

雪霸國家公園管理處委託辦理計畫

武陵地區七家灣溪壩體改善後臺灣櫻花鉤吻鮭棲地監測暨
現存其它棲地調查與改善評估
期末報告

委託單位：雪霸國家公園管理處

執行單位：明志科技大學環境與安全衛生工程系

國立中興大學昆蟲學系

逢甲大學水利工程與資源保育學系

研究主持人：官文惠

共同主持人：郭美華、葉昭憲（按姓氏筆劃排列）

中華民國一百零六年十二月

目錄

雪霸國家公園管理處委託辦理計畫	1
目錄	I
表目錄	V
圖目錄	VII
研究計畫項目與內容	XIII
整合計畫摘要	1
一、研究緣起	1
二、計畫目標與主要工作項目	2
三、研究樣區	3
四、重要發現	4
五、主要建議事項	5
(一) 立即可行建議	6
(二) 長期建議	6
第一章 水質監測	1-1
計畫摘要	1-1
Abstract	1-4
一、前言	1-5
(一) 研究緣起	1-5
(二) 研究目的	1-5
(三) 文獻回顧	1-5
二、材料與方法	1-11
(一) 採樣地點介紹	1-11
(二) 水質分析方法	1-11
三、結果	1-14
(一) 水質監測	1-14
四、討論	1-15
(一) 七家灣溪流例行性水質監測	1-15
(二) 一號壩壩體改善後之影響	1-17
(三) 山溝及排水溝之水質監測	1-17

(四) 8.1 公頃回收農用地之水質監測-----	1-18
(五) 羅葉尾溪與合歡溪之水質監測-----	1-18
五、結論與建議-----	1-20
(一) 結論-----	1-20
(二) 建議-----	1-20
六、參考文獻-----	1-22
附表-----	1-24
附圖-----	1-35
第二章 物理棲地研究-----	2-1
計畫摘要-----	2-1
Abstract-----	2-3
一、前言-----	2-4
(一) 計畫緣起與背景-----	2-4
(二) 計畫範圍與執行期間-----	2-4
二、研究方法及過程-----	2-5
(一) 河道地形變化趨勢-----	2-5
(二) 物理棲地組成-----	2-6
(三) 有勝溪一號壩改善之河道變動模擬-----	2-7
三、研究發現-----	2-9
(一) 有勝溪河道變化調查-----	2-9
(二) 七家灣溪河道變化調查-----	2-11
(三) 合歡溪河道變化調查-----	2-13
(四) 高山溪二號壩口殘材堆積-----	2-13
(五) 有勝溪壩體改善評估-----	2-14
(六) 七家灣溪崩塌地調查-----	2-15
四、結論-----	2-16
五、參考文獻-----	2-17
附表-----	2-19
附圖-----	2-28
附件一 七家灣溪河道測量橫斷面圖-----	2-48
附件二 合歡溪河道測量橫斷面圖-----	2-64

附件三 七家灣溪崩塌情形-----	2-66
第三章 水棲昆蟲研究-----	3-1
計畫摘要-----	3-1
Abstract-----	3-3
一、前言-----	3-5
(一) 研究緣起-----	3-5
(二) 水棲昆蟲-----	3-6
(三) 棲地評比及多樣性-----	3-8
(四) 一號壩壩體改善部分拆除工程的影響-----	3-8
二、材料與方法-----	3-10
(一) 研究地區-----	3-10
(二) 研究材料及方法-----	3-11
三、結果-----	3-14
(一) 物種數及個體數-----	3-14
(二) 中大型食餌-----	3-14
(三) 生物量-----	3-14
(四) 多樣性-----	3-14
(五) 棲地評比-----	3-15
(六) 群聚結構-----	3-15
(七) 一號壩壩體改善部分拆除工程的影響-----	3-15
(八) 合歡溪上游-----	3-17
(九) 颱風季前後複迴歸分析-----	3-17
四、討論-----	3-19
(一) 物種數及個體數-----	3-19
(二) 多樣性-----	3-20
(三) 棲地評比-----	3-20
(四) 一號壩壩體改善部分拆除工程的影響-----	3-21
(五) 合歡溪-----	3-21
五、結論-----	3-22
六、參考文獻-----	3-23
附表-----	3-27

附圖-----	3-39
第四章 整合分析-----	4-1
一、前言-----	4-1
二、指標建構方法-----	4-2
(一) FormosanHEP 適用可能性調查-----	4-2
(二) FormosanHEP 事前調查-----	4-2
(三) FormosanHSI 模式建立-----	4-2
(四) FormosanHEP 評估-----	4-4
(五) 方案比較評價-----	4-5
三、結果-----	4-5
四、討論-----	4-5
五、結論與建議-----	4-6
(一) 結論-----	4-6
(二) 建議-----	4-6
六、參考文獻-----	4-8
附表-----	4-9
附圖-----	4-15
附件一 期中報告意見及回覆說明-----	Appen-1

表目錄

表 1-1 地面水體分類及水質標準	1-24
表 1-2 歐盟訂定之鮭鯉魚水體標準(2006.9.6.)	1-24
表 1-3 飲用水水源水質標準（作為自來水及簡易自來水之飲用水水源者）	1-25
表 1-4 濕地水質標準	1-25
表 1-5 水體樣品保存	1-25
表 1-6 採樣地點地理座標	1-26
表 1-7 106 年 02 月溶解態分析數據	1-27
表 1-8 106 年 04 月溶解態分析數據	1-29
表 1-9 106 年 06 月溶解態分析數據	1-31
表 1-10 106 年 10 月溶解態分析數據	1-33
表 2-1 棲地底質分類表	2-19
表 2-2 各種物理棲地環境指標定義	2-19
表 2-3 檢定參數組合表	2-19
表 2-4 輸砂模擬參數表	2-19
表 2-5 壩體改善（移除虛線內壩體）模擬情境說明	2-19
表 2-6 收費站樣站內各斷面座標	2-20
表 2-7 有勝溪下游樣站內各斷面座標	2-20
表 2-8 勝光派出所樣站內各斷面座標	2-20
表 2-9 登山口樣站內各斷面座標	2-21
表 2-10 羅葉尾樣站內各斷面座標	2-21
表 2-11 觀魚臺樣站內各斷面座標	2-21
表 2-12 一號壩樣站內各斷面座標	2-21
表 2-13 繁殖場樣站內各斷面座標	2-21
表 2-14 各樣站之平均坡降	2-22
表 2-15 各樣站之棲地多樣性指標（SIDI 值）	2-22
表 2-16 各樣站之底質多樣性指標（SIDI 值）	2-22
表 2-17 有勝溪壩上河床質調查記錄表	2-23
表 2-18 有勝溪壩下河床質調查記錄表	2-25
表 2-19 各開口寬度流心偏移表	2-27
表 3-1、鮭魚中大型食餌名錄(4 目 8 科)	3-27

表 3-2 本研究探討颱風季前後影響鮭魚族群變化之相關因子資料(2004 年-2015 年).....	3-28
表 3-3 2017 年七家灣溪之 2 月水棲昆蟲資源組成及總個體數 (individuals / square meter)	
-----	3-29
表 3-4 2017 年有勝溪及合歡溪之 2 月水棲昆蟲資源組成及總個體數 (individuals / square meter)	3-30
表 3-5 2017 年七家灣溪之 4 月水棲昆蟲資源組成及總個體數 (individuals / square meter)	3-31
表 3-6 2017 年有勝溪及合歡溪之 4 月水棲昆蟲資源組成及總個體數 (individuals / square meter)	3-33
表 3-7 2017 年七家灣溪之 6 月水棲昆蟲資源組成及總個體數 (individuals / square meter)	3-34
表 3-8 2017 年有勝溪及合歡溪之 6 月水棲昆蟲資源組成及總個體數 (individuals / square meter)	3-35
表 3-9 2017 年七家灣溪之 10 月水棲昆蟲資源組成及總個體數(individuals / square meter)	3-36
表 3-10 2017 年有勝溪及合歡溪之 10 月水棲昆蟲資源組成及總個體數 (individuals / square meter)	3-37
表 3-11 合歡溪各項生物監測數值	3-38
表 3-12 颱風季前(6 月)後(10 月)臺灣櫻花鉤吻鮭族群變動之複迴歸分析(2004 年至 2015 年)	3-38
表 4-1 2004 年至 2014 年七家灣溪流域之水質因子、中大型食餌水棲昆蟲與臺灣櫻花鉤吻鮭關係分析原始數據.....	4-9
表 4-2 臺灣櫻花鉤吻鮭棲地適合度評估指標層級架構表	4-9
表 4-3 七家灣溪流域各測站棲地適合度指標(Formosan HSI)計算結果	4-10
表 4-4 羅葉尾溪及有勝溪流域各測站棲地適合度指標(Formosan HSI)計算結果	4-11
表 4-5 歷史棲地各測站棲地適合度指標(Formosan HSI)計算結果	4-12
表 4-6 河段棲地指標平均值與單位河道長度鮭魚族群數相關性分析	4-13
表 4-7 候選放流點棲地適合度評估指標計算	4-14

圖目錄

圖 1-1 雪霸國家公園.....	1-35
圖 1-2 氮素循環過程.....	1-35
圖 1-3 流程圖.....	1-36
圖 1-4 武陵地區七家灣溪流流域水質採樣地點位置圖.....	1-36
圖 1-5 羅葉尾溪、有勝溪流流域採樣位置圖.....	1-37
圖 1-6 山溝、排水溝採樣位置圖.....	1-37
圖 1-7 合歡溪採樣位置圖.....	1-38
圖 1-8 武陵地區溪流溫度值變化.....	1-39
圖 1-9 武陵地區溪流 pH 值變化.....	1-39
圖 1-10 武陵地區溪流導電度值變化.....	1-40
圖 1-11 武陵地區溪流溶氧值變化.....	1-40
圖 1-12 武陵地區溪流濁度值變化.....	1-41
圖 1-13 武陵地區溪流 SiO ₂ 值變化.....	1-41
圖 1-14 武陵地區溪流 NO ₃ ⁻ -N 值變化.....	1-42
圖 1-15 武陵地區溪流 NO ₂ ⁻ -N 值變化.....	1-42
圖 1-16 武陵地區溪流 SO ₄ ²⁻ 值變化.....	1-43
圖 1-17 武陵地區溪流 Cl ⁻ 值變化.....	1-43
圖 1-18 武陵地區溪流 PO ₄ ³⁻ 值變化.....	1-44
圖 1-19 武陵地區溪流 NH ₄ ⁺ -N 值變化.....	1-44
圖 1-20 武陵地區溪流 TOC 值變化.....	1-45
圖 1-21 一號壩壩體改善溫度值變化.....	1-46
圖 1-22 一號壩壩體改善 pH 值變化.....	1-46
圖 1-23 一號壩壩體改善導電度值變化.....	1-47
圖 1-24 一號壩壩體改善溶氧值變化.....	1-47
圖 1-25 一號壩壩體改善濁度值變化.....	1-48
圖 1-26 一號壩壩體改善 SiO ₂ 值變化.....	1-48
圖 1-27 一號壩壩體改善 NO ₃ ⁻ -N 值變化.....	1-49
圖 1-28 一號壩壩體改善 NO ₂ ⁻ -N 值變化.....	1-49
圖 1-29 一號壩壩體改善 SO ₄ ²⁻ 值變化.....	1-50
圖 1-30 一號壩壩體改善 Cl ⁻ 值變化.....	1-50

圖 1-31 一號壩壩體改善 PO_4^{3-} 值變化.....	1-51
圖 1-32 一號壩壩體改善 NH_4^+ -N 值變化.....	1-51
圖 1-33 一號壩壩體改善 TOC 值變化.....	1-52
圖 1-34 山溝與七家灣溪測站之溫度值比較.....	1-53
圖 1-35 山溝與七家灣溪測站之 pH 值比較.....	1-53
圖 1-36 山溝與七家灣溪測站之導電度值比較.....	1-54
圖 1-37 山溝與七家灣溪測站之溶氧值比較.....	1-54
圖 1-38 山溝與七家灣溪測站之濁度值比較.....	1-55
圖 1-39 山溝與七家灣溪測站之 SiO_2 值比較.....	1-55
圖 1-40 山溝與七家灣溪測站之 NO_3^- -N 值比較.....	1-56
圖 1-41 山溝與七家灣溪測站之 NO_2^- -N 值比較.....	1-56
圖 1-42 山溝與七家灣溪測站之 SO_4^{2-} 值比較.....	1-57
圖 1-43 山溝與七家灣溪測站之 Cl 值比較.....	1-57
圖 1-44 山溝與七家灣溪測站之 PO_4^{3-} 值比較.....	1-58
圖 1-45 山溝與七家灣溪測站之 NH_4^+ -N 值比較.....	1-58
圖 1-46 山溝與七家灣溪測站之 TOC 值比較.....	1-59
圖 1-47 8.1ha 回收農用地溫度值變化.....	1-60
圖 1-48 8.1ha 回收農用地 pH 值變化.....	1-60
圖 1-49 8.1ha 回收農用地導電度值變化.....	1-61
圖 1-50 8.1ha 回收農用地溶氧值變化.....	1-61
圖 1-51 8.1ha 回收農用地濁度值變化.....	1-62
圖 1-52 8.1ha 回收農用地 SiO_2 值變化.....	1-62
圖 1-53 8.1ha 回收農用地 NO_3^- -N 值變化.....	1-63
圖 1-54 8.1ha 回收農用地 NO_2^- -N 值變化.....	1-63
圖 1-55 8.1ha 回收農用地 SO_4^{2-} 值變化.....	1-64
圖 1-56 8.1ha 回收農用地 Cl 值變化.....	1-64
圖 1-57 8.1ha 回收農用地 PO_4^{3-} 值變化.....	1-65
圖 1-58 8.1ha 回收農用地 NH_4^+ -N 值變化.....	1-65
圖 1-59 8.1ha 回收農用地 TOC 值變化.....	1-66
圖 1-60 羅葉尾溪與合歡溪溫度值變化.....	1-67
圖 1-61 羅葉尾溪與合歡溪 pH 值變化.....	1-67

圖 1-62 羅葉尾溪與合歡溪導電度值變化.....	1-68
圖 1-63 羅葉尾溪與合歡溪溶氧值變化.....	1-68
圖 1-64 羅葉尾溪與合歡溪濁度值變化.....	1-69
圖 1-65 羅葉尾溪與合歡溪 SiO ₂ 值變化	1-69
圖 1-66 羅葉尾溪與合歡溪 NO ₃ ⁻ -N 值變化	1-70
圖 1-67 羅葉尾溪與合歡溪 NO ₂ ⁻ -N 值變化	1-70
圖 1-68 羅葉尾溪與合歡溪 SO ₄ ²⁻ 值變化.....	1-71
圖 1-69 羅葉尾溪與合歡溪 Cl ⁻ 值變化.....	1-71
圖 1-70 羅葉尾溪與合歡溪 PO ₄ ³⁻ 值變化.....	1-72
圖 1-71 羅葉尾溪與合歡溪 NH ₄ ⁺ -N 值變化.....	1-72
圖 1-72 羅葉尾溪與合歡溪 TOC 值變化.....	1-73
圖 2-1 全測站電子光波測距經緯儀.....	2-28
圖 2-2 撿拾狀況.....	2-28
圖 2-3 開口樣板量測粒徑.....	2-28
圖 2-4 模擬河段初始高程圖.....	2-29
圖 2-5 入流、出流邊界示意圖.....	2-29
圖 2-6 河道內大型礫石調查圖.....	2-29
圖 2-7 全河道範圍圖.....	2-30
圖 2-8 有勝溪各樣站位置圖.....	2-30
圖 2-9 收費站樣站斷面位置圖.....	2-31
圖 2-10 有勝溪下游樣站斷面位置圖.....	2-31
圖 2-11 勝光派出所樣站斷面位置圖.....	2-32
圖 2-12 登山口樣站斷面位置圖.....	2-32
圖 2-13 羅葉尾樣站斷面位置圖.....	2-33
圖 2-14 七家灣溪全河道縱向高程剖面圖.....	2-33
圖 2-15 收費站河道縱向高程剖面圖.....	2-34
圖 2-16 勝光派出所河道縱向高程剖面圖.....	2-34
圖 2-17 有勝溪下游河道縱向高程剖面圖.....	2-34
圖 2-18 登山口河道斷面高程剖面圖.....	2-34
圖 2-19 羅葉尾河道斷面高程剖面圖.....	2-34

圖 2-20 觀魚臺河道斷面高程剖面圖.....	2-34
圖 2-21 一號壩河道斷面高程剖面圖.....	2-34
圖 2-22 繁殖場河道斷面高程剖面圖.....	2-34
圖 2-23 收費站底質比例.....	2-35
圖 2-24 收費站棲地比例.....	2-35
圖 2-25 有勝溪下游底質比例.....	2-35
圖 2-26 有勝溪下游棲地比例.....	2-35
圖 2-27 勝光派出所底質比例.....	2-35
圖 2-28 勝光派出所棲地比例.....	2-35
圖 2-29 登山口底質比例.....	2-35
圖 2-30 登山口棲地比例.....	2-35
圖 2-31 羅葉尾底質比例.....	2-36
圖 2-32 羅葉尾棲地比例.....	2-36
圖 2-33 收費站樣站現地照片.....	2-36
圖 2-34 有勝溪下游樣站現地照片.....	2-36
圖 2-35 勝光派出所樣站現地照片.....	2-37
圖 2-36 登山口樣站現地照片.....	2-37
圖 2-37 羅葉尾樣站現地照片.....	2-37
圖 2-38 七家灣溪全河道範圍.....	2-38
圖 2-39 觀魚臺底質比例.....	2-38
圖 2-40 觀魚臺棲地比例.....	2-38
圖 2-41 一號壩底質比例.....	2-38
圖 2-42 一號壩棲地比例.....	2-38
圖 2-43 繁殖場底質比例.....	2-39
圖 2-44 繁殖場棲地比例.....	2-39
圖 2-45 觀魚臺樣站斷面位置圖.....	2-39
圖 2-46 繁殖場樣站斷面位置圖.....	2-39
圖 2-47 一號壩樣站斷面位置圖.....	2-39
圖 2-48 觀魚臺樣站現地照片.....	2-40
圖 2-49 一號壩樣站現地照片.....	2-40
圖 2-50 繁殖場樣站現地照片.....	2-41

圖 2-51 合歡溪及其防砂壩和研究河段位置.....	2-41
圖 2-52 合歡溪測量範圍高程分佈圖.....	2-42
圖 2-53 合歡溪測量斷面位置圖.....	2-42
圖 2-54 合歡溪河道斷面高程剖面圖.....	2-42
圖 2-55 合歡溪底質比例.....	2-42
圖 2-56 合歡溪棲地比例.....	2-42
圖 2-57 合歡溪現地照片.....	2-43
圖 2-58 高山溪現地照.....	2-43
圖 2-59 高山溪底質資料盒鬚圖.....	2-44
圖 2-60 高山溪棲地資料盒鬚圖.....	2-44
圖 2-61 高山溪二號壩縱斷面圖.....	2-45
圖 2-62 高山溪二號壩下縱斷面圖.....	2-45
圖 2-63 有勝溪一號壩位置.....	2-46
圖 2-64 DERU 評估法.....	2-46
圖 2-65 一號壩評估結果.....	2-46
圖 2-66 一號壩評估結果.....	2-47
圖 2-67 水深流速示意圖.....	2-47
圖 3-1 武陵地區溪流水棲昆蟲監測調查測站之相關位置圖。.....	3-39
圖 3-2 武陵地區溪流測站水棲昆蟲各月數量。.....	3-40
圖 3-3 武陵地區溪流測站之臺灣鈎吻鮭中大體型昆蟲食餌數量變化圖。.....	3-41
圖 3-4 武陵地區溪流測站之水棲昆蟲生物量(濕重)變化圖。.....	3-42
圖 3-5 武陵地區溪流測站水棲昆蟲之 Shannon- Wiener's index。.....	3-43
圖 3-6 武陵地區溪流測站水棲昆蟲之 RBPII 相對分數。.....	3-44
圖 3-7 武陵地區溪流測站水棲昆蟲之 MDS 分析。.....	3-45
圖 3-8 一號壩壩體上下游四測站之水棲昆蟲生物量(濕重)變化圖。.....	3-45
圖 3-9 一號壩壩體上下游四測站水棲昆蟲數量。.....	3-46
圖 3-10 一號壩壩體上下游四測站水棲昆蟲之 Shannon- Wiener's index。.....	3-46
圖 3-11 一號壩壩體改善工程後水棲昆蟲之 MDS 分析。.....	3-47
圖 3-12 一號壩壩體上下游四測站水棲昆蟲之 RBPII 相對分數。.....	3-47
圖 4-1 臺灣櫻花鈎吻鮭生存棲地評估程序.....	4-15

圖 4-2 各因子轉換 SI 次指標之函數關係圖.....4-16

研究計畫項目與內容

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

整合計畫摘要

關鍵詞：臺灣櫻花鉤吻鮭、七家灣溪、水質監測、水文與物理棲地、水棲昆蟲、生態資料庫

一、研究緣起

臺灣櫻花鉤吻鮭 (*Oncorhynchus masou formosanus*) 原為北半球寒溫帶之迴游性魚類，繁殖期自海中溯河而上，回到出生的河流上游交配、產卵，幼魚孵化後，次年春天再游回海中生長，是臺灣唯一歷經百萬年演化之孑遺古生物、活標本的寒帶魚類，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。但因長期封閉在高山溪流裡，且生長在亞熱帶的台灣，已完全喪失了迴游的本能。這種陸封型的鮭鱒魚類，目前也只有在日本、韓國及大陸東北地區曾經發現過，而臺灣櫻花鉤吻鮭是世上地理位置分佈最南端的鮭魚類。

棲地的破壞往往是造成物種滅絕的主因，台灣櫻花鉤吻鮭於日據時代 (1911-1941) 原生存於大甲溪上游的各主要支流中，包括司界蘭溪、高山溪、七家灣溪、有勝溪、南湖溪與合歡溪等都可發現蹤影。但近幾十年來因經濟的快速發展，造成集水區的農業開發，間接破壞了植被的遮陰效果，導致溪水溫度升高，同時農藥的濫用，水質的優養化，攔砂壩的興建，棲地的破碎化等等原因，使得臺灣櫻花鉤吻鮭的生存棲地面臨了空前的危機。因溪流環境改變，如防砂壩將棲地片段分割、遊憩活動及農業的開發污染、天然災害如颱風、洪水肆虐及前人的捕捉，族群數量嚴重受影響而有絕種之虞。因此政府積極復育，且以生物多樣性為標的，長期生態監測為手段，期能建立以調查數據為基礎之資料庫，俾利科學化之保育決策與經營管理。

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，自 82 至今許多研究團隊共同執行群體計畫，並利用生物、物理棲地、河川輸砂模式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。經過數年研究，已逐漸確認壩體改善除可改善水溫升高與鮭魚族群阻隔之衝擊外，改善壩體後使得溪流河道底質粒徑大於 25.6 公分礫石的比例增加，由於大石邊際層阻抗水流進而提升鮭魚抗颱風洪水之能力。水質的長期監測，也具體反映出二號壩臨溪 8.1 公頃農地回收，對溪流水質顯著改善的正確決策成果。故本計畫將持續針對包含七家灣溪、高山溪、有勝溪、羅葉尾溪，進行溪流水質、河道物理棲地，及水棲昆

蟲之分析與評估。另因先前研究顯示，七家灣溪右岸中游山溝水有高濃度之硝酸鹽，故亦將持續在山溝及其附近排水溝之上中下游進行採樣。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，該區附近之測站包括桃山西溪、觀魚台及二號壩，進行採樣以分析各重要因子之變化。有鑑於壩體改善對河道棲地與底質組成改變有所助益，因此本計畫持續進行以往之長期調查工作外，亦對潛在有助臺灣櫻花鉤吻鮭棲息之有勝溪、羅葉尾溪與合歡溪河道進行環境調查，期可用於後續棲地改善與鮭魚放流之評估依據。

二、計畫目標與主要工作項目

本計畫具體目標包括：

1. 瞭解七家灣溪、有勝溪、羅葉尾溪，及七家灣溪中游右岸山溝水質因子變化。
2. 瞭解七家灣溪一號防砂壩改善後溪流物理棲地變化。
3. 評估七家灣溪各河段或有勝溪等現存棲地可能的進一步改善作業，並做成具體建議。
4. 掌握水棲昆蟲族群動態變化。
5. 擴充雪管處指定之生態資料庫。
6. 提供生態資料，作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。

本計畫之主要工作項目包括：

1. 溪流水質與歷年動態變化之分析，包括 pH、導電度、濁度、總有機碳、磷酸鹽、氨氮、硝酸氮與亞硝酸氮等項目。
2. 進行七家灣溪溪流物理棲地調查需包括河道斷面、棲地底質與棲地類型等項調查等，並與歷年結果動態變化之分析，同時評估有勝溪壩體改善相關事宜。
3. 溪流水棲昆蟲群集、生物量與歷年結果動態變化之分析，並比對各溪流水棲昆蟲群集組成差異。

三、研究樣區

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、羅葉尾溪與合歡溪，採集共設置 13 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)、羅葉尾溪放流點 (#201)、南湖登山口 (#202)、勝光 (#203)、有勝溪下游 (#204)、合歡溪上游 (#303)，相關位置如下圖 1 所示，採樣座標參照內文表 1-5。

為監測七家灣溪上游右岸農地回收、露營區與花海對七家灣溪水質之影響，特於右岸中游之山溝與排水溝設置 7 個採樣站，進行採樣與水質分析。分別為山溝中游 (A3)、山溝中之支游 (A4)、山溝中之下游 (A5)、山溝 (A6)、排水溝 (B1)、排水溝前 (B3) 排水溝後 (B4)，相關位置如下圖 1 所示，採樣座標參照內文表 1-5。

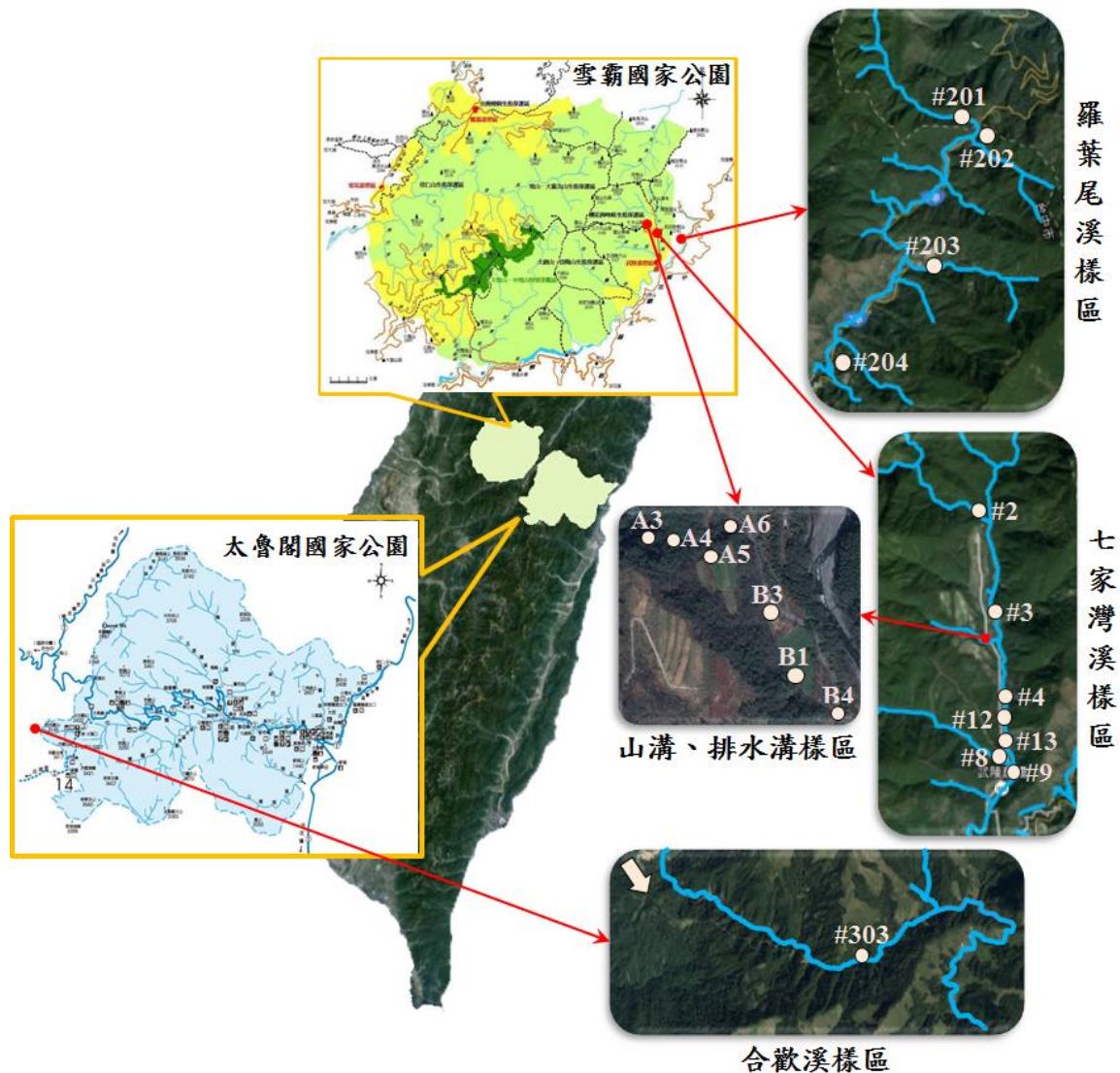


圖 1 研究樣區採樣位置圖

四、重要發現

內政部於(2016)通過七家灣溪重要濕地保育計畫草案，劃設保育範圍、訂定區內溪流水質標準(表 1-4)與放流水標準，包含管理目標水溫(夏季 13.3~15.3°C，冬季 6.9~10.9°C)、氨氮(0.1 mg/L 以下)、硝酸鹽氮(15 mg/L 以下)、亞硝酸鹽氮(0.03 mg/L 以下)、生化需氧量(1 mg/L 以下)、pH 值(6.8~8.8)、溶氧(6.5 mg O₂/L 以上)、導電度(100~450)、濁度(5 NTU 以下)、磷酸鹽(0.15 mg/L 以下)等項目。依照今年分析之水質結果顯示保育區內測站之水質皆符合濕地保護計畫訂定之水質範圍，但從長期的變化趨勢觀察，水溫持續升高，導溶氧亦有逐漸下降之趨勢。合歡溪經兩年之採樣分析顯示，水溫、溶氧、氮物種等項目之濃度近似高山溪水質，導電度濃度則低於陳弘成教授建議的 120 μs/cm 以下，約介於 80~120μs/cm 之間。

物理棲地調查結果顯示，經過四次調查，進行河道高程變動及棲地底質變化比較與分析，在年初和汛期前調查結果顯示，七家灣溪與有勝溪河道沖淤互現，但變動程度並不明顯。去年汛期後進行第三次量測，歷經颱風及較強降雨事件，河道高程及棲地變化稍為顯著，且多處河道發生流心改變或分流，年初第四次測量，雖因海拔較高較不受臺灣地區遭逢 46 年來冬季最少降雨量影響，流量仍然減少造成部分河段產生淤積，其中以登山口樣站與支流匯流出灘地有較明顯土砂淤積，原無水段擴張為 500 公尺；高山溪二號壩口處形成約 4-5 公尺高之殘材堆積，阻斷櫻花鉤吻鮭棲地連貫性；合歡溪經颱風事件後，河道內細粒料產生輸移現象，但整體變動並不大。

本年度 2 月、4 月、6 月、10 月採樣調查水棲昆蟲共計有 64 分類群 (taxa)，分屬 6 目 38 科；位於七家灣溪之 7 個測站共計有 51 分類群 (taxa)，分屬 5 目 31 科；位於有勝溪之 5 個測站共計有 55 分類群 (taxa)，分屬 6 目 34 科。位於合歡溪之測站共計有 33 分類群 (taxa)，分屬 5 目 21 科。由連續 10 年以上數據(2003 至 2017 年)看出，水棲昆蟲豐度幾乎以每年年初為高峰，然 2017 年以 4 月及 10 月為高峰。中大體型水棲昆蟲數量(臺灣櫻花鉤吻鮭之可能中大型食餌)，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，合歡溪測站則為無損害。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 2009~2017 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，五年連續監測發現，每年的多樣性波動範圍已逐漸縮小。

本研究採用 2004 至 2014 年，每年 6 月及 10 月臺灣櫻花鉤吻鮭數量資料，以複迴歸分析颱風季節前（6 月）及颱風季節後（10 月）影響鮭魚數量的相關因子，共選擇中大型食餌水昆數量、pH、溶氧、導電度、濁度、水溫、雨量等 7 個因子，以逐步回歸及 AIC 值最小準則篩選出最終模型。颱風季節前（6 月）迴歸不成立（ $p > 0.05$ ），颱風季節後（10 月）可看出鮭魚族群數量與水昆、pH 值、濁度、水溫正相關，與導電度負相關。經過複迴歸分析，顯示颱風季節後鮭魚數量可考慮以水昆、溶氧、水溫、濁度、pH 及導電度等因子表現其變化，產生的迴歸模型解釋變異度可達 0.9384（調整後的 R^2 值亦達 0.8767， $p=0.048$ ）。6 月及 10 月台灣櫻花鉤吻鮭數量合併分析結果顯示，鮭魚與水昆正相關，與導電度負相關，水昆因子最為重要（ $R^2 = 0.2592$ ，調整後的 R^2 值為 0.2239， $p=0.0131$ ），颱風季節後水昆因子解釋變異度可達 0.5589（調整後的 R^2 值亦達 0.5099， $p=0.0082$ ），證明水昆與鮭魚息息相關，因此，日後在進行相關模式研究時，可考慮將這些因子納入，以提升模式預測的準確性。

鑒於鮭魚適切放流點之評估需求殷切，本研究將藉由過去武陵地區生態環境長期監測之經驗與資料，並蒐集分析相關文獻資料，建立臺灣櫻花鉤吻鮭生存棲地與放流點評估之 Formosan HSI 指標。經多次計畫團隊工作會議，審視各領域專家意見、數據之完整性，以及鮭魚族群可自然繁衍與生存棲地之宏觀考量，本研究選擇以高山溪測站 2004 至 2014 年十月份的生物環境調查數據作為基準，其他待評估測站之調查數據，經與高山溪測站比對後，給予-1~+5 之得分，最後再將三個指標構面，水質、物理棲地、水生昆蟲，以各構面平均且等權重之方式，加總轉換為指標分數，並劃分為三級，依次為危害級、生存級、舒適級，建議未來放流作業優先選擇舒適級，其次為生存級；若棲地評估結果落入危害級，則不建議放流鮭魚，或可啟動生態環境救援行動。質化與量化驗證結果顯示，指標可正確解釋與反應棲地之現況，在過去放流成效最佳的羅葉尾河流域，獲得 Formosan HSI 指標 14.3 的高分；放流成效不佳，幾乎未能成功繁衍的南湖河流域，指標也反映此結果僅得到 3.0 危害等級的評價。

五、主要建議事項

根據本研究於武陵地區七家灣河流域之歷史棲地與潛在放流點監測結果，建議事項敘述如下：

(一) 立即可行建議

1. 主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：武陵農場

由監測結果顯示，人為活動較密集區，營養鹽濃度及導電度均較高，近年雪管處與武陵農場管制遊客數、妥善管理汗水處理設施，七家灣溪中下游之營養鹽濃度已獲控制，建議仍應持續積極管理，倡議綠色旅遊，推廣有機栽作，維護武陵地區溪流水質。

2. 主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：武陵農場

臺灣櫻花鉤吻鮭放流點之生態環境評估，應收集至少2~3年之調查資料，以完整比較其與參考測站之異同且計算棲地適合度指標，並提供適切之放流建議。

3. 主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：林務局、農委會林務局保育組

高山溪二號壩口殘材阻斷櫻花鉤吻鮭洄游通道，破壞高山溪棲地連貫性，應儘速移除殘材。

(二) 長期建議

1. 主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：武陵農場

水質監測基本項目應包括水溫、電導度、濁度與pH值，若能輔以每季採樣分析 NO_3^- 、 NO_2^- 及總有機碳濃度，則可完整掌握水質變化情形。

2. 主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：林務局、農委會林務局保育組

本年度進行有勝溪全河道高程測量與基本資料調查，未來仍需持續基本資料數據蒐集，以便爾後進行收費口壩體改善評估。

第一章 水質監測

官文惠、陳國源、陳冠璋、陳泓達、鮑思擇、陳睿宇、胡奕邵

明志科技大學環境與安全衛生工程系暨環境工程研究所

計畫摘要

關鍵詞：臺灣櫻花鉤吻鮭、七家灣溪、高山溪、羅葉尾溪、有勝溪、水質監測

研究緣起

臺灣櫻花鉤吻鮭過去遍及大甲溪上游各溪流中，但隨時間之演進，最後僅生存於七家灣溪、高山溪、桃山西溪與北溪等。近年來，雪霸國家公園管理處致力於櫻花鉤吻鮭之復育工作，自民國 98 起開始陸續放流鮭魚，目前放流個體已可於羅葉尾溪棲地自然繁殖，且鮭魚漸往有勝溪移動分布。為擴大臺灣櫻花鉤吻鮭棲息溪段，增加族群基因交流，雪管處於 100 年 5 月完成七家灣溪一號防砂壩改善工程，使原分布於七家灣溪下游的臺灣鏟頰魚藉由改善後的一號壩廊道，可上溯至一號壩上游。為監測壩體改善後之影響、瞭解放流點環境變化及評估未來新放流點的水環境條件，水域水質調查分析之科學數據，為有效經營管理水域與集水區之重要基礎。

研究方法及過程

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。這些溪流的坡度平緩，水溫維持攝氏 16°C 以下，溪流兩岸由砂岩與板岩組成，河床甚少泥質，且樹木茂密，水量充沛，水生昆蟲種類豐富，所以臺灣櫻花鉤吻鮭得以在此自然繁衍生存。此區域共設置八個測站，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)，採樣點代號，沿用雪管處歷年監測資料庫之編碼。

羅葉尾溪為臺灣櫻花鉤吻鮭放流成效良好之溪流，目前放流個體已可於羅葉尾溪棲地自然繁殖，且鮭魚往有勝溪移動分布。此區域共設置四個採樣點，包括羅葉尾溪放流點(#201)、南湖登山口(#202)、勝光(#203)、有勝溪下游(#204)，採樣點代號，沿用雪管處歷年監測資料庫之編碼。

本年度雪管處已合歡溪進行放流作業。此區域共設置一個採樣點，合歡溪上游(#303)，採樣點代號為本計畫新設置之編碼。

為監測七家灣溪上游右岸農地回收、露營區與花海對七家灣溪水質之影響，特於右岸中游之山溝與排水溝設置七個採樣站，進行採樣與水質分析。

水質採樣分析已於 2、4、6、10 月份進行，分別代表枯水期、梅雨季前、颱風豐水期前與後。分析項目敘述如下：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。

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。

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。自民國100年壩體改善後至今，各項水質監測結果均已近似往年之變動趨勢。

山溝及排水溝之硝酸鹽氮、磷酸鹽與氯鹽濃度仍高於七家灣溪測站，但濃度近年逐漸降低，顯示持續的管理，有助水質的改善。

8.1公頃農用地回收後之監測結果顯示，鄰近農用地之二號壩(#3)測站，硝酸鹽氮濃度顯著降低，農地回收確實達到成效。

羅葉尾溪與合歡溪今年監測結果，可以發現有勝溪(#9)、有勝溪下游(#204)有較高的硝酸鹽氮與導電度，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。合歡溪水質在水溫、溶氧、硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮等項目近似高山溪水質，但導電度則非常低，甚至低於陳弘成教授建議之下限值。

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：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，近年雪管處與武陵農場管制遊客數、妥善管理汙水處理設施，七家灣溪中下游之營養鹽濃度已獲控制，建議仍應持續積極管理，倡議綠色旅遊，推廣有機栽作，維護武陵地區溪流水質。

2. 長期建議：

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：武陵農場

水質監測基本項目應包括水溫、電導度、濁度與pH值，若能輔以每季採樣分析 NO_3^- 、 NO_2^- 及總有機碳濃度，則可完整掌握水質變化情形。

Abstract

The Formosan landlocked salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*), an endangered species, had ever widely spread over the upper branches of stream Da-Chia in the 1940s. However, the endangered salmon only naturally inhabit in Stream Chi-Chia-Wan, Stream Kao-Shan, Stream Tao-Shan-Shi, and Stream Tao-Shan-Pei for the latest decades. Since 2009, the bureau of Shei-Pa National Park has dedicated to restore the salmon and release the cultivated breeds in several historic rivers. Stream Lo-Yeh-Wei is the most successful restoration place, on which the salmon could naturally reproduce and even downwards distribute to Stream Yu-Shan. Moreover, the Dam # 1 in Stream Chi-Chia-Wan had been amended in May 2011 for increasing the habitat area of salmon and gene exchange among salmon. This project aimed to (a) investigate the effect of dam amendment in Stream Chi-Chia-Wan on water quality, (b) monitor the water quality in Stream Lo-Yeh-Wei, and (c) evaluate the water quality of potential site for juvenile salmon releasing.

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.

Key words: The Formosan salmon; Stream Da-Chia, Stream Chi-Chia-Wan, Stream Ko-Shan, Stream Lo-Yeh-Wei, water quality monitoring.

一、前言

研究緣起

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

研究目的

為了解櫻花鉤吻鮭生存溪流水質與新增放流點的適應性，將針對包含七家灣溪、高山溪、有勝溪、羅葉尾溪與合歡溪，進行溪流水質分析與評估。另因先前研究顯示，七家灣溪右岸中游山溝水有高濃度之硝酸鹽，故本計劃擬將持續在山溝及其附近排水溝之上中下游進行採樣。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，本計劃亦將於該區附近之測站包括桃山西溪、觀魚臺及二號壩進行採樣以分析水質變化。

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1-1）。

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 $\mu\text{mho}/\text{cm}$ 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(表1-1)，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 $\mu\text{g}/\text{L}$ ，孵化時則需低於30 $\mu\text{g}/\text{L}$ (陳，1998)，歐盟則訂定亞硝酸鹽氮上限為3.0 $\mu\text{g N}/\text{L}$ (表1-2)。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)建議水中氫濃度應小於12.5 $\mu\text{g}/\text{L}$ ，歐盟則嚴格訂定水中非離子態氮濃度須小於4.1 $\mu\text{g N}/\text{L}$ ，總氮濃度須小於30 $\mu\text{g N}/\text{L}$ (表1-2)。

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

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氣態的氮。因此，土壤的氮可分為「有機態」及「無機態」的氮，各種不同土壤中所佔的比例差異甚大，一般有機態氮的量高出許多，約佔95 %以上，無機態氮約僅佔5 %以下。

(3) 氮的循環

氮素循環（圖1-2）與土壤微生物的關係甚為密切，與植物營養上的關係更是重要，將各項氮素轉化分述如下：

a. 礦質化作用：

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

b. 固氮作用：

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

c. 硝化作用：

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

d. 脫氮作用：

土壤通氣排水不良時，脫氮微生物利用硝態氮轉化成氣態氮而揮發散失。

e. 氮不移動現象：

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

(4) 氮的流失

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

a. 淋洗作用：

雨水及灌溉排水將可溶性氮肥溶出移出土壤或進入地下水，尤其是以硝態氮 (NO_3^-) 最易移動而淋洗流失。

b. 氮揮散現象：

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

c. 脫氮作用：

(a) 嫌氣的脫氮作用：

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

(b) 硝化作用的脫氮現象：

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

4. 磷的形態與傳輸

(1) 磷的形態

土壤中磷素的形態主要可區分為下面三類：

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

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

(2) 磷的傳輸

土壤的主要營養元素中，磷素與氮素的行為差異甚大，氮素在土壤之移動或流失容易發生，而磷素移動或流失則較不容易發生。磷在濕潤的土壤中擴散係數比氮的擴散係數小1000至2000倍，磷素不易從表土中向下移動到深層土壤，尤其粘粒多的土壤更不易移動，有機磷的移動較無機磷高，有機質有助於磷素在土壤中的移動。然而，磷在低溫時不易被固定；高溫時磷則較易被固定。

磷之傳輸方式主要可分為滲淋、沖蝕與降雨逕流三種方式。當降雨發生時，因為深層土壤磷含量較少，滲入土壤內之雨水會將土壤中的磷帶到更底層之土壤。但若土壤是含有大量有機質或是泥質性土壤則有機質會隨著磷和鐵、鋁離子一起往下入滲，減少磷被土壤吸附的量。

磷的傳輸主要是以逕流的方式傳送溶解性磷和吸附在微粒上的粒狀磷。Wischmeir and Smith (1978) 研究指出溶解性磷極易被植物攝取、淋溶至地表下層或溶至表面逕流水；粒狀磷則會被吸附於土壤微粒與有機質當中，並且為耕地主要流失磷的來源（達75~90%），在草地或林地，主要流失磷的來源為溶解性磷。

粒狀物磷主要藉由降雨所造成之土壤沖刷和雨水逕流兩種形式移動。當降雨發生時雨水會沖擊土壤表面，若土壤表面沒有很好的覆蓋或保護，很容易造成土壤脫離母體，脫離之土壤又會隨著雨水逕流搬運作用被帶至遠方。

溶解性磷主要也是藉由逕流作用移動，雨水逕流會把土壤中還未被植物吸收、溶解於土壤水或不溶於土壤水的磷沖出，之後便隨地表逕流流至遠方。Sherpley (1995) 指出地表逕流水中磷的濃度就和土壤中磷的量有密切之關係，尤其和表土五公分土壤中含磷量有相當大之關係。

5. 硫

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

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

硫肥的來源可分為可溶性硫與不可溶性硫兩大類，可溶性型態的硫肥是以鈣、鉀、銨、鎂、鋅、銅、錳的硫酸鹽類，對農作物的有效性高，但易因被淋洗而流失，尤以砂土質地及雨量多的地方更易流失。不溶性硫是元素硫，不能直接被植物利用，需經土壤微生物的氧化作用轉化，充分的水分、通氣、較高的土壤溫度及細粒礦粉等條件有利於元素硫轉化為可溶性之硫酸根而利植物吸收。

6. 水體分類水質標準

環保署為確保飲用水符合人體衛生與安全之要求，並減輕淨水場處理設施之負荷，依飲用水管理條例於民國八十六年九月二十四日公告「飲用水水源水質標準」，並於民國八十七年五月二十一日施行，規定水質不符合飲用水水源標準者，將禁止做為用水水源。依據標準規定，以地面水或地下水體作為自來水或簡易自來水之水源者，大腸桿菌密度每100 mL不得超過二萬個，氨氮（ $\text{NH}_3\text{-N}$ ）不得超過1 mg/L，化學需氧量（COD）不得超過25 mg/L，總有機碳（TOC）為4 mg/L，標準值如(表1-3)所示。其中以地面水或地下水體作為自來水或簡易自來水之水源者，取水處所屬河流區段須符合「地面水體分類及水質標準」中針對各種用途所訂定之水體分類標準，取水處所屬河流區段至少需符合乙類河川水質標準，其規範項目包含 H^+ 濃度（pH）、溶氧量（DO）、生化需氧量（ BOD_5 ）、懸浮固體（SS）、大腸桿菌群、氨氮（ $\text{NH}_3\text{-N}$ ）、總磷（TP）等項目，如(表1-3)所示。

二、材料與方法

研究流程規劃如圖1-3，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、右岸之山溝及排水溝、羅葉尾溪與合歡溪。採樣點相關位置如圖1-4、圖1-5、圖1-6、圖1-7。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1-5)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20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（4個測站）與排水溝（3個測站）、羅葉尾溪放流點（#201）、南湖登山口（#202）、勝光（#203）、有勝溪下游（#204）、合歡溪上游（#303），相關測站地理座標如(表1-6)。

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

3. 溶氧：

利用溶氧計測定水樣中溶氧值（YSI 500A）。

4. 濁度：

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

5. 矽酸鹽：

水樣經過濾後，矽酸鹽於胺基酸、檸檬酸酸性溶液下與鉬酸鹽反應生成藍色之反

應物，以分光光度計（HACH DR/2010）於815 nm波長處測其吸光度而定量水中矽酸鹽濃度。

6. 硝酸鹽氮：

水樣中之硝酸鹽離子以離子層析儀（DIONEX ICS-1500）分析，隨碳酸鈉及碳酸氫鈉流洗液流經一系列之離子交換層析管時（DIONEX AS22 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 AS22 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 AS22 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

(一) 水質監測

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；103年2、6、10月；104年2、6、10月；105年2、4、6、10月；106年2、4、6、10月共67筆數據，分析項目包括現場測定之水溫、溶氧、導電度、pH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，106年度2、4、6、10月之分析數據如(表1-7)至(表1-10)所示。

此外，雪霸國家公園管理處於一百年五月份進行一號壩壩體改善工程，本團隊亦配合壩體改善時程，進行壩體改善前與後之水質密集監測，而壩體改善後水質監測仍持續進行中，該區水質監測結果如圖1-21至圖1-33所示。

山溝及其附近排水溝上中下游之水質監測結果如圖1-34至圖1-46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1-47至圖1-59所示。羅葉尾溪之水質監測結果如圖1-60至圖1-72所示。

四、討論

(一) 七家灣溪流例行性水質監測

由上游至下游分別為桃山西溪 (#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)，進行水質連續監測，分析結果如圖1-8至圖1-20所示。

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6.3~8.4間呈中性偏鹼的狀態。除下游有勝溪測站(#9)於歷年4月份測得之pH值偏高、桃山西溪測站 (#2)於今年10月份測得之pH值較低外，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 $\mu\text{mho}/\text{cm}$ 之間 (陳, 1998)。武陵地區各溪流導電度值在103~356 $\mu\text{mho}/\text{cm}$ 之間，桃山西溪與高山溪無農田施作，導電度值明顯較武陵地區溪流中低；七家灣溪中游與下游有勝溪有農耕活動的關係，導電度值明顯較高，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。近十年七家灣溪水溫亦漸增加，愈是下游增溫幅度愈大。

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7.8~11.1 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100年5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1 NTU。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5.35~14.62 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臺，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，該區測站於今年中監測得硝酸鹽氮濃度介於0.01~1.4 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，因而氮根離子較易被吸附在土壤中。而硝酸根與帶負電的黏土礦物表面相斥，極易經由淋洗作用而流入地下水或溪流中。土壤環境若是缺乏氧氣會變成還原性，例如含水量過高的土壤中及深層的土壤等，在此還原性環境中硝酸根與亞硝酸根可藉由脫硝菌還原成一氧化二氮或氮氣而回到大氣中。

亞硝酸鹽氮為一具有毒性的物質，鮭鱒魚類對水中亞硝酸鹽的忍受濃度為50 $\mu\text{g/L}$ ，孵化時則需低於30 $\mu\text{g/L}$ （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 $\mu\text{g/L}$ 以下（表1-2）。武陵地區大部分溪流亞硝酸鹽氮濃度均低於3 $\mu\text{g/L}$ 。

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 $\mu\text{g/L}$ ，歐盟（2006年）則嚴格訂定水中非離子態氮濃度須小於4.1 $\mu\text{g/L}$ ，總氮濃度須小於0.03 mg/L（表1-2）。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。上游處桃山西溪硫酸鹽濃度較低，有勝溪測站硫酸鹽濃度較高。冬季硫酸鹽濃度也較夏季濃度來得高，而這情形與該區的流量有關。根據以往的數據顯示在12~4月枯水期時，硫酸鹽濃度值上升；在6~10月豐水期時，硫酸鹽濃度明顯降低。

氯鹽在自然水體中的濃度變化很大，通常氯鹽含量會隨著礦物質含量增加。武陵地區溪流中氯鹽濃度大致維持在2.0 mg/L以下，僅桃山西溪和有勝溪濃度偏高。

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0.01 mg/L，歐盟（2006年）則訂定濃度須小於0.2 mg/L（表1-2）。磷酸鹽歷年濃度介於0~0.01 mg/L。

武陵地區各溪流中有機碳的來源多為落葉與有機體的分解，七家灣溪流域之總有機碳濃度於歷年監測值變動不大，濃度大致介於0.5~1.5 mg/L。

（二）一號壩壩體改善後之影響

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臺（#4）、一號壩上游（#12）、一號壩下游（#13）、繁殖場（#5），進行水質監測，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。壩體改善後之水質監測仍持續進行。分析結果如圖1-21至圖1-33所示。

四個測站的pH值介於6.8~8.5間呈中性偏鹼的狀態，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）。2017年導電度值介於120.7~247.7 $\mu\text{mho}/\text{cm}$ 。壩體改善期間導電度下降，約兩周內即可恢復。

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）。2017年6月份時，觀魚台、繁殖場、一號壩上游濁度偏高，其餘皆低於2 NTU以下。

壩體改善對矽酸鹽、硝酸鹽氮、硫酸鹽、氯鹽濃度的影響不大，硝酸鹽氮濃度均維持在1 mg/L以下，硫酸鹽濃度介於21~48 mg/L間，氯鹽濃度皆低於0.5 mg/L。今年度亞硝酸鹽氮、氨氮濃度及磷酸鹽濃度，分別在0.14~1.30 mg/L、0.04 mg/L、0.03 mg/L以下。

（三）山溝及排水溝之水質監測

圖1-34至圖1-46為山溝及排水溝之水質監測結果，山溝及排水溝之pH值略低於七家灣溪流測站，矽酸鹽濃度略高於七家灣溪流測站，溫度及溶氧則與七家灣溪流測站差異不大。另外，排水溝之導電度值明顯低於山溝及七家灣溪。濁度值維持在5 NTU

之下。

山溝之硝酸鹽濃度為1.89~2.88 mg/L，高於排水溝測站。排水溝測站之硝酸鹽濃度介於0.94~1.70 mg/L。排水溝測值為1.70 mg/L，高於七家灣溪流。七家灣溪流之硝酸鹽濃度介於0.55~2.26mg/L。

亞硝酸鹽氮濃度大多維持在5 µg/L之下。整體來說亞硝酸鹽氮濃度仍遠低於保育臺灣櫻花鉤吻鮭的水質基準50 µg/L。

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0.72~30.34 mg/L。排水溝測值則略高於七家灣溪流，介於0.7~12.18 mg/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0.01~0.13 mg/L。今年監測山溝及排水溝之硫酸鹽濃度介於8.14~17.11 mg/L，皆遠小於觀魚臺、高山溪與有勝溪的監測濃度19.89~50.70 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0.53~1.95 mg/L，與七家灣溪流近似。

(四) 8.1公頃回收農用地之水質監測

圖1-47至圖1-59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）及觀魚臺（#4）進行採樣以分析水質變化。

今年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、下游觀魚臺次之。而硝酸鹽濃度介於0.17~0.25 mg/L，歷年亞硝酸鹽濃度介於0~0.8 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，顯示該區域氯鹽濃度逐漸穩定，農地回收確實有達到一定成效。

(五) 羅葉尾溪與合歡溪之水質監測

圖1-60至圖1-72為羅葉尾溪、合歡溪之水質監測結果。監測測站分別為觀魚臺（#4）、高山溪（#8）、有勝溪（#9）、羅葉尾溪放流點（#201）、南湖登山口（#202）、

勝光 (#203)、有勝溪下游 (#204)、合歡溪上游 (#303)，其中勝光 (#203)、有勝溪下游 (#204)，這兩測站周邊皆有農耕施作。

今年羅葉尾與有勝溪流域的水質分析結果顯示，pH值介於7.30~8.70，測得之pH值普遍在魚類生產力最佳範圍6.5~8.5之內，溫度、溶氧、矽酸鹽則與有勝溪流域測站差異不大。濁度值維持在5 NTU之下。有勝溪 (#9)、勝光 (#203)、有勝溪下游 (#204) 有較高的硝酸鹽氮與導電度，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。而硝酸鹽濃度介於0.02~3.35 mg/L，亞硝酸鹽濃度介於0.1~4.5 µg/L，氨氮濃度為0.06 mg/L以下。

磷酸鹽歷年濃度介於0~0.01 mg/L，今年6月、10月測得濃度介於0.01~0.09 mg/L高於歷年濃度，推估可能是跟山區降雨沖刷有關。

今年中監測羅葉尾溪之硫酸鹽濃度介於19.00~33.87 mg/L，勝光的監測濃度介於50.15~66.73 mg/L，其中二、四月份濃度偏高，推估可能跟農耕有影響。

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。羅葉尾溪與有勝溪普遍低於2.0 mg/L，僅有勝溪(#9)、勝光(#203)、有勝溪下游(#204)濃度高於其他測站，濃度最高分別為2.65、1.57、1.83 mg/L。

溪流中總有機碳的來源多為落葉與有機體的分解，羅葉尾及有勝溪測站總有機碳濃度介於0.65~2.86 mg/L。

合歡溪經兩年之採樣分析顯示，水溫、溶氧、氮物種等項目之濃度近似高山溪水質，但導電度濃度低於陳弘成教授建議的120 µs/cm以下，水質大體上符合台灣櫻花鉤吻鮭生存基準。

五、結論與建議

(一) 結論

1. 水質監測結果顯示，武陵地區除有勝溪流域測站外大部分測站溪流水質良好，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，在去年十月監測發現繁殖場與桃山西溪濃度高達3.34與10.80 $\mu\text{g/L}$ ，濃度超出歐盟訂定之3 $\mu\text{g/L}$ 標準，與保育臺灣櫻花鉤吻鮭的水質基準50 $\mu\text{g/L}$ ，顯示該區域易受人為活動影響，故有持續監測與控制遊客數量之必要性。今年各點測值均普遍低於3 $\mu\text{g/L}$ ，其中有勝溪的硝酸鹽氮濃度仍較高，約4.00 $\mu\text{g/L}$ 。
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1.89~2.90 mg/L ；排水溝測值則略高於七家灣溪流，介於0.55~2.26 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）及觀魚臺（#4）三測站硝酸鹽氮濃度差距幅度明顯從2.2 mg/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。
8. 羅葉尾溪放流點（#201）與南湖登山口（#202）無農田施作，導電度值明顯為羅葉尾及有勝溪流域中最低；其餘測站因農耕活動的關係，導電度值較高，由此可明顯觀察到農耕行為對溪流導電度所造成的影響。

(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：

立即可行建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：武陵農場

由監測結果顯示，人為活動較密集區，營養鹽濃度及導電度均較高，近年雪管處與武陵農場管制遊客數、妥善管理汙水處理設施，七家灣溪中下游之營養鹽濃度已獲控制，建議仍應持續積極管理，倡議綠色旅遊，推廣有機栽作，維護武陵地區溪流水質。

長期建議：

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：武陵農場

水質監測基本項目應包括水溫、電導度、濁度與pH值，若能輔以每季採樣分析 NO_3^- 、 NO_2^- 及總有機碳濃度，則可完整掌握水質變化情形。

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報告。
- 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報告。
- 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報告。
- 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報告。
- 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報告。
- 官文惠。2008。台灣櫻花鉤吻鮭歷史棲地-南湖溪環境資源調查，第一章水質監測研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處研究報告。
- 官文惠。2009。台灣櫻花鉤吻鮭歷史棲地-南湖溪環境生態監測及評估，第一章水質監測研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處研究報告。
- 官文惠。2010。台灣櫻花鉤吻鮭歷史棲地-有勝溪及羅頁(葉)尾溪環境生態監測及評估，第一章水質監測研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處研究報告。
- 林幸助。2005。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研究報告。
- 郭美華。2009。台灣櫻花鉤吻鮭歷史棲地-南湖溪環境生態監測及評估，第三章水棲昆蟲研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處研究報告。
- 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報告。
- 張石角。1989。櫻花鉤吻鮭保護區規劃。行政院農委會研究報告。
- 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報告。
- 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報告。
- 楊秋忠。1997。植物營養與施肥要領土壤與肥料第六版。農世股份有限公司。
- 賴文龍。1999。梨山地區高冷地蔬菜綠肥輪作模式。臺中區農情月刊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。臺中區農情月刊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.
- Goen, E.H., Notodarmojo, S. 1995. Phosphorus movement through soils and groundwater: application of a time-dependent sorption model. *Water Science Technology* 31(7):83-90.
- Horton, R. K. 1965. An index-number system for rating water quality. *Journal Water Pollution Control Federation* 37(3):300-305.
- Harkins, R. S. 1974. An objective water quality index. *Journal of Water Pollution Control Federation* 46(3):588-591.
- Kelso, B. H. L., Smith, R. V., Laughlin, R.J., Lennox, S.D. 1997. Dissimilatory nitrate reduction in anaerobic sediments leading to river nitrite accumulation. *Applied and Environment Microbiology* 63(12):4679-4685.
- McCellard, N. I., Brown, R. M., Deininger, R. A., Landwehr, J. M. 1973. Water quality index application in the Kansas river basin. Presented at the 46th Annual Conference, Water Pollution Control Fed., Cleveland, U. S. A.
- Novotny, V. 1996. Integrated water quality management. *Water Science Technology* 33(4):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.

附表

表1-1 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	—	—	—

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。

（資料來源：行政院環境保護署水污染防治）

表1-2 歐盟訂定之鮭鯉魚水體標準(2006.9.6.)

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 % ≥ 9 100 % ≥ 7	50 % ≥ 9 (6 mg/L 以上)	50 % ≥ 8 100 % ≥ 5	50 % ≥ 7 (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)	≤ 3.0		≤ 9.1	
非離子態氮 (µg N/L)	≤ 4.1	≤ 20.6	≤ 4.1	≤ 20.6
總氮(mg N/L)	≤ 0.03	≤ 0.78	≤ 0.16	≤ 0.78

（資料來源：Directive 2006/44/EC of the European parliament and of the council of 6 September 2006）

表1-3 飲用水水源水質標準（作為自來水及簡易自來水之飲用水水源者）

項目	最大限值	單位
大腸桿菌群密度	20,000（具備消毒單位）	MPN/100 mL或
	50（未具備消毒單位）	CFU/100mL
氨氮（NH ₃ -N）	1	mg/L
化學需氧量（COD）	25	mg/L
總有機碳（TOC）	4	mg/L

（資料來源：行政院環境保護署飲用水水源水質標準）

表1-4 濕地水質標準

適用範圍	項目	建議管理目標標準
七家灣溪重要濕地 保育利用計畫範圍	水溫(°C)	春季10.5~14.5°C、 夏季13.3~15.3°C、 秋季11.3~15.3°C、 冬季6.9~10.9°C
	氨氮(毫克/公升)	0.1 以下
	硝酸鹽氮(毫克/公升)	15 以下
	亞硝酸鹽氮(毫克/公升)	0.03 以下
	總磷(毫克/公升)	0.15 以下
	生化需氧量(毫克/公升)	1 以下
	pH 值	6.8~8.8
	溶氧(毫克/公升)	6.5 以上

（資料來源：行政院內政部-七家灣溪重要濕地保育計畫草案）

表1-5 水體樣品保存

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

（資料來源：行政院環境保護署）

表1-6 採樣地點地理座標

站號	站名	溪流	地理座標 (經緯度)		海拔(m)
#2	桃山西溪	桃山西溪	E 121.307581	N 24.398062	1927 m
#3	二號壩	七家灣溪	E 121.307882	N 24.398027	1787 m
#4	觀魚臺	七家灣溪	E 121.311691	N 24.367504	1743 m
#5	繁殖場	七家灣溪	E 121.313529	N 24.354357	1727 m
#8	高山溪	高山溪	E 121.308520	N 24.358140	1786 m
#9	有勝溪	有勝溪	E 121.323892	N 24.351476	1776 m
#11	一號壩上游	七家灣溪	E 121.311813	N 24.363872	1762 m
#12	一號壩下游	七家灣溪	E 121.311441	N 24.359891	1712 m
#201	羅葉尾溪放流點	羅葉尾溪	E 121.347867	N 24.394812	2309 m
#202	南湖登山口	有勝溪	E 121.352448	N 24.391735	1945 m
#203	勝光	有勝溪	E 121.341347	N 24.349058	1874 m
#204	有勝溪下游	有勝溪	E 121.323847	N 24.351346	1752 m
#303	合歡溪上游	合歡溪	E 121.253785	N 24.163476	2650 m
A3	山溝 中游	七家灣溪	E 121.310128	N 24.382548	1843 m
A4	山溝 中之支游	七家灣溪	E 121.307883	N 24.376893	1780 m
A5	山溝 中之下游	七家灣溪	E 121.308247	N 24.376844	1875 m
A6	山溝	七家灣溪	E 121.308807	N 24.377426	1809 m
B1	排水溝	七家灣溪	E 121.309883	N 24.374766	1768 m
B3	排水溝 前	七家灣溪	E 121.309461	N 24.375739	1724 m
B4	排水溝 後	七家灣溪	E 121.310529	N 24.374433	1756 m

(資料來源：本研究資料)

表1-7 106年02月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度	溶氧	濁度	SiO ₂	NO ₃ ⁻ -N
			月/日		μS/cm	mg/L	NTU	mg/L	mg/L
#2	桃山西溪	晴	02/06	7.92	235.66	10.65	0.41	9.49	0.18
#3	二號壩	晴	02/06	7.98	183.73	11.05	N.D.	8.53	0.06
#4	觀魚臺	晴	02/06	7.87	244.33	10.89	0.19	10.64	0.25
#5	繁殖場	晴	02/06	7.52	231.66	10.32	0.38	8.80	0.17
#8	高山溪	晴	02/06	7.60	203.00	10.94	0.24	9.15	0.10
#9	有勝溪	晴	02/06	7.70	314.33	10.71	1.29	9.18	0.48
#12	一號壩上游	晴	02/06	7.87	245.00	10.74	0.22	10.59	0.22
#13	一號壩下游	晴	02/06	7.65	247.66	10.66	0.26	14.62	0.22
#201	羅葉尾溪放流點	晴	02/06	7.30	190.30	11.18	0.83	8.80	0.16
#202	南湖登山口	晴	02/06	7.90	163.56	11.07	0.30	9.60	0.13
#203	勝光	晴	02/06	9.20	447.00	10.60	7.87	8.87	0.33
#204	有勝溪下游	晴	02/06	11.80	298.00	10.38	0.50	9.24	0.56
#303	合歡溪上游	晴	02/06	5.90	132.93	10.94	0.31	7.23	0.14
A3	山溝 中	晴	02/06	7.60	140.73	10.54	0.66	16.24	1.98
A4	山溝 中支	晴	02/06	7.58	144.00	10.75	0.38	16.16	2.89
A5	山溝 中下	晴	02/06	7.66	145.20	11.88	1.87	29.40	2.90
A6	山溝	晴	02/06	7.40	138.80	10.32	0.30	17.07	2.88
B1	排水溝	晴	02/06	7.82	87.86	10.70	1.48	15.91	0.55
B3	排水溝 前	晴	02/06	8.20	101.40	10.86	0.83	17.15	1.05
B4	排水溝 後	晴	02/06	7.53	101.00	10.54	1.60	11.06	1.45

站號	站名	氣候	採樣日期	NO ₂ ⁻ -N	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	NH ₄ ⁺ -N	TOC
			月/日	μg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
#2	桃山西溪	晴	02/06	0.80	40.99	0.29	0.04	0.02	0.98
#3	二號壩	晴	02/06	1.00	28.71	0.22	0.03	0.03	0.95
#4	觀魚臺	晴	02/06	1.00	46.72	0.43	0.03	0.03	0.88
#5	繁殖場	晴	02/06	0.90	43.70	0.40	0.03	0.03	0.95
#8	高山溪	晴	02/06	0.70	32.88	0.13	0.05	0.03	0.96
#9	有勝溪	晴	02/06	1.80	50.36	1.31	0.07	0.08	1.11
#12	一號壩上游	晴	02/06	1.10	47.77	1.33	0.03	0.02	1.07
#13	一號壩下游	晴	02/06	1.30	47.58	0.44	0.03	0.04	0.72
#201	羅葉尾溪放流點	晴	02/06	1.00	35.84	0.31	0.02	0.05	0.83
#202	南湖登山口	晴	02/06	1.60	32.08	0.32	0.04	0.03	0.68
#203	勝光	晴	02/06	1.50	64.14	0.53	0.04	0.04	1.52
#204	有勝溪下游	晴	02/06	1.30	43.31	0.98	0.08	0.04	1.02
#303	合歡溪上游	晴	02/06	1.60	8.33	0.18	0.02	0.03	0.61
A3	山溝 中	晴	02/06	1.50	15.27	3.86	0.11	0.03	0.85
A4	山溝 中支	晴	02/06	1.40	15.03	3.59	0.12	0.03	0.74
A5	山溝 中下	晴	02/06	1.50	15.14	3.60	0.10	0.04	0.71
A6	山溝	晴	02/06	2.00	14.81	3.69	0.10	0.04	1.10
B1	排水溝	晴	02/06	1.80	8.32	0.75	0.04	0.05	0.91
B3	排水溝 前	晴	02/06	2.20	9.41	1.75	0.03	0.07	0.88
B4	排水溝 後	晴	02/06	2.30	9.43	1.56	0.06	0.04	0.71

* N.D.值：(1) NH₄⁺-N < 0.01 mg/L

(資料來源：本研究資料)

表1-8 106年04月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度	溶氧	濁度	SiO ₂	NO ₃ ⁻ -N
			月/日		μS/cm	mg/L	NTU	mg/L	mg/L
#2	桃山西溪	晴	04/18	7.52	152.50	10.22	N.D.	7.23	0.15
#3	二號壩	晴	04/18	7.13	192.70	10.77	2.00	6.89	0.17
#4	觀魚臺	晴	04/18	7.85	199.30	10.47	1.00	6.64	0.45
#5	繁殖場	晴	04/18	7.80	204.00	9.86	1.00	9.48	0.21
#8	高山溪	晴	04/18	7.80	200.00	11.00	1.00	9.80	0.22
#9	有勝溪	晴	04/18	8.42	355.70	11.43	1.00	9.98	1.35
#12	一號壩上游	晴	04/18	7.67	203.70	10.05	2.00	7.14	0.27
#13	一號壩下游	晴	04/18	7.90	203.00	10.47	N.D.	7.20	0.30
#201	羅葉尾溪放流點	晴	04/18	7.90	185.10	10.46	1.00	10.18	0.13
#202	南湖登山口	晴	04/18	7.80	170.10	10.11	4.00	9.41	0.17
#203	勝光	晴	04/18	8.46	475.00	10.06	2.00	7.56	0.26
#204	有勝溪下游	晴	04/18	8.22	330.00	9.93	1.00	9.16	1.30
#303	合歡溪上游	晴	04/18	8.70	106.03	10.25	1.00	6.11	0.40
A3	山溝 中	晴	04/18	7.23	144.80	10.69	1.00	12.64	2.51
A4	山溝 中支	晴	04/18	7.27	144.40	10.96	2.00	10.67	2.50
A5	山溝 中下	晴	04/18	7.26	145.70	10.35	1.00	15.52	2.50
A6	山溝	晴	04/18	7.30	143.40	10.88	1.00	15.34	2.47
B1	排水溝	晴	04/18	7.26	103.50	10.02	5.00	14.81	1.70
B3	排水溝 前	晴	04/18	7.21	98.90	9.92	2.00	14.06	0.94
B4	排水溝 後	晴	04/18	7.21	95.00	10.01	12.00	14.32	1.65

站號	站名	氣候	採樣日期	NO ₂ ⁻ -N	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	NH ₄ ⁺ -N	TOC
			月/日	μg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
#2	桃山西溪	晴	04/18	0.41	19.99	0.24	0.03	N.D.	0.19
#3	二號壩	晴	04/18	0.71	26.89	0.32	0.03	0.07	1.15
#4	觀魚臺	晴	04/18	0.18	29.08	0.32	0.02	0.03	0.16
#5	繁殖場	晴	04/18	1.27	29.98	0.27	0.03	N.D.	1.13
#8	高山溪	晴	04/18	0.55	29.93	0.35	0.03	0.03	4.07
#9	有勝溪	晴	04/18	2.69	50.70	2.65	0.05	0.03	1.40
#12	一號壩上游	晴	04/18	0.36	30.22	0.43	0.02	0.01	2.27
#13	一號壩下游	晴	04/18	0.15	30.38	0.31	0.02	N.D.	1.02
#201	羅葉尾溪放流點	晴	04/18	0.33	33.87	0.34	0.02	N.D.	1.11
#202	南湖登山口	晴	04/18	1.81	30.01	0.35	0.04	0.03	0.84
#203	勝光	晴	04/18	1.77	66.73	0.63	0.03	0.01	0.99
#204	有勝溪下游	晴	04/18	1.69	44.66	1.83	0.08	0.03	1.48
#303	合歡溪上游	晴	04/18	0.37	7.83	0.21	0.03	N.D.	1.51
A3	山溝 中	晴	04/18	1.75	17.11	3.16	0.13	0.06	0.73
A4	山溝 中支	晴	04/18	0.40	16.43	3.18	0.11	N.D.	0.82
A5	山溝 中下	晴	04/18	1.83	16.35	3.20	0.12	N.D.	0.84
A6	山溝	晴	04/18	1.39	16.51	3.63	0.10	0.01	0.91
B1	排水溝	晴	04/18	0.69	8.79	2.72	0.05	N.D.	0.84
B3	排水溝 前	晴	04/18	1.35	11.74	1.81	0.05	N.D.	0.53
B4	排水溝 後	晴	04/18	0.55	8.14	1.81	0.05	0.07	0.76

* N.D.值：(1) NH₄⁺-N < 0.01 mg/L

(資料來源：本研究資料)

表1-9 106年06月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度	溶氧	濁度	SiO ₂	NO ₃ ⁻ -N
			月/日		μS/cm	mg/L	NTU	mg/L	mg/L
#2	桃山西溪	多雲	06/22	6.26	103.60	9.20	1.01	6.40	0.12
#3	二號壩	多雲	06/22	6.97	136.20	8.68	1.44	7.30	0.22
#4	觀魚臺	多雲	06/22	7.69	141.00	8.58	2.39	7.96	0.32
#5	繁殖場	多雲	06/22	7.25	125.50	8.45	5.44	8.43	0.25
#8	高山溪	多雲	06/22	7.52	121.20	8.67	6.22	8.20	0.24
#9	有勝溪	多雲	06/22	7.65	223.00	7.87	6.40	7.90	1.26
#12	一號壩上游	多雲	06/22	7.62	141.20	8.63	2.48	7.93	0.30
#13	一號壩下游	多雲	06/22	7.63	144.30	8.50	0.50	7.85	0.31
#201	羅葉尾溪放流點	晴	06/22	7.43	99.10	8.63	0.50	8.41	0.18
#202	南湖登山口	晴	06/22	7.39	96.70	8.35	0.76	8.29	0.21
#203	勝光	晴	06/22	8.11	324.00	8.00	4.47	7.19	0.65
#204	有勝溪下游	晴	06/22	7.37	198.50	8.40	5.60	8.15	1.04
#303	合歡溪上游	晴	06/23	7.58	73.30	8.55	1.86	5.21	0.12
A3	山溝 中	晴	06/22	7.04	85.10	8.37	2.52	12.14	1.92
A4	山溝 中支	多雲	06/22	7.02	83.90	8.15	2.69	11.96	1.89
A5	山溝 中下	多雲	06/22	6.96	84.20	8.33	1.98	11.87	1.91
A6	山溝	多雲	06/22	6.92	95.10	8.33	1.93	11.58	1.89
B1	排水溝	多雲	06/22	7.16	96.40	8.13	4.73	11.70	1.83
B3	排水溝 前	多雲	06/22	7.20	76.20	7.90	6.70	11.07	2.26
B4	排水溝 後	多雲	06/22	7.27	103.60	7.40	14.80	11.07	2.24

站號	站名	氣候	採樣日期	NO ₂ ⁻ -N	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	NH ₄ ⁺ -N	TOC
			月/日	µg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
#2	桃山西溪	多雲	06/22	0.94	15.96	0.24	0.05	N.D.	0.78
#3	二號壩	多雲	06/22	0.26	23.34	0.28	0.02	0.08	0.68
#4	觀魚臺	多雲	06/22	0.96	25.41	0.35	0.02	0.01	0.74
#5	繁殖場	多雲	06/22	0.26	20.84	0.31	0.02	0.01	0.66
#8	高山溪	多雲	06/22	0.34	19.89	0.20	0.02	0.02	0.64
#9	有勝溪	多雲	06/22	1.28	30.49	1.28	0.05	N.D.	1.03
#12	一號壩上游	多雲	06/22	0.14	25.54	0.38	0.02	0.01	0.68
#13	一號壩下游	多雲	06/22	0.24	26.22	0.31	0.02	N.D.	0.69
#201	羅葉尾溪放流點	晴	06/22	0.80	19.00	0.35	0.01	N.D.	0.65
#202	南湖登山口	晴	06/22	0.14	18.13	0.32	0.02	0.02	0.68
#203	勝光	晴	06/22	0.18	50.15	0.83	0.02	0.05	1.34
#204	有勝溪下游	晴	06/22	0.61	28.34	1.00	0.06	0.05	1.16
#303	合歡溪上游	晴	06/23	0.22	5.11	0.26	0.01	N.D.	0.63
A3	山溝 中	晴	06/22	0.68	8.30	2.38	0.08	0.06	0.76
A4	山溝 中支	多雲	06/22	0.39	8.60	2.17	0.08	N.D.	0.86
A5	山溝 中下	多雲	06/22	0.55	8.50	2.99	0.10	N.D.	0.62
A6	山溝	多雲	06/22	0.70	14.34	6.23	0.09	0.04	0.89
B1	排水溝	多雲	06/22	0.46	12.33	1.74	0.07	N.D.	0.51
B3	排水溝 前	多雲	06/22	0.96	14.23	2.91	0.05	0.03	0.53
B4	排水溝 後	多雲	06/22	2.45	14.21	2.95	0.04	0.07	0.69

* N.D.值：(1) NH₄⁺-N < 0.01 mg/L

(資料來源：本研究資料)

表1-10 106年10月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度	溶氧	濁度	SiO ₂	NO ₃ ⁻ -N
			月/日		μS/cm	mg/L	NTU	mg/L	mg/L
#2	桃山西溪	雨	10/12	7.91	151.00	10.10	0.79	5.35	0.23
#3	二號壩	雨	10/12	7.89	193.90	9.08	0.91	6.09	0.17
#4	觀魚臺	雨	10/12	8.05	119.80	9.20	1.07	6.99	0.25
#5	繁殖場	雨	10/12	8.11	192.80	9.40	0.84	6.22	0.16
#8	高山溪	雨	10/12	8.03	166.00	9.50	1.27	6.69	0.11
#9	有勝溪	雨	10/12	8.38	146.90	8.90	1.95	5.42	0.94
#12	一號壩上游	雨	10/12	7.90	120.70	9.30	0.96	6.36	0.30
#13	一號壩下游	雨	10/12	8.01	215.00	9.60	0.70	6.71	0.21
#201	羅葉尾溪放流點	雨	10/12	7.87	147.40	10.00	1.36	6.07	0.29
#202	南湖登山口	雨	10/12	7.52	131.20	9.30	1.22	6.52	0.29
#203	勝光	雨	10/12	7.94	198.10	9.10	8.97	5.24	0.42
#204	有勝溪下游	雨	10/12	8.26	245.00	9.60	9.63	5.61	0.99
#303	合歡溪上游	雨	10/13	8.05	95.10	10.20	2.65	5.09	0.15
A3	山溝 中	雨	10/12	5.56	117.90	9.80	7.11	9.97	2.82
A4	山溝 中支	雨	10/12	5.60	119.30	9.70	1.65	9.93	2.77
A5	山溝 中下	雨	10/12	5.55	118.90	9.50	2.45	10.63	2.71
A6	山溝	雨	10/12	5.65	119.90	9.70	1.78	10.49	2.86
B1	排水溝	雨	10/12	5.71	84.80	9.50	7.60	8.90	0.93
B3	排水溝 前	雨	10/12	5.78	89.70	9.10	38.20	9.56	1.64
B4	排水溝 後	雨	10/12	5.76	88.00	9.40	28.80	7.49	1.68

站號	站名	氣候	採樣日期	NO ₂ ⁻ -N	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	NH ₄ ⁺ -N	TOC
			月/日	μg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
#2	桃山西溪	雨	10/12	N.D.	27.51	1.35	0.03	0.04	0.99
#3	二號壩	雨	10/12	N.D.	37.63	0.29	0.03	0.04	2.39
#4	觀魚臺	雨	10/12	0.30	41.66	0.34	0.02	0.02	1.10
#5	繁殖場	雨	10/12	N.D.	35.94	0.31	0.02	0.03	2.79
#8	高山溪	雨	10/12	2.00	28.90	0.18	0.03	0.06	1.30
#9	有勝溪	雨	10/12	4.00	40.12	1.19	0.05	0.03	1.90
#12	一號壩上游	雨	10/12	N.D.	42.34	0.35	0.02	0.03	1.40
#13	一號壩下游	雨	10/12	N.D.	42.63	0.29	0.03	0.02	1.39
#201	羅葉尾溪放流點	雨	10/12	2.00	28.76	0.31	0.01	0.03	1.44
#202	南湖登山口	雨	10/12	0.50	26.47	0.34	0.04	0.02	2.74
#203	勝光	雨	10/12	1.80	53.43	1.57	0.03	0.06	4.56
#204	有勝溪下游	雨	10/12	3.10	36.38	1.06	0.09	0.05	2.86
#303	合歡溪上游	雨	10/13	2.30	7.80	0.19	0.02	0.01	1.26
A3	山溝 中	雨	10/12	3.60	13.74	3.37	0.09	0.05	0.99
A4	山溝 中支	雨	10/12	2.10	13.71	3.34	0.10	0.02	1.95
A5	山溝 中下	雨	10/12	N.D.	13.84	3.31	0.09	0.02	1.09
A6	山溝	雨	10/12	N.D.	13.85	3.31	0.10	0.08	0.95
B1	排水溝	雨	10/12	0.90	8.85	1.28	0.06	0.12	1.16
B3	排水溝 前	雨	10/12	0.50	8.51	1.66	0.05	0.02	0.88
B4	排水溝 後	雨	10/12	1.10	8.56	1.66	0.04	0.03	1.11

* N.D.值：(1) NH₄⁺-N < 0.01 mg/L

(資料來源：本研究資料)

附圖

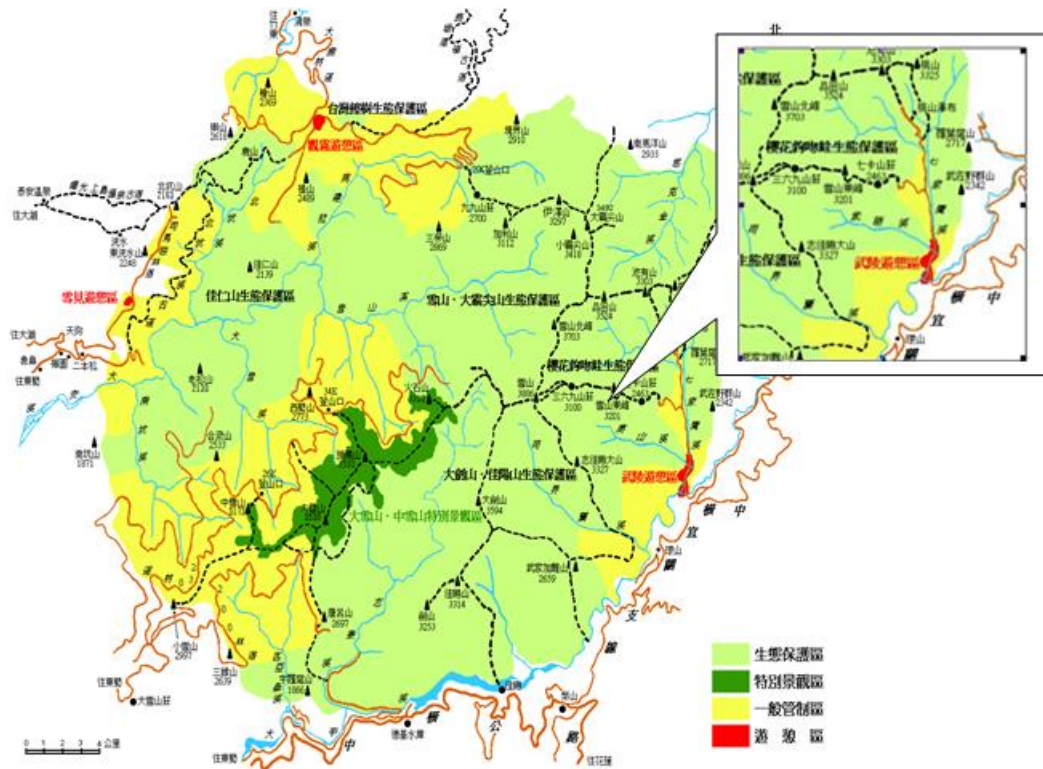


圖 1-1 雪霸國家公園
(資料來源：本研究資料)

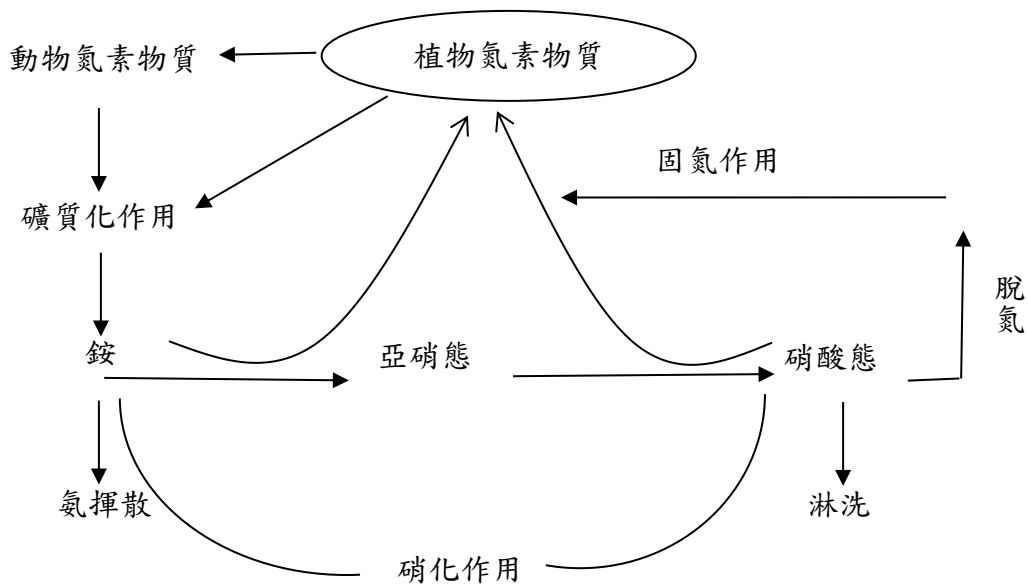


圖 1-2 氮素循環過程
(資料來源：本研究資料)

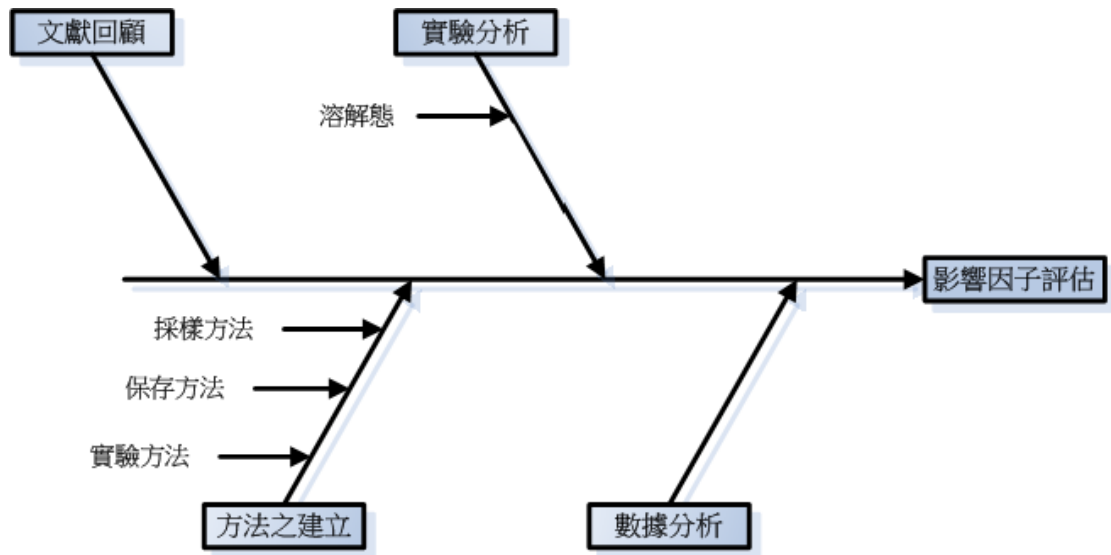


圖 1-3 流程圖
 (資料來源：本研究資料)

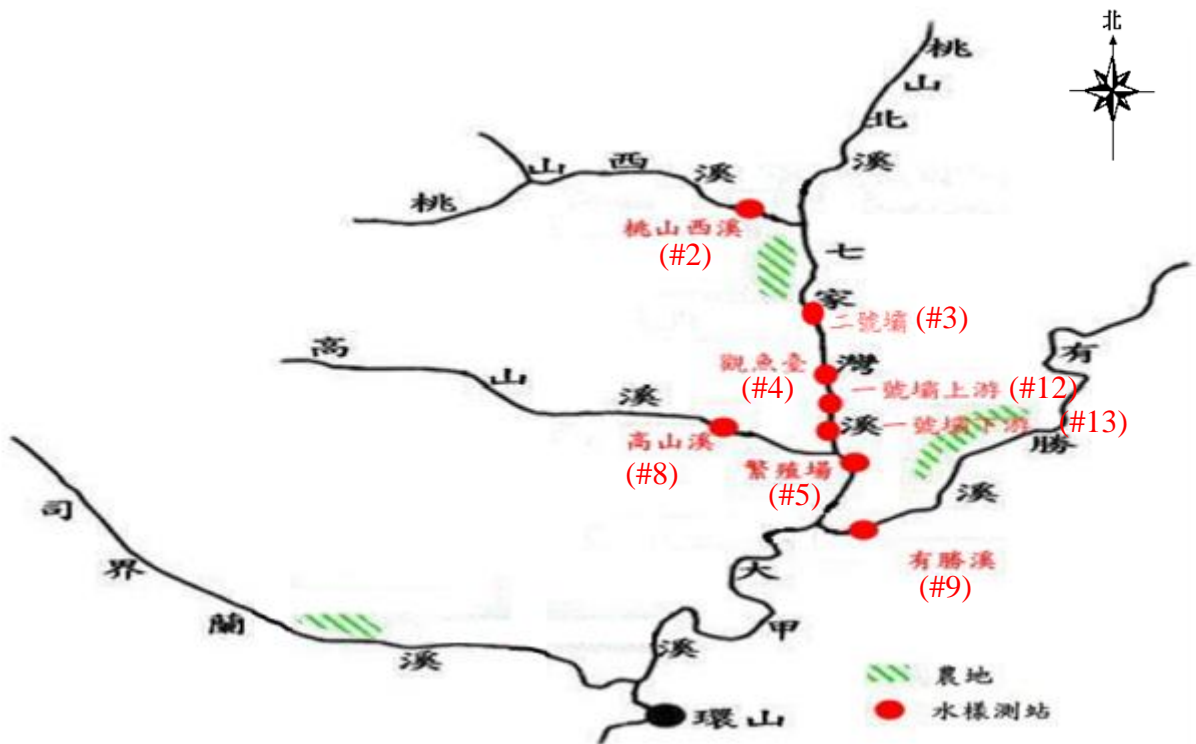


圖 1-4 武陵地區七家灣流域水質採樣地點位置圖
 (資料來源：本研究資料)

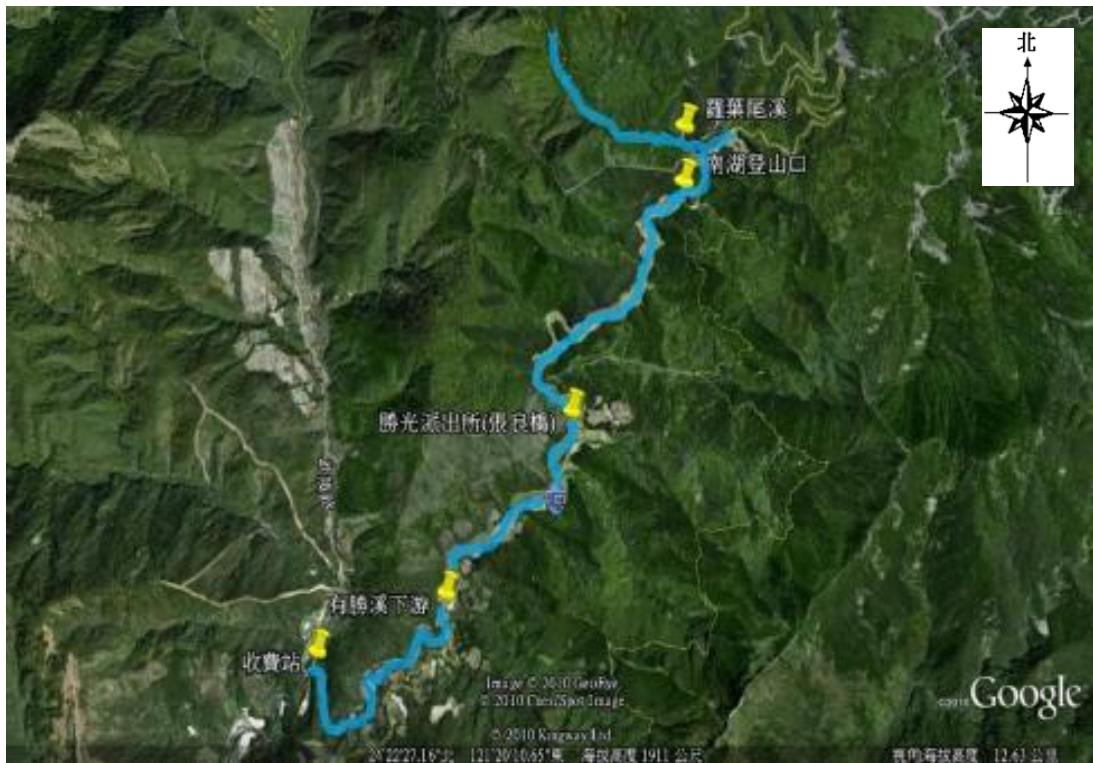


圖 1-5 羅葉尾溪、有勝溪流域採樣位置圖
(資料來源：本研究資料)



圖 1-6 山溝、排水溝採樣位置圖
(資料來源：本研究資料)



圖 1-7 合歡溪採樣位置圖
(資料來源：本研究資料)

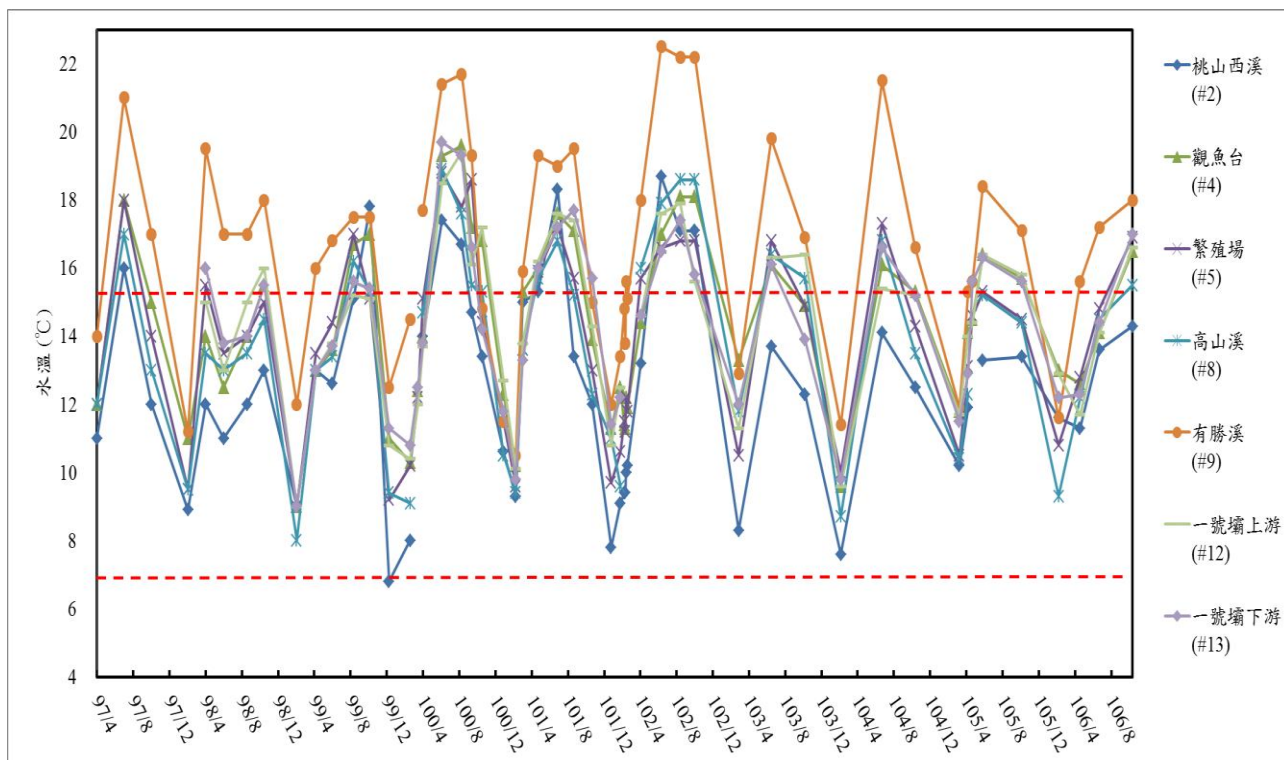


圖 1-8 武陵地區溪流溫度值變化
(資料來源：本研究資料)

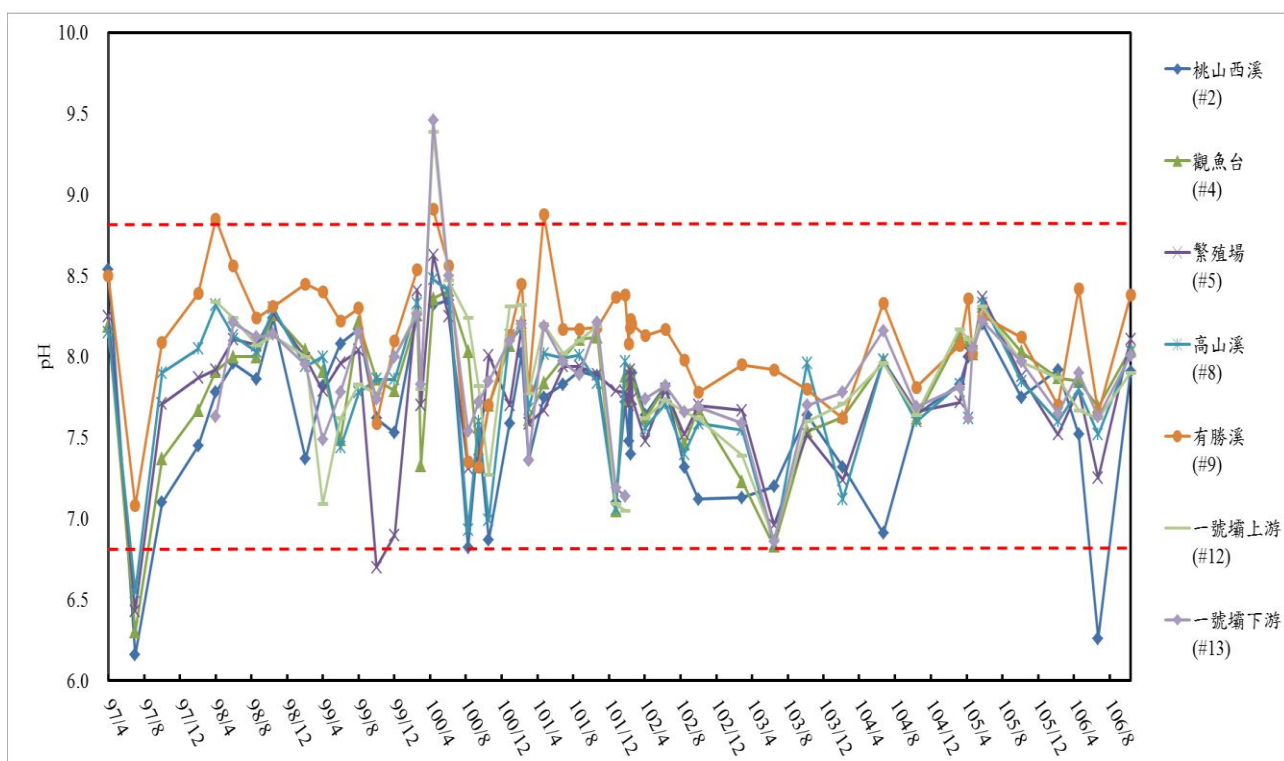


圖 1-9 武陵地區溪流 pH 值變化
(資料來源：本研究資料)

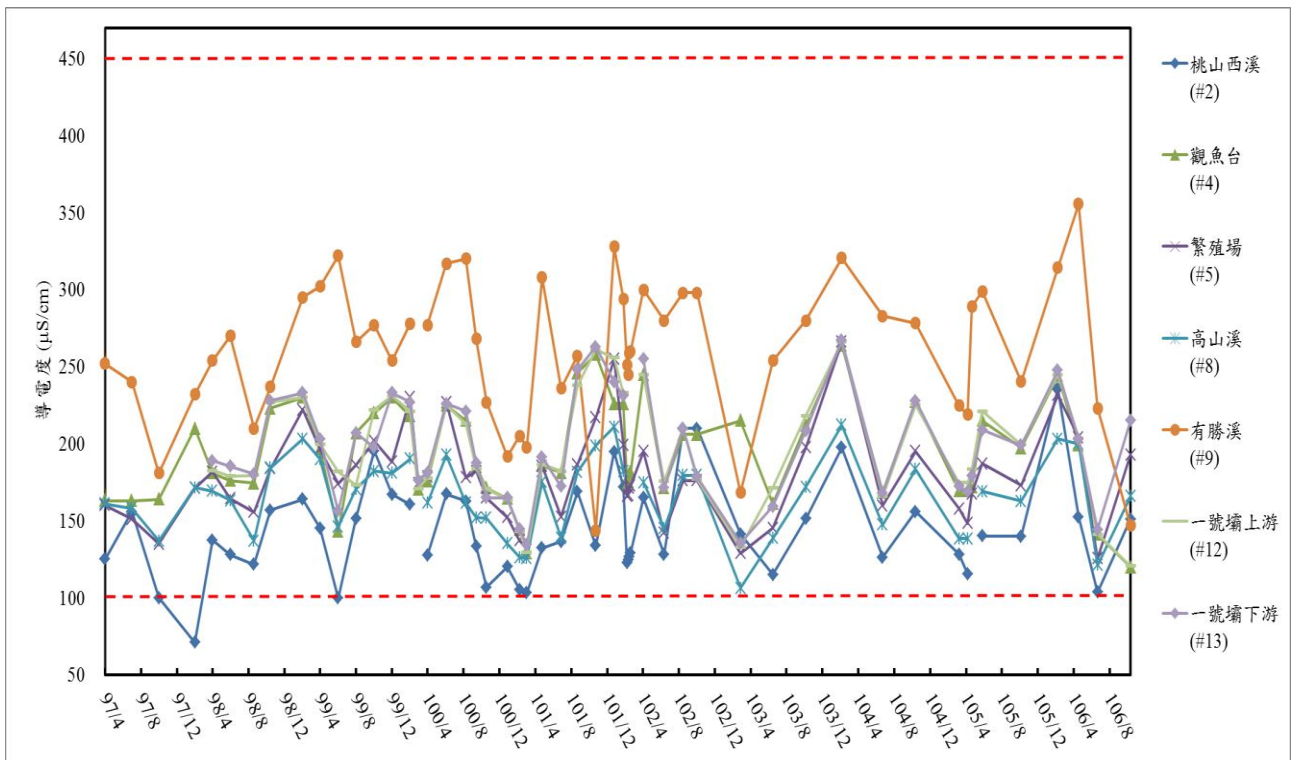


圖 1-10 武陵地區溪流導電度值變化
(資料來源：本研究資料)

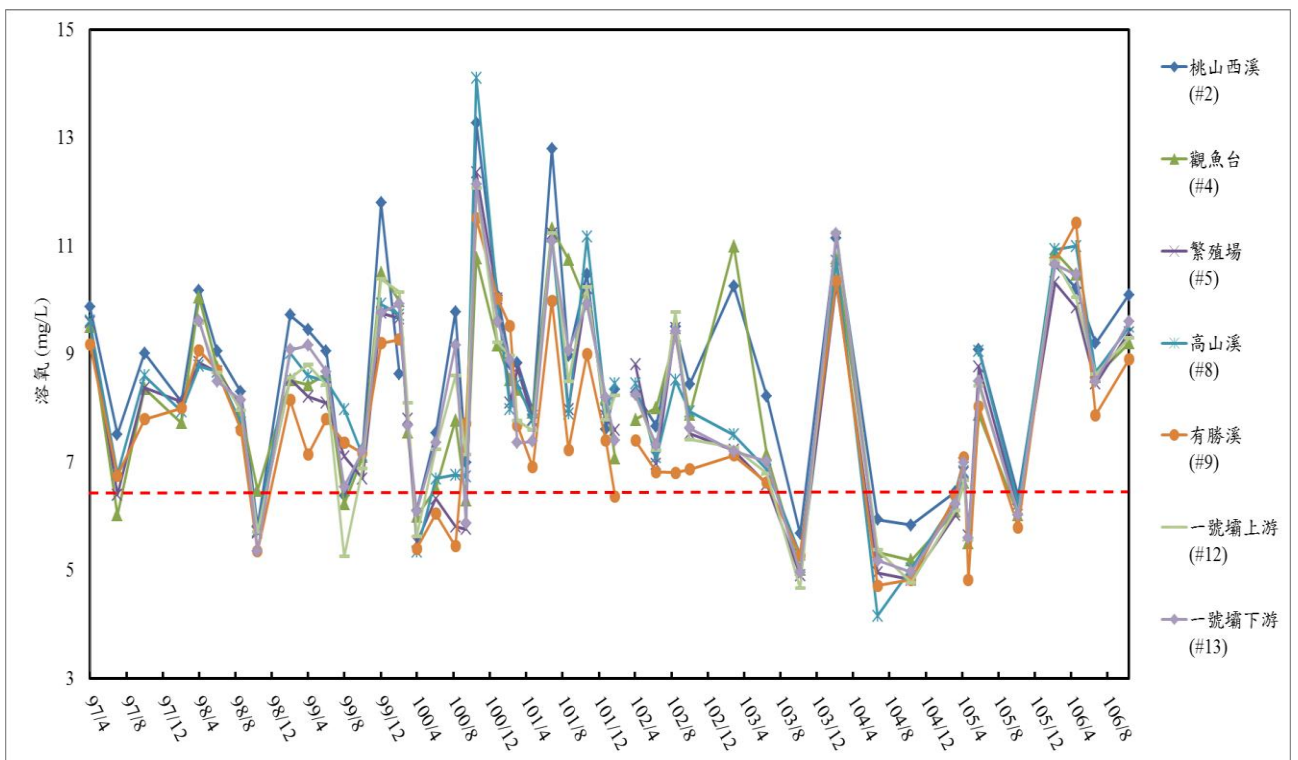


圖 1-11 武陵地區溪流溶氧值變化
(資料來源：本研究資料)

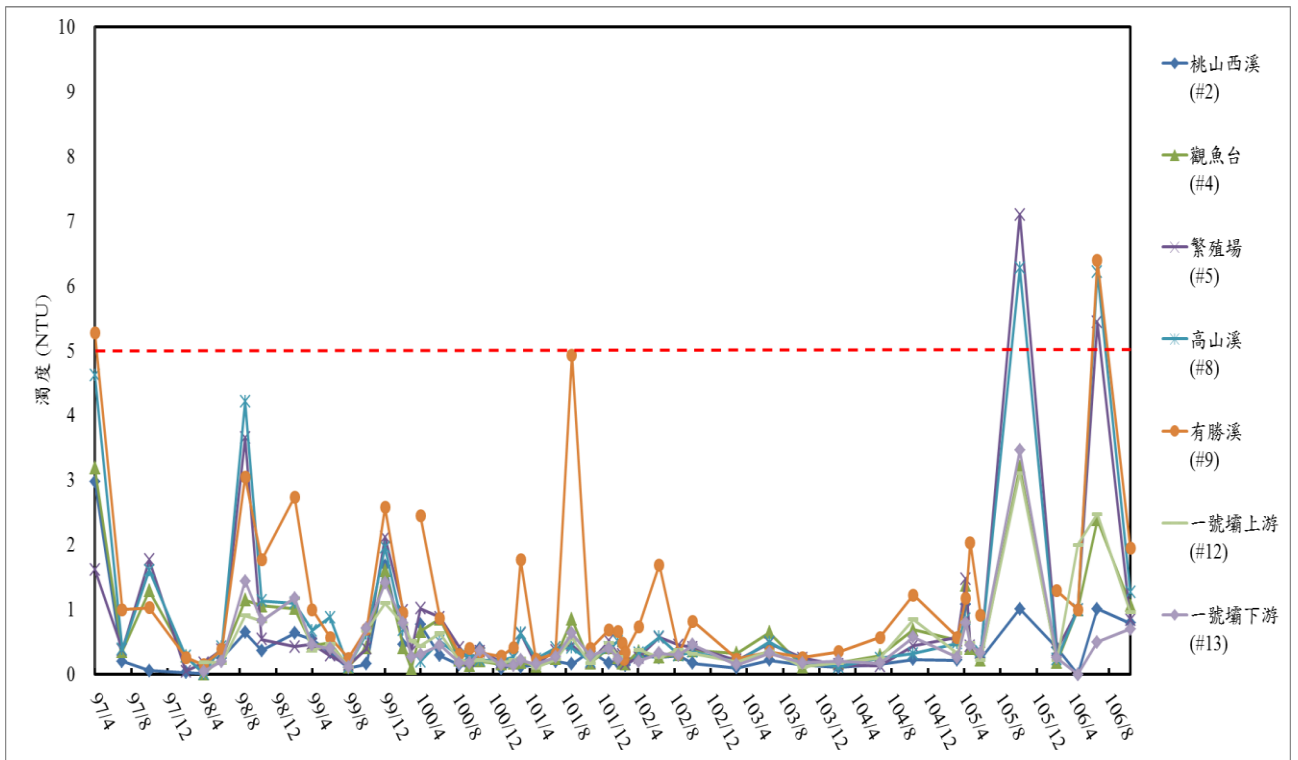


圖 1-12 武陵地區溪流濁度值變化
(資料來源：本研究資料)

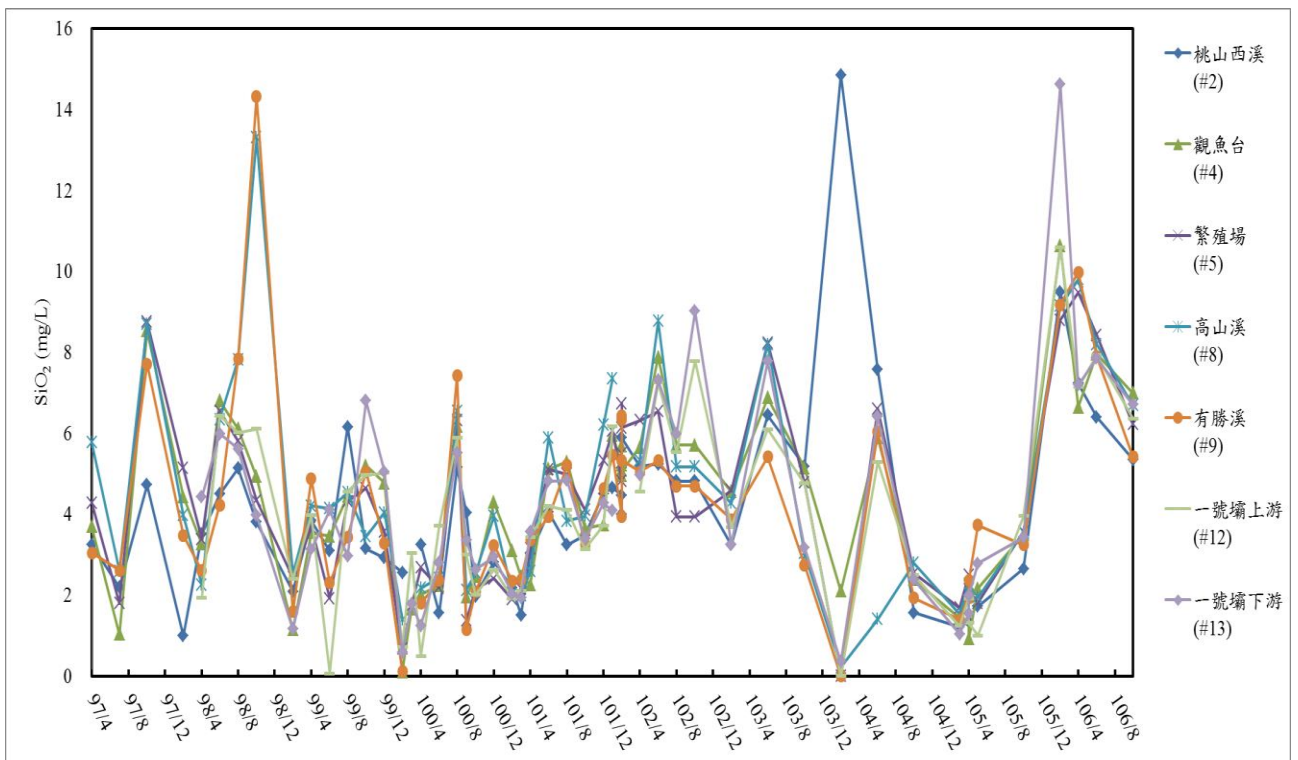


圖 1-13 武陵地區溪流 SiO₂ 值變化
(資料來源：本研究資料)

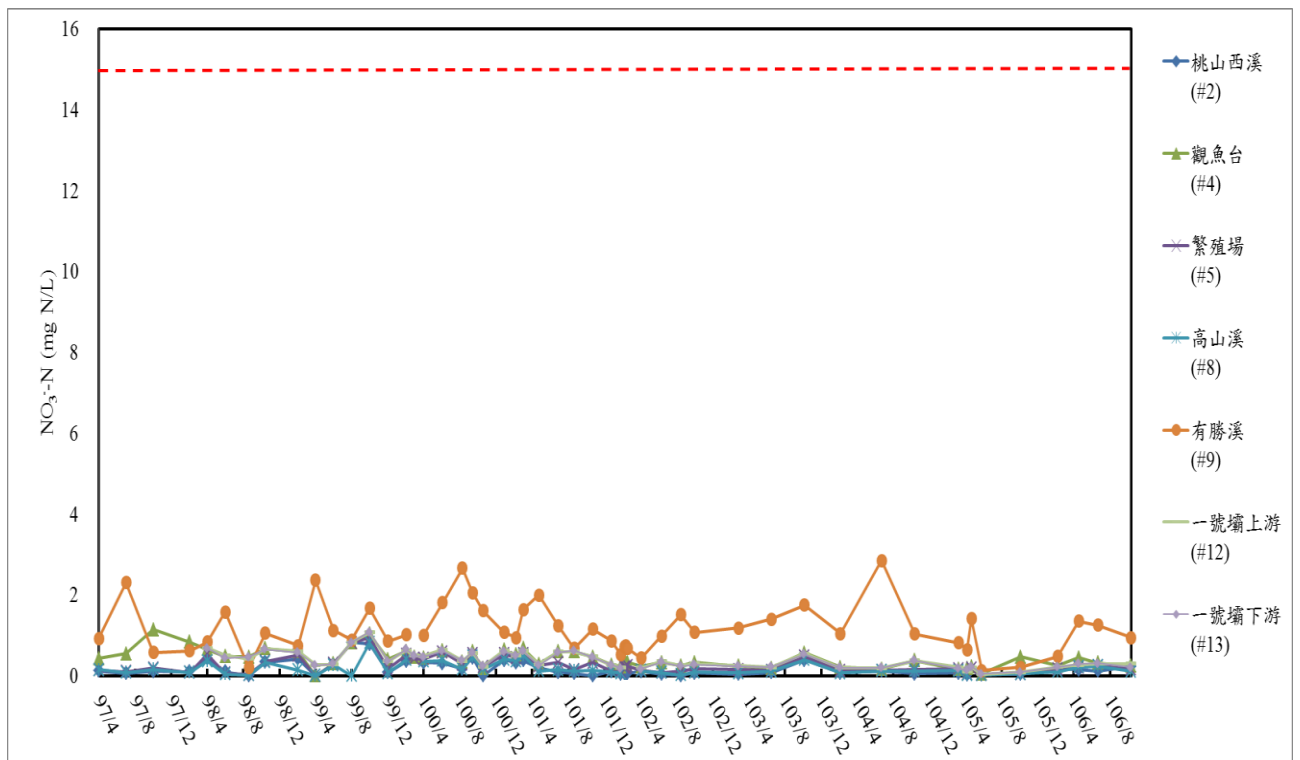


圖 1-14 武陵地區溪流 NO_3^- -N 值變化
(資料來源：本研究資料)

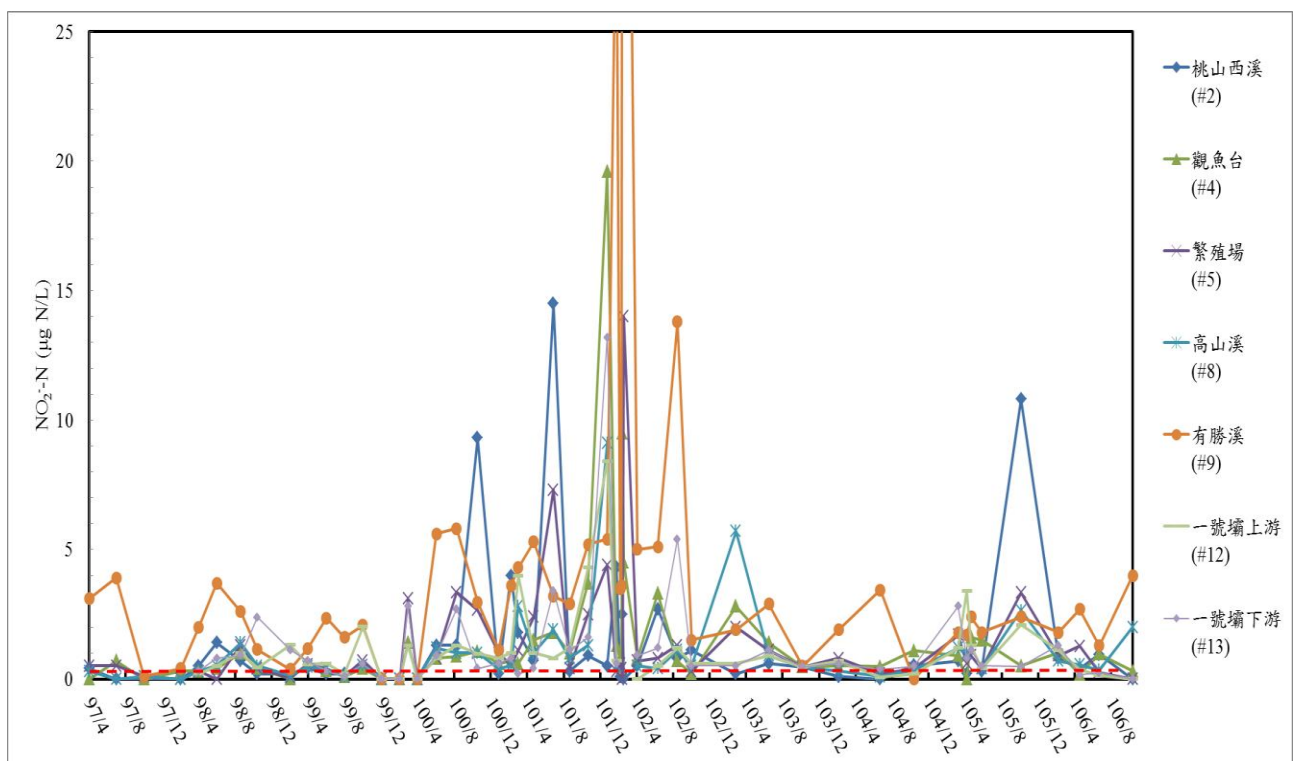


圖 1-15 武陵地區溪流 NO_2^- -N 值變化
(資料來源：本研究資料)

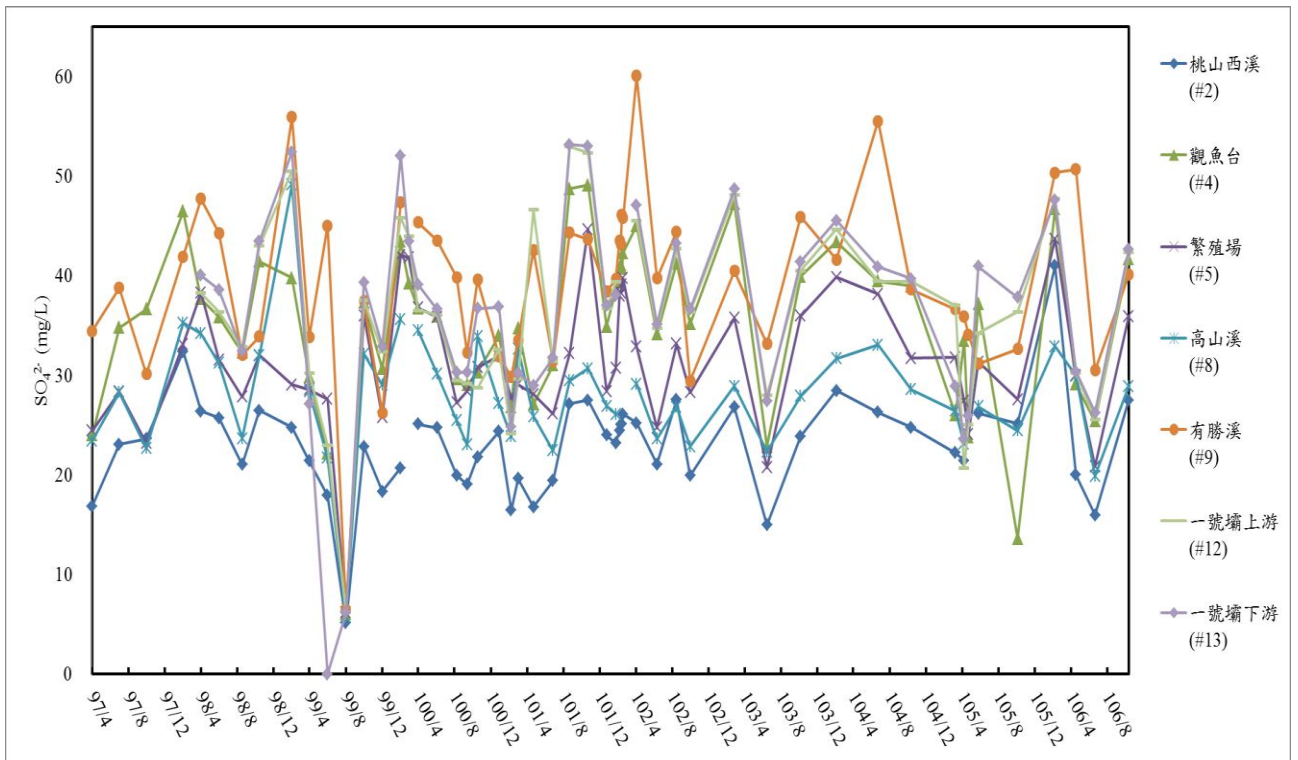


圖 1-16 武陵地區溪流 SO_4^{2-} 值變化
(資料來源：本研究資料)

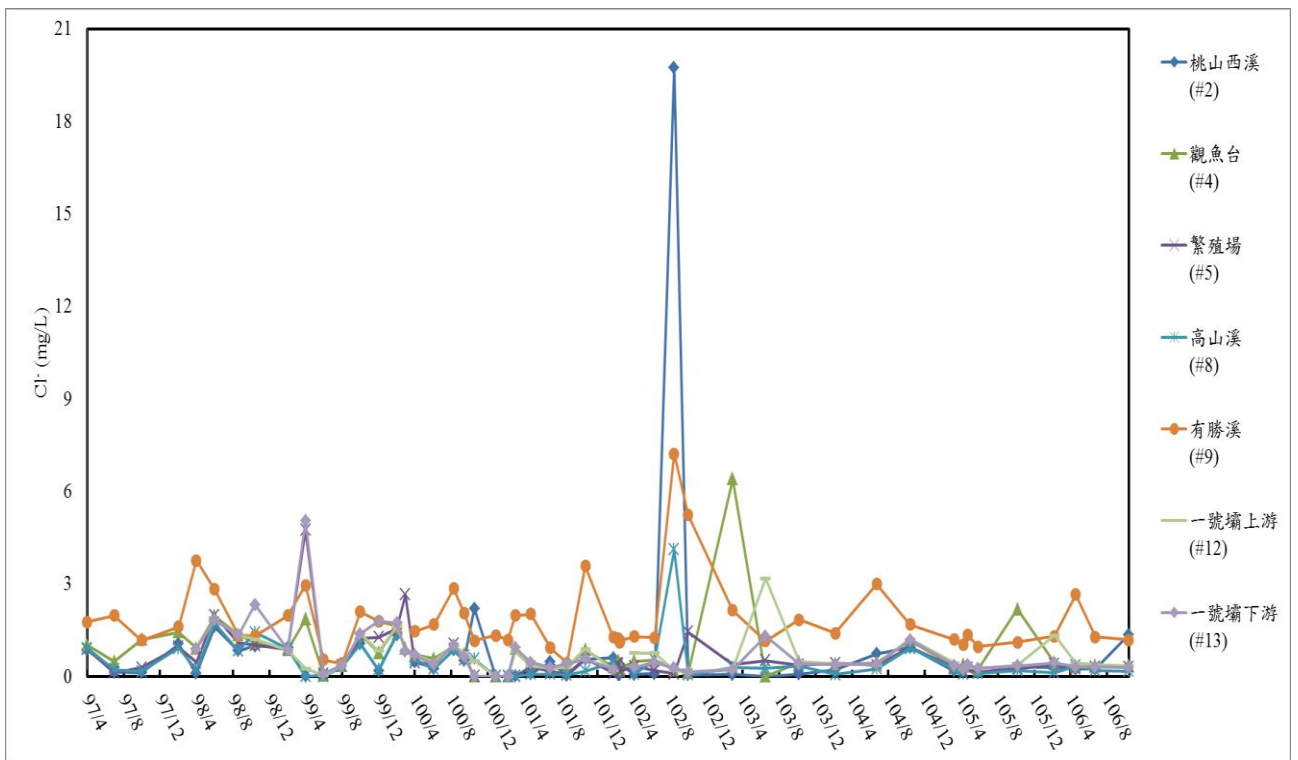


圖 1-17 武陵地區溪流 Cl^- 值變化
(資料來源：本研究資料)

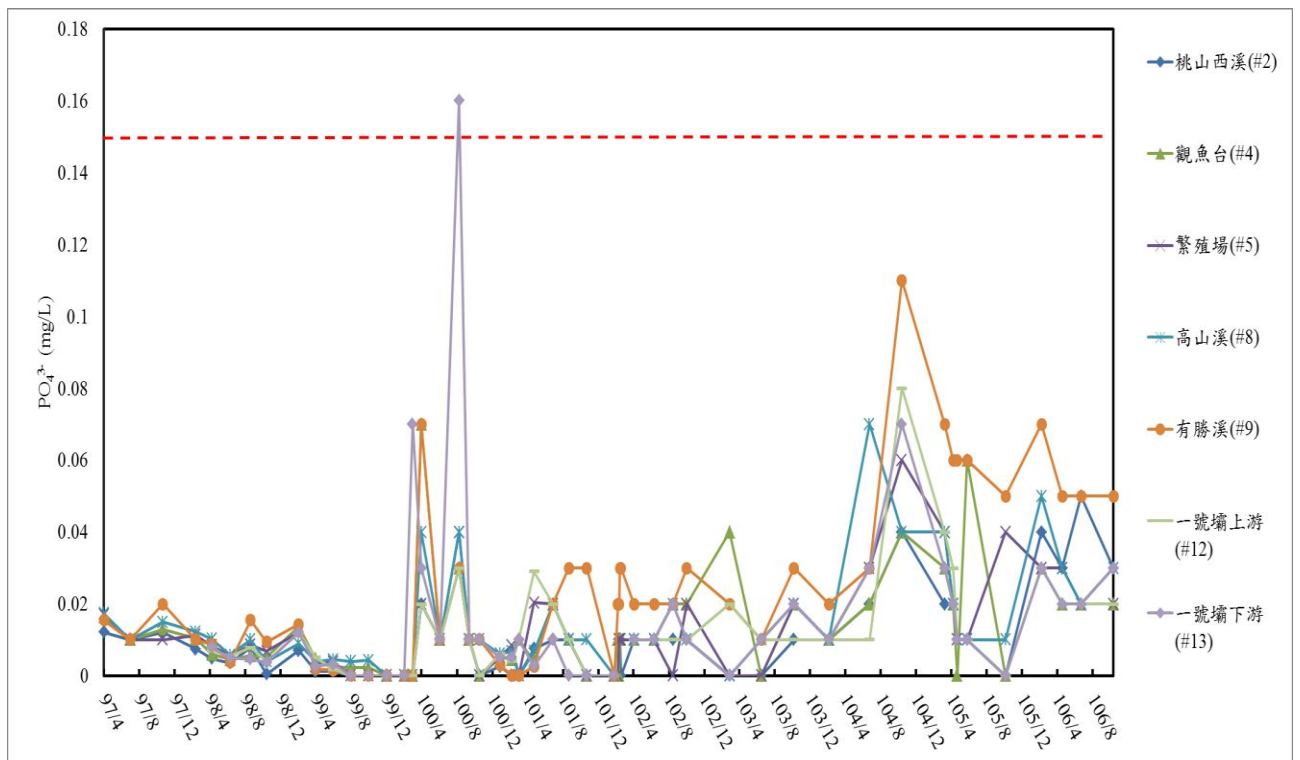


圖 1-18 武陵地區溪流 PO_4^{3-} 值變化
(資料來源：本研究資料)

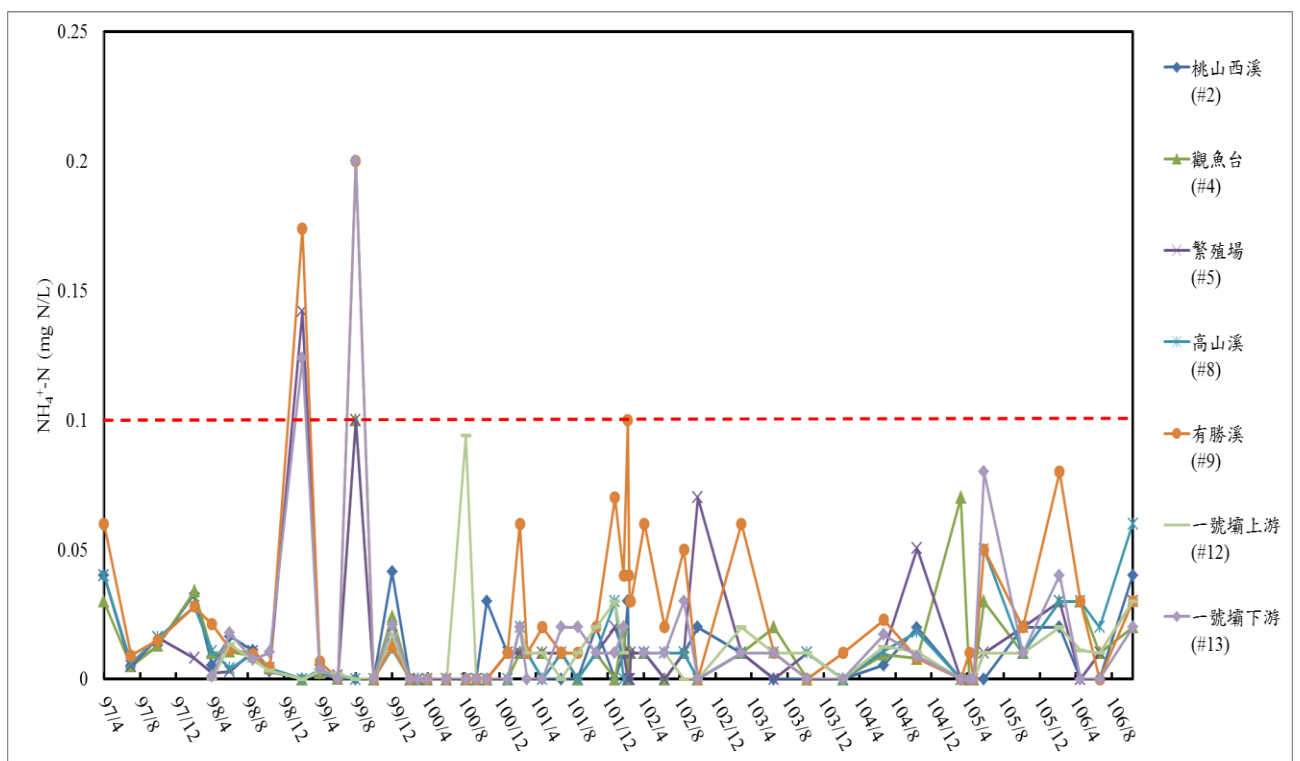


圖 1-19 武陵地區溪流 NH_4^+-N 值變化
(資料來源：本研究資料)

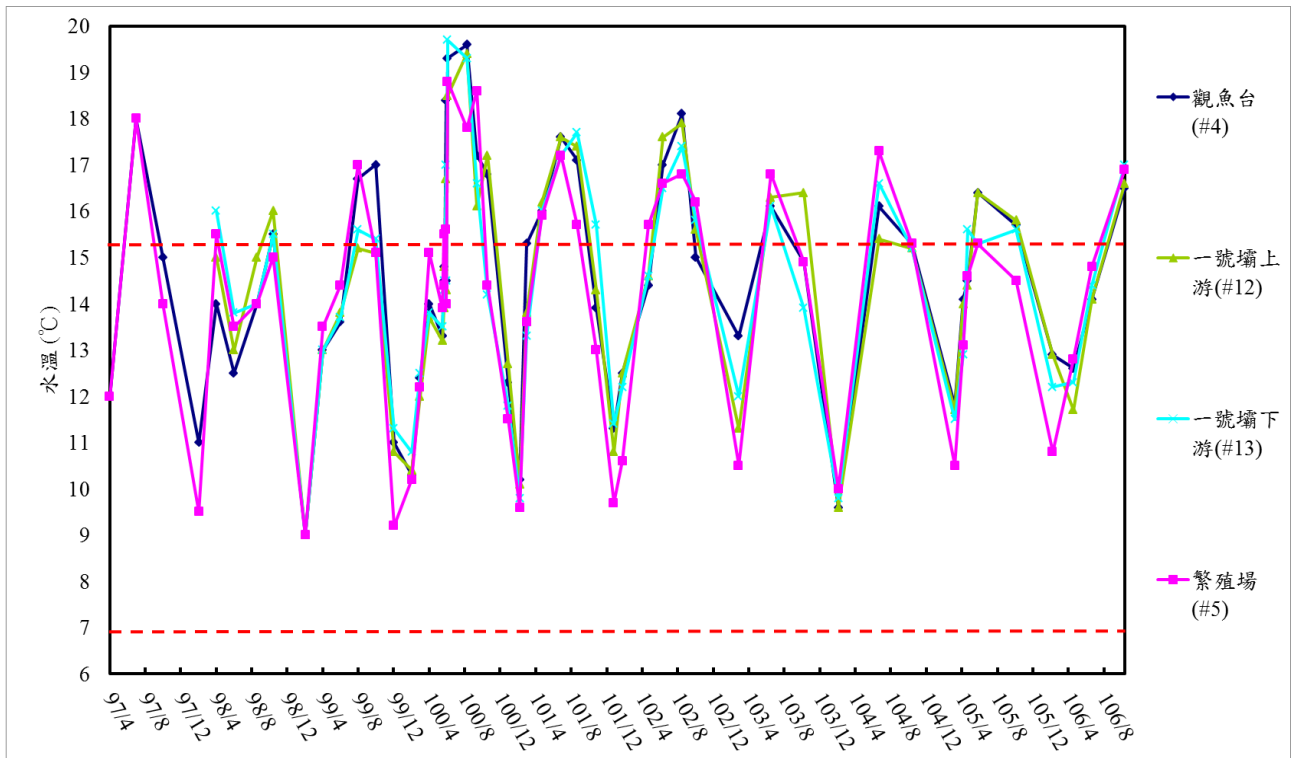


圖 1-21 一號壩壩體改善溫度值變化
(資料來源：本研究資料)

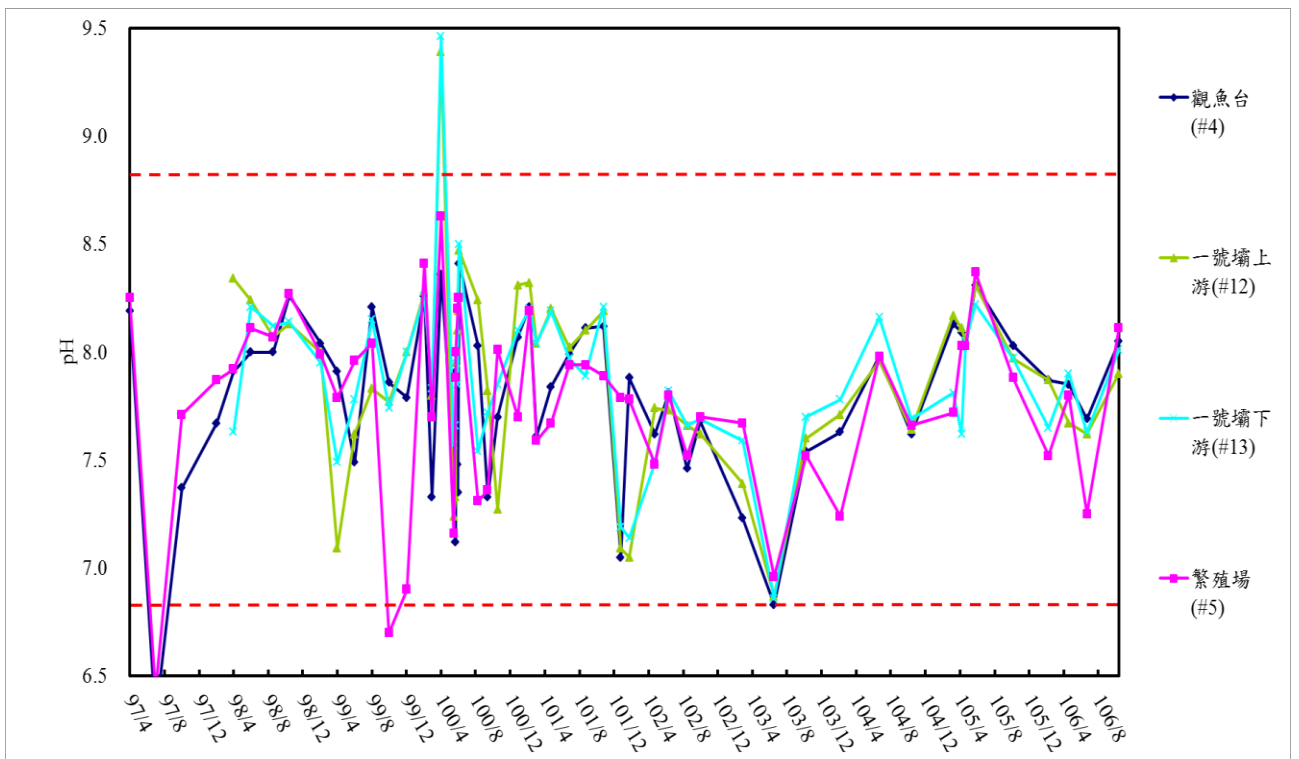


圖 1-22 一號壩壩體改善 pH 值變化
(資料來源：本研究資料)

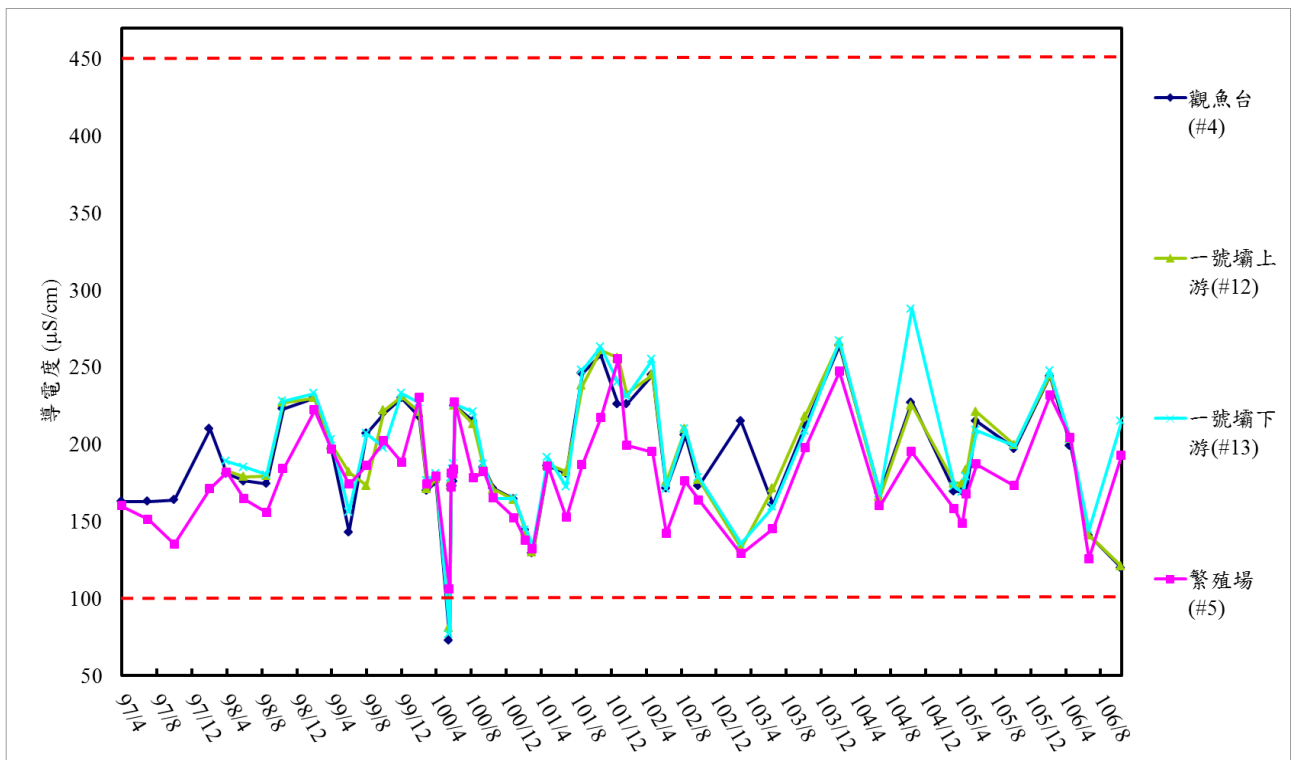


圖 1-23 一號壩壩體改善導電度值變化
(資料來源：本研究資料)

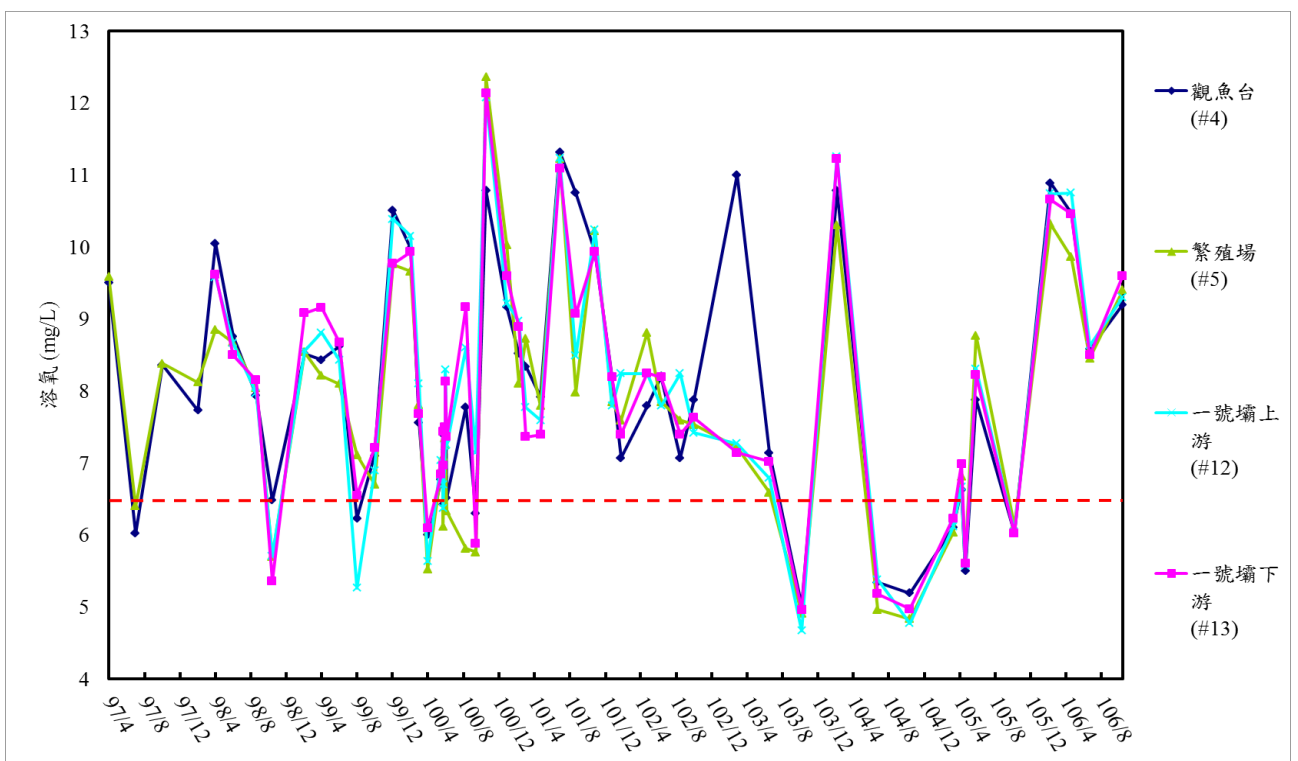


圖 1-24 一號壩壩體改善溶氧值變化
(資料來源：本研究資料)

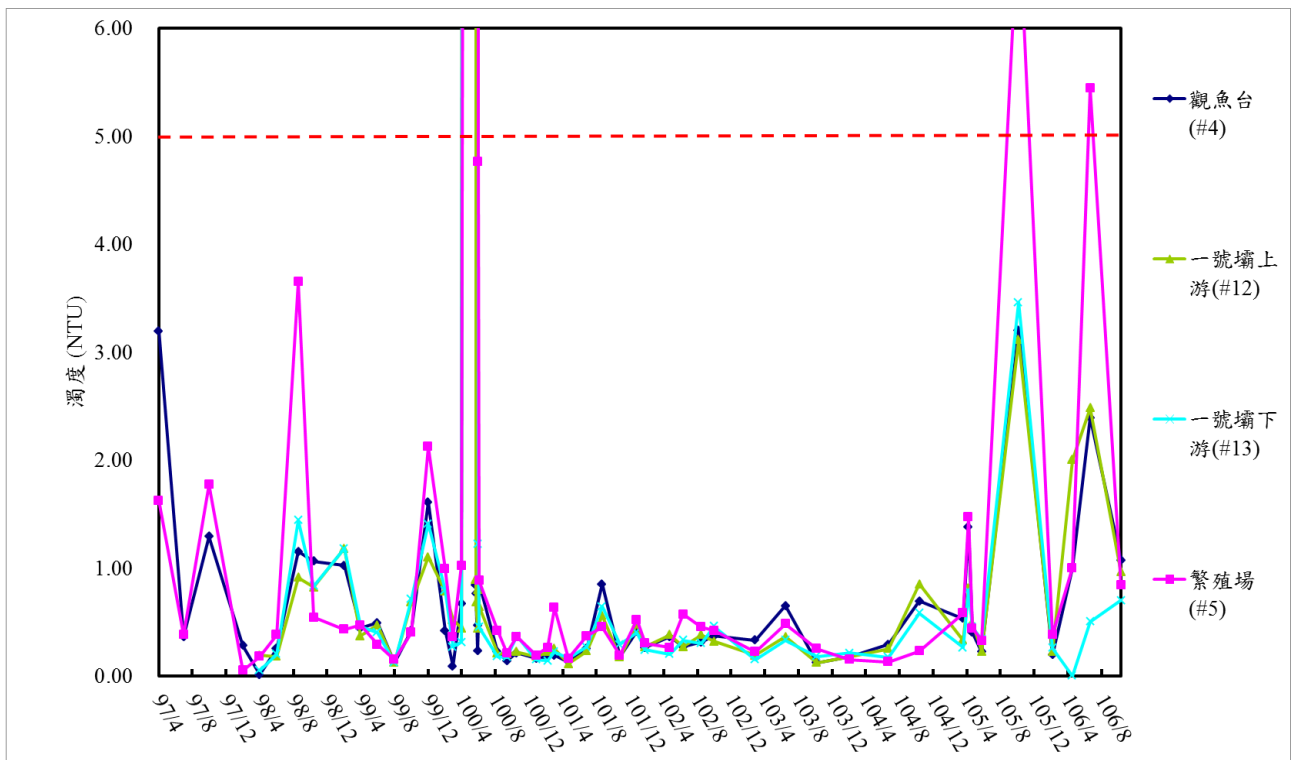


圖 1-25 一號壩壩體改善濁度值變化
(資料來源：本研究資料)

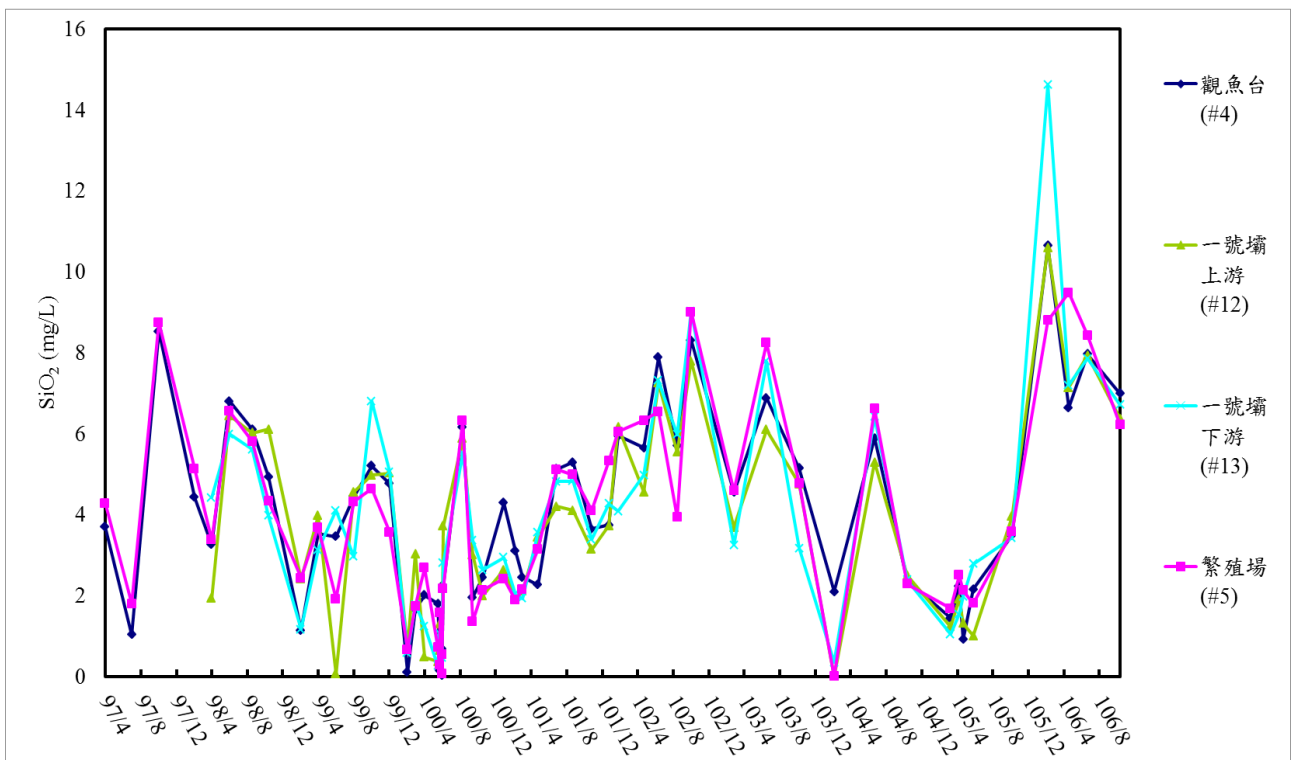


圖 1-26 一號壩壩體改善 SiO₂ 值變化
(資料來源：本研究資料)

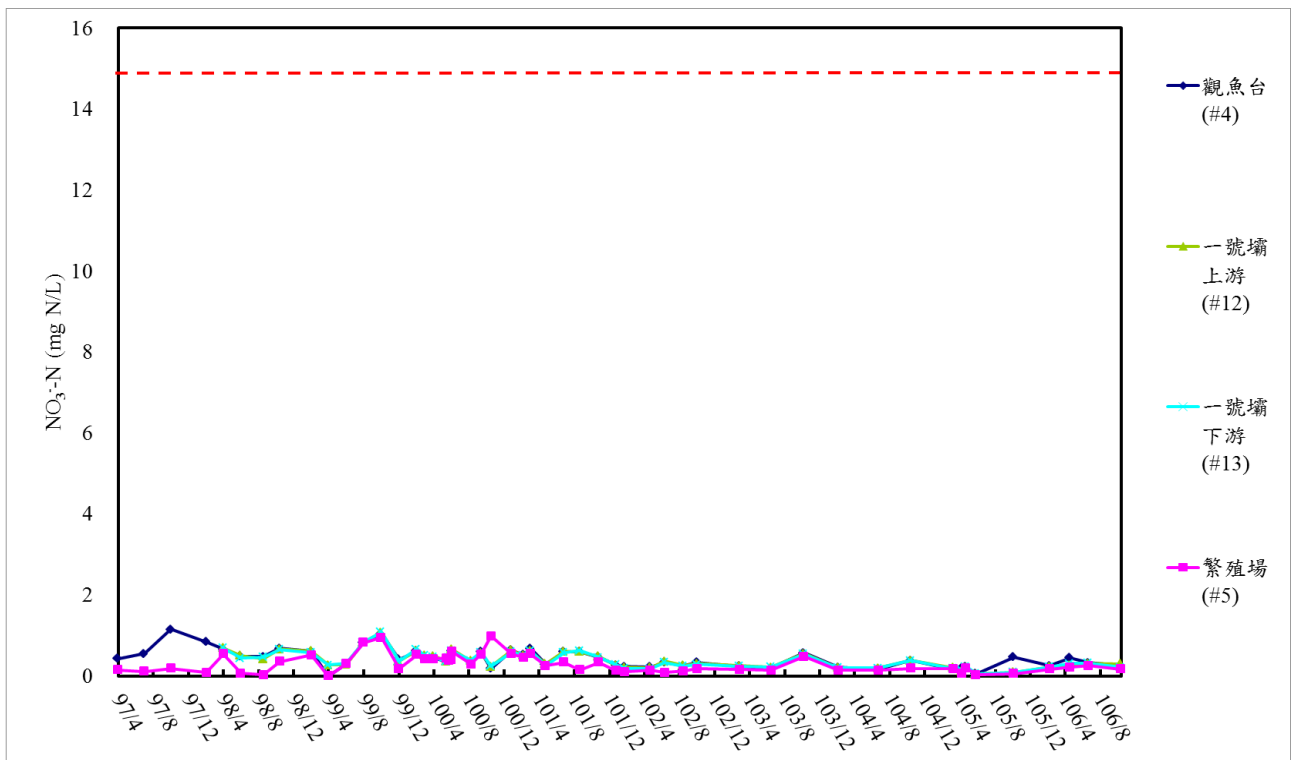


圖 1-27 一號壩壩體改善 NO₃⁻-N 值變化
(資料來源：本研究資料)

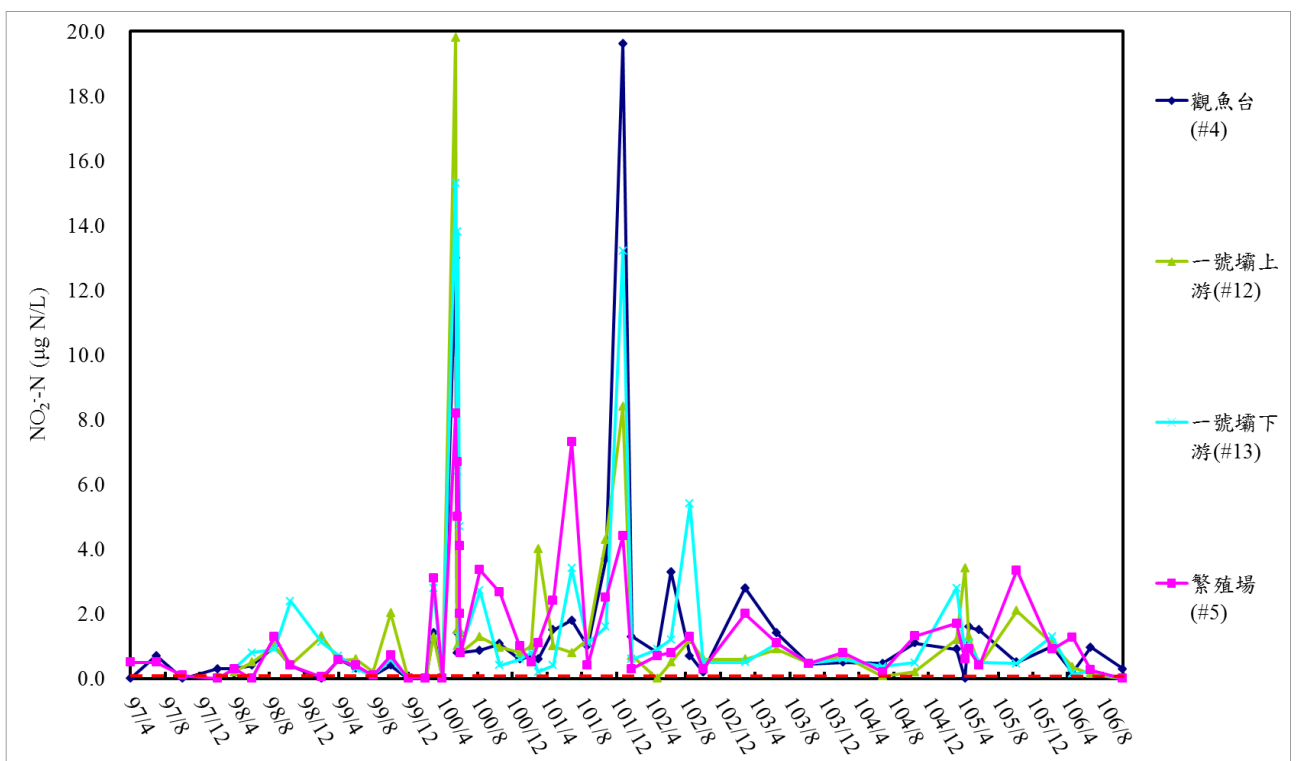


圖 1-28 一號壩壩體改善 NO₂⁻-N 值變化
(資料來源：本研究資料)

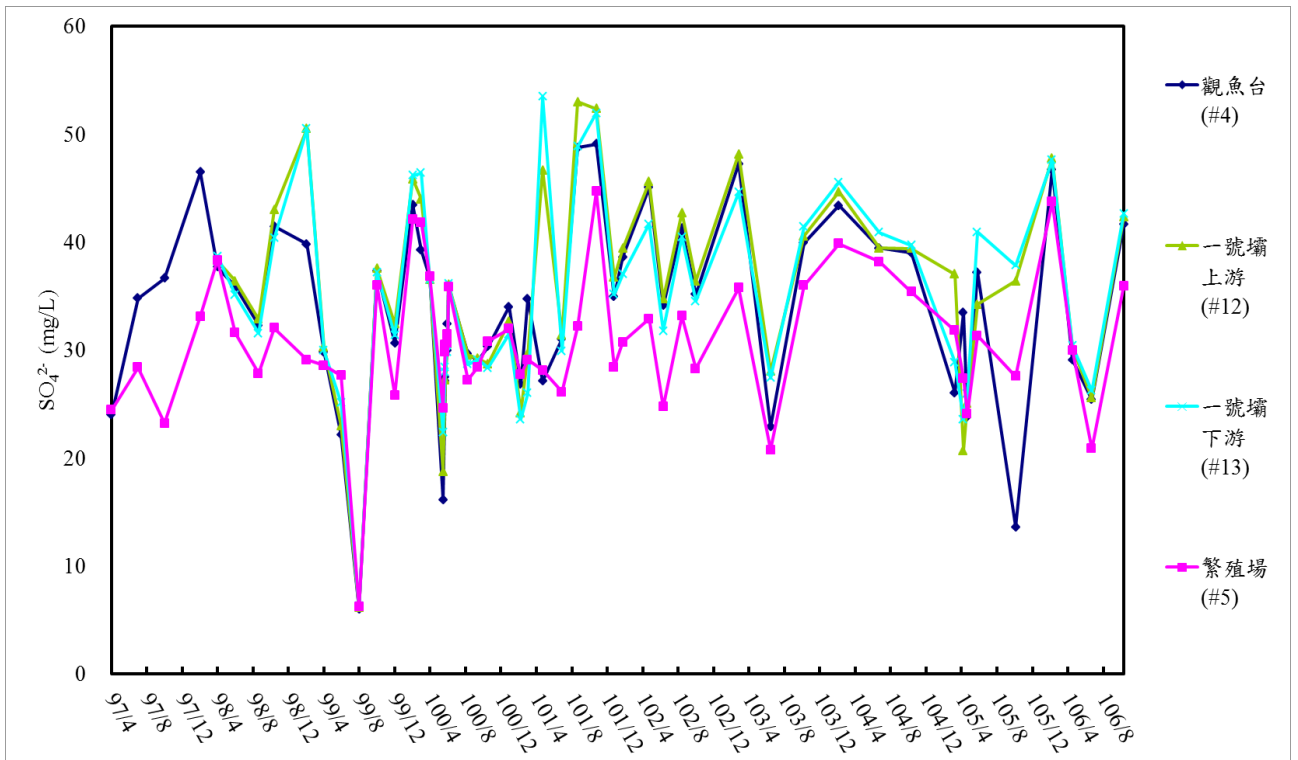


圖 1-29 一號壩壩體改善 SO₄²⁻ 值變化
(資料來源：本研究資料)

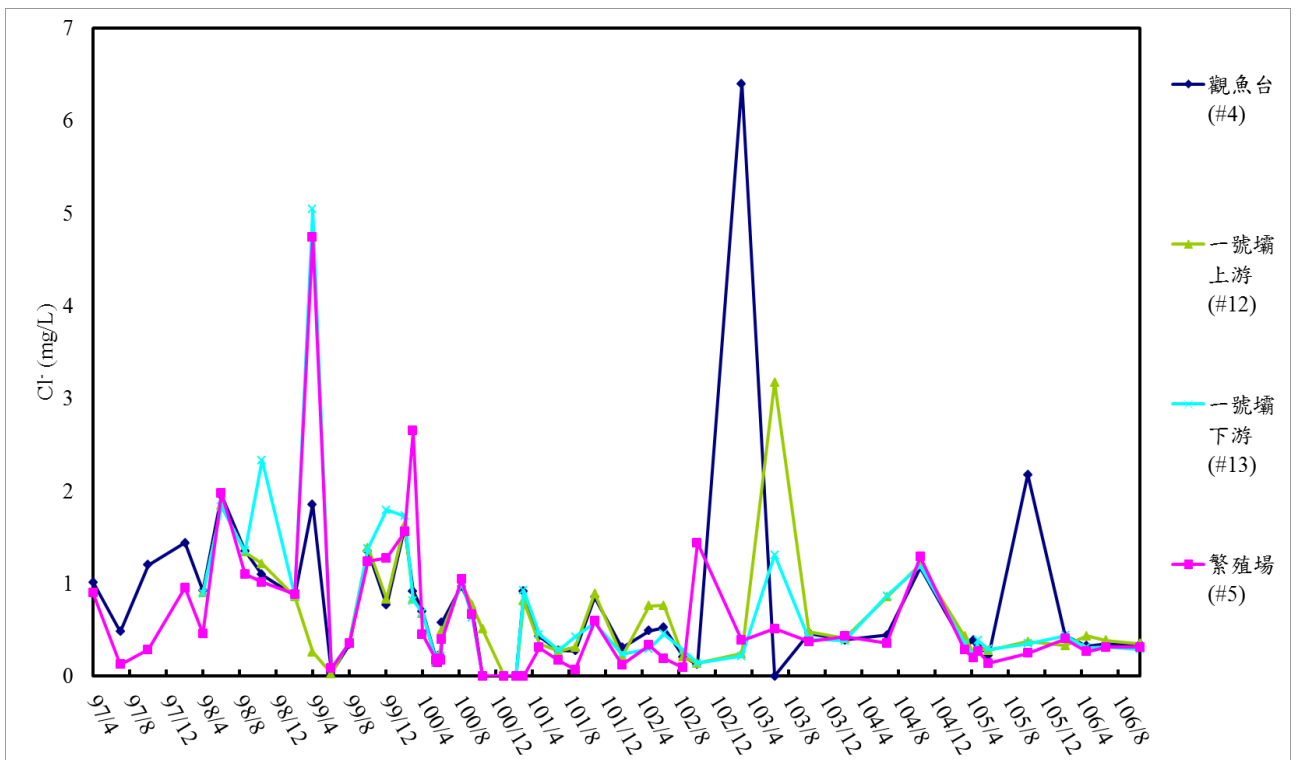


圖 1-30 一號壩壩體改善 Cl 值變化
(資料來源：本研究資料)

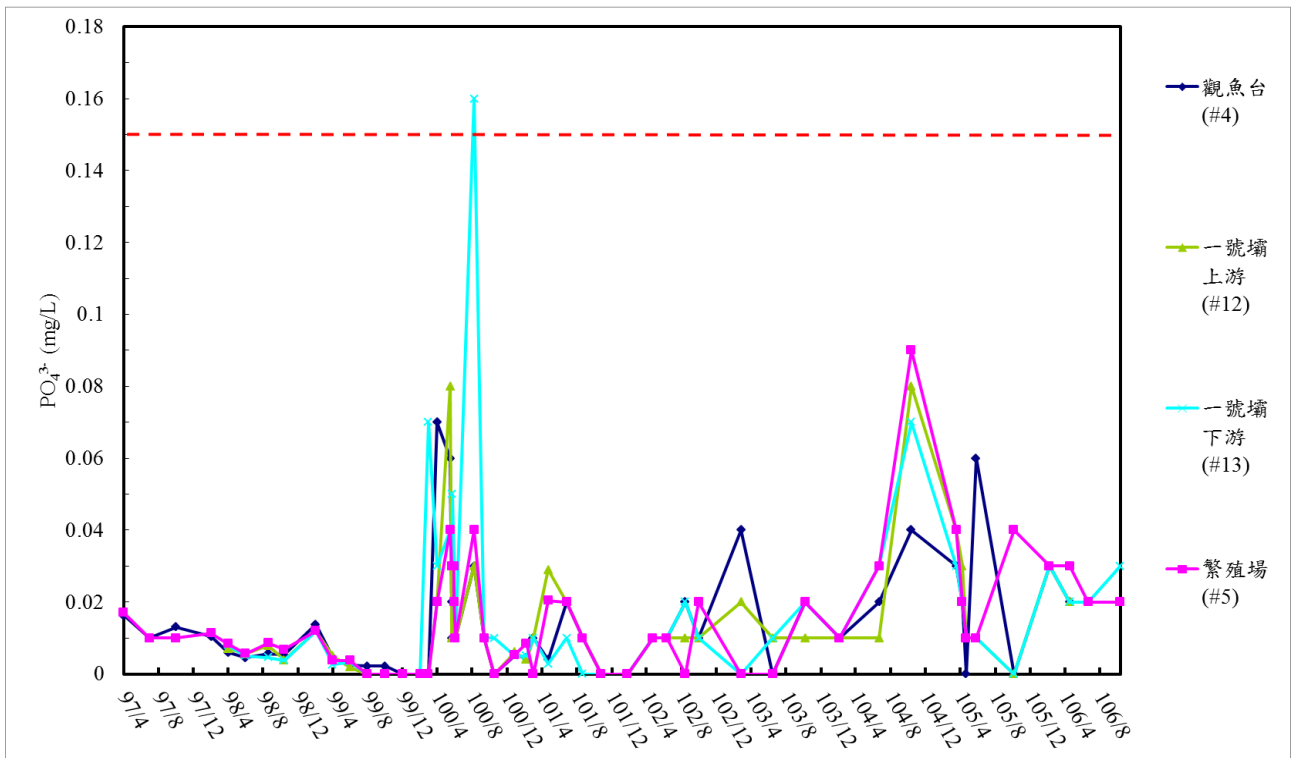


圖 1-31 一號壩壩體改善 PO₄³⁻ 值變化
(資料來源：本研究資料)

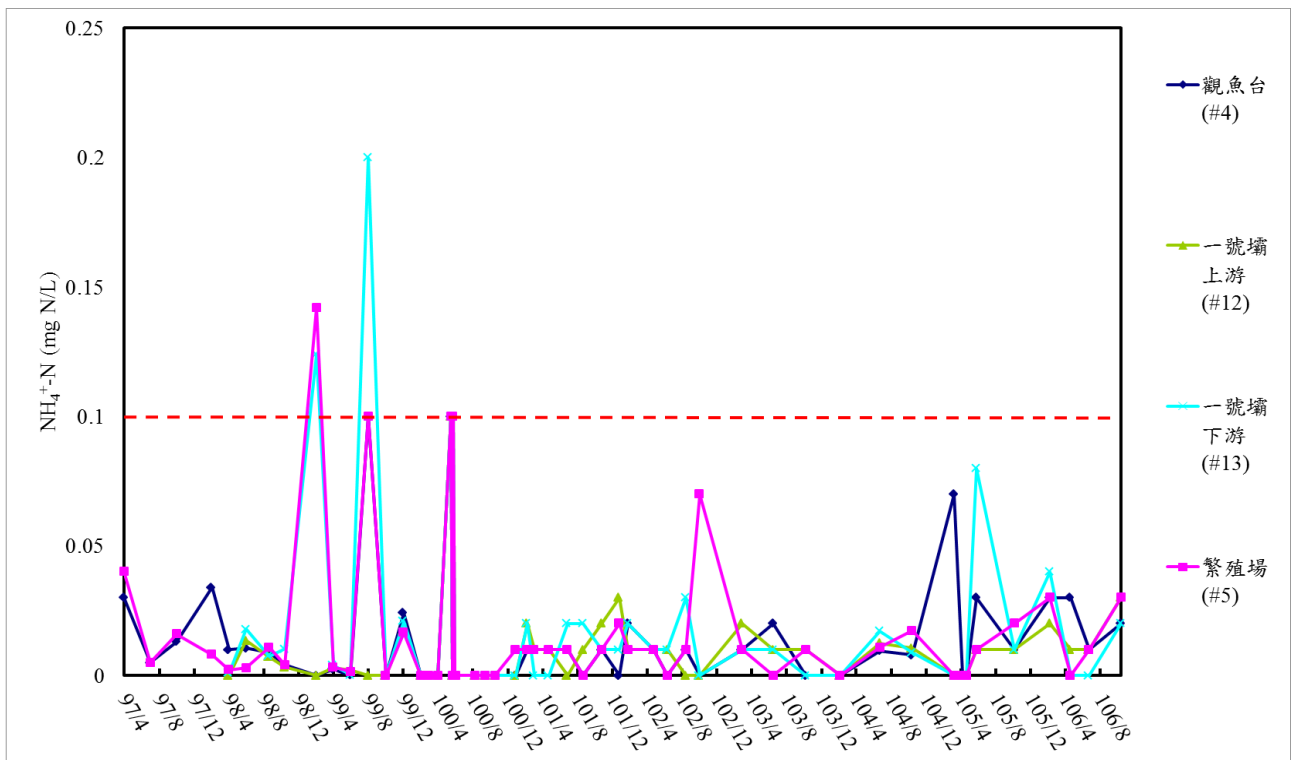


圖 1-32 一號壩壩體改善 NH₄⁺-N 值變化
(資料來源：本研究資料)

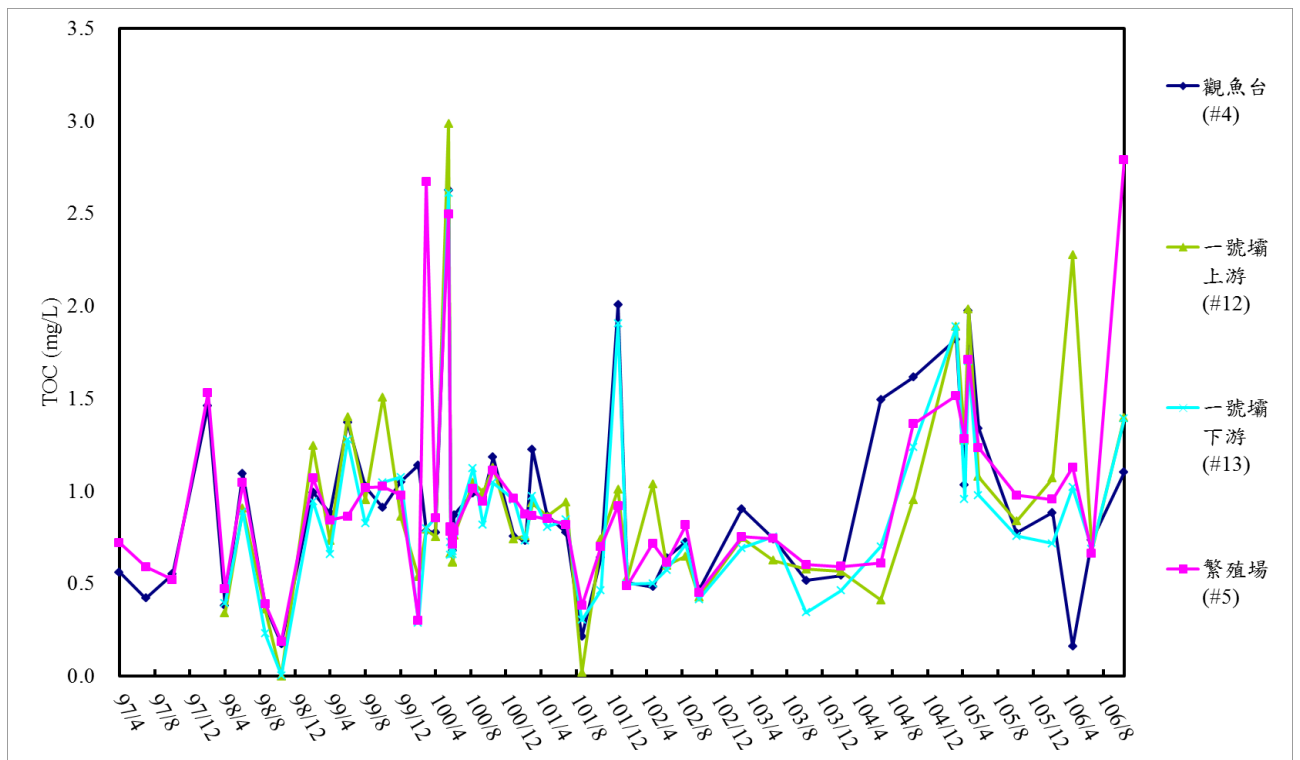


圖 1-33 一號壩壩體改善 TOC 值變化
(資料來源：本研究資料)

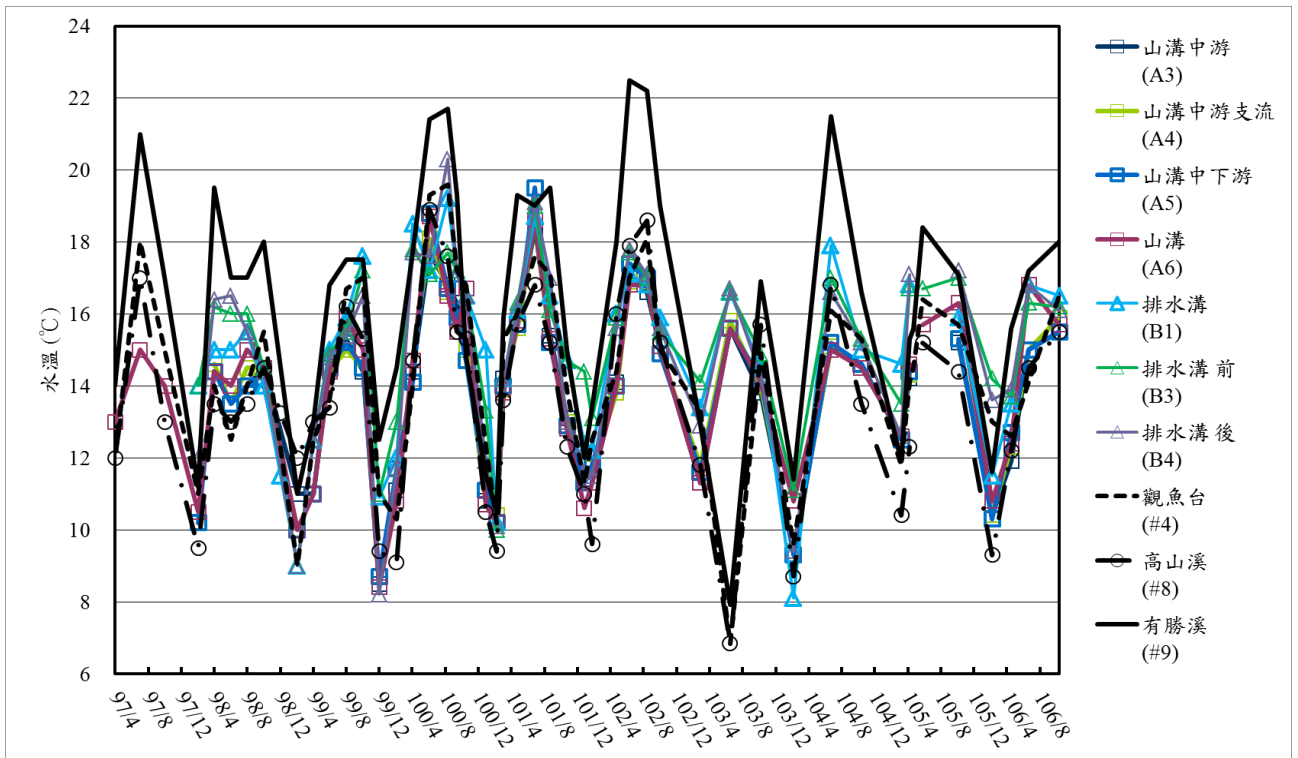


圖 1-34 山溝與七家灣溪測站之溫度值比較
(資料來源：本研究資料)

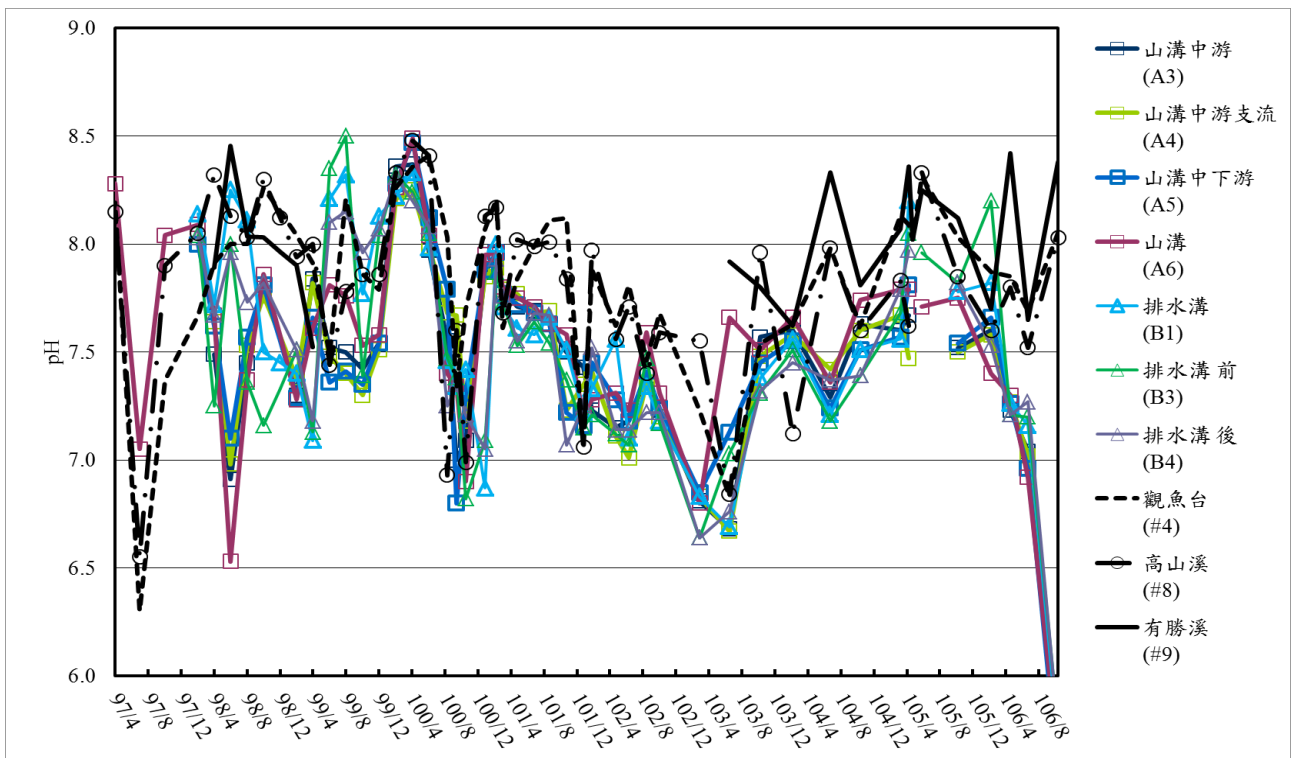


圖 1-35 山溝與七家灣溪測站之 pH 值比較
(資料來源：本研究資料)

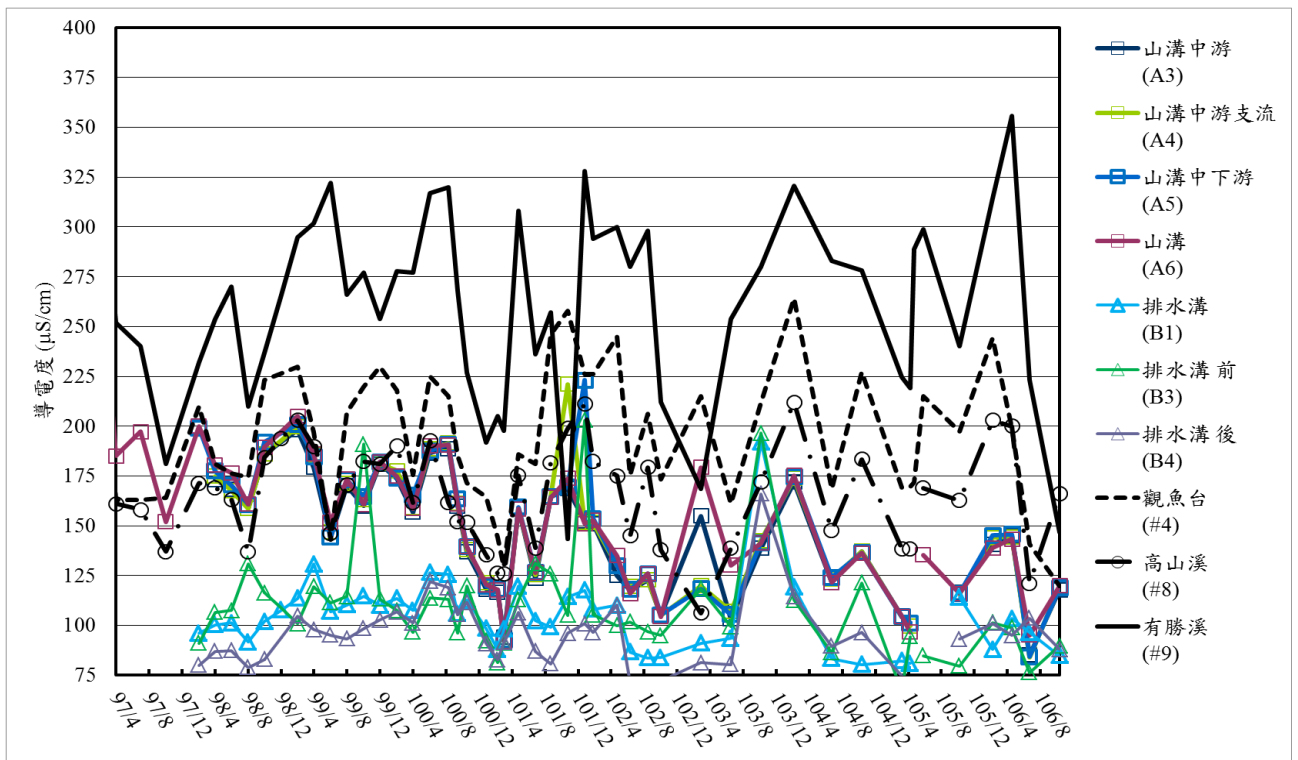


圖 1-36 山溝與七家灣溪測站之導電度值比較
(資料來源：本研究資料)

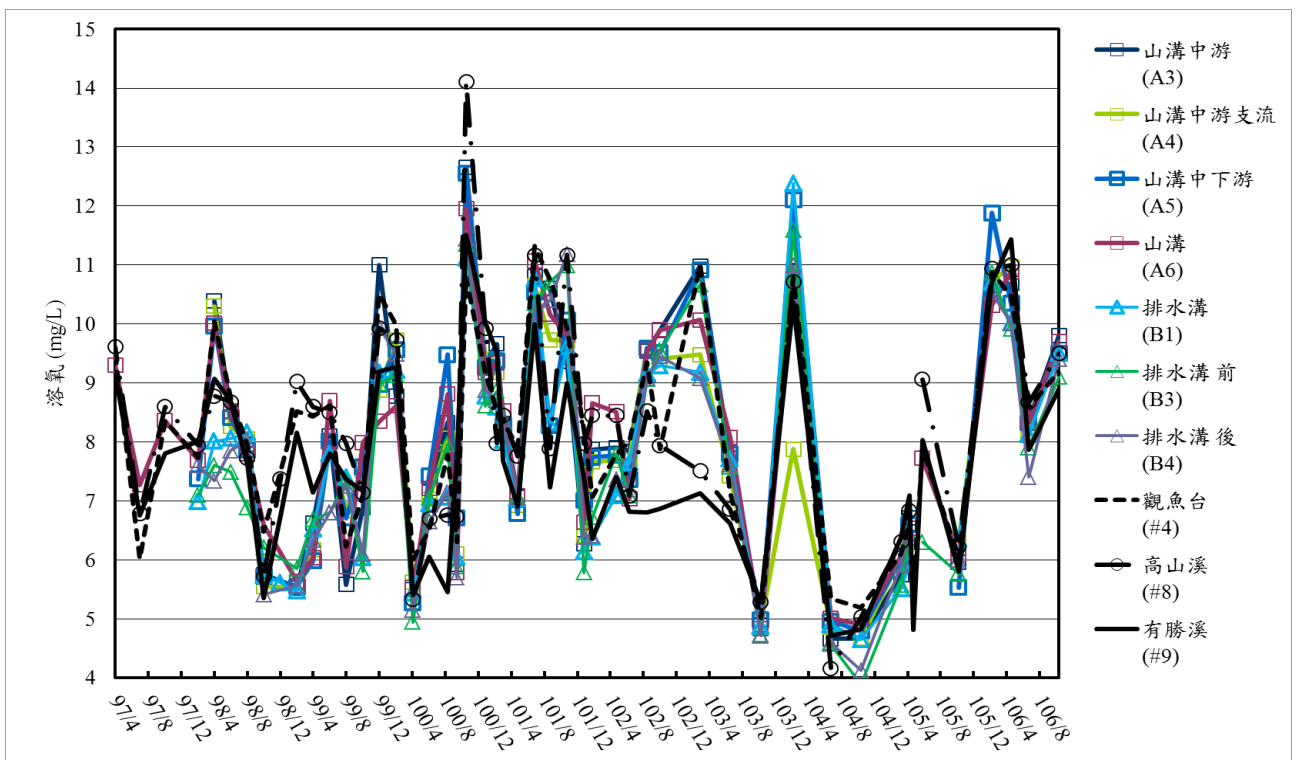


圖 1-37 山溝與七家灣溪測站之溶氧值比較
(資料來源：本研究資料)

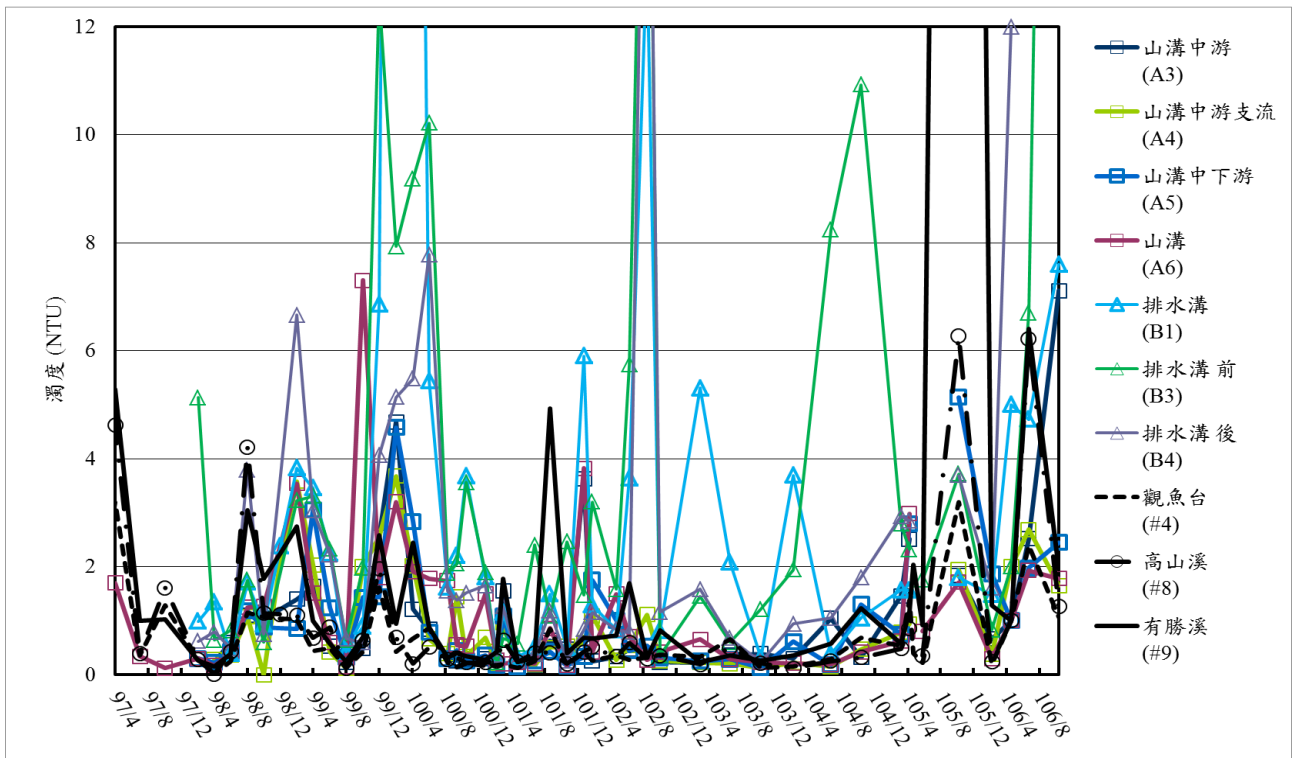


圖 1-38 山溝與七家灣溪測站之濁度值比較
(資料來源：本研究資料)

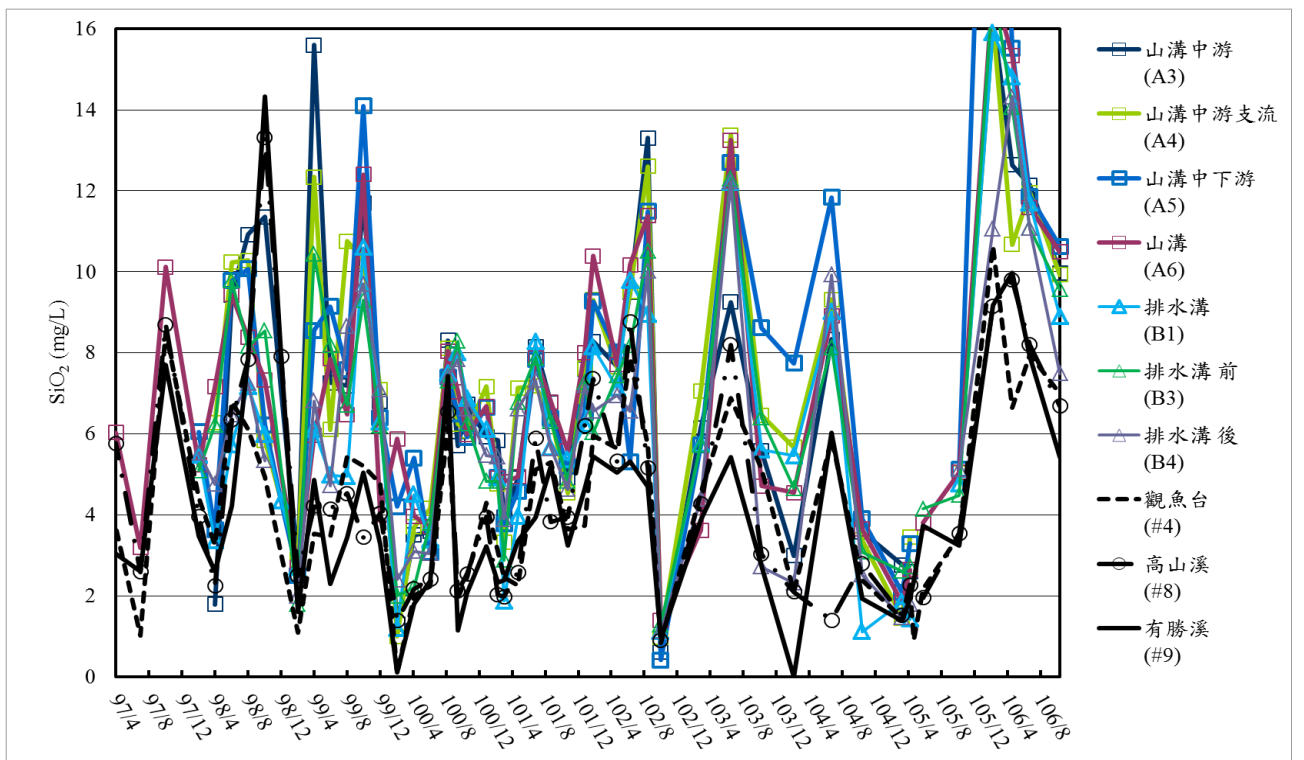


圖 1-39 山溝與七家灣溪測站之 SiO₂ 值比較
(資料來源：本研究資料)

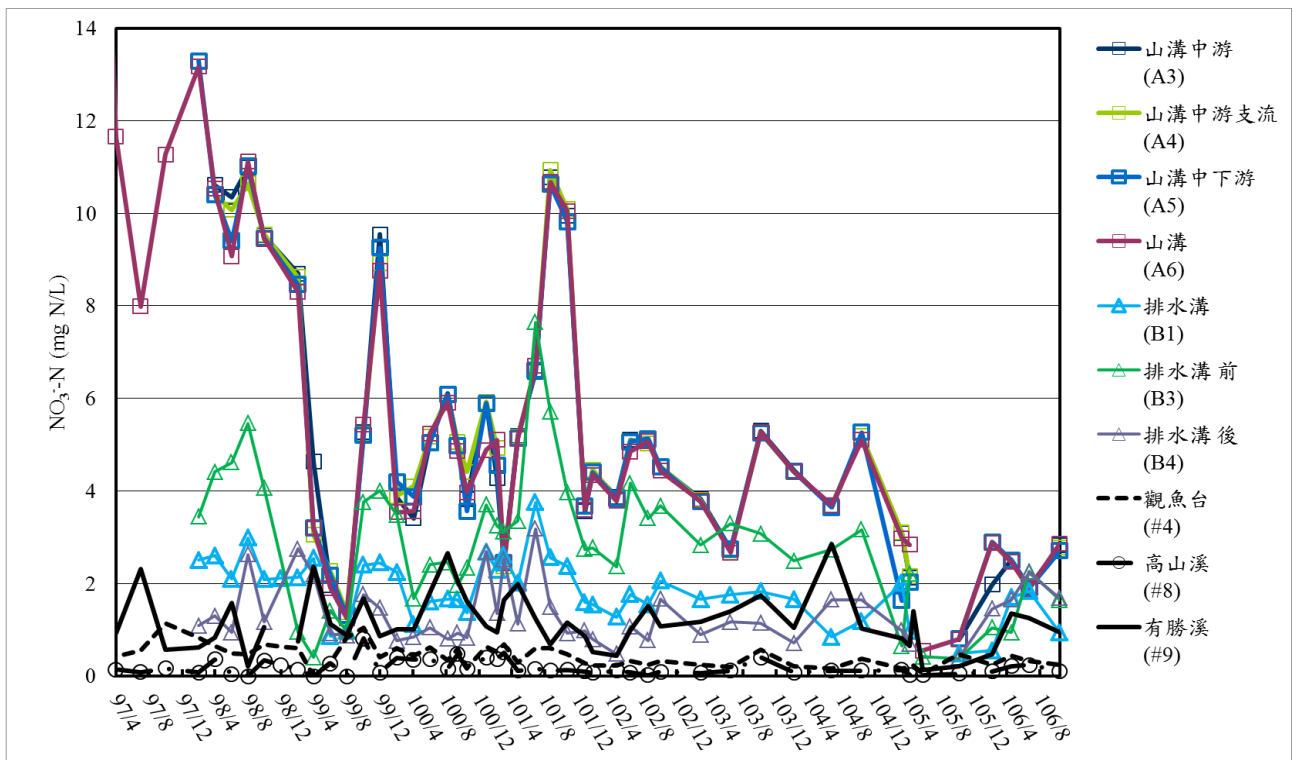


圖 1-40 山溝與七家灣溪測站之 $\text{NO}_3\text{-N}$ 值比較
(資料來源：本研究資料)

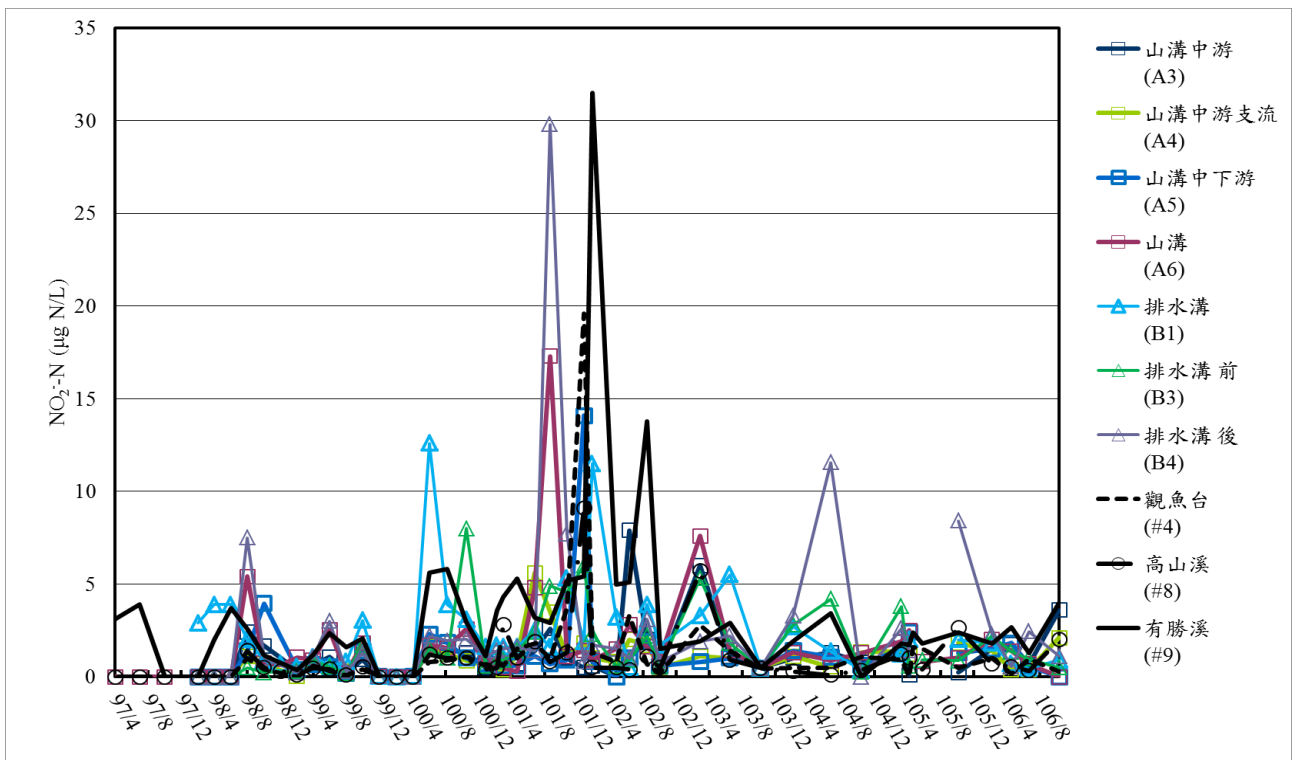


圖 1-41 山溝與七家灣溪測站之 $\text{NO}_2\text{-N}$ 值比較
(資料來源：本研究資料)

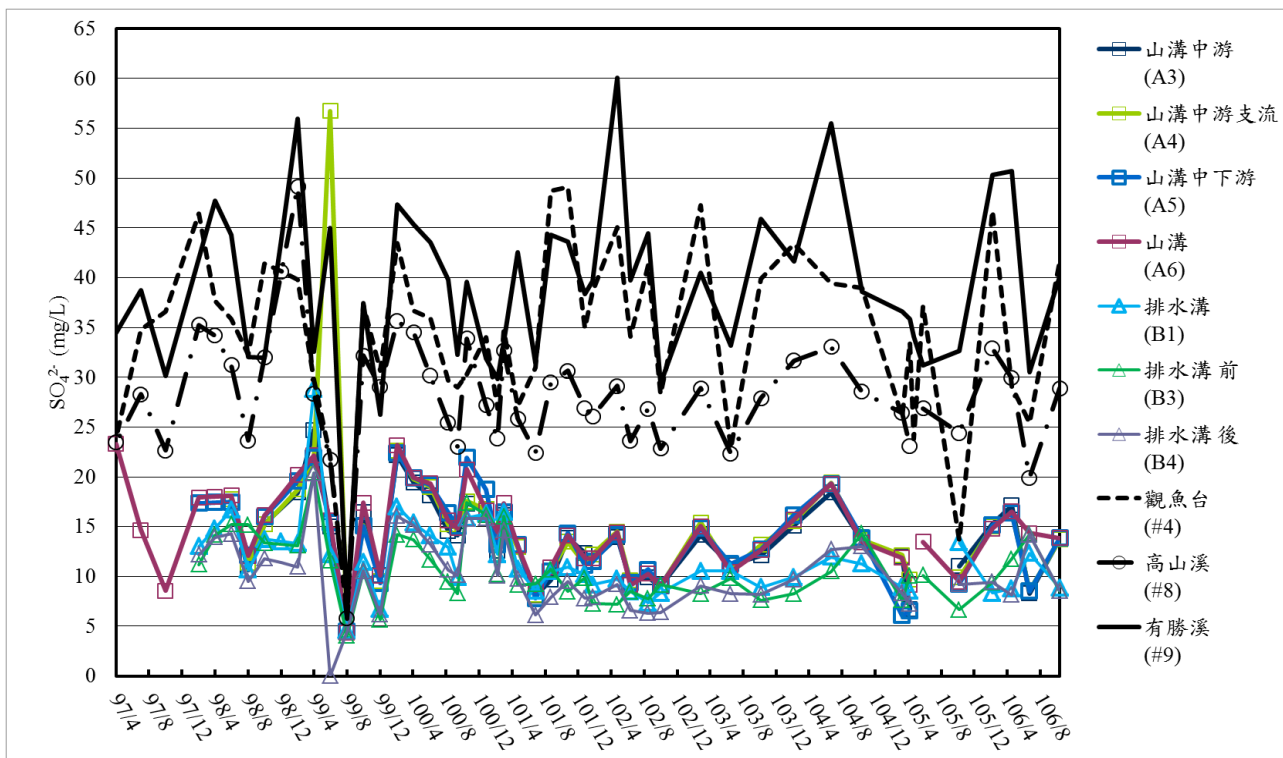


圖 1-42 山溝與七家灣溪測站之 SO_4^{2-} 值比較
(資料來源：本研究資料)

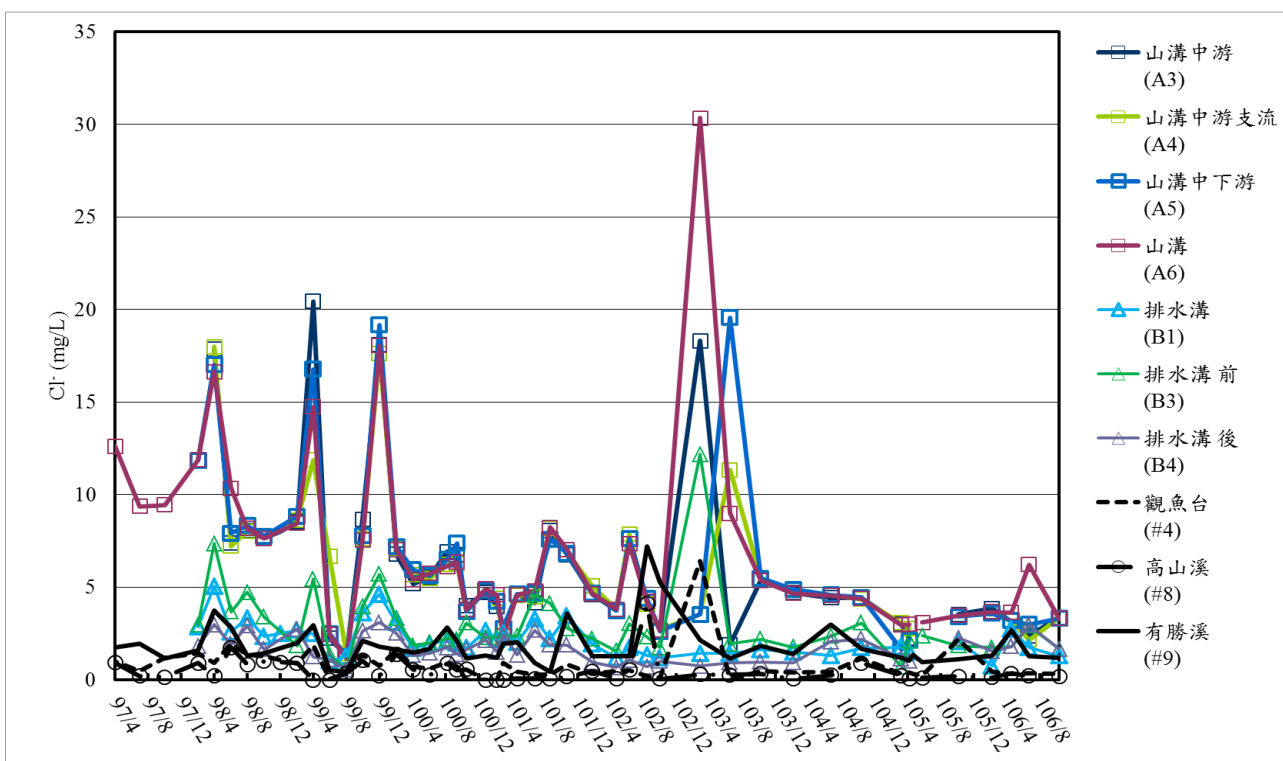


圖 1-43 山溝與七家灣溪測站之 Cl^- 值比較
(資料來源：本研究資料)

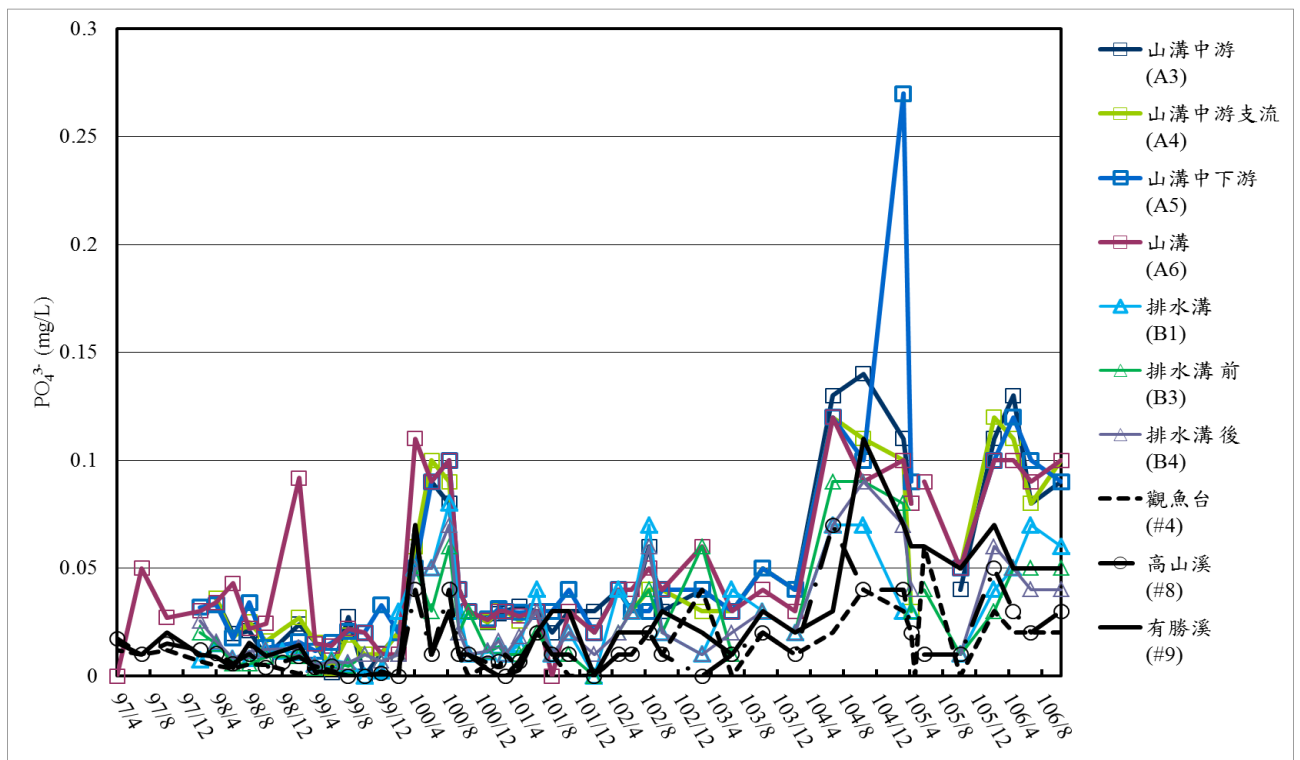


圖 1-44 山溝與七家灣溪測站之 PO_4^{3-} 值比較
(資料來源：本研究資料)

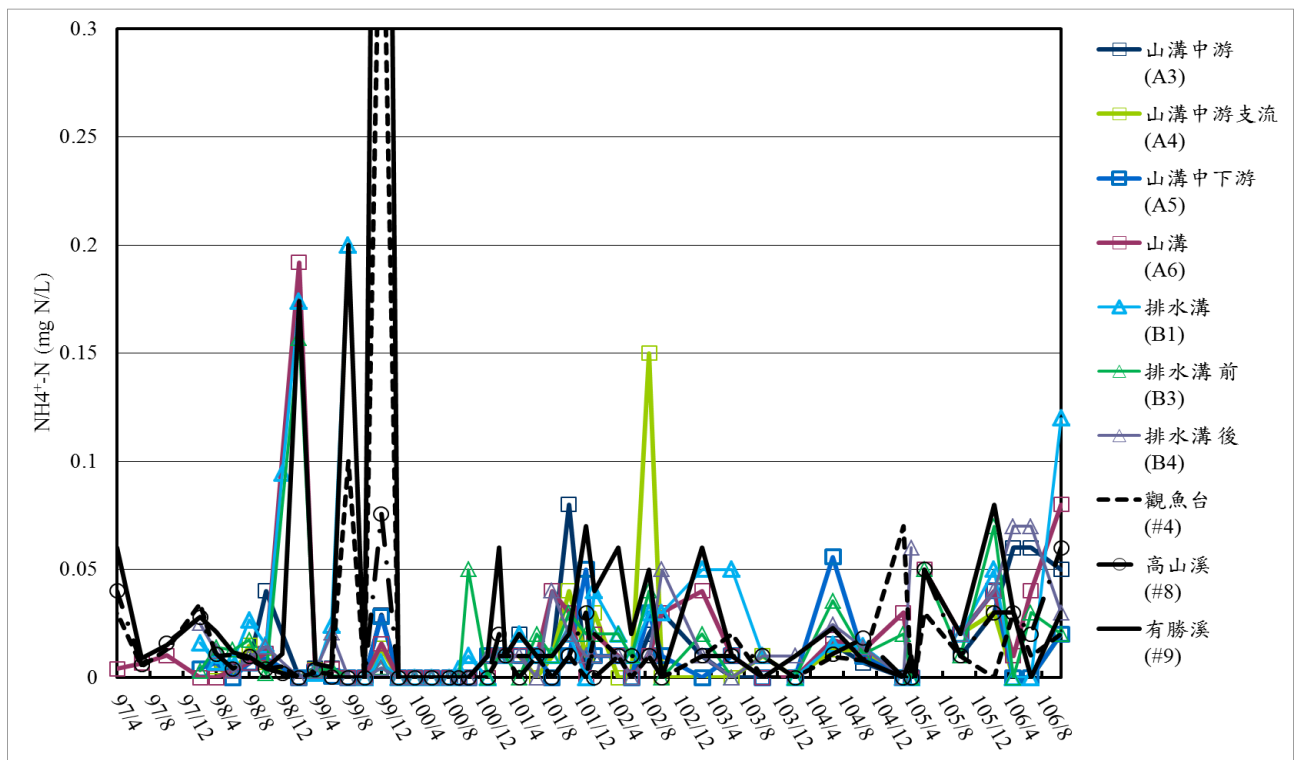


圖 1-45 山溝與七家灣溪測站之 NH_4^+-N 值比較
(資料來源：本研究資料)

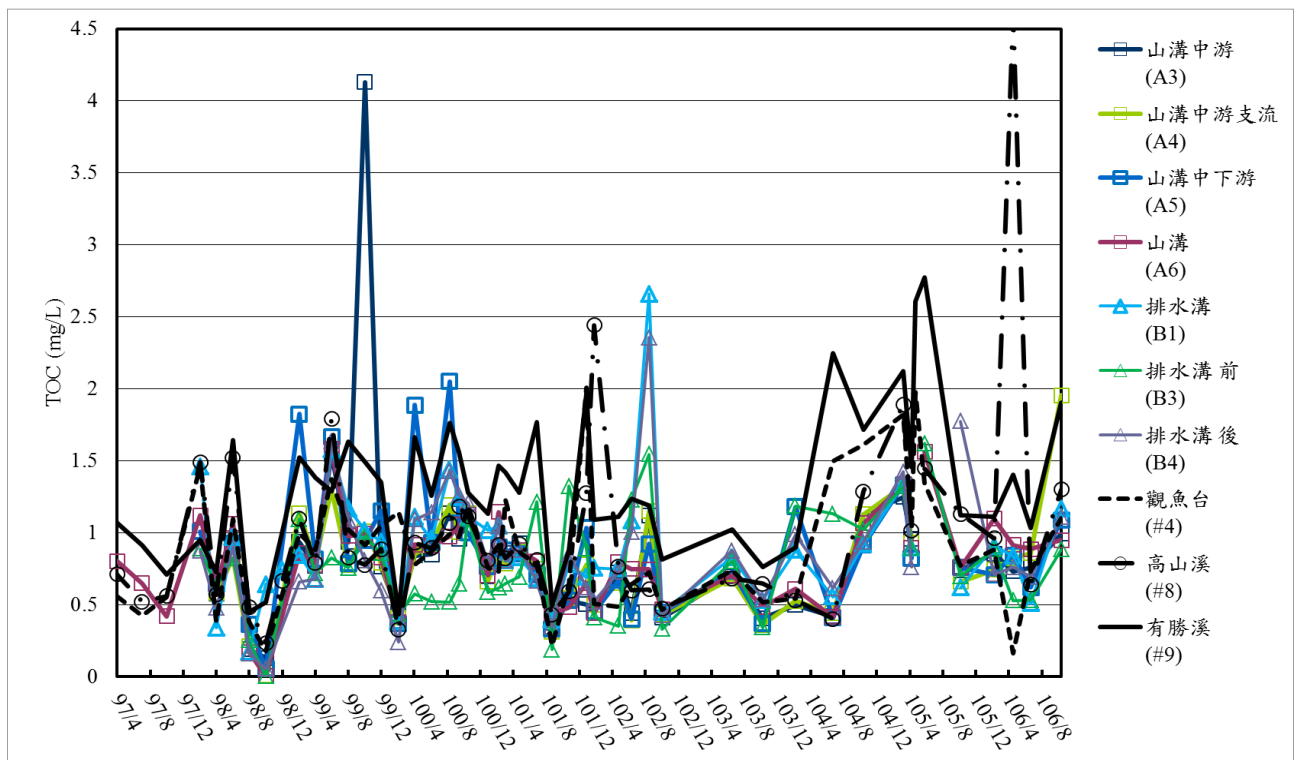


圖 1-46 山溝與七家灣溪測站之 TOC 值比較
(資料來源：本研究資料)

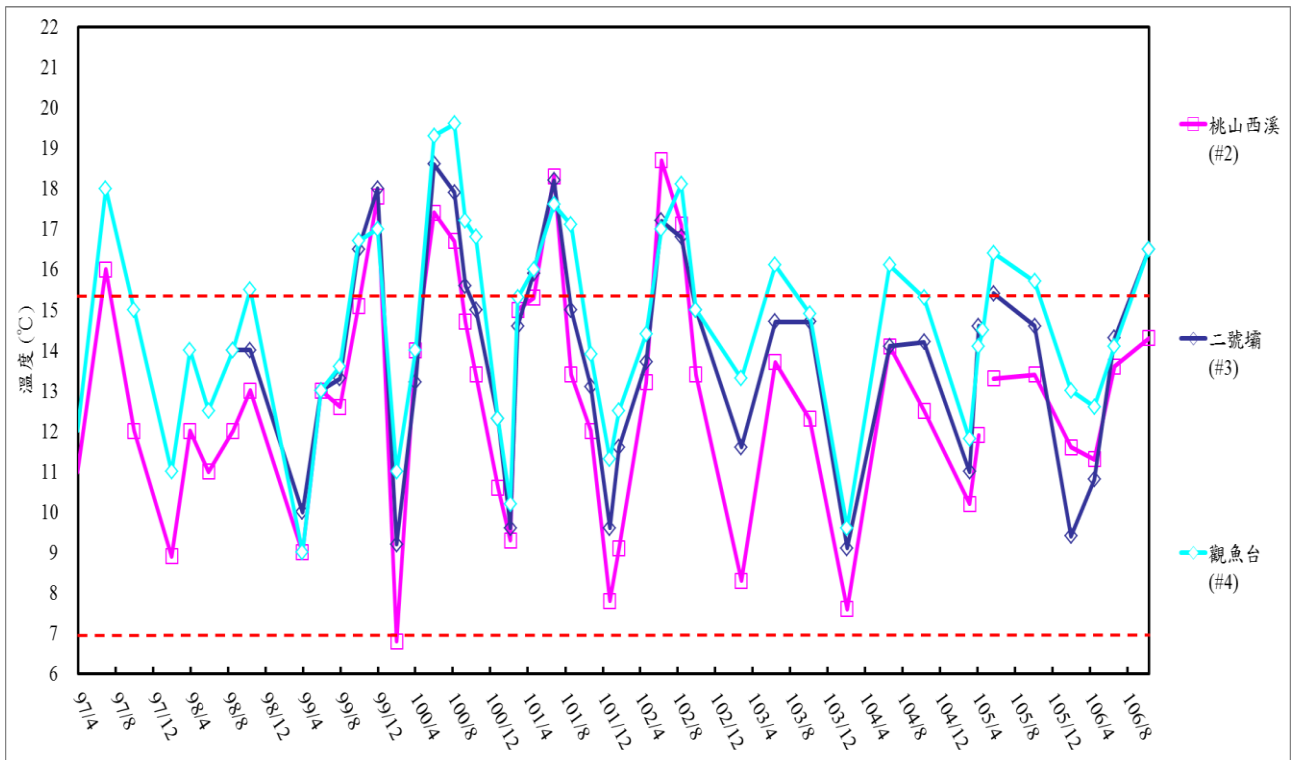


圖 1-47 8.1ha 回收農用地溫度值變化
(資料來源：本研究資料)

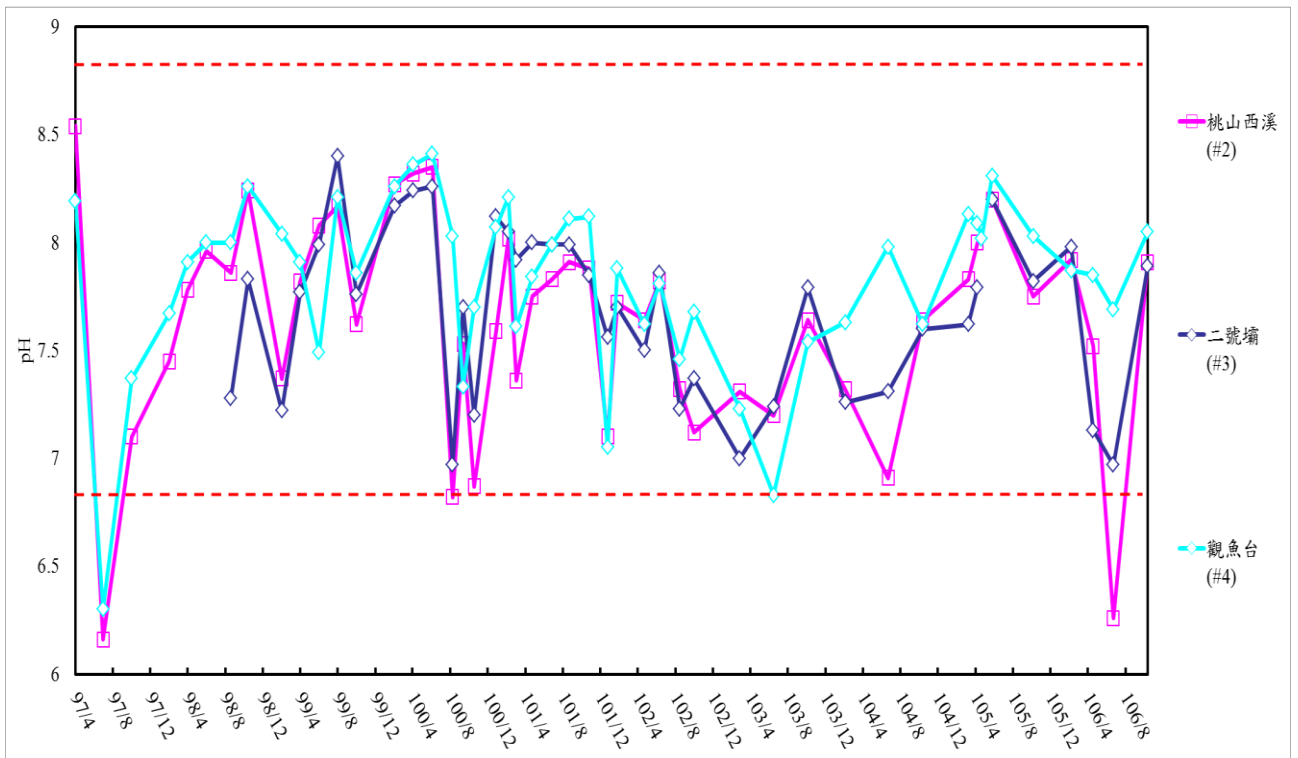


圖 1-48 8.1ha 回收農用地 pH 值變化
(資料來源：本研究資料)

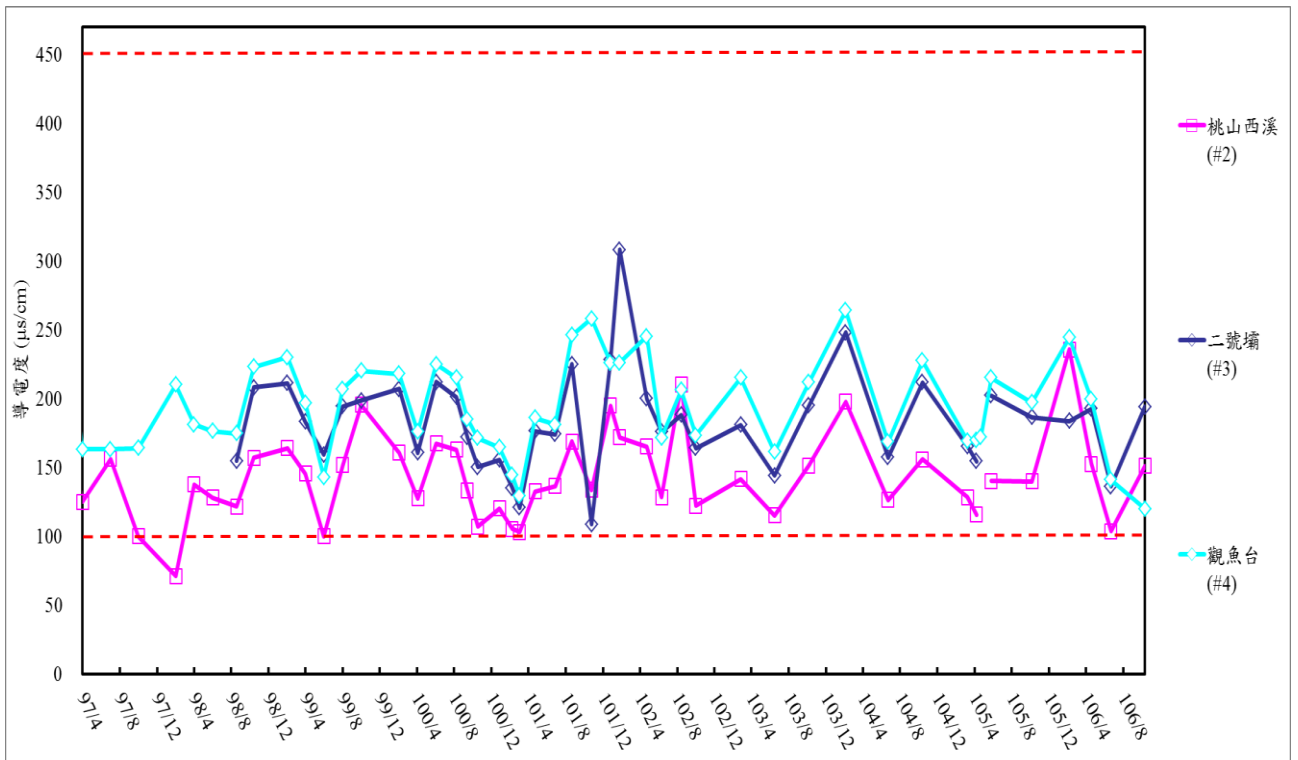


圖 1-49 8.1ha 回收農用地導電度值變化
(資料來源：本研究資料)

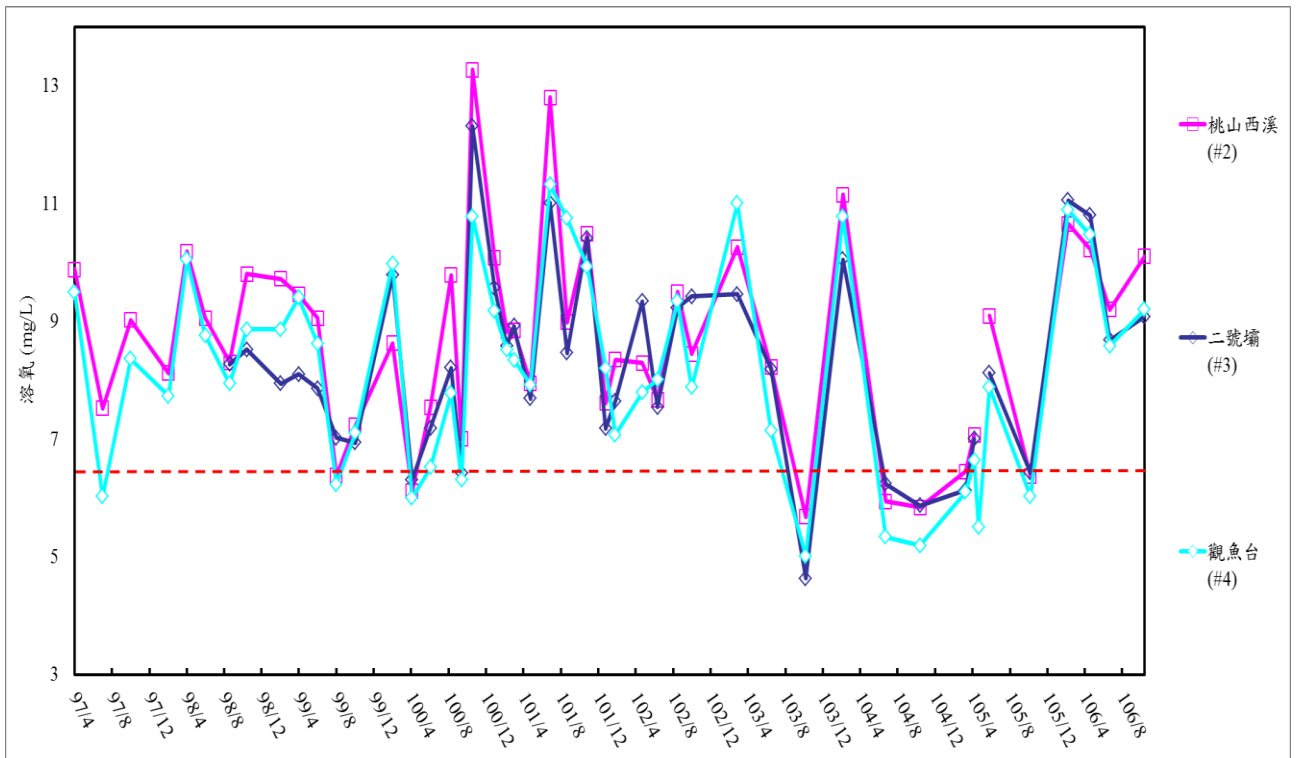


圖 1-50 8.1ha 回收農用地溶氧值變化
(資料來源：本研究資料)

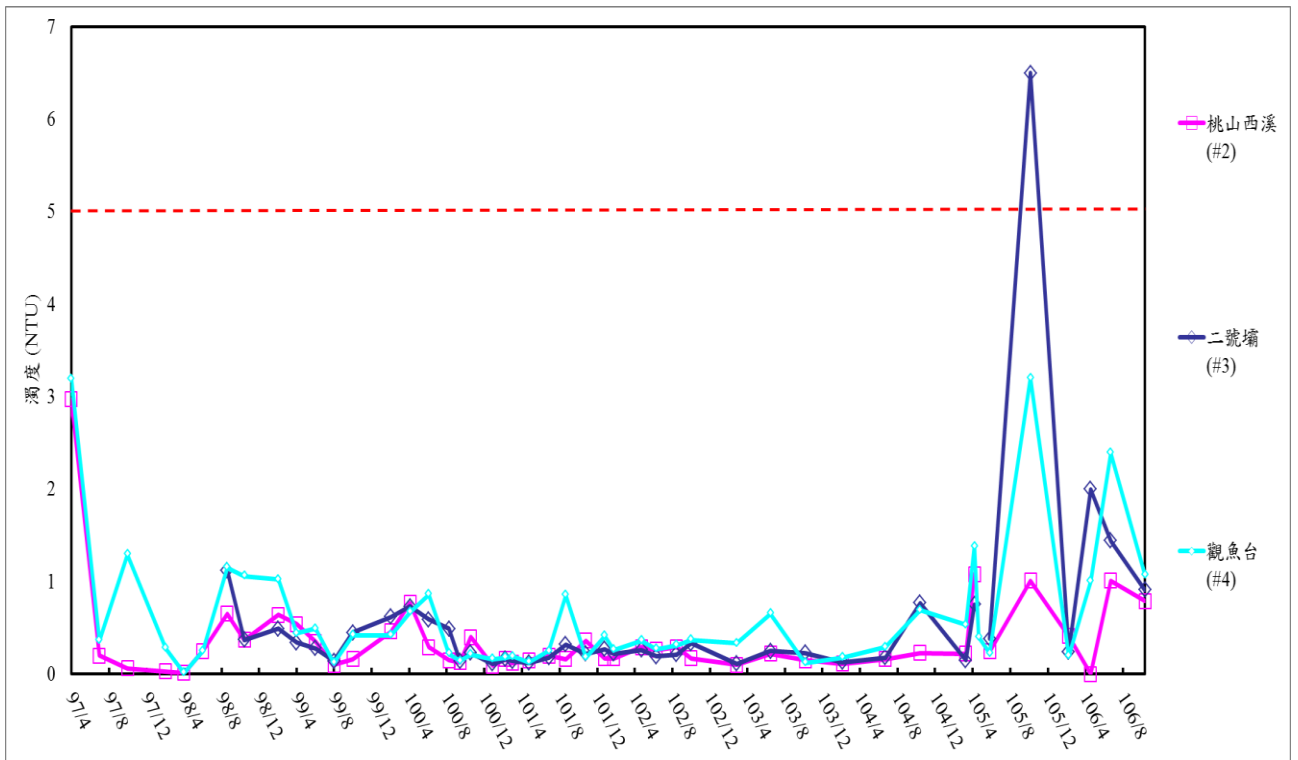


圖 1-51 8.1ha 回收農用地濁度值變化
(資料來源：本研究資料)

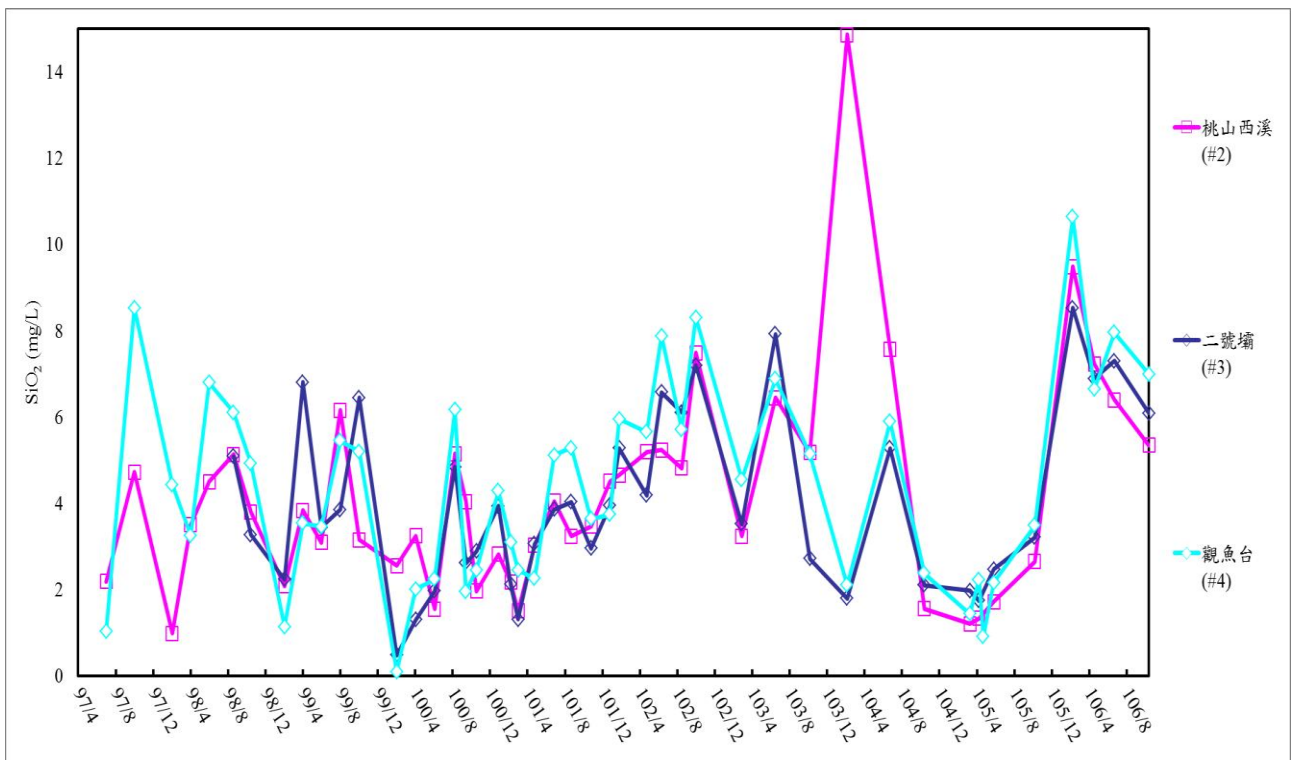


圖 1-52 8.1ha 回收農用地 SiO₂ 值變化
(資料來源：本研究資料)

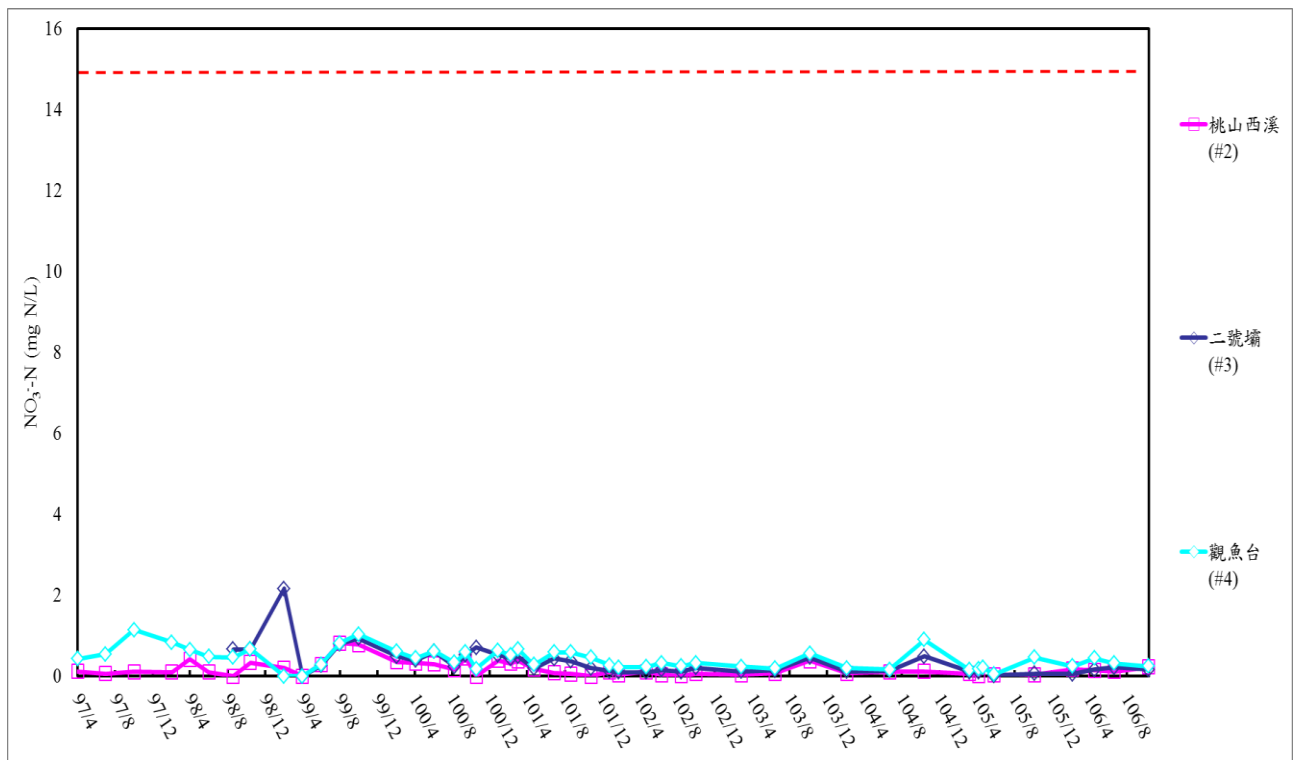


圖 1-53 8.1ha 回收農用地 NO₃⁻-N 值變化
(資料來源：本研究資料)

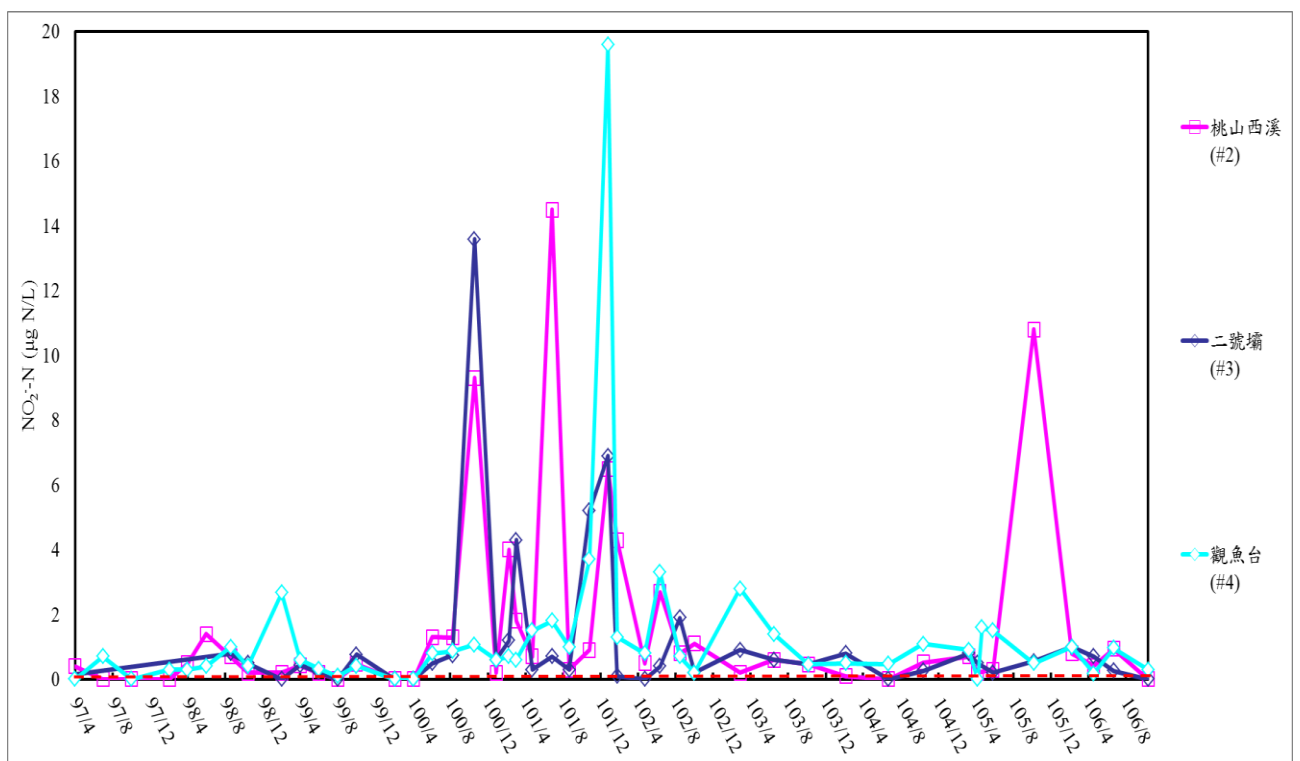


圖 1-54 8.1ha 回收農用地 NO₂⁻-N 值變化
(資料來源：本研究資料)

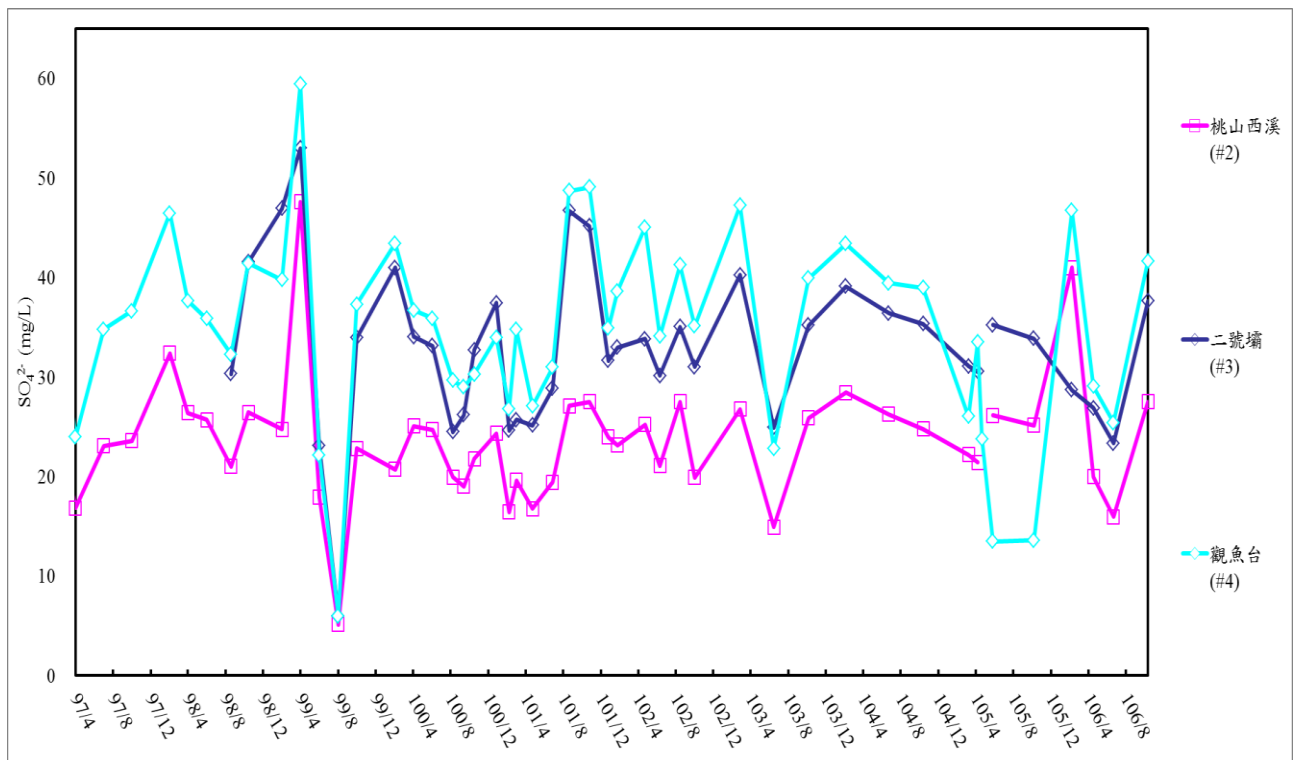


圖 1-55 8.1ha 回收農用地 SO₄²⁻ 值變化
(資料來源：本研究資料)

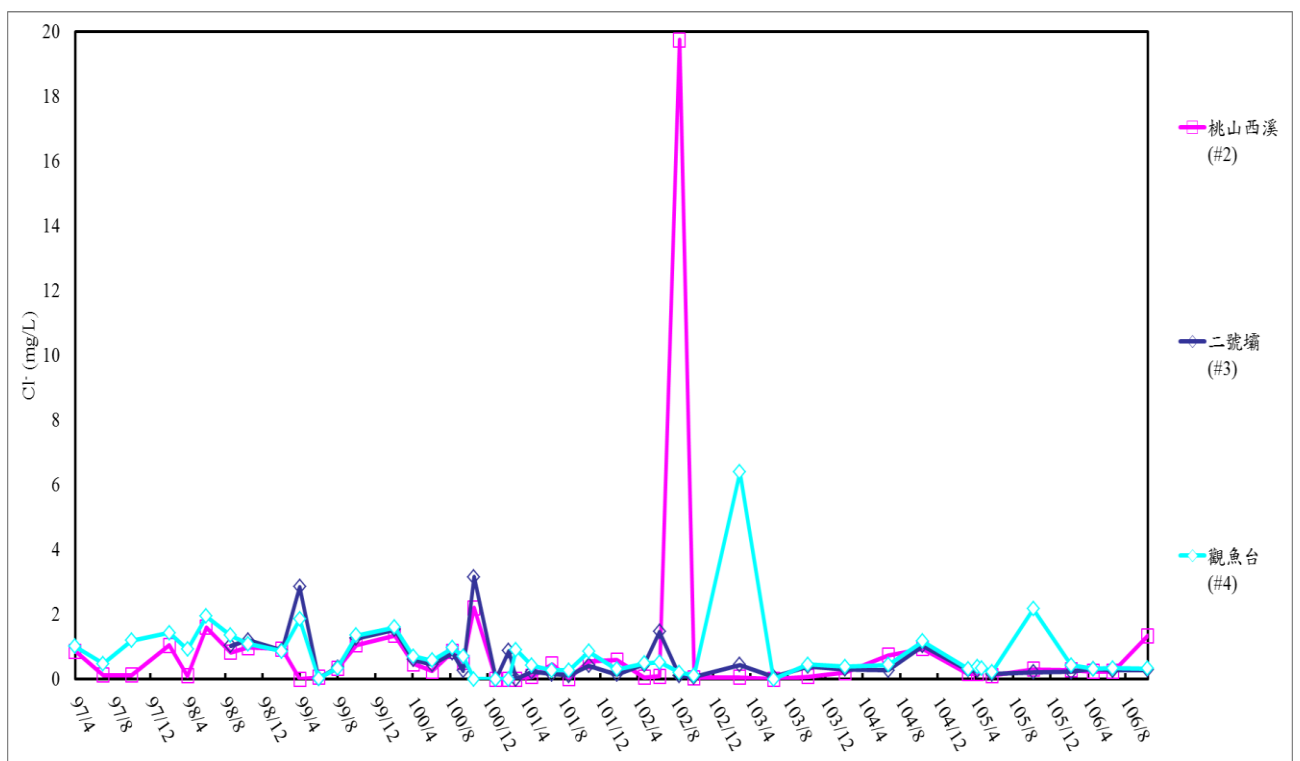


圖 1-56 8.1ha 回收農用地 Cl⁻ 值變化
(資料來源：本研究資料)

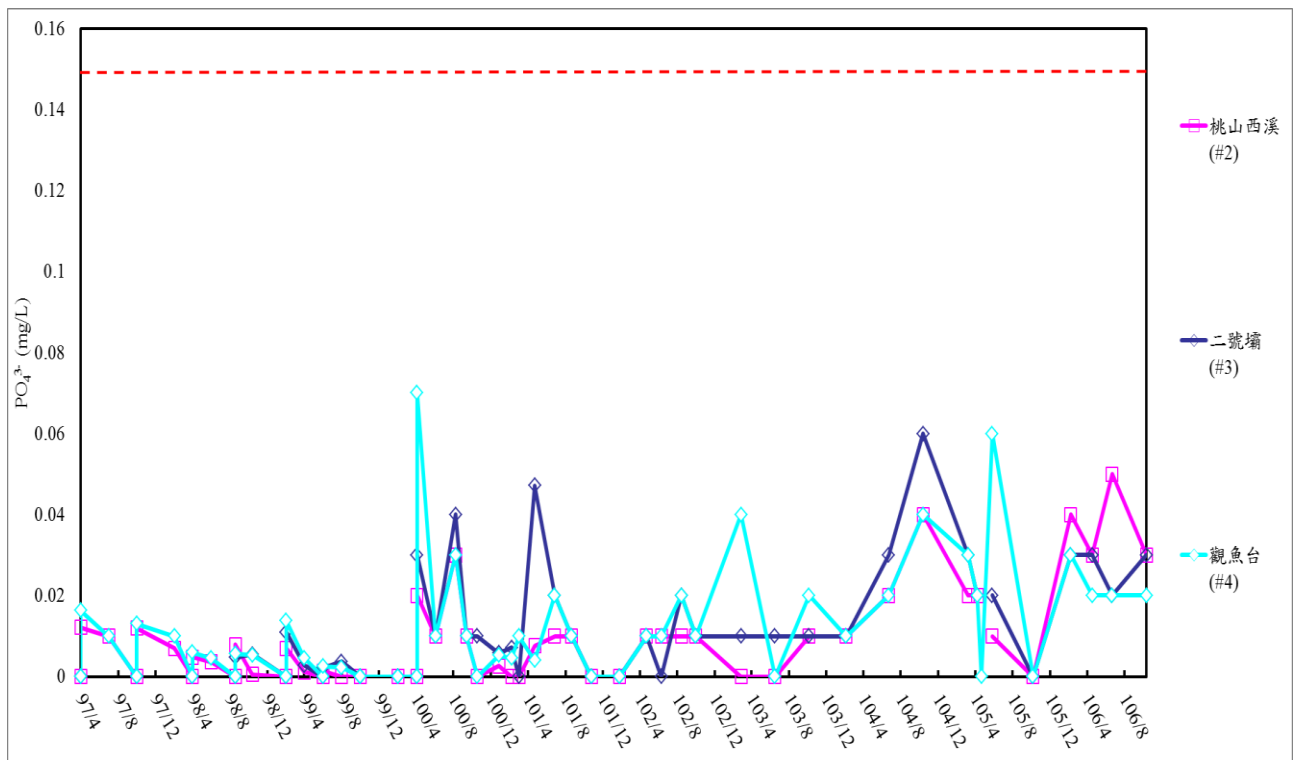


圖 1-57 8.1ha 回收農用地 PO₄³⁻ 值變化
(資料來源：本研究資料)

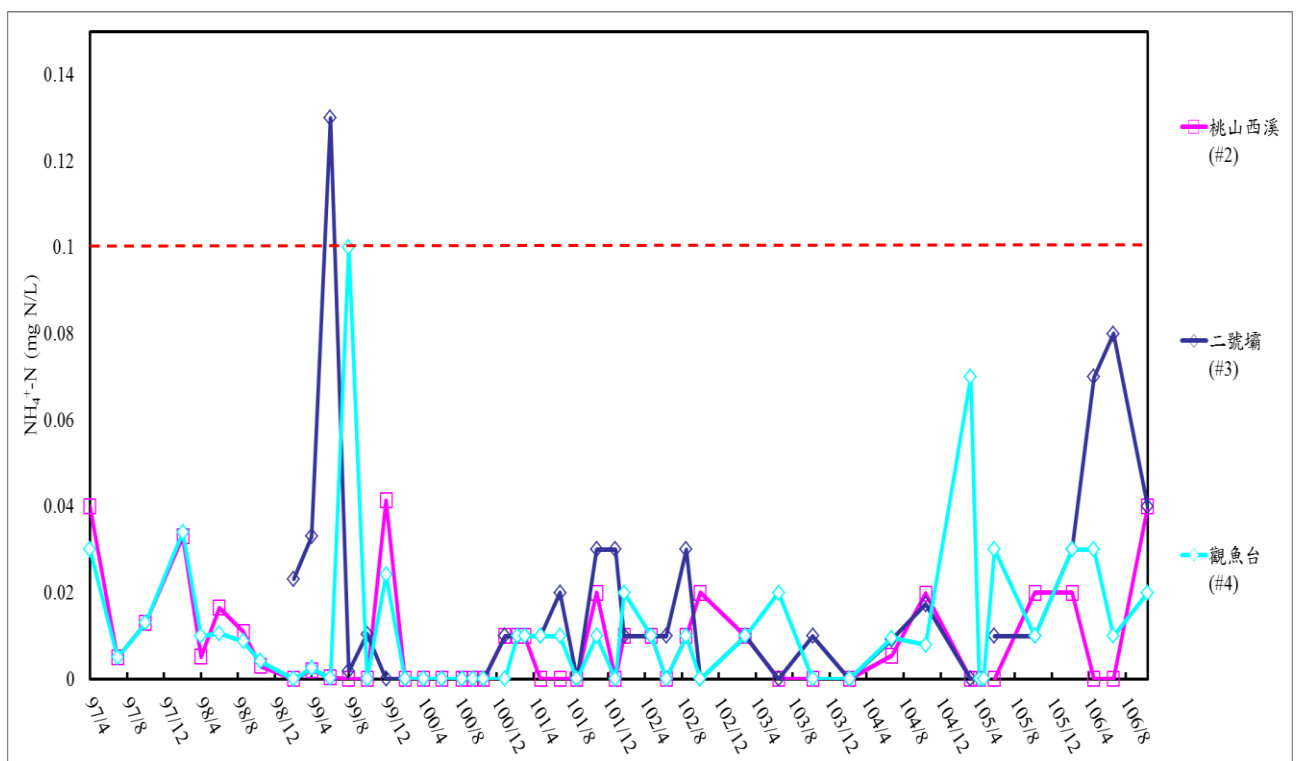


圖 1-58 8.1ha 回收農用地 NH₄⁺-N 值變化
(資料來源：本研究資料)

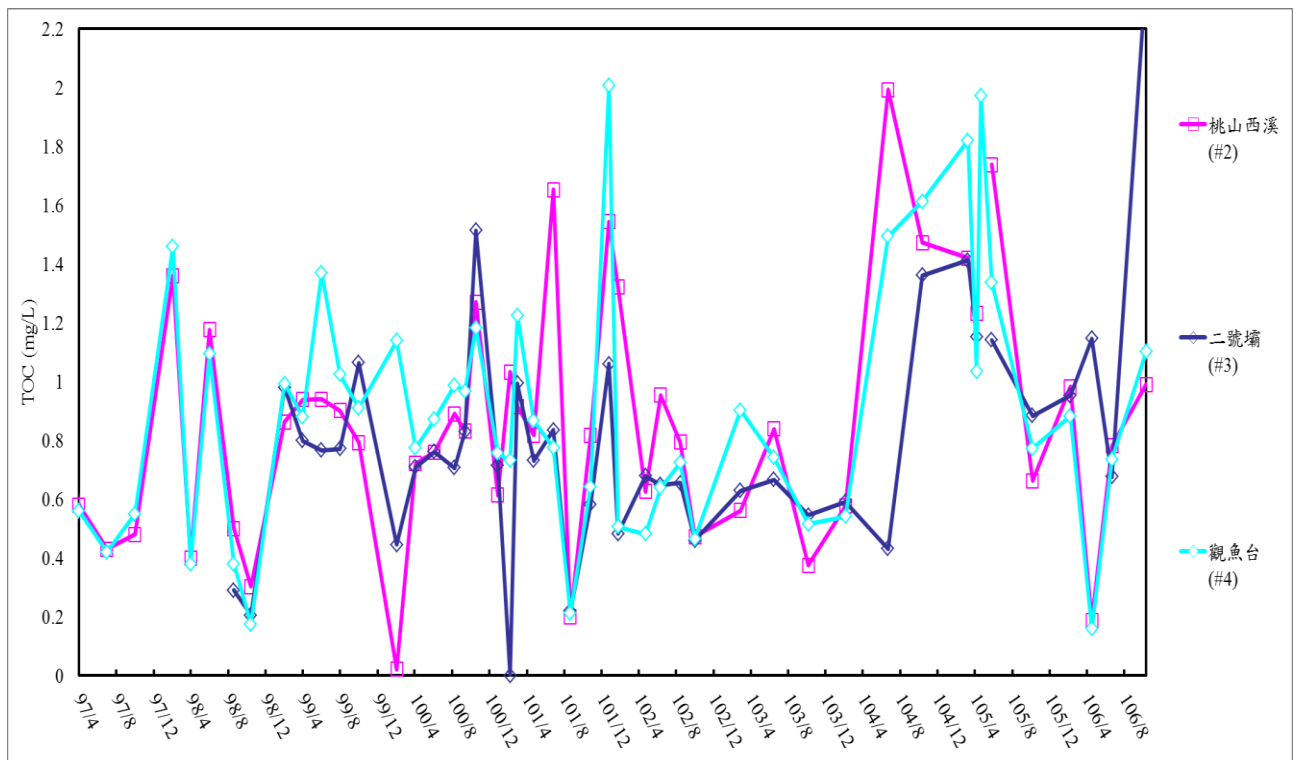


圖 1-59 8.1ha 回收農用地 TOC 值變化
(資料來源：本研究資料)

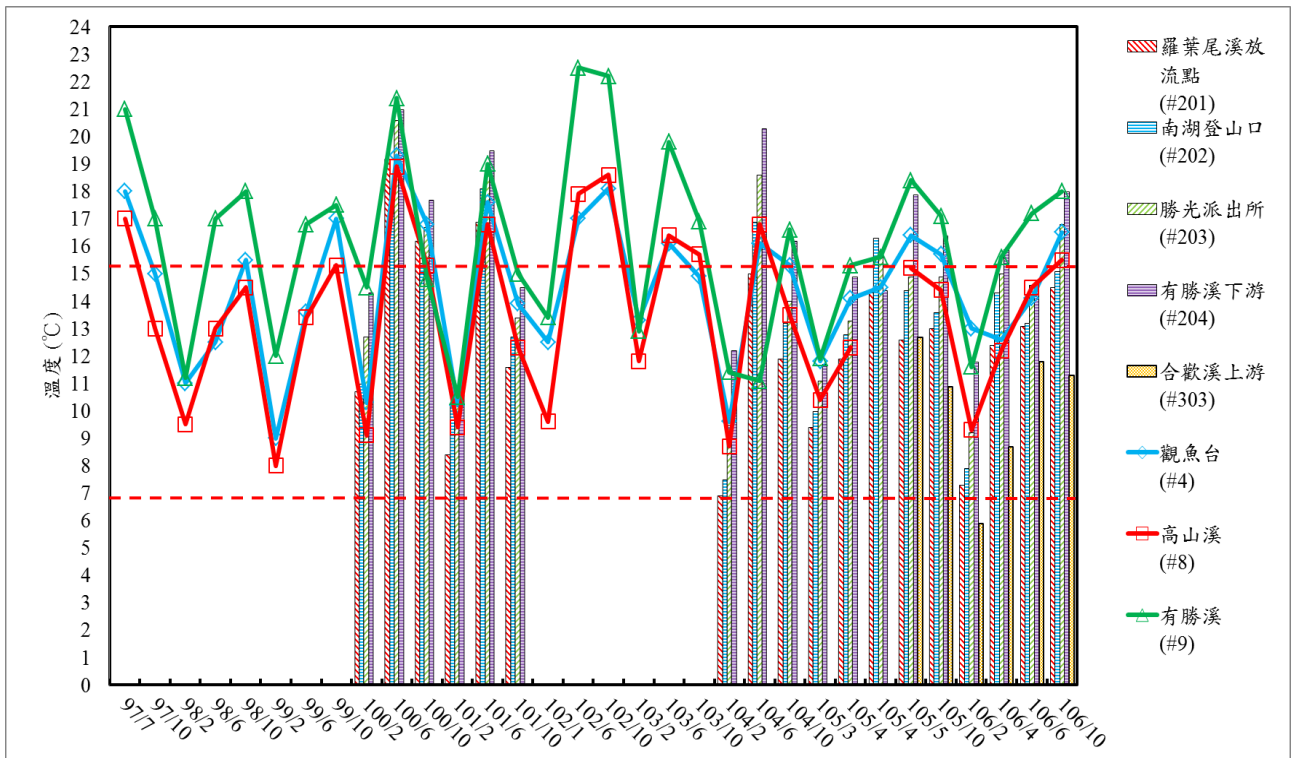


圖 1-60 羅葉尾溪與合歡溪溫度值變化
(資料來源：本研究資料)

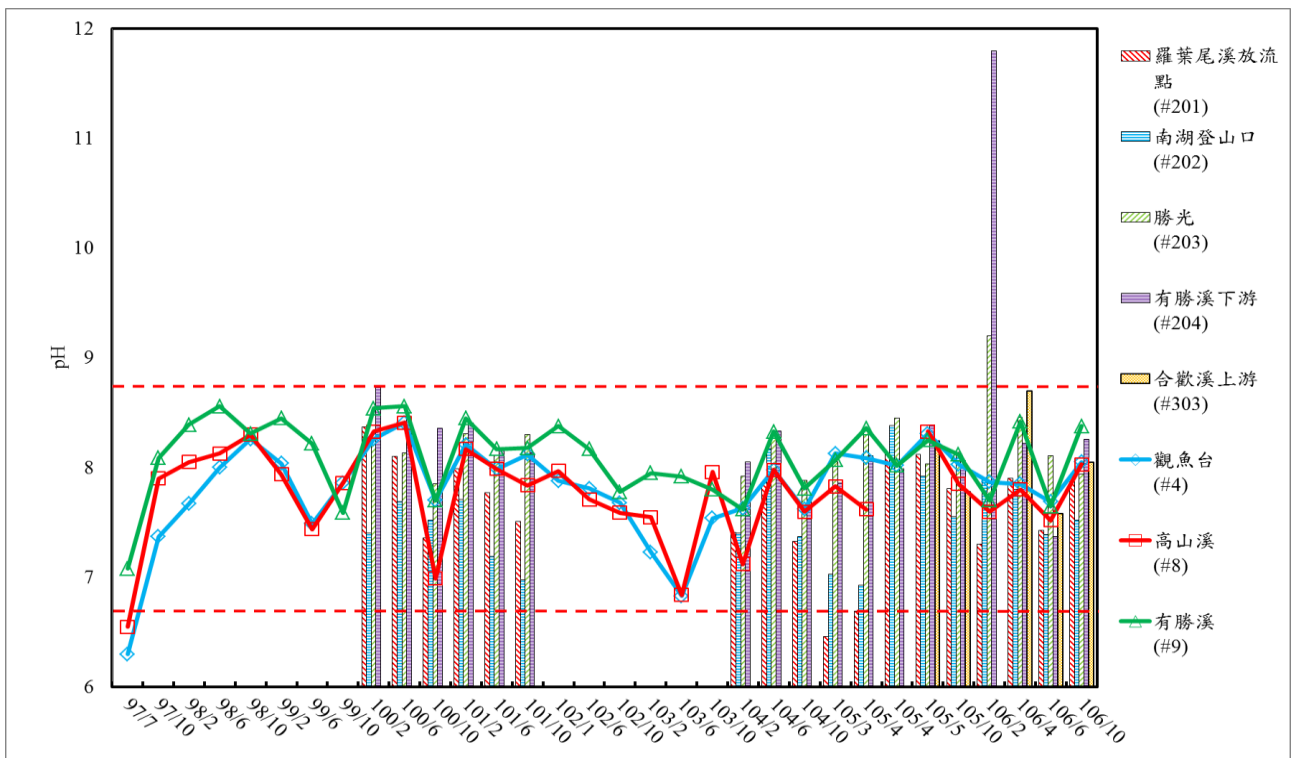


圖 1-61 羅葉尾溪與合歡溪 pH 值變化
(資料來源：本研究資料)

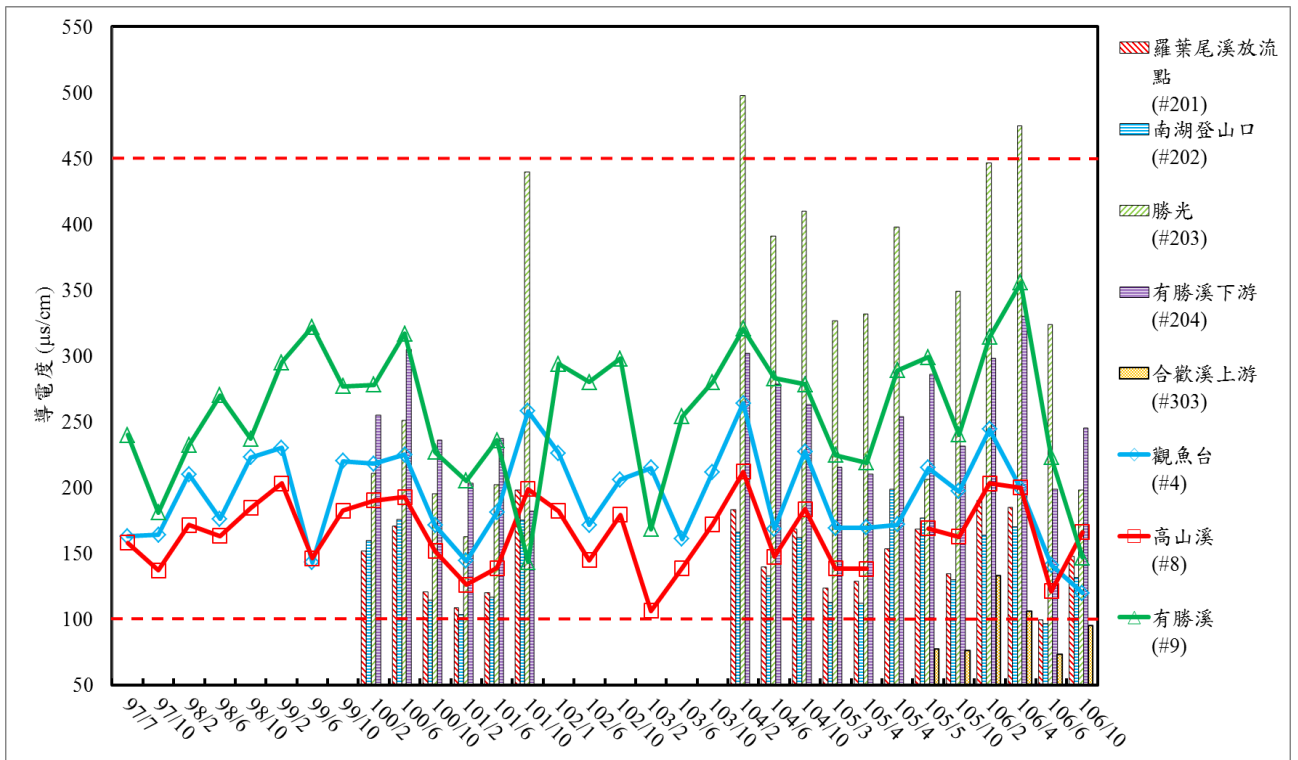


圖 1-62 羅葉尾溪與合歡溪導電度值變化
(資料來源：本研究資料)

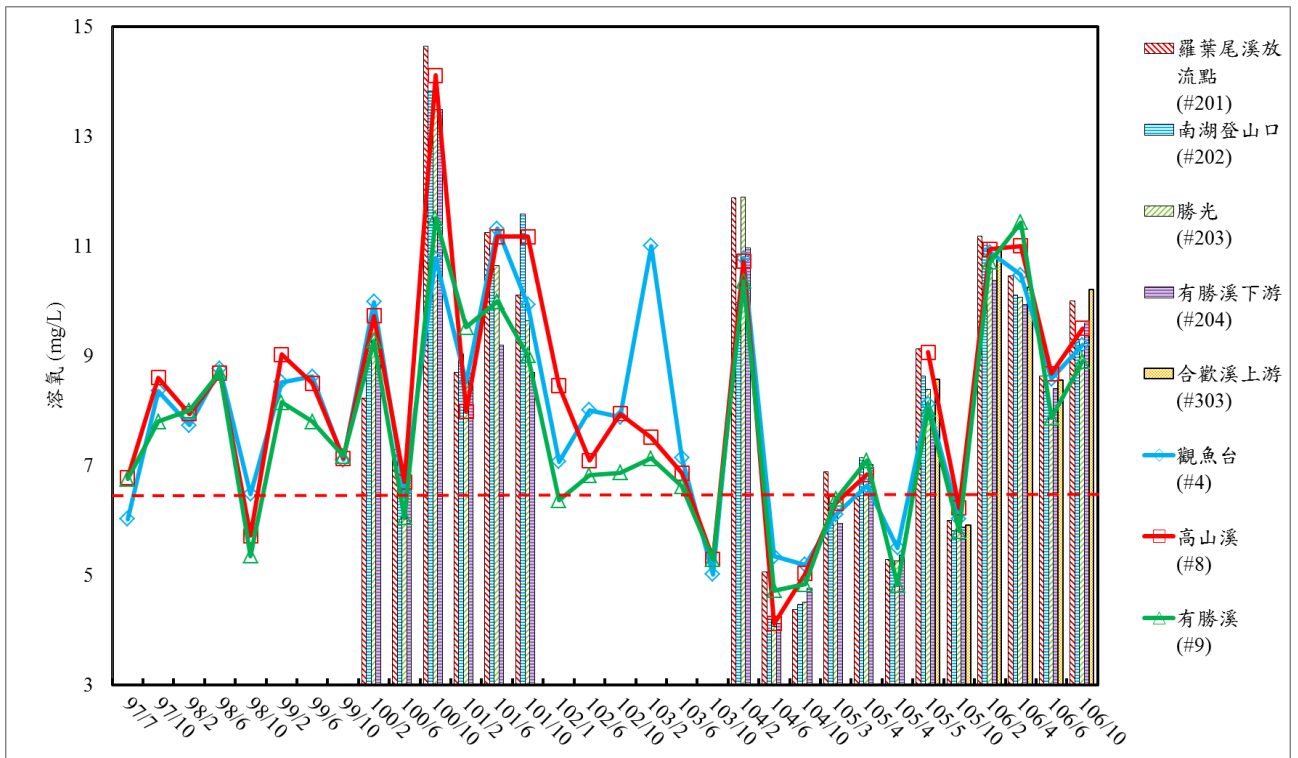


圖 1-63 羅葉尾溪與合歡溪溶氧值變化
(資料來源：本研究資料)

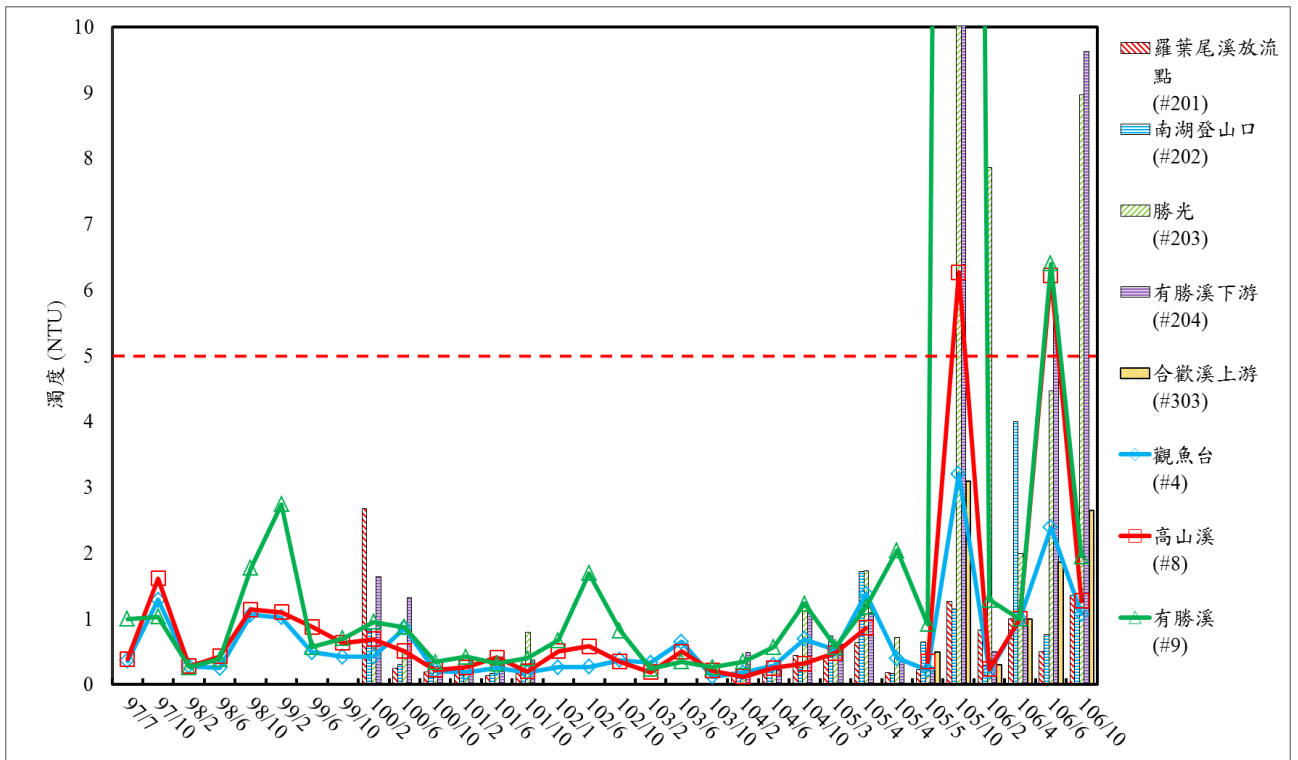


圖 1-64 羅葉尾溪與合歡溪濁度值變化
(資料來源：本研究資料)

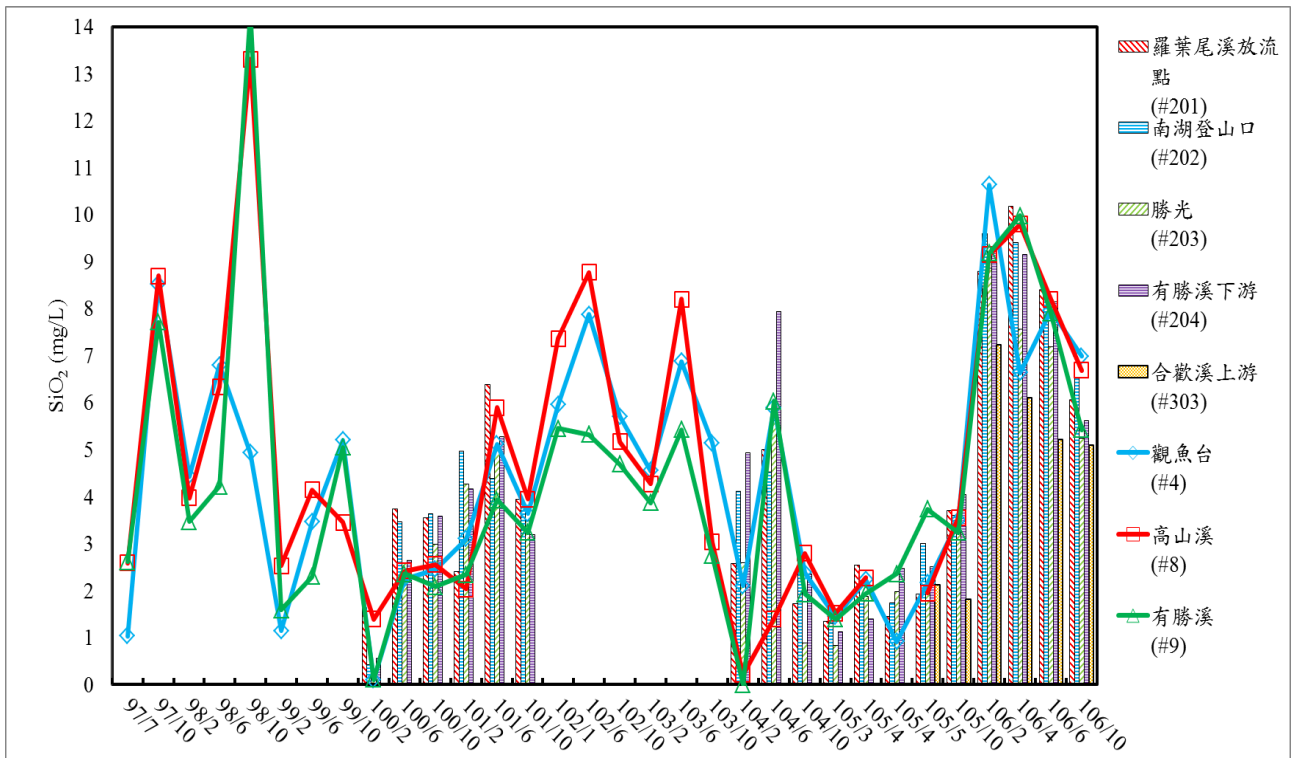


圖 1-65 羅葉尾溪與合歡溪 SiO₂ 值變化
(資料來源：本研究資料)

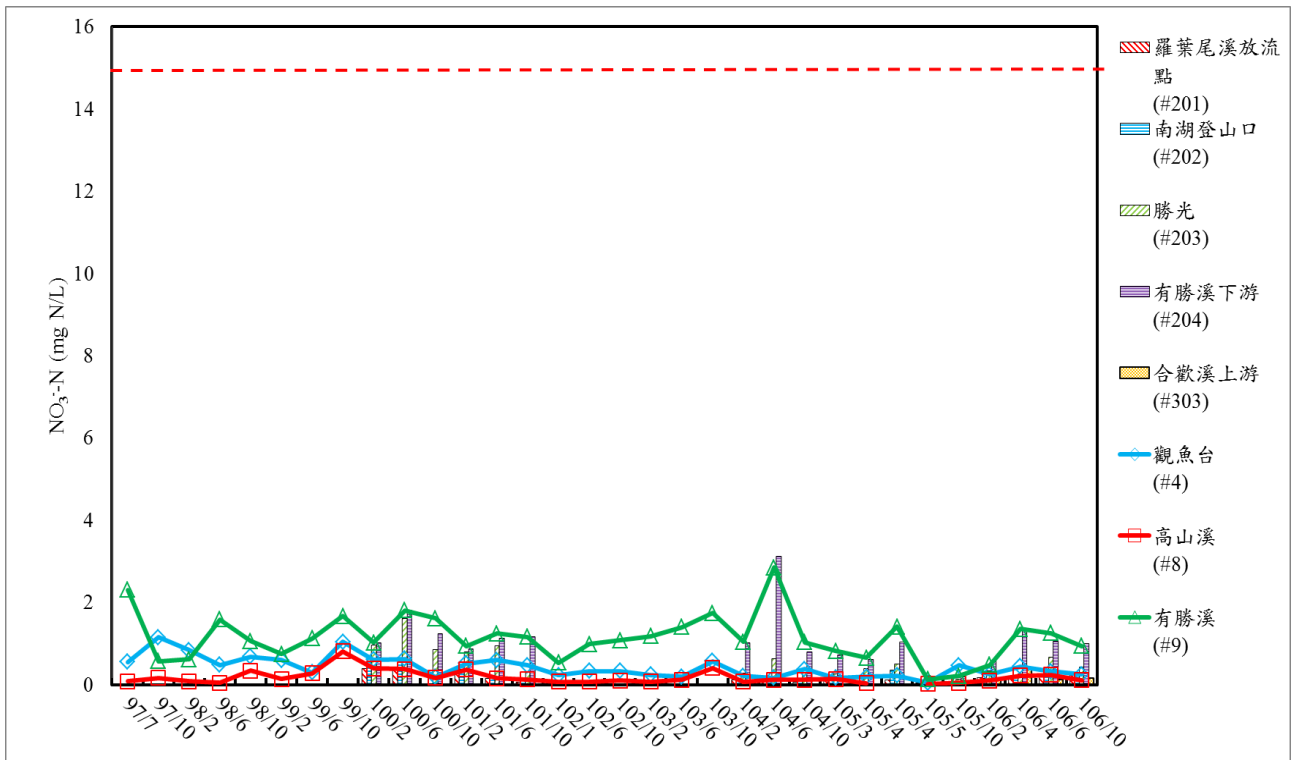


圖 1-66 羅葉尾溪與合歡溪 NO₃⁻-N 值變化
(資料來源：本研究資料)

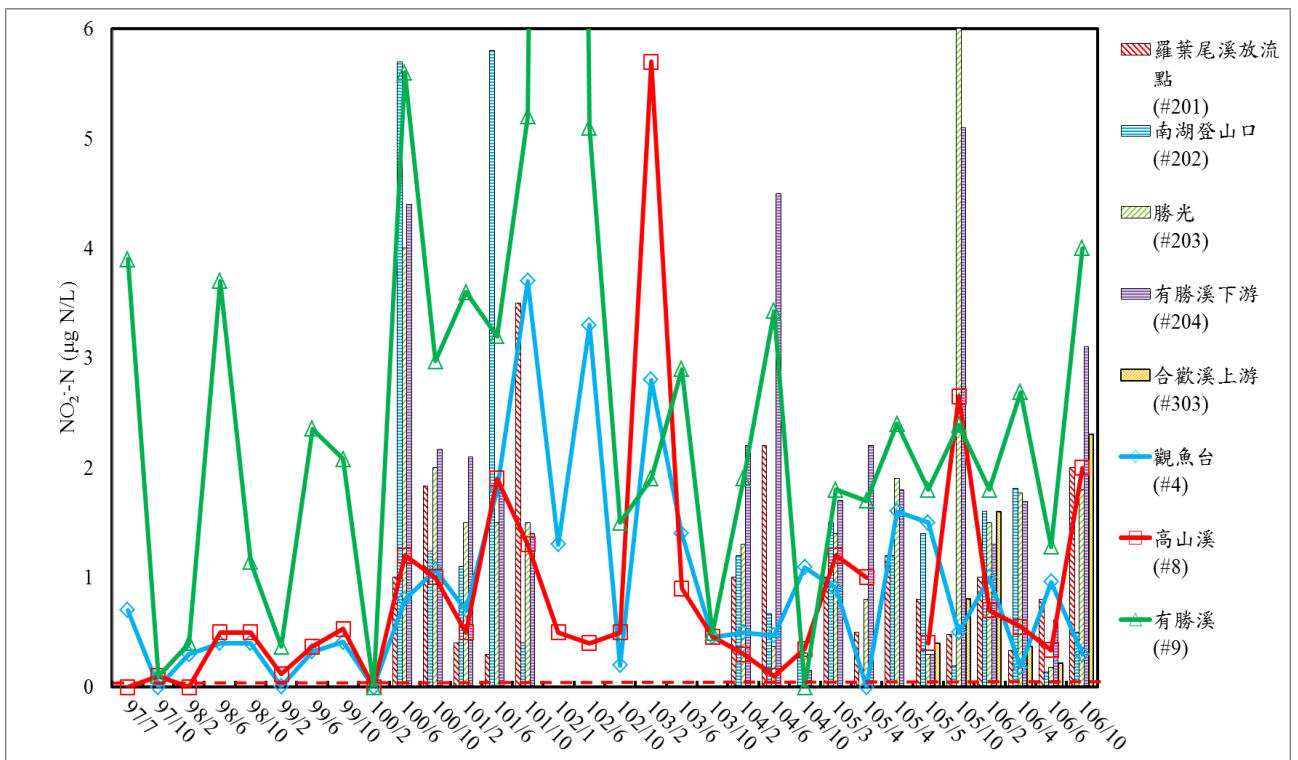


圖 1-67 羅葉尾溪與合歡溪 NO₂⁻-N 值變化
(資料來源：本研究資料)

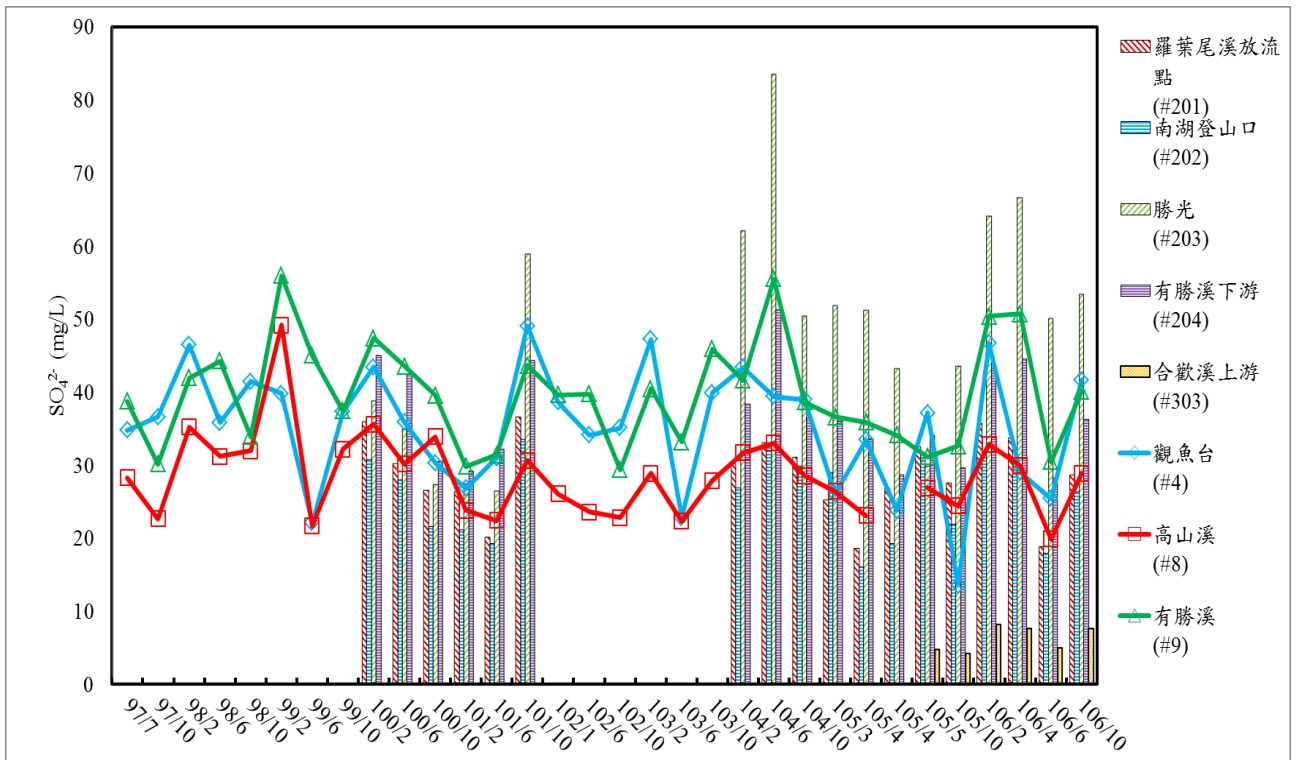


圖 1-68 羅葉尾溪與合歡溪 SO_4^{2-} 值變化
(資料來源：本研究資料)

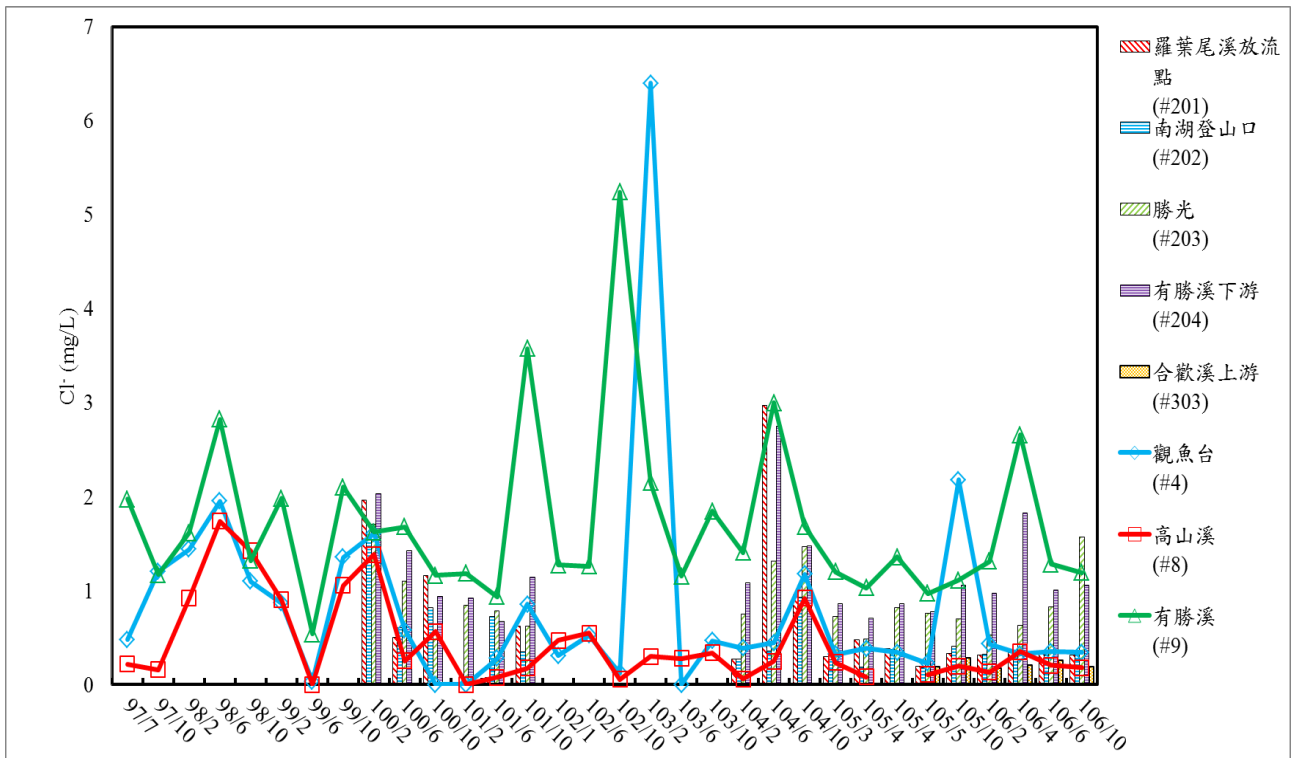


圖 1-69 羅葉尾溪與合歡溪 Cl^- 值變化
(資料來源：本研究資料)

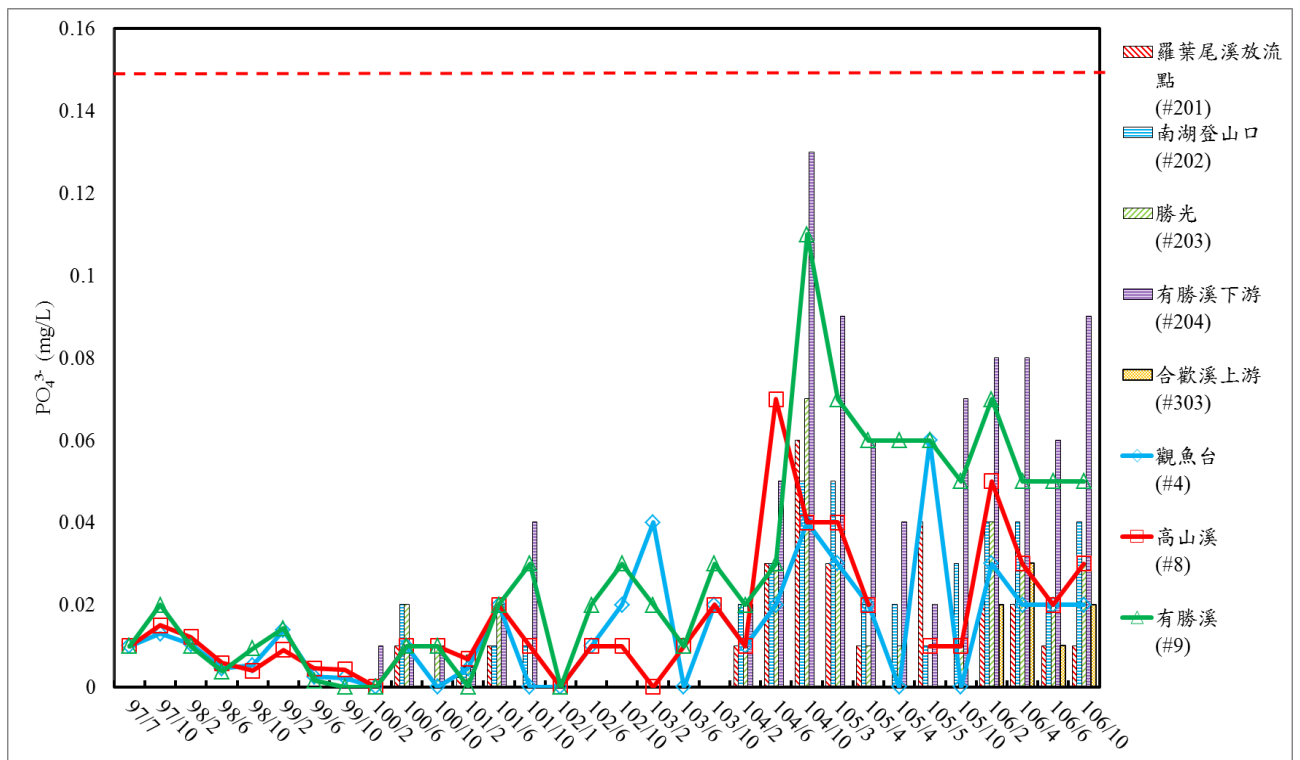


圖 1-70 羅葉尾溪與合歡溪 PO_4^{3-} 值變化
(資料來源：本研究資料)

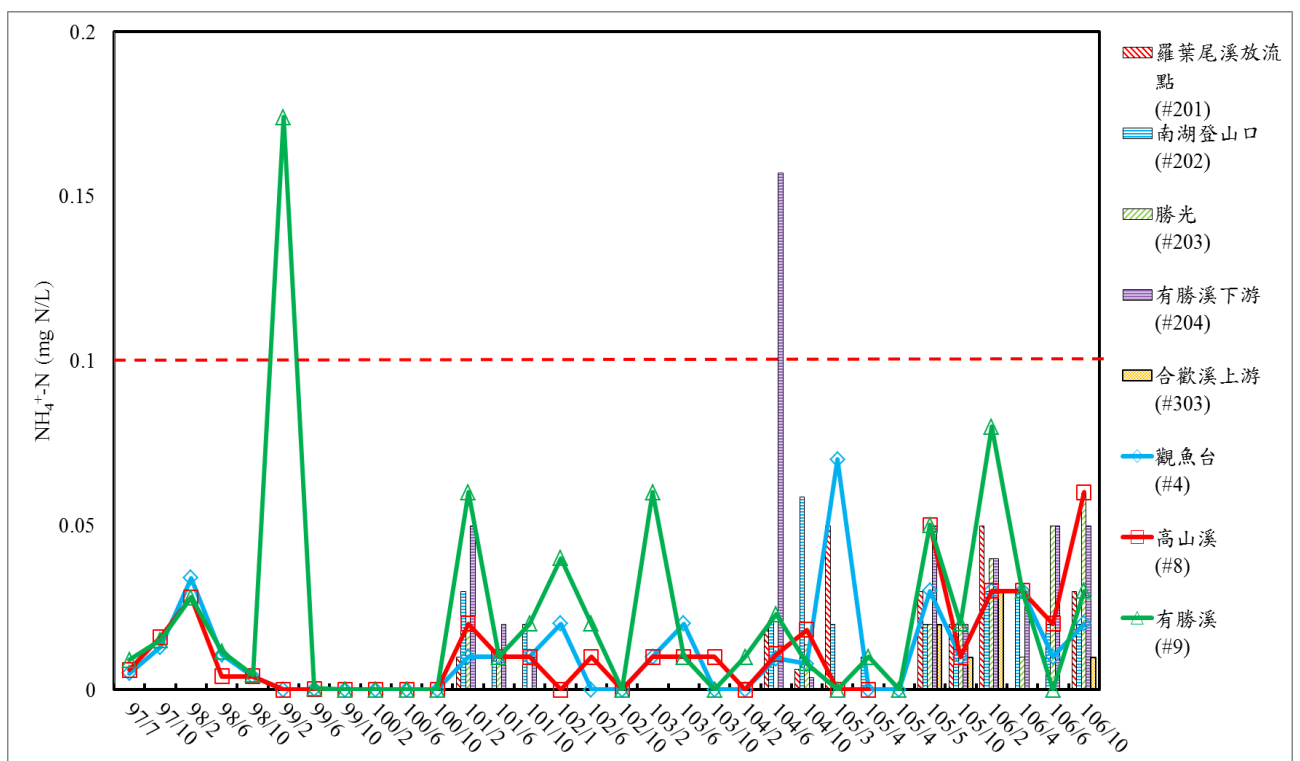


圖 1-71 羅葉尾溪與合歡溪 NH_4^+-N 值變化
(資料來源：本研究資料)

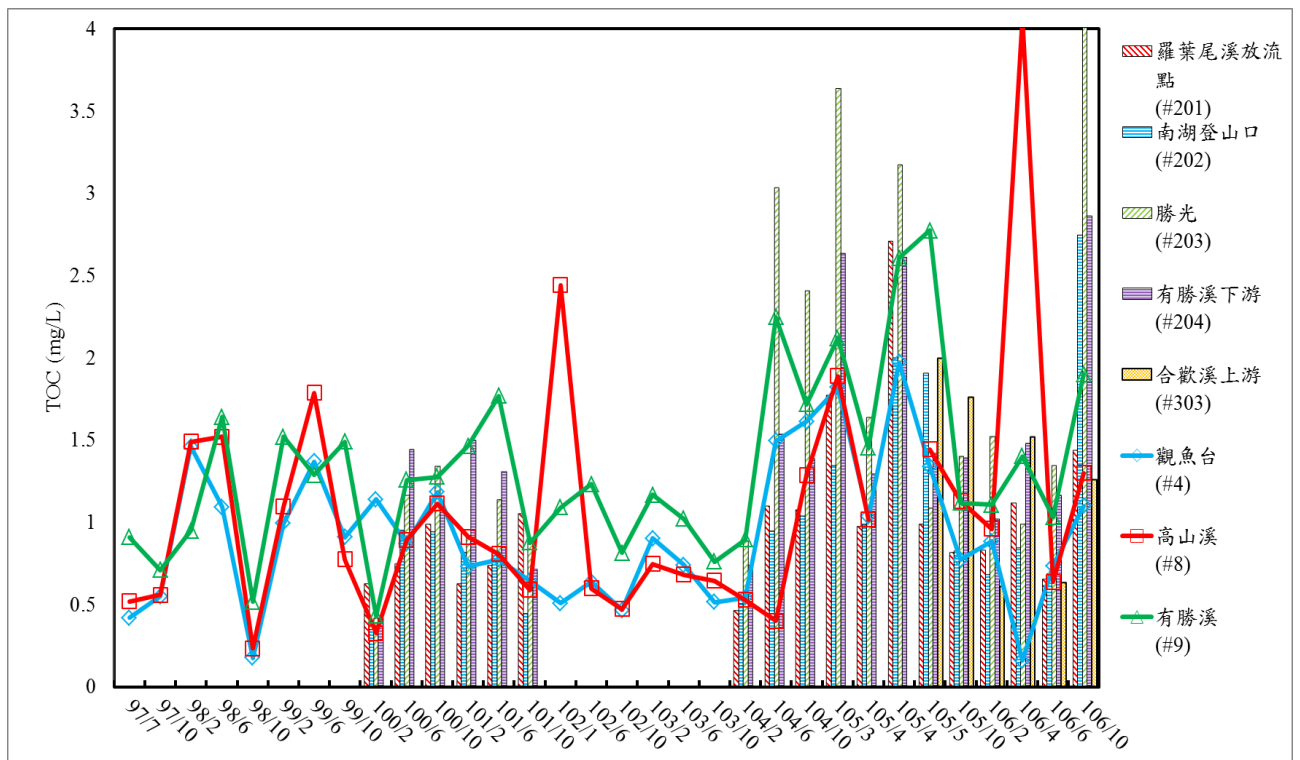


圖 1-72 羅葉尾溪與合歡溪 TOC 值變化
(資料來源：本研究資料)

第二章 物理棲地研究

葉昭憲、蘇柏文、蕭梓宸、溫健成

逢甲大學水利工程與資源保育學系

計畫摘要

關鍵詞：臺灣櫻花鉤吻鮭、七家灣溪、有勝溪、合歡溪、壩體改善、河道演變、棲地組成

研究緣起

雪霸國家公園管理處自成立以來，持續於武陵七家灣溪溪流生態系辦理多項監測，民國 95 年起整合武陵地區各分散生態相關研究，建立七家灣溪溪流生態系長期生態監測模式，並於民國 100 年 5 月完成七家灣溪一號防砂壩改善工程，改善工程之目的為擴大臺灣櫻花鉤吻鮭棲息溪段，增加族群基因交流。完成後發現壩體改善對於水質、藻類等擾動的影響不大，但原分布於七家灣溪下游的臺灣鏟頰魚藉由改善後的七家灣溪一號壩廊道，已可洄游至一號壩上游。又颱風豪雨往往為影響鮭魚族群的重要因子，一號壩的改善有助於被暴漲溪水沖至下游的魚群，上溯回七家灣溪。除持續多年之監測項目外，本年度計畫另著重於有勝溪一號壩壩體改善評估，數據收集及資料分析。因此，本計畫之工作項目包含以下各項：

- (一) 進行溪流物理棲地調查所需河道斷面、棲地底質與棲地類型等項調查等。
- (二) 設置樣區進行溪流流量實測。
- (三) 與歷年監測結果進行動態變化分析。
- (四) 物理棲地模式模擬。
- (五) 有勝溪壩體改善評估。
- (六) 七家灣溪一號壩歷史變動。

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。

重要發現

經過本計畫前四次調查，進行河道高程變動及棲地底質變化比較與分析，在年初和汛期前調查結果顯示，七家灣溪與有勝溪河道沖淤互現，但變動程度並不明顯。去年汛期後

進行第三次量測，歷經颱風及較強降雨事件，河道高程及棲地變化稍為顯著，且多處河道發生流心改變或分流，年初第四次測量，雖因海拔較高較不受臺灣地區遭逢 46 年來冬季最少降雨量影響，流量仍然減少造成部分河段產生淤積，其中以登山口樣站與支流匯流出灘地有較明顯土砂淤積，原無水段擴張為 500 公尺；高山溪二號壩口處形成約 4-5 公尺高之殘材堆積，阻斷櫻花鉤吻鮭棲地連貫性；合歡溪經颱風事件後，河道內細粒料產生輸移現象，但整體變動並不大。

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

1. 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、農委會林務局保育組

高山溪二號壩口殘材阻斷櫻花鉤吻鮭洄游通道，破壞高山溪棲地連貫性，應儘速移除殘材。

2. 長期性之建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：林務局、農委會林務局保育組

本年度進行有勝溪全河道高程測量與基本資料調查，未來仍需持續基本資料數據蒐集，以便爾後進行收費口壩體改善評估。

Abstract

1. **Research Purpose:** To understand the transition of channel morphology after dam removals in Chichiawan Creek along with the fundamental information of Yusheng Creek, this project implemented longitude and cross sections survey and habitat composition analysis at the observation sites.
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, both the channels of Chichiawan Creek and Yusheng Creek had not experienced significant change but minor deposit or scour locally in the first two surveys. However, the typhoons in August and September brought large rainfall in the observation sites and produced relative obvious changes in channel morphology, substrate composition, and physical habitat composition. The original dry channel of 400 meters long has temporarily shortened into 370 meters.

Keywords: The Formosan salmon, Chi-Chia-Wan Creek, Yu-sheng Creek, Hehuan River, Dam Removal, Channel Morphology Change, Habitat Composition.

一、前言

(一) 計畫緣起與背景

雪霸國家公園管理處自成立以來，持續於武陵七家灣溪溪流生態系辦理多項監測，民國95年起整合武陵地區各分散生態相關研究，建立七家灣溪溪流生態系長期生態監測模式，並於民國100年5月完成七家灣溪一號防砂壩改善工程，改善工程之目的為擴大臺灣櫻花鉤吻鮭棲息溪段，增加族群基因交流。改善工程完成後發現，壩體改善對於水質、藻類等擾動的影響不大，但原分布於七家灣溪下游的臺灣鏟頰魚藉由改善後的一號壩廊道，已可上溯至一號壩上游。又颱風豪雨往往為影響鮭魚族群的重要因子，一號壩的改善有助於被暴漲溪水衝至下游的魚群，洄游至七家灣溪上游。今年度為此兩年計畫之第二年，故持續於七家灣溪一號壩壩體改善後，針對河道環境及棲地組成進行調查監測；除原本有勝溪並包含其上游羅葉尾溪之河道環境調查，亦對去年新增潛在放流點合歡溪持續進行河道、棲地與底質調查；此外，今年度計畫針對有勝溪一號壩樣站進行壩體改善之水理模式模擬，以作為後續棲地改善之參考。

(二) 計畫範圍與執行期間

本年度計畫之研究範圍為有勝溪全河段至羅葉尾溪、有勝溪收費站樣站、有勝溪下游2公里樣站、有勝溪勝光派出所樣站、有勝溪登山口樣站、有勝溪羅葉尾樣站、七家灣溪全河段至三號壩、七家灣溪觀魚臺河道與高山溪匯流口間河道、七家灣溪一號壩上下游河段、合歡溪之比較監測；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。計畫之執行期間為民國一〇五年一月至民國一〇六年十二月。

二、研究方法及過程

河川地形之變動受眾多環境因素所影響，但多能保持在「動態平衡」之狀態。Mackin (1948) 曾指出，「平衡河流」為當控制因素發生變化而使河流失去平衡時，河流會自動調整作用，使這些變化所帶來的影響受到遏制，從而使整個系統又逐步回到平衡。對某一河段而言，在特定流量狀況下，有特定之泥沙量進入及輸出該河段。若此輸出入泥沙量不相等，則河流便透過沖淤變化進行調整，以改變河床型態和邊界物質組成，來調整此河段之輸砂能力，以保持該河段之動態平衡。若因外在原因涉及範圍很廣且引起河流巨幅變化時，則需透過改變流域產生逕流與泥沙之條件，以減緩河流調整之強度。在「平衡河流」系統中，氣候因素、自然地理及地質條件可視為系統之輸入單元，流域特徵（包含人為活動）則是系統之本體，而河流特徵以及水力條件則可視為系統之輸出單元。但是，系統輸出亦會造成系統本體之改變，進而形成系統反饋作用。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。因此透過定期監測及分析將可定義出其變化趨勢。

(一) 河道地形變化趨勢

河床高程受自然（颱風豪雨）或人為（壩體改善）干擾後，隨著時間變化呈現非線性函數關係。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. 斷面測量

河床高程受干擾後，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。本研究以全測站電子光波測距經緯儀（圖2-1）為測量器材，用來取得河道各斷面之點位及高程；電子全站儀為測量距離快速準確的現代儀器，首先定位儀器測站及後視點之座標及高程，利用兩點間相對位置，再利用全站儀發射紅外光至稜鏡，再接收稜鏡反射之信號，紅外光線往返儀器的時間可以計算其與稜鏡之間距，加上稜鏡高度即可推得測量點位之三維座標，最後量測一已知點進行閉合差校正，以減少量測時所產生之誤差。河道斷面測量主要分為橫斷面測量及縱斷面測量，利用斷面測量結果進一步推得河道地形資料。

2. 橫斷面測量

(1) 橫斷面量測位置主要為河槽地形變化的轉折點，且包括各斷面之左岸底、左岸水際線、深槽點、右岸水際線及右岸底。

(2) 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。

3. 縱斷面測量

- (1) 將前述測量所得各橫斷面之深槽點予以連線後，即可推得河道水流之流心線。
- (2) 利用各斷面累距（橫軸）及流心線高程（縱軸）點繪於二維座標圖上，即可獲得該次測量之河道縱斷面圖，若將各次縱斷面圖點繪於同一圖上便可透過縱斷面高低起伏之變化，即可推算研究河段環境變化後之高程演變趨勢。

(二) 物理棲地組成

本計畫沿用過去WLTERM群體計畫所設置之間距20 m穿越線，首先測定各河段之溪寬，其次於溪寬1/4、1/2和3/4處，分別量測水深、流速和底質粒徑，藉以判定棲地類別。最後利用不同觀測時段之各河段物理棲地組成，歸納其變動趨勢。各項資料調查方式，分別敘述如下：

1. 溪寬：在各穿越線上利用防水捲尺測量橫越水面之兩岸標定位置間長度，其測量精準度為0.1 m。
2. 水深：針對穿越線上各設定點，以五米五節箱尺或自製刻度木尺量測床底至水面之深度，測量精確度為0.1 m。
3. 流速：標準流速量測係在水面下距底部約六成水深的位置，以流速計放置15秒以測出流速。若為避免流速計在淺水點位造成量測干擾，則會運用其它快速測量方式，包括浮標法（以浮標通過已知距離所須之時間估計逕流流速）或手持流速計測定表面流速。因此，考量本計畫研究範圍之溪流現場條件下，流速量測以SVR（Surface Velocity Radar）手持式雷達波流速儀進行。
4. 底質：棲地底質通常由不同大小之砂石所組成，故在各測點判定主要底質石種類時，通常以腳踏法和目視法判斷佔較高比例之砂石粒徑，其分類對照與粒徑範圍如表2-1所示。並於測量斷面水面寬左岸1/4、中間1/2和右岸1/4處隨機選取樣品（圖2-2），利用開口樣板（圖2-3）量測粒徑大小，並進行記錄。
5. 棲地分級：根據學者研究（Leopold, 1969），水流型態可歸類為水潭（pool）、緩流（slow water）、湍流（淺瀨）（riffles）、急流（rapids）、等四種流況。本研究利用水深與流速之量測值計算出福祿數（Froude Number） $F_r = V/\sqrt{gh}$ ，以便對四種水流型態所對應之棲地類型予以定義（賴建盛，1996；表2-2），公式及表中之V為流速，g為重力加速度，h為水深。

根據各種棲地及底質類型在觀測河段之所佔百分比，本計畫利用Simpson多樣性指標（SIDI）計算河川棲地以及底質多樣性指標，其公式如下：

$$SIDI = 1 - \sum_{i=1}^4 p_i^2$$

式中Pi為第i種棲地或底質類型所佔比例；若SIDI值為0，表示該河段棲地或底質類型單一化無多樣性，若多樣性指標值越大則代表棲地或底質多樣性越高。

香農-韋納（Shannon-Weiner index）多樣性指標與Simpson多樣性指標（SIDI）同樣為評估群集中物種的組成情形的一種方法，香農-韋納（Shannon-Weiner index）公式：

$$H' = \sum_{i=1}^S (p_i)(\ln p_i)$$

其中H'為多樣性指數、S為樣品中的種類總數、Pi為第i種的個體數（ni）與總個體數（N）的比值（ni/N）。在計算上，香農-韋納多樣性指標強調物種之均勻度、相較於辛普森多樣性指標，香農-韋納多樣性指標單項數目不可為0，而辛普森多樣性指標強調物種中的優勢種，其含義為1減去隨機取樣之兩個個體為不同種的機率，因此辛普森指數為0至1的一種指數，其值越高代表特定目標機率越大。

（三）有勝溪一號壩改善之河道變動模擬

1. 二維水理模式（CCHE2D）

CCHE2D模式為美國國家計算水科學及工程中心(National Center for Computational Hydroscience and Engineering, NCCHE)所發展，目前其他相關模式包含有CCHE1D、CCHE2D、CCHE3D、CCHE-Flood、CCHE-WQ、CCHE2D-Coast、CCHE-Tide等。該中心研發一系列計算水利相關之模式，以解決河川工程與環境問題為目標，經過許多案例之檢定後，將其模式推展應用於世界各地，成效良好。

2. 模擬方式

本研究據翁崇豪(2017)利用CCHE2D二維動床模式針對有勝溪一號防砂壩進行不同壩體改善方式模擬，以瞭解其對河道可能造成之影響；依據其模式參數檢定及驗證後之參數設定設置(參數表如表2-3)，本計畫以30年重現期距的蘇迪勒颱風洪事件，進行壩體於河道左岸不同開口寬度下(開口2m、6m、10m)之壩體改善方式模擬(開口示意圖如表2-5)，進而對於河道之流心線變動及棲地多樣性等進行探討，找尋對於現地較佳之壩體改善方式。

3. 模擬範圍

因現地之河道寬度較窄，兩岸樹遮現象較明顯，模擬之河段如圖2-4所示，模擬河

段高程最高點為 1763.47 公尺，最低點為 1706.5公尺，地形建置完成後，輸入其邊界條件，如圖2-5所示，入流輸入流量歷線及泥砂懸移質、推移質歷線；出流輸入水位歷線。

4. 壩體改善方式說明

因有勝溪下游河段與七家灣溪相連，為使臺灣櫻花鉤吻鮭得以上溯至有勝溪上游之羅葉尾溪，使其棲息地得以連貫，故壩體改善方式皆討論改善至壩體底部。據翁崇豪(2017)指出有勝溪防砂壩改善之壩體開口以河道左岸10公尺為佳，因此本計畫擬將開口位置定於近左岸位置，除了選定開口10公尺外，據水土保持手冊(2013)指出，壩體開口受壩址地形條件、下游河道自然輸砂能力、橋涵斷面、最大輸送粒徑等因素綜合影響，一般以等開口寬度設計，可按下式設計，即

$$b_o = (1.5 \sim 2.0) D_e$$

式中， b_o =梳子壩或切口壩開口寬度(m)； D_e =土石流設計粒徑(m)。

根據現地調查所得河道內最大礫石直徑為130cm(如圖4)，將之礫徑乘以1.5倍，決定壩體開口寬度為2公尺，並選擇2至10公尺之中位數6公尺為第三種壩體開口寬度，另以維持現狀不做壩體改善方式作為對照組，因此本計畫進行以下四類壩體條件之模擬。

- (1) 維持現狀：有勝溪一號防砂壩維持現狀不進行壩體改善。
- (2) 改善左岸 10 公尺：將有勝溪一號防砂壩改善近左岸 1/2 部分，即將左岸 10 公尺部分改善至底部。
- (3) 改善左岸 6 公尺：將有勝溪一號防砂壩改善近左岸 1/3部分，即將左岸 6 公尺部分改善至底部。
- (4) 改善左岸 2 公尺：將有勝溪一號防砂壩左岸2公尺部分改善至底部，約可讓河道內大型礫石通過之寬度。

三、研究發現

(一) 有勝溪河道變化調查

有勝溪，與七家灣溪同為大甲溪的最源頭支流，全溪段長約10.5公里。有勝溪發源於雪山山脈桃山稜線的羅葉尾山東側，繞經思源埡口，在武陵迎賓橋與七家灣溪匯流。本計畫於每年初(即一月至三月)進行一次全河道物理棲地調查(圖2-7)，另於汛期前至汛期初期(即五月中至七月中)以及汛期後(即十月至十一月)進行五個樣站(圖2-9、圖2-10、圖2-11、圖2-12、圖2-13)之密集監測，合計獲得三次資料。針對有勝溪樣區之流量實測，則在物理棲地調查時一併進行，獲得一年三次不同氣候條件下之流量變動。有勝溪在年初進行全河道斷面測量，河道內總計有五個樣站如圖2-8，五個樣站斷面座標如表2-6、表2-7、表2-8、表2-9、表2-10，汛期前至汛期初期以及汛期後進行密集監測，觀察河道沖淤以及棲地底質組成。五個樣站分別選定數個控制斷面進行數據收集，斷面通常位於河道轉彎處或有明顯高低落差等具有顯著變化之河段。

1. 收費站樣站

此樣站位於收費站旁有勝溪防砂壩上游起至第一個右彎河段(Y-10)，根據去年以及今年度的河道調查成果，繪製縱向高程剖面如圖2-15所示，此河段坡降(表2-14)較其他樣區小，河道較為平緩，雖樣站內河道呈現沖淤互現情形，但河床變化不大，今年取得數據相較去年同期，坡降略微上升，但仍屬河道正常變化範圍內。由圖2-24棲地比例可知，此河段淺瀨所佔比例較重，去年度緩流比例呈現增加趨勢，而緩流比例於今年1月份降低，6月份受臺灣地區適逢梅雨鋒面報到，山區降雨量大使得緩流比例上升，直到今年11月份調查回歸年初調查值。緩流比例增加係因位於淤滿之防砂壩上游粒徑較細且水深較淺所致，可能為去年幾個較大流量事件產生之沖刷現象而成，而汛期後雨量減少導致河道再度淤積，今年度則因強降雨事件減少，淺瀨整體比例於今年底再度攀升。本年度樣站內棲地多樣性相較去年同期(表2-15)略為減少，整體趨勢因6月份梅雨事件流量增加導致多樣性增加，符合去年因水流量以及流速有減緩之跡象造成棲地多樣性減少之推論。底質多樣性(表2-16)再度呈現攀升的趨勢，大型礫石底質開始顯現。而去年10月份調查發現河岸兩岸皆有河岸崩塌情形發生(圖2-33)，可能為去年9月較大流量事件發生所致，河道底質比例中(圖2-23)平坦表面類型在11月份調查時出現，可能因11月份東北季風與低氣壓共伴效應導致之降雨事件，帶走河道內因崩塌所產生之細顆粒所致。收費站樣站壩體結構穩固，雖因過往降雨事件導致壩上有倒伏木且壩體下游產生護甲現象，壩基結構經檢視(圖2-33)應不會有立即性的淘

空危險。

2. 有勝溪下游2公里樣站

根據去年以及今年度調查，繪製如圖2-17的縱向高程剖面圖。此樣區左、右岸皆由岩盤組成，主要變動發生於底床及河道內土砂輸移，河岸並不會產生太大變化；左岸為凹岸，且河道深槽線右岸則為凸岸，主要以堆積為主。坡降則有下降趨勢（表2-14），但變化不明顯，仍屬正常河道變化範圍。由圖2-25底質比例可知樣站內以卵石為主，粒徑偏細，本次調查發現大型礫石比例較年初減少至去年同期值，而年底與去年底同樣有粗石顯見，底質多樣性指標(圖2-25)與去年同期相同，為穩定增加之趨勢，主因為6月份與11月份調查時前一週皆有降雨事件，整體粒徑粗化反應左岸受攻擊面影響底質組成，而棲地比例(圖2-24)顯現樣站內以淺瀨及緩流為主，少許深潭地形，惟年初調查發現深潭類型消失，主因可能為樣站內流量減少水深較淺之故，而棲地多樣性(表2-15)指標經六次調查並無明顯變化，約在0.54左右。河道左岸有農業活動行為（圖2-34），且此處有抽取有勝溪溪水情形。

3. 勝光派出所樣站

據去年以及今年度河道調查，繪製如圖2-16縱向高程剖面圖。此樣區位於勝光派出所下的河道，此樣區斷面Y-73至Y-68斷面河幅較寬，至Y-67及Y-66斷面則河寬變小，坡度變陡且粒徑變大流速增加，右岸則有崩塌情形，故此段河道有較明顯的土砂堆置於河道中(如圖2-35)。表2-11顯現樣站站內坡降約為0.03左右，變化甚微。底質比例(圖2-27)顯現樣站內以粗石及卵石為主，碎石有隨時間增加至今年年初而轉趨減少，可能為降雨事件帶走河道內較細顆粒緣故，而棲地比例(圖2-28)樣區內以緩流及淺瀨為主，且淺瀨比例在今年初為止的調查中有上升的趨勢，在去年10月調查兩類型比例已接近1：1，年初調查比例更超過百分之七十，六月份調查時淺瀨比例已大幅減少，至十一月份時又上升，推測為右岸堆置土砂料源再次進入河道，使得河寬縮減進而導致流速上升。棲地多樣性(表2-15)在去年的三次的調查中從3月的0.33上升至10月的0.5，而今年度調查前期同樣呈現上升趨勢，而中期受降雨事件影響棲地多樣性指標再度為上升直至年底回歸正常值，顯現河道內緩流比例增加到某種程度後極易受崩塌以及降雨事件影響，棲地組成較不穩定。

4. 登山口樣站

根據去年以及本次河道調查，繪製得縱向高程剖面圖2-18及底質、棲地比例圖2-30、圖2-29，由縱向高程剖面圖可看出坡降微幅減少，但尚屬正常河道變化範圍，樣站坡降(表2-14)約為0.02左右，由底質比例顯現出樣站內以粗石為主，卵石次之，底

質多樣性指標(表2-16)在受降雨事件影響在年中上升至0.7左右，至年底回歸正常值0.6左右，而樣站內棲地類型有深潭、緩流及淺瀨分佈，過去以淺瀨為主，現今以緩流佔大宗，應為流量減少所致。此樣站位於有勝溪上游，接近羅葉尾溪，底質粒徑偏大(表2-16)。在經過去年的颱風事件(9月14日莫蘭蒂颱風和9月27日梅姬颱風)後，首度出現大型礫石底質，應受強降雨事件後將細粒徑土砂帶走緣故，約經過一季後底質組成恢復為去年6月份情形，六月份以及十一月份有降雨事件發生，大型礫石棲地再度出現，卵石比例由去年初漸增至今年初後趨於穩定。

5. 羅葉尾溪樣站

據去年以及今年的河道調查，繪製如圖2-19的高程剖面圖。此樣區位於羅葉尾溪，雖經去年較大流量的颱風事件以及今年六月、十一月的降雨事件，河道變化仍並不明顯，應屬較上游區底質粒徑偏大，沖刷不易緣故。兩岸較上游並無崩塌情形。樣站坡降(表2-14)幾次調查在約在0.06左右，相對其他樣站較陡。樣站底質(圖2-31)以小型礫石、粗石及卵石為主，然年底調查再度與去年底同樣出現大型礫石棲地如圖2-37所示，而棲地類型(圖2-30)以緩流為主，幾次調查皆超過50%，但本年度深潭比例受降雨事件影響呈現漸增趨勢，棲地多樣性指標(表2-15)數值幾無變化，顯示其穩定之棲地組成，適合魚類生存。

(二) 七家灣溪河道變化調查

七家灣溪流域面積約為7,221公頃，為大甲溪上游的主要源流，發源於雪山南側、品田山、桃山、池有山、雪山北峰。西北側的品田溪與池有溪匯入桃山西溪，於武陵吊橋附近與北來的桃山北溪匯集成七家灣溪主流；而後在武陵農場本部附近，有西側的高山溪匯入七家灣溪本流，在武陵國民賓館附近萬壽橋和迎賓橋間，與有勝溪匯流形成大甲溪主流。七家灣溪河道環境物裡棲地調查除在河道測量(詳如附件一)同時進行外，另於汛期前至汛期初期(即五月中至七月中)施測一次，以及汛期後(即十月至十一月)與年初，每年可共獲得合計三次資料。此外，在年底進行全河道測量(圖2-38)，河道內共有三個樣站(圖2-45、圖2-46、圖2-47)，三個樣站斷面座標如表2-11、表2-12、表2-13，汛期前至汛期初期以及汛期後進行監測，來觀察河道沖淤情形以及棲地底質調查。

1. 觀魚臺樣站

觀魚臺樣站位於七家灣溪一號壩上游約1公里處，根據去年以及今年度河道的調查，樣站內坡降(表2-14)並下降近1%，約為0.03降至0.02左右，顯見樣站坡度因河道內泥砂淤積而趨緩，繪製如圖2-20的縱向高程剖面圖以及圖2-39、圖2-40的底質、棲地

比例圖後可發現，底質在去年前兩次以及今年六月以及十一月調查時以卵石比例最高，去年10月以及今年1月的調查則顯示為粗石比例為最高，且於今年1月份再次發現細沉積砂土，並在後續調查中比例持續增加，大、小型礫石比例均增加，粗石及碎石比例則為下降；樣站棲地以緩流及淺瀨為主，且緩流比例在前三次調查中則有增加的趨勢，淺瀨比例則有減少趨勢，大、小型礫石比例均增加，粗石及碎石比例則為下降；樣站棲地以緩流及淺瀨為主，

2. 一號壩樣站

據去年以及本年度河道調查結果繪製如圖2-21的高程剖面圖，樣站內坡降(表2-11)約在0.031至0.034間，坡降相較七家灣溪另兩個樣站較不受影響，主因為壩體本身具有控制點作用。圖2-41、圖2-42為底質、棲地比例，棲地以緩流為主，淺瀨為輔且有下降的趨勢，反之深潭比例持續增加，棲地多樣性指標(表2-15)數值呈現週期性的擺盪，周期約為一季減少一季增加，振幅約在0.6至0.5之間。底質多樣性(表2-16)較去年同期調查時稍微上升，整體約在0.6至0.8之間，河道在歷經颱風事件後，壩體上游流心線偏移，原先沿左岸流動之河道往右岸偏移，回至民國100年壩體改善剛完工時之河道軌跡(圖2-49)，而該樣站過去曾發生基岩裸露現象，由於水流速減緩之故，壩底有較細顆粒沉積，由底質比例(圖2-42)大型礫石比例由第一次調查時近五成，至今年底調查比例明顯減少可得知。全年因降雨事件帶來壩體上游泥砂，大小型礫石比例漸減。

3. 繁殖場樣站

據去年以及今年度的河道調查，樣站坡降(表2-11)約為與觀魚臺樣站同樣下降近1%，並繪製如圖2-22的高程剖面圖以及圖2-43、圖2-44的底質、棲地比例。底質相較其他樣站有較多類型底質，卵石及大小型礫石類型在調查有上升趨勢，碎石及粗石則有下降趨勢，卵石比例較去年10月份減少但今年底卵石底質比例佔最大宗，且今年1月調查發現細沉積砂土再現，有增加趨勢，與觀魚臺樣站情形相似，應為汛期後流量以及流速減緩所致。棲地類型則以緩流為主，比例超過五成，今年底淺瀨比例消失，因幼魚適合於水流速較緩之棲地棲息，將持續監測深潭是否有持續擴大情形。繁殖場樣站位於高山溪與七家灣溪匯流處，雖然流量變化大，但樣站上游屬於峽谷地形，左右岸都屬於岩盤，下游河道位於轉彎處，所以河道除了沖淤現象外，並不容易產生分流或改道之情形；河道寬淺渠直，左右岸皆為岩盤較無崩塌可能性發生，故無明顯土砂料源供給，主要土砂料源可能因高山溪支流匯入匯流口下游，因此樣站匯流口上游粒徑偏大(圖2-56)。

(三) 合歡溪河道變化調查

合歡溪發源於鈴鳴山、畢祿山及北合歡山的北側斜面一帶（南投縣仁愛鄉及花蓮縣），流長27.5公里，為大甲溪上游第二長之支流，流經台中市和平區匯集碧綠溪，便沿太保久稜線東側向北流，終至台七甲線65K處（接近清泉橋），匯入南湖溪。研究範圍總長約為120公尺(圖2-51)，繪製合歡溪測量範圍高程分佈圖(圖2-52)，並設置11個斷面(圖2-53)進行河道沖淤變化調查，詳如附件二。前期計畫已於民國105年5月進行野放櫻花鉤吻鮭前調查，10月進行汛期後資料蒐集調查，由高程縱剖面圖(圖2-54)能發現，今年度調查與過去之縱斷面的變動稍大，主因為合歡溪攔砂壩左岸設置有一座出水工(如圖2-55)，為了保障取水功能，現地在調查時進行取水口清淤作業。此外，去年五月份與近三次調查河段差異較大，推測去年五月份之起始點為合歡溪攔砂壩上，對照河道地形走勢與近幾次調查相似，可得知此河段斷面高程變動不大，且階潭式河道可提供良好之棲地，有利於櫻花鉤吻鮭躲藏、棲息。底質比例(圖2-55)顯示，在四次調查中並無發現平坦表面類型，今年度最後一次調查發現粗石以及卵石比例增加，小型礫石比例減少，大型礫石以並無明顯變動。棲地比例(圖2-56)可以明顯看出緩流持續增加，淺瀨消失，深潭比例增加，可能為降雨事件補注，水深變深造成。棲地多樣性指標則止跌回升(表2-15)。本計畫以優良棲地高山溪樣站之棲地底質歷史調查資料而製作盒鬚圖進行分析，如圖2-59、圖2-60。其中，棲地底質紀錄盒鬚圖之評分標準擬以第三四分位數(75%)以上為最佳、中位數(50%)至第三四分位數以上次之、中位數以下評價最差，並將合歡溪以及其他歷史放流點棲地底質資料點繪於盒鬚圖上，可看出合歡溪相較其他歷史放流點之相對位置。整體而言，本樣站在棲地與底質評估都得到適合櫻花鉤吻鮭放流之結論，惟合歡溪樣站下游之防砂壩可能阻斷鮭魚棲地之擴展，但該壩兼具攔河取水之功能，是故該壩之改善需求應需審慎評估。

(四) 高山溪二號壩口殘材堆積

由於去年(2016)10月調查發現有木質殘材橫跨堆積於壩口位置，形成約莫4-5公尺高之殘材壩，因而形成約5公尺河道高程落差，如圖2-58。年初例行之高山溪斷面調查僅調查至二號壩址，為調查殘材壩對河道上游斷面之影響，後擇期補充量測二號壩上游橫斷面高程。若將今年初以及年本次觀測資料、去年初同期殘材壩尚未發生時所測得之數據繪製如；可由圖中看出二號壩下深潭受殘材壩影響向下切割，二號壩上游土砂堆積(如圖2-58)至距壩體300公尺處至今。二號壩下游處因殘材壩形成時間已超過一年，下游沖刷現象明顯，不但阻絕鮭魚移動廊道，調查結果也顯示影響河段棲地類型甚鉅。二號壩下游處(如圖2-62)，本次調查起始點高程高於年初調查時之起始點高

程，起因為本次調查起始點高程設於壩上，由圖可看出，壩下游50公尺處後殘材壩對於河道斷面之影響甚微。

關於殘材壩之移除，於「97年武陵地區長期生態監測暨生態模式建立」成果報告書中也發現到二號壩於民國90年進行壩體改善後，於民國97年有殘材堆積狀況產生，當年形成之壩口堆積高為3.5公尺，97年進行之改善措施為「人工裁鋸」方法，本次殘材壩移除建議將上游土砂開挖後再行人工裁鋸措施，以恢復生態棲地連貫性。

(五) 有勝溪壩體改善評估

1. 有勝溪一號防砂壩基本資料

有勝溪一號防砂壩興建於1979年，屬砌石重力壩，壩體溢流口高度7公尺，壩體厚度4.2公尺，壩體寬度為24.5公尺。壩體上游已呈淤滿狀態，使河床坡度較緩，經現地測量後計算得河床坡度約為1.4 % (表2-14)。壩體下游因受跌水沖刷作用而形成明顯沖刷坑，水深達1.5公尺，郭上琳(2015)利用DERU評估法(圖2-64)對一號壩進行相關評估，從結果(圖2-65)可知，壩體僅在溢洪道表面有些微磨損情形，雖有沖刷情況產生，但其功能性與整體狀況尚屬良好。

2. 有勝溪一號防砂壩上、下游河床質調查

有勝溪一號防砂壩由於壩體上游已呈淤滿狀態故粒徑小，下游則因受防砂壩影響，產生明顯護甲現象，粒徑偏大，因此原因需進行河床質採樣調查。上游河床質 $D_{50}=19.63\text{ mm}$ ；下游河床質 $D_{50}=43.78\text{ mm}$ (表2-17、表2-18)。

3. 河道變化模擬分析

- (1) 流心線變化：本計畫以流心線變動做為河道變動程度依據之一，平均偏移距離越大代表河道變動越大。利用模擬完成後地形取等距離橫斷面，再將各橫斷面內最低點取出後，以 ArcGIS 相連後得流心線，各改善方案流心線與原始地形相比較可得最大偏移距離及平均偏移距離，據翁崇豪(2017)，壩體在未改善前留心最大偏移距離為11.96公尺，平均偏移距離為1.94公尺。以30年重現期事件而言，最大偏移距離及平均偏移距離最大者皆位於改善左岸6公尺下產生，最大偏移距離為 12.01 公尺，平均偏移距離為 1.94 公尺，詳如表2-19。
- (2) 櫻花鉤吻鮭棲地類型：本計畫根據蘇威鴻(2016)之有勝溪平均流量為 1.8cms，輸入模擬後地形中，求得地形於平均流量 1.8cms 下之流速及水深如圖2-67所示，再推算出其福祿數(Froude Number)。Fr = V/\sqrt{gh} (公式及表中之 V 為流速，g 為重力加速度，h 為水深)根據Leopold(1969)之研究，水流型態可歸類為水潭(pool)、緩流(slow water)、淺瀨(riffles)及急流(rapids)等四種流況。本計畫利用計算出福祿數對

四種水流形態所對應之棲地類型予以定義（賴建盛，1996）如表2-2。再依(內政部營建署雪霸國家公園管理處，2001)研究指出櫻花鉤吻鮭較常於深潭躲藏及棲息，故利用此特性將其設定為判斷棲地條件之依據。由表2-20可知，30年重現期距深潭棲地比例下以改善左岸兩公尺方式為最高。根據各種棲地類型在觀測河段之所佔百分比，本計畫利用Simpson 多樣性指標（SIDI）計算河川棲地多樣性指標。本計畫將棲地多樣性指標認定為棲地多樣性越高對櫻花鉤吻鮭生存越有利，故將模擬後地形與原始地形相比較，負值代表棲地多樣性下降，正值代表棲地多樣性增加。依表2-20分析結果以及翁崇豪(2017)之模擬前原始地形棲地多樣性指標為0.59，原始棲地類型深潭比例佔58%，就棲地多樣性指標而言，三種改善方式中僅改善左岸 10 公尺情境較模擬前棲地多樣性指標小，另外兩個情境都較模擬前大；若以三種壩體改善方式對棲地多樣性指標而言，以改善左岸2公尺為佳。

4. 綜合評估

一般而言，河道穩定度以流心線平均偏移距離較小者為佳，而由過往觀測資料指出，成年櫻花鉤吻鮭較偏好深潭以及粒徑底質較粗的棲地類型；如表2-21所示，流心線平均偏移距離以改善左岸2公尺較佳，而深潭比例同樣以改善2公尺方案較佳，考量改善左岸10公尺方案深潭比例僅佔7.78%；改善兩公尺方案雖在流心線平均偏移距離表現項目較佳，但深潭棲地類型比例與未進行改善相差無幾；改善六公尺方案能大幅提升深潭棲地類型比例，然流心線平均偏移距離最大。雖壩體改善能對櫻花鉤吻鮭棲地的拓展產生很大幫助，但櫻花鉤吻鮭是否能夠生存於此河道並不只有棲地問題需要解決，其食物來源、水質或水溫等都是必須要去評估的，需要多方一同研究和探討解決問題。

(六) 七家灣溪崩塌地調查

歷次調查發現七家灣溪河道上游常有崩塌情形，土砂料源容易進入河道中，進而改變物理棲地類型。而構成坡地的物質，受重力作用而向下方運動的現象，稱為塊體運動，且此現象危害到生命財產安全，謂之崩塌災害(王文能，2016)。。本次調查將七家灣溪全河道斷面崩塌處詳列如附件三。其中斷面 7-87、7-84、7-83 之崩塌為受河道淘刷之河岸崩塌，7-60、7-58、7-57 岩屑裂解滑落；7-35、7-34、7-33、7-29 為一處舊的山崩，其岩體風化層滑動導致基岩出露；7-26、7-25、7-24 及 7-23 為受河道切割所形成之小型地滑；7-17、7-16、7-15、7-14 坡度大且岩體破碎鬆散；7-5、7-3 及 7-4，邊坡岩層之不連續面發達且固結不佳，觀察過程中持續有落石崩落。

四、結論

綜合兩年年初、汛期前及汛期後共6次及合歡溪河道調查，包括河道斷面、棲地底質與棲地類型、流速等項目，調查成果彙整如下：

- (一) 對有勝溪調查結果進行分析，得知收費站樣站淺瀨整體比例於今年底再度攀升。大型礫石底質開始顯現。壩基結構經檢視應不會有立即性的淘空危險；下有兩公里處樣站內以卵石為主，粒徑偏細，棲地部分樣站內以淺瀨及緩流為主，深潭地形少許，河道左岸有農業活動行為；勝光派出所樣站內以粗石及卵石為主，棲地比例以緩流及淺瀨為主，十一月份調查時淺瀨比例大幅上升，推測為右岸堆置土砂料源再次進入河道，使得河寬縮減進而導致流速上升；登山口樣站內以粗石為主，卵石次之，卵石比例由去年初漸增至今年初後趨於穩，樣站內棲地類型有深潭、緩流及淺瀨分佈，過去以淺瀨為主，現今以緩流佔大宗，應為流量減少所致；羅葉尾樣站屬較上游區底質粒徑偏大，沖刷不易，棲地類型以緩流為主，幾次調查皆超過50%，但本年度深潭比例受降雨事件影響呈現漸增趨勢。
- (二) 對七家灣溪調查結果進行分析，去年的颱風事件並未發生河道主深槽改變，而汛期過後至年初河道組成多恢復為去年中調查之結果，一號壩樣站棲地以緩流及深潭為主，大、小型礫石比例均減少，粗石及碎石比例則為增加；而觀魚臺樣站棲地以緩流為主，淺瀨為輔且有下降的趨勢，反之深潭比例持續增加，大型礫石比例直到年初時明顯增加；繁殖場樣站因幼魚適合於水流速較緩之棲地棲息，將持續監測深潭是否有持續擴大情形。
- (三) 對合歡溪調查結果進行分析，於去年5月調查發現河段屬階潭式河道有豐富棲地多樣性，階潭式河道是由巨石所堆疊形成類似台階的落差以及深潭，根據過往調查資料指出，大小型礫石以及深潭有助於鮭魚之成長、躲藏、棲息；去年10月的調查發現，經颱風事件後發現河道土砂有輸移情形發生，底砂粒徑較細，但河道主要仍與5月調查結果相當，1月份調查發現，合歡溪水量會隨著季節變動但仍維持生態基流量，且幾次河道剖面圖大致吻合，屬穩定的棲地類型。然今年度調查與過去之縱斷面的變動稍大，主因為合歡溪樣站下游之防砂壩可能阻斷鮭魚棲地之擴展，但該壩兼具攔河取水之功能，是故該壩之改善需求應需審慎評估。粗石以及卵石比例增加，小型礫石比例減少，緩流持續增加，淺瀨消失，深潭比例增加。
- (四) 高山溪去年10月之調查發現二號壩口有殘材堆積約莫4-5公尺高，因而形成約5公尺河道高程落差，今年三月之調查高山溪二號壩仍有殘材堆積；相較於民國97年之堆積高3.5公尺，此次形成之殘材高於97年之情況，壩下游侵蝕狀況趨於穩定。

五、參考文獻

- 汪靜明。1990。河川魚類棲地生態調查之基本原則與技術。森林溪流淡水魚保育訓練班論文集。119-137頁。
- 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。九十七年保育研究報告。
- 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。
- 張志豪，2013。壩體改善工程對於物理棲地之影響—以七家灣溪一號壩為例。逢甲大學水利工程與資源保育學系研究所碩士論文。台中。
- 淡江大學水資源管理與政策研究中心。2013年。臺灣地區水文長期整體策略規劃。經濟部水利署。
- 郭上琳。2015。臺灣壩體拆除決策流程之建立。國立成功大學水利及海洋工程學系碩士論文。台南。
- 蘇威鴻。2016。壩體工程對於物理棲地之影響—以有勝溪一號壩為例。逢甲大學水利工程與資源保育學系研究所碩士論文。台中。
- 翁崇豪。2017。壩體改善對河道與物理棲地變遷之數值模擬分析—以有勝溪一號壩為例。逢甲大學水利工程與資源保育學系研究所碩士論文。台中。
- 經濟部水利署。2001。中華民國九十年臺灣水文年報。經濟部。
- 經濟部水利署。2002。中華民國九十一年臺灣水文年報。經濟部。
- 經濟部水利署。2003。中華民國九十二年臺灣水文年報。經濟部。
- 經濟部水利署。2004。中華民國九十三年臺灣水文年報。經濟部。
- 經濟部水利署。2005。中華民國九十四年臺灣水文年報。經濟部。
- 經濟部水利署。2006。中華民國九十五年臺灣水文年報。經濟部。
- 經濟部水利署。2007。中華民國九十六年臺灣水文年報。經濟部。
- 經濟部水利署。2008。中華民國九十七年臺灣水文年報。經濟部。
- 經濟部水利署。2009。中華民國九十八年臺灣水文年報。經濟部。
- 經濟部水利署。2010。中華民國九十九年臺灣水文年報。經濟部。
- 經濟部水利署。2011。中華民國一百年臺灣水文年報。經濟部。
- 經濟部水利署。2012。中華民國一百零一年臺灣水文年報。經濟部。
- 經濟部水利署。2013。中華民國一百零二年臺灣水文年報。經濟部。

經濟部水利署。2014。中華民國一百零三年臺灣水文年報。經濟部。
經濟部水資源局。1996。中華民國八十五年臺灣水文年報。經濟部。
經濟部水資源局。1997。中華民國八十六年臺灣水文年報。經濟部。
經濟部水資源局。1998。中華民國八十七年臺灣水文年報。經濟部。
經濟部水資源局。1999。中華民國八十八年臺灣水文年報。經濟部。
經濟部水資源局。2000。中華民國八十九年臺灣水文年報。經濟部。
農委會水土保持局。2013。水土保持手冊。行政院農委會

Hwang, Ching-Lai, Yoon, Kwangsun,1981. “Methods for Multiple Attribute Decision Making”.
Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems,pp.58-191.

Leopold, Luna B., 1969. “Environmental Impact of the Big Cypress Swamp Jetport”. U.S.
Department of the Interior, Washington, 152p.

Mackin,J.H.,1948. “Classics in physical geography revisited”,Progress in Physical Geography
24,4(2000)pp.563-578.

Moody,1994. “Current trends in childhood sexual abuse prevention programs”. Elementary
School Guidance & Counseling, pp. 251-256.

Peter Steffler and Julia Blackburn,2002. “Two-Dimensional Depth Averaged Model of River
Hydrodynamics and Fish Habitat Introduction to Depth Averaged Modeling and User's
Manual”. University of Alberta,120p.

附表

表2-1 棲地底質分類表

編號	底質	底石粒徑
1	平坦表面 Smooth surface	<0.2cm
2	碎石 Gravel	0.2-1.6cm
3	卵石 Pebble	1.6-6.4cm
4	粗石 Rubble	6.4-25.6cm
5	小型礫石 Small Boulder	25.6-51.2cm
6	大型礫石 Large boulder	>51.2cm

(參考資料：本研究團隊)

表2-2 各種物理棲地環境指標定義

福祿數	Fr<0.095	0.095<Fr<0.255	0.255<Fr<1	Fr>1
棲地型態	深潭 Pools	緩流 Slow water	淺瀨 Riffles	急流 Rapids

(參考資料：本研究團隊)

表2-3 檢定參數組合表

$L_{s,b}$ α	150	500	1000
0.1	第一組	第二組	第三組
0.01	第四組	第五組	第六組
0.005	第七組	第八組	第九組

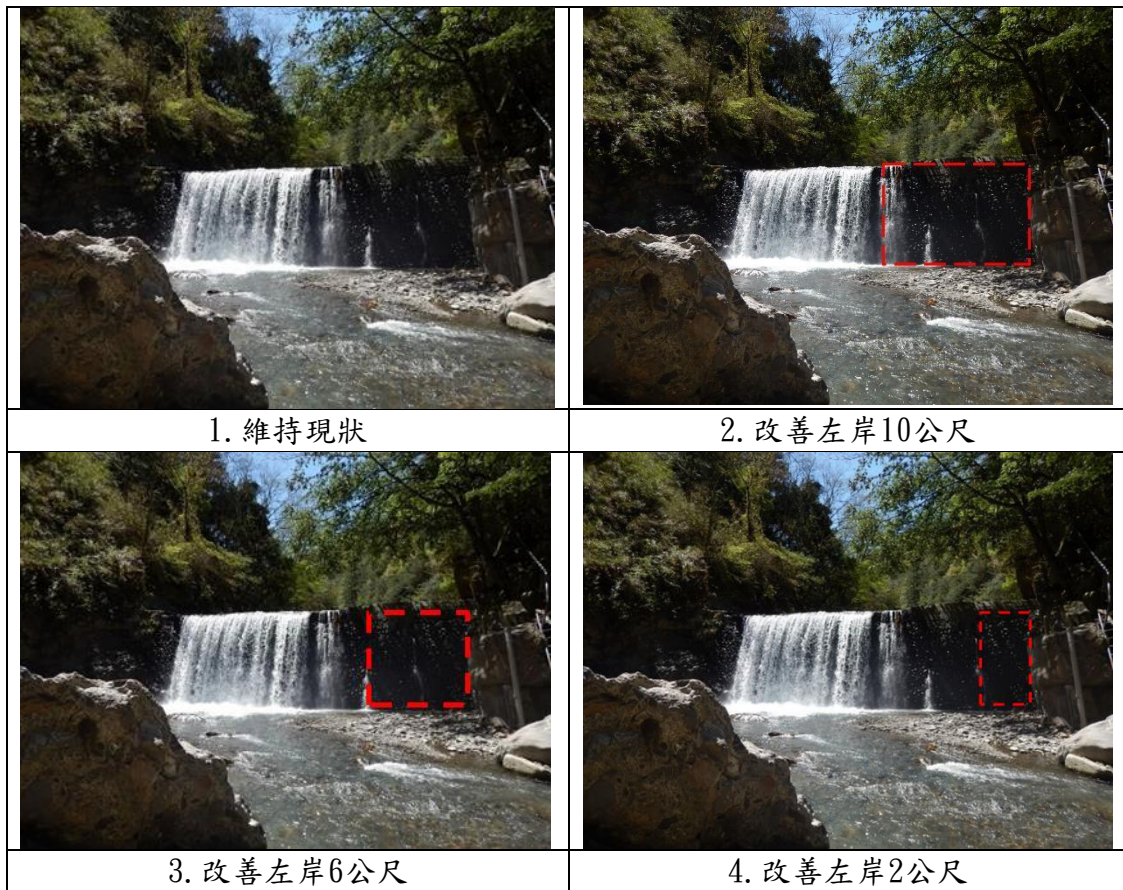
(參考資料：本研究團隊)

表2-4 輸砂模擬參數表

項目	設定值	備註
Number of Bed Layers	3	建議值
輸砂模式(Transport Mode)	Total Load as Bed Load Plus Suspended Load Mode	同時計算推移質與懸移質之輸砂模式
輸砂模擬模式(Sediment Simulation Model)	Fast bed change with unsteady flow	變量流情況下的動床計算
調適因子(Specify adaptation factor)	0.01	經檢定後數值
非平衡調適長度(Adaptation length for bedload)	1000	經檢定後數值
施密特數(Schmidt number)	0.5	與泥砂的紊流擴散項有關

(參考資料：本研究團隊)

表2-5 壩體改善（移除虛線內壩體）模擬情境說明



(參考資料：本研究團隊)

表2-6 收費站樣站內各斷面座標

斷面	N	E	斷面	N	E
Y-S	24°20'51.3"	121°18'37.5"	Y-6	24°20'43.2"	121°18'37.6"
Y-1	24°20'50.1"	121°18'36.7"	Y-7	24°20'40.9"	121°18'38.6"
Y-2	24°20'48.7"	121°18'36.5"	Y-8	24°20'39.6"	121°18'38.8"
Y-3	24°20'47.7"	121°18'36.5"	Y-9	24°20'39.2"	121°18'39.1"
Y-4	24°20'46.5"	121°18'36.9"	Y-10	24°20'38.9"	121°18'39.3"
Y-5	24°20'44.6"	121°18'37.8"			

(參考資料：本研究團隊)

表2-7 有勝溪下游樣站內各斷面座標

斷面	N	E	斷面	N	E
Y-25	24°20'59.3"	121°19'12"	Y-30	24°21'0"	121°19'14.4"
Y-26	24°20'59.9"	121°19'12.7"	Y-31	24°21'1.5"	121°19'14.9"
Y-27	24°21'0"	121°19'13.3"	Y-32	24°21'2.5"	121°19'14.7"
Y-28	24°21'0"	121°19'13.8"	Y-33	24°21'3.9"	121°19'14.6"
Y-29	24°21'0"	121°19'14.1"	Y-34	24°21'6.2"	121°19'15.5"

(參考資料：本研究團隊)

表2-8 勝光派出所樣站內各斷面座標

斷面	N	E	斷面	N	E
----	---	---	----	---	---

Y-66	24°21'58.6"	121°20'10.4"	Y-70	24°022'2.4"	121°20'13.4"
Y-67	24°22'0.2"	121°20'10.7"	Y-71	24°22'3.8"	121°20'13.8"
Y-68	24°22'0.8"	121°20'11.5"	Y-72	24°22'5.2"	121°20'14.5"
Y-69	24°22'1.6"	121°20'12.8"	Y-73	24°22'8.1"	121°20'16.1"

(參考資料：本研究團隊)

表2-9 登山口樣站內各斷面座標

斷面	N	E
Y-129	24°23'28.11"	121°21'4.88"
Y-130	24°23'28.26"	121°21'5.69"
Y-131	24°23'28.63"	121°21'6.42"
Y-132	24°23'28.63"	121°21'6.78"
Y-133	24°23'29.33"	121°21'7.27"

(參考資料：本研究團隊)

表2-10 羅葉尾樣站內各斷面座標

斷面	N	E
Y-140	24°23'36.66"	121°21'10.8"
Y-141	24°23'36.74"	121°21'9.97"
Y-142	24°23'36.86"	121°21'9.89"
Y-143	24°23'37.03"	121°21'9.63"
Y-144	24°23'37.21"	121°21'9.46"

(參考資料：本研究團隊)

表2-11 觀魚臺樣站內各斷面座標

斷面	N	E	斷面	N	E
7-70	24°21'7.4"	121°18'18.3"	7-74	24°21'7.4"	121°18'21.9"
7-71	24°21'7.3"	121°18'19.8"	7-75	24°21'7.3"	121°18'23.0"
7-72	24°21'7.3"	121°18'19.8"	7-76	24°21'7.4"	121°18'25.2"
7-73	24°21'7.3"	121°18'21.3"			

(參考資料：本研究團隊)

表2-12 一號壩樣站內各斷面座標

斷面	N	E	斷面	N	E
7-86	24°21'7.5"	121°18'41.8"	7-89	24°21'7.7"	121°18'54.7"
7-87	24°21'7.6"	121°18'45.6"	7-90	24°21'7.6"	121°18'55.5"
7-88	24°21'7.5"	121°18'52.7"	7-91	24°21'7.3"	121°18'56.2"

(參考資料：本研究團隊)

表2-13 繁殖場樣站內各斷面座標

斷面	N	E	斷面	N	E
7-105	24°21'7.1"	121°18'35.1"	7-109	24°21'7.1"	121°18'38.3"
7-106	24°21'7.1"	121°18'35.9"	7-110	24°21'7.2"	121°18'40.0"
7-107	24°21'7.1"	121°18'36.7"	7-111	24°21'7.2"	121°18'41.4"

7-108	24°21'7.1"	121°18'37.8"			
-------	------------	--------------	--	--	--

(參考資料：本研究團隊)

表2-14 各樣站之平均坡降

測量日期 樣站	平均坡降					
	105年3月	105年6月	105年10月	106年1月	106年6月	106年11月
收費站	0.014	0.013	0.014	0.018	0.01	0.011
有勝溪下游	0.029	0.028	0.027	0.021	0.017	0.017
勝光派出所	0.030	0.029	0.030	0.035	0.028	0.027
登山口	0.020	0.020	0.016	0.019	0.017	0.018
羅葉尾溪	0.064	0.063	0.061	0.061	0.058	0.058
觀魚臺	0.029	0.029	0.030	0.030	0.022	0.024
一號壩	0.031	0.032	0.034	0.032	0.032	0.033
繁殖場	0.030	0.034	0.035	0.033	0.028	0.023
合歡溪	-	0.021(5月)	0.014	-	0.019	0.023

(參考資料：本研究團隊)

表2-15 各樣站之棲地多樣性指標 (SIDI值)

測量日期 樣站	SIDI 值					
	105年3月	105年6月	105年10月	106年1月	106年6月	106年11月
收費站	0.26	0.37	0.42	0.37	0.4	0.33
有勝溪下游	0.54	0.52	0.54	0.5	0.56	0.53
勝光派出所	0.33	0.41	0.5	0.38	0.49	0.44
登山口	0.5	0.63	0.63	0.55	0.63	0.59
羅葉尾溪	0.5	0.6	0.52	0.52	0.6	0.6
觀魚臺	0.49	0.47	0.43	0.47	0.38	0.33
一號壩	0.55	0.49	0.54	0.51	0.59	0.54
繁殖場	0.61	0.54	0.55	0.6	0.44	0.17
合歡溪	-	0.66(5月)	0.5	-	0.42(4月)	0.46

(參考資料：本研究團隊)

表2-16 各樣站之底質多樣性指標 (SIDI值)

測量日期 樣站	SIDI 值			
	105年3月	105年6月	105年10月	106年1月
收費站	0.26	0.41	0.54	0.43
有勝溪下游	0.24	0.39	0.47	0.42
勝光派出所	0.47	0.56	0.61	0.63
登山口	0.34	0.58	0.51	0.60
羅葉尾溪	0.66	0.73	0.76	0.70

觀魚臺	0.73	0.74	0.73	0.77
一號壩	0.67	0.72	0.58	0.62
繁殖場	0.74	0.76	0.72	0.77
合歡溪	-	0.75(5月)	0.75	0.75

(參考資料：本研究團隊)

表2-17 有勝溪壩上河床質調查記錄表

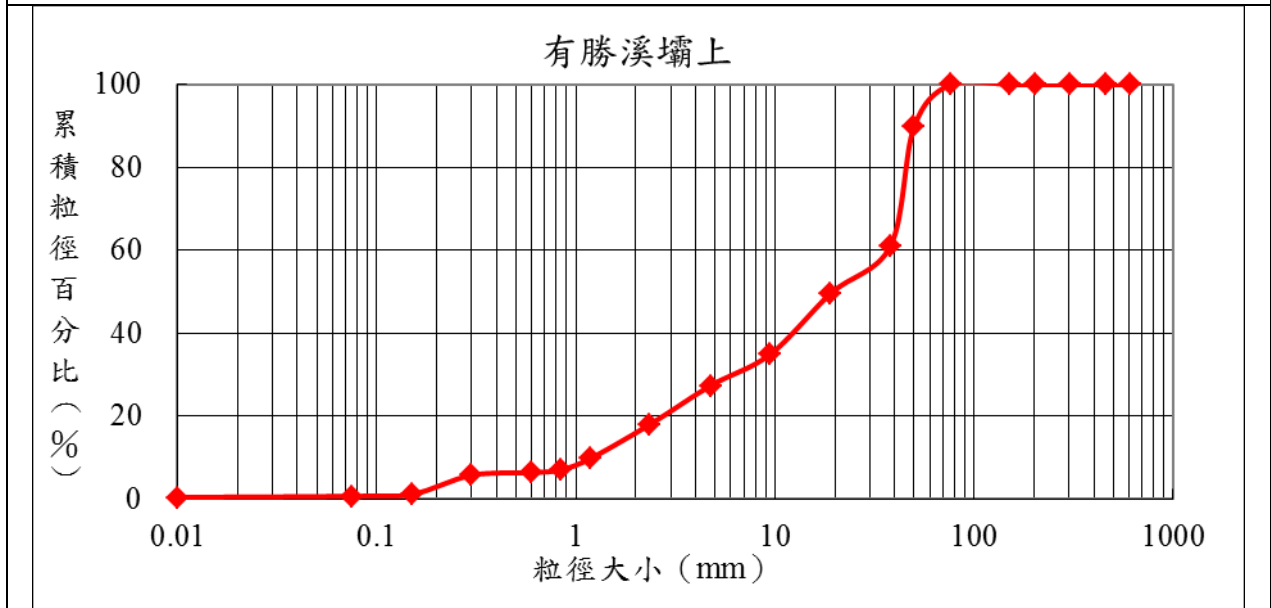
施作位置	有勝溪	編號	有勝溪壩上	日期	2016/06/21		天氣	晴
調查單位		調查人員	翁崇豪、張辰佑、黃均臺、蔡孟輯		坐標	X	281500	
					(TM2-97)	Y	2693487	
採樣孔粒徑調查記錄表								
篩號	粒徑(mm)	淨重(kg)			試坑體積(m ³)			
24"	610	0.00			0.6			
18"	457	0.00			樣品總重量(kg)			
12"	305	0.00			879.20			
8"	203	0.00			最大粒徑(a×b×c)			
6"	152	0.00			2184 立方公分			
3"	76.2	89.60			帶回重量(KG)			
1"	25.4	252.00			7			
¾"	19.1	100.80			斷面描述			
½"	12.7	128.80			點位位於有勝溪一號壩上，由於一號壩上游土砂已淤滿，故表面粒徑較小。			
⅜"	9.52	67.20						
底盤	<9.52	240.80						
合計		879.20						
採樣孔粒徑調查一覽表								
篩號	粒徑別(mm)	個別停留重量(g)	累計重量(g)	各別停留百分率(%)	累計停留百分率(%)	通過百分率(%)		
36"	914.40	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
24"	610.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
18"	457.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
12"	305.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
8"	203.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
6"	152.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
3"	76.20	89.60	89.60	10.19	10.19	89.81		
1"	25.40	252.00	341.60	28.66	38.85	61.15		
¾"	19.10	100.80	442.40	11.46	50.32	49.68		
½"	12.70	128.80	571.20	14.65	64.97	35.03		
⅜"	9.52	67.20	638.40	7.64	72.61	27.39		
#4	4.75	81.91	720.31	9.32	81.93	18.07		
#8	2.36	72.70	793.02	8.27	90.20	9.80		
#16	1.18	23.85	816.87	2.71	92.91	7.09		
#20	0.84	5.73	822.60	0.65	93.56	6.44		
#30	0.600	5.55	828.15	0.63	94.19	5.81		
#50	0.300	40.68	868.83	4.63	98.82	1.18		

# 100	0.150	3.90	872.73	0.44	99.26	0.74
# 200	0.075	2.62	875.36	0.30	99.56	0.44
< # 200	0.010	3.84	879.20	0.44	100.00	0.00
合計		879.20		100.00		

特徵粒徑及平均粒徑一覽表

平均粒徑 (mm)	代表粒徑(mm)											標準偏差 σ_g	砂質含量 (%)
	d10	d16	d20	d30	d35	d40	d50	d65	d75	d84	d90		
1.24	1.21	2.06	2.85	6.38	9.50	12.77	19.63	39.70	43.85	47.59	50.49	4.8013	27.39

河床質調查粒徑曲線分析圖



採樣孔粒徑調查





註：1.標準偏差 $\sigma_g = \sqrt{D_{84}/D_{16}}$ 。

2.砂質含量(%)：以 USCS (統一土壤分類法) 4 號篩至 200 號篩為砂土。
(參考資料：本研究團隊)

表2-18 有勝溪壩下河床質調查記錄表

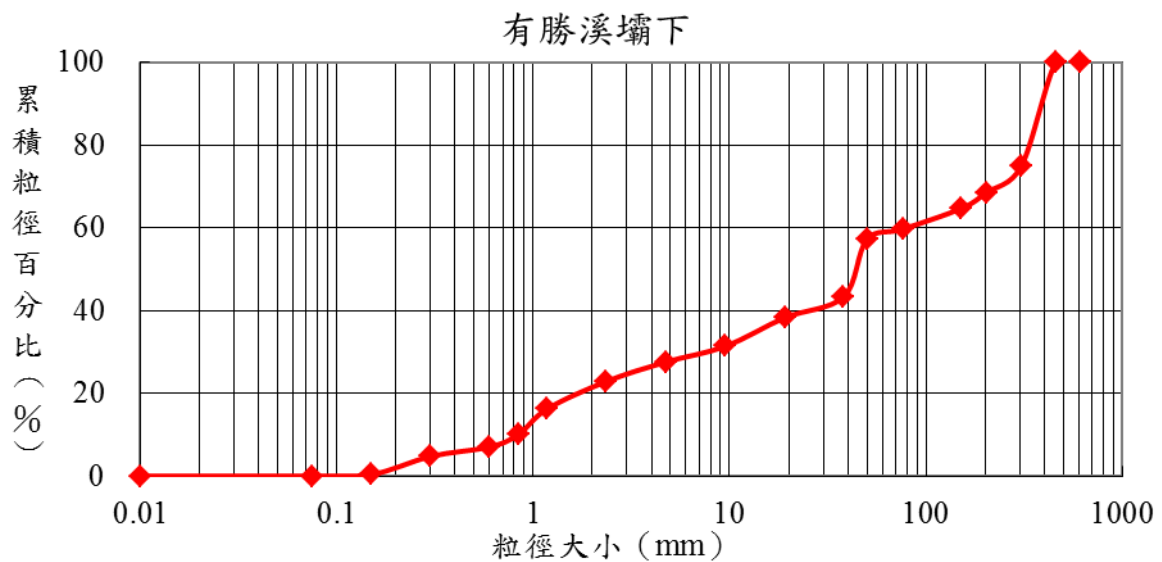
施作位置	有勝溪	編號	有勝溪壩下	日期	2016/06/21	天氣	晴
調查單位		調查人員	翁崇豪、張辰佑、黃均臺、 蔡孟輯	坐標 (TM2-97)	X Y	281488 2693566	
採樣孔粒徑調查記錄表							
篩號	粒徑 (mm)	淨重(kg)			試坑體積(m ³)		
24"	610	0.00			0.6		
18"	457	212.00			樣品總重量(kg)		
12"	305	53.00			842.70		
8"	203	31.80			最大粒徑(a×b×c)		
6"	152	42.40			103776 立方公分		
3"	76.2	21.20			帶回重量(KG)		
1"	25.4	116.60			7		
¾"	19.1	42.40			斷面描述 點位位於有勝溪一號壩下， 壩下河床長期受壩體影響， 呈現明顯護甲現象，粒徑明 顯大於上游河床。		
1/2"	12.7	58.30					
⅜"	9.52	31.80					
底盤	<9.52	233.20					
合計		842.70					
採樣孔粒徑調查一覽表							
篩號	粒徑別(mm)	個別停留重 量(g)	累計重量(g)	各別停留百分 率(%)	累計停留百 分率(%)	通過百分 率(%)	
36"	914.40	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
24"	610.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
18"	457.00	212.00	212.00	25.16	25.16	74.84	
12"	305.00	53.00	265.00	6.29	31.45	68.55	
8"	203.00	31.80	296.80	3.77	35.22	64.78	
6"	152.00	42.40	339.20	5.03	40.25	59.75	
3"	76.20	21.20	360.40	2.52	42.77	57.23	
1"	25.40	116.60	477.00	13.84	56.60	43.40	
¾"	19.10	42.40	519.40	5.03	61.64	38.36	
1/2"	12.70	58.30	577.70	6.92	68.55	31.45	
⅜"	9.52	31.80	609.50	3.77	72.33	27.67	

#4	4.75	39.66	649.16	4.71	77.03	22.97
#8	2.36	55.80	704.96	6.62	83.66	16.34
#16	1.18	52.27	757.23	6.20	89.86	10.14
#20	0.84	25.29	782.52	3.00	92.86	7.14
#30	0.600	19.37	801.89	2.30	95.16	4.84
#50	0.300	37.05	838.93	4.40	99.55	0.45
#100	0.150	2.77	841.70	0.33	99.88	0.12
#200	0.075	0.46	842.16	0.05	99.94	0.06
< #200	0.010	0.54	842.70	0.06	100.00	0.00
合計		842.70		100.00		

特徵粒徑及平均粒徑一覽表

平均粒徑(mm)	代表粒徑(mm)											標準偏差 σg	砂質含量 (%)
	d10	d16	d20	d30	d35	d40	d50	d65	d75	d84	d90		
6.61	0.83	1.16	1.83	7.69	14.44	25.28	43.78	154.98	305.95	360.33	396.58	17.6163	27.67

河床質調查粒徑曲線分析圖



採樣孔粒徑調查

現場照片





註：1.標準偏差 $\sigma_g = \sqrt{D_{84}/D_{16}}$ 。

2.砂質含量(%)：以 USCS (統一土壤分類法) 4 號篩至 200 號篩為砂土。
(參考資料：本研究團隊)

表2-19各開口寬度流心偏移表

影響內容	模擬情境		
	改善左岸 10 公尺	改善左岸 6 公尺	改善左岸 2 公尺
最大偏移距離	10.59m	12.01m	10.36m
平均偏移距離	1.56m	1.94m	1.4m

表 2-20 各開口寬度棲地類型表

影響內容	模擬情境		
	改善左岸 10 公尺	改善左岸 6 公尺	改善左岸 2 公尺
深潭棲地類型比例	7.78%	46.46%	53.09%
棲地多樣性變化	-0.141	0.053	0.025

表 2-21 各開口寬度綜合評估表

影響內容	模擬情境		
	改善左岸 10 公尺	改善左岸 6 公尺	改善左岸 2 公尺
流心線平均偏移距離	1.56	1.94	1.4
深潭棲地類型比例	7.78%	46.46%	53.09%

附圖



圖 2-1 全測站電子光波測距經緯儀
(資料來源：本研究團隊)



圖 2-2 撿拾狀況
(資料來源：本研究團隊)



圖 2-3 開口樣板量測粒徑
(資料來源：本研究團隊)

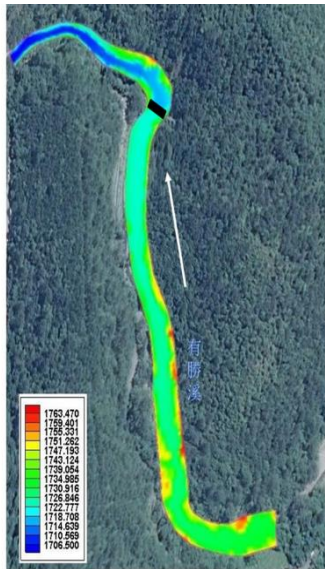


圖 2-4 模擬河段初始高程圖
(資料來源：本研究團隊)

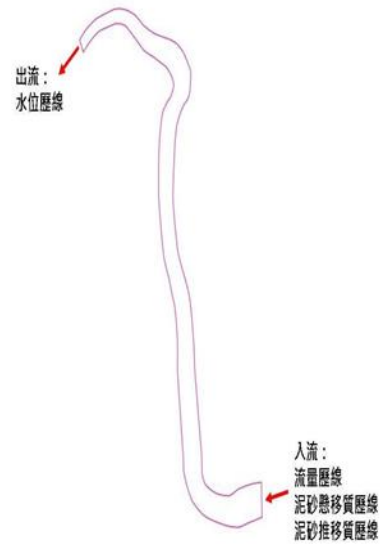


圖 2-5 入流、出流邊界示意圖
(資料來源：本研究團隊)



圖 2-6 河道內大型礫石調查圖

(資料來源：本研究團隊)

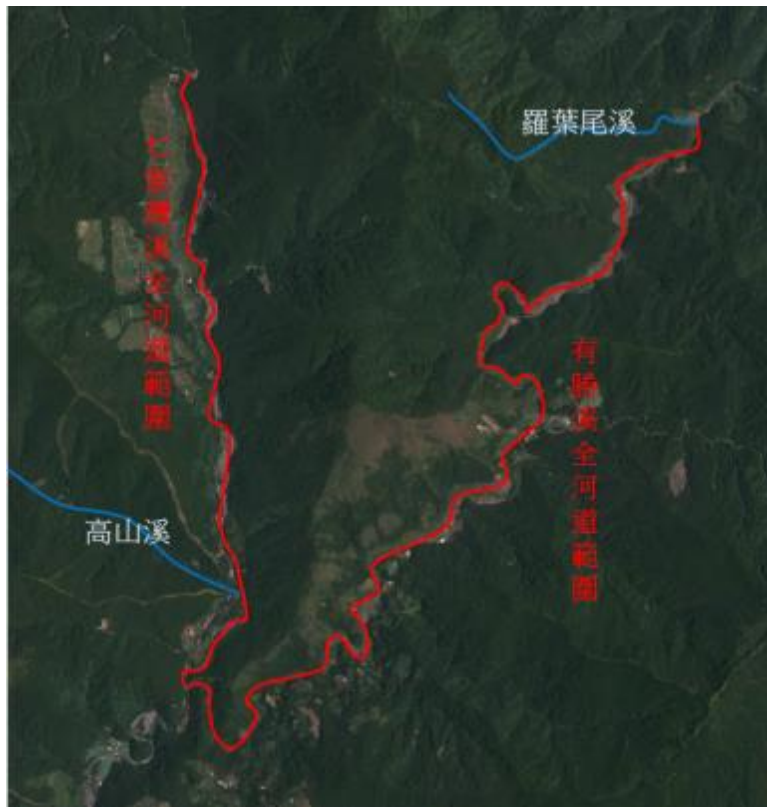


圖 2-7 全河道範圍圖
 (資料來源：本研究團隊)



圖 2-8 有勝溪各樣站位置圖
 (資料來源：本研究團隊)



圖 2-9 收費站樣站斷面位置圖
(資料來源：本研究團隊)



圖 2-10 有勝溪下游樣站斷面位置圖
(資料來源：本研究團隊)



圖 2-11 勝光派出所樣站斷面位置圖
 (資料來源：本研究團隊)



圖 2-12 登山口樣站斷面位置圖
 (資料來源：本研究團隊)



圖 2-13 羅葉尾樣站斷面位置圖
 (資料來源：本研究團隊)

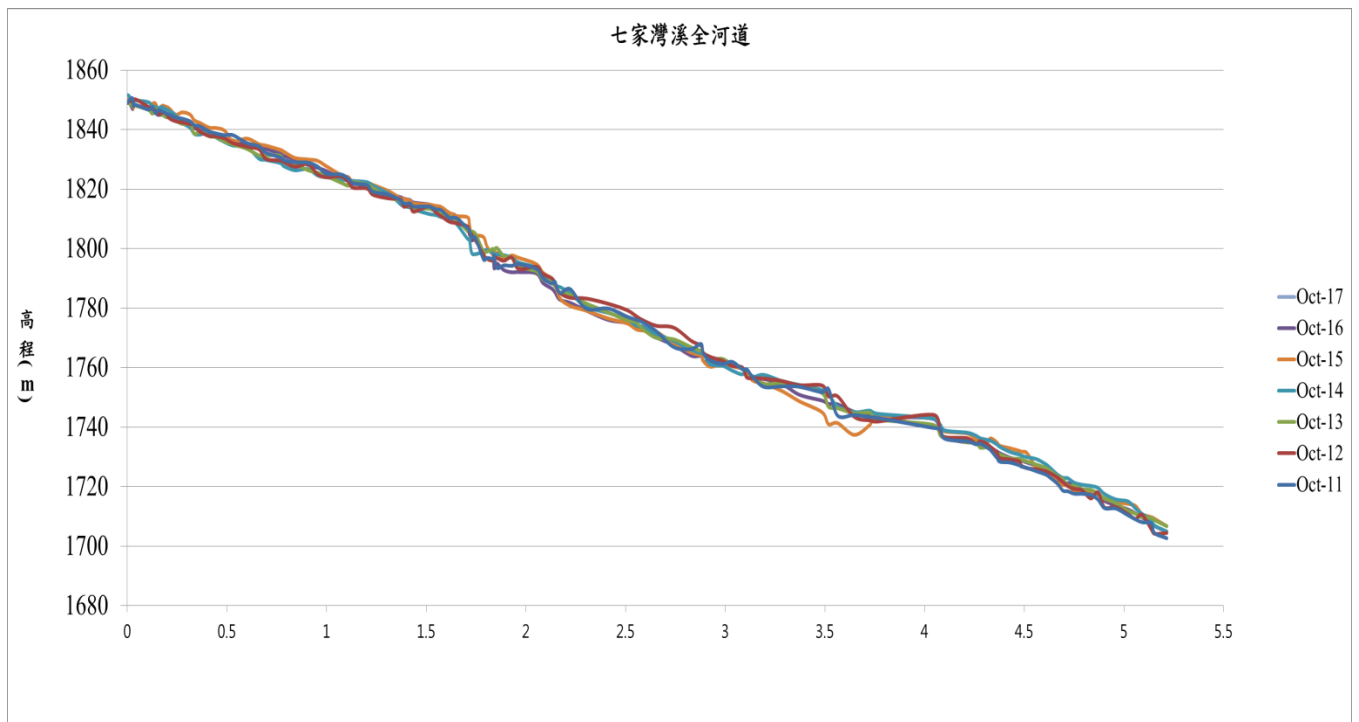


圖 2-14 七家灣溪全河道縱向高程剖面圖
 (資料來源：本研究團隊)

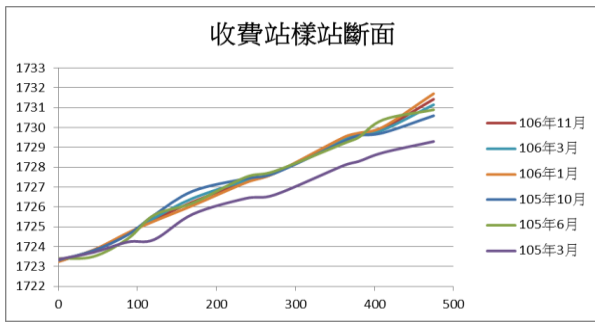


圖 2-15 收費站河道縱向高程剖面圖
(資料來源：本研究團隊)

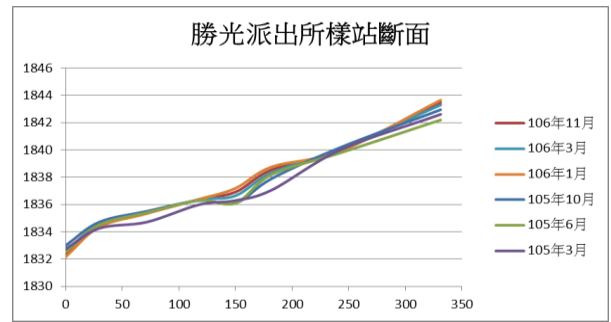


圖 2-16 勝光派出所河道縱向高程剖面圖
(資料來源：本研究團隊)

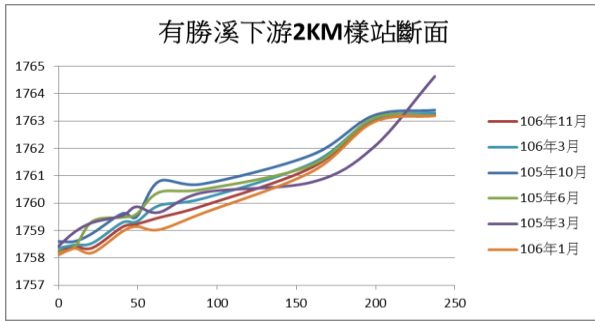


圖 2-17 有勝溪下游河道縱向高程剖面圖
(資料來源：本研究團隊)

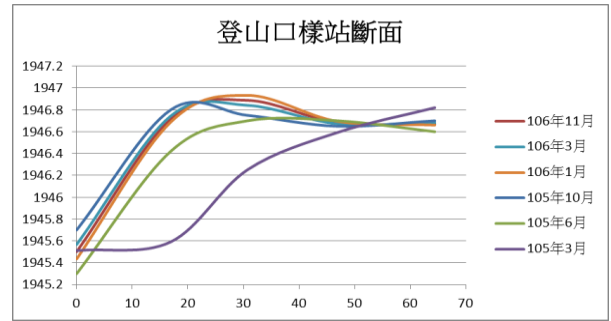


圖 2-18 登山口河道斷面高程剖面圖
(資料來源：本研究團隊)

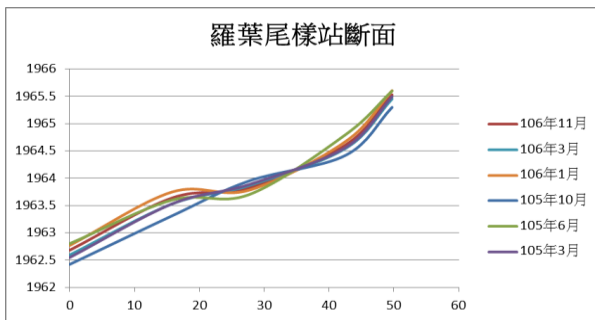


圖 2-19 羅葉尾河道斷面高程剖面圖
(資料來源：本研究團隊)

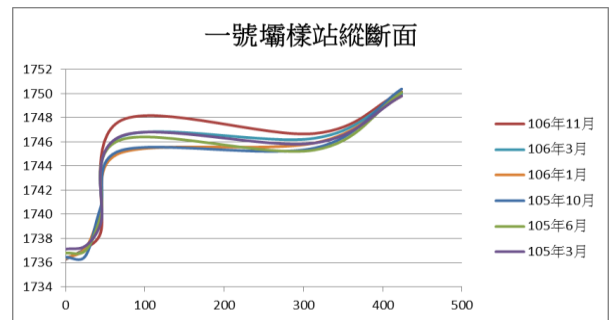


圖 2-21 一號壩河道斷面高程剖面圖
(資料來源：本研究團隊)

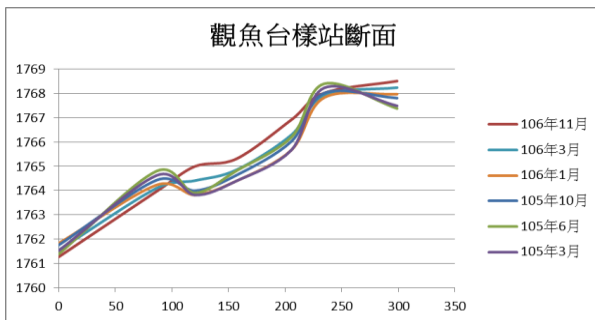


圖 2-20 觀魚台河道斷面高程剖面圖
(資料來源：本研究團隊)

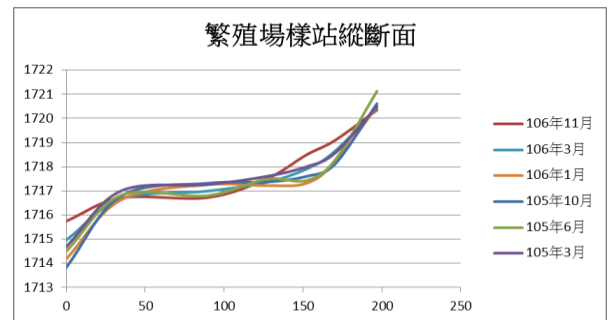


圖 2-22 繁殖場河道斷面高程剖面圖
(資料來源：本研究團隊)

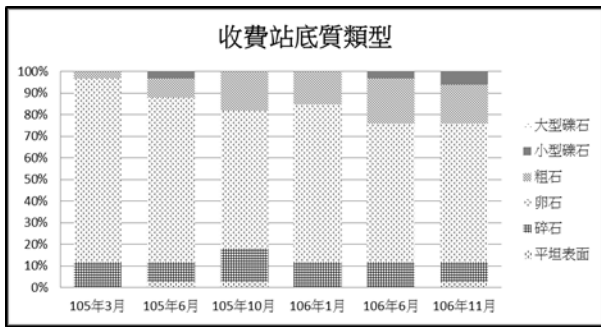


圖 2-23 收費站底質比例
(資料來源：本研究團隊)

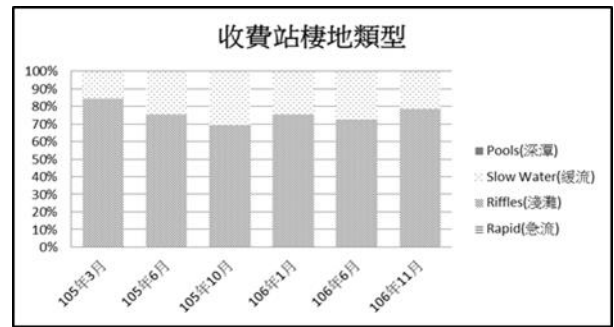


圖 2-24 收費站棲地比例
(資料來源：本研究團隊)

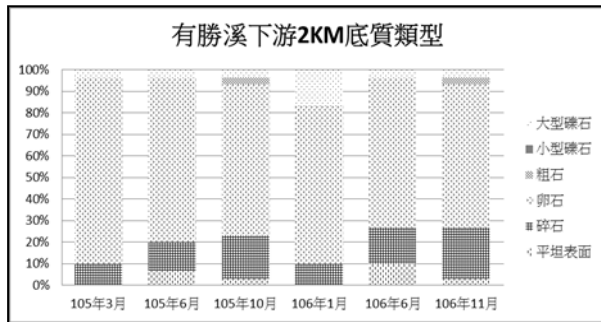


圖 2-25 有勝溪下游底質比例
(資料來源：本研究團隊)

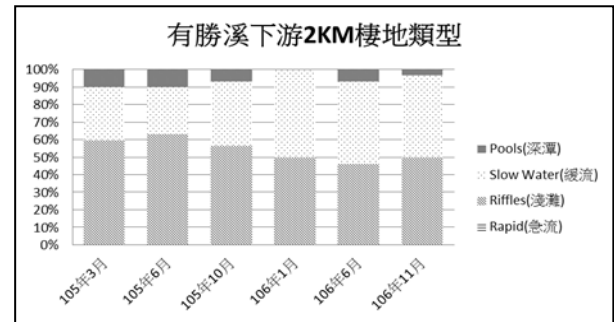


圖 2-26 有勝溪下游棲地比例
(資料來源：本研究團隊)

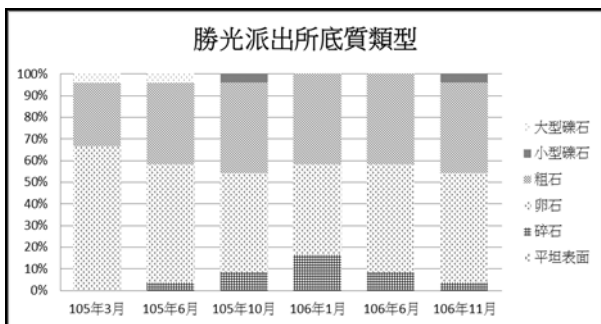


圖 2-27 勝光派出所底質比例
(資料來源：本研究團隊)

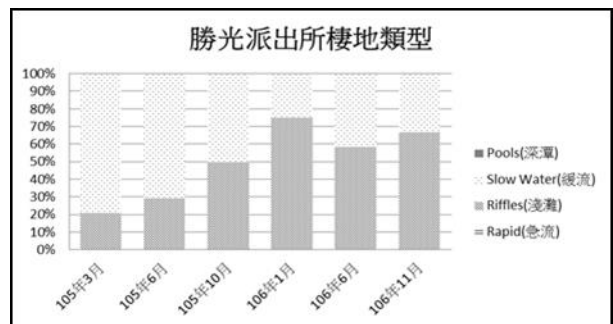


圖 2-28 勝光派出所棲地比例
(資料來源：本研究團隊)

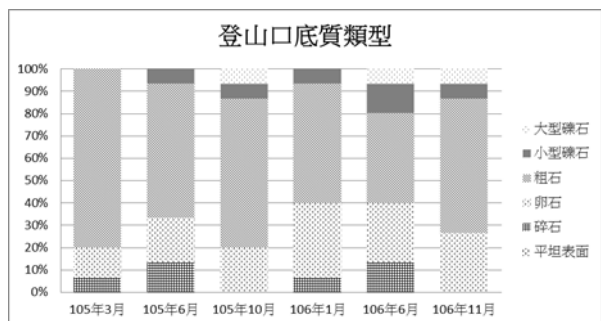


圖 2-29 登山口底質比例
(資料來源：本研究團隊)

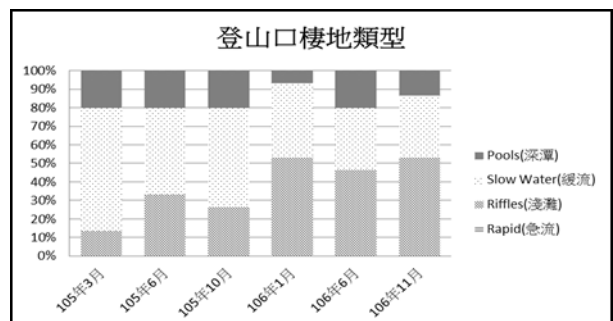


圖 2-30 登山口棲地比例
(資料來源：本研究團隊)

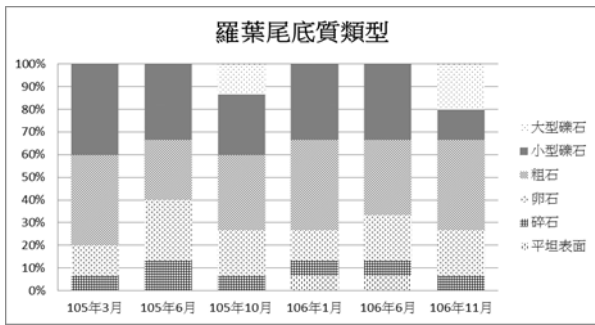


圖 2-31 羅葉尾底質比例
(資料來源：本研究團隊)

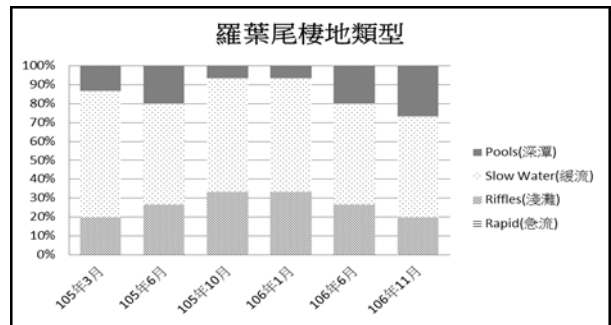


圖 2-32 羅葉尾棲地比例
(資料來源：本研究團隊)



河道平緩、粒徑較小



6 月份調查水深較深



近護岸河岸崩塌，且護岸裂縫產生



有勝溪一號壩下現況

圖 2-33 收費站樣站現地照片 (資料來源：本研究團隊)



河道左岸為農田



Y-29 斷面左岸為岩盤，右岸則有土砂堆積

圖 2-34 有勝溪下游樣站現地照片 (資料來源：本研究團隊)



右岸土砂堆置處有滑落情形



Y-66 斷面處右岸崩塌

圖 2-35 勝光派出所樣站現地照片 (資料來源：本研究團隊)



圖 2-36 登山口樣站現地照片 (資料來源：本研究團隊)



圖 2-37 羅葉尾樣站現地照片 (資料來源：本研究團隊)

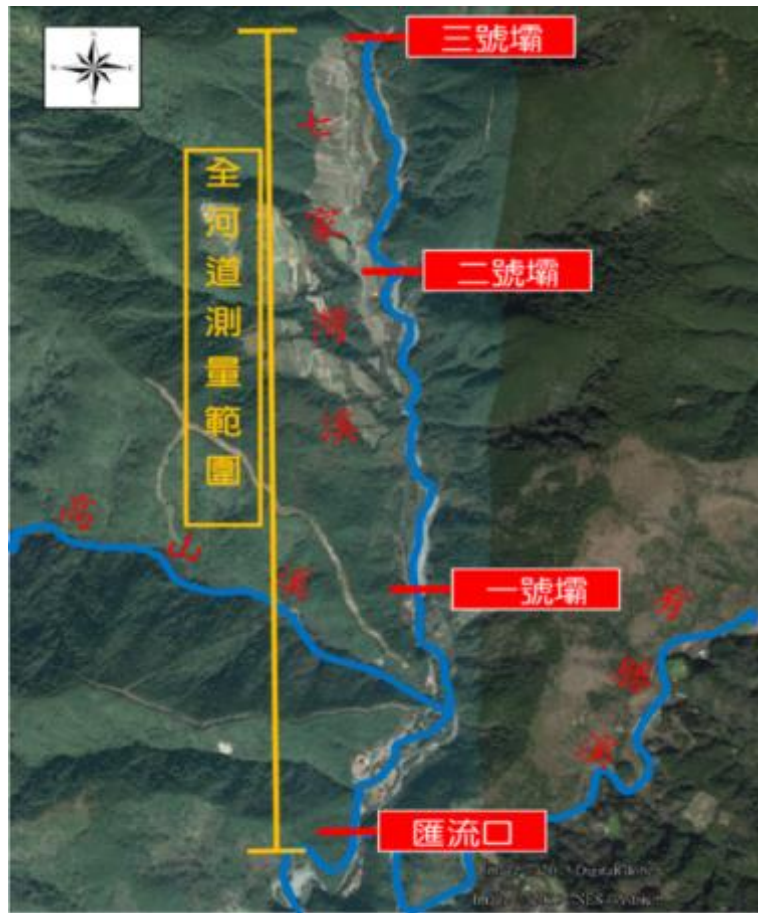


圖 2-38 七家灣溪全河道範圍
(資料來源：本研究團隊)

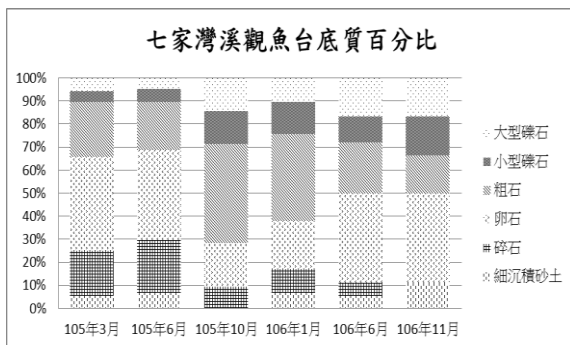


圖 2-39 觀魚臺底質比例
(資料來源：本研究團隊)

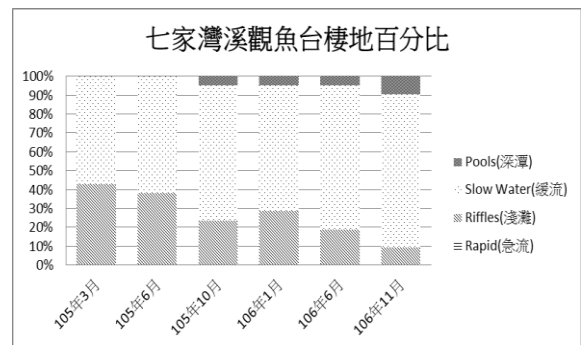


圖 2-40 觀魚臺棲地比例
(資料來源：本研究團隊)

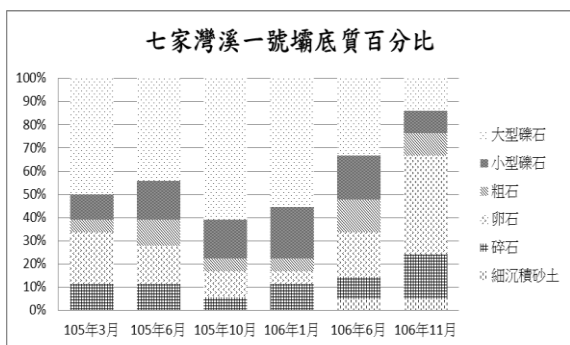


圖 2-41 一號壩底質比例
(資料來源：本研究團隊)

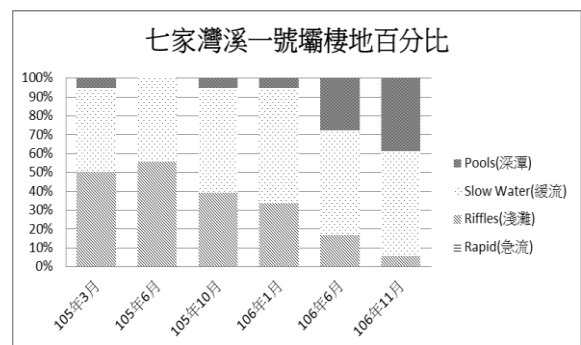


圖 2-42 一號壩棲地比例
(資料來源：本研究團隊)

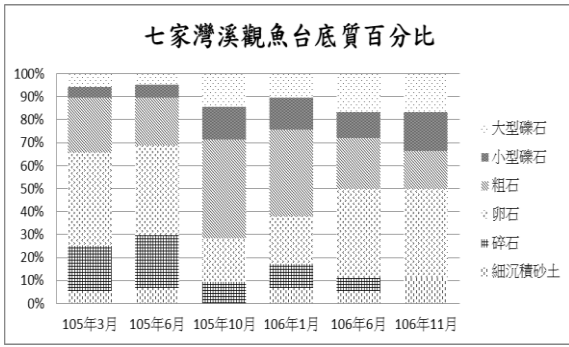


圖 2-43 繁殖場底質比例
(資料來源：本研究團隊)

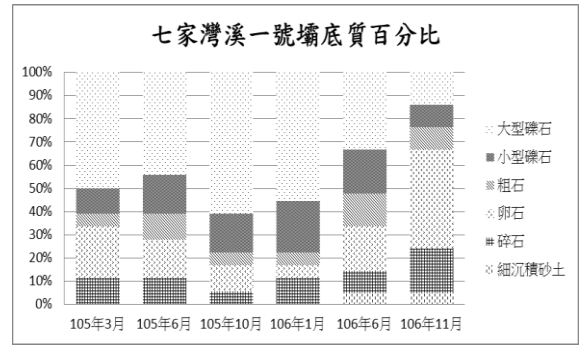


圖 2-44 繁殖場棲地比例
(資料來源：本研究團隊)



圖 2-45 觀魚臺樣站斷面位置圖
(資料來源：本研究團隊)



圖 2-46 繁殖場樣站斷面位置圖
(資料來源：本研究團隊)



圖 2-47 一號壩樣站斷面位置圖
(資料來源：本研究團隊)



106 年 4 月



106 年 11 月

圖 2-48 觀魚臺樣站現地照片
(資料來源：本研究團隊)



106 年 11 月一號壩下深潭



100 年完成壩體改善



106 年 11 月一號壩上游



106 年 6 月一號壩下游

圖 2-49 一號壩樣站現地照片
(資料來源：本研究團隊)



106 年 3 月匯流口上游



106 年 11 月匯流口處



106 年 11 月匯流口上游



106 年 11 月匯流口下游

圖 2-50 繁殖場樣站現地照片
(資料來源：本研究團隊)

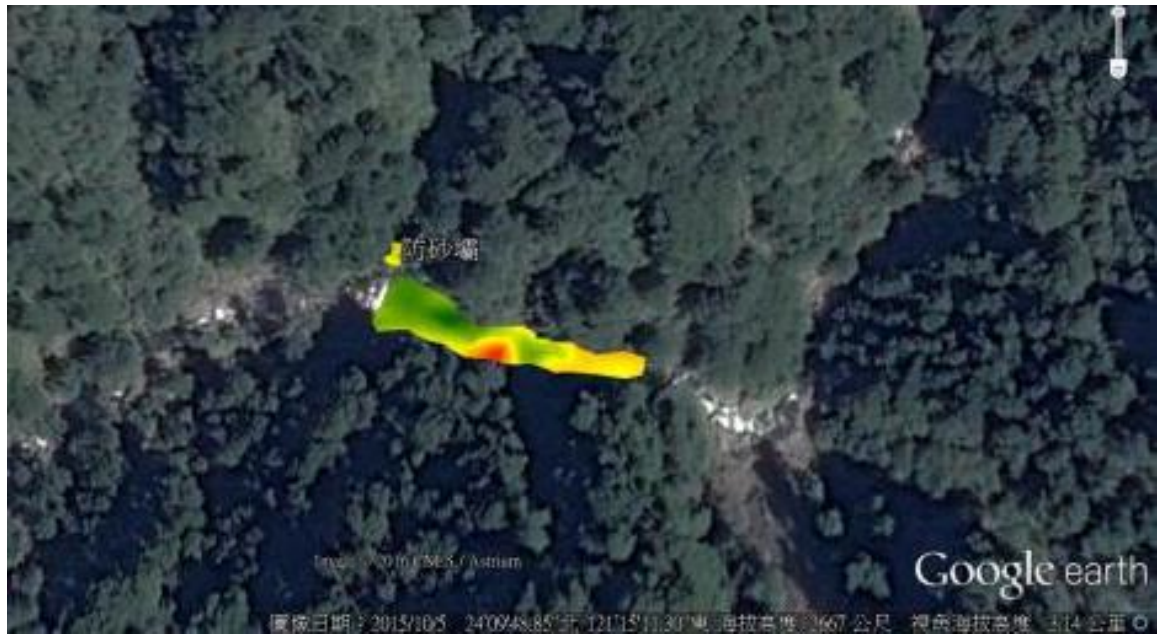


圖 2-51 合歡溪及其防砂壩和研究河段位置
(資料來源：本研究團隊)

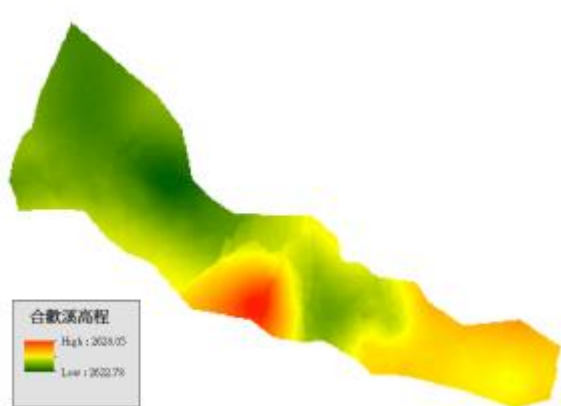


圖 2-52 合歡溪測量範圍高程分佈圖
(資料來源：本研究團隊)

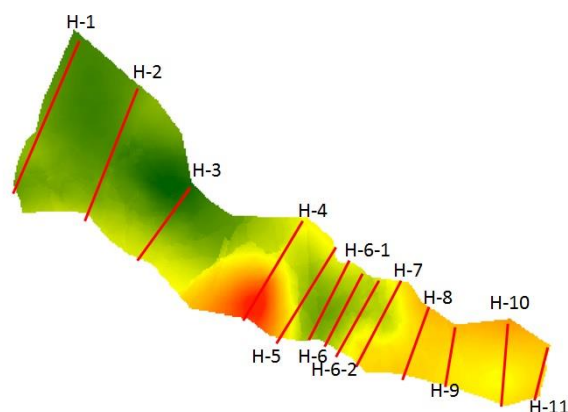


圖 2-53 合歡溪測量斷面位置圖
(資料來源：本研究團隊)

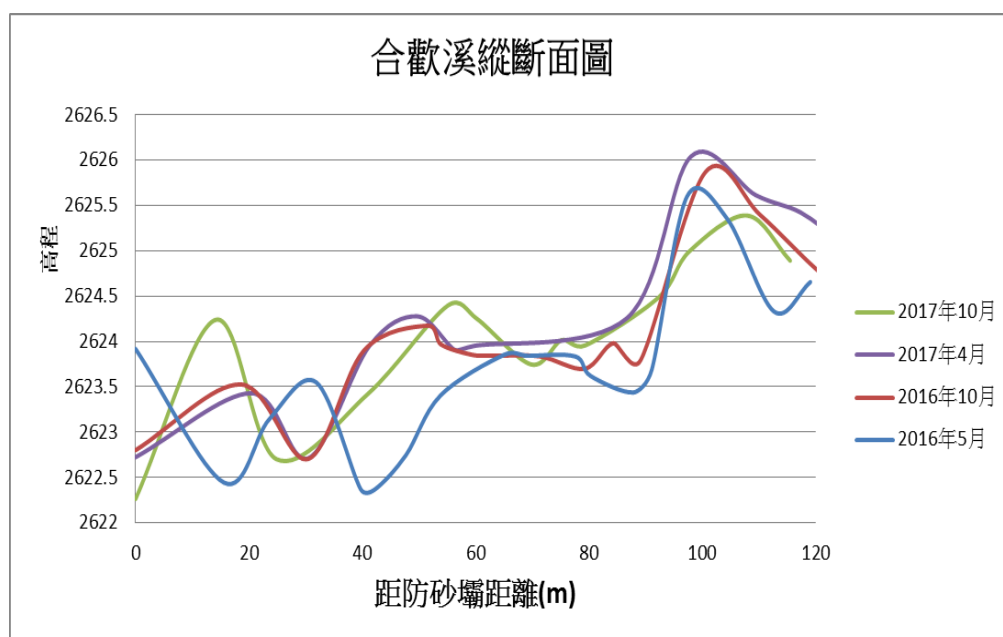


圖 2-54 合歡溪河道斷面高程剖面圖
(資料來源：本研究團隊)

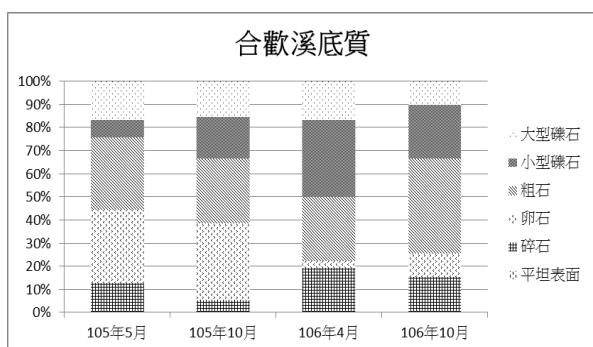


圖 2-55 合歡溪底質比例
(資料來源：本研究團隊)

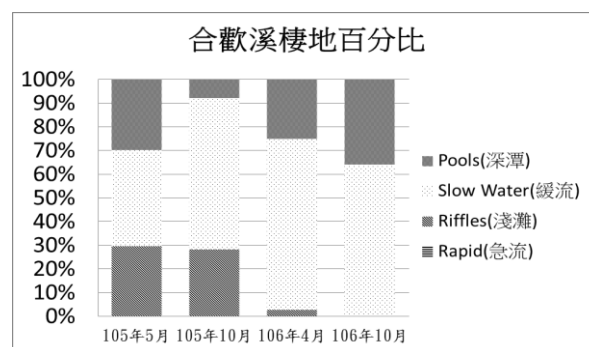


圖 2-56 合歡溪棲地比例
(資料來源：本研究團隊)



105 年 5 月調查前



106 年 10 月河道內堆積情形



106 年 10 月取水口



106 年 10 月上游處

圖 2-57 合歡溪現地照片
(資料來源：本研究團隊)



105 年 3 月二號壩



106 年 10 月二號壩下游



106 年 3 月二號壩上游



97 年二號壩

圖 2-58 高山溪現地照
(資料來源：本研究團隊)

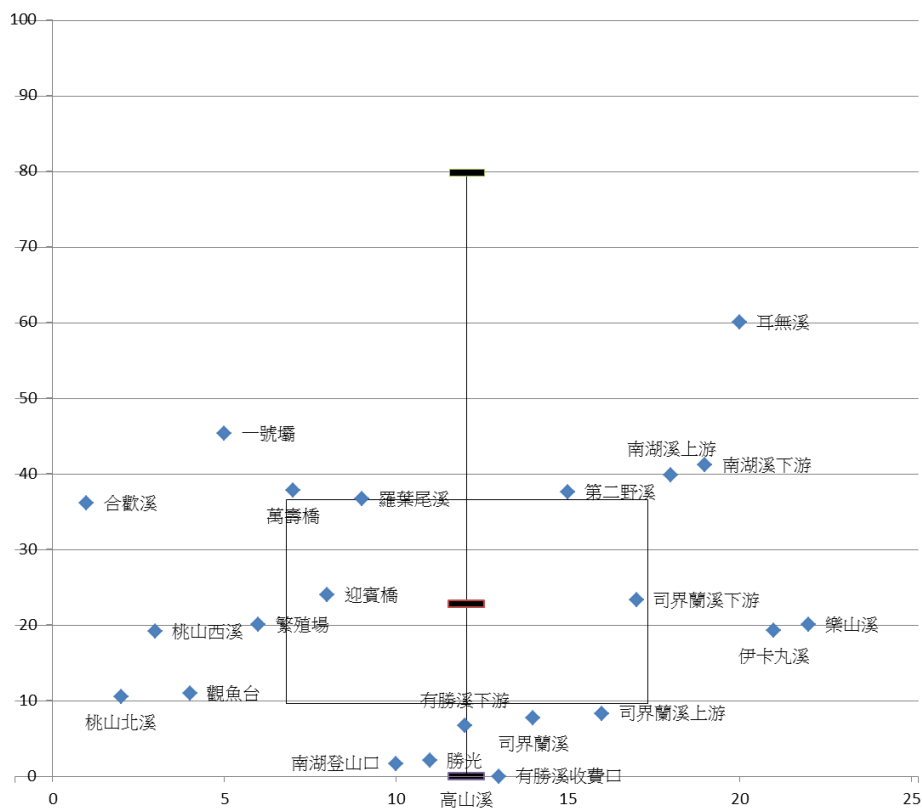


圖 2-59 高山溪底質資料盒鬚圖
(資料來源：本研究團隊)

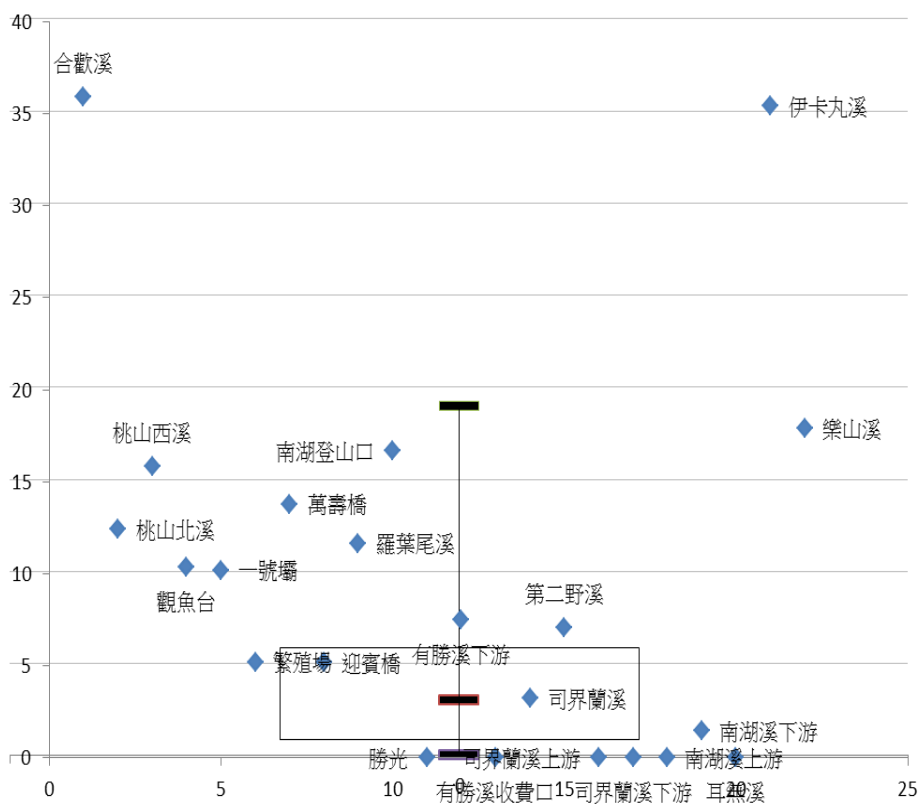


圖 2-60 高山溪棲地資料盒鬚圖
(資料來源：本研究團隊)

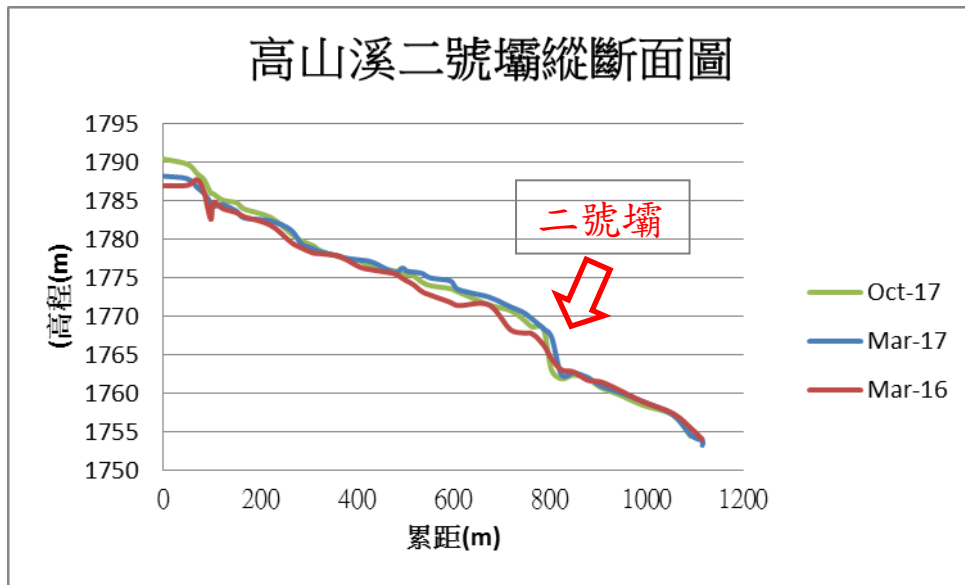


圖 2-61 高山溪二號壩縱斷面圖
(資料來源：本研究團隊)

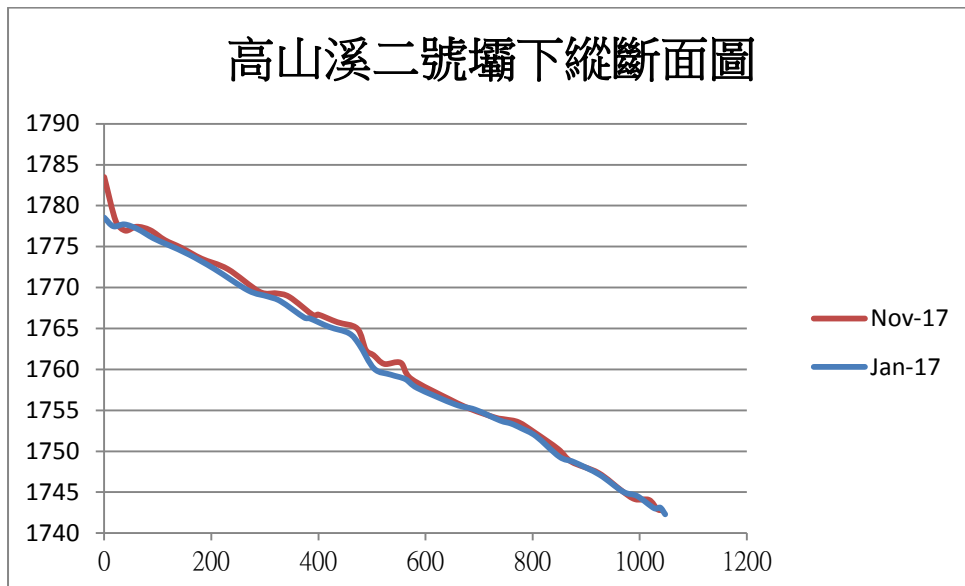


圖 2-62 高山溪二號壩下縱斷面圖
(資料來源：本研究團隊)



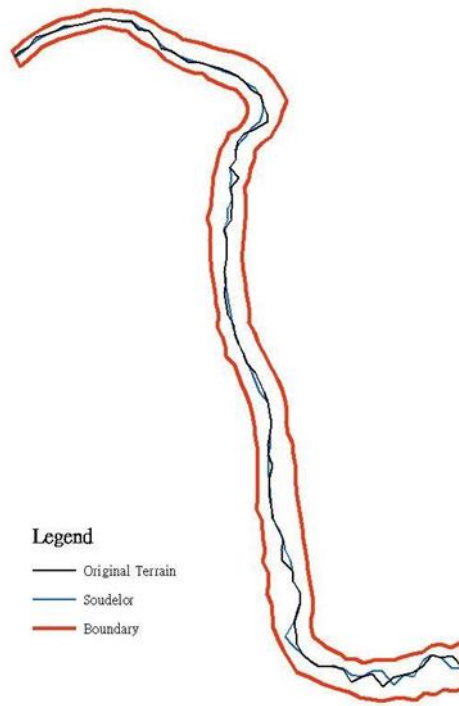
圖 2-63 有勝溪一號壩位置
(資料來源：本研究團隊)

類別 \ 分數	0	1	2	3	4
劣化程度(D)	N/A	良好	尚可	差	嚴重損害
劣化範圍(E)	N/A	<10%	<30%	<60%	>60%
影響程度(R)	N/A	微	小	中	大
緊急程度(U)	N/A	追蹤檢查	改善計畫	注意改善	立即改善

圖 2-64 DERU 評估法
(資料來源：高公局，1996)

檢測項目	狀況類型	評估值			ICij	CI
		劣化程度 (D)	列畫範圍 (E)	影響程度 (R)		
壩翼	植生	1	1	1	98	99
壩基	下切	1	1	1	98	
溢洪道	磨損	2	1	1	98	
護岸	-	0	0	0	100	
副壩	-	0	0	0	100	
護坦	-	0	0	0	100	
魚梯	-	0	0	0	100	

圖 2-65 一號壩評估結果
(資料來源：郭上琳，2015)



Legend

- Original Terrain
- Soudelor
- Boundary

圖 2-66 一號壩評估結果
(資料來源：翁崇豪，2017)

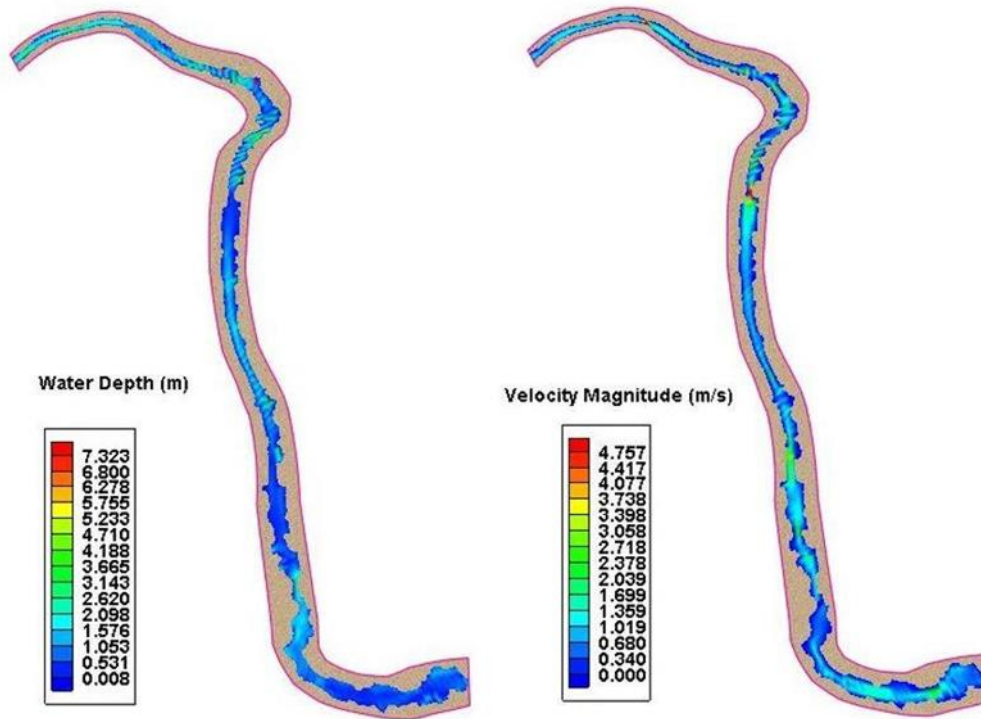
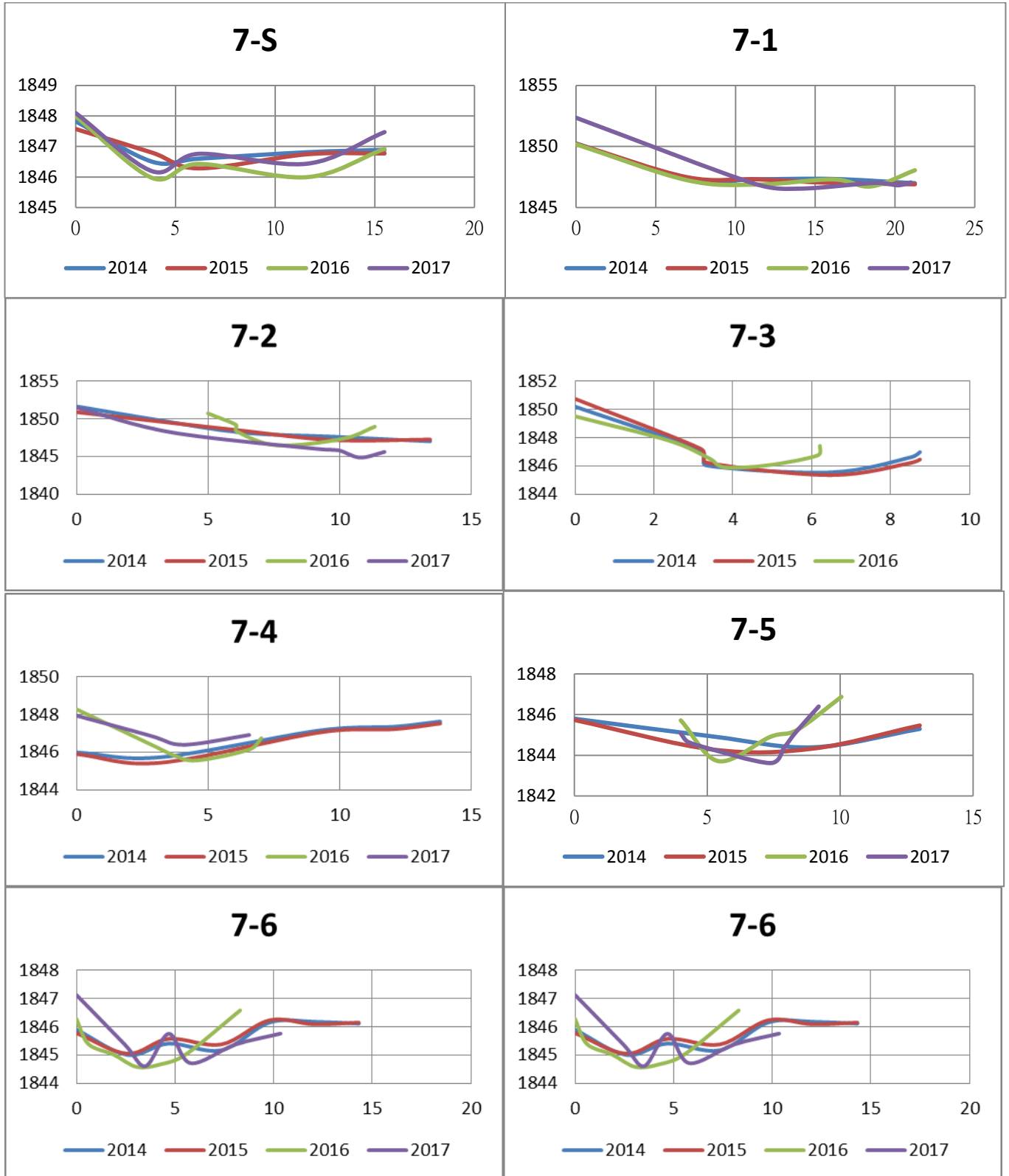
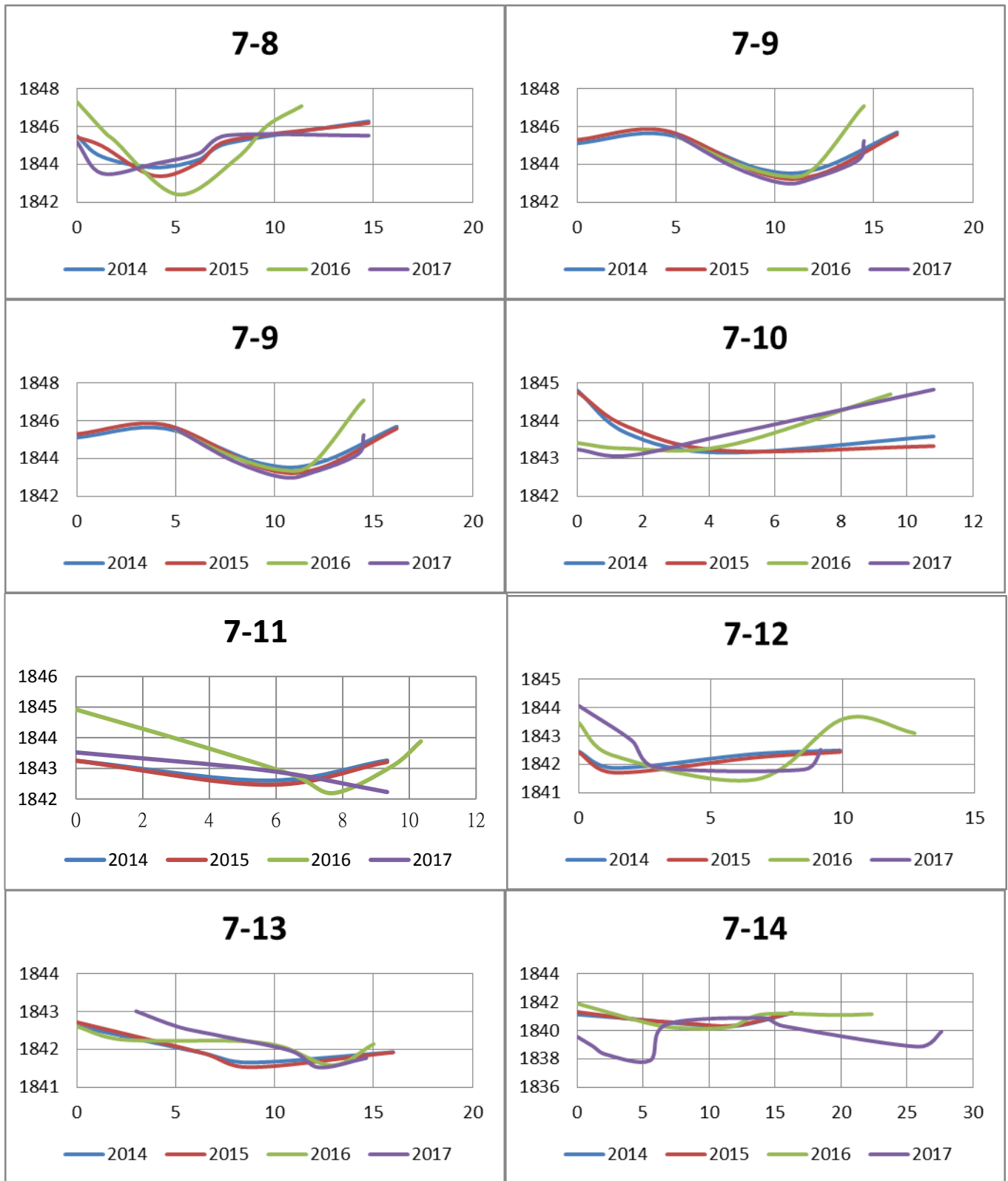


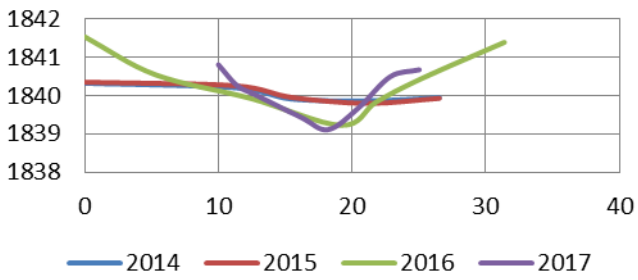
圖 2-67 水深流速示意圖
(資料來源：翁崇豪，2017)

附件一 七家灣溪河道測量橫斷面圖

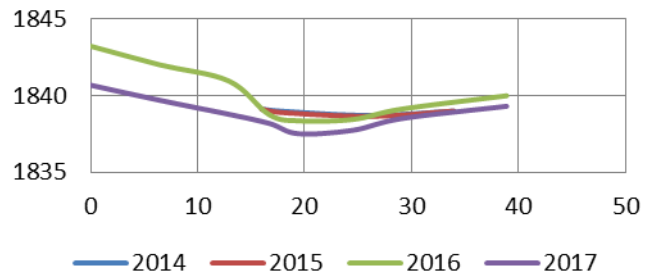




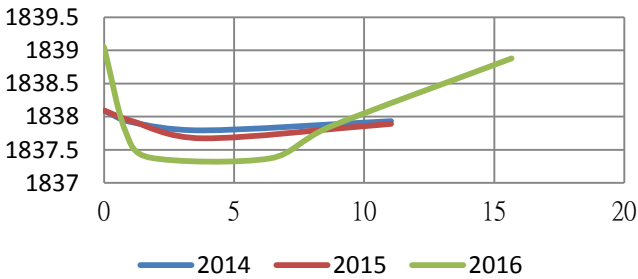
7-15



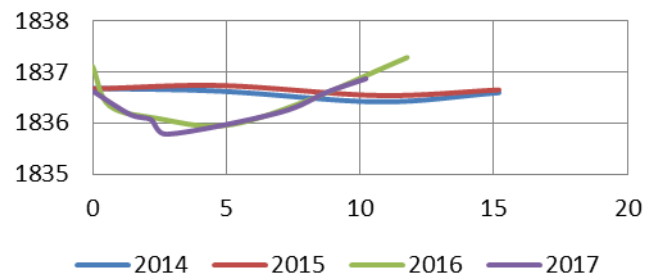
7-16



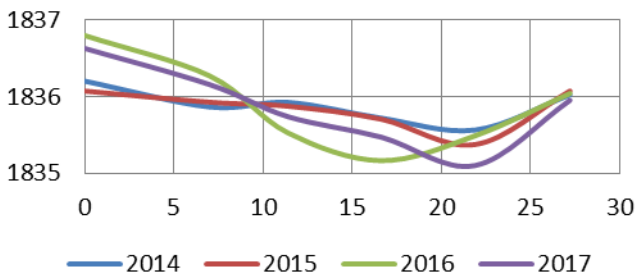
7-17



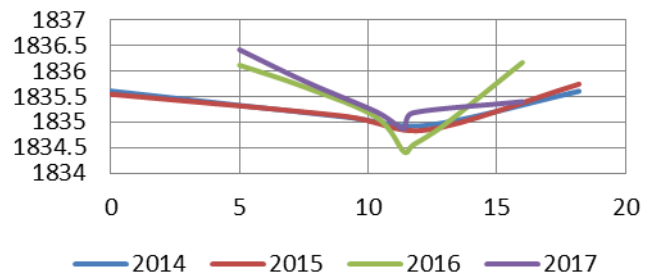
7-18



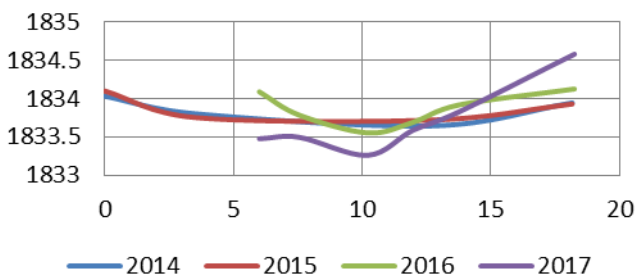
7-19



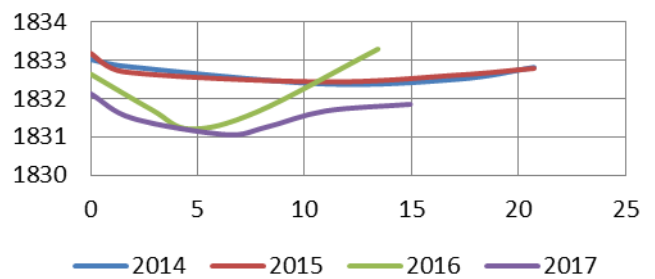
7-20



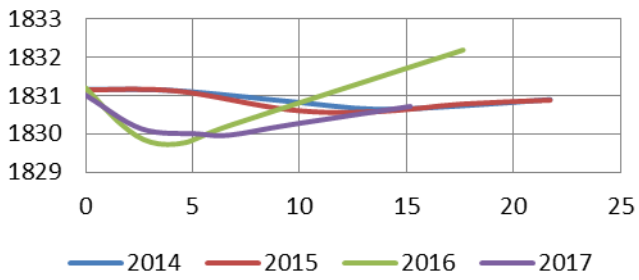
7-21



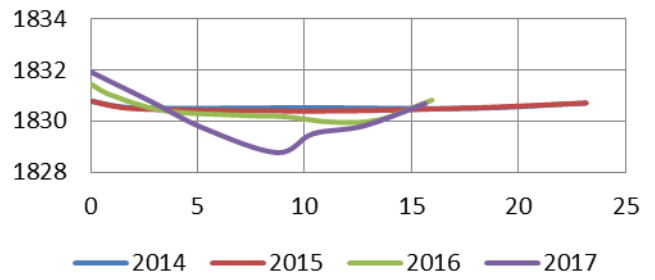
7-22



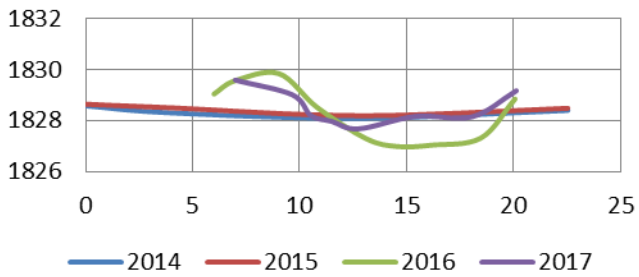
7-23



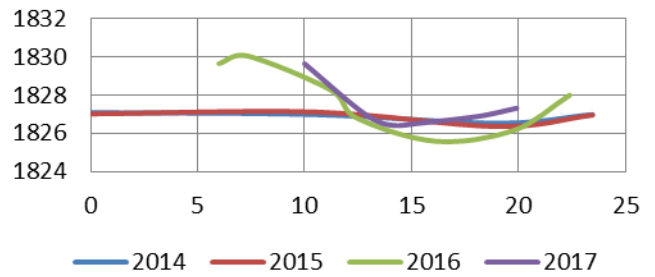
7-24



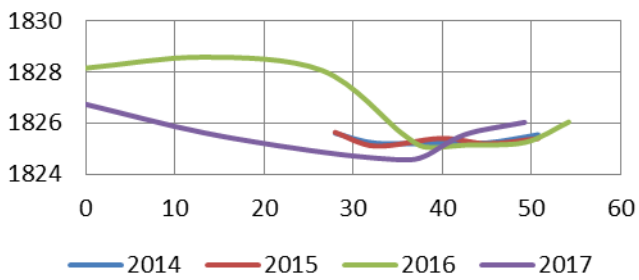
7-25



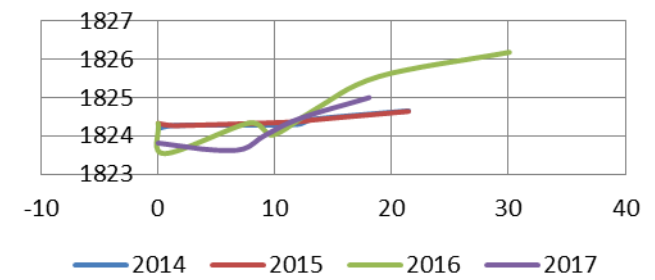
7-26



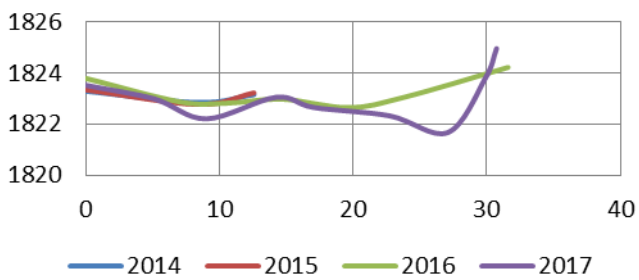
7-27



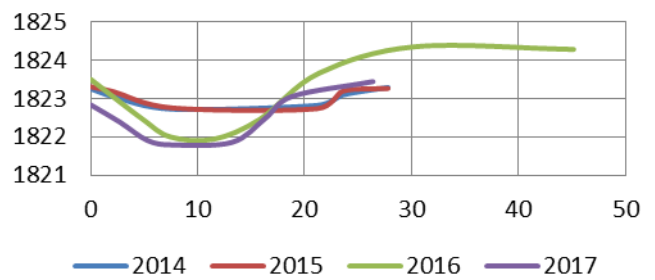
7-28



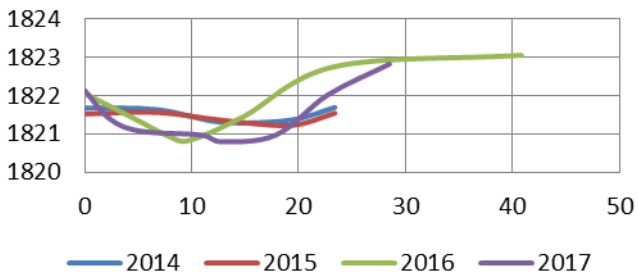
7-29



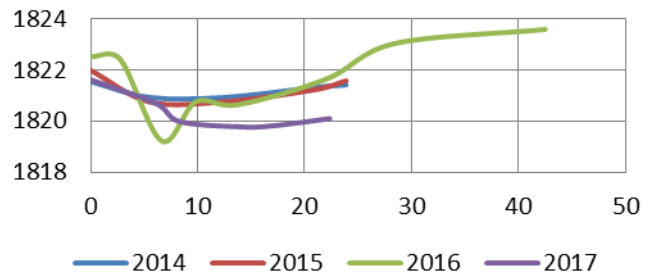
7-30



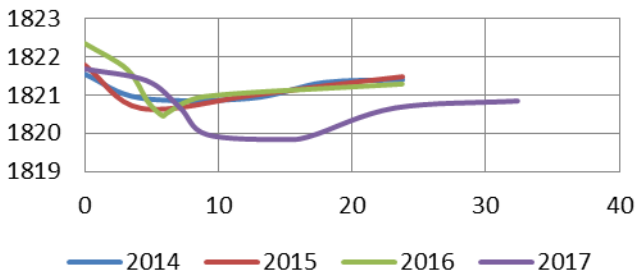
7-31



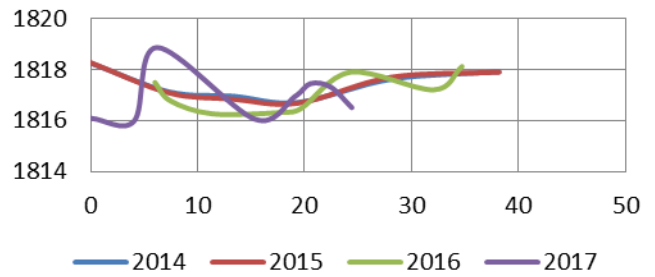
7-32



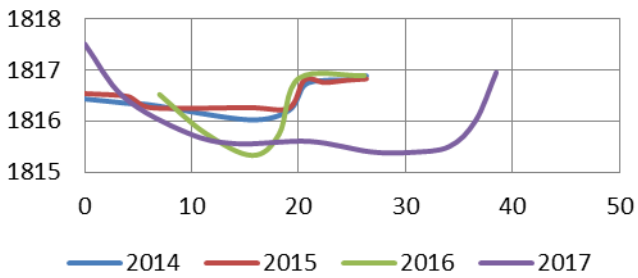
7-33



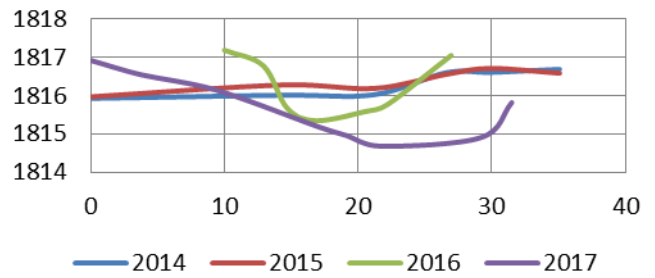
7-34



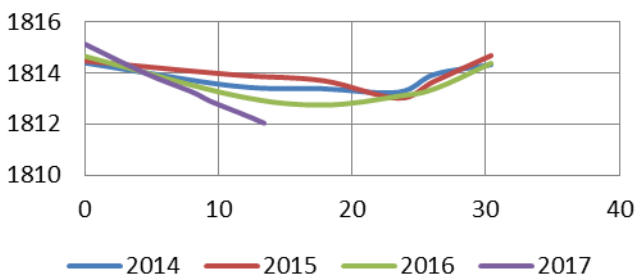
7-35



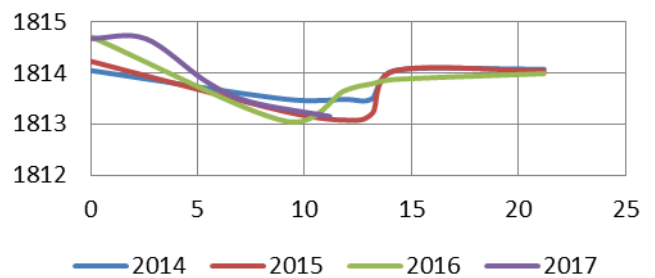
7-36



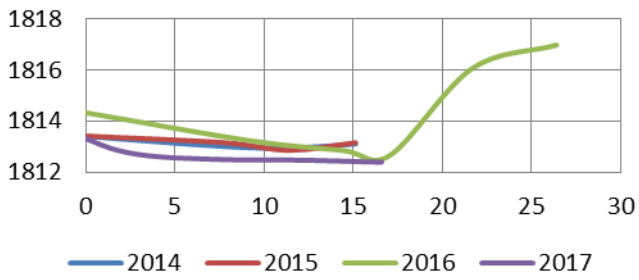
7-37



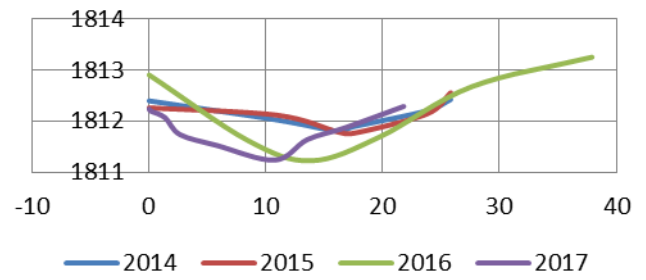
7-38



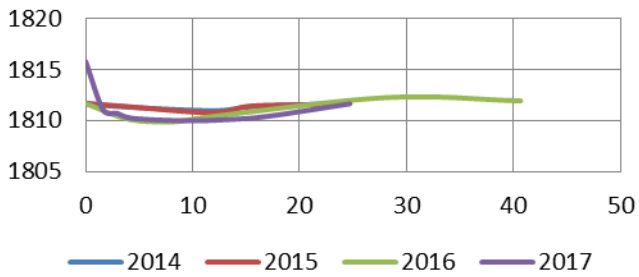
7-39



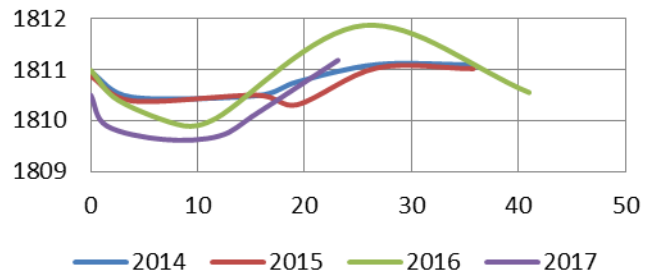
7-40



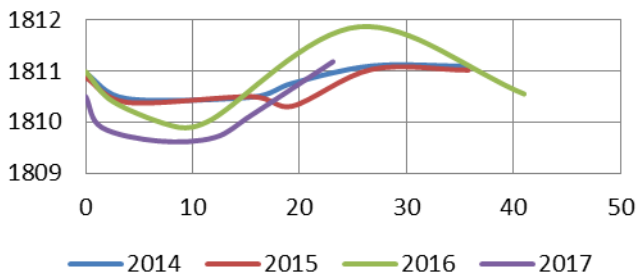
7-41



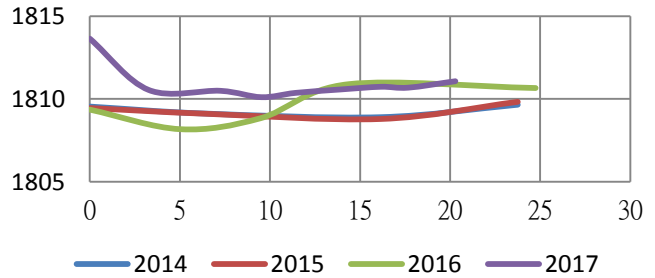
7-42



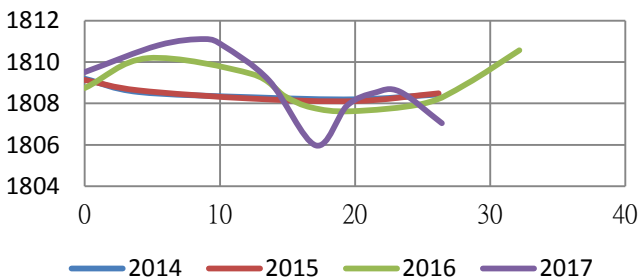
7-42



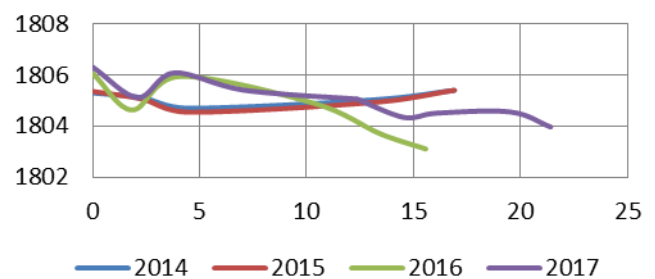
7-43



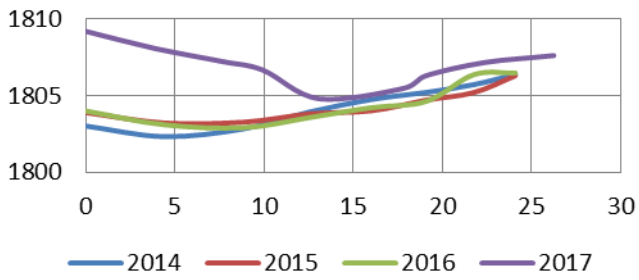
7-44



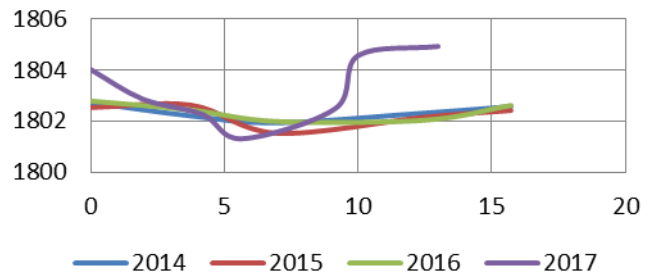
7-45



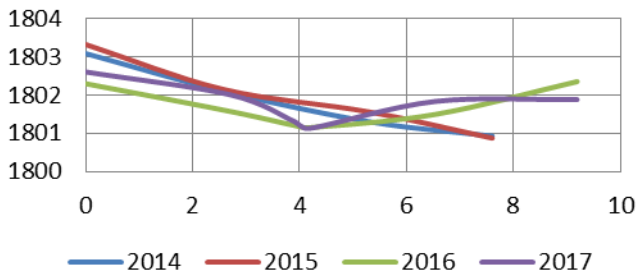
7-46



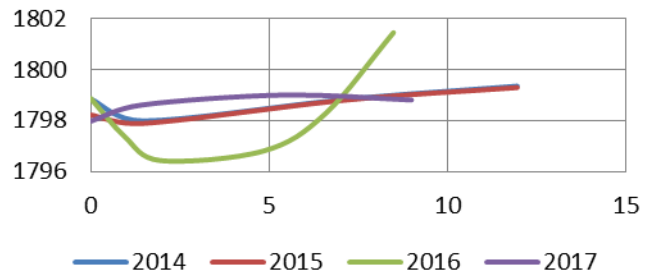
7-47



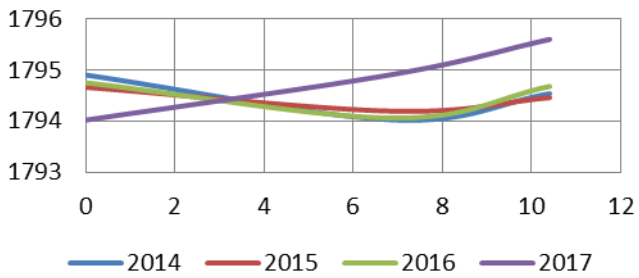
7-48



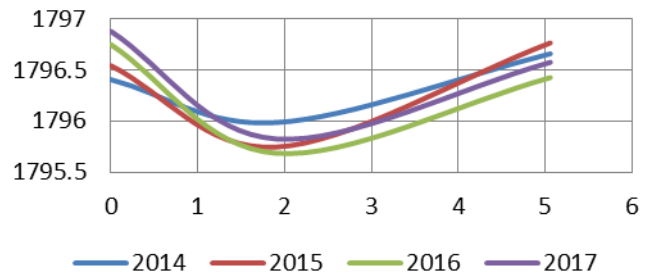
7-49



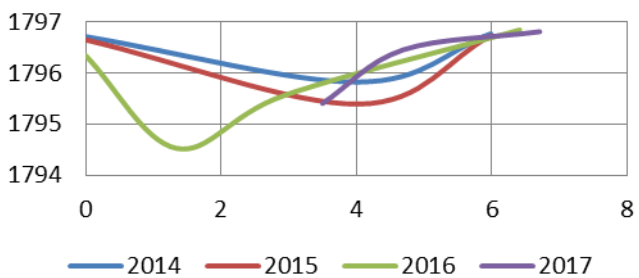
7-50



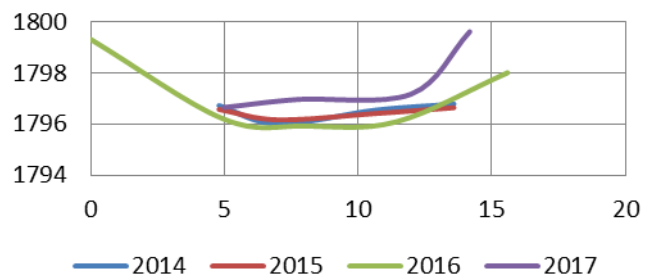
7-51



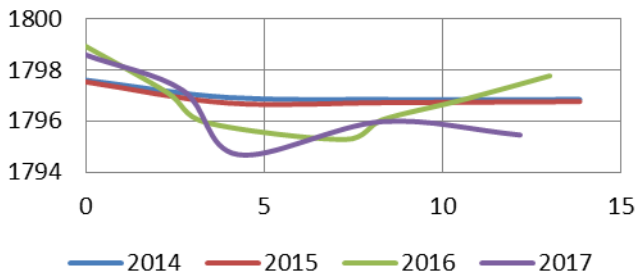
7-52



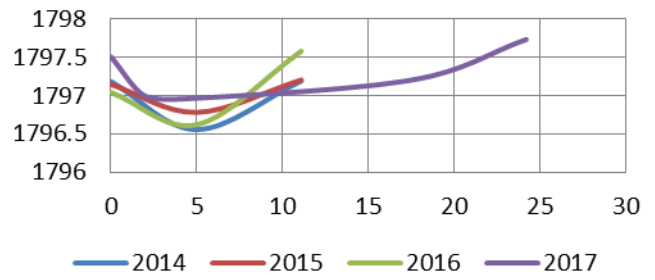
7-53



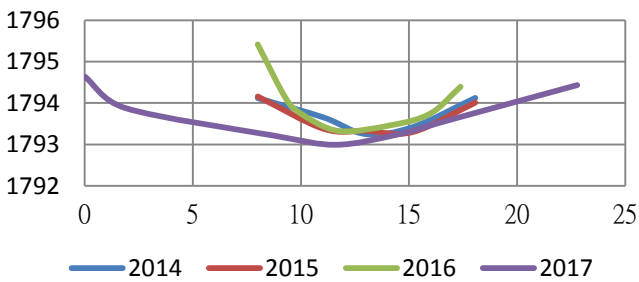
7-54



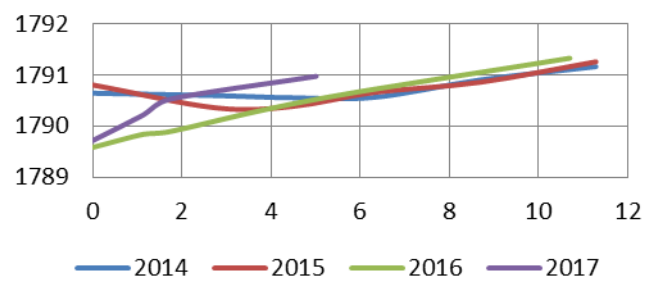
7-55



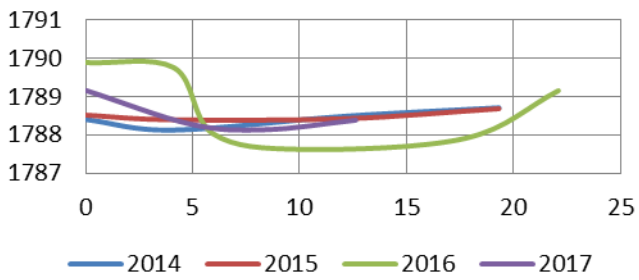
7-56



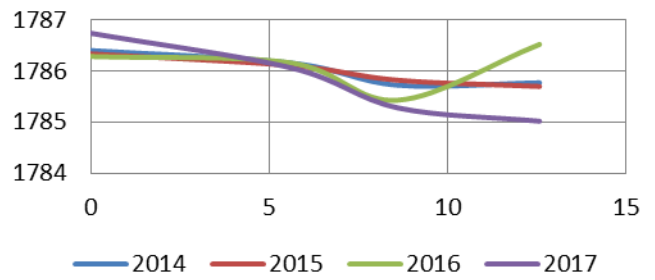
7-57



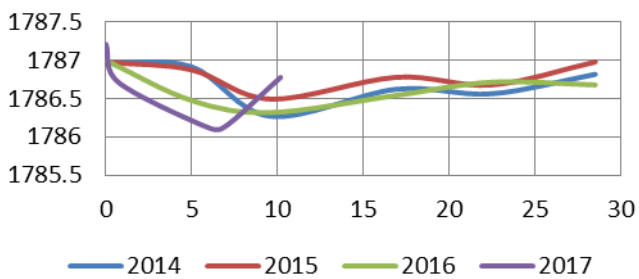
7-58



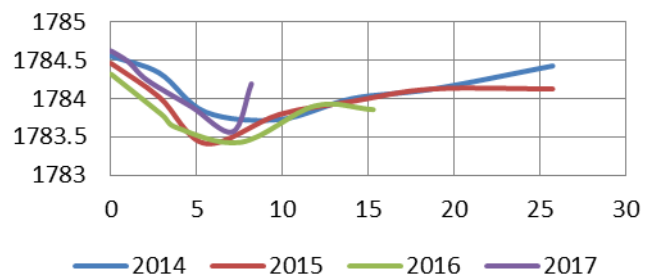
7-59

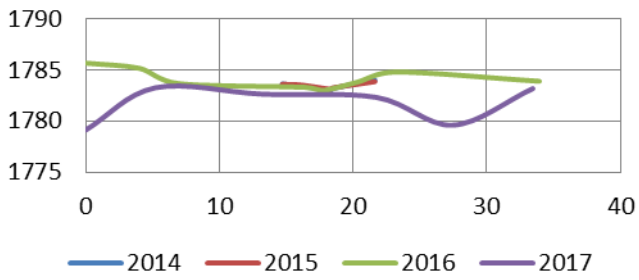
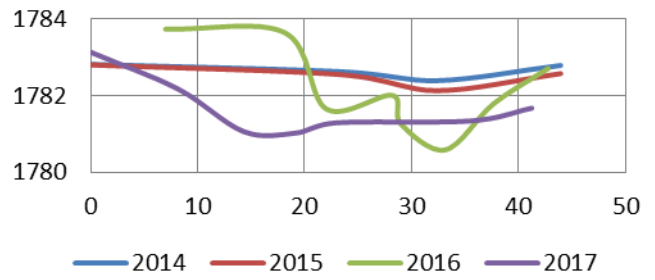
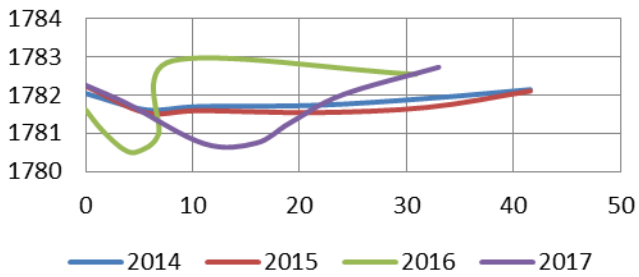
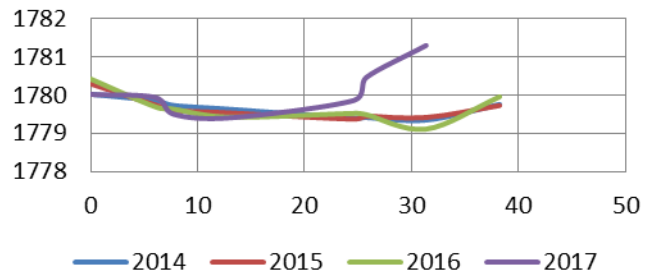
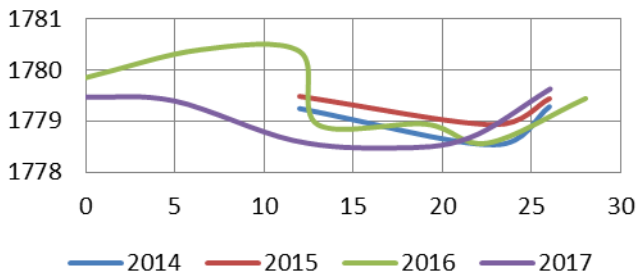
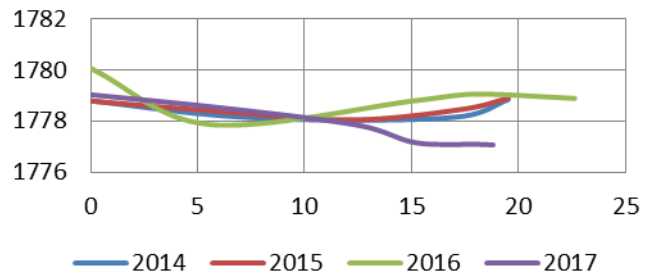
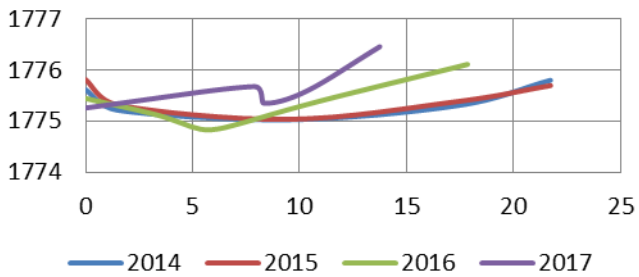
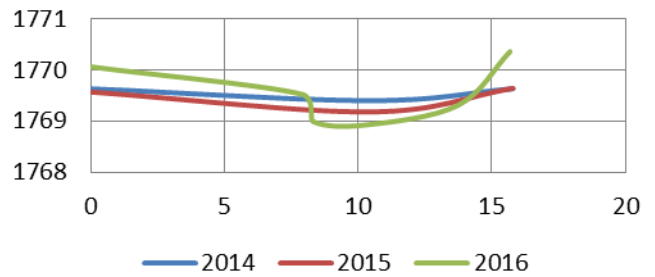


7-60

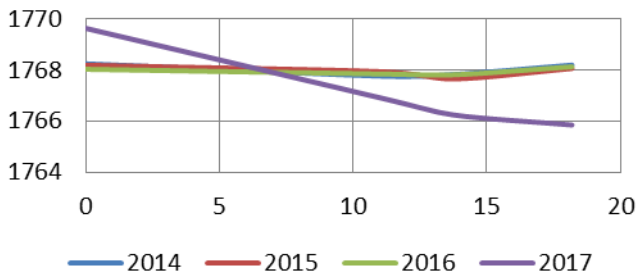


7-61

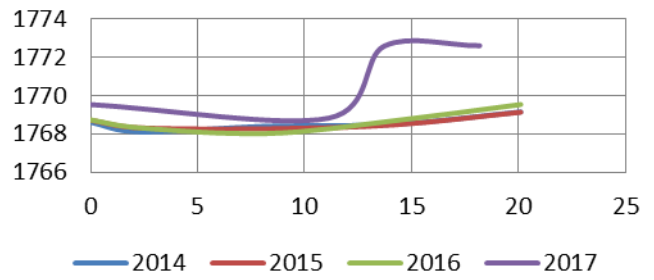


7-62**7-63****7-64****7-65****7-66****7-67****7-68****7-69**

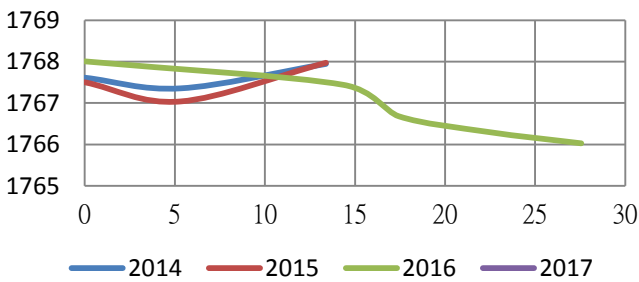
7-70



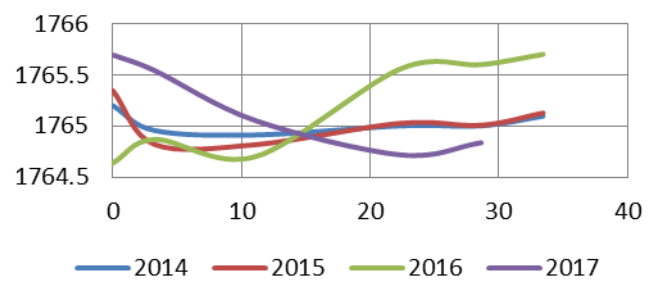
7-71



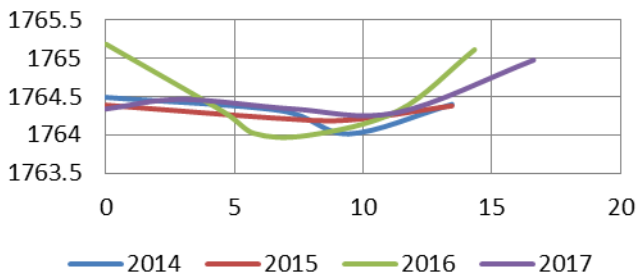
7-72



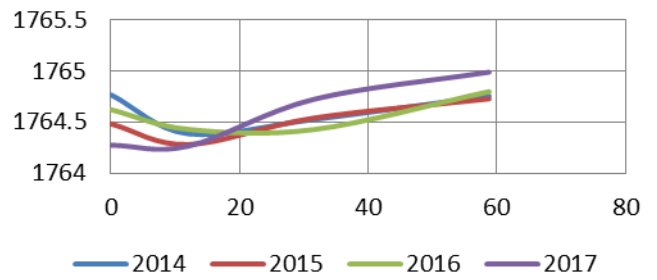
7-73



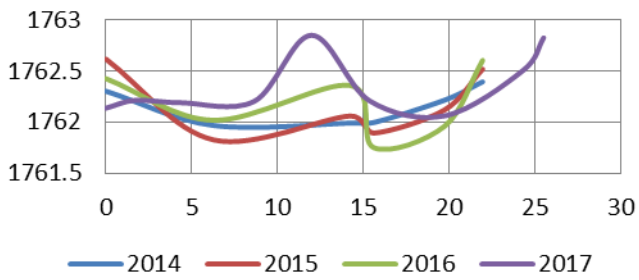
7-74



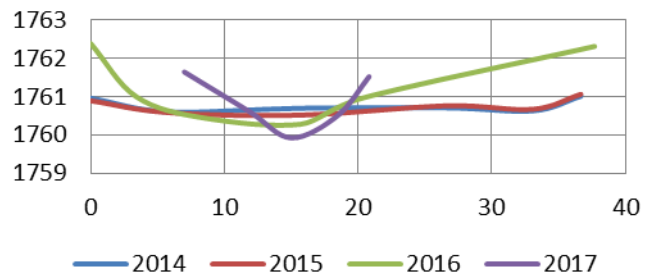
7-75



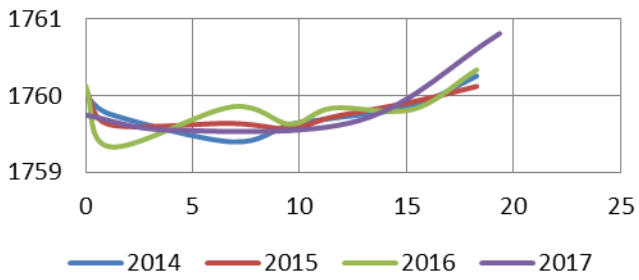
7-76



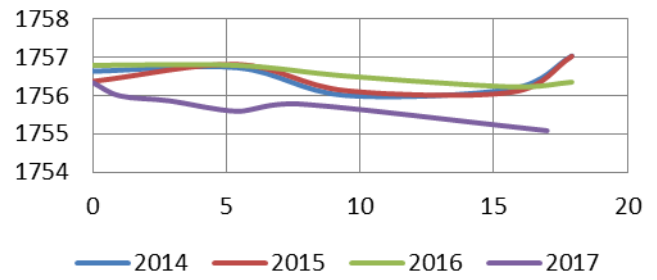
7-77



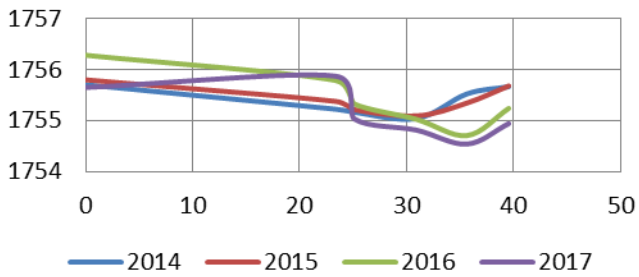
7-78



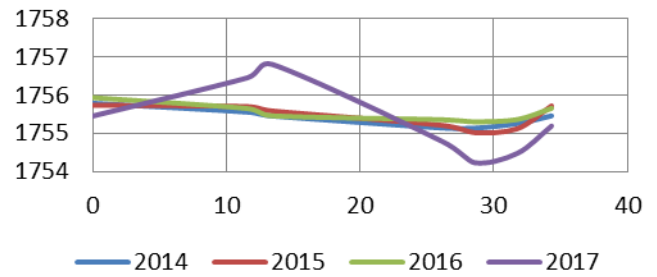
7-79



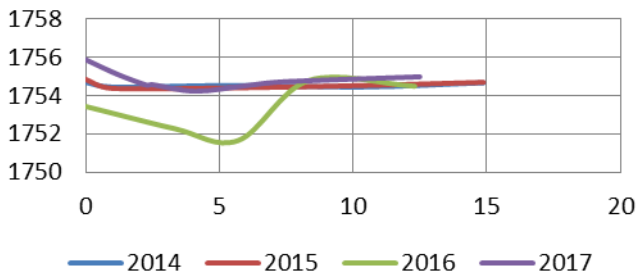
7-80



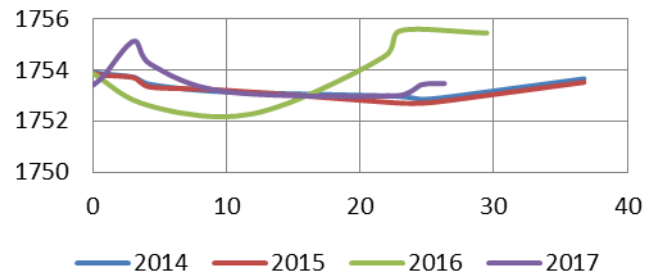
7-81



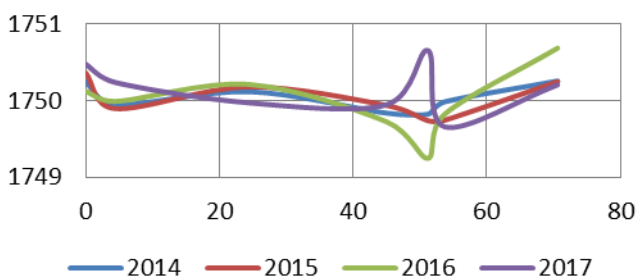
7-82



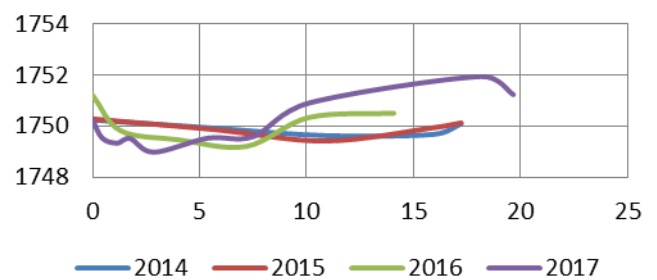
7-83



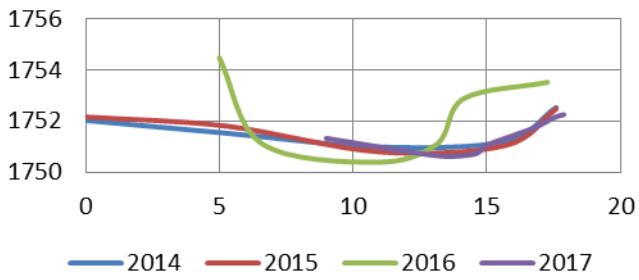
7-84



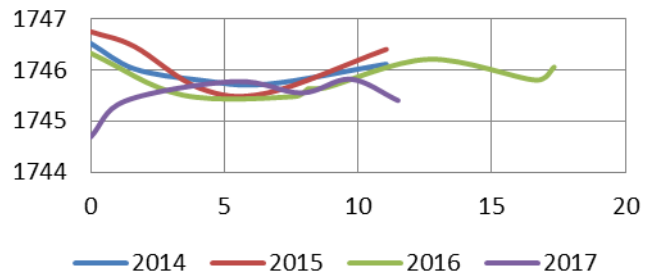
7-85



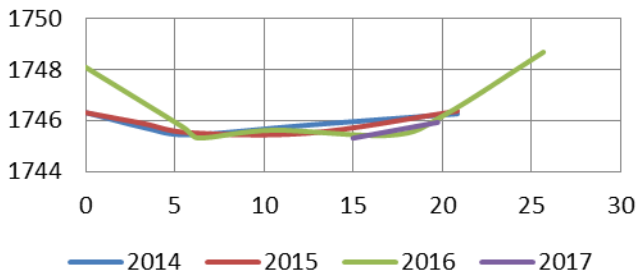
7-86



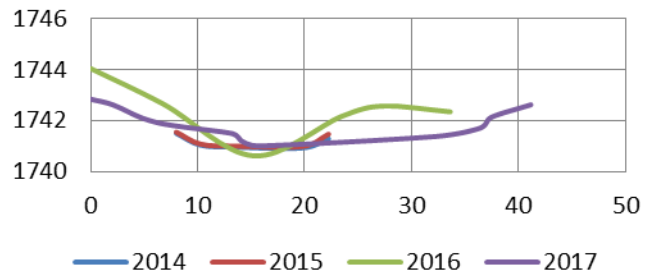
7-87



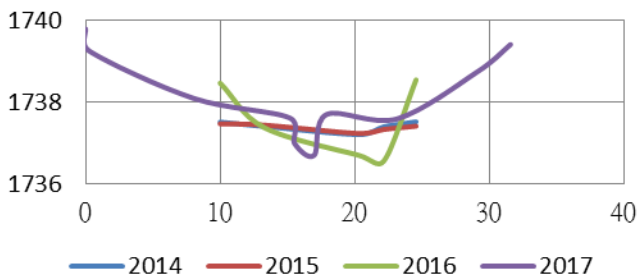
7-88



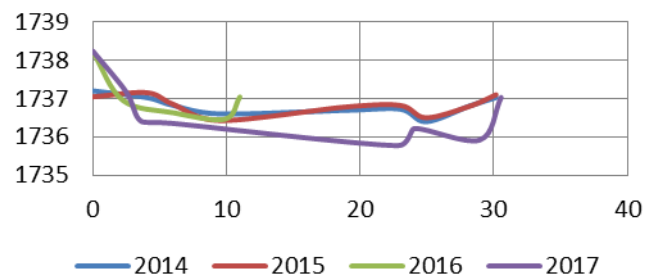
7-89



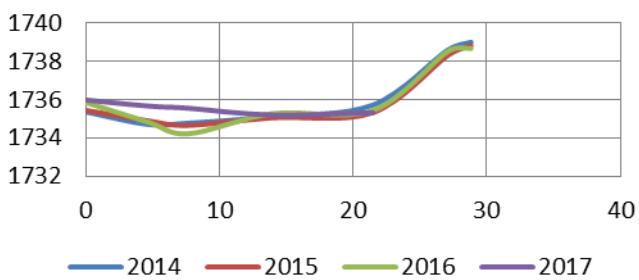
7-90



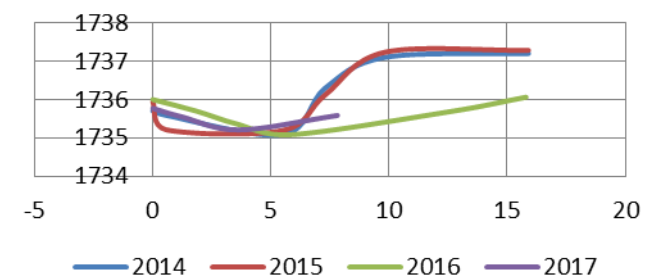
7-91



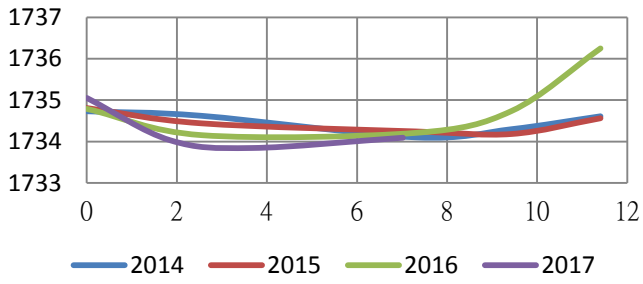
7-92



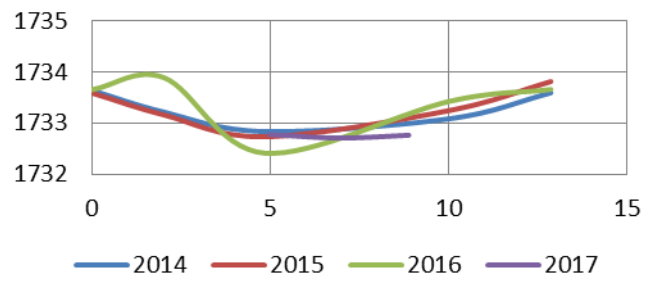
7-93



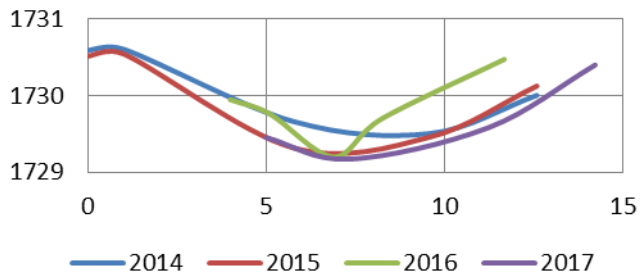
7-94



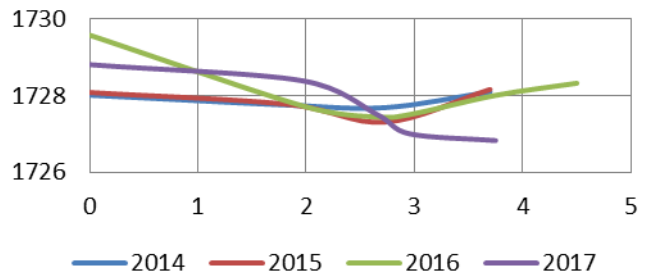
7-95



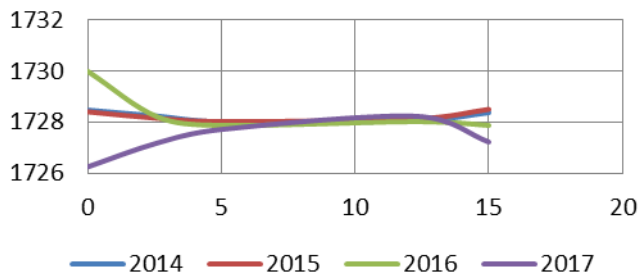
7-96



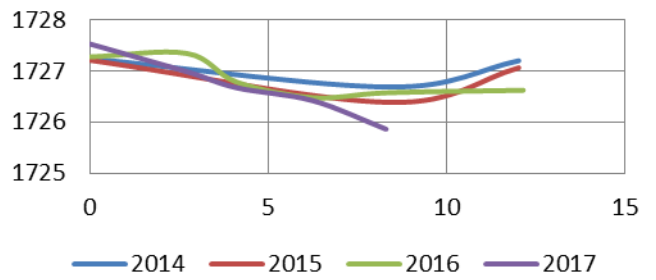
7-97



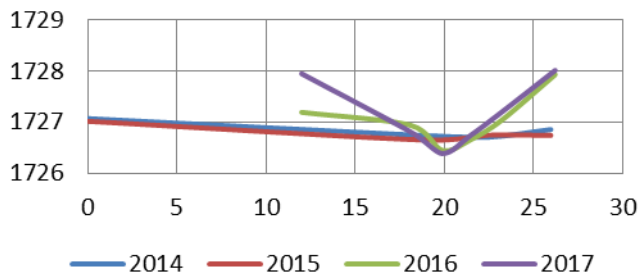
7-98



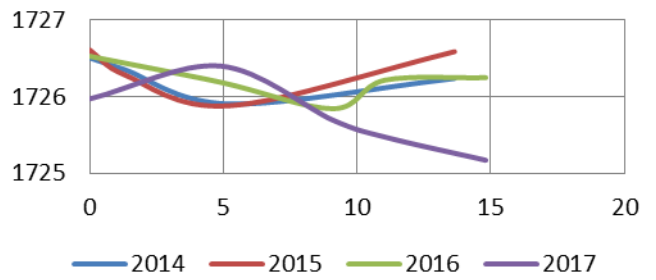
7-99



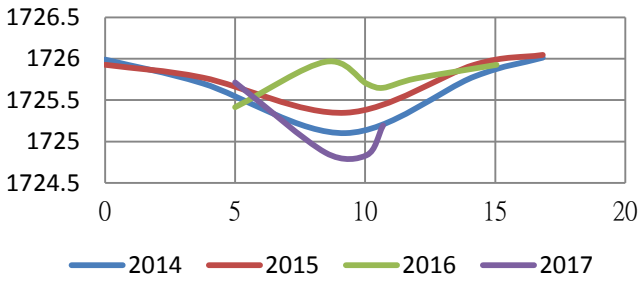
7-100



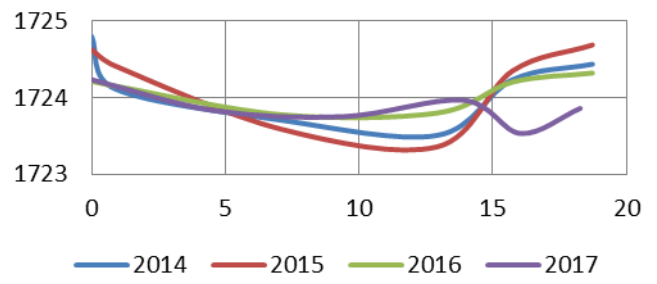
7-101



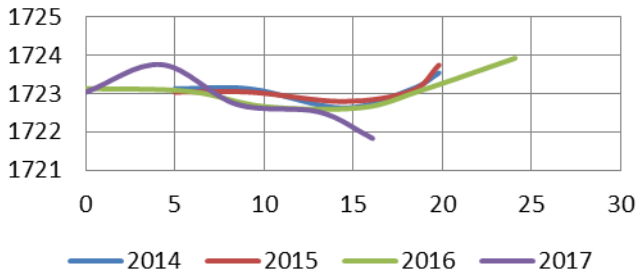
7-102



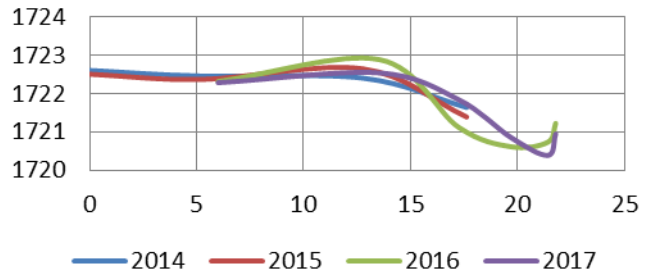
7-103



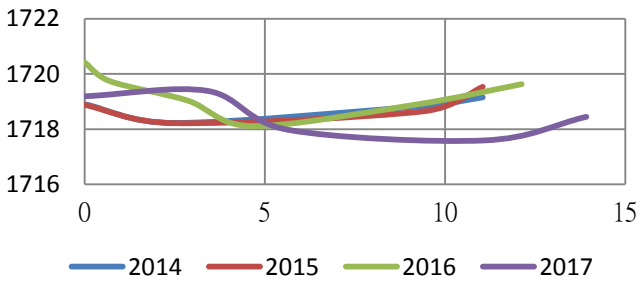
7-104



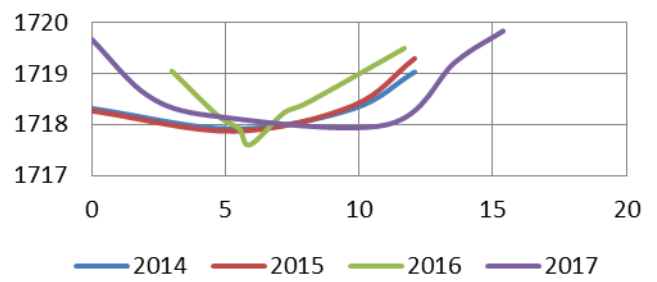
7-105



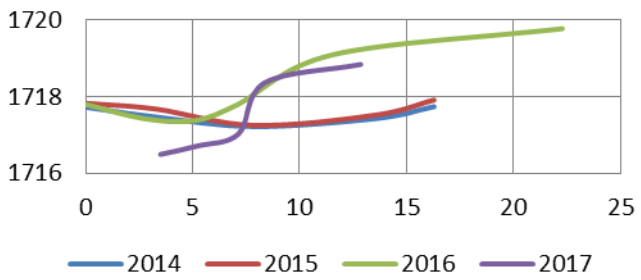
7-106



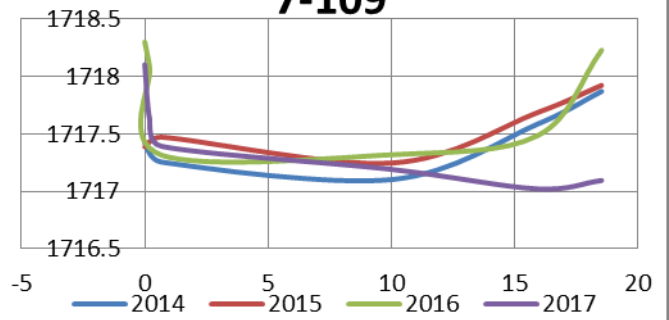
7-107



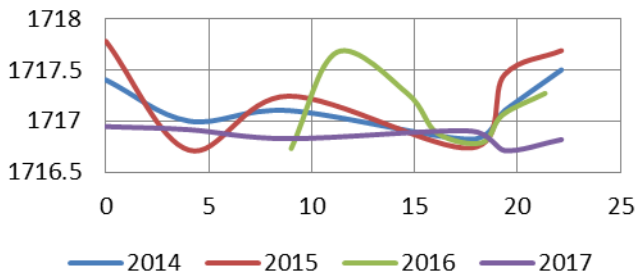
7-108



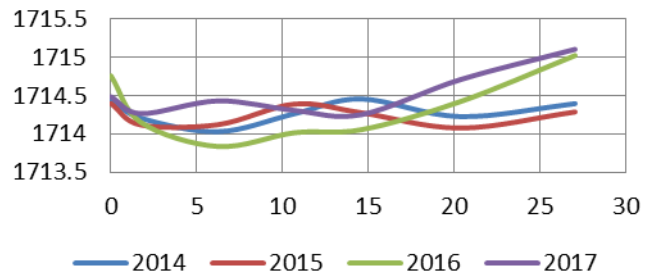
7-109



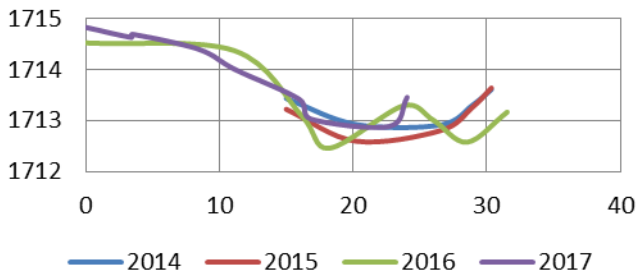
7-110



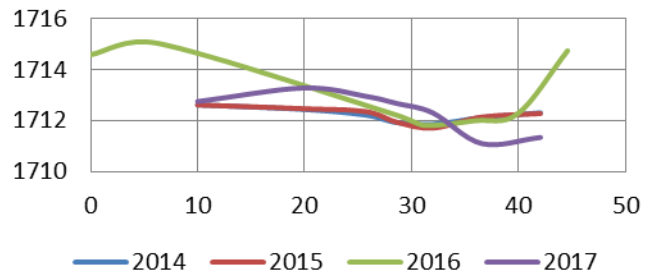
7-111



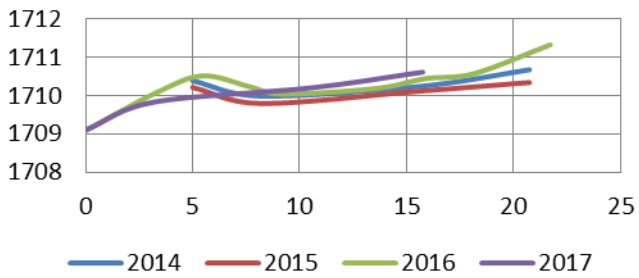
7-112



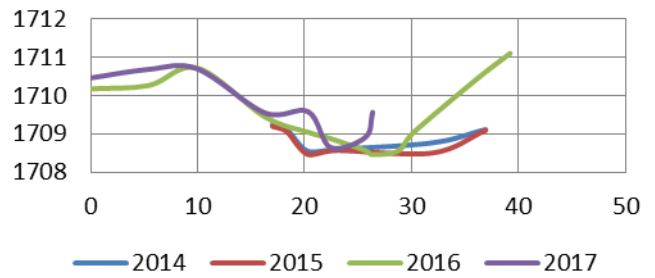
7-113



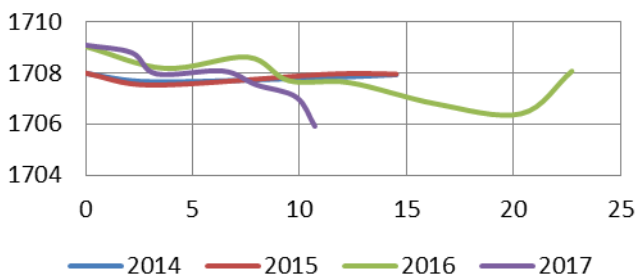
7-114



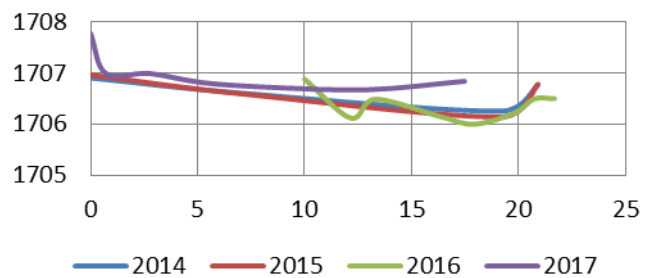
7-115



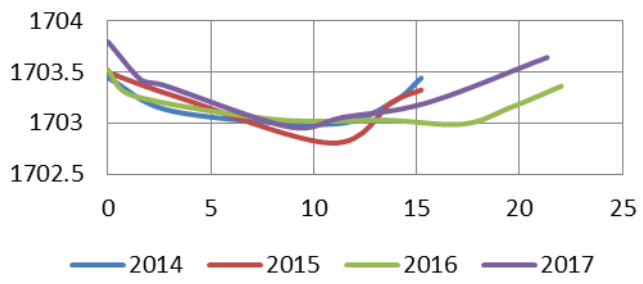
7-116



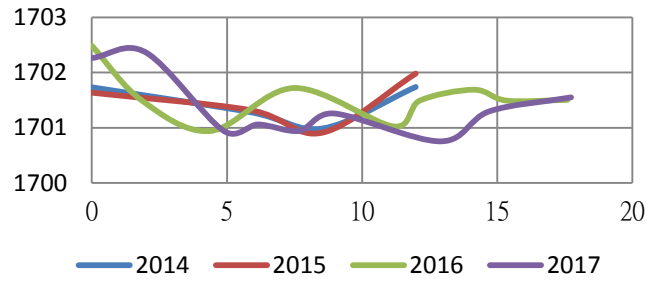
7-117



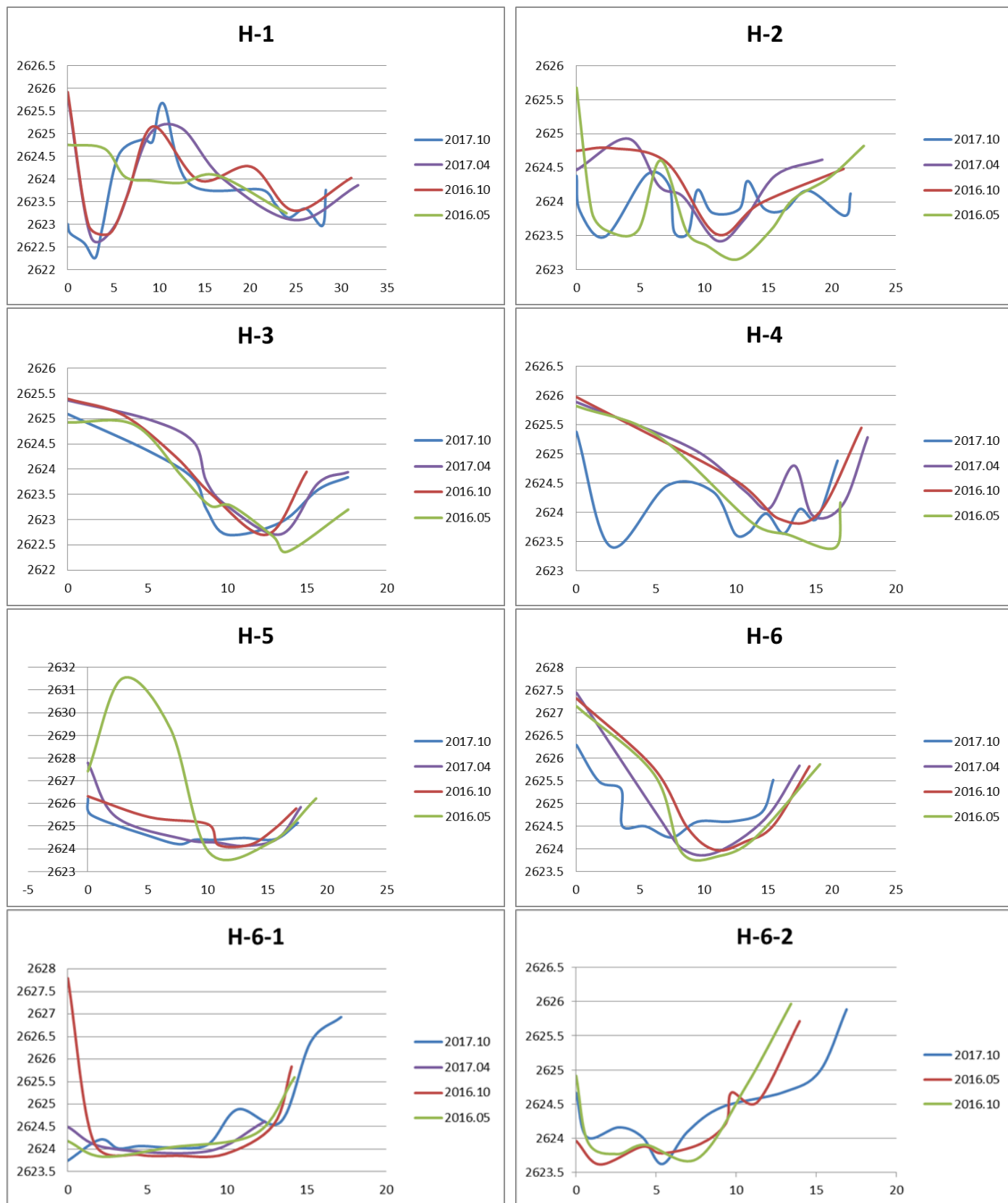
7-118

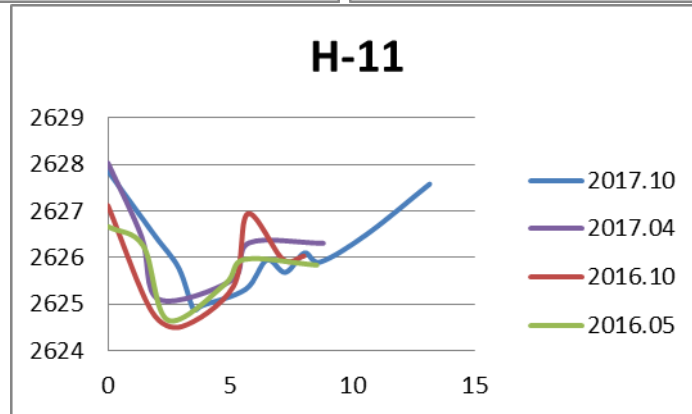
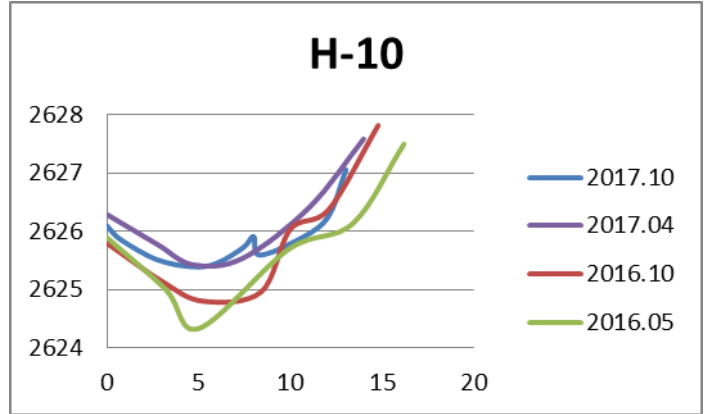
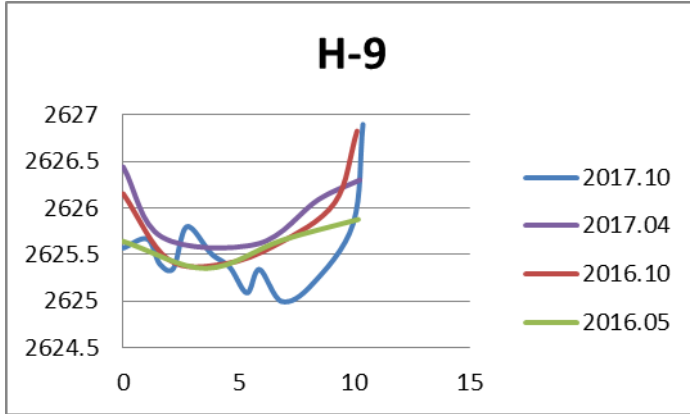
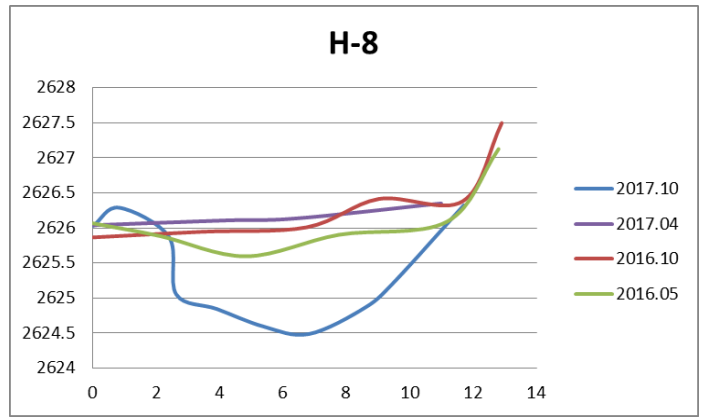
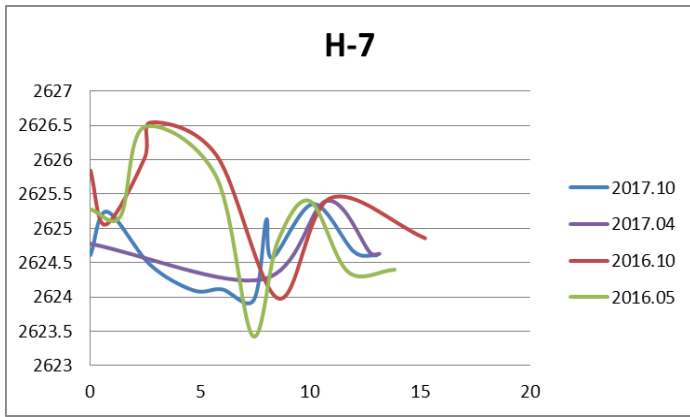


7-119



附件二 合歡溪河道測量橫斷面圖





附件三 七家灣溪崩塌情形



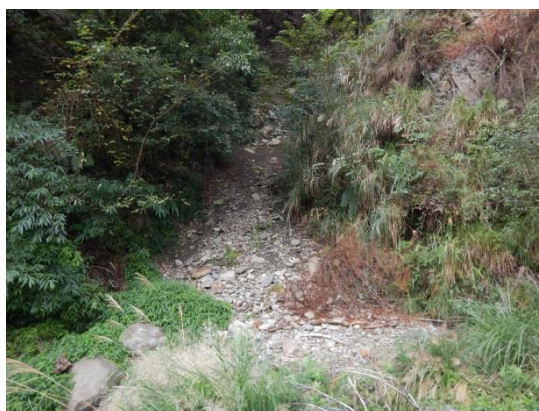
7-87



7-84



7-83



7-60



7-58



7-57



7-35



7-34



7-33



7-29



7-26



7-25



7-24



7-23



7-17



7-16



7-15



7-14



7-5



7-4



7-3

第三章 水棲昆蟲研究

郭美華、丘明智、倪郁涵、呂家榮、張園、吳冠毅

國立中興大學昆蟲學系

計畫摘要

關鍵詞：臺灣櫻花鉤吻鮭，水棲昆蟲，群集結構，快速生物評估法 II，溪流

研究緣起

生活在雪霸國家公園內七家灣溪流域之臺灣櫻花鉤吻鮭 *Oncorhynchus masou formosanus* (Jordan and Oshima, 1919)，是屬於臺灣地區特有陸封型鮭魚，自日據時期被列為天然紀念物，而今日被視為國寶魚，並於 1984 年被政府列入快要絕種的保育名錄中，皆顯示對臺灣櫻花鉤吻鮭的保育工作是其可持續生存顯著重要。為了保護臺灣櫻花鉤吻鮭棲息地，監測其主要食物來源水棲昆蟲，對棲息環境及水質變化可以提供重要的見解。2011 年 5 月 23-30 日進行七家灣溪一號壩體（高 16.5 m）改善工程，本計畫長期監測武陵地區七家灣溪及有勝溪流域壩體改善後溪流水棲昆蟲群集，做為此鮭魚棲息環境水質評估之生物指標。2017 年的 2 月、4 月、6 月及 10 月於七家灣溪及有勝溪溪流沿岸以及預定放流地合歡溪共計十三個採樣監測站，除合歡溪外其餘共計採集四次，並以快速生物評估法 II（RBP II 指數）及多元尺度分析（MDS）評估武陵地區棲地水質及水棲昆蟲群集結構變動，此外，整合 2004 年至 2015 年颱風季前(6 月)後(10 月)的鮭魚、水蟲、水文因子等資料進行複迴歸分析探討颱風季前後影響鮭魚族群變化之相關因子為何？希冀提供生態研究的科學資料，作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日後評估作業之參考。

研究方法及過程

以定面積之舒伯氏水網在河域中採樣，每一樣點重複取樣六次。持續收集並建置永久測站之水棲昆蟲生態資料庫，以多樣性指數、快速生物評估法 II (RBP II) 及多元尺度分析(MDS)等研究方法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，以作為進行棲地改善評估依據及監測七家灣溪一號防砂壩改善後溪流棲地水棲昆蟲群集及生物量之變化。每年之 7 至 9 月為臺灣的颱風季，本研究進行 2004 年至 2015 年颱風季前後臺灣櫻花鉤吻鮭族群變動之複迴歸分析。

重要發現

本年度 2 月、4 月、6 月、10 月採樣調查水棲昆蟲共計有 64 分類群 (taxa)，分屬 6 目 38 科；位於七家灣溪之 7 個測站共計有 51 分類群 (taxa)，分屬 5 目 31 科；位於有勝溪之 5 個測站共計有 55 分類群 (taxa)，分屬 6 目 34 科。位於合歡溪之測站共計有 33 分類群 (taxa)，分屬 5 目 21 科。由連續 10 年以上數據 (2003 至 2017 年) 看出，水棲昆蟲豐度幾乎以每年年初為高峰，然 2017 年以 4 月及 10 月為高峰。中大體型水棲昆蟲數量 (臺灣櫻花鉤吻鮭之可能中大型食餌)，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，合歡溪測站則為無損害。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 2009~2017 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，五年連續監測發現，每年的多樣性波動範圍已逐漸縮小。複迴歸分析確定颱風季後中大型食餌水昆、導電度、pH、濁度及水溫是研究臺灣櫻花鉤吻鮭族群變動背後的驅動因素。

Abstract

The *Oncorhynchus masou formosanus* (Jordan and Oshima, 1919) in Cijiawan brook drainage area of Shei-Pa National Park is belonging to a special continental-closed type of salmon in Taiwan area. Since Japanese occupied Taiwan, the *Oncorhynchus masou formosanus* has been classified as natural memorial. For the present time, it is regarded as a national precious fish. The salmon was listed as an endangered species by the Taiwanese government in 1984. Both stages of strategies show that the preservation of the *Oncorhynchus masou formosanus* is significantly important for its sustainable surviving. Biological monitoring of aquatic insects can provide important insights into changes in stream water and habitat quality. To protect the habitat of the Formosan salmon, programs to monitor stream quality using aquatic insects. One check dam, with a height of 16.5 m, was present within our study area in the Cijiawan Stream watershed. The dam was demolished and removed by excavators from 23-30 May 2011. The main goal of this research includes long-term monitoring of aquatic insects in reaches downstream of a check dam after it was removed. The surber sampler was used to collect six samples of aquatic insects along the streams at the 13 sampling sites were collected about 2016 February, April, May, and October, respectively. The rapid bioassessment protocol II (RBPII) and was a reliable method for assessing water quality, and 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. Furthermore, it can provide the Management Department of Shei-Pa National Park the guideline for the preservation of the *Oncorhynchus masou formosanus* in Cijiawan and Gaoshan Streams.

This study reports the survey of aquatic insects and water quality monitoring at 13 sampling sites in the Wuling area in year 2017. During the research period, we have collected 64 taxa of aquatic insects belong to 38 families, within 6 orders. 51, 55 and 33 taxa of aquatic insects were indentified in the Cijiawan Stream, Yousheng Stream and Hehuan Stream, respectively. According to the data from 2003 to 2016, we found that abundance peak of aquatic insects were present in January or February almost every year, however, in May 2016 to peak. Similar ranges of Shannon-Wiener's index appeared among years. As the habitat quality of the Wuling area was assayed by the rapid bioassessment protocol II (RBPII), the evaluations of the Wuling area were between non-impaired and moderately impaired, and the upstream site of the Hehuan Stream was non-impaired. While a non-metric multidimensional scaling (MDS) plot were used to show the composition similarity of abundances among site-time samples, the plot indicated that the community structures of the Cijiawan Stream and Gaoshan Stream shifted to the same trends, and, from year 2009 to 2017, the community structures 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 insect communities in the Cijiawan Stream. When these flooding events happened after dam removal, the repeats of the negative short-term effect, caused by the removal, increased the impacts of these floods. Five years of continuous monitoring found that the annual fluctuation range of diversity has been gradually reduced. The multiple regression analysis identified the large-scale prey, conductivity pH, turbidity and water temperature as the driving factors behind the study of the population dynamics of *Oncorhynchus masou formosanus* in Cijiawan Stream after the typhoon season.

Keywords: *Oncorhynchus masou formosanus*, aquatic insects, community structure, rapid bio-assessment protocol II (RBPII), stream

一、前言

(一) 研究緣起

臺灣櫻花鉤吻鮭 *Oncorhynchus masou formosanus* (Jordan and Oshima, 1919) 原產於北半球的寒溫帶迴游性魚類，在繁殖期自海中溯河而上，回到出生的河流上游交配、產卵，幼魚孵化後，次年春天再游回海中生長，是臺灣唯一的寒帶魚類，歷經百萬年的演化，而能在獨特環境中孑遺的古生物、活標本，於 1984 年 7 月依「文化資產保存法」被列為臺灣珍貴的自然文化資產。但因長期封閉在高山溪流裡，且生長在亞熱帶的臺灣，已完全喪失了迴游的本能。這種陸封型的鮭鱒魚類，目前也只有在日本、韓國及大陸東北地區曾經發現過，而臺灣櫻花鉤吻鮭是世上地理位置分佈最南端的魚類，在 50 年前整個大甲溪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。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，而受到全球矚目，一致公認此鮭魚與世界上有活化石之稱的「腔棘魚」相提並論（汪，1992; 1994; 林等，2011; 雪霸公園網頁）。

棲地的破壞往往是造成物種滅絕的主因，此鮭魚於日據時代（1911-1941）原生存於大甲溪上游的各主要支流中，包括司界蘭溪、高山溪、七家灣溪、有勝溪、南胡溪與合歡溪等都可發現蹤影（雪霸公園網頁）。但近幾十年來因經濟的快速發展，造成集水區的農業開發，間接破壞了植被的遮陰效果，導致溪水溫度升高，同時農藥的濫用，水質的優氧化，攔砂壩的興建，棲地的破碎化等等原因，使得臺灣櫻花鉤吻鮭的生存棲地面臨了空前的危機（汪，1992; 1999; 農委會等，2000; 雪霸公園，2000; 雪霸公園網頁）。因溪流環境改變，如防砂壩將棲地片段分割、遊憩活動及農業的開發污染、天然災害如颱風、洪水肆虐及前人的捕捉，族群數量嚴重受影響而有絕種之虞，政府積極復育，且以生物多樣性為標的，長期生態監測為手段，建立生態模式，2005 年起擴大以武陵地區溪流與司界蘭溪為研究地點，依循長期生態系統研究之模式，委由中興大學林幸助教授主持，建構武陵長期生態監測研究(WLTER)，設立永久測站，持續相關環境與生態監測工作，並整合重點監測項目，包括棲地、水文、泥沙、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，已建立相當完整的基礎，提供主管機關的經營管理之參考（林等，2011）。

雪霸國家公園管理處於 2009~2014 年陸續於司界蘭溪、羅葉尾溪等臺灣櫻花鉤

吻鮭歷史棲地進行鮭魚放流及環境監測，目前放流個體已可於羅葉尾溪棲地自然繁殖，且鮭魚往有勝溪移動分布（林等，2012）。而雪霸國家公園管理處為擴大臺灣櫻花鉤吻鮭棲息溪段增加族群基因交流，於2011年5月完成七家灣溪一號防砂壩改善工程，結果發現原分布於七家灣溪下游的臺灣鏟頰魚藉由改善後的一號壩廊道，已可上溯至一號壩上游（曾，2012）。本計畫則為監測七家灣溪一號壩壩體改善後對鮭魚重要食餌—水棲昆蟲之群集變化的影響，並同步進行羅葉尾溪、有勝溪棲地水棲昆蟲群集、生物量等調查監測，以與歷年監測結果進行動態變化之分析，並比對七家灣溪、有勝溪水棲昆蟲群集組成差異，所收集資料可建置於歷年監測資料庫。

(二) 水棲昆蟲

與臺灣櫻花鉤吻鮭息息相關的食物來源之一的水棲昆蟲，也在武陵地區進行了相當多年的研究。最早為上野（1937）對12尾臺灣櫻花鉤吻鮭胃內容物所作調查，其中96%為昆蟲，水棲昆蟲更佔74%。由於水棲昆蟲是臺灣櫻花鉤吻鮭最主要營養來源，是相當重要的棲地因子，因此在農委會與雪霸國家公園等單位支持下，陸續有對武陵地區水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%）（Shieh & Yang, 2000）。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（Shieh & Yang, 2000; 郭等，2004）。

雖然 Shieh 及 Yang（2000）報導 74-75 及 84-85 兩個年度，在 10 年間水生昆蟲數量下降約至原有之半。惟此結果是否足以代表棲地逐年劣化趨勢（trend）或僅為個別年度差異而已，實有賴於長期的監測調查，如此可增加統計可信度外並對颱風或人為干擾事件影響有更佳的診斷。楊等（1986）以形態種（morphological species）鑑定有 6 目 31 科 61 種，之後 Shieh 及 Yang（2000）以分類單元（taxa）歸類整理 74-75 年及 84-85 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 種。

我們自 2003 年起的調查結果顯示，並與 2000 年報導 40 分類群（taxa）相比，此地區的物種數逐年微量增加，雖可能因測站及採集月份增多有關，但每樣站仍可採到 40 分類群（taxa），全年的物種數 57~67 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集的所有（或幾乎所有）物種數了。就物種數及科數而言，七家灣溪棲地並沒有劣化（林等，2009），也充分顯現出棲地保育的績效。例如，農業區下游之觀魚臺測站於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（郭，2014）。

過去40年來受颱風及梅雨影響，溪流流量暴增，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（Chiu *et al.*, 2008）。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2017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集中體型較大物種之比例下降（郭，2010，Chiu & Kuo, 2012）。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集結構及組成之影響（郭，2008），而由歷年中大型食餌數據也證實了洪流對昆蟲群集結構及組成之衝擊（郭，2009）。就整體趨勢而言，若當年度有發生洪水，將導致來年年初中大型食餌密度下降（Chiu & Kuo, 2012）。2012年又見大型洪流的發生，隔年（2013年）水昆及中大型食餌持續受此影響，其年初的密度高峰已大幅下降，同於2005至2009年的低水平，2014年年初水昆及中大型食餌數量將較2013年年初低迷。因此進行2003年至2014年，洪水流量與中大型食餌密度之迴歸分析（ $y = 1.2 + 2.1x - 0.6x^2$, $p = 0.039$, $R^2 = 0.51$, $x =$ 當年最大流量, $y =$ 次年中大型食餌密度，流量資料來自臺灣電力公司水文水資源資料管理供應系統），顯示若當年度有極端流量（過低 $< 10 \text{ m}^3/\text{s}$; 過高 $> 200 \text{ m}^3/\text{s}$ ）發生後，次年1、2月之中大型食餌密度大幅降低（郭，2014）。由過去研究發現洪流減弱，長角石蛾 *Stenopsychidae*（大體形物種）會增加及黑管石蛾 *Uenoidae* 回復採樣之記錄，我們認為毛翅目這二物種可作為極端洪流的生物指標（郭，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個取食功能群之群集組成都存在，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）。

（三）棲地評比及多樣性

每年季節性的颱風及暴增的流量，常讓此地接受嚴峻考驗（Chiu *et al.*, 2008），棲地評等往往在颱風及洪流衝擊後都會趨向劣化，各測站多樣性指數也受到影響，長期監測水棲昆蟲在每年前半年多樣性指數波動小於後半年，且颱風強度越大波動變大（林等，2009）。2003~2017年以快速生物評估法 II（Rapid Bioassessment Protocol II, RBP II）作為棲地評價標準，並以武陵地區之高山溪為無干擾參考站（Plafkin *et al.*, 1989）。就 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，群集結構變化受此強力的物理因子影響遠大於水質或棲地因子，群集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，且其他研究也顯示季節性變化會明顯影響棲地評估的準確性（Šporka *et al.*, 2006; Alvarez-Cabria *et al.*, 2010）。因此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。

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，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，下半年洪流過後，年終至隔年年年初之持續拓殖回復，物種數之增加的確會多樣性上升，具正相關，而小型且生活史短之物種，則因非常態干擾影響，其比例提升導致均勻度下降，終究會造成多樣性降低。這樣的現象說明了颱風及梅雨季節所帶來洪流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（Chiu & Kuo, 2012）。

（四）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對七家灣溪的水棲昆蟲群集產生約 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（Chiu *et al.*, 2013）。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，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：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（Chiu *et al.*, 2013）。

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（林等，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（郭，2011），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（林等，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（郭，2013），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），由離一號壩較遠的觀魚臺測站及繁殖場測站多樣性指數的波動明顯變大且下降，及水昆數量高峰連續3年仍然低迷，此影響將持續進行中（郭，2014）。

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外，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确造成如此的影響，一號壩下游測站首當其衝遭受較巨大的衝擊，水棲昆蟲個體數下降幅度較大，且多樣性下降至最低，其次為繁殖場測站。2012~2014年的洪水衝擊，可以看到拆壩後的影響力已可達一號壩上游棲地，當然一號壩下游測站也因底質嚴重掏刷也同受衝擊，同時表現出水棲昆蟲數量及多樣性大幅下降，影響距離及時間，持續監控中（郭，2014）。

二、材料與方法

(一) 研究地區

本年度的計劃範圍詳如圖 3-1，水棲昆蟲採樣係以武陵地區為主，包含七家灣溪、高山溪、有勝溪、羅葉尾溪及合歡溪上游測站則配合臺灣櫻花鉤吻鮭放流計畫等設置樣站進行一年四次（2、4、6 及 10 月）。於計劃範圍內所設置的 13 個永久樣站進行水棲昆蟲監測及研究，分布地點如圖 3-1，詳述如下：

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，植被多生長於兩側山壁之上。
2. 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。
3. 觀魚臺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。
4. 一號壩上游測站也於武陵地區農業區的下游處，雪霸國家公園管理處往上游約 100 公尺的河段，為一號防砂壩上游，其河床底質也同為礫石及鵝卵石。
5. 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。
6. 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。
7. 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。
8. 南湖登山口測站位於羅葉尾溪測站下游之思源啞口，溪流底質多泥沙、礫石並常有許多藻類附生其上，濱岸植多芒草類植物，並時常遮蔽河道。
9. 羅葉尾溪測站為有勝溪上游之測站。河道寬約 5 公尺。溪流型態較崎嶇深淺不一，且溪流底質粒徑多樣，可見淺流、淺瀨亦有部份深潭。該測站區段之濱岸植物生長茂盛並遮蔽部分河道，因此河道之日照稀疏。
10. 勝光測站位於勝光派出所旁，一側緊鄰農業區，另一側則為山壁，溪流深度較淺，底質多为礫石，鵝卵石以及泥沙組成。
11. 有勝溪下游測站位於勝光測站之下游處，距離鄰近農業區約 200 公尺，水深較淺且底質較小，以礫石，鵝卵石以及泥沙為主。

12. 有勝溪測站，位於雪霸國家公園入園收費口旁，為有勝溪最下游處之測站。河床底質多為泥砂、礫石及鵝卵石。一側為滿布灌木之山壁，另一側緊鄰道路。
13. 合歡溪上游測站，位於合歡溪上游的華崗水源地。水深約0.3-1.5 m，部分區域達1.5 m以上。寬度約5-10 m。底質多為礫石及鵝卵石。兩側皆聳立滿布青苔之岩石峭壁，峭壁上方約6-8 m處始出現許多低矮灌木叢及爬藤類植物。

本計畫範圍內所設置的 13 個永久樣站之座標

測站名稱	座標	
桃山西溪測站	E 121°18'27.0"	N 24°23'52.9"
二號壩測站	E 121°18'36.4"	N 24°22'55.7"
觀魚臺測站	E 121°18'38.0"	N 24°22'15.0"
一號壩上游測站	E 121°18'41.9"	N 24°21'48.8"
一號壩下游測站	E 121°18'41.9"	N 24°21'49.8"
高山溪測站	E 121°30'75.0"	N 24°35'87.0"
繁殖場測站	E 121°18'49.8"	N 24°21'16.1"
羅葉尾溪測站	E 121°21'4.30"	N 24°23'40.4"
南湖登山口測站	E 121°21'6.80"	N 24°22'28.6"
勝光測站	E 121°21'8.50"	N 24°22'13.4"
有勝溪下游測站	E 121°19'21.3"	N 24°21'5.80"
有勝溪收費口測站	E 121°50'37.0"	N 24°58'15.0"
合歡溪上游測站	E 121°15'10.9"	N 24°09'48.0"

(二) 研究材料及方法

各樣站在 50 公尺範圍內以定面積之舒伯氏水網 (Surber sampler) (網框面積 30.48×30.48 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, 將水棲昆蟲由碎屑砂石中挑出, 再使用分類檢索資料於顯微鏡下鑑定出分類群 (taxa) 並計算其數量 (Kang, 1993; Kawai and Tanida, 2005; Merritt *et al.*, 2008)。

根據 Liao 等人於 2012 發表鮭魚胃內含物催吐之研究結果, 所食入之水棲昆蟲可分為兩群, 體型小於 1 公分及體型大於 1 公分 (Liao *et al.*, 2012)。我們將體型大於 1 公分以上的那群定義為中大型食餌, 包含蜉蝣目 (蜉蝣科、扁蜉蝣科)、毛翅目 (長角石蛾科、流石蛾科、網石蛾科、弓石蛾科)、襉翅目 (石蠅科) 及雙翅目 (大蚊科) 等 4 目 8 科 19 分類群 (表 3-1) 水棲昆蟲數量加總計算並以時間動態呈現其變化。

(1) 夏農-威納多樣性指數 (Shannon-Wiener's index)

各測站昆蟲之分類群及數量輸入統計軟體 PRIMER 6 進行 Shannon-Wiener's index

分析多樣性 (Ludwing and Reynolds, 1988; Krebs, 1999)。

$$H' = - \sum [P_i \ln P_i]$$

P_i = proportion of total sample belonging to i 'th taxon = n_i/N

n_i = number of individuals of taxon i in the sample

N = total number of individuals in the sample = $\sum n_i$

$H' = 0$ 時表示此採樣站僅發現一個物種；當物種愈多，個體數越平均時， H' 愈大。

(2) 快速生物評估法 II (Rapid Bioassessment Protocol II, RBP II)

參考美國環保署之快速生物評估法 II (Rapid Bioassessment Protocol II, RBP II) 作為棲地評價標準(Plafkin *et al.*, 1989)，因此本研究地區係以高山溪為無干擾參考站，各測站依據和無干擾參考站之相對分數範圍評比棲地無損害 (>79%)、中度損害 (29~72%) 及嚴重損害 (<21%)，其中此分數範圍間的不確定區間 (如 79 到 72% 以及 29 到 21%)，則需要額外增加棲地的物理化學因子等資訊，才能決定此棲地損害評比。

RBP II 可反應出群集結構及功能之整合指標，共有八項生物指標，其分別為：

1. 分類群豐度 (taxa richness)，在採樣站所採獲之水棲昆蟲的分類群。
2. Hilsenhoff 生物指標 (BI)，與科級生物指標 (FBI) 相同，唯在分類鑑定上，必須至屬或種之層級。
3. 樣本中刮食者與濾食性採食者個體數之比例 (ratio of scrapers/fil. collectors)。
4. 蜉蝣目 (Ephemeroptera, E)、積翅目 (Plecoptera, P) 及毛翅目 (Trichoptera, T) EPT 三目與搖蚊科 (Chironomidae) 豐度之比例 (ratio of EPT and Chironomid abundances)。
5. 優勢科級分類群所佔的百分比 (percent contribution of dominant family)。
6. 蜉蝣目 (E)、積翅目 (P) 及毛翅目 (T) 三目水棲昆蟲的種類數之和 (EPT index)。
7. 群集失落指數：community loss = $(d-a)/d$ ，其中 d ：在參考站所採獲之全部種類數， a ：在採樣站採獲之種類數。
8. 樣本中碎食者與全部個體數之比例 (ratio of shredders and total) (Plafkin *et al.*, 1989)。

(3) 生物量

水棲昆蟲群落的生物量(現存量)是溪流生態系結構優劣和功能高低的最直接表現，也是溪流生態系環境品質的綜合表現，而測定水棲昆蟲的生物量對研究鮭魚生長和溪流生態系的生產力是具有重要性的。我們利用武陵地區 2003 到 2006 的所有樣站的生物量資料，去推算本研究各站各時間生物量，例如各站各時間的各分類群數量乘上相對應季節(1-3、4-6、7-9 及 10-12 月)之相同科級平均體重(溼重)，如無此科級則採用目級計算。

$$B_i = \sum_j W_{ij} \times N_{ij}$$

$$W_{ij} = SW_{kp}$$

B_i 為第 i 時間點的生物量， W_{ij} 為第 j 科級分類群在第 i 時間點的平均個體體重， N_{ij} 為第 j 科級分類群在第 i 時間點的數量。

SW_{kp} 為第 p 科級或目級分類群於第 k 季的平均個體體重，其中第 j 科級分類群屬於第 p 科級或目級分類群，以及第 i 時間點屬於第 k 季。

(4) 多元尺度分析 (Non-metric multidimensional scaling, MDS)

將各站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測點彼此間之關係。得到圖形之壓縮值(stress)，可信建議值為小於 0.2，以此來推測及判定各測站之關係 (Clarke and Warwick, 2001)。

(5) 複迴歸分析

每年之 7 至 9 月為臺灣的颱風季，本研究欲探討颱風季前後影響鮭魚族群變化之相關因子為何？將 2004 至 2015 年 12 年資料，每年 6 月及 10 月臺灣櫻花鉤吻鮭數量為因變數(Y ，反應變數)，每年 6 月及 10 月平均中大型食餌水昆數量、pH、溶氧、導電度、濁度、水溫、雨量、流量等 8 個因子為自變數(X_k ，第 k 個解釋變數)(表 3-2)，利用 SAS 之 Proc Reg 進行逐步迴歸(stepwise)分析，自迴歸式最顯著的自變數逐步進行討論，每加入一個新變數後，檢驗回迴歸式中之原來變數是否由於此變數的加入而成不顯著($p > 0.05$)，若是則將此變數予以刪除，最後求得迴歸方程式(SAS Institute, 2004)及使用 AIC 值最小準則(Akaike, 1974)，篩選出影響鮭魚族群變動的最終模型。調查期間之流量資料由台電公司提供，鮭魚、雨量資料由研究團隊提供。

三、結果

(一) 物種數及個體數

本年度 2 月、4 月、6 月、10 月採樣調查水棲昆蟲共計有 64 分類群 (taxa)，分屬 6 目 38 科；位於七家灣溪之 7 個測站共計有 51 分類群 (taxa)，分屬 5 目 31 科 (表 3-3、表 3-5、表 3-7、表 3-9)；位於有勝溪之 5 個測站共計有 55 分類群 (taxa)，分屬 6 目 34 科 (表 3-4、表 3-6、表 3-8、表 3-10)。2017 年七家灣溪各測站中以繁殖場測站水棲昆蟲最多，於 2 月、4 月、10 月約達 1275、3800 及 3700 昆蟲 (個體數/平方公尺)；有勝溪則以收費口 2 月時之 9200 (個體數/平方公尺) 為最多；10 月則是南湖登山口 5900 昆蟲 (個體數/平方公尺) 為最多。2017 年年初之高峰較 2016 年年初為高，且 10 月時較 2016 年 10 月時高出更多 (圖 3-2)。

(二) 中大型食餌

圖 3 為各站所採獲中大型食餌數量以時間動態呈現其變化，圖 3-3 可看出和圖 3-2 有相似之季節變化，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。七家灣溪 2016 年及 2017 年年初之數量皆較 2015 年低，且高峰出現在 4 月及 10 月，4 月為一號壩上游 650 昆蟲 (個體數/平方公尺) 及 10 月為觀魚臺 920 昆蟲 (個體數/平方公尺) 最多；有勝溪 2017 年上半年以勝光於 4 月時 1400 昆蟲 (個體數/平方公尺) 為最多，10 月則是南湖登山口 1125 昆蟲 (個體數/平方公尺) 為最多 (圖 3)，皆較同時期的七家灣溪為高。

(三) 生物量

武陵地區溪流及有勝溪中的水棲昆蟲生物量變化與中大型食餌相似，在每年年初達最高峰，之後隨時間遞減，颱風季來臨時，生物量最少，再逐漸增加至隔年年初，如此週而復始。七家灣溪自 2011 年壩體改善後其高峰之生物量逐漸下滑，而於 2015 年 2 月再度回升至 5000~9400 毫克/平方公尺，2016 年年初則降至 800-2100 毫克/平方公尺，至 10 月則降至 160~260 毫克/平方公尺。2017 年的高峰，七家灣溪及高山溪出現在 4 月，高山溪測站約 5000 毫克/平方公尺；有勝溪以位於下游之南湖登山口測站為最高，10 月約 17000 毫克/平方公尺 (圖 3-4)。

(四) 多樣性

由 2003~2017 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 Shannon-Wiener's index 較其他測站為高，而有勝溪測站則較其他測站為低，其他各測站則在這兩測站之指數值間波動，十多年來指數值波動範圍有上升

趨勢，尤其是有勝溪收費口測站及觀魚臺測站（圖 3-5）。2017 年 Shannon-Wiener's index 數值約介於 1.1~2.7 之間，相較於 2016 年則呈現上升之趨勢；2 月、4 月皆以勝光測站為最低，6 月以一號壩上游為最低，10 月以有勝溪收費口為最低；最高為南湖登山口測站(2 月)，羅葉尾溪放流點測站(4 月及 10 月)及繁殖場測站(6 月)（圖 3-5）。

(五) 棲地評比

由快速生物評估法 II 所得之相對分數可知，各測站都介於無損害到中度損害之間（圖 3-6）。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。2016 年七家灣溪各測站為無損害，然 2017 年 6 月以一號壩上游為中度損害；有勝溪測站皆為中度損害（圖 3-6）。

(六) 群聚結構

2003~2017 年各測站之 MDS 分析顯示於圖 3-7。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 2008 年到 2017 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），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。而於 2016 年梅姬颱風以及艾利颱風過後，再度轉移至 2005 年狀態，但 2017 年上半年則呈現與 2011 年相仿之狀態。2003 年與 2011 年為無洪流發生之年分，2005 及 2008 則為洪流發生嚴重的年分(流量分別為 610 秒/立方公尺與 307 秒/立方公尺)，由 MDS 分析結果圖可得知與 2016 年相比，2017 年年初之群聚結構與 2011~2015 年分相仿，符合過去每年上半年都會回移的現象。總括而言，每年上半年都會回移，但後半年則受颱風季節之洪流強度影響，而改變為另一方向之相對應轉移量（圖 3-7）。

(七) 一號壩壩體改善部分拆除工程的影響

由圖 3-8 及圖 3-9 得知水棲昆蟲生物量及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，但於 2015~2017 年的資料顯示，壩體上下游之分界不若以往明顯，這可能表示壩體改善後，上下游之棲地環境差異正在逐漸縮小。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（觀魚臺與繁殖場測站）之水昆密度則高於緊鄰壩體的一號壩上游及下游測站，2013 年蘇力、潭美、康芮、天兔及菲特等颱風過後，10 月則降至 60~200 昆蟲（個體數/平方公尺），其中緊鄰壩體的一號壩下游為最低值；2014 年 2 月則升至 1200~2800 昆蟲（個體數/平方公尺），於 2015 年 2 月進而提升至 3000~5300 昆蟲（個體數/平方公尺）而 6 月則下滑至 1200~1500（個體數/平方公尺），10 月則降至 60~200 昆蟲（個體數/平方公尺）；2016 年 2 月回升至 600-1500 昆蟲（個體數/平方公尺），4 月則降至 550-800 昆蟲（個體數/平方公尺），5 月回升至 1600-2800 昆蟲（個體數/平方公尺），9 月底受梅姬颱風影響，10 月初則降至 100-170 昆蟲（個體數/平方公尺）；2017 年 2 月一號壩上下游測站有 600-1200 昆蟲（個體數/平方公尺），4 月有 1150-3800 昆蟲（個體數/平方公尺）較 2 月為高，6 月降至 90-210 昆蟲（個體數/平方公尺），10 月回升至 950-3700 昆蟲（個體數/平方公尺）（圖 3-9）。

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 值較觀魚臺測站為低，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 3-10）。2011 年年初這兩測站在維持 2.4~2.5（壩體改善前），和觀魚臺測站及繁殖場測站相比則不相上下（圖 3-10）。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 3-10），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；於 2017 年初結果可顯示四測站之 Shannon- Wiener's index 值落於 2.03-2.55 之間，但於 6 月下滑至 1.4-2.7，10 月又回升至 2.3-2.5 之間，有漸趨穩定的趨勢（圖 3-10）。

我們已報導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 軸一負值驅動，經過 2.5 個月，順著 MDS 軸一正向歸回，各測站回至相似結構(Chiu *et al.*, 2013)，由圖 3-10 仍可看出，每年的多樣性波動範圍已逐漸縮小，且 MDS 分析顯示 2017 年年初已漸趨向拆壩前 2010 年狀態(圖 3-11)及快速生物評估法 II 所得之相對分數可知，各測站無損害(圖 3-12)，追蹤 5 年顯示逐漸回穩。

(八) 合歡溪上游

2 月於合歡溪上游採獲 25 個分類群 (taxa)，分屬 5 目 17 科；4 月則降至 19 個分類群 (taxa)，分屬 5 目 13 科；6 月又較 4 月為低，僅 12 個分類群 (taxa)，分屬 4 目 8 科，且無毛翅目；10 月則回升至本年度最多的分類群數量，共 21 個分類群 (taxa)，分屬 5 目，四次採集共計有 33 分類群 (taxa)，分屬 5 目 21 科 (表 3-4、表 3-6、表 3-8、表 3-10)。合歡溪 2 月、4 月、6 月、10 月分別採得為 2676.7 昆蟲 (個體數/平方公尺)、1530.1 昆蟲 (個體數/平方公尺)、159.5 昆蟲 (個體數/平方公尺)、2004.8 昆蟲 (個體數/平方公尺) (表 3-11)；中大型食餌數量 634.2、354.7、82.4、851.0 (個體數/平方公尺) (表 3-11)；生物量 2 月為 3107.7 毫克/平方公尺，4 月則降至 1325.4 毫克/平方公尺，6 月降至更低 165 毫克/平方公尺，10 月回升到本年度最高 1411.2 毫克/平方公尺 (表 3-11)；多樣性指數於今年則落在 1.5~2.1；快速生物評估法 II 所得之相對分數可知，本年度四次調查皆為無損害 (表 3-11)。

(九) 颱風季前後複迴歸分析

表 3-12 為颱風季前後影響臺灣櫻花鉤吻鮭族群變動因子之分析結果。颱風季前逐步迴歸分析之所有變數皆不顯著 ($p > 0.05$)，因此迴歸方程式不成立；颱風季後鮭魚族群變動主要受中大型食餌水昆數量正影響，此因子解釋鮭魚族群變異達 55.89% (判別係數 R^2 為 0.5589，調整後的 R^2 值達 0.5099， $p = 0.0082$)，同時使用 AIC 值最小準則，篩選出影響鮭魚族群變動的最終模型為受到中大型食餌水昆數量、pH、濁度、水溫正影響及導電度為負影響，五個因子可解釋鮭魚族群變異可達 93.84% (判別係數 R^2 為 0.9384，調整後的 R^2 值亦達 0.8767， $p = 0.0048$)。

將 2004 至 2015 年 12 年資料，每年 6 月及 10 月的資料合併分析結果顯示，臺灣櫻花鉤吻鮭受到中大型食餌水昆數量正影響(逐步迴歸分析: 判別係數 R^2 為 0.2592，調整後的 R^2 值為 0.2239， $p = 0.0131$)及導電度為負影響(AIC 值最小準則: 判別係數 R^2 為 0.2995，調整後的 R^2 值為 0.2294， $p = 0.0285$) (表 3-12)。

12 年的資料顯示，鮭魚族群數量平均有 3000 多尾，每年颱風季後鮭魚族群數量大多呈現下降約 30% 至 50% 不等的趨勢，僅 2009 年至 2011 年及 2014 年為上升的趨勢(表 3-2)。

颱風季前沒有任何相關因子可解釋變異，颱風季後中大型食餌水昆為解釋颱風季後鮭魚族群變異的主要因子，其次為導電度、pH、濁度及水溫，此分析結果確定颱風季後中大型食餌水昆、導電度、pH、濁度及水溫是研究臺灣櫻花鉤吻鮭族群變動背後的驅動因素。

四、討論

(一) 物種數及個體數

2013 年調查水棲昆蟲有 63 分類群 (taxa)，由過去調查結果顯示，2003 年 46 分類群 (taxa) (郭，2003)、2004 年 43 分類群 (taxa) (郭，2004)、2005 年及 2006 年 45 分類群 (taxa) (郭，2005; 2006)、2007 年 48 分類群 (taxa) (郭，2007)、2008 年 52 分類群 (taxa) (郭，2008)、2009 年 59 分類群 (taxa) (郭，2009)、2010 至 2013 年 63~67 分類群 (taxa) (郭，2010、2011、2012 及 2013)，以及楊與謝 (2000) 報導有 40 分類群 (taxa) 相比，物種數逐年微量增加。2010 年及 2011 年可採到 64 及 67 分類群 (taxa)，可能與測站及採集月份增多也有關，而到了 2012 及 2013 年物種數則沒有再增加而持平，為 63 分類群 (taxa)，2014 年則為 57 分類群 (taxa)，2015 年為 58 分類群 (taxa)，2016 年為 65 個分類群 (taxa)，2017 年為 64 個分類群 (taxa)。

近年來受颱風及梅雨影響，溪流流量暴增，過去 40 年來至 2008 年，以 2005 年為最嚴重的一年，其次依序為 2007 年、2008 年、2004 年，是此地流量暴增的前 4 名 (丘，2009)。2012 年的溪流流量暴增，可以進前五名。由連續 10 年以上 (2003 年至 2014 年) 水棲昆蟲數量之研究數據顯示，在歷經較嚴重的洪流，可能未來會造成水棲昆蟲群聚中體型較大物種之比例下降 (郭，2010)。由圖 3-2 及圖 3 數據可看出，水棲昆蟲數量及中大型食餌於每年的 1 或 2 月為高峰，2003 年至 2004 年初期達到最高，但受到 2004 年及 2005 年洪流影響，2005~2006 年的中大型食餌數明顯較少，顯示溪流流量暴增對水棲昆蟲群聚中體型較大物種之影響。由 10 年數據以上可看出，流量為常態發生而非突然暴增時，其隔年年初中大型食餌比例則會增加，此現象發生於 2003 年初及 2010~2012 年初，反之，嚴重洪流出現，隔年年初中大型食餌比例則會下降，數據顯示，2012 年受到 8 月的中度颱風影響，而 2013 年年初高峰之水昆及中大型食餌數量皆變少，重演 2005 至 2009 之大型洪水的影響。2013 年受到颱風影響，10 月水昆數量大幅下降，且 2014 年年初水昆及中大型食餌數量也較 2013 年年初低，但 2015 年年初中大型食餌數量已上升且較 2012~2014 年年初高峰為多，後半年受到南卡、蘇迪勒、天鵝及閃電等颱風影響，又再度下滑且較 2014 年 10 月為少，2016 年年初則有上升，但高峰落在 5 月，10 月則因受颱風影響又降至當年最低。2017 年年初則稍有回復，高峰落在 4 月及 10 月，與 2016 年同樣為高峰後延，顯示每年水棲昆蟲高峰有後延發生的趨勢。

(二) 多樣性

洪流擾動過後，物種可能大量減少，進而造成物種多樣性之降低，2005 年 8 月 Shannon- Wiener's index 數值下降，並且 2006 後半年 Shannon- Wiener's index 指數下降程度較 2004 及 2005 年為小，可能和 2006 年颱風頻度和強度都較小有關；不過因優勢物種的減少所空出的資源使得其他物種得以拓殖，而得以增加了均勻度，例如大多數測站之多樣性指數在歷經 2004 年 7 月及 9 月的颱風，其暴雨所帶來之洪流，其群聚生態反應於均勻度指數之數值上升（郭，2005）。下半年洪流過後，年終至隔年年初之持續拓殖回復，物種數之增加的確會正向關聯於多樣性上升，而小型且生活史短之物種因非常態干擾影響（Chiu & Kuo, 2012），其比例之提升導致均勻度下降，終究造成多樣性降低，例如 2005 年 2 月，種類數持續回復，然而由於搖蚊（Chironomidae）等物種快速增長且成為優勢物種，因而均勻度降低，導致大部分樣站 Shannon- Wiener's index 於溼季前之逐月下降趨勢（郭，2005），並且同樣的 2006 年 1 月上升及 6 月 Shannon- Wiener's index 回降變化，可延伸 2007~2014 年相近時期的數值變化，而 2012~2014 年洪流過後，雖然物種數必然減少，不過多樣性大致持平或小幅上升，乃因均勻度上升；另一方面，2013 至 2017 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。昆蟲生存策略有些為 r 型，有些為 k 型，有些為 r 和 k 型混合。以中大型食餌中之 4 目 8 科來看，當生物多樣性指標之值變小，可能是毛翅目昆蟲減少，雙翅目及蜉蝣目昆蟲增加。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，但於隔年初皆可恢復。

(三) 棲地評比

以 2003~2017 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，且觀魚臺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，此結果說明了 RBPII 或許可用來偵測到颱風所引發的洪流對武陵地區溪流之影響，但似乎無法僅與洪流強度有關聯，應還有其他因子的交互作用也包含在內，其他研究也顯示季節性變化會明顯影響棲地評估的準確性 (Šporka *et al.*, 2006, Chiu -Cabria *et al.*, 2010)。另一方面，2015 年 2 月~6 月除了觀魚臺測站及 10 月有勝溪收費口中度損害，其餘測站皆維持無損害程度，顯現出受到洪水及改善工程的影響，七家灣溪已於 2015 年逐漸出現回穩跡象，2016 年 2 月及 4 月七家灣溪各測站為無損害程度，然而，七家灣溪 2016 年 5 月有勝溪收費口測站以及有勝溪於 2016 年 2~4 月以南湖登山口測站、勝光測站與 2~5 月有勝溪下游測站為中度損害程度；2017 年 2 月於有勝溪收費口為中度損害，但 4 月則恢復為無損害，勝光、一號壩上游於 6 月為中度損害，有勝溪下游測站於 2017 年 4 月、6 月、10 月皆為中度損害，需要持續監測變化趨勢。

(四) 一號壩壩體改善部分拆除工程的影響

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 (Chiu *et al.*, 2013)，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。2012~2014 年的洪水衝擊，可以看到拆壩後的影響力已可達一號壩上游棲地，當然一號壩下游測站也因底質嚴重掏刷也同受衝擊，同時表現出水棲昆蟲數量及多樣性大幅下降，但於 2017 年的資料影響顯示逐漸有回穩之趨勢。

(五) 合歡溪

合歡溪上游的四次採樣，水棲昆蟲相明顯較七家灣溪少，2017 年多樣性指數為 1.5~2.1 較同時期的高山溪、觀魚臺及羅葉尾溪為低；快速生物評估法 II 為無損害 (表 3-11)，但 2017 年 2 月之物種數及個體數、生物量、中大型食餌皆較高山溪、觀魚臺及羅葉尾溪為高；4 月分則僅有物種數及個體數較觀魚臺為高，其餘各項生物監測數值皆較高山溪、觀魚臺以及羅葉尾溪為低；6 月個體數、中大型食餌皆與高山溪和觀魚臺數量相當，但多樣性指數及生物量較低，而與羅葉尾溪相比則低更多；10 月則中大型食餌數量較高山溪與羅葉尾溪為高，其餘數值則差異不大 (表 3-4、表 3-6、表 3-8、表 3-10、表 3-11)。

檢視合歡溪的採樣結果，表 3-11 顯示 2017 年 6 月各項生物監測數值較低，且較 2016 年 5 月及 10 月為低，推測可能原因為採集前正好發生大雨及大豪雨(24 小時累

積雨量達 80 毫米以上，或時雨量達 40 毫米以上之降雨，象氣象局定義為大雨(heavy rain)；若 24 小時累積雨量達 350 毫米以上定義為大豪雨(torrential rain))。

2017 年 6 月 1 日、6 月 2 日及 6 月 3 日於合歡溪降下累積雨量分別為 141 毫米、407 毫米及 52.5 毫米(氣象局資料)，可達大雨及大豪雨等級，我們於 2017 年 6 月 7 日進行採樣，當天水位高且流速快，無法涉溪到中央，僅於岸邊進行採樣，底質多為沙石，因此推測可能為採集前的大雨及大豪雨導致數值偏低。除此之外，6 月採集水棲昆蟲的密度較低，也可能與颱風季前羽化成蟲飛向空中的擴展適應(exaptation)有關，使水棲昆蟲可在此特定環境生存，躲避颱風季時流量大增的風險。

五、結論

本年度武陵地區水棲昆蟲共計有 64 分類群(taxa)，分屬 6 目 38 科。合歡溪有 5 目 21 科 33 分類群(taxa)，多樣性指數落在 1.5~2.1；棲地評比為無損害。

每年年初為水棲昆蟲高峰發生高峰，2016 年高峰落在 5 月，2017 年高峰落在 4 月及 10 月，高峰有後延發生的趨勢。

有勝溪在 2014~2017 年下游數量始多於上游至有勝溪測站達到最高峰，而生物量資料亦呈現相同趨勢，顯示出有勝溪之中大型食餌可能逐漸有自上游泊集至下游的趨勢。

各站的群聚結構大致約一年完成一個循環。有勝溪測站連續 10 年以來為一類群，而其他測站為另一類群，兩類群於 2009 年到 2017 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。流量暴增為驅使力量，使群聚結構驅向某一特定群聚結構。

壩體改善工程後對水昆產生約 2.5 個月的短期負面直接影響。追蹤 5 年，2016~2017 年的資料影響顯示，與 2010 的資料相比，逐漸回穩。

複迴歸分析確定颱風季後中大型食餌水昆、導電度、pH、濁度及水溫是研究臺灣櫻花鉤吻鮭族群變動背後的驅動因素。

颱風可能影響鮭魚數量的上限，水昆則可調控鮭魚數量，颱風也會影響水昆，然而增強了水昆調控鮭魚的力量。

六、參考文獻

- 上野益三，1937。臺灣大甲溪之鱒之食性與寄生蟲（日文）。臺灣博物學會會報，第27期，153-159頁。
- 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。
- 王筱雯，2012。101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，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。
- 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、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。2009。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、王筱雯、吳聲海、官文惠、邵廣昭、孫元勳、郭美華、曾晴賢、楊正澤、葉昭憲、蔡尚惠。2011。武陵地區溪流生態系長期暨整合研究。內政部營建署雪霸國家管理處委託辦理計畫案。
- 林幸助、王筱雯、吳聲海、官文惠、邵廣昭、孫元勳、郭美華、曾晴賢、楊正澤、葉昭憲、蔡尚惠。2012。武陵地區溪流生態系及七家灣溪一號壩防砂壩體改善後研究。內政部營建署雪霸國家管理處委託辦理計畫案。
- 雪霸國家公園編印，2000。雪霸國家公園自然資源研究方向芻議-歷年保育研究計畫總檢討。
- 郭美華，2003。武陵地區水生昆蟲研究(二)。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 郭美華，2004。武陵地區水生昆蟲研究(三)。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 郭美華，2005。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立：水棲昆蟲長期生態監測。內政部營建署雪霸國家公園管理處保育研究報告。
- 郭美華，2006。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立，第六章水棲昆蟲研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處保育研究報告。

- 郭美華，2007。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立，第七章水棲昆蟲研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處保育研究報告。
- 郭美華，2008。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立，第七章水棲昆蟲研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處保育研究報告。
- 郭美華，2009。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立，第四章水棲昆蟲研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處保育研究報告。
- 郭美華，2010。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立，第四章水棲昆蟲研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處保育研究報告。
- 郭美華，2011。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立，第四章水棲昆蟲研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處保育研究報告。
- 郭美華，2012。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立，第七章水棲昆蟲研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處保育研究報告。
- 郭美華，2013。臺灣櫻花鉤吻鮭歷史溪流放流及環境生態監測計畫，第三章水棲昆蟲研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處保育研究報告。
- 郭美華，2014。七家灣溪及高山溪鮭魚族群及棲地監測，第三章水棲昆蟲研究。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。臺灣昆蟲，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。國立臺灣大學植物病蟲害研究所碩士論文。
- 曾晴賢，2012。武陵地區溪流生態系及七家灣溪一號壩防砂壩體改善後研究。第六章臺灣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管理處委託辦理計畫案。
- 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。

- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE transactions on automatic control*, 19(6), 716-723.
- Alvarez-Cabria, M., Barquin, J. & Juanes, J. A. (2010) Spatial and seasonal variability of macro invertebrate metrics: Do macroinvertebrate communities track river health? *Ecological Indicators*, 10, 370-379.
- Chiu, M.-C., Kuo, M.-H., Sun, Y.-H. Hong, S.- Y. & Kuo, H.-C. (2008) Effects of flooding on avian top-predators and their invertebrate prey in a monsoonal Taiwan stream. *Freshwater Biology* 53: 1335-1344.
- 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.
- Jordan, D. S., & Oshima, M. (1919). *Salmo formosanus*, a new trout from the mountain streams of Formosa. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 71(2), 122-124.
- Kang, S.-C. (1993) Ephemeroptera of Taiwan (excluding Baetidae). PhD dissertation, National Chung Hsing Univ., Taichung, Taiwan.
- Kawai, T. & Tanida, K. (2005) *Aquatic insects of Japan: manual with keys and illustrations*. Tokai Univ. Press, Tokyo.
- Krebs, C. J. (1999) *Ecological methodology*. Addison-Welsey Educational Publishers, INC., Menlo Park, CA.
- 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. *Zoological Studies* 51: 671-678.
- Ludwing, J. A. & Reynolds, J. F. (1988) *Statistical ecology. A primer on methods and computing*. John Wiley and Sons, New York.
- Merritt, R. W., Cummins, K. W. & Berg, M. B. (2008) *An introduction to the aquatic Insects of North America*. Kendall/Hunt Publ. Co., Dubuque, IA.
- Orr, C. H., Kroiss, S. J., Rogers, K. L. & Stanley, E. H. (2008) Downstream benthic responses to small dam removal in a coldwater stream. *River Research and Applications*, 24, 804-822.
- Plafkin, J. L., Barbour, M. T., Porter, K. D., Gross, S. K. & Hughes, R. M. (1989) *Rapid assessment protocols for use in streams and rivers: Benthic macroinvertebrates and fish*. EPA 440-4-89-001. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water Regulations and Standards, Washington, D.C.

- SAS Institute (2004) *SAS/STAT User's guide, version 9.1*. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- 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.
- Šporka, F., Vlek, H. E., Bulánková, E. & Krno, I. j. (2006) Influence of seasonal variation on bioassessment of streams using macroinvertebrates. *Hydrobiologia*, 566, 543-555.
- Thomson, J. R., Hart, D. D., Charles, D. F., Nightengale, T. L. & Winter, D. M. (2005) Effects of removal of a small dam on downstream macroinvertebrate and algal assemblages in a Pennsylvania stream. *Journal of the North American Benthological Society*, 24, 192-207.

附表

表3-1、鮭魚中大型食餌名錄(4目8科)

目名	科名	種(屬)名	功能取食群
蜉蝣目	扁蜉科 Heptageniidae	<i>Rhithrogena ampla</i>	Scraper
		<i>Epeorus erratus</i>	Scraper
		<i>Afronurus floreus</i>	Scraper
		<i>Nixe</i> sp.	Scraper
毛翅目	蜉蝣科 Ephemeraidae	<i>Ephemera sauteri</i>	Collector-gatherer
	網石蛾科 Hydropsychidae	<i>Hydropsyche</i> spp.	Collector-filter
		<i>Himalopsyche</i> sp.	Predator
		<i>Rhyacophila nigrocephala</i>	Predator
	流石蛾科 Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila</i> spp.	Predator
	角石蛾科 Stenopsychidae	<i>Stenopsyche marmnorata</i>	Collector-filter
積翅目	弓石蛾科 Arctopsychidae	<i>Arctopsyche</i> sp.	Collector-filter
	石蠅科 Perlidae	<i>Neoperla</i> spp.	Predator
		<i>Gibosia</i> sp.	Predator
雙翅目	大蚊科 Tipulidae	<i>Antocha</i> sp.	Collector-gatherer
		<i>Eriocera</i> sp.A	Predator
		<i>Eriocera</i> sp.B	Predator
		<i>Dicranota</i> sp.	Predator
		<i>Tipula</i> sp.	Shredder
		<i>Erioptera</i> sp.	Collector-gatherer

- Scraper：刮食者
- Collector-gatherer：採集採食者
- Collector-filter：採集濾食者
- Predator：捕食者
- Shredder：碎食者

表3-2本研究探討颱風季前後影響鮭魚族群變化之相關因子資料(2004年-2015年)

2004年-2015年		鮭魚數量(隻)	水蟲密度 (個體數 /m ²)	pH	導電度 (μS/cm)	濁度 (NTU)	水溫 (°C)	雨量 (mm)	流量 (m ³ /s)	溶氧 (mg/L)
颱風季前 (6月) N=12	最小值	967.00	243.66	6.36	147.83	0.20	12.80	42.50	99.65	5.31
	最大值	5479.00	5926.72	8.38	215.50	3.01	18.70	536.50	1150.64	11.41
	平均值	3460.21	2446.28	7.71	168.79	0.65	15.90	210.92	330.98	8.06
颱風季後 (10月) N=11	最小值	523.00	157.66	6.63	134.00	0.18	11.03	110.50	93.66	5.02
	最大值	5478.00	3172.98	8.17	312.40	2.68	16.97	826.00	1266.26	12.43
	平均值	3130.77	1665.06	7.59	198.40	0.63	14.81	396.39	322.78	8.60
總計 (6月、10月) N=23	最小值	523	157.66	6.36	134.00	0.18	11.03	42.50	93.66	5.02
	最大值	5479	5926.72	8.38	312.40	3.01	18.70	826.00	1266.26	12.43
	平均值	3046	1464.47	7.66	183.61	0.70	15.11	312.07	327.45	8.37

調查期間之流量資料由台電公司提供，鮭魚、雨量資料由研究團隊提供。N為樣本數。

表3-3 2017年七家灣溪之2月水棲昆蟲資源組成及總個體數 (individuals / square meter)

Coleoptera	Elmidae	<i>Zaitzevia</i> sp.A	5.4	10.7	12.5	82.4	82.4	7.2	10.7	
		<i>Zaitzevia</i> sp.B			3.6	3.6	1.8	3.6	1.8	
Diptera	Scirtidae	<i>Cyphon</i> sp.	28.7	25.1	26.9	102.1	105.7	1.8	1.8	
	Athericidae	<i>Atherix</i> sp.	1.8			1.8				
	Ceratopogonidae	<i>Bezzia</i> sp.				1.8	1.8			
	Chironomidae	Chironomidae sp.B		130.8	116.5	100.3	57.3	100.3	181.0	62.7
		Chironomidae sp.C			12.5	43.0	5.4	17.9	12.5	3.6
		Chironomidae sp.D			3.6	1.8	1.8			23.3
		Chironomidae sp.E								3.6
		Chironomidae spp.			35.8	48.4	23.3	39.4	19.7	23.3
		Tanypodinae spp.					3.6		1.8	
	Empididae	<i>Clinocera</i> sp.B				1.8				
	Simuliidae	<i>Simulium</i> sp.	28.7	16.1		10.7	275.9	3.6		
	Tipulidae	<i>Antocha</i> sp.	1.8	10.7	25.1	3.6	26.9	14.3		
		<i>Dicranota</i> sp.								
<i>Eriocera</i> sp.A		23.3	26.9	39.4	41.2	64.5	1.8	21.5		
<i>Eriocera</i> sp.B		1.8	9.0	10.7	5.4	7.2	7.2	12.5		
<i>Ameletus</i>										
Ephemeroptera	Ameletidae	<i>camtschaticus</i>			1.8	14.3				
	Baetidae	<i>Acentrella lata</i>	10.7	50.2	9.0	5.4	100.3	10.7		
		<i>Baetiella bispinosa</i>	7.2	9.0	14.3		17.9	14.3		
		<i>Baetis</i> spp.	23.3	62.7	164.8	28.7	78.8	136.2	28.7	
	Ephemerellidae	<i>Acerella montana</i>				9.0				
Plecoptera	Nemouridae	<i>Cincticostella fusca</i>		1.8	19.7	10.7	7.2	3.6		
		<i>Rhithrogena ampla</i>	71.7	211.4	424.6	130.8	209.6	96.7	163.0	
		<i>Amphinemura</i> sp.	9.0	5.4	59.1	5.4	7.2	7.2	1.8	
	Perlidae	<i>Protonemura</i> spp.	5.4		3.6	1.8	1.8			
		<i>Gibosia</i> sp.			12.5	7.2	3.6		1.8	
		<i>Neoperla</i> spp.	9.0	53.7	78.8	23.3	41.2	25.1	25.1	
	Trichoptera	Styloperlidae	<i>Cerconychia</i> sp.		5.4	1.8		1.8		1.8
		Glossosomatidae	<i>Glossosoma</i> sp.	3.6	30.5	59.1	7.2	34.0	12.5	
		Hydrobiosidae	<i>Apsilochorema</i> sp.					1.8		
			<i>Hydropsyche</i> spp.	9.0	7.2	7.2	1.8	21.5	7.2	1.8
Rhyacophilidae		<i>Rhyacophila</i>								
		<i>nigrocephala</i>	1.8	12.5	21.5	7.2	14.3	16.1	1.8	
		<i>Rhyacophila</i> spp.	9.0	1.8	5.4		10.7	9.0		
Stenopsychidae	<i>Stenopsyche</i> sp.A	1.8	3.6	1.8	3.6	1.8	3.6	7.2		
Uenoidae	<i>Uenoa taiwanensis</i>	9.0			1.8	1.8				

(資料來源：本研究資料)

表3-4 2017年有勝溪及合歡溪之2月水棲昆蟲資源組成及總個體數 (individuals / square meter)

Order	Family	Taxon	羅葉尾溪放	南湖登	有勝溪		有勝溪	合歡溪
			流點	山口	勝光	下游	收費口	上游
Coleoptera	Dytiscidae	<i>Deronectes</i> sp.	7.2				7.2	
	Elmidae	<i>Zaitzevia</i> sp.A	3.6	114.7	7.2	17.9	34.0	96.7
<i>Zaitzevia</i> sp.B				25.1	1.8	12.5	9.0	
	Psephenidae	<i>Eubrianax</i> sp.	23.3	1.8				
	Scirtidae	<i>Cyphon</i> sp.	136.2	60.9	1.8		1.8	
Diptera	Athericidae	<i>Atherix</i> sp.	5.4					30.5
	Blepharoceridae	<i>Agathon</i> sp.					23.3	
		<i>Bibliocephala</i> sp.						5.4
	Ceratopogonidae	<i>Bezzia</i> sp.	5.4	19.7	9.0	14.3	14.3	
	Chironomidae	Chironomidae sp.B	21.5	163.0	5.4	48.4	507.0	28.7
		Chironomidae sp.C	5.4	1.8	10.7	10.7	12.5	
	Chironomidae sp.D			3.6	3.6	5.4		
	Chironomidae spp.	21.5	9.0	80.6	173.8	953.1	9.0	
	Tanypodinae spp.	3.6	14.3	46.6	48.4	23.3	1.8	
	Empididae	<i>Holorusia</i>						1.8
	Simuliidae	<i>Simulium</i> sp.		9.0		26.9	5262.0	10.7
	Tipulidae	<i>Antocha</i> sp.	5.4	32.2	41.2	224.0	317.1	
		<i>Dicranota</i> sp.						7.2
		<i>Eriocera</i> sp.A	37.6	10.7	7.2	9.0	3.6	
<i>Eriocera</i> sp.B		5.4	26.9	1.8	12.5	43.0		
Ephemeroptera	Ameletidae	<i>camtschaticus</i>	35.8		1.8	7.2		198.9
	Baetidae	<i>Acentrella lata</i>	1.8	7.2		1.8	148.7	9.0
		<i>Baetiella bispinosa</i>			7.2		19.7	3.6
		<i>Baetis</i> spp.	75.2	136.2	2470.7	1023.0	1628.6	397.7
	Ephemerellidae	<i>Acerella montana</i>		1.8				
		<i>Cincticostella fusca</i>	89.6	236.5	7.2	7.2		
	Ephemeridae	<i>Ephemeria sauteri</i>			25.1	39.4	5.4	3.6
	Heptageniidae	<i>Afronurus floreus</i>	10.7	43.0	12.5	71.7	1.8	21.5
		<i>Rhithrogena ampla</i>	39.4	129.0	677.2	73.5	46.6	591.2
	Leptophlebiidae	<i>Paraleptophlebia</i>						
sp.		134.4	25.1	14.3	1.8		16.1	
Plecoptera	Nemouridae	<i>Amphinemura</i> sp.	5.4	28.7	198.9	82.4	155.9	1083.9
	<i>Protonemura</i> spp.			1.8		1.8	9.0	
	Perlidae	<i>Gibosia</i> sp.	1.8	16.1				10.7
		<i>Neoperla</i> spp.	30.5	179.2	1.8	1.8	10.7	30.5
Trichoptera	Styloperlidae	<i>Cerconychia</i> sp.	19.7	109.3	5.4		1.8	87.8
	Arctopsychidae	<i>Arctopsyche</i> sp.						9.0
	Glossosomatidae	<i>Glossosoma</i> sp.	60.9	1.8		21.5	7.2	
	Goeridae	<i>Goera</i>	3.6					
	Hydrobiosidae	<i>Apsilochorema</i> sp.				1.8		
	Hydropsychidae	<i>Hydropsyche</i> spp.		3.6	1.8		3.6	
	Polycentropodidae	<i>Plectrocnemia</i> sp.				1.8		
	Rhyacophilidae	<i>Himalopsyche</i> sp.				1.8		
		<i>Rhyacophila nigrocephala</i>	5.4	37.6	26.9	34.0	37.6	
		<i>Rhyacophila</i> spp.	5.4	7.2	3.6	3.6	3.6	
Stenopsychidae	<i>Stenopsyche</i> sp.A	1.8	16.1	3.6			3.6	
Uenoidae	<i>Uenoa taiwanensis</i>			3.6				

(資料來源：本研究資料)

表3-5 2017年七家灣溪之4月水棲昆蟲資源組成及總個體數 (individuals / square meter)

Coleoptera	Elmidae	<i>Zaitzevia</i> sp.A	12.5	44.8	62.7	315.3	218.6	32.2	50.2
		<i>Zaitzevia</i> sp.B	1.8	12.5		7.2	10.7		1.8
Diptera	Scirtidae	<i>Cyphon</i> sp.	98.5	5.4	3.6	249.0	30.5	3.6	12.5
	Athericidae	<i>Asuragina</i> sp.				1.8			
		<i>Atherix</i> sp.	1.8	1.8		3.6			
	Blepharoceridae	<i>Agathon</i> sp.					3.6	1.8	1.8
		<i>Bibliocephala</i> sp.		1.8	1.8		7.2	1.8	3.6
	Ceratopogonidae	<i>Bezzia</i> sp.	9.0	17.9	1.8	3.6	52.0	16.1	26.9
	Chironomidae	Chironomidae sp.B	198.9	141.5	111.1	238.3	372.7	134.4	308.2
		Chironomidae sp.C	1.8	7.2	64.5	139.7	191.7	25.1	155.9
		Chironomidae sp.D		5.4	3.6	10.7	48.4		5.4
		Chironomidae sp.E			3.6		12.5		
		Chironomidae spp.	44.8	123.6	89.6	734.6	480.2	340.4	306.4
	Empididae	Tanypodinae spp.	5.4	12.5	1.8	39.4	17.9	21.5	17.9
		<i>Chelifera</i> sp.		1.8		1.8	7.2		1.8
		<i>Clinocera</i> sp.A			1.8	1.8	1.8		
	Scathophagidae	Scathophagidae					1.8		
	Simuliidae	<i>Simulium</i> sp.	64.5	23.3	44.8	46.6	134.4	7.2	41.2
	Thaumaleidae	Thaumaleidae sp.	1.8		1.8				
Tipulidae	<i>Antocha</i> sp.	1.8	14.3	25.1	19.7	25.1	73.5	21.5	
	<i>Eriocera</i> sp.A	55.5	84.2	10.7	480.2	130.8	50.2	69.9	
	<i>Eriocera</i> sp.B	1.8	19.7	16.1	35.8	44.8	43.0	12.5	
	<i>Ameletus</i>								
	<i>camtschaticus</i>	7.2	1.8	1.8	1.8				
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Acentrella lata</i>	21.5	14.3		35.8	87.8	16.1	30.5
		<i>Baetiella bispinosa</i>	3.6		3.6	1.8	26.9	19.7	7.2
		<i>Baetis</i> spp.	87.8	259.8	268.7	523.2	935.2	661.1	782.9
	Caenidae	<i>Caenis</i> sp.		1.8		12.5	1.8	1.8	
	Ephemerellidae	<i>Acerella montana</i>			9.0	1.8			
		<i>Cincticostella fusca</i>				23.3		3.6	7.2
		<i>Ephemera sauteri</i>				1.8			1.8
	Heptageniidae	<i>Afronurus floreus</i>	5.4	16.1	10.7	14.3	7.2		16.1
		<i>Epeorus erratus</i>	1.8	1.8				1.8	5.4
		<i>Nixe</i> sp.							
	<i>Rhithrogena ampla</i>	258.0	129.0	265.2	89.6	419.2	492.7	494.5	
Plecoptera	Nemouridae	<i>Amphinemura</i> sp.	1.8	7.2	17.9	75.2	143.3	37.6	69.9
		<i>Protonemura</i> spp.	5.4	1.8	1.8	3.6	7.2		3.6
	Perlidae	<i>Gibosia</i> sp.	1.8			1.8		14.3	
	<i>Neoperla</i> spp.	16.1		82.4	43.0	23.3	26.9	28.7	
Trichoptera	Styloperlidae	<i>Cerconychia</i> sp.	10.7	3.6	10.7	1.8	5.4	5.4	5.4
	Arctopsychoidea	<i>Arctopsyche</i> sp.				3.6			1.8
	Glossosomatidae	<i>Glossosoma</i> sp.	12.5	5.4	3.6	41.2	367.3	3.6	19.7
	Hydrobiosidae	<i>Apsilochorema</i> sp.					5.4		
	Hydropsychidae	<i>Hydropsyche</i> spp.	3.6	1.8	3.6	9.0	14.3	19.7	44.8
	Lepidostomatidae	<i>Goerodes</i> sp.			1.8	3.6	3.6		3.6
	Rhyacophilidae	<i>Himalopsyche</i> sp.				3.6			
	<i>Rhyacophila</i>		5.4	17.9	21.5	25.1	62.7	44.8	

	<i>nigrocephala</i>							
	<i>Rhyacophila</i> spp.	12.5	30.5	5.4	7.2	7.2	9.0	9.0
Stenopsychidae	<i>Stenopsyche</i> sp.A	1.8	1.8			1.8	9.0	19.7
Uenoidae	<i>Uenoa taiwanensis</i>	1.8						

(資料來源：本研究資料)

表3-6 2017年有勝溪及合歡溪之4月水棲昆蟲資源組成及總個體數 (individuals / square meter)

Order	Family	Taxon	羅葉尾溪		南湖登		有勝溪	有勝溪收	合歡溪
			放流點	山口	勝光	下游	費口	上游	
Coleoptera	Dytiscidae	<i>Deronectes</i> sp.	7.2					7.2	9.0
	Elmidae	<i>Zaitzevia</i> sp.A	3.6	114.7	7.2	17.9	34.0		
<i>Zaitzevia</i> sp.B				25.1	1.8	12.5			
	Psephenidae	<i>Eubrianax</i> sp.	23.3	1.8					
	Scirtidae	<i>Cyphon</i> sp.	136.2	60.9	1.8		1.8		
Diptera	Athericidae	<i>Atherix</i> sp.	5.4						
	Blepharoceridae	<i>Agathon</i> sp.						23.3	
		<i>Bibiocephala</i> sp.							7.2
	Ceratopogonidae	<i>Bezzia</i> sp.	5.4	19.7	9.0	14.3	14.3		
	Chironomidae	Chironomidae sp.B	21.5	163.0	5.4	48.4	507.0		
		Chironomidae sp.C	5.4	1.8	10.7	10.7	12.5		
	Chironomidae sp.D			3.6	3.6	5.4		26.9	
	Chironomidae sp.E							3.6	
	Chironomidae spp.		21.5	9.0	80.6	173.8	953.1		
	Tanypodinae spp.		3.6	14.3	46.6	48.4	23.3		
	Empididae	<i>Holorusia</i>							10.7
	Simuliidae	<i>Simulium</i> sp.		9.0		26.9	5262.0		
	Tipulidae	<i>Antocha</i> sp.	5.4	32.2	41.2	224.0	317.1		
		<i>Dicranota</i> sp.							
			<i>Eriocera</i> sp.A	37.6	10.7	7.2	9.0	3.6	
		<i>Eriocera</i> sp.B	5.4	26.9	1.8	12.5	43.0		
		<i>Ameletus</i>							
Ephemeroptera	Ameletidae	<i>camtschaticus</i>	35.8		1.8	7.2			
	Baetidae	<i>Acentrella lata</i>	1.8	7.2		1.8	148.7		
		<i>Baetiella bispinosa</i>				7.2	19.7		
		<i>Baetis</i> spp.	75.2	136.2	2470.7	1023.0	1628.6		
	Ephemerellidae	<i>Acerella montana</i>		1.8					
		<i>Cincticostella fusca</i>	89.6	236.5	7.2	7.2		1.8	
	Ephemeridae	<i>Ephemerella sauteri</i>			25.1	39.4	5.4	353.0	
	Heptageniidae	<i>Afronurus floreus</i>	10.7	43.0	12.5	71.7	1.8	3.6	
		<i>Rhithrogena ampla</i>	39.4	129.0	677.2	73.5	46.6		
	Leptophlebiidae	<i>Paraleptophlebia</i> sp.	134.4	25.1	14.3	1.8		544.7	
Plecoptera	Nemouridae	<i>Amphinemura</i> sp.	5.4	28.7	198.9	82.4	155.9		
		<i>Protonemura</i> spp.		1.8		1.8			
	Perlidae	<i>Gibosia</i> sp.	1.8	16.1					
		<i>Neoperla</i> spp.	30.5	179.2	1.8	1.8	10.7	3.6	
	Styloperlidae	<i>Cerconychia</i> sp.	19.7	109.3	5.4		1.8	37.6	
Trichoptera	Glossosomatidae	<i>Glossosoma</i> sp.	60.9	1.8		21.5	7.2		
	Hydrobiosidae	<i>Apsilochorema</i> sp.						327.9	
	Hydropsychidae	<i>Hydropsyche</i> spp.						12.5	
	Lepidostomatidae	<i>Goerodes</i> sp.						148.7	
		<i>Rhyacophila</i>							
	Rhyacophilidae	<i>nigrocephala</i>						12.5	
		<i>Rhyacophila</i> spp.						10.7	
	Stenopsychidae	<i>Stenopsyche</i> sp.A						5.4	

(資料來源：本研究資料)

表3-7 2017年七家灣溪之6月水棲昆蟲資源組成及總個體數 (individuals / square meter)

Coleoptera	Elmidae	<i>Zaitzevia</i> sp.A	1.8		1.8	5.4	7.2		
		<i>Zaitzevia</i> sp.B	1.8					3.6	
Diptera	Scirtidae	<i>Cyphon</i> sp.	1.8			1.8	3.6		
	Athericidae	<i>Asuragina</i> sp.				1.8			
		<i>Atherix</i> sp.		3.6				3.6	
	Blepharoceridae	<i>Bibliocephala</i> sp.	1.8			3.6	16.1		
	Ceratopogonidae	<i>Bezzia</i> sp.					1.8	1.8	
	Chironomidae	Chironomidae sp.B	3.6	7.2	9.0	21.5	12.5	1.8	3.6
		Chironomidae sp.C	1.8			3.6			
		Chironomidae sp.D				1.8			1.8
		Chironomidae spp.	1.8	3.6	1.8	1.8		3.6	1.8
		Tanypodinae spp.				1.8	1.8	3.6	1.8
		Simuliidae	<i>Simulium</i> sp.			1.8			
	Thaumaleidae	Thaumaleidae sp.				1.8			
	Tipulidae	<i>Antocha</i> sp.	3.6		3.6	1.8	1.8		
<i>Eriocera</i> sp.A		21.5	5.4	10.7	7.2		3.6	7.2	
<i>Eriocera</i> sp.B				9.0				3.6	
<i>Erioptera</i> sp.							1.8		
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Acentrella lata</i>	3.6	1.8	10.7		5.4	1.8	
		<i>Baetiella bispinosa</i>			5.4	16.1			1.8
		<i>Baetis</i> spp.	62.7	12.5	10.7	28.7	21.5	1.8	25.1
	Heptageniidae	<i>Afronurus floreus</i>	14.3						
<i>Epeorus erratus</i>							1.8		
Plecoptera	Nemouridae	<i>Rhithrogena ampla</i>	53.7	14.3	46.6	19.7	39.4	66.3	21.5
		<i>Amphinemura</i> sp.	9.0			10.7	5.4		
		<i>Protonemura</i> spp.					5.4		
	Perlidae	<i>Gibosia</i> sp.				1.8			
		<i>Neoperla</i> spp.	10.7	3.6	10.7	10.7	26.9	1.8	16.1
Trichoptera	Styloperlidae	<i>Cerconychia</i> sp.	1.8	1.8		3.6			
	Arctopsychidae	<i>Arctopsyche</i> sp.							1.8
	Glossosomatidae	<i>Glossosoma</i> sp.	7.2		7.2	1.8	3.6	1.8	
	Hydrobiosidae	<i>Apsilochorema</i> sp.					10.7		
	Hydropsychidae	<i>Hydropsyche</i> spp.	23.3	14.3	12.5	17.9	17.9	9.0	1.8
	Lepidostomatidae	<i>Goerodes</i> sp.			1.8		1.8		
	Rhyacophilidae	<i>Himalopsyche</i> sp.		1.8					
		<i>Rhyacophila nigrocephala</i>	1.8	1.8	3.6	7.2	14.3		1.8
<i>Rhyacophila</i> spp.		1.8	5.4	1.8	1.8	3.6			
Stenopsychidae	<i>Stenopsyche</i> sp.A						3.6	1.8	

(資料來源：本研究資料)

表3-8 2017年有勝溪及合歡溪之6月水棲昆蟲資源組成及總個體數 (individuals / square meter)

Order	Family	Taxon	羅葉尾溪	南湖登	有勝溪下		有勝溪收	合歡溪		
			放流點	山口	勝光	游	費口	上游		
Coleoptera	Elmidae	<i>Zaitzevia</i> sp.A	9.0	39.4		1.8	3.6			
		<i>Zaitzevia</i> sp.B	3.6	3.6			1.8			
	Hydrophilidae	<i>Ametor</i> sp.	3.6							
	Psephenidae	<i>Eubrianax</i> sp.	5.4	3.6						
	Scirtidae	<i>Cyphon</i> sp.	9.0	7.2						
Diptera	Athericidae	<i>Atherix</i> sp.	1.8	1.8						
	Blepharoceridae	<i>Bibliocephala</i> sp.								
	Ceratopogonidae	<i>Bezzia</i> sp.		1.8						
	Chironomidae	Chironomidae sp.B		21.5	145.1	23.3	12.5	105.7	10.7	
		Chironomidae sp.C		1.8						
		Chironomidae sp.D						5.4		
		Chironomidae sp.E						17.9		
		Chironomidae spp.		17.9		32.2	25.1	3.6	1.8	
		Tanypodinae spp.		5.4	3.6		7.2	30.5	1.8	
		Empididae	<i>Hemerodromia</i>						1.8	
			<i>Trichoclinocera</i>							1.8
	Simuliidae	<i>Simulium</i> sp.	10.7	163.0	12.5	5.4	3.6			
	Tipulidae	<i>Antocha</i> sp.	3.6	84.2	19.7	37.6	50.2			
		<i>Eriocera</i> sp.A	10.7				3.6			
		<i>Eriocera</i> sp.B		3.6		1.8	7.2			
<i>Ameletus</i>										
Ephemeroptera	Ameletidae	<i>camtschaticus</i>						1.8		
	Baetidae	<i>Acentrella lata</i>	62.7	138.0	130.8	86.0	41.2	1.8		
		<i>Baetiella bispinosa</i>	14.3	25.1	1.8	43.0	59.1			
		<i>Baetis</i> spp.	181.0	184.5	154.1	254.4	937.0	16.1		
	Ephemeridae	<i>Ephemeria sauteri</i>					14.3	1.8		
	Heptageniidae	<i>Afronurus floreus</i>	5.4	21.5	3.6	3.6	68.1			
		<i>Epeorus erratus</i>	1.8							
	<i>Rhithrogena ampla</i>	80.6	75.2	139.7	238.3	175.6	80.6			
Plecoptera	Nemouridae	<i>Amphinemura</i> sp.	7.2	25.1			1.8	37.6		
		<i>Protonemura</i> spp.	1.8	3.6				1.8		
	Perlidae	<i>Gibosia</i> sp.	1.8	3.6						
		<i>Neoperla</i> spp.	48.4	73.5	1.8		1.8			
	Styloperlidae	<i>Cerconychia</i> sp.	9.0	3.6				1.8		
Trichoptera	Arctopsychidae	<i>Arctopsyche</i> sp.								
	Glossosomatidae	<i>Glossosoma</i> sp.	5.4	28.7	9.0	3.6	1.8			
	Hydrobiosidae	<i>Apsilochorema</i> sp.		3.6						
	Hydropsychidae	<i>Hydropsyche</i> spp.	9.0	53.7		7.2	19.7			
	Lepidostomatidae	<i>Goerodes</i> sp.		1.8			1.8			
		<i>Rhyacophila</i>								
	Rhyacophilidae	<i>nigrocephala</i>	7.2	28.7	17.9	14.3	37.6			
		<i>Rhyacophila</i> spp.	9.0	19.7			5.4			
Stenopsychidae	<i>Stenopsyche</i> sp.A	3.6	138.0	1.8	1.8					

(資料來源：本研究資料)

表3-9 2017年七家灣溪之10月水棲昆蟲資源組成及總個體數 (individuals / square meter)

Coleoptera	Elmidae	<i>Zaitzevia</i> sp.A	168.4	34.0	154.1	198.9	84.2	93.2	62.7	
		<i>Zaitzevia</i> sp.B	12.5	1.8	21.5	3.6	3.6	17.9	12.5	
Diptera	Scirtidae	<i>Cyphon</i> sp.	19.7		3.6	14.3	16.1			
	Athericidae	<i>Asuragina</i> sp.		3.6			1.8			
		<i>Atherix</i> sp.			5.4		3.6	3.6	5.4	1.8
	Blepharoceridae	<i>Agathon</i> sp.				3.6		3.6		
		<i>Bibliocephala</i> sp.				3.6	3.6	5.4	3.6	
	Ceratopogonidae	<i>Bezzia</i> sp.	1.8	1.8						
	Chironomidae	Chironomidae sp.B		37.6	52.0	93.2	175.6	268.7	32.2	21.5
		Chironomidae sp.C		125.4	26.9	224.0	460.4	578.7	69.9	100.3
		Chironomidae sp.E				10.7				
		Chironomidae spp.		1.8	34.0	96.7	21.5	186.3	118.2	68.1
		Tanypodinae spp.		1.8	12.5	9.0		9.0	3.6	12.5
	Empididae	<i>Chelifera</i> sp.								1.8
	Simuliidae	<i>Simulium</i> sp.	17.9	21.5	23.3	64.5	215.0	1.8	3.6	
	Thaumaleidae	Thaumaleidae sp.			3.6		3.6			1.8
Tipulidae	<i>Antocha</i> sp.	21.5	25.1	52.0	17.9	35.8	46.6	12.5		
	<i>Eriocera</i> sp.A	21.5	19.7	28.7	25.1	17.9	32.2	17.9		
	<i>Eriocera</i> sp.B	9.0	10.7	41.2	17.9	17.9	12.5	10.7		
	<i>Ameletus</i>									
Ephemeroptera	Ameletidae	<i>camtschaticus</i>		9.0						
	Baetidae	<i>Acentrella lata</i>	55.5	41.2	103.9	186.3	652.2	53.7	46.6	
		<i>Baetiella bispinosa</i>	3.6	10.7	87.8	1.8	102.1	60.9	7.2	
		<i>Baetis</i> spp.	614.5	659.3	849.2	173.8	516.0	417.5	252.6	
	Ephemerellidae	<i>Acerella montana</i>	12.5	19.7	16.1	3.6	12.5	7.2	1.8	
	Ephemeridae	<i>Ephemeria sauteri</i>			3.6					
	Heptageniidae	<i>Afronurus floreus</i>		5.4	7.2		14.3	7.2		
		<i>Epeorus erratus</i>			3.6		1.8			
		<i>Rhithrogena ampla</i>	516.0	313.5	562.6	345.8	507.0	338.6	229.3	
	Plecoptera	Nemouridae	<i>Amphinemura</i> sp.	3.6	7.2	34.0	19.7	57.3	21.5	12.5
<i>Protonemura</i> spp.			9.0	1.8	10.7	5.4	14.3			
Perlidae		<i>Gibosia</i> sp.			7.2		10.7	1.8		
	<i>Neoperla</i> spp.	55.5	25.1	181.0	102.1	102.1	71.7	23.3		
Trichoptera	Styloperlidae	<i>Cerconychia</i> sp.	1.8	3.6	3.6	1.8	3.6	1.8	1.8	
	Arctopsychidae	<i>Arctopsyche</i> sp.					1.8			
	Glossosomatidae	<i>Glossosoma</i> sp.	21.5	10.7	39.4	35.8	123.6	3.6		
	Hydrobiosidae	<i>Apsilochorema</i> sp.	3.6	5.4	9.0	10.7	16.1	1.8		
	Hydropsychidae	<i>Hydropsyche</i> spp.	41.2	7.2	60.9	16.1	53.7	50.2	21.5	
	Lepidostomatidae	<i>Goerodes</i> sp.			5.4	7.2	21.5	3.6	1.8	
	Polycentropodidae	<i>Plectrocnemia</i> sp.	7.2				1.8	1.8		
		<i>Himalopsyche</i> sp.				1.8	1.8			
	Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila</i>								
		<i>nigrocephala</i>	34.0	26.9	64.5	17.9	32.2	30.5	21.5	
<i>Rhyacophila</i> spp.		7.2	7.2	3.6	3.6		1.8	1.8		
Stenopsychidae	<i>Stenopsyche</i> sp.A	16.1	5.4	1.8		1.8	1.8			

(資料來源：本研究資料)

表3-10 2017年有勝溪及合歡溪之10月水棲昆蟲資源組成及總個體數 (individuals / square meter)

Order	Family	Taxon	羅葉尾溪	南湖登	有勝溪		合歡溪上	
			放流點	山口	勝光	下游	收費口	游
Coleoptera	Elmidae	<i>Zaitzevia</i> sp.A	107.5	329.7	26.9	17.9	35.8	95.0
		<i>Zaitzevia</i> sp.B		1.8	17.9	1.8	1.8	41.2
	Psephenidae	<i>Eubrianax</i> sp.	136.2	3.6				
Diptera	Scirtidae	<i>Cyphon</i> sp.	268.7	26.9			1.8	
	Athericidae	<i>Asuragina</i> sp.						12.5
		<i>Atherix</i> sp.	7.2					9.0
	Ceratopogonidae	<i>Bezzia</i> sp.	3.6	5.4	16.1	1.8		1.8
	Chironomidae	Chironomidae sp.B	35.8	537.5	102.1	197.1	447.9	413.9
		Chironomidae sp.C	71.7	14.3	64.5	7.2	7.2	14.3
		Chironomidae sp.D		1.8				
		Chironomidae sp.E	1.8		10.7	3.6		
		Chironomidae spp.	130.8	26.9	95.0	433.6	41.2	
		Tanypodinae spp.	5.4	19.7	132.6	35.8	32.2	
	Ephydriidae	<i>Setacera</i> sp.			1.8			
	Simuliidae	<i>Simulium</i> sp.	17.9	14.3	7.2	173.8	121.8	91.4
	Tipulidae	<i>Antocha</i> sp.	9.0	143.3	204.2	43.0	30.5	
		<i>Eriocera</i> sp.A	62.7	3.6	3.6			
		<i>Eriocera</i> sp.B	5.4	32.2	9.0	14.3	7.2	
	<i>Ameletus</i>							
Ephemeroptera	Ameletidae	<i>camtschaticus</i>	7.2					10.7
	Baetidae	<i>Acentrella lata</i>	28.7	1040.9	95.0	455.1	553.6	23.3
		<i>Baetiella bispinosa</i>	3.6	77.0	7.2	52.0	41.2	3.6
		<i>Baetis</i> spp.	275.9	770.4	1015.9	1094.7	1001.5	249.0
	Ephemerellidae	<i>Acerella montana</i>	252.6	1023.0	3.6	3.6	1.8	
		<i>Cincticostella fusca</i>	23.3	138.0				
	Ephemeridae	<i>Ephemera sauteri</i>		10.7	7.2			
	Heptageniidae	<i>Afronurus floreus</i>	1.8	14.3	19.7	28.7	9.0	
		<i>Epeorus erratus</i>	9.0	1.8				
		<i>Nixe</i> sp.				3.6	1.8	
	<i>Rhithrogena ampla</i>	516.0	589.4	417.5	476.6	387.0	682.6	
Leptophlebiidae	<i>Paraleptophlebia</i> sp.	473.0	1.8				16.1	
	<i>Sinogomphus</i>							
Odonata	Gomphidae	<i>formosanus</i>	1.8		1.8			
Plecoptera	Nemouridae	<i>Amphinemura</i> sp.	14.3	112.9	9.0	3.6	17.9	134.4
		<i>Protonemura</i> spp.	9.0	1.8				17.9
	Perlidae	<i>Gibosia</i> sp.	9.0	5.4		1.8		19.7
		<i>Neoperla</i> spp.	143.3	270.5	5.4	9.0	1.8	145.1
		<i>Cerconychia</i> sp.	68.1	1.8				
Trichoptera	Glossosomatidae	<i>Glossosoma</i> sp.	57.3	3.6	5.4	5.4	5.4	
	Goeridae	<i>Goera</i>	1.8					
	Helicopsychidae	<i>Helicopsyche</i>	5.4					
	Hydrobiosidae	<i>Apsilochorema</i> sp.	9.0	10.7	50.2	12.5	1.8	
	Hydropsychidae	<i>Hydropsyche</i> spp.	12.5	68.1	19.7	39.4	25.1	3.6
	Lepidostomatidae	<i>Goerodes</i> sp.	21.5	5.4	16.1	5.4	16.1	
	Polycentropodidae	<i>Plectrocnemia</i> sp.		7.2	1.8	1.8		
		<i>Rhyacophila</i>						
		<i>nigrocephala</i>	39.4	120.0	21.5	26.9	43.0	10.7
	Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila</i> spp.	12.5	34.0	3.6	3.6		9.0
Stenopsychidae	<i>Stenopsyche</i> sp.A	44.8	378.0	5.4				

(資料來源：本研究資料)

表3-11 合歡溪各項生物監測數值

	水蟲密度 (個體數/m ²)	中大型食餌 (個體數/m ²)	生物量 (mg/m ²)	Shannon- Wiener's index	RPBII
2016年5月	680.8	155.9	607.7	2.3	1.00
2016年10月	179.2	59.1	114.9	1.6	1.07
2017年2月	2676.7	634.2	3107.1	1.8	0.93
2017年4月	1530.1	354.7	1325.4	1.7	0.80
2017年6月	159.5	82.4	165.0	1.5	0.80
2017年10月	2004.8	851.0	1411.2	2.1	0.80

(資料來源：本研究資料)

表3-12 颱風季前(6月)後(10月)臺灣櫻花鉤吻鮭族群變動之複迴歸分析(2004年至2015年)

Model selection	Predictors in model*	R ²	R _i ²	p-value
October 2004 to 2014 (N = 11)				
Stepwise	y=1427.28+1.21 水昆	0.5589	0.5099	0.0082
Minimized Akaike's information criterion (AIC) value	y=-28783+1.79 水昆+3535.79pH-11.41 導電度+3045.05 濁度+193.58 水溫	0.9384	0.8767	0.0048
June, October 2004 to 2015(N = 23)				
Stepwise	Y=2268.7+0.53 水昆	0.2592	0.2239	0.0131
Minimized Akaike's information criterion (AIC) value	Y=3806.3+0.5 水昆-8.14 導電度	0.2995	0.2294	0.0285

* N 為樣本數。颱風季前(6月)之迴歸式不成立(p-value >0.05)。

迴歸式 y 為每年 6 月、10 月鮭魚數量。水昆為體型大於 1 公分之中大型食餌密度。

(資料來源：本研究資料)

附圖

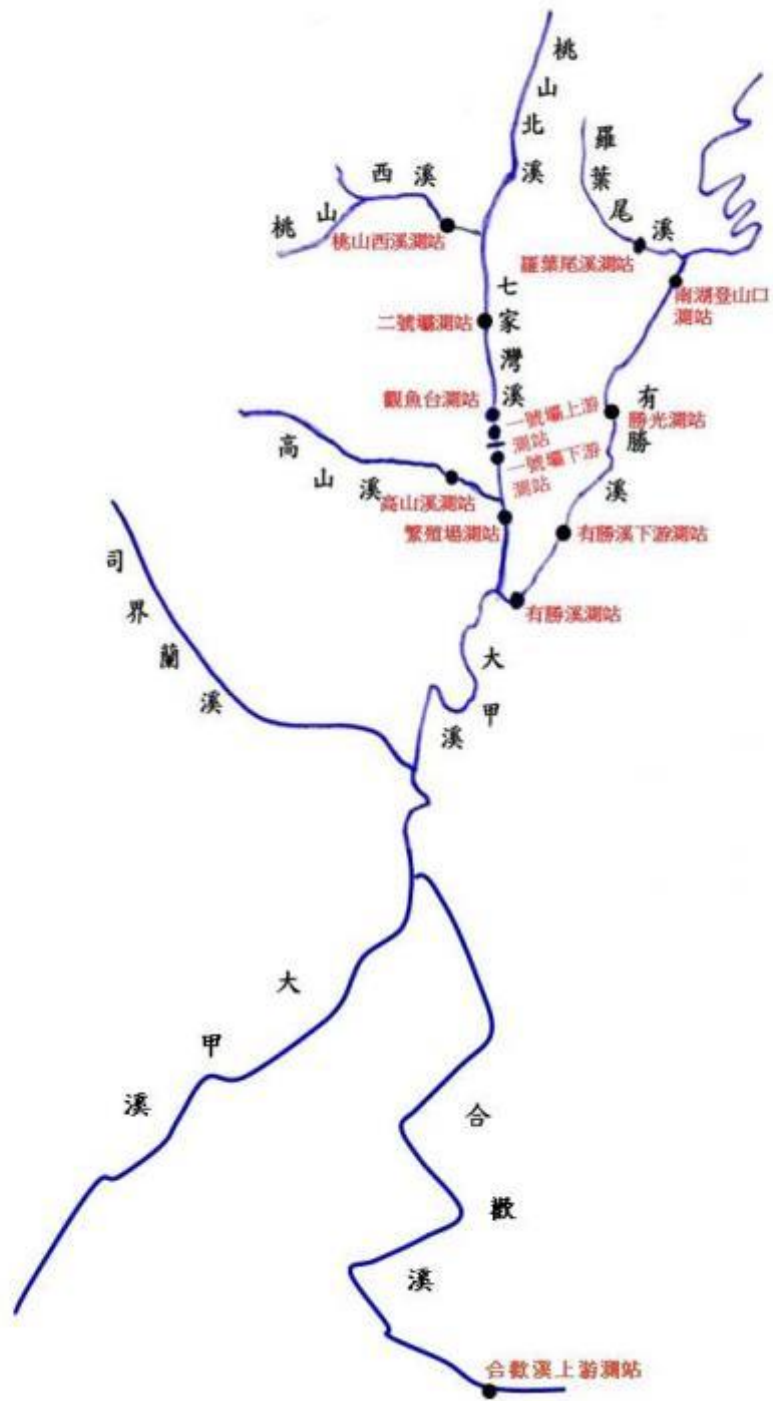


圖 3-1 武陵地區溪流水棲昆蟲監測調查測站之相關位置圖。
(資料來源：本研究資料)

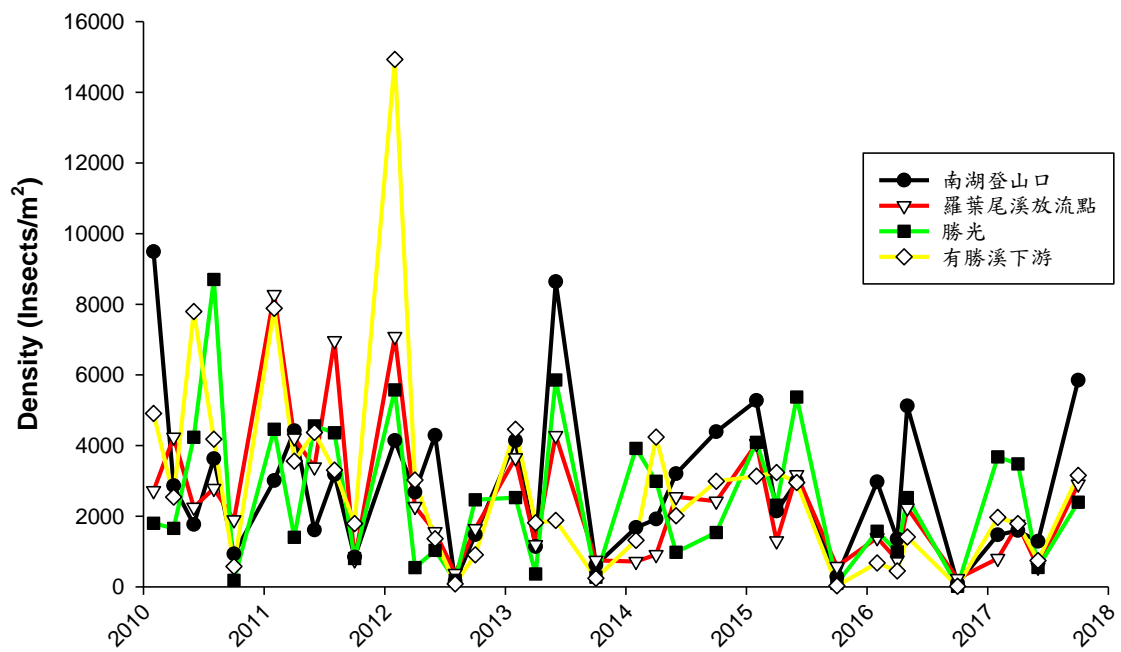
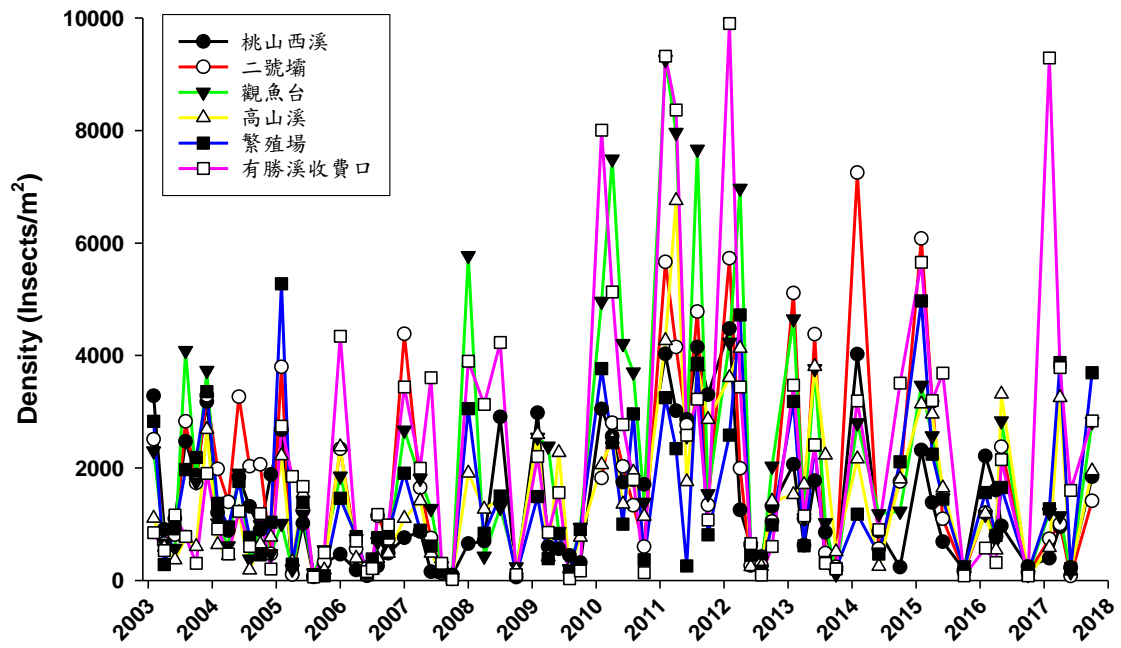


圖 3-2 武陵地區溪流測站水棲昆蟲各月數量。
(資料來源：本研究資料)

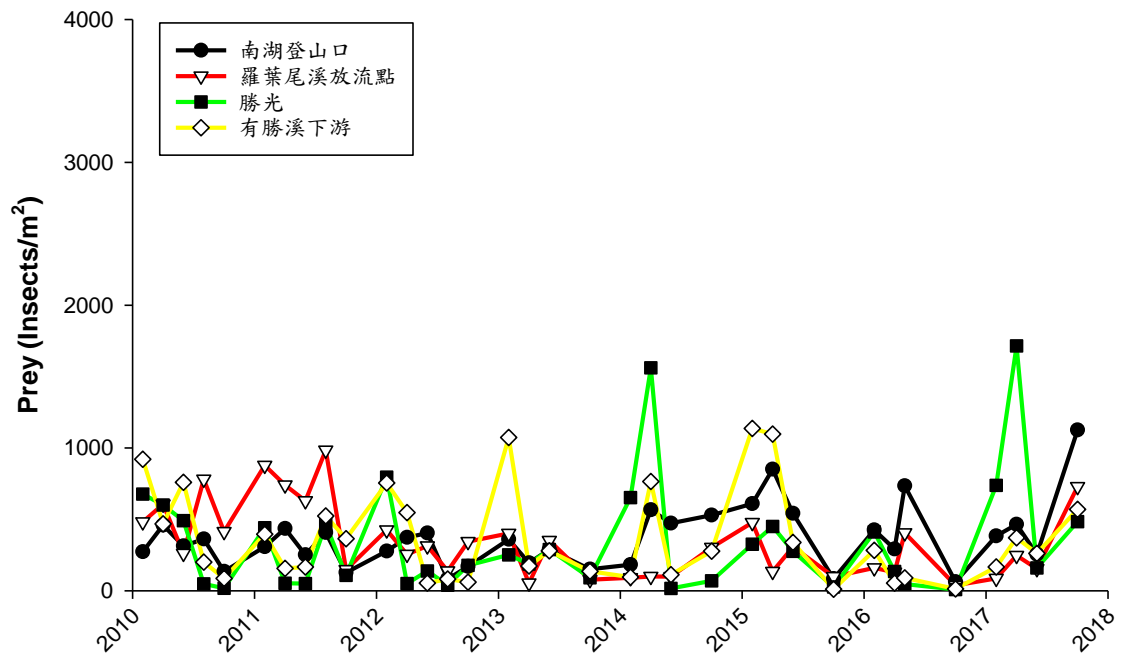
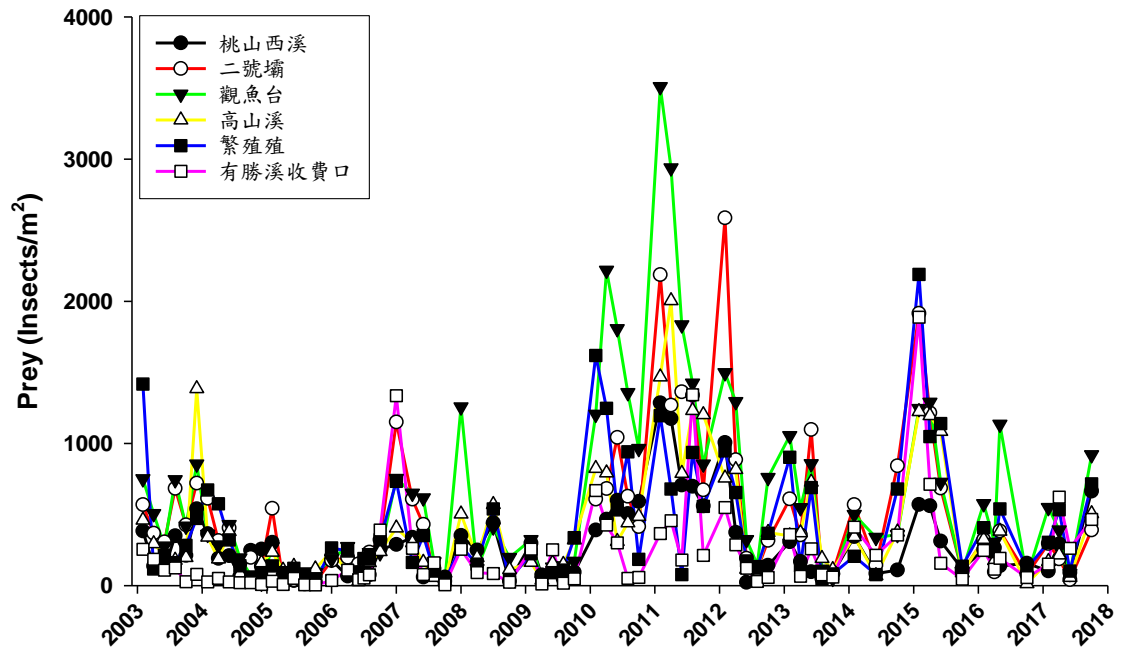


圖 3-3 武陵地區溪流測站之臺灣鈎吻鮭中大體型昆蟲食餌數量變化圖。
 (資料來源：本研究資料)

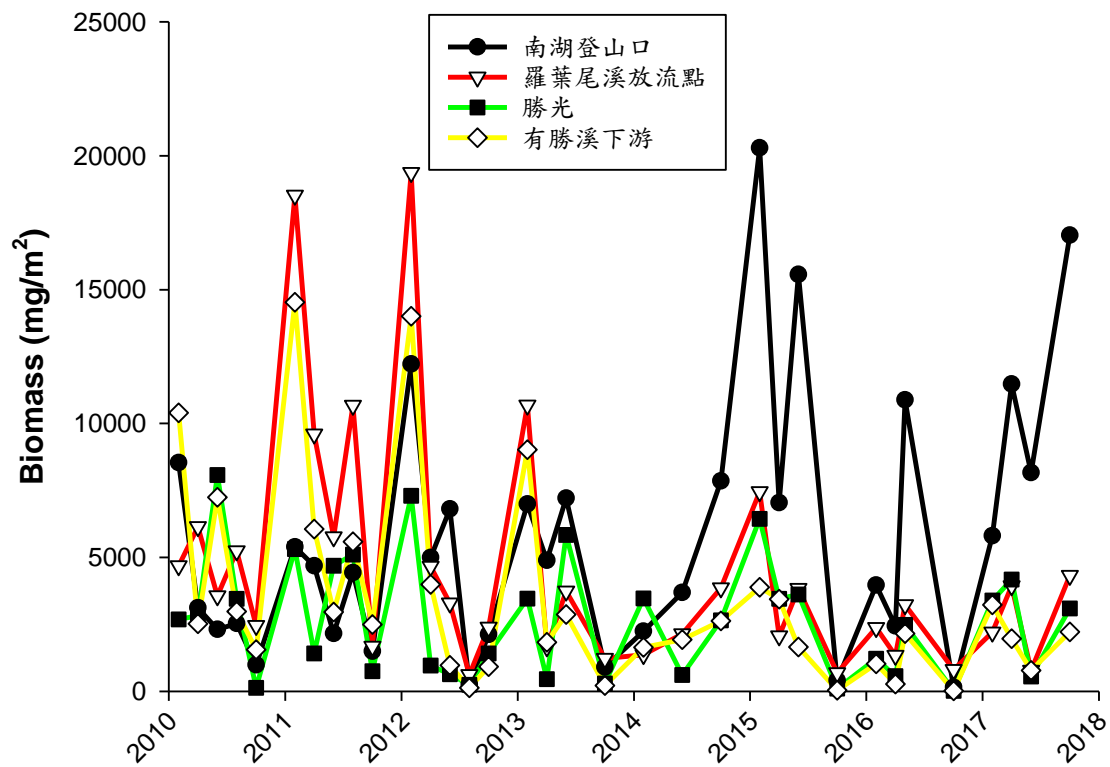
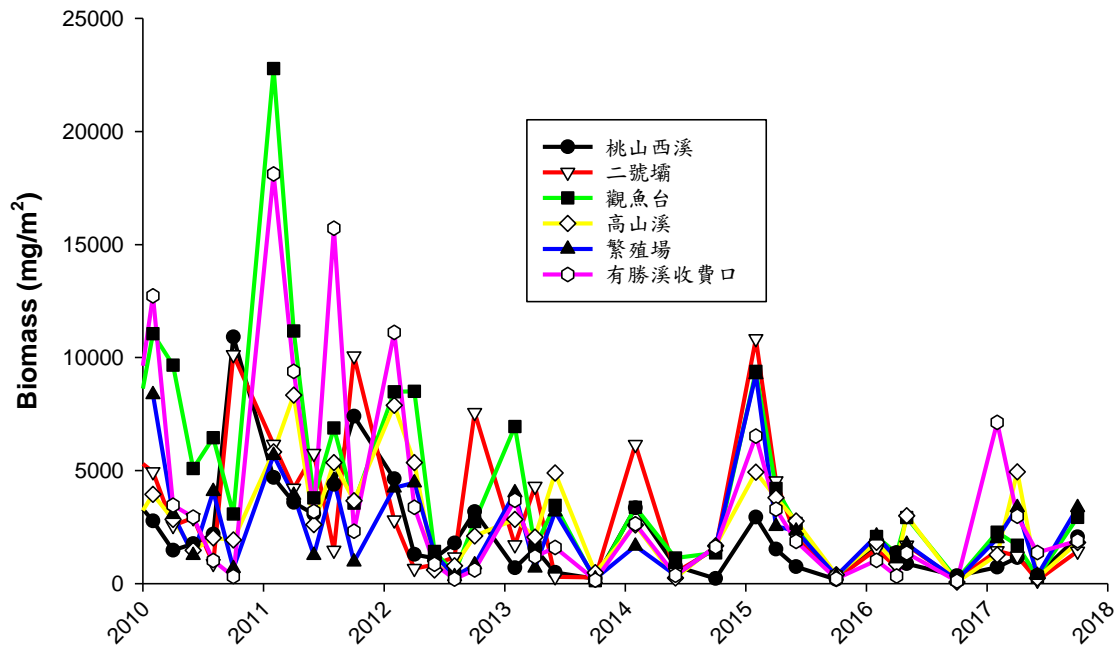


圖 3-4 武陵地區溪流測站之水棲昆蟲生物量(濕重)變化圖。
(資料來源：本研究資料)

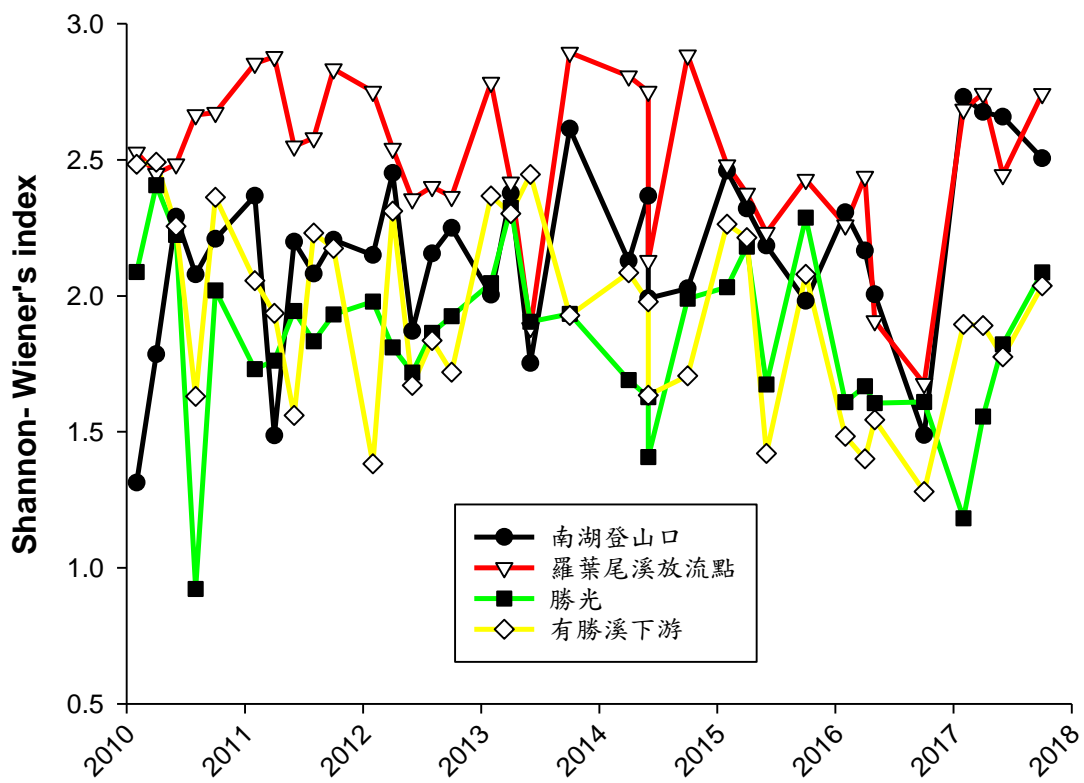
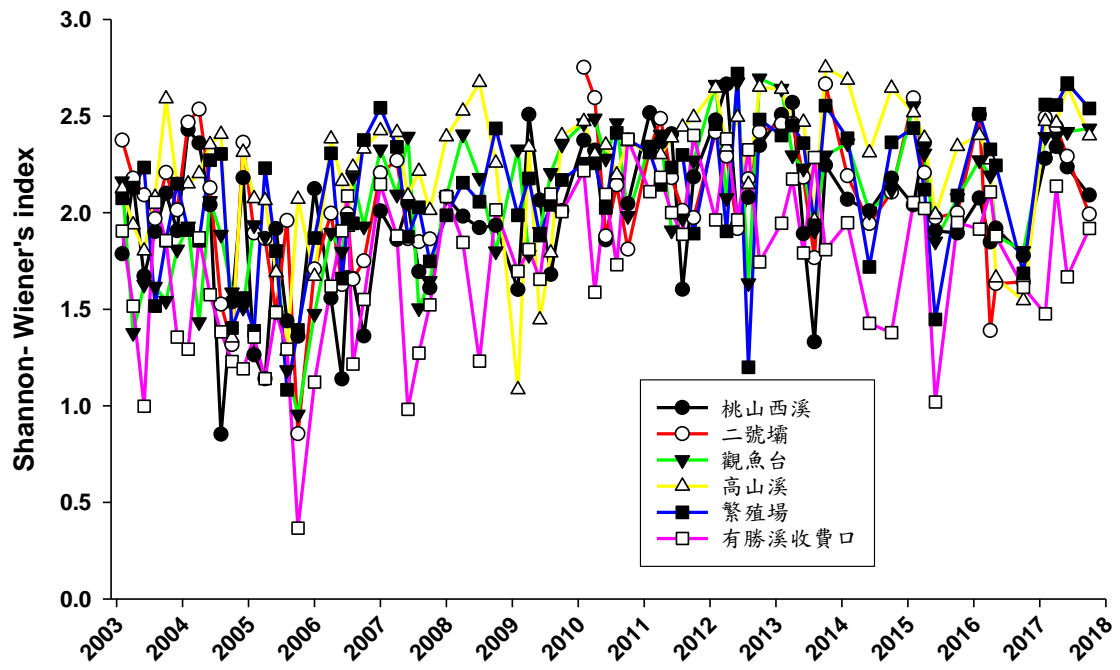


圖 3-5 武陵地區溪流測站水棲昆蟲之 Shannon- Wiener's index。
(資料來源：本研究資料)

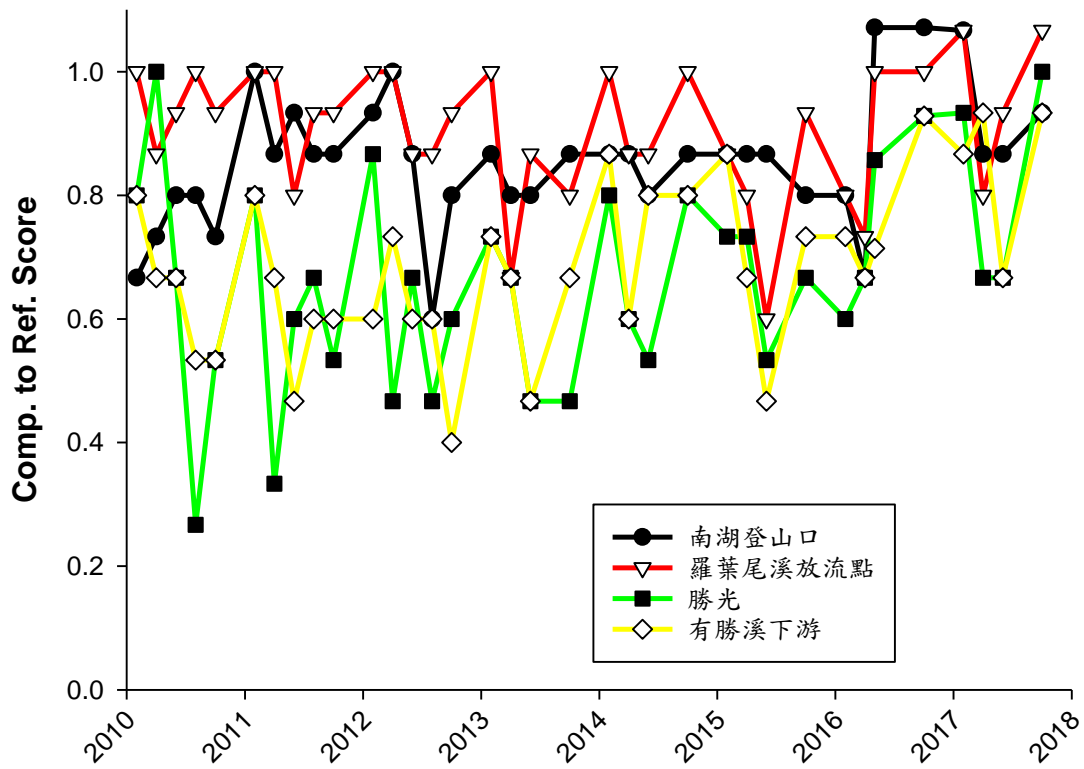
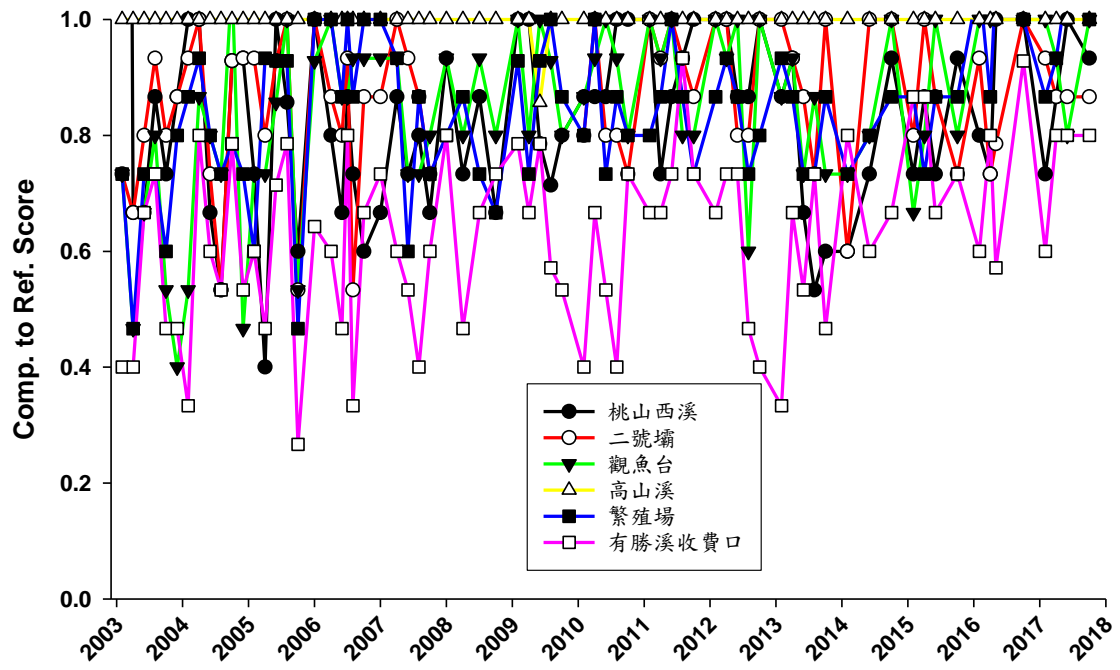


圖 3-6 武陵地區溪流測站水棲昆蟲之 RBPII 相對分數。
(資料來源：本研究資料)

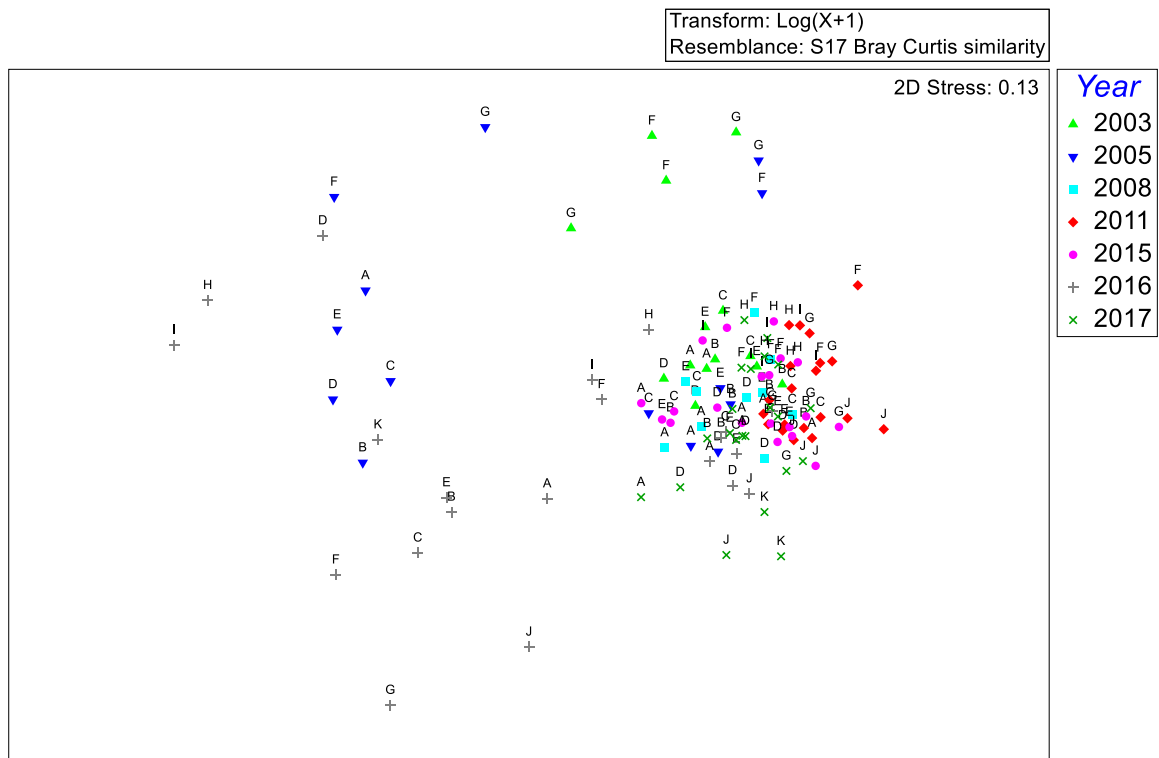


圖 3-7 武陵地區溪流測站水棲昆蟲之 MDS 分析。圖標數字表示樣站編號(A: 桃山西溪 B: 二號壩 C: 觀魚臺 D: 高山溪 E: 繁殖場 F: 有勝溪收費口 G: 思源堰口 H: 勝光 I: 有勝溪下游 J: 羅葉尾溪放流點 K: 合歡溪上游)。
(資料來源：本研究資料)

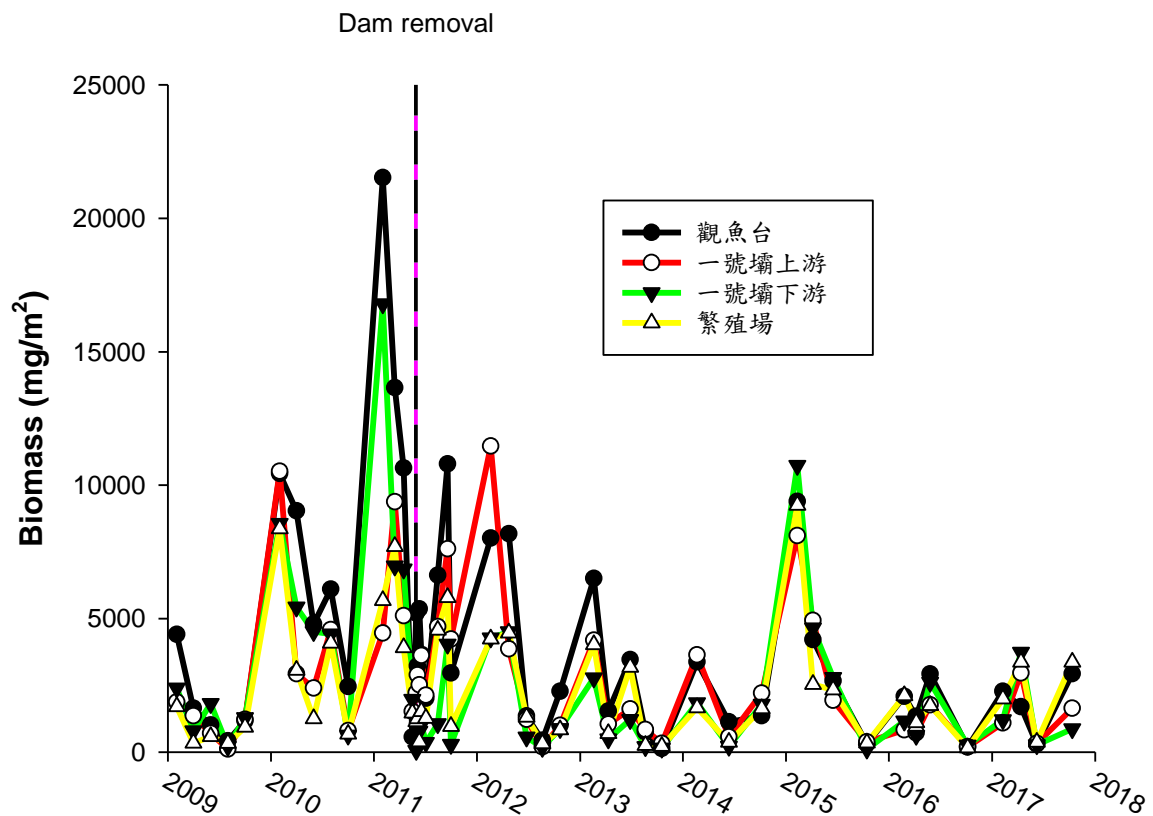


圖 3-8 一號壩壩體上下游四測站之水棲昆蟲生物量(濕重)變化圖。
(資料來源：本研究資料)

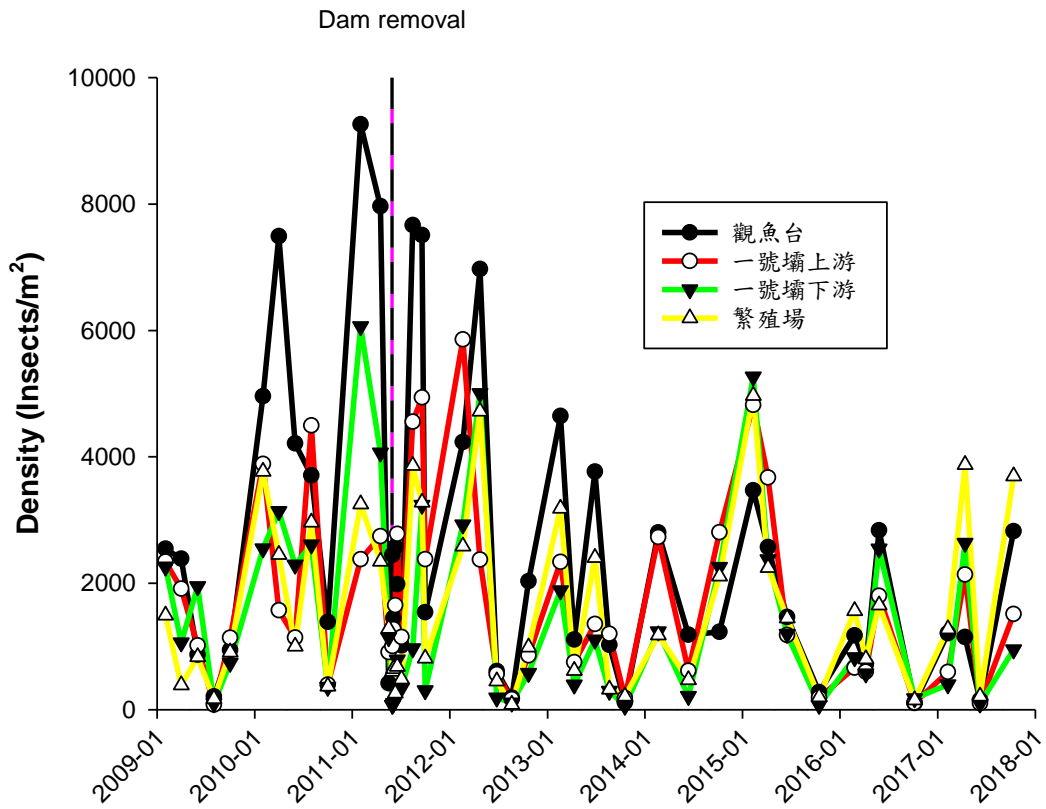


圖 3-9 一號壩壩體上下游四測站水棲昆蟲數量。
 (資料來源：本研究資料)

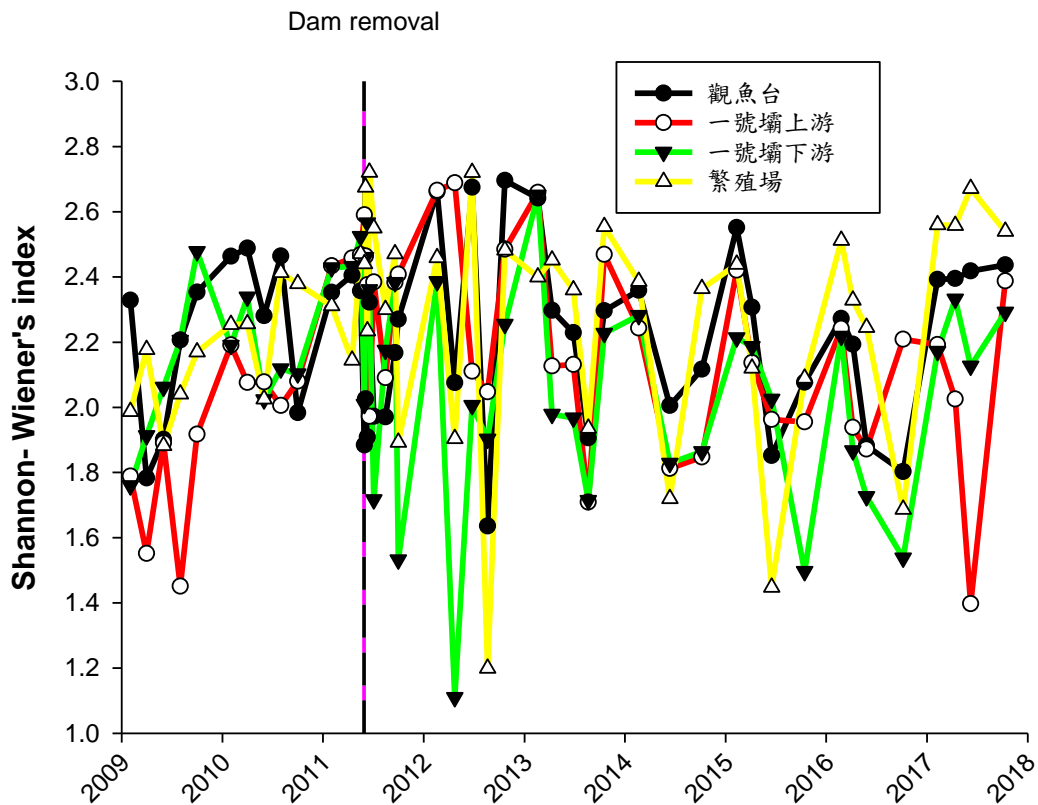


圖 3-10 一號壩壩體上下游四測站水棲昆蟲之 Shannon- Wiener's index。
 (資料來源：本研究資料)

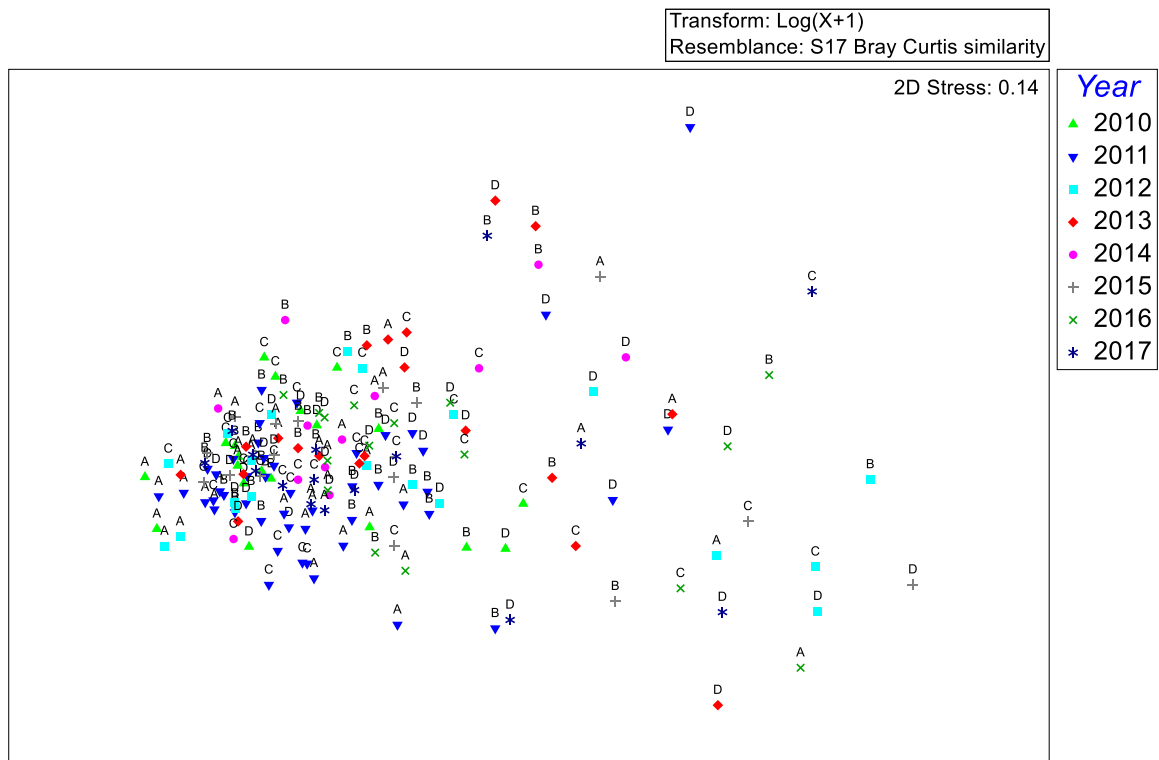


圖 3-11 一號壩壩體改善工程後水棲昆蟲之 MDS 分析。A: 觀魚臺 B: 繁殖場 C: 一號壩上游 D: 一號壩下游。(資料來源：本研究資料)

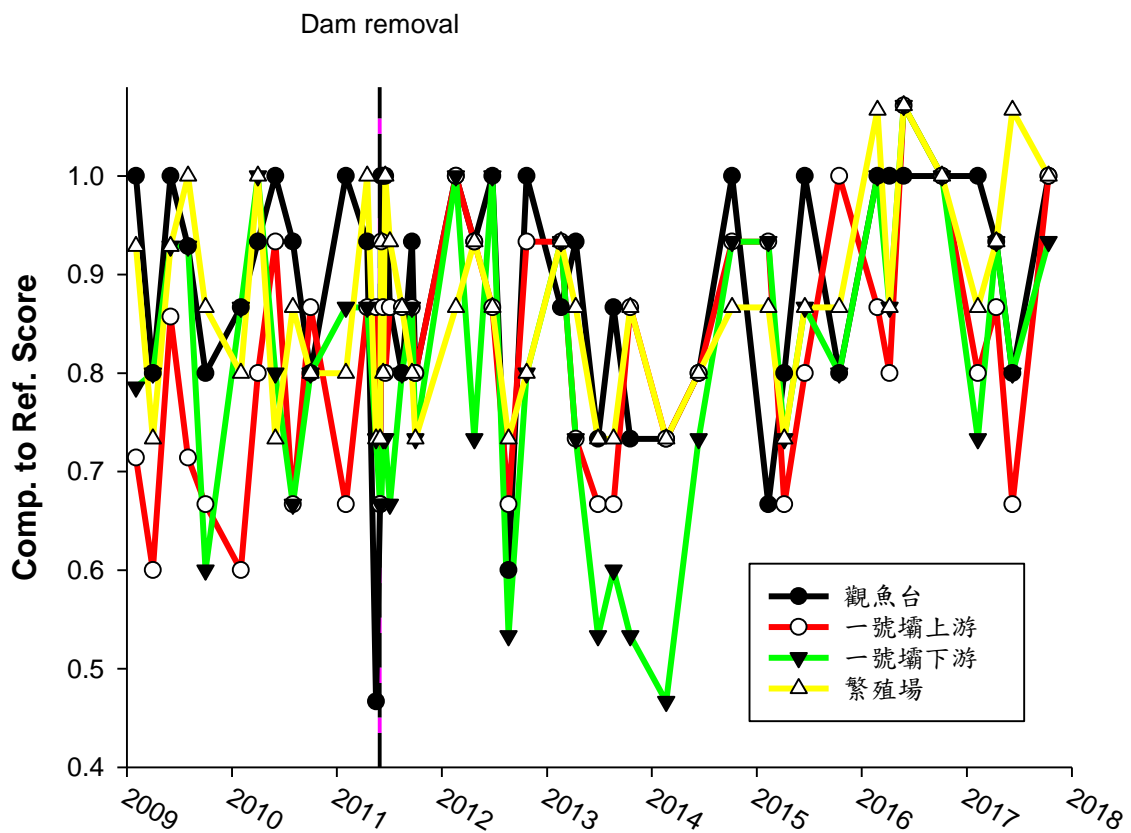


圖 3-12 一號壩壩體上下游四測站水棲昆蟲之 RBPII 相對分數。(資料來源：本研究資料)

第四章 整合分析

官文惠¹、郭美華²、葉昭憲³

¹明志科技大學環境與安全衛生工程系暨環境工程研究所

²中興大學昆蟲學系

³逢甲大學水利工程與資源保育學系

一、前言

臺灣櫻花鉤吻鮭 (*Oncorhynchus masou formosanus*) 是瀕臨絕種的保育類野生動物，日治時期，原可自然繁衍遍布於大甲溪上游的所有支流，至 1991 年，僅能在高山溪與七家灣溪以上的流域見其蹤跡。雪霸國家公園管理處自 2006 年起，戮力人工繁殖幼鮭之放流，期能增加鮭魚的生存棲地，擴大族群數目。適切的放流點，是復育是否能成功的關鍵。關於生態環境的評估指標，國內外已有需多文獻，惟指標使用之目的不同，使得指標之使用性有所限制；此外，各河川的水理特性與生態環境差異極大，關鍵影響因子與範圍不同，也限制了指標的普遍性。本研究將藉由過去武陵地區生態環境長期監測之經驗與資料，並蒐集分析相關文獻資料，建立臺灣櫻花鉤吻鮭生存棲地與放流點選定之評估指標。

國內外常見的河川溪流棲地評估指標可概分為數類，包括水質類評估指標、水理/水文類指標、生物類指標、與綜合類指標。河川汙染指標(River pollution index, RPI)為國內廣泛使用的水質類指標，涵蓋溶氧、生化需氧量、懸浮固體、與氨氮等常見的水污染項目(環保署資料中心)；水文/水理指標有美國俄亥俄州環保局所發展出的定性棲地評估指標(QHEI)(Rankin, 1989)；生物類的種類繁多，通常以魚類、底棲動物、水棲昆蟲、附著藻類為指標主要對象，如以魚類為指標生物的生物整合指標模式(IBM)(Karr, 1981)，以水棲昆蟲污染耐受程度所發展之科級生物指標(Family-Level Biotic Index, FBI) (Hilsenhoff, 1987)，以大型無脊椎生物所發展之快速生物評估法 II (Rapid Bioassessment Protocol II, RBP II) (Plafkin *et al.*, 1989)，以及以不同藻類出現頻度作為水質指標的腐水度指標(Saprobity index, SI)(Zelinka and Marvan, 1962)與藻屬指數(Generic index, GI)等。綜合類指標則採用水質、水文/水理、或生物向度，其中至少兩種以上作為指標內涵，包括美國漁業及野生動物局發展評價程序(Habitat evaluation procedure, HEP)(USFWS, 1980)，1999 年澳洲自然資源與環境部發展了之溪流狀態指數 (Index of stream condition, ISC) (Ladson *et al.*, 1999)，及國內學者朱達仁 (2006) 提出之溪流複合式評估模式 (Stream integrity assessment model, SIAM)。

臺灣櫻花鉤吻鮭的生態調查已有不同領域的研究團隊持續投入，林等人利用 Ecopath 建構七家灣流域的生物食物鏈結構和功能，以了解生態系的平衡與完整性；至於鮭魚族群數與生態環境因子，如水質參數、水文物理棲地、水棲昆蟲、葉綠素含量等之相關性與預測方程式也都有研究發表(Hsu *et al.*, 2013, Chung *et al.*, 2007)。但對於臺灣櫻花鉤吻鮭的生存棲地的評估指標，卻仍未有研究成果發表。

指標的建立有許多因素須加以考量，包括指標的方便性、靈敏性、正確性，指標的使用也有其限制，使用的目的不同，指標建構之邏輯精神亦不相同，本章將以建構評價臺灣櫻花鉤吻鮭適切放流棲地之指標為目標。

二、指標建構方法

根據文獻顯示，複合性指標之鑑別力普遍優於單一向度指標，本研究亦恰涵蓋水質、水文物理棲地、水棲昆蟲之調查數據與專家，故參考並修正HEP之方式，建構臺灣櫻花鉤吻鮭生存棲地適合度評估指標(Formosan salmon's habitat suitability index, FormosanHSI)。圖 4-1 為臺灣櫻花鉤吻鮭生存棲地評估程序(Formosan salmon's habitat evaluation procedure, FormosanHEP)之流程，包括適用可能性調查、事前調查、Formosan HSI 模式建立、FormosanHEP 評估，以及方案比較與評價，共五個步驟。

(一)FormosanHEP 適用可能性調查

適用可能性調查應由專家學者組成小組評估需求等級與各步驟之合理性。本研究初步先以執行計畫之團隊成員擔任小組成員，包括中興大學昆蟲學系郭美華教授、逢甲大學水利工程與資源保育學系葉昭憲教授、以及明志科技大學環境與安全衛生工程系官文惠教授。小組成員經由多次會議討論，文獻閱讀分析，共同訂定包括適合度指標構面、構面因子、個別因子轉換函數、適合度指標計算與驗證等關鍵步驟。

(二)FormosanHEP 事前調查

事前調查包括 1. 評價區域劃分設定、2. 現有資料收集、3. 評估目標設定、4. 評價生物種選定四個步驟。由於本研究之目標評價種為臺灣櫻花鉤吻鮭，故評價區域之劃分與資料收集，即以臺灣櫻花鉤吻鮭生活圈之生態環境監測數據進行整理。

(三)FormosanHSI 模式建立

基本環境生態調查包括自 2004 至 2017 年資料，惟不同測站、不同構面及魚隻數調查月份不盡相同，且運用不同的統計工具、不同年份資料，所得之關鍵因子不盡相

同。中興大學林幸助教授之研究團隊，曾發表多篇論文探討各種生態環境因子與臺灣櫻花鉤吻鮭族群數目之相關性(Chung et al., 2007; Hsu et al., 2010)，研究結果顯示，水溫、濁度、海拔高、氮濃度、礫石數等物理化學參數可解釋約 50%的鮭魚族群數(扣除季節影響後)；本研究團隊郭美華教授，採用 2004 至 2014 年，七家灣溪全河段鮭魚數量資料，以複迴歸分析颱風季後 10 月份影響鮭魚數量的相關因子，共選擇中大型食餌密度、pH、溶氧、電導度、濁度、水溫、雨量、流量等 8 個因子，以逐步回歸及 AIC 值最小準則篩選出最終模型，分析結果顯示，水蟲數、pH、電導度、濁度、水溫組成之鮭魚族群數預測模式，可達 $R^2=0.93$ 之解釋能力，回歸分析原始數據及預測方程式如表 4-1 所示。

有鑑於過往之調查，均在十月份進行鮭魚族群數全面普查，且過去之生態環境調查，十月份的資料也最完整，故本研究所有因子均採用十月份的數據進行分析。根據文獻與本團隊郭美華教授之研究結果，並經專家團隊會議討論，鮭魚棲地適合度指標採用三大構面，九項構面因子進行計算，指標三層次架構與關係如表 4-2 所示。

由於各環境生態調查的項目不同，單位不同，數值範圍差異也極大，例如水溫量測數值範圍約在 12~19°C 之間，水棲昆蟲密度則落在 12~2000 隻/平方公尺的範圍，若兩者要併入同一指標當中，必須先建立適當的轉換函數，將各因子數值轉換為相同尺度的次指標，再加以進行算術平均、幾何平均、限定要因、或加算要因等數學運算，始得出最後的棲地適合度指標。本研究將單一因子次指標定義為因子適合度指標 (Suitability Index, SI)，SI 建立須經三個階段，即建構因子比較基準、因子轉換函數、與 SI 尺度範圍。

因子比較基準之選用原則，應考慮因子與評價生物種族群數之相互關係性，生態環境因子經由長期監測，可獲得該測站該因子之變動範圍，若該測站之評價生物種族群蓬勃繁衍，顯示該變動範圍對評價生物種之生存是適合的，且無不利或致命影響。本研究根據此邏輯，並考慮現有歷史資料之可得性，選取高山溪測站 2004 至 2014 年 10 月份的生態環境調查歷史資料，主要的原因包括 1. 高山溪測站在各因子之資料量最完整，2. 測站周圍無人為活動干擾，3. 鮭魚族群可在此溪流自然繁衍且族群數豐富，4. 多項生態調查因子均顯示此測站屬於優良無損害環境。本研究採用機率的概念，將高山溪測站各因子歷年資料計算出最小值、第一四分位數(25%)、中位數(50%)、第三四分位數(75%)、以及最大值，將待評估測站(如放流點候選溪流測站)之調查資料，與高山溪測站之資料進行比較。

因子轉換函數的建立，則參照文獻資料與專家意見訂定，且不同的因子轉換函數的計算方式亦不同。圖 4-2 為本研究建立的三構面共九個因子的轉換函數圖。水棲昆蟲構面的三個因子，水蟲密度、中大型食餌密度、生物量，以及水文/物理棲地構面的兩項因子，深潭比例、礫石比例，在本研究的調查範圍，都屬於數值愈大，有利於鮭魚生存，故採用相同的原則建立因子與 SI 值之轉換函數，即若候選測站之因子調查數值大於等於高山溪測站該因子變動範圍 75 百分位數值，SI 值為 5 分、大於等於中位數至 75 百分位，SI 值為 3 分、中位值至 25 百分位，SI 值 1 分、小於 25 百分位，SI 值 -1 分。水質構面對鮭魚的影響過去有較多的研究文獻，故除了高山溪測站的因子變動範圍統計數據外，專家團隊再納入陳弘成教授所建議的鮭魚生存條件上下限值，更精細的進行因子與 SI 值的轉換。水溫與濁度兩因子，則與水蟲及物理構面因子相反，在本研究的調查範圍中，屬於數值愈小，有利於鮭魚生存，故採用與前述相反的轉換法則，即小於等於 75 百分位，SI 值 5、75 百分位至最大值，SI 為 3、最大值之上限值，SI 為 1，大於等於上限值則為 -1 分。pH 與電導度因子，則屬於中間範圍為最適值，過高或過低均不利於鮭魚生存之法則，故劃分 25 至 75 百分位為 SI 值 5 分、75 百分位至最大值，以及 25 百分位至最小值，SI 為 3 分、小於下限值，或大於上限值，則 SI 值 -1。

SI 尺度範圍定為四個等級，分別為 5、3、1、-1 各自代表的生態環境意義分別為該評價測站該因子優於(5 分)、近似於(3 分)、稍差於(1 分)、不良於(-1 分)高山溪測站之條件，並可將因子數值的變動範圍，劃分成最少 4 個區域(水蟲密度、大型食餌密度、生物量、深潭比例、礫石比例、水溫、濁度)，至多 7 個區域(pH、電導度)，盡可能兼顧等級差異之敏感度與鑑別的細膩度。

(四)FormosanHEP 評估

SI 模式建構完成後，即進入 HEP 中的評估階段，須將待評價測站的各因子調查數值，依個別因子轉換函數轉換為 SI 值，再決定如何計算最終的 FormosanHSI 指標。本研究採用算術平均法，先將各構面的因子 SI 值取平均值後，再將三構面的得分取平均值，換言之，團隊專家共識認為三構面對臺灣櫻花鉤吻鮭的生存影響權重均等。

指標計算完成後，須與評價生物種族群數進行驗證比較。由於評價測站的因子調查是侷限在一定範圍的小區域中，但鮭魚會在溪流中游動，且魚隻數的計算也是以河段劃分，無法確切分割恰在生態環境因子調查的測站小範圍內的魚隻數，故本研究將以河段 HSI 平均值與該河段調查魚隻數進行驗證分析。

(五) 方案比較評價

當FormosanHSI與歷年調查魚隻數相關係數愈高，則代表指標整體建立良好，並可依此指標，進行評價棲地或候選放流棲地對臺灣櫻花鉤吻鮭適合度預測，或方案間之比較。依FormosanHSI訂定之程序與轉換函數，可將棲地適合度劃分為四級:FormosanHSI 15~大於10分為舒適級，FormosanHSI 10~6分為生存級，FormosanHSI 小於6分~-3分為危害級。

三、結果

根據本研究所建構的指標計算方法，將測站歷年十月份資料進行整合分析，並依流域與評價目的不同，將結果整理如表4-3七家灣溪流域、表4-4羅葉尾溪及有勝溪流域、表4-5歷史候選放流點測站棲地適合度指標值。根據指標結果分級定義，棲地環境適合度屬於舒適級的測站包括有羅葉尾溪(HSI:14.3)、樂山溪(12.5)、司二野(12.3)、一號壩(11.5)、桃山西溪(11.0)、南湖登山口(10.2)；屬於生存級棲地的測站有觀魚臺(10.0)、桃山北溪(9.8)、司界蘭溪下游(9.0)、繁殖場(9.0)、萬壽橋(7.5)；屬於危害級的有迎賓橋(5.7)、有勝溪下游(5.7)、司界蘭溪上游(5.2)、南湖溪下游(4.5)、無耳溪(4.0)、收費口(3.8)、南湖溪上游(3.0)、勝光(2.7)。整體而言，與現地觀測鮭魚生存區域之範圍大致相同。

進一步以量化方式驗證指標之正確性，我們採用臺灣花鉤吻鮭的河段調查數據與指標進行相關性分析。由於鮭魚具相當之移動性，故參照鮭魚族群調查之河段劃分方式(廖，2016)，將棲地劃分成七家灣溪上游河段(包含七家灣溪三號壩往上游之桃山北溪，以及七家灣溪三號壩往上游之桃山西溪)，七家灣溪中游河段(七家灣溪一號壩往上游至七家灣溪三號壩)，七家灣溪下游河段(迎賓橋至七家灣溪一號壩)，羅葉尾溪河段(包括與有勝溪交會處再往上游約1900公尺)，樂山溪河段。各河段相對應的指標則採河段內測站之平均值計算之，七家灣溪上游河段以桃山西溪與桃山北溪測站指標值取平均數，中游河段取觀魚臺與一號壩測站指標值取平均數，下游測站則將繁殖場、萬壽橋及迎賓橋測站取平均)，羅葉尾溪及樂山溪則以單測站值代表。魚群數則採用2014夏季、2014秋季、2015夏季、2016夏季之調查結果(廖，2016)進行分析，惟各河道長度寬度不同，可容納之魚群數自不相同，故本研究將各河段之魚群除以物理棲地量得之河道長度，羅葉尾與樂山溪觀測鮭魚之河道長度，則以廖(2016)之描述作為計算依據，求得各河段單位河道長度之魚群數後，在計算其與河段棲地適合度平均指標進行相關性分析，計算數值與相關係數示如表4-6。指標驗證結果顯示，指標與河段魚隻密度(單位長度河道之魚隻數)相關性良好，本研究所建立之FormosanHSI指標，對臺灣櫻花鉤吻鮭之生存棲地或候選放流點評估具有相當高的正確性。

四、討論

FormosanHSI指標之建立，主要的目的是候選放流點的棲地適合度評估，本計畫近兩年評估之候選放流棲地合歡溪，兩年數據分別計算與平均後再進行指標計算之結果如表4-7。從指標結果可發現，2016與2017年10月份環境生態調查結果容或有變動，但在水棲昆蟲構面的變動確使得轉換為SI值後差異極為顯著，其中的大型食餌兩年的SI值恰是-1與5兩個極端值，生物量兩年的SI值是-1與3，水蟲密度兩年的差異很大，致使2016年的水蟲構面僅獲得-0.3分，但2017年卻能獲得4.3的高分。在物理棲地與水質構面的SI值則完全相同，整合三構面後，FormosanHSI值顯示，若僅憑藉2016年的資料，合歡溪為生存級；然若為2017的指標值則顯示為舒適級。若將兩年的監測資料平均後再做指標計算，則仍為舒適級。由於指標評價的標的是臺灣櫻花鉤吻鮭，其生命週期約2~3年，故監測資料亦須累積相對應的時間，始可正確評估棲地的適合度。正如上節指標驗證之結果顯示(表4-6)，數年監測結果平均後的數值與指標數值之相關性更高。

影響指標正確性與靈敏性的因素有許多，包括監測時間太短，以致資料過少、構面因子考慮項目太少或不適當、因子與SI轉換函數關係建立不當、構面因子之表示值設定不良、HSI與SI關係式設定不良等(郭，2011)。但總括而言，不同方案、不同時間與空間下，棲地適合度指標的推測可提供整合性、分級決策的依據。本研究為臺灣櫻花鉤吻鮭基地適合度指標建構之初步成果，其中有許多步驟、方法與模式均可更細膩、更嚴謹的精進之，包括專家團隊成員的擴充、問卷的建立、統計方法的運用，供未來研究者繼續努力。

五、結論與建議

(一)結論

三構面九因子的臺灣櫻花鉤吻鮭棲息地適合度指標，質化與量化驗證結果顯示可正確解釋與反應棲地之現況，在過去放流成效最佳的羅葉尾溪流域，獲得Formosan HSI指標14.3的高分；放流成效不佳，幾乎未能成功繁衍的南湖溪流域，指標也反映此結果僅得到3.0危害等級的評價。指標結果將棲地分為三級評價，舒適級、生存級、與危害級，未來之放流點選擇，建議優先考慮舒適級棲地，其次為生存級，危害級則不建議放流。

(二)建議

根據本研究於分析結果，可做成立即可行及長期建議事項，分述如下：

3. 立即可行建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：武陵農場

臺灣櫻花鉤吻鮭放流點之生態環境評估，應收集至少2~3年之調查資料，以完整比較其與參考測站之異同並計算棲地適合度指標，並提供適切之放流建議。

六、參考文獻

- Chung LC, Lin HJ, Yo SP, Tzeng CS, Yang CH (2007) A stagedependent population matrix model for the Formosan landlocked salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*) in Taiwan. *Raffles Bull Zool* 14(Suppl):151–160.
- Hilsenhoff, W. L., 1987, “ An improved biotic index of organic stream pollution,” *The Great Lakes Entomol.*, 20, 31-39.
- Hsu, C. B., Tzeng, C. S., Yeh, C. H., Kuan, W. H., Kuo, M. H., & Lin, H. J., 2010, Habitat use by the critically endangered Formosan landlocked salmon *Oncorhynchus masou formosanus* in mountain streams of subtropical Taiwan. *Aquatic Biology*, 10(3), 227-239.
- Karr, J. R., 1981, “ Assessment of biotic integrity using fish communities,” *Fisheries*, Vol. 6(6), 21-27.
- Ladson, A. R., White, L. J., Doolan, J. A., Finlayson, B. L., Hart, B. T., Lake, P. S., Tilleard, J. W., 1999, Development and testing of an Index of Stream Condition for waterway management in Australia. *Freshwater Biology*, 41(2), 453-468.
- Ohio EPA, 1989. Biological Criteria for the Protection of Aquatic Life: Volume III: Standardized Biological Field Sampling and Laboratory Methods for Fish and Macro invertebrate. Environmental Protection Agency, State of Ohio.
- Plafkin, J. L., Barbour, M. T., Porter, K. D., Gross, S. K., & Hughes, R. M., 1989, “Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: benthic macroinvertebrates and fish”, In *Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: Benthic macroinvertebrates and fish*. EPA/444/4-89-001. USEPA, Washington, D.C.
- Rankin, E. T., 1989, “The qualitative habitat evaluation index (QHEI), rationale, methods, and application,” Ohio EPA, Division of Water Quality Planning and Assessment, Ecological Assessment Section, Columbus, Ohio.
- US Fish and Wildlife Service. 1980. Habitat evaluation procedures (HEP). ESM 102. USDI Fish and Wildlife Service, Division of Ecological services, Washington D.C.
- Zehlinka, M., Marvan, P., 1961, Zur prazisierung der biologischen klassifikation der Reinheit fliessender Gewasser. *Arch. Hydrobiol.*, 57, 389-407.
- 朱達仁，2006，溪流複合式指標評估模式之建構。特有生物研究，8(1), 35-56。
- 行政院環境保護署環保法規資料中心。
- 郭一羽，2011，海岸生態技術研究總報告，經濟部水利署水利規劃試驗所，ISBN: 978-986-02-8566-6。
- 廖林彥，2016，臺灣櫻花鉤吻鮭族群分布及放流監測，雪霸國家公園管理處。

附表

表4-1 2004年至2014年七家灣溪流域之水質因子、中大型食餌水棲昆蟲與臺灣櫻花鉤吻鮭
關係分析原始數據

日期	鮭魚數量(隻)	水蟲密度 (個體數/m ²)	pH	導電度 (μS/cm)	濁度 (NTU)	水溫 (°C)	雨量 (mm)	流量 (m ³ /s)	溶氧 (mg/L)
200410	1593	386.99	8.12	205.50	0.27	11.03	306.00	174.58	8.02
200510	523	293.83	7.92	190.40	0.25	14.10	745.00	460.10	10.99
200610	2270	1044.52	7.55	176.70	0.71	13.00	161.50	128.01	8.99
200710	2009	157.66	6.63	312.40	2.68	12.60	826.00	1266.26	7.79
200810	3149	381.62	7.52	134.00	1.18	13.50	220.00	530.32	8.59
200910	4545	920.9	8.17	201.60	0.73	14.80	578.50	146.53	5.76
201010	4149	2225.21	7.62	202.53	0.49	16.00	482.50	196.27	7.03
201110	5478	3172.98	7.41	154.43	0.29	15.20	687.00	235.62	12.43
201210	3764	1641.14	8.00	205.74	0.23	13.50	110.50	93.66	10.34
201310	1245	329.66	7.54	187.86	0.35	16.97	304.00	270.13	8.04
201410	1648	1522.89	7.68	193.43	0.18	14.69	228.00	99.33	5.02

鮭魚族群數預測方程式 Stepwise methods: $Y=1427.28+1.21 \text{水昆}(R^2=0.5589)$; Minimized Akaike's information criterion (AIC) value methods: $Y=-28783+1.79 \text{水昆}+3535.79\text{pH}-11.41 \text{導電度}+3045.05 \text{濁度}+193.58 \text{水溫}(R^2=0.9384)$

調查期間之流量資料由台電公司提供，鮭魚、雨量資料由研究團隊提供。

表4-2 臺灣櫻花鉤吻鮭棲地適合度評估指標層級架構表

第一層(指標)	第二層(指標構面)	第三層(構面因子)
臺灣櫻花鉤吻鮭棲地適合度 指標(FormosanHSI)	物理環境(水文棲地)	深潭比例
		小型與大型礫石比例
	化學環境(水質)	水溫
		酸鹼度
		電導度
		濁度
	食餌供給(水棲昆蟲)	水蟲密度
		大型食餌密度
		水蟲生物量

表4-3 七家灣溪流流域各測站棲地適合度指標(Formosan HSI)計算結果

評估項目	桃山北溪	桃山西溪	觀魚台	一號壩	繁殖場	萬壽橋	迎賓橋
水棲昆蟲構面							
N	4	12	12	7	12	3	3
水蟲密度	575.56	760.55	825.2	1134.36	592.58	156.47	353.55
SI	3	3	3	3	3	-1	1
大型食餌	136.61	196.03	323.39	300.23	233.36	66.89	154.68
SI	1	3	3	3	3	-1	-1
生物量	646.94	909.51	1066.73	1445.54	630.47	197.47	293.08
SI	3	3	3	3	3	-1	-1
水蟲構面得分($\Sigma SI/3$)	2.3	3.0	3.0	3.0	3.0	(1.0)	(0.3)
物理棲地構面							
N	6	6	9	9	9	6	6
棲地	12.42	15.83	10.37	10.19	5.21	13.78	5.18
SI	5	5	5	5	3	5	3
底質	10.5	19.13	10.91	45.32	20.01	37.75	23.95
SI	1	1	1	5	1	5	3
物棲構面得分($\Sigma SI/2$)	3	3	3	5	2	5	3
水質構面							
N	3	20	14	10	13	3	3
水溫	13.00	13.08	15.37	15.80	14.42	14.60	14.50
SI	5	5	3	1	5	5	5
pH	7.63	7.49	7.59	7.64	7.55	7.40	7.31
SI	5	5	5	5	5	5	3
電導度	252.30	158.60	214.00	202.40	190.10	251.30	256.30
SI	3	5	3	3	3	3	3
濁度	0.49	0.37	0.81	0.81	1.16	2.47	2.81
SI	5	5	5	5	3	1	1
水質構面得分($\Sigma SI/4$)	4.5	5	4	3.5	4	3.5	3
FormosanHSI	9.8	11.0	10.0	11.5	9.0	7.5	5.7

表4-4 羅葉尾溪及有勝溪流域各測站棲地適合度指標(Formosan HSI)計算結果

評估項目	葉尾溪放流	南湖登山口	勝光	有勝溪下游	收費口
水棲昆蟲構面					
N	5	8	6	6	12
水蟲密度	1230.85	1349.55	893.43	1089.01	714.12
SI	5	5	3	3	3
大型食餌	205.68	153.18	79.43	148.41	106.15
SI	3	1	-1	-1	1
生物量	1853.07	1845.18	888.77	1151.75	667.50
SI	5	5	3	3	3
水蟲構面得分($\Sigma SI/3$)	4.3	3.7	1.7	1.7	2.3
物理棲地構面					
N	4	4	4	4	4
棲地	11.67	16.67	0.00	7.50	0.00
SI	5	5	-1	5	-1
底質	36.67	1.67	2.08	6.67	0.00
SI	5	-1	-1	-1	-1
物棲構面得分($\Sigma SI/2$)	5.0	2.0	-1.0	2.0	-1.0
水質構面					
N	4	4	4	5	20
水溫	13.18	13.73	14.75	16.56	16.73
SI	5	5	5	1	1
pH	7.50	7.36	8.04	8.06	7.86
SI	5	5	3	3	5
電導度	155.31	145.20	348.53	227.95	258.80
SI	5	3	1	3	3
濁度	0.53	0.44	6.86	4.75	1.56
SI	5.0	5.0	-1.0	1.0	1.0
水質構面得分($\Sigma SI/4$)	5.00	4.50	2.00	2.00	2.50
FormosanHSI	14.3	10.2	2.7	5.7	3.8

表4-5 歷史棲地各測站棲地適合度指標(Formosan HSI)計算結果

評估項目	司二野	司界上	司界下	南湖上游	南湖下游	無耳溪	樂山溪
水棲昆蟲構面							
N	2	4	4	1	2	1	3
水蟲密度	1660.84	1008.24	1563.65	34.04	26.87	37.62	1931.38
SI	5	3	5	-1	-1	-1	5
大型食餌	321.60	420.59	509.27	12.54	13.44	23.29	401.92
SI	3	5	5	-1	-1	-1	5
生物量	2635.46	1207.46	1697.62	81.40	35.81	88.27	3434.94
SI	5	3	5	-1	-1	-1	5
水蟲構面得分(Σ SI/3)	4.3	3.7	5.0	-1.0	-1.0	-1.0	5.0
物理棲地構面							
N	2	2	2	4	4	4	2
棲地	7.10	0.00	0.00	0.00	1.47	0.00	17.90
SI	5	-1	-1	-1	1	-1	5
底質	37.50	8.30	23.30	39.82	41.11	60.00	20.00
SI	5	-1	3	5	5	5	1
物棲構面得分(Σ SI/2)	5.0	-1.0	1.0	2.0	3.0	2.0	3.0
水質構面							
N	2	2	2	1	2	1	2
水溫	16.00	16.20	16.20	14.30	14.70	14.70	15.35
SI	1	1	1	5	5	5	3
pH	8.22	8.45	8.27	8.41	8.21	8.31	7.74
SI	3	1	3	1	3	1	5
電導度	209.50	252.00	253.00	215.00	219.00	230.00	151.90
SI	3	3	3	3	3	3	5
濁度	0.25	0.24	0.23	15.00	16.63	1.54	0.22
SI	5.0	5.0	5.0	-1.0	-1.0	3.0	5.0
水質構面得分(Σ SI/4)	3.0	2.5	3.0	2.0	2.5	3.0	4.5
FormosanHSI	12.3	5.2	9.0	3.0	4.5	4.0	12.5

表4-6 河段棲地指標平均值與單位河道長度鮭魚族群數相關性分析

河段	河段長度(Km)	現地調查魚隻數(#)				魚隻密度(#/Km)				河段平均指標 (ave. Formosan HSI)	魚隻密度歷年平均 (#/Km)
		2014夏	2014秋	2015夏	2016夏	2014夏	2014秋	2015夏	2016夏		
七家灣溪上游	2.56	556	573	754	615	217	224	295	240	10.4	244
七家灣溪中游	4.33	613	771	1358	1238	142	178	314	286	10.8	230
七家灣溪下游	1.91	19	42	67	46	10	22	35	24	7.4	23
羅葉尾溪	1.9	2311	2434	900	555	1216	1281	474	292	14.3	816
樂山溪	0.6	-	-	296	231	-	-	493	385	12.5	439
魚隻密度與河段平均棲地適合度指標(Formosan HSI)之相關係數						0.90	0.91	0.95	0.83	-	0.95

表4-7 候選放流點棲地適合度評估指標計算

評估項目	Oct. 2016	Oct. 2017	Average
水棲昆蟲構面			
水蟲密度	179.16	2004.80	1091.98
SI	1	5	3
大型食餌	59.12	851.00	455.06
SI	-1	5	5
生物量	114.86	1411.20	763.03
SI	-1	3	3
水蟲構面得分($\Sigma SI/3$)	-0.3	4.3	3.7
物理棲地構面			
棲地	7.69	35.90	21.80
SI	5	5	5
底質	33.30	36.10	34.70
SI	3	3	3
物棲構面得分($\Sigma SI/2$)	4	4	4
水質構面			
水溫	10.90	11.10	11.10
SI	5	5	5
pH	7.78	6.54	7.16
SI	5	5	5
電導度	76.30	95.10	85.70
SI	-1	-1	-1
濁度	3.09	2.65	2.87
SI	1	1	1
水質構面得分($\Sigma SI/4$)	2.50	2.50	2.50
FormosanHSI	6.17	10.83	10.17

附圖

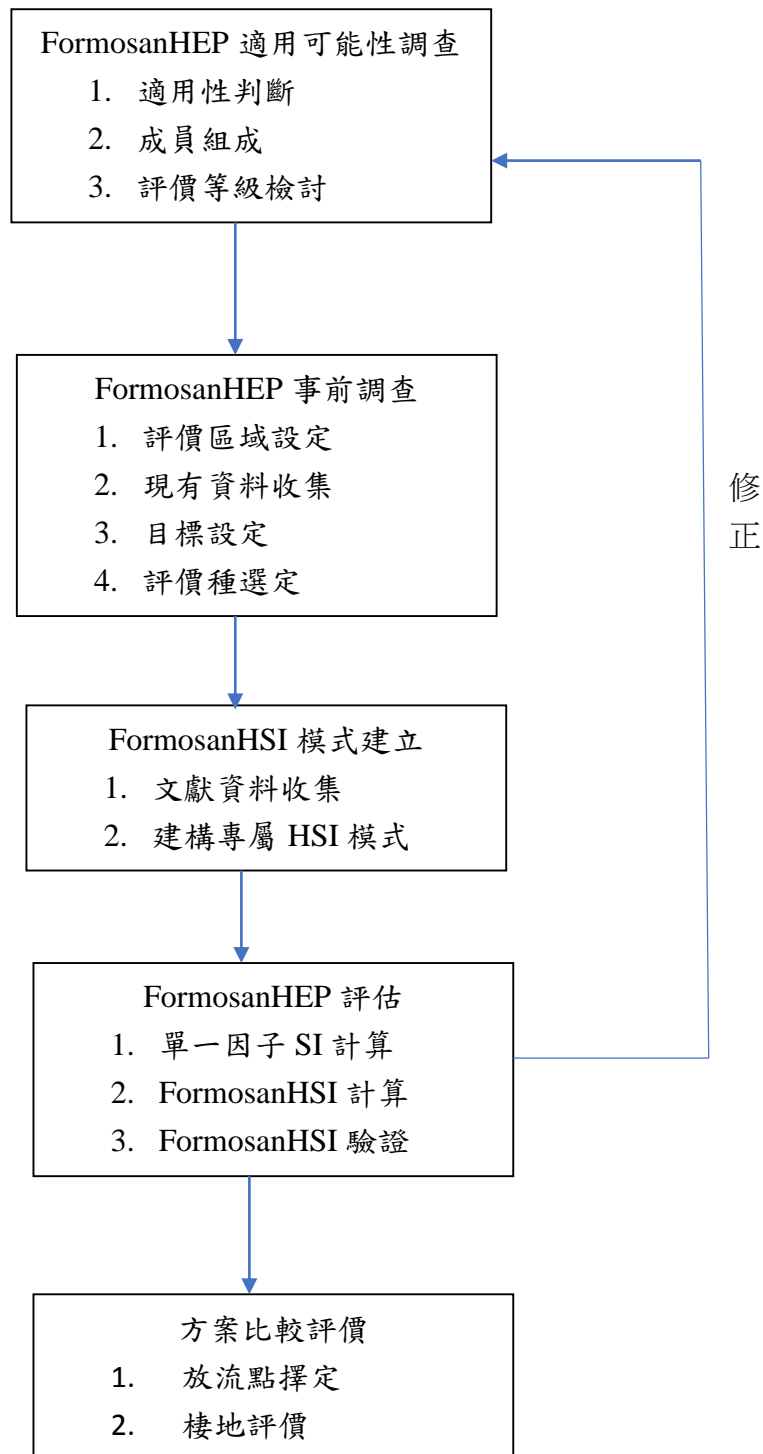


圖 4-1 臺灣櫻花鉤吻鮭生存棲地評估程序(Formosan salmon's habitat evaluation procedure, FormosanHEP)

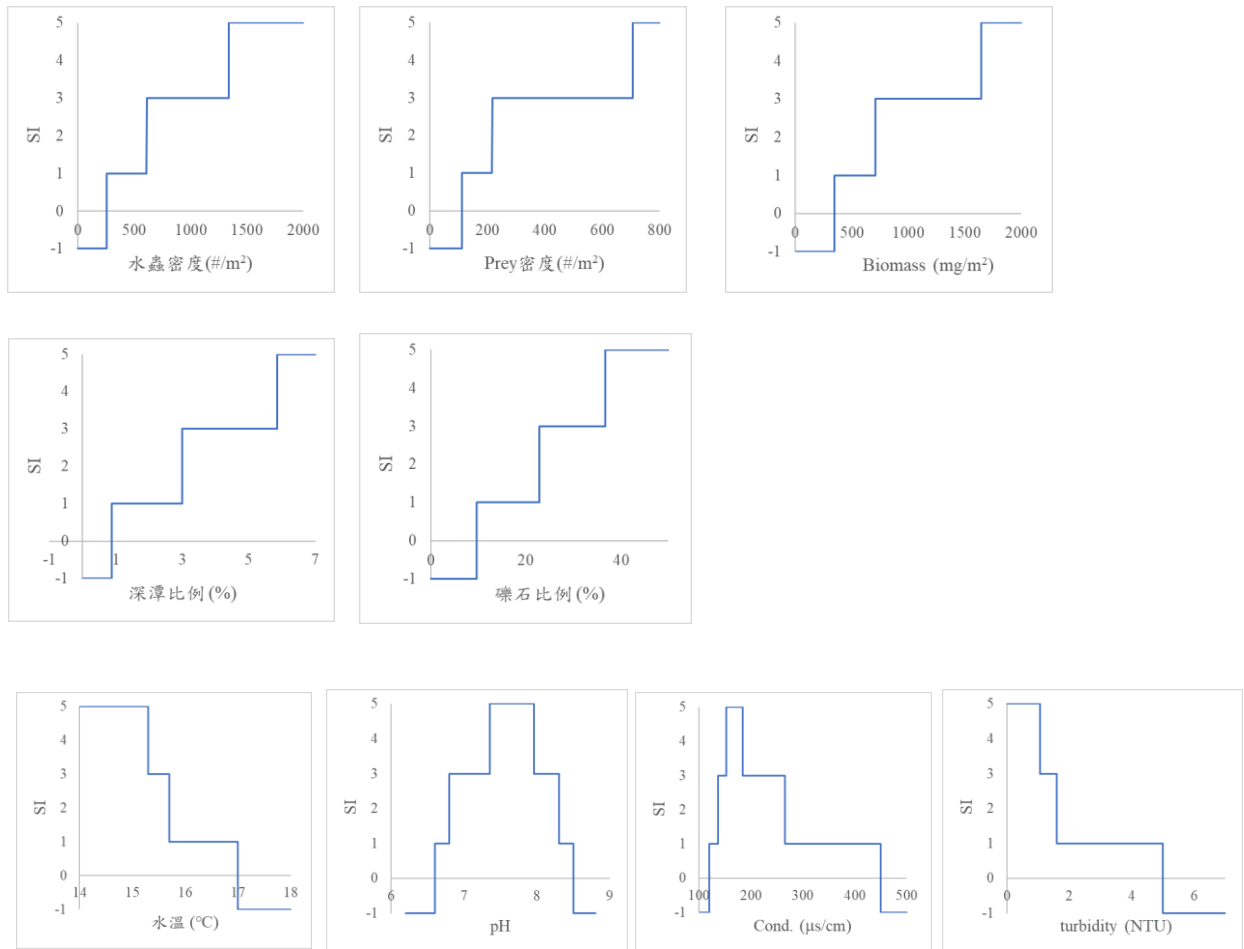


圖 4-2 各因子轉換 SI 次指標之函數關係圖

「106 年度武陵地區七家灣溪壩體改善後臺灣櫻花鉤吻鮭棲地監測暨現存其它棲地調查與改善評估」

期中報告意見及回覆說明

(一)謝蕙蓮委員：

1. 重要發現之一，鮭魚族群數量與水生昆蟲數量、pH、濁度、水溫等參數成正相關，與導電度成負相關。而在整合計畫摘要中，p5 應寫出這 6 個參數的數值範圍或平均值，以便解讀鮭魚數量與水昆、pH、濁度、水溫、電導度所測得的實際數值的對應關係。

✓ 整合分析結果已彙整於期末報告書第四章，相關數據請參閱表 4-1，p. 4-8。

2. 上述綜合分析，應補充於第四章—整合分析。表 3-6 之分析方法及結果未於本文中敘明。第四章整合分析可容納水質、棲地、水昆各參數對於鮭魚分布之角色，及對於放流時(移地復育)潛在溪流評估。簡報中對目標溪流做了評分，顯示水質參數可用於鮭魚族群分布之評估，在期末報告中，請加強這樣的評估工作。惟棲地參數未加入評分，亦請加強考量棲地因素對鮭魚分布之影響力。

✓ 整合分析結果已依委員建議，彙整於期末報告書第四章。

3. 物理棲地組成(p2-6, p2-7)中，以流況對棲地做了 4 種類型的分類，亦計算了 SIDI，但未說明如何界定底質類型，如何計算底質之 SIDI，又，表 2-13 有底質多樣性指標(p2-12)，這底質 SIDI 應於材料與方法中敘明。

✓ 底質係以其粒徑進行分類，期末報告時將增加底質分類表；而底質多樣性指標計算公式亦將一併補充。

P6、P7:根據各種棲地及底質類型在觀測河段之所佔百分比，本計畫利用 Simpson 多樣性指標 (SIDI) 計算河川棲地以及底質多樣性指標，其公式如下：

$$SIDI = 1 - \sum_{i=1}^4 P_i^2$$

式中 Pi 為第 i 種棲地或底質類型所佔比例；若 SIDI 值為 0，表示該河段棲地或底質類型單一化無多樣性，若多樣性指標值越大則代表棲地或底質多樣性越高。

P2-19:

表 2-22 棲地底質分類表

編號	底質	底石粒徑
1	平坦表面 Smooth surface	<0.2cm
2	碎石 Gravel	0.2-1.6cm
3	卵石 Pebble	1.6-6.4cm
4	粗石 Rubble	6.4-25.6cm
5	小型礫石 Small Boulder	25.6-51.2cm
6	大型礫石 Large boulder	>51.2cm

(參考資料：本研究團隊)

4. 結論(三)(p2-16)，提及河段屬階潭式河道有豐富棲地多樣性，有利於鮭魚分布。然此階潭式河道如何以棲地類型多樣性及底質類型多樣性兩指數作為量化表示？也就是階潭式河道與棲地多樣性指數及底質多樣性指數的有何關係？又，最重要的棲地/底質參數與水昆參數以及鮭魚數量有何關係？
 - ✓ 階潭式河道是因巨石堆疊形成類似臺階的落差與深潭，而根據林幸助老師之研究指出小大型礫石及深潭有助於鮭魚成長，期末報告將以此論點加以說明。
 - ✓ P2-16: 階潭式河道有豐富棲地多樣性，階潭式河道是由巨石所堆疊形成類似台階的落差以及深潭，根據過往調查資料指出，大小型礫石以及深潭有助於鮭魚之成長、躲藏、棲息。
5. p2-7，敘述了 D、S、C 值之計算，但在結果中，未說明同一河流、不同河段間之 C 值比較，也未說明不同河流之間 C 值比較。請補充之。
 - ✓ 配合團隊使用共同分析方法，故將原期中報告之相似度分析部分刪除。
6. 研究方法 p3-11~3-13 敘述不清楚，請加小標。此段似 5 個分析方法。(1) Shannon index、(2)RBPII、(3)生物量、(4)MDS、(5)複回歸。其中，計算生物量的目的為何？應說明清楚。
 - ✓ 遵照委員意見，已於期末報告補充標號(見報告 p.3-11~3-13)。
7. p3-12 一句「快速生物評估法 II 中之水質評定流程」似乎是多餘的文字，誤置？
 - ✓ 謝謝委員意見，此段文字為誤植，已刪除。
8. 結論 p3-22，請補充說明水昆群落結構組成有何種變化？例如：Shannon

index 值變大或變小，組成上是哪個目或哪個科的水生昆蟲變多或變少，以致於影響鮭魚。

✓ 昆蟲生存策略有些為 r 型，有些為 k 型，有些為 r 和 k 型混合。以中大型食餌中之 4 目 8 科來看，當生物多樣性指標之值變小，可能是毛翅目昆蟲減少，雙翅目及蜉蝣目昆蟲增加。遵照委員意見，此段文字，已於期末報告 P.3-20 補充說明。

9. RBPII 的適用性請評論之。RBPII 與棲地損害程度有關，是否直接或間接揭示鮭魚棲地的受損程度？

✓ RBPII 的適用性通常需在干擾過後一段時間，當狀態趨於穩定後才使用，因環境因子變化太大。此評估棲地受損程度之方法與水質汙染程度有關，與鮭魚分布無關。

10. 合歡溪導電度很低，而水昆群落組成/結構似乎符合鮭魚大型食餌，請評論其作為潛在鮭魚放流棲地之適合性。

✓ 水中導電度濃度代表水中所有溶解態帶電荷離子之總量，故無論是可供水生動植物需求之礦物質，或是可造成水體優養化之 N、P 營養鹽，甚或大氣中的 CO_2 溶入水中而形成的 HCO_3^- 及 CO_3^{2-} 離子，均會反映在導電度量測的數值中。導電度濃度若很低，代表水中帶電荷離子濃度低，一般逆滲透純水機作出來的水導電度約 $10 \mu\text{mho}/\text{cm}$ ，台灣灌溉用水標準中定為 $750 \mu\text{mho}/\text{cm}$ ，台灣河川地表水之自然背景其導電度值均不超過 $400 \mu\text{mho}/\text{cm}$ ，台北市之自來水之導電度值約為 $100 \mu\text{mho}/\text{cm}$ ；高雄市之自來水之導電度值約為 $750 \mu\text{mho}/\text{cm}$ 。陳弘成教授訂有鮭魚生存基準導電度值為 $120\sim 450 \mu\text{mho}/\text{cm}$ 。合歡溪數次之導電度量測介於 $75\sim 130 \mu\text{mho}/\text{cm}$ 之間，算是相當乾淨的水質，惟是否可能造成貧養、藻類生態失衡等情形，建請委請相關專業學者進一步評估。

11. 期末報告中，請增列審查意見，並簡要列出回覆之頁數。

✓ 遵照辦理，請參閱期末報告附件一。

(二)楊正雄委員：

1. 綜合 預計以高山溪、觀魚台和有勝溪分別代表優質、輕度干擾與重度干擾環境進行櫻花鉤吻鮭棲地評價量化系統，有兩點建議(1)如果以鮭魚數量穩定為標的，則目前所建議的優質可能不是最佳，建議棲地評價要從魚的觀點來看。(2)目前選擇的三個點分別屬於三個不同流域，建議可以先從同流

域不同鮭魚數量的監測點來進行試驗性的評價，看評價方法是否穩定可以呈現結果，再應用至其他溪流或點位。(3)使用各項因子盒鬚圖以及文獻建議的界限值進行決定各因子等第，必須讓等第數值的相對呈現有其數學或物理上的意義(例如，A 點是 B 點的兩倍，表示其評估標的呈現確實是兩倍的狀況)，以免有不對等加權的狀況發生，此外目前選定水質、水棲昆蟲與物理棲地三項參數評分加總，各類參數該納入的次參數類別該有幾項，會影響到後續加總時加權的比重不一的狀況，應該盡可能避免(或是盡量每類參數納入的次參數種類一致)，以及三項加總時該以加/乘或是除等作為公式計算來源，應該要釐清(有其物理或是數學上的意義最好)，此外，三個參數該如何做標準化？也必須考量納入。

✓ 感謝委員寶貴意見。經多次計畫團隊工作會議，審視各領域專家意見、數據之完整性，以及鮭魚族群可自然繁衍與生存棲地之宏觀考量，本研究選擇以高山溪測站 2004 至 2014 年十月份的生物環境調查數據作為基準，其他待評估測站之調查數據，經與高山溪測站比對後，給予-1~+5 之得分，最後再將三個指標構面，水質、物理棲地、水生昆蟲，以各構面平均且等權重之方式，加總轉換為指標分數(-3~15 分)，並劃分為三級，依次為-3~≤6 分危害級、>6~≤10 分生存級、>10~15 分舒適級，建議未來放流作業優先選擇舒適級，其次為生存級；若棲地評估結果落入危害，則不考慮放流鮭魚，或啟動生態環境救援行動，完整方法與論述請參閱期末報告第四章。

2. 綜合(水棲昆蟲) 複回歸分析前，是否應先分析欲考慮納入因子之間的相關性，過於高度相關的因子是否應該事先排除，例如水溫/溶氧，濁度/雨量，甚至是大型水昆數量/流量可能也是高度相關，如果不排除，是否會影響複回歸分析的可信度？此外，納入複回歸分析的各项因子數值差異頗大，例如水蟲數量和水溫變化幅度的差異性有其等級程度上的不同，是否在比較前需先進行數值的標準化？其他如水蟲進行 RBPII 分析的數值，或是其他鹽類監測數值是否可能也納入做複回歸分析？

✓ 本研究之迴歸分析是利用 SAS 統計軟體進行分析(期末報告將於材料與方法處補上)(p3-13)，迴歸分析無法標準化，其須符合常態分佈。各項變因需互相獨立，且殘差為零，才可進一步進行分析，若有高度相關理論上應剔除。分析結果並非所有因子皆可解釋，有些因子可納入分析，但經 SAS 統計軟體分析後，並無法解釋，因此結果中的迴歸分析式無法列出。

3. **水質監測** 報告中提到氯(是否氯離子 Cl^-)對於鮭鱒科魚類有極大的影響(其對氯極為敏感, 見 P1-7), 限制濃度為 0.25mg/L 以下, 但圖 1-69 中對於 Cl^- 的變化值比較, 不少測站在很多測量時間的數值都在 1mg/L 以上, 甚至觀魚台與有勝溪在特定時間超過 5mg/L, 是否前述引用參考文獻的單位有誤? 或是該地區的數值真的很高? 如此是否會影響到鮭魚在該河段的存活狀況?
- ✓ 報告中所稱之對鮭鱒類魚類有極大影響的”氯”, 係指溶解在水中之氯氣 (Cl_2)、過氯酸根(OCl^-)以及過氯酸($HOCl$), 主要來源是汙(廢)水處理程序最後一個步驟加氯消毒所殘留之反應性氯, 而本研究所量測溪流水質的是氯離子(Cl^-), 兩者化學性質大不相同。本研究團隊數年前已確認武陵地區溪流水中, 未含有現行偵測方法可測得之反應性氯。
4. **水質監測** 由報告中氮循環圖與各類作用的說明, 土壤中的氮應該可以透過有氧的脫氮作用, 及無氧的脫硝作用快速釋放(逸散)才是, 如果是這樣的話, 8.1 公頃在 2006 年回收之後已經歷經多年, 在沒有新增氮肥的情況下, 應該可以快速回到一般土壤狀況才是, 但依據監測結果似乎並非如此? 或是有其他可能的來源造成? 例如: 圖 1-40 中, 山溝硝酸鹽降低的狀況, 在農地回收沒有耕作行為之後, 仍有不定期的 peak 出現? 甚至在最近的監測仍有頗高的數值? 可能的原因為何?
- ✓ 8.1 公頃的過去耕作數十年所累積之氮鹽, 可能因土壤之吸持作用, 經降雨沖刷, 始逐次逐時淋洗出, 故歷經約兩三年之時間二號壩之濃度與上游桃山西溪測站之 NO_3^- 濃度差異, 從約 5~20 倍, 降至高約 2~3 倍之內, 應屬合理(參見報告圖 1-53)。報告圖 1-40 為山溝硝酸鹽監測數值, 主要是針對中游右岸山溝上方的露營區、花海區可能造成的溪流水質影響進行監測, 二號壩測站與山溝測站, 兩者監測動機並不相同, 代表之意義亦不同。
5. **水質監測** 硝酸/亞硝酸鹽類在季節間的變化有比測站間的差異更大, 可以怎麼樣說明或解釋?
- ✓ 土壤或水中自然或人為來源之氮源主要為硝酸鹽態氮或氨氮, 亞硝酸鹽氮則是自然界微生物氧化氨氮或還原硝酸鹽氮所產生, 微生物種類與優勢菌種均會隨溫度、水中有機物濃度、C/N 比、周遭土地利用型態等環境條件變化, 本團隊已發表相關國際期刊文章, 探討此一季節變化現象, 細節請參閱 Kuan, W. H. and Y. L. Chen (2014). "Land-use type of catchment varying nitrogen cycle in an endangered salmon inhabited stream." Environmental

Engineering and Management Journal 13(4): 971-978。

6. **水質監測** 以自動型水溫紀錄器長期監測水溫的作法很好，但依據以往經驗，必須要考量到所謂保定以及豐枯水期水位差異過大的問題。因此會牽涉到財產保全等問題。

✓ 人為採樣、自動監測、強固行保護設施、維護保養、設備損壞重置費用等，均需投入人力、物力、與金錢，建請管理處審酌資源與需求，選擇合適之執行方案。

7. **物理棲地研究** 以 Simpson 多樣性指標(SIDI)計算棲地多樣性指標，是否有前例可尋？因為其意義似乎不同，是否真的可以如此應用？亦有其他多樣性指數，例如水蟲計算多樣性有採用的 Shannon's diversity index，為何不使用此方法？

✓ 期末報告已增加 Shannon's diversity index 進行比較。

P2-7 香農-韋納 (Shannon-Weiner index) 多樣性指標與 Simpson 多樣性指標 (SIDI) 同樣為評估群集中物種的組成情形的一種方法，香農-韋納 (Shannon-Weiner index) 公式：

$$H' = \sum_{i=1}^S (p_i)(\ln p_i)$$

其中 H' 為多樣性指數、S 為樣品中的種類總數、Pi 為第 i 種的個體數(ni) 與總個體數 (N) 的比值 (ni / N)。在計算上，香農-韋納多樣性指標強調物種之均勻度、相較於辛普森多樣性指標，香農-韋納多樣性指標單項數目不可為 0，而辛普森多樣性指標強調物種中的優勢種，其含義為 1 減去隨機取樣之兩個個體為不同種的機率，因此辛普森指數為 0 至 1 的一種指數，其值越高代表特定目標機率越大。

8. **物理棲地研究** CCHE2D 與其他的底質床變動 2D 模擬的差異為何？有更好的呈現結果嗎？此部分的分析成果，是否將作為拆壩與否的評估，這樣以後如果確定要拆除，是否還會進行水工模型施作與測試？

✓ CCHE2D 在國內水利界已被廣泛運用於模擬河道變動歷程，而本計畫之壩體改善模擬結果僅為初步評估之用；水工模型試驗則可作為河道變動反應的重覆確認(double check)用途。

9. **物理棲地研究** 有勝溪一號壩(收費站旁)的壩基底部有一側嚴重淘刷，是否有進行過觀察或測量，依據以往的判斷，因為目前水位已經超過原設計基礎底部，因此此淘刷將每次都更加劇烈，造成壩體最後可能會自我崩毀。

✓ 基底淘刷之評估已於期末報告中說明。

P2-9 壩基結構經檢視(圖 2-33)應不會有立即性的淘空危險。

10. **水棲昆蟲** 大型食餌水棲昆蟲的界定方式為何?(是體長>1cm 以上都算嗎?), 是否判斷上是以該種類只要有超過 1cm 以上即被計算在內? 因每次採集水蟲同一種類會有因生長時期不同而有體長不同而有季節性的狀況才是, 是否可能真實呈現體長>1cm 的數量比例有多高, 也可以用與尺規對照等方式進行快速評估?

✓ 水棲昆蟲確實會因生長時期不同而體長有所不同。本研究中大型食餌水棲昆蟲的界定是按照廖林彥主任之鮭魚胃內含物催吐之研究結果, 所食入之水蟲可分為兩群, 體型大於 1 公分有 4 目 8 科, 另一群則小於 1 公分(Liao et al., 2012), 我們將大於 1 公分以上的那群定義為中大型食餌, 並於報告之材料與方法中有說明(請參閱 p.3-11), 及將 4 目 8 科之昆蟲列於表 3-1。

11. **水棲昆蟲** RBPII 以往認知都是作為水質評估之用, 是否有作為棲地多樣性之用? 此項計算需要至少計算 8 項生物指標後才能得到, 但在報告中僅用於不同時間或地點的比較有點可惜, 其數字評估水質狀態有點可惜, 在其他分析上是否有可能也納入討論?

✓ RBPII 主要是用來評估水質是否受汙染, 以及棲地穩定與否。其為經過計算之值, 並非原始觀測值, 因此無法納入委員所提之回歸一起分析討論。

(三)楊國華課長

p4 七家灣溪重要濕地的各項水質指標均有建議值, 請將建議值標註在結果的圖上, 方便檢視有無高出。

✓ 遵照辦理, 已於期末報告圖 1-8~1-71 繪出指標限值。

(三)于淑芬課長

1. p1-2 文章的部分寫法須再修正, 有錯字須再檢視。

✓ 遵照辦理, 已於期末報告中修正, 見 p.1-2。

2. p1-18~1-19 內文著重於拆除一號壩時的密集監測, 但對於本年度的監測狀況描述不足, 請再補充。

✓ 遵照辦理, 已於期末報告中補充修正, 見 p.1-17。

3. 合歡溪的導電度低, 其對鮭魚的影響為何?

附件一

- ✓ 水中導電度濃度代表水中所有溶解態帶電荷離子之總量，故無論是可供給水生動植物需求之礦物質，或是可造成水體優養化之 N、P 營養鹽，甚或大氣中的 CO_2 溶入水中而形成的 HCO_3^- 及 CO_3^{2-} 離子，均會反映在導電度量測的數值中。導電度濃度若很低，代表水中帶電荷離子濃度低，一般逆滲透純水機作出來的水導電度約 $10 \mu\text{mho/cm}$ ，台灣灌溉用水標準中定為 $750 \mu\text{mho/cm}$ ，台灣河川地表水之自然背景其導電度值均不超過 $400 \mu\text{mho/cm}$ ，台北市之自來水之導電度值約為 $100 \mu\text{mho/cm}$ ；高雄市之自來水之導電度值約為 $750 \mu\text{mho/cm}$ 。陳弘成教授訂有鮭魚生存基準導電度值為 $120\sim 450 \mu\text{mho/cm}$ 。合歡溪數次之導電度量測介於 $75\sim 130 \mu\text{mho/cm}$ 之間，算是相當乾淨的水質，惟是否可能造成貧養、藻類生態失衡等情形，建請委請相關專業學者進一步評估。

4. 圖 1-8~1-72 橫軸均缺 2 月份的資料，請再補充。

- ✓ 二月份實測數據均列示於期中報告之附表 1-7 中，圖 1-8~1-72 中橫軸係因資料間距以每 4 個月為主要間距，否則橫軸文字將很擁擠，較難辨識，但圖中均有二月份之資料顯示其中。

(四)陳俊山秘書

若溪流的氮、磷濃度和棲地狀況均良好，但水昆數量少，那麼可能有其他限制因子。

- ✓ 昆蟲為變溫動物，其生長會受到溫度影響，當水溫過低，生長速度降低，繁殖率亦會較低，造成數量變少；不同昆蟲其世代數會不同，有些一年一代，有些一年兩代或一年多代，世代數亦會影響昆蟲之數量。另外水中之有機懸浮物質與其相關之營養成分過低、以及流速過快，導致附生藻類變少等皆會降低昆蟲養分攝取來源而影響數量。除此之外，非生物因子亦會影響昆蟲數量，例如颱風之突發事件等等。有時可能只要一點點影響，就會造成昆蟲數量受到限制，哪一個因子為主要限制因子，仍需待進一步研究。

(五)鄭瑞昌副處長

1. 報告書請補充整合章節，並將數據統一化，例如：p2-11 和 p3-1 七家灣溪面積不一致。
 - ✓ 感謝委員悉心指正，已於期末報告修正，統一為“七家灣溪流流域面積約為 7,221 公頃請”見報告 p.2-11。
2. 本計畫各項指標對於鮭魚保育功效之關連為何？
 - ✓ 本研究在鮭魚生存之三個主要項度水質(鮭魚生存化學環境)、物理棲地

(鮭魚生存物理環境)、水生昆蟲(鮭魚生存食物來源)進行調查，應屬鮭魚生存保育核心關鍵因子，本研究利用數種統計分析工具，或過去之研究亦顯示，此三個項度對鮭魚數目，亦具極高之解釋能力。

3. 本處目前在訂定七家灣溪濕地的明智利用項目，受託單位能否協助釐清水質及各項指標哪些為農業或人為活動導致，以反映於經營管理層面並可從源頭管理。
 - ✓ 由於水質是包括自然與人為活動之綜合承受體，除非是在水中分析得某人造化合物，可確定該來源定是人為造成，否則多數較難清楚切割。國內有學者(彭宗仁，Huang, J.C., T.Y. Lee, S.J. Kao, S.-C. Hsu, H.J. Lin and T.R. Peng (2012) Land use effect and hydrological control on nitrate yield in subtropical mountainous watersheds. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16: 699–714. doi:10.5194/hess-16-699-2012.)利用同位素分析武陵地區七家灣溪水中氮物種之來源，有相當高的比例來自於過度施肥。研究團隊也持續監測山溝、排水溝水質，發現硝酸鹽、磷酸鹽、氯鹽、及濁度，均較七家灣溪水背景值高，故建議汙水處理設施的脫氮、沉澱(針對懸浮固體)設施務必妥善操作及管理；周遭農業活動需持續宣導勿過量施肥或行自然農法，以有效控制七家灣溪流水質。

(五)鍾銘山處長

1. 高山溪殘材壩部分，請武陵站妥處。
2. 拆壩的水工模型試驗可等後續在確切執行前再進行。
 - ✓ 遵照辦理。
3. 請研究團隊再研議各項整合分析之指標合理性。
 - ✓ 經多次計畫團隊工作會議，審視各領域專家意見、數據之完整性，以及鮭魚族群可自然繁衍與生存棲地之宏觀考量，本研究選擇以高山溪測站2004至2014年十月份的生物環境調查數據作為基準，其他待評估測站之調查數據，經與高山溪測站比對後，給予-1~+5之得分，最後再將三個指標構面，水質、物理棲地、水生昆蟲，以各構面平均且等權重之方式，加總轉換為指標分數(-3~15分)，並劃分為三級，依次為危害級、生存級、舒適級，建議未來放流作業優先選擇舒適級，其次為生存級；若棲地評估結果落入危害，則不建議放流鮭魚，或應啟動生態環境救援行動，完整方法與論述請參閱期末報告第四章。