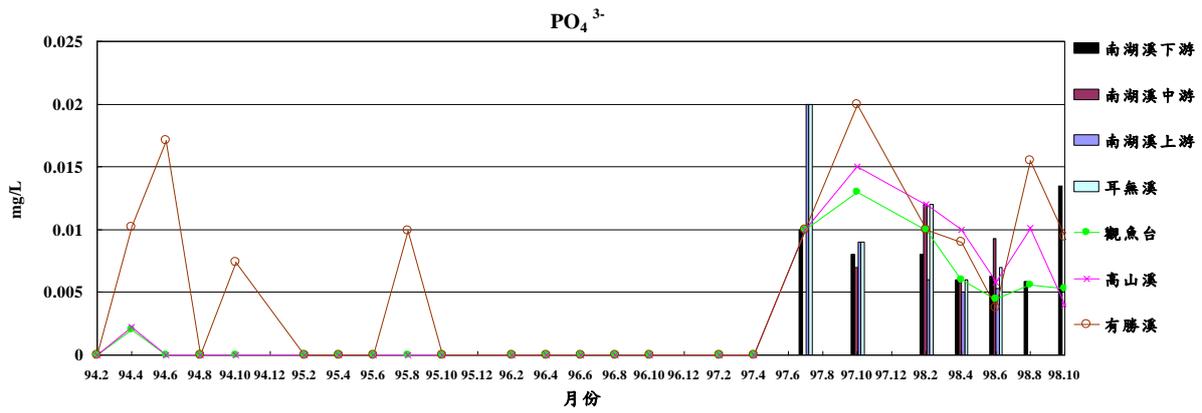


圖 1-16 歷年七家灣溪與南湖溪 PO₄³⁻ 值變化

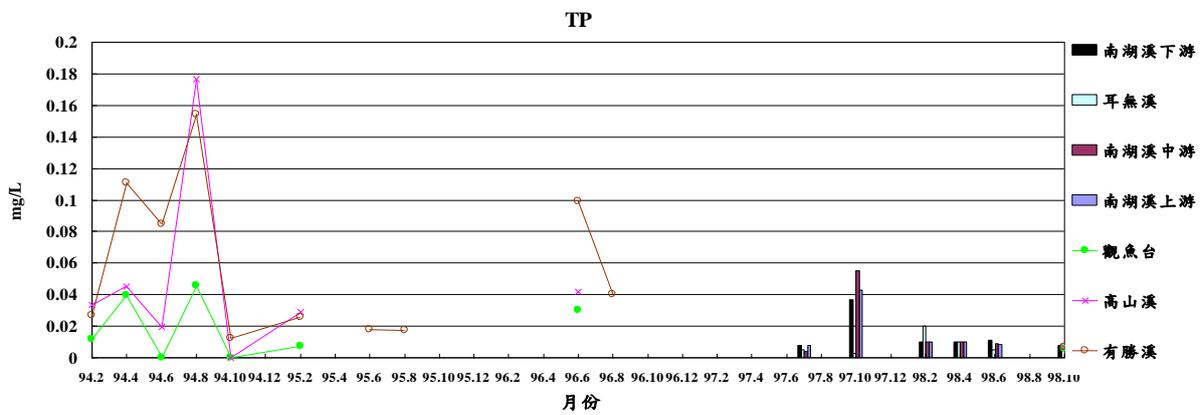


圖 1-17 歷年七家灣溪與南湖溪 TP 之變化

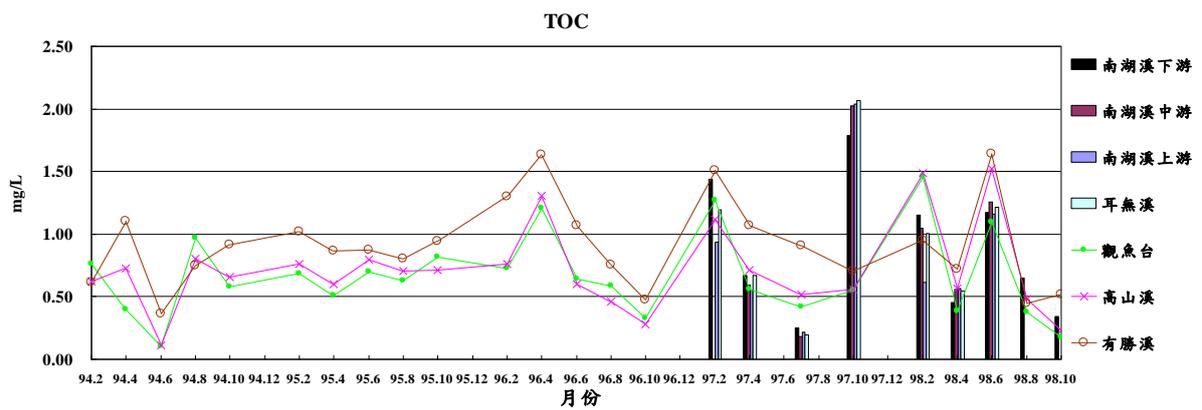


圖 1-18 歷年七家灣溪與南湖溪 TOC 之變化

第二章 物理棲地研究

葉昭憲、曾冠侑

逢甲大學水利工程與資源保育學系

摘 要

關鍵詞：櫻花鉤吻鮭、南湖溪、高山溪、棲地組成

一、研究緣起

為瞭解在南湖溪進行櫻花鉤吻鮭放流區域之河道環境特性後，本工作項目針對南湖溪上、下游及耳無溪匯流口共四處進行河道之縱、橫斷面測量及物理棲地組成調查及空間分佈分析。

二、研究方法及過程

本計畫沿用葉昭憲(2008)於七家灣溪及高山溪相關研究計畫中實施多年之河道斷面測量及物理棲地調查方法。

三、重要發現

4 月份在南湖溪四處生態採樣區調查結果發現，南湖溪上游與南湖溪中游在棲地分佈與底質分布情況類似；耳無溪則是與南湖溪下游相類似；在 11 月份調查發現，南湖溪四個生態採樣點，河道無明顯之變化，皆與四月份調查結果相差不大，對大部分的河道而言，淤多於沖。且在棲地分佈上，四個河段急流比例有明顯增加；匯整「武陵地區長期生態監測暨生態模式建立」歷年相關計畫從 2005 年至今年度(2009 年)2 月份及 11 月份之有勝溪測站、一號壩測站以及高山溪測站之研究成果並進行歸納比較，其 4 月份之調查結果配合彙整群體計畫之三個測站 2 月份之研究成果，初步歸納比較後，綜合南湖溪四個生態採樣區棲地底質分佈情況較類似於群體計畫之一號壩測站

，而 11 月份調查結果與整群體計畫之三個測站 11 月份之研究成果比較，則無明顯的差異性；於南湖溪上游(河段一)上方 400~500 公尺處進行調查，該河段大致上與南湖溪上游(河段一)相似，在棲地分佈上，急流比例明顯高於調查範圍之四個河段，急流類型為主要棲地類型，約略在南湖溪上游(河段一)上方 200 公尺轉彎處，底質有明顯增大之趨勢。

四、主要建議事項

根據今年調查結果，本研究針對物理棲地研究結果，其建議事項如下：

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：武陵農場

南湖溪的河道大致上呈現棲地單一化趨勢與坡度上升之趨勢，且調查時，皆發現水體是混濁樣，即沖刷力大，含砂量大，須持續監測，觀察是否有無持續崩塌(砂量補充來源)，以對後續研究提供詳細資料。

ABSTRACT

1. **Research Purpose:** To understand the channel environment of Nanhu Creek, four observatory reaches were investigated, including cross and longitude sections survey, substrate composition, and physical habitat patterns.
2. **Method and Process:** This project applied the same survey and analysis methods used in last year's project.

Major Findings: With habitat and substrate analysis, this project found that the conditions of the upstream reach and midstream reach of Nanhu Creek are similar, and the remaining two observatory reaches are alike. Based on the investigations applied at April, June, and November, the channel slopes of these four observatory reaches increase apparently, while the homogenous channel substrate is discovered for all the reaches except Erwu Creek. In general, the channel environment of Nanhu Creek is very similar to that of Guanyutai observatory reach in Chichiawan Creek

一、前言

(一)研究緣起

在雪霸國家公園內，臺灣櫻花鉤吻鮭是臺灣地區特有亞種的陸封型鮭魚，甚至在今日仍一直被視為國寶魚，這都顯示櫻花鉤吻鮭保育工作之重要性。然而，近數十年來櫻花鉤吻鮭的棲息環境生存條件（低水溫、高溶氧、水量充沛、覆蓋充分、豐富的無脊椎動物數量、無污染的環境及適於產卵的底質等）皆因為人為的影響而有所改變。其中，物理性之改變以防砂壩所造成水溫變化與族群阻隔最為明顯。

南湖溪發源於南湖大山，為大甲溪最大的支流，長約30公里，發源於南湖大山、南湖南山、中央尖山、無明山等中央山脈北側斜面3500公尺以上山麓附近。南湖溪與大甲溪呈現並行流路，另有支流耳無溪，由無明山起源，約10.5公里長。於環山部落與合歡溪匯流之後，注入大甲溪，雪霸國家公園管理處於2006及2007年分別放流250及150尾約15公分之之櫻花鉤吻鮭，2008將持續進行放流工作。惟過去南湖溪之溪流生態環境監測與評估之數據較為缺乏，亦無法與櫻花鉤吻鮭目前生存之七家灣溪及高山溪流進行客觀之比較。故本計畫擬針對南湖溪進行棲地之初步評估。

(二) 研究目的與內容

計畫研究範圍為雪霸國家公園管理處於南湖溪之櫻花鉤吻鮭放流點處所在河段（見圖 2-1），將進行持續性追蹤調查之項目包含河道縱、橫斷面測量及物理棲地調查，而在執行期間內（98年1月至98年12月）執行三次調查工作。

本工作項目之流程依序為確定研究目標與範圍、現場河道變化觀測、調查資料分析與比較等細項（如圖 2-2）：

1. 根據研究計畫內容，於計畫開始實施前進行團隊會議，以對計畫實施方式之相關細節進行討論，以確認調查結果符合本計畫之整體目標。

2. 調查南湖溪上四處放流採樣區之河道縱橫向變化、棲地組成、粒徑分佈之現況並進行分析探討。

3. 彙整「武陵地區長期生態監測暨生態模式建立」歷年相關計畫之研究成果並進行初步歸納比較。

二、材料與方法

當河川系統在進行平衡調節過程中，河道地形及物理棲地組成亦隨之逐漸轉變，因此透過定期調查及分析將可定義出其變化趨勢。調查方式如下：

(一) 河道地形變化趨勢

河床高程與受干擾後，隨著時間的變化呈非線性函數關係。受到干擾後，一開始河床變動快，高程會隨時間驟降，其後漸達到穩定的狀態。藉由河道縱橫斷面測量結果之比較，本計畫可獲致兩項河道地形之演變歷程。

1.河道之縱向演變：利用河段縱斷面測量之實測紀錄，可推算研究河段環境變化後之高程演變趨勢。

2.河道橫向演變：將各觀測斷面之歷年調查結果同時繪製於同一橫斷面圖上，即可判斷河道邊坡及河床面之沖淤狀況。

(二) 物理棲地組成

利用所設置之間距 20 公尺穿越線，首先測定各河段之溪寬，其次於溪寬 1/4、2/1 和 3/4 處分別觀測水深、流速和底質礫石，並藉以判定棲地類別。最後，利用不同觀測時段之河段物理棲地組成，歸納其變動趨勢。而底質之量測將以腳踏法和目視法判定，底質石種類及其分類對照如表 2-1 所示。

棲地分級則根據 Leopold (1969) 之研究成果，將水流型態歸類為水潭 (pool)、緩流 (slow water)、湍流 (淺瀨) (riffles)、急流 (rapids)、岸邊緩流 (slack)、迴流 (backwater) 等六種流況。上述六種水流形態，可利用水深與流速之比值，也就是福祿數 (Froude Number) $F_r = V / \sqrt{gH}$ 來表示 (見表 2-2)。

三、 結果

南湖溪之今年度物理棲地調查時間為4、6月及10月共3次調查紀錄，調查項目包括河道地形變化趨勢及物理棲地組成兩個部份，分析項目為河道之縱向演變、河道橫向演變、棲地組成以及底質分佈，其今年分析數據如表3至表14及圖2-4至圖2-21，且本工作項目針對「武陵地區長期生態監測暨生態模式建立」群體計畫之有勝溪測站、觀魚台測站、高山溪測站三測站，考量本年度於南湖溪進行兩次調查工作，故彙整三個測站2006年至今年2月份及11月份之研究成果，整理各測站棲地與底質分佈狀況作為比對，探討南湖溪與七家灣溪之物理棲地之差異性。

四、討論

(一)南湖溪生態採樣區分析

本年度計畫為了提供各研究計畫，在共同區域上做整合性的研究，進而能將研究成果加以連結。而在此類共同樣區之調查方式是以該樣區為中心，向上下游分別作 50 至 100 公尺做河道斷面測量、棲地組成以及底質分佈。以下將彙整各樣區於本年度二次調查的河道斷面以及棲地底質調查結果所顯示的分佈情形作進一步分析。

南湖溪上游：此河段位於四處採樣點之最上游，今年的調查發現坡度有逐漸上升之趨勢，分別為 0.0437、0.0492 與 0.0488；河寬大都在 10 公尺左右。而在棲地分佈上，兩次調查發現本河段以淺瀨比例最高，逐漸呈現棲地單一化現象。至於底質分佈上，底質分佈狀況平均，但較無細砂之粒徑，此河段以類型三（卵石）為主約 40% 左右。

南湖溪中游：此河段位於與南湖溪與耳無溪匯流口處之上游處，本年度三次調查測站範圍的平均坡度分別為 0.0234、0.0337 及 0.0449，也是明顯上升趨勢；此河段河寬大都在 10 公尺以上較為寬闊。而在棲地分佈上，可以發現本河段與南湖溪上游相同地以淺瀨比例最高，也是呈現棲地單一化現象。此河段底質分佈較為平均，10 月的調查中發現，從底質一（細砂）至底質六（大型礫石）都有，其中也是以底質三（卵石）為主約 40% 左右。

南湖溪下游：此河段位於與南湖溪之最下游，在測站範圍的平均坡度約為 2 %

左右，坡度也是呈現上升的趨勢；此河段河寬大都在 10 公尺以上較為寬闊。而在棲地分佈上，發現本河段以淺瀨比例最高，也是快呈現棲地單一化。至於底質分佈上，各種粒徑都有出現，此河段底質分佈相似於耳無溪，以最

後一次調查則是以類型三（卵石）為主。

耳無溪：此河段位於與南湖溪與耳無溪匯流口處上游之耳無溪河道，測站範圍的平均坡度約為 4% 左右，坡度也是呈現上升趨勢；此河段河寬為最為狹窄且水流湍急，河寬大都在 5~6 公尺左右。而在棲地分佈上，以淺瀨與緩流共存，但淺瀨比例最高。至於底質分佈上，此河段為類型六（大型礫石）為主，近期的調查中，發現粒徑粗粒化。

今年度三次在南湖溪四處生態採樣區調查結果發現，南湖溪上游與南湖溪中游在棲地分佈與底質分布情況類似；南湖溪下游則與耳無溪相類似，且四個測點的坡度都呈現逐線上升的趨勢，底質一（細砂）不易留於原處，沖刷粒較大，因此今年三次調查皆發現南湖溪的水是處於較混濁的狀態。

（二）歷年群體生態採樣區分析

本工作項目針對「武陵地區長期生態監測暨生態模式建立」群體計畫之有勝溪測站、觀魚臺測站、高山溪測站三測站，考量本年度於南湖溪進行兩次調查工作，故彙整三個測站 2005 年至今年 2 月份及 11 月份之研究成果，整理各測站棲地與底質分佈狀況下：

- 1.有勝溪：有勝溪測站位於有勝溪一號壩上游的 100 公尺，此河段中河道寬度變化不大，河寬大都分布在 15~20 公尺之間。在棲地分佈上，此區域的棲地類型較無劇烈變化，棲地單一化為所有調查樣區之最，主要為淺瀨。而在底質分佈上，主要以卵石與粗石為主。
- 2.觀魚臺：觀魚臺測站位於七家灣溪一號壩上，為緊接在觀魚台下游一段約 200 公尺的河道，此河段河寬較為寬闊，約為 30 公尺左右，也由於河道較為寬廣平緩導致流心變化較大。棲地分佈上，本河段以淺瀨為主，但還是有部份的緩流及急流。而在底質分佈上，主要

是以底質四(粗石)為主(約 60%)，其次為底質三(卵石)(約 20%)。

3.高山溪：高山溪測站位於高山溪一號壩上，此河段河寬較為寬闊。而棲地分佈上，本河段以淺瀨為主。而在底質分佈上，粒徑較粗大，以底質四(粗石)為主，底質五、底質六出現比例相對於其它兩測站比例高。

五、結論與建議

5.1 結論

98 年度研究計畫共針對南湖溪生態採樣區於 4 月、6 月及 11 月份進行三次河道斷面以及棲地底質調查。針對調查結果，歸納成以下重點：

1. 三次調查南湖溪四處生態採樣區結果，南湖溪上游與南湖溪中游在棲地分佈與底質分布情況類似；南湖溪下游則是與耳無溪相類似。
2. 南湖溪四生態採樣點，今年的河道縱向坡降皆呈現逐漸上升之趨勢，沖多於淤，水流皆呈現混濁之狀態。由於此原因，細砂之粒徑所佔比例很小。
3. 匯整「武陵地區長期生態監測暨生態模式建立」歷年相關計畫從 2006 年至今年 10 月份及之有勝溪測站、觀魚臺測站以及高山溪測站之研究成果並進行歸納比較，今年三次調查結果發現，綜合南湖溪四個生態採樣區棲地底質分佈情況較類似於群體計畫之觀魚臺測站。

5.2 建議

根據今年調查結果，本研究針對物理棲地研究結果，其建議事項如下：

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：武陵農場

南湖溪的河道大致上呈現棲地單一化趨勢與坡度上升之趨勢，且調查時，皆發現水體是混濁樣，即沖刷力大，含砂量大，須持續監測，觀察是否有無持續崩塌(砂量補充來源)，以對後續研究提供詳細資料。

表 2-1 棲地底質分類表

編號	1	2	3	4	5	6
底質	Smooth surface	Gravel	Pebble	Rubble	Small Boulder	Large boulder
粒徑範圍(cm)	<0.2	0.2-1.6	1.6-6.4	6.4-25.6	25.6-51.2	>51.2

表 2-2 各種物理棲地環境指標定義

型態	淺瀨	緩流	水潭	急流
福祿數	$0.255 < Fr < 1$	$0.095 < Fr < 0.255$	$Fr < 0.095$	$Fr > 1$
其他限制	但 $b/h > 15$	$15 < b/h < 30$	水面坡度 ≈ 0 $b/h < 15$	無

表 2-3 南湖溪上游採樣點床面平均坡度表

測量日期	2008/11	2009/04	2009/06	2009/10
平均坡降	0.0269	0.0437	0.0492	0.0488

表 2-4 南湖溪中游採樣點床面平均坡度表

測量日期	2008/11	2009/04	2009/06	2009/10
平均坡降	0.0399	0.0234	0.0337	0.0449

表 2-5 南湖溪下游採樣點床面平均坡度表

測量日期	2008/11	2009/04	2009/06	2009/10
平均坡降	0.0202	0.0113	0.0179	0.0180

表 2-6 耳無溪採樣點床面平均坡度表

測量日期	2008/11	2009/04	2009/06	2009/10
平均坡降	0.0109	0.0420	0.0435	0.0461

表 2-7 棲地底質分類表

編號	底質	底石粒徑
1	Smooth surface	<0.2cm
2	Gravel	0.2-1.6cm
3	Pebble	1.6-6.4cm
4	Rubble	6.4-25.6cm
5	Small Boulder	25.6-51.2cm
6	Large boulder	>51.2cm

表 2-8 2008 年 11 月南湖溪各河段之棲地底質分佈比例

底質 位置	1	2	3	4	5	6
南湖溪上游	3.33%	23.33%	36.67%	26.67%	3.33%	6.67%
南湖溪中游	6.67%	13.33%	33.33%	40.00%	0.00%	6.67%
南湖溪下游	7.41%	3.70%	59.26%	18.52%	7.41%	3.70%
耳無溪	0.00%	20.00%	40.00%	33.33%	6.67%	0.00%

表 2-9 2009 年 04 月南湖溪各河段之棲地底質分佈比例

底質 位置	1	2	3	4	5	6
南湖溪上游	0.0%	5.1%	38.5%	7.7%	17.9%	30.8%
南湖溪中游	0.0%	0.0%	26.7%	20.0%	33.3%	20.0%
南湖溪下游	10.0%	0.0%	30.0%	6.7%	3.3%	50.0%
耳無溪	0.0%	0.0%	13.3%	13.3%	33.3%	40.0%

表 2-10 2009 年 06 月南湖溪各河段之棲地底質分佈比例

底質 位置	1	2	3	4	5	6
南湖溪上游	0.0%	2.4%	33.3%	4.8%	38.1%	21.4%
南湖溪中游	0.0%	0.0%	27.8%	5.6%	44.4%	22.2%
南湖溪下游	3.3%	3.3%	16.7%	0.0%	26.7%	50.0%
耳無溪	0.0%	6.7%	13.3%	0.0%	26.7%	53.3%

表 2-11 2009 年 10 月南湖溪各河段之棲地底質分佈比例

底質 位置	1	2	3	4	5	6
南湖溪上游	0.00%	10.26%	43.59%	5.13%	23.08%	17.95%
南湖溪中游	5.56%	11.11%	38.89%	11.11%	11.11%	22.22%
南湖溪下游	10.00%	10.00%	53.33%	3.33%	3.33%	20.00%
耳無溪	0.00%	0.00%	6.67%	13.33%	33.33%	46.67%

表 2-12 棲地環境類型分析

福祿數大小	Fr<0.095	0.095<Fr<0.255	0.255<Fr<1	Fr>1
棲地型態	Pools	Slow water	Riffles	Rapids

表 2-13 2008 年 11 月南湖溪各河段棲地環境類型分析

棲地型態 位置	Rapids	Riffles	Slow water	Pools
南湖溪上游	40%	60%	0%	0%
南湖溪中游	25%	75%	0%	0%
南湖溪下游	17.64%	76%	0%	5.88%
耳無溪	55.56%	44.44%	0%	0%

表 2-14 2009 年 04 月南湖溪各河段棲地環境類型分析

棲地型態 位置	Rapids	Riffles	Slow water	Pools
南湖溪上游	0.00%	92.31%	7.69%	0.00%
南湖溪中游	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%
南湖溪下游	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%
耳無溪	0.00%	80.00%	20.00%	0.00%

表 2-15 2009 年 06 月南湖溪各河段棲地環境類型分析

棲地型態 位置	Rapids	Riffles	Slow water	Pools
南湖溪上游	0.00%	92.31%	7.69%	0.00%
南湖溪中游	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%
南湖溪下游	0.00%	80.00%	20.00%	0.00%
耳無溪	0.00%	80.00%	20.00%	0.00%

表 2-16 2009 年 10 月南湖溪各河段棲地環境類型分析

棲地型態 位置	Rapids	Riffles	Slow water	Pools
南湖溪上游	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%
南湖溪中游	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%
南湖溪下游	0.00%	90.00%	10.00%	0.00%
耳無溪	0.00%	60.00%	40.00%	0.00%

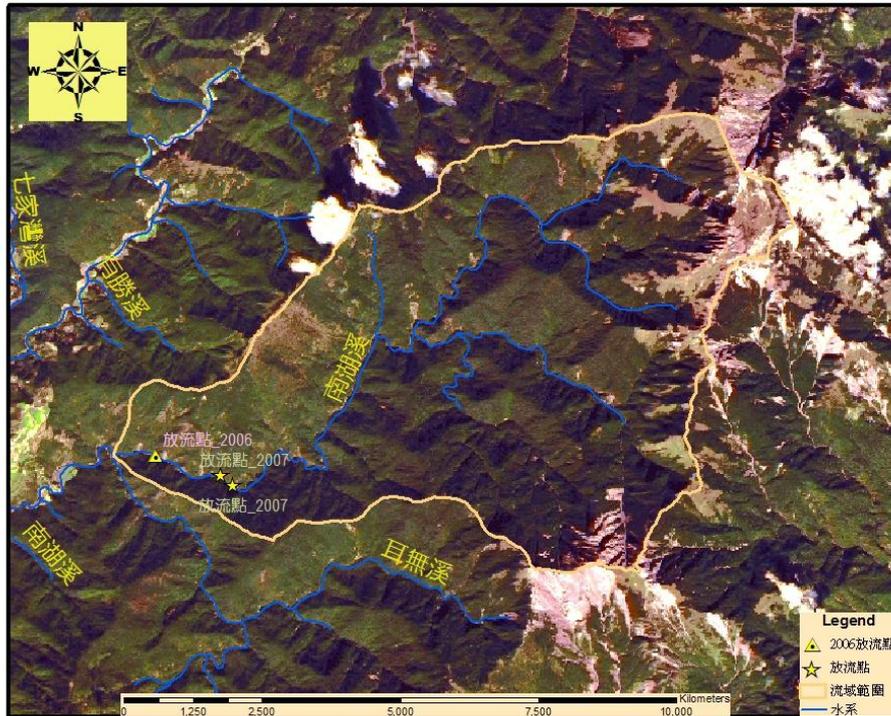


圖 2-1 南湖溪之櫻花鉤吻鮭放流點

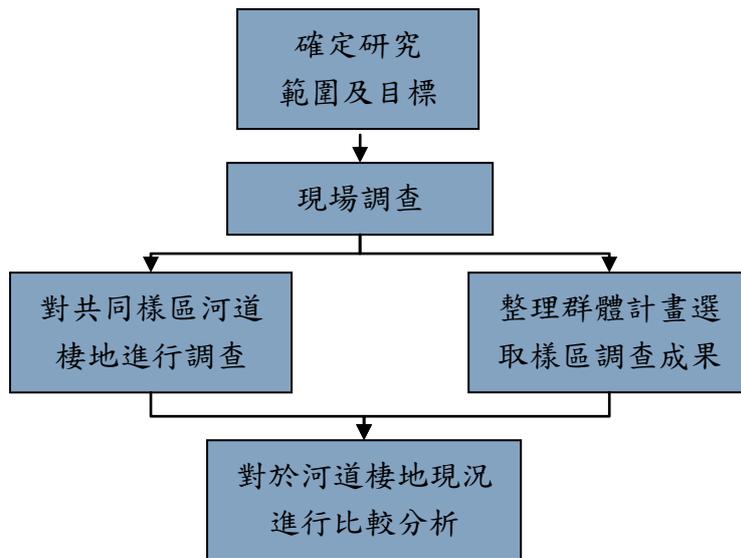


圖 2-2 本年度研究基本流程圖



圖 2-3 南湖溪之測量位置圖

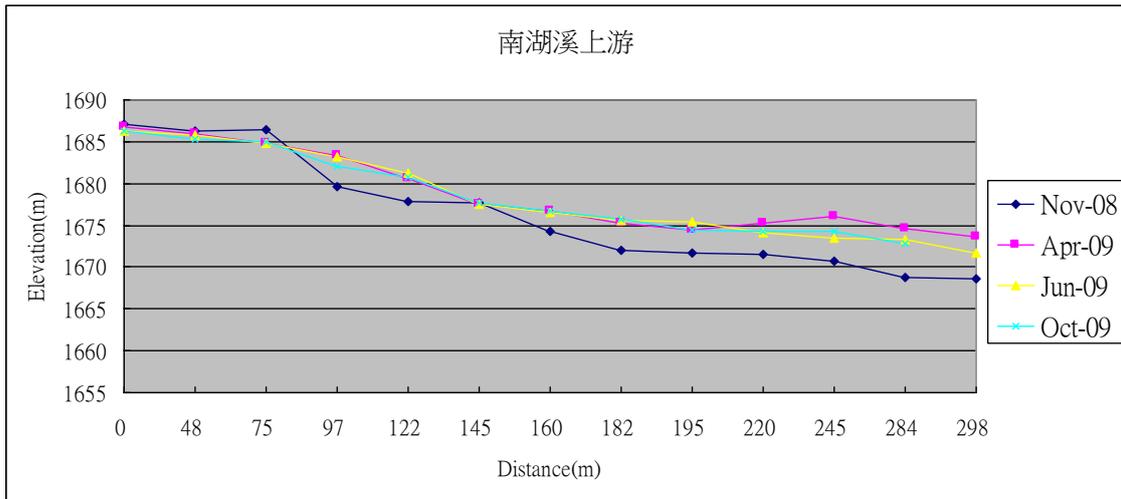


圖 2-4 南湖溪上游縱斷面高程剖面圖

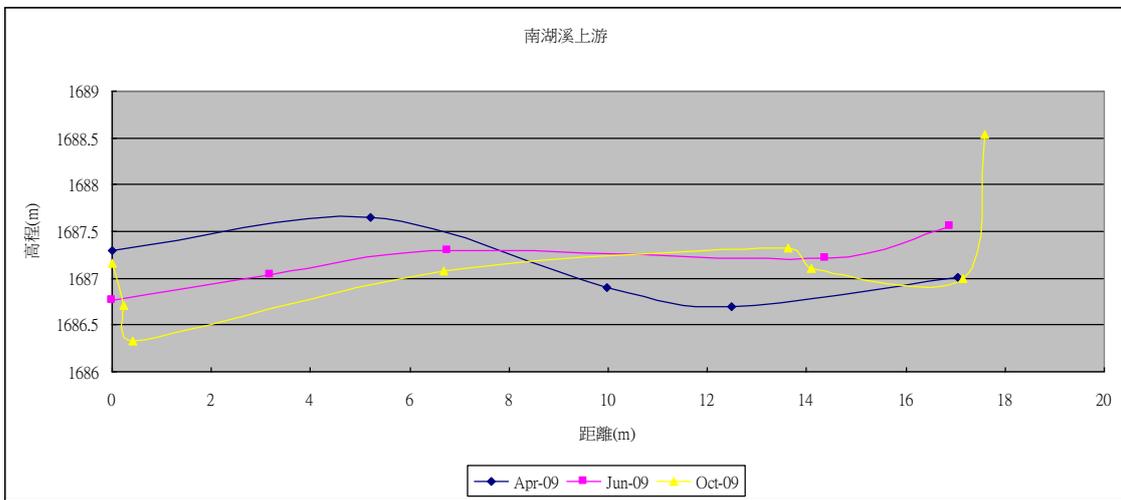


圖 2-5 南湖溪上游斷面 1-1 剖面高程圖

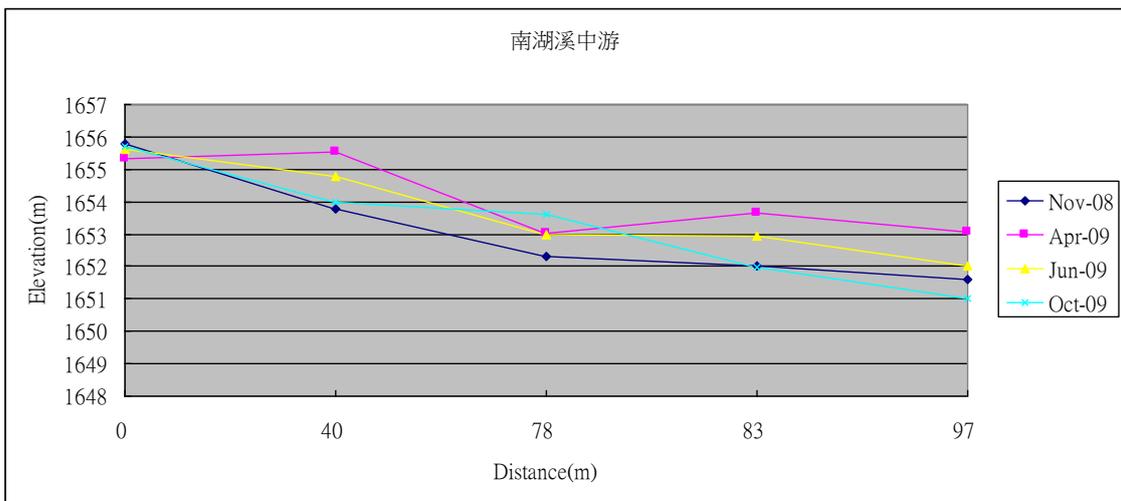


圖 2-6 南湖溪中游縱斷面高程剖面圖

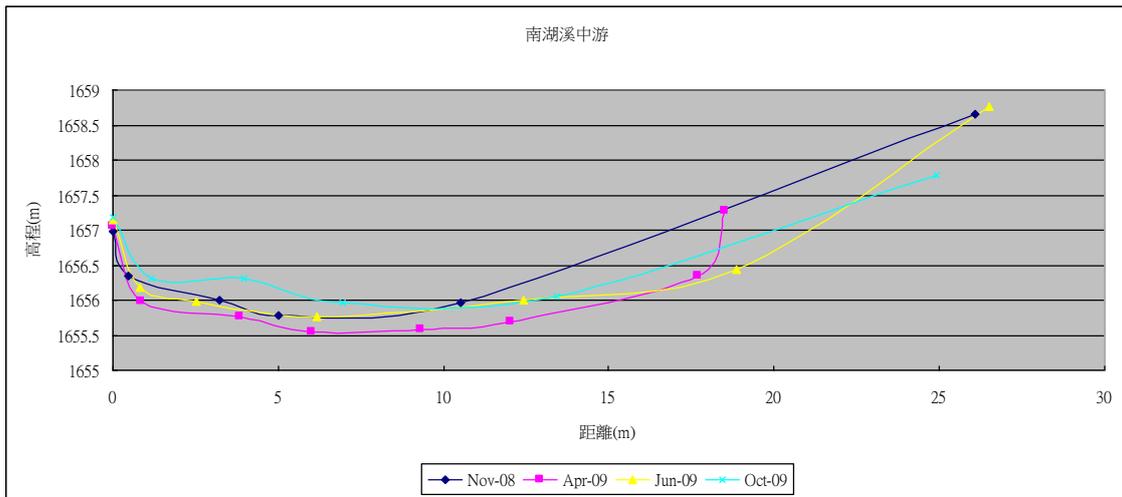


圖 2-7 南湖溪中游斷面 1-1 剖面高程圖

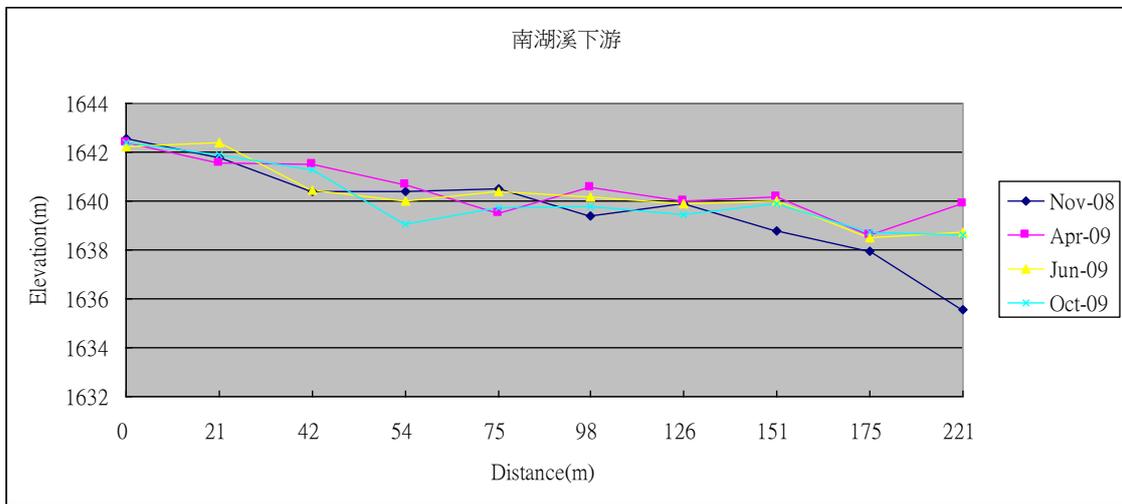


圖 2-8 南湖溪下游縱斷面高程剖面圖

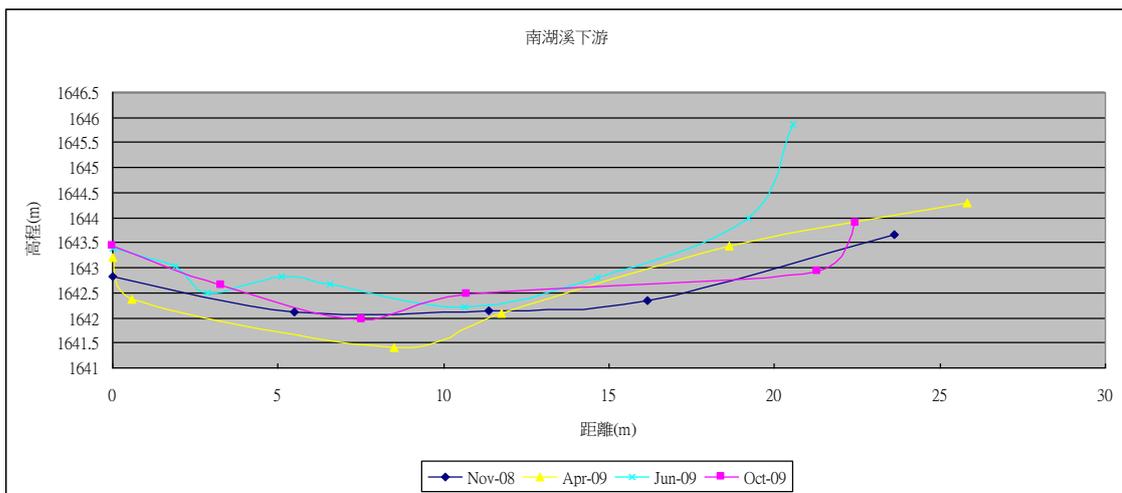


圖 2-9 南湖溪下游斷面 1-7 剖面高程圖

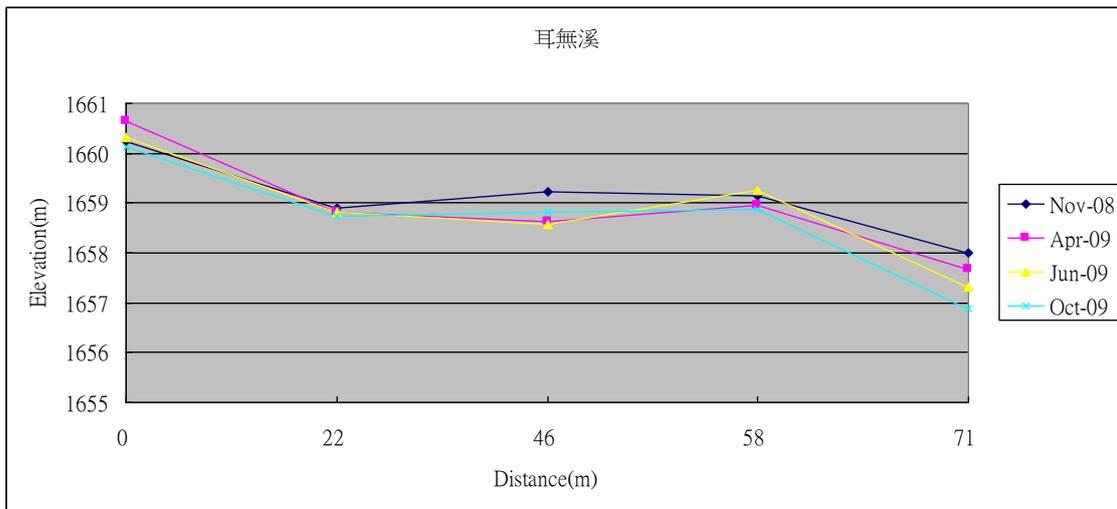


圖 2-10 耳無溪縱斷面高程剖面圖

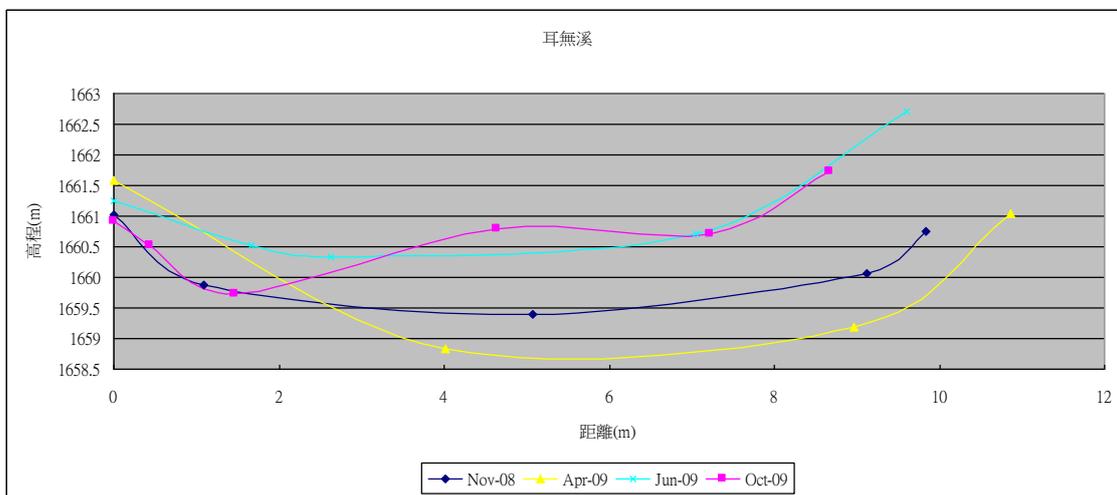


圖 2-11 耳無溪斷面 1-1 剖面高程圖

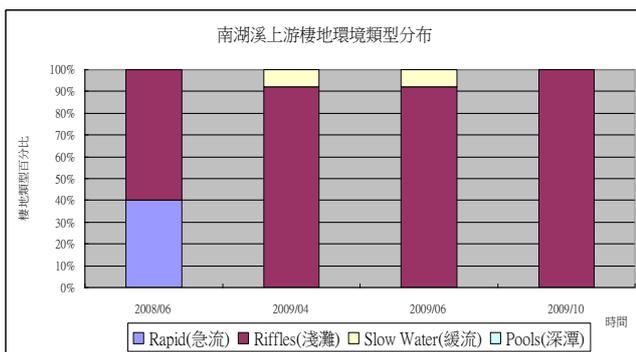


圖 2-12 南湖溪上游棲地環境類型分布

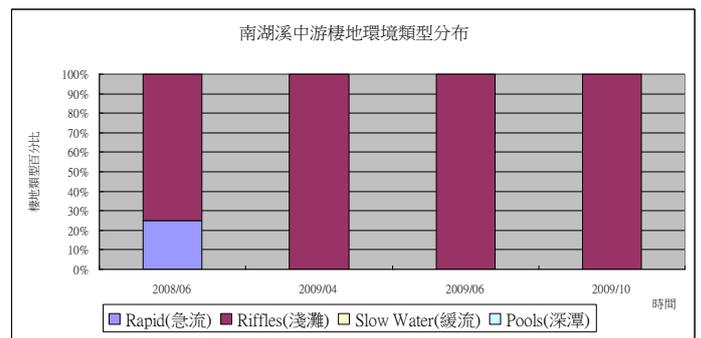


圖 2-13 南湖溪中游棲地環境類型分布

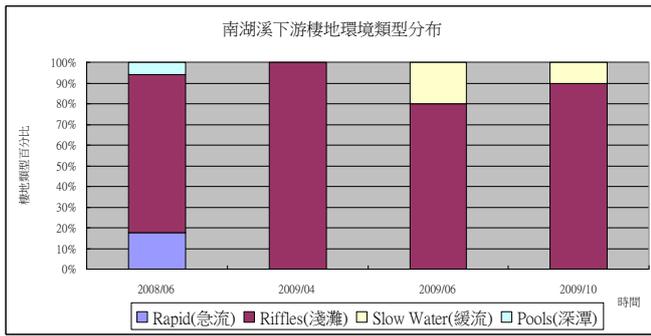


圖 2-14 南湖溪下游棲地環境類型分布

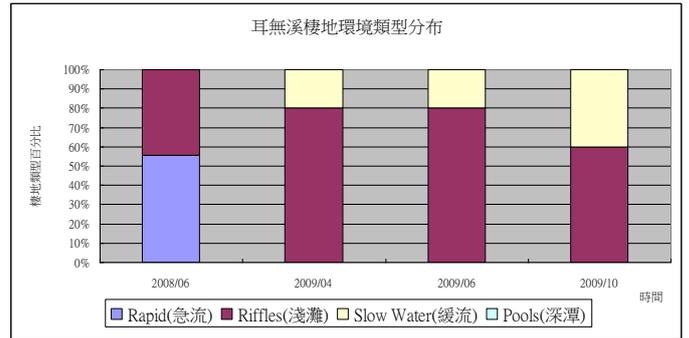


圖 2-15 耳無溪棲地環境類型分布

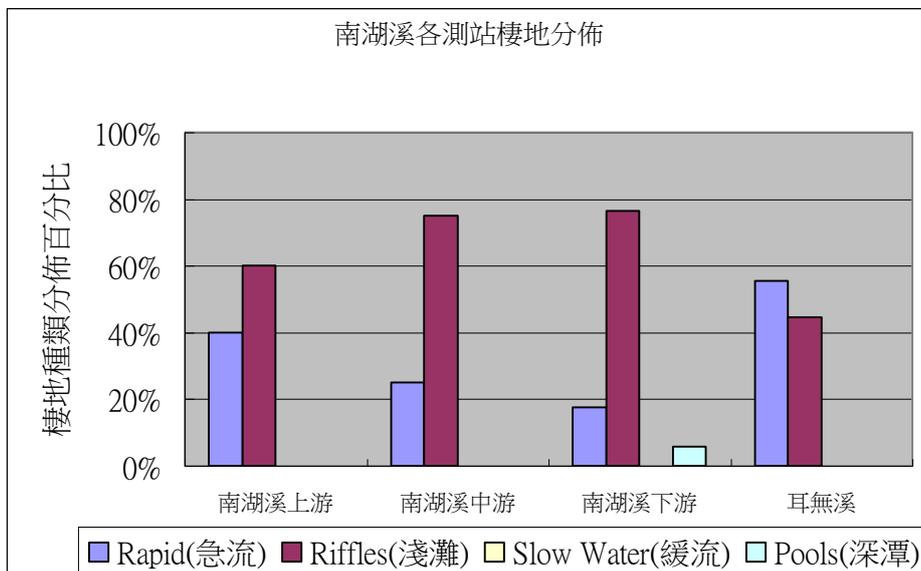


圖 2-16 南湖溪 2008/11 月份各測站棲地分佈類型百分比圖

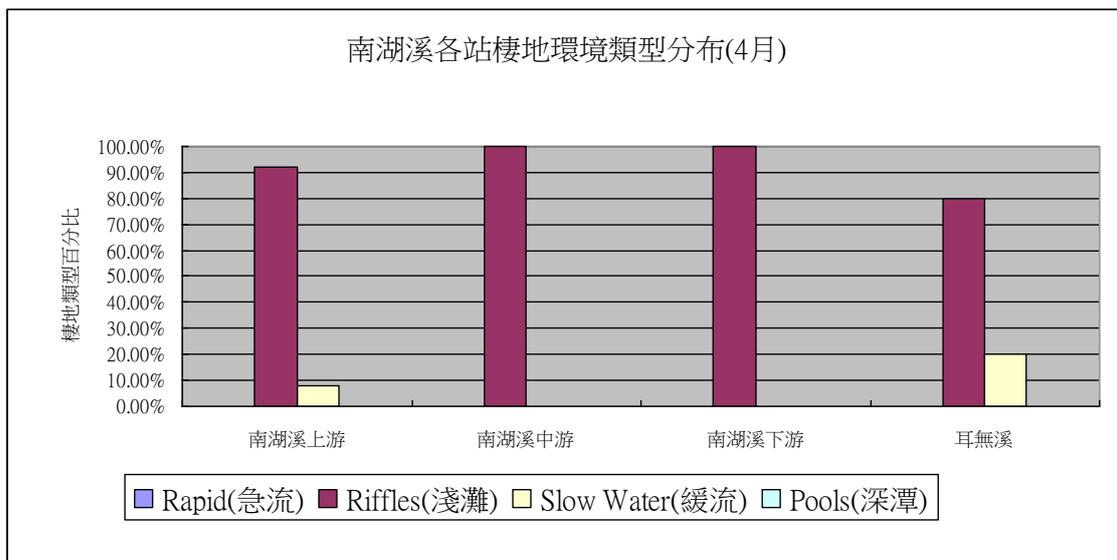


圖 2-17 南湖溪 2009/04 月份各測站棲地分佈類型百分比圖

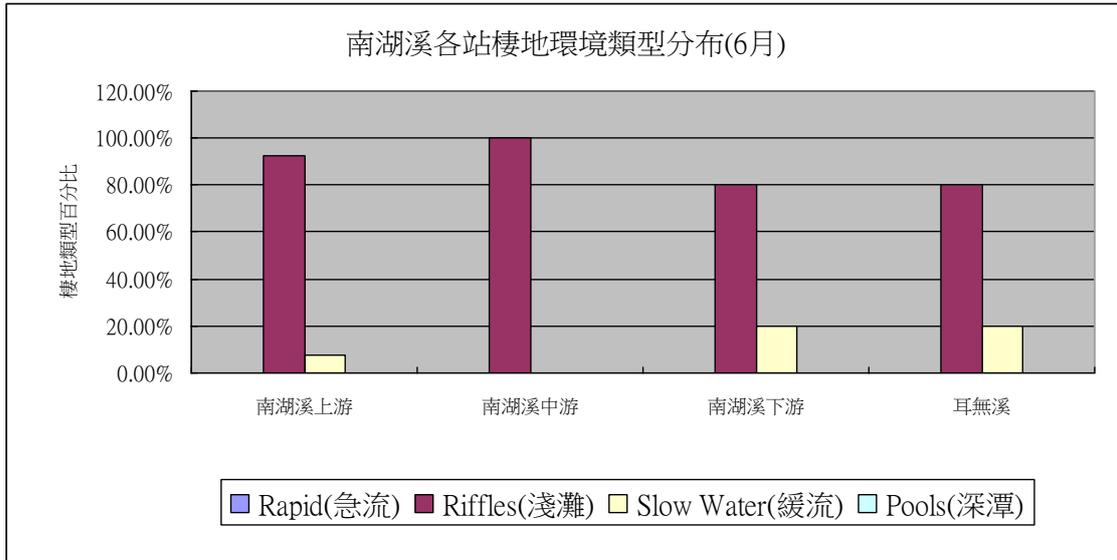


圖 2-18 南湖溪 2009/06 月份各測站棲地分佈類型百分比圖

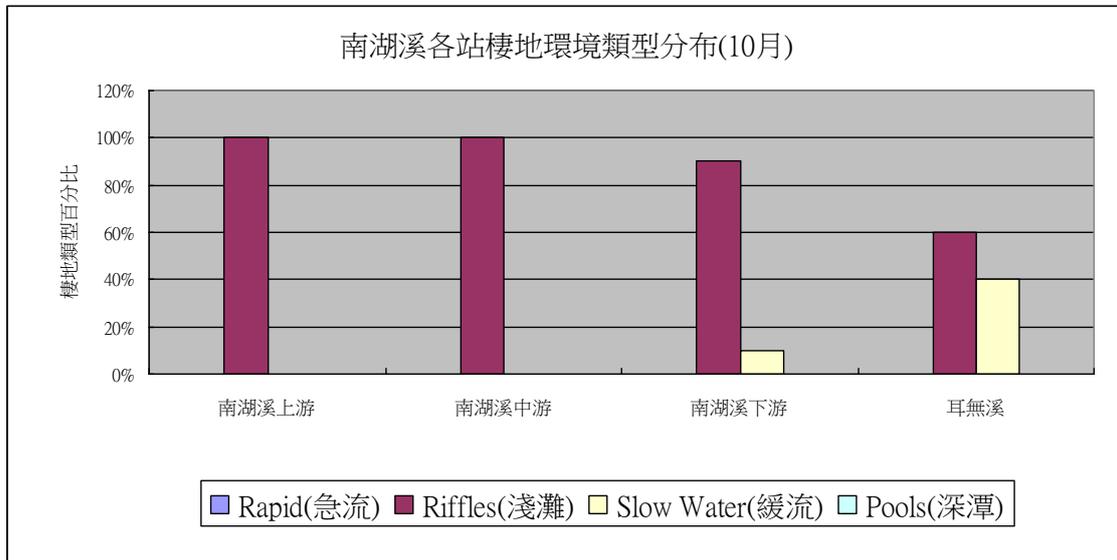


圖 2-19 南湖溪 2009/10 月份各測站棲地分佈類型百分比圖

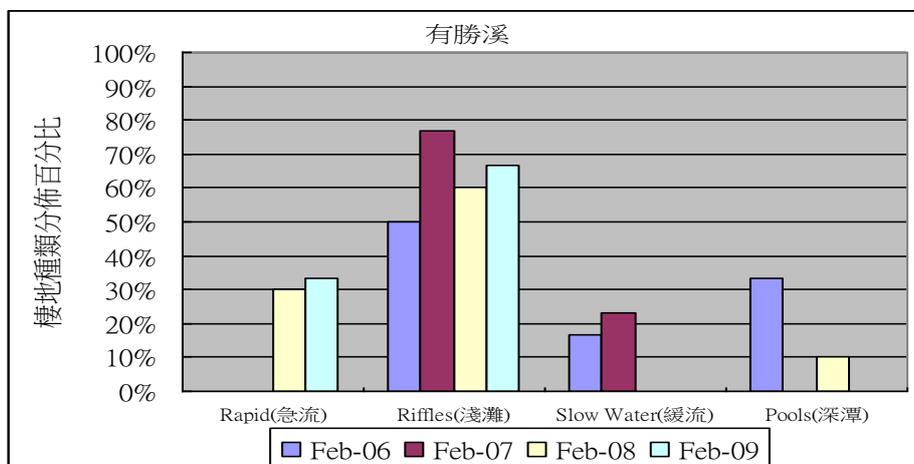


圖 2-20 有勝溪棲地歷年 2 月份分佈類型百分比圖

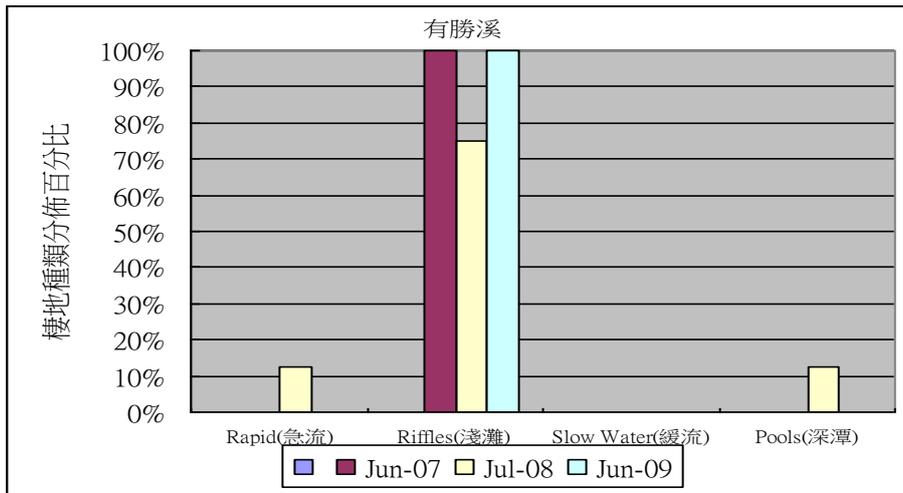


圖 2-21 有勝溪棲地歷年 6 月份分佈類型百分比圖

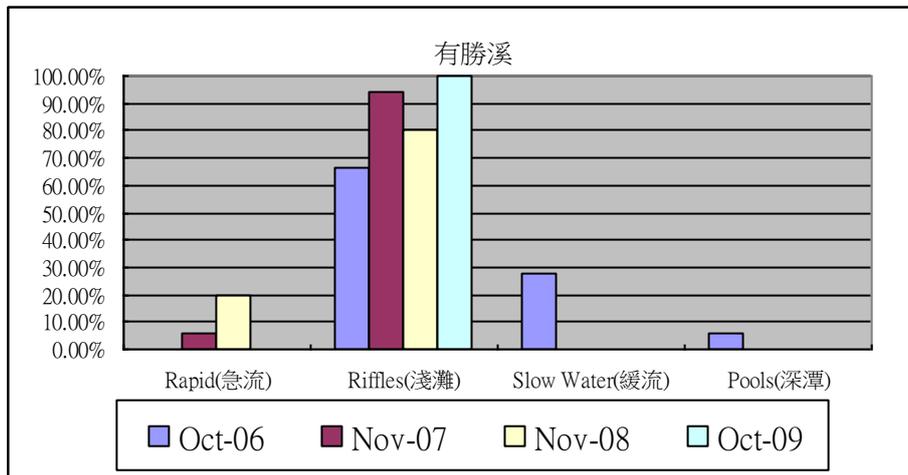


圖 2-22 有勝溪棲地歷年 11 月份分佈類型百分比圖

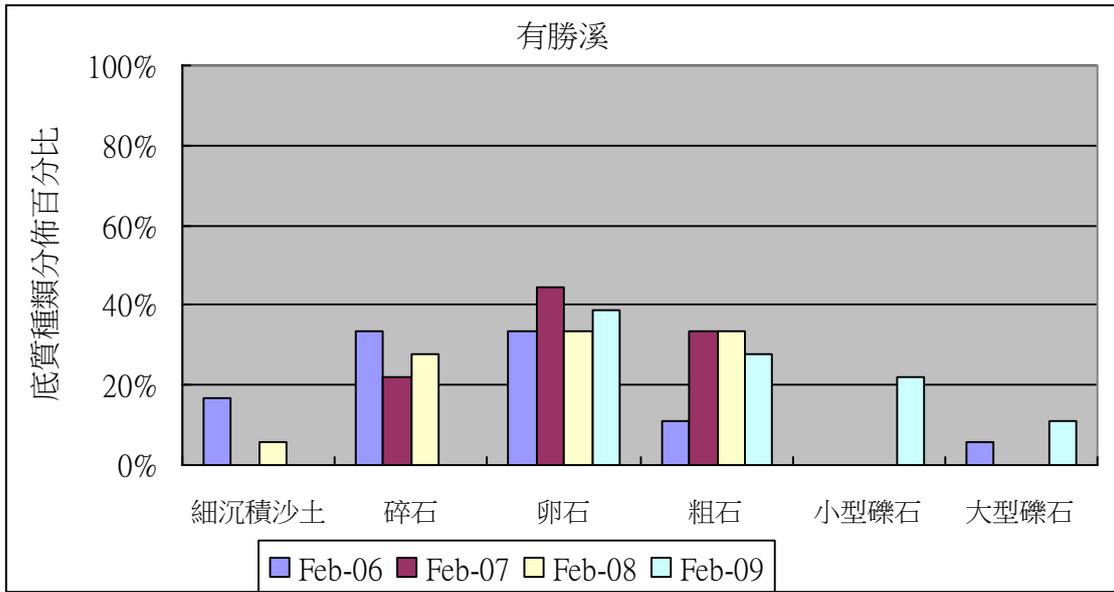


圖 2-23 有勝溪歷年 2 月份底質分佈類型百分比圖

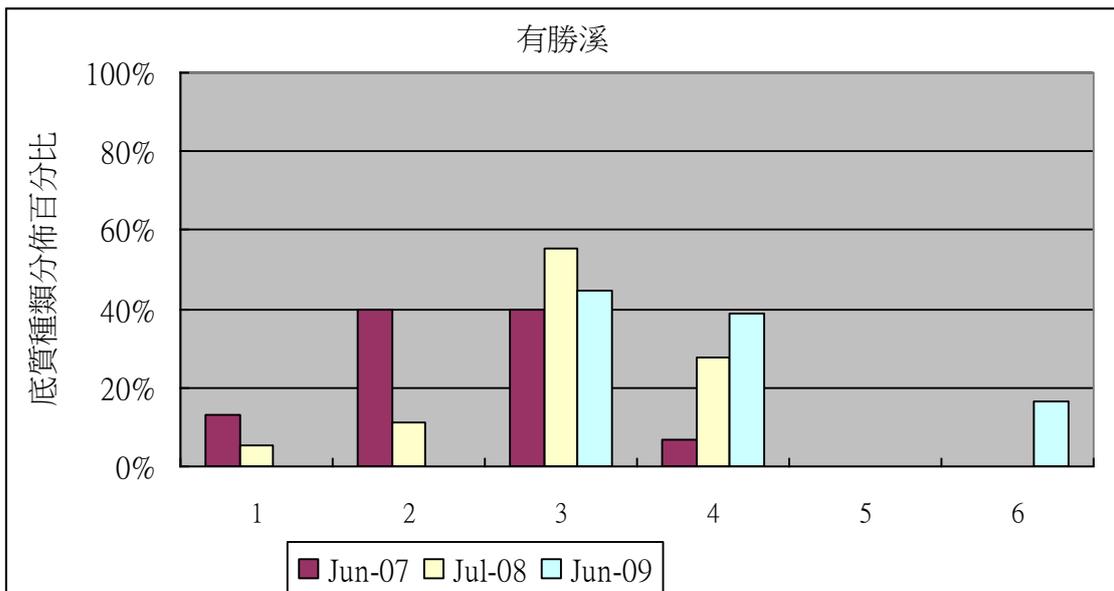


圖 2-24 有勝溪歷年 6 月份底質分佈類型百分比圖

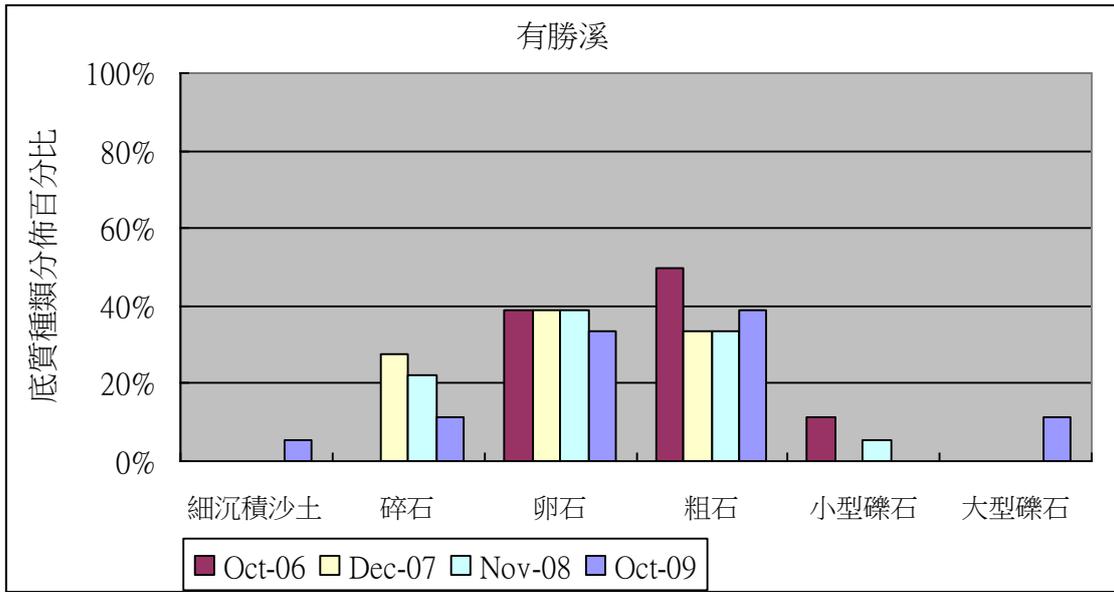


圖 2-25 有勝溪歷年 11 月份底質分佈類型百分比圖

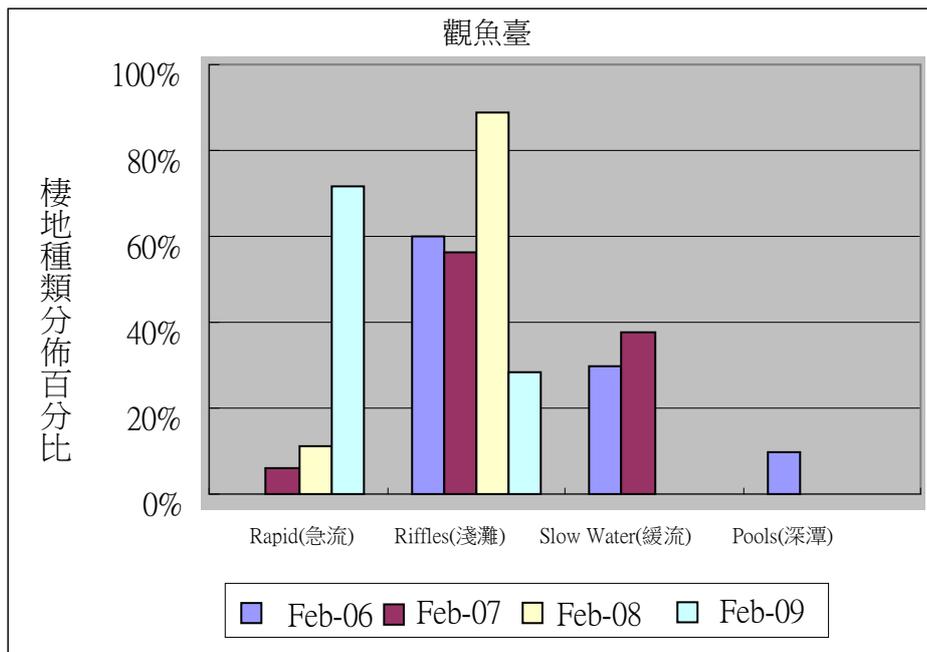


圖 2-26 觀魚臺棲地歷年 2 月份分佈類型百分比圖

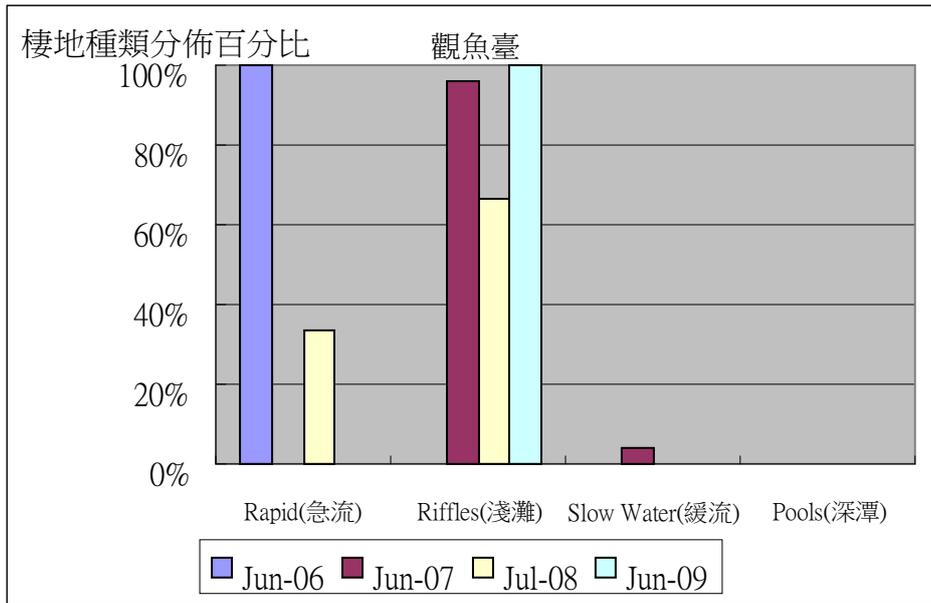


圖 2-27 觀魚臺棲地歷年 6 月份分佈類型百分比圖

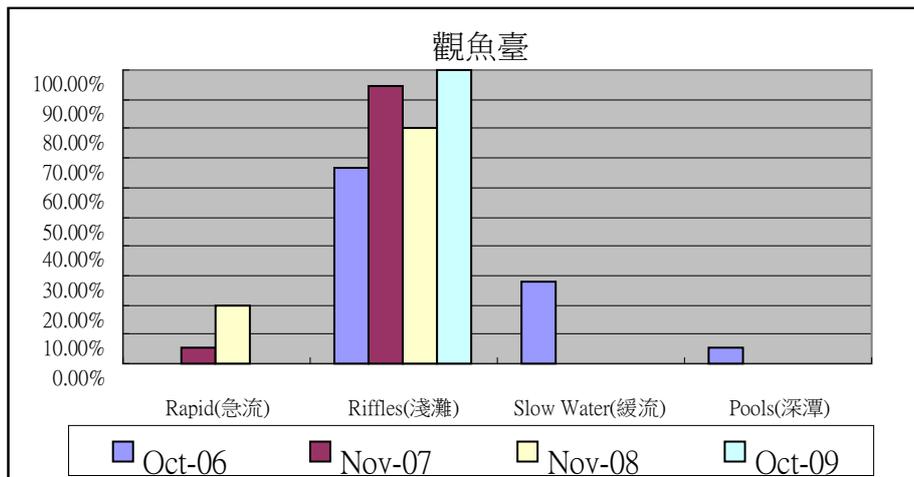


圖 2-28 觀魚臺棲地歷年 11 月份分佈類型百分比圖

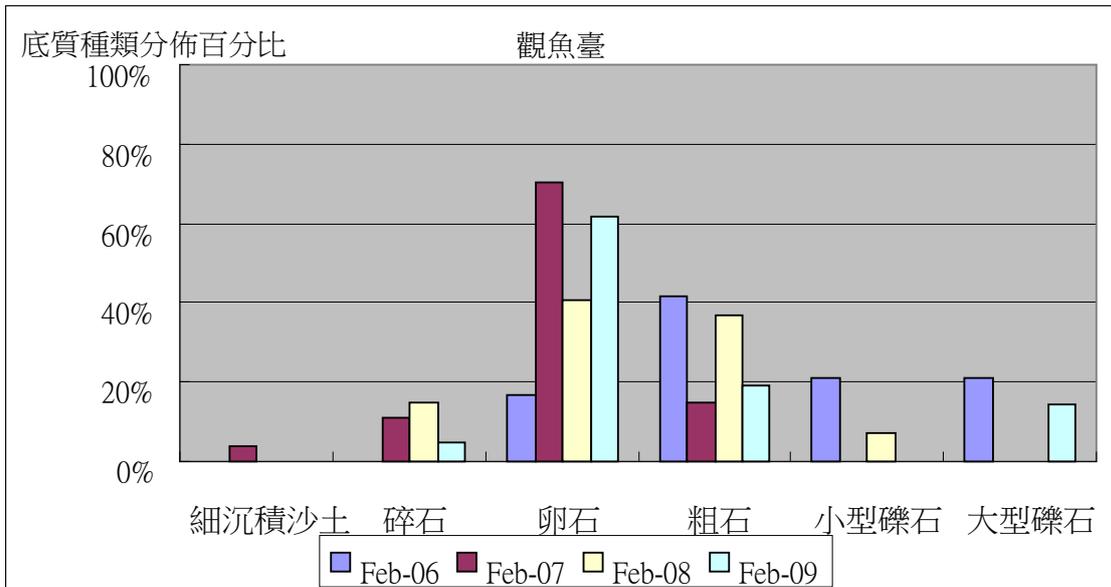


圖 2-29 觀魚臺歷年 2 月份底質分佈類型百分比圖

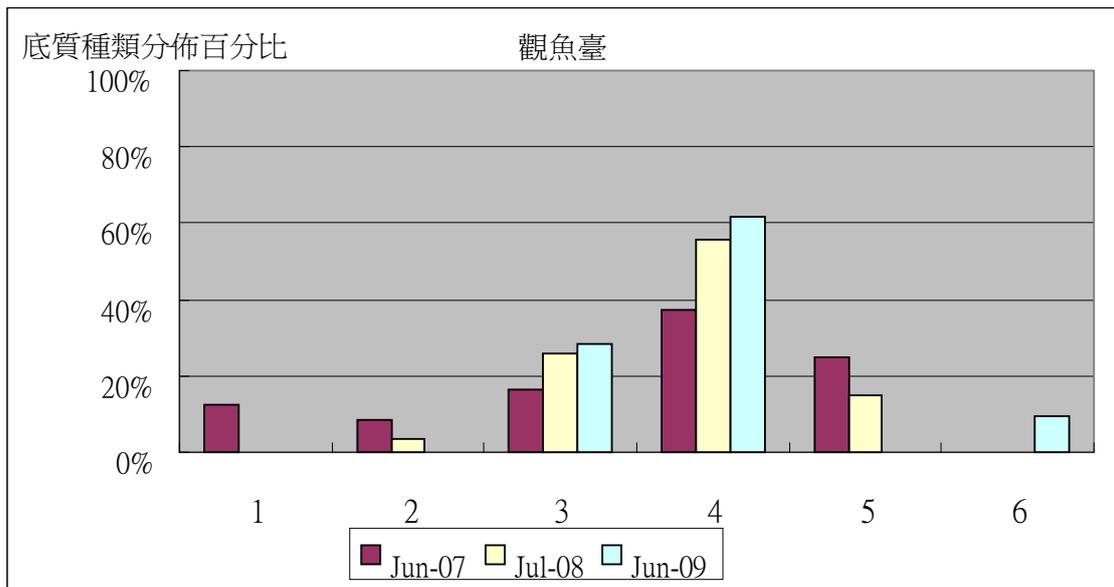


圖 2-30 觀魚臺歷年 6 月份底質分佈類型百分比圖

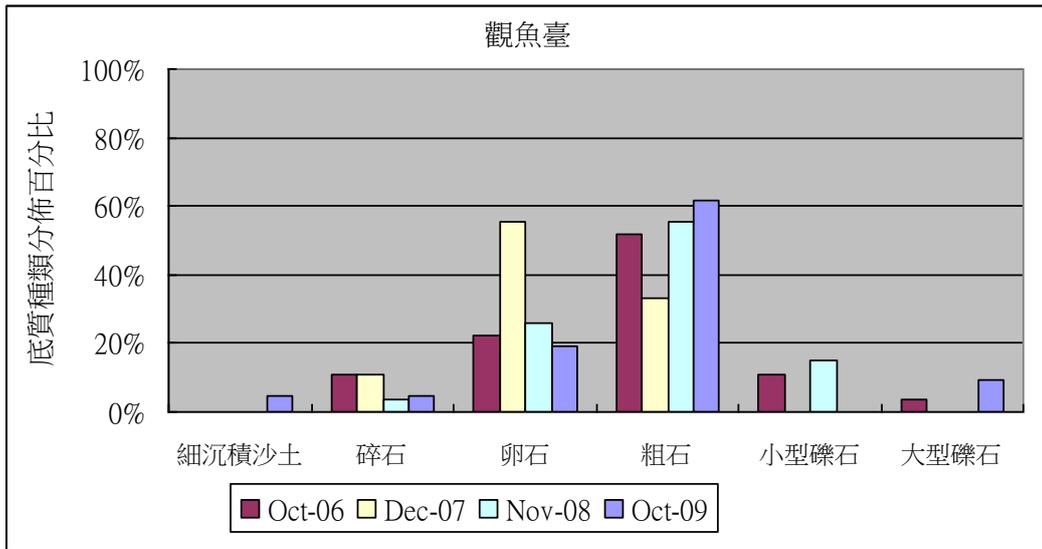


圖 2-31 觀魚臺歷年 11 月份底質分佈類型百分比圖

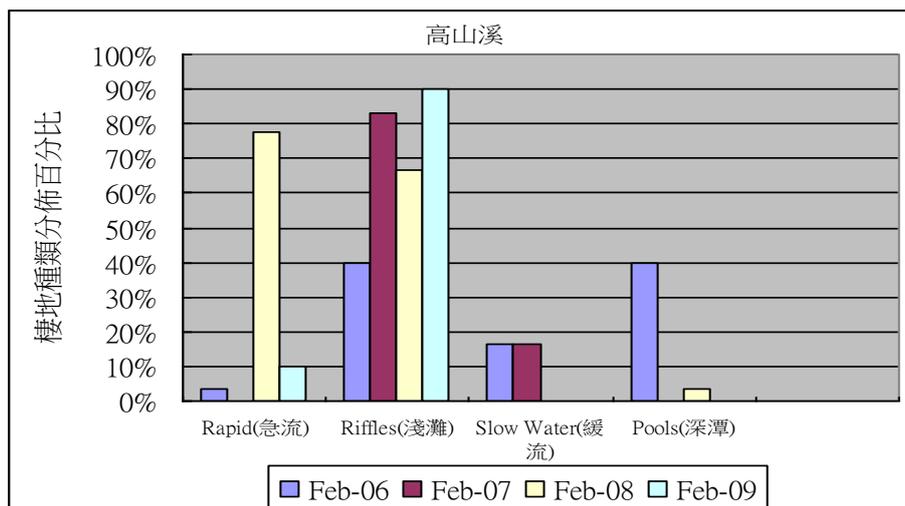


圖 2-32 高山溪棲地歷年 2 月份分佈類型百分比圖

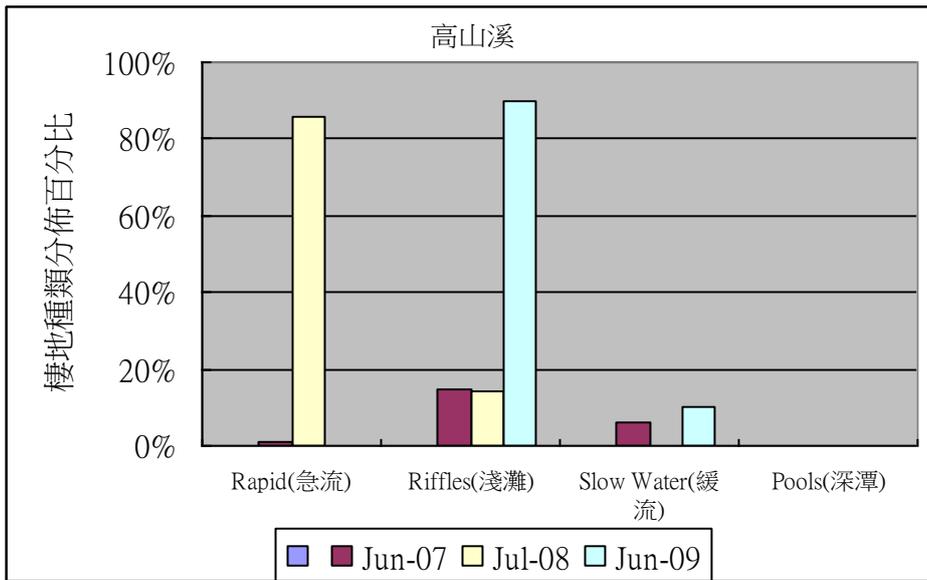


圖 2-33 高山溪棲地歷年 6 月份分佈類型百分比圖

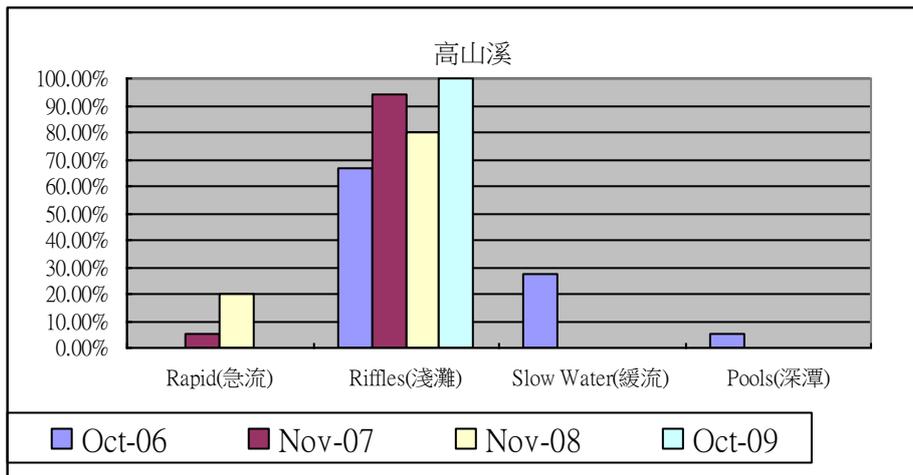


圖 2-34 高山溪棲地歷年 11 月份分佈類型百分比圖

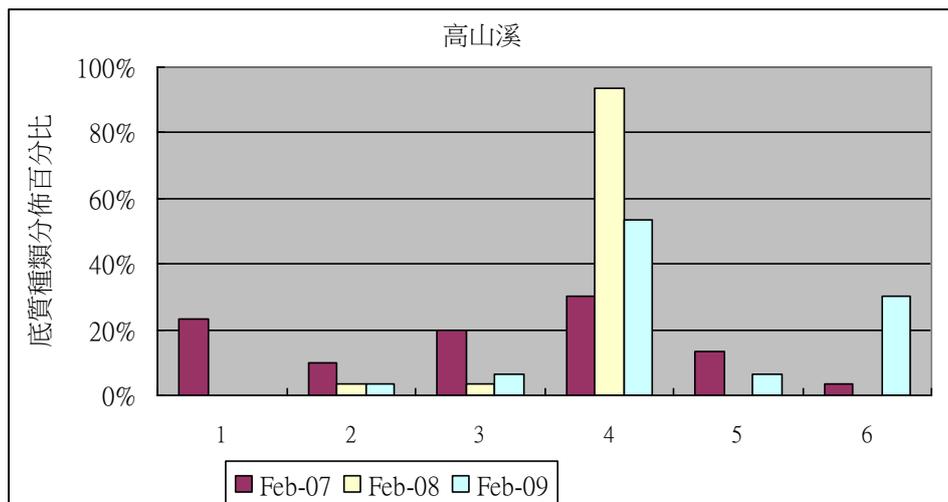


圖 2-35 高山溪歷年 2 月份底質分佈類型百分比圖

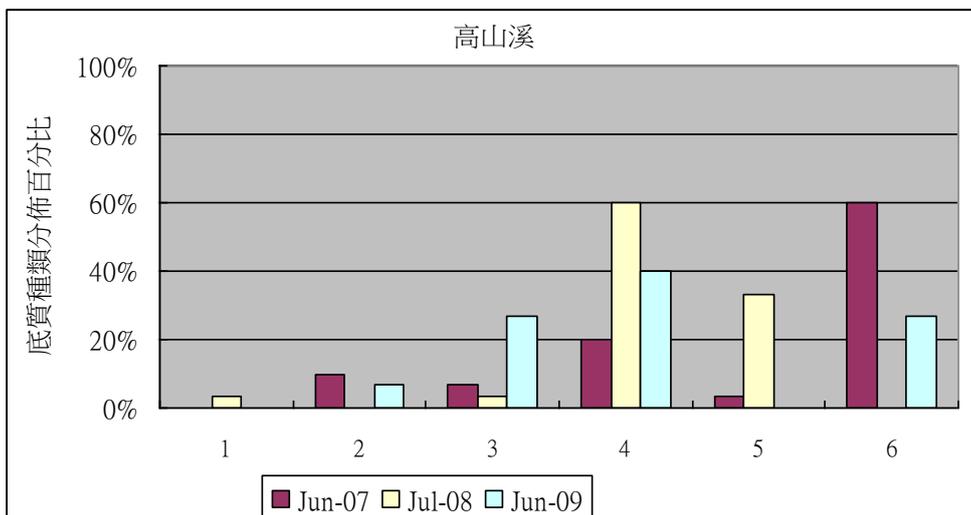


圖 2-36 高山溪歷年 6 月份底質分佈類型百分比圖

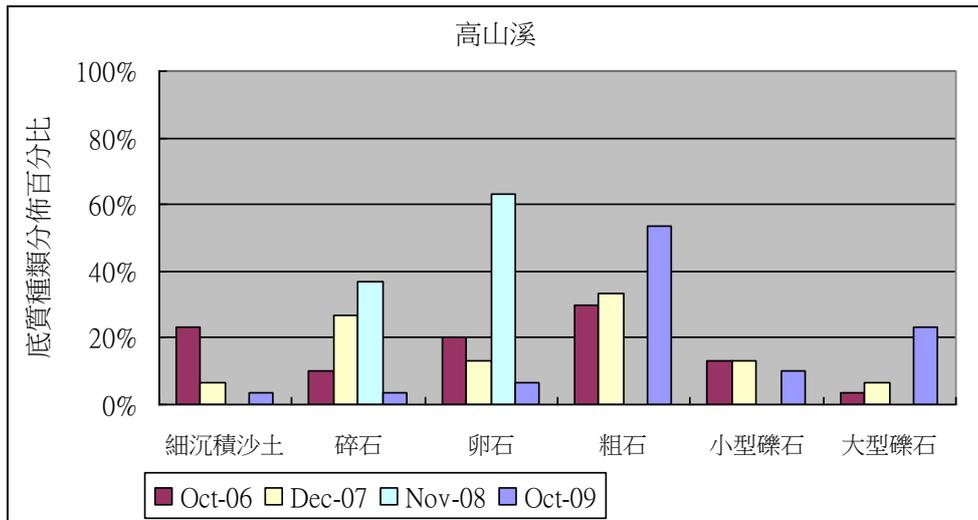
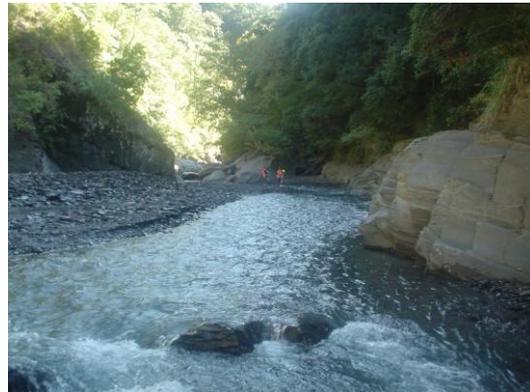


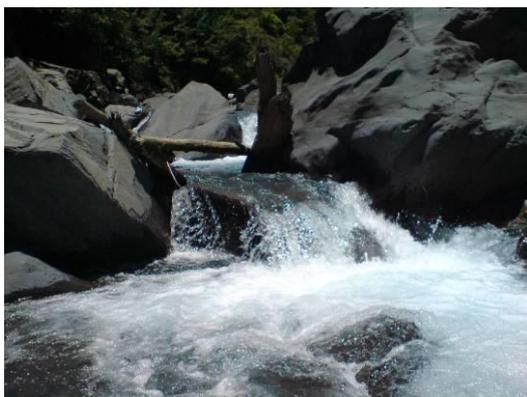
圖 2-37 高山溪歷年 11 月份底質分佈類型百分比圖



照片 2-1 南湖溪上游斷面 1-2 上游面
(2009/06)



照片 2-2 南湖溪上游斷面 1-2 上游面
(2009/10)



照片 2-3 南湖溪上游 1-5 斷面上游面
(2009/06)



照片 2-4 南湖溪上游 1-5 斷面上游面
(2009/10)



照片 2-5 南湖溪中游斷面 1-1 上游面
(2009/06)



照片 2-6 南湖溪中游斷面 1-1 上游面
(2009/10)



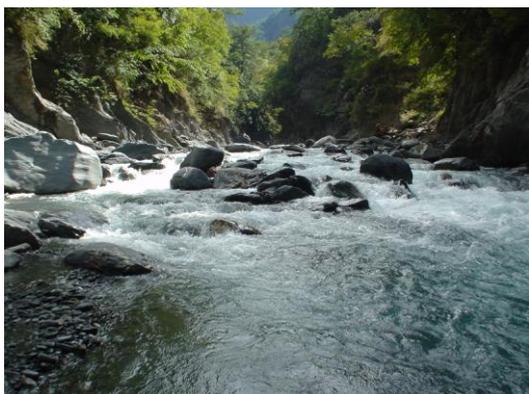
照片 2-7 南湖溪中游斷面 1-3 上游面
(2009/06)



照片 2-8 南湖溪中游斷面 1-3 上游面
(2009/10)



照片 2-9 南湖溪中游下游面匯流點(2009/10)



照片 2-10 南湖溪下游斷面 1-1 上游面
(2009/10)



照片 2-11 南湖溪下游斷面 1-1 下游面
(2009/10)



照片 2-12 南湖溪下游斷面 1-8 上游面
(2009/06)



照片 2-13 南湖溪下游斷面 1-8 上游面
(2009/10)



照片 2-14 南湖溪下游斷面 1-10 下游河道(2009/10)



照片 2-15 耳無溪斷面 1-1 下游面
(2009/06)



照片 2-16 耳無溪斷面 1-1 下游面
(2009/10)



照片 2-17 耳無溪斷面 1-3 上游面
(2009/06)



照片 2-18 耳無溪斷面 1-3 上游面
(2009/10)



照片 2-19 耳無溪斷面 1-5 上游面(2009/10)

第三章 水生昆蟲研究

郭美華、丘明智

國立中興大學昆蟲學系

摘 要

關鍵詞：水生昆蟲，快速生物評估法 II，群聚指數

一、研究緣起

櫻花鉤吻鮭以溪流中的水生昆蟲為主要的食物來源，因此水生昆蟲的種類及數量對櫻花鉤吻鮭的成長繁殖具有重要意義。此外由於水生昆蟲種類與數量繁多且不同種類可反映出環境差異與變化，十分適合作為水質變化與集水區經營管理績效之指標。本研究目的在於調查櫻花鉤吻鮭移地保育棲息地南湖溪之水生昆蟲種類數量變化並對環境進行監測，並希冀與水質水文、地理棲地等相關研究整合比較，以瞭解南湖溪中水生昆蟲種類及數目並與七家灣溪相比較，探討對櫻花鉤吻鮭之影響及生態意義。期望能將調查結果彙集成文，將來有助於集水區之經營管理並對於鮭魚溪流移地保育提供較好的建議。

二、研究方法及過程

進行櫻花鉤吻鮭之域外放流地南湖溪之生態監測，並建立水生昆蟲相生態資料庫，並利用群聚指數及快速生物評估法 II 指標監測南湖溪各測站水生昆蟲群聚、棲地變化及水質變化並加以評估，以作為集水區經營管理之參考指標。

三、重要發現

本年度(2009年)4測站，2、4、6、8及10月採樣調查水生昆蟲共計有5目24科43種(Taxa)，水生昆蟲豐度以2月份為最高且與2008年各測站豐度變化並不一致。2008年、2009年各測站之Shannon-Wiener's指數值為1.25~2.5之間，介於武陵地區參考站變化區間內。快速生物評估法II評估南湖溪棲地於2008年至2009年則在無損害與中度損害之間。MDS分析顯示南湖溪各測站和武陵地區優良參考站的群聚結構相近。

四、主要建議事項

根據研究發現，本研究針對水棲昆蟲研究，提出下列具體建議。以立即可行及長期性建議加以列舉。

(1)立即可行的建議

主辦機關：雪霸國家公園

協辦機關：武陵農場

南湖溪經過2008年及2009年的調查研究，其水棲昆蟲季節性變化已了解為分明的乾溼兩季，而南湖溪流流域水文事件易受到東部氣候影響，水文變化並不一定和武陵地區同步，因而水棲昆蟲的反應也可能不盡相同，相關資訊仍需多年長期監測，但可訂為每年乾溼兩季二次的調查即可。

(2)長期性建議：

主辦機關：雪霸國家公園

協辦機關：武陵農場

全球暖化下，水溫在溪流低流量時期將會明顯提升，而深潭棲地將是溪流生物的潛在避熱空間，甚致於乾旱事件發生時，也將會是溪流生物留存的關

鍵棲地，但深潭棲地可能因洪水所挾帶的砂石填埋而消失，在未來氣候變遷情境下，洪水及乾旱事件發生頻率將會增升，因此應了解深潭棲地分布情形，並納入管理以保護有消失風險的深潭棲地。

ABSTRACT

【Keywords】 aquatic insects, RBPII, community index.

This study reports the survey of aquatic insect and water quality monitoring at 4 sampling sites in the Nanhu River. During the research period in 2009, we had recorded 43 taxa of aquatic insects belong to 24 families in 5 orders.

In 2009, we found that abundance of aquatic insects presented peak in February and found the no correspondence on abundance dynamic among these sites in 2008. All these sites were Shannon-Wiener's index values between 1.25 and 2.5 in 2008 to 2009, which had fell in range of the index at reference sites of Wuling area. Habitat quality of these sites was assayed by RBPII, and evaluations were between non-impaired and moderately impaired in 2008 to 2009.

Using multidimensional scaling plots to analyze the composition similarity of abundances among sampling sites indicated that the community structures of these sites were more similar to reference sites with better habitat of Wuling area.

一、前言

(一)研究緣起

櫻花鉤吻鮭是位處亞熱帶的台灣所特有的冷水性魚類，因其生物地理與陸封特性，自發現以來即受到官方與學界的重視並享有「天然紀念物」與「國寶魚」的殊榮。由於受到氣候與環境改變，其生育地與族群規模卻日益減少，目前面臨滅絕的危機。所幸官方與學界很早就注意到國寶魚所處窘境，積極投入研究保育並已有豐富的成果彙整（農委會等，2000；汪，2000；雪霸公園，2000）。就以櫻花鉤吻鮭為主軸的水生昆蟲研究來說，最早為上野（1937）對 12 尾櫻花鉤吻鮭胃內容物所作調查，其中 96% 為昆蟲，水生昆蟲更佔 74%。由於水生昆蟲是櫻花鉤吻鮭最主要營養來源，是相當重要的棲地因子，因此在農委會與雪霸國家公園等單位支持下，陸續有對武陵地區水生昆蟲與相關生態的研究報告（黃，1987；楊等，1986；楊及謝，2000）。

(二)研究目的與內容

以櫻花鉤吻鮭為主軸的水生昆蟲研究來說，最早為上野（1937）對 12 尾櫻花鉤吻鮭胃內容物所作調查，其中 96% 為昆蟲，水生昆蟲更佔 74%。由於水生昆蟲是櫻花鉤吻鮭最主要營養來源。

綜合前人多年研究成果，武陵地區水棲昆蟲種類仍相當豐富，約有 6 目 40 至 60 物種 (Taxa or 形態種)，主要種類為四節蜉蝣科（約佔總隻數 25~30%）、扁蜉蝣科（約佔總隻數 10%）、沼石蛾科（約佔總隻數 10%）、流石蛾科（約佔總隻數 5%）、網石蛾科（約佔總隻數 3%）、長角石蛾科（約佔總隻數 3%）及搖蚊科（約佔總隻數 10~15%）。其中屬於水質優良的指標物種比率仍高，Hilsenhoff's 科級生物指數 (FBI) 約在 3.2~4.0，多屬於 7 等水質評價之前二等，即水質為特優 (Excellent) 到非常好 (Very good) 的評價。

(三)文獻回顧

雖然楊及謝(2000)報導 1985-1986 及 1995-1996 兩個年度，在 10 年間水生昆蟲數量下降約至原有之半。惟此結果是否足以代表棲地逐年劣化趨勢(Trend)或僅為個別年度差異而已，實有賴於長期的監測調查，如此可增加統計可信度外並對颱風或人為干擾事件影響有更佳的診斷。2003 年調查七家灣溪水生昆蟲有 6 目 27 科 35 屬 44 物種(Taxa)，2008 年調查有 6 目 32 科 52 物種(Taxa)。楊等(1986)以形態種(morphological species)鑑定有 6 目 31 科 61 物種，之後 Shieh 及 Yang(2000)以分類單元(Taxa)歸類整理 1995-1986 年及 1995-1996 年而其中數種形態種合併為複合種，共記錄 6 目 27 科 39 屬 40 物種。水生昆蟲群聚組成以蜉蝣目約佔 64.39%為最多，其次為雙翅目佔 23.26%。各月份所採獲水生昆蟲數量以 4 月、6 月及 9 月有較低之勢。由連續 6 年數據看出，生物量以每年的 1、2 月為高峰。羽化數量及種類於 1 月到 4 月都為上升變化，10 月達最低。各測站之多樣性指數於各年變化區間相似，以有勝溪測站為最低。快速生物評估法 II 評估武陵地區棲地維持在無損害與中度損害之間，且司界蘭溪水質棲地上游優於下游(郭，2008)。2008 年調查南湖溪水生昆蟲有 5 目 28 科 47 物種(Taxa)。各測站的豐度變化以 7 月份之採樣為最高。各測站之 Shannon-Wiener's 指數值為 1.5~2.5 之間，介於武陵地區參考站變化區間內。快速生物評估法 II 評估南湖溪棲地在無損害與中度損害之間。MDS 分析顯示南湖溪各測站和武陵地區優良參考站的群聚結構相近(郭，2008)。

二、 材料與方法

比照南湖溪放流點附近設置樣區，選定南湖溪上游、與支流耳無溪會流處前(南湖溪中游)、前二溪會流處後(南湖溪下游)及耳無溪共計 4 採樣區(圖 3-1)。

於各樣區於 2 月到 10 月，每季在 50 公尺範圍內以定面積之舒伯氏水網 (Surber sampler)(網框面積 12 x 12 inch，網框材質為銅合金制，網袋近框處以尼龍網製成，溪流底棲網以金屬網製成，網目大小為 52 mesh) 在河域中採樣一次，每一樣點重複取樣六次。將採獲之水生昆蟲以水盤承接並置入 70% 酒精中，攜回實驗室鑑定種類 (Taxa)，以及記錄數量。水生昆蟲分類主要參考津田 (1962)、川合 (1985)、黃(1987)、康 (1993)、松木 (1978)等研究報告。

統計分析各站各月各水生昆蟲種類、數量、群聚多樣性及均勻度等群聚參數。而群聚指數分析是以 Shannon-Wiener's index 公式運算(Ludwing and Reynolds, 1988; Krebs, 1999)。生物指標分析以快速生物評估法 II (Rapid Bioassessment Protocol II, RBP II) (Plafkin et al., 1989) (以武陵地區之高山溪為參考站)作為棲地評價標準，並與武陵地區之三測站(觀魚台、高山溪及有勝溪)相比較。根據櫻花鉤吻鮭的食性分析(郭，2008)，將整個水生昆蟲類群可能的中大型食餌的數量以時間動態呈現其變化。將從 2005 年至今之各測點結合武陵地區之三參考站觀魚台、高山溪及有勝溪)之各分類群的數量以 Log (X+1)轉換以計算 Bray-Curtis 相異係數後，以多元尺度分析(Multidimensional scaling plot, MDS)繪製成圖，並以二度空間顯示各年度各測點彼此間之關係。得到圖形之壓縮值 (Stress)，可信建議值為小於 0.2，但如果大於 0.3 時，圖形各點的距離扭曲程度嚴重，不可採用，以此來推測及判定各測站之關係 (Clark and Warwick, 2001)。

三、 結果

南湖溪於本年度(2009 年) 4 測站，2、4、6、8 及 10 月共計調查水生昆蟲有 5 目 24 科 43 物種(Taxa)(表 3-1)，由於 8 月及 10 月有洪流發生，無法深入上游測站進行採集，因此僅調查南湖溪下游測站，可能是較 2008 年之 5 目 28 科 47 物種(Taxa)低的原因之一。武陵地區測站的水生昆蟲數量變化以年初為高峰，其後為遞降之波動趨勢，然而南湖溪各測站於 2008 年以 7 月為高峰，其中南湖溪下游於 2008 年 2 及 4 月為南湖溪各測站最低者，但同年 7 月則為南湖溪各測站之最高者(圖 3-2)。2009 年 2 月以南湖溪上游及下游為最高，並且大於武陵地區各測站，不過 2009 年 4 月大幅度下降，並低於武陵地區各測站，2009 年 8 月洪流過後，南湖溪和武陵地區測站同時呈現大幅度下降，然而南湖溪於 2009 年 10 月仍有洪流發生，並水生昆蟲數量並沒有回復明顯與武陵地區測站水生昆蟲數量回復情形不同。南湖溪於 2009 年大部分各測站之 Shannon-Wiener's index 數值範圍 1.25~2.5 之間，落在武陵地區測站數值範圍中之上下限間，且與 2008 年相似，但各測站依然至今沒有呈現一致的相對高低，其中南湖溪上游於 2008 年 2 月及 2009 年 4 月多樣性指數高於武陵地區之各參考站(圖 3-3)，再者 2008 至 2009 年 RBPII 棲地評等則為無損害與中度損害之間。根據 2008 年及 2009 年的研究發現，南湖溪測站的多樣性及棲地評比於大部分時期雖較武陵地區有勝溪測站(較差參考站)為優，但卻沒有達到觀魚台測站(中等優質參考站)的水平。

將南湖溪各測站之資料，結合武陵地區各參考站之資料(2005~2009)，經 MDS 分析結果顯示於圖 3-5，而其 Stress 值為 0.16，小於 0.2，群聚組成變異之圖形表現具代表性。進一步推測及判定各測站之關係，顯示有勝溪測站為一類群，而南湖溪各測站和武陵地區其他測站為另一類群。2008 年初南湖溪上中游的昆蟲組成與 2007 年初的武陵地區觀魚台及高山溪測站之

昆蟲組成較相似，而南湖流域 2009 年初與 2005 年、2008 年及 2009 年的觀魚台及高山溪測站較相似，然而 2009 年有勝溪測站已開始和較優質參質站有交集的現象。由颱風過後之資料可看出，於洪流過後，MDS 圖上的樣本點顯示較為分散，表示於洪流過後之各站間變異較大。

圖 3-6 為根據櫻花鉤吻鮭的食性分析(郭, 2008)，將武陵地區 3 測站之櫻花鉤吻鮭的胃內含物之昆蟲中大體型食餌的數量以時間動態呈現其變化。圖中顯示南湖溪於 2008 年年初時中大體型昆蟲食餌數量較武陵地區為低，但 2008 年 7 月時超過武陵地區，不過 2008 年 10 月的颱風過後，又下降較武陵地區為低，並且到了 2009 年 2 月仍為低迷。再由 2009 年 2 月水棲昆蟲類群之數量高峰高於武陵地區(圖 3-2)，顯示 2009 年 2 月時水棲昆蟲類群應多為小體型物種居多，雖然南湖溪和武陵地區測站而於 2009 年 8 月洪流過後，同時呈現大幅度下降，然而南湖溪因 2009 年 10 月仍有洪流發生，中大體型食餌數量並沒有回復。

四、 討論

以 2008 年 7 月由過去資料得知，武陵地區溪流的水生昆蟲數量於每年初期為高峰，然而南湖溪為全年高峰，異於武陵地區溪流，可能和南湖溪於 2008 年 7 月時藻類大發生有關。藻類為溪流之生產者，當生產者大發生且透過能量流，能整體提升南湖溪食物網之成員數量。有可能僅是 2008 年才表現出來的年度變異而不是真的不同於武陵地區溪流，如同 2009 年 2 月的水生昆蟲數量是 2009 年的高峰，與武陵地區溪流的高峰季節相雷同，不過由於這二年無一致的年內變化，仍無法清楚明白看出南湖溪的水生昆蟲數量之確實變化趨勢。

南湖溪 2008 年之水生昆蟲相調查為 47 物種，較七家灣溪之 52 物種少，但較司界蘭溪之 33 物種多；南湖溪於 2009 年則調查為 43 物種，相較同年同時期之七家灣溪之 59 物種少，但較司界蘭溪之 31 物種多。

Shannon-Wiener's index 數值顯示於 2008 年及 2009 年初期皆落在武陵地區各參考站之數值範圍內，且南湖溪流域於 2008 年及 2009 年初期皆有記錄顯示群聚指數及之 RBPII 評等水準可與武陵地區觀魚台及高山溪（優質參考站）相提並論，然而 Shannon-Wiener's index 數值 RBPII 評等於 2008 年及 2009 年大部分時期仍無法達到武陵地區觀魚台測站的水平。2005~2009 年間，以 2005 年颱風頻度及強度為最嚴重的年度，2006 年之後颱風頻度及強度減小。颱風衝擊下，武陵地區溪流於 2004 年下半年到 2006 年，一些體型較大的物種，已逐漸減少；而被替換成體型較小的物種，2007 年初毛翅目之長鬚石蛾等較大體形物種有增多的現象(郭，2007)，但 2007 年後半年的二次強颱，造成 2008 年體型較小的物種比例再度上升、生物量下降 (郭，2008)。

由 MDS 分析顯示南湖溪上中游的 2008 年 2 及 4 月之昆蟲群聚結構接近 2007 年年初的武陵地區觀魚台及高山溪之群聚結構，且南湖溪於 2008 年及

2009 年颱風過後也和武陵地區一樣，2008 年 10 月及 2009 年 8 月之後時期之群聚結構偏移，並且 2009 年年初的結構相似強颱風過後之 2005 年、2008 年及同年(2009 年)之武陵地區觀魚台及高山溪群聚結構。

五、 結論

總括來說，武陵地區溪流水生昆蟲數量及生物量之趨勢都為各年年初為高峰，年中受流量暴增而下降並持續低迷到年終，南湖溪於 2009 年 2 月水生昆蟲數量高於武陵地區水準，為 2009 年整年之高峰，與武陵地區溪流相似。不過 2008 年南湖溪各測站以 7 月為高峰則明顯與武陵地區溪流不同，可能因其營養鹽濃度較高，使得藻類大發生而帶動水生昆蟲的增長，或是否為年度變異，需要長期監測始可透析。

南湖溪各測站於 2008 年至 2009 年的多樣性指數及 RPBII 評等結果並沒有呈現一致性的相對優劣，不過與武陵地區較優良的參考站相比較，南湖溪仍然有同水平表現的記錄，但大部分時期的確沒有達中等優良參考站之水平。

耳無溪雖然 2009 年 2 月整體水生昆蟲數量及中大型食餌少於南湖溪其他測站，但它的中大型食餌於 2009 年 4 月減少的幅度小於其他各測站，可能此支流棲地環境及流量較少，下雨對水生昆蟲數量所造成衝擊較少所致。由於 2009 年 10 月，南湖溪各測站仍有洪水發生，因而沒有如同武陵地區溪流測站的水生昆蟲數量回復現象。

MDS 分析中顯示南湖溪上中游的昆蟲組成，接近 2007 年年初武陵地區溪流各測站具較大體形物種之群聚結構(有勝溪測站為另一類群除外)，表示南湖溪測站的群聚結構和武陵地區溪流各測站有相似之處；不過武陵地區溪流於強颱過後，小體型物種成為優勢之現象也同樣在南湖溪流域可看到。

六、研究成果

6.1 研究成果

1. 南湖溪之水生昆蟲數量於 2009 年以 2 月為高峰，整年共計調查有 43 物種，略少於 2008 年同時期之 47 物種。
2. 南湖溪各測站於 2008 年至 2009 年初期之多樣性指數及 RPBI 評等並沒有呈現一致性的優劣，大部分時期仍無法達到武陵地區中等優質參考站的水平。
3. 南湖溪各測站和武陵地區溪流優良參考站的群聚結構相似度，高於有勝溪測站(較差參考棲地)。
4. 南湖溪上中游之昆蟲組成顯示出具較大體形物種之群聚結構，且 2008 年 7 月時中大體型昆蟲數量遠超過武陵地區，但 2009 年 2 月則是低於武陵地區溪流。

6.2 建議

根據本研究於南湖溪之水棲昆蟲採樣分析結果，可做成立即可行及長期建議事項，分述如下：

(1) 立即可行建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：武陵農場

南湖溪經過 2008 年及 2009 年的調查研究，其水棲昆蟲季節性變化已了解為分明的乾溼兩季，而南湖溪流域水文事件易受到東部氣候影響，水文變化並不一定和武陵地區同步，因而水棲昆蟲的反應也可能不盡相同，相關資

訊仍需多年長期監測，但可訂為每年乾溼兩季二次的調查即可。

(2)長期建議

主辦機關：雪霸國家公園

協辦機關：武陵農場

全球暖化下，水溫在溪流低流量時期將會明顯提升，而深潭棲地將是溪流生物的潛在避熱空間，甚致於乾旱事件發生時，也將會是溪流生物留存的關鍵棲地，但深潭棲地可能因洪水所挾帶的砂石填埋而消失，在未來氣候變遷情境下，洪水及乾旱事件發生頻率將會增升，因此應了解深潭棲地分布情形，並納入管理以保護有消失風險的深潭棲地。

附表 3-1 南湖溪上游於 2009 年之水生昆蟲資源組成及個體數
(individuals / square meter)

Order	Family	Taxa	Feb	Apr	Jun	Total	
Coleoptera	Elmidae	<i>Zaitzevia</i> sp.A	28.7	1.8	3.6	34.0	
	Scirtidae	<i>Cyphon</i> sp.	84.2	0.0	0.0	84.2	
Diptera	Blepharoceridae	<i>Bibiocephala</i> sp.	0.0	0.0	3.6	3.6	
	Ceratopogonidae	<i>Bezzia</i> sp.	16.1	0.0	0.0	16.1	
	Chironomidae	Chironomidae sp.B		2092.6	16.1	7.2	2115.9
		Chironomidae sp.C		1.8	1.8	0.0	3.6
		Chironomidae spp.		143.3	5.4	19.7	168.4
		Tanypodinae spp.		1.8	1.8	0.0	3.6
	Simuliidae	<i>Simullium</i> sp.	1986.9	3.6	138.0	2128.5	
	Tipulidae	<i>Dicranota</i> sp.		1.8	0.0	0.0	1.8
		<i>Eriocera</i> sp.A		342.2	14.3	0.0	356.5
		<i>Eriocera</i> sp.B		53.7	12.5	3.6	69.9
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetiella bispinosa</i>	1.8	0.0	5.4	7.2	
		<i>Baetis</i> spp.	9.0	1.8	19.7	30.5	
		<i>Pseudocloeon latum</i>	48.4	1.8	52.0	102.1	
	Heptageniidae	<i>Afronurus nanhuensis</i>	7.2	0.0	0.0	7.2	
		<i>Epoerus erratus</i>	0.0	0.0	1.8	1.8	
		<i>Rhithrogena ampla</i>	118.2	14.3	77.0	209.6	
	Leptophlebiidae	<i>Paraleptophlebia</i> sp.	3.6	0.0	0.0	3.6	
	Siphonuridae	<i>Ameletus camtschaticus</i>	10.7	0.0	0.0	10.7	
	Plecoptera	Leuctridae	<i>Rhopalopsole</i> sp.	12.5	0.0	0.0	12.5
		Nemouridae	<i>Amphinemura</i> sp.	1.8	0.0	0.0	1.8
<i>Protonemura</i> spp.			3.6	0.0	0.0	3.6	
Perlidae		<i>Neoperla</i> spp.	59.1	12.5	7.2	78.8	
Styloperlidae	<i>Cerconychia</i> sp.	3.6	1.8	0.0	5.4		
Trichoptera	Apataniidae	<i>Manophylas</i> sp.	1.8	0.0	0.0	1.8	
	Glossosomatidae	<i>Glossosoma</i> sp.	1.8	5.4	0.0	7.2	
	Hydropsychidae	<i>Hydropsyche</i> spp.	0.0	0.0	32.2	32.2	
	Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila nigrocephala</i>	32.2	1.8	12.5	46.6	

附表 3-2 南湖溪中游於 2009 年之水生昆蟲資源組成及個體數
(individuals / square meter)

Order	Family	Taxa	Feb	Apr	Jun	Total	
Coleoptera	Elmidae	<i>Zaitzevia</i> sp.A	35.8	10.7	9.0	55.5	
	Scirtidae	<i>Cyphon</i> sp.	7.2	10.7	0.0	17.9	
Diptera	Blepharoceridae	<i>Bibliocephala</i> sp.	0.0	10.7	0.0	10.7	
	Ceratopogonidae	<i>Bezzia</i> sp.	9.0	0.0	0.0	9.0	
	Chironomidae	Chironomidae sp.B		1325.8	57.3	7.2	1390.3
		Chironomidae sp.C		0.0	1.8	1.8	3.6
		Chironomidae spp.		62.7	35.8	145.1	243.7
		Tanypodinae spp.		10.7	1.8	3.6	16.1
	Simuliidae	<i>Simullium</i> sp.	1073.2	215.0	188.1	1476.3	
	Tipulidae	<i>Antocha</i> sp.		1.8	0.0	3.6	5.4
		<i>Eriocera</i> sp.A		308.2	35.8	1.8	345.8
		<i>Eriocera</i> sp.B		39.4	12.5	16.1	68.1
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetiella bispinosa</i>	3.6	0.0	12.5	16.1	
		<i>Baetis</i> spp.	10.7	7.2	114.7	132.6	
		<i>Pseudocloeon latum</i>	28.7	1.8	198.9	229.3	
	Caenidae	<i>Caenis</i> sp.	1.8	0.0	0.0	1.8	
	Heptageniidae	<i>Afronurus nanhuensis</i>	5.4	0.0	0.0	5.4	
		<i>Rhithrogena ampla</i>	75.2	23.3	89.6	188.1	
	Leptophlebiidae	<i>Paraleptophlebia</i> sp.	1.8	0.0	0.0	1.8	
	Siphonuridae	<i>Ameletus camtschaticus</i>	5.4	1.8	0.0	7.2	
Plecoptera	Leuctridae	<i>Rhopalopsole</i> sp.	3.6	0.0	0.0	3.6	
	Nemouridae	<i>Amphinemura</i> sp.	7.2	0.0	7.2	14.3	
		<i>Protonemura</i> spp.	10.7	0.0	0.0	10.7	
Perlidae	<i>Neoperla</i> spp.	43.0	21.5	5.4	69.9		
Trichoptera	Glossosomatidae	<i>Glossosoma</i> sp.	12.5	1.8	7.2	21.5	
	Hydropsychidae	<i>Hydropsyche</i> spp.	3.6	39.4	69.9	112.9	
	Rhyacophilidae	<i>Himalopsyche</i> sp.	1.8	0.0	1.8	3.6	
<i>Rhyacophila nigrocephala</i>			28.7	7.2	12.5	48.4	

附表 3-3 南湖溪下游於 2009 年之水生昆蟲資源組成及個體數
(individuals / square meter)

Order	Family	Taxa	Feb	Apr	Jun	Aug	Oct	Total	
Coleoptera	Elmidae	<i>Zaitzevia</i> sp.A	7.2	25.1	7.2	0.0	0.0	39.4	
	Scirtidae	<i>Cyphon</i> sp.	25.1	7.2	0.0	0.0	1.8	34.0	
Diptera	Ceratopogonidae	<i>Bezzia</i> sp.	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	
		Chironomidae	Chironomidae sp.B	2053.2	55.5	14.3	0.0	0.0	2123.1
		Chironomidae sp.C	1.8	0.0	3.6	0.0	1.8	7.2	
		Chironomidae sp.D	0.0	1.8	0.0	3.6	0.0	5.4	
		Chironomidae sp.E	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	9.0	
		Chironomidae spp.	170.2	30.5	34.0	1.8	0.0	236.5	
		Tanypodinae spp.	12.5	1.8	34.0	0.0	0.0	48.4	
		Simuliidae	<i>Simullium</i> sp.	4568.7	14.3	10.7	0.0	0.0	4593.7
		Tipulidae	<i>Antocha</i> sp.	3.6	0.0	1.8	0.0	0.0	5.4
			<i>Dicranota</i> sp.	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8
			<i>Eriocera</i> sp.A	73.5	7.2	0.0	0.0	0.0	80.6
			<i>Eriocera</i> sp.B	34.0	7.2	28.7	1.8	0.0	71.7
			<i>Erioptera</i> sp.	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	1.8
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetiella bispinosa</i>	21.5	0.0	0.0	0.0	3.6	25.1	
		<i>Baetis</i> spp.	7.2	10.7	66.3	3.6	0.0	87.8	
		<i>Pseudocloeon latum</i>	84.2	0.0	16.1	5.4	1.8	107.5	
	Heptageniidae	<i>Afronurus nanhuensis</i>	0.0	0.0	7.2	0.0	0.0	7.2	
		<i>Nixe</i> sp.	0.0	0.0	10.7	0.0	0.0	10.7	
		<i>Rhithrogena ampla</i>	138.0	25.1	44.8	23.3	5.4	236.5	
Plecoptera	Leuctridae	<i>Rhopalopsale</i> sp.	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	
	Nemouridae	<i>Amphinemura</i> sp.	1.8	0.0	0.0	1.8	0.0	3.6	
	Perlidae	<i>Neoperla</i> spp.	25.1	23.3	12.5	3.6	0.0	64.5	
	Styloperlidae	<i>Cerconychia</i> sp.	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	
Trichoptera	Glossosomatidae	<i>Glossosoma</i> sp.	5.4	16.1	0.0	0.0	0.0	21.5	
	Hydrobiosidae	<i>Apsilochorema</i> sp.	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	1.8	
	Hydropsychidae	<i>Arctopsyche</i> sp.	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	
		<i>Hydropsyche</i> spp.	3.6	12.5	39.4	1.8	0.0	57.3	
	Rhyacophilidae	<i>Himalopsyche</i> sp.	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	
		<i>Rhyacophila nigrocephala</i>	23.3	7.2	28.7	0.0	0.0	59.1	
	<i>Rhyacophila</i> spp.	1.8	0.0	1.8	3.6	1.8	9.0		

附表 3-4 耳無溪於 2009 年之水生昆蟲資源組成及個體數 (individuals / square meter)

Order	Family	Taxa	Feb	Apr	Jun	Total	
Coleoptera	Elmidae	<i>Zaitzevia</i> sp.A	5.4	44.8	7.2	57.3	
	Scirtidae	<i>Cyphon</i> sp.	1.8	1.8	0.0	3.6	
Diptera	Athericidae	<i>Asuragina</i> sp.	0.0	1.8	0.0	1.8	
	Blepharoceridae	<i>Agathon</i> sp.	0.0	1.8	0.0	1.8	
		<i>Bibiocephala</i> sp.	0.0	0.0	1.8	1.8	
	Ceratopogonidae	<i>Bezzia</i> sp.	10.7	0.0	0.0	10.7	
	Chironomidae	Chironomidae sp.B		458.7	62.7	322.5	843.9
		Chironomidae sp.C		37.6	10.7	5.4	53.7
		Chironomidae sp.D		0.0	1.8	0.0	1.8
		Chironomidae sp.E		0.0	0.0	1.8	1.8
		Chironomidae spp.		69.9	84.2	168.4	322.5
		Tanypodinae spp.		52.0	26.9	35.8	114.7
	Simuliidae	<i>Simullium</i> sp.	10.7	89.6	25.1	125.4	
	Tipulidae	<i>Antocha</i> sp.		0.0	0.0	21.5	21.5
		<i>Dicranota</i> sp.		1.8	0.0	0.0	1.8
		<i>Eriocera</i> sp.A		34.0	10.7	1.8	46.6
<i>Eriocera</i> sp.B			23.3	19.7	19.7	62.7	
<i>Baetiella bispinosa</i>			0.0	3.6	19.7	23.3	
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetis</i> spp.	46.6	159.5	60.9	267.0	
		<i>Pseudocloeon latum</i>	19.7	16.1	102.1	138.0	
		<i>Caenis</i> sp.	1.8	0.0	0.0	1.8	
	Caenidae	<i>Caenis</i> sp.	1.8	0.0	0.0	1.8	
	Heptageniidae	<i>Afronurus nanhuensis</i>	57.3	5.4	3.6	66.3	
		<i>Rhithrogena ampla</i>	41.2	43.0	59.1	143.3	
	Leptophlebiidae	<i>Paraleptophlebia</i> sp.	7.2	0.0	0.0	7.2	
	Siphonuridae	<i>Ameletus camtschaticus</i>	30.5	3.6	0.0	34.0	
	Plecoptera	Nemouridae	<i>Amphinemura</i> sp.	0.0	10.7	3.6	14.3
			<i>Protonemura</i> spp.	3.6	3.6	1.8	9.0
Perlidae		<i>Neoperla</i> spp.	0.0	26.9	30.5	57.3	
Styloperlidae		<i>Cerconychia</i> sp.	1.8	0.0	0.0	1.8	
Trichoptera	Apataniidae	<i>Manophylas</i> sp.	1.8	0.0	0.0	1.8	
	Glossosomatidae	<i>Glossosoma</i> sp.	0.0	7.2	5.4	12.5	
	Hydrobiosidae	<i>Apsilochorema</i> sp.	0.0	3.6	1.8	5.4	
	Hydropsychidae	<i>Arctopsyche</i> sp.	0.0	0.0	1.8	1.8	
<i>Hydropsyche</i> spp.		3.6	10.7	37.6	52.0		

附表 3-4 耳無溪於 2009 年之水生昆蟲資源組成及個體數(individuals / square meter)(續)

Order	Family	Taxa	Feb	Apr	Jun	Total
	Lepidostomatidae	<i>Goerodes</i> sp.	1.8	1.8	0.0	3.6
	Polycentropodidae	<i>Plectrocnemia</i> sp.	1.8	1.8	0.0	3.6
	Rhyacophilidae	<i>Himalopsyche</i> sp.	0.0	1.8	0.0	1.8
		<i>Rhyacophila nigrocephala</i>	5.4	5.4	23.3	34.0
		<i>Rhyacophila</i> spp.	1.8	7.2	3.6	12.5

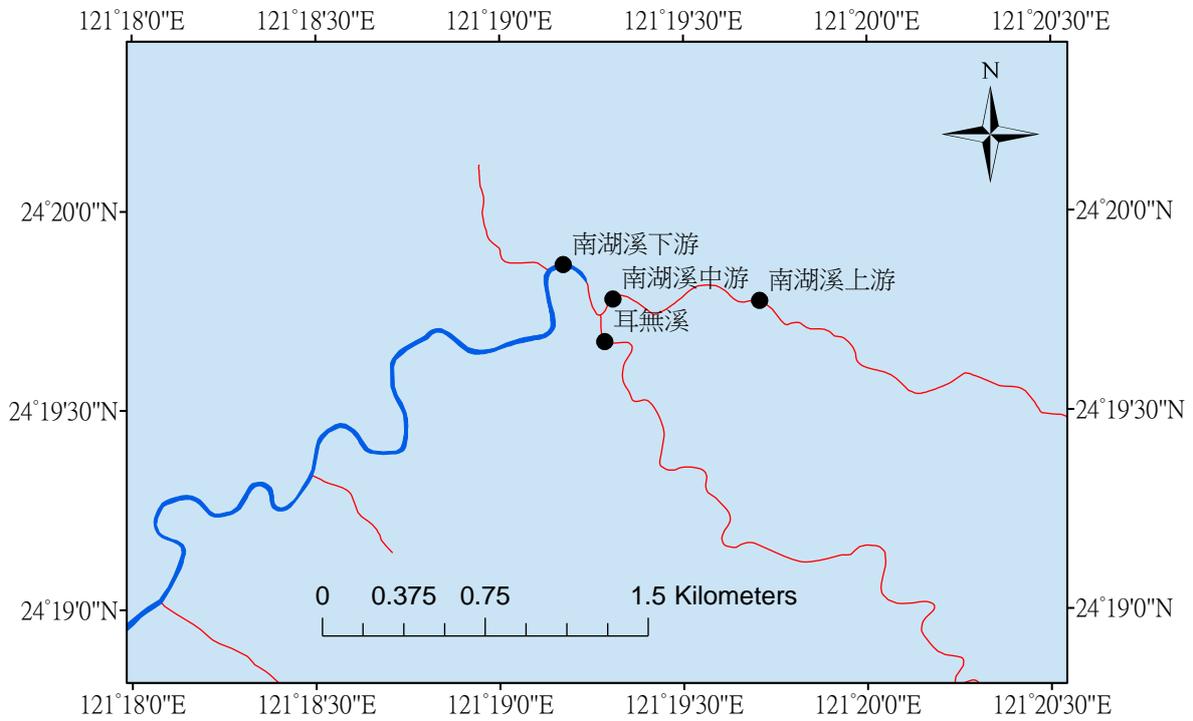


圖 3-1 南湖溪之水棲昆蟲監測調查測站之相關位置圖

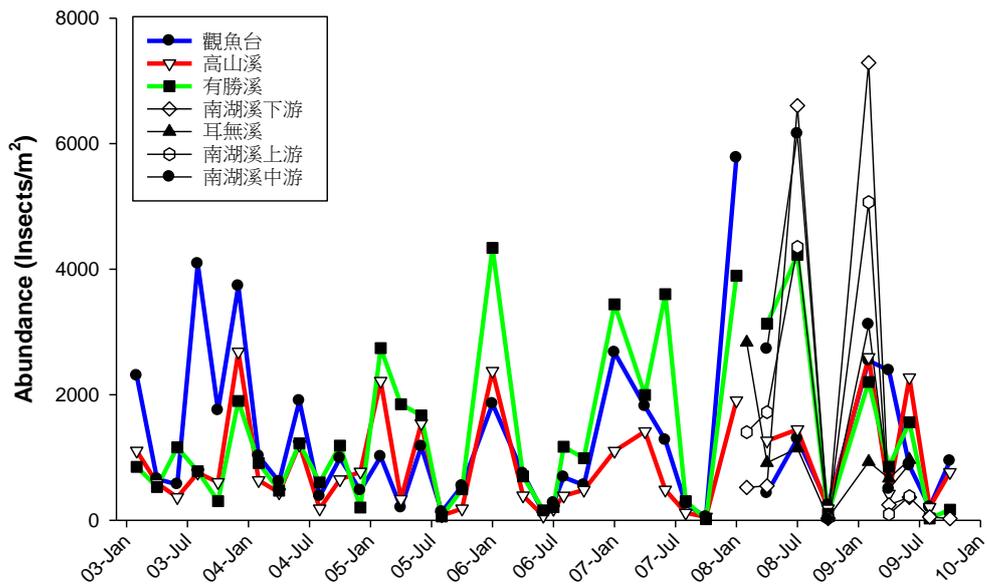


圖 3-2 南湖溪測站與武陵地區溪流 3 測站水生昆蟲數量變化圖

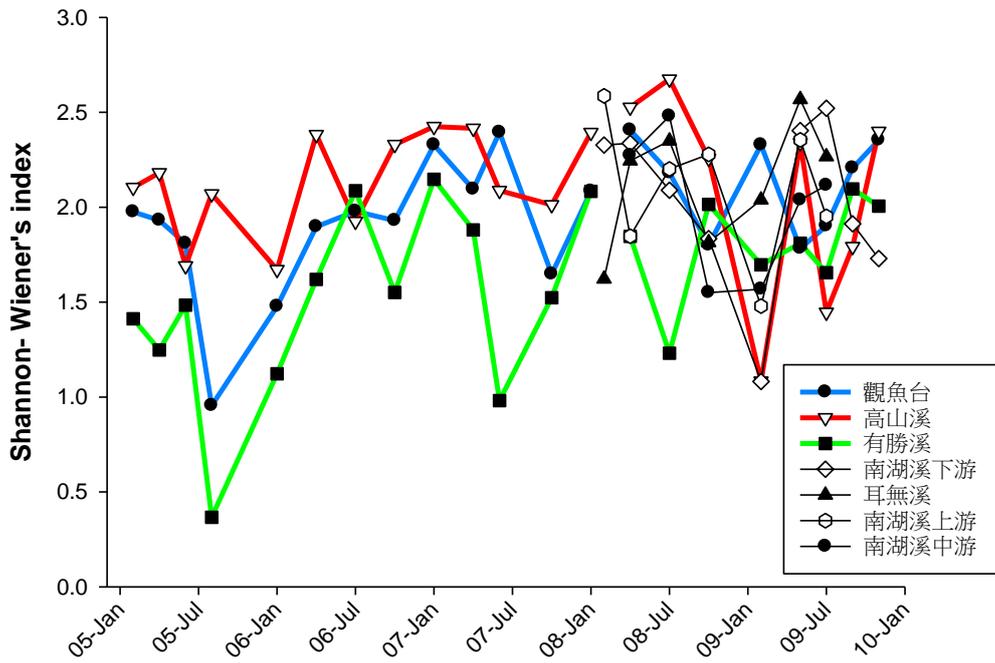


圖 3-3 南湖溪測站與武陵地區溪流 3 測站水生昆蟲之 Shannon- Wiener's index

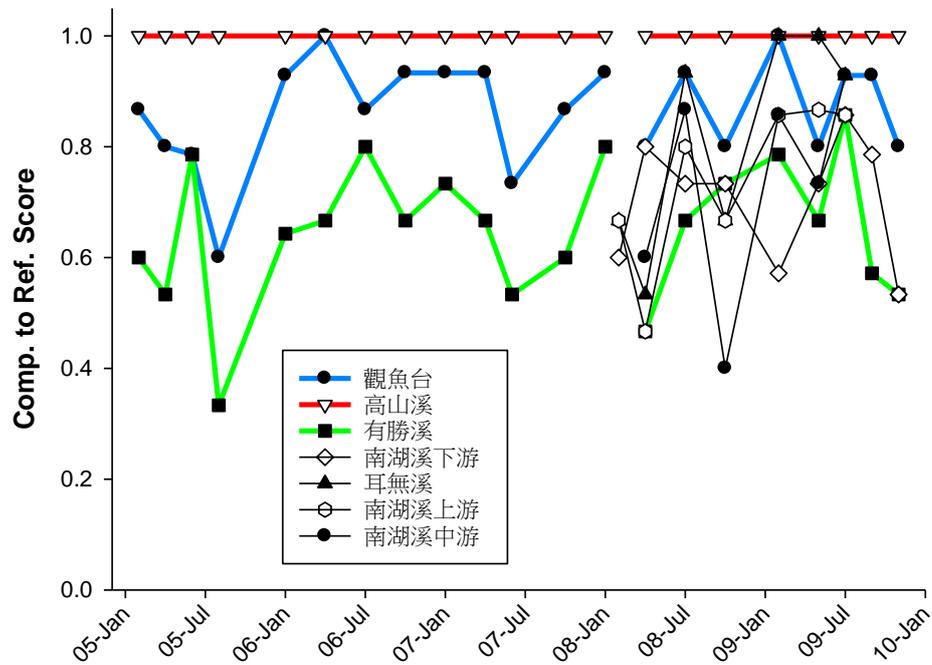


圖 3-4 南湖溪測站與武陵地區溪流 3 測站水生昆蟲之 RBPII 相對分數

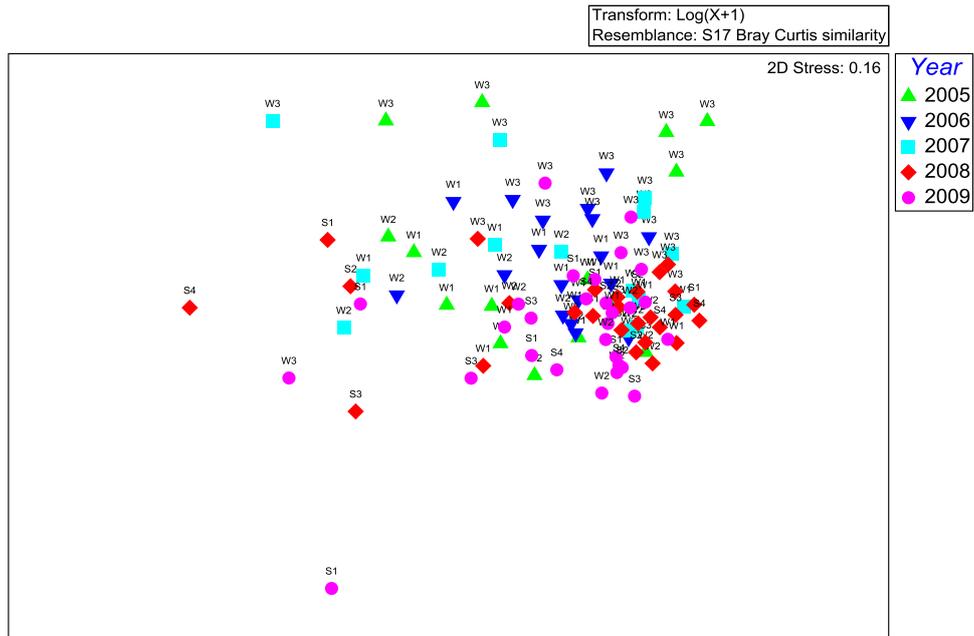


圖 3-5、南湖溪測站與武陵地區溪流 3 測站水生昆蟲之 MDS 分析。
 (圖標數字前二碼表示樣站編號，W1 為觀魚台、W2 為高山溪、W3 為有勝溪、
 S1 為南湖溪下游、S2 為耳無溪、S3 為南湖溪上游及 S4 為南湖溪中游)

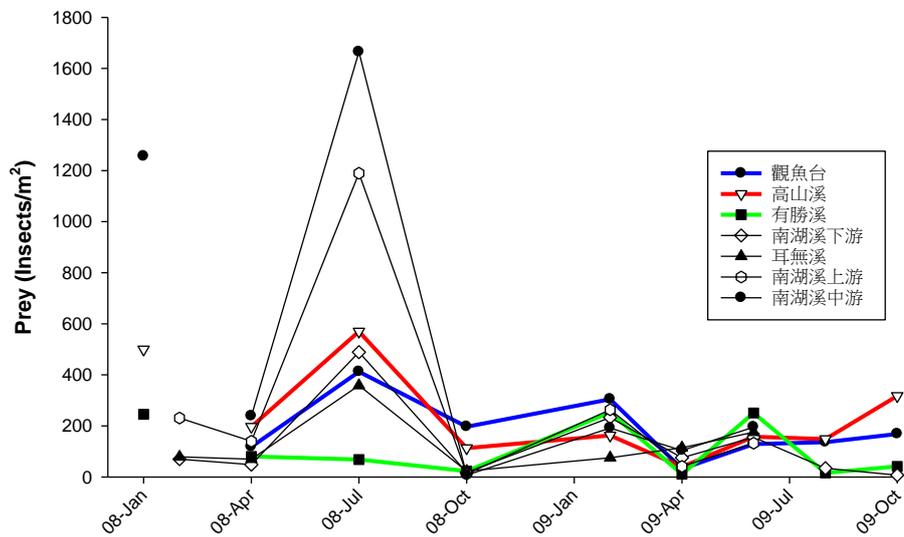


圖 3-6 南湖溪測站與武陵地區溪流 3 測站之櫻花鉤吻鮭
 中大體型昆蟲食餌之數量變化圖

第四章 參考文獻

- 川合禎次，1985。日本產水生昆蟲檢索圖說。東海大學出版會，東京，409頁。
- 上野益三，1937。台灣大甲溪之鱒之食性與寄生蟲（日文）。台灣博物學會會報 27(166): 153-159。
- 王敏昭，2003。「七家灣溪沿岸土地各利用型態對溪流生態影響之研究」。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 汪靜明，1992。河川生態保育。國立自然科學博物，臺中市，189頁。
- 汪靜明，1999。河川生物多樣性的內涵與生態保育。生物多樣性前瞻研討會論文集，行政院農業委員會，臺北市。
- 林幸助，2008。「武陵地區長期生態監測暨生態模式建立-微棲地生物量差異研究」，雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 松木和雄，1978。臺灣產春蜓科稚蟲分類之研究。台灣省立博物館科學年刊，21: 133-180。
- 林曜松編，1998。生物多樣性前瞻研討會論文集。行政院農業委員會，臺北市，140頁。
- 周建成，1962。「台灣河川水質指數之建立」。成功大學環境工程學研究所碩士論文，1990。
- 津田松苗(編)，水生昆蟲學，269頁。
- 徐歷鵬，1997。臺灣地區毛翅目昆蟲之分類研究。私立東海大學生物系博士論文，3706頁。
- 康世昌，1993。臺灣的蜉蝣目（四節蜉蝣科除外）。國立中興大學昆蟲學研究所博士論文，246頁。
- 郭美華，2003。武陵地區水生昆蟲研究（二）雪霸公園管理處，45頁。
- 郭美華、丘明智、謝易霖 2004 以水棲昆蟲監測雪霸國家公園武陵地區溪流水質。台灣昆蟲 24(4): 339-352。

- 郭美華 2005 武陵地區長期生態監測暨生態模式建立：水棲昆蟲長期生態監測。
內政部營建署雪霸國家公園管理處保育研究報告。
- 郭美華 2006 武陵地區長期生態監測暨生態模式建立，第六章 水棲昆蟲研究。
內政部營建署雪霸國家公園管理處保育研究報告。
- 郭美華，2007。武陵地區長期生態監測暨生態模式之建立-水棲昆蟲之研究，內
政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 郭美華 2008 武陵地區長期生態監測暨生態模式建立，第七章 水棲昆蟲研究。
內政部營建署雪霸國家公園管理處保育研究報告。
- 雪霸國家公園編印，2000。雪霸國家公園自然資源研究方向芻議-歷年保育研究
計畫總檢討，73頁。
- 黃建志，2002。「流域集水區非點源污染模式之研究」。成功大學環境工程學研究
所碩士論文。
- 黃國靖，1987。七家灣溪水棲昆蟲相及其生態研究。國立台灣大學植物病蟲害研
究所碩士論文，147頁。
- 農委會、特生中心、營建署及雪霸公園管理處編印，2000，櫻花鉤吻鮭研究保育
研討會論文集，295頁。
- 楊平世、謝森和，2000。以水棲昆蟲之群聚結構及功能組成監測七家灣溪環境品
質。農委會、特生中心、營建署及雪霸公園管理處編印，櫻花鉤吻鮭研究保育
研討會論文集，151-177頁。
- 楊平世、林曜松、黃國靖、梁世雄、謝森和及曾晴賢，1986。武陵農場河域之水
棲昆蟲相與生態調查。農委會75年生態研究第1號，48頁。
- 歐陽嶠暉、廖述良、林寬振、梁耀宗，1995。「河川污染評估方法之發展」。行政
院環保保護署研究報告（EPA-84-AE3E1-09-02），行政院環保保護署。

- Allan, J. D., and A. S. Flecker., 1993. Biodiversity conservation in running waters. *Bioscience*, 43(1):32-43.
- Benke A. C., 1984. Secondary production of aquatic insects. In: *The Ecology of Aquatic Insects* (Eds V.H. Resh & D.M. Rosenberg), pp. 289–322. Praeger Scientific, New York.
- Benke A. C., Huryn A. D., Smock L. A. Wallace J. B., 1999. Length-mass relationships for freshwater macroinvertebrates in North America with particular reference to the southeastern United States. . *J. N. Am. Benthol. Soc.* 18: 308–343.
- Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininge, R. A.,and Tozer, R. G., 1970. A water quality index-Do we dare? *Water Sewage Works.*, 117, 339-343.
- Chen C. C., 1994. The Name-list of Insecta (above Family Level) with Chinese Common Name. The Entomological Society of the Republic of China, Taipei, Taiwan. 40 pp. (in Chinese)
- Clark K. R., Warwick R. M., 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 2nd edition. Technical Report, PRIMER-E, Plymouth, UK. 172 pp.
- Federal Interagency Stream Restoration Working Group (FISRWG). 1998. *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices*. ISBN-0-934213-59-3
- Hey, R. D., 1996. Environmentally Sensitive River Engineering., In: Petts, G. et. al. (eds.), *River Restoration: Selected Extracts from the Rivers Handbook*, Blackwell Science Ltd.
- Hilsenhoff, W. L., 1988. Rapid field assessment of organic pollution with family-level biotic index. *J. N. Am. Benthol. Soc.*,7(1): 65- 68.
- Horton, R. K., 1965. An index-number system for rating water quality. *J. Water Pollution Control Federation*, 37 (3), 300-305.

- House, M. A., Ellis, J. B., 1980. Water quality indices: an additional management tool? *Progress in Water Technology*, 13 (7), 413-423.
- Krebs, C. J., 1999. *Ecological methodology*. 2nd ed. Addison Wesley Longman, INC., pp.620.
- Larsen, P. (1996), "Restoration of River Corridors: German Experiences", In: Petts, G. et. al. (eds.), *River Restoration: Selected Extracts from the Rivers Handbook*, Blackwell Science Ltd.
- Ludwig, J. A., and J. F. Reynolds., 1988. *Statistical ecology. A primer on methods and computing.*, pp.338. John Wiley & Sons.
- IPCC, 2007. Summary for policymaker. In : *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds Solomon S, Qin D, Manning M, et al.). Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA
- National Research Council , 1992. *Restoration of Aquatic Ecosystems: Science, Technology and Public Policy*, National Academy Press, Washington, D.C..
- Mackin, J.H., 1948. Concept of the Graded River. *Bulletin of the Geological Society of America*. 59: 463-512.
- Merritt, R. W., and K. W. Cummins., 1996. *An introduction to the aquatic insects of North America*. 3rd ed. Dubuque. IA: Kendall/Hunt.
- Odum, E. P., 1983. *Basic ecology*. Saunders College Publishing Company. pp.613. Georgia. .
- Plafkin, J. L., M. T. Barbour, K. D. Porter, S. K. Gross, and R. M. Hughes., 1989. *Rapid assessment protocols for use in streams and rivers: Benthic macroinvertebrates and fish*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water Regulations and Standards, Washington, D.C., EPA 440-4-89-001.

Sherpley, A., 1995. Fate and Transport of Nutrients: Phosphorus. USDA, Agricultural Research Service, National Agricultural Water Quality Laboratory, Durant, Oklahoma.

Shieh, S. H. and P. S. Yang., 2002. Community structure and functional organization of aquatic insects in an agricultural mountain stream of Taiwan: 1985-1986 and 1995-1996. *Zoological Studies.*, 39(3): 191-202.

Wischmeier, W. H., Smith, D. D., 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses: A guide to conservation department of agricultural. U. S. Department of Agriculture, Agricultural Handbook, No. 537 .