

武陵地區溪流生態系及七家灣溪一號防砂壩壩體
改善後研究

雪霸國家公園管理處委託研究報告

中華民國一百零二年十二月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

PG10201-0260

武陵地區溪流生態系及七家灣溪一號防砂壩壩體 改善後研究

成果報告

受委託者：國立中興大學

研究主持人：林幸助

協同主持人：王筱雯、官文惠、邵廣昭、郭美華、曾晴賢、葉昭

憲（按姓氏筆劃排列）

執行單位：國立中興大學生命科學系

雪霸國家公園管理處委託研究報告

中華民國一百零二年十二月

（本報告內容及建議，純屬研究團隊意見，不代表本機關意見）

目次

表次	VIII
圖次	XI
研究計畫分工項目	XX
第一章 資料整合	
中文摘要	1-1
英文摘要	1-13
一、前言	1-17
(一)計畫緣由	1-17
(二)七家灣溪一號防砂壩壩體改善工程	1-20
(三)計畫目標	1-25
二、材料與方法	1-27
(一)研究測站	1-27
(二)採樣頻度	1-27
(三)各計畫採樣方法	1-29
三、成果	1-32
(一)各子計畫成果	1-32
(二)其他研究團隊之義務協助相關成果	1-40
(三)整合成果	1-43
四、結論與建議	1-51
(一)結論	1-51
(二)建議	1-54
五、參考文獻	1-58
表	1-65
圖	1-67
第二章 藻類研究	
中文摘要	2-1
英文摘要	2-4

目次

一、前言	2-7
二、材料與方法	2-9
(一) 採集時間與測站	2-9
(二) 石附生藻類監測	2-10
(三) 有機碎屑收集	2-12
三、結果	2-14
(一) 歷年石附生藻生物量時空變化	2-14
(二) 粗顆粒有機物與底層細顆粒有機物	2-15
(三) 水中總傳輸物質	2-16
(四) 拆壩密集監測測站之石附生藻類的時空變化	2-17
四、討論	2-20
五、結論與建議	2-26
(一) 結論	2-26
(二) 建議	2-27
六、參考文獻	2-28
圖	2-33

第三章 物理棲地與水文泥砂研究

中文摘要	3-1
英文摘要	3-5
一、前言	3-6
(一) 計畫範圍與執行期間	3-6
(二) 計畫流程及方法	3-7
二、材料與方法	3-8
(一) 河道地形變化趨勢	3-8
(二) 物理棲地組成	3-8
(三) 水文監測	3-8
(四) 現地監測調查	3-9
三、結果	3-12
(一) 高山溪河道變化調查	3-12

(二)七家灣溪河道斷面調查.....	3-13
(三)高山溪及七家灣溪物理棲地分析.....	3-13
(四)七家灣溪生態共同採樣區分析.....	3-14
(五)水位監測結果.....	3-15
(六)穿越線水深流速.....	3-16
(七)土方量計算.....	3-16
四、泥砂運移行為解析與討論.....	3-18
五、結論與建議.....	3-20
(一) 結論.....	3-20
(二) 建議.....	3-20
六、參考文獻.....	3-23
表.....	3-27
圖.....	3-38

第四章 水質研究

中文摘要.....	4-1
英文摘要.....	4-4
一、前言.....	4-5
(一) 研究緣起.....	4-5
(二) 研究目的.....	4-5
(三) 文獻回顧.....	4-5
二、材料與方法.....	4-11
(一) 採樣地點介紹.....	4-11
(二) 水質分析方法.....	4-12
三、結果.....	4-15
四、討論.....	4-16
(一) 七家灣溪流例行性水質監測.....	4-16
(二) 一號壩壩體改善密集監測.....	4-19
(三) 山溝及排水溝之水質監測.....	4-20
(四) 8.1 公頃回收農用地之水質監測.....	4-21

目次

五、結論與建議.....	4-23
(一) 結論.....	4-23
(二) 建議.....	4-24
六、參考文獻.....	4-25
表.....	4-27
圖.....	4-39

第五章 水棲昆蟲研究

中文摘要.....	5-1
英文摘要.....	5-4
一、前言.....	5-6
二、材料與方法.....	5-11
三、結果.....	5-13
(一) 物種數及個體數.....	5-13
(二) 多樣性.....	5-14
(三) 棲地評比.....	5-15
(四) 群聚結構.....	5-15
(五) 司界蘭溪.....	5-16
(六) 一號壩壩體改善部分拆除工程的影響.....	5-16
四、討論.....	5-19
(一) 物種數及個體數.....	5-19
(二) 多樣性.....	5-20
(三) 棲地評比.....	5-20
(四) 農地回收政策已具有成效.....	5-21
(五) 司界蘭溪.....	5-21
(六) 一號壩壩體改善部分拆除工程的影響.....	5-22
五、結論與建議.....	5-24
(一) 結論.....	5-24
(二) 建議.....	5-25
六、參考文獻.....	5-27

表	5-30
圖	5-34
第六章 臺灣櫻花鉤吻鮭族群監測與動態分析	
中文摘要	6-1
英文	6-6
一、前言	6-9
二、材料與方法	6-13
三、調查結果	6-15
(一) 生態模式建立共同樣區的調查結果	6-15
(二) 七家灣溪一號壩壩體改善前後之魚類監測結果	6-21
(三) 臺灣櫻花鉤吻鮭普查族群數量與分布	6-25
四、討論	6-27
(一) 臺灣櫻花鉤吻鮭歷年族群結構變化	6-27
(二) 七家灣溪一號壩壩體改善與魚類監測結果	6-29
(三) 氣候變遷對臺灣櫻花鉤吻鮭族群的影響探討	6-30
五、結論與建議	6-32
(一) 結論	6-32
(二) 建議	6-34
六、參考文獻	6-37
表	6-41
圖	6-47
第七章 生態資料庫建構	
中文摘要	7-1
英文摘要	7-3
一、前言	7-4
二、材料及方法	7-5
三、結果	7-6
四、討論與結論	7-8

目次

五、研究成果與建議.....	7-8
圖	7-9
附錄一 期中簡報會議紀錄	
附錄二 期末簡報會議紀錄	

表次

表 1-1 觀魚台測站生態模式參數輸出	1-65
表 1-2 繁殖場測站生態模式參數輸出	1-66
表 3-1 高山溪三號壩上游床面平均坡降表	3-27
表 3-2 高山溪二號壩上游床面平均坡降表	3-27
表 3-3 高山溪一號壩上游床面平均坡降表	3-27
表 3-4 高山溪一號壩下游床面平均坡降表	3-27
表 3-5 觀魚臺測站床面平均坡度表	3-27
表 3-6 七家灣溪一號壩上游平均坡降表	3-27
表 3-7 七家灣溪一號壩下游平均坡降表	3-27
表 3-8 新繁殖場測站床面平均坡度表	3-27
表 3-9 棲地底質分類表	3-28
表 3-10 2013 年 1 月高山溪各河段底質環境類型分佈	3-28
表 3-11 2013 年 6 月高山溪各河段底質環境類型分佈	3-28
表 3-12 2013 年 9 月高山溪各河段底質環境類型分佈	3-28
表 3-13 觀魚臺測站底質環境類型分佈	3-29
表 3-14 七家灣溪一號壩上游底質環境類型分佈	3-29
表 3-15 七家灣溪一號壩下游底質環境類型分佈	3-29
表 3-16 新繁殖場測站底質環境類型分佈	3-29
表 3-17 棲地環境類型分析	3-29
表 3-18 2013 年 1 月高山溪棲地環境類型分佈	3-30
表 3-19 2013 年 6 月高山溪棲地環境類型分佈	3-30
表 3-20 2013 年 9 月高山溪棲地環境類型分佈	3-30
表 3-21 觀魚臺測站棲地環境類型分佈	3-30
表 3-22 七家灣溪一號壩上游棲地環境類型分析	3-31
表 3-23 七家灣溪一號壩下游棲地環境類型分析	3-31
表 3-24 新繁殖場測站棲地環境類型分析	3-31
表 3-25 桃山北溪測站平均坡度表	3-31

表 3-26 桃山北溪測站底質環境類型分佈	3-31
表 3-27 桃山北溪測站棲地環境類型分佈	3-32
表 3-28 桃山西溪測站平均坡度表	3-32
表 3-29 桃山西溪測站底質環境類型分佈	3-32
表 3-30 桃山西溪測站棲地環境類型分佈	3-32
表 3-31 萬壽橋測站平均坡度表	3-32
表 3-32 萬壽橋測站底質環境類型分佈.....	3-32
表 3-33 萬壽橋測站棲地環境類型分佈.....	3-33
表 3-34 迎賓橋測站平均坡度表	3-33
表 3-35 迎賓橋測站底質環境類型分佈.....	3-33
表 3-36 迎賓橋測站棲地環境類型分佈.....	3-33
表 3-37 有勝溪測站平均坡度表	3-33
表 3-38 有勝溪測站底質環境類型分佈.....	3-34
表 3-39 有勝溪測站棲地環境類型分佈.....	3-34
表 3-40 司界蘭溪上游測站平均坡度表.....	3-34
表 3-41 司界蘭溪上游測站底質環境類型分佈.....	3-34
表 3-42 司界蘭溪上游測站棲地環境類型分佈.....	3-34
表 3-43 司界蘭溪下游測站平均坡度表.....	3-34
表 3-44 司界蘭溪下游測站底質環境類型分佈.....	3-35
表 3-45 司界蘭溪下游測站棲地環境類型分佈.....	3-35
表 3-46 穿越線量測結果	3-36
表 3-47 各事件最高水位值	3-37
表 3-48 上游侵蝕土方量計算.....	3-37
表 4-1 採樣地點地理座標	4-27
表 4-2 水體樣品保存.....	4-27
表 4-3 地面水體分類及水質標準.....	4-28
表 4-4 歐盟訂定之鮭鯉魚水體標準	4-28
表 4-5 101 年 12 月溶解態分析數據.....	4-29
表 4-6 102 年 01 月溶解態分析數據.....	4-30
表 4-7 102 年 02 月 06 日溶解態分析數據.....	4-31

表次

表 4-8 102 年 02 月 10 日溶解態分析數據.....	4-32
表 4-9 102 年 02 月 13 日溶解態分析數據.....	4-33
表 4-10 102 年 02 月 17 日溶解態分析數據.....	4-34
表 4-11 102 年 04 月溶解態分析數據.....	4-35
表 4-12 102 年 06 月溶解態分析數據.....	4-36
表 4-13 102 年 08 月溶解態分析數據.....	4-37
表 4-14 102 年 10 月溶解態分析數據.....	4-38
表 5-1 武陵地區於 2013 年之水棲昆蟲資源組成及總個體數.....	5-30
表 5-2 司界蘭溪於 2013 年 2 月之水棲昆蟲資源組成及個體數.....	5-32
表 6-1 2013 年武陵地區固定樣點魚類組成相調查結果.....	6-41
表 6-2 2012 年武陵地區七家灣溪一號壩壩體改善後魚類密集監測調查結果	6-42
表 6-3 2011~2012 年武陵地區七家灣溪一號壩壩體改善後魚類密集監測魚類總量	6-43
表 6-4 2009 年 2 月至 2012 年 10 月七家灣溪一號壩工程改善臺灣櫻花鉤吻鮭密集監測 樣點調查結果.....	6-44
表 6-5 2009 年 2 月至 2012 年 10 月七家灣溪一號壩工程改善台灣鱧領魚密集監測樣點 調查結果.....	6-45
表 6-6 武陵地區 2012 年與 2013 年夏秋兩季臺灣櫻花鉤吻鮭普查結果.....	6-46

圖次

圖 1-1	本計畫之研究範圍為雪霸國家公園東邊之武陵地區	1-67
圖 1-2	拆壩後溪流生態系所預測的時空動態變化圖	1-68
圖 1-3	拆壩前、後主要物理棲地以及濱岸植群的改變	1-68
圖 1-4	濱岸水陸域交界帶能量流傳輸模式概念圖	1-69
圖 1-5	雪霸國家公園武陵地區各溪流相對位置圖	1-70
圖 1-6	武陵地區溪流各測站相對位置圖	1-71
圖 1-7	七家灣溪一號壩(A)拆壩後一年以及(B)拆壩後兩年，觀魚台測站食物網 能流圖	1-72
圖 1-8	七家灣溪一號壩(A)拆壩後一年以及(B)拆壩後兩年，繁殖場測站食物網 能流圖	1-73
圖 1-9	觀魚台測站 Lindeman spine 圖	1-74
圖 1-10	繁殖場測站 Lindeman spine 圖	1-75
圖 1-11	觀魚台測站之綜合營養衝擊	1-76
圖 1-12	繁殖場測站之綜合營養衝擊	1-77
圖 1-13	觀魚台測站關鍵物種	1-78
圖 1-14	繁殖場測站關鍵物種	1-79
圖 1-15	七家灣溪各項生物及環境參數的基礎線、族群恢復時間以及監測的指 標項目	1-80
圖 1-16	七家灣溪主流各測站不同採樣月份潭棲地所佔比例	1-81
圖 1-17	推測鮭魚減少可能機制	1-82
圖 2-1	本計畫之研究範圍為雪霸國家公園東邊的武陵地區	2-33
圖 2-2	共同樣站相對位置圖	2-34
圖 2-3	2003 年二月至 2013 年十月，七家灣溪主流(測站#3、#4、#5)與支流(測 站#2、#3、#9)之歷年瀨區石附生藻類生物量與月累積雨量曲線圖 ..	2-35
圖 2-4	2004 年至 2012 年間，每月累積降雨量(mm)	2-36
圖 2-5	2006 年六月至 2013 年一月間，司界蘭溪瀨區石附生藻類生物量曲線圖	2-37
圖 2-6	七家灣溪重點拆壩測站(#4、#12、#13、#5)水中粗顆粒有機物(coarse	

particulate organic matter ; CPOM)傳輸量	2-38
圖 2-7 七家灣溪重點拆壩測站(#4、#12、#13、#5)底層蓄存細顆粒有機物	2-39
圖 2-8 七家灣溪重點拆壩測站(#4、#12、#13、#5) A. 總懸浮物質以及 B.無灰乾重	2-40
圖 2-9 水體總懸浮物質(TSM)中有機物比例	2-41
圖 2-10 一號防砂壩改善前後密集監測測站：觀魚台(#4)、一號壩上游(#12)與下游(#13)、繁殖場(#5)之歷年瀨區石附生藻類生物量圖曲線圖	2-42
圖 2-11 2009~2013 年，拆壩重點四測站之石附生藻類單位葉綠素 a 生物量之主距離法(PCO)空間排序圖	2-43
圖 2-12 2009~2013 年間，七家灣溪一號防砂壩壩體改善重點測站之藻類葉綠素 a 生物量歸群圖	2-44
圖 2-13 2009~2013 年間，七家灣溪一號防砂壩壩體改善重點測站之藻類葉綠素 a 生物量年份排序之主距離典型相關分析圖	2-45
圖 2-14 2009~2013 年間，七家灣溪一號防砂壩壩體改善重點測站的藻類葉綠素 a 生物量與環境因子之距離法冗餘分析圖	2-46
圖 2-15 2010~2013 年，七家灣溪一號防砂壩壩體改善重點測站的葉綠素組成變化之主距離典型相關分析圖	2-47
圖 2-16 2010~2013 年，七家灣溪一號防砂壩壩體改善重點測站的葉綠素組成變化之主距離典型相關分析圖	2-48
圖 2-17 2010~2013 年，七家灣溪一號防砂壩壩體改善重點測站的葉綠素組成群集變化之距離法冗餘分析圖	2-49
圖 2-18 2010~2013 年，七家灣溪一號防砂壩壩體改善重點測站的葉綠素 c 組成(上圖)與葉綠素 b 組成(下圖)之距離法冗餘分析圖	2-50
圖 3- 1 本年度研究基本流程圖	3-38
圖 3- 2 三號壩上游断面高程剖面圖	3-38
圖 3- 3 高山溪断面 3-R 剖面高程	3-39
圖 3- 4 高山溪断面 3-T 剖面高程	3-39
圖 3- 5 高山溪三號壩上之河道示意圖	3-39
圖 3- 6 二號壩上游断面高程剖面圖	3-39
圖 3- 7 高山溪断面 2-C 剖面高程	3-40

圖 3- 8 高山溪斷面 2-H 剖面高程.....	3-40
圖 3- 9 高山溪斷面 2-M 剖面高程	3-40
圖 3- 10 高山溪斷面 2-Q 剖面高程	3-40
圖 3- 11 高山溪二號壩上之河道示意圖	3-40
圖 3- 12 一號壩上游斷面高程剖面圖	3-41
圖 3- 13 高山溪斷面 1-B 剖面高程.....	3-41
圖 3- 14 高山溪斷面 1-E 剖面高程	3-41
圖 3- 15 高山溪斷面 1-K 剖面高程.....	3-41
圖 3- 16 高山溪斷面 1-N 剖面高程.....	3-41
圖 3- 17 高山溪一號壩上河道示意圖	3-42
圖 3- 18 一號壩下游斷面高程剖面圖	3-42
圖 3- 19 高山溪斷面 0-C 剖面高程.....	3-42
圖 3- 20 高山溪斷面 0-F 剖面高程	3-42
圖 3- 21 高山溪斷面 0-L 剖面高程	3-43
圖 3- 22 高山溪斷面 0-O 剖面高程	3-43
圖 3- 23 高山溪一號壩下至匯流口之河道示意圖.....	3-43
圖 3- 24 高山溪棲地環境類型分佈圖	3-43
圖 3- 25 高山溪底質類型分佈圖.....	3-43
圖 3- 26 七家灣溪三號壩下至二號壩上 400 公尺處高程剖面圖	3-44
圖 3- 27 七家灣溪斷面 7-4 剖面高程.....	3-44
圖 3- 28 七家灣溪斷面 7-10 剖面高程.....	3-44
圖 3- 29 七家灣溪斷面 7-40 剖面高程.....	3-44
圖 3- 30 七家灣溪三號壩至二號壩測量點位示意圖	3-45
圖 3- 31 七家灣溪二號壩上游 400 公尺至下游 200 公尺剖面高程	3-45
圖 3- 32 七家灣溪斷面 7-47 剖面高程.....	3-45
圖 3- 33 七家灣溪二號壩上 400 公尺處至二號壩下 200 公尺示意圖.....	3-46
圖 3- 34 七家灣溪二號壩下游 200 公尺至一號壩上剖面線.....	3-46
圖 3- 35 七家灣溪二號壩至一號壩上測量點位示意圖	3-47
圖 3- 36 七家灣溪一號壩上游密集監測剖面高程	3-47
圖 3- 37 七家灣溪一號壩下游密集監測剖面高程	3-48

圖次

圖 3-38 一號壩上 60m 處剖面高程	3-48
圖 3-39 一號壩下 50m 處剖面高程	3-48
圖 3-40 七家灣溪一號壩特定斷面對時間關係圖	3-49
圖 3-41 七家灣溪一號壩上游密集監測棲地類型百分比圖	3-49
圖 3-42 七家灣溪一號壩上游密集監測底質類型百分比圖	3-49
圖 3-43 七家灣溪一號壩下游密集監測棲地類型百分比圖	3-49
圖 3-44 七家灣溪一號壩下游密集監測底質類型百分比圖	3-49
圖 3-45 七家灣溪一號壩上、下游密集監測棲地類型網格圖	3-50
圖 3-46 七家灣溪一號壩上、下游密集監測底質類型網格圖	3-50
圖 3-47 七家灣溪共同樣區位置分佈圖	3-50
圖 3-48 桃山北溪 4-1 斷面剖面高程	3-51
圖 3-49 桃山北溪 4-3 斷面剖面高程	3-51
圖 3-50 桃山北溪棲地分佈類型百分比圖	3-51
圖 3-51 桃山北溪底質分佈類型百分比圖	3-51
圖 3-52 桃山西溪 2-1 斷面剖面高程	3-51
圖 3-53 桃山西溪 2-2 斷面剖面高程	3-51
圖 3-54 桃山西溪棲地分佈類型百分比圖	3-51
圖 3-55 桃山西溪底質分佈類型百分比圖	3-51
圖 3-56 觀魚臺 3-1 斷面剖面高程	3-52
圖 3-57 觀魚臺 4-2 斷面剖面高程	3-52
圖 3-58 觀魚臺棲地分佈類型百分比圖	3-52
圖 3-59 觀魚臺底質分佈類型百分比圖	3-52
圖 3-60 新繁殖場 5-1 斷面剖面高程	3-52
圖 3-61 新繁殖場 5-2 斷面剖面高程	3-52
圖 3-62 新繁殖場棲地分佈類型百分比圖	3-52
圖 3-63 新繁殖場底質分佈類型百分比圖	3-52
圖 3-64 萬壽橋測站 6-2 斷面剖面高程	3-53
圖 3-65 萬壽橋測站 6-5 斷面剖面高程	3-53
圖 3-66 萬壽橋棲地分佈類型百分比圖	3-53
圖 3-67 萬壽橋底質分佈類型百分比圖	3-53

圖 3-68 迎賓橋測站 7-1 斷面剖面高程	3-53
圖 3-69 迎賓橋測站 7-3 斷面剖面高程	3-53
圖 3-70 迎賓橋棲地分佈類型百分比圖	3-53
圖 3-71 迎賓橋底質分佈類型百分比圖	3-53
圖 3-72 有勝溪測站 9-1 斷面剖面高程	3-54
圖 3-73 有勝溪測站 9-2 斷面剖面高程	3-54
圖 3-74 有勝溪棲地分佈類型百分比圖	3-54
圖 3-75 有勝溪底質分佈類型百分比圖	3-54
圖 3-76 司界蘭溪上游測站 10-1 斷面	3-54
圖 3-77 司界蘭溪上游測站 10-4 斷面	3-54
圖 3-78 司界蘭溪上游測站棲地分佈類型百分比圖	3-54
圖 3-79 司界蘭溪上游測站底質分佈類型百分比圖	3-54
圖 3-80 司界蘭溪下游測站 11-2 斷面	3-55
圖 3-81 司界蘭溪下游測站 11-8 斷面	3-55
圖 3-82 司界蘭溪下游測站棲地分佈類型百分比圖	3-55
圖 3-83 司界蘭溪下游測站底質分佈類型百分比圖	3-55
圖 3-84 沖積型河川穩定概念示意圖	3-55
圖 3-85 向量內插法示意圖	3-56
圖 3-86 觀魚台、兆豐橋及萬壽橋三測站水位資料	3-56
圖 3-87 上游沖刷土方量	3-57
圖 3-88 重要事件流量歷線及累積流量圖	3-57
圖 4-1 雪霸國家公園	4-39
圖 4-2 氮素循環過程	4-39
圖 4-3 流程圖	4-40
圖 4-4 採樣地點位置圖	4-40
圖 4-5 武陵地區溪流 pH 值變化	4-41
圖 4-6 武陵地區溪流導電度值變化	4-41
圖 4-7 武陵地區溪流溫度值變化	4-42
圖 4-8 武陵地區溪流溶氧值變化	4-42
圖 4-9 武陵地區溪流濁度值變化	4-43

圖次

圖 4-10 武陵地區溪流 SiO_2 值變化	4-43
圖 4-11 武陵地區溪流 NO_3^- -N 值變化	4-44
圖 4-12 武陵地區溪流 NO_2^- -N 值變化	4-44
圖 4-13 武陵地區溪流 SO_4^{2-} 值變化	4-45
圖 4-14 武陵地區溪流 Cl^- 值變化	4-45
圖 4-15 武陵地區溪流 PO_4^{3-} 值變化	4-46
圖 4-16 武陵地區溪流 NH_4^+ -N 值變化	4-46
圖 4-17 武陵地區溪流 TOC 值變化	4-47
圖 4-18 一號壩壩體改善 pH 值變化	4-47
圖 4-19 一號壩壩體改善導電度值變化	4-48
圖 4-20 一號壩壩體改善溫度值變化	4-48
圖 4-21 一號壩壩體改善溶氧值變化	4-49
圖 4-22 一號壩壩體改善濁度值變化	4-49
圖 4-23 一號壩壩體改善 SiO_2 值變化	4-50
圖 4-24 一號壩壩體改善 NO_3^- -N 值變化	4-50
圖 4-25 一號壩壩體改善 NO_2^- -N 值變化	4-51
圖 4-26 一號壩壩體改善 SO_4^{2-} 值變化	4-51
圖 4-27 一號壩壩體改善 Cl^- 值變化	4-52
圖 4-28 一號壩壩體改善 PO_4^{3-} 值變化	4-52
圖 4-29 一號壩壩體改善 NH_4^+ -N 值變化	4-53
圖 4-30 一號壩壩體改善 TOC 值變化	4-53
圖 4-31 山溝與七家灣溪測站之 pH 值比較	4-54
圖 4-32 山溝與七家灣溪測站之導電度值比較	4-54
圖 4-33 山溝與七家灣溪測站之溫度值比較	4-55
圖 4-34 山溝與七家灣溪測站之溶氧值比較	4-55
圖 4-35 山溝與七家灣溪測站之濁度值比較	4-56
圖 4-36 山溝與七家灣溪測站之 SiO_2 值比較	4-56
圖 4-37 山溝與七家灣溪測站之 NO_3^- -N 值比較	4-57
圖 4-38 山溝與七家灣溪測站之 NO_2^- -N 值比較	4-57
圖 4-39 山溝與七家灣溪測站之 SO_4^{2-} 值比較	4-58

圖 4-40 山溝與七家灣溪測站之 Cl^- 值比較.....	4-58
圖 4-41 山溝與七家灣溪測站之 PO_4^{3-} 值比較	4-59
圖 4-42 山溝與七家灣溪測站之 NH_4^+ -N 值比較	4-59
圖 4-43 山溝與七家灣溪測站之 TOC 值比較.....	4-60
圖 4-44 8.1ha 回收農用地 pH 值變化	4-60
圖 4-45 8.1ha 回收農用地 導電度值變化.....	4-61
圖 4-46 8.1ha 回收農用地 溫度值變化	4-61
圖 4-47 8.1ha 回收農用地 溶氧值變化	4-62
圖 4-48 8.1ha 回收農用地 濁度值變化	4-62
圖 4-49 8.1ha 回收農用地 SiO_2 值變化.....	4-63
圖 4-50 8.1ha 回收農用地 NO_3^- -N 值變化	4-63
圖 4-51 8.1ha 回收農用地 NO_2^- -N 值變化	4-64
圖 4-52 8.1ha 回收農用地 SO_4^{2-} 值變化	4-64
圖 4-53 8.1ha 回收農用地 Cl^- 值變化	4-65
圖 4-54 8.1ha 回收農用地 PO_4^{3-} 值變化	4-65
圖 4-55 8.1ha 回收農用地 NH_4^+ -N 值變化	4-66
圖 4-56 8.1ha 回收農用地 TOC 值變化	4-66
圖 5-1 武陵地區溪流水棲昆蟲監測調查測站之相關位置圖.....	5-34
圖 5-2 武陵地區溪流測站水棲昆蟲各月數量	5-34
圖 5-3 武陵地區溪流測站之臺灣櫻花鉤吻蛙中大體型昆蟲食餌數量變化圖 .	5-35
圖 5-4 武陵地區溪流測站水棲昆蟲之 Shannon- Wiener's index	5-35
圖 5-5 武陵地區溪流測站水棲昆蟲之 RBPII 相對分數	5-36
圖 5-6 武陵地區溪流測站水棲昆蟲之 MDS 分析。	5-36
圖 5-7 司界蘭溪測站水棲昆蟲之 Shannon- Wiener's index.....	5-37
圖 5-8 司界蘭溪測站水棲昆蟲之 RBPII 相對分數	5-37
圖 5-9 一號壩壩體上下游四測站水棲昆蟲數量.....	5-38
圖 5-10 一號壩壩體上下游四測站水棲昆蟲之 Shannon- Wiener's index...	5-38
圖 5-11 一號壩壩體改善工程後水棲昆蟲之 MDS 分析	5-39
圖 6-1 武陵地區長期生態監測暨生態模式建立之調查樣站位置圖	6-47
圖 6-2 1987 年至 2013 年武陵地區臺灣櫻花鉤吻蛙族群數量年度變化與重大天	

圖次

災圖	6-48
圖 6-3 1987 年至 2013 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	6-49
圖 6-4 1995 年至 2013 年武陵地區臺灣櫻花鉤吻鮭各齡級族群結構變化趨勢圖	6-50
圖 6-5 1995 年至 2013 年武陵地區臺灣櫻花鉤吻鮭各齡級數量變化趨勢圖 ..	6-51
圖 6-6 七家灣溪三~四號壩、桃山北溪前段之 Y 形封閉河段與武陵地區全河段臺灣櫻花鉤吻鮭族群變化比較圖	6-52
圖 6-7 桃山西溪固定樣站 2005 年至 2013 年臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鱖領魚族群變化曲線圖	6-53
圖 6-8 二號破壩固定樣站 2005 年至 2013 年臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鱖領魚族群變化曲線圖	6-54
圖 6-9 觀魚台固定樣站 2005 年至 2013 年臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鱖領魚族群變化曲線圖	6-55
圖 6-10 繁殖場固定樣站 2005 年至 2013 年臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鱖領魚族群變化曲線圖	6-56
圖 6-11 高山溪固定樣站 2005 年至 2013 年臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鱖領魚族群變化曲線圖	6-57
圖 6-12 有勝溪固定樣站 2005 年至 2013 年臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鱖領魚族群變化曲線圖	6-58
圖 6-13 司界蘭溪上游固定樣站 2005 年至 2013 年臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鱖領魚族群變化曲線圖	6-59
圖 6-14 司界蘭溪下游固定樣站 2005 年至 2013 年臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鱖領魚族群變化曲線圖	6-60
圖 6-15 一號壩壩體改善 - 觀魚台樣站 2009 年至 2013 年密集監測族群變化曲線圖	6-61
圖 6-16 一號壩壩體改善 - 一號壩上游樣站 2009 年至 2013 年密集監測族群變化曲線圖	6-62
圖 6-17 一號壩壩體改善 - 一號壩下游樣站 2009 年至 2013 年密集監測族群變化曲線圖	6-63
圖 6-18 一號壩壩體改善 - 繁殖場樣站 2009 年至 2013 年密集監測族群變化	

曲線圖	6-64
圖 6-19 一號壩壩體改善 - 高山溪殘材壩前至匯流口樣站 2009 年至 2013 年 密集監測族群變化曲線圖	6-65
圖 6-20 七家灣溪 2002 年至 2012 年一號壩~三號壩之臺灣鏟頰魚族群變化曲線 圖	6-66
圖 6-21 2013 年夏季與秋季武陵地區各河段臺灣櫻花鉤吻蛙族群數量分布百分 比	6-67
圖 7-1 武陵衛星影像全圖	7-9
圖 7-2 武陵衛星影像高解析影像	7-9
圖 7-3 由衛星影像查詢調查資料操作範例	7-10
圖 7-4 LSID 格式	7-11
圖 7-5 武陵資料 LSID 範例	7-11

研究計畫分工項目

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	林幸助	中興大學生命科學系	特聘教授	藻類研究、資料整合與生態模式分析
子計畫2	葉昭憲 王筱雯	逢甲大學水利工程與資源保育學系 成功大學水利及海洋工程學系	副教授 助理教授	物理棲地與水文泥砂研究
子計畫3	官文惠	明志科技大學環境與安全衛生工程系	副教授	水質研究
子計畫4	郭美華	中興大學昆蟲系	副教授	水棲昆蟲研究
子計畫5	曾晴賢	清華大學生物資訊與結構生物研究所	教授	魚類研究
子計畫6	邵廣昭	中央研究院生物多樣性研究中心	研究員	生態資料庫建構

第一章 資料整合

林幸助¹、王筱雯²、官文惠³、邵廣昭⁴、

郭美華⁵、曾晴賢⁶、葉昭憲⁷、

1. 國立中興大學生命科學系
2. 成功大學水利及海洋工程學系
3. 明志科技大學環境與安全衛生工程系
4. 中央研究院生物多樣性研究中心
5. 中興大學昆蟲系
6. 清華大學生物資訊與結構生物研究所
7. 逢甲大學水利工程與資源保育學系

摘要

關鍵詞：臺灣櫻花鉤吻鮭、七家灣溪、防砂壩、壩體改善、
生態模式、生態資料庫

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。自 2009 年起武陵地區已實質邁入生態系經營管理，並於 2011 年完成七家灣溪一號防砂壩改善工程，同時持續進行有系統的生態監測與研究。本計畫的主要目標除了進行長期生態監測，同時針對七家灣溪一號防砂壩改善後長期生態現象與過程的動態變化，探討壩體改善對此生態系的短、中及長期之影響與效益。本計畫以武陵地區溪流與司界蘭溪為研究地點，依循自 2005 年武陵長期生態研究(WLTER)所設立的永久測站，持續監測並整合重點監測項目，包括物理棲地、水文泥砂、水質、藻類、水棲昆蟲與魚類等時空動態變化資料，持續監測武陵農場山溝水點源污染源與 2006 年 8.1 公頃農地回收後對七家灣溪的生態影響，以及監測七家灣溪一號防砂壩改善後長期生態環境變化。具體目標為：

1. 探討七家灣溪一號防砂壩壩體改善後之長期生態環境變化，比較改善前後的

生態環境變化，以瞭解改善後的長期生態效應；2. 瞭解臺灣櫻花鉤吻鮭的生物與環境的控制因子，確保其優質之生活環境；3. 長期監測溪流生態系食物網主要生物組成之變化、瞭解各生物間相關性，以及各生物在生態系之重要性，確保武陵地區生物多樣性；4. 影響溪流生態系主要人為因子以及自然環境因子之變化，並探討各環境因子對於各生物之影響；5. 藉由歷年監測資料比較並瞭解武陵地區的長期生態過程與機制；6. 提供生態研究科學資料，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. 利用生態模式整合監測資料，預測環境變遷或人為干擾對於武陵溪流生態系之影響；8. 持續建構武陵地區生態資料庫。

二、材料與方法

持續整合從 2005 年以來所累積的資料。本研究共設有十個測站，其中司界蘭溪上、下游僅作乾季(2 月)監測。其餘測站分別於二、四、六(颱風前)、八(颱風後)、十，共五次採樣時間，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。

(一) 藻類

1. 石附生藻類生物量與群集測定

各測站石附生藻類監測，於不同微棲地(瀨、流、潭)隨機撿取 3 個 15~20 cm 左右大小相近溪底石頭樣本。刮下石頭表面的藻類，以丙酮溶液萃取，以分光光度計測量萃取液之吸光值後，計算所含葉綠素 *a*、*b* 與 *c* 濃度。另一部分的藻類樣品則用以分析藻類群集組成。

2. 水中有機粗顆粒碎屑傳輸

在每一測站的取樣河段上、下游河流橫斷面各放置 3 個攔網，連續 24 小時收集攔截到的有機物樣本，帶回實驗室後將收集到有機碎屑進行分類。

3. 溪流底層有機物蓄存量

以舒博氏水網定面積擾動底質，採集 3 個樣本，將有機碎屑收集至網中，將大片的有機碎屑挑出帶回實驗室分析，剩餘細顆粒再進一步過篩出細顆粒態有機碳，再以灰化爐處理。

4. 總懸浮物質

拆壩前、拆壩中以及拆壩後進行水樣採集，樣品經烘乾秤重後，再以灰化爐處理。

(二) 物理棲地與泥砂監測

對共同測站之河道進行斷面測量及物理棲地調查，包括河道縱橫向變化、棲地組成與粒徑分佈之現況進行分析，提供其它子計畫環境因子參考。結合現場調查和先前研究，提出河道變化趨勢與環境改變之關連性分析。

泥砂監測部分則包括：

1. 利用攝影機記錄壩體改善前中後歷程的攝影系統採用高解析度的 IP Camera 與中低解析度的 Trail Camera 兩種。

2. 利用濁度計持續監測壩體改善過程溪水濁度變化。
3. 於七家灣溪一號壩上下游監測範圍內共設有水位測站三處，分別為觀魚台右岸處、兆豐橋及萬壽橋上，水位計測值與現地實際水深進行率定以求得實際水位。

(三) 水質監測

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，依週遭林地的土地利用與農田的分佈採取溪流上、下游及匯流口處做為七家灣河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，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3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) 水棲昆蟲

持續生態監測並建立武陵地區水棲昆蟲相生態資料庫，以水棲昆蟲群集結構和功能為研究主題，並且以多樣性指數、RBP II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集結構變動，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，以作為集水區經營管理之參考指標。

(五) 魚類

本研究除定期調查各固定樣點的魚類族群分布與數量外，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，以浮潛方式目視辨別魚種和計算魚數，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、分佈與棲地型態，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。

(六) 生態資料庫建構

本計畫所收集之原始生態調查資料，採用中央研究院生物多樣性研究中心設計的『通用生態調查資料格式』，作為本計畫原始生態調查資料的格式。『生態調查資料格式』，主要以國際通用的達爾文核心欄位(Darwin Core 2.0)及 ABCD

Schema 為基礎，並配合中文資料的需求，作適度的修改。

持續整合從 2005 年以來所累積的資料。本研究共設有十個測站，其中司界蘭溪上、下游僅作乾季(2 月)監測。其餘測站分別於二、四、六、八、十及十二月，共六次採樣時間，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。

(七) 資料分析

使用 ECOPATH with ECOSIM 軟體進行食物網模式架構。模式架構原理依據生物個體能量收支平衡原理，生產量 = 被攝食量+自然死亡量+生物量累積+輸出量。架構模式所需要：各生物類群生物量、單位生產量(P/B)、單位攝食量(Q/B)、生態效率 (EE)與食性組成(DC)。

功能群分各類群：1. 河鳥、2. 臺灣櫻花鉤吻鮭(大魚)、3. 臺灣櫻花鉤吻鮭(小魚)、4. 臺灣鏟頰魚(大魚)、5. 臺灣鏟頰魚(小魚)、6. 水棲昆蟲捕食者、7. 水棲昆蟲收集者、8. 水棲昆蟲濾食者、9. 水棲昆蟲刮食者、10. 水棲昆蟲撕碎者、11. 非昆蟲植食者、12. 浮游藻類、13 附生藻類、14 碎屑。模式驗證：(1)以各類群生態效率(EE)之估計值是否 <1.0 ，(2)各生物類群的生長效率(GE)是否介於 0.1-0.3。利用模式分析中的網絡分析，探討食物網架構、循環指數以及食物鏈物質能量流。

三、成果

- 1 觀魚台食物網拆壩後一年食物網中的最高營養階層為臺灣櫻花鉤吻鮭以及河烏，階層分別為 3.29 以及 3.18；拆壩後第 2 年臺灣櫻花鉤吻鮭的階層增加為 3.57 而河烏為 3.48。在繁殖場測站臺灣櫻花鉤吻鮭的營養階層在拆壩後的兩年間，從 3.28 增加到 3.57，而河烏的階層則是從 3.31 增加到 3.47。消費者對於資源的利用效率可能提高，而使系統可以維持較高的營養階層。
- 2 Lindeman 物質傳輸模式顯示觀魚台以及繁殖場測站測站消費者的食物來源較多來自於藻類。
- 3 營養傳輸效率在拆壩後一年的觀魚台以及繁殖場測站，第 I 階到第 II 階的傳輸效率為 5%；在第 II 階到第 III 階的傳輸效率因為受到洪水影響而下降。
- 4 拆壩後 2 年的觀魚台與繁殖場的能量傳輸效率明顯增加，雖然系統的生物量因為受到水文事件的干擾而下降，但是資源被充分利用而提高了傳輸效率。
- 5 綜合營養衝擊分析結果顯示，水棲昆蟲因為數量減少，水棲昆蟲捕食者(第 III 階)對於第 II 階的水棲昆蟲都是負向的影響，因為控制了第 II 階水棲昆蟲的數量，間接使生產者生物量增加，是由上而下控制的狀況。
- 6 臺灣櫻花鉤吻鮭在系統中屬於第 III 階的魚類，與水棲昆蟲捕食者反應類似。
- 7 河烏對於臺灣櫻花鉤吻鮭以及臺灣鏟頰魚小魚族群的影響最大，推論因為河烏相對於水中的生物沒有直接受到拆壩影響。
- 8 關鍵物種結果顯示河烏不管在哪個地點或是時間點都是系統的關鍵物種。
- 9 模式輸出參數 P/R 值顯示，在拆壩後第 1 年，觀魚台測站位於壩體上游，沒有直接受到拆壩影響，系統的反應與直接受到拆壩影響的繁殖場測站不同。到了拆壩後第 2 年，拆壩的影響逐漸與水文事件的影響不可區分，而整個流域的狀況受到同樣的水文事件影響趨近相同，在分析中有相似的模式參數的輸出。
- 10 循環指數與相對系統開銷數值顯示，雖然觀魚台以及繁殖場測站干擾後的恢復力，受連續水文事件干擾的影響而下降，但是從系統中物質循環指數來看，在拆壩後第 2 年逐漸變好，顯示系統的恢復力逐漸提高。
- 11 **基礎線 (baseline)**
 - (1.) 硝酸鹽氮濃度可作為是否受人為活動影響之關鍵指標，若不受人為活動

干擾，硝酸鹽氮濃度大多低於 1 ppm。七家灣溪總氮濃度普遍低於 20 ppb，早春的氮濃度較高，可能與賞櫻遊客有關。

- (2.) 七家灣溪非洪水時期之流量介於 0.89 至 13.62 cms 間。流量超過 445 cms 時，其重現期距為十年之大型洪水事件。小型洪水事件約為 35 cms 內(重現期距一年)。
- (3.) 無降雨事件時的濁度約為 30 NTU 以下。小型降雨事件濁度為 100 NTU 以上，大型降雨事件濁度則為 1000 NTU 以上。拆壩導致濁度最高提升至 627 NTU，蘇拉颱風導致濁度提升至 8000NTU 以上。
- (4.) 沒有颱風洪水干擾時，七家灣溪主流石附生藻類生物量維持在 30 mg Chl a m⁻² 之內，若高於此濃度，則代表有異於長期監測的範圍。桃山西溪與高山溪約為 20 mg Chl a m⁻²之內。有勝溪約為 150 mg Chl a m⁻² 內，且變動範圍較大。
- (5.) 無颱風事件時，臺灣櫻花鉤吻鮭大型食餌的密度接近 1000 insects m⁻²。
- (6.) 無颱風洪水時期，臺灣櫻花鉤吻鮭數量將可接近最大承載量(最大承載量：5800 尾)。
- (7.) 以河鳥作為溪流鳥類監測指標，在一年以上未受颱風影響的時期，七家灣溪和高山溪的調查區域內河鳥總數是 39.6 隻(SD=10.3)，相當於每公里應有 4.7 隻(SD=1.2)。

12. 監測指標性 (indicators)

- (1.) 水質以硝酸鹽 < 1 ppm。氮氮 < 20 ppb 作為判斷指標。主要為人為活動影響。
- (2.) 十年期距之大型洪水事件：流量為 445 cms，為大型干擾事件。小型洪水事件之流量為 35 cms (重現期距為一年)。河道穩定或未來河川型態調整之參考，可藉由河道穩定指標來輔以判定，如縱向穩定指標、橫向穩定指標及槽偏量等。
- (3.) 降雨量以累積月降水量超過 200 mm 時，會導致臺灣櫻花鉤吻鮭幼魚數量大幅減少，作為判斷依據。
- (4.) 降雨量以累積月降水量超過 300 mm 時，會導致附生藻類生物量大幅減少。藻種部分可分為，干擾敏感群：鏈狀生長型與直立生長型矽藻。干擾耐受型：短膠柄著生型 Achnantheidium 與 Reimeria 兩屬矽藻。綠藻

容易受到洪水影響而減少，但是在沒有颱風洪水時，溪段開闊、高導電度以及高水溫的環境，綠藻容易增生。

- (5.) 水棲昆蟲以臺灣櫻花鉤吻鮭之大型食餌如毛翅目的密度作為指標性判斷。
- (6.) 魚類部分則以臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鏟頰魚兩種魚類做為指標物種。
- (7.) 鳥類部分以河烏作為溪流鳥類監測指標。
- (8.) 濱岸植群以五節芒、艾、臺灣澤蘭、臺灣赤楊等為指標植物，用於監測及推估不同環境及干擾下之濱岸植群動態。在大型干擾事件過後，由五節芒等初期植群演替至台灣赤楊林所需時間約為五年。
- (9.) 兩生類透過蝌蚪成長發育狀況及食砂行為，去判斷工程對溪流環境造成的擾動是否影響兩生類，以此作為經營管理之依據。

13. 干擾後恢復時間 (recovery)

- (1.) 水質部分拆壩的影響主要呈現於亞硝酸鹽濃度的增加，可於一週後恢復。
- (2.) 小型颱風降雨事件過後，濁度值於五天內恢復。拆壩的影響輕微，平均經過 9.5 小時後會降至該日最高濁度值之約三分之一。
- (3.) 在單一洪水颱風干擾過後，若沒有連續性降雨事件，石附生藻類葉綠素 a 生物量約可於一個月內恢復。
- (4.) 拆壩對於水棲昆蟲而言相當於小型洪水事件，水棲昆蟲密度恢復的時間約為 2.5 個月。大型颱風事件干擾之後所需恢復時間則大於三個月。
- (5.) 受到拆壩驚動，拆壩後河烏往下游 500-1000 m 的區域避難。蘇拉颱風後將大量一號壩上游土石沖向下游，導致一號壩上游 0-500 m、下游 0-500 m 和下游 500-1000 m 的河烏數量全都降低。
- (6.) 濱岸植群可以五節芒、艾、臺灣澤蘭、臺灣赤楊等為指標植物，在大型干擾事件過後，由五節芒等初期植群演替至台灣赤楊林所需時間約為五年。

四、結論與建議

(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、
台中市政府農業處保育科

1. 月累積降雨量可作為七家灣溪石附生藻類抵抗力指標，當月累積雨量 >300 mm 時，藻類生物量便無法大量生長。
2. 觀魚台測站與繁殖場測站的綠藻偏好高導電度、高水溫與低植被覆蓋度的環境，因此在沒有大型水文事件時，可將導電度與水溫變化作為日後預測綠藻是否會大量的水質指標。
3. 根據河道演變模式(Channel Evolution Model)，拆壩後的河川沖淤變化包括大量泥砂運移、河床上下游型態受到改變等。台灣山高河陡，洪水事件較為極端，七家灣溪案例與國外案例相較之下，河相演變複雜且速度快。國外所發展並已應用在不同案例(如 Pizzuto, 2002; Evans, 2007)之河相演變模式(Channel Evolution Model)雖能作為台灣拆壩後之河相演變參考基礎，但不足以描述如七家灣溪河道在不同強度水文事件下之環境變動性與複雜性，因此建議於豐水期間針對河道狀況需做持續性的觀察，以河道縱向與橫向穩定指標及槽偏量判定保全區域之河道狀況，以做立即性之應對。
4. 根據歷年高山溪四座防砂壩改善後之河道調查成果，防砂壩改善後將對壩體上下游河道產生影響，若無其它因素干擾(木質殘材或崩塌地)，則此河道環境及棲地組成之變化需要一年半到三年才可達到大致穩定之狀態。然而，七家灣溪一號壩體較高且其集水區範圍較大，其背景條件與前例有顯著差異；為能確實掌握其變化歷程，是故提出「七家灣溪一號壩改善對河道局部地形與棲地變化影響之研究」建議。
5. 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。
6. 2011 年春、秋季調查中，地被層外來歸化種植物—加拿大蓬，於觀魚

臺(#4)測站、一號壩下游(#13)測站皆屬優勢，而 2012 年春季調查則改以一號壩下游(#13)測站樣區 216 的豆瓣菜較優勢；2013 年受洪氾干擾，地被層物種貧乏，但加拿大蓬仍發生於樣區中，可見該外來歸化種之拓殖能力，建議應密切監控外來歸化種入侵的可能性，諸如加拿大蓬、豆瓣菜、大扁雀麥等。

7. 由 10 年以上數據可看出，當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會增加，此現象發生於 2003 年初及 2010~2012 年初，因此土地利用類型考慮以能增加水留存量且不易被洪水移除為主，並達減緩暴增流量之效為佳。如此一來可於暴雨過後，減少對水棲昆蟲群聚之衝擊，植被恢復得以增加此鮭魚陸域補足食餌，及其食物來源獲得維持。
8. 拆壩和溪流施工對溪流鳥類確實會造成影響，且不同鳥種受影響的程度和反應不同，兩種主要溪流鳥類中以河鳥的影響較明顯，建議未來應避免在溪流鳥類繁殖季進行工程施作。
9. 去年調查殘材壩對高山溪臺灣櫻花鉤吻鮭的影響及評估，發現高山溪匯流口殘材壩之倒木因之前已做切割分段之處理並用人力拖曳，於四月份被大水沖垮形成魚類可自由通過之廊道。另外高山溪二號破壩堆積之殘材壩與其上游大型倒木仍造成由七家灣溪回溯高山溪的族群阻隔，建議立即拆除。因為林木為林務局主管權責，建議管理處可以跟林務局商議，把殘材壩徹底鋸斷，但只想以洪水等天然的力量將殘材攜帶而下實屬不易，建議即刻以公文與林務局溝通，並以人力將鋸斷的殘材移至原地的河岸旁。並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。
10. 為因應資料長期保存及國際資料交換的需求，調查資料應以國際通用的 XML 格式保存。

(二) 長期性建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：農委會林務局保育組、台中市政府保育課、退除役官兵輔導委員會
武陵農場、南投林區管理處

1. 颱風時期所帶來的大流量與含砂量除了直接影響河相演變外，亦對生態與環境造成衝擊，如水質、藻類、水棲昆蟲及魚類數量等。目前七家灣流域內僅有台灣電力公司設置之七家灣流量站及有勝溪流量站，七家灣溪流量站所紀錄之流量及含砂量資料係包含有勝溪入流資料，無法代表七家灣溪主流之水砂特性，建議透過長期且持續的含砂濃度量測及水文監測，建立流量與含砂量之率定曲線，以掌握七家灣溪之水砂特性，以作為後續壩體拆除類似案例之基礎。
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溪流水溫之時空變化情形，供管理及決策參考
3. 目前有勝溪沿岸仍有大規模農業活動，產生的農藥肥料以及廢棄物汙染勢必對溪流生態有所影響，若未來確認七家灣溪和有勝溪在生態上有互相依存的關聯性，建議逐步將有勝溪納入國家公園範圍加以管理，確保武陵地區溪流生態之健全。
4. 溪水的擾動與水量變化，是造成兩生類密度變化的重要因素之一，需藉由長期監測，瞭解大型工程對溪流環境造成的擾動對兩生類有何種程度的影響，做為經營管理之依據。
5. 目前國際上正在推行使用 IPT 整合生物多樣性原始調查資訊，未來應注意其發展，以適時跟上國際腳步。
6. 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)桃山西溪三號壩~四號壩間，加上桃山北溪匯流前段這一 Y 形封閉河段，

於每年夏季與秋季做該河段的普查。

(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流域全河段的普查。

7. 目前有勝溪沿岸仍有大規模農業活動，產生的農藥肥料以及廢棄物汙染勢必對溪流生態有所影響，若未來確認七家灣溪和有勝溪在生態上有互相依存的關聯性，建議逐步將有勝溪納入國家公園範圍加以管理，確保武陵地區溪流生態之健全。
8. 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。可能還有間接的、慢性的長期衝擊：例如從生態系食物鏈傳遞的角度來看，水棲昆蟲的棲息環境的改變，將會引起食物鏈和生態結構的逐步變化。面對全球暖化及極端洪流頻繁發生對台灣溪流生態的影響，應持續監測(5年以上)並建立武陵地區資料庫，使雪霸國家公園成為在地證據的科學基地及集水區經營管理績效之典範。
9. 經由 2005~2012 年為期 8 年的濱岸植群監測得知；武陵地區雖飽受雨季侵擾，特別是自 2004 年起，每四年遭逢一次之月最大日降水量大於 380 mm，然七家灣溪原本之良好植群覆蓋，以及具有極佳抗性及彈性的濱岸植物組成與結構，使之能持續穩定水溫，並有助於七家灣溪流生態系的能量流轉與養分循環。此外由水棲昆蟲 10 年數據可看出，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，且已發表證實，此現象發生於 2003 年初及 2010~2012 年初，因此土地利用類型需考慮以能增加水留存量且不易被洪水移除為主，並達減緩暴增流量之效為佳。如此一來，可減少暴雨過後對水棲昆蟲群聚之衝擊，再者提升植被的恢復力(如豐富的 C₃ 植物)可供濾食性水棲昆蟲取食，同時為鮭魚陸域補足食餌，因此鮭魚的食物來源獲得維持。臺灣櫻花鉤吻鮭之食性組成中，水、陸棲昆蟲比例約為 3:2，且陸棲昆蟲中又以植食性昆蟲為主。職是之故，建議未來應再瞭解濱岸區之不同生物組成間的關係，並建構七家灣溪濱岸生態系模式！

ABSTRACT

1. Introduction and objective

The most important mission of Shei-Pa National Park is to conserve the natural resources, especially the Formosan landlocked salmon, which is distributed only in the streams of the Wuling basin. However, this recreation area is exploited intensively for agricultural activities and tourism. In order to understand the long-term population dynamics of the Formosan landlocked salmon and identify the driving force, it is imperative to study in a holistic view by constructing the ecosystem models and to examine the interactions between biotic communities and environmental factors in the basin. We have developed a collaborative long-term program (WLTER) to monitor and model the dynamics in physical habitats, hydrology, sediment, water quality, periphyton, aquatic insects, and fish. We will continue monitoring changes before, during, and short- and long-term after removal of the 1st dam from the Chichiawan Stream and effects of the point source pollution derived from agriculture and recovery of 8.1 ha of agricultural zone along the stream in 2006. The specific aims of this ecosystem-scale project are: 1. To monitor the long-term effects after removal of the 1st dam in the Chichiawan Stream; 2. To understand the driving force of the population dynamics and to ensure the better habitat of the Formosan salmon; 3. To monitor the community dynamics within the stream food web and to understand the relationships between communities for ensuring biodiversity in the Wuling basin; 4. To monitor human impacts and natural disturbance influencing the stream ecosystem; 5. To understand long-term ecological processes and mechanisms of the Wuling streams by comparing with previous long-term data; 6. To provide scientific data for developing better policy for sustainable management; 7. To integrate data by using ecological modeling and to predict the effects of land use, climate change and anthropogenic disturbance; 8. To update the WLTER scientific database.

【Keywords】 the Formosan salmon; the Cijiawan Stream; Dam; Dam removal; Ecological model; Ecological database

2. The results of Integration

1 After one year of dam-removal, the trophic level of salmon and birds was

- 3.29 and 3.18 in #4 station, respectively. And the trophic level would increase to 3.57 and 3.48, respectively, after 2 years of dam-removal. The results suggest that higher trophic efficiency would support high trophic level.
- 2 The results of Lindeman spine showed that the based resource of the system in #4 and #5 was periphyton.
 - 3 Trophic efficiency of the system was 5% from trophic level I to trophic level II in #4 and #5. Higher trophic level had bad efficiency caused by flood.
 - 4 After 2 years of dam-removal, the trophic efficiency of the system was great in #4 and #5.
 - 5 The result of mixed trophic impact indicated that aquatic insect of predators had top-down control effects on aquatic insects in secondary trophic level.
 - 6 The salmon was the placed in third trophic level, which had similar response as well as aquatic insect of predators.
 - 7 The stream bird had most effects on the small fish population, because the bird would not be influenced by the word of dam-removal.
 - 8 The result of keystone species showed that the bird would be most important in any site of the stream .
 - 9 The P/R value of the system show that there were different response of the da-removal in #4 and #5 after 1year of dam-removal. However, the P/R value of the system in #4 and #5 were getting similar after 2 years of dam-removal.
 - 10 The result of Finn's cycling index and overhead and development capacity (O/C) showed that the resilience of the system were not good in #4 and #5. However, the higher FCI value indicated that the resilience were getting better.
 - 11 Baseline
 - (1.) The concentration of nitrate could be used as an indicator of human activity which the concentration below 1 ppm as a normal situation.
 - (2.) The base flow of the stream was range from 0.89 to 13.62 cms. Over 400 cms was the flood return period over 20 years as great flood, and below 40cms as small flood.
 - (3.) The turbidity of normal situation is under 5 NTU.

- (4.) The biomass of periphyton was 30 mg Chl a m⁻² in usual.
- (5.) During the season without typhoon, the feed of the salmon, the aquatic insects had density about 1000 insect m⁻².
- (6.) During the season without typhoon, the salmon had the number of individual reach the carry capacity (5800 individual).
- (7.) During the season without typhoon, the density of bird was 4.7 individual Km⁻².

12. Indicators

- (1.) The concentration of nitrate < 1 ppm. The concentration of ammonia < 20 ppb.
- (2.) The flood return period of 20 years : discharge ~ 400 cms , as super flood. Small flood had the discharge of 30-40 cms.
- (3.) It was taken the accumulated precipitation of the month (200 mm) as an indicator, which would cause the number of the salmon decreased.
- (4.) The accumulated precipitation of the month, which over 300 mm would decrease the biomass of periphyton.
- (5.) The density of Trichoptera was as an indicator of the feed of salmon.
- (6.) *Oncorhynchus masou formosanus* and *Varicorhinus barbatulus* as an indicator of fish.
- (7.) *Cinclus pallasii* as an indicator of stream bird.
- (8.) *Miscanthus floridulus*, *Artemisia argyi*, *Eupatorium formosanum* and *Alnus formosana* as an indicator of the riparian. And the recovery time was 5 years after disturbance.
- (9.) The development stage of taploe as an indicator of the work in the stream.

13. Recovery time

- (1.) The concentration of nitrate would increase after dam-removal, and recovered in a week.
- (2.) The turbidity of the stream would recover in 24 hours after dam-removal.
- (3.) The biomass of the periphyton in the stream would recover in one month after the disturbance of rainfall.
- (4.) The recovery time of the aquatic insects were 2.5 month, and longer recovery time of the insects after the disturbance of typhoon.

- (5.) The stream bird would move to downstream because the disturbance of the dam-removal and lower the individual of the bird upstream.
- (6.) *Miscanthus floridulus*, *Artemisia argyi*, *Eupatorium formosanum* and *Alnus formosana* as an indicator of the riparian. And the recovery time of the riparian was 5 years after disturbance.

一、前言

(一) 計畫緣由

雪霸國家公園位於臺灣中部偏北，自然資源豐富，生物多樣性高。在 1937 年日據時代即有將此區及太魯閣地區合併納入「次高太魯閣國家公園」之芻議。內政部自 1987 年開始進行本區自然資源之調查、分析與研究後，認為本區具備成立國家公園之價值與必要，乃由行政院核定「雪霸國家公園範圍」，研擬「雪霸國家公園計畫」，於 1992 年七月成立雪霸國家公園管理處。雪霸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 76,850 公頃，涵括新竹縣五峰鄉和尖石鄉、苗栗縣泰安鄉、台中市和平區，屬於亞熱帶高山型國家公園(圖 1-1)。雪霸國家公園的自然資源中，最具有特色的是發現於大甲溪上游武陵地區的陸封型臺灣櫻花鉤吻鮭 (*Oncorhynchus masou formosanus*)。牠是冰河時期的孑遺生物，屬於陸封型的寒帶鮭鱒魚類，但卻能存活於地處熱帶與亞熱帶之臺灣，是演化生物地理學的重大發現(汪靜明，1994)。在 50 年前整個大甲河流域上游支流均可見到鮭魚的蹤影，但如今魚群數量大幅減少，自然分布範圍只侷限於武陵地區七家灣溪、高山溪與桃山北溪(林幸助等，2008)。由於具有重要的學術價值，因此政府於 1984 年七月依「文化資產保存法」，指定並公告臺灣櫻花鉤吻鮭為珍貴稀有動物，又稱為「國寶魚」。其現存棲地的七家灣溪，在 1999 年由行政院農委會依據「野生動物保育法」，公告為野生動物保護區。因為七家灣溪動植物資源豐富，2007 年 10 月營建署又列為國家級濕地。2008 年 1 月國科會生物多樣性行動方案推動小組將武陵溪流建議為生態熱點，為長期生態研究重點區域。

武陵地區在雪霸國家公園成立前由農委會所主導之研究，主要著重在臺灣櫻花鉤吻鮭及棲地描述(如 Wang, 1989; Tsao 1995, 曾晴賢及楊正雄, 2001a、b)及與鮭魚食性有關的水生昆蟲等(林曜松等, 1987)。國家公園成立後才開始擴大到溪流其他相關生物自然資源之研究與調查，與臺灣櫻花鉤吻鮭有關之研究計畫林林總總迄今已超過百項之多(雪霸國家公園, 2000)。然而在此之前，量化資料非常少，且資料缺乏整合(林幸助, 2002)，而且濱岸棲地(riparian habitat)的生物，包括植被、陸棲昆蟲、兩生類、爬蟲類、哺乳類與鳥類均一直缺乏研究，或僅是非量化性質的附帶性研究對象(袁孝維, 1995; 呂光洋, 2002)。在溪流生

態系中，這些生物可能都與臺灣櫻花鉤吻鮭有直接或間接的能量傳遞關係。對於這些生物的瞭解，不但有生物學上的意義，也能對武陵溪流生態系的運作，有更進一步的認識。武陵長期生態監測研究 (WLTER)已針對這類附屬生物作初步量化工作(林幸助等，2008)，並發現其食物網中之基礎生產者—石附生藻類及溪流主要消費者—水棲昆蟲可作為反應該溪流環境的良好指標。

雪霸國家公園區內的集水區也是臺灣中部地區水資源的主要供應區，但山坡地的超限利用及濫墾的現象會使水質受到污染。大甲溪德基水庫因上游山坡的墾植蔬果，導致水土流失，水庫的壽命減短。而過度的使用肥料與農藥，也使水庫的水質呈現優養化，使得水資源的供應及品質受到潛在的威脅。武陵溪流生態系受濱溪岸土地利用之影響甚鉅。根據王敏昭(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已對水質有所影響。營養鹽在水中之不同分佈型態，如溶解態及底泥態，決定其對生物之毒性或被生物攝食之可能性。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之主要棲息之溪流。林幸助等(2008)已發現七家灣溪沿岸的點源污染源，主要來自於觀魚台附近的山溝水，因流經果四與果五區果園與露營區而有高濃度硝酸鹽。山溝水所流入的七家灣溪一號壩及三號壩間是臺灣櫻花鉤吻鮭數量最豐富之溪段，因此亟需進行此點源污染源的生態監測。

物理棲地的改變對於溪流生物影響更是明顯。在美國聯邦跨部會河川復育工作團隊(FISRWG，1998)所完成之「河川廊道復育」中指出，對河川生態系具有重要互動關係之非生物因子，包括流況、水溫、遮蔽、溶氧量、pH值及河床底質等項。河川物理棲地類型直接受河川底質之粒徑組成所影響，而河川底質則與河川流量、河床坡度及泥砂來源息息相關。颱風洪水使武陵溪流河道產生相較以往較為激烈之變化，而對應之河川物理棲地組成亦有明顯變異。Hsu et al. (2010) 整合分析 WLTER 長期監測資料，發現影響臺灣櫻花鉤吻鮭數量變動最主要因素是水中物理化學因子，其次是底質組成。雪霸國家公園管理處曾於 2000 至 2001 年間陸續完成高山溪四座防砂壩之壩體改善工程，以改善水溫升高與鮭魚族群阻隔之衝擊。Chung et al. (2008)發現改善防砂壩對於櫻花鉤吻鮭的族群成長有正面效益。其可能原因除了將阻礙鮭魚游動之障礙移除外，改善壩體後因淤砂移除而使得溪流大小漂石(直徑 > 25.6 cm)比例增加，因大石邊際層阻抗水流，進而提升鮭魚抗颱風洪水之能力。近年來，雪霸國家公園管理處亦分別對七

灣溪防砂壩改善順序以及七家灣溪一號防砂壩改善進行研究(葉昭憲, 2007、2008), 並預定於 2011 年中施工, 因此亟需監測防砂壩改善改善前中後對於溪流生態環境的影響。

溪流中流量往往為溪流生物的主要影響因子。降雨及流量除直接影響棲地環境, 包括河床型態、流速、水溫等, 也影響著營養鹽的循環、交換與流域內營養鹽收支平衡, 更會對臺灣櫻花鉤吻鮭的食物鏈造成影響, 亦有可能對棲地底質造成影響。除了流量之外, 水溫亦是影響臺灣櫻花鉤吻鮭生殖(12°C)與生存(16°C)的重要環境因子(林幸助等, 2008)。柳中明與蕭代基(2009)在氣候變遷國家通訊報告中指出, 21 世紀末臺灣地區的平均溫度值相對於 20 世紀末的平均溫度, 約將增溫 2.3°C ; 較嚴重的情境下, 可能將增加到 2.5°C ; 在溫室氣體排放顯著減緩的情境下, 仍可能上升 1.5°C 。因此監測七家灣溪流域水溫, 尤其是季節性變化與極端事件如颱風洪水的衝擊, 配合臺灣櫻花鉤吻鮭族群調查, 將有助於瞭解棲地水溫環境之變化, 並藉此掌握臺灣櫻花鉤吻鮭可能活動之範圍。藉由實際觀測之水溫資料, 瞭解各種影響水溫變化機制, 如濱岸植被覆蓋度之遮蔽效應、人工壩體的增溫效應以及氣溫或輻射增溫的速率, 對於保育臺灣櫻花鉤吻鮭是必要基礎, 並可因應全球氣候變遷狀態下可能發生的問題並提供可能因應方案。

對武陵溪流生態系影響最大的是颱風所帶來的洪水(林幸助等, 2008)。颱風對溪流生物的群聚、食性與死亡率均有顯著的影響(Wiley and Joseph, 1994)。柳中明與蕭代基(2009)指出臺灣地區過去百年豪大雨頻率呈現增加趨勢, 來襲颱風數量從 20 世紀中每年約有 3.3 個, 在 2000 年以後明顯增加為每年約 5.7 個。2004 年 8 月艾利颱風挾著豐沛雨量, 重創七家灣溪生態環境, 濱岸植被和附生藻類受到嚴重破壞, 溪床變寬且上升, 深潭減少, 對當地生態系的造成衝擊。2005 年全年豪雨不斷, 從 3 月雪、7 月強烈颱風海棠, 8 月中度颱風馬莎、輕度颱風珊瑚、強烈颱風泰利, 9 月強烈颱風龍王等接連多次的風災侵襲。這兩年連續的颱風對七家灣溪物理棲地、水質與生物的組成和數量的改變和回復所需時間長短, 值得深入探討。2006 年夏天至 2007 年春天又發生聖嬰現象(資料來源: 中央氣象局)。夏天颱風的減少, 暖冬加上春雨, 皆對武陵溪流生態系造成影響。2008 年已見到水生生物數量的回升, 但復因 9 月颱風使得溪流生物數量再次下降, 2009 年又再次回升, 且持續到 2010 年。在全球暖化衝擊下, IPCC(2007)預測未來全球暖化將持續加速, 且異常極端洪流將變得頻繁,

臺灣地區颱風所導致的洪流將明顯變多。颱風影響的持續觀測將有助於管理單位對於大自然干擾的因應處理策略和教育解說。

為瞭解長期生態過程與環境變遷對武陵地區生態系之影響，本計畫將利用生物、物理棲地與化學水質所建立之資料，透過建構生態模式、空間統計或其他多變值分析方法，描述環境棲地之時空演變過程，瞭解環境變化(包含自然及人為因素)對於生態系之互動關聯，因此有必要以整合計畫的方式長期監測，以便能夠提供雪霸國家公園管理處在武陵溪流生態系管理上之參考及依據。

(二) 七家灣溪一號防砂壩壩體改善工程

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。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。於 2011 年颱風季前進行改善的七家灣溪一號防砂壩，拆壩過程對於生態系勢必造成衝擊。Hart et al. (2002)曾對於拆壩後溪流生態系所發生的時空動態變化進行預測(圖 5)。在拆壩初期，沉積物傳輸的量變大，水位下降，同時因為物理棲地的改變，生物相也會改變。拆壩數十年後，當河道逐漸穩定後，原本河道覆蓋的區域在水位下降後，濱岸植群逐漸演替，河道周圍逐漸恢復自然樣貌。在空間上，因為少了壩體的阻隔，增加了魚類往上游移動的頻率。Nakamura and Komiyama (2010)研究發現在壩體改善後，鮭魚在壩體上、下游之間移動頻率有增加的現象；因為鮭魚移動頻率的增加，壩體上游流域棕熊捕食鮭魚的頻率也隨之增加。因此拆壩除了改變溪流內的生物活動之外，同時增加水域以及陸域食物網的連結。Hart et al. (2002)提到拆壩在長期來說，對於溪流生態系的保存以及保育有很大的生態效益，但是在壩體移除的過程可能會有相反的影響。因此可以透過拆壩前、中與後，溪流生態系水文、物理棲地、生物族群與群集時空動態的研究，尋求減輕對生態系造成衝擊的最佳方法。

在水文與物理棲地方面，對於生態功能下降或喪失的河川，美國國家研究委員會(National Research Council, 1992)的水棲生態復育小組(Committee on Restoration of Aquatic Ecosystems: Science, Technology, and Public Policy)認為只要針對造成此情形之溪流壓力加以改善，即可達到復育溪流的目的。在河川棲地復育工作之最基本要求，是增加河川在型態、水文及輸砂等方面之局部變

異。在理想狀況下，棲地改善工程應針對渠道穩定(包括河床及河岸)、水力狀態之影響(如流速或水深)、以及河道之暴雨含量等三方向加以評估(Hey, 1996)。其中，增加河川型態之多樣性不僅有助於河川本身之承载力，並且能提供魚類生命週期中各階段所需之棲息環境(Hsu et al., 2010)。多樣性之河川型態也可提供給河川周圍賴以生存的動植物所需的自然歧異性，直接或間接地對所欲保育的河川生物提供更佳的棲息環境(Larsen, 1996)。對於壩體改善或拆壩所產生之環境變化及影響，近年來已有許多相關研究。Doyle et al. (2003)認為壩體移除後，自原堰壩處被運移之泥砂比例介於 10%至 80%，且大部份是發生在移除後的第一年。Loranga and Aggett (2005)之分析結果顯示透過數年的流量控制，可在無損水質或孵育棲地狀況下將所儲蓄之泥砂，在壩體改善後輸送完畢。Roberts et al. (2007)評估發現 2.5 公尺高的公有混凝土壩移除後，土壤污染情況輕微，泥砂輸送與洪水災害之衝擊極小。然而 Hart et al.(2002)曾提出壩體移除可能增加洪災、外來物種之擴張、污染土壤之傳送及增加下游泥砂量等影響。Grant and Bromley (2007)則認為對淤滿壩體之移除，會啟動一連串的河道地形變化過程，包括在原淤積區之侵蝕深槽重現、下刷與側向擴展以及泥砂迅速輸送至下游，而向下輸送的泥砂則促進其它河道地形之調整，包含填補深潭、沙洲及河道淤砂以及底質細粒化等。這些變化的時間長度與輸送泥砂量及移除後河川流量有密切相關。Cantelli et al. (2007)除發展理論與數值模式以預測下切河道寬度與深度之沖蝕進展外，也藉渠槽試驗發現所謂「沖蝕窄化」(erosional narrowing)的深槽下切演變現象。

溪流底棲藻類為武陵溪流最主要基礎生產者。在溪段空間尺度下，Biggs (1996)認為水流、底質、營養物質交換為影響藻種組成及生物量的主要變因，其中水流為最直接的影響因子。Stevenson(1996)也認為水流是影響底棲藻類群聚變異最重要的因子。對溪流中的生物來說，水流為持續不斷的擾動來源，但是水流對藻類生物量的累積並非總是負面的，因為水流也會增加細胞間營養物質的傳輸，刺激新陳代謝，進而使得生物量累積更快，因此有所謂之最適流速(optimum current velocity)。相較於洪氾的干擾，拆壩干擾所影響的規模較大，衝擊應該較大。國外研究發現，拆壩過程附生藻類生物量隨即下降，就短期的尺度而言，附生藻類在幾週過後即可回復至拆壩前的水準(Orr et al., 2008)。然而，就長期的尺度來看，拆壩後藻類生物量的年平均生物量反而較往年低(Orr et al., 2008)。

此外，Thomsom et al.(2005)的研究則指出，拆壩後影響藻類生物量的主要原因為溪流底質穩定度，拆壩的七個月後，隨著河床底質的穩定，藻類生物量才能恢復至拆壩前的水準。因此，以生態系的尺度來看，拆壩對於藻類生物量的影響程度不大。然而若改以族群的角度來看，不同的底質環境，應該會有不同的藻種生長，也就是附生藻的種類組成在拆壩後可能會發生改變。這個改變會不會透過食物網的能量傳輸進而影響溪流中的高階消費者，需要研究加以探討。

除了溪流自生性藻類外，異生性的濱岸植群是溪流生態系另一個重要的食物來源。濱岸植群介於陸域與水域生態系間，受到兩者環境共同影響，與水文密切相關。Shafroyh et al. (2002)發現拆壩後壩體上游以及下游會有裸露的濱岸可供植群拓殖(圖 6)，壩體下游河道則因為拆壩造成大量沉積物累積而導致濱岸裸露，而壩體上游河道則是因為水位降低而導致濱岸裸露。雖然七家灣溪一號壩的壩體上游與此狀況不同，不過可以預期拆壩後，流水帶走淤砂，同樣會有大片裸露的濱岸可供植群拓殖。因此拆壩所造成的影響程度將大於洪氾的干擾，同時濱岸植群演替的過程可能會與洪氾干擾的過程不同。

溪鳥是一群利用溪流做為覓食棲地的生物，以溪流或濱岸帶的生物為食物來源。七家灣溪流域的溪鳥族群種類豐富，在 2010 年 2-5 月的調查發現溪鳥族群組成與歷年(2004-2008)所調查的族群組成差異不大。並於 2010 年 2 月透過無線電追蹤在一株二葉松(*Pinus taiwanensis*)的殘幹上，發現黃魚鴉(*Ketupa flavipes*)的巢。黃魚鴉是臺灣櫻花鉤吻蛙在野外的天敵之一，瞭解黃魚鴉的生態習性是櫻花鉤吻蛙生態保育上的重要環節。透過黃魚鴉育雛的調查，得以瞭解黃魚鴉在繁殖期的習性。在雛鳥離巢前的食物種類觀察調查發現；黃魚鴉雛鳥的食物中主要是臺灣鏟頰魚(*Varicorhinus barbatulus*)，大約是佔觀察記錄到食物種類的 47.9%，其次是盤古蟾蜍(*Bufo bankorensis*)約佔 44.7% (楊正澤等 2010)，顯示溪流及濱岸帶的生物是黃魚鴉在繁殖期的重要食物來源，也說明溪鳥與溪流生態系密切的相關性。拆壩的干擾並不會直接影響鳥類棲息的棲地，而是經由溪流的食物來源，間接的由下而上控制(bottom-up control)影響鳥類的活動。拆壩對溪鳥來說雖非立即影響，但透過食物網傳遞，溪鳥對於拆壩的影響可能不同於溪流或濱岸帶的生物，這部分需要長期的調查研究才可加以瞭解。

綜觀以上，拆壩的影響對於在濱岸帶活動的生物來說，首先會反應出濱岸帶在物理棲地的改變(圖 6)，接著是不同濱岸植群的演替階段所提供不同棲所或是

食物來源。在拆壩初期立即的干擾，造成濱岸帶水文狀況的改變，同時累積於濱岸帶的枯落物會被溪水沖刷帶走，可預期會對在濱岸帶活動的生物造成影響。

水棲昆蟲為臺灣櫻花鉤吻鮭主要食物。上野(1937)調查12尾櫻花鉤吻鮭胃內容物，其中96%為昆蟲，水棲昆蟲更佔74%。在農委會與雪霸國家公園管理處支持下，陸續有武陵地區水棲昆蟲相與相關生態的研究報告(黃國靖，1987；楊平世等，1986；楊平世及謝森和，2000)。楊平世及謝森和(2000)報導1985-1986年及1995-1996年兩個年度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或僅為個別年度差異，實有賴於長期的監測資料。2003年至今長期的監測，武陵溪流水棲昆蟲達6目40科70物種(Taxa)，種類相當豐富。就物種數及科數而言，七家灣溪棲地並沒有劣化(林幸助等，2009b)。以快速生物評估法(Rapid Bioassessment Protocol II, RBP II)進行棲地評估，各測站介於無損害到中度損害之間(林幸助等，2005~2009)。

臺灣櫻花鉤吻鮭的族群數量調查資料相對於其他生物而言較為詳盡。在1986年紀錄646尾，1987年紀錄1,757尾(林曜松等，1988；1990)。隨後因天然環境破壞，族群數量開始減少，至1991年冬天僅存600尾左右(林曜松等，1991)。自1992至1994年間，缺乏例行的族群數量監測，其數量和分佈範圍之變化未有精確的追蹤記錄。直到1994年5月，在雪霸國家公園管理處的委託下，始重新進行鮭魚族群普查(曾晴賢，1994)。歷年結果綜合如下：

1. 颱風會造成臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量遽減1/3左右，並且將上游族群沖到下游，導致上游魚群減少而下游魚群增加。如此將使上游族群基因庫縮減，增加近親交配之可能，導致族群日趨衰弱；而下游族群可能由於棲息條件不佳，導致出生率下降，死亡率提高。
2. 颱風造成幼魚之死亡率高於成魚。幼魚無論在游泳、覓食、忍飢及躲避災害等各方面的能力均劣於成魚，因此對於優良棲地與避難所的需求也就更為殷切。
3. 比較颱風前後各防砂壩間族群數量之變化。在每一個壩與壩之間，魚群傾向於集中在最靠近防砂壩下沖蝕潭附近的河段。推測原因可能是因棲地較為良好。而秋季魚群集中的程度較春季為高，可能是為求較低水溫產卵，而使魚群往上游低水溫河段移動，但卻因受阻於防砂壩而造成族群更加集中之現象。

4. 在颱風與防砂壩共同作用之下，臺灣櫻花鉤吻鮭族群的存續已面臨嚴苛的考驗。因此高落差之防砂壩或殘材壩應予以拆除或改善，促進上下游臺灣櫻花鉤吻鮭的基因庫，以避免臺灣櫻花鉤吻鮭滅絕。

戴永禎(1992)亦認為防砂壩對鮭魚族群有四點影響，包括幼鮭較易受到環境變動的影響而升高死亡率；防砂壩阻礙了被暴雨沖刷至下游的鮭魚回到上游的機會；鮭魚在七家灣溪的分佈經由棲息地惡化而改變；具有適合棲地的溪段減少，因而增加小鮭魚族群局部絕滅的機率。

颱風侵襲及防砂壩阻隔使得上游溪段的鮭魚族群數量呈現銳減的趨勢，而下游較高水溫及防砂壩的阻隔又使那些不幸遭暴雨沖至下游溪段的個體幾乎喪失活存的機會。兩大自然力與防砂壩設施，使得近年來臺灣櫻花鉤吻鮭的族群分佈逐漸緊縮至中游一號壩至三號壩間的溪段。由於上游溪段的水溫較為穩定，是臺灣櫻花鉤吻鮭棲息與繁殖良好棲所。為解決防砂壩所帶來的災害放大效應及使遭暴雨帶離適當棲地的鮭魚能有機會回到原棲所，雪霸國家公園管理處於2000~2001年陸續改善高山溪上游的四座防砂壩。四號壩改善後即發現臺灣櫻花鉤吻鮭的分佈隨即擴展至棲地更多樣的上游河段，顯現改善防砂壩對臺灣櫻花鉤吻鮭族群的直接幫助(Chung et al., 2007)。

七家灣溪拆壩的短期效應與許多國外拆壩的經驗相同。首先最先影響的是壩體下游的棲地狀況，同時魚類的生物量以及豐度會隨之下降；壩體上游則有相對生物量增加的現象(Gardner et al. 2011)。壩體拆除後，在壩體上游的底棲無脊椎動物 EPT group (Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera)的豐度和密度比拆壩前有較高現象；在壩體下游，底棲無脊椎動物的豐度和密度都在拆壩後立即下降。結果顯示不論是在上游還是下游，拆壩後會降低優勢指數而增加多樣性指數(Kil and Baeb 2012)。在壩體下游直接受到拆壩的干擾，大型無脊椎動物的數量會立即下降，但是卻不會影響物種的組成，Renöfält et al. (2012) 認為這是在調查的短期內可預期的現象；但是，應該有較長時間尺度的研究，拆壩後續的影響才會陸續浮現。Burroughs et al. (2011) 在拆壩後三年的連續監測發現。壩體會改變溪流魚類的棲地、提高魚類族群密度。隨著壩體的移除，因為沉降作用以及大量的細顆粒傳輸會造成下游棲地的狀況惡化，可能導致某些魚類密度下降。這個狀況與 Doyle et al. (2005)的預測一樣，魚類的族群會受到拆壩後地質條件恢復的速度所限制，同時影響族群連結性。雖然三年過後河道仍持續在改

變，但是隨著逐漸輸出的沉積物，下游棲地的狀況可能會持續改善。作者也提到雖然拆壩的利益可能無法在很快的時間展現，但是魚類的棲地確實明顯改善。此外，針對拆壩後所造成影響的分析，過去我們著重在統計試驗的分析結果，以“統計顯著”上的差異來判別拆壩干擾對於生態系的影響。Kibler et al. (2011)提出拆壩干擾的影響程度應該由“生態顯著”作為判別的標準而非“統計顯著”，透過訂立生態系統的基础線(baseline)，透過比較干擾後與基礎線，就可以知道生態系是否受到影響；進一步可去預測當甚麼樣程度的干擾發生時，生物乃至於整個生態系會發生甚麼改變。這個概念是我們未來資料分析、整合的重點方向。

七家灣溪進入拆壩後的第三年的監測，隨著河道持續發展，拆壩後的長期效應逐漸顯現。從國外的研究調查也發現，拆壩對於溪流總體的效應來說是好的，尤其是針對魚類棲地改善的部分，但是國外研究長期監測也發現，即使過了三年，拆壩後的河川仍不斷的在作用。文獻也有提到颱風對於下游流域會有改善的狀況，我們可以發現 2012 年的蘇拉颱風，造成整個地貌改變，同時讓生物的數量都減少，可以看出在拆壩後遭遇較大洪水事件時，環境與生物發生的變化，未來更長時間尺度下，可能發生規模更大的洪水事件，對於濱岸生態系乃至於整個武陵河谷的影響是需要密切觀察的。因此，需要較長時間尺度的研究，才能完整瞭解拆壩干擾對於溪流生態系的影響。

(三) 計畫目標

本計畫具體研究內容及擬解決問題為：

1. 按照濕地生物多樣性監測系統標準作業程序(林幸助等, 2009c)，監測武陵地區流域的長期生態過程，探討其變化機制。
2. 臺灣櫻花鉤吻鮭族群、年齡層與歷年動態變化之分析。
3. 探討臺灣櫻花鉤吻鮭與生態系統之食物來源，比較七家灣溪一號防砂壩壩體拆除與棲地改善工程前後之差異。
4. 溪流水棲昆蟲群集、生物量與歷年動態變化之分析。
5. 溪流藻類群集、生物量與歷年動態變化之分析。
6. 溪流水質與歷年動態變化之分析，至少需包括 pH、導電度、濁度、生化需氧量、總磷、氨氮、硝酸氮與亞硝酸氮等項目。
7. 溪流物理棲地歷年動態變化之分析，項目包括河道斷面、棲地底質、棲地類

型、水文與泥砂量。

8. 建立與國際接軌之武陵地區生態資料庫。
9. 需將所收集生態與環境資料作整合分析，並依食物網架構作綜合研判。
10. 武陵地區經營管理(保育、育樂、教育)策略之擬訂。

因此，本計畫的工作重點項目除了長期監測與研究包括物理棲地、水質與藻類、水棲昆蟲與魚類等主要溪流與濱岸生物群集外，將繼續監測七家灣溪一號防砂壩壩體改善後的生態效應與動態變化，建構拆壩穩定後之生態系食物網模式。以系統性的生態監測，瞭解七家灣溪一號防砂壩改善後的生態環境與生物類群之短、中及長期變化過程，並探討生物間以及生物與環境間的變化機制與生態效應。本計畫的最終目的是期望所建構之武陵地區溪流生態系模式具有實際預測環境變遷與人為活動干擾之能力，並與生態、環境的監測資料相輔助，提供作為武陵地區溪流生態系與防砂壩改善工程經營管理之決策參考。

二、材料與方法

(一)研究測站

武陵地區位於臺灣中部，其中主要溪流為七家灣溪，與司界蘭溪匯集後即成為大甲溪上游，皆屬於德基水庫集水區。本計畫主要研究地點為武陵地區溪流，包括七家灣溪、桃山西溪、桃山北溪、高山溪及有勝溪(圖 7)，進行實地觀測、調查與探勘。同時亦在司界蘭溪作生態監測與評估。武陵地區面積約 46 公頃，是一個由雪山山脈所圍繞成的山谷(圖 1)。南北走向呈葫蘆形的狹長谷地，終年平均氣溫為 15°C 左右。

依循在 2005 年 WALTER 計畫所設立的監測系統與永久測站，長期監測並整合先前研究所篩選出之重點監測項目，包括棲地、水質、藻類、濱岸植被、水棲與陸棲昆蟲、兩生類、魚類與鳥類等時空動態變化資料，尤其是監測七家灣溪一號防砂壩改善前後、武陵農場山溝水點源污染源以及 2006 年 8.1 公頃農地回收後的生態環境變化。計畫研究重點將在武陵地區三條主要溪流 6 個長期固定測站(圖 8)，包括桃山西溪武陵吊橋上游之桃山西溪測站(測站#2)、七家灣溪二號壩測站(測站#3)、觀魚台測站(測站#4)與櫻花鉤吻鮭繁殖場測站(測站#5)、高山溪一號壩之高山溪測站(測站#8)以及有勝溪下游靠近遊憩區收費站之有勝溪測站(測站#9)。桃山西溪測站於桃山西溪之武陵吊橋前方約 50 m 處，河床底質為巨石，礫石及鵝卵石，上游有一防砂壩；二號壩測站位於 2006 年武陵農場 8.1 公頃果菜園農地回收復育地之下游，河床底質為礫石及鵝卵石；觀魚台測站位於武陵地區農業區的下流處，雪霸國家公園管理處往上游的河段，其河床底質也多为礫石及鵝卵石；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，河床底質多为礫石及鵝卵石；高山溪測站位於高山溪已拆防砂壩上游方向 50 m，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流處，河床底質多为泥砂、礫石及鵝卵石。高度優養化之有勝溪，附生藻類繁生，可與寡營養鹽之高山溪測站相對照；測站#2、#3、#4、#5 皆屬於七家灣溪，其中測站#2 與測站#8 類似，但測站#4 經過農業區之果園、茶園與菜園，與測站#1 之有勝溪類似，可以相對照，藉以探討不同環境因子對主要生物群集之影響。測站#5 為七家灣溪與高山溪之匯流處，可用以檢視匯流效應。本計畫同時在七家灣溪一號壩上下游各 100 m 處設置測站#12 及#13，以監測七家灣溪一號防砂壩改善前的生態環境背景資料，其河床底質也多为礫石及鵝卵石。

(二)採樣頻度

在武陵地區溪流生態監測頻度，依 Yu and Lin (2009)針對該地區石附生藻類的季節性變化可區分為春(3月)、夏(4~10月)、秋(11月)與冬(12~2月)四季。因此本計畫將在乾季枯水時為每季監測一次，即 2、3~4、10~11 月共三次。夏季颱風季節時頻度增為兩次，分別為颱風季節前 1 次(6 月)，以及第一次直接侵襲武陵地區之颱風後 1 次(通常是 7~8 月間，監測颱風洪水效應)，所以一整年監測頻度總計為 5 次。司界蘭溪 2 個共同測站之生態監測，將於 2 月枯水期進行年度監測與整體評估。河道地形測量預計於 2、3~4 及 10 月實施，其中 1 次之七家灣溪調查範圍為全河道調查。臺灣櫻花鉤吻鮭除於共同樣區及共同時間計數觀測外，預計於 6 月及 10 月進行全流域計數調查。

(三)各計畫採樣方法

下列為各子計畫材料方法之概述。詳細材料方法，請參照各子計畫章節。

A. 藻類

1. 石附生藻類生物量與群集測定

各測站石附生藻類監測，於不同微棲地(瀨、流、潭)隨機撿取 3 個 15~20 cm 左右大小相近溪底石頭樣本。刮下石頭表面的藻類，以丙酮溶液萃取，以分光光度計測量萃取液之吸光值後，計算所含葉綠素 *a*、*b* 與 *c* 濃度。另一部分的藻類樣品則用以分析藻類群集組成。

2. 水中有機粗顆粒碎屑傳輸

在每一測站的取樣河段上、下游河流橫斷面各放置 3 個攔網，連續 24 小時收集攔截到的有機物樣本，帶回實驗室後將收集到有機碎屑進行分類。

3. 溪流底層有機物蓄存量

以舒博氏水網定面積擾動底質，採集 3 個樣本，將有機碎屑收集至網中，將大片的有機碎屑挑出帶回實驗室分析，剩餘細顆粒再進一步過篩出細顆粒態有機碳，再以灰化爐處理。

4. 總懸浮物質

拆壩前、拆壩中以及拆壩後進行水樣採集，樣品經烘乾秤重後，再以灰化爐處理。

B. 物理棲地與泥砂監測

對共同測站之河道進行斷面測量及物理棲地調查，包括河道縱橫向變化、棲地組成與粒徑分佈之現況進行分析，提供其它子計畫環境因子參考。結合現場調查和先前研究，提出河道變化趨勢與環境改變之關連性分析。

泥砂監測部分則包括：

1. 利用攝影機記錄壩體改善前中後歷程的攝影系統採用高解析度的IP Camera與中低解析度的Trail Camera兩種。
2. 利用濁度計持續監測壩體改善過程溪水濁度變化。
3. 於七家灣溪一號壩上下游監測範圍內共設有水位測站三處，分別為觀魚台右岸處、兆豐橋及萬壽橋上，水位計測值與現地實際水深進行率定以求得實際水位。

C. 水質監測

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，依週遭林地的土地利用與農田的分佈採取溪流上、下游及匯流口處做為七家灣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，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3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。

D. 水棲昆蟲

持續生態監測並建立武陵地區水棲昆蟲相生態資料庫，以水棲昆蟲群集結構和功能為研究主題，並且以多樣性指數、RBP II 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集結構變動，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，以作為集水區經營管理之參考指標。

E. 魚類

本研究除定期調查各固定樣點的魚類族群分布與數量外，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，以浮潛方式目視辨別魚種和計算魚數，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、分佈與棲地型態，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。

F. 生態資料庫建構

本計畫所收集之原始生態調查資料，採用中央研究院生物多樣性研究中心設計的『通用生態調查資料格式』，作為本計畫原始生態調查資料的格式。『生態調查資料格式』，主要以國際通用的達爾文核心欄位(Darwin Core 2.0)及 ABCD Schema 為基礎，並配合中文資料的需求，作適度的修改。

G. 資料分析

使用 ECOPATH with ECOSIM 軟體進行食物網模式架構。模式架構原理依據生物個體能量收支平衡原理，生產量 = 被攝食量 + 自然死亡量 + 生物量累積 + 輸出量。架構模式所需要：各生物類群生物量、單位生產量(P/B)、單位攝食量(Q/B)、生態效率 (EE) 與食性組成(DC)。

功能群分各類群：1. 河鳥、2. 臺灣櫻花鉤吻鮭(大魚)、3. 臺灣櫻花鉤吻鮭(小魚)、4.

臺灣鏟頰魚(大魚)、5. 臺灣鏟頰魚(小魚)、6.水棲昆蟲捕食者、7. 水棲昆蟲收集者、8. 水棲昆蟲濾食者、9.水棲昆蟲刮食者、10.水棲昆蟲撕碎者、11. 非昆蟲植食者、12.浮游藻類、13 附生藻類、14 碎屑。模式驗證：(1)以各類群生態效率(EE)之估計值是否 <1.0 ，(2)各生物類群的生長效率(GE)是否介於 0.1-0.3。利用模式分析中的網絡分析，探討食物網架構、循環指數以及食物鏈物質能量流。

三、成果

(一)各子計畫成果

1. 雨量對於藻類生物量是一個很重要的控制因子，當月累積雨量 300 mm 時就能有效減少七家灣溪主流測站的藻類生物量。
2. 石附生藻類生物量的長期監測結果可發現，除了高山溪測站之外，降雨與颱風頻度對武陵地區石附生藻類扮演決定性角色。
3. 石附生藻類葉綠素組成顯示，受到拆壩與颱風降雨事件影響最大的是綠藻，矽藻因為適應於較高流速環境，所以回復能力也較佳，但是兩者對於棲地穩定度(福祿數)都非常敏感。因此，相較於拆壩後的短期效應，降雨事件會導致水文狀態與物理棲地的長期改變，才是主要影響七家灣溪石附生藻類的時空變化的原因。
4. 在碎屑的部分，不論是溪流中傳輸的 CPOM 以及 TSM，或是蓄存在底質的 FBOM，雖然靠近壩體的測站會有部分影響，但是整體來說，季節性降雨還是主要影響溪流有機物傳輸量或是蓄存量的重要因子。
5. 今年度以高山溪三號壩上游殘材壩體深潭為斷面起始點進行量測作業。高山溪在二號壩址與一號壩下之殘材壩，在人為進行裁切作業後，其壩體已被沖毀；然而，高山溪二號壩與下游河道依舊存在約 2.5 公尺的高低差。
6. 各測站之物理棲地與底質類型調查結果，除一號壩上下游外，其餘測站與過去調查成果皆有些許變化，評估與今年觀測區有強烈暴雨事件有關。
7. 七家灣溪一號壩改善後，河道已形成連續通道，一號壩上游流心線隨時間變化產生向源侵蝕，一號壩上游處因崩塌地提供的礫石及土粒，經雨季後左岸有呈現淤積的現象，特定斷面的高程變化(圖 3-38)，棲地變化仍需長期追蹤。
8. 本研究以七家灣溪一號壩上游 1.2 公里(觀魚台)至下游 1.8 公里(萬壽橋)之三公里河段為監測範圍。為完整紀錄壩體改善前中後之歷程，本研究除了橫斷面、穿越線等現場調查外，並搭配成功大學水利及海洋工程學系王筱雯研究團隊所購置與架設之攝影機、水位計等儀器之監測資料予以分析探討。
9. 由穿越線調查發現，自 2011 年至今之調查時間內七家灣溪非洪水時期之流量介於 0.89 至 13.62 cms 間。
10. 2011 年拆壩後至今，兆豐橋、萬壽橋水位測站所記錄之最高水位發生於

2012 年蘇拉颱風，水位分別約為 2.80 m 與 4.75 m；次高水位發生於 2013 年蘇力颱風，水位分別約為 2.48 m 與 3.59 m。

11. 2012 年由於梅雨、泰利颱風以及蘇拉颱風等降雨事件，使得溯源侵蝕範圍由上游 200 公尺處向上游延伸至壩上游 800 公尺處，2013 年經歷蘇力颱風及潭美颱風等事件後，於 10 月 24 日調查結果發現溯源侵蝕終點仍停留於壩上游 800 公尺處。
12. 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。
13. 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。
14. 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。
15. 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，且近兩年各測站濃度均有升高之趨勢，故有持續監測與控制遊客數量之必要性。
16. 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。
17. 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。
18. 8.1 公頃回收農用地之歷年監測結果觀察到 99 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。

19. 各站所採獲水棲昆蟲物種數目前已持平，為 63 分類群(Taxa)。
20. 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。
21. 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，不過洪流減弱，長鬚石蛾及黑管石蛾之回復採樣記錄，我們認為毛翅目這二物種可作為極端洪流的生物指標。
22. 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，預測 2014 年年初水昆及中大型食餌數量將較 2013 年年初低迷。
23. 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。
24. 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 2009~2012 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。
25. 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。
26. 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。

27. 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。
28. 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，從生態系食物鏈傳遞的角度來看，應長期追蹤(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。
29. 2013 年針對共同樣站的定期調查已經完成五次，監測資料結果顯示與歷年資料差異不大，四月份過後由於有新生幼魚的加入而比二月份有更多鮭魚紀錄，八月份的調查顯示出蘇力颱風過後，各樣站的臺灣櫻花鉤吻鮭數量皆有降低。相較於過去幾年的調查結果，高山溪樣站調查結果發現有較多的鮭魚記錄，去年四月份殘材壩崩毀後，從今年開始也記錄到零星的台灣鏟頰魚。另外，在上游樣站的二號破壩，於一號壩工程改善後，2011 年 10 月開始記錄到一尾台灣鏟頰魚之後，去年與今年持續有穩定的紀錄，顯示一號壩壩體改善對於魚類的上溯有正面的效益。
30. 今（2013）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 4,061 尾，較去年多了約 300 尾。其中一齡小魚有 1,933 尾，二齡中型鮭魚有 1,445 尾，三齡大型成魚則有 683 尾。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非常良好，受到去年蘇拉颱風影響的鮭魚族群數量因為新生幼魚的加入而有成長。
31. 由於去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，在經歷今（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。秋季普查結果顯示，臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量僅剩 1,245 尾，跟颱風前相比減少了約三分之二。其中一齡小魚僅剩 316 尾，二齡中型鮭魚剩 529 尾，三齡大型成魚則有 400 尾。族群結構呈現以中型鮭魚較多，大型鮭魚次之，而小型鮭魚最少的陀螺型的族群結構，顯示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，今年的新生族群僅剩少部分留存。

32. 桃山西溪樣站之監測數量，頗能反映整體武陵地區的臺灣櫻花鉤吻鮭族群受風災影響之狀況，以及每年幼魚更新之族群健康狀況。此樣站周邊對魚類來說為一個 Y 形的封閉式系統，上有四號壩與四號副壩阻隔，下有三號壩的極高落差，桃山北溪的支流也有一個天然的小瀑布落差。整合此 Y 型封閉式河段歷年臺灣櫻花鉤吻鮭族群普查的結果，其與整個武陵地區歷年的數量變化相比之下，可以發現兩者之間的變化有著顯著的相似關係。
33. 二號破壩樣站 2005 年至 2011 年為止，皆未曾有過臺灣鱖領魚的紀錄。但在 2011 年一號壩壩體改善後的歷次調查都已經有臺灣鱖領魚的紀錄，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。
34. 觀魚台樣站的臺灣鱖領魚的歷年族群數量資料，以及壩體改善後的密集研究資料顯示，一號壩壩體改善已經對七家灣溪之生態帶來正面效益。從 2006 年以來，觀魚台當地的臺灣鱖領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馬上就看到比往年更多的臺灣鱖領魚出現在此樣站，並曾經有過魚苗的繁殖觀察記錄。研究人員亦於 2011 年 8 月 10 日於此樣站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。
35. 繁殖場樣站在一號壩改善之後有比以往更多的中小型鮭魚族群，可能是因為有較多的魚可自由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之鮭魚族群，不再因為水溫較高且被一號壩阻隔而無法上溯繁殖，而有更多的幼魚可以在此處棲息並自由移動。
36. 高山溪樣站的臺灣櫻花鉤吻鮭數量，從 2005 年到 2010 年夏季為止，都少於本溪流的平均尾數。直到 2010 年夏季之後，才開始有比較多的臺灣櫻花鉤吻鮭，且大部分數量都高於平均尾數。然而從 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），讓此處的鮭魚數量下降，至 2012 年六月份有所回升，但由於蘇力颱風再次造成棲地改變，鮭魚數量又再減少。
37. 從歷年的普查資料研判，高山溪一號壩是臺灣鱖領魚自然分布的上限。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領魚上溯到高山溪樣站，2013 年糕山西樣站的調查結果也只有零星的紀錄，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，使水溫仍保持在較低溫有關。

38. 七家灣溪一號壩壩體改善後，五處固定樣站之密集研究與鮭魚普查結果顯示，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領魚與一號壩上游樣站所發現的臺灣鏟領魚幼魚群，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領魚躲在此處。顯示高山溪殘材壩前河段可以提供臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鏟領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。
39. 本年度迄今收集水生昆蟲資料 574 筆、水質資料 50 筆、藻類資料 512 筆，鳥類資料 107 筆，植物資料 227 筆，魚類資料 296 筆、兩棲類資料 18 筆，歷年累計收集鳥類、魚類、兩棲類、昆蟲及植物調查資料共 99559 筆(涵蓋 16 綱 104 目 424 科 898 種生物物種)，水體環境資料共 2661 筆(包括水質、硝酸鹽、基本元素通量)，藻類與有機碎屑調查記錄共 4147 筆，環境溫度監測資料 9136 筆(包括空氣、水、土表、土下溫度)以及河川流量模擬推估資料 1369 筆。
40. 觀魚台食物網拆壩後一年食物網中的最高營養階層為臺灣櫻花鉤吻鮭以及河鳥，階層分別為 3.29 以及 3.18；拆壩後第 2 年臺灣櫻花鉤吻鮭的階層增加為 3.57 而河鳥為 3.48。在繁殖場測站臺灣櫻花鉤吻鮭的營養階層在拆壩後的兩年間，從 3.28 增加到 3.57，而河鳥的階層則是從 3.31 增加到 3.47。消費者對於資源的利用效率提高，而使系統可以維持較高的營養階層。
41. Lindeman 物質傳輸模式顯示觀魚台以及繁殖場測站測站消費者的食物來源較多來自於藻類。
42. 營養傳輸效率在拆壩後一年的觀魚台以及繁殖場測站，第 I 階到第 II 階的傳輸效率為 5%；在第 II 階到第 III 階的傳輸效率因為受到洪水影響而下降。

- 43 拆壩後 2 年的觀魚台與繁殖場的能量傳輸效率明顯增加，雖然系統的生物量因為受到水文事件的干擾而下降，但是資源被充分利用而提高了傳輸效率。
- 44 綜合營養衝擊分析結果顯示，水棲昆蟲因為數量減少，水棲昆蟲捕食者(第 III 階)對於第 II 階的水棲昆蟲都是負向的影響，因為控制了第 II 階水棲昆蟲的數量，間接使生產者生物量增加，是由上而下控制的狀況。
- 45 臺灣櫻花鉤吻鮭在系統中屬於第 III 階的魚類，與水棲昆蟲捕食者反應類似。
- 46 河烏對於臺灣櫻花鉤吻鮭以及臺灣鏟頰魚小魚族群的影響最大，推論因為河烏相對於水中的生物沒有直接受到拆壩影響。
- 47 關鍵物種結果顯示河烏不管在哪個地點或是時間點都是系統的關鍵物種。
- 48 模式輸出參數 P/R 值顯示，在拆壩後第 1 年，觀魚台測站位於壩體上游，沒有直接受到拆壩影響，系統的反應與直接受到拆壩影響的繁殖場測站不同。到了拆壩後第 2 年，拆壩的影響逐漸與水文事件的影響不可區分，而整個流域的狀況受到同樣的水文事件影響趨近相同，在分析中有相似的模式參數的輸出。
- 49 循環指數與相對系統開銷數值顯示，雖然觀魚台以及繁殖場測站干擾後的恢復力，受連續水文事件干擾的影響而下降，但是從系統中物質循環指數來看，在拆壩後第 2 年逐漸變好，顯示系統的恢復力逐漸提高。

50 基礎線 (baseline)

- (1.) 硝酸鹽氮濃度可作為是否受人為活動影響之關鍵指標，若不受人為活動干擾，硝酸鹽氮濃度大多低於 1 ppm。七家灣溪總氮濃度普遍低於 20 ppb，早春的氮濃度較高，可能與賞櫻遊客有關。
- (2.) 七家灣溪非洪水時期之流量介於 0.89 至 13.62 cms 間。流量超過 445 cms 時，其重現期距為十年之大型洪水事件。小型洪水事件約為 35 cms 內(重現期距一年)。
- (3.) 無降雨事件時的濁度約為 30 NTU 以下。小型降雨事件濁度為 100 NTU 以上，大型降雨事件濁度則為 1000 NTU 以上。拆壩導致濁度最高提升至 627 NTU，蘇拉颱風導致濁度提升至 8000NTU 以上。
- (4.) 沒有颱風洪水干擾時，七家灣溪主流石附生藻類生物量維持在 30 mg Chl a m⁻² 之內，若高於此濃度，則代表有異於長期監測的範圍。桃山西溪與高山溪約為 20 mg Chl a m⁻² 之內。有勝溪約為 150 mg Chl a m⁻²

內，且變動範圍較大。

- (5.) 無颱風事件時，臺灣櫻花鉤吻鮭大型食餌的密度接近 1000 insects m⁻²。
- (6.) 無颱風洪水時期，臺灣櫻花鉤吻鮭數量將可接近最大承載量（最大承載量：5800 尾）。
- (7.) 以河鳥作為溪流鳥類監測指標，在一年以上未受颱風影響的時期，七家灣溪和高山溪的調查區域內河鳥總數是 39.6 隻(SD=10.3)，相當於每公里應有 4.7 隻(SD=1.2)。

51. 監測指標性 (indicators)

- (1.) 水質以硝酸鹽 < 1 ppm。氨氮 < 20 ppb 作為判斷指標。主要為人為活動影響。
- (2.) 十年期距之大型洪水事件：流量為 445 cms，為大型干擾事件。小型洪水事件之流量為 35 cms (重現期距為一年)。河道穩定或未來河川型態調整之參考，可藉由河道穩定指標來輔以判定，如縱向穩定指標、橫向穩定指標及槽偏量等。
- (3.) 降雨量以累積月降水量超過 200 mm 時，會導致臺灣櫻花鉤吻鮭幼魚數量大幅減少，作為判斷依據。
- (4.) 降雨量以累積月降水量超過 300 mm 時，會導致附生藻類生物量大幅減少。藻種部分可分為，干擾敏感群：鏈狀生長型與直立生長型矽藻。干擾耐受型：短膠柄著生型 *Achnantheidium* 與 *Reimeria* 兩屬矽藻。綠藻容易受到洪水影響而減少，但是在沒有颱風洪水時，溪段開闊、高導電度以及高水溫的環境，綠藻容易增生。
- (5.) 水棲昆蟲以臺灣櫻花鉤吻鮭之大型食餌如毛翅目的密度作為指標性判斷。
- (6.) 魚類部分則以臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鏟頰魚兩種魚類做為指標物種。
- (7.) 鳥類部分以河鳥作為溪流鳥類監測指標。
- (8.) 濱岸植群以五節芒、艾、臺灣澤蘭、臺灣赤楊等為指標植物，用於監測及推估不同環境及干擾下之濱岸植群動態。在大型干擾事件過後，由五節芒等初期植群演替至台灣赤楊林所需時間約為五年。
- (9.) 兩生類透過蝌蚪成長發育狀況及食砂行為，去判斷工程對溪流環境造成的擾動是否影響兩生類，以此作為經營管理之依據。

52. 干擾後恢復時間 (recovery)

- (1.) 水質部分拆壩的影響主要呈現於亞硝酸鹽濃度的增加，可於一週後恢復。
- (2.) 小型颱風降雨事件過後，濁度值於五天內恢復。拆壩的影響輕微，平均經過 9.5 小時後會降至該日最高濁度值之約三分之一。
- (3.) 在單一洪水颱風干擾過後，若沒有連續性降雨事件，石附生藻類葉綠素 a 生物量約可於一個月內恢復。
- (4.) 拆壩對於水棲昆蟲而言相當於小型洪水事件，水棲昆蟲密度恢復的時間約為 2.5 個月。大型颱風事件干擾之後所需恢復時間則大於三個月。
- (5.) 受到拆壩驚動，拆壩後河鳥往下游 500-1000 m 的區域避難。蘇拉颱風後將大量一號壩上游土石沖向下游，導致一號壩上游 0-500 m、下游 0-500 m 和下游 500-1000 m 的河鳥數量全都降低。
- (6.) 濱岸植群可以五節芒、艾、臺灣澤蘭、臺灣赤楊等為指標植物，在大型干擾事件過後，由五節芒等初期植群演替至台灣赤楊林所需時間約為五年。

(二)其他研究團隊之義務協助相關成果

雖然今年本計畫中並不包含濱岸植群、鳥類研究與兩生類調查。然而部分過去相關子計畫的研究團隊仍延續 2012 年的研究，協助本計畫進行義務性調查，希冀能完整呈現七家灣溪一號防砂壩壩體改善前後的生態效應。以下為目前的重要成果。除此之外，下列成果中包含「武陵地區小型哺乳動物群聚與臺灣森鼠寄生蟲相之研究」的摘錄成果。

1. 在 2012 年夏季的降雨、颱風等干擾後，以物種豐多度而言，2012 年秋季(26 種)、2013 年冬季(19 種)、2013 年秋季(12 種)皆少於 2012 年春季(96 種)、2011 年春、秋季(皆 76 種)；此外，以物種豐富度而言，地被層多樣性仍以強降雨事件前之前三期較高，且一號壩上游(#12)測站之地被層歧異度高於其他三處測站。顯見濱岸植群仍未完全恢復，故應須持續監測其變化。
2. 綜合比較 2011~2013 年六期調查之植群分型結果得知；五節芒型、艾型、臺灣澤蘭型、臺灣赤楊型等長期為濱岸地被層主要植群型，而 2013 年冬季

調查時雖主要為五節芒型，此型中亦伴生諸如艾、臺灣澤蘭、臺灣赤楊等 C3 植物；而 2013 年秋季之植群型又分為五節芒型、臺灣澤蘭型及加拿大蓬型，因此，推測未來在適宜的條件下，將有機會可穩定生長。職是之故，藉由七家灣溪濱岸植群之演替模式，可以五節芒、艾、臺灣澤蘭、臺灣赤楊等為指標植物，用於監測及推估不同環境及干擾下之濱岸植群動態！

3. 今年四月盤古蟾蜍蝌蚪數量較去年低；四月梭德氏赤蛙蝌蚪數量無太大差異，十月梭德氏赤蛙蝌蚪較去年低，新生幼體多出現於高山溪樣站(#8)。
4. 梭德氏赤蛙與盤古蟾蜍蝌蚪密度受季節性大水影響比拆壩效應來得大，春季梅雨影響盤古蟾蜍蝌蚪密度；夏末初秋的颱風影響梭德氏赤蛙新生蝌蚪密度。
5. 梭德氏赤蛙與盤古蟾蜍的蛙與蝌蚪密度在季節與空間分布上具有差異。樣站：盤古蟾蜍幼體集中有勝溪樣站；梭德氏赤蛙幼體則以七家灣流域為主。月份：盤古蟾蜍成、幼體多出現於年初；梭德氏赤蛙則集中於年末。
6. 河烏因為有避難效應，洪水過後在七家灣溪數量會降低，而有勝溪的數量會增加，兩條溪的族群波動不同，是個關聯族群(metapopulation)。鉛色水鵝在這兩條溪的波動則大致相同。
7. 拆壩後半年只影響一號壩下游0-800m的河烏族群，2012年蘇拉颱風則主要影響一號壩上游0-800m，主因為嚴重的向源侵蝕，2013年的蘇力颱風則上下游變化一致，顯示拆壩的影響已不明顯。鉛色水鵝在拆壩後半年影響輕微，蘇拉颱風過後上游0-800m數量降低，但無避難效應。
8. 今年5-6月有勝溪張良橋施工造成下游溪水混濁，下游河烏往上游集中，下游鉛色水鵝數量也減少。
9. 今年七家灣溪河烏繁殖比去年略減一對，受去年颱風影響不大，且颱風導致1號壩上游嚴重侵蝕，露出新的岩壁，今年有河烏在上頭築巢。11月底發現河烏開始築巢，比往年提早一個月以上，提早的原因以及對繁殖表現的影響值得關注。
10. 有勝溪連續兩年的調查顯示河烏族群量和繁殖對數都明顯少於七家灣溪，屬於較差的繁殖棲地，但洪水期間卻是七家灣溪河烏的避難所，顯示保護次要棲地或衛星棲地的重要性。

11. 以河鳥作為溪流鳥類監測指標，在一年以上未受颱風影響的時期，七家灣溪和高山溪的調查區域內河鳥總數是 39.6 隻(SD=10.3)，相當於每公里應有 4.7 隻(SD=1.2)。
12. 不論是濱岸次森林或復育草地，小型哺乳動物總數量在 2008 與 2011 年間有 1.9 倍的增加。目前所觀察到的年間變化，可能為外在氣候或族群生物制約影響下所呈現的規律性年間波動，並非有方向性的演替變化。
13. 在小型哺乳動物群聚的組成上，濱岸次森林與復育草地間有不同的年間變化。濱岸次森林主要以臺灣森鼠及黑腹絨鼠為優勢種。值得一提的是不論在濱岸次森林或復育草地，黑腹絨鼠在過去幾年間是唯一持續穩定成長的物種，推測此物種對復育地生態有良好的適應能力。
14. 於 2011 年 11 月至 2012 年 9 月間，我們共檢視了 48 隻草地之臺灣森鼠成體。主要較為常見的 6 種寄生蟲屬感染率（所有檢視個體中有發現寄生蟲的比例）約在 0.1 到 0.6 之間。所有寄生蟲合計，感染率高達 96%（48 隻中有 46 隻至少有一種寄生蟲卵）。同時，以寄生蟲量（每毫克糞便中寄生蟲蛋數）來看，除 3 月外幾乎全年都維持相當高的程度。由於 3 月的個體數極少（4 隻），因此 3 月的低寄生蟲量有可能是因為資料不足的關係，有待後續研究確認。在這 48 隻草地之臺灣森鼠成體中，我們檢視了 45 隻的外寄生蟲。蟬、蝨、蚤合計，感染率高達 87%（45 隻中有 39 隻至少有一種外寄生蟲）。其中又以蝨類最為普遍，其次為蚤類與蟬類。

(三) 整合成果

一 食物網能量流圖

從觀魚台的食物網(圖 1-7)可以發現，拆壩後一年食物網中的最高營養階層為臺灣櫻花鉤吻鮭(大魚)以及河烏，階層分別為 3.29 以及 3.18，與 2004 年在相同地點所架構的食物網比較，最高營養階層明顯增加。系統中營養階層主要受限於系統中所擁有的能量以及各階層生物傳遞能量的效率，過去在七家灣溪的研究顯示，七家灣溪雖然有足夠的初級生產量，但是由於能量傳遞的效率不好，導致系統無法維持較高的營養階層。這個結果也可看出從 2004 年到 2012 年這八年間保育的成效，當中包含 2011 年的拆壩事件。從拆壩後第 2 年的食物網能流圖更可看出拆壩的成效(圖 1-7 B)，結果顯示整體食物網架構與拆壩後第 1 年相同，但是營養階層在這一年間明顯增加，臺灣櫻花鉤吻鮭的階層為 3.57 而河烏為 3.48。從圖中可以發現，不管哪個生物類群，類群的生物量在拆壩後 2 年因為受到水文事件的影響而下降，推論雖然資源量受到限制，但是消費者對於資源的利用效率可能因此提高，而使系統可以維持較高的營養階層。相同的狀況，在繁殖場測站也可發現(圖 1-8)，臺灣櫻花鉤吻鮭的營養階層在拆壩後的兩年間，從 3.28 增加到 3.57，而河烏的階層則是從 3.31 增加到 3.47；與 2004 年相比，最高營養階層增加約 0.5 個階層。

二 食物鏈物質傳輸模式

從 Lindeman 物質傳輸模式可以發現觀魚台測站消費者的食物來源(圖 1-9)，較多來自於藻類，這個狀況與 2004 年的分析結果相反。從物質傳輸模式可以看到藻類的生物量雖然大部分進入碎屑，但是被使用的量仍高於碎屑；而拆壩後兩年雖然整體生物量減少，藻類仍是主要的能量來源(圖 1-9B)。再從營養傳輸效率來看，第 I 階到第 II 階的傳輸效率，不論是拆壩後第 1 年或是第 2 年，都與 2004 年的分析結果類似。雖然拆壩後受到連續洪水事件的影響生物明顯減少，而系統中第 II 階的消費者特別是移動力較差的水棲昆蟲，容易受到水文事件的干擾而喪失。同時也因為拆壩後形成一條暢行無阻的生態廊道，使臺灣鱸頭魚得以移動到較上游的觀魚台測站。在模式中臺灣鱸頭魚與水棲昆蟲刮食者、濾食者、收集者以及撕碎者同屬第二階的生物，因此雖然水棲昆蟲的密度有減少的狀況，但是因為系統中加入臺灣鱸頭魚，使第 I 階到第 II 階的傳輸效率得以維持。

營養傳輸效率在繁殖場測站的狀況剛好相反(圖 1-10)，因為位於拆壩影響的下游，第 II 階生物的傳輸效率在拆壩後第 1 年與 2004 年相比較差，推論因為水棲昆蟲會直接受到泥沙覆蓋，同時臺灣鏟頰魚透過壩體缺口而移動至上游不受干擾的區域，導致系統中第 II 階生物缺少，而有較差的傳輸效率。但是，拆壩後第 1 年，觀魚台以及繁殖場測站能量傳輸在第 II 階至第 III 階的傳輸效率與 2004 年相比皆降低，可能因為第 II 階水棲昆蟲因為受到水文事件干擾而從系統中消失，雖然臺灣鏟頰魚與第 II 階的水棲昆蟲有相同生態區位，但是第 III 階的水棲昆蟲捕食者以及臺灣櫻花鉤吻鮭以臺灣鏟頰魚為食物來源的機率較低，因此在拆壩後一年的傳輸效率在 II 階至 III 階有下降的現象。從拆壩後 2 年的觀魚台與繁殖場的能量傳輸來看(圖 1-9B、1-10B)，傳輸效率明顯增加，雖然系統的生物量因為受到水文事件的干擾而下降，但是資源被充分利用而提高了傳輸效率，因為能量系統中的利用效率提高，對於食物網階層的提升是有正向幫助(圖 1-7B、1-8B)。

三 綜合營養衝擊與關鍵物種

綜合營養衝擊是評估各類生物，其生物量的消長對於其他生物的影響(圖 1-11、1-12)，白色方塊向上代表數量增加，若為黑色方塊向下則為減少。整體來看，觀魚台與繁殖場測站有相同的影響趨勢。系統中生物量很少的類群，如浮游藻、蝌蚪，這兩個物種的生物量消長，對於其他類群而言幾乎沒有影響。生產者的數量增加對於第 II 階的消費者的生物量而言有正向的助益。而第 II 階的水棲昆蟲消費者對於相同生態區位的其他水棲昆蟲有競爭的現象，這樣的結果在 2004 年的分析中並沒有發現，推論因為資源受到限制，相同生態區位的生物類群必須要競爭相同的資源，因此對於彼此而言都是負面的影響；也因為水棲昆蟲數量減少，水棲昆蟲捕食者(第 III 階)對於第 II 階的水棲昆蟲都是負向的影響，因為控制了第 II 階水棲昆蟲的數量，間接使生產者生物量增加，是由上而下控制的狀況。臺灣櫻花鉤吻鮭屬於第 III 階的魚類，所呈現的反應與水棲昆蟲捕食者類似。河烏對於臺灣櫻花鉤吻鮭以及臺灣鏟頰魚小魚族群的影響最大，雖然在模式輸入時，已將河烏對於小魚的攝食比例調降，由於河烏的生物量在系統中相對較大，對於牠的資源而言會產生較大的捕食壓力，推論因為河烏相對於水中的生物沒有直接受到拆壩影響。也因此從關鍵物種結果也可以發現(圖 1-13、1-14)，河

烏不管在哪個地點或是時間點都是系統的關鍵物種。

四 生態模式參數輸出

觀魚台測站不直接受到拆壩影響，因此拆壩後第 1 年的模式參數輸出(表 1-1)與 2004 年比較可以看出這八年來的差別。從總生產量來看 2004 年與拆壩後第 1 年數值差異不大，顯示整個系統的沒有太大的改變；但是 P/R 值在拆壩後第 1 年明顯下降，顯示系統中消費者增加，推論與臺灣鏟頰魚透過壩體缺口移動到上游有關。雖然系統的 P/R 值從 2004 年的 30.42 降至拆壩後第 1 年的 5.02，環境趨向較健康的狀況，但是 Lewis (1981)以及 Christensen & Pauly (1993)認為一般生態系的 P/R 值大約介在 0.8-3.2 之間，雖然 P/R 值有明顯下降，但仍有進步的空間。因為 P/R 值高代表系統處於演替初期，擁有高基礎生產但是消費者卻不多，而觀魚台測站的高 P/R 值就是因為藻類的生產量太高所導致。P/R 值降低，除了系統中加入的臺灣鏟頰魚外，拆壩後環境改變，水流較快會限制藻類生長。

拆壩後第 2 年的 P/R 值與拆壩後第 1 年的 P/R 值維持相同的範圍內，顯示系統在拆壩後逐漸穩定的狀況，雖然拆壩後第 2 年因為受到連續水文事件影響，導致整個系統的生物量大幅下降，但是系統仍保有相當的生態功能。雖然拆壩可以讓臺灣鏟頰魚進入壩上游的生態系統，增加系統中對於藻類的攝食，但是在觀魚台測站沒有缺少沿岸遮蔽的狀況，要避免藻類增加太多，未來可以透過系統 P/R 值來監測生態系統是否健康或是持續劣化。繁殖場測站(表 1-2)的狀況與觀魚台相反，測站位於壩體下游，直接受到拆壩的影響，系統的總生產量在拆壩後第 1 年較 2004 年下降，但是 P/R 值則明顯降低，且與前人研究的 P/R 值範圍相符，屬於健康的生態系統。拆壩後第 2 年的觀魚台以及繁殖場測站顯示相近的模式參數輸出，顯示整個流域的生態系統條件趨近相同。在拆壩後第 1 年，觀魚台測站位於壩體上游，沒有直接受到拆壩影響，系統的反應與直接受到拆壩影響的繁殖場測站不同。到了拆壩後第 2 年，拆壩的影響逐漸與水文事件的影響不可區分，而整個流域的狀況受到同樣的水文事件影響趨近相同，在分析中有相似的模式參數的輸出。

在生態模式中，可以從兩個參數瞭解生態系在干擾後的恢復能力：1. 循環指數 (Finn's cycling index, FCI) 代表食物網中能量再循環利用的程度，較成熟

的系統有較高的再循環程度，在干擾過後可以快速恢復，此數值可視為生態系統的回復力。2. 相對系統開銷 (overhead/ development capacity, O/C) 的數值越高代表生態系統可恢復的能量越多，此數值可視為回復力。觀魚台的模式輸出參數結果 (表 1-1)顯示，因為觀魚台測站不直接受拆壩影響，所以在拆壩後第 1、2 年的有相同 FCI 數值，而拆壩後第 1、2 年的 FCI 較 2004 年增加；以臺灣的溪流生態系來說，FCI 大多都是低的，因為高流速的環境，物質不容易流在溪段內，在拆壩後 FCI 增加代表系統在未來遭受干擾後，系統恢復的速度可能因此提高。繁殖場測站(表 1-2)的 FCI 在拆壩後第 1 年是下降，因為直接受拆壩的影響，在拆壩後第 1 年，溪流的環境仍處於變動的狀況，系統受到的干擾較大。但是到了拆壩後第 2 年，繁殖場測站的 FCI 明顯增加，顯示系統整體的恢復力是增加的。從以上結果可以發現，系統的循環指數同樣地在拆壩後第 1 年受到拆壩的影響，拆壩後第 2 年則是整體流域，反映出系統受水文事件影響的結果。另一方面，系統在干擾後恢復快慢，取決於系統的可利用的能量，結果顯示觀魚台以及繁殖場測站的相對系統開銷，不論是在拆壩後第 1 年還是第 2 年，數值都相近大約 50%，顯示干擾後的恢復力可能受限；同時，觀魚台以及繁殖場測站的 O/C 值在拆壩後第 2 年有些微下降的趨勢，從這個比例可以發現，拆壩後第 2 年整個流域受到颱風洪水很大的影響，能量確實從生態系喪失。從循環指數與相對系統開銷數值可以發現，雖然觀魚台以及繁殖場測站干擾後的恢復力，受連續水文事件干擾的影響而下降，但是從系統中物質循環指數來看，在拆壩後第 2 年逐漸變好，顯示系統的恢復力逐漸提高。

五 生態系統恢復、指標性

基於拆壩對於不同物種有程度的差異，我們訂立溪流生態系遭遇颱風洪水與拆壩工程時，各項生物及環境參數的基礎線、族群恢復時間以及作為監測的指標性(圖 1-15)。

基礎線 (baseline)

基礎線是生態系統中生物以及環境因子的平常狀態，用此基礎線為對照，來判斷生物或是環境因子是否受到事件的影響，以及干擾後恢復的狀況。

1. 硝酸鹽氮濃度可作為是否受人為活動影響之關鍵指標，若不受人為活動干擾，硝酸鹽氮濃度大多低於 1 ppm。七家灣溪總氮濃度普遍低於 20

- ppb，早春的氮氮濃度較高，可能與賞櫻遊客有關。
2. 七家灣溪非洪水時期之流量介於 0.89 至 13.62 cms 間。流量超過 445 cms 時，其重現期距為十年之大型洪水事件。小型洪水事件約為 35 cms 內(重現期距一年)。
 3. 無降雨事件時的濁度約為 30 NTU 以下。小型降雨事件濁度為 100 NTU 以上，大型降雨事件濁度則為 1000 NTU 以上。拆壩導致濁度最高提升至 627 NTU，蘇拉颱風導致濁度提升至 8000NTU 以上。
 4. 沒有颱風洪水干擾時，七家灣溪主流石附生藻類生物量維持在 30 mg Chl a m⁻² 之內，若高於此濃度，則代表有異於長期監測的範圍。桃山西溪與高山溪約為 20 mg Chl a m⁻²之內。有勝溪約為 150 mg Chl a m⁻² 內，且變動範圍較大。
 5. 無颱風事件時，臺灣櫻花鉤吻鮭大型食餌的密度接近 1000 insects m⁻²。
 6. 無颱風洪水時期，臺灣櫻花鉤吻鮭數量將可接近最大承載量(最大承載量：5800 尾)。
 7. 以河鳥作為溪流鳥類監測指標，在一年以上未受颱風影響的時期，七家灣溪和高山溪的調查區域內河鳥總數是 39.6 隻(SD=10.3)，相當於每公里應有 4.7 隻(SD=1.2)。

監測指標性 (indicators)

各監測項目的指標性，有助於快速對於該監測項目進行評估，可以有效減少人力、物力以及時間。

1. 水質以硝酸鹽 < 1 ppm。氮氮 < 20 ppb 作為判斷指標。主要為人為活動影響。
2. 十年期距之大型洪水事件：流量為 445 cms，為大型干擾事件。小型洪水事件之流量為 35 cms (重現期距為一年)。河道穩定或未來河川型態調整之參考，可藉由河道穩定指標來輔以判定，如縱向穩定指標、橫向穩定指標及槽偏量等。
3. 降雨量以累積月降水量超過 200 mm 時，會導致臺灣櫻花鉤吻鮭幼魚數量大幅減少，作為判斷依據。
4. 降雨量以累積月降水量超過 300 mm 時，會導致附生藻類生物量大幅減

少。藻種部分可分為，干擾敏感群：鏈狀生長型與直立生長型矽藻。干擾耐受型：短膠柄著生型 *Achnanthydium* 與 *Reimeria* 兩屬矽藻。綠藻容易受到洪水影響而減少，但是在沒有颱風洪水時，溪段開闊、高導電度以及高水溫的環境，綠藻容易增生。

5. 水棲昆蟲以臺灣櫻花鉤吻鮭之大型食餌如毛翅目的密度作為指標性判斷。
6. 魚類部分則以臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鏟頰魚兩種魚類做為指標物種。
7. 鳥類部分以河鳥作為溪流鳥類監測指標。
8. 濱岸植群以五節芒、艾、臺灣澤蘭、臺灣赤楊等為指標植物，用於監測及推估不同環境及干擾下之濱岸植群動態。在大型干擾事件過後，由五節芒等初期植群演替至台灣赤楊林所需時間約為五年。
9. 兩生類透過蝌蚪成長發育狀況及食砂行為，去判斷工程對溪流環境造成的擾動是否影響兩生類，以此作為經營管理之依據。

干擾後恢復時間 (recovery)

各物種以及環境因子的恢復時間皆不同。水質部分拆壩的影響主要呈現於亞硝酸鹽濃度的增加，可於一週後恢復。小型颱風降雨事件過後，濁度值於五天內恢復。拆壩的影響輕微，平均經過 9.5 小時後會降至該日最高濁度值之約三分之一。在單一洪水颱風干擾過後，若沒有連續性降雨事件，石附生藻類葉綠素 a 生物量約可於一個月內恢復。拆壩對於水棲昆蟲而言相當於小型洪水事件，水棲昆蟲密度恢復的時間約為 2.5 個月。大型颱風事件干擾之後所需恢復時間則大於三個月。受到拆壩驚動，拆壩後河鳥往下游 500-1000 m 的區域避難。蘇拉颱風後將大量一號壩上游土石沖向下游，導致一號壩上游 0-500 m、下游 0-500 m 和下游 500-1000 m 的河鳥數量全都降低。濱岸植群以五節芒、艾、臺灣澤蘭、臺灣赤楊等為指標植物，在大型干擾事件過後，由五節芒等初期植群演替至台灣赤楊林所需時間約為五年。

魚類調查報告顯示 2013 年秋季普查結果，臺灣櫻花鉤吻鮭數量調查發現鮭魚的數量約剩 1200 尾，但其實不只是鮭魚數量減少，整個七家灣流域各生物類群的數量都明顯減少，顯示整體大環境受到水文事件的干擾甚鉅。2012 年的蘇拉颱風造成當年秋季鮭魚族群數量減少約 1/3，在 2013 年的蘇力颱風過後，

鮭魚族群數量則減少為原有數量的 2/3；從水文事件的強度來看，蘇拉颱風的洪水流量是蘇力颱風的 2 倍，但是蘇力颱風的破壞對於臺灣櫻花鉤吻鮭以及整個七家灣溪生態系統造成的干擾卻較大。從水文的的角度來看，因為蘇拉颱風是重現期距超過 20 年的颱風，颱風對於系統的干擾看似不大，但是經過蘇拉颱風洗禮的七家灣溪流域，環境的不穩定潛勢受到颱風的誘發而提高。這是為什麼 2013 年的蘇力颱風強度看似沒有 2012 年的蘇拉颱風大，整個環境卻遭受嚴重的改變，進而影響到生物類群。洪水的作用力改變了物理棲地，從物理棲地的角度來看，推論大石頭比例高的潭區是鮭魚可以抵禦洪水的重要棲地，但是潭的比例從 2012 到 2013 年受到水文事件的影響而改變(圖 1-16)，從各測站不同採樣月份的潭區比例，可以發現潭區的比例在七家灣溪主流測站逐漸減少，雖然統計上沒有顯著差異，但是從棲地多樣性的角度來看，2012 年潭棲地的變異較大，這代表潭的比例從多到少，可以提供生物多樣的選擇。到了 2013 年上半年，雖然潭區的比例有提高的趨勢，但是以流域整體而言，各測站潭區比例仍屬於一個變異高的狀況。蘇力颱風過後各測站潭的比例下降至 5%，且各測站變異不大，顯示此時的七家灣溪主流的潭棲地類型明顯減少。從水文和物理棲地的角度，綜合各子計劃研究的成果來看(圖 1-17)，臺灣櫻花鉤吻鮭會大幅減少主要受到颱風洪水的影響，是屬於整體流域的影響而非拆壩干擾的區域影響所造成。

本研究認為拆壩對於鮭魚有其正向助益，最大的生態利益在於一條暢通無阻的生態迴游通道。從 2013 年鮭魚族群數量秋季普查的結果來看，七家灣溪三號壩以下至一號壩是鮭魚數量最多的區段，約佔 50%；洪水事件過後，被沖往下游的鮭魚，在洪水退去後，可以透過壩體的缺口回到上游河段。同樣遭遇蘇力颱風的桃山西溪河段鮭魚族群，就沒有如此幸運；普查結果顯示四號壩至五號壩的鮭魚數量為 0，而下游的拆壩事件並不會影響到這個河段，代表生物族群數量驟減是受洪水事件的影響，同時也顯示洪水事件將此河段的鮭魚都帶沖下游，但是由於四號壩的阻隔，使得鮭魚無法再迴游到此河段。未來極端氣候所造成的洪水事件可能變為常態，我們無法阻止洪水事件的發生，但是透過生物以及環境因子的監測，依循研究團隊所提出的各項生物以及環境參數的恢復時間，可以制訂良善的經營管理方針。從七家灣溪四號壩至五號壩河段鮭魚數量驟減的例子可以發現，洪水事件發生對於生物而言不是最困難的狀況，最困難的情形是被沖到下游卻沒有辦法回到上游河段。

綜合以上，各項生物以環境參數的恢復時間約在拆壩後一年內即可恢復，主要反映在短期數量的恢復，但是我們認為拆壩的長期效應可能透過食物網的過程去影響到整個生態系。從模式分析的結果發現，拆壩後第 1 年確實受到拆壩直接影響，而反映在模式的參數輸出上；但是從拆壩後第 2 年的結果來看，壩體上游以及壩體下游的系統參數有逐漸趨近的趨勢，顯示系統逐漸相同，同時也顯示七家灣溪生態系統變的較為健康。

四、結論與建議

(一) 結論

- 1 觀魚台食物網拆壩後一年食物網中的最高營養階層為臺灣櫻花鉤吻鮭以及河烏，階層分別為 3.29 以及 3.18；拆壩後第 2 年臺灣櫻花鉤吻鮭的階層增加為 3.57 而河烏為 3.48。在繁殖場測站臺灣櫻花鉤吻鮭的營養階層在拆壩後的兩年間，從 3.28 增加到 3.57，而河烏的階層則是從 3.31 增加到 3.47。消費者對於資源的利用效率可能提高，而使系統可以維持較高的營養階層。
- 2 Lindeman 物質傳輸模式顯示觀魚台以及繁殖場測站測站消費者的食物來源較多來自於藻類。
- 3 營養傳輸效率在拆壩後一年的觀魚台以及繁殖場測站，第 I 階到第 II 階的傳輸效率為 5%；在第 II 階到第 III 階的傳輸效率因為受到洪水影響而下降。
- 4 拆壩後 2 年的觀魚台與繁殖場的能量傳輸效率明顯增加，雖然系統的生物量因為受到水文事件的干擾而下降，但是資源被充分利用而提高了傳輸效率。
- 5 綜合營養衝擊分析結果顯示，水棲昆蟲因為數量減少，水棲昆蟲捕食者(第 III 階)對於第 II 階的水棲昆蟲都是負向的影響，因為控制了第 II 階水棲昆蟲的數量，間接使生產者生物量增加，是由上而下控制的狀況。
- 6 臺灣櫻花鉤吻鮭在系統中屬於第 III 階的魚類，與水棲昆蟲捕食者反應類似。
- 7 河烏對於臺灣櫻花鉤吻鮭以及臺灣鏟頰魚小魚族群的影響最大，推論因為河烏相對於水中的生物沒有直接受到拆壩影響。
- 8 關鍵物種結果顯示河烏不管在哪個地點或是時間點都是系統的關鍵物種。
- 9 模式輸出參數 P/R 值顯示，在拆壩後第 1 年，觀魚台測站位於壩體上游，沒有直接受到拆壩影響，系統的反應與直接受到拆壩影響的繁殖場測站不同。到了拆壩後第 2 年，拆壩的影響逐漸與水文事件的影響不可區分，而整個流域的狀況受到同樣的水文事件影響趨近相同，在分析中有相似的模式參數的輸出。
- 10 循環指數與相對系統開銷數值顯示，雖然觀魚台以及繁殖場測站干擾後的恢復力，受連續水文事件干擾的影響而下降，但是從系統中物質循環指數來看，在拆壩後第 2 年逐漸變好，顯示系統的恢復力逐漸提高。
- 11 **基礎線 (baseline)**

- (1.) 硝酸鹽氮濃度可作為是否受人為活動影響之關鍵指標，若不受人為活動干擾，硝酸鹽氮濃度大多低於 1 ppm。七家灣溪總氮濃度普遍低於 20 ppb，早春的氮濃度較高，可能與賞櫻遊客有關。
- (2.) 七家灣溪非洪水時期之流量介於 0.89 至 13.62 cms 間。流量超過 445 cms 時，其重現期距為十年之大型洪水事件。小型洪水事件約為 35 cms 內(重現期距一年)。
- (3.) 無降雨事件時的濁度約為 30 NTU 以下。小型降雨事件濁度為 100 NTU 以上，大型降雨事件濁度則為 1000 NTU 以上。拆壩導致濁度最高提升至 627 NTU，蘇拉颱風導致濁度提升至 8000NTU 以上。
- (4.) 沒有颱風洪水干擾時，七家灣溪主流石附生藻類生物量維持在 30 mg Chl a m⁻² 之內，若高於此濃度，則代表有異於長期監測的範圍。桃山西溪與高山溪約為 20 mg Chl a m⁻²之內。有勝溪約為 150 mg Chl a m⁻² 內，且變動範圍較大。
- (5.) 無颱風事件時，臺灣櫻花鉤吻鮭大型食餌的密度接近 1000 insects m⁻²。
- (6.) 無颱風洪水時期，臺灣櫻花鉤吻鮭數量將可接近最大承載量(最大承載量：5800 尾)。
- (7.) 以河鳥作為溪流鳥類監測指標，在一年以上未受颱風影響的時期，七家灣溪和高山溪的調查區域內河鳥總數是 39.6 隻(SD=10.3)，相當於每公里應有 4.7 隻(SD=1.2)。

12. 監測指標性 (indicators)

- (1.) 水質以硝酸鹽 < 1 ppm。氮濃 < 20 ppb 作為判斷指標。主要為人為活動影響。
- (2.) 十年期距之大型洪水事件：流量為 445 cms，為大型干擾事件。小型洪水事件之流量為 35 cms (重現期距為一年)。河道穩定或未來河川型態調整之參考，可藉由河道穩定指標來輔以判定，如縱向穩定指標、橫向穩定指標及槽偏量等。
- (3.) 降雨量以累積月降水量超過 200 mm 時，會導致臺灣櫻花鉤吻鮭幼魚數量大幅減少，作為判斷依據。
- (4.) 降雨量以累積月降水量超過 300 mm 時，會導致附生藻類生物量大幅減少。藻種部分可分為，干擾敏感群：鏈狀生長型與直立生長型矽藻。干

擾耐受型：短膠柄著生型 *Achnanthydium* 與 *Reimeria* 兩屬矽藻。綠藻容易受到洪水影響而減少，但是在沒有颱風洪水時，溪段開闊、高導電度以及高水溫的環境，綠藻容易增生。

- (5) 水棲昆蟲以臺灣櫻花鉤吻鮭之大型食餌如毛翅目的密度作為指標性判斷。
- (6) 魚類部分則以臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鏟頷魚兩種魚類做為指標物種。
- (7) 鳥類部分以河鳥作為溪流鳥類監測指標。
- (8) 濱岸植群以五節芒、艾、臺灣澤蘭、臺灣赤楊等為指標植物，用於監測及推估不同環境及干擾下之濱岸植群動態。在大型干擾事件過後，由五節芒等初期植群演替至台灣赤楊林所需時間約為五年。
- (9) 兩生類透過蝌蚪成長發育狀況及食砂行為，去判斷工程對溪流環境造成的擾動是否影響兩生類，以此作為經營管理之依據。

13. 干擾後恢復時間 (recovery)

- (1) 水質部分拆壩的影響主要呈現於亞硝酸鹽濃度的增加，可於一週後恢復。
- (2) 小型颱風降雨事件過後，濁度值於五天內恢復。拆壩的影響輕微，平均經過 9.5 小時後會降至該日最高濁度值之約三分之一。
- (3) 在單一洪水颱風干擾過後，若沒有連續性降雨事件，石附生藻類葉綠素 a 生物量約可於一個月內恢復。
- (4) 拆壩對於水棲昆蟲而言相當於小型洪水事件，水棲昆蟲密度恢復的時間約為 2.5 個月。大型颱風事件干擾之後所需恢復時間則大於三個月。
- (5) 受到拆壩驚動，拆壩後河鳥往下游 500-1000 m 的區域避難。蘇拉颱風後將大量一號壩上游土石沖向下游，導致一號壩上游 0-500 m、下游 0-500 m 和下游 500-1000 m 的河鳥數量全都降低。
- (6) 濱岸植群可以五節芒、艾、臺灣澤蘭、臺灣赤楊等為指標植物，在大型干擾事件過後，由五節芒等初期植群演替至台灣赤楊林所需時間約為五年。

(二) 建議

(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、
台中市政府農業處保育科

1. 月累積降雨量可作為七家灣溪石附生藻類抵抗力指標，當月累積雨量 >300 mm 時，藻類生物量便無法大量生長。
2. 觀魚台測站與繁殖場測站的綠藻偏好高導電度、高水溫與低植被覆蓋度的環境，因此在沒有大型水文事件時，可將導電度與水溫變化作為日後預測綠藻是否會大量的水質指標。
3. 根據河道演變模式(Channel Evolution Model)，拆壩後的河川沖淤變化包括大量泥砂運移、河床上下游型態受到改變等。台灣山高河陡，洪水事件較為極端，七家灣溪案例與國外案例相較之下，河相演變複雜且速度快。國外所發展並已應用在不同案例(如 Pizzuto, 2002; Evans, 2007)之河相演變模式(Channel Evolution Model)雖能作為台灣拆壩後之河相演變參考基礎，但不足以描述如七家灣溪河道在不同強度水文事件下之環境變動性與複雜性，因此建議於豐水期間針對河道狀況需做持續性的觀察，以河道縱向與橫向穩定指標及槽偏量判定保全區域之河道狀況，以做立即性之應對。
4. 根據歷年高山溪四座防砂壩改善後之河道調查成果，防砂壩改善後將對壩體上下游河道產生影響，若無其它因素干擾(木質殘材或崩塌地)，則此河道環境及棲地組成之變化需要一年半到三年才可達到大致穩定之狀態。然而，七家灣溪一號壩體較高且其集水區範圍較大，其背景條件與前例有顯著差異；為能確實掌握其變化歷程，是故提出「七家灣溪一號壩改善對河道局部地形與棲地變化影響之研究」建議。
5. 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。
6. 2011 年春、秋季調查中，地被層外來歸化種植物—加拿大蓬，於觀魚臺(#4)測站、一號壩下游(#13)測站皆屬優勢，而 2012 年春季調查則改

以一號壩下游(#13)測站樣區 216 的豆瓣菜較優勢；2013 年受洪氾干擾，地被層物種貧乏，但加拿大蓬仍發生於樣區中，可見該外來歸化種之拓殖能力，建議應密切監控外來歸化種入侵的可能性，諸如加拿大蓬、豆瓣菜、大扁雀麥等。

7. 由 10 年以上數據可看出，當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會增加，此現象發生於 2003 年初及 2010~2012 年初，因此土地利用類型考慮以能增加水留存量且不易被洪水移除為主，並達減緩暴增流量之效為佳。如此一來可於暴雨過後，減少對水棲昆蟲群聚之衝擊，植被恢復得以增加此鮭魚陸域補足食餌，及其食物來源獲得維持。
8. 拆壩和溪流施工對溪流鳥類確實會造成影響，且不同鳥種受影響的程度和反應不同，兩種主要溪流鳥類中以河鳥的影響較明顯，建議未來應避免在溪流鳥類繁殖季進行工程施作。
9. 去年調查殘材壩對高山溪臺灣櫻花鉤吻鮭的影響及評估，發現高山溪匯流口殘材壩之倒木因之前已做切割分段之處理並用人力拖曳，於四月份被大水沖垮形成魚類可自由通過之廊道。另外高山溪二號破壩堆積之殘材壩與其上游大型倒木仍造成由七家灣溪回溯高山溪的族群阻隔，建議立即拆除。因為林木為林務局主管權責，建議管理處可以跟林務局商議，把殘材壩徹底鋸斷，但只想以洪水等天然的力量將殘材攜帶而下實屬不易，建議即刻以公文與林務局溝通，並以人力將鋸斷的殘材移至原地的河岸旁。並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。
10. 為因應資料長期保存及國際資料交換的需求，調查資料應以國際通用的 XML 格式保存。

(二) 長期性建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：農委會林務局保育組、台中市政府保育課、退除役官兵輔導委員會
武陵農場、南投林區管理處

1. 颶洪時期所帶來的大流量與含砂量除了直接影響河相演變外，亦對生態與環

境造成衝擊，如水質、藻類、水棲昆蟲及魚類數量等。目前七家灣溪流域內僅有台灣電力公司設置之七家灣流量站及有勝溪流量站，七家灣溪流量站所紀錄之流量及含砂量資料係包含有勝溪入流資料，無法代表七家灣溪主流之水砂特性，建議透過長期且持續的含砂濃度量測及水文監測，建立流量與含砂量之率定曲線，以掌握七家灣溪之水砂特性，以作為後續壩體拆除類似案例之基礎。

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溪流水溫之時空變化情形，供管理及決策參考
3. 目前有勝溪沿岸仍有大規模農業活動，產生的農藥肥料以及廢棄物汙染勢必對溪流生態有所影響，若未來確認七家灣溪和有勝溪在生態上有互相依存的關聯性，建議逐步將有勝溪納入國家公園範圍加以管理，確保武陵地區溪流生態之健全。
4. 溪水的擾動與水量變化，是造成兩生類密度變化的重要因素之一，需藉由長期監測，瞭解大型工程對溪流環境造成的擾動對兩生類有何種程度的影響，做為經營管理之依據。
5. 目前國際上正在推行使用 IPT 整合生物多樣性原始調查資訊，未來應注意其發展，以適時跟上國際腳步。
6. 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)桃山西溪三號壩~四號壩間，加上桃山北溪匯流前段這一 Y 形封閉河段，於每年夏季與秋季做該河段的普查。

- (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流域全河段的普查。
7. 目前有勝溪沿岸仍有大規模農業活動，產生的農藥肥料以及廢棄物汙染勢必對溪流生態有所影響，若未來確認七家灣溪和有勝溪在生態上有互相依存的關聯性，建議逐步將有勝溪納入國家公園範圍加以管理，確保武陵地區溪流生態之健全。
 8. 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。可能還有間接的、慢性的長期衝擊：例如從生態系食物鏈傳遞的角度來看，水棲昆蟲的棲息環境的改變，將會引起食物鏈和生態結構的逐步變化。面對全球暖化及極端洪流頻繁發生對台灣溪流生態的影響，應持續監測(5 年以上)並建立武陵地區資料庫，使雪霸國家公園成為在地證據的科學基地及集水區經營管理績效之典範。
 9. 經由 2005~2012 年為期 8 年的濱岸植群監測得知；武陵地區雖飽受雨季侵擾，特別是自 2004 年起，每四年遭逢一次之月最大日降水量大於 380 mm，然七家灣溪原本之良好植群覆蓋，以及具有極佳抗性及彈性的濱岸植物組成與結構，使之能持續穩定水溫，並有助於七家灣溪流生態系的能量流轉與養分循環。此外由水棲昆蟲 10 年數據可看出，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，且已發表證實，此現象發生於 2003 年初及 2010~2012 年初，因此土地利用類型需考慮以能增加水留存量且不易被洪水移除為主，並達減緩暴增流量之效為佳。如此一來，可減少暴雨過後對水棲昆蟲群聚之衝擊，再者提升植被的恢復力(如豐富的 C₃ 植物)可供濾食性水棲昆蟲取食，同時為鮭魚陸域補足食餌，因此鮭魚的食物來源獲得維持。臺灣櫻花鉤吻鮭之食性組成中，水、陸棲昆蟲比例約為 3:2，且陸棲昆蟲中又以植食性昆蟲為主。職是之故，建議未來應再瞭解濱岸區之不同生物組成間的關係，並建構七家灣溪濱岸生態系模式！

五、參考文獻

- Biggs B.J.F. 1996. Patterns in benthic algae of streams. *In*: Stevenson RJ et al. (eds.) *Algal Ecology, Freshwater Benthic Ecosystems*. Academic Press, San Diego, California, USA.
- Burroughs B. A., Hayes, D.B., Klomp, K.D., Hansen, J.F. and Mistak, J. (2010) The Effects of the Stronach Dam Removal on Fish in the Pine River, Manistee County, Michigan. *Transactions of the American Fisheries Society* 139:1595–1613.
- Cantelli, A., Wong, M., Parker, G. and Paola, C. (2007) Numerical model linking bed and bank evolution of incisional channel created by dam removal. *Water Resources Research*, VOL. 43, W07436, oi:10.1029/2006WR005621.
- Chiu, M.-C. and M.-H., Kuo. (2012) Application of r/K selection to macroinvertebrate responses to extreme floods. *Ecological Entomology*, 37, 145-154.
- Christensen, V. and D., Pauly (1993) Trophic models of aquatic ecosystems. *ICLARM Conference Proceedings*, 26. Manila, Philippines., 390 p.
- Chung, L.C., Lin, H.J., Yo, S.P., Tzeng, C.S. and Yang, C.H. 2007. Stage-structured population matrix models for the formosan landlocked salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*) in Taiwan. *The Raffles Bulletin of Zoology*, 14: 151-160.
- Chung, L.C., Lin, H.J., Yo, S.P., Tzeng, C.S., Yeh, C.H. and Yang, C.H. 2008. Relationship between the Formosan landlocked salmon *Oncorhynchus masou formosanus* population and the physical substrate of its habitat after partial dam removal from the Kaoshan Stream, Taiwan. *Zoological Studies*, 47: 25-36.
- Doyle, M.W., Harbor, J.M. and Stanley, E.H. 2003. Toward Policies and Decision-Making for Dam Removal, *Environmental Management* 31(4), pp. 453–465.
- Evans, J.E. · 2007 · Sediment Impacts of the 1994 Failure of IVEX Dam (Chagrin River, NE Ohio): A Test of Channel Evolution Models, *Journal of Great Lakes Research*, 33(sp2):90-102.
- Federal Interagency Stream Restoration Working Group (FISRWG). 1998. *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices*.

- ISBN-0-934213-59-3.
- Gardner, C., Coghlan JR, S.M., Zydlewskia, J. and Saunders R. (2011)
Distribution and abundance of stream fishes in relation to barriers:
Implications for monitoring stream recovery after barrier Removal. *River Res. Applic.* DOI: 10.1002/rra.1572.
- Grant, G. and Bromley, C. (2007) Geomorphic responses to dam removal: New insights from flume and field experiments. ESA/SER Joint Meeting, August 5-10. San Jose McEnery Convention Center, San Jose, California.
- Hart, D., Johnson, T., Bushaw-Newton, K., Horwitz, R., Bednarek, A. Charles, D., Kreeger, D. and Velinsky, D. 2002. Dam Removal: Challenges and Opportunities for Ecological Research and River Restoration. *BioScience* 52(8): 669-681.
- Hey R.D. 1996. Environmentally sensitive river engineering, *in*: Petts GE and Calow P (eds.), *River Restoration: Selected Extracts from the Rivers Handbook*, Blackwell Science Ltd.
- Hsu, C.B., Tzeng, C.S., Yeh, C.H., Kuan, W.H., Kuo, M.H. and Lin, H.J. 2010. Habitat use by the Formosan landlocked salmon *Oncorhynchus masou formosanus*. *Aquatic Biology*, 10(3): 227-239
- IPCC. 2007. Summary for policymakers. *in*: Solomon S, et al. (eds), *Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, United Kingdom and New York, USA
- Kibler K.M., Tullos D.D. and Kondolf G.M. (2011) Learning from dam removal monitoring: Challenges to selecting experimental design and establishing significance of outcomes. *River Research and application* 27: 967–975.
- Kil, H.K. and Baeb, Y.J. (2012) Effects of low-head dam removal on benthic macroinvertebrate communities in a Korean stream. *Animal Cells and Systems*. 16: 69–76.
- Krebs C.J. 1999. *Ecological methodology*. 2nd ed. Addison Wesley Longman, INC. 620 pp.
- Larsen P. 1996. Restoration of river corridors: German experiences, *in*: Petts GE and Calow P (eds.), *River Restoration: Selected Extracts from the Rivers Handbook*, Blackwell Science Ltd.

- Lewis J.B. (1981) Coral reef ecosystems. In: Analysis of marine ecosystems. (Eds A.R. Longhust), pp. 127-158. Academic Press, New York. 741p.
- Lytle D. A. and Poff N. L. (2004) Adaptation to natural flow regimes. *Trends in Ecology and Evolution*. 19: 94–100.
- Leopold L.B. 1969. Landscape esthetics. *Natural History*, 78:37-44.
- Liao, L.-Y., Chiu, M.-C., Huang, Y.-S. and Kuo, M.-H. (2012) Size-dependent foraging on aquatic and terrestrial prey by the endangered Taiwan Salmon *Oncorhynchus masou formosanus*. *Zoological Studies*, 51, 671-678.
- Loranga, M.S. and Aggett, G. 2005. Potential sedimentation impacts related to dam removal: Icicle Creek, Washington, U.S.A.. *Geomorphology* 71: 182–201.
- Ludwing, J.A. and Reynolds, J.F. 1988. *Statistical Ecology. A Primer on Methods and Computing*. John Wiley & Sons. 338pp.
- Nakamura, F. and Komiyama, E. 2010. A challenge to dam improvement for the protection of both salmon and human livelihood in Shiretoko, Japan's third Natural Heritage Site. *Landscape Ecol Eng* 6:143-152
- National Research Council. 1992. *Restoration of Aquatic Ecosystems: Science, Technology, and Public Policy*, National Academy Press, Washington, D.C..
- Orr, C.H., Kroiss, S.J., Rogers, K.L., and Stanley, E.H. 2008. Downstream benthic responses to small dam removal in coldwater stream. *River. Res. Applic.* 24:804-822
- Pizzuto J., 2002. *Effects of Dam Removal on River Form and Process*, Bio-Science, August 2002 Vol. 52 No.8.
- Renöfält, B.M., Lejon, A.G., Jonsson, M. and Nilsson, C. 2012. Long-term taxon-specific responses of macroinvertebrates to dam removal in a mid-size Swedish stream. *River reasech and applications*. DOI: 10.1002/rra.2592.
- Roberts, S.J., Gottgens, J.F., Spongberg, A.L., Evans, J.E. and Levine, N.S. 2007. *Assessing Potential Removal of Low-Head Dams in Urban Settings: An Example from the Ottawa River, NW Ohio*. *Environmental Assessment* . 39: 113–124.

- Shafroth, P.B., Friendman, J.M., Auble, G.T., Scott, M.L. and Braatne, J.H.
2002. Potential responses of riparian vegetation to dam removal. *Bioscience*.
52:703-712.
- Stevenson, R.J. 1996. The stimulation and drag of current. Pages 321-340. *in*:
Stevenson RJ, et al. (eds). *Algal Ecology, Freshwater Benthic Ecosystems*.
Academic Press. San Diego, California, USA
- Thomson, J.R., Hart, D.D., Charles, D.F., Nightengale, T.L. and Winter, D.M.
2005. Effects of removal of a small dam on downstream macroinvertebrate
and algal assemblages in a Pennsylvania stream. *J. N. Am. Benthol. Soc.*
24:192-207
- Tsao, E.H.S. 1995. An ecological study of the habitat requirements of the
Formosan landlocked Salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*). Ph. D.
Dissertation of Colorado State University. Fort Collins, Colorado, USA.
213pp.
- Wang, C.M.J. 1989. Environmental quality and fish community ecology in an
agricultural mountain stream system of Taiwan. PhD Thesis, Department of
Animal Ecology, Iowa State University. 138pp.
- Wiley, J.W., and Joseph, Jr. J.M. 1994. The effects of hurricanes on birds, with
special reference to Caribbean islands. *Bird Conservation International*, 3:
319-349.
- 上野益三。1937。臺灣大甲溪の鱒關の食性と寄生蟲。臺灣博物館學會學報，
27(116)：153-159頁。
- 王敏昭。2003。七家灣溪沿岸土地各利用型態對溪流生態影響之研究。內政部
營建署雪霸國家公園管理處，苗栗縣。
- 呂光洋。2002。雪霸國家公園兩生爬蟲類調查研究—武陵地區。內政部營建署
雪霸國家公園管理處九十一年度研究報告。
- 汪靜明。1994。子遺的國寶—臺灣櫻花鉤吻鮭專集。內政部營建署雪霸國家公
園管理處。
- 林幸助、吳聲海、官文惠、劭廣昭、施習德、孫元勳、郭美華、彭宗仁、曾晴賢、
楊正澤、葉文斌、葉昭憲、蔡尚惠。2006。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管理處委託辦理計畫案。

- 林幸助、吳聲海、官文惠、邵廣昭、孫元勳、郭美華、高樹基、彭宗仁、曾晴賢、楊正澤、葉文斌、葉昭憲、蔡尚惠。2007。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管理處委託辦理計畫案。
- 林幸助、吳聲海、官文惠、邵廣昭、孫元勳、郭美華、高樹基、彭宗仁、曾晴賢、楊正澤、葉文斌、葉昭憲、蔡尚惠。2008。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管理處委託辦理計畫案。
- 林幸助、徐崇斌、葉昭憲、官文惠、彭宗仁、高樹基、蔡尚惠、郭美華、楊正澤、葉文斌、吳聲海、曾晴賢、孫元勳、邵廣昭。2009a。武陵溪流生態系長期生態研究與生態模式建構。國立臺灣博物館學刊, 62(4):13-23.
- 林幸助、官文惠、邵廣昭、郭美華、曾晴賢、葉昭憲。2009b。98年武陵地區長期生態研究。內政部營建署雪霸國家管理處委託辦理計畫案。
- 林幸助、楊小慧。2001。水域生態系模式的建構。中華藻類學會簡訊, 5(2): 1-6頁。
- 林幸助、廖美齡、溫佩珍、鐘豐昌。2005。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立-溪流生態系食物來源與模式建構,內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 林幸助、薛美莉、陳添水、何東輯。2009c。濕地生物多樣性監測系統標準作業程序。農委會特有生物研究保育中心。
- 林幸助。2002。武陵地區生態系監測與模式建構規劃。內政部營建署雪霸國家公園管理處, 苗栗縣。
- 林幸助。2003。武陵地區溪流藻類生產力之限制營養鹽。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 林幸助、吳聲海、官文惠、邵廣昭、郭美華、曾晴賢、葉昭憲。2010。武陵地區生態系長期監測與研究。雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 林曜松、張崑雄、張瓊文、張耀文。1990。武陵農場魚類研究教育中心初步規劃。農委會79年生態研究第002號: 40頁。
- 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頁。
- 林曜松、曹先紹、張崑雄、楊平世。1988。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。行政院農委會77年生態研究第012號: 93頁。
- 林曜松、楊平世、黃國靖、謝森和。1987。武陵農場河域蜉蝣目稚蟲之生態研

- 究。行政院農業委員會林業特刊第一三號：57-78頁。
- 柳中明、蕭代基 (主編)。2009。國家通訊報告—氣候變遷趨勢、衝擊、脆弱度評估與調適措施。行政院環境保護署，台北。
- 袁孝維。1995。武陵地區登山步道沿線野生動物景觀資源調查。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 雪霸國家公園管理處。2000。雪霸國家公園自然資源研究方向芻議-歷年保育研究計劃總檢討。
- 雪霸國家公園管理處。2000。與國家公園有約保育研究成果展—摘要簡冊。
- 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。
- 曾晴賢、楊正雄。2001a。復育放流與防砂壩拆除對於七家灣溪櫻花鉤吻鮭族群的影響。雪霸國家公園委託研究計劃。
- 曾晴賢、楊正雄。2001b。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九十年年度研究報告。
- 曾晴賢。1994。櫻花鉤吻鮭族群調查與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。
- 黃國靖。1987。七家灣溪水棲昆蟲相及其生態研究。國立臺灣大學植物病蟲害研究所碩士論文。
- 楊正澤。2001。臺灣昆蟲分類人力普查與鑑定服務網絡構築。跨世紀臺灣昆蟲學研究之進展研討會。pp. 175-191。
- 楊正澤、吳聲海、孫元勳、蔡尚憲。2010。七家灣溪一號壩壩體及棲地改善工程—先期生態及棲地調查 期中報告書。雪霸國家公園管理處。
- 楊平世、林曜松、黃國靖、梁世雄、謝森和、曾晴賢。1986。武陵農場水域之水棲昆蟲相與生態調查。農委會75年生態研究第1號：48頁。
- 楊平世、謝森和。2000。以水棲昆蟲之群聚結構及功能組成監測七家灣溪環境品質。農委會、特生中心、營建署及雪霸公園管理處編印。櫻花鉤吻鮭研究保育研討會論文集。151-177頁。
- 楊淑燕。1996。關刀溪森林生態系下植群與昆蟲相之關係。國立中興大學植物學研究所碩士論文。

武陵地區溪流生態系及七家灣溪一號防砂壩壩體改善後研究

葉昭憲。2007。七家灣溪壩體改善研究評估，逢甲大學水利工程學系。

葉昭憲。2008。七家灣溪一號防砂壩壩體改善之試驗研究，逢甲大學水利工程與資源保育學系。

戴永禎。1992。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。

表 1-1 觀魚台測站生態模式參數輸出(2004、拆壩後1以及拆壩後2年)。

模式輸出參數	觀魚臺 (KY)		
	2004	拆壩後 1 年	拆壩後 2 年
Sum of all consumption	157.86	621.70	147.64
Sum of all exports	2139.71	1799.58	509.88
Sum of all respiratory flows	72.61	429.58	103.76
Sum of all flows into detritus	2237.06	2037.63	575.03
Total system throughput	4607.00	4888.49	1336.31
Sum of all production	2226.00	2224.30	623.94
Calculated total net primary production	2208.89	2156.53	609.58
Total primary production/total respiration	30.42	5.02	5.88
Net system production	2136.29	1726.94	505.83
Total primary production/total biomass	44.20	39.21	40.45
Total biomass/total throughput	0.01	0.01	0.01
Total biomass (excluding detritus)	49.98	55.00	15.07
Connectance Index	0.35	0.31	0.31
System Omnivory Index	0.09	0.13	0.07
Finn's cycling index(t/km ² /year)	1.13	1.38	1.38
Overhead/ development capacity; O/C	-	0.50	0.49

(資料來源：本研究計畫)

表 1-2 繁殖場測站生態模式參數輸出(2004、拆壩後1以及拆壩後2年)。

模式輸出參數	繁殖場 (F)		
	2004	拆壩後 1 年	拆壩後 2 年
Sum of all consumption	176.85	343.31	130.91
Sum of all exports	1427.41	544.01	579.57
Sum of all respiratory flows	89.37	238.06	92.05
Sum of all flows into detritus	1530.70	681.82	632.65
Total system throughput	3224.00	1807.20	1435.17
Sum of all production	1534.00	789.54	679.86
Calculated total net primary production	1516.03	752.96	667.18
Total primary production/total respiration	16.96	3.16	7.25
Net system production	1426.66	514.90	575.13
Total primary production/total biomass	87.53	35.55	41.66
Total biomass/total throughput	0.01	0.01	0.01
Total biomass (excluding detritus)	17.32	21.18	16.02
Connectance Index	0.40	0.31	0.28
System Omnivory Index	0.05	0.14	0.12
Finn's cycling index(t/km ² /year)	1.64	0.94	2.41
Overhead/ development capacity; O/C	-	0.58	0.46

(資料來源：本研究計畫)

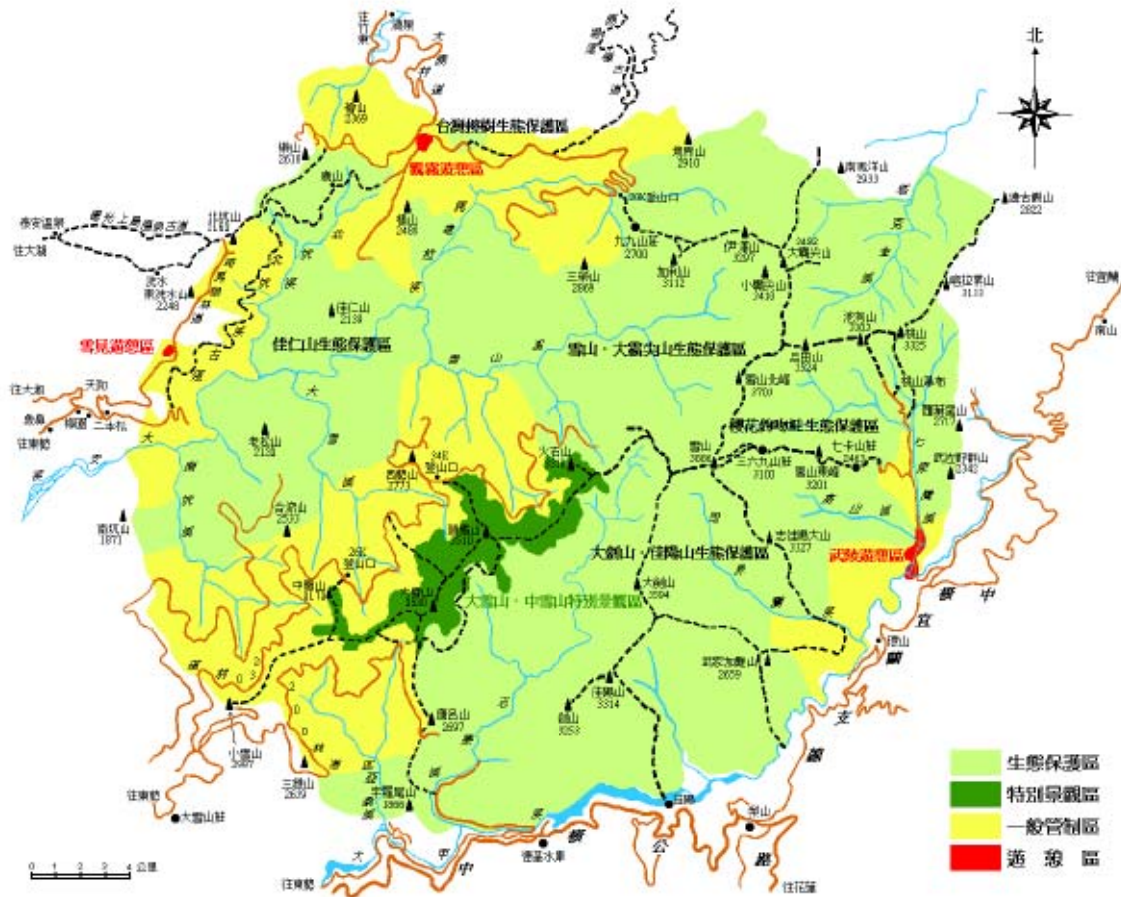


圖 1-1. 本計畫之研究範圍為雪霸國家公園東邊之武陵地區
(資料來源：<http://www.snpn.gov.tw>)

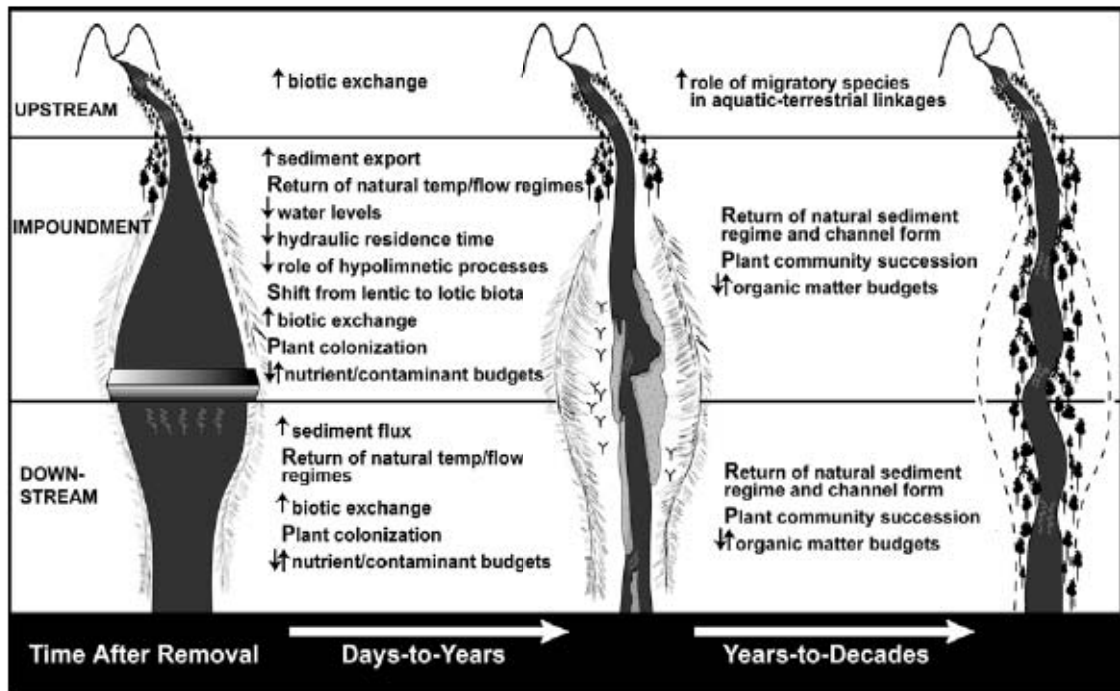


圖 1-2 拆壩後溪流生態系所預測的時空動態變化圖。(Hart et al. 2002)

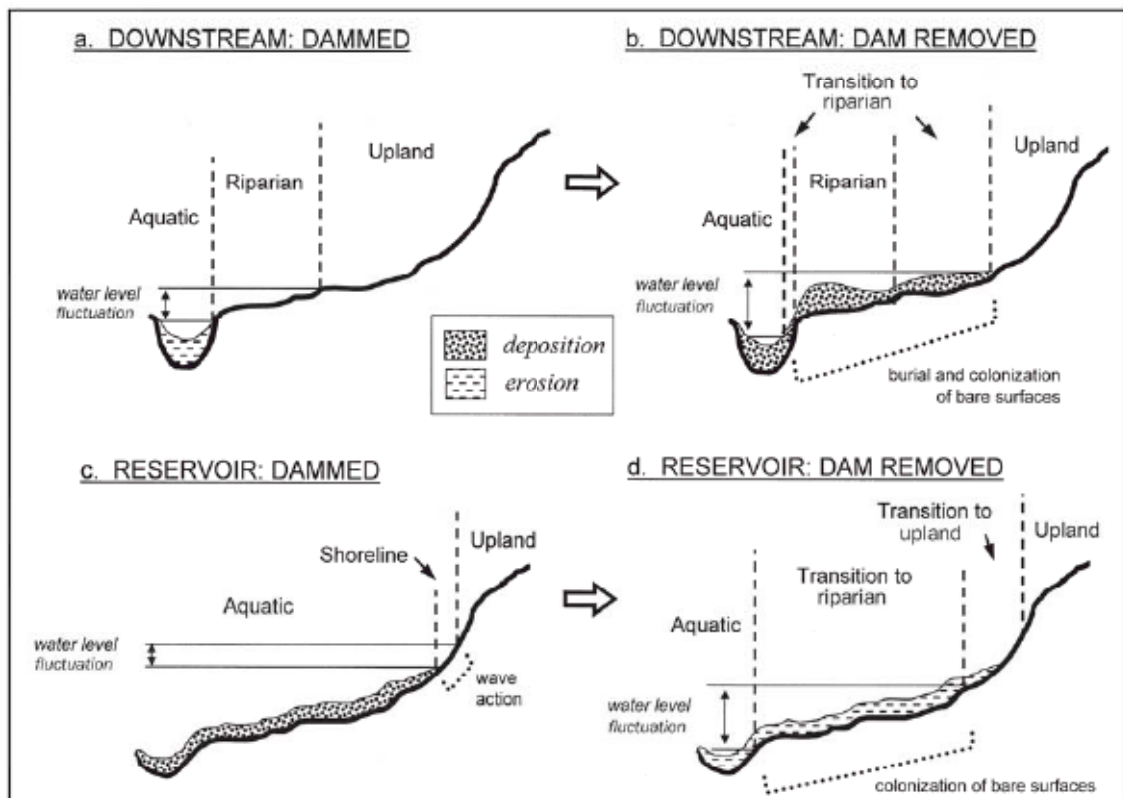


圖 1-3 拆壩前、後主要物理棲地以及濱岸植群的改變。(Shafroth et al. 2002)

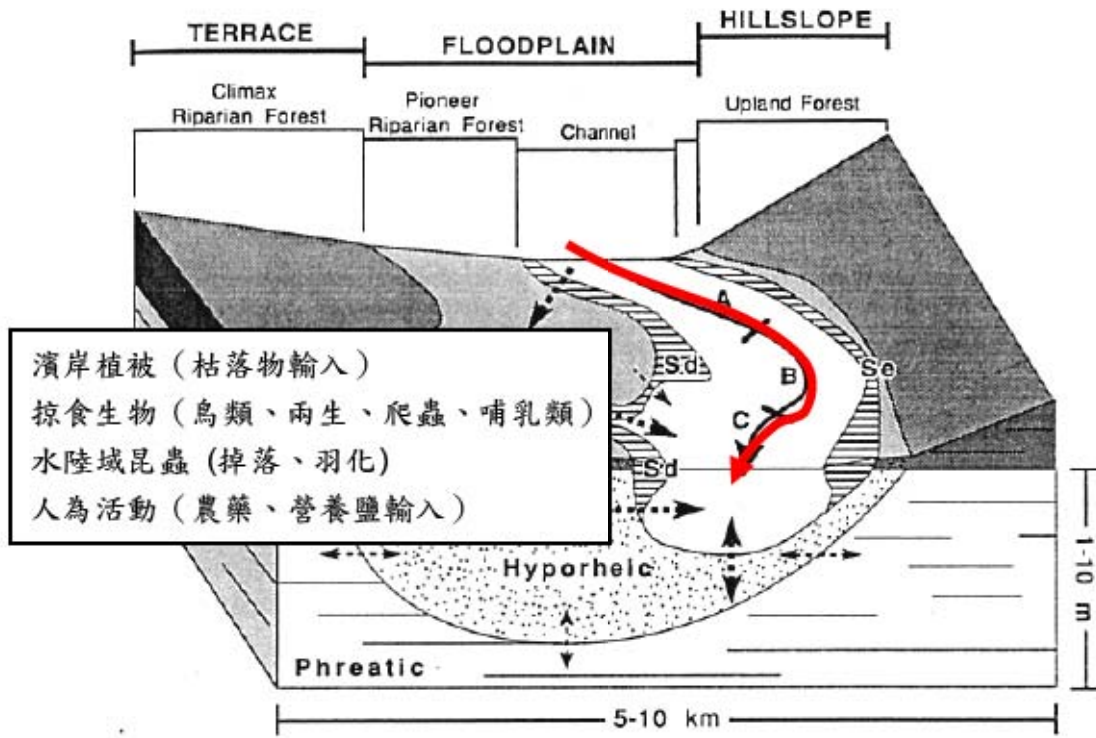


圖 1-4 濱岸水陸域交界帶能量流傳輸模式概念圖

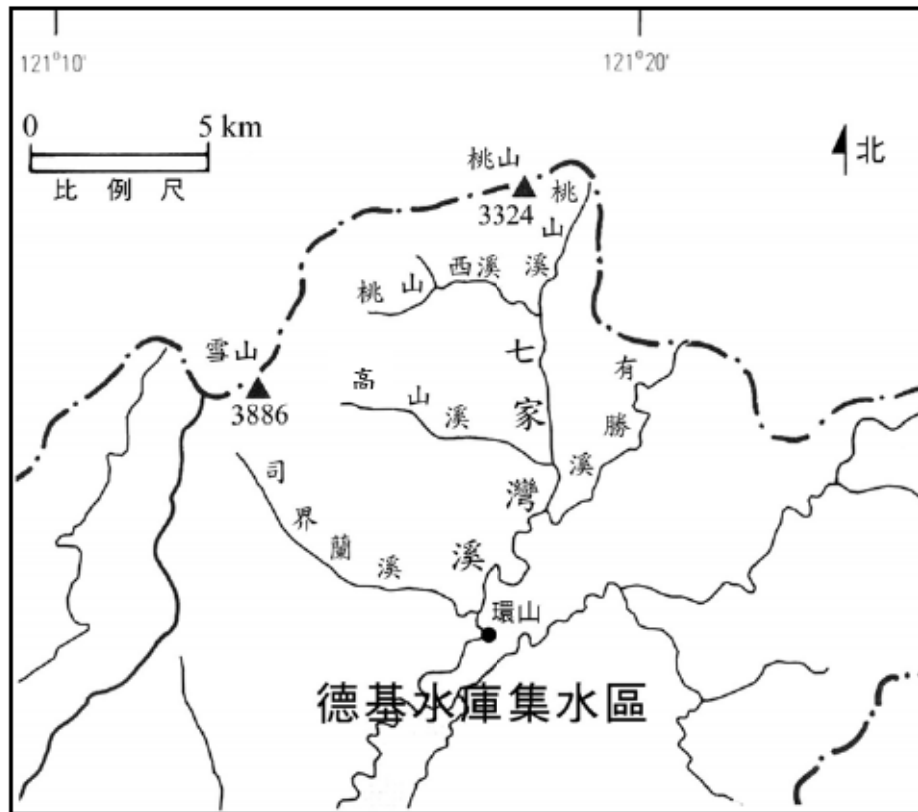


圖 1-5 雪霸國家公園武陵地區各溪流相對位置圖

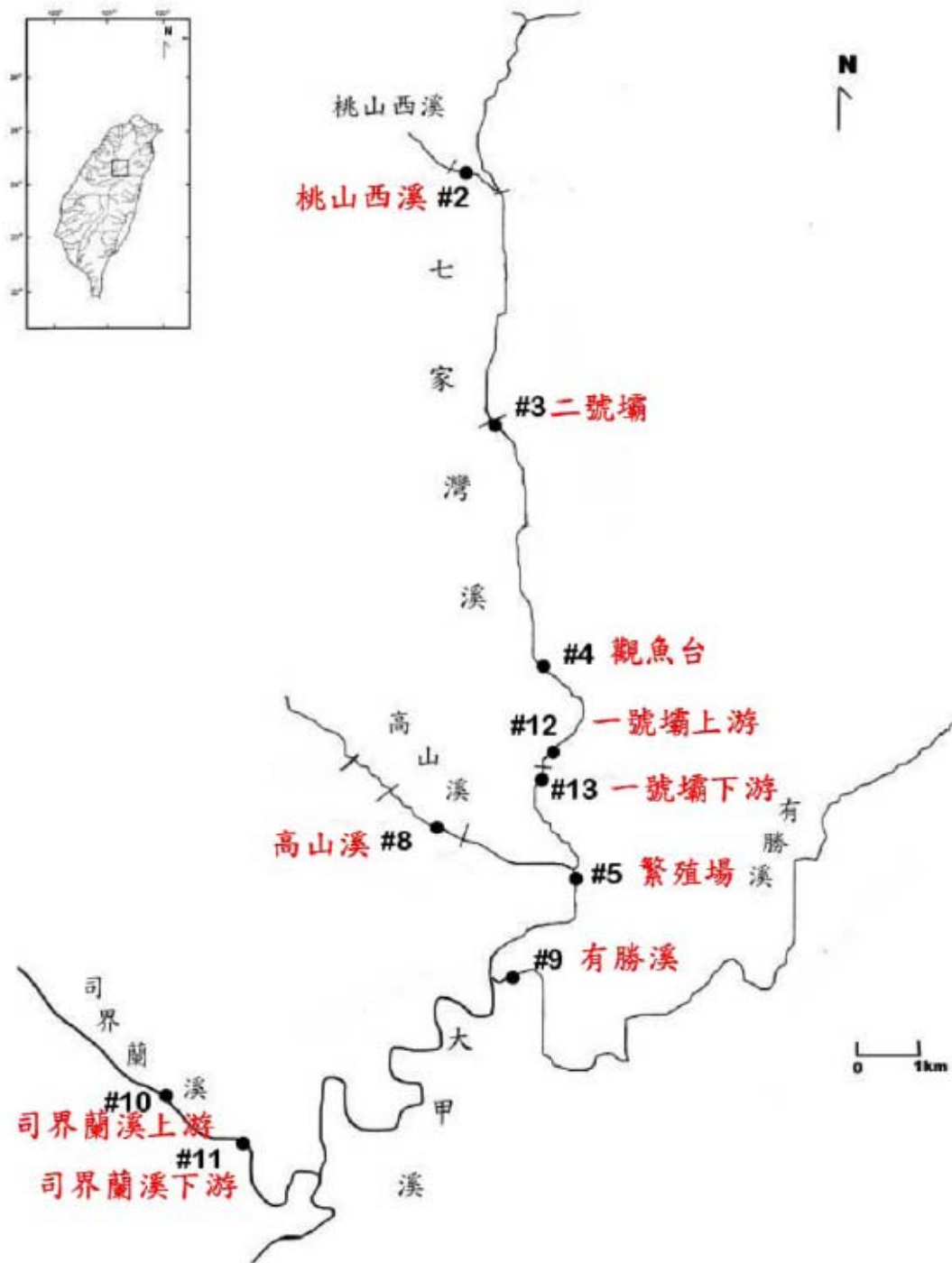


圖 1-6 武陵地區溪流各測站相對位置圖
(資料來源：本研究資料)

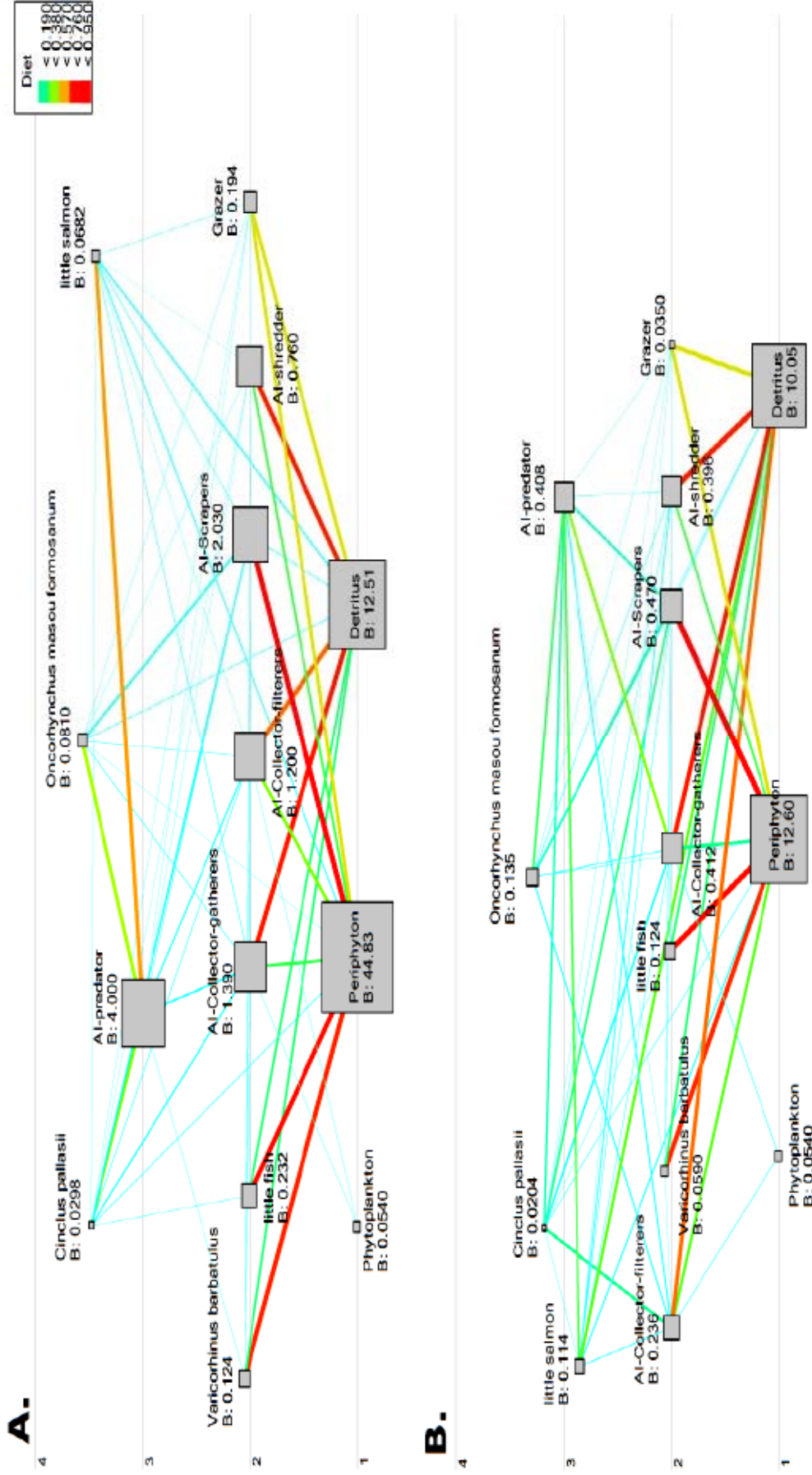


圖 1-7 七家灣溪一號壩(A)拆壩後一年以及(B)拆壩後兩年，觀魚台測站食物網能流圖。(資料來源：本研究計畫)

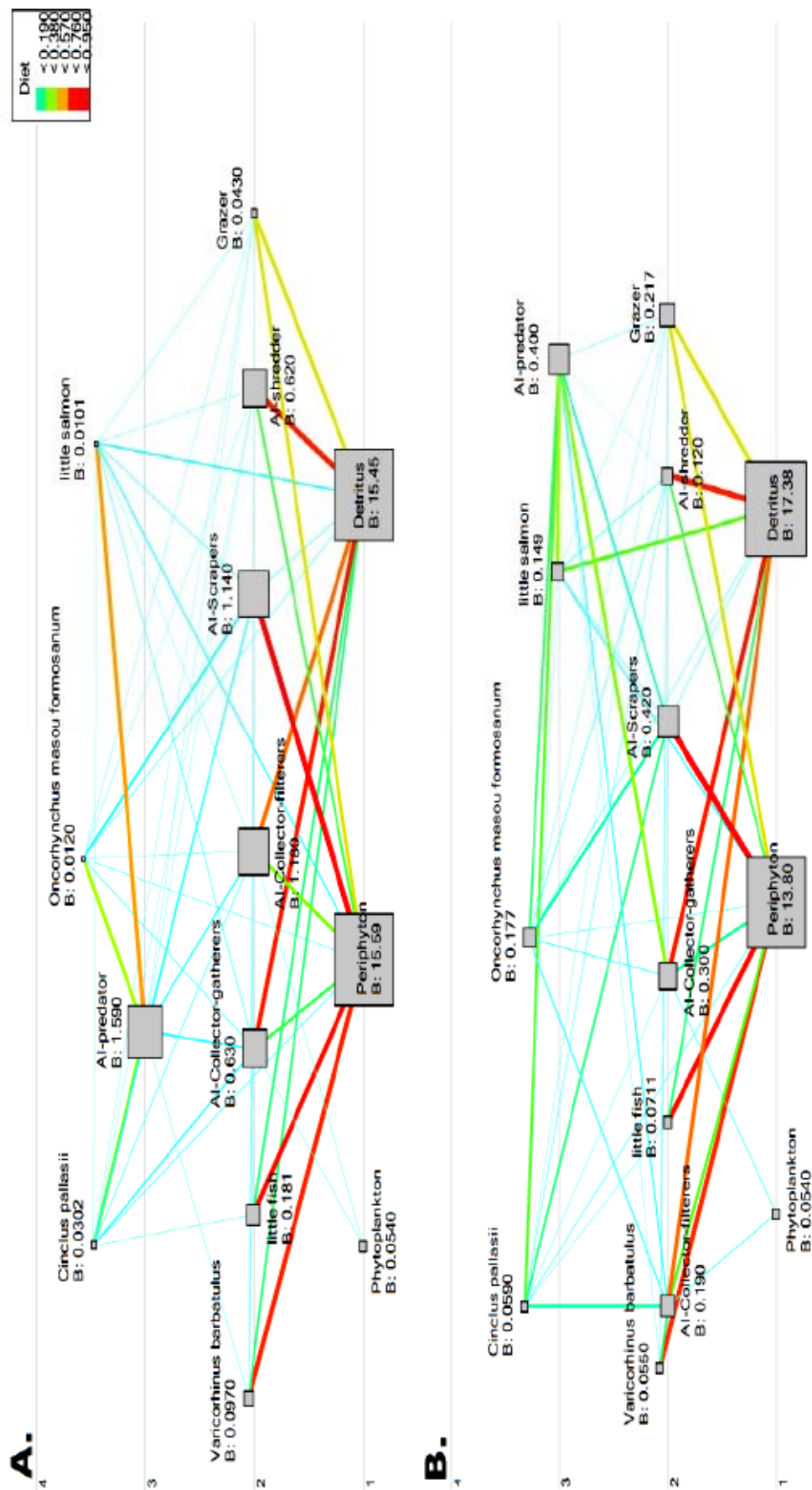
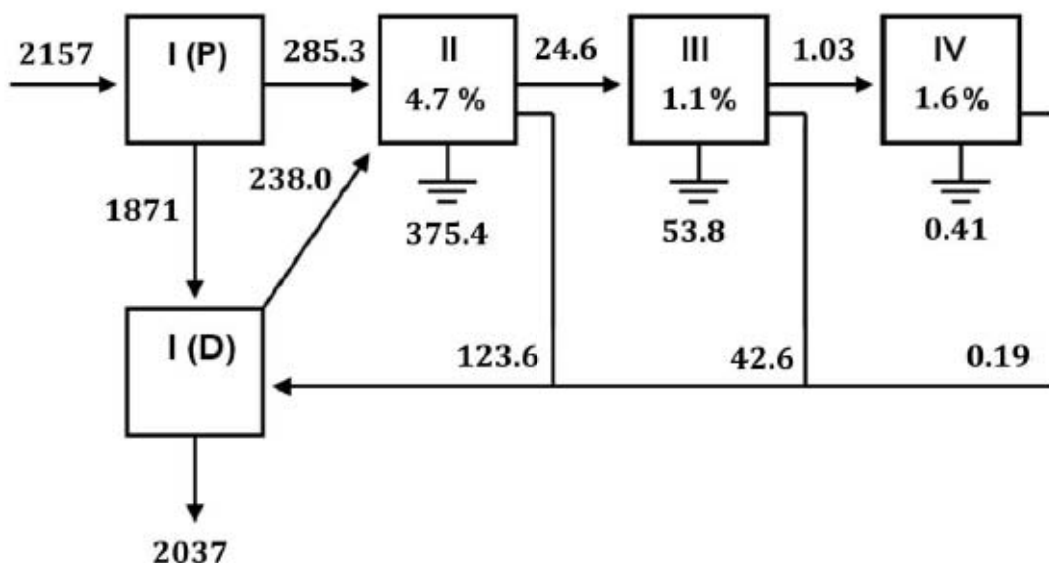


圖 1-8 七家灣溪一號壩(A)拆壩後一年以及(B)拆壩後兩年，繁殖場測站食物網能流圖。(資料來源：本研究計畫)

A. 觀魚台測站·拆壩後1年



B. 觀魚台測站·拆壩後2年

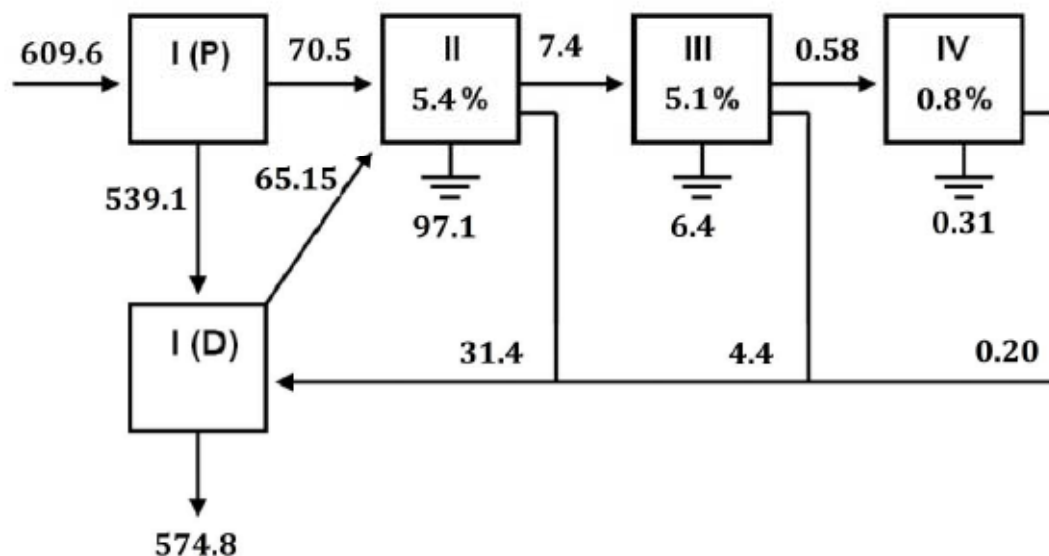
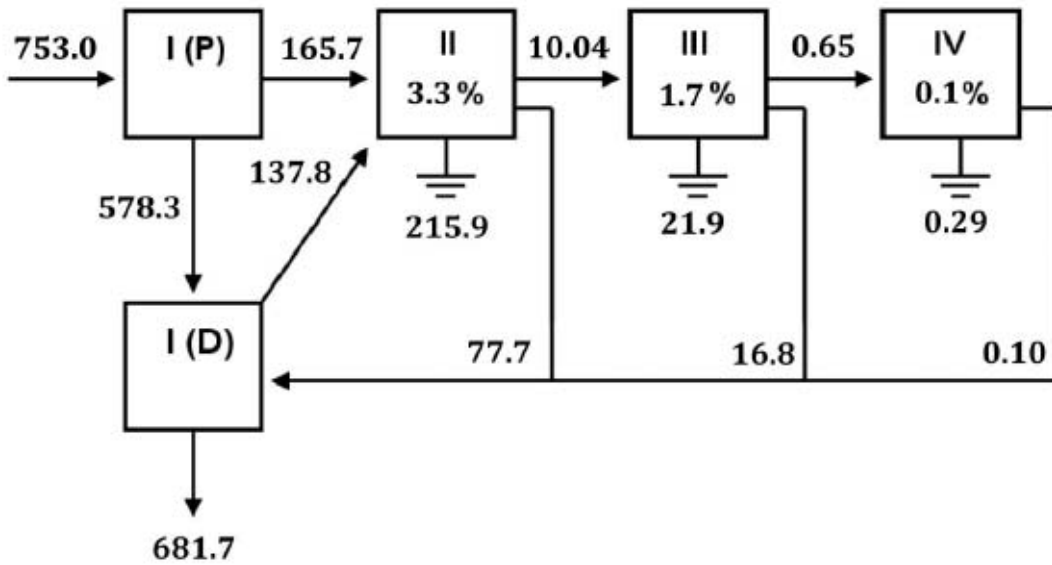


圖 1-9 觀魚台測站 Lindeman spine 圖。(A)拆壩後 1 年；(B)拆壩後 2 年。漸頭方向代表能量流動方向，基礎能量由初級生產者(P)以及碎屑(D)而來，在盒型圖案下方為系統呼吸。盒型內 %數值顯示能量在階層傳遞的效率 Trophic efficiencies (%)。

(資料來源：本研究計畫)

A. 繁殖場測站·拆壩後1年



B. 繁殖場測站·拆壩後2年

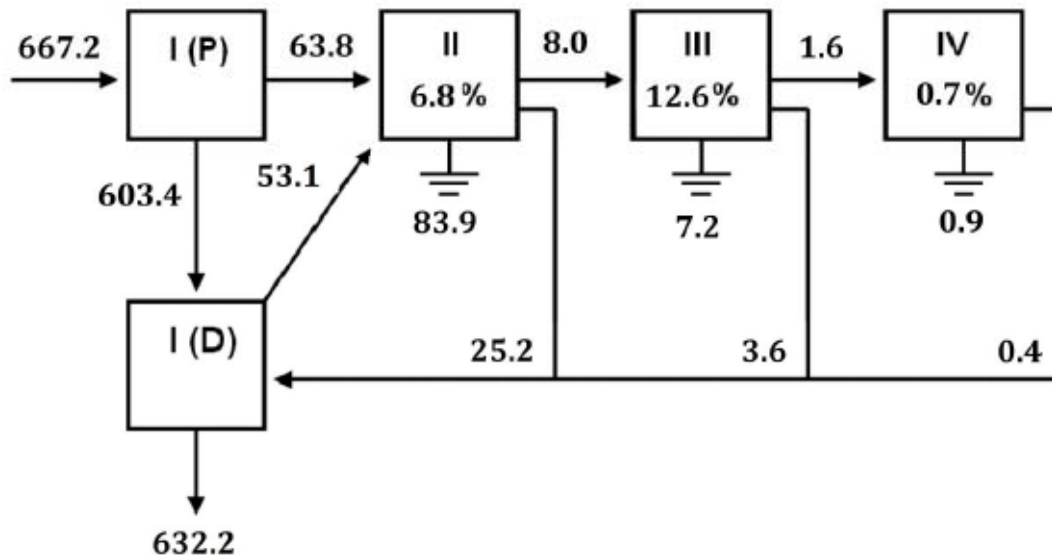
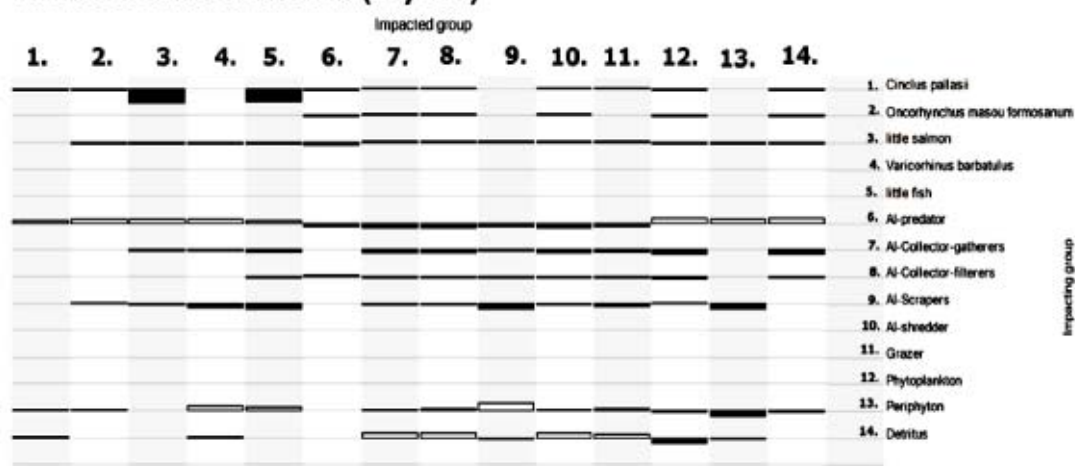


圖 1-10 繁殖場測站 Lindeman spine 圖。(A)拆壩後 1 年；(B)拆壩後 2 年。漸頭方向代表能量流動方向，基礎能量由初級生產者(P)以及碎屑(D)而來，在盒型圖案下方為系統呼吸。盒型內 %數值顯示能量在階層傳遞的效率 Trophic efficiencies (%)。

A. After dam-removal (1 year)



B. After dam-removal (2 year)

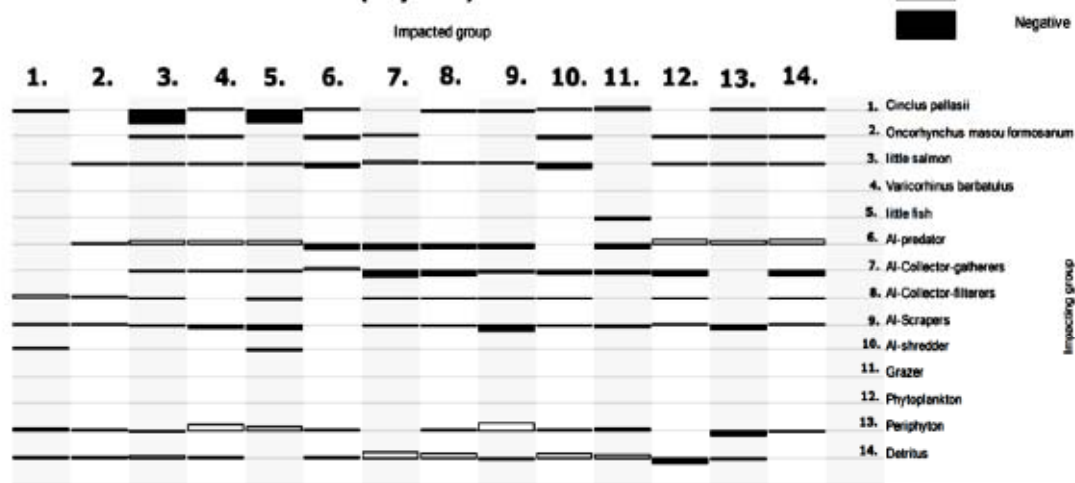
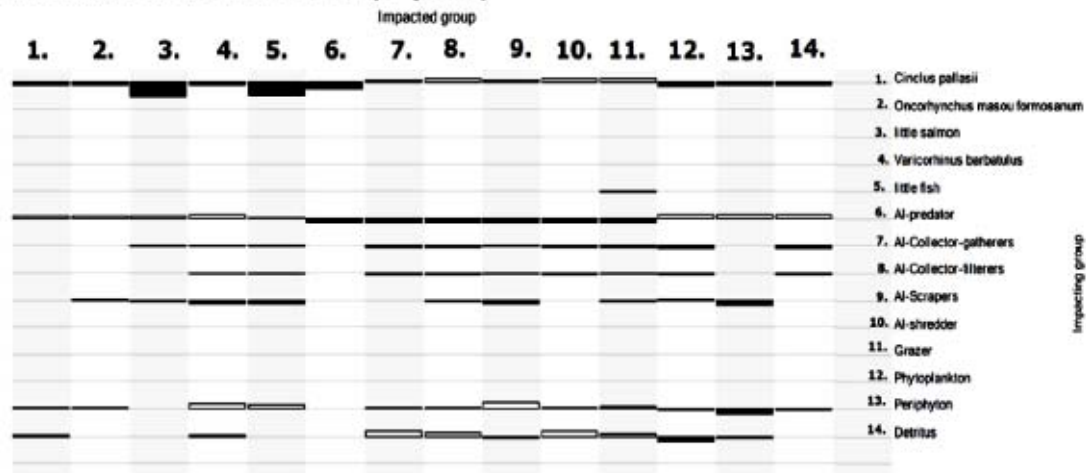


圖 1-11 觀魚台測站之綜合營養衝擊。(A)拆壩後一年；(B)拆壩後2年。數字編號分別代表：1. 河鳥, 2. 臺灣櫻花鉤吻鮭(大魚), 3. 臺灣櫻花鉤吻鮭(小魚), 4. 臺灣鏟頰魚(大魚), 5. 臺灣鏟頰魚(小魚), 6.水棲昆蟲捕食者, 7. 水棲昆蟲收集者, 8. 水棲昆蟲濾食者, 9. 水棲昆蟲刮食者, 10.水棲昆蟲撕碎者, 11. 非水昆無脊椎動物 12. 浮游藻類, 13. 附生藻類, 14. 碎屑。

(資料來源：本研究計畫)

A. After dam-removal (1 year)



B. After dam-removal (2 year)

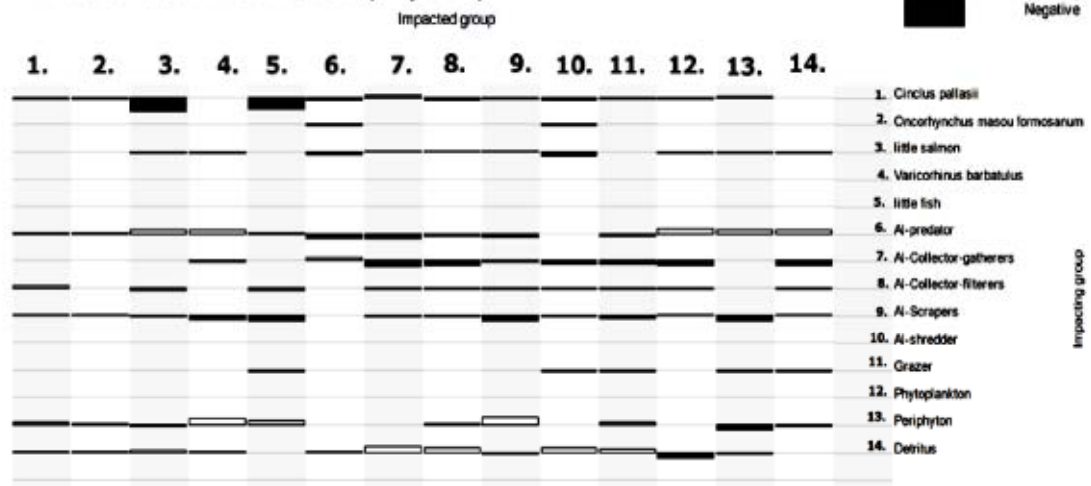


圖 1-12 繁殖場測站之綜合營養衝擊。(A)拆壩後一年；(B)拆壩後 2 年。數字編號分別代表：1. 河鳥, 2. 臺灣櫻花鉤吻鮭(大魚), 3. 臺灣櫻花鉤吻鮭(小魚), 4. 臺灣鏈領魚(大魚), 5. 臺灣鏈領魚(小魚), 6.水棲昆蟲捕食者, 7. 水棲昆蟲收集者, 8. 水棲昆蟲濾食者, 9. 水棲昆蟲刮食者, 10.水棲昆蟲撕碎者, 11. 非水昆無脊椎動物 12. 浮游藻類, 13. 附生藻類, 14. 碎屑。

(資料來源：本研究計畫)

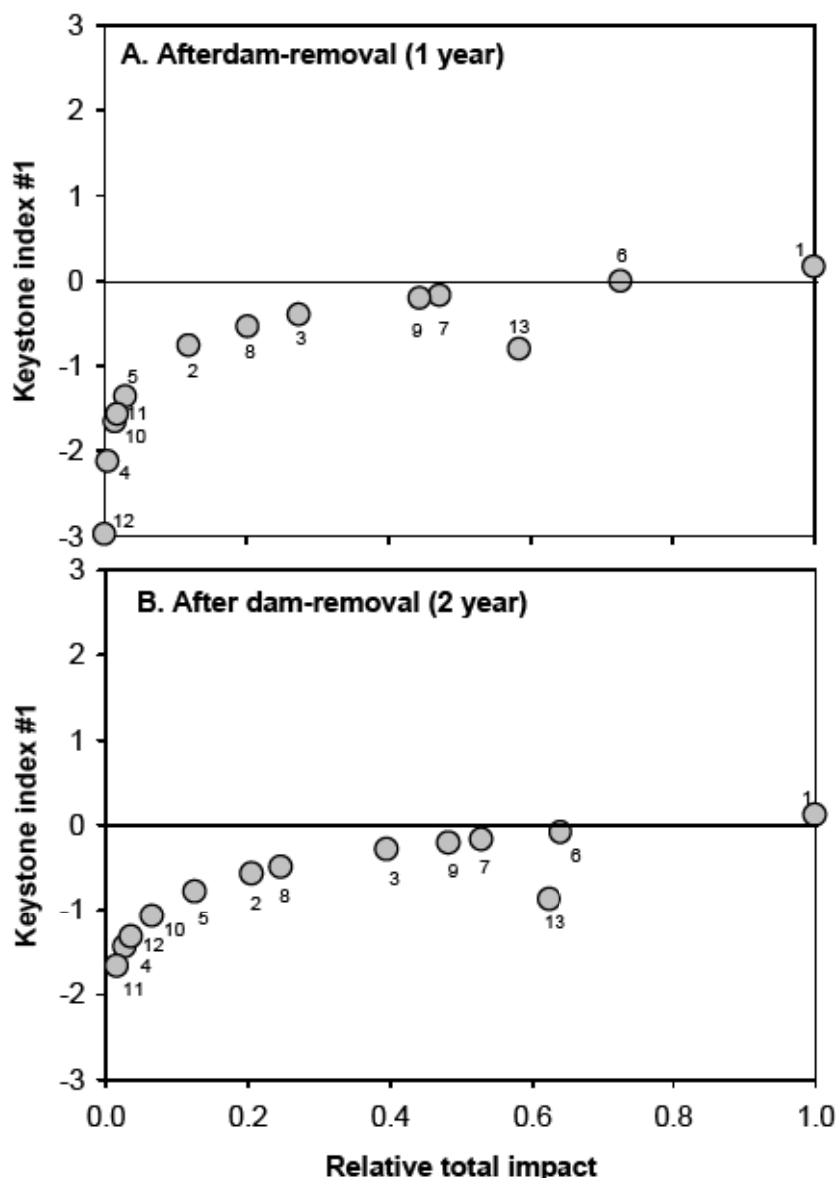


圖 1-13 觀魚台測站關鍵物種。數字編號分別代表：1. 河鳥, 2. 臺灣櫻花鉤吻蛙(大魚), 3. 臺灣櫻花鉤吻蛙(小魚), 4. 臺灣鱧領魚(大魚), 5. 臺灣鱧領魚(小魚), 6. 水棲昆蟲捕食者, 7. 水棲昆蟲收集者, 8. 水棲昆蟲濾食者, 9. 水棲昆蟲刮食者, 10. 水棲昆蟲撕碎者, 11. 非水昆無脊椎動物 12. 浮游藻類, 13. 附生藻類。

(資料來源：本研究計畫)

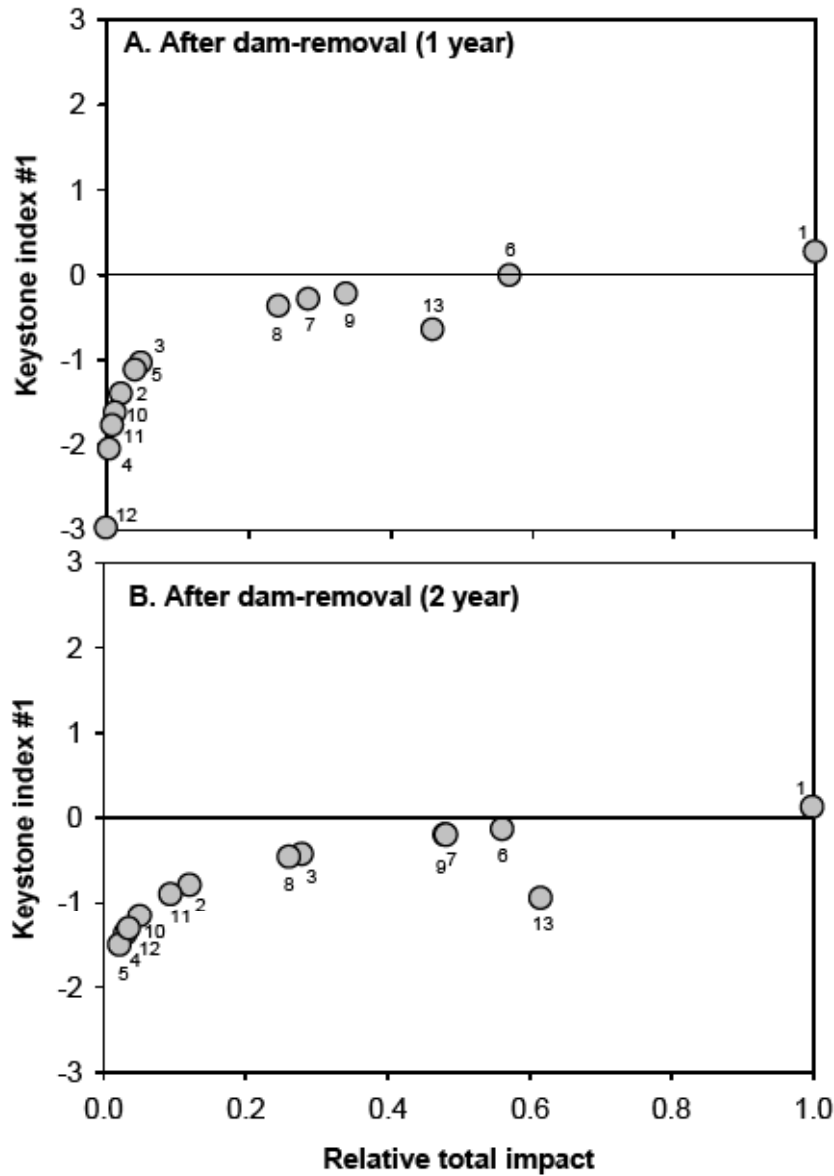


圖 1-14 繁殖場測站關鍵物種。數字編號分別代表：1. 河鳥, 2. 臺灣櫻花鉤吻蛙(大魚), 3. 臺灣櫻花鉤吻蛙(小魚), 4. 臺灣鱧領魚(大魚), 5. 臺灣鱧領魚(小魚), 6. 水棲昆蟲捕食者, 7. 水棲昆蟲收集者, 8. 水棲昆蟲濾食者, 9. 水棲昆蟲刮食者, 10. 水棲昆蟲撕碎者, 11. 非水昆無脊椎動物 12. 浮游藻類, 13. 附生藻類。

(資料來源：本研究計畫)

指標功能群	測站	颱風/洪水事件的干擾			恢復時間 (recovery time)	七家灣溪一號壩壩壩改善效應			
		基準線 (non-typhoon season)	干擾 (after-typhoon/rainfall)	恢復時間 (recovery time)		拆壩前 (before-removal)	拆壩後 (after-removal)	恢復時間 (recovery time)	
水質	七家灣溪	硝酸鹽 < 1 ppm	受人為活動影響	早春較高		無影響		1 week	
		亞硝酸鹽 < 3 ppb				10~20 ppb			
濁度	七家灣溪	氮氣 < 20 ppb	~ 8000 NTU (蘇拉颱風)	< 5 days	< 30 NTU	< 700 NTU	< 30NTU	1 week	
流量	七家灣溪	0.89~13.62 cms	小型洪水: ~35 cms (1年重現期距流量) 大型洪水: 445cms (10年重現期距流量)		壩上游河段約有近16萬立方公尺之泥砂量被帶往至下游				
石附生藻類 生物量 (mg Chl $a\ m^{-2}$)	桃山西溪	18.8 ± 3.0	5.8 ± 3.7	< 1 month	#12	13.6 ± 3.3	16.1 ± 2.3	9.5 ± 5.1	3 months
	七家灣溪	27.7 ± 2.7	2.4 ± 0.4	< 1 month	#13	46.8 ± 11.1	0.2 ± 0.1	59.7 ± 26.7	2 weeks
	高山溪	15.5 ± 2.4	1.3 ± 0.8	< 1 month					
	有勝溪	117.8 ± 27.9	12.6 ± 7.6	< 1 month					
水棲昆蟲 (insect m^{-2})	七家灣溪	臺灣櫻花鉤吻鮭 中大型食餌密度 ~1000	中大型食餌密度 < 100	> 2.5 months			同小型洪水事件		2.5 months
魚類 臺灣櫻花鉤吻鮭		5000~最大承載量	數量減少30% (蘇拉颱風)				拆壩前已預先將櫻花鉤吻鮭撈起		
濱岸植群	七家灣溪	五節芒、艾、臺灣澤蘭、臺灣赤楊等 為指標植物		5 years (赤楊型)			無影響		
鳥類		河鳥: 4.7隻/km	河鳥數量下降				影響河鳥		
兩生類							無影響		蝌蚪食砂行為

圖 1-15 七家灣溪各項生物及環境參數的基礎線、族群恢復時間以及監測的指標項目。(資料來源：本研究資料)

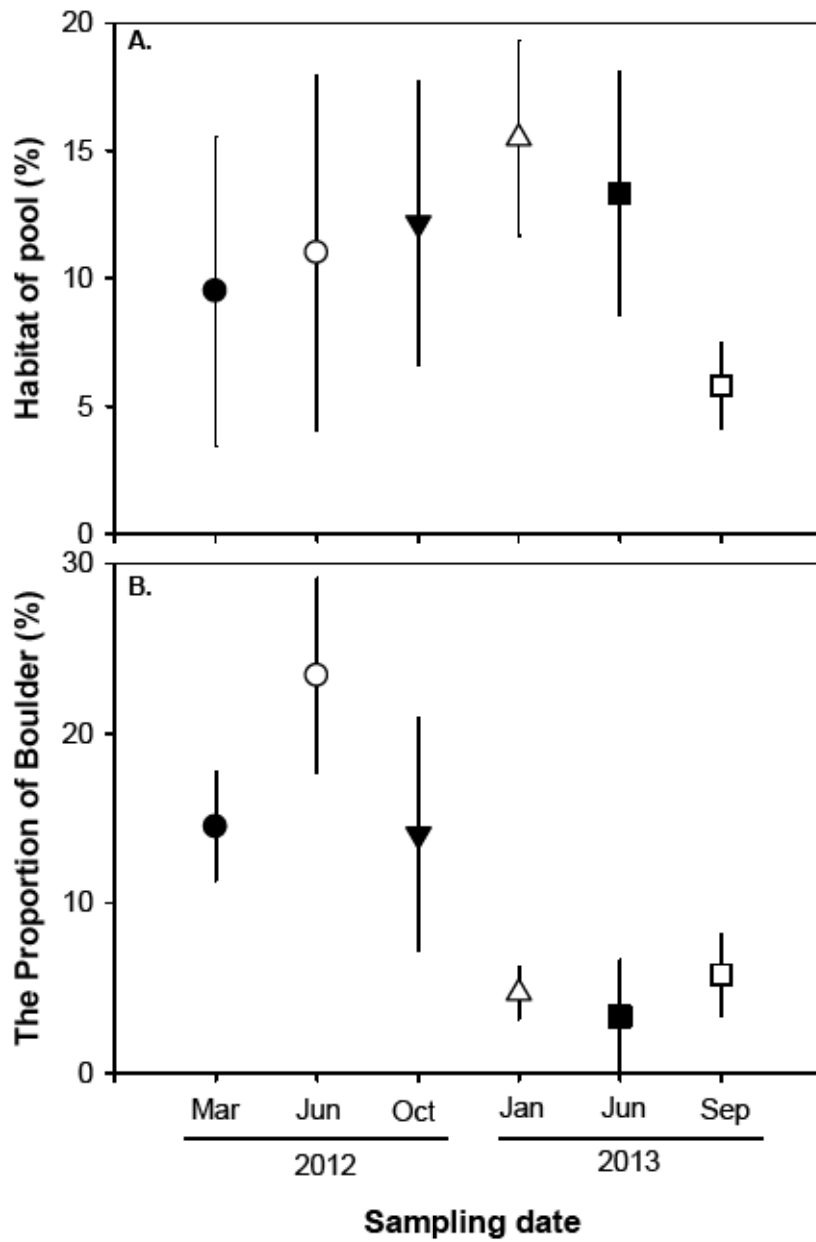


圖 1-16 七家灣溪主流各測站不同採樣月份(A)潭棲地所佔比例(B)大石頭比例。

(資料來源：本研究資料)



圖 1-17 推測鮭魚減少可能機制。為何以前沒有發生？整合所有子計畫發生的狀況推測，2012年連續三個月累積雨量超過300mm(6~8月)，且達到600mm；前一次類似狀況發生在2004~2005年，2005年秋天鮭魚數量只剩523尾。

(資料來源：本研究資料)

第二章 藻類研究

莊怡麗、張穎嚴、林良瑾、林幸助

國立中興大學生命科學系

摘要

關鍵詞：生態監測、壩體改善工程、藻類生物量、碎屑傳輸、流速

一、研究緣起

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進行長期生態監測，藉由生態模式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與司界蘭溪為研究地點，依循於 2005 年武陵長期生態監測研究(WLTER)所設立的永久測站，持續長期監測並整合重點監測項目，包括水溫、流量、物理棲地、水質、藻類、水生昆蟲、魚類等時空動態變化資料。除了長期生態對於藻類的監測外，今年的仍重點著重在 2011 年五月底七家灣溪一號壩拆除後，石附生藻類生物量的長期變化過程。透過基礎生產者的採樣調查，瞭解拆壩對於食物網結構與功能的影響。

二、研究方法及過程

本研究共有十個測站，其中七家灣溪設有六個測站，司界蘭溪兩個測站，高山溪與有勝溪各一個測站。2013 年已進行各測站的一月、四月、六月、八月與十月的例行性採樣與司界蘭溪上、下游兩測站一月底的年度監測。監測項目為各溪段不同微棲地之石附生藻類生物量。拆壩工程影響的採樣調查測站為觀魚台(#4)、一號壩上游 100 公尺(#12)、一號壩下游 100 公尺(#13)以及繁殖場(#5)，主要針對藻類生物量與群集組成、水中傳輸有機物及底層細顆粒有機物。

三、重要發現

雨量對於七家灣溪石附生藻類生物量是一個很重要的控制因子，當月累積雨量大於 300 mm 時，就會明顯減少七家灣溪主流測站的藻類生物量。在 2011 年，七家灣溪主流測站以及有勝溪出現的藻類生物量高峰值都與八年前相當，而桃山西溪與高山溪則低於八年前。由於桃山西溪與高山溪的植被覆蓋度較高，尤其在高山溪更是如此，因此降雨量減少並不會馬上反應在這兩條溪流的藻類生物量上。另一方面，受到農業活動影響的有勝溪測站，只要沒有大型降雨事件，藻類便可以立即大量的生長。司界蘭溪兩測站的藻類生物量都呈現逐漸攀升的趨勢，尤其在 2013 年一月的上游測站，其藻類葉綠素 *a* 濃度與有勝溪測站相當，為歷年高峰。由石附生藻類生物量的長期監測結果可發現，除了高山溪測站之外，降雨與颱風頻度對武陵地區石附生藻類扮演決定性角色。

2012 年蘇拉颱風事件對於拆壩密集監測的四個測站影響很大，藻類生物量與季節性變化都發生改變，此影響一直延續到當年底的 12 月。由於蘇拉颱風的影響加劇了隔年 2013 年的降雨事件，經過蘇力颱風後又發生 10 月降雨事件，因此導致 2013 年藻類生物量分布與季節性變化又異於 2012 年。另一方面，石附生藻類葉綠素組成顯示，受到拆壩與颱風降雨事件影響最大的是綠藻，而矽藻則因為能適應於較高流速環境，所以回復能力也較佳，但是兩者對於棲地穩定度(福祿數)都非常敏感。因此，相較於拆壩後的短期效應，降雨事件會導致水文狀態與物理棲地的長期改變，才是主要影響七家灣溪石附生藻類的時空變化的原因。

在碎屑的部分，不論是溪流中傳輸的 CPOM 以及 TSM，或是蓄存在底質的 FBOM，雖然靠近壩體的測站會有部分影響，但是整體來說，季節性降雨還是主要影響溪流有機物傳輸量或是蓄存量的重要因子。

四、主要建議事項

立即可行之建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

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

1. 月累積降雨量可作為七家灣溪石附生藻類抵抗力指標，當月累積雨量 >300 mm 時，藻類生物量便無法大量生長。
2. 觀魚台測站與繁殖場測站綠藻偏好高水溫與低植被覆蓋度的環境，因此在沒有大型水文事件時(乾季的冬季)，可將水溫與植被覆蓋度($<30\%$)變化作為日後預測綠藻是否會大量的水質指標。

ABSTRACT

Keywords: ecological monitoring, dam removal, periphyton biomass, CPOM flux, velocity

The Formosan landlocked salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*) is an endangered endemic species, which is distributed only in the basin of Chichiawan Stream of Central Taiwan. The basin has been assigned as a wildlife protection area and wetland of national importance. In order to understand ecological processes and controlling factors, long-term ecological research in the Wulin area (WLTER) was initiated in 2005. Major biological communities and environmental factors were routinely monitored at permanent sites in the basin. Periphyton which is the most important primary producers in the streams is the main target of this subproject. The objective of the integrated project this year is the long-term effects of removal of the first dam of Chichiawan Stream on trophic structure and functioning by monitoring changes in periphyton through the Formosan salmon and birds before and after dam removal.

In total, there were 10 study sites. Two of them were located in the Sikairan Stream and the periphyton was annually monitored only in February. Periphyton at other sites were monitored every two months, including Taoshan West Stream, the second dam, Fish observation desk, the upstream of the first dam, the downstream of the first dam, Breeding center, Gaoshan Stream and Yousheng Stream. Periphyton biomass and community structure were also monitored in different habitats at each site. After dam removal, Fish observation desk, the upstream of the first dam, the downstream of the first dam and Breeding Center were our major monitoring sites. In addition to periphyton, coarse particulate organic matter (CPOM) and fine benthic organic

matter (FBOM) were also monitored.

Our results of 10 years long-term monitoring showed that algal biomass decreased immediately when the monthly cumulative precipitation was greater than 300 mm, which particularly occurred in mainstem of Chichiawan Stream. The greatest biomass of epilithic algae peaked in mainstem of Chichiawan Stream and Yousheng Stream in 2004 and 2011 without large rainfall events. Furthermore, algal biomass recovered soon after rainfalls in the enriched Yousheng Stream with open canopies and high nutrient availability. Biomass of the upstream of Sikairan Stream increased significantly, but slightly decreased in the downstream. However, algal biomass in both upstream and downstream site increased annually in the Sikairan Stream.

Annual trend of algal biomass in #4, #12, #13 and #5 differed seasonally among years from 2009 to 2013. The results of multiple-ordination analysis (PCO, dbRDA and CAP) showed that spatial temporal variations of algal biomass were separated into three groups, which was contributed one from group 2009~2011, another from group 2012 and the other from group 2013. Therefore, typhoon and floods are the most important driving factor controlled the algal biomass in these subtropical mountain streams. The shift of spatial-temporal pattern indicates that algal biomass is driven significantly by seasonal factors and annual patterns than by the sudden event of the dam removal in Chichiawan Stream.

Difference of algal biomass between upstream #12 and downstream #13 decreased about one year after the dam removal. However, the similarity of algal biomass in the most upstream site #4 and the most downstream site #5 increased from 2012 to 2013. Typhoon-induced floods resulted in dramatical changes of algal spatial-temporal patterns in 2012 and 2013 in mainstem sites

(#4, #12, #13 and #5). Furthermore, rainfall-induced instability of habitat led to lots of algal biomass loss in October 2013. Distance-based redundancy (dbRDA) analysis showed that biomass of chlorophytes decreased with increasing current velocity, habitat instability and canopy cover. Flow-resistant epilithic diatoms could colonize in riffles and recover soon after floods. Both chlorophytes and diatoms were poorly resistant against habitat instability (e.g. fast flow with decreased water depth). Therefore, duration and intensity of floods and typhoon are the most important factor would drive spatial-temporal variations of epilithic algae in the Wulin area. The short-term effects of dam removal on periphyton biomass and community compositions only last for six months.

CPOM flux was affected by the seasonal precipitation, where the flux had the same pattern at four sites. At the same time, the stream was observed to have higher concentrations of total suspended matter (TSM) and ash free dry mass (AFDM). However, the proportion of AFDM in TSM was much lower in the downstream of the first dam and Breeding Center. This suggests that dam removal will cause downstream sites to have more sand and stone deposited.

The project comes to immediate strategies:

1. We suggest the monthly cumulative precipitation (mm) for an index of algal resistance in Chichiawan Stream. Epilithic algal biomass will decrease when the monthly cumulative precipitation is greater than 300 mm.
2. Biomass of chlorophytes increased with decreasing canopy cover (<30%) and elevated water temperature with open canopies, which can be used as the indicators for monitoring water quality to prevent algal blooms, particularly in the mainstem of Chichiawan Stream in dry seasons.

一、前言

武陵地區在雪霸國家公園成立前由農委會所主導之研究，主要著重在臺灣櫻花鉤吻鮭及棲地描述(如 Wang, 1989; Tsao 1995, 曾晴賢及楊正雄, 2001a、b)及與鮭魚食性有關的水生昆蟲等(林曜松等, 1987)。國家公園成立後才開始擴大到溪流其他相關生物自然資源之研究與調查，與臺灣櫻花鉤吻鮭有關之研究計畫林林總總迄今已超過百項之多(雪霸國家公園, 2000)。然而在此之前，量化資料非常少，且資料缺乏整合(林幸助, 2002)，而且濱岸棲地(riparian habitat)的生物，包括植被、陸棲昆蟲、兩生類、爬蟲類、哺乳類與鳥類均一直缺乏研究，或僅是非量化性質的附帶性研究對象(袁孝維, 1995; 呂光洋, 2002)。在溪流生態系中，這些生物可能都與臺灣櫻花鉤吻鮭有直接或間接的能量傳遞關係。對於這些生物的瞭解，不但有生物學上的意義，也能對武陵溪流生態系的運作，有更進一步的認識。武陵長期生態監測研究與模式建構(WALTER)已針對這類附屬生物作初步量化工作(林幸助等, 2008)，並發現其食物網中之基礎生產者—石附生藻類及溪流主要消費者—水棲昆蟲可作為反應該溪流環境的良好指標。

物理棲地的改變對於溪流生物影響更是明顯。於 2011 年 5 月 30 日已完成的七家灣溪一號壩拆除工程，針對此工程是亟需監測改善前後對於溪流生態環境的影響。物理環境的改變是壩體移除過程中最快速且明顯的改變，Grant and Bromley (2007)則認為對淤滿壩體之移除啟動一連串的河道地形變化過程，包括在原淤積區之侵蝕深槽重現、下刷、側向擴展以及導致泥砂的迅速潰送至下游，向下輸送的泥砂則增進其它的河道地形調整，包含填補深潭、沙洲及河道淤砂及細粒化，這些變化的時間長度則與輸送泥砂量及移除後河川流量序列有關。對溪流中的藻類而言，溪流底質是藻類在溪流中附著的基礎。在洪氾期間，底質的體積大小決定對抗水流的能力，也間接左右了附生藻類賴以生長環境的穩定度，而最後可能決定了生物量及物種的組成。Cattaneo et al. (1997)在加拿大渥太華研究底質大小對藻類分布及豐度的影響，他們將底質分為 sand, fine gravel, gravel, cobble, boulders 五個等級，結果發現不僅單位生物量在大小不同底質上存在差異，藻類的生長型式組成也隨著底質大小不同而改變。絲狀與貼附性藻種的比例隨著底質變大而增加，而移動浮游性藻種則在較細的底質有較重要的組成。

Uehlinger (1991)在瑞士常發生季節性洪氾的山區溪流研究底質大小與生物量的關係，指出對於常有洪水事件的溪流，較大底質往往有較高的生物量，而此現象可能說明了較大底質提供藻類一個較穩定的生長基地。國外研究發現，拆壩過程附生藻類受到嚴重的干擾生物量隨即下降，但是在幾個禮拜過後，生物量又可以恢復到與拆壩前沒有差別(Thomsom et al. 2005, Orr et al. 2008)，推論與底質改善有關。以生態系的尺度來看，拆壩對於藻類生物量的影響程度不大，若改以族群的角度來看，不同的底質環境，會有不同的藻種生長。換句話說，雖然附生藻生物量沒有受到影響，但是附生藻的藻種組成在拆壩後發生改變，而這個改變會不會透過食物網的能量傳輸進而影響溪流中的高階消費者，本研究將針對 2011 年五月已完成的七家灣溪一號壩拆壩工程，持續監測研究並探討拆壩後藻類生物量變化與群集組成的差異。

因此，本計畫的研究重點如下：

1. 持續監測七家灣溪、高山溪以及有勝溪等樣點之石附生藻生物量變化。
2. 持續監測並探討 2011 年七家灣溪一號壩拆壩工程後，溪流基礎生產者受到工程影響的結果。

二、材料與方法

(一) 採集時間與測站

本計畫在偶數月(其中包含乾季與濕季)，即包含乾季與濕季的 2、4、6、10 月共 4 次。夏季颱風季節時頻度為一次，分別為颱風季節後 1 次(8 月)，所以一整年監測頻度總計為 5 次。其中司界蘭溪兩個共同測站之生態監測，已於一月枯水期進行年度監測與整體評估。

本計畫於雪霸國家公園武陵地區共設有 10 個測站(圖 2-1; 2-2)。^{#10} 司界蘭溪上游、^{#11} 下游兩測站僅於一~二月間進行一次年度監測。這是因為司界蘭溪匯入大甲溪，在過去曾為臺灣櫻花鉤吻鮭魚苗放流地點。司界蘭溪上游測站位於環山部落，為一開闊測站，附近無農業干擾，今年由於上游河道變寬，原本的採測站因棲地改變，因此改往下游 50 公尺處設為本測站；司界蘭溪下游兩岸為農業耕作區，河道因中間沙丘一分為二，左側河道為流速極高的區域，為考量人員安全僅採集河道右側的瀨區。

七家灣溪共設有 6 個測站，由上游至下游分別為^{#2} 桃山西溪、^{#3} 二號壩、^{#4} 觀魚台、^{#12} 一號壩上游、^{#13} 一號壩下游、^{#5} 繁殖場。其測站特性分述如下：

^{#2} 桃山西溪： 位於武陵吊橋下方，可清楚區分瀨、流、潭三個微棲地。

^{#3} 二號壩： 已受損二號壩體下游約 100 公尺處，具有深潭與急流。

^{#4} 觀魚台： 原測站名為一號壩，但實際上一號壩位於觀魚台下游約 1 公里處，故將此測站改為觀魚台，有清楚的瀨、流、潭區，為一開闊測站。自 2012 年八月蘇拉颱風大雨沖刷後導致棲地類型改變，之後的採樣區分為上游(原流區)與下游(原瀨區)。

^{#12} 一號壩上游：位於一號壩上游 100 公尺處，為一個開闊地形，河道位於右岸，右側有些許植被覆蓋，瀨、潭區明顯，流區位於潭的下游。自 2012 年六月泰利颱風大量降雨後使棲地改變，故之後的採樣區分為上游(原流區)與下游(原瀨區)。

^{#13} 一號壩下游：位於一號壩下游 100 公尺處，兩岸為陡峭的岩壁，相較於一號壩上游，

此測站較為鬱閉，有明顯的瀨與潭區，流區較不明顯。(2011年拆壩後一週，因棲地改變因此只區分為近壩(原流區)與遠壩(原瀨區)。近壩處約為壩下 50 公尺，遠壩處約為壩下 150 公尺。)

#5 繁殖場： 為一開闊地形，河道寬度是調查測站中最寬的地區，瀨、流區明顯可見，潭區較不明顯，受礫石覆蓋。(2011年拆壩後兩週，因棲地改變因此只區分為樣站範圍 100 公尺內的上游(原流區)與下游(原瀨區)。

另外兩個測站屬於七家灣溪支流，分別為#8 高山溪與#9 有勝溪。高山溪為鬱閉的測站，此測站僅有瀨區，流速較快。相對於高山溪，有勝溪則為流速較慢的瀨區，且為人為干擾最頻繁的區域。歷年監測資料顯示，有勝溪有較高的營養鹽濃度，藻類相與上述測站有明顯的差異。

(二) 石附生藻類監測

1. 石附生藻類生物量

七家灣河流域各測站多以中等尺度的瀨區、流區與潭區為石附生藻類的主要棲地單元，故本研究於不同微棲地中，依據樣區底質大小，隨機撿取具有樣區粒徑代表性的石頭，每個棲地有三重複。由於司界蘭溪上及下游、高山溪及有勝溪僅有瀨區類型的棲地，故於各測站上、下游各隨機採集 3 顆石頭。且瀨區多為大石頭分布，故採樣時僅採集粒徑大小次於大石頭且可搬動的石塊。之後於河岸邊將採集的石頭以牙刷刮取面積約為 16~25 cm² 的藻樣、記錄採集面積，以當地測站之溪水將藻樣收集至採集瓶並定量藻液體積。最後將採集到的石附生藻類樣本迅速置入低溫避光保冷袋中保存至帶回實驗室進行分析。

在實驗室中，將藻液以均質機均質後，吸取 5~10 ml (視濃度而增減並記錄之)藻液以玻璃纖維濾紙(Whatman, GF/F, Germany)進行抽氣過濾，並以 90%丙酮溶液進行葉綠素萃取。萃取過程遮光並置於 4°C 冰箱中，靜置隔夜後，於 24 小時內以分光光度計(HITACHI, U-2001)測定葉綠素 a、b 與 c 濃度，設定波長為 630 nm、647 nm、664 nm、750 nm。將此濃度除以刮取的藻樣面積，即為石附生藻單位面積生物量。公式如

下：

$$[\text{Chl } a] = 11.85 \times E664 - 1.54 \times E647 - 0.08 \times E630$$

$$[\text{Chl } b] = -5.43 \times E664 + 21.03 \times E647 - 2.66 \times E630$$

$$[\text{Chl } c1+c2] = -1.67 \times E664 - 7.6 \times E647 + 24.53 \times E630$$

$[\text{Chl } a]$ = 葉綠素 *a* 濃度，單位為 $\mu\text{g ml}^{-1}$

$[\text{Chl } b]$ = 葉綠素 *b* 濃度，單位為 $\mu\text{g ml}^{-1}$

$[\text{Chl } c1+c2]$ = 葉綠素 *c* 濃度，單位為 $\mu\text{g ml}^{-1}$

$E664$ = 波長 664 nm 吸光值 - 波長 750 nm 吸光值

$E647$ = 波長 647 nm 吸光值 - 波長 750 nm 吸光值

$E630$ = 波長 630 nm 吸光值 - 波長 750 nm 吸光值

(Jeffrey and Humphrey 1975)

2. 石附生藻類組成分析

上述方法所測得之葉綠素濃度，其中葉綠素 *a* 代表石附生藻類總生物量、葉綠素 *b* 主要為綠藻生物量所貢獻，而葉綠素 *c* 則主要為矽藻生物量所貢獻。因此，可將此三種葉綠素生物量的濃度組成變化視為主要的石附生藻類組成，用以進行群集分析與空間排序。

3. 統計檢定

為探討七家灣溪一號防砂壩壩體改善前後藻類生物量的時空變化，本研究比較拆壩前的 2009~2010 年、拆壩當年的 2011 年、拆壩後一年的 2012 年與拆壩後第二年的 2013 年，以五年全年的藻類生物量資料進行時空排序。因今年並無十二月資料，故分析的變量組成以每年的 2、4、6、8、10 月共五個月份作為當年的季節組成變量。由於部分測站於拆壩後或颱風洪水過後導致潭的棲地喪失，因此藻類生物量資料只取每次採樣每個溪段中最主要藻類生長的瀨區(riffle)與流區(run)來進行分析。檢測的效應包含 1. 主因子：年間效應。2. 主因子：測站效應。之後以 PRIMER 6.0 (Clarke and Gorley 2006, Plymouth, UK) 中的 PERMANOVA+ (Anderson et al. 2008) 套件進行分析。

PERMANOVA 的分析優點在於資料形態不需符合常態分佈的假設即可分析，因此分析結果並不會受到資料扭曲程度的影響。首先，以 Permutation Test 排序分析顯示兩個因子皆有顯著效應之後，再進行兩兩比較(pairwise test, 包含年份間與測站間)。以 Bray-Curtis 計算所得之相似性係數先轉換為 Euclidean distance 之後，排序於主距離分析(Principal Coordinates Analysis, PCO)的 PCO1 與 PCO2 兩個軸上，若此二軸累加可解釋的變異程度超過 70%則具有代表性(Anderson et al. 2008)。由排序分析以及 PCO 分析後，若結果有顯著分群，則將原始數據以 Chi-square 距離轉換後(避免拱形效應產生)，再以距離法冗餘分析(distance-based Redundancy Analysis, dbRDA)進行分群後解釋因子的判讀，用以找出主要影響分群的因子。此外，本研究使用距離法典型相關分析法(Canonical Analysis of Principle coordinates, CAP)以顯著分群的因子(軸)來比較拆壩前後藻類生物量於四個拆壩重點測站之間年變化的差異。之後並以 SIMPROF 分析年間藻類葉綠素 *a* 生物量歸群的顯著性(95%信賴區間)。

另一方面，藻類群集組成亦以 PRIMER 6.0 (Clarke and Gorley 2006, Plymouth, UK)中的 PERMANOVA (Anderson et al. 2008)套件進行分析。群集組成變量包含葉綠素 *a, b, c*，而測試的因子包括年份，月份以及測站間的效應。由於葉綠素 *a, b, c* 含量間的差異較大，分析之數據先以開根號轉換後，再以最大值作為樣本標準化的基準，目的在使極大值與極小值的在分析中的有相同的重要性(Schneck and Melo 2012)。之後將標準化後的數據進行上述之 PCO、dbRDA 與 CAP 分析。

(三) 有機碎屑收集

1. 水中傳輸有機粗顆粒碎屑(coarse particle organic matter ; CPOM)

在每一測站的取樣河段上、下游河流橫斷面各放置 3 個攔網(開口 25cm × 25cm、網目 1mm)，以錨釘與繩索平均固定在匯流口河道的橫斷面上，連續 24 小時收集攔截到的有機物樣本。帶回實驗室後將收集到有機碎屑進行分類，大略分為：葉片、枝條、藻類、水苔以及其他，其他的部分包含碎葉、碎枝條、羽毛等不易辨識的有機物。

2. 溪流底層蓄存量(fine benthic organic matter ; FBOM)

以舒柏氏水網(Surber net, 30cm×30cm 開口、網目 250μm)定面積擾動底質，採集 3 個樣本，將有機碎屑收集至網中，將大片的有機碎屑挑出，帶回實驗室分析，剩餘細顆粒再進一步過篩出細顆粒態有機碳(FBOM, Fine benthic particulate organic matter ; 250 mm ~ 1 mm 之間。以 ADVANTEC GF-75 的玻璃纖維濾紙進行抽氣過濾，樣品經烘乾秤重後，再以灰化爐已 400°C, 4hr 灰化處理，乾重以及灰化重之重量差值即為水中每公升所含有機物之無灰乾重(ash free dry mass ; AFDM)。

3. 總懸浮物質(total suspended matter ; TSM)

以 1000 ml PE 瓶收集水樣，每個樣點採取 5 個重複數，採樣時間配合拆壩工程進行，分為拆壩前、拆壩中以及拆壩後進行樣品採集。待回實驗室後，以 ADVANTEC GF-75 的玻璃纖維濾紙進行抽氣過濾，樣品經烘乾秤重後，再以灰化爐已 400°C, 4 h 灰化處理，乾重以及灰化重之重量差值即為水中每公升所含有機物之無灰乾重(AFDM)。

三、結果

(一) 歷年石附生藻生物量時空變化

2003年二月至2013年十月間長達11年的長期監測的結果顯示，七家灣溪主流的藻類生物量在觀魚台(#4)最多，高峰值於2011年12月達到最高，與2004年1月的高峰值相當，約為 $300 \text{ mg Chl } a \text{ m}^{-2}$ (圖 2-3)。下游的繁殖場測站的藻類生物量則有逐年增加的趨勢，2013年冬季1月的生物量為2004年1月的四倍之多。主流上游二號壩測站的藻類葉綠素生物量則低於觀魚台與繁殖場。七家灣溪主流測站(#3、#4、#5)受降雨影響明顯，歷經2012年的蘇拉颱風與2013年的蘇力颱風及10月降雨後，藻類生物量大幅減少。2013年七家灣溪主流的藻類生物量於1~2月間最多，之後的藻類生物量因為颱風降雨而無法大量生長。

七家灣溪源頭測站桃山西溪的藻類生物量於2011年的12月達到 $73.0 \text{ mg Chl } a \text{ m}^{-2}$ ，與2004年前的1月相當，但仍低於2003年的高峰值(圖 2-3)。桃山西溪今年的藻類生物量於6月小幅上昇後受颱風降雨影響而持續偏低。高山溪測站的藻類生物量與桃山西溪較為類似，藻類生物量的高峰值明顯低於2003~2004年初。另一方面，2013年下游的有勝溪測站的藻類生物量於1月有高峰值($148.5 \text{ mg Chl } a \text{ m}^{-2}$)，與2012年冬季的生物量相當，但仍低於2011年。長期監測的結果顯示2011年6月有勝溪藻類生物量的高峰相當於2004年3月，都超過 $600 \text{ mg Chl } a \text{ m}^{-2}$ 。

整體來說，藻類生物量受到降雨的影響非常明顯，由桃山氣象站的月累積降雨量趨勢(圖 2-4)與藻類生物量之間的關係(圖 2-3)可以發現，當月累積降雨量超過300 mm時，每個測站的藻類生物量都會減少，反之，當月累積降雨量少於300 mm時，藻類生物量可以開始累積而出現峰值。由於2010~2011年之間，都沒有超過300 mm的月累積降雨量，因此使得藻類生物量出現高峰，但此現象在高山溪並不明顯。此外，由月累積降雨量趨勢(圖 2-4)可看出，2005~2008年之間，每年約有二至三個月份的月累積降雨量超過300 mm，期間的七家灣

溪主流測站的藻類生物量偏低。至於水體營養較高的有勝溪測站，其藻類生物量在降雨之後的恢復趨勢則較其它測站來得快，只要沒有大型降雨事件，藻類便可以快速大量生長。

2013 年，司界蘭溪上游與下游兩測站的藻類生物量仍然繼續增加，葉綠素 *a* 濃度都呈現逐漸攀升的趨勢(圖 2-5)。司界蘭溪上游藻類生物量達到歷年高峰的 $141.0 \text{ mg Chl } a \text{ m}^{-2}$ ，為往年高峰值的 8 倍之多，且與今年的有勝溪藻類生物量相當。司界蘭溪下游的藻類生物量雖然較 2012 年稍微減少，但仍高達 $88 \text{ mg Chl } a \text{ m}^{-2}$ 。整體看來，五年的監測結果顯示司界蘭溪下游的藻類生物量自 2009 年後逐年增加。

(二) 粗顆粒有機物與底層細顆粒有機物

與過去監測結果相同，粗顆粒有機物的傳輸量沒有受到拆壩的影響(圖 2-6)，從結果可以發現，#5 測站有較多的傳輸量，這是因為#5 測站位於較下游，同時匯集高山溪的傳輸物質，因此相對其他測站有較高的傳輸量；而壩上下 100 公尺(#12 以及#13)傳輸量相對較少，從樣品處理過程可以發現，這兩個測站所攔到的物質中，砂石所佔的比例很高，這也說明了在拆壩後#12 以及#13 測站因未受到拆壩影響造成有機物傳輸量下降的現象。2013 年的 4 月的採樣因為溪水暴漲造成樣品無法回收，有資料的#5 測站因為流量增加而有較 1 月採樣增加的現象；#13 測站在 4 月的採樣可以發現攬網中有大量的細砂石，也顯見拆壩後河川作用持續進行中，在遇到較大水文事件時，就會有大量的砂石被沖帶往下游，不過相同泥沙傳輸的狀況在#5 有減少的現象。拆壩後完整的兩年資料顯示，粗顆粒碎屑在差壩期間因短暫流量增加而有傳輸增加的趨勢，但是整體的傳輸量變化仍符合季節的變化；2013 年可以發現四個測站的傳輸趨勢與 2012 相似，在沿岸植被落葉期時有較高的傳輸量。如同過去的調查結果，雖然四個測站傳輸量有差異，但是整體而言，這四個拆壩重點測站的有機物傳輸量有相同的趨勢，也顯示雖然拆壩會對較靠近壩的兩個測站有影響，但是整體流域的作用仍大於拆壩的

影響。

底層有機物的蓄存量主要受到水流帶動以及溪流微棲地的影響，圖 2-7 顯示不同採樣方法的差異性，圖 2-7A.採樣孔徑 0.25 mm-1 cm，所採集到的底層細顆粒量較少，而全採集(<1 cm)樣品可以發現累積量相對較多(圖 2-7B.)。與過去調查的結果相同#13 測站雖然植被覆蓋度也很高，但是因為河川作用較高，所以落葉停留在溪流的時間較短，因此有較低的蓄存量。在較大水流量的洪水事件過後，四個測站的蓄存量皆很低，顯示水流確實是影響蓄存量的重要因子。測站中以繁殖場測站所能蓄存的有機質較多，推測因為繁殖場測站位於下游，有機物都在這裡蓄積，在沒有大雨沖刷的狀況下能累積較多的細顆粒有機物。

(三) 水中總傳輸物質

總懸浮有機物和有機物無灰乾重有相同的趨勢(圖 2-8)，因為傳輸物越多時，當中所含有機物會越多。但是整體來說，除了拆壩期間有壩上以及壩下測站明顯的濃度差異外，其餘時期四個測站的濃度都有相同趨勢。從 TSM 中所含有機物比例來看(圖 2-9)；可以發現，拆壩後遇到較大洪水事件(颱風、梅雨)的時期，因為受到拆壩而有砂石量提高的壩下#13 測站，會有較低的有機物含量，顯示原本恢復平衡的溪流生態系，在較大的洪水事件過後，拆壩的效應又會顯示出來。但是，當溪流在流量穩定的一般狀態下，四個測站會有相同的有機物含量趨勢，這代表整體流域有相同的傳輸物包含當中所含有機物。結果也發現，2013 年的兩次採樣水體中傳輸的有機物含量相當高，這個結果與官文惠老師水質的結果相符，顯示在 2013 年的年初，因兩岸沖刷的有機物增加而使水體中有機物含量有增加的趨勢。

綜合以上，不論是溪流中傳輸的 CPOM 以及 TSM，或是蓄存在底質的 FBOM，雖然靠近壩體的測站會有部分影響，但是整體來說，季節性降雨還是主要影響溪流有機物傳輸量或是蓄存量的重要因子。

(四)拆壩密集監測測站之石附生藻類的時空變化

1. 石附生藻類葉綠素生物量

2009年2月至2013年10月，四個監測重點測站間(#4, #12, #13, #5)兩兩相比的結果均顯示，壩體改善前後的藻類生物量趨勢存在時間與測站間의 交互作用(2-way RM ANOVA, $p < 0.01$)。這就代表每個測站之間，壩體改善前後的藻類生物量季節性變化趨勢都不相同。以時間變化來看，拆壩後的28個月內，最上游不受拆壩影響的觀魚台測站與最下游繁殖場測站的藻類生物量趨勢類似(圖 2-10)。而一號壩上、下游100公尺兩測站的生物量變化較相似，但一號壩下游#13測站的藻類生物量在拆壩之後明顯低於拆壩前，且沒有恢復的趨勢。

為了釐清影響藻類生物量的因素是本身季節性的變化或是拆壩的影響，進一步使用 PERMANOVA 排序分析測試 2009~2013 年四個完整年度的藻類生物量的時空分佈趨勢(不包含 12 月)，將每年內月份採樣作為當年的季節群集組成。排序分析結果顯示，排序 999 次後的結果顯示，藻類生物量在年份與測站間有顯著交互作用 ($Pseudo-F = 2.6873$; $P(\text{perm}) < 0.001$)。接著由主距離法(PCO)與 SIMPROF 歸群分析顯示，2009~2011 年間、2012 年與 2013 年分別顯著被歸為三群(圖 2-11, 2-12)。主距離法的兩個軸(PCO1+PCO2)共同解釋之變異程度為 71.1%。此外，以每個分群中的測站差異來看，在 2011 年的群團中，觀魚台(#4)與下游三個測站(#12、#13、#5)分開，此為拆壩的影響所致。2012 年，觀魚台(#4)與繁殖場(#5)兩者的距離較近，代表生物量的時空分佈較為相似，而一號壩上下游 100 公尺的兩個測站彼此較為相似，這樣的結果是因為拆壩之後與當年颱風降雨的加成影響，但是此效應仍比年變化效應小。到了 2013 年，所有的測站分布又重疊在一起，代表四個測站的季節性變化相似(圖 2-11)。

距離法典型相關分析(CAP)的分析結果顯示，四個測站彼此差異最大的年份在 2011 年，觀魚台測站明顯與#12、#13、#5 測站分開，是為拆壩效應(圖 2-13)。2012 與 2013 年，藻類生物量季節變化往 CAP1 軸=0 上方移動，四個測站的趨勢都相同，彼此之間也並不能明顯區隔開。因此 2012~2013 年的颱風洪水事件

的影響大於拆壩效應，導致不受拆壩影響的觀魚台(#4)與其他三個測站(#12、#13、#5)趨勢一致。然而導致 2009~2013 年被分為三群的原因，可透過 dbRDA 的分析來解釋(圖 2-14)。結果顯示，2009~2011 年的空間排序群團顯示夏天有較多的藻類生物量，2012 年則是秋天藻類生物量多，2013 年又轉變為 1 月冬天藻類多的狀況。藻類生物量的整體結果與當年的降雨及颱風狀況有關。

2. 石附生藻群集組成 (葉綠素 *a*, *b*, *c* 組成)

以 PERMANOVA 排序分析 2010~2013 年間的葉綠素 *a*, *b*, *c* 藻類群集組成，顯示年份與測站間有顯著交互作用($Pseudo F = 2.4064$, $P(\text{perm}) < 0.001$)。以每年四個測站間的空间排序變化來看，CAP 分析結果顯示 2011 年拆壩當年度的綠藻、矽藻組成差異只存在於拆壩後五天，且四個測站沒有明顯被分開(圖 2-15)。然而，2012 年的蘇拉颱風對觀魚台的藻類組成影響最大，其他三個測站(#12、#13、#5)藻類組成受到颱風影響的程度則維持與 2011 年拆壩後五天一號壩下游(#13)的狀態類似。因此，2011 年拆壩對於藻類綠藻或矽藻比例上的影響主要侷限在#13 測站，其影響程度相當於颱風事件。2013 年，夏季颱風加上 10 月的降雨導致四個測站的藻類組成都發生改變。

由藻類葉綠素 *a*, *b*, *c* 組成的距離法典型相關分析來看，2012 年由葉綠素 *b* 為主要貢獻者的綠藻在#4、#12、#13、#5 四個測站低於其他年度，尤其在觀魚台(#4)特別明顯(圖 2-16)。然而原本#13 測站在拆壩前的 2010 年有較多的綠藻，隨著 2011 年拆壩後，2012~2013 年颱風降雨影響下，綠藻的生物量仍持續偏低。對照圖 2-15 可以發現，2011 年拆壩主要的影響主要為降低#13 測站的綠藻生物量。2012 的颱風事件也導致四個測站的綠藻都大量消失，而 2013 年颱風前的冬季觀魚台(#4)和繁殖場(#5)兩測站仍然有大量綠藻生長，直到颱風後才減少。至於在 2013 年的一號壩上、下游#12 與#13 兩測站，綠藻與矽藻生物量皆低於拆壩前的 2010 年與拆壩當年的 2011 年，其中以壩下游的#13 測站影響最大。

將環境因子與藻類組成改變的結果以 dbRDA 分析連結後則會發現，2011 拆壩的影響只侷限於兩週內(圖 2-17)。然而，2012 年為蘇拉颱風後一直到當年的 12 月，影響藻類組成的主要因素都是“流速加快”與“水深加深”，此一情形與 2013 年蘇力颱風後的歸群重疊在一起。較特別的是，2013 年 6 月的降雨事件導致水體濁度增加，而在歷經蘇力颱風後的 10 月降雨事件導致水流湍急程度加劇(以福祿數 Fr 來判讀，亦即水流加快，水深變淺，圖 2-17)。

矽藻與綠藻的組成顯示，雖然颱風會導致的流速增快與水深加深，仍可以有矽藻生長(葉綠素 c，圖 2-18)。然而，2013 年降雨影響產生之 6 月濁度效應與颱風過後 10 月的棲地不穩定影響下，矽藻變無法拓殖。此外，綠藻(葉綠素 b) 喜好生長於高導電度、水溫較高與植被較少的環境。相對地，只要流速快、水深、棲地不穩定(福祿數 Fr)與濁度高的環境下，綠藻幾乎都無法生長(圖 2-18)。

整體而言，2012 年蘇拉颱風事件對於拆壩密集監測的四個測站影響很大，藻類生物量與季節性變化都發生改變，直到當年底的 12 月。由於蘇拉颱風的影響加劇了隔年 2013 年的降雨事件的影響，經過蘇力颱風後又發生 10 月降雨事件，因此導致 2013 年藻類生物量分布與季節性變化又異於 2012 年。另一方面，就藻類組成而言，拆壩後一號壩下游的綠藻持續減少，轉為以矽藻為主要的貢獻者，以七家灣溪基礎生產者的角度而言會是一個較佳的狀態。觀魚台與繁殖場兩測站只要在沒有大型洪水事件干擾的時候就有機會出現綠藻，偏好高導電度和高水溫的環境。根據長期資料來看，觀魚台與繁殖場兩測站的綠藻(葉綠素 b)高峰的時候好發在 12 月~2 月間的冬季，是因為當時處於水文狀態穩定的乾季。以當時冬季綠藻大量生長的環境來看，可以發現其平均流速 $< 0.2 \sim 0.4 \text{ m s}^{-1}$ ，植被覆蓋度 $< 20 \sim 30\%$ 之間，2011 年 12 月水溫又略高於往年(接近 13°C)，導電度為 $230 \mu\text{S cm}^{-1}$ 。因此綠藻大量生長的條件好發於冬季(沒有洪水事件)缺乏植被導致水溫提升的環境(#4 測站與#5 測站)。

四、討論

武陵地區石附生藻類自 2003 年監測至今，十一年的結果顯示，七家灣溪主流的藻類生物量雖然在 2011 年又呈現增加的趨勢，這是因為 2010 年至 2011 年間沒有颱風或是大型洪水事件，又加上夏季最高水溫攀升的原因(林幸助等，2012)。以月累積降雨量來看，雨量對於藻類生物量是一個很重要的控制因子，當月累積雨量 > 300 mm 時就能有效減少藻類生物量。在 2011 年，七家灣溪主流測站以及有勝溪出現的藻類生物量高峯值都與八年前相當，而桃山西溪與高山溪則低於八年前。由於桃山西溪與高山溪的植被覆蓋度較高，尤其在高山溪更是如此，因此降雨量減少並不會馬上反應在這兩條溪流的藻類生物量上。植被覆蓋度低的開闊狀態下，雨量與其相關的流量成為主要控制藻類生長的因子。就累積雨量頻度來看，當一年中超過 300 mm 累積雨量的月份越多(高峯值頻率越高)時，藻類生物量恢復的狀況就會更差。以長時間的降雨量來看，300 mm 的月累積雨量可視為七家灣溪石附生藻類生物量的抵抗力(resistance)的閾值，而藻類生物量的回復力(resilience)則必須考慮當年的高峯值頻度(圖 2-4)。2012 年雖然有蘇拉颱風的大型水文事件，但只出現一次的高峯值，因此到了 2013 年 1 月，藻類生物量又可以恢復到一定的水準。反觀 2005~2008 年間，每年月累積雨量超過 300 mm 的事件約為 2~3 次，也是可能是在這段時間中，七家灣溪主流測站內藻類生物量並不會大量累積的原因。至於受到農業活動影響、水溫與營養濃度都較高的有勝溪測站，藻類生物量對於雨量的回復力(resilience)明顯比其他測站好，只要沒有大型降雨事件，藻類便可以立即大量的生長。另一方面，雖然流量的資料對於藻類的影響更為直接，然而本研究並沒有壩體改善前長時間的流量資料，然而，以桃山氣象站長期的月累積雨量來看，亦能明顯反映藻類生物量的季節變化。

從拆壩後到 2013 年的採樣，TSM 中所含有機物比例可以清楚的看到拆壩後的短期影響以及長期影響，短期來說，因為受到拆壩的影響，水中的無機物質

增加造成有機物比例大幅下降。推論影響有兩種作用可能，1.) 一號壩上游測站的水體有機物含量(%)有增高的現象，推論是由於施工期間的降雨，自然降雨會形成表面逕流或是入滲進入地表，流經過土壤後再進入溪水，會將平時蓄積在沿岸的有機物或是土壤中的有機物帶入水中，因而增加溪水總傳輸物質中細顆粒有機物的濃度；再從濁度資料來看，一號壩上游#4 以及#12 測站的濁度無明顯升高，因此水體中有機物含量(%)會有增加的趨勢。反觀 2.) 一號壩下游測站受到壩體改善的影響，水中濁度增高，同時有高的 TSM，此時水中的 TSM 大部分都是施工而來的泥砂以及碎石。雖然自然降雨會增加水中有機物質的輸入，但是泥砂及碎石的含量卻遠高於這個輸入量，所以使得一號壩下游測站的有機物含量(%)在施工期間有下降的趨勢。

TSM 中所含有積物含量，在兩個颱風過後的採樣四個測站皆顯示相同趨勢，推論在自然作用的洪水發生時，不論在哪個樣點都會有相同有積物含量的趨勢，這部分屬於河川自然作用的過程。在進入到東北季風降雨的時期，拆壩的效應又會顯現，水中的無積物大量增加，這部分則屬於在拆壩後雖然有短期恢復的"穩定"現象，但是在長期的河川作用來說，長時期的降雨或是水文條件改變，如溶雪造成流量增加，都有可能打破這種短期的"穩定"，而使得拆壩效應在 TSM 中所含有機物含量又再度顯現。推論雖然在拆壩後短期內溪流會回到一個暫時穩定的流況，但是長期來說會不斷受到環境變動的影響，預估需要數年到數十年的時間才有可能達到真正的穩定狀態。

整體來說，水中傳輸不論是甚麼形式的有機物，都是重要的食物來源。有機物的特性是由流動的水體所賦予，有機碎屑反映出流域的狀況，因此必須從整體流域的尺度來看有機物的變化。拆壩改變溪流底質環境，也增加了傳輸量，但是工程的影響僅在很短的拆壩期間，工程結束後，整體溪流的流況又回復到一般流況，因此在四個測站的傳輸量都會顯示相同的趨勢變化。

本研究結果發現，壩體改善的直接影響雖然會立即導致一號壩下游 100 公尺處的石附生藻類消失，但藻類生物量在壩體改善後兩週便可回復。反觀一號壩上

游測站因溯源侵蝕導致底質尚不穩定、加上 2011 年米雷颱風降雨，直到拆壩半年後才恢復。。以圖 2-16 距離法典型相關分析的結果來看，拆壩前，一號壩下游的石附生藻類生物量都較壩上高，但是在拆壩後至 2013 年，壩上、下游的總生物量、綠藻與矽藻生物量都趨於相近。但是這樣的效應並不會大過於年份的時間效應。由於主距離分析的優點在於可以將各樣站於各時間點的組成差異以中心距離的方式呈現，而排序分析 PERMANOVA 也不會因為資料形態而影響分析結果，因此每個測站藻類生物量本身時間序列的變化遠大於壩體改善的影響。而且這樣的效應是根據每年有不同的推移，主要可能的原因取決於當年的降雨和頻度而定(圖 2-11, 2-13)。

雖然近二十年來拆壩已經成為重要的環境復育議題，但是過去有關拆壩對石附生藻類影響的相關研究仍很少。目前只有兩篇研究提及拆壩在溫帶溪流中對藻類的影響 (Thomson et al. 2005, Orr et al. 2008)。此外，至今尚無有關熱帶與亞熱帶溪流拆壩如何影響石附生藻類的相關研究。Orr et al. (2008)發現，在一座 2.5 公尺小型壩體拆除後的數週內藻類生物量會增加，但是增加的情形並未達到鄰近無建壩支流中的水準。然而在他們的研究中，是以磁磚吊掛培養藻類生長的方式，可能無法完全反映出當地拆壩後對藻類的影響程度。過去有關七家灣溪石附生藻類的研究顯示，洪水的影響往往會使藻類生物量的季節性變化不明顯 (Tsai et al. 2013)。林資沁與林幸助(2011)的藻類拓殖實驗亦顯示，繁殖場的石附生藻類可以在沒有洪水事件發生的狀況下於 22 天在野外中達到生物量的高峰。然而颱風事件在過去七家灣溪好發於夏季 (Yu and Lin 2009)，而石附生藻類生物量可以在大約兩週後恢復至颱風發生前的水準(于淑芬，2008)，這樣的結果也與此次一號壩拆除後，壩下游 100 公尺測站的情形類似。

過去有關溪流石附生藻類在干擾過後回復情形的研究指出，藻類拓殖的情形與當地溪流中藻類群集組成及底質的穩定度息息相關，這些因素主要皆導因於流速(Steinman and McIntire 1990)。而拆壩的主要影響，對上游而言有溯源侵蝕

作用，對下游而言則因直接性的物理沖刷作用與上游沈積物被帶至下游的底質陳降與擾動。七家灣溪一號防砂壩拆除之後的兩個月內，流速增加到大約 1.0 m s^{-1} 的極端流速(林幸助，2011)。Flinders and Hart (2009)所建置的人工河道實驗顯示，當流速大於 $>1.0 \text{ m s}^{-1}$ 才會顯著降低藻類生物量。近來相關的研究也顯示，單以流速解釋洪水過後對藻類生物量的影響並不夠充份(Horner et al. 1990, Uehlinger 1991, Biggs 1996, Francoeur and Biggs 2006)。至於七家灣溪的石附生藻類生物量可以在短短兩週內回復，可能是因為流速接近 1.0 m s^{-1} 時，尚並不能完全將藻類沖刷殆盡。這是因為適應生長於高流速環境的藻層的基部細胞可以緊固基質生長。Biggs and Thomsen (1995)的研究也顯示流速接近 1.5 m s^{-1} ，時尚不能完全移除藻層固著於基質尚的的基部細胞。如此，七家灣溪石附生藻類生物量得以在極端流速沖刷後迅速於兩週內回復。因此 2011 年壩體改善後兩週短期效應的 6 月份採樣時，藻類生物量在一號壩下游並無減少的趨勢。

2012 年四個拆壩重點測站的石附生藻類趨勢一致且葉綠素 *a* 濃度相近，是因為 6 月與 8 月颱風後大水沖刷而使藻類生物量無法大量累積。Uehlinger et al. (2003) 曾報導，洪水事件會降低藻類生物量，但其回復情形的狀況又因洪水事件大小與頻率有關，也因而是年間差異變大，沒有明顯的年趨勢。武陵地區七家灣溪是相類似的情形，受到降雨與洪水事件頻度的影響而決定了當年藻類的時空變化。因此，2012~2013 年七家灣溪一號防沙壩下游 100 公尺的藻類生物量偏低的因素除了降雨與颱風的影響之外，也受到棲地穩定度與濁度的影響。七家灣溪的石附生藻類與 Lake (2000)提出的脈衝干擾/脈衝回復模式(disturbance/pulse response model)類似，石附生藻類生物量受洪水的影響甚大。因此在 Tsai et al. (2013)的研究中也提及，沒有洪水事件干擾時，有勝溪才會以水溫與營養鹽的因素為決定藻類生物量的重要因子。Mosisch and Bunn (1997)於亞熱帶雨林建置的實驗結果顯示，單一高流量事件後，藻類生物量約在 10 到 30 天內可以回復至干擾前的水準。由七家灣溪一號壩下游 100 公尺的藻類生物量看來，拆壩事件大約也相當於過去一次七家灣溪洪水事件。反而在一號壩上游 100 公

尺測站，藻類必須在溯源侵蝕效應減低、底質開始穩定之後才會回復。一號壩上游#12與下游#13兩測站的藻類生物量的趨勢在拆壩半年後一直到2013年的趨勢都較壩體改善前來的相似。然而，由於一號壩下游#13測站受到拆壩後的直接影響，加上2012~2013年颱風降雨事件，使得藻類生物量受到棲地穩定度與濁度的影響而使藻類生物量低於其他三個測站。本研究發現，2013年6月的降雨導致濁度升高而使藻類生物量大幅減少的測站為#12、#13與#5。推測是因為壩體改善後，這三個測站的底質與河道物理棲地環境較觀魚台來的不穩定的緣故。另一方面，以往水體濁度並不會對七家灣溪石附生藻類造成明顯的負面影響，是因為七家灣溪水湍急，在一般降雨時期濁度都僅僅短暫的提升，在1~2天內就可以回復清澈的溪水。今年6月長時間的降雨使得濁度增加而使棲地較不穩定的#12、#13與#5測站受到負面影響。

反觀一號壩上游的觀魚台測站，由於其棲地環境水淺、植被覆蓋度較低，且不受拆壩事件干擾，因此觀魚台生物量可以在2011年大量累積，尤其是出現大量的綠藻(林幸助等，2012)，而綠藻則較適應生長於低流速與高水溫、高營養鹽環境中。這樣的情形以dbRDA分析的結果顯示確實在穩定的棲地環境下，綠藻偏好高導電度與高水溫的環境。隨著2012~2013年間的颱風與降雨事件降低藻類生物量，繁殖場與觀魚台藻類組成、藻類生物量季節性變化相似卻逐漸相似，主要原因就是無洪水時期時，覆蓋度降低與水溫升高的影響。另一方面，2011年下游的繁殖場測站並未受拆壩影響，因此在2013年1月，繁殖場測站與觀魚台兩者的生物量趨勢相近且高於一號壩上游100公尺與下游100公尺兩測站。以藻類組成的角度而言，矽藻可以在颱風過後流速快而水深深的環境下逐漸回復，綠藻則難以生長，然而一旦棲地穩定度變差導致水流湍急與濁度增加的狀況時，所有的藻類都較難回復。

總而言之，拆壩對石附生藻類生物量的長期影響侷限於一號壩下游，主要因素為棲地穩定度與濁度。拆壩後至今兩年後的狀況顯示，一號壩上、下游100

公尺兩測站石附生藻類生物量與組成趨勢相近；觀魚台與繁殖場兩測站較為相近。然而，經由數種多變量分析方法的結果顯示，每年的藻類生物量季節性變化呈現在四個測站之間都朝通一個方向移動，也就是年的變化效應(降雨事件)控制了當年藻類生物量的趨勢。另一方面，石附生藻類葉綠素組成顯示，受到拆壩與颱風降雨事件影響最大的是綠藻，矽藻因為適應於較高流速環境，所以回復能力也較佳，但是兩者對於棲地穩定度(福祿數)都非常敏感。因此，相較於拆壩後的短期效應，降雨事件會導致水文狀態與物理棲地的長期改變，才是主要影響七家灣溪石附生藻類的時空變化的原因。

五、結論與建議

(一) 結論

雨量對於藻類生物量是一個很重要的控制因子，當月累積雨量 300 mm 時就能有效減少七家灣溪主流測站的藻類生物量。在 2011 年，七家灣溪主流測站以及有勝溪出現的藻類生物量高峰值都與八年前相當，而桃山西溪與高山溪則低於八年前。由於桃山西溪與高山溪的植被覆蓋度較高，尤其在高山溪更是如此，因此降雨量減少並不會馬上反應在這兩條溪流的藻類生物量上。至於受到農業活動影響的有勝溪測站，只要沒有大型降雨事件，藻類便可以立即大量的生長。司界蘭溪兩測站的藻類生物量都呈現逐漸攀升的趨勢，尤其在 2013 年一月的上游測站，其藻類葉綠素 *a* 濃度與有勝溪測站相當，為歷年高峰。石附生藻類生物量的長期監測結果可發現，除了高山溪測站之外，降雨與颱風頻度對武陵地區石附生藻類扮演決定性角色。

石附生藻類葉綠素組成顯示，受到拆壩與颱風降雨事件影響最大的是綠藻，矽藻因為適應於較高流速環境，所以回復能力也較佳，但是兩者對於棲地穩定度(福祿數)都非常敏感。因此，相較於拆壩後的短期效應，降雨事件會導致水文狀態與物理棲地的長期改變，才是主要影響七家灣溪石附生藻類的時空變化的原因。

在碎屑的部分，不論是溪流中傳輸的 CPOM 以及 TSM，或是蓄存在底質的 FBOM，雖然靠近壩體的測站會有部分影響，但是整體來說，季節性降雨還是主要影響溪流有機物傳輸量或是蓄存量的重要因子。

(二) 建議

立即可行之建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

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

1. 月累積降雨量可作為七家灣溪石附生藻類抵抗力指標，當月累積雨量 >300 mm 時，藻類生物量便無法大量生長。
2. 觀魚台測站與繁殖場測站綠藻偏好高水溫與低植被覆蓋度的環境，因此在沒有大型水文事件時(乾季的冬季)，可將水溫與植被覆蓋度($<30\%$)變化作為日後預測綠藻是否會大量的水質指標。

六、參考文獻

- 于淑芬，2008。武陵地區水生昆蟲對石附生藻影響之研究。國立中興大學生命科學系，博士論文。
- 呂光洋，2002。雪霸國家公園兩生爬蟲類調查研究—武陵地區。內政部營建署雪霸國家公園管理處九十一年度研究報告。
- 林幸助，2002。武陵地區生態系監測與模式建構規劃。內政部營建署雪霸國家公園管理處，苗栗縣。
- 林資沁、林幸助，2011。武陵地區七家灣溪石附生藻類之拓殖。國家公園學報，第二十一卷第二期。
- 林幸助、吳聲海、官文惠、邵廣昭、郭美華、曾晴賢、葉昭憲，2010。武陵地區生態系長期監測與研究—成果報告。雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 林幸助、吳聲海、官文惠、邵廣昭、孫元勳、郭美華、高樹基、彭宗仁、曾晴賢、楊正澤、葉文斌、葉昭憲、蔡尚惠，2008。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管理處委託辦理計畫案。
- 林幸助、葉昭憲、官文惠、王筱雯、蔡尚惠、郭美華、楊正澤、林鶯熹、吳聲海、曾晴賢、孫元勳，2012。武陵地區溪流生態系復育監測與研究，期中報告。內政部營建署雪霸國家管理處委託辦理計畫案。
- 林幸助、葉昭憲、官文惠、王筱雯、蔡尚惠、郭美華、楊正澤、林鶯熹、吳聲海、曾晴賢、孫元勳，2012。武陵地區溪流生態系復育監測與研究，期末報告。內政部營建署雪霸國家管理處委託辦理計畫案。
- 林曜松、楊平世、黃國靖、謝森和，1987。武陵農場河域蜉蝣目稚蟲之生態研究。行政院農業委員會林業特刊第 13 號。57-78 頁。
- 袁孝維，1995。武陵地區登山步道沿線野生動物景觀資源調查。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 曾晴賢、楊正雄，2001a。復育放流與攔砂壩拆除對於七家灣溪櫻花鉤吻鮭族群

- 的影響。雪霸國家公園委託研究計劃。
- 曾晴賢、楊正雄，2001b。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九十年年度研究報告。
- 葉昭憲，2007。七家灣溪壩體改善研究評估，逢甲大學水利工程學系。
- 葉昭憲，2008。七家灣溪一號防砂壩壩體改善之試驗研究，逢甲大學水利工程
與資源保育學系。
- 雪霸國家公園管理處，2000。雪霸國家公園自然資源研究方向芻議-歷年保育研
究計劃總檢討。
- Anderson, M. J., R. N. Gorley and K. R. Clarke. 2008. PERMANOVA+ for
PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods. PRIMER-E: Plymouth,
UK.
- Biggs, B.J.F. 1996. Patterns in benthic algae of streams. In: *Algal Ecology:
freshwater benthic ecosystems*. (Eds. R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L.
Lowe), pp. 31–56. Academic press, San Diego.
- Biggs, B.J.F. and S. Stokseth. 1996. Hydraulic habitat suitability for periphyton
in rivers. *Regul. River* 12, 251-261.
- Biggs, B. J. F. and H. A. Thomsen. 1995. Disturbance of stream periphyton by
perturbation in shear stress: time to structural failure and differences in
community resistance. *Journal of Phycology* 31, 233–241.
- Cattaneo, A., T. Kerimian, M. Roberge and J. Marty. 1997. Periphyton
distribution and abundance on substrata of different size along a gradient
of stream trophy. *Hydrobiologia* 354, 101-110.
- Flinders, C. A. and D. D. Hart. 2009. Effects of pulsed flows on nuisance
periphyton growths in rivers: a mesocosm study. *River Research and
Applications* 25, 1320–1330.
- Francoeur, S. N. and B.J.F. Biggs. 2006. Short term effects of elevated velocity

- and sediment abrasion on benthic algal communities. *Hydrobiologia* 561, 59–69.
- Grant, G. and C. Bromley. 2007. Geomorphic responses to dam removal: New insights from flume and field experiments. ESA/SER Joint Meeting, August 5-10. San Jose McEnery Convention Center, San Jose, California.
- Horner, R. R., E. B. Welch, M. R. Seeley and J. M. Jacoby. 1990. Responses of periphyton to change in current velocity, suspended sediment and phosphorus concentration. *Freshwater Biology* 24, 215–232.
- Jeffrey, S. W., and G. F. Humphrey. 1975. New spectrophotometric equation for determining chlorophyll a, b, c1 and c2, *Biochem. Physiol. Pflanz.* 167, 194–204.
- Lake, P. S. 2000. Disturbance, patchiness, and diversity in streams. *Journal of the North American Benthological Society* 19, 573–592.
- Mosisch, T. D. and S. E. Bunn. 1997. Temporal patterns of rainforest stream epilithic algae in relation to flow-related disturbance. *Aquatic Botany* 58, 181–193.
- Orr, C. H., S. J. Kroiss, K. L. Rogers and E. H. Stanley. 2008. Downstream benthic responses to small dam removal in coldwater stream. *River. Res. Applic.* 24, 804-822.
- Schneck, F., A. Schwarzbald and A. S. Melo. 2011. Substrate roughness affects stream benthic algal diversity, assemblage composition, and nestedness. *Journal of the North American Benthological Society* 30:1049–1056.
- Schneck, F. and A. S. Melo. 2012. Hydrological disturbance overrides the effect of substratum roughness on the resistance and resilience of stream benthic algae. *Freshwater Biology* 57, 1678–1688.

- Schneck, F. and A. S. Melo. 2012. High assemblage persistence in heterogeneous habitats: an experimental test with stream benthic algae. *Freshwater Biology*, 58, 365–371.
- Steinman, A. D. and C. D. McIntire 1990. Recovery of lotic periphyton communities after disturbance. *Environmental Management* 14, 589–604.
- Thomson, J. R., D.D. Hart, D.F. Charles, T. L. Nightengale and D.M. Winter. 2005. Effects of removal of a small dam on downstream macroinvertebrate and algal assemblages in a Pennsylvania stream. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 24, 192–207.
- Tsai, J. W., Z. Y. Wu, M. H. Kuo and H. J. Lin. 2013. Effects of storm-induced spates on seasonal dynamics of epilithic algae abundance in landscape-specific subtropic alpine streams. *Marine and Freshwater Biology* (published online August 2013).
- Tsao, E. H. S. 1995. An ecological study of the habitat requirements of the Formosan landlocked Salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*). PhD. Dissertation of Colorado State University. Fort Collins, Colorado, USA. 213pp.
- Uehlinger, U. 1991. Spatial and temporal variability of the periphyton biomass in a Prealpine River (Necker, Switzerland). *Arch. Hydrobiol.* 123, 219-237.
- Uehlinger, U., B. Kawecka and C. T. Robinson. 2003. Effects of experimental floods on periphyton and stream metabolism below a high dam in the Swiss Alps (River Spöl). *Aquatic Sciences* 65, 199–209.
- Wang, C. M. J. 1989. Environmental quality and fish community ecology in an agricultural mountain stream system of Taiwan. PhD Thesis, Department of Animal Ecology, Iowa State University. 138pp.
- Yu, S. F. and H. J. Lin. 2009. Effects of agriculture on the abundance and

武陵地區溪流生態系及七家灣溪一號防砂壩壩體改善後研究

community structure of epilithic algae in mountain streams of subtropical
Taiwan. *Botanical Studies* 50, 73–87.

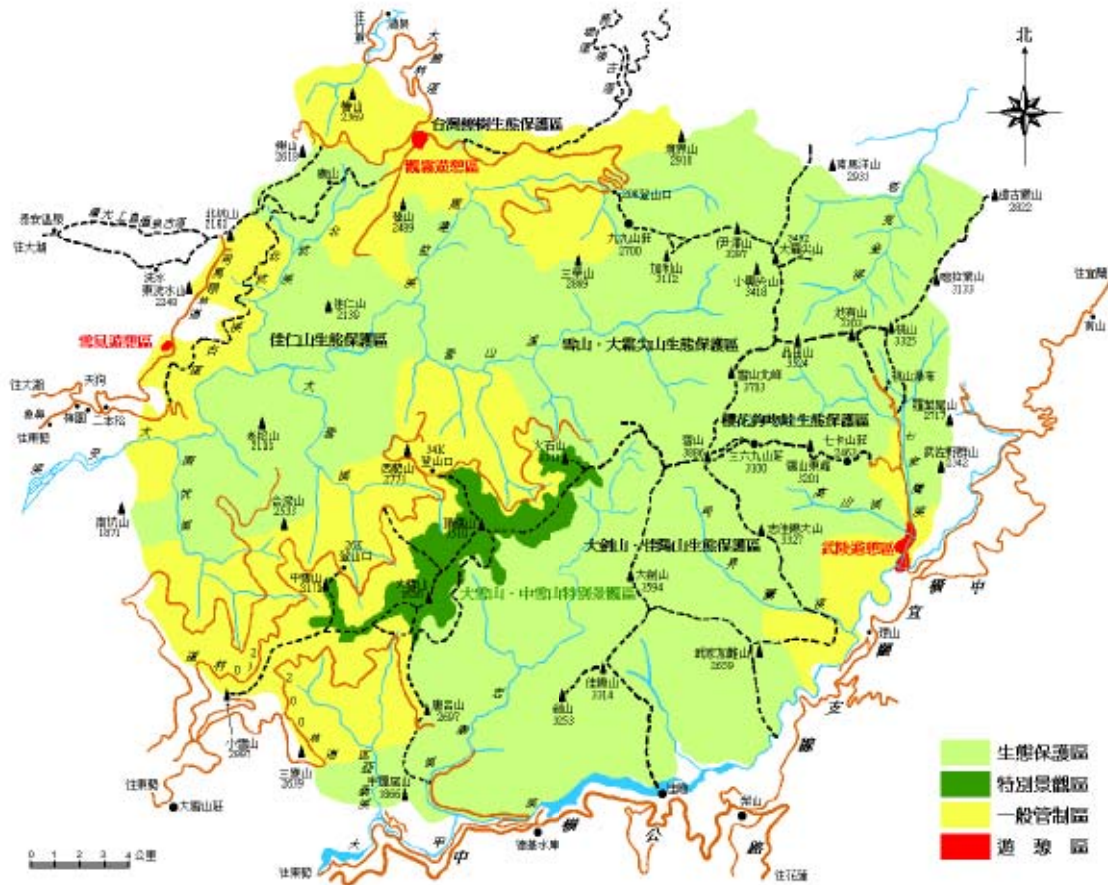


圖 2-1 本計畫之研究範圍為雪霸國家公園東邊的武陵地區

(資料來源：<http://www.spnp.gov.tw>)

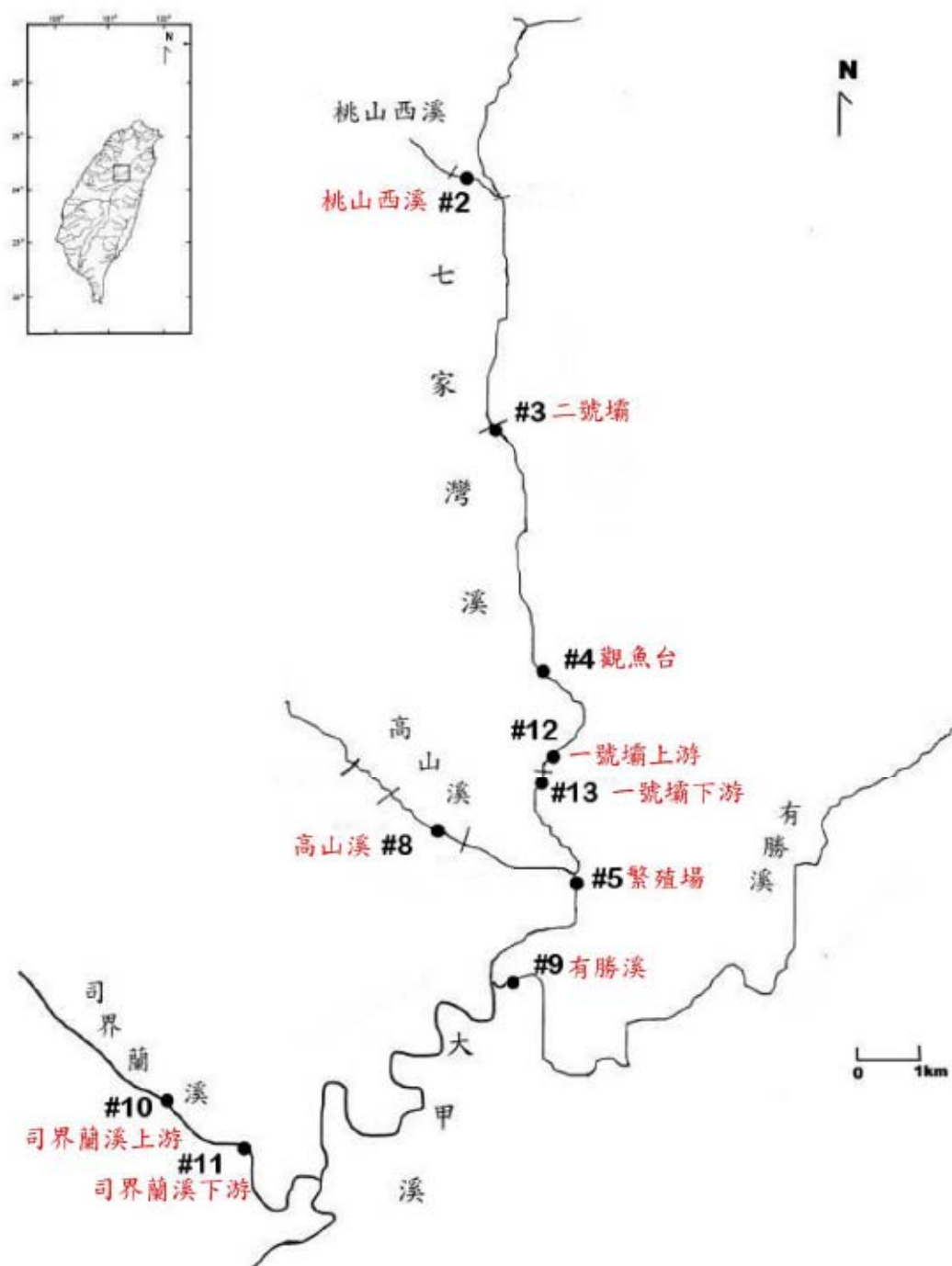


圖 2-2 共同樣站相對位置圖

(資料來源：本研究資料)

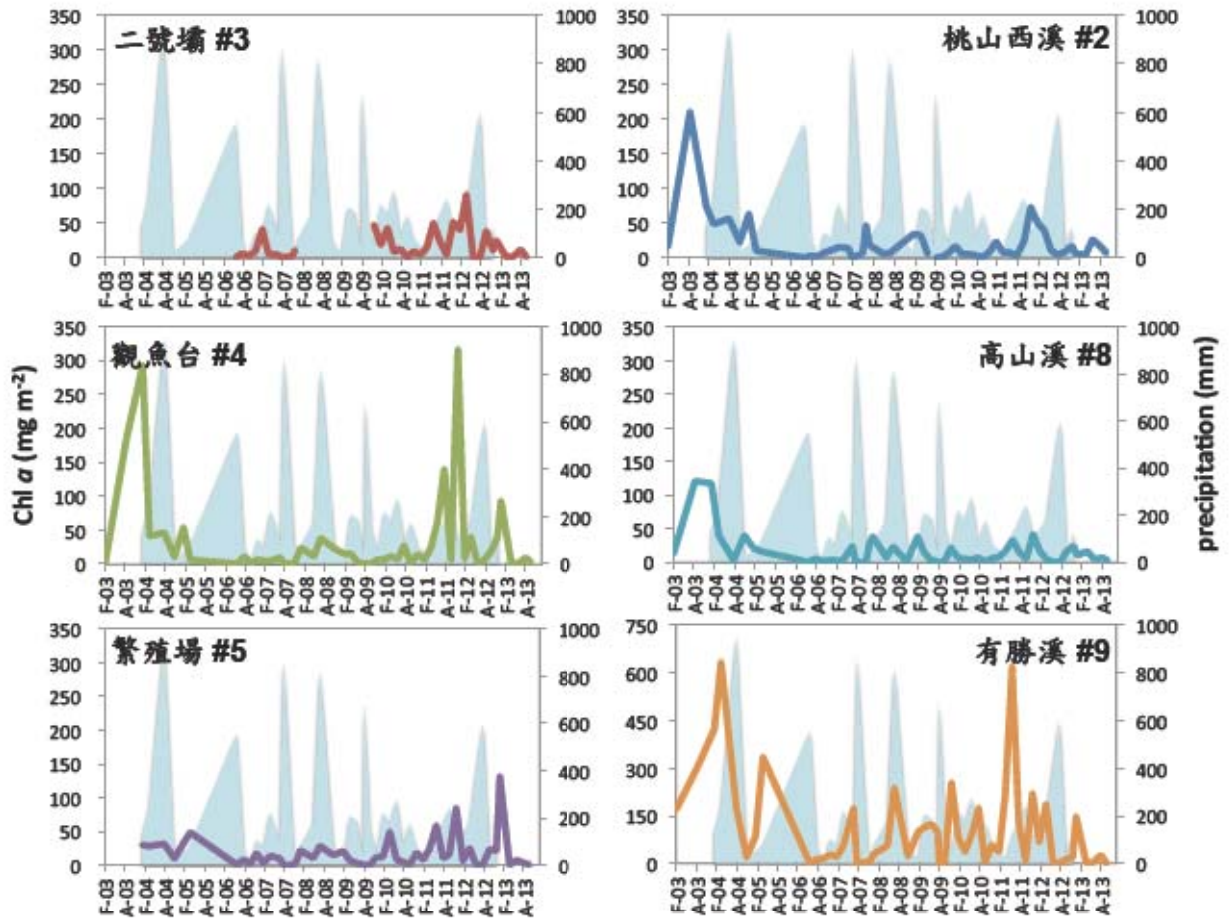


圖 2-3. 2003 年二月至 2013 年十月，七家灣溪主流(測站#3、#4、#5)與支流(測站#2、#3、#9)之歷年瀕區石附生藻類生物量與月累積雨量曲線圖。橫軸為月份-年(F:二月，A:八月)，左縱軸為藻類葉綠素 a 生物量，右縱軸為月累積雨量。

(資料來源：藻類生物量-本研究資料，雨量資料-2004~2012 年經濟部水利署水文年報桃山氣象站月累積雨量)

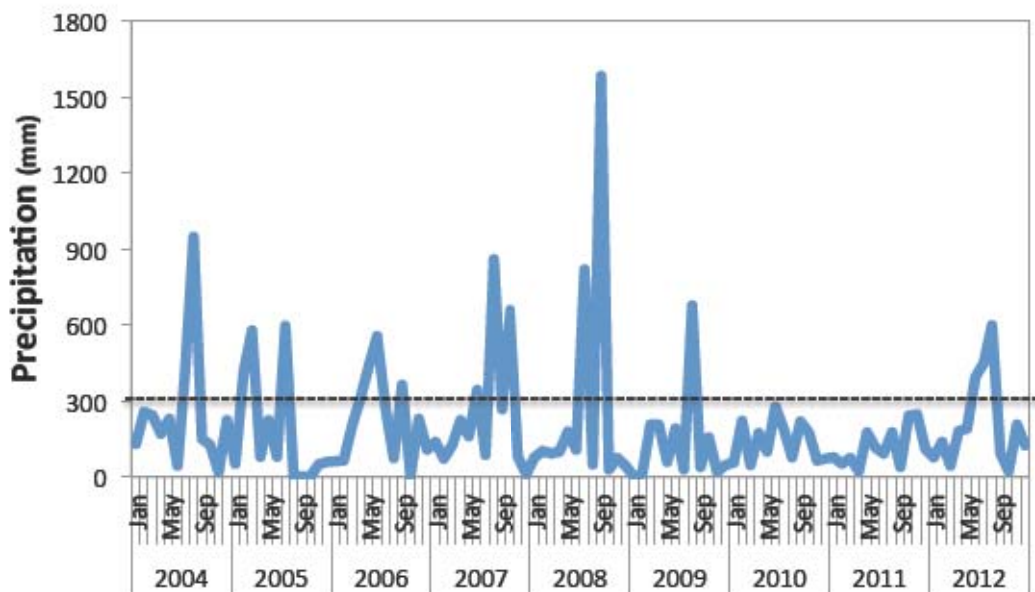


圖 2-4. 2004 年至 2012 年間，每月累積降雨量(mm)。

(資料來源：經濟部水利署水文年報 - 雨量資料)

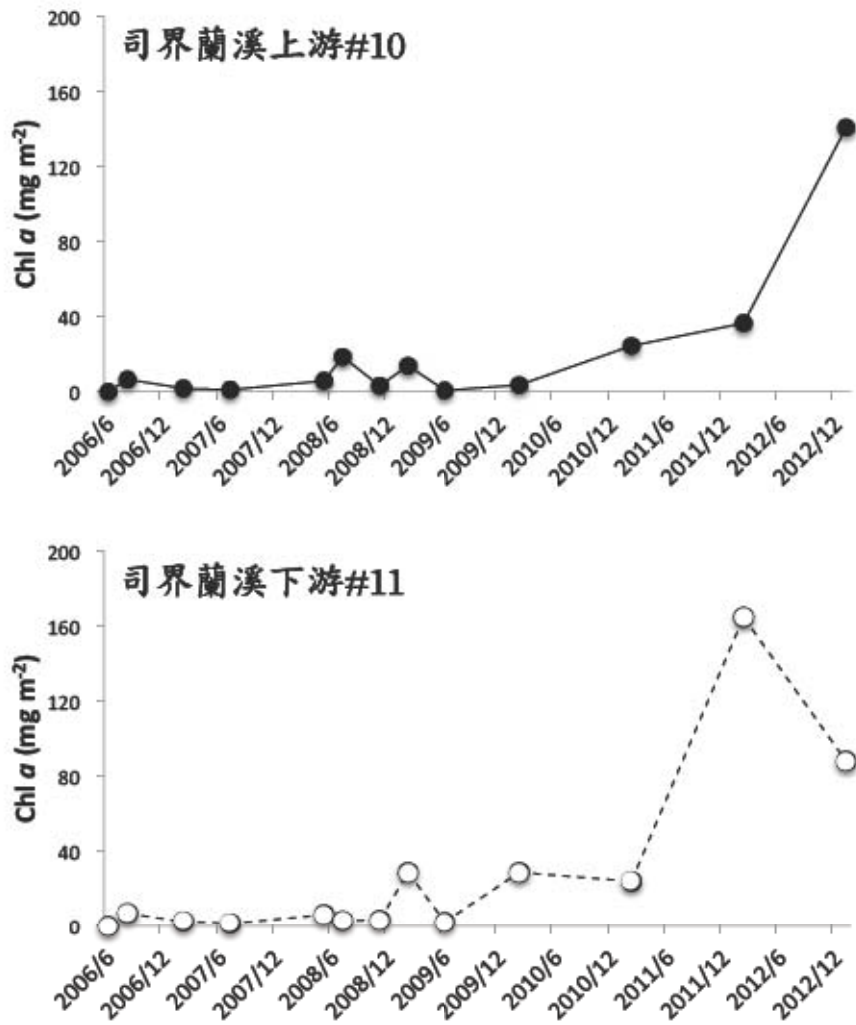


圖 2-5. 2006 年六月至 2013 年一月間，司界蘭溪瀨區石附生藻類生物量曲線圖。

(資料來源：本研究資料)

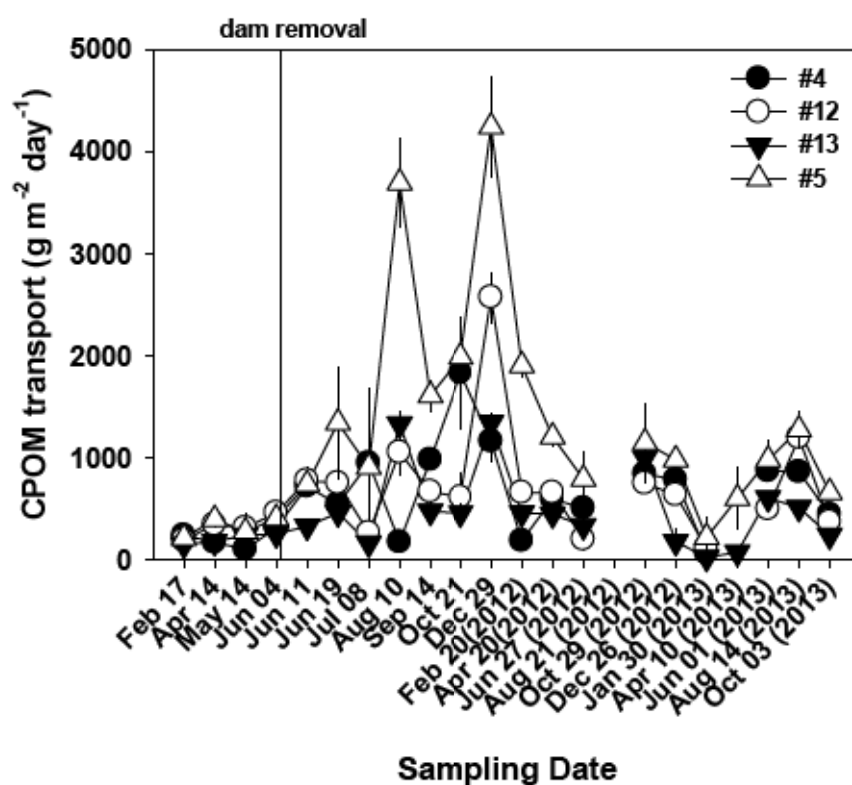


圖 2-6. 七家灣溪重點拆壩測站(#4、#12、#13、#5)水中粗顆粒有機物(coarse particulate organic matter ; CPOM)傳輸量。

(資料來源：本研究資料)

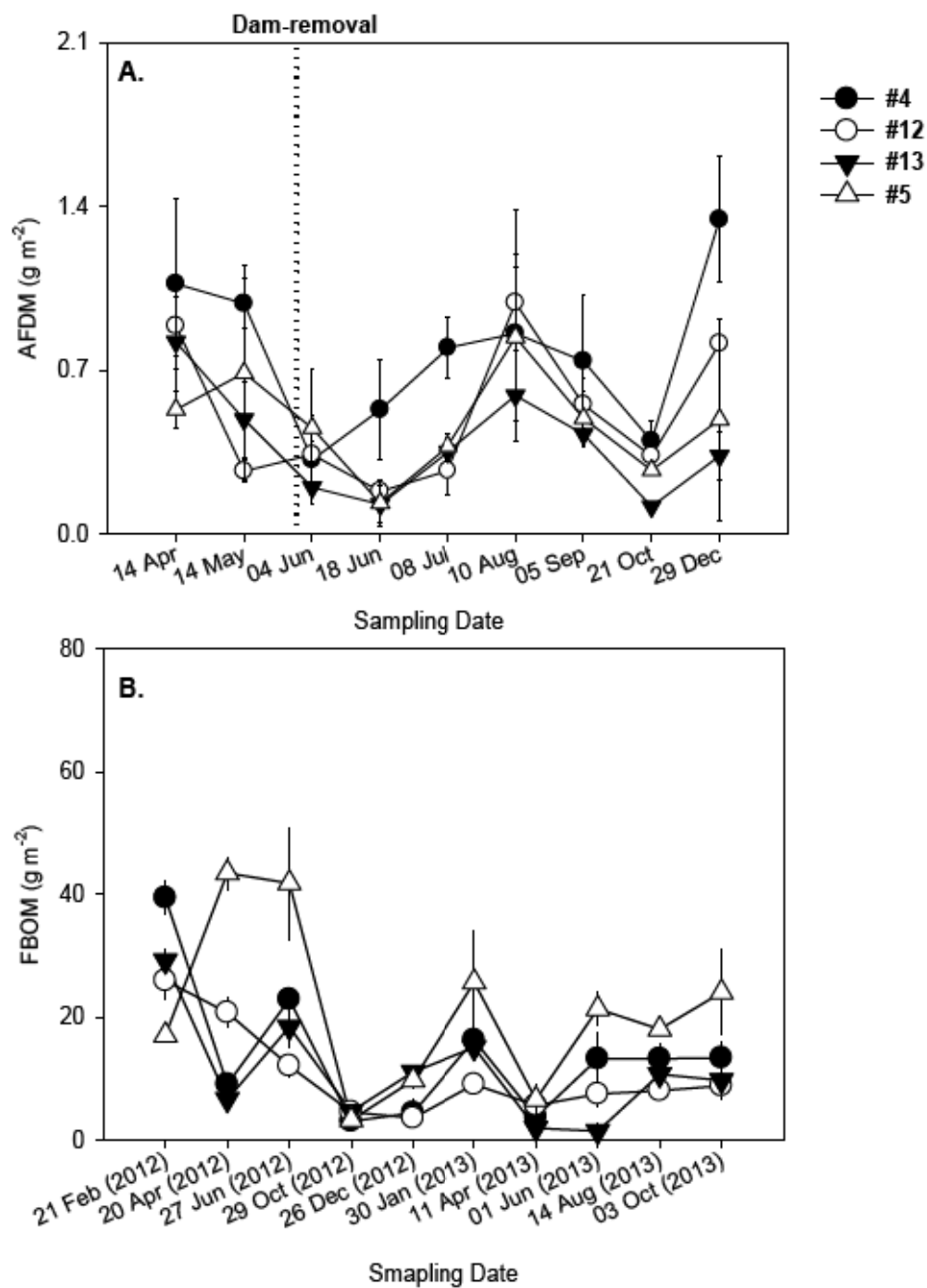


圖 2-7. 七家灣溪重點拆壩測站(#4、#12、#13、#5)底層蓄存細顆粒有機物。

A.採樣時間 2011 年，有機物大小介於 0.25 mm~1 cm；B. 採樣時間 2012-2013 年，有機物大小 <1 cm。

(資料來源：本研究資料)

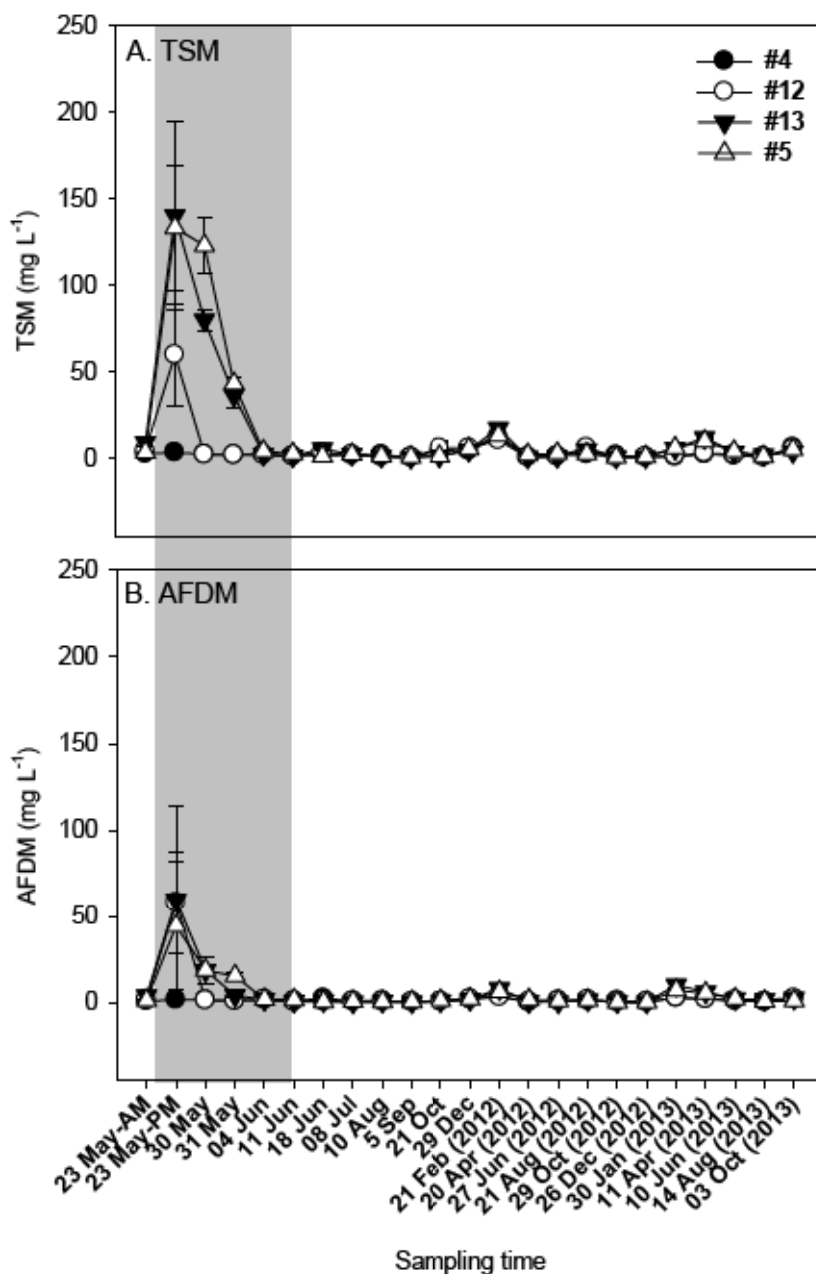


圖 2-8. 七家灣溪重點拆壩測站(#4、#12、#13、#5) A. 總懸浮物質以及 B. 無灰乾重。灰色區塊為拆壩期間。
(資料來源：本研究資料)

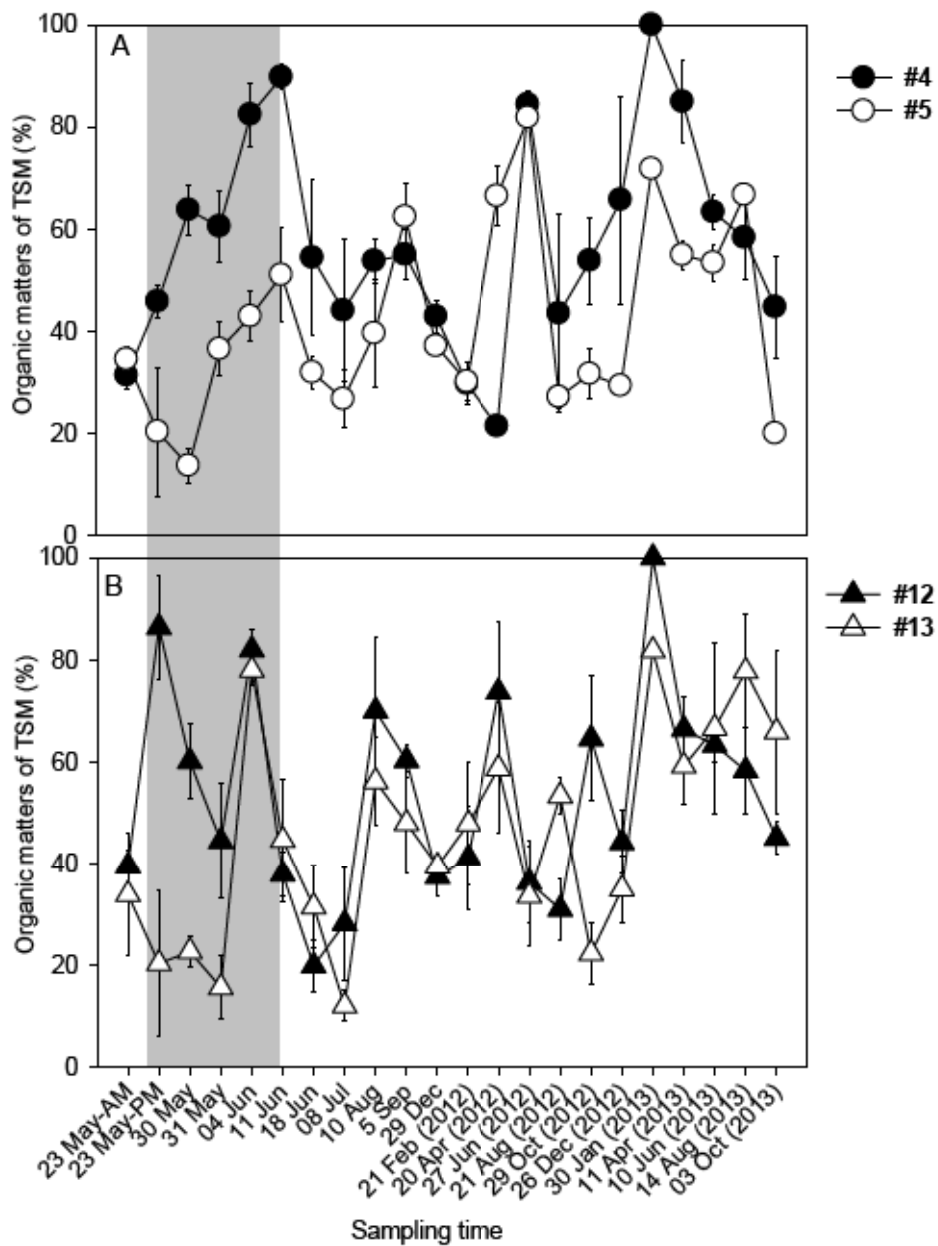


圖 2-9. 水體總懸浮物質(TSM)中有機物比例。A. 測站#4 以及#5；B. 測站#12 以及#13。灰色的區塊為拆壩期間。
(資料來源：本研究資料)

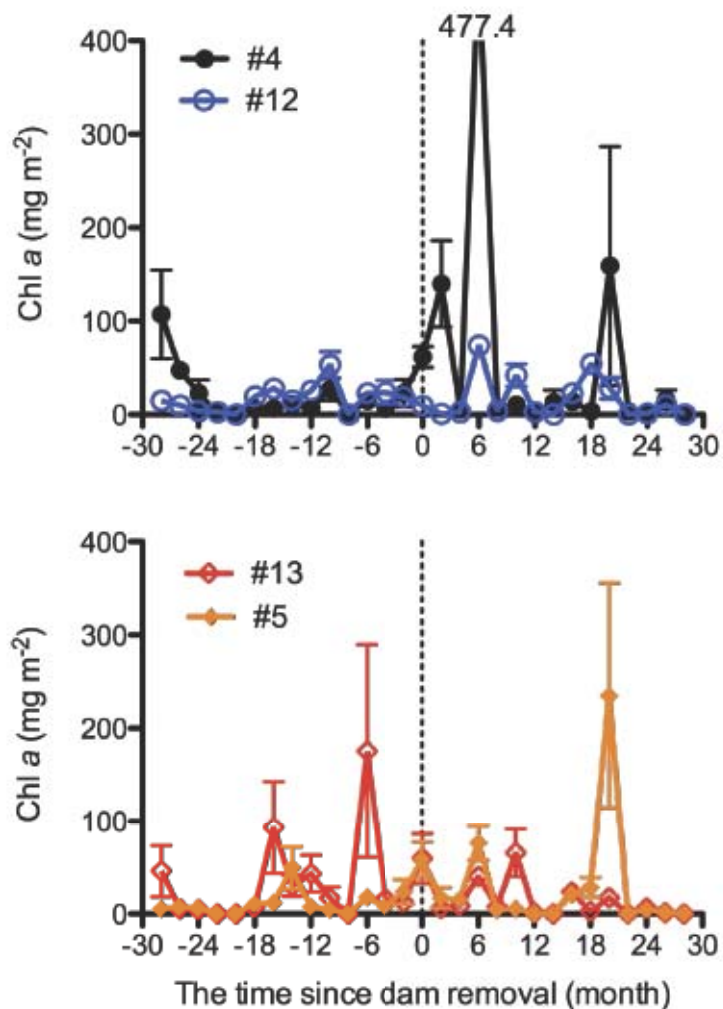


圖 2-10. 一號防砂壩改善前後密集監測測站：觀魚台(#4)、一號壩上游(#12)與下游(#13)、繁殖場(#5)之歷年瀨區石附生藻類生物量圖曲線圖(2009年二月至2013年十月瀨區石附生藻生物量)。虛線代表拆壩時間，橫軸為距離拆壩時間(月份)。

(資料來源：本研究資料)

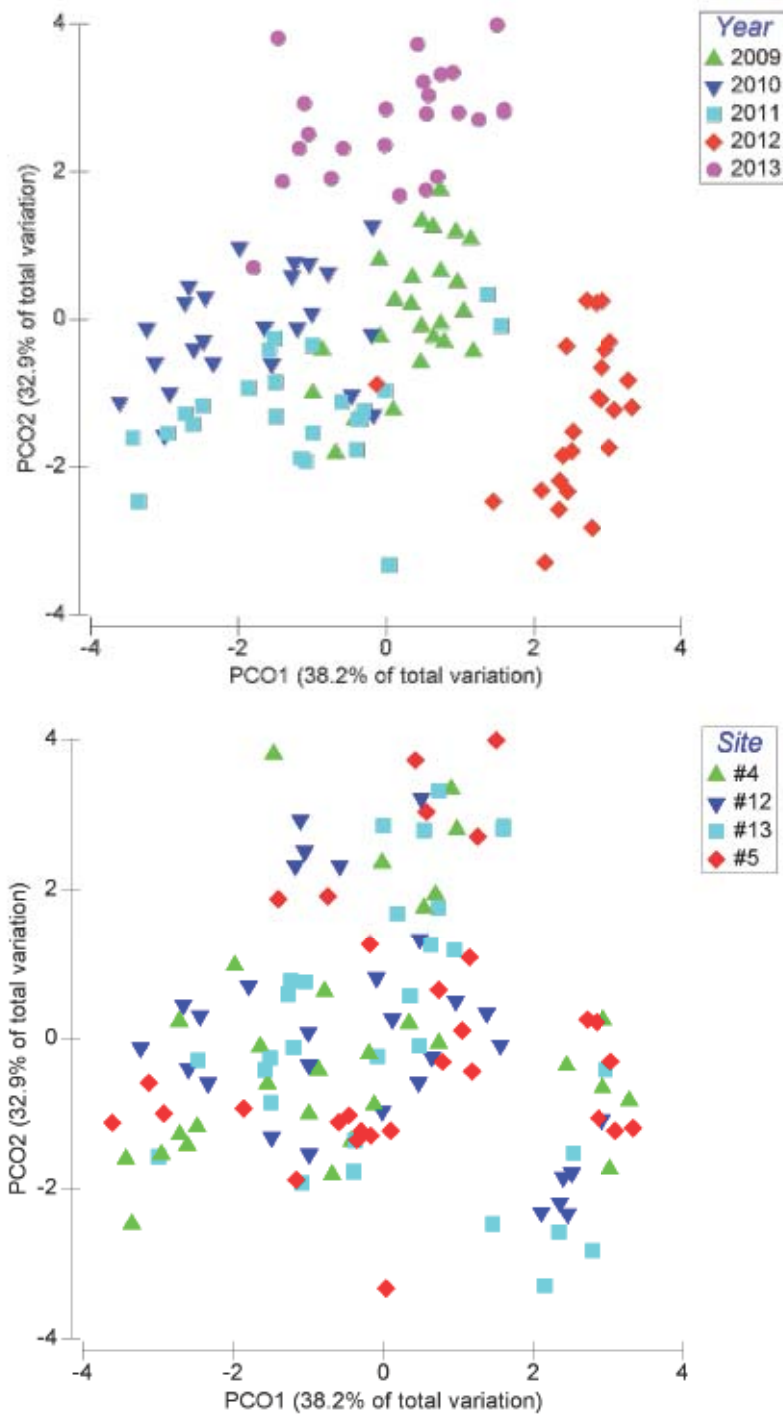


圖 2-11. 2009~2013 年，拆壩重點四測站之石附生藻類葉綠素 a 生物量之主距離法(PCO)

空間排序圖。12(上圖為年份排序，下圖為測站排序)

(資料來源：本研究資料)

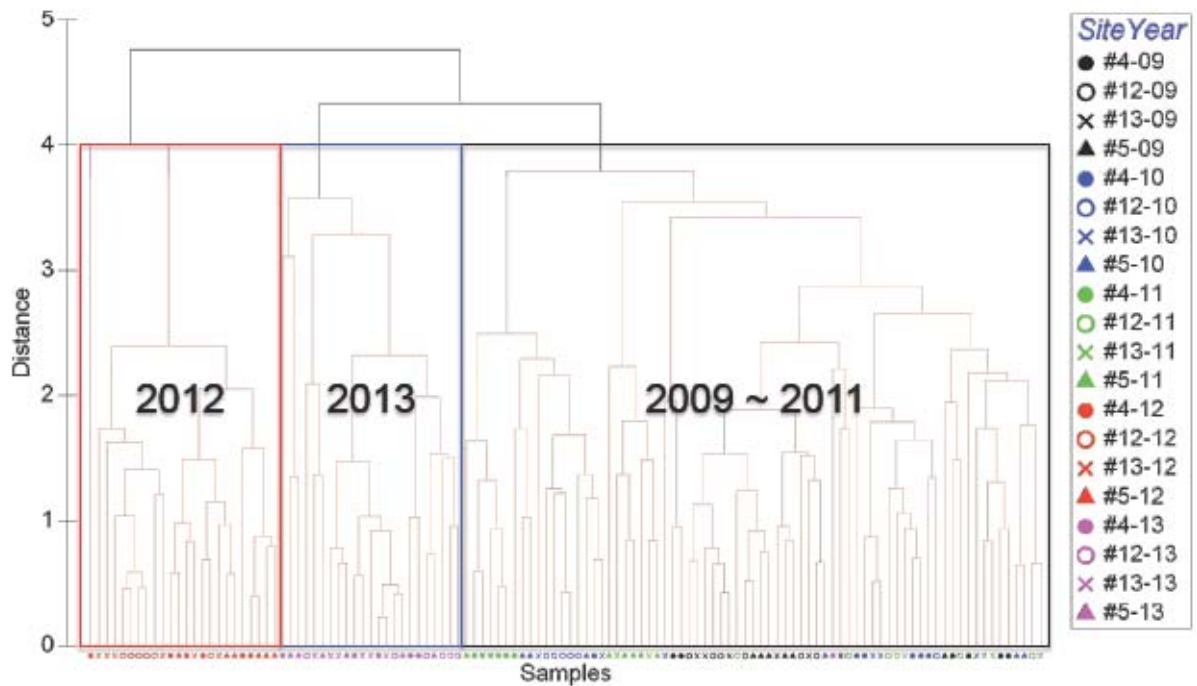


圖 2-12. 2009~2013 年間，七家灣溪一號防砂壩壩體改善重點測站的藻類葉綠素 *a* 生物量歸群圖。SIMPROF 檢測結果顯著被歸為三群(95%信賴水準)。

(資料來源：本研究資料)

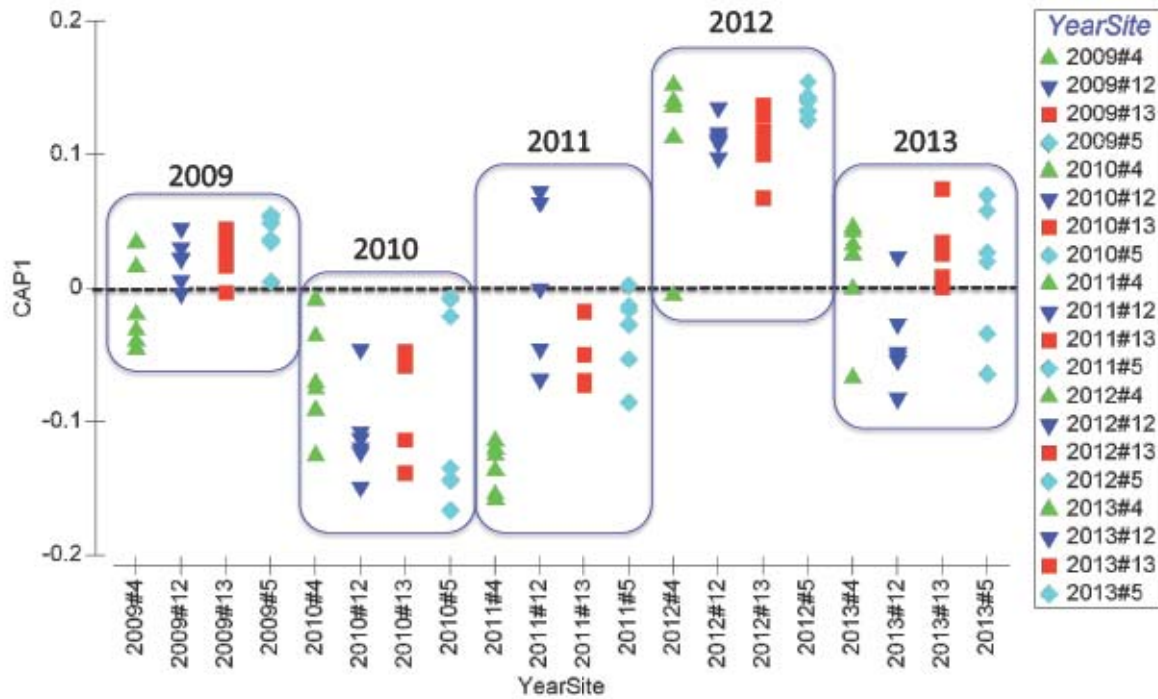


圖 2-13. 2009~2013 年，七家灣溪一號防砂壩壩體改善重點測站之藻類葉綠素 *a* 生物量年份排序之主距離典型相關分析圖。CAP1 軸與各年份測站的生物量季節性變化相關性為 0.909。(橫軸標示為年份-測站)。

(資料來源：本研究資料)

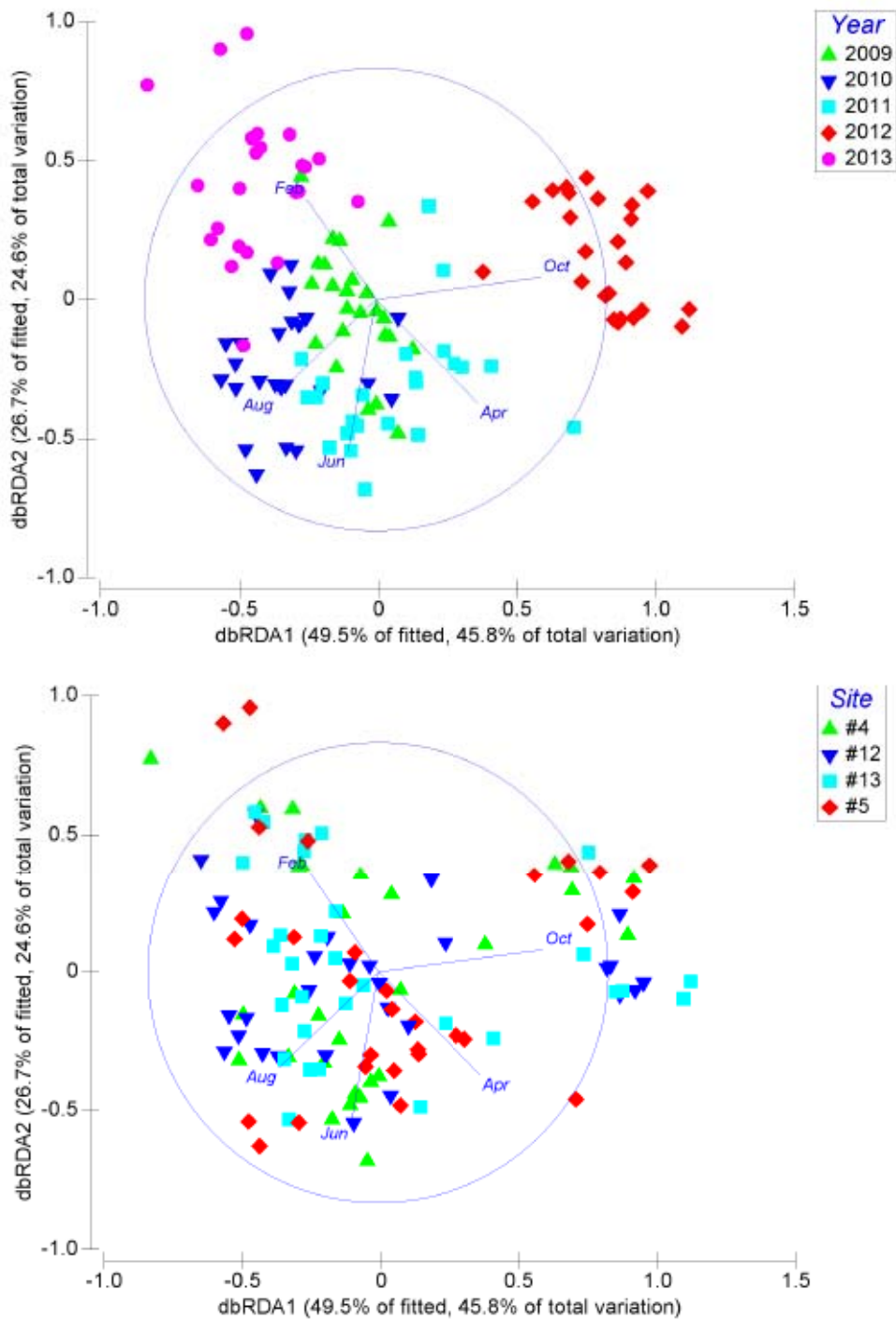


圖 2-14. 2009~2013 年間，七家灣溪一號防砂壩壩體改善重點測站的藻類葉綠素 *a*

生物量與環境因子之距離法冗餘分析圖(dbRDA)。

(資料來源：本研究資料)

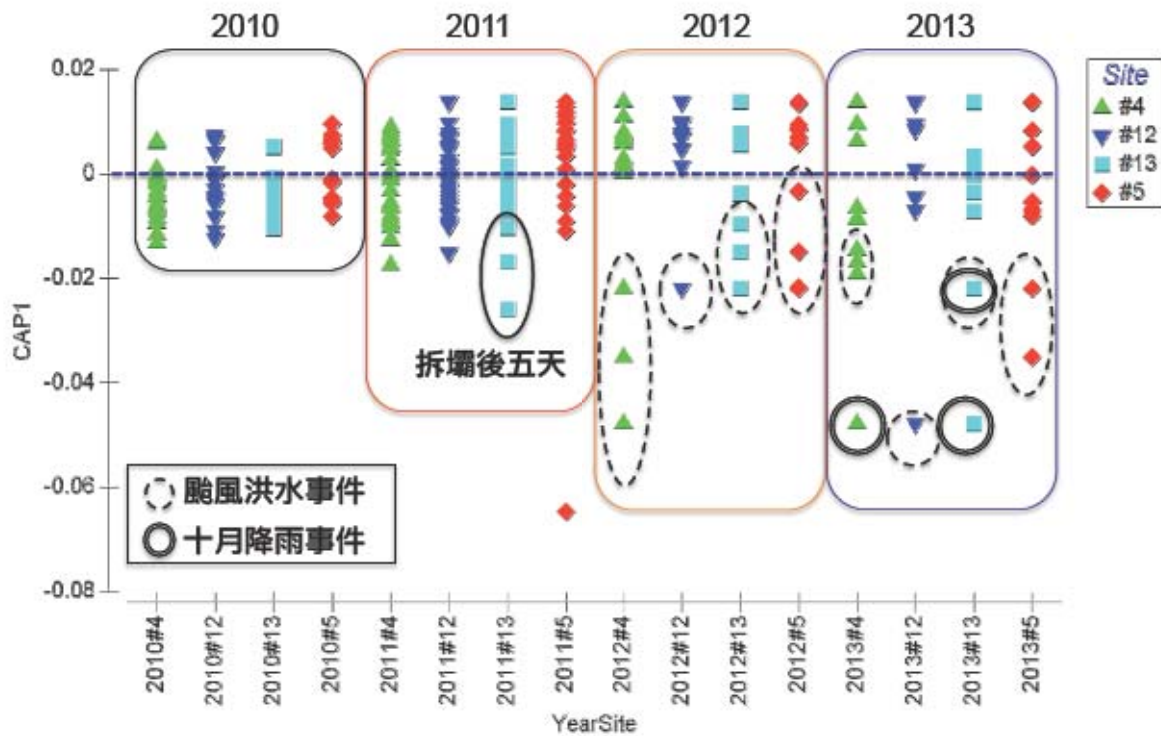


圖 2-15. 2010~2013 年，七家灣溪一號防砂壩壩體改善重點測站的葉綠素組成變化之主距離典型相關分析圖。CAP1 軸與各年份測站的藻類組成相關性為 0.22。(橫軸標示為年份-測站)。

(資料來源：本研究資料)



圖 2-16. 2010~2013 年，七家灣溪一號防砂壩壩體改善重點測站的葉綠素組成變化之主距離典型相關分析圖。(橫軸標示為年份-測站)。

(資料來源：本研究資料)

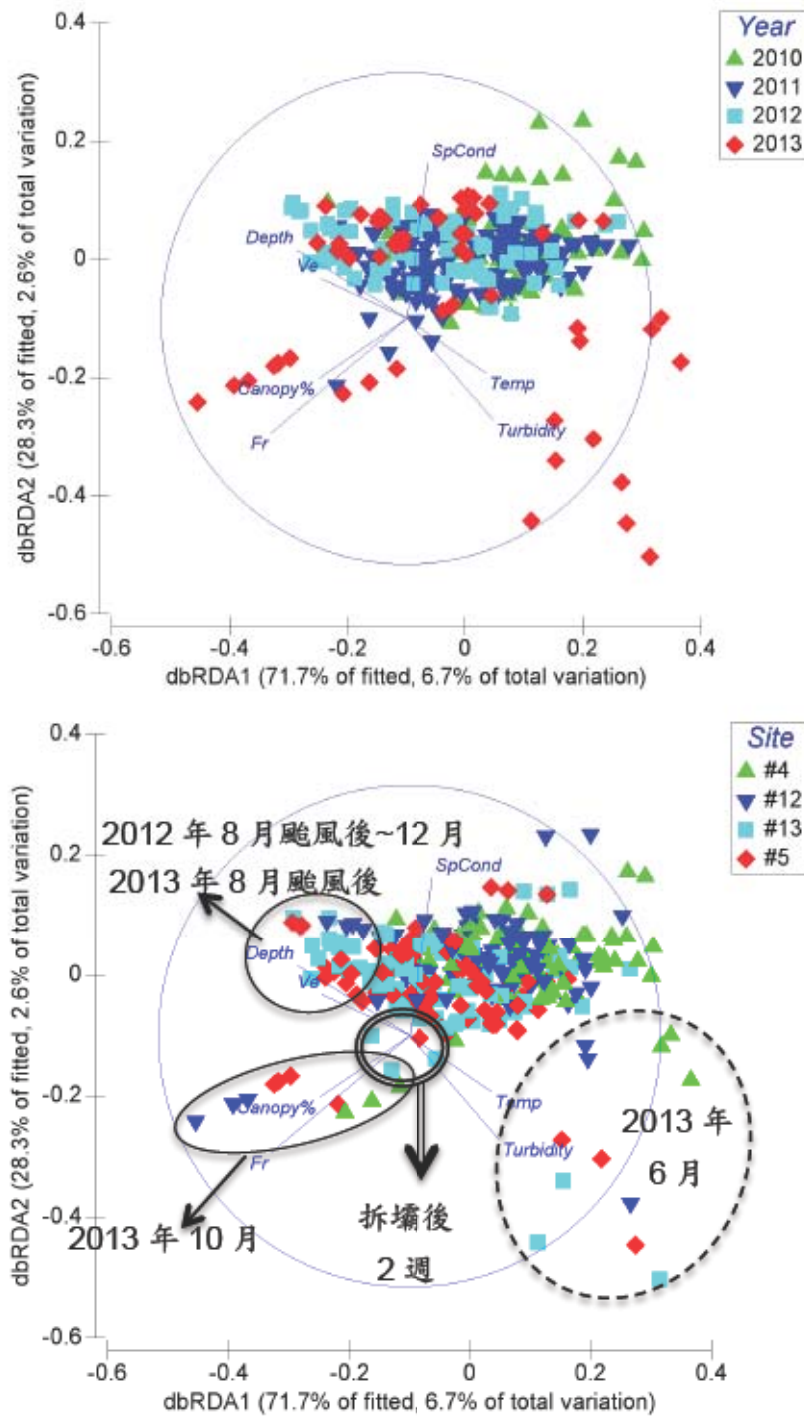


圖 2-17. 2010~2013 年，七家灣溪一號防砂壩壩體改善重點測站的葉綠素組成群集變化之距離法冗餘分析圖(dbRDA)－上圖：年間；下圖：測站間。

(資料來源：本研究資料)

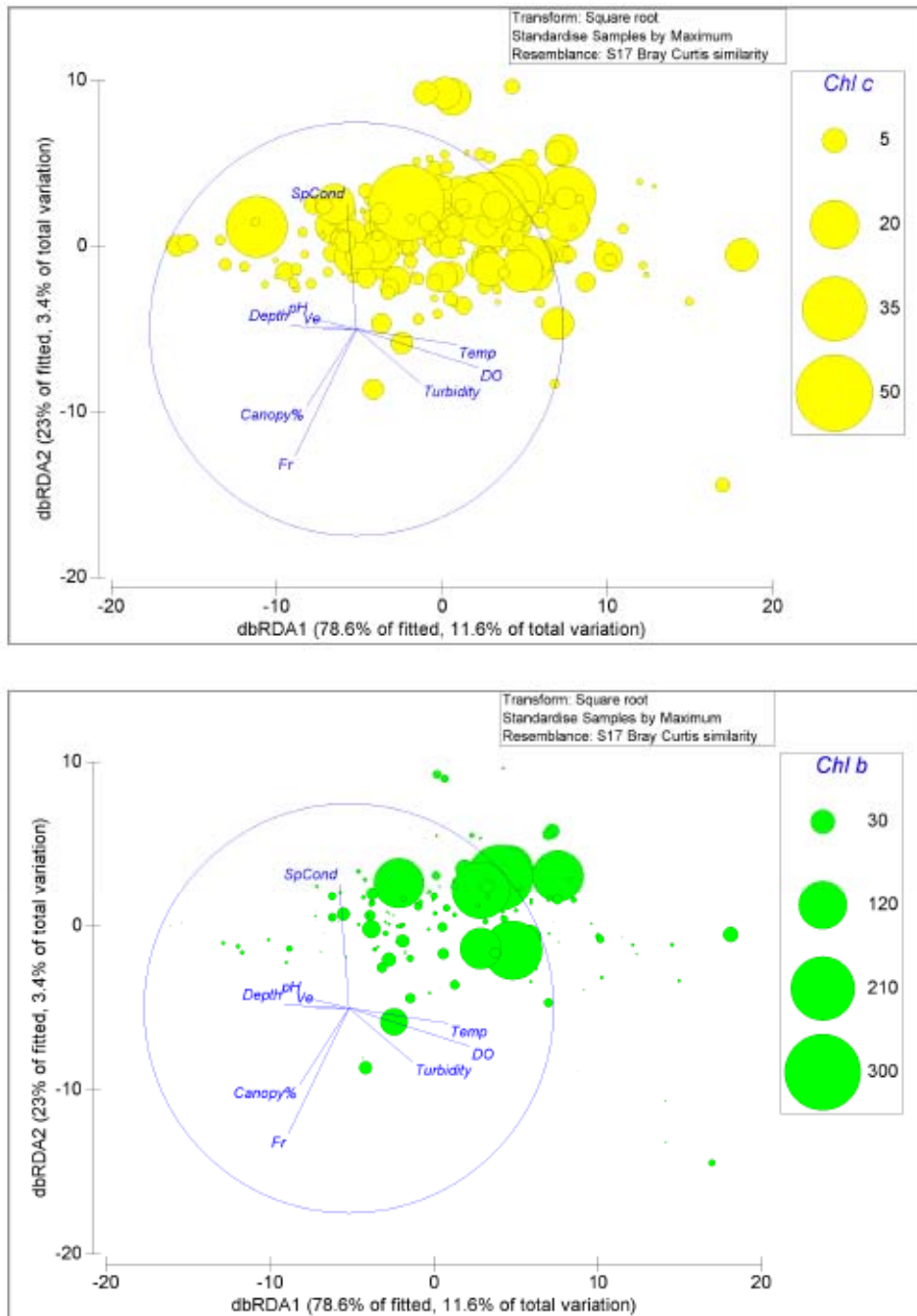


圖 2-18. 2010~2013 年，七家灣溪一號防砂壩壩體改善重點測站的葉綠素 c 組成(上圖)與葉綠素 b 組成(下圖)之距離法冗餘分析圖(dbRDA)。

(資料來源：本研究資料)

第三章 物理棲地及水文泥砂研究

¹葉昭憲、²王筱雯、²郭偉丞

¹逢甲大學水利工程與資源保育學系

²國立成功大學水利及海洋工程學系

摘要

關鍵詞：臺灣櫻花鉤吻鮭、七家灣溪、高山溪、防砂壩改善、河道演變、棲地組成

- 一、**研究緣起**：為瞭解武陵地區長期生態系統之互動關係及，並配合群體計畫之需求，本計畫追蹤高山溪四座防砂壩與七家灣溪一號壩壩體改善工程後以及七家灣溪全河道之河道演變，並對數年來所設置十一處生態共同採樣區及高山溪進行河道之縱、橫斷面測量，以及物理棲地組成調查與空間分佈分析。為了安全的考量與臺灣櫻花鉤吻鮭的棲地復育，雪霸國家公園在泥砂與生態等面向之審慎評估後，已於 2011 年 6 月 1 日完成七家灣溪一號防砂壩(高度 13 公尺、淤砂量 20 萬立方公尺)壩體改善工程。由於壩體改善後，大量泥砂運移將使得河床上下游型態受到改變，進而影響物理棲地環境與水質的變化等鮭魚生存的重要條件。為了瞭解河床演變的趨勢及特性，以掌握結構物改善前後之泥砂運移量與受到不同強度洪水事件之泥砂可能運移位置，必要監測儀器之架設監測與現地河床的水文與泥砂調查與評估不可或缺。
- 二、**研究方法及過程**：本年度計畫沿用過去實施多年之河道斷面測量及物理棲地調查方法。並以七家灣溪一號壩上游 1.2 公里(觀魚台)至下游 1.8 公里(萬壽橋)之三公里河段為監測範圍，架設攝影機(IP Camera)、水位計等自動監測儀器，以完整紀錄壩體改善前

中後之泥砂運移與水位變化之歷程，並配合現地調查以及河道泥砂運移行為分析，期望藉由長期的紀錄提供國內後續壩體改善之重要參考依據。

三、重要發現：102 年調查結果顯示高山溪河道呈現沖淤互現之情況，二號壩址與一號壩下之殘材壩，在人為進行裁切作業後，其壩體已被沖毀因而無河道高程落差之情形，然而高山溪二號壩與下游河道依舊存在約 2.5 公尺的高低差。對七家灣溪全河道進行調查發現斷面經過八月颱風事件有出現沖淤互現的現象。各共同樣區測站之物理棲地與底質類型調查結果，除一號壩上下游外，其餘測站與過去調查成果皆有些變化，評估與今年強烈暴雨事件有關。而一號壩體改善之持續調查顯示，在夏季雨季過後，觀魚台並無顯著變化；一號壩上游及下游因颱風事件，高程、棲地及底質皆有劇烈變動，上、下游棲地分別轉為以淺瀨及緩流為主的類型，上游底質則從粗顆粒的粗石轉變為較細顆粒的碎石類型，下游底質則是以細顆粒的卵石、碎石為主；新繁殖場高程受到颱風事件影響，高程抬高，棲地轉以緩流為主而底質則轉以卵石、碎石為主。自 100 年拆壩後至今，萬壽橋水位測站所記錄之最高水位發生於 101 年蘇拉颱風，水位為 4.75 m；次高水位發生於 102 年蘇力颱風，水位約為 3.59 m。2012 年由於梅雨、泰利颱風以及蘇拉颱風等降雨事件，使得溯源侵蝕範圍由上游 200 公尺處向上游延伸至壩上游 800 公尺處，102 年經歷蘇力颱風及潭美颱風等事件後，於 10 月 24 日調查結果發現溯源侵蝕終點仍停留於壩上游 800 公尺處。從壩體移除到目前為止，約近十六萬立方公尺的泥砂被沖刷至下游，此土方量亦包含上游河道邊坡崩塌後進入河道之泥砂。

四、主要建議事項：根據研究發現，本研究針對調查結果，提出下列具體建議。

(一) 立即可行建議

七家灣溪一號壩改善對河道地形與棲地之持續調查

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

根據河道演變模式(Channel Evolution Model)，拆壩後的河川沖淤變化包括大量泥砂運移、河床上下游型態受到改變等。台灣山高河陡，洪水事件較為極端，七家灣溪案例與國外案例相較之下，河相演變複雜且速度快。國外所發展並已應用在不同案例(如 Pizzuto, 2002; Evans, 2007)之河相演變模式(Channel Evolution Model)雖能作為台灣拆壩後之河相演變參考基礎，但不足以描述如七家灣溪河道在不同強度水文事件下之環境變動性與複雜性，因此建議於豐水期間針對河道狀況需做持續性的觀察，以河道縱向與橫向穩定指標及槽偏量判定保全區域之河道狀況，以做立即性之應對。

根據歷年高山溪四座防砂壩改善後之河道調查成果，防砂壩改善後將對壩體上下游河道產生影響，若無其它因素干擾(木質殘材或崩場地)，則此河道環境及棲地組成之變化需要一年半到三年才可達到大致穩定之狀態。然而，七家灣溪一號壩體較高且其集水區範圍較大，其背景條件與前例有顯著差異；為能確實掌握其變化歷程，是故提出「七家灣溪一號壩改善對河道局部地形與棲地變化影響之研究」之立即可行建議。

(二) 中長期建議

流量與含砂量之關係建立

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

颱風時期所帶來的大流量與含砂量除了直接影響河相演變外，亦對生態與環境造成衝擊，如水質、藻類、水棲昆蟲及魚類數量等。目前七家灣溪流域內僅有台灣電力公司設置之七家灣流量站及有勝溪流量站，七家灣溪流量

站所紀錄之流量及含砂量資料係包含有勝溪入流資料，無法代表七家灣溪主流之水砂特性，建議透過長期且持續的含砂濃度量測及水文監測，建立流量與含砂量之率定曲線，以掌握七家灣溪之水砂特性，以作為後續壩體拆除類似案例之基礎。

ABSTRACT

1. **Research Purpose:** To understand the interactive relationships among the ecosystem components of Wulin Area and the transition of channel morphology after dam removals, this project implemented longitude and cross sections survey and habitat composition analysis at eleven observation sites and Gaushan Creek selected by group members of STMD.
2. **Method and Process:** This project applied the same survey and analysis methods used in past several years.
3. **Major Findings:** Based on the this year's investigations applied at February, June, and October, the channel of Gaushan Creek has no significant change but minor deposit or scour locally. The woody debris dam and its downstream deep pool between Dam #3 and #4 are still impossible to go over such that the channel condition beyond the woody debris dam is remained unclear. However, the other two woody debris dams in the Gaushan Creek decreased in heights because of cutting the woody debris into halves last year. At both upstream and downstream channels of the partial-removed Dam #1 of Chichiawan Creek have experienced dramatic changes in morphology, substrate composition, and physical habitat composition. The channel of Sihjielan Creek often changes dramatically after storm for its wide channel.

【Keywords】Formosan Landlooked Salmon, Chi-Chia-Wan Creek, Gau-shan Creek, Dam Removal, Channel Morphology Change, Habitat Composition

一、前言

在雪霸國家公園內，臺灣櫻花鉤吻鮭是臺灣地區特有亞種的陸封型鮭魚，甚至在今日仍一直被視為國寶魚，這都顯示保育工作之重要性。然而，近數十年來臺灣櫻花鉤吻鮭的棲息環境生存條件（低水溫、高溶氧、水量充沛、覆蓋充分、豐富的無脊椎動物數量、無污染的環境及適於產卵的底質等）皆因為人為的影響而有所改變。其中，物理性之改變以防砂壩所造成水溫變化與族群阻隔最為明顯。雪霸國家公園自八十六年起即開始針對防砂壩改善工程進行系列研究，並於 88 年至 90 年分別對高山溪四座防砂壩進行壩體改善。而為瞭解防砂壩改善工程完成後，高山溪河道縱橫斷面之演變以及其物理棲地組成及空間分佈狀況，雪霸國家公園亦透過研究計畫除持續對高山溪河道斷面進行追蹤測量。而為進一步釐清臺灣櫻花鉤吻鮭與其生存環境及生態系之互動關係，雪霸國家公園則於 94 年開始以群體計畫方式進行系列「武陵地區長期生態研究」計畫。本章之研究內容如同 100 年度計畫在共同樣區進行測量、調查工作外，並持續觀測於去年度（100 年）所實施七家灣溪一號壩體改善後，包括觀魚台、一號壩上下游各 100 公尺、新繁殖場測站之斷面測量、棲地與底質組成調查等項目，藉以紀錄河道環境變化歷程，以便群體計畫能夠提供雪霸國家公園在武陵地區生態管理上之參考。

由於壩體改善後，造成大量泥砂運移、河床上下游型態受到改變，進而影響物理棲地環境與水質等鮭魚生存的重要條件。為了瞭解河床演變的趨勢及特性，以掌握結構物改善前後之泥砂運移量與受到不同強度洪水事件之泥砂可能運移位置，現地河床演變之持續調查與評估以及泥砂與水文之監測相當重要。

(一) 計畫範圍與執行期間

本年度計畫之研究範圍為高山溪四座防砂壩之觀測河段、七家灣溪三號壩以下至與高山溪匯流口間河道、七家灣溪一號壩上下游四處各 100 公尺河段之比較監測、七家灣溪上所設之共同採樣區與司界蘭溪，其所進行之持續性追蹤調查

項目為河道之縱、橫斷面測量及物理棲地調查。計劃之執行期間為民國一〇二年一月至民國一〇二年十二月。

(二) 計畫流程及方法

本計畫之研究流程依序為確定研究目標與範圍、相關研究回顧、現場河道變化觀測、調查資料分析與比較等項目（如圖 3-1）。計畫執行之步驟如下：

1. 根據過去之研究及本年度之研究內容，於計畫開始實施的第一個月內對計畫實施方式之相關細節進行討論，以確認調查結果符合本年度計劃目標。對高山溪之河道進行斷面測量及物理棲地調查，此外進一步的量測並估算河道中，各種棲地組成及分佈比例。
2. 對七家灣溪之一號壩上游河道 100 公尺及下游 100 公尺、觀魚台、新繁殖場進行拆除壩體後之現況調查，並與過去調查結果進行探討。
3. 調查群體計畫共同樣區之河道縱橫向變化、棲地組成、粒徑分佈之現況並進行分析探討，希望能提供給予其它計畫執行時的環境因素方面的參考。
4. 結合現場調查和先前研究，提出高山溪河道與七家灣河道之變化趨勢與環境改變間之關連性，作為後續研究之實施目標與方向。

二、材料與方法

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

(一) 河道地形變化趨勢

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

- 1.河道之縱向演變：利用河段縱斷面測量之實測紀錄，可推算研究河段環境變化後之高程演變趨勢。
- 2.河道橫向演變：將各觀測斷面之歷年調查結果同時繪製於同一橫斷面圖上，即可判斷河道邊坡及河床面之沖淤狀況。

(二) 物理棲地組成

利用所設置之間距 20 公尺穿越線，首先測定各河段之溪寬，其次於溪寬 1/4、2/1 和 3/4 處分別觀測水深、流速和底質礫石，並藉以判定棲地類別。最後，利用不同觀測時段之河段物理棲地組成，歸納其變動趨勢。而底質之量測將以腳踏法和目視法判定，底質種類及其分類對照如(表 3-9)所示。

棲地分級則根據 Leopold (1969)之研究成果，將水流型態歸類為為深潭(pool)、緩流(slow water)、淺瀨(riffles)、急流(rapids)、岸邊緩流(slack)、迴流(backwater)等六種流況。本計畫利用水深與流速之比值，即福祿數(Froude Number) $F_r = V/\sqrt{gH}$ ，以便對前四種主要水流形態所對應之棲地類型予以定義(賴建盛，1996；表 3-17)，公式及表中之 V 為流速，h 為水深，b 為水面寬。而棲地多樣性指標，則藉由 Shannon- Wiener 多樣指標予以呈現。

(三) 水文監測

設有水位測站三處，設置地點分別為觀魚台右岸處、兆豐橋及萬壽橋上。兆豐橋及萬壽橋兩測站之水位計為 Siemens Sitrans Probe LR 型非接觸式雷達

波水位計，該型水位計頻率為 5.8GHz，最佳量測深度為 0.3 公尺至 20 公尺，誤差為 0.1%，適用溫度由 -40°C 至 80°C，可符合研究區域之現地環境條件要求。觀魚台測站之水位計為 Model LV36 接觸式壓力水位計，此水位計最大量測深度為 200 公尺，最小誤差 0.1%，最大誤差為 0.5%，可承受之最大溫度區間為 -40°C 至 100°C。萬壽橋與兆豐橋測站紀錄期間為 2011 年 5 月 24 日至今，觀魚台水位測站因受蘇拉颱風(2012 年 7 月 30 日至 2012 年 8 月 3 日)影響，紀錄期間為 2011 年 5 月 24 日至 2012 年 8 月 1 日。

(四) 現地監測調查

1. 穿越線水深流速

本研究於 2011 年起壩體拆除後針對兆豐橋往上游方向約 10 公尺之河道區間內一處(Transect #1)進行水深流速穿越線調查，調查日期為 2011 年 7 月 28 日、8 月 9 日、9 月 6 日、10 月 6 日、10 月 24 日、12 月 3 日、12 月 9 日以及 2012 年 2 月 12 日。由於 2012 年 8 月 2 日之蘇拉颱風造成原 Transect #1 標記遺失，因此改以鄰近之 Z 斷面位置繼續進行穿越線水深流速調查。

另外，為了建立各水文測站流量水位關係，自 2012 年 3 月 10 日起，本研究於觀魚台、兆豐橋、萬壽橋水位測站處，進行穿越線水深流速調查，調查日期為 2012 年 3 月 10 日、5 月 10 日、11 月 12 日、與今年新增調查之 2013 年 1 月 26 日、3 月 10 日及 5 月 4 日。

水深流速的量測方法為利用全站儀將已知河道斷面調查轉點(Turning points)引點至兆豐橋上，並標定各斷面之右岸標記點位，再利用流速儀進行各斷面之流速水深之測量，詳細步驟如下：

- I. 利用斷面資料找尋大斷面之兩岸樁點，並確定進行量測之斷面。
- II. 挑選兩岸樁點時，選斷面流況較穩定處，盡量避免通過流況混亂或特殊的區域，如巨石前或急流處。
- III. 利用全站儀定出斷面右岸點位，並輔以 GPS 定出兩岸樁點之座標，詳細紀錄後，再將樁點進行噴漆標記。

- IV. 以皮捲尺拉直於兩岸樁點上空以利照片判讀，平行斷面拍照後照片需明顯可看出兩岸樁點之標記。
- V. 由一人手持流速儀於選取斷面，每間隔一公尺量測該點之流速與水深，並報出數據由岸的人紀錄。如遇流況複雜，造成水深不易判讀之處，需重覆量取三次並取平均。
- VI. 使用流速計測定斷面上各點位之 20%和 80%水深處之流速，再算其平均值定為該點位之流速。

2. 土方量計算

本研究將壩體改善工程前後所量測之斷面變化及斷面間距，參考美國陸軍工兵團 Engineering and Design - Hydrographic Surveying 所提出的向量內差法 (Bin) 計算土方變化量，示意圖如圖 3-73。由於斷面間相距太短加上量測點位不足，無法充份描繪出現地情形，故利用三角形內差(式 1)計算出斷面中間之點位。

$$\begin{aligned}
 a &= y_1 * (z_2 - z_3) + y_2 * (z_3 - z_1) + y_3 * (z_1 - z_2) \\
 b &= z_1 * (x_2 - x_3) + z_2 * (x_3 - x_1) + z_3 * (x_1 - x_2) \\
 c &= x_1 * (y_2 - y_3) + x_2 * (y_3 - y_1) + x_3 * (y_1 - y_2) \quad (1) \\
 d &= -x_1 * (y_2 z_3 - y_3 z_2) - x_2 * (y_3 z_1 - y_1 z_3) - x_3 * (y_1 z_2 - y_2 z_1) \\
 Z_G &= -(a * x_G + b * y_G + d) / c \text{ (if } c \neq 0)
 \end{aligned}$$

經過內插後任意取四點於 XY 平面所形成之四邊形面積 A，乘上四點之平均高程即可得所圍成之土方量，將每個小土方量加總即為所求之總土方量，其方程式如下：

$$A_G = \left| \begin{array}{ccccc}
 x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_1 \\
 y_1 & y_2 & y_3 & y_4 & y_1
 \end{array} \right| \times 1/2 \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n V_G = A_G \times (z_1 + z_2 + z_3 + z_4) / 4$$

本研究過去曾以壩上游四次橫斷面調查結果計算三個時期的土方量沖刷量，分別為 2010 年 4 月 11 日、2011 年 6 月 30、2011 年 12 月 12 日以及 2012 年 9 月

9日。第一時期(2010年4月11日~2011年6月30日)代表壩體拆除初期溯源侵蝕沖刷量，第二時期(2011年6月30日~2011年12月12日)代表壩體拆除6個月後溯源侵蝕沖刷量，第三時期(2011年12月12日~2012年9月9日)則是經歷過2012年六月份梅雨、泰利颱風以及八月份蘇拉颱風等降雨事件後溯源侵蝕沖刷量。本研究將於今年度持續針對洪水期後上游河道沖刷量進行計算，以進一步了解後續的土砂運移量變化。

三、 結果

(一)高山溪河道變化調查

高山溪原有四座防砂壩，在 88 年 4 月至 90 年 9 月陸續進行壩體改善工程後，其河道地形會因為此人為條件改變而有所的調整。為瞭解河床演變的趨勢及特性，本研究延續前幾年之調查，對於高山溪河道進行長期追蹤調查，並就壩體改善前後各斷面之高程及縱剖面深槽線的變化，透過圖表說明，作為河床演變與河床泥砂輸送之監控。

102 年度計畫對高山溪進行三次斷面調查，分別於 1 月、6 月以及 9 月實施。6 月以及 9 月受限於三號壩上游之殘材壩前深潭，無法再向上游到達四號壩，故其測量係以三號壩為起點；經由調查發現，上游零星崩塌地提供了土石粒料，經過雨季，加上今年度的颱風事件，沖淤後河道有趨於平緩的趨勢，但仍然有些許的木質殘材。

1. **三至四號壩間河道：**一月調查長度約為三號壩上 400 公尺處，六月及九月因水量過大及深潭，無法向上游前進，調查長度約三號壩上 100 公尺，棲地型態為淺瀨與緩流為主，底質原以小型礫石為主。
2. **二至三號壩間河道：**在此近 600 公尺之高山溪四個壩體間最長間距河段中，河道平均坡度由年初之約 3.2%降為雨季後之 2.5%~2.6%，且此河段在雨季後在接近二號壩之河道地形呈現淤積狀況。此外，木質殘材在此河段頻繁出現，不少的漂流木集中於河道中，並且在其周邊形成淤積，進而塑造出多樣性的物理棲地。此河段棲地型態以緩流與淺瀨為主，底質分佈則卵石、碎石均勻分布。
3. **一至二號壩間河道：**一至二號壩間河道之長度、坡度與河道型態等皆與二至三號壩間河道相似。去年度調查發現在一號壩口出現一根長約 10 公尺直徑 1 公尺之殘材，已因颱風事件而離開壩口(照片 3-3 及 3-4)，平均坡降約在 2.8%~3.3%，乾枯季變動並不大。棲地型態以緩流居多，底質分佈均勻。

5. **一號壩下游河道**：一號壩以下到高山溪與七家灣溪匯流口之間，屬河道狹深且岸邊多岩盤的地形，加上大型礫石較多，為階梯狀河床最明顯的區域。接近匯流口前的轉彎處，仍有部分的木質殘材，但並無發現有較大的木材，因此上下游河道還算暢通。此河段坡度約 3.3%，相較於去年度的 3.7% 有較為平緩，地類型以淺瀨與緩流為主，溪床底質分佈均勻。

(二)七家灣溪河道斷面調查

本年度進行七家灣溪全河道測量，因此分成三號壩至二號壩上游 400 公尺、二號壩上游 400 公尺至下游 200 公尺、二號壩下游 200 公尺至一號壩、一號壩下至匯流口等四個部分進行監測並探討。

1. **三號壩至二號壩上游 400 公尺**：因八月份颱風事件，高程較同年時期低，調查結果顯示棲地類型以緩流及深潭為主，底質則以卵石、粗石等粗顆粒為主。
2. **二號壩上游 400 公尺至下游 200 公尺**：河道縱斷面呈現沖淤互現的情況；調查結果顯示棲地類型以緩流為主，底質類型則以粗顆粒的粗石為主。
3. **二號壩下游 200 公尺至一號壩**：調查結果顯示河道縱斷面沖淤互現，棲地類型以淺瀨為主，底質則以卵石、粗石等粗顆粒為主。
4. **一號壩下至匯流口**：匯流口屬高山溪與七家灣溪之交匯口，調查結果顯示棲地類型以緩流為主，底質則以碎石為主。

(三)高山溪及七家灣溪物理棲地分析

本研究在觀測河段中每隔 20 公尺設置一穿越線，以針對溪流河道之流速、底質組成以及水深變化作調查。在棲地類型的分析部份則透過水流福祿數(Fr)的計算，對當地流況進行分析，進而推估其棲地類型分佈。另外，以現地粒徑大小，得知底質分佈情形。最後，將所獲得之數據資料，進行研究物理棲地及底質的相關分析。

1. **流況及底質特性分佈**：依據(表 3-9)的分類標準產生(表 3-10~表 3-16)。在今年的調查中發現，高山溪及七家灣溪的河床組成大多集中在卵石與粗石之間，從(表 3-13~表 3-16)可發現，七家灣溪今年調查中，二號壩上底質以粗石

占大多數，評估與雨季相關；棲地轉變為淺瀨及緩流(圖 3-41~圖 3-44)。

- 2. 棲地環境類型分析：**本研究利用(表 3-17)進行棲地環境類型的分類如(表 3-18 至表 3-24)。在今年度高山溪的調查中，1 月及 6 月之深潭與緩流棲地比例過八成，而 9 月調查棲地類型之淺瀨所佔的比例接近所有棲地之，可見環境棲地類型會隨著豐枯水季而變化。而在乾濕季間的棲地變化情形上，淺瀨棲地的部份，一向是在本流域中最主要的棲地分佈類型，主要變化與乾濕季之流速變化有關，乾季時由於流速減緩使得部份比例的淺瀨成為緩流；而濕季則因為流速增加而使得部分淺瀨成為急流。在緩流棲地則與急流呈現相反的趨勢。深潭的部份，並未因乾季流量變小而減少，反而有可能由於濕季時將大量細顆粒帶走尚未回淤而使得深潭比例增加。

(四)七家灣溪生態共同採樣區分析

本年度計畫為提供各研究計畫，在共同區域上做整合性的研究，進而能將研究成果加以連結，在 7 處生態共同採樣區進行調查(圖 3-47)。而在此類共同樣區之調查方式是以該樣區為中心，向上下游分別作 50 至 100 公尺做河道斷面測量、棲地組成以及底質分佈。

測站 1. 桃山北溪：桃山北溪位於七家灣三號壩上游吊橋正下方，與桃山西溪匯流於三號壩上方，今年所調查的平均坡度降為 2.3%~2.6%左右(表 3-25)；河寬在 8 公尺左右，呈現沖淤互見之情形。在棲地型態上，發現本河段以緩流比例最高，佔有 50%，其餘為淺瀨及深潭，較無急流。底質分佈上，以碎石及卵石為主，少有大型礫石出現。

測站 2. 桃山西溪：桃山西溪位於七家灣溪三號壩上游，與桃山北溪在三號壩上方匯流，測站範圍內河道大多寬於桃山北溪觀測河段，約為 10 公尺左右，平均坡度約 2%左右(表 3-28)，此區域沒有太大的變動。棲地分佈上，以緩流為主，在壩口下方有深潭出現。底質方面以卵石的比例較高。

測站 6. 萬壽橋：萬壽橋測站位於有勝溪與七家灣溪匯流口的上游約 100 公尺

處，今年度雨季(六月及九月)因流量過大而無法進行測量，因此本年度唯一月的資料測，站範圍內平均坡度約在 2.4%(表 3-31)。河道寬度分布約為 8~10 公尺，河道斷面變化不大。棲地分佈上，淺瀨比例佔 75%。底質分佈上底質方面以卵石的比例較高。

測站 7. 迎賓橋：迎賓橋測站起點位於有勝溪與七家灣溪的匯流口下，樣區全長約 200 公尺，測站範圍內地勢相當平坦，平均坡度約為 2.1%左右(表 3-34)，河道呈穩定趨勢。河寬約 11 公尺。棲地分佈上以淺瀨為主。底質分佈上，卵石與粗石佔多數比例。

測站 9. 有勝溪：有勝溪測站位於有勝溪一號壩上游的 100 公尺，此河段中河道寬度變化不大，河寬大都在 5~8 公尺之間，坡降為 1.5%~1.8%上下(表 3-37)。在棲地分佈上，以淺瀨為主，約佔 71%，底質分佈則較為平均，以卵石為主，約佔 39%。

測站 10. 司界蘭溪上游段：司界蘭溪上游段測站位於司界蘭溪舊壩上游約 1 公里處。測站區域的範圍河寬相當寬廣，寬度有達到 40 公尺之多，平均坡度約在 2.8%(表 3-40)，相較於去年度的 3.7 有明顯地趨於平緩，推測此區地貌變化大，常有木質殘材堆積。棲地分佈上，以淺瀨為主；底質分佈上以卵石、粗石及小型礫石為主要類型。

測站 11. 司界蘭溪下游段：司界蘭溪下游段測站位於司界蘭溪舊壩下，全長約 200 公尺之調查樣區。測站以舊壩圍起點，平均坡度約在 4.1%(表 3-43)，。棲地分佈上，以淺瀨為主要類型，佔 90%。底質分佈以粗石、小型礫石為主，鮮少大型礫石。

(五) 水位監測結果

自 2011 年 5 月 24 日拆壩工程開始前至 2013 年 10 月 28 日之水位記錄如圖 3-86。拆壩後至今共經歷九次較大型之降雨事件(表 3-47)，造成水位大幅度變化，分別為六場颱風事件，米雷颱風(2011)、泰利颱風(2012)、蘇拉颱風(2012)、天平颱風(2012)、蘇力颱風(2013)、潭美颱風(2013)與一

場東北季風鋒面降雨(2011)，及兩場梅雨事件(2012年6月10日與2013年4月6日)，於九場事件之外其他時間亦有多次大小不一之小型降雨造成水位變化。其中，觀魚台水位計於沖毀流失之前所測得最大水位發生於蘇拉颱風之時，水位為3.78 m；次高水位發生於2012年6月梅雨季，約為3.29 m。2011年拆壩後至今，兆豐橋、萬壽橋水位測站所記錄之最高水位發生於2012年蘇拉颱風，水位分別約為2.80 m與4.75 m；次高水位發生於2013年蘇力颱風，水位分別約為2.48 m與3.59 m。

(六) 穿越線水深流速

兆豐橋、觀魚台、萬壽橋等三處之穿越線水深流速調查結果如表 3-46 所示，可知自 2011 年至今之調查時間內七家灣溪非洪水時期之流量介於 0.89 至 13.62 cms 間。由於三處之穿越線水深流速測量因量測時間的不同，因此三測站在同一日期的流量計算上會有些許不同，再者，由於萬壽橋測站因位於高山溪匯流後之下游段，因此會測得較大的流量。

(七) 土方量計算

本研究將斷面調查成果利用向量內插差法計算沖刷之土方量如圖 3-87 所示。根據縱斷面調查成果，可知2012年2月13日以前溯源侵蝕段終點為上游約200公尺處，2012年9月9日溯源侵蝕段終點已延伸至壩上游800公尺處，2013年10月24日溯源侵蝕段終點並未持續向上延伸。

土方量之計算分為壩上游至 S26 斷面約 200 公尺河段及壩上游至觀魚台 S41 斷面約 1.2 公里河段兩部分，以探討壩體拆除初期與經歷過水文事件後之溯源侵蝕沖刷量。計算結果如表 3-48 所示，第一時期(2010年4月11日~2011年6月30日)壩體拆除初期由於米雷颱風，使得壩上游200公尺河段之溯源侵蝕沖刷量約近1萬2千立方公尺，溯源侵蝕終點以上之河段侵蝕土方量約2千立方公尺；第二時期(2011年6月30日~2012年2月13日)沖刷量則約為4千立方公尺，沖刷不明顯，溯源侵蝕終點以上之河段侵蝕土方量約1千立方公尺；第三時期(2012年2月13日~2012年9月9日)由於梅雨、

泰利颱風以及蘇拉颱風等降雨事件，使得溯源侵蝕範圍已遠離上游 200 公尺處，並向上游延伸至壩上游 800 公尺處，以壩上游至觀魚台河段之土方量計算範圍來看，上游河段整體溯源侵蝕沖刷量則約有 12 萬 5 千立方公尺；第四時期(2012 年 9 月 9 日~2013 年 10 月 24 日)經歷過蘇力颱風、潭美颱風等降雨事件，溯源侵蝕沖刷量增加 1 萬 5 千立方公尺。總結四階段之沖刷量可知壩體拆除後至今壩上游河段約有近 16 萬立方公尺之泥砂量被帶往至下游，此土方量除了於拆壩前原攔蓄之土方量之外，亦包含降雨期間所引發之上游河道邊坡崩塌進入河道之土方量。

四、泥砂運移行為解析與討論

七家灣溪一號壩拆壩至今已歷時兩年半，根據本研究今年度斷面調查成果，可知溯源侵蝕終點段目前仍停留於壩上游 800 公尺處。由於一號壩建壩之資料無法取得，根據王筱雯(2010)根據水土保持手冊所保守推估之一號壩攔蓄土方量約為二十萬立方公尺，而將本研究斷面調查成果利用向量內插差法所計算沖刷之土方量可看出溯源侵蝕演變歷程，結果顯示從壩體移除到目前為止，約近十六萬立方公尺的泥砂被沖刷至下游，此土方量除了於拆壩前原攔蓄之土方量之外，亦包含降雨期間所引發之上游河道邊坡崩塌進入河道之土方量。壩上游沖刷之土方量進入下游河道後，部分淤積於壩下游 1.8 公里範圍內兩岸高灘地及河道，部分則被帶往更下游處。

根據河道演變模式(Channel Evolution Model)，由於拆壩形成的河川沖淤變化，包括大量泥砂運移、河床上下游型態受到改變，可能造成上游河道左右河岸坍塌，讓原始河道變寬，切割作用而改變斷面之形狀、淤積之泥砂輸送至下游，增加輸砂量，使得河床部分抬高。王筱雯等人(2013)依據七家灣溪一號壩上游 48m 處及下游 30m 處斷面，分別定義上下游九個及六個河道演變階段，準平衡階段尚未達到。截至目前，七家灣溪所經歷的最大強度的水文事件為近 20 年重現期距流量的蘇拉颱風(2012)，其次為近 5 年重現期距流量的蘇力颱風(2013)及近 2 年重現期距流量的梅雨事件(2011)，這三場事件的流量歷線及累積流量關係如圖 3-88，其中梅雨事件及蘇拉颱風流量為七家灣流量站實測資料，蘇力颱風流量則是萬壽橋水位資料代入 2012 年七家灣流量站之水位-流量率定曲線推估所得。由圖可見蘇拉颱風歷線呈現多峰且具最大瞬時流量、梅雨事件的流量歷線呈現多峰，蘇力颱風則具第二大瞬時流量且在退水階段具長延時等特性，此三場事件對於七家灣溪造成不同程度的影響。未來七家灣溪仍可能出現更大強度、多峰或長延時的水文事件，河道的演變與調整仍需持續觀察，至於河道是否趨於穩定或未來河川

型態調整之參考，可藉由河道穩定指標來輔以判定，如縱向穩定指標、橫向穩定指標及槽偏量等。此三指標皆可透過河川斷面實測地形進一步分析。

五、結論與建議

(一) 結論

今年度研究計畫預計對高山溪與共同生態採樣區進行共三次河道斷面以及棲地底質調查，調查時間分別為一月、六月與九月；此外，並於十月對七家灣溪全河道進行全河道測量調查，其範圍為七家灣溪三號壩至七家灣溪與有勝溪匯流處以及七家灣溪一號壩四站之密集監測。針對調查結果，歸納成以下重點。

1. 今年度以高山溪三號壩上游殘材壩體深潭為斷面起始點進行量測作業。高山溪在二號壩址與一號壩下之殘材壩，在人為進行裁切作業後，其壩體已被沖毀；然而，高山溪二號壩與下游河道依舊存在約 2.5 公尺的高低差。
2. 各測站之物理棲地與底質類型調查結果，除一號壩上下游外，其餘測站與過去調查成果皆有些許變化，評估與今年觀測區有強烈暴雨事件有關。
3. 七家灣溪一號壩改善後，河道已形成連續通道，一號壩上游流心線隨時間變化產生向源侵蝕，一號壩上游處因崩塌地提供的礫石及土粒，經雨季後左岸有呈現淤積的現象，特定斷面的高程變化(圖 3-38)，棲地變化仍需長期追蹤。
4. 本研究以七家灣溪一號壩上游 1.2 公里(觀魚台)至下游 1.8 公里(萬壽橋)之三公里河段為監測範圍。為完整紀錄壩體改善前中後之歷程，本研究除了橫斷面、穿越線等現場調查外，並搭配成功大學水利及海洋工程學系王筱雯研究團隊所購置與架設之攝影機、水位計等儀器之監測資料予以分析探討。
5. 由穿越線調查發現，自 2011 年至今之調查時間內七家灣溪非洪水時期之流量介於 0.89 至 13.62 cms 間。
6. 2011 年拆壩後至今，兆豐橋、萬壽橋水位測站所記錄之最高水位發生於 2012 年蘇拉颱風，水位分別約為 2.80 m 與 4.75 m；次高水位發生於 2013 年蘇力颱風，水位分別約為 2.48 m 與 3.59 m。
7. 2012 年由於梅雨、泰利颱風以及蘇拉颱風等降雨事件，使得溯源侵蝕範圍由上游 200 公尺處向上游延伸至壩上游 800 公尺處，2013 年經歷蘇力颱風及

潭美颱風等事件後，於 10 月 24 日調查結果發現溯源侵蝕終點仍停留於壩上游 800 公尺處。

(二) 建議

1. 立即可行建議

七家灣溪一號壩改善對河道地形與棲地之持續調查

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

根據河道演變模式(Channel Evolution Model)，拆壩後的河川沖淤變化包括大量泥砂運移、河床上下游型態受到改變等。台灣山高河陡，洪水事件較為極端，七家灣溪案例與國外案例相較之下，河相演變複雜且速度快。國外所發展並已應用在不同案例(如 Pizzuto, 2002; Evans, 2007)之河相演變模式(Channel Evolution Model)雖能作為台灣拆壩後之河相演變參考基礎，但不足以描述如七家灣溪河道在不同強度水文事件下之環境變動性與複雜性，因此建議於豐水期間針對河道狀況需做持續性的觀察，以河道縱向與橫向穩定指標及槽偏量判定保全區域之河道狀況，以做立即性之應對。

根據歷年高山溪四座防砂壩改善後之河道調查成果，防砂壩改善後將對壩體上下游河道產生影響，若無其它因素干擾(木質殘材或崩塌地)，則此河道環境及棲地組成之變化需要一年半到三年才可達到大致穩定之狀態。然而，七家灣溪一號壩體較高且其集水區範圍較大，其背景條件與前例有顯著差異；為能確實掌握其變化歷程，是故提出「七家灣溪一號壩改善對河道局部地形與棲地變化影響之研究」之立即可行建議。

2. 中長期建議

流量與含砂量之關係建立

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

颱風時期所帶來的大流量與含砂量除了直接影響河相演變外，亦對

生態與環境造成衝擊，如水質、藻類、水棲昆蟲及魚類數量等。目前七家灣溪流域內僅有台灣電力公司設置之七家灣流量站及有勝溪流量站，七家灣溪流量站所紀錄之流量及含砂量資料係包含有勝溪入流資料，無法代表七家灣溪主流之水砂特性，建議透過長期且持續的含砂濃度量測及水文監測，建立流量與含砂量之率定曲線，以掌握七家灣溪之水砂特性，以作為後續壩體拆除類似案例之基礎。

六、參考文獻

林幸助、王一匡、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、葉文斌、葉昭憲、蔡尚惠，2008。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。九十八年保育研究報告。684 頁。

林幸助、吳聲海、官文惠、邵廣昭、施習德、孫元勳、郭美華、彭宗仁、曾晴賢、楊正澤、葉文斌、葉昭憲、蔡尚惠，2007。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。九十六年保育研究報告。600 頁。

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。防砂壩對台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。

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。

于錫亮，1997。「淺談流量與棲地關係的方法學」。自然保育季刊。19，pp15-19。

汪靜明，1996。「河川生態保育原理」。環境教育季刊。31，pp.27-53。

汪靜明，1998。「河川生態基流量設計及魚類棲地改善之理念」。環境教育季刊。35，pp49-69。

吳富春、胡通哲、李國昇、李德旺，1998。「應用棲地模式評估台灣河川之生態流量」。第九屆水利工程研討會，p(C21)。

林幸助，2005。「武陵地區長期監測暨生態模式建立」中「環境改變對河道地形及物理棲地變化趨勢之影響」。

林秉賢，2001。「橫向堆石群對溪流生態棲地流況之影響」。逢甲大學土木及水利工程所碩士論文。

孫凱政，2004。「利用 WUA 法評估流量對魚類棲地之影響」。國立台灣大學碩士論文。

張幘驩，2001。「河川魚類棲地分布之推估與分析研究-以卑南溪新武呂溪河段為例」。國立中央大學土木工程學研究所碩士論文。

梁麗芬，2003。「河川棲地及歧異度之變化與時空因素之探討」。中央大學土木工程研究所碩士論文。

溫博文，2005。「台灣中部河川生態棲地分佈特性及時空變化之研究」。國立中央大學土木工程研究所博士論文。

謝暉樟，2002。「大漢溪中游生態基流量推估與棲地改善之研究」。中央大學土木工程研究所碩士論文。

王筱雯，2010，七家灣溪一號壩壩體及棲地改善工程－泥砂衝擊物理模型及數值分析，內政部營建署雪霸國家公園管理處

王筱雯、郭偉丞，2011，台灣堰壩的存與廢，科學發展，第 467 期，第 52~57 頁，行政院國家科學委員會

王筱雯、郭偉丞、張家豪，2013，七家灣溪拆壩後之河道演變模式，中華水土保持學報, 44(4): 271-281

Crispin, V., R. House, and D. Roberts, 1993. "Changes in instream habitat, large woody debris, and salmon habitat after the restructuring of a coastal Oregon stream", North American Journal of Fisheries Management 13:96-102.

David J. Gilvear, 1997. "Fluvial geomorphology and river engineering: future roles utilizing a fluvial hydrosystems framework", Department of Environmental Science, University of Stirling, Scotland, FK9 4LA, UK.

Fausch, K. D., and T. G. Northcote, 1992. "Large woody debris and salmonid habitat in a small coastal British Columbia stream", *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 49:682-693.

Howard T. Odum, B. Odum, 2003. "Concepts and methods of ecological engineering", *Ecological Engineering* 20 (2003) 339–361.

Joseph M. Wheaton et al., 2004. "Spawning habitat rehabilitation – I. Conceptual approach and methods", *Intl. J. River Basin Management* Vol. 2, No. 1, pp. 3–20.

Joseph M. Wheaton et al., "Spawning habitat rehabilitation – II. Using hypothesis development and testing in design, Mokelumne River, California, U.S.A." *Intl. J. River Basin Management* Vol. 2, No. 1, pp. 21–37

Jowett, I.G., 1997. "Instream Flow Methods: A Comparison of Approaches" *Regulated Rivers: Research and Management*, 13, pp115-127.

Mitsch, W. J. and Jorgenson, 2004. "Ecological Engineering and Ecosystem Restoration", Wiley, US, pp23.

Vismara R., A. Azzellino, R. Bosi, G. Crosa, G. Gentili, , 2001. "Habitat suitability curves for brown trout (*Salmo trutta fario* L.) in the river Adda, Northern Italy: Comparing univariate and multivariate approaches", *Regulated Rivers-Research & Management*, 17(1), pp

Dietrich, W. E., J. W. Kirchner, H. Ikeda, and F. Iseya, 1989. Sediment supply and development of coarse surface layer in gravel bedded rivers. *Nature* 340: pp.215–217.

Evans, J.E., 2007. Sediment Impacts of the 1994 Failure of IVEX Dam (Chagrin River, NE Ohio): A Test of Channel Evolution Models, *Journal of Great Lakes Research*, 33(sp2):90-102.

Kondolf, G.M., 1997. Hungry water: Effects of dams and gravel mining on

river channels. *Environmental Management*, 21(4), 533-551.

Lane, E.W., 1955, The importance of fluvial morphology in hydraulic engineering. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers* 81 (745) : 1-17.

Pizzuto J., 2002. Effects of Dam Removal on River Form and Process, *Bio-Science*, August 2002 Vol. 52 No.8.

Williams, G. P., and M. G. Wolman, 1984. Downstream effects of dams on alluvial rivers. *US Geological Survey Professional Paper* 1286.

表 3-1 高山溪三號壩上游床面平均坡降表

測量日期	2013/01/17	2013/06/01	2013/09/07
平均坡降	0.046	0.021	0.023

(資料來源：本研究資料)

表 3-2 高山溪二號壩上游床面平均坡降表

測量日期	2013/01/17	2013/06/01	2013/09/07
平均坡降	0.032	0.031	0.031

(資料來源：本研究資料)

表 3-3 高山溪一號壩上游床面平均坡降表

測量日期	2013/01/17	2013/06/01	2013/09/07
平均坡降	0.032	0.035	0.028

(資料來源：本研究資料)

表 3-4 高山溪一號壩下游床面平均坡降表

測量日期	2013/01/17	2013/06/01	2013/09/07
平均坡降	0.033	0.034	0.033

(資料來源：本研究資料)

表 3-5 觀魚臺測站床面平均坡度表

測量日期	2013/01/17	2013/06/01	2013/09/07
平均坡降	0.018	0.022	0.020

(資料來源：本研究資料)

表 3-6 七家灣溪一號壩上游平均坡降表

測量日期	2013/01/17	2013/06/01	2013/09/07
平均坡降	0.047	0.051	0.052

(資料來源：本研究資料)

表 3-7 七家灣溪一號壩下游平均坡降表

測量日期	2013/01/17	2013/06/01	2013/09/07
平均坡降	0.032	0.027	0.022

(資料來源：本研究資料)

表 3-8 新繁殖場測站床面平均坡度表

測量日期	2013/01/17	2013/06/01	2013/09/07
平均坡降	0.009	0.010	0.015

(資料來源：本研究資料)

表 3-9 棲地底質分類表

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

(資料來源：本研究資料)

表 3-10 2013 年 1 月高山溪各河段底質環境類型分佈

位置 \ 底質	1	2	3	4	5	6
四號壩以上	-	-	-	-	-	-
三號壩至四號壩	4.5%	19.7%	25.7%	27.2%	9.1%	13.6%
二號壩至三號壩	7.7%	26.9%	43.5%	21.7%	0.0%	3.8%
一號壩至二號壩	1.9%	11.3%	43.4%	39.6%	3.8%	0.0%
一號壩以下	0.0%	7.8%	39.2%	49.0%	3.9%	0.0%

(資料來源：本研究資料)

表 3-11 2013 年 6 月高山溪各河段底質環境類型分佈

位置 \ 底質	1	2	3	4	5	6
四號壩以上	-	-	-	-	-	-
三號壩至四號壩	0.0%	40.0%	40.0%	13.3%	6.8%	0.0%
二號壩至三號壩	1.2%	72.8%	23.4%	2.4%	0.0%	0.0%
一號壩至二號壩	5.5%	20.3%	46.3%	27.8%	0.0%	0.0%
一號壩以下	1.9%	64.7%	31.3%	1.9%	0.0%	0.0%

(資料來源：本研究資料)

表 3-12 2013 年 9 月高山溪各河段底質環境類型分佈

位置 \ 底質	1	2	3	4	5	6
四號壩以上	-	-	-	-	-	-
三號壩至四號壩	0.0%	8.3%	41.6%	33.3%	16.6%	0.0%
二號壩至三號壩	1.2%	13.6%	67.9%	13.5%	3.7%	0.0%
一號壩至二號壩	0.0%	24.1%	46.3%	27.7%	0.0%	1.8%
一號壩以下	0.0%	18.0%	46.0%	20.0%	16.0%	0.0%

(資料來源：本研究資料)

表 3-13 觀魚臺測站底質環境類型分佈

日期 \ 底質	1	2	3	4	5	6
2013/1/17	0.0%	10.0%	46.7%	40.0%	3.3%	0.0%
2013/6/1	6.7%	23.3%	56.7%	13.3%	0.0%	0.0%
2013/9/7	3.3%	26.7%	40.0%	26.7%	3.3%	0.0%

(資料來源：本研究資料)

表 3-14 七家灣溪一號壩上游底質環境類型分佈

日期 \ 底質	1	2	3	4	5	6
2013/1/17	0.0%	11.1%	38.9%	41.7%	8.3%	0.0%
2013/6/1	5.6%	5.6%	55.6%	16.7%	8.3%	8.3%
2013/9/7	0.0%	16.7%	52.8%	25.0%	0.0%	2.8%

(資料來源：本研究資料)

表 3-15 七家灣溪一號壩下游底質環境類型分佈

日期 \ 底質	1	2	3	4	5	6
2013/1/17	5.1%	28.2%	48.7%	10.3%	7.7%	0.0%
2013/6/1	2.6%	21.1%	55.3%	21.1%	0.0%	0.0%
2013/9/7	0.0%	15.4%	46.2%	25.6%	10.3%	0.0%

(資料來源：本研究資料)

表 3-16 新繁殖場測站底質環境類型分佈

日期 \ 底質	1	2	3	4	5	6
2013/1/17	12.5%	25.0%	45.8%	12.5%	4.2%	0.0%
2013/6/1	0.0%	8.3%	87.5%	4.2%	0.0%	0.0%
2013/9/7	4.2%	8.3%	41.7%	33.3%	12.5%	0.0%

(資料來源：本研究資料)

表 3-17 棲地環境類型分析

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

(資料來源：本研究資料)

表 3-18 2013 年 1 月高山溪棲地環境類型分佈

棲地類型 位置	Rapids	Riffles	Slow water	Pools
四號壩以上	-	-	-	-
三號壩至四號壩	0.0%	3.0%	66.7%	30.3%
二號壩至三號壩	0.0%	3.7%	70.4%	25.9%
一號壩至二號壩	0.0%	13.0%	77.8%	9.3%
一號壩以下	0.0%	15.7%	78.4%	5.9%

(資料來源：本研究資料)

表 3-19 2013 年 6 月高山溪棲地環境類型分佈

棲地類型 位置	Rapids	Riffles	Slow water	Pools
四號壩以上	-	-	-	-
三號壩至四號壩	0.0%	0.0%	91.7%	8.3%
二號壩至三號壩	1.2%	1.2%	97.5%	0.0%
一號壩至二號壩	0.0%	7.4%	88.9%	3.7%
一號壩以下	0.0%	3.9%	96.1%	0.0%

(資料來源：本研究資料)

表 3-20 2013 年 9 月高山溪棲地環境類型分佈

棲地類型 位置	Rapids	Riffles	Slow water	Pools
四號壩以上	-	-	-	-
三號壩至四號壩	0.0%	41.7%	58.3%	0.0%
二號壩至三號壩	0.0%	42.0%	58.0%	0.0%
一號壩至二號壩	0.0%	46.3%	53.7%	0.0%
一號壩以下	0.0%	62.7%	35.3%	2.0%

(資料來源：本研究資料)

表 3-21 觀魚臺測站棲地環境類型分佈

棲地類型 日期	Rapids	Riffles	Slow water	Pools
2013/1/17	0.0%	20.0%	70.0%	10.0%
2013/6/1	0.0%	33.3%	66.7%	0.0%
2013/9/7	0.0%	40.0%	56.7%	3.3%

(資料來源：本研究資料)

表 3-22 七家灣溪一號壩上游棲地環境類型分析

棲地類型 日期	Rapids	Riffles	Slow water	Pools
2013/1/17	2.8%	55.6%	38.9%	2.8%
2013/6/1	0.0%	13.9%	80.6%	5.6%
2013/9/7	0.0%	54.3%	45.7%	0.0%

(資料來源：本研究資料)

表 3-23 七家灣溪一號壩下游棲地環境類型分析

棲地類型 日期	Rapids	Riffles	Slow water	Pools
2013/1/17	0.0%	64.1%	35.9%	0.0%
2013/6/1	0.0%	26.3%	73.7%	0.0%
2013/9/7	0.0%	51.3%	48.7%	0.0%

(資料來源：本研究資料)

表 3-24 新繁殖場測站棲地環境類型分析

棲地類型 日期	Rapids	Riffles	Slow water	Pools
2013/1/17	0.0%	12.5%	83.3%	4.2%
2013/6/1	0.0%	15.8%	84.2%	0.0%
2013/9/7	0.0%	41.7%	58.3%	0.0%

(資料來源：本研究資料)

表 3-25 桃山北溪測站平均坡度表

測量日期	2013/1/17	2013/6/1	2013/9/7
平均坡降	0.026	0.024	0.023

(資料來源：本研究資料)

表 3-26 桃山北溪測站底質環境類型分佈

底質 日期	1	2	3	4	5	6
2013/1/17	12.5%	37.5%	50.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2013/6/1	0.0%	8.3%	91.7%	0.0%	0.0%	0.0%
2013/9/7	0.0%	50.0%	33.3%	16.7%	0.0%	0.0%

(資料來源：本研究資料)

表 3-27 桃山北溪測站棲地環境類型分佈

棲地類型 日期	Rapids	Riffles	Slow water	Pools
2013/1/17	0.0%	12.5%	66.7%	20.8%
2013/6/1	0.0%	8.3%	79.2%	12.5%
2013/9/7	0.0%	8.3%	83.3%	8.3%

(資料來源：本研究資料)

表 3-28 桃山西溪測站平均坡度表

測量日期	2013/1/17	2013/6/1	2013/9/7
平均坡降	0.021	0.015	0.026

(資料來源：本研究資料)

表 3-29 桃山西溪測站底質環境類型分佈

底質 日期	1	2	3	4	5	6
2013/1/17	8.3%	20.8%	25.0%	45.8%	0.0%	0.0%
2013/6/1	4.2%	12.5%	62.5%	20.8%	0.0%	0.0%
2013/9/7	8.3%	25.0%	58.3%	8.3%	0.0%	0.0%

(資料來源：本研究資料)

表 3-30 桃山西溪測站棲地環境類型分佈

棲地類型 日期	Rapids	Riffles	Slow water	Pools
2013/1/17	0.0%	0.0%	50.0%	50.0%
2013/6/1	0.0%	8.3%	58.3%	33.3%
2013/9/7	0.0%	12.5%	83.3%	4.2%

(資料來源：本研究資料)

表 3-31 萬壽橋測站平均坡度表

測量日期	2013/1/17	2013/6/1	2013/9/7
平均坡降	0.024	-	-

(資料來源：本研究資料)

表 3-32 萬壽橋測站底質環境類型分佈

底質 日期	1	2	3	4	5	6
2013/1/17	4.8%	33.3%	47.6%	14.3%	0.0%	0.0%
2013/6/1	-	-	-	-	-	-
2013/9/7	-	-	-	-	-	-

(資料來源：本研究資料)

表 3-33 萬壽橋測站棲地環境類型分佈

棲地類型 日期	Rapids	Riffles	Slow water	Pools
2013/1/17	0.0%	33.3%	57.1%	9.5%
2013/6/1	-	-	-	-
2013/9/7	-	-	-	-

(資料來源：本研究資料)

表 3-34 迎賓橋測站平均坡度表

測量日期	2013/1/17	2013/6/1	2013/9/7
平均坡降	0.019	0.022	0.028

(資料來源：本研究資料)

表 3-35 迎賓橋測站底質環境類型分佈

底質 日期	1	2	3	4	5	6
2013/1/17	4.8%	52.4%	42.9%	0.0%	0.0%	0.0%
2013/6/1	4.8%	0.0%	57.1%	38.1%	0.0%	0.0%
2013/9/7	4.8%	23.8%	42.9%	28.6%	0.0%	0.0%

(資料來源：本研究資料)

表 3-36 迎賓橋測站棲地環境類型分佈

棲地類型 日期	Rapids	Riffles	Slow water	Pools
2013/1/17	0.0%	14.3%	81.0%	4.8%
2013/6/1	0.0%	9.5%	85.7%	4.8%
2013/9/7	0.0%	23.8%	71.4%	4.8%

(資料來源：本研究資料)

表 3-37 有勝溪測站平均坡度表

測量日期	2012/3/11	012/06/26	2012/10/20
平均坡降	0.016	0.018	0.015

(資料來源：本研究資料)

表 3-38 有勝溪測站底質環境類型分佈

底質 日期	1	2	3	4	5	6
2013/1/17	14.3%	19.0%	57.1%	9.5%	0.0%	0.0%
2013/6/1	0.0%	57.1%	42.9%	0.0%	0.0%	0.0%
2013/9/7	14.3%	47.6%	19.0%	4.8%	0.0%	0.0%

(資料來源：本研究資料)

表 3-39 有勝溪測站棲地環境類型分佈

棲地類型 日期	Rapids	Riffles	Slow water	Pools
2013/1/17	0.0%	28.6%	61.9%	9.5%
2013/6/1	0.0%	0.0%	66.7%	33.3%
2013/9/7	0.0%	0.0%	94.4%	5.6%

(資料來源：本研究資料)

表 3-40 司界蘭溪上游測站平均坡度表

測量日期	2012/2/9	2013/1/17
平均坡降	0.037	0.028

(資料來源：本研究資料)

表 3-41 司界蘭溪上游測站底質環境類型分佈

底質 日期	1	2	3	4	5	6
2012/2/9	0.0%	0.0%	26.7%	26.7%	46.7%	0.0%
2013/1/17	0.0%	0.0%	26.7%	73.3%	0.0%	0.0%

(資料來源：本研究資料)

表 3-42 司界蘭溪上游測站棲地環境類型分佈

棲地類型 日期	Rapids	Riffles	Slow water	Pools
2012/2/9	0.0%	86.7%	13.3%	0.0%
2013/17	0.0%	86.7%	13.3%	0.0%

(資料來源：本研究資料)

表 3-43 司界蘭溪下游測站平均坡度表

測量日期	2012/2/9	2013/1/17
平均坡降	0.038	0.041

(資料來源：本研究資料)

表 3-44 司界蘭溪下游測站底質環境類型分佈

底質 日期	1	2	3	4	5	6
2012/2/9	0.0%	0.0%	33.3%	16.7%	43.3%	6.7%
2013/1/17	0.0%	0.0%	20.0%	76.7%	3.3%	0.0%

(資料來源：本研究資料)

表 3-45 司界蘭溪下游測站棲地環境類型分佈

棲地類型 日期	Rapids	Riffles	Slow water	Pools
2012/2/9	6.7%	90.0%	3.3%	0.0%
2013/1/17	6.7%	90.0%	3.3%	0.0%

(資料來源：本研究資料)

表 3-46 穿越線量測結果

調查日期	觀魚台			兆豐橋 Transect#1			萬壽橋		
	平均 流速 (m/s)	平均 水深 (m)	流量 (cms)	平均 流速 (m/s)	平均 水深 (m)	流量 (cms)	平均 流速 (m/s)	平均 水深 (m)	流量 (cms)
2011.7.28				1.05	0.15	1.75			
2011.8.9				0.92	0.2	2.02			
2011.9.6				0.94	0.21	2.25			
2011.10.6				1.22	0.26	3.88			
2011.10.24				1.11	0.19	2.45			
2011.12.3				0.58	0.22	2.75			
2011.12.9				0.60	0.18	2.49			
2012.2.12				0.42	0.14	1.55			
2012.3.10	0.47	0.33	2.19	0.82	0.21	2.90	0.92	0.33	3.90
2012.5.10	1.76	0.36	11.06	-	-	-	2.43	0.45	13.62
2012.11.12	0.35	0.21	0.97	0.47	0.21	1.80	0.40	0.25	1.22
2013.01.26	0.37	0.24	0.89	0.59	0.22	1.78	0.78	0.36	2.58
2013.03.10	0.28	0.65	1.57	0.41	0.25	1.26	0.45	0.26	1.31
2013.05.04	0.83	0.47	5.39	0.89	0.39	5.23	-	-	-
2013.06.26	0.34	0.30	1.38	0.57	0.26	1.99	0.68	0.43	3.02
2013.08.06	0.65	0.32	2.69	0.86	0.25	2.44	0.91	0.34	3.26
2013.09.15	0.93	0.38	3.55	0.65	0.26	2.97	0.95	0.33	4.56
2013.10.27	0.76	0.29	2.65	0.64	0.27	2.70	0.74	0.41	4.43

備註：兆豐橋穿越線量測地點於2012.11.12開始改為Z斷面位置

(資料來源：本研究資料)

表 3-47 各事件最高水位值

降雨事件	日期	萬壽橋最大時水位(公尺)
米雷颱風	2011/6/23~25	1.46 (2011/6/25 11:00)
東北季風	2011/10/3	1.42 (2011/10/3 9:00)
梅雨	2012/6/12	2.79 (2012/6/12 12:00)
泰利颱風	2012/6/19~21	1.19 (2012/6/20 19:00)
蘇拉颱風	2012/7/30~8/3	4.75 (2012/8/2 4:00)
天秤颱風	2012/8/21~25	1.20 (2012/8/24 3:00)
梅雨	2013/4/6	1.36 (2013/4/6 2:00)
蘇力颱風	2013/7/11~13	3.59 (2013/7/13 5:00)
潭美颱風	2013/8/20~22	1.94 (2013/8/21 21:00)

(資料來源：本研究資料)

表 3-48 上游侵蝕土方量計算

時間範圍	河段範圍	
	0K+000~0K+200	0K+000~1K+200
第一時期 2010年4月11日~2011年6月30日	11,295	13,789
第二時期 2011年6月30日~2012年2月13日	4,456	5,528
第三時期 2012年2月13日~2012年9月9日	24,453	125,443
第四時期 2012年9月9日~2013年10月24日	3,772	15,188

單位:立方公尺

(資料來源：本研究資料)

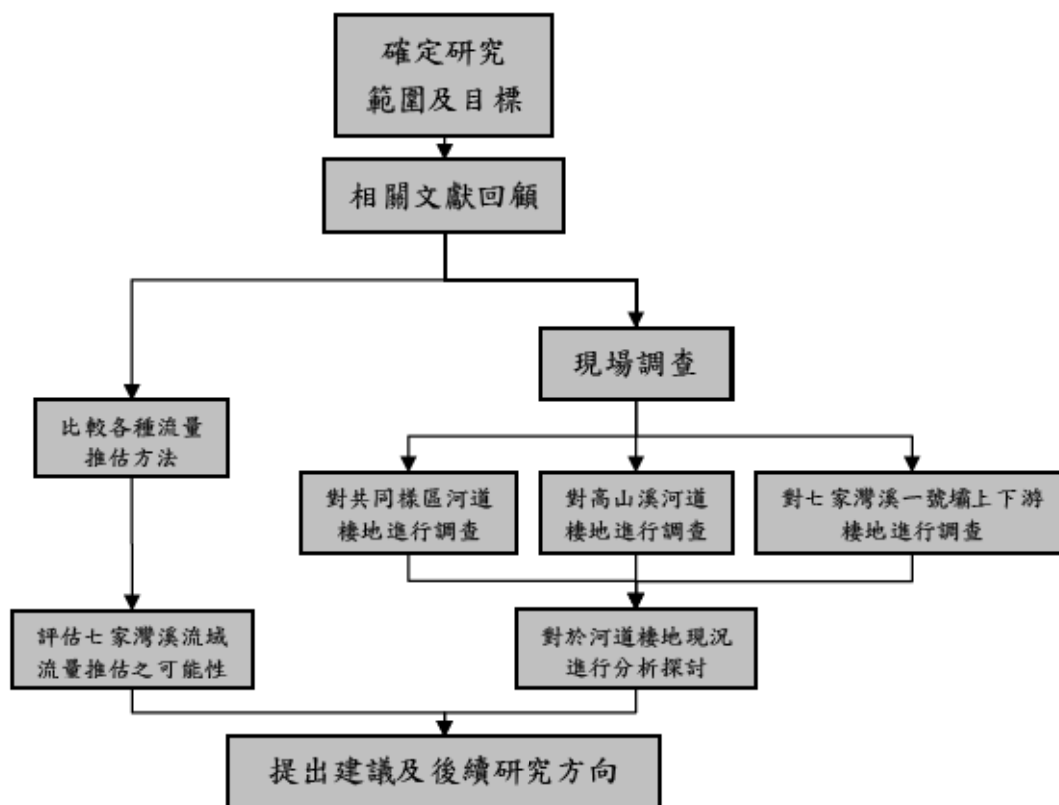


圖 3-1 本年度研究基本流程圖
(資料來源：本研究資料)

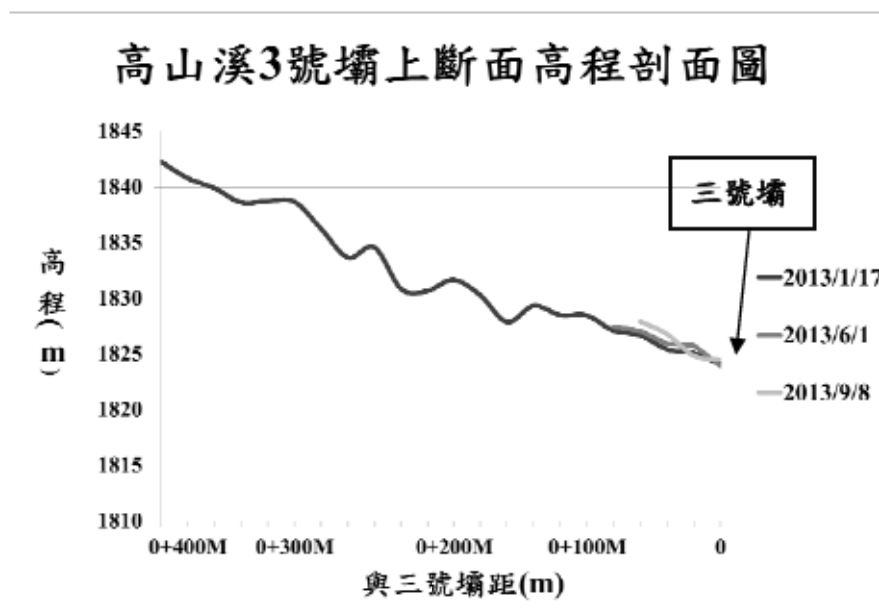


圖 3-2 三號壩上游斷面高程剖面圖
(資料來源：本研究資料)

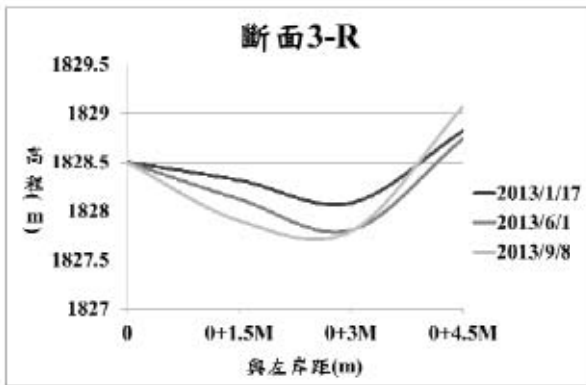


圖 3-3 高山溪断面 3-R 剖面高程
(資料來源：本研究資料)

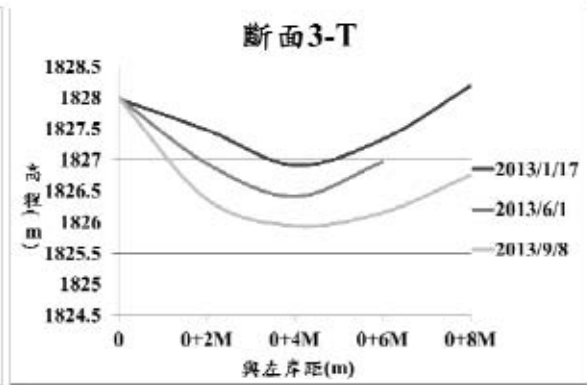


圖 3-4 高山溪断面 3-T 剖面高程
(資料來源：本研究資料)

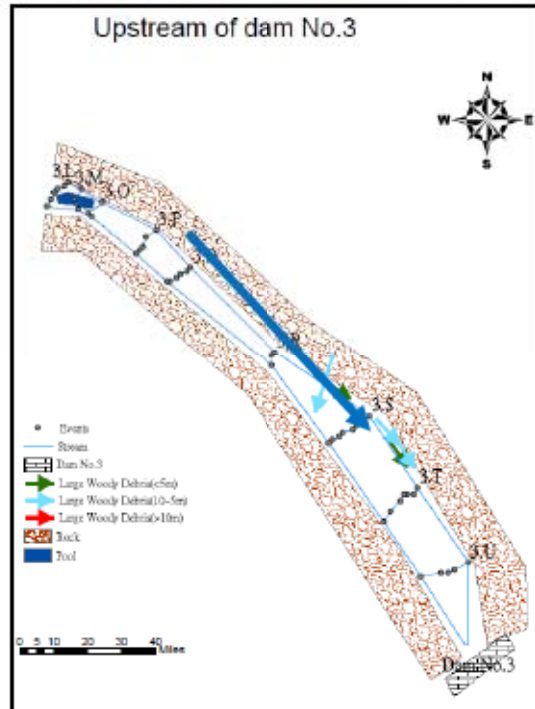


圖 3-5 高山溪三號壩上之河道示意圖
(資料來源：本研究資料)

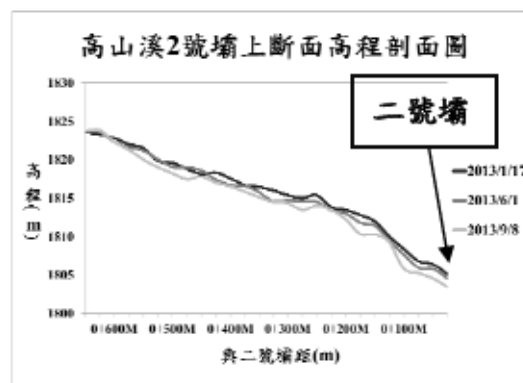


圖 3-6 二號壩上游断面高程剖面圖
(資料來源：本研究資料)

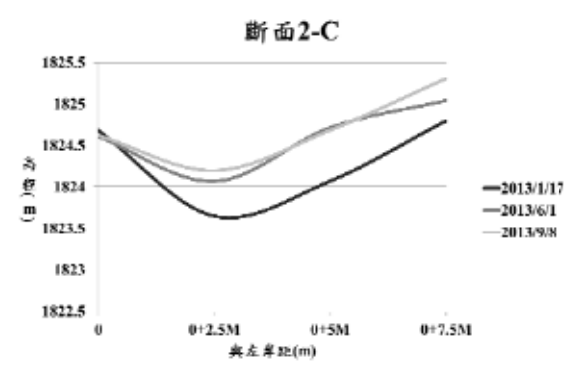


圖 3-7 高山溪断面 2-C 剖面高程
(資料來源：本研究資料)

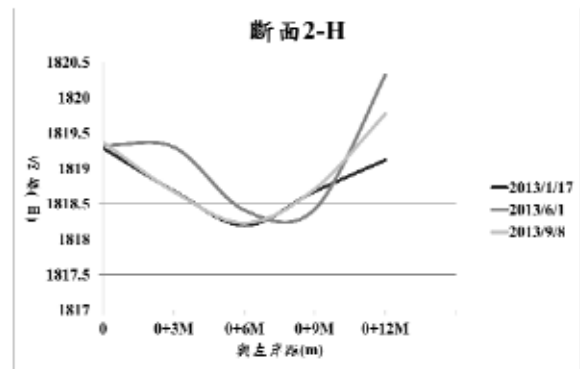


圖 3-8 高山溪断面 2-H 剖面高程
(資料來源：本研究資料)

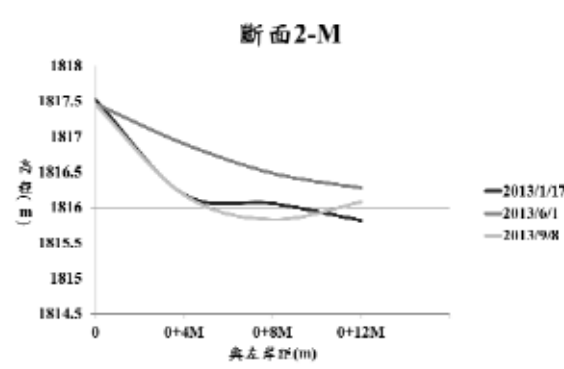


圖 3-9 高山溪断面 2-M 剖面高程
(資料來源：本研究資料)

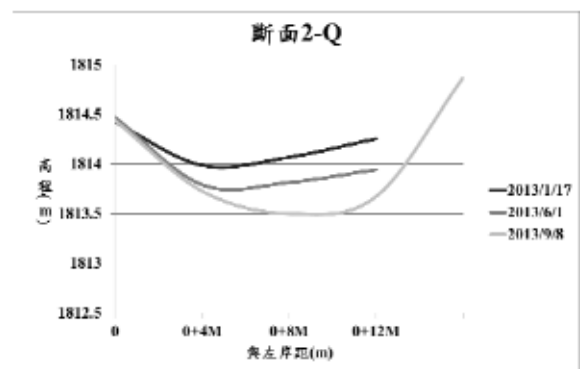


圖 3-10 高山溪断面 2-Q 剖面高程
(資料來源：本研究資料)

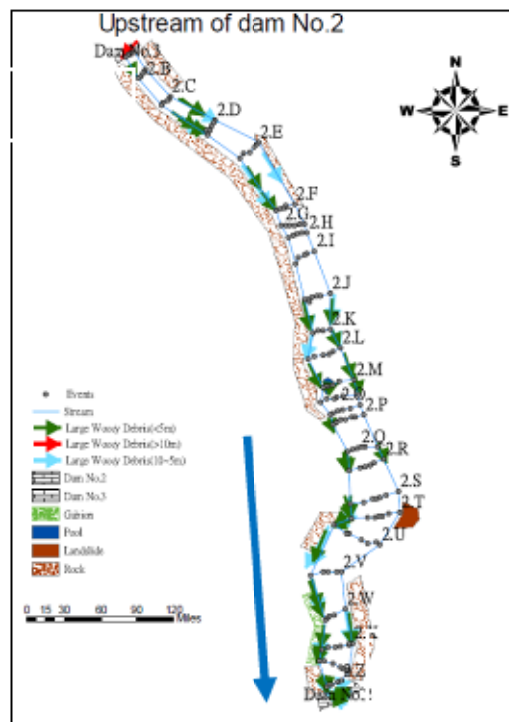


圖 3-11 高山溪二號壩上之河道示意圖
(資料來源：本研究資料)

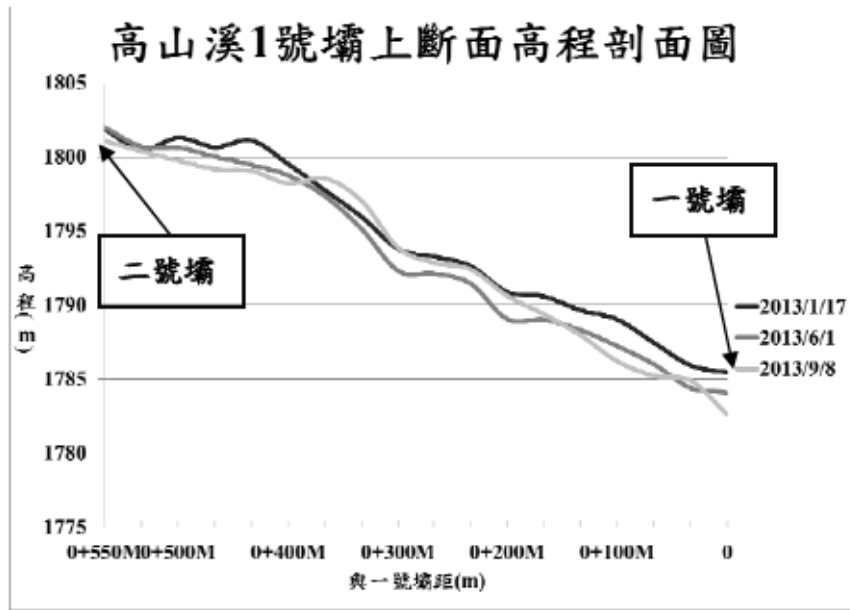


圖 3-12 一號壩上游断面高程剖面圖
(資料來源：本研究資料)

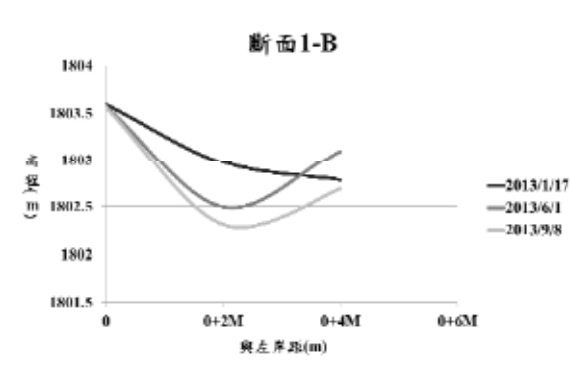


圖 3-13 高山溪断面 1-B 剖面高程
(資料來源：本研究資料)

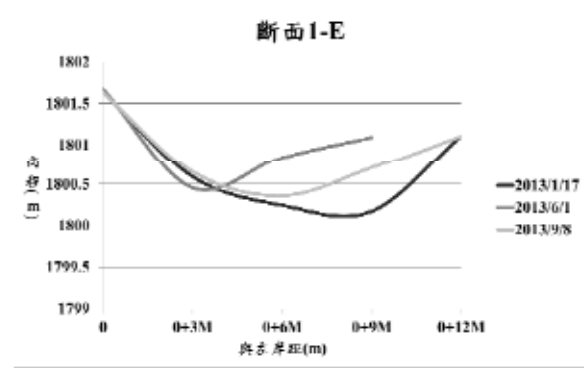


圖 3-14 高山溪断面 1-E 剖面高程
(資料來源：本研究資料)

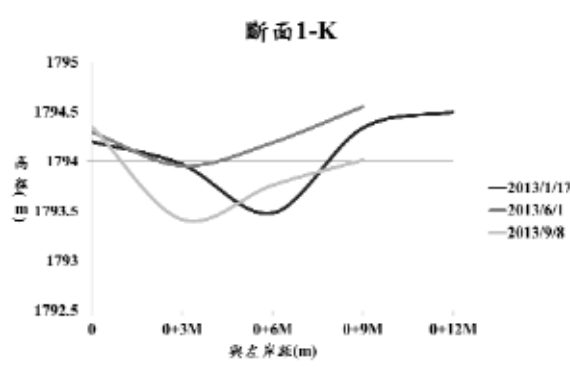


圖 3-15 高山溪断面 1-K 剖面高程
(資料來源：本研究資料)

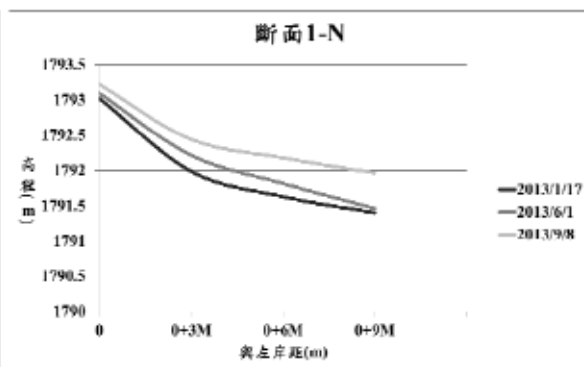


圖 3-16 高山溪断面 1-N 剖面高程
(資料來源：本研究資料)

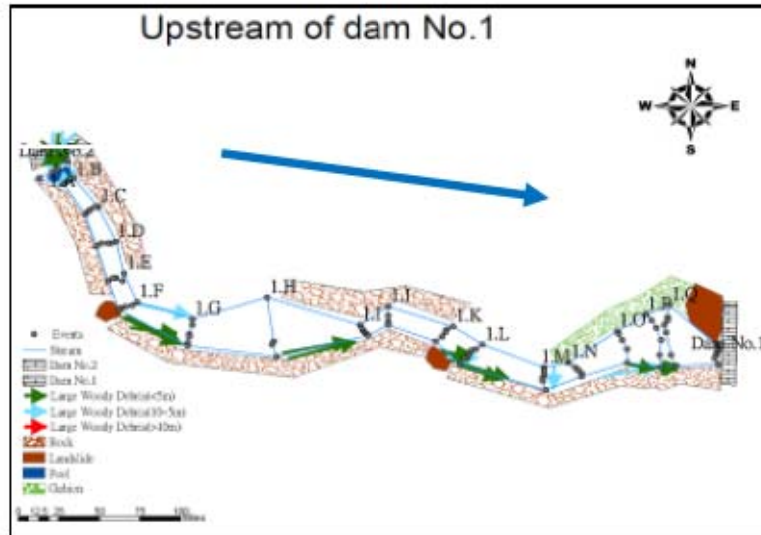


圖 3-17 高山溪一號壩上河道示意圖

(資料來源：本研究資料)

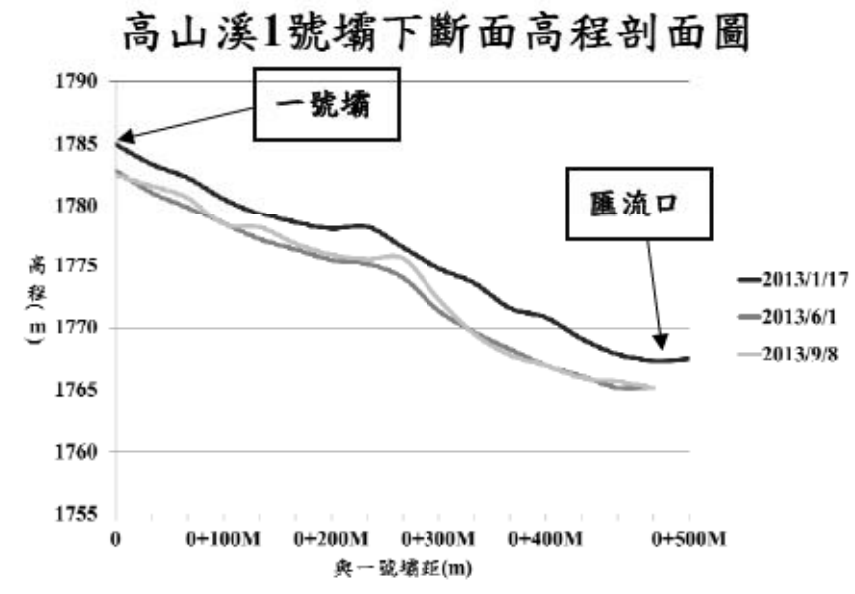


圖 3-18 一號壩下游断面高程剖面圖

(資料來源：本研究資料)

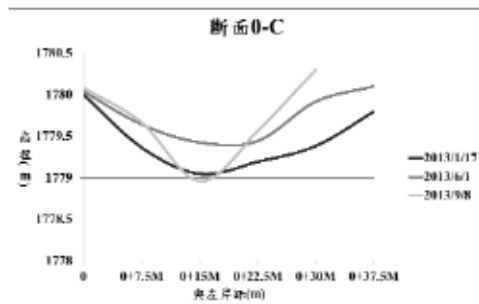


圖 3-19 高山溪断面 0-C 剖面高程

(資料來源：本研究資料)

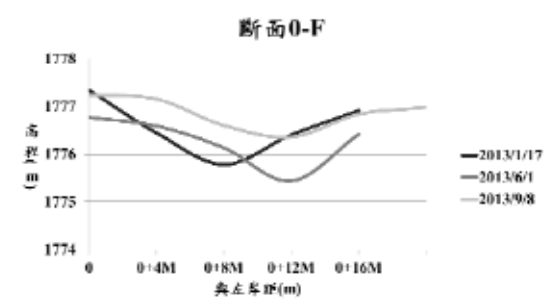


圖 3-20 高山溪断面 0-F 剖面高程

(資料來源：本研究資料)

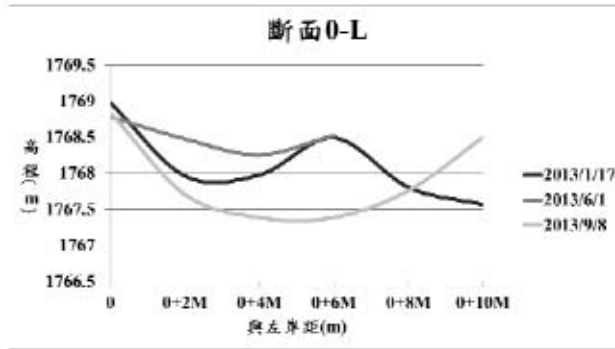


圖 3-21 高山溪断面 0-L 剖面高程
(資料來源：本研究資料)

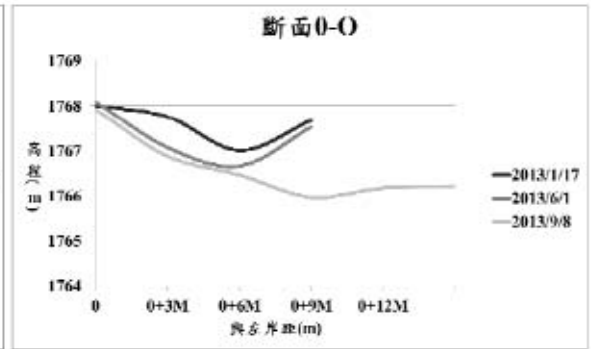


圖 3-22 高山溪断面 0-O 剖面高程
(資料來源：本研究資料)

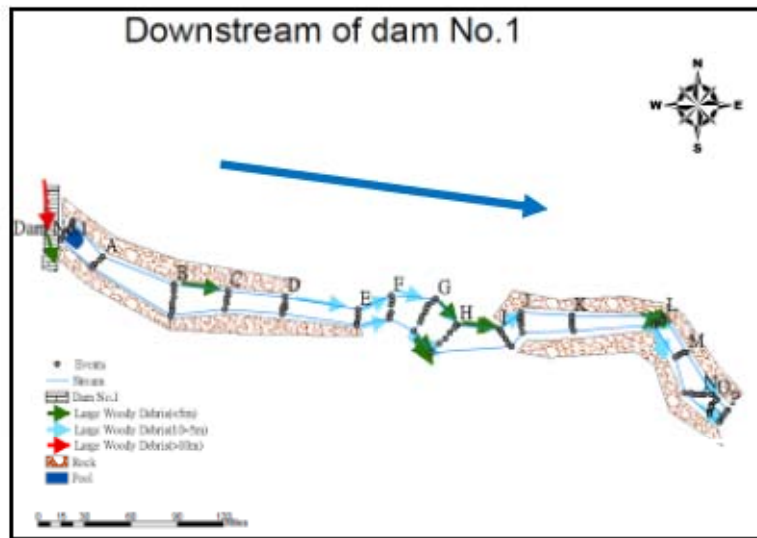


圖 3-23 高山溪一號壩下至匯流口之河道示意圖
(資料來源：本研究資料)

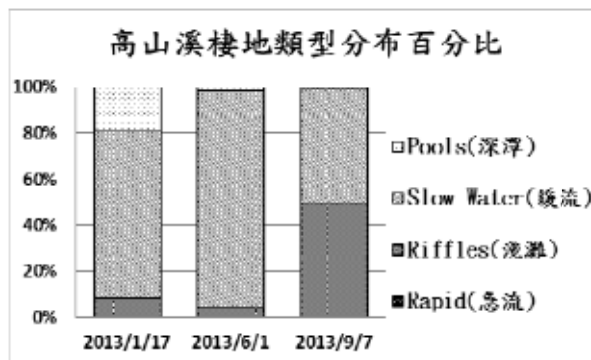


圖 3-24 高山溪棲地環境類型分佈圖
(資料來源：本研究資料)

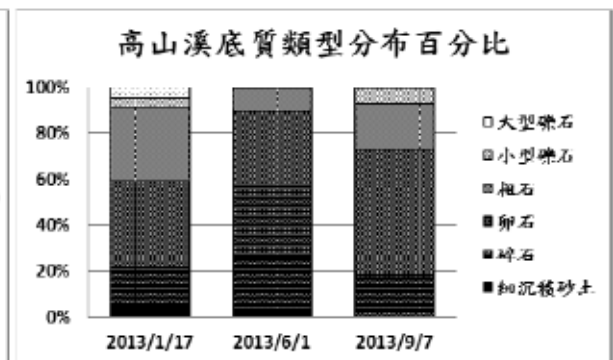


圖 3-25 高山溪底質類型分佈圖
(資料來源：本研究資料)

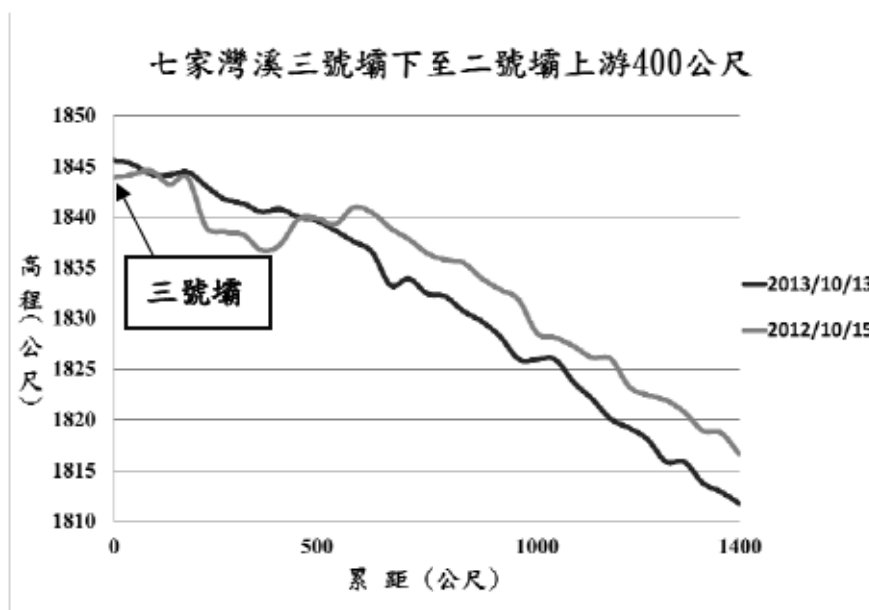


圖 3-26 七家灣溪三號壩下至二號壩上 400 公尺處高程剖面圖
(資料來源：本研究資料)

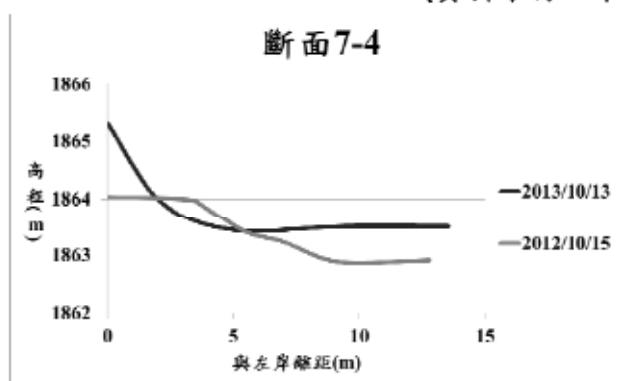


圖 3-27 七家灣溪断面 7-4 剖面高程
(資料來源：本研究資料)

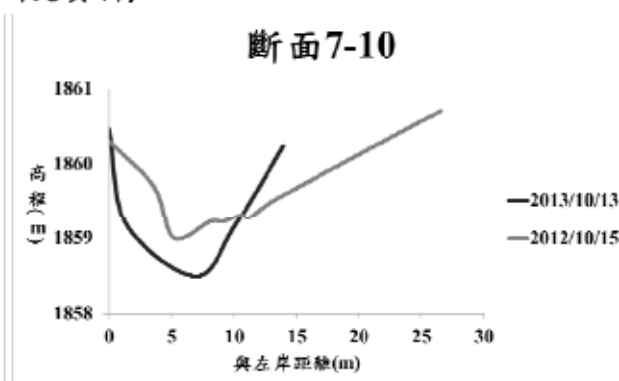


圖 3-28 七家灣溪断面 7-10 剖面高程
(資料來源：本研究資料)

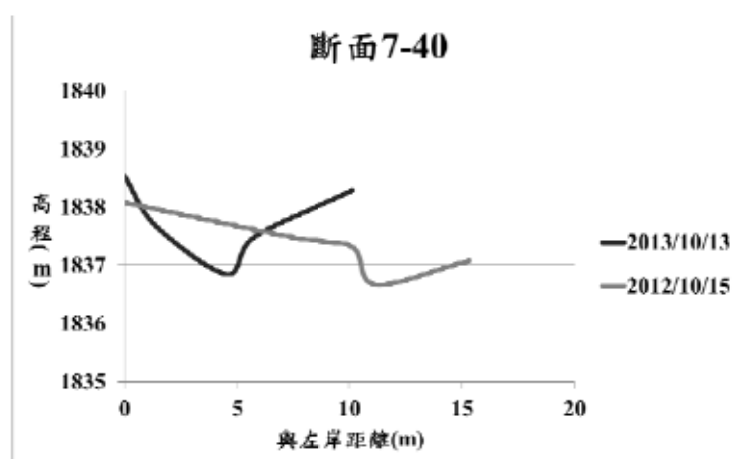


圖 3-29 七家灣溪断面 7-40 剖面高程
(資料來源：本研究資料)

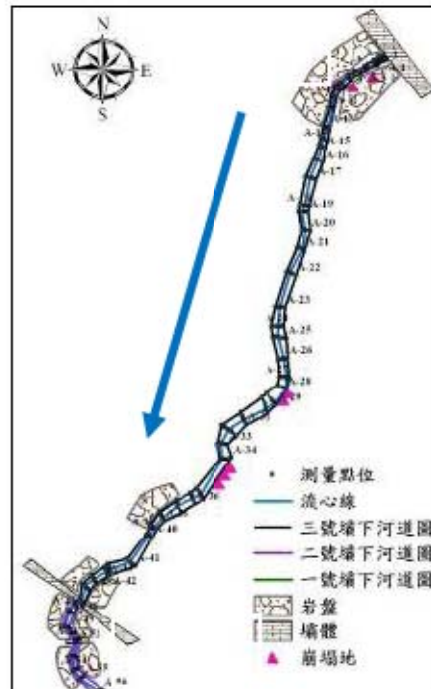


圖 3-30 七家灣溪三號壩至二號壩測量點位示意圖
(資料來源：本研究資料)

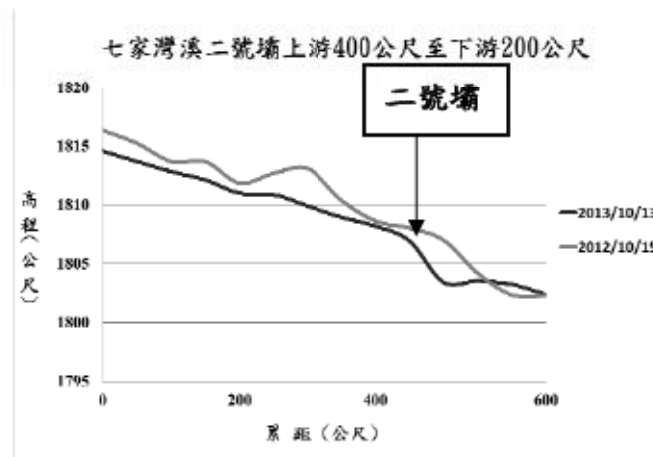


圖 3-31 七家灣溪二號壩上游 400 公尺至下游 200 公尺剖面高程
(資料來源：本研究資料)

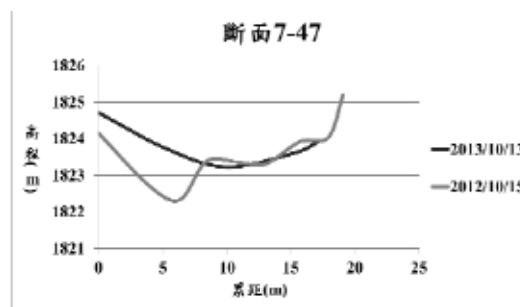


圖 3-32 七家灣溪斷面 7-47 剖面高程
(資料來源：本研究資料)

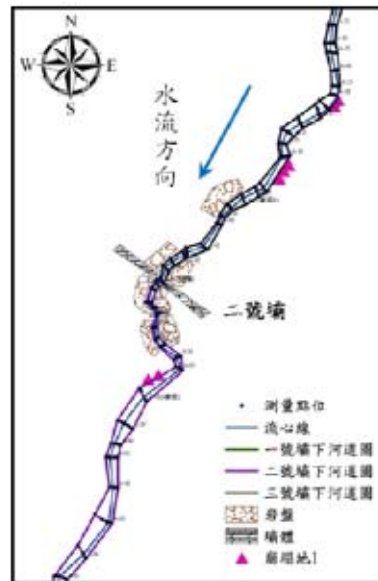


圖 3-33 七家灣溪二號壩上 400 公尺處至二號壩下 200 公尺示意圖

(資料來源：本研究資料)

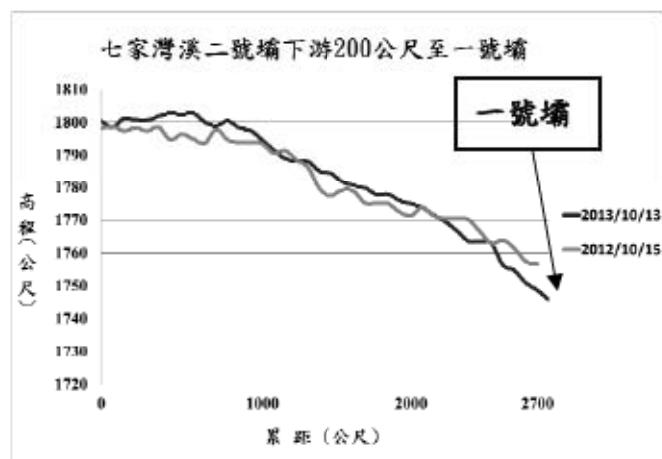


圖 3-34 七家灣溪二號壩下游 200 公尺至一號壩上剖面線

(資料來源：本研究資料)



圖 3-35 七家灣溪二號壩至一號壩上測量點位示意圖
(資料來源：本研究資料)

七家灣溪一號壩密集監測結果

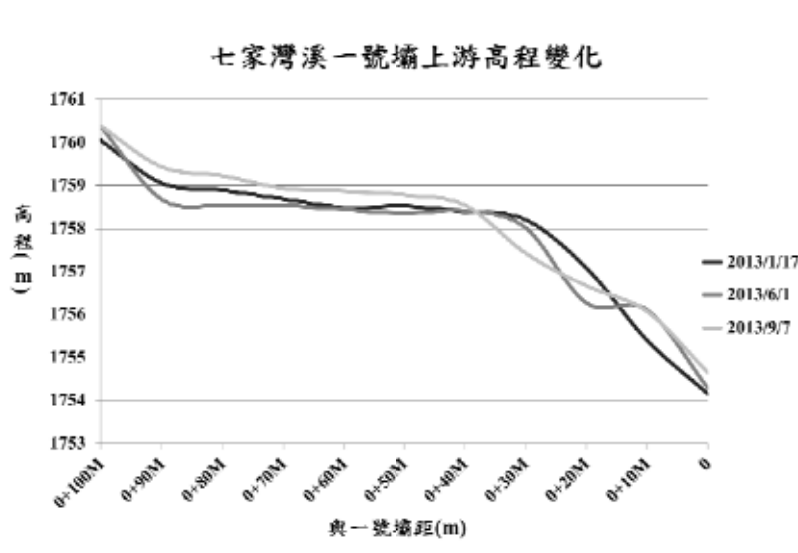


圖 3-36 七家灣溪一號壩上游密集監測剖面高程
(資料來源：本研究資料)

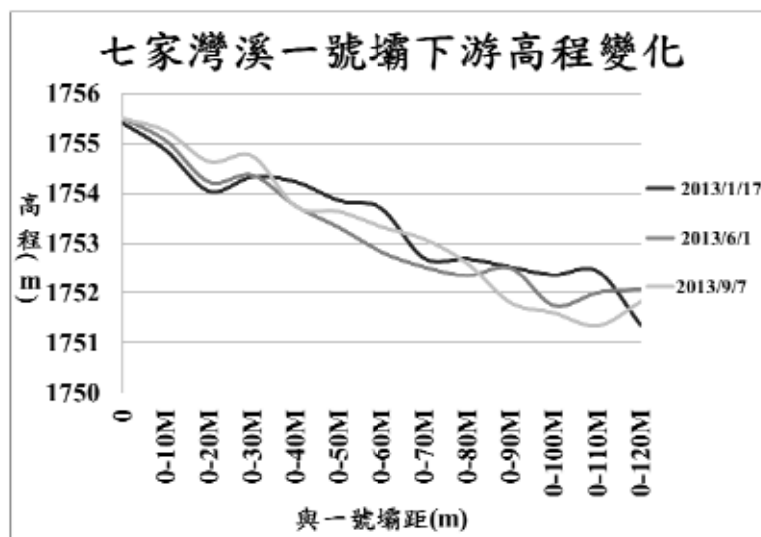


圖 3-37 七家灣溪一號壩下游密集監測剖面高程
(資料來源：本研究資料)

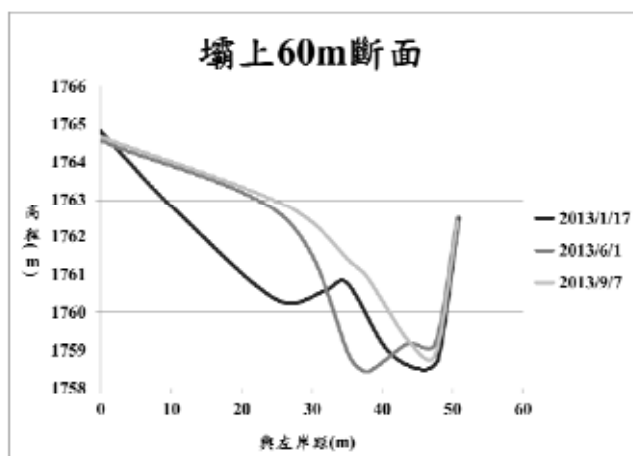


圖 3-38 一號壩上 60m 處剖面高程
(資料來源：本研究資料)

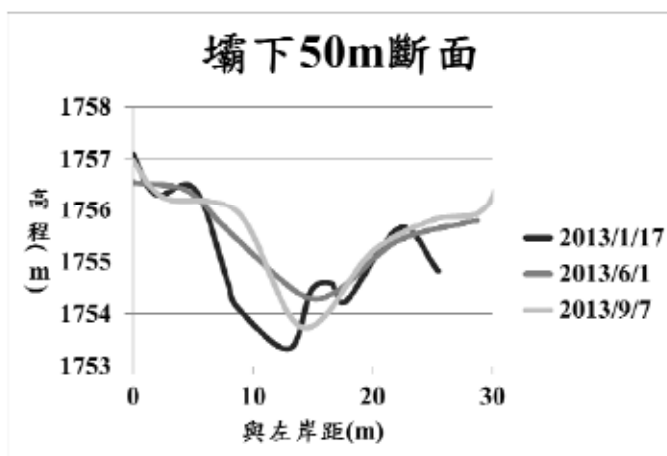


圖 3-39 一號壩下 50m 處剖面高程
(資料來源：本研究資料)

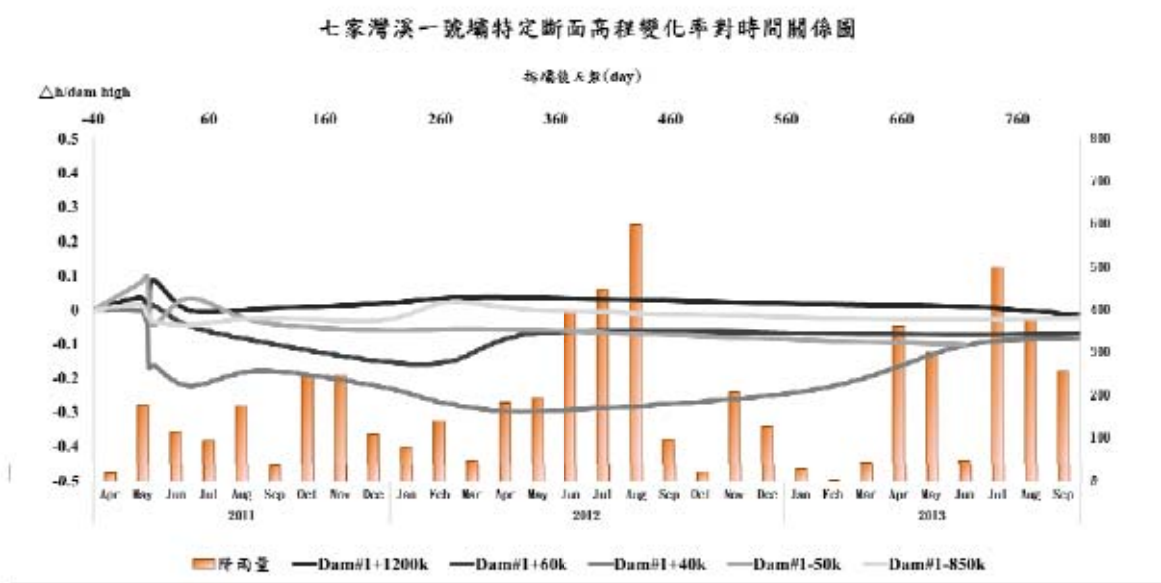


圖 3-40 七家灣溪一號壩特定断面高程變化對時間關係圖
(資料來源：本研究資料)

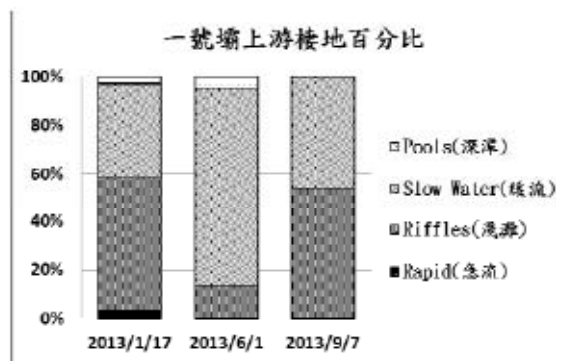


圖 3-41 七家灣溪一號壩上游密集監測棲地類型百分比圖
(資料來源：本研究資料)

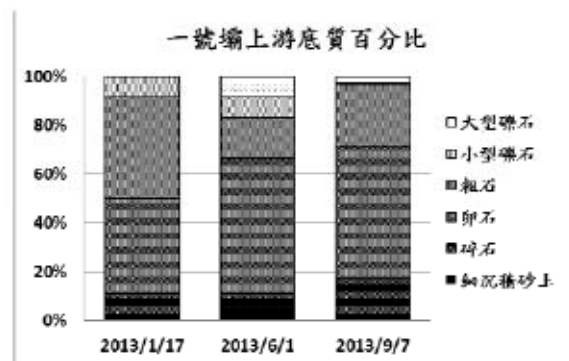


圖 3-42 七家灣溪一號壩上游密集監測底質類型百分比圖
(資料來源：本研究資料)

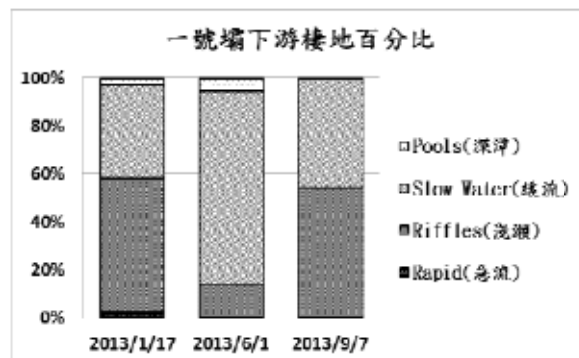


圖 3-43 七家灣溪一號壩下游密集監測棲地類型百分比圖
(資料來源：本研究資料)

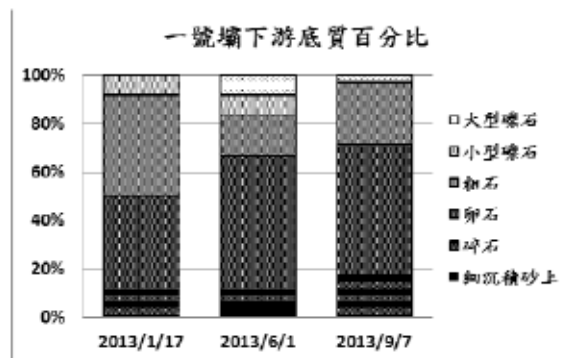


圖 3-44 七家灣溪一號壩下游密集監測底質類型百分比圖
(資料來源：本研究資料)

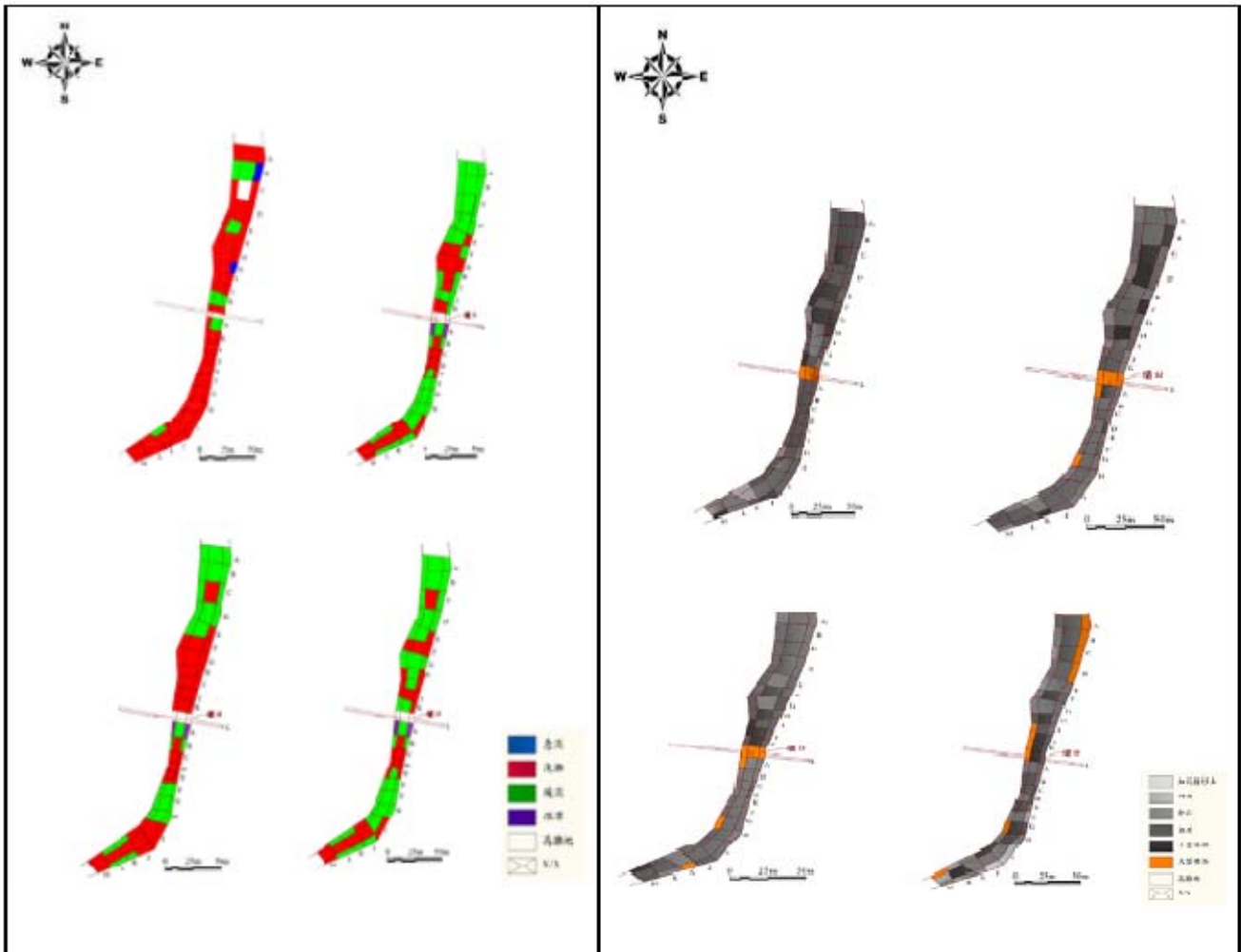


圖 3-45 七家灣溪一號壩上、下游密集監測
棲地類型網格圖
(資料來源：本研究資料)

圖 3-46 七家灣溪一號壩上、下游密集監測
底質類型網格圖
(資料來源：本研究資料)

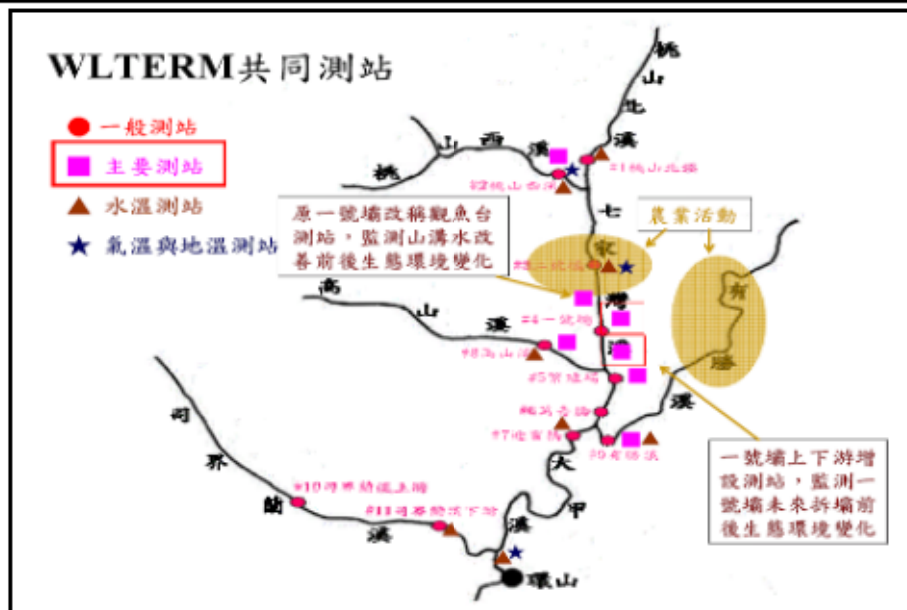


圖 3-47 七家灣溪共同樣區位置分佈圖
(資料來源：本研究資料)

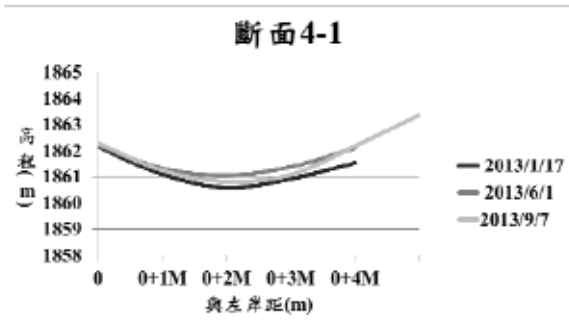


圖 3-48 桃山北溪 4-1 斷面剖面高程
(資料來源：本研究資料)

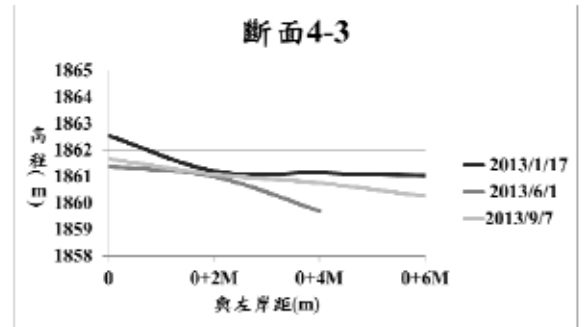


圖 3-49 桃山北溪 4-3 斷面剖面高程
(資料來源：本研究資料)

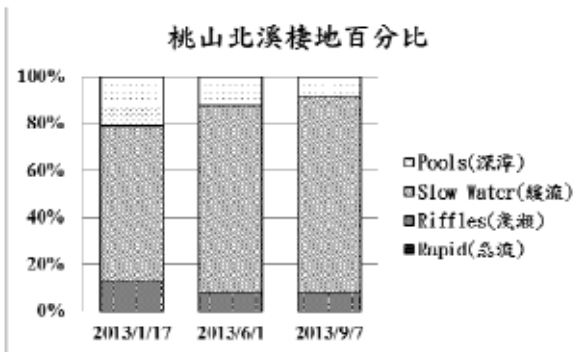


圖 3-50 桃山北溪棲地分佈類型百分比圖
(資料來源：本研究資料)

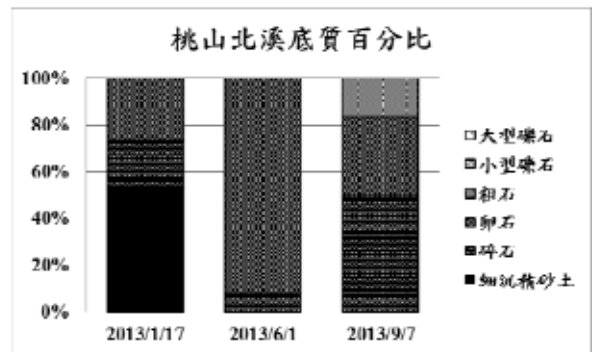


圖 3-51 桃山北溪底質分佈類型百分比圖
(資料來源：本研究資料)

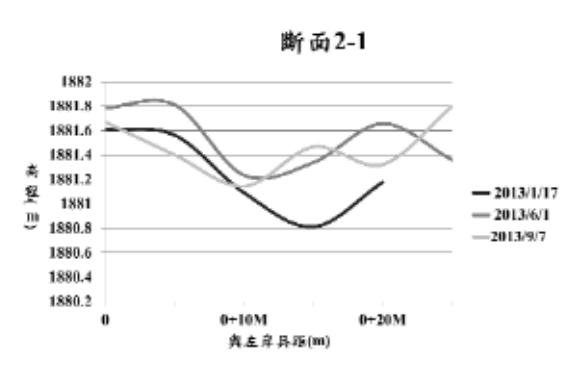


圖 3-52 桃山西溪 2-1 斷面剖面高程
(資料來源：本研究資料)

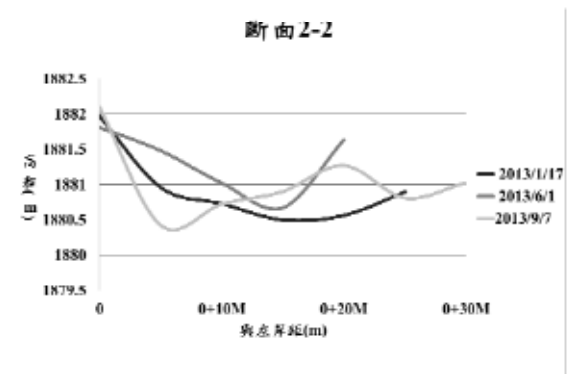


圖 3-53 桃山西溪 2-2 斷面剖面高程
(資料來源：本研究資料)

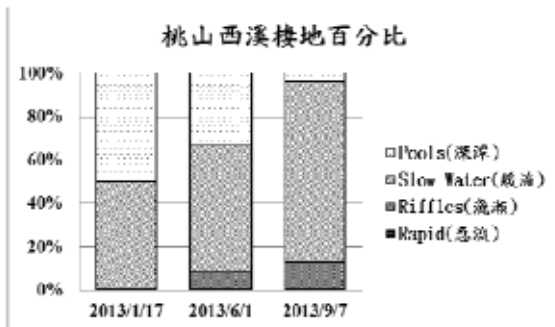


圖 3-54 桃山西溪棲地分佈類型百分比圖
(資料來源：本研究資料)

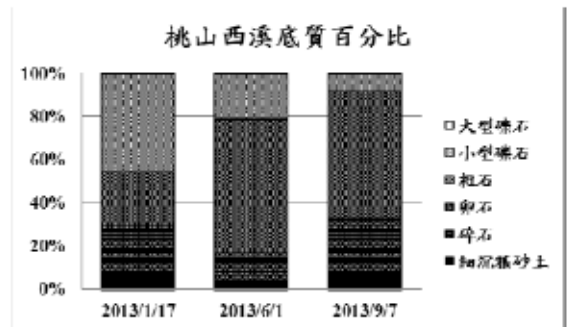


圖 3-55 桃山西溪底質分佈類型百分比圖
(資料來源：本研究資料)

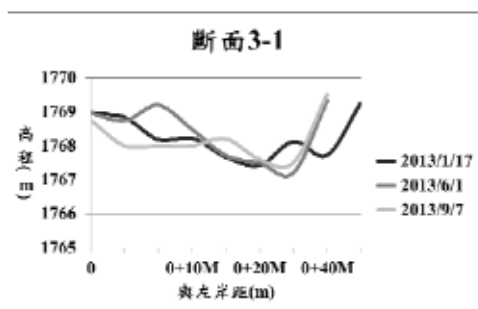


圖 3-56 觀魚臺 3-1 斷面剖面高程
(資料來源：本研究資料)

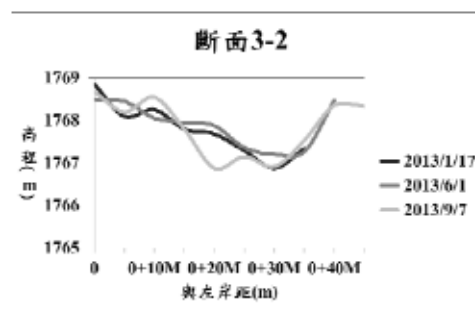


圖 3-57 觀魚臺 4-2 斷面剖面高程
(資料來源：本研究資料)

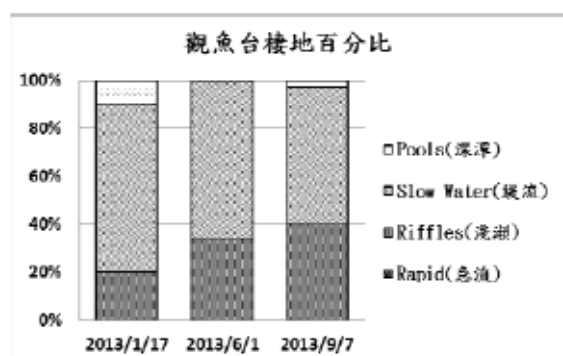


圖 3-58 觀魚臺棲地分佈類型百分比圖
(資料來源：本研究資料)

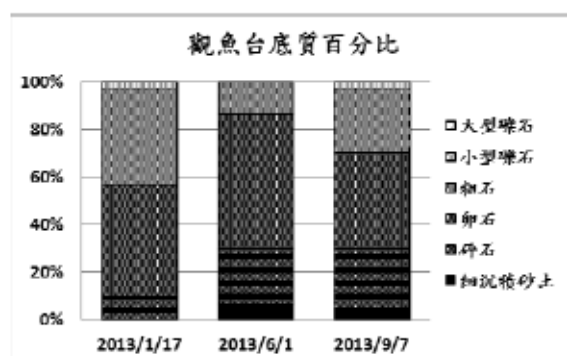


圖 3-59 觀魚臺底質分佈類型百分比圖
(資料來源：本研究資料)

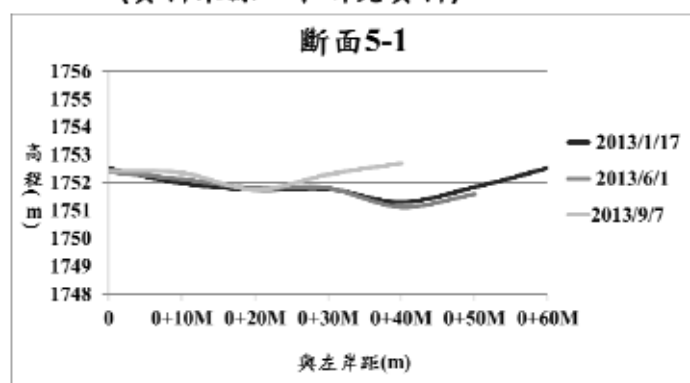


圖 3-60 新繁殖場 5-1 斷面剖面高程
(資料來源：本研究資料)

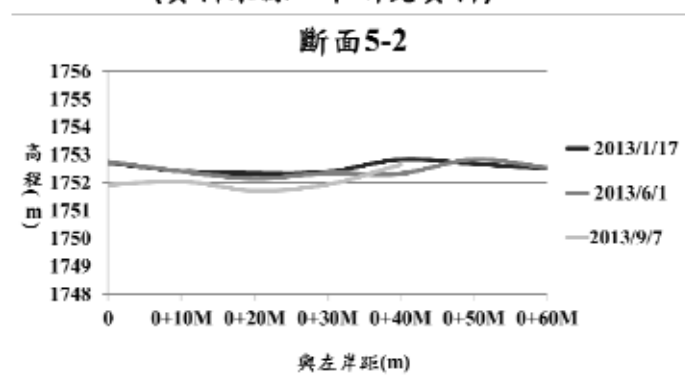


圖 3-61 新繁殖場 5-2 斷面剖面高程
(資料來源：本研究資料)

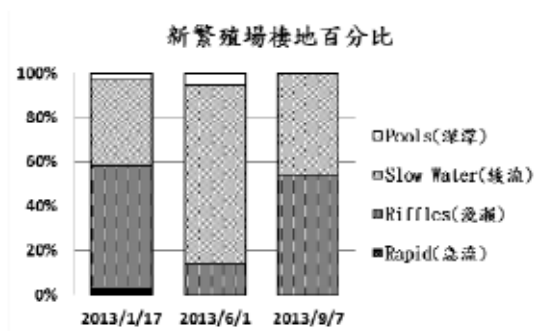


圖 3-62 新繁殖場棲地分佈類型百分比圖
(資料來源：本研究資料)

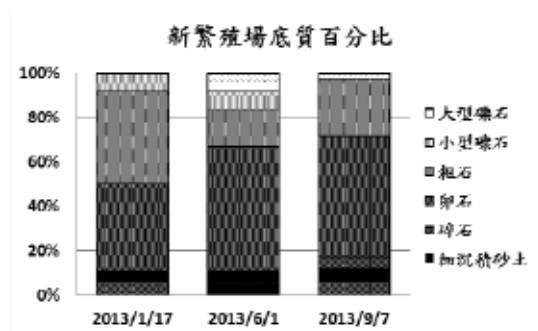


圖 3-63 新繁殖場底質分佈類型百分比圖
(資料來源：本研究資料)

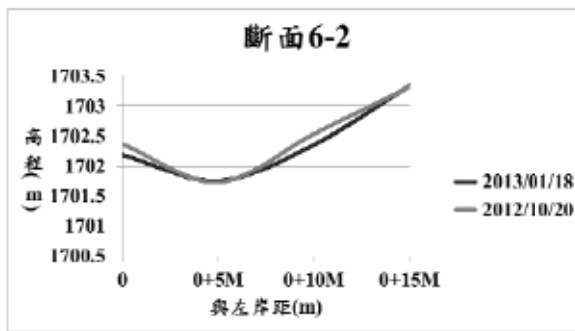


圖 3-64 萬壽橋測站 6-2 斷面剖面高程
(資料來源：本研究資料)

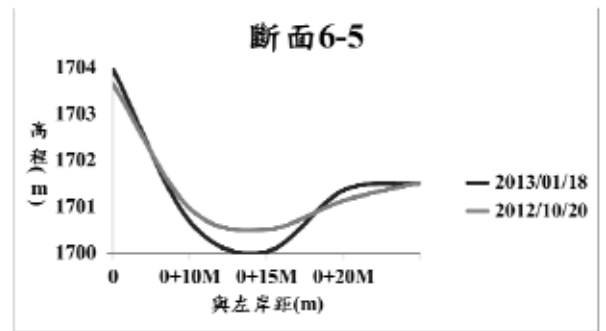


圖 3-65 萬壽橋測站 6-5 斷面剖面高程
(資料來源：本研究資料)

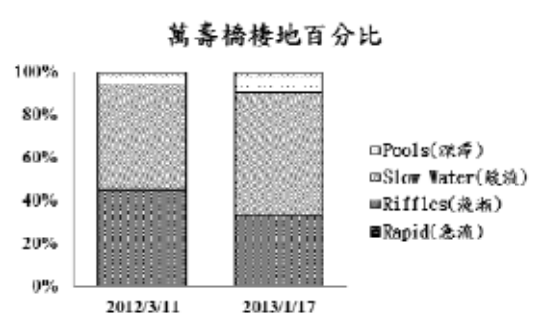


圖 3-66 萬壽橋棲地分佈類型百分比圖
(資料來源：本研究資料)

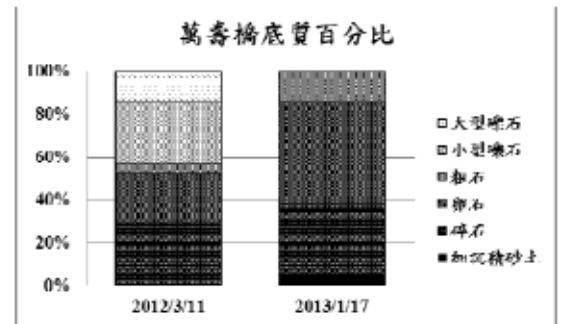


圖 3-67 萬壽橋底質分佈類型百分比圖
(資料來源：本研究資料)

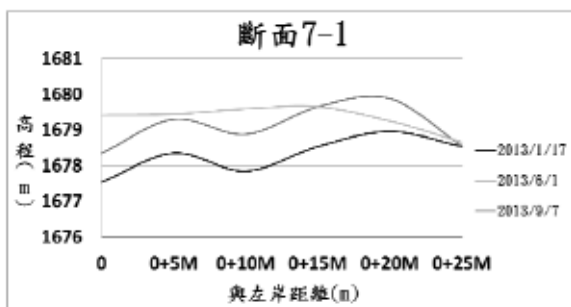


圖 3-68 迎賓橋測站 7-1 斷面剖面高程
(資料來源：本研究資料)

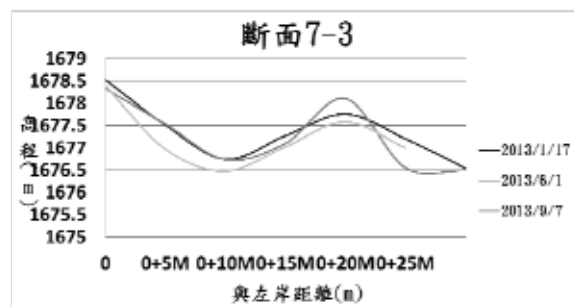


圖 3-69 迎賓橋測站 7-3 斷面剖面高程
(資料來源：本研究資料)

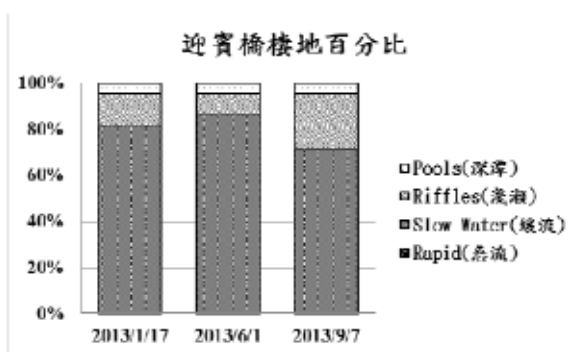


圖 3-70 迎賓橋棲地分佈類型百分比圖
(資料來源：本研究資料)

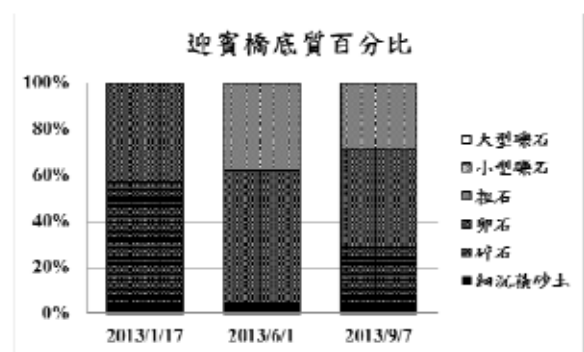


圖 3-71 迎賓橋底質分佈類型百分比圖
(資料來源：本研究資料)

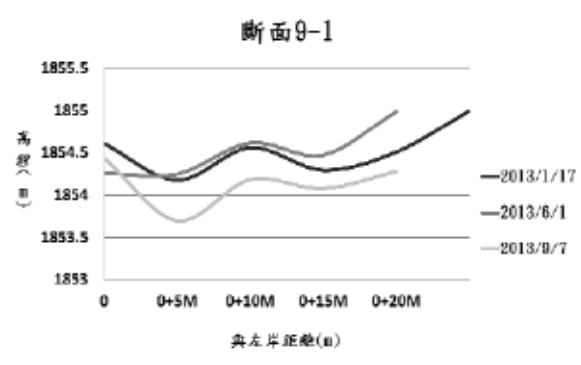


圖 3-72 有勝溪測站 9-1 斷面剖面高程
(資料來源：本研究資料)

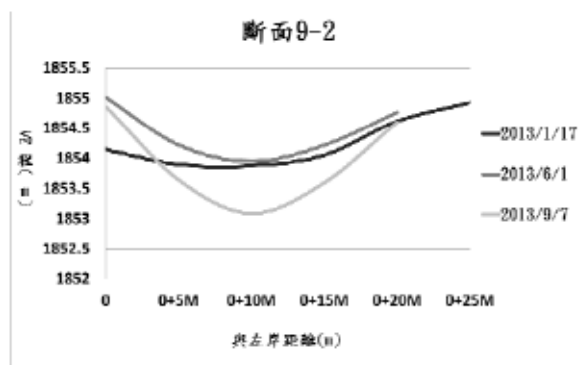


圖 3-73 有勝溪測站 9-2 斷面剖面高程
(資料來源：本研究資料)

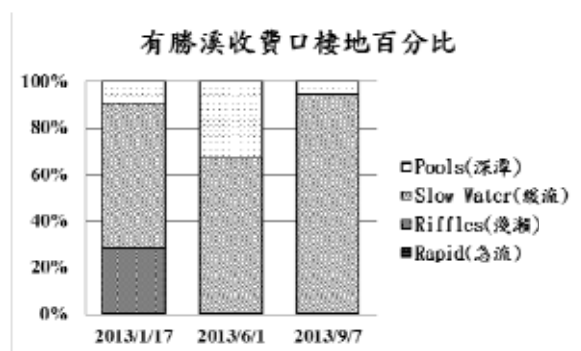


圖 3-74 有勝溪棲地分佈類型百分比圖
(資料來源：本研究資料)

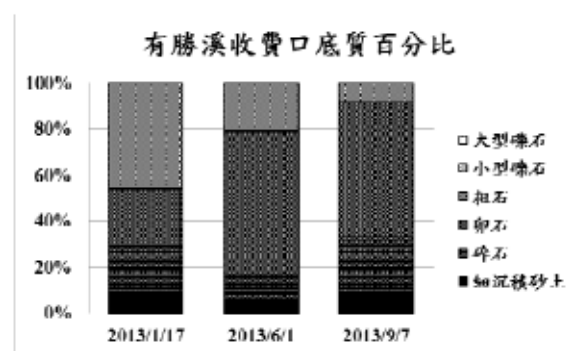


圖 3-75 有勝溪底質分佈類型百分比圖
(資料來源：本研究資料)

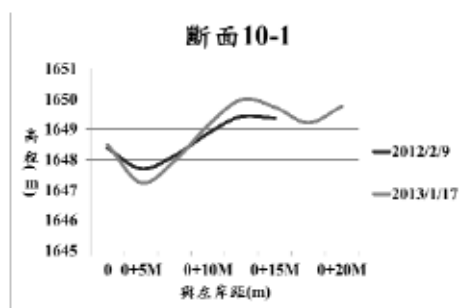


圖 3-76 司界蘭溪上游測站 10-1 斷面
(資料來源：本研究資料)

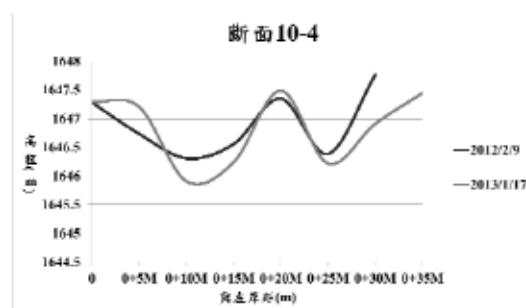


圖 3-77 司界蘭溪上游測站 10-4 斷面
(資料來源：本研究資料)

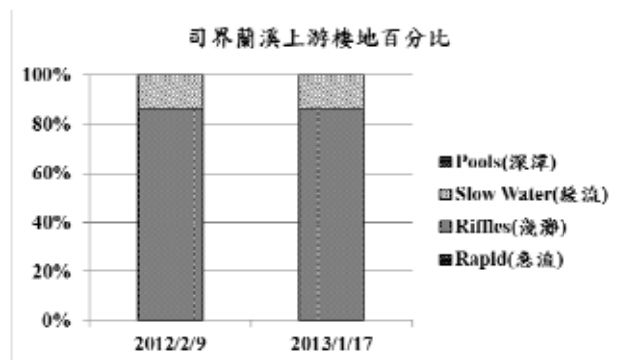


圖 3-78 司界蘭溪上游測站棲地分佈類型百分比圖
(資料來源：本研究資料)

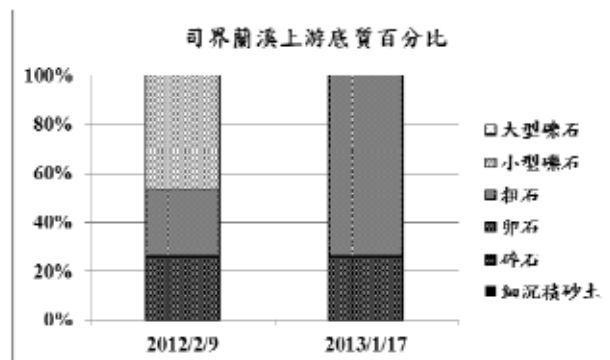


圖 3-79 司界蘭溪上游測站底質分佈類型百分比圖
(資料來源：本研究資料)

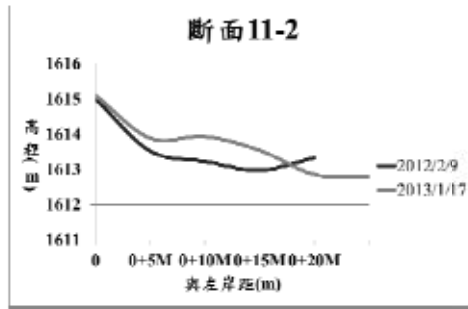


圖 3-80 司界蘭溪下游測站 11-2 斷面
(資料來源：本研究資料)

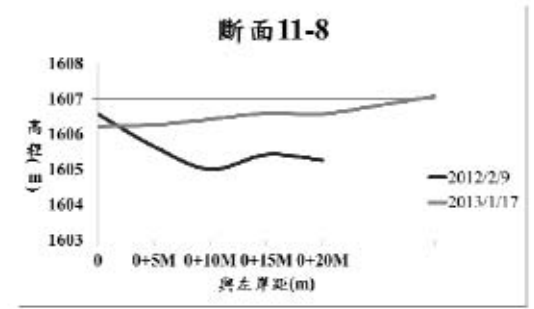


圖 3-81 司界蘭溪下游測站 11-8 斷面
(資料來源：本研究資料)

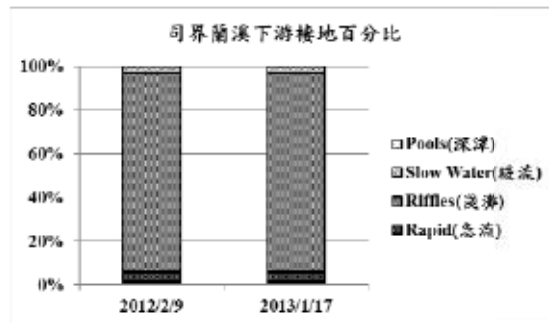


圖 3-82 司界蘭溪下游測站棲地分佈類型百分比圖
(資料來源：本研究資料)

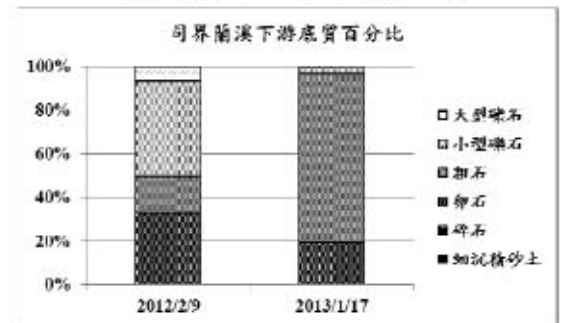


圖 3-83 司界蘭溪下游測站底質分佈類型百分比圖
(資料來源：本研究資料)

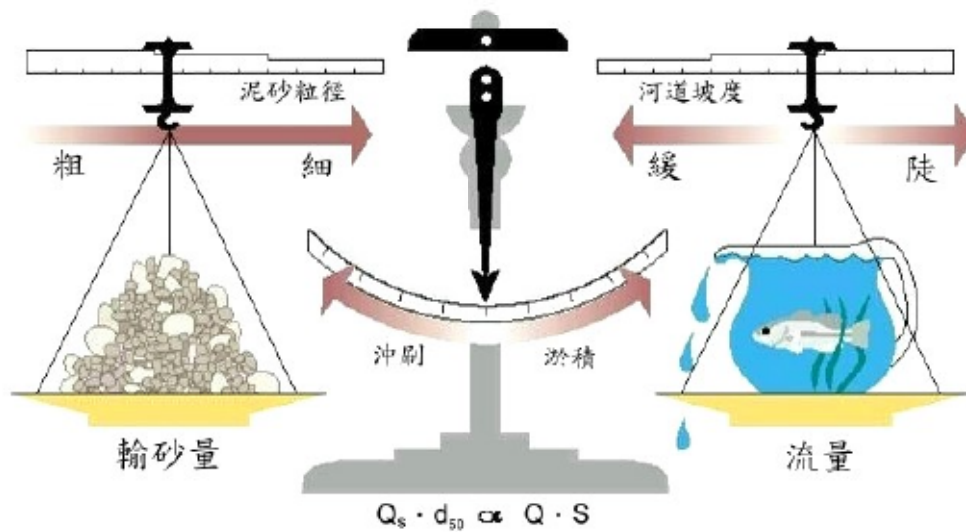


圖 3-84 沖積型河川穩定概念示意圖(本研究修改自 Lane, 1995)

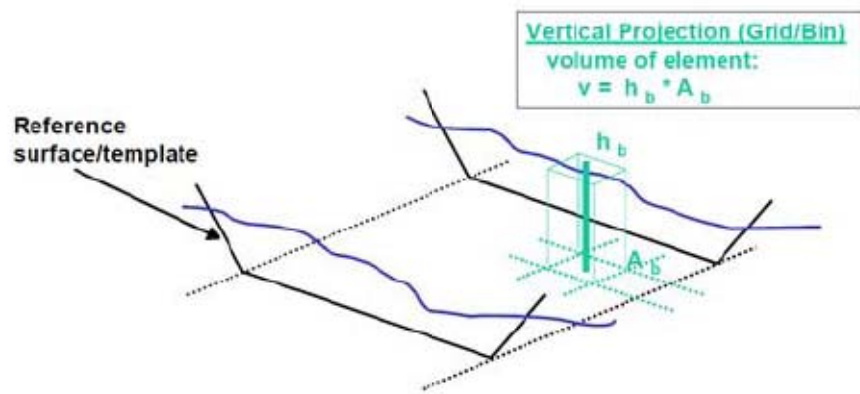


圖 3-85 向量內插法示意圖 (資料來源：本研究資料)

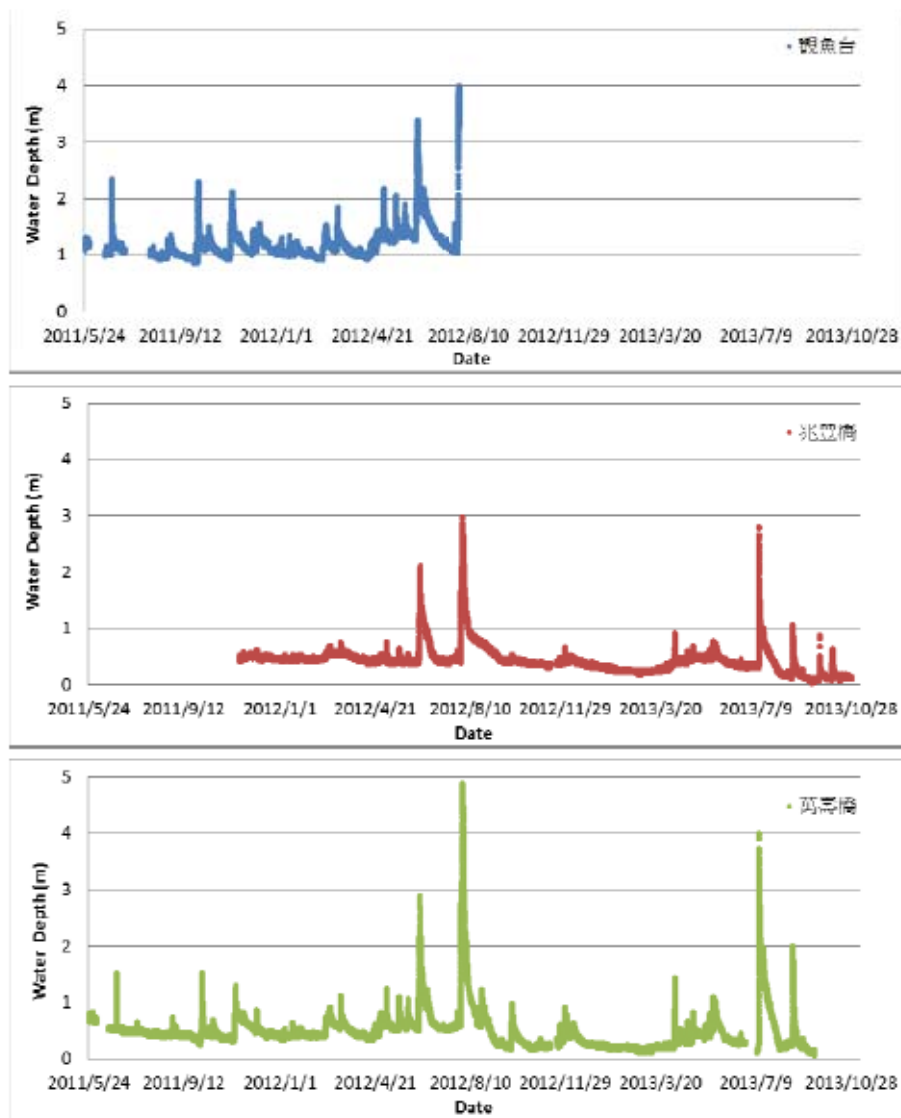


圖 3-86 觀魚台、兆豐橋及萬壽橋三測站水位資料
(資料來源：本研究資料)

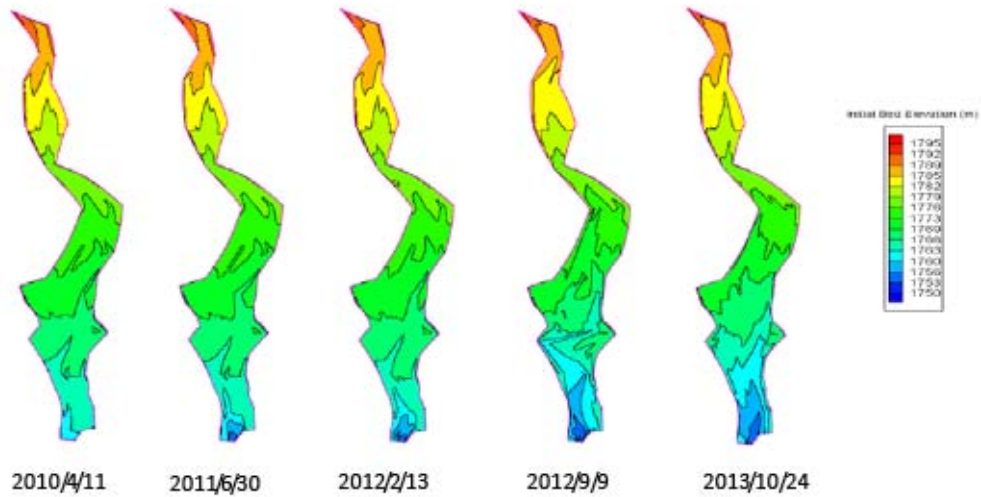


圖 3-87 上游沖刷土方量
(資料來源：本研究資料)

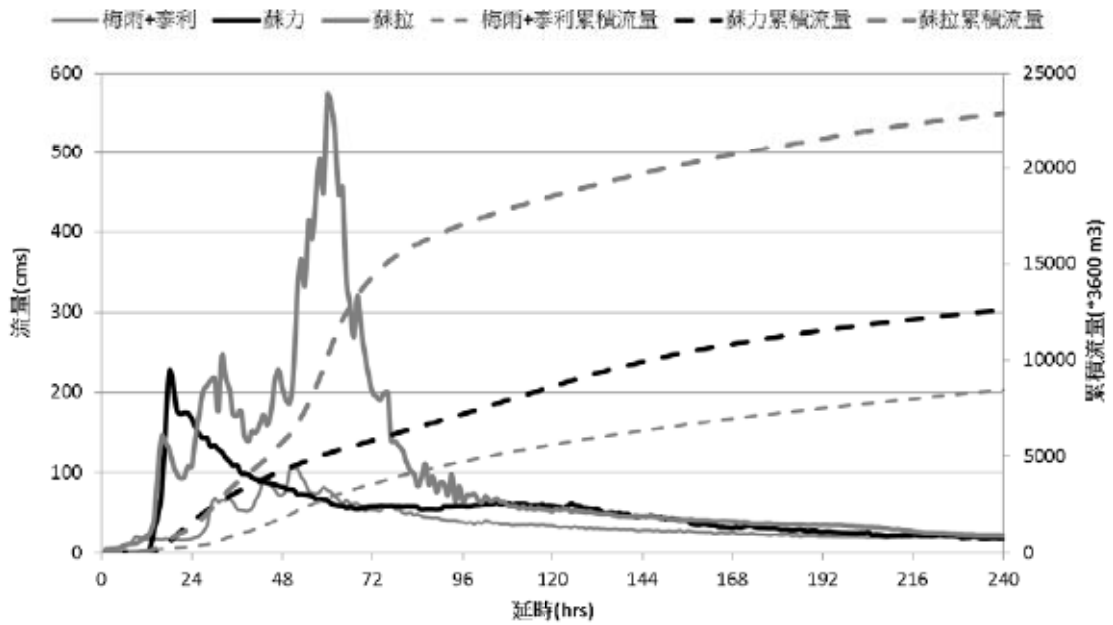


圖 3-88 重要事件流量歷線及累積流量圖
(資料來源：本研究資料)

高山溪現地調查照片
(資料來源：本研究資料)



照片 3-1 斷面 2-W 下游面(2013/01)



照片 3-2 斷面 2-W 下游面(2013/09)



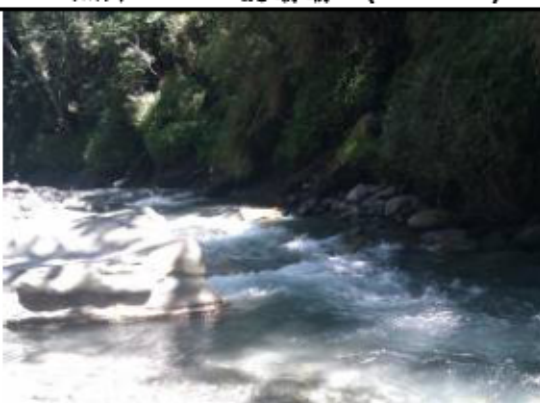
照片 3-3 二號壩壩口(2013/01)



照片 3-4 二號壩壩口(2013/09)



照片 3-5 斷面 1-E 下游面(2013/01)



照片 3-6 斷面 1-E 下游面(2013/09)



照片 3-7 斷面 1-O 下游面(2013/01)



照片 3-8 斷面 1-O 下游面(2013/09)



照片 3-9 一號壩壩口 (2013/01)



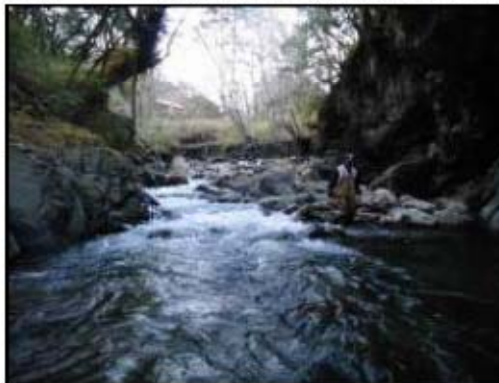
照片 3-10 一號壩壩口 (2013/09)



照片 3-11 斷面 0-E 下游面 (2012/02)



照片 3-12 斷面 0-E 下游面 (2013/09)



照片 3-13 斷面 0-M 殘材壩 (2012/02)



照片 3-14 斷面 0-M 殘材壩 (2013/09)



照片 3-15 斷面 0-P 上游面 (2013/01)



照片 3-16 斷面 0-P 上游面 (2013/09)

七家灣溪現地調查照片

(資料來源：本研究資料)



照片 3-17 一號壩 (2013/01)



照片 3-18 一號壩 (2013/06)



照片 3-19 一號壩 (2013/09)



照片 3-20 一號壩 (2013/10)

七家灣溪共同樣區調查照片

(資料來源：本研究資料)



照片 3-21 桃山北溪斷面 4-2 (2013/01)



照片 3-22 桃山北溪斷面 4-2 (2013/09)



照片 3-23 桃山北溪斷面 4-5(2013/01)



照片 3-24 桃山北溪斷面 4-5(2013/09)



照片 3-25 桃山北溪斷面 4-7 (2012/03)



照片 3-26 桃山北溪斷面 4-7 (2012/10)



照片 3-27 桃山西溪斷面 6-2 (2012/03)



照片 3-28 桃山西溪斷面 6-2 (2012/10)



照片 3-29 桃山西溪斷面 6-5(2013/01)



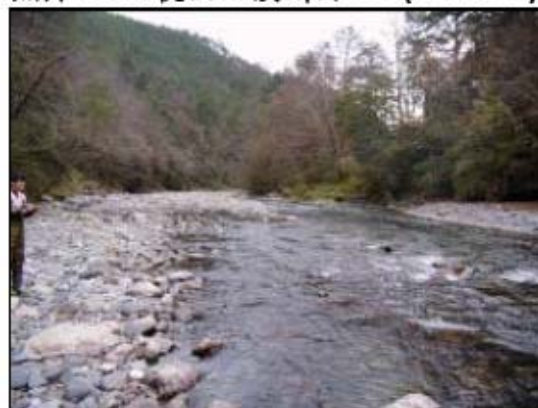
照片 3-30 桃山西溪斷面 6-5(2013/09)



照片 3-31 桃山西溪斷面 6-6(2013/01)



照片 3-32 桃山西溪斷面 6-6(2013/09)



照片 3-33 新繁殖場起始點(2013/01)



照片 3-34 新繁殖場起始點(2013/09)



照片 3-35 新繁殖場斷面 5-4(2013/01)



照片 3-36 新繁殖場斷面 5-4 (2013/09)



照片 3-37 萬壽橋斷面 8-2 (2012/03)



照片 3-38 萬壽橋斷面 8-2 (2013/09)



照片 3-39 萬壽橋斷面 8-5(2012/03)



照片 3-40 萬壽橋斷面 8-5(2013/09)



照片 3-41 萬壽橋斷面 8-6(2012/03)



照片 3-42 萬壽橋斷面 8-6(2013/09)



照片 3-43 迎賓橋斷面 9-2(2013/01)



照片 3-44 迎賓橋斷面 9-2(2013/09)



照片 3-45 迎賓橋斷面 9-4(2013/01)



照片 3-46 迎賓橋斷面 9-4(2013/09)



照片 3-47 迎賓橋斷面 9-6 (2013/01)



照片 3-48 迎賓橋斷面 9-6 (2013/09)



照片 3-49 有勝溪 1-2 斷面 (2013/01)



照片 3-50 有勝溪 1-2 斷面 (2013/09)



照片 3-51 有勝溪 1-5 斷面 (2013/01)



照片 3-52 有勝溪 1-5 斷面 (2013/09)



照片 3-53 司界蘭溪斷面 10-1 (2013/01)



照片 3-54 司界蘭溪斷面 10-9 (2013/01)

第四章 水質研究

官文惠、陳柏璋、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與資源工程研究所

摘要

關鍵詞：七家灣溪、臺灣櫻花鉤吻鮭、水質監測

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。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。

二、研究方法及過程

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，以雙月份(2、4、6、8、10月)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

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，另亞硝酸鹽氮濃度，在二月密集監測發現繁殖場與有勝溪濃度高達14與54ppb，濃度超出歐盟與保育臺灣櫻花鉤吻鮭的水質基準，故有持續監測與控制遊客數量之必要性。

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。

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。

8.1公頃回收農用地之歷年監測結果觀察到99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

根據本研究於武陵地區七家灣河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：退除役官兵輔導委員會武陵農場

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：退除役官兵輔導委員會武陵農場

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。

ABSTRACT

The available information indicated that human activities, including farming, camping and travel recreation could contribute significant nutrients into Chichiawan stream. These nutrients may influence the main habitat of the Formosan 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 streams 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.

Keywords: Chiachiawan stream, Formosan landlocked salmon, Water quality monitoring

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）。根據王氏（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。

(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 mg/L到12 mg/L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℃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℃為最佳，孵化時7~12.5℃，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 mg/L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 mg/L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 mg/L以下，鮭鱒魚類對水中生化需氧量的濃度可忍受在1 mg/L以下，孵化時忍受值更低為0.6 mg/L以下。

硝酸鹽於水體未污染之上限濃度為0.5 mg/L，若大於10 mg/L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 mg/L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 mg/L，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值過高水中氫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）。

冷水性鮭鱒魚類對氧極為敏感，水中若含有0.3 mg/L的氧，兩個小時內虹鱒便會死亡；含氧0.25 mg/L時，4~5個小時便能殺害幼魚。氧的毒性影響常是久遠的且無法復原，在含氧的溪水中會導致魚類的鰓受損而無法保持體內離子平衡。其他化合物與氧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 mg/L，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。採樣時程以雙月(2、4、6、8、10月)進行。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 μ mho/cm。導電度之測定需要用標準導電度溶液先行校正導電度計 (HACH sension5) 後，再測定水樣之導電度。

3. 溶氧：

利用溶氧計測定水樣中溶氧值 (YSI 500A)。

4. 濁度：

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

5. 矽酸鹽：

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

6. 硝酸鹽氮：

水樣中之硝酸鹽離子以離子層析儀（DIONEX ICS-1500）分析，隨碳酸鈉及碳酸氫鈉流洗液流經一系列之離子交換層析管時（DIONEX AS4A-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，而被轉換成具有高導電度酸之形態，移動相溶液則轉換成低導電度之碳酸。經轉換後之待測硫酸鹽離子再流經電導度偵測器，即可依其滯留時間及波峰面積、高度或感應強度予以定性及定量。

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，而被轉換成具有高導電度酸之形態，移動相溶液則轉換成低導電度之碳酸。經轉換後之待測陰離子再流經電導度偵測器，即可依其滯留時間及波峰面積、高度或感應強度予以定性及定量。

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

七家灣溪流例行性水質分析採樣97年前以雙月、97年以每季進行，98年後以雙月及7~8月間的颱風過後進行採樣，時間分別為94年2、4、6、8、10、12月；95年2、4、6、8、10、12月；96年2、4、6、8、10、12月；97年1、4、7、10月；98年2、4、6、8、10月；99年2、4、6、8、10、12月；100年2、4、6、8、9、10、12月；101年2、3、4、6、8、10、12月；102年1、2、4、6、8、10月共57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，102年度分析數據如表4-5至4-14所示。

此外，雪霸國家公園管理處於100年5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95年12月底完成徵收，該區水質監測結果如圖4-44至圖4-56所示。

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7.0~14.1 mg/L之間，符合冷水性鮭鱒魚類對溶氧的需求在7 mg/L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，於去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3.93~9.02 mg/L。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 mg/L，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0.44~1.51 mg/L，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，因而銨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，近兩年各測站濃度均有升高之趨勢，繁殖場與有勝溪濃度在二月份密集監測發現高達14 ppb和54 ppb。濃度超出歐盟訂定之3 ppb標準，和保育臺灣櫻花鉤吻鮭的水質基準50 ppb，故有持續監測該地水質變化之必要。

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。其今年4月份監測發現有勝溪(#9)硫酸鹽測得濃度約60.07 mg/L偏高，可能因位於七家灣溪流匯流下游段與山上降雨沖刷相關，和當地農民農耕所使用的肥料含有硫酸銨與硫酸鉀兩成份所導致。

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，僅有勝溪濃度偏高。

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 mg/L(表4-4)。磷酸鹽歷年濃度介於0~0.01 mg/L，其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

口今年2、4月測得濃度約為0.03及0.02 mg/L。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 mg/L，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100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100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100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。

壩體改善後四個測站的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 $\mu\text{mho}/\text{cm}$ 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 $\mu\text{mho}/\text{cm}$ 。在壩體改善完後幾次採樣，導電度值介於122.8~300 $\mu\text{mho}/\text{cm}$ ，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4月測得之矽酸鹽濃度略升高至6.3 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 mg/L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100年5月壩體改善期間皆明顯升高，後續濃度雖下降，但近兩年各測站濃度均有升高之趨勢。

硫酸鹽濃度不受壩體改善工程影響，反而受降雨影響較大，今年四月份測得略為提高，其中觀魚台、一號壩上游、一號壩下游，濃度分別為45.04、45.5、47.08 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 mg/L，不受壩體改善工程之影響。磷酸鹽濃度之後續監測值則在0.03 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。濁度值大部份維持在5 NTU之下，但今年8月份在排水溝側道最高20NTU之數值。

山溝之硝酸鹽濃度遠高於排水溝測站，介於2.3~10.9 mg/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1.1~7.6 mg/L。

亞硝酸鹽氮濃度大多維持在5 ppb之下，山溝中游測站及有勝溪測站僅在今年六月與八月份，分別測得7.9及13.8ppb高濃度亞硝酸鹽。

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3.7~7.8 mg/L。排水溝測值則略高於七家灣溪流，介於0.6~3.0mg/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，今年四月份測得之磷酸鹽雖略提高至0.04 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7.2~14.4 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。今年8月份則測得最高2.6mg/L之總有機碳數值。

(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(#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0.04~0.33 mg/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99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；99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，且近兩年各測站濃度均有升高之趨勢，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99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：退除役官兵輔導委員會武陵農場

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：退除役官兵輔導委員會武陵農場

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。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、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。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。
- 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。
- 張石角。1989。櫻花鉤吻鮭保護區規劃。行政院農委會研究計劃。
- 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。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)。
- 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。
- 行政院環境保護署環保法規資料中心。
- 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* 40:91-98.
- 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., Deining, 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):1-7.
- 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	
非離子態氮 (μg N L ⁻¹)	≤ 4.1	≤ 20.6	≤ 4.1	≤ 20.6
總氮(mg N L ⁻¹)	≤ 0.03	≤ 0.78	≤ 0.16	≤ 0.78

表 4-5 101 年 12 月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 µmho/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO ₂ mg/L	NO ₃ ⁻ -N mg/L
測站 2	桃山西溪	晴	12月24日	7.10	194.9	7.61	0.17	4.51	0.11
測站 4	觀魚臺	晴	12月24日	7.05	226.0	8.20	0.41	3.74	0.27
測站 5	繁殖場	晴	12月24日	7.79	255.0	7.85	0.52	5.32	0.12
測站 8	高山溪	晴	12月24日	7.06	211.0	7.97	0.42	6.20	0.10
測站 9	有勝溪	晴	12月24日	8.37	328.0	7.40	0.69	4.64	0.87
測站 12	一號壩上游	晴	12月24日	7.09	256.0	7.79	0.48	3.72	0.26
測站 13	一號壩下游	晴	12月24日	7.19	240.0	8.19	0.40	4.27	0.27

站號	站名	氣候	採樣日期	NO ₂ ⁻ -N µg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	NH ₄ ⁺ -N mg/L	TOC mg/L
測站 2	桃山西溪	晴	12月24日	0.5	23.979	N.D.	1.544
測站 4	觀魚臺	晴	12月24日	19.6	34.906	N.D.	2.007
測站 5	繁殖場	晴	12月24日	4.4	28.398	0.02	0.919
測站 8	高山溪	晴	12月24日	9.1	26.916	0.03	1.273
測站 9	有勝溪	晴	12月24日	5.4	38.398	0.07	1.963
測站 12	一號壩上游	晴	12月24日	8.4	36.714	0.03	1.009
測站 13	一號壩下游	晴	12月24日	13.2	36.989	0.01	1.905

* N.D.值：(1) Cl⁻ < 0.01 mg/L (2) PO₄³⁻ < 0.003 mg/L (資料來源：本研究資料)

表 4-6 102 年 01 月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 ($\mu\text{mho/cm}$)	溶氧 (mg/L)	濁度 (NTU)	SiO ₂ (mg/L)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)
測站 2	桃山西溪	晴	01 月 24 日	7.72	171.9	8.35	0.17	4.66	0.04
測站 4	觀魚臺	晴	01 月 24 日	7.88	226.0	7.07	0.26	5.95	0.23
測站 5	繁殖場	晴	01 月 24 日	7.78	199.2	7.59	0.30	6.05	0.10
測站 8	高山溪	晴	01 月 24 日	7.97	182.2	8.45	0.51	7.36	0.07
測站 9	有勝溪	晴	01 月 24 日	8.38	294.0	6.36	0.67	5.45	0.53
測站 12	一號壩上游	晴	01 月 24 日	7.05	233.0	8.24	0.27	6.17	0.21
測站 13	一號壩下游	晴	01 月 24 日	7.14	231.0	7.40	0.24	4.08	0.19

站號	站名	氣候	採樣日期	NO ₂ ⁻ -N ($\mu\text{g/L}$)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	TOC (mg/L)
測站 2	桃山西溪	晴	01 月 24 日	4.3	23.171	0.595	N.D.	0.01	1.321
測站 4	觀魚臺	晴	01 月 24 日	1.3	38.620	0.307	N.D.	0.02	0.507
測站 5	繁殖場	晴	01 月 24 日	0.3	30.699	0.119	N.D.	0.01	0.488
測站 8	高山溪	晴	01 月 24 日	0.5	26.081	0.469	N.D.	0.00	2.441
測站 9	有勝溪	晴	01 月 24 日	31.5	39.656	1.271	N.D.	0.04	1.091
測站 12	一號壩上游	晴	01 月 24 日	0.7	39.377	0.213	N.D.	0.01	0.526
測站 13	一號壩下游	晴	01 月 24 日	0.6	38.047	0.238	N.D.	0.02	0.497

* N.D.值：(1) PO₄³⁻ < 0.003 mg/L (資料來源：本研究資料)

表 4-7 102 年 02 月 06 日溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 ($\mu\text{mho/cm}$)	濁度 (NTU)	SiO ₂ (mg/L)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	NO ₂ ⁻ -N ($\mu\text{g/L}$)
測站 2	桃山西溪	晴	02 月 06 日	7.48	122.8	0.28	4.46	0.07	0.1
測站 3	二號壩	晴	02 月 06 日	7.64	161.0	0.14	5.09	0.16	0.4
測站 4	觀魚臺	晴	02 月 06 日	7.74	173.1	0.17	5.21	0.30	0.8
測站 5	繁殖場	晴	02 月 06 日	7.70	165.8	0.31	4.82	0.21	0.6
測站 9	有勝溪	晴	02 月 06 日	8.08	251.0	0.48	3.93	0.73	3.5

站號	站名	氣候	採樣日期	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	TOC (mg/L)
測站 2	桃山西溪	晴	02 月 06 日	24.473	0.139	N.D.	0.03	0.273
測站 3	二號壩	晴	02 月 06 日	34.992	0.226	0.10	N.D.	0.204
測站 4	觀魚臺	晴	02 月 06 日	39.331	0.443	0.01	N.D.	0.292
測站 5	繁殖場	晴	02 月 06 日	37.984	0.414	N.D.	N.D.	0.380
測站 9	有勝溪	晴	02 月 06 日	43.542	1.223	0.02	0.10	0.772

* N.D.值：(1) PO₄³⁻<0.003 mg/L (2) NH₄⁺-N<0.003 mg/L (資料來源：本研究資料)

表 4-8 102 年 02 月 10 日溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 ($\mu\text{mho/cm}$)	濁度 (NTU)	SiO ₂ (mg/L)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	NO ₂ ⁻ -N ($\mu\text{g/L}$)
測站 2	桃山西溪	晴	02 月 10 日	7.84	124.5	0.16	5.14	0.06	N.D.
測站 3	二號壩	晴	02 月 10 日	7.85	162.3	0.26	5.05	0.17	0.3
測站 4	觀魚臺	晴	02 月 10 日	7.92	175.1	0.21	5.68	0.31	0.4
測站 5	繁殖場	晴	02 月 10 日	7.92	166.6	0.22	5.49	0.20	0.4
測站 9	有勝溪	晴	02 月 10 日	8.18	245.0	0.29	6.33	0.75	3.6

站號	站名	氣候	採樣日期	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	TOC (mg/L)
測站 2	桃山西溪	晴	02 月 10 日	25.015	0.061	0.01	N.D.	0.246
測站 3	二號壩	晴	02 月 10 日	35.735	0.277	0.01	N.D.	0.320
測站 4	觀魚臺	晴	02 月 10 日	41.056	0.499	N.D.	0.01	0.330
測站 5	繁殖場	晴	02 月 10 日	38.272	0.402	0.01	N.D.	0.350
測站 9	有勝溪	晴	02 月 10 日	43.127	1.219	0.02	0.04	0.853

* N.D.值：(1) NO₂⁻-N < 0.01 mg/L (2) PO₄³⁻ < 0.003 mg/L (3) NH₄⁺-N < 0.003 mg/L (資料來源：本研究資料)

表 4-9 102 年 02 月 13 日溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 ($\mu\text{mho/cm}$)	濁度 (NTU)	SiO ₂ (mg/L)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	NO ₂ ⁻ -N ($\mu\text{g/L}$)
測站 2	桃山西溪	晴	02 月 13 日	7.40	126.8	0.19	3.99	0.06	2.5
測站 3	二號壩	晴	02 月 13 日	7.64	166.5	0.25	4.11	0.13	3.0
測站 4	觀魚臺	晴	02 月 13 日	7.88	180.0	0.19	4.96	0.30	9.5
測站 5	繁殖場	晴	02 月 13 日	7.88	171.6	0.23	6.74	0.20	N.D.
測站 9	有勝溪	晴	02 月 13 日	8.23	259.0	0.24	6.44	0.68	54.0

站號	站名	氣候	採樣日期	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	TOC (mg/L)
測站 2	桃山西溪	晴	02 月 13 日	25.134	0.070	0.01	0.01	0.361
測站 3	二號壩	晴	02 月 13 日	36.467	0.079	0.01	N.D.	0.354
測站 4	觀魚臺	晴	02 月 13 日	40.746	0.240	0.01	0.01	0.370
測站 5	繁殖場	晴	02 月 13 日	39.062	0.163	0.01	N.D.	0.472
測站 9	有勝溪	晴	02 月 13 日	46.082	1.105	0.03	0.03	1.065

* N.D.值：(1) NO₂⁻-N < 0.01 mg/L (2) NH₄⁺-N < 0.003 mg/L (資料來源：本研究資料)

表 4-10 102 年 02 月 17 日溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 ($\mu\text{mho/cm}$)	濁度 (NTU)	SiO ₂ (mg/L)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	NO ₂ ⁻ -N ($\mu\text{g/L}$)
測站 2	桃山西溪	晴	02 月 17 日	7.90	129.2	0.14	5.88	0.06	N.D.
測站 3	二號壩	晴	02 月 17 日	7.82	167.9	0.18	6.80	0.16	N.D.
測站 4	觀魚臺	晴	02 月 17 日	7.85	181.4	0.16	5.08	0.32	4.5
測站 5	繁殖場	晴	02 月 17 日	7.74	172.6	0.16	6.14	0.24	14.0
測站 9	有勝溪	晴	02 月 17 日	8.20	260.0	0.34	5.33	0.68	55.5

站號	站名	氣候	採樣日期	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	TOC (mg/L)
測站 2	桃山西溪	晴	02 月 17 日	26.112	0.383	N.D.	0.01	0.328
測站 3	二號壩	晴	02 月 17 日	37.588	0.086	0.01	N.D.	0.370
測站 4	觀魚臺	晴	02 月 17 日	42.285	0.261	0.01	0.01	0.484
測站 5	繁殖場	晴	02 月 17 日	39.725	0.166	0.01	0.01	0.383
測站 9	有勝溪	晴	02 月 17 日	45.797	1.167	0.03	0.03	0.835

* N.D.值：(1) NO₂⁻-N < 0.01 mg/L (2) PO₄³⁻ < 0.003 mg/L (3) NH₄⁺-N < 0.003 mg/L (資料來源：本研究資料)

表 4-11 102 年 04 月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 ($\mu\text{mho/cm}$)	溶氧 (mg/L)	濁度 (NTU)	SiO ₂ (mg/L)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)
測站 2	桃山西溪	晴	10月25日	7.88	133.7	10.48	0.36	3.47	N.D.
測站 4	觀魚臺	晴	10月25日	8.12	258.0	9.93	0.18	3.64	0.47
測站 5	繁殖場	晴	10月25日	7.89	217.0	10.22	0.19	4.10	0.33
測站 8	高山溪	晴	10月25日	7.84	198.8	11.17	0.20	3.95	0.13
測站 9	有勝溪	晴	10月25日	8.18	143.4	9.00	0.40	3.24	1.16
測站 12	一號壩上游	晴	10月25日	8.19	261.0	10.24	0.17	3.14	0.48
測站 13	一號壩下游	晴	10月25日	8.21	263.0	9.93	0.29	3.39	0.45

站號	站名	氣候	採樣日期	NO ₂ ⁻ -N ($\mu\text{g/L}$)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	TOC (mg/L)
測站 2	桃山西溪	晴	10月25日	0.9	27.514	0.554	N.D.	0.02	0.817
測站 4	觀魚臺	晴	10月25日	3.7	49.082	0.853	N.D.	0.01	0.643
測站 5	繁殖場	晴	10月25日	2.5	44.668	0.595	N.D.	0.01	0.699
測站 8	高山溪	晴	10月25日	1.3	30.661	0.173	0.01	0.01	0.590
測站 9	有勝溪	晴	10月25日	5.2	43.646	3.575	0.03	0.02	0.876
測站 12	一號壩上游	晴	10月25日	4.3	52.335	0.894	N.D.	0.02	0.738
測站 13	一號壩下游	晴	10月25日	1.6	53.021	0.570	N.D.	0.01	0.463

N.D.值：(1) PO₄³⁻ < 0.003 mg/L (資料來源：本研究資料)

表 4-12 102 年 06 月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 µmho/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO ₂ mg/L	NO ₃ -N mg/L
測站 2	桃山西溪	晴	6 月 11 日	7.82	128.2	7.67	0.26	5.24	0.04
測站 4	觀魚臺	晴	6 月 11 日	7.81	171.5	8.01	0.27	7.88	0.33
測站 5	繁殖場	晴	6 月 11 日	7.8	142	6.97	0.57	6.54	0.08
測站 8	高山溪	晴	6 月 11 日	7.71	144.9	7.09	0.58	8.77	0.08
測站 9	有勝溪	晴	6 月 11 日	8.17	280	6.82	1.69	5.32	0.99
測站 12	一號壩上游	晴	6 月 11 日	7.73	175.5	7.23	0.27	7.25	0.36
測站 13	一號壩下游	晴	6 月 11 日	7.82	171.2	7.32	0.33	7.31	0.33

站號	站名	氣候	採樣日期	NO ₂ -N µg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	PO ₄ ³⁻ mg/L	NH ₄ ⁺ -N mg/L	TOC mg/L
測站 2	桃山西溪	晴	6 月 11 日	2.70	21.0812	0.0912	0.01	N.D	0.954
測站 4	觀魚臺	晴	6 月 11 日	3.30	34.1079	0.5255	0.01	N.D	0.639
測站 5	繁殖場	晴	6 月 11 日	0.80	24.7076	0.1912	0.01	N.D	0.613
測站 8	高山溪	晴	6 月 11 日	0.40	23.5982	0.5455	0.01	0.01	0.599
測站 9	有勝溪	晴	6 月 11 日	5.10	39.7369	1.2596	0.02	0.02	1.233
測站 12	一號壩上游	晴	6 月 11 日	0.50	34.7080	0.7635	0.01	0.01	0.598
測站 13	一號壩下游	晴	6 月 11 日	1.20	35.1285	0.4539	0.01	0.01	0.574

* N.D.值：(1) NH₄⁺-N < 0.003 mg/L

(資料來源：本研究資料)

表 4-13 102 年 08 月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 µmho/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO ₂ mg/L	NO ₃ -N mg/L
測站 2	桃山西溪	晴	8 月 14 日	7.32	210	9.5	0.29	4.82	0.02
測站 4	觀魚臺	晴	8 月 14 日	7.46	206	9.34	0.31	5.71	0.25
測站 5	繁殖場	晴	8 月 14 日	7.52	176	9.48	0.45	3.93	0.12
測站 8	高山溪	晴	8 月 14 日	7.4	179.4	8.52	0.3	5.17	0.02
測站 9	有勝溪	晴	8 月 14 日	7.98	298	6.81	0.32	4.69	1.51
測站 12	一號壩上游	晴	8 月 14 日	7.66	210	9.78	0.38	5.54	0.26
測站 13	一號壩下游	晴	8 月 14 日	7.66	210	9.42	0.3	5.98	0.24

站號	站名	氣候	採樣日期	NO ₂ -N µg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	PO ₄ ³⁻ mg/L	NH ₄ ⁺ -N mg/L	TOC mg/L
測站 2	桃山西溪	晴	8 月 14 日	0.80	27.5208	19.7507	0.01	0.01	0.794
測站 4	觀魚臺	晴	8 月 14 日	0.70	41.2439	0.2073	0.02	0.01	0.724
測站 5	繁殖場	晴	8 月 14 日	1.30	33.1428	0.0895	N.D	0.01	0.816
測站 8	高山溪	晴	8 月 14 日	1.10	26.8220	4.1138	0.02	0.01	0.605
測站 9	有勝溪	晴	8 月 14 日	13.80	44.4311	7.2158	0.02	0.05	1.187
測站 12	一號壩上游	晴	8 月 14 日	1.20	42.6831	0.2029	0.01	N.D	0.647
測站 13	一號壩下游	晴	8 月 14 日	5.40	43.2518	0.2765	0.02	0.03	0.711

* N.D.值：(1) NH₄⁺-N < 0.003 mg/L (2) PO₄³⁻ < 0.003 mg/L
(資料來源：本研究資料)

表 4-14 102 年 10 月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 µmho/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO ₂ mg/L	NO ₃ -N mg/L
測站 2	桃山西溪	晴	10月01日	7.12	210	8.44	0.17	4.82	0.07
測站 4	觀魚臺	晴	10月01日	7.68	206	7.88	0.37	5.71	0.33
測站 5	繁殖場	晴	10月01日	7.7	176	7.53	0.42	3.93	0.18
測站 8	高山溪	晴	10月01日	7.59	179.4	7.94	0.35	5.17	0.10
測站 9	有勝溪	晴	10月01日	7.78	298	6.87	0.82	4.69	1.07
測站 12	一號壩上游	晴	10月01日	7.62	177	7.42	0.32	7.79	0.30
測站 13	一號壩下游	晴	10月01日	7.69	178.5	7.63	0.46	9.02	0.28

站號	站名	氣候	採樣日期	NO ₂ -N µg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	PO ₄ ³⁻ mg/L	NH ₄ ⁺ -N mg/L	TOC mg/L
測站 2	桃山西溪	晴	10月01日	1.10	19.9039	0.0515	0.01	0.02	0.473
測站 4	觀魚臺	晴	10月01日	0.20	35.1369	0.1238	0.02	N.D	0.466
測站 5	繁殖場	晴	10月01日	0.30	28.2722	1.4401	0.02	0.07	0.452
測站 8	高山溪	晴	10月01日	0.50	22.8522	0.0569	0.01	N.D	0.472
測站 9	有勝溪	晴	10月01日	1.50	29.4054	5.2401	0.03	N.D	0.815
測站 12	一號壩上游	晴	10月01日	0.60	36.3728	0.1366	0.01	N.D	0.427
測站 13	一號壩下游	晴	10月01日	0.50	36.6212	0.1379	0.01	N.D	0.414

* N.D.值：(1) NH₄⁺-N < 0.003 mg/L

(資料來源：本研究資料)

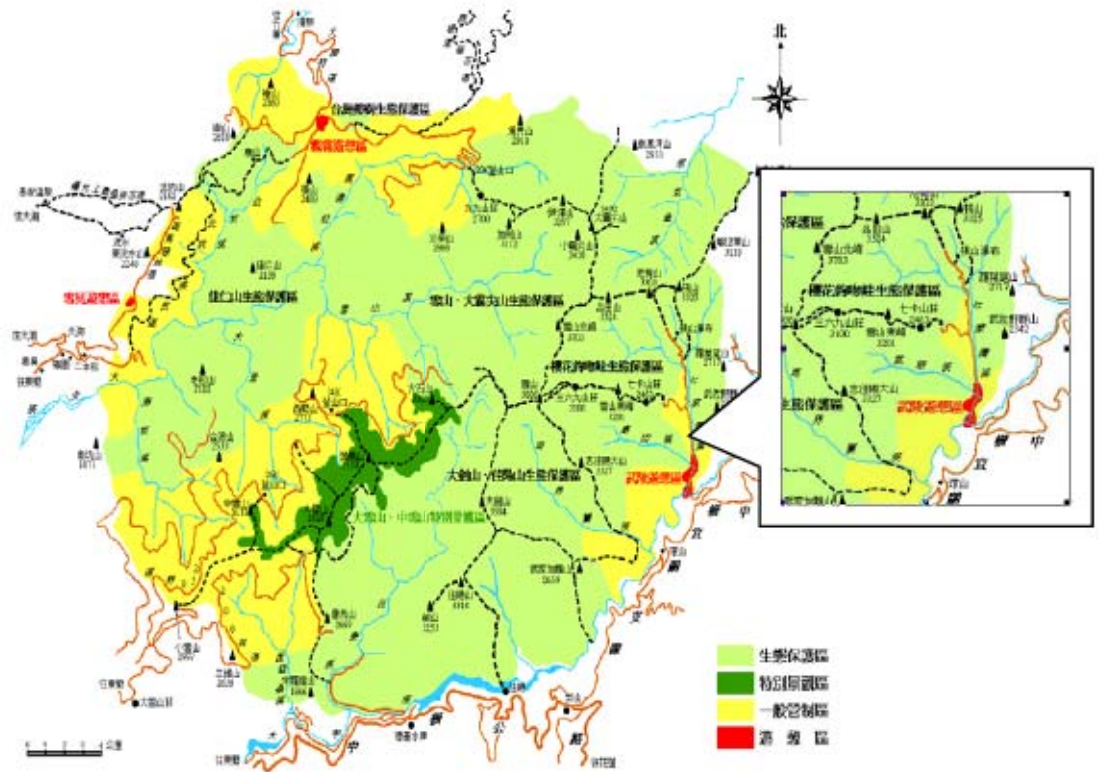


圖4-1 雪霸國家公園

(資料來源：本研究資料)

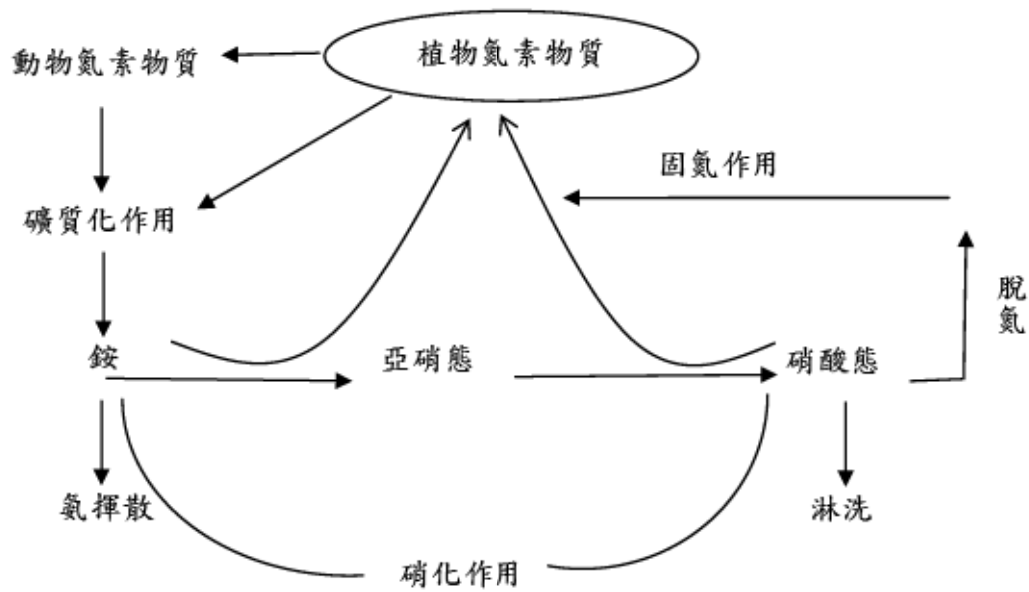


圖 4-2 氮素循環過程

(資料來源：本研究資料)

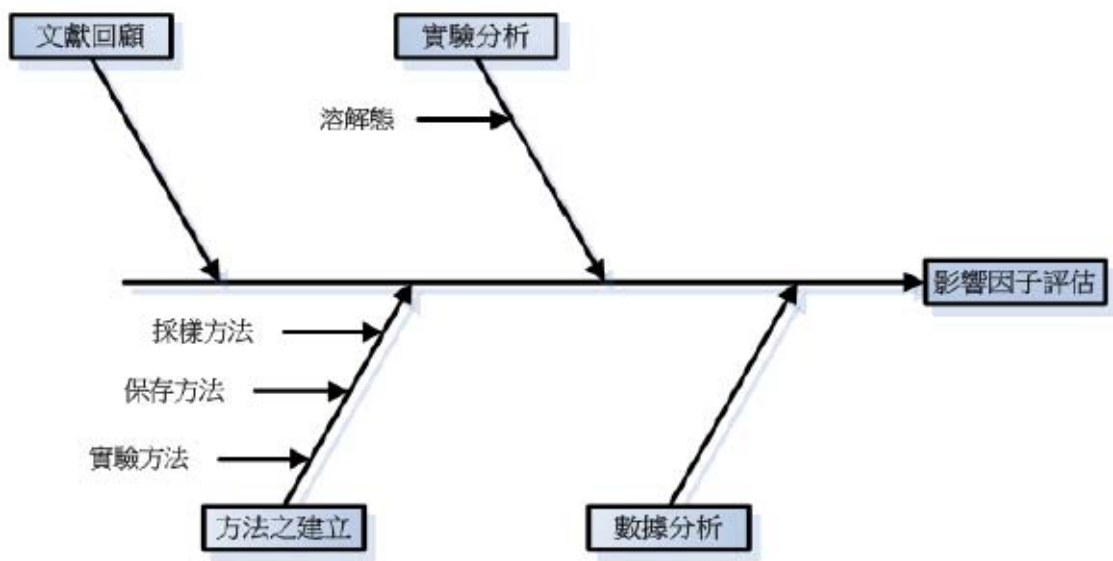


圖4-3 流程圖

(資料來源：本研究資料)

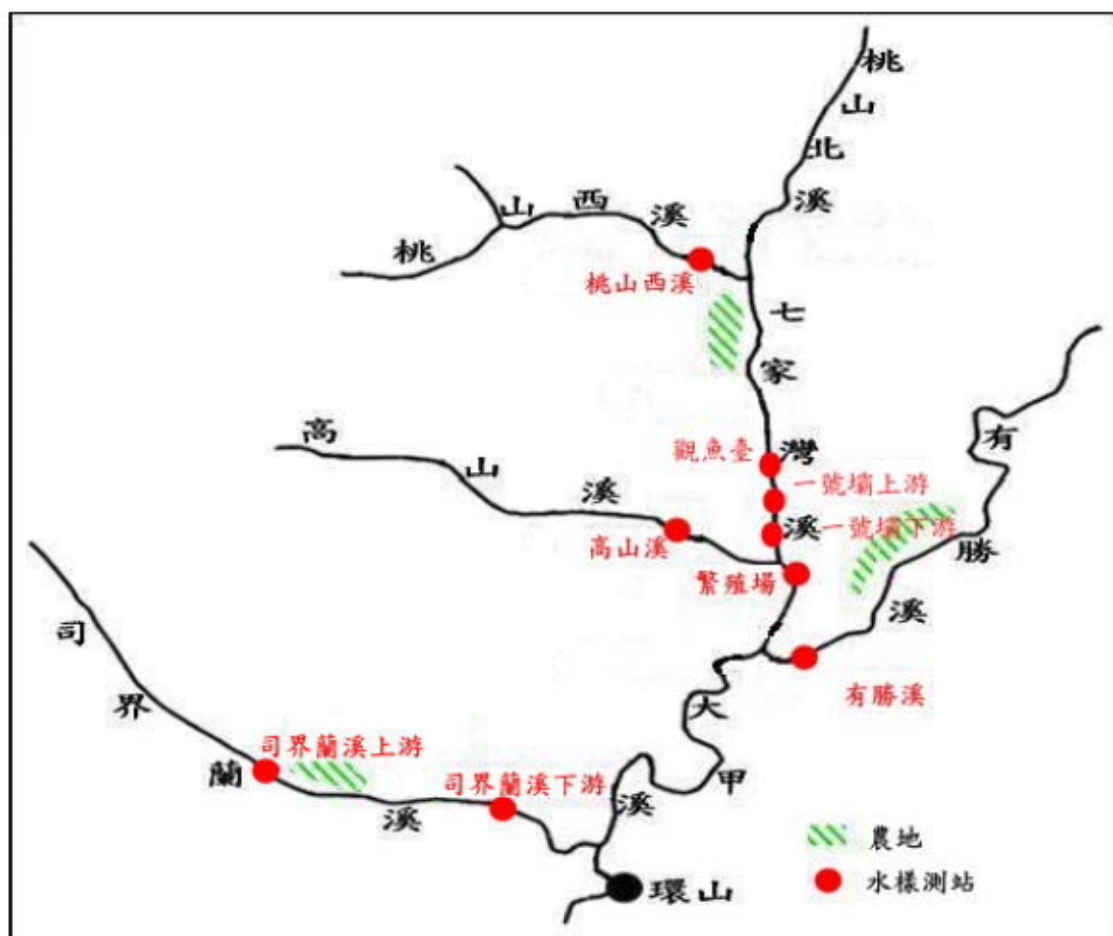


圖 4-4 採樣地點位置圖

(資料來源：本研究資料)

pH值

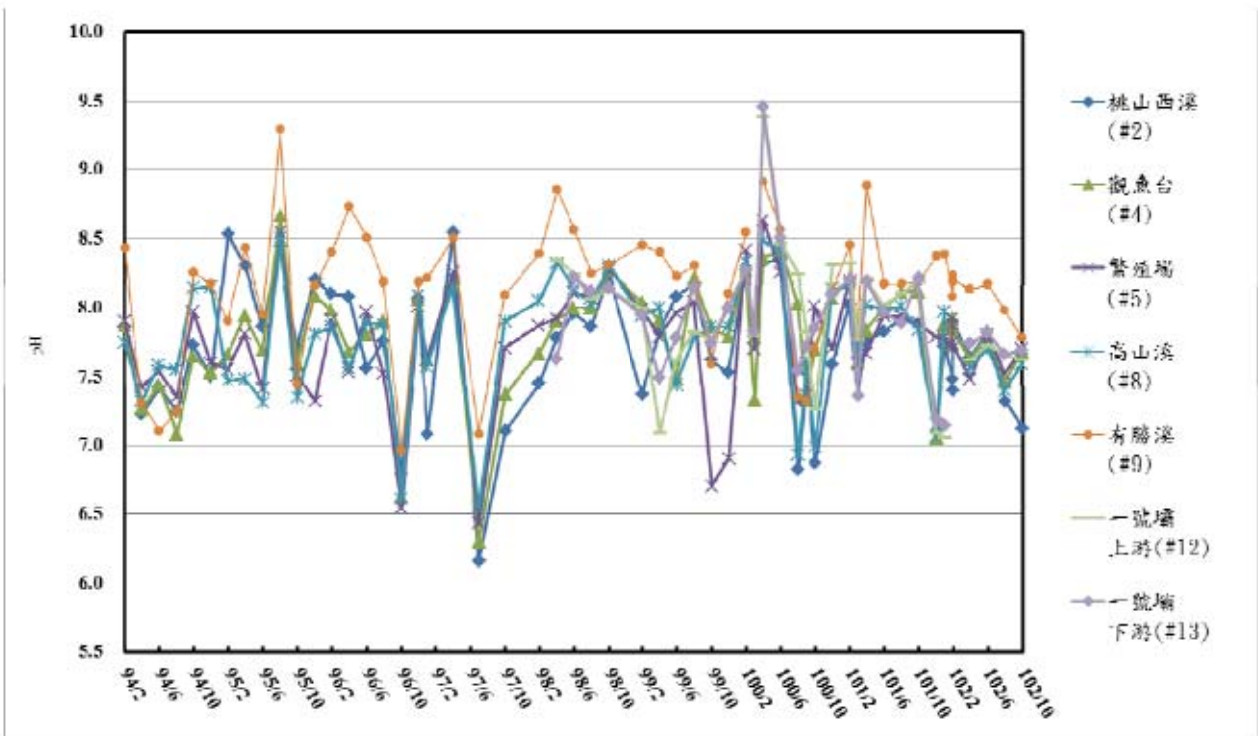


圖4-5 武陵地區溪流pH值變化

(資料來源：本研究資料)

導電度(單位：μmho/cm)

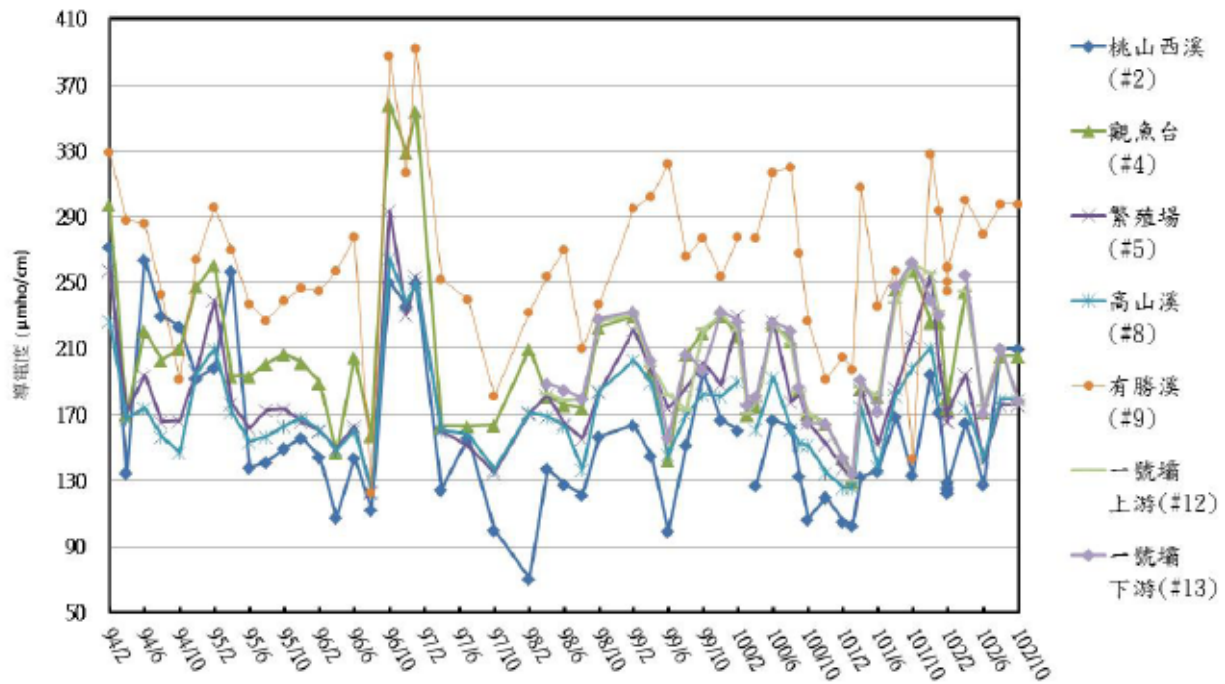


圖4-6 武陵地區溪流導電度值變化

(資料來源：本研究資料)

溫度(單位：°C)

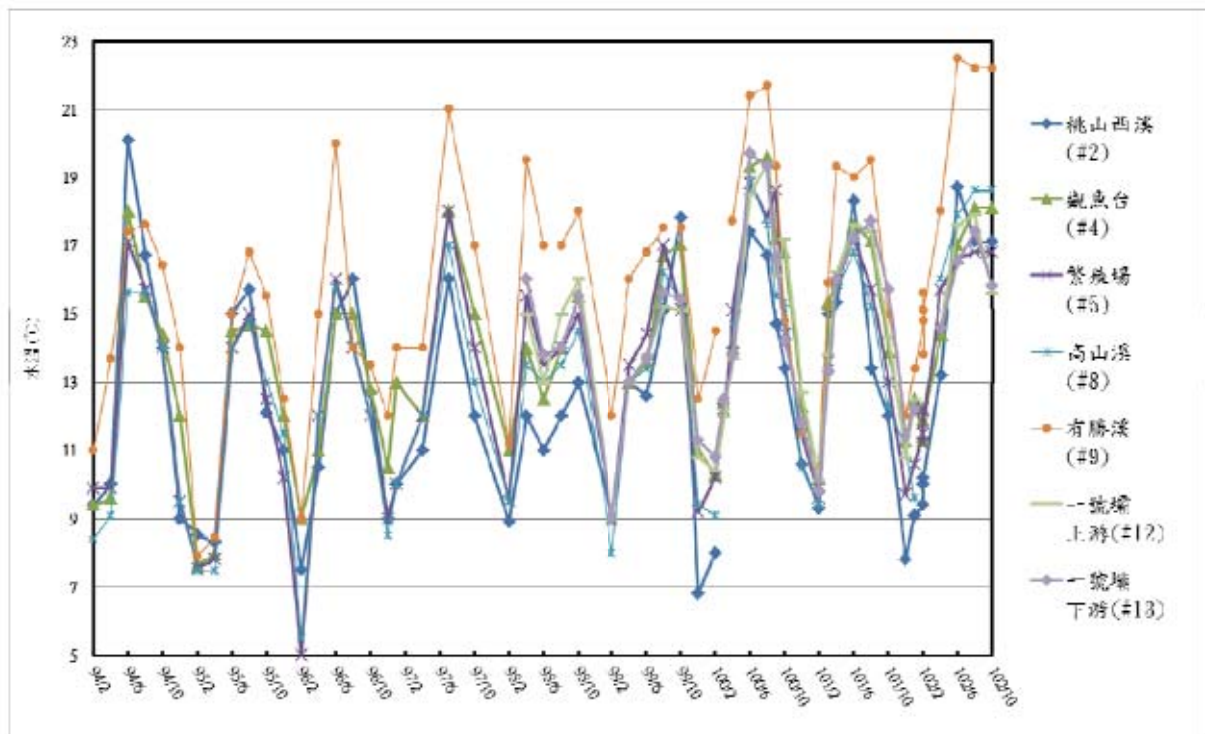


圖4-7 武陵地區溪流溫度值變化

(資料來源：本研究資料)

溶氧(單位：mg/L)

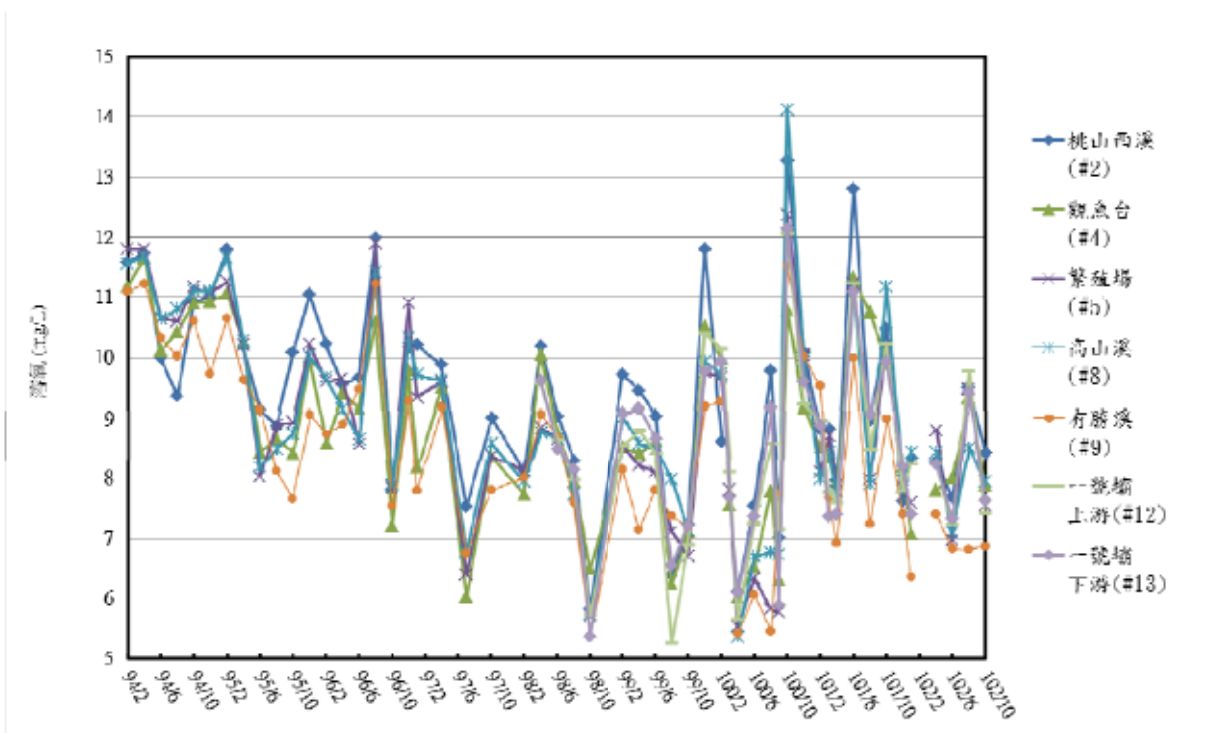


圖4-8 武陵地區溪流溶氧值變化

(資料來源：本研究資料)

濁度(單位：NTU)

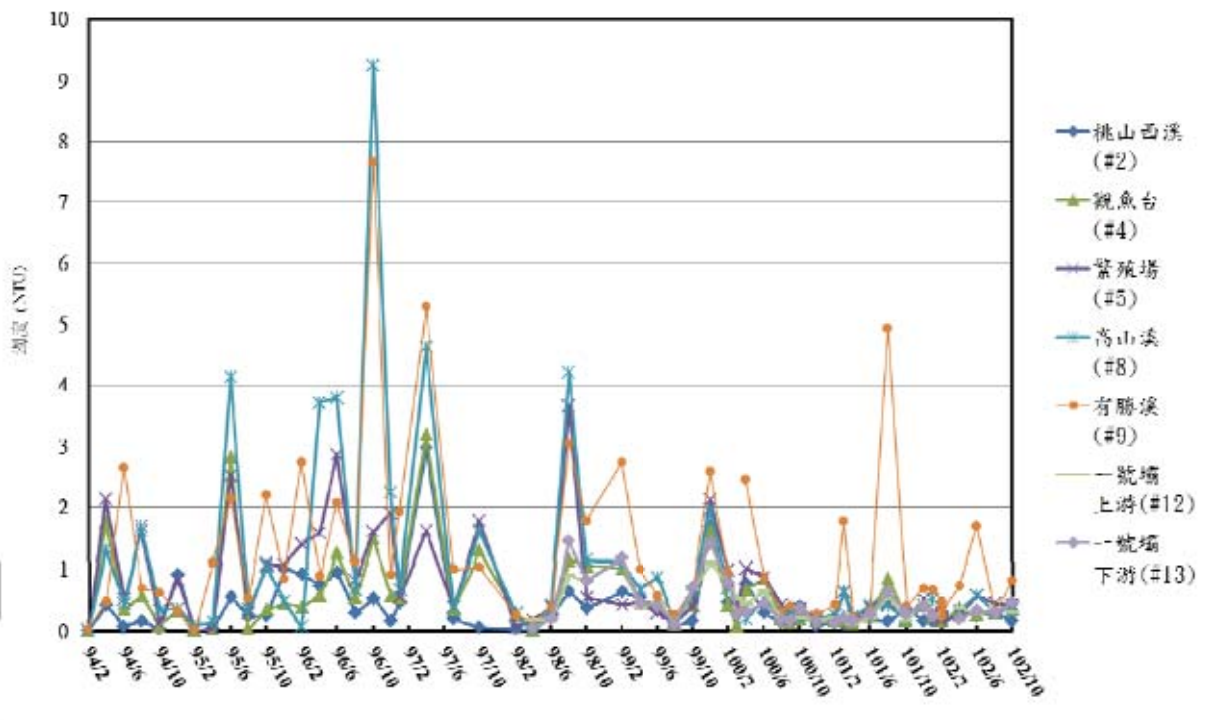


圖4-9 武陵地區溪流濁度值變化
(資料來源：本研究資料)

SiO₂(單位：mg/L)

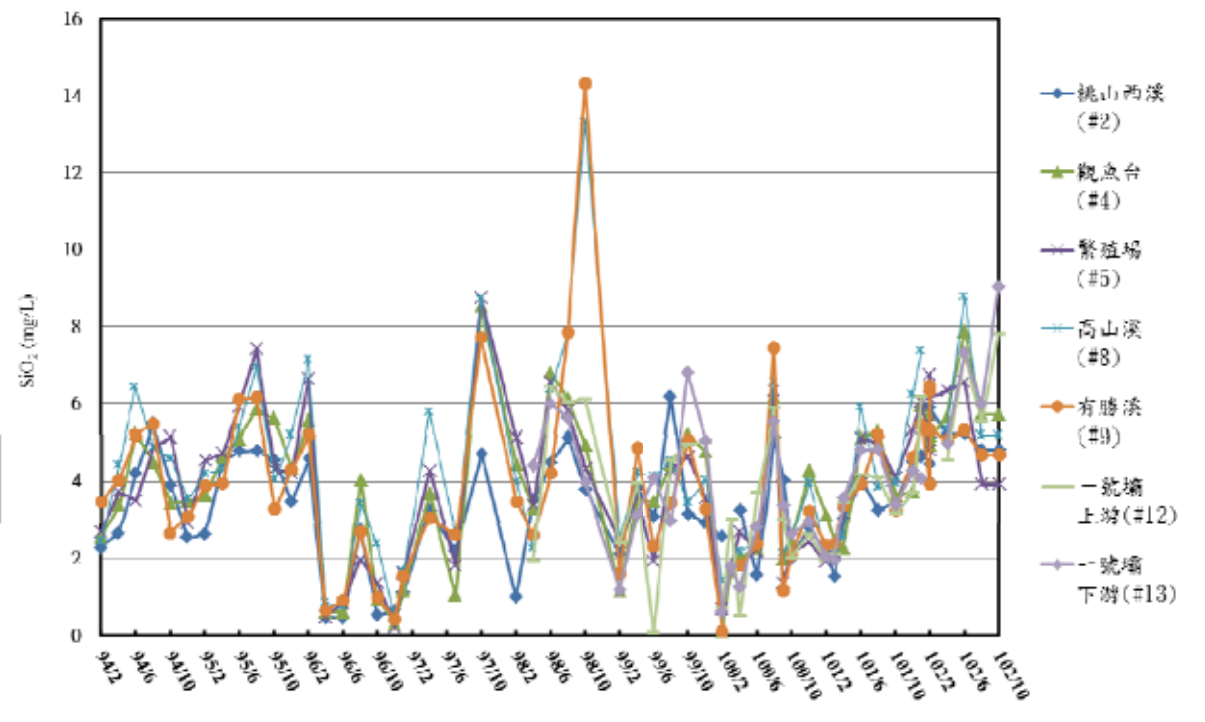


圖4-10 武陵地區溪流SiO₂值變化
(資料來源：本研究資料)

NO₃⁻-N (單位：mg N/L)

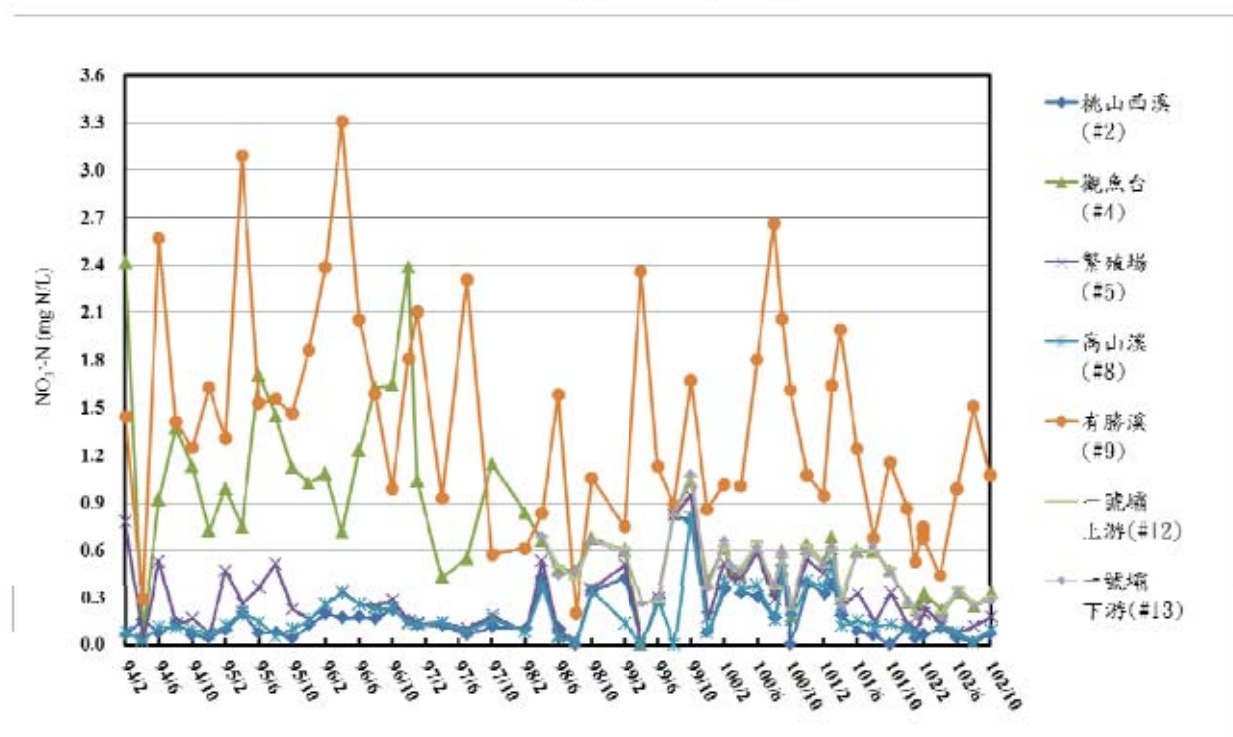


圖4-11 武陵地區溪流NO₃⁻-N值變化

(資料來源：本研究資料)

NO₂⁻-N(單位：μg N/L)

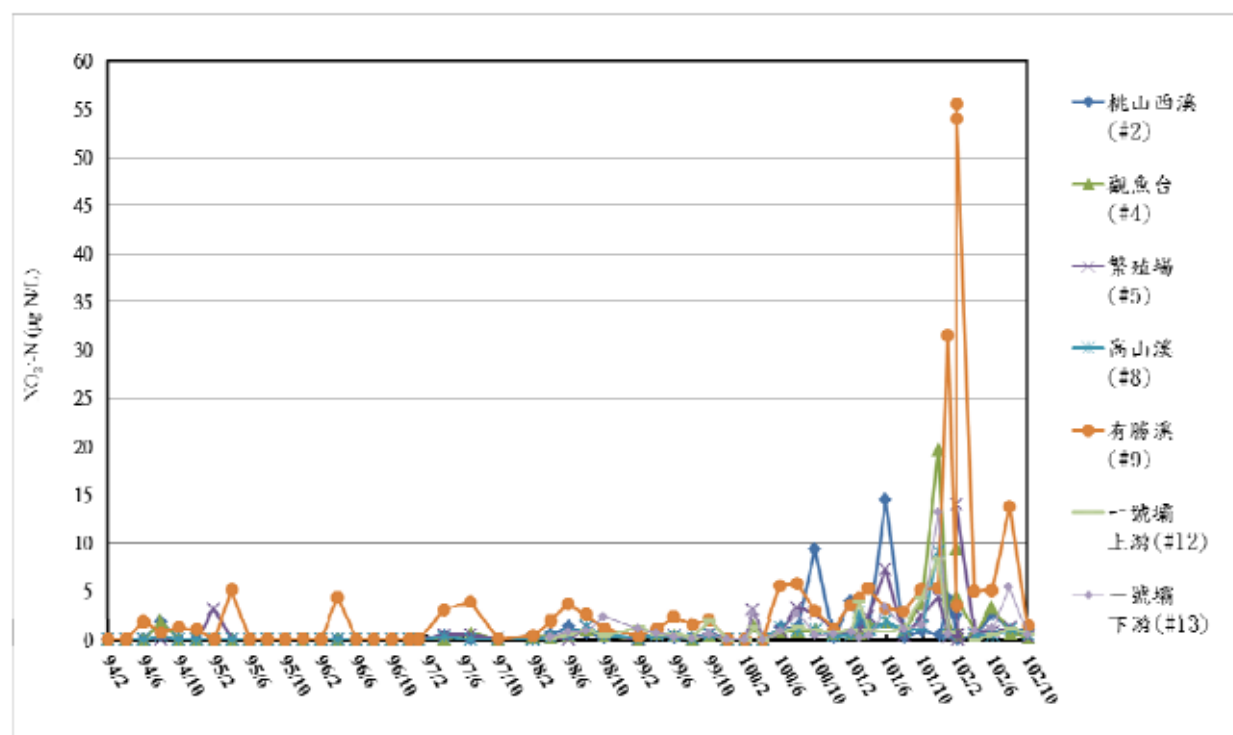


圖4-12 武陵地區溪流NO₂⁻-N值變化

(資料來源：本研究資料)

SO₄²⁻ (單位：mg/L)

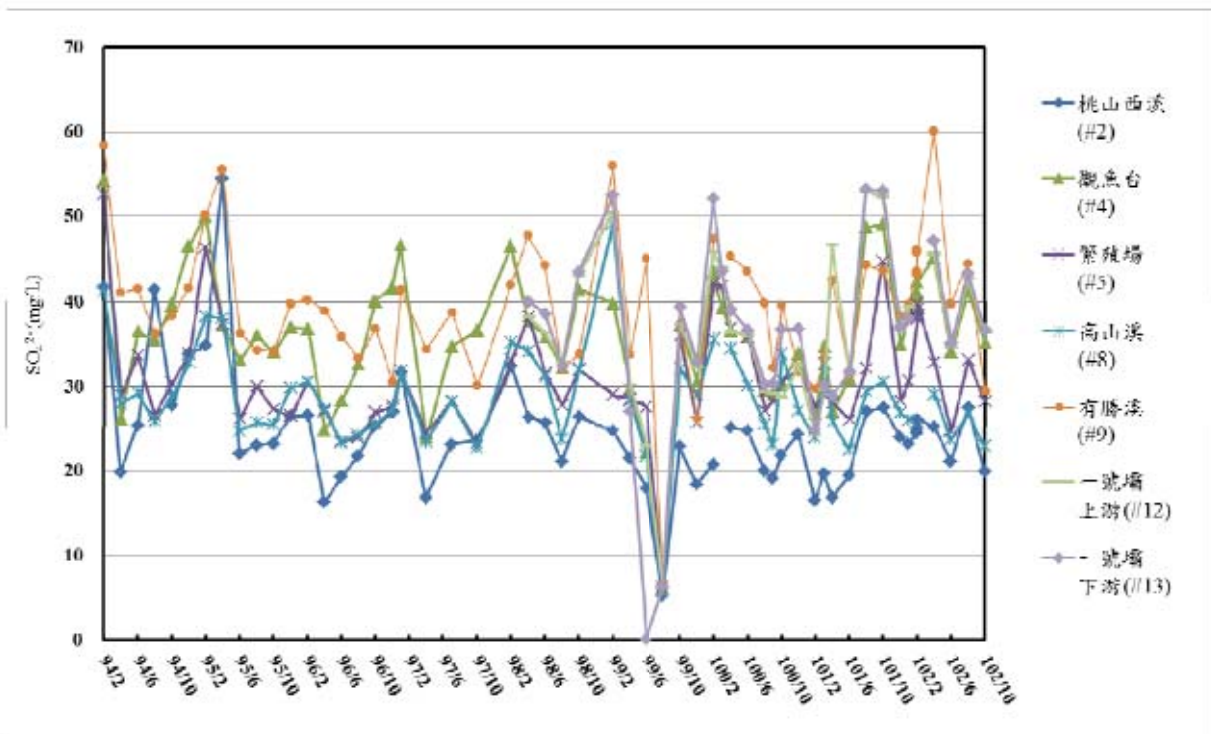


圖4-13 武陵地區溪流SO₄²⁻值變化
(資料來源：本研究資料)

Cl⁻ (單位：mg/L)

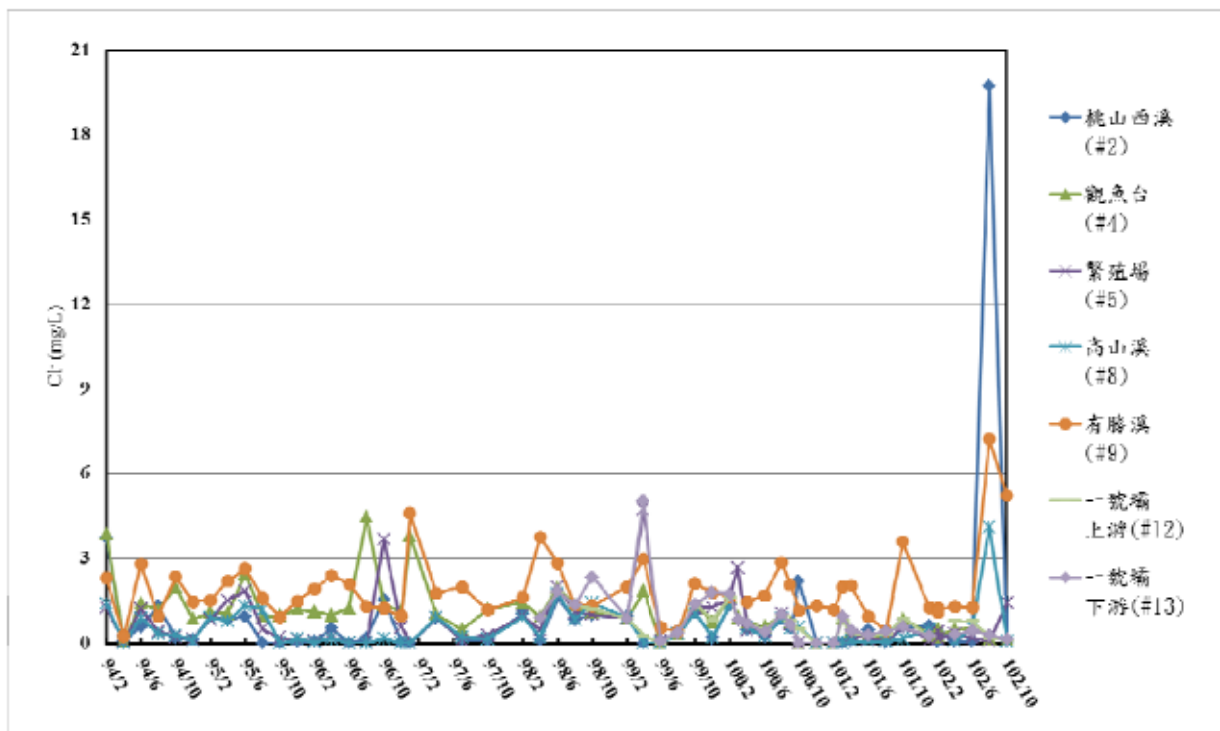


圖4-14 武陵地區溪流Cl⁻值變化
(資料來源：本研究資料)

PO_4^{3-} (單位：mg/L)

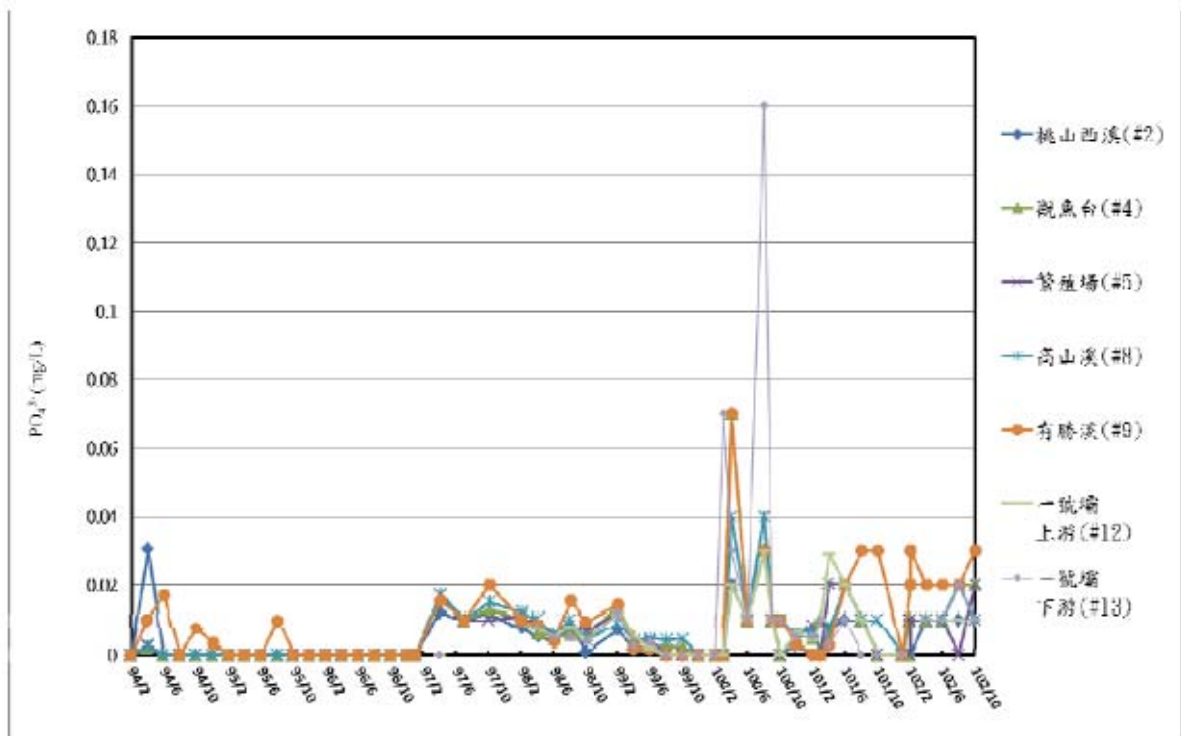


圖4-15 武陵地區溪流 PO_4^{3-} 值變化

(資料來源：本研究資料)

NH_4^+-N (單位：mg N/L)

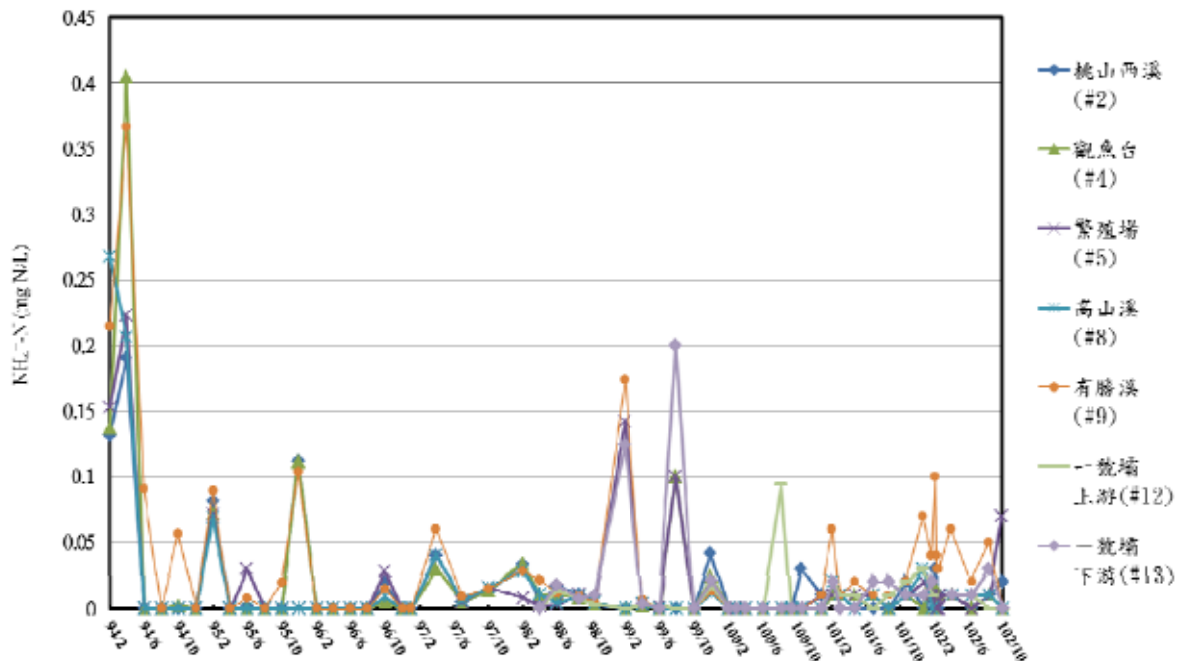


圖4-16 武陵地區溪流 NH_4^+-N 值變化

(資料來源：本研究資料)

TOC(單位：mg/L)

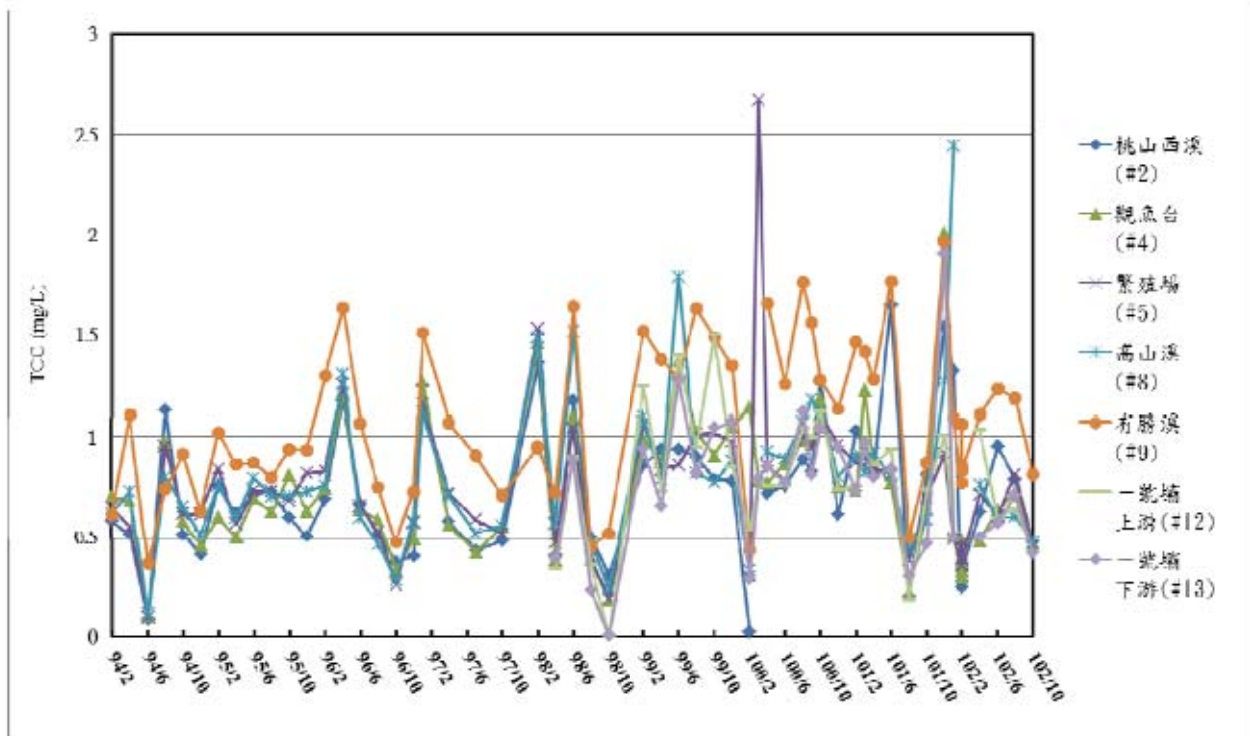


圖4-17 武陵地區溪流TOC值變化
(資料來源：本研究資料)

pH值

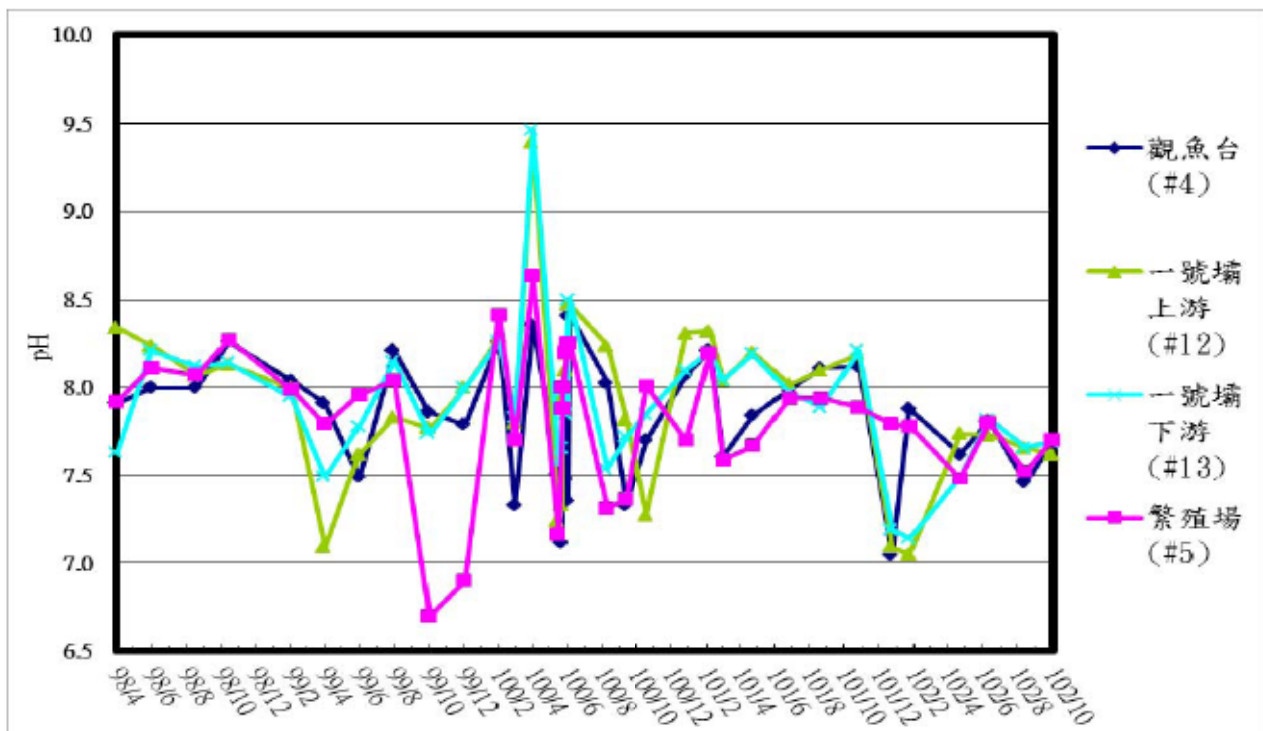


圖4-18 一號壩壩體改善pH值變化
(資料來源：本研究資料)

導電度(單位：μmho/cm)

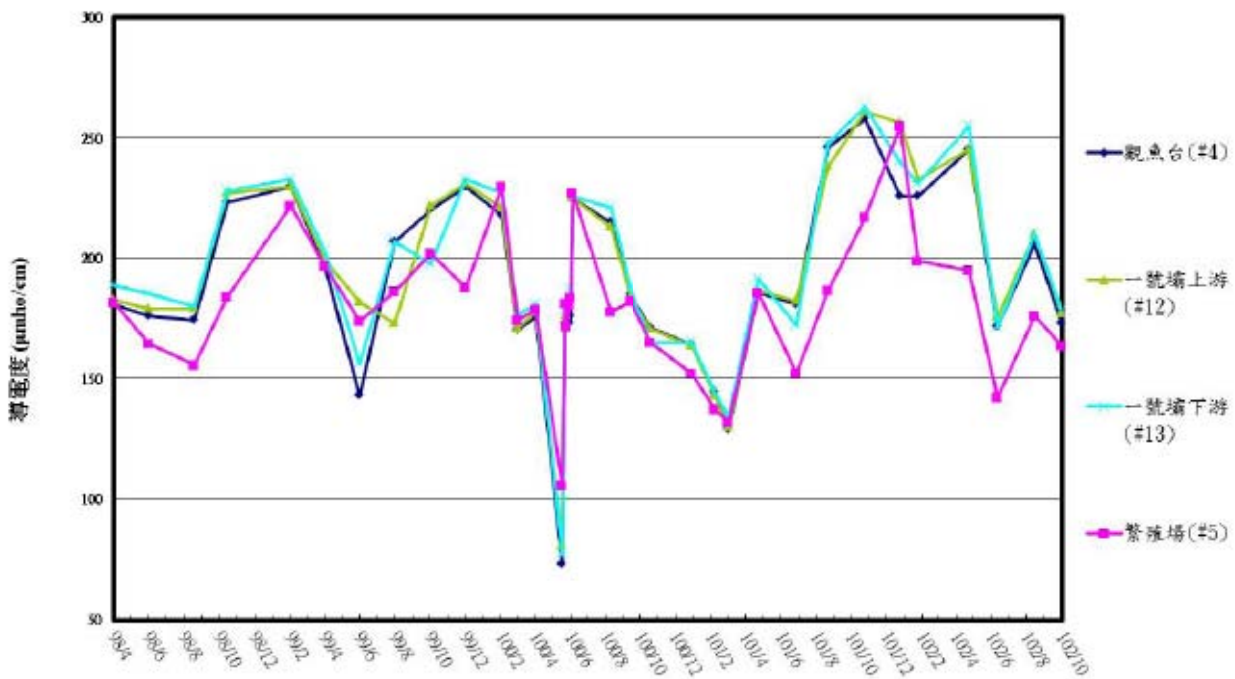


圖4-19 一號壩壩體改善導電度值變化

(資料來源：本研究資料)

溫度(單位：°C)

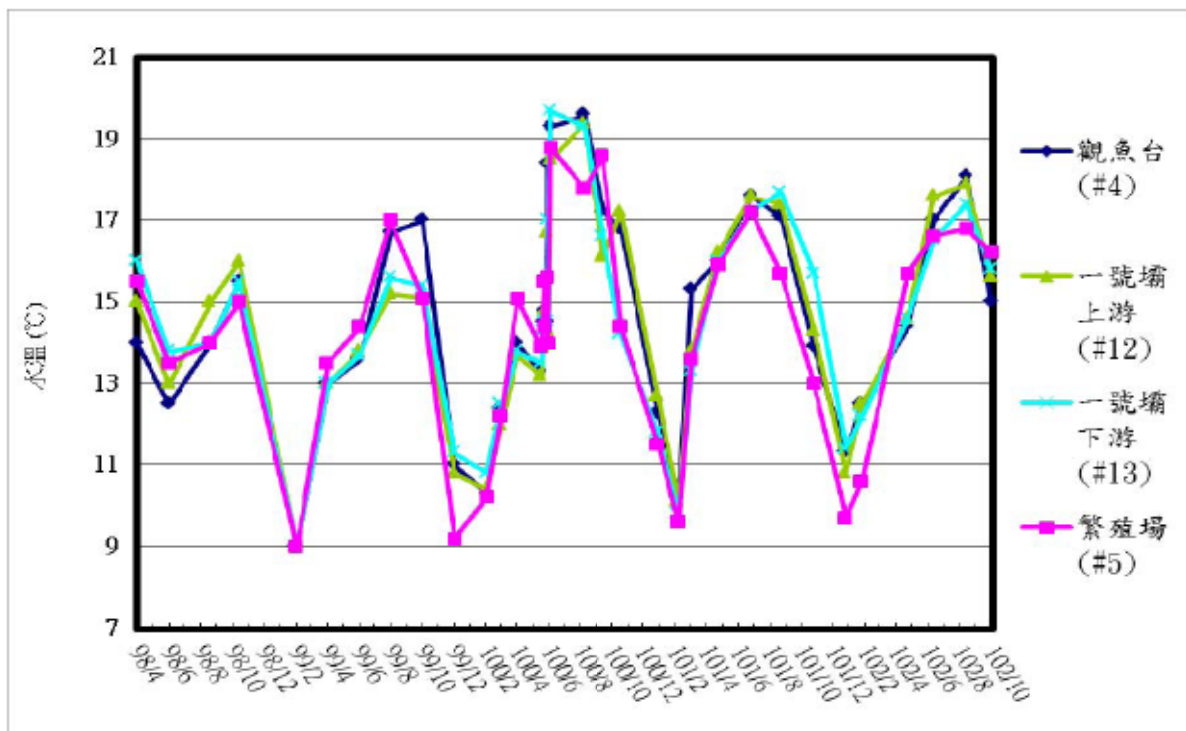


圖4-20 一號壩壩體改善溫度值變化

(資料來源：本研究資料)

溶氧(單位：mg/L)

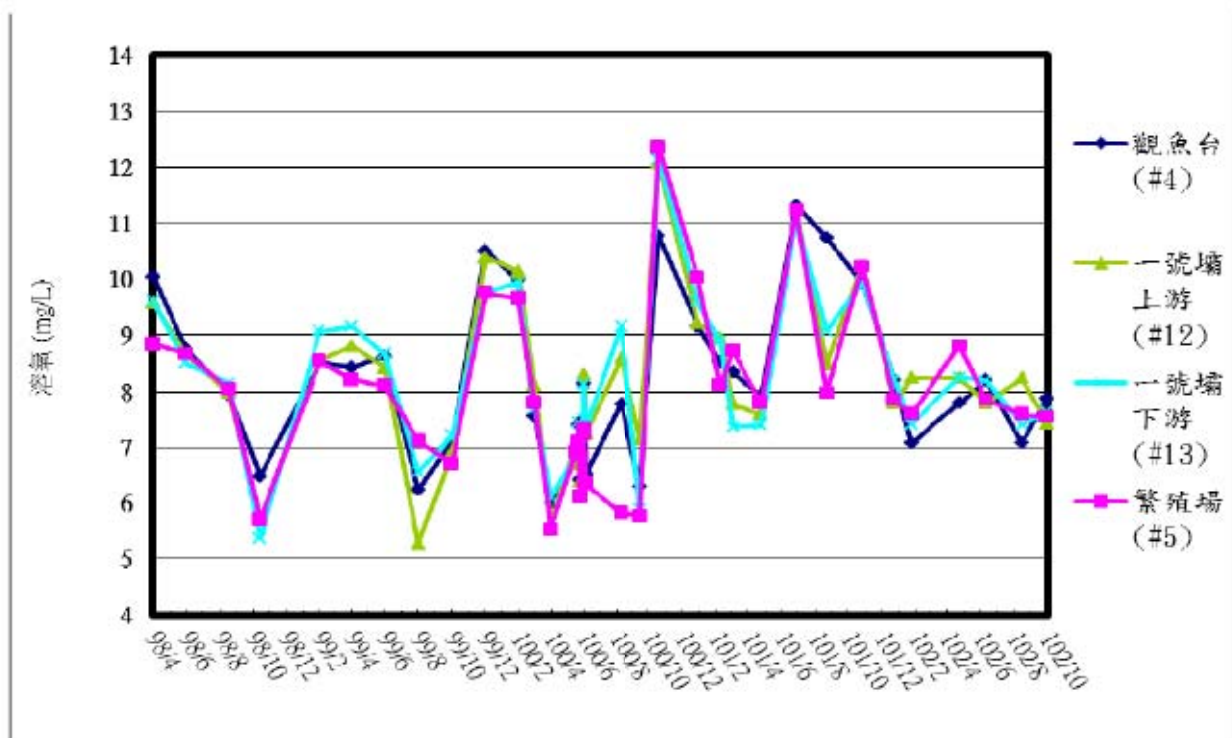


圖4-21 一號壩壩體改善溶氧值變化
(資料來源：本研究資料)

濁度(單位：NTU)

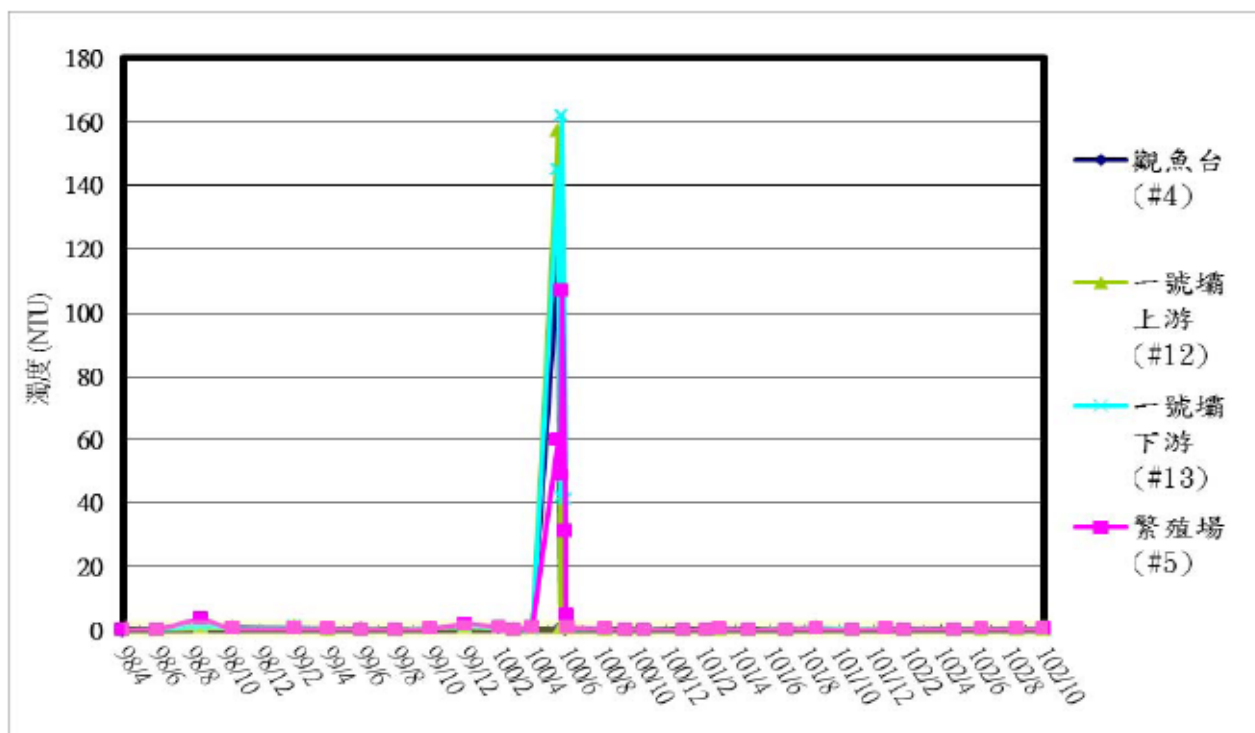


圖4-22 一號壩壩體改善濁度值變化
(資料來源：本研究資料)

SiO₂(單位：mg/L)

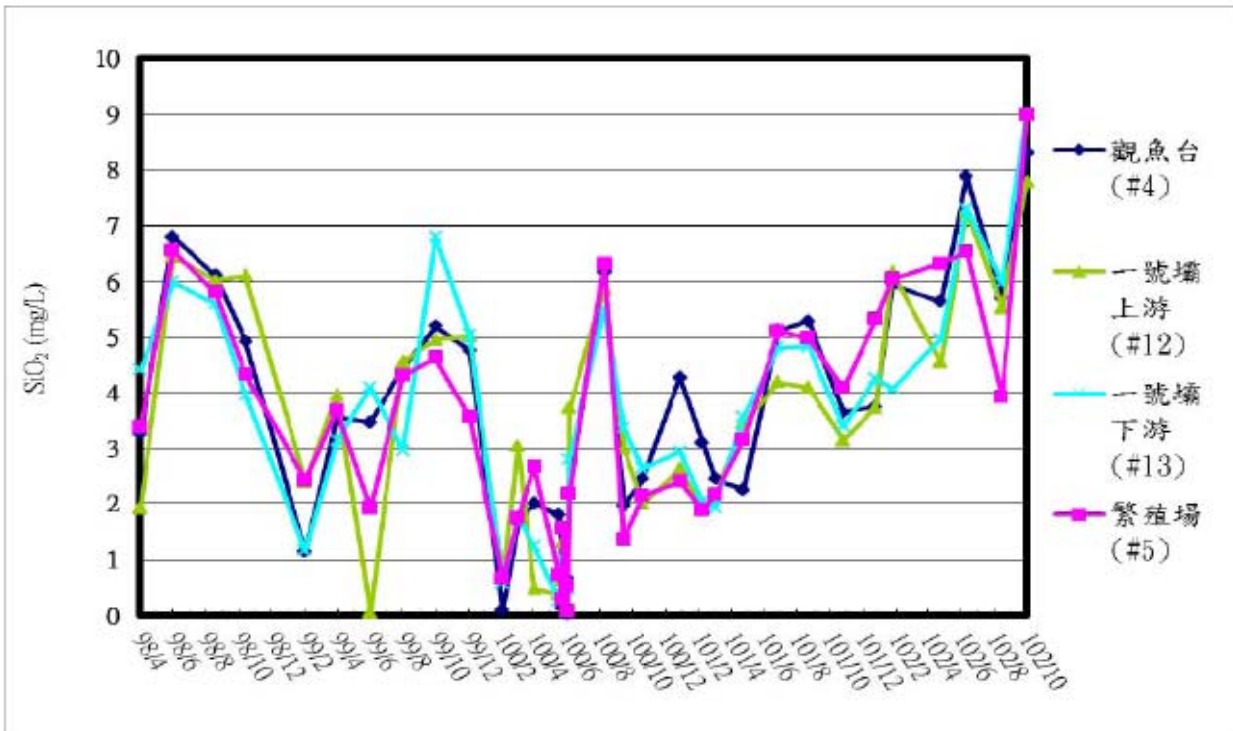


圖4-23 一號壩壩體改善SiO₂值變化
(資料來源：本研究資料)

NO₃⁻-N(單位：mg N/L)

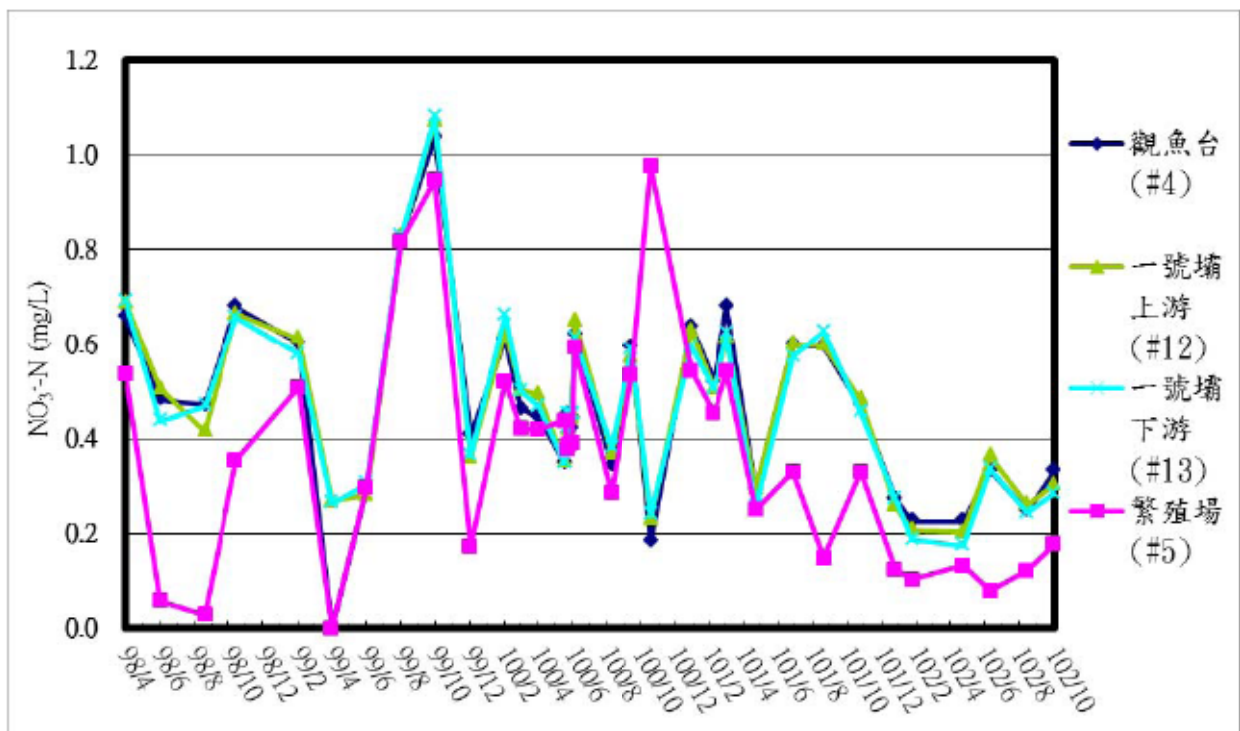


圖4-24 一號壩壩體改善NO₃⁻-N值變化
(資料來源：本研究資料)

NO₂⁻-N(單位：μg N/L)

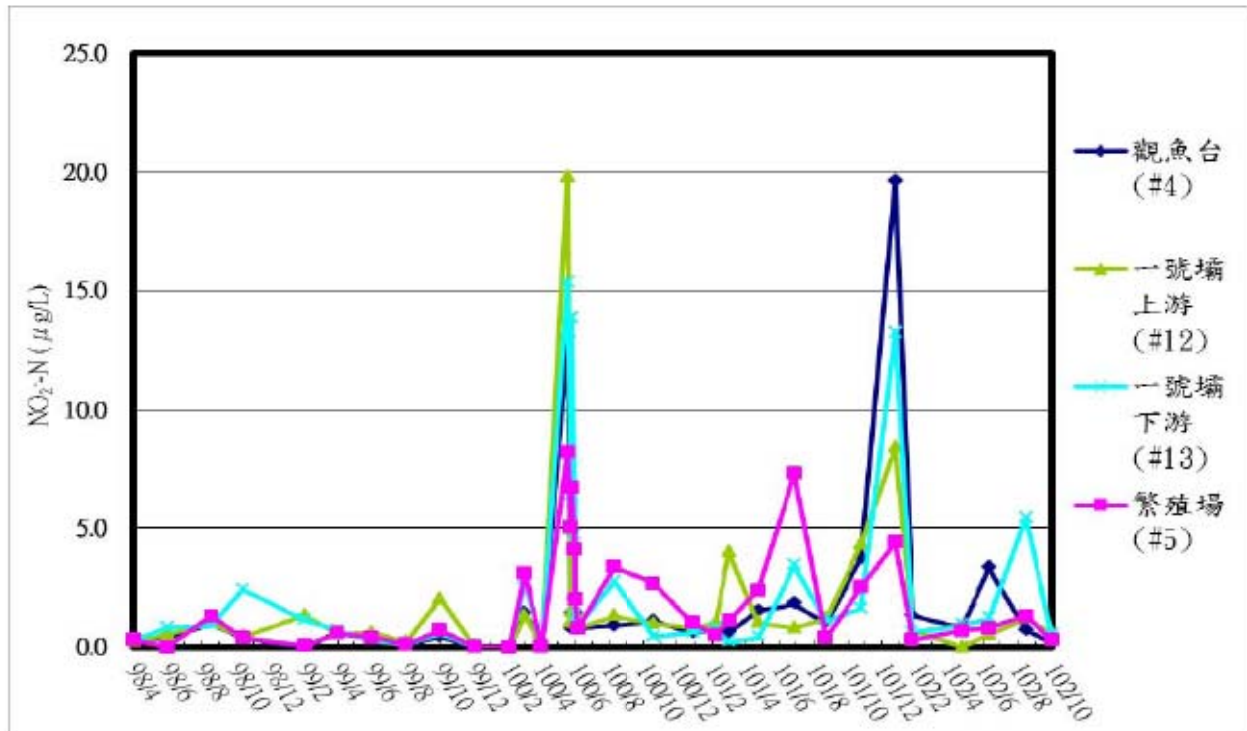


圖4-25 一號壩壩體改善NO₂⁻-N值變化

(資料來源：本研究資料)

SO₄²⁻(單位：mg/L)

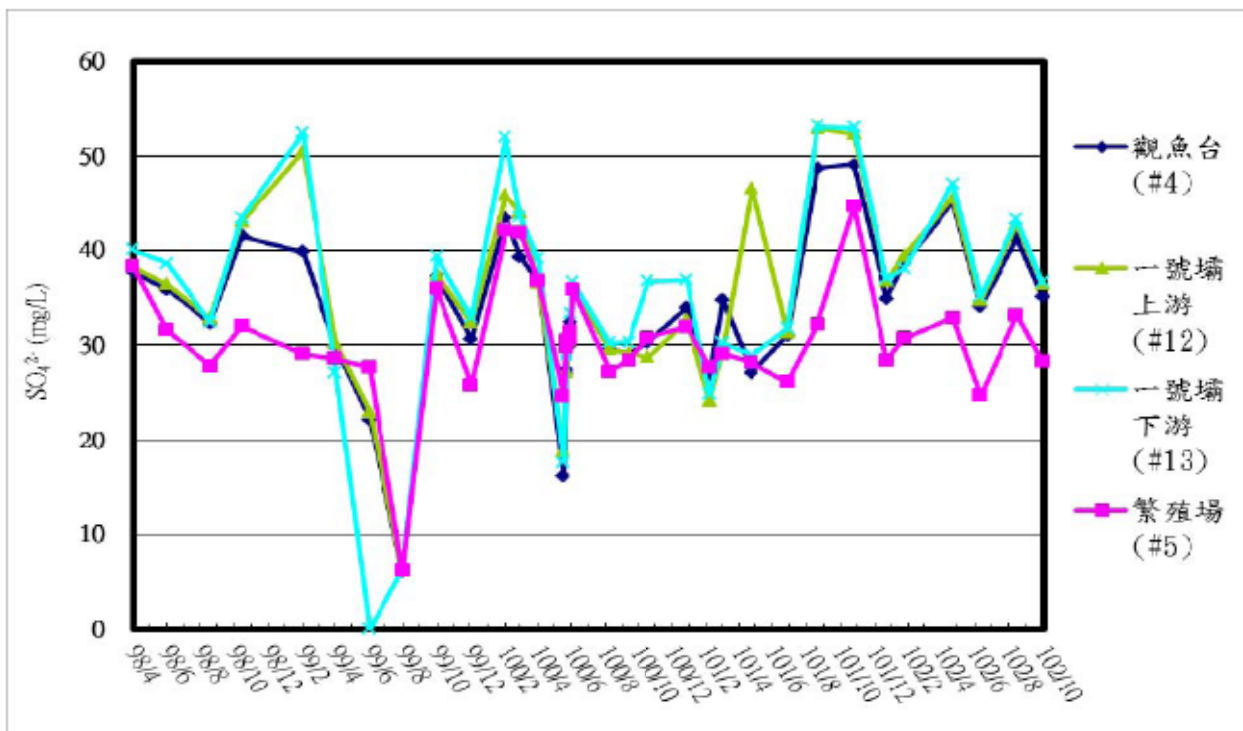


圖4-26 一號壩壩體改善SO₄²⁻值變化

(資料來源：本研究資料)

Cl⁻(單位：mg/L)

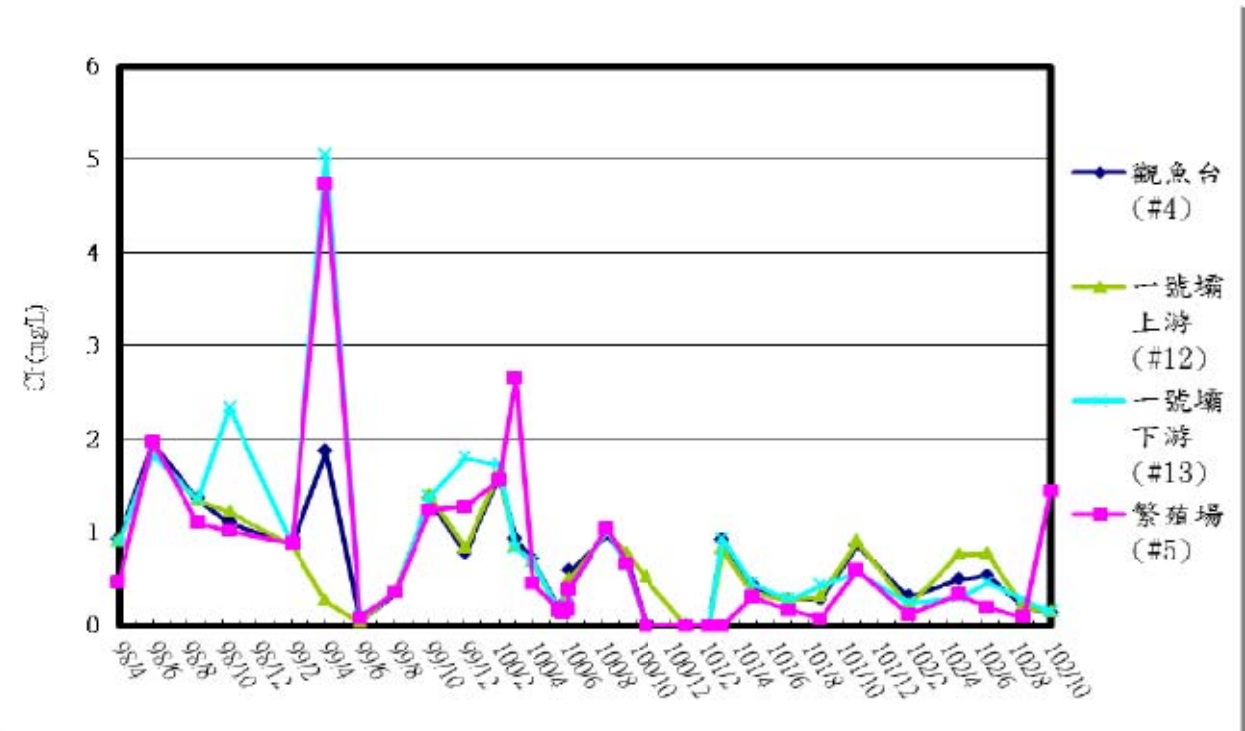


圖4-27 一號壩壩體改善Cl⁻值變化
(資料來源：本研究資料)

PO₄³⁻(單位：mg/L)

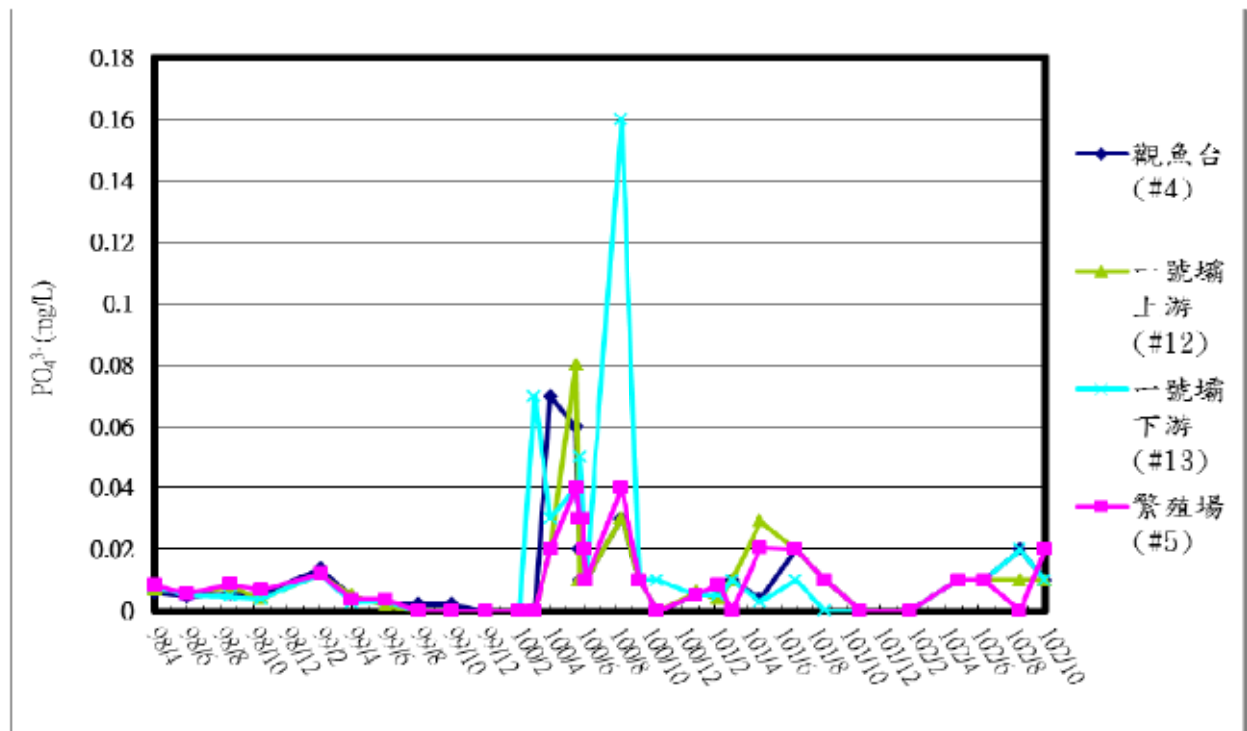


圖4-28 一號壩壩體改善PO₄³⁻值變化
(資料來源：本研究資料)

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ (單位：mg N/L)

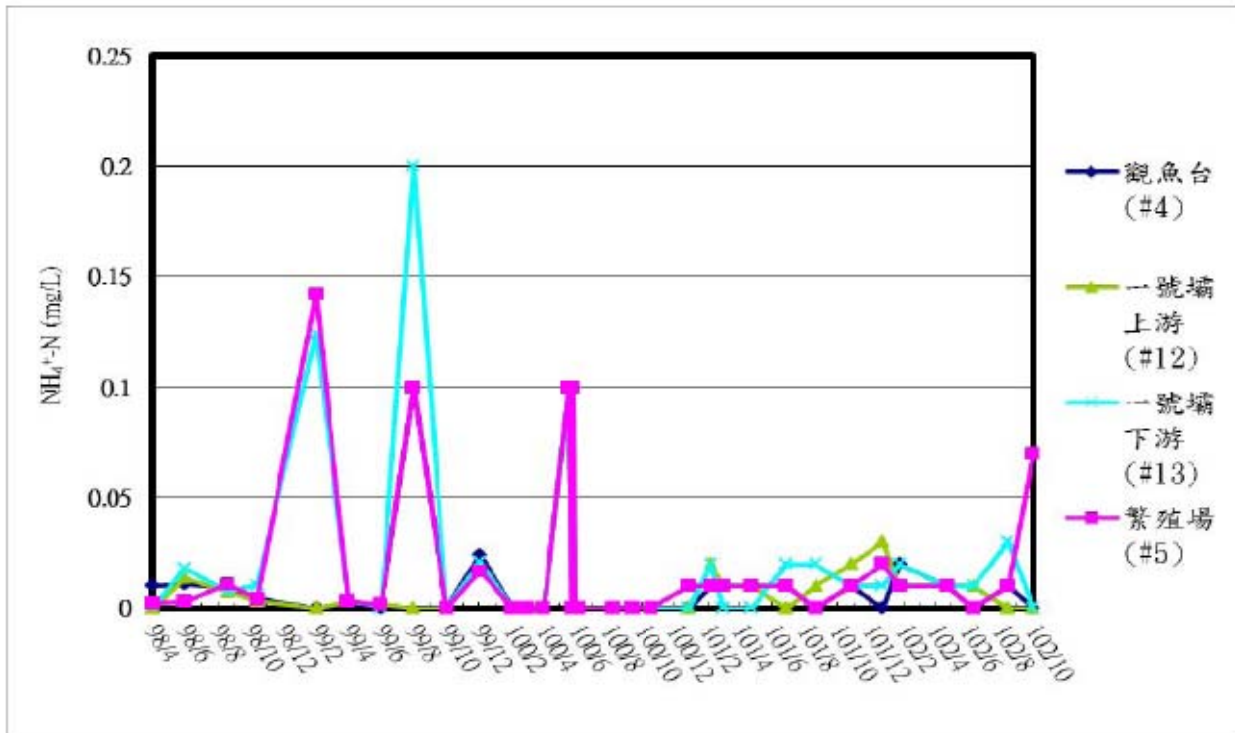


圖4-29 一號壩壩體改善 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 值變化
(資料來源：本研究資料)

TOC(單位：mg/L)

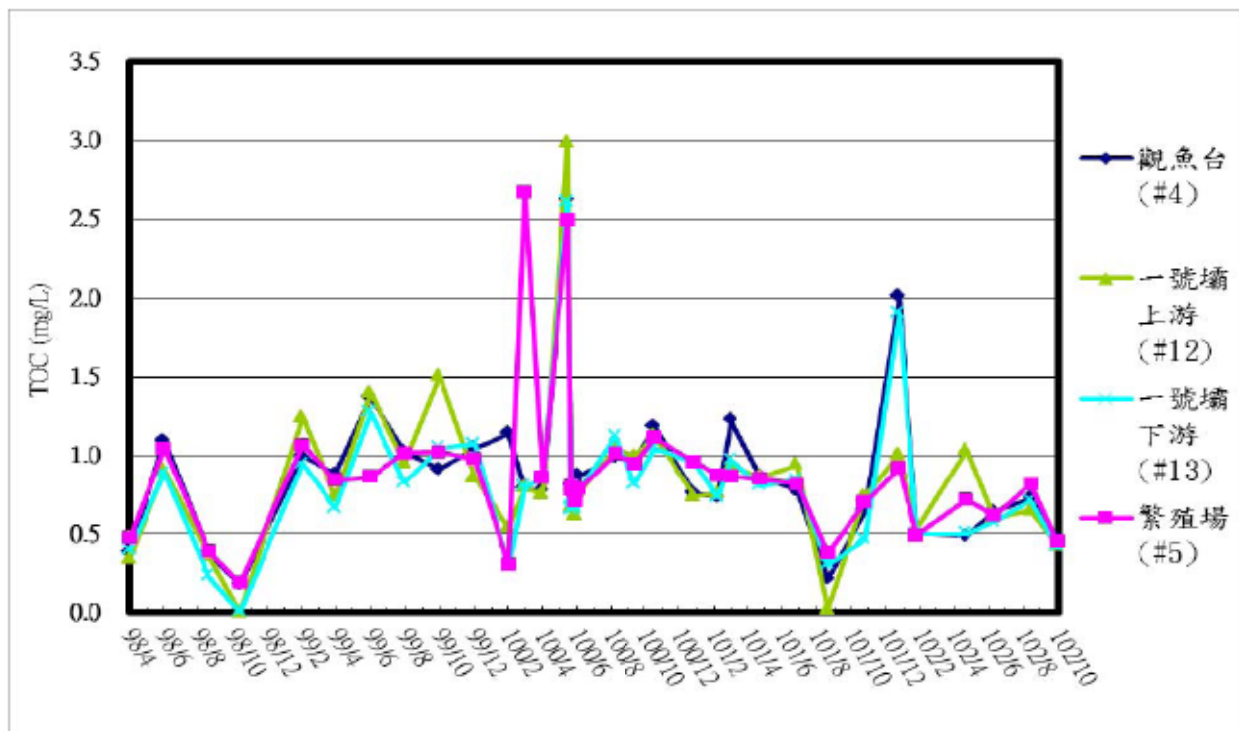


圖4-30 一號壩壩體改善TOC值變化
(資料來源：本研究資料)

pH值

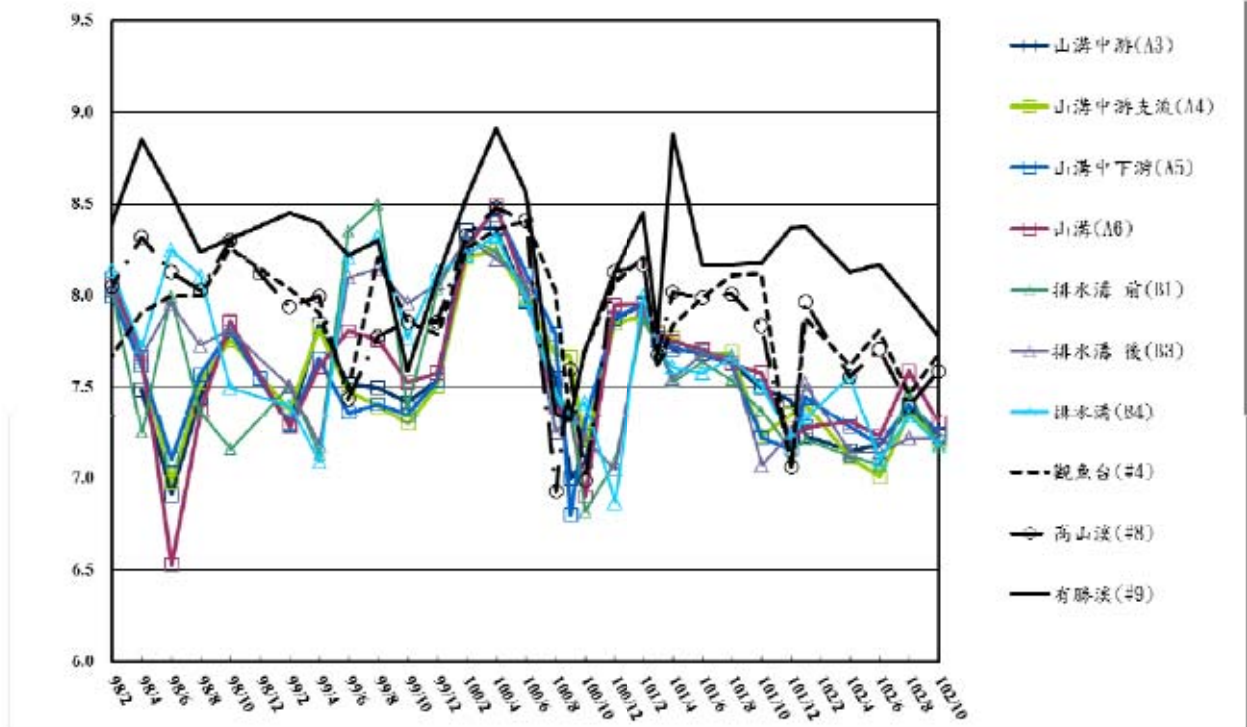


圖4-31 山溝與七家灣溪測站之pH值比較

(資料來源：本研究資料)

導電度(單位：μmho/cm)

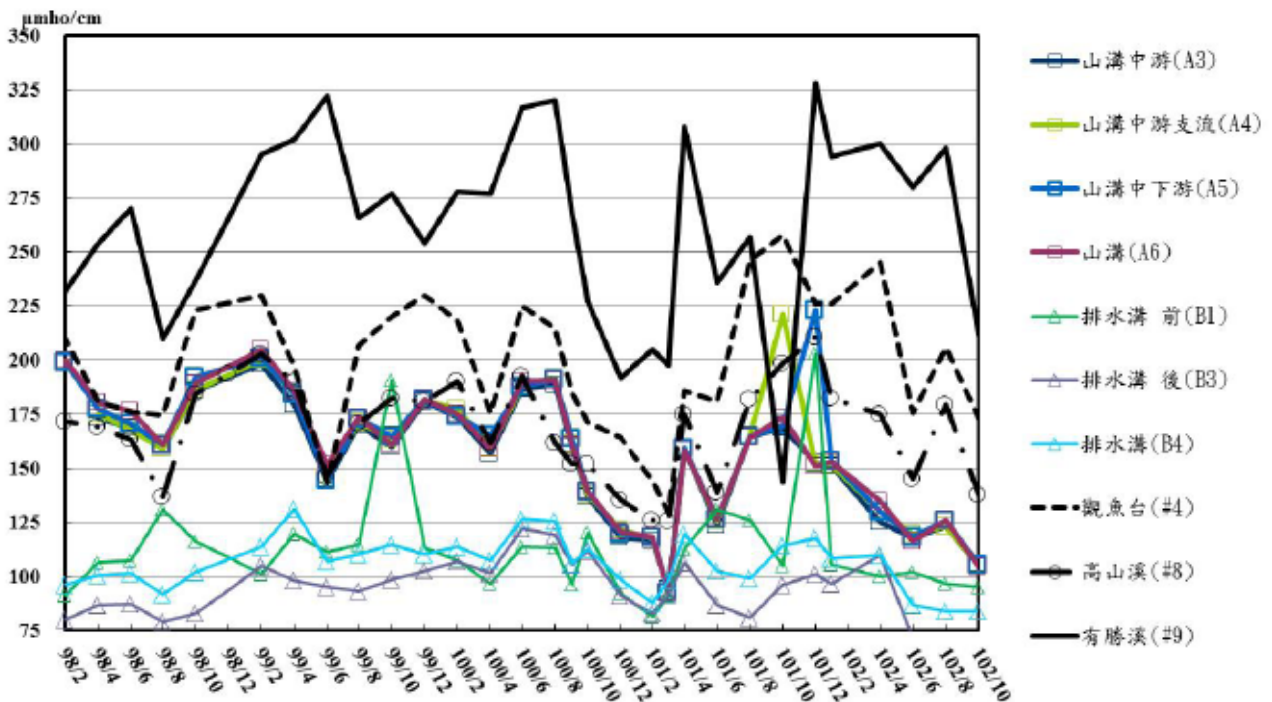


圖4-32 山溝與七家灣溪測站之導電度值比較

(資料來源：本研究資料)

溫度(單位：°C)

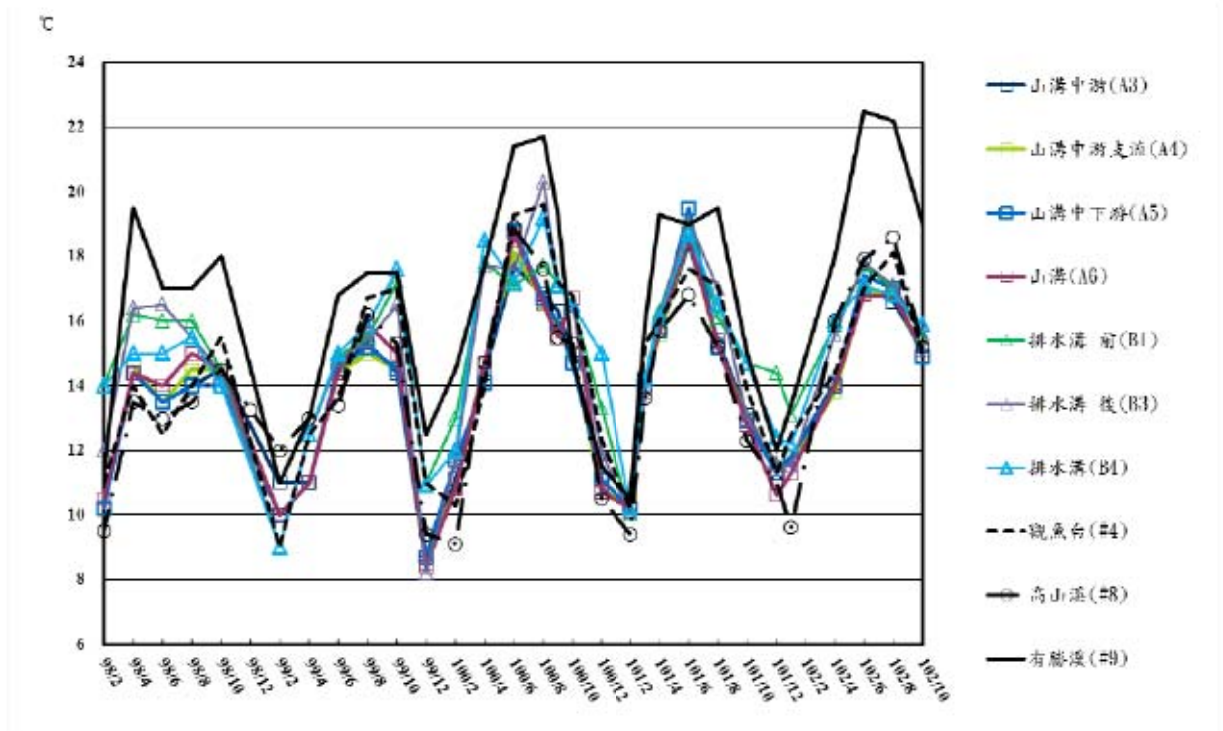


圖4-33 山溝與七家灣溪測站之溫度值比較
(資料來源：本研究資料)

溶氧(單位：mg/L)

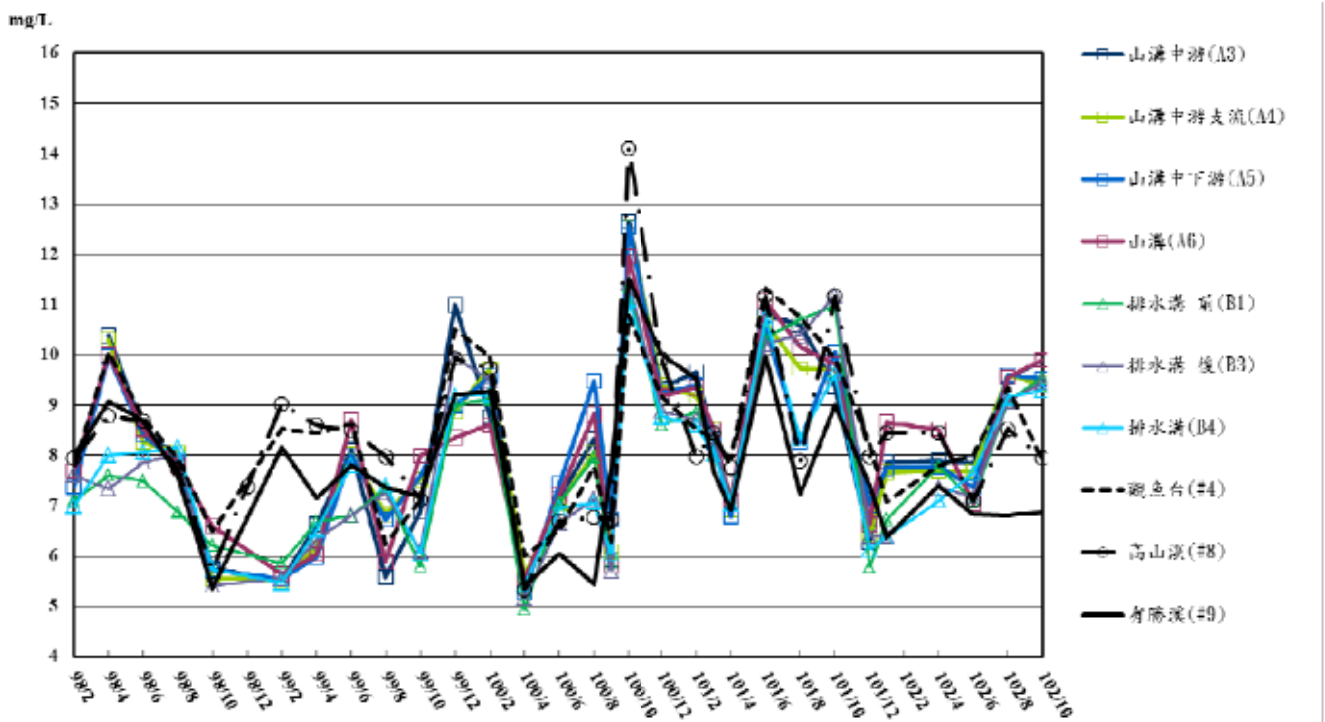


圖4-34 山溝與七家灣溪測站之溶氧值比較
(資料來源：本研究資料)

濁度(單位：NTU)

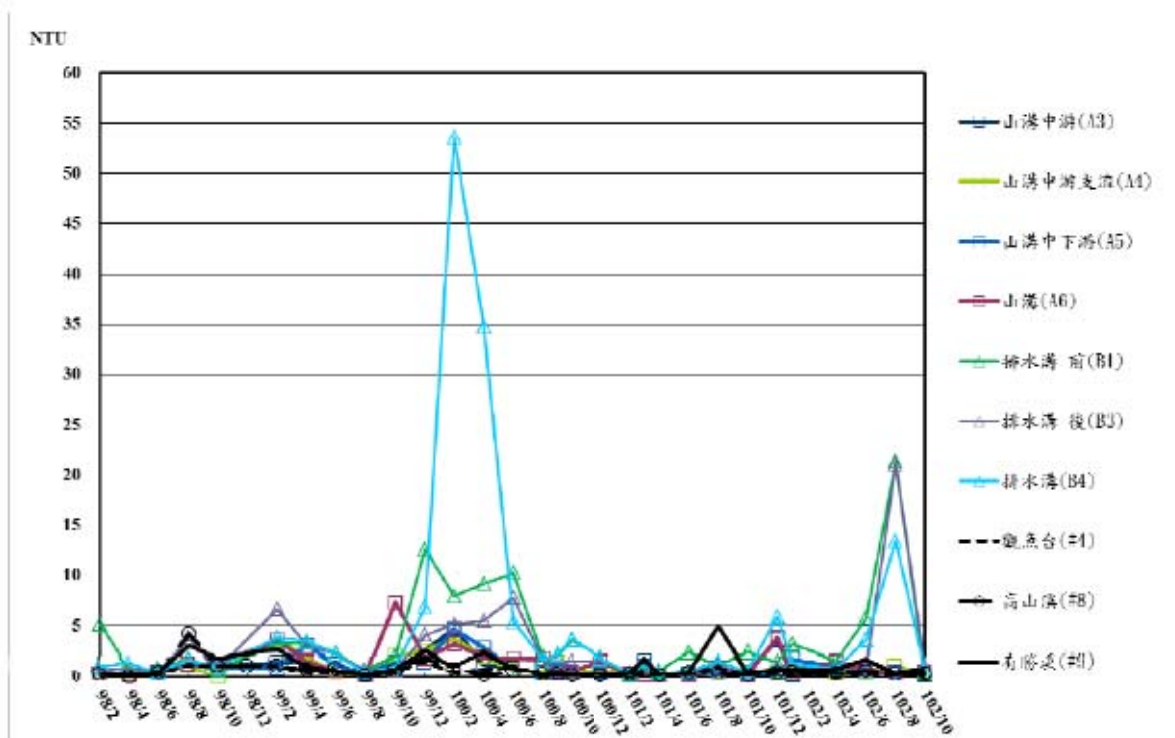


圖4-35 山溝與七家灣溪測站之濁度值比較
(資料來源：本研究資料)

SiO₂(單位：mg/L)

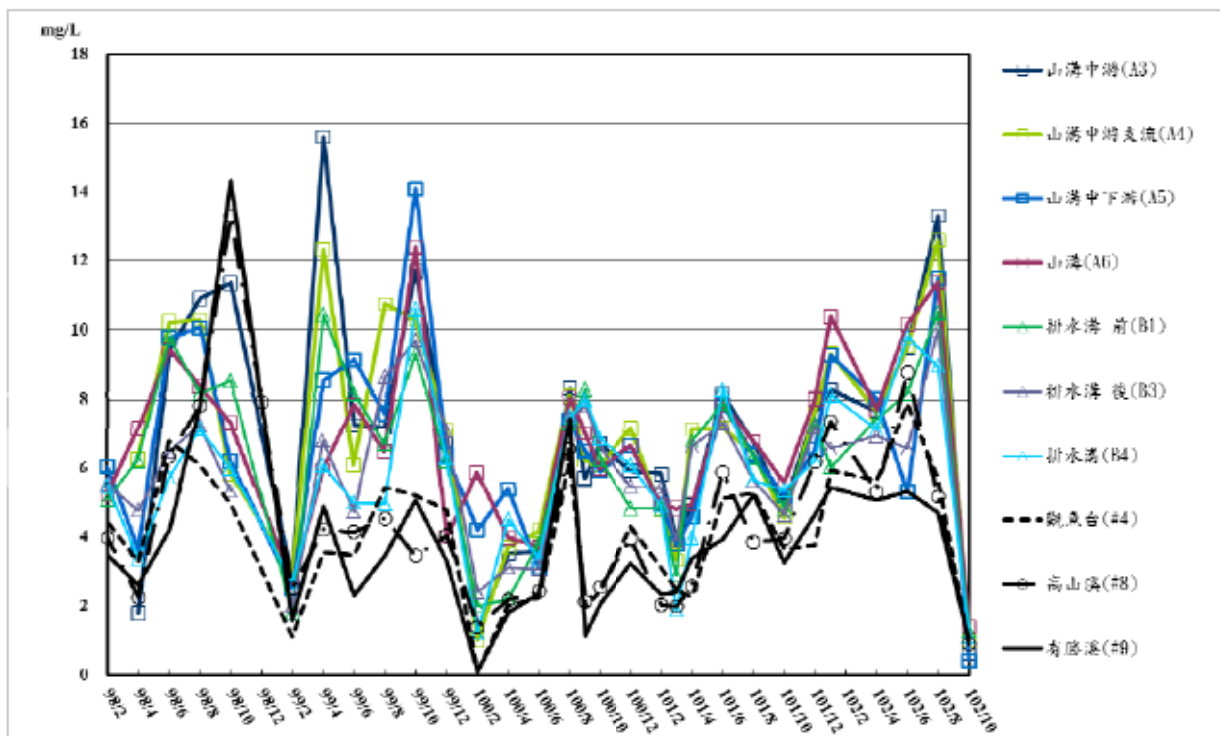


圖4-36 山溝與七家灣溪測站之 SiO₂值比較
(資料來源：本研究資料)

NO₃⁻-N (單位：mg N/L)

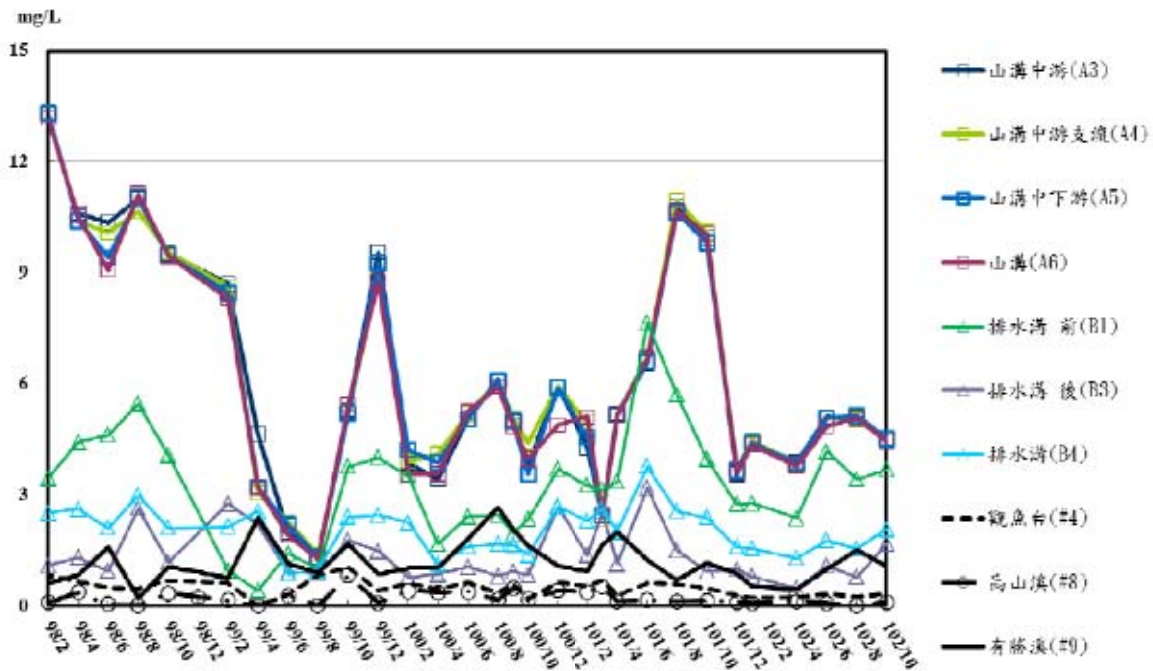


圖4-37 山溝與七家灣溪測站之NO₃⁻-N值比較
(資料來源：本研究資料)

NO₂⁻-N(單位：μg N/L)

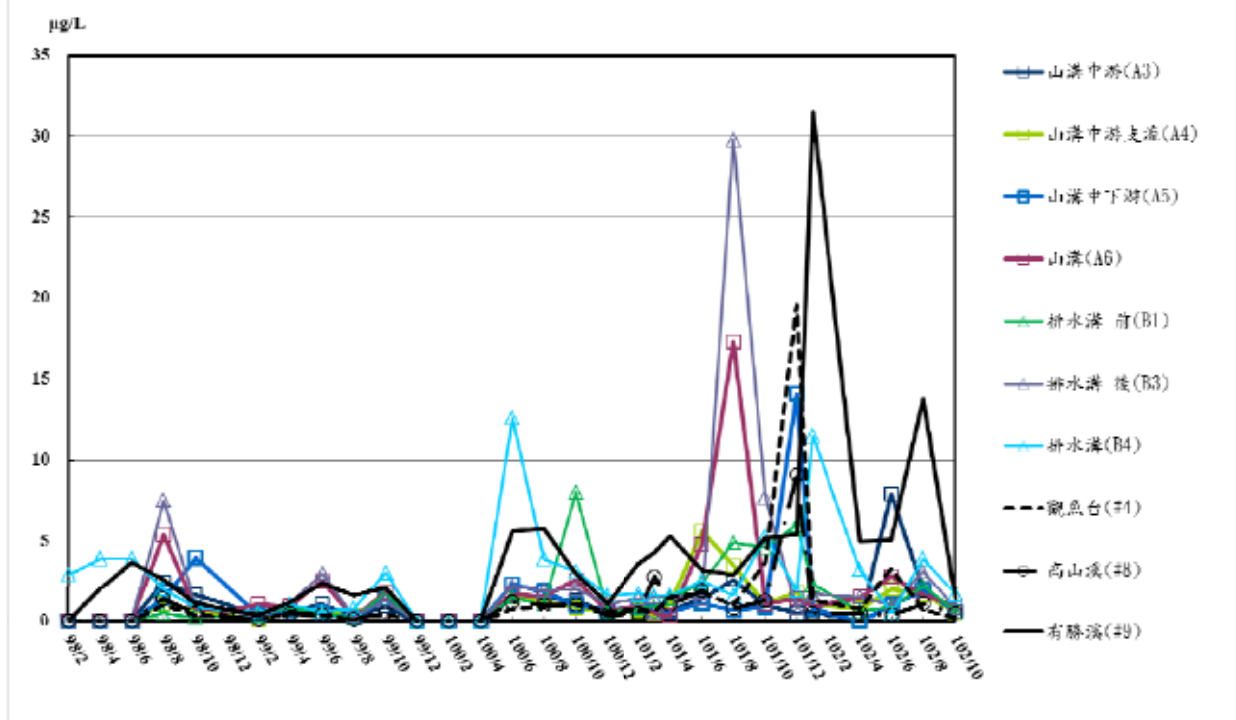


圖4-38 山溝與七家灣溪測站之NO₂⁻-N值比較
(資料來源：本研究資料)

SO₄²⁻ (單位：mg/L)

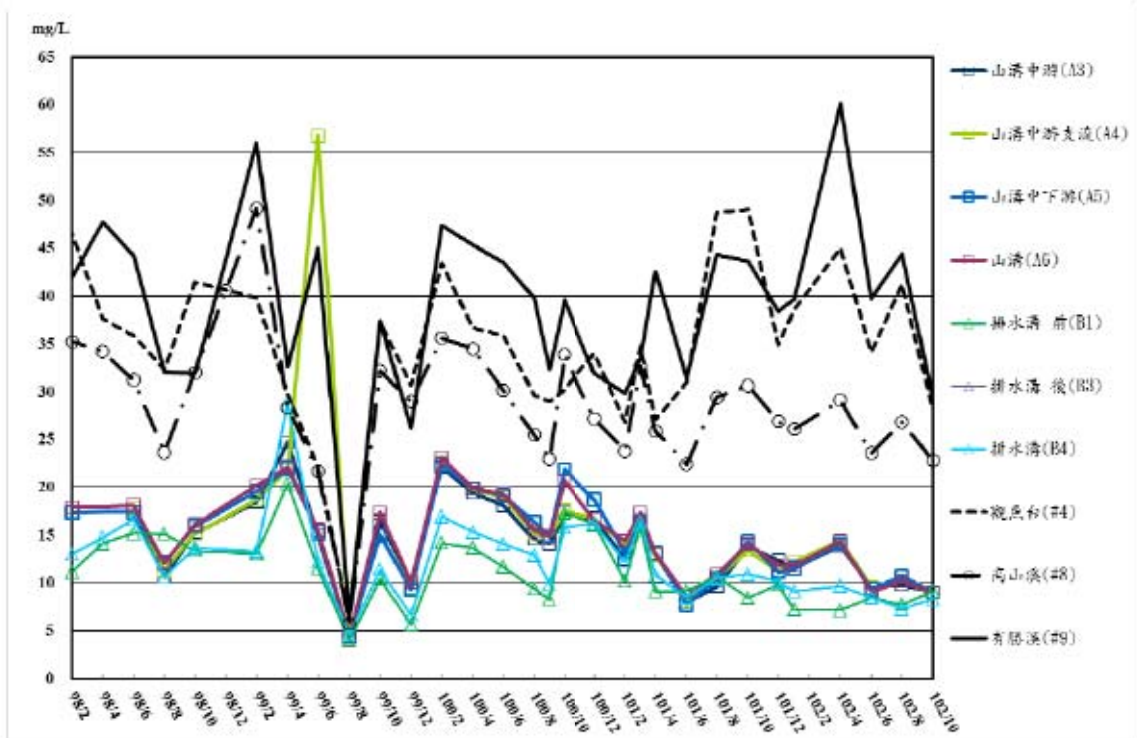


圖4-39 山溝與七家灣溪測站之 SO₄²⁻ 值比較
(資料來源：本研究資料)

Cl⁻ (單位：mg/L)

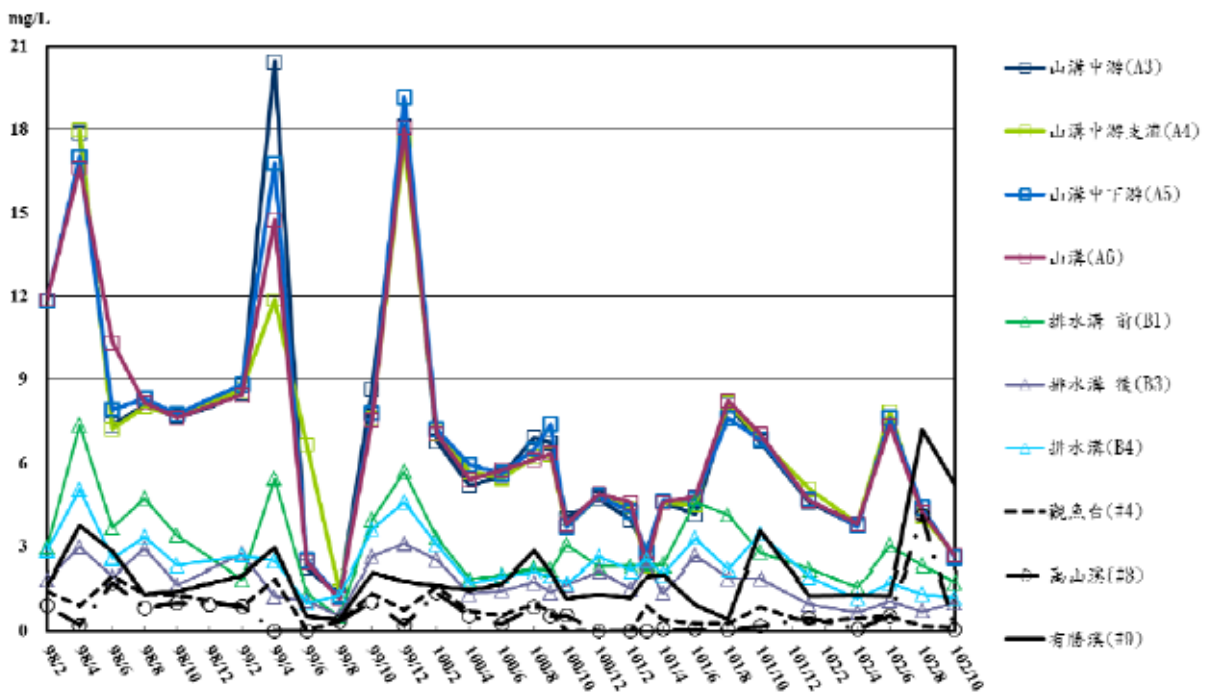


圖4-40 山溝與七家灣溪測站之 Cl⁻ 值比較
(資料來源：本研究資料)

PO_4^{3-} (單位：mg/L)

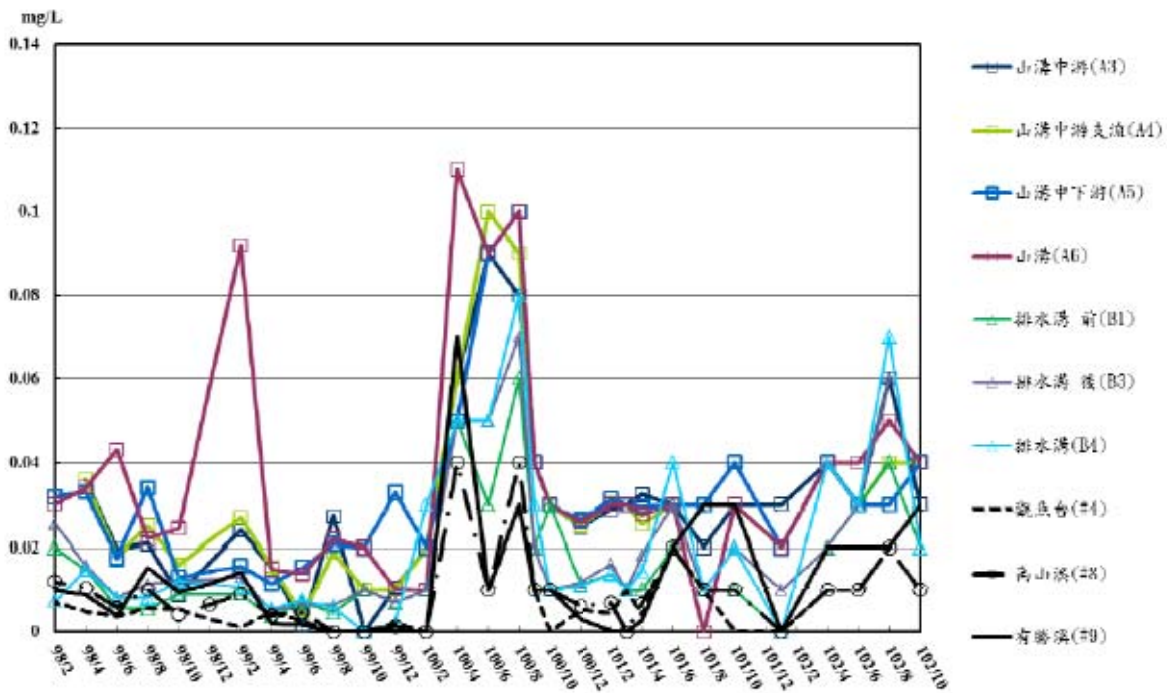


圖4-41 山溝與七家灣溪測站之 PO_4^{3-} 值比較
(資料來源：本研究資料)

NH_4^+-N (單位：mg N/L)

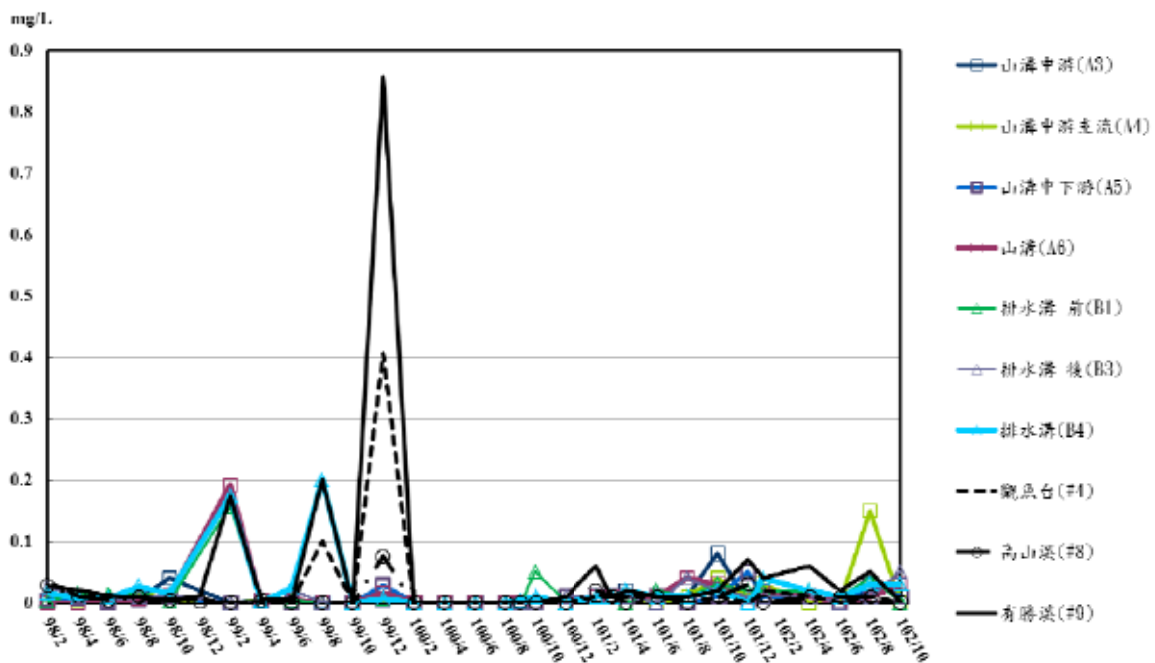


圖4-42 山溝與七家灣溪測站之 NH_4^+-N 值比較
(資料來源：本研究資料)

TOC(單位：mg/L)

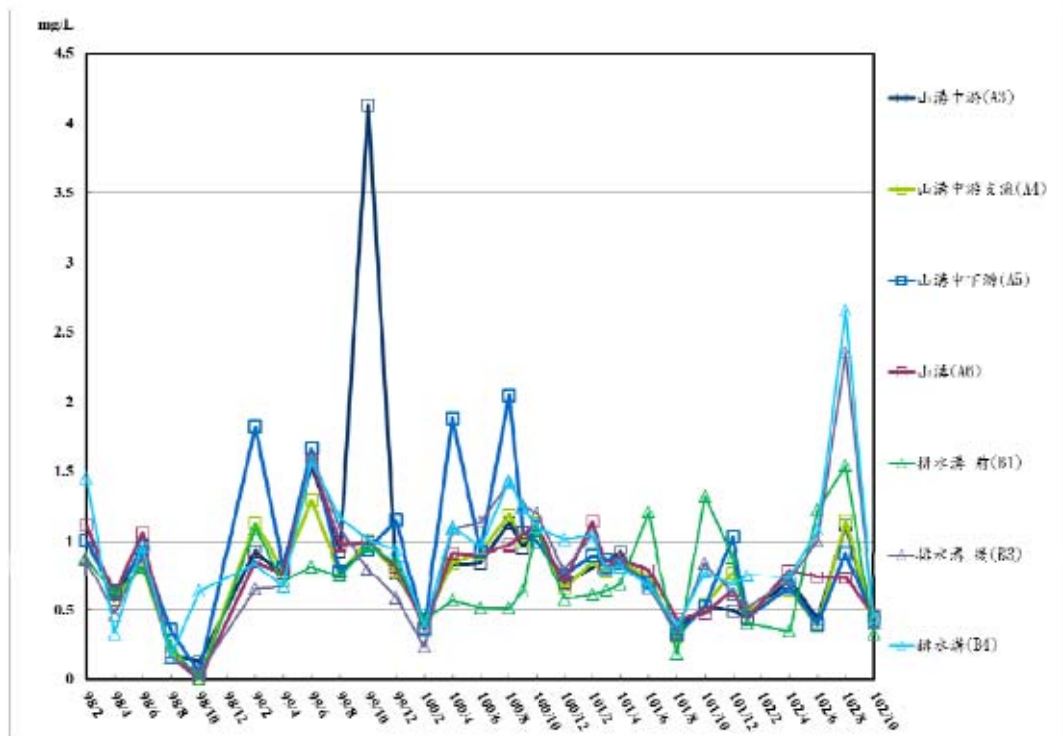


圖4-43 山溝與七家灣溪測站之TOC值比較
(資料來源：本研究資料)

pH值

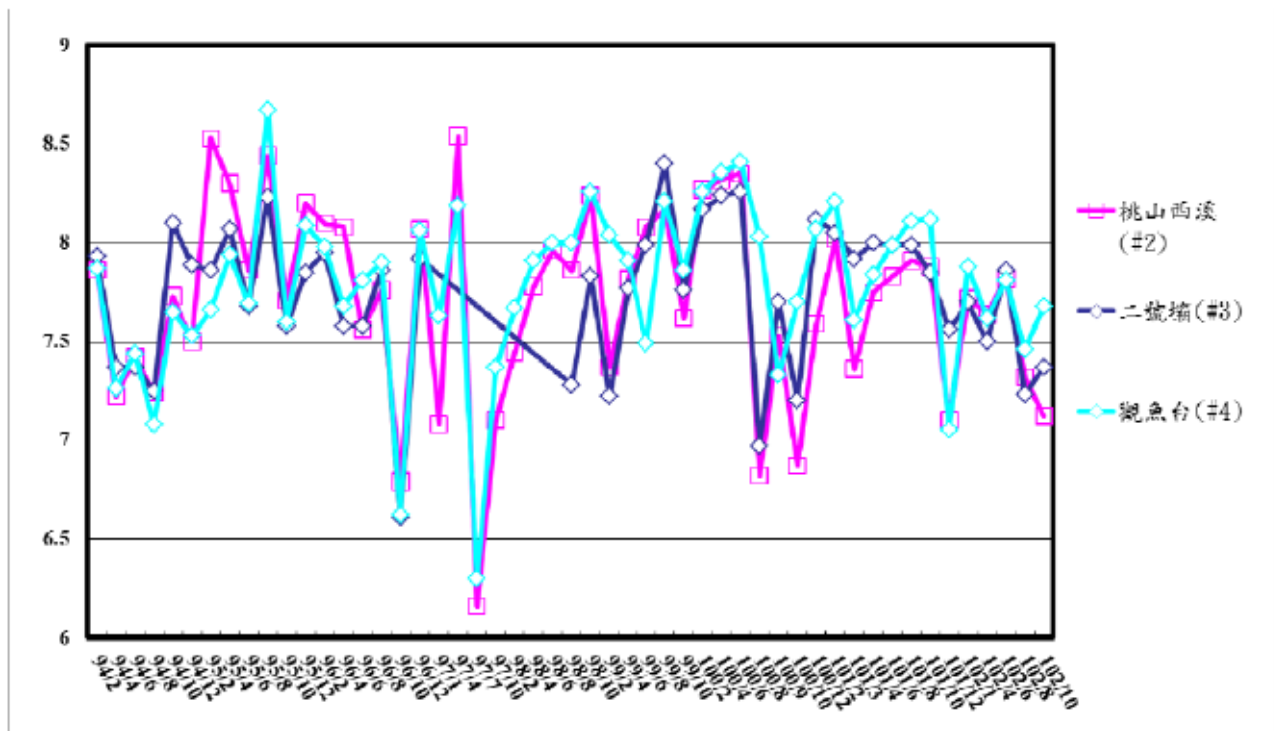


圖4-44 8.1ha回收農用地pH值變化
(資料來源：本研究資料)

導電度(單位：μmho/cm)

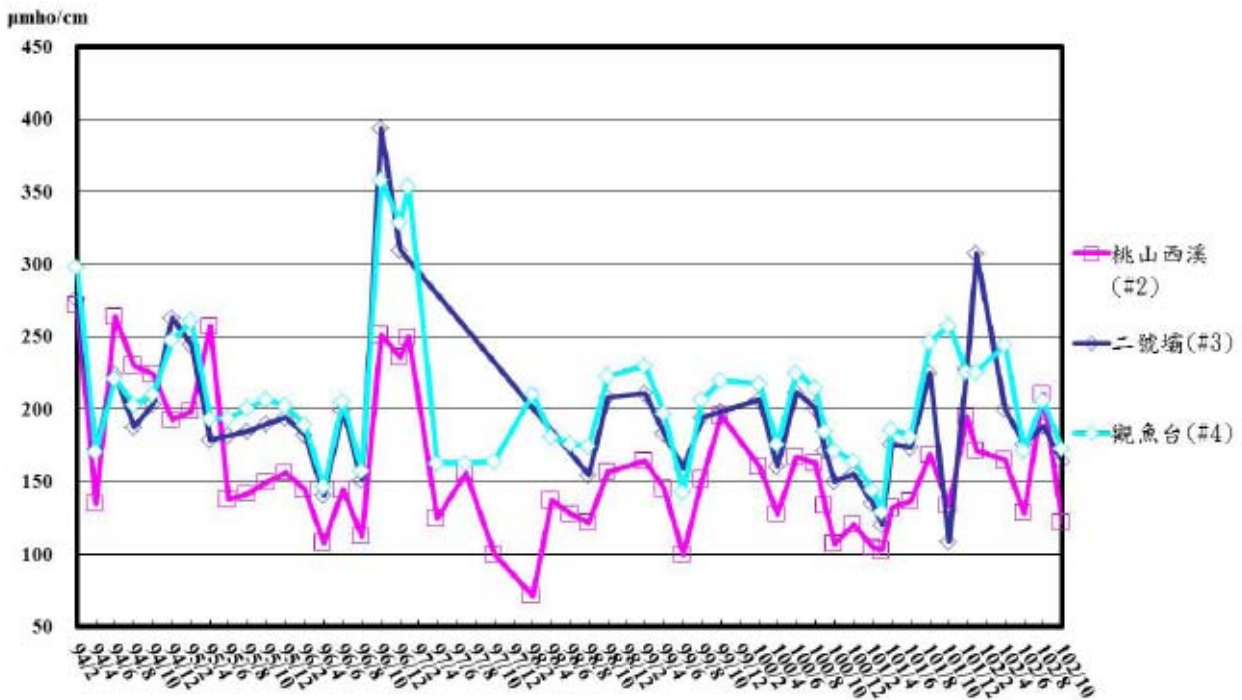


圖4-45 8.1ha回收農用地導電度值變化
(資料來源：本研究資料)

溫度(單位：°C)

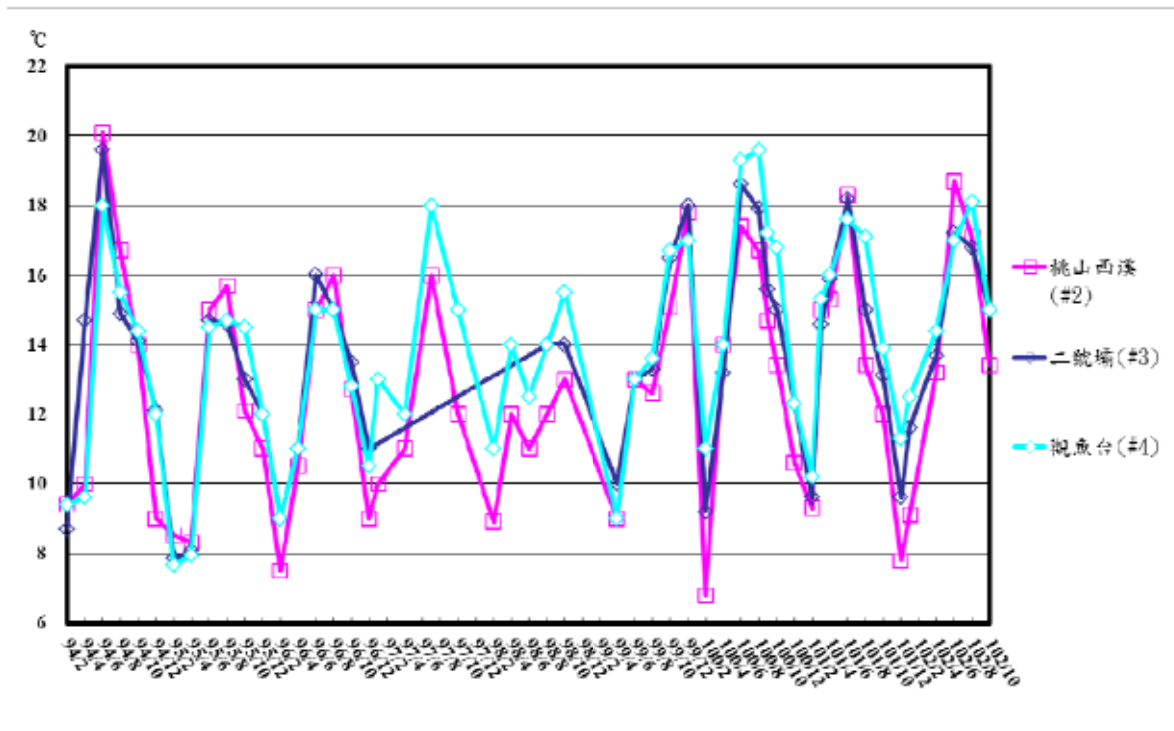


圖4-46 8.1ha回收農用地溫度值變化
(資料來源：本研究資料)

溶氧(單位：mg/L)

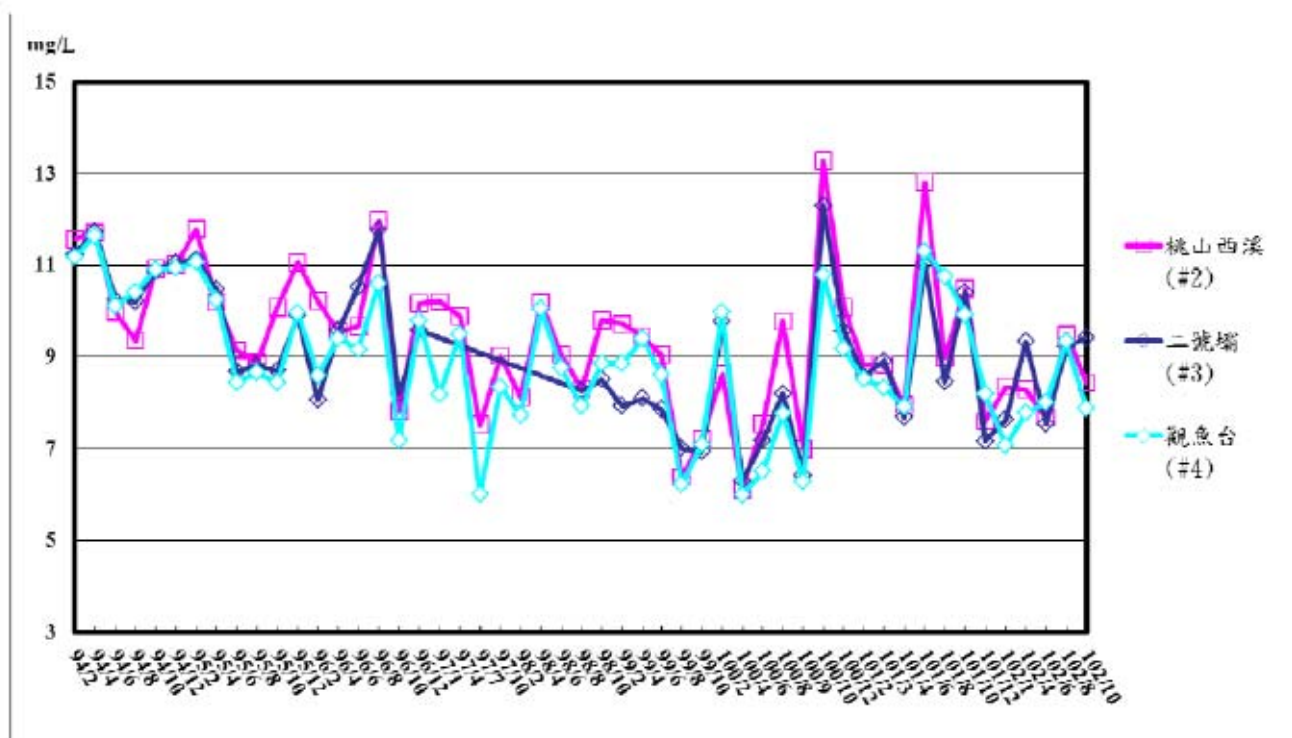


圖4-47 8.1ha回收農用地溶氧值變化
(資料來源：本研究資料)

濁度(單位：NTU)

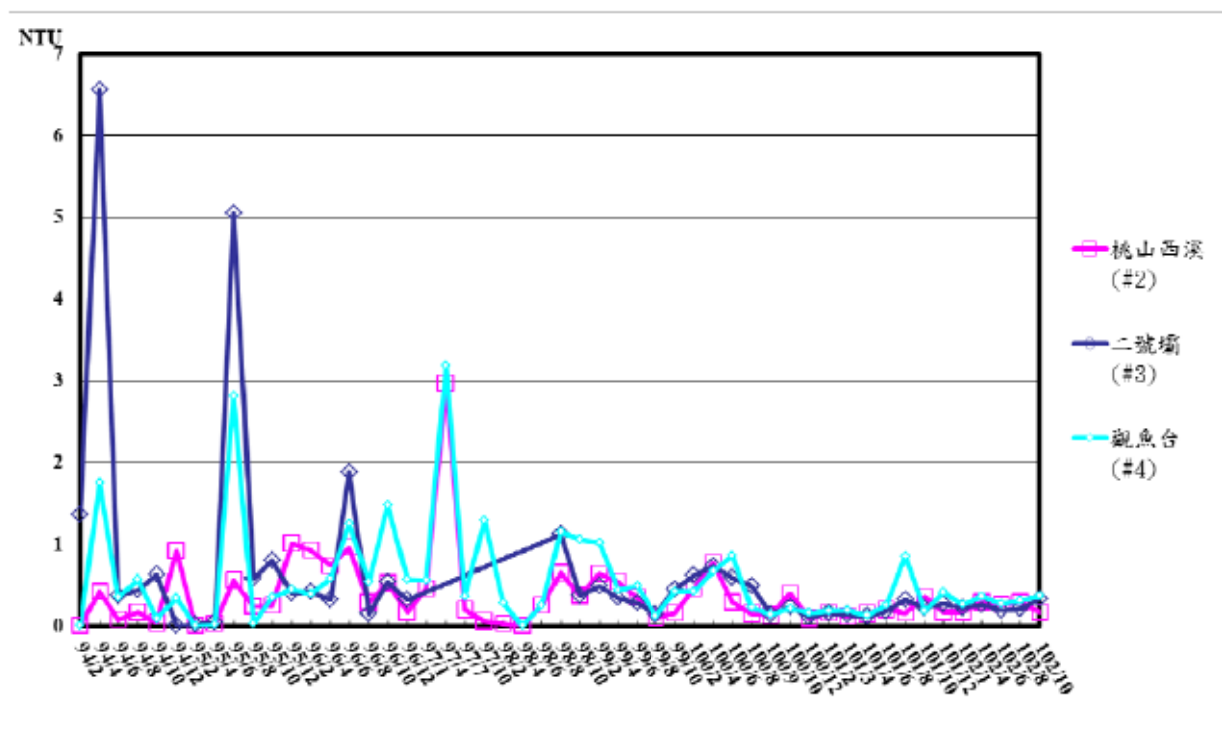


圖4-48 8.1ha回收農用地濁度值變化
(資料來源：本研究資料)

SiO₂(單位：mg/L)

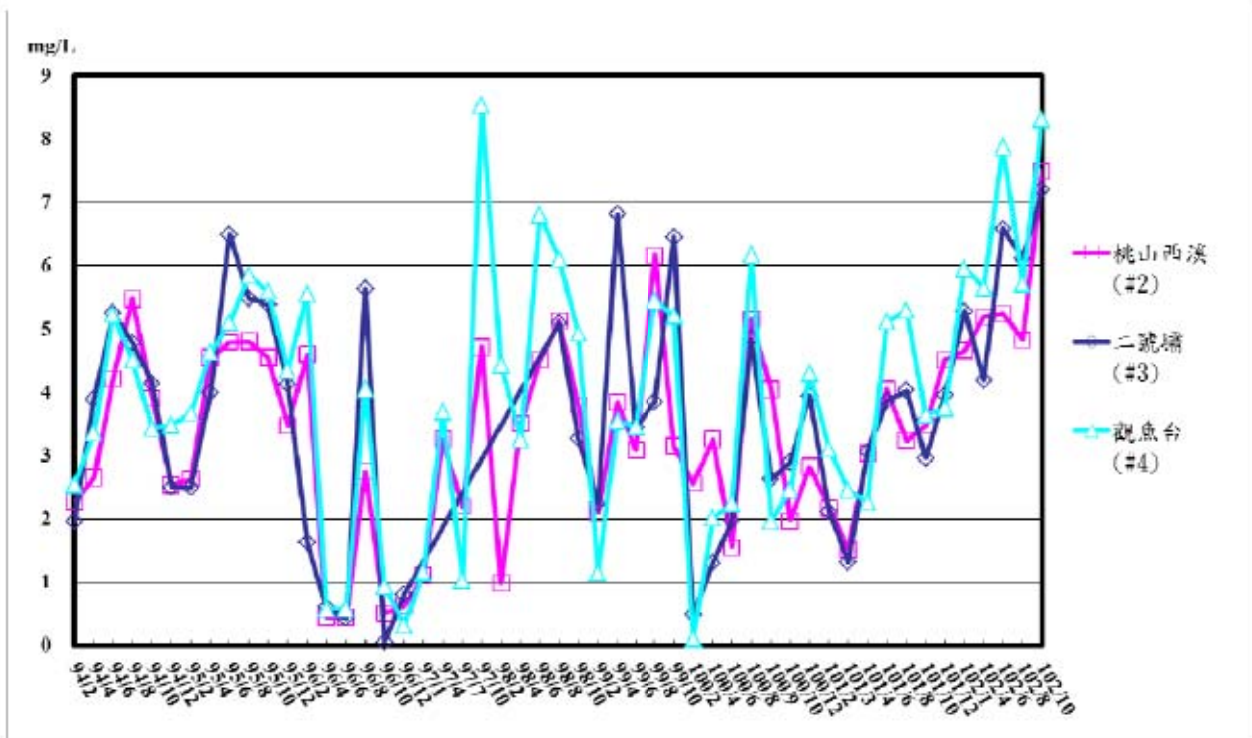


圖4-49 8.1ha回收農用地SiO₂值變化
(資料來源：本研究資料)

NO₃⁻-N (單位：mg N/L)

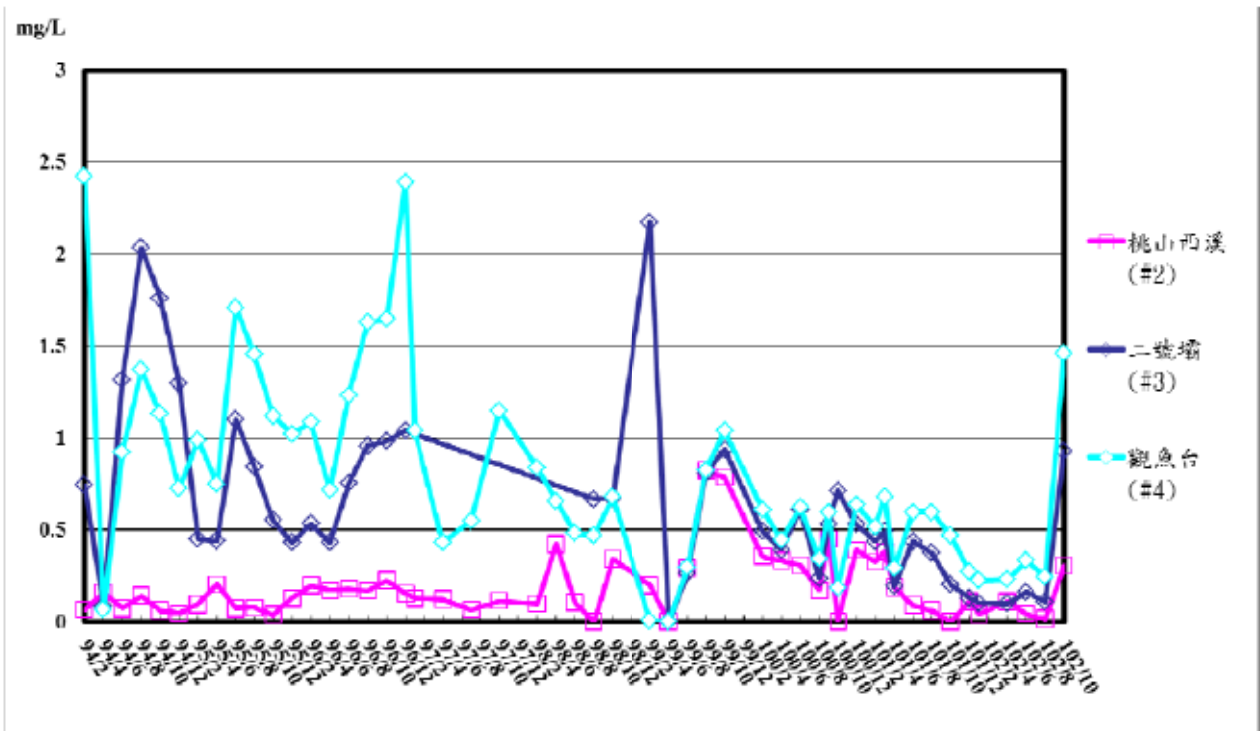


圖4-50 8.1ha回收農用地NO₃⁻-N值變化
(資料來源：本研究資料)

NO_2^- -N(單位： $\mu\text{g N/L}$)

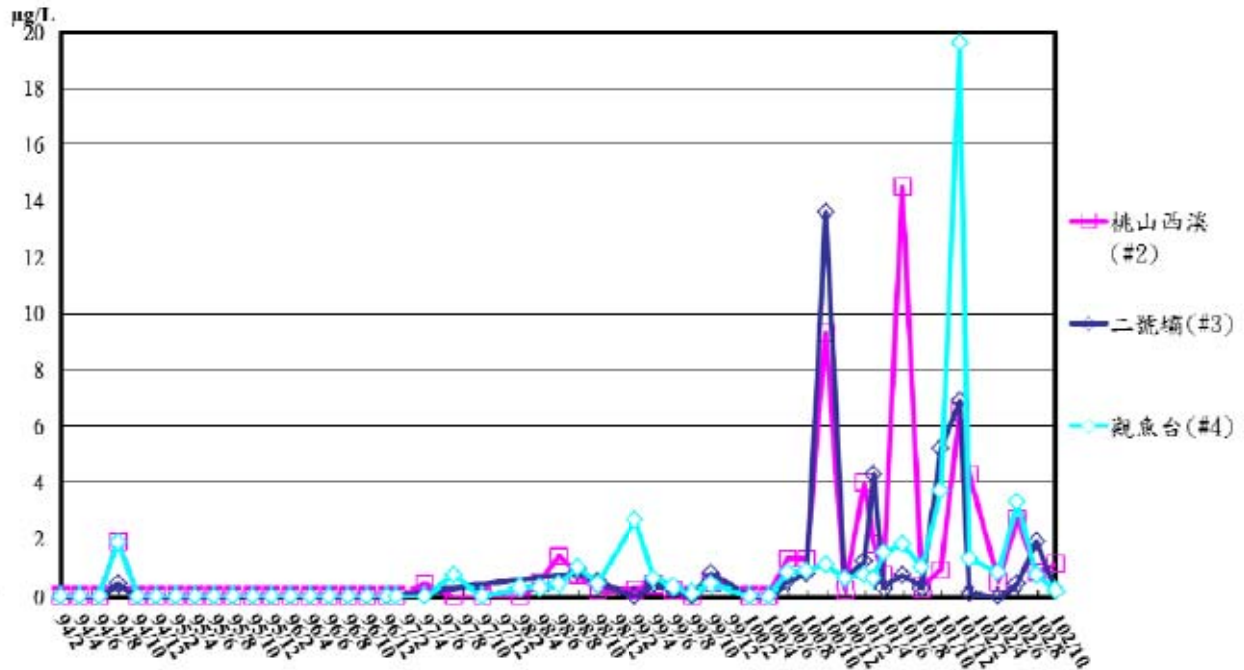


圖4-51 8.1ha回收農用地 NO_2^- -N值變化
(資料來源：本研究資料)

SO_4^{2-} (單位： mg/L)

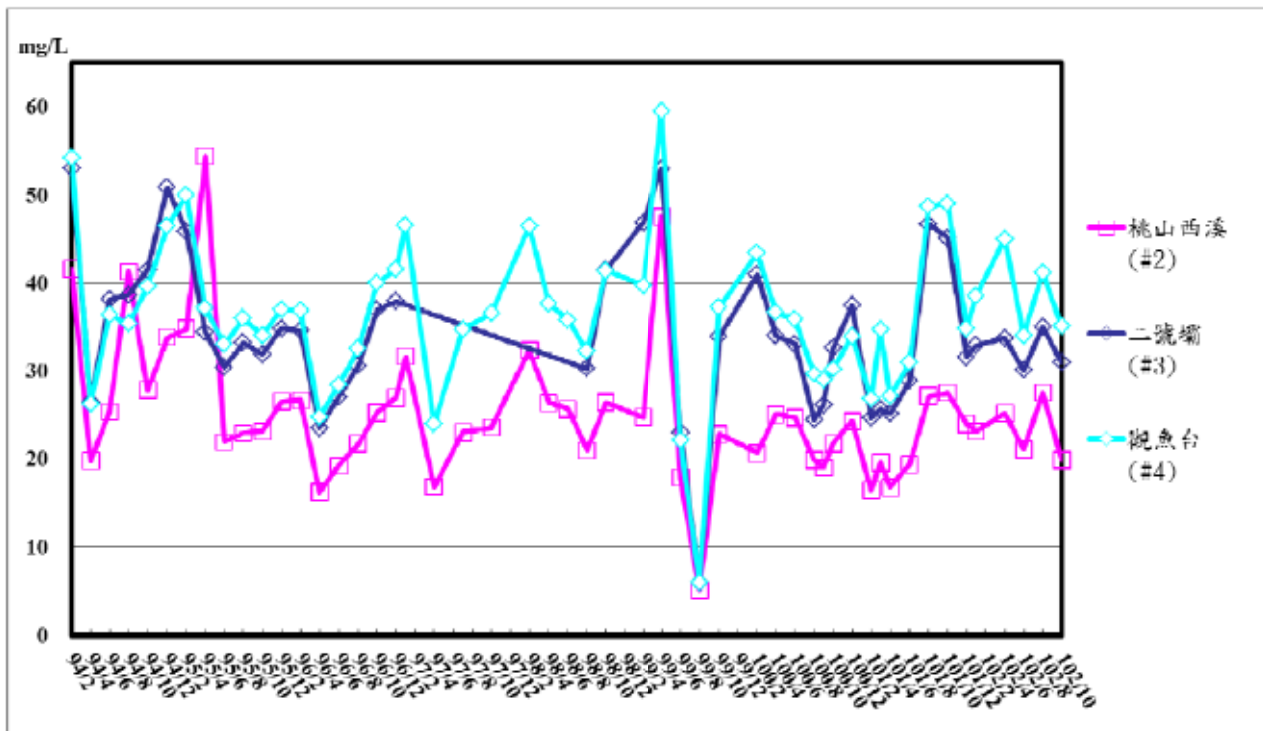


圖4-52 8.1ha回收農用地 SO_4^{2-} 值變化
(資料來源：本研究資料)

Cl⁻(單位：mg/L)

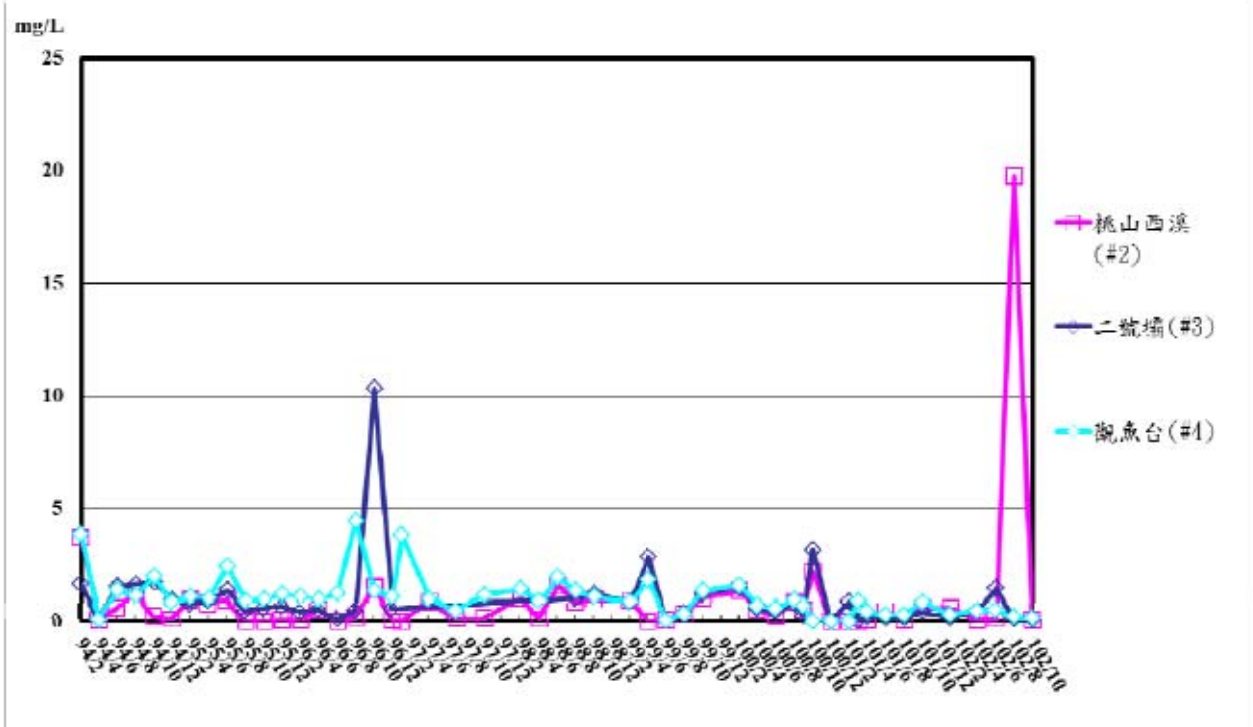


圖4-53 8.1ha回收農用地Cl⁻值變化
(資料來源：本研究資料)

PO₄³⁻(單位：mg/L)

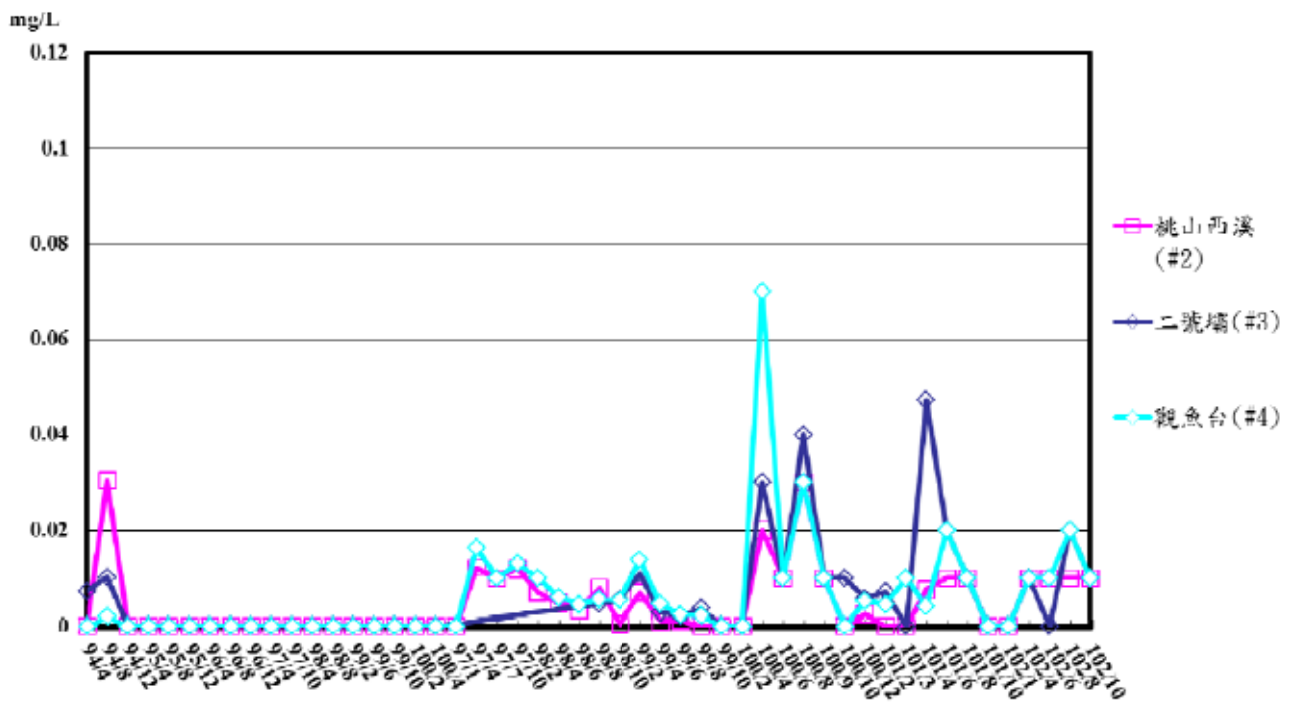


圖4-54 8.1ha回收農用地PO₄³⁻值變化
(資料來源：本研究資料)

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ (單位：mg N/L)

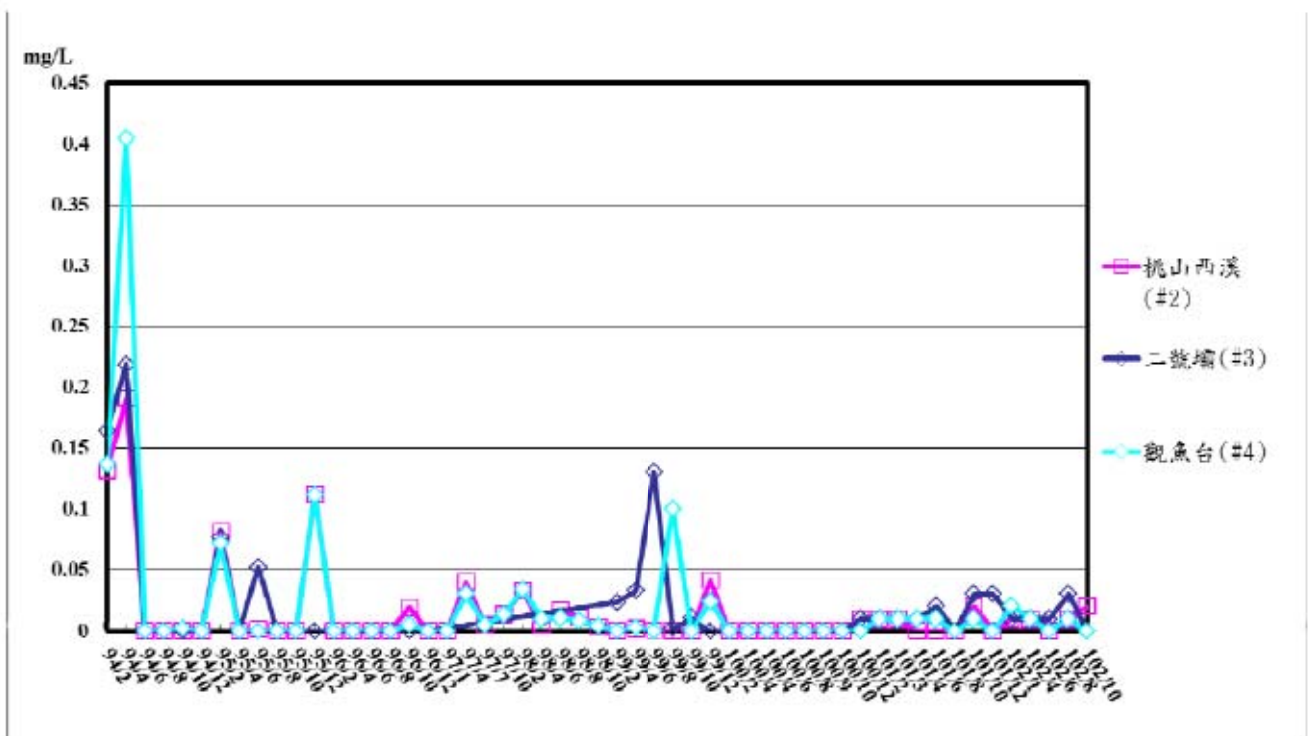


圖4-55 8.1ha回收農用地 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 值變化
(資料來源：本研究資料)

TOC(單位：mg/L)

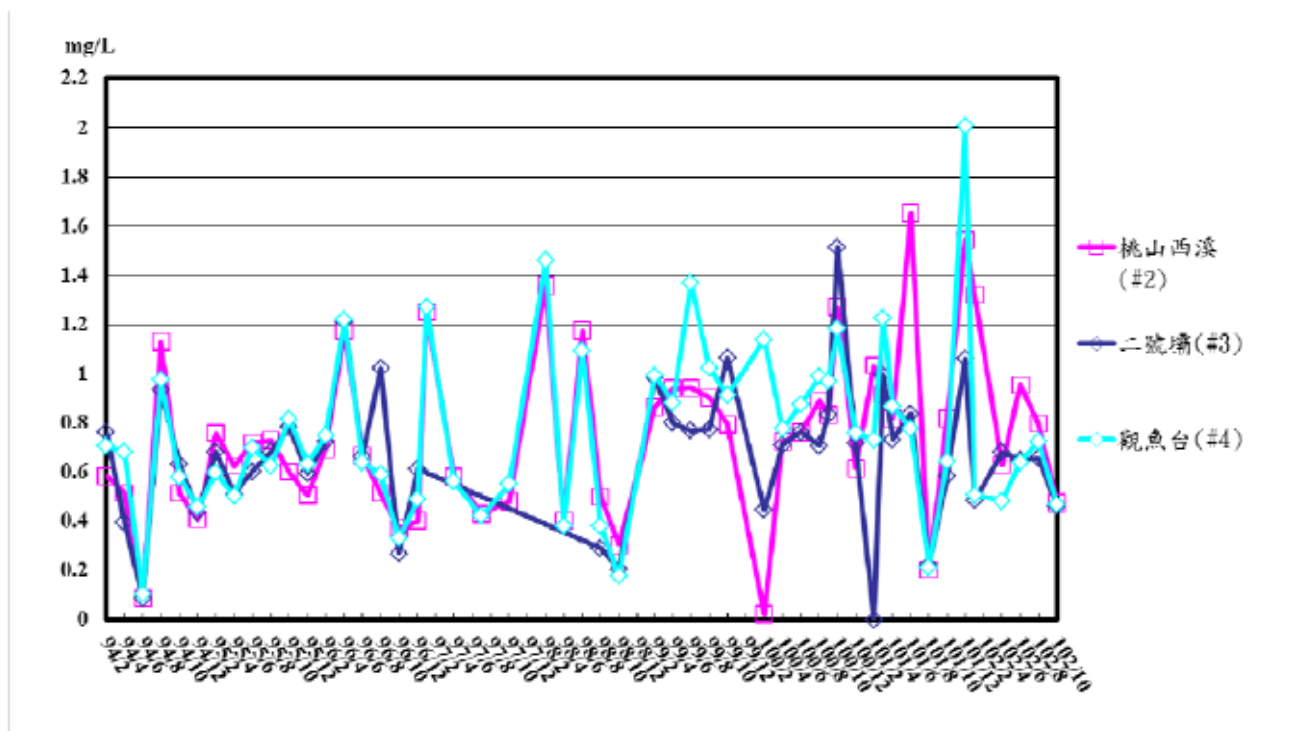


圖4-56 8.1ha回收農用地TOC值變化
(資料來源：本研究資料)

第五章 水棲昆蟲研究

郭美華、丘明智
國立中興大學昆蟲系

摘要

關鍵詞：水棲昆蟲，群聚結構，快速生物評估法 II，多樣性指數、溪流

一、研究緣起

臺灣櫻花鉤吻鮭(*Oncorhynchus formosanus*)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 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，並監測防砂壩拆除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。

二、研究方法及過程

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，探討颱風及防砂壩對水棲昆蟲的影響，並選取水棲昆蟲類群中足以代表受拆壩工程影響之生態指標，以做為集水區經營管理之參考用。

三、重要發現

本年度採樣調查水棲昆蟲共計有 63 分類群(Taxa)，分屬 6 目或 36 科。由

連續 10 年以上數據(2003 至 2013 年)看出，水棲昆蟲豐度幾乎以每年年初為高峰。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 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，司界蘭溪棲地上游優於下游。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 2009~2013 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。受到 2012 年及 2013 年兩年的颱風季影響，拆壩與颱風的影響結合並加深，2013 年 10 月水昆數量大幅下降。

四、主要建議事項

根據水棲昆蟲研究及發現，提出下列具體建議。以下分別從立即可行的建議、及長期性建議加以列舉。

長期性建議：減緩暴增流量及增加鮭魚陸域食餌之土地利用類型

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：國立中興大學昆蟲學系、國立中興大學生命科學系、環球技術學院環境資源管理

由 10 年以上數據可看出，當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會增加，此現象發生於 2003 年初及 2010~2012 年初，因此土地利用類型考慮以能增加水留存量且不易被洪水移除為主，並達減緩暴增流量之效為佳。如此一來可於暴雨過後，減少對水棲昆蟲群聚之衝擊，植被恢復得以增加此鮭魚陸域補足食餌，及其食物來源獲得維持。

長期性建議：一號壩壩體改善工程之長期追蹤

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：國立中興大學昆蟲學系、國立中興大學生命科學系、環球技術

學院環境資源管理系

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，並加深此次洪水的衝擊。可能還有間接的、慢性的長期衝擊：例如從生態系食物鏈傳遞的角度來看，水棲昆蟲的棲息環境的改變，將會引起食物鏈和生態結構的逐步變化。面對全球暖化及極端洪流頻繁發生對台灣溪流生態的影響，應持續監測(5年以上)並建立武陵地區資料庫，使雪霸國家公園成為在地證據的科學基地及集水區經營管理績效之典範。

ABSTRACT

Keywords: aquatic insects, community structure, rapid bio-assessment protocol II (RBPII), diversity index, stream

This study constructed the survey of aquatic insects and water quality monitoring at 8 sampling sites in the Wuling area in year 2013. During the research period, we have collected 63 taxa of aquatic insects belong to 36 families within 6 orders. According to the data from 2003 to 2013, 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 landlocked 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, and the evaluation indicated that the upstream site of the Sikairan Stream was of better habitat quality than the downstream one. 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 Cijiawan Stream and Gaoshan Stream shifted along the same trend, and, from year 2009 to 2013, the community structure of Yousheng Stream and the two streams 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 Cijiawan Stream. When these flooding events happened after dam removal in 2012 and 2013, the recurring of the negative short-term effect would enhance the impacts of these floods and there was a huge decline in the number of aquatic insects in October 2013.

This project comes to the immediate and long-term strategies.

For long-term strategies:

1. To consider the land use types with abilities to decrease the flooding magnitudes, to resist the removal by flooding, and to increase terrestrial prey of the Taiwan salmon.
2. To consider the long-term monitoring for the ecological impact of the dam removal.

一、前言(文獻回顧及目的)

臺灣櫻花鉤吻鮭(*Oncorhynchus formosanus*)原產於北半球的寒溫帶迴游性魚類，目前只有在台灣、日本、韓國及大陸東北地區曾經發現過，在台灣的地理分佈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，其河床底質也多为礫石及鵝卵石；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，其河床底質也多为礫石及鵝卵石；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，其河床底質也同为礫石及鵝卵石；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，其河床底質也多为礫石及鵝卵石；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，河床底質多为礫石及鵝卵石；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，河床底質多为泥砂、礫石及鵝卵石。

1. 定期監測

上述 8 測站於 2 月、4 月、6 月、8 月、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 70~75 % 酒精中，攜回實驗室鑑定出分類群 (Taxa)，以及記錄數量。水棲昆蟲分類鑑定主要參考津田 (1962)、川合 (1985)、黃 (1987)、康 (1993)、松木 (1978) 等研究報告。參考臺灣櫻花鉤吻蛙的食性分析 (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，但如果大於 0.3 時，圖形各點的距離扭曲程度嚴重，不可採用，以此來推測及判定各測站之關係 (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，2013 年 2 月採樣為工程後第 630 天、2013 年 4 月採樣為工程後第 682 天、2013 年 6 月採樣為工程後第 759 天、2013 年 8 月採樣為工程後第 814 天、2013 年 10 月採樣為工程後第 872 天。統計分析這四站各採集時間(2011 年 5 月 17 日至 2013 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。

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 63 分類群(Taxa)，分屬 6 目或 36 科(表 5-1)。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 年則以二號壩為 5100 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(圖 5-2)。

圖 5-3 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 5-2 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)(圖 5-3)。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)，之後皆為各測站之最低者(圖 5-3)。

(二) 多樣性

由 2003~2013 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 5-4)。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。

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 1.5~2.5，2011~2013 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 5-5)。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 5-5)。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(圖 5-5)。

(四) 群聚結構

2003~2013 年各測站之 MDS 分析顯示於圖 5-6。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 2013 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。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 5-6)。

(五) 司界蘭溪

司界蘭溪上游及下游於 2013 年 2 月共計調查水棲昆蟲有 45 分類群(Taxa)，分屬 5 目或 26 科(Taxa)(表 5-2)。自 2005 年 8 月起至今司界蘭溪上游多樣性指數在 1.4~2.5 之間波動；司界蘭溪上游多樣性指數在 1.3~2.3 之間波動，且上游較下游為高，2011 年 2 月上游為 2.1、下游為 2.0，上游下游間之差距變小，與 2007 年 2 月及 2008 年 2 月雷同，但 2012 及 2013 年 2 月則下游 2.4~2.5 已較上游 2.3~2.1 為高(圖 5-7)。

司界蘭溪棲地評比結果介於無損害到中度損害之間，大多數時間點上游棲地評等為無損害，下游則為中度損害，司界蘭溪下游劣於上游，其中以 2007 年 7 月及 2010 年 2 月之劣化最為嚴重，2011 年則趨於優化，2012 年及 2013 則維持此優化(圖 5-8)。

(六) 一號壩壩體改善部分拆除工程的影響

由圖 5-9 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(圖 5-9)。

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, 且前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 5-4)。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 5-10)。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 5-10), 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 5-10)。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 (圖 5-10)。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 5-11。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 或 2013 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。

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 2012 年 63~67 分類群(Taxa) (郭，2010、2011 及 2012)，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)，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 2013 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 5-2 及圖 5-3 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，預測 2014 年年初水昆及中大型食餌數量將較 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 2007~2013 年相近時期的數值變化，而 2012 年及 2013 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 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 2003~2013 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 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。

(四) 農地回收政策已具有成效

農業區下游之觀魚台測站於 2006~2013 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 2010~2013 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) 司界蘭溪

由於不同種類的水棲昆蟲發生時間都不盡相同，有不同的消長變化，司界蘭溪之水棲昆蟲相，明顯較七家灣溪少，但多樣性指數落在武陵地區各測站之數值上下限範圍內。從 2005 年至今的調查已有穩定的結果，為天然林旁之上游棲地評比及多樣性指數大多優於有農業活動的下游。2010 年 2 月司界蘭溪上下游皆有多樣性上升但棲地評比下降之趨勢，因此兩者數值變化可推測出司界蘭溪下游之棲地劣化，耐受性較高的物種增多結果，有二個可能影響因素，第一為暖冬(林，2010)，可能造成短生活史之 r 選汰物種量增，第二為

細顆粒底質比例上升(葉, 2010), 可能造成棲地多樣性下降。不過 2011 年 2 月司界蘭溪上下游多樣性及棲地評比則與 2010 年的狀態相反, 多樣性較 2010 年呈現下降, 但棲地評比較 2010 年佳。2012~2013 年則下游多樣性較上游為高, 棲地評比仍以上游較下游為高, 但有拉近之傾向。

(六) 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。推測此影響將持續, 2014 年年初水昆數量會低於 2013 年, 即自 2011 年年初高峰後, 水昆密度下降至

2014 年，連續 3 年。

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的確造成如此的影響，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 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

(一) 結論：

各站所採獲水棲昆蟲物種數目前已持平，為 63 分類群(Taxa)。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，預測 2014 年年初水昆及中大型食餌數量將較 2013 年年初低迷。

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 2009~2012 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。

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 10 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，從生態系食物鏈傳遞的角度來看，應長期追蹤(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。

(二) 建議

建議一

減緩暴增流量及增加鮭魚陸域食餌之土地利用類型：中長期建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：國立中興大學昆蟲學系、國立中興大學生命科學系、環球技術學院環境資源管理系

由 10 年以上數據可看出，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，反之亦然，且已發表(Chiu & Kuo 2012)，此現象發生於 2003 年初及 2010~2012 年初；而 2012 年大型洪水也再次證實，它造成 2013 年年初水昆高峰的降低。因此土地利用類型考慮以能增加水留存量且不易被洪水移除為主，並達減緩暴增流量之效為佳，如此一來可於暴雨過後，減少對水棲昆蟲群聚之衝擊，且植被恢復得以增加鮭魚陸域補足食餌 (Liao *et al.* 2012)，及其食物來源獲得維持。

建議二

一號壩壩體改善工程之長期追蹤(5 年以上)：中長期建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：國立中興大學昆蟲學系、國立中興大學生命科學系、環球技術學院環境資源管理系

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。可能還有間接的、慢性的長期衝擊(Chiu *et al.* 2013)：例如從生態系食物鏈傳遞的角度來看，水棲昆蟲的棲息環境的改變，將會引起食物鏈和生態結構的逐步變化。面對全球暖化及極端洪流頻繁發生對台灣溪流生態的影響，應持續監測(5 年以上)並建立武陵地區資料庫，使雪霸國家公園成為在地證據的科學基地及集水區經營管理績效之典範。

六、參考文獻

- 川合禎次，1985。日本產水棲昆蟲檢索圖說。東海大學出版會。東京。
- 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，153-159 頁。
- 松木和雄，1978。臺灣產春蜓科稚蟲分類之研究。台灣省立博物館科學年刊，第 21 期，133-180 頁。
- 津田松苗（編），1962。水棲昆蟲學。北隆館。東京。
- 王筱雯，2011。100 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。武陵地區洪流及河烏與溪流昆蟲之關係。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。100 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，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, 151-177 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。100 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。
- Bednarek, A. T. (2001) Undamming rivers: a review of the ecological impacts
of dam removal. *Environmental Management*, **27**, 803-814.
- 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.
- Hilsenhoff, W. L. (1988) Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *Journal of the North American Benthological Society*, **7**, 65-68.
- 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.
- Liao, L.-Y., Chiu, M.-C., Huang, Y.-S. & Kuo, M.-H. (2012) Size-dependent foraging on aquatic and terrestrial prey by the endangered Taiwan Salmon *Oncorhynchus masou formosanus*. *Zoological Studies*, **51**, 671-678.
- 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**, 191-202.
- 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**, 192-207.

武陵地區溪流生態系及七家灣溪一號防砂壩壩體改善後研究

表 5-1、武陵地區於 2013 年(2、4、6、8 及 10 月)之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>Oreocytus</i> sp.				1.8				
	Elmidae	<i>Zaitzevia</i> sp.A	60.9	98.5	181.0	354.7	164.8	114.7	62.7	52.0
		<i>Zaitzevia</i> sp.B	9.0	3.6	5.4	30.5	5.4	1.8	10.7	5.4
	Hydrophilidae	<i>Heiobata</i> sp.						1.8		
	Scirtidae	<i>Cyphon</i> sp.	134.4	59.1	120.0	44.8	89.6	9.0	52.0	82.4
Diptera	Athericidae	<i>Asuragina</i> sp.	1.8		1.8	7.2		3.6		
		<i>Atherix</i> sp.	1.8		1.8				3.6	
	Blepharoceridae	<i>Agathon</i> sp.		21.5	7.2		5.4		1.8	17.9
		<i>Bibiocephala</i> sp.	39.4	9.0	14.3	12.5	10.7		1.8	5.4
	Ceratopogonidae	<i>Bezzia</i> sp.	5.4	21.5	50.2	32.2	3.6	3.6	5.4	5.4
	Chironomidae	Chironomidae sp.B	1161.0	1616.1	1155.6	1268.5	1066.0	763.2	736.4	684.4
		Chironomidae sp.C	60.9	1757.6	1447.6	931.6	782.9	435.4	331.5	220.4
		Chironomidae sp.D						3.6		
		Chironomidae sp.E	3.6	14.3	7.2	7.2		26.9		
		Chironomidae spp.	304.6	684.4	688.0	709.5	550.0	1999.5	394.2	204.2
		Tanypodinae spp.	57.3	249.0	188.1	66.3	114.7	267.0	281.3	100.3
	Empididae	<i>Chelifera</i> sp.		1.8	1.8	3.6	1.8		1.8	1.8
		<i>Cinocera</i> sp.B	1.8	5.4		3.6				
		<i>Hemerodromia</i>				1.8	3.6			
		<i>Holorusia</i>				1.8			1.8	
	Ephydriidae	<i>Setacera</i> sp.						3.6		
	Simuliidae	<i>Simulium</i> sp.	677.2	460.4	752.5	1220.1	517.8	437.2	641.4	318.9
Thaumaleidae	Thaumaleidae sp.	5.4	1.8		9.0	5.4	1.8	7.2		
Tipulidae	<i>Antocha</i> sp.	12.5	159.5	259.8	143.3	112.9	268.7	177.4	53.7	
	<i>Dicranota</i> sp.			1.8		3.6	5.4	3.6		
	<i>Eriocera</i> sp.A	37.6	274.1	129.0	154.1	116.5	14.3	77.0	57.3	
	<i>Eriocera</i> sp.B	10.7	48.4	112.9	48.4	21.5	37.6	91.4	68.1	
	<i>Erioptera</i> sp.				1.8					
Ephemeroptera	Ameletidae	<i>Ameletus camtschaticus</i>	14.3	1.8	1.8	3.6		7.2	3.6	3.6
Baetidae	<i>Acentrella lata</i>	331.5	851.0	1410.0	1028.4	519.6	403.1	487.3	474.8	
	<i>Baetiella bispinosa</i>	403.1	53.7	130.8	121.8	41.2	12.5	68.1	19.7	
	<i>Baetis</i> spp.	843.9	1660.8	895.8	890.4	397.7	1811.3	399.5	229.3	
Caenidae	<i>Caenis</i> sp.		7.2	14.3	1.8	3.6			19.7	
Ephemerellidae	<i>Acarella montana</i>	9.0	10.7	14.3	73.5	21.5		23.3	7.2	
	<i>Cincticostella fusca</i>	3.6	9.0	7.2	17.9	1.8		10.7	1.8	
Ephemeridae	<i>Ephemera sauteri</i>	1.8	1.8	3.6	7.2	3.6	7.2		1.8	

表 5-1 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
	Heptageniidae	<i>Afronurus florens</i>	14.3	3.6	16.1	9.0		28.7	1.8	7.2
		<i>Epeorus erratus</i>	17.9	1.8	1.8				1.8	1.8
		<i>Nixe</i> sp.						17.9	5.4	1.8
		<i>Rhithrogena ampla</i>	469.4	1716.4	1942.1	1273.9	1494.2	639.6	1358.1	643.2
	Leptophlebiidae	<i>Paraleptophlebia</i> sp.		3.6	3.6				1.8	3.6
Odonata	Gomphidae	<i>Sinogomphus formosanus</i>								1.8
Plecoptera	Leuctridae	<i>Rhopalopsale</i> sp.	1.8							
	Nemouridae	<i>Amphinemura</i> sp.	32.2	641.4	170.2	295.6	168.4	64.5	109.3	73.5
		<i>Protonemura</i> spp.	39.4	60.9	105.7	177.4	32.2		21.5	9.0
	Perlidae	<i>Gibosia</i> sp.		3.6	3.6					3.6
		<i>Neoperla</i> spp.	129.0	254.4	317.1	236.5	224.0		109.3	93.2
	Styloperlidae	<i>Carcarychia</i> sp.	12.5	46.6	89.6	5.4	7.2		32.2	55.5
Trichoptera	Apataniidae	<i>Manophylax</i> sp.			1.8					1.8
	Beraeidae	<i>Nippoberaea</i>		1.8						
	Glossosomatidae	<i>Glossosoma</i> sp.	25.1	130.8	111.1	301.0	75.2	5.4	87.8	77.0
	Hydrobiosidae	<i>Apsilochorema</i> sp.		1.8	1.8	1.8		7.2	1.8	
	Hydropsychidae	<i>Arctopsyche</i> sp.	17.9	1.8		3.6				
		<i>Hydropsyche</i> spp.	23.3	25.1	120.0	57.3	41.2	23.3	55.5	43.0
	Hydroptilidae	<i>Hydroptila</i>						1.8		
		<i>Stactobia</i>		1.8		1.8				
	Lepidostomatidae	<i>Goerodes</i> sp.	26.9	78.8	5.4	48.4	32.2	5.4	5.4	16.1
	Polycentropodidae	<i>Plectrocnemia</i> sp.			3.6	1.8				
	Rhyacophilidae	<i>Himalopsyche</i> sp.	7.2	5.4		3.6	1.8		1.8	
		<i>Rhyacophila nigrocephala</i>	28.7	132.6	111.1	53.7	62.7	103.9	127.2	41.2
		<i>Rhyacophila</i> spp.	17.9	26.9	14.3	66.3	12.5	3.6	16.1	5.4
	Stenopsychidae	<i>Stenopsyche</i> sp.A	14.3	25.1	3.6	25.1	5.4		7.2	5.4
	Uenoidae	<i>Uenoa taiwanensis</i>	458.7	57.3	28.7	5.4	9.0		3.6	14.3

(資料來源：本研究資料)

表 5-2、司界蘭溪於 2013 年 2 月之水棲昆蟲資源組成及個體數 (individuals / square meter)

Order	Family	Taxa	司界蘭溪下游	司界蘭溪上游	
Coleoptera	Elmidae	<i>Zaitzevia</i> sp.A	21.5	95.0	
		<i>Zaitzevia</i> sp.B	3.6	3.6	
Diptera	Scirtidae	<i>Cyphon</i> sp.	1.8	12.5	
	Blepharoceridae	<i>Agathon</i> sp.	1.8		
		<i>Bibiocephala</i> sp.	3.6	1.8	
	Ceratopogonidae	<i>Bezzia</i> sp.	9.0	1.8	
	Chironomidae	Chironomidae sp.B		231.1	98.5
		Chironomidae sp.C		1135.9	1073.2
		Chironomidae spp.		245.5	207.8
		Tanypodinae spp.		3.6	12.5
	Empididae	<i>Chelifera</i> sp.		3.6	3.6
		<i>Clinocera</i> sp.B		1.8	
	Simuliidae	<i>Simulium</i> sp.		220.4	53.7
	Thaumaleidae	Thaumaleidae sp.			5.4
	Tipulidae	<i>Antocha</i> sp.		57.3	64.5
		<i>Dicranota</i> sp.		7.2	3.6
		<i>Eriocera</i> sp.A		19.7	32.2
<i>Eriocera</i> sp.B			7.2	23.3	
Ephemeroptera	Ameletidae	<i>Ameletus camtschaticus</i>		1.8	
	Baetidae	<i>Acentrella lata</i>	245.5	163.0	
		<i>Baetiella bispinosa</i>	123.6	17.9	
		<i>Baetis</i> spp.	155.9	166.6	
	Ephemerellidae	<i>Acerella montana</i>	3.6	3.6	
		<i>Cincticostella fusca</i>	3.6		
	Ephemeridae	<i>Ephemeria sauteri</i>	10.7	9.0	
	Heptageniidae	<i>Afromurus floreus</i>	5.4	19.7	
<i>Epeorus erratus</i>		127.2	16.1		
<i>Rhithrogena ampla</i>		670.1	1906.3		
Plecoptera	Nemouridae	<i>Amphinemura</i> sp.	222.2	181.0	
		<i>Protonemura</i> spp.	5.4	5.4	
	Perlidae	<i>Gibosia</i> sp.		1.8	
		<i>Neoperla</i> spp.	35.8	145.1	
	Styloperlidae	<i>Cerconychia</i> sp.	1.8	3.6	

表 5-2 續

Order	Family	Taxa	司界蘭溪下游	司界蘭溪上游
Trichoptera	Apataniidae	<i>Manophylax</i> sp.		7.2
	Glossosomatidae	<i>Glossosoma</i> sp.	93.2	98.5
	Hydrobiosidae	<i>Apsilochorema</i> sp.	16.1	
	Hydropsychidae	<i>Arctopsyche</i> sp.	9.0	5.4
		<i>Hydropsyche</i> spp.	320.7	25.1
	Hydroptilidae	<i>Hydroptila</i>	1.8	
		<i>Stactobia</i>		1.8
	Lepidostomatidae	<i>Goerodes</i> sp.	37.6	34.0
	Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila nigrocephala</i>	62.7	35.8
		<i>Rhyacophila</i> spp.	19.7	10.7
	Stenopsychidae	<i>Stenopsyche</i> sp.A	1.8	1.8
Uenoidae	<i>Uenoa taiwanensis</i>		3.6	

(資料來源：本研究資料)

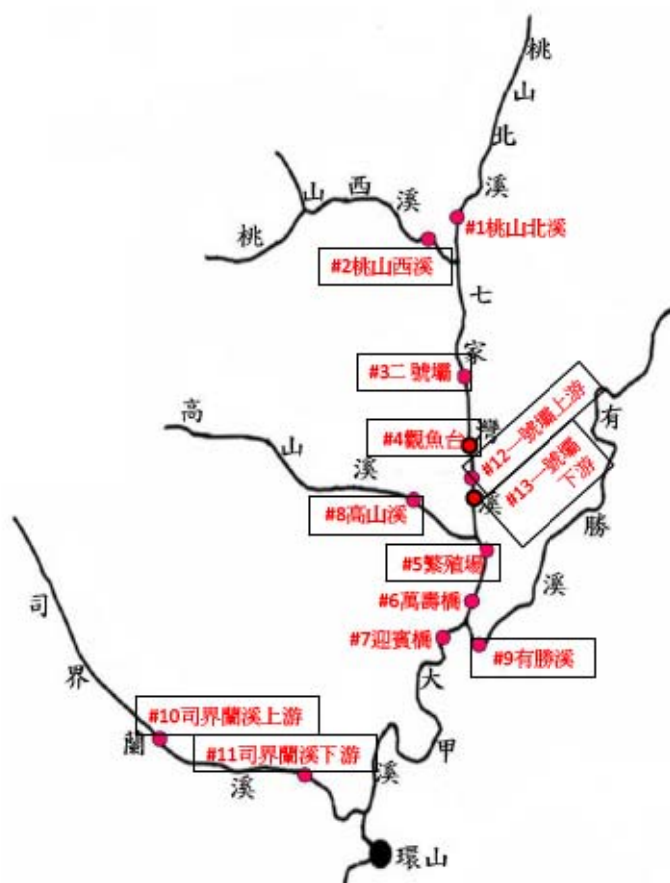


圖 5-1、武陵地區溪流水棲昆蟲監測調查測站之相關位置圖。

(資料來源：本研究資料)

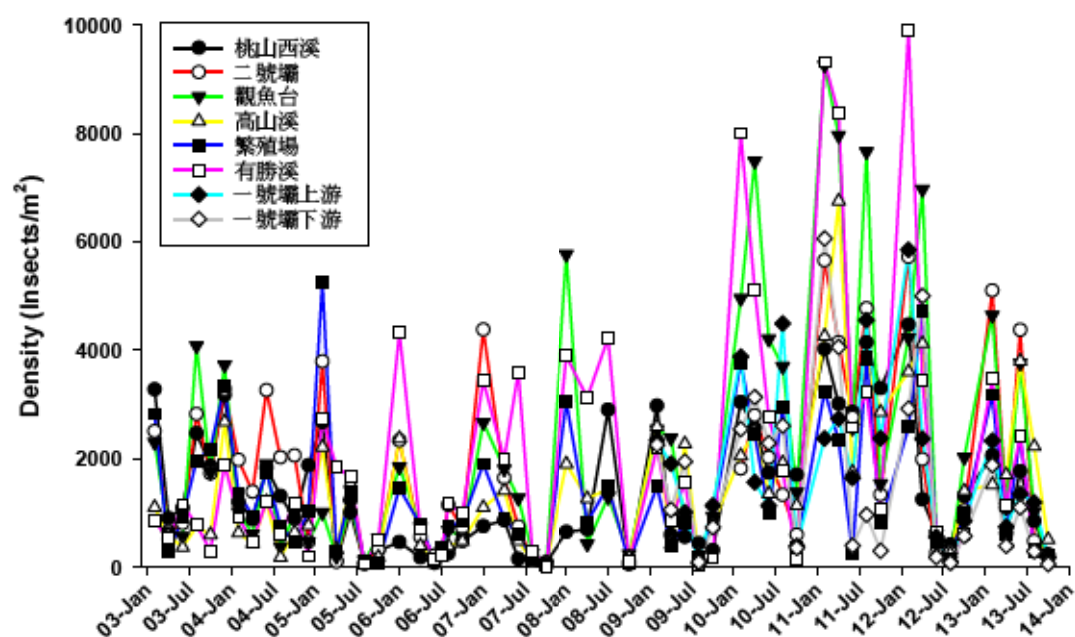


圖 5-2、武陵地區溪流測站水棲昆蟲各月數量。(資料來源：本研究資料)

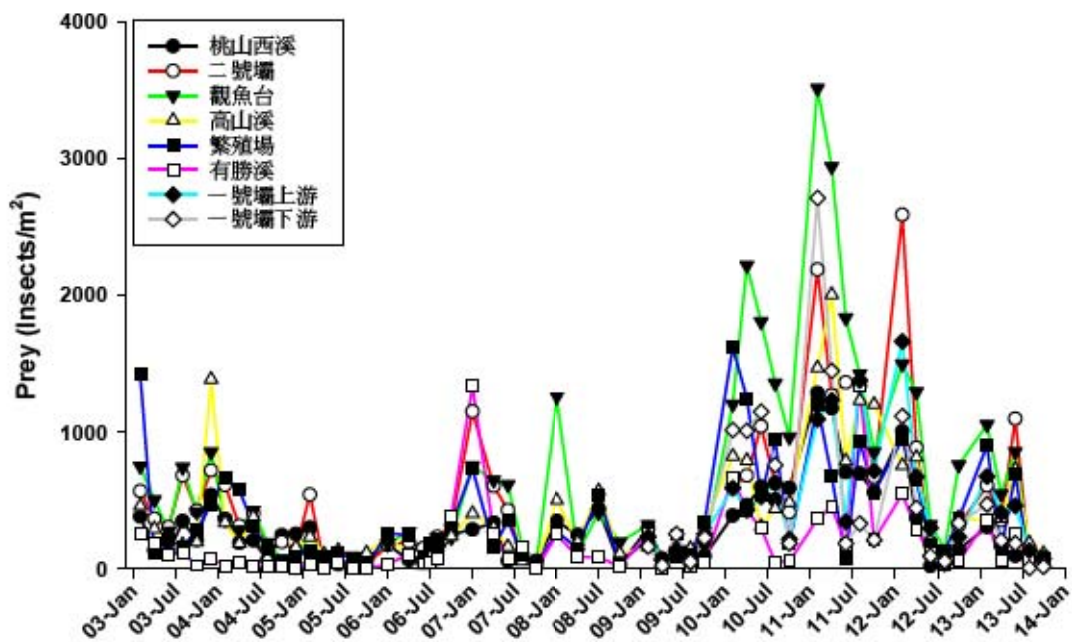


圖 5-3、武陵地區溪流測站之臺灣櫻花鉤吻鮭中大體型昆蟲食餌數量變化圖。
(資料來源：本研究資料)

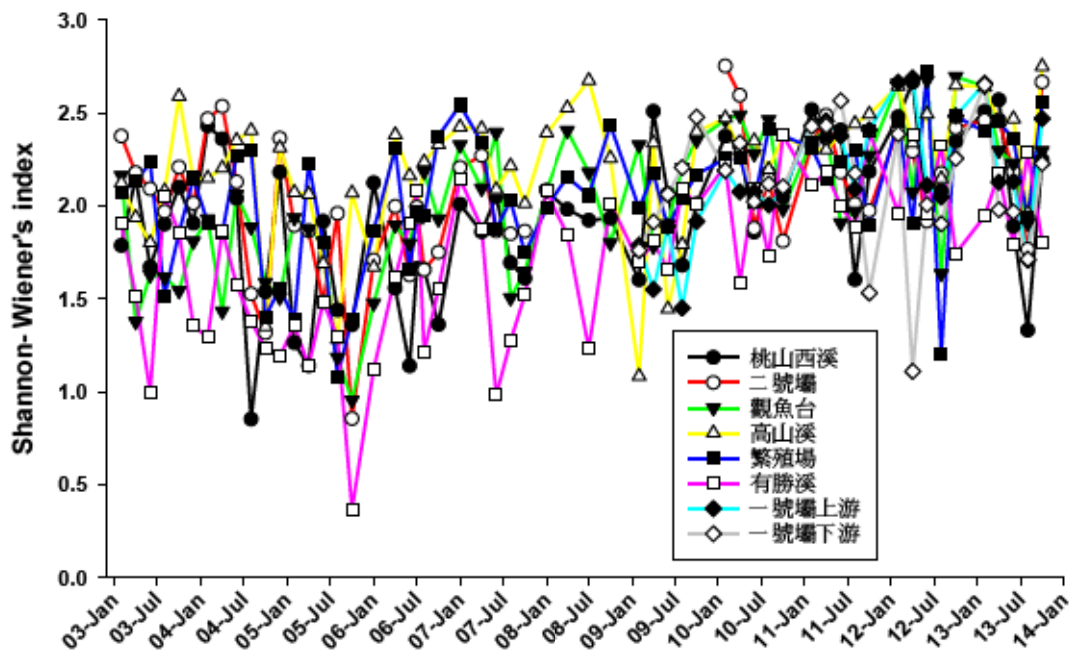


圖 5-4、武陵地區溪流測站水棲昆蟲之 Shannon- Wiener's index。
(資料來源：本研究資料)

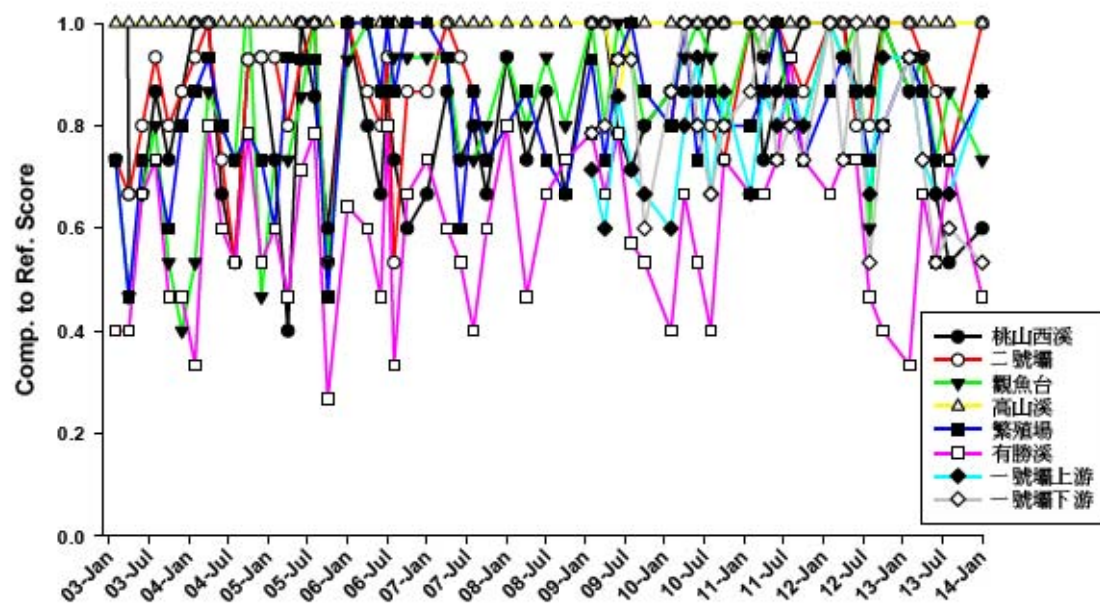


圖 5-5、武陵地區溪流測站水棲昆蟲之 RBPII 相對分數。
(資料來源：本研究資料)

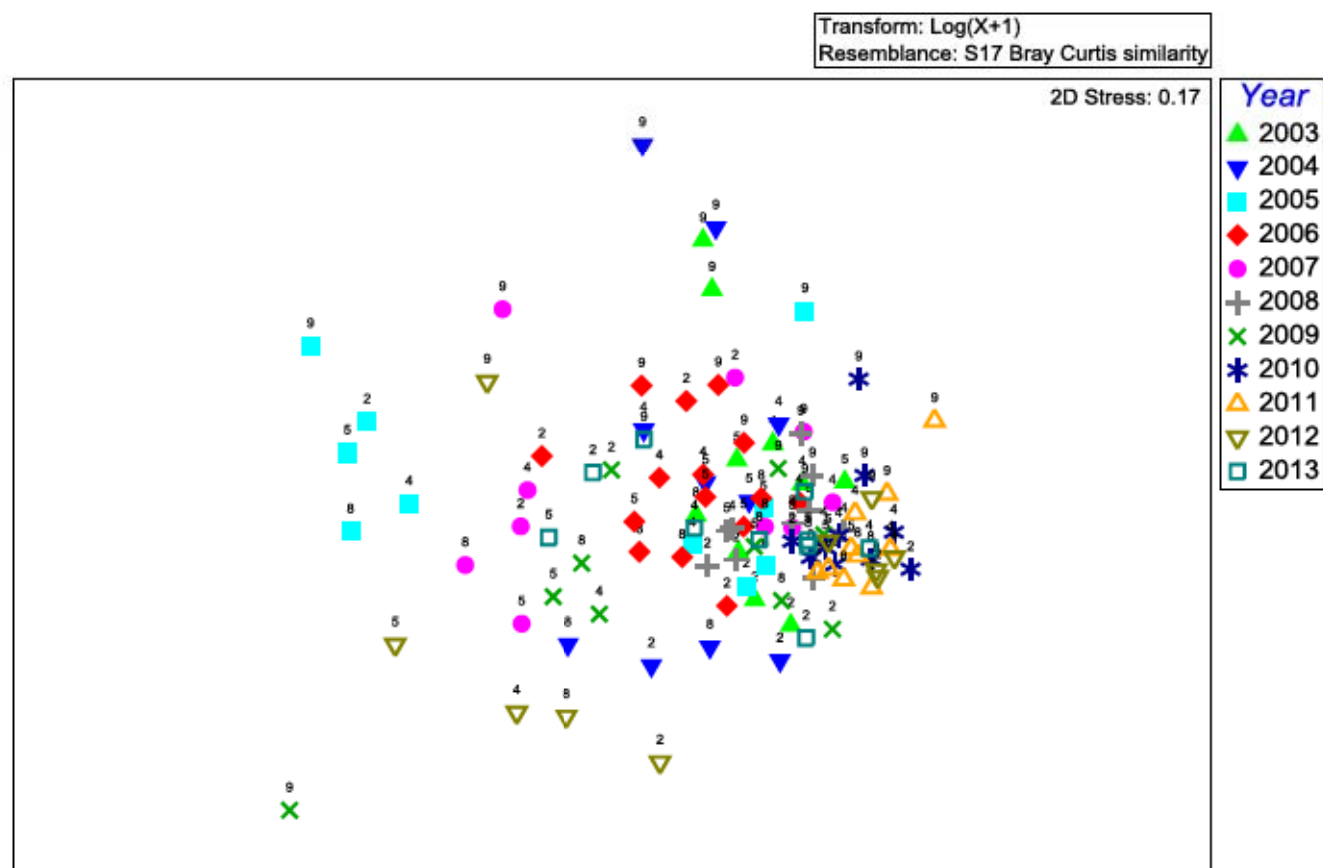


圖 5-6、武陵地區溪流測站水棲昆蟲之 MDS 分析。圖標數字表示樣站編號。
(資料來源：本研究資料)

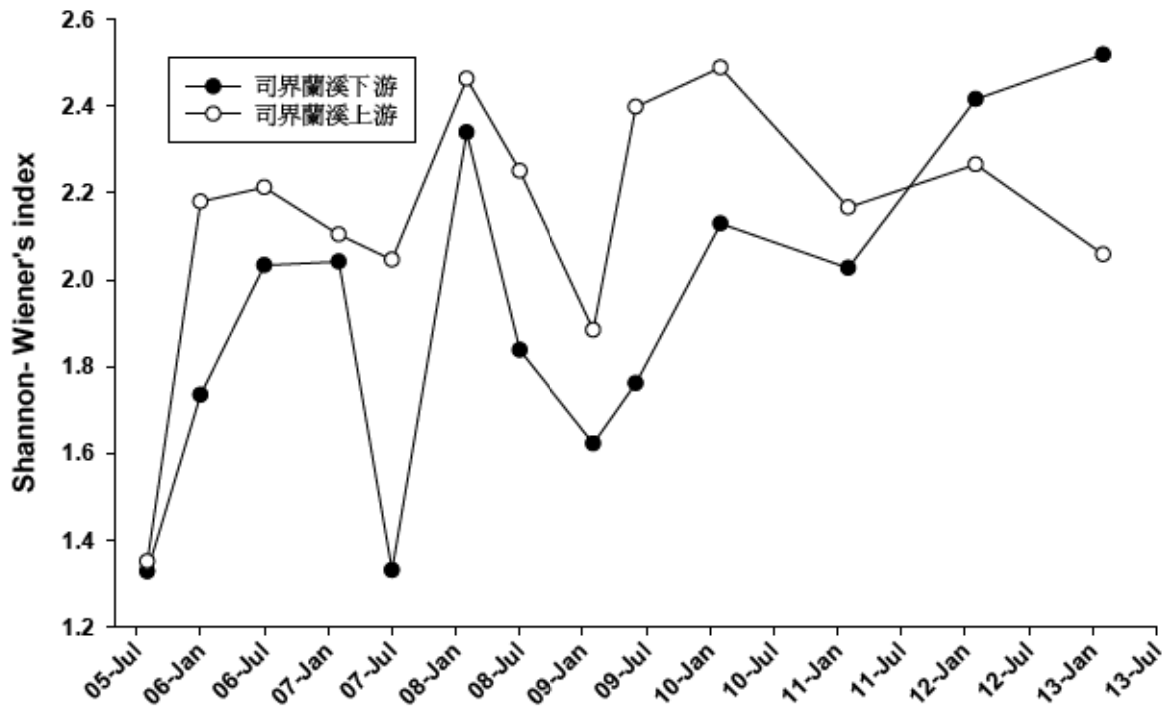


圖 5-7、司界蘭溪測站水棲昆蟲之 Shannon- Wiener's index。
(資料來源：本研究資料)

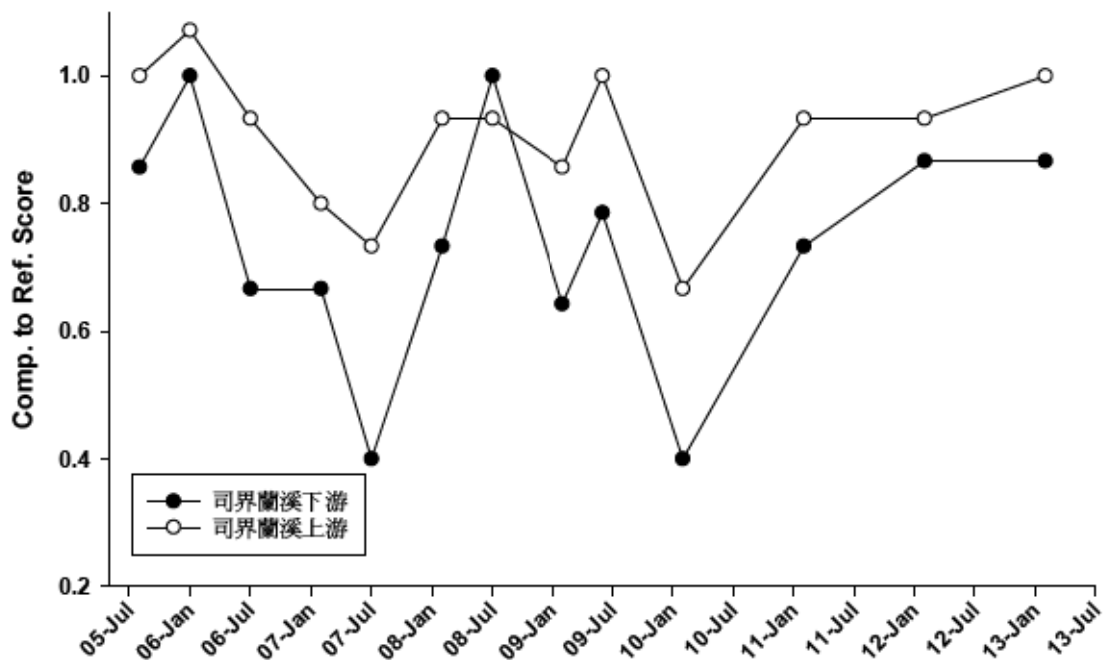


圖 5-8、司界蘭溪測站水棲昆蟲之 RBPII 相對分數。
(資料來源：本研究資料)

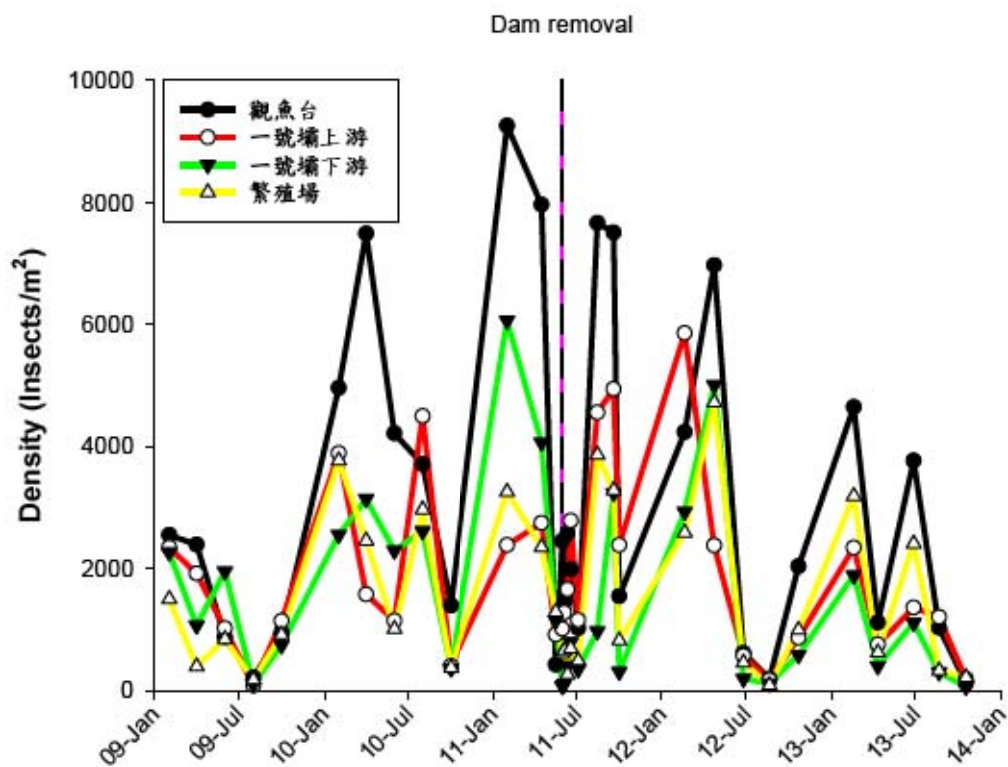


圖 5-9、一號壩壩體上下游四測站水棲昆蟲數量。
(資料來源：本研究資料)

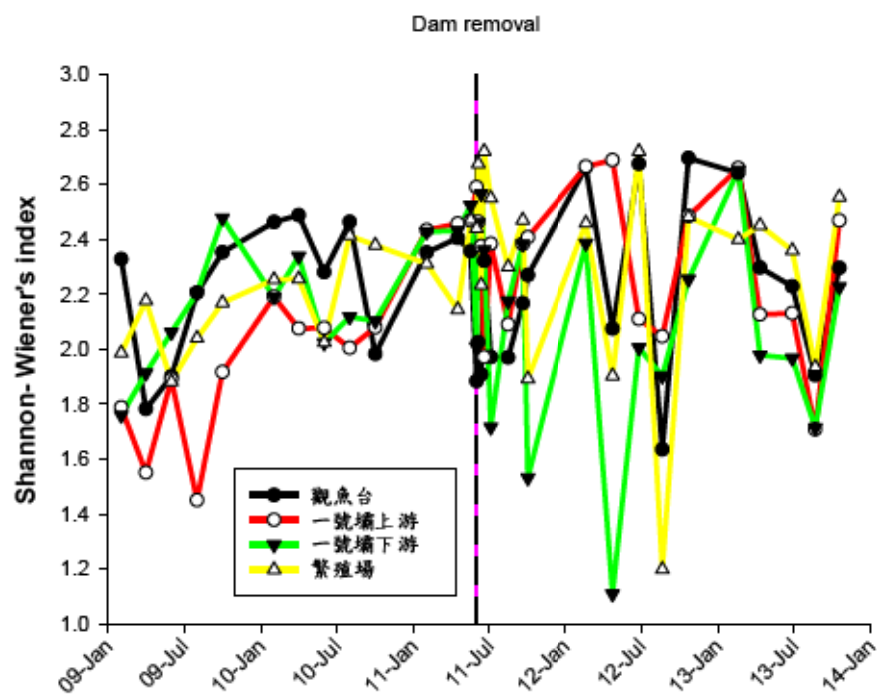


圖 5-10、一號壩壩體上下游四測站水棲昆蟲之 Shannon-Wiener's index。
(資料來源：本研究資料)

第六章 臺灣櫻花鉤吻鮭族群監測與動態分析

曾晴賢、陳彥谷

清華大學生物資訊與結構生物研究所

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

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孑遺生物。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，並且造成嚴重威脅其生存。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。

二、研究方法及過程

本研究除定期調查各固定樣點的魚類族群分布與數量外，於 2013 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 2012 年繁殖季節後新生幼魚加入族群數量與分布狀況及 2013 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。同時為了配合 2011 年度七家灣溪一號壩壩體改善工程，增加四處固定樣站(一號壩上下游各兩處樣站)之監測，以了解壩體改善前後各樣站鮭魚數量之變化情形。

三、重要發現

1、2013 年針對共同樣站的定期調查已經完成五次，監測資料結果顯示與歷年資料差異不大，四月份過後由於有新生幼魚的加入而比二月份有更多鮭魚紀錄，八月份的調查顯示出蘇力颱風過後，各樣站的臺灣櫻花鉤吻鮭數量皆有降低。相較於過去幾年的調查結果，高山溪樣站調查結果發現有較多的鮭魚

記錄，去年四月份殘材壩崩毀後，從今年開始也記錄到零星的臺灣鍮領魚。另外，在上游樣站的二號破壩，於一號壩工程改善後，2011年10月開始記錄到一尾臺灣鍮領魚之後，去年與今年持續有穩定的紀錄，顯示一號壩壩體改善對於魚類的上溯有正面的效益。

- 2、今（2013）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 4,061 尾，較去年多了約 300 尾。其中一齡小魚有 1,933 尾，二齡中型鮭魚有 1,445 尾，三齡大型成魚則有 683 尾。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非常良好，受到去年蘇拉颱風影響的鮭魚族群數量因為新生幼魚的加入而有成長。
- 3、由於去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，在經歷今（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。秋季普查結果顯示，臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量僅剩 1,245 尾，跟颱風前相比減少了約三分之二。其中一齡小魚僅剩 316 尾，二齡中型鮭魚剩 529 尾，三齡大型成魚則有 400 尾。族群結構呈現以中型鮭魚較多，大型鮭魚次之，而小型鮭魚最少的陀螺型的族群結構，顯示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，今年的新生族群僅剩少部分留存。
- 4、桃山西溪樣站之監測數量，頗能反映整體武陵地區的臺灣櫻花鉤吻鮭族群受風災影響之狀況，以及每年幼魚更新之族群健康狀況。此樣站周邊對魚類來說為一個 Y 形的封閉式系統，上有四號壩與四號副壩阻隔，下有三號壩的極高落差，桃山北溪的支流也有一個天然的小瀑布落差。整合此 Y 型封閉式河段歷年臺灣櫻花鉤吻鮭族群普查的結果，其與整個武陵地區歷年的數量變化相比之下，可以發現兩者之間的變化有著顯著的相似關係。
- 5、二號破壩樣站 2005 年至 2011 年為止，皆未曾有過臺灣鍮領魚的紀錄。但在 2011 年一號壩壩體改善後的歷次調查都已經有臺灣鍮領魚的紀錄，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。

- 6、觀魚台樣站的臺灣鏟頰魚的歷年族群數量資料，以及壩體改善後的密集研究資料顯示，一號壩壩體改善已經對七家灣溪之生態帶來正面效益。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馬上就看到比往年更多的臺灣鏟頰魚出現在此樣站，並曾經有過魚苗的繁殖觀察記錄。研究人員亦於 2011 年 8 月 10 日於此樣站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。
- 7、繁殖場樣站在一號壩改善之後有比以往更多的中小型鮭魚族群，可能是因為有較多的魚可自由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之鮭魚族群，不再因為水溫較高且被一號壩阻隔而無法上溯繁殖，而有更多的幼魚可以在此處棲息並自由移動。
- 8、高山溪樣站的臺灣櫻花鉤吻鮭數量，從 2005 年到 2010 年夏季為止，都少於本溪流流的平均尾數。直到 2010 年夏季之後，才開始有比較多的臺灣櫻花鉤吻鮭，且大部分數量都高於平均尾數。然而從 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），讓此處的鮭魚數量下降，至 2012 年六月份有所回升，但由於蘇力颱風再次造成棲地改變，鮭魚數量又再減少。
- 9、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樣站，2013 年高山溪樣站的調查結果也只有零星的紀錄，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，使水溫仍保持在較低溫有關。
- 10、七家灣溪一號壩壩體改善後，五處固定樣站之密集研究與鮭魚普查結果顯示，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樣站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。顯示高山溪殘材壩前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。

四、主要建議事項

1、立即可行之建議：高山溪與七家灣溪倒木殘材移除工作

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

去年調查殘材壩對高山溪臺灣櫻花鉤吻鮭的影響及評估，發現高山溪匯流口殘材壩之倒木因之前已做切割分段之處理並用人力拖曳，於四月份被大水沖垮形成魚類可自由通過之廊道。另外高山溪二號破壩堆積之殘材壩與其上游大型倒木仍造成由七家灣溪回溯高山溪的族群阻隔，建議立即拆除。因為林木為林務局主管權責，建議管理處可以跟林務局商議，把殘材壩徹底鋸斷，但只想以洪水等天然的力量將殘材攜帶而下實屬不易，建議即刻以公文與林務局溝通，並以人力將鋸斷的殘材移至原地的河岸旁。並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)桃山西溪三號壩~四號壩間，加上桃山北溪匯流前段這一Y形封閉河段，

於每年夏季與秋季做該河段的普查。

- (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流域全河段的普查。

ABSTRACT

Taiwan masu salmon (*Oncorhynchus 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.

Beside the investigation on the 8 joint site every two month, the overall population investigations for Taiwan masu salmon in the Chichiawan creek have been conducted in July and October of 2012 in order to know the population and the distribution of new born juveniles attending to the salmon group after the 2011 breeding season and the distribution and the amount of the adults before 2012 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 fist 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.

The major findings are as follows:

1. The population survey on the joint site had completed five times in 2013 and the result revealed that only a few difference with the data over the years, but the population decreased after the Typhoon Soulik affected Wuling area in July of 2013. However, compare with the results of past three years, the joint

site of Gao-shan creek had more salmon. Additionally, after the improvement of the first dam, the joint site of the second dam in the upstream of the first dam was investigated *Onychostoma barbatulum*, indicated that the improvement of the first dam had positive benefits of fish traced.

2. The investigation showed that the total amount of the salmon was 4,061 in June of 2013. The amount of the one-aged juvenile was 1,933, the two-aged adult was 1,445, and the three-aged adult was 683. 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.

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 five sites and 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.

【Keywords】 *Oncorhynchus formosanus*, Chichiawan creek, population size, ecological survey, dam improving

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台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年 (1984) 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, 並且在民國八十六年 (1997) 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。到了在民國七十三年 (1984) 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年 (1991) 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年（1994）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），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 年夏季以後, 遭逢兩個敏督莉 (Mindulle) 以及艾莉 (Aeri) 颱風侵襲, 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完全改觀，鮭魚族群數量也受到衝擊而減少。

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，但由調查結果看來，2012 年風災的影響仍屬正常範圍，不過即使如此，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，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「武陵地區長期生態監測暨生態模式建立」的子計畫，配合各相關計畫的共同樣點（圖 6-1）進行定期監測工作，依照總計畫之預定進度，過去監測地點共有 5 個主要測站，此 5 個主要測站分別為「桃山西溪」測站、「觀魚台」（之前該測站名稱為一號壩）測站、「高山溪」測站、「繁殖場」測站以及「有勝溪」測站。除上述 5 個樣站之外，2010 年分別於七家灣溪一號壩的上下游 100 公尺處新增二個共同樣站，並針對觀魚台、一號壩上游、一號壩下游、繁殖場與高山溪殘材壩前河段進行密集監測作業，以了解七家灣溪一號壩壩體改善後，對其上下游鮭魚族群的影響。同時，為了監測 8.1 公頃的農場回收後是否能改善七家灣溪的水質狀況，新增一處「二號壩」樣站進行監測（圖 6-1），每二個月（2、4、6、8、10 月）進行一次監測工作。此外，2011 年開始司界蘭溪則更改為一年進行一次監測（2 月份），所以調查樣站總共有十一處，本計畫之調查為瞭解共同樣區內魚類種類與數量分布等狀況。

此外，為了延續以往的臺灣櫻花鉤吻鮭長期族群監測工作，本研究亦持續進行全流域的族群普查工作，預定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。調查範圍預計如圖 6-1 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，而湧泉池則由於這三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*) 與明潭吻蝦虎魚 (*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，特別是是數量最多的臺灣鏟頰魚，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) 生態模式建立共同樣區的調查結果

本年度計畫首先配合「武陵地區長期生態監測暨生態模式建立」總計畫的需要，在總計畫選擇的十個共同樣點（圖 6-1）中進行定點監測。每二個月（2、4、6、8、10 月）進行一次監測工作。此外司界蘭溪則維持一年進行一次監測（2 月），以瞭解共同樣區內魚類種類與數量分布等狀況。今年已完成全部的五次調查，各樣點調查結果如表 6-1 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。本樣站今年歷次的調查結果中（表 6-1），以中型的鮭魚數量較多，小型鮭魚次之而大型成鮭較少，跟去年二月以及四月同期小魚較多的結果不同，可能是有受到去年蘇拉（Saola）颱風的影響。但是今年二月的調查結果中，小型幼鮭的數量較四月少，在六月份又見到數量更多的小型幼鮭，顯示去年新出生的幼鮭會在四月甚至是六月後才漸漸從石縫中出來活動。但在八月的調查中由於受到今年蘇力（Soulik）颱風的影響，鮭魚數量大幅減少，十月份的調查棲地稍趨穩定才見數量回復。而此樣站今年仍沒有臺灣鏟頰魚的紀錄。

以 2005~2013 年為止此樣站臺灣櫻花鉤吻鮭的曲線圖（圖 6-7）來看，可得出此樣站臺灣櫻花鉤吻鮭的平均尾數（Baseline）約為 27 尾，且此樣站在各個颱風事件後幾乎都可快速反應出臺灣櫻花鉤吻鮭族群變化的趨勢。如 2005 年在春季豪雨以及接連而來的海棠、馬莎、泰利、龍王等數個颱風的侵襲之後，在當年颱風後的調查中，本樣站調查範圍中幾無鮭魚存在，而當年度秋季整個武陵地區鮭魚的普查結果也只剩下總數 523 尾的鮭魚（圖 6-2）。2006 年以後此樣站的鮭魚總數持續成長，與武陵地區整體鮭魚總數的情況相似，其中很明顯的可

以看出在 2008 年有個幼魚大發生的繁殖季，之後又因辛樂克、薔蜜強颶的侵襲而使數量銳減，這個曲線變化也與武陵地區整體鮭魚族群數量的變化如出一轍；另外在 2006 年以及 2011 年本樣站也都可以看出有對應到武陵地區鮭魚族群幼魚大量發生的波峰。從總數量來看 2008 到 2012 年間本樣站的鮭魚總數大致上都可維持在平均尾數以上，而相對應的此時期武陵地區鮭魚總數則都維持在 3000 尾以上，2011 年的高峰期同時也是武陵地區歷年來鮭魚總數的高峰，直到 2012 年蘇拉颱風的影響，使得族群總數量下降約 1/3。本樣站可以如此反應鮭魚族群整體種況，其原因可能在於此樣站周邊對魚類來說為一個 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。然而因本樣站位處上游，遭受颱風侵襲後棲地的變化相對較中、下游小，且四號副壩前以及樣站下游都有深潭可供鮭魚躲藏，支流桃山北溪水量較小也可供鮭魚在主流洪流時期躲藏之用。且歷年來此樣站因海拔較高遮蔽較好水溫都低，此處的鮭魚族群更新狀況良好。整合此 Y 型封閉式河段歷年普查的結果做成的曲線圖（圖 6-6），其與武陵地區臺灣櫻花鉤吻鮭族群歷年的變化曲線相比之下，可以發現兩者之間的變化有著顯著的相似關係。值得注意的是由於去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，在經歷今年七月份蘇力颱風所帶來的影響，造成七家灣溪河道的側向侵蝕與崩塌，使棲地環境改變甚大，像是四號壩前的深潭即被填滿，也可由此處推測整體七家灣溪的棲地變動甚大。

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族群受風災影響之狀況以及每年幼魚更新之族群健康狀況，建議往後應要列為持續施作研究的樣站。

而 2005~2013 年為止此樣站臺灣鏟頰魚數量的曲線圖（圖 6-7）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 6-3）。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。在浮潛的調查紀錄上（表 6-1），三種體型的鮭魚都可以在此樣站被發現，其中以中大型的鮭魚數量較多，小型鮭魚較少一些。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 2005~2013 年為止此樣站臺灣櫻花鉤吻鮭的曲線圖（圖 6-8）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 2005~2013 年為止此樣站臺灣鱈領魚數量的曲線圖（圖 6-8）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鱈領魚的紀錄，但在 2011 年壩體改善後的十月份與十二月份以及 2012 年、2013 年的調查都有臺灣鱈領魚的紀錄，且去年蘇拉颱風的大水過後一直到今年四月的調查為止數量不斷攀升，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鱈領魚平均尾數（Baseline）約為 16 尾，至今為止已經連續超過 4 次調查的臺灣鱈領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今年在五次調查皆有臺灣鏟頰魚的紀錄，所記錄到的多為中大型個體。在鮭魚的紀錄方面，二月份有紀錄到較多的數量，二月份、四月份及六月份的調查各種體型的鮭魚都有記錄到，在蘇力颱風之後的八月份與十月份調查則是僅剩零星鮭魚數量（表 6-1）。本樣站的臺灣櫻花鉤吻鮭就歷年的資料來看（圖 6-9），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 年的調查大部分都在平均尾數之上。

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，新復育中心旁的七家灣溪河段，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。在鮭魚與臺灣鏟頰魚調查的結果部分（表 6-1），二月份的紀錄相當零星，四月份之後才有比較多臺灣鏟頰魚的紀錄，其中以中型以及小型的臺灣鏟頰魚較多，此數量上的波動應與臺灣鏟頰魚的繁殖季時期有關。本樣站的臺灣櫻花鉤吻鮭就歷年的資料來看

(圖 6-10) 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。而且一號壩改善之後也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，只有今年的四月、八月、十月才又有零星的臺灣鏟頰魚紀錄。今年歷次的調查中 (表 6-1)，可能受去年蘇拉颱風的影響，二月以及四月都只記錄到個位數量的臺灣櫻花鉤吻鮭，六月則有較多鮭魚的紀錄，但受到七月份蘇力颱風的影響，八月及十月僅有一尾鮭魚的紀錄。本樣站的臺灣櫻花鉤吻鮭就歷年的資料來看 (圖 6-11) 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、以及今年四月、八月、十月有零星的調查紀錄 (圖 6-11)。本樣站下游原有個殘材壩，在去年四月崩解之後仍無多量臺灣鏟頰魚上溯來此之紀錄，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

於是七家灣河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。

Site9：有勝溪

有勝溪的調查點位於收費站旁防砂壩上游河段，雖然在歷史的紀錄上有勝溪也曾有過臺灣櫻花鉤吻鮭，但目前該河段只以臺灣鏟頰魚為主，因為樣區下游有座高聳的防砂壩矗立，七家灣溪下游的臺灣櫻花鉤吻鮭也沒有機會上溯到該樣區內，因此沒有發現到任何臺灣櫻花鉤吻鮭的機會。二月份分別有記錄了 4 尾大型、25 尾中型與 11 尾小型的臺灣鏟頰魚（表 6-1），四月臺灣鏟頰魚的大型魚記錄到 1 尾、中型魚 22 尾，並且幼魚數量僅有 20 尾的紀錄，並且沒像 2010 年及 2011 年一般四月份時就觀察到有整群魚苗在岸邊。然而六月時就記錄到有 179 尾臺灣鏟頰魚幼魚，八月份更記錄到有 489 尾幼魚，其中包含不少魚苗。本樣站由 2005 年到 2013 年為止臺灣鏟頰魚的曲線分布圖（圖 6-12）可看出，在 2009~2011 這 3 年間都有臺灣鏟頰魚繁殖的大發生，在繁殖季都可見到有魚苗群整堆整堆出現在岸邊，讓調查的數量有非常大量的上升來到千尾以上，由這曲線也可看出臺灣鏟頰魚的繁殖季節相當長，從四月到十月之間基本上都可見到大量的幼魚以及魚苗。扣除大量發生的魚苗，本站計算所得到的臺灣鏟頰魚平均尾數（Baseline）約為 35 尾，今年歷次調查的數量也都高於平均尾數。

Site10 及 Site11 司界蘭溪上下游

司界蘭溪共有兩個樣點，編號 Site10 的上游樣點則位於松柏農場以上的未開發河段，後來於 2006 年十月後更改至雪霸國家管理處的放流點位置，棲地以急瀨為主，上方有一水潭區（即放流點）。2005 年各月份調查在上下游樣點都沒有記錄到任何魚群。自雪霸國家公園管理處在 2006 年十月於司界蘭溪放流一百多尾臺灣櫻花鉤吻鮭幼魚以後，才開始記錄到魚群（圖 6-13）。由前幾年調查結果看來，樣站鮭魚數量逐漸減少，2009 年以後甚至完全沒有紀錄，這或許是幼魚已經由原本放流的水潭擴散至其他河段；也可能是因為經歷 2008 年卡玫

基、辛樂克、蕃蜜等連續颱風，使得棲地改變，幼魚也因洪水而無法存活下來；臺灣鏟頰魚則是由 2005 年至今只有 2009 年二月以及 2011 年以後的二月份有調查到的紀錄。而今年司界蘭溪上游樣站皆沒有任何鮭魚紀錄，但有 16 尾臺灣鏟頰魚的紀錄（表 6-1），較去年 22 尾的紀錄少一些。

編號 Site11 的下游樣點位於司界蘭溪松柏農場旁防砂壩下游河段，棲地主要是平瀨為主，該河段通常僅能記錄到臺灣鏟頰魚個體，有時則沒有發現任何魚群（圖 6-14）。今年度二月調查發現 5 尾中型以及 1 尾小型的臺灣鏟頰魚（表 6-1），可能由於蘇拉颱風的影響，較去年的紀錄少了很多。

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。

（二）七家灣溪一號壩壩體改善前後之魚類監測結果

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，本研究除在一號壩上下游各 100 公尺處設立樣站外，亦於距離一號壩上下游約 1 公里的觀魚台（上游）和繁殖場（下游）進行密集監測作業；同時，也在七家灣溪與高山溪匯流處至高山溪殘材壩約 50 公尺的河段進行監測，以了解臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鏟頰魚在一號壩壩體改善期間造成七家灣溪濁度提升時，一號壩下游的魚類是否會利用此河段進行迴避成為其庇護所。

從表 6-2、表 6-3 以及圖 6-15 中可以看出，距離一號壩較遠的上游樣站（觀

魚台)中，鮭魚的數量幾乎沒有明顯的改變，且自 2009 年二月至今，觀魚台樣站鮭魚的數量變化較為不穩定，只呈現原本既有的動態變化，故無法單由此樣站數據判定壩體改善後對鮭魚族群的增加是否有所助益；但是研究人員曾於 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 6-4)，直接地顯示一號壩改善工程後所產生的效益。而臺灣鏟頰魚則在壩體改善後的兩年間很明顯的可以看到與之前相比有增加的現象(圖 6-15)，且是從壩體改善後(一號壩體改善工程於 5 月 26 日開始進行，於 5 月 30 日完成壩體改善工程)馬上就有增加的趨勢，其中壩體改善當年以八月與九月增加較多，且 2012 年至 2013 年的所有調查也都有在此紀錄到臺灣鏟頰魚。在距離一號壩較遠的下游樣站(繁殖場)上，鮭魚的數量也有增加的趨勢(表 6-3、圖 6-18)，而從 2009 年二月的紀錄至今來看該樣站的數量變動較大，研判此樣站位於高山溪匯流進入七家灣溪的位置上(圖 6-1)，受到鮭魚可以在此處自由移動於兩條溪之間的影響，導致此樣站的數量波動較大。在壩體改善之後也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。在臺灣鏟頰魚部分，也呈現增加的趨勢(表 6-3、圖 6-15)，研判除了進入繁殖季節後所補充的個體所致之外，也是因為此樣站位處高山溪與七家灣溪兩條溪匯流的位置，在壩體改善所產生的干擾時，臺灣鏟頰魚可以在此處自由移動於兩條溪所致。

在距離施工地點最近的二處樣站上(圖 6-1)，由於受到的干擾程度較大，其棲地也有明顯的改變(照片 6-1，照片 6-2)。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，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(圖 6-16)，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(表 6-3)，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（圖6-16）；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（表6-3、圖6-17），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。

此外，在七家灣溪與高山溪匯流處至高山溪殘材壩約50公尺河段監測上，則可以看出在壩體改善工程期間，無論是臺灣櫻花鉤吻鮭或是臺灣鏟頰魚都有增加的趨勢（表6-3、圖6-19）。在一號壩壩體施工前期的二次監測上，鮭魚的數量分別為31尾與32尾，在壩體施工完畢後的7次監測結果上，平均數量約60尾左右，最多的紀錄達84尾，推測當一號壩體施工對下游河段產生濁度提升時，鮭魚應會利用此河段作為其庇護所。而臺灣鏟頰魚也有相同的現象發生，也就是在一號壩體施工後，此河段的臺灣鏟頰魚數量有增加的趨勢，且增加的現象比鮭魚來得更明顯，從原本只有12尾與3尾的數量，增加到60尾以上幾近100尾，壩體改善後的平均數量達76尾。也可看到在2012年初的3次調查當中，由於七家灣溪受壩體改善工程影響之河段棲地已漸趨穩定，因此高山溪殘材壩前的魚類數量已開始慢慢下降。然而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（圖6-19）。從上述可知，高山溪匯流處至高山溪殘材壩此50公尺河段，為兩種於魚類在壩體改善工程期間或是洪水影響時的重要庇護河段。在監測工作的同時，本研究發現到2012年2月為止，高山溪一號壩前的殘材壩仍然存在（照片6-5），其落差仍維持約2~3公尺左右的高度，此高度無法讓鮭魚與臺灣鏟頰魚自由移動，但在2012年4月24日的調查當中殘材壩已崩毀，原本深潭消失變成水深約30~50公分的淺灘地形（照片6-6）。由歷年的普查資料來看，高山溪一號壩已是高山溪的臺灣鏟頰魚大部分分布的上

限，殘材壩在崩解之後仍無多量臺灣鏟領魚上溯之記錄，顯示其在高山溪的分布上限並未上移，可能與高山溪水溫較低有關。然而臺灣櫻花鉤吻鮭卻可由此上溯至高山溪更上游之河段，也可能因為如此在蘇拉颱風後並沒有觀測到大量的鮭魚以此原殘材壩前河段作為庇護所的現象（圖 6-19）。此殘材壩的崩毀連同 2011 年七家灣溪一號壩壩體改善的效益，相信對於七家灣溪以及高山溪之間的鮭魚族群互相往來有相當的助益。

若我們再從 2002 年至 2012 年七家灣溪中下游河段（迎賓橋至三號壩）的臺灣鏟領魚族群的數量變化來看，下游河段（迎賓橋至一號壩）的臺灣鏟領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領魚適合棲息的棲地，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（圖 6-20），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領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領魚族群的衝擊放大，導致 2004 年至 2011 年夏季這段期間，中游河段的臺灣鏟領魚數量都相當零星，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領魚的紀錄。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領魚的紀錄，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領魚的族群，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領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在一號壩以上的族群數量都相當低（圖 6-20）。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 2013 年整體的臺灣鏟領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領魚之記錄，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。

(三) 臺灣櫻花鉤吻鮭普查族群數量與分布

今(2013)年於六月的普查結果顯示(表 6-6)七家灣溪與高山溪河段臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量共計有 4,061 尾，較去年蘇拉颱風後回復了約 300 尾的數量。其中一齡小魚有 1,933 尾，佔全部數量的 47.6.2%，二齡中型鮭魚有 1,445 尾，佔全部數量的 35.6%，三齡大型成魚則有 683 尾，佔全部數量的 16.8%。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，受到去年蘇拉颱風影響的鮭魚族群數量因為新生幼魚的加入而有成長。

由於去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，在經歷今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。秋季普查結果顯示(表 6-6)，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僅剩 1,245 尾，跟颱風前相比減少了約三分之二。其中一齡小魚只有 316 尾，佔全部數量的 25.4%，二齡中型鮭魚有 529 尾，佔全部數量的 42.5%，三齡大型成魚則有 400 尾，佔全部數量的 32.1%。族群結構呈現以中型鮭魚較多，大型鮭魚次之，而小型鮭魚最少的陀螺型的族群結構，顯示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，今年的新生族群僅剩少部分留存。

今年七家灣溪流域各個河段的鮭魚數量上(表 6-6)，可以看出無論是去(2012)年或今(2013)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。在今年夏季與秋季二次的普查結果上，中游河段(一號壩至三號壩)所佔的比例較高，為 45%~49% (圖 6-21B)，較去年的 42%~45% 為高，推測原因在夏季時是因為此處有較多的幼魚更新，新生族群數量較大；而秋季時可能是遭蘇力颱風沖至下游倖存

的鮭魚，因一號壩壩體的改善，仍能回到一號壩至三號壩之間的河段棲息。其次為上游河段（三號壩以上，含桃山西溪與桃山北溪）的 29%~35%（圖 6-21C），去年則為 33%，特別值得注意的是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%。而下游河段（迎賓橋至一號壩）所佔的比例為 4%~5%（圖 6-21A），整體來說與過去幾年比例差異不大，只比去年稍微高一些；高山溪所佔比例則為 16%（圖 6-21D），較 2012 年為低，也代表高山溪此次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。

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 6-2、6-3、6-4，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 6-2）。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 6-3），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 6-2）。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 6-2）。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 6-4），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 6-3、6-4），雖然僅有 2002 年、2006 年、2008 年、2013 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 6-5 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）在進行大西洋鱈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 6-3）。

根據已經完成的監測資料顯示（表 6-2、表 6-3），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）（圖 6-16），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 2013 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（圖 6-8、圖 6-9），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 6-4），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（圖 6-19），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，如攬砂壩、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），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 年間的高山溪個壩體改善工程（圖 6-3），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鱈頭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。

五、結論與建議

(一) 結論

總結今(2013)年至夏季為止臺灣櫻花鉤吻鮭族群調查結果整理分述如下：

1. 2013年針對共同樣站的定期調查已經完成五次，監測資料結果顯示與歷年資料差異不大，四月份過後由於有新生幼魚的加入而比二月份有更多鮭魚紀錄，八月份的調查顯示出蘇力颱風過後，各樣站的臺灣櫻花鉤吻鮭數量皆有降低。相較於過去幾年的調查結果，高山溪樣站調查結果發現有較多的鮭魚紀錄，去年四月份殘材壩崩毀後，從今年開始也記錄到零星的臺灣鱖領魚。另外，在上游樣站的二號破壩，於一號壩工程改善後，2011年10月開始記錄到一尾臺灣鱖領魚之後，去年與今年持續有穩定的紀錄，顯示一號壩壩體改善對於魚類的上溯有正面的效益。
2. 2013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4,061尾，較去年多了約300尾。其中一齡小魚有1,933尾，二齡中型鮭魚有1,445尾，三齡大型成魚則有683尾。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非常良好，受到去年蘇拉颱風影響的鮭魚族群數量因為新生幼魚的加入而有成長。
3. 由於去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。秋季普查結果顯示，臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量僅剩1,245尾，跟颱風前相比減少了約三分之二。其中一齡小魚僅剩316尾，二齡中型鮭魚剩529尾，三齡大型成魚則有400尾。族群結構呈現以中型鮭魚較多，大型鮭魚次之，而小型鮭魚最少的陀螺型的族群結構，顯示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，今年的新生族群僅剩少部分留存。
4. 桃山西溪樣站之監測數量，頗能反映整體武陵地區的臺灣櫻花鉤吻鮭族群受風災影響之狀況，以及每年幼魚更新之族群健康狀況。此樣站周邊對魚類來說為一個Y形的封閉式系統，上有四號壩與四號副壩阻隔，下有三號壩的極

高落差，桃山北溪的支流也有一個天然的小瀑布落差。整合此 Y 型封閉式河段歷年臺灣櫻花鉤吻鮭族群普查的結果，其與整個武陵地區歷年的數量變化相比之下，可以發現兩者之間的變化有著顯著的相似關係。

5. 二號破壩樣站 2005 年至 2011 年為止，皆未曾有過臺灣鱖領魚的紀錄。但在 2011 年一號壩壩體改善後的歷次調查都已經有臺灣鱖領魚的紀錄，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。
6. 觀魚台樣站的臺灣鱖領魚的歷年族群數量資料，以及壩體改善後的密集研究資料顯示，一號壩壩體改善已經對七家灣溪之生態帶來正面效益。從 2006 年以來，觀魚台當地的臺灣鱖領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馬上就看到比往年更多的臺灣鱖領魚出現在此樣站，並曾經有過魚苗的繁殖觀察記錄。研究人員亦於 2011 年 8 月 10 日於此樣站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。
7. 繁殖場樣站在一號壩改善之後有比以往更多的中小型鮭魚族群，可能是因為有較多的魚可自由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之鮭魚族群，不再因為水溫較高且被一號壩阻隔而無法上溯繁殖，而有更多的幼魚可以在此處棲息並自由移動。
8. 高山溪樣站的臺灣櫻花鉤吻鮭數量，從 2005 年到 2010 年夏季為止，都少於本溪流流的平均尾數。直到 2010 年夏季之後，才開始有比較多的臺灣櫻花鉤吻鮭，且大部分數量都高於平均尾數。然而從 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），讓此處的鮭魚數量下降，至 2012 年六月份有所回升，但由於蘇力颱風再次造成棲地改變，鮭魚數量又再減少。
9. 從歷年的普查資料研判，高山溪一號壩是臺灣鱖領魚自然分布的上限。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鱖

領魚上溯到高山溪樣站，2013年高山溪樣站的調查結果也只有零星的紀錄，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，使水溫仍保持在較低溫有關。

10. 七家灣溪一號壩壩體改善後，五處固定樣站之密集研究與鮭魚普查結果顯示，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領魚與一號壩上游樣站所發現的臺灣鏟領魚幼魚群，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領魚躲在此處。顯示高山溪殘材壩前河段可以提供臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鏟領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。

(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

去年調查殘材壩對高山溪臺灣櫻花鉤吻鮭的影響及評估，發現高山溪匯流口殘材壩之倒木因之前已做切割分段之處理並用人力拖曳，於四月份被大水沖垮形成魚類可自由通過之廊道。另外高山溪二號破壩堆積之殘材壩與其上游大型倒木仍造成由七家灣溪回溯高山溪的族群阻隔，建議立即拆除。因為林木為林務局主管權責，建議管理處可以跟林務局商議，把殘材壩徹底鋸斷，但只想以洪水等天然的力量將殘材攜帶而下實屬不易，建議即刻以公文與林務局溝通，並以人力將鋸斷的殘材移至原地的河岸旁。並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)桃山西溪三號壩~四號壩間，加上桃山北溪匯流前段這一 Y 形封閉河段，於每年夏季與秋季做該河段的普查。
- (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，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等同仁鈺婷、立鈞、珮琳、士恩、可晉、瑞宗、貞瑜、承恩、鎮戩，以及志工鏗達、湯包、麒超、智詠、阿良、建毅、潔西、廖竣、文謙、素貞、建斌、紫瑜、振綱、怡雯、泰霆、瑾愉、鈺婷、若珊、舒逸等人在野外工作上的協助，才能順利平安完成本年度多次的野外調查工作，其中也特別感謝同事何珮琳、學妹嚴鈺婷與學弟邱立鈞三位，以及志工李素貞媽媽，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，23-37 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：31-46 頁。
- 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。
- 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、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。
- 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。
- 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。
- 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處。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、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。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。

- 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。
- 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。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。
- 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。
- 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。
- 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。
- 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。

- Hjort, J. (1914) Fluctuations in the great fisheries of Northern Europe. Rapp. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer 20, 1-28.
- Kano, T. (1940) Zoogeographical studies of the Tsugitaka Mountains of Formosa. Inst. Ethnogr. Res. Torkyo. 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
- Ho & Gwo (2010) *Salmo formosanus* Jordan & Oshima, 1919 (currently *Oncorhynchus formosanus*) (Pisces, SALMONIDAE, SALMONINAE) : proposed conservation of the specific name. *Bulletin of Zoological Nomenclature*, 67 (4) :300-302.

表 6-1、2013 年武陵地區固定樣點魚類組成相調查結果

年度 月份	2013 年																													
	2 月						4 月						6 月						8 月						10 月					
	臺灣櫻花鉤吻鮭		臺灣鱖領魚		臺灣櫻花鉤吻鮭		臺灣鱖領魚		臺灣櫻花鉤吻鮭		臺灣鱖領魚		臺灣櫻花鉤吻鮭		臺灣鱖領魚		臺灣櫻花鉤吻鮭		臺灣鱖領魚		臺灣櫻花鉤吻鮭		臺灣鱖領魚		臺灣櫻花鉤吻鮭		臺灣鱖領魚			
樣站/體型	大	中	小	大	中	小	大	中	小	大	中	小	大	中	小	大	中	小	大	中	小	大	中	小	大	中	小			
桃山西溪	2	13	2	0	0	0	0	0	0	7	12	7	0	0	0	4	7	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
二號破壩	10	6	6	9	12	7	1	11	3	4	31	24	11	9	3	13	5	2	5	9	1	9	72	2	10	4	2	13	10	
觀魚台	7	13	2	16	7	0	1	8	1	0	4	0	2	8	1	4	19	6	0	3	4	0	24	0	0	2	0	22	0	
一號壩上游	7	1	0	4	16	2	1	11	3	1	3	8	5	9	2	3	26	20	0	0	0	51	14	0	3	1	4	58	20	
一號壩下游	0	0	0	14	56	12	0	2	0	2	17	58	2	2	2	3	44	40	0	0	0	19	4	0	0	1	2	120	12	
繁殖場	1	1	0	2	4	1	0	0	0	3	22	4	0	0	12	11	74	160	0	5	8	0	58	38	1	2	1	3	43	56
高山溪	3	0	0	0	0	0	0	4	0	0	1	0	1	2	10	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	2	0	0	
有勝溪	0	0	0	4	25	11	0	0	0	1	22	20	0	0	0	10	65	179	0	0	0	0	75	489	0	0	6	54	100	
司界蘭溪下游	0	0	0	0	5	1																								
司界蘭溪上游	0	0	0	4	9	3																								

(資料來源:本研究團隊)

表 6-3、2011~2012 年武陵地區七家灣溪一號壩壩體改善後魚類密集監測魚類總量

壩體改善前後	改善前		改善後																									
	2011.03.18	2011.04.07	2011.06.04		2011.06.11		2011.06.17		2011.07.07		2011.08.10		2011.09.15		2011.10		2011.12.20		2012.02.15		2012.04.24		2012.07		2012.10			
			鮭	苦花	鮭	苦花	鮭	苦花	鮭	苦花	鮭	苦花	鮭	苦花	鮭	苦花	鮭	苦花	鮭	苦花	鮭	苦花	鮭	苦花	鮭	苦花	鮭	苦花
樣站名稱/魚種																												
觀魚台	3	0	11	0	9	0	2	13	3	14	2	15	16	6	9	5	0	7	1	2	2	7	18	23	11	7	9	
一號壩上游	0	0	1	0	0	17	12	8	13	5	7	18	7	194	14	2	10	4	4	5	3	18	4	1	2	11	153	
一號壩下游	11	22	3	18	4	5	2	7	11	3	8	11	4	16	18	3	2	0	5	18	10	7	6	20	0	70		
繁殖場	3	1	5	3	0	4	8	45	8	26	9	6	68	45	21	12	13	5	3	12	15	60	50	7	91			
高山溪殘材壩	31	12	32	3	45	65	60	65	51	91	84	63	46	62	71	99	61	19	49	55	39	16	23	19	23	139		

(資料來源:本研究團隊)

註、一號壩壩體改善工程於 2011 年 5 月 26 日開始進行，5 月 30 日完成壩體改善工程。

表 6-4、2009 年 2 月至 2012 年 10 月七家灣溪一號壩工程改善臺灣櫻花鉤吻蛙密集監測樣點調查結果

魚種	臺灣櫻花鉤吻蛙																								總計				
	2009 年						2010 年						2011 年						2012 年										
	2月	4月	6月	8月	10月	12月	2月	4月	6月	8月	10月	12月	2月	4月	6月	8月	10月	12月	2月	4月	6月	8月	10月						
樣站/月份	30	8	13	4	5	4	6	28	37	24	5	2	3	11	9	5	13	14	15	6	5	7	2	2	18	7	23	7	311
觀魚台	3	1	7	2	12	0	0	15	1	4	3	8	0	1	0	17	12	13	7	7	14	10	5	18	9	1	11	181	
一號壩上游	5	19	5	1	37	11	32	19	15	4	7	7	11	3	4	5	2	11	8	4	18	2	5	10	6	0	251		
一號壩下游	12	3	12	0	6	2	34	5	13	22	7	1	3	5	0	12	8	8	47	6	45	12	5	12	60	7	347		
繁殖場													31	32	45	69	60	51	84	46	71	61	49	39	23	23	684		
高山溪殘材壩	50	31	37	7	60	17	72	67	66	54	22	18	48	52	58	108	95	97	161	69	153	92	66	97	16	113	48	1774	

(資料來源:本研究團隊)

註 1、一號壩體改善工程於 2011 年 5 月 26 日開始進行，5 月 30 日完成壩體改善工程。

表 6-6、武陵地區 2012 年與 2013 年夏秋兩季臺灣櫻花鉤吻蛙普查結果

(資料來源:本研究團隊)

調查時間	2012 年夏季			2012 年秋季			2013 年夏季			2013 年秋季					
	大型	中型	小型	大型	中型	小型	大型	中型	小型	大型	中型	小型			
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	1024	2910	1545	659	1852	1253	683	1445	1933	400	529	316			
總計	5479 尾			3764 尾			4061 尾			1245 尾					
下游	迎賓橋~高匯			15	5	19	7	25	23	27	43	66	10	10	6
	高匯~一號壩			15	66	100	14	27	22	14	26	43	9	8	7
中游	一~二號壩			421	507	175	114	279	215	158	256	209	76	152	87
	二~三號壩			212	894	270	163	439	380	237	397	719	99	111	36
	三~四號壩			20	134	59	40	58	64	32	69	87	13	21	7
	四~五號壩			34	106	108	4	29	18	15	64	98	0	0	0
	五~六號壩			63	304	145	110	266	149	28	224	88	6	14	3
	桃山北溪			113	394	315	49	329	133	97	187	207	120	118	138
高山溪	高匯~二號壩			51	259	179	88	276	90	55	84	333	41	44	22
	二~四號壩			80	241	175	70	124	159	20	95	83	26	51	10

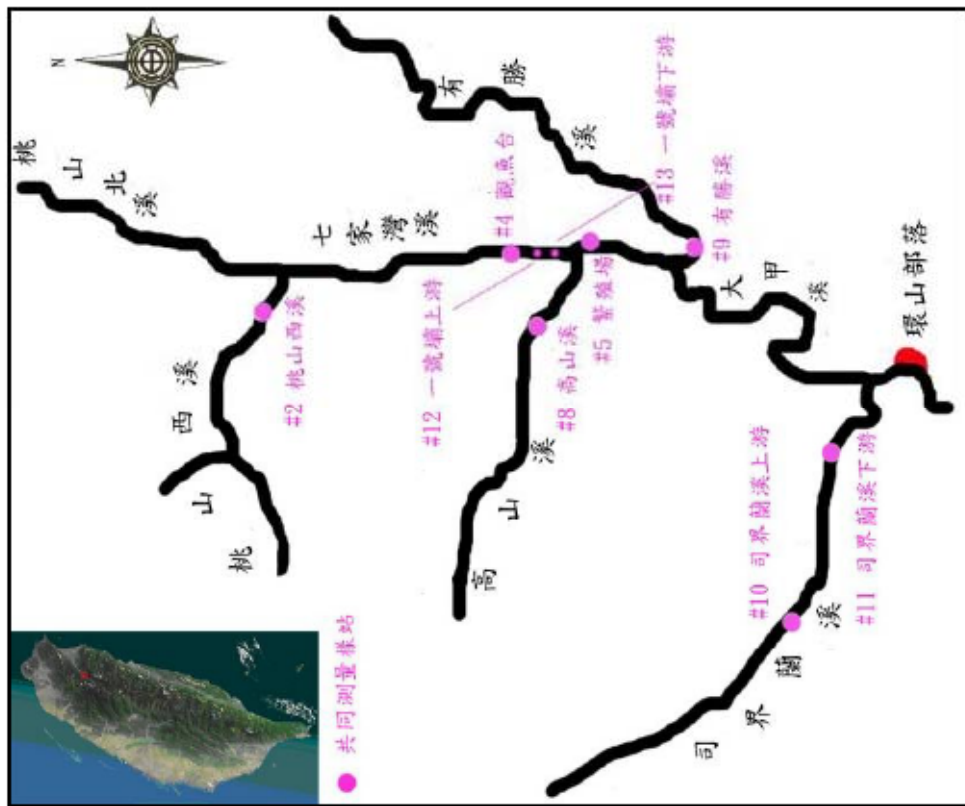
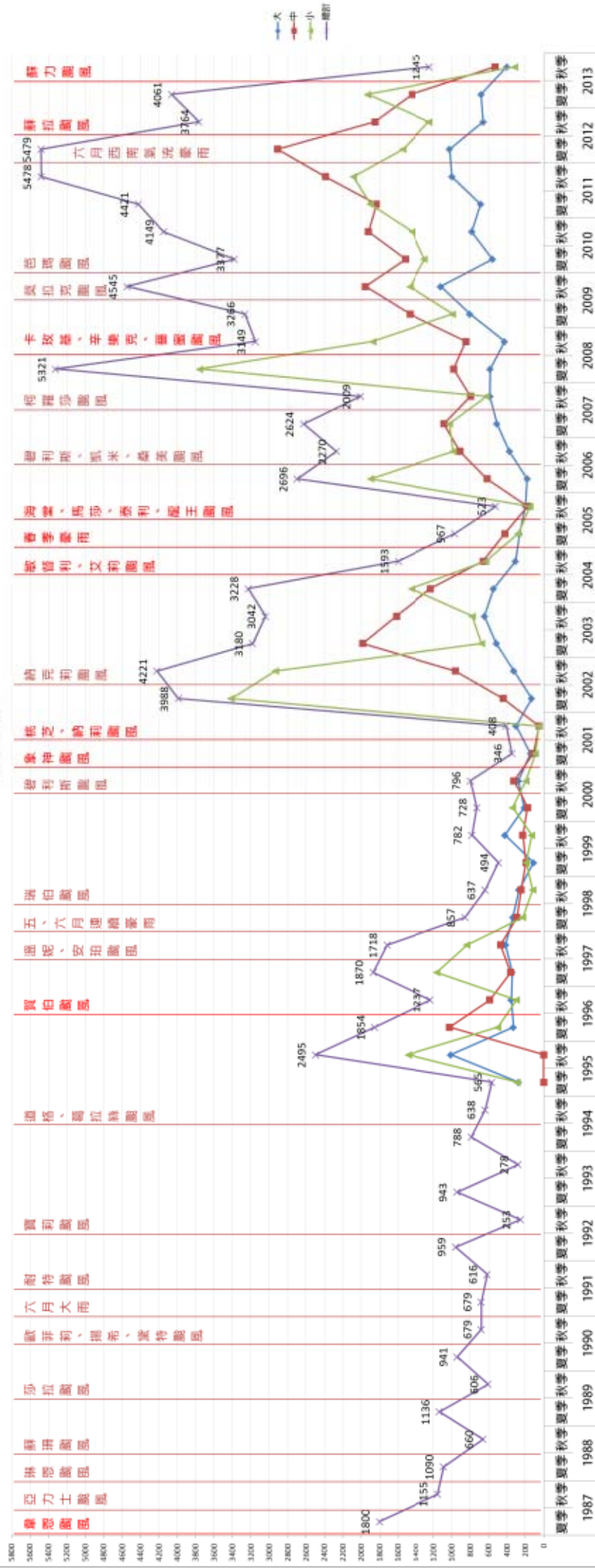


圖 6-1：武陵地區長期生態監測暨生態模式建立之調查樣站位置圖

1987-2013 七家灣溪流域
臺灣鈎吻蛙族群變化圖

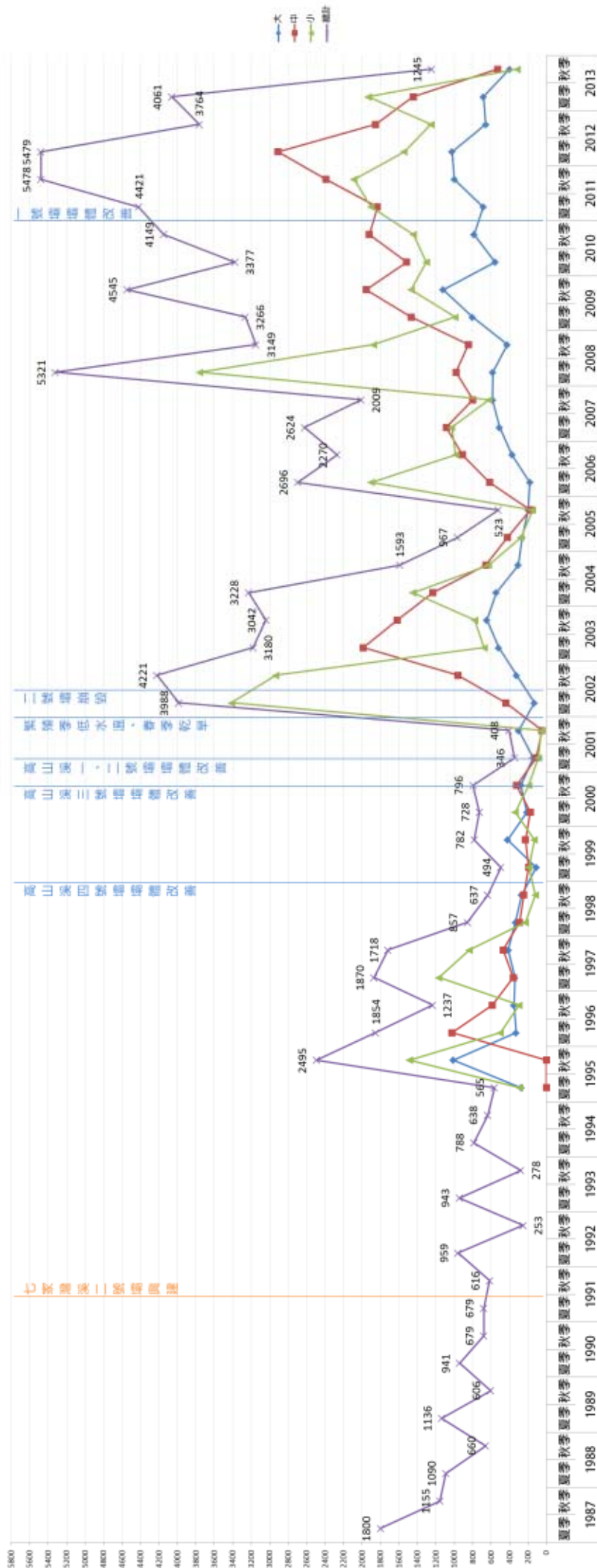


(族群資料來源:本研究團隊)

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

圖 6-2、1987 年至 2013 年武陵地區臺灣櫻花鉤吻蛙族群數量年度變化與重大天災圖

1987-2013 七家灣溪流域
臺灣鉤吻鮭 族群變化圖



(族群資料來源:本研究團隊)

圖 6-3、1987 年至 2013 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

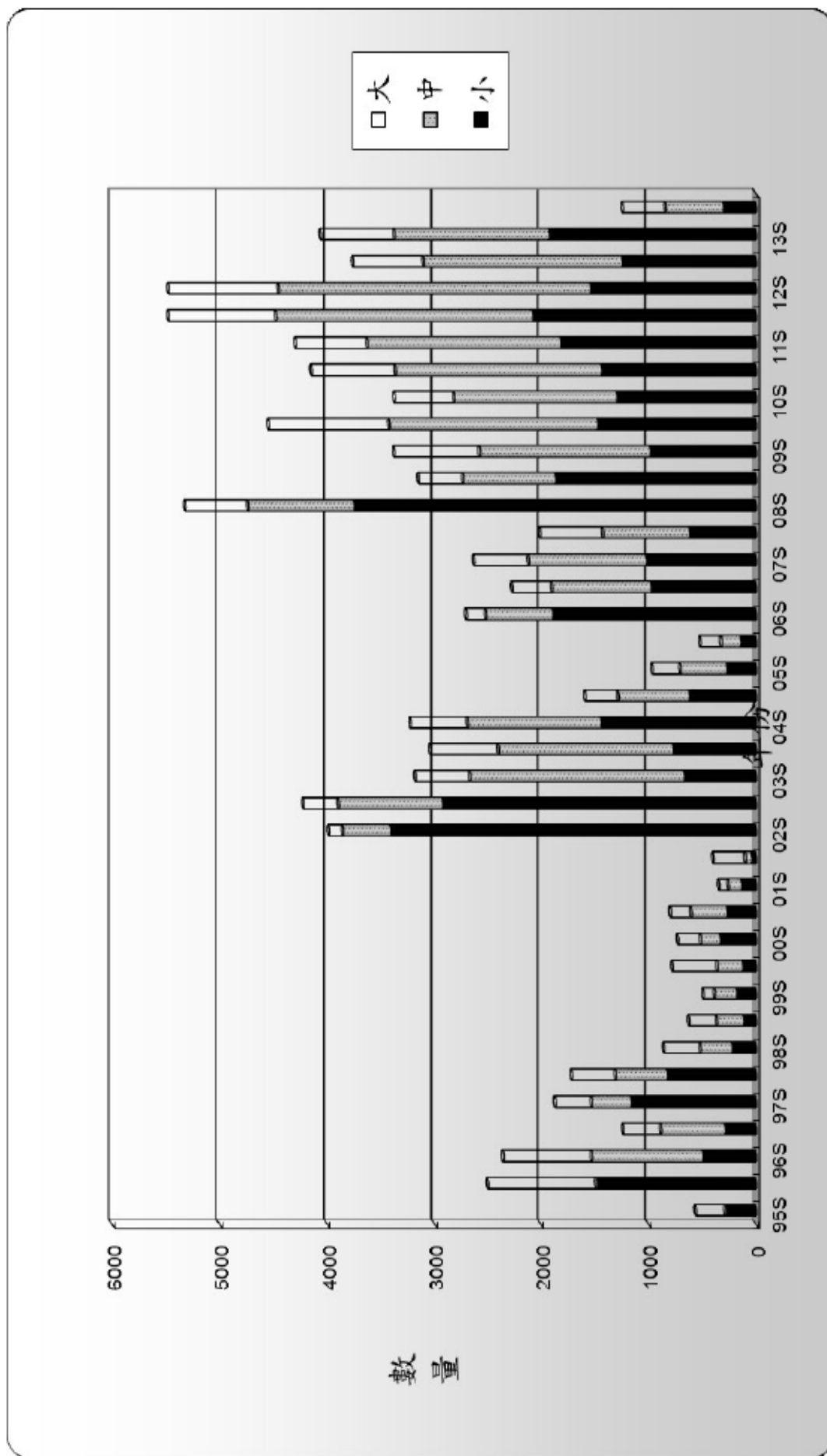


圖 6-4、1995 年至 2013 年武陵地區臺灣櫻花鉤吻鮭各齡級族群結構變化趨勢圖

(資料來源:本研究團隊)

1995年至2013年武陵地區臺灣鉤吻鮭各齡級數量變化

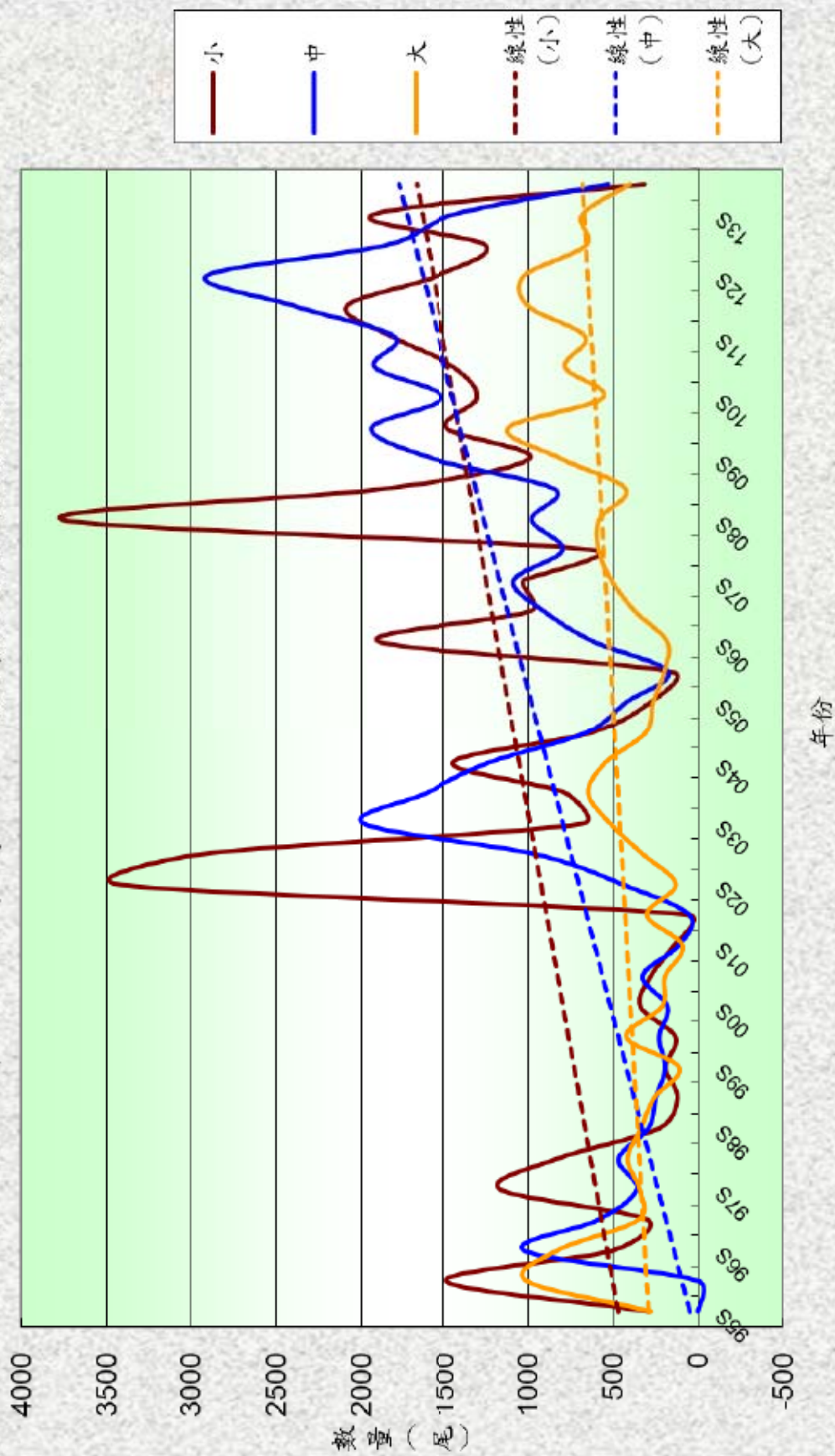


圖 6-5、1995 年至 2013 年武陵地區臺灣櫻花鉤吻鮭各齡級數量變化趨勢圖

(資料來源:本研究團隊)

武陵地區溪流生態系及七家灣溪一號防砂壩壩體改善後研究

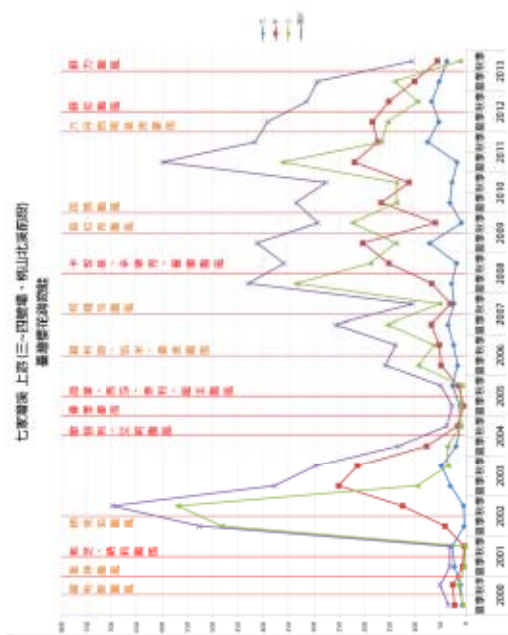
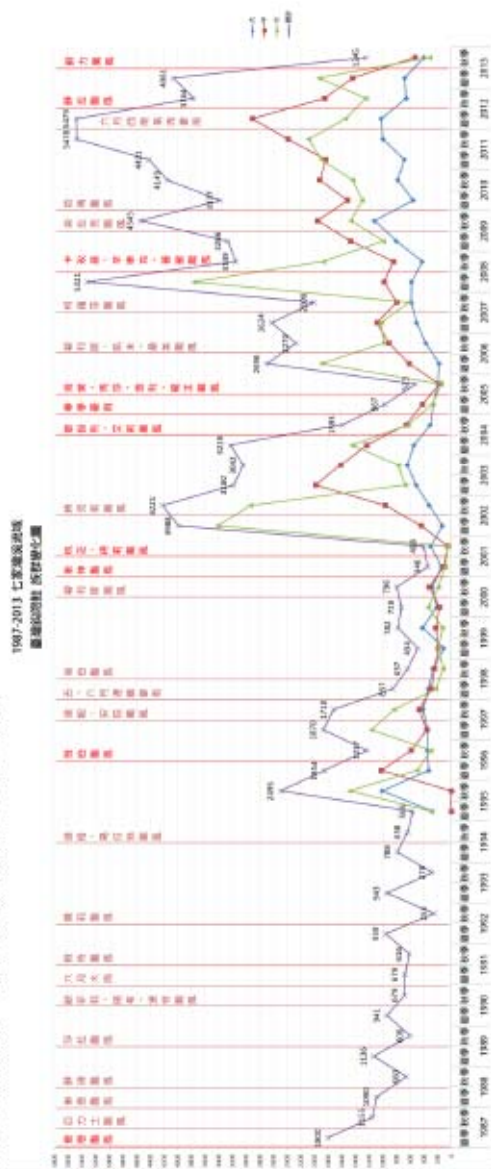
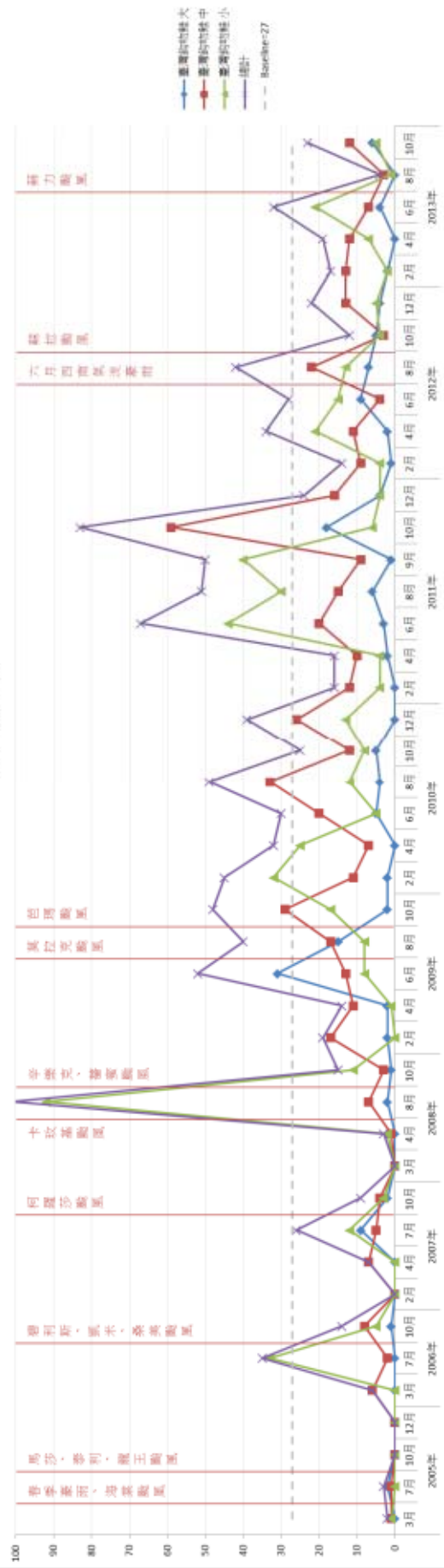


圖 6-6、七家灣溪三~四號壩、桃山北溪前段之 Y 形封閉河段與武陵地區全河段臺灣刺蝟族群變化比較圖

桃山西溪 臺灣櫻花鉤吻鮭

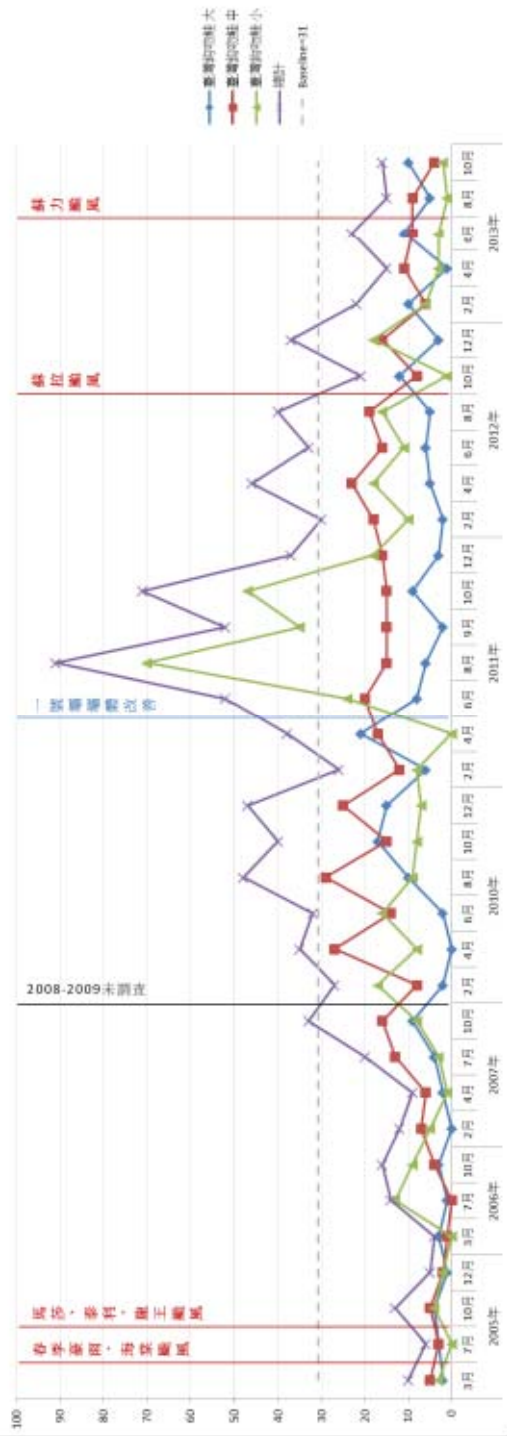


桃山西溪 台灣鱈額魚



圖 6-7、桃山西溪固定樣站 2005 年至 2013 年臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鱈額魚族群變化曲線圖

二號破壩 臺灣櫻花鉤吻鮭



二號破壩 臺灣鱈頭魚

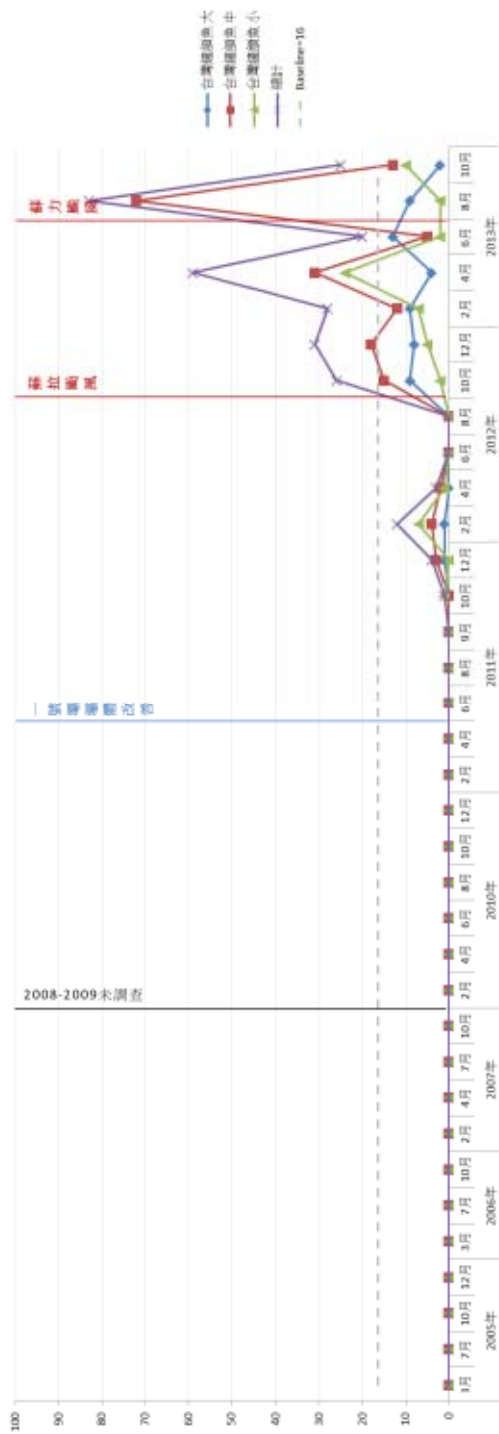
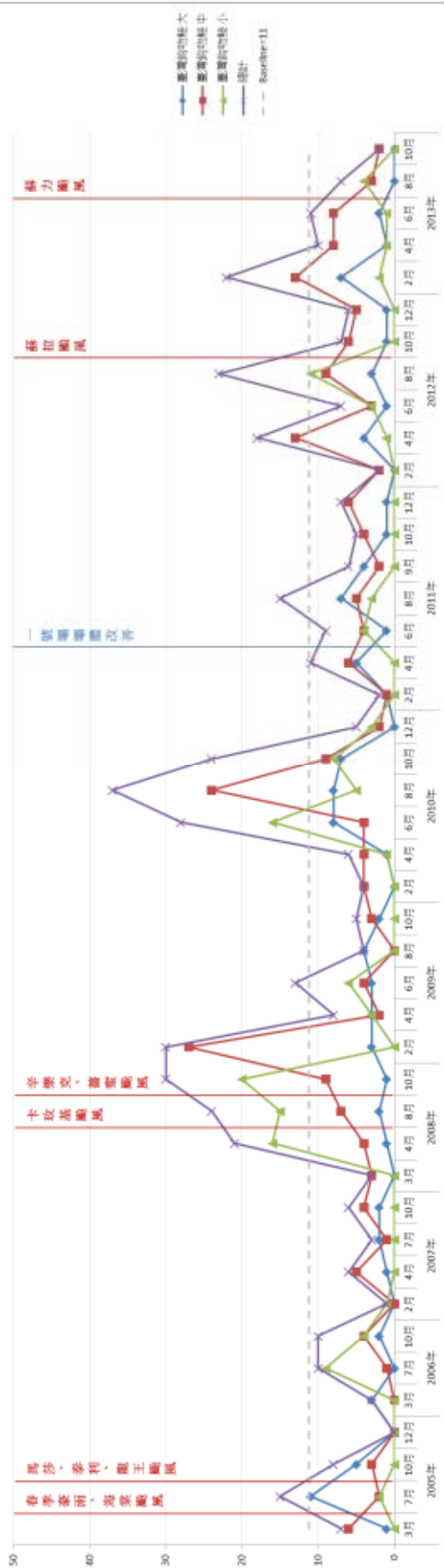


圖 6-8、二號破壩固定樣站 2005 年至 2013 年臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鱈頭魚族群變化曲線圖

觀魚台 臺灣櫻花鉤吻鮭



觀魚台 臺灣鏞額魚

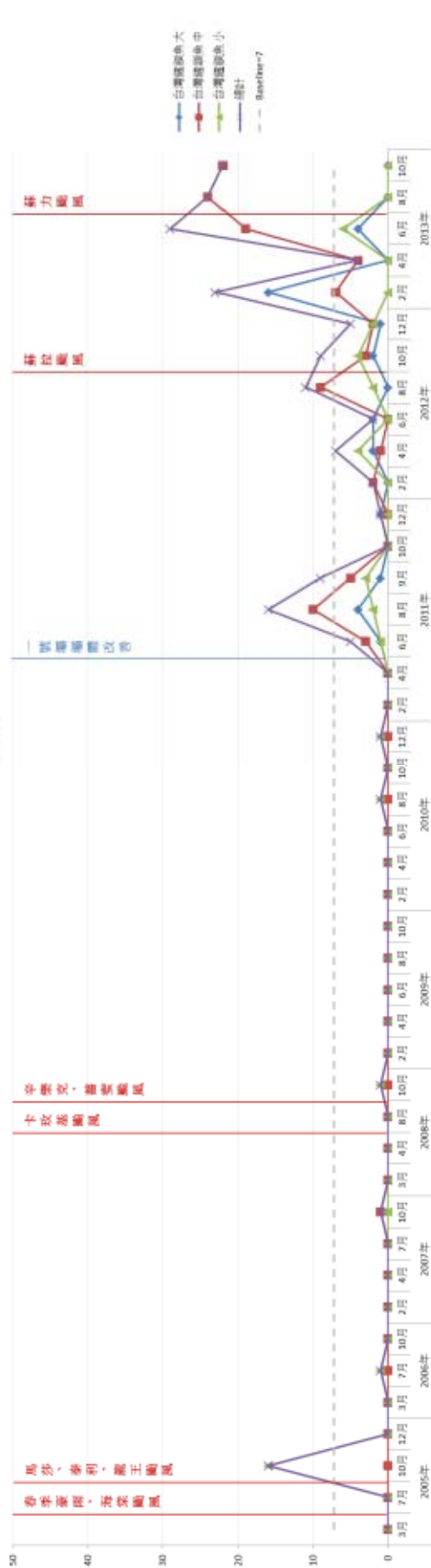
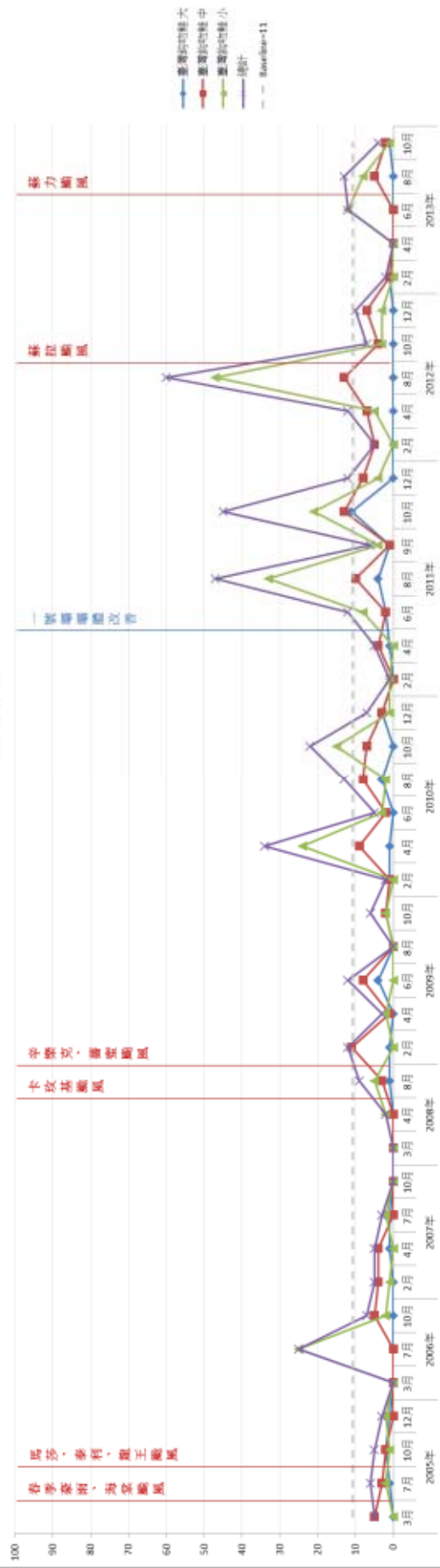


圖 6-9、觀魚台固定樣站 2005 年至 2013 年臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鏞額魚族群變化曲線圖

繁殖場 臺灣櫻花鉤吻鮭



繁殖場 台灣鱸頭魚

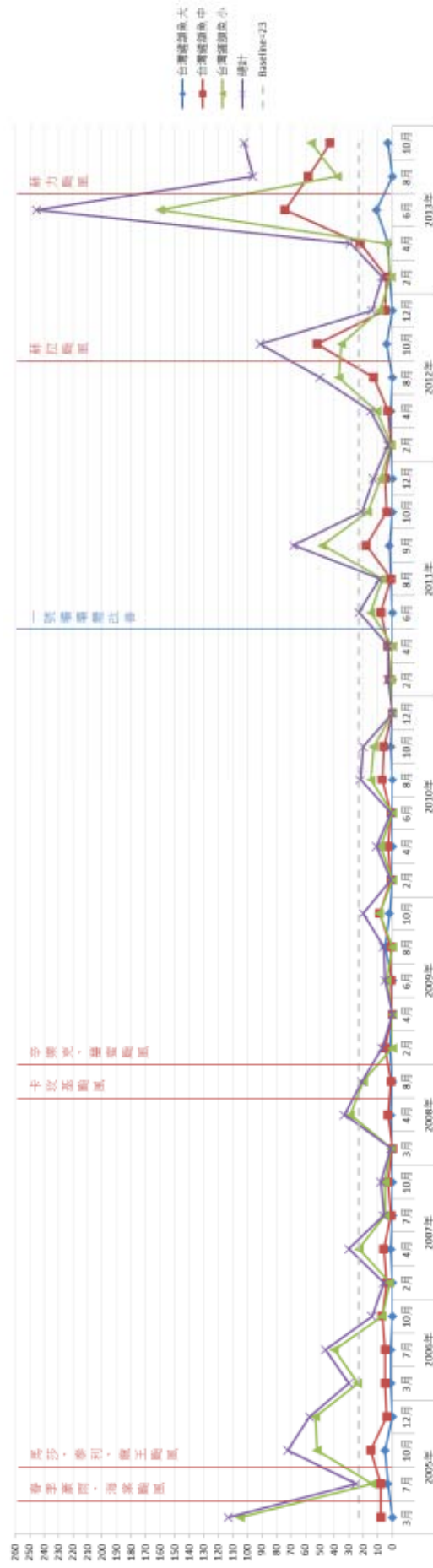
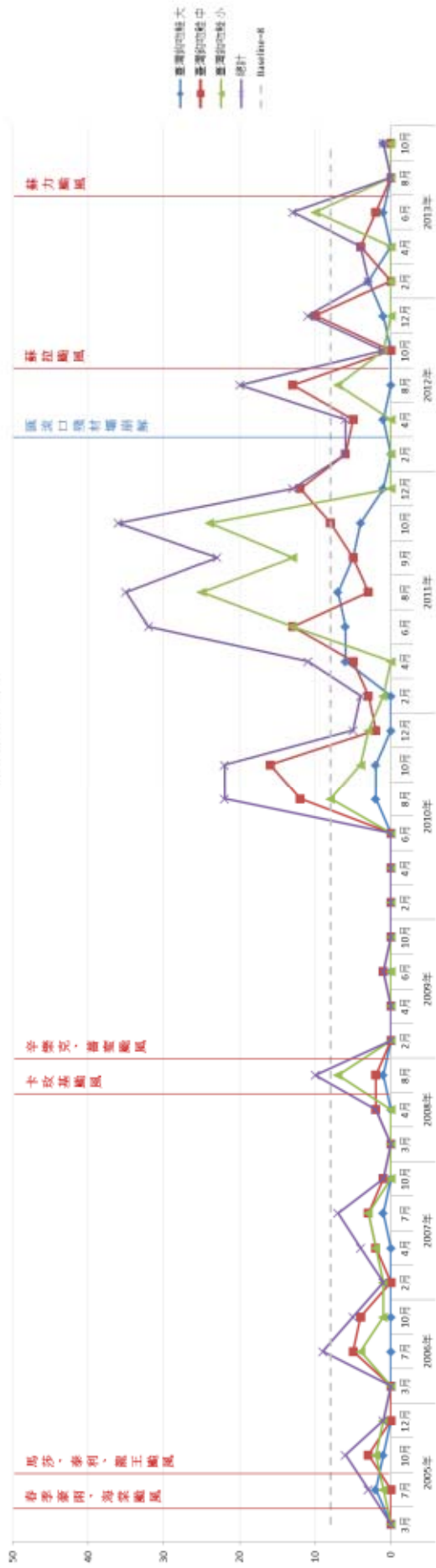


圖 6-10、繁殖場固定樣站 2005 年至 2013 年臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鱸頭魚族群變化曲線圖

高山溪 臺灣櫻花鉤吻鮭

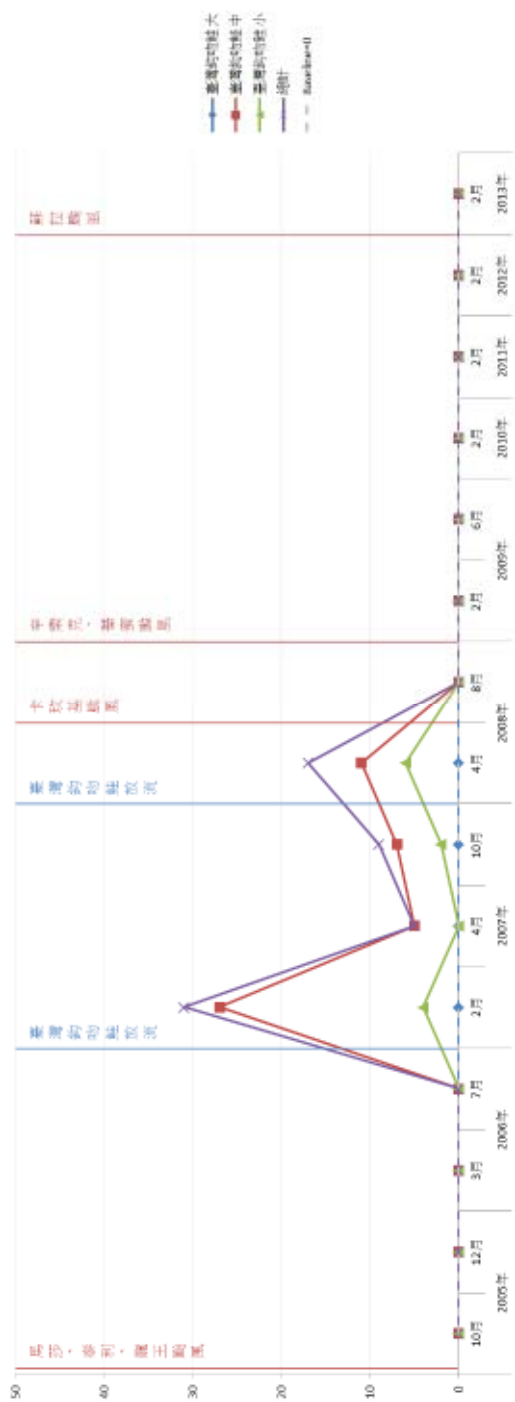


高山溪 台灣鱈頭魚



圖 6-11、高山溪固定樣站 2005 年至 2013 年臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鱈頭魚族群變化曲線圖

司界蘭溪上游 臺灣鈎吻鮭



司界蘭溪上游 台灣鱈魚

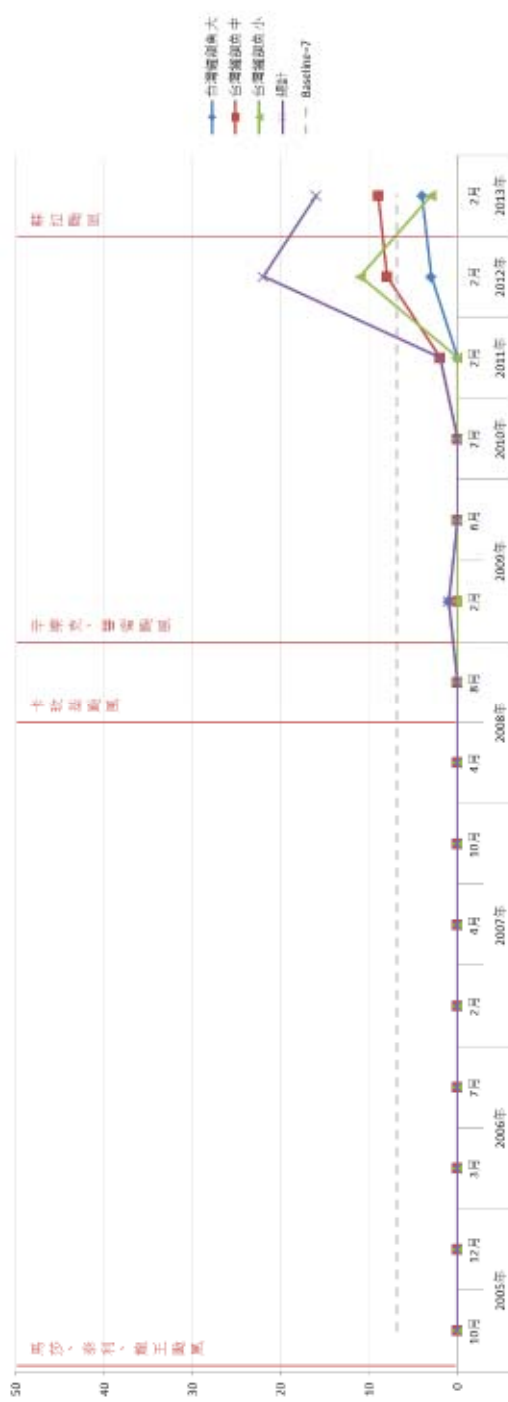
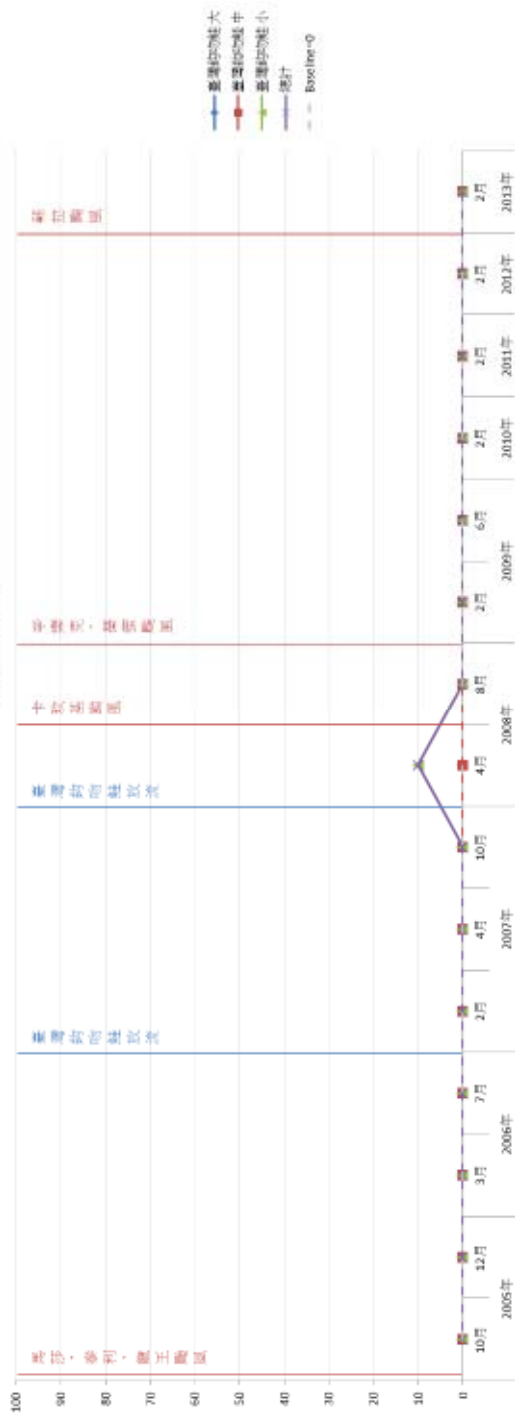


圖 6-13、司界蘭溪上游固定樣站 2005 年至 2013 年臺灣櫻花鉤吻鮭與臺灣鱈魚族群變化曲線圖

司界蘭溪下游 臺灣鈎吻蛙



司界蘭溪下游 台灣鍾額魚

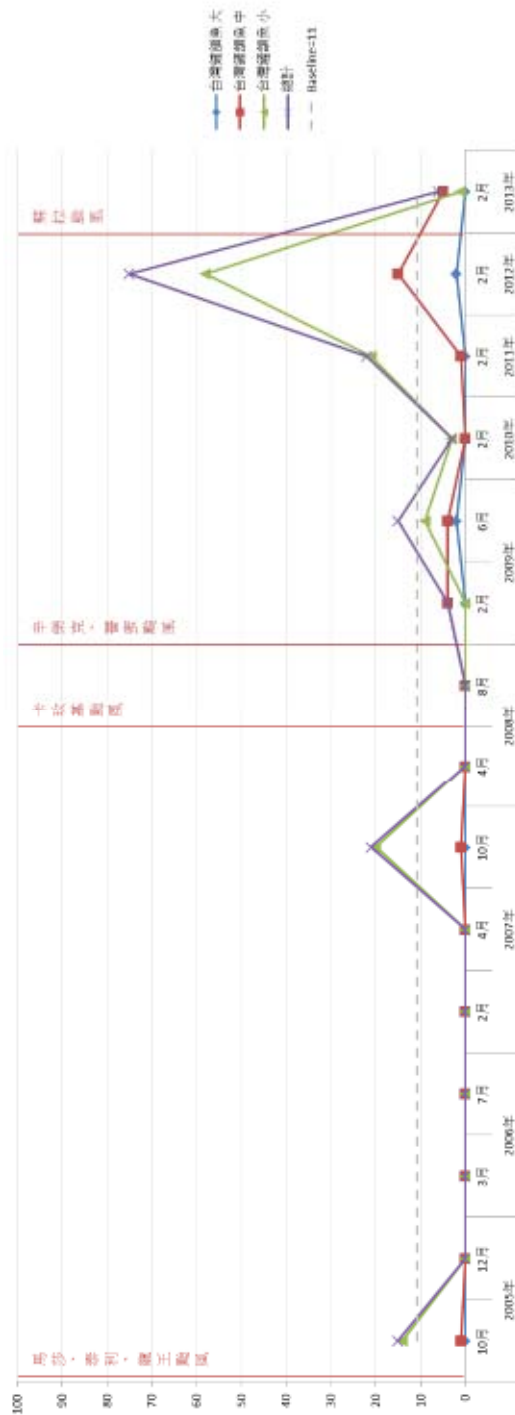
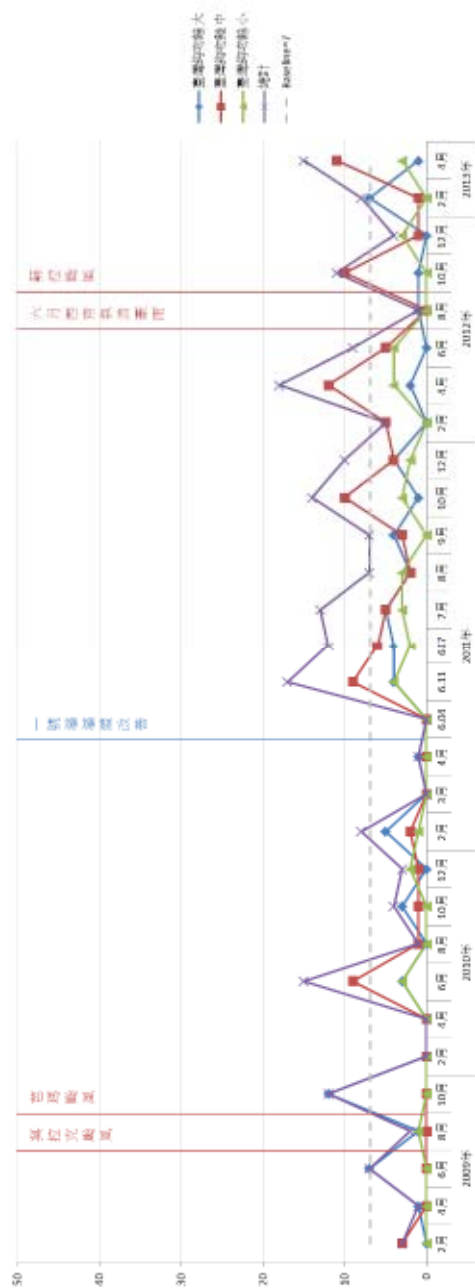


圖 6-14、司界蘭溪下游固定樣站 2005 年至 2013 年臺灣櫻花鈎吻蛙與臺灣鍾額魚族群變化曲線圖

武陵地區溪流生態系及七家灣溪一號防砂壩壩體改善後研究

一號壩壩體改善密集監測
一號壩上游臺灣鈎吻鮭



一號壩壩體改善密集監測
一號壩上游台灣磯鱈魚

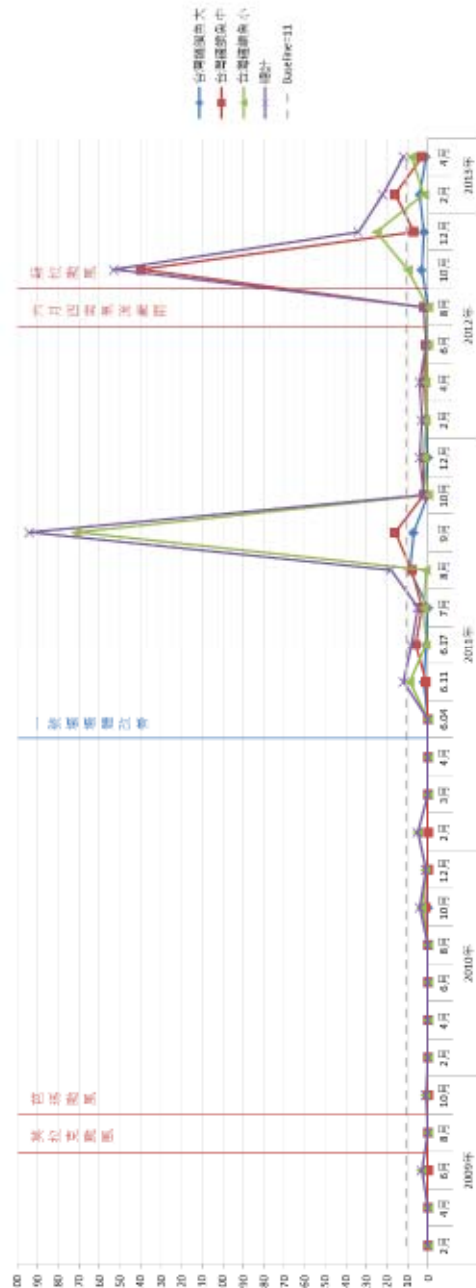
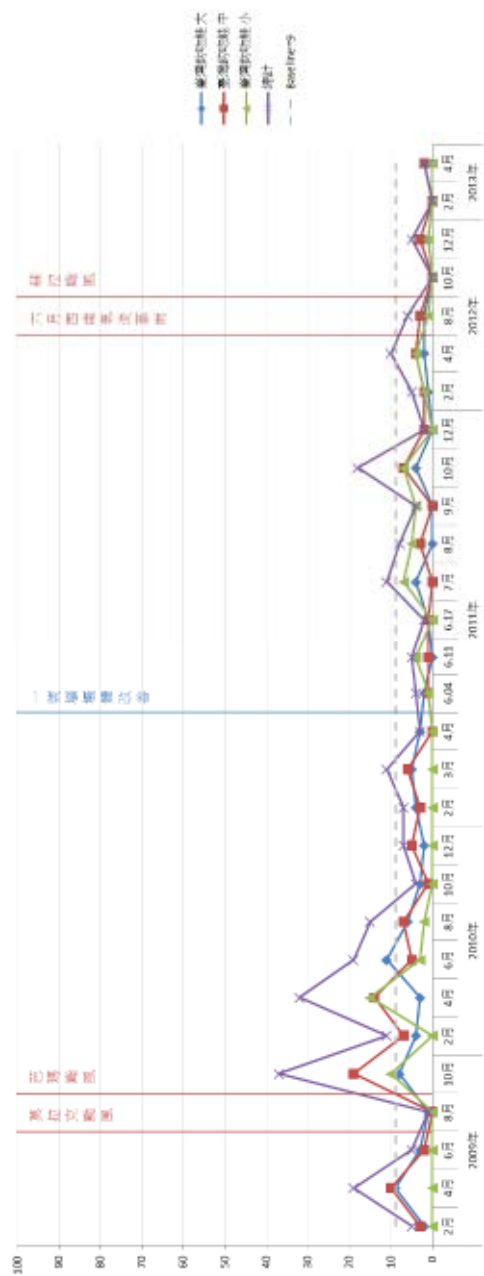


圖 6-16、一號壩壩體改善 - 一號壩上游樣站 2009 年至 2013 年密集監測族群變化曲線圖

一號壩壩體改善密集監測
一號壩下游 臺灣鈎吻鮭



一號壩壩體改善密集監測
一號壩下游 台灣鑽額魚

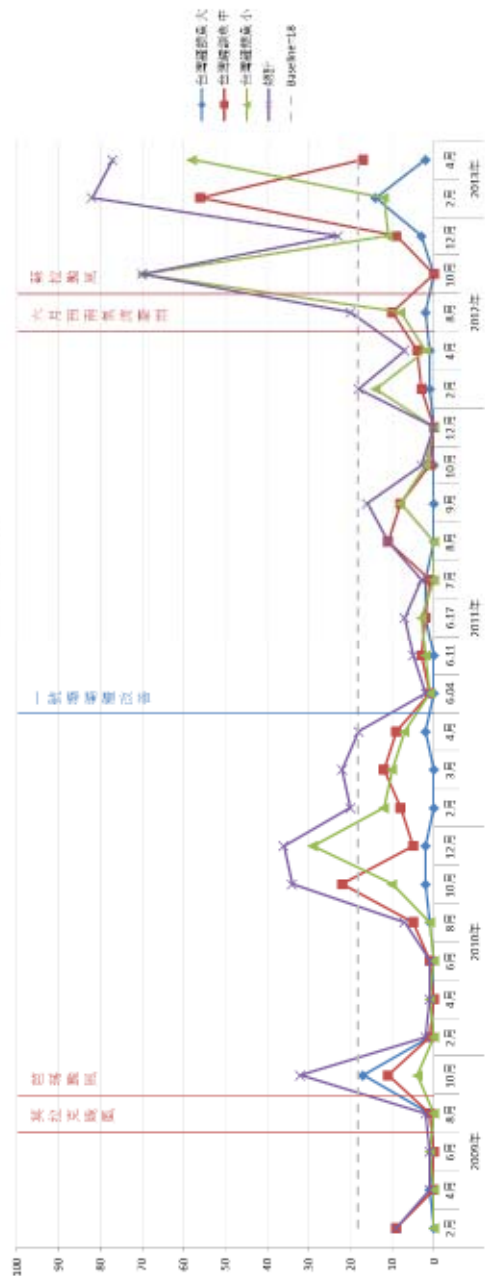
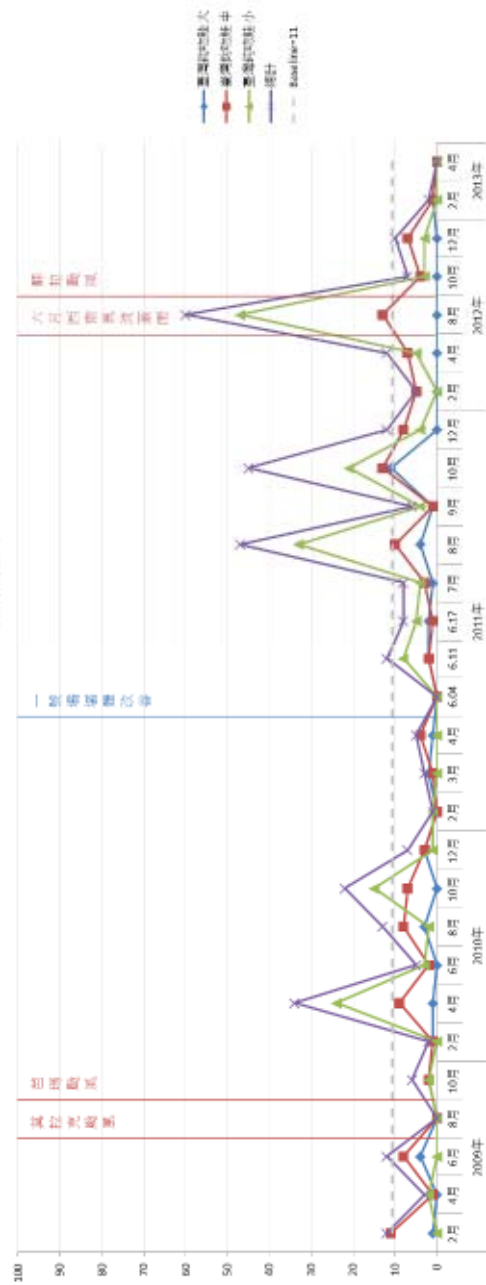


圖 6-17、一號壩壩體改善 - 一號壩下游樣站 2009 年至 2013 年密集監測族群變化曲線圖

武陵地區溪流生態系及七家灣溪一號防砂壩壩體改善後研究

一號壩壩體改善密集監測
繁殖場 臺灣鈎吻鮭



一號壩壩體改善密集監測
繁殖場 台灣羅銀魚

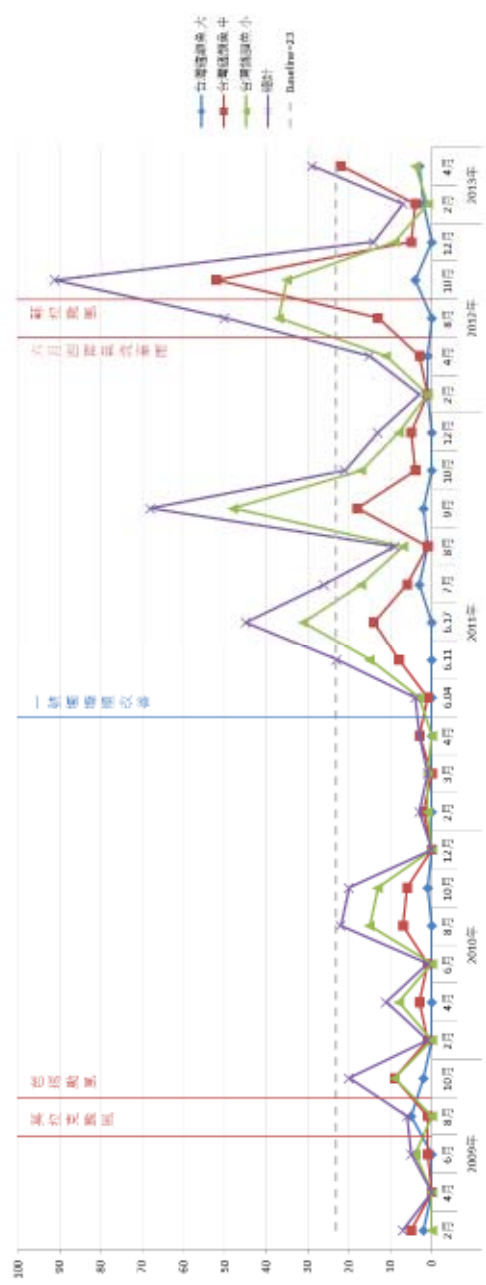
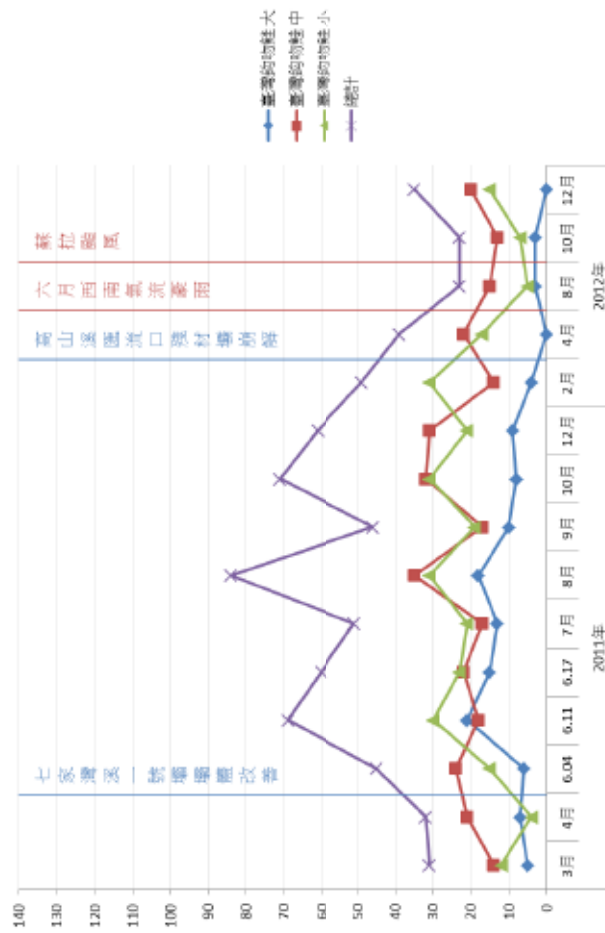


圖 6-18、一號壩壩體改善 - 繁殖場樣站 2009 年至 2013 年密集監測族群變化曲線圖

一號壩壩體改善密集監測
高山溪殘材壩前 臺灣鈎吻鮭



一號壩壩體改善密集監測
高山溪殘材壩前 台灣鱈頭魚

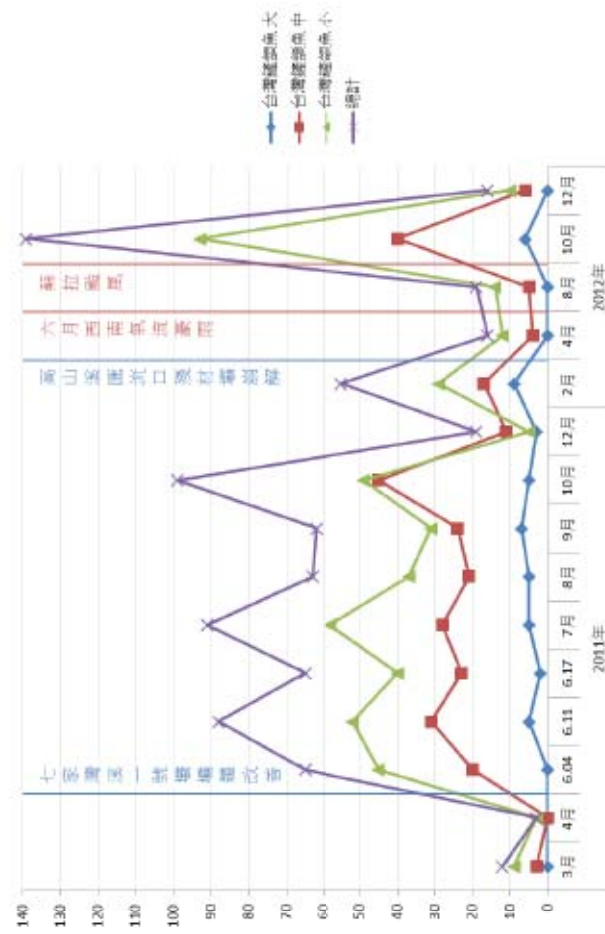


圖 6-19、一號壩壩體改善 - 高山溪殘材壩前至匯流口樣站 2009 年至 2013 年密集監測族群變化曲線圖

七家灣溪 中游 (一號壩~三號壩) 台灣鏟額魚

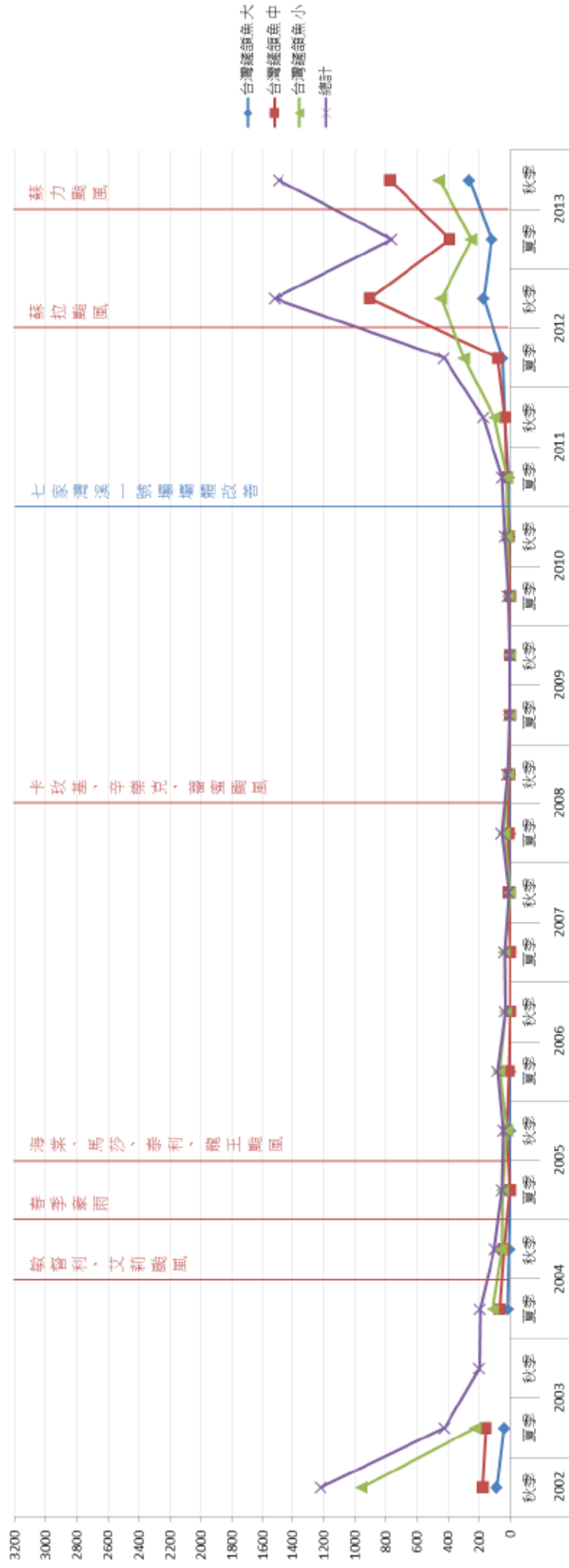


圖 6-20、七家灣溪 2002 年至 2013 年一號壩~三號壩之臺灣鏟額魚族群變化曲線圖

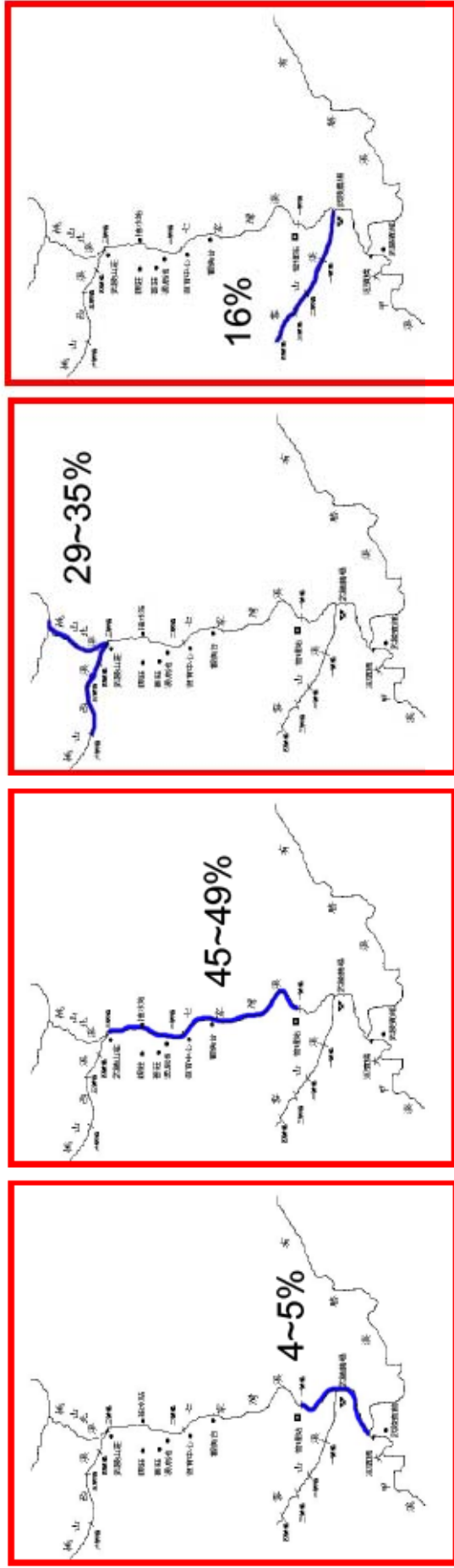


圖 6-21A、下游河段

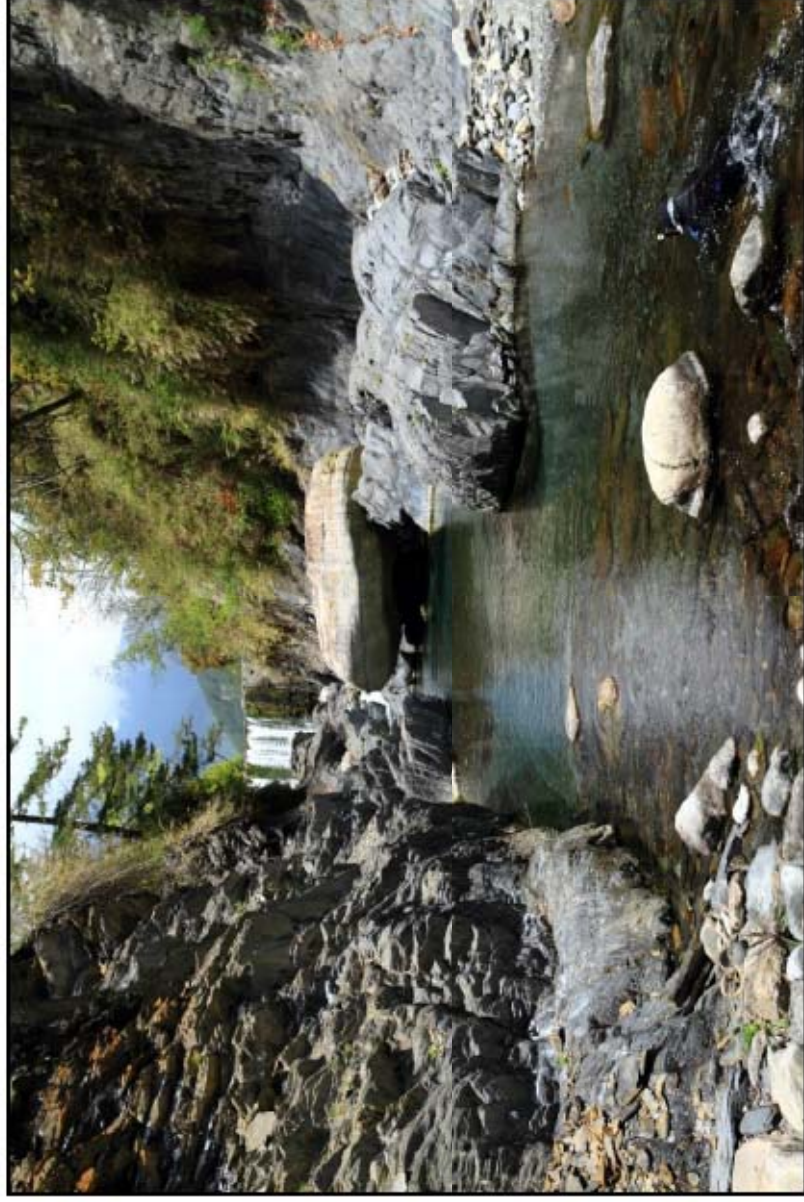
圖 6-21B、中游河段

圖 6-21C、上游河段

圖 6-21D、高山溪

圖 6-21 A~D、2013 年夏季與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

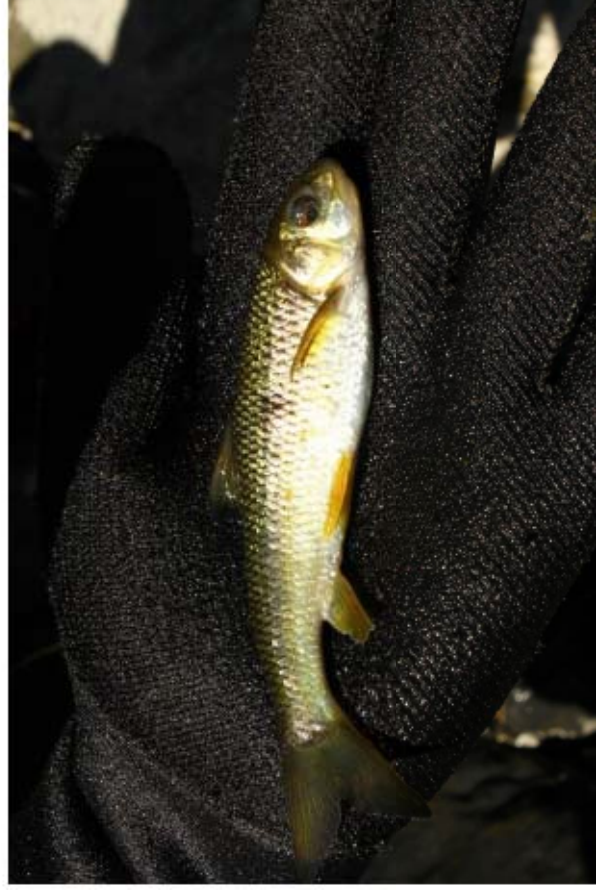
(資料來源:本研究團隊)



照片 6-1、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 6-2、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)



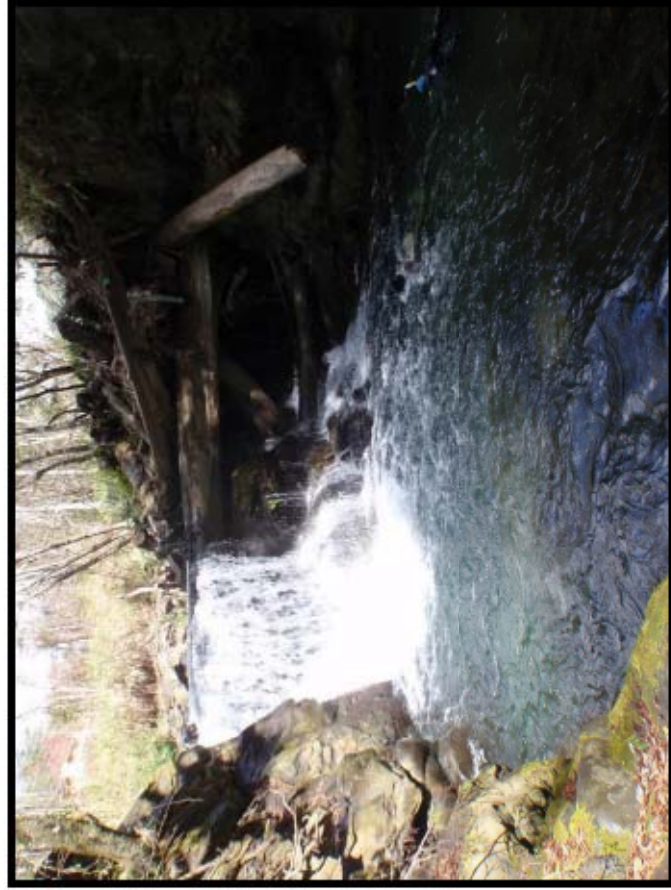
照片 6-3、2012.10.10 日於桃山西溪樣站所記錄的臺灣鱖頭魚

(照片來源:本研究團隊)



照片 6-4、2011.06.17 日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 6-5、2012.02.15 日所拍攝的高山溪匯流口前殘材壩

(照片來源:本研究團隊)



照片 6-6、2012.04.24 日所拍攝的高山溪匯流口前崩塌之殘材壩

(照片來源:本研究團隊)

第七章 生態資料庫建構

邵廣昭、林永昌

中央研究院生物多樣性中心

摘要

關鍵詞：達爾文核心欄位, Darwin Core Archieve, 生態調查資料, IPT

(一) 研究緣起

武陵地區過去雖然有一些零星的生態調查，很可惜的是，大部分的生態調查資料，都沒有數位化建檔保存或上網供查詢，有鑑於此，本計畫將配合目前國科會、農委會漁業署、農委會林務局及農委會特生中心正在推動或執行的『台灣生物多樣性資料庫及資訊網』(TaiBNET 與 TaiBIF)、『漁業署海域生態資料庫』、及『東沙生態資源基礎調查研究計畫』等計畫所蒐集之資料，加以整合、數位化建檔及上網。

(二) 研究方法及過程

武陵地區長期生態監測暨生態模式建立計畫，所收集之原始生態調查資料，採用中央研究院生物多樣性研究中心設計的『簡便通用生態調查資料格式』，作為本計畫原始生態調查資料的格式。所有的資料分別轉換成 XML 文件，以利後續的整合、保存及資料交換，並同步匯入中央研究生物多樣性中心的資料發佈站(Integrated Publishing Toolkit)，轉換成 Drawin Core Archieve 格式(內含 Ecological Metadata Language 格式)，以利資料分析運用。

(三) 重要發現

本年度迄今收集水生昆蟲資料 574 筆、水質資料 50 筆、藻類資料 512 筆，鳥類資料 107 筆，植物資料 227 筆，魚類資料 296 筆、兩棲類資料 18 筆，歷年累計收集鳥類、魚類、兩棲類、昆蟲及植物調查資料共 99559 筆(涵蓋 16 綱 104 目 424 科 898 種生物物種)，水體環境資料共 2661 筆(包括水質、硝酸鹽、基本元素通量)，藻類與有機碎屑調查記錄共 4147 筆，環境溫度監測資料 9136 筆(包括空氣、水、土表、土下溫度)以及河川流量模擬推估資料 1369 筆。

(四) 主要建議事項

1. 立即可行建議

為因應資料長期保存及國際資料交換的需求，調查資料應以國際通用的 XML 格式保存。

2. 中長期建議

目前國際上正在推行使用 IPT 整合生物多樣性原始調查資訊，未來應注意其發展，以適時跟上國際腳步。

ABSTRACT

The data formats for collecting raw data of the project “The Long Term Ecological Monitoring and Ecological Model Establishment for Wulin Area” adopts “the Common Ecological Investigation Data Format” designed by the Research Center for Biodiversity Academia Sinica on the basis of Darwin Core 2.0 and ABCD Schema, the common formats in the worldwide, with some modifications for the requirement of chinese language we use.

For the need and the convenience to exchange data internationally, the data in the project are recorded in XML format which is also internationally adopted. In addition, to compensate the need for information searching and presentation, the relevant databases were established at the same time. Currently, partial raw investigation data has been preserved digitized and is available online (<http://wlterm.biodiv.sinica.edu.tw>). The project sponsors and data providers as well as the general public are welcomed to inquire and download the data as they need.

Immediately feasible suggestion:

To meet the need of data long period preserving and international data exchange, investigating data should use XML format.

Medium long-term suggestion:

Currently, IPT is promoting by many international biodiversity institute, we should still notice its development in the future, and keep up with the international step.

【Keywords】 Darwin Core, raw data, Ecological Investigation Data, LSID

一、前言

「生物多樣性資訊學」中包括生態分佈資訊之資料，此等資料之搜集、建置與整合之理論，技術與實作又被歸為「生態資訊學」之範疇。生態分佈資料又包括標本採集或觀測（僅做紀錄並未採集標本）兩類不同的時間與空間的分佈資料，也是生物學領域中探討生物地理分佈、擴散、群聚或生態系變遷之機制、陸域與海域環境影響評估、資源或生態之保育、利用、經營管理等等非常重要之基本資料。台灣之生態調查研究計畫甚多，每年政府所投入之調查經費龐大，但因過去缺乏各機關、各領域或各資料庫間之橫向聯絡與整合，故各資料庫建置之方式、設定之欄位格式、所使用之 GIS 或資料庫管理系統及資料公開之程度等亦多不一致，以致於目前國內之生態分佈資料庫仍多屬各自為政之狀態，所造成資源之重疊浪費、資料之散失及未來整合之困難度將日益嚴重。

武陵地區過去雖然有一些零星的生態調查，很可惜的是，大部分的生態調查資料，都沒有數位化建檔保存或上網供查詢，有鑑於此，本計畫將配合目前國科會、農委會漁業署、農委會林務局及農委會特生中心正在推動或執行的『台灣生物多樣性資料庫及資訊網』(TaiBNET 與 TaiBIF)、『漁業署海域生態資料庫』、及『東沙生態資源基礎調查研究計畫』等計畫所蒐集之資料，加以整合、數位化建檔及上網，此亦為行政院『生物多樣性推動方案』中所要求達成的，整合全國生物多樣性資訊的首要任務。

二、材料及方法

武陵地區長期生態監測暨生態模式建立計畫，所收集之原始生態調查資料，包括鳥類、魚類、兩生爬蟲類、無脊椎動物、陸棲昆蟲、水棲昆蟲、植物以及水文、棲地、水質等資料，涵蓋多種生物類別及多種資料型態，經過各類別的研究人員討論後，決定採用農委會漁業署於 2005 頒佈的『通用生態調查資料格式』，作為本計畫原始生態調查資料的格式，農委會漁業署及經濟部環保署已於 2005 年起推行於漁業署及環保署所委辦的各個生態研究計畫，作為共通的生態調查資料格式。

『通用生態調查資料格式』為中央研究院生物多樣性研究中心所設計，主要以國際通用的達爾文核心欄位 (Darwin Core 2.0) 及 ABCD Schema 為基礎，並配合中文資料的需求，作適度的修改，該資料格式提供多種資料提供方法及介面，包括 Excel, Access, XML, 及網路線上輸入等方法，供生態調查者選擇使用，目前絕大多數的生態調查者都採用 Excel 格式提供資料，再由資訊人員負責後端資訊格式的轉換工作。

為因應國際資料交換的需求，本計畫收集的資料，主要以國際通用的 XML 格式為主，此外為配合網站資料查詢及資料呈現的需求，也同步建立關聯式資料庫，供一般使用者使用，並同步匯入中央研究生物多樣性中心的資料發佈站 (Integrated Publishing Toolkit)，轉換成 Darwin Core Archive 格式 (內含 Ecological Metadata Language 格式)，以利資料分析運用。

三、結果

(一) 持續利用通用生態調查資料格式整合調查資料，依照 Darwincore 整理成 xml 檔案且同步建立 MDB 關連式資料庫，本年度迄今收集水生昆蟲資料 574 筆、水質資料 50 筆、藻類資料 512 筆，鳥類資料 107 筆，植物資料 227 筆，魚類資料 296 筆、兩棲類資料 18 筆，歷年累計收集鳥類、魚類、兩棲類、昆蟲及植物調查資料共 99559 筆(涵蓋 16 綱 104 目 424 科 898 種生物物種)，水體環境資料共 2661 筆(包括水質、硝酸鹽、基本元素通量)，藻類與有機碎屑調查記錄共 4147 筆，環境溫度監測資料 9136 筆(包括空氣、水、土表、土下溫度)以及河川流量模擬推估資料 1369 筆。所有調查資料，均上網供使用者查詢，網址：<http://wlterm.biodiv.sinica.edu.tw>，使用者可使用以下任一種方法查詢。

(1) 由地圖查資料：

提供武陵地區手繪地圖，使用者可直接點選地圖上的調查點，查得該點的調查資料。反之亦可由調查資料，查得該調查點的地圖。

(2) 由生物分類階層查得資料

將此次計畫調查到的所有物種，依照生物分類階層，排序，供使用者點選查詢詳細資料，亦可反查調查點的地圖。

(3) 由調查記錄清單查得資料

將此次計畫收集到所有資料，逐筆列出，並提供多種排序選擇，供使用者點選查詢單筆詳細資料，亦可反查調查點的地圖。

(4) 由子計畫生物類別查詢資料

可單獨列出個別子計畫生物類別的資料及調查點，供使用者點選查詢詳細資料，亦可反查調查點的地圖。

(二) 每筆資料均賦予全球唯一識別碼

使用 TDWG (Biodiversity Information Standards) 推行的 LSID (Life Science Identifiers)，作為全球唯一識別碼 (Globally Unique Identifier)，以利資訊交流，LSID 格式如圖 12-4。

依照 LSID 格式，本計畫建立的資料使用

「urn:lsid:wlterm.biodiv.sinica.edu.tw:observation:」加資料流水號，作為全球唯一識別碼。

四、討論與結論

1. 網站及資料庫已全部改為 PHP+MySQL+UTF-8。
2. 使用 LSID 作為全球唯一識別碼，已確定可行，唯當初規劃以 LSID 為工具整合資料的願景，尚未實現。

五、研究成果與建議

1. 本計畫收集的原始生態調查資料，將以 XML 及資料庫及 Drawin Core Archive 三種格式燒錄至光碟，提供委辦單位雪霸國家管理處永久保存，或整合入管理處的網頁上，此外，亦可與國家生物多樣性入口網 TaiBIF 整合，使用者也可以使用 TaiBIF 網站提供的 GIS 系統，依地點查詢到本計畫各測站的物種，也可以由物種學名，依物種查詢該物種的分佈地點(保留敏感性保育類物種之分佈資料)。
2. 後續的調查計畫，將持續增補資料，以發揮建置此網站及資料的目的，亦可提供解說教育及分區規劃、經營管理之用。

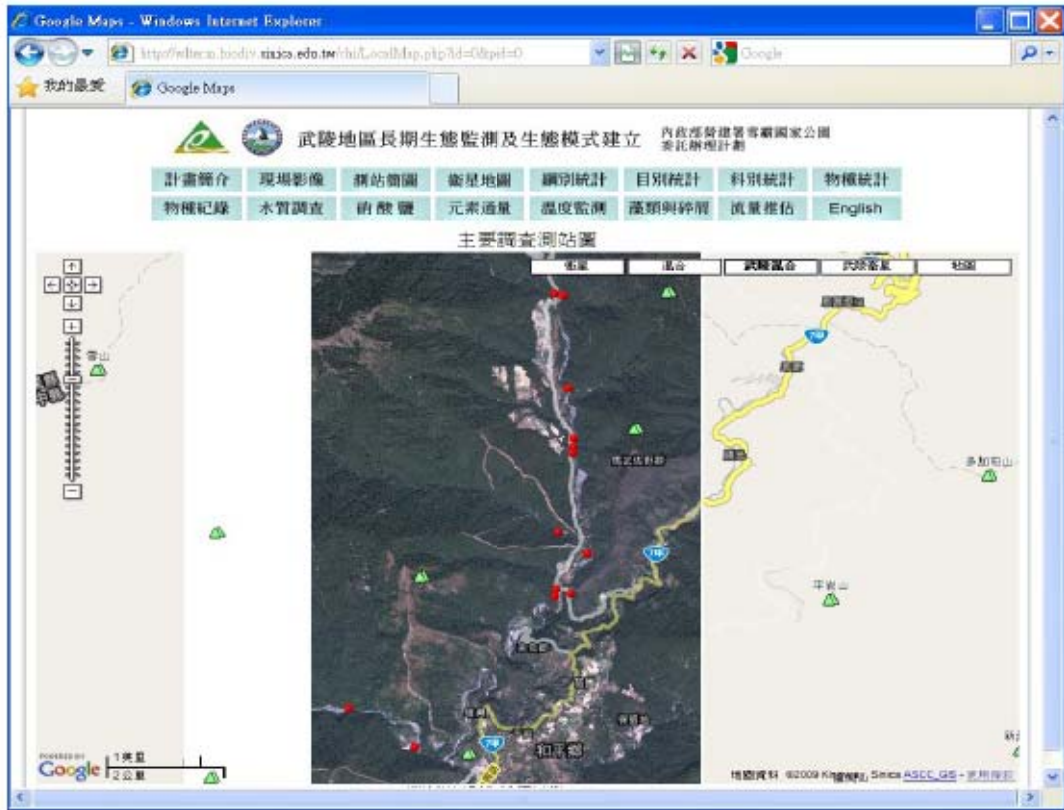


圖 7-1 武陵衛星影像全圖 (含 13 個測站)

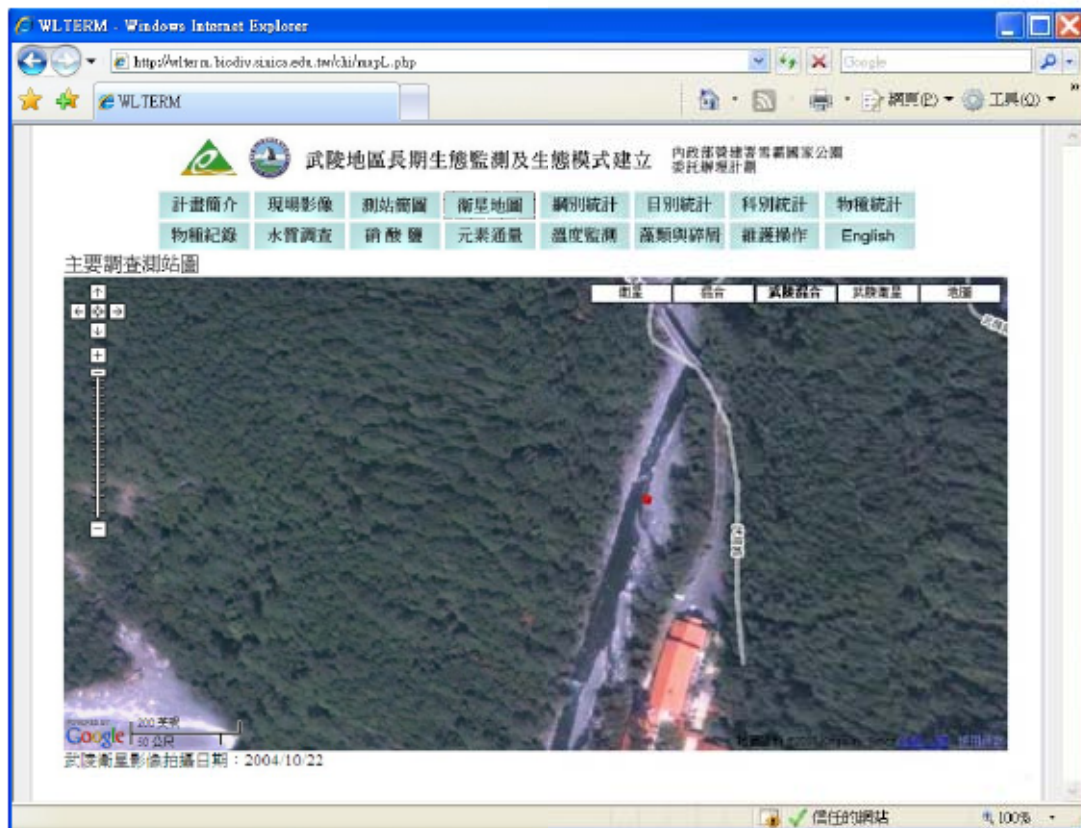


圖 7-2 武陵衛星影像高解析影像(迎賓橋)

武陵地區溪流生態系及七家灣溪一號防砂壩壩體改善後研究

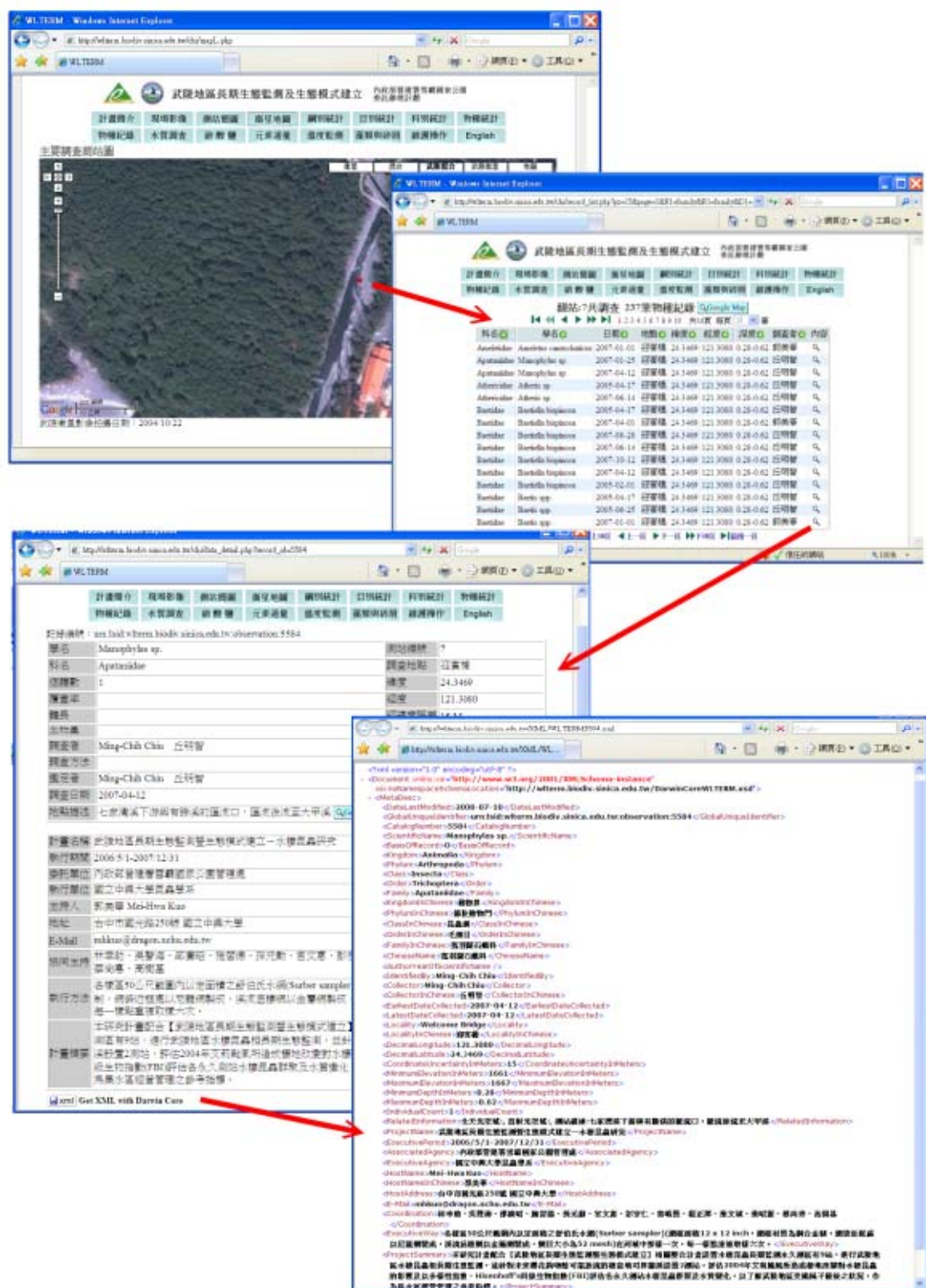


圖 7-3 由衛星影像查詢調查資料操作範例

圖片來源：<http://wlterm.biodiv.sinica.edu.tw>

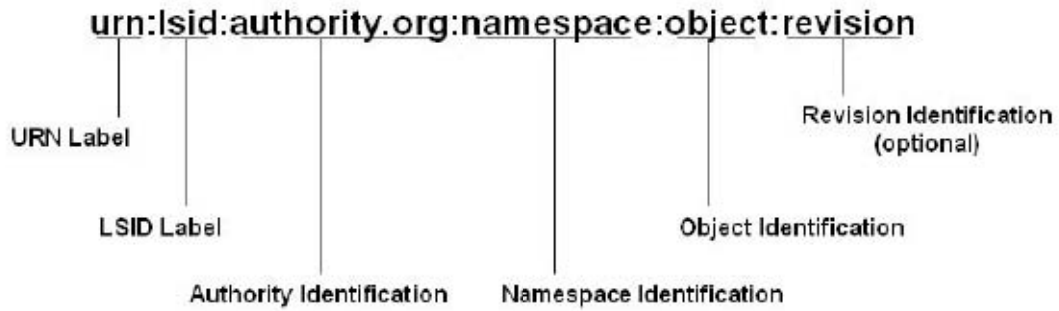


圖 7-4 LSID 格式

圖片來源：<http://www.tdwg.org/>

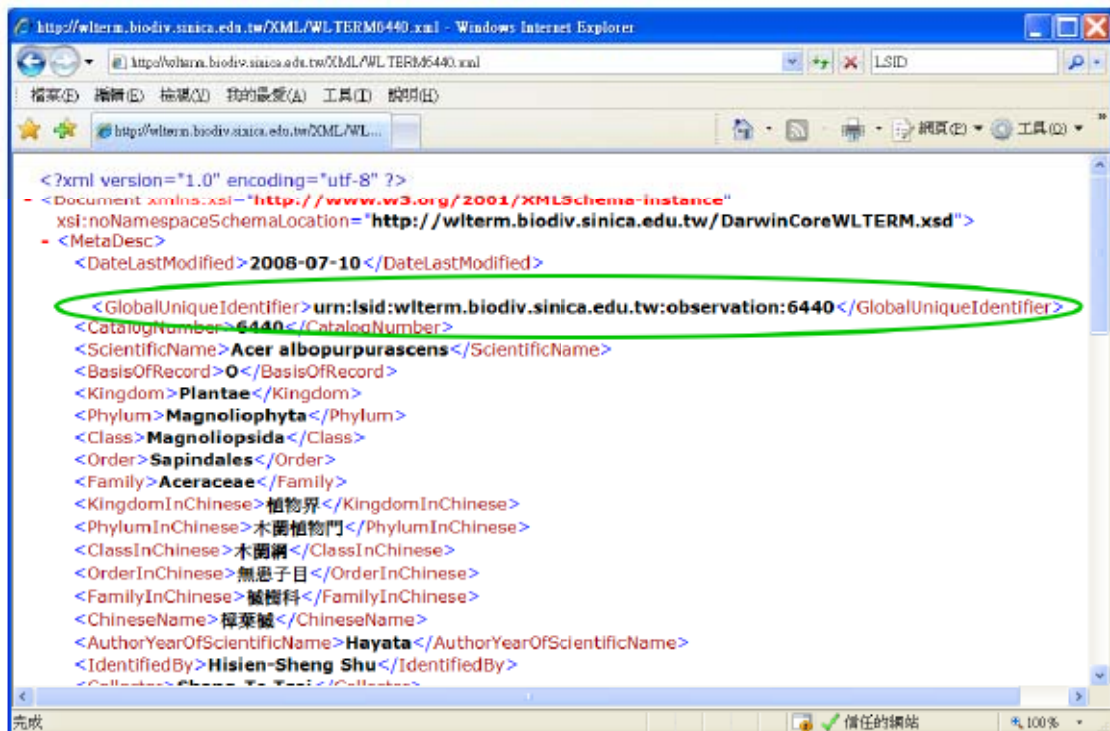


圖 7-5 武陵資料 LSID 範例

圖片來源：<http://wlterm.biodiv.sinica.edu.tw>

「武陵地區溪流生態系及七家灣溪一號防砂壩壩體改善後研究」案期
中簡報會議紀錄

壹、開會時間：102 年 6 月 18 日（星期二）下午 1 時 30 分

貳、開會地點：雪霸國家公園管理處第 2 視聽室

參、主持人：鍾副處長銘山

記錄：蕭明堂

肆、出席單位及人員：

受託單位：中興大學林幸助教授、逢甲大學葉昭憲副教授、明志科技大學官
文惠副教授、成功大學王筱雯助理教授、中興大學郭美華副教授、清華
大學曾晴賢教授、中央研究院邵廣昭研究員

外聘審查專家學者：成功大學孫建平副教授

臺中市政府：賴茂賢、魏慧雯

雪霸國家公園管理處：鍾銘山副處長、于淑芬課長、楊國華技正、張維仁技
士課、潘振彰技士

伍、討論：

(一) 孫建平副教授發言：

1. 物理棲地的研究，以目前的資料來看，棲地百分比及粒徑百分比均會隨著時間變化，能否比較在不同年中，同一個季節之水文事件對棲地百分比及粒徑百分比的影響？
2. 在水文泥沙的研究，2010 年計算拆壩後，泥沙往下游帶的量為 25000 立方公尺、但 2012 年卻為 125000 立方公尺，兩者的差距原因為何？
3. 水質研究上，調查發現今年 2 月份的亞硝酸氮的測量值超標，突然上升是因為遊客的影響還是其他原因？因為亞硝酸氮為不穩定狀態，在有氧的狀況會變成硝酸鹽氮，是否未來能瞭解其間變化的關係？
4. 水棲昆蟲的研究上，泥沙量的增加對水質及水昆的影響為何？對於不同同功群的影響又是如何？毛翅目是極端洪流的指標？可否說明原因為何？另外，水生昆蟲的密度都是每平方公尺幾千隻？似乎有點過高了。

5. 在鮭魚的研究上，河床的擾動會使水棲昆蟲較容易出來，使鮭魚容易捕食？在此所指的擾動為何？是颱風、洪水？還是人為的擾動？

葉昭憲副教授回應：

1. 棲地百分比及粒徑百分比的資料呈現方面，期末報告時將從整個河段面積，計算面積加權的福錄數，以得知該區域的流況，並將過去資料全部換算 3D 立體方式呈現，所有資料呈現在一張圖上，方便看出季節及水文事件的影響。
2. 2010 年底結算當年度拆壩造成泥砂往下游攜帶的量是 25000 立方公尺，2011 年未有豪雨，所攜帶下來的泥沙不多，而 2012 年有幾個颱風，所以累加下來的泥砂量為 125000 立方公尺。

官文惠副教授回應：亞硝酸鹽、氨氮及亞硝酸鹽氮三者在自然間可以互相轉換，在自然耗氧環境下，亞硝酸鹽氮是相對不穩定，但因為濃度高，還是可以檢測。歐盟對亞硝酸鹽氮訂定的水質標準較嚴格，而陳弘成老師所訂的硝酸鹽氮水質標準相對較寬鬆。然而亞硝酸鹽氮在整個循環中是一個中間值，所以不易檢測出影響的源頭為何，但人為活動的氮排放對當地亞硝酸鹽氮濃度應該是有一定的影響。

郭美華副教授回應：拆壩後溪流底質細顆粒化，長期來看，水棲昆蟲的功能群會改變，濾食者可能會增加，但需長期的持續觀察；另，極端洪水出現的頻率是 4 年，極端洪水下，毛翅目採集不到，所以若監測採集到毛翅目，代表此區的溪水環境未對水昆造成太大的影響。水昆密度的計算是以蘇柏氏水網定面積後，換算成溪流中每平方公尺密度。

曾晴賢教授回應：所謂的擾動是指小規模的干擾，未來或許可以研究在多少流量下，能增加水蟲棲息石頭的擾動，使水蟲容易被沖出。若能得到一個相對的數值，或許可以推測在多大的洪水下，對魚來講還是可以忍受的。過去觀察賀伯颱風下大雨，所拾獲擱淺的鮭魚都吃得很飽，因為在流量增加下，易使水蟲跑出，增加鮭魚捕食水昆的機率。

(二) 于淑芬課長發言：

1. 一號壩上游的崩坍是因為拆壩引起，還是原本的自然崩坍，茶園的崩坍

狀況又如何？

2. 高山溪二號壩壩口基礎有 1.5 公尺的落差，雖然老師建議以斜口處理，但目前高山溪並無法進行工程，是否還有其他處理方式？
3. 亞硝酸鹽氮在春節前、中、後的濃度，跟遊客實際入園人數的增加似乎不太相符？是否為採樣或分析上的誤差。
4. 鮭魚調查研究中發現有錦鯉，地點位在哪裡？若在之後調查工作中有再次發現，能否請研究團隊直接捕捉清除？

葉昭憲副教授回應：一號壩上游的崩坍為颱風降雨所造成的，與拆壩無關。

至於高山溪壩口落差，未來可再思考是否有其他替代方案。

官文惠副教授回應：春節的幾次採樣為山上的同仁協助採樣，可能在採樣及運送的過程出狀況，但在分析上，係依據 QA/QC 的標準，應不容易出錯。

曾晴賢教授回應：錦鯉在二號壩有兩尾，若要選擇性捕抓特定個體，建議用魚槍處理，在程序上應向台中市政府提出申請，若有需協助之處可再幫忙。

(三) 鍾銘山副處長發言：本年度櫻花季有進行總量管制，進入人數遠小於去年，能否比較本年度及去年 2、4 月份水質資料，以瞭解總量管制減少入園人數對水質是否有實質的幫助，可做為未來總量管制措施上，科學立論的基礎。

林幸助教授回應：去年未發現水質或其他參數於春節遊客高峰時有飆高的狀況，今年亞硝酸的增加，因為是單一個點，所以無法很明確認定兩者的關連。然而在實際監測工作上，因為往往熱門時間不方便進行密集調查，所以若要探討此議題，建議未來能以專案來討論，並依據科學的結果來訂定遊客承載量。

(四) 孫建平副教授發言：

1. 在藻類生物量的計算上，是否考量整個棲地底質比例及分布的改變？
2. 在水棲昆蟲、藻類等各類群都有各自的恢復時間，拆壩後，上、下游⁹

棲地”恢復的時間尺度為何？

莊怡麗博士回應：藻類採樣上為取 15-20 公分石頭，訂定固定面積刮除藻類，未來可進一步考量溪流底質的變化。

葉昭憲副教授回應：拆壩後，基本上河道條件都改變了，不太容易恢復原本的狀況。如果在沒有颱風的狀況，或許去年就可以說是達到穩定，但去年颱風擾動大，使得拆壩的人為干擾效應複雜化。或許後續可評估在棲地條件上，是否有一個相對應的恢復期，以得知多少時間後，棲地恢復成一個穩定的狀態。

(五) **于淑芬課長提問：**報告書中有提出建議的指標物種及監測頻度，是否可以分別在經費許可或拮据的狀況下，列出重點執行的先後順序及監測頻度。

林幸助教授回應：遵照辦理，於期末時列出。

陸、結論：

本次期中簡報審查原則上通過，請受託單位依據上述參考委員提出之建議，於期末報告時補充修正。

柒、散會

「武陵地區溪流生態系及七家灣溪一號防砂壩壩體改善後研究」案期
末簡報會議紀錄

壹、開會時間：102 年 12 月 19 日（星期四）下午 1 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：鍾副處長銘山

記錄：蕭明堂

肆、出席單位及人員：

受託單位：中興大學林幸助教授、逢甲大學葉昭憲副教授、明志科技大學官
文惠副教授、成功大學王筱雯助理教授、中興大學郭美華副教授、清華
大學曾晴賢教授、中央研究院林永昌工程師

外聘審查專家學者：靜宜大學謝森和教授、國立海洋生物博物館邱郁文助理
研究員

雪霸國家公園管理處：鍾銘山副處長、鄭瑞昌秘書、劉金龍課長、張美瓊課
長、廖林彥主任、林淑芬技士、林哲宇技士、蕭明堂技士

伍、討論：

(一) 謝森和教授發言：

1. 綜合性建議，各子計畫所提到環境變動的影響主要為颱風，但實際上的影響因子為河川流量，若能取得流量資料有助於資料的解釋，因此流量水位的監測有其必要。
2. 綜合性建議，建議報告中提供基本的摘要性數據，目前太多 raw data，不方便閱讀與資訊消化。
3. 魚類調查的部分，高山溪的防砂壩均已拆除，但颱風過後鮭魚數量依舊減少，未來在經營管理上是否放任其自然回復？
4. 魚類調查的部分，苦花與鮭魚的水溫界線不同，未來若隨著氣候變遷等因子，使得苦花逐漸往上遷移，哪麼對於臺灣櫻花鉤吻鮭的存續是否有所影響？
5. 物理棲地的部分，調查時間與其他研究不一致的原因為何？另外，名詞

- 的部分請統一，內文的中文名稱與圖表英文名稱要一致，能互相對照。
6. 物理棲地的部分，請補充水文物理棲地的測量操作流程及細節。
 7. 物理棲地的部分，表 3-17 棲地類型的名稱與內文不符，請確認並修正。
 8. 水質監測的部分，監測項目中是否包含水溫？
 9. 水質監測的部分，以過往陳弘成教授的水質標準是否恰當？建議考量以這幾年的資料為基礎，直接以本區的 baseline 做為水質標準。
 10. 水質監測的部分，水質單位在表和內文中並不一致，建議統一。
 11. 水質監測的部分，七家灣溪的水質中未測到磷酸鹽，是含量極低，或者為儀器的限制？
 12. 水生昆蟲的部分，以 RBPII 做為棲地評比的標準，如何操作及定義輕度、中度、重度損害等，請再予以說明。
 13. 水生昆蟲的部分，MDS 顯示颱風後昆蟲族群的恢復過程，反映水蟲的生活週期，後續監測是否考量以夜間點燈吸引水生昆蟲的成蟲，瞭解水棲昆蟲的生活史，以及颱風對水棲昆蟲的影響。
 14. 資料庫的部分，基礎資料的建立有助於生態模式的建立，未來的資料庫是否開放予一般大眾或學者參考？

(二) 邱郁文助理研究員發言：

1. 魚類調查的部分，請教有關幼魚、亞成魚及大魚的齡級？
2. 魚類調查的部分，颱風過後幼魚消失的原因是缺乏食物或者為棲地消失，若是因為棲地消失，那麼是否未來考量設置避難河道？
3. 魚類調查的部分，幼魚消失後，雖然冬天成魚會再產卵，但所新生的幼魚是否足夠族群的損失？
4. 魚類調查的部分，請再說明殘材壩的移除目的。
5. 魚類調查的部分，苦花的分布往上移是否與溪流兩岸的林蔭被打開，導致水溫上升有關？
6. 物理棲地部分，在拆壩後，河川底質變化是否逐漸趨於穩定？
7. 物理棲地部分，在拆壩後，河道中大石頭減少，底質粒徑變細，是否能提供建議如何恢復溪流中的深潭及大石？
8. 水質監測的部分，水質的標準有參考歐盟的標準，然而歐洲鮭魚的分布棲地與七家灣溪有何不同？是否以近年累積的資料建立本區的水質標

準？

9. 水質監測的部分，亞硝酸鹽於夏季出現高峰的原因為何？
10. 水質監測的部分，山溝水及排水溝水的水質較差，其來源為何？
11. 水質監測的部分，回收農地的現況利用情形及未來規劃為何？
12. 水生昆蟲的部分，建議把鮭魚食餌的水生昆蟲總類進一步說明。
13. 農地回收後，水生昆蟲上升的原因為何？是水質變好？還是農藥減少？
14. 資料庫的部分，可否從已有的資料中找出鮭魚與苦花分布範圍的改變，或者鮭魚族群年齡結構的變化？
15. 藻類調查的部分，當降雨量越高時，藻類也愈少，原因是水流增加所造成的？或是水中動能變大，使得藻類不易附著？建議資料分析上補充與水質濁度的連結。
16. 未來在經營管理上，建議朝向棲地管理或是自然演替？

(三) 鍾銘山副處長發言：

1. 拆壩後，河道打通，是否為造成大石頭減少的主要原因？
2. 蘇拉颱風對河道的影響大於拆壩效應，未來在上游河道的崩坍地處置有何建議？

(四) 蕭明堂技士發言：

1. 期末簡報的許多圖表資料均未在報告書中呈現，請補充於成果報告書。
2. 報告書為黑白印刷，請檢視圖表的線條顏色，改以不同的線條、圖樣或記號，方便閱讀與辨識，已達到陳述表明資訊之目的。

曾晴賢教授回應：

1. 在過往賀伯颱風後，在下游河道上發現擱淺的鮭魚，因而認為避難河道有助於豪雨洪流下，鮭魚的躲藏，一般而言在颱風豪雨對鮭魚的影響為將鮭魚往下游衝，因而從族群中流失。另外，過往的苦花研究中，發現通常魚隻在大豪雨後至少 2-3 星期沒有食物吃，櫻花鉤吻鮭雖然沒有這樣的研究，但推測豪雨後也是相似的情形，並且幼魚又相對成魚更不耐餓。

2. 苦花的水溫耐後下限為 15 度，現在擴散至上游主要是一號壩廊道打通的原故，但由於苦花的食性與鮭魚不同，且過往調查並未發現苦花具領域性而排擠鮭魚，所以苦花的擴散對鮭魚應無太大影響，並且鮭魚屬肉食性，苦花的幼魚可能為鮭魚的食物來源，不過此部分仍需觀察確認。
3. 幼魚、亞成魚、大魚的區分主要是依據體長，幼魚通常是去年冬天生出的魚苗；亞成魚的體長通常約 15 公分以下，為未滿兩歲的個體；大魚則為 3 歲的個體，為主要的繁殖族群。
4. 過往監測的經驗指出，只要不要連續三年為壞年，魚群就有恢復的機會，當族群少時，每條成魚吃得更飽，抱卵的卵數增加，也就能繁殖出更多的小魚。因此，今年颱風雖造成鮭魚族群下降，仍可預期族群的自然恢復，若明年仍然是較差的狀況，則可再考量種原庫的預備。
5. 殘材壩的移除主要為打開河川通路，七家灣溪的河川自然營造力強，過去的經驗指出，人為營造往往會被豪雨所沖毀。

葉昭憲副教授回應：

1. 在現行每年都有颱風的狀況下，河道不易穩定，其反映水流條件，也因如此並不建議在水中加入人工構造物。
2. 七家灣溪大石頭減少主要為上游崩坍地帶入細粒料，並把深潭、大石頭等填掉，並非大石頭消失，冬淤夏沖，水中的砂需較長的時間帶走，林務局東勢處他們已進行規劃上游崩坍地的處置。

官文惠副教授回應：

1. 水質監測的部分有包含水溫，為每兩個月採樣時進行測量，未考量以儀器長時間持續紀錄的原因是器材容易被溪水沖走。
2. 溪水中的磷酸鹽含量相對較低，故並未被測出。
3. 水質標準的部分，係採取較謹慎的態度，選用歐盟的標準，未來會再考量以 baseline 訂出本區的建議值。
4. 亞硝酸鹽夏季高峰的原因為夏季有施肥，導致硝酸根離子增加，在光照還原下，變成亞硝酸根離子，而從亞硝酸根離子變成胺態離子的速度較慢，造成亞硝酸根離子的累積。

5. 山溝水及排水溝水的來源主要為露營區的人為活動、少數茶園、果園的輸入等。

郭美華副教授回應：

1. RBPII 為 1989 年被提出，主要是以特定集水區，並由八個參數整合平分。
2. 於報告書 p5-11 以說明鮭魚喜愛吃的水生昆蟲總類。
3. 由於水生昆蟲的調查為農地回收後才開始進行，所以在執行時已無農藥施作的效應，故無法確認。
4. 水生昆蟲的生活史已有許多文獻研究，故未來監測將以極端洪流對水生昆蟲族群的變化以及預測為主要方向。

林永昌工程師回應：從現有的資料庫中，可看出苦花與鮭魚分布的變化，也可看出鮭魚族群的年齡結構。至於資料的對外開放，則由管理處權限決定之。

莊怡麗博士回應：

1. 七家灣溪流量的資料，可從已有的流量站資料及雨量資料，兩者間的回歸關係推算。
2. 水質的濁度與降雨時間長短有關，後續的分析將再補充於報告書中。

林幸助教授回應：颱風為避免不了的，鮭魚自有適應能力，未來我們所要做的就是避免人為汙染，降低影響鮭魚抗颱風能力的因子，人為干涉的設施很容易因颱風而毀壞。

陸、結論：

本次期末簡報審查原則上通過，請受託單位依據上述參考委員提出之建議，於成果報告時補充修正。

柒、散會

