

七家灣溪及高山溪鮭魚族群 及棲地監測

成果報告

雪霸國家公園管理處

委託辦理計畫

中華民國一百零三年十二月

七家灣溪及高山溪鮭魚族群 及棲地監測

委託單位：雪霸國家公園管理處

執行單位：國立清華大學

計畫總主持人：曾晴賢博士

計畫協同主持人：郭美華博士、官文惠博士

研究助理：陳彥谷、邱立鈞

雪霸國家公園管理處委託辦理計畫

中華民國一百零三年十二月

目錄

研究計畫整合分工項目	I
第一章 資料整合	II
摘要.....	II
Abstract.....	IX
一、前言與目的.....	1
二、材料與方法.....	1
(一)魚類	2
(二)水棲昆蟲.....	2
(三)水質監測.....	2
(四)教育訓練.....	3
三、成果	3
四、結論與建議.....	7
(一)結論	7
(二)立即可行之建議.....	8
(三)長期性之建議.....	9
第二章 臺灣櫻花鉤吻鮭族群監測與動態分析	12
一、前言	12
二、材料與方法.....	16
三、調查結果	17
(一) 水蟲水質監測共同樣區的調查結果.....	17
(二) 臺灣櫻花鉤吻鮭普查族群數量與分布	23
四、討論	27
(一) 臺灣櫻花鉤吻鮭歷年族群結構變化.....	27

(二) 七家灣溪一號壩壩體改善與魚類監測結果	29
(三) 氣候變遷對臺灣櫻花鉤吻鮭族群的影響探討	30
(四) 臺灣櫻花鉤吻鮭歷年各河段數量與總數量之相關性分析	32
五、結論與建議	35
(一) 結論	35
(二) 建議	38
六、參考文獻	40
第三章 水棲昆蟲研究	61
一、前言	61
二、材料與方法	65
三、結果	67
(一) 物種數及個體數	67
(二) 多樣性	68
(三) 棲地評比	69
(四) 群聚結構	69
(五) 一號壩壩體改善部分拆除工程的影響	70
四、討論	72
(一) 物種數及個體數	72
(二) 多樣性	73
(三) 棲地評比	74
(四) 農地回收政策已具有成效	74
(五) 一號壩壩體改善部分拆除工程的影響	75
五、結論與建議	76
六、參考文獻	78
第四章 水質研究	88
一、前言	88

(一) 研究緣起.....	88
(二) 研究目的.....	88
(三) 文獻回顧.....	89
二、材料與方法.....	95
(一) 採樣地點介紹.....	95
(二) 水質分析方法.....	96
三、結果.....	99
(一) 水質監測.....	99
(二) 基本水質採樣教育訓練.....	99
四、討論.....	100
(一) 七家灣溪流例行性水質監測.....	100
(二) 一號壩壩體改善密集監測.....	103
(三) 山溝及排水溝之水質監測.....	105
(四) 8.1 公頃回收農用地之水質監測.....	106
五、結論與建議.....	107
(一) 結論.....	107
(二) 建議.....	108
六、參考文獻.....	109
附件一.....	148
附件二.....	152
附件三.....	154
附件四.....	157
附件五.....	159
附件六.....	164

表目錄

表 2-1	2014 年武陵地區固定樣點魚類組成相調查結果	44
表 2-2	武陵地區 2013 年與 2014 年臺灣櫻花鉤吻鮭普查結果.....	45
表 2-3	各河段族群數與全河段總數的相關性	46
表 2-4	以五號壩至六號壩為模式河段預測歷年全河段總數結果.....	47
表 2-5	不同模式河段的預測結果	48
表 3-1	2014 年之 2、6 及 10 月水棲昆蟲資源組成及總個體數.....	81
表 4-1	採樣地點地理座標	111
表 4-2	水體樣品保存	111
表 4-3	地面水體分類及水質標準	112
表 4-4	歐盟訂定之鮭鯉魚水體標準.....	113
表 4-5	103 年 02 月溶解態分析數據.....	114
表 4-6	103 年 06 月溶解態分析數據.....	115
表 4-7	103 年 10 月溶解態分析數據.....	116
表 4-8	103 年 02 月溶解態分析數據.....	117
表 4-9	103 年 06 月溶解態分析數據.....	118
表 4-10	103 年 10 月溶解態分析數據	119

圖目錄

圖 2-1	武陵地區 8 個現今計畫測站(方框所示)之相關位置圖	49
圖 2-2	1987~2014 武陵地區臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量與重大天災圖	50
圖 2-3	1987~2014 武陵地區臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量與壩體改善時間圖	51
圖 2-4	1995~2014 武陵地區臺灣櫻花鉤吻鮭各齡級族群結構變化趨勢圖	52
圖 2-5	1995~2014 武陵地區臺灣櫻花鉤吻鮭各齡級數量變化趨勢圖	53
圖 2-6	2014 年夏秋季武陵地區各河段臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量分布百分比	54
圖 2-7	全河段與模式河段對於各齡級的相關性散佈圖	55
圖 3-1	武陵地區溪流水棲昆蟲監測調查測站之相關位置圖	83
圖 3-2	武陵地區溪流測站水棲昆蟲各月數量	83
圖 3-3	武陵地區溪流測站之臺灣櫻花鉤吻鮭中大體型昆蟲食餌數量變化圖	84
圖 3-4	武陵地區溪流測站水棲昆蟲之 Shannon- Wiener's index	84
圖 3-5	武陵地區溪流測站水棲昆蟲之 RBPII 相對分數	85
圖 3-6	武陵地區溪流測站水棲昆蟲之 MDS 分析。圖標數字表示樣站編號	85
圖 3-7	一號壩壩體上下游四測站水棲昆蟲數量	86
圖 3-8	一號壩壩體上下游四測站水棲昆蟲之 Shannon- Wiener's index	86
圖 3-9	一號壩壩體改善工程後水棲昆蟲之 MDS 分析	87
圖 3-10	洪水流量和隔年 1、2 月中大型食餌密度之關係	87
圖 4-1	雪霸國家公園	120
圖 4-2	氮素循環過程	120
圖 4-3	水質採樣流程圖	121
圖 4-4	採樣地點位置圖	121
圖 4-5	武陵地區溪流 pH 值變化	122
圖 4-6	武陵地區溪流導電度值變化	122
圖 4-7	武陵地區溪流溫度值變化	123
圖 4-8	武陵地區溪流溶氧值變化	123
圖 4-9	武陵地區溪流濁度值變化	124
圖 4-10	武陵地區溪流 SiO ₂ 值變化	124
圖 4-11	武陵地區溪流 NO ₃ ⁻ -N 值變化	125

圖 4-12 武陵地區溪流 NO_2^- -N 值變化	125
圖 4-13 武陵地區溪流 SO_4^{2-} -值變化	126
圖 4-14 武陵地區溪流 Cl-值變化.....	126
圖 4-15 武陵地區溪流 PO_4^{3-} 值變化.....	127
圖 4-16 武陵地區溪流 NH_4^+ -N 值變化.....	127
圖 4-17 武陵地區溪流 TOC 值變化.....	128
圖 4-18 一號壩壩體改善 pH 值變化	128
圖 4-19 一號壩壩體改善導電度值變化.....	129
圖 4-20 一號壩壩體改善溫度值變化	129
圖 4-21 一號壩壩體改善溶氧值變化	130
圖 4-22 一號壩壩體改善濁度值變化	130
圖 4-23 一號壩壩體改善 SiO_2 值變化.....	131
圖 4-24 一號壩壩體改善 NO_3^- -N 值變化.....	131
圖 4-25 一號壩壩體改善 NO_2^- -N 值變化.....	132
圖 4-26 一號壩壩體改善 SO_4^{2-} 值變化	132
圖 4-27 一號壩壩體改善 Cl-值變化.....	133
圖 4-28 一號壩壩體改善 PO_4^{3-} 值變化	133
圖 4-29 一號壩壩體改善 NH_4^+ -N 值變化	134
圖 4-30 一號壩壩體改善 TOC 值變化	134
圖 4-31 山溝與七家灣溪測站之 pH 值比較.....	135
圖 4-32 山溝與七家灣溪測站之導電度值比較	135
圖 4-33 山溝與七家灣溪測站之溫度值比較.....	136
圖 4-34 山溝與七家灣溪測站之溶氧值比較.....	136
圖 4-35 山溝與七家灣溪測站之濁度值比較.....	137
圖 4-36 山溝與七家灣溪測站之 SiO_2 值比較	137
圖 4-37 山溝與七家灣溪測站之 NO_3^- -N 值比較.....	138
圖 4-38 山溝與七家灣溪測站之 NO_2^- -N 值比較.....	138
圖 4-39 山溝與七家灣溪測站之 SO_4^{2-} 值比較	139
圖 4-40 山溝與七家灣溪測站之 Cl-值比較.....	139
圖 4-41 山溝與七家灣溪測站之 PO_4^{3-} 值比較	140

圖 4-42	山溝與七家灣溪測站之 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 值比較	140
圖 4-43	山溝與七家灣溪測站之 TOC 值比較.....	141
圖 4-44	8.1ha 回收農用地 pH 值變化.....	141
圖 4-45	8.1ha 回收農用地導電度值變化	142
圖 4-46	8.1ha 回收農用地溫度值變化	142
圖 4-47	8.1ha 回收農用地溶氧值變化	143
圖 4-48	8.1ha 回收農用地濁度值變化	143
圖 4-49	8.1ha 回收農用地 SiO_2 值變化	144
圖 4-50	8.1ha 回收農用地 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 值變化	144
圖 4-51	8.1ha 回收農用地 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 值變化	145
圖 4-52	8.1ha 回收農用地 SO_4^{2-} 值變化.....	145
圖 4-53	8.1ha 回收農用地 Cl^- 值變化	146
圖 4-54	8.1ha 回收農用地 PO_4^{3-} 值變化.....	146
圖 4-55	8.1ha 回收農用地 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 值變化.....	147
圖 4-56	8.1ha 回收農用地 TOC 值變化.....	147

照片目錄

照片 1-1	2014 雪霸志工教育訓練室內講解	10
照片 1-2	2014 雪霸志工教育訓練水質採樣解說.....	10
照片 1-3	2014 雪霸志工教育訓練水棲昆蟲採樣解說.....	11
照片 1-4	2014 雪霸志工教育訓練魚類調查實際操作.....	11
照片 2-1	七家灣溪一號壩下游樣站壩體改善前之環境照.....	56
照片 2-2	七家灣溪一號壩下游樣站壩體改善後之環境照.....	57
照片 2-3	2014 年夏季普查幼魚所占比例甚高.....	58
照片 2-4	2012.10.10 於桃山西溪樣站所記錄的臺灣鏟頰魚	59
照片 2-5	2011.06.17 於一號壩下游樣站所拍攝到標放的鮭魚	59
照片 2-6	2014.06.12 所拍攝的高山溪二號壩落差	60
照片 2-7	2014.06.12 所拍攝的高山溪四號壩落差	60

研究計畫整合分工項目

計畫項目	主持人	服務機構/系所	職稱	計畫內容
總計畫及子計畫 1	曾晴賢	清華大學 生物資訊與結構生物研究所	教授	資料整合與魚類研究
子計畫 2	郭美華	中興大學 昆蟲系	教授	水棲昆蟲研究
子計畫 3	官文惠	明志科技大學 環境與安全衛生工程系	教授	水質研究

第一章 資料整合

曾晴賢¹、郭美華²、官文惠³

1. 國立清華大學生物資訊與結構生物研究所

2. 國立中興大學昆蟲系

3. 明志科技大學環境與安全衛生工程系

摘要

關鍵詞：臺灣櫻花鉤吻鮭、七家灣溪、族群數量、生態調查、壩體改善、水棲昆蟲，群聚結構，快速生物評估法 II，多樣性指數、溪流、水質監測

一、研究緣起

臺灣櫻花鉤吻鮭 (*Oncorhynchus masou formosanus*) 又被稱之為臺灣鉤吻鮭 (*Oncorhynchus formosanus*)，是「瀕臨絕種」保育類野生動物，也是臺灣特有的冰河子遺生物。但因為颱風洪水、農業開發、防砂壩阻隔等諸多因素衝擊，使得生存棲地環境變化很大，並且對其生存造成嚴重的威脅。雪霸國家公園管理處因此自 1994 年開始進行臺灣櫻花鉤吻鮭族群現況的普查工作，以瞭解並掌握臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量多寡、年齡結構組成和分布範圍的最新動態與變化情形。以建立基礎資料並據以擬定復育計畫。

臺灣櫻花鉤吻鮭以溪流中的水棲昆蟲為主要的食物來源，因此水棲昆蟲的種類及數量對臺灣櫻花鉤吻鮭的成長繁殖具有重要意義。此外由於水棲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。於全球氣候變遷下，台灣季節性颱風所導致的洪流已呈現非常態化，IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 預測未來全球暖化將持續進行，極端洪流將變得頻繁 (IPCC 2007)，因此欲探討此變化對水棲昆蟲之衝擊。除此之外，並監測防砂壩改善前後之水棲昆蟲群聚動態變化，以便日後探討氣候變遷和防砂壩拆除對水棲昆蟲群聚之影響。本研究為延續性的工作，目的在於調查臺灣櫻花鉤吻鮭棲息地七家灣溪之水棲昆蟲種

類及數量變化，並設置永久樣區進行水棲昆蟲監測及研究，期能與物理棲地、水質、藻類及魚類等相關研究整合比較，瞭解水棲昆蟲在臺灣櫻花鉤吻鮭為主要的食物網中所扮演的角色、位階及所蘊含之生態意義。

武陵地區七家灣溪為國寶魚臺灣櫻花鉤吻鮭之主要棲息地，該水域生態系受水環境參數之影響甚巨，故有監測該地水質變化之必要性。本研究除延續七家灣溪流共同採樣點進行水質採樣分析外，另因前人研究顯示右岸中游山溝水有高濃度之硝酸鹽，故本計劃今年度仍持續在山溝及其附近排水溝之上中下游進行密集採樣。

七家灣溪上游附近之8.1公頃回收農用地已於95年12月底完成徵收，為比較回收前後之水質差異，故本團隊持續於該區附近之測站包括桃山西溪、觀魚台及二號壩進行採樣以分析水質變化。

針對管理處人員或志工，做基本水生昆蟲採樣與水質採樣分析之教育訓練，並展開利用浮潛法進行臺灣櫻花鉤吻鮭調查之訓練工作與水下實際操作，以利往後武陵地區生態監測得以長久持續的進行。

二、研究方法及過程

1. 本研究於 2014 年六月與十月進行七家灣溪臺灣櫻花鉤吻鮭的全面族群數量普查，以瞭解 2013 年繁殖季節後新生幼魚加入族群數量與分布狀況及 2014 年繁殖季節前成魚的狀況，並對照歷年的魚群數量與族群結構的變化以作進一步的分析。

2. 持續生態監測並建立武陵地區水棲昆蟲相生態資料庫，並以多樣性指數、RBP II 指數及 MDS 分析評估各永久測站棲地環境、棲地損害程度及水棲昆蟲群聚結構變動，探討颱風及防砂壩改善對水棲昆蟲的影響，並選取水棲昆蟲類群中足以代表受改善工程影響之生態指標，以做為集水區經營管理之參考用。

3. 本研究針對武陵地區溪流包括桃山西溪、高山溪、有勝溪、七家灣溪與右岸之山溝及排水溝共設置多個採樣點，進行採樣。採樣後現場量測 pH、水溫、導電度及溶氧等水質項目；濁度、矽酸鹽、硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮、硫酸鹽、氯鹽、磷酸鹽、氨氮、總有機碳等水質項目，則待現地採集樣品後，運回實驗室分

析。

三、重要發現

- 1、今（2014）年夏季普查結果顯示，七家灣溪與高山溪河段臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量共計有 1,326 尾，較去年秋季多了約 81 尾。其中值得注意的是一齡小魚有 916 尾，佔族群總數的 69.08%，而二齡中型鮭魚有 306 尾，三齡大型成魚則只有 104 尾。族群結構呈現以小型鮭魚最多，中型鮭魚次之，而大型鮭魚較少的金字塔型的族群結構，顯示今年六月之前武陵地區臺灣櫻花鉤吻鮭族群更新狀況良好，受到去年蘇力颱風影響的鮭魚族群數量因為新生幼魚的加入而有成長。
- 2、今年夏秋季武陵地區並無嚴重的豪雨風災，提供了良好的環境給臺灣櫻花鉤吻鮭成長。秋季普查的結果顯示七家灣溪與高山溪河段臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量共計有 1,648 尾，比六月普查多了 322 尾，其中一齡小魚有 672 尾，佔全部數量的 40.78%，二齡中型鮭魚有 692 尾，佔全部數量的 41.99%，三齡大型成魚則有 284 尾，佔全部數量的 17.23%。秋季整體數量較夏季高的原因應該是夏季水量相當大所造成的普查數量低估的誤差。並且由魚的體型可推測幼魚進食成長的狀況良好，約有 240 尾左右夏季時的小魚在秋季已經被判定成中型魚。若排除魚齡體型誤判的問題，族群結構其實是偏向較穩定的金字塔形，顯示今年整體的更新狀況還是相當良好。
- 3、由於 2012 年蘇拉颱風洪水影響，使得武陵地區七家灣溪河床變的相當不穩定，在經歷 2013 年蘇力颱風所帶來的洪水事件影響，造成河道的側向侵蝕與崩塌，使棲地環境改變甚大，多數深潭與峽谷地形被填滿。2013 年秋季普查結果顯示，臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量僅剩 1,245 尾，跟夏季相比減少了約三分之二。其中小型鮭魚由於對大水的耐受力較低，受颱風影響減少較多，去(2012)年的新生族群僅剩少部分活存。而今(2014)年夏季普查結果則可以見到小型鮭魚比例甚高，顯示今年六月之前武陵地區臺灣櫻花鉤吻鮭族群更新狀況良好，且秋季普查結果顯示幼魚成長狀況良好，受到蘇力颱風所影響的鮭魚族

群數量如無後繼的大型天災時應可望漸漸恢復。

- 4、舊復育中心附近的河段自 2005 年至 2011 年為止，皆未曾有過臺灣鏟頰魚的紀錄。但在 2011 年一號壩壩體改善後的歷次調查都已經有臺灣鏟頰魚的紀錄，且從 2012 年蘇拉颱風的大水過後其族群數量不斷增加，顯見與七家灣溪一號壩改善工程完成後，使得魚類洄游廊道暢通有關。
- 5、從 2006 年以來，觀魚台當地的臺灣鏟頰魚一直只有零星的紀錄，但自 2011 年五月底一號壩壩體改善工程完成後，六月份以後至今的調查都看得到比往年更多的臺灣鏟頰魚出現在此河段，同時也有魚苗的繁殖觀察記錄。研究人員亦於 2011 年 8 月 10 日於此河段發現一尾從一號壩下游標放的臺灣櫻花鉤吻鮭個體上溯至此，直接地顯示一號壩改善工程後所產生的正面效益。
- 6、從歷年的普查資料研判，高山溪一號壩是臺灣鏟頰魚自然分布的上限。原本在高山溪一號壩下的殘材壩，於 2012 年四月崩解之後仍舊無更多的臺灣鏟頰魚上溯到高山溪一號壩以上，顯示其在高山溪的分布上限並未更往上移，可能與高山溪河道較窄、兩側林相遮蔽程度較高，使得水溫仍保持在較低溫有關。
- 7、七家灣溪一號壩壩體改善後的鮭魚普查結果顯示，已有部分標誌的臺灣櫻花鉤吻鮭可上溯至三號壩下。在二號壩以上河段所發現的臺灣鏟頰魚與一號壩上游河段所發現的臺灣鏟頰魚幼魚群，皆顯示七家灣溪二種主要魚類都可通過一號壩而上溯至上游河段。高山溪舊殘材壩下游河段之魚類數量原本在一號壩壩體改善後有較明顯增加的趨勢，但是在七家灣溪主流漸趨穩定之後，則數量又漸漸恢復以往的水平；2012 年蘇拉颱風過後，又可見到比壩體改善後更為大量的臺灣鏟頰魚躲在此處。顯示高山溪殘材壩下游河段，可以提供臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鏟頰魚做為在壩體改善工程期間，或是洪水影響時的重要庇護所
- 8、歷年普查結果各河段數量與全河段總數相關性最高的河段為五號壩至六號

壩，其次為一號壩至二號壩以及二號壩至三號壩。三號壩至四號壩的 Y 形河段雖然在總數的相關性比不上前面提到的三個河段，但是對於幼魚的相關性卻非常高，僅略低於二號壩至三號壩。調查作業上理想的模式河段可以選擇五號壩至六號壩以及二號壩至三號壩。前者對於總數的相關性較高，後者對於各齡級數量的相關性較高。兩河段各屬上游與中游，不同的環境狀況可以提供互補的資訊讓預測能力更佳。如果想要調查夏季幼魚的數量，則可選擇三號壩至四號壩的 Y 形河段做為模式河段，以了解前一年的繁殖狀況。

- 9、本年度採樣調查水棲昆蟲共計有 57 分類群(Taxa)，分屬 5 目或 34 科。由連續 10 年以上數據(2003 至 2014 年)看出，水棲昆蟲豐度幾乎都是在每年年初為高峰。中大體型水棲昆蟲數量(臺灣鈎吻鮭之可能大型食餌)，以 2011 年年初為最高。各測站之多樣性指數於各年變化區間相似。快速生物評估法 II (RBP II 指數)評估武陵地區棲地維持在無損害與中度損害之間。多元尺度分析(MDS)顯示桃山西溪(七家灣溪上游)、七家灣溪及高山溪的水棲昆蟲群聚結構變動具相同傾向，且於 2009~2014 年有勝溪測站與其他測站群聚結構相近。2011 年一號壩壩體改善工程對七家灣溪的水棲昆蟲群聚產生約 2.5 個月的短期負面直接影響，導致數量和多樣性下降，等同遭受一小型洪水的衝擊。
- 10、水質監測結果顯示，武陵地區大部分溪流水質良好，符合臺灣櫻花鈎吻鮭生存水質標準。在導電度及營養鹽方面，桃山西溪與高山溪均低於其他溪流；七家灣溪中下游測站及有勝溪則有較高的營養鹽濃度，與農耕施作導致該區導電度與營養鹽濃度高於其它溪流有關。二月份監測結果顯示，有勝溪硝酸鹽濃度高達 5mg/L，值得注意。
- 11、一號壩壩體改善工程對下游水質尤其是濁度有立即性的影響，但在一至二週內即可恢復至溪水初始水質狀態，顯示突如其來之水質變化在短時間內即可恢復正常。截至目前為止各項水質監測結果顯示已回復至往年之變動趨勢。
- 12、山溝及排水溝之硝酸鹽氮與磷酸鹽濃度仍高於七家灣溪測站，顯示該區域水質受人為活動影響，故持續的管理與改善仍有其必要性。

13、8.1 公頃回收農用地之歷年監測結果觀察到 2010 年之後，桃山西溪(#2)、二號壩(#3)及觀魚台(#4)三測站硝酸鹽氮濃度差距幅度明顯從 2.2mg/L 縮小至 0.1~0.5 mg/L 之間，顯示該區域氮鹽濃度逐漸穩定，農地回收確實達到一定成效。

四、主要建議事項

(一)立即可行之建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：林務局、退除役官兵輔導委員會武陵農場、農委會林務局保育組、台中市政府

1. 高山溪與七家灣溪倒木殘材移除與監控工作。高山溪二號、四號破壩堆積之殘材壩與上游河段間大型倒木形成之殘材壩已由於先前人力鋸斷與颱風的影響而自然移除。建議國家公園仍須針對這些殘材壩之後續情況進行監測，使其不致形成高落差而影響鮭魚的自由移動阻斷基因交流。
2. 由監測結果顯示，人為活動較密集區，營養鹽濃度及導電度均較高，若能適度控管人為活動，針對遊客人數、農業施肥施藥量及污水處理設施等妥善管理，應可顯著降低七家灣溪流中下游之營養鹽濃度。

(二)長期性建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：林務局、退除役官兵輔導委員會武陵農場、農委會林務局保育組、台中市政府

1. 七家灣溪一號壩壩體改善後魚類族群動態變遷研究。2011 年度七家灣溪一號壩壩體的改善工程的主要目標之一，就是希望可以透過壩體改善後使得七家灣溪河道暢通，除了可增加棲地利用之外，也應可擴大

七家灣溪中鮭魚之基因交換機會，並減少下游魚類無法順利繁衍的問題，故建議主管機關在壩體改善後應持續進行魚類族群動態變遷之研究，與其他環境與生物因子變化的生態模式研究，其研究結果亦可提供往後壩體改善時之重要依據與寶貴資源。針對魚類研究往後的具體建議如下：

- (1)以臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鏟頷魚兩種魚類做為指標物種。
 - (2)至少保留桃山西溪、二號破壩、繁殖場、高山溪等四個固定樣站，每年二月、四月、六月、八月、十月施做調查研究。
 - (3)建議針對七家灣溪二號壩~三號壩、三號壩~四號壩(加上無名溪之Y形封閉河段)、五號壩~六號壩；於每年夏季與秋季做該三段河段的普查。
 - (4)依經費狀況與天然災害的強度時間而定，至少每三~五年做一次夏季與秋季的武陵地區七家灣溪流域全河段的普查。
2. 於重要測站(鮭魚活動密集、受人為活動污染潛勢高、未來規劃可能進行鮭魚移地保育等)放置溫度記錄器，定期蒐集水溫等相關資料，以評估臺灣櫻花鉤吻鮭棲息地七家灣流水溫之時空變化情形，供管理及決策參考。

Abstract

Studies on population dynamics of the Formosan landlocked salmon *Oncorhynchus masou formosanus*

Taiwan masu salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*) is one of the endangered species of conserved wildlife. It is also a Taiwanese endemic wildlife since the glacial epoch. However, owing to the impact of Typhoons, floods, agriculture development, dams, etc. on the environmental habitats, the survival of wildlife has been seriously threatened. The Shei-Pa National Park has engaged the investigation projects on the population circumstances of Taiwan masu salmon since 1994. Those projects have aimed to understand and to control the current statuses of the population, age structure and distribution areas. On the basis of those data, the Shei-Pa National Park may make proposals of projects for restoration of Taiwan masu salmon.

The overall population investigations for Taiwan masu salmon in the Chichiawan creek will be conducted in June and October of 2014 in order to know the population and the distribution of new born juveniles attending to the salmon group after the 2013 breeding season and the distribution and the amount of the adults before 2014 breeding season. For the further analysis the result of the investigation was compared with the amount and the variation of the population structure of the salmon over the years. In order to coordinate with the work of the improvement of the first dam, the investigation on the four of the eight joint sites, two were in the upstream of the first dam and two were in the downstream, and the new site which was the reach from the flow junction to the wood dam and residue checkdam in the downstream of Gao-shan creek were monitored intensively to know the variation of the population of the salmon in the sites before and after the improvement of the first dam.

This study constructed the survey of aquatic insects and water quality monitoring at 8 sampling sites in the Wu-ling area in year 2014. During the research period, we have collected 57 taxa of aquatic insects belong to 34 families within 5 orders. According to the data from 2003 to 2014, we found the abundance peak of aquatic insects in January or February almost every

year and highest number of the large insects (the possible prey of Taiwan masu salmon) in early 2011. Similar ranges of Shannon-Wiener's index appeared among years. The habitat quality of the sites assayed by the rapid bioassessment protocol II (RBPII) was non-impaired or moderately impaired. While a non-metric multidimensional scaling (MDS) plot were used to show the composition similarity among site-time samples, the plot indicated that the community structures of Chichiawan creek and Gao-shan creek shifted along the same trend, and, from year 2009 to 2014, the community structure of You-sheng creek and the two creeks began to tend toward higher similarity. The short-term impact persisted for approximately 2.5 months after the dam removal, and, thus, led to the decline in the number and diversity of aquatic insects in the Chichiawan creek.

Available information indicated that human activities, including farming, camping and travel recreation could contribute substantial nutrients into Chichiawan creek. These nutrients could influence the main habitat of the Taiwan masu salmon. Therefore, the objectives of this project were to monitor the water quality.

The study results imply that most of the water quality in these creeks is good enough, but the nutrients and conductivity of the sampling site near the agricultural farms are higher than the criteria for salmon.

In light of this study, several suggestions were proposed: (a) in the short term, the monitoring of water quality is necessary because the agricultural activity is still in progress, (b) in the long term, the removal of nutrients from the water of agricultural discharge could be effectively achieved by the land-use and travel recreation management, and additionally, the automatic monitoring of water quality are also recommended.

The major findings are as follows:

1. The investigation showed that the total amount of the salmon was 1,326 in June of 2014. The amount of the one-aged juvenile was 916, the two-aged adult was 306, and the three-aged adult was 104. The result showed that the type of the population pyramid of the salmon was stationary pyramid which the amount of the one-aged juvenile was the most, followed by the two-aged adult and the three-aged adult was the least. In conclusion, the population of salmon

was well renewed before June this year.

2. The investigation showed that the total amount of the salmon was 1,648 in October of 2014. The amount of the one-aged juvenile was 672, the two-aged adult was 692, and the three-aged adult was 284, and there were about 240 of juvenile grown up to adult size. The result showed that the type of the population pyramid of the salmon was stationary pyramid which the amount of the one-aged juvenile was the most, followed by the two-aged adult and the three-aged adult was the least. In conclusion, the population of salmon was well renewed this year.

3. In October of 2013, the total amount of the salmon was only 1,245. The population of salmon decreased by second-third after the Typhoon Soulik affected Wuling area in July of 2013. The amount of the one-aged juvenile was 316, the two-aged adult was 529, and the three-aged adult was 400. The result showed that the type of the population pyramid of the salmon was upside-down constrictive pyramid which the amount of the two-aged juvenile was the most, followed by the three-aged adult and the one-aged adult was the least.

4. After the improvement of the first dam, through the results of the investigation on the overall population investigations for Taiwan masu salmon in October of 2011, it found that some marked salmons could swim through the first dam to the third dam. Besides, the adult fish of *Onychostoma barbatulum* was found in the upstream of the second dam and groups of the juvenile fish of *Onychostoma barbatulum* were found on the joint site in the upstream of the first dam. In conclusion, the two major species of fish in Chichiawan creek could swim through the first dam to the upstream. The investigation also showed that the reach before the wood dam and residue checkdam in Gao-shan creek was the shelter for fish during and after the construction.

5. The upper limit of the distribution of *Onychostoma barbatulum* was moved up in the Chichiawan creek after the improvement of the first dam. Perhaps the phenomenon was caused by the benefits of the improvement of

the first dam, and the impact of Global Climate Change. On the contrary, the upper limit of the distribution of *Onychostoma barbatulum* didn't moved up in the Gao-shan creek after the disintegration of the woods dam. It may because of Gao-shan creek is narrower than Chichiawan creek, and the shade beside the river is more than Chichiawan creek.

For the main recommendations:

1. For short-term strategies

The investigation of the effect of the wood dam and residue checkdam in the Gao-shan creek on the Taiwan masu salmon showed that the fallen and residue woods had been cut and the suggestion to Shei-Pa National Park headquarters is that keep an eye on the fallen and residue woods which had been cut in Chichiawan and Gao-shan creek can be drift by the flood after typhoon or not to prevent the woods form a high dam causing the activity limitation of the salmon.

2. For long-term strategies

Improving the first dam aimed at keeping the Chichiawan creek smooth that could increase the use of the habitat and the opportunity of the gene change of the salmon. It also solved the problem that the salmon in the downstream could not to reproduce. Suggestion is that Shei-Pa National Park headquarters should keep monitoring the changes of the fish, environment and biotic factors, and the record can also provide the basis to the improvement of dam in the future.

Keyword : *Oncorhynchus masou formosanus*, Chichiawan creek, population size, ecological survey, dam improving, aquatic insects, community structure, rapid bio-assessment protocol II (RBPII), diversity index, stream, Taiwan masu salmon, Formosan landlocked salmon, Water quality monitoring

一、前言與目的

雪霸國家公園最重要的任務是自然資源與生物物種的保育，尤其是分布只侷限於大甲溪上游武陵地區，但數量已瀕臨絕種的陸封型臺灣櫻花鉤吻鮭。保育工作需以宏觀的角度來管理自然資源，也就是生態系管理，其基礎建立在各項資源的瞭解與掌握。因此本計畫的主要目標在延續以往的長期生態監測，藉由整合分析長期生態資料，以瞭解武陵溪流的長期生態現象與過程。本計畫以武陵地區溪流為研究地點，依循自 2005 年起武陵長期生態監測研究與模式建構計畫 (WLTERM) 所設立的永久測站，持續監測並整合重點監測項目，包括魚類、水棲昆蟲以及水質等時空動態變化資料。尤其是七家灣溪一號防砂壩拆除後生態環境的變化，延續七家灣河流域臺灣櫻花鉤吻鮭的數量普查，以及完成雪霸志工之教育訓練。具體目標為：1. 七家灣河流域魚類族群數量及分布普查；2. 七家灣溪一號壩壩體改善後之鮭魚族群動態分析；3. 監測溪流生態系食物網臺灣櫻花鉤吻鮭之主要食物來源組成之變化；4. 瞭解臺灣櫻花鉤吻鮭生物與水質的控制因子，確保臺灣櫻花鉤吻鮭優質之生活環境；5. 藉由歷年監測資料做比較，瞭解武陵地區的長期生態過程與機制；6. 提供生態研究的科學資料，做為訂定臺灣櫻花鉤吻鮭保育措施與武陵地區經營管理策略之參考；7. 持續建立武陵地區魚類、水棲昆蟲與水質之生態資料庫；8. 完成雪霸志工之教育訓練。

二、材料與方法

為持續整合從 2005 年以來所累積的資料，本研究共設有八個共同測站，分別於二月、六月、十月進行水棲昆蟲以及水質研究的採樣工作；涵蓋#2 桃山西溪、#3 二號壩、#4 七家灣溪觀魚台、#12 七家灣溪一號壩上游、#13 七家灣溪一號壩下游、#5 七家灣溪繁殖場、#8 高山溪與#9 有勝溪等測站。除了有勝溪以

外的測站在六月及十月時併同全河段魚類普查工作的進行，也進行兩次的觀測工作。

(一)魚類

本研究於六月及十月間進行七家灣溪臺灣櫻花鉤吻鮭的全面族群數量普查，並同時記錄各共同固定測站的魚類族群分布與數量。以浮潛方式目視辨別魚種和計算魚數量，並分別記錄各調查溪段一齡幼魚、二齡中型成魚及三齡以上大型成魚的數量、分布與棲地型態，以瞭解去年繁殖季節後新生幼魚加入族群數量與分布狀況及繁殖季節前成魚的狀況，並對照歷年的魚群數量與族群結構的變化以作進一步的分析。

(二)水棲昆蟲

本分項工作持續生態監測並建立武陵地區水棲昆蟲相生態資料庫，以水棲昆蟲群聚結構和功能為研究主題，並以多樣性指數、RBPII 指數及 MDS 分析進行評估各永久測站水質、棲地變化及水棲昆蟲群聚結構變動，並探討颱風及攔砂壩所造成棲地之改變對水棲昆蟲的影響，以作為經營管理之參考指標。

(三)水質監測

本分項工作首先進行當地背景資料收集，包括該區各種的土地利用型態、面積、七家灣溪水文特性與雨量資料，依周遭林地的土地利用與農田的分布採取溪流上、下游及匯流口處作為七家灣溪流域內各溪流的測站點，再進行檢定分析與因素分析，以利找出影響臺灣櫻花鉤吻鮭的相關水質參數與重新分配水質參數的權重，建立一個能快速反應該區溪流水質情況的新指標。

採集方法為河川水體採樣，實驗的分析方法依河川水質分析方法進行樣品的分析。在現場的水質分析項目有 pH、溶氧、導電度等三個項目，實驗室測定項目為生化需氧量、濁度、硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮、氨氮、總磷、磷酸鹽、二氧化矽、總有機碳、硫酸鹽、氯鹽等 11 個分析項目。

(四)教育訓練

針對管理處人員、解說志工或高山志工，於八月份以及九月份各進行一次基本水生昆蟲採樣與水質採樣分析之教育訓練，並展開利用浮潛法進行臺灣櫻花鉤吻鮭調查之訓練工作與水下實際操作。

三、成果

1. 今（2014）年夏季普查結果顯示，七家灣溪與高山溪河段臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量共計有 1,326 尾，較去年秋季多了約 81 尾。其中值得注意的是一齡小魚有 916 尾，佔族群總數的 69.08%，而二齡中型鮭魚有 306 尾，三齡大型成魚則只有 104 尾。族群結構呈現以小型鮭魚最多，中型鮭魚次之，而大型鮭魚較少的金字塔型的族群結構。顯示今年六月之前武陵地區臺灣櫻花鉤吻鮭族群更新狀況良好，受到去年蘇力颱風影響的鮭魚族群數量因為新生幼魚的加入而有成長。
2. 今年夏秋季武陵地區並無嚴重的豪雨風災，提供了良好的環境給臺灣櫻花鉤吻鮭成長。秋季普查的結果顯示七家灣溪與高山溪河段臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量共計有 1,648 尾，比六月普查多了 322 尾，其中一齡小魚有 672 尾，佔全部數量的 40.78%，二齡中型鮭魚有 692 尾，佔全部數量的 41.99%，三齡大型成魚則有 284 尾，佔全部數量的 17.23%。秋季整體數量較夏季高的原因應該是夏季水量相當大所造成的普查數量低估的誤差。並且由魚的體型可推

測幼魚進食成長的狀況良好，約有 240 尾左右夏季時的小魚在秋季已經被判定成中型魚。若排除魚齡體型誤判的問題，族群結構其實是偏向較穩定的金字塔形，顯示今年整體的更新狀況還是相當良好。

3. 由於 2012 年蘇拉颱風洪水影響，使得武陵地區七家灣溪河床變的相當不穩定，在經歷 2013 年蘇力颱風所帶來的洪水事件影響，造成河道的側向侵蝕與崩塌，使棲地環境改變甚大，多數深潭與峽谷地形被填滿。2013 年秋季普查結果顯示，臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量僅剩 1,245 尾，跟夏季相比減少了約三分之二。其中小型鮭魚由於對大水的耐受力較低，受颱風影響減少較多，去(2012)年的新生族群僅剩少部分活存。而今(2014)年夏季普查結果則可以見到小型鮭魚比例甚高，顯示今年六月之前武陵地區臺灣櫻花鉤吻鮭族群更新狀況良好，且秋季普查結果顯示幼魚成長狀況良好，受到蘇力颱風所影響的鮭魚族群數量如無後繼的大型天災時應可望漸漸恢復。
4. 舊復育中心附近的河段自 2005 年至 2011 年為止，皆未曾有過臺灣鏟頰魚的紀錄。但在 2011 年一號壩壩體改善後的歷次調查都已經有臺灣鏟頰魚的紀錄，且從 2012 年蘇拉颱風的大水過後其族群數量不斷增加，顯見與七家灣溪一號壩改善工程完成後，使得魚類洄游廊道暢通有關。
5. 從 2006 年以來，觀魚台當地的臺灣鏟頰魚一直只有零星的紀錄，但自 2011 年五月底一號壩壩體改善工程完成後，六月份以後至今的調查都看得到比往年更多的臺灣鏟頰魚出現在此河段，並同時也有魚苗的繁殖觀察記錄。研究人員亦於 2011 年 8 月 10 日於此河段發現一尾從一號壩下游標放的臺灣櫻花鉤吻鮭個體上溯至此，直接地顯示一號壩改善工程後所產生的正面效益。
6. 從歷年的普查資料研判，高山溪一號壩是臺灣鏟頰魚自然分布的上限。原本在高山溪一號壩下的殘材壩，於 2012 年四月崩解之後仍舊無更多的臺灣鏟頰魚上溯到高山溪一號壩以上，顯示其在高山溪的分布上限並未更往上移，可

能與高山溪河道較窄、兩側林相遮蔽程度較高，使得水溫仍保持在較低溫有關。

7. 七家灣溪一號壩壩體改善後的鮭魚普查結果顯示，已有部分標誌的臺灣櫻花鉤吻鮭可上溯至三號壩下。在二號壩以上河段所發現的臺灣鏟頰魚與一號壩上游河段所發現的臺灣鏟頰魚幼魚群，皆顯示七家灣溪二種主要魚類都可通過一號壩而上溯至上游河段。高山溪舊殘材壩下游河段之魚類數量原本在一號壩壩體改善後有較明顯增加的趨勢，但是在七家灣溪主流漸趨穩定之後，則數量又漸漸恢復以往的水平；2012年蘇拉颱風過後，又可見比壩體改善後更為大量的臺灣鏟頰魚躲在此處。顯示高山溪殘材壩下游河段，可以提供臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鏟頰魚做為在壩體改善工程期間，或是洪水影響時的重要庇護所。
8. 歷年普查結果各河段數量與全河段總數相關性最高的河段為五號壩至六號壩，其次為一號壩至二號壩以及二號壩至三號壩。三號壩至四號壩的 Y 形河段雖然在總數的相關性比不上前面提到的三個河段，但是對於幼魚的相關性卻非常高，僅略低於二號壩至三號壩。調查作業上理想的模式河段可以選擇五號壩至六號壩以及二號壩至三號壩。前者對於總數的相關性較高，後者對於各齡級數量的相關性較高。兩河段各屬上游與中游，不同的環境狀況可以提供互補的資訊讓預測能力更佳。如果想要調查夏季幼魚的數量，則可選擇三號壩至四號壩的 Y 形河段做為模式河段，以了解前一年的繁殖狀況。
9. 本年度採樣調查水棲昆蟲共計有 57 分類群(Taxa)，分屬 5 目或 34 科。由連續 10 年以上數據(2003 至 2014 年)看出，水棲昆蟲豐度幾乎都是在每年年初為高峰。中大體型水棲昆蟲數量(臺灣鉤吻鮭之可能大型食餌)，以 2011 年年初為最高。各測站之多樣性指數於各年變化區間相似。快速生物評估法 II (RBP II 指數)評估武陵地區棲地維持在無損害與中度損害之間。多元尺度分析(MDS)顯示桃山西溪(七家灣溪上游)、七家灣溪及高山溪的水棲昆蟲群聚結構變動具相同傾向，且於 2009~2014 年有勝溪測站與其他測站群聚結構相近。2011 年一號壩壩體改善工程對七家灣溪的水棲昆蟲群聚產生約 2.5 個月的短期負

面直接影響，導致數量和多樣性下降，等同遭受一小型洪水的衝擊。

10. 水質監測結果顯示，武陵地區大部分溪流水質良好，符合臺灣櫻花鉤吻鮭生存水質標準。在導電度及營養鹽方面，桃山西溪與高山溪均低於其他溪流；七家灣溪中下游測站及有勝溪則有較高的營養鹽濃度，與農耕施作導致該區導電度與營養鹽濃度高於其它溪流有關。二月份監測結果顯示，有勝溪硝酸鹽濃度高達 5mg/L，值得注意。
11. 一號壩壩體改善工程對下游水質尤其是濁度有立即性的影響，但在一至二週內即可恢復至溪水初始水質狀態，顯示突如其來之水質變化在短時間內即可恢復正常。截至目前為止各項水質監測結果顯示已回復至往年之變動趨勢。
12. 山溝及排水溝之硝酸鹽氮與磷酸鹽濃度仍高於七家灣溪測站，顯示該區域水質受人為活動影響，故持續的管理與改善仍有其必要性。
13. 8.1 公頃回收農用地之歷年監測結果觀察到 2010 年之後，桃山西溪(#2)、二號壩(#3)及觀魚台(#4)三測站硝酸鹽氮濃度差距幅度明顯從 2.2mg/L 縮小至 0.1~0.5 mg/L 之間，顯示該區域氮鹽濃度逐漸穩定，農地回收確實達到一定成效。
14. 已針對管理處人員、解說志工或高山志工，於八月份以及九月份完成基本水生昆蟲採樣與水質採樣分析之教育訓練，並展開利用浮潛法進行臺灣櫻花鉤吻鮭調查之訓練工作與水下實際操作(照片 1-1~1-4)(附件五)。

四、結論與建議

(一)結論

1. 魚類的移動能力佳，可以主動迴避壩體改善工程所帶來的干擾。從追蹤調查結果發現臺灣櫻花鉤吻鮭和台灣鏟頰魚，在拆壩後的壩上游測站有數量增加的現象，顯示魚類可以透過拆壩的缺口往上游移動。繁殖場測站魚類數量大幅度的波動，推論與此測站位於七家灣溪和高山溪的匯流口有關，因為河流的沖刷、運移作用，使得壩體下游的砂石堆積較為嚴重，而且魚類的移動能力佳，可以主動迴避干擾狀況，因此在兩條溪匯流處會有數量變動較大的情況發生。可能往七家灣溪更上游移動，另外也可能往高山溪移動來躲避壩體改善的擾動。
2. 壩體改善對於不同分類群水棲昆蟲的影響並不一致。壩體改善期間的干擾使壩體下游測站的雙翅目以及蜉蝣目受到直接干擾而降低密度，推論是對工程影響較敏感的物種。鞘翅目以及積翅目對於壩體改善的干擾而言不但沒有明顯密度下降的趨勢，反而上升，推論牠們可以抵抗砂石直接的覆蓋，因此受到的影響可能小於雙翅目以及蜉蝣目。毛翅目的生物量在四個測站有相同趨勢，且在拆壩期間的密度波動趨勢是增加，顯示毛翅目對於壩體改善的干擾較不敏感。
3. 水棲昆蟲的生物量趨勢不論在壩體改善前、後都有相同的波動幅度，且波動範圍皆維持在壩體改善前的平均值範圍內，代表不管有沒有受到壩體改善施工的影響，水棲昆蟲的生物量趨勢變動符合季節性的變化；只有在壩體改善期間生物量趨勢顯示較大的波動(雙翅目以及蜉蝣目為減少的趨勢)。對於水

棲昆蟲而言，主要的干擾是在壩體改善工程進行期間。

4. 一號壩壩體改善工程對下游水質尤其是濁度有立即性的影響，但在一至二週內即可恢復至溪水初始水質狀態，顯示突如其來之水質變化在短時間內即可恢復正常。武陵地區大部分溪流水質良好，符合臺灣櫻花鉤吻鮭生存水質標準。七家灣溪中下游測站及有勝溪則有較高的營養鹽濃度，與農耕施作導致該區導電度與營養鹽濃度高於其它溪流有關。山溝及排水溝之硝酸鹽氮與磷酸鹽濃度仍高於七家灣溪測站，顯示該區域水質受人為活動影響。8.1 公頃回收農用地之歷年監測結果觀察到 2010 年之後，各測站硝酸鹽氮濃度差距幅度明顯從 2.2mg/L 縮小至 0.1~0.5 mg/L 之間，顯示該區域氮鹽濃度逐漸穩定，農地回收確實達到一定成效。

(二)立即可行之建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：林務局、退除役官兵輔導委員會武陵農場、農委會林務局保育組、台中市政府

3. 高山溪與七家灣溪倒木殘材移除與監控工作。高山溪二號、四號破壩堆積之殘材壩與上游河段間大型倒木形成之殘材壩已由於先前人力鋸斷與颱風的影響而自然移除。建議國家公園仍須針對這些殘材壩之後續情況進行監測，使其不致形成高落差而影響鮭魚的自由移動阻斷基因交流。
4. 由監測結果顯示，人為活動較密集區，營養鹽濃度及導電度均較高，若能適度控管人為活動，針對遊客人數、農業施肥施藥量及污水處理設施等妥善管理，應可顯著降低七家灣溪流中下游之營養鹽濃度。

(三)長期性之建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：林務局、退除役官兵輔導委員會武陵農場、農委會林務局保育組、台中市政府

3. 七家灣溪一號壩壩體改善後魚類族群動態變遷研究。2011 年度七家灣溪一號壩壩體的改善工程的主要目標之一，就是希望可以透過壩體改善後使得七家灣溪河道暢通，除了可增加棲地利用之外，也應可擴大七家灣溪中鮭魚之基因交換機會，並減少下游魚類無法順利繁衍的問題，故建議主管機關在壩體改善後應持續進行魚類族群動態變遷之研究，與其他環境與生物因子變化的生態模式研究，其研究結果亦可提供往後壩體改善時之重要依據與寶貴資源。針對魚類研究往後的具體建議如下：
 - (1)以臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鏟頰魚兩種魚類做為指標物種。
 - (2)至少保留桃山西溪、二號破壩、繁殖場、高山溪等四個固定樣站，每年二月、四月、六月、八月、十月施做調查研究。
 - (3)建議針對七家灣溪二號壩~三號壩、三號壩~四號壩(加上無名溪之 Y 形封閉河段)、五號壩~六號壩；於每年夏季與秋季做該三段河段的普查。
 - (4)依經費狀況與天然災害的強度時間而定，至少每三~五年做一次夏季與秋季的武陵地區七家灣溪流全河段的普查。
4. 於重要測站(鮭魚活動密集、受人為活動污染潛勢高、未來規劃可能進行鮭魚移地保育等)放置溫度記錄器，定期蒐集水溫等相關資料，以評估臺灣櫻花鉤吻鮭棲息地七家灣溪流水溫之時空變化情形，供管理及決策參考。



照片 1-1、2014 雪霸志工教育訓練室內講解

(照片來源:本研究團隊)



照片 1-2、2014 雪霸志工教育訓練水質採樣解說

(照片來源:本研究團隊)



照片 1-3、2014 雪霸志工教育訓練水棲昆蟲採樣解說

(照片來源:本研究團隊)



照片 1-4、2014 雪霸志工教育訓練魚類調查實際操作

(照片來源:本研究團隊)

第二章 臺灣櫻花鉤吻鮭族群監測與動態分析

曾晴賢、陳彥谷、邱立鈞

清華大學生物資訊與結構生物研究所

一、前言

臺灣的臺灣櫻花鉤吻鮭 *Oncorhynchus masou formosanus* (Jordan and Oshima, 1919) ，又名臺灣鉤吻鮭 *Oncorhynchus formosanus* (Ho & Gwo, 2010) ，是世界上知名的魚類之一，其在生物地理學上的科學意義相當大，在亞熱帶地區的臺灣出現了寒帶性的鮭鱒科 (Salmonidae) 魚類，實在是令人意想不到的事情。

目前僅知臺灣櫻花鉤吻鮭在臺灣只分布於中部的大甲溪上游，由於本種有非常重要的學術和經濟價值，而目前數量稀少到瀕臨絕種的地步，因此政府於民國七十三 (1984) 年七月依「文化資產保存法」第 49 及施行細則 72 條之規定，指定並公告臺灣櫻花鉤吻鮭為珍貴稀有動物，至此，臺灣櫻花鉤吻鮭被列為文化資產之一。其現存棲息地的七家灣流域，並且在民國八十六 (1997) 年由農委會依據「野生動物保護法」，公告為野生動物保護區。

根據早期的記錄顯示 (Kano, 1940) ，臺灣櫻花鉤吻鮭在日據時代 (自 1917 年至 1941 年間) 的分布遍及今日松茂以上的整個大甲溪上游，包括合歡溪、南湖溪、司界蘭溪、七家灣溪及有勝溪等支流都曾是它的棲息地。其中司界蘭溪及七家灣溪的數量最多，甚至在七家灣溪還可以用投網的方式，每人每天可以捕獲到十五斤以上，在當時是當地原住民重要的食物來源之一。但是到了民國五、六十年代時日本人來臺灣採集調查時，發現就只剩下司界蘭溪、高山溪及七家灣溪有鮭魚的蹤影了 (Watanabe and Lin, 1988) 。當時並且發現這種魚類受到嚴重的迫害，毒魚、電魚的情形極為嚴重，魚類數量已經極度稀少。到了在民國七

十三（1984）年時，農委會委託台大動物系林曜松教授等人再次詳細調查時，發現只剩下七家灣溪約五公里左右的溪段，有這種國寶魚的存在（林等，1988）。之後又根據民國八十（1991）年林務局邱健介先生等人之調查，臺灣櫻花鉤吻鮭的棲地大概是以七家灣溪武陵農場迎賓橋為下限，向上至七家灣溪上游桃山西溪六號壩底下約七公里長之區域（邱，1991）。近年來由於人工復育的幼魚都放流在七家灣溪與高山溪的上游地區，所以後來的調查結果顯示，臺灣櫻花鉤吻鮭的分布範圍之最上游約在池有溪匯流點以下附近，海拔約在 1980 公尺左右，距離分布範圍的最低點七家灣溪與有勝溪匯流點約有八公里左右的距離。雖然過去亦曾經發現有極少數鮭魚個體會分布到更下游的大甲溪和平農場附近（曾，1996），但是這種情形應該是颱風等天災所帶來之洪水將部份個體沖刷到下游地區的結果，並未能夠在此下游河段建立穩定的族群。

雪霸國家公園管理處自民國八十三（1994）年五月起開始，委託辦理臺灣櫻花鉤吻鮭族群現況的普查（曾，1994、1995、1996、1997、1998、1999、2000、2001、2002、2003、2004、2005、2006、2007、2008、2009、2010、2011、2012、2013），本項研究計畫延續林曜松教授等人在七家灣溪主流域的族群數量調查工作（林等，1988；林等，1990；林等，1991；Tsao，1995），以瞭解並掌握臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量多寡、年齡結構組成和分布範圍的最新動態與變化情形。這些臺灣櫻花鉤吻鮭族群變動與分布資料不僅關係到本種珍貴保育類動物的存續問題，復為提供一般大眾了解臺灣櫻花鉤吻鮭族群現況，為雪霸國家公園管理處建立一個接續以往本種珍貴魚類之保育工作的基礎生態資料，因此有必要持續且全面調查該種魚類的分布現況，以瞭解其族群數量和分布變化情形。

多年來的調查結果分析顯示，天然災害如颱風、梅雨，對於臺灣櫻花鉤吻鮭族群的威脅最大，經常會影響整個鮭魚族群的數量與分布變化（曾等，2000）。加上此地甚多防砂壩阻隔的重疊效應，往往使得被洪水沖到下游的鮭魚無法再回到上游地區，影響族群的天然分布。而天然災害對臺灣櫻花鉤吻鮭族群最深遠的影響，主要是在產卵季節時對於新生族群的傷害，例如在 1994 年十月的產卵季

開始時，正好碰上豪雨使得溪水高漲，許多已經產完卵的巢場和卵均被沖毀。洪水同時挾帶甚多的泥沙，覆蓋許多未被沖毀的鮭魚產卵場，導致魚卵的死亡率大增（曾，1995）。

每年新生幼魚的加入對整個臺灣櫻花鉤吻鮭族群的影響甚巨，各河段魚卵孵化死亡率的高低影響到當年度各河段新生族群的加入（楊，1997）。如七家灣溪一號壩至二號壩之間的河段雖然在多年來都觀察到有許多產卵場，幼魚的數量卻都是偏低的。在 1995 年的調查中，發現此段唯一的一尾幼魚是在觀魚台棲地改善後的深潭中所記錄到的，其餘近二公里的河段竟然看不到其他的幼魚蹤跡（曾，1995）。這樣的現象提醒我們對各河段的水文水質特性進一步的調查分析，以了解魚群分布與環境因子之間的關係。由於七家灣溪流域長期進行水質監測與分析（陳，1996、1997、1998、1999、2000），因此本研究只就最有可能影響鮭魚族群的水溫條件著手分析研究，自 1996 年起開始就加上水溫長期監測與分析的工作，探討水溫在臺灣櫻花鉤吻鮭生活史各個階段所扮演的角色，以了解天然族群數量的變化與水溫之間的關聯。進一步研究影響水溫變化的各相關因子，期能提供一良好的策略作為管理單位棲地改善及經營管理的依據。同時為了瞭解臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量、結構及分布溪段的變化，提供管理單位保育經營政策擬定之精確的參考資訊與基本資料，持續進行長期而全面性的族群監測以及族群動態研究是相當重要的。

由於 2001 年繁殖季節的低水溫與少洪水等環境因素使得 2002 年幼魚數量大幅提高，由於當年度並未對七家灣溪流域進行人工繁殖放流工作，因此這些大量增加的幼魚都是自然生殖成功的加入族群，且在各個主、支流河段中都可以觀察到大量發生的幼魚族群，並未如以往只特別集中在某一河段，鮭魚總數因此創下族群調查工作以來的最高數量。隨後兩年內的幼魚更新狀況也不算差，因此自 2002 年以後的鮭魚數量都在三千尾以上，雖然各齡族群有所增減變動，但仍然顯得十分穩定。不過 2004 年夏季遭逢中度颱風敏督利（Mindulle）以及中度颱風艾莉（Aeri）侵襲，以及 2005 年多個連續颱風，包含七月強烈颱風海棠（Haitang），八月份中度颱風馬莎（Matsa）、輕度颱風珊瑚（Sanvu）、強烈颱

風泰利 (Talim)，九月份強烈颱風龍王 (Longwang)，超大且連續豪雨所帶來的洪水，使臺灣櫻花鉤吻鮭再次面臨生存威脅，由於大多數的防砂壩仍舊矗立，形成的阻隔效應使得風災對族群的衝擊放大，因此 2005 年夏秋季以來的族群數量，又呈現快速的衰退。不過風災過後在 2006 年夏秋兩季由於幼魚數量的增加，整個族群數量又大幅度的提升，之後雖然又歷經一些颱風的侵襲，但影響並不大。2007 年夏秋季節三個颱風，包含聖帕 (Sepat)、韋帕 (Wipha) 和柯羅沙 (Krosa) 的接連侵襲，帶來的充沛雨量也對七家灣溪流域造成一定的損害與衝擊，尤其是十月初的柯羅沙颱風來襲時已經是繁殖季節的初期，不過 2007 年秋季調查結果顯示，族群損失並未如預期般嚴重，大多數河道雖然因為風災洪水沖刷或是泥沙淤積完全改觀，但各河段仍保有許多良好的棲地環境。在 2008 年夏季的調查中，因鮭魚族群結構良好，幼魚數量的增加使的整個數量回到歷史上的新高點，但武陵地區在九月中旬又受到辛樂克颱風 (Sinlaku) 的侵襲，此次的雨量也對鮭魚的數量帶來衝擊。接下來的 2009~2012 年初整個武陵地區可謂是風調雨順，鮭魚的族群量亦不斷攀升，至 2011 年秋季以及 2012 年夏季調查達到歷史最高點，並已接近七家灣溪流域所預估的最大承載量。但 2012 年八月的蘇拉颱風 (Saola) 的降雨為武陵地區帶來相當大的洪水事件，大多數河道因風災洪水沖刷或泥沙淤積而改觀，鮭魚族群數量也受到衝擊而減少約三分之一。由於 2012 年蘇拉颱風洪水影響，使得武陵地區七家灣溪河床已變的相當不穩定，再經歷 2013 年七月的蘇力颱風 (Soulik) 所帶來的洪水事件影響，造成河道的側向侵蝕與崩塌，使棲地環境改變甚大，多數深潭與峽谷地形被填滿。2013 年秋季普查結果顯示臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量跟颱風前相比減少了約三分之二。2014 年無颱風侵襲武陵地區，因此鮭魚族群數量逐漸復原。雖然數量仍在一千多尾，但是其中小魚佔了近七成的數量，前景仍相當樂觀。

由於整個河床棲地在洪水衝擊後將完全改觀，由以往對賀伯風災的觀察經驗，棲地恢復以及族群穩定通常都需要二至三年以上的時間，甚至可能因為連續的天災，以及氣候變遷造成幼魚更新狀況不佳而使得族群數量跌到谷底，而且因為造成臺灣櫻花鉤吻鮭族群不穩定的各項因子依舊存在，許多河段的防砂壩依舊矗立，或是壩體改善之後仍有壩基或殘材所造成的落差，因此仍有必要密切且持

續地監測風災後臺灣櫻花鉤吻鮭族群變動以及棲地回復情形。

二、材料與方法

本年度計畫為「七家灣溪及高山溪鮭魚族群及棲地監測」的子計畫，本計畫延續了以往的臺灣櫻花鉤吻鮭長期族群監測工作，持續進行全流域的族群普查工作，在夏季及秋季分別進行兩次普查工作，主要希望瞭解各河段臺灣櫻花鉤吻鮭在前一年繁殖季節孵化及幼魚更新的狀況，及觀察瞭解各河段秋季成年鮭魚繁殖的狀況。調查範圍如圖 2-1 所示，包含迎賓橋（有勝溪匯流點）以上至桃山西溪六號壩的整個七家灣溪流域，其中並包含桃山北溪（舊名無名溪）、高山溪（舊名雪山溪或武陵溪）等支流，而湧泉池則由於這幾年來已跟七家灣溪無水流流通，目前前去調查裡面已無鮭魚生存，水溫也因無流動而較高。

族群數量調查採用浮潛法，此法是野外調查魚類的方法中花費較少，破壞性最低的方法（林等，1988），由於本流域平常水質清澈，對於族群數量已屆瀕臨絕種的臺灣櫻花鉤吻鮭而言，這無異是最為合適的方法。調查時採三人一組，其中一人於岸上記錄，二人穿著防寒衣、面鏡、呼吸管以浮潛的方式直接觀察和鑑定魚種及估計其大小，由於臺灣櫻花鉤吻鮭每年只進行一次繁殖活動，因此各齡魚間的體型差異明顯，因此本研究依其體長大小來辨別鮭魚的年齡，年齡是依鮭魚經歷繁殖期的次數作為依據，如一齡幼魚指經歷過一次繁殖期的鮭魚，全長約為 15cm 以下（幼魚夏季全長約在 5~8cm 左右，秋季則約在 8~15cm 左右）；二齡中型成魚指經歷過兩次繁殖期的鮭魚，全長 15~20cm 之間；及全長 25cm 以上的三齡大型成魚，指經歷過三次以上繁殖期的鮭魚，三齡以上大魚亦是參與繁殖的成魚。族群調查中利用手繪河道圖標定各齡魚的相對位置與數量。魚群較多的地點並輔以潛水相機和攝影機加以拍攝記錄，藉以進行族群結構、數量分布分析。調查結果均直接標示於河段圖面上，並比較歷年魚群數量、結構及分布的變化。

野外調查工作時，並且一併進行其他共域魚種 (Wang, 1989)，包含臺灣鏟頰魚 (*Onychostoma barbatulum*)、纓口台鰍 (*Formosania lacustre*) 與明潭吻鰕虎 (*Rhinogobius candidianus*) 的數量與分布狀況。不過由於其他魚類與鮭魚的生長速率不同，以及生殖特性不同，特別是數量最多的臺灣鏟頰魚，因生殖季節長，體型與體長都呈現連續變化，雄、雌魚性成熟的體型明顯不同，且數量眾多，並不如臺灣櫻花鉤吻鮭般容易判定。不過為了調查與記錄的方便，我們只在調查當時，採用與臺灣櫻花鉤吻鮭相同的體型判別標準進行調查與記錄，記錄不同體型族群的數量與分布位置，並未針對其實際年齡進行判斷與討論。

三、調查結果

(一) 水蟲水質監測共同樣區的調查結果

本年度計畫配合棲地水質及水生昆蟲監測的需要，在八個共同樣點(圖 2-1)中進行定點監測(有勝溪樣站因無鮭魚分布故未做調查)。六月以及十月各進行一次監測工作，以瞭解共同樣區內魚類種類與數量分布等狀況。今年各樣點調查結果如表 2-1 所示。各個固定河段的調查結果與歷年總結說明如下：

Site2：桃山西溪（武陵吊橋）

本河段的調查點位於武陵吊橋下的稍上游河段，棲地型態以平瀨或急瀨為主，不過在調查樣點下游，有個依著岩壁地形的大型深潭。本樣站六月的調查結果中(表 2-1)，以中型的鮭魚數量較多，小型鮭魚次之，並沒有看到大型成鮭。十月調查結果略少於六月份，但有調查到一尾大型成鮭。而此樣站今年仍沒有臺灣鏟頰魚的紀錄。

以 2000~2014 年為止三號壩~四號壩間河段臺灣櫻花鉤吻鮭的數量變化圖

來看，可看出此樣站與全河段的數量變化趨勢有一定程度的相似，尤其是在 2002 年、2008 年與 2011 年夏季幼魚大發生時都有出現明顯的高峰，而颱風事件所造成的數量下降也可以觀察到明顯的低峰，如 2005 年的海棠、馬莎、泰利、龍王等數個颱風，以及 2012 年蘇拉颱風與 2013 年蘇力颱風。在經過相似度的分析後，發現此河段的幼魚數量與全河段的幼魚數量相似度最高，相似度達百分之九十。過去之所以會認為此河段可以代表全河段的族群變動狀況可能是因為在大部分的調查中，幼魚所佔比例最高，因此與幼魚數量相關性最高的此河段在數量變動圖上看起來的確非常相似。但是如果將中大型成鮭考慮進來的話，相關性最高的河段其實並非此河段而是五號壩~六號壩之間的河段。三號壩~四號壩間的河段可以如此反應幼魚族群數量的變動，其原因可能在此處為一個 Y 形的封閉式的系統，上有四號壩與四號副壩阻隔，下有三號壩的極高落差，進入桃山北溪的支流後也有一個自然的岩盤落差，因此在正常的狀況下這個區域中的於是無法跟其他區域交流的。就棲地而言，由於此處為桃山西溪與桃山北溪的交會，同時具有兩條溪的棲地型態，因此棲地多樣性較高，如有適合棲息的深潭也有可提供繁殖的緩流等，就如同全河段也有各種的棲地，因此也可以反映出洪水風災後對於棲地的破壞情形。

綜合歷年結果來看，此樣站監測數量頗能反映整體武陵地區的臺灣櫻花鉤吻鮭幼魚族群每年更新之族群健康狀況以及受風災影響之狀況，建議往後應要列為持續施作研究的樣站。

而 2005~2014 年為止此樣站臺灣鏟頰魚數量一如所預料的沒有記錄到有臺灣鏟頰魚族群在此活動的跡象，因正常狀況下臺灣鏟頰魚是無法越過三號壩而來到本樣站的。唯有 2012 年蘇拉颱風過後的十月份普查在此處發現一尾中小型臺灣鏟頰魚，並進行捕捉派照確認（照片 2-4）。這尾臺灣鏟頰魚研判有可能是人為方式帶到該樣站的。

Site3：二號破壩

此樣站設立目的在於瞭解此樣站旁之 8.1 公頃農地回收之後，是否有助於改善七家灣溪的水質狀況。本河段的調查位於七家灣溪二號破壩前，也就是舊鮭魚復育中心（已毀損）的旁邊。棲地型態以平瀨或急瀨為主，在調查樣點上游，有二處依著岩壁地形的大型深潭，通常也是這二處深潭有較多的鮭魚紀錄。在今年六月浮潛的調查紀錄上（表 2-1），三種體型的鮭魚都可以在此樣站被發現，其中以小型的鮭魚數量最多，中大型鮭魚較少。十月調查時，剩下中大型鮭魚，小型鮭魚可能因為上游峽谷地形的水勢較六月小，可上溯至上游的潭區棲息，因此在樣站中並沒有調查到。本處岩壁旁的深潭在蘇力颱風過後也被礫石填高，水深變淺。

以 2005~2014 年為止此樣站臺灣櫻花鉤吻鮭的數量來看，可得出此樣站臺灣櫻花鉤吻鮭的平均尾數（Baseline）約為 31 尾，雖然 2008~2009 年本樣站並未做監測調查，但仍可從趨勢看出自 2006 以後本樣站的鮭魚總數是穩定成長的，2010~2012 年間的鮭魚總數基本上都有超過平均尾數。一號壩壩體改善工程結束後，從迎賓橋到此處基本上對於魚類的洄游是暢行無阻的，在壩體改善後的幾個月內本樣站鮭魚數目有明顯的升高，也有大量小魚的發現，這應該跟 2011 年武陵地區整體鮭魚族群數量上升、幼魚在繁殖季孵化成長良好、以及壩體改善造成的廊道暢通帶來的正面效益都有相關。

為了進一步了解壩體改善是否對魚類洄游帶來正面的效益，我們以 2005~2014 年為止此樣站臺灣鏟頰魚數量的數量來看，顯然可以看出 2005 年至 2011 年為止此樣站皆未曾有過臺灣鏟頰魚的紀錄，但在 2011 年壩體改善後的十月份與十二月份以及 2012 年至 2014 年的調查都有臺灣鏟頰魚的紀錄，可看出應與七家灣溪一號壩改善工程完成後所使魚類洄游廊道暢通有關。此樣站從壩體改善後第一次出現魚至今所計算出的臺灣鏟頰魚平均尾數（Baseline）約為 16 尾，至今為止已經連續超過 4 次調查的臺灣鏟頰魚總數都在平均尾數之上。本樣站因位於七家灣溪主流中下游與高山溪之間暢通廊道的最上游樣站，也可作為研究一號壩壩體改善後對於七家灣溪中兩種指標魚種（臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鏟頰

魚) 的正面影響，故建議往後應要列為持續施作研究的樣站。

Site4：觀魚台

本河段的調查點位於觀魚台下游約 150m 的七家灣溪河段，棲地主要是平瀨地形，但有較多的大石頭，在較上游河段的轉折處有個深潭區。此處通常開始記錄到較多的臺灣櫻花鉤吻鮭，而以往臺灣鏟頰魚的分布在此處開始也開始受到侷限，在該區域及其以上河段的數量通常都相當零星，此測站在一號壩改善前可以視為是臺灣鏟頰魚的過渡地帶，在一號壩壩體改善之前的歷年調查都只有發現零星記錄，然而壩體改善過後的調查包含今年六月份皆有臺灣鏟頰魚的紀錄。在鮭魚的紀錄方面，在 2013 年蘇力颱風之後僅剩零星鮭魚數量，今年六月份的調查只有記錄到中小體型的鮭魚，十月份甚至只記錄到一隻中型鮭魚（表 2-1）。本樣站的臺灣櫻花鉤吻鮭就歷年的資料來看，是處在一種動態的變化當中，通常每年年中會因為新生幼魚的加入而在數量上有小波峰出現；本樣站臺灣櫻花鉤吻鮭的平均尾數（Baseline）約為 11 尾。而本樣站臺灣鏟頰魚的歷年資料則可看出一號壩壩體改善所帶來的正面效益。從 2006 年以來臺灣鏟頰魚一直只有零星的紀錄，但自 2011 年五月底一號壩壩體改善工程完成後，六月份以後的調查馬上就看到比往年更多的臺灣鏟頰魚出現在此樣站。從一號壩壩體改善之後所計算出臺灣鏟頰魚在此樣站目前的平均尾數約為 7 尾，而 2013 年以及 2014 年的調查大部分都在平均尾數之上。而且研究人員曾於 2011 年 8 月 10 日於此樣站發現一尾從一號壩下游標放的鮭魚個體上溯至此（照片 2-5），直接地顯示一號壩改善工程後所產生的效益。

Site5：繁殖場（新復育中心）

本河段調查點位於七家灣溪與高山溪匯流後，新復育心中旁的七家灣溪河段，棲地型態主要是水深較深的平瀨環境，在高山溪匯流點附近有個小型深潭區，大多數魚群都是在平瀨區域被紀錄到，不過臺灣櫻花鉤吻鮭通常分布在匯流點附近的水潭區，且此處通常開始記錄到較多的臺灣鏟頰魚。今年六月在鮭魚與臺灣鏟頰魚調查的結果部分（表 2-1），以中型的臺灣鏟頰魚較多，鮭魚則有中

小型個體的零星紀錄。十月調查到較多的臺灣鏟頰魚，以小型的臺灣鏟頰魚為主，岸邊可觀察到五十餘隻的魚苗，鮭魚方面則與六月差不多。本樣站的臺灣櫻花鉤吻鮭就歷年的資料來看可計算出其平均尾數（Baseline）約為 11 尾，且在 2011 年一號壩壩體改善之後到 2013 年間，大部分的調查數量都高於平均尾數，而自 2005 年到 2011 年壩體改善前的調查則只有少數幾次調查數量等於或高於平均尾數。在 2013 年的蘇力颱風過後本區的平瀨以及深潭區被礫石填高，之後棲息於此地鮭魚數量則是普遍低於平均尾數。一號壩改善之後有比以往更多一些中小型鮭魚的紀錄，可能是因為有較多的魚可來往於七家灣溪與高山溪之間，使得原本位於一號壩下游的本樣站其鮭魚族群不再是因為水溫較高且被一號壩阻隔而無法繁殖的死族群，而有更多的幼魚可以在此處通過或棲息。本樣站因位於七家灣溪主流中下游與高山溪之間暢通廊道的中繼匯流口，也是七家灣溪主流受擾動時魚類前往高山溪避難的必經之路，故建議往後應要列為持續施作研究的樣站。

Site8：高山溪

本河段的調查點位於高山溪一號破壩上游，右岸有蛇籠護岸，但部分已經毀損崩落，棲地型態以急瀨為主，不過因為高山溪的底質較多大粒徑石頭，加上坡度較其他河段來得大，因此形成類似階梯狀的急瀨地形。本河段都是以臺灣櫻花鉤吻鮭為主要魚類，以往有時可以記錄到零星的臺灣鏟頰魚個體，不過近七年的歷次調查都只記錄到臺灣櫻花鉤吻鮭，只有 2013 年的四月、八月、十月才又有零星的臺灣鏟頰魚紀錄。今年六月的調查中（表 2-1），可能受去年蘇力颱風的影響，只記錄到個位數量的臺灣櫻花鉤吻鮭。十月調查到兩尾中型鮭魚與六尾小型鮭魚，臺灣鏟頰魚則是有記錄到一隻小型魚。本樣站的臺灣櫻花鉤吻鮭就歷年的資料來看可計算出其平均尾數（Baseline）約為 8 尾，數量原本就不多，且 2005 年到 2010 年夏季為止的數量都少於平均尾數，直到 2010 年夏季之後才開始有比較多臺灣櫻花鉤吻鮭的紀錄，且大部分數量都高於平均尾數，一直到 2012 年蘇拉颱風後，可能由於棲地的改變（今年觀察附近就有 3 處崩塌地），讓此處的鮭魚數量又再下降。由於高山溪一號壩就歷年的普查資料來看，已是臺灣鏟頰魚大部分分布的上限，因此位於高山溪一號壩上游的本樣站，過去只有 2005 年

七月、以及 2013 年四月、八月、十月有零星的調查紀錄。本樣站下游原有個殘材壩，在 2012 年四月崩解之後仍無多量臺灣鏟頰魚上溯來此之記錄，顯示其在高山溪的分布上限並未上移，可能與高山溪河道較窄、兩側林相遮蔽程度較高，使水溫仍保持在較低溫有關。本樣站由於是七家灣溪流流域支流高山溪中監測臺灣櫻花鉤吻鮭唯一之樣站，也可持續觀察臺灣鏟頰魚之分布上限與氣候變遷水溫變化之間的關係，故建議往後應要列為持續施作研究的樣站。

以上是共同樣區範圍的調查狀況，不過由於無論是臺灣鏟頰魚或是臺灣櫻花鉤吻鮭的平日移動範圍都並非僅限於共同樣區範圍內，因此平時僅將各河段的鮭魚數量列表提供其他相關子計畫研究團隊進行相關係數分析時使用。目前本研究由歷年資料分析的結果，發現到桃山西溪樣站最能反映武陵地區整體臺灣櫻花鉤吻鮭的族群狀況；而二號破壩以及觀魚台樣站則最能看出一號壩壩體改善之後廊道暢通對於魚類上溯所產生的正面效益。建議往後針對魚類的研究仍至少需保留桃山西溪、二號破壩、繁殖場、以及高山溪等 4 個樣站做持續性的調查，以便能掌握武陵地區臺灣櫻花鉤吻鮭以及臺灣鏟頰魚的整體族群概況以及空間變化。

Site12、13：一號壩上、下游

為了解七家灣溪一號壩壩體改善前後，對臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鏟頰魚族群的影響，本研究亦在一號壩上下游各 100 公尺處設立樣站進行監測作業。

此兩個樣站為距離一號壩壩體改善施工地點最近的二處樣站（圖 2-1），由於受到的干擾程度較大，其棲地也有明顯的改變（照片 2-1，照片 2-2）。一號壩上游樣站部分，原本的一處深潭與深賴的棲地類型，受到施工便道與工程將河道掏深的影響，轉變為急賴的棲地類型，下游樣站原本多為峽谷深潭的棲地類型，受到一號壩體的施工影響，以及 2012 年以及 2013 年颱風的影響，堆積許多的礫石與細沙導致河道抬升，也讓原本的深潭幾乎消失。在魚類的監測部分，施工後的 2011 年 6 月 4 日的調查結果上，一號壩上游樣站沒有發現任何魚類的紀錄，其原因可能是距離施工的日期較近，干擾仍大，整個棲地樣貌與水文條件尚未恢

復穩定，但是一個星期過後，便開始有魚類的紀錄，且無論是臺灣櫻花鉤吻鮭或是臺灣鏟頰魚，都較壩體施工前有較多的數量紀錄，其中又以臺灣鏟頰魚增加的趨勢更為明顯，甚至在 9 月 15 日的監測記錄上，發現 171 尾臺灣鏟頰魚的幼魚群，這是 2009 年以來首次在一號壩上游觀測到的臺灣鏟頰魚繁殖現象；另外也包含 7 尾大型和 16 尾中型的臺灣鏟頰魚。顯示一號壩壩體改善後，確實有益於臺灣鏟頰魚的自由移動。在今年六月的調查紀錄上也是有較多的臺灣鏟頰魚的紀錄，十月無調查到任何的鮭魚，臺灣鏟頰魚的數量也遠低於六月的記錄，可能是因為秋季水溫較低，臺灣鏟頰魚的分布下降。

在一號壩下游樣站部分，則因為峽谷深潭的棲地受到一號壩體的施工影響，堆積許多的礫石與細沙導致河道抬升，也讓原本的深潭完全消失。也因為原本較適合魚類利用的棲地減少，且魚類已可往上游上溯，不再被限制在一號壩下，而使此樣站的臺灣櫻花鉤吻鮭數量反而減少。不過經過 2012 年蘇拉颱風大水沖刷，把壩體改善後填在巨石縫隙下的土石運走之後，反而又變成可讓魚類棲息躲藏的空間出現，使得臺灣鏟頰魚的數量在蘇拉颱風後反而增多，2013 年也可看到相似現象，在蘇力颱風三個月後的十月份，反而使的臺灣鏟頰魚的數量增加。目前有較多數的臺灣鏟頰魚會棲息於本樣站左岸的大白石下方。今年六月的調查紀錄上只有臺灣鏟頰魚的紀錄，而沒有紀錄到臺灣櫻花鉤吻鮭。十月調查記錄到零星幾隻鮭魚與近四百尾的臺灣鏟頰魚，其中有 205 尾的魚苗。

（二）臺灣櫻花鉤吻鮭普查族群數量與分布

今（2014）年六月份於七家灣溪的普查由於遇到西南氣流帶來的天氣不穩定以及下雨，造成水量較大的情形，尤其是高山溪水色混濁，水裡的視線範圍大約只有 1 公尺，而七家灣溪主流中下游水裡的視線範圍則是有 3~5 公尺，但因流心水量太大無法接近，或因水花太多無法觀察，因此今年六月份的普查結果應有低估之情形。六月的普查結果顯示（表 2-2）七家灣溪與高山溪河段臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量共計有 1,326 尾，較去年蘇力颱風後回復了約 81 尾的數量。其中一齡小魚就有 916 尾（照片 2-3），佔全部數量的 69.08%，二齡中型鮭魚有 306 尾，佔全部數量的 23.08%，三齡大型成魚則有 104 尾，佔全部數量的 7.84

%。族群結構呈現以小型鮭魚較多，中型鮭魚次之，而大型鮭魚較少的金字塔型族群結構，顯示今年六月之前武陵地區臺灣櫻花鉤吻鮭族群更新狀況相當良好，受到去年蘇力颱風影響的鮭魚族群數量因為新生幼魚的加入而有成長。

今年夏季並無嚴重的豪雨風災，提供了良好的環境給臺灣櫻花鉤吻鮭成長。秋季普查的結果顯示七家灣溪與高山溪河段臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量共計有 1,648 尾，比六月普查多了 322 尾，其中一齡小魚有 672 尾，佔全部數量的 40.78%，二齡中型鮭魚有 692 尾，佔全部數量的 41.99%，三齡大型成魚則有 284 尾，佔全部數量的 17.23%。小型鮭魚與中型鮭魚數量相當，大型鮭魚較少，族群結構呈現子彈型的結構。但是與六月普查結果比較後發現，小型鮭魚數量減少 244 尾，而理論上秋季時數量不應該會增加的中型鮭魚多了 386 尾，加上在野外調查時的確有觀察到不少鮭魚在 15 公分上下，在體型的判定上是難以界定的，因此推測有部分的中型鮭魚其實是成長較快速的一齡鮭魚，跟夏季數據比較之下可以推測這種成長較為快速的一齡魚至少有 240 尾左右。此觀察結果顯示今年新生小魚成長狀況良好，且族群結構其實應該還是仍偏向較穩定的金字塔形，顯示今年整體的更新狀況還是不錯的。事實上，在過去調查報告中也有發現體型判別的問題（曾，2002、2006），通常在幼魚數量與比例較高的年份可較明顯地看出來。雖然此調查與分齡方法進行族群結構的估算難免有些誤差，但是因為臺灣櫻花鉤吻鮭是珍貴的保育物種，在法令規定下無法直接進行捕捉觀察，若要估算其族群結構，利用浮潛目視來估計體長仍是目前較可行的方法。

由於 2012 年蘇拉颱風洪水影響，使得武陵地區七家灣溪河床變的相當不穩定，在經歷 2013 年七月份蘇力颱風所帶來的洪水事件影響，造成河道的側向侵蝕與崩塌，使棲地環境改變甚大，多數深潭與峽谷地形被填滿。2013 年的秋季普查結果顯示（表 2-2），受到七月蘇力颱風所帶來的影響，臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量跟颱風前相比減少了約三分之二，而且中小型鮭魚由於對大水的耐受力較低，受颱風影響減少很多，新生族群僅剩少部分留存。所幸今年夏季的普查結果顯示雖然魚的總數並沒有增加許多，但小型鮭魚比例很高，顯示今年六月之前武陵地區臺灣櫻花鉤吻鮭族群更新狀況良好，且秋季普查的結果也顯示夏季到秋季時小魚的生長狀況良好，受到蘇力颱風所影響的鮭魚族群數量在無後繼的大型天

災下可望漸漸恢復。

今年七家灣溪流域各個河段的鮭魚數量上(表 2-2)，可以看出無論是去(2013)年或今(2014)年，都是以中游與上游河段所佔的比例較高，二者所佔的比例將近八成左右，而下游河段與高山溪比例較低。在今年夏季與秋季的普查結果上，中游河段(一號壩至三號壩)所佔的比例較高，夏季為 46.23%，秋季為 46.78%(圖 2-6B)，跟去年的 45%~49%差不多。其次為上游河段(三號壩以上，含桃山西溪與桃山北溪)，夏季為 41.93%，秋季則降為 34.77%(圖 2-6C)，較接近去年的 29%~35%，2013 年由於蘇力颱風的影響，秋季調查時三號壩上以及四號壩上的鮭魚數量變的極少，被颱風帶走的鮭魚因攔沙壩的阻隔而無法回到三號壩及四號壩上，在四號壩至五號壩這一區段甚至完全不見任何鮭魚蹤跡；然而由於桃山北溪水量較小，受到颱風的影響也相對小的多，此處的鮭魚族群即佔了 2013 年秋季調查上游部分魚群的 85.5%，桃山北溪可視為上游河段部分鮭魚的庇護所，也因此才讓上游的鮭魚族群能保持在總族群量的 35%，今年夏季的普查顯示上游河段有許多的幼魚加入，繁殖季的更新情況良好，才讓上游河段所佔的族群比例提高。而下游河段(迎賓橋至一號壩)所佔的比例夏季為 1.43%，秋季則為 2.55%(圖 2-6A)，比去年的 4%~5%低，夏季時可能是水色混濁以及水量太大造成的族群統計低估情形；高山溪所佔比例夏季則為 10.41%，秋季上升為 15.90%(圖 2-6D)，夏季較秋季以及 2013 年的 16%為低，除了水色混濁可能所造成的低估情形之外，也代表高山溪仍受蘇力颱風的影響，棲地改變使鮭魚族群數量降低。以歷年結果來看自 2000 年以來，臺灣櫻花鉤吻鮭最主要的分布地點都集中於一號壩以上的中上游河段，且其數量高於下游河段與高山溪，但是高山溪的鮭魚族群在非面臨天災的狀況下似乎有增加的趨勢。

若從 2002 年至 2014 年七家灣溪中下游河段(迎賓橋至三號壩)的臺灣鏟頰魚族群的數量變化來看，下游河段(迎賓橋至一號壩)的臺灣鏟頰魚族群數量雖然變動相當大，但是一直都有新的個體補充進來，加上鄰近的有勝溪與大甲溪都是臺灣鏟頰魚適合棲息的棲地，故此河段都能維持一定的族群數量。而中游的一號壩至三號壩之間的河段，在 2004 年夏季以後，遭逢敏督莉以及艾莉颱風侵襲，以及 2005 年多個連續颱風，包含七月強烈颱風海棠，八月份中度颱風馬

莎、輕度颱風珊瑚、強烈颱風泰利，九月份強烈颱風龍王，超大且連續豪雨所帶來的洪水，使中游河段的臺灣鏟頰魚族群遭受強烈的干擾與衝擊，加上大多數的防砂壩仍舊矗立，形成的阻隔效應使得風災對臺灣鏟頰魚族群的衝擊放大，導致 2004 年至 2011 夏季這段期間，中游河段的臺灣鏟頰魚數量都相當零星，尤其是 2006 年以後到 2011 年夏季，二號壩至三號壩之間就完全沒有臺灣鏟頰魚的紀錄。但是在 2011 年 5 月底一號壩改善工程結束後，在 2011 年以及 2012 年的十月份秋季普查中二號壩至三號壩之間的河段都有臺灣鏟頰魚的紀錄，雖然數量仍不多，但卻是相當明顯的變化。尤其是 2012 年八月武陵地區也曾經遭逢十年一度級的蘇拉颱風洪水事件影響，緊接著 2013 年七月的蘇力颱風伴隨著蘇拉帶來的棲地不穩定化效應，讓七家灣溪的棲地變化更大，但這兩年秋季普查時仍能在七家灣溪中游二號壩至三號壩之間發現臺灣鏟頰魚的族群，此現象應該也是一號壩改善工程施工後所產生的正面效應，亦即可以讓被洪水沖到一號壩以下的臺灣鏟頰魚個體能自由上溯至中游河段棲息利用，而不至於像 2004 年夏季颱風之後連續七年在二號壩以上的族群數量都相當低。由近年整體結果看來，2011 年一號壩壩體改善之後，從 2011 年秋季以後開始到 2014 年整體的臺灣鏟頰魚分布上限在七家灣溪有上移的現象，可能與壩體改善後原本在下游的魚類可自由通過有關；但高山溪的固定樣站，其下游殘材壩在 2012 年四月崩解之後仍無臺灣鏟頰魚之記錄，顯示其在高山溪的分布上限並未上移，可能與高山溪河道較窄、兩側林相遮蔽程度較高，使水溫仍保持在較低溫有關。

四、討論

(一) 臺灣櫻花鉤吻鮭歷年族群結構變化

將歷年族群調查數量及族群結構整理比較如圖 2-2、2-3、2-4，探討 1987 年以來的族群調查結果。1987 年至 1993 年以前的調查結果取自 Tsao (1995)，其統計河段為七家灣溪一號壩至三號壩之間河段，唯當時的七家灣溪上游與高山溪河段，並沒有臺灣櫻花鉤吻鮭族群的存在，整體族群總量也大都在 1,000 尾以下。1994 年以後由本研究團隊進行調查，調查的期間可以見到有數個大型風災或是繁殖期豪雨是讓臺灣櫻花鉤吻鮭族群下降最主要的原因。如 1996 年的賀伯颱風、1998 年五、六月的連續豪雨，2000 年十一月才來到的象神颱風接連著 2001 年的桃芝、納莉颱風更是使得族群數量僅剩下岌岌可危的 400 尾左右 (圖 2-2)。從 1987 年至 2001 年的鮭魚族群總量全都在 2,500 尾以下，且只有少數時間有超過 1,000 尾。但自 2001 年完成高山溪所有壩體改善後，2001 年至 2002 年的繁殖季低水溫加上春季乾旱，以及可利用的棲地增加，產生鮭魚繁殖大發生的現象 (圖 2-3)，族群總數一口氣衝破 3,000 尾以上。自此之後除了 2005 年兩次普查結果因為受到當年度春季豪雨與夏季接連數個強烈颱風天候影響，造成數量銳減至 523 尾之外。其他各次調查結果總數都有 1,000 尾以上，尤其在 2005 年之後，臺灣櫻花鉤吻鮭族群又逐年有數量回升的趨勢，且多能維持在 2,000 尾以上，2008 年之後則維持在 3,000 尾以上 (圖 2-2)。至 2011 年秋季以及 2012 年夏季達到歷年族群數量最高的 5,479 尾，接近武陵地區七家灣溪臺灣櫻花鉤吻鮭保護區最大承載量的 5,807 尾 (林，2010)，顯示 2008 年至今臺灣櫻花鉤吻鮭族群量處於一穩定的狀態，此結果亦顯示 2008 年歷經卡玫基、辛樂克、薔蜜颱風侵襲之後的 4 年間，武陵地區並沒有遭受嚴重的天災侵襲，讓此區的臺灣櫻花鉤吻鮭可以持續維持一穩定族群量。然而 2012 年度十月份的秋季普查結果顯示，受到八月蘇拉颱風所帶來的洪水事件影響，臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量僅剩 3,764 尾，跟颱風前相比減少了約三分之一 (圖 2-2)。但由於風災過後臺灣櫻花鉤吻鮭的族群結構仍屬更新狀況良好的筒型結構 (圖 2-4)，並且一號壩改善工程後種種證據顯示被洪水沖往下游的魚還是能夠透過生態廊道回到七家灣溪的

中游，2013 年夏季的普查結果即可見到不少新生幼魚的出生以及族群數量的些微復原。然而由於 2012 年蘇拉颱風洪水影響，使得武陵地區七家灣溪河床變的相當不穩定，在經歷 2013 年七月份蘇力颱風的影響後，造成河道的側向侵蝕與崩塌，使棲地環境改變甚大，多數深潭與峽谷地形被填滿，秋季普查臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量僅剩 1,245 尾，跟颱風前相比減少了約三分之二，出乎原本只會下降三分之一的預測。連同歷史調查結果以及天災資料來看的話，這也證明七家灣溪的鮭魚族群會受到最大影響的天災有兩類，一是連續衝擊的颱風或洪水事件，容易造成棲地的變動；二則是在繁殖季發生的颱風或豪雨，會對剛出生的新生族群產生威脅。未來在一號壩已經改善的情況下但卻可能更容易有極端氣候降雨的條件下，七家灣流域中的臺灣櫻花鉤吻鮭族群是否有持續增長的空間值得我們繼續關注與研究監測。

若比較歷年的族群結構變化（圖 2-3、2-4），雖然僅有 2002 年、2006 年、2008 年、2013 年、2014 年這幾年有幼魚大發生的時期才有穩定的金字塔型結構，但其他時候也能多能維持以中型鮭魚居多的中胖型結構，且小型鮭魚與中型鮭魚的族群數量差異並不明顯。自 2002 年族群狀況穩定以後，就一直是中小型鮭魚多於大型鮭魚，顯示以小型和中型鮭魚為主要優勢齡級，可以維持七家灣溪鮭魚的族群穩定；再從圖 10-5 來看歷年各齡級鮭魚的族群數量變化，亦能得知 1995 年以來，小型和中型鮭魚數量增加較明顯，而大型鮭魚則較為平緩，限制大型鮭魚的增加或許與環境承载力有關聯，而 Hjort（1904）在進行大西洋鮭研究時曾經觀察到整個族群中有某一「齡級」(year-class) 的數量，相較其他齡級，會持續保有數量上的優勢多年。這種情形與一般想像魚類族群的組成並不完全相同，其真正的原因雖然還並不清楚，不過許多學者都認為優勢齡級的生成在生活史初期時，如孵化與仔稚魚等的那一段時期就已決定（Chamber et al., 1997）。觀察臺灣櫻花鉤吻鮭歷年的族群結構變動，似乎也可以觀察到這樣的現象。但由於臺灣櫻花鉤吻鮭的壽命只有三至四年，而且分齡族群統計次數也少，加上氣候變遷影響頻仍，以及防砂壩效應的干擾，似乎並不容易直接判定。由於臺灣櫻花鉤吻鮭和臺灣其他溪流性魚類不同，一年僅繁殖一次，因此其繁殖季節的成功與否，直接關係到隔年的幼魚族群數量與分布狀況，因此其族群數量與結構特別容

易遭逢到天災變動的影響。雖然臺灣櫻花鉤吻鮭進行繁殖的秋冬季節，已經是一年之中豪雨風災較少的時節，不過由近年來風災侵襲的狀況來說，以及全球氣候變遷的可能影響，臺灣櫻花鉤吻鮭族群的未來仍有可能面對相當大的挑戰。

(二) 七家灣溪一號壩壩體改善與魚類監測結果

雪霸國家公園於 1999-2001 年間為了臺灣櫻花鉤吻鮭的保育，曾在高山溪陸續進行四座攔沙壩的改善工程，而根據研究顯示，高山溪四座壩體的拆除了可以改善族群之間的阻隔，降低基因同質化的問題之外，也因為壩體的拆除後可將細沙與淤泥從中上游帶走，提高大石頭的比例，增加洪水與渡冬的避難處所，對於高山溪的鮭魚族群確有正面的效應（鐘豐昌，2007）。而 2011 年雪霸國家公園更於 5 月 26 日針對七家灣溪一號壩進行壩體改善，並於 5 月 30 日完成，本研究同時配合壩體改善前後，針對魚類族群進行密集的監測工作（圖 2-3）。

根據已經完成的監測資料顯示，在一號壩壩體改善之後幾天內，一號壩上下游的棲地樣貌與水文條件尚未恢復穩定，但是一個星期過後，上游樣站便開始有魚類的紀錄。其中，有幾個記錄可以顯示一號壩壩體改善後對於魚類的助益：(1) 在 2011 年九月份時於一號壩上游樣站調查到的臺灣鏟頰魚幼魚魚群（171 尾），這是近年來的第一次紀錄，顯示臺灣鏟頰魚已經開始在一號壩上游建立族群；(2) 從 2002 年至 2014 年七家灣溪中下游河段（迎賓橋至三號壩）的臺灣鏟頰魚族群的數量變化、二號破壩以及觀魚台固定樣站歷年來的監測結果來看，也可以推測在一號壩壩體改善後，拓展了臺灣鏟頰魚在七家灣溪中的棲息利用空間；(3) 研究人員於一號壩壩體改善後，已經有數次於一號壩以上的河段記錄到標誌的臺灣櫻花鉤吻鮭（照片 2-5），如：三號壩下深潭、觀魚台固定樣站或二號壩等，這些記錄都顯示部分鮭魚已經可以自由地於一號壩上下游移動。

除上述一號壩壩體改善後對魚類的助益之外，高山溪匯流處至原殘壩前的河段，從資料上的顯示可以得知此河段為壩體改善產生干擾時的重要庇護河段，無

論是臺灣櫻花鉤吻鮭或臺灣鏟頰魚都會利用此河段當成其庇護所，以避開壩體改善時所產生的濁度或河中滾動之砂石，此一現象亦值得將來國內要進行類似的河川構造物改善時，可以參考的工程安排選項之一。也就是說，在工程進行的同時，也要將工程影響範圍內的魚類是否有庇護躲藏的空間考量進去。

（三）氣候變遷對臺灣櫻花鉤吻鮭族群的影響探討

人類當前所面臨最重大的環境議題之一是氣候變遷（Scott et al. 2002），氣候變遷對於整個生態系的影響可從不同的層級討論，對於生物個體的層級上，氣候變遷可能會影響個體的形態、生理狀況與行為上的改變；對族群層級而言，可能會影響族群的出生與死亡率，也會改變遷移的模式，造成族群量的增加或減少與族群結構的改變，也會影響物種的空間與時間分布模式，而族群結構的改變也會造成物種與物種之間相互關係的重新組合；就生態系統而言，氣候變遷的影響包含能量與物質的循環、土地利用模式等等（白梅玲等，2004）。

淡水魚類的分布深深地受到水溫而有所限制，如果水溫上升，對於冷水性的淡水魚類是個相對不利的環境限制，但對溫水域的淡水魚類而言卻是可以增加其擴張的機會；而總雨量的改變與雨量季節的分布響影了溪水流量及豐水期、枯水期的週期，進而影響淡水魚的繁殖週期（Winder & Schindler, 2004）。而根據白梅玲（2004）的研究顯示，當未來二氧化碳倍增所造成的氣候暖化，將導致臺灣初級淡水魚生物多樣性降低。利用 RSM2 的模擬氣候變遷情境下，臺灣本島不同區域魚種豐富度受到的衝擊各有不同，魚種最豐富的低海拔地區（<500m）豐富度呈現大幅度下滑；中海拔地區（1000~2000m）魚種豐富度為微幅增加；而2000m 以上的高海拔地區原本的魚種豐富度就偏低，氣候變化對此海拔區域的改變不大。也就是說，當氣候變化時，臺灣魚種豐富度呈現「低海拔劇減，中海拔微幅增加，高海拔變化不顯著」的形態（白梅玲等，2004）。

依據白梅玲等人(2004)針對氣候變遷對臺灣淡水魚多樣性之衝擊評估後，提出幾項建議：一、加強基礎研究，包含：(一)累積長期與標準的研究資料；(二)深入對生態系統各個層級的研究；(三)加強國內外各研究網路間的資料與技術交流。二、落實監測，包含：(一)監測對變遷特別敏感的物種；(二)監測外來種；(三)沿海拔梯度監測淡水魚群聚。

該研究同時也提出幾項保育策略：(一)建立沿海拔梯度的生態廊道：臺灣的保護區系統雖然已經沿著中央山脈完成連續的生態廊道，但多只涵蓋高海拔地區，魚類及兩棲類物種最豐富的低海拔區域被嚴重忽視，應加強低海拔至中高海拔生態廊道的建立；(二)評估移地保育的可行性：尤其是許多河段受到人為設施的阻礙，如攔砂壩、水庫或橫向構造物等，將嚴重影響臺灣淡水魚遷移至新的棲地；(三)將氣候變遷對生態系的衝擊納入國家資源管理的考量。

因此，本研究團隊自 1994 年起對於七家灣流域的臺灣櫻花鉤吻鮭族群調查之長期監測報告中(曾，1994、1995、1996、1997、1998、1999、2000、2001、2002、2003、2004、2005、2006、2007、2008、2009、2010、2011、2012、2013)，幾乎每年都強調如果沒有將影響臺灣櫻花鉤吻鮭繁衍最嚴重的一號壩(已於 2011 年進行改善工程)和二號壩(已於 2002 年自然崩毀)拆除的話，將嚴重危害其族群的增長，同時亦將難以面對氣候變遷所帶來的極端氣候或溫度上升之負面衝擊。而二號壩在 2002 年的自然崩毀，以及 1999 年至 2001 年間的高山溪各壩體改善工程，讓原本棲息於其下游河段的魚類，可以上溯到更適合繁殖的較高河段，因此自 2002 年以後繁衍之族群數量增加甚多，族群數量也更顯穩定，驗證了我們之推論，並強化我們對於拆除一號壩的建議理論基礎。且歷年的調查中也發現一號壩之基礎已經嚴重損壞，如果不儘速改善則萬一突然崩壞，所產生的突發狀況有時更難收拾。

如今，雪霸國家公園已於 2011 年五月底完成一號壩改善工程，讓七家灣溪自迎賓橋至三號壩之間的中游河段暢通，預計除了可增加棲地利用之外，也應可擴大七家灣溪中鮭魚之基因交換機會，並減少下游魚類無法順利繁衍的問題。還有，面對當今氣候變遷對整個生態系的衝擊與極端氣候的難以預料的情況下，擴大臺灣櫻花鉤吻鮭在七家灣溪流域的棲息面積與改善河道暢通，都能增加鮭魚在面對溫度上升或極端氣候所帶來負面衝擊時的生存機會。因此，一號壩壩體的改善，對七家灣溪中的臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鏟頰魚都是具有相當正面的助益。然建議主管機關在壩體改善後應持續研究魚類與其他環境與生物因子的變化，其研究成果亦可提供往後全臺灣溪流壩體改善時之重要依據與寶貴資源。

（四）臺灣櫻花鉤吻鮭歷年各河段數量與總數量之相關性分析

本研究團隊自 1994 年開始進行每年兩次的臺灣櫻花鉤吻鮭族群普查至今已累積二十一年的調查資料，本分析欲從這些珍貴的資料中得到各河段族群數量與總族群之間的關係，找出相關性較高的幾條模式河段，以提供往後調查規劃的科學量化參考。

整個七家灣河流域曾存在著許多攔砂壩或自然落差等，有些雖現已不存在，但是以下討論仍依照這些阻隔將整個調查範圍分成主要九個河段，分別為 1.迎賓橋~一號壩、2.一號壩~二號壩、3.二號壩~三號壩（含湧泉池）、4.三號壩~四號壩（含無名溪之 Y 形河段）、5.四號壩~五號壩、6.五號壩~六號壩、7.桃山北溪小瀑布~桃山北溪一號壩、8.桃山北溪一號壩~最上游詩崙溪匯流點、9.高山溪全段。分析時選擇的模型為對數預測模型，因為如果未取自然對數而直接建立模型的話，會導致常數項過大，這種模型較不合理。

分析結果（表 2-3）顯示，與全河段總數相關性最高的河段為五號壩至六號壩（0.93），其次為一號壩至二號壩以及二號壩至三號壩（0.9）。其中由於一號壩至二號壩以及二號壩至三號壩是所有河段中最長的兩段，分別為 2.88 公里以

及 1.6 公里，這兩個河段所包含的族群數量比例也非常高，因此和總族群數量相關性當然會比較高。但是相反地，與總族群數量相關性最高竟然是長度只有 0.68 公里的五號壩至六號壩河段，這也表示了此河段比較可以反映出整個河段的變化情形，將來若要選擇模式河段預測全河段總數可以優先考慮此河段。

從表 2-3 中也可以看出各河段對於每個齡級的相關性，例如過去報告提到的三號壩至四號壩的 Y 形河段雖然在總數的相關性比不上前面提到的三個河段，但是對於幼魚的相關性卻非常高（0.9），僅略低於二號壩至三號壩（0.91）。因此也建議如果在夏季無法做到普查時，可以針對此一河段做調查，以了解當年新生幼魚的數量以及前一年的繁殖狀況。雖然二號壩至三號壩的相關性較高，但考慮到調查人力與時間，調查長度只有 0.677 公里的 Y 形河段是比較有效率的選擇。

另外，從五號壩至六號壩以及二號壩至三號壩的各齡級相關性（表 2-3）中，可以發現五號壩至六號壩雖然對於總數的相關性最高，但是對於各齡級的相關性卻不如二號壩至三號壩來的好，這是因為各齡級的數量加總後，可相互抵消個別齡級間反向之變異性，所以大大的增加了總數的相關性（圖 2-7）。也因為如此，如果想要調查各齡級數量以了解族群結構時，以五號壩至六號壩單一河段做為模式河段所估算出來的齡級數量結果可能會有些誤差。圖 2-7 中縱座標為全河段的數量取自然對數，橫坐標為模式河段的數量取自然對數。如果散佈圖上的點越集中於一條線則表示相關性越高，反之，越分散則相關性越低。其中五號壩至六號壩大中小魚的分布狀況其實不如二號壩至三號壩來的集中，但是當加總成總數時，剛好抵銷了各齡級反向的變異性，導致相關性變高，分布狀況也明顯集中。

為了瞭解模型預測的能力，可以利用過去的資料做檢驗，以五號壩至六號壩去做預測得到的預測誤差比率（prediction error rate，以下簡稱 PER）平均為 0.25（表 2-4、表 2-5），雖然預測能力仍然有些差距，但已是所有河段中預測能力最好的。不過如果不要考慮人為因素影響導致預測失準的年份，如 1999 年到

2001 年的高山溪拆壩導致下游難以計數，以及 2001 年二號壩至三號壩數量疑似受人為干擾影響，導致數量異常減少等事件，這三年的 PER 分別為 0.34、0.69、0.94，扣除掉這些失準的年份則平均 PER 可以降至 0.17，甚至更低。另外，從表 2-4 也可以看出在巨大的颱風事件後，預測能力也較差，例如 1996 年的賀伯颱風造成上游河段族群數量銳減導致 PER 為 0.34，2013 年的蘇力颱風造成整個七家灣溪數量減少三分之二，而 PER 為 0.43。這可能是因為五號壩至六號壩為上游河段，地形與環境因子和中下游有很大的差異，對於一些環境的改變無法完全和全河段有相同程度的反應。所以如果可以再多調查一個中下游的河段，兩個河段一起做預測的話，能夠互補不足，讓預測能力更佳。

因此，綜合以上幾點，建議未來如果在經費與狀況允許的情況下，能至少對兩個河段做調查，讓預測的結果能夠更接近實際情況。理想的模式河段可以選擇五號壩至六號壩以及二號壩至三號壩，前者對於總數的相關性較高，後者對於各齡級數量的相關性較高，且兩河段各屬上游與中游，不同的環境狀況可以提供互補的資訊讓預測能力更佳。另外，如果想要調查夏季幼魚的數量，可以選擇三號壩至四號壩的 Y 形河段做為模式河段，以了解前一年的繁殖狀況。以上為較折衷的調查方法以提供在經費有限的情況下，讓臺灣櫻花鉤吻鮭的基本族群動態資料得以延續下去。但是七家灣溪的環境變動較大，且天然災害頻繁，對於臺灣櫻花鉤吻鮭與棲地環境都造成極大的影響，加上近年來的氣候變遷、攔沙壩拆除等原因，都可能使得預測模型逐漸失真，甚至導致最佳的模式河段改變。因此仍建議往後每三至五年仍可以做一次夏季與秋季的普查，如此可以修正預測模型，也可以確實了解魚群數量的真實狀況。

五、結論與建議

(一)結論

總結今（2014）年臺灣櫻花鉤吻鮭族群調查結果整理分述如下：

一、今（2014）年夏季普查結果顯示，七家灣溪與高山溪河段臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量共計有 1,326 尾，較去年秋季多了約 81 尾。其中值得注意的是一齡小魚有 916 尾，佔族群總數的 69.08%，而二齡中型鮭魚有 306 尾，三齡大型成魚則只有 104 尾。族群結構呈現以小型鮭魚最多，中型鮭魚次之，而大型鮭魚較少的金字塔型的族群結構。顯示今年六月之前武陵地區臺灣櫻花鉤吻鮭族群更新狀況良好，受到去年蘇力颱風影響的鮭魚族群數量因為新生幼魚的加入而有成長。

二、今年夏秋季武陵地區並無嚴重的豪雨風災，提供了良好的環境給臺灣櫻花鉤吻鮭成長。秋季普查的結果顯示七家灣溪與高山溪河段臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量共計有 1,648 尾，比六月普查多了 322 尾，其中一齡小魚有 672 尾，佔全部數量的 40.78%，二齡中型鮭魚有 692 尾，佔全部數量的 41.99%，三齡大型成魚則有 284 尾，佔全部數量的 17.23%。秋季整體數量較夏季高的原因應該是夏季水量相當大所造成的普查數量低估的誤差。並且由魚的體型可推測幼魚進食成長的狀況良好，約有 240 尾左右夏季時的小魚在秋季已經被判定成中型魚。若排除魚齡體型誤判的問題，族群結構其實是偏向較穩定的金字塔形，顯示今年整體的更新狀況還是相當良好。

三、由於 2012 年蘇拉颱風洪水影響，使得武陵地區七家灣溪河床變的相當不穩定，在經歷 2013 年蘇力颱風所帶來的洪水事件影響，造成河道的側向侵蝕與崩塌，使棲地環境改變甚大，多數深潭與峽谷地形被填滿。2013 年秋季普查結果顯示，臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量僅剩 1,245 尾，跟夏季相比減少了約三分之二。其中小型鮭魚由於對大水的耐受力較低，受颱風影響減少較多，去(2012)

年的新生族群僅剩少部分活存。而今(2014)年夏季普查結果則可以見到小型鮭魚比例甚高，顯示今年六月之前武陵地區臺灣櫻花鉤吻鮭族群更新狀況良好，且秋季普查結果顯示幼魚成長狀況良好，受到蘇力颱風所影響的鮭魚族群數量如無後繼的大型天災時應可望漸漸恢復。

四、舊復育中心附近的河段自 2005 年至 2011 年為止，皆未曾有過臺灣鏟頰魚的紀錄。但在 2011 年一號壩壩體改善後的歷次調查都已經有臺灣鏟頰魚的紀錄，且從 2012 年蘇拉颱風的大水過後其族群數量不斷增加，顯見與七家灣溪一號壩改善工程完成後，使得魚類洄游廊道暢通有關。

五、從 2006 年以來，觀魚台當地的臺灣鏟頰魚一直只有零星的紀錄，但自 2011 年五月底一號壩壩體改善工程完成後，六月份以後至今的調查都看得到比往年更多的臺灣鏟頰魚出現在此河段，同時也有魚苗的繁殖觀察記錄。研究人員亦於 2011 年 8 月 10 日於此河段發現一尾從一號壩下游標放的臺灣櫻花鉤吻鮭個體上溯至此，直接地顯示一號壩改善工程後所產生的正面效益。

六、從歷年的普查資料研判，高山溪一號壩是臺灣鏟頰魚自然分布的上限。原本在高山溪一號壩下的殘材壩，於 2012 年四月崩解之後仍舊無更多的臺灣鏟頰魚上溯到高山溪一號壩以上，顯示其在高山溪的分布上限並未更往上移，可能與高山溪河道較窄、兩側林相遮蔽程度較高，使得水溫仍保持在較低溫有關。

七、七家灣溪一號壩壩體改善後的鮭魚普查結果顯示，已有部分標誌的臺灣櫻花鉤吻鮭可上溯至三號壩下。在二號壩以上河段所發現的臺灣鏟頰魚與一號壩上游河段所發現的臺灣鏟頰魚幼魚群，皆顯示七家灣溪二種主要魚類都可通過一號壩而上溯至上游河段。高山溪舊殘材壩下游河段之魚類數量原本在一號壩壩體改善後有較明顯增加的趨勢，但是在七家灣溪主流漸趨穩定之後，

則數量又漸漸恢復以往的水平；2012 年蘇拉颱風過後，又可見到比壩體改善後更為大量的臺灣鏟頰魚躲在此處。顯示高山溪殘材壩下游河段，可以提供臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鏟頰魚做為在壩體改善工程期間，或是洪水影響時的重要庇護所。

八、歷年普查結果各河段數量與全河段總數相關性最高的河段為五號壩至六號壩，其次為一號壩至二號壩以及二號壩至三號壩。三號壩至四號壩的 Y 形河段雖然在總數的相關性比不上前面提到的三個河段，但是對於幼魚的相關性卻非常高，僅略低於二號壩至三號壩。調查作業上理想的模式河段可以選擇五號壩至六號壩以及二號壩至三號壩。前者對於總數的相關性較高，後者對於各齡級數量的相關性較高。兩河段各屬上游與中游，不同的環境狀況可以提供互補的資訊讓預測能力更佳。如果想要調查夏季幼魚的數量，則可選擇三號壩至四號壩的 Y 形河段做為模式河段，以了解前一年的繁殖狀況。

(二)建議

1、立即可行之建議：高山溪與七家灣溪倒木殘材移除與監控工作

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：雪霸國家公園管理處武陵管理站

高山溪二號、四號破壩堆積之殘材壩與上游河段間大型倒木形成之殘材壩已由於先前人力鋸斷與颱風的影響而自然移除。建議國家公園仍須針對這些殘材壩之後續情況進行監測，使其不致形成高落差而影響鮭魚的自由移動阻斷基因交流。

2、長期性建議：七家灣溪一號壩壩體改善後魚類族群動態變遷研究

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：雪霸國家公園管理處武陵管理站

2011 年度七家灣溪一號壩壩體的改善工程的主要目標之一，就是希望可以透過壩體改善後使得七家灣溪河道暢通，除了可增加棲地利用之外，也應可擴大七家灣溪中鮭魚之基因交換機會，並減少下游魚類無法順利繁衍的問題，故建議主管機關在壩體改善後應持續進行魚類族群動態變遷之研究，與其他環境與生物因子變化的生態模式研究，其研究結果亦可提供往後壩體改善時之重要依據與寶貴資源。針對魚類研究往後的具體建議如下：

- (1)以臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鏟頰魚兩種魚類做為指標物種。
- (2)至少保留桃山西溪、二號破壩、繁殖場、高山溪等四個固定樣站，每年二月、四月、六月、八月、十月施做調查研究。
- (3)建議針對七家灣溪二號壩~三號壩、三號壩~四號壩(加上無名溪之 Y 形封閉河段)、五號壩~六號壩；於每年夏季與秋季做該三段河段的普查。
- (4)依經費狀況與天然災害的強度時間而定，至少每三~五年做一次夏季與秋季的武陵地區七家灣河流域全河段的普查。

誌謝

今年度普查研究工作期間受到雪霸國家公園管理處保育課、警察隊和武陵管理站及遊客中心全體同仁的幫忙與照顧，在此特別感謝他們。除此之外，感謝全體清華大學生命科學系淡水魚類生態及分子系統學實驗室的士恩、珮姬、史綱、瑞宗、貞瑜、鈺婷、立鈞、承恩、加減、怡君、韋閔等同仁及學弟妹，以及志工立威老師、杰峯大哥、雄哥、小莫、傑瑋、奕凱、益展、廖竣、舒逸、文謙、天毅、阿超、紫瑜、潔西、Peter、郁傑、建毅、雁智、潘婷、白嘉等人在野外工作上的協助，才能順利平安完成本年度的野外調查工作，其中也特別感謝學妹嚴鈺婷、學弟邱立鈞與同事何珮琳三位，除了要幫忙野外的的工作之外，也在山上負責大家的伙食，特別在文末致謝之。

六、參考文獻

- 白梅玲、李培芬、端木茂甯。2004。氣候變遷對臺灣淡水魚多樣性之衝擊評估。全球變遷通訊雜誌第四十九期，24-37 頁。
- 吳祥堅。2000。臺灣臺灣櫻花鉤吻鮭 (*Oncorhynchus masou formosanus*) 人工繁殖與放流。臺灣櫻花鉤吻鮭保育研究研討會論文集：32-46 頁。
- 沈世傑。2004。臺灣櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查 (七)。內政部營建署雪霸國家公園管理處。45 頁。苗栗。
- 林幸助、吳聲海、官文惠、邵廣昭、孫元勳、高樹基、郭美華、彭宗仁、曾晴賢、楊正澤、葉文彬、葉昭憲、蔡尚惠。2007。96 年度武陵地區長期生態監測暨生態模式建立。內政部營建署雪霸國家公園管理處。苗栗。
- 林幸助。2010。從生態系統研究來探討七家灣溪櫻花鉤吻鮭野生動物保護區的最大承載量。2010 年淡水魚類保育成果研討會暨保育策略系列論壇。
- 林曜松、張崑雄、詹榮桂。1991。臺灣大甲溪上游產陸封性鮭魚的現況。農委會林業特刊第 39 號：166-172。
- 林曜松、張崑雄。1990。臺灣七家灣溪臺灣櫻花鉤吻鮭族群生態與保育。農委會 79 年生態研究第 001 號。40 頁。台北。
- 林曜松、曹先紹、張崑雄、楊平世。1988。臺灣櫻花鉤吻鮭生態之研究 (二) 族群分布與環境因子間關係之研究。農委會 77 年生態研究第 012 號。39 頁。台北。
- 邱建介。1991。探尋國寶魚-臺灣櫻花鉤吻鮭魚的故鄉。臺灣林業 17(8):25-29。
- 陳弘成、林培旺、楊喜男。1996。溪流之水質調查與生物監測之研究— 武陵附近地區。內政部營建署雪霸國家公園管理處。苗栗。
- 陳弘成、楊喜男。1997。武陵地區—溪流之水源水質監測系統之規劃與調查。內政部營建署雪霸國家公園管理處八十六年度研究報告。苗栗。
- 陳弘成。1998。武陵地區—溪流之水源水質監測系統之規劃與調查。內政部營

- 建署雪霸國家公園管理處八十七年度研究報告。苗栗。
- 陳弘成。1999。武陵地區溪流水源水質監測系統之規劃與調查。內政部營建署雪霸國家公園管理處，78 頁。苗栗。
- 陳弘成。2000。武陵地區溪流水源水質監測系統之規劃與調查（六）。內政部營建署雪霸國家公園管理處。106 頁。苗栗。
- 曾晴賢、游智閔、楊正雄。2000。七家灣溪臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量變動的研
究。國家公園學報 10（2）：190-210。
- 曾晴賢。2005。臺灣櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查（八）。內政部營建署雪
霸國家公園管理處。41 頁。苗栗。
- 曾晴賢。1994。臺灣櫻花鉤吻鮭族群調查及觀魚台附近河床之改善研究。內政
部營建署雪霸國家公園管理處。24 頁。苗栗。
- 曾晴賢。1995。臺灣櫻花鉤吻鮭復育研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
21 頁。苗栗。
- 曾晴賢。1996。臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量和生態調查。內政部營建署雪霸國家
公園管理。苗栗。
- 曾晴賢。1997。臺灣櫻花鉤吻鮭族群生態調查和育種場位址評估。內政部營建
署雪霸國家公園管理處。71 頁。苗栗。
- 曾晴賢。1998。臺灣櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查（一）。內政部營建署雪霸
國家公園管理處。79 頁。苗栗。
- 曾晴賢。1999。臺灣櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查（二）。內政部營建署雪霸
國家公園管理處。43 頁。苗栗。
- 曾晴賢。2000。臺灣櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查（三）。內政部營建署雪霸
國家公園管理處。54 頁。苗栗。
- 曾晴賢。2001。臺灣櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查（四）。內政部營建署雪霸
國家公園管理處。34 頁。苗栗。
- 曾晴賢。2002。臺灣櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查（五）。內政部營建署雪霸

- 國家公園管理處。36 頁。苗栗。
- 曾晴賢。2003。臺灣櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查（六）。內政部營建署雪霸國家公園管理處。48 頁。苗栗。
- 曾晴賢。2006。臺灣櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查（九）。內政部營建署雪霸國家公園管理處。37 頁。苗栗。
- 曾晴賢。2007。臺灣櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查（十）。內政部營建署雪霸國家公園管理處。44 頁。苗栗。
- 曾晴賢。2008。臺灣櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查（十一）。內政部營建署雪霸國家公園管理處。55 頁。苗栗。
- 曾晴賢。2009。臺灣櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查（十一）。內政部營建署雪霸國家公園管理處。40 頁。苗栗。
- 曾晴賢。2010。臺灣櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查（十二）。內政部營建署雪霸國家公園管理處。40 頁。苗栗。
- 曾晴賢。2011。臺灣櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查（十三）。內政部營建署雪霸國家公園管理處。47 頁。苗栗。
- 曾晴賢。2012。臺灣櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查（十四）。內政部營建署雪霸國家公園管理處。52 頁。苗栗。
- 曾晴賢。2013。臺灣櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查（十五）。內政部營建署雪霸國家公園管理處。73 頁。苗栗。
- 楊正雄。1997。水溫對臺灣櫻花鉤吻鮭族群的影響。國立清華大學生命科學系碩士班碩士論文。76 頁。新竹。
- 葉昭憲、段錦浩、連惠邦。2001。七家灣溪河床棲地改善之試驗研究（四）。內政部營建署雪霸國家公園管理處。72 頁。苗栗。
- 賴建盛。1996。防砂壩對臺灣櫻花鉤吻鮭物理棲地影響之研究。國立臺灣大學地理學研究所碩士論文。112 頁。台北。
- 戴永禎。1992。臺灣臺灣櫻花鉤吻鮭之族群生態學研究。國立臺灣大學動物學

- 研究所博士論文。121 頁。台北。
- 鐘豐昌。2007。壩體改善對臺灣櫻花鉤吻鮭族群動態的影響。國立中興大學生命科學研究所博士論文。113 頁。台中。
- Hjort, J. (1914) Fluctuations in the great fisheries of Northern Europe. Rapp. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer 20, 2-28.
- Ho & Gwo (2010) *Salmo formosanus* Jordan & Oshima, 1919 (currently *Oncorhynchus masou formosanus*) (Pisces, SALMONIDAE, SALMONINAE) : proposed conservation of the specific name. Bulletin of Zoological Nomenclature, 67 (4) :300-302.
- Kano, T. (1940) Zoogeographical studies of the Tsugitaka Mountains of Formosa. Inst. Ethnogr. Res. Tokyo. 145pp.
- Scott, D, Malcolm, J.R., Lemieux, C. (2002) Climate change and modeled biome representation in Canada's national park system: implication for system planning and park mandates, Global Ecology & Biogeography, 11, 475-484.
- Tsao, E. H. (1995) An ecological study of the habitat requirements of the Formosan landlocked salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*) . Ph. D. Dissertation, Colorado State Univ. 213pp.
- Tsao, E. H., Y. S. Lin. E. P. Bergersen, R. Behnke and C. R. Chiou (1996) A stream classification system for identifying reintroduction sites of Formosan landlocked salmon (*Oncorhynchus masou formosanus* Jordan and Oshima). Acta Zoologica Taiwanica 7 (1) :39-59.
- Wang, C. J. (1989) Environmental quality and fish community ecology in an agricultural mountain stream system of Taiwan. Ph. D. Dissertation, Iowa State Univ. 138pp.
- Watanabe, M., and Y. L. Lin (1985) Revision of the salmonid fish in Taiwan. Bull. Biogeog. Soc. Japan 40 (10) : 75- 84.
- Winder, M., Schindler, D., (2004) Climate change uncouples trophic interactions in an aquatic ecosystem, Ecology, 85, 2100-2106

表 2-1、2014 年武陵地區固定樣點魚類組成相調查結果

年度	2014 年												
	6 月						10 月						
魚種	臺灣櫻花鉤吻鮭			臺灣鏟頰魚			臺灣櫻花鉤吻鮭			臺灣鏟頰魚			
	大	中	小	大	中	小	大	中	小	大	中	小	魚苗
桃山西溪	0	11	4	0	0	0	1	8	2	0	0	0	0
二號破壩	1	8	27	0	8	14	1	6	0	0	2	27	0
觀魚台	0	4	2	0	11	29	0	1	0	10	40	31	0
一號壩上游	0	1	4	1	23	34	0	0	0	8	6	0	0
一號壩下游	0	0	0	0	3	3	2	2	2	39	98	49	205
繁殖場	0	2	3	2	22	4	0	2	1	6	25	46	51
高山溪	0	1	1	0	0	0	0	2	6	0	0	1	0

(資料來源:本研究團隊)

表 2-2、武陵地區 2013 年與 2014 年臺灣櫻花鉤吻鮭普查結果

(資料來源:本研究團隊)

調查時間		2013 年夏季			2013 年秋季			2014 年夏季			2014 年秋季		
地點 / 體型		大型	中型	小型	大型	中型	小型	大型	中型	小型	大型	中型	小型
分類小計		683	1445	1933	400	529	316	104	306	916	284	692	672
總計		4061 尾			1245 尾			1326 尾			1648 尾		
下游	迎賓橋~高匯	27	43	66	10	10	6	3	2	4	6	9	4
	高匯~一號壩	14	26	43	9	8	7	1	4	5	10	4	9
中游	一~二號壩	158	256	209	76	152	87	37	64	203	71	123	96
	二~三號壩	237	397	719	99	111	36	28	71	210	97	236	148
上游	三~四號壩	32	69	87	13	21	7	0	19	12	9	25	10
	四~五號壩	15	64	98	0	0	0	1	3	8	0	2	1
	五~六號壩	28	224	88	6	14	3	3	25	35	20	39	33
	桃山北溪	97	187	207	120	118	138	22	94	334	43	161	230
高山溪	高匯~二號壩	55	84	333	41	44	22	4	8	70	9	45	96
	二~四號壩	20	95	83	26	51	10	5	16	35	19	48	45

表 2-3、各河段族群數與全河段總數的相關性

(資料來源:本研究團隊)

	河段	相關性			
		總數	大魚	中魚	小魚
下游	迎賓橋至一號壩	0.48	0.21	0.61	0.74
中游	一號壩至二號壩	0.9	0.75	0.92	0.87
	二號壩至三號壩 (含湧泉池)	0.9	0.87	0.91	0.91
	三號壩至四號壩 (含無名溪)	0.87	0.19	0.87	0.9
上游	四號壩至五號壩	0.54	0.42	0.7	0.64
	五號壩至六號壩	0.93	0.77	0.84	0.88
	桃山北溪小瀑布至桃山北溪一號壩	0.8	0.52	0.87	0.58
	桃山北溪一號壩至最上游	0.75	0.56	0.8	0.65
支流	高山溪全段	0.77	0.7	0.64	0.72

相關性界於 0 到 1 之間，數值越大代表相關性越高。

表 2-4、以五號壩至六號壩為模式河段預測歷年全河段總數結果

(資料來源:本研究團隊)

年份	觀測值 (尾)	預測值 (尾)	絕對差值 (尾)	預測誤差比率
1996	1237	818	419	0.34
1997	1703	962	741	0.44
1998	637	627	10	0.02
1999	782	1047	265	0.34
2000	794	1339	545	0.69
2001	408	791	383	0.94
2002	4221	4086	135	0.03
2003	3042	4181	1139	0.37
2004	1611	1628	17	0.01
2005	523	698	175	0.33
2006	2270	2444	174	0.08
2007	2009	1600	409	0.2
2008	3149	3090	59	0.02
2009	4545	4084	461	0.1
2010	4049	4457	408	0.1
2011	5476	4280	1196	0.22
2012	3764	3816	52	0.01
2013	1245	706	539	0.43
2014	1648	1546	102	0.06

預測誤差比率 (PER) = 差值/觀測值，界於 0 到 1 之間，數值越大代表誤差越大。

表 2-5、不同模式河段的預測結果

模式河段	相關性	平均預測誤差比率	平均絕對差值 (尾)	平均方均差 (尾)
五號壩至六號壩	0.93	0.25	381	508
二號壩至三號壩	0.9	0.31	639	863
一號壩至二號壩	0.9	0.33	694	938
三號壩至四號壩	0.87	0.36	710	950
四號壩至五號壩	0.54	0.74	1068	1262

(資料來源:本研究團隊)

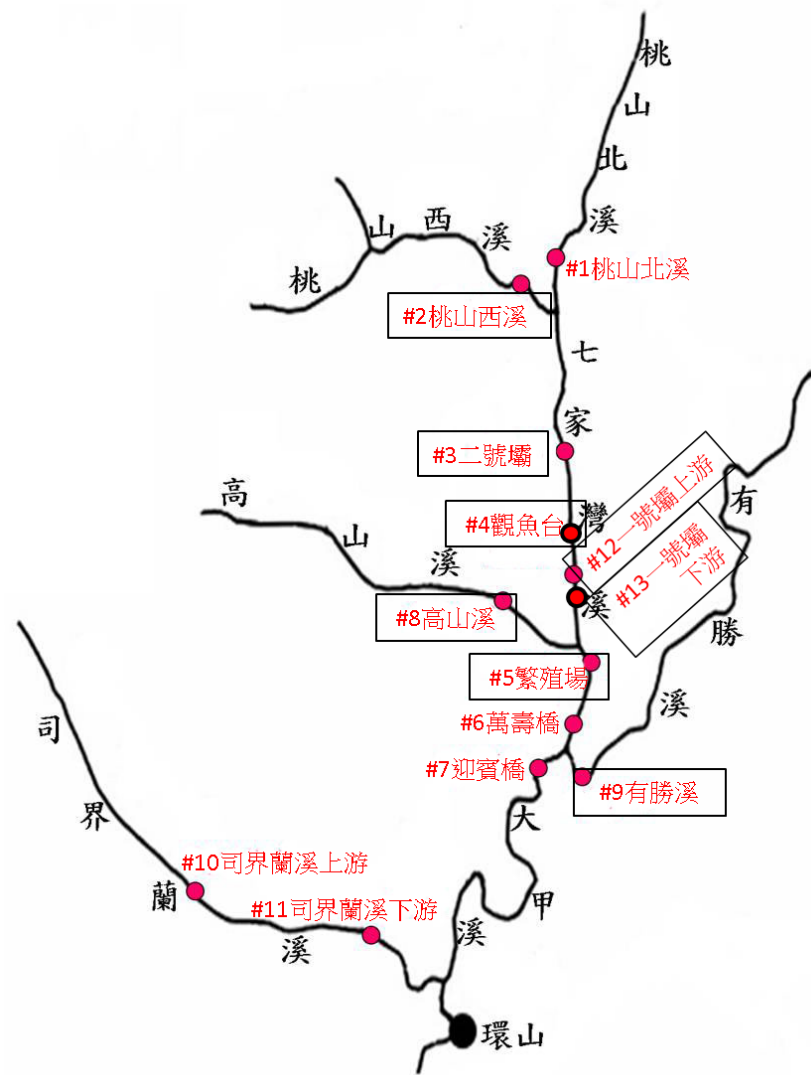
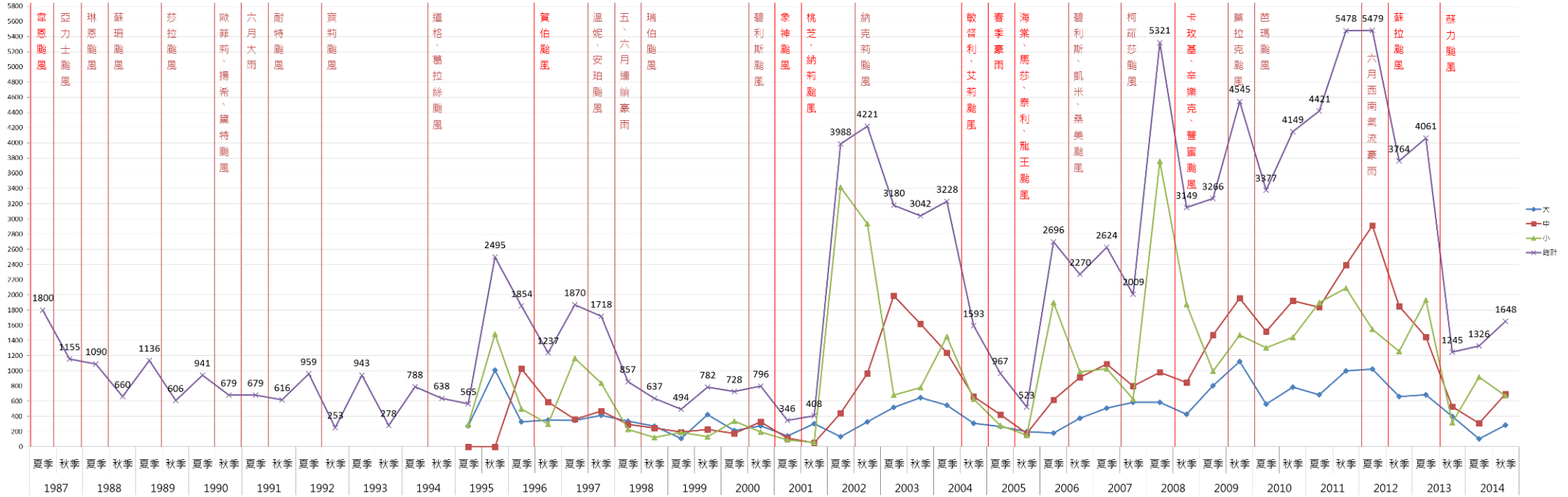


圖 2-1：武陵地區 8 個現今計畫測站(方框所示)之相關位置圖

1987-2014 七家灣溪流域
臺灣櫻花鉤吻鮭 族群變化圖



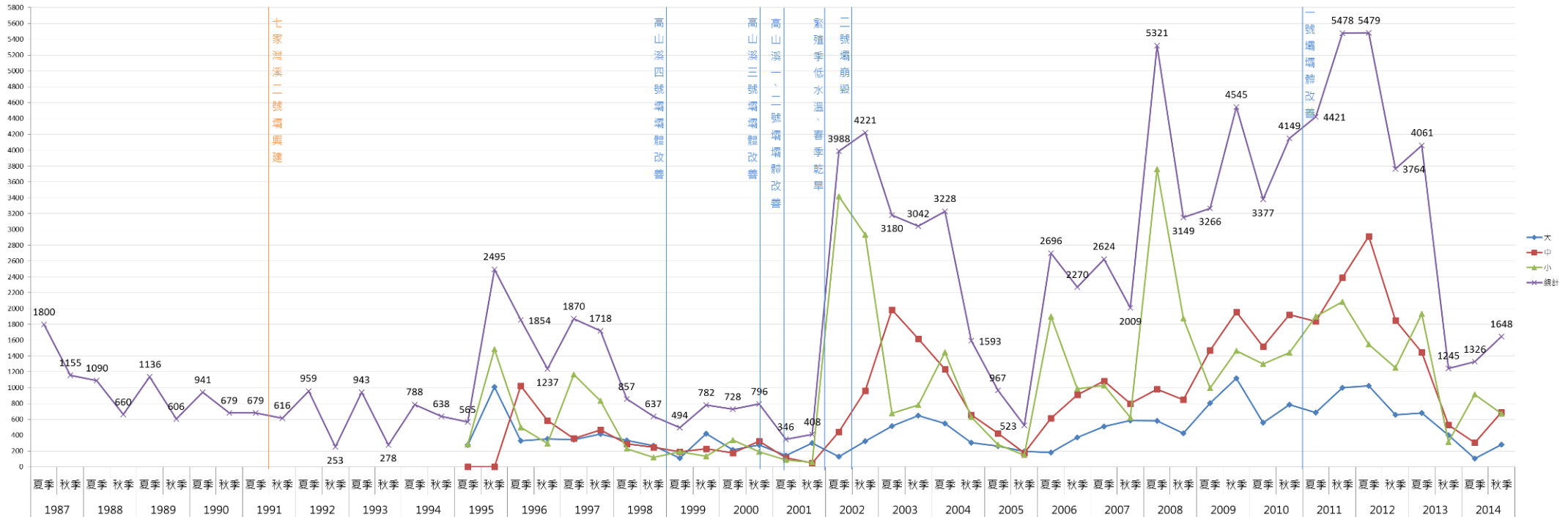
註：1994 年以前資料為迎賓橋至三號壩之鮭魚總數

(族群資料來源:本研究團隊)

(颱風資料來源:侵臺颱風資料庫 <http://photino.cwb.gov.tw/tyweb/tyfnweb/table/completetable.htm>)

圖 2-2、1987 年至 2014 年武陵地區臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量年度變化與重大天災圖

1987-2014 七家灣溪流域
臺灣櫻花鉤吻鮭 族群變化圖



註：1994 年以前資料為迎賓橋至三號壩之鮭魚總數

(族群資料來源:本研究團隊)

圖 2-3、1987 年至 2014 年武陵地區臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量年度變化與壩體改善時間圖

1995年至2014年武陵地區臺灣櫻花鉤吻鮭各齡級族群結構變化趨勢圖

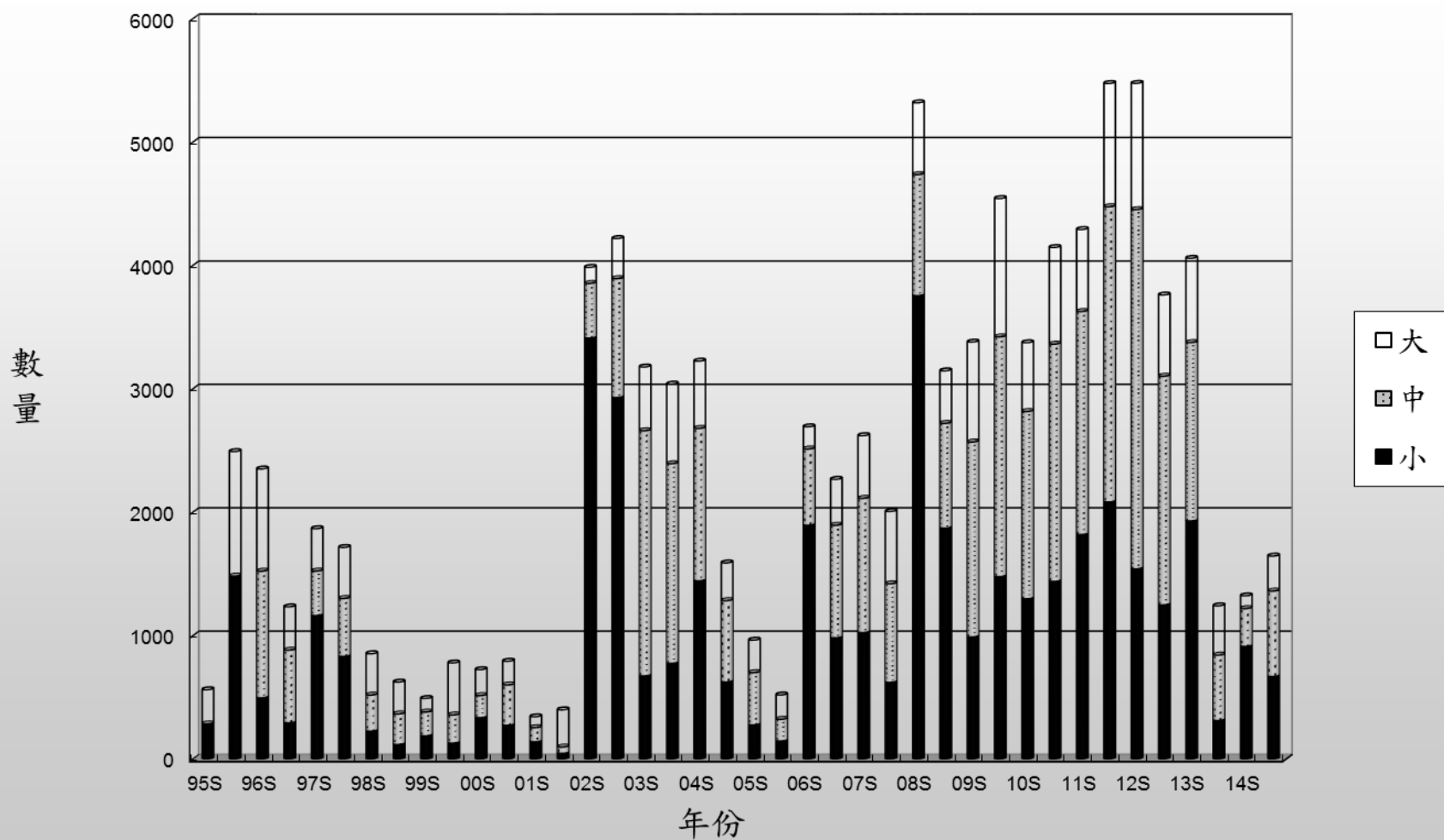


圖 2-4、1995 年至 2014 年武陵地區臺灣櫻花鉤吻鮭各齡級族群結構變化趨勢圖

(資料來源:本研究團隊)

1995年至2014年武陵地區臺灣鉤吻鮭各齡級數量變化

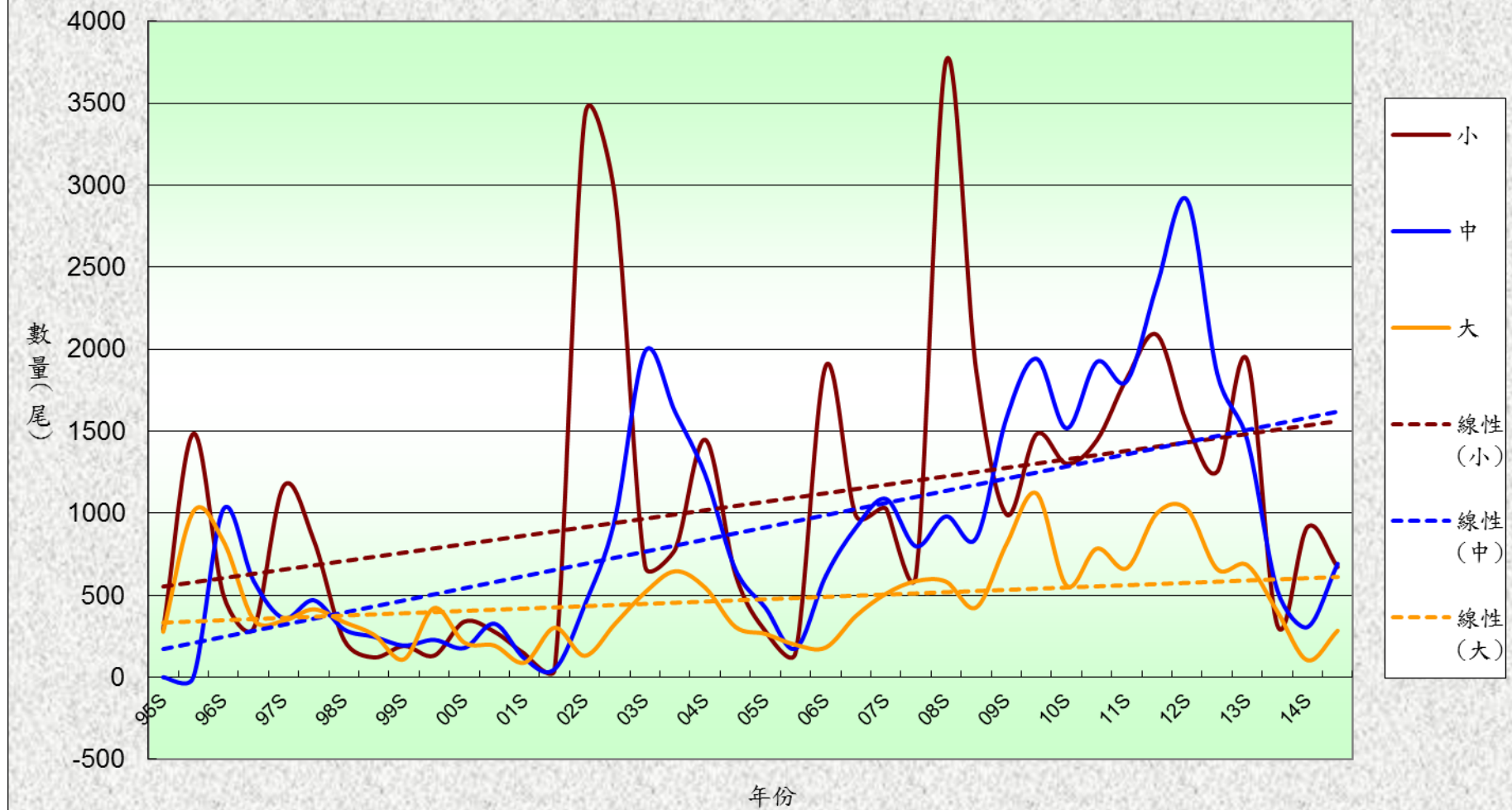


圖 2-5、1995 年至 2014 年武陵地區臺灣櫻花鉤吻鮭各齡級數量變化趨勢圖

(資料來源:本研究團隊)

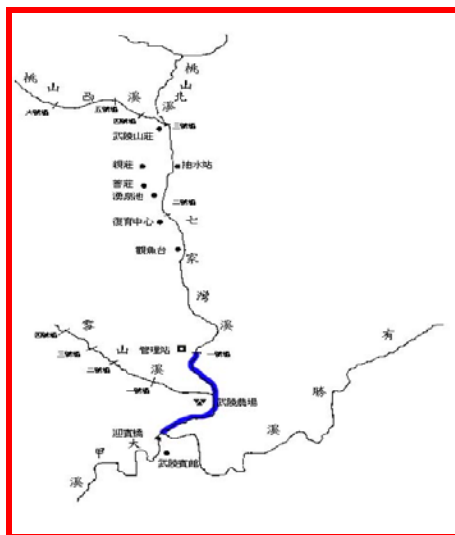


圖 2-6A、下游河段



圖 2-6B、中游河段



圖 2-6C、上游河段



圖 2-6D、高山溪

圖 2-6 A~D、2014 年夏秋季武陵地區各河段臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量分布百分比

(資料來源:本研究團隊)

全河段與模式河段相關性散佈圖

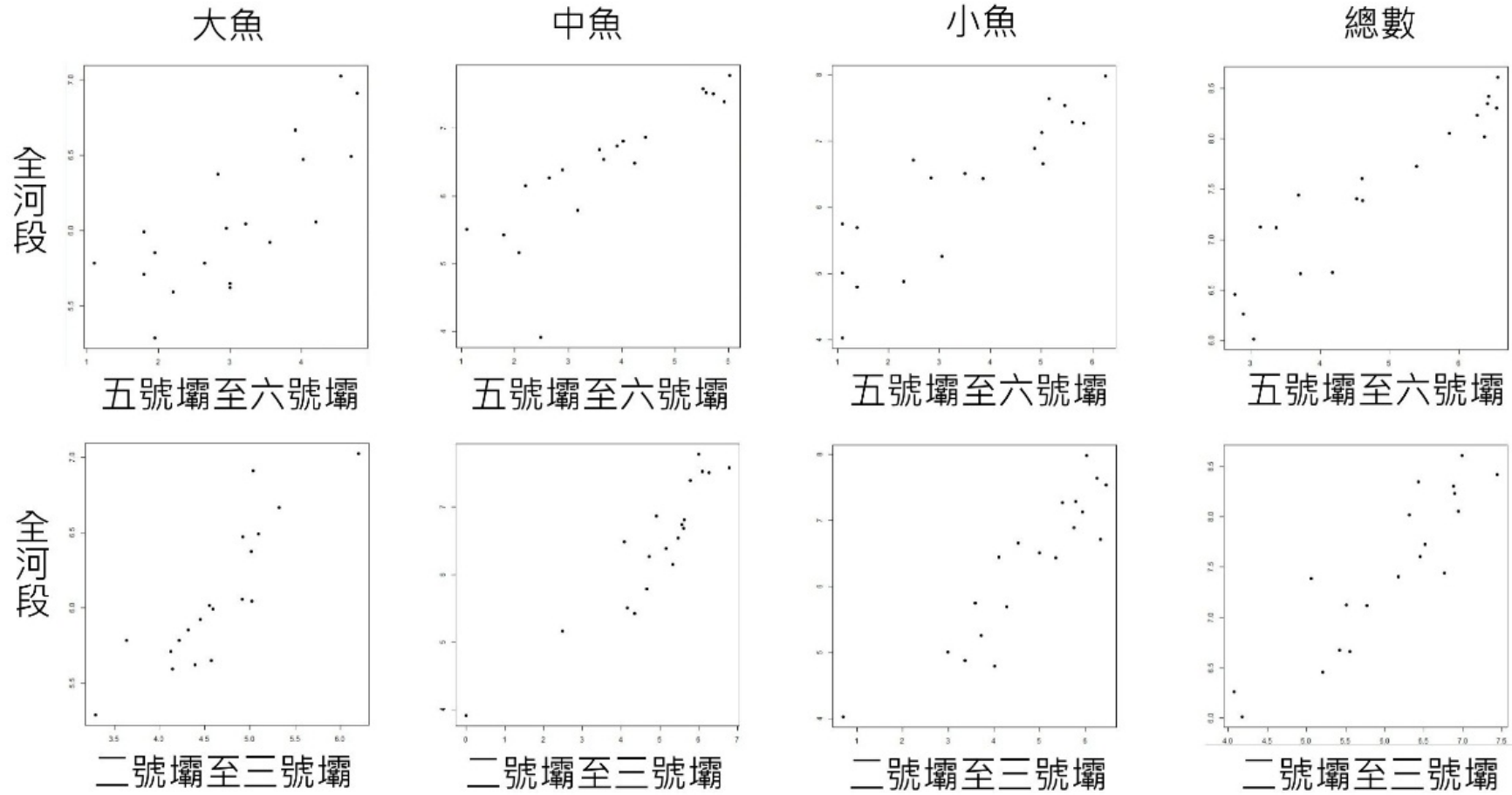


圖 2-7、全河段與模式河段對於各齡級的相關性散佈圖

(資料來源:本研究團隊)



照片 2-1、七家灣溪一號壩下游樣站壩體改善前之環境照

(照片來源:本研究團隊)



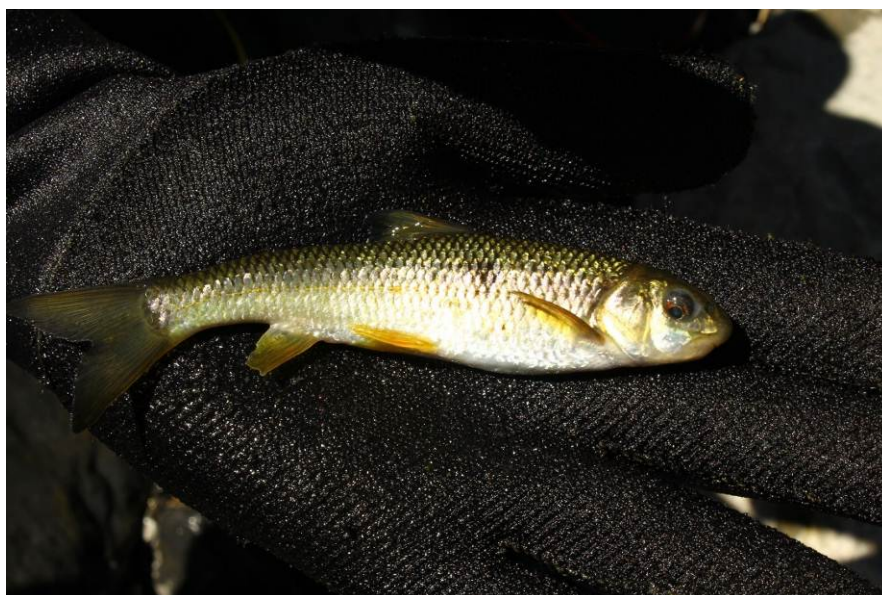
照片 2-2、七家灣溪一號壩下游樣站壩體改善後之環境照

(照片來源:本研究團隊)



照片 2-3、2014 年夏季普查幼魚所占比例甚高

(照片來源:本研究團隊)



照片 2-4、2012.10.10 於桃山西溪樣站所記錄的臺灣鏟頰魚
(照片來源:本研究團隊)



照片 2-5、2011.06.17 於一號壩下游樣站所拍攝到標放的鮭魚
(照片來源:本研究團隊)



照片 2-6、2014.06.12 所拍攝的高山溪二號壩落差

(照片來源:本研究團隊)



照片 2-7、2014.06.12 所拍攝的高山溪四號壩落差

(照片來源:本研究團隊)

第三章 水棲昆蟲研究

郭美華、丘明智、林哲樟

國立中興大學昆蟲系

一、前言

臺灣櫻花鉤吻鮭(*Oncorhynchus masou formosanus*) 原產於北半球的寒溫帶洄游性魚類，目前只有在台灣、日本、韓國及大陸東北地區曾經發現過，在台灣的地理分布位置屬於最南端且是台灣唯一的寒帶魚類，於 1984 年 7 月依「文化資產保存法」被列為台灣珍貴的自然文化資產，因此在學術價值上，如古生物地理學、古氣候學、生物型態分類學及演化生態學上，隨著學者研究的深入，而受到矚目，被公認與有活化石之稱的「腔棘魚」相提並論 (雪霸公園網頁，2003)。

上野(1937)曾自 12 尾臺灣櫻花鉤吻鮭之胃內容物得知此魚所吃食餌，昆蟲佔 96%，而水棲昆蟲更佔 74%。顯見水棲昆蟲是臺灣櫻花鉤吻鮭最主要營養來源，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棲昆蟲相與相關生態的研究報告 (黃，1987；楊等，1986；楊及謝，2000)。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 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(黃，1987；楊等，1986；楊及謝，2000)。雖然楊及謝 (2000) 報導 1985-1986 及 1995-1996 兩個年度，在 10 年間水棲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) 或僅是個別年度差異而已，且在無法得知生物量是否也呈現相同變化趨勢之時，實有賴於 10 年以上長期的監測調查，如此除可增加統計可信度外，並可對颱風或人為干擾事件影響有更

佳的診斷。

本研究自 2003 年起連續監測至今，2003 年有 6 目 27 科 35 屬 46 分類群(Taxa) (郭，2003;郭等，2004)，2004 年有 6 目 27 科 43 分類群(Taxa) (郭，2004)，2005 年有 6 目 26 科 45 分類群(Taxa) (郭，2005)，2006 年有 6 目 28 科 45 分類群(Taxa) (郭，2006)，2007 年有 6 目 29 科 48 分類群(Taxa) (郭，2007)，2008 年有 6 目 32 科 52 分類群(Taxa) (郭，2008)，2009 年有 5 目 32 科 59 分類群(Taxa) (郭，2009)，2010 年有 6 目 37 科 64 分類群(Taxa) (郭，2010)，2011 年有 6 目 37 科 67 分類群(Taxa) (郭，2011)，2012 年有 6 目 38 科 63 分類群(Taxa) (郭，2011)。楊等 (1986) 以形態種 (morphological species) 鑑定有 6 目 31 科 61 種，之後以分類單元(Taxa) 歸類整理 1985-1986 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 分類群(Taxa) (Shieh & Yang 2000)，本研究則將搖蚊科再細分為 5 taxa，因此各目種類變化不大。綜合結果發現各測站可採到 39 至 43 分類群(Taxa) 不等，與 Shieh 及 Yang (2000) 報告的 40 分類群(Taxa) 相比變化不大。水棲昆蟲群聚組成以蜉蝣目佔半數以上為最多，其次為雙翅目(郭等，2004)。各月份所採獲水棲昆蟲數量皆以 2 月最大宗，4 月、6 月及 9 月有較低之勢。水棲昆蟲物種數逐年微量增加，其中鉸剪春蜓 *Sinogomphus formosanus* (蜻蛉目:春蜓科) 於 2009 年沒採獲記錄而 2010 年回復採獲記錄。復見毛翅目之長鬚石蛾 *Stenopsychidae* 且數量增加，及毛翅目之黑管石蛾 *Uenoidae* 於 2008~2009 年沒採獲記錄而 2010 年有採獲記錄，我們認為毛翅目這二物種可作為極端洪流的生物指標(郭，2010)。

以科級生物指標 (Family-Level Biotic Index, FBI) (Hilsenhoff 1988) 評估武陵地區水質，在 3.071~5.576 之間，佔 7 等水質評價之前四等，即水質為特優 (Excellent) 到略差 (Fairly poor)(郭等，2004)，此與楊及謝 (2000) 報導水質評價前二等，由特優到非常好 (Very good) 有差異，雖然物種調查種類變化不大，但受颱風干擾，尤其是水質優良的指標物種受颱風影響更明顯。

四種群聚指數分析(Family richness index, Simpson's index, Shannon-

Wiener's index, 及 Pielou's evenness index)及 FBI 結果顯示思源埡口測站之棲地環境最差。思源埡口測站以四節蜉蟬為優勢種，佔全數之 3/4 強，因此所計算出之群聚指數如 Family richness index、Shannon- Wiener's index 及 Pielou's evenness index 皆為各站最低者，而 Simpson's index 則為各站最高者，顯示此站之群聚組成較不穩定(郭等，2004)。觀魚台測站 2006 年至 2010 年之 Shannon- Wiener's index 及 RBPII 數值波動上下限區間範圍已較以往(2003 年至 2006 年)有提升的現象，以及於 2010 年回復監測之二號壩測站(農業區旁)，其 Shannon- Wiener's index 也較過往為高，表示其多樣性變高及棲地評地變優，農地回收政策已具有成效(郭，2010)。

各測站僅高山溪測站以扁蜉蟬 *Rhithrogena ampla* 為佔多數，其餘各站則以四節蜉蟬 *Baetis spp.* 為佔多數。指標生物評估水質污染四個等級中(貧腐水性、 β -中腐水性、 α -中腐水性和強腐水性)，扁蜉蟬是貧腐水性水質(水質狀況十分優良，幾乎沒有任何污染)指標生物之一，以扁蜉蟬 *R. ampla* 所佔比例與過去研究相比，桃山西溪測站 8.12%較過去 1985-1986 之 20.1%及 1995-1996 之 11.12%為低，顯示桃山西溪測站可能有棲地劣化趨勢。桃山北溪測站 7.97%與過去 1985-1986 之 7.41%及 1995-1996 之 6.89%相較之下略增。位於七家灣溪一號壩的第 4 測站為 28.59%與過去研究之相關測站 1985-1986 為 22.14%及 1995-96 為 19.43%相比，則略增(Shieh and Yang, 2000;郭等，2004)。若扁蜉蟬中之污染低忍受性的 *R. ampla* 比例增加表示棲地環境漸優，則顯示位於七家灣溪的測站棲地，並沒有劣化(郭等，2004)。

由水棲昆蟲數量及生物量變化連續 9 年(2003 年至 2011 年)研究數據顯示，在歷經較嚴重的洪流，可能未來會造成水棲昆蟲群聚中體型較大物種之比例下降(郭，2011)。由郭(2009)數據可看出，中大型食餌數於每年的 1 或 2 月為高峰，2003 年至 2004 年初期達到最高，2005~2006 年的中大型食餌數明顯較少，顯示溪流流量暴增對水棲昆蟲群聚中體型較大物種之影響。過去連續 6 年數據(2003 年到 2008 年)看出，生物量以位於七家灣溪的第 3 站二號壩為最大，每年初期為高峰，但 2005~2006 年的生物量明顯較少，顯示溪流流量暴增對水棲昆蟲群聚之影響。2007 上半年因 2006 年下半年洪流較

小，使得生物量回復至較高水準，但是 2007 年下半年強度洪流造成生物量低迷，並且延續至 2008 年不如 2007 年之水平。由 MDS 分析顯示，有勝溪測站的群聚結構和其他各站較不相似，不過有勝溪測站開始趨向其他各站之結構，可能因農地回收之效或其他原因，有待進一步證實。桃山西溪、七家灣溪及高山溪的群聚結構變動方向具一致性，顯示梅雨季節及颱風造成的溪流流量暴增可能為驅使力量，且 2003~2005 年的颱風頻度及強度逐年增加，而使群聚結構驅向某一特定群聚結構變動。2006 年颱風頻度及強度減小，群聚結構於有 2006~2007 年前半年有回移的情形，然而 2007 年 8 月及 10 月的二次強颱中止了群聚結構回移，並再趨向洪流干擾的方向變動且分散情況高於 2005 年，而 2008 年的分散情況與 2007 年相雷同(郭，2008)。

2007 年羽化數量在洪流易發生時期之 7 月間呈現下降趨勢，並在 10 月強颱過後降到最低，2008 年 10 月同樣有此現象。2008 年 1 月到 4 月羽化量為上升趨勢，溪流中之幼蟲數量 2008 年 1 月到 4 月為下降趨勢，兩者呈現相反趨勢(郭，2008)。

各樣站每次可攔截約 200~16000 昆蟲(個體數/平方公尺)，來自空中落水之陸域來源(陸棲昆蟲及水棲幼蟲羽化成蟲)佔 3 到 50%。有勝溪樣站於 2008 年 1 月可攔截空中落水之陸域來源約佔 40%，2008 年 3 月底則上升至 50%，不過於 2008 年 7 月則降至 3%(郭，2008)。將各樣站所攔截水棲昆蟲漂移相對組成和溪底之水棲昆蟲相對組成，經歸群分析結果顯示，僅有 10%~60%的相似度(郭，2008)。

一號壩壩體改善工程對七家灣溪的水棲昆蟲群聚產生約 2.5 個月的短期負面直接影響，導致數量和多樣性下降。拆壩後再遭受重要的洪水衝擊事件，會結合並重演一次負面影響，加深此次洪水的影響 (郭，2011 及 2012)。

整合 10 年來武陵地區水棲昆蟲對能量的利用情形，發現水棲昆蟲 5 個取食功能群之群聚組成都存在，七家灣溪、桃山西溪及高山溪皆以採食者(33~46%)及刮食者(35~37%)為主，而有勝溪則以採食者(73%)為優勢取食功

能群，其他取食功能群之組成皆佔 10% 以下，明顯不同於其他溪流，且有勝溪的刮食者及捕食者，尤其是刮食者(8%)，所佔比例相較於其他溪流較低(郭，2012)。

二、材料與方法

配合【武陵地區長期生態監測暨生態模式建立】之計畫，設置 8 個樣區進行水棲昆蟲監測及研究(圖 5-1)。桃山西溪測站於桃山西溪之武陵吊橋前方約 50 公尺處，河床底質為巨石，礫石及鵝卵石，上游有一攔砂壩；觀魚台測站於武陵地區農業區的下游處，雪霸國家公園管理處往上游的河段，其河床底質也多為礫石及鵝卵石；二號壩測站位於武陵地區農業區旁，河床底質以巨石及卵石為主；觀魚台測站也位於武陵地區農業區及觀魚台的下游處，其河床底質也多為礫石及鵝卵石；一號壩上游測站也於武陵地區農業區的下游處，雪霸國家公園管理處往上游約 100 公尺的河段，為一號防砂壩上游，其河床底質也同為礫石及鵝卵石；一號壩下游測站位於雪霸國家公園管理處往下游方向的河段，為一號防砂壩下游，其河床底質也多為礫石及鵝卵石；繁殖場測站在高山溪及七家灣溪的匯流處，新建繁殖場旁的河段，河道較為寬闊，河床底質多為礫石及鵝卵石；高山溪測站位於高山溪已拆防砂壩上游方向 50 公尺，河床底質含砂量較高，且兩岸植被較密，陽光不易透入；有勝溪測站在有勝溪旁之農業區的下游處，河床底質多為泥砂、礫石及鵝卵石。

上述 8 測站於 2 月、6 月及 10 月進行採樣，採樣流程則在 50 公尺範圍內以定面積之舒伯氏水網 (Surber sampler, 網框面積為 30.48 x 30.48 cm, 網目大小為 250 μ m) 在河域中採樣一次，每一樣點重複取樣六次。將採獲之水棲昆蟲以水盤承接並置入 75 % 酒精中，攜回實驗室並使用分類檢索資料以鑑定出分類群 (Taxa) (Kang 1993, Kawai & Tanida 2005, Merritt, Cummins & Berg 2008)，以及記錄數量。參考臺灣櫻花鉤吻鮭的食性分析(郭，2008)，將整個水棲昆蟲類群可能的中大型食餌，例如蜉蝣目之蜉蝣科、扁蜉蝣科、毛翅

目之長鬚石蛾科、流石蛾科、網石蛾科、弓石蛾科、積翅目之石蠅科及雙翅目之大蚊科等數量加總計算並以時間動態呈現其變化。

統計分析各站各月各水棲昆蟲種數、數量、多樣性指數及生物指標。而多樣性指數分析是以 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) (以高山溪為參考站) 作為棲地評價標準。

往年乾季(1 或 2 月)及溼季(7 或 8 月)之各測點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(Non-metric multidimensional scaling, 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，以此來推測及判定各測站之關係 (Clarke & Warwick 2001)。

針對 2011 年 5 月 30 日完成一號壩壩體改善部分拆除工程的影響。統計分析這四站各採集時間(2011 年 5 月 17 日至 2014 年)之水棲昆蟲數量及 Shannon-Wiener's index 多樣性指數。各站各採集時間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 MDS 之二度空間顯示各測點各採集時間彼此間結構之關係。

2003 年至 2014 年調查所得 1 或 2 月之中大型食餌族群密度取 Log 為應變數(y)，而 2002 年至 2013 年前年之最大流量取 Log 為自變數(x)，進行 2003 年至 2014 年，洪水流量與中大型食餌密度之迴歸分析(SAS Institute Inc, 2012)。流量資料來自台灣電力公司水文水資源資料管理供應系統。

三、 結果

(一) 物種數及個體數

本年度採樣調查水棲昆蟲共計有 57 分類群(Taxa)，分屬 5 目或 34 科(表 3-1)。各站所採獲水棲昆蟲數量歷年以 10 月至隔年 1 月為上升趨勢，於每年的 1 或 2 月可達高峰，且於其後洪水較易發生之溼季，呈現較低數量水平。2010 年~2012 年，這 3 年的年初，2010 年有勝溪測站水棲昆蟲數量為各測站之首，其次為觀魚台測站，2011 年觀魚台測站有達 9300 昆蟲(個體數/平方公尺)之記錄，2012 年有勝溪測站以 9900 昆蟲(個體數/平方公尺)又再刷新歷史最高記錄，2013 年及 2014 年則以二號壩分別為 5100 及 7300 昆蟲(個體數/平方公尺)，為各測站之首。2012 年 6 月中旬的泰利颱風，雖然沒有侵台卻夾帶西南氣流、8 月初的蘇拉颱風及 8 月底天秤颱風兩個中度颱風的影響，昆蟲數量降至 700 昆蟲(個體數/平方公尺)以下，呈現低於過去紀錄的水平，10 月則回復至 500~2000 昆蟲(個體數/平方公尺)，但 2013 年年初的高峰較 2012 年為低，為 1500~5100 昆蟲(個體數/平方公尺)，颱風季之後，各測站於 2013 年 10 月降至 60~500 昆蟲(個體數/平方公尺)，又是低記錄，而 2014 年年初的高峰為回升為 1000~7000 昆蟲(個體數/平方公尺)(圖 5-2)。

圖 3-3 為各站所採獲中大體型水棲昆蟲數量(臺灣櫻花鉤吻鮭之可能大型食餌)以時間動態呈現其變化，圖中可看出和圖 3-2 有相似之季節豐度變化，皆於 10 月至隔年 1 月或 2 月為上升趨勢，以及後續其較低數量水平。由歷年數據可看出，於研究初期(2003 年年初)，繁殖場測站之中大型水棲昆蟲數量為 1400 昆蟲(個體數/平方公尺)，為各站之首，然而後續幾年數量在 700 昆蟲(個體數/平方公尺)以下，直到 2010 年初，此測站數量上升至 1600 昆蟲(個體數/平方公尺)，再度達到 2003 年的水準且僅次於觀魚台測站。2010~2012 這三年期間各測站之中大型水棲昆蟲數量屢創新高，2010 年繁殖場測站及觀魚台測站達到歷史最高峰，約為 2200 及 1600 昆蟲(個體數/平方公尺)，2011 年觀魚台測站再創新高，達 3500 昆蟲(個體數/平方公尺)，10 年來的最高，

2012 年二號壩測站為 2600 昆蟲(個體數/平方公尺) ，為各測站之首。2012 年年初各測站約為 1000 及 2600 昆蟲(個體數/平方公尺)，但之後受颱風颶風影響，降至 350 昆蟲(個體數/平方公尺) 以下，10 月時則小幅回升至 60~800 昆蟲(個體數/平方公尺)；2013 年 2 月為 300~1100 昆蟲(個體數/平方公尺)，其中觀魚台測站為各測站之首，各測站於 2013 年 10 月降至 20~100 昆蟲(個體數/平方公尺)，2014 年 2 月則回升至 200~600 昆蟲(個體數/平方公尺) (圖 3-3)。有勝溪測站的中大型食餌數量由 2003 年開始一直呈現低迷狀態，僅 2007 年初有上升且較其他各測站為高，高峰約為 1300 昆蟲(個體數/平方公尺)，之後幾乎皆為各測站之最低者(圖 3-3)。

(二) 多樣性

由 2003~2014 年之各測站 Shannon-Wiener's index 比較結果可看出，大多數時間點高山溪測站指數值較其他測站為高，而有勝溪測站指數值則較其他測站為低，其他各測站則在這兩測站之指數值間波動，十年來棲地品質已有提升之趨勢，尤其是有勝溪測站及觀魚台測站(圖 3-4)。各測站之多樣性大多呈現和過去水準相似(1.5~2.5)，不過受 2011 年 5 月中旬一號壩壩體改善部分拆除工程的影響，一號壩下游測站於 2011 年 10 月之多樣性呈現較各測站為低之數值 (1.5~1.6)，2012 年 4 月時呈現出更低的數值(1.1)，且離壩體下游更遠的繁殖場測站於 2012 年 8 月時也呈現出低數值(1.2)；2013 年上半年各測站 Shannon-Wiener's index 已回復為 2.0~2.6，2013 年 8 月則降為 1.3~2.3，2013 年 10 月升至 1.8~2.8；2014 年 2 月於各測站則為 1.9~2.4，2014 年 10 月於有勝溪為 1.4 而其他各測站為 1.8~2.6。

比較山溝水輸入源上游之二號壩測站與下游之觀魚台測站的多樣性，2003~2005 年二號壩測站之多樣性指數水準大部分時間點較下游觀魚台測站為高，然觀魚台測站附近的農業區於 2006 年回收後，至 2007 年則無上游優於下游之現象，且 Shannon-Wiener's index 波動中心點較過去為高，指數上下限區間範圍由 2006 年前之 1.0~2.0 慢慢升高至 2006 年後之 1.5~2.5，

2011~2014 則大多維持在 2.0~2.6。二號壩測站與觀魚台測站這三年的 Shannon-Wiener's index 各為 1.9~2.7 與 1.6~2.7，表示至今仍沒有一致的優劣關係。

(三) 棲地評比

由快速生物評估法 II 所得之相對分數可知，各測站都介於無損害到中度損害之間(圖 3-5)。往年皆以颱風過境時，多數測站一致顯示棲地大幅劣化情況，且以有勝溪測站最為明顯，但由圖中可看出自 2007 年起各測站於颱風季節後棲地劣化幅度變小，且以有勝溪測站及觀魚台測站最為明顯，尤其是觀魚台測站棲地可維持在無損害程度。各測站面臨 2011 年颱風季節後，棲地沒有劣化仍維持在無損害程度，然而 2012 年 6 月到 8 月的颱風季過後，10 月的監測結果顯示出，位於七家灣溪的各測站及有勝溪測站棲地劣化到中度損害程度(圖 3-5)。2013 年上半年除了有勝溪測站仍維持為中度損害程度，其餘各站皆為無損害程度，2013 年 10 月則為無損害到中度損害程度，其中一號壩下游測站由 6 月到 10 月維持在中度損害程度；2014 年 2 月到 10 月則為無損害到中度損害程度(圖 3-5)。

(四) 群聚結構

2003~2014 年各測站之 MDS 分析顯示於圖 3-6。其分析結果仍具有群聚組成變異之代表性。進一步推測及判定各測站之關係，有勝溪測站連續 10 年以上來為一類群，而其他測站為另一類群，不過分析圖上可看出兩類群於 2009 年到 2014 年有交集，顯示有勝溪測站開始與其他測站有相近結構之趨勢，各站的群聚結構大致約一年完成一個循環。分析圖顯示，群聚結構大致隨著年份，往同一方向轉移(MDS 軸 1 的正向)，2006 年到 2007 年初群聚結構有回移的現象，但 2007 年後半年則停此回移，且和 2005 年變動幅度相近，

2008~2010 年仍有此律動，且 2011 年結構已回移至 2003 年的狀態，並超越而成為此轉移方向的新極值，直到 2012 年及上半年仍維持於此回移範圍內。然而，2012 年 6 月到 8 月的泰利、蘇拉與天秤颱風過後，以及 2013 年 7 月到 10 月的蘇力、潭美、康芮、天兔及菲特等颱風過後，再度轉移至 2005 年~2009 年間的群聚結構，以致 2013 年並無完全回復至 2011 年到 2012 年狀態，水昆類群已開始偏向至 2005 年~2009 年間的群聚結構，不過 2014 年則回復至 2011 年到 2012 年狀態。總括而言，每年上半年都會回移，但後半年則受颱風季節之洪流強度影響，而改變為另一方向之相對應轉移量(圖 3-6)。

(五) 一號壩壩體改善部分拆除工程的影響

由圖 3-7 得知水棲昆蟲個體數於壩體改善初期，壩體上游的兩測站一直都較壩體下游的兩測站為多。壩體下游的一號壩下游測站水棲昆蟲個體數由 2011 年 5 月 17 日的 1100 昆蟲(個體數/平方公尺)大幅降至 5 月 31 日(拆壩後第 1 天)的 70 昆蟲(個體數/平方公尺)；更下游之繁殖場測站水棲昆蟲個體數則由 5 月 17 日的 1300 昆蟲(個體數/平方公尺)大幅降至 5 月 31 日(拆壩後第 1 天)的 600 昆蟲(個體數/平方公尺)。因 2011 年 6 月下旬之米雷颱風所造成的洪水，兩者於 7 月 4 日又降至 300~500 昆蟲(個體數/平方公尺)，一號壩下游測站下降較大，繁殖場測站於 8 月大幅回升至 3200 昆蟲(個體數/平方公尺)，而一號壩下游測站於 9 月才回升至 3200 昆蟲(個體數/平方公尺)。2011 年 8 月下旬強烈颱風南瑪都侵台，10 月份調查結果，一號壩下游測站大幅下降至 300~800 昆蟲(個體數/平方公尺)，2012 年年初有回升至 4700~7000 昆蟲(個體數/平方公尺)，但 2012 年 6 月到 8 月的泰利、蘇拉與天秤颱風過後降至 600 昆蟲(個體數/平方公尺) 以下，10 月時有回升至 600~2000 昆蟲(個體數/平方公尺)，並在 2013 年年初水昆密度高峰呈現 1900~4600 (個體數/平方公尺)，其中離壩體較遠的兩站(觀魚台與繁殖場測站)之水昆密度則高於緊鄰壩體的一號壩上游及下游測站，2013 年蘇力、潭美、康芮、天兔及菲特等颱風過後，10 月則降至 60~200 昆蟲(個體數/平方公尺)，其中緊鄰壩體的一號壩下游為最低值；2014 年 2 月則升至 1200~2800 昆蟲(個體數/平方公尺) (圖 3-7)。

壩體上游的一號壩上游測站有山溝水匯入，壩體下游的一號壩下游測站有一號防砂壩在此，過去這兩測站 Shannon- Wiener's index 值較觀魚台測站為低，且上半年多樣性指數波動小於後半年時期，颱風強度越大時似乎會造成較大波動(圖 3-4)。2011 年年初這兩測站在維持 2.4~2.5 (壩體改善前)，和觀魚台測站及繁殖場測站相比則不相上下(圖 3-8)。2011 年壩體改善工程後一個月內，壩體上下游的四測站皆明顯受到衝擊，顯現出多樣性指數之不確定性，波動變化加劇尤其是壩體下游的一號壩下游測站，Shannon- Wiener's index 值由 2.5 下降至 1.7，成為四測站中最低者(圖 3-8)，颱風季節使得壩體上下游的四測站再次承受負面衝擊，再一次且加深下降幅度，一號壩下游測站由 2.5 下降至 1.5 且為最低者，雖然 2012 年 2 月回升至 2.4，但可能因 2012 年 4 月的降雨較多而流量提升，使此測站再降至 1.1 (圖 3-8)。之後 2012 年 8 月遭受到中度颱風所造成的大型洪水影響，壩體上下游的四測站由 6 月的 2.0~2.7 降至 1.2~2.0，2012 年 10 月開始回升，2013 年 2 月的 2.4~2.7；2013 年 6 月降至 1.7~1.9，而颱風季後之 10 月則回升至 2.2~2.6，持平至 2014 年 2 月的 2.2~2.4，而 2014 年 6 月至 10 月則為 1.7~2.4 (圖 3-8)。由於壩體改善後期需要長時間回復 (Thomson et al. 2005)，未來將需一段較長時間並待回復後才能清楚釐清是受山溝水影響，或與壩體改善工程有關，或受每年颱風洪水的衝擊，彼此之因果關係，必須持續關注。

壩體改善工程後之 MDS 分析顯示於圖 3-9。四壩測站昆蟲組成以一號壩下游測站變化較大，但都趨向 MDS 軸一正值向驅動，經過 2.5 個月，順著 MDS 軸一反向歸回，回至相似結構。一號壩下游測站雖然於壩體改善工程一年內已有數度回返，但一經洪水事件後，則較其他站更加易受衝擊，而再度往 MDS 軸一正值趨向。由四測站水棲昆蟲受到壩體改善工程短期衝擊之變化速率也可看出，壩體下游兩測站受到約 2.5 個月的短期影響後回升，然施工 5 個月後的洪水衝擊，使得壩體下游測站較上游測站受到的影響更大。2012 至 2014 年颱風季的影響，對一號壩下游測站的衝擊較其他三站為大。

圖 3-10 為 2003 年至 2014 年，前年最大流量與年初(1、2 月)之中大型

食餌密度之迴歸分析結果，顯示前年最大流量對年初(1、2月)之中大型食餌的解釋變異為 51% ($y=1.2+2.1x-0.6x^2$, $p=0.039$, $R^2=0.51$)，且可預測得知當年極端流量過低($<10\text{ m}^3/\text{s}$)或過高($>200\text{ m}^3/\text{s}$)時，次年 1、2 月之中大型食餌密度將大幅降低(圖 3-10)。

四、討論

(一) 物種數及個體數

2013 年調查水棲昆蟲有 63 分類群(Taxa)，由過去調查結果顯示，2003 年 46 分類群(Taxa) (郭，2003)、2004 年 43 分類群(Taxa) (郭，2004)、2005 年及 2006 年 45 分類群(Taxa) (郭，2005; 2006)、2007 年 48 分類群(Taxa) (郭，2007)、2008 年 52 分類群(Taxa) (郭，2008)、2009 年 59 分類群(Taxa) (郭，2009)、2010 至 2013 年 63~67 分類群(Taxa) (郭，2010、2011、2012 及 2013)，以及楊與謝(2000)報導有 40 分類群(Taxa)相比，物種數逐年微量增加。2010 年及 2011 年可採到 64 及 67 分類群(Taxa)，可能與測站及採集月份增多也有關，而到了 2012 及 2013 年物種數則沒有再增加而持平，為 63 分類群(Taxa)，2014 年則為 57 分類群(Taxa)，暗示我們所採的樣本中已包含了此地水棲昆蟲群聚的所有（或幾乎所有）物種數了。

近年來受颱風及梅雨影響，溪流流量暴增，過去 40 年來至 2008 年，以 2005 年為最嚴重的一年，其次依序為 2007 年、2008 年、2004 年，是此地流量暴增的前 4 名(丘, 2009)。2012 年的溪流流量暴增，可以進前五名。由連續 10 年以上(2003 年至 2014 年)水棲昆蟲數量之研究數據顯示，在歷經較嚴重的洪流，可能未來會造成水棲昆蟲群聚中體型較大物種之比例下降(郭，2010)。由圖 3-2 及圖 3-3 數據可看出，水棲昆蟲數量及中大型食餌數於每年的 1 或 2 月為高峰，2003 年至 2004 年初期達到最高，但受到 2004 年及 2005 年洪流影響，2005~2006 年的中大型食餌數明顯較少，顯示溪流流量暴增對水棲昆蟲

群聚中體型較大物種之影響。由 10 年數據以上可看出，流量為常態發生而非突然暴增時，其隔年年初中大型食餌比例則會增加，此現象發生於 2003 年初及 2010~2012 年初，反之，嚴重洪流出現，隔年年初中大型食餌比例則會下降，數據顯示，2012 年受到 8 月的中度颱風影響，而 2013 年年初高峰之水昆及中大型食餌數量皆變少，重演 2005 至 2009 之大型洪水的影響。2013 年受到颱風影響，10 月水昆數量大幅下降，且 2014 年年初水昆及中大型食餌數量也較 2013 年年初低。

(二) 多樣性

洪流擾動過後，物種可能大量減少，進而造成物種多樣性之降低，2005 年 8 月 Shannon- Wiener's index 數值下降，並且 2006 後半年 Shannon- Wiener's index 指數下降程度較 2004 及 2005 年為小，可能和 2006 年颱風頻度和強度都較小有關；不過因優勢物種的減少所空出的資源使得其他物種得以拓殖，而得以增加了均勻度，例如大多數測站之多樣性指數在歷經 2004 年 7 月及 9 月的颱風，其暴雨所帶來之洪流，其群聚生態反應於均勻度指數之數值上升(郭，2005)。下半年洪流過後，年終至隔年年初之持續拓殖回復，物種數之增加的確會正向關聯於多樣性上升，而小型且生活史短之物種因非常態干擾影響(Chiu & Kuo 2012)，其比例之提升導致均勻度下降，終究造成多樣性降低，例如 2005 年 2 月，種類數持續回復，然而由於搖蚊(Chironomidae)等物種快速增長且成為優勢物種，因而均勻度降低，導致大部分樣站 Shannon- Wiener's index 於溼季前之逐月下降趨勢(郭，2005)，並且同樣的 2006 年 1 月上升及 6 月 Shannon- Wiener's index 回降變化，可延伸 2007~2014 年相近時期的數值變化，而 2012~2014 年洪流過後，雖然物種數必然減少，不過多樣性大致持平或小幅上升，乃因均勻度上升；另一方面，2013 及 2014 年數量持續回升，優勢物種數量增長更甚，終致均勻度下降，而呈現 2 月或 4 月有些測站之多樣性下降。這樣的現象說明了颱風及梅雨季節所帶來洪流於對多樣性有一定的影響力，而其干擾時間點、頻度及強度之常態與否則決定正向或負向影響。

(三) 棲地評比

以 2003~2014 年的 RBPII 數值而言，各測站於流量暴增後，其評等往往都會趨向劣化，然而流量暴增的情況下，群聚結構變化受此強力的物理因子的影響遠大於水質或棲地因子，群聚結構起先為高留存之抗急流的物種居多，後續發展為快速拓殖的物種為主，因此除非水質或棲地劣化非常嚴重，能快速反應於 RBPII 評等的情況，在水質或棲地普遍較為良好的地區，流量暴增事件的出現，應等待一段時間，待物種拓殖穩定後，方可用 RBPII 來評等。除此之外，其中往年皆以颱風過境時，多數測站都一致顯示棲地大幅劣化情況，然而 2007 年起各測站於颱風季節後棲地劣化幅度較小，且觀魚台測站棲地可維持在無損害程度，且幾乎所有測站 2011 年颱風季節後，棲地劣化幅度最小，然而於 2012 年颱風季節後，棲地劣化幅度又再增大；一號壩下游測站首當其衝，由 2013~2014 年 6 月~10 月維持在中度損害程度，顯現出受到洪水及改善工程的影響，此結果說明了 RBPII 或許可用來偵測到颱風所引發的洪流對武陵地區溪流之影響，但似乎無法僅與洪流強度有關聯，應還有其他因子的交互作用也包含在內，其他研究也顯示季節性變化會明顯影響棲地評估的準確性(Šporka et al. 2006, Alvarez-Cabria, Barquin & Juanes 2010)。

(四) 農地回收政策已具有成效

農業區下游之觀魚台測站於 2006~2014 年之 Shannon-Wiener's index 及 RBPII 數值波動上下限區間範圍已較以往(2003~2006 年)有提升的現象，以及於 2010 年回復監測之二號壩測站(農業區旁)，其 Shannon-Wiener's index 也較過往為高，表示其多樣性變高及棲地評比變優，與 2006 年開始進行農地回收有所關聯，且 2010~2014 年水棲昆蟲數量及中大型食餌比例明顯持續上升並較以往及其他大部分測站為高，證實農地回收政策已具有成效。

(五) 一號壩壩體改善部分拆除工程的影響

一號壩壩體改善工程施工擾動水體後，使得水體中懸浮物質增多(王，2011)，對整個水域食物鏈的影響是多環節的。從生態系食物鏈傳遞的角度分析，除了初級生產者藻類受到負面影響外(林，2011)，其它的消費者營養階級的水生生物也會受到負面影響，對水棲昆蟲短期影響即是族群數量出現下降(圖 5-10)，並可通過影響食物鏈的傳遞進而影響整個水域生態系統。挖泥掀起的泥沙沖刷進入水域中，壩體下游的空間改變(王，2011)，枯枝落葉掉入水域中變少，底層的粗顆粒碎屑下降(林，2011)，下游的環境改變較上游明顯(王，2011；葉，2011)。壩體上游的兩測站，可能季節性變化所造成的影響大於壩體改善短期影響，但壩體下游的兩測站除了季節性變化的影響外，還有壩體改善工程短期衝擊。一號壩下游測站遭受壩體碎片及所釋放大粒徑石頭覆蓋原有溪底底質(葉，2011)，此測站首當其衝應遭受較巨大的衝擊，更下游之繁殖場測站相較之下僅遭受細顆粒物質衝擊及掩蓋(葉，2011)，結果的確也顯示出一號壩下游測站水棲昆蟲個體數及多樣性大幅下降，並於 2013 年 10 月更大幅下降，且下降幅度大於繁殖場測站(圖 5-9 及圖 5-10)，如此大幅下降現象，與國外其他研究雷同(Thomson et al. 2005, Orr et al. 2008)。然而 2012 年 8 月的颱風所引發的溪流變動，已經不僅是拆壩所造成的影響，大型底質挾帶沖刷到更下游的繁殖場測站，淤積明顯(王，2012)，由圖 5-10 可看出離一號壩較遠的觀魚台測站及繁殖場測站多樣性指數的波動明顯變大且下降，而繁殖場測站降至最低(1.2)；2013 年年初雖已回復洪水衝擊前水準，然而其水昆數量高峰仍然為低迷，低於 2012 年年初數量高峰之水準。因而此影響將持續，2014 年年初大型水昆數量會低於 2013 年，即自 2011 年年初高峰後，大型水昆密度下降至 2014 年，連續 3 年。就整體趨勢而言，若當年度有發生洪水，將導致來年年初中大型食餌密度下降 (Chiu & Kuo 2012)，極端流量(過低 $<10 \text{ m}^3/\text{s}$ ；過高 $>200 \text{ m}^3/\text{s}$)發生後，次年 1、2 月之中大型食餌密度大幅降低(圖 3-10)。

壩體改善工程對壩體上下游的測站呈現出短期的負面衝擊，隨著時間演

進，隨後出現的自然洪水事件所造成的洪水衝擊，除了本身的影響力，會與壩體事件結合，再重演一次並加深此次洪水所造成的衝擊，且壩體下游的測站受到影響較上游來的大。結果顯示颱風所引發的洪流確實造成如此的影響，一號壩下游測站首當其衝遭受較巨大的衝擊，水棲昆蟲個體數下降幅度較大，且多樣性下降至最低，其次為繁殖場測站。2012~2014 年的洪水衝擊，可以看到拆壩後的影響力已可達一號壩上游棲地，當然一號壩下游測站也因底質嚴重掏刷也同受衝擊，同時表現出水棲昆蟲數量及多樣性大幅下降，影響距離及時間，持續監控中。

五、 結論與建議

水棲昆蟲歷經了 2003 年無颱風的年度，數量及生物量於 2004 年 2 月達到高峰，但往後幾年也明顯受到颱風季節及梅雨季節所造成的洪流影響而呈現下降趨勢，影響隔年水棲昆蟲組成拓殖回復之方向。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，生物量下降，且由底棲幼蟲、成蟲羽化之組成再次驗證颱風季節對昆蟲群聚結構及組成之影響 (郭，2008)，而由歷年中大型食餌數據也證實了洪流對昆蟲群聚結構及組成之衝擊(郭，2009)，不過洪流減弱，長鬚石蛾 *Stenopsychidae* (大體形物種) 又增加及黑管石蛾 *Uenoidae* 之回復採樣記錄，我們認為毛翅目這二物種可作為極端洪流的生物指標。

2012 年又見大型洪流的發生，隔年(2013 年)水昆及中大型食餌持續受此影響，其年初的密度高峰已大幅下降，同於 2005 至 2009 年的低水平，2014 年年初水昆及中大型食餌數量將較 2013 年年初低迷。若當年度有發生洪水，極端流量(過低 $<10 \text{ m}^3/\text{s}$; 過高 $>200 \text{ m}^3/\text{s}$)發生後，次年 1、2 月之中大型食餌密度大幅降低。

農業區下游之觀魚台測站於 2006 年農地回收後，水棲昆蟲數量及中大型食餌比例明顯持續上升並較以往及大部分其他測站為高，多樣性指數及

RBPII 數值波動上下限區間範圍已提升，棲地評比已提升至優良測站，且二號壩測站(農業區旁)，多樣性變高及棲地評比提升，證實農地回收政策已具有成效。

MDS 分析中顯示有勝溪測站為一類群，而其他站為另一類群，表示有勝溪測站的群聚結構和其他各站較不相似，然而 2009~2014 年開始和其他測站於 MDS 分析圖中具有交集，表示其和其他測站有相似度提高的現象。除了有勝溪測站外，各站的群聚結構變動方向具一致性，流量暴增為驅使力量，使群聚結構驅向某一特定群聚結構，干擾較小，年初的群聚結構回移，干擾較大，則再度驅向特定群聚結構直到隔年年初回復，因此可歸納出每年回復之時期為年初。由 2009~2012 年結果分別再度證實年初回復及其後洪水干擾之情形。2012 及 2013 年的颱風影響，再度轉移至 2005 年~2009 年間的群聚結構，而 2014 年則有回復的趨勢。

一號壩壩體改善工程對七家灣溪的水棲昆蟲群聚產生約 2.5 個月的短期負面直接影響，導致數量和多樣性下降，且壩體下游兩測站受到影響較上游兩測站來的大。拆壩後再遭受到大雨引起的洪水衝擊為另一重要事件，此洪水除了本身的影響力，會結合拆壩再重演一次負面直接影響，加深此次洪水的衝擊。一號壩下游測站首當其衝，由 2013 年 6 月到 2014 年 2 月維持在中度損害程度，水棲昆蟲個體數及多樣性大幅下降，顯現出受到洪水及改善工程的影響，可能還有間接的、慢性的長期衝擊(Chiu et al. 2013)：例如水棲昆蟲的棲息環境的改變，引起食物鏈和生態結構的逐步變化，而 2014 年 10 月則回復為無損害程度，是否開始達到恢復狀態應從生態系食物鏈傳遞的角度來看，長期追蹤(5 年以上)及全面監測(永久測站)，方可為未來壩體改善之長期生態衝擊及回復，樹立健全之典範。

六、參考文獻

- 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，第 27 期，154-159 頁。
- 王筱雯，2011。2011 年度武陵地區溪流生態系長期監測暨整合研究，第十一章泥沙監測研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 丘明智，2009。武陵地區洪流及河鳥與溪流昆蟲之關係。國立中興大學昆蟲學研究所博士論文。臺中市。
- 汪靜明，1992。河川生態保育。國立自然科學博物館。臺中市。
- 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，2011。2011 年度武陵地區溪流生態系長期監測暨整合研究，第一章藻類研究與資料整合。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 林曜松，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。
- 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。臺中市。
- 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。
- 郭美華，2003。武陵地區水生昆蟲研究(二)。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 郭美華，2004。武陵地區水生昆蟲研究(三)。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 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。
- 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。

- 郭美華，2009。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立，第四章水棲昆蟲研究。
內政部營建署雪霸國家公園管理處保育研究報告。
- 郭美華，2010。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立，第四章水棲昆蟲研究。
內政部營建署雪霸國家公園管理處保育研究報告。
- 郭美華，2011。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立，第四章水棲昆蟲研究。
內政部營建署雪霸國家公園管理處保育研究報告。
- 郭美華，2012。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。
- 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，第24期，339-352頁。
- 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。
- 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。
- 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，152-177頁。
- 楊平世、林曜松、黃國靖、梁世雄、謝森和、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。
- 葉昭憲，2011。2011年度武陵地區溪流生態系長期監測暨整合研究，第二章物
理棲地研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- Alvarez-Cabria, M., Barquin, J. & Juanes, J. A. (2010) Spatial and seasonal
variability of macro invertebrate metrics: Do macroinvertebrate
communities track river health? *Ecological Indicators*, **10**, 370-379.
- Chiu, M.-C. & Kuo, M.-H. (2012) Application of r/K selection to
macroinvertebrate responses to extreme floods. *Ecological Entomology*,
37, 145-154.
- Chiu, M.-C., Yeh, C.-H., Sun, Y.-H. & Kuo, M.-H. (2013) Short-term effects of
dam removal on macroinvertebrates in a Taiwan stream. *Aquatic
Ecology*, **47**, 245-252.
- Clarke, K. R. & Warwick, R. M. (2001) *Changes in marine communities: an*

- approach to statistical analysis and interpretation*. PRIMER-E, Plymouth, UK.
- IPCC. (2007) *Climate Change 2007: The physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Kang, S.-C. (1993) *Ephemeroptera of Taiwan (excluding Baetidae)*. PhD dissertation, National Chung Hsing Univ., Taichung, Taiwan.
- Kawai, T. & Tanida, K. (2005) *Aquatic insects of Japan: manual with keys and illustrations*. Tokai Univ. Press, Tokyo.
- Merritt, R. W., Cummins, K. W. & Berg, M. B. (2008) *An introduction to the aquatic Insects of North America*. Kendall/Hunt Publ. Co., Dubuque, IA.
- Orr, C. H., Kroiss, S. J., Rogers, K. L. & Stanley, E. H. (2008) Downstream benthic responses to small dam removal in a coldwater stream. *River Research and Applications*, **24**, 804-822.
- Plafkin, J. L., Barbour, M. T., Porter, K. D., Gross, S. K. & Hughes, R. M. (1989) Rapid assessment protocols for use in streams and rivers: Benthic macroinvertebrates and fish. EPA 440-4-89-001. *U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water Regulations and Standards, Washington, D.C.*
- Shieh, S.-H. & Yang, P.-S. (2000) Community structure and functional organization of aquatic insects in an agricultural mountain stream of Taiwan: 1985-1986 and 1995-1996. *Zoological Studies*, **39**, 192-202.
- Šporka, F., Vlek, H. E., Bulánková, E. & Krno, I. j. (2006) Influence of seasonal variation on bioassessment of streams using macroinvertebrates. *Hydrobiologia*, **566**, 544-555.
- Thomson, J. R., Hart, D. D., Charles, D. F., Nightengale, T. L. & Winter, D. M. (2005) Effects of removal of a small dam on downstream macroinvertebrate and algal assemblages in a Pennsylvania stream. *Journal of the North American Benthological Society*, **24**, 193-207.

表 3-1、2014 年之 2、6 及 10 月水棲昆蟲資源組成及總個體數

(individuals / square meter)

Order	Family	Taxon	桃山西 溪	二號 壩	觀魚 台	高山 溪	繁殖 場	有勝 溪	一號壩上 游	一號壩下 游	
Coleoptera	Dytiscidae	<i>Deronectes</i> sp.		3.6		1.8					
		<i>Oreodytes</i> sp.	1.8								
	Elmidae	<i>Zaitzevia</i> sp.A	28.7	52.0	59.1	370.9	102.1	89.6	123.6	109.3	
		<i>Zaitzevia</i> sp.B	5.4	14.3	3.6	32.2	9.0	5.4	14.3	35.8	
	Scirtidae	<i>Cyphon</i> sp.	82.4	26.9	7.2	75.2	14.3	7.2	5.4	9.0	
Diptera	Athericidae	<i>Asuragina</i> sp.			1.8	1.8					
	Blepharoceridae	<i>Agathon</i> sp.		17.9	3.6	12.5	19.7	1.8	3.6	1.8	
		<i>Bibiocephala</i> sp.	14.3	52.0	14.3	16.1	19.7				
	Ceratopogonidae	<i>Bezzia</i> sp.	1.8		3.6	3.6	1.8	10.7	9.0		
	Chironomidae	Chironomidae sp.B	1594.6	2275.4	790.1	313.5	387.0	198.9	571.5	189.9	
		Chironomidae sp.C	447.9	673.7	315.3	412.1	68.1	184.5	487.3	310.0	
		Chironomidae spp.	442.5	1137.7	657.5	354.7	562.6	985.4	1178.9	573.3	
		Tanypodinae spp.	3.6	25.1	1.8	7.2	1.8	105.7	46.6	9.0	
	Empididae	<i>Chelifera</i> sp.		17.9	9.0	1.8	3.6		14.3	1.8	
		<i>Clinocera</i> sp.A		1.8	9.0						
		<i>Clinocera</i> sp.B		1.8					3.6		
		<i>Dolichocephala</i> sp.	1.8	1.8	1.8						
		<i>Hemerodromia</i>							3.6		
	Psychodidae	<i>Pericoma</i>				1.8					
	Simuliidae	<i>Simulium</i> sp.	284.9	1634.0	301.0	272.3	757.9	308.2	39.4	116.5	
	Stratiomyidae	<i>Oxycera</i>				1.8					
	Thaumaleidae	Thaumaleidae sp.			5.4		1.8	1.8	1.8	3.6	
	Tipulidae	<i>Antocha</i> sp.	5.4	87.8	152.3	32.2	14.3	53.7	148.7	39.4	
		<i>Dicranota</i> sp.	1.8							5.4	
		<i>Eriocera</i> sp.A	28.7	30.5	34.0	66.3	7.2		48.4	93.2	
		<i>Eriocera</i> sp.B	3.6	21.5	35.8	28.7	10.7	46.6	57.3	48.4	
	Ephemeroptera	Ameletidae	<i>Ameletus camtschaticus</i>	5.4		5.4	9.0			30.5	1.8
<i>Baetis</i> spp.			1010.5	704.1	791.9	589.4	252.6	4151.2	1832.8	1121.6	
Baetidae		<i>Acentrella lata</i>	335.0	490.9	537.5	286.7	297.4	207.8	268.7	75.2	
		<i>Baetiella bispinosa</i>	112.9	71.7	9.0	48.4	55.5	73.5	1.8	9.0	
Caenidae		<i>Caenis</i> sp.		1.8			5.4		3.6		
Ephemerellidae		<i>Acerella montana</i>	3.6	12.5	10.7	17.9	23.3	3.6	3.6	3.6	
		<i>Cincticostella fusca</i>			3.6	5.4	1.8	1.8			
Ephemeridae		<i>Ephemera sauteri</i>			1.8			16.1	5.4	1.8	
Heptageniidae		<i>Afronurus floreus</i>		3.6				3.6	26.9	7.2	1.8
		<i>Epeorus erratus</i>			1.8	3.6	3.6	3.6			3.6
	<i>Rhithrogena ampla</i>	439.0	1288.2	969.3	535.7	713.1	623.5	786.5	673.7		
Leptophlebiidae	<i>Paraleptophlebia</i> sp.						1.8				

表 3-1 續

Order	Family	Taxon	桃山西溪	二號壩	觀魚台	高山溪	繁殖場	有勝溪	一號壩上游	一號壩下游		
Plecoptera	Leuctridae	<i>Rhopalopsale</i> sp.		3.6	1.8	1.8						
		<i>Nemouridae</i>	<i>Amphinemura</i> sp.	50.2	387.0	136.2	277.7	32.2	166.6	197.1	34.0	
			<i>Protonemura</i> spp.	64.5	197.1	57.3	86.0	12.5		9.0	5.4	
	Perlidae	<i>Gibosia</i> sp.					5.4					
		<i>Neoperla</i> spp.		34.0	89.6	43.0	103.9	96.7	1.8	44.8	37.6	
	Styloperlidae	<i>Cerconychia</i> sp.		5.4	9.0	1.8		3.6		5.4		
	Trichoptera	Apataniidae	<i>Manophylax</i> sp.		5.4	3.6	1.8	32.2	84.2		14.3	
			<i>Glossosomatidae</i>	<i>Glossosoma</i> sp.	14.3	44.8	64.5	53.7	41.2	1.8	53.7	21.5
		Hydrobiosidae	<i>Apsilochorema</i> sp.		21.5	16.1	14.3	10.7	1.8	5.4	5.4	
		Hydropsychidae	<i>Arctopsyche</i> sp.		7.2	9.0	1.8	3.6	3.6		1.8	1.8
<i>Hydropsyche</i> spp.				16.1	57.3	95.0	66.3	100.3	139.7	43.0	105.7	
Hydroptilidae		<i>Hydroptila</i>							1.8	1.8		
Lepidostomatidae		<i>Goerodes</i> sp.			10.7	1.8	17.9	3.6	19.7	7.2		
Polycentropodidae		<i>Plectrocnemia</i> sp.				1.8						
Rhyacophilidae		<i>Himalopsyche</i> sp.		7.2	12.5		5.4	3.6				
		<i>Rhyacophila nigrocephala</i>		9.0	52.0	32.2	23.3	28.7	141.5	52.0	46.6	
	<i>Rhyacophila</i> spp.		21.5	21.5	17.9	23.3	5.4	9.0	10.7	10.7		
Stenopsychidae	<i>Stenopsyche</i> sp.A		3.6	1.8	5.4	1.8		1.8	1.8	1.8		
Uenoidae	<i>Uenoa taiwanensis</i>		12.5	9.0		1.8						
Plecoptera	Leuctridae	<i>Rhopalopsale</i> sp.		3.6	1.8	1.8						
		<i>Nemouridae</i>	<i>Amphinemura</i> sp.	50.2	387.0	136.2	277.7	32.2	166.6	197.1	34.0	
			<i>Protonemura</i> spp.	64.5	197.1	57.3	86.0	12.5		9.0	5.4	
	Perlidae	<i>Gibosia</i> sp.					5.4					
		<i>Neoperla</i> spp.		34.0	89.6	43.0	103.9	96.7	1.8	44.8	37.6	
	Styloperlidae	<i>Cerconychia</i> sp.		5.4	9.0	1.8		3.6		5.4		
	Trichoptera	Apataniidae	<i>Manophylax</i> sp.		5.4	3.6	1.8	32.2	84.2		14.3	
			<i>Glossosomatidae</i>	<i>Glossosoma</i> sp.	14.3	44.8	64.5	53.7	41.2	1.8	53.7	21.5
		Hydrobiosidae	<i>Apsilochorema</i> sp.		21.5	16.1	14.3	10.7	1.8	5.4	5.4	
		Hydropsychidae	<i>Arctopsyche</i> sp.		7.2	9.0	1.8	3.6	3.6		1.8	1.8
<i>Hydropsyche</i> spp.				16.1	57.3	95.0	66.3	100.3	139.7	43.0	105.7	
Hydroptilidae		<i>Hydroptila</i>							1.8	1.8		
Lepidostomatidae		<i>Goerodes</i> sp.			10.7	1.8	17.9	3.6	19.7	7.2		
Polycentropodidae		<i>Plectrocnemia</i> sp.				1.8						
Rhyacophilidae		<i>Himalopsyche</i> sp.		7.2	12.5		5.4	3.6				
		<i>Rhyacophila nigrocephala</i>		9.0	52.0	32.2	23.3	28.7	141.5	52.0	46.6	
	<i>Rhyacophila</i> spp.		21.5	21.5	17.9	23.3	5.4	9.0	10.7	10.7		
Stenopsychidae	<i>Stenopsyche</i> sp.A		3.6	1.8	5.4	1.8		1.8	1.8	1.8		
Uenoidae	<i>Uenoa taiwanensis</i>		12.5	9.0		1.8						

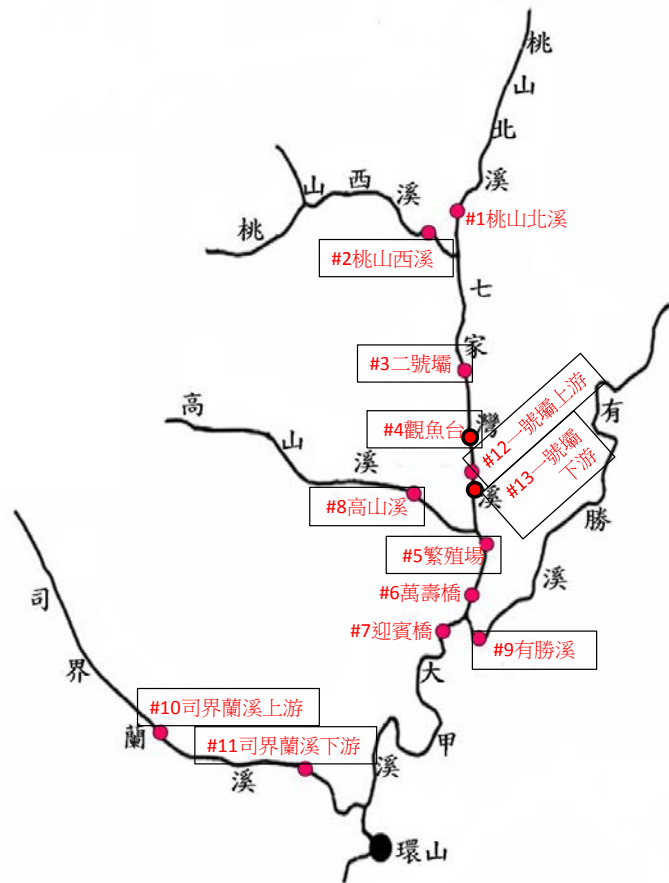


圖 3-1、武陵地區溪流水棲昆蟲監測調查測站之相關位置圖。
(資料來源：本研究資料)

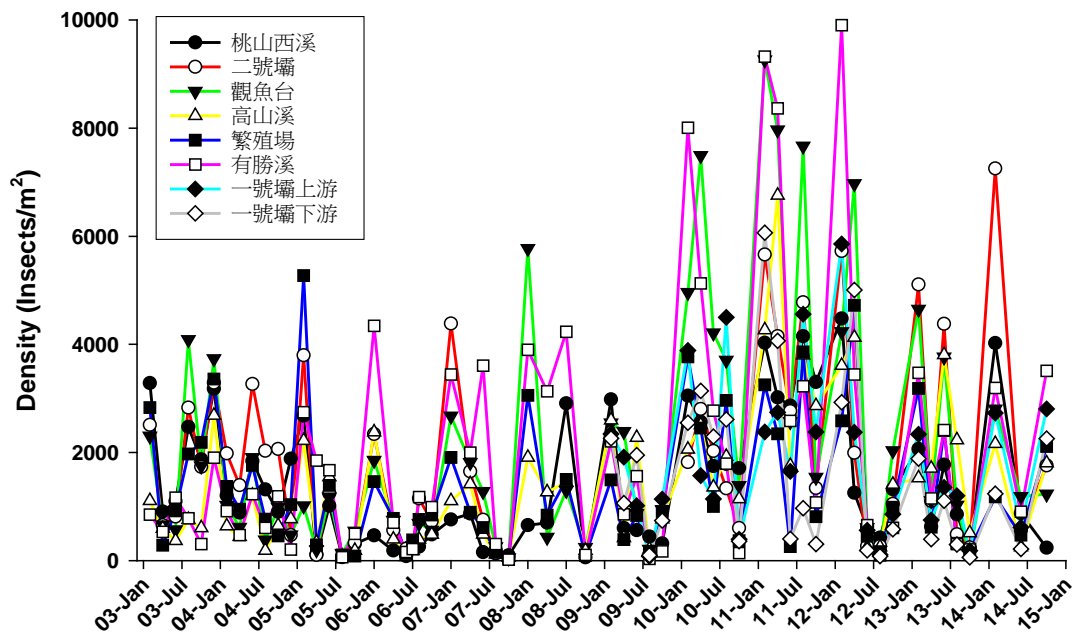


圖 3-2、武陵地區溪流測站水棲昆蟲各月數量。(資料來源：本研究資料)

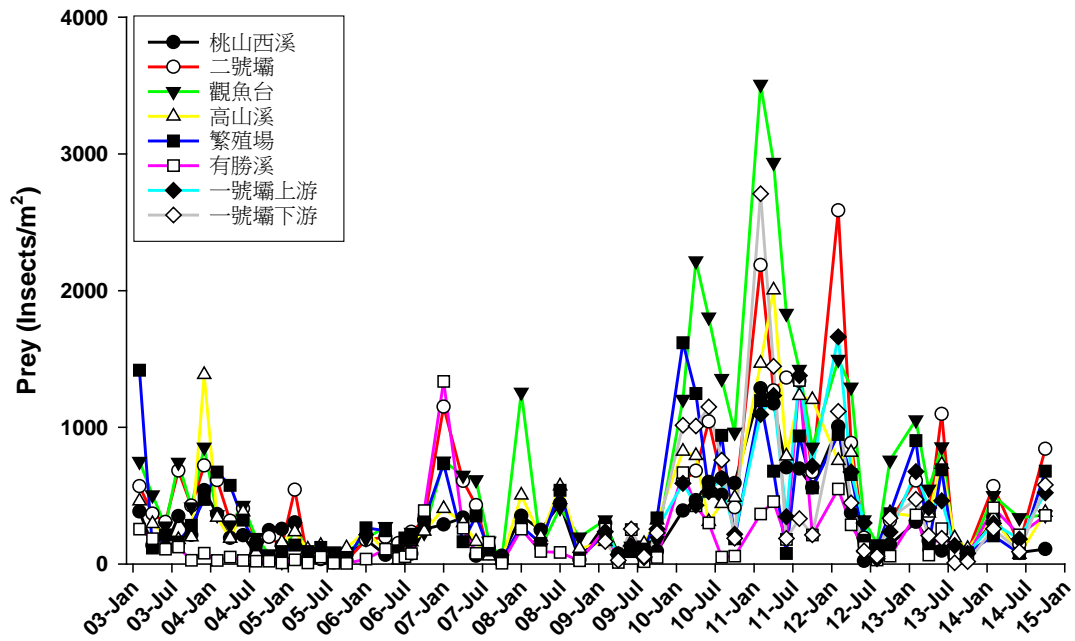


圖 3-3、武陵地區溪流測站之臺灣櫻花鉤吻鮭中大體型昆蟲食餌數量變化圖。
(資料來源：本研究資料)

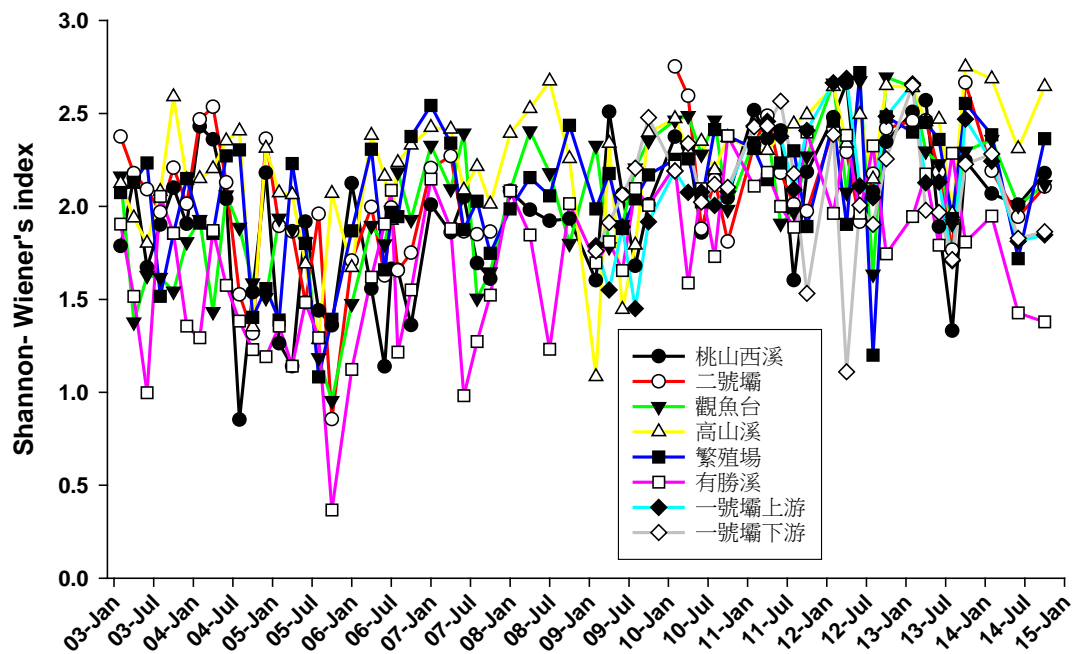


圖 3-4、武陵地區溪流測站水棲昆蟲之 Shannon- Wiener's index。
(資料來源：本研究資料)

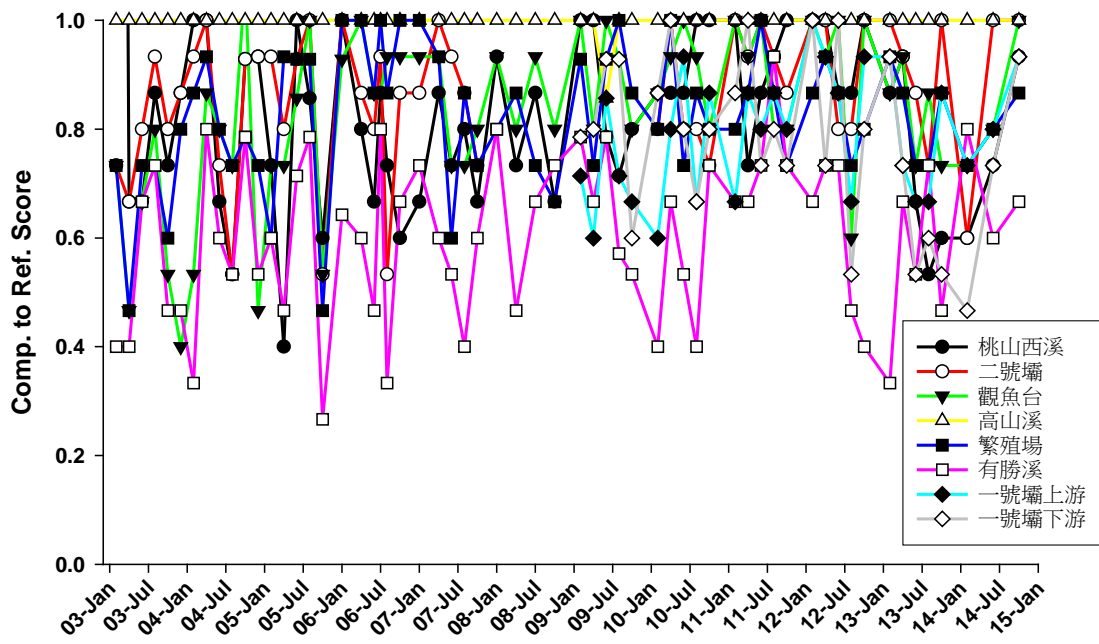


圖 3-5、武陵地區溪流測站水棲昆蟲之 RBPII 相對分數。
(資料來源：本研究資料)

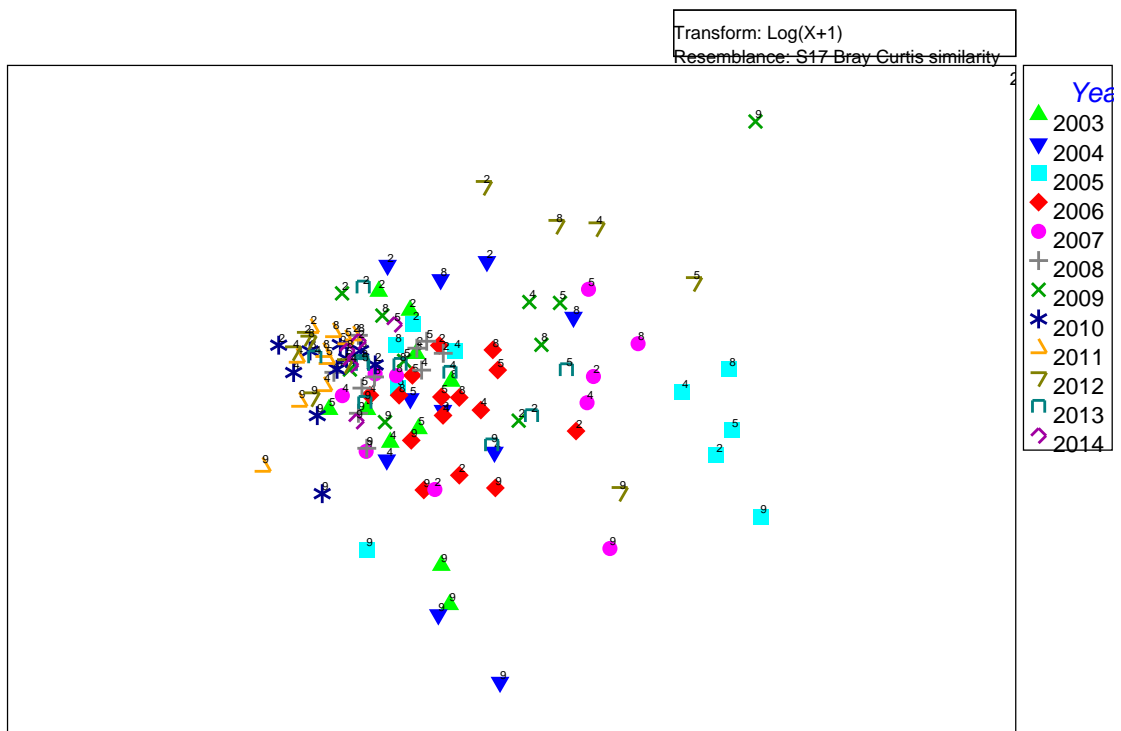


圖 3-6、武陵地區溪流測站水棲昆蟲之 MDS 分析。圖標數字表示樣站編號。
(資料來源：本研究資料)

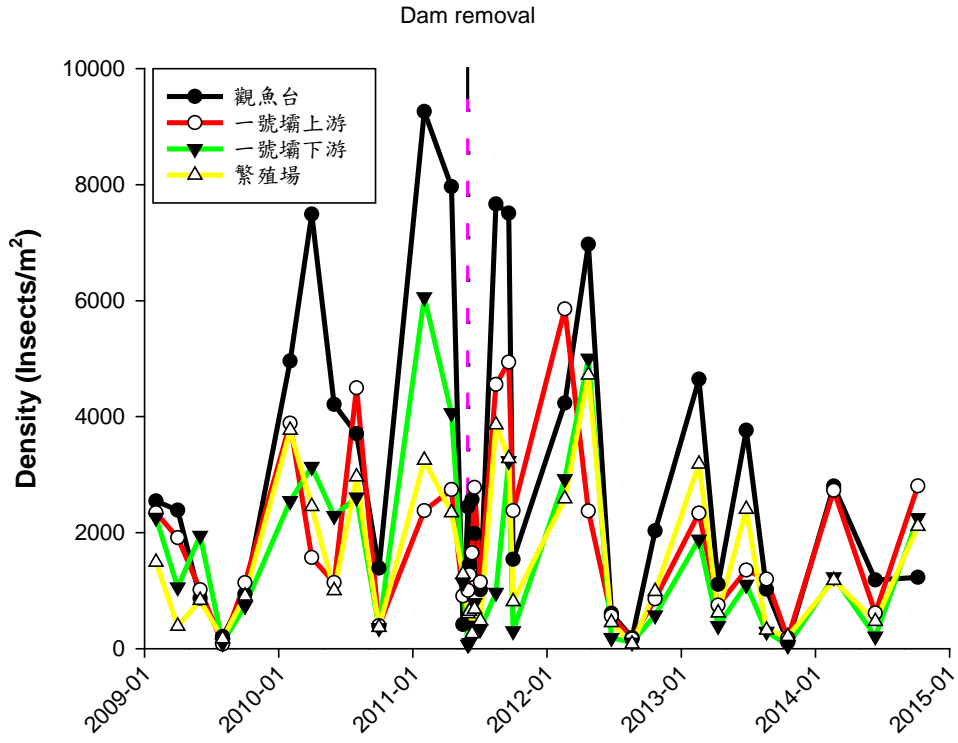


圖 3-7、一號壩壩體上下游四測站水棲昆蟲數量。
 (資料來源：本研究資料)

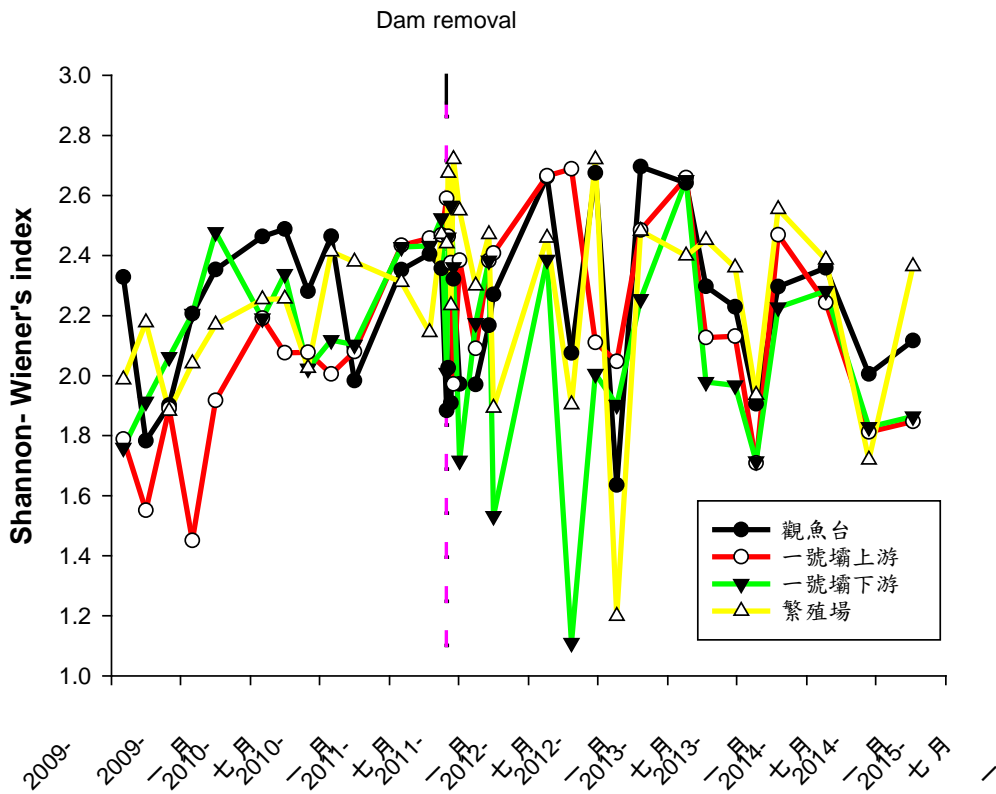


圖 3-8、一號壩壩體上下游四測站水棲昆蟲之 Shannon- Wiener's index。
 (資料來源：本研究資料)

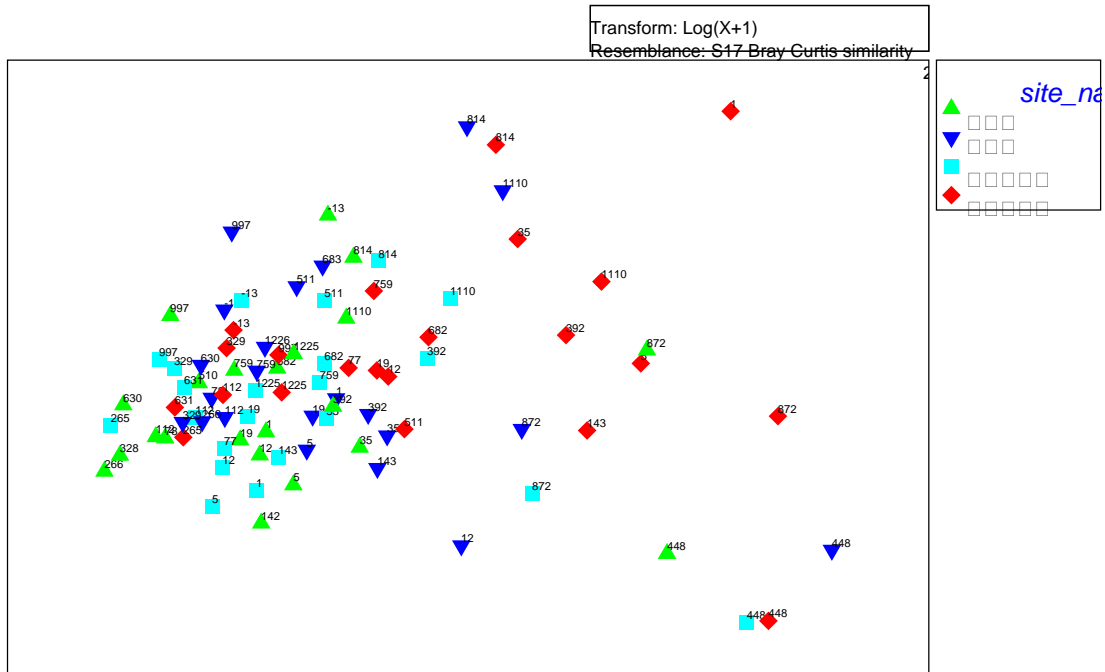


圖 3-9、一號壩壩體改善工程後水棲昆蟲之 MDS 分析。圖標數字表示改善當天 2011 年 5/30 日之相對天數，例如 448 代表 2012 年 8 月 20 日，工程後第 630 天(2013 年 2 月)、第 682 天(2013 年 4 月)、第 759 天(2013 年 6 月)、第 814 天(2013 年 8 月)、第 872 天(2013 年 10 月)、第 997 天(2014 年 2 月)、第 1110 天(2014 年 6 月)及第 1225 天(2014 年 10 月)。(資料來源：本研究資料)

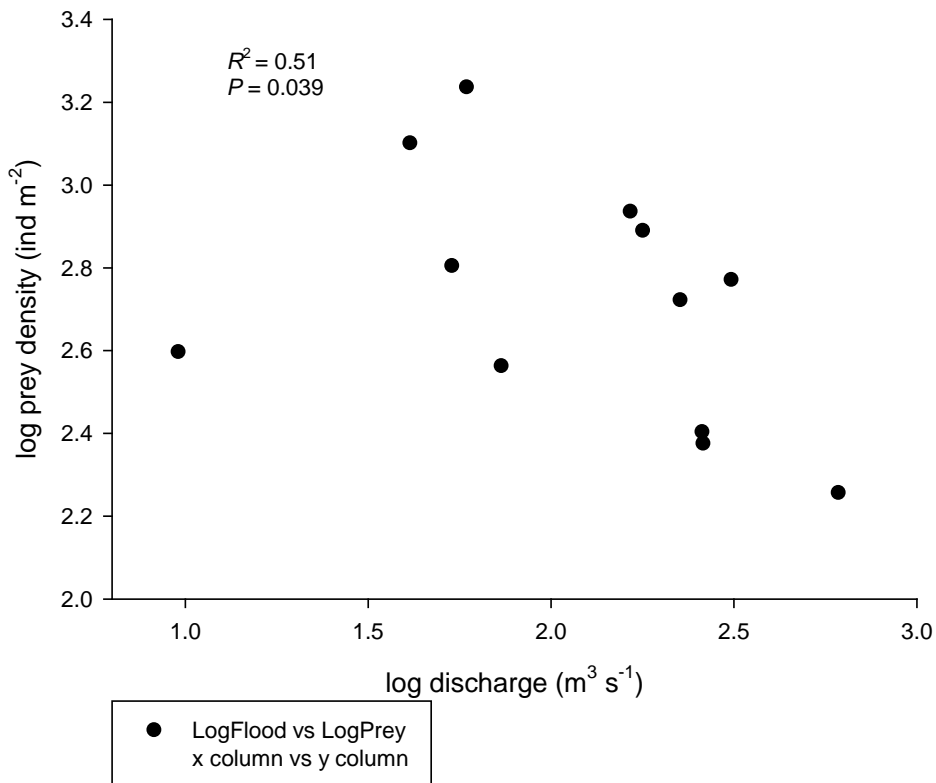


圖 3-10、洪水流量和隔年 1、2 月中大型食餌密度之關係($y=1.2+2.1x-0.6x^2$, $p=0.039$, $R^2=0.51$, x =當年最大流量, y =次年中大型食餌密度, 流量資料來自台灣電力公司水文水資源資料管理供應系統)。

第四章 水質研究

官文惠、陳柏瑋、黃彥霖、張峻愿、蔡秉辰、蔡宇翔

明志科技大學環境與安全衛生工程系暨環境工程研究所

一、前言

(一) 研究緣起

武陵地區七家灣溪為國寶魚臺灣櫻花鉤吻鮭之主要棲息地，該地區的土地利用型態包含了林地、崩塌地、果園、菜園、公共建設等，故自然與人為活動將對該水域水質造成極大之衝擊並間接影響該生態系之平衡（陳，1998，王，1998，于與林，2003）。根據王（2003）對武陵地區土地利用型態調查之研究成果顯示，七家灣溪沿岸之農業行為與人為活動對水質有一定程度之影響，農田中的肥料常在大雨沖刷後流入河川，造成溪水中的營養鹽濃度上升，進而影響臺灣櫻花鉤吻鮭主要棲息地之溪流水質，故有長期監測該地水質變化之必要性。

(二) 研究目的

本研究除持續針對七家灣溪流共同採樣點進行水質採樣分析外，另因前人研究顯示右岸中游山溝水有高濃度之硝酸鹽，故本計劃今年度仍持續在山溝及其附近排水溝之上中下游進行密集採樣。

七家灣溪上游附近之8.1公頃回收農用地已於2006年12月底完成徵收，為比較回收前後之水質差異，故本團隊持續於該區附近之測站包括桃山西溪、觀魚台及二號壩進行採樣以分析水質長期變化。另外，為配合雪霸國家公園管理處於民國一百年五月進行一號壩壩體改善工程，本團隊今年持續監測一號壩上下游水質，以了解壩體改善工程對水質之影響。

針對管理處人員或志工，做基本水質採樣分析之教育訓練，以利溪流水質監測工作，可長久且持續的進行。

(三) 文獻回顧

1. 研究樣區特性

雪霸國家公園位於台灣本島之中北部，境內高山林立，景觀壯麗，由大安溪河谷海拔760公尺至3886公尺的雪山主峰，高差達3000多公尺，自然資源極為豐富；園區內涵蓋了觀霧遊憩區、武陵遊憩區與雪見遊憩區等三個遊憩區，國家公園範圍以雪山山脈的河谷稜線為界，東起羅葉尾山，西迄東洗水山，南至宇羅尾山，北抵境界山，總面積達76,850公頃，含括新竹縣五峰鄉、尖石鄉、苗栗縣泰安鄉、台中縣和平鄉，屬於高山型之國家公園（圖4-1）。

武陵遊憩區內包括了七家灣溪、有勝溪、高山溪三大主要水系，七家灣溪為大甲溪上游的主要支流，由北方的桃山西溪與桃山北溪匯流而成，並在下流匯入高山溪形成七家灣溪流域。地質方面多為板岩與頁岩；水質方面，溪流含氧量高，溶氧量變化在7.5 ppm到12 ppm之間；酸鹼值在7至9.5之間呈弱鹼性，營養鹽含量低，除部份地區受農業活動稍有影響外，一般含量均低，整體來看，武陵地區水質為良好。

七家灣溪全長約15.3公里，其上游多峽谷深潭地形使得溪流溫度維持低溫，河段棲地富變化且遮蔽性高使其成為臺灣櫻花鉤吻鮭適合生存之流域，中游河段的湧泉支流則是臺灣櫻花鉤吻鮭在豪雨時最佳的避難場所。

雪霸國家公園武陵遊憩區以臺灣櫻花鉤吻鮭生態保護區為著名的景點，為保育臺灣櫻花鉤吻鮭得以永續生存，雪霸國家公園管理處積極採取復育工作。臺灣櫻花鉤吻鮭為冷水性鮭鱒科魚類，冰河時期生活在台灣大甲溪流域，冰河時期結

束後無法進入海洋迴遊，成為陸封型鮭魚而生活在大甲溪上游1500公尺處的高山溪流地區。這些溪流的坡度平緩，水溫維持攝氏16 °C以下，溪流兩岸由砂岩與板岩組成，河床甚少泥質，且樹木茂密，水量充沛，水生昆蟲種類豐富，所以臺灣櫻花鉤吻鮭得以在此生存。

2. 臺灣櫻花鉤吻鮭棲息地之水質

臺灣櫻花鉤吻鮭棲息地之水質條件對魚隻數目有相當大之影響。張（1989）與陳（1998）研究指出臺灣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。當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 $\mu\text{mho/cm}$ 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。

濁度要求在5 NTU之下，濁度過高會造成視覺性攝食魚種臺灣櫻花鉤吻鮭攝食的有效度降低，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。

硝酸鹽於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（陳，1998），歐盟則訂定亞硝酸鹽氮上限為3.0 $\mu\text{g N L}^{-1}$ （表4-4）。在氮的部分，當pH值過高水中氮會以劇毒性之非離子狀態存在，對魚類造成影響。故學者（陳，1998）建議水中氮濃度應小於12.5 ppb，歐盟(2006年)則嚴格訂定水中非離子態氮濃度須小於4 ppb，總氮濃度須小於30 ppb（表4-4）。

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。

3. 氮的來源與型態

(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硝態的氮。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。

4. 磷的形態與傳輸

(1) 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。
- 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。

(2) 磷的傳輸

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，有機質有助於磷素在土壤中的移動。然而，磷在低溫時不易被固定；高溫時磷則較易被固定。

磷之傳輸方式主要可分為滲淋、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。

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。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；粒狀磷則會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，主要流失磷的來源為溶解性磷。

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。

5. 硫

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，造成表土含硫量低，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，不能直接被植物利用，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。

二、材料與方法

研究流程規劃如圖4-3，主要研究地點為武陵地區溪流，包括桃山西溪、高山溪、有勝溪、七家灣溪與右岸之山溝及排水溝。採樣點相關位置如圖4-4。其在武陵地區現場分析的水質項目有pH、溶氧、導電度與水溫等四個項目，實驗室測定項目為濁度、硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮、氨氮、正磷酸鹽、二氧化矽、總有機碳、硫酸鹽、氯鹽等九個分析項目。所採集之溶解態水體樣品保存方式如表4-2所示。

(一) 採樣地點介紹

採樣地點包括武陵地區內之桃山西溪、高山溪、有勝溪及七家灣溪等四條溪流，水樣採集共設置十個測站，分別為：桃山西溪(#2)、二號壩(#3)、觀魚臺(#4)、繁殖場(#5)、高山溪(#8)、有勝溪(#9)、一號壩上游(#12)、一號壩下游(#13)、山溝與排水溝，各採樣點週遭環境特性描述如下：

桃山西溪(#2)：為桃山西溪後匯入七家灣溪，採樣地點為武陵吊橋下方，此處河寬約4-5公尺，水深約60公分，上游處有一攔砂壩，水流較急。

二號壩(#3)：溪流旁有大面積果園，主要種植物為水蜜桃樹、蘋果樹與梨樹，河寬約10公尺。

觀魚臺(#4)：為七家灣溪流的中段，與道路相鄰甚近，此處河寬約4-5公尺，水深約40公分。

繁殖場(#5)：新繁殖場，由億年橋旁進入，河床寬廣，河寬約16公尺，水深約55公分。

高山溪(#8)：由億年橋進入，步行約十分鐘，河寬約4-5公尺，水深45公分，原位於此處的攔砂壩已拆除，溪岸為芒草居多。

有勝溪(#9)：為有勝溪的下游，旁為武陵收費口，河寬約4-5公尺，水深約60公分，此區流速緩慢，上游有農田栽種。

一號壩上游(#12)：距離一號壩上游約100公尺處，為一開闊地形，右側有些許植被覆蓋。

一號壩下游(#13)：距離一號壩下游約100公尺處，兩岸為陡峭岩壁。

山溝：距離觀魚台上游約700公尺處，右邊有大空地一處，常有車輛停放。

排水溝：距離觀魚台上游約400公尺處，左邊水泥路邊即為排水溝。

(二) 水質分析方法

溶解態樣品實驗分析方法均根據環境檢驗所公告之實驗分析方法，另二氧化矽是改採用HACH Method 8186分析。

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 cm²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μmho/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-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。求得知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. 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，最後以靛酚試劑呈色，以分光光度計於640 nm波長處測其吸光度而定量之（Perkin Elmer UV/VIS Spectrometer Lambda 16）。

9. 正磷酸鹽：

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）。

10. 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。

11. 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。

12. 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。

三、結果

(一) 水質監測

七家灣溪流例行性水質分析採樣2008年前以雙月、2008年以每季進行，2009年後以雙月及7~8月間的颱風過後進行採樣，時間分別為2005年2、4、6、8、10、12月；2006年2、4、6、8、10、12月；2007年2、4、6、8、10、12月；2008年1、4、7、10月；2009年2、4、6、8、10月；2010年2、4、6、8、10、12月；2011年2、4、6、8、9、10、12月；2012年2、3、4、6、8、10、12月；2013年1、2、4、6、8、10月；2014年2、6、10月共60筆數據，分析項目包括現場測定之水溫、溶氧、導電度、pH等四個項目，以及實驗室測定之濁度、矽酸鹽、硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮、氨氮、正磷酸鹽、硫酸鹽、氯鹽、總有機碳等九個項目，2014年度分析數據如表4-5~4-7所示。

此外，雪霸國家公園管理處於2011年五月份進行一號壩壩體改善工程，本團隊亦配合壩體改善時程，進行壩體改善前與後之水質密集監測，而壩體改善後水質監測仍持續進行中，該區水質監測結果如圖4-18至圖4-30所示。

山溝及其附近排水溝上中下游之水質監測結果如圖4-31至圖4-43所示。8.1公頃回收農用地已於2006年12月底完成徵收，該區水質監測結果如圖4-44至圖4-56及表4-8至表4-10所示。

(二) 基本水質採樣教育訓練

已完成"河川水質採樣通則"、"導電度測量操作步驟"、"pH質測量操作步驟"、"水中溶氧量測操作步驟"四份教育訓練手冊，詳細內容請參考附件一~四。已於八及九月份進行兩次志工訓練課程。

四、討論

(一) 七家灣溪流例行性水質監測

pH值介於6.5~8.5時對魚類生產力最好，武陵地區溪流的pH值介於6.1~9.4間呈中性偏鹼的狀態，除有勝溪下游測站(#9)於歷年4月份測得之pH值偏高外，其餘測得之pH皆符合保育魚類水質最佳範圍內。

導電度表示水中離子含量之多寡，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71~392 $\mu\text{mho/cm}$ 之間，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；七家灣溪中游與下游有勝溪有農耕活動的關係，導電度值明顯為武陵地區溪流中最高，由此可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，在冬及春季枯水期時，測得之導電度值較高。

水溫是影響臺灣櫻花鉤吻鮭的重要限制因子(陳,1998)，夏季高水溫限制為攝氏17度，繁殖季節則是攝氏12度。武陵地區溪流水溫在冬季維持在攝氏9度左右，夏季水溫介於攝氏15至18度，其中又以下游之有勝溪水溫略高於其它測站。

溫度、生物間的呼吸作用及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。武陵地區各溪流生物量不多且無有機物的污染，又依亨利定律可知飽合溶氧濃度會隨著溫度降低而增加，冬季時武陵地區流域溶氧為最高，武陵地區流域大部分水系溶氧值維持在4.5~14.1 mg/L 之間，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)。

濁度過高會造成視覺性攝食魚種臺灣櫻花鉤吻鮭攝食的有效度降低，於2011年五月攔砂壩壩體改善後，武陵地區溪流濁度已趨於穩定，今年觀察之測

站濁度均低於1NTU。造成濁度上升的原因往往是因為大雨沖刷的關係所致，濁度高之水質雖不會造成魚類立刻死亡，但會增加魚類的染病機率。視覺性攝食魚種臺灣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。

今年中武陵地區各溪流所測得矽酸鹽介於3.93~8.24ppm。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、石英及長石等礦物，二氧化矽佔其主要成分，因而溪流內矽酸鹽的來源應與地質相關，目前矽酸鹽對臺灣櫻花鉤吻鮭的影響並無直接的證明。歷年監測結果顯示大雨過後，雨水沖刷會使得礦物溶於水中，造成矽酸鹽濃度增加。

營養鹽方面桃山西溪與高山溪大致上低於其它溪流；有勝溪則有較高的營養鹽濃度，推測有勝溪沿岸的農耕施作可能是導致營養鹽高於其它溪流的主因。司界蘭溪在上游無農田施作為原始林相，下游處則有高冷蔬菜的種植，在營養鹽方面下游的濃度均高於上游，顯示溪流中營養鹽的流入應來自農地的施肥所致。

武陵地區大部分溪流硝酸鹽氮含量低於0.6 ppm，下游測站濃度均較上游高，此趨勢同導電度值。桃山西溪與高山溪無農田施作，兩區域硝酸鹽氮濃度值明顯為武陵地區溪流中最低，另七家灣溪流中下游處之觀魚台，其硝酸鹽氮含量明顯比上游高；有勝溪收費口的硝酸鹽氮含量為武陵地區中最高，該測站於今年中監測得硝酸鹽氮濃度介於0.44~1.74 ppm，此現象可能與七家灣溪中游及有勝溪有農耕相關。

七家灣溪中下游測站之硝酸鹽氮濃度均較上游桃山西溪來得高，因而可由此評估農耕行為或人為活動輸入的硝酸鹽對武陵地區溪流所造成的影響。硝酸鹽氮主要的來源為含氮肥料的使用，經雨水逕流而進入河川。土壤在好氧情況下，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，又土壤顆粒表面大多帶負電，因而氮根離子較易被吸附在土壤中。而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，例如含水量過高的土壤中及深層的土壤等，在此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，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），歐盟亦於2006年訂定鮭鯉魚水體中亞硝酸鹽氮濃度需在3 ppb以下(表4-4)。武陵地區大部分溪流亞硝酸鹽氮濃度均低於3ppb，僅高山溪測站達5.7ppb，須持續觀察。

溪流中的氨氮變化，在施用有機肥時會因肥料中氮的分解，透過雨水的沖刷導致溪流中氨氮濃度上升。除此之外，當溪流pH值過高時，水中氮會以劇毒性之非離子狀態存在，對魚類造成影響。故學者（陳，1998）建議水中氮濃度應小於12.5 ppb，歐盟(2006年)則嚴格訂定水中非離子態氮濃度須小於4 ppb，總氮濃度須小於30 ppb(表4-4)。而歷史監測結果顯示，武陵地區溪流之氨氮濃度於冬至早春季節較高，其餘季節則較少偵測到氨氮。

硫酸鹽在各溪流的濃度均高於其它營養鹽類，因此可推測水中導電度的來源可能為硫酸鹽。上游處桃山西溪與高山溪硫酸鹽濃度較低，觀魚台與有勝溪測站硫酸鹽濃度較高。冬季硫酸鹽濃度也較夏季濃度來得高，而這情形與該區的流量有關。根據以往的數據顯示在12~4月枯水期時，硫酸鹽濃度值上升；在6~10月豐水期時，硫酸鹽濃度明顯降低。

氯鹽在自然水體中的濃度變化很大，通常氯鹽含量會隨著礦物質含量增加。武陵地區溪流中氯鹽濃度大致維持在2.0mg/L以下，僅2月份的有勝溪、觀魚台和6月份的一號壩上游濃度偏高，應該是因為採樣時下雨沖刷所致。

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。學者（陳，1998）建議臺灣櫻花鉤

吻鮭水體中磷酸鹽濃度應小於10 ppb，歐盟(2006年)則訂定濃度須小於0.07 ppm(表4-4)。磷酸鹽歷年濃度介於0~0.01ppm，其2013年二月份密集監測測得濃度較往年高外，推估可能與二月連續假期大量遊客和山上降雨沖刷有關，有勝溪收費口2013年2、4月測得濃度約為0.03及0.02 ppm。而後續監測之值則趨於穩定。

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，七家灣溪流域之總有機碳濃度於歷年監測值變動不大，濃度大致介於0.5~1.5 ppm，有勝溪之TOC值為所有測站中最高，推測有機質含量較高。

(二) 一號壩壩體改善密集監測

雪霸國家公園管理處於2011年5月進行一號壩壩體改善工程，在壩體改善前、後於四個測站，由上游至下游分別為觀魚台(#4)、一號壩上游(#12)、一號壩下游(#13)、繁殖場(#5)，進行水質連續監測，以了解壩體改善對七家灣溪及臺灣櫻花鉤吻鮭需求水質之影響。此外水中濁度亦是監測重點，希冀藉此瞭解壩體改善對七家灣溪濁度的衝擊，由改善工程期間突然升高之濁度降回正常濁度所需時間，檢視鮭魚最佳捕食環境。壩體改善工程於2011年5月26日正式進行，5月30日完成壩體改善工程，並於5月31日完成疏濬等所有工程，壩體改善前後也正值梅雨季節，豐沛雨量協助水中泥沙運輸，使濁度升高時間縮短，降低壩體改善工程對水體環境之影響。密集採樣日期為2011年的5月17日、5月23日、5月24日、5月30日、5月31日及6月4日，而壩體改善後之水質監測仍持續進行。分析結果如圖4-18至4-30所示。

壩堤後四個測站的pH值介於7.1~8.5間呈中性偏鹼的狀態，5月17日採樣前幾天因受梅雨季大量降雨影響，17日當天溪水滾滾，所偵測之pH值，介於7.16~7.57；5月30日壩體改善完成後至6月4日期間，pH值呈持續升高趨勢，介於7.35~8.43，顯示出河川底泥之挖填對pH有升高影響，但數值仍在武陵地區溪

流正常範圍內，而後續監測之pH值則趨於穩定。

導電度表示水中離子的含量多寡，鮭魚最適水體導電度介於120~450 $\mu\text{mho/cm}$ 之間（陳，1998）。5月17日採樣當日因連續大量降雨，稀釋溪流中離子濃度，因此當天導電度測值偏低，介於72.9~105.8 $\mu\text{mho/cm}$ 。在壩體改善完後幾次採樣，導電度值介於122.8~300 $\mu\text{mho/cm}$ ，以下游之繁殖場導電度值最低，此趨勢同硫酸鹽濃度。溫度及溶氧則不受壩體改善工程之影響，與歷年監測值維持相同水準。

視覺性攝食魚種臺灣櫻花鉤吻鮭對濁度的要求在5 NTU之下（陳，1998），壩體改善工程對濁度影響很大，但僅止於壩體改善當天以及隔天之影響為最大。壩體改善當天，一號壩下游及繁殖場濁度皆升高至41 NTU與 31.2 NTU，但仍比不上5月17日連日大雨對溪水濁度的影響，觀魚台116 NTU、一號壩上游157 NTU、一號壩下游145 NTU、繁殖場60 NTU，且繁殖場為七家灣溪與高山溪匯流點，繁殖場濁度相較於其他測站低，很有可能是高山溪較不受大雨沖刷使得濁度升高之影響，與七家灣溪匯流後稀釋水中濁度。壩體改善後隔天，濁度隨即降低至5 NTU以下，而今年度四個測站之濁度值皆低於1 NTU以下，顯示濁度已回復至往年之變動趨勢，符合臺灣櫻花鉤吻鮭對水中濁度需求。

壩體改善對矽酸鹽的影響不大，歷年濃度介於0.06~6.80 mg/L間，其今年中6月測得之矽酸鹽濃度略升高至8.24 mg/L，可能是山上降雨後使礦物溶於水中，造成矽酸鹽濃度增加。

硝酸鹽氮濃度於壩體改善工程後維持在1 ppm以下，不受土石挖填及改善工程之影響。亞硝酸鹽氮及氨氮濃度在2011年5月壩體改善期間皆明顯升高，而後續監測則恢復正常。

硫酸鹽濃度不受壩體改善工程影響，反而受降雨影響較大，今年二月份測得

略為提高，其中觀魚台、一號壩上游、一號壩下游，濃度分別為47.25、48.13、48.67 mg/L，推估因位於山溝與排水溝下游段，且期間山上降雨所致。氯鹽於壩體改善工程後在各測站之監測值皆低於1.1 ppm，不受壩體改善工程之影響，但今年2月在觀魚台所測得的氯鹽濃度為6.4ppm及6月在一號壩上下游所測得的氯鹽濃度為3.17和1.37ppm，可能是因為採樣當天下大雨的關係。磷酸鹽濃度之後續監測值則在0.04 mg/L以下。

(三) 山溝及排水溝之水質監測

圖4-31~圖4-43為山溝及排水溝之水質監測結果，山溝及排水溝之pH值略低於七家灣溪流測站，矽酸鹽濃度略高於七家灣溪流測站，溫度及溶氧則與七家灣溪流測站差異不大。另外，排水溝之導電度值明顯低於山溝及七家灣溪。濁度值維持在5 NTU之下。

山溝之硝酸鹽濃度遠高於排水溝測站，介於1.1~12.6mg/L，前後測站濃度值大致相同。排水溝測值則略高於七家灣溪流，介於0.89~5.30mg/L。

亞硝酸鹽氮濃度大多維持在5 ppb之下，山溝、山溝中游測站及排水溝測站僅在今年二月份測得7.6、6.0與六月份測得5.5ppb高濃度亞硝酸鹽。整體來說亞硝酸鹽氮濃度仍遠低於保育臺灣櫻花鉤吻鮭的水質基準50 ppb。

氯鹽歷年監測結果顯示，山溝之氯鹽濃度高於排水溝測站，介於3.7~30.34 mg/L。排水溝測值則略高於七家灣溪流，介於0.6~12.18mg/L。氯鹽在自然水體中的濃度變化較大，通常氯鹽含量會隨著礦物質含量增加。

磷酸鹽歷年監測山溝及排水溝濃度介於0.01~0.11 mg/L，今年十月份測得之磷酸鹽雖略提高至0.05 mg/L左右，推估可能是雨水沖刷所導致。

今年中監測山溝及排水溝之硫酸鹽濃度介於7.2~15.01 mg/L，皆遠小於觀魚台、高山溪與有勝溪的監測濃度26.08~60.07 mg/L。歷年監測結果顯示該區硫酸鹽來源僅為當地岩石中之金屬硫化物經風化過程後氧化溶解所產生。山溝與排水溝測站測得總有機碳濃度介於0.35~0.79 mg/L，與七家灣溪流近似。

(四) 8.1 公頃回收農用地之水質監測

圖4-44~圖4-56為8.1公頃回收農用地之水質監測結果。回收農用地已於2006年12月底完成徵收，為比較回收前後之水質差異，故本團隊持續於該區附近之測站包括桃山西溪(#2)、二號壩(#3)及觀魚台(#4)進行採樣以分析水質變化。

今年中該區域水質分析結果顯示，導電度與硫酸鹽濃度呈現越往下游濃度越高趨勢，以上游桃山西溪最低，二號壩次之，下游觀魚台最低。而硝酸鹽濃度介於0.04~0.57mg/L，亞硝酸鹽濃度介於0~4.3 µg/L，氨氮濃度為0.03 mg/L以下。監測結果顯示，每年6~10月份硝酸鹽氮濃度會逐漸下降，若該月份總有機碳濃度升高至可提供充分碳源時，亞硝酸鹽氮濃度會顯著增加，同時氨氮濃度亦會略微升高，顯示6至10月份為該區域溪流進行脫硝反應季節，脫硝菌會利用有機碳為能量來源，將硝酸鹽氮還原成亞硝酸鹽氮及氨氮。其餘監測項目暫無明顯變化跡象。

歷年監測結果觀察到2010年之前，三測站硝酸鹽氮濃度差距幅度較大，濃度差距最高達到2.2 mg/L；2010年之後的監測結果濃度差異幅度明顯縮小至0.1~0.5 mg/L之間，顯示該區域氮鹽濃度逐漸穩定，農地回收確實有達到一定成效。

五、結論與建議

(一)結論

1. 水質監測結果顯示，武陵地區大部分溪流水質良好，符合臺灣櫻花鉤吻鮭生存水質標準，目前武陵地區溪流生態尚屬適合臺灣櫻花鉤吻鮭生存之環境。
2. 在導電度及營養鹽方面，桃山西溪與高山溪均低於其它溪流；七家灣溪中下游測站及有勝溪則有較高的營養鹽濃度，可能與農耕施作和山上降雨沖刷導致該區導電度與營養鹽濃度高於其它溪流有關。
3. 武陵地區各溪流的硝酸鹽氮含量，在七家灣溪中游觀魚臺明顯比上游桃山西溪高；有勝溪收費口的硝酸鹽氮濃度為最高，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。硝酸鹽氮主要的來源為含氮肥料的使用，經雨水逕流而進入河川，因而可推論農耕行為輸入之硝酸鹽對武陵地區溪流有一定程度之影響。
4. 武陵地區亞硝酸鹽氮濃度，在二月密集監測發現繁殖場與有勝溪濃度高達14與54ppb，濃度超出歐盟訂定之3 ppb標準，與保育臺灣櫻花鉤吻鮭的水質基準50ppb，顯示該區域易受人為活動影響，故有持續監測與控制遊客數量之必要性。
5. 一號壩壩體改善工程對下游水質尤其是濁度有立即性的影響，但在一至二週內即可恢復至溪水初始水質狀態，顯示突如其來之水質變化在短時間內即可恢復正常。截至目前各項水質監測結果顯示已回復至往年之變動趨勢。
6. 山溝之硝酸鹽濃度遠高於排水溝測站，介於2.3~10.9 mg/L；排水溝測值則

略高於七家灣溪流，介於1.1~7.6 mg/L。整體而言，山溝及排水溝之硝酸鹽氮與磷酸鹽濃度仍高於七家灣溪測站，顯示該區域水質受人為活動影響，故持續的管理與改善仍有其必要性。

7. 8.1公頃回收農用地之歷年監測結果觀察到2010年之後，桃山西溪(#2)、二號壩(#3)及觀魚台(#4)三測站硝酸鹽氮濃度差距幅度明顯從2.2mg/L縮小至0.1~0.5 mg/L之間，顯示該區域氮鹽濃度逐漸穩定，農地回收確實有達到一定成效。

(二)建議

根據本研究於武陵地區七家灣溪流域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：武陵農場

由監測結果顯示，人為活動較密集區，營養鹽濃度及導電度均較高，若能適度控管人為活動，針對遊客人數、農業施肥施藥量及污水處理設施等妥善管理，應可顯著降低七家灣溪流域中下游之營養鹽濃度。

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

於重要測站(鮭魚活動密集、受人為活動污染潛勢高、未來規劃可能進行鮭魚移地保育等)放置溫度記錄器，定期蒐集水溫等相關資料，以評估臺灣櫻花鉤吻鮭棲息地七家灣溪流水溫之時空變化情形，供管理及決策參考。

六、參考文獻

- 于淑芬、林永發。2003。武陵地區水質調查及環境監測。內政部營建署雪霸國家公園研究計劃。
- 于淑芬。2002。高山溪拆壩後環境監測及武陵地區水質調查。內政部營建署雪霸國家公園研究計劃。
- 于淑芬。2004。武陵地區水質監測及水質評估。內政部營建署雪霸國家公園研究計劃。
- 王敏昭。1998。七家灣溪濱岸保護帶地下水質之監測。內政部營建署雪霸國家公園研究計劃。
- 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研究計劃。
- 行政院環境保護署環保法規資料中心。
- 張石角。1989。櫻花鉤吻鮭保護區規劃。行政院農委會研究計劃。
- 陳弘成。1998。武陵地區-溪流之水源水質監測系統之規劃與調查(四)。內政部營建署雪霸國家公園研究計劃。
- 曾晴賢。2005。櫻花鉤吻鮭族群監測與動態分析。內政部營建署雪霸國家公園研究計劃。
- 葉昭憲。2005。環境改變對河道地形及物理棲地變化趨勢之影響。內政部營建署雪霸國家公園研究計劃。
- 賴文龍、吳尚鑒、藍祐利、林文陞。2004。梨山地區甘藍蔬菜園土壤肥培管理之探討。台中區農情月刊57。
- 賴文龍。1999。梨山地區高冷地蔬菜綠肥輪作模式。台中區農情月刊12(3)。
- Brown, R. M., Mclelland, N. I., Deininger, R. A., Tozer, R. G. 1970. A water quality index-do we dare?. *Water Sewage Works* 117:339-343.
- Donohue, I., McGarrigle, M. L., Mills P. 2006. Linking catchment characteristics and water chemistry with the ecological status of Irish river. *Water Research* 40:92-98.
- Directive 2006/44/EC of the European parliament and of the council of 6 September 2006 on the quality of fresh waters needing protection or improvement in order to support fish life. 2006. Official journal of the

- European Union 264:20-31.
- Horton, R. K. 1965. An index-number system for rating water quality. *Journal Water Pollution Control Federation* 37(3):300-305.
- Harkins, R. S. 1974. An objective water quality index. *Journal of Water Pollution Control Federation* 46(3):588-591.
- Kelso, B. H. L., Smith, R. V., Laughlin, R.J., Lennox, S.D. 1997. Dissimilatory nitrate reduction in anaerobic sediments leading to river nitrite accumulation. *Applied and Environment Microbiology* 63(12):4679–4685.
- McCellard, N. I., Brown, R. M., Deininger, R. A., Landwehr, J. M. 1973. Water quality index application in the Kansas river basin. Presented at the 46th Annual Conference, Water Pollution Control Fed., Cleveland, U. S. A.
- Novotny, V. 1996. Integrated water quality management. *Water Science Technology* 33(4):2-7.
- Sherpley, A. 1995. Fate and transport of nutrients: phosphorus. USDA, agricultural research service, national agricultural water quality laboratory, Durant, Oklahoma.
- 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* 537.

表4-1 採樣地點地理座標（資料來源：本研究資料）

	站名	溪流	地理座標（經緯度）	
測站二	桃山西溪	桃山西溪	E 121.1826	N 24.2352
測站三	二號壩	七家灣溪	E 121.1836	N 24.2256
測站四	觀魚臺	七家灣溪	E 121.1838	N 24.2215
測站五	繁殖場	七家灣溪	E 121.1848	N 24.2118
測站八	高山溪	高山溪	E 121.3075	N 24.3587
測站九	有勝溪	有勝溪	E 121.3022	N 24.3489
測站十	司界蘭溪上游	司界蘭溪	E 121.1642	N 24.1935
測站十一	司界蘭溪下游	司界蘭溪	E 121.1719	N 24.1914

表4-2 水體樣品保存（資料來源：本研究資料）

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）
大腸桿菌	清潔並經滅菌之 玻璃或是塑膠容器	暗處，4°C 冷藏

表 4-3 地面水體分類及水質標準

分級	基準值						
	H ⁺ 濃度 (pH)	溶氧量 (DO) (mg/L)	生化需氧量 (BOD)(mg/L)	懸浮固體 (SS)(mg/L)	大腸桿菌群 (CFU/100ML)	氨氮 (NH ₃ -N) (mg/L)	總磷 (TP) (mg/L)
甲	6.5-8.5	6.5 以上	1 以下	25 以下	50 個以下	0.1 以下	0.02 以下
乙	6.0-9.0	5.5 以上	2 以下	25 以下	5,000 個以下	0.3 以下	0.05 以下
丙	6.0-9.0	4.5 以上	4 以下	40 以下	10,000 個以下	0.3 以下	—
丁	6.0-9.0	3 以上	—	100 以下	—	—	—
戊	6.0-9.0	2 以上	—	無漂浮物且 無油污	—	—	—

(資料來源：行政院環境保護署水污染防治)

註：1.甲類地面水體適用於一級公共用水等，乙類適用於二級公共用水等，丙類適用於三級公共用水等。

2.一級公共用水：指經消毒處理即可供公共給水之水源。

二級公共用水：指需經混凝、沉澱、過濾、消毒等一般通用之淨水方法處理可供公共給水之水源。

三級公共用水：指經活性碳吸附、離子交換、逆滲透等特殊或高度處理可供公共給水之水源。

表4-4 歐盟訂定之鮭鯉魚水體標準(2006.9.6.) (資料來源：本研究資料)

水質項目	鮭魚		鯉魚	
	準則	命令	準則	命令
溫度(°C)		1.5~21.5°C		3~28°C
溶氧(mg O ₂ /L)	50 % ≥ 9	50 % ≥ 9	50 % ≥ 8	50 % ≥ 7
	100 % ≥ 7	(6 mg/L 以上)	100 % ≥ 5	(4 mg/L 以上)
pH		6~9		6~9
懸浮固體(mg/L)	≤ 25		≤ 25	
BOD ₅ (mg O ₂ /bhL)	≤ 3		≤ 6	
磷酸鹽(mg PO ₄ /L)	≤ 0.2		≤ 0.4	
亞硝酸鹽(μg N L ⁻¹)	≤ 3.0		≤ 9.1	
非離子態氨 (μg N L ⁻¹)	≤ 4.1	≤ 20.6	≤ 4.1	≤ 20.6
總氨(mg N L ⁻¹)	≤ 0.03	≤ 0.78	≤ 0.16	≤ 0.78

表 4-5 103 年 02 月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度	溶氧	濁度	SiO ₂	NO ₃ ⁻ -N
					μS/cm	mg/L	NTU	mg/L	mg/L
測站 2	桃山西溪	晴	02 月 26 日	7.13	141.4	10.26	0.1	3.24	0.19
測站 4	觀魚臺	晴	02 月 26 日	7.23	215	11	0.33	4.55	1.07
測站 5	繁殖場	晴	02 月 26 日	7.67	128.8	7.22	0.22	4.59	0.69
測站 8	高山溪	晴	02 月 26 日	7.55	179.4	7.51	0.19	4.27	0.32
測站 9	有勝溪	晴	02 月 26 日	7.95	106.4	7.13	0.24	3.87	5.22
測站 12	一號壩上游	晴	02 月 26 日	7.39	132.8	7.27	0.19	3.68	1.10
測站 13	一號壩下游	晴	02 月 26 日	7.59	135.5	7.2	0.15	3.25	1.04

站號	站名	氣候	採樣日期	NO ₂ ⁻ -N	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	NH ₄ ⁺ -N	TOC
				μg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
測站 2	桃山西溪	晴	02 月 26 日	0.20	26.7824	0.0628	N.D.	0.01	0.562
測站 4	觀魚臺	晴	02 月 26 日	2.80	47.2502	6.3984	0.04	0.01	0.903
測站 5	繁殖場	晴	02 月 26 日	2.00	35.7469	0.3832	N.D.	0.01	0.752
測站 8	高山溪	晴	02 月 26 日	5.70	28.9084	0.2963	N.D.	0.01	0.746
測站 9	有勝溪	晴	02 月 26 日	1.90	40.4684	2.1484	0.02	0.06	1.168
測站 12	一號壩上游	晴	02 月 26 日	0.60	48.1286	0.241	0.02	0.02	0.747
測站 13	一號壩下游	晴	02 月 26 日	0.50	48.6737	0.2148	N.D.	0.01	0.691

* N.D. 值：(1) NH₄⁺-N < 0.003 mg/L

(資料來源：本研究資料)

表 4-6 103 年 06 月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度	溶氧	濁度	SiO ₂	NO ₃ ⁻ -N
					μS/cm	mg/L	NTU	mg/L	mg/L
測站 2	桃山西溪		06 月 16 日	7.20	115.0	8.22	0.22	6.45	0.08
測站 4	觀魚臺		06 月 16 日	6.83	161.0	7.14	065	6.88	0.19
測站 5	繁殖場		06 月 16 日	6.96	145.2	6.59	0.48	8.24	0.13
測站 8	高山溪		06 月 16 日	6.84	138.7	6.86	0.50	8.20	0.11
測站 9	有勝溪		06 月 16 日	7.92	254.0	6.62	0.35	5.42	1.40
測站 12	一號壩上游		06 月 16 日	6.87	171.4	6.79	0.36	6.10	0.21
測站 13	一號壩下游		06 月 16 日	6.86	159.4	7.02	0.33	7.78	0.22

站號	站名	氣候	採樣日期	NO ₂ ⁻ -N	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	NH ₄ ⁺ -N	TOC
				μg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
測站 2	桃山西溪		06 月 16 日	0.60	14.9478	N.D.	N.D.	N.D.	0.839
測站 4	觀魚臺		06 月 16 日	1.40	22.8437	N.D.	N.D.	0.02	0.741
測站 5	繁殖場		06 月 16 日	1.10	20.7265	0.5105	N.D.	N.D.	0.742
測站 8	高山溪		06 月 16 日	0.90	22.3311	0.2773	0.01	0.01	0.681
測站 9	有勝溪		06 月 16 日	2.90	33.1645	1.1526	0.01	0.01	1.021
測站 12	一號壩上游		06 月 16 日	0.90	27.9818	3.1738	0.01	0.01	0.624
測站 13	一號壩下游		06 月 16 日	1.10	27.4121	1.3069	0.01	0.01	0.752

* N.D.值：(1) NH₄⁺-N < 0.003 mg/L

(資料來源：本研究資料)

表 4-7 103 年 10 月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度	溶氧	濁度	SiO ₂	NO ₃ ⁻ -N
					μS/cm	mg/L	NTU	mg/L	mg/L
測站 2	桃山西溪	晴	10 月 06 日	7.64	151.3	5.68	0.15	5.18	0.39
測站 4	觀魚臺	晴	10 月 06 日	7.54	211.8	5.01	0.12	5.14	0.57
測站 5	繁殖場	晴	10 月 06 日	7.52	197.5	4.91	0.25	4.78	0.48
測站 8	高山溪	晴	10 月 06 日	7.96	172.0	5.29	0.21	3.03	0.40
測站 9	有勝溪	晴	10 月 06 日	7.8	280.0	5.28	0.26	2.74	1.74
測站 12	一號壩上游	晴	10 月 06 日	7.6	218.3	4.67	0.12	4.76	0.54
測站 13	一號壩下游	晴	10 月 06 日	7.7	208.5	4.96	0.18	3.17	0.54

站號	站名	氣候	採樣日期	NO ₂ ⁻ -N	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	NH ₄ ⁺ -N	TOC
				μg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
測站 2	桃山西溪	晴	10 月 06 日	0.46	23.8894	0.0823	0.01	N.D.	0.375
測站 4	觀魚臺	晴	10 月 06 日	0.46	39.9131	0.4636	0.02	N.D.	0.516
測站 5	繁殖場	晴	10 月 06 日	0.46	35.9665	0.3706	0.02	0.01	0.601
測站 8	高山溪	晴	10 月 06 日	0.46	27.9121	0.3365	0.02	0.01	0.644
測站 9	有勝溪	晴	10 月 06 日	0.49	45.9175	1.8429	0.03	N.D.	0.762
測站 12	一號壩上游	晴	10 月 06 日	0.46	40.5321	0.4775	0.01	0.01	0.577
測站 13	一號壩下游	晴	10 月 06 日	0.46	41.4108	0.4024	0.02	N.D.	0.343

* N.D.值：(1) NH₄⁺-N < 0.003 mg/L

(資料來源：本研究資料)

表 4-8 103 年 02 月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度	溶氧	濁度	SiO ₂	NO ₃ ⁻ -N
					μS/cm	mg/L	NTU	mg/L	mg/L
測站 A3	山溝中游	晴	10 月 06 日	6.81	154.9	10.98	0.22	6.15	3.83
測站 A4	山溝中游支流	晴	10 月 06 日	6.83	119.8	9.48	0.22	7.06	3.80
測站 A5	山溝中下游	晴	10 月 06 日	6.85	118.4	10.91	0.25	5.72	3.77
測站 A6	山溝	晴	10 月 06 日	6.80	179.4	10.07	0.65	3.62	3.78
測站 B4	排水溝	晴	10 月 06 日	6.83	91.9	9.18	5.31	5.75	1.66
測站 B1	排水溝 前	晴	10 月 06 日	6.64	118.4	10.67	1.45	5.73	2.83
測站 B3	排水溝 後	晴	10 月 06 日	6.64	81.3	9.08	1.58	4.39	0.89

站號	站名	氣候	採樣日期	NO ₂ ⁻ -N	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	NH ₄ ⁺ -N	TOC
				μg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
測站 A3	山溝中游	晴	10 月 06 日	6.0	14.14	18.31	0.04	0.01	0.41
測站 A4	山溝中游支流	晴	10 月 06 日	1.1	15.40	3.56	0.03	N.D.	0.43
測站 A5	山溝中下游	晴	10 月 06 日	0.8	14.84	3.53	0.04	N.D.	0.45
測站 A6	山溝	晴	10 月 06 日	7.6	15.01	30.34	0.06	0.04	0.47
測站 B4	排水溝	晴	10 月 06 日	3.3	10.55	1.42	0.01	0.05	0.45
測站 B1	排水溝 前	晴	10 月 06 日	5.3	8.24	12.18	0.06	0.02	0.33
測站 B3	排水溝 後	晴	10 月 06 日	1.9	9.03	0.74	0.01	0.01	0.42

* N.D.值：(1) NH₄⁺-N < 0.003 mg/L

(資料來源：本研究資料)

表 4-9 103 年 06 月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度	溶氧	濁度	SiO ₂	NO ₃ ⁻ -N
					μS/cm	mg/L	NTU	mg/L	mg/L
測站 A3	山溝中游	晴	10 月 06 日	6.68	103.4	7.73	0.36	9.25	2.73
測站 A4	山溝中游支流	晴	10 月 06 日	6.67	107.1	7.42	0.20	13.38	2.71
測站 A5	山溝中下游	晴	10 月 06 日	7.13	105.4	7.80	0.29	12.69	2.74
測站 A6	山溝	晴	10 月 06 日	7.66	130.2	8.08	0.28	13.25	2.67
測站 B4	排水溝	晴	10 月 06 日	6.69	93.5	7.72	2.08	12.20	1.76
測站 B1	排水溝 前	晴	10 月 06 日	7.03	99.4	7.58	0.60	12.30	3.30
測站 B3	排水溝 後	晴	10 月 06 日	6.76	80.3	7.61	0.67	12.23	1.17

站號	站名	氣候	採樣日期	NO ₂ ⁻ -N	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	NH ₄ ⁺ -N	TOC
				μg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
測站 A3	山溝中游	晴	10 月 06 日	1.1	11.16	1.91	0.03	N.D.	0.70
測站 A4	山溝中游支流	晴	10 月 06 日	1.0	10.61	11.34	0.03	N.D.	0.68
測站 A5	山溝中下游	晴	10 月 06 日	1.0	11.25	19.57	0.03	0.01	0.73
測站 A6	山溝	晴	10 月 06 日	1.4	10.47	8.98	0.03	0.01	0.70
測站 B4	排水溝	晴	10 月 06 日	5.5	10.53	1.43	0.04	0.05	0.83
測站 B1	排水溝 前	晴	10 月 06 日	1.8	9.82	1.95	0.01	N.D.	0.80
測站 B3	排水溝 後	晴	10 月 06 日	2.2	8.27	0.94	0.02	N.D.	0.87

* N.D.值：(1) NH₄⁺-N < 0.003 mg/L

(資料來源：本研究資料)

表 4-10 103 年 10 月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度	溶氧	濁度	SiO ₂	NO ₃ ⁻ -N
					μS/cm	mg/L	NTU	mg/L	mg/L
測站 A3	山溝中游	晴	10 月 06 日	7.57	138.8	4.90	0.39	5.58	5.30
測站 A4	山溝中游支流	晴	10 月 06 日	7.48	142.5	4.93	0.12	6.46	5.24
測站 A5	山溝中下游	晴	10 月 06 日	7.45	141.5	4.98	0.13	8.62	5.26
測站 A6	山溝	晴	10 月 06 日	7.51	141.3	4.83	0.23	4.71	5.28
測站 B4	排水溝	晴	10 月 06 日	7.38	192.0	4.87	0.31	5.60	1.83
測站 B1	排水溝 前	晴	10 月 06 日	7.31	196.5	4.73	1.21	6.40	3.07
測站 B3	排水溝 後	晴	10 月 06 日	7.32	166.0	4.71	0.24	2.72	1.15

站號	站名	氣候	採樣日期	NO ₂ ⁻ -N	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	NH ₄ ⁺ -N	TOC
				μg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
測站 A3	山溝中游	晴	10 月 06 日	0.5	12.09	5.38	0.05	N.D.	0.40
測站 A4	山溝中游支流	晴	10 月 06 日	0.5	13.15	5.48	0.05	0.01	0.36
測站 A5	山溝中下游	晴	10 月 06 日	0.5	12.71	5.48	0.05	N.D.	0.37
測站 A6	山溝	晴	10 月 06 日	0.5	12.64	5.36	0.04	N.D.	0.48
測站 B4	排水溝	晴	10 月 06 日	0.5	8.89	1.63	0.03	0.01	0.53
測站 B1	排水溝 前	晴	10 月 06 日	0.5	7.62	2.21	0.03	0.01	0.34
測站 B3	排水溝 後	晴	10 月 06 日	0.5	8.16	0.97	0.03	0.01	0.53

* N.D.值：(1) NH₄⁺-N < 0.003 mg/L

(資料來源：本研究資料)

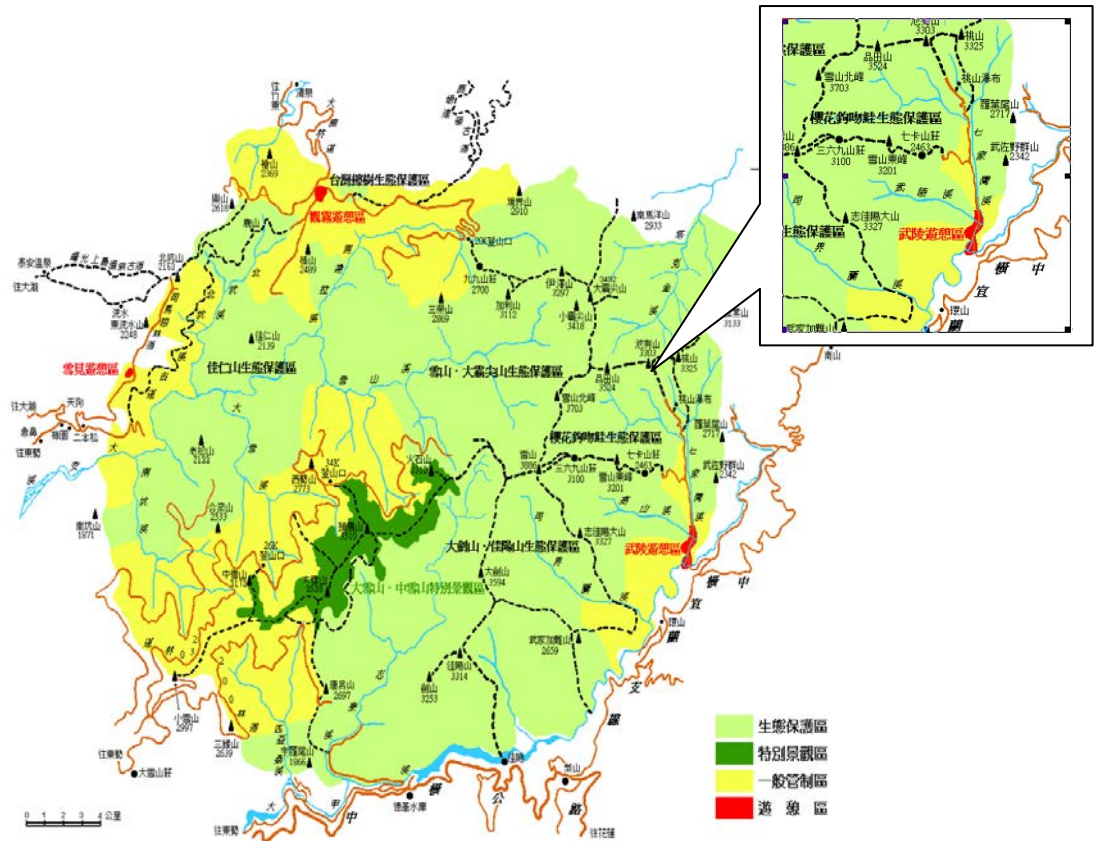


圖 4-1 雪霸國家公園
(資料來源：本研究資料)

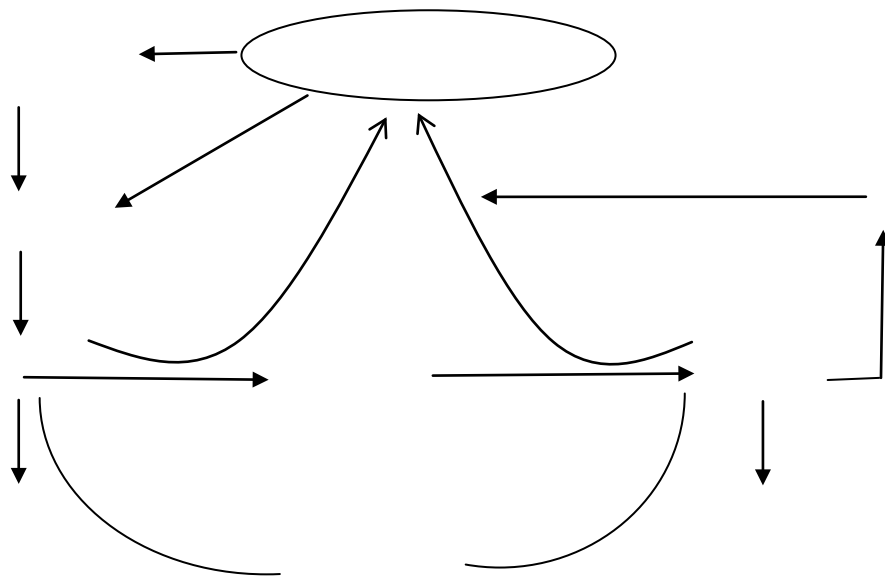


圖 4-2 氮素循環過程
(資料來源：本研究資料)

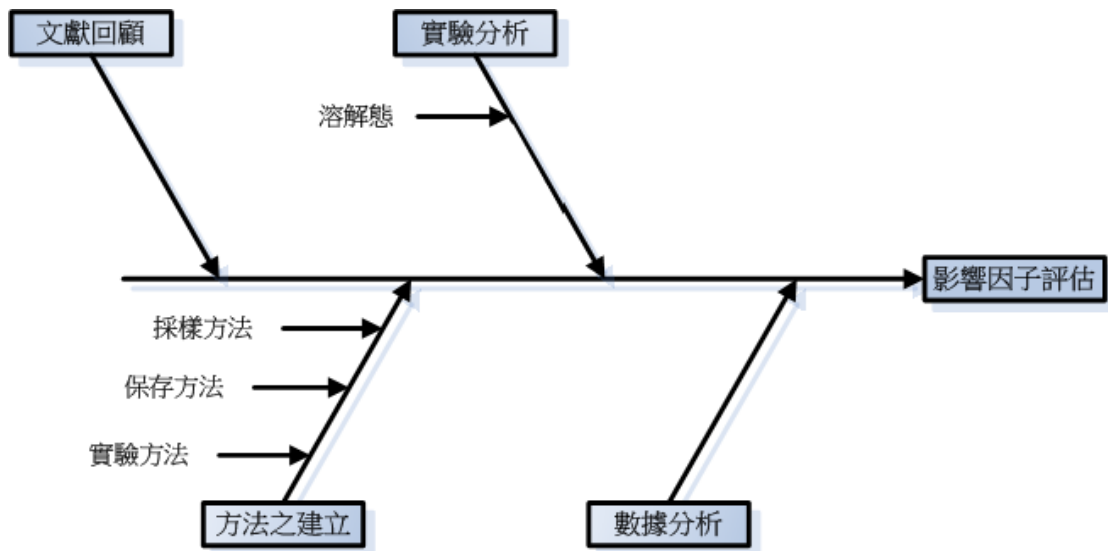


圖 4-3 水質採樣流程圖
(資料來源：本研究資料)

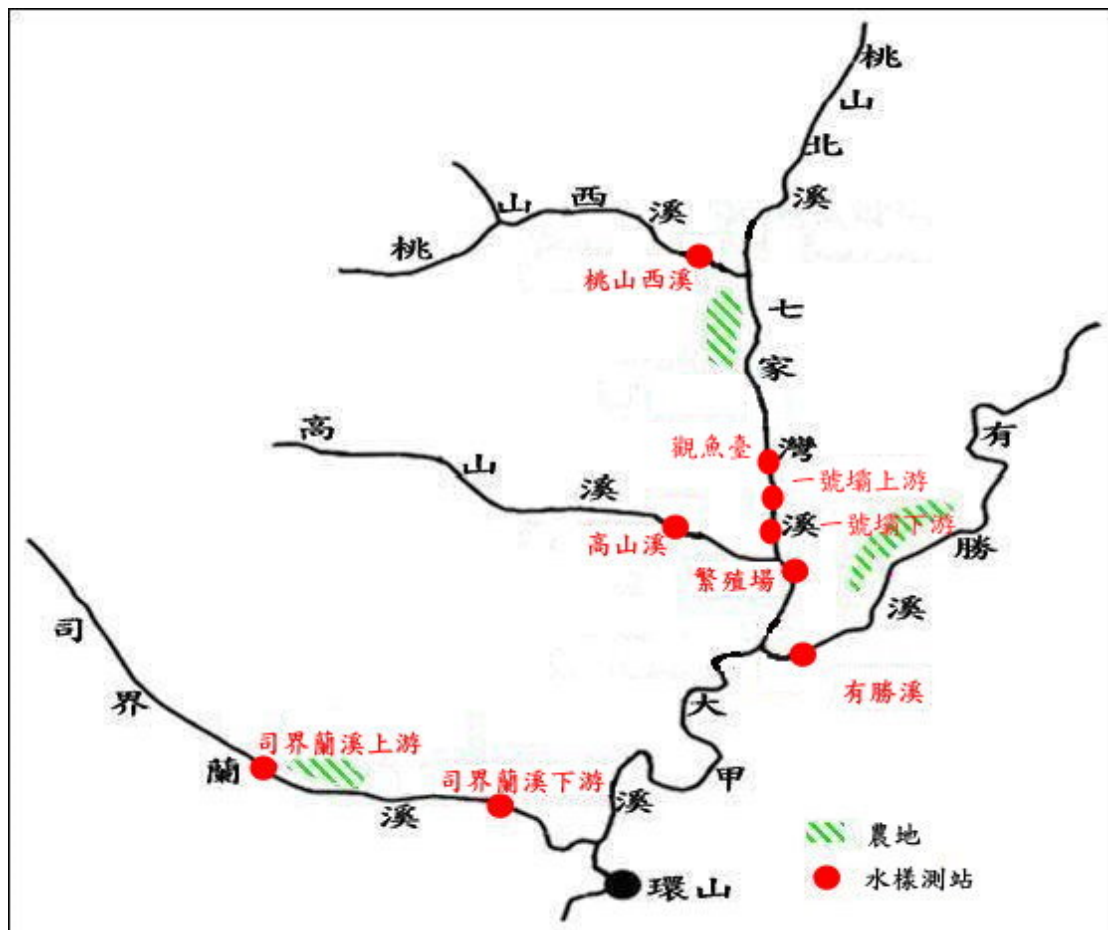


圖 4-4 採樣地點位置圖
(資料來源：本研究資料)

pH值

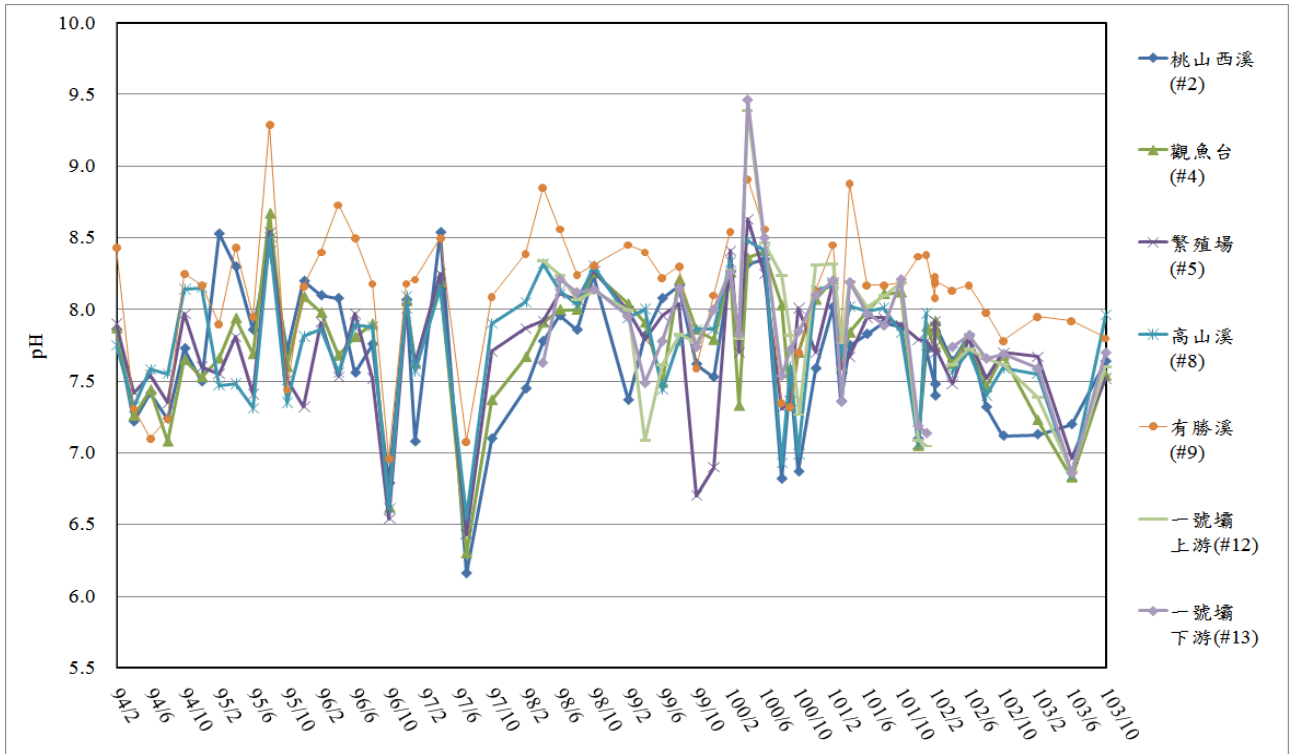


圖 4-5 武陵地區溪流 pH 值變化
(資料來源：本研究資料)

導電度(單位：μS/cm)

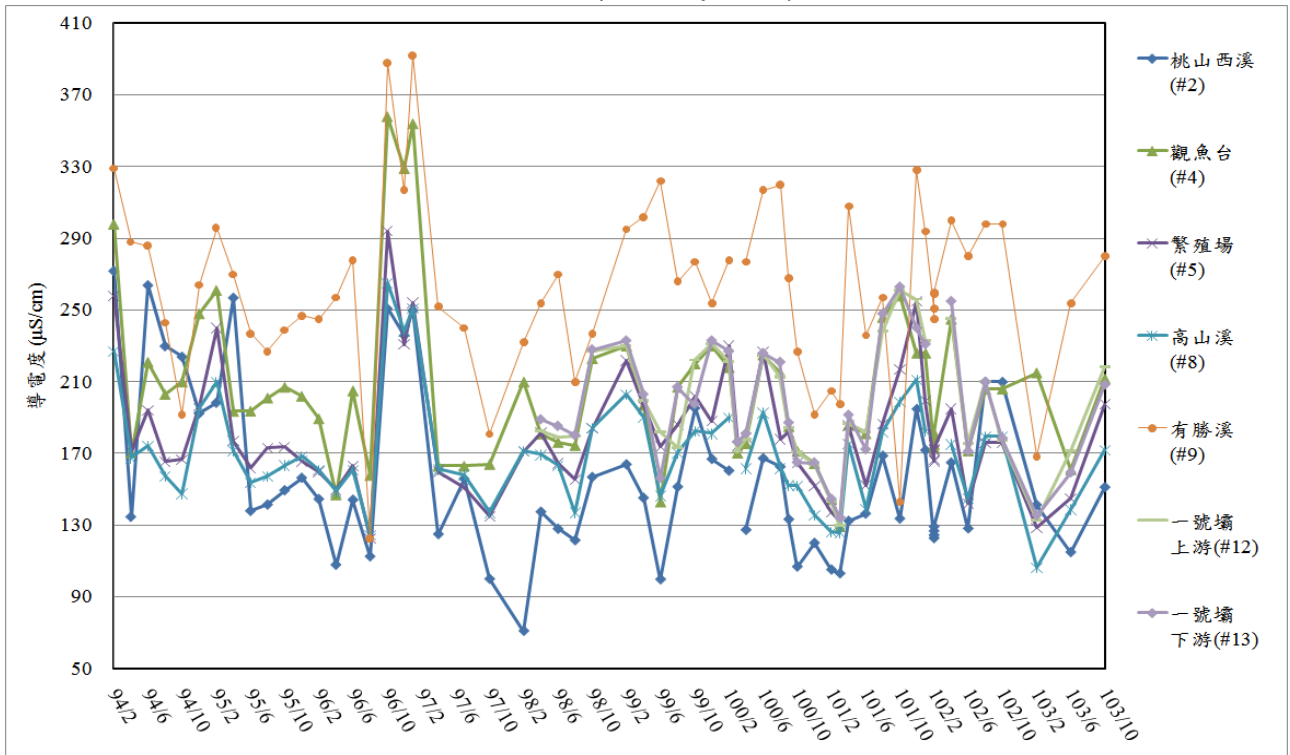


圖 4-6 武陵地區溪流導電度值變化
(資料來源：本研究資料)

溫度(單位：°C)

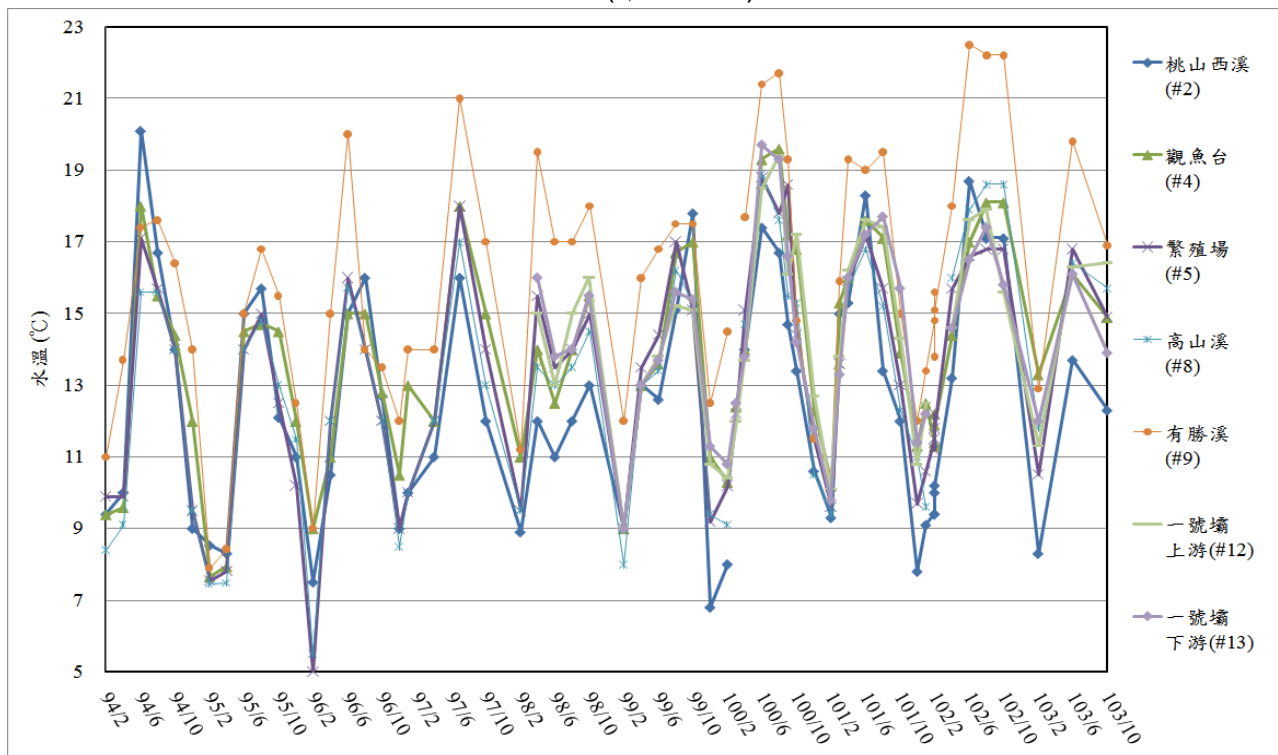


圖 4-7 武陵地區溪流溫度值變化
(資料來源：本研究資料)

溶氧(單位：mg/L)

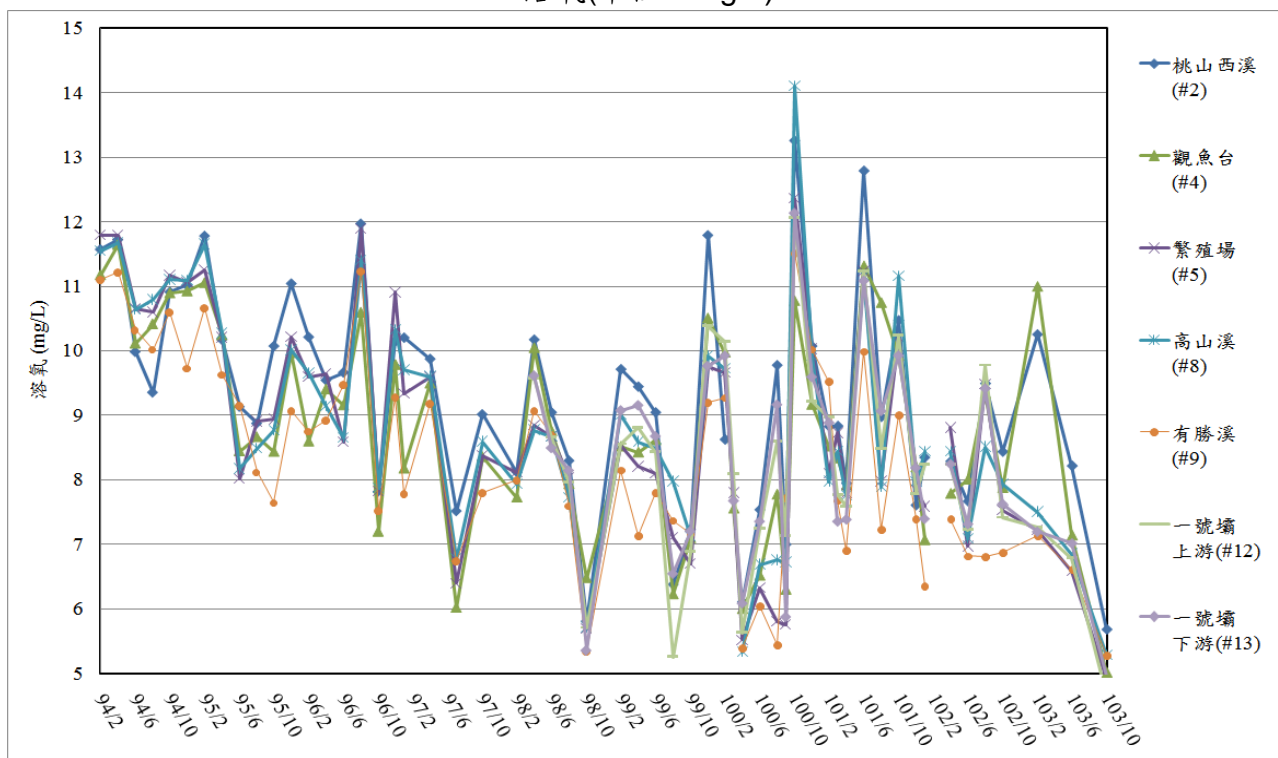


圖 4-8 武陵地區溪流溶氧值變化
(資料來源：本研究資料)

濁度(單位：NTU)

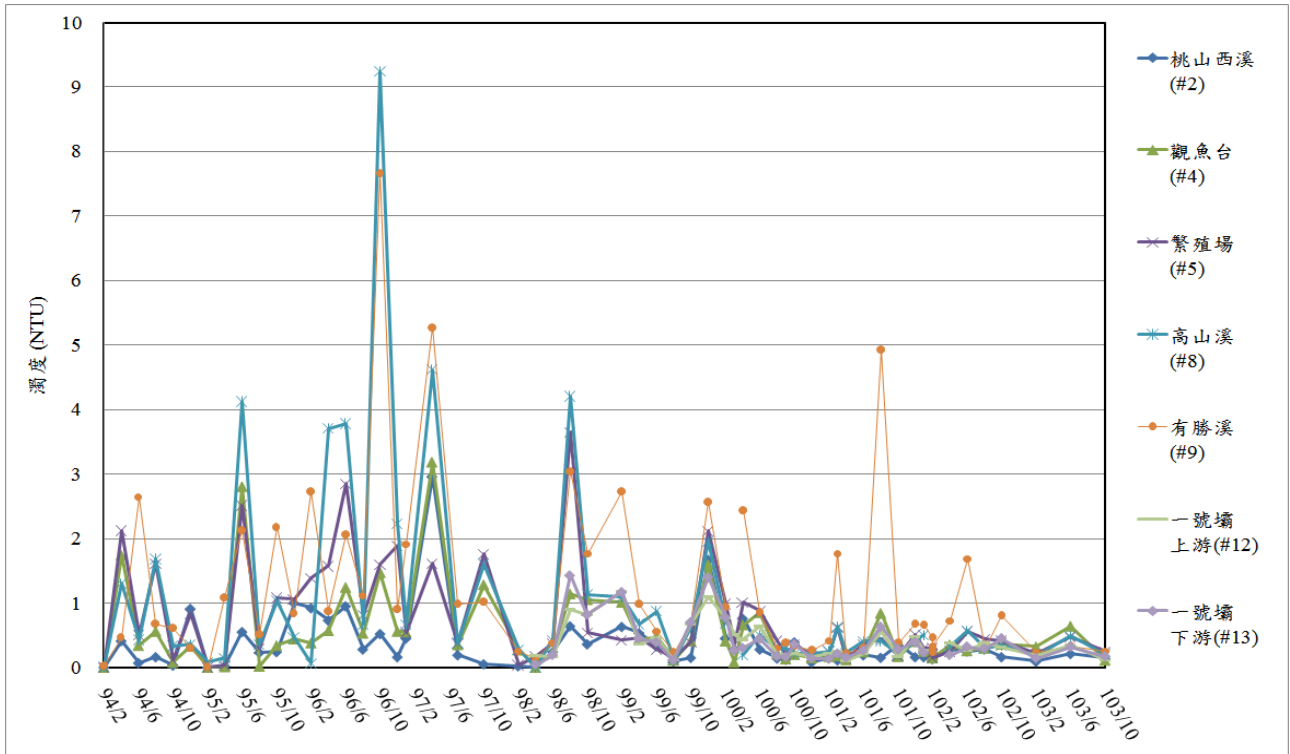


圖 4-9 武陵地區溪流濁度值變化
(資料來源：本研究資料)

SiO₂(單位：mg/L)

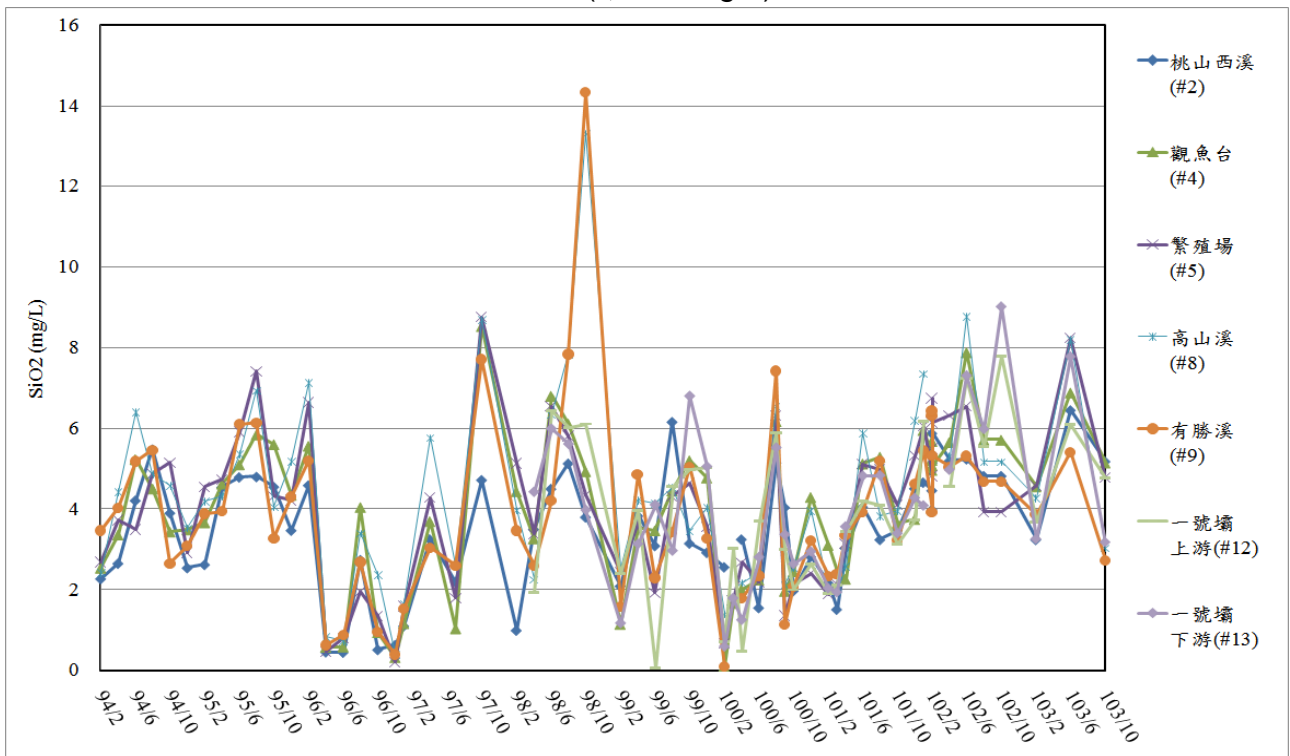


圖 4-10 武陵地區溪流 SiO₂ 值變化
(資料來源：本研究資料)

NO₃⁻-N (單位：mg N/L)

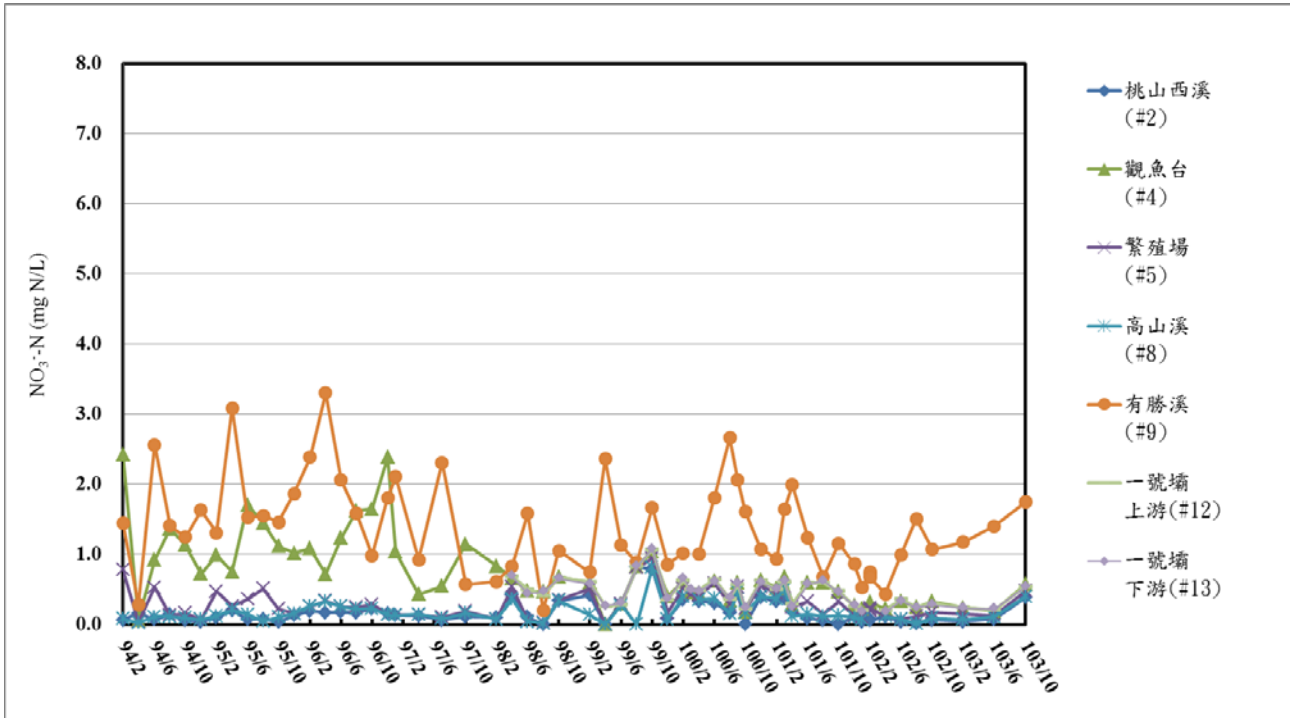


圖 4-11 武陵地區溪流 NO₃⁻-N 值變化
(資料來源：本研究資料)

NO₂⁻-N(單位：μg N/L)

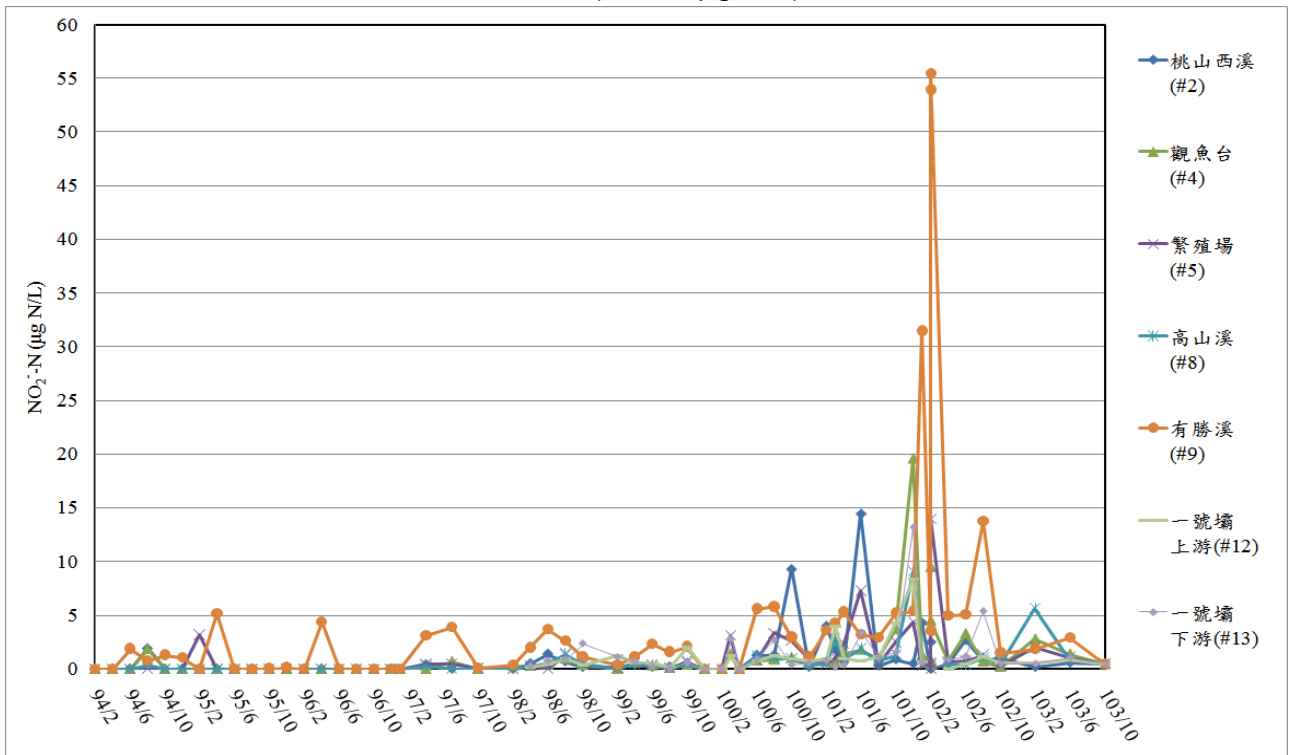


圖 4-12 武陵地區溪流 NO₂⁻-N 值變化
(資料來源：本研究資料)

SO₄²⁻ (單位：mg/L)

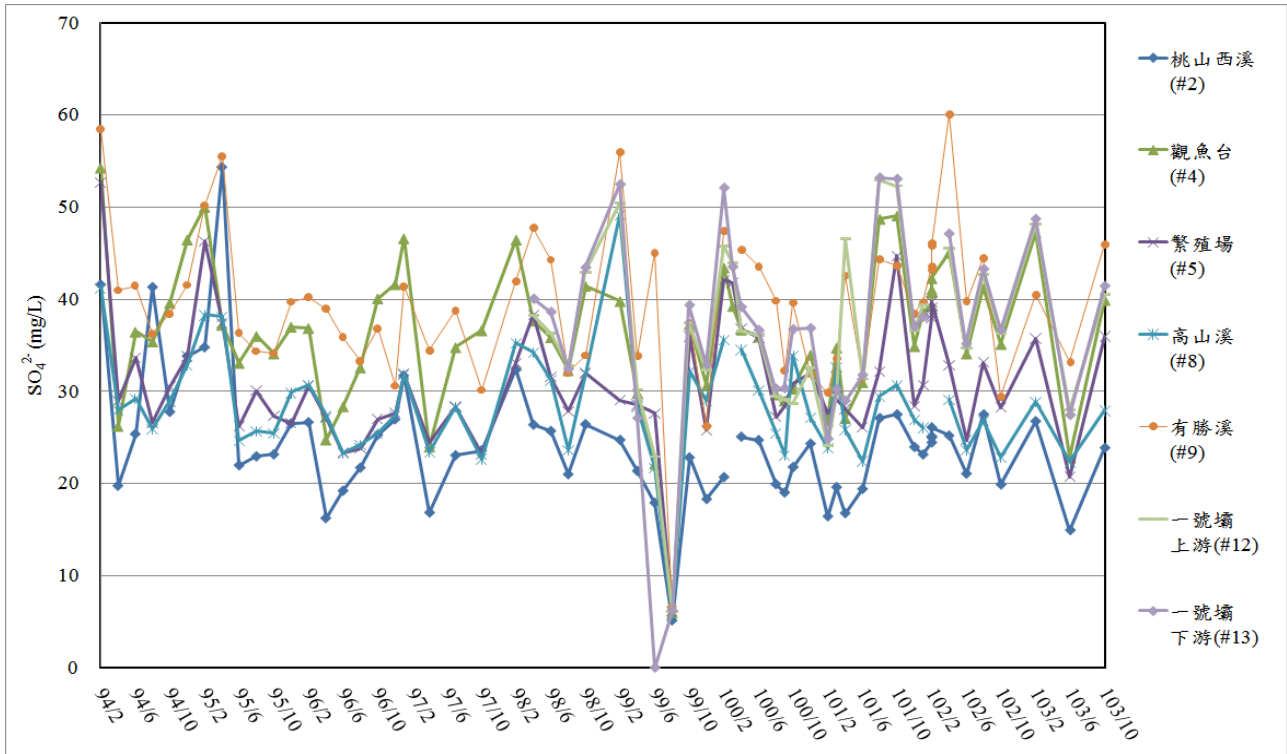


圖 4-13 武陵地區溪流 SO₄²⁻值變化
(資料來源：本研究資料)

Cl⁻ (單位：mg/L)

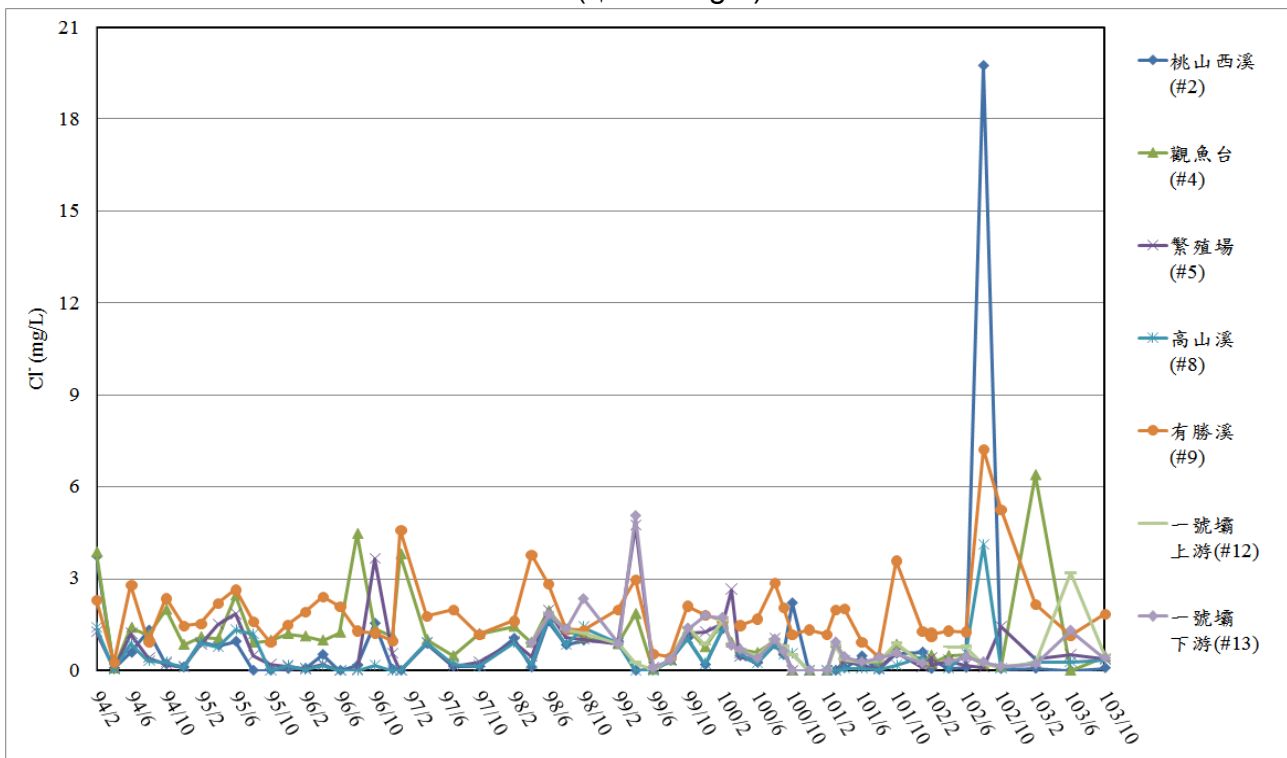


圖 4-14 武陵地區溪流 Cl⁻值變化
(資料來源：本研究資料)

PO₄³⁻(單位：mg/L)

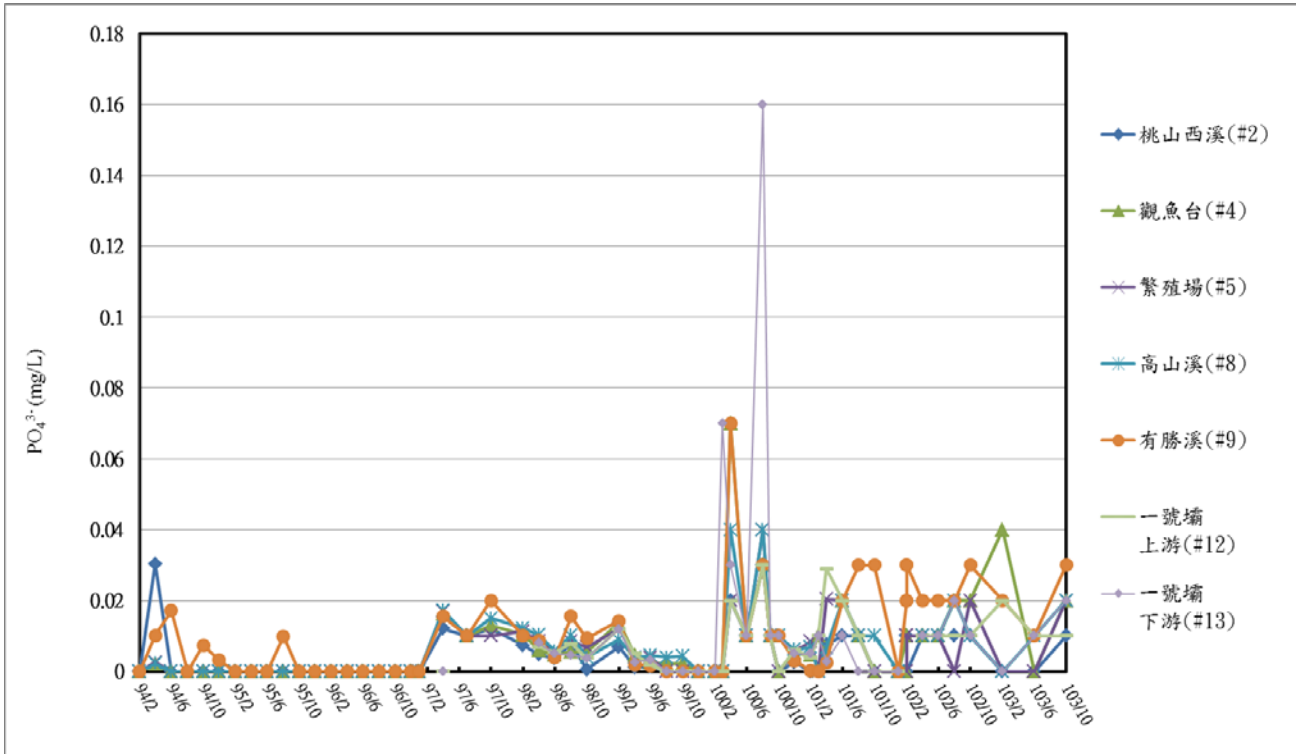


圖 4-15 武陵地區溪流 PO₄³⁻值變化
(資料來源：本研究資料)

NH₄⁺-N (單位：mg N/L)

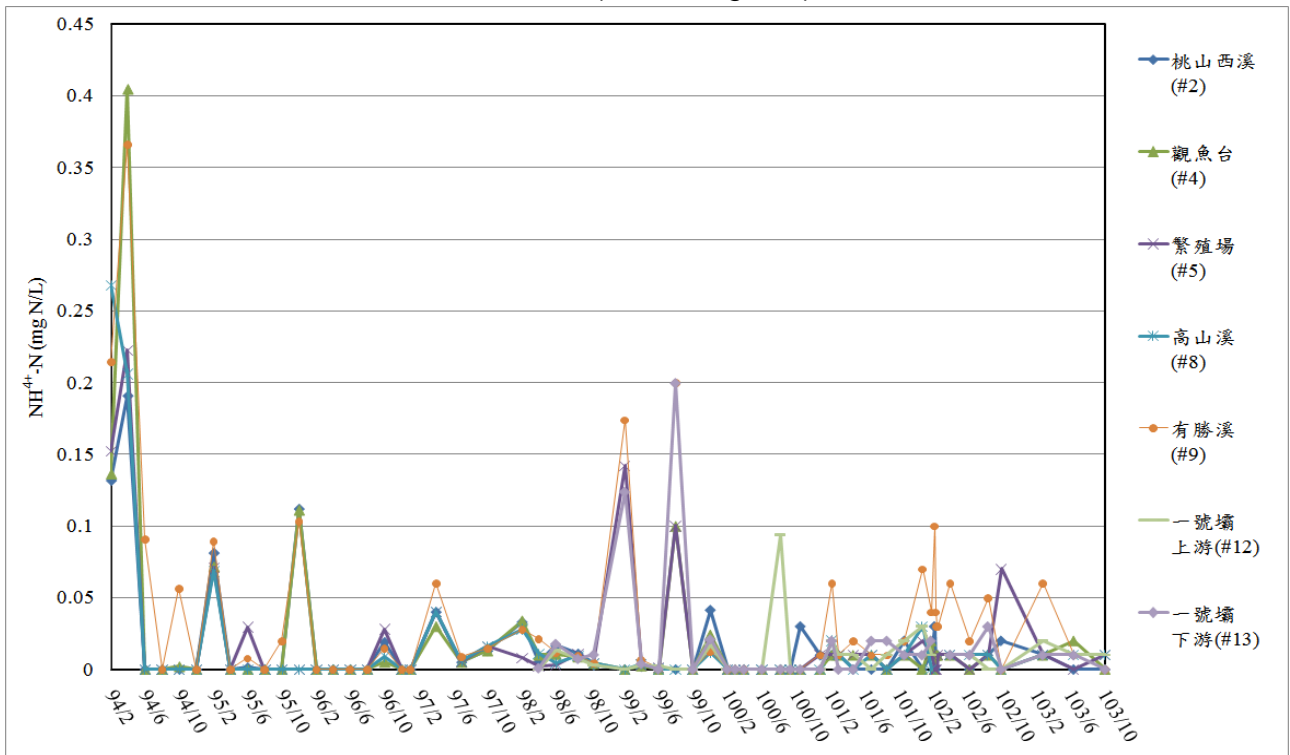


圖 4-16 武陵地區溪流 NH₄⁺-N 值變化
(資料來源：本研究資料)

TOC(單位：mg/L)

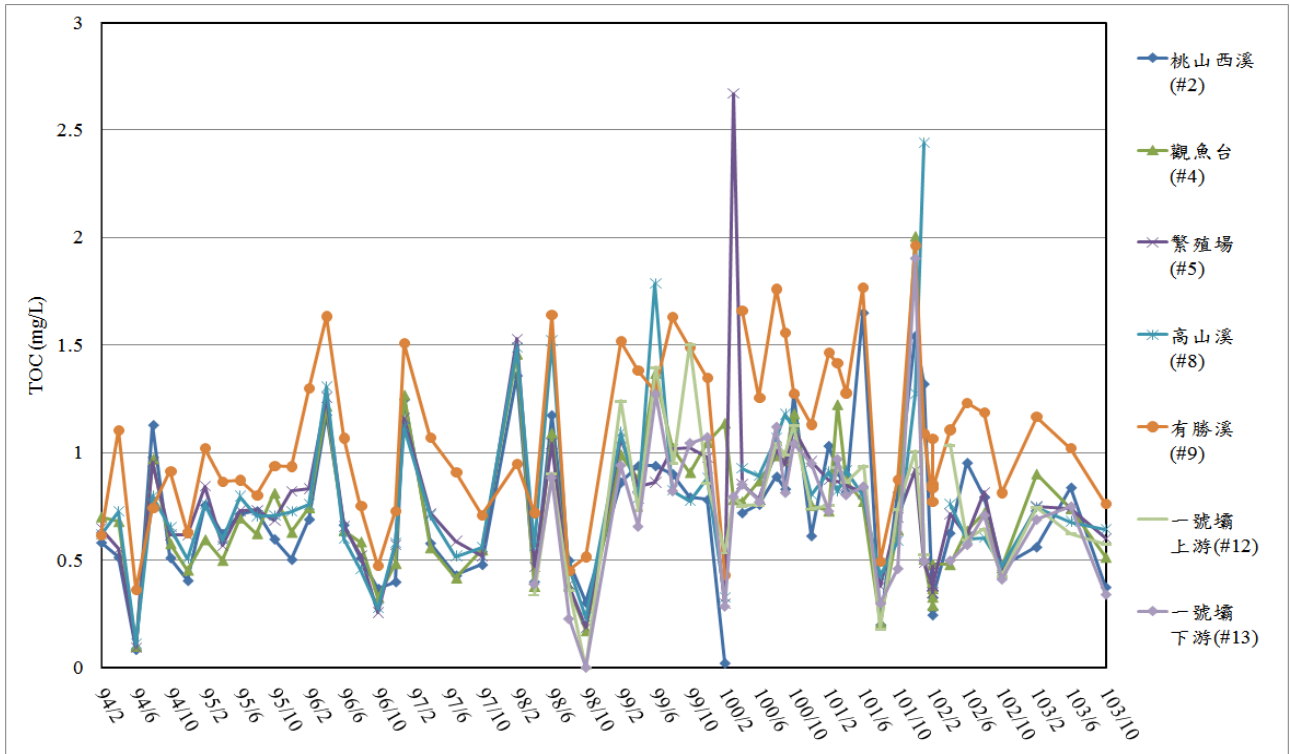


圖 4-17 武陵地區溪流 TOC 值變化
(資料來源：本研究資料)

pH值

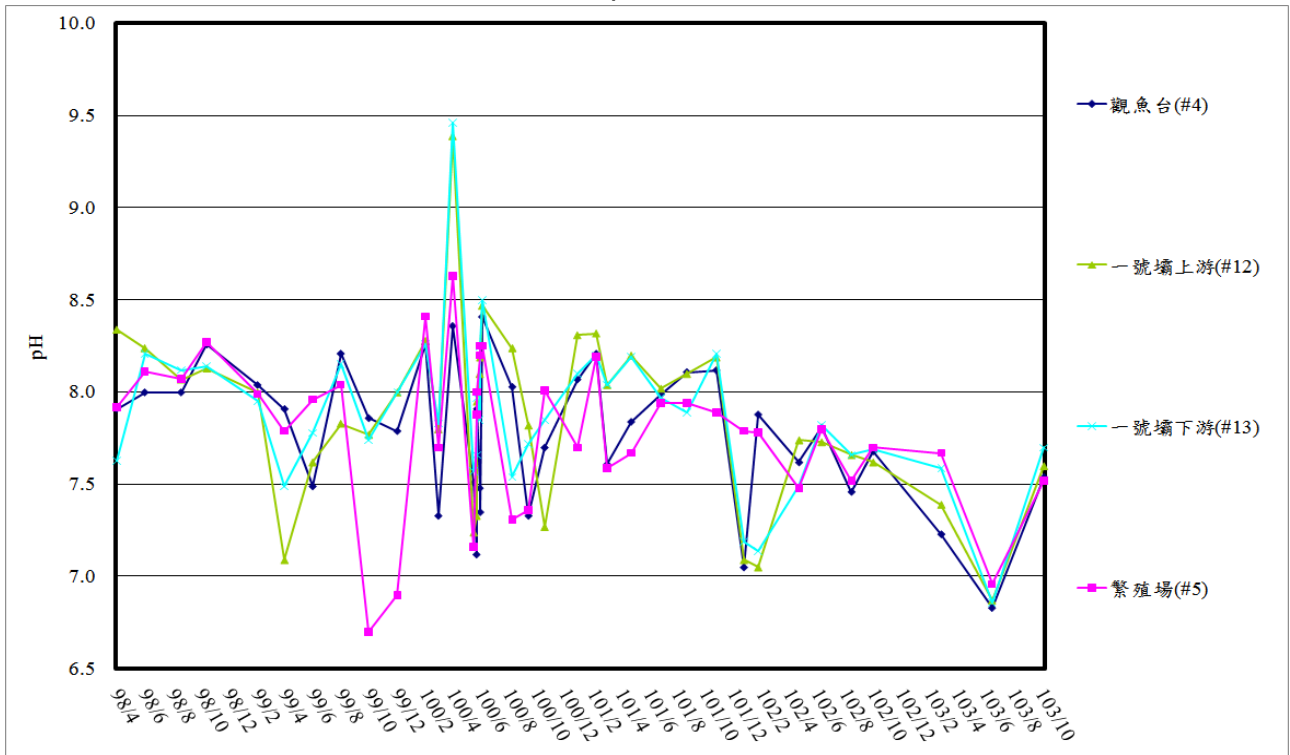


圖 4-18 一號壩壩體改善 pH 值變化
(資料來源：本研究資料)

導電度(單位：μs/cm)

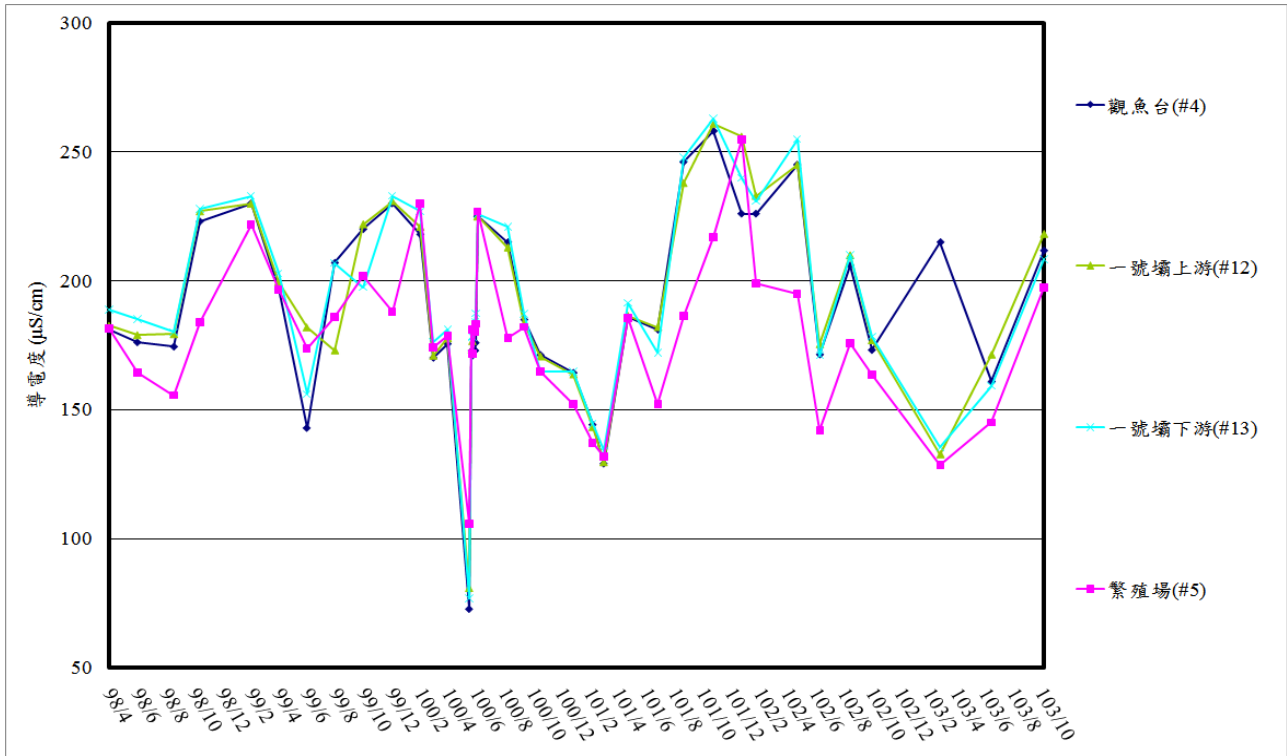


圖 4-19 一號壩壩體改善導電度值變化
(資料來源：本研究資料)

溫度(單位：°C)

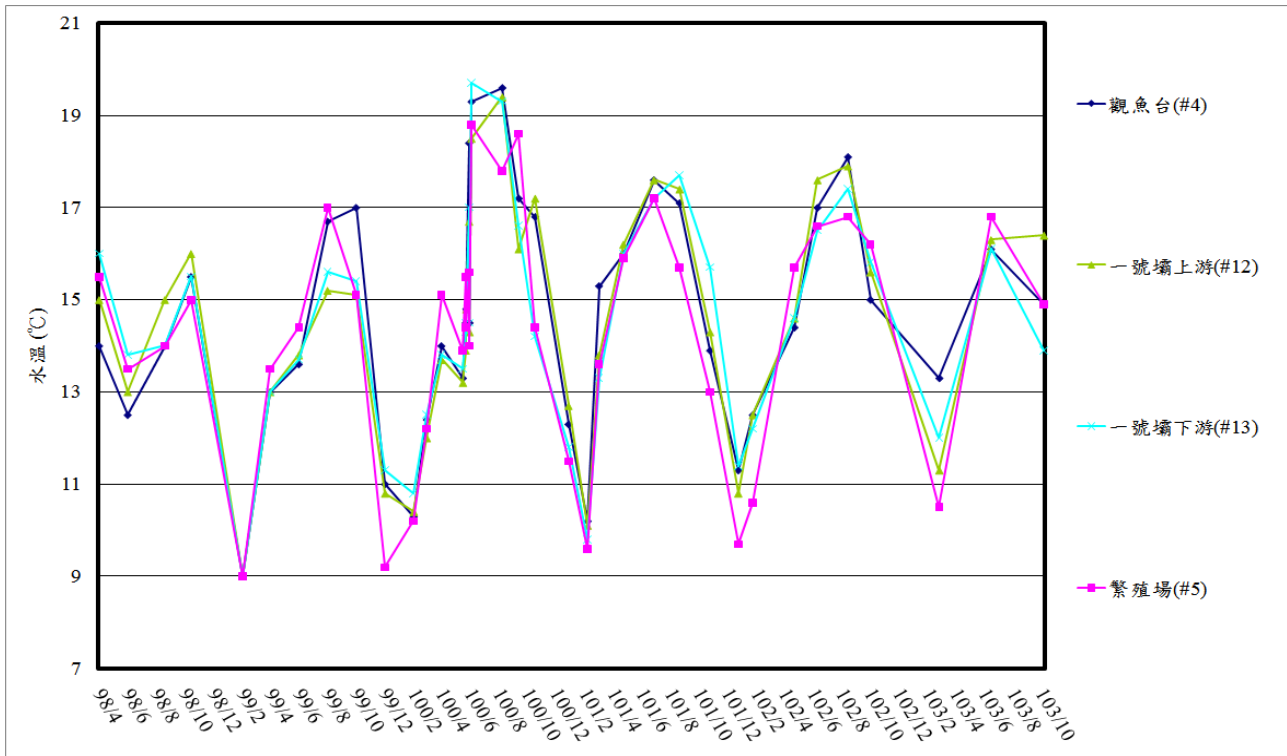


圖 4-20 一號壩壩體改善溫度值變化
(資料來源：本研究資料)

溶氧(單位：mg/L)

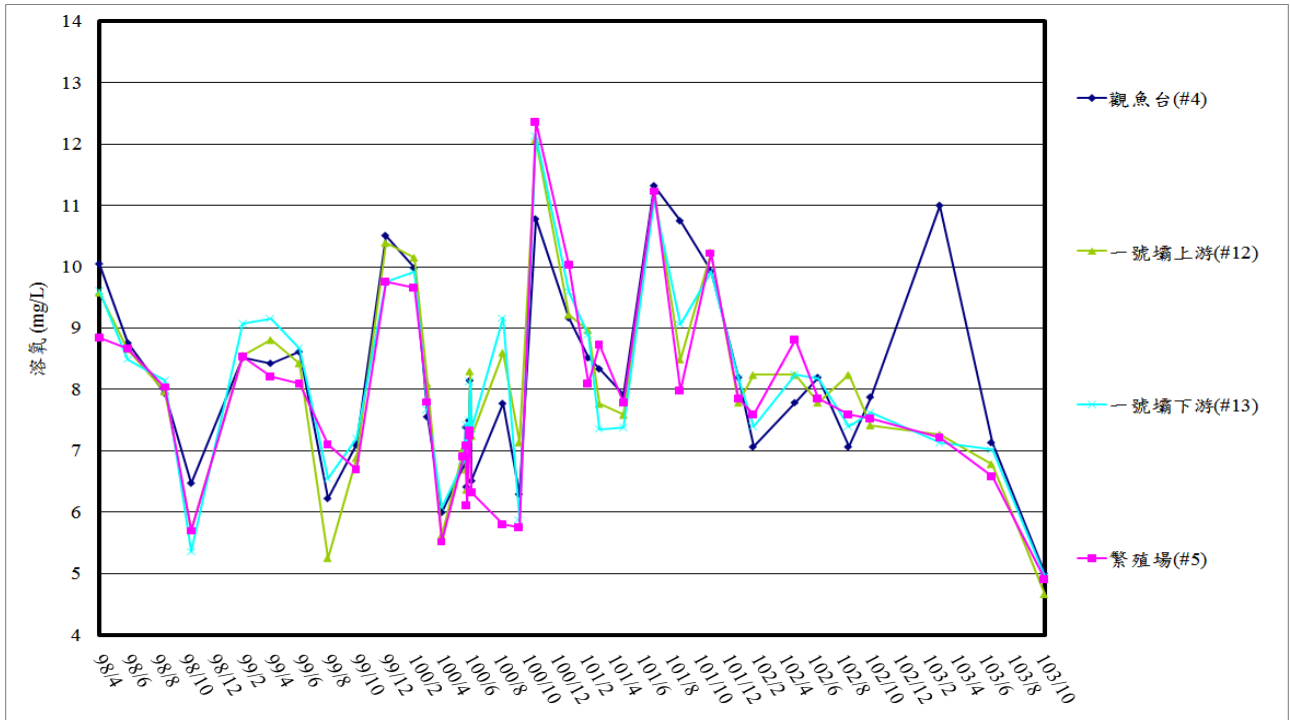


圖 4-21 一號壩壩體改善溶氧值變化
(資料來源：本研究資料)

濁度(單位：NTU)

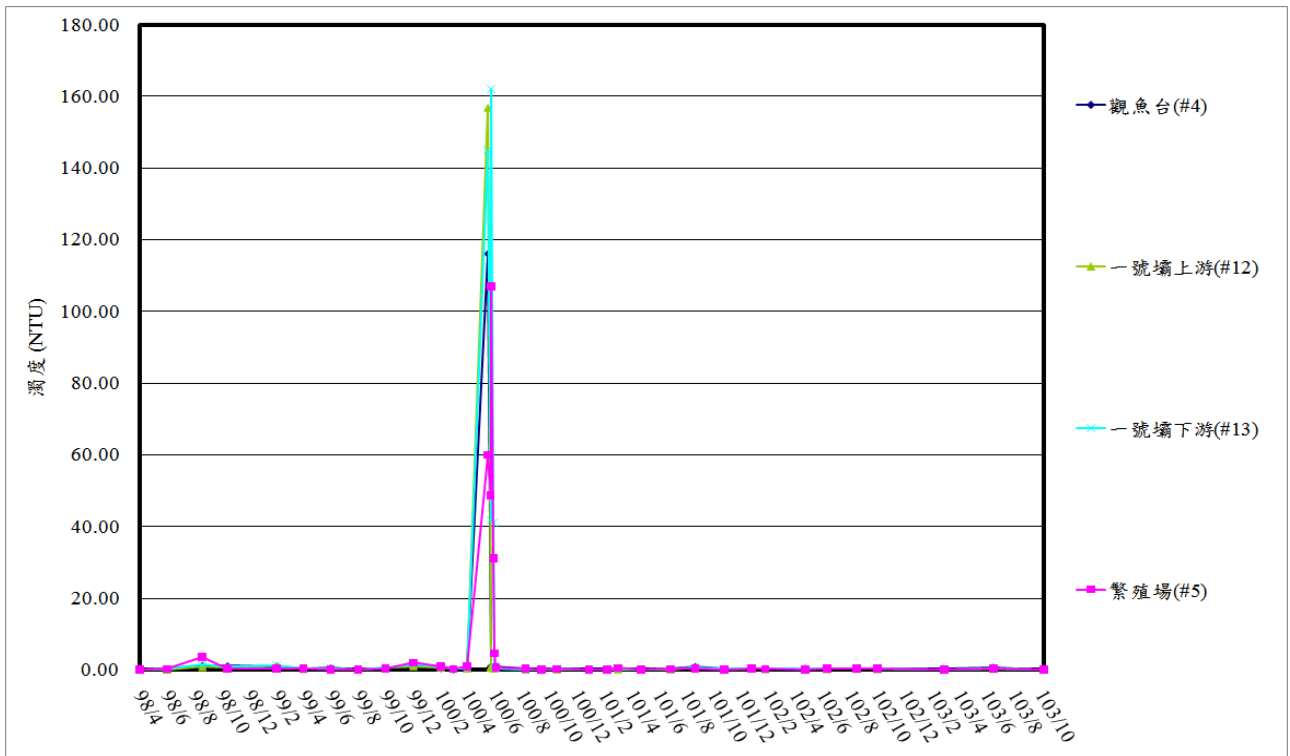


圖 4-22 一號壩壩體改善濁度值變化
(資料來源：本研究資料)

SiO₂(單位：mg/L)

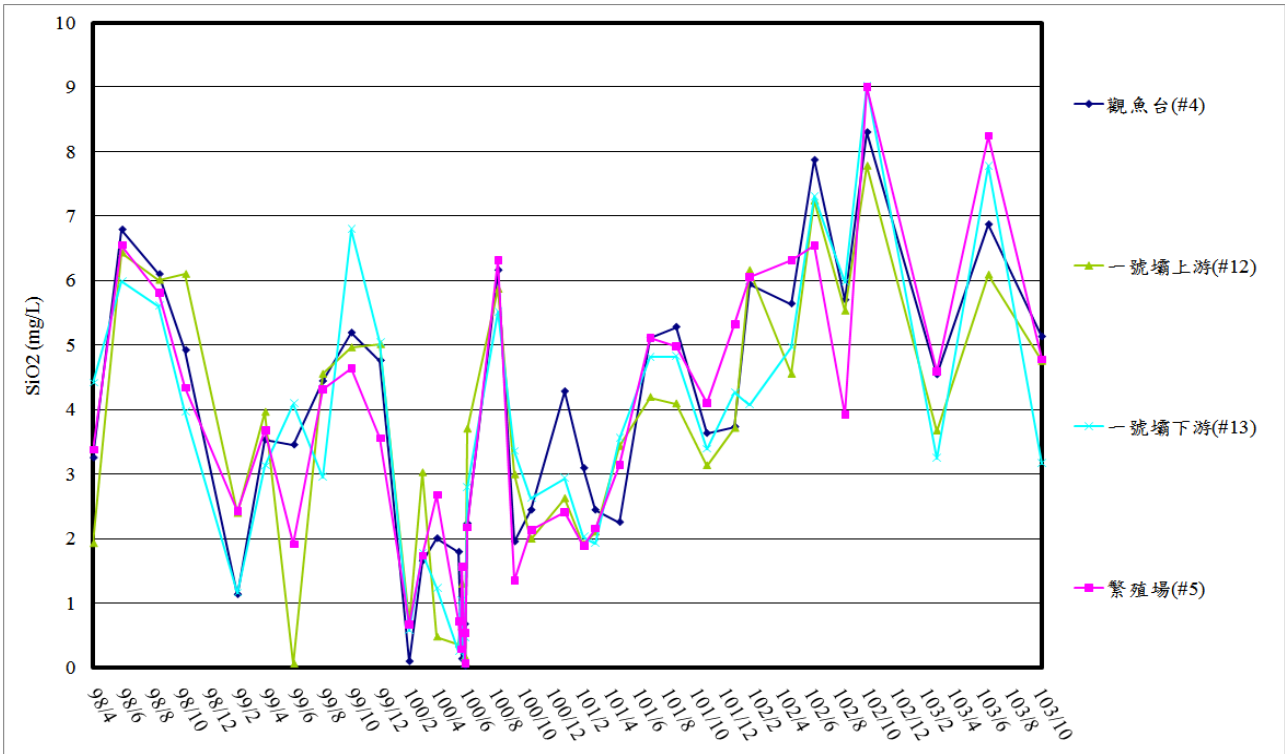


圖 4-23 一號壩壩體改善 SiO₂ 值變化
(資料來源：本研究資料)

NO₃⁻-N(單位：mg N/L)

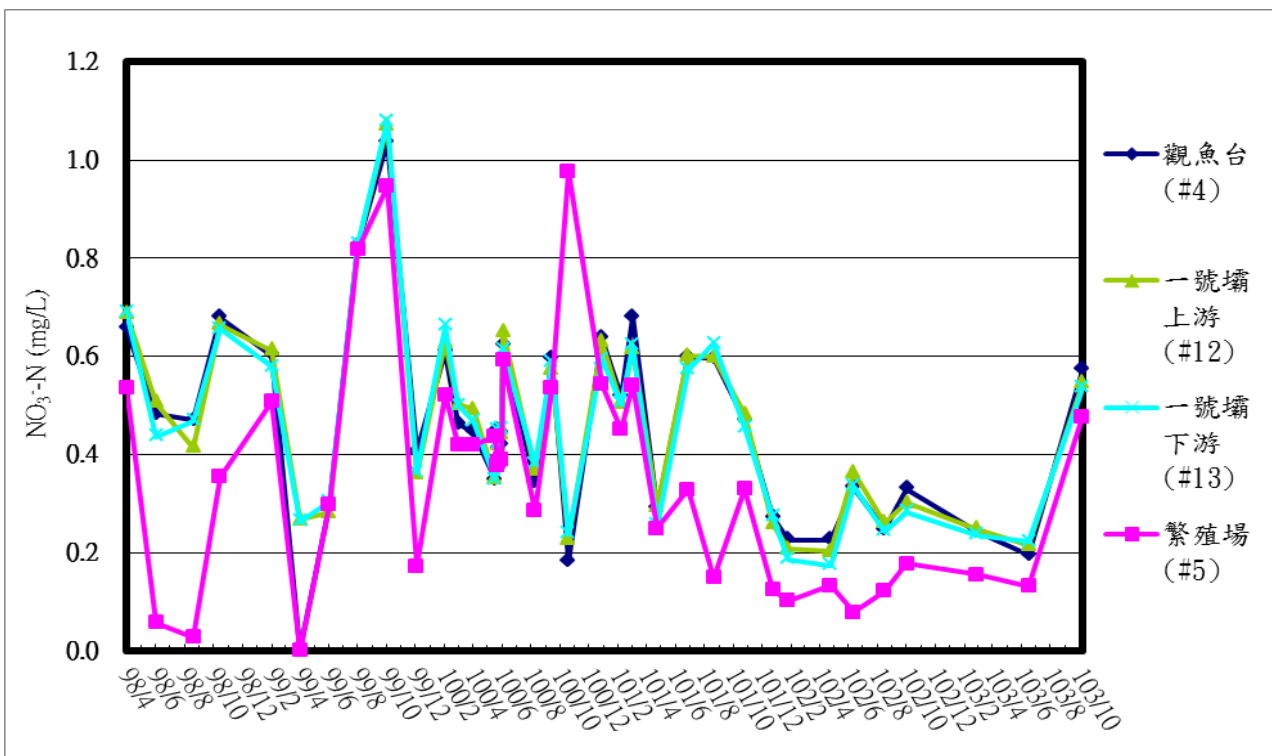


圖 4-24 一號壩壩體改善 NO₃⁻-N 值變化
(資料來源：本研究資料)

NO₂⁻-N(單位：μg N/L)

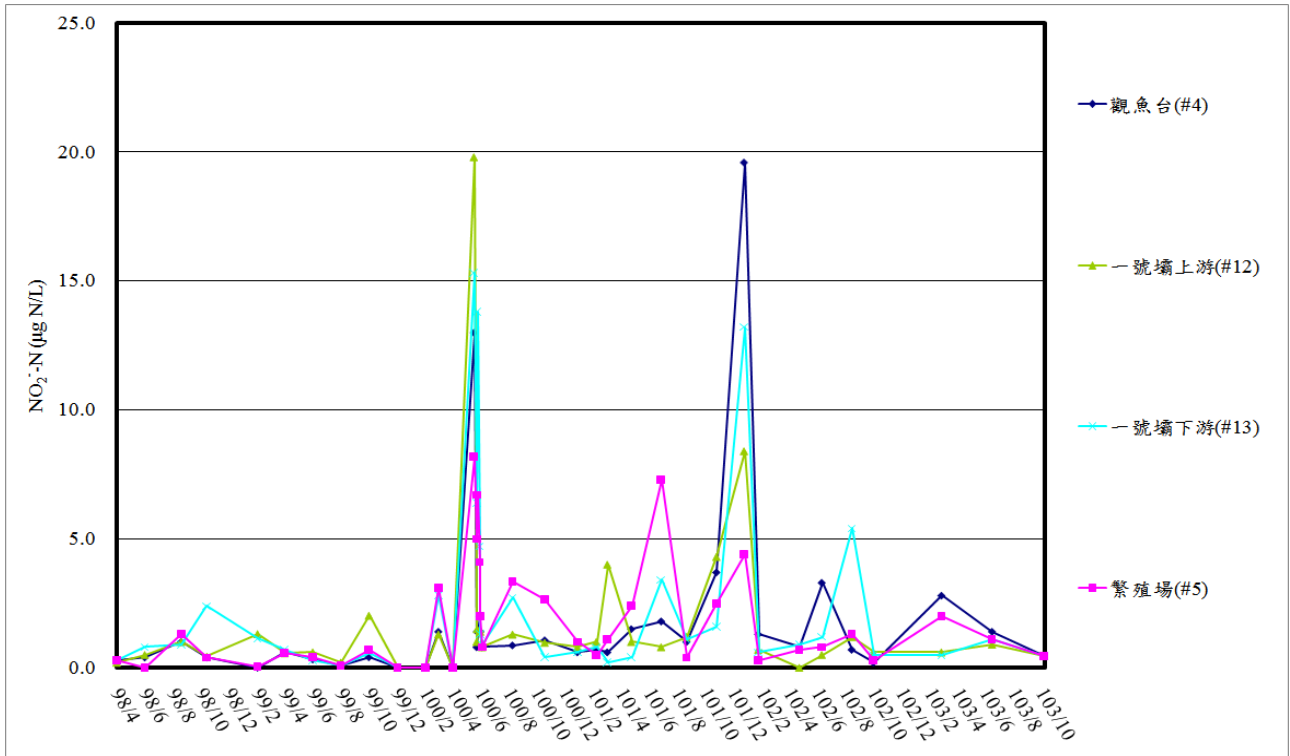


圖 4-25 一號壩壩體改善 NO₂⁻-N 值變化
(資料來源：本研究資料)

SO₄²⁻ (單位：mg/L)

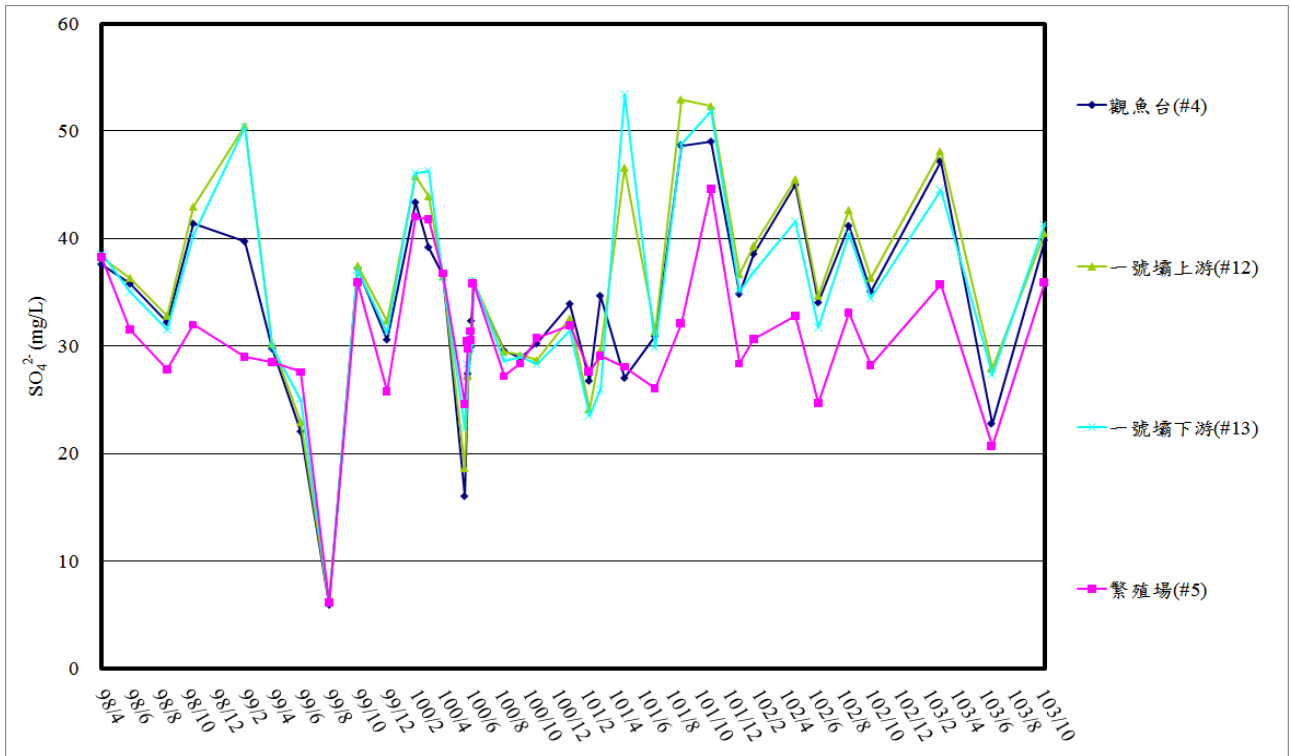


圖 4-26 一號壩壩體改善 SO₄²⁻ 值變化
(資料來源：本研究資料)

Cl⁻ (單位：mg/L)

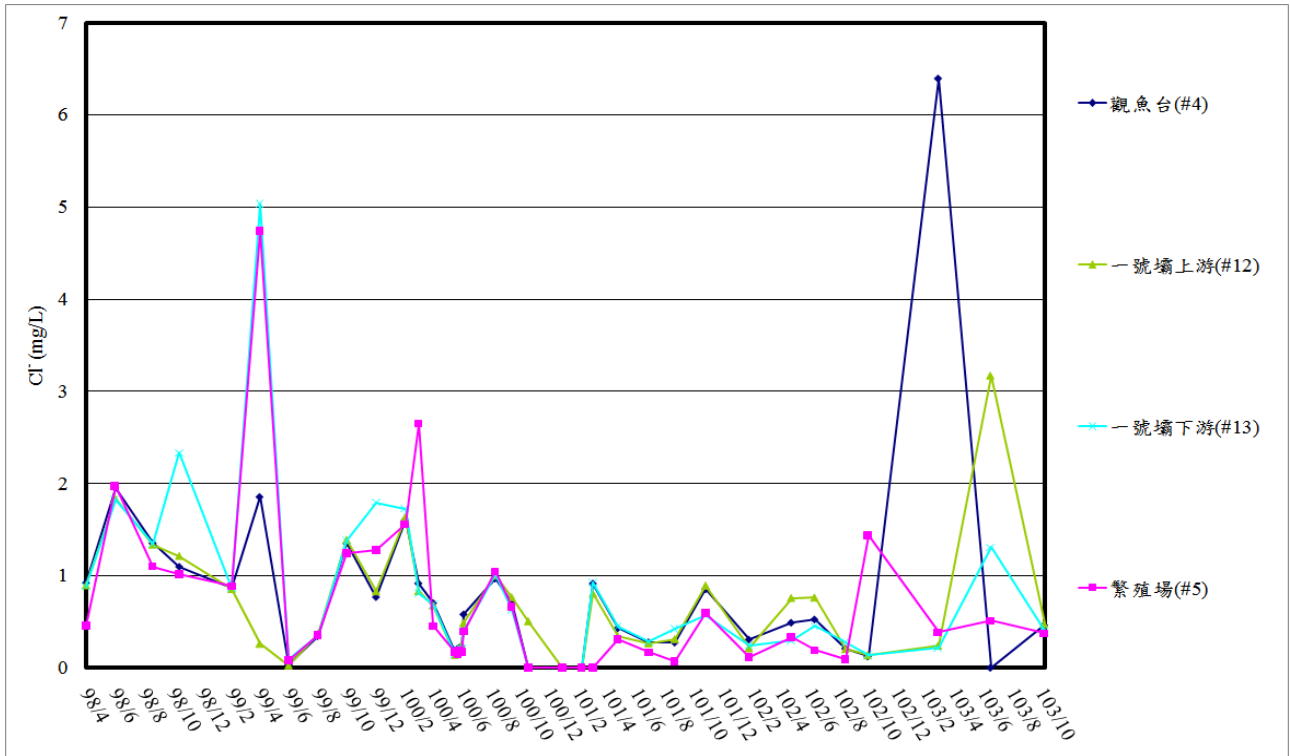


圖 4-27 一號壩壩體改善 Cl⁻值變化
(資料來源：本研究資料)

PO₄³⁻ (單位：mg/L)

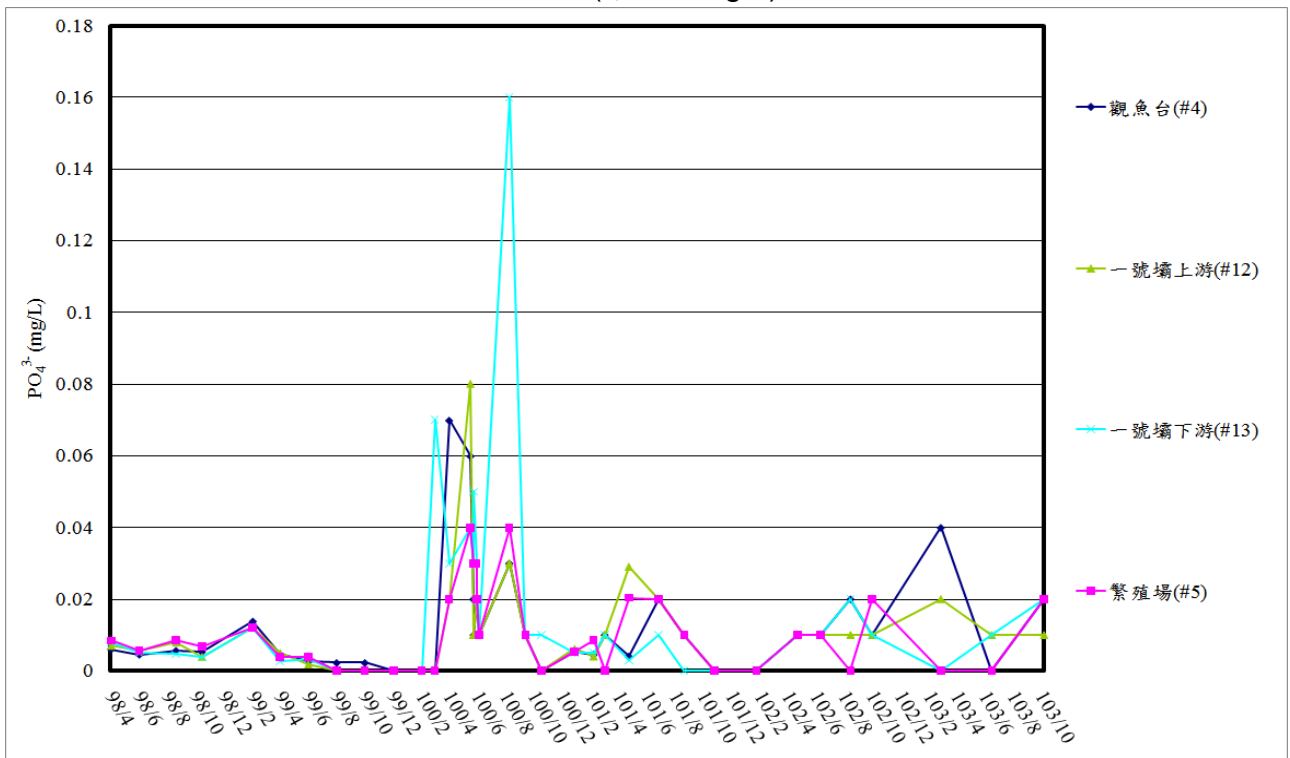


圖 4-28 一號壩壩體改善 PO₄³⁻值變化
(資料來源：本研究資料)

NH₄⁺-N (單位：mg N/L)

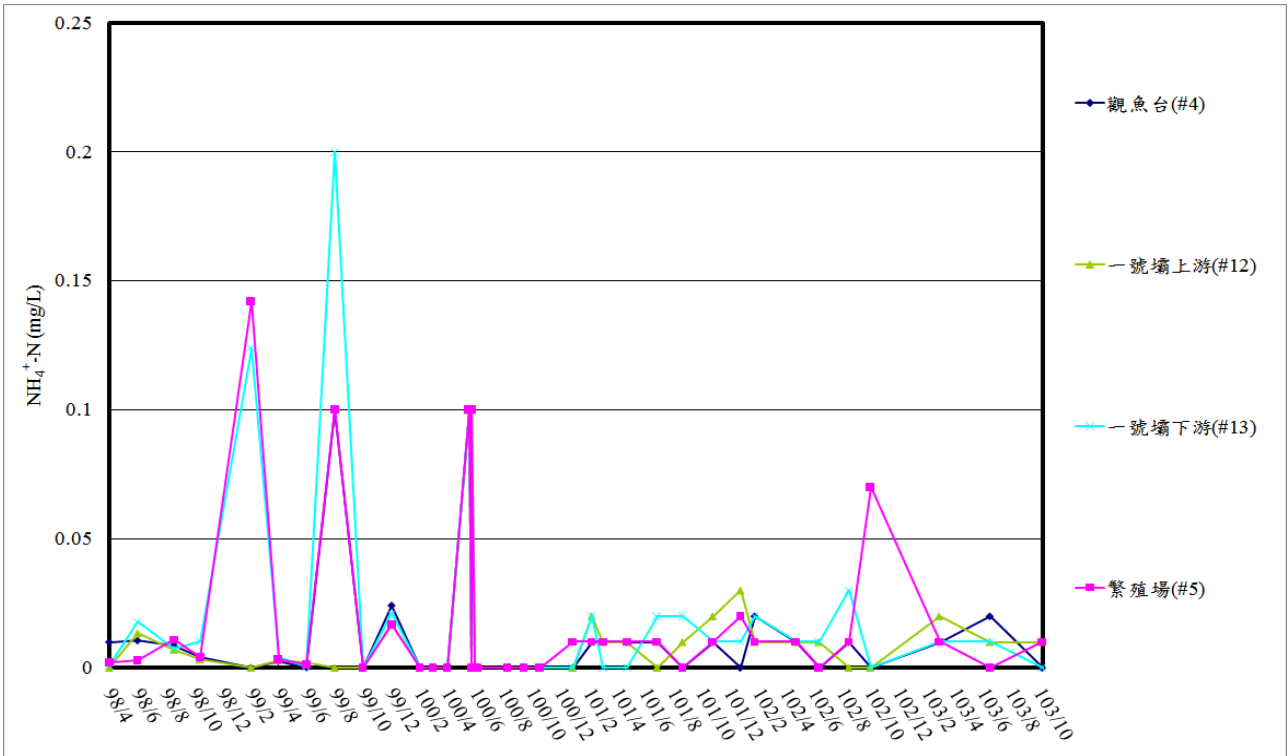


圖 4-29 一號壩壩體改善 NH₄⁺-N 值變化
(資料來源：本研究資料)

TOC(單位：mg/L)

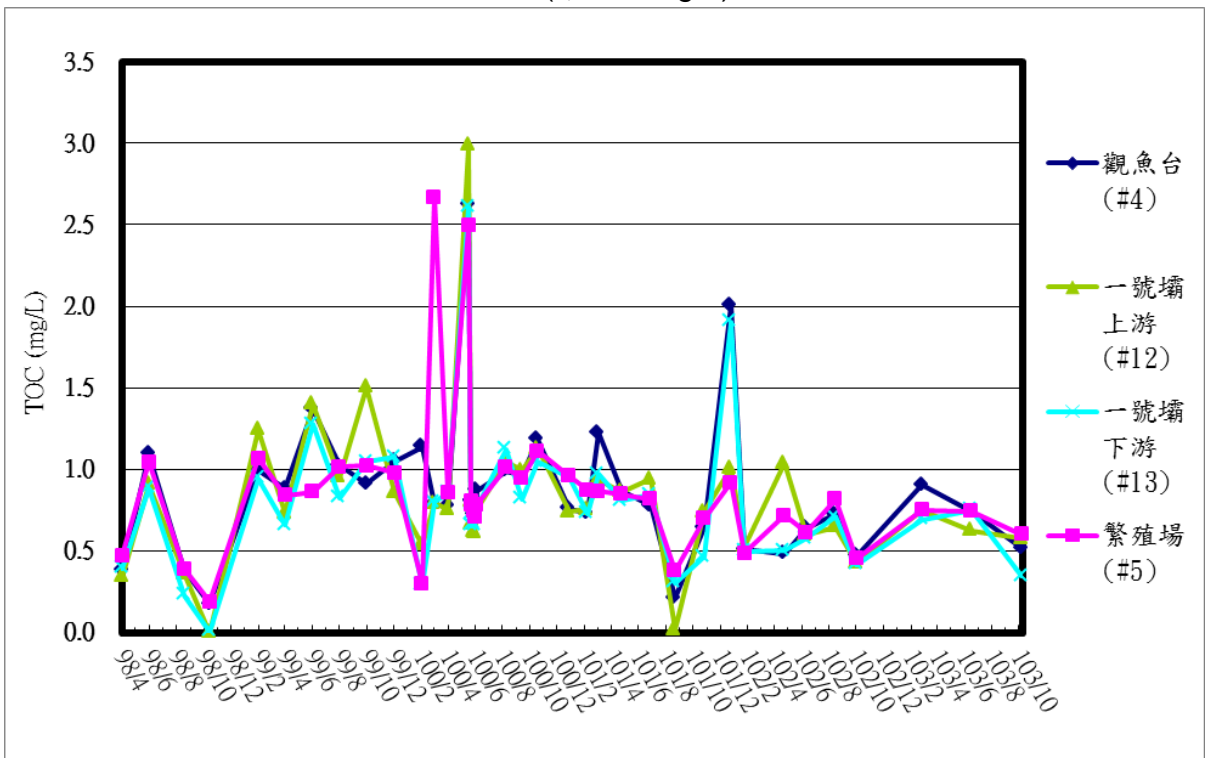


圖 4-30 一號壩壩體改善 TOC 值變化
(資料來源：本研究資料)

pH值

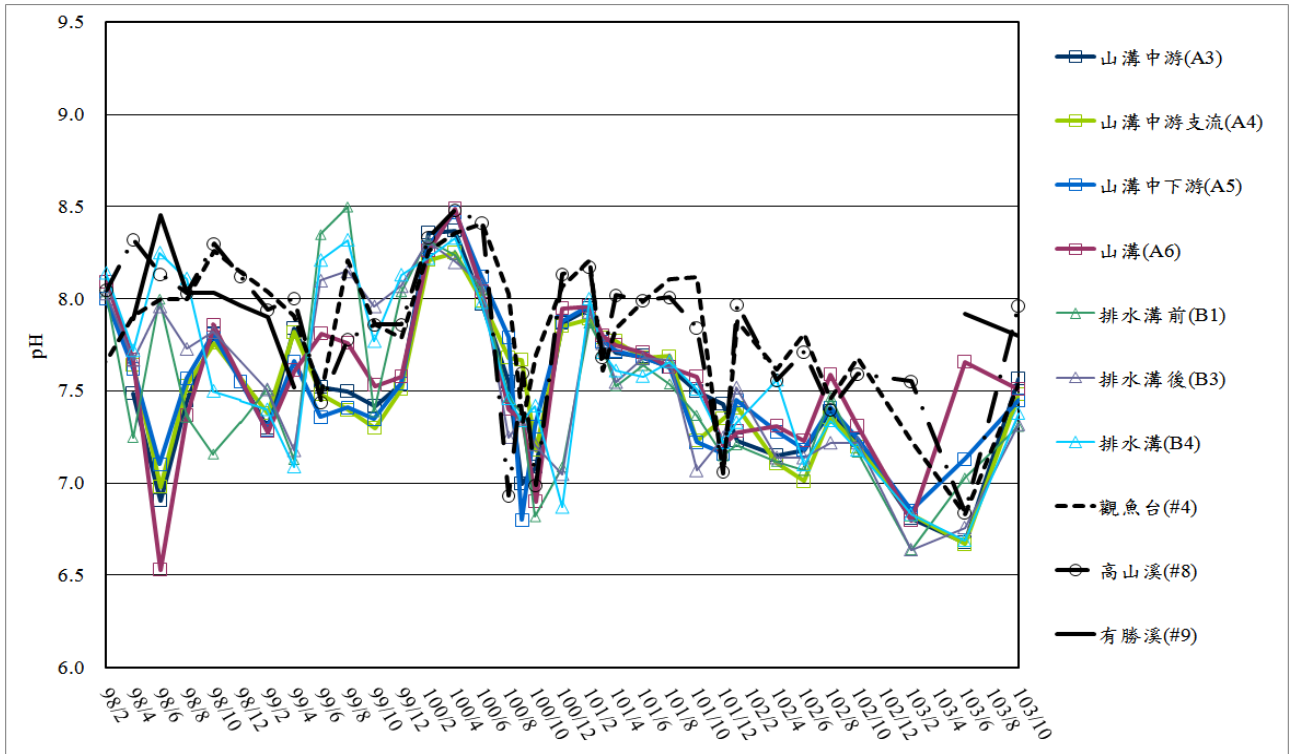


圖 4-31 山溝與七家灣溪測站之 pH 值比較
(資料來源：本研究資料)

導電度(單位：μs/cm)

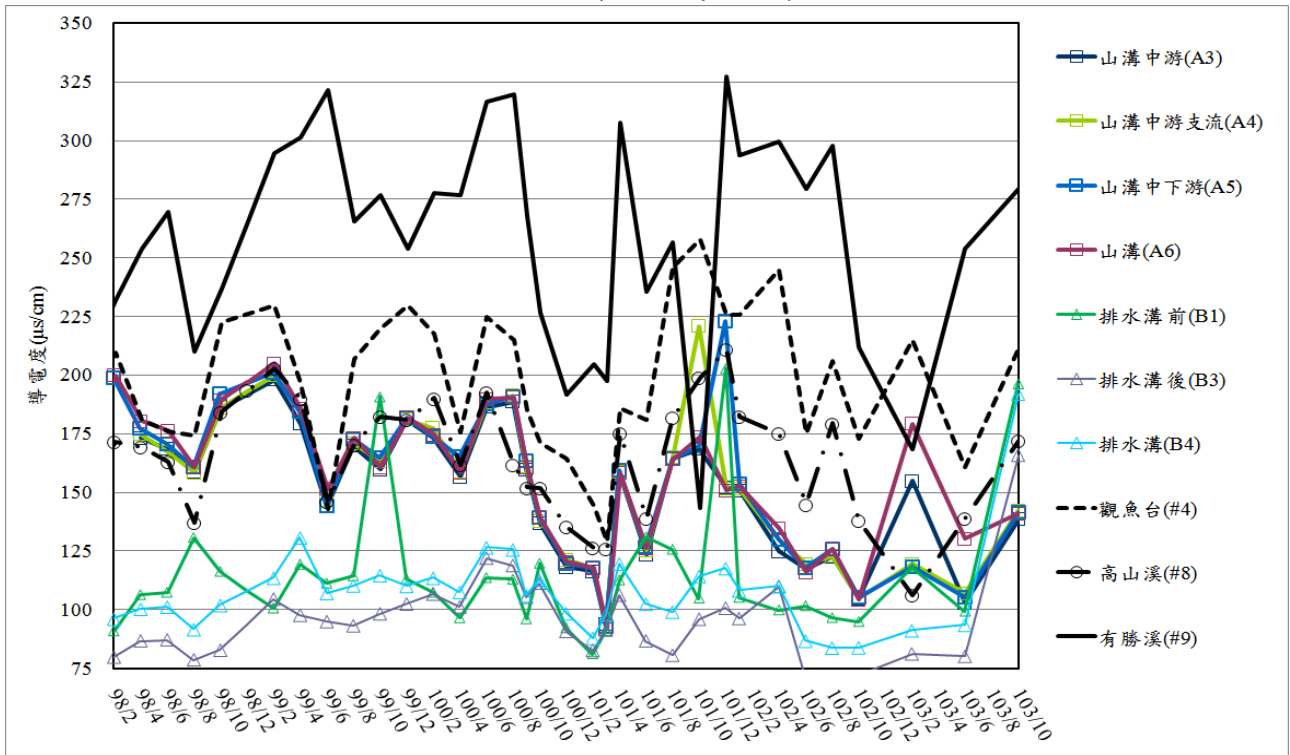


圖 4-32 山溝與七家灣溪測站之導電度值比較
(資料來源：本研究資料)

溫度(單位：°C)

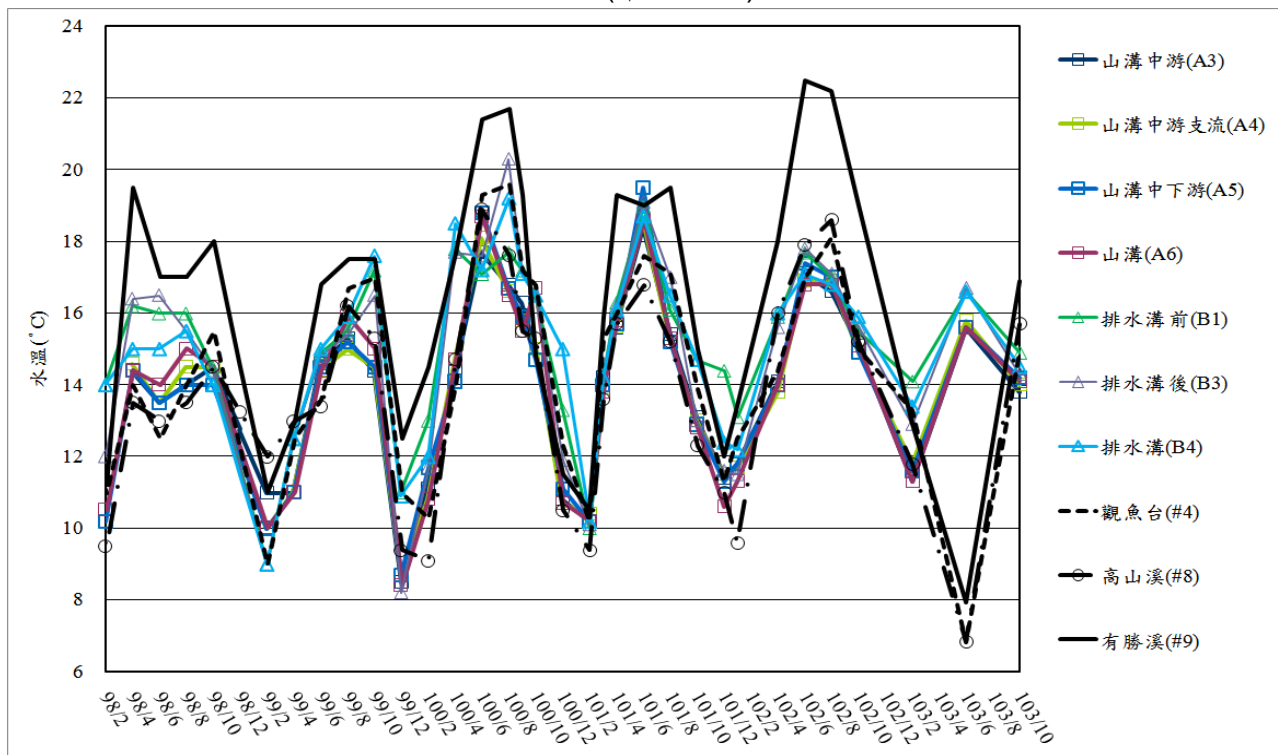


圖 4-33 山溝與七家灣溪測站之溫度值比較
(資料來源：本研究資料)

溶氧(單位：mg/L)

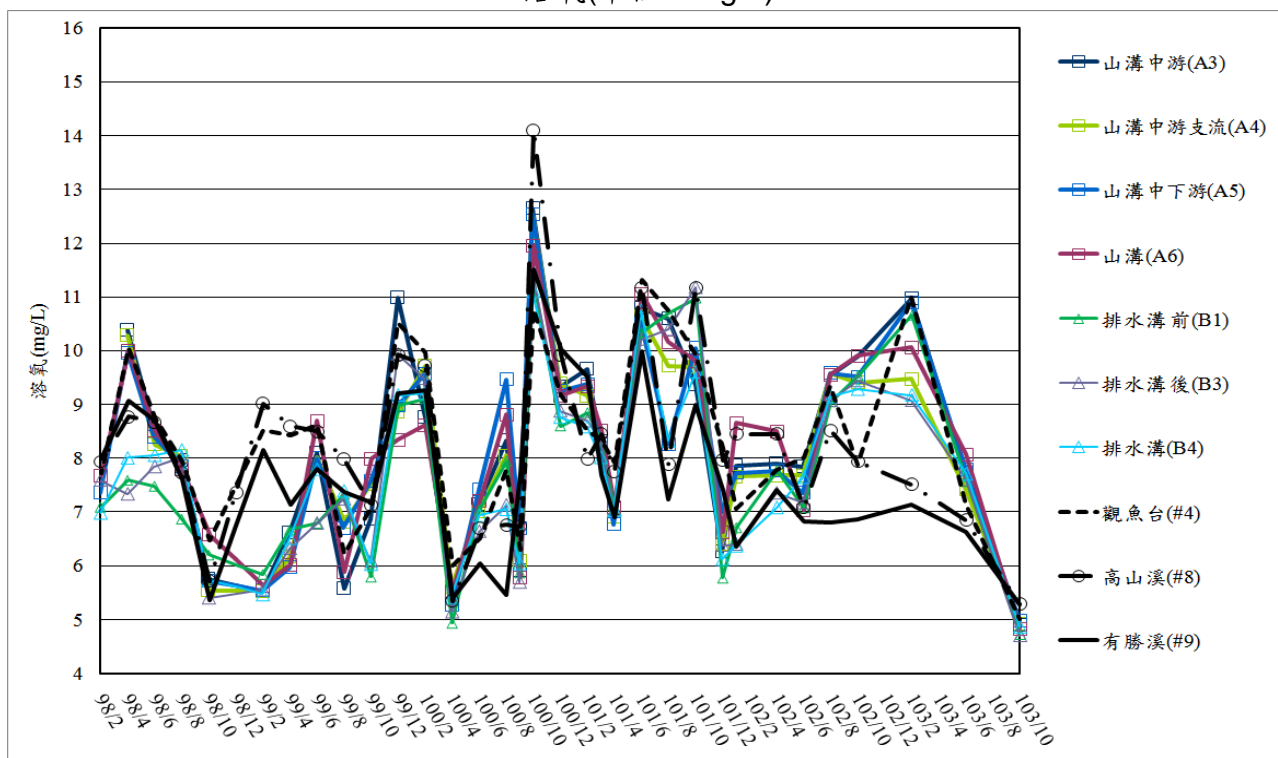


圖 4-34 山溝與七家灣溪測站之溶氧值比較
(資料來源：本研究資料)

濁度(單位：NTU)

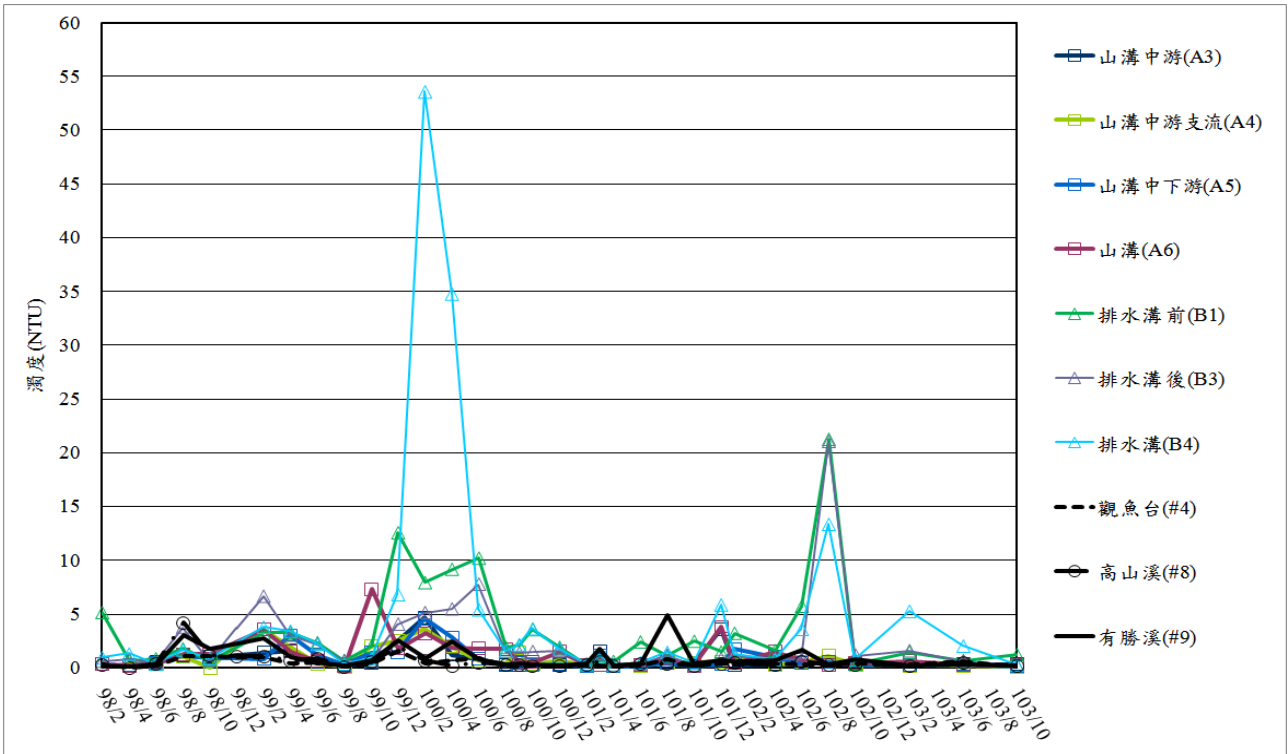


圖 4-35 山溝與七家灣溪測站之濁度值比較
(資料來源：本研究資料)

SiO₂(單位：mg/L)

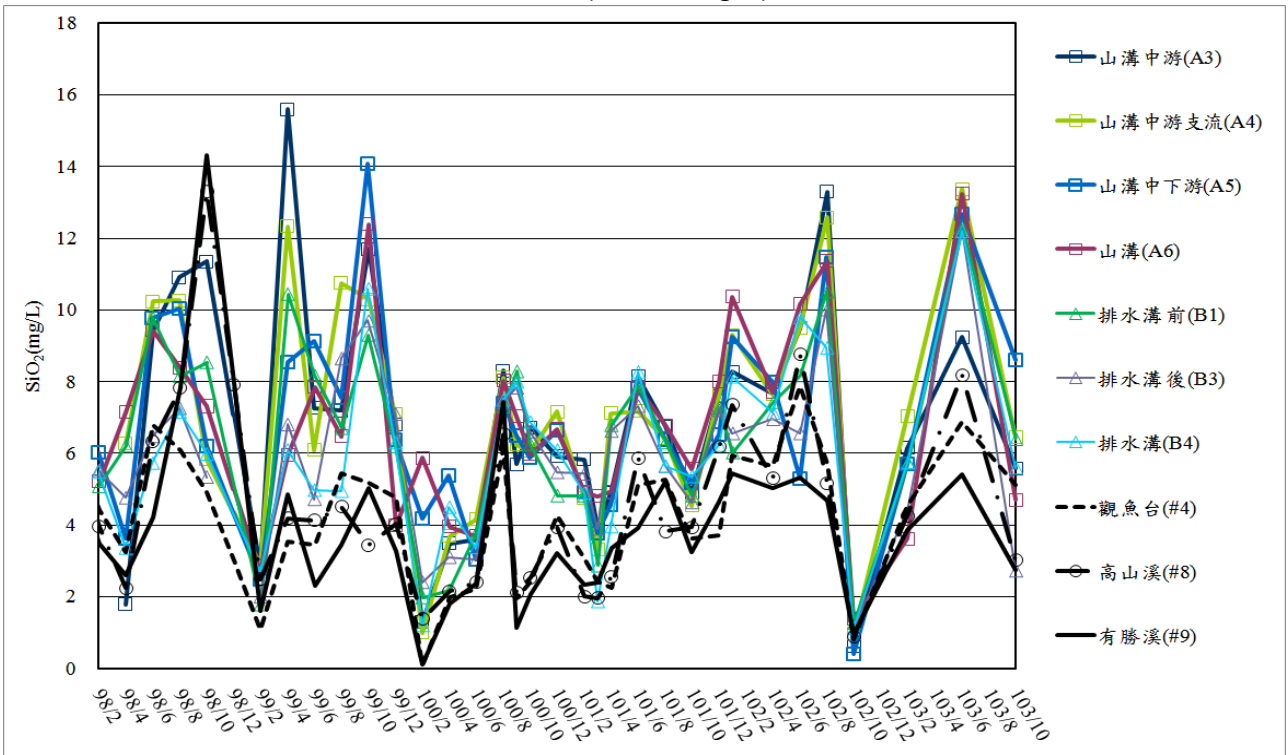


圖 4-36 山溝與七家灣溪測站之 SiO₂ 值比較
(資料來源：本研究資料)

NO₃⁻-N (單位：mg N/L)

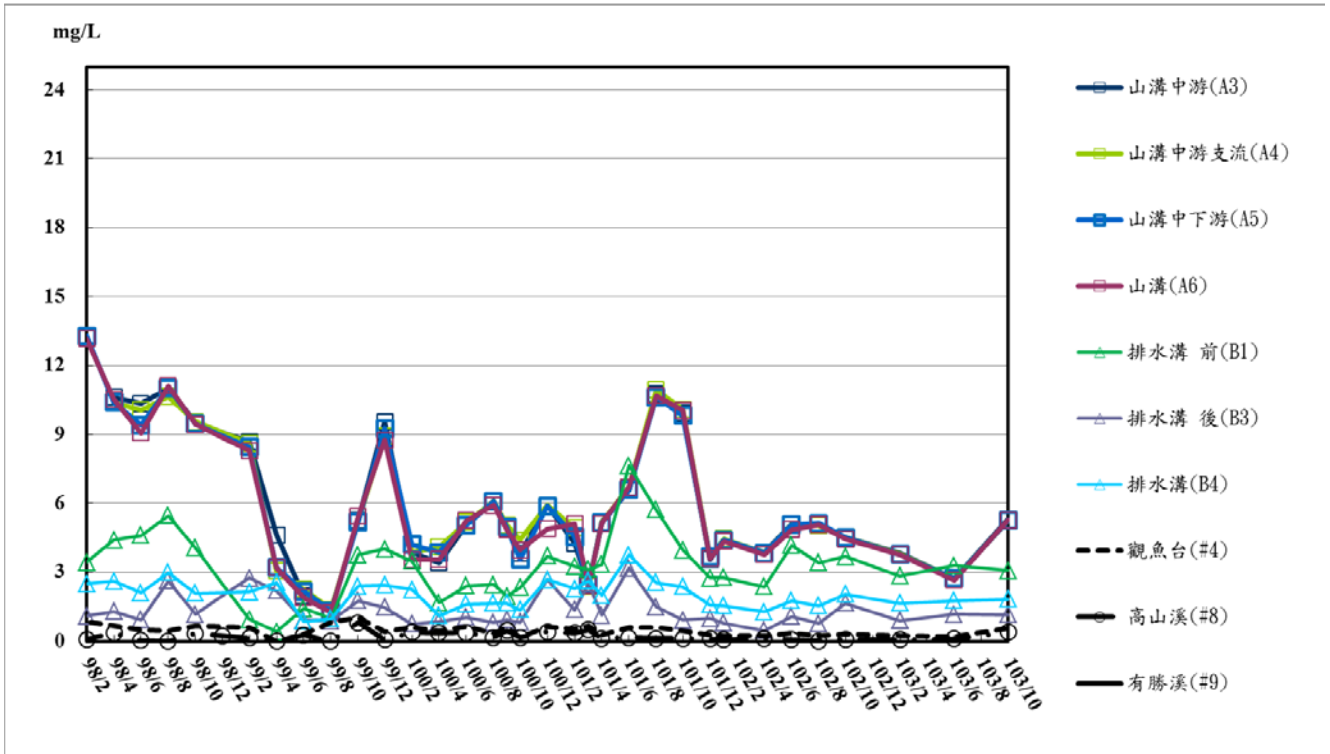


圖 4-37 山溝與七家灣溪測站之 NO₃⁻-N 值比較
(資料來源：本研究資料)

NO₂⁻-N(單位：μg N/L)

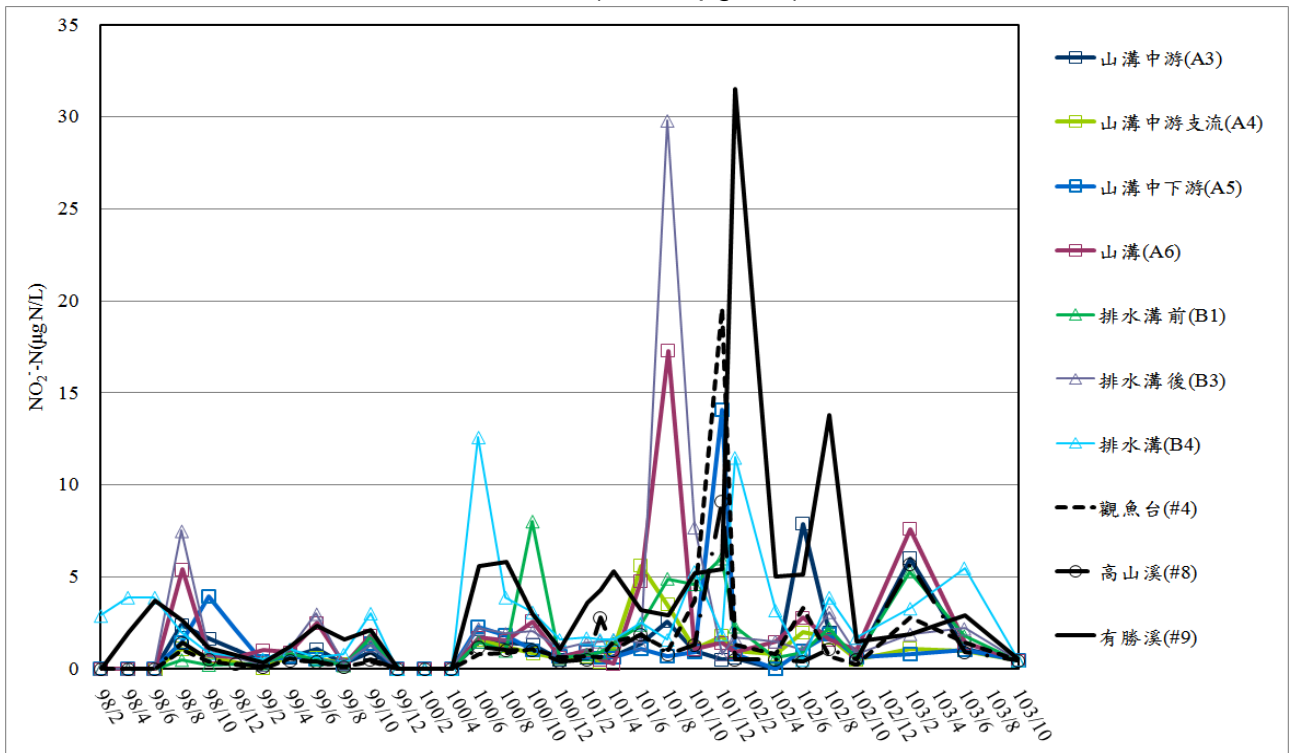


圖 4-38 山溝與七家灣溪測站之 NO₂⁻-N 值比較
(資料來源：本研究資料)

SO₄²⁻ (單位：mg/L)

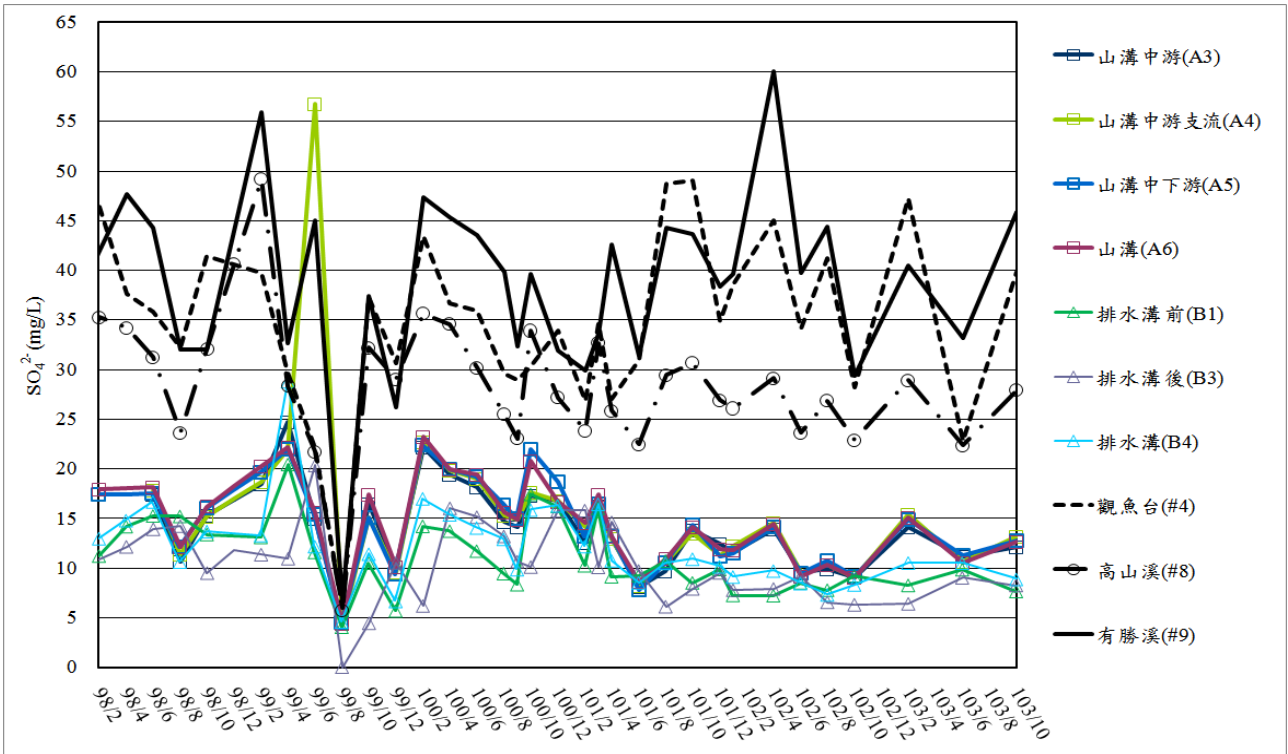


圖 4-39 山溝與七家灣溪測站之 SO₄²⁻值比較
(資料來源：本研究資料)

Cl⁻ (單位：mg/L)

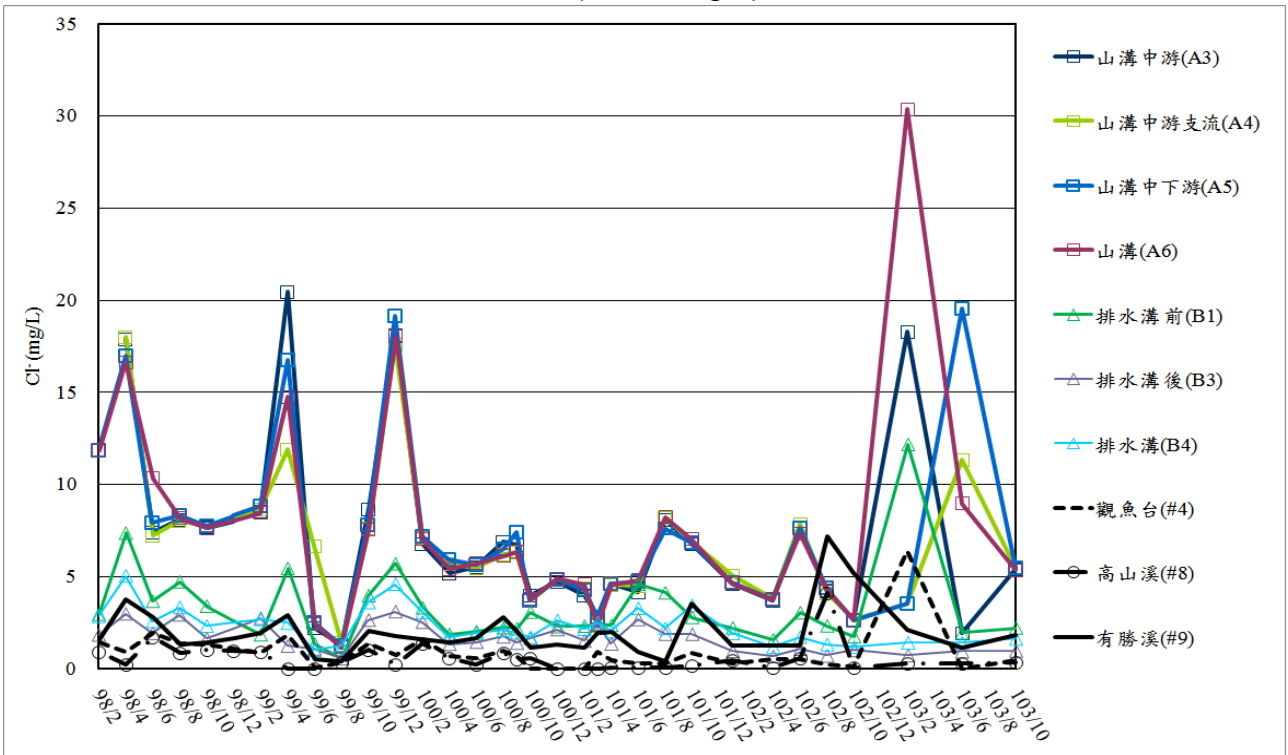


圖 4-40 山溝與七家灣溪測站之 Cl⁻值比較
(資料來源：本研究資料)

PO₄³⁻(單位：mg/L)

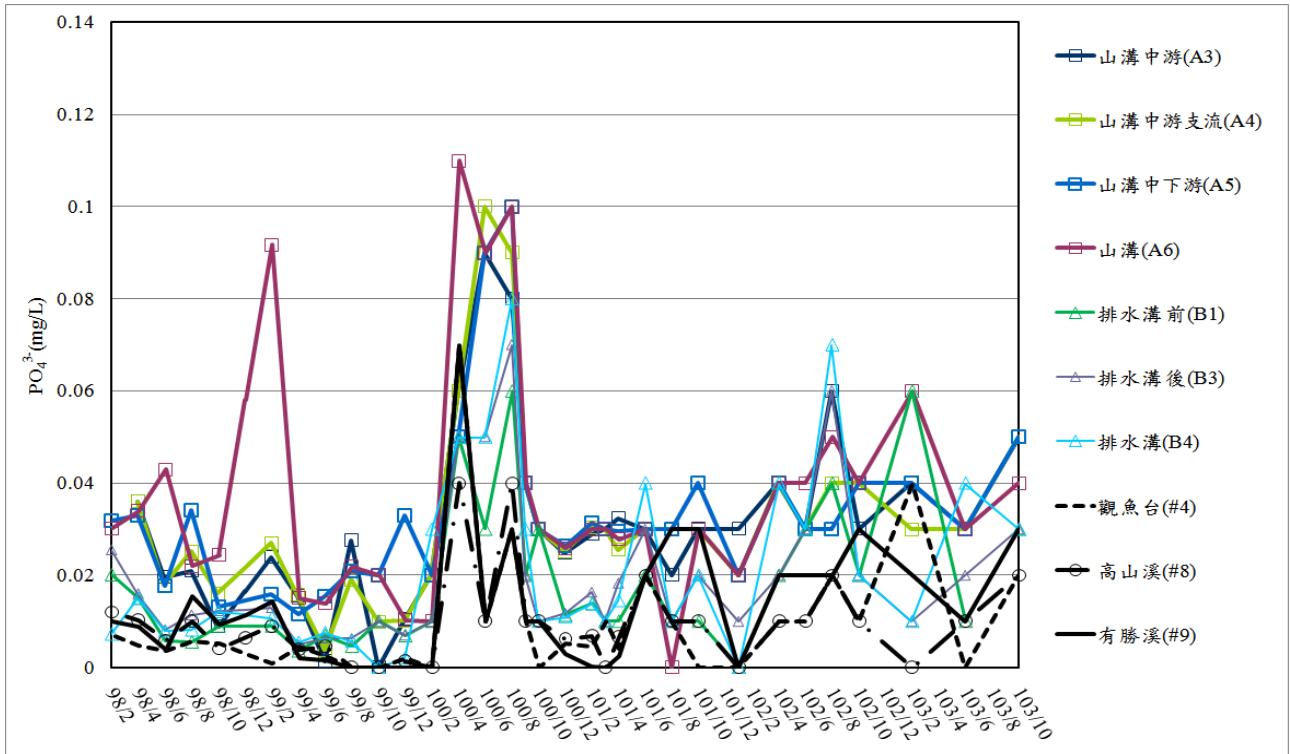


圖 4-41 山溝與七家灣溪測站之 PO₄³⁻值比較
(資料來源：本研究資料)

NH₄⁺-N (單位：mg N/L)

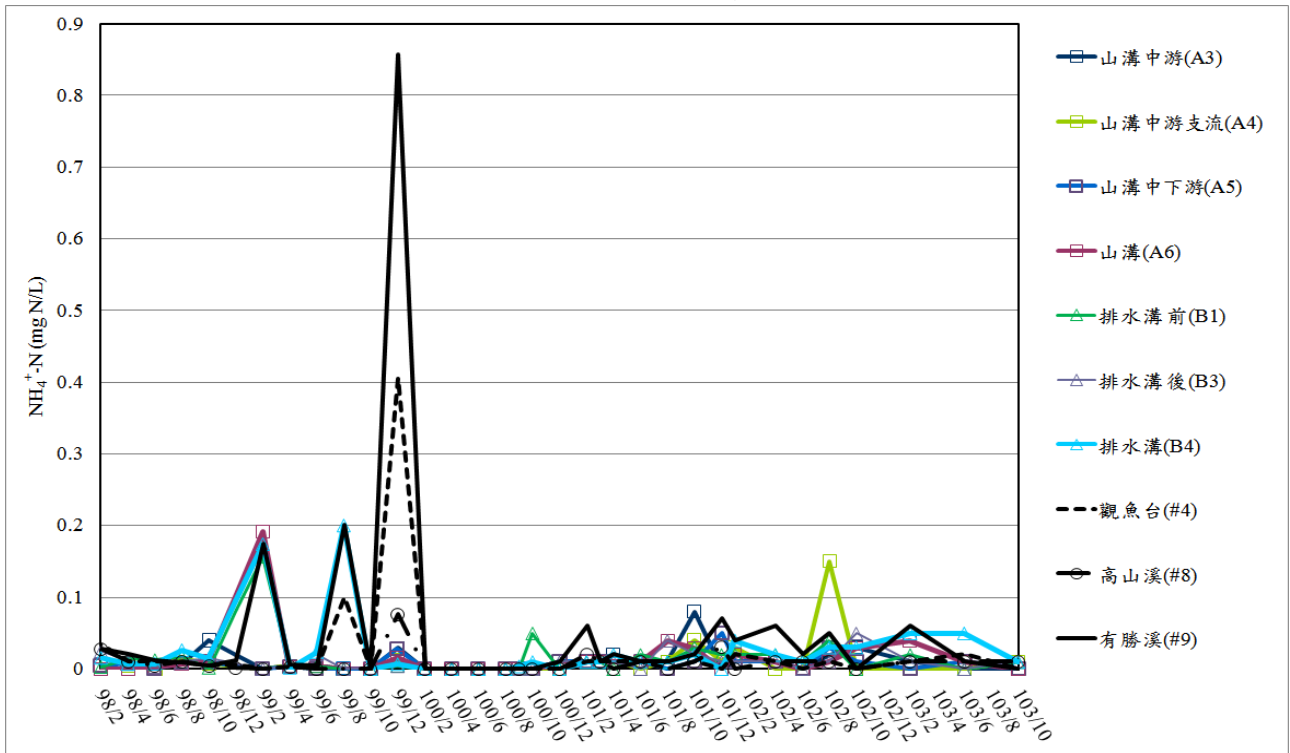


圖 4-42 山溝與七家灣溪測站之 NH₄⁺-N 值比較
(資料來源：本研究資料)

TOC(單位：mg/L)

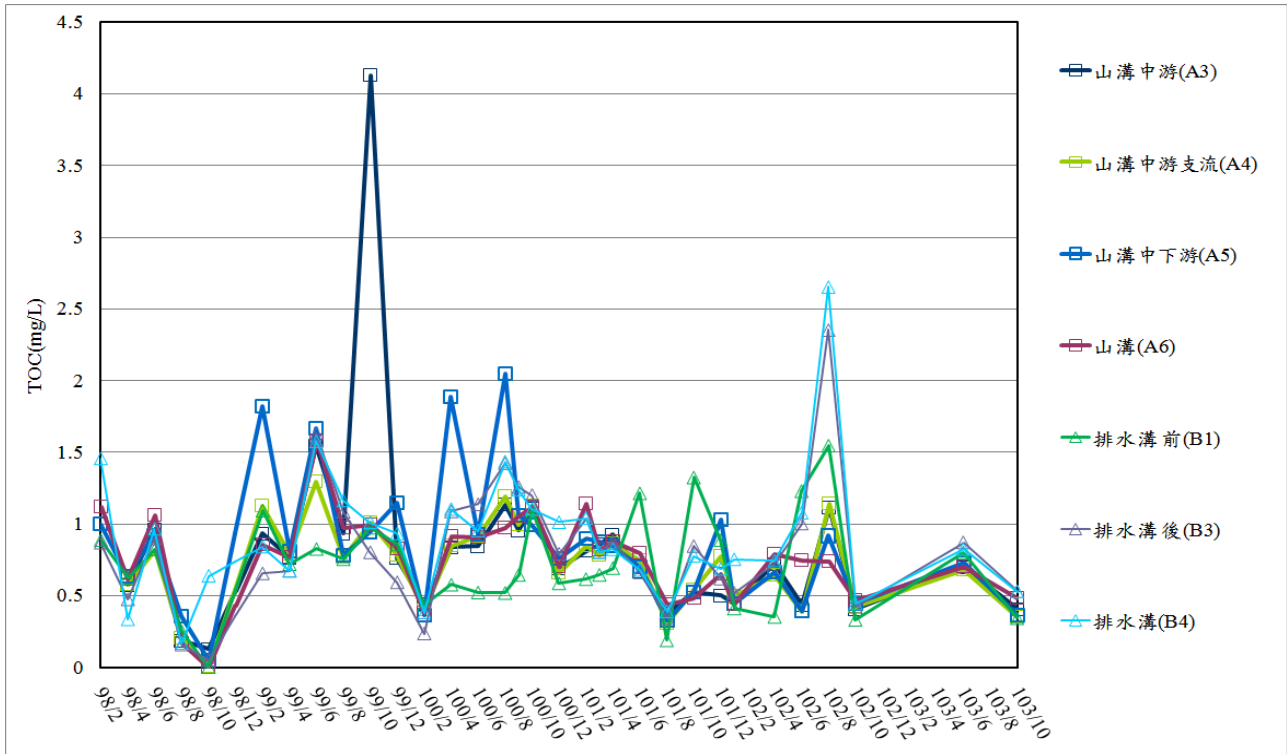


圖 4-43 山溝與七家灣溪測站之 TOC 值比較
(資料來源：本研究資料)

pH值

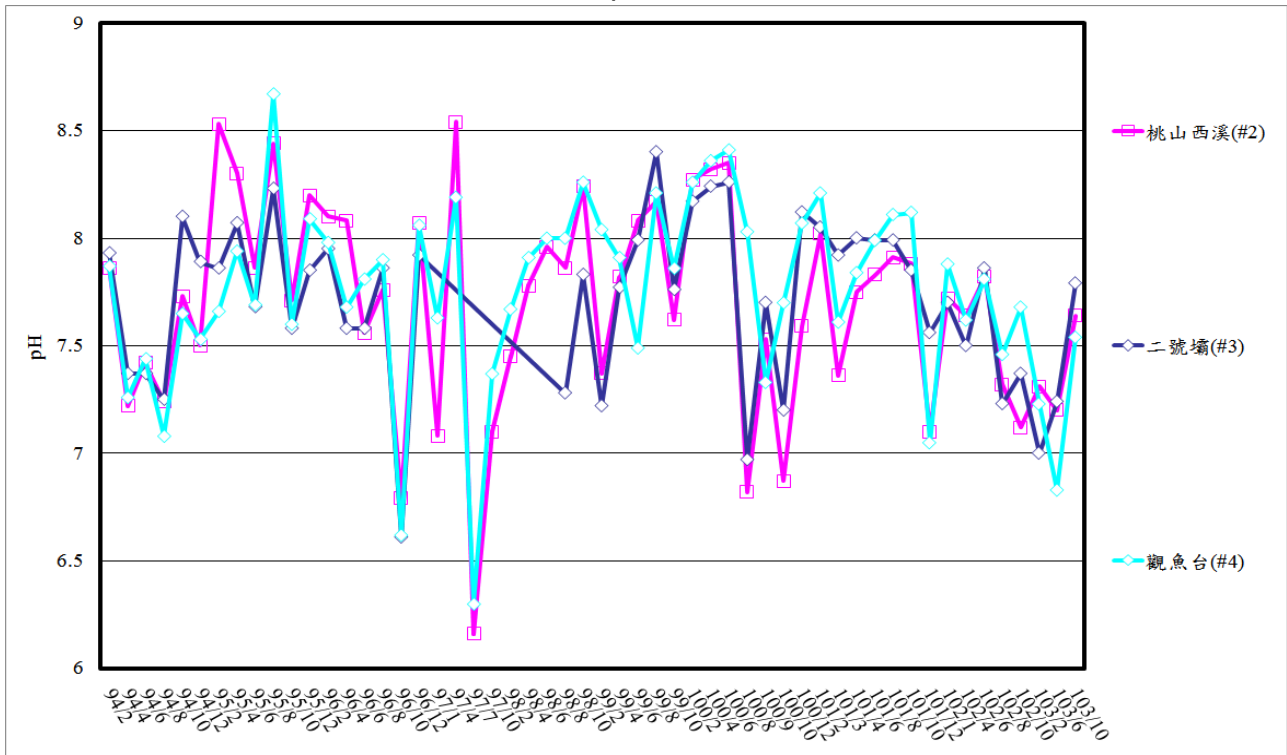


圖 4-44 8.1ha 回收農用地 pH 值變化
(資料來源：本研究資料)

導電度(單位：μs/cm)

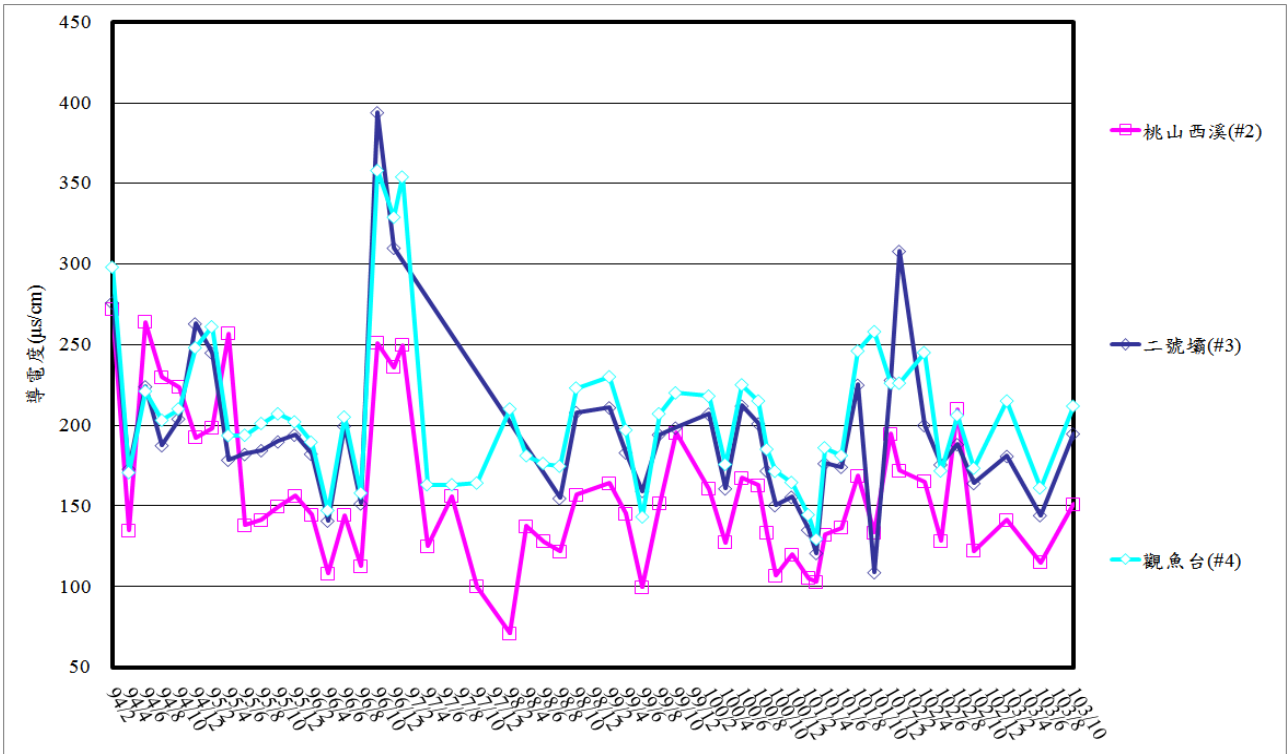


圖 4-45 8.1ha 回收農用地導電度值變化
(資料來源：本研究資料)

溫度(單位：°C)

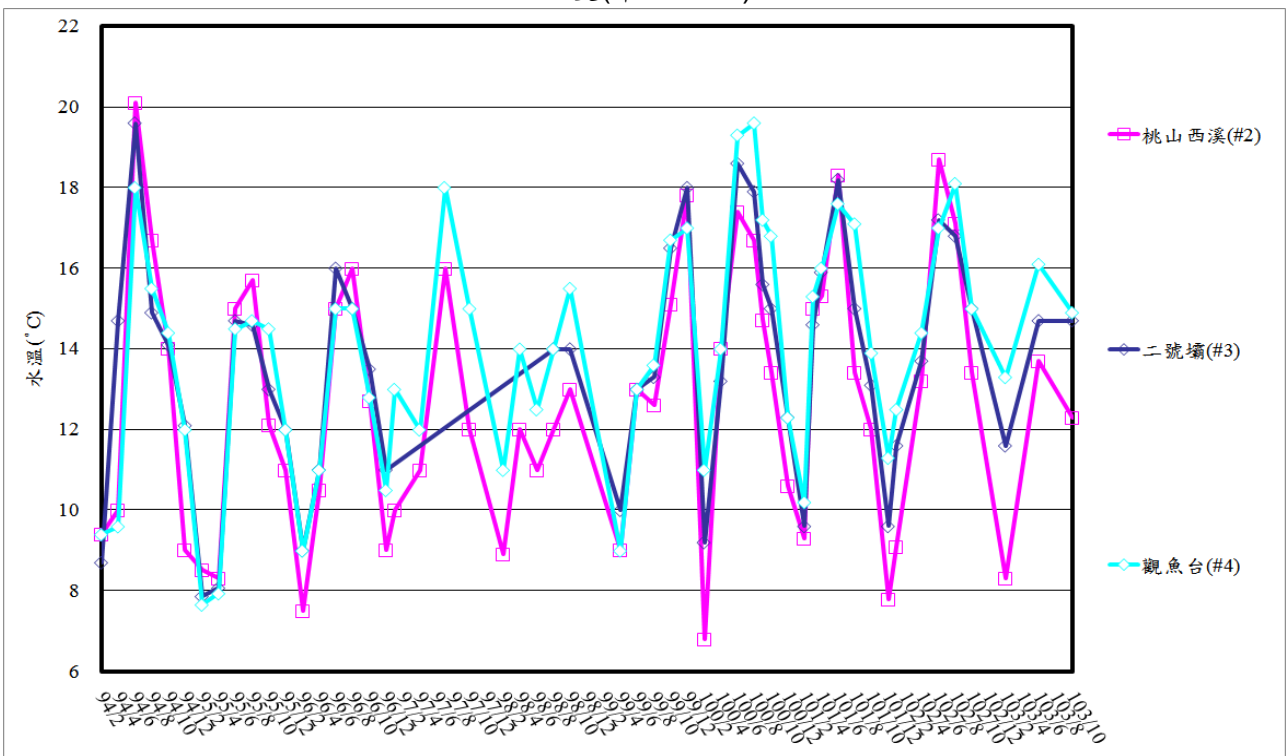


圖 4-46 8.1ha 回收農用地溫度值變化
(資料來源：本研究資料)

溶氧(單位：mg/L)

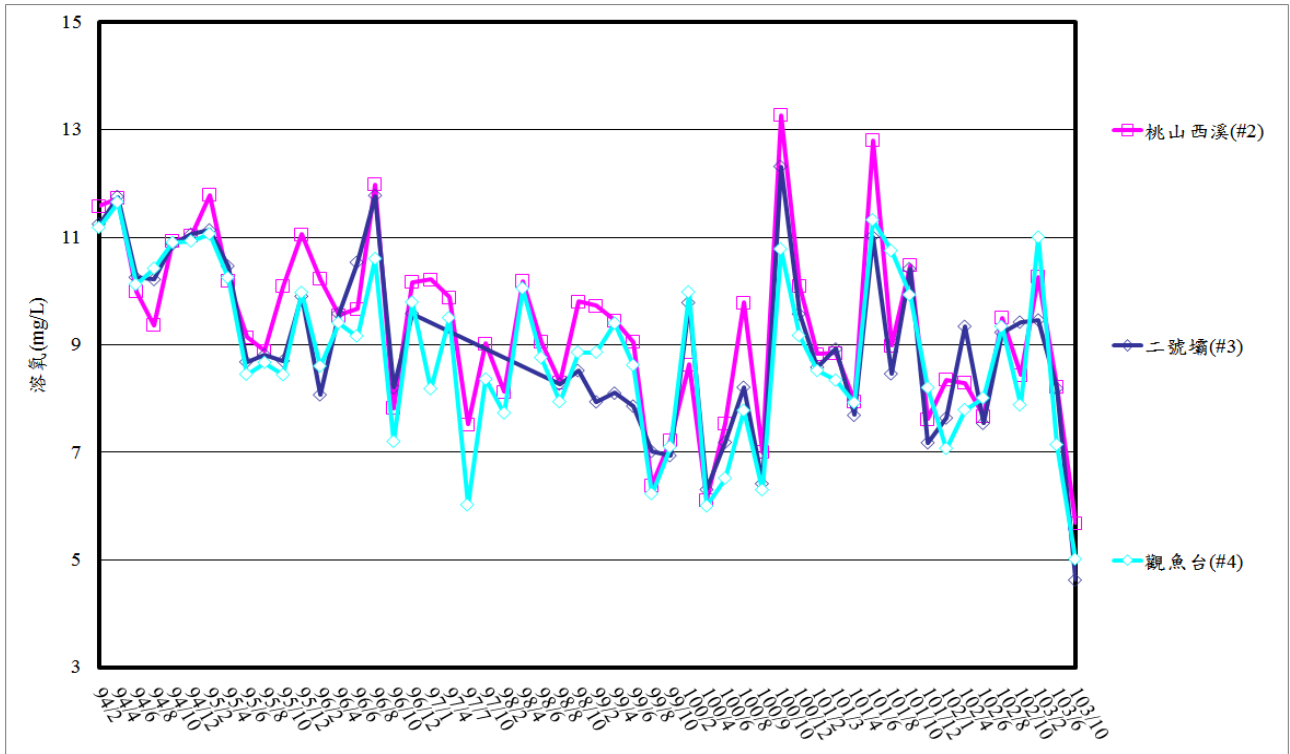


圖 4-47 8.1ha 回收農用地溶氧值變化
(資料來源：本研究資料)

濁度(單位：NTU)

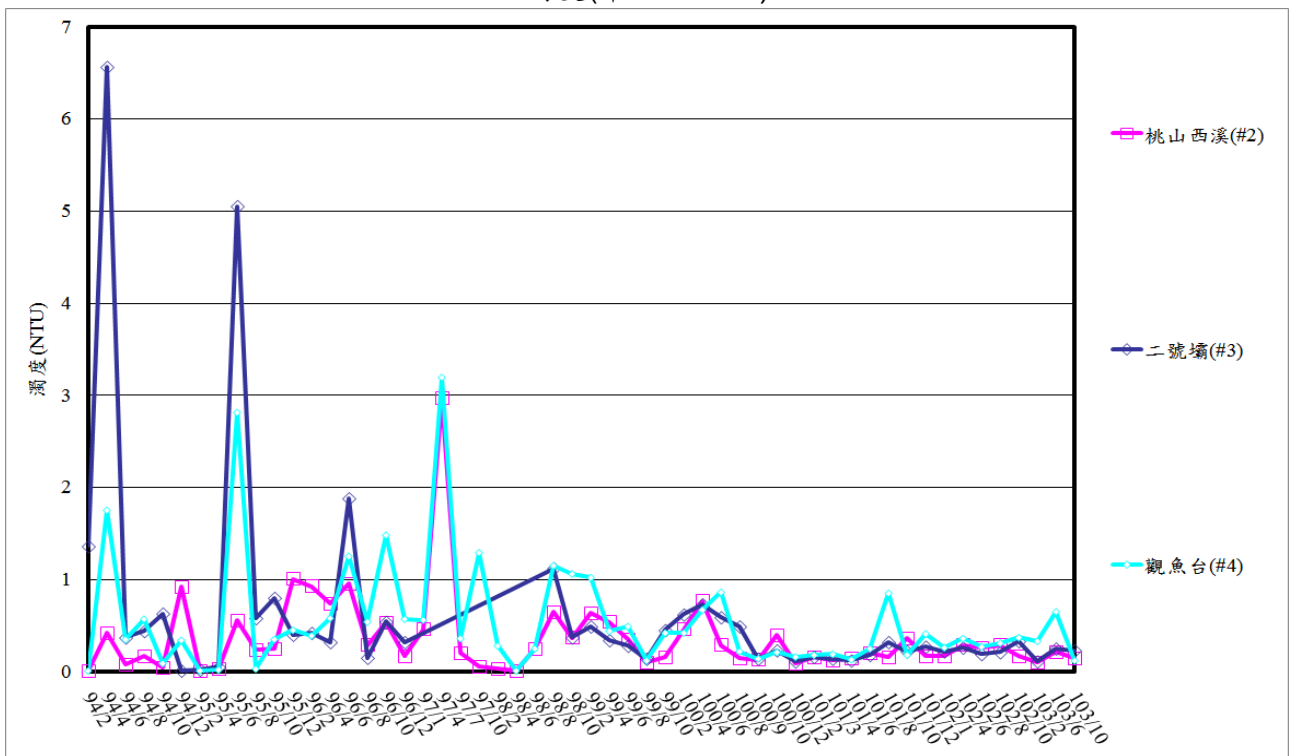


圖 4-48 8.1ha 回收農用地濁度值變化
(資料來源：本研究資料)

SiO₂(單位：mg/L)

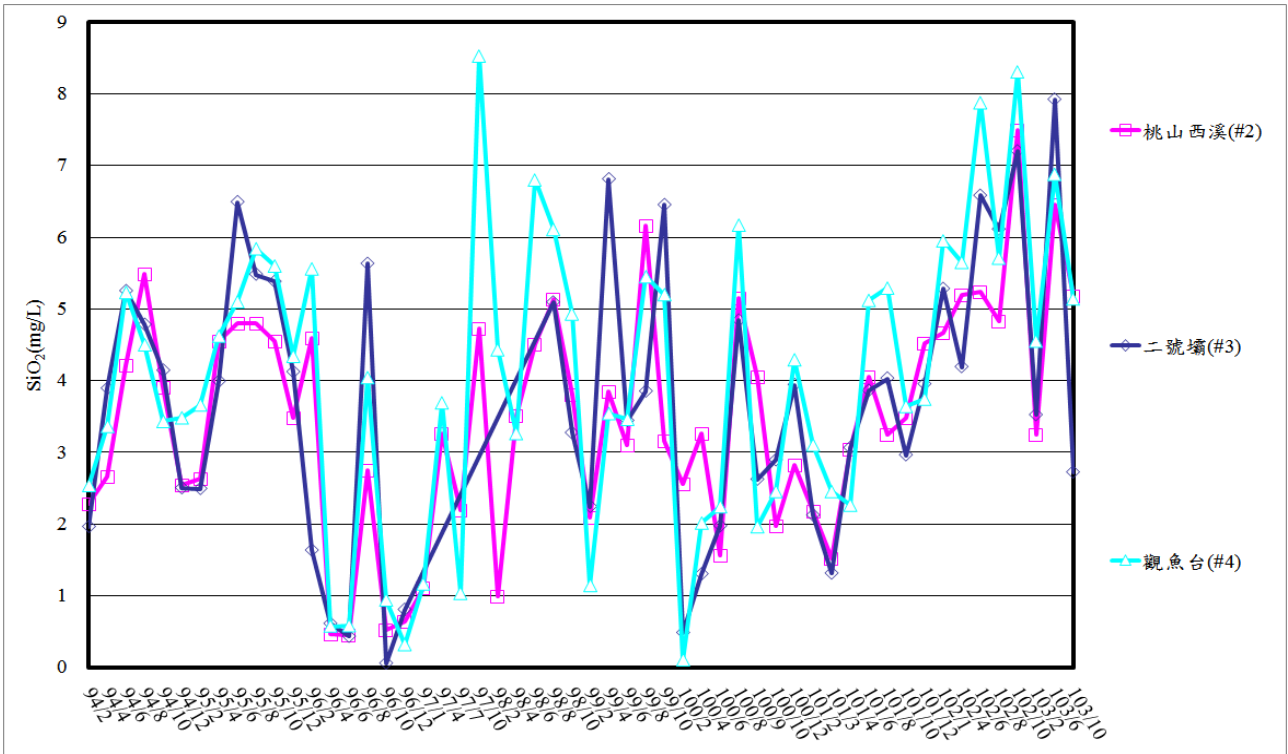


圖 4-49 8.1ha 回收農用地 SiO₂ 值變化
(資料來源：本研究資料)

NO₃⁻-N (單位：mg N/L)

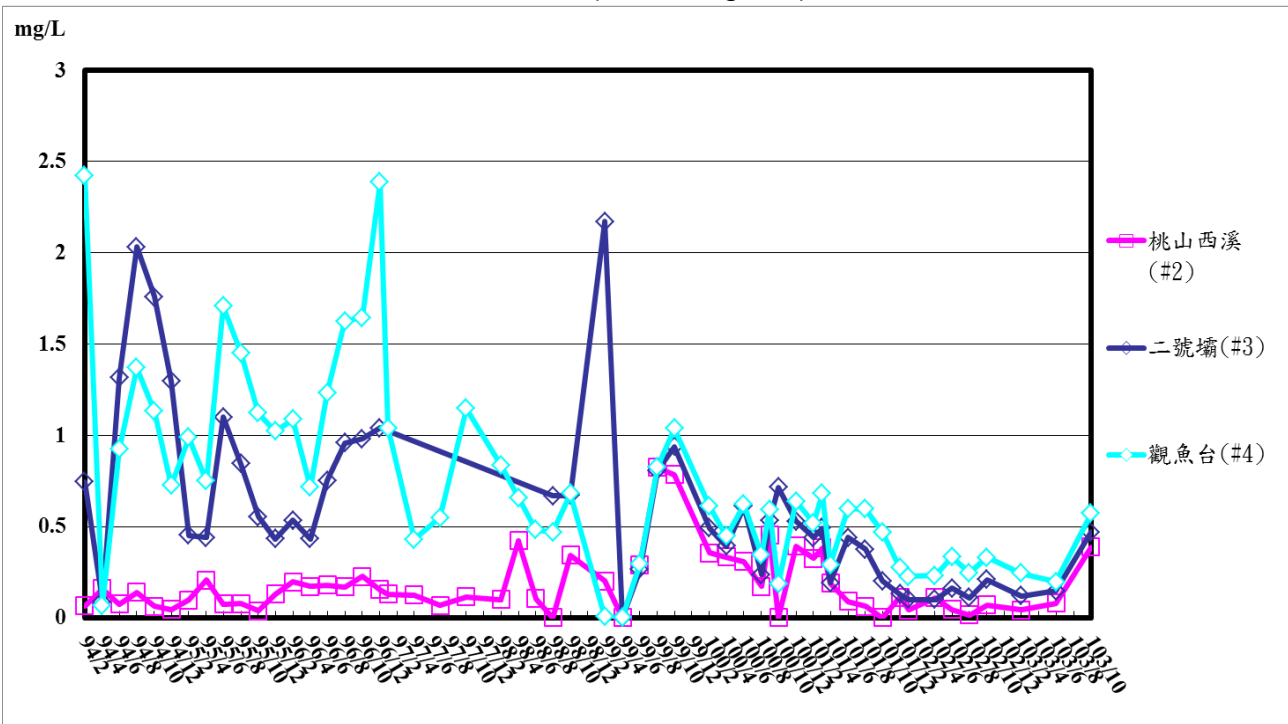


圖 4-50 8.1ha 回收農用地 NO₃⁻-N 值變化
(資料來源：本研究資料)

NO₂⁻-N(單位：μg N/L)

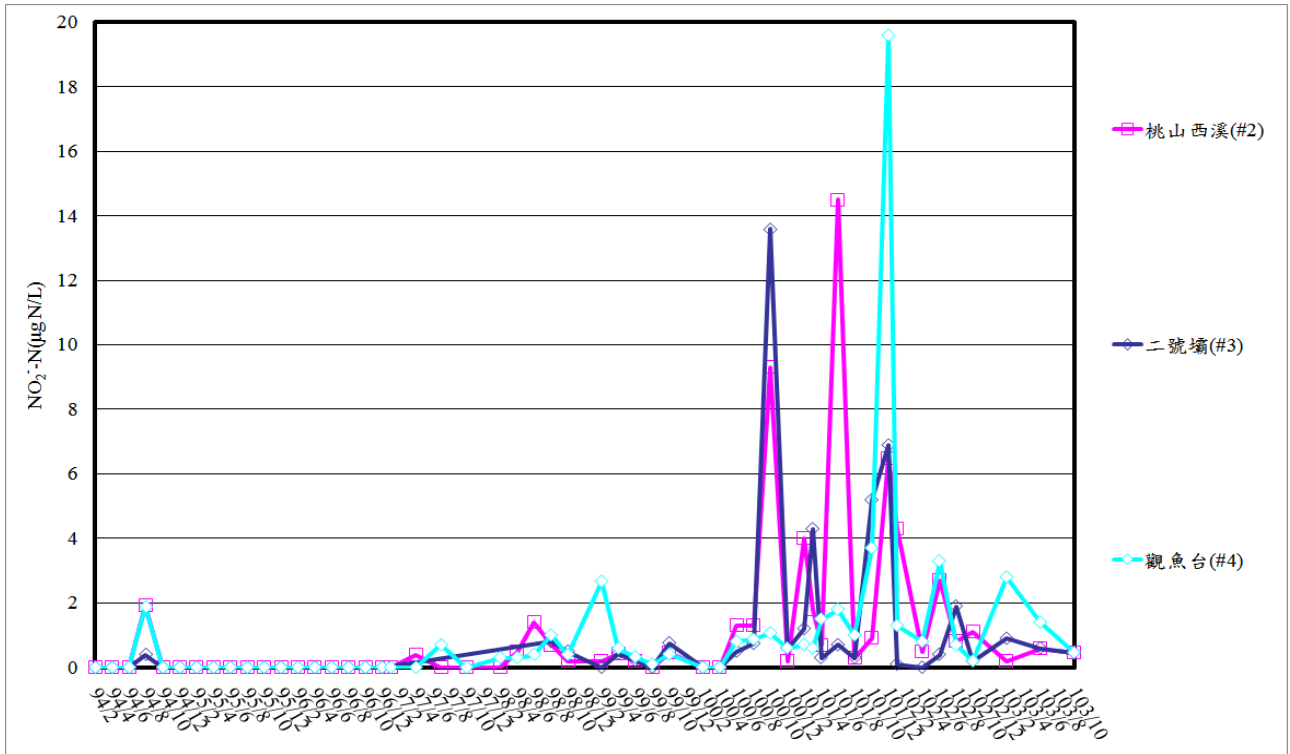


圖 4-51 8.1ha 回收農用地 NO₂⁻-N 值變化
(資料來源：本研究資料)

SO₄²⁻ (單位：mg/L)

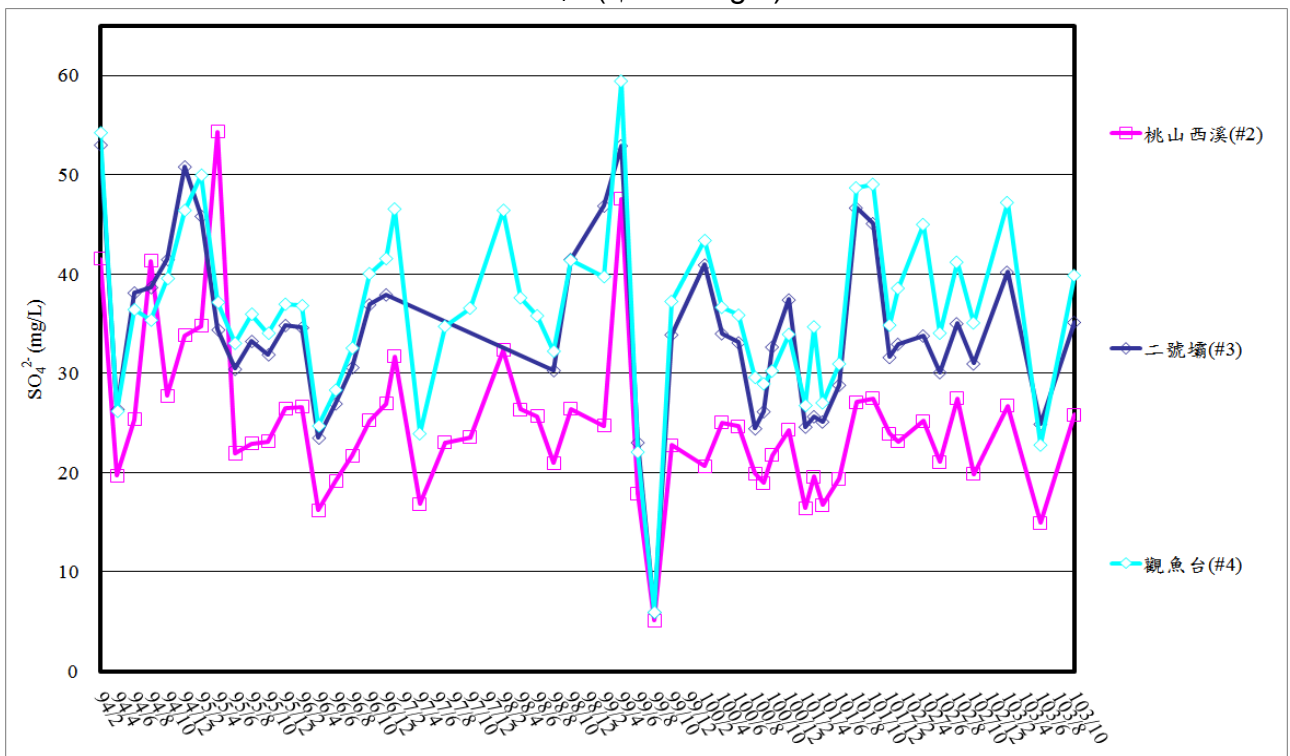


圖 4-52 8.1ha 回收農用地 SO₄²⁻ 值變化
(資料來源：本研究資料)

Cl⁻ (單位：mg/L)

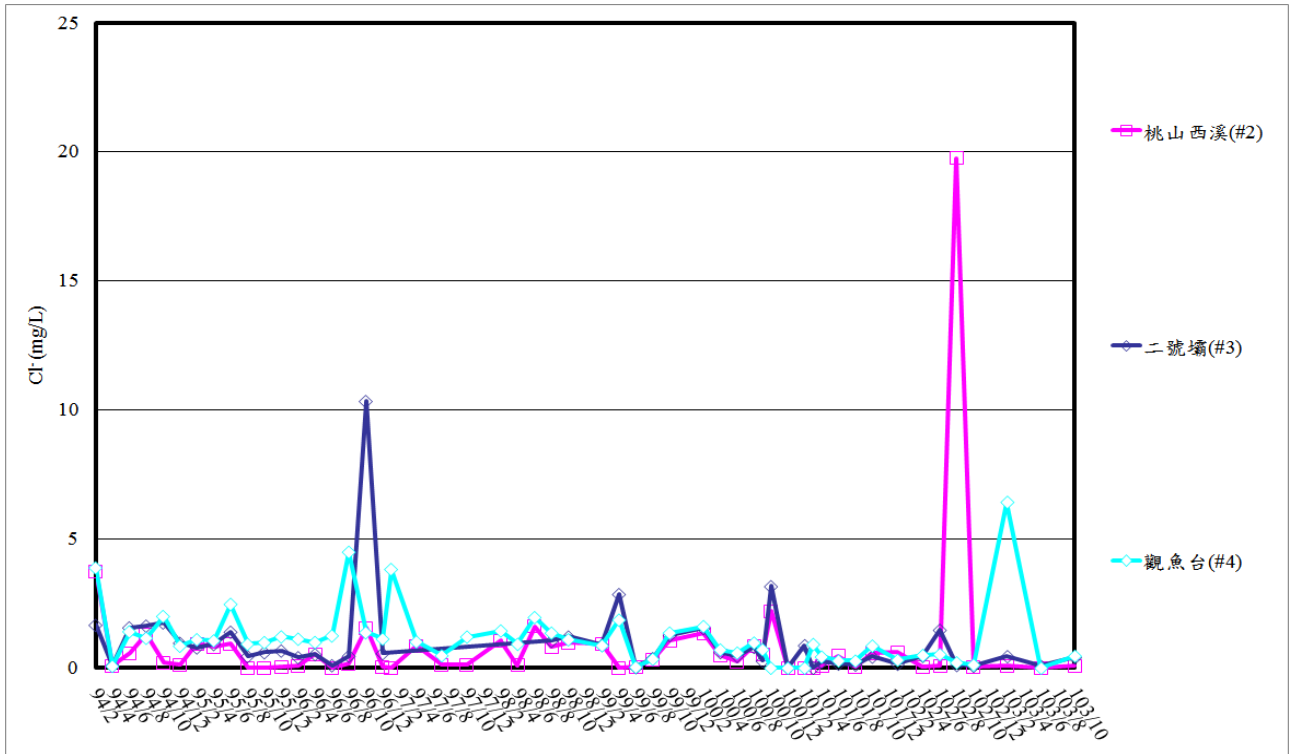


圖 4-53 8.1ha 回收農用地 Cl⁻值變化
(資料來源：本研究資料)

PO₄³⁻ (單位：mg/L)

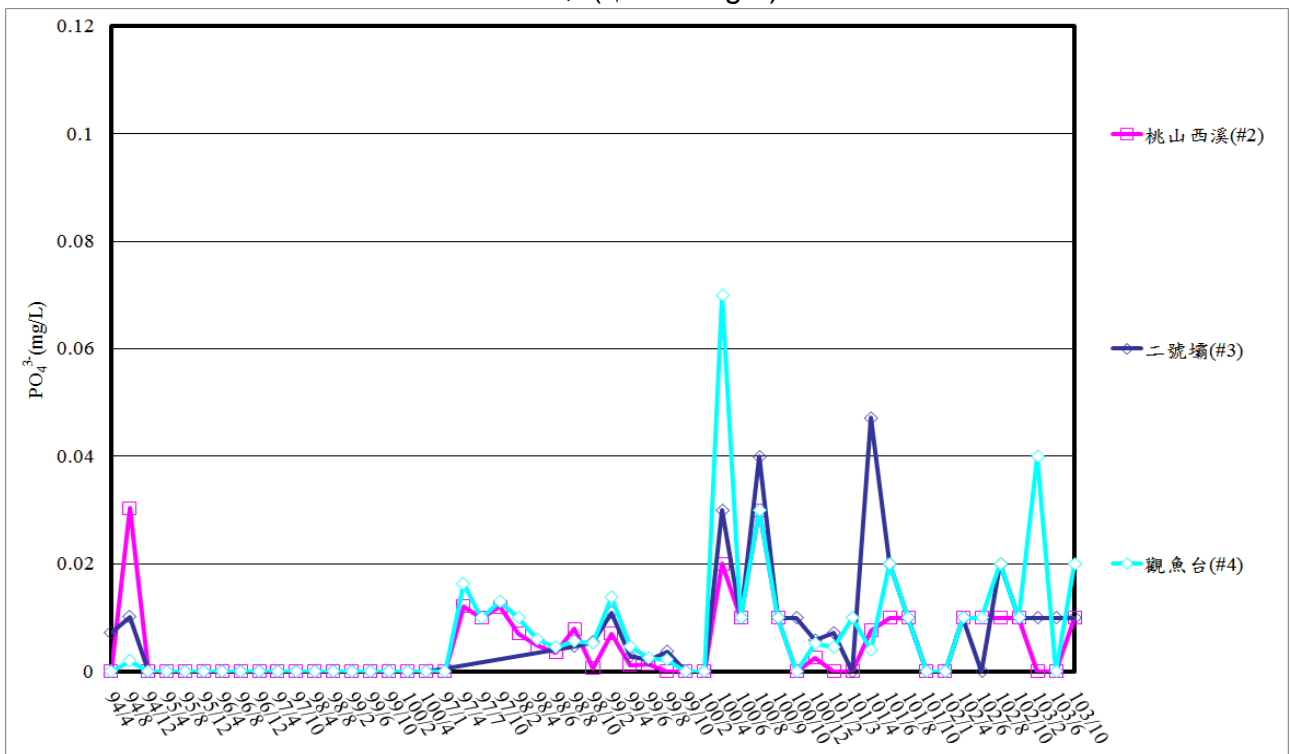


圖 4-54 8.1ha 回收農用地 PO₄³⁻值變化
(資料來源：本研究資料)

NH₄⁺-N (單位：mg N/L)

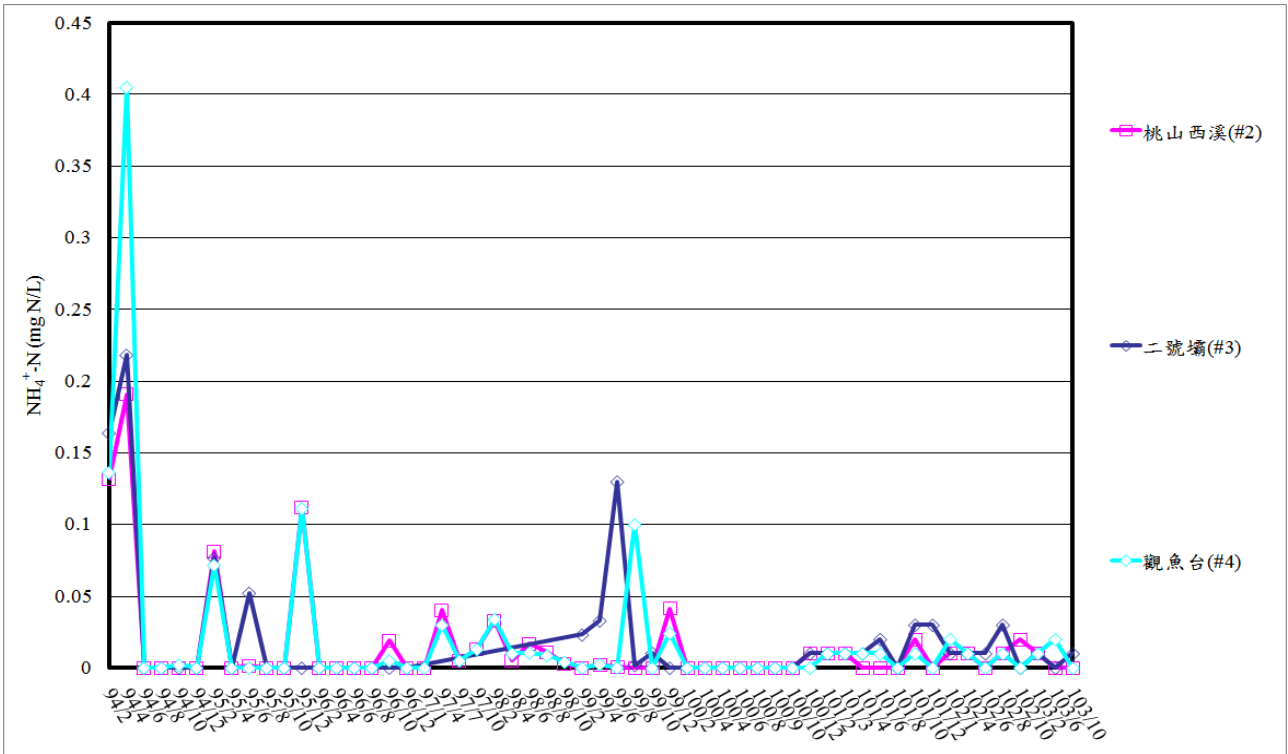


圖 4-55 8.1ha 回收農用地 NH₄⁺-N 值變化
(資料來源：本研究資料)

TOC(單位：mg/L)

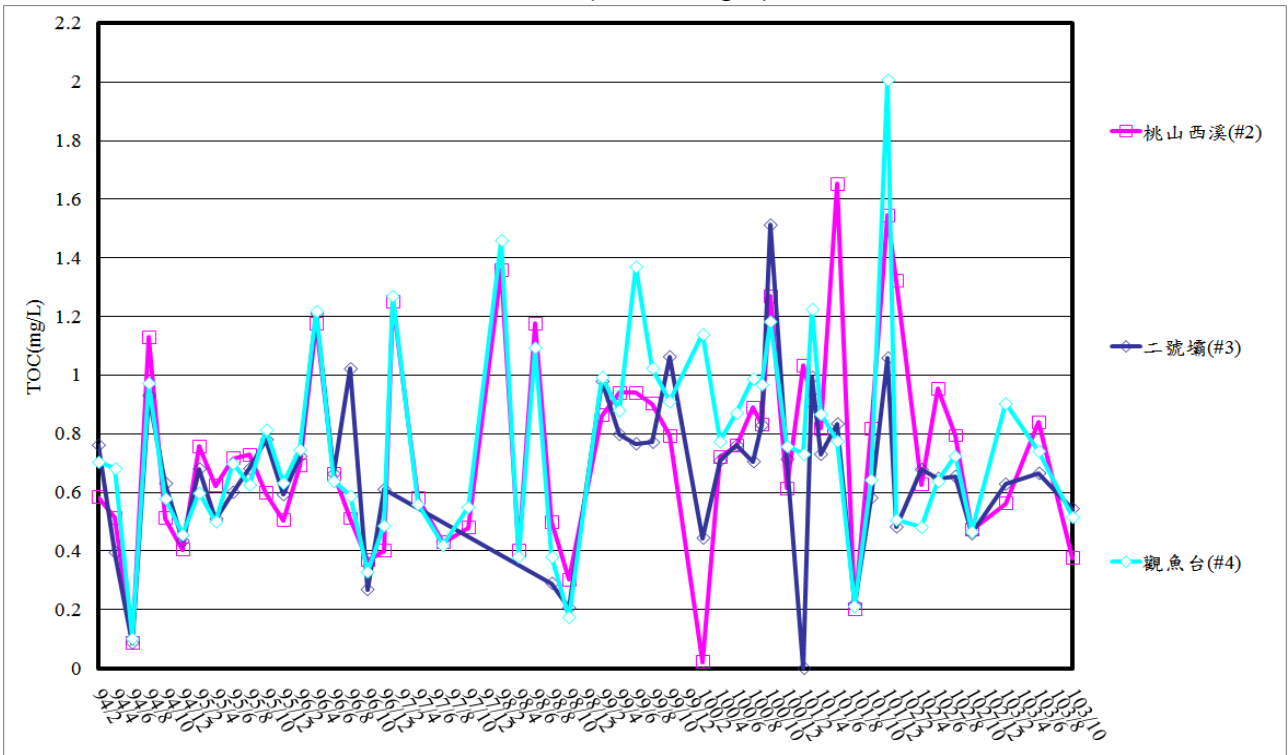


圖 4-56 8.1ha 回收農用地 TOC 值變化
(資料來源：本研究資料)

河川水質採樣通則

一、方法概要

依據河川的特性，選擇適當的採樣器及樣品瓶，以採取具代表性的水樣。

二、適用範圍

本方法適用於河川、湖泊及水庫等水體之水質樣品採集。

三、干擾

- 1) 採樣器材應避免交互污染。
- 2) 避免底泥干擾。

四、設備及材料

- 1) 定位設備：能確定採樣測站之座標，如全球定位系統（GPS）。
- 2) 安全設備：依據採樣地點所需之基本安全設備，如救生衣、救生圈。救生衣及救生圈之材料、結構及標示必須符合經濟部標準檢驗局所訂之國家標準。
- 3) 採水器：PE 不透明 1000ml 塑膠瓶〈需清洗乾淨，清洗方法如下所述〉
- 4) 攜帶式 pH 計：在 25 °C 下，其精密度需可達 0.05 單位，附有溫度補償裝置。
- 5) 攜帶式導電度計：附有溫度補償裝置。
- 6) 攜帶式溶氧計：視需要時使用。
- 7) 樣品容器：聚乙烯（PE）瓶：附蓋，使用前以硝酸（1 + 10）或鹽酸（1ix + 5）浸泡洗淨，以自來水沖洗後再以試劑水淋洗，晾乾後使用。

五、試劑

- 1) 試劑水：去離子水、去離子蒸餾水或二次蒸餾水
- 2) 保存試劑：所有試劑、試藥純度應至少為試藥級。

六、採樣及保存

- 1) 採樣方式：河川之採樣方式基本上分為涉水、艇筏或船隻作業、橋上測定等橫越河川斷面方式，原則如下：

1. 涉水方式：水道水深僅及膝時，以涉水方式採水與測量，涉水方式所採水樣與測量結果應為最正確者。採樣時，當水深過膝時，應穿上救生衣，確保安全。測量動作與水樣採取應在涉水人之上游面施行，且避免大動作之擾動與激起底泥。
 2. 艇筏或船隻作業方式：不能涉水時，應皆以橡皮艇或船隻進行採水與監測作業，水道窄者，可以繩索固定；水道寬者可利用與兩岸成一線之標的固定物，保持艇或筏於一斷面上運動。注意採樣者應在艇或筏之上游面採樣，以避開引擎葉片引起水流、底泥擾動。
 3. 橋上測定方式：當水流湍急，於水面作業有安危之虞時，應改在橋上採集水樣。要注意水樣採集時需在橋之上游端施行，以減低因橋墩阻擋所造成之水流擾動影響。由於橋上之交通流量大，作業人員應特別做好安全措施，注意人員安全。
- 2) 現場採樣：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。

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，以下列七、步驟之方式進行採樣，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。

不同河川深度之採樣原則（如圖一）：

1. 當採樣點水深 < 1.5 公尺時，取 0.6 公尺水深處之水樣。
 2. 當採樣點水深介於 1.5 ~ 3 公尺間時，分別取水面下 0.2、0.8 水深之兩層水，將此兩層水等體積比例混合取樣。
 3. 當採樣點水深 > 3 公尺時，取 0.2、0.6、0.8 水深處之三層水，將此三層水等體積比例混合取樣。
- 3) 樣品採集後，應儘速進行樣品分裝，以避免因延遲分裝而可能影響樣品的特性及其均勻性。供分析揮發性有機物及溶氧之水樣應優先分裝，並注意瓶內不可留有空氣或氣泡。

七、步驟

- 1) 穿著安全裝備後並隨時收聽氣象報導，當遇有豪雨、颱風警報或風浪過大時，應立即停止採樣。在作業時領隊應嚴格要求隊員遵守安全規則及緊急事件連絡的方式。
- 2) 量測並記錄採樣時之天候和採樣位置之水體狀況，包括水色外觀、水深、河面寬度、水流概況、匯流情形、岸邊景觀及可能的污染源等。最好能描繪採樣點位置圖，並檢附現場相片，紀錄特別狀況。
- 3) 如僅採取表面水樣，可使用有柄 PE 燒杯或不銹鋼伸縮式採樣器，若在橋上則使用吊索懸掛塑膠水桶採樣，採樣時應避開水面漂浮物，並於採樣紀錄中說明採樣方式。
- 4) 欲採集深度 1 公尺以上之水樣時，應使用深層採水器，常用的採樣器包括甘末爾採水器及范多恩採水器，操作方式如下：
 1. 展開採水器，確認採水器兩端塞子確在開啟位置、洩氣口及排水口為關閉狀態，檢查採樣器外觀是否有異狀或污染，避免碰觸塞子及採樣器內部。
 2. 採水器取水方向應儘可能與水流方向相反，將採水器緩慢下降至水面下，直到欲採集之深度為止。
 3. 採水器到達採樣深度後，停留約 1 分鐘，待採水器周圍環境平衡後，利用信錘或電子訊號關閉採水器開口。橋上採樣時，應注意信錘吊索與橋身保持最小角度。
 4. 關閉採樣器開口後，取回採水器，再將同一監測站不同深度或左、中、右岸之水樣，依前述六、採樣及保存之原則進行等體積混樣或不混樣（溶氧量測不可混樣），再分裝至樣品容器內。
 5. 樣品採集後，應儘速進行樣品分裝，以避免因延遲分裝而可能影響樣品的特性及其均勻性。供分析揮發性有機物及溶氧之水樣應優先分裝，並注意瓶內不可留有空氣或氣泡。
 6. 分析總金屬的樣品應以試藥級硝酸酸化至 $\text{pH} < 2$ ，溶解性及顆粒態金屬應於 24 小時內儘速過濾，濾液並以試藥級硝酸酸化至 $\text{pH} < 2$ ，分析顆粒態金屬之濾膜則冷藏保存。
 7. 現場量測水溫、pH、溶氧等項目，感潮河段應加測導電度及鹽度，其方法請參考環保署公告之水質檢驗相關方法。

八、運送保存

4 ± 2°C 冷藏，暗處保存。

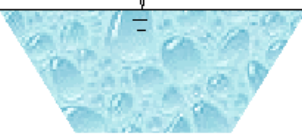
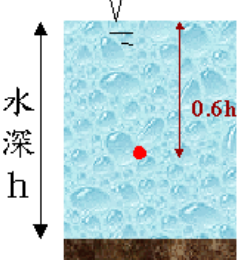
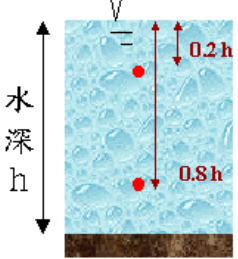
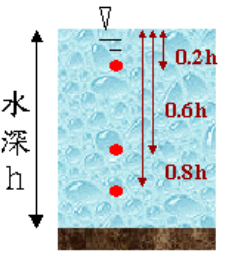
九、結果處理

採樣現場使用防水紙張及筆墨進行採樣記錄，採樣紀錄包括：

1. 採樣人員姓名。
2. 測站編號及樣品編號。
3. 測站位置描述，包括全球定位系統經緯度資料。
4. 取樣深度及採樣方式（單一樣品或混合樣品）。
5. 採樣日期及時間。
6. 其他環境描述及現場檢測結果，包括氣溫、水溫、pH、溶氧、導電度、鹽度等，含各現場量測儀器之校正紀錄。
7. 氣候條件，例如氣溫、晴雨狀況等。

十、參考資料

環境檢驗所河川、湖泊及水庫水質採樣通則，NIEA W104.51C

 <p>左 中 右</p> <p>左，中，右各設置一採樣點，依水深採樣後再進行等體積比例混合取樣</p>	 <p>水深 h</p> <p>$h < 1.5\text{m}$</p> <p>取 $0.6h$ 水深之水樣</p>
 <p>水深 h</p> <p>$1.5\text{m} < h < 3\text{m}$</p> <p>取 $0.2h$ 及 $0.8h$ 水深之水樣等體積混樣</p>	 <p>水深 h</p> <p>$h > 3\text{m}$</p> <p>取 $0.2h$，$0.6h$ 及 $0.8h$ 之水樣等體積混樣</p>
<p>若河寬 $< 6\text{m}$ 時，則僅於河川斷面中央處設置一採樣點，並依水深進行採樣。</p>	

導電度操作步驟

<p>按下開機鍵(在測水樣前需要先進 行校正)</p>	 A photograph of a handheld digital meter. A yellow arrow points from the text on the left to the power button (a blue button with a power symbol) on the device's keypad.
<p>按數字鍵 6 切換至檢測 mV(導電 度)的畫面</p>	 A photograph of the same handheld digital meter. A yellow arrow points from the text on the left to the '6' key on the keypad, which is labeled 'pH mV'.

<p>按下 CAL 鍵，進入校正畫面</p>	
<p>取出 METER，用 DIW 沖洗，並用試鏡紙擦拭乾淨</p>	<p>先將 METER 放入校正液體中，然後輸入校正液的導電度按下 ENTER，(等儀器發出一聲嗶即可)</p>
<p>取出 METER，用 DIW 沖洗，並用試鏡紙擦拭乾淨</p>	<p>校正完畢後，就可以測採到的水樣</p>
<p>在測水樣前，必須先用採來的水沖洗潤濕 METER(避免讀值的誤差)</p>	<p>將 METER 放入水樣中，然後按下 ENTER，並攪拌(等儀器發出一聲嗶即可)</p>
<p>取出 METER，用 DIW 沖洗，並用試鏡紙擦拭乾淨</p>	<p>接著重複步驟 8、9、10，進行水樣的檢測。</p>

結果表示：導電度= _____ mho/cm

pH 操作步驟

按下開機鍵(在測水樣前需要先進行校正)



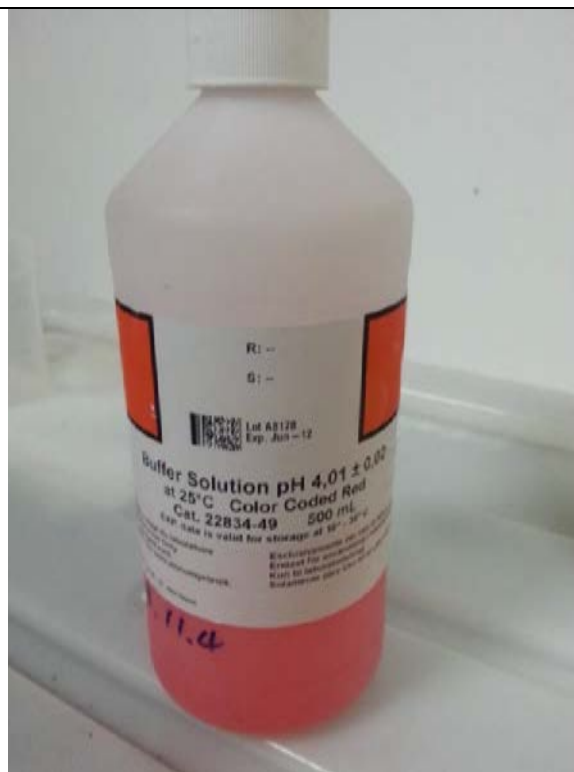
按數字鍵6 切換至檢測 pH 的畫面



按下 CAL 鍵，進入校正畫面
取出 METER，用 DIW 沖洗，並
用試鏡紙擦拭乾淨




先將 METER 放入 pH4 的校正液
體中，然後按下 ENTER，並攪拌
(等儀器發出一聲嗶即可)
取出 METER，用 DIW 沖洗，並
用試鏡紙擦拭乾淨



<p>將 METER 放入 pH7 的校正液體中，然後按下 ENTER，並攪拌(等儀器發出一聲嗶即可)</p>	
<p>取出 METER，用 DIW 沖洗，並用試鏡紙擦拭乾淨</p>	<p>將 METER 放入 pH11 的校正液體中，然後按下 ENTER，並攪拌(等儀器發出一聲嗶即可)</p>
<p>取出 METER，用 DIW 沖洗，並用試鏡紙擦拭乾淨</p>	<p>校正完畢後，就可以測採到的水樣</p>
<p>在測水樣前，必須先用採來的水沖洗潤濕 METER(避免讀值的誤差)</p>	<p>將 METER 放入水樣中，然後按下 ENTER，並攪拌(等儀器發出一聲嗶即可)</p>
<p>取出 METER，用 DIW 沖洗，並用試鏡紙擦拭乾淨</p>	<p>接著重複步驟 12、13、14，進行水樣的檢測。</p>

結果表示：pH=_____。

水中溶氧操作步驟

<p>按下開機鍵(在測水樣前需要先進行校正)</p>	
<p>按數字鍵5 切換至檢測 DO(氧化還原電位)的畫面</p>	

<p>按下 CAL 鍵，進入校正畫面</p>	
<p>取出 METER，用 DIW 沖洗，並用試鏡紙擦拭乾淨</p>	<p>先將 METER 的蓋子頭打開，將校正液滴入蓋上蓋子，然後按下 ENTER(等儀器發出一聲嗶即可)</p>
<p>校正完畢後，就可以測採到的水樣</p>	<p>取出 METER，用 DIW 沖洗，並用試鏡紙擦拭乾淨</p>
<p>在測水樣前，必須先用採來的水沖洗潤濕 METER(避免讀值的誤差)</p>	<p>將 METER 放入水樣中，然後按下 ENTER，並攪拌(等儀器發出一聲嗶即可)</p>
<p>取出 METER，用 DIW 沖洗，並用試鏡紙擦拭乾淨</p>	<p>接著重複步驟 8、9、10，進行水樣的檢測。</p>

結果表示：溶氧= _____ mg/L

附件五

2014 年度「七家灣溪、高山溪鮭魚族群及棲地監測」 教育訓練第一梯次報名表(8月1日)

姓 名	職 稱	連絡電話(略)	備 註
林哲宇	技 士		(葷)
王榮光	技 工		(葷)
廖林彥	主任		
高健翔	保育巡查員		
賴輝星	保育巡查員		
陳中華	保育巡查員		
邱美玉	保育志工		5期(葷)
林克雄	保育志工		(葷)
莊玉梅	解說志工		(葷)
施宏明	保育志工		(葷)
蔡美燕	解說志工		(葷)

2014 年度「七家灣溪、高山溪鮭魚族群及棲地監測」
教育訓練雪霸同仁第二梯次報名表(9月3日)

姓 名	職 稱	連絡電話(略)	備 註
李秋芳	處 長		葷
廖林彥	主 任		葷
林哲宇	技 士		葷
潘振彰	技 士		葷
謝朝旭	技 工		葷
高健翔	保育巡查員		葷
賴輝星	保育巡查員		葷
陳中華	保育巡查員		葷

2014 年度「七家灣溪、高山溪鮭魚族群及棲地監測」
教育訓練雪霸志工第二梯次報名表(9月3日)

姓 名	職 稱	連絡電話(略)	備 註
郭鳳嬌	解說志工		葷
張宏哲	解說志工		葷
楊瓊珠	解說志工		葷
吳杰峰	保育志工		葷
陳清雄	保育志工		葷
楊金定	保育志工		葷
谷達智	解說志工		葷
張子文	保育志工		葷
邱美玉	保育志工		葷
洪上超	解說志工		葷
張瑋達	保育志工		葷

2014 年度辦理「七家灣溪、高山溪鮭魚族群監測」教育訓練日程表

依據：2014 年度合約書(委託研究計畫服務建議書第五、陸點)規定辦理

第一梯次				
日期	時間	地點	項目	備註
08、01	09：00～12：00	七家灣溪	水棲昆蟲採樣方法	
08、01	14：00～17：00	七家灣溪	水質採樣方法	
08、02	09：00～17：00	七家灣溪	鮭魚族群數量調查方法	
第二梯次				
日期	時間	地點	項目	備註
09、03	09：00～10：30	七家灣溪	水棲昆蟲採樣方法	
09、03	10：30～12：00	七家灣溪	水質採樣方法	
09、03	13：00～17：00	七家灣溪	鮭魚族群數量調查方法	

2014 年度辦理「七家灣溪、高山溪鮭魚族群監測」教育訓練課程表

依據：2014 年度合約書(委託研究計畫服務建議書第五、陸點)規定辦理

第二梯次				
日期	時間	地點	項目	備註
09、03	09：00~10：30	武陵管理站 七家灣溪	水棲昆蟲採樣方法： 1.簡單介紹武陵地區(七家灣溪、高山溪、有勝溪、司界蘭溪)溪流常見水蟲種類(含季節性變化)。 2.水蟲與鮭魚、水質及環境之關聯。 3.水蟲採樣方法、簡易判斷種類及保存分析等。	
09、03	10：30~12：00	武陵管理站 七家灣溪	水質採樣方法： 1.各測定項目之原理及意義(簡單說明)、現場測定項目、實驗室分析項目。 2.簡單介紹武陵地區(七家灣溪、高山溪、有勝溪、司界蘭溪)各溪流水質狀況(含季節性變化)、營養鹽、物理性質。 3.機器簡易校正及判斷是否故障(示範操作)。 4.採樣區域說明、水樣保存等。	
09、03	13：00~17：00	武陵管理站 七家灣溪	鮭魚族群數量調查方法： 1.鮭魚生態介紹(生活史、族群、棲息地)。 2.溪流棲地類型介紹。 3.調查方法及技術(判別大小、種類、計數)等。	

註：1.欲參加者請向(保育研究課 037-996100 轉 702 鍾雲喜)報名；報名截止日：自即日起至 7 月 29 日止，逾期即不受理。

2.本次訓練須進行潛水調查訓練因水溫過低，請欲參加人員考量自身體能狀況以免失溫，本處為顧及安全，將對報名參加之志工，進行體能評估，錄取人員將另行電話通知。

3.志工已安排住宿；但早、晚餐伙食須自理。

附件六

「七家灣溪及高山溪鮭魚族群及棲地監測」期末審查會議

會議紀錄

壹、開會時間：103 年 12 月 12 日（星期五）下午 14 時 30 分

貳、開會地點：雪霸國家公園管理處第 1 會議室

參、主持人：鍾銘山副處長
記錄：鍾雲喜

肆、受託單位：清華大學生物資訊與結構生物研究所 曾晴賢教授、中興大學昆蟲學系 郭美華教授、明志科技大學環境與安全衛生工程系暨環境與資源工程研究所 官文惠教授

伍、出席委員及本處人員：

臺灣大學昆蟲系 吳文哲教授

鄭瑞昌秘書、劉金龍課長、徐志彥課長、于淑芬課長、許景祺技士、林哲宇技士

陸、討論：

（一）吳文哲老師：

1. 期末報告撰寫相當完整，並與往年資料做相關性比較分析，包括立即可行及長期性之建議，可提供管理處規劃保育施政工作項目及管理決策之參考。
2. 由水質監測及水生昆蟲調查資料顯示，回收農地政策具成效，但也指出農耕及人為活動密集地段的水質仍需改善，這些具體結果可提供相關管轄單位參考採行，必要時發佈新聞稿。
3. 針對未來研究的具體建議請管理處考量，如指定指標物種，設定固定樣站，每年在模式河段進行普查及每隔 3-5 年的全河段普查。
4. 水生昆蟲請建立存證標本，以供未來鑑定到種的地位。也請補充中、大型水生昆蟲種類體長範圍及鮭魚對水生昆蟲的偏好性等資料。
5. 颱風帶來的洪流及壩體改善後的環境變化為影響水生昆蟲消長及水質的重要因子，

當這些擾動因子不再發生，則經過一段時間後又恢復較為穩定狀態。此現象仍需持續監測並加以驗證其規律性。

6. 英文摘要中，在不同段落有關鮭魚及溪流的俗名，請各計畫加以統一。

(二) 鍾銘山副處長：

1. 拆壩後臺灣鏟頰魚不斷的往上游移動且族群有增加趨勢，是否會對台灣櫻花鉤吻鮭的棲息地或食物產生競爭的問題？請補充說明，並提供建議事項，供本處保育經營管理之參考。

(三) 于淑芬課長：

1. 第 84 頁圖 3-3 之有關中、大型昆蟲食餌歷年來數量變化是否有規律性？請加以分析是何種因素造成變化。
2. 第 105 頁第二段山溝及排水溝之水質監測數據只有圖示請將測定結果列表；另測站濃度值是否有誤？請加以修正說明。

柒、決議：

- (一) 本次期末簡報審查原則同意通過，請受託單位依據上述委員及本處同仁提出之建議，於成果報告時補充修正。
- (二) 請受託單位提交成果資料函送本處驗收後撥付尾款並辦理結案。

捌、散會：下午（15 時 35 分）。