

# 「武陵地區長期生態監測暨生態模式建立」

受委託者：國立中興大學

計畫主持人：林幸助

協同主持人：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（按  
姓氏筆劃排列）

執行單位：國立中興大學生命科學系

國立中興大學昆蟲學系

國立中興大學土壤環境學系

國立清華大學生物資訊與結構生物研究所

國立屏東科技大學野生動物保育所

私立逢甲大學水利工程系

私立環球技術學院環境資源管理系

私立明志科技大學環境與安全工程系

中央研究院生物多樣性研究中心

中央研究院環境變遷研究中心

內政部營建署雪霸國家公園管理處

中華民國九十六年十二月





# 目錄

目錄 .....	1
表目錄.....	11
圖目錄.....	18
整合型計畫項目 .....	27
中文摘要 .....	28
一、前言與目的 .....	28
二、材料與方法 .....	29
(一)藻類、資料整合分析與生態模式建構.....	29
(二)水文與物理棲地.....	30
(三)水質.....	30
(四)硝酸鹽 .....	30
(五)流量、水溫模式與主要元素通量.....	30
(六)濱岸植群 .....	32
(七)水棲昆蟲 .....	33
(八)陸棲昆蟲 .....	33
(九)兩生爬蟲類.....	34
(十)魚類.....	35
(十一)鳥類.....	35
(十二)生態資料庫建構 .....	35
三、成果.....	37
四、結論與建議 .....	42
Abstract .....	44

## 第一章 藻類、資料整合分析與生態模式建構

中文摘要.....	1-1
英文摘要.....	1-3
一、研究緣起與背景 .....	1-5
二、研究設計.....	1-8

(一)研究地點 .....	1-8
(二)藻類研究方法 .....	1-8
(三)資料整合分析 .....	1-9
(四)生態系模式方法.....	1-10
三、結果.....	1-14
(一)石附生藻類.....	1-14
(二)資料整合分析 .....	1-15
(三)生態系模式.....	1-16
四、討論.....	1-19
(一)石附生藻類.....	1-19
(二)資料整合分析 .....	1-19
(三)生態系模式.....	1-21
(四)與其他溪流比較.....	1-21
五、參考文獻.....	1-25
表 .....	1-31
圖 .....	1-57

## 第二章 水文與物理棲地研究

中文摘要.....	2-1
英文摘要.....	2-2
一、計畫概況 .....	2-4
(一) 計畫範圍與執行期間.....	2-4
(二) 計畫流程及方法.....	2-4
二、高山溪河道變化調查.....	2-6
(一) 四號壩上游河道.....	2-6
(二) 三號壩上游河道.....	2-6
(三) 二號壩上游河道.....	2-7
(四) 一號壩上游河道.....	2-7
(五) 一號壩下游河道.....	2-7
三、七家灣二號壩及其副壩河道斷面調查.....	2-9

(一)三號壩下至二號壩上 400 公尺.....	2-9
(二)二號壩上 400 公尺至二號壩下 200 公尺.....	2-9
(三)二號壩下 200 公尺至一號壩.....	2-10
(四)一號壩下游至匯流口.....	2-10
四、高山溪及七家灣溪物理棲地分析.....	2-11
(一) 流況及底質特性分佈.....	2-11
(二) 棲地環境類型分析.....	2-11
五、七家灣溪生態共同採樣區分析.....	2-13
六、結論.....	2-16
表.....	2-17
圖.....	2-27

### 第三章 水質研究

中文摘要.....	3-1
英文摘要.....	3-2
一、前言.....	3-3
(一) 研究緣起.....	3-3
(二) 研究目的.....	3-3
(三) 研究內容.....	3-3
(四) 文獻回顧.....	3-3
(五) 水質指標.....	3-8
(六) 因素分析法.....	3-13
(七) 指標權重建立方法.....	3-18
二、材料與方法.....	3-20
(一) 採樣地點介紹.....	3-20
(二) 採樣方法.....	3-21
(三) 樣品保存.....	3-21
(四) 溶解態樣品實驗分析方法.....	3-22
(五) 實驗室品質管制.....	3-23
三、結果.....	3-24

四、討論.....	3-25
(一) 溶解態實驗分析數據.....	3-25
(二) 水質數據相關性分析.....	3-28
(三) 武陵地區各溪流水質指標 .....	3-29
五、結論.....	3-35
六、參考文獻 .....	3-37
表 .....	3-40
圖 .....	3-72

#### 第四章 硝酸鹽來源研究

中文摘要.....	4-1
英文摘要.....	4-3
一、前言.....	4-4
(一) 研究緣起 .....	4-4
(二) 研究背景 .....	4-4
二、材料與方法.....	4-8
(一) 採樣地點 .....	4-8
(二) 現場作業 .....	4-9
(三) 實驗室分析.....	4-9
三、結果.....	4-12
四、討論.....	4-15
(一) $\text{NO}_3^-$ 的可能來源.....	4-15
(二) 不同氮源的混合作用.....	4-16
五、結論.....	4-20
六、參考文獻 .....	4-21
表 .....	4-24
圖 .....	4-27

#### 第五章 流量、水溫模式與主要元素通量研究

中文摘要.....	5-1
-----------	-----

英文摘要.....	5-4
一、前言.....	5-7
二、材料與方法.....	5-10
(一) 分散式水文模式.....	5-10
(二) 物質(元素)輸出量計算方法.....	5-13
(三) 水溫模式.....	5-15
三、結果.....	5-17
(一) 資料蒐集狀態.....	5-17
(二) 流域特性.....	5-17
(三) 流量模擬.....	5-18
(四) 集水區物質輸出量.....	5-21
(五) 集水區內水溫變化.....	5-23
(六) 颱風對水文、水質及水溫之影響.....	5-24
四、討論.....	5-26
(一) 流量模擬.....	5-26
(二) 集水區元素通量.....	5-27
(三) 水溫.....	5-28
(四) 颱風的影響.....	5-29
五、結論.....	5-31
(一) 流量模擬.....	5-31
(二) 元素通量計算.....	5-31
(三) 水溫模擬.....	5-32
(四) 颱風影響.....	5-32
六、參考文獻.....	5-33
表.....	5-37
圖.....	5-49

## 第六章 濱岸植群研究

中文摘要.....	6-1
英文摘要.....	6-2

一、前言.....	6-3
(一) 濱岸生態系與濱岸帶.....	6-4
(二) 濱岸植群.....	6-4
(三) 植群生物量與枯落物.....	6-6
二、材料與方法.....	6-8
(一) 研究地區.....	6-8
(二) 研究方法.....	6-8
三、結果.....	6-12
(一) 物種組成.....	6-12
(二) 植群型.....	6-13
(三) 生物量.....	6-15
(四) 枯落物.....	6-16
四、討論.....	6-17
(一) 物種組成.....	6-17
(二) 植群型.....	6-17
(三) 生物量.....	6-18
(四) 枯落物.....	6-18
五、結論與建議.....	6-19
六、引用文獻.....	6-21
表.....	6-25
圖.....	6-35

## 第七章 水棲昆蟲研究

中文摘要.....	7-1
英文摘要.....	7-3
一、前言.....	7-4
二、材料與方法.....	7-7
三、結果.....	7-10
四、討論.....	7-12
五、結論.....	7-14

六、參考文獻 .....	7-15
表 .....	7-18
圖 .....	7-27

## 第八章 陸棲昆蟲研究

中文摘要 .....	8-1
英文摘要 .....	8-3
一、前言 .....	8-4
(一) 研究緣起與背景 .....	8-4
(二) 干擾因子對昆蟲群聚的影響 .....	8-5
二、材料與方法 .....	8-8
(一) 研究主題及其樣區範圍 .....	8-8
(二) 調查方法及原理 .....	8-10
(三) 存證標本編號保存及蒐藏 .....	8-12
(四) 昆蟲資源調查室內工作流程 .....	8-12
三、結果 .....	8-13
(一) 武陵地區濱水帶樣區 .....	8-13
(二) 高海拔昆蟲群聚 .....	8-14
(三) 水撈網及空中馬氏網之昆蟲組成 .....	8-16
四、討論 .....	8-17
(一) 武陵地區濱水帶樣區 .....	8-17
五、結論 .....	8-18
(一) 武陵地區濱水帶樣區 .....	8-18
(二) 大尺度之高海拔地區昆蟲之樣段調查 .....	8-18
六、參考文獻 .....	8-19
表 .....	8-24
圖 .....	8-37

## 第九章 兩生爬蟲類研究

中文摘要 .....	9-1
------------	-----

英文摘要.....	9-3
一、前言.....	9-4
二、材料與方法.....	9-6
(一) 研究地區.....	9-6
(二) 研究方法.....	9-6
三、結果與討論.....	9-8
(一) 棲地因子調查.....	9-8
(二) 生物量調查.....	9-8
四、參考文獻.....	9-12
表.....	9-14
圖.....	9-26

## 第十章 台灣櫻花鉤吻鮭族群監測與動態分析

中文摘要.....	10-1
英文摘要.....	10-3
一、前言.....	10-5
二、材料與方法.....	10-9
三、結果與討論.....	10-11
(一) 生態模式建立共同樣區的調查結果.....	10-11
(二) 台灣櫻花鉤吻鮭族群數量與分布.....	10-15
(三) 其他共域魚類的數量與分布狀況.....	10-20
(四) 司界蘭溪與南湖流域族群.....	10-22
四、討論.....	10-24
(一) 台灣櫻花鉤吻鮭歷年族群結構變化.....	10-24
(二) 歷年來重大風災對鮭魚族群比例與分布的影響.....	10-25
(三) 歷年各主要河段族群比例變動.....	10-26
(四) 七家灣溪中游各齡族群歷年變動及阻隔破壩的崩毀.....	10-29
(五) 高山溪的歷年族群變動狀況.....	10-30
五、結論與建議.....	10-32
六、參考文獻.....	10-34



表 .....	10-37
圖 .....	10-45

## 第十一章 溪流鳥類群聚生態監測

中文摘要 .....	11-1
英文摘要 .....	11-3
一、前言 .....	11-4
(一) 研究緣起 .....	11-4
(二) 研究背景 .....	11-5
二、研究地區與方法 .....	11-7
(一) 研究地區 .....	11-7
(二) 研究方法 .....	11-7
三、結果 .....	11-8
(一) 溪鳥族群變動 .....	11-8
(二) 河烏繫放紀錄、配對、繁殖 .....	11-10
(三) 鉛色水鵝繁殖情形 .....	11-11
(四) 鴛鴦巢箱使用情形 .....	11-11
四、討論 .....	11-12
(一) 河烏 .....	11-12
(二) 鉛色水鵝 .....	11-13
(三) 小剪尾 .....	11-13
(四) 綠蓑鷺 .....	11-13
(五) 黃魚鴉 .....	11-14
五、參考文獻 .....	11-15
表 .....	11-18
圖 .....	11-24

## 第十二章 生態資料庫建構

中文摘要 .....	12-1
英文摘要 .....	12-3

一、前言.....	12-4
二、材料及方法.....	12-5
三、結果.....	12-6
四、討論與結論.....	12-10
圖.....	12-11
<b>第十三章 成果與建議</b>	
一、成果.....	13-1
二、建議.....	13-7

# 表目錄

表 1-1	典型排序分析與前進式選取法所使用的變因與資料來源.....	1-31
表 1-2	七家灣溪鮭魚數量多變量迴歸分析模式所選用的變因 .....	1-32
表 1-3	武陵地區水棲昆蟲各功能群種類與相對豐度.....	1-34
表 1-4	桃山西溪模式輸入參數與參考文獻.....	1-37
表 1-5	一號壩模式輸入參數與參考文獻.....	1-38
表 1-6	繁殖場模式輸入參數與參考文獻.....	1-39
表 1-7	高山溪模式輸入參數與參考文獻.....	1-40
表 1-8	有勝溪模式輸入參數與參考文獻.....	1-41
表 1-9	桃山西溪生態系模式之食性組成比例 .....	1-42
表 1-10	一號壩生態系模式之食性組成比例.....	1-42
表 1-11	繁殖場生態系模式之食性組成比例 .....	1-43
表 1-12	高山溪生態系模式之食性組成比例.....	1-43
表 1-13	有勝溪生態系模式之食性組成比例.....	1-44
表 1-14	使用前進式選取法所選出與魚類群聚有顯著相關的環境因子 .....	1-45
表 1-15	鮭魚數量與七家灣溪流量的多變量迴歸模式分析結果 .....	1-46
表 1-16	武陵地區各測站之系統摘要分析結果 .....	1-47
表 1-17	桃山西溪模式輸入與 Ecopath 輸出 .....	1-48
表 1-18	一號壩模式輸入與 Ecopath 輸出 .....	1-49
表 1-19	繁殖場模式輸入與 Ecopath 輸出 .....	1-50
表 1-20	高山溪模式輸入與 Ecopath 輸出 .....	1-51
表 1-21	有勝溪模式輸入與 Ecopath 輸出 .....	1-52
表 1-22	蘭陽溪、武陵地區溪流與其他溪流之系統分析比較.....	1-53
表 1-23	蘭陽溪溪流生態系與武陵地區溪流環境因子主成分分析.....	1-54
表 1-24	各測站 GPS 座標與環境因子年平均值與標準偏差 .....	1-55
表 2-1	四號壩上游床面平均坡度表.....	2-17
表 2-2	三號壩上游床面平均坡降表.....	2-17
表 2-3	二號壩上游床面平均坡降表.....	2-17

表 2-4	一號壩上游床面平均坡降表.....	2-17
表 2-5	一號壩下游床面平均坡降表.....	2-17
表 2-6	三號壩下至二號壩上 400 公尺平均坡降表.....	2-17
表 2-7	二號壩上游床面平均坡降表.....	2-17
表 2-8	二號壩下游床面平均坡降表.....	2-18
表 2-9	一號壩下至匯流口平均坡降表.....	2-18
表 2-10	棲地底質分類表.....	2-18
表 2-11	2007 年 11 月高山溪各河段之棲地底質分佈比例.....	2-18
表 2-12	2007 年 9 月高山溪各河段之棲地底質分佈比例.....	2-19
表 2-13	2007 年 6 月高山溪各河段之棲地底質分佈比例.....	2-19
表 2-14	2007 年 2 月高山溪各河段之棲地底質分佈比例.....	2-19
表 2-15	2006 年 10 月高山溪各河段之棲地底質分佈比例.....	2-19
表 2-16	2007 年 11 月七家灣溪二號石壩上下游之棲地底質分佈比例.....	2-20
表 2-17	2007 年 2 月七家灣溪二號石壩上下游之棲地底質分佈比例.....	2-20
表 2-18	2006 年 10 月七家灣溪二號石壩上下游之棲地底質分佈比例.....	2-20
表 2-19	2006 年 2 月七家灣溪二號石壩上下游之棲地底質分佈比例.....	2-20
表 2-20	2007 年 11 月七家灣溪全河道之棲地底質分佈比例.....	2-20
表 2-21	棲地環境類型分析.....	2-20
表 2-22	2007 年 11 月高山溪溪棲地環境類型分析.....	2-21
表 2-23	2007 年 09 月高山溪溪棲地環境類型分析.....	2-21
表 2-24	2007 年 06 月高山溪溪棲地環境類型分析.....	2-21
表 2-25	2007 年 02 月高山溪溪棲地環境類型分析.....	2-21
表 2-26	2007 年 11 月七家灣溪二號石壩上下游棲地環境類型分析.....	2-22
表 2-27	2007 年 02 月七家灣溪二號石壩上下游棲地環境類型分析.....	2-22
表 2-28	2006 年 10 月七家灣溪二號石壩上下游棲地環境類型分析.....	2-22
表 2-29	2007 年 11 月七家灣溪全河道棲地環境類型分析.....	2-22
表 2-30	桃山北溪測站床面平均坡度表.....	2-22
表 2-31	桃山北溪測站床面底質分佈表.....	2-23
表 2-32	桃山西溪測站床面平均坡度表.....	2-23
表 2-33	桃山西溪測站床面底質分佈表.....	2-23

表 2-34	一號壩測站床面平均坡度表 .....	2-23
表 2-35	一號壩測站床面底質分佈表 .....	2-23
表 2-36	新繁殖場測站床面平均坡度表 .....	2-24
表 2-37	新繁殖場測站床面底質分佈表 .....	2-24
表 2-38	萬壽橋測站床面平均坡度表 .....	2-24
表 2-39	萬壽橋測站床面底質分佈表 .....	2-24
表 2-40	迎賓橋測站床面平均坡度表 .....	2-24
表 2-41	迎賓橋測站床面底質分佈表 .....	2-25
表 2-42	有勝溪測站床面平均坡度表 .....	2-25
表 2-43	有勝溪測站床面底質分佈表 .....	2-25
表 2-44	司界蘭溪上游段測站床面平均坡度表 .....	2-25
表 2-45	司界蘭溪上游測站床面底質分佈表 .....	2-25
表 2-46	司界蘭溪下游段測站床面平均坡度表 .....	2-26
表 2-47	司界蘭溪下游測站床面底質分佈表 .....	2-26
表 3-1	Quality Rating System .....	3-40
表 3-2	水體品質的分類等級 .....	3-40
表 3-3	Q-values 品質等級系統 .....	3-41
表 3-4	WQI8 水質分類等級表 .....	3-42
表 3-5	WQI5 水質分類等級表 .....	3-42
表 3-6	陸域地面水體(河川、湖泊) .....	3-43
表 3-7	採樣地點地理座標 .....	3-44
表 3-8	水體樣品保存 .....	3-45
表 3-9	94 年 2 月溶解態分析數據 .....	3-46
表 3-10	94 年 4 月溶解態分析數據 .....	3-47
表 3-11	94 年 6 月溶解態分析數據 .....	3-48
表 3-12	94 年 8 月溶解態分析數據 .....	3-49
表 3-13	94 年 10 月溶解態分析數據 .....	3-50
表 3-14	94 年 12 月溶解態分析數據 .....	3-51
表 3-15	95 年 2 月溶解態分析數據 .....	3-52
表 3-16	95 年 4 月溶解態分析數據 .....	3-53

表 3-17	95 年 6 月溶解態分析數據.....	3-54
表 3-18	95 年 8 月溶解態分析數據.....	3-55
表 3-19	95 年 10 月溶解態分析數據.....	3-56
表 3-20	95 年 12 月溶解態分析數據 .....	3-57
表 3-21	96 年 2 月溶解態分析數據 .....	3-58
表 3-22	96 年 4 月溶解態分析數據 .....	3-59
表 3-23	96 年 6 月溶解態分析數據 .....	3-60
表 3-24	96 年 8 月溶解態分析數據 .....	3-61
表 3-25	96 年 10 月溶解態分析數據 .....	3-62
表 3-26	96 年 12 月溶解態分析數據 .....	3-63
表 3-27	肥料要素含量.....	3-64
表 3-28	景美溪實驗數據.....	3-64
表 3-29	世界河川平均所含可溶性物質的濃度.....	3-64
表 3-30	養殖池與七家灣溪流域水質參數比較.....	3-64
表 3-31	91.5 月的魚數量與 9102/9103/9104/9105 月水質數據平均值顯著性 ...	3-65
表 3-32	91.10 月的魚數量與 9106/9107/9108/9109/9110 月水質數據平均值顯著性 .....	3-65
表 3-33	92.5 月的魚數量與 9111/9112/9201/9202/9203/9204/9205 月水質數據平均值 顯著性.....	3-65
表 3-34	92.10 月的魚數量與 9206/9207/9208/9209/9210 月水質數據平均值顯著性 .....	3-66
表 3-35	93.5 月的魚數量與 9211/9301/9302/9303/9304/9305 月水質數據平均值顯著 性.....	3-66
表 3-36	93.10 月的魚數量與 9306/9307/9308/9309/9310 月水質數據平均值顯著性 .....	3-66
表 3-37	94.7 月的魚數量與 9402/9404/9406 月水質數據平均值顯著性.....	3-67
表 3-38	94.10 月的魚數量與 9408/9410 月水質數據平均值顯著性.....	3-67
表 3-39	92.5 月的魚數量與 9112/9201/9202/9203 月水質數據平均值迴歸顯著性 .....	3-67
表 3-40	93.5 月的魚數量與 9211/9301/9302/9303 月水質數據平均值的複迴歸顯著性	

.....	3-68
表 3-41 94.07 月的魚數量與 9402/9404 月水質數據平均值的複迴歸顯著性.....	3-68
表 3-42 2003 年各樣點藻指數 GI 值.....	3-69
表 3-43 94 年藻屬指數.....	3-69
表 3-44 主成分總變異表.....	3-69
表 3-45 因子組型矩陣表.....	3-70
表 3-46 各參數因子之權重表.....	3-70
表 3-47 各參數經因子分析計算後的新權重.....	3-70
表 3-48 86 至 94 年的 WWQI 水質指數.....	3-71
表 4-1 武陵地區溪水 pH, DO 和 EC 測值之敘述性統計.....	4-24
表 4-2 本研究溪水之 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 濃度.....	4-25
表 4-3 本研究溪水中 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 之 δ <sup>15</sup> N 測值.....	4-26
表 4-4 本研究溪水中 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 之 δ <sup>18</sup> O 測值.....	4-26
表 5-1 武陵地區附近氣象站及流量站座標位置及資料長度.....	5-37
表 5-2 子計畫中各類測站資訊一覽表.....	5-38
表 5-3 3-layer TOPMODEL 在各測站的歷年模擬結果.....	5-39
表 5-4 2006.12 月到 2007.4 月採集水質樣本之統計值.....	5-40
表 5-5 有勝溪、迎賓橋及四季朗吊橋及桃山西溪之各元素通量與流量關係.....	5-43
表 5-6 萬壽橋、收費站及四季朗流量站以上及桃山西溪子集水區元素通量.....	5-44
表 5-7 萬壽橋、收費站及四季朗流量站以上及桃山西溪子集水區元素單位面積通量 .....	5-45
表 5-8 研究期間帕布颱風、聖帕颱風及柯羅莎颱風桃山西溪、高山溪、七家灣溪、 及有勝溪集水區降雨、流量概況.....	5-46
表 5-9 本計畫期間三個颱風造成萬壽橋以上、收費站以上及桃山西溪之子集水區各 元素單位面積之通量.....	5-47
表 5-10 本計畫期間三個颱風造成萬壽橋以上、收費站以上及桃山西溪之子集水區各 元素輸出總量佔全年輸出總量之百分比.....	5-48
表 6-1 不同馬尾松林型下之生物量迴歸式.....	6-25
表 6-2 生物量與雨量、溫度、日照之迴歸關係式.....	6-25
表 6-3 七家灣溪濱岸植群監測調查永久樣區屬性表.....	6-26

表 6-4	各樹種生物量與胸徑樹高的迴歸式 .....	6-27
表 6-5	樹高曲線式 .....	6-27
表 6-6	2007 年七家灣溪永久樣區喬木層優勢植物之重要值指數 .....	6-28
表 6-7	2007 年七家灣溪永久樣區地被層優勢植物之重要值指數 .....	6-29
表 6-8	2007 年司界蘭溪喬木層優勢植物重要值 .....	6-30
表 6-9	2007 年司界蘭溪地被層優勢植物重要值 .....	6-30
表 6-10	2005-2007 年永久樣區之地上部生物量 .....	6-31
表 6-11	福山、關刀溪、蓮華池之地上部生物量 .....	6-31
表 6-12	2005 年七家灣溪永久樣區枯落物資料 .....	6-32
表 6-13	2006 年七家灣溪永久樣區枯落物資料 .....	6-33
表 6-14	2007 年七家灣溪永久樣區枯落物資料 .....	6-34
表 7-1	武陵地區於 2007 年之水生昆蟲資源組成及個體數 .....	7-18
表 7-2	武陵地區於 2007 年之水生昆蟲生物量 .....	7-20
表 7-3	武陵地區於 2007 年優勢物種之年生產量 .....	7-22
表 7-4	水棲昆蟲之羽化個體數 .....	7-23
表 7-5	司界蘭溪於 2007 年之水生昆蟲資源組成及個體數 .....	7-25
表 7-6	司界蘭溪於 2005/8 至 2007/7 之水棲昆蟲多樣性指數及 RBPII .....	7-26
表 8-1	武陵地區昆蟲群聚調查樣區 .....	8-24
表 8-2	武陵地區濱岸昆蟲調查 96 年各樣區室內工作進度紀錄表 .....	8-25
表 8-3	2007 年武陵地區濱水帶測站昆蟲及其他無脊椎動物個體數 .....	8-26
表 8-4	2007 年武陵地區濱水帶各測站昆蟲個體數 .....	8-27
表 8-5	2007 年武陵地區濱水帶各測站採集法的昆蟲數量 .....	8-28
表 8-6	昆蟲體型大小與其相對體長及寬相對生物量之換算 .....	8-28
表 8-7	2007 年高海拔 4 樣段總和昆蟲個體數 .....	8-29
表 8-8	2007 年高海拔 4 樣段昆蟲組成 .....	8-30
表 8-9	2007 年七卡段各植被昆蟲個體數 .....	8-31
表 8-10	2007 年稜線段各植被昆蟲個體數 .....	8-31
表 8-11	2007 年黑森林段各植被昆蟲個體數 .....	8-32
表 8-12	2007 年圈谷段各植被昆蟲個體數 .....	8-32
表 8-13	2007 年高海拔 4 樣段箭竹昆蟲個體數 .....	8-33



表 8-14	2007 年高海拔 4 樣段芒草昆蟲個體數 .....	8-33
表 8-15	2007 年高海拔 4 樣段灌木昆蟲個體數 .....	8-34
表 8-16	2007 年 9 月 29~30 水撈網採集調查結果.....	8-34
表 8-17	2007 年武陵地區濱水帶空中馬式網調查結果.....	8-35
表 8-18	2004 年至 2007 年武陵地區濱水帶昆蟲個體數 .....	8-36
表 9-1	2007 年各月各樣區環境因子 .....	9-14
表 9-2	2007 年 4 月蝌蚪、10 月成蛙之數量與六個棲地因子之相關性係數 .....	9-16
表 9-3	2007 年各月各樣區成蛙數目與密度 .....	9-17
表 9-4	2007 年各月各樣區各種成蛙平均吻肛長、平均體重、生物量及樣區生物量 .....	9-20
表 9-5	歷年梭德氏赤蛙繁殖季及 2007 年各月份成蛙總數與雄雌比.....	9-22
表 9-6	2007 年各月各樣區蝌蚪種類、總數、平均全長、平均濕重、平均期數、平均密度與生物量.....	9-23
表 9-7	2007 年七家灣溪西側紅斑蛇數量分布.....	9-25
表 9-8	2005 年至 2007 年紅斑蛇各季節數量.....	9-25
表 9-9	2005 年至 2007 年蛇類捕獲及再捕獲數量.....	9-25
表 10-1	2007 年七家灣溪固定樣點魚類組成相調查結果 .....	10-37
表 10-2	2007 年秋季櫻花鉤吻鮭調查數量統計表 .....	10-38
表 10-3	2007 年夏季櫻花鉤吻鮭調查數量統計表 .....	10-39
表 10-4	2002 年迄今各齡櫻花鉤吻鮭在各河段所佔族群比例統計表 .....	10-40
表 10-5	2007 年夏季與櫻花鉤吻鮭共域之魚類數量統計表.....	10-42
表 10-6	歷年重大風災對櫻花鉤吻鮭族群的影響比較表 .....	10-43
表 10-7	歷年七家灣溪各河段孵化前期（十一月）月平均水溫比較表 .....	10-44
表 11-1	2007 年 1 月~11 月武陵地區溪流鳥類調查.....	11-18
表 11-2	武陵地區河烏繫放個體 2007 年的目擊紀錄.....	11-20
表 11-3	2003~2007 年七家灣溪有標記河烏之配對情形 .....	11-21
表 11-4	2003~2007 武陵地區河烏繁殖比較 .....	11-22
表 11-5	2007 年 1 月抽檢河烏是否使用有勝溪鴛鴦巢箱的情形.....	11-23

## 圖目錄

圖 1-1	武陵地區七家灣河流域研究地區位置圖 .....	1-57
圖 1-2	各研究測站相關位置圖 .....	1-58
圖 1-3	2006/6-2007/11 各測站年平均單位面積葉綠素 a 含量 .....	1-59
圖 1-4	各測站單位面積葉綠素 a 含量月變化.....	1-60
圖 1-5	桃山西溪、二號壩及一號壩三測站微棲地生物量比較.....	1-61
圖 1-6	2003 年 12 月到 2007 年 4 月流量.....	1-62
圖 1-7	2003 年到 2007 年單位面積藻類葉綠素 a 含量與流量變化.....	1-62
圖 1-8	陵地區各研究測站台灣櫻花鉤吻鮭成魚、亞成魚與幼魚的平均數量 ....	1-63
圖 1-9	魚類群聚與環境因子間典型對應分析的排序圖 .....	1-64
圖 1-10	七家灣溪夏季鮭魚普查數量與冬季平均日流量的關係圖 .....	1-65
圖 1-11	桃山西溪食物網能流圖 .....	1-66
圖 1-12	一號壩食物網能流圖.....	1-66
圖 1-13	繁殖場食物網能流圖.....	1-67
圖 1-14	高山溪食物網能流圖.....	1-67
圖 1-15	有勝溪食物網能流圖.....	1-68
圖 1-16	桃山西溪 Lindeman 食物鏈物質傳輸模式圖 .....	1-68
圖 1-17	一號壩 Lindeman 食物鏈物質傳輸模式圖 .....	1-69
圖 1-18	繁殖場 Lindeman 食物鏈物質傳輸模式圖 .....	1-69
圖 1-19	高山溪 Lindeman 食物鏈物質傳輸模式圖 .....	1-69
圖 1-20	有勝溪 Lindeman 食物鏈物質傳輸模式圖 .....	1-70
圖 1-21	桃山西溪綜合營養衝擊圖 .....	1-70
圖 1-22	一號壩綜合營養衝擊圖 .....	1-71
圖 1-23	繁殖場綜合營養衝擊圖 .....	1-71
圖 1-24	高山溪綜合營養衝擊圖 .....	1-72
圖 1-25	有勝溪綜合營養衝擊圖 .....	1-72
圖 1-26	各測站攝食量、呼吸量、碎屑流量與總輸出量佔總系統通量百分比圖.	1-73
圖 1-27	蘭陽溪溪流與武陵地區溪流生態系環境因子主成分分析圖 .....	1-73

圖 2-1	本年度研究基本流程圖 .....	2-27
圖 2-2	四號壩上游斷面高程剖面圖 .....	2-27
圖 2-3	高山溪段面 4-4 剖面高程 .....	2-28
圖 2-4	高山溪段面 4-1 剖面高程 .....	2-28
圖 2-5	高山溪四號壩上河道示意圖 .....	2-28
圖 2-6	三號壩上游斷面高程剖面圖 .....	2-29
圖 2-7	高山溪斷面 3-B 剖面高程 .....	2-29
圖 2-8	高山溪斷面 3-E 剖面高程 .....	2-29
圖 2-9	高山溪斷面 3-R 剖面高程 .....	2-29
圖 2-10	高山溪斷面 3-T 剖面高程 .....	2-29
圖 2-11	高山溪三號壩上之河道示意圖 .....	2-30
圖 2-12	二號壩上游斷面高程剖面圖 .....	2-31
圖 2-13	高山溪斷面 2-C 剖面高程 .....	2-31
圖 2-14	高山溪斷面 2-H 剖面高程 .....	2-31
圖 2-15	高山溪斷面 2-M 剖面高程 .....	2-31
圖 2-16	高山溪斷面 2-Q 剖面高程 .....	2-31
圖 2-17	高山溪二號壩上之河道示意圖 .....	2-32
圖 2-18	一號壩上游斷面高程剖面圖 .....	2-33
圖 2-19	高山溪斷面 1-B 剖面高程 .....	2-33
圖 2-20	高山溪斷面 1-E 剖面高程 .....	2-33
圖 2-21	高山溪斷面 1-K 剖面高程 .....	2-33
圖 2-22	高山溪斷面 1-N 剖面高程 .....	2-33
圖 2-23	高山溪一號壩上河道示意圖 .....	2-34
圖 2-24	一號壩下游斷面高程剖面圖 .....	2-35
圖 2-25	高山溪斷面 0-C 剖面高程 .....	2-35
圖 2-26	高山溪斷面 0-H 剖面高程 .....	2-35
圖 2-27	高山溪斷面 0-L 剖面高程 .....	2-35
圖 2-28	高山溪斷面 0-O 剖面高程 .....	2-35
圖 2-29	高山溪一號壩下至匯流口之河道示意圖 .....	2-36
圖 2-30	三號壩下至二號壩上 400 公尺剖面圖 .....	2-37

圖 2-31 七家灣溪斷面 3-12 剖面高程.....	2-37
圖 2-32 七家灣溪斷面 3-8 剖面高程.....	2-37
圖 2-33 二號壩上游 400 公尺至下游 200 公尺剖面線.....	2-38
圖 2-34 七家灣溪斷面 2-8 剖面高程.....	2-38
圖 2-35 七家灣溪斷面 2-8 剖面高程.....	2-38
圖 2-36 二號壩下游 200 公尺至一號壩上剖面線.....	2-39
圖 2-37 一號壩下游至匯流口剖面線.....	2-39
圖 2-38 高山溪棲地環境類型分析 (2007/11) .....	2-40
圖 2-39 高山溪棲地環境類型分析 (2007/09) .....	2-40
圖 2-40 高山溪棲地環境類型分析 (2007/06) .....	2-40
圖 2-41 高山溪棲地環境類型分析 (2007/02) .....	2-41
圖 2-42 高山溪棲地環境類型分布(2007/11).....	2-41
圖 2-43 高山溪棲地環境類型分布(2007/09).....	2-41
圖 2-44 高山溪棲地環境類型分布(2007/06).....	2-42
圖 2-45 高山溪棲地環境類型分布(2007/02).....	2-42
圖 2-46 七家灣溪二號石壩上下游棲地環境類型分析 (2007/11) .....	2-42
圖 2-47 七家灣溪二號石壩上下游棲地環境類型分析 (2007/02) .....	2-43
圖 2-48 七家灣溪二號石壩上下游棲地環境類型分析 (2006/12) .....	2-43
圖 2-49 七家灣溪二號石壩上下游棲地環境類型分析 (2006/10) .....	2-43
圖 2-50 七家溪二號石壩上下游棲地環境類型分布(2007/11).....	2-44
圖 2-51 七家溪二號石壩上下游棲地環境類型分布(2007/02).....	2-44
圖 2-52 七家溪二號石壩上下游棲地環境類型分布(2006/12).....	2-44
圖 2-53 七家溪二號石壩上下游棲地環境類型分布(2006/10).....	2-45
圖 2-54 七家灣溪共同樣區位置分佈圖.....	2-45
圖 2-55 桃山北溪棲地分佈類型百分比圖.....	2-46
圖 2-56 桃山北溪測站 4-4 斷面.....	2-46
圖 2-57 桃山西溪棲地分佈類型百分比圖.....	2-46
圖 2-58 桃山西溪測站 6-3 斷面.....	2-47
圖 2-59 一號壩分佈類型百分比圖.....	2-47
圖 2-60 新繁殖場棲地分佈類型百分比圖.....	2-47

圖 2-61	萬壽橋棲地分佈類型百分比圖 .....	2-48
圖 2-62	迎賓橋棲地分佈類型百分比圖 .....	2-48
圖 2-63	有勝溪棲地分佈類型百分比圖 .....	2-48
圖 2-64	司界蘭溪上游測站棲地分佈類型百分比圖 .....	2-49
圖 2-65	司界蘭溪下游測站 11-3 斷面 .....	2-49
圖 2-66	司界蘭溪下游測站棲地分佈類型百分比圖 .....	2-49
圖 2-67	司界蘭溪下游測站 11-4 斷面 .....	2-50
圖 3-1	雪霸國家公園 .....	3-72
圖 3-2	氮素循環過程 .....	3-72
圖 3-3	水體整合要素 .....	3-73
圖 3-4	污染長度計算圖例 .....	3-73
圖 3-5	因素分析組成 .....	3-73
圖 3-6	流程圖 .....	3-74
圖 3-7	採樣地點位置圖 .....	3-75
圖 3-8	武陵地區溪流 pH 值變化 .....	3-75
圖 3-9	武陵地區溪流導電度值變化 .....	3-76
圖 3-10	武陵地區溪流溶氧值變化 .....	3-76
圖 3-11	武陵地區溪流濁度值變化 .....	3-76
圖 3-12	武陵地區溪流 SiO <sub>2</sub> 值變化 .....	3-77
圖 3-13	武陵地區溪流 BOD 值變化 .....	3-77
圖 3-14	武陵地區溪流 NO <sub>3</sub> -N 值變化 .....	3-77
圖 3-15	武陵地區溪流 NO <sub>2</sub> -N 值變化 .....	3-78
圖 3-16	武陵地區溪流 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 值變化 .....	3-78
圖 3-17	武陵地區溪流 Cl <sup>-</sup> 值變化 .....	3-78
圖 3-18	武陵地區溪流 PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> 值變化 .....	3-79
圖 3-19	武陵地區溪流 TP 值變化 .....	3-79
圖 3-20	武陵地區溪流 NH <sub>3</sub> -N 值變化 .....	3-79
圖 3-21	武陵地區溪流 TOC 值變化 .....	3-80
圖 3-22	91-93 年各測站 WQI (含溶氧) 年平均值 .....	3-80
圖 3-23	94 年各測站 WQI (含溶氧) 年平均值 .....	3-80

圖 3-24	91-93 年各測站 WQI (無含溶氧) 年平均值.....	3-81
圖 3-25	94 年各測站 WQI (無含溶氧) 年平均值.....	3-81
圖 3-26	92 年度各測站之藻類指數取對數後與 WQI 水質指數迴歸分析.....	3-81
圖 3-27	因素陡坡圖.....	3-82
圖 3-28	91 年各測站 WQI 年平均.....	3-82
圖 3-29	92 年各測站 WQI 年平均.....	3-83
圖 3-30	92 年各測站 WQI 年平均.....	3-83
圖 4-1	武陵地區及本研究採樣點位置圖.....	4-27
圖 4-2	2002 至 2007 年武陵地區之月平均氣溫及雨量.....	4-28
圖 4-3	各採樣點 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 濃度盒形圖.....	4-28
圖 4-4	各採樣點 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 濃度之季節性變化.....	4-29
圖 4-5	本研究各水體中 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 之 δ <sup>15</sup> N 特徵值分布.....	4-30
圖 4-6	本研究水體之氮、氧同位素組成分布圖.....	4-30
圖 4-7	本研究各時期水體中 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 之 1/NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 與 δ <sup>15</sup> N 關係圖.....	4-31
圖 5-1	3-layer TOPMODEL 的模式結構示意圖.....	5-49
圖 5-2	武陵地區地形圖與氣象、流量測站分佈圖.....	5-49
圖 5-3	武陵地區土地利用分佈圖.....	5-50
圖 5-4	子計畫中設置水質、水溫及氣溫測站之位置.....	5-50
圖 5-5	各個水質採樣點水樣蒐集日期.....	5-51
圖 5-6	水溫及氣象資料記錄的時間.....	5-51
圖 5-7	PO <sub>4</sub> 及 Ca 濃度與流量隨時間變化之情形 (有勝溪).....	5-52
圖 5-8	各測站集水區之坡度分佈組體圖.....	5-52
圖 5-9	三個流域土地利用組體圖.....	5-52
圖 5-10	四季朗、七家灣溪、有勝溪測站以上集水區之雨量、流量、逕流係數.....	5-53
圖 5-11	七家灣溪歷年河道斷面圖.....	5-54
圖 5-12	七家灣溪歷年率定曲線比較圖.....	5-54
圖 5-13	四季朗測站模擬結果圖.....	5-55
圖 5-14	七家灣測站模擬結果圖.....	5-56
圖 5-15	有勝溪測站模擬結果圖.....	5-57
圖 5-16	計畫期間(2006.11~2007.11)有勝溪流量模擬結果.....	5-58

圖 5-17	計畫期間(2006.11~2007.11)桃山西溪流量模擬結果.....	5-58
圖 5-18	七家灣溪艾莉颱風、海棠颱風及瑪莎颱風流量模擬結果.....	5-59
圖 5-19	七家灣溪聖帕颱風及柯羅莎颱風流量模擬結果.....	5-60
圖 5-20	導電度之空間變異.....	5-61
圖 5-21	NO <sub>3</sub> 濃度之空間變異.....	5-61
圖 5-22	迎賓橋站 NO <sub>3</sub> 濃度及通量與採樣當日模擬流量之關係.....	5-62
圖 5-23	桃山西溪站 NO <sub>3</sub> 濃度及通量與採樣當日模擬流量之關係.....	5-62
圖 5-24	桃山西溪、萬壽橋以上、收費站以上及四季朗流量站以上之子集水區 氮元素輸出百分比、總通量及單位面積之通量.....	5-63
圖 5-25	桃山西溪、萬壽橋以上、收費站以上及四季朗流量站以上之子集水區 磷元素輸出百分比、總通量及單位面積之通量.....	5-63
圖 5-26	桃山西溪、七家灣溪、有勝溪及司界蘭溪與環山地區之子集水區元素 單位面積之通量.....	5-64
圖 5-27	七家灣溪、有勝溪及司界蘭溪與環山地區之子集水區「因人為活動而 多的」元素單位面積之通量.....	5-64
圖 5-28	桃山北溪水溫之時間序列圖.....	5-65
圖 5-29	桃山西溪水溫之時間序列圖.....	5-65
圖 5-30	一號壩水溫之時間序列圖.....	5-66
圖 5-31	桃山北溪水溫之時間序列圖.....	5-66
圖 5-32	有勝溪水溫之時間序列圖.....	5-67
圖 5-33	一號壩水溫之時間序列圖.....	5-67
圖 5-34	司界蘭溪上游水溫之時間序列圖.....	5-68
圖 5-35	司界蘭溪下游水溫之時間序列圖.....	5-68
圖 5-36	四季朗吊橋水溫之時間序列圖.....	5-69
圖 5-37	桃山西溪氣溫之時間序列圖.....	5-69
圖 5-38	繁殖場氣溫之時間序列圖.....	5-70
圖 5-39	四季朗吊橋氣溫之時間序列圖.....	5-70
圖 5-40	水溫之空間變異圖.....	5-71
圖 5-41	桃山西溪(C7)與桃山北溪(T1)水溫之時間序列.....	5-71
圖 5-42	柯羅莎颱風期間導電度、NO <sub>3</sub> 及 TSM 與流量之關係 (有勝溪).....	5-72

圖 5-43	柯羅莎颱風期間 TSM 與流量之關係 (桃山西溪)	5-72
圖 5-44	柯羅莎颱風期間 TSM 與流量之關係 (七家灣溪萬壽橋下)	5-73
圖 5-45	柯羅莎颱風期間 TSM 與流量之關係 (七家灣溪萬壽橋下)	5-73
圖 5-46	颱風及降雨對水溫的影響	5-74
圖 5-47	一號壩水溫、迎賓橋水溫及繁殖場氣溫時間序列，顯示水溫受氣溫影響之現象	5-74
圖 6-1	濱岸帶地形特點結構圖	6-35
圖 6-2	七家灣溪濱岸植群監測樣區位置圖	6-36
圖 6-3	矩陣群團分析流程	6-37
圖 6-4	枯落物收集網之架設示意圖	6-38
圖 6-5	2007 年複查之永久樣區相似性樹形圖	6-39
圖 6-6	2005 年永久樣區相似性樹狀圖	6-40
圖 6-7	2005-2007 年七家灣溪各測站之平均枯落物量	6-41
圖 6-8	七家灣溪測站之各年度枯落物量組成分析	6-42
圖 7-1	武陵地區溪流水棲昆蟲監測調查採樣站之相關位置圖	7-27
圖 7-2	武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲各月數量	7-27
圖 7-3	武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲各月生物量	7-27
圖 7-4	武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲之 Richness index	7-28
圖 7-5	武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲之 Simpson's index	7-28
圖 7-6	武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲之 Shannon- Wiener's index	7-28
圖 7-7	武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲之 Pielou's evenness index	7-28
圖 7-8	武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲之之 RBPII 相對分數	7-29
圖 7-9	武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲之 MDS 分析	7-30
圖 7-10	各月於 MDS 軸一的平均分數相對於月平均流量	7-31
圖 7-11	以 ABC 方法檢測武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲干擾程度的 $W$ 統計量	7-31
圖 8-1	武陵地區濱水帶昆蟲調查測站位置圖	8-37
圖 8-2	武陵地區高海拔地區昆蟲調查樣段位置圖	8-38
圖 8-3	2007 年高海拔 4 樣段昆蟲組成	8-38
圖 8-4	2007 年高海拔 4 樣段昆蟲組成	8-39
圖 8-5	2007 年高海拔七卡段各植被昆蟲組成	8-39



圖 8-6	2007 年高海拔稜線段各植被昆蟲組成 .....	8-40
圖 8-7	2007 年高海拔黑森林段各植被昆蟲組成 .....	8-40
圖 8-8	2007 年高海拔園谷段各植被昆蟲組成 .....	8-41
圖 8-9	2007 年高海拔七卡、稜線及黑森林段箭竹昆蟲組成.....	8-41
圖 8-10	2007 年高海拔七卡及稜線段芒草昆蟲組成.....	8-42
圖 8-11	2007 年高海拔 4 樣段灌木昆蟲組成 .....	8-42
圖 9-1	2007 年七家灣溪環境因子全年變化.....	9-26
圖 9-2	2007 年七家灣溪四支流測站環境因子比較.....	9-26
圖 9-3	2007 年七家灣溪上游至下游測站，四月與十月環境因子比較 .....	9-27
圖 9-4	2007 年七家灣溪之桃山北溪與有勝溪測站各月份環境因子比較.....	9-28
圖 9-5	2007 年七家灣溪全年各月青蛙平均隻數 .....	9-29
圖 9-6	七家灣溪梭德氏赤蛙成蛙歷年吻肛長.....	9-29
圖 9-7	七家灣溪盤古蟾蜍成蛙歷年吻肛長 .....	9-30
圖 9-8	七家灣溪斯文豪氏赤蛙成蛙歷年吻肛長 .....	9-30
圖 9-9	歷年七家灣溪各測站成蛙平均密度 .....	9-31
圖 9-10	2007 年七家灣溪各月成蛙生物量比較.....	9-31
圖 9-11	2007 年司界蘭溪與七家灣溪成蛙平均隻數比較.....	9-32
圖 9-12	2006 至 2007 司界蘭溪二測站成蛙隻數 .....	9-32
圖 9-13	2007 年司界蘭溪各月成蛙生物量比較 .....	9-33
圖 9-14	2007 年七家灣溪全年各月蝌蚪平均密度 .....	9-33
圖 9-15	歷年七家灣溪蝌蚪平均密度.....	9-34
圖 9-16	歷年七家灣溪支流測站蝌蚪平均密度.....	9-34
圖 9-17	七家灣溪梭德氏赤蛙蝌蚪歷年體長 .....	9-35
圖 9-18	七家灣溪梭德氏赤蛙蝌蚪歷年期數 .....	9-35
圖 9-19	七家灣溪盤古蟾蜍蝌蚪歷年體長.....	9-36
圖 9-20	七家灣溪盤古蟾蜍蝌蚪歷年期數.....	9-36
圖 9-21	2007 年司界蘭溪與七家灣溪蝌蚪平均密度.....	9-37
圖 9-22	2005~2007 年捕獲蛇類在七家灣溪的分布 .....	9-38
圖 9-23	2007 年七家灣溪西側紅斑蛇數量分布 .....	9-39
圖 9-24	2005 年至 2007 年紅斑蛇各季平均數量 .....	9-39

圖 9-25	2005 年至 2007 年紅斑蛇吻肛長分布 .....	9-40
圖 10-1	七家灣溪與高山溪流域位置圖 .....	10-45
圖 10-2	台灣鏟頰魚自 2003 年以來迄今各類體型族群數量變化圖 .....	10-46
圖 10-3	1998 年至 2007 年櫻花鉤吻鮭族群數量年度變化圖 .....	10-47
圖 10-4	1995 年至 2007 年七家灣溪櫻花鉤吻鮭各齡族群結構變化圖 .....	10-48
圖 10-5	2000~2007 年七家灣溪各主要河段各齡族群比例變動圖 .....	10-49
圖 10-6	2000 至 2007 年七家灣溪二至三號壩以及一至二號壩各齡鮭魚比例 ...	10-50
圖 10-7	高山溪各主要河段所佔族群比例變化圖 .....	10-51
圖 11-1	研究地區七家灣溪示意圖 .....	11-24
圖 11-2	2003 年 3 月~2007 年 11 月七家灣溪河烏數量月變化 .....	11-25
圖 11-3	2003 年 3 月~2007 年 11 月七家灣溪鉛色水鵝數量月變化 .....	11-26
圖 11-4	2003 年 3 月~2007 年 11 月七家灣溪紫嘯鵝數量月變化 .....	11-27
圖 11-5	2003 年 3 月~2007 年 11 月七家灣溪小剪尾數量月變化 .....	11-28
圖 11-6	2003 年 3 月~2007 年 11 月七家灣溪綠蓑鶯數量月變化 .....	11-29
圖 11-7	2006 年 1 月~2007 年 11 月七家灣溪鴛鴦數量月變化 .....	11-30
圖 11-8	2007 年 武陵地區河烏繁殖巢位位置圖 .....	11-31
圖 12-1	武陵衛星影像全圖 .....	12-11
圖 12-2	武陵衛星影像高解析影像(迎賓橋) .....	12-11
圖 12-3	由衛星影像查詢調查資料操作範例 .....	12-12

九十六年整合型計畫項目

計畫項目	主持人	服務機構/系所	職稱	計畫內容
子計畫 1	林幸助	中興大學生命科學系	教授	藻類研究、生態模式建構暨資料整合
子計畫 2	葉昭憲	逢甲大學水利工程系	副教授	水文與物理棲地研究
子計畫 3	官文惠	明志科技大學環境與安全工程系	副教授	水質研究
子計畫 4	彭宗仁	中興大學土壤環境系	助理教授	硝酸鹽來源研究
子計畫 5	高樹基	中央研究院環境變遷研究中心	副研究員	流量、水溫模式與主要元素通量研究
子計畫 6	蔡尚惠	環球技術學院環境資源管理系	助理教授	濱岸植群研究
子計畫 7	郭美華	中興大學昆蟲系	副教授	水棲昆蟲研究
子計畫 8	楊正澤 葉文斌	中興大學昆蟲系	教授 助理教授	陸棲昆蟲研究
子計畫 9	吳聲海	中興大學生命科學系	副教授	兩生爬蟲哺乳類研究
子計畫 10	曾晴賢	清華大學生物資訊與結構生物研究所	教授	魚類研究
子計畫 11	孫元勳	屏東科技大學野生動物保育所	副教授	鳥類研究
子計畫 12	邵廣昭	中央研究院生物多樣性研究中心	研究員	生態資料庫建構

## 中文摘要

### 一、前言與目的

雪霸國家公園最重要的任務是自然資源與生物物種的保育，尤其是分布只侷限於大甲溪上游武陵地區溪流，但數量已瀕臨絕種的台灣櫻花鉤吻鮭。保育工作需以宏觀的角度來管理自然資源與其棲境，也就是生態系管理，其基礎建立在各項資源的掌握與變化機制的瞭解。早期相關生態保育研究計畫雖然超過上百項，但資料缺乏連續性與整合性，因此亟需推動長期生態監測，建構生態與環境模式，以瞭解武陵地區的長期生態過程與機制，俾便預測未來全球氣候變遷之影響。本整合計畫以武陵地區流域與司界蘭溪為研究地點，依循先前所設立永久測站，長期監測並整合包括水溫、流量、物理棲地、水質、藻類、沿岸植被、陸棲與水生昆蟲、兩生爬蟲哺乳類、魚類與鳥類等時空動態變化資料，並分年逐步建構從小到大不同尺度之生態與環境模式。今年度具體目標為：1. 建構生態模式，瞭解櫻花鉤吻鮭與武陵地區流域的長期生態過程，尋找控制生態過程的驅動力；2. 闡明溪流生物與生物間，以及溪流與濱岸生物間的交互作用；3. 監測溪水中硝酸鹽之來源及人為活動之影響；4. 了解生物於各種物理棲地間之分布與差異；5. 建構水文變化模式，瞭解水文過程對物理棲地的影響；6. 建構水溫變化模式，分析海拔、流向、濱溪土地利用與濱岸植被遮蔽之影響；7. 計算流域元素通量，探討人為活動與自然來源之元素收支；8. 建立武陵地區生態研究的科學資料庫；9. 監測司界蘭溪放流之台灣櫻花鉤吻鮭狀況；10. 針對武陵地區長期生態監測項目、保育措施與管理策略提供建議。

【關鍵字】台灣櫻花鉤吻鮭、七家灣溪、生態系模式、水文模式、水溫模式、預測模式、生態系管理

## 二、材料與方法

本整合計畫在七家灣溪流域共設 9 個共同樣站，兩個月採樣一次；司界蘭溪共設 2 個共同測站，半年採樣一次。

### (一) 藻類、資料整合分析與生態模式建構

#### 1. 石附生藻類豐度測定

各測站石附生藻類監測，於不同微棲地(瀨、流、潭)隨機撿取 3 個溪底石頭樣本。刮下石頭表面的藻類，以丙酮溶液萃取，以分光光度計測量萃取液之吸光值後，計算所含葉綠素 *a* 的濃度。微棲地的分類則以福祿數依據。

#### 2. 資料整合分析

我們整合各測站從 2005 年至 2007 年的生物因子與環境因子資料，利用典型對應分析將魚類群聚矩陣以及顯著的環境因子進行典型排序。為建立鮭魚數量預測模式，我們對 1996 年至 2006 年共 21 次普查之鮭魚數量與七家灣溪流量進行多變數迴歸分析。另外鮭魚主要的食物來源是水棲昆蟲，而鳥類則是鮭魚的捕食者，因此我們也嘗試用這兩個可能影響鮭魚數量的因子來建立多變數迴歸模式。

#### 3. 生態模式研究方法

在 5 處武陵長期固定測站建構生態系食物網模式。利用 Ecopath with Ecosim 建構能量傳輸之生態系食物網模式，並分析能量流架構。建構模式所需的參數包括各生物群之生物量、單位生產量、單位攝食量、生態效率與食性組成。將生物分成不同的功能群，包括 1 個非生物群碎屑及 11~12 個生物群，包括：浮游藻、附生藻、水棲昆蟲刮食者、水棲昆蟲碎食者、水棲昆蟲濾食採集者、水棲昆蟲聚集採食者、水棲昆蟲掠食者、非水棲昆蟲刮食者、渦蟲、臺灣櫻花鉤吻鮭、臺灣鏟頰魚、臺灣纓口鰍等三種魚類與鳥類等。每一生物群建構模式所需參數部分由實地測量得知，缺少的部份參考國內外文獻，並根據當地生物量作調整。所有類群生物量以每平方公尺濕重表示，而物質能量傳輸以每平方公尺每年濕重表示。

經由EWE分析各測站食物網能流圖，及整體生態系特性之生態系係數，如：總系統通量，為總攝食量、總呼吸量、總輸出量與總碎屑流量之總和，用以表示系統的“活動力”。P/R ratio用以描述系統之“成熟度”。

## **(二) 物理棲地**

對高山溪之河道進行斷面測量及物理棲地調查，估算河道中各種棲地組成及分佈比例。對七家灣溪之二號石壩之上游河道 400 公尺及下游 200 公尺河道進行調查，對其現況與過去調查結果進行探討。調查七家灣溪上四處計畫共同樣區之河道縱橫向變化、棲地組成、粒徑分佈之現況並進行分析探討，希望能提供給予其它計畫執行時的環境因素方面的參考。最後結合現場調查和先前研究，提出高山溪河道與七家灣河道之變化趨勢與環境改變間之關連性，作為後續研究之實施目標與方向。

## **(三) 水質監測**

首先進行當地背景資料收集，包括該區各種的土地利用型態、面積、七家灣溪水文特性與雨量資料。並針對相關文獻做資料整理。搭配實地調查七家灣溪相關水域的位址後，依週遭林地的土地利用與農田的分佈採取溪流上、下游及匯流口處做為七家灣流域內各溪流的測站點。再利用實驗數據搭配統計軟體工具，進行檢定分析與因素分析，以利找出影響櫻花鉤吻鮭的相關水質參數與重新分配水質參數的權重，建立一個能快速反應該區溪流水質情況的新指標。

採集樣品方法為河川水體採樣，實驗的分析方法依河川水質分析方法進行樣品的分析。在現場的水質分析項目有pH、溶氧、導電度等三個項目，實驗室測定項目為生化需氧量、濁度、硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮、氨氮、總磷、磷酸鹽、二氧化矽、總有機碳、硫酸鹽、氯鹽等十一個分析項目。

## **(四) 硝酸鹽來源**

本研究目標在建立武陵地區水體中硝酸鹽氮、氧同位素組成特徵之背景值。在颱風季節(7-8月)時，於颱風後進行一次暴雨效應監測。此外，特別針對七家灣溪二號壩、一號壩及附近匯流至七家灣溪之山溝進行採樣分析，因為二號壩有農業污染的情形。採樣現場測定河水之溫度、pH、EC和溶氧；硝酸鹽之濃度與其氮、氧同位素組成之分析則於實驗室進行。

## **(五) 水文水溫模式與主要元素輸出量**

## 1. 水文模式

本計畫利用分散型水文模式 TOPMODEL 來進行七家灣溪的流量模擬。此模式概念在垂直方面所考慮的水文作用為：蒸發散、入滲、滲漏（地下水補注）；在地表逕流採用分散擴散波模式配合曼寧公式推估；在中間水流採用運動波模式配合達西定律推估；在地下水流則以指數遞減函數推估之。最後利用單位時間內的系統平衡方程式（單位時間內的系統變化量等於入流量減去出流量），可模擬每一個時間間隔的流量變化。再配合地表逕流與地下水流，則可模擬河川流量。本研究利用武陵地區附近的三個流量站，包含七家灣溪上的七家灣流量站、有勝溪上的有勝溪流量站、及上述兩溪和四季朗溪匯流後的四季朗流量站，進行水文特性的分析。

## 2. 元素輸出量

輸出量指的是單位時間內物質輸出的總重量。其計算方式為濃度乘上流量稱為物質的通量，每日在河川觀測到的物質濃度乘上日流量則得到該日的物質通量，月的物質通量則可經由累加日的物質通量得到。但礙於時間與人力的限制，物質的濃度往往無法做連續的觀測，所以需要倚賴估算的方式來推求未觀測時間的物質通量。本研究採用流量權重法。在各採樣點採樣每月至少兩次，部分測站甚至每三天就採集一次水樣本，能大大降低物質輸出量推估的不確定性。

各個子集水區或是各個採樣點間物質輸入量差異，可透過上下游鄰近水質測站的物質輸入量差值計算而得。此部分的計算必須要配合分散式水文模式的模擬，去模擬每個觀測點所對應之日流量。若河段間的物質輸出量增加了，則表示在該河段內有從集水區排入額外物質；若某物質輸出量減少了，則表示該物質在河段被利用了，像是水中植物；若物質輸出量沒有改變，則表示改河段內僅發生河川稀釋作用。

為了有效計算每個集水區內物質的輸出量，本子計畫除共同採樣站外，又另外設置了較密集的採樣點，尤其是在有勝溪流域內，其目的除了物質平衡的有效計算外，更能清楚追蹤各種物質的來源與消散。採樣的頻率除了幾個主要支流匯

入點及部分主流測站外為三天採集一次水樣外，其餘採樣點均為一個月採集連續兩天的水樣。本研究之陽離子濃度分析儀器採用感應耦合電漿光譜儀 (ICP-OES) 量測主要元素 (Al、Na、Mg、K、Ca、Si)；陰離子 (Cl, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>) 濃度分析使用 DIONEX / ICS-1500，低濃度 PO<sub>4</sub> 將使用 10cm 光槽分光光度計以鉬藍法分析，濃度偵測極限可達 20nM。

### 3. 水溫模式

利用時間及空間上連續的水溫觀測，瞭解水溫在集水區內的變化，並進一步提供水溫模式修改的參考依據。為了考慮河段兩岸高山遮蔽的影響，該模式利用 DTM 數值高程模型建立河川網絡，並進而計算河段上每個網格點受到兩岸高山遮蔽的情形，將河段所接受之能量輸入水溫模擬模式後，得到河川水溫。該模式屬物理模式，利用進入水體或離開水體的能量變化，對水溫進行預測，以能量平衡的概念，計算河川中所接受到的淨輻射量、傳導熱、蒸發潛熱、可感熱及進出水體所帶來之能量變化等各個能量流率所造成的水溫變化。氣溫的量測亦包含儀器架設處 30 公分深之土溫量測。水溫記錄器乃使用冰島製造之 Staroddi Mini，精確度優於 0.1°C。氣溫記錄器將使用 Delta-T Devices Ltd 出產之溫度感測元件，精確度優於 0.1°C。水溫及氣溫均由自動記錄器記錄資料，記錄的頻率均為 20 分鐘一筆。

## (六) 濱岸植群

### 1. 植物群落

本研究設置長形監測調查樣區，由 10 個 5×5 m<sup>2</sup> 之小區組成。樣區內之樹木胸徑大於 1 cm 者，列入喬木層，逐株予以量計胸高直徑，記錄種類；其他胸高直徑小於 1 cm 之喬、灌木、草本、蕨類等皆列為地被層，估計覆蓋度，並進行照片拍攝、植物標本採集以及名錄建立等工作。原始調查資料之植物種類編碼建檔後，使用以 CLIPPER 程式語言所撰寫之程式，將各樣區原始調查資料轉換為資料庫格式，求得各種植物於各樣區之密度、頻度和優勢度，再轉換為相對密度、相對頻度與相對優勢度，三者加總而得之重要值指數，以瞭解各種植物於樣



區中所占之重要性。而地被層植物之重要值指數係為相對頻度和相對覆蓋度的總和。矩陣群團分析法以各植物於各樣區中之重要值指數為計算基礎，採用 Motyka 之相似性指數計算兩兩樣區間之相似性指數，連結相似性指數繪製樹形圖，以對植物群落加以分類。

## 2. 植群生物量

利用前人研究中已建立的生物量—胸徑迴歸式，再將量測之樣木的胸徑代入，以求得樣木之生物量。各迴歸式中所需之樹高資料，則參考臺灣主要樹種生長收穫模式庫彙集，選取合適的各樹種高曲線式，藉由胸徑推導樹高。地被層之生物量推估，藉由所量測之地被層覆蓋度，再利用已知的生物量—覆蓋度迴歸式，以推估地被層的生物量。

## 3. 森林枯落物

於各永久樣區內設置 3 座枯落物收集網，約每 2 個月蒐集枯落物一次。收集網係利用網孔 1 mm 之尼龍網，所製作面積為 2,500 cm<sup>2</sup> 的圓型網袋(深約 50 cm)。設置時以三根長約 150 cm 的細塑膠管架起收集網，並將其固定，且使收集網離地約 50 cm，同時綁上標籤。每次於野外所收集之枯落物樣本，放置於紙袋內攜回研究室，以 60°C 烘乾 12 hr 後，進行枯枝落葉之分類，將其區分為葉、枝條、繁殖體(含花、果實、種子)，以及其他(含昆蟲、排泄物、蛹或無法辨別之碎屑)，並加以秤其乾重。再根據空網日與收網日相差之天數，求算每月(30 天)每平方公尺的枯落物輸入量。

### (七) 水棲昆蟲

於各樣區以舒伯氏水網採集樣品並攜回實驗室鑑定，統計分析水棲昆蟲種類、數量、生物量及群聚各重要參數。

### (八) 陸棲昆蟲

濱水帶因溪邊陡坡腹地狹小，以 10m×10m 小樣區設定調查陷阱，各樣區含 3 個小區，每個小區設一套調查陷阱，採集昆蟲及其他無脊椎動物。小樣區內採用設定採集調查法及非設定採集調查法。**設定採集法包括**掉落式陷阱杯、花生

醬誘集器、吊網、鳳梨皮、空中馬氏網、水撈網。非設定採集法包括掃網及枯落物收集。高海拔昆蟲群聚調查，依武陵地區的地形及海拔高度，將採集穿越線分為四樣段，包括七卡(2,500 公尺至 2,900 公尺七卡山莊至哭坡地段之次生林區)、稜線(雪山東峰 2,900 公尺至 3,000 公尺之鐵杉、玉山箭竹及五節芒區)、黑森林(3,200 至 3,400 公尺的冷杉林地段)及圈谷(3,500 公尺以上之圈谷低矮杜鵑及圓柏灌叢區)。每一樣段沿路掃網採集分別針對特定路段的箭竹、芒草(雜草)及灌木作收集，另在近圈谷的黑森林地區設置枯枝落葉採集、陷阱杯調查、腐肉陷阱及馬氏網等調查；野外標本處理方法同掃網法。所採標本浸液保存在 70—75%酒精中，再進行分蟲、鑑定、輸入資料庫、建立後設資料。

### (九) 兩生類爬蟲類

#### 1. 兩生類

兩生類的數量及生物量會因是否處於繁殖季而有差異，因此本年度依不同月份有不同的採樣地點。在夜間青蛙活動時段，於各測站測量棲地因子最下游之穿越線，往上游 50 公尺之溪段內，徒手捕捉所有發現之青蛙。於分辨種類、性別、測量體長後於原溪段放回所有青蛙。由 2004 年至 2005 年所測量之蛙類體長、體重關係式推算三種蛙類的體重。

蝌蚪方面，於各測站在測量棲地因子相同的穿越線，於日間在穿越線內以 D 型水撈網撈取一趟蝌蚪。蝌蚪於採集後先浸於 chloretone 溶液麻醉，計算數目、記錄種類，以 10 %福馬林溶液固定。蝌蚪攜回實驗室測量體長、判定發育期數後，利用吳及張於 2004 年所得之最佳體重與長度轉換關係公式估計體重。

#### 2. 爬蟲類

夜間於主流樣區 22 測站、支流樣區 4 測站、司界蘭溪上下游 2 測站的兩岸以及農場公路、遊客步道上，沿路搜尋蛇類。所發現的個體，均予以記錄種類、性別、生殖狀況、體溫、體長、頭部型質、體重等動物生理狀況，另以衛星定位儀定位，測量氣溫、底質溫度，記錄週圍環境因子（底質種類、植被類型、離岸距離等），於注射晶片後釋放。

## (十) 魚類

於 7 月及 10 月，進行全流域的族群調查普查工作，以浮潛方式目視辨別魚種和計算魚數。調查時採三人一組，其中一人於岸上記錄，二人穿著防寒衣、面鏡、呼吸管以浮潛的方式直接觀察和鑑定魚種及估計其大小，並分別記錄各調查溪段一齡幼魚、二齡中型成魚及三齡以上大型成魚的數量、分佈與棲地型態。族群調查中利用手繪河道圖標定各齡魚的相對位置與數量。魚群較多的地點並輔以潛水相機和攝影機加以拍攝記錄，藉以進行族群結構、數量分佈分析。調查結果均直接標示於河段圖面上，並比較歷年魚群數量、結構及分布的變化。野外調查工作時，並且一併進行其他共域魚種，包含台灣鏟頰魚 (*Varicorhinus barbatulus*)、台灣纓口鰍 (*Crossostoma lacustre*) 與明潭吻蝦虎魚 (*Rhinogobius candidianus*) 的數量與分布狀況。

## (十一) 鳥類

在溪鳥族群調查，除六月逢豪雨沒有調查外，研究者每月均會進行一次調查，6 月因調查日正逢梅雨期大雨，溪水暴漲，所以沒有上山。調查使用雙筒望遠鏡沿著七家灣溪和高山溪記錄溪鳥的出現地點、腳環顏色、數量、性別和年齡。司界蘭溪段的調查則在去年 12 和今年 7 月各進行一次。

在繁殖部份，乃延續歷年兩種溪鳥，河鳥和鉛色水鶉的繁殖行為調查，時間是 1~7 月。研究者沿溪搜尋岩壁、石縫及倒木，並藉由啣巢材行為的指引來搜尋巢位。調查內容包括築巢日期和地點、蛋數、雛鳥數和離巢幼鳥數。

## (十二) 生態資料庫建構

本計畫所收集之原始生態調查資料，係採用農委會漁業署於 2005 頒佈的『通用生態調查資料格式』，作為本計畫原始生態調查資料的格式。『通用生態調查資料格式』提供多種資料提供方法及介面，包括 Excel, Access, XML, 及網路線上輸入等方法，供生態調查者選擇使用，目前絕大多數的生態調查者都採用 Excel 格式提供資料，再由資訊人員負責後端資訊格式的轉換工作。為因應國際資料交

換的需求，本計畫收集的資料，主要以國際通用的 XML 格式為主，此外為配合網站資料查詢及資料呈現的需求，也同步建立關聯式資料庫，供一般使用者使用。

### 三、成果

1. 各測站附生藻生物量仍以有勝溪最多，高山溪最少。七家灣溪的生物量仍由上游往下游逐漸增加，而司界蘭溪附生藻生物量皆少。
2. 各測站的附生藻生物量從 2003 年以來，歷經多次颱風洪水後逐年遞減。2006 年至 2007 年夏季在幾乎沒有颱風直接侵襲之狀況下，生物量明顯累積，直到 8 月颱風來臨後生物量又驟降。
3. 附生藻生物量在不同測站間之微棲地差異並不一致。
4. 水溫最能解武陵地區魚類群聚的分布差異。
5. 典型對應分析結果顯示，台灣櫻花鉤吻鮭在水溫較低、水中導電度與總有機碳較低的測站有較多的數量。
6. 魚類數量與水棲昆蟲數量並沒有顯著的相關關係，顯示其食物量對台灣櫻花鉤吻鮭並不是重要的限制因子。
7. 前一年冬季平均日流量與夏季台灣櫻花鉤吻鮭普查總數呈現顯著的負相關。
8. 夏季台灣櫻花鉤吻鮭成魚數量與冬季流量有顯著的負相關，亞成魚數量與去年秋季幼魚數量呈正相關。
9. 影響夏季台灣櫻花鉤吻鮭幼魚數量之變因仍未能清楚掌握。
10. 秋季台灣櫻花鉤吻鮭普查總數可由同年夏季成魚與幼魚數目以及雨季平均日流量這三個因子所高度預測。前兩個因子與秋季鮭魚普查總數為正相關，而雨季平均日流量則與秋季鮭魚普查總數呈負相關。
11. 秋季台灣櫻花鉤吻鮭成魚與幼魚數量幾乎可只由夏季成魚與幼魚數目預測，而亞成魚數量亦可由當年夏季亞成魚數量預測。
12. 當年夏季最大日流量可部份預測秋季台灣櫻花鉤吻鮭幼魚數量。
13. 生態系模式顯示武陵地區溪流食物網結構簡單，可分為三個階層。
14. 總系統通量以有勝溪最高，其次是一號壩、繁殖場、高山溪與桃山西溪。均為自營性生態系統。
15. 系統食物來源主要來自石附生藻類，但由於消費者不多，多未被利用而流入碎屑庫，因此平均營養傳輸效率不高。
16. 與鄰近之蘭陽河流域相比，總系統通量高，淨系統生產量亦高，生物量豐，物質循環程度高，營養傳輸效率高，為活動力相對旺盛之溪流生態系。

17. 由於持續高流速干擾，七家灣溪生態系屬於發展初期之生態系。
18. 高山溪三、四號壩之間的殘材壩，因將上游泥砂攔阻，造成殘材壩下數公尺內的河道只有沖刷，因此部分河道有加深的趨勢。
19. 在高山溪或七家灣溪，在豐水期時因洪水將大部分粒徑較小的細顆粒帶往下游，所以河床底床粒徑呈現偏大的趨勢。
20. 在 2 月為枯水期導電度與硫酸鹽濃度值明顯偏高；6 月至 8 月為豐水期，導電度值與硫酸鹽濃度即有降低的現象。
21. 武陵地區水質變化進行因素分析，篩選出 5 個主要因子，包括總磷與氨氮為「營養鹽因子」，pH 與溶氧為「光合性因子」，生化需氧量為「有機物因子」，濁度為「混濁性因子」，以及導電度為「溶解性因子」。
22. 利用因素分析及 WQI 中溶氧因子剔除，建構武陵地區流域水質新指標，命名為 WWQI (Wuling Water Quality Index)。
23. 七家灣溪流域水體中  $\text{NO}_3$  之來源主要來自土壤及雨水二氮源經硝化作用所產生，且其  $\text{NO}_3$  之濃度尚屬低值範圍。然而，在夏季水體中仍可發現化學肥料來源的訊號，且此時期溪水有較高之  $\text{NO}_3$  濃度。現階段之農業活動仍影響到七家灣溪流域水質。
24. 武陵地區利用低流量時期所建立之水位—流量曲線去推估高水位時期的流量可能存在不小的誤差。
25. 武陵地區水質營養鹽濃度由高到低依序為：有勝溪>環山地區>七家灣溪>桃山西溪。有勝溪不管在水溫、水質方面均不符合櫻花鉤吻鮭的生長需求。
26. 氮與磷元素單位面積的產出量以有勝溪及環山地區最高。
27. 武陵地區東西流向河川的水溫較南北流向河川水溫來的低。
28. 颱風對於水文、水質及集水區物質傳輸的影響非常顯著。
29. 羽化成蟲數量及種類由 2007 年 1 月到 4 月則都為上升變化，和溪流中之幼蟲數量變化呈相反趨勢。
30. 流量暴增為水棲昆蟲主要驅動力，會使群聚結構驅向某一特定群聚結構。

2006 年干擾較小，因此 2006 年到 2007 年年初的群聚結構已開始回移，但因 2007 年後半年的強颱洪水干擾，再度驅向特定群聚結構。

31. 較嚴重的洪水會造成未來水棲昆蟲體型較大物種比例下降。
32. 2007 年之優勢物種、年生產量及生物量皆是以較抗流速的種類為冠。
33. 司界蘭溪天然林旁之上游之棲地評等優於農業活動的下游，且各項多樣性指數大都優於農業活動的下游。
34. 濱水帶昆蟲調查累計分為 19 目，個體數優勢昆蟲前三名為彈尾目，其次為雙翅目，再其次為鞘翅目。各個測站的昆蟲組成大同小異。
35. 司界蘭溪的調查次數雖然僅有 2 次，但其昆蟲數量並不少於其他幾個測站。
36. 高海拔四個樣段的調查，2,500—2,900 公尺的七卡樣段的灌木則以同翅目最多，其它為雙翅目；雪山東峰 2,900 公尺至 3,000 公尺稜線則以雙翅目最多，其次為同翅目；3,200 公尺至 3,400 公尺的冷杉林地段的則以雙翅目遠多於其他目；而特定地形及亞寒帶氣候的 3,500 公尺以上的圈谷主要昆蟲組成雙翅目及同翅目。
37. 指標群昆蟲在在濱水帶及高海拔二地區差異最大處為同翅目，主要原因應該是高海拔地區的箭竹及芒草等寄主植物的關係。
38. 蛙類共採集到梭德氏赤蛙、盤古蟾蜍、斯文豪氏赤蛙及莫氏樹蛙四種。司界蘭溪則捕獲梭德氏赤蛙、盤古蟾蜍與斯文豪氏赤蛙三種。生物量組成主要為盤古蟾蜍，10 月則為梭德氏赤蛙。
39. 颱風洪水對兩生類幼體有很大的影響。10 月大水過後，蝌蚪密度降至全年最低；成蛙密度則為全年最高。
40. 成蛙及蝌蚪密度在各測站中以有勝溪測站最高。司界蘭溪成蛙及蝌蚪的密度皆高於七家灣溪。
41. 紅斑蛇數量七家灣溪左岸分布有差異。一號壩到觀魚台範圍數量較多，二號壩至桃山西溪測站次之，而觀魚台至二號壩範圍數量最少。紅斑蛇的出現記錄，以夏季最多、春季次之、秋季最少。
42. 櫻花鉤吻鮭的分布範圍與去年相同，下游起點自迎賓橋起，往上游可達桃山

西溪六號壩，往桃山北溪（無名溪）則可超過桃山（煙聲）瀑布溪與詩崙溪匯流點以上約一百公尺一個落差小瀑布止。高山溪流域則因為四號破壩落差變大，僅達四號破壩止。

43. 秋季調查結果顯示各齡鮭魚數量中一齡幼魚與三齡以上的成魚幾乎相同，二齡中型鮭魚的數量最多，族群結構因此由夏季的近金字塔結構轉變為秋季的桶型結構。
44. 今年夏秋季接連的風災對櫻花鉤吻鮭的影響衝擊不大，成魚和幼魚還分別可以保有 86.7 和 60.8% 的族群比例存活。不過上游河段受到影響較下游河段來得劇烈。
45. 如果不考慮攔砂壩阻隔效應，以中游河段的一至三號壩族群數量最多，族群所佔比例由夏季的 54% 提升至秋季的 63.9%。其次是上游的三號壩以上河段，不過其中超過 1/2 族群都集中在桃山北溪支流。再其次是最下游的一號壩以下河段。
46. 風災過後，三齡以上成魚明顯集中在中游的一至三號壩河段，比例由原先略為超過 1/2 增加至 59%，其中又以一至二號壩河段族群的數量最多。二齡中型成魚也是分布在中游的一至三號壩河段，比例增加達到 65% 以上。一齡幼魚則以中游的一至三號壩族群最多，佔了所有族群的 62.5%，其次是最上游的三號壩以上河段，但主要集中在桃山北溪流域。
47. 台灣鏟頰魚的族群有逐年減少的趨勢。
48. 上半年七家灣溪河鳥數量較去年同期增加，但颱風又使下半年的數量減少，至今仍受颱風影響的尚有小剪尾、綠蓑鷺。上半年鉛色水鶉的數量創下歷年同期新高(142 隻)，反因颱風使河道開闊而受益。
49. 本計畫收集的原始生態調查資料，將以 XML 及資料庫兩種格式提供委辦單位雪霸國家管理處典藏，或整合入管理處的網頁上。



50. 資料庫未來可與國家生物多樣性入口網 TaiBIF 整合，使用者也可以使用 TaiBIF 網站提供的 GIS 系統，依地點查詢到本計畫各測站的物種，也可以由物種學名，依物種查詢該物種的分佈地點(保留敏感性保育類物種之分佈資料)。

#### 四、結論與建議

1. 各測站附生藻生物量地點間差異受濱岸農業活動之硝酸鹽氮輸入影響大，應持續辦理濱岸果菜園廢耕工作，並且植樹造林護溪。
2. 各測站附生藻生物量時間變化受溪流流量影響大。
3. 水溫是造成台灣櫻花鉤吻鮭與台灣鏟頰魚在棲地上明顯區隔的主要因素。
4. 台灣櫻花鉤吻鮭在水溫較低、水中導電度與總有機碳較低的測站數量較多。
5. 水棲昆蟲對台灣櫻花鉤吻鮭數量並不是重要的限制因子。
6. 冬季平均日流量可以高度預測隔年夏季台灣櫻花鉤吻鮭普查總數，而夏季平均日流量可以高度預測同年秋季台灣櫻花鉤吻鮭普查總數。
7. 台灣櫻花鉤吻鮭亞成魚數量與去年秋季幼魚數量有顯著正相關，而夏季成魚與幼魚數目與秋季鮭魚普查總數為正相關。
8. 影響夏季台灣櫻花鉤吻鮭幼魚數量之變因複雜，需投注更多研究以了解其影響機制。
9. 流量幾乎可以用以預測台灣櫻花鉤吻鮭之數量變化，因此須及早建立七家灣溪流域流量觀測預警系統
10. 生態系模式顯示武陵地區溪流食物網結構簡單，可分為三個階層，均為自營性生態系統。
11. 系統食物來源主要來自石附生藻類，但因流量影響，消費者不多，多未被利用而流入碎屑庫，因此平均營養傳輸效率不高。因此營造優質棲地環境應可提高生態承載量。
12. 與鄰近之蘭陽河流域相比，總系統通量高，淨系統生產量亦高，生物量豐，物質循環程度高，營養傳輸效率高，為活動力相對旺盛之溪流生態系。
13. 高山溪二號壩口因颱風所造成的高低落差，可能對台灣櫻花鉤吻鮭的迴游造成影響，棲息地遭到切割。此外，壩口堆置了大量的木質殘材，其結構頗為紮實，若不進行處理，可能會形成另一座殘材壩，建議進行評估清除工作。

14. 建議採集復育池水樣進行水質分析，並與武陵地區溪流比較水質差異性。
15. 七家灣溪中硝酸鹽氮(NO<sub>3</sub>)主要是經由二號壩附近之山溝逕流進入。因此農業活動對溪水之影響仍應持續監測或防治，特別是針對山溝來源的水體。
16. 需謹慎使用武陵地區附近的三個流量站高水位時期流量推估的結果。
17. 建議可以有勝溪作為對照組，以桃山西溪作為背景，瞭解人為活動對溪流環生態境的影響。
18. 河川的流向會影響水溫，可以作為放流櫻花鉤吻鮭時的考慮因子之一。
19. 需持續針對颱風期間的水質進行調查。
20. 建立地下水觀測井，有助於瞭解生態基流量，集水區內物質傳輸的路徑，及地下水溫對於河川水溫的重要性。
21. 洪水會造成水棲昆蟲體型物種較大比例下降，可能影響台灣櫻花鉤吻鮭捕食不利。建議可改善棲地，如放置巨石於溪流，巨石後較低流速可成為水棲昆蟲的避難所，並且可設法改善濱岸土地利用類型對溪流流量的緩衝能力。
22. 濱水帶昆蟲優勢目為彈尾目 (Collembola)、鞘翅目 (Coleoptera)、雙翅目 (Diptera)、膜翅目 (Hymenoptera)，其組成排序會受到環境影響。
23. 雖然彈尾目昆蟲個體雖少，但數量頗多，其相對生物量很可觀；在鞘翅目的個數雖不一定最多，但其相對生物量卻是最高的。
24. 高海拔地區昆蟲的存活能力受颱風豪雨影響不大。
25. 高海拔地區同翅目昆蟲有較大的組成，可能與玉山箭竹及五節芒發芽生長有關。
26. 蝌蚪生物量在二號壩以下小於二號壩以上，此與櫻花鉤吻鮭的數量分布呈負相關。建議能對梭德氏赤蛙蝌蚪與鮭魚間的關係進行直接的實驗，期能釐清兩生類在櫻花鉤吻鮭生活史中所扮演的角色，以及兩者共域對彼此的生活史產生何種影響。
27. 建議設立即時監看系統，可以長時間記錄稀有水鳥和家貓的捕魚行為。
28. 資料庫需持續增補資料，以發揮建置此網站及資料的目的，亦可提供解說教育及分區規劃、經營管理之用。

## **Abstract**

The most important mission of Shei-Pa National Park is to conserve the natural resources, especially the Formosan landlocked salmon in the basin of Chichiawan Stream of the Wuling area. In order to understand the dynamics of the Formosan salmon, it is necessary to construct the trophic and environmental models and to examine the interactions between biotic communities and environmental factors in the basin. However, as many other basins, the Wuling area is being exploited intensively for agricultural activities and tourism. Here, a collaborative project was proposed to ecologically monitor and integrate data of water temperature, discharge, physical habitats, water quality, periphyton, riparian plants, terrestrial and aquatic insects, amphibians, reptiles, mammals, fish and birds for ecosystem modeling. The specific aims of this ecosystem-scale project would be: 1. Using ecological models to understand the ecological processes of the salmon and the food webs and to search the driving forces; 2. To demonstrate the relationships between environmental factors and biotic communities and between biotic communities within the food webs; 3. To trace the sources of nitrate in the water column and its relationships with human activity; 4. To relate abundance and composition of biotic communities to physical habitats; 5. To apply hydrological model to assess the controls on salmon habitat; 6. To construct temperature model to evaluate temperature changes over spatial scale under different climate conditions, of which riverbank plantation effects on temperature changes will be assessed. 7. To calculate nitrogen and phosphorus fluxes to evaluate anthropogenic impacts; 8. To develop scientific database; 9. To assess the feasibility of other streams for restoration of the salmon; 10. To suggest items for long-term ecological monitoring and policy for

sustainable management in the future.

In conclusion, we found that discharge was the major driving force for the environments and biotic communities in the Wuling streams. Low water temperature was the main factor restricting the distribution of the Formosan salmon in the upper stream of the Wuling streams. Nitrate derived from surrounding agricultural activities was found to increase the concentration and periphyton biomass in the streams. This suggests that habitat improvement including inhibition of agricultural activities, riparian plantation, increase in boulder proportion and dam removal, should be the priority for the sustainability of the Formosan salmon and ecosystem management in the Wuling area.

**【Keywords】** the Formosan salmon, the Chichiawan Stream, Trophic model, Hydrological model, Temperature model, Prediction model, Ecosystem management



# 第一章 藻類、資料整合分析與生態模式建構

林幸助、陳建宏、鄭侑展、蘇美如、林良瑾

國立中興大學生命科學系

## 摘要

### 一、研究緣起

雪霸國家公園的保育工作需以宏觀的尺度進行生態系管理，其基礎必須建立在生物資源的瞭解與生態過程的掌握上。然而自然營力與人為活動的干擾，常因生態系錯綜複雜的作用而變得無法預測，因此整合資料分析與生態模式的建構，為了解生態系統受干擾的機制與預測後果的必要工具。

### 二、研究方法及過程

今年本計畫的目標除了持續監測溪流石附生藻類及其微棲地間差異外，並整合分析各子計畫從 2004~2007 年所累積超過 4 年的資料，找出影響溪流生物豐度變化的驅動力，同時建構武陵地區溪流生態系食物網模式，以了解該溪流生態系之結構與功能。

### 三、重要發現

武陵地區各河段附生藻生物量仍以有勝溪最多，高山溪最少，七家灣溪的生物量仍由上游往下游逐漸增加，而司界蘭溪附生藻生物量皆少。各測站的附生藻生物量從 2003 年以來，歷經多次颱風洪水後逐年遞減，而 2006 年在幾乎沒有颱風直接侵襲之狀況下，至 2007 年夏季生物量明顯累積。直到 8 月颱風來臨後生物量又驟降。比較微棲地間生物量差異，在流量穩定時期，流及瀨的生物量高於潭區。不同的測站間之微棲地生物量差異分析結果並不一致。在桃山西溪以瀨區生物量最高，而一號壩及二號壩則均以潭區最高。

由前進式選取法顯示水溫、導電度以及總有機碳與魚類群聚顯有顯著相關，但以水溫的解釋程度最高。典型對應分析結果顯示，台灣櫻花鉤吻鮭與台灣鏟頰魚在棲地上有明顯區隔，鮭魚在水溫較低、水中導電度與總有機碳較低的測站有較多的數量。魚類群聚與水棲昆蟲數量並沒有顯著的相關關係，顯示水棲昆蟲對鮭魚並不是重要的限制因子。

多變量迴歸分析結果顯示，冬季平均日流量與夏季鮭魚普查總數呈現顯著的

負相關，且模式可以解釋 84 % 的變化。其中成魚數量與冬季流量有顯著的負相關，亞成魚數量與去年秋季幼魚數量呈正相關，但幼魚沒有任何因子達到顯著水準，顯示影響幼魚變因複雜。秋季鮭魚普查總數與同年夏季成魚與幼魚數目以及雨季平均日流量這三個因子有顯著相關。前兩個因子與秋季鮭魚普查總數為正相關，而雨季平均日流量則與秋季鮭魚普查總數呈負相關，共可以解釋 89 % 秋季鮭魚普查總數的變異。其中成魚與幼魚數量幾乎可分別只由夏季成魚與幼魚數目解釋，而亞成魚數量亦可由當年夏季亞成魚數量解釋。當年雨季最大日流量亦可部份解釋秋季幼魚數量。

生態系模式顯示武陵地區溪流食物網結構簡單，可分為四個階層。總系統通量以有勝溪最高，桃山西溪最低，均為自營性生態系統。系統食物來源主要來自石附生藻類，但由於消費者不多，多未被利用而流入碎屑庫，因此平均營養傳輸效率不高。與鄰近之蘭陽溪流域相比，總系統通量高，淨系統生產量亦高，生物量豐，物質循環程度高，營養傳輸效率高，為活動力相對旺盛之溪流生態系。然由於高流速干擾，兩地均屬於發展初期之生態系。

#### 四、主要建議事項

1. 各測站附生藻生物量地點間差異受濱岸農業活動之硝酸鹽氮輸入影響大，應持續辦理濱岸果菜園廢耕工作，並且植樹造林護溪。
2. 台灣櫻花鉤吻鮭在水溫較低、水中導電度與總有機碳較低的測站有較多的數量，水質要求高，應致力維護七家灣溪水質。
3. 流量幾乎可以用以預測台灣櫻花鉤吻鮭之數量變化，因此須及早建立七家灣溪流域流量觀測預警系統
4. 系統食物來源主要來自石附生藻類，但因流量影響，消費者不多，多未被利用而流入碎屑庫，因此平均營養傳輸效率不高。因此減緩流量衝擊，營造優質棲地環境應可提高武陵地區溪流生態承載量。
5. 影響台灣櫻花鉤吻鮭幼魚數量之變因複雜，需投注更多研究了解其機制。
6. 未來監測重點：重要功能群生物量(藻類、水棲昆蟲、台灣櫻花鉤吻鮭等)、降雨量與流量、水質(營養鹽、農藥等)、水溫、幼魚微棲地、土地利用(植被、農業與遊憩活動等)。

【關鍵字】臺灣櫻花鉤吻鮭、石附生藻類、生態系模式、流量、食物網、典型對應分析、多變量迴歸分析



## Abstract

The Formosan landlocked salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*) is an endangered endemic species, which is distributed only in the basin of Cijiawan Stream of Central Taiwan. In order to understand the mechanisms of changes of the Formosan salmon and other biotic communities in the streams, we analyzed over four-year data from 2004~2007 to determine the driving forces in the Wuling stream ecosystems and also constructed trophic models to understand the trophic structure and functioning. In addition, we continued to monitor and made comparisons of abundance of periphyton among microhabitats in the streams, including pools, riffles, and runs.

Among the study sites, periphyton abundance in terms of chlorophyll *a* in Yousheng Stream remained the most abundant, but was least in Gaoshan Stream. Periphyton abundance declined along the downstream of Cijiawan Stream. Periphyton abundance was decreasing since 2003 due to frequent floods caused by typhoons in 2004 and 2005. In 2006, periphyton abundance started to increase as few floods and an increase of NO<sub>3</sub> concentration until the summer of 2007. Floods caused by typhoons in August and October of 2007 resulted in decline of periphyton abundance again. During the low-flow period, periphyton abundance was more abundant in riffles or pools, depending upon location.

Canonical correspondence analyses show that water temperature, conductivity and total organic carbon were positively correlated with fish assemblage. Among them, water temperature was most correlated. The Formosan salmon appears to inhabit in streams with low temperature, conductivity and total organic carbon. The salmon abundance showed little correlation with abundance of aquatic insects, indicating the salmon was not limited by their diet.

Multivariate regression analyses show salmon abundance in summer can be largely explained by mean daily discharge in winter. The adult fish abundance was negatively correlated with mean daily discharge in winter. The sub-adult fish abundance was positively correlated with the juvenile fish abundance in the previous winter. However, the juvenile fish abundance was difficult to predict, indicating the determining factors were complex. Salmon

abundance in winter was found to be correlated with the adult and juvenile fish abundances and mean daily discharge in summer, which can explained 89% of the variations. The fish abundance at three stages in winter can be respectively explained by the fish abundance at three stages in summer. However, the maximum daily discharge in summer can partially explain the variations of the juvenile fish abundance.

The trophic models of the 5 primary sites showed that all sites of the Wuling streams processed a simple food web structure, comprising three integer levels. Yousheng Stream had the highest total system throughput, followed by the Dam 1, the Breeding Center, Gaoshan Stream and Taoshan West Stream. At all sites, the net primary production (P)/respiration (R) ratios were  $> 1.0$ , indicating that the Wuling streams were autotrophic systems. The food sources were primarily from epilithic periphyton, but because of fewer consumers, most of primary production was not used and flowed into the detrital pool. According to Lindeman spine analyses, geometric means of trophic efficiencies in the Wuling streams were low. Compared with the adjacent stream ecosystem of Lanyang River, the Wuling streams were more active, processing higher total system throughput, net system production, higher matter cycling and trophic efficiencies and greater total biomasses.

**【Keywords】** The Formosan salmon, Periphyton, Trophic model, Flood, Food web, Canonical correspondence analysis, Multivariate regression analysis

## 一、研究緣起與背景

雪霸國家公園位於臺灣中北部，生物與自然資源豐富。在 1937 年即有將此區及太魯閣地區合併納入「次高太魯閣國家公園」之芻議。內政部自 1987 年開始進行本區生物與自然資源之調查、分析與研究後，認為本區具備成立國家公園之價值與必要，乃由行政院核定實施「雪霸國家公園範圍」，研擬「雪霸國家公園計畫」，而於 1992 年七月正式成立雪霸國家公園管理處。雪霸國家公園(圖 1-1)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，涵括了新竹縣五峰鄉和尖石鄉、苗栗縣泰安鄉、台中縣和平鄉，屬於高山型的國家公園。成立雪霸國家公園最重要的功能便是自然資源的保育，因此園區內劃設許多生態保護區與特別景觀區，佔園區總面積三分之二以上，以便保護自然資源與保育生物物種。園區中以大甲溪上游武陵地區的臺灣櫻花鉤吻鮭(*Oncorhynchus masou formosanus*)最為大家所知。臺灣櫻花鉤吻鮭為冰河時期的子遺生物，屬於陸封型的寒帶鮭鱒魚類，然其卻能存活於地處熱帶與亞熱帶的臺灣，為全球分布最南端的鮭魚之一(Wang 1989, Lin et al. 1990, Kato 2003,)，是生物地理學上一重大發現(汪 1994)。

大約在 50 年前，整個大甲溪流域上游的六條支流均可見到鮭魚的蹤影。之後因為農業開發、攔砂壩阻隔、颱風洪水等諸多因素衝擊，造成棲地環境劇烈的變化，而今分布範圍僅在七家灣溪、高山溪與桃山北溪(曾和楊 2005)，生存嚴重受威脅。因此政府於 1984 年 7 月依「文化資產保存法」第 49 條及施行細則第 72 條之規定，指定並公告臺灣櫻花鉤吻鮭為珍貴稀有動物，將其列為重要文化資產之一，又稱為「國寶魚」。1999 年時，行政院農委會更進一步將其現存的棲息地—七家灣溪流域，依據「野生動物保護法」公告為野生動物保護區。雪霸國家公園管理處自 1994 年開始進行臺灣櫻花鉤吻鮭族群現況的普查工作(曾和楊 2002)，以瞭解並掌握臺灣櫻花鉤吻鮭族群的數量、階段結構組成和分佈範圍的動態變化，以建立基礎資料並據以擬定復育計畫。

行政院國科會在 1990 年即創設「臺灣生態研究網計畫」，以瞭解重要生態系的長期生態現象與過程。過去已陸續設置了 6 個長期生態研究(Long-Term Ecological Research, LTER)試驗區，包括福山、關刀溪、塔塔加、南仁山、鴛鴦湖及墾丁。然而有豐富生物與自然資源的雪霸國家公園仍未納入長期生態研究

網內。而武陵地區在雪霸國家公園成立前由農委會所主導之研究主要著重在臺灣櫻花鉤吻鮭(Wang 1989, Tsao 1995, 曾和楊 2001)及水生昆蟲(楊等 1986)；國家公園成立後才開始擴大到溪流其他相關生物之自然資源研究調查工作，因此與臺灣櫻花鉤吻鮭有關之研究計畫至今亦已完成超過上百項之多(雪霸國家公園 2000)，但資料一直缺乏整合(林 2002)，因此亟需推動長期生態監測，建構生態模式，以瞭解武陵地區的長期生態過程。尤其自然營力與人為活動產生的干擾常因生態系錯綜複雜的作用，使得後果變得無法預測，因此資料整合分析與生態模式的建構，為研究並了解生態系統受干擾的機制與預測後果的必要工具。

「生態系模式」指的是以摘要的方式來描述一個錯綜複雜的生態系結構與功能，常以一個生態系之生物食物關係所形成之食物網為建構工具(Fulton et al. 2003)，可幫助不同學門間知識的整合、歸納並概念化。在過去三十年間，生態系模式的發展已隨著電腦的精進而日趨完備。在建立生態系模式的過程中，不但可以整合來自不同領域但相關密切之研究成果，亦能更深一層透視生態系的運作與組成分子間相互關係，鑑別出過去對生態系知識的盲點，以協助確立未來生態研究的優先順序。建立生態系模式後，在學術上不但可以作為驗證生態研究假說的工具，亦可以預測自然環境變遷與人為干擾對生態系的衝擊。在生態資源管理方面，模式本身可以作為管理階層者政策制定的主要依據。在社會教育層面，模式以簡明的圖形表示法讓社會大眾瞭解生態系錯綜複雜的交互關係與運作。

溪流生態系模式發展歷史與海洋、河口相比，算是較晚期才開始。Christensen and Pauly (1993)所編輯之專書“Trophic Models of Aquatic Ecosystem”，介紹了各種類型之水域生態系，如湖泊、溪流、沿岸地帶與珊瑚礁區等之生態系模式，並描述了兩條位於歐洲之溪流模式：Tames River 與 Garonne Rive。Mathews (1993)利用 EwE 將 International Biological Programme (IBP) 從 1966 到 1972 收集之 Tames River 資料重新分析，並與舊模式做比較。後 Palomares et al. (1993) 則針對五種生活於 Garonne Rive 的魚類，建構一個較短時間(春季)之模式。Poepperl (2003)則研究 Alte Schwentine river 內生物受到上游湖泊所帶來有機物之影響，將研究主題從較高階之魚類轉為溪流內之無脊椎生物。Meyer and Poepperl (2004)則研究高山溪流生態系模式，主要探討水棲昆蟲在食物網中的角色。近年來則有 Angelini and Agostinho (2005)，更詳細的描述溪流生態系，建構多達四十個生物群之模式，讓我們對溪流生態系模式有更深入之瞭解。在臺灣目

前僅有蘭陽溪溪流生態系模式。

本研究建構生態系模式之目的完全配合「臺灣長期生態研究網」所規劃的目標，包括：(1) 瞭解武陵地區溪流的長期生態過程，(2) 尋找控制生態系過程的機制，(3) 提供生態系研究的科學資料，作為環境決策的參考，(4) 利用生態模式為手段，了解控制生態系過程的機制並預測生態系的變遷。流量為溪流生態系的驅動力之一，因此對生活其中的生物有舉足輕重的影響。每年過境七家灣溪的颱風梅雨夾帶的豪雨，能使溪流流量暴增、溪水混濁，並帶走大量砂石。除改變了溪流微棲地外，並對水中或近水生活的各類生物族群造成影響。因此，本計畫年度具體之研究內容及擬解決問題為：

1. 監測溪流主要生產者石附生藻類在微棲地間之差異；
2. 整合分析各子計畫從 2004~2007 年所累積資料，以了解影響溪流生物豐度變化的驅動力；
3. 建構武陵地區溪流生態系食物網模式，了解該溪流生態系之結構與功能。

## 二、研究設計

### (一) 研究地點

武陵地區海拔 1740~2100 m，面積約 46 ha，是一個由雪山山脈所圍繞而成的葫蘆形狹長谷地。境內主要溪流為七家灣溪，與有勝溪、司界蘭溪等匯集後即成為大甲溪上游，屬於德基水庫集水區。年平均氣溫為 15 °C 左右。本計畫之主要研究地點為武陵地區溪流，包括桃山北溪、桃山西溪、七家灣溪、高山溪、有勝溪及司界蘭溪。各測站描述如下(圖 1-2)：

- #1 桃山北溪：桃山西溪與桃山北溪匯流處，上游水量不豐，乾季時河流沒口，屬一般測站。
- #2 桃山西溪：武陵吊橋下方，位於桃山西溪四號壩下游處，河道寬度不超過 10 m，屬於七家灣溪上游，屬重點測站。
- #3 二號壩：已受損二號壩體下方，具有許多深潭及急流，屬一般測站。
- #4 一號壩：七家灣溪一號壩上觀魚臺附近之測站，河寬約 30 m，以淺灘為主，為臺灣櫻花鉤吻鮭族群最多之河段，屬重點測站。
- #5 繁殖場：七家灣溪中游繁殖場附近，位於高山溪與七家灣溪匯流口下游，屬重點測站。
- #6 萬壽橋：位於有勝溪與七家灣溪匯流口的上游約 100 m 處，河面寬度變化大，屬一般測站。
- #7 迎賓橋：有勝溪與七家灣溪的匯流口下，河道寬闊，為所有樣區之最，屬一般測站。
- #8 高山溪：高山溪二號壩與一號壩之間，為較鬱閉且未受干擾之測站，屬重點測站。
- #9 有勝溪：有勝溪下游靠近遊憩區收費站附近，優養化明顯，石附生藻類繁生，屬重點測站。
- #10 司界蘭溪上游：未受種植果菜影響，屬一般測站。
- #11 司界蘭溪上游下游：可能受種植果菜影響，屬一般測站。

### (二) 藻類研究方法

#### 1. 石附生藻類豐度監測

各測站石附生藻類監測，於不同微棲地(瀨、流、潭)隨機撿取 3 個溪底石頭

樣本。刮下石頭表面的藻類，藻液經超音波震盪均質後，稀釋至一定體積，經抽氣過濾後，於 4°C 下，90% 丙酮溶液萃取 24 小時。以分光光度計測量萃取液波長 630、647、664、750nm 之吸光值後，再以公式計算出藻液樣本所含葉綠素 a 的濃度(Parsons et al., 1984)，將此濃度除以石頭面積後為單位面積石附生藻類葉綠素 a 含量(mg m<sup>-2</sup>)，以此為石附生藻類生物量豐度依據。

## 2. 微棲地差異分析

微棲地的分類採用 Jowett(1993)所提的分類方法，以福祿數(Fr)將微棲地分為瀨、流、潭三類，Fr < 0.18 為潭、Fr = 0.18-0.41 為流、Fr > 0.41 為瀨。福祿數計算公式如下：

$$Fr = V / (Dg)0.5$$

V：流速 D：水深 g：重力加速度 9.18 m s<sup>-2</sup>

另暴雨及颱風後往往將溪流中藻類一掃而空，藻類生長回復時間往往須視洪水強度而定，藻類生長是否到達穩定狀態會影響藻類生物量在微棲地間可能的差異，因此在此部分僅選取採樣時流量較穩定、藻類生長狀況較佳的月份(12、2、4、7 月) 來分析。微棲地差異分析於桃山西溪、一號壩、二號壩等三個測站進行採樣，以 ANOVA 檢測微棲地間藻類生物量是否有顯著差異。

### (三) 資料整合分析

我們整合各測站從 2005 年至 2007 年的生物因子與環境因子資料，以典型排序(canonical ordination)進行相關性分析(表 1-1)。流量資料為伊卡丸溪(七家灣溪與有勝溪匯流後)實際流量數據(水文年報)。而 2007 年之月平均流量則使用模擬流量(由子計畫 5 提供)資料。先將各次調查的魚類群聚加總，成為一個「魚種 x 測站」的群聚矩陣，並將生物因子與環境因子依據不同測站加以平均，成為一個「因子 x 測站」的解釋性變因矩陣。首先使用 R language，載入 vegan library，使用其中的 cca 指令對魚類群聚矩陣與解釋性變因矩陣進行典型對應分析(Canonical Correspondence Analysis)，然而這兩個矩陣之間並沒有顯著的相關關係。因此再使用 Packfor library (Dray)其中的 forward.sel 指令進行前進式選取法，從 22 個環境因子中選出與群聚矩陣有顯著相關的因子(alpha = 0.05, number of permutation = 9999)。再利用典型對應分析將魚類群聚矩陣以及顯著的環境因子進行典型排序。

每年颱風所帶來的豪雨會使七家灣溪的流量大增，使溪流水體流速快速上

升、濁度增加。我們預期颱風季節的高流量應該會使鮭魚族群量下降。為建立鮭魚數量預測模式，我們對 1996 年至 2006 年共 21 次普查之鮭魚數量與七家灣溪流量進行多變數迴歸分析(表 1-2)。另外鮭魚主要的食物來源是水棲昆蟲，而鳥類則是鮭魚的捕食者，因此我們也嘗試用這兩個可能影響鮭魚數量的因子來建立多變數迴歸模式。流量在分析前均先轉換成對數值。水棲昆蟲數量與鳥類數目則分別由子計畫 6 與子計畫 11 提供，但數據範圍只有民國 92 年至民國 95 年。分析結果顯示水棲昆蟲與鳥類的數量對於八個迴歸模式皆不是顯著的因子，這可能是因為目前資料量還不足的關係( $n = 4$ )。因此最後進行分析時我們並沒有採用這兩個因子。接著以步階式選取法(stepwise selection)進行多變量迴歸分析(multivariate regression)，以  $p < 0.05$  作為選取與移除因子之顯著性門檻。所有統計分析皆以 SAS 統計軟體。

#### (四) 生態系模式方法

於 5 個重點測站，包括#2 桃山西溪、#4 一號壩、#5 繁殖場、#8 高山溪與#9 有勝溪五處武陵長期固定測站地點建構生態系食物網模式。

##### 1. 食物網架構原理

武陵地區食物網模式是利用 Ecopath with Ecosim (EwE)建構能量傳輸之生態系 Ecopath 模式，並分析能量流架構(Christensen et al. 2004)。模式基本假設：實驗期間各生物群生物量維持穩定，系統內每一生物類群的生產量(production)等於被攝食致死量(predation mortality)、自然死亡量(other mortality)、輸出量(export)與生物累積量(biomass accumulation)總合。

每一生物類群以數學方程式表示：

$$P=PM+E+MO+BA \quad (1)$$

此處  $P = \text{production}$ ， $PM = \text{predation mortality}$ ， $E = \text{export}$ ， $MO = \text{other mortality}$ ， $BA = \text{biomass accumulation}$

掠食者造成的死亡( $PM$ )可將掠食者與被掠食者連結，攝食量  $Q$  可定義為：

$$Q=P+R+NA \quad (2)$$

此處  $P = \text{production}$ ， $NA = \text{unassimilated food}$ ， $R = \text{respiration}$ 。

碎屑(detritus)  $D$  定義為源自於 other mortality 與 unassimilated food 所回收再進入系統的能量流。

$$D=MO+NA \quad (3)$$



被攝食量(predation)與掠食者的攝食率(consumption rate)與食性組成(diet composition)有關，而自然死亡量及輸出量可由生態效率(Ecotrophic efficiency, EE)以及生物累積量推算。所以發展模式所需的參數包括各生物群之生物量(biomass)、單位生產量(PB ratio)、單位攝食量(QB ratio)、生態效率與食性組成。其中生物量(biomass)、單位生產量(PB ratio)、單位攝食量(QB ratio)、生態效率可以容許有一參數值未知。但由於生態效率是最難估計的參數(Van Rooij *et al.* 1998)，所以在本研究中此參數由模式估計，並將輸出的生態效率值用以驗證模式。在結合各生物群之生物量方程式與食性組成後，可推算許多生態系物質能量傳輸參數與未知之生物群物質能量收支平衡之參數。利用 EwE 建構之食物網模式可說是對生態系統內物質流動的一種“快照”(Christensen 1994)，將複雜實際情況簡化而用一系列的數學方程式加以描述。

## 2. 生物類群參數

生物資料主要來自於 2004 年至 2005 年兩整年資料。由於溪流生態系物種數繁多，將每物種單獨列為一個生物群將會導致模式過於複雜，因此本研究予以歸群簡化，以利模式建構(Christensen *et al.* 2004)。本研究生物歸群依據主要是以(1)生產者或消費者(2)食物類型(如：植物、碎屑)(3)覓食方式(如：刮食者、碎食者)(4)生產量和(或)攝食量比率(5)現存優勢生物量為原則。共分為 1 個非生物群碎屑，以及 11~12 個生物群，包括浮游藻(Phytoplankton)、附生藻(Periphyton)、水棲昆蟲刮食者(Scrapers)、水棲昆蟲碎食者(Shredders)、水棲昆蟲濾食採集者(Collector-filters)、水棲昆蟲聚集採食者(Collector-gathers)、水棲昆蟲掠食者(Predators)、非水棲昆蟲刮食者(Grazer)、渦蟲(*Dugesia japonica*)、臺灣櫻花鉤吻鮭(*Oncorhynchus masou formosanus*)、臺灣鏟頰魚(*Varicorhinus barbatulus*)、臺灣纓口鰍(*Crossostoma lacustre*)等三種魚類與鳥類(Birds)等。

每一生物群建構模式所需參數為單位面積生物量、單位生產量、單位攝食量與食性組成，部分參數由實地測量得知，缺少的部份則參考國內外文獻；各生物群食性組成除參考文獻外，並根據當地生物量作適度調整。分類群中由於水棲昆蟲種類豐富，故依據 Merritt & Cummins (1996)，以取食方式差異細分為五大功能群：碎食者、刮食者、濾食採集者、聚集採食者與掠食者；各分類群水棲昆蟲種類及分類群內相對豐度見表 1-3。各測站之模式輸入與參考文獻見表 1-4 至

1-8, 食性組成見表 1-9 至 1-13。所有類群生物量以每平方公尺濕重 (wet weight, WW) 表示, 而物質能量傳輸以每平方公尺每年濕重( $ww\ m^{-2}yr^{-1}$ )表示。

### 3. 模式輸出與網絡分析

經由 EwE 分析各測站後, 可得到各測站之食物網能流圖, 及表示整體生態系特性之生態系係數如: 總系統通量(total system throughput, TST)為總攝食量(total consumption)、總呼吸量(total respiration)、總輸出量(total export)與總碎屑流量(total flows to detritus)之總和, 用以表示系統的“活動力”(Ulanowicz 1986)。P/R 值用以描述系統代謝量。B/T 值代表單位能量流所支持的生物量, 成熟之生態系會有較高之 B/T 值(Christensen 1995)。Finn cycling index (FCI) 表示物質循環流量佔總系統通量的百分比, 可衡量物質循環利用之效率(Finn 1976)。平均傳輸路徑(Average path length, APL)為物質在食物網傳輸過程中所歷經的生物類群, 代表能流在食物網中的滯留時間, FCI 與 APL 可用於描述系統之“成熟度”(Odum 1969)。EwE 軟體並結合訊息理論生態學者 Ulanowicz (1986)之概念, 可分析系統發展程度及相關的生態特性。根據模式網絡分析的結果, 利用 Lindeman (1942)之方法將生態系食物網聚合成單向的食物鏈物質傳輸模式, 以便了解營養結構的構造與傳輸效益。

網絡分析還可以評估生態系所發展的容量(size)與組織化(organization)的最大發展量(development capacity, C)。系統餘裕度(ascendancy, A)是系統內之平均交互訊息(average mutual information, AMI)與系統活力(activity)之乘積。平均交互訊息為測量系統內物質交換的情報資料。當物質交換發生機率越高時, 平均交互訊息越少, 訊息便越沒有意義, 可作為系統組織性之指標。系統活力是以總系統通量表示(Rutledge et al. 1976; Hirata & Ulanowicz 1984)。系統餘裕度可用以表示目前生態系統所發展到達的程度, 數值越高代表組織化程度高, 但系統成熟度低。系統冗餘度(redundancy, R)為系統穩定性之指標, 數值越高代表系統有較佳之彈性, 同時可能承受較大之壓力(Belgrano et al. 2005)。發展量為流量歧異度(flow diversity, H)與總系統通量之乘積, 代表生態系所能發展之最大量與系統的承載能力, 亦為系統餘裕度之極限值。流量歧異度即系統內能量流之數目與複雜度, 用來表示總能量流之不確定性。而 A/C(ascendancy/development capacity)與 R/C(redundancy /development capacity)之比值可用於各生態系間發展程度與組織化之比較。

綜合營養衝擊(mixing trophic impact, MTI)為評估各分類群生物量消長對於系統其他分類群生物量之影響。最早是由Leontief (1951)提出用以評估直接與間接之交互作用對於美國經濟之影響，Hannon & Joiris (1989)將此概念導入生態系，Ulanowicz & Puccia (1990)將此方法與EwE結合，可直接利用模式評估生物量消長之影響，也可視為一種對生物量之敏感度分析(Christensen et al. 2004)。MTI值越高表當受衝擊生物群增加幅度越高，此值範圍為正負1。

#### 4. Ecopath 模式驗證

建構出食物網模式後，便要檢驗模式之合理性。驗證 Ecopath 模式的第一步是檢查各分類群之生態效率(EE)是否 $< 1.0$ 。生態效率指的是某分類群的生產量被其他分類群所攝食的比例，當 $EE > 1.0$ 表示被攝食量超過其生產量，此情況不合理，因為被消耗掉的部份不會超過其生產量。此外由於食物網頂端掠食者被掠食壓力小，EE值通常會很低接近零，反之在被掠食壓力大的分類群EE值便可能接近一，表示被充分利用，這些對生態系之觀察也可當作輔助判斷的依據。第二步驗證方式是確認各分類群之生長效率(gross food conversion efficiency; GE)是否介於0.05-0.30，因為大多數物種之攝食量約等於3-20倍之生產量(Christensen et al. 2004)。最後是將模式所計算輸出之參數值與野外實地測量值或其它溪流研究所得之數值作比較以了解生態系特質，便可檢驗所架構之模式。

### 三、結果

#### (一) 石附生藻類

##### 1. 測站間比較

2006年6月至2007年11月各測站平均生物量如圖1-3，平均生物量最高為有勝溪(平均藻量  $38.0 \text{ mg m}^{-2}$ )，遠高於其他測站；其次為桃山西溪、繁殖場、萬壽橋、迎賓橋等測站(平均藻量在  $6.1-10.1 \text{ mg m}^{-2}$  之間)。桃山北溪、一號壩、二號壩、司界蘭溪上、下游及高山溪等測站生物量相對較低(平均藻量在  $1.7-3.9 \text{ mg m}^{-2}$  之間)，其中以高山溪最低(平均藻量  $1.7 \text{ mg m}^{-2}$ )。

##### 2. 各測站月別變化

2006年6月至2007年11月各測站月變化(圖1-4)，高山溪月平均生物量在  $0.002-5.4 \text{ mg m}^{-2}$  之間，高山溪的藻量均維持在  $10 \text{ mg m}^{-2}$  以下，尤其2007年夏季兩個強烈颱風過後，生物量又降至低點(圖1-4a)。桃山北溪月平均生物量在  $0.02-9.4 \text{ mg m}^{-2}$  之間，從2007年春季後生物量即逐漸升高，在7月份達到最高，8月份後因颱風來襲，生物量驟降(圖1-4b)。桃山西溪月平均生物量在  $0.002-25.1 \text{ mg m}^{-2}$  之間，自2006年冬季至2007年夏季生物量明顯的穩定累積直到颱風季來臨，在2007年最後一個颱風過後一個月的調查，桃山西溪藻量回復為各測站最高者( $9.6 \text{ mg m}^{-2}$ )(圖1-4b)。有勝溪月平均生物量在  $0.012-197.5 \text{ mg m}^{-2}$  之間，在2007年7月的平均藻量接近  $200 \text{ mg m}^{-2}$ ，遠高於2006年以來各次調查的藻量。當時河道內佈滿絲狀藻，但颱風過後絲狀藻被去除殆盡，至11月雖然有藻類附生，但均為矽藻，絲狀藻仍未出現(圖1-4c)。七家灣溪各測站月平均生物量在  $0.001-29.4 \text{ mg m}^{-2}$  之間，七家灣溪各測站在2007年春季後藻量有漸漸增加的趨勢，同樣的颱風過後生物量降至低點，但11月調查各測站已有附生藻生長，但藻量仍低(圖1-4d)。司界蘭溪上、下游測站月平均生物量在  $0.001-6.9 \text{ mg m}^{-2}$  之間，上、下游間生物量差異不大，但下游稍高於上游。司界蘭溪三次採樣平均藻量均低，即使是在夏季藻類生長較佳的季節亦然(圖1-4e)。

##### 3. 微棲地差異分析

分別比較桃山西溪、一號壩及二號壩三個測站內不同微棲地間的生物量差異發現，不同的測站間之微棲地生物量差異分析結果並不一致。在桃山西溪以瀨區生物量最高(潭、瀨、流平均生物量分別為  $9.3$ 、 $17.3$ 、 $9.2 \text{ mg m}^{-2}$ )，而一號壩

(潭、瀨、流平均生物量分別為 8.0、5.5、5.8 mg m<sup>-2</sup>)及二號壩(潭、瀨、流平均生物量分別為 8.1、5.8、6.2 mg m<sup>-2</sup>)則均以潭區最高。然各測站內瀨、流、潭間平均生物量差異均未達顯著水準(圖 1-5)。

## (二) 資料整合分析

從月平均流量變化圖(圖 1-6)可知，在無颱風侵襲的年份(2003 年)，月平均流量均在 5 C.M.S.以下；而當颱風、梅雨過境，夾帶豐沛雨量，使溪流流量暴增，月平均流量達 54 C.M.S.，日平均流量更可高達 610 C.M.S. (2005 年 7 月海棠過境)。以歷年年平均流量標準(水文年報 2006 年，44 年平均為 5.7 C.M.S.)來看，單一颱風帶來之豪大雨，使溪流維持在高流量的時間從 17 至 40 天，依颱風的強度而定；然在 2005 年時接連颱風過境，幾乎使整個夏季流量維持在 20 C.M.S.以上。洪流對石附生藻類(圖 1-7)的影響亦相當大，以葉綠素 a 含量為生物量指標來看，2003 年生物量相當高，而在 2004 年敏都利颱風過境後，生物量即明顯下降，雖 2005 年夏季前有逐漸恢復趨勢，然因缺乏調查資料，無法明確得知恢復到何水準；由 2006 年繼續調查後發現，生物量下降至更低點，因此推測 2005 與 2006 年未調查期間，夏季強度洪流持續沖刷底石之故，生物量並無恢復太多。

由前進式選取法顯示水溫、導電度與總有機碳與魚類群聚顯有顯著相關(表 1-14)，其中以水溫的解釋程度最高(R<sup>2</sup> = 0.68)。CCA 排序結果顯示(圖 1-9)，七家灣溪上游(測站 1、2)、中游(測站 3、4)與高山溪(測站 8)有較多的鮭魚出現，而七家灣溪下游(測站 5、6、7)與有勝溪(測站 9)則是以台灣鏟頰魚為優勢種。台灣櫻花鉤吻鮭與台灣鏟頰魚在棲地上有明顯區隔(圖 1-9)，鮭魚在水溫較低、水中導電度與總有機碳較低的測站有較多的數量。

由結果得知影響七家灣溪魚類群聚最主要的環境因子是水溫，其次才是水質因子。導電度是水體中營養鹽含量的總指標，分析結果顯示鮭魚數量在導電度較低的測站比較多，因子鮭魚可能偏好水質較佳的水域。相關分析中與魚類群聚顯著相關水質因子，包括導電度與總有機碳，其相關係數遠不如水溫的高，顯示水溫對魚類群聚的影響大於水質。

水棲昆蟲是鮭魚最重要的食物來源，然而魚類群聚與水棲昆蟲數量並沒有顯著的相關關係，顯示食物來源對鮭魚並不是重要的限制因子，這與利用生態系統模式推導出來的結論一致。

鮭魚數量在不同測站間的分布差異結果顯示，成魚、亞成魚的分布在不同測站間有顯著的差異(圖 1-8)。其中測站三(二號壩)的成魚與亞成魚數量明顯較其他測站多( $p < 0.05$ )。幼魚數量在不同測站間雖然沒有顯著的差異，但以平均數量而言也是以測站三與測站二較多。多變量迴歸分析結果顯示(表 1-15)，夏季鮭魚普查總數與冬季七家灣溪的平均日流量呈現顯著的負相關(圖 1-10)，且迴歸模式可以解釋 84 % 夏季鮭魚普查總數的變化( $R^2 = 0.84$ )。若將夏季鮭魚總數再分成成魚、亞成魚與幼魚來進行迴歸分析，成魚數量的迴歸模式中只有冬季流量進入模式，結果顯示成魚數量與冬季流量有顯著的負相關( $R^2 = 0.66$ )。亞成魚數量的迴歸模式中只有去年秋季幼魚數量這個因子進入模式，且兩者成正相關。至於幼魚的模式因為沒有任何因子達到顯著的門檻而被選取，因此無法建立統計上有效的迴歸模式。

秋季鮭魚普查總數的多變量迴歸分析中，共有同年夏季成魚與幼魚數目以及雨季平均日流量這三個因子達到顯著門檻而進入模式當中。前兩個因子與秋季鮭魚普查總數為正相關，而雨季平均日流量則與秋季鮭魚普查總數呈負相關，最後的迴歸模式可以解釋 89 % 秋季鮭魚普查總數的變異( $R^2 = 0.89$ )。若將秋季鮭魚總數再分成成魚、亞成魚與幼魚來進行迴歸分析，成魚數量的迴歸模式中只有夏季成魚數目進入模式，且相關係數非常高( $R^2 = 0.93$ )。亞成魚數量的迴歸模式中只有夏季亞成魚數量這個因子進入模式，相關係數達到 0.67。幼魚數量的迴歸模式的相關係數高達 0.92，其中除了夏季幼魚數量進入模式外，同年雨季最大日流量亦被選入模式當中且為負相關，但只能解釋秋季幼魚數量的 16 % (Partial  $R^2 = 0.16$ )。

### (三) 生態系模式

#### 1. 食物網能量流

武陵地區溪流食物網模式：桃山西溪(Ta)、一號壩(D1)、繁殖場(BC)、高山溪(Ga)與有勝溪(Yo)之食物網能量流圖顯示(圖 1-11 至 1-15)，武陵地區溪流食物網結構有明顯三個階層。五個溪流生態系食物網模式中除了有勝溪外，最高營養階層為鳥類，介於 3.06 ~ 3.20 間。有勝溪鳥類為鴛鴦(*Aix galericulata*)，多以溪流系統外之食物為食，故最高營養階層為水棲昆蟲分類群掠食者(Predators)之 2.65。武陵地區溪流生態系食物網模式中桃山西溪、一號壩與有勝溪，附生藻為具有最大現存量的類群，繁殖場與高山溪則以碎屑為最多。消費者多集中在

初級消費者，如水棲昆蟲、螺以及蝌蚪等，以直接利用藻類與碎屑者為主。

## 2. 網絡分析與營養階層物質傳輸模式

武陵地區溪流生態系以 Lindeman (1942) 方法可聚合成單向食物鏈物質傳輸模式(圖 1-16 至 1-20)。其中營養階 I 為浮游藻、附生藻和碎屑；渦蟲、蝌蚪、螺類、水棲昆蟲刮食者、碎食者、濾食採集者、聚集採食者、台灣鏟頷魚與台灣纓口鰍主要屬於營養階 II；水棲昆蟲掠食者與櫻花鉤吻鮭主要屬於營養階 III；鳥類之食性則分布於營養階 II、III 與 IV。Lindeman spine 顯示武陵地區之食物來源主要以碎屑為主，有較多源自於碎屑的物質流從營養階 I 傳至營養階 II，初級生產者利用少，約有 89~97% 之基礎生產量未被利用形成碎屑流入碎屑庫。營養傳輸效率若以物質傳輸  $1 \text{ g WW m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  為標準，武陵地區物質傳輸可至營養階 III。幾何營養傳輸效率(II-III)以高山溪最高為 2.8%，其次為繁殖場之 2.6%、桃山西溪之 1.6%、一號壩之 1.5% 與有勝溪之 0.7%。

## 3. 綜合營養衝擊

綜合營養衝擊為評估各分類群生物量消長對於系統其他分類群生物量之影響，向上之黑色長條表示受衝擊的分類群生物量是增加，向下之灰色長條表受衝擊的分類群生物量是減少，長條長度代表 MTI 值大小，MTI 值越高表受衝擊分類群增加幅度越高，此值範圍為正負 1。

圖 1-21 至 1-25 為武陵地區各測站綜合營養衝擊圖，在碎屑與附生藻生物量增加之情境下，對大部分的生物類群都是有正面之影響。其中附生藻對於水棲昆蟲刮食者的影響程度最大，MTI 值介於 0.45~0.60，其次為非水棲昆蟲刮食者，MTI 值介於 0.24~0.36。肉食性水棲昆蟲生物量增加，造成掠食壓力的提高對其他水棲昆蟲功能群都是有負面的影響，且與鳥類競爭食物對鳥類分類群造成輕微之負面影響(MTI 值小於 0.06)。而浮游藻、水棲昆蟲碎食者生物量增加對其他生物類群影響輕微，非水棲昆蟲刮食者生物量增加對鳥類有少量正面影響，而渦蟲增加對非水棲昆蟲刮食者及本身有負面影響。魚類生物量增加普遍對水棲昆蟲有負面影響，但一號壩之台灣鏟頷魚與有勝溪之台灣纓口鰍由於生物量稀少所以此效應不明顯。鳥類生物量增加對於魚類有負面效應，並藉由由上而下的控制間接降低水棲昆蟲被略食壓力，使水棲昆蟲生物量有所上升，此效應在繁殖場最為明顯。

#### 4. 系統摘要分析

武陵地區各測站經由 Ecopath 分析之摘要總分析表結果如表 1-16 所示。總系統通量以有勝溪最高，為其他測站之二到三倍，其次為一號壩、繁殖場、桃山西溪與高山溪。總輸出量與總碎屑流量佔總系統通量之比例高(39~47%, 45~48%)，呼吸量與攝食量所佔比例低(2~5%, 4~12%)(圖 1-26)。總系統生產力與淨系統初級生產力顯示，測站生產力主要來自初級生產者(97~99%)，次級生產力佔總系統生產力之比率低。有勝溪具有最高之總系統生產力，淨系統初級生產力與淨系統生產力，且 P/R 值 28.8 為最高。各測站 P/R 值均大於 1.0，表示武陵地區溪流生態系均為自營性系統。P/B 值介於 25.8~87.6，繁殖場具有最高 P/B 值，系統物質翻轉率高。B/T 值介於 0.005~0.019，每單位能量流所支持之生物量低。除有勝溪外，總系統生物量介於 17.5~50.0 g WW m<sup>-2</sup>，有勝溪由於藻類繁生，有高達 156.4 g WW m<sup>-2</sup> 之總系統生物量。各測站物質循環利用量少，FCI 值均低僅有 0.01~0.09% 的能流重新循環利用，而繁殖場有最高之 FCI 值。APL 長度相似，介於 2.01 到 2.06 間。除一號壩外，D:H 值均大於一，以碎屑食物鏈為主。桃山西溪 A/C 值低，系統組織化程度較低，彈性高，R/C 值亦為最高，有較多冗餘之能流。發展量以有勝溪最高，其次為一號壩、繁殖場、桃山西溪與高山溪。



## 四、討論

### (一) 石附生藻類

2006年6月至2007年11月期間，各測站間生物量高低分布狀況與之前監測結果類似(簡, 2004)，有勝溪仍是生物量(平均藻量 38.0 mg/m<sup>2</sup>)最高的溪流，高山溪最低(年平均藻量 1.7 mg/m<sup>2</sup>)，七家灣溪生物量則由上游往下游逐漸增加，不過位於上游的桃山西溪平均生物量較其鄰近的桃山北溪及其下游的一、二號壩生物量高，而與下游的迎賓橋、萬壽橋相當，原因可能在於桃山西溪具有豐富的矽酸鹽來源。

在生物量月變化方面，各測站生物量在今年夏季月份(4、7月)到達一個高峰，有勝溪測站生物量在7月更高達 197.5 mg m<sup>-2</sup>，為同時間其他測站的 40-200 倍，顯示有勝溪夏季營養鹽的輸入相當高，此營養鹽來源主要為有勝溪上游的農耕活動。2007年夏季有兩個強烈颱風(分別為 8/16 聖帕及 10/4 柯羅莎)對武陵地區溪流生態係造成嚴重的損害，颱風過後藻類生物量幾乎歸零，即使在颱風過後一個月的 11 月份，藻類生物量仍相當的低。

瀨、流及潭間生物量的差異，較高的生物量，可能出現在較快流速，也可能出現在較低流速，不過大多發生在流速適中的棲地(Stevenson, 1996)。除了流速，一河段內不同微棲地間生物量的差異，也可能會因所在河段的物化環境及生物作用而有不同的結果，例如魚類及水棲昆蟲的採食。本研究分析流量較穩定時期，桃山西溪、一、二號壩測站瀨、流及潭間生物量的差異，雖然差異均未達顯著水準，但我們仍看到桃山西溪潭區生物量較瀨與潭高出將近一倍，而一、二號壩生物量最高皆出現在潭區，此測站間分析結果的差異是否來自測站間環境條件的不同則有待進一步的探討。

### (二) 資料整合分析

流量對於武陵地區溪流生物豐度是主要的驅動力。臺灣櫻花鉤吻鮭微棲地的利用會隨著個體的大小、不同的覓食和生殖行為而改變。若能增加或留住上游中大型石頭，可減緩流速的沖刷，更有利於淺賴(riffle)和梯狀潭(step-pool)的形成，提供鮭魚避難所，在清徹和淺水的溪流可以減少被捕食的機會(Lin et al. 1990)，並減少鮭魚覓食過程中能量花費(Harwood et al. 2002)和鮭魚早期的存活率(Nislow et al. 1999, Nykanen and Huusko 2003)。

從超過四年的資料顯示，颱風造成的洪流大小則會影響各族群數量的回升速度。以 2005 年為例，7 月中旬海棠颱風過境帶來 122 C.M.S.的旬平均流量，且接踵而來的瑪沙颱風亦帶來 60 C.M.S.的旬平均流量，且到 10 月還有龍王侵襲。而在 2004 年 8 月中旬艾利約 51 C.M.S.的旬平均流量，相較之下流量較弱且連續洪流時間亦較短，觀察其回覆狀況亦是 2004 年情形較佳。2006 年颱風數量、強度皆比 2005 年低，因此在 2007 年初各物種生物量都有明顯回升。

由結果得知七家灣溪冬季的流量(12 月到翌年 3 月)與夏季鮭魚普查總量呈負相關且相關性相當高(表 1-15、圖 1-10)，因此冬季的高流量可能會導致鮭魚族群量的下降。再將夏季鮭魚總量分成成魚、亞成魚與幼魚來看，只有成魚的數量與冬季流量有顯著的負相關，顯示冬季流量對三個同齡群可能主要導致成魚數量的降低，這可能是因為成魚在經過秋季的生殖活動後體力消耗很大，比較沒有能力在高流速的時候抵抗水流，另外冬季水溫較低降低成魚的游泳能力也可能是原因之一。夏季亞成魚的數目與冬季流量無關但與去年幼魚的數目有顯著的正相關，原因應該是去年的幼魚經過成長加入亞成魚的同齡群所致。夏季幼魚的數目與我們選用的因子皆沒有顯著的相關性，因此無法建立有效的迴歸模式，這可能是影響幼魚的因子更多更複雜，由目前的資料無法獲得足夠的訊息。

在秋季鮭魚總數的迴歸模式中只有夏季成魚數量、夏季幼魚數量與當年雨季平均日流量共三個因子進入模式當中(表 1-15)。其中雨季平均日流量與鮭魚總數呈現微弱但顯著的負相關( $R^2 = 0.11$ )，可見雨季的高流量很有可能是導致鮭魚數目下降原因。再將秋季鮭魚總數分成成魚、亞成魚與幼魚分別進行迴歸分析後發現，與這三個同齡群數量最為相關的因子皆是夏季同一同齡群的數量，例如與秋季成魚數量最為相關的因子是夏季成魚數量，且相關性都很高( $R^2 = 0.67 \sim 0.93$ )。秋季成魚數量的迴歸模式中夏季成魚數量的係數為 0.80，秋季亞成魚數量的迴歸模式中夏季亞成魚數量的係數為 0.65，而秋季幼魚數量的迴歸模式中夏季幼魚數量的係數為 0.51，三個係數均小於 1，可見不論是成魚、亞成魚或幼魚在經過夏天雨季之後族群皆呈現負成長的趨勢(此為統計上的趨勢，並非每年如此)，而且以幼魚減少的比例最高，亞成魚次之而成魚減少的幅度最小，這可能是因為這三個同齡群在夏季有不同的存活率，而以成魚的存活率最高。另外在三個同齡群的迴歸模式中只有秋季幼魚數量的迴歸模式中有流量因子(雨季最大日流量)進入模式，可見三個同齡群數量受夏季洪水事件的影響最顯著的是幼魚

的數量，這應該是因為幼魚的體形較小，抵抗洪水事件的能力較差，所以其數量與雨季最大日流量呈顯著的負相關。

### (三) 生態系模式

從武陵地區溪流食物網模式發現，除有勝溪外，大部分的測站裡水棲昆蟲各分類群 EE 值稍高(0.62~0.99)(表 1-17 至 1-21)，但在台灣櫻花鉤吻鮭族群密度最高的一號壩測站，聚集採食者有較低 EE 值(0.57)，仍有提供作台灣櫻花鉤吻鮭族群成長之潛力。有勝溪由於藻類繁盛，食物充足，且魚類掠食者少，所以水棲昆蟲各分類群 EE 值較低(0.49~0.89)。

多年來的調查結果顯示，天然災害如颱風、梅雨，對於櫻花鉤吻鮭族群的威脅最大(曾等 2000)。楊正雄(1997)分析櫻花鉤吻鮭孵化死亡率與水溫的關係研判，最適合孵化水溫約在 12°C 左右；且台灣櫻花鉤吻鮭與台灣其他溪流性魚類不同，一年僅繁殖一次，繁殖季節成功與否會直接影響到隔年之幼魚數量，因此其族群與數量特別容易遭逢到天災變動的影響(林等 2006)。從模式結果來看台灣櫻花鉤吻鮭在各測站所受到之掠食壓力均低(EE=0.05~0.11)，其族群成長應該不是受到鳥類直接攝食所限制，且主要食物水棲昆蟲仍有可供利用的空間(表 1-17 至 1-21)，因此推測在模式建構的 2004-2005 年間台灣櫻花鉤吻鮭族群成長應是受到環境之間接影響。

武陵地區溪流之硝酸態氮以農耕行為最嚴重之有勝溪含量最高，與七家灣溪及高山溪有顯著差異(于等 2006)，高山溪無農田耕作硝酸鹽氮濃度值明顯為武陵地區中最低(林等 2006)。從總系統分析可看出此影響，有勝溪由附生藻所帶來的初級生產力有非常高的比率沒有被利用(97%)而流入碎屑庫，為武陵地區測站中最高。由於源自於附生藻之碎屑大量輸入到碎屑庫中，系統內生物無法充分利用完碎屑，造成大量輸出系統外，故有勝溪有著最高的總系統輸出量，廖(2006)也發現設置於溪流內之攔網中有大量藻類。高初級生產力造成有勝溪總系統通量為所有測站中最高的，為其他測站之 1.8~3.6 倍，但缺乏足夠的消費者而大量輸出系統外，從有勝溪溪面常佈滿剛毛藻便可了解此一現象。

### (四) 與其他溪流比較

將蘭陽河流域與武陵地區溪流綜合相比發現(表 1-22)，武陵地區溪流總生物量、總系統通量與淨初級生產力均遠大於蘭陽溪，表示武陵地區溪流生態系活力較蘭陽溪生態系高且生物較豐。武陵地區溪流除有勝溪外各測站 P/R 值均低於

蘭陽溪，測站中最高 P/R 值為蘭陽溪之繼光測站。而溪流中無機氮鹽之含量與土地利用型態有關，農耕行為愈嚴重地區則該溪流之營養鹽愈高。蘭陽溪流域中繼光測站有最高 P/R 值可能是由於上游為農耕區，營養鹽輸入造成此現象。武陵地區中有勝溪及一號壩有較高營養鹽輸入，故為武陵地區中 P/R 值較高之測站。而蘭陽溪 P/R 值普遍較武陵地區為高，主要是由於生物量少，代謝低所造成。

比較兩地 FCI 值發現到武陵地區溪流均高於蘭陽溪，為物質循環利用率較高之系統。造成此差異的可能原因推測可能是由於蘭陽溪短促、湍急，颱風季節帶來大雨使棲地改變與河水變化，與武陵相比環境較不穩定，水流速較快，缺少消費者能循環利用能量，不斷干擾使得蘭陽溪處於一發展初期之狀態。利用主成分分析兩地環境因子可知，濁度與 DIN 為兩地主要差異(圖 1-27、表 1-23)。蘭陽溪溪流與武陵地區溪流生態系網絡分析與模式輸出主成分分析呼應了環境因子分析，在網絡分析與模式輸出主成分分析裡，主要是與初級生產力有關之係數，如 P/R、P/B 等造成兩地有所差異。

濁度的主要影響為減少光線穿透性，並影響基礎生產力(Ritchie 1972)。Lloyd et al. (1987)發現到當濁度增加至 5 NTU 時，會減少 3-13%的初級生產力；增加至 25 NTU 時，減少初級生產力至 50%。濁度增加同時造成水域生物攝食效率降低，並降低族群密度。如 McCabe & O'Brien (1983)發現到當濁度提高到 6 NTU 時，浮游動物 *Daphnia pulex* 攝食效率降低約 25%；Lenat et al. (1981)發現到當濁度上升，懸浮物質沉降增加會減少水棲昆蟲可利用之空間，使水棲昆蟲族群密度下降。而蘭陽溪濁度(NTU)與總懸浮物質(TSM)濃度均高(張玄勳 2007)，水體相當混濁；每年沈積物輸出通量約為  $2800 \text{ t km}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ，為全球平均( $150 \text{ t km}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ )之 18 倍之多(Kao & Liu 2002)。Shiah et al. (1996)亦指出蘭陽溪河口部份之水體，浮游植物生長控制因子為混濁度。然而武陵地區溪流位於雪霸國家公園內，溪流濁度均低，各測站濁度值均在 2NTU 以下(官等 2005)，在大雨過後，濁度值也僅增高至 5 NTU 左右，整體而言相當清澈，與蘭陽溪相比相差甚多(表 1-22)。而濁度增加可造成初級生產力下降，減少浮游動物、水棲昆蟲、軟體動物與魚類食物來源，產生負面的瀑布效應(cascade effects)，並透過食物鏈傳遞而影響整個食物網(Henley et al. 2000)，因此在本研究認為在蘭陽溪濁度可能也是一個重要的限制因子，造成蘭陽溪流域與武陵地區相比有較簡單之食物網結

構。

在溪流環境中，水流速與營養鹽兩因子會共同影響藻類生物量(Stevenson et al. 1996)，流速影響著附生藻對營養鹽的吸收，並影響生物量與藻種組成(Biggs et al. 1998a)。低流速時營養鹽擴散介面層(diffusion boundary layer)較厚，營養鹽交換差；隨著流速上升介面層變薄，使藻類營養鹽吸收速率增加，但當流速快到一個程度時，因為剪力(shear stress)等物理因素增加，使藻類生物量被移除而下降。Biggs et al. (1998b)認為附生藻類在流速  $50\text{cm s}^{-1}$  時有最高的生物量，且隨著流速的增加，絲狀藻會減少並轉變成以矽藻為主。林和莊(2005)認為蘭陽溪流域水流速  $60\text{cm s}^{-1}$  時，附生藻生物量達到最高，當流速超過  $80\text{cm s}^{-1}$  時，生物量隨之降低。而蘭陽溪與武陵測站流速普遍在  $50\text{cm s}^{-1}$  以上，因此流速是一個重要的限制因子，影響著系統生產力而造成蘭陽溪流域與武陵地區溪流生態系在網絡分析與模式輸出上之差異。

消費者可藉由攝食，順著食物鏈由上往下對水域生態系之初級生產量造成影響(Trophic Cascades, Carpenter & Kitchell 1988)，營養瀑布效應容易發生在物種多樣性低與空間及時間複雜性低之生態系，為水域生態系的特性(Strong 1992)。蘭陽溪雖然符合物種多樣性低之條件，但其空間及時間複雜性高，營養瀑布效應可能不明顯；且蘭陽溪消費者稀少，即使有這種效應存在，相信對於生態系統「量」上的影響也相當輕微。武陵地區在初級生產者方面，可發現桃山西溪附生藻EE值稍高於其他測站，如果受到營養瀑布效應影響的話，代表著高階消費者族群豐度應該要較低，但比較各測站魚類生物量與攝食量後發現並沒有特別低，而造成附生藻EE值高於其他測站，主要是因為桃山西溪有較豐富之水棲昆蟲族群，而非受到高階消費者控制。

將蘭陽溪、武陵地區溪流與其他溪流模式做比較，可有助於了解溪流生態系結構與能量流特徵，然而熱帶、亞熱帶地區可供比較之溪流模式非常有限。表 1-20 可發現除有勝溪外，兩地生態系之總系統通量較低，為一較小生態系統，總呼吸量與生物量低顯示出生物稀少，但 P/R 值較高。Lewis (1981)與 Christensen & Pauly (1993)分析 25 與 41 個生態系後發現，P/R 值一般介於 0.8~3.2 之間，本研究之 P/R 值均高於此範圍。Odum(1971)認為此值為一個重要的指標用於描述系統“成熟度”，認為在系統發展初期有著較高的生產力與較少的生物量累積，導致 P/R 值高，隨著系統發展，生物量將會累積更多而使 P/R

值下降。顯示出與其他溪流系統相比蘭陽溪與武陵地區溪流為一發展較初期之系統，而此現象主要是因為附生藻多而消費者少呼吸量低所造成。

自從 Lindeman (1942) 提出食物鏈物質傳輸模式後，普遍認為營養傳輸效率約為 10%，且營養傳輸效率在低營養階層較高，而隨著營養階層的提高而降低傳輸效率(Christensen & Pauly 1993)。Pauly & Christensen (1995) 分析大洋系統、湧昇流系統、熱帶大陸棚系統、非熱帶大陸棚系統、海岸與珊瑚礁系統及淡水域系統等六種主要水域類型之 48 個生態系後，推估平均營養傳輸效率值約 10.1%。蘭陽河流域與武陵地區溪流之營養傳輸效率值均低於此平均值，因此低營養傳輸效率應為熱帶高山溪流生態系之特性之一。

## 五、參考文獻

- 于淑芬、林幸助、陳伯中，2006。武陵地區溪流石附生藻類時間及空間分布。特有生物研究，第8卷第2期，39-51頁。
- 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。185頁。
- 官文惠、呂佩珊、江美貞，2005。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立-水質參數研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處。85頁。
- 林幸助、謝莉顯，2002。武陵地區生態系監測與模式建構規劃。內政部營建署雪霸國家公園管理處。35頁。
- 林幸助和莊怡麗，2005。蘭陽溪流域與河口生態系食物網的動態鏈結-九四年期末報告，第三章 蘭陽溪流域藻類與基礎生產力之研究。中央研究院生物多樣性研究中心。
- 林幸助、吳聲海、官文惠、邵廣昭、施習德、孫元勳、郭美華、彭宗仁、曾晴賢、楊正澤、葉文斌、葉昭憲、蔡尚惠，2006。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立。內政部營建署雪霸國家公園管理處。九十五年保育研究報告。600頁。
- 吳聲海、張文宏，2004。七家灣溪蛙類及蝌蚪族群研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處。九十三年度研究報告。67頁。
- 吳聲海、盧重成、劉育志、張文宏、徐元傑、張伊鈞、柯伶樺、黃繼瑩、林育朱，2005。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立：兩生類生活史及食性研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處。九十六年度研究報告。75頁。
- 沈世傑、曾晴賢、楊正雄，2004。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。九十三年度研究報告。45頁。
- 孫元勳、劉彥廷、李靜峰、唐一中、郭智荃，2003。櫻花鉤吻鮭天敵之研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處。九十二年度研究報告。49頁。
- 孫元勳、陳惠玲、郭智荃、唐一中、洪孝宇，2004。櫻花鉤吻鮭天敵之研究(二)。內政部營建署雪霸國家公園管理處。九十三年度研究報告。51頁。
- 孫元勳、洪孝宇、李方儒，2005。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立：溪流鳥類群聚生態監測。內政部營建署雪霸國家公園管理處。九十四年度研究

- 報告。46頁。
- 郭美華、丘明智、謝易霖，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。九十二年度研究報告。47頁。
- 郭美華、丘明智、謝易霖，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。九十三年度研究報告。48頁。
- 郭美華、丘明智，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。九十四年度研究報告。46頁。
- 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-歷年保育研究計劃總檢討。73頁。
- 張玄勳，2007。利用穩定性碳與氮同位素探討蘭陽溪食物網結構與影響之環境因子。國立中興大學生命科學系碩士論文。111頁。
- 曾晴賢、楊正雄，2000。櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查(三)。內政部營建署雪霸國家公園管理處。八十九年度研究報告。63頁。
- 曾晴賢、游智閔、楊正雄，2000。七家灣溪櫻花鉤吻鮭族群數量變動的研究。國家公園學報，第十期，190-210頁。
- 曾晴賢、楊正雄，2001。復育放流與攔砂壩拆除對於七家灣溪櫻花鉤吻鮭族群的影響。雪霸國家公園委託研究計劃。
- 曾晴賢、楊正雄，2002。七家灣溪流域櫻花鉤吻鮭又於歷年族群變動與降雨量的關係。國家公園學報 12(2)：111-124。
- 曾晴賢、楊正雄，2003。櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查(六)。內政部營建署雪霸國家公園管理處。九十二年度研究報告。59頁。
- 曾晴賢、楊正雄，2005。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立：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。九十四年度研究報告。58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及生態調查。行政院農業委員會 75 年生態研究第 001 號。45頁。
- 楊正雄，1997。水溫對櫻花鉤吻鮭族群的影響。國立清華大學生命科學系碩士論文。76頁。



- 葉昭憲、連惠邦、段錦浩，2002。高山溪防砂壩改善工程之實施與現況。國家公園學報 12(2)：191-203。
- 葉昭憲、游政翰，2005。武陵地區長期監測暨生態模式建立—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管理處。九十四年度研究報告。107頁。
- 經濟部水利署，2003-2006。臺灣水文年報第二部份—河川水位及流量。
- 廖林彥，2001。高山溪防砂壩改善前後棲地變化之調查研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處九十年年度研究報告。56 頁。
- 廖美齡，2006。武陵地區七家灣溪粗顆粒有機碎屑的收支與分解。國立中興大學生命科學系研究所碩士論文。62 頁。
- 簡麗鳳、林幸助、溫佩珍 2004 武陵地區溪流藻類生產力之限制營養鹽研究(二)。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- Angelini, R. and Agostinho, A. A., 2005. Food web model of the Upper Paraná River Floodplain: description and aggregation effects. *Ecol. Model.* 181:109-121
- Belgrano, A., Scharler, U.M., Dunne, J. and Ulanowicz, R.E., 2005. *Aquatic Food Webs: an ecosystem approach.* Oxford University Press, New York. 262p.
- Biggs, B.J.F., Goring, D.G., and Nikora, V.I., 1998a. Subsidy and stress responses of stream periphyton to gradients in water velocity as a function of community growth form. *Journal of Phycology*, 34, 598-607
- Biggs B.J.F., Stevenson R.J., and Lowe R.L. (1998b) A habitat matrix conceptual model for stream periphyton. *Archiv für Hydrobiologie*, 143, 21-56
- Carpenter, S.R. and Kitchell, J.F., 1988. Consumer control of lake productivity. *BioScience*, 38, 764-769
- Christensen, V, and Pauly, D.,1993.Trophic models of aquatic ecosystems. ICLARM Conference Proceedings,26 Manila, Philippines., 390 p.
- Christensen, V., 1994. On the behavior of some proposed goal functions for ecosystem development. *Ecological Modelling*, 76, 37-49
- Christensen, V., 1995. Ecosystem maturity-towards quantification. *Ecological Modelling*, 77, 3-32

- Christensen, V., Walters, C.J., and Pauly, D., 2004. *Ecopath with Ecosim: A User's Guide*. Univ. of British Columbia, Fisheries Centre, Vancouver, Canada, 154 p
- Finn, J.T., 1976. Measures of Ecosystem Structure and Function Derived from analysis of flow. *Journal of Theoretical Biology*, 56, 363-380
- Fulton, E. A., Smith, A. D., Johnson, C. R., 2003. Effect of complexity on marine ecosystem models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 253:1-16.
- Hannon, B., and Joiris, C., 1989. A seasonal analysis of the southern North Sea ecosystem. *Ecology*, 70, 1916-1934
- Harwood, A.J., Armstrong, J.D., Griffiths, S.W., Metcalfe, N.B., 2002. Sympatric association influences within-species dominance relations among juvenile Atlantic salmon and brown trout. *Anim. Behav.* 64: 85-95
- Hirata, H. and Ulanowicz, R.E., 1984. Information theoretical analysis of ecological networks. *International Journal of Systems Science*, 15, 261-270
- Henley, W.F., Patterson, M.A., Neves, R.J., and Lemly, A. D., 2000. Effects of sedimentation and turbidity on lotic food webs: a concise review for natural resource managers. *Reviews in Fisheries Science*, 8, 125-139
- Jowett, I.G., 1993. A method for objectively identifying pool, run, and riffle habitats from physical measurements. *Marine and Freshwater Research* 27:241-248
- Kao, S.J. and Liu, K.K., 2002. Exacerbation of erosion induced by human perturbation in a typical Oceania watershed: Insight from 45 years of hydrological records from the Lanyang-Hsi River, northeastern Taiwan. *Global Biogeochemical Cycles*, 16, 1-7
- Kato, F., 2003. Life histories of masu and amago salmon. In: Croot, C. and L. Marcolis, 2003. *Pacific salmon life histories*. UBC Press, The university of British Columbia. pp. 449-452.
- Lenat, D.R., Penrose, D.L., and Eagleson, K.W., 1981. Variable effects of sediment addition on stream benthos. *Hydrobiologia*, 79, 187-194
- Leontief, W.W., 1951. *The Structure of the US Economy*. Oxford University Press, New York
- Lewis, J.B., 1981. Coral reef ecosystems. In: *Analysis of marine ecosystems*. (Eds A.R. Longhurst), pp. 127-158. Academic Press, New York. 741p

- Lindeman, R.L., 1942. The trophic-dynamic aspect of ecology. *Ecology*, 23, 399-418
- Lin, Y. S., Tsao, S. S., and Chang, K. H., 1990. Population and distribution of the Formosan landlocked salmon (*Oncorhynchus mason formosanus*) in Chichiawan Stream. *Bull. Inst. Zool., Academia Sinica*, 293:73-85.
- Lloyd, D.S., Koenings, J.P., and LaPerriere, J.D., 1987. Effects of turbidity in fresh waters of Alaska. *North American Journal of Fisheries Management*, 7, 18–33
- Mathews, C. P., 1993. Productivity and Energy flows at all trophic levels in the River Thames, England: Mark 2, p. 161-171. In V. Christensen and D. Pauly (eds.) *Trophic models of aquatic ecosystems*. ICLARM Conf. Proc. 26, 390p.
- McCabe, G.D. and O'Brien, W.J., 1983. The effects of suspended silt on feeding and reproduction of *Daphnia pulex*. *American Midland Naturalist*, 110, 324-337
- Merritt, R.W. and Cummins, K.W., 1996. *An Introduction to the Aquatic Insects of North America (2<sup>nd</sup> Edition)*. Kendall/Hunt Publishing Company, USA, 722p
- Meyer, E. I. and Poepperl, R., 2004. Assessing food-web structure, matter fluxes, and system attributes of a Central European mountain stream by performing mass-balanced network analysis. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* 61:1565-1581.
- Nislow, K.H., Sepulveda, A.J., and Folt, C. L., 2004. Mechanistic Linkage of Hydrologic Regime to Summer Growth of Age-0 Atlantic Salmon. *Transactions of the American Fisheries Society* 133:79–88
- Nykänen, M., Huusko, A., 2003. Size-related changes in habitat selection by larval grayling (*Thymallus thymallus* L.). *Ecol Freshw Fish* 12:127–133
- Odum E.P., 1969. The strategy of ecosystem development. *Science*, 104, 262-270
- Odum, E.P., 1971. *Fundamentals of Ecology*. W.B. Saunders Co, Philadelphia, 574p
- Palomares, M. L. D., Yulianto, B., Puy, L., Bengen, D., and Belaud, A., 1993. A Preliminary Model of the Garonne River (Toulouse, France) Ecosystem in spring, p 172-179. In V. Christensen and D. Pauly (eds.) *Trophic models of aquatic ecosystems*. ICLARM Conf Proc 26, 390 p.
- Parsons, T.R., Maita, Y., and Lalli, C. M., 1984. Fluorometric determination of

- chlorophylls. In: A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press Inc., NY USA.
- Pauly, D., and Christensen, V., 1995. Primary production required to sustain global fisheries. *Nature*, 374, 255-257
- Poepperl, R., 2003. A Quantitative Food Web Model for the Macroinvertebrate Community of a Northern German Lowland Stream. *Internat Rev Hydrobiol* 885):433-452.
- Ritchie, J.C., 1972. Sediment, fish, and fish habitat. *Journal of Soil and Water Conservation*, 27, 124-125
- Rutledge, R.W., Basorre, B.L., and Mulholland, R.J., 1976. Ecological stability: an information theory viewpoint. *Journal of Theoretical Biology*, 57, 355-371
- Shiah, F.K., Kao, S.J., Gong, G.C., and Liu, K.K., 1996. Spatial variability of phytoplankton production and the implications of its controlling mechanisms in the coastal zone near the river mouth of the Lanyang His. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 37, 9-15
- Stevenson, R.J., Bothwell, M.L., and Lowe, R.L., 1996. *Algal Ecology – Freshwater Benthic Ecosystems*. Springer Netherlands. Academic Press. London.
- Strong, D.R., 1992. Are trophic cascades all wet? Differentiation and donor-control in speciose Ecosystems. *Ecology*, 73, 747-754
- Tsao, E. H. S., 1995. An ecological study of the habitat requirements of the Formosan landlocked salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). Ph. D. Dissertation. Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado. 213pp.
- Ulanowicz, R.E., 1986. *Growth and Development: Ecosystem Phenomenology*. Springer Verlag (reprinted by iUniverse, 2000), New York. 203p
- Ulanowicz, R.E. and Puccia, C.J., 1990. Mixed trophic impacts in ecosystems. *Coenoses*, 5, 7-16
- Van Rooij, J.M., Videler, J.J., and Bruggemann, J.H., 1998. High biomass and production but low energy transfer efficiency of Caribbean parrotfish: implications for trophic model of coral reefs. *The Journal of Fish Biology*, 53,154-178
- Wang, C. M. J., 1989. Environmental quality and fish community ecology in an agricultural mountain stream system of Taiwan. Ph. D. Thesis, Department of Animal Ecology, Iowa State University. 138pp.

表 1-1 典型排序分析與前進式選取法所使用的變因與資料來源

Response variables	資料來源
櫻花鉤吻鮭數量(分成魚、亞成魚、幼魚)	曾晴賢
台灣鏟頰魚數量(分成魚、亞成魚、幼魚)	曾晴賢
Explanatory variables (n = 22)	
底棲無脊椎動物數量	施習德
水棲昆蟲總數	郭美華
盤古蟾蜍蝌蚪數量	吳聲海
梭德氏赤蛙蝌蚪數量	吳聲海
附生藻生物量	林幸助
DO(溶氧量)、BOD(生物需氧量)、TOC(總有機碳)	官文惠
pH(酸鹼值)、CON(導電度)、NTU(濁度)	官文惠
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (硫酸根離子濃度)、Cl(氯離子濃度)	官文惠
SiO <sub>2</sub> (矽酸鹽濃度)、PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (磷酸根離子濃度)	官文惠
NO <sub>x</sub> -N(硝酸鹽類濃度)、TP(總磷)、NH <sub>3</sub> -N(氨濃度)	官文惠
Temp(水溫)	官文惠
V(流速)	林幸助
不同底質類型比例	楊正澤
不同棲地類型比例	葉昭憲

表 1-2、七家灣溪鮭魚數量多變量迴歸分析模式所選用的變因

變因	簡碼
<b>夏季鮭魚總數</b>	
冬季平均流量 (去年 12 月至當年 3 月的平均日流量)	logWin
冬季最大流量 (去年 12 月至當年 3 月的最大日流量)	MaxWin
春季平均流量 (當年 4 月至 5 月的平均日流量)	logSpr
春季最大流量 (當年 4 月至 5 月的最大日流量)	MaxSpr
去年秋末普查的成魚數目	LY_Ad
去年秋末普查的亞成魚數目	LY_Su
去年秋末普查的幼魚數目	LY_Ju
<b>夏季成魚數量</b>	
冬季平均流量 (去年 12 月至當年 3 月的平均日流量)	logWin
冬季最大流量 (去年 12 月至當年 3 月的最大日流量)	MaxWin
春季平均流量 (當年 4 月至 5 月的平均日流量)	logSpr
春季最大流量 (當年 4 月至 5 月的最大日流量)	MaxSpr
去年秋末普查的成魚數目	LY_Ad
去年秋末普查的亞成魚數目	LY_Su
<b>夏季亞成魚數量</b>	
冬季平均流量 (去年 12 月至當年 3 月的平均日流量)	logWin
冬季最大流量 (去年 12 月至當年 3 月的最大日流量)	MaxWin
春季平均流量 (當年 4 月至 5 月的平均日流量)	logSpr
春季最大流量 (當年 4 月至 5 月的最大日流量)	MaxSpr
去年秋末普查的亞成魚數目	LY_Su
去年秋末普查的幼魚數目	LY_Ju
<b>夏季幼魚數量</b>	
冬季平均流量 (去年 12 月至當年 3 月的平均日流量)	logWin
冬季最大流量 (去年 12 月至當年 3 月的最大日流量)	MaxWin
春季平均流量 (當年 4 月至 5 月的平均日流量)	logSpr
春季最大流量 (當年 4 月至 5 月的最大日流量)	MaxSpr
去年秋末普查的成魚數目	LY_Ad
去年秋末普查的亞成魚數目	LY_Su
去年秋末普查的幼魚數目	LY_Ju

表 1-2 (續)

變因	簡碼
<b>秋季鮭魚總數</b>	
雨季平均流量 (當年 6 月至 10 月的平均日流量)	logRain
雨季最大流量 (當年 6 月至 10 月的最大日流量)	RainMax
雨季洪峰次數 (當年 6 月至 10 月期間的洪峰數)	Peaks
同年夏季普查的成魚數目	SM_Ad
同年夏季普查的亞成魚數目	SM_Su
同年夏季普查的幼魚數目	SM_Ju
<b>秋季成魚數量</b>	
雨季平均流量 (當年 6 月至 10 月的平均日流量)	logRain
雨季最大流量 (當年 6 月至 10 月的最大日流量)	RainMax
雨季洪峰次數 (當年 6 月至 10 月期間的洪峰數)	Peaks
同年夏季普查的成魚數目	SM_Ad
同年夏季普查的亞成魚數目	SM_Su
<b>秋季亞成魚數量</b>	
雨季平均流量 (當年 6 月至 10 月的平均日流量)	logRain
雨季最大流量 (當年 6 月至 10 月的最大日流量)	RainMax
雨季洪峰次數 (當年 6 月至 10 月期間的洪峰數)	Peaks
同年夏季普查的亞成魚數目	SM_Su
同年夏季普查的幼魚數目	SM_Ju
<b>秋季幼魚數量</b>	
雨季平均流量 (當年 6 月至 10 月的平均日流量)	logRain
雨季最大流量 (當年 6 月至 10 月的最大日流量)	RainMax
雨季洪峰次數 (當年 6 月至 10 月期間的洪峰數)	Peaks
同年夏季普查的成魚數目	SM_Ad
同年夏季普查的亞成魚數目	SM_Su
同年夏季普查的幼魚數目	SM_Ju

表 1-3 武陵地區水棲昆蟲各功能群種類與相對豐度

Functional group	Order	Family	Taxon	Relative abundance(%)				
				桃山西溪	一號壩	高山溪	新繁殖場	有勝溪
Predator	Coleoptera	Dytiscidae	<i>Deronectes</i> sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
		Athericidae	<i>Atherix</i> sp.	1.0	0.1	0.2	0.8	0.6
	Diptera	Ceratopogonidae	<i>Bezzia</i> sp.	0.1	0.4	0.0	0.2	0.1
		Chironomidae	<i>Tanypodinae</i> sp.A	0.9	1.4	0.5	1.3	34.3
	Tipulidae	<i>Eriocera</i> sp.A	2.2	0.9	6.9	4.7	5.1	
		<i>Eriocera</i> sp.B	29.8	45.4	18.4	52.2	0.0	
		<i>Eriocera</i> sp.C	8.2	0.7	4.0	5.4	0.6	
	Odonata	Gomphidae	<i>Sinogomphus formosanus</i>	0.0	0.0	0.0	0.6	57.3
	Plecoptera	Perlidae	<i>Neoperla</i> spp.	31.7	29.2	45.8	8.7	0.0
		Styloperlidae	<i>Cerconychia</i> sp.	6.9	0.2	4.6	2.0	0.0
Trichoptera	Rhyacophilidae	<i>Apsilochorema</i> sp.	0.6	0.2	0.3	0.0	1.2	
	Rhyacophilidae	<i>Himalopsyche</i> sp.	10.3	8.5	17.3	0.0	0.0	
	Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila nigrocephala</i>	5.6	12.3	1.5	22.9	0.0	
	Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila</i> spp.	2.8	0.6	0.5	1.1	0.6	
Collector filterer	Diptera	Simuliidae	<i>Simulium</i> sp.	4.0	82.8	77.8	40.2	0.2
		Hydropsychidae	<i>Arctopsyche</i> sp.	0.0	2.0	13.5	0.5	0.0
Collector gatherer	Coleoptera	Hydropsychidae	<i>Hydropsyche</i> spp.	2.0	12.8	8.7	2.8	99.8
		Stenopsychidae	<i>Stenopsyche</i> sp.A	94.0	2.4	0.0	56.5	0.0
		Elmidae	<i>Zaitzevia</i> sp.	0.2	1.1	6.1	1.9	2.9



續表 1-3

		桃山西溪 一號壩 高山溪 新繁殖場 有勝溪						
Functional group	Order	Family	Taxon	Relative abundance(%)				
Collector gatherer	Diptera	Chironomidae	Chironomidae spp.	82.8	56.3	52.4	56.6	14.1
		Chironomidae	Chironomidae sp.C	0.1	1.3	20.3	2.0	0.4
		Chironomidae	Chironomidae sp.E	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0
		Chironomidae	Chironomidae sp.D	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0
		Tipulidae	<i>Antocha</i> sp.	0.3	11.6	0.4	7.5	2.1
		Caenidae	<i>Caenic</i> sp.	0.2	0.2	0.5	0.0	0.0
		Ephemerellidae	<i>Acerella glebosa</i>	0.1	0.4	2.1	3.9	0.0
		Ephemerellidae	<i>Acerella montana</i>	14.9	4.8	16.0	6.2	0.0
		Ephemeridae	<i>Ephemera sauteri</i>	0.0	24.4	0.3	20.9	80.3
		Leptophlebiidae	<i>Paraleptophlebia</i> sp.	1.0	0.0	1.5	0.8	0.3
Collector gatherer /Scrapper	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetiella bispinosa</i>	4.3	9.7	6.8	17.0	0.0
		Baetidae	<i>Baetis</i> spp.	75.3	39.1	66.4	48.5	99.4
		Baetidae	<i>Pseudocloeon latum</i>	20.5	51.2	26.8	34.4	0.6
Scraper	Diptera	Blepharoceridae	<i>Belepharoceridae</i> sp.	0.9	4.2	1.4	0.0	0.0
		Blepharoceridae	<i>Bibiocephala</i> sp.	0.6	3.5	9.8	5.0	0.0
	Ephemeroptera	Heptagenidae	<i>Afronurus floreus</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	47.8
		Heptagenidae	<i>Afronurus nanhuensis</i>	2.9	0.1	0.1	0.0	41.9
		Heptagenidae	<i>Epeorus erratus</i>	2.3	0.0	4.1	0.0	4.6
		Heptagenidae	<i>Rhithrogena ampla</i>	57.5	90.1	77.1	91.4	5.7

續表 1-3

		桃山西溪 一號壩 高山溪 新繁殖場 有勝溪						
Functional group	Order	Family	Taxon	Relative abundance(%)				
Scraper	Trichoptera	Glossosomatidae	<i>Glossosoma</i> sp.	1.7	0.6	2.4	1.2	0.0
		Uenoidea	<i>Uenoa taiwanesis</i>	34.2	1.5	5.1	2.3	0.0
Shredder	Coleoptera	Helodidae	<i>Cyphon</i> sp.	43.2	11.9	8.3	2.8	0.1
		Limoniinae	<i>Limoniinae</i> sp.	0.0	3.8	0.0	0.0	0.0
	Diptera	Leucitridae	<i>Rhopalopsole</i> sp.	0.8	11.2	3.4	1.2	0.0
		Nemouridae	<i>Amphinemura</i> sp.	4.0	3.8	6.9	5.2	0.0
	Trichoptera	Nemouridae	<i>Protonemura</i> spp.	8.3	0.0	25.1	43.6	0.0
		Lepidostomatidae	<i>Goerodes</i> sp.	10.3	59.0	8.0	5.1	55.6
		Sericostomatidae	<i>Gumaga</i> sp.	33.4	10.3	45.2	41.2	43.4
		Sericostomatidae	<i>Sericostomatidae</i> sp.	0.0	0.0	3.1	0.9	0.9

表 1-4 桃山西溪模式輸入參數與參考文獻

Group name	Biomass (gww m <sup>-2</sup> )	P/B (yr <sup>-1</sup> )	Q/B (yr <sup>-1</sup> )	P/Q	U/C
1. Phytoplankton	0.009 <sup>1</sup>	85.0 <sup>2</sup>	-	-	-
2. Periphyton	23.63 <sup>3</sup>	44.9 <sup>2</sup>	-	-	-
3. Shredders	0.061 <sup>4, 5</sup>	3.1 <sup>6, 7, 8, 9</sup>		0.10 <sup>8, 9, 10,</sup>	0.70 <sup>12, 13,</sup>
4. Scrapers	0.562 <sup>4, 5</sup>	6.9 <sup>15, 16, 17, 18, 19</sup>		0.06 <sup>20</sup>	0.50 <sup>12, 13,</sup>
5. Collector-filters	0.619 <sup>4, 5</sup>	8.9 <sup>21</sup>		0.12 <sup>22, 23</sup>	0.50 <sup>12, 13,</sup>
6. Collector-gatherers	0.449 <sup>4, 5</sup>	17.4 <sup>19, 20, 24</sup>		0.09 <sup>25, 26</sup>	0.65 <sup>12, 13,</sup>
7. Predators	0.504 <sup>4, 5</sup>	6.0 <sup>16, 24, 27</sup>		0.25 <sup>23, 28,</sup>	0.20 <sup>28, 29,</sup>
8. Grazers	0.399 <sup>31, 32</sup>	18.0 <sup>33,</sup>		0.12 <sup>34, 35</sup>	0.40 <sup>36, 37,</sup>
9. <i>Dugesia japonica</i>	0.215 <sup>32</sup>	8.1 <sup>23</sup>		0.20 <sup>23</sup>	0.24 <sup>23</sup>
10. <i>Oncorhynchus masou formosanus</i>	1.240 <sup>39, 40</sup>	0.3 <sup>41, 42</sup>	4.8 <sup>42</sup>		0.20 <sup>29</sup>
12. Birds	0.015 <sup>43, 44, 45</sup>	1.3 <sup>46</sup>	45.3 <sup>47</sup>		0.20 <sup>29</sup>
13. Detritus	9.994 <sup>48</sup>	-	-	-	-

( P/B, production/biomass ratio; Q/B, consumption/biomass ratio; P/Q, production/ consumption ratio; U/C is the nonassimilated part of the food.)

- 1.林幸助(2003)；2.溫珮珍(2004)；3.林幸助(2004)；4.郭美華(2004)；5.郭美華(2005)；  
6. Grafius & Anderson (1979)；7. Iversen (1980)；8. Grafius & Anderson (1980)；  
9. Iversen (1988)；10. Oertli & Dall (1993)；11. Friberg & Jacobsen (1999)；12. Welch (1968)；  
13. Benke & Wallace (1980)；14. Haefner & Wallace (1981)；15. Benke et al. (1984)；  
16. Hall et al. (2000)；17. Carlisle & Clements (2003)；18. Dobrin & Giberson (2003)；  
19. Hall et al. (2006)；20. Benke & Jacobi (1994)；21. Dudgeon (1996)；  
22. Ross & Wallace (1983)；23. Meyer & Poepperl (2004)；24. Lugthart et al. (1990)；  
25. Dermott (1980)；26. Fisher & Gray (1983)；27. Benke et al. (2001)；  
28. Heiman & Knight (1975)；29. Christensen et al. (2004)；30. Lawton (1970)；  
31. 吳聲海(2004) 32. 盧重成(2004)；33. 吳聲海(2005)；34. Poepperl (2003)；  
35. Rist et al. (1997)；36. Hunter (1975)；37. Altig & McDearman (1975)；  
38. Benavides et al.(2005)；39. 沈世傑(2004) 40. 曾晴賢(2005)；41. Chung et al. (2007)；  
42. Froese & Pauly (2007)；43. 孫元勳(2003)；44. 孫元勳(2004)；45. 孫元勳(2005)；  
46. Wiens & Nussbaum (1975)；47. Nagy (1987)；48. 廖美齡(2006)

表 1-5 一號壩模式輸入參數與參考文獻

Group name	Biomass (gww m <sup>-2</sup> )	P/B (yr <sup>-1</sup> )	Q/B (yr <sup>-1</sup> )	P/Q	U/C
1. Phytoplankton	0.054 <sup>1</sup>	85.0 <sup>2</sup>	-	-	-
2. Periphyton	45.94 <sup>3</sup>	48.0 <sup>2</sup>	-	-	-
3. Shredders	0.026 <sup>4, 5</sup>	2.9 <sup>6, 7, 8, 9</sup>		0.14 <sup>8, 9, 10,</sup>	0.70 <sup>12, 13,</sup>
4. Scrapers	0.852 <sup>4, 5</sup>	6.0 <sup>15, 16, 17, 18, 19</sup>		0.06 <sup>20</sup>	0.50 <sup>12, 13,</sup>
5. Collector-filters	0.089 <sup>4, 5</sup>	8.4 <sup>17, 19, 21</sup>		0.12 <sup>22, 23</sup>	0.50 <sup>12, 13,</sup>
6. Collector-gatherers	0.212 <sup>4, 5</sup>	12.7 <sup>19, 20, 24, 25</sup>		0.08 <sup>25, 26</sup>	0.65 <sup>12, 13,</sup>
7. Predators	0.254 <sup>4, 5</sup>	6.0 <sup>16, 21, 24,</sup>		0.25 <sup>23, 27,</sup>	0.20 <sup>27, 28, 29</sup>
8. Grazers	0.693 <sup>30, 31</sup>	6.0 <sup>32, 33</sup>		0.12 <sup>33, 34</sup>	0.40 <sup>35, 36,</sup>
9. <i>Dugesia japonica</i>	0.467 <sup>31</sup>	8.1 <sup>23</sup>		0.20 <sup>23</sup>	0.24 <sup>23</sup>
10. <i>Varicorhinus barbatulus</i>	0.118 <sup>38, 39</sup>	0.7 <sup>40</sup>	12.2 <sup>40</sup>		0.20 <sup>28</sup>
11. <i>Oncorhynchus masou formosanum</i>	1.270 <sup>38, 39</sup>	0.3 <sup>40, 41</sup>	4.3 <sup>40</sup>		0.20 <sup>28</sup>
12. Birds	0.015 <sup>42, 43, 44</sup>	1.3 <sup>45</sup>	46.0 <sup>45</sup>		0.20 <sup>28</sup>
13. Detritus	8.839 <sup>47</sup>	-	-	-	-

( P/B, production/biomass ratio; Q/B, consumption/biomass ratio; P/Q, production/ consumption ratio; U/C is the nonassimilated part of the food.)

- 1.林幸助(2003) ; 2.溫珮珍(2004) ; 3.林幸助(2004) ; 4.郭美華(2004) ; 5.郭美華(2005) ;  
6. Grafius & Anderson (1979) ; 7. Iversen (1980) ; 8. Grafius & Anderson (1980) ;  
9. Iversen (1988) ; 10. Oertli & Dall (1993) ; 11. Friberg & Jacobsen (1999) ; 12. Welch (1968) ;  
13. Benke & Wallace (1980) ; 14. Haefner & Wallace (1981) ; 15. Benke et al. (1984) ;  
16. Hall et al. (2000) ; 17. Carlisle & Clements (2003) ; 18. Dobrin & Giberson (2003) ;  
19. Hall et al. (2006) ; 20. Benke & Jacobi (1994) ; 21. Benke et al. (2001) ;  
22. Ross & Wallace (1983) ; 23. Meyer & Poepperl (2004) ; 24. Lugthart et al. (1990) ;  
25. Dermott (1980) ; 26. Fisher & Gray (1983) ; 27. Heiman & Knight (1975) ;  
28. Christensen et al. (2004) ; 29. Lawton (1970) ; 30.吳聲海(2004) ; 31.盧重成(2004) ;  
32.吳聲海(2005) ; 33. Poepperl (2003) ; 34. Rist et al. (1997) ; 35. Altig & McDearman (1975) ;  
36. Hunter (1975) ; 37. Benavides et al.(2005) ; 38.沈世傑(2004) 39.曾晴賢(2005) ;  
40. Froese & Pauly (2007) ; 41. Chung et al. (2007) ; 42.孫元勳(2003) ; 43.孫元勳(2004) ;  
44.孫元勳(2005) ; 45. Wiens & Nussbaum (1975) ; 46. Nagy (1987) ; 47.廖美齡(2006)

表 1-6 繁殖場模式輸入參數與參考文獻

Group name	Biomass (gww m <sup>-2</sup> )	P/B (yr <sup>-1</sup> )	Q/B (yr <sup>-1</sup> )	P/Q	U/C
1.Phytoplankton		85.0 <sup>1</sup>	-	-	-
2.Periphyton	11.52 <sup>2</sup>	131.6 <sup>3</sup>	-	-	-
3.Shredders	0.074 <sup>3, 4</sup>	5.6 <sup>5, 6, 7, 8</sup>		0.11 <sup>7, 8, 9, 10</sup>	0.70 <sup>11, 12, 13</sup>
4.Scrapers	0.738 <sup>3, 4</sup>	6.4 <sup>14, 15, 16, 17, 18</sup>		0.06 <sup>19</sup>	0.50 <sup>11, 12, 13</sup>
5.Collector-filters	0.743 <sup>3, 4</sup>	8.5 <sup>16, 18, 20, 21</sup>		0.12 <sup>22, 23</sup>	0.45 <sup>11, 12, 13</sup>
6.Collector-gatherers	0.216 <sup>3, 4</sup>	13.0 <sup>18, 19, 24, 25</sup>		0.08 <sup>19, 25,</sup>	0.65 <sup>11, 12, 13</sup>
7.Predators	0.335 <sup>3, 4</sup>	6.2 <sup>15, 21, 24,</sup>		0.24 <sup>25, 27,</sup>	0.20 <sup>27, 28,</sup>
8.Grazers	0.419 <sup>30, 31</sup>	7.7 <sup>32, 33</sup>		0.12 <sup>33, 34</sup>	0.40 <sup>35, 36,</sup>
9. <i>Dugesia japonica</i>	0.288 <sup>31</sup>	8.1 <sup>24</sup>		0.20 <sup>24</sup>	0.24 <sup>24</sup>
10. <i>Varicorhinus barbatulus</i>	2.581 <sup>38, 39</sup>	0.7 <sup>39</sup>	11.7 <sup>39</sup>		0.20 <sup>28</sup>
11. <i>Oncorhynchus masou formosanus</i>	0.382 <sup>38, 39</sup>	0.3 <sup>39, 40</sup>	4.8 <sup>39</sup>		0.20 <sup>28</sup>
12.Birds	0.015 <sup>42, 43,</sup>	1.3 <sup>45</sup>	46.0 <sup>46</sup>		0.20 <sup>28</sup>
13.Detritus	26.42 <sup>47</sup>	-	-	-	-

( P/B, production/biomass ratio; Q/B, consumption/biomass ratio; P/Q, production/ consumption ratio; U/C is the nonassimilated part of the food.)

- 1.溫珮珍(2004) ; 2.林幸助(2004) ; 3.郭美華(2004) ; 4.郭美華(2005) ;  
 5. Grafius & Anderson (1979) ; 6. Iversen (1980) ; 7. Grafius & Anderson (1980) ;  
 8. Iversen (1988) ; 9. Oertli & Dall (1993) ; 10. Friberg & Jacobsen (1999) ; 11. Welch (1968) ;  
 12. Benke & Wallace (1980) ; 13. Haefner & Wallace (1981) ; 14. Benke et al. (1984) ;  
 15. Hall et al. (2000) ; 16. Carlisle & Clements (2003) ; 17. Dobrin & Giberson (2003) ;  
 18. Hall et al. (2006) ; 19. Benke & Jacobi (1994) ; 20.Dudgeon (1996) ;  
 21. Benke et al. (2001) ; 22. Ross & Wallace (1983) ; 23 Meyer & Poepperl (2004) ;  
 24. Lugthart et al. (1990) ; 25. Dermott (1980) ; 26Fisher & Gray (1983) ;  
 27. Heiman & Knight (1975) ; 28 Christensen et al. (2004) ; 29. Lawton (1970) ;  
 30.吳聲海(2004) ; 31.盧重成(2004) ; 32.吳聲海(2005) ; 33. Poepperl (2003) ;  
 34. Rist et al. (1997) ; 35. Altig & McDearman (1975) ; 36. Hunter (1975) ;  
 37 Benavides et al.(2005) ; 38.沈世傑(2004) ; 39.曾晴賢(2005) ; 40. Froese & Pauly (2007) ;  
 41. Chung et al. (2007) ; 42 孫元勳(2003) ; 43.孫元勳(2004) ; 44.孫元勳(2005) ;  
 45. Wiens & Nussbaum (1975) ; 46. Nagy (1987) ; 47.廖美齡(2006)

表 1-7 高山溪模式輸入參數與參考文獻

Group name	Biomass (gww m <sup>-2</sup> )	P/B (yr <sup>-1</sup> )	Q/B (yr <sup>-1</sup> )	P/Q	U/C
1.Phytoplankton	0.113 <sup>1</sup>	85.0 <sup>2</sup>	-	-	-
2.Periphyton	23.48 <sup>3</sup>	48.4 <sup>2</sup>	-	-	-
3.Shredders	0.056 <sup>4, 5</sup>	4.6 <sup>6, 7, 8, 9</sup>		0.10 <sup>8, 9, 10,</sup>	0.70 <sup>12, 13,</sup>
4.Scrapers	0.425 <sup>4, 5</sup>	6.4 <sup>15, 16, 17, 18, 19</sup>		0.06 <sup>20</sup>	0.50 <sup>12, 13,</sup>
5.Collector-filters	0.219 <sup>4, 5</sup>	7.6 <sup>17, 19, 20, 21</sup>		0.12 <sup>22, 23</sup>	0.50 <sup>12, 13,</sup>
6.Collector-gatherer	0.133 <sup>4, 5</sup>	15.2 <sup>19, 24, 25, 26</sup>		0.08 <sup>20, 25,</sup>	0.65 <sup>12, 13,</sup>
7.Predators	0.378 <sup>4, 5</sup>	5.8 <sup>16, 21, 24</sup>		0.25 <sup>23, 27,</sup>	0.20 <sup>27, 28,</sup>
8.Grazers	0.597 <sup>30, 31</sup>	8.5 <sup>32, 33</sup>		0.12 <sup>33, 34</sup>	0.40 <sup>35, 36 37</sup>
9. <i>Dugesia japonica</i>	0.015 <sup>31</sup>	8.1 <sup>23</sup>		0.20 <sup>23</sup>	0.24 <sup>23</sup>
11.Fishes	0.600 <sup>38, 39</sup>	0.3 <sup>40, 41</sup>	5.1 <sup>40</sup>		0.20 <sup>28</sup>
12.Birds	0.017 <sup>42, 43,</sup>	1.3 <sup>45</sup>	51.4		0.20 <sup>28</sup>
13.Detritus	26.35 <sup>47</sup>	-	-	-	-

( P/B, production/biomass ratio; Q/B, consumption/biomass ratio; P/Q, production/ consumption ratio; U/C is the nonassimilated part of the food.)

- 1.林幸助(2003) ; 2.溫珮珍(2004) ; 3.林幸助(2004) ; 4.郭美華(2004) ; 5.郭美華(2005) ;  
6. Grafius & Anderson (1979) ; 7. Iversen (1980) ; 8. Grafius & Anderson (1980) ;  
9. Iversen (1988) ; 10. Oertli & Dall (1993) ; 11. Friberg & Jacobsen (1999) ;  
12. Welch (1968) ; 13. Benke & Wallace (1980) ; 14. Haefner & Wallace (1981) ;  
15. Benke et al. (1984) ; 16. Hall et al. (2000) ; 17. Carlisle & Clements (2003) ;  
18. Dobrin & Giberson (2003) ; 19. Hall et al. (2006) ; 20. Benke & Jacobi (1994) ;  
21. Benke et al. (2001) ; 22. Ross & Wallace (1983) ; 23 Meyer & Poepperl (2004) ;  
24. Lugthart et al. (1990) ; 25. Dermott (1980) ; 26.Fisher & Gray (1983) ;  
27. Heiman & Knight (1975) ; 28. Christensen et al. (2004) ; 29. Lawton (1970) ;  
30.吳聲海(2004) ; 31.盧重成(2004) ; 32 吳聲海(2005) ; 33 Poepperl (2003) ;  
34. Rist et al. (1997) ; 35. Hunter (1975) ; 36. Altig & McDearman (1975) ;  
37 Benavides et al.(2005) ; 38.沈世傑(2004) ; 39.曾晴賢(2005) ;  
40. Froese & Pauly (2007) ; 41. Chung et al. (2007) ; 42 孫元勳(2003) ; 43.孫元勳(2004) ;  
44.孫元勳(2005) ; 45. Wiens & Nussbaum (1975) ; 46. Nagy (1987) ; 47.廖美齡(2006)

表 1-8 有勝溪模式輸入參數與參考文獻

Group name	Biomass (gww m <sup>-2</sup> )	P/B (yr <sup>-1</sup> )	Q/B (yr <sup>-1</sup> )	P/Q	U/C
1.Phytoplankton	0.003 <sup>1</sup>	127.8 <sup>2</sup>	-	-	-
2.Periphyton	147.4 <sup>3</sup>	27.4 <sup>2</sup>	-	-	-
3.Shredder	0.161 <sup>4, 5</sup>	2.8 <sup>6, 7, 8, 9</sup>		0.08 <sup>8, 9</sup>	0.70 <sup>11, 12, 13</sup>
4.Scrapers	0.289 <sup>4, 5</sup>	10.5 <sup>14, 15</sup>		0.07 <sup>16</sup>	0.50 <sup>11, 12, 13</sup>
5.Collector-filters	0.017 <sup>4, 5</sup>	14.0 <sup>17, 18</sup>		0.12 <sup>19, 20</sup>	0.40 <sup>11, 12, 13</sup>
6.Collector-gatherer	0.879 <sup>4, 5</sup>	6.4 <sup>21, 22, 23</sup>		0.09 <sup>21, 24</sup>	0.65 <sup>11, 12, 13</sup>
7.Predators	0.260 <sup>4, 5</sup>	5.7 <sup>22, 23, 25</sup>		0.20 <sup>20, 26</sup>	0.20 <sup>26</sup>
8.Grazers	2.746 <sup>27</sup>	3.8 <sup>29, 30</sup>		0.15 <sup>30, 31</sup>	0.40 <sup>32, 33</sup>
9. <i>Dugesia japonica</i>	0.932 <sup>28</sup>	8.1 <sup>20</sup>		0.2 <sup>20</sup>	0.24 <sup>20</sup>
10. <i>Crossostoma lacustre</i>	0.243 <sup>35</sup>	1.3 <sup>36</sup>	27.1 <sup>36</sup>		0.20 <sup>26</sup>
11. <i>Varicorhinus barbatulus</i>	1.452 <sup>35</sup>	0.7 <sup>36</sup>	15.1 <sup>36</sup>		0.20 <sup>26</sup>
12.Birds	1.959 <sup>37</sup>	1.3 <sup>38</sup>	25.6 <sup>39</sup>		0.20 <sup>26</sup>
13.Detritus	30.40 <sup>40</sup>	-	-	-	-

( P/B, production/biomass ratio; Q/B, consumption/biomass ratio; P/Q, production/ consumption ratio; U/C is the nonassimilated part of the food.)

- 1.林幸助(2003)；2.溫珮珍(2004)；3.林幸助(2004)；4.郭美華(2004)；5.郭美華(2005)  
6. Grafius & Anderson (1979) 7.Iversen (1988)；8. Grafius & Anderson (1980)；  
9. Iversen (1988)；10. Friberg & Jacobsen (1999)；11. Welch (1968)；  
12. Benke & Wallace (1980)；13. Haefner & Wallace (1981)；14. Benke et al. (1984)；  
15. Carlisle & Clements (2003)；16. Benke & Jacobi (1994)；17. Benke & Wallace (1997)；  
18. Benke et al. (2001)；19. Ross & Wallace (1983)；20. Meyer & Poepperl (2004)；  
21. Dermott (1980)；22. Lugthart et al. (1990)；23. Hall et al. (2000)；  
24. Fisher & Gray (1983)；25. Waters (1969)；26. Christensen et al. (2004)；  
27. 吳聲海(2004)；28. 盧重成(2004)；29. 吳聲海(2005)；30. Poepperl (2003)；  
31. Rist et al. (1997)；32. Hunter (1975)；33. Altig & McDearman (1975)；  
34. Benavides et al. (2005)；35. 呂光洋與汪靜明(1987)；36. Froese & Pauly (2007)；  
37. 張燕玲(2004)；38. Wiens & Nussbaum (1975)；39. Nagy (1987) 40. 廖美齡(2006)

表 1-9 桃山西溪生態系模式之食性組成比例。橫向為掠食者分類群，縱向為各分類群所攝食之獵物

Prey \ Predator	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 Phytoplankton			0.005	0.005					
2 Periphyton	0.21	0.70	0.395	0.20	0.09	0.50	0.30		0.05
3 Shredders					0.01			0.01	0.01
4 Scrapers			0.01		0.12			0.27	0.18
5 Collector-filters			0.02		0.17			0.04	0.31
6 Collector-gatherers			0.05		0.22			0.20	0.12
7 Predators			0.02		0.04			0.03	0.11
8 Grazers							0.05	0.04	
9 <i>Dugesia japonica</i>							0.01		
10 <i>Oncorhynchus masou formosanum</i>								0.01	0.02
11 Birds									
12 Detritus	0.79	0.30	0.50	0.795	0.35	0.50	0.64	0.05	
Import								0.35	0.20
Sum	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

表 1-10 一號壩生態系模式之食性組成比例。橫向為掠食者分類群，縱向為各分類群所攝食之獵物

Prey \ Predator	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 Phytoplankton			0.05	0.05						
2 Periphyton	0.26	0.70	0.15	0.20	0.10	0.50	0.3	0.50		0.05
3 Shredders					0.005			0.01	0.005	0.01
4 Scrapers			0.05		0.28			0.14	0.34	0.26
5 Collector-filters			0.01		0.03			0.02	0.05	0.08
6 Collector-gatherers			0.01		0.14			0.04	0.10	0.06
7 Predators			0.02		0.08			0.04	0.05	0.20
8 Grazers							0.05	0.05	0.04	0.15
9 <i>Dugesia japonica</i>							0.01			
10 <i>Varicorhinus barbatulus</i>										0.01
11 <i>Oncorhynchus masou formosanum</i>									0.01	0.02
12 Birds										
13 Detritus	0.74	0.30	0.71	0.75	0.365	0.50	0.64	0.20	0.05	
Import									0.355	0.16
Sum	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00



表 1-11 繁殖場生態系模式之食性組成比例。橫向為掠食者分類群，縱向為各分類群所攝食之獵物

Prey \ Predator	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 Pytoplankton			0.05	0.05						
2 Periphyton	0.41	0.70	0.15	0.20	0.08	0.50	0.30	0.50		0.04
3 Shredders					0.02			0.01	0.005	0.03
4 Scrapers			0.03		0.12			0.09	0.31	0.15
5 Collector-filters			0.04		0.18			0.08	0.1	0.35
6 Collector-gatherers			0.01		0.17			0.03	0.11	0.05
7 Predators			0.01		0.04			0.04	0.03	0.06
8 Grazers							0.05	0.05	0.04	0.12
9 <i>Dugesia japonica</i>							0.01			
10 <i>Varicorhinus barbatulus</i>										0.01
11 <i>Oncorhynchus masou formosanum</i>									0.01	0.02
12 Birds										
13 Detritus	0.59	0.30	0.71	0.75	0.39	0.50	0.64	0.20	0.05	
Import									0.345	0.17
Sum	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

表 1-12 高山溪生態系模式之食性組成比例。橫向為掠食者分類群，縱向為各分類群所攝食之獵物

Prey \ Predator	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 Phytoplankton			0.05	0.05					
2 Periphyton	0.35	0.70	0.15	0.20	0.11	0.50	0.30	0.06	
3 Shredders					0.01			0.01	0.10
4 Scrapers			0.03		0.16			0.21	0.20
5 Collector-filters			0.02		0.12			0.06	0.13
6 Collector-gatherers			0.01		0.17			0.1	0.07
7 Predators			0.02		0.08			0.09	0.27
8 Grazers							0.05	0.05	0.20
9 <i>Dugesia japonica</i>							0.01		
10 Fishes								0.01	0.03
11 Birds									
12 Detritus	0.65	0.30	0.72	0.75	0.35	0.50	0.64	0.05	
Import								0.36	
Sum	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

表 1-13 有勝溪生態系模式之食性組成比例。橫向為掠食者分類群，縱向為各分類群所攝食之獵物

Prey \ Predator	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 Phytoplankton			0.01	0.005						
2 Periphyton	0.37	0.70	0.20	0.245	0.10	0.50	0.30	0.55	0.55	0.20
3 Shredders					0.02			0.02	0.02	
4 Scrapers			0.06		0.1			0.05	0.05	
5 Collector-filters			0.01		0.01			0.005	0.005	
6 Collector-gatherers			0.14		0.3			0.14	0.14	
7 Predators			0.04		0.07			0.02	0.02	
8 Grazers					0.1		0.15		0.05	
9 <i>Dugesia japonica</i>							0.01			
10 <i>Crossostoma lacustre</i>										
11 <i>Varicorhinus barbatulus</i>										
12 Birds										
Detritus	0.63	0.30	0.54	0.75	0.30	0.50	0.54	0.215	0.165	
Import										0.80
Sum	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

表 1-14 使用前進式選取法所選出與魚類群聚有顯著相關的环境因子

Variables	R <sup>2</sup>	F	p value
Temp (水溫)	0.68	14.76	< 0.005
CON (導電度)	0.19	8.99	< 0.05
TOC (總有機碳)	0.07	6.53	< 0.05

表 1-15 鮭魚數量與七家灣溪流量的多變量迴歸模式分析結果

依變數	進入模式的自變數	自變數係數	Partial R <sup>2</sup>	Model R <sup>2</sup>	F	p
夏季鮭魚總數 (n = 10)	Intercept	5475			84.43	< 0.0001
	logWin	-8178	0.84		41.10	< 0.0005
	模式			0.84	41.10	< 0.0005
夏季成魚數量 (n = 10)	Intercept	3194			23.22	< 0.005
	logWin	-5546	0.66		15.28	< 0.005
	模式			0.66	15.28	< 0.005
夏季亞成魚數量 (n = 10)	Intercept	208.6			3.02	0.12
	LY_Ju	0.60	0.77		26.32	< 0.001
	模式			0.77	26.32	< 0.001
夏季幼魚數量 (n = 10)	沒有任何自變數達到顯著水準					
秋季鮭魚總數 (n = 11)	Intercept	2145			8.93	< 0.05
	SM_Ad	0.89	0.60		27.37	< 0.005
	SM_Ju	1.15	0.18		15.76	< 0.01
	logRain	-2402	0.11		7.25	< 0.05
	模式			0.89	19.14	< 0.001
秋季成魚數量 (n = 11)	Intercept	33.08			0.15	0.70
	SM_Ad	0.80	0.93		120.54	< 0.0001
	模式			0.93	120.54	< 0.0001
秋季亞成魚數量 (n = 11)	Intercept	158.7			1.57	0.24
	SM_Su	0.65	0.67		18.34	< 0.005
	模式			0.67	18.34	< 0.005
秋季幼魚數量 (n = 11)	Intercept	605.9			28.79	< 0.001
	SM_Ju	0.51	0.76		89.03	< 0.0001
	RainMax	-238.1	0.16		16.08	< 0.005
	模式			0.92	45.83	< 0.0001

表 1-16 武陵地區各測站之系統摘要分析結果( flow unit: g WW m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>)

	桃山西溪	一號壩	繁殖場	高山溪	有勝溪
Sum of all consumption	287	192	234	143	291
Sum of all exports	951	2128	1429	1087	3939
Sum of all respiratory flows	113	83.6	102	60.5	140
Sum of all flows into detritus	1104	2216	1546	1156	4064
Total system throughput (TST)	2454	4620	3311	2445	8434
Sum of all production	1093	2230	1554	1161	4071
NPP	1062	2210	1531	1146	4039
NSP	949	2126	1428	1086	3899
P/R	9.4	26.4	14.9	18.9	28.8
P/B	38.3	44.2	87.6	44.0	25.8
B/T	0.011	0.011	0.005	0.011	0.019
Total biomass (no detritus)	27.7	50.0	17.5	26.0	156.4
Throughput cycled	1.75	0.80	2.70	1.07	0.92
Finn's cycling index (FCI) (% of total throughput)	0.08	0.02	0.09	0.05	0.01
Average path length (APL)	2.06	2.01	2.02	2.02	2.01
D:H	1.32	0.94	1.16	1.07	1.11
Relative ascendancy (%)(A/C)	51.1	73.2	63.8	65.0	78.9
Relative redundancy (%)(R/C)	30.1	16.3	23.7	21.5	12.9
Development capacity (C) (g WW m <sup>-2</sup> ; bit)	4212	6120	5076	3542	11183

NPP = total net primary production, NSP = net system production,  
P/R = total primary production / total respiration,  
P/B = total primary production / total biomass,  
B/T = total biomass / total throughput, D:H = detritivory to herbivory ratio,  
Relative ascendancy = ascendancy / capacity,  
Relative redundancy = redundancy / capacity.

表 1-17 桃山西溪模式輸入(括弧處)與 Ecopath 輸出

Group name	TL	EE	GE	Comsumption (g ww m <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup> )	Respiration (g ww m <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup> )	Flow to detritus (g ww m <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup> )	Predation mortality (g ww m <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup> )	Net efficiency	Omnivory index
Phytoplankton	1.00	0.87	-	-	-	0.10	0.66	-	-
Periphyton	1.00	0.11	-	-	-	946	115	-	-
Shredders	2.00	0.96	(0.10)	1.95	0.39	1.37	0.19	0.33	0.00
Scrapers	2.00	0.94	(0.06)	64.6	28.4	32.6	3.64	0.12	0.00
Collector-filters	2.11	0.62	(0.12)	45.9	17.5	25.1	3.42	0.24	0.12
Collector-gatherers	2.00	0.80	(0.09)	86.8	22.6	58.0	6.23	0.26	0.00
Predators	2.60	0.55	(0.25)	12.1	6.65	3.79	1.66	0.31	0.30
Grazers	2.00	0.09	(0.12)	59.9	28.7	30.5	0.67	0.20	0.00
<i>Dugesia japonica</i>	2.06	0.05	(0.20)	8.71	4.88	3.74	0.09	0.26	0.06
<i>Oncorhynchus masou formosanus</i>	2.96	0.05	0.23	5.95	3.40	2.48	0.07	0.29	0.38
Birds	3.09	0.00	0.03	0.68	0.52	0.16	0.00	0.04	0.25
Detritus	1.00	0.14	-	-	-	-	-	-	0.14

TL = trophic level, EE = ecotrophic efficiency, GE = gross efficiency.

表 1-18 一號壩模式輸入(括弧處)與 Ecopath 輸出

Group name	TL	EE	GE	Consumption (g ww m-2 yr-1)	Respiration (g ww m-2 yr-1)	Flow to detritus (g ww m-2)	Predation mortality (g ww m-2 yr-1)	Net efficiency	Omnivory index
Phytoplankton	1.00	0.43	-	-	-	2.60	1.99	-	-
Periphyton	1.00	0.04	-	-	-	2113	91.4	-	-
Shredders	2.00	0.95	(0.14)	0.54	0.09	0.38	0.07	0.47	0.00
Scrapers	2.00	0.81	(0.06)	85.2	37.5	43.6	4.15	0.12	0.00
Collector-filters	2.10	0.79	(0.12)	6.23	2.37	3.28	0.59	0.24	0.11
Collector-gatherers	2.00	0.57	(0.08)	33.7	9.09	23.0	1.53	0.23	0.00
Predators	2.58	0.69	(0.25)	6.10	3.35	1.69	1.05	0.31	0.32
Grazers	2.00	0.31	(0.12)	34.7	16.6	16.7	1.30	0.20	0.00
Dugesia japonica	2.06	0.05	(0.20)	18.9	10.6	8.13	0.19	0.26	0.06
<i>Varicorhinus barbatulus</i>	2.33	0.08	0.13	0.66	0.45	0.21	0.01	0.16	0.26
<i>Oncorhynchus masou formosanus</i>	2.97	0.05	0.26	5.46	2.97	2.42	0.07	0.32	0.40
Birds	3.12	0.00	0.03	0.69	0.53	0.16	0.00	0.04	0.22
Detritus	1.00	0.04	-	-	-	-	-	-	0.05

TL = trophic level, EE = ecotrophic efficiency, GE = gross efficiency.

表 1-19 繁殖場模式輸入(括弧處)與 Ecopath 輸出

Group name	TL	EE	GE	Consumption (g ww m-2 yr-1)	Respiration (g ww m-2 yr-1)	Flow to detritus (g ww m-2)	Predation mortality (g ww m-2 yr-1)	Net efficiency	Omnivory index
Pytoplankton	1.00	0.30	-	-	-	10.2	4.39	-	-
Periphyton	1.00	0.06	-	-	-	1419	96.1	-	-
Shredders	2.00	0.82	(0.11)	3.77	0.72	2.71	0.34	0.37	0.00
Scrapers	2.00	0.96	(0.06)	78.7	34.6	39.6	4.52	0.12	0.00
Collector-filters	2.10	0.82	(0.12)	52.6	22.6	24.8	5.18	0.22	0.10
Collector-gatherers	2.00	0.94	(0.08)	35.1	9.48	23.0	2.64	0.23	0.00
Predators	2.57	0.73	(0.24)	8.65	4.85	2.29	1.52	0.30	0.30
Grazers	2.00	0.44	(0.12)	26.9	12.9	12.6	1.42	0.20	0.00
Dugesia japonica	2.06	0.05	(0.20)	11.7	6.53	5.02	0.12	0.26	0.06
<i>Varicorhinus barbatulus</i>	2.33	0.00	0.13	13.7	9.14	4.54	0.01	0.17	0.27
<i>Oncorhynchus masou formosanus</i>	2.96	0.08	0.23	1.83	1.05	0.76	0.03	0.29	0.38
Birds	3.06	0.00	0.03	0.69	0.53	0.16	0.00	0.04	0.18
Detritus	1.00	0.08	-	-	-	-	-	-	0.08

TL = trophic level, EE = ecotrophic efficiency, GE = gross efficiency.



表 1-20 高山溪模式輸入(括弧處)與 Ecopath 輸出

Group name	TL	EE	GE	Consumption (g ww m-2 yr-1)	Respiration (g ww m-2 yr-1)	Flow to detritus (g ww m-2)	Predation mortality (g ww m-2 yr-1)	Net efficiency	Omnivory index
Phytoplankton	1.00	0.20	-	-	-	7.65	1.96	-	-
Periphyton	1.00	0.06	-	-	-	1074	62.3	-	-
Shredders	2.00	0.80	(0.10)	2.58	0.52	1.86	0.21	0.33	0.00
Scrapers	2.00	0.97	(0.06)	45.3	20.0	22.8	2.64	0.12	0.00
Collector-filters	2.09	0.98	(0.12)	13.9	5.27	6.97	1.63	0.24	0.11
Collector-gatherer	2.00	0.99	(0.08)	25.3	6.82	16.5	2.00	0.23	0.00
Predators	2.60	0.68	(0.25)	8.77	4.82	2.46	1.49	0.31	0.33
Grazers	2.00	0.07	(0.12)	42.3	20.3	21.6	0.36	0.20	0.00
Dugesia japonica	2.06	0.05	(0.20)	0.61	0.34	0.26	0.01	0.26	0.06
Fishes	2.92	0.09	0.22	3.06	1.79	1.22	0.06	0.27	0.46
Birds	3.20	0.00	0.03	0.87	0.68	0.20	0.00	0.03	0.08
Detritus	1.00	0.06	-	-	-	-	-	-	0.07

TL = trophic level, EE = ecotrophic efficiency, GE = gross efficiency.

表 1-21 有勝溪模式輸入(括弧處)與 Ecopath 輸出

Group name	TL	EE	GE	Consumption (g ww m-2 yr-1)	Respiration (g ww m-2 yr-1)	Flow to detritus (g ww m-2)	Predation mortality (g ww m-2 yr-1)	Net efficiency	Omnivory index
Phytoplankton	1.00	0.87	-	-	-	0.05	0.33	-	-
Periphyton	1.00	0.03	-	-	-	3927	112	-	-
Shredders	2.00	0.89	(0.08)	5.64	1.24	3.99	0.40	0.27	0.00
Scrapers	2.00	0.49	(0.07)	43.4	18.6	23.2	1.49	0.14	0.00
Collector-filters	2.28	0.66	(0.12)	1.98	0.95	0.87	0.16	0.20	0.25
Collector-gatherers	2.00	0.76	(0.09)	62.5	16.3	42.0	4.27	0.26	0.00
Predators	2.65	0.57	(0.20)	7.41	4.45	2.11	0.85	0.25	0.31
Grazers	2.00	0.66	(0.15)	69.6	31.3	31.4	6.90	0.25	0.00
Dugesia japonica	2.16	0.05	(0.20)	37.8	21.2	16.2	0.38	0.26	0.14
<i>Crossostoma lacustre</i>	2.25	0.00	0.13	2.65	1.78	0.87	0.00	0.16	0.21
<i>Varicorhinus barbatulus</i>	2.30	0.00	0.12	10.0	6.85	3.17	0.00	0.15	0.23
Birds	2.00	0.00	0.05	50.2	37.6	12.6	0.00	0.06	0.13
Detritus	1.00	0.03	-	-	-	-	-	-	0.04

TL = trophic level, EE = ecotrophic efficiency, GE = gross efficiency.

表 1-22 蘭陽溪、武陵地區溪流與其他溪流之系統分析比較( flow unit: g WW m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>)

Country	Taiwan			Germany	Germany	England	
Study site	<sup>a</sup> Chijiawan Stream	<sup>a</sup> Gaoshan Stream	<sup>a</sup> Yousheng Stream	<sup>a</sup> Lanyang River	<sup>b</sup> Steina Stream	<sup>c</sup> Alte Schwentine River	<sup>d</sup> Thames River
Class	upstream	upstream	upstream	upstream midstream	upstream	upstream	down stream
Sum of all consumption	192~287	143	291	4~77	6489	13239	4133
Sum of all exports	951~2128	1087	3939	142~483	9.1	14.7	858
Sum of all respiratory	84~113	60.5	140	2~47	3441	3455	1468
Sum of all flows into detritus	1104~2216	1156	4064	148~500	9764	12013	3340
Total system throughput	2454~3311	2445	8434	312~1108	19703	28722	9798
Sum of all production	1093~2230	1161	4071	150~540	2282	3895	2793
NPP	1062~2210	1146	4039	150~530	857	2896	1904
NSP	949~2126	1086	3899	142~483	2430	560	NA
P/R	9.4~26.4	18.9	28.8	11.3~78.8	0.25	0.84	1.3
P/B	38~87	44.0	25.8	59~127	5.48	0.91	NA
B/T	0.005~0.011	0.011	0.019	0.004~0.008	0.01	0.11	NA
Total biomass	17.5~50.0	26.0	156.4	1.4~7.4	156	168	314
TE(%)	0.3~5.5	0.4~4.9	0.1~6.0	0.0~9.3	2.6~7.1	0.2~6.0	0.0~8.3
Finn's cycling index (% of total throughput)	0.02~0.09	0.05	0.01	0.01	25.1		NA

\* <sup>a</sup> this study <sup>b</sup> Meyer & Poepperl (2004) <sup>c</sup> Poepperl (2003) <sup>d</sup> Mathews (1993)

\* Chijawan Stream including site Ta, D1 and BC; Lanyan River including site Sh, Ji, Ja and Ni

\* NPP = total net primary production, NSP = net system production,

P/R = total primary production / total respiration, P/B = total primary production / total biomass,

B/T = total biomass / total throughput, TE = trophic transfer efficiency

表 1-23 蘭陽溪溪流生態系與武陵地區溪流環境因子主成分分析

變數	主成分		
	1	2	3
T	0.021	-0.006	-0.146
pH	0.009	0.012	-0.007
V	0.107	0.077	-0.085
DIN	-0.012	-0.962	0.213
DIP	0.023	-0.25	-0.929
Cond.	0.122	0.08	-0.236
DO	-0.013	-0.007	0.057
Turb.	0.986	-0.024	0.066
特徵值	850	124	54.5
解釋變異(%)	80.1	11.7	5.1
累積解釋變異(%)	80.1	91.8	97.0

Temperature (T: °C), pH, velocity (V: cm/s), dissolved inorganic nitrogen (DIN: mg/L), dissolved inorganic phosphorus (DIP: mg/L), conductivity (Cond.: μs/cm), dissolved oxygen (DO: mg/L) and turbidity (Turb.: NTU).

表 1-24 各測站 GPS 座標與環境因子年平均值(Mean)與標準偏差(Standard Deviation, SD)

測站(中文)	測站(英文)	縮寫	海拔 (m)	經緯度	Temp.( °C)	pH	V (cm/s)	DIN (mg/L)	DIP (mg/L)	Cond. ( $\mu$ S/cm)	DO (mg/L)	Turb. (NTU)
七家灣溪流域												
桃山西溪	Taoshan West Stream	Ta	1891	N 24 ° 14' 23.6" E 121 ° 10' 46.8"	Mean	7.50	58.5	0.57	0.02	202	10.9	0.30
					SD	(0.3)	(28.8)	(0.75)	(0.02)	(50)	(0.9)	(0.34)
七家灣溪 一號壩	Dam I, Cijiawan Stream	D1	1784	N 24 ° 13' 27.0" E 121 ° 10' 53.5"	Mean	7.65	70.0	1.37	0.01	221	10.9	1.56
					SD	(0.4)	(16.6)	(0.67)	(0.01)	(41)	(0.6)	(2.49)
七家灣溪 繁殖場	Breeding Center, Cijiawan Stream	BC	1713	N 24 ° 12' 46.7" E 121 ° 10' 57.1"	Mean	7.63	65.7	0.35	0.00	192	11.2	0.87
					SD	(0.3)	(18.6)	(0.32)	(0.00)	(35)	(0.5)	(0.84)
高山溪	Gaoshan Stream	Ga	1747	N 24 ° 12' 57.7" E 121 ° 10' 47.2"	Mean	7.84	56.1	0.19	0.00	184	11.4	0.51
					SD	(0.4)	(15.3)	(0.13)	(0.00)	(35)	(0.3)	(0.55)
有勝溪	Yousheng Stream	Yo	1711	N 24 ° 12' 33.3" E 121 ° 10' 43.0"	Mean	7.75	41.7	2.39	0.01	267	10.5	0.80
					SD	(0.6)	(19.4)	(1.30)	(0.01)	(47)	(0.6)	(0.94)

續表 1-24

測站(中文)	測站(英文)	縮寫	海拔(m)	經緯度	Temp.( °C)	pH	V (cm/s)	DIN (mg/L)	DIP (mg/L)	Cond. ( $\mu$ S/cm)	DO (mg/L)	Turb. (NTU)
蘭陽溪流域												
實谷富溪	Shgufuh Stream	Sh	824	N 24°28' 01.2"	Mean	15.8	60.8	0.19	0.01	499	9.8	6.78
				E 121°24' 41.6"								
繼光	Jikwan	Ji	760	N 24°28' 44.6"	Mean	16.8	122.1	0.73	0.01	605	9.5	450
				E 121°25' 00.5"								
家源	Jiayuan	Ja	388	N 24°34' 45.6"	Mean	18.1	140.7	0.56	0.01	427	9.9	37.68
				E 121°29' 13.8"								
牛鬮	Niourdouh	Ni	201	N 24°38' 43.8"	Mean	20.3	47.7	0.28	0.01	462	8.9	15.54
				E 121°34' 26.1"								
蘭陽大橋	Lanyang Bridge	La	198	N 24°42' 54.4"	Mean	23.5	23.1	1.03	0.18	835	8.2	225
				E 121°46' 17.6"								
河口	Lanyang River estuary	Es	5	N 24°42' 21.1"	Mean	23.7	4.3	0.84	0.16	4667	7.1	31.05
				E 121°50' 06.7"								

環境因子參考文獻：七家灣溪流域流速(廖美齡 2006)，其他環境因子(官文惠等 2005)  
 蘭陽溪流域濁度(林幸助等 2004)，其他環境因子(張玄勳 2007)

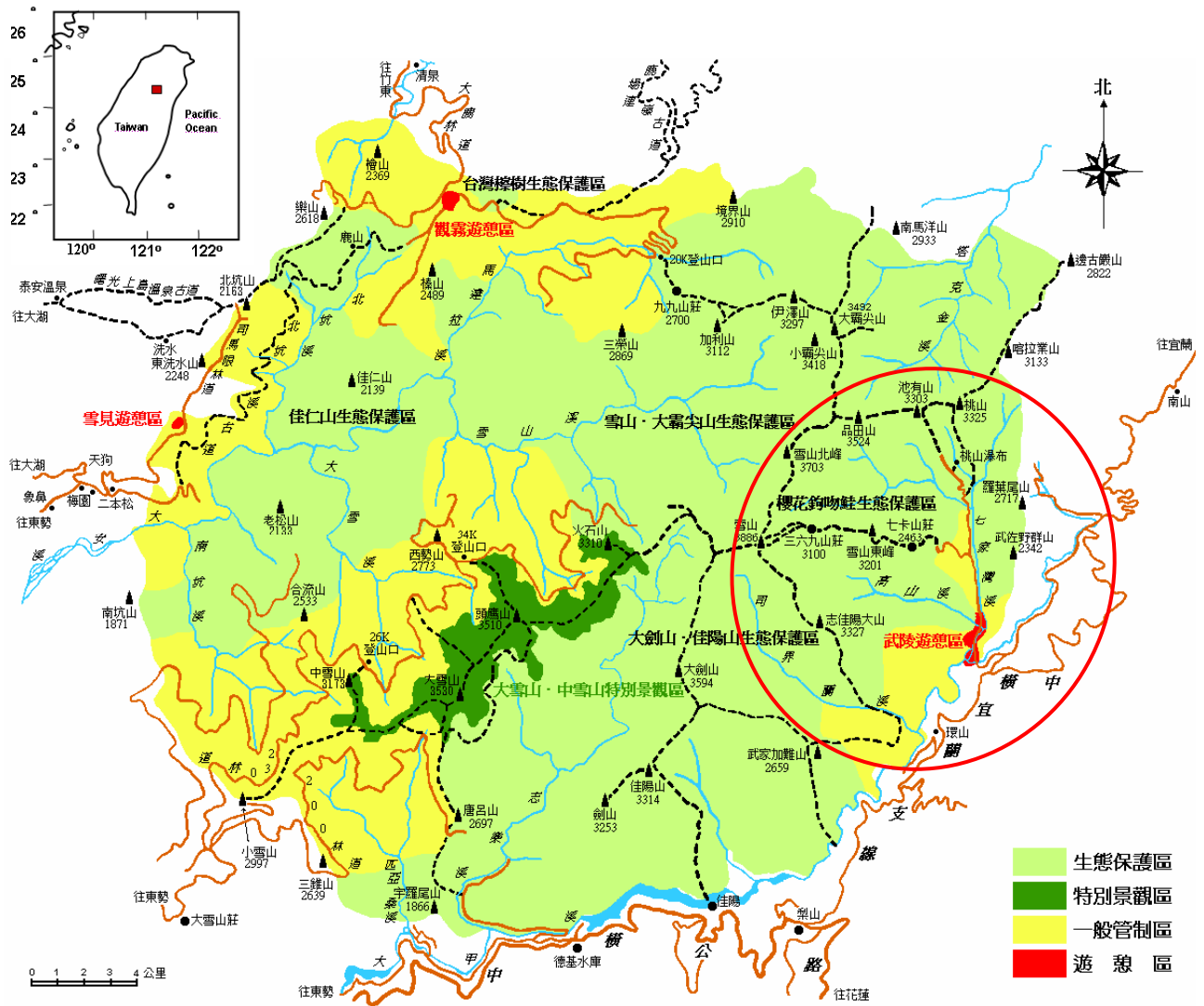


圖 1-1 武陵地區七家灣溪流流域研究地區位置圖

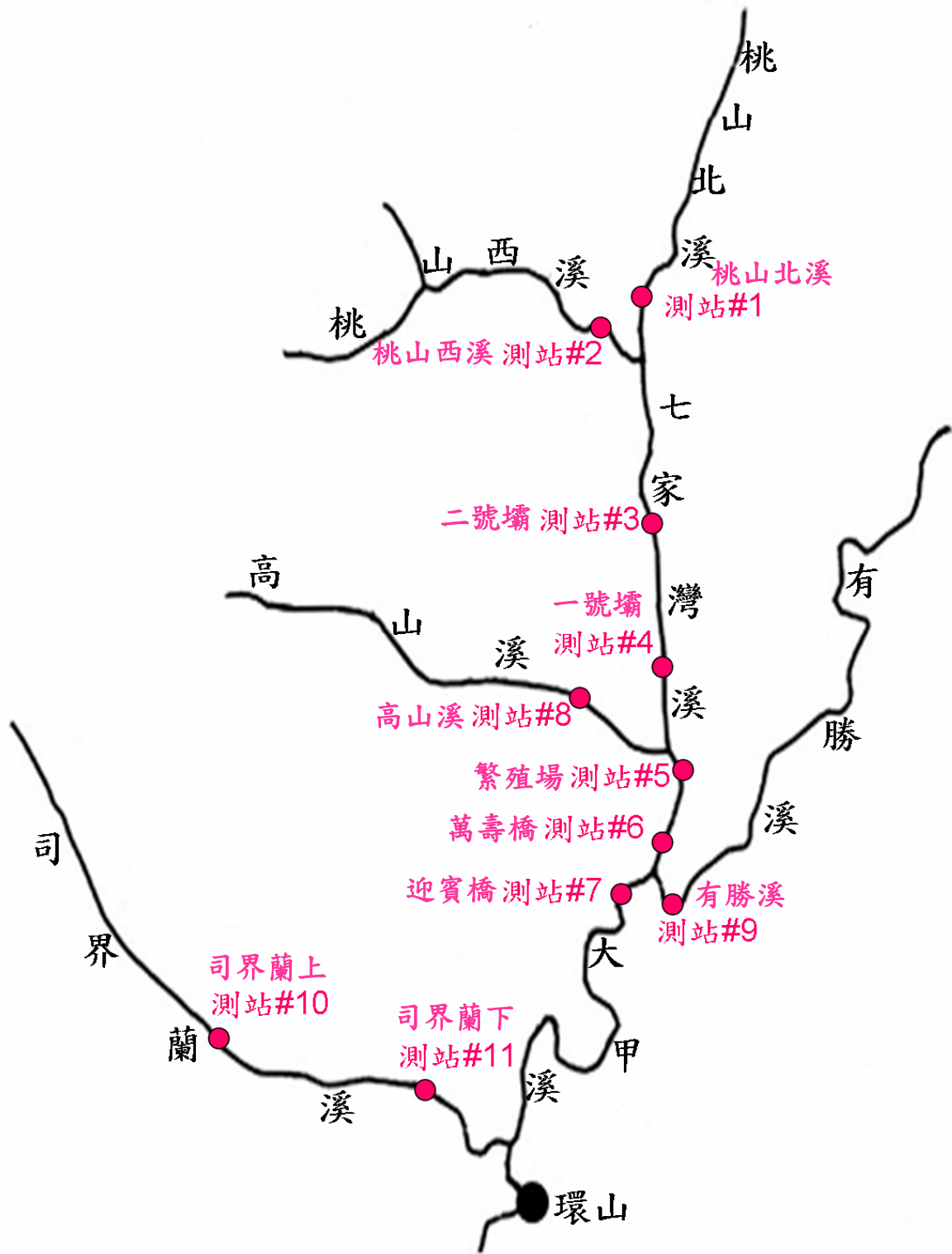


圖 1-2 各研究測站相關位置圖



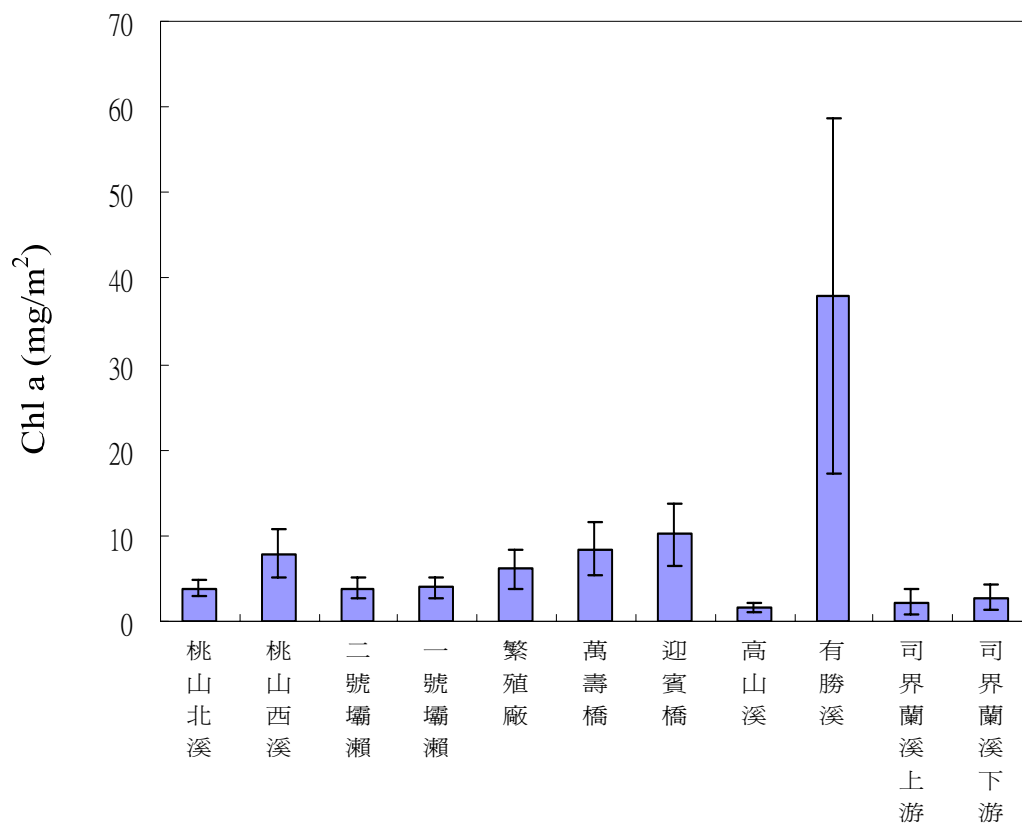


圖 1-3 2006/6-2007/11 各測站年平均單位面積葉綠素 a 含量

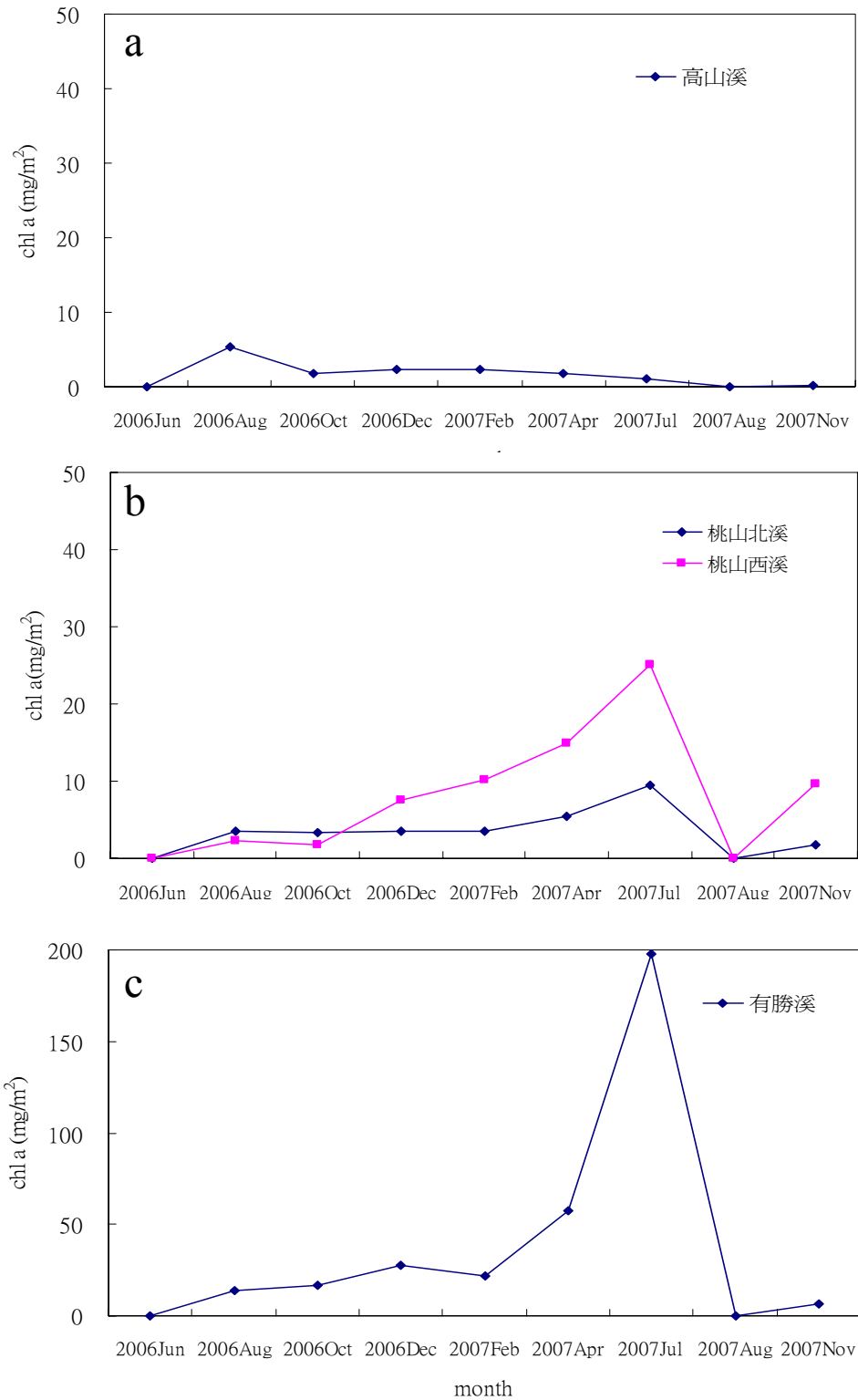
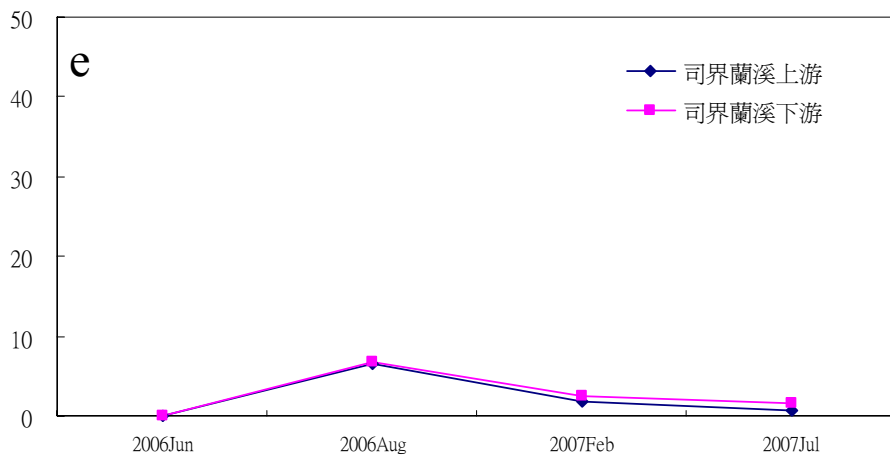
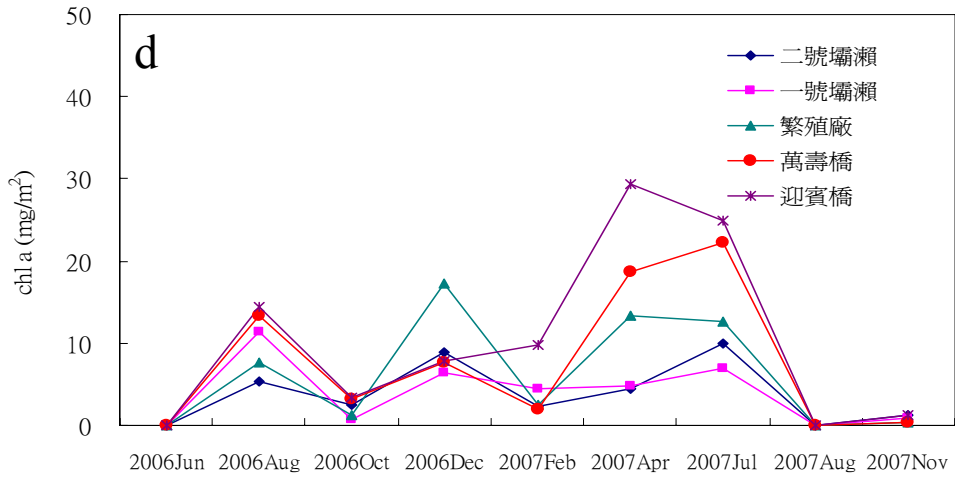


圖 1-4 各測站單位面積葉綠素 a 含量月變化 a.高山溪 b.桃山溪 c.有勝溪 d.七家灣溪 e.司界蘭溪



(續)圖 1-4 d.七家灣溪 e.司界蘭溪

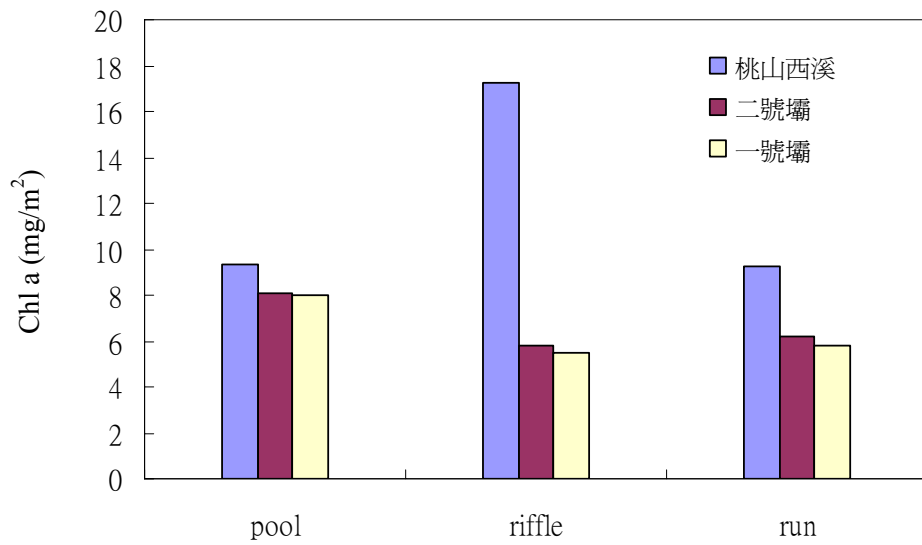


圖 1-5 桃山西溪、二號壩及一號壩三測站微棲地生物量比較

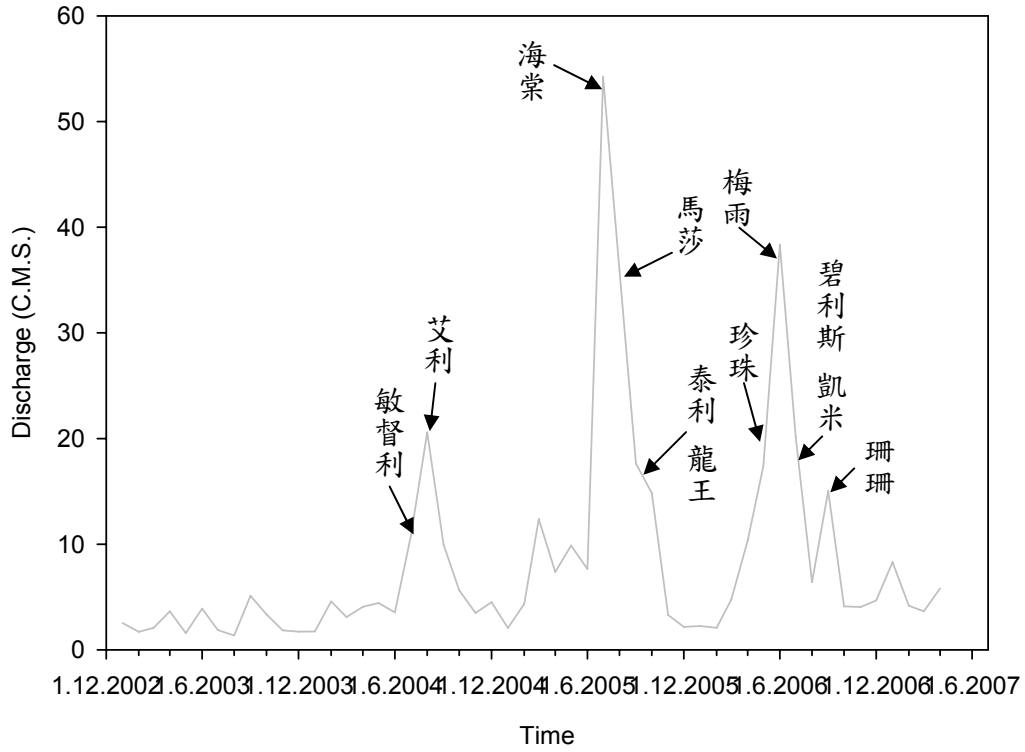


圖 1-6 2003 年 12 月到 2007 年 4 月流量

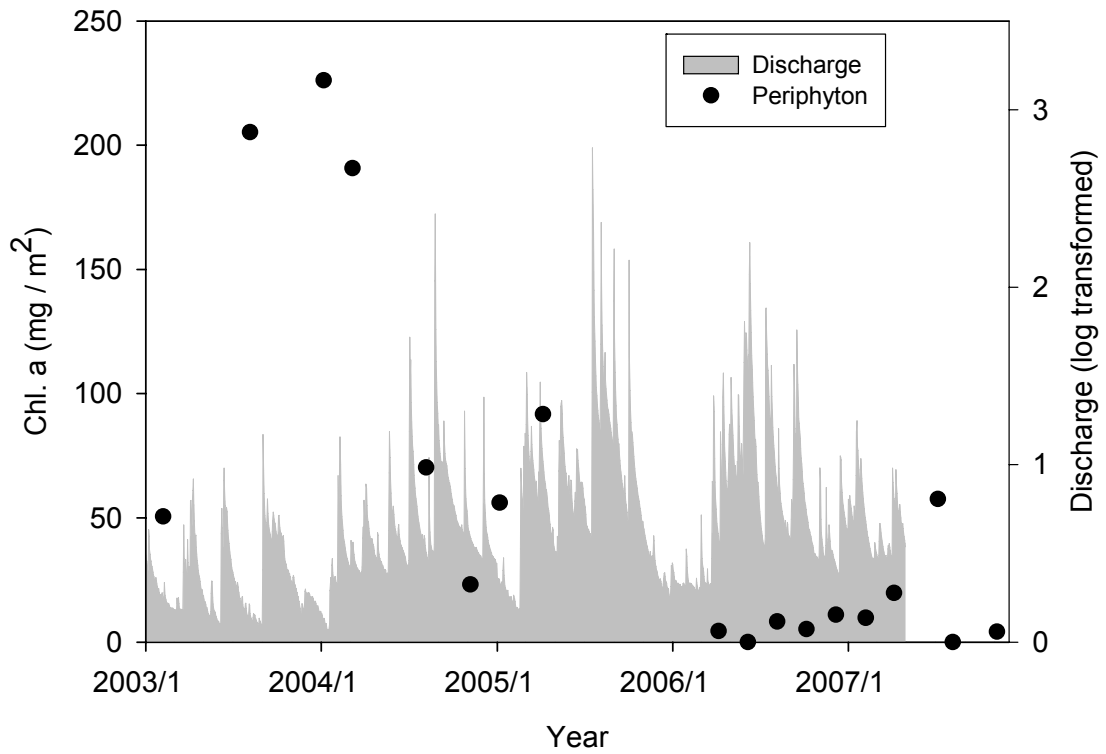


圖 1-7 2003 年到 2007 年單位面積藻類葉綠素 a 含量與流量變化

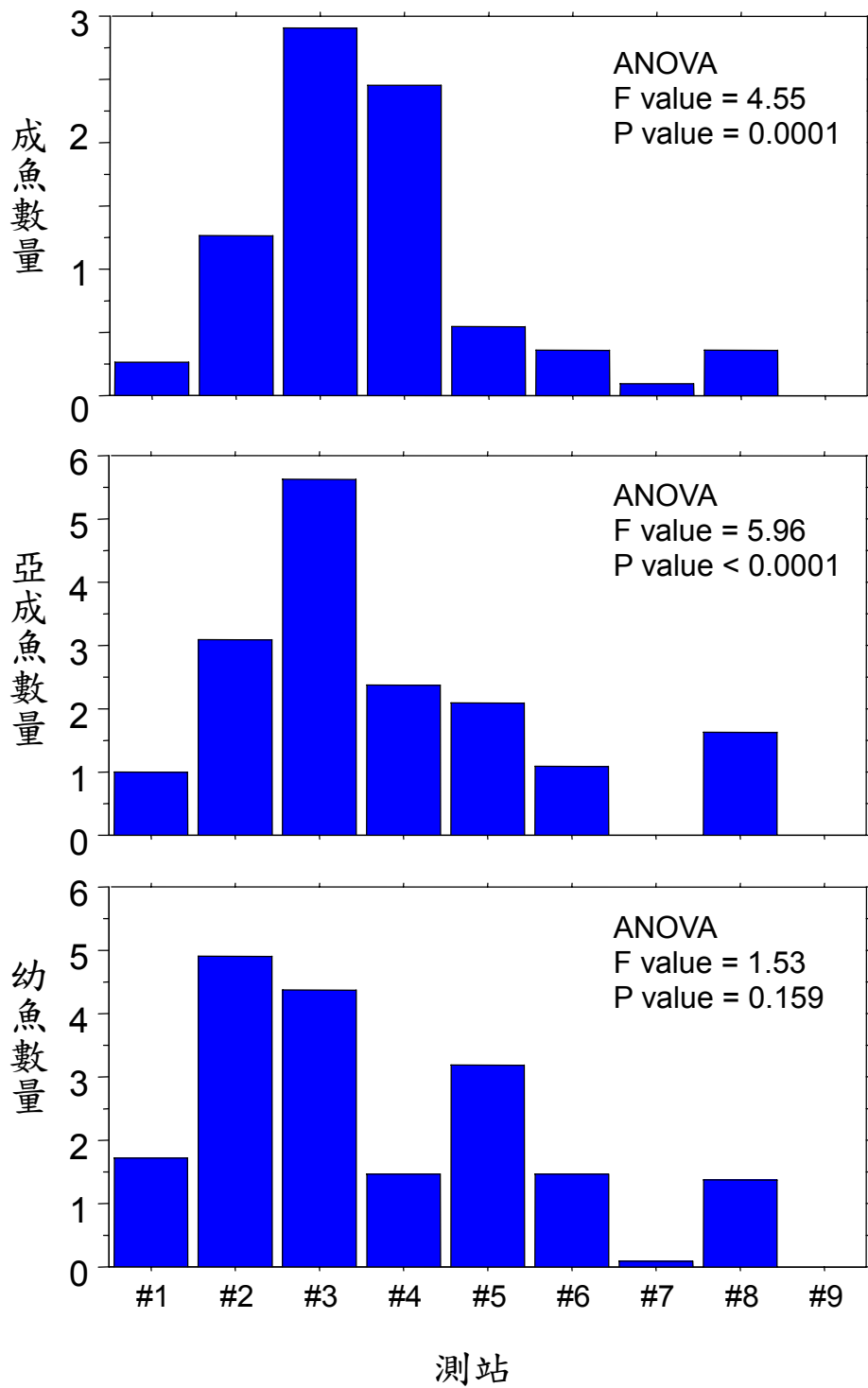


圖 1-8 武陵地區各研究測站台灣櫻花鉤吻鮭成魚、亞成魚與幼魚的平均數量。

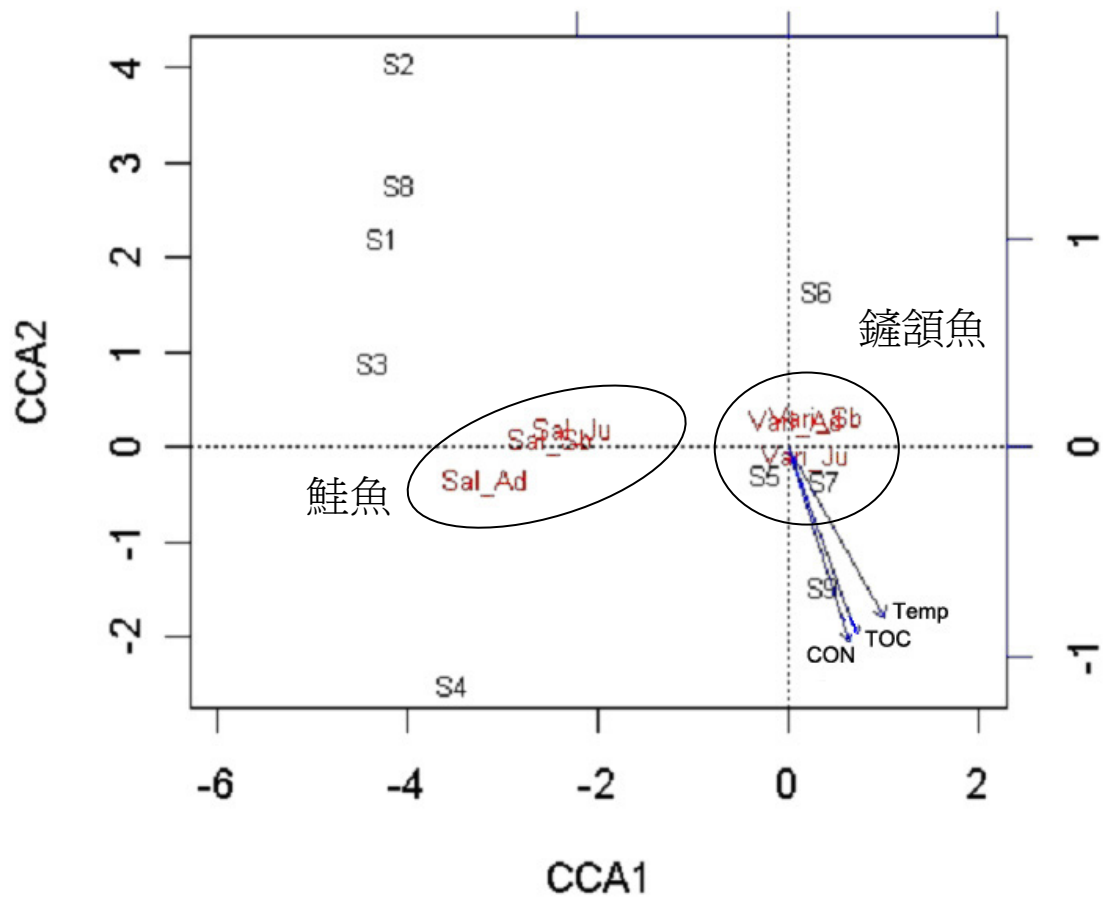


圖 1-9 魚類群聚與環境因子間典型對應分析(CCA)的排序圖。S1~S8 為各測站代碼。Sal\_Ad、Sal\_Su 與 Sal\_Ju 分別是台灣櫻花鉤吻鮭魚成魚、亞成魚與幼魚。Vari\_Ad、Vari\_Su 與 Vari\_Ju 分別是台灣鏟頰魚成魚、亞成魚與幼魚。Temp 為水溫，CON 為導電度，TOC 為總有機碳。

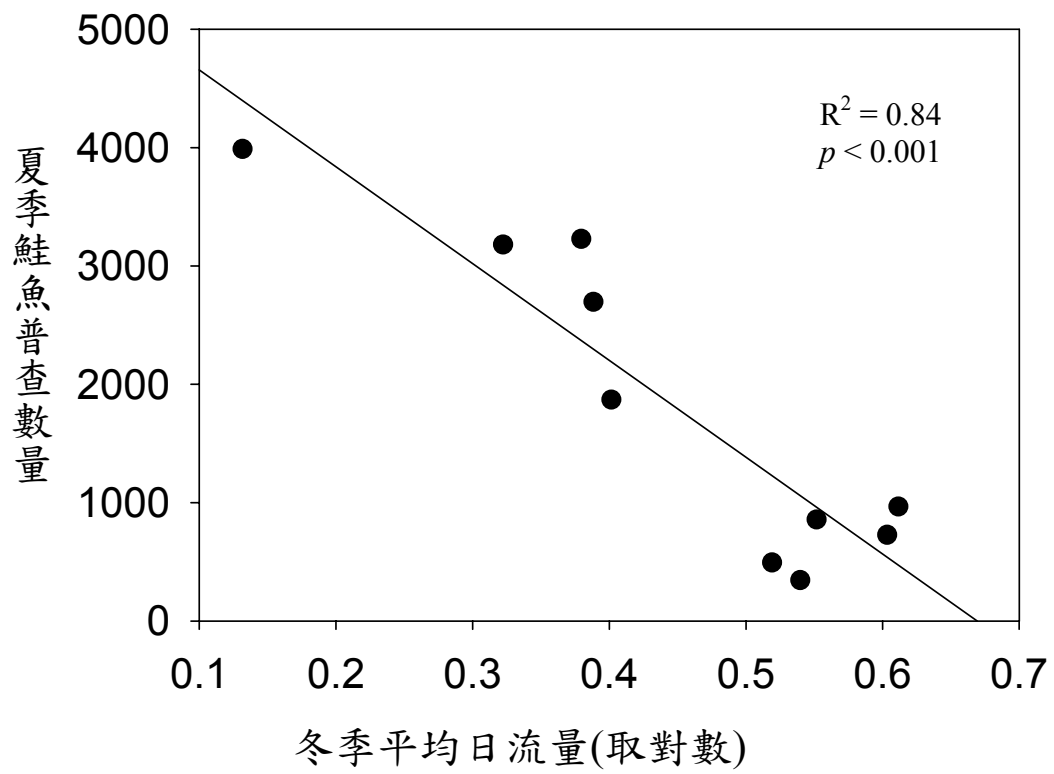


圖 1-10 七家灣溪夏季鮭魚普查數量與冬季平均日流量的關係圖。

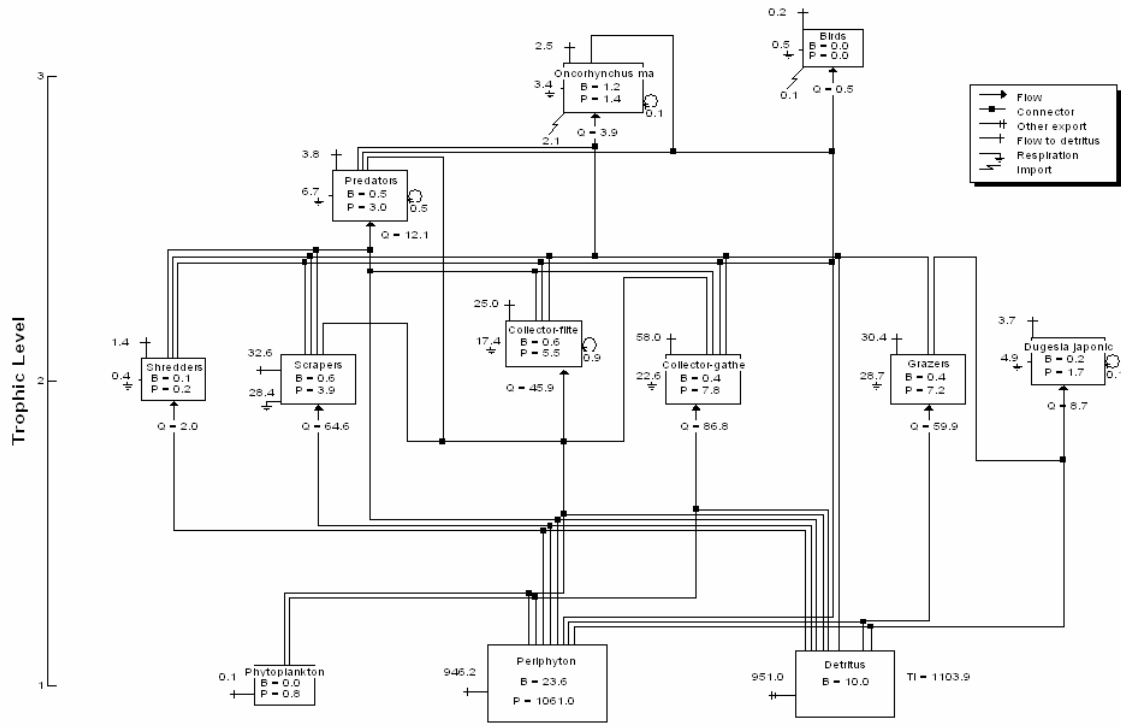


圖 1-11 桃山西溪食物網能流圖

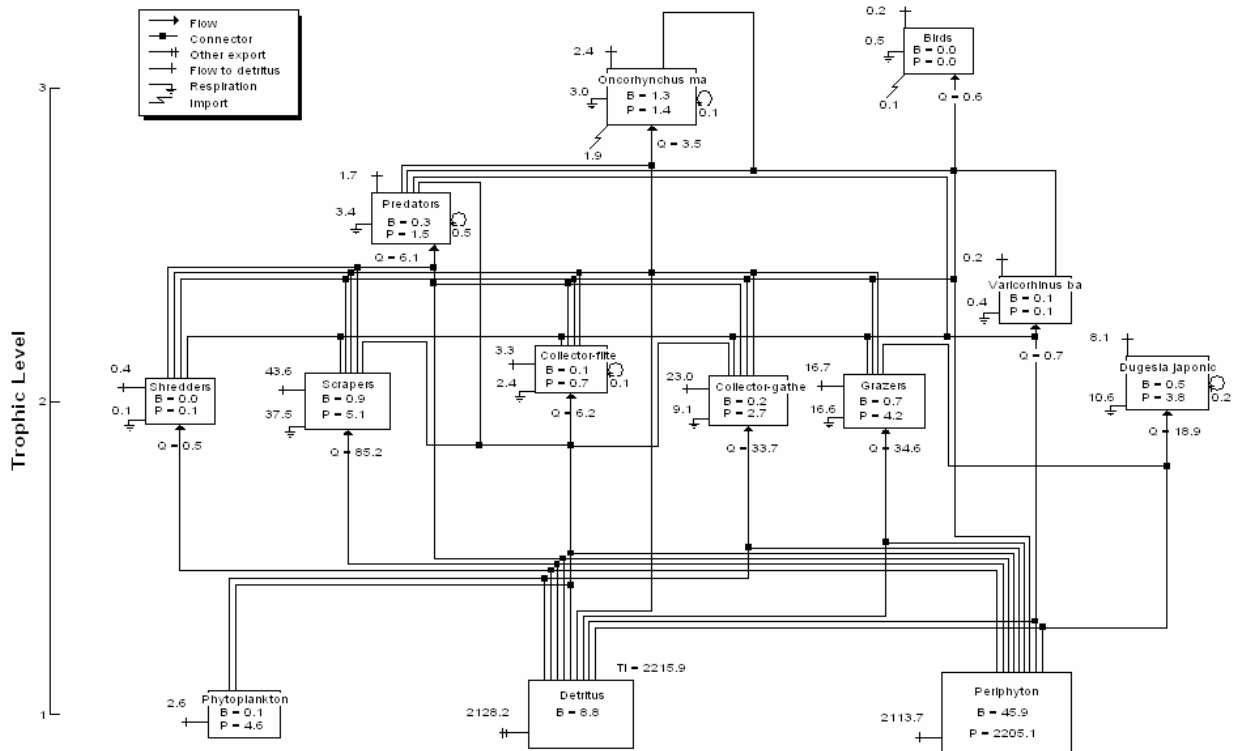


圖 1-12 一號壩食物網能流圖



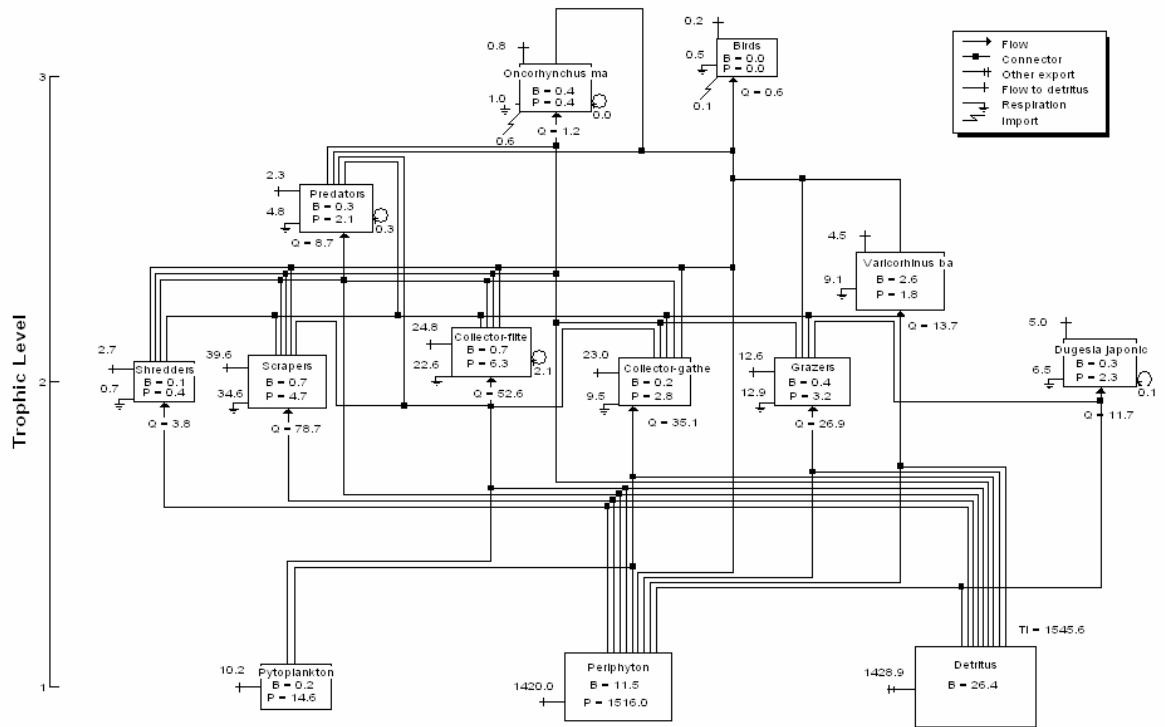


圖 1-13 繁殖場食物網能流圖

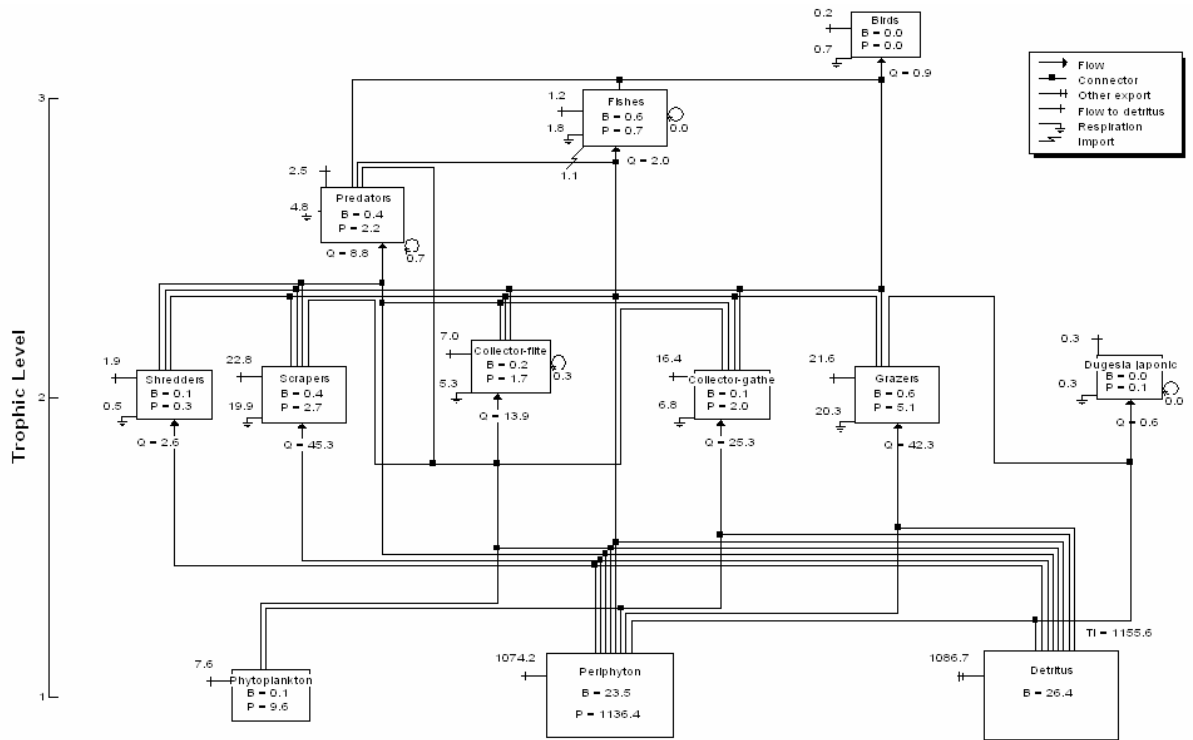


圖 1-14 高山溪食物網能流圖

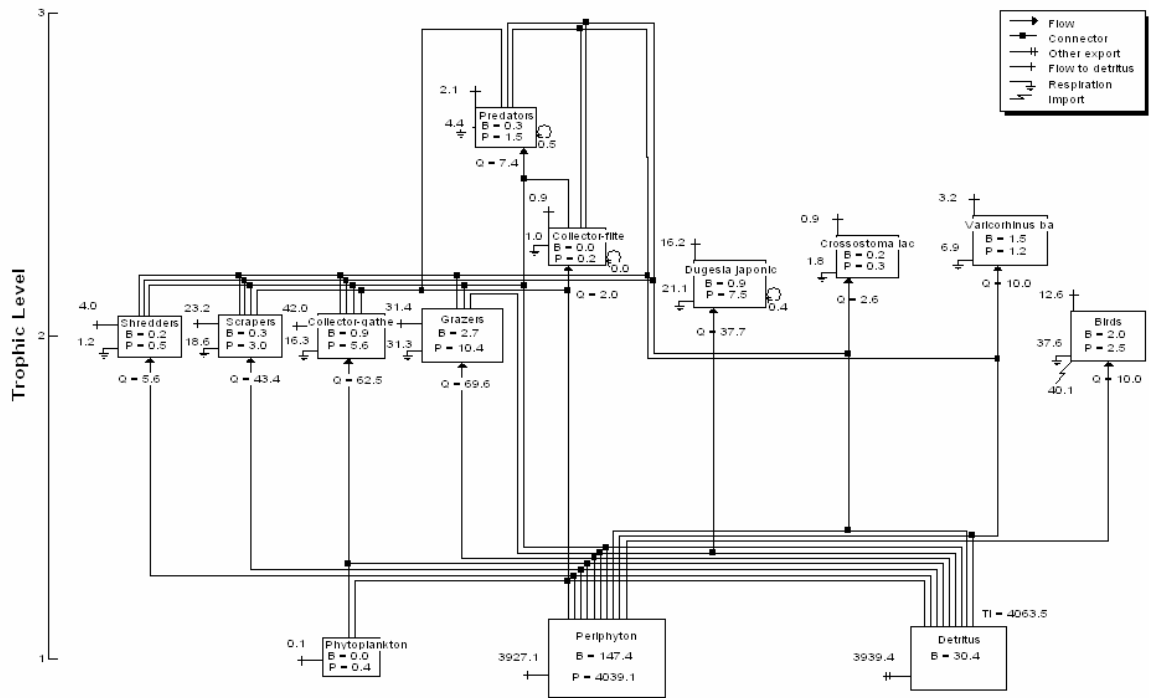


圖 1-15 有勝溪食物網能流圖

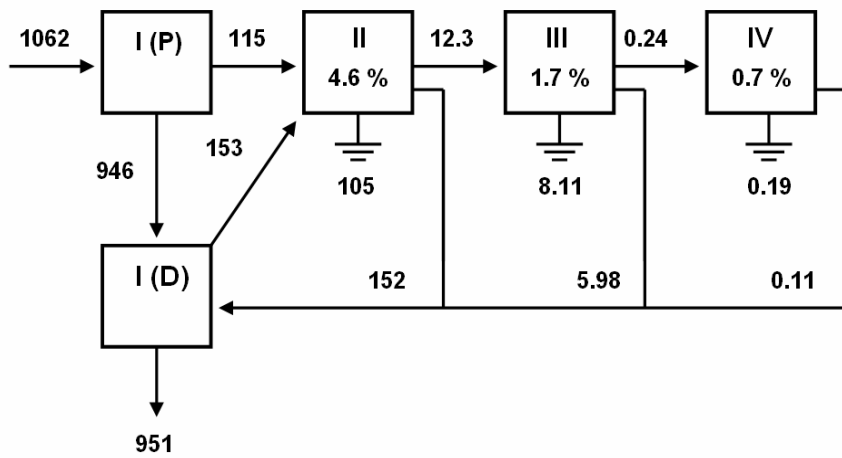


圖 1-16 桃山西溪 Lindeman 食物鏈物質傳輸模式圖。P 表初級生產者，D 表碎屑，物質分別傳輸至 I、II、III、IV 等四個營養階層

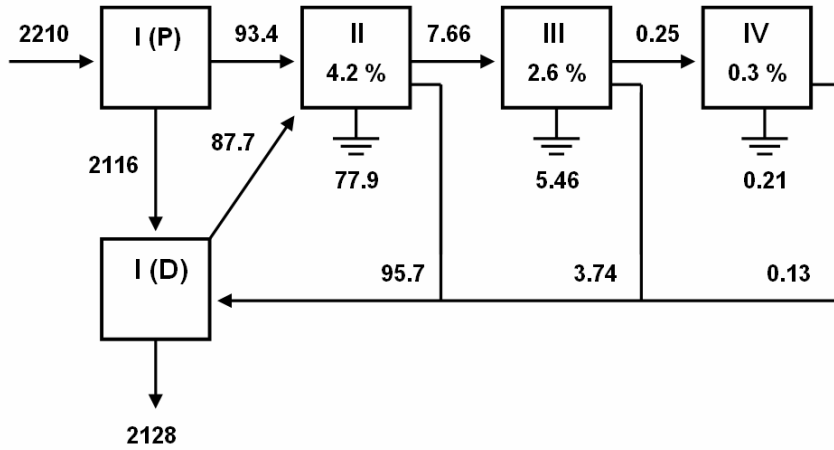


圖 1-17 一號壩 Lindeman 食物鏈物質傳輸模式圖

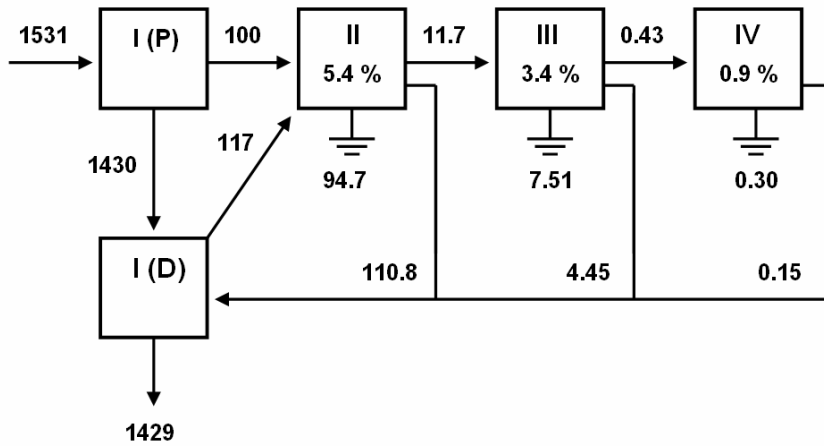


圖 1-18 繁殖場 Lindeman 食物鏈物質傳輸模式圖

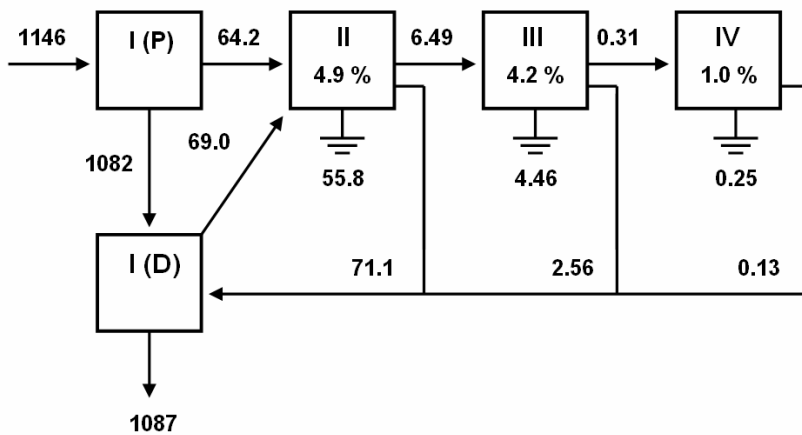


圖 1-19 高山溪 Lindeman 食物鏈物質傳輸模式圖

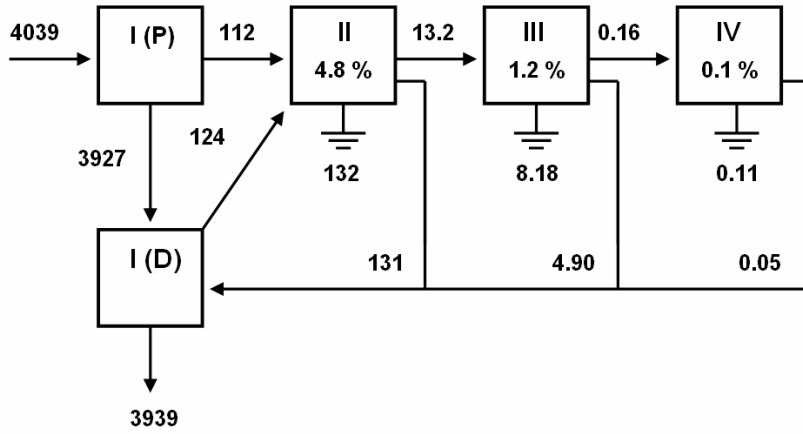


圖 1-20 有勝溪 Lindeman 食物鏈物質傳輸模式圖

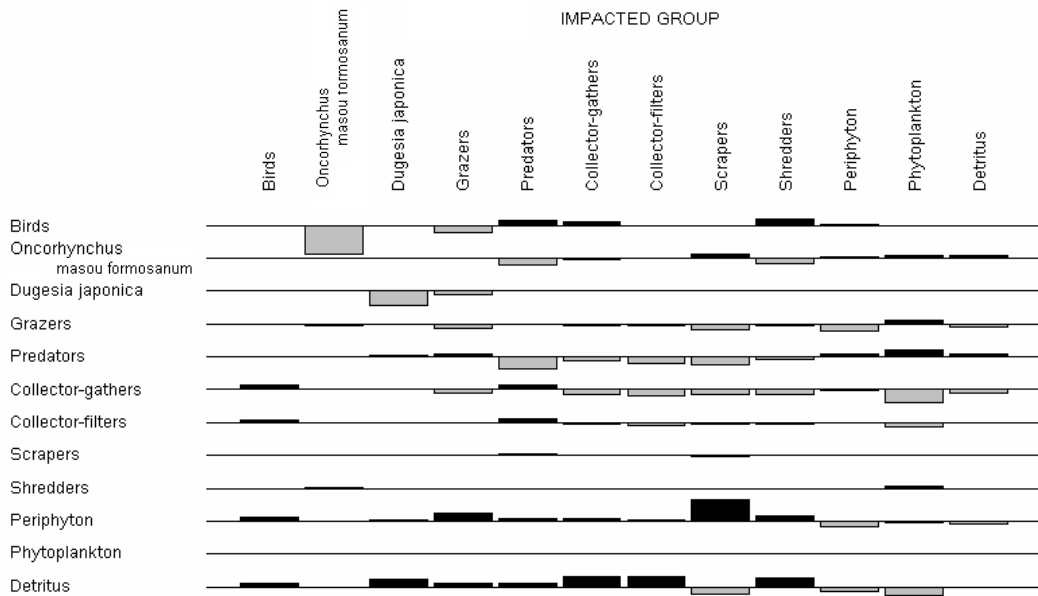


圖 1-21 桃山西溪綜合營養衝擊圖

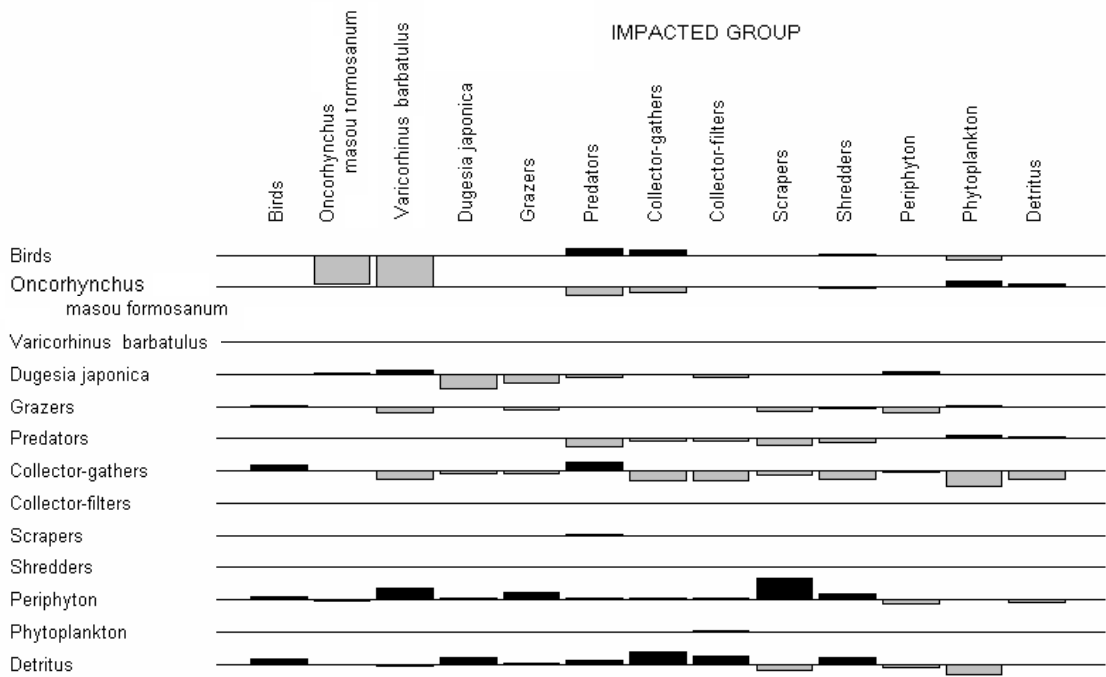


圖 1-22 一號壩綜合營養衝擊圖

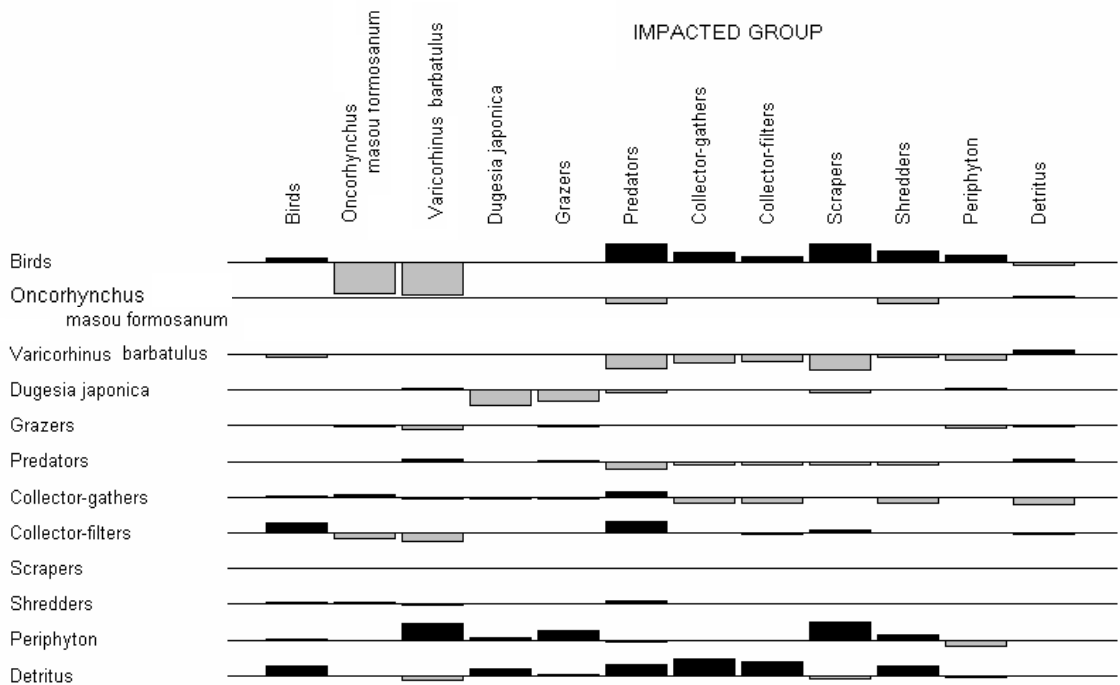


圖 1-23 繁殖場綜合營養衝擊圖

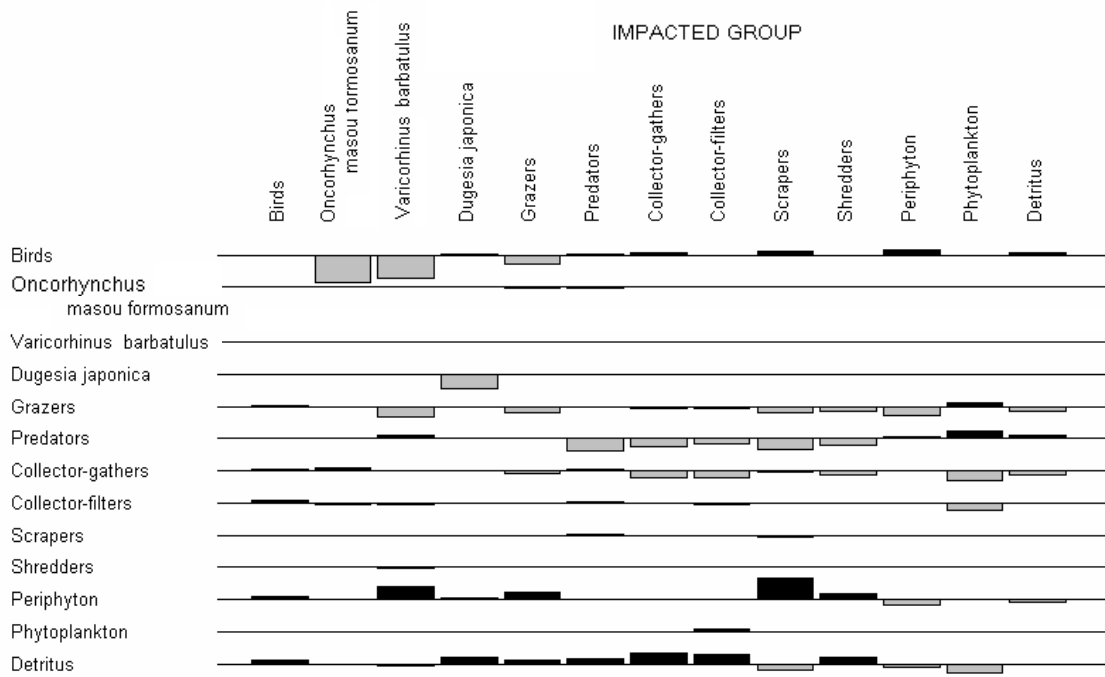


圖 1-24 高山溪綜合營養衝擊圖

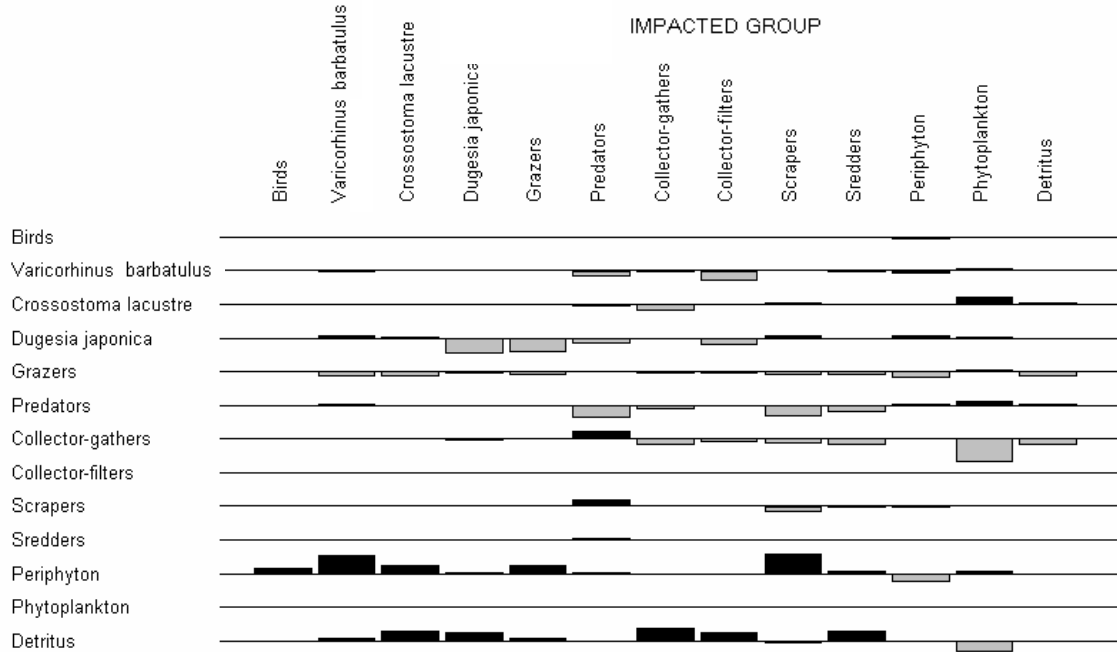


圖 1-25 有勝溪綜合營養衝擊圖

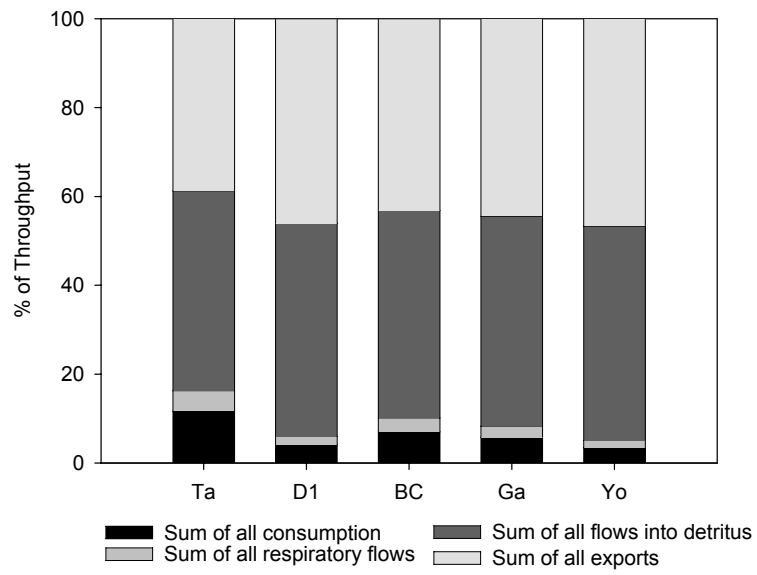


圖 1-26 武陵地區各測站總攝食量、總呼吸量、總碎屑流量與總輸出量佔總系統通量百分比圖

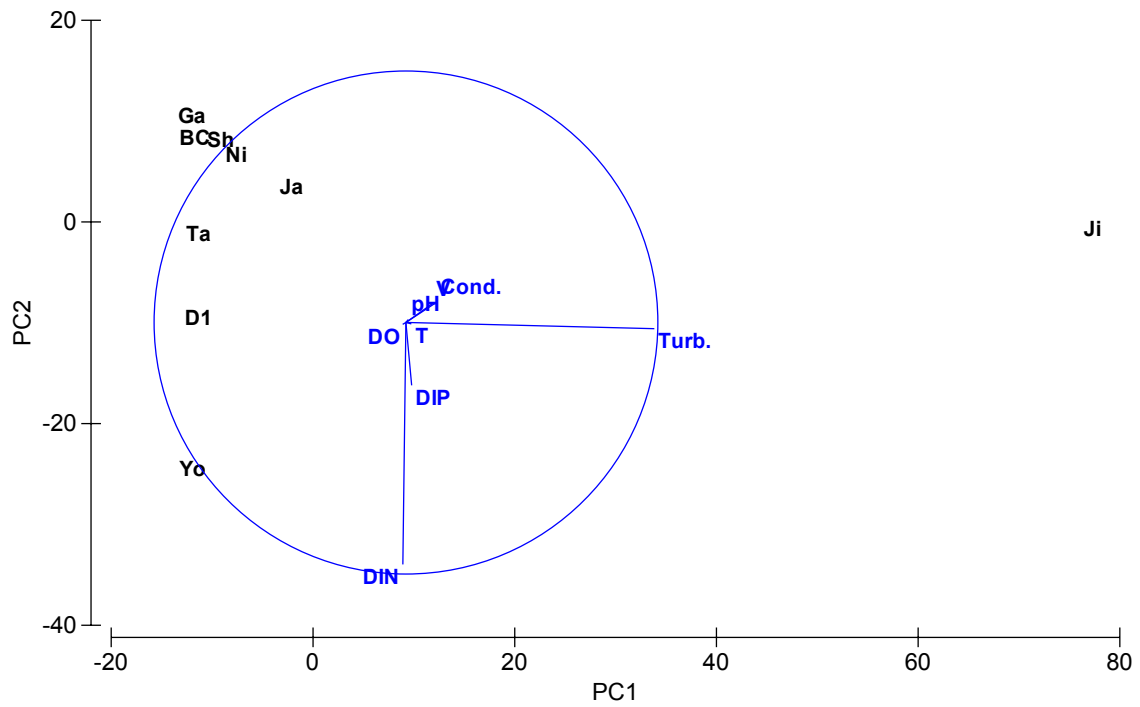


圖 1-27 蘭陽溪溪流與武陵地區溪流生態系環境因子主成分分析圖





## 第二章 水文與物理棲地研究

葉昭憲、黃立文

逢甲大學水利工程系

### 摘要

一、**研究緣起**：為瞭解防高山溪砂壩改善工程完成後之河道演變，並配合群體計畫之需求，本計畫對高山溪及九處生態共同採樣區進行河道之縱、橫斷面測量及物理棲地組成調查及空間分佈分析。

二、**研究方法及過程**：本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。

三、**重要發現**：由於今年九月與十月科羅莎與韋帕兩個颱風的影響，造成高山溪、七家灣溪與共同樣區河道與地貌上的改變，整體而言，颱風對河床造成明顯的沖淤互現，對大部分的河道而言，淤多於沖，原因可能是崩塌的土體被大水帶往下游造成淤積。木質殘材在高山溪四號壩與三號壩間所形成的殘材壩，除有越來越紮實的趨勢，但在十一月份調查時，由於三號壩上出現深潭而無法確認其現況。十一月份調查亦發現高山溪二號壩因科羅莎與韋帕颱風影響而使得壩基損毀，再加上原本二號壩上舊有的淤積，造成與下游河道約 4 公尺的高低差；此外，壩址有許多木質殘材堆積且結構相當完整，日後可能形成另一座殘材壩，故建議適度清除木質殘材與所淤積之砂石。而七家灣溪二號破壩在歷經長時間的沖淤變化後，在十一月的調查發現，壩體的前後無明顯的高差。至於司界蘭溪因為河道較寬廣，所以每逢大水過後流心變動甚鉅，河道與地貌的變化頗為劇烈。

四、**主要建議事項**：高山溪二號壩口因颱風所造成的高低落差，可能對鮭魚的迴游造成影響，棲息地遭到切割。此外，壩口堆置了大量的木質殘材，其結構頗為紮實，若不進行處理，可能會形成另一座殘材壩，建議進行評估清除工作。

【關鍵字】櫻花鉤吻鮭、七家灣溪、高山溪、防砂壩改善、河道演變、棲地組成

## Abstract

1. **Research Purpose:** To understand the transition of channel morphology after dam removal, this project implemented longitude and cross sections survey and habitat composition analysis at Gau-shan Creek and nine observation sites selected by group members of STMD.
2. **Method and Process:** This project applied the same survey and analysis methods used in past several years.
3. **Major Findings:** Affected by Typhoons KROSA and WIPHA in September and October, Chichiawan Stream Gaushan Creek both performed obvious morphological changes due to erosion and deposition of river channel and sediment supply from landslide slopes. Wood and wood residues in the high dam with Route Sun City on the 4th of dam formed by the residual timber dam, in the current year in September before the survey found, the residual build the dam structure more solid trend, but in November the investigation, the result of the 3rd Bashang access to a pit, it is not possible to confirm the status quo. In this year November survey found that a high dam because the Sun City on the 2nd and WIPHA and KROSA the impact of the typhoon, making foundation damage, coupled with the original deposition on the 2nd Bashang old, resulting in the lower reaches of rivers and about 4 the level of bad meters, in addition, a considerable number of Bashang residual wood stacking wood, the structure is complete, the future may become another remnant wood dam. Chichiawan Stream dam broke on the 2nd After lengthy Erosion, in November's survey found that the dam before and after no obvious height difference. Secretary sector because Lanxi more broad river, so after every flood flow changes in heart her sister, river landscape changes quite dramatic.

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

## 一、計畫概況

在雪霸國家公園內，臺灣櫻花鉤吻鮭是臺灣地區特有亞種的陸封型鮭魚，甚至在今日仍一直被視為國寶魚，這都顯示櫻花鉤吻鮭保育工作之重要性。然而，近數十年來櫻花鉤吻鮭的棲息環境生存條件（低水溫、高溶氧、水量充沛、覆蓋充分、豐富的無脊椎動物數量、無污染的環境及適於產卵的底質等）皆因為人為的影響而有所改變。其中，物理性之改變以防砂壩所造成水溫變化與族群阻隔最為明顯。計畫主持人自八十六年七月開始便針對防砂壩改善工程進行系列研究，在過去數年內分別對高山溪四座防砂壩之壩體改善方式提出建議。這是為了瞭解防砂壩改善工程完成後，高山溪河道縱橫斷面之演變以及其物理棲地組成及空間分佈狀況，本計畫除持續對高山溪河道斷面及 93 年自然損壞之七家灣溪二號石壩之上下游河道進行追蹤測量外，同時配合群體計畫在共同樣區進行測量、調查工作，以便群體計畫能夠提供雪霸國家公園在武陵地區生態管理上之參考。

### (一) 計畫範圍與執行期間

本年度計畫之研究範圍為高山溪四座防砂壩之觀測河段、七家灣溪二號石壩與原有的二號攔水堰間河道、七家灣溪上所設之共同採樣區與司界蘭溪，其所進行之持續性追蹤調查項目為河道之縱、橫斷面測量及物理棲地調查。計畫之執行期間為民國九十六年一月至民國九十六年十二月。

### (二) 計畫流程及方法

本計畫之研究流程依序為確定研究目標與範圍、相關研究回顧、現場河道變化觀測、調查資料分析與比較等項目（如圖 2-1）。計畫執行之步驟如下：

1. 根據過去之研究及本年度之研究內容，於計畫開始實施的第一個月內對計畫實施方式之相關細節進行討論，以確認調查結果符合本年度計劃目標。對高山溪之河道進行斷面測量及物理棲地調查，此外進一步的量測並估算河道中，各種棲地組成及分佈比例。
2. 對七家灣溪之二號石壩之上游河道 400 公尺及下游 200 公尺河道進行調查，對

其現況與過去調查結果進行探討。

3. 調查七家灣溪上四處計畫共同樣區之河道縱橫向變化、棲地組成、粒徑分佈之現況並進行分析探討，希望能提供給予其它計畫執行時的環境因素方面的參考。
4. 結合現場調查和先前研究，提出高山溪河道與七家灣河道之變化趨勢與環境改變間之關連性，作為後續研究之實施目標與方向。

## 二、高山溪河道變化調查

高山溪流域中原有的四座防砂壩，陸續的在兩年半期間內（88年4月至90年9月）進行壩體的改善工程，壩體改善工程竣工後，天然渠道會自然條件的改變而有所的調整。為瞭解河床演變的趨勢及特性，本研究延續前幾年之調查，對於高山溪河道進行長期追蹤調查，並就壩體改善前後各斷面之高程及縱剖面深槽線的變化，透過圖表說明，作為河床演變與河床泥砂輸送之監控。

今年度計畫中總計對高山溪進行四次斷面調查，分別於2月、6月、9月及11月實施。經由調查發現，今年前三次的調查顯示斷面因為前期未有大規模水文事件而使得河道未有大規模變化；但是最後一次（11月份）的調查中，發現由於9月與10月科羅莎與韋帕兩個颱風的豪雨影響，高山溪河道出現了許多變化，許多河段有明顯的沖淤情況，同時也有出現新的崩塌地，但因河道水量豐沛，所以均將崩塌的砂石帶至下游處。

### (一) 四號壩上游河道

由於科羅莎與韋帕颱風的影響，今年度11月份的調查無法到達四號壩上游河道，故本年度報告無法提供11月四號壩上游河道的資料。而根據今年二月、六月及九月的河道調查，再配合過去的河道資料，繪製如圖2-2的高程剖面以及圖2-3~2-4的斷面高程圖。由圖中發現四號壩上游的河道調查中，11月份相較於其他月份高程較低，顯示有刷深的現象，但少數斷面向下刷深的情況較為明顯，主要原因在於四號壩上游多為較狹窄型的河道，且兩岸多為岩盤，河段寬度不會隨意變動。至於深槽線的部分沒有太大的變化，通常變動較大的地方多為壩口附近，而在四號壩下的深潭，在二、六與九月份的調查中改變不大，使得四號壩上下的落差持續存在。此外，在四號壩周圍一直堆積的木質殘材，在九月份有增加的趨勢。以四號壩上整體坡度而言，今年呈現了略為趨緩的趨勢。

### (二) 三號壩上游河道

由於今年度11月份的調查在三號壩上儀器未能前往，故本年度報告無法提供

11 月份三號壩至四號壩的河道資料。高山溪的三號壩到四號壩之間由於岩盤的影響，使得此段河川型態除了有類似於四號壩上的狹窄型河道外，還有較寬廣的河道。而當豐雨期來臨時，此段的河床常會因崩塌或木質殘材的影響，使得河川有擴床現象以及流心變動的現象發生。本區域經常有零星崩塌，故河道出現木質殘材的比例相當大。此區域坡度在前期互有沖淤，整體坡度較無劇烈變動。而因為殘材壩的影響，殘材壩下的深潭有增加的趨勢。以下由圖片 2-6~2-10 看出此段河川中部分河川斷面的幾何演變。照片 2-11 的斷面 3-12 殘材壩可以從歷次調查發現其結構逐漸結實穩定。

### **(三) 二號壩上游河道**

高山溪二號壩上游至三號壩間的河道距離，為目前觀測之高山溪四個壩體之間間距最長的。在 11 月份的調查中，因為科羅莎與韋帕颱風的影響，此段河道與前幾次調查資料相比較變化較大。由河道平均坡度的變化可以發現，整體而言此河段在颱風過後地形均呈現淤大於沖。除此之外，木質殘材頻繁的出現在此河段中，為數不少的漂流木集中於河道中，並且在其周邊形成淤積，進而朔造出多樣性的物理棲地，值得一提的是，在 11 月份的調查在二號壩口有出現大量的木質殘材，結構頗為完整，可能將會形成另一座殘材壩，建議予以清除。

### **(四) 一號壩上游河道**

一號壩上游至二號壩之間的河道與二號壩上游至三號壩之間河道不論在河道長度、坡度變化河道型態上都相當類似；且此段特點是在於一號壩口上游處之河灘地廣闊，為高山溪河段中河道最寬之處，此乃因為壩體改善後土砂運移所造成。由於兩岸原本堆積的土石用於兩岸蛇籠之護岸工程，在之前流心轉向偏左後，使得左岸的蛇籠護岸有破損的現象，而其程度有越來越嚴重情形，而一號壩旁的蛇籠破損較嚴重。因為颱風的影響，二號壩下已形成約 4 公尺的高差，而原本二號壩下的深潭已被砂石填充。整體而言，平均坡降與去年度後期差不多並有稍稍減緩的趨勢，可能主要是因豪雨而造成下游段稍稍淤積的原因。

### **(五) 一號壩下游河道**

一號壩以下到高山溪與七家灣溪匯流口之間，其坡度的變化及河道型態均與四號壩上游極為類似，屬於河道狹深且岸邊多岩盤的地形，再加上來自上游之泥沙量較大，且巨礫石較多，為階梯狀河床最明顯的區域。在 11 月份的調查中，在接近匯流口前的轉彎口有出現較大型的木質殘材，可能是因大水從上游處一路漂流到此。此區域在岩盤區還是有較深的深潭。



### 三、 七家灣二號壩及其副壩河道斷面調查

本年度將進行七家灣溪第三次的全河道調查，並與去年所獲得的資料比較。河道調查以桃山西溪與桃山北溪匯流口下游之七家灣溪三號壩為起點，終點則是七家灣溪與有勝溪匯流處，全長約為 6.1 公里。本章將七家灣溪分為四個部份：三號壩下至二號壩上 400 公尺、二號壩上 400 公尺至二號壩下 200 公尺、二號壩下 200 公尺至一號壩與一號壩下至終點分別探討。

#### (一) 三號壩下至二號壩上 400 公尺

本段測量起點為三號壩至二號壩上游 400 公尺處，約為 1200 公尺，河道坡度約為 0.0282，而測量的起點七家灣溪三號壩為一座高約 20 公尺、寬約 3 公尺的攔砂壩。與去年相比，去年在壩下兩岸有多處崩塌，而今年調查時發現去年崩塌的砂石大多都已被帶走，而下游兩岸則因為大型岩盤使得河道束縮成狹窄且較深的水流，約在二號壩上 400 公尺處，依然發現許多處崩塌，本河段河寬分佈約為 30 至 40 公尺之間。

#### (二) 二號壩上 400 公尺至二號壩下 200 公尺

本河段為各子計畫的共同樣區，六月與九月份的研究調查因為水流過於湍急，經嘗試後，依然無法到達二號壩，所以本次報告無六月與九月份之調查資料。七家灣溪二號壩之副壩於 91 年間因颱風豪雨之破壞，導致壩體發生破壞後，並導致水流經由壩體下方穿過並將副壩上游原有之淤砂逐漸帶走；今年 11 月份的調查中，二號副壩幾乎已完全被沖毀，不過在相較於 2 月份的調查發現二號壩下深潭有淤積的趨勢，河床坡降呈現減少的現象（見表 2-6）。在下游河段泥砂則有逐漸淤積的趨勢，而在二號壩的下游則有坡度逐漸減緩的現象。河道各斷面之幾何變化及現況，可由圖 2-30~圖 2-39 及照片 2-32~照片 2-39 所示。此河段具有許多深潭（深度可達 80-90cm 以上）及急流，由此可知此河段之地形變化度大，而多樣的棲地環境能有效提供魚類的棲息及繁殖。

### (三) 二號壩下 200 公尺至一號壩

此河段起點位置在舊復育場下游處，一直延伸到一號壩上，其中包含了一號壩生態樣區（測站四）。本河段全長約為 2500 公尺，河道坡度約為 0.024，此河段的河寬變化落差相當大，從 20 多公尺逐漸增加到觀魚台前約為 50 至 60 公尺，為相當平直的河道，兩岸有非常大量礫石所堆積成的灘地，在經過觀魚台的轉彎後，河道便得更加開闊，一號壩上游 500 公尺處至一號壩間為非常寬廣的河道，最寬處甚至超過 150 公尺，為本流域河道中寬度最為寬廣的區域，也因為河道平緩且河幅寬廣，所以本段河流變化甚大，與之前調查資料相比，都發現流心有劇烈的改變。

### (四) 一號壩下游至匯流口

本河段起點位在七家灣溪一號壩下，終點為七家灣溪與有勝溪匯流處；起點之七家灣溪一號壩為寬約 40 公尺，高約 20 公尺的攔砂壩，本段沿途會與高山溪匯流，並且包含新繁殖場與萬壽橋兩個生態採樣區。此區河段全長約為 1750 公尺，其中從一號壩到與高山溪匯流約為 770 公尺，而高山溪匯流口至終點約為 980 公尺，與之前調查相比，去年一號壩下右岸蛇籠前的大量土砂石，今年已不復見，由於在壩下 100 多公尺內，兩岸多為大型岩盤，所以使得水流均為狹長型河道，此處多為深潭與急流；在經過高山溪匯流口後河段逐漸開闊，在前次調查中發現位於富野飯店前河段的整治工程，在今年已進行完畢。

#### 四、高山溪及七家灣溪物理棲地分析

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

##### (一) 流況及底質特性分佈

依據表 2-8 的分類標準產生表 2-9~表 2-18。在今年度的調查中發現，高山溪的河床組成大多集中在底質三、四，也就是粗石與卵石類型，但在六月份的調查發現，大型礫石的比例佔大多數；而七家灣溪的情況與高山溪類似，粗石與卵石的比例還是佔大多數，從表 2-9 與表 2-10 可發現，今年的調查中，發現底質五以及底質六所佔百分比有再次升高的趨勢。在七家灣溪的部份，雖然粗粒化的趨勢已經緩和，今年二月份的調查中可以發現，各級粒徑也逐漸平均分布的現象，不過主要還是以底質三與底質四為數最多；至於七家灣溪二號石壩上下游的部份，主要的分佈皆是以底質三與底質四為主，未有明顯之粗粒化或細粒化的情況發生。如此可知在本計劃之觀測河段中，底質粒徑的分布上主要會受豐枯水期的影響而雨季後粗粒化以及乾季因細泥沙沉積的現象發生。

##### (二) 棲地環境類型分析

本研究利用表 2-19 進行，棲地環境類型的分類（如表 2-20）。在今年度高山溪的調查中，棲地類型是以淺灘所佔的比例最高且淺灘比例幾乎均接近所有棲地之 50%以上，不過在 9 月份的調查發現，急流（Rapid）的部份有大量增加趨勢；而在七家灣溪方面也與高山溪類似，均以淺灘佔大多數且所佔比例高達 80%以上。

而在乾濕季間的棲地變化情形上，淺灘棲地的部份，一向是在本流域中最主要的棲地分佈類型，主要變化亦與乾濕季之流速變化有關，乾季時由於流速減緩使得部份比例的淺灘成為緩流，而濕季則因為流速增加而使得部分淺灘成為急

流。在緩流棲地則與急流呈現相反的趨勢。最後則是深潭的部份，並未因乾季流量變小而減少，反而有可能由於濕季時將大量細顆粒帶走尚未回淤而使得深潭比例增加。

## 五、 七家灣溪生態共同採樣區分析

本年度計畫為了提供各研究計畫，在共同區域上做整合性的研究，進而能將研究成果加以連結，除了在九處生態共同採樣區進行調查外(圖 2-55)，將繼續在司界蘭溪樣區調查。而在此類共同樣區之調查方式是以該樣區為中心，向上下游分別作 50 至 100 公尺做河道斷面測量、棲地組成以及底質分佈。以下將個別對各樣區在本年度四次調查的河道斷面以及棲地底質調查結果所顯示的分佈情形作進一步分析。

### 測站 1. 桃山北溪

桃山北溪位於七家灣一號壩上游吊橋正下方，與桃山西溪匯流於一號壩上方，近幾次在測站範圍的平均坡度約為 3% 左右，但在今年科羅莎與韋帕颱風影響之後，發現平均坡度為降為 2.4% 左右；而此河段中河道寬度相較於桃山西溪狹窄許多，河寬大都在 5~10 公尺左右。在本年度四次的調查下發現河道有明顯的淤積現象，由斷面變化可看出流心有往左岸移動的變化趨勢。而在棲地分佈上，可以發現本河段以淺灘比例最高，均有 55% 以上且變化趨勢不大，但深潭類型有減少的趨勢。至於底質分佈上，此河段均以類型二、三（碎石與卵石）為主，但在六月份時，底質四（粗石）的比例有增加。

### 測站 2. 桃山西溪

桃山西溪位於七家灣溪三號壩上游，與桃山北溪在三號壩上方匯留，測站範圍內河道大多寬於桃山北溪，約為 20~30 公尺左右，平均坡度可由下表 3-32 看出約有 2% 左右的坡降。與其他共同樣區相較屬於較陡的河段。在前三次的調查中，此區域沒有太大的變動，但最後一次的調查發現，受到科羅莎與韋帕的影響流心有改變，而原本在河道中央的礫石淤積，也在最後一次的調查中發現有降低的現象。而棲地分佈上，前兩次的調查主要以淺灘與緩流為主，在九月、11 月份則以淺灘與急流為主要棲地類型。底質方面四次調查均以卵石為主。

#### **測站 4. 一號壩**

一號壩測站位於七家灣溪一號壩上，為緊接在觀魚台下游一段約 200 公尺的河道，本年度測站範圍內平均坡度均在約 2% 之下，此河段河寬較為寬闊，約為 30 公尺左右，也由於河道較為寬廣平緩導致流心變化較大，在 11 月份的調查中發現，流心往左岸偏移，而右岸部份有大量的土砂堆積，可能是科羅莎與韋帕時，將上游的土砂石帶往下游而淤積在此。而棲地分佈上，本河段以淺灘為主，但還是有部份的緩流。而在底質分佈上，粒徑有變小的趨勢，可能是雨水將上游底質沖淤於此處所造成。

#### **測站 5. 新繁殖場**

新繁殖場的位址起點始於高山溪與七家灣溪的匯流口，長約 100 公尺，河道頗為寬闊，多在 25~30 公尺間，測站範圍內水深也較其他樣區來的深，尤其是在匯流口處。平均坡度約有 1% 左右的坡降。在棲地分佈上，可以發現本河段的調查中，幾乎集中於淺灘類型，雖然有極少數出現緩流，棲地單一化的情形嚴重。至於底質分佈上，粗細顆粒分布可稱為平均，從碎石、卵石、粗石至小型礫石與大型礫石均有出現。

#### **測站 6. 萬壽橋**

萬壽橋測站位於有勝溪與七家灣溪匯流口的上游約 100 公尺處，測站範圍內平均坡度變化不大，大約都在 2.6% 左右，但是在後幾次的調查發現，坡降有些許變緩的現象。此河段河道寬度變化較大，河寬的分布 8~26 公尺皆有。六月份的調查，發現此區域河道旁有大量土砂石崩塌，一直到九月還可看到崩塌的土石，不過在經歷兩場颱風過後，崩塌的土石以被帶走。在匯流口附近有發現淤積的現象，大致上來說河道斷面的變化不會相當大。而在棲地分佈上，在四次的調查中，淺灘皆佔了絕大多數，單一化的情形相當明顯。至於底質分佈上，此區域的粒徑分佈偏大，粗石與小型礫石出現的比率較其他樣區高。

#### **測站 7. 迎賓橋**

迎賓橋測站起點位於有勝溪與七家灣溪的匯流口下，屬於大甲溪流域。樣區

全長約 200 公尺，測站範圍內地勢相當平坦，平均坡度約為 2% 左右的坡降，此河段中河道寬度為所有樣區中最大的，有的河段河寬大都分甚至達 40 公尺。本流域無明顯變化，流心仍維持於右岸。在棲地分佈上，本測站以前本是調查樣區中棲地多樣性突出的，雖然以淺灘為主，但是其他棲地類型相較於他處有明顯較多的現象，但在今年的調查中發現，幾乎以急流與淺灘為主。至於底質分佈上，以粗石與小型礫石為主，整體有粗粒化的現象。

#### **測站 9. 有勝溪**

有勝溪測站位於有勝溪一號壩上游的 100 公尺，此河段中河道寬度變化不大，河寬大都分布在 15~20 公尺之間。在棲地分佈上，此區域的棲地類型較無劇烈變化，棲地單一化為所有調查樣區之最，主要為淺灘。而在底質分佈上，主要以碎石與卵石為主。

#### **測站 10. 司界蘭溪上游段**

以往司界蘭溪上游段測站位於司界蘭溪舊壩上游約 400 公尺處開始量測，進行全長約 200 公尺的調查，但在去年 12 月份改為司界蘭溪舊壩上游約 1 公里處。測站區域的範圍河寬相當寬廣，寬度有達到 40 公尺之多，平均坡度約在 3.4% 左右的坡降。先前調查發現，流心已有往右岸偏移的現象，此區地貌變化頗大，經常有木質殘材堆積。在棲地分佈上，本測站以淺灘與急流為主。至於底質分佈上較為平均，各種粒徑都有，但是還是以底質三到底質四之間為主要類型。

#### **測站 11. 司界蘭溪下游段**

司界蘭溪下游段測站位於司界蘭溪舊壩下，全長約 200 公尺之調查樣區。測站以舊壩圍起點，平均坡度約在 3.3% 左右的坡降。此區河道流心變動甚鉅，以 9 月與 11 月調查資料來說，11 月的流心有向左的趨勢。而在棲地分佈上，還是以淺灘與急流為主要分佈類型。至於底質分佈上，粒徑較多樣化，但主要以碎石、卵石與粗石為主要底質。

## 六、 結論

本年度研究計畫在今年共針對高山溪、七家灣溪二號壩上下游與共同生態採樣區進行了四次河道斷面以及棲地底質調查，調查時間分別為二月、六月、九月與十一月進行相關河道調查與採樣，並在十一月對於七家灣溪全河道進行調查，以七家灣溪三號壩為起點，七家灣溪與有勝溪匯流處為終點，本年度為第三次七家灣溪全河道量測。

首先對河道斷面調查的調查結果進行分析，得到對河道的以下幾點說明。

1. 由於今年 9 月與 10 月科羅莎與韋帕兩個颱風的影響，造成高山溪、七家灣溪與共同樣區河道與地貌上的改變，整體而言，颱風對河床造成明顯的沖淤互現，對大部分的河道而言，淤多於沖，原因可能是崩塌的土體被大水帶往下游造成淤積。
2. 一直以來高山溪河道中存在許多的木質殘材，過去部分木質殘材的排列導致部分深潭消失，另外一些倒伏木的排列，往往會恰巧類似丁壩或潛壩之機制，進而產生挑流造灘或進一步形成象徵穩定的階梯狀河床。
3. 木質殘材在高山溪四號壩與三號壩間所形成的殘材壩，在本年度 9 月份前的調查中發現，其殘材壩的結構有越來越紮實的趨勢，但在 11 月份調查時，因三號壩上出現深潭無法前往，所以無法確認現況。
4. 在今年度 11 月份的調查發現，高山溪二號壩因為科羅莎與韋帕兩個颱風的影響，使得壩基損毀，再加上原本二號壩上舊有的淤積，造成與下游河道約 4 公尺的高低差，除此之外，壩上有相當多的木質殘材堆積，結構相當完整。
5. 七家灣溪二號破壩在歷經長時間的沖淤變化後，在今年 11 月的調查發現，壩體的前後無明顯的高差。
6. 司界蘭溪因為河道較寬廣，所以每逢大水過後流心變動甚鉅，河道地貌變化頗為劇烈。



表 2-1 四號壩上游床面平均坡度表

測量日期	改善前	2006/02	2006/10	2007/02	2007/06	2007/09
平均坡降	0.0623	0.0278	0.0268	0.0264	0.0263	0.028

表 2-2 三號壩上游床面平均坡降表

測量日期	改善前	2007/02	2007/06	2007/09
平均坡降	0.0607	0.042	0.042	0.043

表 2-3 二號壩上游床面平均坡降表

測量日期	2001/02 前	2006/10	2007/02	2007/06	2007/09	2007/11
平均坡降	0.0227	0.039	0.035	0.037	0.04	0.034

表 2-4 一號壩上游床面平均坡降表

測量日期	2001/02 前	2006/10	2007/02	2007/06	2007/09	2007/11
平均坡降	0.0200	0.034	0.032	0.029	0.032	0.035

表 2-5 一號壩下游床面平均坡降表

測量日期	2001/02 前	2006/10	2007/02	2007/06	2007/09	2007/11
平均坡降	0.1072	0.088	0.088	0.085	0.084	0.087

表 2-6 三號壩下至二號壩上 400 公尺平均坡降表

測量日期	2005/12	2006/12	2007/11
三號壩下至二號壩上 400 公尺	0.026	0.028	0.029

表 2-7 二號壩上游床面平均坡降表

測量日期	2005/12	2006/02	2006/10	2007/02	2007/11
二號壩上	0.0347	0.061	0.0583	0.03	0.029

表 2-8 二號壩下游床面平均坡降表

測量日期	2005/12	2006/02	2006/10	2007/02	2007/11
二號壩下	0.035	0.029	0.0315	0.0387	0.0263

表 2-9 一號壩下至匯流口平均坡降表

測量日期	2005/12	2006/12	2007/11
一號壩下至匯流口	0.022	0.019	0.020

表 2-10 棲地底質分類表

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

表 2-11 2007 年 11 月高山溪各河段之棲地底質分佈比例

底質 位置	1	2	3	4	5	6
四號壩以上	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
三號壩至四號壩	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
二號壩至三號壩	1.3%	10.3%	23.1%	46.2%	17.9%	1.3%
一號壩至二號壩	2.3%	24.1%	20.7%	28.7%	18.4%	5.7%
一號壩以下	1.1%	25.8%	21.5%	38.7%	10.8%	2.2%

表 2-12 2007 年 9 月高山溪各河段之棲地底質分佈比例

底質 位置	1	2	3	4	5	6
四號壩以上	0.0%	50.0%	8.3%	41.7%	0.0%	0.0%
三號壩至四號壩	1.6%	3.2%	55.6%	17.5%	7.9%	14.3%
二號壩至三號壩	0.0%	19.8%	59.3%	16.0%	3.7%	1.2%
一號壩至二號壩	9.2%	16.1%	34.5%	39.1%	1.1%	0.0%
一號壩以下	2.2%	63.4%	25.8%	7.5%	1.1%	0.0%

表 2-13 2007 年 6 月高山溪各河段之棲地底質分佈比例

底質 位置	1	2	3	4	5	6
三號壩至四號壩	16.7%	25.0%	16.7%	0.0%	0.0%	41.7%
二號壩至三號壩	0.0%	6.3%	20.6%	22.2%	11.1%	39.7%
一號壩至二號壩	1.2%	1.2%	11.1%	27.2%	11.1%	48.1%
一號壩以下	0.0%	7.1%	13.1%	21.4%	8.3%	50.0%

表 2-14 2007 年 2 月高山溪各河段之棲地底質分佈比例

底質 位置	1	2	3	4	5	6
四號壩以上	0.0%	0.0%	58.3%	33.3%	8.3%	0.0%
三號壩至四號壩	0.0%	17.5%	30.2%	23.8%	11.1%	17.5%
二號壩至三號壩	1.2%	11.1%	37.0%	34.6%	13.6%	2.5%
一號壩至二號壩	8.0%	11.5%	28.7%	32.2%	16.1%	3.4%
一號壩以下	3.2%	15.1%	40.9%	15.1%	14.0%	11.8%

表 2-15 2006 年 10 月高山溪各河段之棲地底質分佈比例

底質 位置	1	2	3	4	5	6
四號壩以上	0.0%	0.0%	58.3%	33.3%	8.3%	0.0%
三號壩至四號壩	0.0%	17.5%	30.2%	23.8%	11.1%	17.5%
二號壩至三號壩	1.2%	11.1%	37.0%	34.6%	13.6%	2.5%
一號壩至二號壩	8.0%	11.5%	28.7%	32.2%	16.1%	3.4%
一號壩以下	3.2%	15.1%	40.9%	15.1%	14.0%	11.8%

表 2-16 2007 年 11 月七家灣溪二號石壩上下游之棲地底質分佈比例

底質 位置	1	2	3	4	5	6
二號石壩以上	0.0%	10.6%	40.9%	36.4%	10.6%	1.5%
二號石壩以下	0.0%	6.7%	36.7%	33.3%	10.0%	13.3%

表 2-17 2007 年 2 月七家灣溪二號石壩上下游之棲地底質分佈比例

底質 位置	1	2	3	4	5	6
二號石壩以上	0.0%	0.0%	22.2%	40.7%	29.6%	7.4%
二號石壩以下	0.0%	0.0%	40.7%	44.4%	0.0%	14.8%

表 2-18 2006 年 10 月七家灣溪二號石壩上下游之棲地底質分佈比例

底質 位置	1	2	3	4	5	6
二號石壩上	0.0%	7.4%	31.5%	37.0%	14.8%	9.3%
二號石壩下	0.0%	11.1%	11.1%	22.2%	7.4%	48.1%

表 2-19 2006 年 2 月七家灣溪二號石壩上下游之棲地底質分佈比例

底質 位置	1	2	3	4	5	6
二號石壩上	3%	11%	32%	32%	12%	11%
二號石壩下	2%	4%	12%	33%	28%	21%

表 2-20 2007 年 11 月七家灣溪全河道之棲地底質分佈比例

底質 位置	1	2	3	4	5	6
三號壩至二號壩	0.5%	5.7%	30.4%	33.5%	21.1%	8.8%
二號壩至一號壩	1.5%	8.1%	18.5%	47.4%	18.5%	5.9%
一號壩至匯流口	11.2%	13.3%	24.5%	20.4%	14.3%	16.3%

表 2-21 棲地環境類型分析

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

表 2-22 2007 年 11 月高山溪溪棲地環境類型分析

棲地型態 位置	Pools	Slow water	Riffles	Rapids
高山溪四號壩以上	27.27%	36.36%	27.27%	9.09%
高山溪三號壩至四號壩	11.76%	27.45%	45.10%	15.69%
高山溪二號壩至三號壩	5.17%	20.69%	68.97%	3.45%
高山溪一號壩至二號壩	2.47%	17.28%	46.91%	2.47%
高山溪一號壩以下	14.06%	32.81%	51.56%	1.56%

表 2-23 2007 年 09 月高山溪溪棲地環境類型分析

棲地型態 位置	Pools	Slow water	Riffles	Rapids
高山溪四號壩以上	27.27%	36.36%	27.27%	9.09%
高山溪三號壩至四號壩	11.76%	27.45%	45.10%	15.69%
高山溪二號壩至三號壩	5.17%	20.69%	68.97%	3.45%
高山溪一號壩至二號壩	2.47%	17.28%	46.91%	2.47%
高山溪一號壩以下	14.06%	32.81%	51.56%	1.56%

表 2-24 2007 年 06 月高山溪溪棲地環境類型分析

棲地型態 位置	Pools	Slow water	Riffles	Rapids
高山溪四號壩以上	27.27%	36.36%	27.27%	9.09%
高山溪三號壩至四號壩	11.76%	27.45%	45.10%	15.69%
高山溪二號壩至三號壩	5.17%	20.69%	68.97%	3.45%
高山溪一號壩至二號壩	2.47%	17.28%	46.91%	2.47%
高山溪一號壩以下	14.06%	32.81%	51.56%	1.56%

表 2-25 2007 年 02 月高山溪溪棲地環境類型分析

棲地型態 位置	Pools	Slow water	Riffles	Rapids
高山溪四號壩以上	0.00%	8.33%	66.67%	25.00%
高山溪三號壩至四號壩	12.70%	22.22%	60.32%	4.76%
高山溪二號壩至三號壩	29.63%	8.64%	61.73%	0.00%
高山溪一號壩至二號壩	18.39%	8.05%	72.41%	1.15%
高山溪一號壩以下	13.98%	13.98%	70.97%	1.08%

表 2-26 2007 年 11 月七家灣溪二號石壩上下游棲地環境類型分析

棲地型態 位置	Pools	Slow water	Riffles	Rapids
七家灣溪二號壩以上	2.4%	92.7%	4.9%	0.0%
七家灣溪二號壩以下	0.0%	88.9%	11.1%	0.0%

表 2-27 2007 年 02 月七家灣溪二號石壩上下游棲地環境類型分析

棲地型態 位置	Pools	Slow water	Riffles	Rapids
七家灣溪二號壩以上	48.15%	3.70%	46.30%	1.85%
七家灣溪二號壩以下	22.22%	14.81%	59.26%	3.70%

表 2-28 2006 年 10 月七家灣溪二號石壩上下游棲地環境類型分析

棲地型態 位置	Pools	Slow water	Riffles	Rapids
七家灣溪二號壩以上	37.0%	3.7%	50.0%	9.3%
七家灣溪二號壩以下	14.8%	11.1%	70.4%	3.7%

表 2-29 2007 年 11 月七家灣溪全河道棲地環境類型分析

棲地型態 位置	Pools	Slow water	Riffles	Rapids
三號壩到二號壩	4.08%	79.59%	12.24%	4.08%
二號壩到一號壩	4.17%	87.50%	8.33%	0.00%
一號壩到匯流口	6.67%	73.33%	20.00%	0.00%

表 2-30 桃山北溪測站床面平均坡度表

測量日期	2007/02	2007/06	2007/09	2007/11
平均坡降	0.021	0.02	0.02	0.019

表 2-31 桃山北溪測站床面底質分佈表

日期 \ 底質	1	2	3	4	5	6
2007-02	0.0%	38.1%	57.1%	4.8%	0.0%	0.0%
2007-06	0.0%	19.0%	42.9%	23.8%	14.3%	0.0%
2007-09	14.3%	28.6%	52.4%	4.8%	0.0%	0.0%
2007-11	4.8%	52.4%	42.9%	0.0%	0.0%	0.0%

表 2-32 桃山西溪測站床面平均坡度表

測量日期	2007/02	2007/06	2007/09	2007/11
平均坡降	0.022	0.02	0.021	0.026

表 2-33 桃山西溪測站床面底質分佈表

日期 \ 底質	1	2	3	4	5	6
2007-02	0.0%	8.3%	83.3%	8.3%	0.0%	0.0%
2007-06	0.0%	19.0%	42.9%	23.8%	14.3%	0.0%
2007-09	4.2%	45.8%	37.5%	8.3%	4.2%	0.0%
2007-11	8.3%	37.5%	33.3%	20.8%	0.0%	0.0%

表 2-34 一號壩測站床面平均坡度表

測量日期	2007/02	2007/06	2007/09	2007/11
平均坡降	0.004	0.002	0.0022	0.0019

表 2-35 一號壩測站床面底質分佈表

日期 \ 底質	1	2	3	4	5	6
2007-02	3.7%	11.1%	70.4%	14.8%	0.0%	0.0%
2007-06	12.5%	8.3%	16.7%	37.5%	25.0%	0.0%
2007-09	11.1%	14.8%	44.4%	29.6%	0.0%	0.0%
2007-11	3.0%	9.1%	49.2%	31.1%	4.5%	3.0%

表 2-36 新繁殖場測站床面平均坡度表

測量日期	2007/02	2007/06	2007/09	2007/11
平均坡降	0.013	0.014	0.015	0.017

表 2-37 新繁殖場測站床面底質分佈表

日期 \ 底質	1	2	3	4	5	6
2007-02	0.0%	20.8%	62.5%	4.2%	4.2%	8.3%
2007-06	11.1%	38.9%	0.0%	16.7%	22.2%	11.1%
2007-09	11.1%	38.9%	0.0%	16.7%	22.2%	11.1%
2007-11	0.0%	6.1%	33.3%	34.2%	17.5%	8.8%

表 2-38 萬壽橋測站床面平均坡度表

測量日期	2007/02	2007/06	2007/09	2007/11
平均坡降	0.029	0.030	0.029	0.016

表 2-39 萬壽橋測站床面底質分佈表

日期 \ 底質	1	2	3	4	5	6
2007-02	0.0%	0.0%	55.6%	38.9%	5.6%	0.0%
2007-06	13.3%	0.0%	13.3%	13.3%	40.0%	20.0%
2007-09	22.2%	11.1%	33.3%	33.3%	0.0%	0.0%
2007-11	0.0%	22.2%	22.2%	22.2%	22.2%	11.1%

表 2-40 迎賓橋測站床面平均坡度表

測量日期	2007/02	2007/06	2007/09	2007/11
平均坡降	0.020	0.018	0.018	0.017



表 2-41 迎賓橋測站床面底質分佈表

日期 \ 底質	1	2	3	4	5	6
2007-02	0.0%	0.0%	44.4%	50.0%	5.6%	0.0%
2007-06	0.0%	11.1%	22.2%	33.3%	22.2%	11.1%
2007-09	16.7%	50.0%	33.3%	0.0%	0.0%	0.0%
2007-11	0.0%	5.6%	22.2%	72.2%	0.0%	0.0%

表 2-42 有勝溪測站床面平均坡度表

測量日期	2007/02	2007/06	2007/09	2007/11
平均坡降	0.013	0.010	0.012	0.014

表 2-43 有勝溪測站床面底質分佈表

日期 \ 底質	1	2	3	4	5	6
2007-02	0.0%	22.2%	44.4%	33.3%	0.0%	0.0%
2007-06	13.3%	40.0%	40.0%	6.7%	0.0%	0.0%
2007-09	16.7%	38.9%	38.9%	5.6%	0.0%	0.0%
2007-11	0.0%	27.8%	38.9%	33.3%	0.0%	0.0%

表 2-44 司界蘭溪上游段測站床面平均坡度表

測量日期	2007/02	2007/06	2007/09	2007/11
平均坡降	0.032	0.031	0.03	0.028

表 2-45 司界蘭溪上游測站床面底質分佈表

日期 \ 底質	1	2	3	4	5	6
2007-02	0.0%	16.7%	78.6%	4.8%	0.0%	0.0%
2007-06	5.6%	22.2%	33.3%	19.4%	11.1%	8.3%
2007-09	0.0%	59.0%	20.5%	20.5%	0.0%	0.0%
2007-11	0.0%	33.3%	36.7%	23.3%	6.7%	0.0%

表 2-46 司界蘭溪下游段測站床面平均坡度表

測量日期	2007/02	2007/06	2007/09	2007/11
平均坡降	0.035	0.033	0.036	0.04

表 2-47 司界蘭溪下游測站床面底質分佈表

日期 \ 底質	1	2	3	4	5	6
2006-06	2.94%	20.59%	23.53%	35.3%	14.71%	2.94%
2006-10	6.7%	23.3%	23.3%	40.0%	6.7%	0%
2007-02	0.0%	26.7%	70.0%	3.3%	0.0%	0.0%
2007-06	0.0%	22.2%	19.4%	30.6%	11.1%	0.0%

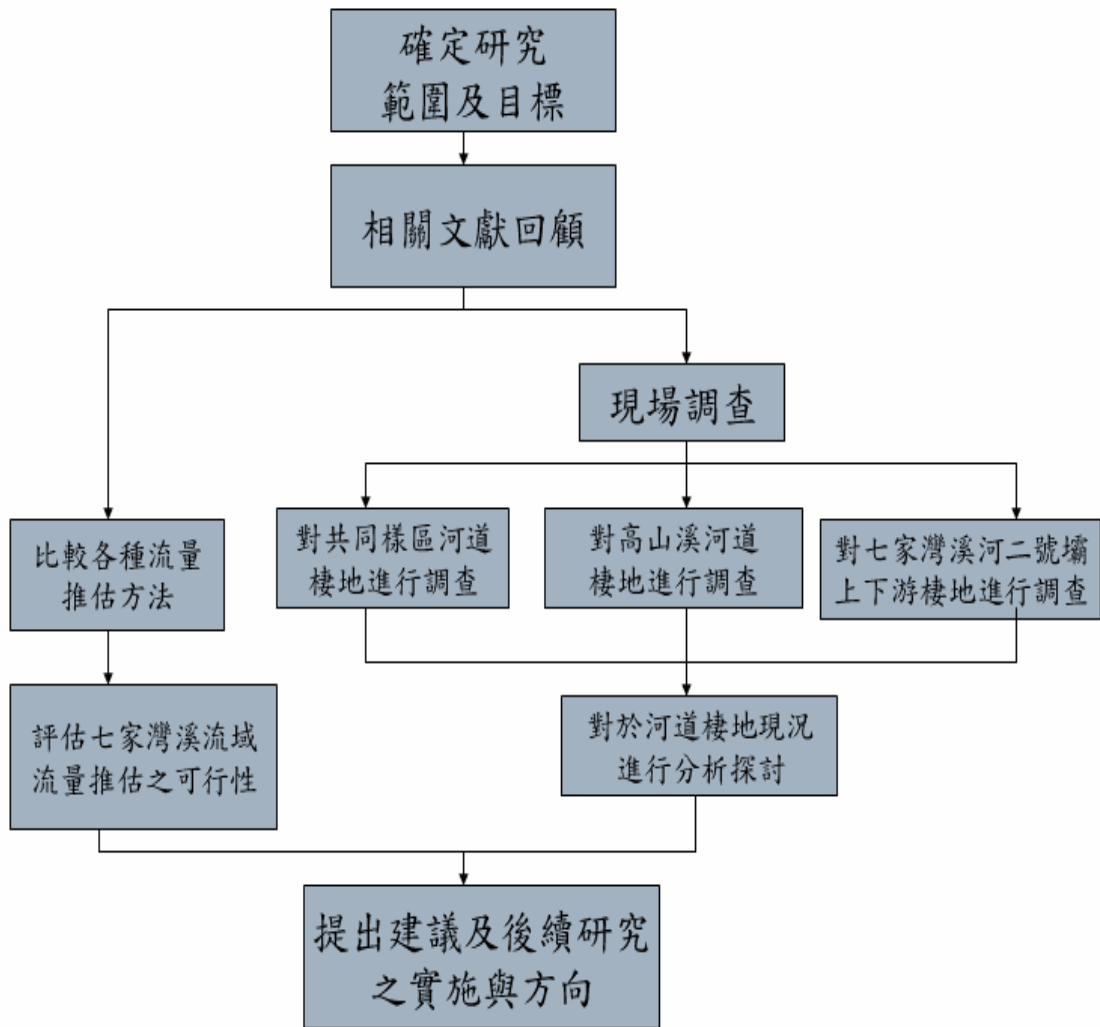


圖 2-1 本年度研究基本流程圖

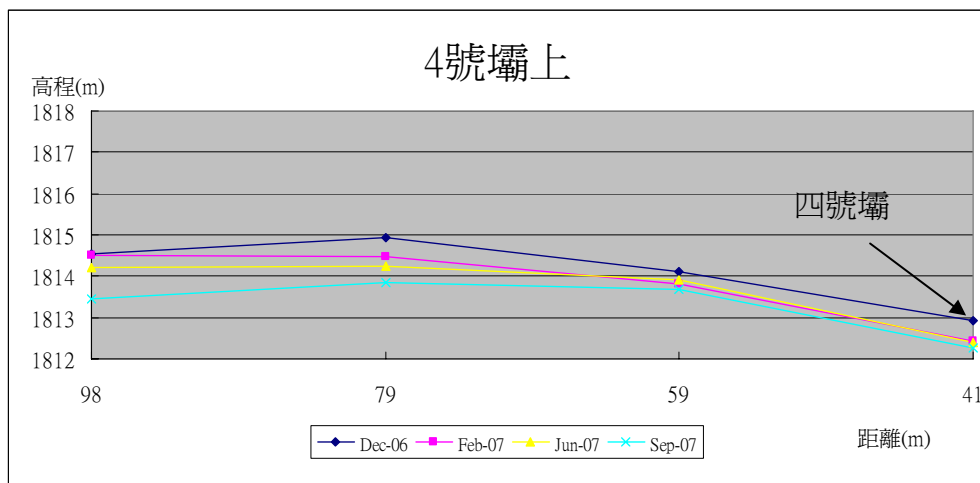


圖 2-2 四號壩上游斷面高程剖面圖

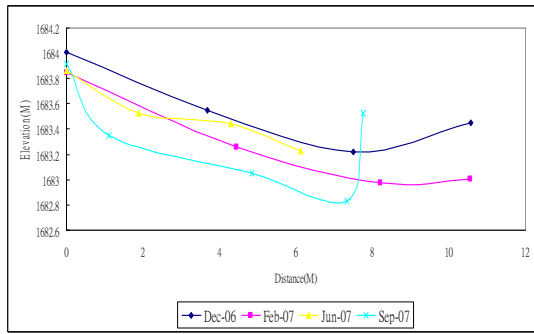


圖 2-3 高山溪斷面 4-4 剖面高程

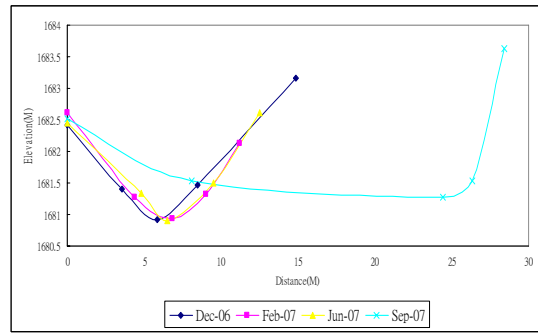


圖 2-4 高山溪斷面 4-1 剖面高程

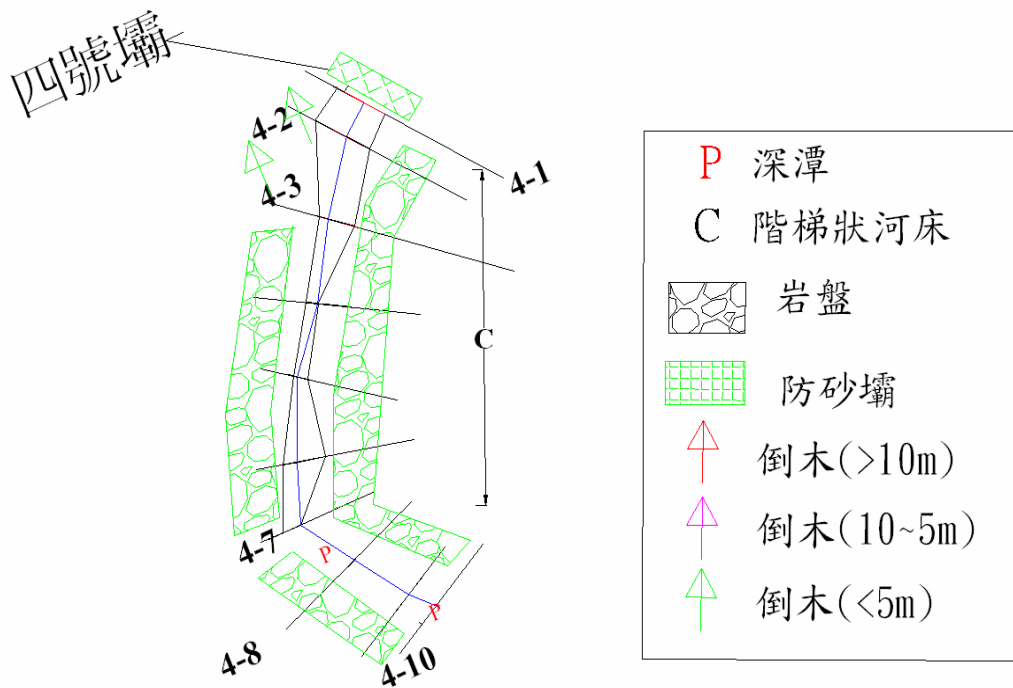


圖 2-5 高山溪四號壩上河道示意圖

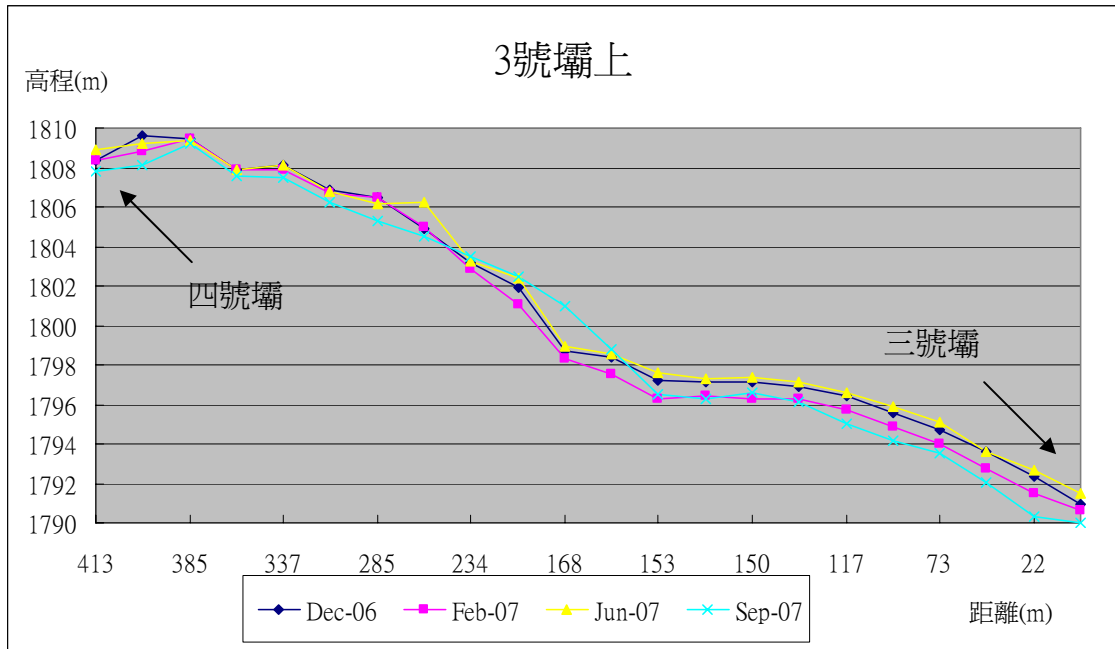


圖 2-6 三號壩上游斷面高程剖面圖

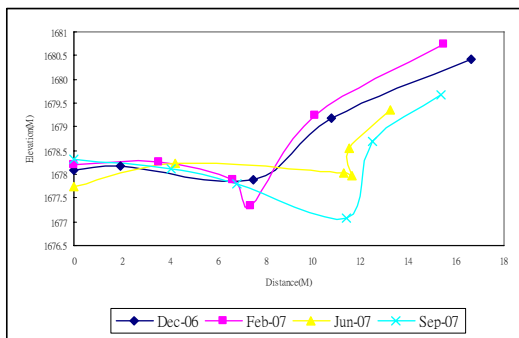


圖 2-7 高山溪斷面 3-B 剖面高程

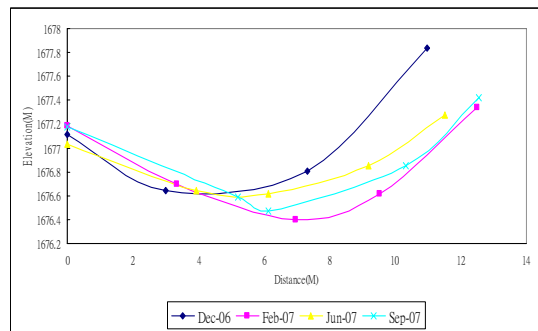


圖 2-8 高山溪斷面 3-E 剖面高程

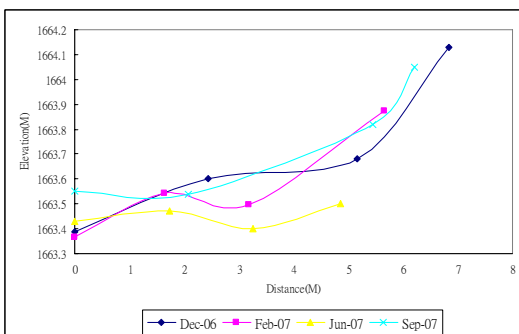


圖 2-9 高山溪斷面 3-R 剖面高程

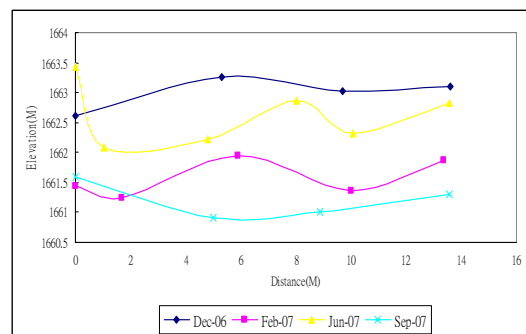


圖 2-10 高山溪斷面 3-T 剖面高程

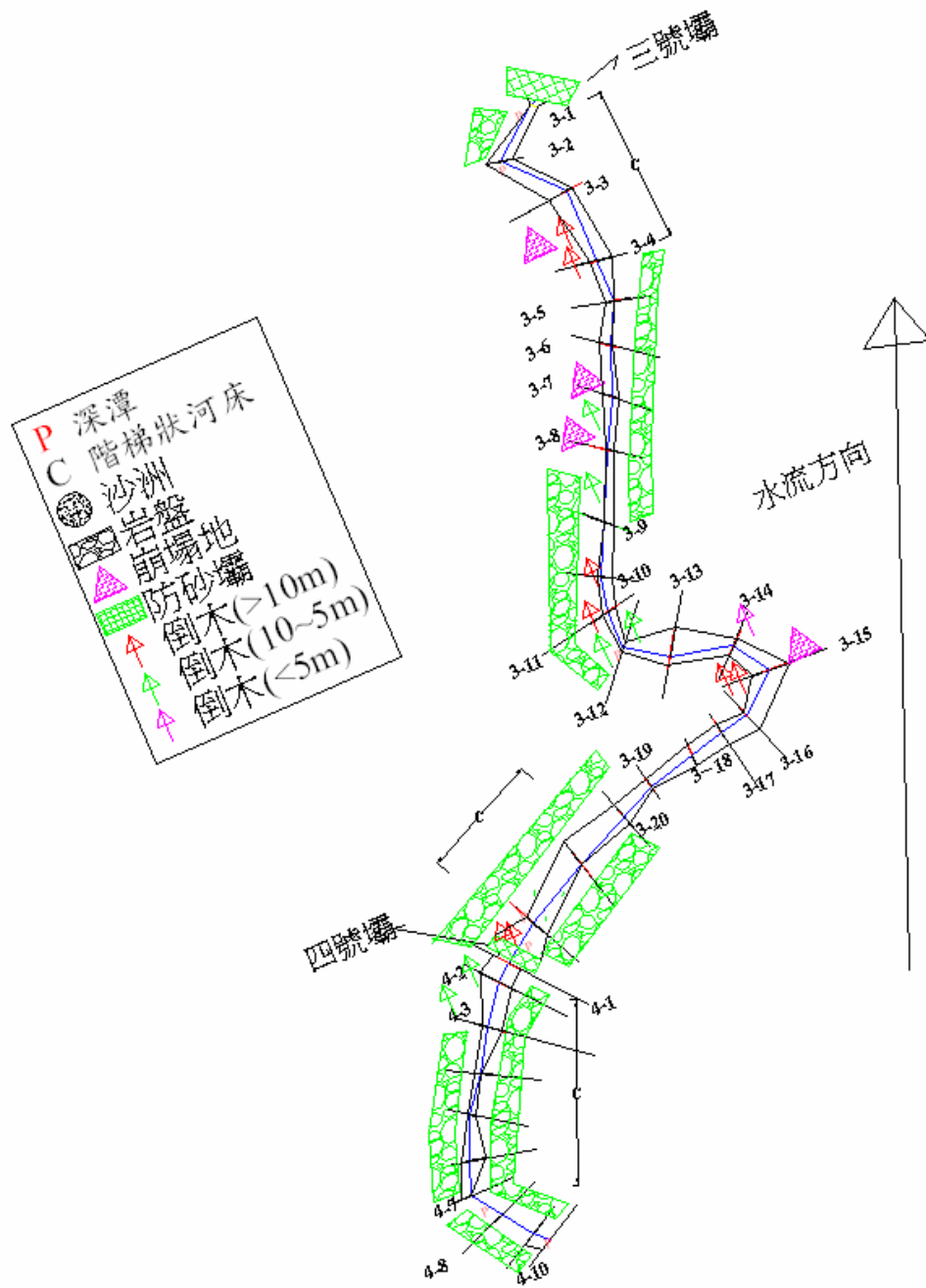


圖 2-11 高山溪三號壩上之河道示意圖

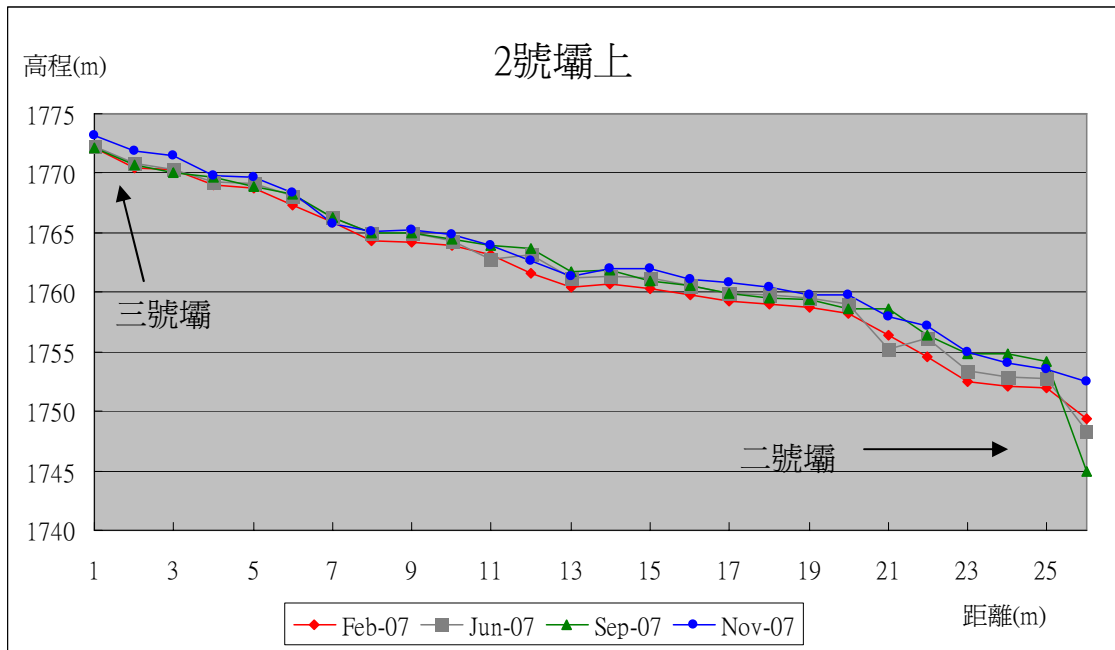


圖 2-12 二號壩上游斷面高程剖面圖

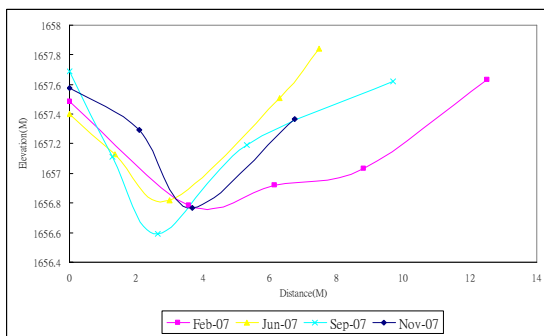


圖 2-13 高山溪斷面 2-C 剖面高程

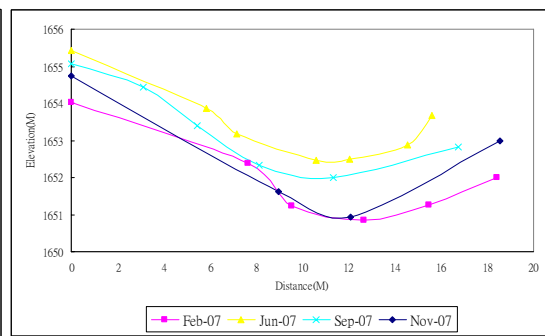


圖 2-14 高山溪斷面 2-H 剖面高程

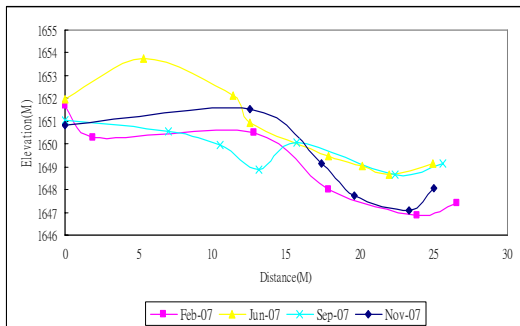


圖 2-15 高山溪斷面 2-M 剖面高程

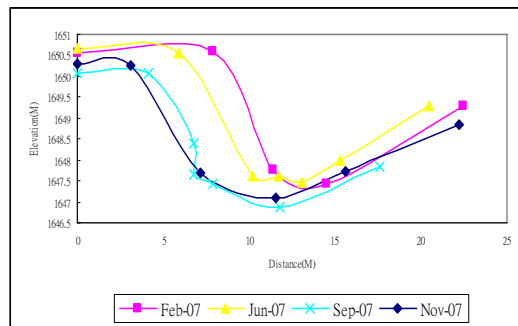


圖 2-16 高山溪斷面 2-Q 剖面高程

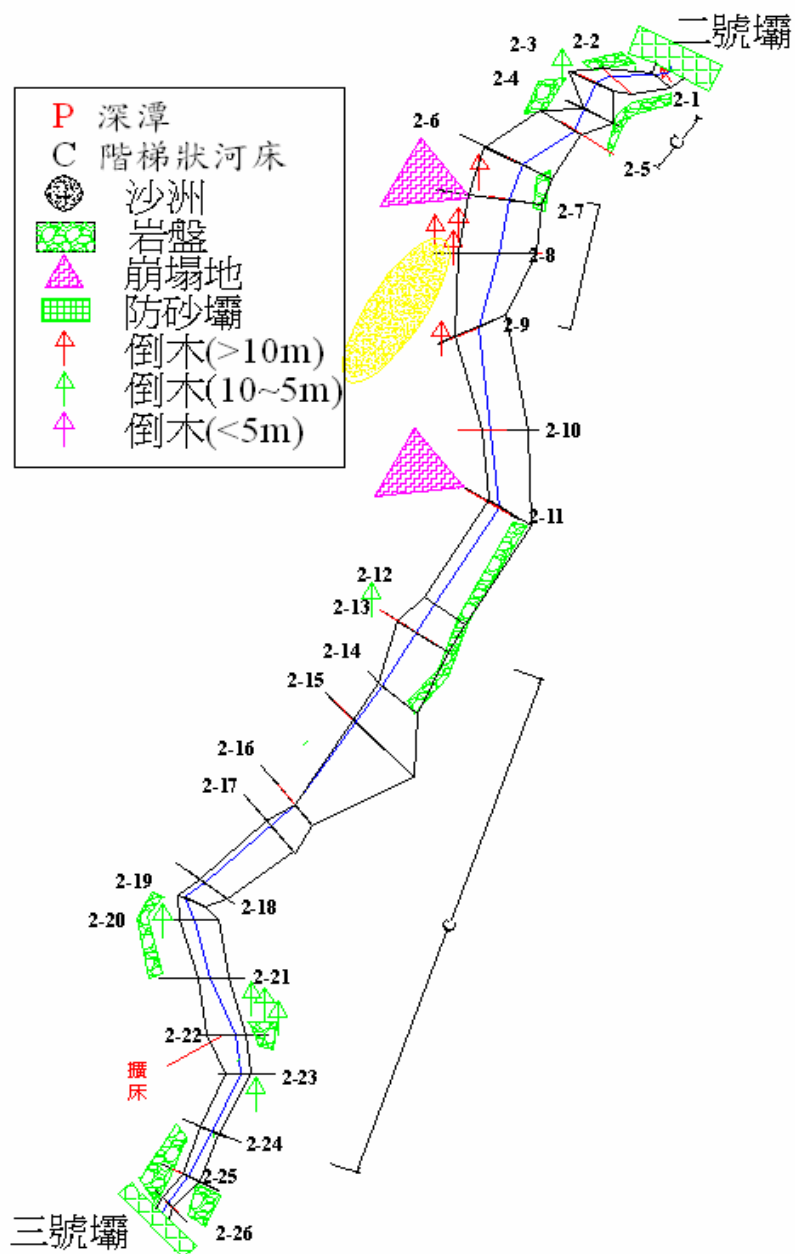


圖 2-17 高山溪二號壩上之河道示意圖



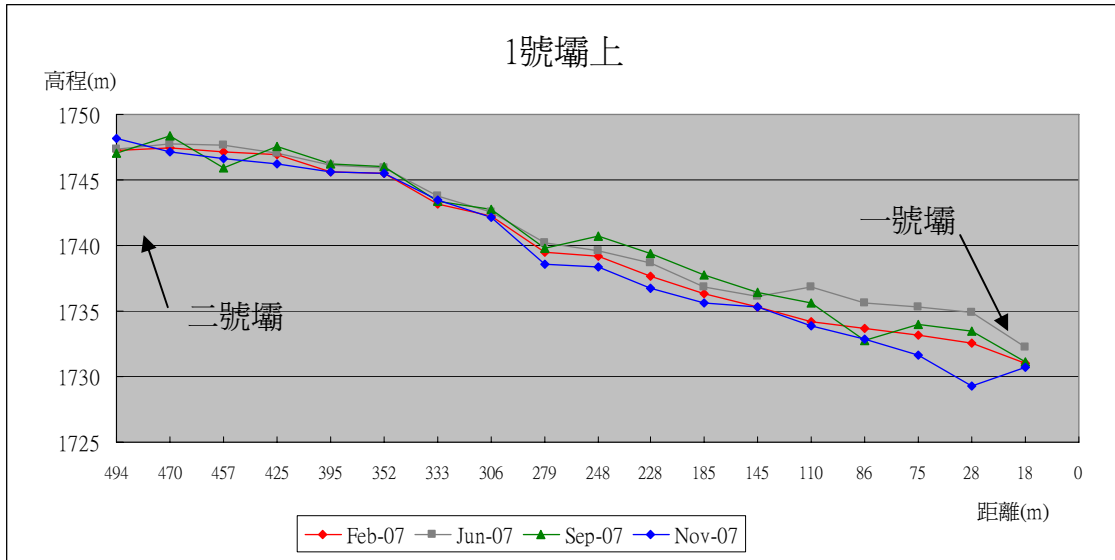


圖 2-18 一號壩上游斷面高程剖面圖

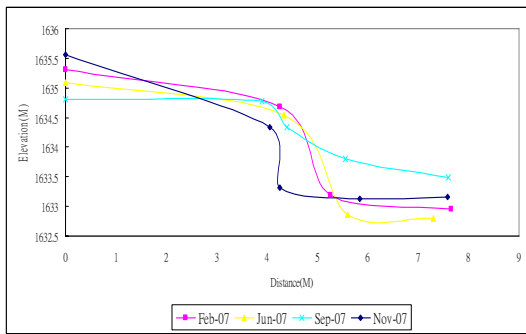


圖 2-19 高山溪斷面 1-B 剖面高程

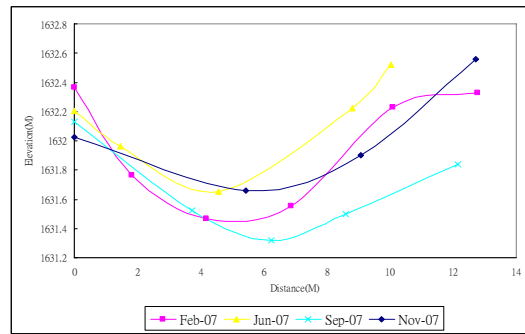


圖 2-20 高山溪斷面 1-E 剖面高程

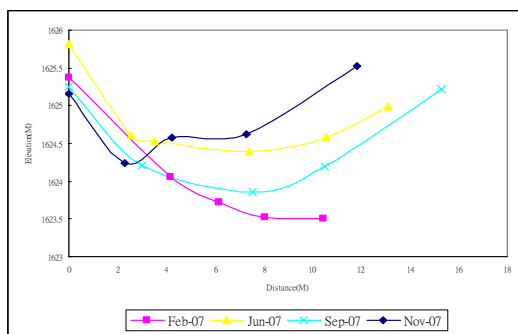


圖 2-21 高山溪斷面 1-K 剖面高程

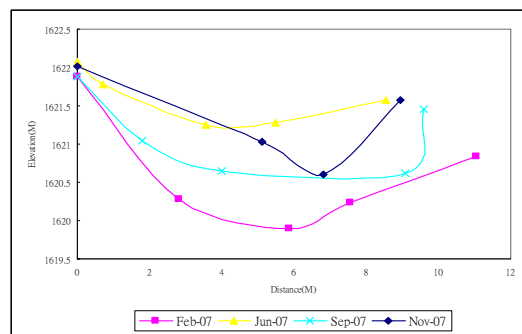


圖 2-22 高山溪斷面 1-N 剖面高程

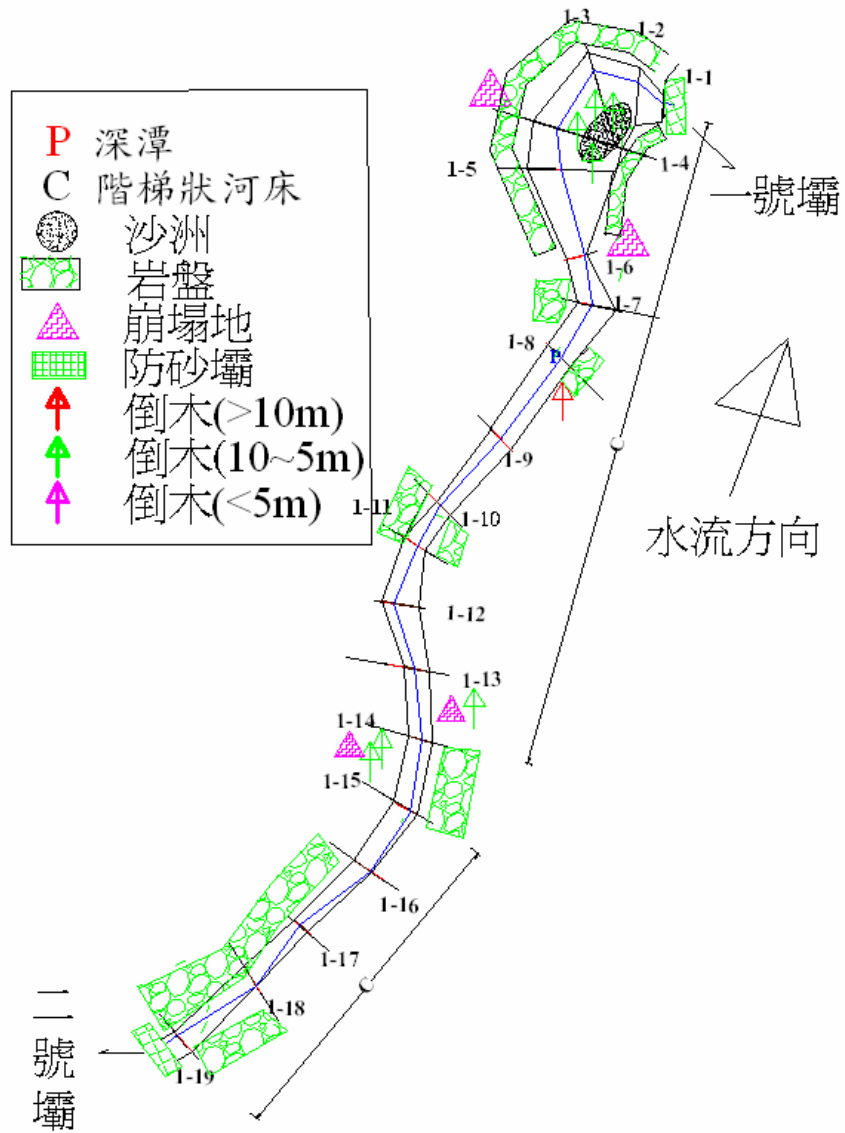


圖 2-23 高山溪一號壩上河道示意圖

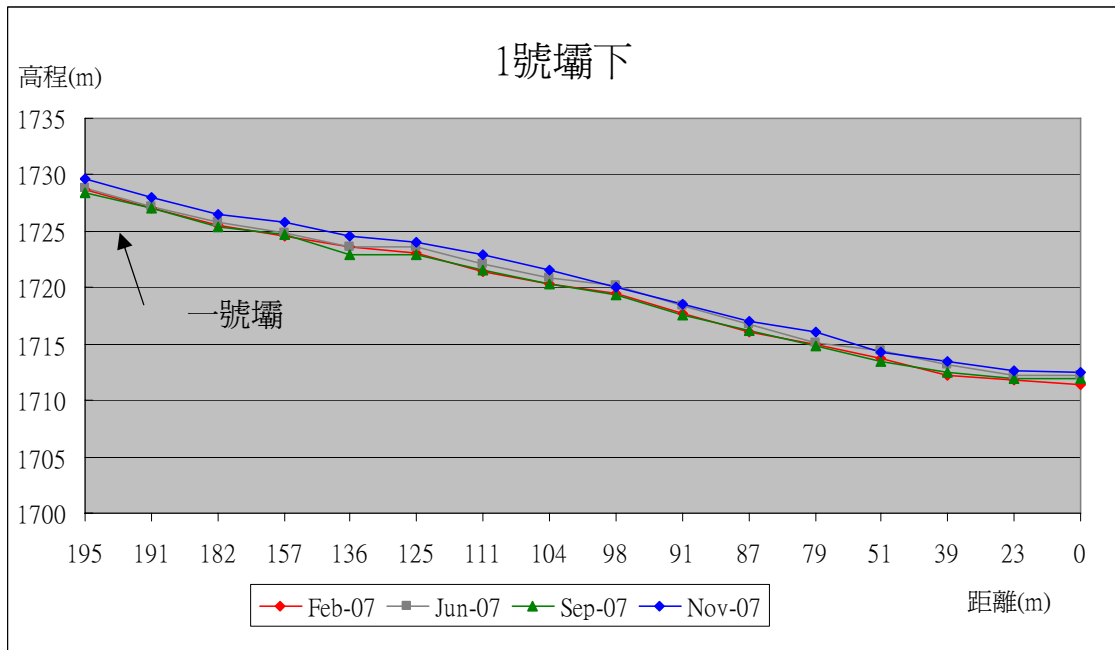


圖 2-24 一號壩下游斷面高程剖面圖

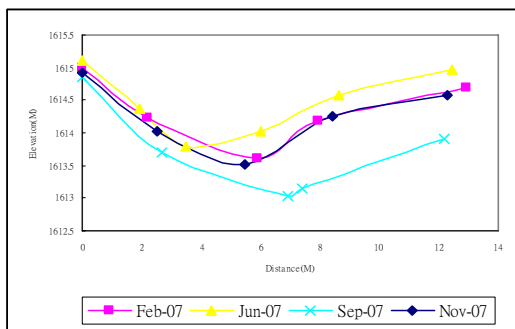


圖 2-25 高山溪斷面 0-C 剖面高程

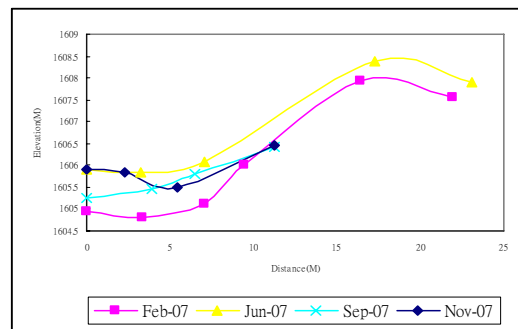


圖 2-26 高山溪斷面 0-H 剖面高程

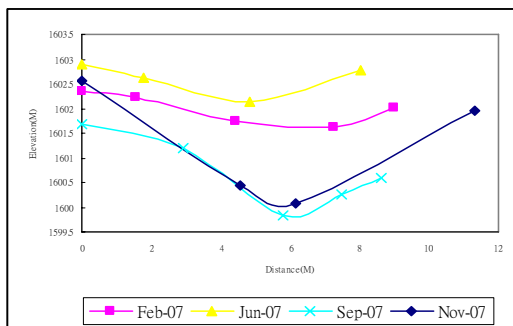


圖 2-27 高山溪斷面 0-L 剖面高程

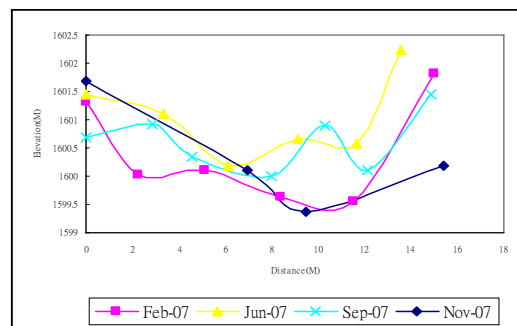


圖 2-28 高山溪斷面 0-O 剖面高程

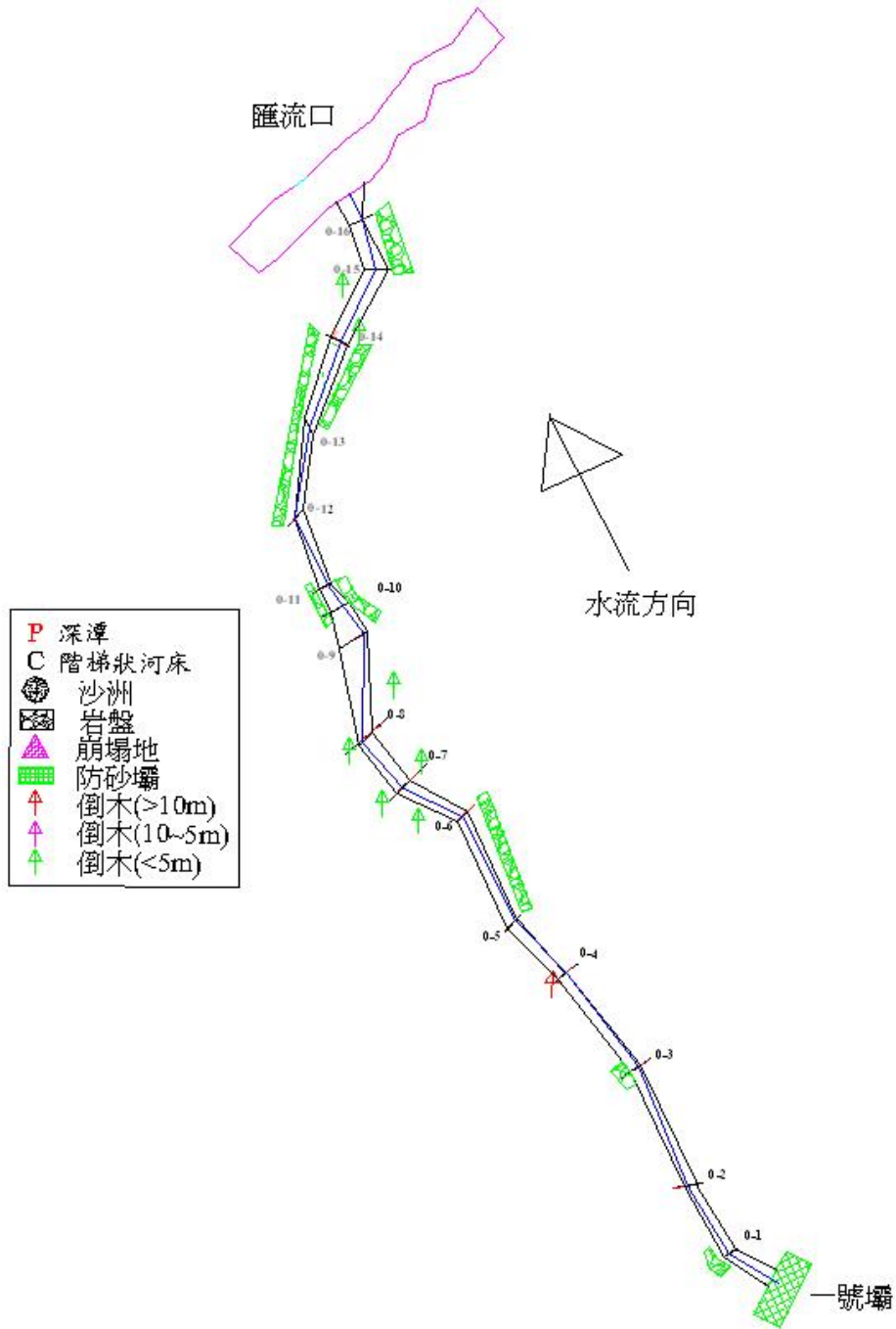


圖 2-29 高山溪一號壩下至匯流口之河道示意圖

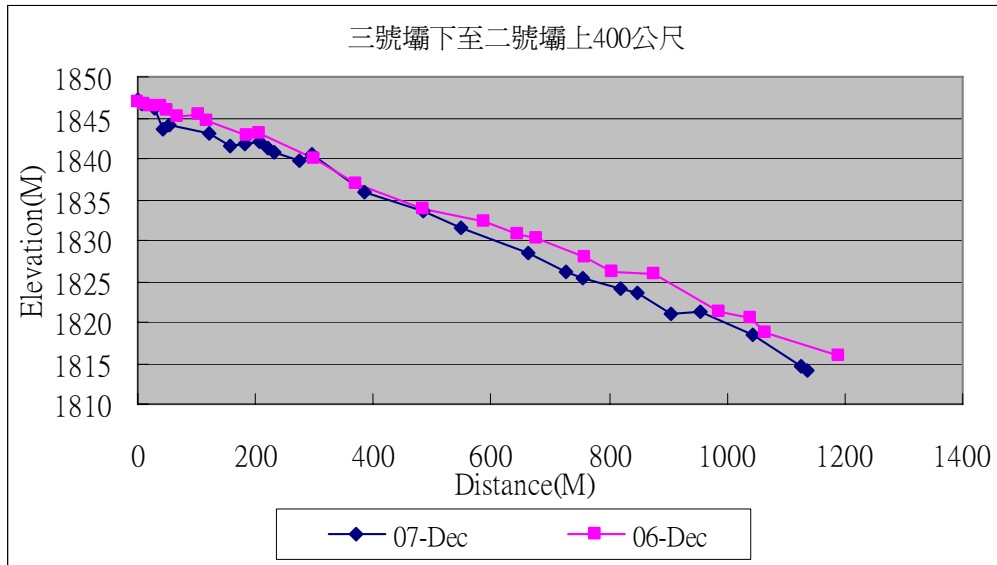


圖 2-30 三號壩下至二號壩上 400 公尺剖面圖

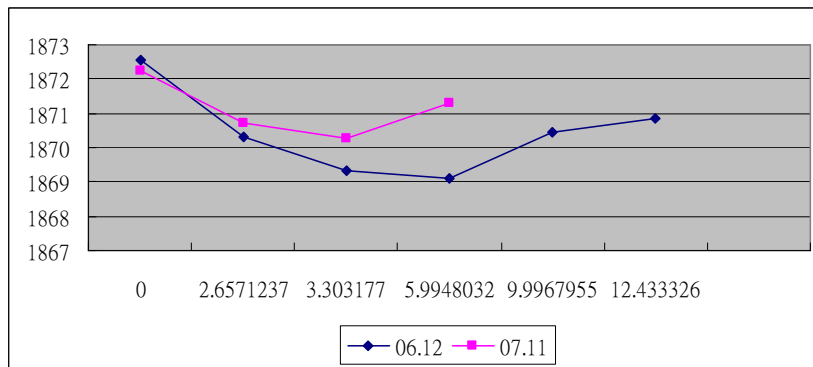


圖 2-31 七家灣溪斷面 3-12 剖面高程

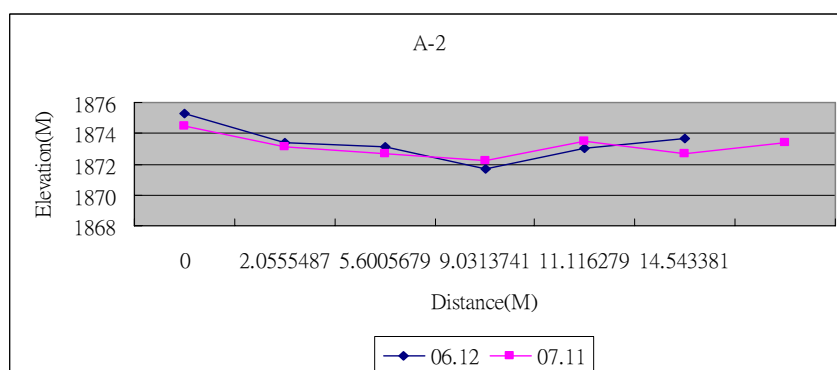


圖 2-32 七家灣溪斷面 3-8 剖面高程

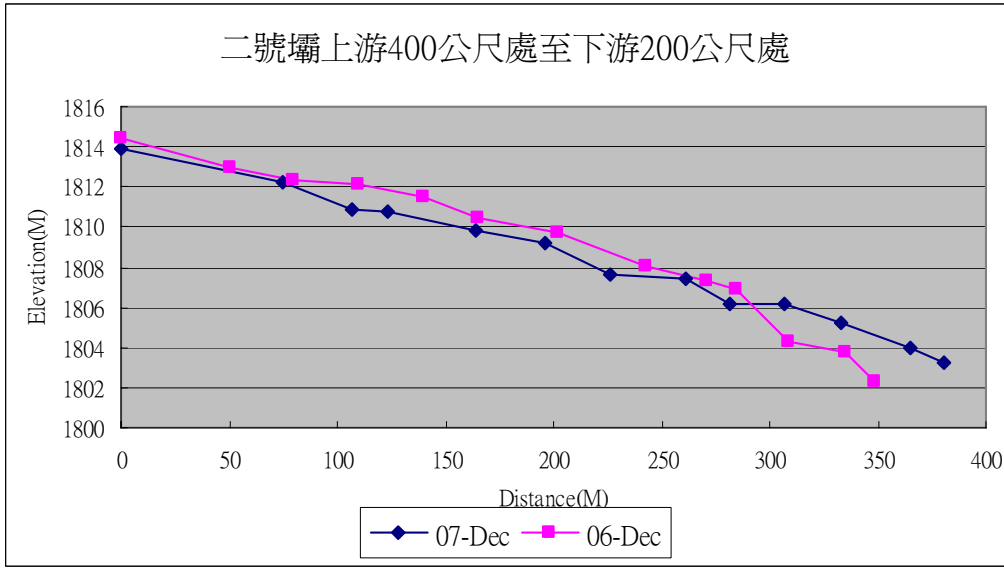


圖 2-33 二號壩上游 400 公尺至下游 200 公尺剖面線

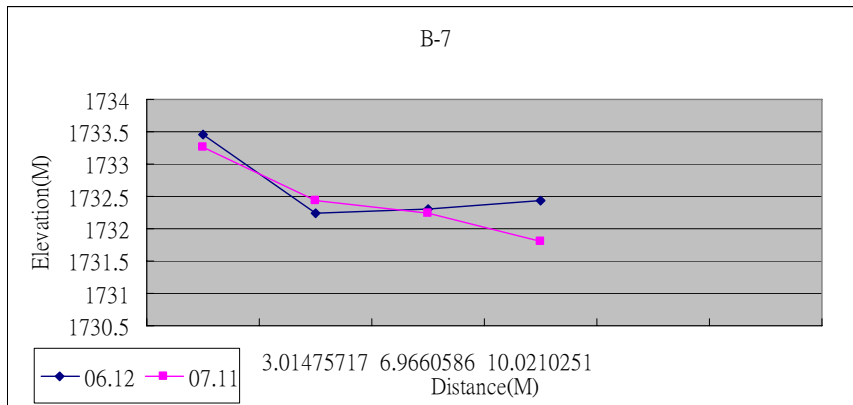


圖 2-34 七家灣溪斷面 2-8 剖面高程

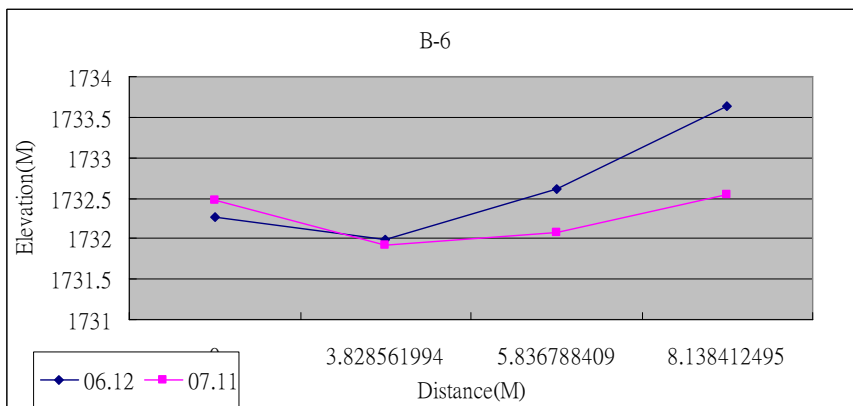


圖 2-35 七家灣溪斷面 2-8 剖面高程

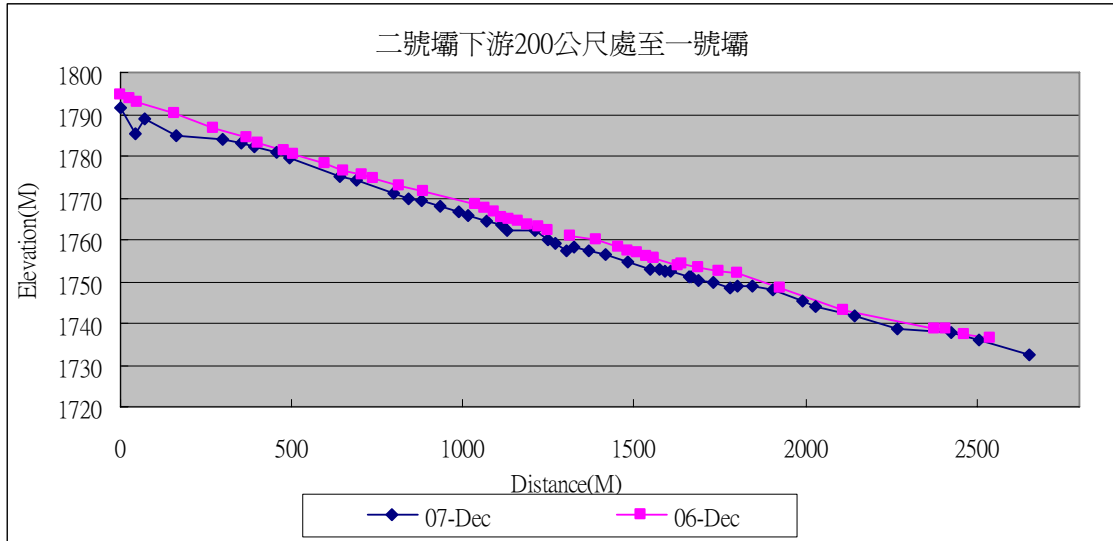


圖 2-36 二號壩下游 200 公尺至一號壩上剖面線

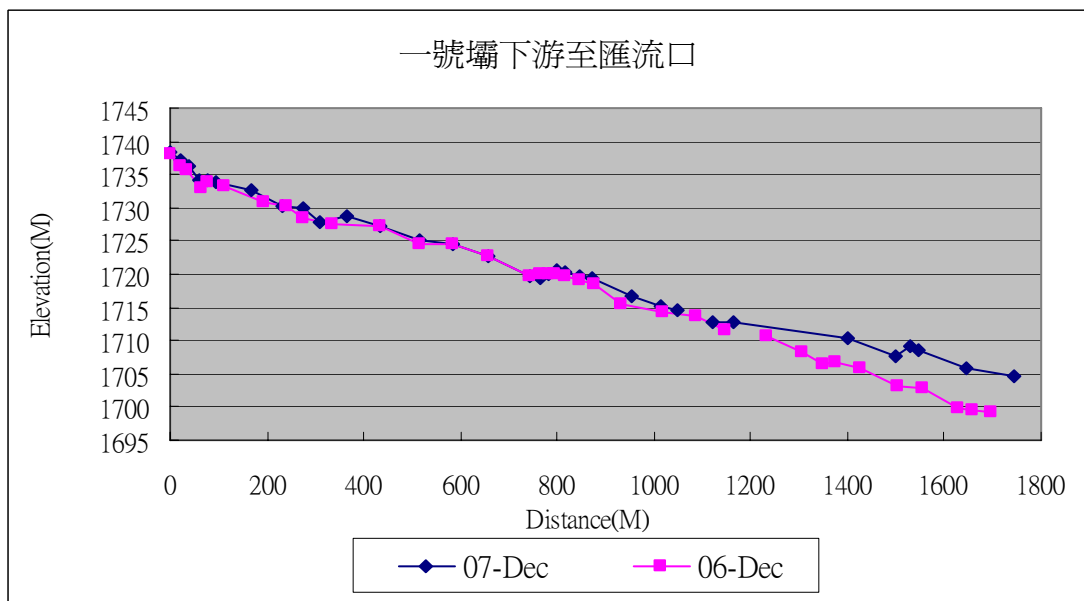


圖 2-37 一號壩下游至匯流口剖面線

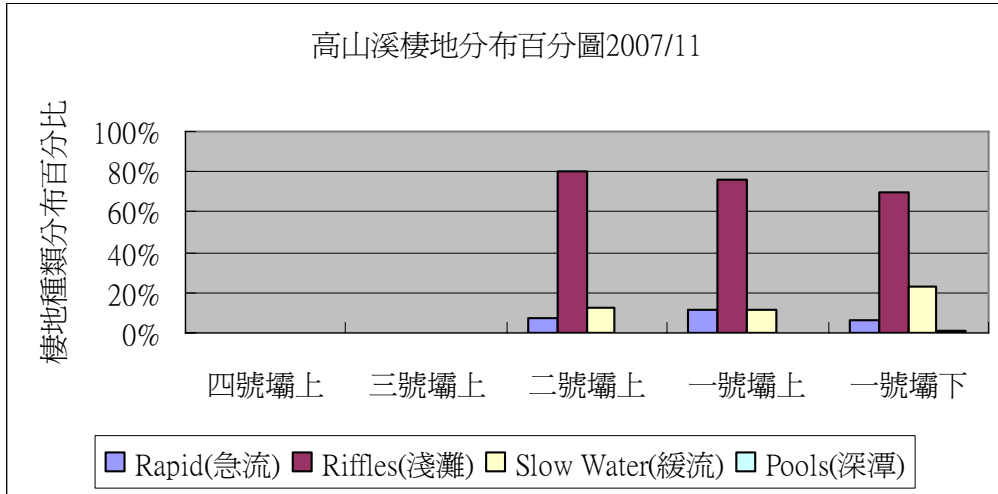


圖 2-38 高山溪棲地環境類型分析 (2007/11)

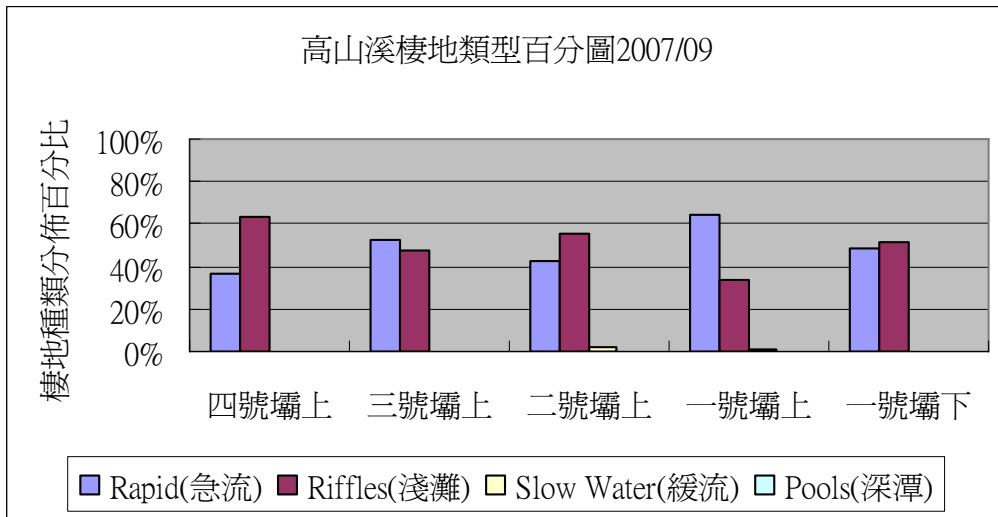


圖 2-39 高山溪棲地環境類型分析 (2007/09)

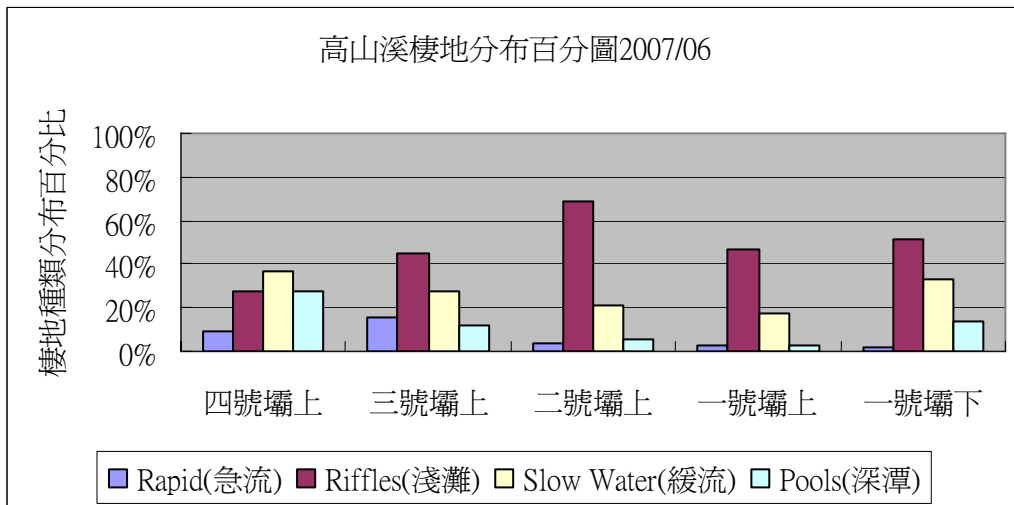


圖 2-40 高山溪棲地環境類型分析 (2007/06)



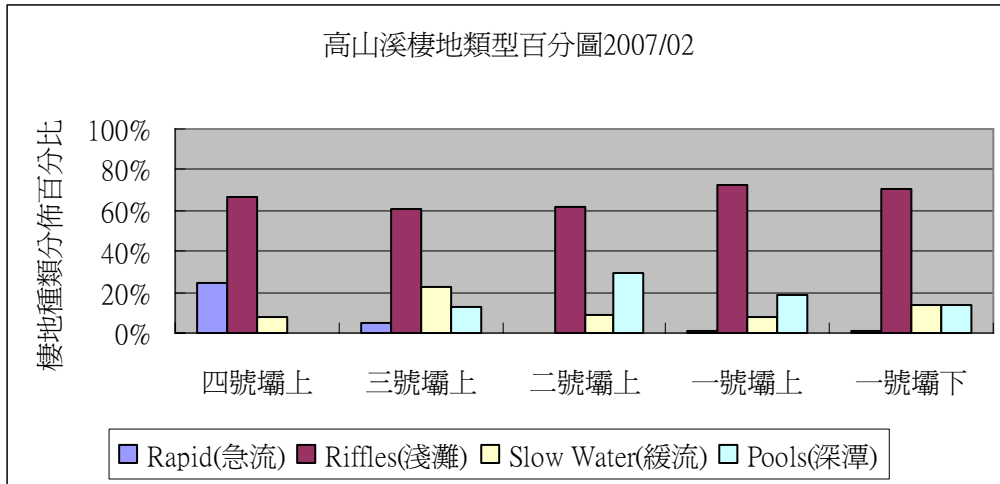


圖 2-41 高山溪棲地環境類型分析 (2007/02)

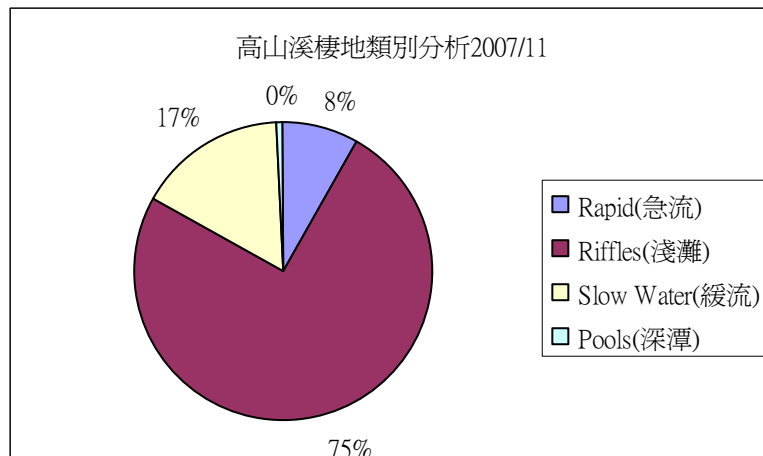


圖 2-42 高山溪棲地環境類型分布(2007/11)

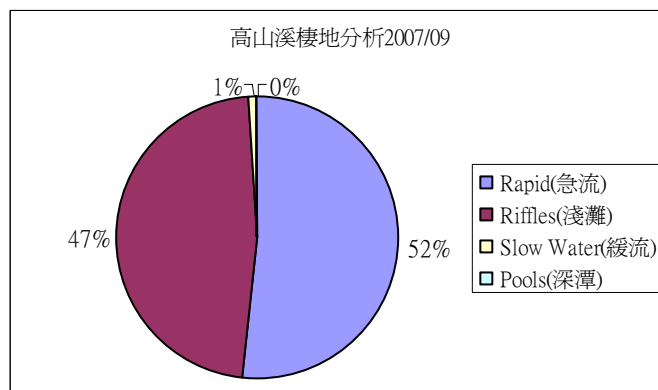


圖 2-43 高山溪棲地環境類型分布(2007/09)

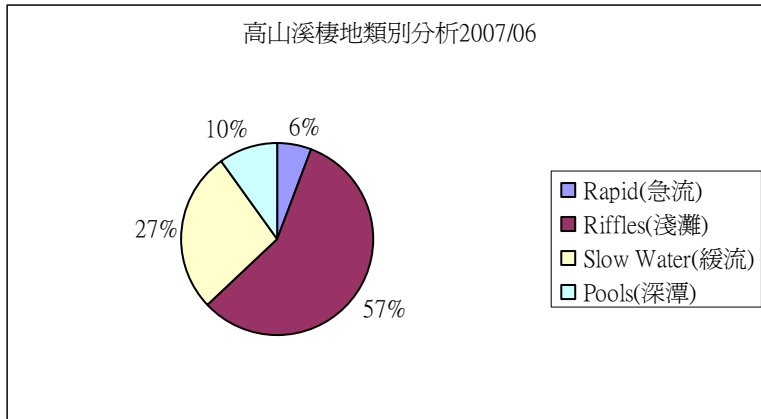


圖 2-44 高山溪棲地環境類型分布(2007/06)

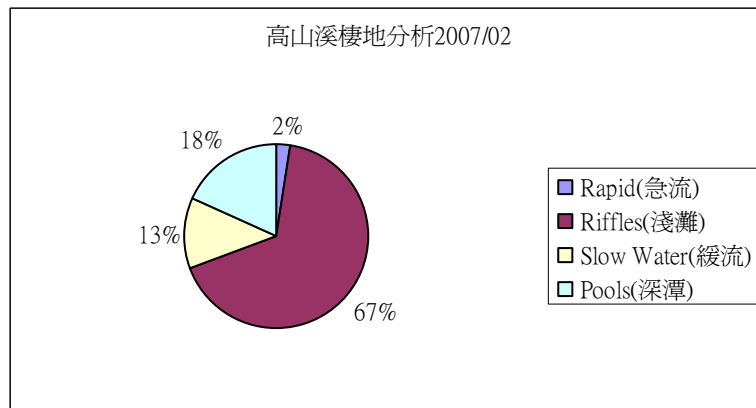


圖 2-45 高山溪棲地環境類型分布(2007/02)

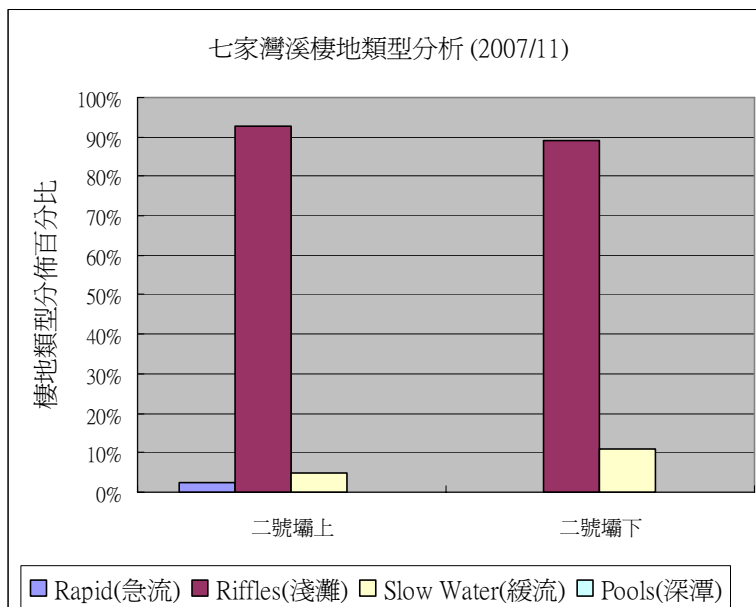


圖 2-46 七家灣溪二號石壩上下游棲地環境類型分析 (2007/11)

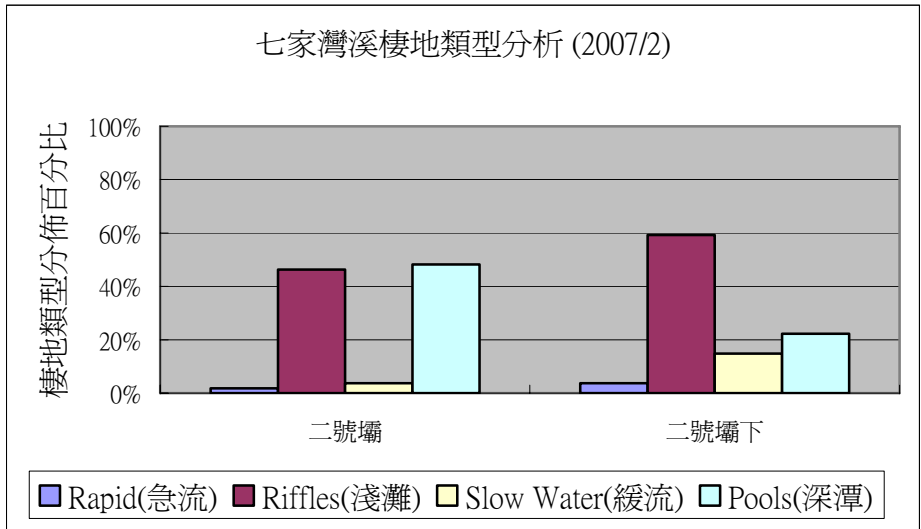


圖 2-47 七家灣溪二號石壩上下游棲地環境類型分析 (2007/02)

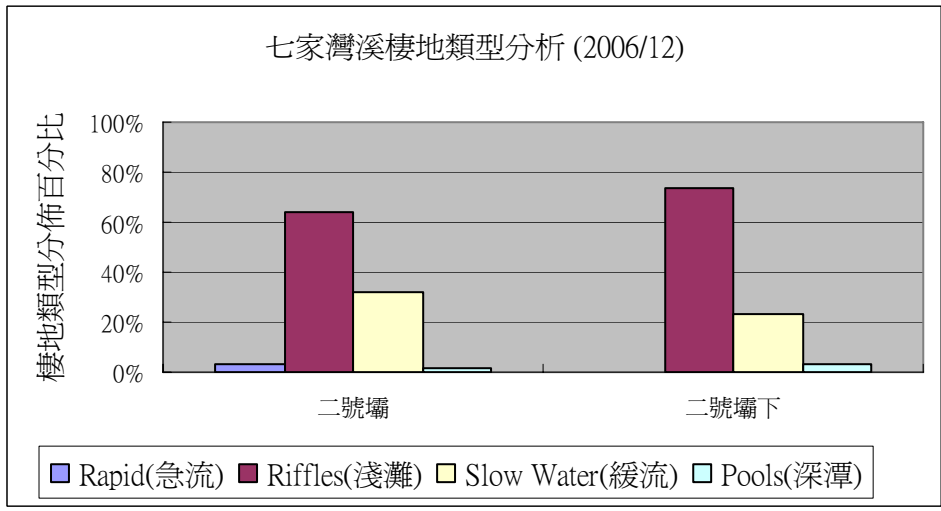


圖 2-48 七家灣溪二號石壩上下游棲地環境類型分析 (2006/12)

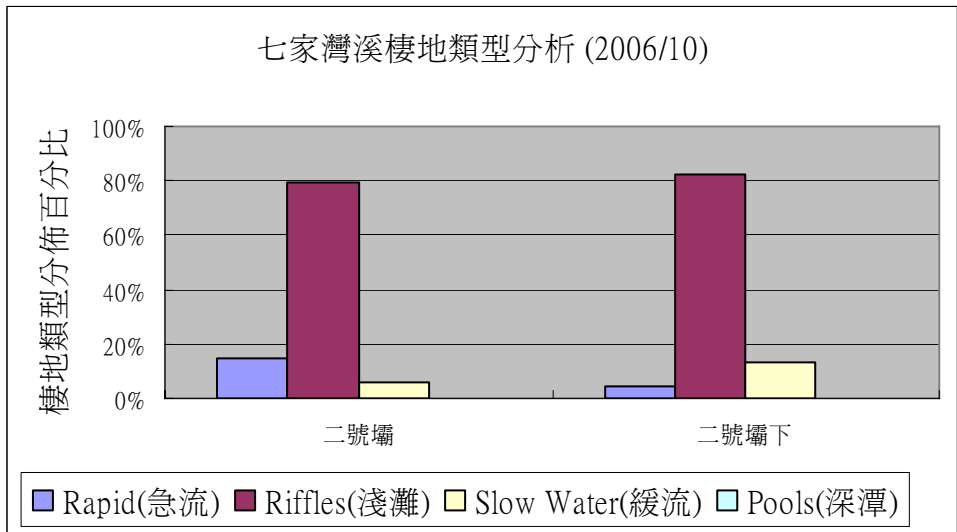


圖 2-49 七家灣溪二號石壩上下游棲地環境類型分析 (2006/10)

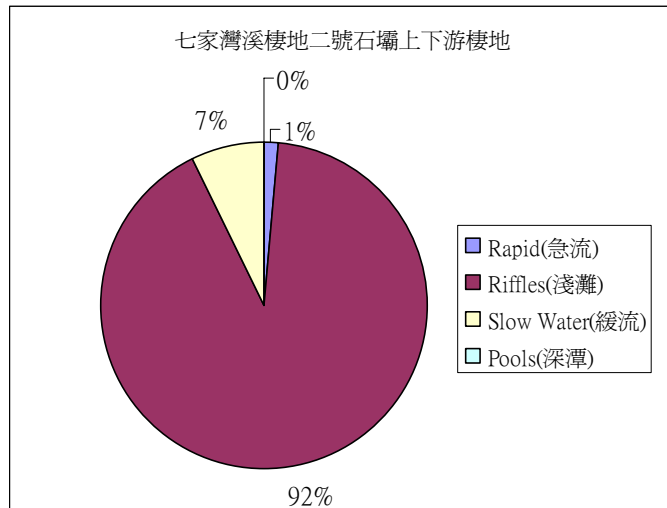


圖 2-50 七家溪二號石壩上下游棲地環境類型分布(2007/11)

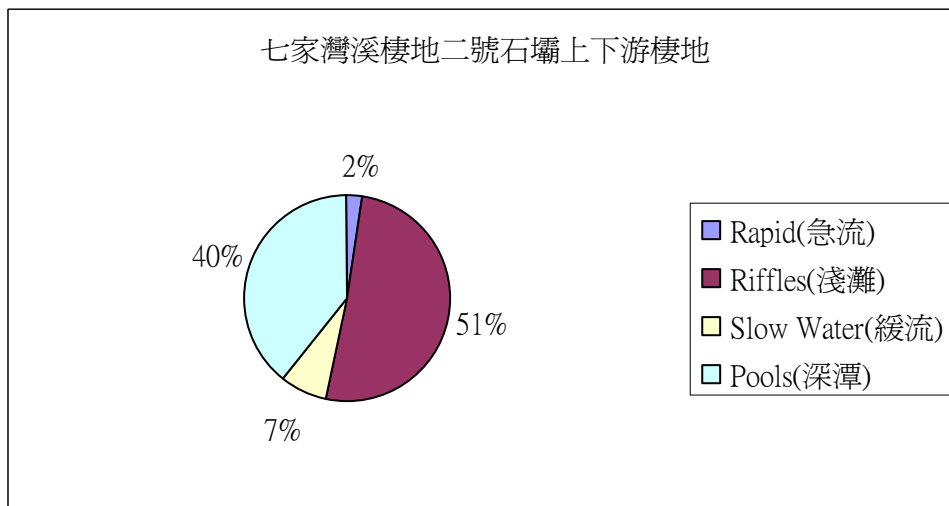


圖 2-51 七家溪二號石壩上下游棲地環境類型分布(2007/02)

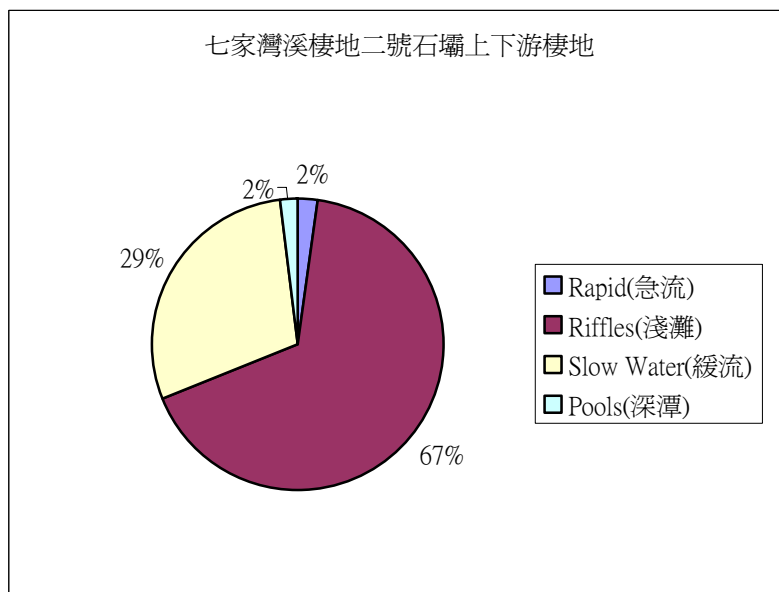


圖 2-52 七家溪二號石壩上下游棲地環境類型分布(2006/12)

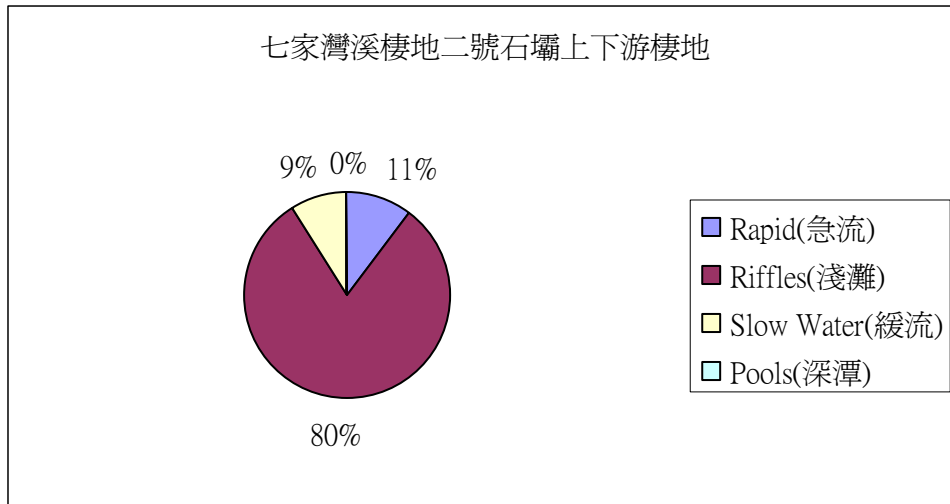


圖 2-53 七家溪二號石壩上下游棲地環境類型分布(2006/10)

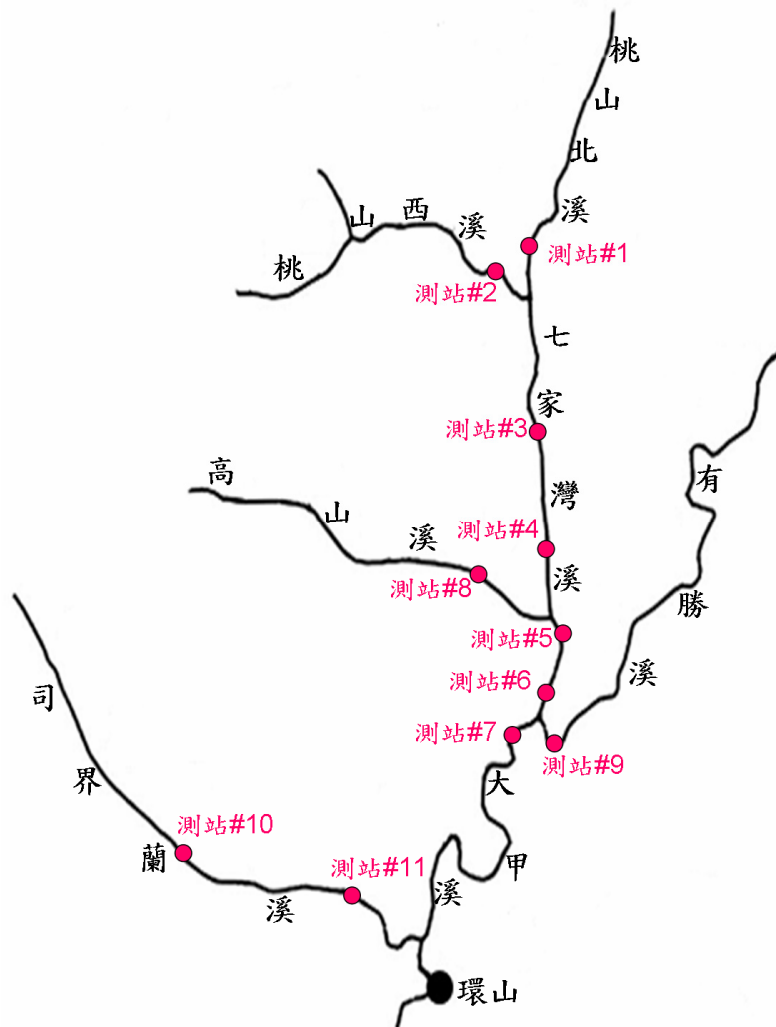


圖 2-54 七家灣溪共同樣區位置分佈圖

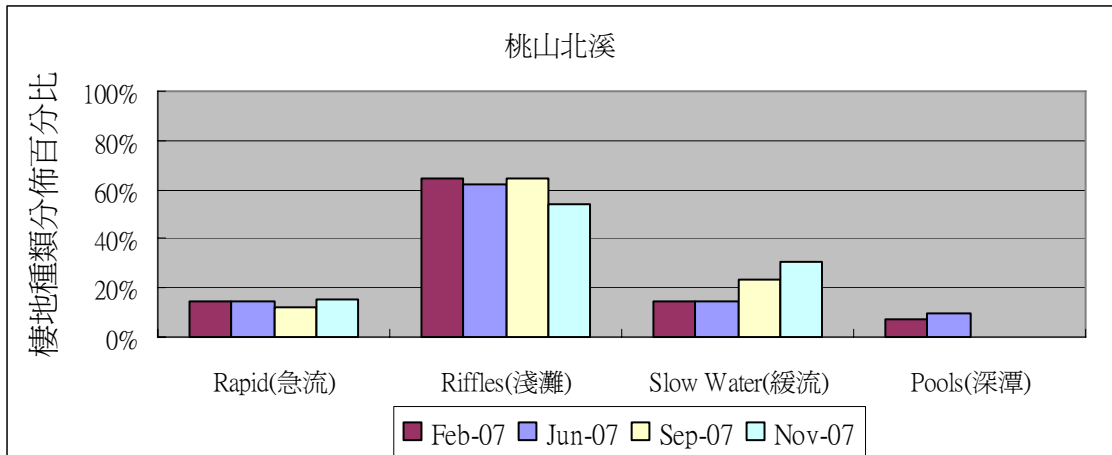


圖 2-55 桃山北溪棲地分佈類型百分比圖

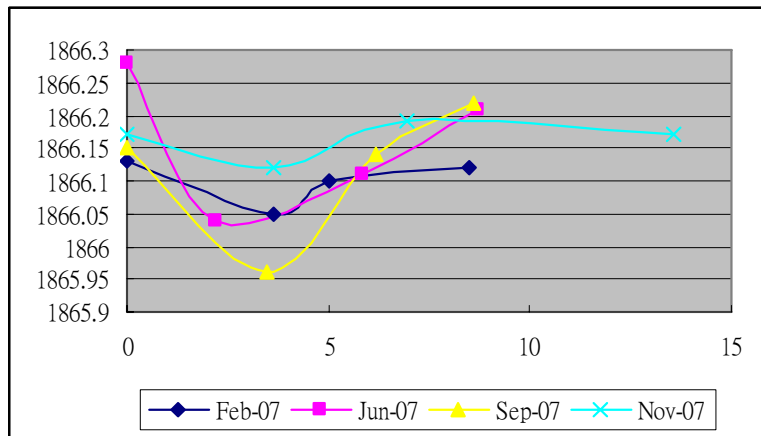


圖 2-56 桃山北溪測站 4-4 斷面

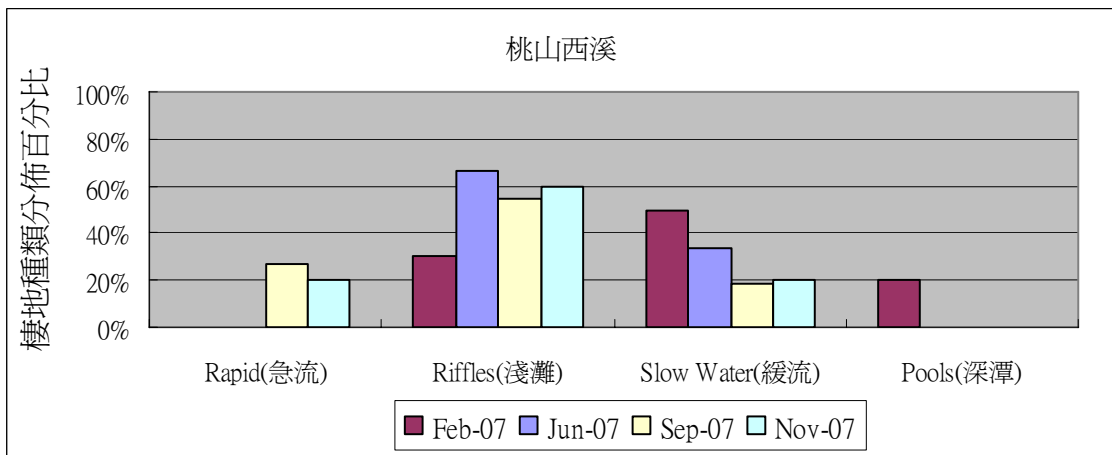


圖 2-57 桃山西溪棲地分佈類型百分比圖

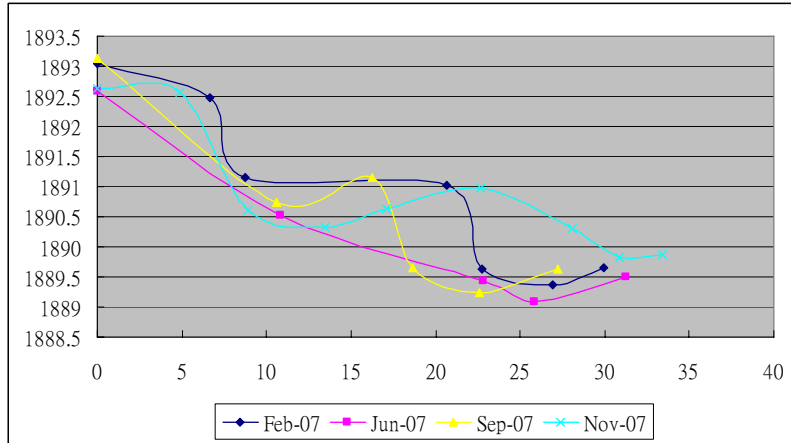


圖 2-58 桃山西溪測站 6-3 斷面

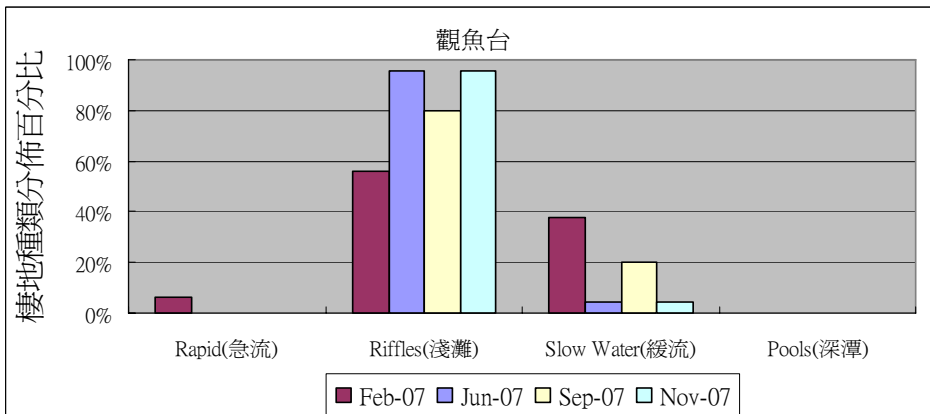


圖 2-59 一號壩分佈類型百分比圖

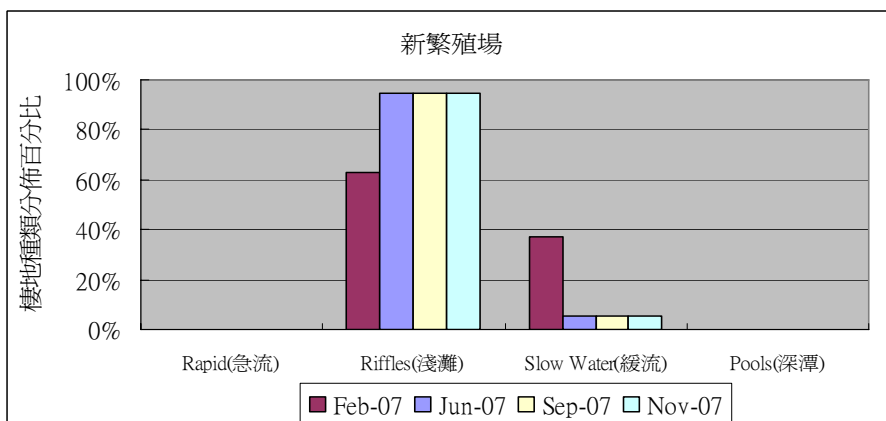


圖 2-60 新繁殖場棲地分佈類型百分比圖

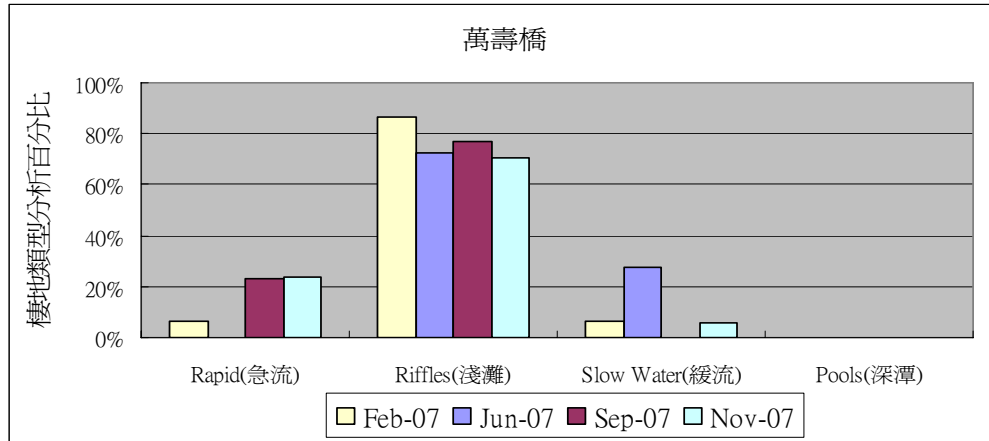


圖 2-61 萬壽橋棲地分佈類型百分比圖

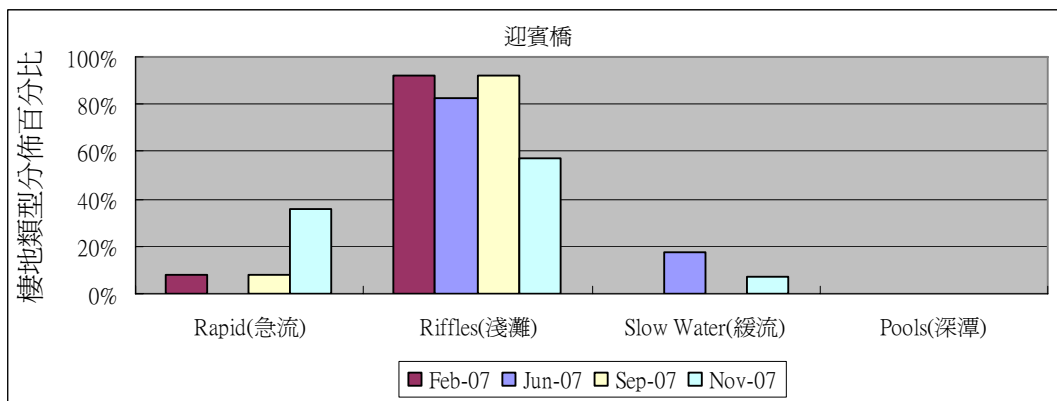


圖 2-62 迎賓橋棲地分佈類型百分比圖

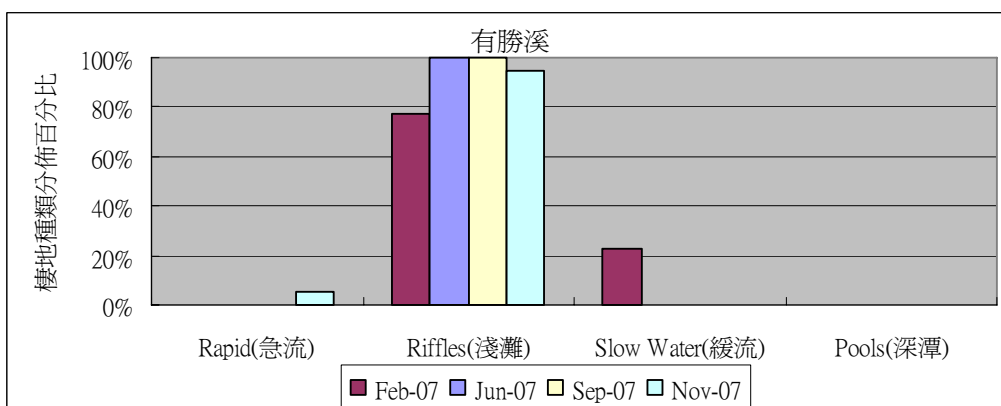


圖 2-63 有勝溪棲地分佈類型百分比圖



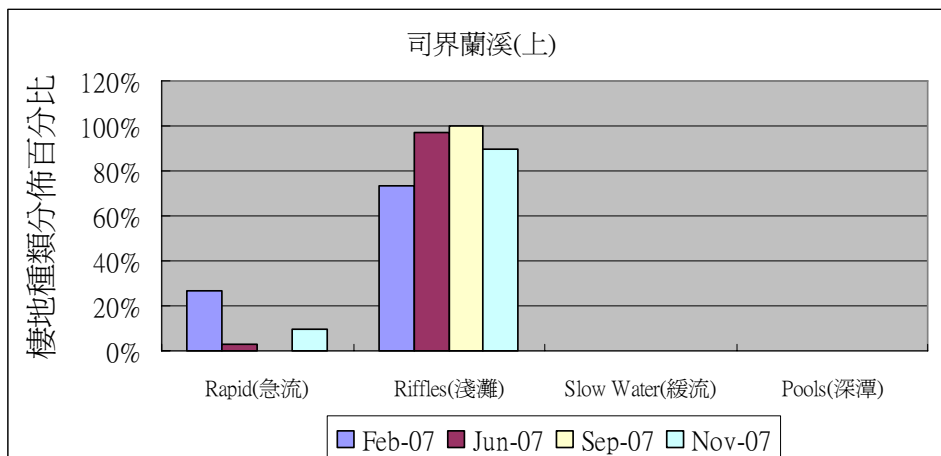


圖 2-64 司界蘭溪上游測站棲地分佈類型百分比圖

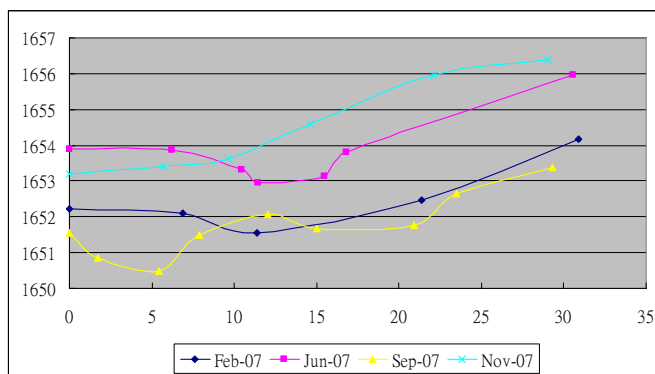


圖 2-65 司界蘭溪下游測站 11-3 斷面

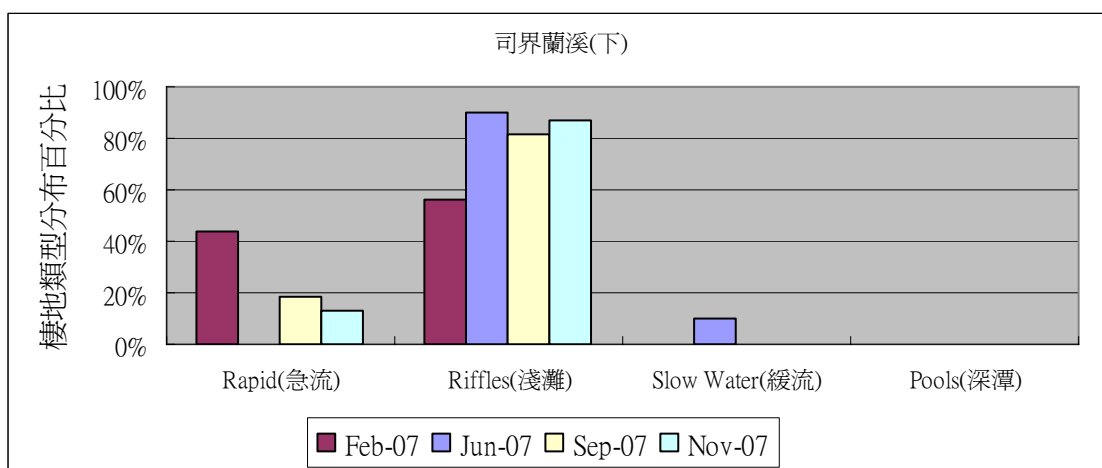


圖 2-66 司界蘭溪下游測站棲地分佈類型百分比圖

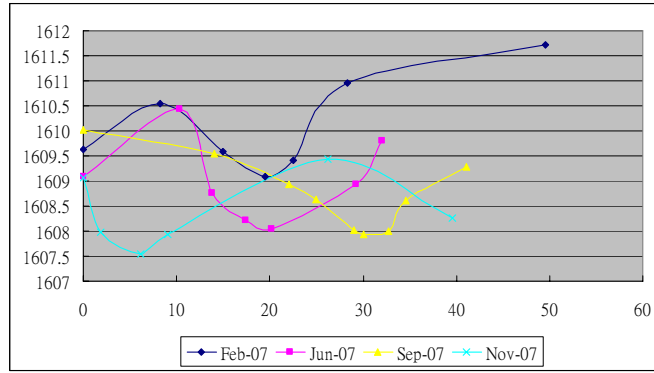


圖 2-67 司界蘭溪下游測站 11-4 斷面



照片 2-1 斷面 4-4 上游面(2007/02)



照片 2-2 斷面 4-4 上游面(2007/06)



照片 2-3 四號壩上游面(2007/02)



照片 2-4 四號壩上游面(2007/06)



照片 2-5 四號壩 (2007/02)



照片 2-6 四號壩下深潭(2007/06)





照片 2-7 断面 3-20 下游面(2007/02)



照片 2-8 断面 3-20 下游面(2007/06)



照片 2-9 断面 3-17 崩塌(2007/02)



照片 2-10 断面 3-17 崩塌(2007/06)



照片 2-11 断面 3-12 殘材壩(2007/02)



照片 2-12 断面 3-12 殘材壩(2007/06)





照片 2-13 三號壩壩口(2007/11)



照片 2-14 斷面 2-23 上游面(2007/06)



照片 2-15 斷面 2-23 上游面(2007/11)



照片 2-16 斷面 2-20 下游面(2007/06)



照片 2-17 斷面 2-20 上游面(2007/11)





照片 2-18 二號壩口(2007/06)



照片 2-19 二號壩壩口(2007/11)



照片 2-20 斷面 1-10 上游面(2007/06)



照片 2-21 斷面 1-10 上游面(2007/11)



照片 2-22 斷面 1-2 下游面(2007/06)



照片 2-23 斷面 1-2 下游面(2007/11)



照片 2-24 一號壩 (2007/06)



照片 2-25 一號壩(2007/11)





照片 2-26 一號壩 (2007/06)



照片 2-27 一號壩(2007/11)



照片 2-28 斷面 0-16 上游面(2007/06)



照片 2-29 斷面 0-16 上游面(2007/11)



照片 2-30 匯流口前深潭(2007/06)



照片 2-31 匯流口前深潭(2007/11)



照片 2-33 2-8 斷面上游(2007/2)



照片 2-33 2-9 斷面上游(2007/11)





照片 2-34 二號石壩下游面(2007/02)



照片 2-35 二號石壩上游面(2007/11)



照片 2-36 二號石壩下的深潭(2007/02)



照片 2-37 二號石壩下的深潭(2007/11)



照片 2-38 二號石壩 (2007/02)



照片 2-39 二號石壩 (2007/11)



照片 2-40 桃山北溪斷面 1-2 (2007/06)



照片 2-41 桃山北溪斷面 1-2 (2007/11)





照片 2-42 桃山北溪斷面 1-4(2007/02)



照片 2-43 桃山北溪斷面 1-4(2007/11)



照片 2-44 桃山北溪斷面 1-5 (2007/11)



照片 2-45 斷面 2-1 上游(2007/06)



照片 2-46 斷面 2-1 上游(2007/11)





照片 2-47 斷面 2-6 上游(2007/06)



照片 2-48 斷面 2-6 下游(2007/11)



照片 2-49 西溪與北溪匯流處(2007/11)



照片 2-50 一號壩 4-1 斷面(2007/06)



照片 2-51 一號壩 4-1 斷面(2007/11)





照片 2-52 一號壩 4-3 斷面(2007/06) 照片 2-53 一號壩 4-3 斷面(2007/11)



照片 2-54 一號壩 4-8 斷面(2007/06)



照片 2-55 新繁殖場起始點(2007/06)



照片 2-56 新繁殖場起始點(2007/11)





照片 2-57 新繁殖場斷面 5-4 (2007/06) 照片 2-58 新繁殖場斷面 5-4 (2007/11)



照片 2-59 新繁殖場斷面 5-6 上游(2007/06)



照片 2-60 萬壽橋斷面 6-1 (2007/06)



照片 2-61 萬壽橋斷面 6-1 (2007/11)





照片 2-62 萬壽橋斷面 6-4(2007/06)



照片 2-63 萬壽橋斷面 6-4(2007/11)



照片 2-64 萬壽橋斷面 6-6(2007/11)



照片 2-65 迎賓橋斷面 7-1(2007/06)



照片 2-66 迎賓橋斷面 7-1(2007/11)





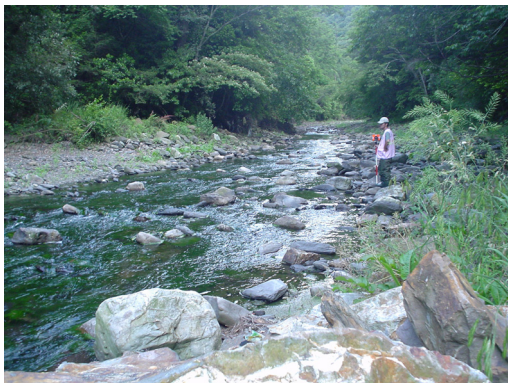
照片 2-67 迎賓橋斷面 7-4(2007/02)



照片 2-68 迎賓橋斷面 7-4(2007/06)



照片 2-69 迎賓橋斷面 7-6 下游(2007/11)



照片 2-70 有勝溪 9-3 斷面(2007/06)



照片 2-71 有勝溪 9-3 斷面(2007/11)





照片 2-72 有勝溪 9-5 斷面(2007/06)



照片 2-73 有勝溪 9-4 斷面(2007/11)



照片 2-74 有勝溪一號壩上(2007/06)



照片 2-74 有勝溪一號壩上(2007/11)



照片 2-76 司界蘭溪上游斷面 10-1 下游(2007/02)





照片 2-77 司界蘭溪上游斷面 10-1 下游(2007/06)



照片 2-78 司界蘭溪上游斷面 10-2 下游(2007/11)



照片 2-79 司界蘭溪下游舊壩下游(2007/02)



照片 2-80 司界蘭溪下游舊壩下游(2007/11)



照片 2-81 司界蘭溪下游斷面 11-7 上游(2007/11)



# 第三章 水質研究

官文惠、呂佩珊、江美貞、林彥均、陳淳圓、鄭宗誠、盧麒丞、蕭翔懌

明志科技大學環境與安全工程系

## 摘要

### 一、研究緣起

武陵地區七家灣溪為國寶魚櫻花鉤吻鮭之主要棲息地，該水域生態系受水環境參數之影響甚巨。

### 二、研究方法及過程

本研究除持續針對各水質項目採樣分析外，亦將利用統計分析及因素分析法，分配水質參數之權重，建立適用於七家灣溪流域的水體品質新指標。挑選對櫻花鉤吻鮭較具影響之因子，得出5個共同因子，依特性分別命名如下：總磷與氨氮兩個水質參數變數命名為「營養鹽因子」，pH與溶氧兩個水質參數變數命名為「光合性因子」，生化需氧量水質參數變數命名為「有機物因子」，濁度水質參數變數命名為「混濁性因子」，導電度水質參數變數命名為「溶解性因子」。

### 三、重要發現

經因素分析後得一新權重代表pH、導電度、濁度、生化需氧量、總磷、氨氮水質參數彼此間相對的重要性，分別為0.08、0.23、0.23、0.23、0.16、0.07，並將此做為七家灣溪流域水質新指標權重，並將此適用七家灣流域水質指標命名為WWQI(Wuling Water Quality Index)。

### 四、主要建議事項

定時進行復育池水樣水質分析，可與武陵地區流域比較水質差異性。

【關鍵字】櫻花鉤吻鮭、水體品質指標、因素分析法

## **Abstract**

The available information indicated that the nutrients in Chichiawan stream are mainly from the fertilizer applied to the farms near the stream. These nutrients significantly influence the main habitat of the Formosan Salmon. The water quality index (WQI), a prevalent water index for polluted stream, is not capable of displaying the correlation between the number of Formosan Salmon and the water quality. Statistical Package for Social Science (SPSS) computer calculate software was adopted to proceed factor analysis and find the weight of water quality parameters. From factor analysis, five common factors were yielded : 1. 「 nutrient factor 」 includes ammonia nitrogen and total phosphorous ; 2. 「 photosynthesis factor 」 includes pH and dissolved oxygen ; 3. 「 organic factor 」 ; 4. 「 turbid factor 」 ; 5. 「 dissolvable factor 」 . The weightings of pH, conductivity, turbidity, BOD, total phosphorus, ammonia nitrogen factors were 0.08, 0.23, 0.23, 0.23, 0.16, 0.07, respectively. A new and convenient water index, named as Wuling Water Quality Index (WWQI) will be developed in this study to reflect the influence of water quality in this chichiawan stream.

**【Keywords】** Oncorhynchus masou 、 Water Quality Index 、 Factor Analysis

## 一、前言

### (一) 研究緣起

近年來多位學者（陳,1998，王,1998，于與林,2003）均指出武陵地區的非點源污染正衝擊著七家灣溪流域，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。

根據往年的水質調查監測與櫻花鉤吻鮭數量調查報告顯示，當櫻花鉤吻鮭數量增加或減少時，國內常用的WQI（Water Quality Index）水質指標卻沒有明顯的變化。由此可知一般常用的中下游河段之河川水質指標並不能有效反應櫻花鉤吻鮭生存條件的變化。因此，有必要針對櫻花鉤吻鮭生活特性設計一個新的水質指標，以快速而有效的對本區域水質的變化進行反映。

### (二) 研究目的

本研究希望藉由該區溪流的物理與化學特性調查，搭配統計運算軟體的應用，期能找出除了水溫外，是否另有其他的水質參數為影響櫻花鉤吻鮭生存的相關因子，並建立七家灣溪流域水質指標。

### (三) 研究內容

1. 持續針對各水質項目進行採樣與實驗分析。
2. 利用統計運算軟體（Statistical Package for Social Science，SPSS）之檢定分析，篩選出與櫻花鉤吻鮭生存具有顯著相關性之因子。
3. 利用SPSS統計運算軟體之因素分析法，分配水質參數之權重，建立適用於七家灣溪流的水體品質新指標。

### (四) 文獻回顧

#### 1. 研究樣區的特性

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，包括新竹縣五峰鄉、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3-1）。

武陵遊憩區內包括了七家灣溪、有勝溪、高山溪三大主要水系，七家灣溪為大甲溪上游的主要支流，由北方的桃山西溪與桃山北溪匯流而成，並在下流匯入高山溪形成七家灣溪流域。地質方面多為板岩與頁岩；水質方面，溪流含氧量高，溶氧量變化在9ppm到12ppm之間；酸鹼值在7至9.5之間呈弱鹼性，營養鹽含量低，除部份地區受農業活動稍有影響外，一般含量均低，整體來看，武陵地區水質為良好。

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

雪霸國家公園武陵遊憩區以櫻花鉤吻鮭生態保護區為著名的景點，為保育櫻花鉤吻鮭得以永續生存，雪霸國家公園管理處積極採取復育工作。櫻花鉤吻鮭之所以珍貴是在於其為冷水性的鮭鱒科魚類，冰河時期生活在台灣大甲溪流域，冰河時期結束後無法進入海洋迴遊，成為陸封型鮭魚而生活在於大甲溪上游1500公尺上游的高山溪流地區。這些溪流的坡度平緩，水溫維持攝氏16°C以下，溪流兩岸由砂岩與板岩組成，河床甚少泥質，且樹木茂密，水量充沛，水生昆蟲種類豐富，所以櫻花鉤吻鮭得以在此生存。

## 2. 氮

### (1) 氮的來源

楊（1997）說明氮肥的來源之種類甚多，包括有機質與無機質的來源。

#### A. 有機質的來源：

各種有機質中均含有氮的成份，由胺基酸所組成的蛋白質含量甚高，一般在動物性肉及豆科植物中經由共生或非共生將大氣中的氮固定成生物能利用的 $\text{NH}_3$ 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 $\text{NH}_3$ 之後的產物，或工業合成的氰胺基化鈣（ $\text{CaCN}_2$ ），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3-2)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( $\text{NO}_3^-$ )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( $\text{NH}_4^+$ )轉變為 $\text{NH}_3$ 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

物會將氮肥的硝態氮 ( $\text{NO}_3^-$ ) 轉變為氣態的氧化亞氮 ( $\text{N}_2\text{O}$ ) 及氮氣 ( $\text{N}_2$ )，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 ( $\text{NH}_4^+$ ) 會被硝化菌先轉化為亞硝酸態氮 ( $\text{NO}_2^-$ )，再被微生物轉化為硝態氮 ( $\text{NO}_3^-$ )，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 ( $\text{N}_2\text{O}$ )，而產生氮肥的流失問題。

### 3. 磷

#### (1) 磷的介紹

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

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

公分土壤中含磷量有相當大之關係。

## (2) 磷的形態

土壤中磷素的形態主要可區分為下面三類：

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

有機質中的有機磷將受土壤微生物的分解，轉化為無機磷素，這是有機磷的「礦質化作用」。植物在土壤中吸收的磷素形態大都以磷酸二氫及一氫離子 ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  及  $\text{HPO}_4^{2-}$ )，其中吸收  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  較  $\text{HPO}_4^{2-}$  容易，部份有機磷也有少量能被植物吸收。在土壤液中  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  及  $\text{HPO}_4^{2-}$  之比例受 pH 的影響，在偏酸性時則以  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  為多；反之則以  $\text{HPO}_4^{2-}$  為多。

## (3) 磷的移動

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

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

## 4. 硫

### (1) 硫的介紹

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

土壤中的無機硫是以  $\text{SO}_4^{2-}$  的型態存在，硫酸根呈負價，不易被土壤黏粒與有機質吸附，容易存於土壤的溶液中隨之移動，易被淋洗而流失，會有表土含硫量低，底土含

硫量高的現象。

硫肥的來源可分為可溶性硫與不可溶性硫兩大類，可溶性型態的硫肥是以鈣、鉀、銨、鎂、鋅、銅、錳的硫酸鹽類，對農作物的有效性高，但易因被淋洗而流失，尤以砂土質地及雨量多的地方更易流失。不溶性硫是元素硫，不能直接被植物利用，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。

## (2) 硫的來源

土壤中硫的來源可有以下的來源：

- A. 硫黃土：當種植作物的土壤太鹼時，會以鋪硫黃土在土壤中以降低土壤的pH值。
- B. 土壤：土壤有機質含有相當多的硫含量。
- C. 肥料：農地中硫肥的使用，可溶性硫為硫酸鹽類，不可溶性硫為元素硫。
- D. 糞便：動物中的糞便含有大量的硫酸銅，主要以雞糞與豬糞為常用的有機肥料，作為蔬菜的基肥使用。
- E. 農藥：使用含硫的農藥。
- F. 過磷酸鈣：磷肥中常用的過磷酸鈣即含有11.9%的硫。
- G. 生物體：硫是氨基酸的組成元素，即生物體內含有硫。
- H. 大氣：大氣中的二氧化硫沉降。

## (五) 水質指標

### 1. 水質指標介紹

張(2001)提出指標是一種量測結果的表示，藉由指標可提供許多關於如系統表徵或系統中重要事件的摘要資訊。指標是原始量測資料或經加工處理後的整合資訊，指標間可再進一步整合成一個更複雜的指標，當整合了許多的重要指標後可成為一個指數，可將複雜的系統簡化為一個數字。利用指數所代表的數值對於決策者是非常有用的工具。另顧(2001)說明指標係以簡單容易明瞭的符號或數字定性的顯示其隨時間之變化情形。

台灣的水載型式指標將水體以河川水質、飲用水水質、水庫水質、地下水水質及近岸海域做為區分，本研究將著重在河川水質指標做更詳細的探討。

田與汪(2004)研究指出河川水質指標可用來評量河川水質的優劣，通常又可細分為傳統的物理性指標、化學性指標與生物性指標三種。水質監測常以物理與化學性指



標為主，其優點在於經濟快速、準確性高、方法標準化、為各界所認可；缺點則在於只能反應採樣瞬間與特定地點的水質情況，難以確切反應污染對水質環境生物的衝擊與影響，為了彌補此缺點使水質評估更完整真實，水質指標生物應運而生，計算水生生物的歧異度、群聚性做為生物指標評估中長期水質變化。

物理性指標、化學性指標與生物性指標所包含的參數如下：

- (1) 水力參數：為水體流況的參數包括了水位、流量、流速。
- (2) 一般參數：即為一般性的水質參數，主要是表現出水體的基本物理與化學特性，一般包括了外觀、溫度、濁度、色度、臭味、導電度、酸鹼值、溶氧、總懸浮固體、總溶解固體、透視度、二氧化碳、葉綠素。
- (3) 營養鹽類：指水體中植物所需的營養鹽類有氨氮、亞硝酸鹽氮、硝酸鹽氮與有機氮，以及磷酸鹽化合物等。
- (4) 有機物質：水體有機物質的參數群包括生化需氧量、化學需氧量、總有機碳與腐植質。
- (5) 主要離子：由水體中主要離子所組成包括陰陽離子，常見為鈉、鉀、鈣鎂離子，碳酸根、碳酸氫根、氯、硫酸根離子。
- (6) 其他無機的參數：一般包括硫酸鹽、矽、氟、硼與氰化物。
- (7) 重金屬：一般包括了銅、鋅、鉛、鎘、鉻、鎳、錳、銀、鐵、鋁、砷、硒、汞等。
- (8) 有機化學污染：由人類活動所造成的或人造污染物，包括有農藥、清潔劑與石油化學的產物。
- (9) 生物污染：包括了大腸菌、病原體、優養生物。
- (10) 水生生物：魚類、水棲昆蟲、藻類、底棲無脊椎動物。

Novotny (1996) 更提出在整合水體品質管理需先確認水體之用途，進而制定規範去保護指定用的水體，其水體整合之要素如圖 (3-3) 所示。

## 2. 國外水質指標

### (1) Horton指數

1965年Horton選出10項水質參數並根據各水質參數對水質的相對重要性給予各項水質的權重，再依各項水質不同濃度範圍對水質影響的程度訂出0-100的水質點數，點數愈高代表水質愈好 (Horton,1965)。

Horton指數的計算方法如下：

$$QI = \left( \frac{\sum_{i=1}^n C_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \right) M_1 M_2 \quad (3-1)$$

$C_i$ ：該水質項目之水質點數。

$W_i$ ：該水質項目之水質權數。

$M_1$ ：溫度係數， $T > 34^\circ\text{C}$ 時， $M_1$ 為0.5， $T < 34^\circ\text{C}$ 時， $M_1$ 為1。

$M_2$ ：指數中之係數，若水中有油脂、臭氣、泡沫、膠凝物質等明顯污染情況時， $M_2$ 為0.5。

## (2) NSF水質指數

為美國衛生基金協會於1970年所發展並且定義水質指數為綜合兩個或兩個以上水質參數經計算而成單一之數值。

NSF水質指數承襲Horton的理論，以較客觀方法選取水質參數、權重和水質點數，因而採用專家問卷方式決定出九項水質參數及其水質點數。

計算方式有兩種，第一種為Brown等人（1970）所提出的算數指數（WQI（A））如下：

$$WQI(A) = \sum_{i=1}^n W_i q_i \quad (3-2)$$

$$WQI(M) = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (3-3)$$

後因McCellard等人（1973）認為算數指數缺乏敏感性，無法反映出

評點較低之水質參數對整個水質之影響，故提出倍數公式（WQI（M））應用幾何指數以提高敏感度。

WQI：水質指數，0-100

$W_i$ ：水質參數之權重

$q_i$ ：該水質參數之點數

$n$ ：水質參數總數

## (3) Harkins指數

1974年Harkins因懷疑NSF水質指數的客觀性，因而採用無參數分類法，將一組水質資料依機率自然分佈的理論，予以排序求取水質之指數值，計算出各項水質資料排序

與控制值的變異度後進而計算出水質指數值 (Sn)，其值愈高表示水質愈差。Harkins 指數沒有太多主觀的假設，可以處理大量的水質資料，但其缺點於計算出的指數很難應用，非同時運算的指數無法比較 (Harkins,1974)。

#### (4) Quality Rating System

Quality Rating System (Q-values) 為愛爾蘭政府表示水環境好壞的一個指標，該指標如表 (3-1) 所述共包含Q1到Q5五個等級，其利用群落多樣性、水體品質好壞與狀態滿意度來表示水體的分類。愛爾蘭政府並規定該區的地表面水在2015年需達到水質指標等級“good”的等級。

在此指標中提出水質的監測一般是做為水體品質管理的工具，可用以評估水生生態系統。水底無脊椎動物的群聚可被做為溪流的生態品質的評估，在 (表3-2) 中說明生物性指標所代表水體品質受污染的程度，以及水體品質的分類等級。

Donohue等人 (2006) 提及Q-values品質等級系統基礎建構在水底無脊椎動物的群聚上，另外也考慮了水生植物，其Q-values的各項參數如表 (3-3) 所示。

### 3. 國內水質指標

#### (1) 河川污染指標 (river pollution index, RPI)

為目前環保署用來評估台灣河川污染程度的一個指標，此指標乃早期引自日本的河川污染分類法，也是一般大眾所常用來判斷河川是否遭受污染的一種簡易的計算方式，可藉由RPI點數在於1至10之間，來了解河川受污染的等級。本指標選用溶氧量、生化需氧量、懸浮固體、氨氮等四項參數做為理化水質參數，其四項參數權重均為0.25。

#### (2) 水體品質指標 (water quality index, WQI8)

1990年溫清光教授參考國外水質指標制定經驗，選取134位專家並採用修正後之德爾菲技巧進行水質參數的調查，最後決定出選用溶氧、生化需氧量、pH值、氨氮、總大腸菌數、濁度、總磷、導電度等八項水質參數做為計算參數，並訂定其點數和權重，權重各分別為0.22、0.18、0.16、0.13、0.12、0.09、0.06、0.04，其公式如下：  
式中WQI：WQI8水質指標值，由0到100。

$$WQI = \frac{1}{10} \left[ \sum_{i=1}^n W_i q_i \right]^{1.5} \quad (3-4)$$

$W_i$ ：第*i*個參數之權重。

$q_i$ ：第*i*個參數之水質點數，由0到100。

$n$ ：水質參數總數， $n=8$ 。

其因考慮水質資料項目可能會有不足的現象發生，因此以下列公式修正指標權重：

$$W_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^7 W_j} \times W_i \quad (3-5)$$

式中： $W_i$ ：該水質參數原有之權重。 $j$ ：1.2.....7，即缺項水質參數不計算在內（周建成，1990）。

WQI8水質分類等級，其如表（3-4）可分為六類等級。

### (3) 水體品質指標（water quality index，WQI5）

WQI5考慮被廣泛地接受與應用，在選擇水質參數項目時，參考水質監測單位經常分析之水質項目，以問卷方式選取水質參數，選取溶氧、生化需氧量、懸浮固體、氨氮、導電度等五項水質參數。水質參數與RPI相似，在使用上較WQI8為簡易，推廣容易。水質參數權重採用WQI8缺項參數修正公式計算。

WQI5的水質點數計算方式如下：

$$WQI = \frac{1}{10} \left[ \sum_{i=1}^n W_i q_i \right]^{1.5} \quad (3-6)$$

WQI：WQI5水質指標質，由0到100。

$W_i$ ：第*i*個參數之權重。

$q_i$ ：第*i*個參數之水質點數，由0到100。

$n$ ：水質參數總數， $n=5$ 。

WQI5水質分類等級，其如表（3-5）可分為六類等級。

### (4) 河川一般水質達成率

依（表3-6）各類水體水質分類標準分別計算各項水質參數的達成率，常選用的水質參數合格率計算如下所述。

DO合格率（%）=（DO達成水質標準之次數/DO有效監測之總次數）×100%。

BOD<sub>5</sub>合格率（%）=（BOD<sub>5</sub>達成水質標準之次數/ BOD<sub>5</sub>有效監測之總次數）×100%。

SS合格率(%) = (SS達成水質標準之次數/SS有效監測之總次數) × 100%。

NH<sub>3</sub>-N合格率(%) = (NH<sub>3</sub>-N達成水質標準之次數/NH<sub>3</sub>-N有效監測之總次數) × 100%。

四項全達成率(%) = 四項指標皆達到水質標準之次數/四項指標有效監測之總次數) × 100%。

#### (5) 污染長度分析

污染長度分析是以污染程度與污染長度做計算，污染程度以河川污染指標(RPI)的溶氧(DO)、生化需氧量(BOD<sub>5</sub>)、懸浮固體(SS)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)等四項水質項目得到RPI單項點數，再將四項點數加總平均，所得之污染指標積分值即可判定其污染程度。

污染長度計算原則是以前兩測站間污染程度等級變化平均分配計算。

河川污染指標的計算方式及圖示詳圖(3-4)說明如下：

- A. 測站甲水質之RPI計算結果若為未(稍)受污染，該測站之下游測站若同樣為未(稍)受污染，則甲、乙監測河段屬於未(稍)受污染，如圖3-4(a)所示。
- B. 測站甲水質之RPI計算結果若為未(稍)受污染，該測站之下游測站若為輕度污染，則甲、乙監測間之河段一半長度屬於未(稍)受污染、另一半長度屬於輕度污染。如圖3-4(b)所示。
- C. 測站甲水質之RPI計算結果若為未(稍)受污染，該測站之下游測站若為中度污染，則甲、乙監測間之河段三分之一長度屬於未(稍)受污染、三分之一長度屬於輕度污染、三分之一長度屬於中度污染。如圖3-4(c)所示。
- D. 測站甲水質之RPI計算結果若為未(稍)受污染，該測站之下游測站若為嚴重污染，則甲、乙監測間之河段四分之一長度屬於未(稍)受污染、四分之一長度屬於輕度污染、四分之一長度屬於中度污染、四分之一長度屬於嚴重污染。如圖3-4(d)所示。
- E. 測站甲之水質RPI計算結果若為未(稍)受污染且屬於該河川之最上(下)游處，該測站之上(下)游河段屬於未(稍)受污染。
- F. 若測站甲無監測資料，測站甲所在之河段污染程度則依據上、下游之測站結果統計。

#### (六) 因素分析法

因素分析(Factor Analysis, FA)是一種互依分析的技術，它包含了許多縮減空間的技術，其主要目的在以較少的維數來表示原先的資料結構而又能保存原有的資料結構所提供的大部分資訊。原始資料經由標準化後行因素分析，抽取出共同因子後再經轉

軸得因子負荷矩陣，找出概念上有意義且獨立之共同因素，進而解釋資料中各參數和共同因子間彼此間之共通性。

### 1. 因素分析模式架構

因素分析假定樣本單位在一變數上的反應是由二個部份組成，如圖(3-5)所示，一個是各變數共有的部分稱為共同因子，另一個是各變數所獨有的部份稱為獨特因子。

### 2. 因素分析模式架構

因素分析是討論如何將 $p$ 個變數 $x_1 \sim x_p$ 中的每一個變數 $x_i$ 分解成少數幾個( $q$ 個，且 $q \leq p$ )共同因素(Common Factor)  $f_j, j=1, \dots, q$ ，與獨特因素(Specific Factor)  $\varepsilon_i$ 的線性組合。

因素分析模式

$$\begin{aligned} x_1 &= \mu_1 + l_{11}f_1 + l_{12}f_2 + \dots + l_{1q}f_q + \varepsilon_1 \\ x_2 &= \mu_2 + l_{21}f_1 + l_{22}f_2 + \dots + l_{2q}f_q + \varepsilon_2 \\ &\vdots \\ x_p &= \mu_p + l_{p1}f_1 + l_{p2}f_2 + \dots + l_{pq}f_q + \varepsilon_p \end{aligned} \quad (3-7)$$

其中 $f_1, \dots, f_q$ 是共同因素(簡稱因素)，它們在每一個變數 $x_i$ 中都共同擁有，而 $\varepsilon_i$ 是獨特因素，只有在第 $i$ 個變數 $x_i$ 中才擁有。 $l_{ij}$ 為 $i$ 個變數 $x_i$ 在第 $j$ 個共同因素 $f_j$ 的權重或因素負荷(或簡稱為負荷，Factor Loading)。

#### (1) 因素分析模式基本假設

A. 獨特因素 $\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_p$ 是互相獨立且是常態分配， $\varepsilon_i$ 的平均數為0，而變異數為 $\psi_i$ ，即

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \vdots \\ \varepsilon_p \end{bmatrix} \sim N \left[ \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}, \psi = \begin{bmatrix} \psi_1 & 0 & \Lambda & 0 \\ 0 & \psi_2 & \Lambda & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \Lambda & \psi_p \end{bmatrix} \right] \quad (3-8)$$

註： $\psi$ 為對角矩陣，表示獨特因素 $\varepsilon_i$ 之間是獨立的。

B. 共同因素 $f_1, \dots, f_q$ 間的共變量矩陣為 $\Phi$ ，即

$$f = \begin{bmatrix} f_1 \\ \mathbf{M} \\ f_q \end{bmatrix}, \text{Cov}(f) = E(ff') = \Phi = \begin{bmatrix} \Phi_{11} & \Phi_{12} & \Lambda & \Phi_{1p} \\ \Phi_{21} & \Phi_{22} & \Lambda & \Phi_{2p} \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \Phi_{p1} & \Phi_{p2} & \Lambda & \Phi_{pp} \end{bmatrix} \quad (3-9)$$

一般要求 $\Phi$ 對角線上的元素 $\Phi_{ii}=1$ ，而當 $i \neq j$ 時（即對角線外） $\Phi_{ij}=0$ ，也就是 $\Phi=I$ ，它表示共同因素間是獨立的，且變異數皆為1，此為最常遇到的情況。

a. 共同因素與獨特因素間也是獨立的，即

$$\text{Cov}(f_j, \varepsilon_i) = 0 \quad \text{對所有 } i, j \quad (3-10)$$

因素分析模式也可以寫成矩陣表示法

$$X - \mu = Lf + \varepsilon \quad (3-11)$$

其中

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ \mathbf{M} \\ x_p \end{bmatrix}, \mu = \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mathbf{M} \\ \mu_p \end{bmatrix}, L = \begin{bmatrix} l_{11} & \Lambda & l_{1q} \\ l_{21} & & l_{2q} \\ \mathbf{M} & & \mathbf{M} \\ l_{p1} & \Lambda & l_{pq} \end{bmatrix}, f = \begin{bmatrix} f_1 \\ \mathbf{M} \\ f_q \end{bmatrix}, \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \mathbf{M} \\ \varepsilon_p \end{bmatrix}$$

$$\text{而 } E(f) = 0, \text{Cov}(f) = \Phi, E(\varepsilon) = 0, \text{Cov}(\varepsilon) = \Psi, \text{Cov}(\varepsilon, f) = 0 \quad (3-12)$$

### 3. 主成份法 (Principal Component Analysis, PCA)

利用主成份分析，求出 $x_1, \dots, x_p$ 的 $p$ 個主成份， $y_1, \dots, y_p$ ，設其特徵值分別為 $\lambda_1, \dots, \lambda_p$ ，即每個 $y_i$ 可以寫成 $x_1, \dots, x_p$ 的線性組合如下

$$y_1 = \sum_{j=1}^p a_{1j} x_j$$

$$y_2 = \sum_{j=1}^p a_{2j} x_j$$

⋮

$$y_p = \sum_{j=1}^p a_{pj} x_j$$

寫成矩陣為

$$Y = AX \quad (3-13)$$

其中

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \Lambda & a_{1p} \\ a_{21} & a_{22} & \Lambda & a_{2p} \\ M & M & O & M \\ a_{p1} & a_{p2} & \Lambda & a_{pp} \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ M \\ x_p \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ M \\ y_p \end{bmatrix}$$

利用解 (3-13) 的聯立方程式 (或以矩陣求解), 及  $A \cdot A' = I$  ( $A^{-1} = A'$ )

$$X = A^{-1}Y = A'Y \quad (3-14)$$

因第  $i$  個主成份  $y_i$  的變異數是  $\lambda_i$ , 但因素的變異數要求等於 1, 故令

$$f_i = \frac{y_i}{\sqrt{\lambda_i}} \quad i=1, \dots, p \quad (3-15)$$

及

$$f = \Lambda Y \quad (3-16)$$

其中

$$f = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ M \\ f_p \end{bmatrix}, \quad \Lambda = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{\lambda_1}} & 0 & \Lambda & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{\lambda_2}} & \Lambda & 0 \\ M & M & O & M \\ 0 & 0 & M & \frac{1}{\sqrt{\lambda_p}} \end{bmatrix}$$

則由 (3-14) 式與 (3-16) 式得

$$X = A' \Lambda^{-1} f = Lf \quad (3-17)$$

其中

$$L = A' \Lambda^{-1} \quad (3-18)$$

且

$$\text{Var}(f_i) = 1 \quad i=1, \dots, p \quad (3-19)$$

所以  $f$  為因素向量, 而  $L$  為負荷矩陣。如果第 1 主成份到第  $q$  主成份已解釋  $x_1, \dots, x_p$  很高的變異比例 (如 80% 或是研究者認為可接受的解釋比例), 則由 (3-17) 式, 可以得到

$$x_1 = l_{11}f_1 + \dots + l_{1q}f_q + \varepsilon_1$$

$\Lambda$

$$x_2 = l_{21}f_1 + \dots + l_{2q}f_q + \varepsilon_2$$

$\Lambda$



$$x_p = l_{p1}f_1 + \dots + l_{pq}f_q + \varepsilon_p \quad (3-20)$$

其中

$$\varepsilon_i = l_{i,q+1}f_{q+1} + \dots + l_{ip}f_p, \quad i=1, \dots, p$$

由此可算出選取 $q$ 個因素後之負荷（或係數）矩陣 $L$ 為

$$L = \begin{bmatrix} l_{11} & \Lambda & l_{1q} \\ & M & \\ l_{p1} & \Lambda & l_{pq} \end{bmatrix}$$

註：由於方程式 $x^2=1$ 有 $\pm 1$ 兩解，第 $i$ 個主成份權重全部變號亦為其解，上面 $L$ 中第 $i$ 列全部變號亦為其解，即 $L$ 非唯一。（林與陳,2004）

#### 4. 因素分析決策流程

- (1) 研究問題：研究人員確認因素分析所要探討的問題。
- (2) 研究設計：首先確定因素分析所計算的是變數間的相關或是受測者間的相關，再來要選擇變數，另外更要考慮樣本數夠不夠多，其不要少於50個觀察值，最好應有100個以上。
- (3) 因素模式：選擇所要使用的模式，常用的有主成份法、主因素法。
- (4) 因素萃取：選定因素模式後還必須決定如何把共同因素萃取出來，萃取共同因素的方法有主軸法（Method of Principal Axes）、重心法（Centroid Method）、最大概率法（Maximum Likelihood Analysis）、多群體分析法（Multiple Group Analysis）等等。
- (5) 因素數目：決定要保留幾個共同因素。決定因素數目之方法如下：
  - A. 參考理論架構及過去有關文獻來決定抽取共同因素之數目
  - B. 利用統計顯性檢定來決定
  - C. 利用因素陡坡檢定來決定
  - D. 利用Ksiser所提議之方法，以能解釋之變異數達1.0為分野，解釋變異數之能力小於1.0之因素即不選取。
  - E. 在75%之變異數已能被抽取出之因素加以解釋後，繼續抽取之因素對變異數之解釋如少於5%，則不予選取。
- (6) 因素轉軸：為了使各因素的意義更為清晰和明顯，常須將因素加以適當的旋轉，因素轉軸可分為直交轉軸法和斜交轉軸法兩種。採直交轉軸時，各個因素之間均保持

90度的關係，因素和因素間也彼此相互獨立；採斜交轉軸，因子間可能有相關。常用的直交轉軸法有變異最大法 (Varimax)、四方最大法 (Quartimax)、一般直交法 (Orthomax)，其中以變異最大法為最常用。斜交轉軸法的方法包括了有常用的四方最小法 (Quartimin)、共變數最小法 (Covarimin)、雙四方最小法 (Biquartimin) 等多種。

- (7) 因素解釋：以因素分析獲得因素矩陣及其他有關資料後，須就各因素所代表之意義加以解釋，以了解變數與因素間之關係。

本研究將使用SPSS (Statistical Program for Social Science) 統計套裝軟體輔助研究過程中因素分析之計算。

### (七) 指標權重建立方法

一般而言，水質指數的建立可經由選擇參數、建立參數的評分點與決定參數之權重三步驟而建立，詳細過程說明如下。

#### 1. 選擇參數

水質指數建立的第一步驟為選擇參數，參數愈多愈能表現水體情況但卻過於繁瑣不易應用，參數過少即無法評估出河川整體的水質，因此指數之選擇須涵蓋主要的污染因素，並包含各種水體用途最重要之水質項目。

參數的選取其重要可分為：

- (1) 專家學者之意見。
- (2) 作者自訂。
- (3) 參考文獻上曾提出之水質參數項目。
- (4) 水質測站經常分析之水質項目。
- (5) 根據台灣地區河川水體用途之準則及水質標準選取參數。
- (6) 採逐步剔除原則進行參數選取。
- (7) 採用多變量統計方法選取參數。

本研究中指標參數的選擇，採用國內水體品質指標WQI中的參數，其指標參數選用溶氧、生化需氧量、pH值、氨氮、濁度、總磷、導電度等七項水質參數。

#### 2. 建立參數的評分點

參數的評分點是以不同濃度得到的一個數值。參數水質點數主要有兩種表示，一為水質點數曲線，另一為數學函式，一般以點數曲線表示較為常用。參數的評分點之建

立方法歸納為：

- (1) 應用德爾菲技巧經統計而得之。
- (2) 專家自訂。
- (3) 參考有關法令及標準給定一個或數個參考點，再延伸而得曲線。
- (4) 建立數學函數表示。

本研究中指標參數評分點的計算，同國內水體品質指標WQI中的參數評分點計算。

### 3. 決定參數之權重

參數的權重表示各參數對影響水質品質程度的相對重要性，決定參數權重方法有：

- (1) 應用德爾菲技巧經統計決定之。
- (2) 專家自訂。
- (3) 給予參數相同的權數。
- (4) 由不同專業背景的專家學者意見中，以分組隨機抽樣的方式統計參數的權數。

指標參數的權重，以SPSS統計套裝軟體輔助研究過程中水質指標中各參數之權重計算。

本研究在建立武陵地區溪流指標參數上，其參數的評分點計算同水體品質指標WQI中的參數評分點計算，採以重新建立參數之相對權重，完成武陵地區溪流指標之建立。其因水體品質指標WQI為針對台灣地區溪流特性所建立之指標，參數評分點建立為參考國內河川水體用途分類標準為制定依據，並輔助美國、英國、日本、法國、菲律賓等國河川水質分類準制定之評分點計算。在參數權重之建立，WQI指標中採用修正後德爾菲技巧，其法之架構為專家之意見為主。因此研究中將改以利用因素分析配合武陵地區溪流監測數據，找出代表武陵地區溪流參數之相對權重，採以因素分析法建立之權重將較WQI指標中參數權重將更具有武陵地區溪流參數權重的代表性。

## 二、材料與方法

研究流程規劃如圖(3-6)，主要研究地點為武陵地區，其中包括桃山西溪、桃山北溪、高山溪、有勝溪、七家灣溪與司界蘭溪，以及週邊陸域生態環境。首先進行當地背景資料收集，包括該區各種的土地利用型態、面積、七家灣溪水文特性、雨量資料。同時針對相關文獻做資料整理。

武陵地區水質參數之研究可分為二個部分，首先搭配實地調查七家灣溪相關水域的位址後，依週遭林地的土地利用與農田的分佈採取溪流上、下游及匯流口處做為七家灣溪流域內各溪流的測站點，第二部分是利用實驗數據搭配統計軟體工具，進行檢定分析與因素分析，以利找出影響櫻花鉤吻鮭的相關水質參數與重新分配水質參數的權重，建立一個能快速反應該區溪流水質情況的新指標。

採樣月份為雙月進行採樣，共設置十一個採樣點，相關位置如圖(3-7)。採集樣品方法為河川水體採樣。實驗的分析方法依河川水質分析方法進行樣品的分析。其在武陵地區現場的水質分析項目有pH、溶氧、導電度等三個項目，實驗室測定項目為生化需氧量、濁度、硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮、氨氮、總磷、磷酸鹽、二氧化矽、總有機碳、硫酸鹽、氯鹽等十一個分析項目。

### (一) 採樣地點介紹

採樣地點包括了武陵地區內的桃山西溪、桃山北溪、高山溪、有勝溪、七家灣溪與環山部落內的司界蘭溪等六條溪流，採集樣品點共計有十一個測點，其站名與地理座標如表(3-7)所示，各採樣點週遭環境特性描述如下。

測站一：桃山北溪，與桃山西溪匯流後進入七家灣溪，溪寬約4公尺，河床上多礫石。

測站二：為桃山西溪後匯入七家灣溪，採樣地點上方為武陵吊橋下方，此處河寬約4-5公尺，水深約60公分，上游處有一攔砂壩，水流較急。

測站三：七家灣溪二號壩，溪流旁有大遍的果園，主要種植物為水蜜桃樹、蘋果樹與梨樹，河寬約10公尺。

測站四：為七家灣溪流的中段，與道路相鄰甚近，此處河寬約4-5公尺，水深約40公分。

測站五：新繁殖場，由億年橋旁進入，河床寬廣，河寬約16公尺，水深約55公分。

測站六：萬壽橋下，為七家灣溪下游，河寬約5公尺，溪水清澈，溪水深約45公分。

測站七：迎賓橋下匯流口，為七家灣溪下游與有勝溪的匯流口，匯流後流至大甲溪，河

寬約5公尺，水深約45公分。

測站八：由億年橋進入，步行約十分鐘，河寬約4-5公尺，水深45公分，原位於此處的攔砂壩已拆除，溪岸為芒草居多。

測站九：為有勝溪的下游，旁為武陵收費口，河寬約4-5公尺，水深約60公分，此區流速緩慢，上游有農田栽種。

測站十：司界蘭溪上游，原始林相豐富，此處有櫻花鉤吻鮭原生種的存在，河寬約4-5公尺，水深45公分。

測站十一：司界蘭溪下游，位於環山部落匯入大甲溪，上游種植大遍高麗菜園，溪流湍急，河寬約5.5公尺。

## (二) 採樣方法

直接採集河川水體，測其溶解態物質

### 1. 河川水體採樣

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

#### (1) 不同河川寬度之採樣原則：

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

#### (2) 不同河川深度之採樣原則：

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

河川水體採樣在測站三、四、五、七、九採混合取樣，其餘測站皆採取中央處設置採樣點採樣。

## (三) 樣品保存

所採集之溶解態水體樣品保存方式如下表(3-8)。另外，直接在現場量測部分有pH、導電度以及溶氧等三項參數。

#### (四) 溶解態樣品實驗分析方法

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

1. pH：利用玻璃電極及參考電極，測定水樣中電位變化，可決定氫離子活性，而以氫離子濃度指數 (pH) 表示之。pH之測定需要用標準pH溶液先行校正pH度計 (HACH sension1) 後，再測定水樣之pH。
2. 導電度：導電度為將電流通過1 cm<sup>2</sup>截面積，長1cm之液柱時電阻之倒數，單位為mho/cm，導電度較小時以其10<sup>-3</sup>或10<sup>-6</sup>表示，記為mmho/cm或μmho/cm。導電度之測定需要用標準導電度溶液先行校正導電度計 (HACH sension5) 後，再測定水樣之導電度。
3. 溶氧：利用溶氧計測定水樣中溶氧值 (YSI 500A)。
4. 濁度：在特定條件下，比較水樣和標準參考濁度懸浮液對特定光源散射光的強度，以測定水樣的濁度 (WTW TURB350IR)。
5. 生化需氧量：水樣在20 °C恆溫培養箱中暗處培養5天後，測定水樣中好氧性微生物在此期間氧化水中物質所消耗之溶氧，即可求得5天之生化需氧量。
6. 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815nm 波長處測其吸光度而定量水中矽酸鹽濃度。
7. 硝酸鹽氮：水樣中之硝酸鹽離子以離子層析儀 (DIONEX ICS-1500) 分析，隨碳酸鈉及碳酸氫鈉流洗液流經一系列之離子交換層析管時 (DIONEX AS4A-SC 4mm)，即因其與低容量之強鹼性陰離子交換樹脂間親和力之不同而被分離。分離後待測硝酸鹽離子再流經一高容量的陽離子交換樹脂之抑制裝置，而被轉換成具有高導電度酸之形態，移動相溶液則轉換成低導電度之碳酸。經轉換後之待測硝酸鹽離子再流經電導度偵測器，即可依其滯留時間及波峰面積、高度或感應強度予以定性及定量。求得知硝酸鹽濃度除轉換係數4.43即為硝酸態氮的濃度。
8. 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)。

9. 氨氮：水樣以鹼液及酸鹽緩衝溶液調整pH值至9.5，加入去氯試劑後，經蒸餾並以硼酸溶液吸收蒸出液，最後以納氏試劑呈色，以分光光度計於425nm波長處測其吸光度而定量之（Perkin Elmer UV/VIS Spectrometer Lambda 16）。
10. 磷酸鹽：水樣未經消化處理，加入鉬酸銨、酒石酸銻鉀，使其與正磷酸鹽作用生成一雜多酸 — 磷鉬酸，經維生素丙還原為藍色複合物鉬藍，以分光光度計於波長880 nm 處測其吸光度定量之（Perkin Elmer UV/VIS Spectrometer Lambda 16）。
11. 硫酸鹽：水樣中之硫酸鹽離子以離子層析儀（DIONEX ICS-1500）分析，隨碳酸鈉及碳酸氫鈉流洗液流經一系列之離子交換層析管時（DIONEX AS4A-SC 4mm），即因其與低容量之強鹼性陰離子交換樹脂間親和力之不同而被分離。分離後待測硫酸鹽離子再流經一高容量的陽離子交換樹脂之抑制裝置，而被轉換成具有高導電度酸之形態，移動相溶液則轉換成低導電度之碳酸。經轉換後之待測硫酸鹽離子再流經電導度偵測器，即可依其滯留時間及波峰面積、高度或感應強度予以定性及定量。
12. 氯鹽：水樣中之氯離子以離子層析儀（DIONEX ICS-1500）分析，隨碳酸鈉及碳酸氫鈉流洗液流經一系列之離子交換層析管時（DIONEX AS4A-SC 4mm），即因其與低容量之強鹼性陰離子交換樹脂間親和力之不同而被分離。分離後待測氯離子再流經一高容量的陽離子交換樹脂之抑制裝置，而被轉換成具有高導電度酸之形態，移動相溶液則轉換成低導電度之碳酸。經轉換後之待測陰離子再流經電導度偵測器，即可依其滯留時間及波峰面積、高度或感應強度予以定性及定量。
13. 總磷：水樣以硫酸、過硫酸鹽消化處理，使其中之磷轉變為正磷酸鹽之形式存在後，再加入鉬酸銨、酒石酸銻鉀，使其與正磷酸鹽作用生成一雜多酸 — 磷鉬酸，經維生素丙還原為藍色複合物鉬藍，以分光光度計（Perkin Elmer UV/VIS Spectrometer Lambda 16）於波長880 nm 處測其吸光度定量之。
14. 總有機碳：水樣導入可加熱至95~100°C 的消化反應器中，加入過氧焦硫酸鹽溶液，水樣中的有機碳被氧化轉換為二氧化碳，隨即被載流氣體導入可吸收二氧化碳特定波長的非分散式紅外線（NDIR）分析儀，依儀器設定條件（O-I Analytical 1010），求得總有機碳的濃度。

#### **(五) 實驗室品質管制**

1. 校正曲線：以檢測儀器測定一系列已知濃度標準品之訊號，求出標準品濃度與訊號之關係，製備成曲線或計算其校正因子或感應因子。此項程序應在儀器量測樣品待

測物含量之前建立。檢量線均由校正最低點與校正最高點之間構成「校正範圍」，使用時，不使用外插法；製備檢量線時，依個別檢測方法所規定之步驟，使用適當濃度範圍的標準溶液。並包括至少五種不同濃度的標準溶液。樣品的濃度則應在偵測器的線性濃度範圍內。樣品中待測物之濃度應於檢量線最高濃度之20% 至80% 間之濃度為適當。

2. 實驗室空白樣品：監測整個分析過程中可能導入污染而設計之樣品，以不含待測物之試劑水、吸收液，由方法空白樣品之分析結果，可判知樣品在分析過程是否遭受污染或樣品之背景值，並以一批次實驗做一實驗室空白樣品分析。
3. 查核樣品：使用濃度經確認之標準品添加於與樣品相似的基質中所配製成的樣品，由查核樣品之分析結果，可確定分析程序之可信度與分析結果之準確性。以一批次實驗做一實驗室查核樣品分析。
4. 重覆樣品：在實驗室將一樣品取二等份，依相同前處理及分析步驟檢測，由重複樣品之分析可確定分析結果之精密度。以一批次實驗做一實驗室樣品重覆分析。
5. 添加樣品分析：添加樣品分析係指將添加樣品依與待測樣品相同前處理及分析步驟執行檢測。以一批次實驗做一實驗室添加樣品分析。

### 三、結果

溶解態物種實驗採樣以雙月進行，時間為94年2月、4月、6月、8月、10月、12月、95年2月、4月、6月、8月、10月、12月、96年2月、4月、6月、8月、10月、12月共18筆數據，分析項目包括溶氧、導電度、pH、濁度、生化需氧量、矽酸鹽、硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮、氨氮、正磷酸鹽、硫酸鹽、氯鹽、總磷、總有機碳等14個項目，其分析數據如表（3-9）至表（3-26）。



## 四、討論

### (一) 溶解態實驗分析數據

溶解態物種實驗採樣以雙月進行，時間為94年2、4、6、8、10、12月，95年的2、4、6、8、10、12月，96年的2、4月、6月、8月、10月、12月，溶解態樣品共18筆數據，如圖（3-8至3-21）。

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7-9.5間左右呈現中性偏鹼的狀態，七家灣溪上游具有較高的pH值；七家灣溪下游與司界蘭溪有較低的pH值，另外在4-8月水量充沛的季節時pH有下降的現象發生。

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（陳,1998）。武陵地區各溪流導電度值在400 $\mu\text{mho}/\text{cm}$ 以下，高山溪無農田施作導電度值明顯為武陵地區溪流中最低，另七家灣溪下游處迎賓橋與萬壽橋明顯比上游有較高的趨勢；司界蘭溪亦同，有勝溪收費口的導電度為最高，主要是因為七家灣溪中游與有勝溪有農耕活動的關係。二號霸與一號霸兩測站導電度較上游桃山北溪、桃山西溪來得高，在繁殖場測站匯入了高山溪的水量導致導電度值下降，下游處迎賓橋測站又來得比萬壽橋測站高則是因為有勝溪匯入，提高了導電度值，因而可以明顯觀測到農耕行為對武陵地區溪流所造成的影響。另水量的多寡也會影響水中的導電度，在二月為枯水期導電度值較高，六月至八月為豐水期導電度值即有降低的現象。

溫度、生物間的呼吸作用、光合作用等為主要影響溶氧之因子，動、植物於夜間的呼吸作用與低氧之流水流入則會造成較顯著的耗氧發生。武陵地區各溪流生物量不多且無有機物的污染，另又依亨利定律計算得之飽合溶氧濃度會隨著溫度降低而增加，武陵地區流域各水系溶氧值均在8mg/L以上呈現趨於飽和現象，冷水性鮭鱒魚類對溶氧的需求在7ppm以上或飽和度85%以上（陳,1998），武陵地區各溪流的溶氧符合冷水性鮭鱒魚類對溶氧的需求。

攔砂壩的拆除後其水中濁度已趨於穩定，濁度對視覺性攝食魚種櫻花鉤吻鮭會造成攝食的有效度降低，在七家灣溪一號壩測站與七家灣溪下游測站有較高濁度值，但大致上來說其濁度均算低，視覺性攝食魚種櫻花鉤吻鮭對濁度的要求在5NTU之下（陳,1998），武陵地區流域其濁度值在2NTU以下符合要求。此區位於雪霸國家公園內又為櫻花鉤吻鮭的生態保育區，除有必要，道路施工、溪流整治等工程均不會在此區施

做，加上國人的環保意識抬頭以及教育的普及化另外加上管理處的定時巡邏，隨意傾倒垃圾的情形已不易見，因此，會造成濁度上升的原因往往是因為大雨沖刷的關係所致，尤其以高山溪流域濁度值較高。濁度高之水質並不會造成魚類立刻死亡，但會增加魚類的染病機率。

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

武陵地區各溪流所測得矽酸鹽介於0-8ppm，目前矽酸鹽對櫻花鉤吻鮭的影響並無直接的證明，加上矽酸鹽的來源應是當地地質所提供的，且櫻花鉤吻鮭在此流域已生存已久，在近幾十年才開始數量的減少，因而可判斷在此流域內的矽酸鹽並不是造成櫻花鉤吻鮭減少的主因。

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。生化需氧量在各溪流趨於一致，介於0.1-2mg/L之間，在甲級河川水體其生化需氧量值規定於1ppm以下，鮭鱒魚類對水中生化需氧量的濃度可忍受在1ppm以下（陳,1998），孵化時忍受值更低為0.6ppm以下，武陵地區溪流的生化需氧量均低於其值，顯示出其水質良好也適合櫻花鉤吻鮭的生存。

營養鹽方面高山溪均低於其他溪流；有勝溪則有較高的營養鹽濃度，因有勝溪沿岸有農耕施作可能導致營養鹽高於其他溪流。司界蘭溪在上游無農田施作為一原始林相，下游處則有高冷蔬菜的種植，在營養鹽方面下游均高於上游的濃度，得知溪流中營養鹽的流入應來自農地的施肥所致。

武陵地區各溪流的硝酸鹽氮含量在七家灣上游的測站點濃度低於0.5ppm，下游測站點濃度均較上游提高至1-2.5ppm，且趨勢同導電度值。高山溪無農田施作硝酸鹽氮濃度值明顯為武陵地區溪流中最低，另七家灣溪中、下游處二號霸與一號霸、迎賓橋與萬壽橋明顯比上游有較高的趨勢；司界蘭溪下游皆高於上游，有勝溪收費口的硝酸鹽氮為最高，有此現象發生可能為七家灣溪中游與有勝溪有農耕活動的關係。硝酸鹽氮濃度在中、下游測站點均較上游桃山北溪、桃山西溪來得高，在繁殖場測站匯入了高山溪的水量導致硝酸鹽氮值下降，下游處迎賓橋測站又來得比萬壽橋測站高則是因為有勝溪匯入，也提高了硝酸鹽氮濃度值，因而可以觀測到農耕行為所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的肥料使用，經過雨水逕流而入河川。土壤在好氧的情況中其亞硝酸菌可將氮轉化成亞硝酸根，硝酸菌則將亞硝酸根再轉化成硝

酸根，土壤顆粒的表面大多帶負電，因而氮根離子較易被吸附在土壤中，硝酸根與帶負電的黏土礦物表面相斥，極易經由淋洗作用而流入地下水或溪流中。土壤環境若是缺乏氧氣會變成還原性，缺氧的環境有含水量太高的土壤中、深層的土壤等，在還原性環境中硝酸根與亞硝酸根可藉由脫硝菌還原成一氧化二氮或氮氣而回到大氣中。

亞硝酸鹽氮為一具有毒性的物質，在武陵地區溪流的亞硝酸鹽氮濃度值都很低，遠遠低於飲用水規定的最高容許濃度標準100ppb。鮭鱒魚類對水中亞硝酸鹽的忍受濃度為50ppb，孵化時則需低於30ppb(陳,1998)，在武陵地區各溪流亞硝酸鹽氮均在6ppb之下，遠遠低於台灣環保署所規定的飲用水水質標準與保育櫻花鉤吻鮭的水質基準，且大部分的實驗量測值幾乎是量測不到的，因此武陵地區溪流中的亞硝酸鹽氮應不致於導致櫻花鉤吻鮭族群數量的減少。

溪流中氮氮的變化，在施用有機肥時會因肥料中氮的分解，透過雨水的沖刷會導致溪流濃度上升，在4月為甘藍菜施肥的時節，因而有明顯的一個濃度變化。

硫酸鹽在各溪流的濃度均高於其他營養鹽類，因此可推測水中導電度的來源可能為硫酸鹽。上游處桃山西溪與高山溪硫酸鹽濃度較低，下游迎賓橋測站與萬壽橋測站及有勝溪測站硫酸鹽濃度提高；在冬季也較夏季濃度來得高，而這情形與該區的流量有相關。在2月、4月枯水期時期，硫酸鹽濃度提高；在6月、8月豐水期時期，硫酸鹽濃度明顯降低。七家灣溪下游與有勝溪硫酸鹽濃度極高，推測可能是當地農民所使用肥料含有硫酸銨與硫酸鉀兩成份。在常用的磷肥(過磷酸鉀)中亦含有近12%的硫(表3-27)。肥料中的硫遇水會以硫酸鹽的型式存在且易隨水流入溪流中而使硫酸鹽在溪流的濃度提高。為比較不同河川自然水體硫酸鹽含量，故亦採樣分析淡水河兩個測站點的硫酸鹽含量，景美溪自然橋與深美橋為淡水河中下游，硫酸鹽分析數據如表(3-28)所示，表(3-29)呈現出世界河川平均所含可溶性物質的濃度，河水中硫酸鹽平均濃度為11ppm，由此可顯示出硫酸鹽在七家灣溪流的存在有較高的現象。

武陵地區溪流中氯離子的含量平均約在1.5ppm，鮭鱒魚類對氯的毒性敏感度較高，溪流中氯離子因而會對櫻花鉤吻鮭魚群造成影響。

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兩種型式，實驗分析上包括總磷與正磷酸鹽兩種，總磷包含了正磷酸鹽、複磷酸鹽及有機磷，所以在總磷的實驗數據方面會大於正磷酸鹽的數據。正磷酸鹽的濃度很多測站點均量測不到，高山溪與桃山北溪其值已接近偵測極限，僅在中、下游處二號霸與一號霸、迎賓橋與萬壽

橋及有勝溪與司界蘭溪下游有偵測到正磷酸鹽的濃度，正磷酸鹽濃度值0.03ppm之下，總磷濃度值在0.2ppm之下。鮭鱒魚類對水中磷酸鹽的忍受濃度為10ppb（陳,1998），七家灣溪下游萬壽橋、迎賓橋兩測站點及有勝溪測站點已超過此濃度，又以有勝溪測站點更甚之，目前在有勝溪已不再有發現櫻花鉤吻鮭的蹤跡，除了溫度為影響因子外，可發現溪流中磷的含量也已對櫻花鉤吻鮭造成影響。

武陵地區各溪流中有機碳的來源多為落葉與有機體的分解，有機碳濃度值在七家灣流域變動不大，呈現一致性，介於0.6-2.7ppm。

目前在武陵農場本部後方設置櫻花鉤吻鮭復育池，進行人工養殖櫻花鉤吻鮭，以流量40（噸/小時）連續流方式將七家灣溪、高山溪及3公里外一條野溪的溪水引入復育池內，其溶氧值維持在7~8mg/L之間與武陵地區各流域溶氧值相仿。當颱風來襲時，往往會造成溪水濁度上升，其濁度值為200~300NTU甚至高達700~800NTU，此時復育中心會停止溪水直接進入復育池內，先將溪水經過重複過濾進入儲水槽內備用，再由儲水槽引入養殖池內。表（3-30）為復育中心內B區養殖池與七家灣溪流域水質分析，發現到養殖池內水質情況大致與七家灣溪流域的水質情況相仿，並且也符合陳(1998)提出適合鮭鱒魚類對水質標準，但唯有在硝酸鹽態氮方面，養殖池內濃度約高於標準值2.4倍。

## （二）水質數據相關性分析

實驗分析數據以各項水質參數與鮭魚數量進行相關性分析。武陵地區各溪流水質分析數據在91-93年部分，採用雪霸國家公園研究計劃中的分析數據，94年則採用自行研究分析的數據。水質參數的項目包括了有pH、導電度、濁度、BOD、TP、NH<sub>3</sub>-N、溫度、飽和度、SiO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N等水質參數，利用SPSS統計軟體分別以各水質參數與魚數量進行檢定分析，其顯著相關值愈高者代表相關性愈不明顯；反之則相關性愈明顯。信賴水準在95%，當顯著相關小於0.05（P<0.05），拒絕虛無假設，水質參數與魚群數量有極顯著相關；顯著相關大於0.05（P>0.05），接受虛無假設，水質參數和魚數量無相關性。

由於雪管處每年5月與10月會針對武陵地區溪流內的鮭魚進行計數，在魚數量相關性的分析上以耐受力較差的一歲魚、二歲魚、三歲魚與總和的魚數量分別與水質參數進行檢定顯著性分析。

第一部分首先以半年的平均水質數據做為尺度，5月的魚數量以前一年11月到當年5月的水質數據平均值進行分析；10月的魚數量以當年6-10月水質數據平均值進行分

析，在91年的水質平均值因90年無分析數據改以2月到5月的平均值進行。

數據的統計顯示如表（3-31至3-38），在91年5月1歲魚與溫度、91年10月2歲魚和3歲魚與NO<sub>2</sub>-N、92年5月總魚數量與SiO<sub>2</sub>有極顯著的相關性。各年5月的鮭魚數量與溫度、SiO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>-N、TOC等水質參數有較顯著的相關性。各年10月的鮭魚數量與濁度、SiO<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N水質參數有較顯著的相關性。在濁度參數上每年10月的數據比5月的數據與鮭魚更具有相關性，其應為颱風季節豪雨所導致溪流濁度上昇進而影響鮭魚存活率。每年的6-10月時期正是颱風季節，颱風所帶來的豐沛雨量導致溪流流量增高而將魚群沖至下游，又因攔砂壩效應更使魚群無法迴流至生存地而死亡，另外大量的溪流流量更是將污染物的濃度稀釋，所以在這時期影響魚數量改變的主要因子應為颱風所帶來的因素而不是水質參數。

魚對營養鹽的耐受力在不是急劇濃度上昇的情況下，往往需要一段時間的累積才會反應在魚體上，因此第二部分檢定顯著性分析改以冬天季節水質參數的平均值與隔年5月的魚數量進行分析，5月的魚數量以上一年11月到當年3月的水質數據平均值進行分析。其結果如表（3-39至3-41）。相關性較高者有溫度、SiO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>-N、TOC等水質參數因子。溫度因子比其他水質因子明顯有相關，櫻花鉤吻鮭對水溫極為敏感，其中又以幼魚更是之，利用相關分析可看出一歲魚與溫度的相關性極為明顯相關，且隨年齡的增長而較有耐受力。

另外可發現不論是以半年水質參數的平均值或冬天水質參數的平均值其影響鮭魚數量變動的相關因子均相同，但在冬天水質參數平均值所呈現出的顯著性將較半年水質參數平均值的顯著性來得更為顯著。

水質參數溫度已知為明確影響鮭魚生存顯著的重要因子，另在顯著性分析上NO<sub>2</sub>-N、NH<sub>3</sub>-N、SiO<sub>2</sub>亦有相關性，有勝溪測站點部分時期NO<sub>2</sub>-N、NH<sub>3</sub>-N濃度較高，鮭魚對其較敏感亦為影響因子，另SiO<sub>2</sub>含量愈少，溪流水質愈好。

### **(三) 武陵地區各溪流水質指標**

實驗數據以WQI水質指標計算武陵地區溪流水質情況，在水質分類等級中WQI值86-100為水質特優，屬於第一級水，WQI值71-85為第二級水，屬水質良好，WQI值51-70為第三級水，屬水質尚可。

武陵地區91年度至93年度溪流水質指數WQI值大部分指數均大於86，屬第一級水為特優水質。經計算後（圖3-22），比較各月份水質指數，發現秋冬季枯水期時水質指

數有下降的趨勢；且七家灣溪下游WQI值較上游高，且亦比高山溪WQI值高，似乎與實際狀況不同。因為七家灣溪上游（桃山登山口、七家灣溪四號壩、七家灣三號壩）並無人為農耕干擾，實際水質應較下游（七家灣二號壩、七家灣一號壩、污水廠）來得好，但其WQI值卻呈現相反的現象；武陵地區94年度溪流水質指數WQI值仍屬於第一級水的等級（圖3-23），WQI值七家灣溪下游比上游來得高，在七家灣溪上游（桃山西溪、桃山北溪）無人為農耕干擾，其WQI值卻也呈現相反的現象。上述之不合理現象之可能原因為七家灣溪上游溶氧之副指標均相對偏低，此肇因於這些樣點之水溫均相對較其他樣點低，但溶氧卻未增加，依亨利定律計算得之飽和溶氧濃度會隨著溫度降低而增加。故這幾個樣點之溶氧飽和度（實測溶氧濃度/理論飽和溶氧濃度）極低，以致換算出之副指標也相對偏低。但溶氧絕對值只要超過7mg/L，對溪流內之生物生存就不是限制因子，故考慮溶氧之WQI指標顯然不適用於七家灣溪流域。將溶氧值副指標去除後將之重新計算，發現91年度至93年度溪流水質指數七家灣溪上游（桃山登山口、七家灣溪四號壩、七家灣三號壩）WQI值高於七家灣溪下游（七家灣二號壩、七家灣一號壩、污水廠）的WQI值，高山溪亦高於七家灣溪下游WQI值（圖3-24）；94年度溪流水質指數WQI值七家灣溪上游比下游來得高（圖3-25），此結果顯示不考慮溶氧副指標更能真實呈現出七家灣溪流之水質狀況。

以92年度水質綜合指標（WQI值）與92年度藻指數（GI）（于與林,2003）做對應（表3-42），藻指數在有勝溪的思源啞口、勝光、武陵收費口等測站GI值為最低；高山溪四號壩與一號壩等測站GI值為最高；在七家灣溪流上游平均GI值是低於下游平均GI值，但將尺度放到各月份所呈現的數據內可發現下游GI值小於30的月份比上游多，然而，平均值的數據卻呈現相反，是因為部份月份的藻指數拉高了平均值；若選用中位數來呈現數據則七家灣溪上游GI值便會高於七家灣溪下游，將會較符合現況。繼而對照去除溶氧副指標的WQI與取用中位數的藻指數GI值，兩者之間呈現和現場環境相符合的趨勢，因此，在計算WQI時將溶氧指標不列入計算，將權數重新分配給予其他的參數可得到較真實的溪流水質現況。

若以WQI水質指數分類，即使水質最差的有勝溪仍被歸類為第一級水為特優水質，顯然藻類指標的敏感性大於WQI水質指數。這主要是由於傳統之WQI指標係針對平地中下游污染較嚴重之河段所建置。藻類指數雖然敏感性較高，但其數值非常容易因季節變化而改變，且其採樣及分析程序較複雜，增加其推廣應用的困難。若能找出藻類指

數及WQI水質指數之間的相關性，就可以將WQI水質指數與藻類指數互相轉換，以藻類指數的分類重新訂定WQI水質指數的分類標準，可解決WQI水質指數敏感性不高的問題。

各測站之藻類指數取對數後與WQI水質指數迴歸分析圖，由圖（3-26）可發現大致以WQI=90為界，當WQI<90時兩者呈現正相關，而當WQI>90時兩者呈現負相關，負相關的出現可能是因為當水中的有機物或營養鹽太少時，藻類也無法正常生長所致。基於上述結果，本研究參考藻類指數的標準修改WQI的分類標準，作為武陵地區水質判別的依據，其標準如下：

WQI>90屬A級，無污染。

$86 \leq \text{WQI} \leq 90$ 為B級，輕度污染。

$76 \leq \text{WQI} \leq 85$ 為C級，中度污染。

WQI $\leq 75$ 為D級，嚴重污染。

以94年2月所計數的藻指數與94年2月去除溶氧的WQI值比對，如表（3-43）所示，可發現的藻指數最高者為七家灣溪，次之為高山溪，最後則是有勝溪；WQI值最高亦是七家灣溪，次之為高山溪，最後則是有勝溪。在94年10月的藻指數高山溪最高，七家灣溪與有勝溪則相同；WQI值則是高山溪與七家灣溪指數相近，有勝溪最差，但三條溪不管是在藻指數或是WQI值上都已屬優良水體。

針對武陵地區溪流 91 年到 94 年水質數據，應用 SPSS 統計軟體進行因素分析，其主要目的在以較少的維數來表示原先的資料結構，而又能保存住原有資料結構的技術。數據選用共 479 筆資料，包括有桃山西溪、桃山北溪、七家灣溪、高山溪、有勝溪與司界蘭溪等六條溪流的水質監測數據，其七家灣溪水質監測數據佔 49.27%，高山溪水質監測數據佔 22.55%，有勝溪水質監測數據佔 22.33%，司界蘭溪水質監測數據佔 5.85%。水質參數方面總共選取 pH、導電度、溶氧、濁度、生化需氧量、總磷、氨氮等七項水質參數。因素分析選用主成分估算共同因子之共通性及因子負荷，並選取累積變異數達 80% 之共同因子數目，經由直接斜交轉軸法做因子軸的旋轉以使因子結構簡單化。經嘗試後得到五個共同因子。

表（3-44）中特徵值可看出第一主成份對所有變數的解釋比例為22.39%；第二主成份對所有變數的解釋比例為18.54%；第三主成份對所有變數的解釋比例為15.48%；第四主成份對所有變數的解釋比例為12.66%；第五主成份對所有變數的解

釋比例為11.72%。選取五個共同因子累積變異可達80.80%以足夠做為變異的解釋。

利用圖(3-27)因素陡坡圖可以看出自第四個成份以後曲線開始已趨於平坦，故選取到第四個成份即可，但因如果萃取四個主成份，對全體變數的解釋能力只達到64.08%，因此選取達到80%累積變異數做為主成份個數的選擇條件，選用五個因子成份。所選的主成份個數愈多對變數的解釋能力也愈高，但過多選取的主成份個數會無法達到因素縮減的目的。

因子組型整理如下表(3-45)，成份1在總磷與氨氮兩個水質參數變數有較高的負荷，因此可命名「營養鹽因子」，成份2為pH與溶氧兩個水質參數變數有較高的負荷，因此可命名「光合性因子」，成份3僅在生化需氧量水質參數變數有較高的負荷，因此命名為「有機物因子」，成份4為濁度水質參數變數，因此可命名為「混濁性因子」，成份5為導電度水質參數變數，因此命名為「溶解性因子」，並得到水質參數在各成份間的相關值。

藉由因素分析所得到的成份負荷即為各個主成份與原變數之間的相關係數，亦稱為負荷(Loading)。此一主成份分數可將各水質參數變數綜合起來計算一個加權的綜合性指標，當作一種決策分析參考。如用等加權平均，可能抹殺了資料所提供的資訊，無法將各變數的重要性清楚的發揮，因此利用因素分析可以看出各個主成份與原變數之間的相關係數，重要的變數給予較大的權重，不重要的變數則給予較小的權重。

在表(3-46)中即是利用因素分析得到主成份與原變數之間的相關係數，總磷與氨氮兩個水質參數可將之合併為一個參數，原始權重加總為1.361，將原始權重濃縮總和為1，重新分配。pH與溶氧兩個水質參數亦可將之合併為一個參數，原始權重加總為1.395，將原始權重濃縮總和為1，重新分配。生化需氧量水質參數權重修正為1，濁度水質參數權重修正為1，導電度水質參數權重修正為1。

將5個主成份原有的參數權重修正其權重值，使各成份內參數權重和為1，最後再將各成份整合為一個指標權重，並利用WQI的缺項公式將溶氧因子剔除，修正未含溶氧參數之新權重，修正後之權重如表(3-47)可得一新權重代表pH、導電度、濁度、生化需氧量、總磷、氨氮水質參數彼此間相對的重要性，分別為0.08、0.23、0.23、0.23、0.16、0.07，並將此做為七家灣流域水質新指標權重，此適用七家灣流域水質指標命名為WWQI(Wuling Water Quality Index)。

利用所得到的新權重值，重新計算武陵地區各溪流86至94年的WQI水質指數，如



表 (3-48)，在90年因無水質監測數據因此不計算此年度的WQI水質指數。

86-89年度WWQI水質指數在七家灣溪上游（桃山北溪、武陵吊橋與高山溪）比七家灣溪中、下游處（國家公園警察局、滄浪亭）水質指數來得高，司界蘭溪上游的水質指數均高於司界蘭溪下游，思源啞口也較有勝溪收費站有較高的水質指數，在各溪流中高山溪與司界蘭溪的水質最好，其次為七家灣溪，有勝溪為水質最差。

91-94年度WWQI水質指數顯示在七家灣溪上游（七家灣溪四號霸、三號霸）指數與高山溪整條溪流（高山溪四號霸、一號霸）水質指數比七家灣溪下游（二號霸、一號霸、汙水廠）來得高。各溪流中屬高山溪水質最好，其次為七家灣溪，有勝溪亦為水質最差。圖（3-28）至（3-30）分別比較91~93年WQI7、WQI6(不含溶氧)、利用新權重計算後各測站WWQI年平均，發現到原本WQI7、WQI6(不含溶氧)呈現七家灣中游的水質優於七家灣上游，並且七家灣溪水質優於高山溪，所得結果與實際水質不符合；反觀之，利用權重計算後的WWQI呈現出七家灣水質上游水質優七家灣中游，且高山溪水質優於七家灣溪。可發現經重新計算的新指標應用在武陵地區的溪流流域與實況大致吻合，因此可將此水質指數搭配新權重做為日後判斷武陵地區各溪流水質好壞情況的方式之一。

水質指標等級的分類依該區的土地利用做為水質指標等級的劃分工具，桃山瀑布測站位於溪流最上游處，該區無農耕活動且無點源污染，水質應為最佳，此測站水質指數均較其他測站點來得高，其值大於95以上，在司界蘭溪上游處無農田的設置，水質指數亦高於95以上，因此將此兩測站的水質指數做為優良水體的等級評點，水質指數在95以上其等級即可訂為特優水質。

七家灣溪中上游區域溪流沿岸設置果園、菜園，該區肥料的使用會形成非點源污染進而影響溪流水質，此河段水質指數介於91至94間，司界蘭溪下游處亦有農耕行為，此區的水質指數分佈在92至94間，因而將水質指數91-95的評點訂為優級水質。

有勝溪部分，該溪流沿岸均有農田的分佈，溪流流量平緩，其營養鹽濃度較其他溪流來得高，目前也無發現櫻花鉤吻鮭的蹤跡，水質指數在90之下均較其他溪流來得低，因此將86至90訂為輕度污染水質。另水質指數低於85者則訂為中度污染水質。

根據該區的不同土地利用劃分出武陵地區水質指標等級，其標準如下：

WWQI > 95，特優水質。

91 ≤ WWQI ≤ 95，優級水質。

$86 \leq WWQI \leq 90$ ，輕度污染水質。

$WWQI \leq 85$ ，中度污染水質。

目前鮭魚在武陵地區生活流域以七家灣溪與高山溪為主，一歲魚在七家灣溪上游處四號霸以上的河段中為數量最多，次多者是在高山溪溪流，在七家灣溪下游一號霸處則魚數量最少；二歲魚在七家灣溪二號霸以上河段數量為最多，次多者是在七家灣溪上游處四號霸以上河段，在七家灣溪下游一號霸則魚數量最少；三歲魚在七家灣溪上游處二號霸的河段中為最多數量，三號霸以上數量為最少。

武陵地區各流域水質指數經計算顯示出七家灣溪上游處水質指數為特優水質，目前一歲魚齡的鮭魚亦多生活在此河段，而隨著年齡增長棲息地漸漸移至中、下游河段，經由水質指數與鮭魚數量比對，成魚生活之河段水質指數較幼魚來得低，其原因應為攔砂霸效應與成魚需較多的食物來源所致，因而水質指數可較敏感地反應出一歲魚齡的鮭魚其生活特性。

## 五、結論

- (一) 武陵地區溪流水質情況除部分河段氮濃度達3.09ppm、磷濃度達0.02ppm較高外，其餘物質皆無超過櫻花吻鈎鮭生存水質標準，目前武陵地區溪流生態適合櫻花吻鈎鮭生存。
- (二) 在二月為枯水期導電度與硫酸鹽濃度值明顯偏高，六月至八月為豐水期導電度值與硫酸鹽濃度即有降低的現象。
- (三) 營養鹽方面高山溪均低於其他溪流；有勝溪則有較高的營養鹽濃度，因有勝溪沿岸有農耕施作可能導致營養鹽高於其他溪流。司界蘭溪在上游無農田施作為一原始林相，下游處則有高冷蔬菜的種植，在營養鹽方面下游均高於上游的濃度，得知溪流中營養鹽的流入應來自農地的施肥所致。
- (四) 武陵地區各溪流的硝酸鹽氮含量，在七家灣溪中、下游處二號霸與一號霸、迎賓橋與萬壽橋明顯比上游桃山北溪與桃山西溪有較高的趨勢；司界蘭溪下游皆高於上游，有勝溪收費口的硝酸鹽氮為最高，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的肥料使用，經過雨水逕流而入河川，因而可以明顯觀測到農耕行為所輸入的硝酸鹽對武陵地區溪流所造成的影響。
- (五) 冬季時溫度、SiO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>-N、TOC、NH<sub>3</sub>-N等水質參數與櫻花吻鈎鮭有較顯著的相關性。夏季時為濁度水質參數與櫻花吻鈎鮭有較顯著的相關性。
- (六) 國內常用的WQI水質指標，一般常用於計算中下游河段之河川水質好壞，但並不適用於高山地區溪流，指標顯示不考慮溶氧副指標更能真實呈現出高山地區溪流水質情況。
- (七) 本研究針對武陵地區溪流進行因素分析，得出5個共同因子，依特性分別命名如下：總磷與氨氮兩個水質參數變數命名為「營養鹽因子」，pH與溶氧兩個水質參數變數命名為「光合性因子」，生化需氧量水質參數變數命名為「有機物因子」，濁度水質參數變數命名為「混濁性因子」，導電度水質參數變數命名為「溶解性因子」。
- (八) 本研究針對武陵地區溪流所建立之河川水質指標，選取水質參數有pH、導電度、濁度、生化需氧量、總磷、氨氮共六項水質參數，指標權重分別為0.08、0.23、

0.23、0.23、0.16及0.07，並建立水質指標等級分類，其標準如下：WWQI > 95，特優水質， $91 \leq \text{WWQI} \leq 95$ ，優級水質， $86 \leq \text{WWQI} \leq 90$ ，輕度污染水質， $\text{WWQI} \leq 85$ ，中度污染水質。

## 六、參考文獻

- 于淑芬 (2002) 高山溪拆壩後環境監測及武陵地區水質調查。內政部營建署雪霸國家公園研究計劃。
- 于淑芬、林永發 (2003) 武陵地區水質調查及環境監測。內政部營建署雪霸國家公園研究計劃。
- 于淑芬 (2004) 武陵地區水質監測及水質評估。內政部營建署雪霸國家公園研究計劃。
- 王敏昭 (1998) 七家灣溪濱岸保護帶地下水質之監測。內政部營建署雪霸國家公園研究計劃。
- 王敏昭 (2003) 七家灣溪沿岸土地各利用型態對溪流生態影響之研究。內政部營建署雪霸國家公園研究計劃。
- 王瑞賓 (2004) 應用AGNPS模式探討台北水源特定之集水區泥砂生產特性。屏東科技大學水土保持系碩士論文。
- 李珮璇 (2002) 暴雨初期沖刷對水源水質衝擊之評估。台北科技大學環境規劃與管理研究所碩士論文。
- 李光敦 (2002) 水文學。五南圖書出版公司。
- 李美慧 (2001) 土地利用變遷與河川污染之研究 (I)。國科會計畫 NSC90-2621-Z-002-017。
- 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計劃
- 林慶昀、李載鳴、葉惠中 (2004) 汐止地區土地利用變遷對地表逕流之影響。華岡農科學報14：89-102。
- 柳文成 (2001) 溼地廢污水處理適用性及限制之探討。國科會計畫 NSC90-2211-E-002-082。
- 陳弘成 (1997) 武陵地區-溪流之水源水質監測系統之規劃與調查 (三)。內政部營建署雪霸國家公園研究計劃。
- 陳弘成 (1998) 武陵地區-溪流之水源水質監測系統之規劃與調查 (四)。內政部營建署雪霸國家公園研究計劃。
- 郭一羽 (2001) 水域生態工程。中華大學生態中心。
- 郭美華 (2005) 水棲昆蟲長期生態監測。內政部營建署雪霸國家公園研究計劃。

- 黃智彥(2005) 雪霸國家公園武陵地區土地整體利用規劃。內政部營建署雪霸國家公園研究計劃。
- 黃建智 (2005) 流域集水區非點源污染模式之研究。國立成功大學環境工程學系碩士論文。
- 黃裕銘、陳鴻基 (1996) 德基水庫集水區宜農地蔬菜栽培管理手冊。農業藥物毒物試驗所。
- 溫清光 (1998) 台灣非點污染管理控制現況。中美非點源污染控制管理與技術合作研討會。台南。
- 張石角 (1989) 櫻花鉤吻鮭保護區規劃。行政院農委會研究計劃。
- 曾晴賢 (2005) 櫻花鉤吻鮭族群監測與動態分析。內政部營建署雪霸國家公園研究計劃。
- 童慶彬、李宗祐 (2001) 氣候變遷對七家灣溪流量之影響評估。農業工程學報47(1): 65-74。
- 葉昭憲 (2005) 環境改變對河道地形及物理棲地變化趨勢之影響。內政部營建署雪霸國家公園研究計劃。
- 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。
- 劉添丁 (2001) 台中縣重要經濟果樹保護手冊。台中縣政府。
- 賴文龍 (1999) 梨山地區高冷地蔬菜綠肥輪作模式。台中區農情月刊12(3)。
- 賴文龍、吳尚鑒、藍祐利、林文陞 (2004) 梨山地區甘藍蔬菜園土壤肥培管理之探討。台中區農情月刊57。
- 張益誠 (2001)，應用因子分析方法為台灣地區建構永續發展趨勢評估指標系統，國立台灣大學環境工程學研究所博士論文
- 顧洋 (2001)，生命衝擊評估之本土化-與環境指標之結合，國科會計畫 NSC90-2621-Z-002-027
- 田志仁、汪碧涵 (2004)，淡水生物多樣性調查方法與評估指標，環檢通訊雜誌第50期
- 周建成 (1990)，台灣河川水質指數之建立，國立成功大學環境工程學系碩士論文
- 林師模、陳苑欽 (2004)，多變量分析，雙葉書廊
- Horton, R. K., (1965) "An index-number system for rating water quality," *Journal Water Pollution Control Federation*, 37, 3, 300-305

- 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.
- 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 46<sup>th</sup> Annual Conference, Water Pollution Control Fed., Cleveland, U. S. A
- Harkins, R. S., (1974) "An objective water quality index," *Journal of Water Pollution Control Federation*, 46, 3, 588-591.
- Donohue I., Martin L., McGarrigle, Mills P., (2006) Linking catchment characteristics and water chemistry with the ecological status of Irish river, *Water Research*, 40 : 91-98.
- 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.
- Munafo M., Cecchi G., Baiocco F., Mancini L., (2005) River pollution from non-point sources : a new simplified method of assessment. *Journal of Environmental Management*. 77 : 93-98.
- 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, No. 537.

表3-1 Quality Rating System

<b>'Q' Value</b>	<b>Community Diversity</b>	<b>Water Quality</b>	<b>Condition</b>
<b>Q5</b>	High	Good	Satisfactory
<b>Q4</b>	Reduced	Fair	Satisfactory
<b>Q3</b>	Much Reduced	Doubtful	Unsatisfactory
<b>Q2</b>	Low	Poor	Unsatisfactory
<b>Q1</b>	Very Low	Bad	Unsatisfactory

(愛爾蘭環保署官方網站)

表3-2 水體品質的分類等級

<b>Biotic Index</b>	<b>Quality Status</b>	<b>Quality Class</b>
<b>Q5, 4-5, 4</b>	Unpolluted	Class A
<b>Q3-4</b>	Slightly Polluted	Class B
<b>Q3, 2-3</b>	Moderately Polluted	Class C
<b>Q2, 1-2, 1</b>	Seriously Polluted	Class D

(愛爾蘭環保署官方網站)



表3-3 Q-values品質等級系統

Quality Classes Quality Ratings	Class A		Class B	Class C	Class D	
	Q5	Q4	Q3-4	Q3	Q2	Q1
<b>Pollution Status</b>	Pristine, Unpolluted	Unpolluted	Slight Pollution	Moderate Pollution	Heavy Pollution	Gross Pollution
<b>Organic Waste Load</b>	None	None	Light	Considerable	Heavy	Excessive
<b>Maximum B.O.D.</b>	Low (< 3mg/l)	Low (< 3mg/l)	Occasionally elevated	High at times	Usually High	Usually very high
<b>Dissolved Oxygen</b>	Close to 100% at all times	80%-120%	Fluctuates from <80% to >120%	Very unstable, Potential fish-kills	Low, sometimes zero	Very low, often zero
<b>Annual median PO<sub>4</sub></b>	0.015 mg/l	0.03 mg/l	0.045 mg/l	0.07 mg/l	> 0.1 mg/l	> 0.1 mg/l
<b>Siltation</b>	None	May be light	May be light	May be considerable	Usually heavy	Usually very heavy and anaerobic
<b>Sewage Fungus</b>	Never	Never	Never	May be some	Usually abundant	May be abundant
<b>Filamentous Algae</b>	Limited Development	Considerable growth, diverse communities	Luxuriant growths, typically Cladophora	Excessive growths, typically Cladophora	Usually abundant	None
<b>Macrophytes</b>	Diverse communities, limited growths	Diverse Communities, Considerable Growths	Reduced diversity, luxuriant growths	Limited diversity, excessive growths	Tolerant species only, may be abundant	Most tolerant forms, minimal diversity
<b>Water Quality</b>	Highest quality	Fair Quality	Variable quality	Doubtful quality	Poor quality	Bad quality
<b>Abstraction Potential</b>	Suitable for all	Suitable for all	Potential problems	Advanced treatment	Low grade abstractions	Extremely limited
<b>Fishery Potential</b>	Game fisheries	Good game fisheries	Game fish at risk	Coarse fisheries	Fish usually absent	Fish absent
<b>Amentiy Value</b>	Very high	High	Considerable	Reduced	Low	Zero

(愛爾蘭環保署官方網站)

表3-4 WQI8水質分類等級表

水質指標值	河川水體分類	水體用途說明
86-100	甲類	水質優良，適合游泳、一級公共用水及以下各類用途
71-85	乙類	水質良好，適合二級公共用水、一級水產用水及以下各類用途
51-70	丙類	水質尚可，適合三級公共用水、二級水產用水一級工業用水及以下各類用途
31-50	丁類	水質屬中下等，僅適合灌溉用水、二級工業用水及戊類用水
16-30	戊類	水質不良，為環境保育最低標準
0-15	超戊類	水質惡劣，可能發生臭味

(行政院環境保護署訓練所，水污染防治概論講習班講義，2005)

表3-5 WQI5水質分類等級表

水質指標值	河川水體分類	水體等級
90-100	甲類	優
71-90	乙類	良好
51-70	丙類	中等
31-50	丁類	中下等
16-30	戊類	不良
< 15	—	惡劣

(行政院環境保護署訓練所，水污染防治概論講習班講義，2005)

表3-6 陸域地面水體（河川、湖泊）

分級	基準值						
	氫離子 濃度指數 (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 <sub>3</sub> -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	5000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	10000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	-	-	-

（行政院環保署，水污染防治法規，2002）

表3-7 採樣地點地理座標

	站名	溪流	地理座標 (經緯度)	
測站一	桃山北溪	桃山北溪	E 121.1832	N 24.2352
測站二	桃山西溪	桃山西溪	E 121.1826	N 24.2352
測站三	二號壩	七家灣溪	E 121.1837	N 24.2256
測站四	一號壩	七家灣溪	E 121.1838	N 24.2215
測站五	繁殖場	七家灣溪	E 121.1848	N 24.2118
測站六	萬壽橋	七家灣溪	E 121.1829	N 24.2052
測站七	迎賓橋	七家灣溪	E 121.1828	N 24.2049
測站八	高山溪	高山溪	E 121.3075	N 24.3587
測站九	有勝溪	有勝溪	E 121.3022	N 24.3489
測站十	司界蘭溪上游	司界蘭溪	E 121.1642	N 24.1935
測站十一	司界蘭溪下游	司界蘭溪	E 121.1719	N 24.1914

表3-8 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
生化需氧量	玻璃或塑膠瓶	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	-
總磷	1+1熱鹽酸洗淨之玻璃瓶	加硫酸使水樣pH<2，4°C 冷藏
總有機碳	褐色玻璃瓶	加磷酸使水樣pH<2，暗處， 4°C 冷藏（不得預洗）

表 3-9 94 年 2 月溶解態分析數據

測站	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度	溶氧	濁度	SiO <sub>2</sub>	BOD	NO <sub>3</sub> -N
測站 1	有勝溪收費口	晴	2 月 1 日	8.43	329.0	11.1	0.04	3.48	0.03	1.446
測站 2	高山溪	細雨	1 月 31 日	7.75	227.0	11.56	0.02	2.43	0.26	0.085
測站 3	七家灣溪一號壩	細雨	1 月 31 日	7.93	276.0	11.24	1.36	1.96	0.02	0.745
測站 4	桃山西溪	晴	2 月 1 日	7.86	272.0	11.58	0.01	2.27	0.28	0.066
測站 5	新繁殖場	晴	2 月 1 日	7.90	258.0	11.79	0.01	2.69	0.33	0.781
測站 6	桃山北溪	細雨	1 月 31 日	7.80	314.0	11.15	0.01	3.41	0.86	0.145
測站 7	二號壩	細雨	1 月 31 日	7.87	298.0	11.18	0.01	2.54	0.79	2.422
測站 8	萬壽橋上游	細雨	1 月 31 日	7.90	291.0	11.32	0.01	2.91	0.56	0.997
測站 9	迎賓橋下匯流口	細雨	1 月 31 日	7.87	300.0	11.54	0.04	3.43	0.36	1.288

測站	站名	氣候	採樣日期	NO <sub>2</sub> -N µg/L	SO <sub>2</sub> <sup>4-</sup> mg/L	Cl <sup>-</sup> mg/L	PO <sub>3</sub> <sup>4-</sup> mg/L	TP mg/L	NH <sub>3</sub> -N mg/L	TOC mg/L
測站 1	有勝溪收費口	晴	2 月 1 日	N.D.	58.426	2.298	N.D.	0.027	0.215	0.617
測站 2	高山溪	細雨	1 月 31 日	N.D.	41.167	1.400	N.D.	0.033	0.268	0.620
測站 3	七家灣溪一號壩	細雨	1 月 31 日	N.D.	53.065	1.663	0.007	0.050	0.164	0.704
測站 4	桃山西溪	晴	2 月 1 日	N.D.	41.625	3.730	N.D.	0.166	0.132	0.583
測站 5	新繁殖場	晴	2 月 1 日	N.D.	52.664	1.252	N.D.	0.012	0.152	0.649
測站 6	桃山北溪	細雨	1 月 31 日	N.D.	60.813	1.051	N.D.	0.025	0.132	0.733
測站 7	二號壩	細雨	1 月 31 日	N.D.	54.278	3.870	N.D.	0.012	0.136	0.762
測站 8	萬壽橋上游	細雨	1 月 31 日	N.D.	61.542	1.568	N.D.	0.023	0.242	0.601
測站 9	迎賓橋下匯流口	細雨	1 月 31 日	N.D.	62.291	3.910	N.D.	0.014	0.009	0.770

\*N.D.值：(1) NO<sub>2</sub>-N < 0.002 mg/L (2) PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> < 0.003 mg/L (3) TP < 0.003 mg/L (4) NH<sub>3</sub>-N < 0.003 mg/L (5) Cl<sup>-</sup> < 0.8 mg/L

表 3-10 94 年 4 月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 μS/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO <sub>2</sub> mg/L	BOD mg/L	NO <sub>3</sub> -N mg/L
測站 1	有勝溪收費口	晴	4 月 3 日	7.31	288.0	11.22	0.48	4.04	0.35	0.290
測站 2	高山溪	晴	4 月 3 日	7.32	167.5	11.68	1.31	4.42	0.09	0.023
測站 3	七家灣溪一號壩	陰	4 月 2 日	7.37	172.9	11.75	6.56	3.89	0.20	0.087
測站 4	桃山西溪	晴	4 月 4 日	7.22	134.7	11.73	0.42	2.65	0.10	0.160
測站 5	新繁殖場	晴	4 月 3 日	7.42	171.3	11.79	2.13	3.73	0.05	0.036
測站 6	桃山北溪	晴	4 月 4 日	7.32	137.8	11.52	0.58	3.54	0.12	0.002
測站 7	二號壩	晴	4 月 3 日	7.26	170.5	11.65	1.75	3.36	0.89	0.067
測站 8	萬壽橋上游	晴	4 月 3 日	7.30	208.0	11.76	5.16	3.88	0.15	0.108
測站 9	迎賓橋下匯流口	晴	4 月 3 日	7.38	198.8	11.66	9.53	3.62	0.19	0.100

站號	站名	氣候	採樣日期	NO <sub>2</sub> -N μg/L	SO <sub>2</sub> <sup>4-</sup> mg/L	Cl <sup>-</sup> mg/L	PO <sub>3</sub> <sup>4-</sup> mg/L	TP mg/L	NH <sub>3</sub> -N mg/L	TOC mg/L
測站 1	有勝溪收費口	晴	4 月 3 日	N.D.	40.98	0.261	0.010	0.111	0.366	1.105
測站 2	高山溪	細雨	4 月 3 日	N.D.	27.974	0.019	0.002	0.045	0.206	0.729
測站 3	七家灣溪一號壩	細雨	4 月 2 日	N.D.	26.423	0.093	0.010	0.084	0.405	0.682
測站 4	桃山西溪	晴	4 月 4 日	N.D.	19.767	0.077	0.030	0.049	0.191	0.514
測站 5	新繁殖場	晴	4 月 3 日	N.D.	28.967	0.063	0.003	0.038	0.223	0.554
測站 6	桃山北溪	細雨	4 月 4 日	N.D.	19.871	0.040	N.D.	0.047	0.150	0.797
測站 7	二號壩	細雨	4 月 3 日	N.D.	26.243	0.071	0.002	0.040	0.218	0.395
測站 8	萬壽橋上游	細雨	4 月 3 日	N.D.	34.096	0.114	0.018	0.065	0.265	0.544
測站 9	迎賓橋下匯流口	細雨	4 月 3 日	N.D.	32.394	0.129	0.017	0.062	0.074	0.581

\*N.D.值：(1) NO<sub>2</sub>-N < 0.002 mg/L (2) PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> < 0.003 mg/L (3) TP < 0.003 mg/L (4) NH<sub>3</sub>-N < 0.003 mg/L (5) Cl<sup>-</sup> < 0.8 mg/L

表 3-11 94 年 6 月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 μS/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO <sub>2</sub> mg/L	BOD mg/L	NO <sub>3</sub> -N mg/L
測站 1	有勝溪收費口	陰	6 月 25 日	7.10	286.0	10.32	2.65	5.19	0.09	2.568
測站 2	高山溪	陰	6 月 25 日	7.58	174.2	10.64	0.44	6.41	0.39	0.116
測站 3	七家灣溪一號壩	晴	6 月 26 日	7.37	224.0	10.25	0.37	5.25	0.09	1.315
測站 4	桃山西溪	晴	6 月 26 日	7.42	264.0	9.99	0.08	4.21	0.17	0.074
測站 5	新繁殖場	晴	6 月 26 日	7.54	194.3	10.66	0.51	3.49	0.08	0.529
測站 6	桃山北溪	晴	6 月 26 日	7.46	161.2	10.67	0.21	5.94	0.65	0.169
測站 7	二號壩	晴	6 月 26 日	7.44	221.0	10.12	0.35	5.23	0.20	0.922
測站 8	萬壽橋上游	晴	6 月 26 日	7.35	219.0	10.48	0.24	5.9	0.20	0.899
測站 9	迎賓橋下匯流口	陰	6 月 25 日	7.00	229.0	10.64	0.72	4.69	0.32	1.210
測站 10	司界蘭上游	晴	6 月 26 日	7.15	222.0	10.48	0.82	6.38	0.12	0.102
測站 11	司界蘭下游	晴	6 月 26 日	7.15	226.0	9.90	0.55	5.39	0.47	0.205

站號	站名	氣候	採樣日期	NO <sub>2</sub> -N μg/L	SO <sub>2</sub> <sup>4-</sup> mg/L	Cl <sup>-</sup> mg/L	PO <sub>3</sub> <sup>4-</sup> mg/L	TP mg/L	NH <sub>3</sub> -N mg/L	TOC mg/L
測站 1	有勝溪收費口	陰	6 月 25 日	1.889	41.450	2.789	0.017	0.085	0.091	0.364
測站 2	高山溪	陰	6 月 25 日	N.D.	29.244	0.882	N.D.	0.020	N.D.	0.113
測站 3	七家灣溪一號壩	晴	6 月 26 日	N.D.	38.170	1.564	N.D.	0.045	N.D.	0.102
測站 4	桃山西溪	晴	6 月 26 日	N.D.	25.393	0.582	N.D.	0.006	N.D.	0.085
測站 5	新繁殖場	晴	6 月 26 日	N.D.	33.667	1.205	N.D.	0.005	N.D.	0.095
測站 6	桃山北溪	晴	6 月 26 日	N.D.	44.889	0.395	N.D.	0.050	N.D.	0.103
測站 7	二號壩	晴	6 月 26 日	N.D.	36.477	1.405	N.D.	N.D.	N.D.	0.087
測站 8	萬壽橋上游	晴	6 月 26 日	N.D.	37.831	1.539	N.D.	0.007	N.D.	0.098
測站 9	迎賓橋下匯流口	陰	6 月 25 日	N.D.	38.587	1.903	N.D.	0.020	N.D.	0.106
測站 10	司界蘭上游	晴	6 月 26 日	N.D.	38.566	0.391	N.D.	N.D.	N.D.	0.095
測站 11	司界蘭下游	晴	6 月 26 日	N.D.	39.417	1.352	N.D.	0.009	N.D.	0.124

\*N.D.值：(1) NO<sub>2</sub>-N < 0.002 mg/L (2) PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> < 0.003 mg/L (3) TP < 0.003 mg/L (4) NH<sub>3</sub>-N < 0.003 mg/L (5) Cl<sup>-</sup> < 0.8 mg/L



表 3-12 1994 年 8 月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 μS/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO <sub>2</sub> mg/L	BOD mg/L	NO <sub>3</sub> -N mg/L
測站 1	有勝溪收費口	陰	8 月 20 日	7.24	243.0	10.02	0.69	5.47	0.14	1.412
測站 2	高山溪	陰	8 月 20 日	7.55	157.2	10.80	1.69	4.87	0.21	0.112
測站 3	七家灣溪一號壩	陰	8 月 21 日	7.25	187.5	10.21	0.44	4.78	0.10	2.033
測站 4	桃山西溪	陰	8 月 21 日	7.24	230.0	9.36	0.17	5.48	0.36	0.140
測站 5	新繁殖場	陰	8 月 20 日	7.35	165.6	10.60	1.62	4.87	0.22	0.133
測站 6	桃山北溪	陰	8 月 21 日	7.35	150.0	10.05	0.19	3.49	0.12	0.084
測站 7	二號壩	陰	8 月 21 日	7.08	203.0	10.42	0.57	4.50	0.51	1.369
測站 8	萬壽橋上游	陰	8 月 20 日	7.32	224.0	10.66	0.82	5.88	0.21	1.460
測站 9	迎賓橋下匯流口	陰	8 月 20 日	7.35	238.0	10.09	1.10	5.52	0.28	1.443
測站 10	司界蘭上游	陰	8 月 21 日	7.00	192.5	9.51	1.22	5.52	0.11	0.229
測站 11	司界蘭下游	陰	8 月 21 日	6.86	203.0	9.45	1.54	5.31	0.26	0.231

站號	站名	氣候	採樣日期	NO <sub>2</sub> -N μg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	Cl <sup>-</sup> mg/L	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/L	TP mg/L	NH <sub>3</sub> -N mg/L	TOC mg/L
測站 1	有勝溪收費口	陰	8 月 20 日	0.778	36.267	0.941	N.D.	0.154	N.D.	0.744
測站 2	高山溪	陰	8 月 20 日	0.400	25.923	0.323	N.D.	0.177	N.D.	0.801
測站 3	七家灣溪一號壩	陰	8 月 21 日	0.400	38.711	1.633	N.D.	0.095	N.D.	0.973
測站 4	桃山西溪	陰	8 月 21 日	1.910	41.353	1.315	N.D.	0.105	N.D.	1.130
測站 5	新繁殖場	陰	8 月 20 日	0.023	26.596	0.426	N.D.	0.097	N.D.	0.957
測站 6	桃山北溪	陰	8 月 21 日	1.292	25.153	0.293	N.D.	0.059	N.D.	0.993
測站 7	二號壩	陰	8 月 21 日	1.876	35.412	1.156	N.D.	0.046	N.D.	0.932
測站 8	萬壽橋上游	陰	8 月 20 日	0.812	37.363	1.881	N.D.	0.039	N.D.	0.953
測站 9	迎賓橋下匯流口	陰	8 月 20 日	0.263	37.479	1.913	N.D.	0.053	N.D.	0.805
測站 10	司界蘭上游	陰	8 月 21 日	3.249	37.173	2.038	N.D.	0.045	N.D.	0.692
測站 11	司界蘭下游	陰	8 月 21 日	2.802	37.207	1.498	N.D.	0.059	N.D.	2.621

\*N.D.值：(1) NO<sub>2</sub>-N < 0.002 mg/L (2) PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> < 0.003 mg/L (3) TP < 0.003 mg/L (4) NH<sub>3</sub>-N < 0.003 mg/L (5) Cl<sup>-</sup> < 0.8 mg/L

表 3-13 94 年 10 月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 μS/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO <sub>2</sub> mg/L	BOD mg/L	NO <sub>3</sub> -N mg/L
測站 1	有勝溪收費口	陰	10月22日	8.25	191.9	10.6	0.62	2.65	0.56	1.247
測站 2	高山溪	陰	10月22日	8.14	147.5	11.11	0.34	4.58	0.35	0.097
測站 3	七家灣溪一號壩	晴	10月23日	8.10	204.0	10.87	0.63	4.14	0.28	1.760
測站 4	桃山西溪	晴	10月23日	7.73	224.0	10.92	0.04	3.9	0.07	0.062
測站 5	新繁殖場	陰	10月22日	7.97	166.6	11.17	0.13	5.15	0.24	0.168
測站 6	桃山北溪	晴	10月23日	8.13	147.8	10.92	0.03	5.18	0.07	0.136
測站 7	二號壩	陰	10月22日	7.65	210.0	10.9	0.09	3.43	0.20	1.130
測站 8	萬壽橋上游	陰	10月22日	7.85	187.3	10.89	0.74	4.17	0.20	1.289
測站 9	迎賓橋下匯流口	陰	10月22日	7.84	192.8	10.86	2.11	2.93	0.90	1.277
測站 10	司界蘭上游	晴	10月23日	7.75	175.5	10.61	0.84	5.03	0.63	0.155
測站 11	司界蘭下游	晴	10月23日	7.89	187.3	10.57	0.98	4.38	0.34	0.494

站號	站名	氣候	採樣日期	NO <sub>2</sub> -N μg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	CL <sup>-</sup> mg/L	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/L	TP mg/L	NH <sub>3</sub> -N mg/L	TOC mg/L
測站 1	有勝溪收費口	陰	10月22日	1.289	38.410	2.354	0.007	0.012	0.056	0.915
測站 2	高山溪	陰	10月22日	N.D.	28.944	0.280	N.D.	N.D.	N.D.	0.655
測站 3	七家灣溪一號壩	晴	10月23日	N.D.	41.526	1.756	N.D.	0.005	N.D.	0.579
測站 4	桃山西溪	晴	10月23日	N.D.	27.790	0.210	N.D.	N.D.	N.D.	0.512
測站 5	新繁殖場	陰	10月22日	N.D.	30.486	0.227	N.D.	0.011	N.D.	0.619
測站 6	桃山北溪	晴	10月23日	N.D.	45.482	1.245	N.D.	0.004	0.020	0.619
測站 7	二號壩	陰	10月22日	N.D.	39.612	1.994	N.D.	N.D.	0.002	0.631
測站 8	萬壽橋上游	陰	10月22日	N.D.	40.398	2.002	N.D.	0.010	N.D.	0.795
測站 9	迎賓橋下匯流口	陰	10月22日	N.D.	40.614	1.902	N.D.	0.009	0.009	0.680
測站 10	司界蘭上游	晴	10月23日	N.D.	44.129	0.285	N.D.	0.011	N.D.	0.489
測站 11	司界蘭下游	晴	10月23日	N.D.	45.549	1.419	0.001	0.012	N.D.	0.522

\*N.D.值：(1) NO<sub>2</sub>-N < 0.002 mg/L (2) PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> < 0.003 mg/L (3) TP < 0.003 mg/L (4) NH<sub>3</sub>-N < 0.003 mg/L (5) Cl<sup>-</sup> < 0.8 mg/L

表 3-14 94 年 12 月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 μS/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO <sub>2</sub> mg/L	BOD mg/L	NO <sub>3</sub> -N mg/L
測站 1	桃山北溪	陰	12 月 3 日	7.83	281	11.2	1.02	3.88	0.33	0.106
測站 2	桃山西溪	陰晴	12 月 3 日	7.50	192	11.0	0.92	2.54	0.27	0.046
測站 3	二號壩	陰晴	12 月 3 日	7.53	248	10.9	0.34	3.48	0.69	0.725
測站 4	一號壩	陰晴	12 月 3 日	7.89	263	11.1	0.01	2.50	1.25	1.296
測站 5	繁殖場	陰	12 月 2 日	7.60	196	11.1	0.84	2.92	0.87	0.072
測站 6	萬壽橋	陰	12 月 2 日	7.70	251	10.9	0.63	2.44	0.80	0.834
測站 7	迎賓橋	陰	12 月 2 日	7.69	255	10.8	0.24	1.97	0.30	1.092
測站 2	高山溪	陰	12 月 2 日	8.15	195	11.1	0.36	3.53	0.50	0.069
測站 9	有勝溪	陰	12 月 2 日	8.17	264	9.7	0.32	3.09	0.60	1.627
測站 10	司界蘭溪上游	陰晴	12 月 4 日	8.04	273	10.8	0.78	2.27	0.41	0.095
測站 11	司界蘭溪下游	陰晴	12 月 4 日	7.74	275	10.6	2.50	2.05	0.60	0.688

站號	站名	氣候	採樣日期	NO <sub>2</sub> -N μg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	CL <sup>-</sup> mg/L	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/L	TP mg/L	NH <sub>3</sub> -N mg/L	TOC mg/L
測站 1	桃山北溪	陰	12 月 3 日	0.089	52.688	0.180	N.D.	0.023	N.D.	0.564
測站 2	桃山西溪	陰晴	12 月 3 日	N.D.	33.851	0.107	N.D.	N.D.	N.D.	0.406
測站 3	二號壩	陰晴	12 月 3 日	N.D.	46.464	0.849	N.D.	0.023	N.D.	0.435
測站 4	一號壩	陰晴	12 月 3 日	N.D.	50.872	0.966	N.D.	0.013	N.D.	0.456
測站 5	繁殖場	陰	12 月 2 日	N.D.	33.823	0.143	N.D.	0.003	N.D.	0.617
測站 6	萬壽橋	陰	12 月 2 日	N.D.	49.534	0.791	N.D.	0.016	N.D.	0.456
測站 7	迎賓橋	陰	12 月 2 日	0.296	43.375	0.982	N.D.	0.025	N.D.	0.541
測站 2	高山溪	陰	12 月 2 日	N.D.	32.873	0.097	N.D.	0.010	N.D.	0.510
測站 9	有勝溪	陰	12 月 2 日	1.0578	41.532	1.456	0.003	0.026	N.D.	0.629
測站 10	司界蘭溪上游	陰晴	12 月 4 日	N.D.	51.621	0.208	N.D.	0.001	N.D.	0.648
測站 11	司界蘭溪下游	陰晴	12 月 4 日	0.262	54.696	1.126	N.D.	N.D.	N.D.	0.517

\*N.D.值：(1) NO<sub>2</sub>-N < 0.002 mg/L (2) PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> < 0.003 mg/L (3) TP < 0.003 mg/L (4) NH<sub>3</sub>-N < 0.003 mg/L (5) Cl<sup>-</sup> < 0.8 mg/L

表3-15 95年2月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 μS/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO <sub>2</sub> mg/L	BOD mg/L	NO <sub>3</sub> -N mg/L
測站 1	桃山北溪	晴	—	枯水期	枯水期	枯水期	枯水期	枯水期	枯水期	枯水期
測站 2	桃山西溪	晴	2月18日	8.53	198	11.8	0.01	2.62	0.12	0.097
測站 3	二號壩	晴	2月17日	7.86	245	11.1	0.02	2.49	0.28	0.452
測站 4	一號壩	晴	2月17日	7.66	261	11.1	0.01	3.66	0.05	0.989
測站 5	繁殖場	晴	2月17日	7.55	240	11.3	0.01	4.55	0.08	0.472
測站 6	迎賓橋	晴	2月17日	7.62	257	10.6	0.03	3.90	0.04	0.664
測站 7	萬壽橋	晴	2月17日	7.65	267	10.7	0.02	3.11	0.03	0.821
測站 8	高山溪	晴	2月17日	7.47	210	11.7	0.09	4.20	0.18	0.125
測站 9	有勝溪	晴	2月17日	7.90	296	10.7	0.02	3.89	0.19	1.308
測站 10	司界蘭溪上游	晴	2月18日	7.69	276	10.9	0.02	4.03	0.08	0.131
測站 11	司界蘭溪下游	晴	2月18日	7.70	285	11.0	0.04	3.98	0.40	0.397

站號	站名	氣候	採樣日期	NO <sub>2</sub> -N μg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	CL <sup>-</sup> mg/L	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/L	TP mg/L	NH <sub>3</sub> -N mg/L	TOC mg/L
測站 1	桃山北溪	晴	—	枯水期	枯水期	枯水期	枯水期	枯水期	枯水期	枯水期
測站 2	桃山西溪	晴	2月18日	N.D.	34.817	0.950	N.D.	0.015	0.081	0.757
測站 3	二號壩	晴	2月17日	N.D.	45.889	0.788	N.D.	N.D.	0.077	0.598
測站 4	一號壩	晴	2月17日	N.D.	50.012	1.098	N.D.	0.008	0.072	0.681
測站 5	繁殖場	晴	2月17日	3.171	46.330	0.828	N.D.	0.008	0.071	0.845
測站 6	迎賓橋	晴	2月17日	2.935	51.399	0.951	N.D.	0.022	0.067	0.777
測站 7	萬壽橋	晴	2月17日	5.793	51.399	1.122	N.D.	0.033	0.076	0.784
測站 8	高山溪	晴	2月17日	N.D.	38.297	0.906	N.D.	0.029	0.069	0.761
測站 9	有勝溪	晴	2月17日	N.D.	50.191	1.517	N.D.	0.026	0.089	1.021
測站 10	司界蘭溪上游	晴	2月18日	N.D.	54.875	0.831	N.D.	0.045	0.078	0.693
測站 11	司界蘭溪下游	晴	2月18日	N.D.	56.441	1.859	N.D.	0.046	0.076	0.655

\*N.D.值：(1) NO<sub>2</sub>-N < 0.002 mg/L (2) PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> < 0.003 mg/L (3) TP < 0.003 mg/L (4) NH<sub>3</sub>-N < 0.003 mg/L (5) Cl<sup>-</sup> < 0.8 mg/L

表3-16 95年4月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 μS/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO <sub>2</sub> mg/L	BOD mg/L	NO <sub>3</sub> -N mg/L
測站 1	桃山北溪	晴	4月7日	8.30	147	10.8	0.01	3.89	0.26	0.143
測站 2	桃山西溪	晴	4月7日	8.30	257	10.2	0.03	4.54	0.24	0.205
測站 3	二號壩	晴	4月7日	8.07	178	10.5	0.05	3.99	0.18	0.440
測站 4	一號壩	晴	4月7日	7.94	193	10.3	0.02	4.62	0.59	0.751
測站 5	繁殖場	晴	4月7日	7.81	177	10.2	0.04	4.73	0.05	0.264
測站 6	迎賓橋	晴	4月8日	7.56	191	10.6	0.15	3.92	0.22	0.557
測站 7	萬壽橋	晴	4月8日	7.64	203	10.6	0.17	4.33	0.29	0.857
測站 8	高山溪	晴	4月7日	7.48	171	10.3	0.15	4.32	0.02	0.210
測站 9	有勝溪	晴	4月7日	8.43	270	9.6	1.10	3.95	0.80	3.091
測站 10	司界蘭溪上游	晴	4月8日	7.65	227	9.5	0.77	4.25	0.17	0.332
測站 11	司界蘭溪下游	晴	4月8日	7.59	233	9.5	0.90	4.48	0.22	0.784

站號	站名	氣候	採樣日期	NO <sub>2</sub> -N μg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	Cl <sup>-</sup> mg/L	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/L	TP mg/L	NH <sub>3</sub> -N mg/L	TOC mg/L
測站 1	桃山北溪	晴	4月7日	N.D.	26.784	0.931	N.D.	N.D.	N.D.	0.520
測站 2	桃山西溪	晴	4月7日	N.D.	54.389	0.817	N.D.	N.D.	N.D.	0.623
測站 3	二號壩	晴	4月7日	N.D.	34.445	0.919	N.D.	0.025	N.D.	0.501
測站 4	一號壩	晴	4月7日	N.D.	37.202	1.052	N.D.	N.D.	N.D.	0.510
測站 5	繁殖場	晴	4月7日	N.D.	37.390	1.513	N.D.	N.D.	N.D.	0.568
測站 6	迎賓橋	晴	4月8日	N.D.	40.820	0.975	N.D.	N.D.	N.D.	0.703
測站 7	萬壽橋	晴	4月8日	N.D.	42.993	1.106	N.D.	N.D.	N.D.	0.501
測站 8	高山溪	晴	4月7日	N.D.	38.086	0.776	N.D.	N.D.	N.D.	0.598
測站 9	有勝溪	晴	4月7日	5.141	55.490	2.182	N.D.	N.D.	N.D.	0.866
測站 10	司界蘭溪上游	晴	4月8日	N.D.	49.891	1.524	N.D.	N.D.	N.D.	0.574
測站 11	司界蘭溪下游	晴	4月8日	N.D.	52.878	1.845	N.D.	N.D.	N.D.	0.856

\*N.D.值：(1) NO<sub>2</sub>-N<0.002 mg/L (2) PO<sub>4</sub><sup>3-</sup><0.003 mg/L (3) TP<0.003 mg/L (4) NH<sub>3</sub>-N<0.003 mg/L (5)Cl<sup>-</sup><0.8 mg/L

表3-17 95年6月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 μS/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO <sub>2</sub> mg/L	BOD mg/L	NO <sub>3</sub> -N mg/L
測站 1	桃山北溪	晴	6月26日	8.10	206	8.5	1.16	8.37	0.07	0.160
測站 2	桃山西溪	晴	6月26日	7.86	138	9.1	0.56	4.79	0.09	0.073
測站 3	二號壩	晴	6月26日	7.68	182	8.7	5.05	6.49	0.02	1.099
測站 4	一號壩	晴	6月26日	7.69	193	8.5	2.81	5.10	0.03	1.707
測站 5	繁殖場	晴	6月27日	7.41	162	8.0	2.52	5.91	0.08	0.365
測站 6	迎賓橋	晴	6月26日	7.57	185	8.8	3.77	5.94	0.34	1.114
測站 7	萬壽橋	晴	6月26日	7.45	194	8.4	1.33	6.95	0.03	1.223
測站 8	高山溪	晴	6月27日	7.31	153	8.2	4.13	5.37	0.02	0.147
測站 9	有勝溪	晴	6月27日	7.95	237	9.2	2.14	6.11	0.34	1.527

站號	站名	氣候	採樣日期	NO <sub>2</sub> -N μg/L	SO <sub>2</sub> <sup>4-</sup> mg/L	Cl <sup>-</sup> mg/L	PO <sub>3</sub> <sup>4-</sup> mg/L	TP mg/L	NH <sub>3</sub> -N mg/L	TOC mg/L
測站 1	桃山北溪	晴	6月26日	N.D.	38.521	1.666	N.D.	N.D.	N.D.	0.588
測站 2	桃山西溪	晴	6月26日	N.D.	21.996	0.946	N.D.	N.D.	0.0013	0.717
測站 3	二號壩	晴	6月26日	N.D.	30.4780	1.395	N.D.	0.003	0.0523	0.699
測站 4	一號壩	晴	6月26日	N.D.	33.085	2.462	N.D.	N.D.	N.D.	0.601
測站 5	繁殖場	晴	6月27日	N.D.	26.216	1.845	N.D.	0.010	0.0295	0.731
測站 6	萬壽橋	晴	6月26日	N.D.	31.732	1.521	N.D.	0.001	N.D.	0.887
測站 7	迎賓橋	晴	6月26日	N.D.	33.002	1.756	N.D.	0.011	N.D.	0.641
測站 8	高山溪	晴	6月27日	N.D.	24.692	1.328	N.D.	0	N.D.	0.798
測站 9	有勝溪	晴	6月27日	N.D.	36.339	2.636	N.D.	0.018	0.0079	0.873

\*N.D.值：(1) NO<sub>2</sub>-N < 0.002 mg/L (2) PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> < 0.003 mg/L (3) TP < 0.003 mg/L (4) NH<sub>3</sub>-N < 0.003 mg/L (5) Cl<sup>-</sup> < 0.8 mg/L

表 3-18 95 年 8 月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 μS/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO <sub>2</sub> mg/L	BOD mg/L	NO <sub>3</sub> -N mg/L
測站 1	桃山北溪	晴	8 月 4 日	8.31	216	8.5	0.25	7.92	0.42	0.173
測站 2	桃山西溪	晴	8 月 4 日	8.44	141	8.9	0.24	4.80	1.61	0.078
測站 3	二號壩	晴	8 月 4 日	8.23	184	8.8	0.58	5.48	0.55	0.843
測站 4	一號壩	晴	8 月 4 日	8.67	201	8.7	0.03	5.84	0.16	1.453
測站 5	繁殖場	晴	8 月 4 日	8.54	173	8.9	0.3	7.41	0.73	0.514
測站 6	迎賓橋	晴	8 月 4 日	8.91	209	8.6	0.88	6.92	0.79	1.141
測站 7	萬壽橋	晴	8 月 4 日	9.09	193	8.4	0.96	7.08	0.61	1.089
測站 8	高山溪	晴	8 月 4 日	8.50	157	8.5	0.36	6.94	0.78	0.052
測站 9	有勝溪	晴	8 月 4 日	9.29	227	8.1	0.53	6.14	0.48	1.555
測站 10	司界蘭溪上游	晴	8 月 5 日	8.34	174	8.3	0.49	9.08	1.11	0.084
測站 11	司界蘭溪下游	晴	8 月 5 日	8.88	212	9.3	0.77	6.77	0.42	1.017

站號	站名	氣候	採樣日期	NO <sub>2</sub> -N μg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	Cl <sup>-</sup> mg/L	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/L	TP mg/L	NH <sub>3</sub> -N mg/L	TOC mg/L
測站 1	桃山北溪	晴	8 月 4 日	N.D.	40.117	0.248	N.D.	N.D.	0.0097	0.533
測站 2	桃山西溪	晴	8 月 4 日	N.D.	22.957	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.729
測站 3	二號壩	晴	8 月 4 日	N.D.	33.285	0.450	N.D.	N.D.	N.D.	0.626
測站 4	一號壩	晴	8 月 4 日	N.D.	36.019	0.922	N.D.	N.D.	N.D.	0.682
測站 5	繁殖場	晴	8 月 4 日	N.D.	30.075	0.496	N.D.	N.D.	N.D.	0.733
測站 6	迎賓橋	晴	8 月 4 日	N.D.	34.703	0.863	N.D.	0.022	N.D.	0.840
測站 7	萬壽橋	晴	8 月 4 日	N.D.	35.107	0.555	N.D.	0.004	N.D.	0.626
測站 8	高山溪	晴	8 月 4 日	N.D.	25.721	1.191	N.D.	N.D.	N.D.	0.706
測站 9	有勝溪	晴	8 月 4 日	N.D.	34.337	1.587	0.010	0.017	N.D.	0.802
測站 10	司界蘭溪上游	晴	8 月 5 日	N.D.	22.579	0.427	N.D.	N.D.	N.D.	0.540
測站 11	司界蘭溪下游	晴	8 月 5 日	N.D.	39.284	0.073	N.D.	N.D.	N.D.	0.855

\*N.D.值：(1) NO<sub>2</sub>-N < 0.002 mg/L (2) PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> < 0.003 mg/L (3) TP < 0.003 mg/L (4) NH<sub>3</sub>-N < 0.003 mg/L (5) Cl<sup>-</sup> < 0.8 mg/L

表 3-19 1995 年 10 月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 μS/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO <sub>2</sub> mg/L	BOD mg/L	NO <sub>3</sub> -N mg/L
測站 1	桃山北溪	晴	10 月 18 日	7.81	230	10.7	0.35	7.23	0.366	0.1109
測站 2	桃山西溪	晴	10 月 18 日	7.71	149	10.1	0.25	4.55	0.566	0.0385
測站 3	二號壩	晴	10 月 18 日	7.58	189	8.7	0.8	5.38	0.499	0.5533
測站 4	一號壩	晴	10 月 18 日	7.60	207	8.4	0.35	5.60	0.599	1.1206
測站 5	繁殖場	晴	10 月 18 日	7.51	173	8.9	1.09	4.32	0.233	0.2262
測站 6	迎賓橋	晴	10 月 18 日	7.55	199	8.8	0.75	4.50	0.699	0.7463
測站 7	萬壽橋	晴	10 月 18 日	7.50	208	8.6	0.8	4.13	0.333	0.9180
測站 8	高山溪	晴	10 月 18 日	7.35	163	8.8	1.04	4.05	0.866	0.1047
測站 9	有勝溪	晴	10 月 18 日	7.44	239	7.7	2.19	3.28	1.148	1.4630

站號	站名	氣候	採樣日期	NO <sub>2</sub> -N μg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	Cl <sup>-</sup> mg/L	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/L	TP mg/L	NH <sub>3</sub> -N mg/L	TOC mg/L
測站 1	桃山北溪	晴	10 月 18 日	N.D.	38.231	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.020
測站 2	桃山西溪	晴	10 月 18 日	N.D.	23.172	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.599
測站 3	二號壩	晴	10 月 18 日	N.D.	31.938	0.600	N.D.	N.D.	N.D.	0.814
測站 4	一號壩	晴	10 月 18 日	N.D.	34.102	0.986	N.D.	N.D.	N.D.	0.781
測站 5	繁殖場	晴	10 月 18 日	N.D.	27.330	0.196	N.D.	N.D.	N.D.	0.684
測站 6	迎賓橋	晴	10 月 18 日	N.D.	33.509	0.812	N.D.	N.D.	N.D.	0.740
測站 7	萬壽橋	晴	10 月 18 日	N.D.	33.907	0.961	N.D.	N.D.	N.D.	0.771
測站 8	高山溪	晴	10 月 18 日	N.D.	25.489	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.709
測站 9	有勝溪	晴	10 月 18 日	0.019	34.141	0.917	N.D.	N.D.	0.020	0.940

\*N.D.值：(1) NO<sub>2</sub>-N < 0.002 mg/L (2) PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> < 0.003 mg/L (3) TP < 0.003 mg/L (4) NH<sub>3</sub>-N < 0.003 mg/L (5) Cl<sup>-</sup> < 0.8 mg/L



表 3-20 95 年 12 月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 μS/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO <sub>2</sub> mg/L	BOD mg/L	NO <sub>3</sub> -N mg/L
測站 1	桃山北溪	雨	12 月 14 日	8.33	238.0	10.35	0.28	5.20	0.73	0.1695
測站 2	桃山西溪	雨	12 月 14 日	8.20	156.5	11.05	1.01	3.47	0.54	0.1292
測站 3	二號壩	雨	12 月 14 日	7.85	194.0	9.9	0.4	4.12	0.67	0.4317
測站 4	一號壩	雨	12 月 14 日	8.09	202.0	9.97	0.45	4.34	0.53	1.0216
測站 5	繁殖場	雨	12 月 14 日	7.32	165.7	10.22	1.06	4.22	0.28	0.1612
測站 6	迎賓橋	雨	12 月 14 日	8.15	195.5	9.81	0.72	3.36	0.34	0.6614
測站 7	萬壽橋	雨	12 月 14 日	7.46	208.0	9.76	1.38	3.42	0.18	0.8590
測站 8	高山溪	雨	12 月 14 日	7.81	168.2	10.02	0.47	5.19	0.41	0.1570
測站 9	有勝溪	雨	12 月 14 日	8.16	247.0	9.07	0.85	4.31	0.41	1.8664

站號	站名	氣候	採樣日期	NO <sub>2</sub> -N μg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	Cl <sup>-</sup> mg/L	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/L	TP mg/L	NH <sub>3</sub> -N mg/L	TOC mg/L
測站 1	桃山北溪	雨	12 月 14 日	N.D.	44.6249	0.1378	N.D.	N.D.	0.0583	1.013
測站 2	桃山西溪	雨	12 月 14 日	N.D.	26.5312	0.0591	N.D.	N.D.	0.1118	0.504
測站 3	二號壩	雨	12 月 14 日	N.D.	34.8882	0.6683	N.D.	N.D.	N.D.	0.632
測站 4	一號壩	雨	12 月 14 日	N.D.	37.0210	1.2056	N.D.	N.D.	0.1112	0.593
測站 5	繁殖場	雨	12 月 14 日	N.D.	26.5461	0.1288	N.D.	N.D.	N.D.	0.822
測站 6	迎賓橋	雨	12 月 14 日	N.D.	37.1286	0.8909	N.D.	N.D.	N.D.	0.649
測站 7	萬壽橋	雨	12 月 14 日	0.0025	37.8966	1.3011	N.D.	N.D.	N.D.	0.887
測站 8	高山溪	雨	12 月 14 日	N.D.	29.8571	0.1591	N.D.	N.D.	N.D.	0.729
測站 9	有勝溪	雨	12 月 14 日	0.1349	39.7312	1.4905	N.D.	N.D.	0.1034	0.936

\*N.D.值：(1) NO<sub>2</sub>-N < 0.002 mg/L (2) PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> < 0.003 mg/L (3) TP < 0.003 mg/L (4) NH<sub>3</sub>-N < 0.003 mg/L (5) Cl<sup>-</sup> < 0.8 mg/L

表 3-21 96 年 2 月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 μS/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO <sub>2</sub> mg/L	BOD mg/L	NO <sub>3</sub> -N mg/L
測站 1	桃山北溪	晴	2 月 1 日	8.33	233.0	9.12	1.35	5.74	0.461	0.2634
測站 2	桃山西溪	晴	2 月 1 日	8.10	144.6	10.22	0.93	4.59	0.263	0.1969
測站 3	二號壩	晴	2 月 1 日	7.95	182.2	8.07	0.42	1.63	0.395	0.5333
測站 4	一號壩	晴	2 月 1 日	7.98	189.4	8.6	0.39	5.56	0.592	1.0858
測站 5	繁殖場	晴	2 月 1 日	7.91	159.9	9.6	1.39	6.64	0.461	0.2586
測站 6	迎賓橋	晴	2 月 1 日	7.87	189.0	8.33	0.54	0.42	0.461	0.7442
測站 7	萬壽橋	晴	2 月 1 日	7.97	202.0	8.45	0.28	6.52	0.987	1.1263
測站 8	高山溪	晴	2 月 1 日	7.86	160.5	9.66	0.07	7.13	0.461	0.2634
測站 9	有勝溪	晴	2 月 1 日	8.40	245.0	8.75	2.74	5.21	0.592	2.3869
測站 10	司界蘭溪上游	晴	2 月 2 日	7.81	181.8	12.49	1.98	2.23	0.592	0.2882
測站 11	司界蘭溪下游	晴	2 月 2 日	7.74	208.0	10.70	0.20	5.30	0.526	0.7605

站號	站名	氣候	採樣日期	NO <sub>2</sub> -N μg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	Cl <sup>-</sup> mg/L	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/L	TP mg/L	NH <sub>3</sub> -N mg/L	TOC mg/L
測站 1	桃山北溪	晴	2 月 1 日	N.D.	47.6421	0.2989	N.D.	N.D.	N.D.	0.868
測站 2	桃山西溪	晴	2 月 1 日	N.D.	26.6641	0.0611	N.D.	N.D.	N.D.	0.691
測站 3	二號壩	晴	2 月 1 日	N.D.	34.6578	0.4089	N.D.	N.D.	N.D.	0.746
測站 4	一號壩	晴	2 月 1 日	N.D.	36.8732	1.1198	N.D.	N.D.	N.D.	0.724
測站 5	繁殖場	晴	2 月 1 日	N.D.	30.6203	0.0678	N.D.	N.D.	N.D.	0.834
測站 6	迎賓橋	晴	2 月 1 日	N.D.	36.9147	0.5497	N.D.	N.D.	N.D.	0.839
測站 7	萬壽橋	晴	2 月 1 日	N.D.	38.8286	1.2102	N.D.	N.D.	N.D.	0.870
測站 8	高山溪	晴	2 月 1 日	N.D.	30.6487	0.0449	N.D.	N.D.	N.D.	0.760
測站 9	有勝溪	晴	2 月 1 日	N.D.	40.2003	1.9133	N.D.	N.D.	N.D.	1.300
測站 10	司界蘭溪上游	晴	2 月 2 日	N.D.	27.3506	1.1439	N.D.	N.D.	N.D.	0.808
測站 11	司界蘭溪下游	晴	2 月 2 日	N.D.	37.8264	1.7875	N.D.	N.D.	N.D.	0.771

\*N.D.值：(1) NO<sub>2</sub>-N < 0.002 mg/L (2) PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> < 0.003 mg/L (3) TP < 0.003 mg/L (4) NH<sub>3</sub>-N < 0.003 mg/L (5) Cl<sup>-</sup> < 0.8 mg/L

表 3-22 96 年 4 月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 μS/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO <sub>2</sub> mg/L	BOD mg/L	NO <sub>3</sub> -N mg/L
測站 1	桃山北溪	晴	4 月 13 日	7.88	202.0	9.02	0.30	0.568	0.318	0.2756
測站 2	桃山西溪	晴	4 月 13 日	8.08	107.9	9.55	0.74	0.452	0.398	0.1724
測站 3	二號壩	晴	4 月 13 日	7.58	140.7	9.58	0.32	0.607	0.530	0.4309
測站 4	一號壩	晴	4 月 13 日	7.68	147.0	9.41	0.58	0.573	0.729	0.7158
測站 5	繁殖場	晴	4 月 13 日	7.53	150.0	9.65	1.58	0.475	0.597	0.3384
測站 6	迎賓橋	晴	4 月 13 日	7.70	155.2	9.15	1.15	0.587	0.663	0.5901
測站 7	萬壽橋	晴	4 月 13 日	8.10	175.9	9.08	1.76	0.715	0.729	1.0892
測站 8	高山溪	晴	4 月 13 日	7.56	148.7	9.15	3.71	0.840	0.796	0.3292
測站 9	有勝溪	晴	4 月 13 日	8.73	257.0	8.92	0.89	0.635	0.895	3.3063

站號	站名	氣候	採樣日期	NO <sub>2</sub> -N μg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	Cl <sup>-</sup> mg/L	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/L	TP mg/L	NH <sub>3</sub> -N mg/L	TOC mg/L
測站 1	桃山北溪	晴	4 月 13 日	N.D.	38.0948	0.8925	N.D.	N.D.	N.D.	1.325
測站 2	桃山西溪	晴	4 月 13 日	N.D.	16.2480	0.5160	N.D.	N.D.	N.D.	1.177
測站 3	二號壩	晴	4 月 13 日	N.D.	23.5458	0.5266	N.D.	N.D.	N.D.	1.218
測站 4	一號壩	晴	4 月 13 日	N.D.	24.7665	0.9915	N.D.	N.D.	N.D.	1.211
測站 5	繁殖場	晴	4 月 13 日	N.D.	27.1358	0.1993	N.D.	N.D.	N.D.	1.258
測站 6	迎賓橋	晴	4 月 13 日	N.D.	27.6702	1.0855	N.D.	N.D.	N.D.	1.212
測站 7	萬壽橋	晴	4 月 13 日	N.D.	29.8711	1.5806	N.D.	N.D.	N.D.	1.332
測站 8	高山溪	晴	4 月 13 日	N.D.	27.3420	0.1727	N.D.	N.D.	N.D.	1.307
測站 9	有勝溪	晴	4 月 13 日	4.3796	38.9361	2.3914	N.D.	N.D.	N.D.	1.635

\*N.D.值：(1) NO<sub>2</sub>-N < 0.002 mg/L (2) PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> < 0.003 mg/L (3) TP < 0.003 mg/L (4) NH<sub>3</sub>-N < 0.003 mg/L (5) Cl<sup>-</sup> < 0.8 mg/L

表 3-23 96 年 6 月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 μS/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO <sub>2</sub> mg/L	BOD mg/L	NO <sub>3</sub> -N mg/L
測站 1	桃山北溪	陰	6 月 20 日	-	-	-	-	-	-	-
測站 2	桃山西溪	陰	6 月 20 日	7.6	144.2	9.67	0.96	0.443	0.002	0.1777
測站 3	二號壩	陰	6 月 20 日	7.6	199.6	10.53	1.88	0.428	0.073	0.7523
測站 4	一號壩	陰	6 月 20 日	7.8	205	9.16	1.25	0.580	0.017	1.2327
測站 5	繁殖場	陰	6 月 20 日	8.0	163.2	8.59	2.86	0.814	1.063	0.2585
測站 6	迎賓橋	陰	6 月 20 日	7.9	189.1	8.7	2.77	0.683	0.569	0.8604
測站 7	萬壽橋	陰	6 月 20 日	7.8	207	8.76	2.24	0.727	0.538	1.0809
測站 8	高山溪	陰	6 月 20 日	7.9	160.5	8.66	3.79	0.728	0.145	0.2588
測站 9	有勝溪	陰	6 月 20 日	8.5	278	9.48	2.07	0.886	0.292	2.0574

站號	站名	氣候	採樣日期	NO <sub>2</sub> -N μg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	Cl <sup>-</sup> mg/L	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/L	TP mg/L	NH <sub>3</sub> -N mg/L	TOC mg/L
測站 1	桃山北溪	陰	6 月 20 日	-	-	-	-	-	-	-
測站 2	桃山西溪	陰	6 月 20 日	N.D.	19.2237	N.D.	N.D.	0.108	N.D.	0.665
測站 3	二號壩	陰	6 月 20 日	N.D.	26.9938	0.0983	N.D.	0.075	N.D.	0.639
測站 4	一號壩	陰	6 月 20 日	N.D.	28.3746	1.2444	N.D.	0.030	N.D.	0.664
測站 5	繁殖場	陰	6 月 20 日	N.D.	23.3656	N.D.	N.D.	0.036	N.D.	0.658
測站 6	迎賓橋	陰	6 月 20 日	N.D.	28.4275	0.2239	N.D.	0.033	N.D.	0.636
測站 7	萬壽橋	陰	6 月 20 日	N.D.	29.9328	1.2564	N.D.	0.036	N.D.	0.698
測站 8	高山溪	陰	6 月 20 日	N.D.	23.3134	N.D.	N.D.	0.042	N.D.	0.600
測站 9	有勝溪	陰	6 月 20 日	N.D.	35.8823	2.0934	N.D.	0.099	N.D.	1.069

\*N.D.值：(1) NO<sub>2</sub>-N < 0.002 mg/L (2) PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> < 0.003 mg/L (3) TP < 0.003 mg/L (4) NH<sub>3</sub>-N < 0.003 mg/L (5) Cl<sup>-</sup> < 0.8 mg/L

表 3-24 96 年 8 月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 μS/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO <sub>2</sub> mg/L	BOD mg/L	NO <sub>3</sub> -N mg/L
測站 1	桃山北溪	雨天	8 月 30 日	7.86	174.4	11.13	0.26	5.790	0.965	0.280068
測站 2	桃山西溪	雨天	8 月 30 日	7.76	112.6	11.98	0.29	2.740	0.794	0.168939
測站 3	二號壩	雨天	8 月 30 日	7.86	151.4	11.77	0.15	5.630	0.432	0.956727
測站 4	一號壩	雨天	8 月 30 日	7.90	157.8	10.6	0.54	4.040	2.598	1.625444
測站 5	繁殖場	雨天	8 月 30 日	7.52	122.9	11.89	0.82	1.960	0.885	0.244447
測站 6	迎賓橋	雨天	8 月 30 日	7.77	163.1	11.85	0.8	4.210	0.432	1.304424
測站 7	萬壽橋	雨天	8 月 30 日	7.99	166.3	11.15	0.26	5.510	0.874	1.292009
測站 8	高山溪	雨天	8 月 30 日	7.88	124.3	11.41	0.67	3.400	0.816	0.226321
測站 9	有勝溪	雨天	8 月 30 日	8.18	122.7	11.23	1.12	2.690	0.587	1.586253
測站 10	司界溪上游	晴	8 月 31 日	7.42	171.7	10.47	0.61	0.360	0.874	0.235418
測站 11	司界溪上游	晴	8 月 31 日	7.71	176.3	10.29	0.79	0.080	0.770	1.123409

站號	站名	氣候	採樣日期	NO <sub>2</sub> -N μg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	Cl <sup>-</sup> mg/L	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/L	TP mg/L	NH <sub>3</sub> -N mg/L	TOC mg/L
測站 1	桃山北溪	雨天	8 月 30 日	N.D.	36.0776	0.2680	N.D.	N.D.	N.D.	0.767
測站 2	桃山西溪	雨天	8 月 30 日	N.D.	21.7301	0.1710	N.D.	N.D.	N.D.	0.511
測站 3	二號壩	雨天	8 月 30 日	N.D.	30.6424	0.4629	N.D.	N.D.	N.D.	0.588
測站 4	一號壩	雨天	8 月 30 日	N.D.	32.6008	4.4740	N.D.	N.D.	N.D.	1.023
測站 5	繁殖場	雨天	8 月 30 日	N.D.	23.8334	0.0250	N.D.	N.D.	N.D.	0.523
測站 6	迎賓橋	雨天	8 月 30 日	N.D.	32.6296	1.1110	N.D.	N.D.	N.D.	0.624
測站 7	萬壽橋	雨天	8 月 30 日	N.D.	32.6287	0.5619	N.D.	N.D.	N.D.	0.564
測站 8	高山溪	雨天	8 月 30 日	N.D.	24.2162	0.0000	N.D.	N.D.	N.D.	0.459
測站 9	有勝溪	雨天	8 月 30 日	0.0016	33.3068	1.2938	N.D.	0.0403	N.D.	0.752
測站 10	司界溪上游	晴	8 月 31 日	N.D.	32.9737	0.6555	N.D.	N.D.	N.D.	0.565
測站 11	司界溪上游	晴	8 月 31 日	N.D.	37.1263	1.6161	N.D.	N.D.	N.D.	1.113

\*N.D.值：(1) NO<sub>2</sub>-N<0.002 mg/L (2) PO<sub>4</sub><sup>3-</sup><0.003 mg/L (3) TP<0.003 mg/L (4) NH<sub>3</sub>-N<0.003 mg/L (5)Cl<sup>-</sup><0.8 mg/L

表3-25 96年10月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 μS/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO <sub>2</sub> mg/L	BOD mg/L	NO <sub>3</sub> -N mg/L
測站 1	桃山北溪	陰天	10月18日	6.96	379	7.89	1.08	0.44	1.27	0.300
測站 2	桃山西溪	陰天	10月18日	6.79	251	7.82	0.53	0.511	0.85	0.225
測站 3	二號壩	陰天	10月18日	6.61	394	8.2	0.54	0.053	1.24	0.981
測站 4	一號壩	陰天	10月18日	6.62	358	7.2	1.48	0.936	1.03	1.645
測站 5	繁殖場	陰天	10月18日	6.54	294	7.83	1.6	1.356	1.90	0.289
測站 6	迎賓橋	陰天	10月18日	6.79	367	7.48	5.91	1.147	1.03	1.026
測站 7	萬壽橋	陰天	10月18日	6.60	368	8.55	5.51	1.086	0.88	1.026
測站 8	高山溪	陰天	10月18日	6.61	265	7.88	9.24	2.370	0.32	0.232
測站 9	有勝溪	陰天	10月18日	6.96	388	7.53	7.67	0.964	0.85	0.985

站號	站名	氣候	採樣日期	NO <sub>2</sub> -N μg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	Cl <sup>-</sup> mg/L	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/L	TP mg/L	NH <sub>3</sub> -N mg/L	TOC mg/L
測站 1	桃山北溪	陰天	10月18日	N.D.	41.531	1.231	N.D.	N.D.	0.032	0.456
測站 2	桃山西溪	陰天	10月18日	N.D.	25.299	1.538	N.D.	N.D.	0.019	0.368
測站 3	二號壩	陰天	10月18日	N.D.	36.972	10.340	N.D.	N.D.	0.000	0.329
測站 4	一號壩	陰天	10月18日	N.D.	40.093	1.367	N.D.	N.D.	0.005	0.269
測站 5	繁殖場	陰天	10月18日	N.D.	27.000	3.664	N.D.	N.D.	0.028	0.257
測站 6	迎賓橋	陰天	10月18日	N.D.	37.415	1.188	N.D.	N.D.	0.000	0.325
測站 7	萬壽橋	陰天	10月18日	N.D.	37.406	1.017	N.D.	N.D.	0.009	0.266
測站 8	高山溪	陰天	10月18日	N.D.	25.495	0.176	N.D.	N.D.	0.009	0.279
測站 9	有勝溪	陰天	10月18日	N.D.	36.806	1.224	N.D.	N.D.	0.015	0.474

\*N.D.值：(1) NO<sub>2</sub>-N<0.002 mg/L (2) PO<sub>4</sub><sup>3-</sup><0.003 mg/L (3) TP<0.003 mg/L (4) NH<sub>3</sub>-N<0.003 mg/L (5)Cl<sup>-</sup><0.8 mg/L

表3-26 96年12月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度 μS/cm	溶氧 mg/L	濁度 NTU	SiO <sub>2</sub> mg/L	BOD mg/L	NO <sub>3</sub> -N mg/L
測站 1	桃山北溪	晴	12月6日	8.19	357	9.83	0.38	0.400	0.756	0.2688
測站 2	桃山西溪	晴	12月6日	8.07	236	10.16	0.17	0.627	1.371	0.1534
測站 3	二號壩	晴	12月6日	7.92	310	9.58	0.32	0.802	0.832	1.0400
測站 4	一號壩	晴	12月6日	8.06	329	9.79	0.57	0.315	1.142	2.3870
測站 5	繁殖場	晴	12月6日	8.01	231	10.91	1.9	0.213	1.435	0.1493
測站 6	迎賓橋	晴	12月6日	8.05	316	9.42	3.06	0.458	1.240	1.5761
測站 7	萬壽橋	晴	12月6日	8.15	317	9.58	4.49	0.362	1.280	1.6989
測站 8	高山溪	晴	12月6日	8.09	238	10.33	2.24	0.386	1.080	0.1393
測站 9	有勝溪	晴	12月6日	8.18	317	9.28	0.92	0.405	1.520	1.8087

站號	站名	氣候	採樣日期	NO <sub>2</sub> -N μg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	Cl <sup>-</sup> mg/L	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/L	TP mg/L	NH <sub>3</sub> -N mg/L	TOC mg/L
測站 1	桃山北溪	晴	12月6日	N.D.	43.5930	0.1008	N.D.	N.D.	N.D.	0.830
測站 2	桃山西溪	晴	12月6日	N.D.	26.9839	0.0400	N.D.	N.D.	N.D.	0.400
測站 3	二號壩	晴	12月6日	N.D.	37.9763	0.5622	N.D.	N.D.	N.D.	0.487
測站 4	一號壩	晴	12月6日	N.D.	41.6121	1.1225	N.D.	N.D.	N.D.	0.611
測站 5	繁殖場	晴	12月6日	N.D.	27.7037	0.5578	N.D.	N.D.	N.D.	0.572
測站 6	迎賓橋	晴	12月6日	N.D.	40.1896	0.8231	N.D.	N.D.	N.D.	0.539
測站 7	萬壽橋	晴	12月6日	N.D.	35.1316	1.2857	N.D.	N.D.	N.D.	0.688
測站 8	高山溪	晴	12月6日	N.D.	27.4076	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.582
測站 9	有勝溪	晴	12月6日	N.D.	30.5920	0.9558	N.D.	N.D.	N.D.	0.729

\*N.D.值：(1) NO<sub>2</sub>-N < 0.002 mg/L (2) PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> < 0.003 mg/L (3) TP < 0.003 mg/L (4) NH<sub>3</sub>-N < 0.003 mg/L (5) Cl<sup>-</sup> < 0.8 mg/L

表3-27 肥料要素含量

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

(台灣肥料股份有限公司)

表3-28 景美溪實驗數據

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

(\*：郭一羽，水域生態工程，2001)

(<sup>+</sup>：自行採樣分析)

表3-29 世界河川平均所含可溶性物質的濃度

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

(郭一羽，水域生態工程，2001)

表3-30 養殖池與七家灣溪流流域水質參數比較

水質參數	養殖池※	七家灣溪流流域
溶氧 (mg/L)	9.51	7 以上
pH	7.83	6.5-9.5
導電度 (μs/cm)	337	120-400
硝酸態氮 (mg/L)	1.2831	0.2-3.3
濁度 (NTU)	2.75	0.02-10
磷 (mg/L)	0	0-0.03
BOD (mg/L)	1.607	0.1-2

※養殖池水質數據為96/12/6實際採集養殖池內B區之水體



表3-31 91.5月的魚數量與9102/9103/9104/9105月水質數據平均值顯著性

91.5月的魚數量與9102/9103/9104/9105月水質數據平均值顯著性											
參數 魚	pH	導電度	濁度	BOD	TP	NH <sub>3</sub> -N	溫度	飽和度	SiO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N
總魚數	0.889	0.227	0.658	0.190	0.657	0.497	0.029	0.624	0.098	0.385	0.322
3歲魚	0.734	0.967	0.395	0.235	0.199	0.239	0.365	0.932	0.658	0.157	0.785
2歲魚	0.787	0.961	0.939	0.878	0.908	0.701	0.529	0.913	0.241	0.757	0.940
1歲魚	0.933	0.156	0.569	0.165	0.668	0.449	0.018*	0.554	0.099	0.408	0.267

表3-32 91.10月的魚數量與9106/9107/9108/9109/9110月水質數據平均值顯著性

91.10月的魚數量與9106/9107/9108/9109/9110月水質數據平均值顯著性											
參數 魚	pH	導電度	濁度	BOD	TP	NH <sub>3</sub> -N	溫度	飽和度	SiO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N
總魚數	0.242	0.293	0.184	0.837	0.472	0.992	0.193	0.664	0.251	0.209	0.906
3歲魚	0.681	0.808	0.063	0.281	0.376	0.233	0.791	0.647	0.560	0.025*	0.976
2歲魚	0.318	0.492	0.103	0.468	0.270	0.306	0.534	0.954	0.417	0.037*	0.683
1歲魚	0.253	0.261	0.344	0.909	0.646	0.609	0.114	0.533	0.248	0.479	0.982

表3-33 92.5月的魚數量與9111/9112/9201/9202/9203/9204/9205月水質數據平均值顯著性

92.5月的魚數量與9111/9112/9201/9202/9203/9204/9205月水質數據平均值顯著性											
參數 魚	pH	導電度	濁度	BOD	TP	NH <sub>3</sub> -N	溫度	飽和度	SiO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N
總魚數	0.418	0.119	0.401	0.258	0.639	—	0.204	0.840	0.024*	0.066	0.306
3歲魚	0.352	0.968	0.528	0.799	0.140	—	0.392	0.094	0.457	0.085	0.841
2歲魚	0.427	0.118	0.313	0.128	0.773	—	0.234	0.675	0.025*	0.191	0.270
1歲魚	0.806	0.087	0.317	0.865	0.969	—	0.009*	0.415	0.073	0.051	0.272

表3-34 92.10月的魚數量與9206/9207/9208/9209/9210月水質數據平均值顯著性

92.10月的魚數量與9206/9207/9208/9209/9210月水質數據平均值顯著性											
參數 魚	pH	導電度	濁度	BOD	TP	NH <sub>3</sub> -N	溫度	飽和度	SiO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N
總魚數	0.907	0.185	0.183	0.368	0.610	—	0.340	0.795	0.115	0.517	0.425
3歲魚	0.959	0.774	0.218	0.416	0.384	—	0.639	0.905	0.666	0.150	0.791
2歲魚	0.894	0.146	0.117	0.617	0.782	—	0.434	0.592	0.042*	0.770	0.402
1歲魚	0.794	0.077	0.995	0.192	0.913	—	0.154	0.793	0.193	0.871	0.338

表3-35 93.5月的魚數量與9211/9301/9302/9303/9304/9305月水質數據平均值顯著性

93.5月的魚數量與9211/9301/9302/9303/9304/9305月水質數據平均值的顯著性											
參數 魚	pH	導電度	濁度	BOD	TP	NH <sub>3</sub> -N	溫度	飽和度	SiO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N
總魚數	0.466	0.383	0.997	0.920	0.766	—	0.786	0.607	0.185	0.062	0.882
3歲魚	0.388	0.518	0.563	0.725	0.990	—	0.994	0.571	0.462	0.150	0.831
2歲魚	0.598	0.324	0.264	0.647	0.292	—	0.458	0.717	0.131	0.108	0.770
1歲魚	0.172	0.645	0.509	0.686	0.205	—	0.326	0.698	0.456	0.219	0.694

表3-36 93.10月的魚數量與9306/9307/9308/9309/9310月水質數據平均值顯著性

93.10月的魚數量與9306/9307/9308/9309/9310月水質數據平均值顯著性											
參數 魚	pH	導電度	濁度	BOD	TP	NH <sub>3</sub> -N	溫度	飽和度	SiO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N
總魚數	0.193	0.761	0.156	0.353	0.438	—	0.529	0.895	0.996	0.954	0.761
3歲魚	0.250	0.772	0.138	0.476	0.481	—	0.723	0.944	0.557	0.907	0.675
2歲魚	0.112	0.830	0.146	0.405	0.639	—	0.644	0.831	0.852	0.800	0.758
1歲魚	0.416	0.707	0.268	0.320	0.231	—	0.384	0.971	0.613	0.820	0.841

表3-37 94.7月的魚數量與9402/9404/9406月水質數據平均值顯著性

94.7月的魚數量與9402/9404/9406月水質數據平均值顯著性											
參數 魚	pH	導電度	濁度	BOD	TP	NH <sub>3</sub> -N	溫度	飽和度	SiO <sub>2</sub>	TOC	NO <sub>3</sub> -N
總魚數	0.328	0.906	0.665	0.895	0.551	0.447	0.377	0.476	0.752	0.206	0.941
3歲魚	0.260	0.934	0.555	0.751	0.568	0.284	0.292	0.486	0.790	0.268	0.806
2歲魚	0.298	0.857	0.475	0.571	0.414	0.233	0.125	0.405	0.896	0.486	0.686
1歲魚	0.666	0.608	0.853	0.533	0.924	0.853	0.827	0.777	0.379	0.093	0.610

備註：94年改為7月計數鮭魚

表3-38 94.10月的魚數量與9408/9410月水質數據平均值顯著性

94.10月的魚數量與9408/9410月水質數據平均值顯著性											
參數 魚	pH	導電度	濁度	BOD	TP	NH <sub>3</sub> -N	溫度	飽和度	SiO <sub>2</sub>	TOC	NO <sub>3</sub> -N
總魚數	0.362	0.169	0.569	0.255	0.639	0.031	0.568	0.907	0.759	0.582	0.986
3歲魚	0.598	0.443	0.745	0.468	0.496	0.258	0.535	0.868	0.497	0.751	0.366
2歲魚	0.358	0.198	0.523	0.219	0.658	0.024*	0.598	0.957	0.861	0.493	0.942
1歲魚	0.281	0.072	0.534	0.224	0.791	0.003*	0.626	0.836	0.92	0.587	0.570

表3-39 92.5月的魚數量與9112/9201/9202/9203月水質數據平均值迴歸顯著性

92.5月的魚數量與9112/9201/9202/9203月水質數據平均值顯著性											
參數 魚	pH	導電度	濁度	BOD	TP	NH <sub>3</sub> -N	溫度	飽和度	SiO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N
總魚數	0.548	0.116	0.436	0.757	0.557	—	0.323	0.92	0.009*	0.129	0.269
3歲魚	0.528	0.93	0.49	0.999	0.86	—	0.269	0.202	0.272	0.014*	0.822
2歲魚	0.545	0.12	0.345	0.61	0.556	—	0.353	0.839	0.013*	0.267	0.235
1歲魚	0.853	0.082	0.326	0.867	0.433	—	0.018*	0.451	0.057	0.327	0.225

表3-40 93.5月的魚數量與9211/9301/9302/9303月水質數據平均值的複迴歸顯著性

93.5月的魚數量與9211/9301/9302/9303月水質數據平均值顯著性											
參數 魚	pH	導電度	濁度	BOD	TP	NH <sub>3</sub> -N	溫度	飽和度	SiO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N
總魚數	0.783	0.625	0.989	0.918	0.787	—	0.337	0.594	0.231	0.416	0.514
3歲魚	0.988	0.709	0.528	0.977	0.992	—	0.442	0.564	0.492	0.364	0.430
2歲魚	0.543	0.224	0.298	0.973	0.292	—	0.337	0.643	0.606	0.272	0.415
1歲魚	0.429	0.925	0.541	0.898	0.22	—	0.096	0.761	0.397	0.665	0.287

表3-41 94.07月的魚數量與9402/9404月水質數據平均值的複迴歸顯著性

94.07月的魚數量與9402/9404月水質數據平均值顯著性											
參數 魚	pH	導電度	濁度	BOD	TP	NH <sub>3</sub> -N	溫度	飽和度	SiO <sub>2</sub>	TOC	NO <sub>3</sub> -N
總魚數	0.29	0.709	0.639	0.844	0.976	0.435	0.272	0.180	0.892	0.181	0.788
3歲魚	0.215	0.76	0.531	0.769	0.978	0.280	0.169	0.269	0.97	0.265	0.897
2歲魚	0.161	0.785	0.447	0.681	0.785	0.239	0.063	0.436	0.742	0.497	0.995
1歲魚	0.856	0.686	0.864	0.821	0.657	0.900	0.883	0.079	0.414	0.046*	0.523

備註：94年改為7月計數鮭魚

表3-42 2003年各樣點藻指數GI值

樣點點	月份												平均值
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
桃山登山口	511	∞	∞	336	96	177	135	21	∞	33	82	37	159
七家灣四號壩	52	88	146	∞	∞	72	74	∞	∞	22	8	19	60
七家灣三號壩	40	46	4	141	74	129	147	94	183	73	44	16	83
湧泉池	27	5	15	13	108	9	44	5	10	2	13	9	22
七家灣二號壩	61	205	192	∞	∞	82	17	73	33	8	8	0	68
七家灣一號壩	5	37	18	∞	44	128	84	25	185	36	41	11	56
復育中心	10	217	9	∞	184	396	16	91	403	39	21	26	128
武陵污水廠	2041	974	14	155	39	16	∞	432	51	28	17	921	426
高山溪四號壩	125	∞	557	∞	797	∞	80	587	176	10	9	241	287
高山溪一號壩	∞	32	∞	∞	489	55	827	128	556	∞	13	93	274
億年橋	∞	∞	∞	∞	196	73	197	149	358	1148	27	21	271
思源啞口	27	445	23	2	7	2	∞	4	4	2	101	133	68
勝光	0	∞	82	22	18	8	10	29	3	84	8	7	25
武陵收費口	100	28	41	609	282	197	31	174	9	8	11	6	125

(資料來源 于與林，2003)

表3-43 94年藻屬指數

月份	七家灣溪	高山溪	有勝溪
2月	∞	157.5	71.1
10月	58.3	156.0	68.4

表3-44 主成分總變異表

成份	特徵值	變異百分比	累積變異%	特徵值	變異百分比	累積變異%
1	1.568	22.394	22.394	1.568	22.394	22.394
2	1.298	18.538	40.932	1.298	18.538	40.932
3	1.084	15.484	56.416	1.084	15.484	56.416
4	0.886	12.664	69.080	0.886	12.664	69.080
5	0.821	11.722	80.802	0.821	11.722	80.802
6	0.708	10.116	90.918	-	-	-
7	0.636	9.083	100	-	-	-

表3-45 因子組型矩陣表

相關係數	成份				
	1	2	3	4	5
pH		0.492			
導電度					0.943
溶氧		0.903			
濁度				0.985	
生化需氧量			0.919		
總磷	0.933				
氮氣	0.428				

表3-46 各參數因子之權重表

參數	原始權重	修正權重	參數	原始權重	修正權重
總磷	0.933	0.69	生化需氧量	0.919	1
氮氣	0.428	0.31	參數	原始權重	修正權重
Sum	1.361	1	濁度	0.985	1
參數	原始權重	修正權重	參數	原始權重	修正權重
pH	0.492	0.35	導電度	0.943	1
溶氧	0.903	0.65			
Sum	1.395	1			

表3-47 各參數經因子分析計算後的新權重

	因子分析後所得之權重	含溶氧之權重	去除溶氧之權重
總磷	0.69	0.14	0.16
氮氣	0.31	0.06	0.07
pH	0.35	0.07	0.08
溶氧	0.65	0.13	-
生化需氧量	1	0.2	0.23
濁度	1	0.2	0.23
導電度	1	0.2	0.23
Sum	5	1	1

表3-48 86至94年的WWQI水質指數

86年 水質指數		87年 水質指數		88年 水質指數		89年 水質指數	
桃山瀑布	92.02	桃山瀑布	96.47	桃山瀑布	98.16	桃山瀑布	95.75
桃山北溪	94.18	桃山北溪	95.26	桃山北溪	96.52	桃山北溪	93.99
武陵吊橋	95.35	武陵吊橋	96.13	武陵吊橋	96.68	武陵吊橋	96.21
國家公園警察局	81.59	國家公園警察局	89.14	湧泉池	93.15	湧泉池	94.08
滄浪亭	91.99	滄浪亭	93.74	滄浪亭	94.27	滄浪亭	94.96
高山溪	93.50	高山溪	96.26	高山溪	94.29	高山溪四號壩	97.15
思源啞口	95.37	思源啞口	96.20	思源啞口	97.27	高山溪	94.45
有勝溪收費站	83.57	有勝溪收費站	87.83	有勝溪收費站	89.29	思源啞口	96.62
司界蘭溪上游	94.43	司界蘭溪上游	95.28	司界蘭溪上游	97.09	有勝溪收費站	90.23
司界蘭溪下游	93.78	司界蘭溪下游	92.60	司界蘭溪下游	96.29	司界蘭溪上游	96.03
環山攔砂壩	93.15	環山攔砂壩	92.09	環山攔砂壩	95.16	環山攔砂壩	94.68
91年 水質指數		92年 水質指數		93年 水質指數		94年 水質指數	
桃豐山口	92.31	桃山登山口	91.09	桃山登山口	95.38	桃山北溪	91.16
七家灣溪四號壩	94.06	七家灣溪四號壩	91.31	七家灣溪四號壩	96.13	桃山西溪	92.33
七家灣溪三號壩	93.14	七家灣溪三號壩	92.53	七家灣溪三號壩	96.81	七家灣溪二號壩	92.32
湧泉池	94.82	湧泉池	92.62	湧泉池	93.51	七家灣溪一號壩	89.06
七家灣溪二號壩	92.61	七家灣溪二號壩	92.36	七家灣溪二號壩	92.04	繁殖場	92.86
七家灣溪一號壩	92.39	七家灣溪一號壩	93.50	七家灣溪一號壩	91.66	萬壽橋	91.20
復育中心	93.12	復育中心	92.35	復育中心	92.46	迎賓橋	90.40
汗水廠	93.09	武陵污水廠	91.29	武陵污水廠	93.88	高山溪	91.53
高山溪四號壩	94.05	高山溪四號壩	91.73	高山溪四號壩	94.34	有勝溪	87.47
高山溪一號壩	93.90	高山溪一號壩	91.93	高山溪一號壩	92.12	司界蘭溪上游	94.58
億年橋	93.20	億年橋	92.12	億年橋	94.14	司界蘭溪下游	93.02
思源啞口	93.92	思源啞口	93.11	思源啞口	94.97	-	-
勝光	90.31	勝光	87.30	勝光	94.27	-	-
收費口	90.76	武陵收費口	89.32	武陵收費口	92.17	-	-

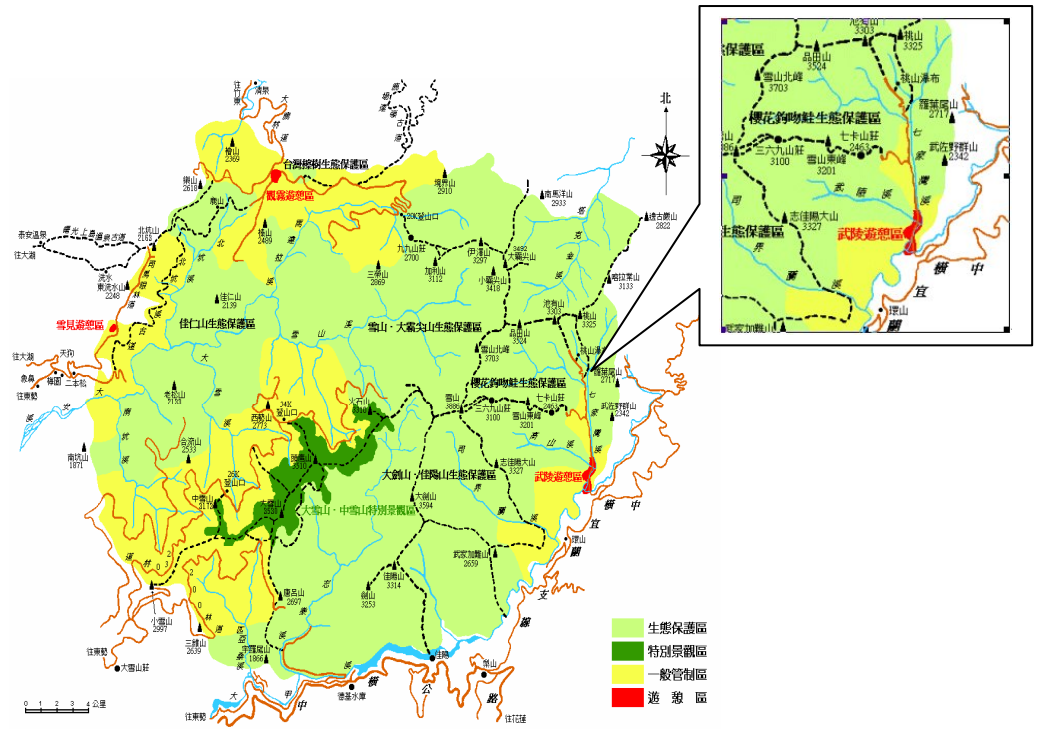


圖3-1 雪霸國家公園

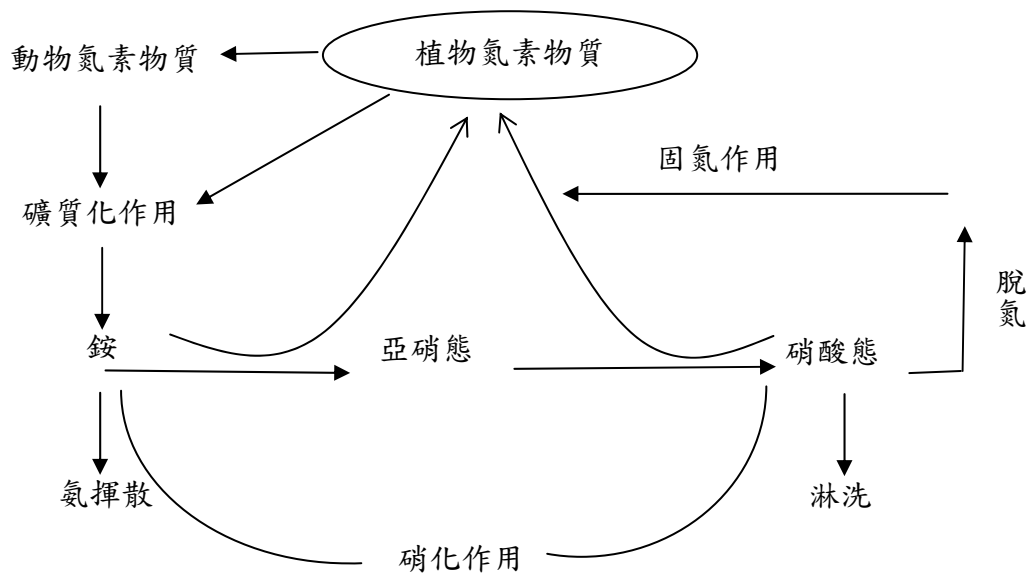


圖 3-2 氮素循環過程



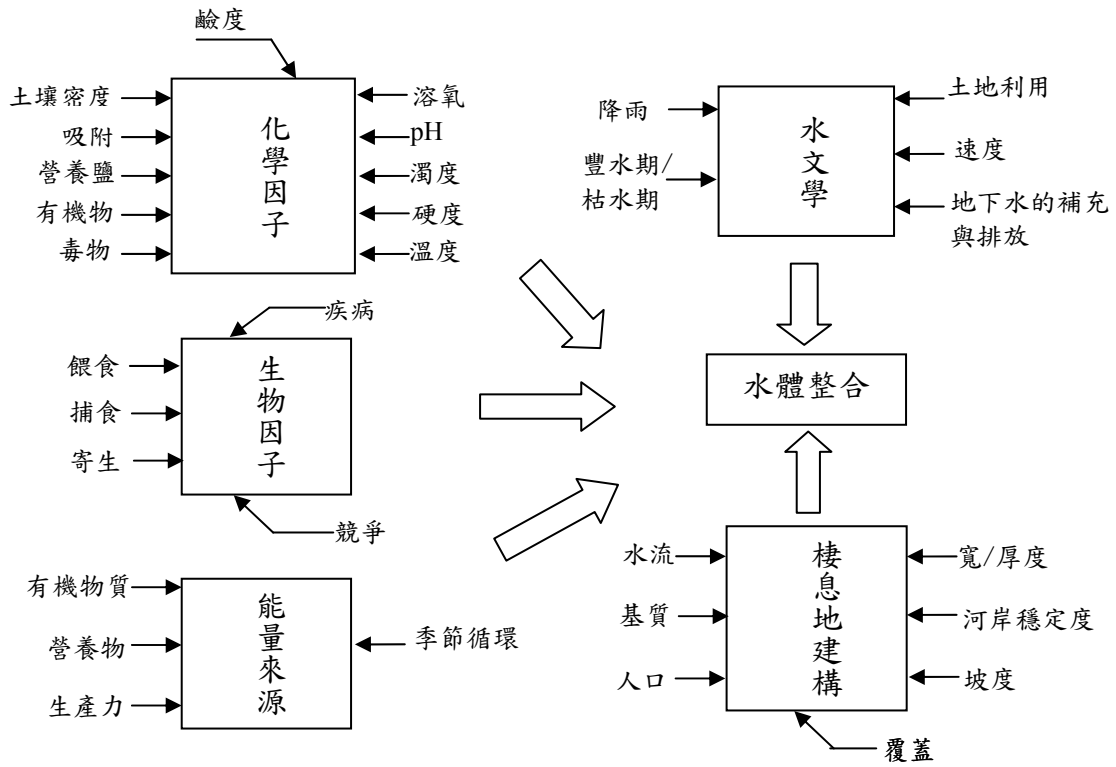


圖3-3 水體整合要素

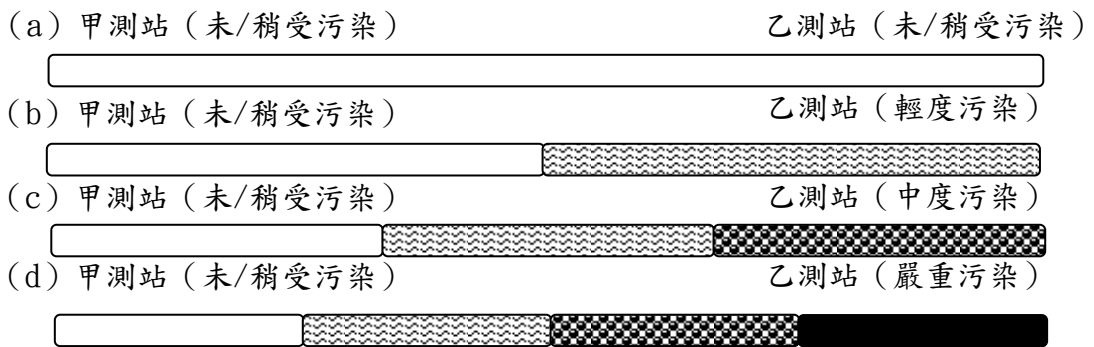


圖 3.4 污染長度計算圖例

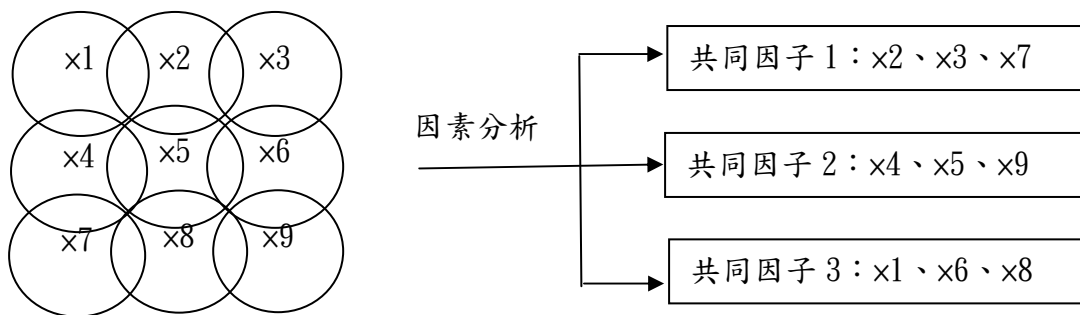


圖3-5 因素分析組成

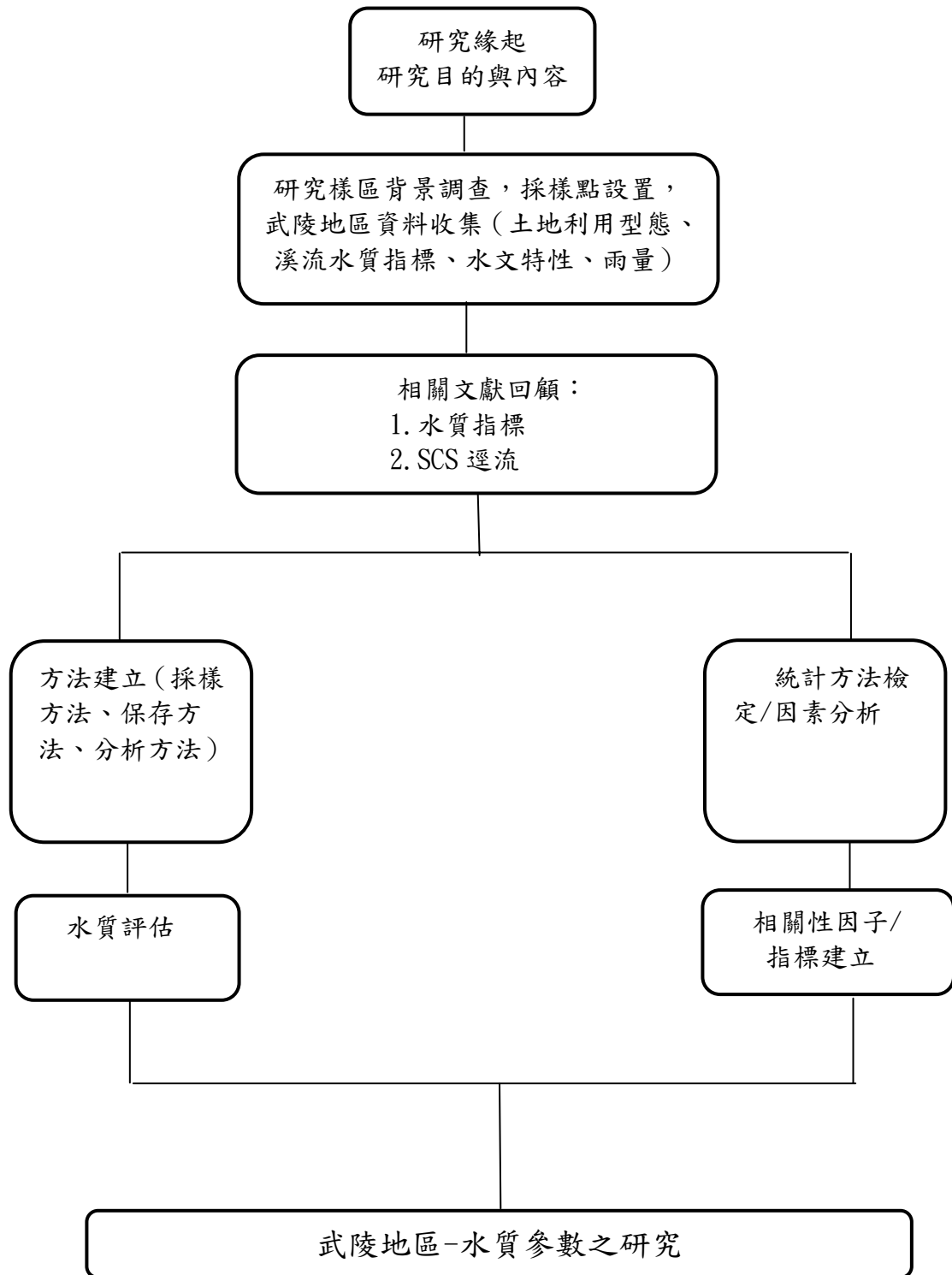


圖3-6 流程圖

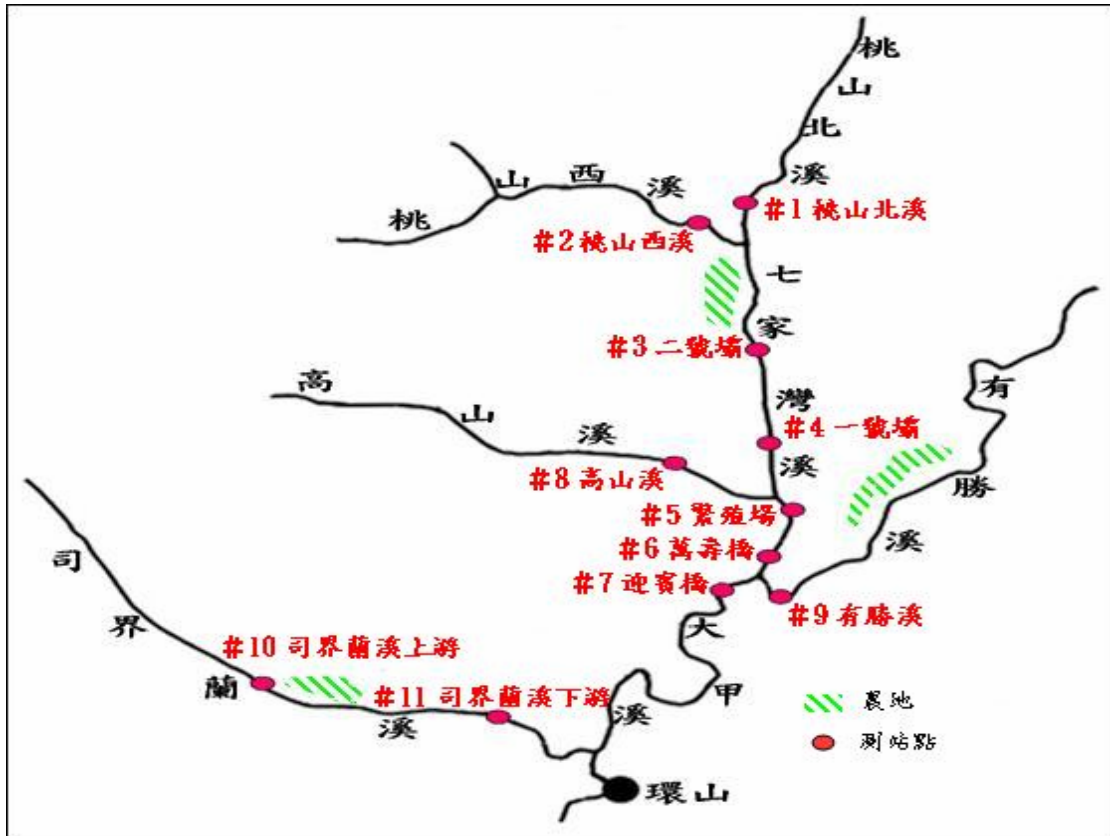


圖 3-7 採樣地點位置圖

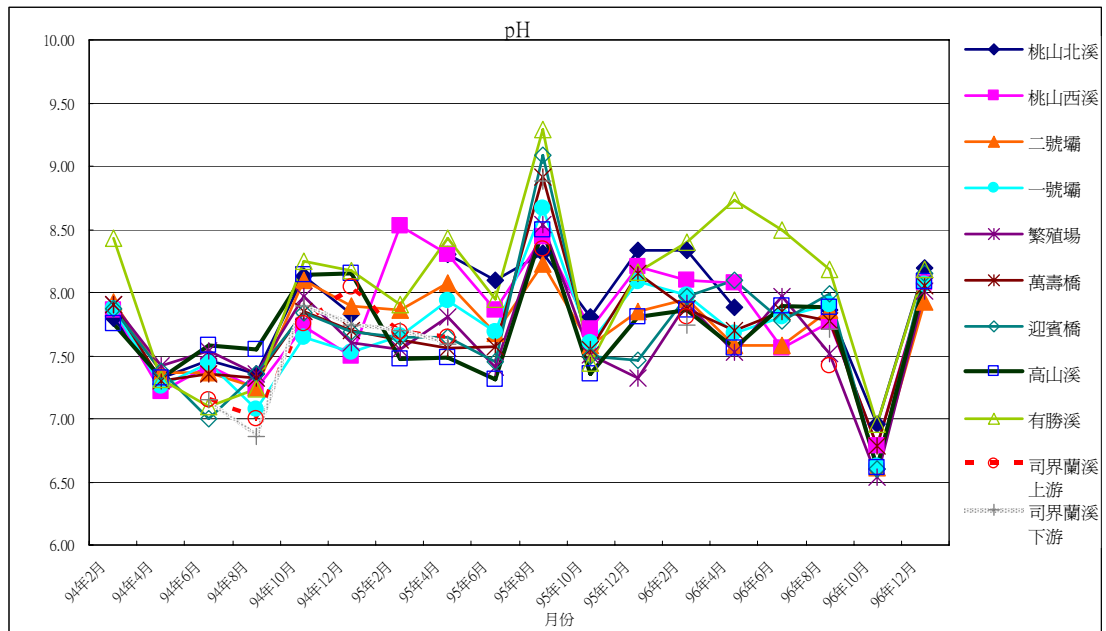


圖3-8 武陵地區溪流pH值變化

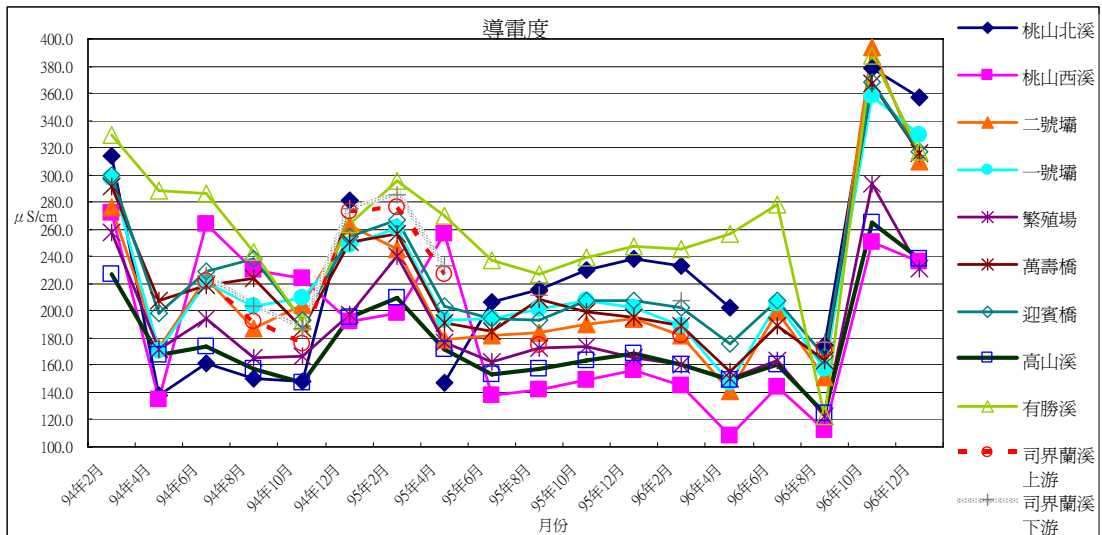


圖3-9 武陵地區溪流導電度值變化

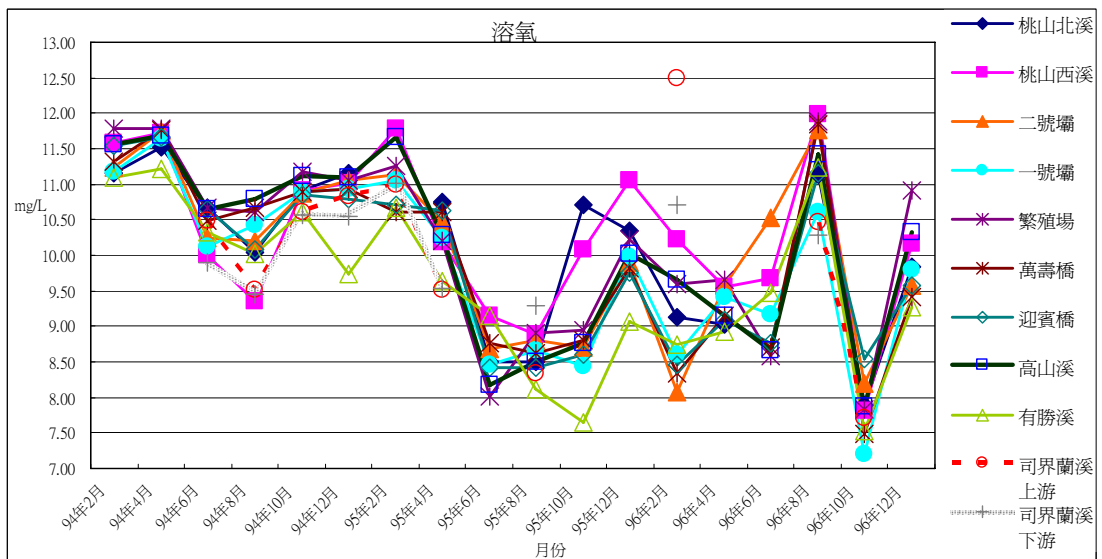


圖3-10 武陵地區溪流溶氧值變化

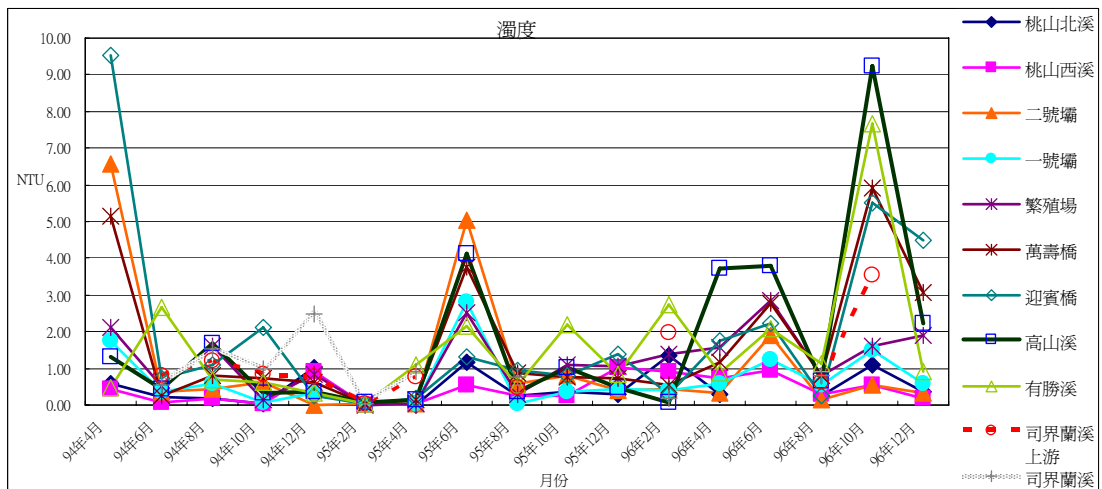


圖3-11 武陵地區溪流濁度值變化

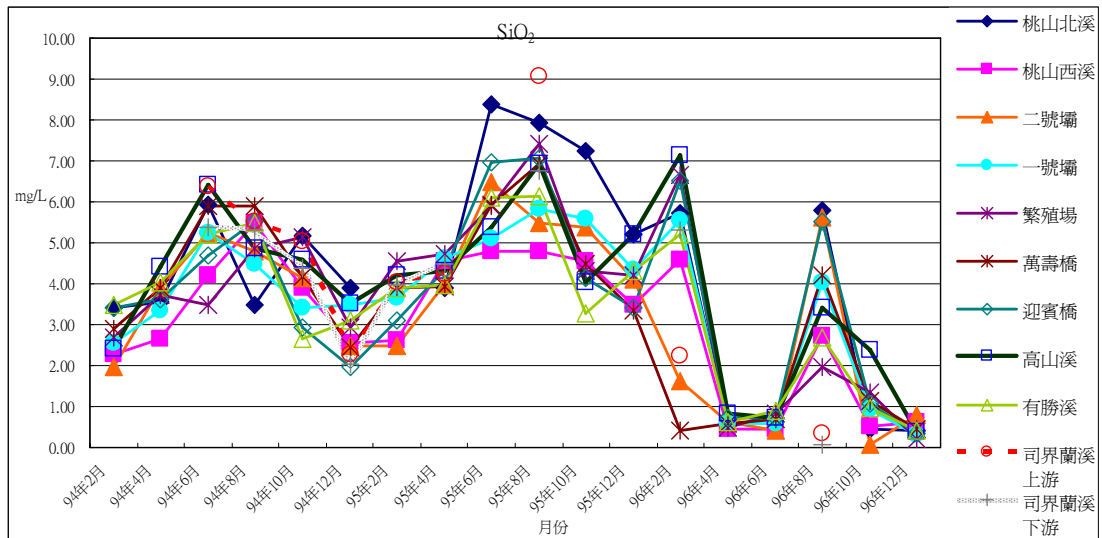


圖3-12 武陵地區溪流SiO<sub>2</sub>值變化

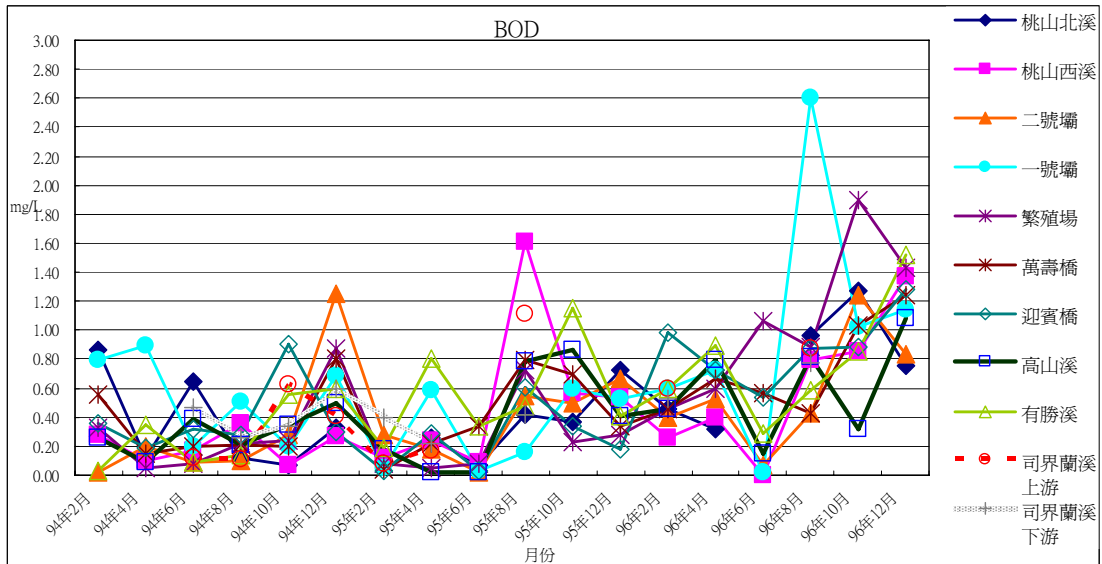


圖3-13 武陵地區溪流BOD值變化

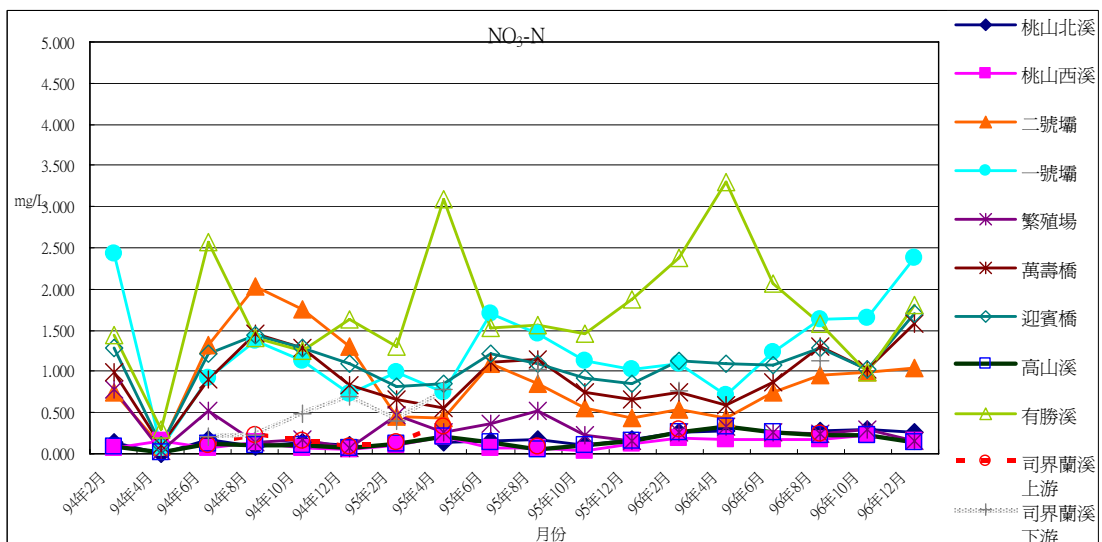


圖3-14 武陵地區溪流NO<sub>3</sub>-N值變化

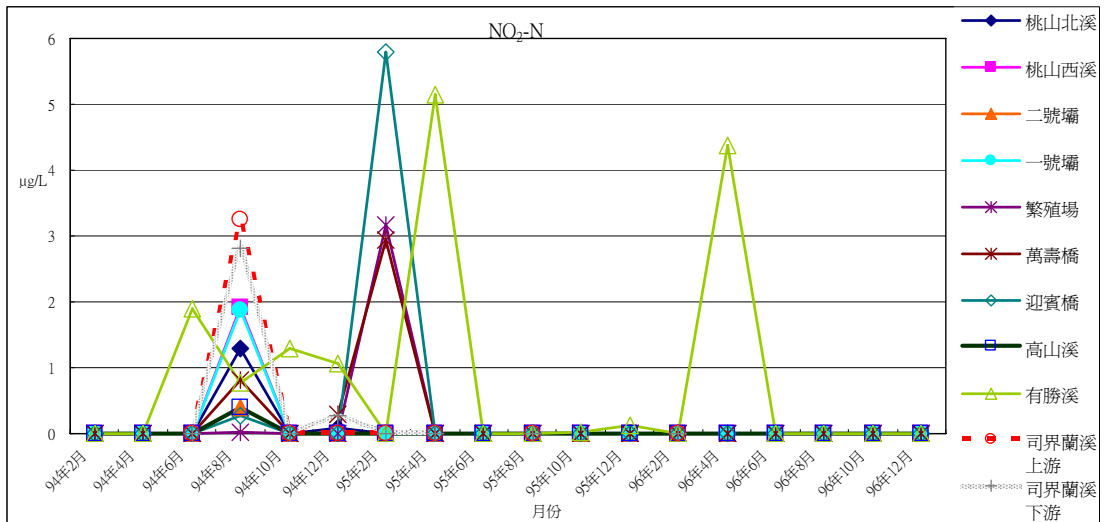


圖3-15 武陵地區溪流NO<sub>2</sub>-N值變化

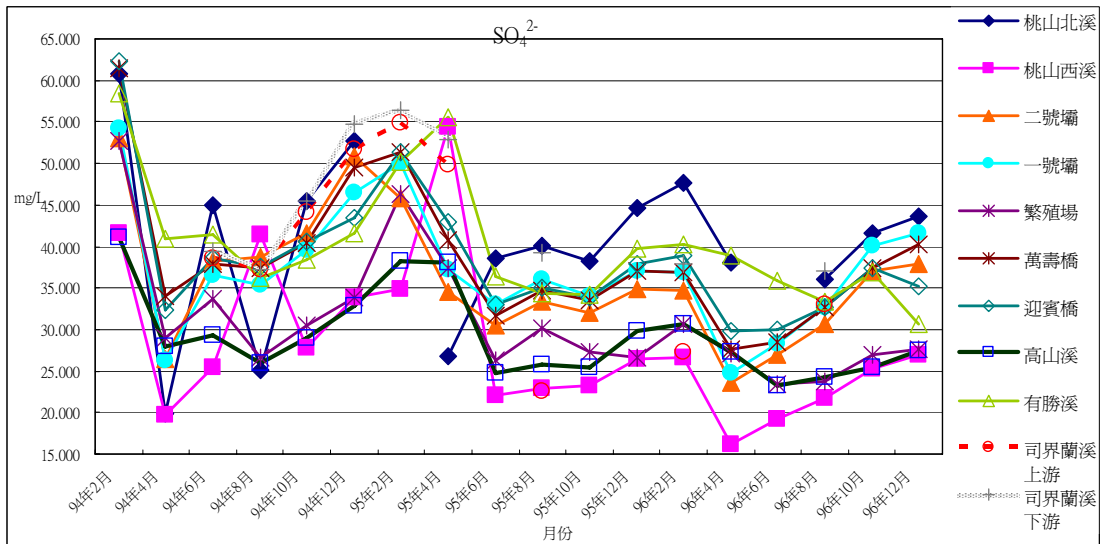


圖3-16 武陵地區溪流SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>值變化

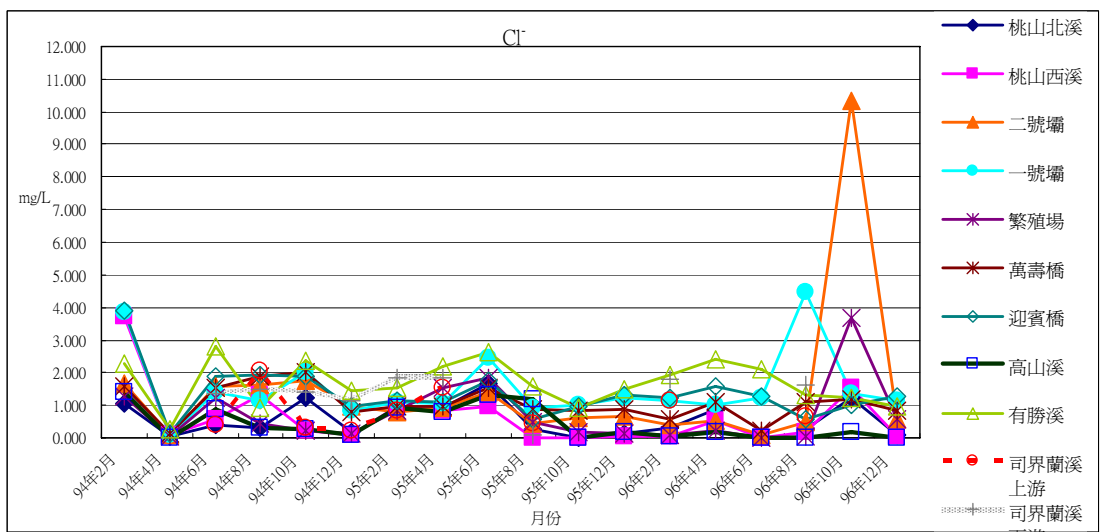


圖3-17 武陵地區溪流Cl<sup>-</sup>值變化

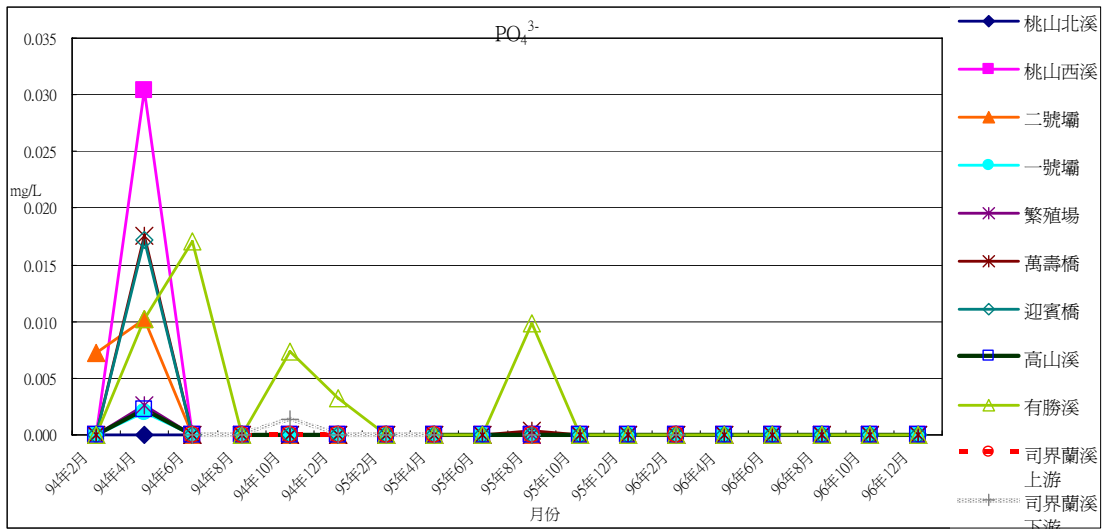


圖3-18 武陵地區溪流PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>值變化

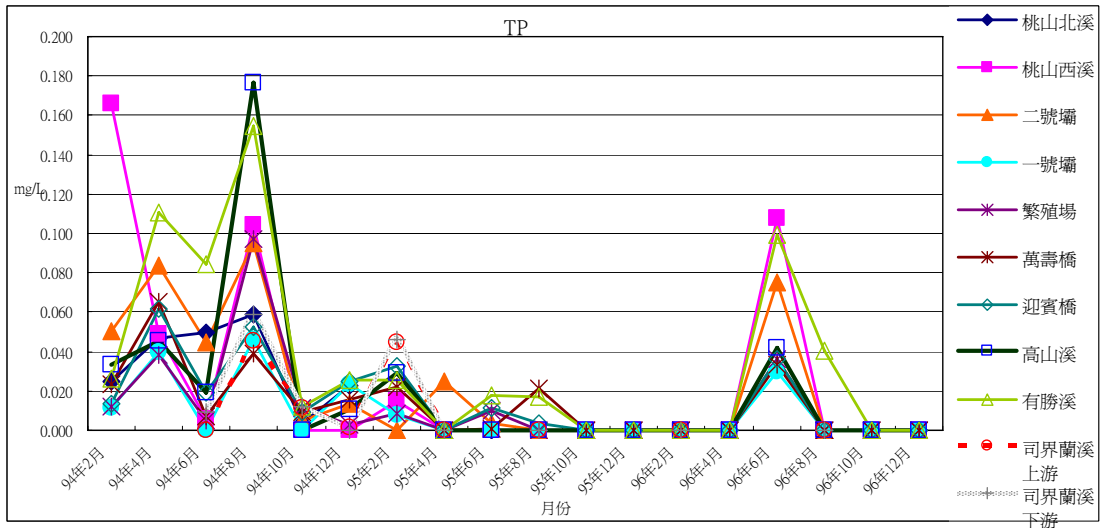


圖3-19 武陵地區溪流TP值變化

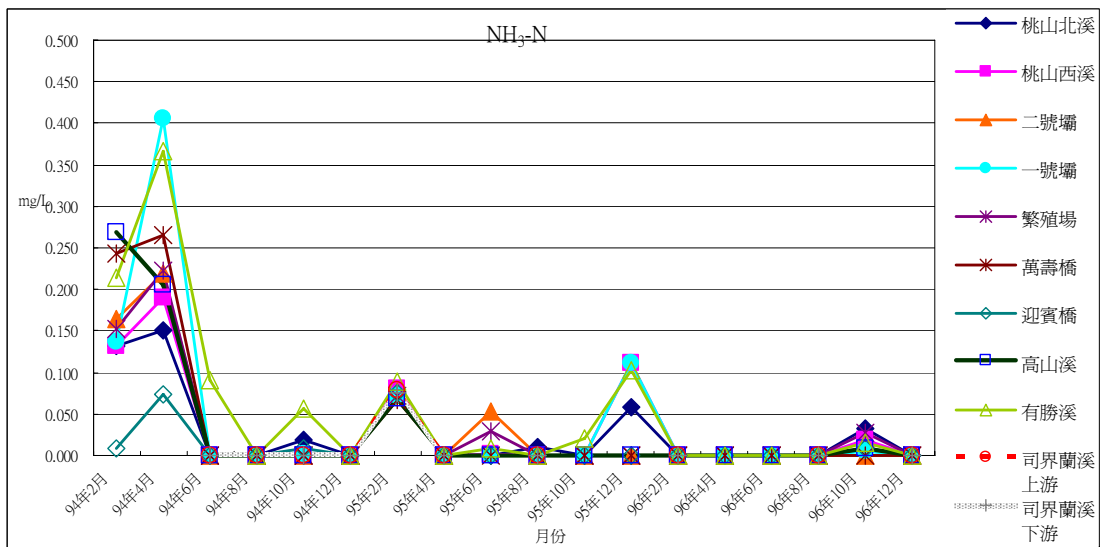


圖3-20 武陵地區溪流NH<sub>3</sub>-N值變化

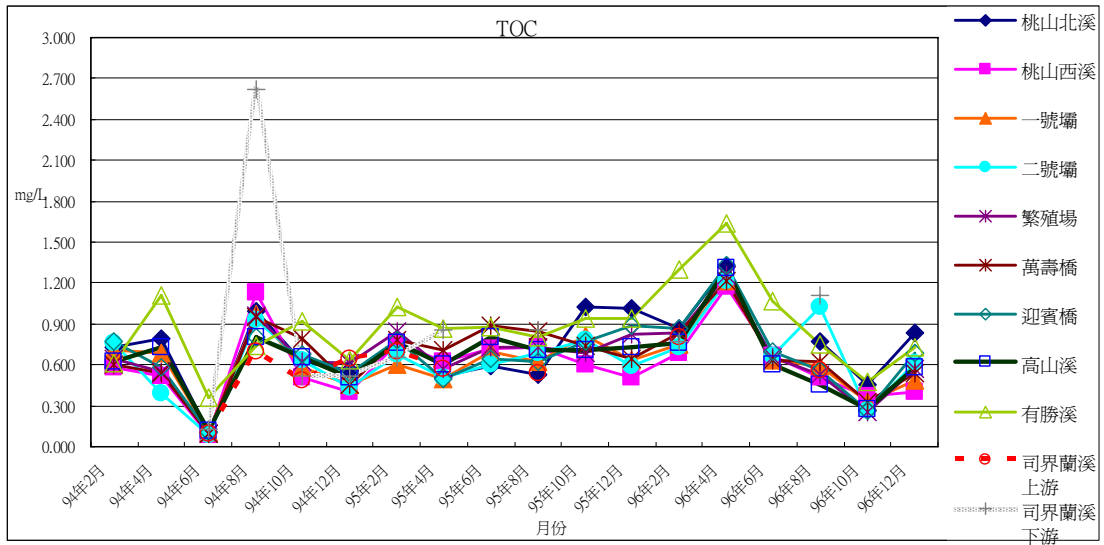


圖3-21 武陵地區溪流TOC值變化

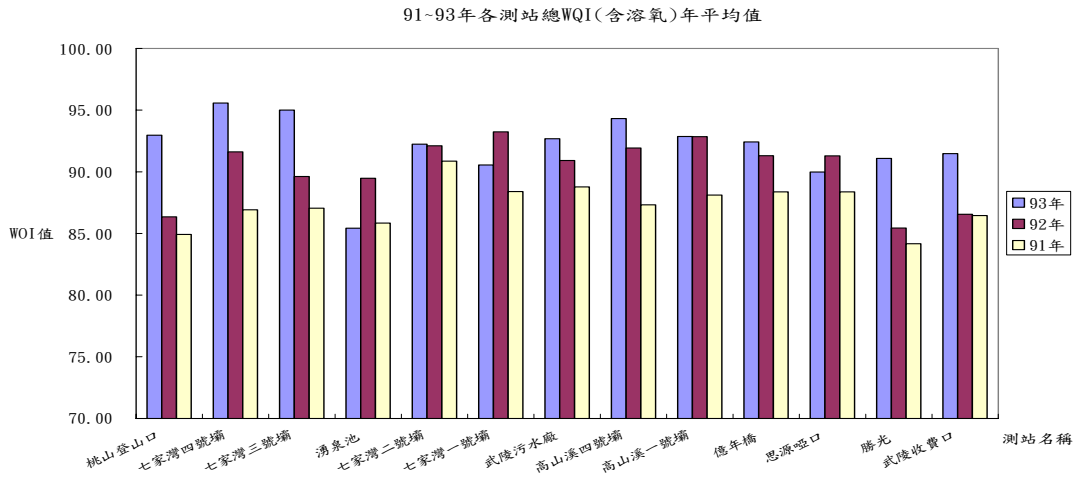


圖3-22 91-93年各測站WQI (含溶氧) 年平均值

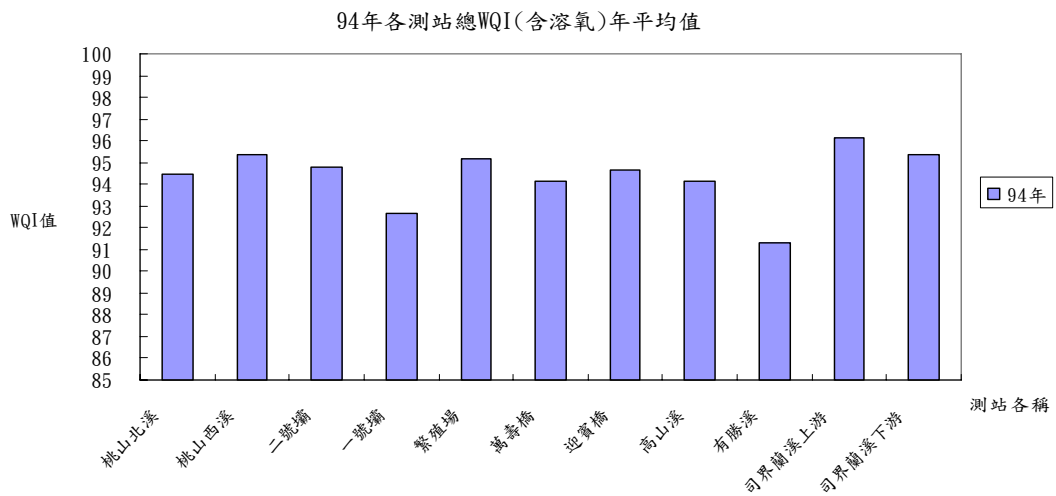


圖3-23 94年各測站WQI (含溶氧) 年平均值



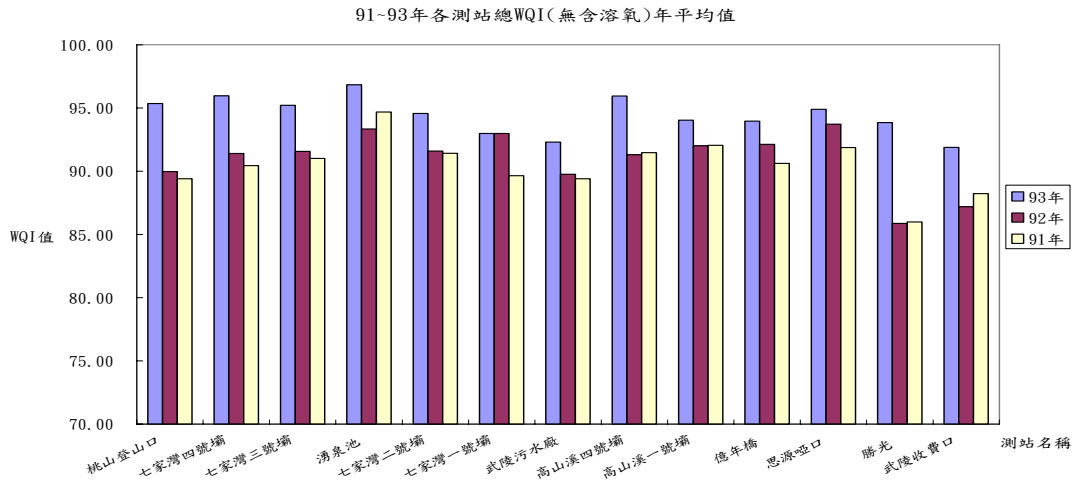


圖3-24 91-93年各測站WQI (無含溶氧) 年平均值

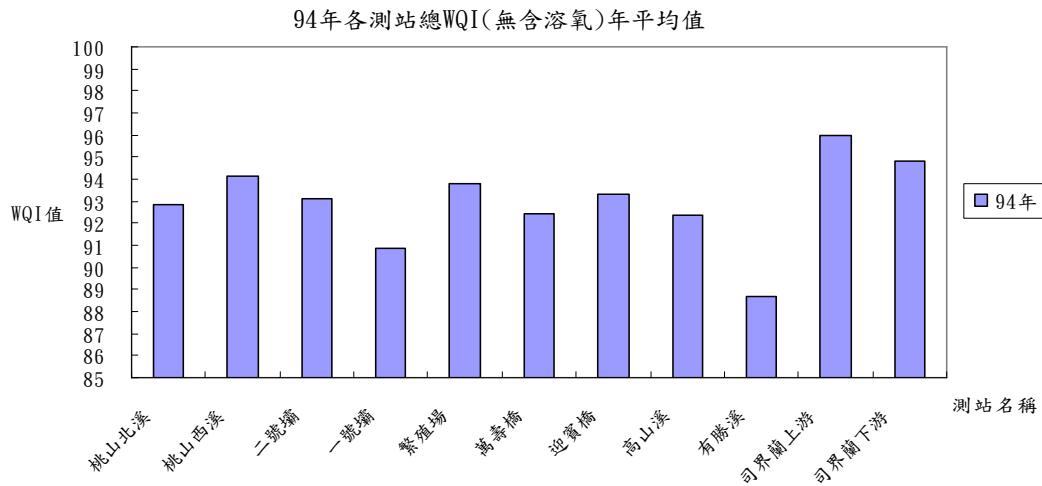


圖3-25 94年各測站WQI (無含溶氧) 年平均值

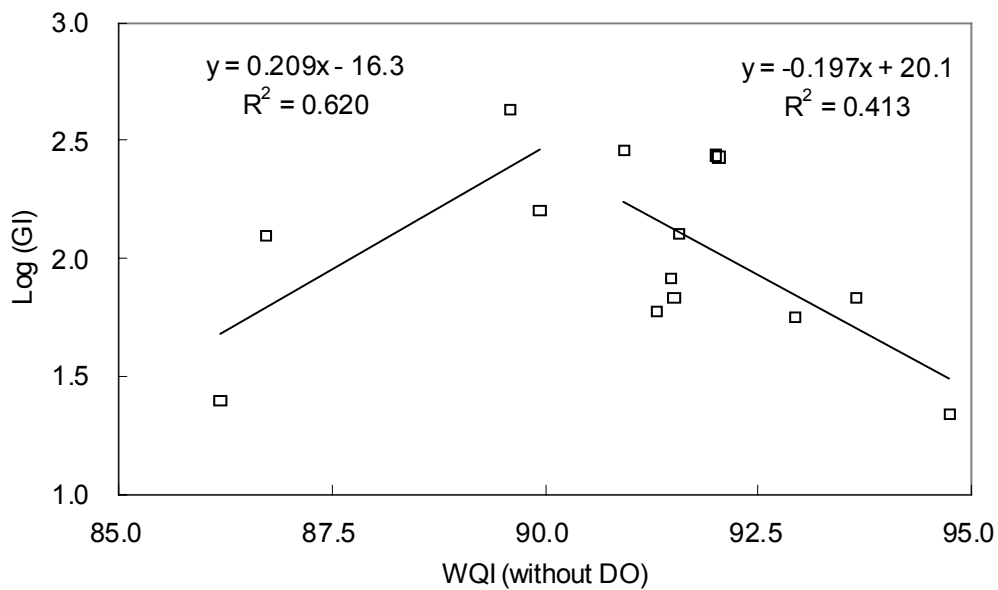


圖3-26 92年度各測站之藻類指數取對數後與WQI水質指數迴歸分析

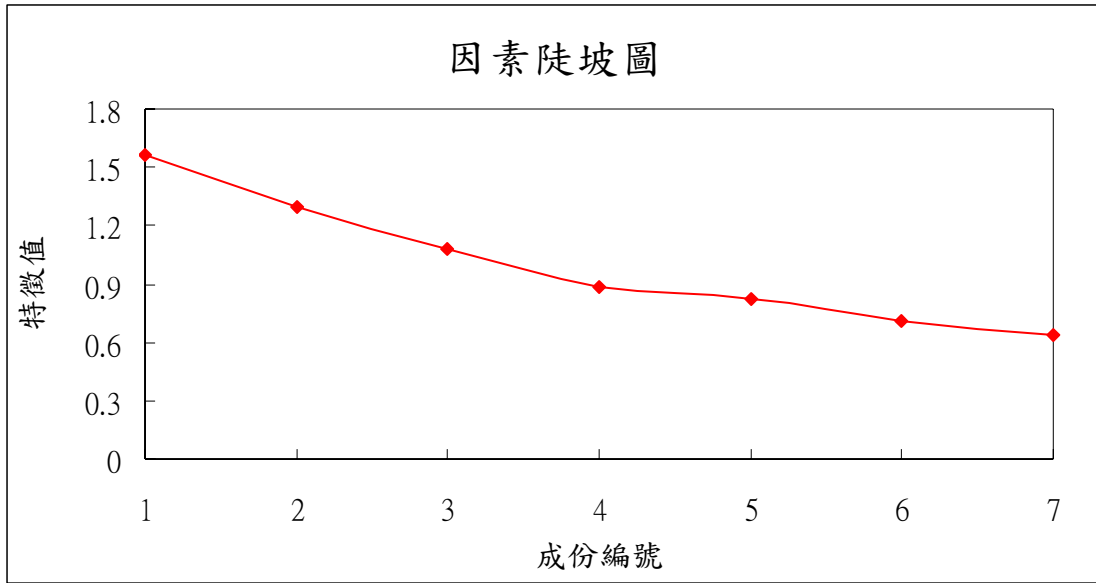


圖3-27 因素陡坡圖

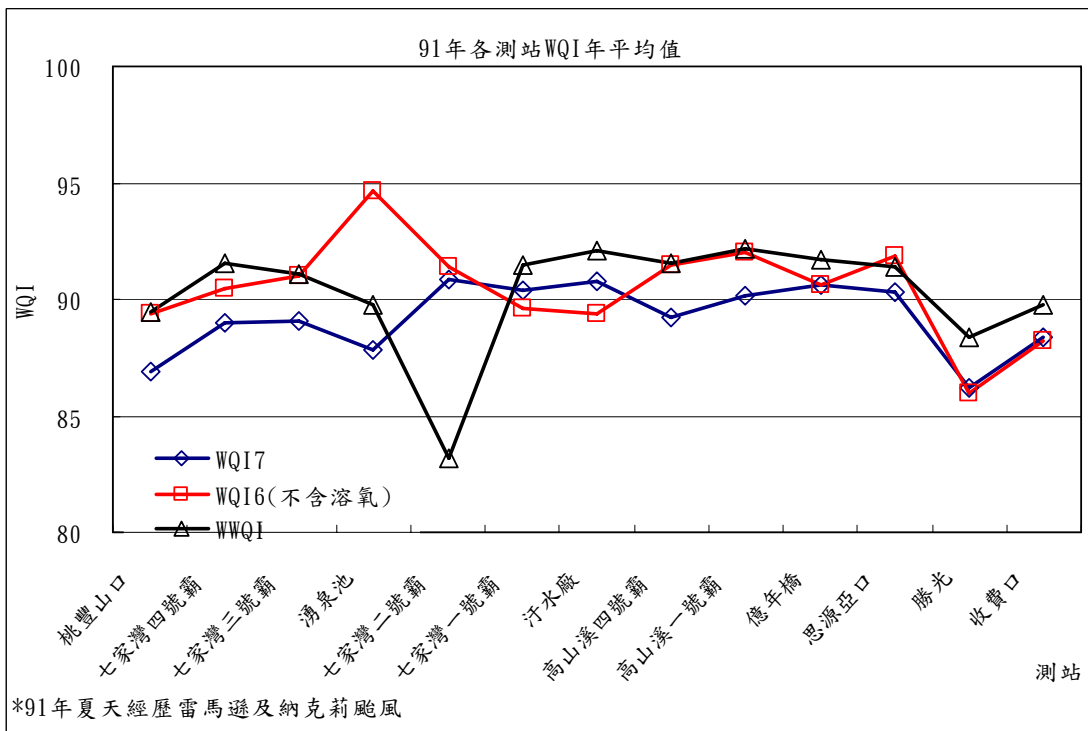


圖3-28 91年各測站WQI年平均

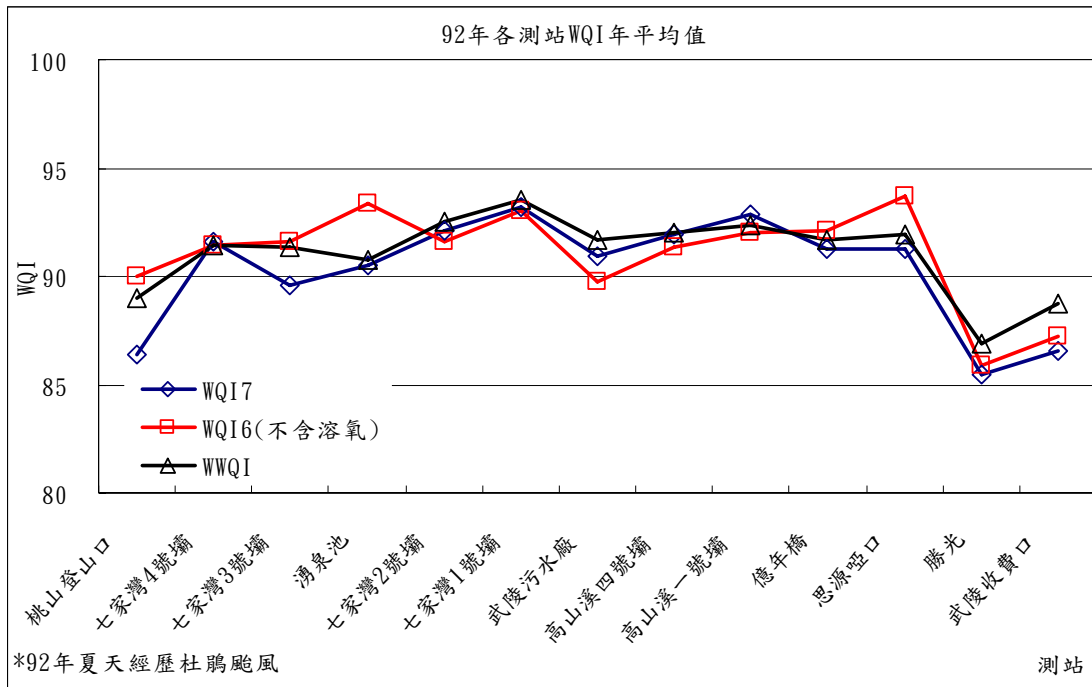


圖3-29 92年各測站WQI年平均

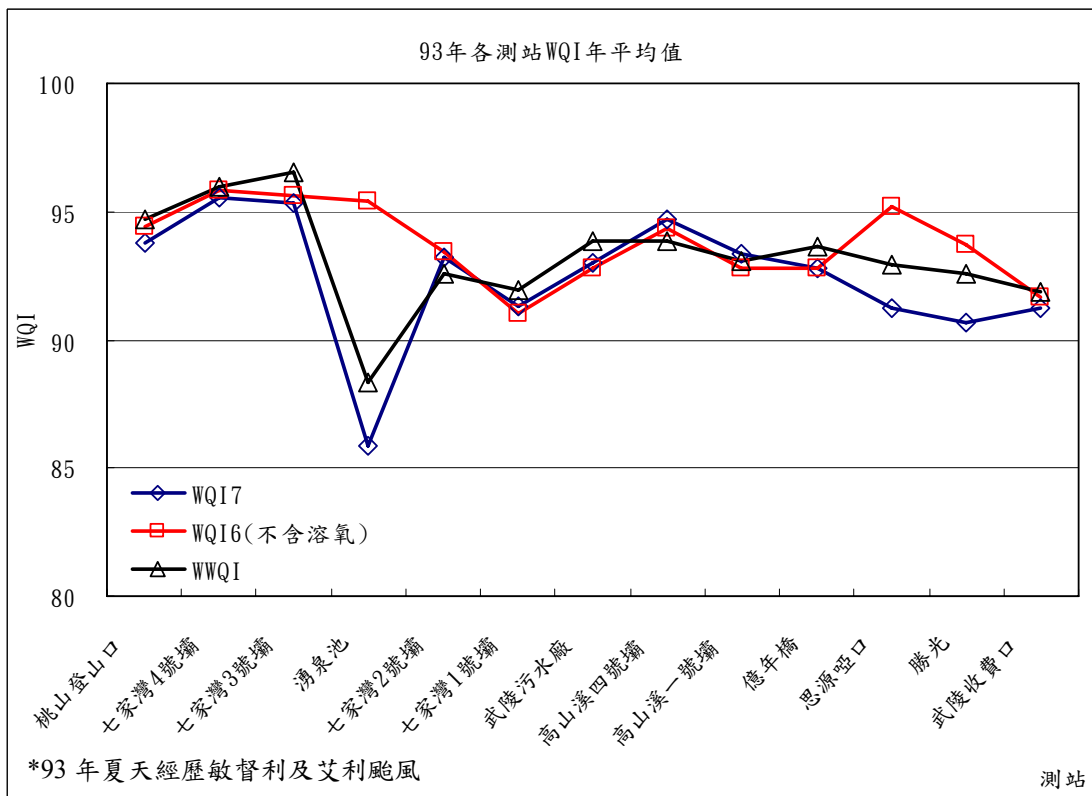


圖3-30 92年各測站WQI年平均



# 第四章 硝酸鹽來源研究

彭宗仁、范家華、林春杏、陳良偉、董奇轟

國立中興大學土壤環境科學系

## 摘要

### 一、研究緣起

武陵地區位於雪霸國家公園內，區內的臺灣櫻花鉤吻鮭是台灣特有的冷水性魚類，由於人為直接、間接與自然因素之影響，導致臺灣櫻花鉤吻鮭棲地有惡化現象，造成族群量銳減，而今卻只有七家灣溪才可見其蹤跡，並有滅絕危機。過去眾多水質之相關研究均隱指保護區內農業墾植施用的肥料，可能是造成武陵地區溪水水質惡化的主因；且由營養鹽與藻類間相互關係的研究指出，溶解態無機氮是導致溪流附生藻類大量繁生的主要原因，尤以硝酸鹽最為嚴重。

### 二、研究方法及過程

本研究分析武陵地區河水中  $\text{NO}_3^-$  的氮、氧同位素組成及其濃度，以鑑別該地區溪水中硝酸鹽的來源及其與農業活動之關係。

### 三、重要發現

分析結果顯示研究區內桃山西溪、高山溪與司界蘭溪水體  $\text{NO}_3^-$  之濃度最低，有勝溪水體偏高，而最高濃度出現在七家灣溪主河道旁之山溝水體。由  $\text{NO}_3^-$  之氮、氧同位素分析顯示，桃山西溪、高山溪與司界蘭溪河水中  $\text{NO}_3^-$  之來源主要與雨水有關；而有勝溪河水中  $\text{NO}_3^-$  之肥料來源訊號明顯大於其它各溪。七家灣溪流域水體中  $\text{NO}_3^-$  之來源主要來自土壤及雨水二氮源經硝化作用所產生，且其  $\text{NO}_3^-$  之濃度尚屬低值範圍。然而，在夏季水體中仍可發現化學肥料來源的訊號，且此時期溪水有較高之  $\text{NO}_3^-$  濃度。也就是說，現階段之農業活動仍影響到七家灣溪流域水質。

### 四、主要建議事項

七家灣溪中  $\text{NO}_3^-$  主要是經由山溝逕流進入，至於是否影響到臺灣櫻花鉤吻

鮭之棲息環境，有賴其他研究資料共同研判。因此，農業活動對溪水之影響仍應持續監測或防治，特別是針對山溝來源的水體。

**【關鍵字】** 硝酸鹽來源、農業活動、氮氧同位素、河水、武陵地區

## Abstract

This study analyzed the nitrogen and oxygen isotope compositions and concentration of river nitrate to identify the nitrate sources and their relationship with farming in Wu-Lin area, central Taiwan. Current results show that rivers of Taoshan western Xi, Kaoshanxi, and Sizeilangxi carried the lower  $\text{NO}_3^-$  concentrations in this area; Yoshengxi river water exhibits a higher one. However, water from gully along the Chichiawanxi exhibits the highest  $\text{NO}_3^-$  concentration. Evidence of nitrogen and oxygen compositions of water  $\text{NO}_3^-$  indicates that potential nitrate source for waters in Taoshan western Xi, Kaoshanxi, and Sizeilangxi mainly relate with rainwater. The nitrate sources for Yoshengxi river water are complex and relate to all potential nitrogen sources; source signal from fertilizer is more conspicuous than other waters in this region. The nitrate in Chichiawanxi river water mainly sources from soil nitrogen; however, chemical fertilizer signal is traced in rainy period. As for the high  $\text{NO}_3^-$  concentration of gully water, the preliminary isotope evidence indicates that  $\text{NO}_3^-$  in gully water is related to manure source. In short, current farming still affects the water quality of Chichiawanxi river basin.

**【Keywords】**Nitrate source, farming, nitrogen and oxygen isotopes, river water, Wu-Lin area

## 一、前言

### (一) 研究緣起

武陵地區位於雪霸國家公園內 (圖 4-1)，區內的臺灣櫻花鉤吻鮭是台灣特有的冷水性魚類。臺灣櫻花鉤吻鮭原先廣泛分布於大甲溪上游之合歡溪、南湖溪、司界蘭溪、七家灣溪及有勝溪等支流，其中以司界蘭溪、七家灣溪最多。臺灣櫻花鉤吻鮭對生存所需之環境要求嚴格，由於人為直接、間接與自然因素之影響，導致臺灣櫻花鉤吻鮭棲地有惡化現象，造成族群量銳減，而今卻只有七家灣溪才可見其蹤跡，並有滅絕危機。因此，在 1984 年時，政府即明定臺灣櫻花鉤吻鮭為瀕臨絕種的魚類，並於 1997 年 10 月 1 日公告大甲溪上游七家灣溪集水區為野生動物保護區。過去眾多水質之相關研究均隱指保護區內農業墾植施用的肥料，可能是造成武陵地區溪水水質惡化的主因 (楊等，1986；陳，1998；王等，2000；陳，2000；于和林，2003；于，2004；官，2005)；且由營養鹽與藻類間相互關係的研究指出 (林，2003；簡和林，2004)，溶解態無機氮是導致溪流附生藻類大量繁生的主要原因，尤以硝酸鹽最為嚴重。

然而，上述武陵地區溪水水質惡化的主因是由農業墾植施用肥料造成的推論均由地域的相關性比對而得，並無直接之證據指明水質惡化之肇因，尚難令人完全信服。同時，雪霸國家公園管理處在臺灣櫻花鉤吻鮭保護區內溪流旁 50 公尺內勸導停止農業活動，50 公尺以外地區土地則逐年收回造林，藉以降低農業活動之影響；自 1995 至 2005 年已收回耕地 35 公頃，目前武陵地區果、菜園仍在持續進行收回耕地的工作。因此，本研究以水體中硝酸鹽的氮、氧同位素組成研究，探討武陵地區溪水中硝酸鹽的來源及轉化作用，進而了解本研究區現階段溪水中硝酸鹽與農業活動之關係。

### (二) 研究背景

#### 1. 氣象與旅遊人數

武陵地區在氣候分布上屬於台灣副寒帶山地氣候區，以中央氣象局



2000~2006 年資料，年平均氣溫為 13.9°C，年累積雨量在 880~2,090 mm 之間，平均約 1,593 mm。夏季 6~8 月有較大之降雨量，約佔全年的 38%；冬季 (12 月至翌年 2 月) 雨量較少，為年雨量的 16% (圖 4-2)。

基本上，武陵地區之旅遊人數與假期有關。根據交通部觀光局 1999-2006 年之統計資料 (<http://202.39.225.136/indexc.asp>)，最多旅遊人數之月份主要在 7~8 月之暑假 (每月約 21,000 人次)，以及 2 月之寒假 (每月約 17,000 人次)。其餘各月分每月約在 8,000~13,000 人次左右。

## 2. 水質背景

從歷年來的水質資料與周遭土地利用情形，推測營養鹽輸入對武陵地區生態系的水質環境影響很大 (林，2002)。依據于和林 (2003) 整理過去之水質資料指出，水質、河岸環境、水棲昆蟲等均適合魚類生存，但水中溶解性磷酸鹽及硝酸鹽含量偏高。雪霸國家公園在 1995 年至 2000 年間針對武陵地區各溪流 (含司界蘭溪) 持續之水質監測顯示各溪之含氮量仍偏高，尤以有勝溪含量最高 (王等，2000；陳，2000)。2001 至 2003 年雪霸國家公園管理處持續對武陵地區各溪流進行水質監測，並針對武陵地區不同土地利用類型探討其營養鹽輸入，發現硝酸鹽氮及亞硝酸鹽氮輸入溪流量偏高，以梨樹區輸入最多，在原生草生地是最低，顯示人為農作對本區水質有影響 (于和林，2003；于，2004)。整體而言，武陵地區高山溪的水質明顯是最好，七家灣溪、司界蘭溪則次之，有勝溪最差 (于，2004；官，2005)。

## 3. 藻類與營養鹽

硝酸鹽是溪流中最具關鍵的營養鹽之一，其關係著溪流初級生產量以及水質優養化甚鉅，而硝酸鹽主要是由降雨及來自土地表面的氮流入而生成。若溪水中含氮量過高，將會導致藍綠藻類過度增生，藍綠藻生長代謝物增加，會使得細菌迅速增生，進而水中呼吸率增加，造成溶氧困難。在水中氧氣減少之狀況下，水生動物會死亡，水生動物死亡除了會降低生物歧異度之外，其屍體會沉入水底並放出磷酸鹽，磷酸鹽增加不但會增加優養化之程度，更會使水中矽含量降低，使

得矽藻及其它藻類無法生長而死亡，因而降低水中藻類之歧異度 (張，1987)。

由營養鹽與藻類之關係研究推測 (林，2003；簡和林，2004)，武陵地區溪水中七家灣溪下游與有勝溪應有較大量外來  $\text{NO}_3^-$  的輸入，應是與七家灣溪下游及有勝溪沿岸所進行之農業活動施用肥料，造成  $\text{NO}_3^-$  的大量輸入有關，亦是導致溪流附生藻類大量繁生的主要原因。

#### 4. 營養鹽與土地利用

本研究區境內之武陵農場為本省高冷夏季蔬菜及溫帶高經濟果樹主要產地，由相關資料顯示 (李，1996)，武陵地區果園面積佔地約 51.35 ha、蔬菜園區佔地約 47.06 ha。由相關文獻指出 (中華水土保持學會，2003)，德基水庫集水區源頭之農地，主要栽培高冷地蔬菜，集水區之土層淺而肥力差，因此菜農種植蔬菜常施用大量肥料，造成肥分供過於求。

武陵地區之蔬、果之種植除冬季 (12-2 月) 因怕受霜、雪害外，其餘時期均有栽種施肥行為，至於該地區之施肥量數據難以獲得。但由德基水庫集水區包括梨山地區農地之施肥資料指出 (賴，1999；2003；賴等，2004)，栽培甘藍每期作施用  $\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}$  為 250:80:150 kg/ha；而當地農友施用肥料以複合肥料為主，換算成三要素用量約為 1,250:180:1,100 kg/ha，為推薦用量之約 10 倍。由此可知甘藍期作已施肥過多，導致甘藍作物無法吸收利用外而造成能源的浪費，同時也會因該區下雨農地地表逕流入河川水體而影響環境生態。在果樹種植方面，該區主要種植水蜜桃，該區化學肥料的平均使用量為 252:167:217 kg/ha，均超出推薦用量 72:27:63 kg/ha，顯示果樹栽種亦使用過多的化學肥料，而影響該區水體環境品質甚鉅 (官，2005)。

#### 5. 溪水中硝酸鹽來源的鑑別

為了辨別水體中的硝酸鹽 ( $\text{NO}_3^-$ ) 與農業活動施用肥料的關係，可以從  $\text{NO}_3^-$  的穩定氮、氧同位素組成的研究來推斷。因不同來源的  $\text{NO}_3^-$  會表現出不同的氮和氧同位素特徵值 ( $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ )，因此，分析水體中硝酸鹽的穩定氮、氧同位素組成，已廣泛成為提供有關地表水和地下水中硝酸鹽可能的來源和轉變的有利

技術 (Cey et al., 1999; Silva et al., 2000; Wassenaar, 1995; 彭和范, 2005)。

利用分析水體中  $\text{NO}_3^-$  之穩定氮、氧同位素組成來探討水體中之氮來源的基本原理，是利用不同來源的硝酸鹽會表現出不同的氮、氧同位素特徵值 ( $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ ) (Wassenaar, 1995; Cey et al., 1999; Kendall, 1998)。例如大氣沉降的氮之  $\delta^{15}\text{N}$  值約為-4~5‰；商業化學肥料氮的  $\delta^{15}\text{N}$  值範圍為-5~5‰，土壤有機氮的  $\delta^{15}\text{N}$  值範圍為 3~8‰，人類和動物排泄物的  $\delta^{15}\text{N}$  值範圍為 10~25‰ (Kreitler, 1979; Kreitler and Jones, 1975; Girard and Hillaire-Marcel, 1997; Gormly and Spalding, 1979)。以  $\delta^{18}\text{O}$  而言，銨態氮肥料、土壤有機質及動物性堆肥經硝化作用後所產生  $\text{NO}_3^-$  之  $\delta^{18}\text{O}$  特徵值分布範圍重疊 (其值約為-10~10‰)，此時可利用  $\delta^{15}\text{N}$  特徵值來分辨 (Kendall, 1998)。如果  $\text{NO}_3^-$  是來自硝酸態氮肥料或大氣沉降，因其  $\delta^{15}\text{N}$  特徵值均為 0 ‰左右，因此無法以  $\delta^{15}\text{N}$  值鑑別其可能的來源；但來自大氣沉降的  $\text{NO}_3^-$  具有較重的  $\delta^{18}\text{O}$  值 (大於 15‰)，因此可藉由  $\delta^{18}\text{O}$  值與硝化作用所產生的  $\text{NO}_3^-$  區分開來。至於大氣沉降與硝酸態氮肥料的區分，需視現場環境而定 (彭和范, 2005)。

溪流水中之  $\text{NO}_3^-$  的可能來源有大氣雨水或硝酸態氮肥料 (化學肥料) 的直接輸入，或由土壤有機質、有機肥料中氮素經礦化作用轉化成  $\text{NH}_4^+$ ，再經硝化作用轉化成  $\text{NO}_3^-$ ；而  $\text{NO}_3^-$  可能的輸出則有脫氮作用及藻類吸收的同化作用。由武陵地區之溶氧測值均在 8 mg/L 以上之現象 (于, 2004; 官, 2005; 林, 2003; 簡和林, 2004)，因此，脫氮作用不易在本研究區之溪流環境中發生。

## 二、材料與方法

本研究於 95 年 10 月與 96 年 1, 4, 7 及 10 月選擇氣候條件穩定之時段進行採樣分析，以建立武陵地區水體中硝酸鹽氮、氧同位素組成特徵之背景值；而在颱風季節 (7-8 月) 時，於颱風後進行一次暴雨效應監測。此外，除持續建立水體中硝酸鹽氮、氧同位素組成特徵之研究背景特徵外，96 年度另在 1, 3, 5, 7 及 9 月間各月均針對七家灣溪二號壩、一號壩及附近匯流至七家灣溪之山溝進行採樣分析，因為二號壩有農業污染的情形。

採樣現場測定河水之溫度、pH、EC 和 DO； $\text{NO}_3^-$ 之濃度與其氮、氧同位素組成之分析則於實驗室進行。

### (一) 採樣地點

武陵地區區內包含五個水域 (圖 4-1)：七家灣溪、桃山溪、高山溪、有勝溪及司界蘭溪，匯集後即成為大甲溪上游。高山溪及七家灣溪皆有臺灣櫻花鉤吻鮭棲息地，而有勝溪為優養化最為嚴重之溪流。本研究參考過去水質調查計畫之固定採樣點編號 (林，2003)，在四條主要溪流共九個採樣點進行水體中硝酸鹽之氮、氧同位素研究 (圖 4-1)，包括：桃山西溪採樣點 (S2)，七家灣溪二號壩採樣點 (S3)，七家灣溪一號壩採樣點 (S4)，鮭魚繁殖場採樣點 (S5)，萬壽橋採樣點 (S6)，迎賓橋採樣點 (S7)，高山溪採樣點 (S8)，有勝溪採樣點 (S9) 與司界蘭溪採樣點 (S11)。本年度另增加二號壩與一號壩間，匯流至七家灣溪之山溝水體進行採樣分析 (C1)。

選擇此十採樣點之原因主要是有勝溪採樣點 (S9) 上游果菜園大量農業肥料輸入而導致高濃度之營養鹽，溪流中附生藻類繁生，而桃山西溪採樣點 (S2) 與高山溪採樣點 (S8) 為未受人為影響之上游支流採樣點，其水體中營養鹽濃度最低 (林，2003；簡和林，2004)。七家灣溪一號壩採樣點 (S4) 疑因上游二號壩採樣點 (S3) 一帶有果菜園農業肥料輸入 (C1)，致使水體中營養鹽濃度偏高。繁殖場採樣點 (S5) 疑因高山溪溪水的稀釋作用，使得其營養鹽濃度略低於

七家灣溪一號壩採樣點；萬壽橋採樣點 (S6) 及迎賓橋採樣點 (S7) 為七家灣溪的下游；據此檢視七家灣溪上、中、下游水體所呈現受人為影響的程度。

## (二) 現場作業

### 1. 現場測定

現場以電極法測定溫度、pH、EC 和 DO，本研究採用 WTW MultiLine P4 手提式電極顯示器測定溫度、pH、EC，pH 使用之電極型號為 Sentix41，此款電極可同時測定溫度；電導度計型號 Tetra Con 325。DO 則使用 YSI Model 550A 之溶氧測定儀。

### 2. 現場萃取

現場採集之水樣先以 0.45  $\mu\text{m}$  的薄膜濾紙 (MFS cellulose acetate membrane filter) 過濾，除預留 1 L 水樣裝在 PE 瓶中冷藏保存，作為相關水質分析外，其餘水樣均在現場進行通過陰離子管柱 (Bio-Rad AG1-8X, 200-400 mesh) 交換萃取水體中硝酸鹽的工作。水樣是以 500-1000 mL/h 的流速通過此已處理過之陰離子管柱，然後將此已交換萃取水體中硝酸鹽的陰離子管柱帶回實驗室進行後續之處理。

各採樣點所需之水量需視各採樣水體中硝酸鹽濃度大小而定，原則上需為能採集硝酸鹽含量約為 200-300  $\mu\text{M}$  之水樣體積。依本研究各採樣點過去之硝酸鹽濃度資料換算，採樣點 S3、S4、S5、S6、S7 約需 5 至 10 L 的水樣體積，而採樣點 S2、S8、S11 之硝酸鹽濃度很低，約需 50 L 的水樣體積。

## (三) 實驗室分析

### 1. 水樣 $\text{NO}_3^-$ 之濃度分析

$\text{NO}_3^-$  之濃度為經由紫外光分光光度計法測定  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度後換算而得。50 mL 水樣加入 1 mL 的 1N HCl 標準溶液，分別在波長 220 nm 與 275 nm 下測定其淨吸光度，再與標準溶液之檢量線比較，求得水樣之  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度 (NIEA.W419.50A)。因文獻中對於  $\text{NO}_3^-$  之氮組成組成研究，貫以與  $\text{NO}_3^-$  濃度比較，而  $\text{NO}_3^-$  之濃度是以  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度乘上 4.43 ( $\text{NO}_3$  與 N 之原子質量比) 換算得

之。本研究使用之分光光度計機型為 Hitachi U-2001 UV/visible spectrophotometer。

## 2. 水樣 $\text{NO}_3^-$ 之氮、氧同位素組成分析

水樣中  $\text{NO}_3^-$  之萃取及其氮、氧同位素組成分析之詳細方法可參照相關文獻 (Chang et al., 1999; Silva et al., 2000; 彭等, 2004; 彭和范, 2005), 扼述如下:

將現場帶回之交換萃取水體中硝酸鹽的陰離子管柱以 3 N HCl 溶液淋洗陰離子管柱並收集濾液。在冰水浴條件下, 分多次加入 6.5 g  $\text{Ag}_2\text{O}$  於濾液中並充分攪拌。接續以 Whatman NO.1 濾紙將  $\text{AgCl}$  沉澱物濾除, 再以去離子水將  $\text{AgNO}_3$  溶液洗出收集於標本瓶中, 得到  $\text{AgNO}_3$  水溶液, 將收集濾液分為二部分, 分別作為氮、氧同位素測定用。

將上述部分濾液經冷凍乾燥得到灰色  $\text{AgNO}_3$  粉末。 $\text{AgNO}_3$  中之穩定氮同位素組成之測定是由氣相比值質譜儀 (Gas-source Ion Ratio Mass Spectrometer, IRMS) 完成, 故所有樣品均須先利用元素分析儀 (Element Analyzer) 將相關固態氮樣品轉換成  $\text{N}_2$  氣體, 再進入質譜儀分析。

為準確分析溶液中硝酸鹽的氧同位素組成, 所有非  $\text{NO}_3^-$  的含氧物質如硫酸鹽、磷酸鹽、溶解性有機碳, 都需從樣品中去除。因此, 在上述含硝酸鹽樣品溶液中加入 2 mL 1M  $\text{BaCl}_2$  溶液使硫酸鹽及磷酸鹽沉澱。所產生之固體沉澱物以 0.2  $\mu\text{m}$  耐龍濾紙濾除, 再將濾液通過 Bio-Rad 100-200 mesh AG 50W X8 陽離子樹脂管柱。續以去離子水潤洗陽離子樹脂管柱於 50 mL 燒杯收集濾液, 並再以大約 1 g 的  $\text{Ag}_2\text{O}$  中和至 pH=6, 以 0.2  $\mu\text{m}$  耐龍濾紙濾除沉澱的  $\text{AgCl}$  和過量  $\text{Ag}_2\text{O}$ 。為移除溶解性有機碳, 每 50 mL 溶液中加入 10 mg Norit G-60 活性碳, 以 180 rpm 圓周振盪 20 分鐘後, 再以 0.2  $\mu\text{m}$  47 mm 尼龍濾紙濾除活性碳。

接續將產生的硝酸鹽溶液冷凍乾燥後以去離子水洗入石英管內。經冷凍乾燥後之樣品加入 4-5 mg 的石墨粉末後, 在真空系統中將石英管以氫氧焰封燒, 並置於 850°C 高溫爐中加熱, 反應所產生的  $\text{CO}_2$  氣體再以真空系統低溫純化收集

到樣品管中，同樣以氣相比值質譜儀分析氧同位素組成。

質譜儀測定後，是以  $\delta^{15}\text{N}$  及  $\delta^{18}\text{O}$  代表其氮、氧同位素組成，單位以‰表示。

$\delta$  之定義如下：

$$\delta = [(R_{\text{sample}} - R_{\text{std.}}) / R_{\text{std.}}] \times 1000 \dots\dots\dots (1)$$

上式中， $R_{\text{sample}}$  代表標本之  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  (或  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) 比值， $R_{\text{std}}$  代表標準品之  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  (或  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) 比值。本研究使用中央研究院環境變遷中心之質譜儀進行氮同位素組成分析，型號為 delta S, Finnigan Mat；而氧同位素組成分析則使用中央研究院地球科學研究所之質譜儀，型號為 VG SIRA10。

質譜儀測定後所得之  $\delta$  值均須以世界同一標準品之同位素比值校正，以氮同位素而言，其標準品為空氣 (Air)；氧同位素則為世界標準海水 (Vienna Standard Mean Ocean Water, V-SMOW)。本研究以分析級  $\text{KNO}_3$  試液做為實驗之校準，以  $\delta^{15}\text{N}$  而言，重複分析  $\text{KNO}_3$  試液之精確度為 1.5‰， $\delta^{18}\text{O}$  則為 1.9‰。

### 三、結果

本年度已完成分析數據有 2006 年 11 月至 2007 年 10 月每月現場水質測定及  $\text{NO}_3^-$  濃度測定數據。 $\text{NO}_3^-$  之  $\delta^{15}\text{N}$  測定已完成 2006 年 10 月、2007 年 1, 4, 7, 10 月及 8 月之暴雨分析共六組數據；而  $\text{NO}_3^-$  之  $\delta^{18}\text{O}$  分析則已完成 2006 年 10 月、2007 年 1, 4, 6 月及 8 月暴雨共五組數據，2007 年 10 月之分析則已完成實驗前處理工作，待安排質譜儀分析；另外針對二號壩 (S3)、一號壩 (S4) 及有勝溪 (S9) 三測站，自 2006 年 11 月起至 2007 年 9 月間每月分析其  $\text{NO}_3^-$  之  $\delta^{15}\text{N}$  與  $\delta^{18}\text{O}$  組成。所有數據之分析結果分述如下：

武陵地區溪水的 pH 值介於 6.30~8.76 之間 (表 4-1)，DO 之濃度範圍為 4.6~10.4  $\text{mg L}^{-1}$ ，EC 的範圍則為 120~311  $\mu\text{S/cm}$ ，與甲類陸域地面水體之範圍相近 (pH = 6.5~8.5; DO > 6.5  $\text{mg L}^{-1}$ ; EC < 750  $\mu\text{S/cm}$ )。

2005 年 10 月迄今歷次的分析顯示，所有採樣點  $\text{NO}_3^-$  之濃度 (表 4-2)，除山溝測點 (C1) 外，均低於飲用水水質標準 (45  $\text{mg L}^{-1}$ )，範圍在 0.03 至 13.5  $\text{mg L}^{-1}$  之間；山溝測點 (C1)  $\text{NO}_3^-$  之濃度範圍在 23.8 至 66.8  $\text{mg L}^{-1}$  之間 (表 4-2)。

七家灣溪溪水源自桃山西溪，在 S2 (桃山西溪) 測得  $\text{NO}_3^-$  之濃度為所有採樣點中最低者 (0.03~0.83  $\text{mg L}^{-1}$ )，與本研究於 2005 年 12 月 11 日至 2006 年 8 月 17 日收集在當地雨水並分析雨水之  $\text{NO}_3^-$  濃度範圍 (0.1~5.4  $\text{mg L}^{-1}$ ) 相近。高山溪 (S8)  $\text{NO}_3^-$  濃度為 0.25~1.45  $\text{mg L}^{-1}$  與桃山西溪 (S2) 之濃度範圍相近，顯示桃山西溪與高山溪屬七家灣溪流域上游之低溶質濃度之水體。在七家灣溪主河道之五個採樣點中 (S3, S4, S5, S6, S7)，以 S5 (繁殖場) 之  $\text{NO}_3^-$  濃度平均值最低 (2.09 ± 0.59  $\text{mg L}^{-1}$ )，S4 (一號壩) 及 S7 (迎賓橋) 之  $\text{NO}_3^-$  濃度平均值最高 (約 4.7  $\text{mg L}^{-1}$ )。此外，司界蘭溪 (S11) 之  $\text{NO}_3^-$  濃度 (0.24~2.25  $\text{mg L}^{-1}$ ) 較七家灣溪之五個採樣點為低，而與桃山西溪 (S2) 之濃度範圍相近 (0.03~0.83  $\text{mg L}^{-1}$ )，顯示司界蘭溪之水體亦屬上游之低溶質濃度之水體。有勝溪 (S9) 之  $\text{NO}_3^-$  濃度範圍為 2.62~13.5  $\text{mg L}^{-1}$ ，其  $\text{NO}_3^-$  濃度平均值，除山溝測點 (C1) 外，較其



他採樣點為高。

由圖 4-3 可顯示七家灣溪主河道濃度受支流匯流的影響。在 S2 (桃山西溪) 至 S5 (繁殖場) 間，因高濃度的山溝水體 (如 C1) 進入，造成 S4 (一號壩) 之  $\text{NO}_3^-$  濃度升高；另因低  $\text{NO}_3^-$  濃度的高山溪水體 (S8) 流入，稀釋了七家灣溪主河道水體的  $\text{NO}_3^-$  濃度，導致下游的 S5 之  $\text{NO}_3^-$  濃度較 S4 為低。然而，S5 至 S7 (迎賓橋) 間， $\text{NO}_3^-$  濃度有逐漸升高的趨勢，應是河道兩岸有  $\text{NO}_3^-$  進入累積造成。

圖 4-4 顯示各採樣站  $\text{NO}_3^-$  濃度之時間序列。由圖 4-4a 顯示，上游低  $\text{NO}_3^-$  濃度之水體 (S2、S8、S11) 之時間序列變化與雨量大小有關；在雨量較大的月份，河水中有相對較高  $\text{NO}_3^-$  濃度的情況。然而，在七家灣溪主河道各測站 (圖 4-4b) 及出現較高濃度之測站 (圖 4-4c)，其水體中之  $\text{NO}_3^-$  濃度與雨量似無相關。

2005 年 10 月至 2007 年 10 月間歷次  $\text{NO}_3^-$  之氮同位素組成 ( $\delta^{15}\text{N}$ ) 分析結果列於表 4-3，整體而言， $\delta^{15}\text{N}$  值介於 -1.9~9.2‰ 間。上游集水區水體包括桃山西溪 (S2)、高山溪 (S8) 及司界蘭溪 (S11)  $\text{NO}_3^-$  之  $\delta^{15}\text{N}$  值分布範圍類似，分布在 -1.6~3.2‰ 間，僅有司界蘭溪 (S11) 在 2007 年 8 月出現最高值 6.9‰。七家灣溪各採樣點  $\text{NO}_3^-$  之  $\delta^{15}\text{N}$  值的分布範圍為 -1.9~7.6‰，而有勝溪 (S9)  $\text{NO}_3^-$  之  $\delta^{15}\text{N}$  值範圍為 -1.8~9.2‰。

由 2006 年 4 月至 2007 年 8 月間  $\text{NO}_3^-$  之氧同位素組成 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) 分析結果顯示 (表 4-4)，多數時期桃山西溪 (S2)、高山溪 (S8) 及司界蘭溪 (S11)  $\text{NO}_3^-$  之  $\delta^{18}\text{O}$  值範圍為 -17~9.4‰；但高山溪 (S8) 測站在 2007 年 8 月暴雨之分析出現最高值 27‰。七家灣溪各採樣點  $\text{NO}_3^-$  之  $\delta^{18}\text{O}$  值的分布範圍為 -11 至 8‰，而有勝溪 (S9)  $\text{NO}_3^-$  之  $\delta^{18}\text{O}$  值範圍為 -11 至 9‰。

在高  $\text{NO}_3^-$  濃度之山溝測點部分，其  $\text{NO}_3^-$  之  $\delta^{15}\text{N}$  值的分布範圍在 4.5 至 9.1‰，平均為  $6.5 \pm 1.8$ ‰；而  $\text{NO}_3^-$  之  $\delta^{18}\text{O}$  值則為 -11 至 -5‰ 之間，平均為  $-8 \pm 2$ ‰。山溝測點之平均值與有勝溪較為相近 ( $\delta^{15}\text{N}$ :  $5.5 \pm 2.6$ ‰;  $\delta^{18}\text{O}$ :  $-7 \pm 5$ ‰)。

整體而言，上游背景採樣點 (桃山西溪、高山溪及司界蘭溪) 之  $\delta^{15}\text{N}$  之標

準偏差較小，但  $\delta^{18}\text{O}$  之標準偏差較大，而有勝溪採樣點則相反， $\delta^{15}\text{N}$  之標準偏差大，而  $\delta^{18}\text{O}$  之標準偏差小。七家灣溪主河道內各採樣點  $\delta^{15}\text{N}$  與  $\delta^{18}\text{O}$  值之變異程度則介於中間。

## 四、討論

### (一) $\text{NO}_3^-$ 的可能來源

武陵地區一般常用化學肥料為尿素，有機質肥料則以生雞糞為主（夏等，2002），彭等（2004）分析台灣一般常用肥料之  $\delta^{15}\text{N}$  值顯示，化學肥料如硫酸銨及尿素的  $\delta^{15}\text{N}$  值分別為  $-0.8 \pm 0.7\text{‰}$  及  $-0.8 \pm 0.3\text{‰}$ ，雞糞之  $\delta^{15}\text{N}$  值為  $17.5 \pm 0.3\text{‰}$ ，其結果與國外文獻中各種可能氮源之  $\delta^{15}\text{N}$  特徵值分布範圍相符合（Kendall, 1998）。在圖 4-5 中，雨水源之  $\delta^{15}\text{N}$  特徵值分布與化肥源之特徵值重疊，約在  $-4 \sim 4\text{‰}$  間；而桃山西溪（S2）與高山溪（S8）各次之  $\delta^{15}\text{N}$  測值均落在此範圍內。但以前述此二採樣點均屬上游  $\text{NO}_3^-$  濃度甚低之背景水體，且屬自然森林的環境判斷，此二採樣點水體之  $\text{NO}_3^-$  受人類活動影響之因素甚微，因此推測其水體中之  $\text{NO}_3^-$  源自化學肥料來源之機會甚低，而與雨水較為有關。

由七家灣溪主河道各採樣點  $\text{NO}_3^-$  之  $\delta^{15}\text{N}$  的分布範圍特徵顯示（圖 4-5），在冬季雨量較少時， $\text{NO}_3^-$  之來源主要與土壤氮源有關；而在夏季雨季時，其來源則與雨水或化學肥料較有關聯。以七家灣溪主河道水體中  $\text{NO}_3^-$  之  $\delta^{15}\text{N}$  組成的空間變化而言，在早期（2006 年 1 月、4 月；2007 年 1 月、4 月）時似有由上游（S2）向下游（S4） $\delta^{15}\text{N}$  值變高的現象（表 4-3），顯示七家灣溪水在往下游流動的過程中，由上游之雨水來源訊號逐漸轉變為在下游出現土壤氮的訊號，且  $\text{NO}_3^-$  之濃度亦是向下游增加（表 4-2）。這些變化顯示，在往下游流動的過程中，可能有因硝化作用造成之  $\text{NO}_3^-$  逐漸匯入溪水。但在繁殖場（S5），其  $\text{NO}_3^-$  之  $\delta^{15}\text{N}$  組成有明顯變低的情形，此現象可能是受到高山溪（S8）的低  $\text{NO}_3^-$  濃度及較低  $\delta^{15}\text{N}$  值溪水匯入七家灣溪主河道之影響所造成。但在雨期（2006 年 6 月至 10 月；2007 年 7 月至 10 月）則無此  $\delta^{15}\text{N}$  值由上游向下游逐漸變重之現象。

司界蘭溪（S11）水體中  $\text{NO}_3^-$  之  $\delta^{15}\text{N}$  特徵值的分布範圍與桃山西溪與高山溪二採樣點相似（表 4-3、圖 4-5），可能仍是受雨水源影響為主。有勝溪（S9） $\text{NO}_3^-$  之  $\delta^{15}\text{N}$  值在 2005 年 10 月與 2006 年 1 月時分別為 3.4 與 4.9‰，顯示其  $\text{NO}_3^-$

之來源主要與土壤氮源有密切關聯；而在 2006 年 4 及 6 月時分別為 8.7 與 7.6‰，介於土壤氮源和動物排泄物源之特徵值間，應是與動物排泄物有關之有機肥料有關。而 2006 年 7 及 10 月時  $\delta^{15}\text{N}$  值減輕至 1.9 與 -1.8‰，顯示此時期  $\text{NO}_3^-$  來源與雨水或化學肥料有關。2007 年 1 月及 8 月暴雨時  $\delta^{15}\text{N}$  值分別為 5.7 與 5.0‰，顯示其  $\text{NO}_3^-$  之來源主要與土壤氮源有密切關聯。2007 年 4, 6 與 10 月時  $\delta^{15}\text{N}$  值則介於為 6.4~7.2‰，顯示其  $\text{NO}_3^-$  之來源介於土壤氮源和動物排泄物源之特徵值間。有趣的是，2006 及 2007 年之 4 月時，有勝溪測站均顯示  $\text{NO}_3^-$  濃度為最高 (13.1 及 13.5  $\text{mg L}^{-1}$ )，且此時  $\text{NO}_3^-$  之  $\delta^{15}\text{N}$  值也相對較高 (8.7 與 7.2‰)。

進一步由溪水中  $\text{NO}_3^-$  之  $\delta^{18}\text{O}$  與  $\delta^{15}\text{N}$  特徵值共同比較顯示 (圖 4-6)，本研究水體中之  $\text{NO}_3^-$  來源主要來自不同氮源經硝化作用 ( $\delta^{18}\text{O}$  值 -10~10‰) 產生，而似無來自  $\text{NO}_3^-$  態氮化學肥料直接進入的現象。以  $\text{NO}_3^-$  之  $\delta^{18}\text{O}$  與  $\delta^{15}\text{N}$  證據顯示，桃山西溪 (S2)、高山溪 (S8) 與司界蘭溪 (S11) 之  $\text{NO}_3^-$  的來源主要與雨水有關，七家灣溪主河道 (S3, S4, S5, S6, S7) 各採樣點在旱季時之  $\text{NO}_3^-$  來源主要以土壤氮源為主，在雨季時與雨水或  $\text{NH}_4^+$  態氮化學肥料有關。值得注意的是，在 2007 年 8 月份暴雨後分析高山溪的  $\text{NO}_3^-$  之  $\delta^{18}\text{O}$  與  $\delta^{15}\text{N}$  值分別為 27‰ 與 0.1‰，屬於來自大氣沉降的  $\text{NO}_3^-$ 。有勝溪之  $\text{NO}_3^-$  來源主要以土壤氮源為主，但有勝溪在 2006 年 4 月與 2007 年 5 月時顯示有動物排泄物之有機肥來源的訊號；在 2006 年 7 及 10 月時有雨水或化學肥料的訊號。

## (二) 不同氮源的混合作用

因氮同位素組成以同位素之比值表示，而  $\text{NO}_3^-$  為離子濃度值，故常以  $1/\text{NO}_3^-$  值與  $\delta^{15}\text{N}$  兩者的直線關係探討水體中  $\text{NO}_3^-$  受不同端點氮源的混合作用 (Kendall and Caldwell, 1998; Mariotti et al., 1988)。由前述圖 4-4 及圖 4-5 之初步推測，本研究區水體中  $\text{NO}_3^-$  的氮源可能有雨水、土壤氮、化學肥料及動物排泄物之有機肥料等。以下以此四個氮源端點，探討本研究水體中  $\text{NO}_3^-$  的混合作用。

本研究曾測定 2005 年 12 月至 2006 年 8 月武陵工作站雨水之  $\text{NO}_3^-$  濃度，其濃度分布範圍為  $0.1\sim 5.4 \text{ mg L}^{-1}$ ，其雨量加權平均值為  $1.0 \text{ mg L}^{-1}$ 。但本研究桃山西溪採樣點 (S2) 之  $\text{NO}_3^-$  濃度 (平均值為  $0.48 \text{ mg L}^{-1}$ ，表 4-2) 較武陵工作站雨水為低，顯示桃山西溪之溪水來自較高高程上游山區集水區之雨水；因此，武陵該地及其上游集水區二地區雨水之  $\text{NO}_3^-$  濃度值應略有差異。一般均假設雨水之  $\delta^{15}\text{N}$  值為  $0\text{‰}$ ，因此，在本研究中，以  $\text{NO}_3^-$  濃度值及  $\delta^{15}\text{N}$  值作為雨水來源之端點值有二個雨水端點源，一為武陵工作站雨水 (圖 4-7，R 點)，另一為以桃山西溪採樣點代表上游背景雨水端點 (圖 4-7，A 點)，圖 4-7 中 R、A 二雨水點之差異在於  $\text{NO}_3^-$  濃度。

土壤氮部分，依據范家華 (2005) 在梨山地區測得合歡溪下游與土壤氮有密切關聯之溪水  $\text{NO}_3^-$  的濃度平均值  $6.91 \text{ mg L}^{-1}$  及其  $\delta^{15}\text{N}$  平均值  $6.5\text{‰}$ ，作為本研究土壤氮端點來源特徵值 (圖 4-7，B 點)。因  $\text{NO}_3^-$  之飲用水質標準相當於  $45 \text{ mg L}^{-1}$ ，假設以  $\text{NO}_3^-$  之濃度為  $45 \text{ mg L}^{-1}$  作為化學肥料源與動物排泄物源之端點濃度值；化學肥料之  $\delta^{15}\text{N}$  特徵值與雨水相同為  $0\text{‰}$ ，而動物排泄物堆肥如雞糞之  $\delta^{15}\text{N}$  特徵值平均為  $17.5\text{‰}$  左右 (彭等，2004)，故在圖 4-7 中，分別以 C 與 D 點作為化學肥料源與動物排泄物源之特徵端點。本研究續藉此五氮源端點，探討各採樣點水體中  $\text{NO}_3^-$  的混合作用現象。

圖 4-7 顯示，在以桃山西溪採樣點做為上游山區集水區雨水的情形下，高山溪 (S8) 之  $\text{NO}_3^-$  在不同時期均顯示較為接近武陵工作站雨水 (R 點) 與上游背景雨水端點 (A 點) 的現象。因此，高山溪採樣點水體中  $\text{NO}_3^-$  之來源主要與雨水源有關。司界蘭溪溪水 (S11) 之情況與高山溪溪水相似，也就是說，其溪水之  $\text{NO}_3^-$  來源受雨水影響顯著。

以七家灣溪主河道各採樣點而言 (圖 4-7)，在 2005 年 10 月時二號壩 (S3) 與一號壩 (S4) 之測值接近土壤氮 (B 點) 與化學肥料來源 (C 點) 混合線上的 M 點。因此，此二採樣點水體中  $\text{NO}_3^-$  之來源，在此時期可能為土壤氮源與化學肥料源的混合。繁殖場 (S5) 之測值則落於土壤氮源與雨水源端點之間，或雨水

源與 M 點的混合線上。在 2006 年 1 月時，所有的主河道各採樣點均落於土壤氮源、武陵工作站與上游背景雨水端點源的混合區域內。4 月時，各採樣點之測值分布均接近武陵工作站雨水源與土壤氮源之二端點的混合線上。6 月時除繁殖場 (S5) 接近土壤氮與上游背景雨水端點源的混合線，其餘主河道採樣點 (S3、S4、S6、S7) 之測值均分布在土壤氮、工作站雨水與化學肥料來源端點之混合區域內。7 月為颱風後之採樣，結果顯示主河道所有採樣點之分布均接近於工作站雨水與化學肥料來源端點之混合線。2006 年 10 月時二號壩 (S3) 之測值接近土壤氮與工作站雨水端點之混合線，一號壩 (S4) 與迎賓橋 (S7) 之測值則落於工作站雨水與化學肥料來源端點的混合線上；繁殖場 (S5) 與萬壽橋 (S6) 之同位素組成接近高山溪站 (S8,  $\delta^{15}\text{N} = -1.8\text{‰}$ )，但濃度高了 6 倍之多，可能是有除雨水之外其他的  $\text{NO}_3^-$  來源。2007 年 1 月之情況與 2006 年 1 月相似，主要土壤氮源有關；2007 年 4 月之情況則與 2006 年 4 月亦相似，各採樣點之測值分布均接近武陵工作站雨水源與土壤氮源之二端點的混合線上；2007 年 7 月時大部分採樣點之測值均分布在土壤氮、工作站雨水與化學肥料來源端點之混合區域內，繁殖場 (S5) 之測值則落於土壤氮源與雨水源端點之間；2007 年 8 月暴雨時所有主河道採樣點之測值均分布在土壤氮、工作站雨水與化學肥料來源端點之混合區域內；2007 年 10 月時二號壩 (S3) 與繁殖場 (S5) 之測值接近土壤氮與工作站雨水來源端點的混合線上，而其餘測站之測值分布於土壤氮、工作站雨水與化學肥料來源端點之混合區域內。圖 4-7 亦顯示繁殖場 (S5) 之測值均較其他採樣點接近背景區或雨水來源端點，應是受高山溪溪水匯流的影響。

以季節性變化而言，在 2005 年 10 月時氣候型態由夏季之雨期轉變為秋冬之早期，此時七家灣溪水  $\text{NO}_3^-$  之來源與上游集水區雨水、土壤有機氮與化學肥料有關 (圖 4-7a)。2006 年 1 月時為早期，此時水體中  $\text{NO}_3^-$  來源主要為土壤有機氮與上游集水區雨水 (圖 4-7b)。4 月時春雨顯著，此時水體中  $\text{NO}_3^-$  主要來源為武陵當地雨水與土壤有機氮 (圖 4-7c)。6 月進入雨期， $\text{NO}_3^-$  來源為土壤有機氮與化學肥料來源，雨水訊號較不明顯 (圖 4-7d)。7 月時碧利斯颱風過境後  $\text{NO}_3^-$

來源為武陵當地雨水與化學肥料 (圖 4-7e)，至於土壤有機氮訊號消失而化學肥料訊號明顯的原因可能是暴雨將河道內溶解性的氮均沖蝕至下游。一般而言，土壤氮需先經過礦化等微生物反應之後才被硝化作用轉變成  $\text{NO}_3^-$ ，恢復土壤氮訊號需要較長時間，而化學肥料只需經過硝化作用之微生物反應，釋出的速度較快，因此化學肥料訊號較明顯。2006 年 10 月  $\text{NO}_3^-$  之來源情況大致與 7 月相似 (圖 4-7f)，但由二號壩 (S3) 顯示有明顯之土壤有機氮、雨水及化學肥料來源，與 2005 年 10 月時的混合情形近似，顯示主河道的  $\text{NO}_3^-$  逐漸恢復為上游集水區雨水、土壤有機氮與化學肥料之來源。2007 年 1 月之情況與 2006 年 1 月相似 (圖 4-7g)，此時水體中  $\text{NO}_3^-$  來源主要為土壤有機氮與上游集水區及武陵地區雨水有關；2007 年 4 月之情況亦與 2006 年 4 月亦相似 (圖 4-7h)，此時水體中  $\text{NO}_3^-$  主要來源為武陵當地雨水與土壤有機氮。2007 年 7 月時進入雨期， $\text{NO}_3^-$  來源以土壤有機氮為主，雨水訊號不若 4 月明顯，(圖 4-7i)。2007 年 8 月及 10 月分別為聖帕颱風及柯羅莎颱風後 10 天內所取樣，分析結果顯示  $\text{NO}_3^-$  來源與 2007 年 7 月情況類似(圖 4-7j, k)。

圖 4-7 中顯示，有勝溪溪水 (S9) 之  $\text{NO}_3^-$  在 2005 年 10 月時與七家灣溪主河道的二號壩 (S3)、一號壩 (S4) 採樣點之分佈相似，為土壤氮源與化學肥料源混合的結果 (圖 4-7, M 點)；2006 年 1 月時則落於土壤氮源與二雨水源的混合範圍內，但接近土壤氮源之端點；在 4 及 6 月時，有勝溪採樣點較高之  $\delta^{15}\text{N}$  特徵值顯示其曾受到動物排泄物肥料影響 (圖 4-7, D 點)；在 7 月時接近土壤氮源與化學肥料來源端點之混合線；而在 2006 年 10 月氮同位素組成較輕與七家灣溪主河道的繁殖場 (S5)、萬壽橋 (S6) 採樣點之分佈相近，可能是受化學肥料的影響。2007 年 1 月至 10 月間則與 2006 年 1 月相似，接近土壤氮源之端點。至於高  $\text{NO}_3^-$  濃度之山溝採樣點 (C1)，由 2007 年 4、7、8 及 10 月之分析結果顯示，山溝採樣點  $\text{NO}_3^-$  之來源訊號落於動物排泄物肥料、化學肥料及土壤氮源之間 (圖 4-7h,k)，顯示山溝採樣點之肥料來源訊號較其他各測站明顯，更勝於有勝溪溪水。

## 五、結論

由本研究現階段分析武陵地區 2005 年 10 月至 2007 年 10 月溪流水體中  $\text{NO}_3^-$  濃度及  $\text{NO}_3^-$  中  $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$  特徵值顯示：

1. 以  $\text{NO}_3^-$  濃度而言，桃山西溪、高山溪與司界蘭溪溪水顯示最低之  $\text{NO}_3^-$  濃度 ( $0.03\sim 2.25\text{ mg L}^{-1}$ )，屬於低溶質濃度之水體，且雨季時期之濃度大於旱季。七家灣溪溪水之  $\text{NO}_3^-$  濃度介於  $0.88\sim 7.62\text{ mg L}^{-1}$ ，季節性變化現象不明顯。有勝溪採樣點顯示較高之  $\text{NO}_3^-$  濃度，介於  $2.62\sim 13.5\text{ mg L}^{-1}$ 。在所有採樣點中，山溝採樣點最高， $\text{NO}_3^-$  濃度介於  $23.8\sim 66.8\text{ mg L}^{-1}$ 。
2. 由水體中  $\text{NO}_3^-$  之  $\delta^{15}\text{N}$  及  $\delta^{18}\text{O}$  分析顯示，桃山西溪、高山溪與司界蘭溪溪水中  $\text{NO}_3^-$  之來源主要與雨水有關。七家灣溪溪水中之  $\text{NO}_3^-$  來源則與土壤氮、雨水源及化學肥料來源有關；雨期時雨水與化學肥料來源明顯，而在旱期時則土壤氮及雨水來源明顯。有勝溪  $\text{NO}_3^-$  之來源較為複雜，與雨水源、土壤氮源、化學肥料源及動物排泄物之有機肥料源均有關聯。至於高  $\text{NO}_3^-$  濃度之山溝採樣點 (C1) 之分析結果顯示，山溝採樣點  $\text{NO}_3^-$  之來源訊號與動物排泄物肥料、化學肥料及土壤氮源有關；山溝採樣點之肥料來源訊號較其他各測站明顯，更勝於有勝溪溪水。



## 六、參考文獻

- 于淑芬、林永發 2003 武陵地區水質調查及環境監測。內政部營建署雪霸國家公園管理處自行研究報告。
- 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管理處自行研究報告。
- 中華水土保持學會 2003 德基水庫集水區第五期治理計畫之規劃報告。經濟部德基水庫集水區管理委員會。
- 王敏昭、鍾秋華、林昭遠 2000 德基水庫集水區水質之特性及近八年來變化趨勢。集水區保育研討會論文集。
- 李培芬 1996 七家灣溪集水區之遙測監測。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 官文惠 2005 武陵地區長期生態監測暨生態模式之建立-水質參數之研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 林幸助 2002 武陵地區生態系監測與模式建構規劃。內政部營建署雪霸國家公園管理處九十一年度研究報告。
- 林幸助 2003 武陵地區溪流藻類生產力之限制營養鹽。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 夏禹九、陳添財、林志融 2002 太魯閣、雪霸國家公園生態廊道之研究--有勝溪上游土地利用、人為活動與質被現況的調查。內政部營建署太魯閣、雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 范家華 2005 梨山農作區水體之水化學及硝酸鹽的氮氧同位素研究。碩士論文。國立中興大學土壤環境科學系。
- 張尊國 1987 優養化問題之探討。科學月刊 215:821-823。
- 陳弘成 2000 武陵地區溪流水源水質監測系統之規劃與調查。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。

- 陳秋陽 1998 德基水庫水質維護與集水區土地利用管理之整合研究。德基水庫保護帶觀摩研討會論文集。
- 彭宗仁、詹婉君、林毓雯、劉黔蘭 2004 由氮同位素評估南投地區河水中  $\text{NO}_3^-$  之來源及轉化。土壤與環境 7(3/4):167-182。
- 彭宗仁、范家華 2005 梨山農作區水體中  $\text{NO}_3^-$  之來源與轉化。土壤與環境 8(3/4):43-58。
- 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及生態調查之研究。生態研究第〇〇一號。行政院農業委員會。
- 賴文龍、吳尚鑒、藍祐利、林文陞 2004 梨山地區甘藍蔬菜園土壤肥培管理之探討。台中區農業月刊。第五十七期。
- 賴文龍 1999 梨山地區高冷地蔬菜綠肥輪作模式。台中區農業月刊。第三期。
- 賴文龍 2003 德基水庫集水區溫帶梨園土壤與肥培管理。台中區農業月刊。第四十二期。
- 簡麗鳳、林幸助 2004 武陵地區溪流藻類生產力之限制營養鹽研究(二)。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- Cey EE, Rudolph DL, Aravena R, Parkin G (1999) Role of the riparian zone in controlling the distribution and fate of agricultural nitrogen near a small stream in southern Ontario. J Hydrol 37:45-67
- Chang CCY, Langston J, Riggs M, Campbell DH, Silva SR, Kendall C (1999) A method for nitrate collection for  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  analysis from waters with low nitrate concentrations. Can J Fish Aquat Sci 56:1856-1864
- Girard P, Hillaire-Marcel C (1997) Determining the source of nitrate pollution in the Niger discontinuous aquifers using the natural  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  ratios. J Hydrol 199:239-251

Gromly JR, Spalding RF (1979) Sources and concentrations of nitrate-nitrogen in ground water of the Central Platte Region, Nebraska. *Ground Water* 17:291-301

Kendall C, Caldwell EA (1998) *Isotope Tracers in Catchment Hydrology*. Elsevier Amsterdam P:51-86

Kendall C (1998) *Isotope Tracers in Catchment Hydrology*. Elsevier, Amsterdam P:519-576

Kreitler CW, Jones DC (1975) Natural Soil Nitrate: The cause of the nitrate contamination of ground water in Runnels country, Texas. *Ground Water* 13:1-9

Kreitler CW (1979) Nitrogen-isotope ratio studies of soils and groundwater nitrate from alluvial fan aquifers in Texas. *J Hydrol* 42:147-170

Mariotti A, Landreau A, Simon B (1988)  $^{15}\text{N}$  isotope biogeochemistry and natural denitrification process in groundwater: Application to the chalk aquifer of northern France. *Geochim Cosmochim Acta* 52:1869-1878

Silva SR, Kendall C, Wilkison DH, Ziegler AC, Chang CCY, Avanzino RJ (2000) A new method for collection of nitrate from fresh water and the analysis of nitrogen and oxygen isotope ratios. *J Hydrol* 228:22-36

Wassenaar LI (1995) Evaluation of the origin and fate of nitrate in the Abbotsford Aquifer using the isotopes of  $^{15}\text{N}$  and  $^{18}\text{O}$  in  $\text{NO}_3^-$ . *Appl Geochem* 10:391-405

表 4-1 武陵地區溪水 pH, DO 和 EC 測值之敘述性統計

	pH	DO (mg L <sup>-1</sup> )	EC (μS cm <sup>-1</sup> )	T (°C)
Mean	7.49	7.6	207	14.2
Medium	7.50	7.7	205	14.4
Stdev	0.55	1.0	40.9	2.6
Kurtosis	-1.012	0.245	-0.211	-0.015
Skewness	-0.054	0.183	0.375	-0.098
Range	2.46	5.8	191	14.1
Min	6.30	4.6	120	6.9
Max	8.76	10.4	311	21.0
No	169	168	169	169

表 4-2 本研究溪水之 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度 (單位 mg L<sup>-1</sup>)

Sites	2006												2007												CV (%)		
	2005						2006						2007														
	Oct	Jan	Apr	Jun	Jul	Oct	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun		Jul	Aug
S2 (桃山西溪)	0.33	0.20	0.59	0.25	0.43	0.55	0.68	0.35	0.49	0.59	0.46	0.60	0.58	0.03	0.54	0.77	0.28	--	0.03~0.83	0.48(0.21)	43						
S3 (二號壩)	4.45	1.02	1.86	4.45	3.36	2.98	2.76	2.08	2.29	2.29	1.78	1.70	2.55	1.90	2.81	4.58	3.53	3.43	1.02~4.58	2.78(1.00)	36						
S4 (一號壩)	7.03	2.23	3.06	7.06	5.61	5.09	5.20	4.71	4.72	4.91	4.07	2.72	4.73	3.58	4.80	7.22	5.71	6.53	2.23~7.22	4.96(1.42)	29						
S5 (繁殖場)	1.50	0.88	1.57	2.59	1.73	2.13	2.61	2.23	2.69	2.57	2.36	1.92	2.05	1.11	2.06	2.24	3.00	1.61	0.88~3.00	2.09(0.59)	28						
S6 (萬壽橋)	--	1.53	3.15	4.58	4.00	3.40	3.57	3.14	3.16	3.30	3.01	2.33	3.02	2.55	3.31	5.36	4.39	4.34	1.53~5.36	3.44(0.89)	26						
S7 (迎賓橋)	--	1.69	5.24	4.93	4.39	4.76	5.35	4.01	3.98	4.31	3.66	4.35	4.05	5.47	3.85	5.60	4.32	4.27	1.69~7.62	4.55(1.17)	26						
S8 (高山溪)	0.57	0.26	1.21	0.52	0.68	0.62	0.70	0.51	0.57	0.47	0.66	1.45	0.56	0.90	0.59	1.20	0.43	0.25	0.25~1.45	0.71(0.34)	49						
S9 (有勝溪)	5.55	2.77	13.1	6.24	6.95	7.03	12.5	8.10	7.05	8.92	6.53	13.5	9.50	10.3	8.87	8.65	4.42	2.62	2.62~13.5	8.10(3.16)	39						
S11 (司界蘭溪)	0.95	0.24	1.60	0.73	0.89	0.73	1.10	0.54	0.57	0.81	0.82	1.85	0.97	2.25	0.70	1.76	1.03	1.12	0.24~2.25	1.03(0.50)	49						
C1 (山溝)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	30.5	33.0	25.8	66.1	23.8	54.0	65.8	66.8	62.3	23.8~66.8	47.6(18.9)	40						

表 4-3 本研究溪水中  $\text{NO}_3^-$  之  $\delta^{15}\text{N}$  測值 (單位‰)

Period	2006												2007								
	2006												2007								
	Oct	Jan	Apr	Jun	Jul	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Range	Average	Stdev.
S2	1.06	0.79	0.24	--	3.22	1.08	--	0.01	--	--	-0.74	--	--	0.19	2.95	--	0.57	-0.74~3.22	0.94	1.26	
S3	2.97	3.81	3.62	3.98	-0.57	3.08	5.06	5.33	3.76	3.58	--	2.13	4.91	3.63	3.66	4.47	5.23	6.00	-0.57~6.00	3.80	1.50
S4	2.53	5.05	5.04	1.94	-0.07	-0.19	6.53	4.47	4.78	4.55	4.96	4.00	7.57	2.54	4.05	3.98	7.10	3.97	-0.19~7.57	4.04	2.11
S5	2.88	3.05	1.15	6.40	0.16	-1.32	--	4.34	--	--	1.75	--	--	3.81	2.52	--	2.92	-1.32~6.40	0.01	1.11	
S6	--	5.02	3.85	4.72	-0.11	-1.91	--	4.44	--	--	3.40	--	--	2.43	5.35	--	4.54	-1.91~5.35	2.51	2.08	
S7	--	3.95	5.42	4.48	-0.29	0.16	--	4.79	--	--	4.92	--	--	4.68	5.63	--	4.46	-0.29~5.63	3.17	2.39	
S8	0.08	2.56	-1.64	0.13	0.21	-1.47	--	0.26	--	--	-0.45	--	--	-0.38	0.06	--	0.69	-1.64~2.56	3.82	2.10	
S9	3.37	4.86	8.74	7.61	1.88	-1.79	4.91	5.66	5.65	5.60	6.37	7.21	9.19	4.76	6.35	4.98	7.98	6.28	-1.79~9.19	5.53	2.57
S11	1.84	2.57	0.29	1.28	0.27	0.07	--	0.78	--	--	1.10	--	--	1.21	6.94	--	2.39	0.07~6.94	1.70	1.93	
C1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	7.58	--	8.61	9.12	4.45	4.67	5.24	5.27	7.18	4.45~9.12	6.51	1.84

表 4-4 本研究溪水中  $\text{NO}_3^-$  之  $\delta^{18}\text{O}$  測值 (單位‰)

Period	2006												2007					
	2006												2007					
	Apr	Jun	Jul	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Range	Average
S2	-4.8	6.7	-11.7	3.4	--	6.6	--	--	8.4	--	--	8.6	9.4	--	--	-11.7~9.4	3.3	7.6
S3	-7.8	-8.9	-7.9	-6.5	-4.8	-3.9	-1.1	-0.4	2.5	-0.2	-4.1	7.5	-3.7	-6.2	0.1	-8.9~7.5	-3.0	4.5
S4	-9.4	-11.3	-8.9	-8.8	-7.0	-7.8	-8.0	-5.8	-4.0	-3.6	-5.6	-9.3	-8.4	-9.2	-9.4	-11.3~3.6	-7.8	2.2
S5	-1.5	-6.7	-0.4	-2.4	--	-3.7	--	--	1.2	--	--	--	-0.3	-0.7	--	-6.7~1.2	-1.8	2.5
S6	-7.0	-10.0	-6.1	-4.7	--	--	--	--	6.4	--	--	--	-5.2	-7.3	--	-10.0~6.4	-4.8	5.2
S7	-5.6	-8.9	-5.1	-7.7	--	-7.0	--	--	-6.6	--	--	--	-5.2	-8.6	--	-8.9~5.1	-6.8	1.5
S8	-15.3	9.2	-2.8	-14.6	--	8.3	--	--	0.1	--	--	6.7	26.8	--	-15.3~26.8	2.3	13.8	
S9	-9.3	-10.0	-10.2	-9.6	-9.5	-9.6	-8.1	-8.2	-7.4	-11.1	9.2	-10.6	-9.2	1.5	-7.5	-11.1~9.2	-7.3	5.4
S11	-10.0	-3.9	0.1	-17.3	--	9.0	--	--	-0.6	--	--	8.7	2.2	--	--	-17.3~9.0	-1.5	8.9
C1	--	--	--	--	--	--	--	-8.7	--	-10.1	-7.3	-10.6	-11.0	-6.1	-4.7	-11.0~4.7	-8.4	2.4

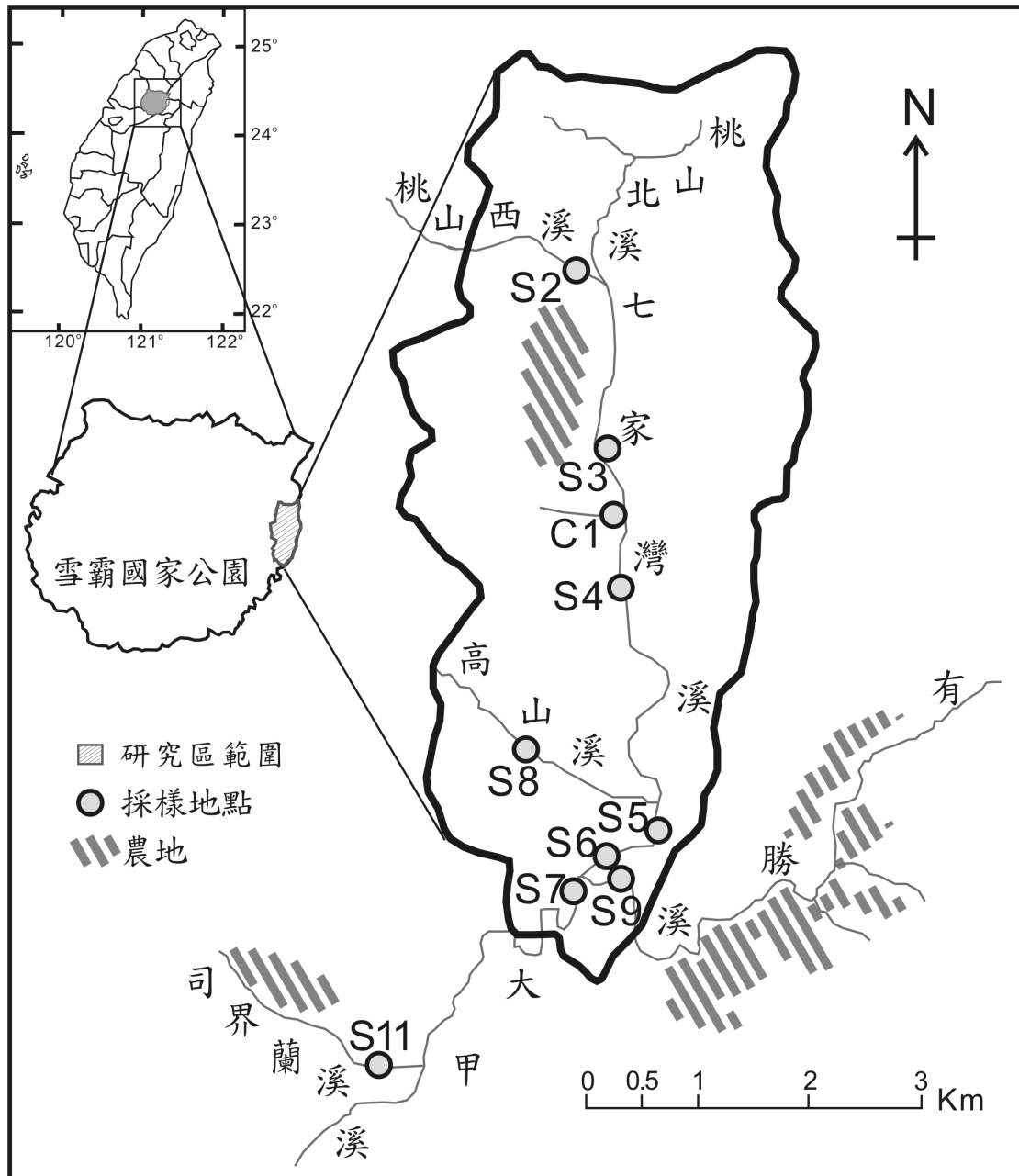


圖 4-1 武陵地區及本研究採樣點位置圖

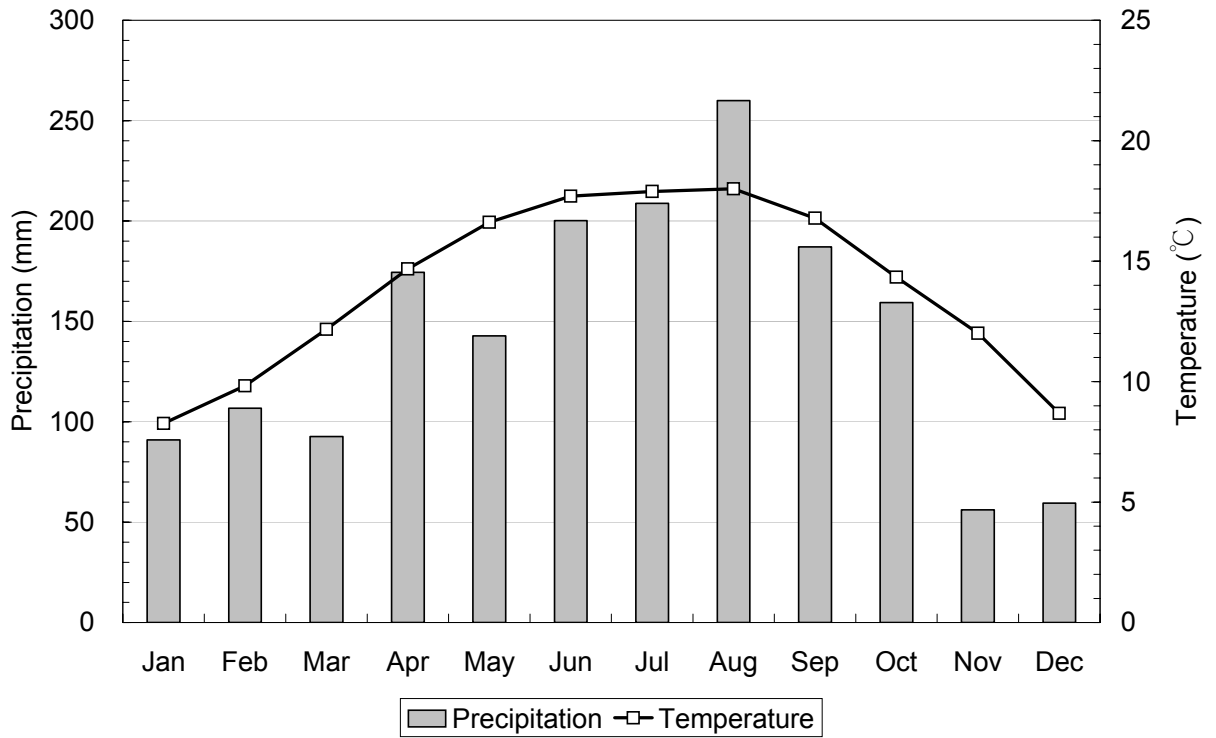


圖 4-2 2002 至 2007 年武陵地區之月平均氣溫及雨量

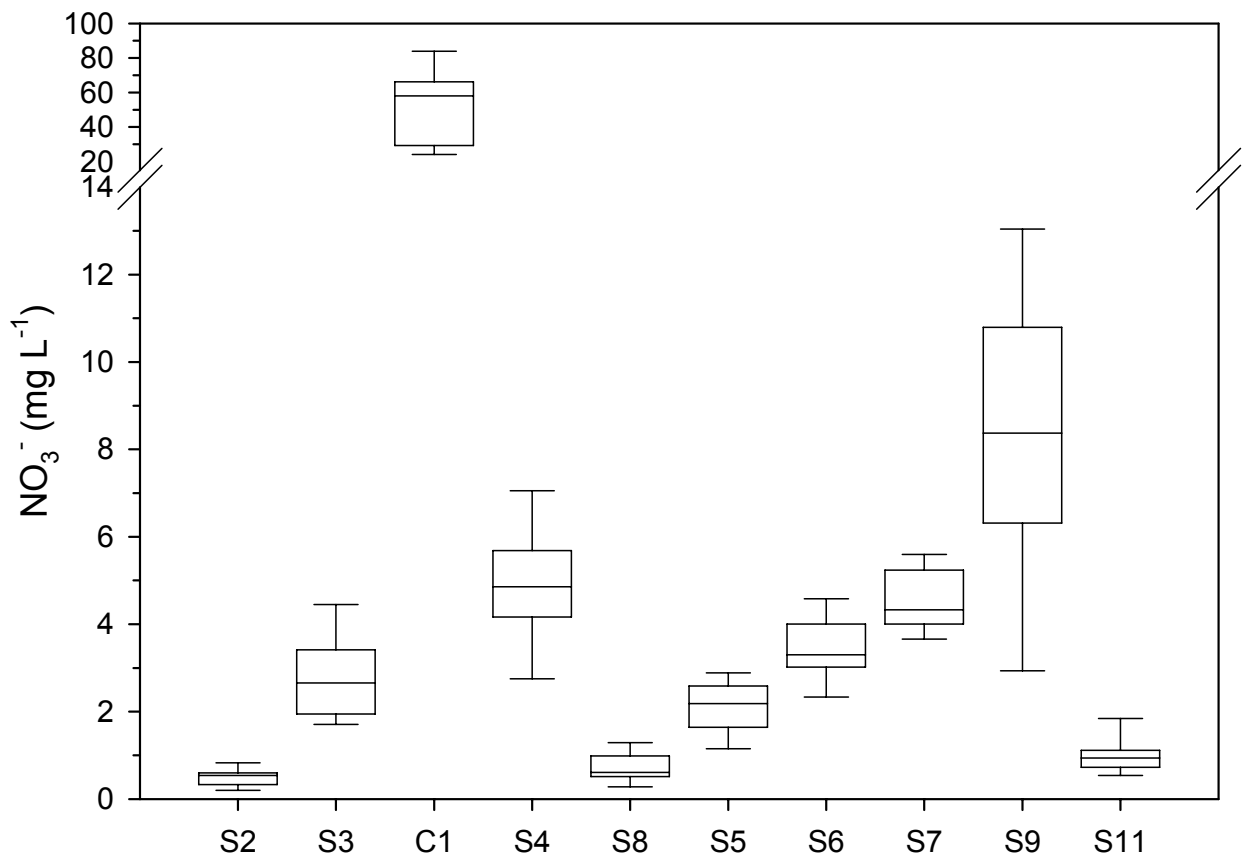


圖 4-3 各採樣點  $\text{NO}_3^-$  濃度盒形圖



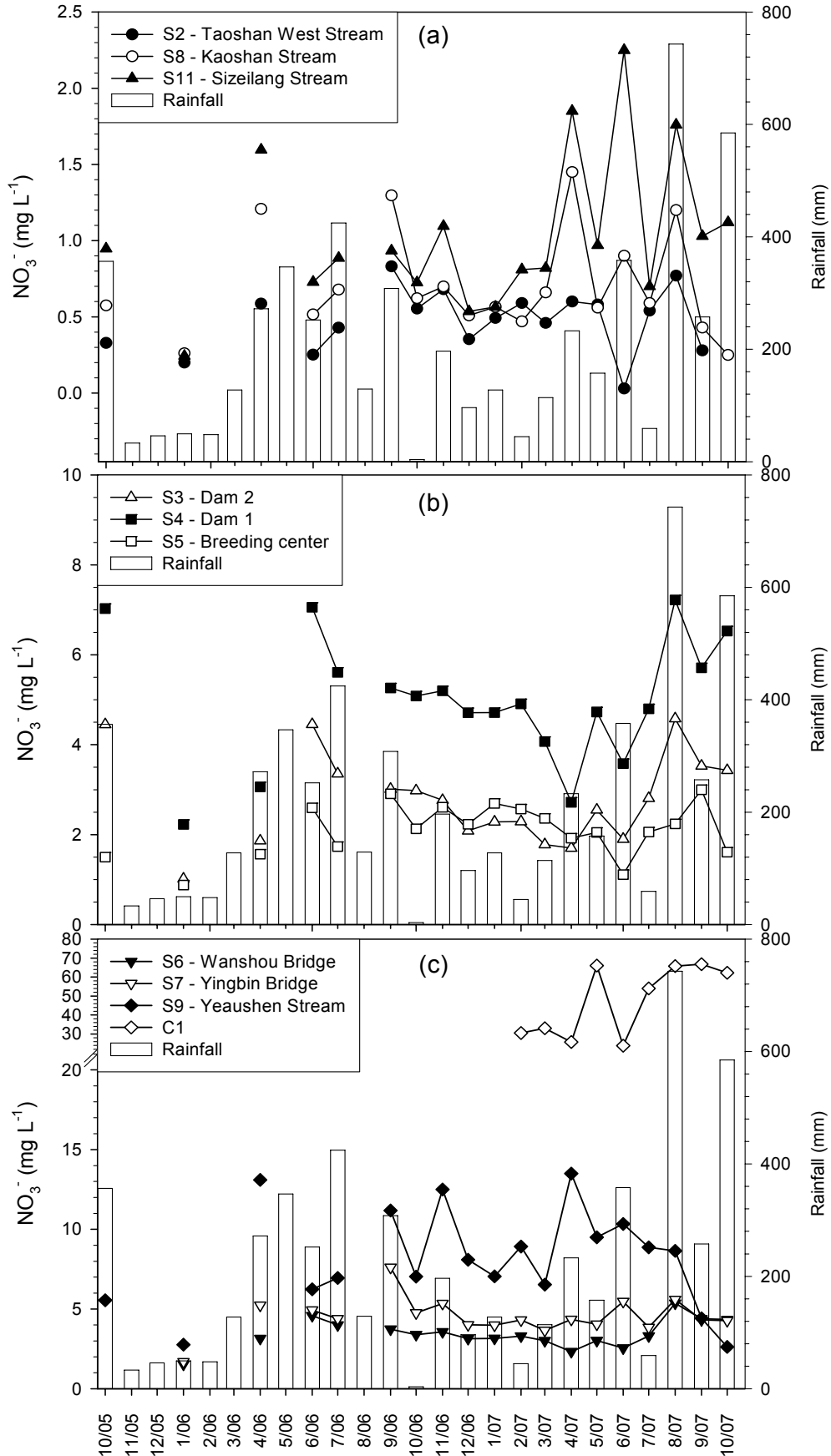


圖 4-4 各採樣點  $\text{NO}_3^-$  濃度之季節性變化

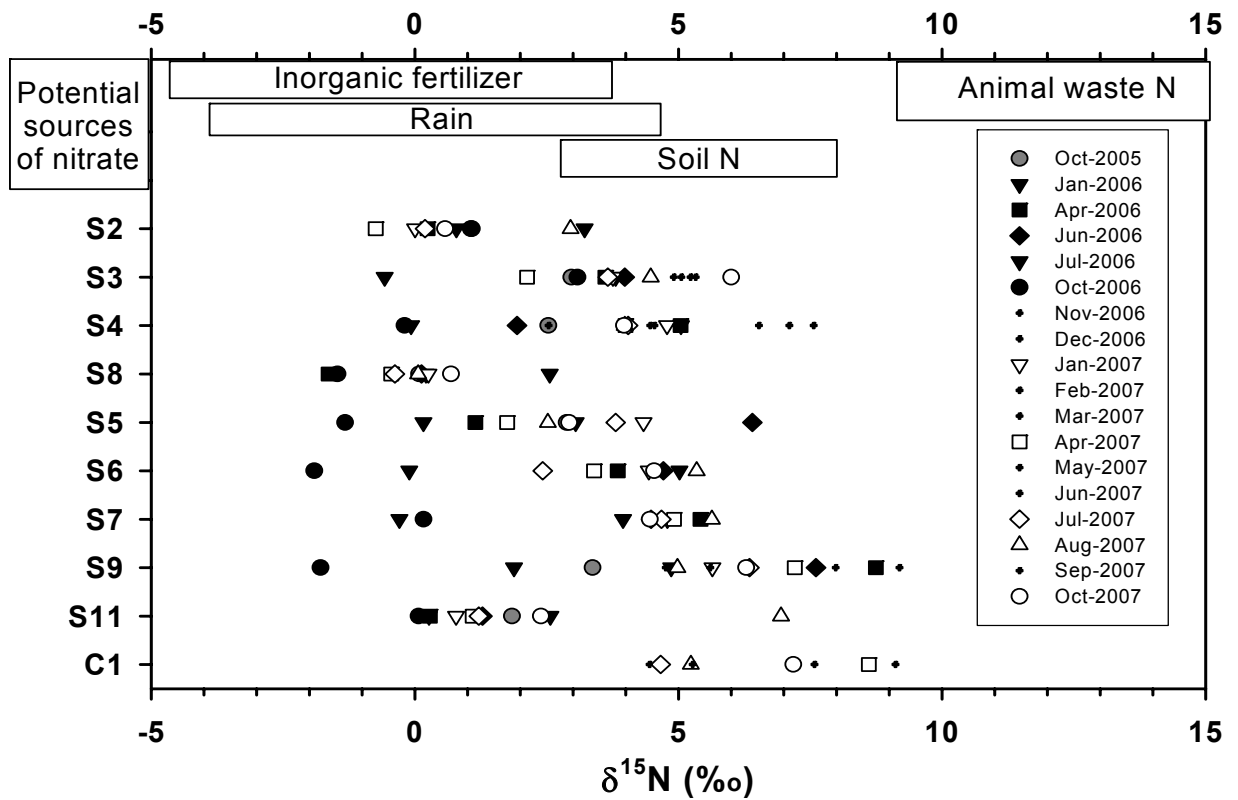


圖 4-5 本研究各水體中  $\text{NO}_3^-$  之  $\delta^{15}\text{N}$  特徵值分布。各種可能氮源之  $\delta^{15}\text{N}$  值範圍  
 摘自 Kendall (1998) 及彭等 (2004)

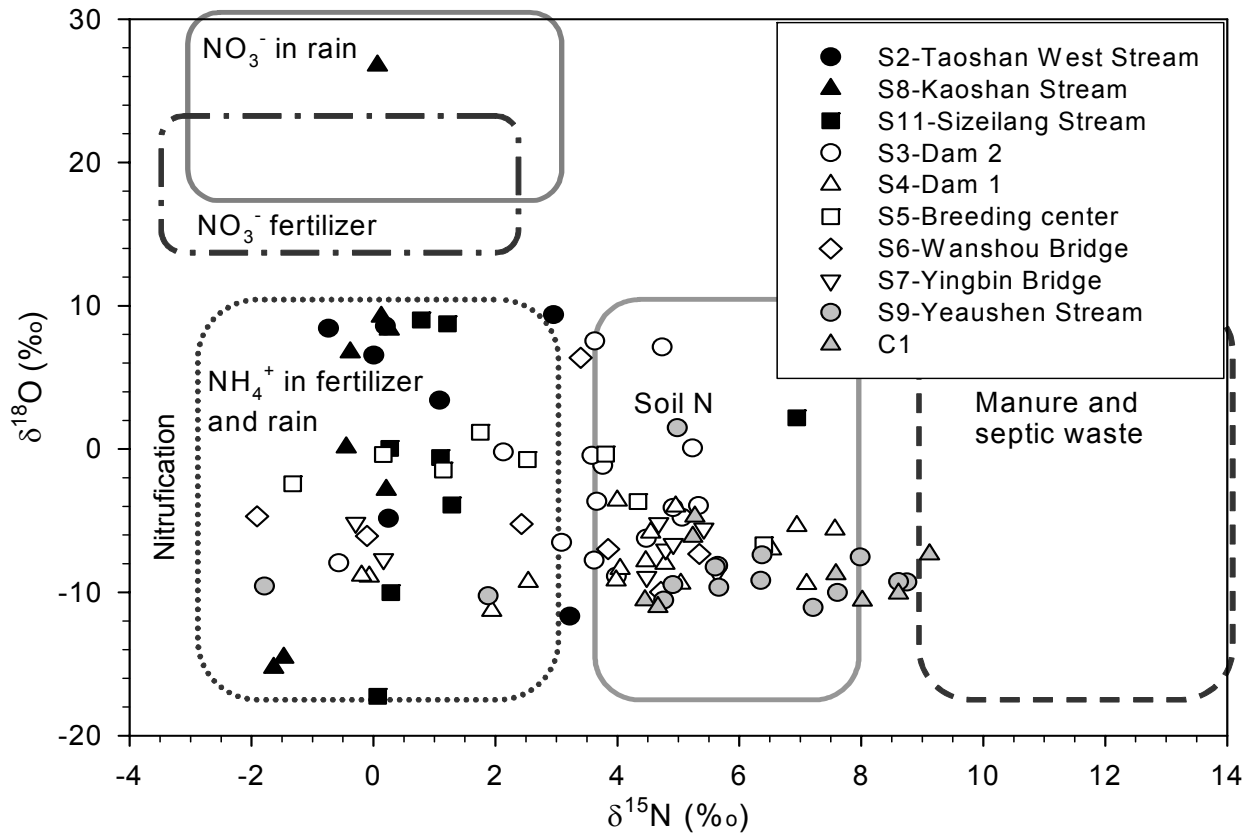


圖 4-6 本研究水體之氮、氧同位素組成分布圖。

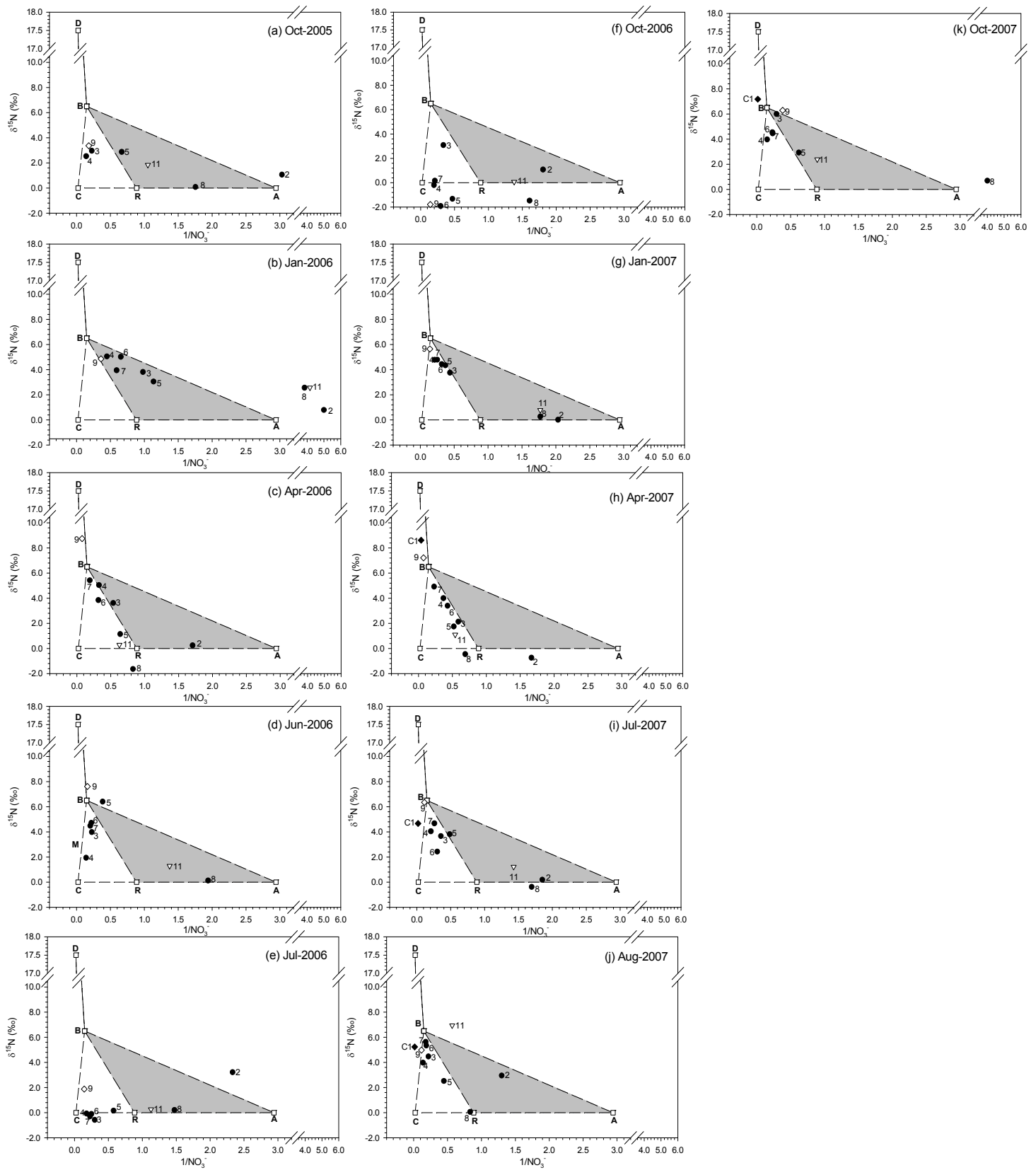


圖 4-7 本研究各時期水體中  $\text{NO}_3^-$  之  $1/\text{NO}_3^-$  與  $\delta^{15}\text{N}$  關係圖。(R：武陵雨水源；A：上游集水區雨水源；B：土壤氮源；C：化學肥料源；D：動物排泄物源)



# 第五章 流量、水溫模式與主要元素通量研究

高樹基、黃誌川、李宗祐、陳計君、簡偉如、郭鎮維

中央研究院環境變遷研究中心

## 摘要

### 一、研究緣起

台灣國寶魚，櫻花鉤吻鮭，僅分佈於雪霸國家公園內的武陵地區溪流。世界上僅加拿大、日本與台灣所獨有此類陸封鮭魚且台灣所屬緯度最低更顯示出其獨特性。此種稀少獨特的魚類為自然資源與生物物種保育的重點工作。本計畫架構在武陵地區生態模式的整體目標下，以流量、水溫與元素通量為主要的探討議題；這些參數的確定以及模擬能力的精進，不但能提供國家公園未來對資源管理與保育的政策參考也可納入生態模式中進行更完整的評估。

### 二、研究方法及過程

本計畫分析武陵地區之有勝溪、七家灣溪、四季朗等三個次集水區之地形、土地利用，同時也分析1990年至今的降雨與逕流關係。結果顯示：有勝溪地形坡度為三個集水區中最低；平均降雨量最低，農業活動面積則最高。反映在流量的特性上，有勝溪集水區的逕流係數為三個流域最低。且冬、春流量低於武陵地區其餘溪流，可能為灌溉引水所導致。司界蘭溪的土地利用、地形、逕流係數與七家灣相似，但冬、春的流量低於七家灣；夏、秋流量則高於七家灣溪，顯示：司界蘭溪的水文狀態變化較大。而七家灣溪則為三個流域中水文穩定性最佳的流域。

同時，本計畫監測自2006年12月起的元素通量（ $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ , Na, Mg, 等，共16項化學物質），以整年度的觀測結果來看（以N, P 為例），武陵地區四個子集水區元素N通量（ $\text{NO}_3\text{-N}+\text{NO}_2\text{-N}+\text{NH}_4\text{-N}$ ），其中七家灣溪的N輸出佔了整個流域的31.5%，有勝溪佔了32%，司界蘭溪加環山地區之子集水區則貢獻了

34.5%，而未受人為活動影響之桃山西溪僅貢獻了2%。P通量，七家灣溪佔了整個流域的28%，有勝溪佔了17%，司界蘭溪加環山地區之子集水區貢獻了45%，而桃山西溪則貢獻了10%。各元素通量受土地利用、施肥行為、環境作用呈現不同的型態；除了受元素本身的濃度影響之外，流量亦為重要的控制因素。

就水溫的觀測而言，水溫與河川走向、地形（指：海拔與遮蔽）、氣溫（含：日照）的影響甚劇，且快速反應。在冬季，東西向的河川水溫低於南北向的河川。同為東西向河川，海拔越低則水溫越高。且越往下游，變化越大。在相同海拔、方位條件下，有勝溪的水溫最高，可能是受遮蔽或低流量容易與氣溫交換導致。

颱風是影響亞熱帶高山集水區一個重要的氣候現象，不管是物理、化學或是生物因子，都受到颱風的嚴重影響，在此計畫年度內，針對帕布、聖帕及柯羅莎三個颱風進行颱風期間的水文模擬及水質採樣，三個颱風在不同集水區造成流量的峰值高達日平均流量的5到43倍，懸浮顆粒的濃度在桃山西溪、七家灣溪、高山溪、及有勝溪可以分別高達8、10、11及14g/l，在颱風發生的314個小時小時內（約佔全年3.6%的時間），物質輸出量約佔全年輸出量的24%，可見其重要性。

### 三、重要發現

- 1.利用低流量時期所建立之水位—流量曲線去推估高水位時期的流量可能存在不小的誤差。
- 2.武陵地區水質濃度由高到低依序為：有勝溪>環山地區>七家灣溪>桃山西溪。有勝溪不管在水溫、水質方面均不符合櫻花鉤吻鮭的生長需求。
- 3.各元素單位面積的產出量亦以有勝溪及環山地區最高。
- 4.東西流向河川的水溫較南北流向河川水溫來的低。
- 5.颱風對於水文、水質及集水區物質傳輸的影響非常顯著。

### 四、主要建議事項

- 1.謹慎使用高水位時期流量推估的結果。
- 2.以有勝溪作為對照組，以桃山西溪作為背景，瞭解人為活動對溪流條件的影響。
- 3.進一步探討人為活動與單位面積產出量之關係。

- 4.河川的流向或許可以作為放流櫻花鉤吻鮭時的考慮因子之一。
- 5.持續針對颱風期間的水質進行調查。
- 6.建立地下水觀測井，有助於瞭解生態基流量，集水區內物質傳輸的路徑，及地下水溫對於河川水溫的重要性。

**【關鍵字】** 水文模擬、元素通量、水溫量測、颱風影響

## **Abstract**

The Formosan landlocked salmon which only exists in Wu-Ling area, Shei-Pa National Park is the unique treasure in Taiwan. This kind of landlocked salmon only survives in the temperate climate, such as Canadian, Japan. Taiwan belonging to the subtropical climate is the south limit and raises the uniqueness and necessary of conservation. The goal of this integrated project is to construct the stage-dependent population matrix model and a trophic model to examine the interactions in this ecosystem. Under the goal of this integrated project, this project plans to advance the understandings of stream discharge, water temperature, and element fluxes through the approaches of field measurement and modelling. Both results of measurements and modellings can be the basis and support of the trophic model and management policies.

This project analyzed the terrain features, landuse patterns, precipitation, and discharge records from 1990 in the three sub-watersheds, namely Yu-Sheng, Chi-Jia-Wan, and Si-Jie-Lan. The results revealed that Yu-Sheng watershed with the gentlest slope has relatively less precipitation and meanwhile most cultivated farms (vegetable and fruit) are located in this watershed. The runoff coefficient in Yu- Sheng is the smallest one which means that the water yield in this watershed, especially in low flow periods (winter and spring), is poorer than the other two watersheds. The irrigation which changes the flowpath to affect the water cycling may be the primary factor to cause the low water yield in Yu- Sheng watershed. The landuse patterns, terrain features, runoff coefficients in Si-Jie-Lan watershed are similar to Chi-Jia-Wan watershed. It is worth to note that the low discharge (in winter and spring) in Si-Jie-Lan is lower than that in Chi-Jia-Wan, but the high



discharge in Si-Jie-Lan is higher than that in Chi-Jie-Wan. It implies that the discharge stability of the three watershed are Chi-Jia-Wan> Yu-Sheng> Si-Jie-Lan.

The 16 substances, including  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ , Na, Mg, and so on, are monitored from December 2006. Based on the present data and analysis, the results, taking N and P as examples, reveal that 31.5%, 32%, 34.5%, and 2% of total inorganic N emission are contributed from Chi-Jia-Wan, Si-Jie-Lan, Yu-Sheng, and Tao-Shan respectively. 28%, 17%, 45%, and 10% of total inorganic P emission are attributed by Chi-Jia-Wan, Si-Jie-Lan, Yu-Sheng, and Tao-Shan, respectively. Each substance concentrations presenting different patterns with discharge are affected by landuse, fertilizer behaviors, and environmental processes. Meanwhile, the flux estimations are not only influenced by concentration, but also by discharge.

Based on the inter-comparisons among the water temperatures in different watersheds and locations, our observations demonstrated that the water temperature is dominated by stream direction, topography (including elevation, and vegetation cover), air temperature (including sunshine). The water temperature is the end product of the interactions with those factors and responds quickly. Generally speaking, the water temperature in the stream with east-west direction is lower than that in the stream with north-south direction. Especially in winter, the differences between water temperatures are more obvious than that in summer. Certainly, the water temperatures in downstream area are relatively high and the fluctuations are large. Under the similar situations of elevation and stream direction, the water temperature in Yu-Sheng watershed is highest. It probably is caused by the small water volume and rare vegetation cover.

Typhoon is a typical environmental threat in the subtropical, especially mountainous watershed. It not only affects physical condition of the environment but also chemical and biotic conditions. There are three major typhoons invading Taiwan this summer, flow discharge simulation and water quality analysis are all conducted for these three events. The highest discharge among the three typhoons for each subwatershed is 5- to 40-fold increase than the annual average discharge. The concentration of total suspended matters measured in Tao-Shan, Chi-Jia-Wan, Kao-Shan, and Yu-Sheng are 8, 10, 11, and 14 mg/l, respectively. Within the 314 hours, the overall time span of the three events and occupied only 3.6% of a year, the contribution of the material fluxes to the whole year reaches 24%. The results shows typhoon is an unneglected event when discussing environmental issues.

**【Keywords】** Hydrology simulation, Material budget, Water temperature measurement, Typhoon effect

## 一、前言

內政部營建屬雪霸國家公園管理處之「武陵地區長期生態監測暨生態模式建立」計畫當中除鳥類、魚類、水陸生昆蟲、植被、兩生爬蟲以及棲地研究外，並嘗試以生態系統觀點架構能量的流轉以及農業活動對基本水質的影響，在此項流域-河川生態架構之下，流量為一主要因子，降雨-流量過程除直接影響棲地環境，如：河床型態、流速、水溫外；也影響著營養鹽的循環與交換。從過去武陵地區研究成果得知（林幸助，2006），流量也對櫻花鉤吻鮭的食物鏈造成影響，如水棲昆蟲，亦有可能對棲地底質造成影響，這些諸多被認為影響櫻花鉤吻鮭生存與否的棲地因子，都與流量息息相關，所以準確提供流量的資訊將有助於整合各子計畫之研究成果。另外，在計算流域內營養鹽收支平衡時，流量更是為計算輸出量時重要的依據。

不同時間的流量變化影響了不同生長階段的魚群，如夏季的洪水是櫻花鉤吻鮭分佈的重要因素，部分研究顯示（曾晴賢，2001; Cattaneo et al., 2002）每年因颱風引起的洪水常常會使得櫻花鉤吻鮭的魚群數目大量減少，洪水發生時會夾帶大量的泥砂導致水質劣化，部分魚群因無法承受如此惡劣的環境而死亡（Newcombe, 2003），部分魚群則被洪水沖至下游河段，而攔砂壩往往成為魚群遷移的障礙，因為下游環境往往不符合其生長條件所需，使得其暴露在不適當之棲地環境而招致死亡（廖林彥，2001）；冬季的流量變化，則可能影響魚卵的存活率，Shaw（2001）等人提出河川泥砂含量對鱒魚的影響；Wu（2005）建立了鮭魚卵存活率與產卵場內泥砂淤積量的關係；Zimmermann and Lapointe（2005）利用試驗證實了泥砂淤積會造成產卵場內水流速度的驟降，即影響魚卵新陳代謝的效率；St-Hilaire et al.（2005）提出洪峰流量過後產生的河床礫石組成比例改變，將影響即將孵化小魚的存活率。

除了流量之外，一般咸信水溫亦是影響櫻花鉤吻鮭生存的重要環境因子，且為櫻花鉤吻鮭此種冷水性鮭魚對環境最基本的要求條件。櫻花鉤吻鮭生活水域的

水溫介於 9~17°C 之間，到了繁殖、孵化期間水溫更需降低至 12°C 以下（曾晴賢，1999）。由於大部分的水生動物對水溫的要求很高，所以河川的水溫在生態的研究中，一直扮演著重要的角色。一般而言，溪流水溫由上游往下游遞增，根據調查報告顯示，七家灣溪在民國 74 年至 86 年間，其溪流平均溫度之 12°C 等值線往上游退縮約 1.56 公里（楊正雄，1997），嚴重影響河川生物之棲地分布，因此探討水溫之變動情形，成了延續魚類生命相當重要的課題。

因此，密集且詳實的觀測七家灣溪水溫的分佈，尤其是季節性的變化與極端事件上的衝擊，配合櫻花鉤吻鮭族群調查，將有助於瞭解棲地水溫環境在不同季節之變化，並藉此掌握櫻花鉤吻鮭可能活動之範圍。更進一步，如能掌握流量、水溫與其他作用間的關係，則可以利用模式來模擬流量、水溫；而夏季低流量是潛在高水溫發生的時機，本研究將著重於不同季節時，持續低流量對水溫之影響。藉由實際觀測之水溫資料驗證水溫模式，瞭解各種影響水溫變化機制，如濱岸植物遮蔽效應、人工壩體的增溫效應以及氣溫或輻射增溫的速率。有了可被接受的預測流量與水溫結果，對保育、復育櫻花鉤吻鮭是必要基礎，並可因應全球氣候變遷狀態下可能發生的問題並提供保育的可能方案。

除水溫與流量之外，由於台灣櫻花鉤吻鮭棲息地七家灣溪位於武陵遊憩區，沿途流經武陵山莊、武陵農場、武陵行政中心及武陵遊憩區，因此與整個武陵地區各種人為活動皆影響著七家灣溪。其中最主要的就是水域優養化的威脅，水域優養化指的是水域生態系營養狀態的升高（林幸助，2001）。近二十年來優養化不管在海水（Harlin，1995）或淡水（Lampert and Sommer，1997）已被認為是全球最普遍且最嚴重之人為污染。與七家灣溪匯流之有勝溪因其下游有高冷蔬菜農場，承接了農場大量施用肥料而流進的營養鹽，因此優養化的現象十分嚴重，整個水域佈滿了絲狀附生藻（林幸助，2003）。根據相關的研究針對水中附生藻類進行營養鹽添加實驗（林幸助，2003；簡麗鳳，2004）發現，七家灣溪流流域的水質由於季節性氣候的差異，再加上人為（農業）非點源污染的干擾，導致七家灣河流域水質在時間及空間分佈上有很大的變異，藉由計算各集水區各種

元素的通量，將有助於瞭解各元素在集水區內傳輸的情形，進一步管理集水區內污染來源。

因此，本計畫將增設化學水文觀測點，在不同季節與天候條件下，懸浮顆粒、主要元素離子(Ca, Mg, Na, K, NH<sub>4</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>)以及基本營養鹽(Si, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>)在空間之變化將被分析，通量將被計算，用以評估地表地下水以及農業活動對元素輸出之貢獻，將可和土地利用比對，適當控制污染的來源以確保櫻花鉤吻鮭擁有最乾淨的棲地環境，對於武陵地區溪流生態系模式的架構，以及對武陵遊憩區內污水處理與經營管理均有極大的助益。

颱風—是位於亞熱帶地區台灣不可避免的天然災害，每年颱風造成的損失更是難以估算，尤其是對生態所造成的衝擊，本計畫亦在颱風期間針對帕布(2007/8/7~10)、聖帕(2007/8/17~21)、及柯羅莎(2007/10/5~9)三個颱風進行水文的模擬及水質的觀測，探討颱風對於水文、水質及水溫之影響。

總括而言，本研究之工作項目為運用現有雨量、氣象站與流量站之觀測資料，以分散型水文模式進行水文模擬與驗證，推估流域當中各個無流量站採樣點(non-gauged station)之流量。增設化學、氣溫與水溫觀測網，觀測水溫與各主要元素在流域主、支流中之分佈。目的為提供保育與復育之科學基礎。

## 二、 材料與方法

### (一) 分散式水文模式

水文學發展至今，有許多方法可以進行流量模擬。其中，新興的分散型水文模式取向因為能與地理資訊系統(GIS)、數值地形(DEMs)與遙測影像(Remote Sensing)結合，因此廣泛地應用在許多環境模擬的議題上。然而，相似的研究在國內仍處於發展階段，相關的研究也較少，因此有其研究的必要性(Wang et al., 2006)。再者，本研究的主要議題，乃聚焦在環境因素的改變，如：土地覆蓋對土壤沖蝕的影響、農地施肥的影響等。這些空間資料的分佈型態對於環境作用的影響乃至於土地利用政策的決策，都需要加以評估。所以，採用的模式必須且必要將這些資料加以整合並納入模式之內。因此，本計畫擬利用國際上極富盛名的分散型水文模式，TOPMODEL (Beven, 1997) 來進行七家灣溪的流量模擬。

TOPMODEL 主要的特色在於：此模式為一物理概念模式，特別適用於森林、山地之小集水區。這類集水區的特色在於：植物根系發展旺盛，因此入滲容量(infiltration capacity)往往遠超過降雨量，所以地表逕流多半是以飽和漫地流(saturated overland flow)為主。換言之，大部分的河川流量都是由淺層土體內(shallow soil layer)或枯枝落葉層(litter layer)內的水分所提供。從 1979 年至今已經約有 300 篇左右的論文在探討此一模式的理論(Gunter, 1999)與在各種氣候與地形區上的應用(Camplung et al., 2002; )。近來許多地球化學的研究均指出：河川流量至少可以區分為三個主要來源：地表逕流、中間水流與地下水流。所以在 TOPMODEL 的理論發展上，也逐漸由兩層的概念模式發展為三層的概念模式(Hornberger et al., 2000; Scanlon et al., 2001; Walter et al., 2002)。其中，黃誌川等(2007)整合近來的修正方法並應用在橫溪集水區的颱風暴雨事件，顯示該模式在台灣的適用性。

此模式概念在垂直方面所考慮的水文作用為：蒸發散(採用 Hamon method, 1961)、入滲、滲漏(地下水補注);在地表逕流採用分散擴散波模式(Molnar, 1998)

配合曼寧公式推估(Liu et al., 2003)、在中間水流採用運動波模式配合達西定律推估、在地下水流則以指數遞減函數推估之。模式中所考慮的水文作用與彼此的關連性如圖 5-1 所示。

在水平方面三種逕流的演算方式分別如下所示：地表逕流是採用擴散波模式配合數值地形去估計每一個格點的集流時間與變異程度。中間水流推估方式。該層之水分移動大致上可用達西定律 (Darcy law) 來估算其流通量，而控制流通量的水利坡降，一般認為在淺層土體中，應可假設與地表坡降相同。因此，TOPMODEL 利用地形指數來推估集水區內任一點的含水量與流出量的關係，如下所示：

$$\overline{D}_t - D_{i,t} = -m(\lambda - k_i)$$

$\overline{D}_t$ ：集水區平均含水量  
 $D_{i,t}$ ：各網格含水量  
 $k_i$ ：各網格地形指數  
 $\lambda$ ：集水區平均地形指數  
 $m$ ：水力傳導度遞減率

(1)

上式中的地形指數定義為： $k_i = \ln\left(\frac{a_i}{\tan\beta_i}\right)$ ； $a_i$  為各格點的比集水面積 (specific contributing area, [L])。採用 Tarboton (1997) 所提出的無限流向法； $\tan\beta_i$  是指該格點的坡度，由數值地形模型採用 Zevenbergen and Throne method (1987) 求取。式(1)主要觀念在各網格的土體含水量狀態相對於平均狀況的差距可利用各格點地形指數與整集水區的平均地形指數配合為水力傳度遞減率來推估。因此，若能決定集水區的流量與平均含水量的關係，則可反推各格點的含水量。一般而言，指數形式的基流分離法(exponential recession curve function)，可用來求取不降雨時期的河川流量，因此利用下式，可建立平均含水量與流量的關係：

$$Q_{bt} = K_0 m \cdot \exp(-\lambda) \cdot \exp\left(\frac{-\bar{D}_t}{m}\right)$$

$K_0$ : 飽和水力傳導度  
 $Q_{bt}$ : 飽和帶出流量

(2)

地表下水流則採用指數遞減函數來表示(Lamb et al., 1997)，雖然集水區全區的平均含水量與流量之間的關係可利用式(2)決定，然而這樣並無法決定初始條件的平均含水量，因此該模是假設一開始的基流量可以決定 $\bar{D}_{t=0}$ ，則下式可用來決定初始條件：

$$\bar{D}_{t=0} = -m \cdot \ln\left(\frac{Q_{t=0}}{Q_0}\right)$$

$$Q_0 = A \cdot \exp(-\lambda)$$

A：集水區面積

(3)

最後利用單位時間內的系統平衡方程式(單位時間內的系統變化量等於入流量減去出流量)，可模擬每一個時間間隔的流量變化，如下式：

$$\bar{D}_t = \bar{D}_{t-1} + (Q_{b,t-1} - Q_{v,t-1})/A$$
(4)

式中， $Q_{b,t-1}$  為上一個時間點得出流量； $Q_{v,t-1}$  則為上一個時間點的入流量，及雨量。如此則可完成一個時間序列流量的模擬，與土壤含水量在各時間點的空間分佈。在配合上地表逕流與地下水流則可模擬河川流量。本研究利用七家灣流域附近的三個流量站，包含七家灣溪上的七家灣流量站、有勝溪上的有勝溪流量站、及上述兩溪和司界蘭溪匯流後的四季朗流量站，進行水文特性的分析並利用 TOPMODEL 模式作為主要推估流量的工具。

武陵地區附近的雨量與流量站的分佈(如圖 5-2 所示，而所擁有的資料長度如表 5-1 所示)。本研究區內包含三個流量站，包含七家灣溪上的七家灣流量站、



有勝溪上的有勝溪流量站、及上述兩溪和司界蘭溪匯流後的四季朗流量站，在雨量資料部分，7 個雨量站基本上涵蓋了 1970~2002 年的資料，僅捫山、志佳陽、平岩山 3 站自 2002 年後撤站。在流量部分，四季朗站與七家灣站自 1960 年代起均有觀測。可惜四季朗站自 2002 年後撤站。而有勝溪的部分則從 1996 至今均有觀測。從圖 5-3 可以看出本研究區主要涵蓋三個次集水區，分別為：有勝溪、七家灣溪與司界蘭溪。其中七家灣流量站的集水區包含有勝溪與七家灣溪。本研究現階段利用此三個流量站 1999~2004 的流量資料，進行流量特性分析，以釐清此三個集水區的水文特性。同時，在該地區的地形分析以目前 40m 解析度的數值地形模型為基礎；土地利用則以台電所調查的 1999 年土地利用為基礎進行重分類，如圖 5-3 所示。

## (二) 物質（元素）輸出量計算方法

與濃度所代表的單位體積內所含物質重量的定義不同，輸出量指的是單位時間內物質輸出的總重量，其計算方式為濃度乘上流量稱為物質的通量，每日在河川觀測到的物質濃度乘上日流量則得到該日的物質通量，月的物質通量則可經由累加日的物質通量得到，但礙於時間與人力的限制，物質的濃度往往無法做連續的觀測，所以需要倚賴估算的方式來推求未觀測時間的物質通量，一般在計算物質通量時有三種常用的方法，分別是直接平均法、流量權重法、與率定曲線法，將概述如下。

### 直接平均法

此法是三種方法中最簡單的一種估算方式，如(5)式所示：

$$Load = K \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} \times Q \quad (1)$$

其中 Load(kg) 為物質的通量；K 表轉換因子，將計算的結果轉換成需要的時間長度與單位； $C_i$ (ppm) 為觀測的物質濃度；n 為觀測的資料數；Q(cms) 為欲推求期間內之平均流量。若 Q(cms) 代表為月平均流量，則  $K=30(\text{day}) \times 86400(\text{sec/day}) / 1000(\text{g/kg})$ 。這個計算方法並沒有將流量對物質濃度的影響考

慮在方程式內。

### 流量權重法

此法則將流量對物質的影響考慮在計算的公式內，其計算方式如(6) 式所示：

$$Load = K \frac{\sum_{i=1}^n C_i Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \times Q \quad (6)$$

其中  $Q_i(\text{cms})$  表示採樣時的瞬時流量，不過通常以日平均流量取代之。以日平均流量替代瞬時流量是建立在日平均流量變異不大的假設下，雖然每年有兩到三個颱風侵襲台灣，其所造成的日流量變異往往超過幾個數量級，但是因為颱風發生的時間僅佔整年的小於 2%，以日平均流量取代瞬時流量假設造成的影響將很小。

### 率定曲線法

此法是假設採樣的物質濃度與採樣時的流量具有冪函數 (power function) 關係，而未採樣天數的物質濃度也將服從此一關係，將日流量代入即得到在此流量條件下推估之物質濃度，其計算方式如(7) 式所示：

$$Load = K \sum_{j=1}^T Q_j C_j = K \sum_{j=1}^T a Q_j^{b+1} \quad (7)$$

其中  $Q_j(\text{cms})$  表示每日平均流量； $C_j(\text{ppm})$  表示每日推估之物質濃度； $T(\text{days})$  表示欲計算物質通量的時間長度； $a$  和  $b$  則為冪函數的係數，可由觀測的物質濃度與流量作線性對數回歸後得到。

根據台灣其他流域的研究經驗 (Lee et al., 2007)，指出流量權重法是在有限的物質濃度資料下最為準確的推估方式，且本研究在各採樣點的採樣頻率為每月至少兩次，部分測站甚至每三天就採集一次水樣本，使用流量權重法將能大大降低物質輸出量推估的不確定性。

各個子集水區或是各個採樣點間物質輸入量差異，可透過上下游鄰近水質測站的物質輸入量差值計算而得，此部分的計算必須要配合分散式水文模式的模

擬，去模擬每個觀測點所對應之日流量，若河段間的物質輸出量增加了，則表示在該河段內有從集水區排入額外之物質；若某物質輸出量減少了，則表示該物質在河段被利用了，像是水中植物；若物質輸出量沒有改變，則表示改河段內僅發生河川稀釋作用。

為了有效計算每個集水區內物質的輸出量，本子計畫除「武陵地區長期生態監測暨生態模式建立」計畫當中原設置之共同採樣站外，又另外設置了較密集的採樣點，尤其是在有勝溪流域內，其目的除了物質平衡的有效計算外，更能清楚追蹤各種物質的來源與消散，測站分佈的位置如圖 5-4 所示。採樣的頻率除了幾個主要支流匯入點（C7、K1、Y1）及部分主流測站外（C1、C0）為三天採集一次水樣外，其餘採樣點均為一個月採集連續兩天的水樣，詳細的測站資訊、本計畫新增之測站、及與武陵計畫測站編號關係如表 5-2 所示。本研究之陽離子濃度分析儀器採用感應耦合電漿光譜儀（ICP-OES）量測主要元素（Al、Na、Mg、K、Ca、Si），陰離子（Cl, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>）濃度分析使用 DIONEX / ICS-1500，低濃度 PO<sub>4</sub> 將使用 10cm 光槽分光光度計以鉬藍法分析，濃度偵測極限可達 20nM。

### (三) 水溫模式

研究中希望利用時間及空間上連續的水溫觀測，瞭解水溫在集水區內的變化，並進一步提供模式修改的參考依據。研究中擬採用的水溫模式是李宗祐（2003）所發展的水溫模式，並曾經應用於模擬七家灣溪一號壩至三號壩水溫，獲得不錯的效果，為了考慮河段兩岸高山遮蔽的影響，該模式利用 DTM 數值高程模型建立河川網絡，並進而計算河段上每個網格點受到兩岸高山遮蔽的情形，將河段所接受之能量輸入水溫模擬模式後，得到河川水溫。

該模式乃屬物理性模式，利用進入水體或離開水體的能量變化，對水溫進行預測，以能量平衡的概念，計算河川中所接受到的淨輻射量、傳導熱、蒸發潛熱、可感熱及進出水體所帶來之能量變化等各個能量流率所造成的水溫變化。模式中假設河道為一維明渠且垂直水溫均勻混合並假設河面寬度遠大於水深，其溫度之傳遞可以下列方程式(8)來表示（Kim and Chapra, 1997）：

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{q}{A} (T_L - T) + \frac{H_T + H_B}{c_w \rho_w h} \quad (8)$$

其中 T 為河川斷面之平均水溫 (°C)，u 為水流平均流速 (m/s)，q 為側向流補注流量 (m<sup>2</sup>/s)，T<sub>L</sub> 為側向流的水溫 (°C)，D 為沿水流方向之傳遞係數 (dispersion coefficient) (m<sup>2</sup>/s)，H<sub>T</sub> 為水表之熱通量 (J·m<sup>2</sup>/s)，w 為河道頂部寬度 (m)，H<sub>B</sub> 為河床傳導熱 (J·m<sup>2</sup>/s)，p 為河道潤周長 (m)，A 為河道斷面積 (m<sup>2</sup>)，C<sub>w</sub> 為水的比熱 (J/kg°C)，ρ<sub>w</sub> 為水的密度 (kg/m<sup>3</sup>)，h 為水深 (m)。

河川中所接受到能量包括淨輻射量、蒸發潛熱、可感熱、傳導熱、摩擦熱等各能量流率。進入水體之淨能量變化為各能量項的總和，將其關係式表示如(9)所示。

$$\begin{aligned} \Delta H &= H_T + H_B \\ &= (R_s + L_d - L_u + L_T - H_E - H_H + H_{fc}) + H_B \end{aligned} \quad (9)$$

其中 R<sub>s</sub> 表示河川接受之短波輻射；L<sub>d</sub> 為大氣向下發射之長波輻射；L<sub>u</sub> 為河川向上發射之長波輻射；L<sub>T</sub> 為周圍環境給河川的長波輻射；H<sub>E</sub> 為河面之蒸發潛熱；H<sub>H</sub> 為因為河面與空氣溫度差產生的可感熱；H<sub>fc</sub> 為河水流動產生的摩擦熱，其中 L<sub>d</sub>、L<sub>T</sub>、H<sub>E</sub>、H<sub>H</sub> 與氣溫有關，L<sub>u</sub>、H<sub>E</sub>、H<sub>H</sub> 與水溫有關，而 H<sub>fc</sub> 與流量有關，河川透過水溫的變化反應水體能量的吸收與釋放，因此利用觀測瞭解集水區內能量的傳遞，如氣溫、太陽短波、土壤溫度的變化，將有助於瞭解水溫在時空上變化的機制。

水溫及氣溫的測站設置則如圖 5-4 所示，而氣溫的量測亦包含儀器架設處 30 公分深之土溫量測。水溫記錄器乃使用冰島製造之 Staroddi Mini，精確度優於 0.1°C。氣溫記錄器將使用 Delta-T Devices Ltd 出產之溫度感測元件，精確度優於 0.1°C。水溫及氣溫均由自動記錄器記錄資料，記錄的頻率均為 20 分鐘一筆。

### 三、 結果

#### (一) 資料蒐集狀態

本計畫從 2006 年 11 月陸續展開相關資料的採集與量測，主要包括了水質的採樣、水溫計及氣象站的架設。其中水質的採樣狀況如圖 5-5 所示，每個實心三角形表示一次的水質採樣，大的實心三角點則表示颱風採樣，採樣的頻率平均為 3 個小時；而水溫及氣象資料量測的時間則如圖 5-6 所示，圖中不連續的量測（大都是水溫量測）大部分是為了預防颱風期間造成水溫計的損失（事實上已經被大水沖走了五支）而提前在颱風到達前將水溫計收起來所致。密集的水質採樣，可以用圖 5-7 的形式來表達不同元素隨時間變化的情形，將有助於瞭解不同元素在集水區內移動的機制，以圖 5-7 的 PO<sub>4</sub> 及 Ca 為例，PO<sub>4</sub> 主要是附著在土壤顆粒上，所以 PO<sub>4</sub> 的濃度與水中的混濁程度成正相關，闡述了暴雨時造成土壤沖蝕的現象；而 Ca 則大多溶解於水中，與幾乎沒有濃度的雨水混合之後，而造成稀釋的現象；水溫、氣溫的量測結果則如圖 5-28~5-39 所示，並在計畫後半段加測有勝溪上游（Y7）之水溫。

#### (二) 流域特性

利用 40-m 解析度的數值地形模型分析此三個流量站的集水區地形特性。簡述如下：流域面積有勝溪、七家灣、司界蘭分別為：31.12、110.71、156.49 km<sup>2</sup>。周長分別為：27.8、46.1、57.3 km，最遠流長為：15.6、17.0、28.4 km。若換算為形狀係數（集水區面積/流長）則為：2.0、6.5、5.5 km，顯示有勝溪為一狹長形狀的集水區，而七家灣溪與四季朗流量站以上的集水區則偏向圓形。流域平均坡度分佈如圖 5-8 所示，平均坡度為 28.8、32.5、33.3 度，顯示有勝溪為坡度較緩的集水區，而七家灣溪與四季朗流量站以上的集水區則相似。

三個流域內之土地利用分佈比較圖則在圖 5-9。由分佈圖中可以清楚看到有勝溪主要有中橫支線穿過，沿岸的果園、菜園等一級產業興盛。近年來，政府推廣造林，因此本區域的造林地佔了該地區 62.6%。值得注意的是，該地區在公路、河谷沿岸持續有零星的小崩塌地發生。以七家灣溪測站而言，森林地約佔本

區總面積 81.3%，只有七家灣溪河谷右岸、高山溪下游匯入七家灣溪的河谷兩側有零星的果樹、蔬菜與茶園分佈。本區域在高山溪區域有較多的崩塌地分佈，顯示該區域的處於相對不穩定的狀態(Huang et al., 2006)。四季朗測站而言，森林所佔的比重與七家灣溪相似，約 84.2%，草地所佔的比重也相似，約 6.1%；從土地利用分佈圖中可以發現，本區域在環山河谷地區有密集的果園與蔬菜種植，在四季朗流域，僅下游地區有些蔬菜、果樹的栽植，上游的部分尚稱完整。崩塌地的部分則明顯集中在志佳陽山，也就是司界蘭溪的上游。

分析此三個集水區 1990~2004 年來的雨量、流量關係，如圖 5-10 所示。四季朗、七家灣與有勝溪平均年雨量分別為 2107.3、2142.7、1996.5mm，顯示降雨量在有勝溪流域明顯低於其他兩流域，為一比較少雨的區域。三個測站的年平均流量為 1816.9、1561.7、921.5 mm/m<sup>2</sup> (單位面積出水量)。也顯示出有勝溪流域的單位出水量能力低於其他地區。就逕流係數(Runoff Coefficient，定義為：年總逕流量除以年總降雨量)而言，三個流量測站的平均分別為 0.84、0.71、0.48，更進一步確認有勝溪流域確實是一個雨量少、單位出水量能力低的流域。就雨量變動程度而言，有勝溪在乾年的雨量會明顯偏低，但濕年的降雨量則會跟其他地區一致。流量變異依序則為：司界蘭溪>有勝溪>七家灣溪；換言之，七家灣溪流量最為穩定。

### (三) 流量模擬

#### 1. 流量推估

一般而言，流量的觀測大都是利用水位、流量的關係式所推估。台電在大甲溪上游歷年都有進行七家灣的河道調查與率定曲線的推估。圖 5-11 為七家灣溪流量測站的河道斷面圖。左側為 2000 與 2001 年，最高水位 3.3m 是由娜莉颱風所造成；右側為 2004 與 2005 年，而 2004-2005 年的最高水位 6.5 m，則是海棠颱風作造成。

2002 與 2003 年為台灣近年來明顯的乾年，並無颱風侵台，也因此河道斷面的變動很小。這點可以從 2001 年的剖面與 2004 年的剖面比較得知這樣的結

果。大致而言，比較歷年的河道變化，可以發現該河道相對而言並無明顯變化，換句話說：在這樣的河道斷面條件下，其流量的變合理應有較為一致的變化。

一如上述，水位與流量的變化在同一河道上，可以利用率定曲線相以推估。圖 5-12 為七家灣溪的歷年率定曲線圖。從 2004 與 2005 年的測點資料顯示：歷年來的水位、流量關係大約在水位 2.0 m 以下有實際測量的結果可以參考；而在水位大於 3.0 m 以上則歷年來的率定曲線之間的變化非常大（2000 與 2001 年的率定曲線幾乎相同）。利用水位所推估的流量在水位越高時，推估流量的差距越大。舉例而言，在水位 3.3 m（2001 娜莉颱風觀測到的最高水位）時，利用 2001 年的率定曲線，其推估流量為 102.73 cms；而利用 2005 年的率定曲線，其推估流量為 193.57 cms，兩者推估流量相差 90.8 cms（約為 2001 年推估流量的 88.4%）。另外，以水位 6.5 m（2005 海棠颱風所造成的最高水位）時，2000 年的推估流量為 461.57 cms、2005 年的推估流量為 885.31 cms，兩者相差約 420 cms（約 2000 年推估流量的 92%）。這樣的結果顯示出，利用率定曲線的外差可能存在著不小的誤差。

若將集水區視為一個系統，則集水區內降雨、逕流的關係在相似的環境條件下，理應有相似的流量反應。由上述的圖譜與討論中可以得知：若水位在 2.5 m 以上，基本上每年是有實測值可以參考。而以七家灣溪歷年平均日流量而言（約 3.0 ~ 5.0 cms，約佔 300 天左右），利用現有資料來進行日流量的推估應屬合理。而最大幾日的日流量則可能存在一些外差所倒致的誤差。就極端事件而言，颱風雖為極端事件，但在這些極端事件中，降雨-逕流的過程應該趨於一致。換句話說，相似的颱風降雨就應該導致相似的流量反應。以此觀點來看，2001 年的娜莉颱風與 2005 年的海棠颱風，在流量反應上，應該不會出現如上圖所述的過大差異。因此，本研究在颱風事件時，所使用的參考流量是利用台電所提供的水位資料，配合歷年平均所得的率定曲線推估而得（歷年平均率定曲線為： $Q = 15.413 \cdot H^2 - 11.426 \cdot H + 2.1858$ ，Q 為推估流量、H 為觀測水位高）。

## 2. 日流量模擬

本研究利用 3-layer TOPMODEL 進行武陵地區三個流量站 1990~2004 的流量模擬，模擬結果如表 5-3 所示。模擬的流量歷線：圖 5-13 為四季朗站 1993 與 2002 的結果。圖 5-14 為七家灣；圖 5-15 為有勝溪 2000 與 2002 的結果。平均而言四季朗、七家灣與有勝溪流量站的平均模擬結果以效率係數 (EC, Nash and Sutcliffe, 1970 提出) 表示，分別為：81.9、82.9、73.3%；而整體流量誤差(定義為： $100 * (\text{模擬流量} - \text{觀測流量}) / \text{觀測流量}$ )，分別為：9.5、9.0、7.8%。顯示本模式在目前的資料狀況下 (不含土地利用、土壤資料) 已經有不錯的模擬結果。其中，四季朗流量站在 2001 與 2002 的流量模擬最佳，高達 90.0%；而在 1991、1992 則為較差的模擬，也有 70.0% 的水準。七家灣流量站的整體表現與四季朗相似，而以 1996 與 2001 的模擬結果最好，效率係數為 92.9、94.2%，以 1991、1994 的模擬結果最差，67.2、66.8%。有勝溪則普遍模擬結果不佳，僅 2000 與 2002 的模擬結果超過 80.0%。

利用上述的模擬結果所求取的參數值配合 2007 年自設於武陵青葉農場的雨量資料，則可對武陵地區進行 2006/11/1~2007/11/2 的流量模擬。圖 5-16 及 5-17 分別為有勝溪及桃山西溪的流量模擬結果。從模擬結果可以看出，今年的聖帕與柯羅莎颱風是造成尖峰流量的主因。利用流量的模擬結果可以進一步做為計算元素通量的參考。

## 3. 暴雨模擬

颱風一直是影響元素通量輸出的關鍵因素，而元素通量的傳輸與移動也牽動著生態系內的營養鹽流動。因此，我們利用歷史上七家灣溪的颱風事件決定模式參數再應用於模擬本區在 2007 的帕布、聖帕、及柯羅莎可能造成的流量歷線，這樣的模擬結果將可進一步做為元素通量計算的基礎。如上所述，在颱風事件時的水位-流量關係並不穩定，因此我們採用平均率定曲線重新計算艾莉、海棠、瑪莎颱風的流量。模擬過程中，以思源、桃山、環山作為雨量輸入的基礎，雨量空間內差部分以最短距離平方法推估之。利用此三場事件作為參數率定的基礎。



此三場檢定事件模擬結果如圖 5-18 所示。

整體而言，颱風事件的模擬效率與日流量模擬結果相似，效率係數也都有 80% 以上的水準，大致上說明了此模式確實可以描述大部分的降雨、逕流行為。基於此模擬結果，我們進行了 2007 年帕布颱風、聖帕颱風、及柯羅莎颱風在七家灣溪、高山溪、桃山西溪、及有勝溪可能的流量反應。圖 5-19 舉例展示了七家灣溪在聖帕颱風及柯羅莎颱風的流量變化曲線。從模擬結果可以得知，七家灣溪在颱風時期的尖峰流量約在 300~500 之間，與歷史資料相符合，模擬流量歷線的形狀大致上與現場量測的導電度趨勢呈現不錯的關係（圖 5-42），顯示本研究使用之降雨逕流模擬能確實模擬暴雨期間河川流量的變化。

#### (四) 集水區物質輸出量

集水區內物質傳輸的空間分佈可以由導電度在流域內的空間變異大致得到，如圖 5-20 所示，圖中 x 軸由左至右代表七家灣溪從上游到下游依序之採樣點位置，而每個灰框所包圍的範圍表示一主要支流的匯入，整體看來有勝溪是整個武陵地區導電度最高的流域，而又以 Y5、Y4、Y2 有勝溪流域內的三條小支流的導電度最高，使得有勝溪的導電度從上游到下游有顯著的上升趨勢，從 NO<sub>3</sub> 的空間分佈更可以看出氮元素在集水區的流動，如圖 5-21 所示，桃山北溪和(T1)和桃山西溪(C7)匯流後，從原先低於 1ppm 的 NO<sub>3</sub> 濃度流經二號壩(C6)及一號壩(C4)後上升到了 2ppm 及 4ppm，其間有一條濃度高達 60ppm 的小支流匯入，高山溪(K1)因其較低濃度的匯入使得繁殖場(C3)被些微中和，到了萬壽橋(C2)濃度則稍微增高，隨著有勝溪(Y1)的匯入，使得國民賓館旁迎賓橋(C1)的濃度增加，而司界蘭吊橋(C0)因為濃度較低的司界蘭溪(S1)匯入而稍微降低。司界蘭溪則因為越往下游農業活動越多，使得 NO<sub>3</sub> 濃度明顯增加。有勝溪主流的 NO<sub>3</sub> 濃度越往下游其濃度越高，但是支流的濃度(Y6、Y5、Y4)卻來的比主流還低，換言之，所有 NO<sub>3</sub> 的來源都在有勝溪主流兩旁，合理推斷有勝溪大部分的 NO<sub>3</sub> 都是由河岸兩旁注入。

從其他的元素看來，除 Si 一直維持較恆定的關係外，所有的元素在集水區

內均與導電度及  $\text{NO}_3$  濃度一樣具有空間的變異，代表著以每個採樣點作為集水區出口所圍繞之子集水區其元素的輸出量截然不同，這與土地利用的型態、施肥的行為、甚至是地質都有關係，不過這一切後續較深入的探討工作都將建立在元素通量或是物質輸出量的計算結果。各個測站所量測之各個元素濃度的平均值及標準偏差如表 5-4 所示。

中央氣象局設置的思源氣象自動站，能提供到自今三個月前武陵地區的小時降雨及氣溫，配合本計畫在環山青葉農場所設之簡易氣象站，將氣象資料代入前述已驗證之分散式水文模式，即可得到水質採樣期間之日流量（2006.11 月到 2007.11 月），進而建立流量與各元素濃度的關係，如圖 5-22（左）表示迎賓橋站（C1） $\text{NO}_3$  濃度與採樣當日模擬流量之關係，而圖 5-22（右）則表示  $\text{NO}_3\text{-N}$  元素通量與流量之關係，兩者對流量均為正向之關係；但桃山西溪（C7） $\text{NO}_3$  濃度卻隨著流量的增加而降低（圖 5-23），顯示集水區內元素移動行為之空間差異。從集水區內各元素的空間分佈和元素濃度與流量的關係來看，武陵地區各子集水區內各元素之行為差異極大，有必要透過輸出量的計算，瞭解各子集水區內元素輸出與環境條件的關係。各種元素通量與流量之對數回歸後關係，如表 5-5 所示。

利用流量權重法計算集水區內氮、磷元素輸出量之結果如圖 5-24 及圖 5-25 所示，以三個流量站（圖 5-2）為劃分子集水區之依據加上桃山西溪，配合水質的觀測的結果（迎賓橋（C1）、有勝溪收費站（Y1）、司界蘭吊橋（C0）、桃山西溪（C7）），計算每個子集水區內元素之通量，若把桃山西溪當作是沒有人為影響的自然輸出，則透過每個子集水區的比較，將可以得知人為活動對輸出量之影響程度。迎賓橋的水質量測雖然已經包含桃山西溪及有勝溪注入之溪水，但在各子集水區通量的表達上已經將有勝溪及桃山西溪之貢獻扣除，可視為萬壽橋（C2）以上不含桃山西溪之輸出量，在計算司界蘭上游（環山地區）時，亦已經扣除七家灣溪及有勝溪的貢獻，圖 5-24 表示武陵地區四個子集水區元素 N 通量（ $\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$ ）的輸出佔整個武陵地區輸出量之百分比，其中七

家灣溪（不含桃山西溪）的 N 輸出佔了整個流域的 31.5%，有勝溪佔了 32%，四季朗流量站以上七家灣溪流量站以下之子集水區貢獻了 34.5%，而桃山西溪僅有貢獻 2%；以 N 的輸出量來看，在觀測期間四個子集水區的輸出量則分別為 380、386、415 及 24kg/day（圖 5-24、表 5-6）；以單位面積的輸出量來看，四個集水區分別為（圖 5-24、表 5-7）7.1、12.5、9.0 及 0.9 kg/day/km<sup>2</sup>。而元素 P（PO<sub>4</sub>\_P）的輸出則如圖 5-25 所示，整體輸出量為司界蘭大於七家灣大於有勝溪大於桃山西溪，但是單位面積的輸出上則有勝溪超過了過七家灣溪，不同集水區內的作物情形及集水區的出水效率，可能是導致此結果的因素，但所有子集水區的輸出量總量和單位輸出量高於沒有人為影響的桃山西溪，可藉此推求人為活動的輸入。四個子集水區各元素通量結果如表 5-6 及 5-7 所示。

將四個子集水區各元素單位面積通量繪製如圖 5-26 所示，每個元素在每個集水區內的單位輸出量各有消長，並沒有呈現一致的現象，在量測的 15 個元素中，以有勝溪單位面積輸出量為最高的元素佔了 6 個，包含了 Cl、NO<sub>3</sub>、Na、Mg、K、Sr；而以司界蘭溪及環山地區輸出量為最高的元素，則包含了 DOC、SO<sub>4</sub>\_S、PO<sub>4</sub>\_P 及 Ca；而除了 DOC 及 K 以七家灣溪輸出量為最低外，桃山西溪各項元素輸出量均維持在整個武陵地區的最低值，顯示人為活動的確造成了集水區內元素通量的增加。扣除了以桃山西溪為基準的單位面積輸出量，即因人為活動而多的輸出量，如圖 5-27 所示。

#### **(五) 集水區內水溫變化**

流域內七個水溫測站的溫度分佈如圖 5-28 至圖 5-36 所示，氣溫則如圖 5-37 至圖 5-39 所示，綜觀來看可以發現，水溫的變化與氣溫的變化趨勢相當一致，可見水溫的變化與氣溫是息息相關，只是水溫的變幅不像氣溫的變幅那樣大，而水溫在集水區內的空間變化，則可以用圖 5-40 來表示，整體看來可以發現幾個現象，撇開灰框所包圍的支流不看，越下游的平均水溫越高，支流中的司界蘭溪亦有相同的現象，且越往下游水溫的變幅（最高溫減去最低溫）越高；所有流域中以有勝溪（Y1）的平均水溫最高，且變幅最大；有趣的是，桃山西溪與北溪

的海拔高度相近，但桃山西溪的水溫在觀測初期一直很系統性的低於桃山北溪大約兩度（如圖 5-41 所示），隨著春天的來臨，桃山西溪之水溫才慢慢接近北溪水溫。若以 17 度水溫作為櫻花鉤吻鮭適應環境的上限，則根據過去一年的水溫量測，以有勝溪全年約有 19% 的時間超過 17 度，為最不適合之棲地，而桃山西溪及桃山北溪則從未超過此閾值，其他像高山溪、一號壩、迎賓橋、及司界蘭吊橋分別佔了 0.3%、0.5%、3.5% 及 5.9%，越往下游超過的比例就越高，而近年來有進行野放工作之司界蘭溪，其水溫超過此閾值的情形分別為 2.3%（司界蘭溪上游）及 2.9%（司界蘭溪下游）。

#### (六) 颱風對水文、水質及水溫之影響

表 5-8 顯示了研究期間三場颱風事件在桃山西溪、高山溪、七家灣溪及有勝溪模擬所得之颱風期間最大流量、平均流量及日平均流量之關係，高山溪在柯羅莎颱風期間，其最大流量甚至高達平均流量的 43 倍左右，流量在短短的幾個小時內從平均流量到達峰值，相信對於櫻花鉤吻鮭的反應及抵抗能力都是一大考驗，尤其是不足歲的幼齡魚而言，進一步配合櫻花鉤吻鮭颱風前後調查資料，或許有助於瞭解不同集水區內，魚群數量所遭受之衝擊與流量變異之關係。

颱風事件對水質的影響，可以分成對顆粒相物質及溶解相物質兩個部分加以探討（如圖 5-7），圖 5-42 顯示有勝溪在柯羅莎颱風期間水質隨時間變化之情形，其中導電度可以代表水中溶解相物質的濃度，其與流量變化的趨勢成反比，顯示主要是稀釋作用在控制河水中物質的濃度， $\text{NO}_3$  亦是同樣的現象；反觀水中懸浮顆粒的濃度（TSM）則與流量變化的趨勢成正相關，有勝溪在柯羅莎颱風期間的量測值，其 TSM 濃度高達了 20g/l 居於所有觀測點之冠，而桃山西溪、七家灣溪萬壽橋下及高山溪流域的 TSM 在柯羅莎颱風期間，亦分別高達了 8、10、及 14g/l（如圖 5-43 至 5-45 所示），持續的高濁度河水除了可能會造成魚鰓的阻塞外，亦會影響魚群在這段時間的活動與覓食。

颱風期間所造成的物質輸出可以表 5-9 來表示，與整年度的單位面積輸出相較（表 5-7）可以發現，颱風台期間單位面積物質的輸出量是全年平均的 2.3 倍

(有勝溪的  $\text{SO}_4\text{-S}$ ) 至 31 倍 (有勝溪的  $\text{PO}_4\text{-P}$ )，平均而言，對於所有的物質，整個武陵地區在颱風期間單位面積的輸出量大約是全年平均的 6.6 倍；若以總量來表示，颱風期間物質輸出的總量約佔全年物質輸出總量之百分比如表 5-10 所示，以有勝溪的  $\text{SO}_4\text{-S}$  佔的 8% 最小，到有勝溪的  $\text{PO}_4\text{-P}$  的 100% 為最大，所有物質平均而言，整個武陵地區在颱風期間的貢獻量，約佔全年之 24%。

颱風對於水溫的影響相對來說就小很多，颱風期間降低了氣溫的日震幅，也使得水溫的變幅隨著降低，相對於其他環境變數的劇烈改變（流量、TSM 等），在颱風期間水溫應不是影響櫻花鉤吻鮭生存與否的主要因子。

## 四、討論

### (一) 流量模擬

若將觀測資料與模擬結果相互印證可以明顯發現，有勝溪，本身為比出水量較低的流域，反映在偏低的逕流係數，同時該流域也是平均坡度最低與人為開發程度最高的區域，這可從數值地形模型的分析土地利用分佈看出這樣的結果。也因為人為活動的關係，推測果樹與蔬菜的栽種應會有引水灌溉的需求，因此在冬、春兩季，觀測流量常低於觀測極限，導致模擬結果不佳；夏季則可能是因為颱風與高流量的關係，稀釋了引水灌溉的影響所以觀測流量上並無明顯的反應。由於引水的需求改變了該流域的逕流的路徑（使流長增加或增加蒸發散的機會），推測可能是造成該流域比出水量偏低的部分原因。而從模式的結果比較可以發現在有勝溪低流量的後期，模式常常無法得到良好的結果，可能與上述因素有關，但高流量的部分則能保持相當不錯的模擬結果。以七家灣站而言，其水文特性較有勝溪穩定，由於七家灣站包含有勝溪流域與七家灣溪流域，因此若扣除有勝溪的比重，可以推知七家灣溪本身的比出水量更高；且變動性會更小，這樣的特性有利於模式的模擬，這也部分解釋了模擬結果良好的原因。四季朗站的水文特性與七家灣站幾乎一致，因此不管觀測的結果或模擬的結果皆與七家灣站相似。值得注意的是，四季朗站在冬、春兩季以跟有勝溪一樣，模擬結果有略高於觀測結果，顯示環山地區的果樹栽植確實對流量有些影響。若將四季朗站扣除七家灣溪站，可得司界蘭溪流量，由流量的觀察可以發現，司界蘭溪的比出水量與七家灣同一水準，但在低流量時期會比七家灣溪低，而在高流量時期則又比七家灣高，顯示司界蘭溪為一個水文特性變異較大的流域。因此，鮭魚在此區域的放流，可能會有這樣的隱憂，也值得後續持續關注。

綜觀而言，目前的模擬結果可以提供未來環境變遷的情境參考，也可作為未測站流域的流量推估。但有四項議題值得進一步研究：1.本研究目前僅使用地形、降雨資料已有相當不錯的結果，未來在模式的應用尚須考慮土地利用、作物生長的用水以及土壤的特性作為精進模式模擬的基礎。2.目前模式的率定限於時

間與電腦資源僅進行部分試誤法(利用隨機抽取的500組參數組合)來析取參數組合，未來需要精進此一部份以避免參數率定限於區域最佳值而誤用；對於模式率定所採用的標準也應一併納入討論(Madsen, 2000; Krause et al., 2005)。3.對於水文模擬結果的不確定性分析需要建立一有效的方法，才能對增加對模擬結果使用的信心。4.模擬結果的良窳似乎與逕流係數有關，在過高或過低的逕流係數下，較不容易有良好的模擬結果，其中的關連需要進一步確認。

## (二) 集水區元素通量

物質濃度的空間變異圖(圖 5-20 及 5-21)除了顯示物質濃度的空間變異外，亦表示了空間的相關性，提供通量計算的基礎，因為物質濃度的增加勢必有其來源，從電導度量測的結果合理反應了支流注入的效應(稀釋或是濃度增高)即可說明除此之外，該圖並顯示了各測站對時間之變異，每次採樣時環境條件的不同，導致濃度反應的差異，而流量是主要的影響因素之一，這是為何需要透過分散式水文模式來建立濃度與流量之關係。

在七家灣溪上，二號壩與一號壩間之支流(C5)其各項元素濃度的量測結果均十分有趣，是在過去計畫中沒有提到過的，從表 5-4 各種水質濃度的統計結果來看，此支流在 Cl、NO<sub>2</sub>、NO<sub>3</sub>、PO<sub>4</sub>、Si 平均濃度都居於全流域之冠，其中 Cl 及 NO<sub>3</sub> 甚至高於其他測站一個數量級，其河道兩岸之土地利用明顯影響了水質，非常值得進一步之探討。

濃度—流量曲線可用以判斷該土地是否經過人為的干擾，以 NO<sub>3</sub> 對流量(圖 5-22 及圖 5-23)的反應來看，分別代表著兩個不同集水區內元素的飽和程度，較原始而未施灑肥料的區域(如桃山西溪)降雨將稀釋輸出的元素濃度，反觀有農作物施作的地區，因為土壤內含有豐富的 NO<sub>3</sub>，隨著降雨事件時的地表或地下逕流注入河川，而使得濃度增加。

從土地利用圖來看(圖 5-3)，武陵地區大部分的農作物都集中在七家灣溪流量站以下至四季朗流量站之間，這是為何在我們量測的 12 項元素裡面有 7 項(F、Ca、Si、SO<sub>4</sub>\_S、DOC\_C、Sr、及 PO<sub>4</sub>\_P)都是以四季朗流量站以上之

集水區的單位面積元素輸出量最高，其他像 Cl、N、Na、Mg、K 等元素則以同樣佔有不少耕作面積之有勝溪為較高，可能是施作作物的不同，加上施肥行為的差異，導致單位面積輸出量的改變。

### (三) 水溫

從水溫空間分佈的結果來看，越往下游之平均水溫越高且變幅越大，因為隨著水體向下游移動，暴露在空氣的時間越長，水體接受到能量的機會就越多，即水溫越會受到周圍空氣的影響，使得水溫的變幅逐漸接近氣溫的變幅，但因為水的比熱比空氣來的大的多，所以水溫的變幅永遠在氣溫的變幅之內，但也有下游水溫低於上游水溫的情形發生，如圖 5-47 所示，三條溫度曲線分別表示，繁殖場氣溫 (C3)、一號壩水溫 (C4) 及迎賓橋水溫 (C1)，在 2007/1/30 到 2007/2/6 之間因為晚間氣溫均降到 0°C 以下，使得流經一號壩約 8°C 的水體必須持續釋放熱能至空氣中，導致水體往下游方向不斷的降溫，夜晚越冷則水溫降溫的幅度就越大，此段期間由於日間氣溫僅略高於水溫，所以對於流經一號壩之水溫沒有加溫之效果，使得兩處白天之水溫非常接近，足以證明空氣對熱交換的影響，到了 2007/2/6 以後由於慢慢接近春天，夜間低於零度的機會降地，而慢慢恢復下游水溫高於上游水溫的現象，尤其以 2007/2/10 至 2/12 間最為明顯，因為夜間氣溫仍維持在高溫所致。未來氣候變遷下，氣溫升高的趨勢已經被證實，尤其以每日最低溫升高的幅度最為顯著，與氣溫變化高度相關之水溫勢必會受到影響，進一步瞭解影響水溫變化之機制（除氣溫影響外），或許將有助於減緩水溫上升之幅度，仍有待進一步之研究。

有勝溪不管是在平均水溫或是溫度變幅上都是全流域之冠，有很多種原因均可能導致這樣的結果，有勝溪的流量低、水淺導致水體接受或釋放能量的反應(水溫)較為劇烈，且有勝溪沿岸多為農作地，地形開闊（有勝溪坡度分佈主體圖，圖 5-9，其分佈較其他集水區偏左分佈，顯示該流域天然屏障較少）、缺乏樹冠層抵擋部分直射水體之太陽輻射，加上矮莖類的作物也會因為無法消滅照射土體之太陽輻射，使得土溫較高，進而影響流出之地下水溫，都是可能導致有勝溪水



溫高且變化劇烈的原因。相較於其他河段，有勝溪提供了一對照組，透過不同河段間比較，找出高水溫的主要原因，將有助於瞭解並進而控制水溫，是很值得研究之課題。

桃山西溪與桃山北溪兩河具有相同之海拔高度，在冬季時西溪水溫卻低於北溪達兩度之多，據推測與河系之方位有關，隨著季節性太陽的北移，而使得桃山西溪的水溫趨於與桃山北溪的水溫相同；桃山西溪與高山溪水溫一直維持在武陵地區水溫之下邊界，且冬天水溫均明顯低於其他河段，加上司界蘭溪，這三條均為東西流向之河川，平均水溫均較同樣高程位置之水溫低，集水區所處地理位置與冬天太陽位置偏南可能是導致此現象之主要原因，而三者間水溫的差距可能是導因於高程差。當然這也都是依據觀測結果所提出之假設，有待與水溫模式相互配合，驗證水溫分佈之現象。水溫是影響櫻花鉤吻鮭生存及活動之重要因素，不同生長時期之鮭魚最適合之水溫亦不相同，水溫在空間上的變異，可以提供適當放流棲地之選擇，將能大大提升魚群的存活率。

#### (四) 颱風的影響

從颱風期間流量模擬的結果可以發現，以柯羅莎颱風為例，集水面積越小流域其颱風期間最大流量與全年平均流量的比值就越大（有勝溪流域除外，因其自然地理環境與其他區域不同，模式中使用的參數亦與其他流域不同），七家灣溪、桃山西溪及高山溪的面積分別為 110、25 及 21km<sup>2</sup>，而三個流域最大流量與全年平均日流量的比值分別為 35、42.7 及 42.9，在帕布及聖帕颱風事件亦呈現相同的現象，意謂著集水區越小土層的保水能力就越小，導致有較多的水以逕流方式流入河道，造成流量增加的比例比大集水區之流域來的高。流量變異的特性與每個集水區的地形、坡度等地文條件有關，若流量變異為影響櫻花鉤吻鮭分佈範圍的因子之一，則透過各子集水區間颱風前後魚群數量的比較，或許可以進一步驗證此一說法。

颱風對水質的影響，對於溶解相的物質主要都是稀釋的作用，只有顆粒相的濃度（TSM）或是與顆粒相相關的物質（PO<sub>4</sub>\_P、DOC\_C、及 F）在颱風期間

大量輸出至河道中，七家灣溪萬壽橋下在柯羅莎颱風所測得的 TSM 高達 10g/l，較台電在七家灣溪 1986-2005 年所有量測值平均之 0.5g/l 高 20 倍，由此可見颱風對於顆粒相輸出的重要性； $PO_4$  對於土壤顆粒具有很高的吸附性，導致土壤中的磷隨著崩坍或是土壤沖蝕進入水體，研究中發現  $PO_4$  與 TSM 的關係呈高度正相關亦說明這個現象。TSM 表示魚群存在水域環境的混濁程度，濁度越高且持續的時間越長，勢必會對魚群造成影響，根據子計畫「櫻花鉤吻鮭族群監測與動態分析」在今年柯羅莎颱風過後的調查結果，魚群數量較前期調查結果少了 600 尾，且大多集中在仔魚，是什麼樣的機制造成魚群數量的減少還有待進一步研究觀察。

雖然溶解相物質在颱風期間其變化趨勢與流量成反比，呈現稀釋的現象，但因為流量增加的比例遠大於物質濃度稀釋的比例（以圖 5-7Ca 濃度變化為例，颱風期間流量增加 30 倍，但濃度僅稀釋 6 倍），顯示還是有大量的物質在颱風期間注入河中，從集水區的系統輸出。此次三個颱風事件總共採樣觀測了 314 小時，僅佔了一年當中 3.6% 的時間，但就所有物質平均而言對於整年度的貢獻卻高達 24%，是相當不成比例的，顯示出颱風事件對於集水區物質的收支有很大的影響。其中仍然以顆粒相有較顯著之結果，颱風期間超過 40% 的年輸出量（ $PO_4\_P$ 、 $DOC\_C$ 、F 及 Cl 的平均，不含 TSM，因平時採樣沒有量測，也量測不到，但合理推測颱風期間 TSM 的輸出量將佔全年輸出量的 80% 以上），而非顆粒相亦有 5% 到 38% 的貢獻比例。大量的物質輸出，亦使得下游德基水庫水資源的管理面臨挑戰。

## 五、 結論

### (一) 流量模擬

1. 就地形特性與土地利用而言，有勝溪為坡度最緩與人為活動最頻繁的流域。七家灣溪、司界蘭溪則約略相似。平緩與起伏不大的地形特性可能是導致有勝溪流域雨量偏低的原因之一。
2. 就水文特性而言，司界蘭溪為三個流域中變異程度最大的流域，該流域在枯水期的比出水量遠低於七家灣溪，在高流量部分則跟七家灣溪相似。有勝溪的比出水量則為三流域中最低者，可能與果樹或蔬菜種植的引水有關，且在冬、春的低流量時期最為明顯。因此，七家灣溪可說是此三個流域中水文特性最穩定的區域。
3. 就模擬結果而言，四季朗站、七家灣溪站的流量模擬都有很不錯的表現，顯示本模式在台灣高山集水區的適用性，也顯示該模式有潛力應用在未測站流域的流量推估。

### (二) 元素通量計算

1. 各元素通量受土地利用、施肥行為、環境作用呈現不同的型態，需個別進一步加以討論與研究。以  $\text{NO}_3$  為例，在天然環境下（如：桃山西溪）濃度與流量成散佈的負相關；而其他有農業活動的集水區（如：有勝溪），濃度與流量則呈現良好的正相關。顯示環境作用的複雜性。
2. 武陵地區四個子集水區元素 N 通量 ( $\text{NO}_3\text{-N}+\text{NO}_2\text{-N}+\text{NH}_4\text{-N}$ )，其中七家灣溪的 N 輸出佔了整個流域的 31.5%，有勝溪佔了 32%，司界蘭溪加環山地區之子集水區則貢獻了 34.5%，而未受人為活動影響之桃山西溪僅貢獻了 2%。P 通量，七家灣溪佔了整個流域的 28%，有勝溪佔了 17%，司界蘭溪加環山地區之子集水區貢獻了 45%，而桃山西溪則貢獻了 10%。
3. 顯示山地集水區的元素通量除了受元素本身的濃度影響之外，流量亦為重要的控制因素。

### (三) 水溫模擬

1. 就目前監測的結果看來，水溫與土溫相似受日照與氣溫的影響而改變。整體而言，水溫與河川走向、地形（指：海拔與遮蔽）、氣溫（含：日照）的影響甚劇，且快速反應。
2. 目前監測結果顯示：在冬季，東西向的河川水溫低於南北向的河川，如：桃山西溪低於桃山北溪。同為東西向河川，海拔越低則水溫越高，如：司界蘭溪>高山溪>桃山西溪。在相同海拔、方位條件下，有勝溪的水溫最高，可能是受遮蔽或本身流量低容易與氣溫交換導致。水溫的變化越往下游，變化越大。

### (四) 颱風影響

1. 高山地區流量變異極高，且集水面積越小有變異越高的趨勢，是否影響櫻花鉤吻鮭棲地的選擇，有待進一步研究。
2. 河水中顆粒相物質（TSM）及與顆粒相相關物質（PO<sub>4</sub>\_P、DOC\_C、及 F）的濃度與流量的變化成正相關，而非顆粒相物質則與流量變化成反比。
3. 颱風侵襲的時間長度僅佔一年之中的 3.6%，但平均物質貢獻量達 24%，其中以顆粒相相關物質更是高達 40%。
4. 颱風期間水溫趨於穩定變化，應不是影響櫻花鉤吻鮭的主要環境因子。
5. 颱風的侵襲除了對生態的影響外，大量的物質輸入至下游的德基水庫，勢必衝擊下游德基水庫之水質及水資源的管理。

感謝雪霸國家公園國寶魚保育巡守隊協助採樣，因為他們的熱心協助，讓整個計畫的資料更加完整，也呈現更多的資訊。

## 六、參考文獻

- 李宗祐 2003 氣候變遷對櫻花鉤吻鮭棲地水溫及族群數量之影響。國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。台北。
- 林幸助 2001 水域優養化及生態監測。中國生物學會 44(1): 34-42。
- 林幸助 2003 武陵地區溪流藻類生產力之限制營養鹽。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 林幸助 2006 武陵地區長期生態監測暨生態模式建立。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 曾晴賢 1999 櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查(二)。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 曾晴賢 2001 櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查(四)。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 楊正雄 1997 水溫對櫻花鉤吻鮭族群之影響。國立清華大學生命科學研究所碩士論文。新竹。
- 廖林彥 2001 國家公園生態保育—以台灣櫻花鉤吻鮭為例。社教資料雜誌 279: 4-6。
- 簡麗鳳 2004 武陵地區溪流藻類生產力之限制營養鹽研究(二)。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- Beven KJ (1997) TOPMODEL: a critique. Hydrological Processes 11(9): 1069-1086.
- Campling P, Gobin A, Beven K, Feyen J (2002) Rainfall-runoff modeling of a humid tropical catchment: the TOPMODEL approach. Hydrological Processes 16(2): 231-253.
- Candela A, Noto LV, Aronica G (2005) Influence of surface roughness in hydrological response of semiarid catchments. Journal of Hydrology 313:

119-131.

- Cattaneo F, Lamouroux N, Breil P, Capra H (2002) The influence of hydrological and biotic process on brown trout (*Salmo trutta*) population dynamics. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 59: 12-22.
- Günter A, Uhlenbrook S, Seibert J, Leibundgut C (1999) Multi-criterial validation of TOPMODEL in a mountainous catchment. *Hydrological Processes* 13: 1603-1620.
- Hamon WR (1961) Estimating potential evatranspiration. *Proceedings of the American Society of Civil Engineering, ASCE Proceedings Journal of the Hydraulics Division* 87(HY3): 107-120.
- Harlin MM (1995) Changes in major plant groups following nutrient enrichment. In: McComb AJ (ed.) *Eutrophic shallow estuaries and lagoons*. CRC press, Boca Raton, p173-187
- Hornberger GM, Scanlon TM, Raffensperger JP (2001) Modelling transport of dissolved silica in a forested headwater catchment: the effect of hydrological and chemical time scales on hysteresis in the concentration-discharge relationship. *Hydrological Processes* 15(10): 2029-2038.
- Huang JC, Kao SJ, Hsu ML, Lin JC (2006) Stochastic procedure to extract optimal input parameter combinations and to construct integrated landslide occurrence map: An example of mountainous watershed in Taiwan. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 6: 803-815.
- Krause P, Boyle DP, Bäse F (2005) Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in Geosciences* 5: 89-97.
- Kim KS, Chapra SC (1997) Temperature model for highly transient shallow streams. *Journal of Hydraulics Engineering* 123(1): 30-40.

- Lamb R, Beven KJ (1997) Using interactive recession curve analysis to specify a general catchment storage model, *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 1: 101–113.
- Lampert W, Sommer U (1997) *Limnoecology: the ecology of lakes and streams*. Oxford University Press, New York, p313-316.
- Lee TY, Huang JC, Kao SJ, Carey AE (2007) Sampling strategy and optimal estimator to obtain reliable material fluxes from high-standing rivers in Taiwan. *Submit to Journal of Hydrology*.
- Liu YB, Gebremeskel S, De Smedt F, Hoffman L, Pfister L (2003) A diffusive approach for flow routing in GIS based flood modeling. *Journal of Hydrology* 283: 91-106.
- Madsen H (2000) Automatic calibration of a conceptual rainfall-runoff model using multiple objectives. *Journal of Hydrology* 235: 276-288.
- Molnar P, Ramirez JA (1998) Energy dissipation theories and optimal channel characteristics of river network. *Water Resources Research* 34(7): 1809-1818.
- Nash JE, Sutcliffe JV (1970) River flow forecasting through conceptual models 1. A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10: 282-290.
- Newcombe CP (2003) Impact assessment model for clear water fishes exposed to excessively cloudy water. *Journal of the American Water Resources Association* 39(3): 529-544.
- Scanlon TM, Ruffensperger JP, Hornberger GM (2000) Shallow subsurface storm flow in a forested headwater catchment: Observations and modeling using a modified TOPMODEL. *Water Resources Research* 36(9): 2575-2586.
- Shaw EA, Richardson JS (2001) Direct and indirect effects of sediment pulse duration on stream invertebrate assemblages and rainbow trout growth

- and survival. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58: 2213-2221.
- St-Hilaire A, Caissie D, Cunjak RA, Bourgeois G (2005) Streambed sediment composition and deposition in a forested stream: Spatial and temporal analysis. *River Research and Application* 21:883-893.
- Tarboton DG (1997) A new method for the determination of flow directions and contributing areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research* 33(2): 309-319.
- Walter MT, Steenhuis TS, Mehta VK, Thongs D, Zion M, Schneiderman E (2002) Refined conceptualization of TOPMODEL for shallow subsurface flows. *Hydrological Processes* 16: 2041-2046.
- Wang YC, Han D, Yu PS, Cluckie ID (2006) Comparative modeling of two catchments in Taiwan and England. *Hydrological Processes* 20(20): 4335-4349.
- Wu FC (2000) Modeling embryo survival affected by sediment deposition into salmonid spawning gravels: Application to flushing flow prescriptions. *Water Resources Research* 36(6): 1595-1603.
- Zevenbergen LW, Throne CR (1987) Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms* 12: 47-56
- Zimmermann AE, Lapointe M (2005) Intergranular flow velocity through salmonid redds: Sensitivity to fines infiltration from low intensity sediment transport events. *River Research and Applications* 21:865-881.



表 5-1 武陵地區附近氣象站及流量站座標位置及資料長度

站名	二度分帶 座標_x	二度分帶 座標_y	日雨量	日氣溫	日流量
松茂	277315	2686660	1970-2004	1970-2004	
捫山	280851	2686573	1970-2002		
環山	279282	2690537	1950-2004	1961-2004	
志佳陽大山	276008	2694265	1967-2002		
平岩山	285819	2692008	1967-2002		
桃山	278551	2699559	1969-2004		
武陵農場	285760	2697911	1985-1998	1985-1998	
思源	284995	2699838	1958-2004		
思源(自動)*	284995	2699838			
七家灣	280275	2693429			1986-2004
有勝溪	280009	2692080			1996-2004
四季朗	277787	2688231			1958-2002

\*可提供自今三個月前更新的小時氣溫、降雨資料

表 5-2 子計畫中各類測站資訊一覽表

測站	武陵計畫編號	測站代碼	所屬流域	水質/頻率	水溫	氣溫	備註
桃山北溪	#1	T1	七家灣溪	●/3 天	●		
桃山西溪	#2	C7	七家灣溪	●/月*	●	●	
二號壩	#3	C6	七家灣溪	●/月			
小支流		C5	七家灣溪	◎/月			二號壩與一號壩間之支流
一號壩	#4	C4	七家灣溪	●/月	●		
繁殖場	#5	C3	七家灣溪	●/月		●	
萬壽橋	#6	C2	七家灣溪	●/月			
迎賓橋	#7	C1	七家灣溪	●/3 天	●		
司界蘭吊橋		C0	大甲溪	◎/3 天	●	●	
高山溪	#8	K1	高山溪	●/3 天	●		
思源二號橋右岸		Y7	有勝溪	◎/月	●		
思源二號橋		Y6	有勝溪	◎/月			
張良橋		Y5	有勝溪	◎/月			
馬鮒橋		Y4	有勝溪	◎/月			
鐵橋		Y3	有勝溪	◎/月			Y4、Y2 間 中華電信 基地台旁
蘭花橋		Y2	有勝溪	◎/月			
有勝溪	#9	Y1	有勝溪	●/3 天	●		收費站
司界蘭溪上游	#10	S3	司界蘭溪	●/月	●		
司界蘭溪中游		S2	司界蘭溪	◎/月			
司界蘭溪下游	#11	S1	司界蘭溪	●/月	●		

◎:新增之水質測站

●:有量測該項目

\*:/月表示每個月到現地連續採集兩天樣本

表 5-3 利用 3-layer TOPMODEL 在四季朗、七家灣溪、有勝溪測站的歷年模擬結果

	四季朗		七家灣		有勝溪	
	EC (%) <sup>1</sup>	EQV (%) <sup>2</sup>	EC (%)	EQV (%)	EC (%)	EQV (%)
1990	76.2	+10.1	84.1	-5.3	—	—
1991	70.0	-2.2	67.2	-10.0	—	—
1992	69.0	-18.6	82.2	-2.1	—	—
1993	89.5	+10.7	88.7	+15.2	—	—
1994	71.0	+20.0	66.8	13.9	—	—
1995	86.3	-6.8	84.5	+5.8	—	—
1996	89.3	+3.7	92.9	-1.9	30.9*	-33.0*
1997	81.2	-4.2	81.0	-6.0	53.2	-11.6
1998	82.6	-6.4	77.8	-10.2	73.6	+2.0
1999	70.7*	-10.6*	68.9*	+1.9*	54.1*	+60.5*
2000	85.0	-17.9	88.1	-5.6	87.6	+1.0
2001	89.8	+4.5	94.2	+2.4	60.0	-5.6
2002	92.8	-9.2	78.3	-17.3	84.3	-2.6
2003	—	—	43.2**	+90.1**	29.4**	-35.6**
2004	—	—	88.6	-21.6	81.2	+23.8
average	81.9	9.5	82.9	9.0	73.3	7.8

1. EC (%) 為效率係數，用來表示觀測值與模擬值的相似度，最大值為 1.0，表示完全一致；0.0 表示與觀測平均值一致。低於 0.0 表示比平均值更差。

2. EQV(%) 為流量誤差，定義為： $(\text{模擬流量} - \text{觀測流量}) * 100 / \text{觀測流量}$ 。

\*1996 年與 1999 年的日流量資料分別有誤植與缺測的資料不足，因此模擬結果不納入整體評估

\*\*2003 年為近年來的乾旱年，實測之低流量可能超過率定曲線可以推估的範圍。

表 5-4 2006.12 月到 2007.4 月採集水質樣本之統計值。表格內數據表示濃度之平均值±標準偏差，括號內則為樣本數目。

測站\水質項目	pH	Cond. (μS)	Temp. C	DOC(μM)	F(ppm)	Cl(ppm)
C0	8.23±0.28(20)	218.1±27.29(20)	14.16±3.39(20)	135.14±35.37(19)	0.09±0.04(97)	0.97±0.36(97)
C1	8.2±0.36(21)	203.37±26.23(20)	13.85±3.29(21)	91.35±52.15(44)	0.1±0.04(99)	0.85±0.21(99)
C2	7.96±0.34(21)	197.17±33.19(21)	14.39±3.36(21)	137.17±33.49(8)	0.12±0.04(20)	0.6±0.18(21)
C3	8±0.4(21)	201.35±72.84(21)	12.97±3.03(21)	128.85±43.51(9)	0.12±0.04(21)	0.46±0.23(21)
C4	8±0.35(21)	197.11±29.53(21)	12.96±2.56(21)	125.72±40.68(9)	0.12±0.05(21)	0.93±0.79(21)
C5	7.64±0.27(21)	205.99±33.54(21)	13.07±2.23(21)	85.7±26.18(9)	0.06±0.01(21)	10.7±3.36(21)
C6	7.89±0.29(21)	190.81±23.7(21)	12.36±2.35(21)	120.03±39.1(9)	0.1±0.04(21)	0.4±0.11(21)
C7	7.96±0.27(21)	153.17±22.05(21)	10.76±3.03(20)	95.77±32.27(18)	0.08±0.04(49)	0.14±0.09(50)
Y1	8.63±0.44(21)	250.71±30.89(21)	15.41±3.71(21)	196.03±47.05(24)	0.11±0.03(101)	1.91±0.52(101)
Y2	8.31±0.43(21)	424.52±172.73(21)	13.1±3.51(21)	291.33±96.47(9)	0.18±0.04(20)	1.82±0.55(20)
Y3	8.31±0.32(21)	239.77±84.82(21)	14.82±2.84(21)	169.34±62.13(9)	0.14±0.04(21)	1.36±0.46(21)
Y4	8.28±0.32(21)	296.52±43.66(21)	12.54±3.17(21)	268.79±99.52(9)	0.15±0.05(21)	0.55±0.2(21)
Y5	8.45±0.3(21)	362.9±46.44(21)	13.1±3.42(21)	304.42±126.69(9)	0.15±0.04(21)	0.79±0.16(21)
Y6	8.09±0.35(21)	194.23±59.58(21)	12.75±2.56(21)	161.53±59.88(9)	0.14±0.05(21)	0.35±0.07(21)
Y7	7.6±0.31(21)	162.3±14.24(21)	13±2.52(21)	107.85±41.39(8)	0.11±0.05(21)	0.68±0.29(21)
K1	7.99±0.28(21)	182.83±30.4(21)	12.2±3.42(21)	79.24±33.43(44)	0.09±0.03(103)	0.2±0.14(103)
S1	8.14±0.38(21)	211.19±25.76(21)	14.25±3.11(21)	143.88±30.37(8)	0.13±0.05(21)	0.29±0.17(21)
S2	8.06±0.46(21)	209.03±30.06(21)	14.17±3.04(21)	157.13±58.42(9)	0.12±0.04(21)	0.16±0.02(21)
S3	8.12±0.39(21)	211.37±26.88(21)	14±2.88(21)	128.39±38.72(8)	0.1±0.04(20)	0.15±0.02(20)
T1	8.15±0.36(20)	232.7±32.78(20)	11.99±2.07(19)	144.39±48.16(9)	0.14±0.03(20)	0.29±0.5(20)

表 5-4 (續)

測站\水質項目	NO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>3</sub> (ppm)	NH <sub>4</sub> (ppm)	PO <sub>4</sub> (μM)	Na(ppm)	Mg(ppm)
C0	0.02±0.02(76)	4.48±2.05(97)	0.01±0(2)	39.06±7.75(90)	0.2±0.11(92)	3.03±0.64(97)
C1	0.02±0.02(72)	4.4±1.22(99)	0.02±0.01(13)	34.56±5.32(92)	0.19±0.08(97)	3.08±0.6(102)
C2	0.02±0.03(14)	3.15±0.73(20)	0.02±0.02(4)	42.75±40.89(14)	0.25±0.04(14)	2.81±0.91(20)
C3	0.02±0.01(10)	2.03±0.96(21)	0±0(2)	31.78±3.85(14)	0.26±0.05(15)	2.74±0.86(20)
C4	0.02±0.02(12)	4.2±1.17(21)	0±0(2)	34.2±3.66(14)	0.25±0.04(14)	2.9±1.17(20)
C5	0.05±0.03(12)	59.77±19.79(21)	0.01±0.01(3)	11.85±1.57(14)	0.87±0.27(15)	5.34±1.61(20)
C6	0.01±0.01(12)	2.22±0.93(21)	2.22±0(1)	31.37±3.58(14)	0.23±0.03(15)	2.63±1.06(20)
C7	0.01±0(10)	0.56±0.53(47)	0.01±0(4)	22.62±6.3(43)	0.13±0.06(44)	1.78±0.61(49)
Y1	0.02±0.02(93)	8.61±2.96(94)	0.01±0.01(11)	41.95±11.9(94)	0.17±0.15(98)	4.82±1.01(102)
Y2	0.02±0.01(11)	5.69±1.75(20)	5.69±0(1)	68.32±10.17(14)	0.26±0.16(15)	7.39±2.57(19)
Y3	0.02±0.01(17)	8.41±3.76(21)	0.01±0.01(3)	32.53±3.76(14)	0.35±0.09(15)	4.67±0.78(20)
Y4	0.02±0.01(9)	2.17±1.06(21)	0.03±0.01(2)	35.92±5.3(14)	0.18±0.08(14)	6.78±2.38(20)
Y5	0.02±0.01(8)	2.15±0.88(21)	0±0(0)	50.33±6.48(14)	0.14±0.05(15)	8.61±2.16(19)
Y6	0.01±0.01(9)	1.97±0.56(21)	0.01±0.01(2)	21.19±3.05(14)	0.34±0.09(14)	4.96±1.11(20)
Y7	0.01±0.01(12)	5.02±3.01(21)	0.02±0.01(4)	27.28±3.04(14)	0.26±0.07(13)	3.53±1.73(20)
K1	0.02±0.02(52)	0.87±0.64(102)	0.02±0(13)	27.99±4.59(96)	0.22±0.11(97)	2.75±1.16(102)
S1	0.05±0.09(9)	0.82±0.42(20)	0±0(2)	40.54±4.93(14)	0.28±0.05(13)	2.92±0.82(20)
S2	0.01±0.01(9)	0.53±0.32(19)	0.53±0(1)	39.74±4.78(14)	0.28±0.06(15)	2.79±0.77(20)
S3	0.01±0(9)	0.53±0.28(17)	0.53±0(1)	39.8±4.5(14)	0.26±0.04(15)	2.66±0.78(19)
T1	0.02±0.03(7)	1.01±1.37(17)	0±0(0)	46.68±10.01(14)	0.35±0.02(13)	4.05±1.93(19)

表 5-4 (續)

測站\水質項目	K(ppm)	Ca(ppm)	Sr(ppm)	Ba(ppm)	Si(ppm)	SO4(ppm)
C0	0.85±0.18(97)	27.85±4.59(97)	0.23±0.03(62)	0.015±0.011(59)	3.82±0.38(62)	41.56±6.02(62)
C1	1±0.24(103)	25.95±3.72(103)	0.22±0.03(68)	0.014±0.011(65)	3.69±0.35(68)	36.73±5.16(68)
C2	0.7±0.22(20)	25.97±7.31(20)	0.23±0.03(17)	0.009±0.007(14)	3.72±0.41(17)	37.07±4.42(17)
C3	0.52±0.21(21)	24.23±7.17(21)	0.2±0.02(18)	0.016±0.033(14)	3.8±0.41(18)	34.08±4.13(18)
C4	0.76±0.24(21)	25.92±7.92(21)	0.25±0.02(18)	0.009±0.008(15)	3.61±0.42(18)	36.22±4.82(18)
C5	0.84±0.19(21)	20.56±4.7(21)	0.21±0.02(18)	0.009±0.003(14)	5.95±1.36(18)	16.96±8.11(18)
C6	0.84±0.46(21)	25.86±8.35(21)	0.25±0.04(18)	0.011±0.012(14)	3.38±0.33(18)	36.18±9.27(18)
C7	0.68±0.19(49)	21.14±7.08(49)	0.18±0.03(46)	0.014±0.012(44)	3.04±0.36(46)	28.92±11.82(46)
Y1	2.26±0.47(102)	28.15±4.08(102)	0.2±0.03(67)	0.017±0.013(64)	3.65±0.4(67)	44.83±5.31(67)
Y2	1.36±0.42(21)	44.77±14.9(21)	0.25±0.05(18)	0.014±0.014(16)	3.69±0.49(18)	63.32±18.58(18)
Y3	2.15±0.76(21)	26.32±3.43(21)	0.21±0.09(18)	0.019±0.011(16)	4.02±0.59(18)	37.69±4.82(18)
Y4	1.29±0.39(21)	35±8.27(21)	0.22±0.02(18)	0.012±0.005(16)	3.52±0.44(18)	38.41±5.5(18)
Y5	1.36±0.52(21)	40.32±9.73(21)	0.31±0.04(18)	0.016±0.012(16)	3.6±0.5(18)	52.35±8.77(18)
Y6	0.82±0.29(21)	21.43±4.39(21)	0.15±0.05(18)	0.018±0.016(15)	3.87±0.46(18)	26.52±7.28(18)
Y7	1.4±0.58(21)	19.27±6.24(21)	0.17±0.04(18)	0.017±0.008(17)	4.01±0.5(18)	31.53±5.92(18)
K1	0.48±0.51(102)	23.44±7.19(102)	0.18±0.03(67)	0.017±0.014(63)	3.85±0.37(67)	31.5±4.18(67)
S1	0.64±0.47(21)	33.25±7.97(21)	0.27±0.04(18)	0.006±0.003(16)	4.01±0.5(18)	44.97±4.56(18)
S2	0.45±0.13(21)	32.15±8.48(21)	0.25±0.04(18)	0.009±0.01(16)	4±0.47(18)	41.69±6.57(18)
S3	0.52±0.23(21)	31.86±9.6(21)	0.26±0.03(18)	0.005±0.002(16)	3.88±0.46(18)	42.49±4.51(18)
T1	0.8±0.6(20)	30.39±8.03(20)	0.4±0.1(17)	0.009±0.008(15)	4.55±0.86(17)	48.91±8.59(17)

表 5-5 有勝溪測站(Y1)、迎賓橋(C1)、司界蘭吊橋(C0)及桃山西溪(C7)之各元素通量與流量之關係。

測站	Y1				C1				C0				C7			
	b	ln(a)	R <sup>2</sup>	No.	b	ln(a)	R <sup>2</sup>	No.	b	ln(a)	R <sup>2</sup>	No.	b	ln(a)	R <sup>2</sup>	No.
DOC_C(kg/d)	0.92	5.3	0.5	24	1.57	3.51	0.32	44	1.35	4.24	0.75	19	1.55	4.5	0.56	18
F(kg/d)	0.94	2.23	0.82	101	0.94	2.17	0.74	99	1.03	1.98	0.81	97	0.81	1.9	0.31	49
Cl(kg/d)	0.89	5.1	0.76	101	1.05	4.17	0.76	99	1.14	4.07	0.81	97	0.88	2.38	0.21	50
NO <sub>2</sub> _N(kg/d)	0.83	-0.72	0.42	93	0.92	-0.69	0.42	72	1.05	-1.06	0.49	76	0.51	-1.36	0.08	10
NO <sub>3</sub> _N(kg/d)	1	5.07	0.77	94	1.16	4.12	0.77	99	1.3	3.77	0.84	97	0.8	2.25	0.2	47
NH <sub>4</sub> _N(kg/d)	3.5	-1.32	0.74	11	1.32	-0.64	0.33	13	13.18	-24.33	1	2	1.21	-0.29	0.83	4
PO <sub>4</sub> _P(kg/d)	1.13	-1.17	0.42	98	1.01	-0.86	0.4	97	1.26	-1.3	0.69	92	1.02	-1.12	0.25	44
Na(kg/d)	0.92	6.04	0.92	102	0.94	5.66	0.91	102	0.94	5.68	0.91	97	0.67	5.01	0.25	49
Mg(kg/d)	0.96	7.1	0.95	102	0.97	6.7	0.94	103	0.96	6.72	0.94	97	0.55	6.21	0.15	49
K(kg/d)	0.96	5.26	0.84	102	1.06	4.33	0.83	103	1.1	4.07	0.91	97	0.6	4.09	0.33	49
Ca(kg/d)	0.95	7.81	0.96	102	0.9	7.87	0.94	103	0.89	8	0.96	97	0.72	7.5	0.38	49
Sr(kg/d)	0.88	2.86	0.9	67	0.79	3.26	0.91	68	0.9	3.15	0.8	62	0.78	2.76	0.62	46
Ba(kg/d)	1.28	0.16	0.55	64	1.4	-0.7	0.47	65	1.38	-0.79	0.38	59	0.42	-0.01	0.02	44
Si(kg/d)	0.99	5.75	0.94	67	0.97	5.82	0.96	68	0.98	5.83	0.96	62	0.96	5.57	0.85	46
SO <sub>4</sub> _S(kg/d)	0.89	7.11	0.88	94	0.88	7.1	0.93	92	0.87	7.28	0.91	90	0.55	6.34	0.02	43

註：假設各元素通量與流量呈現冪函數（power function）關係，即[元素通量=aQ<sup>b</sup>]，將雙邊取自然對數則可以求得係數 b 及 ln(a)，R<sup>2</sup> 為此回歸直線之相關係數，而 No.表示建立回歸線之資料點數。

表 5-6 萬壽橋以上、收費站以上、四季朗流量站以上及桃山西溪之子集水區各元素之通量。

子集水區範圍	萬壽橋以上*	收費站以上	四季朗流量站以上	桃山西溪
流量站	七家灣	有勝溪	四季朗	
元素通量\水質測站	C1	Y1	C0	C7
DOC_C(kg/d)	122.31	458.41	867.06	209.78
F(kg/d)	29.84	19.92	32.57	14.27
Cl(kg/d)	248.75	350.6	448.65	24.24
NO <sub>2</sub> _N(kg/d)	2.25	1.27	1.32	0.55
NO <sub>3</sub> _N(kg/d)	371.63	382.7	419.88	21.75
NH <sub>4</sub> _N(kg/d)	5.79	2.17	-5.44	1.64
N(kg/d)	379.66	386.14	415.77	23.94
PO <sub>4</sub> _P(kg/d)	1.99	1.22	3.19	0.74
Na(kg/d)	888.73	908.56	802.81	308.28
Mg(kg/d)	2579.18	2704.64	2455.89	1032.6
K(kg/d)	165.8	433.8	172.12	117.78
Ca(kg/d)	8318.46	5395.19	8776.88	3685.79
Sr(kg/d)	73.46	37.87	74.2	31.93
Ba(kg/d)	4.55	4.21	5.3	2.43
Si(kg/d)	1276.15	718.31	1204.06	544.17
SO <sub>4</sub> _S(kg/d)	3697.01	2543.19	4706.32	1334.4

\*註：七家灣流量站座落 C1 位置，且包含有勝溪注入流量，但在計算各子集水區通量時，已把有勝溪及桃山西溪的貢獻扣除，因此謹代表萬壽橋以上桃山西溪以下之通量。



表 5-7 萬壽橋以上、收費站以上、四季朗流量站以上及桃山西溪之子集水區各元素單位面積之通量。

子集水區範圍	萬壽橋以上	收費站以上	四季朗流量站以上	桃山西溪
流量站	七家灣	有勝溪	四季朗	
水質測站	C1	Y1	C0	C7
DOC_C(kg/d/km <sup>2</sup> )	2.28	14.79	18.85	8.26
F(kg/d/km <sup>2</sup> )	0.56	0.64	0.71	0.56
Cl(kg/d/km <sup>2</sup> )	4.64	11.31	9.75	0.95
NO <sub>2</sub> _N(kg/d/km <sup>2</sup> )	0.04	0.04	0.03	0.02
NO <sub>3</sub> _N(kg/d/km <sup>2</sup> )	6.93	12.35	9.13	0.86
NH <sub>4</sub> _N(kg/d/km <sup>2</sup> )	0.11	0.07	-0.12	0.06
N(kg/d/km <sup>2</sup> )	7.08	12.46	9.04	0.94
PO <sub>4</sub> _P(kg/d/km <sup>2</sup> )	0.04	0.04	0.07	0.03
Na(kg/d/km <sup>2</sup> )	16.58	29.31	17.45	12.14
Mg(kg/d/km <sup>2</sup> )	48.12	87.25	53.39	40.65
K(kg/d/km <sup>2</sup> )	3.09	13.99	3.74	4.64
Ca(kg/d/km <sup>2</sup> )	155.2	174.04	190.8	145.11
Sr(kg/d/km <sup>2</sup> )	1.37	1.22	1.61	1.26
Ba(kg/d/km <sup>2</sup> )	0.08	0.14	0.12	0.1
Si(kg/d/km <sup>2</sup> )	23.81	23.17	26.18	21.42
SO <sub>4</sub> _S(kg/d/km <sup>2</sup> )	68.97	82.04	102.31	52.54

表 5-8 研究期間帕布颱風、聖帕颱風及柯羅莎颱風桃山西溪、高山溪、七家灣溪、及有勝溪集水區降雨、流量概況

颱風		帕布	聖帕	柯羅莎
日期		2007/8/7~8/10	2007/8/17~8/20	2007/10/5~10/9
總降雨量(mm)		195	486	661
桃山西溪	最大流量(cms)	11.3	84.9	89.7
	平均流量(cms)	4.7	16.6	21.6
	全年平均(cms)	2.1		
七家灣溪	最大流量(cms)	36.8	268.9	281.35
	平均流量(cms)	19.8	61.4	80.0
	全年平均(cms)	8.0		
高山溪	最大流量(cms)	9.7	69.4	73.0
	平均流量(cms)	4.37	14.1	18.1
	全年平均(cms)	1.7		
有勝溪	最大流量(cms)	25.7	55.5	58.4
	平均流量(cms)	7.5	13.6	17.7
	全年平均(cms)	2.3		

表 5-9 本計畫期間三個颱風造成萬壽橋以上、收費站以上及桃山西溪之子集水區各元素單位面積之通量。

子集水區範圍	萬壽橋以上	收費站以上	桃山西溪
流量站	七家灣	有勝溪	
水質測站	C2	Y1	C7
DOC_C(kg/d/km <sup>2</sup> )	42.83	76.47	114.86
F(kg/d/km <sup>2</sup> )	7.09	5.29	3.08
Cl(kg/d/km <sup>2</sup> )	34.88	64.72	8.1
NO <sub>2</sub> _N(kg/d/km <sup>2</sup> )	0.06	0.19	0.23
NO <sub>3</sub> _N(kg/d/km <sup>2</sup> )	32.96	54.18	4.4
N(kg/d/km <sup>2</sup> )	33.01	54.36	4.63
PO <sub>4</sub> _P(kg/d/km <sup>2</sup> )	0.68	1.23	0.33
Na(kg/d/km <sup>2</sup> )	132.29	130.33	45.47
Mg(kg/d/km <sup>2</sup> )	233.01	250.42	108.82
K(kg/d/km <sup>2</sup> )	25.78	50.72	19.37
Ca(kg/d/km <sup>2</sup> )	735.53	546.98	425.12
Sr(kg/d/km <sup>2</sup> )	11.13	4.56	5.24
Ba(kg/d/km <sup>2</sup> )	0.15	0.91	1.02
Si(kg/d/km <sup>2</sup> )	204.41	122.45	104.1
SO <sub>4</sub> _S(kg/d/km <sup>2</sup> )	290.54	188.07	164.62
TSM(kg/d/km <sup>2</sup> )	155574.63	57535	36210.37

表 5-10 本計畫期間三個颱風造成萬壽橋以上、收費站以上及桃山西溪之子集水區各元素輸出總量佔全年輸出總量之百分比。

子集水區範圍	萬壽橋以上	收費站以上	桃山西溪
流量站	七家灣	有勝溪	
水質測站	C2	Y1	C7
DOC_C(%)	67	18	50
F(%)	45	29	20
Cl(%)	27	20	30
NO2_N(%)	5	16	39
NO3_N(%)	17	16	18
N(%)	17	16	18
PO4_P(%)	65	100	40
Na(%)	28	16	13
Mg(%)	17	10	10
K(%)	30	13	15
Ca(%)	17	11	10
Sr(%)	29	13	15
Ba(%)	6	24	38
Si(%)	31	19	17
SO4_S(%)	15	8	11

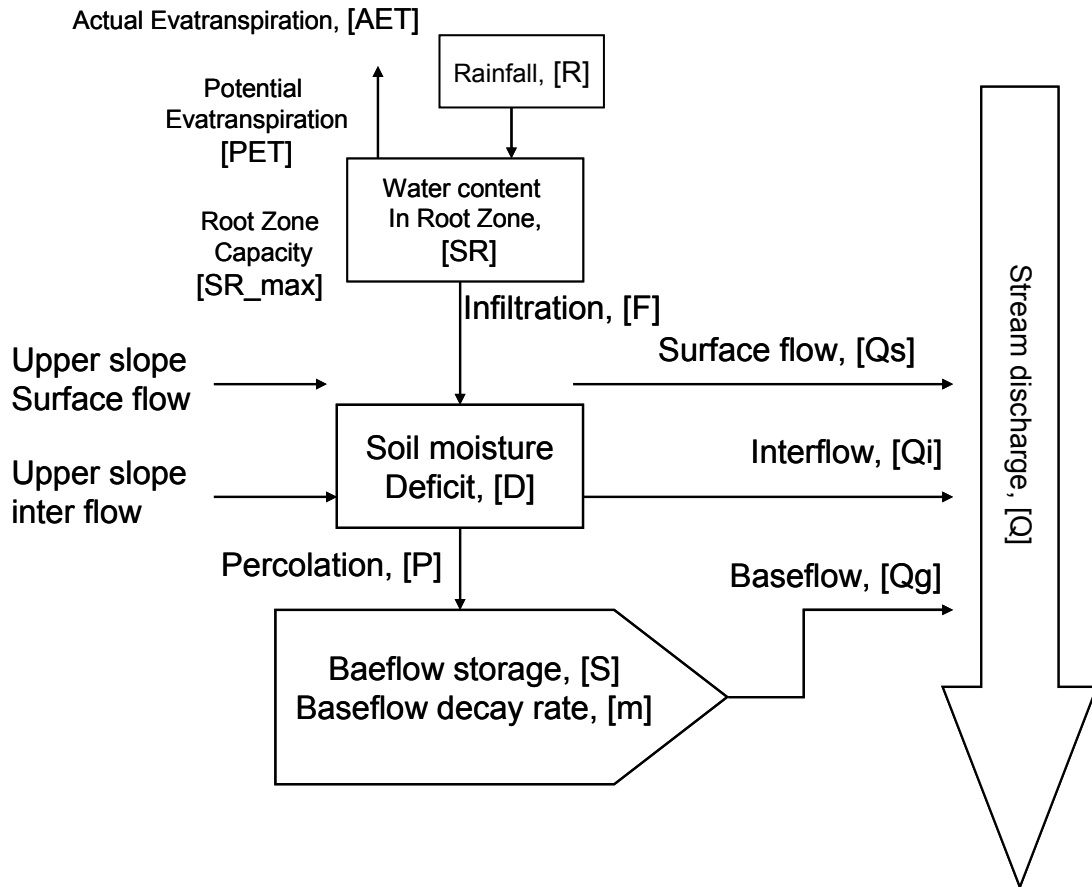


圖 5-1 3-layer TOPMODEL 的模式結構示意圖

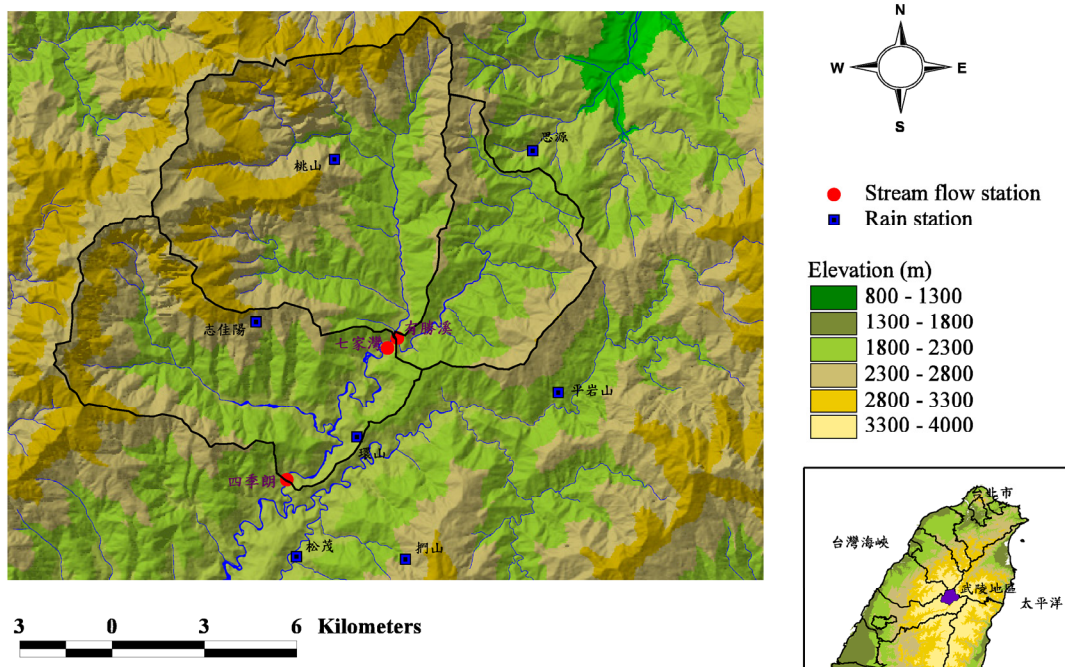


圖 5-2 武陵地區地形圖與氣象、流量測站分佈圖

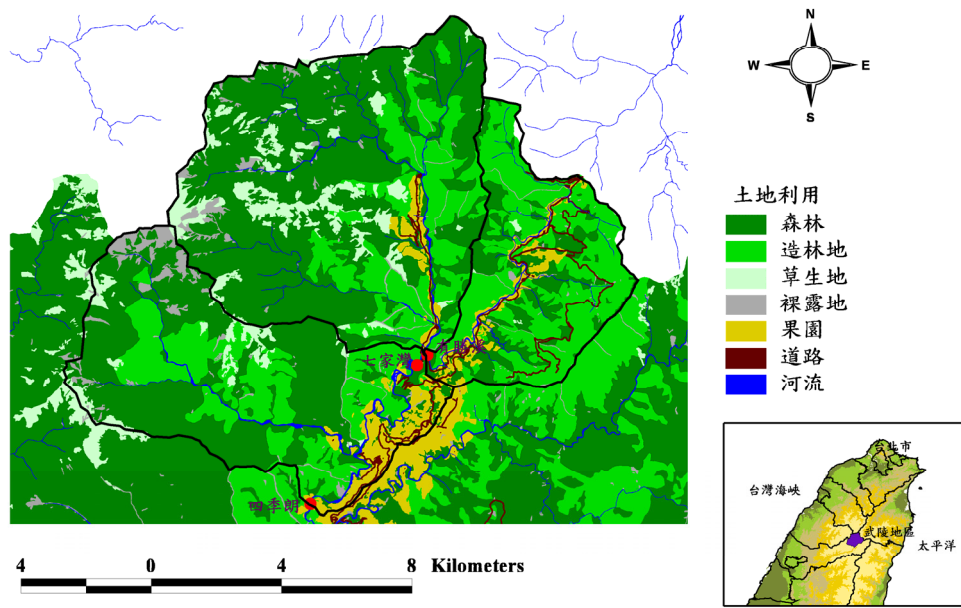


圖 5-3 武陵地區土地利用分佈圖



圖 5-4 子計畫中設置水質、水溫及氣溫測站之位置 (由左至右)

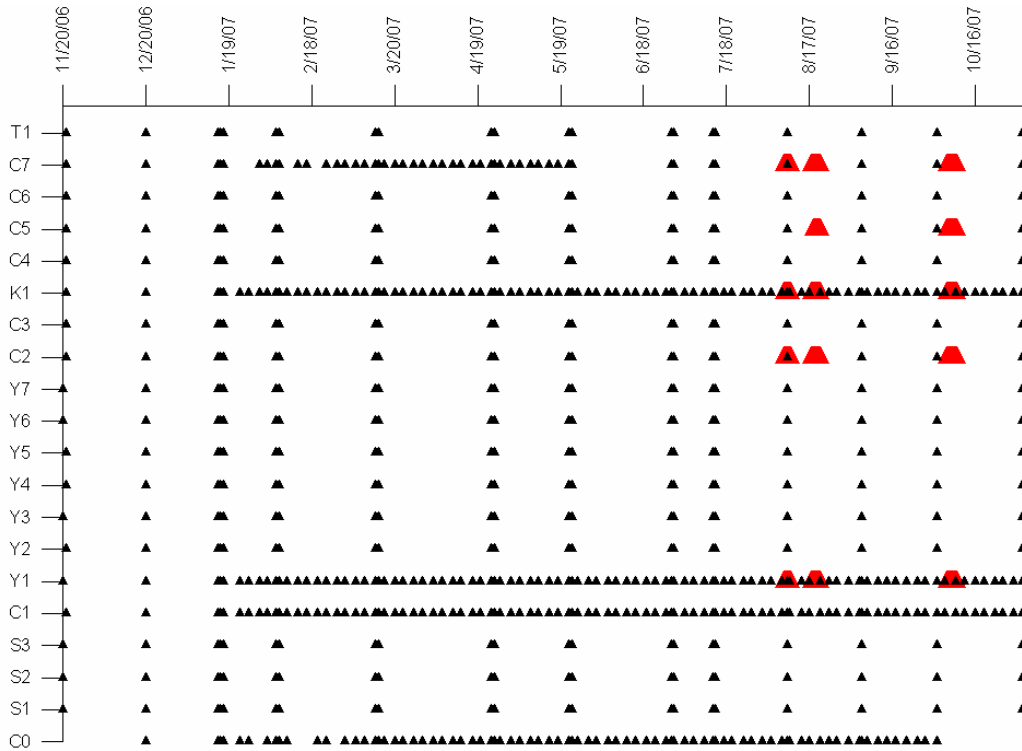


圖 5-5 各個水質採樣點水樣蒐集日期（大三角形表示颱風採樣，頻率平均為 3 小時一次）

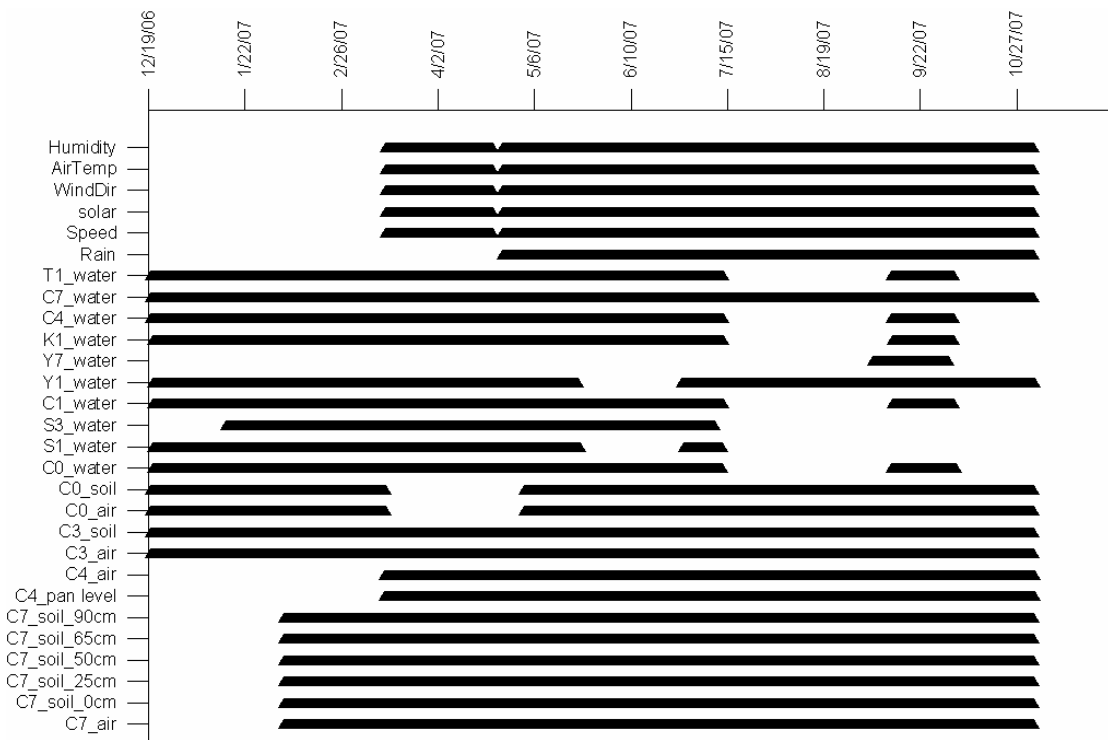


圖 5-6 水溫及氣象資料記錄的時間

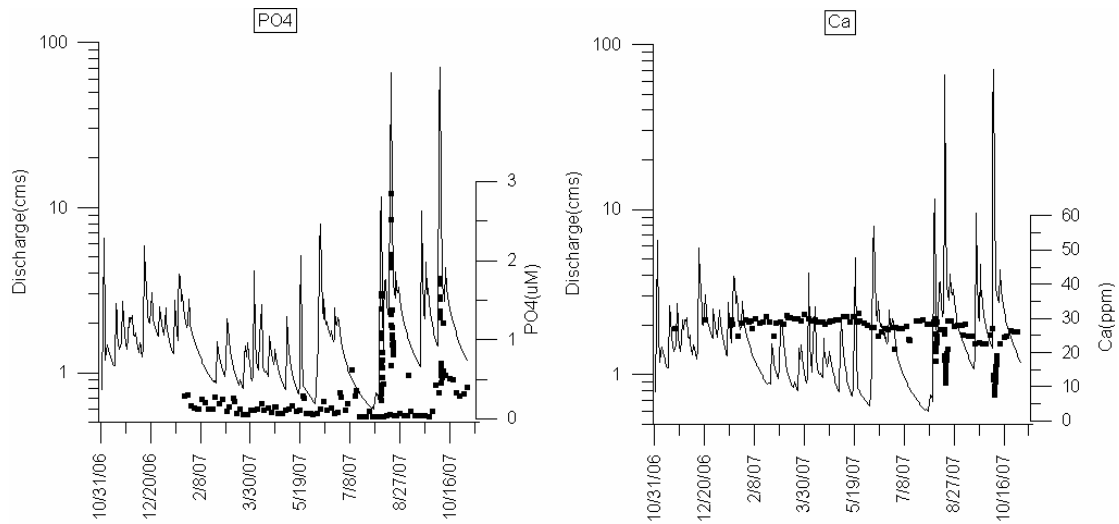


圖 5-7 PO4 及 Ca 濃度與流量隨時間變化之情形 (有勝溪)

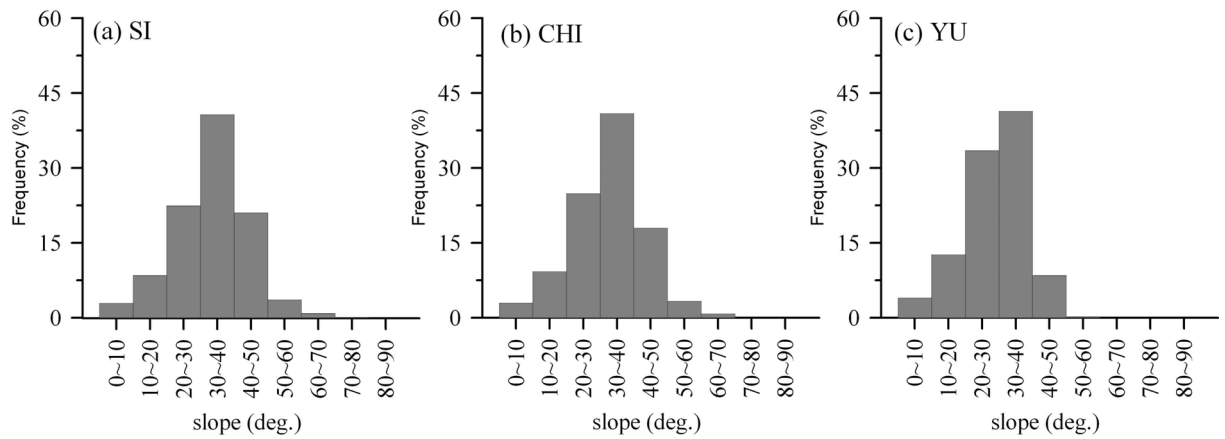


圖 5-8 各測站集水區之坡度分佈組體圖

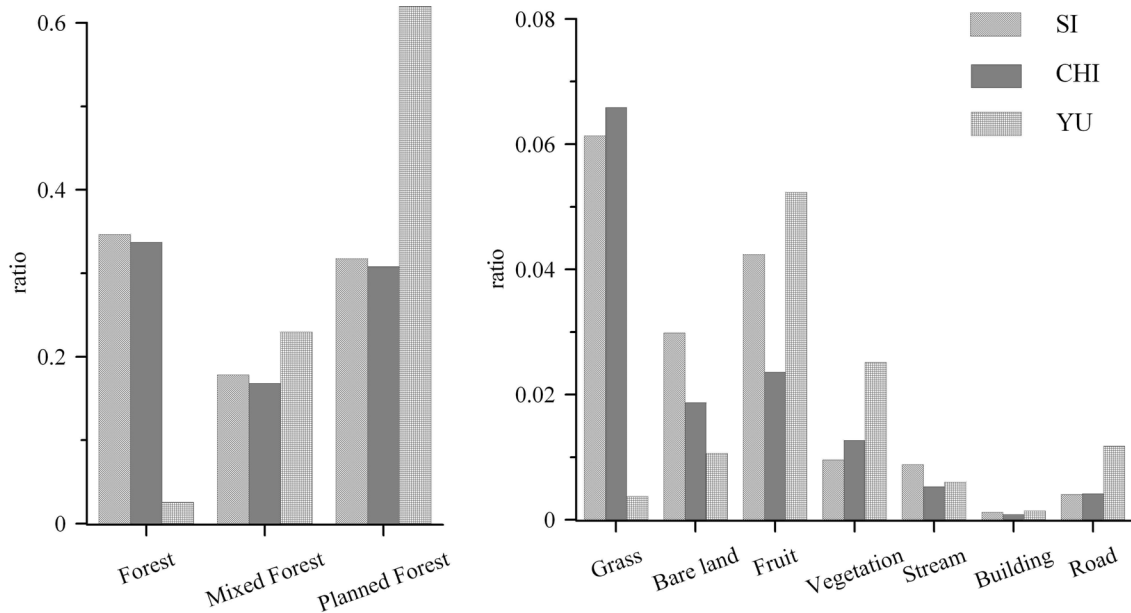


圖 5-9 三個流域土地利用組體圖。SI、CHI、YU 分別表示四季朗測站、七家灣溪測站、有勝溪測站以上集水區



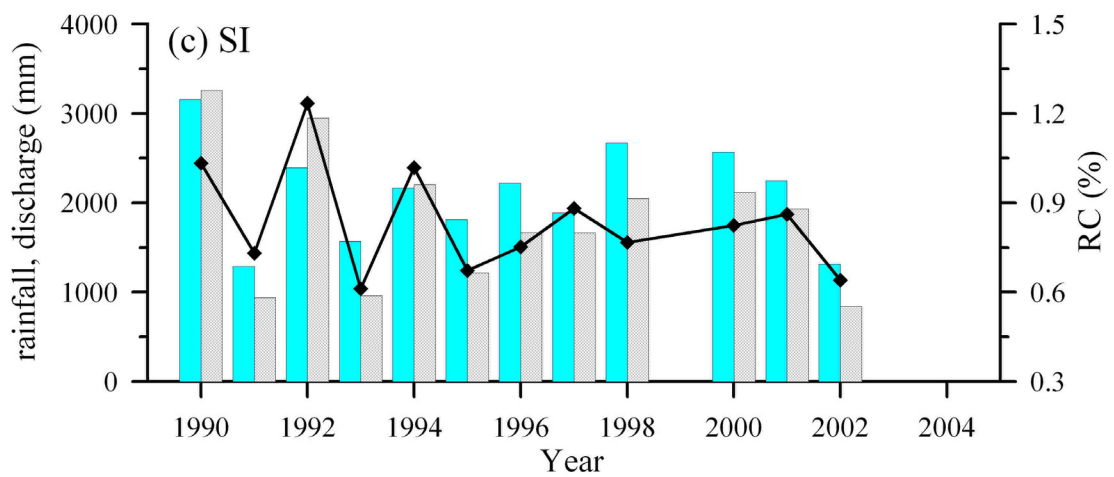
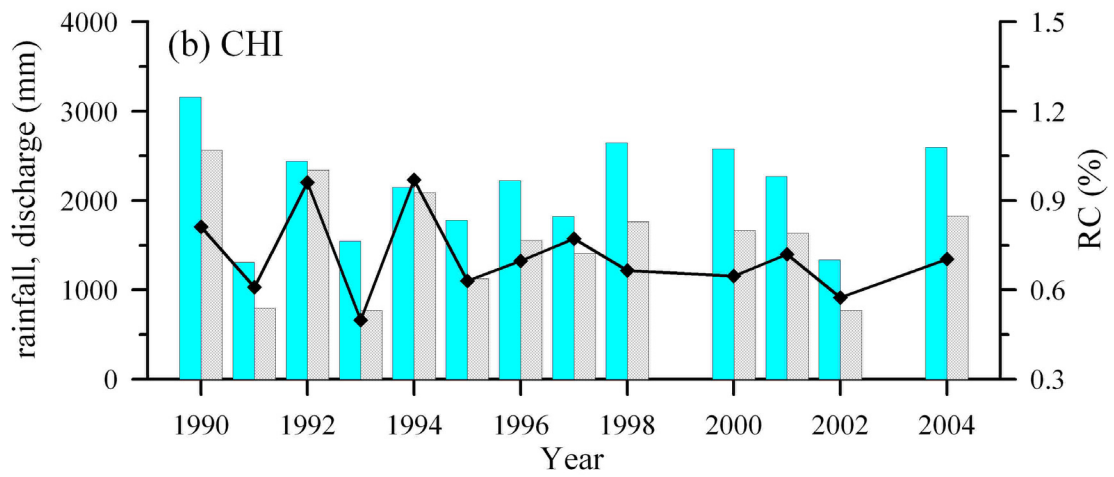
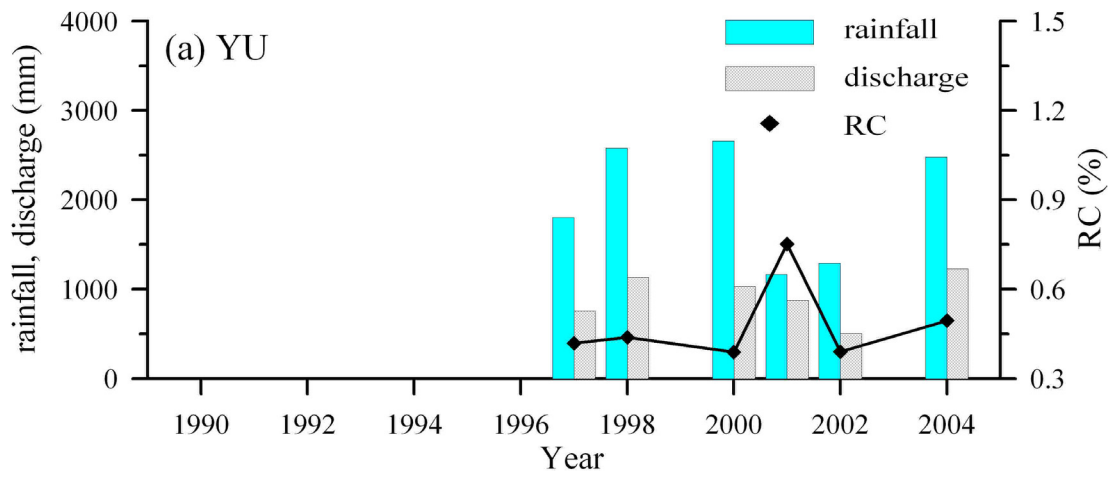


圖 5-10 四季朗、七家灣溪、有勝溪測站以上集水區之雨量、流量、逕流係數(RC)變化圖，自 1990~ 2004。逕流係數等於年流量除以年降雨量。

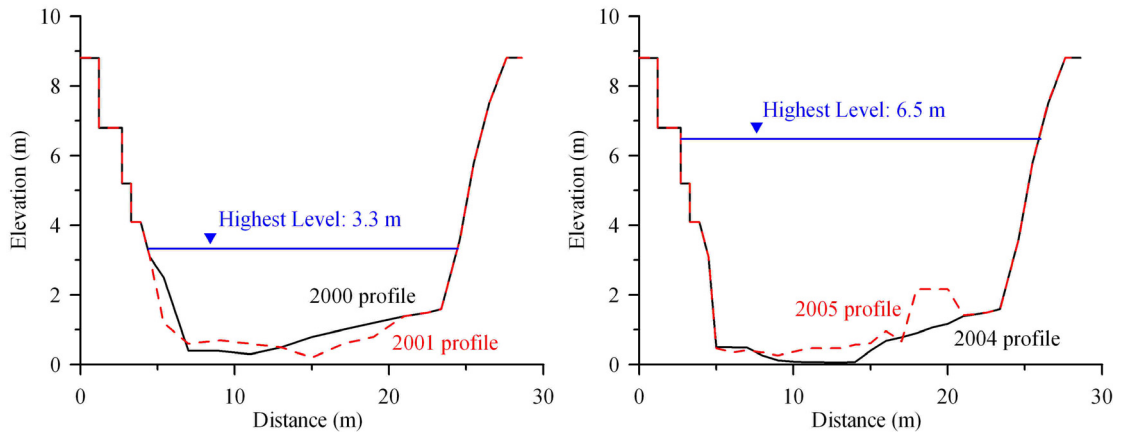


圖 5-11 七家灣溪歷年河道斷面圖 (來源：台灣電力公司)

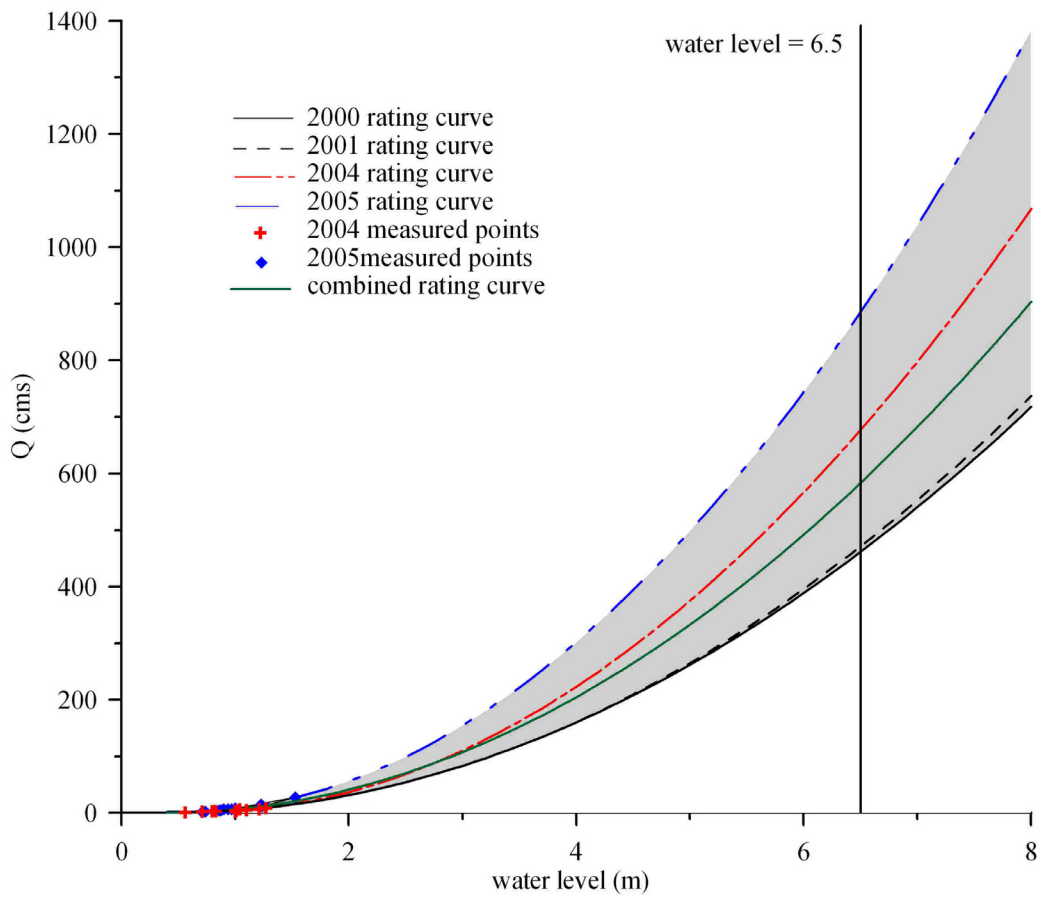


圖 5-12 七家灣溪歷年率定曲線比較圖

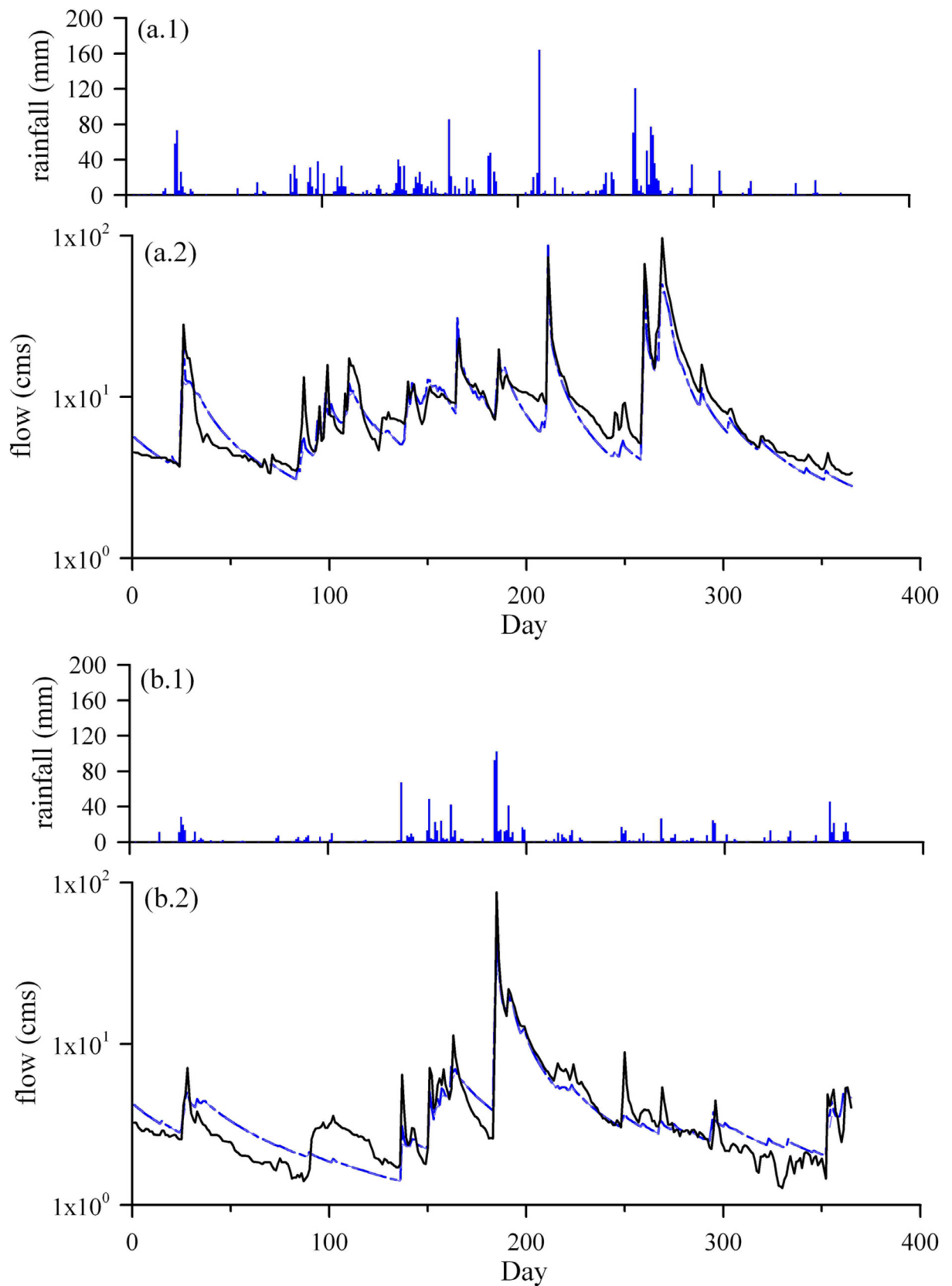


圖 5-13 四季朗測站模擬結果圖。a.1、a.2 分別表示 1993 降雨組體圖、模擬與觀測流量歷線圖。b.1、b.2 分別表示 2002 降雨組體圖、模擬與觀測流量歷線圖。

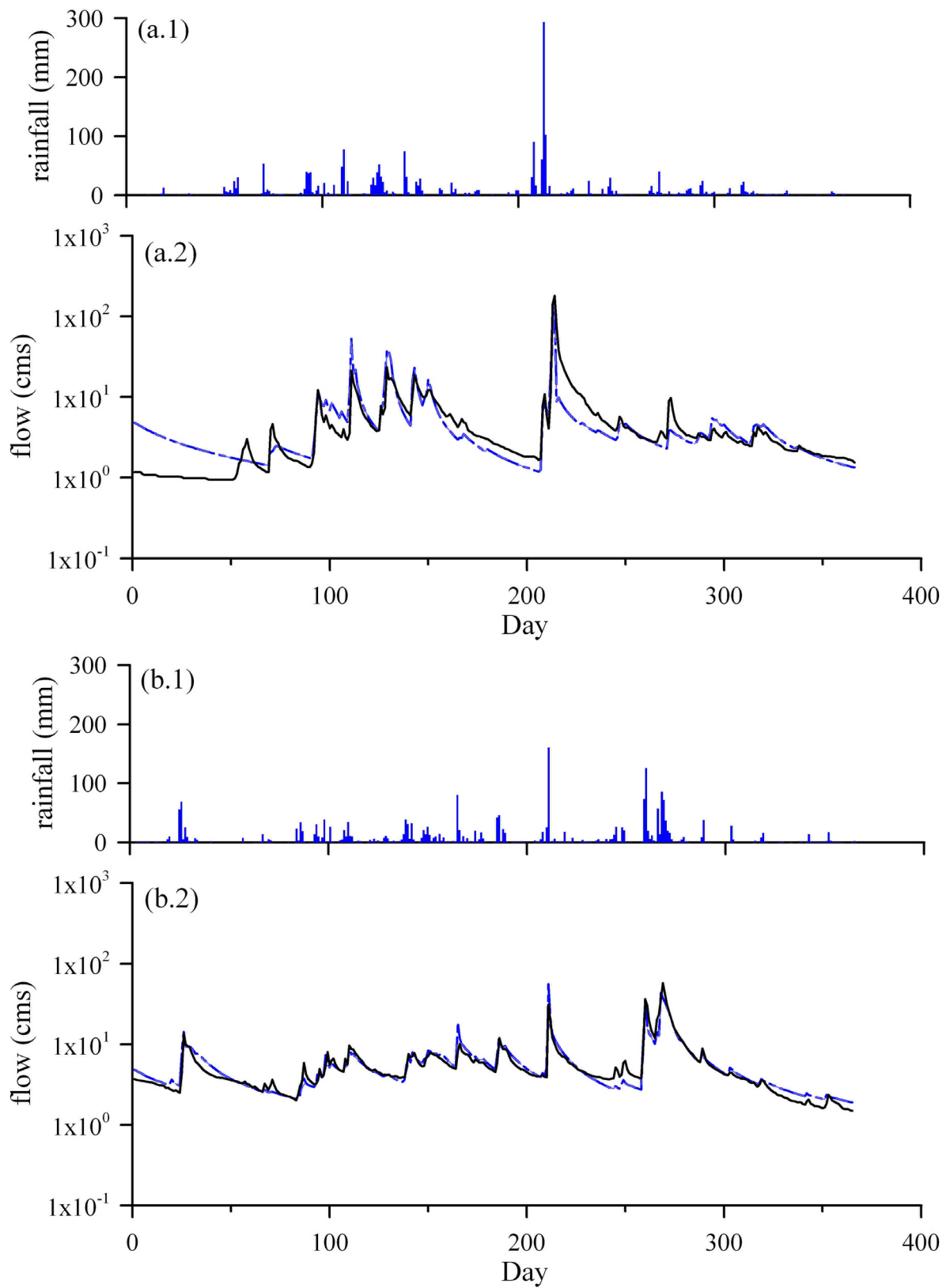


圖 5-14 七家灣測站模擬結果圖。a.1、a.2 分別表示 1996 降雨組體圖、模擬與觀測流量歷線圖。b.1、b.2 分別表示 2001 降雨組體圖、模擬與觀測流量歷線圖。

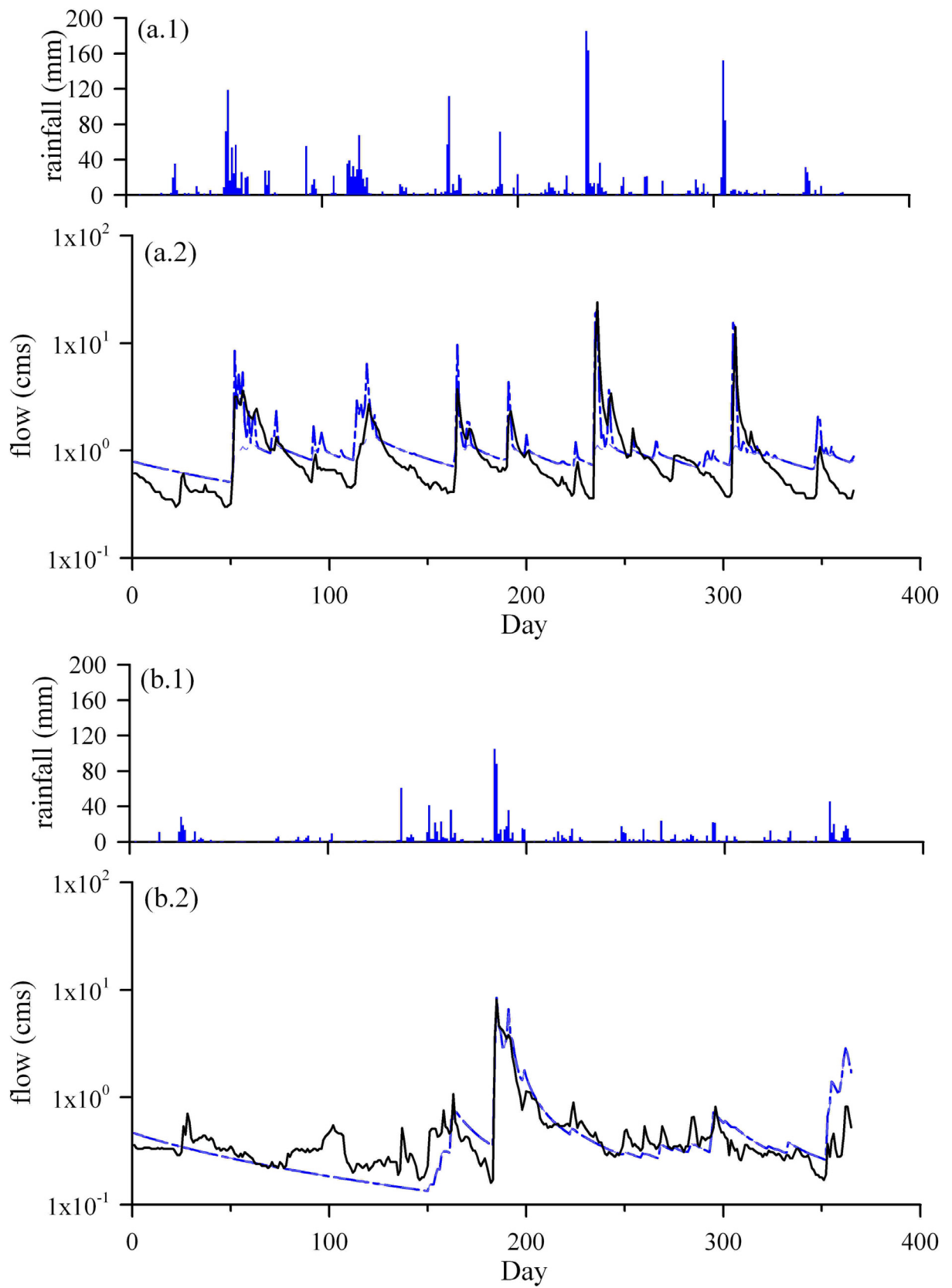


圖 5-15 有勝溪測站模擬結果圖。a.1、a.2 分別表示 2000 降雨組體圖、模擬與觀測流量歷線圖。b.1、b.2 分別表示 2002 降雨組體圖、模擬與觀測流量歷線圖。

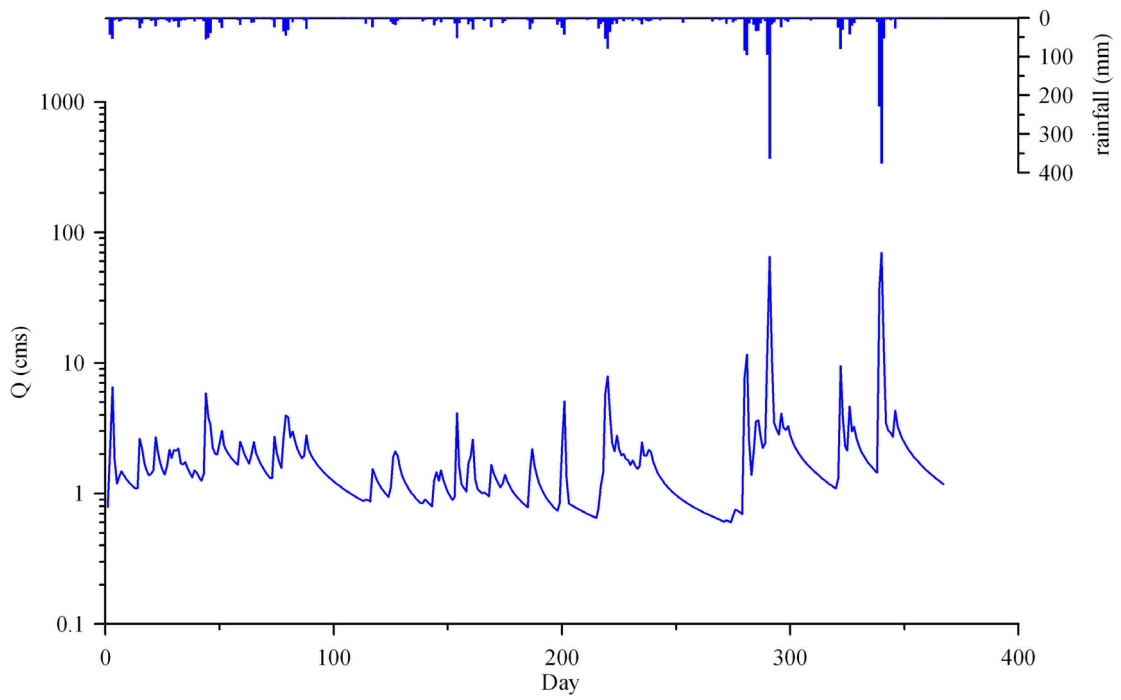


圖 5-16 計畫期間(2006.11~2007.11)有勝溪流量模擬結果

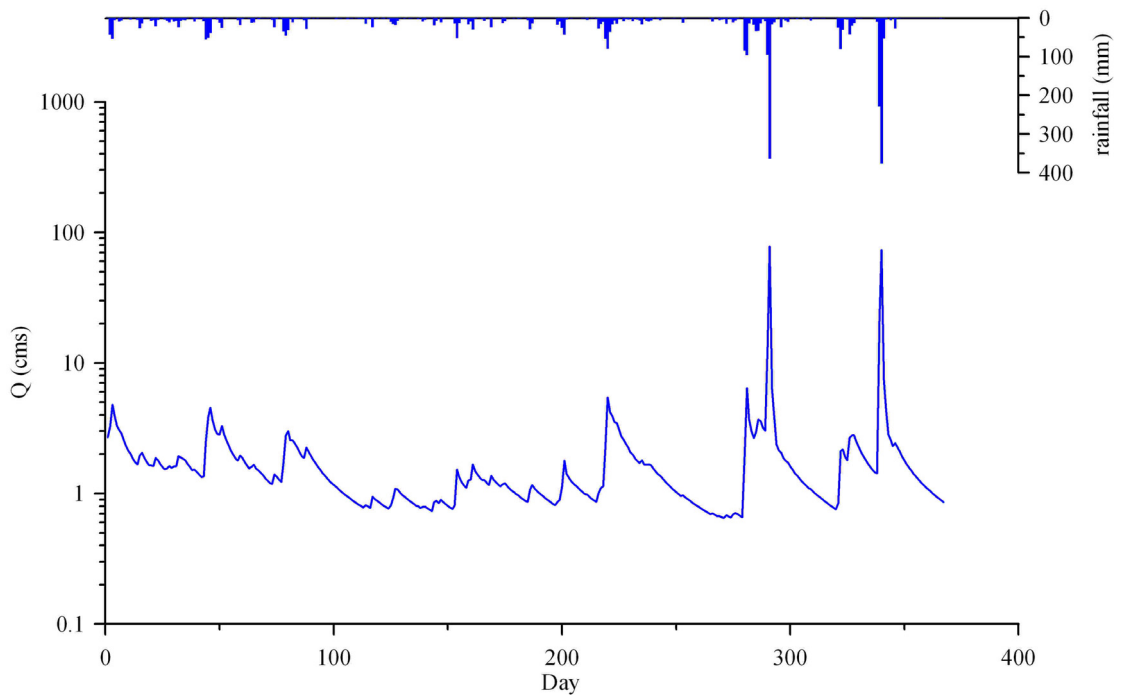


圖 5-17 計畫期間(2006.11~2007.11)桃山西溪流量模擬結果

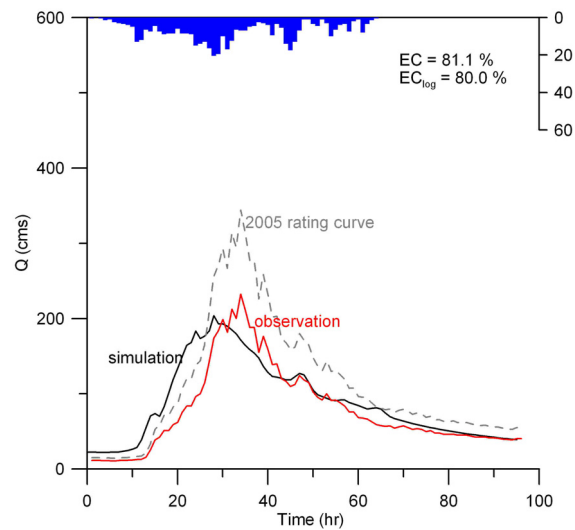
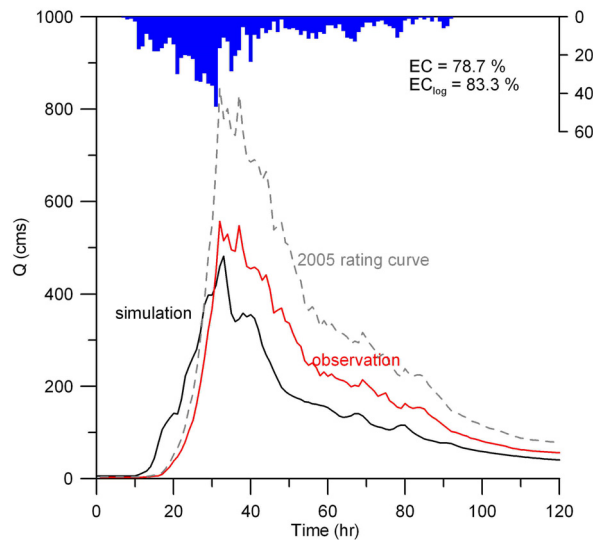
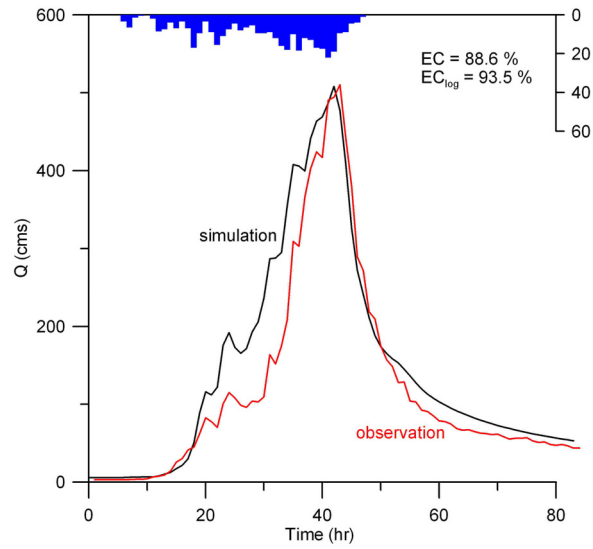


圖 5-18 七家灣溪艾莉颱風、海棠颱風及瑪莎颱風流量模擬結果。上方為雨量組體圖，紅線為利用修正過後平均率定曲線所推估的流量、黑線為模擬結果、灰線為 2005 年率定曲線的推估流量

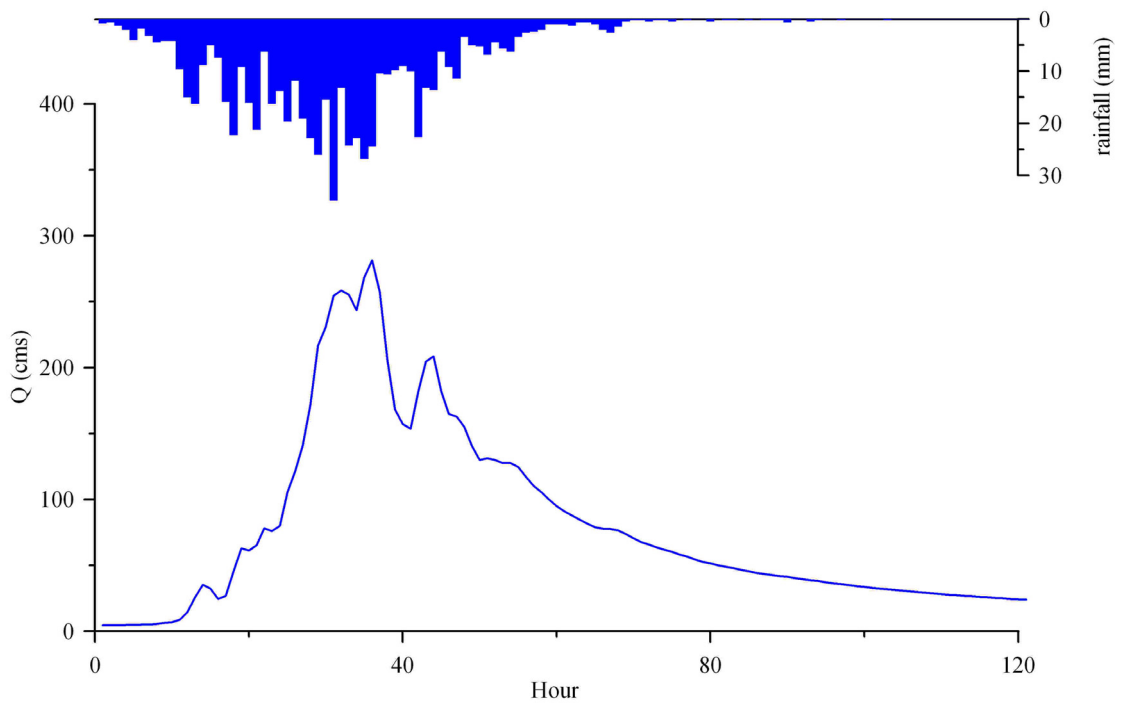
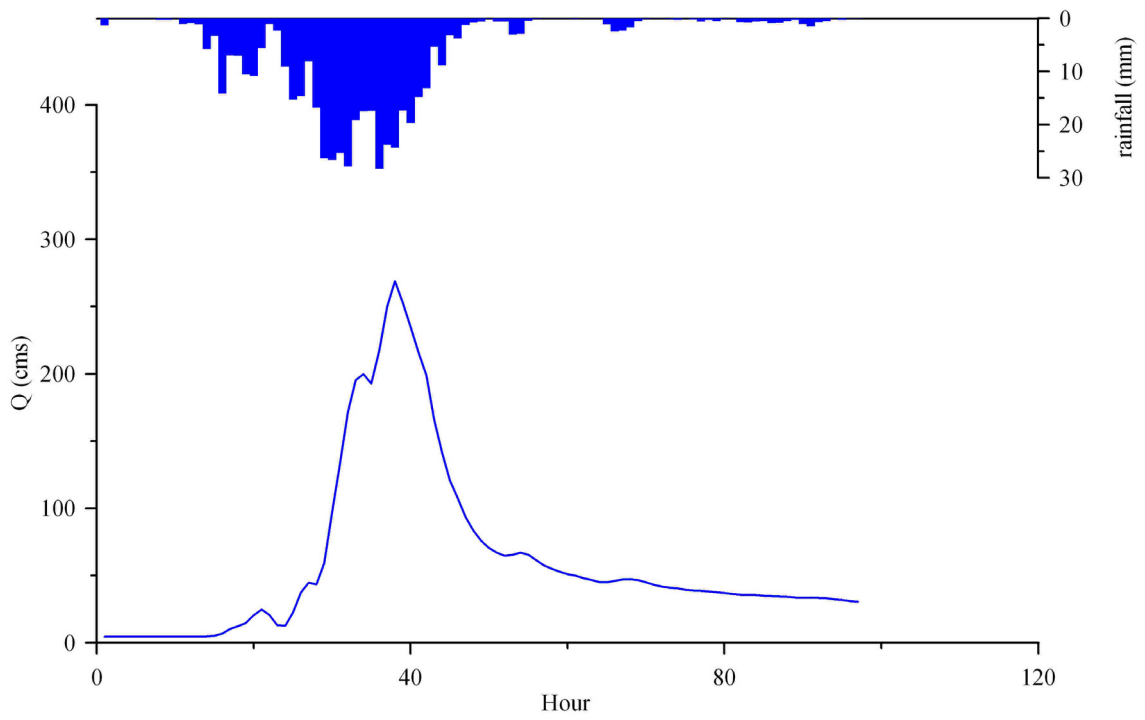


圖 5-19 七家灣溪聖帕颱風及柯羅莎颱風流量模擬結果



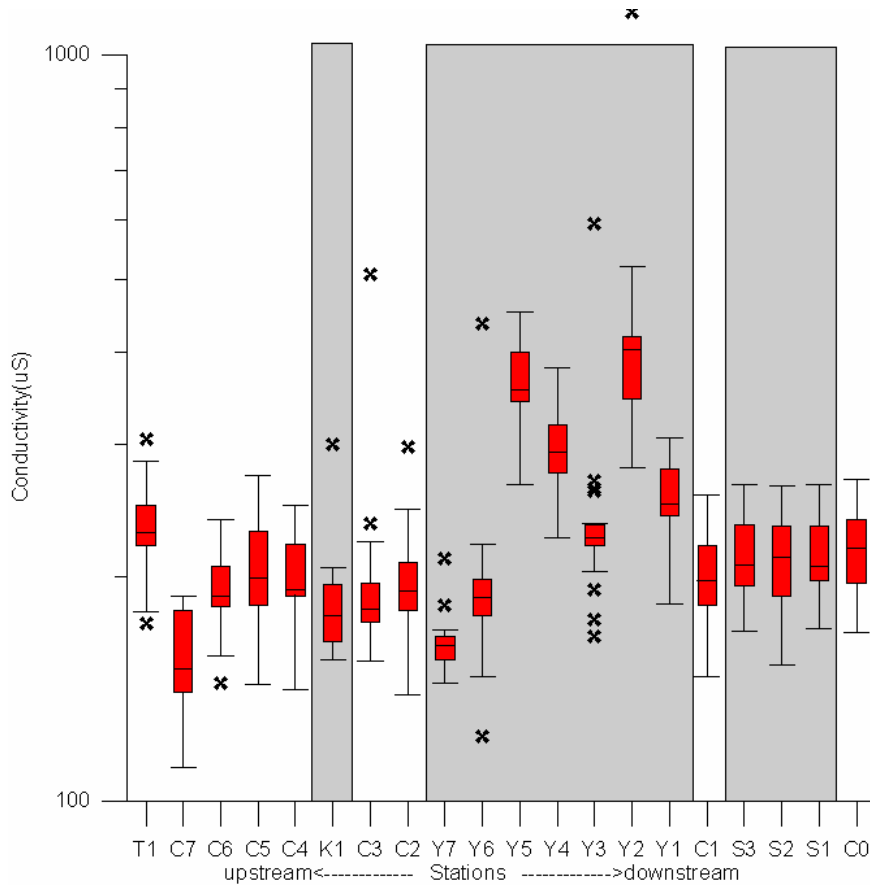


圖 5-20 導電度之空間變異

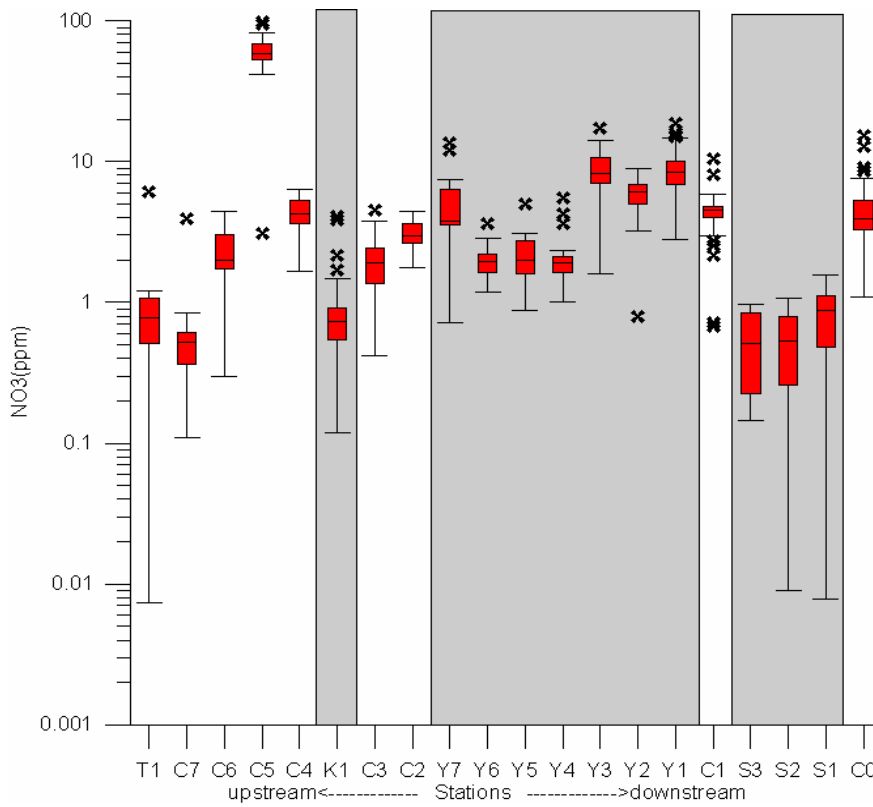


圖 5-21 NO<sub>3</sub> 濃度之空間變異

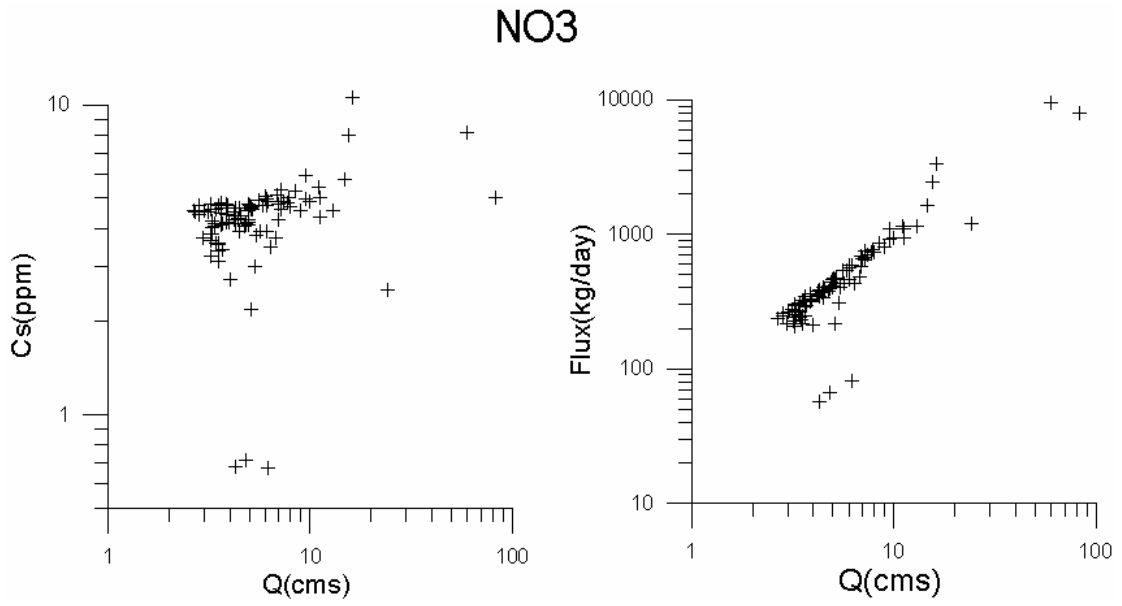


圖 5-22 迎賓橋站 NO<sub>3</sub> 濃度 (左) 及通量 (右) 與採樣當日模擬流量之關係

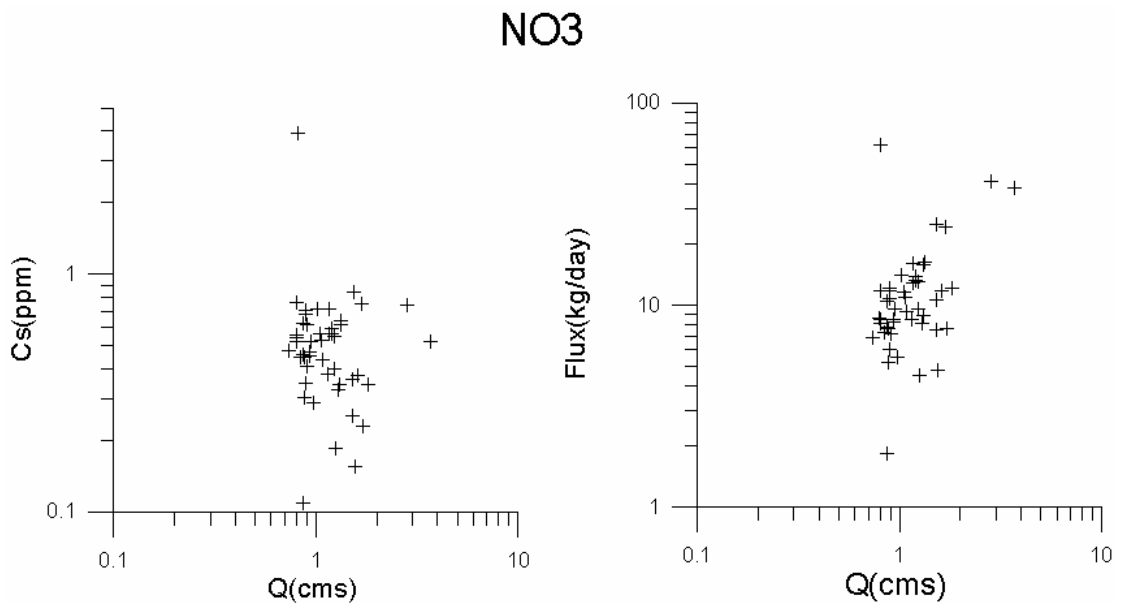


圖 5-23 桃山西溪站 NO<sub>3</sub> 濃度 (左) 及通量 (右) 與採樣當日模擬流量之關係

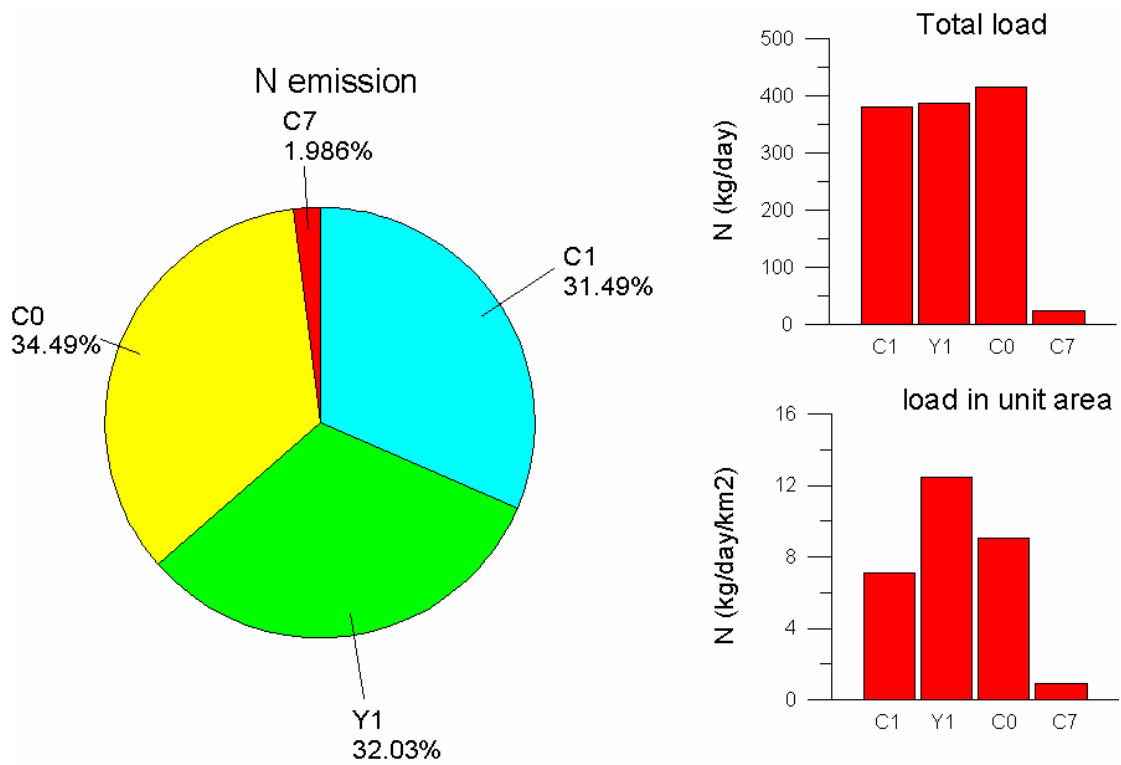


圖 5-24 桃山西溪、萬壽橋以上(七家灣溪)、收費站以上(有勝溪)及四季朗流量站以上(環山地區)之子集水區氮元素輸出百分比、總通量及單位面積之通量

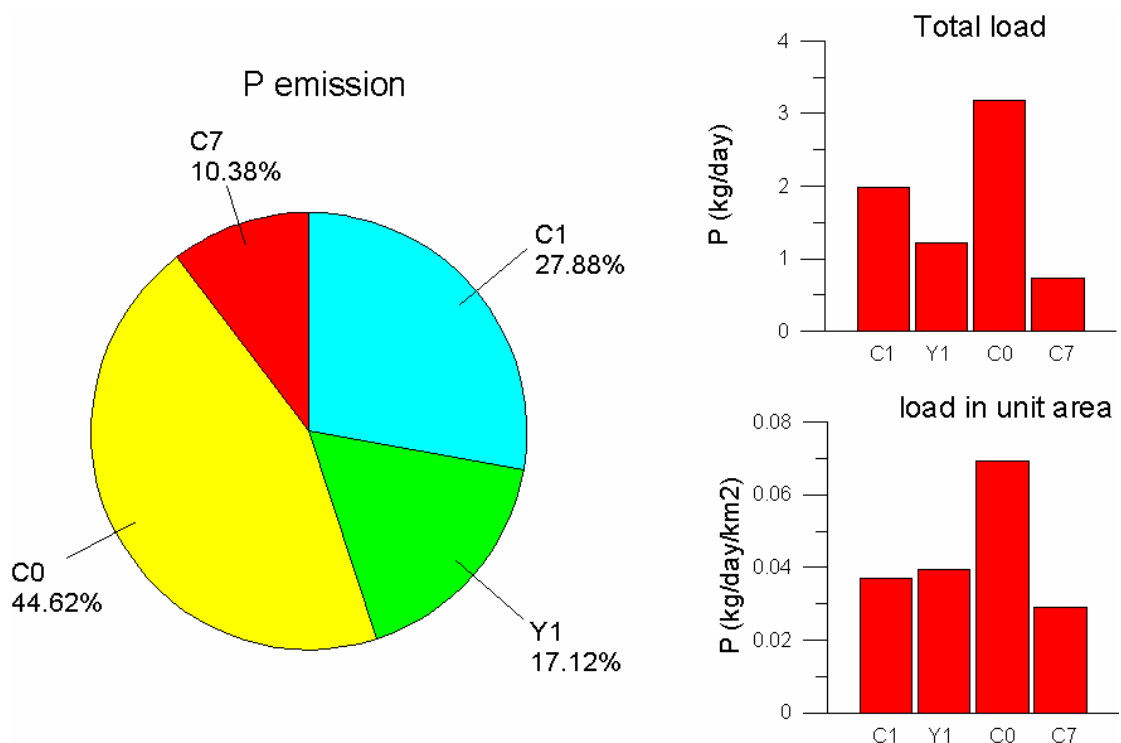


圖 5-25 桃山西溪、萬壽橋以上(七家灣溪)、收費站以上(有勝溪)及四季朗流量站以上(環山地區)之子集水區磷元素輸出百分比、總通量及單位面積之通量

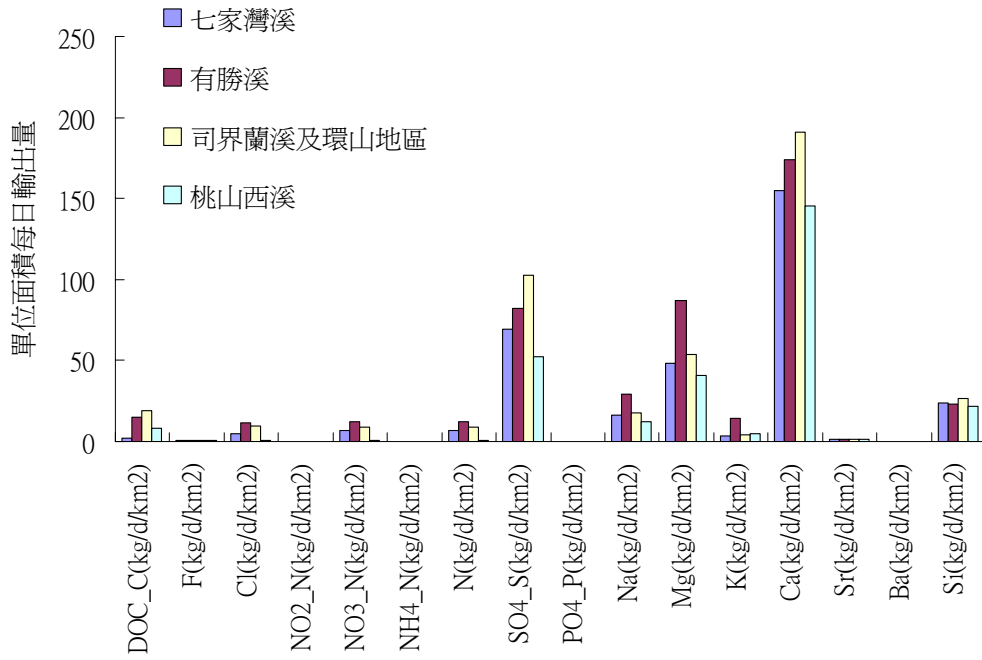


圖 5-26 桃山西溪、七家灣溪、有勝溪及司界蘭溪與環山地區之子集水區元素單位面積之通量

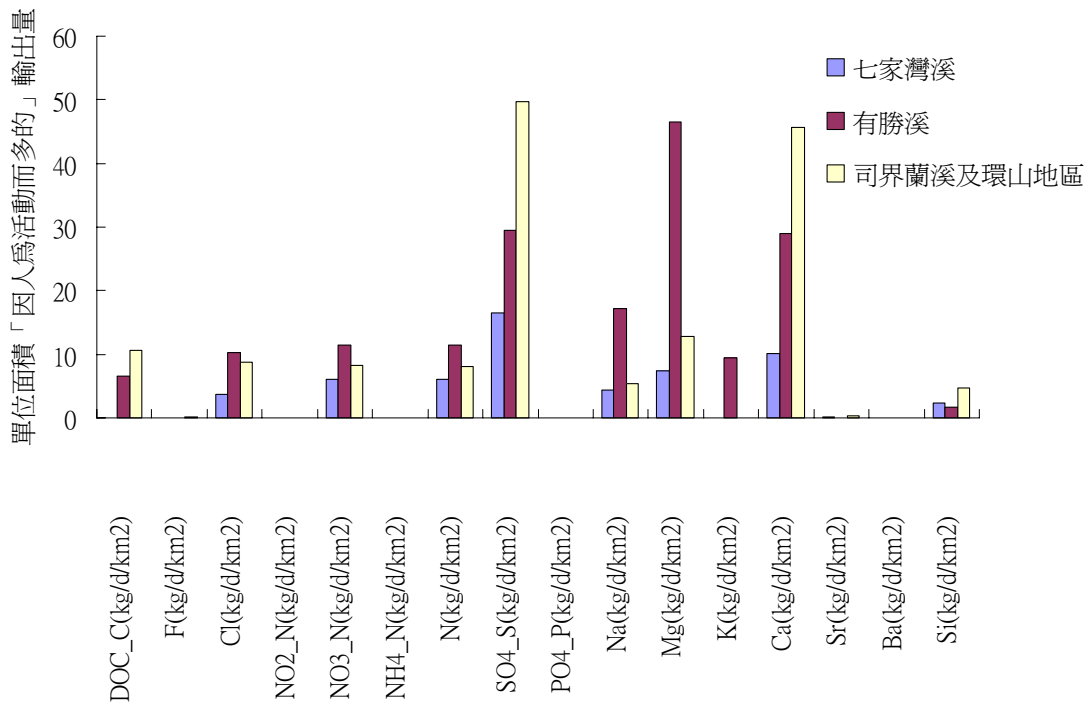


圖 5-27 七家灣溪、有勝溪及司界蘭溪與環山地區之子集水區「因人為活動而多的」元素單位面積之通量

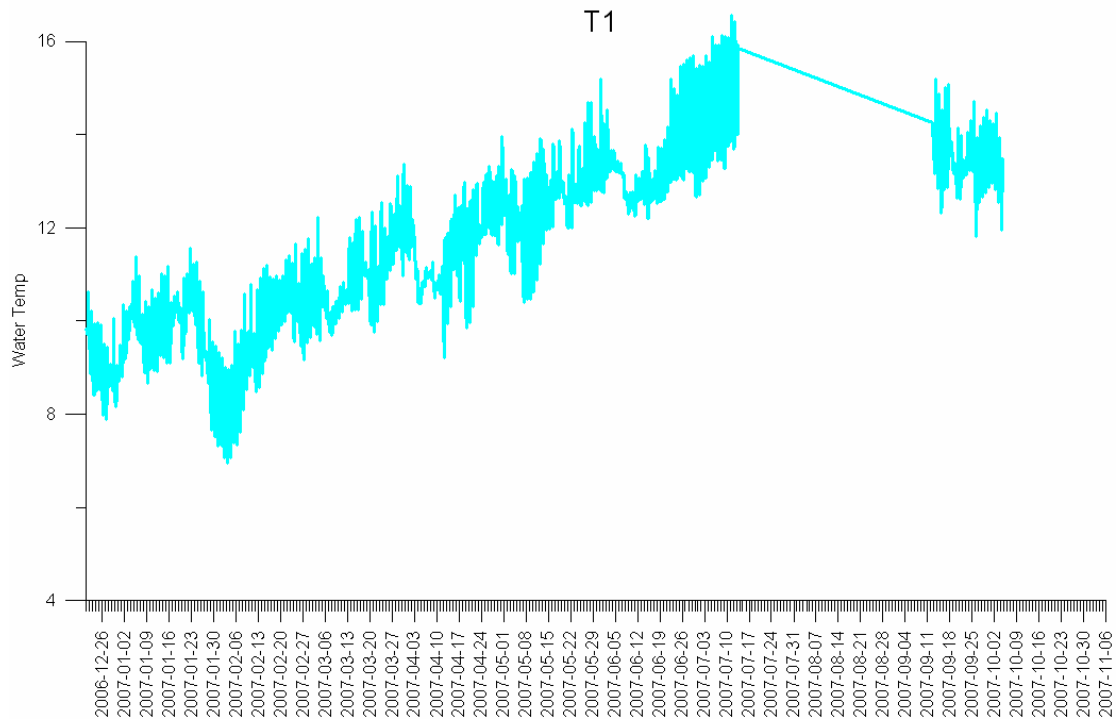


圖 5-28 桃山北溪水溫之時間序列圖

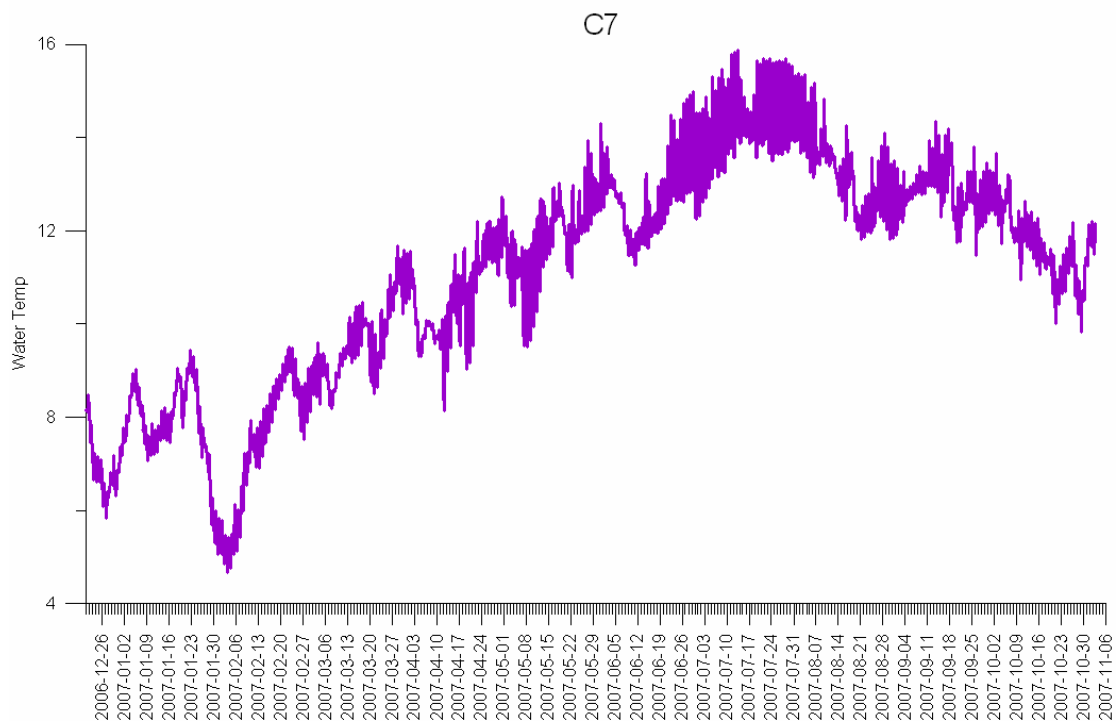


圖 5-29 桃山西溪水溫之時間序列圖

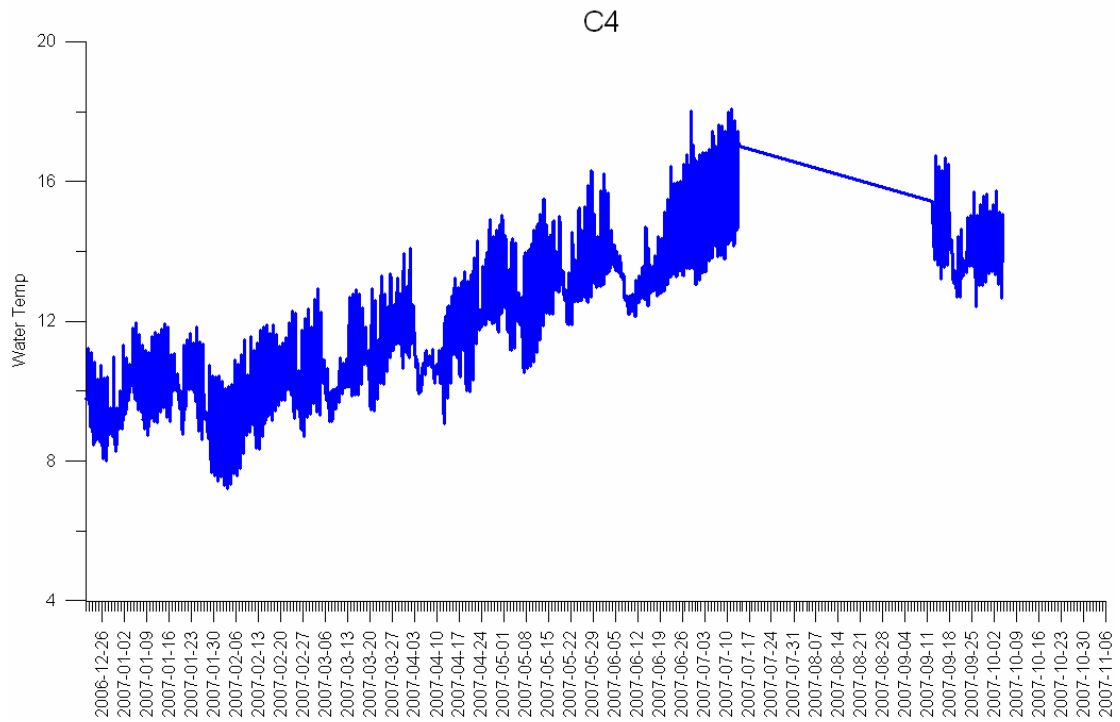


圖 5-30 一號壩水溫之時間序列圖

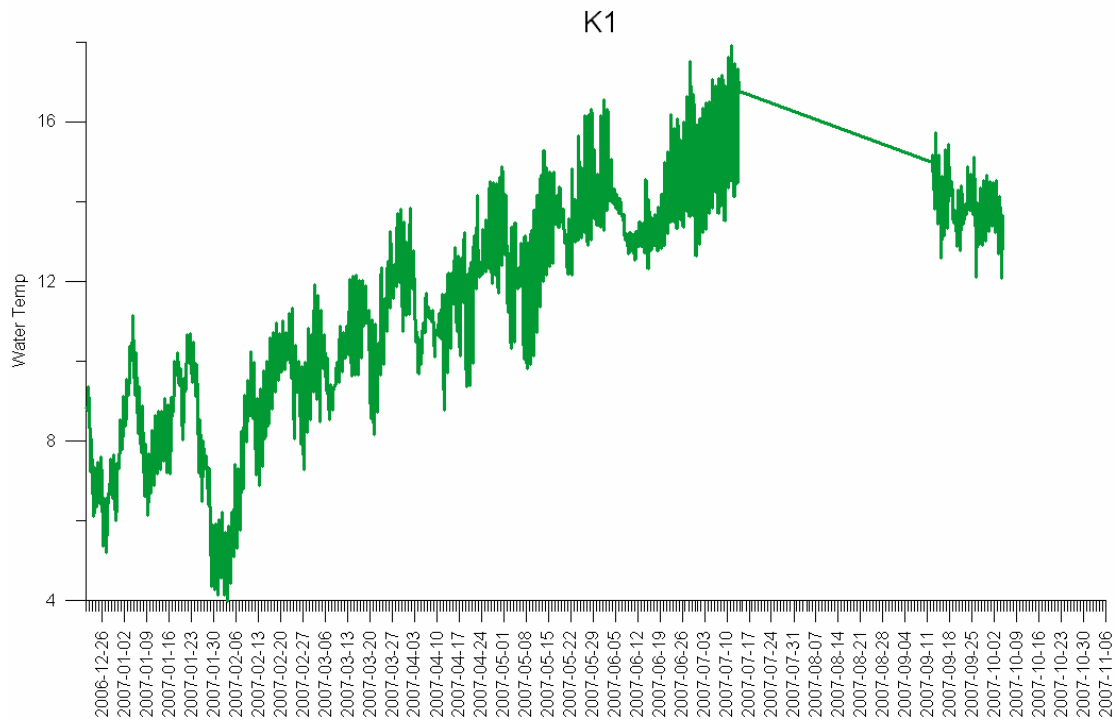


圖 5-31 桃山北溪水溫之時間序列圖

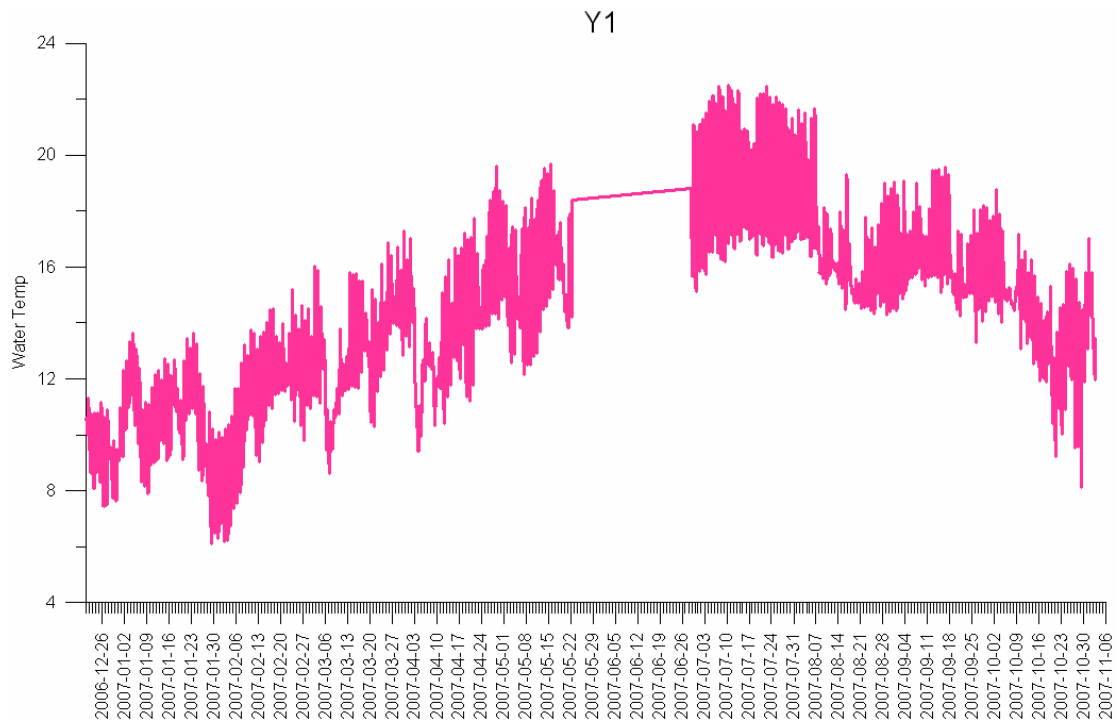


圖 5-32 有勝溪水溫之時間序列圖

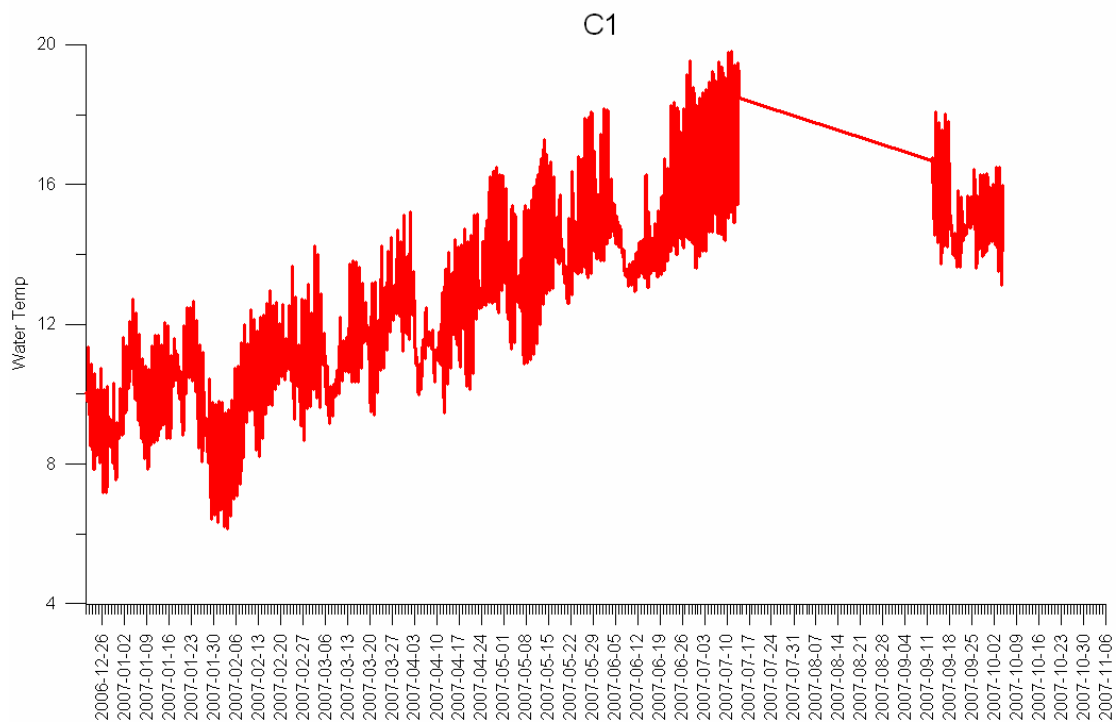


圖 5-33 一號壩水溫之時間序列圖

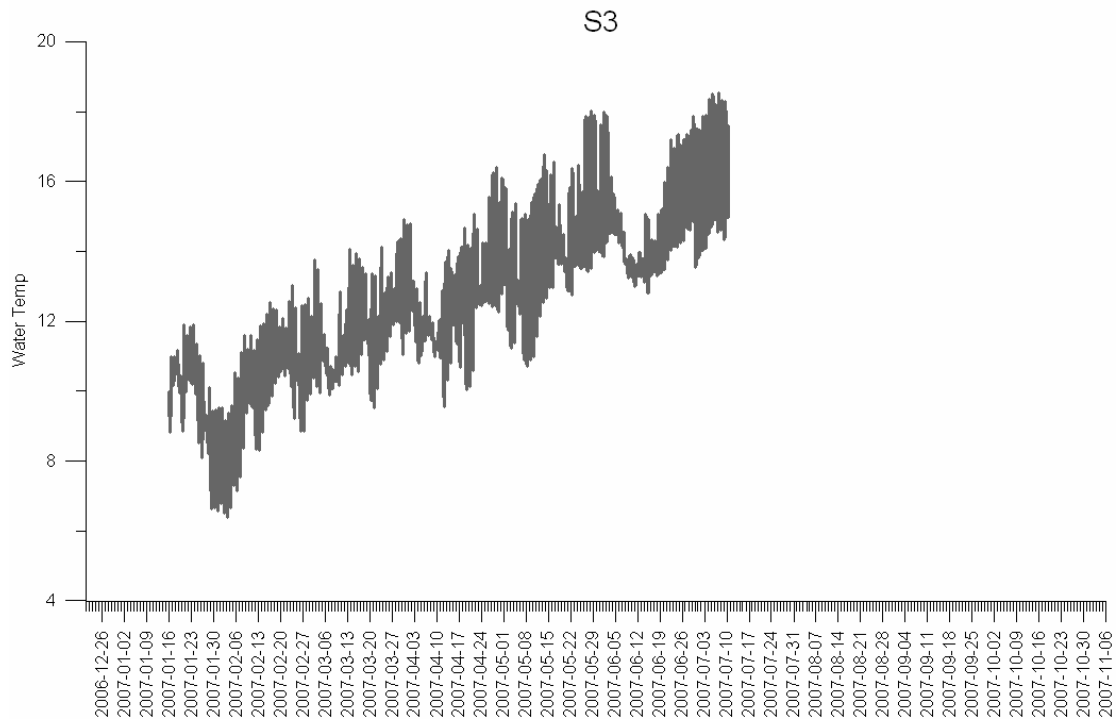


圖 5-34 司界蘭溪上游水溫之時間序列圖

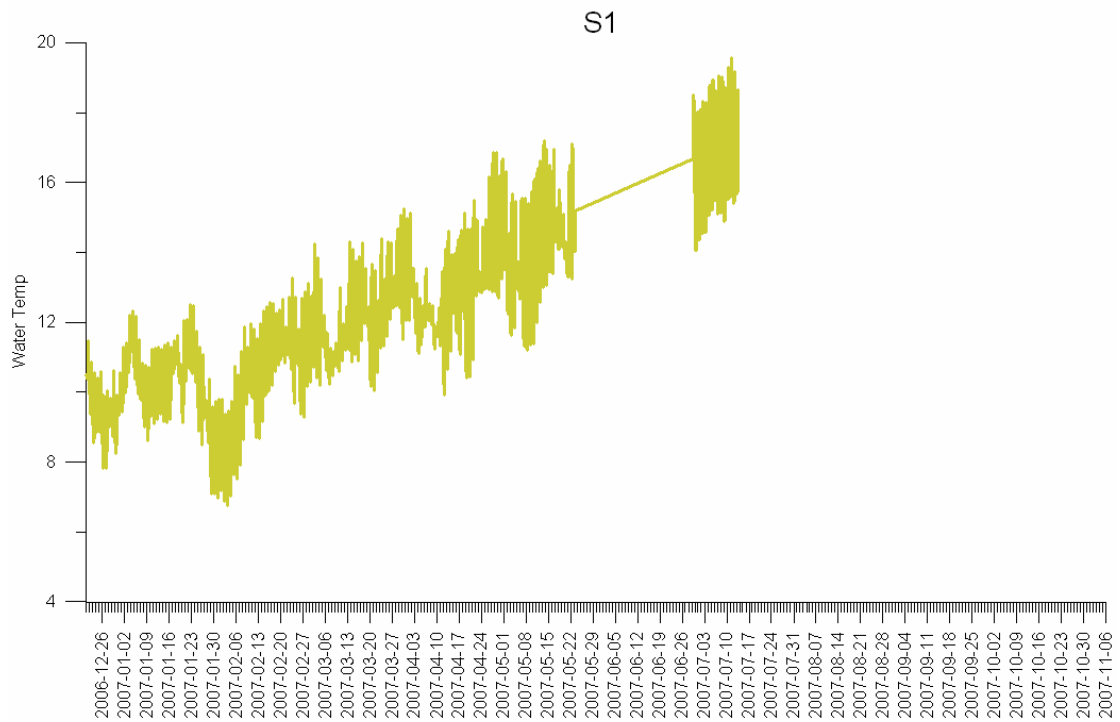


圖 5-35 司界蘭溪下游水溫之時間序列圖



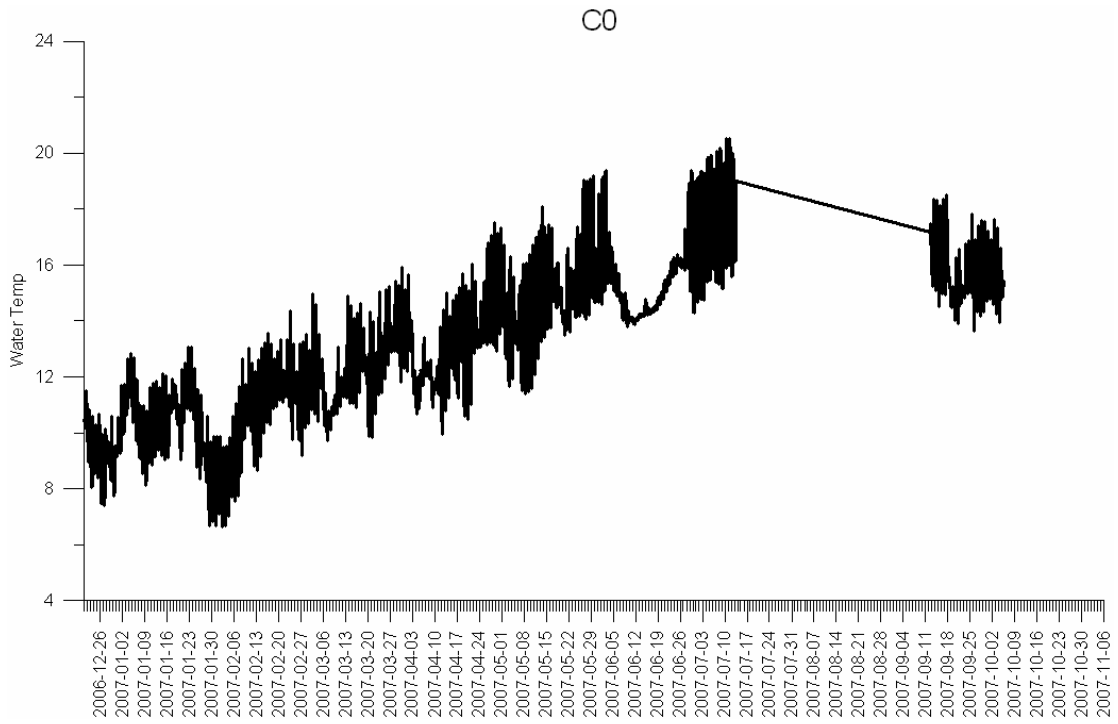


圖 5-36 四季朗吊橋水溫之時間序列圖

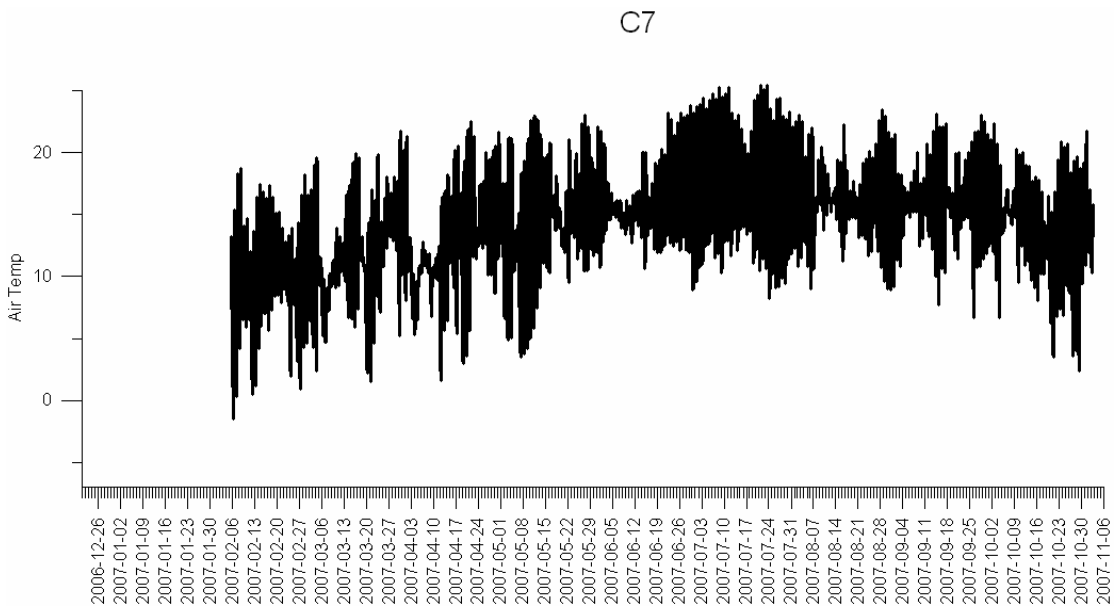


圖 5-37 桃山西溪氣溫之時間序列圖

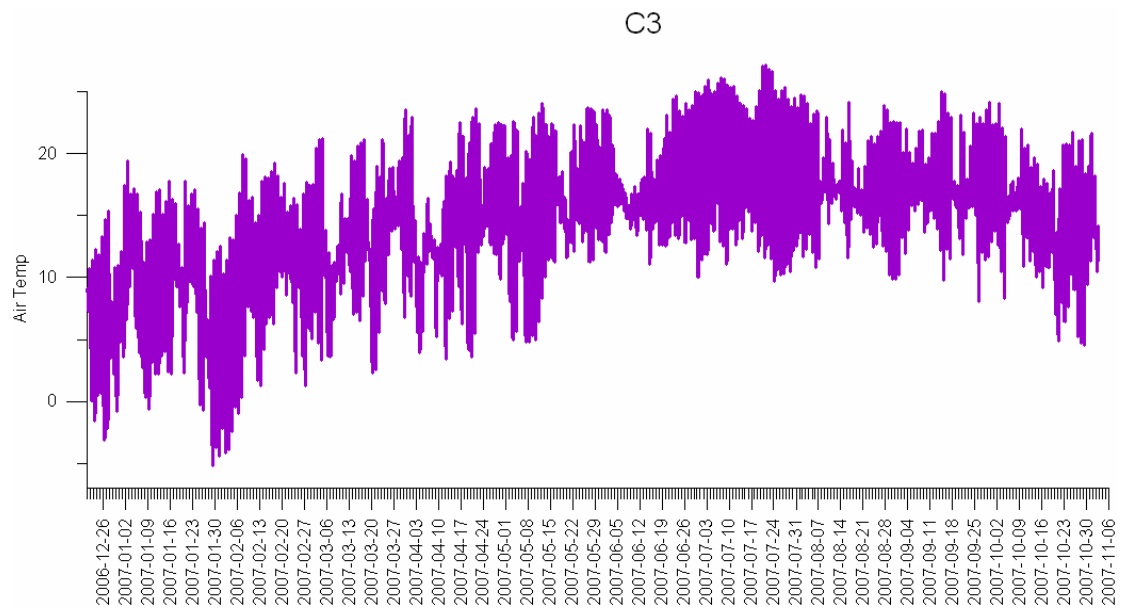


圖 5-38 繁殖場氣溫之時間序列圖

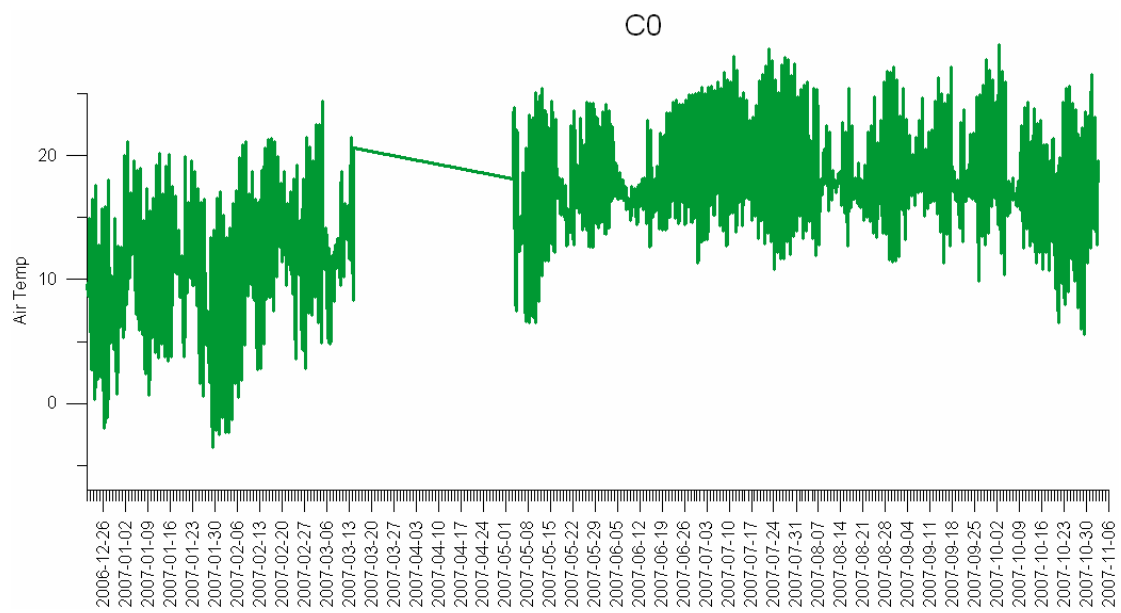


圖 5-39 司界蘭吊橋氣溫之時間序列圖

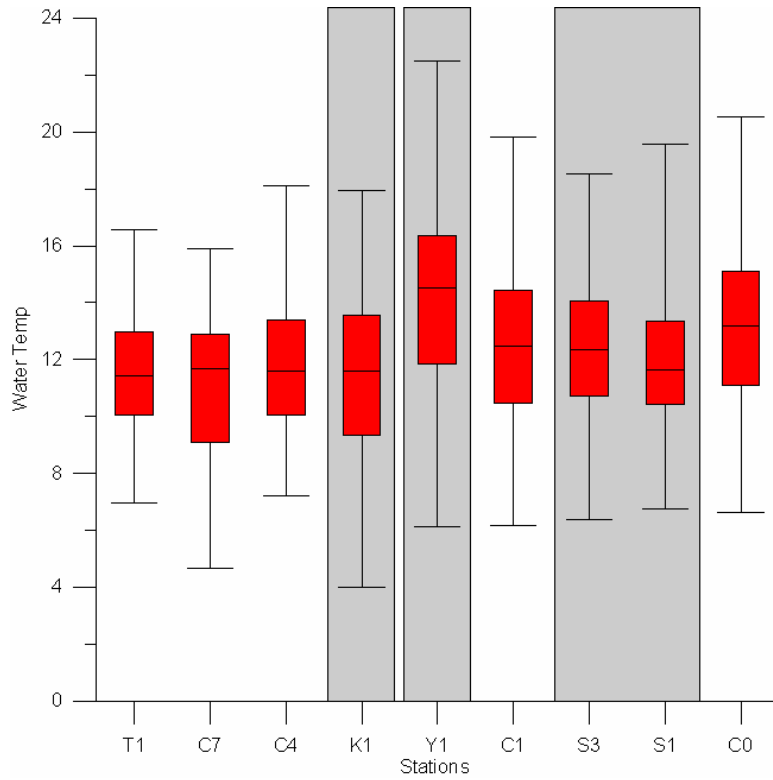


圖 5-40 水溫之空間變異圖

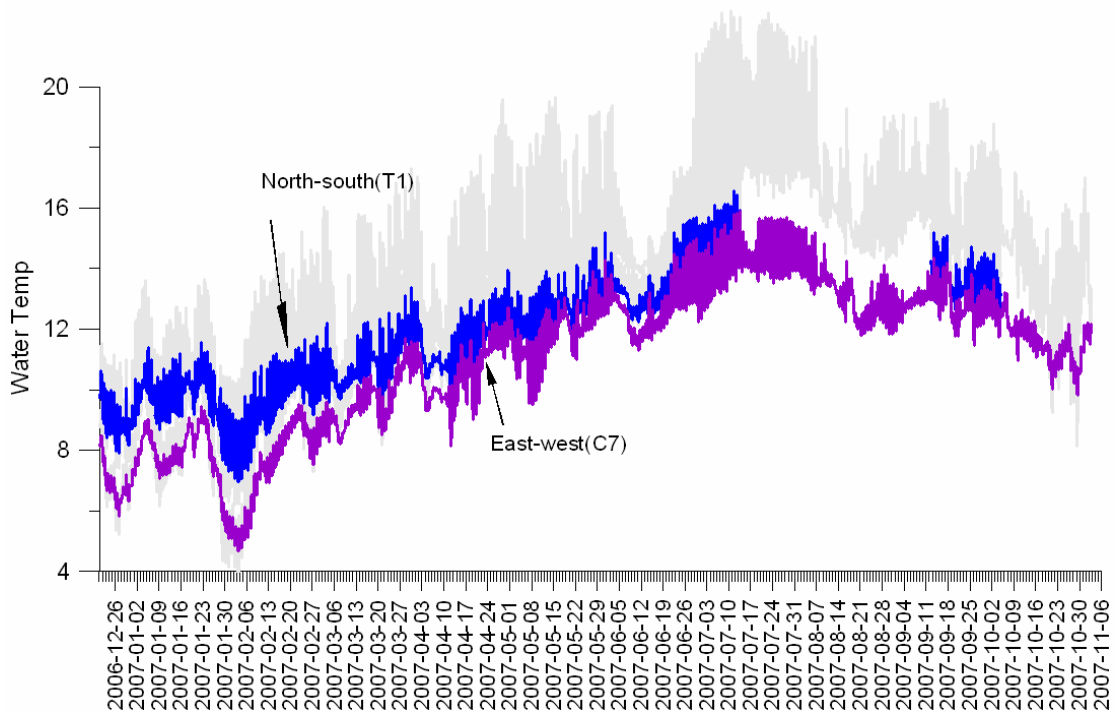


圖 5-41 桃山西溪(C7)與桃山北溪(T1)水溫之時間序列

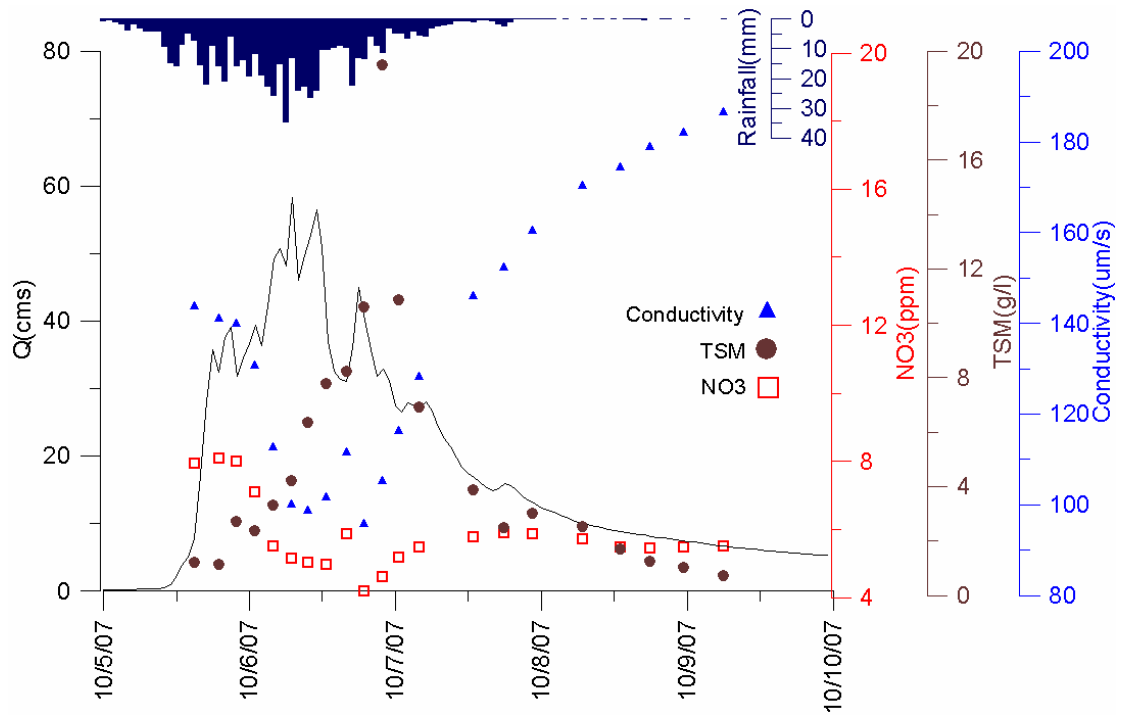


圖 5-42 柯羅莎颱風期間導電度、NO3 及 TSM 與流量之關係 (有勝溪)

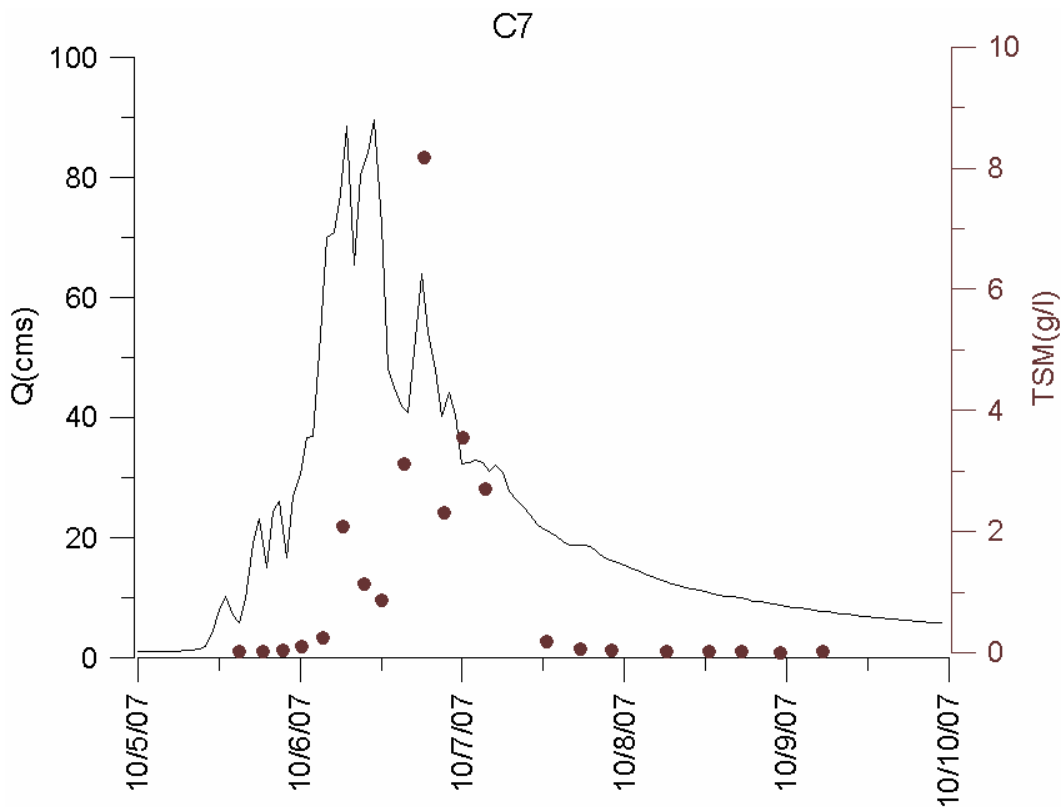


圖 5-43 柯羅莎颱風期間 TSM 與流量之關係 (桃山西溪)

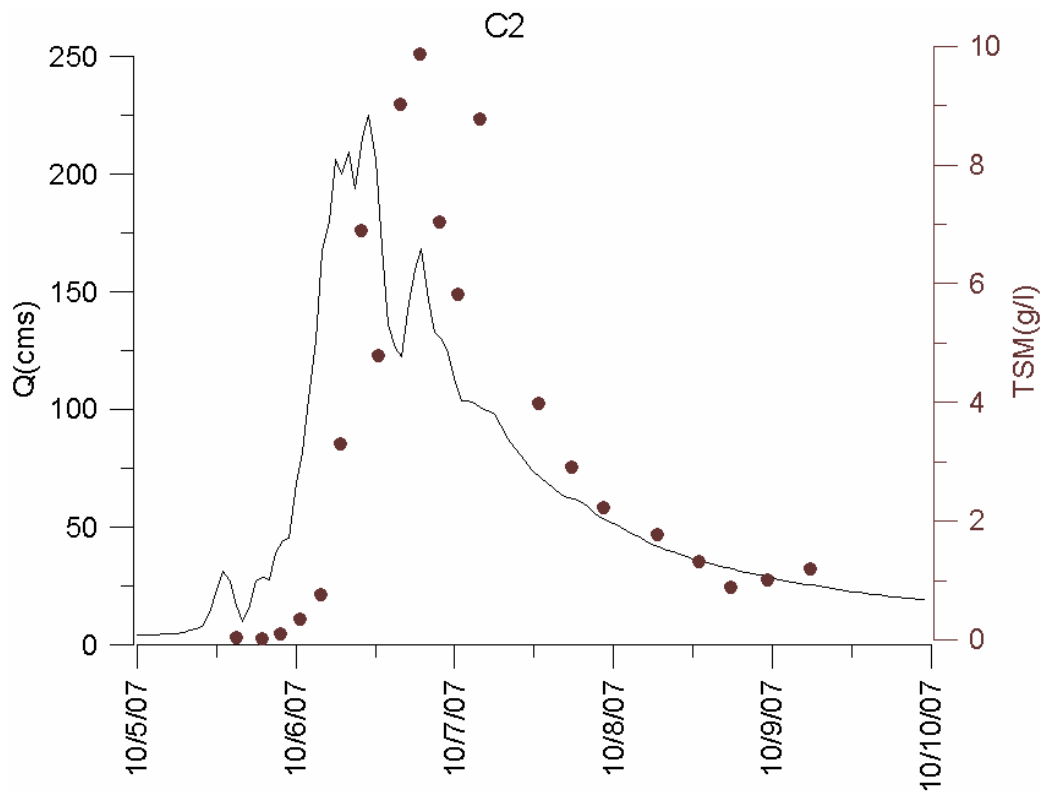


圖 5-44 柯羅莎颱風期間 TSM 與流量之關係 (七家灣溪萬壽橋下)

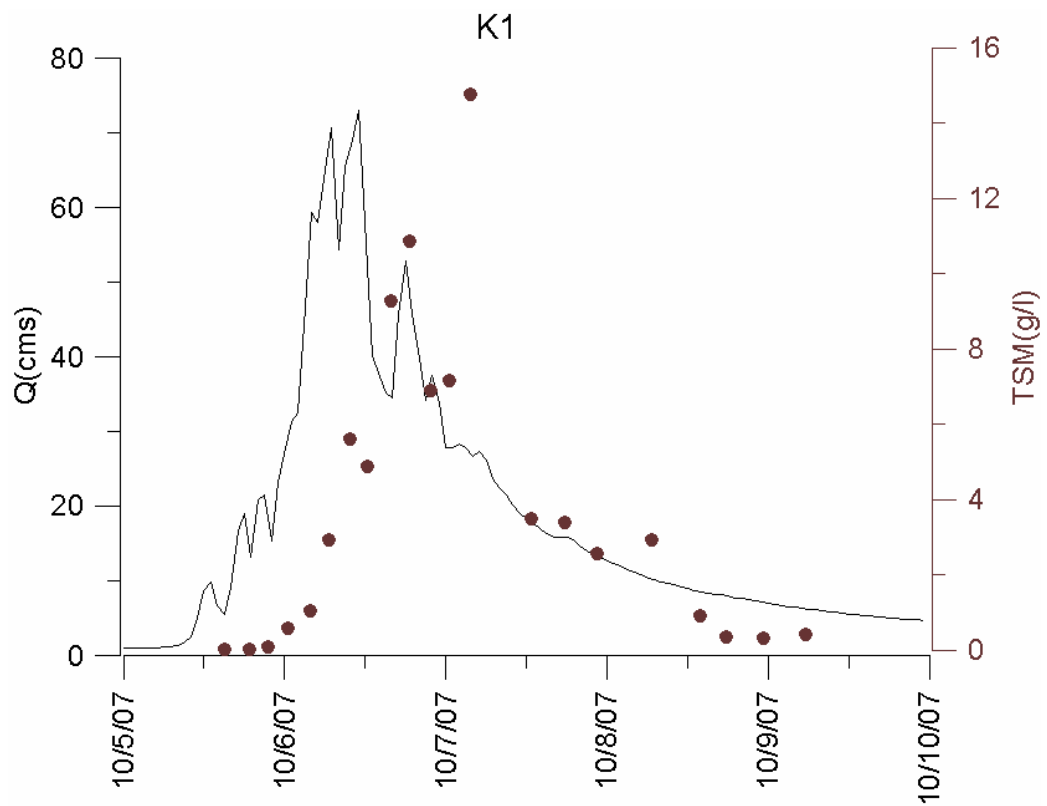


圖 5-45 柯羅莎颱風期間 TSM 與流量之關係 (七家灣溪萬壽橋下)

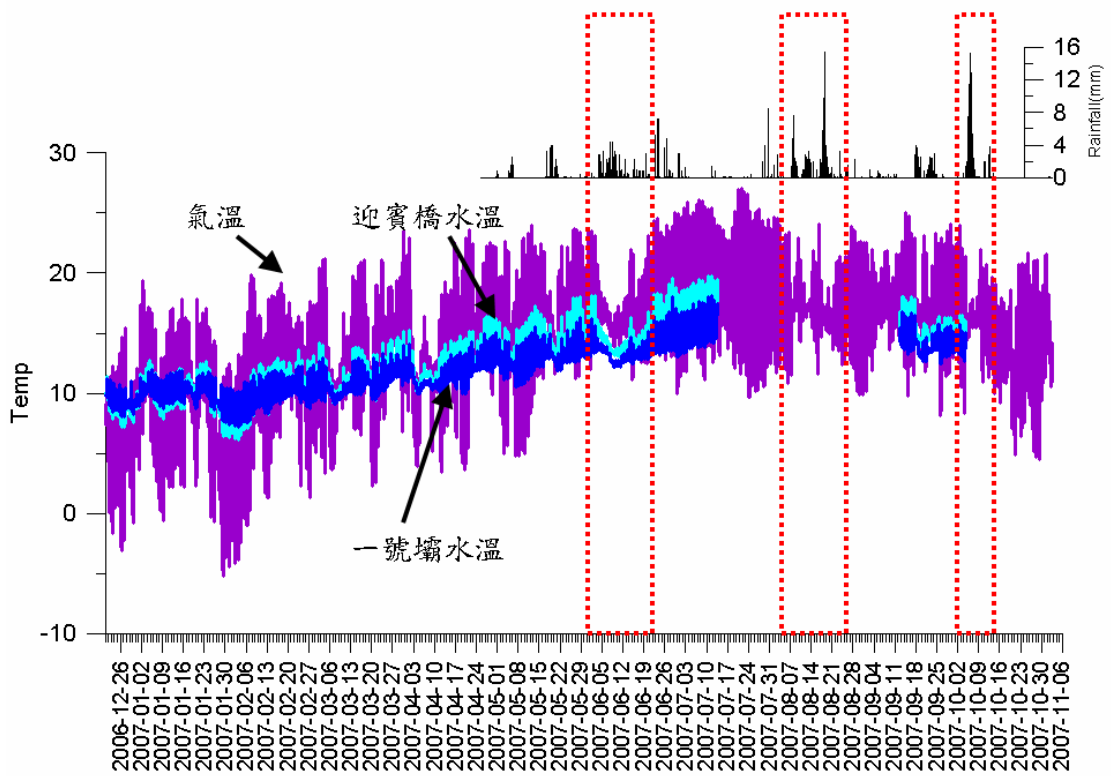


圖 5-46 颱風及降雨對水溫的影響

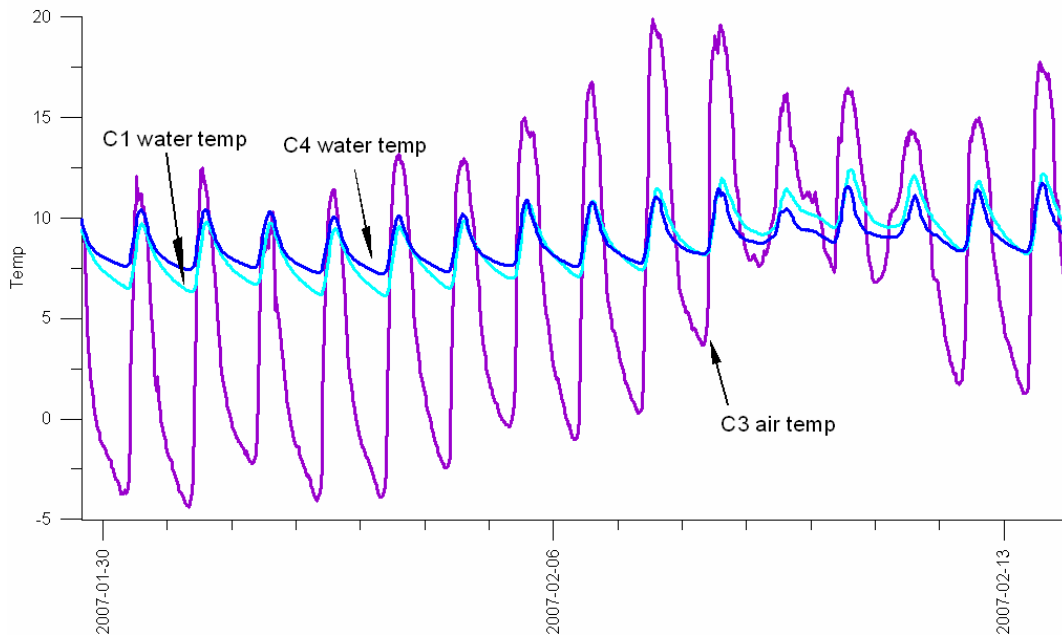


圖 5-47 一號壩水溫(C4)、迎賓橋水溫(C1)及繁殖場氣溫(C3)時間序列，顯示水溫受氣溫影響之現象。

# 第六章 濱岸植群研究

蔡尚惠 郭礎嘉

環球技術學院 環境資源管理系

## 摘 要

### 一、研究緣起

七家灣溪是櫻花鉤吻鮭的重要棲地，為使其櫻族群得以延續，保護森林溪流生態系乃是當務之急。又為對溪流生態系進行最有效之管理，必須建立起完善的生態系模式，而濱岸植群之組成、結構、生物量、生產量以及枯落物，為研究動態森林生態系的重要參數。

### 二、研究方法及過程

本研究為瞭解濱岸植群之組成與結構變化，於七家灣溪的桃山北溪(#1)、桃山西溪(#2)、一號壩(#4)、繁殖場(#5)、高山溪(#8)以及有勝溪(#9)等 6 個測站，分別設置 12 個 10x25 m<sup>2</sup> 之永久樣區，並於 2007 年完成喬木、地被層植物複查。

### 三、重要發現

2005、2007 年的物種組成並無太大變化，其歸群之群團分析的結果相似，皆可分為蓬草—臺灣紫珠型，栓皮櫟—化香樹型；臺灣二葉松—臺灣赤楊亞型，臺灣二葉松—栓皮櫟亞型，以及臺灣二葉松—臺灣赤楊—臺灣紫珠亞型。另本研究以 2005、2007 年之七家灣溪濱岸植群的植群調查資料，推估其植群的生物量，結果得知 2005 年各樣區喬木層植物之生物量為 21-298 t/ha，而 2007 年各樣區喬木層植物的生物量為 28-326 t/ha。此外，2005 年 2 月至 2007 年 10 月止之枯落物收集，其枯落物最主要的輸入來源為葉，各年皆佔 70% 以上的輸入量，且以臺灣赤楊、臺灣二葉松與栓皮櫟的葉子居多，其次為枝條，約有 10-20% 的輸入量。

### 四、主要建議事項

建議於 2008 年 8 月完成司界蘭溪地被層植物複查，以瞭解其於乾、濕季有無差異。並於 2008 年 2 月完成七家灣溪永久樣區之地被層植物之複查，並進一步推估喬木、地被層植物的淨初級生產量。此外，為期更瞭解濱岸植群的特性，未來擬將焦點集中於濱岸植群的梯度變化，歸納濱岸帶之特徵種，以更完善地瞭解七家灣溪濱岸植群的特性。

【關鍵字】濱岸、植群監測、生物量、枯落物

## Abstract

Forest biomass, net production and biomass of litter fall are the important factors for the forest ecosystem, and these could provide the information for decision making of riparian vegetation management. In this study, we estimated the biomass and net production of vegetation via the monitoring data of riparian vegetation in the Cijiawan Stream in 2005, 2007. The results revealed the biomass was about 21-331 t/ha in 2005, and about 28-326 t/ha in 2007. It showed the net production was higher in the station of Taoshan West stream and Gaoshan stream, and it was lower in the station of Taoshan North stream and Dam 1. Besides, the total biomass of litter fall was collected from February, 2005 to October, 2007, of which 70% was composed of foliar litter, 10-20% was branch litter. Otherwise, the foliar litter was composed of *Alnus formosana*, *Pinus taiwanensis*, and *Quercus variabilis*.

【Keywords】 riparian, vegetation monitoring, biomass, litter fall



## 一、前言

淡水生態系對於人類的發展佔有重要的地位，其不僅提供農業、工業、生活用水，亦具有交通、商業、遊憩休閒之功能。又淡水生態系是許多生物的棲息地，亦為生物圈重要的物質通道之一。然而，隨人類文明的高度發展，近幾十年來，人類對於水資源的需求量大增，大量污染物的輸入，超出淡水生態系的負荷，濱岸植群的破壞嚴重，亦使河川水量與水質受到極大影響，造成淡水生態結構改變，物種遷移或死亡，而河川原有的功能亦逐漸喪失。

水資源逐漸匱乏，已成為全球性的問題。因此，淡水生態系的維護與管理，漸漸受到重視。為維護淡水生態系，除了減少對溪流直接污染外，健全的濱岸植群（riparian vegetation）具有減少污染物質進入地下或地表水、保護堤岸、減少土石沖刷、提供溪流營養源、增加生物棲地、維持溪流生態等功能，對淡水生態系的影響甚鉅。因此，濱岸帶（riparian zone）的管理，成為維護淡水生態系的必要手段之一。

森林生物量（biomass, B）或稱現存物量（standing crop），乃是森林生態系中，森林植群生產的乾物之累積。近年來，生態學者試圖以數學模式（mathematic models）推估森林生態系之結構與功能、動態變化以及各因素之影響。對森林演替（forest succession）而言，生態系中之能量流轉（energy flow transfer）、養分循環（nutrient cycle）以及有機物生產之過程（process of organic production）等，宜加以量化森林生態系各組成分的生物量（林國銓等，1994）。森林生物量與生產量係探討森林生態系養分聚積、循環以及生產力等動態性質的基礎，為植群匯聚養分成果的展現，與養分的分配（allocation）、聚積形式（pattern）以及循環具直接的關係（薛銘童與許博行，2003），亦可提供生態系經營上重要訊息。

七家灣溪是大甲溪的上游支流之一，是國寶魚—臺灣櫻花鉤吻鮭（*Oncorhynchus masou formosanus* Jordan & Oshima）的重要棲地。櫻花鉤吻鮭較適合棲息於水溫 7-15 °C 之溪水中，原廣泛分布大甲溪上游各支流，然受到人為間接、直接與自然因素的影響，現僅存於七家灣溪。為使櫻花鉤吻鮭族群得以延續，保護森林溪流生態系乃是當務之急。是故欲對溪流生態系進行最有效的經營與管理，必須建立起完善的生態系模式，而濱岸之植群組成（composition）、結構（structure）、生物量、生產量（production, P）以及枯落物（litter fall），為研究動態森林生態系的重要參數之一。

## (一) 濱岸生態系與濱岸帶

人類文明的發展主要是沿著溪流流域而漸次向內地拓展而來。近年來水域生態研究的發展極受重視，特別將此區域視為一完整生態系，而提出濱岸生態系(riparian ecosystem)概念(Gregory et al., 1991)。濱岸生態系係位於水域與陸域生態系間的交界帶，具有連結兩者的廊道與緩衝功能。Lazdinis and Angelstam(2005)認為濱岸森林對河流水量的調節和鄰近生物的種類與數量，具重要的影響。由此足見濱岸生態之重要性。

濱岸帶的形成與溪流週期性的氾濫有關。Hupp and Osterkamp(1996)在研究中指出；長年有水的溪流，隨季節之變化而有豐水期(wet periods)與枯水期(drought periods)，甚至每隔一段時間，會有定期的洪水侵襲。溪水流量變化產生的侵蝕作用與沈積作用，使溪岸呈現階梯狀結構(圖 6-1)，而形成濱岸帶。濱岸帶是生物圈的一部分，包括新生代的河流地形與河流滿水位(bankfull discharge)時，洪水與滲透作用所及的範圍。河道沙洲(channel shelf)、洪水平原(flood plain)、高低河階(lower and higher terrace)以及邊坡(hillslop)等區塊，凡是在河流滿水位影響之下的區塊，皆屬於濱岸帶。各區塊受到溪流不同強度、頻率、持續時間的影響，無論在形貌或植物組成上，都有所不同(Nilsson et al., 1989)。

## (二) 濱岸植群

濱岸植群特指生長在濱岸帶的植群，具有三個主要特徵：一為因位處於河道兩側，一般呈現狹長型；再者，由相鄰的生態系向溪流傳送的物質和能量，必然經過濱岸帶，因此，濱岸生態系為典型的開放性系統；其三為高地與溪流之間的橋樑(陳吉泉，1996)。濱岸植群的植物種類，由地域性氣候、地質構造與過程、濱岸二側生物和非生物過程等共同決定，並與地形、地貌、土壤、水文、干擾、河流級序等密切相關，進而改變濱岸植群的種類組成、結構以及生產力，亦使濱岸植群呈現斑塊狀的分布(White and Greer, 2006)。一般隨著水位高低和水量大小，影響植物生長與其生存立地，因此，濱岸植群通常由演替初期物種所構成，其種類多具有忍受或逃避干擾的能力。

濱岸植群的重要影響包括如；枯落物提供溪流中的營養來源，植物根系保護河岸，樹蔭可以提供水中生物庇蔭以及控制水溫，又木質殘體(woody debris)可提供生物棲地(Congalton et al., 2006)。總而言之，濱岸植群主要可以歸納有三項主要功能：廊道(corridor)功能、緩衝帶(buffer zone)與護岸功能。

### 1. 廊道功能

廊道是組成地景的結構單元之一，係指景觀中連結兩種不同環境的帶狀鑲嵌體，具

有溝通、連接、運輸以及過濾等功能，作為生物、物質、能量流通之管道。濱岸植群位於陸域生態系與水域生態系的廊道，具有良好的濱岸植群，可提供濱岸生物如兩生類、鳥類足夠的生存環境和通道，以及水中生物的營養素，並能有效地減少來自周圍的各種溶解物污染，確保水質穩定(張建春，2001，Castelle et al.,1992)。

## 2. 緩衝帶

緩衝帶功能實際上是河流廊道功能的一部分。濱岸兩邊向岸坡二旁延伸之植群形成的緩衝帶可透過過濾、滲透、吸收、滯留、沉積等濱岸植群的機械、化學和生物功能效應，使進入地表、地下水的污染物毒性減弱與污染程度降低，防止由坡地地表徑流、廢水排放、地下逕流以及深層地下水流所帶來的養分、沉積物、有機質、或其他污染物進入溪流生態系。普遍適用於坡地農田、草地或牧場相臨的濱岸、湖泊水塘、泛洪區、濕地等。Castelle et al.(1992) 曾論及保護帶的設置需求，斯認為應依其保護緩衝之目的而寬窄不一；若為緩和河水溫度變化時，緩衝帶寬度在 30 m 之內即可，又若為緩衝過渡之營養的輸入河道則可能需要 80 m 左右，另若為促進緩衝帶內的生物歧異度時，則可能需要 100 m 以上。

## 3. 護岸功能

濱岸植群的護岸功能主要有三個方面：其一為減小河岸一側水流流速，以降低河水的侵蝕速度；其次，是通過河岸植物根系增強河岸表層的強度，以提高河岸的穩定性；再者，作為河岸緩衝帶，可防止漂浮物或冰塊對河岸的影響以保護河岸。河岸侵蝕是一個複雜的現象，受多種因素的影響，通常與水流、泥沙和河岸性質(物質組成與質地、切向力和抗張力、地下水水位、滲透力、地層、河岸幾何形態以及其上生長的植物等)有關(張建春，2001)。濱岸帶受水流侵蝕的方式不同，其植物發揮作用的效應亦有所區別。植物覆蓋的密度與類型，對河岸侵蝕的防護作用影響較大，一般植物的固岸作用，主要是透過植物根系滲入土層，並增大河岸橫向力，以減小塊體運動和抵禦泥沙侵蝕。此外，濱岸植群亦可提供溪流大型木質殘體之來源。此等因天然或人為干擾而死亡枯倒之大型殘材堆積，形成大型結構物，增加地表的歧異性，形成野生動物多樣的棲息場所，亦為植物種子發芽生長溫床(鄧紅兵等，2002)。濱岸帶的功能不侷限於此，濱岸帶處於水陸交界區，具有明顯的邊緣效應和強大的生態保護功能，與相鄰的生態系相比，在濱岸生態系中具有較高的生物多樣性，故濱岸生態系對水文、地貌、生態、社會經濟發展皆具較大的影響，因此，濱岸植群研究更重視在河岸造林、恢復，以及重建原本植生的完整性(張建春等，2002)。

### (三) 植群生物量與枯落物

植群生物量是森林群落於其生命過程中所產生乾物之累積量；即為植物光合作用的生產，與呼吸作用、死亡、砍伐以及草食行為等的消耗，二者之間的差異，通常以一定面積上之乾物重量表示之(王子定與高毓斌，1979)。凡是影響林木或林分生長之因子，如林分之性質以及各種生育地因子，都將導致生物量之變化(陳俊文與張峻德，1993)。生物量為研究動態森林生態系之指標，舉凡森林生態系中能量之流轉與養分循環，皆與森林生物量具密切的關係。森林生物量之調查可供闡明林地生產力、林分之淨初級生產量以及森林生態系內之養分狀態(王子定與高毓斌，1979)。藉生物量之生產結構的解析，可供評估育林和經營措施對森林生長之效應，進而選擇與促其生產結構介於最適之狀態。羅躍初等(2003)認為森林生物量與生產量是評價濱岸植群健康的重要指標，可用以表示濱岸植群的穩定性與活力。

森林枯落物的動態與氣候條件、環境管理息息相關，為碎屑生物網的重要基礎。鄧紅兵等(2003)指出大多數河流內的有機質來自外部，其生態系淨產出通常為負值，故濱岸植群的枯落物與碎屑腐植質，為溪流生態系動力之重要營養物質的泉源，而溪流之樹木殘枝的分解亦是重要輸入之一，其不斷地向河流中釋放營養物。枯落物是生態系中礦物養分循環與能量流轉的主要貢獻者，能維護地力養分。由此觀之，濱岸植群生物量、森林枯落物與溪流生態系息息相關，為溪流生態系健康與否的關鍵之一。

森林生物量之研究方法眾多，依研究對象可分為喬木層(overstory, OS)與地被層(understory, US)二類，茲分述如下：

#### 1. 喬木層

喬木層單木生物量的研究方法，分為全木伐採法(complete harvest method)與部分伐採法(partial harvest method)二種(柯淑惠，2006)。全木伐採法即將選定之樣木伐倒，並攜回樣本測量爐乾重(oven dry weight)，再換算乾重，以得到全木之生物量。此為測定的地上部生物量最準確的方法，有許多研究採用此法；如洪富文等(1986)於蓮華池測定天然林的生物量，林國銓等(1994)於宜蘭福山地區的闊葉林生物量測定，薛銘童與許博行(2003)於關刀溪次生闊葉林地上部生物量之研究。此外，部份伐採法係利用木材密度和材積，計算幹部和大枝條之生物量，再使用迴歸分析；或者取樣部分枝條之方法估算葉和小枝條的生物量。然而，部份伐採法涉及許多估算過程，因此，精確度較全木伐採法低，且誤差隨估算過程而增大。

估算全森林生物量的方法主要有二種方法：一為平均木法(mean tree method)，即

選取樣區中，平均胸徑之中央木伐倒後測得其實重，再乘上樣區內總植株數，得到全樣區的森林生物量；二為迴歸分析法，係以樣木資料計算，得到胸高直徑與生物量的迴歸式(allometric regression)，配合已有之樣區的每木調查資料，推估全森林生物量。

劉宣誠與高毓斌(1987)於銀合歡人工林生物量估算方法之比較研究中指出；平均木法所估算之生物量有嚴重低估的情形發生，而迴歸分析法之估計值較接近實際值。因此，在無法採用全木伐採法的時候，大部分研究多採用迴歸式或對數型的相對生長式(logarithmic allometry)，再選取適當的自變數，以推算各林分之生物量。評估森林生物量所採用的應變數(response variable)，應選擇易於精確測計森林生物量之生長參數(growth parameter)，而胸高直徑、樹高、樹冠長、枝下高、地際直徑、枝條基徑等中生長參數中，胸高直徑是最常使用的自變數(洪富文等，1985；陳俊文和張峻德，1993；林國銓等，2004)

## 2. 地被層

地被層生物量的研究方法與喬木層的方法相似，主要為全面刈除法與迴歸推定法。全面刈除法即選取一塊定面積樣區內，將其地被植物全部刈除，並攜回樣本測量乾重。由於全面刈除法所取得之地被層生物量較為精確，且地被植物的刈除，不若喬木層困難，因此，全面刈除法為多數研究採用的方法(劉美麗，1982；常學禮等，1994；李希來等，1996)。此外，迴歸推定法即在樣區內選定植株樣本，將樣株烘乾秤重，得到其生物量後，再選定應變數，建立生物量之迴歸式，以推估全樣區的地被生物量。呂勇(1997)於馬尾松林下植被生物量的研究中，以地被植物之覆蓋度(coverage, C)為應變數，建立不同林型下，生物量與覆蓋度的迴歸式(表 6-1)。又胡玉佳與管東生(2000)在香港草地群落之生物研究中，則是以其他變因；如雨量、溫度、日照，作為迴歸式中的應變數(表 6-2)。

## 二、材料與方法

### (一) 研究地區

七家灣溪位於臺中縣和平鄉，屬於雪霸國家公園境內，為臺灣櫻花鉤吻鮭主要之生育環境。本研究以七家灣溪為主軸，北起煙聲瀑布，南至七家灣溪匯入大甲溪之交叉點，東側以羅葉尾山 (2,717 m) 經武佐野群山 (2,368 m) 之稜線為界，西側以第一道山脊之主要分界，匯合之溪流為桃山西溪、桃山北溪、高山溪及有勝溪，總面積約為 2,102.78 ha 為七家灣溪濱岸植群研究範圍 (圖 6-2)。

### (二) 研究方法

#### 1. 樣區設置與植群調查

本研究於七家灣溪主河段、桃山北溪、桃山西溪、高山溪、有勝溪等沿溪床二岸進行永久樣區設置(表 6-3、圖 6-2)，由上游至下游之桃山北溪(#1)、桃山西溪(#2)、一號壩(#4)、繁殖場(#5)、高山溪(#8)以及有勝溪(#9)等 6 個測站，分別設置永久樣區編號為 1-12 等 12 個  $10 \times 25 \text{ m}^2$  的長形監測調查樣區(各樣區由 10 個  $5 \times 5 \text{ m}^2$  之小區組成);2007 年 5-7 月(濕季)完成喬木、地被層植物複查。此外，於司界蘭溪上游測站(#10)設置臨時樣區 303-304，以及司界蘭溪下游測站(#11)設置臨時樣區 301-302 等 4 個樣區(樣區大小亦為  $10 \times 25 \text{ m}^2$  長形監測調查樣區，各樣區由 10 個  $5 \times 5 \text{ m}^2$  之小區組成);2007 年 1-2 月(乾季)完成喬木、地被層植物調查。上述植群調查凡樣區內之樹木胸徑大於 1 cm 者，列入喬木層 (overstory, OS)，逐株予以量計胸高直徑，記錄種類；其他胸高直徑小於 1cm 之喬、灌木、草本、蕨類等皆列為地被層 (understory, US)；調查樣區內植群之木本植物種類與胸高直徑 (diameter at breast height, DBH)，並估計地面草本植物之覆蓋度 (coverage)，另進行照片拍攝、植物標本採集以及名錄建立等工作，以供植群分類的歸群分析。

#### 2. 物種組成與植群型

原始調查資料之植物種類編碼建檔後，使用以 CLIPPER 程式語言所撰寫之程式 (COMB.PRG, CLUSTER.EXE)，將各樣區原始調查資料轉換為資料庫格式，求得各種植物於各樣區之密度 (density)、頻度 (frequency) 和優勢度 (dominance)，再轉換為相對密度 (relative density)、相對頻度 (relative frequency) 與相對優勢度 (relative dominance)，三者加總而得之重要值指數 (importance value index, IVI)，以瞭解各種植物於樣區中所占之重要性。而地被層植物之重要值指數係為相對頻度和相對覆蓋度

(relative coverage) 的總和。此外，重要值指數相關之計算公式如下：

$$\text{密度(density)} = \frac{\text{某種植物株數之總和}}{\text{所調查之總樣區數}}$$

$$\text{頻度(frequency)} = \frac{\text{某種植物出現之總樣區數}}{\text{所調查之總樣區數}}$$

$$\text{喬木層優勢度(dominance)} = \frac{\text{某種植物胸高斷面積之總和}}{\text{所調查之總樣區數}}$$

$$\text{地被層優勢度(dominance)} = \frac{\text{某種植物覆蓋面積總和}}{\text{所調查樣區面積總和}}$$

$$\text{相對密度(relative density)\%} = \frac{\text{某種植物之密度}}{\text{所有植物密度之總和}} \times 100\%$$

$$\text{相對頻度(relative frequency)\%} = \frac{\text{某種植物之頻度}}{\text{所有植物頻度之總和}} \times 100\%$$

$$\text{相對優勢度(relative dominance)\%} = \frac{\text{某種植物之優勢度}}{\text{所有植物優勢度之總和}} \times 100\%$$

$$\text{喬木層重要值} = \text{相對密度} + \text{相對頻度} + \text{相對優勢度} = 300$$

$$\text{地被層重要值} = \text{相對頻度} + \text{相對優勢度} = 200$$

矩陣群團分析法 (matrix cluster analysis, MCA) 係以各植物於各樣區中之重要值指數為計算基礎，採用 Motyka et al. (1950) 之相似性指數 (index of similarity, IS)，首先計算兩兩樣區間之相似性指數，將相似性最高之二樣區合併為一合成樣區，再計算合併後之合成樣區與其他樣區間之相似性指數，如此依次合併，直至所有樣區合併至一合成樣區為止，各連結相似性指數繪製樹形圖 (dendrogram)，以對植物群落加以分類；相關矩陣群團分析之流程如圖 6-3 所示。

$$\text{IS\%} = \frac{2Mw}{Ma + Mb} \times 100\%$$

式中  $M_a$  為 a 樣區中所有植物介量之總和

$M_b$  為 b 樣區中所有植物介量之總和

$M_w$  為兩樣區中共同出現植物之較小介量的總和

### 3. 植群生物量

全木伐採法為求算單木生物最準確的方法；即將選定之樣木伐倒，並攜回樣本測量爐乾重，換算乾重，以得到全木之生物量，再以數株樣木所得之生物量，利用迴歸式估算全林分之生物量。然此種破壞性調查，可能會造成對脆弱之濱岸植群的影響，又七家灣溪位於國家公園境內，且為櫻花鉤吻鮭的自然保護區，為維護濱岸植群的穩定性，全木伐採法並不適用。職是之故，比較可行的方法，是利用前人研究中已建立的生物量—胸徑迴歸式，再將量測之樣木的胸徑代入，以求得樣木之生物量。但相關前人研究所得之迴歸式，無論時間、空間皆與七家灣溪的樣區環境不同，必然產生誤差，因此，在選用迴歸式時，必須考量其研究區域之環境因子與樹種的差異，使用環境條件與七家灣溪環境或物種相似的迴歸式，方能降低誤差。

過去已使用相關喬木層生物量迴歸式，部分並不適用，如高估樣區中某些樹種的生物量，以至於直接影響樣區總生物量。因此，研究中尋找更為適當的生物量迴歸式(表 6-4)，以提高生物量估算之精確度。在生物量迴歸式的選擇方面，除檢視前人研究的研究地區與研究樹種外，更考量其樣木的尺度範圍；若其研究以胸徑 5-10 cm 的樣木建立生物量迴歸式，則此生物量迴歸式的預測能力，亦以胸徑 5-10 cm 之範圍為主，若將胸徑大於或小於此範圍的樣木資料代入算式中，則可能會產生高估或低估的現象。又如前人研究所建立的生物量迴歸式，為包括整個林分而非單一樹種，當套用算式時，亦會檢視其研究樣區內的物種組成與胸徑級，並將公式代與其研究樣區中相同或相似的樹種中。此外，優勢樹種如臺灣二葉松、臺灣赤楊、栓皮櫟、化香樹等，盡量尋找相同或相似樹種的研究報告，並研判其公式合理與否，方引用其算式推估生物量。另若無相同或相似樹種之生物量研究，則尋找生育地或物種組成相似的研究資料，引用其所建立的生物量迴歸式，用以推估其他樹種的生物量。

本研究中臺灣二葉松(*Pinus taiwanensis*)之生物量估算，採用楊濤(2004)在馬尾松天然次生混交林研究中所建立的馬尾松生物量迴歸式。臺灣赤楊(*Alnus formosana*)則是以付洪與陳愛國(2004)於雲南省自然休閒地與檜木(*Alnus cremastogyne*)休閒地，其地上部分生物量與養分蓄積量的研究，所建立之檜木生物量迴歸式為主要的估算式。而程堂仁(2007)於甘肅小隴山森林生物量研究中，所建立多個樹種的生物量迴歸式中，使用



其栓皮櫟(*Quercus variabilis*)生物量迴歸式，已估算七家灣溪之栓皮櫟的生物量。紅檜(*Chamaecyparis formosensis*)則參考陳俊文(1993)於大雪山地區紅檜人工林，所建立之地上部生物量與養分聚積建立的迴歸式。化香樹(*Platycarya strobilacea* Sieb)則是以朱守謙等(1995)於茂蘭喀斯特森林生物量構成初步研究中所建立的生物量迴歸式。殼斗科(*Fagaceae*)植物則採用張林等(2004)於廣西黃冕林場次生常綠闊葉林生物量，以及淨初級生產力研究中所建立的生物量迴歸式。樟科(*Lauraceae*)、榆科(*Ulmaceae*)等植物，則是使用鄧仕堅(2000)於湖南植物群落生物生產力的研究中，所建立的天然闊葉林生物量迴歸式。山茶科(*Theaceae*)樹種則是利用趙亮於木荷(*Schima superba*)人工林幹物質累積和結構研究所建立之生物量迴歸式。又其他樹種則採用薛銘童與許博行(2003)於關刀溪次生闊葉林地上部生物量之研究中，所建立的生物量迴歸式。此外，各迴歸式中所需之樹高資料，則參考臺灣主要樹種生長收穫模式庫彙集(馮豐隆，1992)，選取合適之各樹種的樹高曲線式(表 6-5)，藉由胸徑推導樹高。

地被層之生物量的量測，亦不宜使用全面刈除法。因此，利用樣區內所量測之地被層覆蓋度，再利用已知的生物量－覆蓋度迴歸式，以推估地被層的生物量。本研究中各樣區的地被層植物，多以高山芒為優勢種，故採用呂勇(1997)於馬尾松林下植被生物量的研究中，建立的白茅馬尾松林植群地被生物量迴歸式(表 6-2)，以此為主要之地被層生物量的推估式。

#### 4. 森林枯落物

自 2005 年 2 月起，於各永久樣區內設置 3 座枯落物收集網，約每 2 個月蒐集枯落物一次，截至 2007 年 10 月止。收集網係利用網孔 1 mm 之尼龍網，所製作面積為 2,500  $\text{cm}^2$  的圓型網袋(深約 50 cm)；設置時以三根長約 150 cm 的細塑膠管架起收集網，並將其固定，且使收集網離地約 50 cm(以避免觸及地面)，同時綁上標籤(圖 6-2)。每次於野外所收集之枯落物樣本，放置於紙袋內攜回研究室，以 60°C 烘乾 12 hr 後，進行枯枝落葉之分類，將其區分為葉、枝條、繁殖體(含花、果實、種子)，以及其他(含昆蟲、排泄物、蛹或無法辨別之碎屑)，並加以秤其乾重，計算其總量。此外，再根據空網日與收網日相差之天數，求算每月(30 天)每平方公尺的枯落物輸入量。

### 三、結果

#### (一) 物種組成

將各測站之永久樣區喬木層植物的重要值大於 30 者，而地被層植物大於 10 者選為優勢種植物，由表 6-6、6-7、6-8、6-9 得知各測站之喬木層與地被層的優勢種植物如下。

##### 1. 桃山北溪測站(#1)之樣區 9、10

位於桃山北溪溪谷沖積扇。喬木層優勢種植物為臺灣赤楊、蓮草(*Tetrapanax papyriferus*)、海州常山、臺灣紫珠以及臺灣二葉松；又地被層優勢種植物為高山芒、串鼻龍(*Clematis grata*)、臺灣何首烏、蓮草以及山菊。

##### 2. 桃山西溪測站(#2)之樣區 1、2

樣區位於七家灣溪上游之支流—桃山西溪左岸的溪谷邊坡。喬木層優勢種植物為臺灣二葉松、栓皮櫟；又地被層優勢種植物為高山芒、高山破傘菊(*Syneilesis subglabrata*)。

##### 3. 一號壩測站(#4)之樣區 11、12

樣區位於七家灣溪中段之溪谷沖積扇左岸，地勢平緩，位於溪流洪氾區域內，植群易受溪水影響。喬木層優勢植物主要為臺灣赤楊、臺灣二葉松，其次為阿里山榆(*Zelkova serrata*)；另地被層優勢種植物以高山芒為主，其次是臺灣何首烏(*Polygonum multiflorum*)。

##### 4. 繁殖場測站(#5)之樣區 3、4

樣區位於七家灣溪左岸。喬木層優勢種植物為栓皮櫟、楓香(*Liquidambar formosana*)、臺灣黃杉(*Pseudotsuga wilsoniana*)、化香樹(*Platycarya strobilacea*)以及米飯花(*Vaccinium bracteatum*)；另地被層優勢種植物為高山芒、沿階草(*Ophiopogon japonicas*)、小葉鐵仔(*Myrsine Africana*)、五葉長穗木通(*Akebia longeracemosa*)。

##### 5. 高山溪測站(#8)之樣區 7、8

樣區位於七家灣溪支流—高山溪之右岸邊坡(坡度 $20^\circ$ )，距離溪水約 3 m 高的垂直落差，較不易受到溪水洪氾影響。喬木層優勢種植物為米飯花(*Vaccinium bracteatum*)、化香樹、栓皮櫟；又地被層優勢種植物為高山芒(*Miscanthus sinensis*)、細葉杜鵑(*Rhododendron noriakianum*)與求米草(*Oplismenus hirtellus*)。

##### 6. 有勝溪測站(#9)之樣區 5、6

樣區位於農場入口收費站旁，有勝溪下游右岸，由低河階延伸至中坡，地形由平緩至陡峭，坡度均大於 40 度，測站下遊有一落差極大的壩體，兩岸腹地小。此測站之植

物組成中，喬木層優勢種植物為臺灣赤楊、臺灣二葉松、大頭茶(*Gordonia axillaris*)、西施花(*Rhododendron ellipticum*)、臺灣紫珠(*Callicarpa formosana*)以及海州常山(*Clerodendrum trichotomum*)；另地被層優勢植物主要以臺灣蘆竹(*Arundo formosana*)、杪欏鱗毛蕨(*Dryopteris atrata*)、圓果冷水麻(*Pilea somai*)、咬人貓(*Urtica thunbergiana*)、臺灣崖爬藤(*Tetrastigma umbellatum*)為主。

#### 7. 司界蘭溪上游測站(#10)之樣區303、304

二樣區皆位於司界蘭溪左岸，其中樣區303位於溪岸邊坡，因受到干擾較少，物種組成趨向演替中期，喬木層優勢植物有臺灣黃杉、青剛櫟(*Cyclobalanopsis glauca*)、馬銀花(*Rhododendron ovatum*)等，又地被層優勢植物以高山芒為主，其次為臺灣蘆竹、石葦(*Pyrrosia lingua*)、細葉杜鵑、雨傘仔(*Ardisia cornudentata*)等；此外，樣區304位於溪岸沖積扇，土壤淺薄，地形開闊平緩，容易受到溪水干擾，其喬木層植物較少，以臺灣赤楊最為優勢，另地被層優勢植物為高山芒、臺灣蘆竹以及臺灣崖爬藤。

#### 8. 司界蘭溪下游測站(#11)之樣區301、302

樣區位於司界蘭溪堤壩上方之左岸，其濱岸之河床多開墾成農田，樣區受人為干擾較大。喬木層優勢種植物以化香樹為主，其次有桑樹(*Morus australis*)、烏皮九芎(*Styrax formosana*)、楓香、川上氏鵝耳櫪(*Carpinus kawakamii*)等；另地被層優勢植物主要如臺灣蘆竹、高山芒、臺灣澤蘭(*Eupatorium cannabinum*)、臺灣何首烏、疏果海桐、昭和草(*Crassocephalum rabens*)以及黑龍江柳葉菜(*Epilobium amurense*)等。

### (二) 植群型

植群型之命名選擇可分以優勢種(dominant species)，即用於代表植物對環境資源之控制能力；或以分化種或特徵種(differential species or character species)，係對環境具有一定指標作用之植物。此二選擇均是企望以少數的植物名稱，以表達植物群落最多的訊息；就優勢種而言，由於其生物量頗大，故可為控制環境資源方面之代表性；就特徵種或分化種而言，由於通常係依賴頻度，而認定涉及於出現樣區數多寡的取樣問題，而且死亡和逢機拓殖(random colonization)，常致使生物組成差異，當一生育地未出現某種植物，實不代表其環境不適合(Tilman, 1994)，當一生育地出現少量的特有植物，亦不代表其最適環境，故分化種或特徵種之選擇，對生育地環境常僅具某一程度的指標作用。

本研究之植群分類是以各物種於各樣區中之重要值指數(IVI)為基礎，計算各樣區間之相似性指數，組合為相似性指數矩陣，再根據群團分析之結果，連結各樣區而繪成樹

形圖(圖6-5)，此樹形圖可依不同相似性指數之臨界值(threshold)劃分植物群落。植群型依照合成樣區之優勢種予以命名，若同一林型中，優勢種有明顯差異，則再區分為亞型。

若以相似性指數(IS)=30%為臨界值，以明顯之優勢種與次優勢種加以辨識與命名，可將2007年之永久樣區的調查資料，劃分為3種主要植群型；即臺灣二葉松型，蓮草—臺灣紫珠型，以及栓皮櫟—化香樹型。又臺灣二葉松型依林型內優勢種組成之不同，依相似度指數(IS)=42%，再區分為臺灣二葉松—臺灣赤楊亞型，臺灣二葉松—栓皮櫟亞型，以及臺灣二葉松—臺灣赤楊—臺灣紫珠亞型，各植群型之生育地環境與植物組成茲分述如下：

### 1. 臺灣二葉松—臺灣赤楊亞型

樣區： No. 10、11、12 屬之。

- 環境：
- |                    |                       |
|--------------------|-----------------------|
| 1. 海拔：1,740-1,788m | 5. pH 值：6.43-6.74     |
| 2. 坡度：0°           | 6. 全天光空域：51.56-52.29% |
| 3. 坡向：西-西北向        | 7. 直射光空域：55.85-59.85% |
| 4. 水分指數：6          |                       |

本型分佈於桃山北溪、一號壩測站，樣區位於靠近溪水之第一河階，地形開闊平緩，易遭受洪水干擾。喬木層植物以臺灣赤楊、臺灣二葉松最為優勢，鮮少其他樹種；另地被層優勢植物則為高山芒、臺灣何首烏、串鼻龍等。

### 2. 臺灣二葉松—栓皮櫟亞型

樣區： No.1、2 屬之。

- 環境：
- |              |                       |
|--------------|-----------------------|
| 1. 海拔：1,887m | 5. pH 值：5.93-6.64     |
| 2. 坡度：26°    | 6. 全天光空域：52.35-53.52% |
| 3. 坡向：西北向    | 7. 直射光空域：63.62-64.09% |
| 4. 水分指數：2    |                       |

本型分佈於桃山西溪測站，位於中坡地段，生育地離溪水遠，較不易受到洪氾干擾，林分優勢樹種多為陽性樹種。喬木層優勢植物主要為臺灣二葉松，其次為栓皮櫟；又地被層優勢植物主要如高山芒、高山破傘菊等。

### 3. 臺灣二葉松—臺灣赤楊—臺灣紫珠亞型

- 樣區： No. 6 屬之
- |              |                       |
|--------------|-----------------------|
| 1. 海拔：1,697m | 7. 直射光空域：41.11-43.51% |
| 2. 坡度：41-46° | 5. pH 值：5.72-6.11     |
| 3. 坡向：北-北東向  | 6. 全天光空域：35.00-33.10% |

本型位於有勝溪測站。主要之喬木層優勢植物為臺灣二葉松、臺灣赤楊，除此二種陽性樹種外，尚有大頭茶、海州常山、西施花與臺灣紫珠等。此型之水分指數為11，生育地環境較為潮濕，全天光空域較低，因此，高山芒在此林型中，不是地被層的優勢植物，取而代之的是喜好濕潤環境的臺灣蘆竹、圓果冷水麻、臺灣崖爬藤、杪欏鱗毛蕨等。

#### 4. 蓮草—臺灣紫珠型

樣區： No.9 屬之。

- 環境：
- |              |                 |
|--------------|-----------------|
| 1. 海拔：1,788m | 5. pH 值：6.29    |
| 2. 坡度：0°     | 6. 全天光空域：51.56% |
| 3. 坡向：西向     | 7. 直射光空域：59.35% |
| 4. 水分指數：6    |                 |

本型以樣區9為代表，分布於桃山北溪測站左岸一帶，地勢平坦，林地土壤層淺薄，多為堆積之砂質壤土。喬木層主要優勢樹種為中喬木至小喬木，主要如蓮草(IVI=97.4)、臺灣紫珠(IVI=71.7)、海州常山(IVI=37.7)；另地被植物以高山芒、咬人貓、山菊(*Farfugium japonicum*)以及蓮草為主。

#### 5. 栓皮櫟—化香樹型

樣區： No.3、4、7、8 屬之。

- 環境：
- |                    |                       |
|--------------------|-----------------------|
| 1. 海拔：1,682-1,698m | 5. pH 值：4.72-5.39     |
| 2. 坡度：11-20°       | 6. 全天光空域：40.82-50.93% |
| 3. 坡向：西北西向         | 7. 直射光空域：61.91-64.50% |
| 4. 水分指數：1-8        |                       |

本型分佈於繁殖場、高山溪測站。上層林冠為栓皮櫟、化香樹所構成，次優勢樹種由米飯花、楓香與臺灣黃杉等混生；又地被層以高山芒、沿階草、細葉杜鵑、小葉鐵仔、五葉長穗木通、求米草為主。綜觀本型多存在於中坡地段，以栓皮櫟與臺灣二葉松混生為主。

### (三) 生物量

2007年7月完成七家灣溪12個永久樣區之複查，將調查所得資料用於推估各樣區之生物量(表6-10)。由表6-10得知；2005年七家灣溪各樣區喬木層的生物量為22-298 ton/ha，又地被層生物量為15-53 ton/ha；此外，2007年各樣區之喬木層生物量皆有所增加，其生物量為28-326 ton/ha，而地被層生物量為15-36 ton/ha。

決定樣區內喬木層生物量的最主要因素是林分中喬木的株數與徑級，以各樣區的生

育地環境而言；桃山北溪測站(#1)之樣區 9、10，以及一號壩測站(#4)之樣區 11、12 皆位於溪谷沖積扇，樣區常受到洪水氾濫直接侵襲，喬木層樹種單純，且數量不多，僅 1-2 種優勢植物，且缺乏大徑木的存在，因此，此等測站之喬木層生物量不足 100 ton/ha。另桃山西溪測站(#2)之樣區 1、2，以及高山溪測站(#8)之樣區 7、8 皆位於溪岸中坡，與溪水具垂直落差，較不易受洪水干擾，是故喬木層生物量皆高於 200 ton/ha，然而因地勢陡峭，偶有局部性土石崩落的現象，具有此現象的樣區，生物量會較低於其它鄰近樣區(如樣區 8)。又有勝溪測站(#9)之樣區 5、6 係位於河階至陡峭邊坡的過度帶，樣區有部份受到洪氾干擾，喬木層生物量為 170-220 ton/ha。

#### (四) 枯落物

截至 2007 年 10 月止，完成 2005-2007 年之枯落物收集，其結果如表 6-12、6-13、6-14 所示。此外，由圖 6-7 可得知各測站的枯落物生物量變化。而由圖 6-8 發現；枯落物最主要之輸入來源為葉，各年度皆佔 70%以上的輸入量，其次為枝條，約 10-20%的輸入量。另 2005 年因為枯落物收集網有大枝條掉落，因此，枝條的生物量所佔之比例較高。而葉部的輸入以落葉性植物為主，如臺灣赤楊、臺灣二葉松、栓皮櫟等。

每期所收集枯落物量不一，量少時僅 10-20 dw-g，量多時可達 200-250 dw-g。因每期的枯落物量皆不多，若樣區內有大枝條掉落，往往會使當期的枯落物生物量增高，如桃山西溪測站(#2)於 2005 年 6 月，以及桃山北溪(#1)於 2005 年 6-8 月的枯落物量，其枝條生物量皆佔當期的總生物量很高的比例。

## 四、討論

### (一) 物種組成

七家灣溪永久樣區之喬木層的優勢植物多為陽性樹種，如臺灣二葉松、臺灣赤楊、栓皮櫟與化香樹等。臺灣二葉松與臺灣赤楊是永久樣區中最為優勢的樹種；其中臺灣二葉松是武陵地區早期的主要造林樹種，迄今仍有大面積的臺灣二葉松林，因此，超過一半的樣區中，臺灣二葉松皆佔有優勢，另臺灣赤楊的生態幅度廣泛，對環境要求低，常為演替初期最早進入裸地之樹種，常見七家灣溪沿岸受干擾之河谷開闊地、裸地以及向陽地，而栓皮櫟為中海拔開闊地常見的陽性樹種，然12個永久樣區中，栓皮櫟僅於溪水干擾較少的樣區佔有優勢，因此，洪氾可能會限制栓皮櫟之拓殖。

在地被層優勢植物中，最為優勢的植物為高山芒，除水分指數較高者，如有勝溪樣區之外，高山芒於其他樣區的重要值都大於30。吳姍樺(2006)於武陵地區進行之外來植物入侵及分布研究中指出；武陵地區最優勢的外來植物為大扁雀麥(*Bromus catharticus*)，其次為野苧蒿(*Conyza sumatrensis*)、白花三葉草(*Trifolium repens*)以及大花咸豐草(*Bidens pilosa* var. *radiata*)。然無論2005年首次調查，或2007年的複查中，外來植物僅野苧蒿、加拿大蓬(*Conyza canadensis*)、羊蹄(*Rumex crispus* var. *japonicus*)等，且於樣區內的數量稀少(甚至沒有)。主要原因為吳姍樺(2006)係針對步道與道路兩旁的植群，其環境受人為干擾影響，與樣區之生育地環境不相同，因此，其外來種調查資料，與本研究之濱岸植群之情況不同。此外，樣區內外來種植物少，顯示目前外來植物對濱岸植群不具入侵性，或入侵性尚未顯現，至於是否具有入侵情形，仍需時間觀察與研究方能確定。

### (二) 植群型

將2005年之12個永久樣區資料進行群團分析，可得到相似性指數之樹形圖(圖6-6)。2005年的相似性樹形圖與2007年複查的結果相似；唯一明顯之差異，為2007年的樣區資料中，樣區4、7的相似度較高；由重要值結果比較研判，其主要原因為樣區7之楓香略微增加，使其植群之物種組成和豐富度，與樣區4較為相似，因此，於歸群時先歸為同群。是故依相似度臨界值30%，將2005年的樣區資料加以分群，則其植群歸群的結果與2007年相同，且樣區內的優勢植物變化不大，顯示喬木層的主要樹種組成與重要值，於此二年間沒有太大的差異。

### (三) 生物量

薛銘童與許博行(2003)於關刀溪次生闊葉林地上部生物量研究中，測得未受干擾的闊葉林喬木層地上部生物量為 387.58 ton/ha；而林國銓等（1994）於福山試驗林闊葉林生態系生物量研究中，將林分中兩種不同孔隙更新的樣區，分為進行次級演替的建造期與達到亞極盛相的成熟期，其中，成熟期的喬木生物量為 271.1 t/ha，而建造期的喬木生物量為 148.5 t/ha。而七家灣溪的濱岸植群樣區，因處於易受洪氾與崩塌干擾的溪谷地形，因此，其喬木層生物量遠低於關刀溪次生闊葉林之生物量；另樣區 1-8 的生物量介於福山建造期林分與成熟期林分之間，而樣區 9-12 的喬木生物量，則遠低於福山建造期的生物量。此外，若與林國銓等(1994)之研究結果比較；樣區 1、2、7 之喬木層生物量近於成熟林的狀態，然其林分組成仍以陽性樹種為主，如栓皮櫟、臺灣赤楊、臺灣二葉松等為主，另樣區 3、5、6、8 則接近次級演替之建造期的喬木層生物量。

由於地被植群之生命週期較短，而溪水氾濫干擾，僅於豐水期方發生，雖干擾週期長，地被層植群仍具充足的生長時間，因此，地被層植物生物量差異性較低，而與福山(林國銓等，1994)、關刀溪(薛銘童與許博行，2003)、蓮華池(洪富文等，1986)等地區研究之地被層的地上部生物量相似，顯示溪水干擾對地被層的影響，不若喬木層般明顯。

### (四) 枯落物

比較各測站之枯落物量的四季變化，枯落物量的最大時期是在 10-12 月，其輸入量為 100-250 dw-g，此與廖美齡(2006)估算七家灣溪垂直輸入的枯落物量大致相符，即估算七家灣溪垂直輸入的枯落物量約為濱岸植群林下枯落物量之 1/3-1/4，顯示半數以上之枯落物量，不直接經由垂直輸入方式進入河道，故與側向輸入的枯落物量較無直接關係。然而，推測於颱風季節時，枯落物量會因為風害而增加，但是多數樣區的枯落物量並無此趨勢，可能因為枯落物網距離地面枯落物於颱風季時，受到強風吹襲，或洪水、雨水的沖刷，致使枯落物量減少，使枯落物量在雨季或颱風季後，沒有大量增加的趨勢，反而是在冬季喬木層植物落葉時，使葉部的枯落物量大量增加。



## 五、結論與建議

- (一) 對濱岸植群而言，溪水的干擾具有一定程度的影響。七家灣溪濱岸植群，由於位於濱溪地區，除溪水氾濫影響外，水流的侵蝕作用導致邊坡陡峭，偶有崩塌的現象發生，故而環境較不穩定。以植群之物種組成而言，2005、2007 年的物種組成並無太大變化，其歸群之群團分析的結果相似，皆可分為蓮草—臺灣紫珠型，栓皮櫟—化香樹型；臺灣二葉松—臺灣赤楊亞型，臺灣二葉松—栓皮櫟亞型，以及臺灣二葉松—臺灣赤楊—臺灣紫珠亞型。
- (二) 植群生物量之推估，已選取更為適當的生物量迴歸式；結果得知 2007 年各樣區之喬木層生物量皆有所增長，其生物量為 28-326 ton/ha，而地被層生物量為 15-36 ton/ha，又位在洪氾區的植群生物量，遠低於其他位於中坡或邊坡的植群生物量，是故若無大規模性的崩塌，則崩塌的干擾影響小於溪水氾濫的干擾。
- (三) 枯落物的部分，由於樣區內的優勢植物如臺灣赤楊、臺灣二葉松等皆為落葉性植物，因此，枯落物生物量於冬季最高，且其主要組成以葉居多。2007 年 10 月枯落物複查時，發現七家灣溪之河道於颱風季後具明顯改變，特別是繁殖場測站的河道變化最為明顯，而位於繁殖場測站之樣區內的三個枯落物網，都因高漲的河水所衝毀，此一現象間接說明；氾濫期與枯水期時河水之高低水位確實有所差異，而位於高低水位間的區域即為濱岸帶定義。
- (四) 建議於 2008 年 8 月完成司界蘭溪地被層植物之複查，以瞭解其於乾、濕季有無差異。
- (五) 於 2008 年 2 月完成七家灣溪永久樣區之地被層植物之複查，並進一步推估喬木、地被層植物的淨初級生產量(net primary production, NPP)。
- (六) 為期更瞭解濱岸植群的特性，未來擬將焦點集中於濱岸植群與河水間交互作用的影響，試圖以濱岸植群的梯度變化，研判濱岸帶的範圍，並歸納出濱岸帶之特徵種，以更完善地瞭解七家灣溪濱岸植群的特性。
- (七) 藉由向武陵管理站、武陵農場的訪查結果得知；由於保護區成立與造林政策之推動，截至 2007 年為止，武陵地區之果菜園面積，已由過去約 174 ha 減少為 9 ha 左右，而未來將面臨徵收回之果菜園的後續土地利用問題，建議以復育生態學 (restoration ecology) 為基礎，結合景觀生態學 (landscape ecology) 之應用，妥善規劃與配置，又以武陵地區而言，植栽的物種仍宜選用當地的原生樹種或鄉土

樹種為宜；茲分述如下：

1. 保安植林方面，以營造複層林，並混植原生植物之原則，樹種可採用下列樹種；諸如臺灣胡桃、蘭嵌鵝耳櫪、青楓、臺灣紅榨楓、尖葉楓、青剛櫟、三斗石櫟、栓皮櫟、山桐子、大頭茶、臺灣水絲梨、紅楠、烏心石、玉山假沙梨、化香樹、刻脈冬青、臺灣蘋果、霧社櫻、巒大花楸、紅淡比、阿里山榆、山肉桂、山枇杷、臺灣赤楊……等。
2. 場區植栽方式，則依需要營造景觀點來作植栽；建議宜以「數大」為焦點，因武陵地區為保持自然環境之景觀為主的保護區與遊憩區，若以景觀視覺為主的植栽，則考量無法聚焦而不宜混植，建議之觀葉、花、果之植物臚列如下：
  - (1) 觀（紅）葉植物：青楓、臺灣紅榨楓、蘭嵌鵝耳櫪、楓香、檫木、巒大花楸等。
  - (2) 觀果植物：玉山假沙梨、山桐子、巒大花楸、石楠、山枇杷、刻脈冬青、源一木等。
  - (3) 觀花植物：臺灣蘋果、霧社櫻、西施花、紅毛杜鵑、金毛杜鵑、細葉（志佳陽）杜鵑、烏心石、大頭茶等。

## 六、引用文獻

- 木村 允，1981。薑恕等譯，陸地植物群落的生產量測定法。科學出版社，北京市，p. 59-105。
- 方精雲、劉國華、徐嵩齡，1996。我國森林植被的生物量和淨生產量。生態學報 16(5), 497-508。
- 王子定、高毓斌，1979。再論森林生物量。中華林學季刊 12(3), 1-30。
- 王凱立，2005。河川濱水帶適生植物及其水流阻力之研究。國立中興大學水土保持學系碩文論文，臺中市。
- 左藤大七郎，1986。聶紹荃等譯，陸地植物群落的物質生產。科學出版社，北京市，p. 1-18。
- 吳姍樺，2006。雪霸國家公園外來植物入侵與分佈之調查。內政部營建署雪霸國家公園管理處，苗栗縣。
- 呂勇，1997。馬尾松林下植被及其生物量的研究。中南林業調查規劃 16(1), 53-56。
- 李希來、黃葆寧、喬有明、孫海松、李發吉、孫保琛，1996。青藏高原幾種嵩草的生物量及其幼苗生長發育的初步研究。草業學報 5(4), 48-54。
- 周育如，2003。惠蓀林場枝落物養分迴歸量與分解速率之季節變動。國立中興大學森林學研究所碩士論文，臺中市。
- 林永發，2004。雪霸國家公園武陵地區永續經營之研究。中華大學科技管理研究所博士論文，新竹市。
- 林承漢，2005。以營養鹽衰減模式推估濱水區植生緩衝帶寬度之研究。國立中興大學水土保持學系碩士論文，臺中市。
- 林國銓、洪富文、遊漢明、馬復京，1994。福山試驗林闊葉林生態系生物量與葉面積指數的累積與分佈。林業試驗所研究報告季刊 9(4), 299-315。
- 林國銓、黃菊美、王巧萍、張乃航，。六龜臺灣杉人工林碳和氮的累積和分佈。臺灣林業科學 19(3), 225-325

- 柯淑惠，2006。臺灣檫人工林生物量及碳儲存量之研究。國立中興大學森林學研究所碩士論文，臺中市。
- 洪淑芬，2003。腦寮溪天然闊葉林枯落物與林地養分動態之研究。國立中興大學森林學研究所碩士論文。
- 洪富文、孫正春、黃松根，1985。蓮華池地區不同林齡杉木人工林地上部生物量之分佈。林業試驗所試驗報告第 444 號。
- 胡玉佳、管東生，2000。香港草地群落類型及生物量的研究。草原與草坪 (88), 19-22。
- 張石角，1989。櫻花鉤吻鮭保護區規劃。行政院農業委員會生態研究 10, p. 78.
- 常學禮、李勝功，1994。科爾沁沙地草場植物組成及生物量動態的研究。草業科學 11(6), 48-51。
- 陳俊文、張峻德，1993。大雪山地區紅檜人工林地上部生物量與養分聚積。中華林業季刊 26(4), 35-48。
- 楊濤，2004。麻櫟馬尾松天然次生混交林生物量結構及根系分佈特徵調查研究。信陽農業高等專科學校學報 14(4), 4-9。
- 楊寶霖、石子材，1963。臺灣各主要經濟樹種地方材積及連年生長量表。臺灣省農林航空測量對叢刊第九號。
- 廖美齡，2006。武陵地區七家灣溪粗顆粒有機碎屑的收支與分解。國立中興大學生命科學系碩士論文，臺中市。
- 管東生，1998。香港桃金娘灌木群落植物生物量和淨第一性生產量。植物生態學報 22 (4), 356-363。
- 劉玉萃、吳明作、郭宗民、蔣有緒、劉世榮、王正用、劉保東、朱學凌，1998。寶天曼自然保護區栓皮櫟林生物量和淨生產力研究。應用生態學報 9(6), 569-574。
- 劉玉萃、吳明作、郭宗民、蔣有緒、劉世榮、王正用、劉保東、朱學凌，2001。內鄉寶天曼自然保護區銳齒櫟林生物量和淨生產力研究。生態學報 21(9), 1451-1456。
- 劉宣誠、高毓斌，1987。銀合歡人工林生物量估算方法之比較。林業試驗所研究報告季刊 2(1),43-64。

- 劉美麗，1982。柳杉、杉木林下草本植群之地上部生物量及養分含量之研究。國立中興大學森林學研究所碩士論文，臺中市。
- 鄧仕堅、廖利平、汪思龍、高洪、林柏，2000。湖南會同紅栲—青岡—刨花楠群落生物生產力的研究。應用生態學報 11(5), 651-654。
- 鄧紅兵、王青春、王慶禮、吳文春、邵國凡，2001。河岸植被緩衝帶與河岸帶管理。應用生態學報 12(6), 951-954。
- 鄧紅兵、王慶禮、蔡慶華，2002。流域生態系統管理。中國人口，資源與環境 12(6), 18-20。
- 薛銘童、許博行，2003。關刀溪次生闊葉林地上部生物量與葉面積指數之研究。林業研究季刊 25(2), 11-24。
- 羅紹麟、馮豐隆，1986。臺灣林相變更草生地造林之經濟分析。中興大學實驗林研究報告 7, 23-37。
- 羅躍初、周忠軒、孫軼、鄧紅兵、張萍、吳鋼，2004。流域生態系統健康評價方法。應用生態學報 32(3), 252-255。
- 顧玉蓉、趙偉成、謝正倫，2005。河濱植生與河川基流量寬度關係之研究。特有生物研究 7(1), 51-60。
- Carleson, D., Wilson, L., 1985. Report of the riparian habitat technical task force. Final Report to Oregon Department of Forestry and Oregon Department of Fish and Wildlife. Salem ,OR, USA.
- Gregory, S.V., Swanson, F.J., Mckee, W.A., 1991. An ecosystem perspective of riparian zones. BioScience 41(8), 540-551.
- Hupp, C.R. and Osterkamp, W.R., 1996. Riparian vegetation and fluvial geomorphic processes. Geomorphology. 14, 44.
- Kvist, L.P., Andersen, M.K., Stagegaard, J., Hesselsøe, M., Llapapasca, C., 2001. Extraction from woody forest plants in flood plain communities in Amazonian Peru: use, choice, evaluation and conservation status of resources. For. Ecol. Manage. 150(1-2), 147-174.
- Kvist, L.P., Gram, S., Cácares C., A., Ore B., I., 2001. Socio-economy of flood plain

- households in the Peruvian Amazon. For. Ecol. Manage. 150(1-2), 175-186.
- Kvist, L.P., Nebel, G., 2001. A review of Peruvian flood plain forests: ecosystems, inhabitants and resource use. For. Ecol. Manage. 150(1-2), 3-26.
- Nebel, G., 2001. *Minquartia guianensis* Aubl.: use, ecology and management in forestry and agroforestry. For. Ecol. Manage. 150(1-2), 115-124.
- Nebel, G., 2001. Sustainable land-use in Peruvian flood plain forests: options, planning and implementation. For. Ecol. Manage. 150(1-2), 187-198.
- Nebel, G., Baluarte, J., 2001. Ecology and management of flood plain forests in the Peruvian Amazon. For. Ecol. Manage. 150(1-2), 1-2.
- Nebel, G., Dragsted, J., Simonsen, T.R., Vanclay, J.K., 2001. The Amazon flood plain forest tree *Maquira coriacea* (Karsten) C.C. Berg: aspects of ecology and management. For. Ecol. Manage. 150(1-2), 103-113.
- Nebel, G., Dragsted, J., Vanclay, J.K., 2001. Structure and floristic composition of flood plain forests in the Peruvian Amazon: II. The understorey of restinga forests. For. Ecol. Manage. 150(1-2), 59-77.
- Nebel, G., Dragsted, J., Vega, A.S., 2001. Litter fall, biomass and net primary production in flood plain forests in the Peruvian Amazon. For. Ecol. Manage. 150(1-2), 93-102.
- Nebel, G., Kvist, L.P., Vanclay, J.K., Christensen, H., Freitas, L., 2001. Structure and floristic composition of flood plain forests in the Peruvian Amazon: I. Overstorey. For. Ecol. Manage. 150(1-2), 27-57.
- Nebel, G., Kvist, L.P., Vanclay, J.K., Vidaurre, H., 2001. Forest dynamics in flood plain forests in the Peruvian Amazon: effects of disturbance and implications for management. For. Ecol. Manage. 150(1-2), 79-92.
- Nebel, G., Meilby, H., 2005. Growth and population structure of timber species in Peruvian Amazon flood plains. For. Ecol. Manage. 215(1-3), 196-211.
- Swanson, F., Gregory, S.V., Sedell, J.R., 1982. Land-water interactions: the riparian zone. In: Edmonds RL ed. Analysis of Coniferous Forest Ecosystems in the Western United States. US/IBP Synthesis Series No. 14. Hutchinson Ross Publishing, Stroudsburg, Pennsylvania, USA.

表 6-1. 不同馬尾松林型下之生物量迴歸式(呂勇，1997)

不同馬尾松林型	生物量迴歸式
唐杜鵑( <i>Rhododendron simsii</i> )-馬尾松林	灌木層：B = 2.91+1.6524C (r=0.8941)
	草本層：B = 2.9954+0.8377C (r=0.8316)
繼木( <i>Loropetalum chinense</i> )-馬尾松林	灌木層：B = 2.0267+0.9826C (r=0.8363)
	草本層：B = 1.1272+2.8083C (r=0.8348)
白茅( <i>Imperata cylindrica</i> )-馬尾松林	灌木層：B = 4940.124C <sup>0.75998</sup> (r=0.8862)
	草本層：B = 586.0739C <sup>0.087305</sup> (r=0.8289)
芒萁( <i>Dicranopteris linearis</i> )-馬尾松林	灌木層：B = 4763.2446C <sup>0.7554</sup> (r=0.8311)
	草本層：B = 653.1178C <sup>0.9112</sup> (r=0.8645)

註：上現存生物量(kg/ha)；C 為植物覆蓋度在 5×5m<sup>2</sup> 樣區面積中所佔之比例(%)

表 6-2. 生物量與雨量、溫度、日照之迴歸關係式(胡玉佳與管東生，2000)

適用植物	迴歸式(B：地上現存生物量(g/ m <sup>2</sup> ))
禾草草地群落	B = 142.42 + 0.143X (r = 0.34, P > 0.10)
	B = 15.12X <sub>1</sub> + 0.226 X <sub>2</sub> + 0.154 X <sub>3</sub> - 232.58
	(r = 0.94, P < 0.0001)
蕨類草地群落	B = 24.68 + 0.104 X (r = 0.14, P > 0.50)
	B = 29.70X <sub>1</sub> - 4.43X <sub>2</sub> + 2.94X <sub>3</sub> - 439.31
	(r = 0.79, P < 0.001)

註：X為雨量，X<sub>1</sub>為平均溫度(°C)，X<sub>2</sub>為雨量(mm)，X<sub>3</sub>為光照時數(h)

表 6-3. 七家灣溪濱岸植群監測調查永久樣區屬性表

樣區 編號	樣區座標(TM2°)		海拔高 (m)	坡度 (°)	坡向 (°)	水分 梯度	全天光	直射光	土壤 pH	樣區所在 測站位置
	x	y					空域 (%)	空域 (%)		
1	280343	2699386	1,887	26	219.0	2	52.35	63.62	5.93	桃山西溪(#2)
2	280343	2699386	1,887	26	219.0	2	53.52	64.09	6.64	桃山西溪(#2)
3	280880	2694340	1,682	11	290.8	8	50.93	63.85	5.06	繁殖場(#5)
4	280880	2694340	1,682	11	290.8	8	52.24	64.50	4.72	繁殖場(#5)
5	280665	2693686	1,685	41	78.0	11	35.00	43.51	5.72	有勝溪(#9)
6	280646	2693650	1,697	46	80.0	11	33.10	41.11	6.11	有勝溪(#9)
7	280483	2694890	1,698	20	220.0	1	45.82	61.91	5.07	高山溪(#8)
8	280483	2694890	1,698	20	220.0	1	45.87	62.13	5.39	高山溪(#8)
9	280523	2699309	1,788	0	275.0	6	51.56	59.35	6.29	桃山北溪(#1)
10	280523	2699309	1,788	0	275.0	6	51.56	59.35	6.43	桃山北溪(#1)
11	280721	2696301	1,740	0	280.0	6	52.29	55.85	6.67	一號壩(#4)
12	280721	2696301	1,740	0	280.0	6	52.29	55.85	6.74	一號壩(#4)



表 6-4. 各樹種生物量與胸徑樹高的迴歸式

樹種	迴歸式	相關係數	文獻來源
臺灣二葉松	$Bt=0.01554(D^2H)^{1.0205}$	0.821	楊濤(2004)
	$Bb=0.02113(D^2H)^{0.8497}$	0.911	同上
	$BI=0.15341(D^2H)^{0.3955}$	0.865	同上
臺灣赤楊	$\ln B=-1.039+2.568\ln H+0.048\ln D$	0.950	付洪與陳愛國(2004)
栓皮櫟	$\ln B=-1.2141+2.1159\ln D$	0.986	程堂仁(2007)
紅檜	$\log B=-0.2684+1.5515\log D$	0.942	陳俊文(1993)
化香樹	$B=0.0755(D^2H)^{0.8941}$	0.990	朱守謙等(1995)
殼斗科	$Bt=0.0858D^{2.3624}$	0.995	張林等(2004)
青剛櫟屬	$Bb=0.0112D^{2.651}$	0.982	同上
	$BI=0.0205D^{1.8883}$	0.982	同上
樟科	$\log Bt=0.75995\log(D^2H)-0.75237$	0.948	鄧仕堅(2000)
榆科	$\log Bb=0.69997\log(D^2H)-0.0.93934$	0.959	同上
川上氏鵝耳櫪	$\log BI=0.5321\log(D^2H)-0.96854$	0.915	同上
臺灣山枇杷			
山茶科	$B=0.0648(D^2H)$	0.919	趙亮(2006)
其他樹種	$\ln(B)=0.3277+0.6419\ln D+0.3129\ln D^2$	0.857	薛銘童與許博行(2003)

註：B 為總生物量，Bt 為幹部生物量(kg)，Bb 為枝條生物量(kg)，

BI 為葉部生物量(kg)，D 為胸徑(cm)，H 為樹高(m)

表 6-5. 樹高曲線式

適用樹種	迴歸式	文獻來源
臺灣二葉松	$H=\exp(0.559306+0.594311\ln D)$	羅紹麟與馮豐隆(1986)
臺灣赤楊、楓香、臺灣櫟	$H=\exp(0.628055+0.647845\ln D)$	同上
其他闊葉樹種	$H=\exp(0.824246+0.496501\ln D)$	同上

註：H 為樹高；D 為胸徑

表6-6. 2007年七家灣溪永久樣區喬木層優勢植物之重要值指數

植物種類	樣區編號											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
大頭茶	0	0	0	0	3	32	0	0	0	0	0	0
西施花	0	0	0	0	13	31	0	0	0	0	0	0
栓皮櫟	62	34	89	45	0	0	31	52	19	0	0	0
楓香	0	0	40	56	0	0	32	0	0	4	0	0
阿里山榆	3	9	0	0	0	0	0	0	0	0	33	0
臺灣紫珠	4	8	0	0	34	24	1	0	72	0	0	0
臺灣黃杉	0	2	41	6	26	7	5	2	0	0	0	0
化香樹	0	0	5	47	0	0	78	84	0	0	0	0
米飯花	25	18	25	38	0	0	49	120	0	0	0	0
海州常山	0	0	0	0	41	0	0	0	37	0	0	0
臺灣二葉松	95	137	0	16	43	37	20	0	9	44	58	191
臺灣赤楊	10	0	0	0	76	15	28	9	28	177	203	109
蘆草	0	0	0	0	3	0	0	0	97	8	0	0

註：桃山西溪測站(1、2 樣區)

繁殖場測站(3、4 樣區)

有勝溪測站(5、6 樣區)

高山溪測站(7、8 樣區)

桃山北溪測站(9、10 樣區)

一號壩測站(11、12 樣區)

表 6-7. 2007 年七家灣溪永久樣區地被層優勢植物之重要值指數

植物種類	樣區編號											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
小葉鐵仔	5	8	10	3	0	0	1	7	0	1	0	1
山菊	0	0	0	0	0	1	0	0	11	9	1	3
五葉長穗木通	0	0	12	9	0	0	0	0	0	0	0	0
串鼻龍	1	0	0	1	4	1	0	0	0	13	1	4
沿階草	2	3	27	20	0	3	3	5	0	0	0	0
咬人貓	0	0	0	0	11	3	1	0	14	8	4	0
高山芒	69	85	33	63	3	2	42	34	70	85	61	94
高山破傘菊	11	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
細葉杜鵑	0	5	0	3	0	1	32	19	0	0	0	0
杪欏鱗毛蕨	0	0	0	0	11	1	1	1	0	0	0	0
圓果冷水麻	0	0	0	0	22	4	0	0	0	0	10	0
臺灣何首烏	0	1	0	0	1	1	2	2	6	15	16	22
臺灣崖爬藤	1	1	1	0	6	15	5	9	9	6	1	0
臺灣蘆竹	0	1	0	0	29	49	0	0	5	3	2	3
蓮草	0	0	0	0	2	6	0	0	10	5	1	0
求米草	0	0	0	0	0	0	7	15	0	0	1	0

註：桃山西溪測站(1、2 樣區)

繁殖場測站(3、4 樣區)

有勝溪測站(5、6 樣區)

高山溪測站(7、8 樣區)

桃山北溪測站(9、10 樣區)

一號壩測站(11、12 樣區)

表 6-8. 2007 年司界蘭溪喬木層優勢植物重要值

植物種類	樣區編號			
	301	302	303	304
楓香	20	47	0	0
臺灣黃杉	15	0	50	9
川上氏鵝耳櫪	30	0	0	0
化香樹	53	91	0	0
桑樹	29	45	0	0
臺灣赤楊	4	29	13	158
青剛櫟	26	0	37	0
小花鼠刺	0	22	0	0
馬銀花	26	0	33	0
烏皮九芎	0	41	0	0

註：司界蘭溪上游測站(303、304 樣區)

司界蘭溪下游測站(301、302 樣區)

表 6-9. 2007 年司界蘭溪地被層優勢植物重要值

植物種類	樣區編號			
	301	302	303	304
石葦	0	0	19	2
高山芒	12	25	27	12
疏果海桐	10	1	1	0
細葉杜鵑	0	1	13	0
臺灣何首烏	16	4	1	8
臺灣崖爬藤	1	0	0	17
臺灣澤蘭	5	20	0	5
臺灣蘆竹	51	0	23	57
昭和草	0	17	0	0
黑龍江柳葉菜	0	12	0	0
雨傘仔	0	0	15	0

註：司界蘭溪上游測站(303、304 樣區)

司界蘭溪下游測站(301、302 樣區)

表 6-10. 2005-2007 年永久樣區之地上部生物量

樣區 編號	2005 年喬木層		2007 年喬木層		2005 年地被層	2007 年地被層
	生物量總量 (kg)	單位生物量 (ton ha <sup>-1</sup> )	生物量總量 (kg)	單位生物量 (ton ha <sup>-1</sup> )	單位生物量 (ton ha <sup>-1</sup> )	單位生物量 (ton ha <sup>-1</sup> )
1	5885.0	235.4	6334.7	253.4	31.4	21.7
2	7035.5	281.4	8162.2	326.5	36.0	28.0
3	4862.1	194.5	5388.4	215.5	40.3	35.9
4	5346.6	213.9	5727.0	229.1	36.7	34.1
5	3944.0	157.8	4246.5	169.9	42.7	31.9
6	4934.7	197.4	5509.7	220.4	52.9	32.5
7	7461.2	298.4	8165.4	326.6	50.7	35.5
8	5200.6	208.0	5389.5	215.6	46.2	35.9
9	545.0	21.8	706.9	28.3	25.2	27.3
10	1226.3	49.1	1295.2	51.8	23.2	21.3
11	1813.4	72.5	2337.0	93.5	25.2	25.6
12	625.7	25.0	1041.3	41.7	15.4	14.5

註： 桃山西溪測站(1、2 樣區)  
 繁殖場測站(3、4 樣區)  
 有勝溪測站(5、6 樣區)  
 高山溪測站(7、8 樣區)  
 桃山北溪測站(9、10 樣區)  
 一號壩測站(11、12 樣區)

表 6-11. 福山(林國銓等, 1994)、關刀溪(薛銘童與許博行, 2003)、  
 蓮華池(洪富文等, 1986)之地上部生物量

植群分層	福山(ton/ha)		蓮華池(ton/ha)	關刀溪(ton/ha)
	建造期	成熟期		
喬木層	148.48	271.12	273.44	387.58
地被層	43.22	13.95	40.52	23.03

表 6-12. 2005 年七家灣溪永久樣區枯落物統計

測 站	分類枯落物生物量(dw-g)				合計 (dw-g)	單位生物量 (dw-g/30 d)	每月單位生物量 (dw-g/30 d m <sup>2</sup> )	代表月份	備 註		
	葉	枝條	繁殖體	其他					空網日 (yyyymmdd)	收網日 (yyyymmdd)	天數 (d)
桃山北溪(#1)	79.37	52.24	7.15	8.63	147.38	138.17	184.23	6	20050630	20050801	32
	142.59	76.24	8.03	17.28	244.14	101.73	135.63	8	20050801	20051012	72
	130.06	0.18	3.16	1.27	134.67	46.98	62.64	12	20051012	20060107	86
桃山西溪(#2)	25.37	6.37	6.59	0.53	38.86	17.14	22.86	4	20050404	20050611	68
	88.59	141.94	6.57	33.47	270.57	165.66	220.87	6	20050611	20050730	49
	63.22	24.00	0.88	8.66	96.76	39.23	52.30	8	20050730	20051012	74
	244.75	29.58	0.77	3.04	278.14	97.03	129.37	12	20051012	20060107	86
一號壩(#4)	52.78	15.69	1.19	10.22	79.88	23.04	30.72	8	20050630	20051012	104
	102.87	0.51	0.91	1.12	105.41	36.35	48.47	12	20051012	20060107	87
繁殖場(#5)	60.77	16.18	5.47	0.84	83.26	19.82	26.43	4	20050205	20050611	126
	80.30	43.25	2.07	10.50	136.12	33.20	44.27	8	20050611	20051012	123
	320.05	14.19	0.44	1.45	336.12	117.25	156.33	12	20051012	20060107	86
高山溪(#8)	3.73	0.64	4.85	2.84	12.05	6.23	8.31	2	20050205	20050404	58
	20.87	6.46	4.16	2.30	33.79	14.91	19.88	4	20050404	20050611	68
	45.49	27.17	5.31	10.79	88.75	55.47	73.96	6	20050611	20050729	48
	75.46	22.49	13.65	11.80	123.40	48.71	64.95	8	20050729	20051013	76
	235.36	32.11	6.05	3.76	277.28	96.73	128.97	12	20051013	20060107	86
有勝溪(#9)	63.62	4.72	2.52	1.14	72.00	31.77	42.35	4	20050404	20050611	68
	40.17	19.87	0.11	31.47	91.62	53.89	71.86	6	20050611	20050801	51
	30.28	17.43	0.30	13.83	61.84	25.42	33.89	8	20050801	20051013	73
	210.27	4.51	10.82	4.19	229.79	80.16	106.88	12	20051013	20060107	86
總 計	2,115.96	555.76	91.00	179.12	2,941.84						

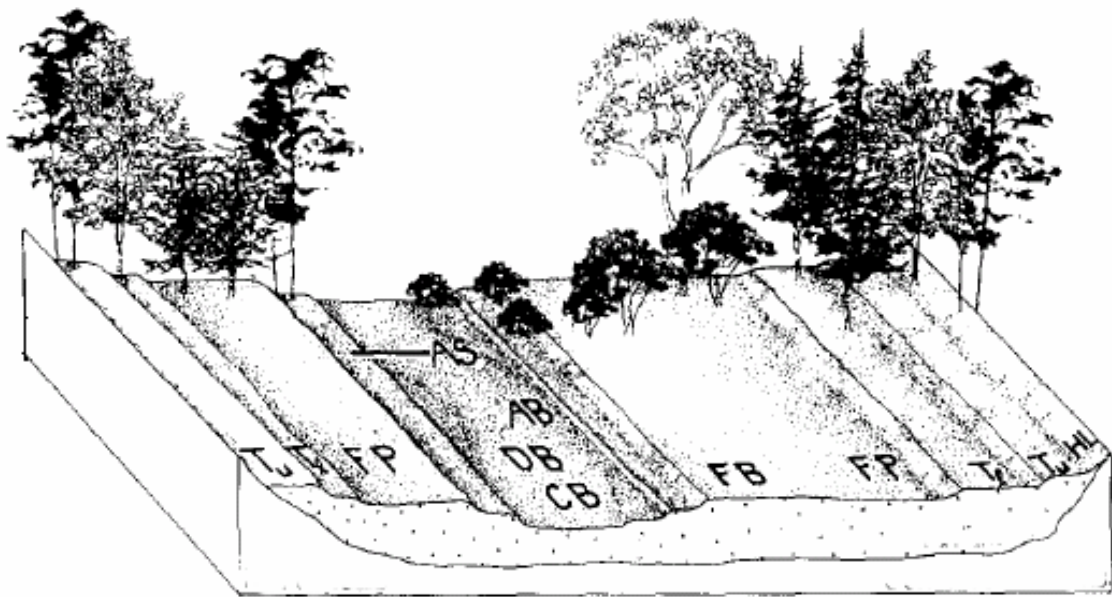
表 6-13. 2006 年七家灣溪永久樣區枯落物統計

測 站	分類枯落物生物量(dw-g)				合計 (dw-g)	單位生物量 (dw-g/30 d)	每月單位生物量 (dw-g/30 d m <sup>2</sup> )	代表 月份	備 註		
	葉	枝條	繁殖體	其他					空網日 (yyyymmdd)	收網日 (yyyymmdd)	天數 (d)
桃山北溪(#1)	95.63	3.47	0.69	1.45	101.23	43.39	57.85	2	20060107	20060318	70
	61.87	8.32	6.75	1.87	78.81	14.24	18.99	4、6、8	20060318	20060831	166
	47.16	0.38	6.10	1.52	55.16	21.22	28.29	10	20060831	20061118	78
桃山西溪(#2)	103.80	5.25	0.25	3.06	112.35	48.15	64.20	2	20060107	20060318	70
	111.41	4.06	7.25	2.19	124.91	22.57	30.10	4、6、8	20060318	20060831	166
	92.19	3.71	5.26	1.80	102.97	39.60	52.80	10	20060831	20061118	78
一號壩(#4)	85.15	0.05	0.51	0.61	86.32	36.99	49.33	2	20060107	20060318	70
	103.04	4.50	6.86	1.66	116.07	20.98	27.97	4、6、8	20060318	20060831	166
	74.60	0.16	4.49	8.45	87.71	33.73	44.98	10	20060831	20061118	78
繁殖場(#5)	89.59	0.99	0.31	1.26	92.15	39.49	52.65	2	20060107	20060318	70
	29.21	25.31	1.18	4.55	60.25	10.89	14.52	4、6、8	20060318	20060831	166
	81.64	22.17	0.44	2.57	106.83	41.09	54.78	10	20060831	20061118	78
高山溪(#8)	85.76	29.09	1.03	1.32	117.21	50.23	66.97	2	20060107	20060318	70
	151.99	21.77	6.78	3.56	184.10	33.27	44.36	4、6、8	20060318	20060831	166
	145.50	14.13	20.07	6.66	186.35	71.67	95.57	10	20060831	20061118	78
有勝溪(#9)	103.72	1.41	1.35	3.60	110.08	47.18	62.90	2	20060107	20060318	70
	171.55	34.03	7.26	8.80	221.63	40.05	53.41	4、6、8	20060318	20060831	166
	116.57	22.67	7.14	16.77	163.16	62.75	83.67	10	20060831	20061118	78
總 計	1,633.81	178.80	76.57	54.94	1,944.11						

表 6-14. 2007 年七家灣溪永久樣區枯落物統計

測 站	分類枯落物生物量 (dw-g)				合計 (dw-g)	單位生物量 (dw-g/30 d)	每月單位生物量 (dw-g/30 d m <sup>2</sup> )	代表月份	備 註		
	葉	枝條	繁殖體	其他					空網日 (yyyymmdd)	收網日 (yyyymmdd)	天數 (d)
桃山北溪 (#1)	123.68	1.34	2.60	4.29	131.91	52.07	69.43	12	20061118	20070204	76
	15.48	5.64	1.14	12.08	34.34	10.51	14.02	2、4	20070204	20070512	98
	100.27	63.06	5.11	9.83	178.26	43.48	57.97	6、8	20070512	20070915	123
	31.09	2.62	2.53	0.28	36.52	32.22	42.97	10	20070915	20071019	34
桃山西溪 (#2)	149.12	4.79	0.31	3.88	158.11	62.41	83.21	12	20061118	20070204	76
	29.36	5.72	3.28	11.87	50.23	15.38	20.50	4	20070204	20070512	98
	65.37	6.69	3.92	1.59	77.57	18.92	25.22	6、8	20070512	20070915	123
	23.95	2.33	0.54	1.11	27.94	24.65	32.87	10	20070915	20071019	34
一號壩 (#4)	40.46	0.43	2.80	2.43	46.11	18.20	24.27	12	20061118	20070204	76
	13.33	6.37	0.72	2.81	23.23	7.11	9.48	4	20070204	20070512	98
	93.44	2.97	0.52	1.51	98.44	24.01	32.01	6、8	20070512	20070915	123
繁殖場 (#5)	192.99	11.79	0.42	2.21	207.41	81.87	109.16	12	20061118	20070204	76
	40.86	0.51	30.61	0.23	72.20	13.62	18.16	4、6	20070204	20070713	159
	25.08	14.19	2.56	0.98	42.81	20.71	27.62	8	20070713	20070915	62
	16.69	22.15	0.77	0.13	39.74	35.06	46.75	10	20070915	20071019	34
高山溪 (#8)	70.49	16.57	1.66	3.35	92.07	36.34	48.46	12	20061118	20070204	76
	18.75	9.01	2.09	7.50	37.35	11.55	15.40	4	20070204	20070511	97
	114.90	13.01	1.98	0.87	130.76	31.64	42.18	6、8	20070511	20070915	124
	31.26	8.81	0.90	0.71	41.67	36.77	49.03	10	20070915	20071019	34
有勝溪 (#9)	76.73	17.99	2.50	6.86	104.08	41.08	54.78	12	20061118	20070204	76
	164.53	2.83	25.96	1.31	194.63	36.72	48.96	4、6	20070204	20070713	159
	66.11	36.04	1.35	6.37	109.87	53.16	70.89	8	20070713	20070915	62
	19.54	5.77	1.04	1.15	27.50	24.26	32.35	10	20070915	20071019	34
總 計	1,523.48	260.62	95.29	83.34	1,962.73						





註：AB=河道沙洲邊界

AS=河道沙洲

DB=沈澱沙洲

CB=河床

FB=洪水平原邊界

FP=洪水平原區

TI=低河階

Tu=高河階

HL=邊坡

圖 6-1.濱岸帶地形特點結構圖(Osterkamp and Hupp, 1984)

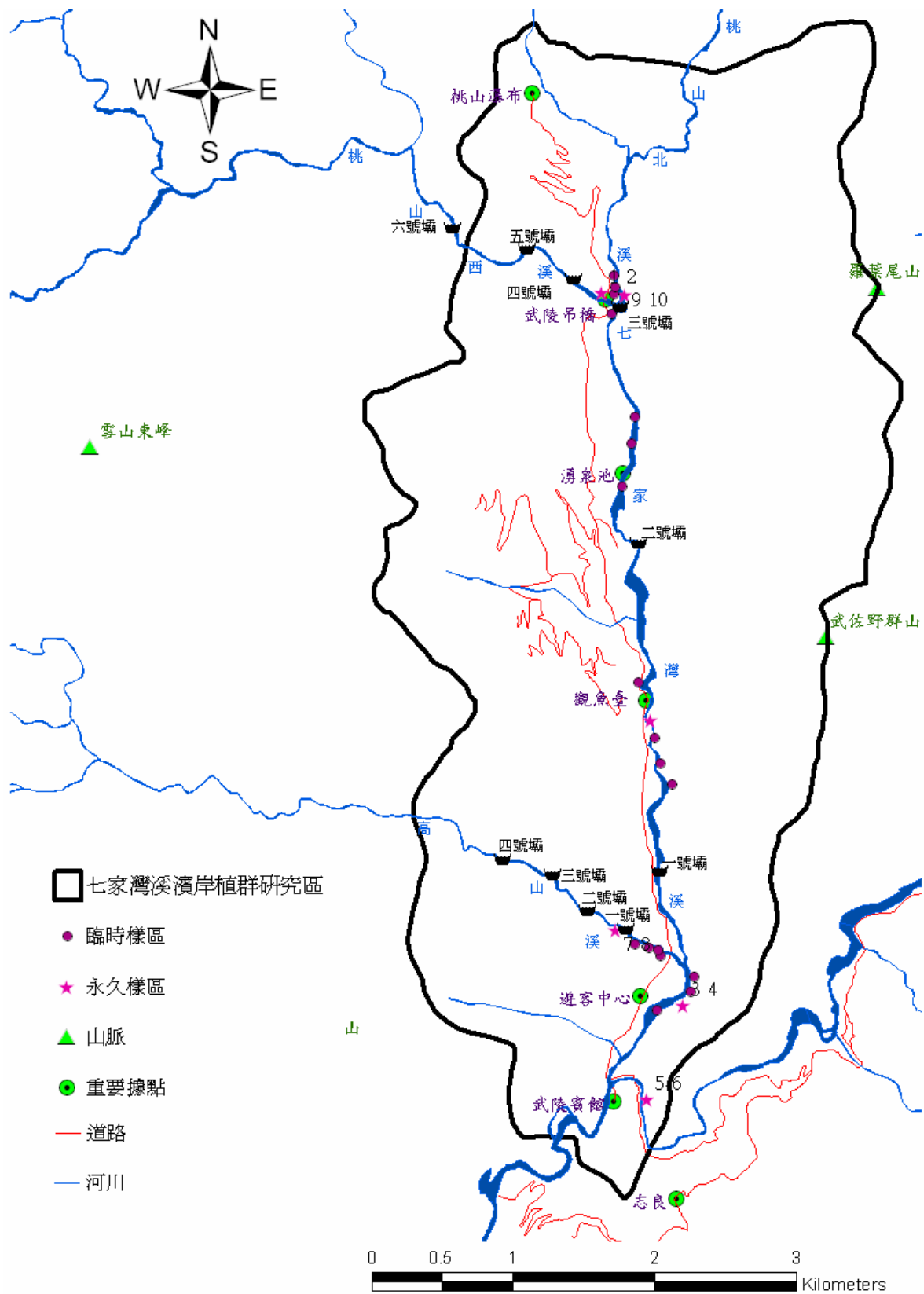


圖 6-2. 七家灣溪濱岸植群監測樣區位置圖

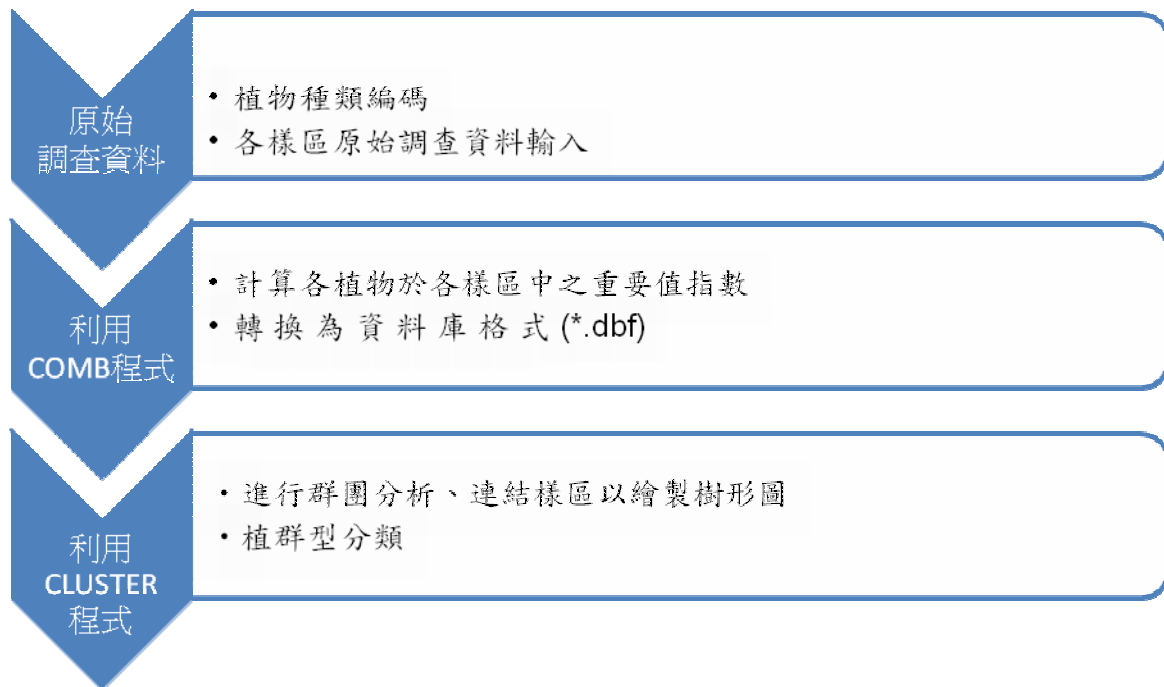


圖 6-3. 矩陣群團分析流程

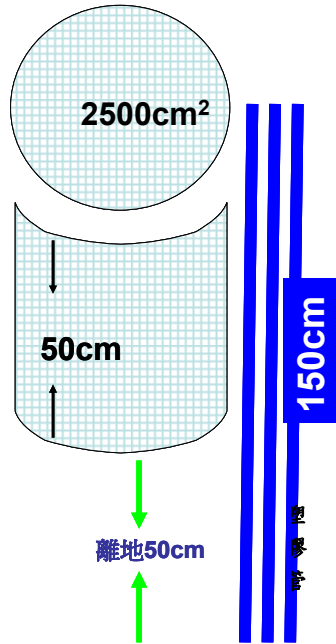


圖 6-4. 枯落物收集網之架設示意圖

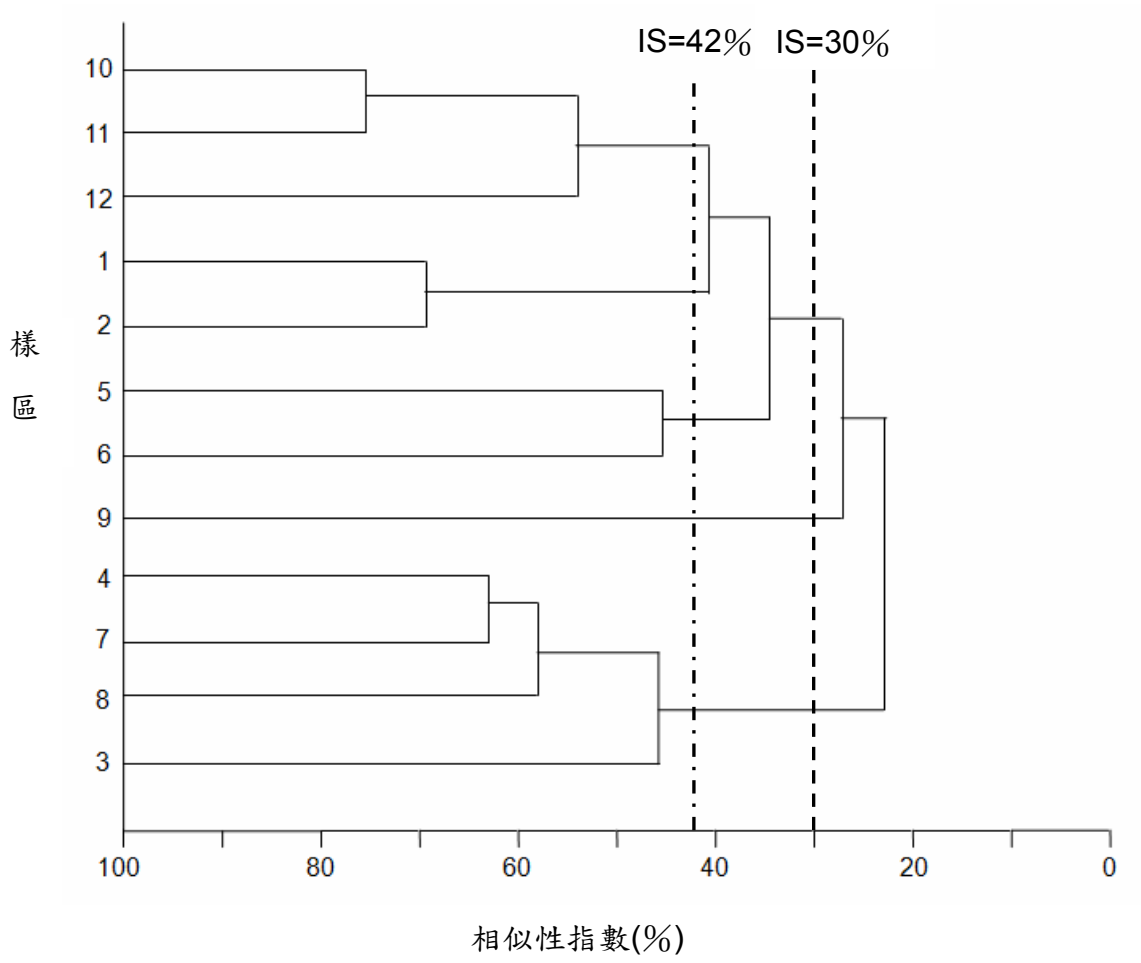


圖 6-5. 2007 年複查之永久樣區相似性樹形圖

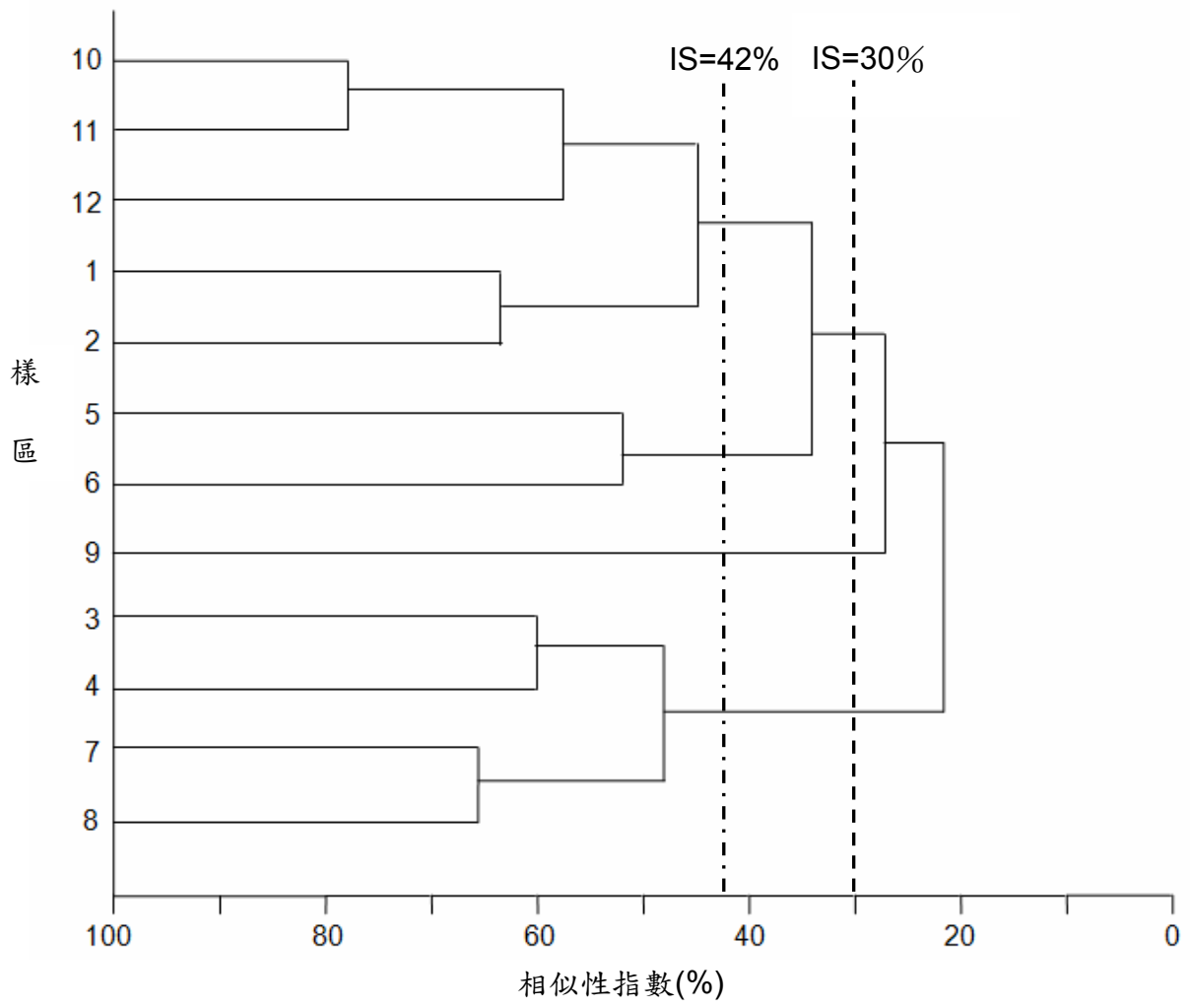


圖 6-6.2005 年永久樣區相似性樹狀圖

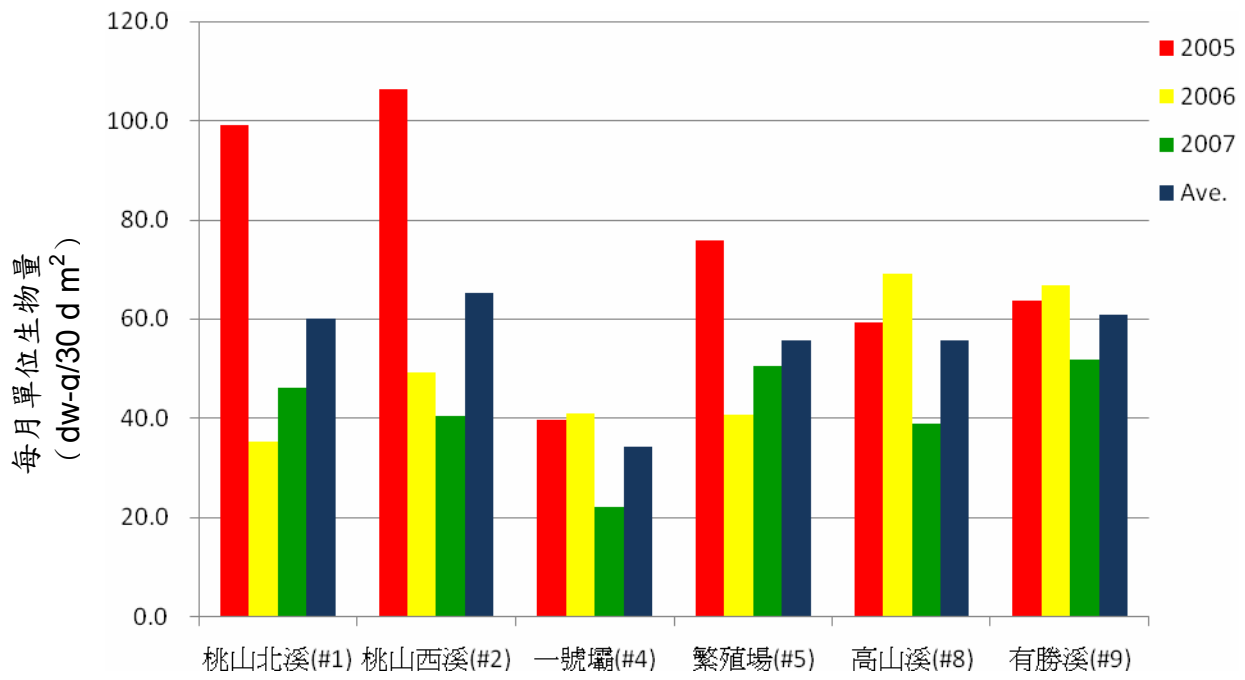


圖 6-7. 2005-2007 年七家灣溪各測站之平均枯落物量

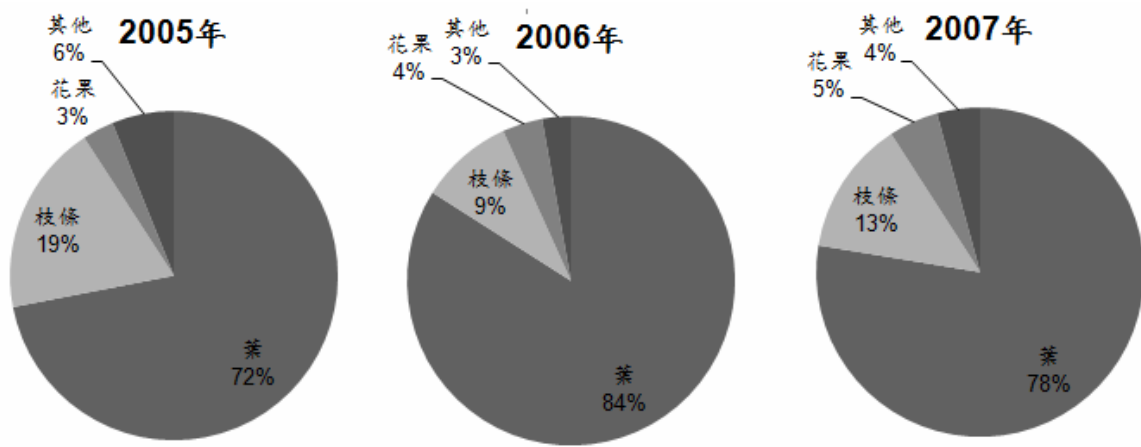


圖 6-8. 七家灣溪測站之各年度枯落物量組成分析



# 第七章 水棲昆蟲研究

郭美華、丘明智

國立中興大學昆蟲學系

## 摘要

### 一、研究緣起

櫻花鉤吻鮭以溪流中的水棲昆蟲為主要的食物來源，因此水棲昆蟲的種類及數量對櫻花鉤吻鮭的成長繁殖具有重要意義。此外由於水棲昆蟲種類與數量繁多且不同種類可反映出環境差異與變化，十分適合作為水質變化與集水區經營管理績效之指標。本研究為延續性的工作，目的在於調查櫻花鉤吻鮭棲息地七家灣溪水棲昆蟲種類及數量變化，並針對環境進行長期監測，及配合【武陵地區長期生態監測暨生態模式建立】之計畫，設置永久樣區進行水棲昆蟲監測及研究，期能與植被、水文、藻類及魚類等相關研究整合比較，瞭解水棲昆蟲在櫻花鉤吻鮭為主的食物網中所扮演的角色、位階及所蘊含之生態意義。

### 二、研究方法及過程

今年將持續針對颱風所造成棲地改變對水棲昆蟲的影響進行研究，利用生物指數及聚類分析監測武陵地區各永久樣區水質變化及棲地變化，了解武陵地區颱風受創後之狀況，並針對未來櫻花鉤吻鮭可能放流的棲息地司界蘭溪設置 2 採樣區，於進行水棲昆蟲相調查，以生物指數及 RBP II 指數進行評估，各永久測站水棲昆蟲群聚及棲地變化，以作為集水區經營管理之參考指標。

### 三、重要發現

本年度(2007 年) 9 測站，1 至 10 月採樣調查水棲昆蟲共計有 6 目 29 科 48 種(Taxa)。由連續 5 年數據看出，生物量以每年的 1、2 月為高峰。羽化數量及種類於 2007 年 1 月到 4 月都為上升變化，10 月達最低。各測站之多樣性指數於各年變化區間相似，以有勝溪測站為最低。快速生物評估法 II 評估武陵

地區棲地維持在無損害與中度損害之間，且司界蘭溪水質棲地上游優於下游。MDS 分析顯示桃山西溪、七家灣溪及高山溪的群聚結構變動具相同傾向；並且相較 2005 年，*W* 統計量判定干擾減小。

#### 四、主要建議事項

已見司界蘭溪下游農業活動造成不利影響，因此視櫻花鉤吻鮭放流於司界蘭溪後的拓殖情況，考慮控管下游的農業活動。各測站於流量暴增後，其評等往往都會趨向劣化，因此流量暴增事件發現，應等待一段時間，待物種拓殖平衡後，方可用 RBPII 來評等，或待數年研究而使數據庫足夠，既可發展區域性的類神經網路模式以評等棲地。由以往 2003 年至 2006 的數量及生物量變化，經過較嚴重的洪流會造成後續水棲昆蟲體型物種較大比例下降，可能造成櫻花鉤吻鮭捕食不利，因此可放置巨石於溪流，巨石後較低流速成為水棲昆蟲的避難所，並且考量暴雨過後，目前濱岸土地利用類型對溪流流量的緩衝能力。

**【關鍵字】**水棲昆蟲，快速生物評估法 II，多樣性指數，生物量，羽化，次級生產量。

## **Abstract**

This study reports the survey of aquatic insect and water quality monitoring at 9 sample sites in the Wuling area in 2007. During the research period, we had recorded 48 taxa of aquatic insects belong to 29 families in 6 orders. According to the data of 5 years, we found that biomass presented peak in January or February in every year. Emergence of aquatic insects in number and taxa expressed the increasing trend in February to April 2007, and was lowest in October 2007. Ranges of biodiversity indices appeared the similarity every year. Habitat quality of the Wuling area was assayed by RBPII, and evaluations were between non-impaired and moderately impaired. The upstream site of the Sikairan Stream assayed better habitat quality than the downstream one. Using multidimensional scaling plots to analyze the composition similarity of abundances among sampling plots indicated that the community structures of streams shifted to the same trends. Furthermore, *W* statistic indicate decreased disturbance in 2006 contrast with 2005.

**【Keywords】** aquatic insects, RBPII, diversity index, biomass, emergence, secondary production

## 一、前言(文獻回顧及目的)

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

早在1937年，上野解剖12尾櫻花鉤吻鮭胃內容物顯示，昆蟲佔96%，水棲昆蟲更佔74%。顯見水棲昆蟲是櫻花鉤吻鮭最主要營養來源，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%)。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。雖然楊及謝(2000)報導1985-1986及1995-1996兩個年度，在10年間水生昆蟲數量下降約至原有之半。惟此結果是否足以代表棲地逐年劣化趨勢(Trend)或僅為個別年度差異而已，且無法得知生物量是否也呈現相同變化趨勢，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。

本研究自2003年起連續監測至今，2003年有6目27科35屬46種

(Taxa) (郭, 2003; 郭等, 2004), 2004 年有 6 目 27 科 43 種(郭, 2004), 2005 年有 6 目 26 科 45 種(郭, 2005)。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 1985-1986 年及 1995-1996 年而其中數種形態種合併為複合種, 共記錄 6 目 27 科 39 屬 40 種, 本研究則將搖蚊科再細分為 5 taxa, 因此各目種類變化不大。綜合結果發現各測站可採到 39 至 43 種不等, 與 Shieh 及 Yang (2000) 報告的 40 種相比變化不大。水棲昆蟲群聚組成以蜉蝣目佔半數以上為最多, 其次為雙翅目(郭等, 2004)。各月份所採獲水棲昆蟲數量皆以 2 月最大宗, 4 月、6 月及 9 月有較低之勢。

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

四種群聚指數分析 (Family richness index, Simpson's index, Shannon-Wiener's index, 及 Pielou's evenness index) 及 FBI 結果顯示思源埡口測站之棲地環境最差。思源埡口測站以四節蜉蝣為優勢種, 佔全數之 3/4 強, 因此所計算出之群聚指數如 Family richness index、Shannon-Wiener's index 及 Pielou's evenness index 皆為各站最低者, 而 Simpson's index 則為各站最高者, 顯示此站之群聚組成較不穩定。

各測站僅高山溪測站以扁蜉蝣 *Rhithrogena ampla* 為佔多數, 其餘各站則以四節蜉蝣 *Baetis* spp. 為佔多數。指標生物評估水質污染四個等級中 (貧腐水性、 $\beta$ -中腐水性、 $\alpha$ -中腐水性和強腐水性), 扁蜉蝣是貧腐水性水質 (水質狀況十分優良, 幾乎沒有任何污染) 指標生物之一, 以扁蜉蝣 *R. ampla* 所佔比例與過去研究相比, 桃山西溪測站 8.12% 較過去 1985-1986 之 20.1% 及 1995-1996 之 11.12% 為低, 顯示桃山西溪測站可能有棲地劣化趨勢。桃山北

溪測站 7.97%與過去 1985-1986 之 7.41%及 1995-1996 之 6.89%相較之下略增。位於七家灣溪一號壩的第 4 測站為 28.59%與過去研究之相關測站 1985-1986 為 22.14%及 1995-96 為 19.43%相比，則略增 (Shieh and Yang, 2000;郭等, 2004)。若扁蜉蟬中之污染低忍受性的 *R. ampla* 比例增加表示棲地環境漸優，則顯示位於七家灣溪的測站棲地，並沒有劣化(郭等, 2004)。

櫻花鉤吻鮭以溪流中的水棲昆蟲為主要的食物來源，因此水棲昆蟲的種類及數量對櫻花鉤吻鮭的成長繁殖具有重要意義。此外由於水棲昆蟲種類與數量繁多且不同種類可反映出環境差異與變化，十分適合作為水質變化與集水區經營管理績效之指標。本研究為延續性的工作，目的在於調查櫻花鉤吻鮭棲息地七家灣溪水棲昆蟲種類及數量變化，並針對環境進行長期監測，及配合【武陵地區長期生態監測暨生態模式建立】之計畫，設置永久樣區進行水棲昆蟲監測及研究，期能與植被、水文、藻類及魚類等相關研究整合比較，瞭解水棲昆蟲在櫻花鉤吻鮭為主的食物網中所扮演的角色、位階及所蘊含之生態意義。今年將持續針對颱風所造成棲地改變對水棲昆蟲的影響進行研究，利用生物指數及聚類分析監測武陵地區各永久樣區水質變化及棲地變化，了解武陵地區颱風受創後之狀況，並針對未來櫻花鉤吻鮭可能放流的棲息地司界蘭溪設置 2 採樣區，於進行水棲昆蟲相調查，以生物指數及 RBP II 指數進行評估，以作為集水區經營管理之參考指標。

## 二、材料與方法

配合【武陵地區長期生態監測暨生態模式建立】之計畫，設置永久樣區進行水棲昆蟲監測及研究，由北而南選定 11 站，各採樣站分布見圖 7-1，每兩月於各樣區以舒伯氏水網採集樣品並攜回實驗室鑑定，統計分析水棲昆蟲種類、數量、生物量及群聚各重要參數。

第 1 站位於桃山北溪，下游處有一攔砂壩，河床底質多為卵石；第 2 站位於桃山西溪之武陵吊橋前方約 50 公尺處，河床底質為礫石及鵝卵石，上游有一攔砂壩；第 3 站位於武陵地區農業區旁，河床底質以巨石及卵石為主，第 4 站位於武陵地區農業區的下游處，雪霸國家公園往上游方向 100 公尺左右的河段，其河床底質也多為礫石及鵝卵石；第 5 站位在高山溪及七家灣溪的匯流處，新建繁殖場旁的河段，河道較為寬闊，河床底質多為礫石及鵝卵石；第 6 站為有七家灣溪下游末端萬壽橋下方流段，河床底質為礫石及鵝卵石；第 7 站位於迎賓橋下方流段，為有勝溪及七家灣溪的匯流處，河床底質為礫石及鵝卵石，河道較為寬闊；第 8 站位於高山溪已拆攔砂壩上游方向 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；第 9 站位在有勝溪旁之農業區的下游處，河床底質多為泥砂；第 10 站為司界蘭溪上游，位於天然林旁；第 11 站為司界蘭溪下游，位在農業區下游處。

各樣區於 1 月及 10 月在 50 公尺範圍內以定面積之舒伯氏水網 (Surber sampler)(網框面積 12 x 12 inch，網框材質為銅合金制，網袋近框處以尼龍網製成，溪流底棲網以金屬網製成，網目大小為 52 mesh) 在河域中採樣一次，每一樣點重複取樣六次。將採獲之水棲昆蟲以水盤承接並置入 70%酒精中，攜回實驗室鑑定種類 (Taxa)，以及記錄數量。於桃山西溪、一號壩、高山溪、繁殖場及有勝溪樣站，以體重對體長關係式求得生物量 (Ash-free dry mass, AFDM)( Benke et al., 1999)，並換算回溼重以相容於往年生物量資料，而優勢物種年生產量(AFDM)則以 Size-Frequency 分析法求得，並以 CPI

(Cohort production interval)校正數值(Benke, 1984)。水棲昆蟲分類主要參考津田(1962)、川合(1985)、黃(1987)、康(1993)、松木(1978)等研究報告。

各樣區 1 月及 4 月在 50 公尺範圍內以定面積之羽化網(Emergence trap)(圓形網框的直徑為 30 公分)，羽化取樣網讓羽化的水棲昆蟲飛進網內，並持續採集達約 2 週為止，如此程序為取樣一次，於桃山西溪、一號壩、高山溪、繁殖場及有勝溪樣站各放置 4 個羽化取樣網進行採集。攜回實驗室鑑定種類(Taxa)，以及記錄數量。水棲昆蟲分類主要參考津田(1962)、川合(1985)、黃(1987)、康(1993)、松木(1978)等研究報告。

統計分析各站各月各水棲昆蟲種類、數量、群聚多樣性及均勻度等群聚參數。而群聚指數分析是以 Richness index, Simpson's index of diversity, Shannon-Wiener's index, Pielou's evenness index 公式運算(Ludwing and Reynolds, 1988; Krebs, 1999)。生物指標分析以快速生物評估法 II (Rapid Bioassessment Protocol II, RBP II) (Plafkin et al., 1989) (以高山溪為參考站)作為棲地評價標準。

多樣性指數計算公式如下：

*Richness index*

$$d = \frac{(T-1)}{\ln N}$$

*T = number of taxon in the sample*

*N = total number of individuals in the sample*

*Simpson's index*

$$D = 1 - \sum \left[ \frac{n_i(n_i-1)}{N(N-1)} \right]$$

*n<sub>i</sub> = number of individuals of taxon i in the sample*

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

*Shannon- Wiener's index*

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

*P<sub>i</sub> = proportion of total sample belonging to i'th taxon =  $\frac{n_i}{N}$*

*n<sub>i</sub> = number of individuals of taxon i in the sample*

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



*Pielou's evenness index*

$$e = \frac{H'}{\ln T}$$

*H' = Shannon-Wiener index.*

*T = number of taxon in the sample*

將 2003 年 2 月到 2007 年 10 月之各測點之各分類群的數量以  $\text{Log}(X+1)$  轉換以計算 Bray-Curtis 相異係數後，以多元尺度分析(Multidimensional scaling plot, MDS)繪製成圖，並以二度空間顯示各年度各測點彼此間之關係。得到圖形之壓縮值 (Stress)，可信建議值為小於 0.2，但如果大於 0.3 時，圖形各點的距離扭曲程度嚴重，不可採用，以此來推測及判定各測站之關係 (Clark and Warwick, 2001)。由 MDS 圖形判別來選擇較對能應時間的其中一個 MDS 軸，再以線性迴歸確認各月於此軸的平均分數(每月各樣站為每月的樣本數)和月平均流量的線性關性。

將 2003 年 2 月到 2006 年 10 月之各測點之各分類群的數量及生物量以年別加總，再以 ABC 方法中的  $W$  統計量顯示各年各站的干擾程度，數值越趨向負，則顯示較嚴重干擾，而數值趨向正，則顯示較無干擾(Clark and Warwick, 2001)。

### 三、 結果

2007 年 1-10 月共計調查水棲昆蟲有 6 目 29 科 48 種(Taxa) (表 7-1)，與 2003 年有 46 種、2004 年 43 種、2005 年及 2006 年 45 種，以及楊與謝(2000)報導有 40 種相比大致相同且變化不大。

各站所採獲水棲昆蟲生物量及數量由 2006 年 10 月至 2007 年 1 月都為上升趨勢，與往年有相似變化，於各年 4 月到 10 月的生物量大致和數量呈現相同變化趨勢(圖 7-2 及圖 7-3)。由 5 年數據可看出，生物量以第 3 站七家灣溪二號壩為最大，且每年的 1, 2 月為高峰，但最近三年的生物量明顯較往年減少 3 倍之多(圖 7-3)。

2007 年之優勢物種年生產量及生物量皆是以較抗流速的 *R. ampla* 為大多數樣站之冠(表 7-2 及表 7-3)。羽化成蟲數量及種類由 2007 年 1 月到 4 月則都為上升變化，和溪流中之幼蟲數量變化呈相反趨勢，而羽化數量在洪流易發生時期內的 7 月下降，並在 10 月強颱風過後降到最低，各月整體結構大致以搖蚊(Chironomidae)為優勢物種(表 7-4)。

各樣站多樣性指數於 2007 年 1 月到 4 月大致落在以往同時期的數值範圍內，呈現相似多樣性水準，各年前半年變異性小於颱風發生的後半年時期(圖 7-4 到圖 7-7)。

由快速生物評估法 II 所得之相對分數可知 2007 年樣站於 1 月 10 月都介於無損害到中度損害之間，各年以有勝溪幾乎整年都最為嚴重，而於颱風過境時，多數樣站都一致顯示棲地大幅劣化情況(圖 7-8)。

2003 年到 2007 年各測站之 MDS 分析顯示於圖 7-9，而其 Stress 值為 0.19，小於 0.2，進一步推測及判定各測站之關係為連續 5 年有勝溪測站為一類群，而其他測站為另一類群，各站的群聚結構約一年完成一個循環，且分析圖顯示，群聚結構大致隨著年份，往同一方向轉移(MDS 軸一的負向)，不過 2006 年到 2007 年初群聚結構則有回移的現象，但 2007 年後半年則停此

回移(圖 7-9)，隨著流量的增大顯著造成群聚結構於軸一的負向變動(圖 7-10)，且 ABC 方法中的  $W$  統計量則顯示干擾變小的結果(圖 7-11)。

司界蘭溪上游及下游 2007 年 2 月及 7 月共計調查水棲昆蟲有 5 目 16 科 28 種(Taxa) (表 7-5)，司界蘭溪上游及下游於 2005 年 8 月除了 Pielou's evenness index 約落在武陵地區各樣站之數值範圍下限，其他指數則落在數值範圍中間左右，而棲地評等皆為無損害。2006 年 1 月至 2007 年 1 月的多樣性指數都皆較 2005 年有所提升，然而 2007 年 7 月的調查顯示，司界蘭溪上游的多樣性指數及棲地評等與往年相比變化不大，但司界蘭溪下游的多樣性指數有下降趨勢且棲地評等有劣化情形，顯現可能農業活動對棲地有影響 (表 7-6)。

#### 四、討論

連續 4 年數據看出，生物量以位於七家灣溪的第 3 站二號壩為最大，每年初期為高峰，但最近二年的生物量明顯較往年減少 3 倍之多，顯示溪流流量暴增對水棲昆蟲群聚之影響。由 MDS 分析顯示有勝溪測站的群聚結構和其他各站較不相似。桃山北溪、桃山西溪、七家灣溪及高山溪的群聚結構變動方向具一致性，顯示梅雨季節及颱風導致的溪流流量暴增可能為驅使力量，並且 2003 年到 2005 年的颱風頻度及強度都為逐年增加，而使群聚結構驅向某一特定群聚結構變動，不過到了 2006 年颱風頻度及強度減小，因此 2007 年年初群聚結構持續回移的情形，然則 2007 年 8 月及 10 月的二次強颱風中止了群聚結構回移，並再往受洪流干擾的方向變動。

以另一角度來看，如果洪流呈現常態化，水棲昆蟲應可藉由成蟲羽化來避開洪水的衝擊，並快速回復其群聚結構及數量，水棲昆蟲可藉由羽化來避免洪水衝擊，由 2003 年為流量平穩，但水棲昆蟲消長仍然於平時應發生洪流的時期有數量減少到很低的變化，2007 年 1 月到 4 月為洪流出現前期，由成蟲羽化隨時間呈現上升趨勢，溪流中之幼蟲數量變化呈相反趨勢可說明此生態上的適應機制。所以由各分析方法所顯示的干擾可能來自於水棲昆蟲無法適應近年來颱風非常態頻度及強度所致。

大多數樣站之多樣性指數在歷經 2004 年 7 月及 9 月的颱風，增加了均勻度數值，或是因優勢物種的減少，所空出的資源使得其他物種得以拓殖，進而種類數增加，而後續的多樣性指數數值上升。到了 2005 年 2 月，種類數持續回復，然而由於搖蚊(Chironomidae)等物種快速增長而成為優勢種，因而均勻度降低，導致 Shannon- Wiener's index 下降。雖然經過洪流，種類數下降，但優勢種數量大幅減少，因而均勻度升高，使 Shannon- Wiener's index 又上升。2005 年 6 月數值回升及 2005 年 8 月數值下降，皆呈現以上相似多樣性變化傾向，同樣的假說也解釋了 2006 年 1 月上升及 6 月回降變化，並

可延伸 2007 年的數值變化，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正向影響。然而 2006 後半年多樣性指數下降程度較 2004 及 2005 年為小，可能和 2006 年颱風頻度和強度都較小有關。

以 2003 到 2007 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，群聚結構起先為抗急流的物種，後續發展為快速拓殖的物種，因此除非水質或棲地劣化非常嚴重，而快速反應於 RBPII 評等的情況，所以在水質或棲地普遍較為良好的地區，流量暴增事件發現，應等待一段時間，待物種拓殖平衡後，方可用 RBPII 來評等。

## 五、 結論

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。總括來說，其趨勢都為各年年初為高峰，年中受流量暴增而降並持續低迷到年終。成蟲羽化數量及種類越往下游羽化數量越多，二號壩測站以毛翅目叢翅石蛾科(Hydrobidae) 為優勢物種；繁殖場及有勝溪測站則以搖蚊(Chironomidae)為優勢物種。

2004 年下半年到 2006 年，一些體型較大的物種，已逐漸減少；而被替換成體型較小的物種，不過可能由於 2006 年颱風頻度和強度都較小，今年年初毛翅目之長鬚石蛾等較大體形物種有增多的現象，不過依照 2003 到 2006 年變化趨勢，2007 年後半年的二次強颱可能造成明年體型較小的物種比例再度上升。

MDS 分析中顯示有勝溪測站為一類群，而其他站為另一類群，表示有勝溪測站的群聚結構和其他各站較不相似，且除了有勝溪測站外，各站的群聚結構變動方向具一致性，流量暴增可能為驅使力量，而使群聚結構驅向某一特定群聚結構，然而 2006 年干擾較小，因此 2006 年到 2007 年年初的群聚結構已開始回移，但因 2007 年後半年的強颱的干擾，則再度驅向特定群聚結構。

由於不同種類的水棲昆蟲發生時間都不盡相同，為不同的消長變化，司界蘭溪之水棲昆蟲種類相明顯較七家灣溪少，但多樣性指數落在武陵地區各測站之數值範圍中，此外天然林旁之上游之棲地評等優於農業活動的下游且 2007 年 7 月調查結果多樣性指數下降顯示農業活動造成不利影響結果。

## 六、參考文獻

- 川合禎次 1985 日本產水棲昆蟲檢索圖說。東海大學出版會。東京。
- 上野益三 1937 台灣大甲溪之鱒之食性與寄生蟲 (日文)。台灣博物學會會報 27(166) : 153-159。
- 松木和雄 1978 臺灣產春蜓科稚蟲分類之研究。台灣省立博物館科學年刊 21 : 133-180。
- 津田松苗(編) 1962 水棲昆蟲學。北隆館。東京。
- 汪靜明 1992 河川生態保育。國立自然科學博物館。臺中市。
- 汪靜明 1999 河川生物多樣性的內涵與生態保育。生物多樣性前瞻研討會論文集。行政院農業委員會。臺北市。
- 林曜松 1998 生物多樣性前瞻研討會論文集。行政院農業委員會。臺北市。
- 康世昌 1993 臺灣的蜉蝣目 (四節蜉蝣科除外)。國立中興大學昆蟲學研究所博士論文。臺中市。
- 雪霸國家公園編印 2000 雪霸國家公園自然資源研究方向芻議-歷年保育研究計畫總檢討。
- 郭美華、丘明智、謝易霖 2004 以水棲昆蟲監測雪霸國家公園武陵地區溪流水質。台灣昆蟲 24(4): 339-352。
- 黃國靖 1987 七家灣溪水棲昆蟲相及其生態研究。國立台灣大學植物病蟲害研究所碩士論文。
- 農委會、特生中心、營建署及雪霸公園管理處編印 2000 櫻花鉤吻鮭研究保育研討會論文集。
- 楊平世、謝森和 2000 以水棲昆蟲之群聚結構及功能組成監測七家灣溪環境品質。農委會、特生中心、營建署及雪霸公園管理處編印。櫻花鉤吻鮭研究保育研討會論文集。 Pp. 151-177。
- 楊平世、林曜松、黃國靖、梁世雄、謝森和及曾晴賢 1986 武陵農場河域之

水棲昆蟲相與生態調查。農委會 75 年生態研究第 1 號。

Allan JD, Flecker AS (1993) Biodiversity conservation in running waters. *Bioscience* 43: 32-43.

Benke AC, Huryn AD, Smock LA, Wallace JB (1999) Length-mass relationships for freshwater macroinvertebrates in North America with particular reference to the southeastern United States. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 18: 308–343.

Benke AC (1984) Secondary production of aquatic insects. In: *The Ecology of Aquatic Insects* (Eds V.H. Resh & D.M. Rosenberg), pp. 289–322. Praeger Scientific, New York.

Chen CC (1994) The Name-list of Insecta (above Family Level) with Chinese Common Name. The Entomological Society of the Republic of China, Taipei, Taiwan. 40 pp. (in Chinese)

Clark KR, Warwick RM (2001) Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 2nd edition. Technical Report, PRIMER-E, Plymouth, UK. 172 pp.

Hilsenhoff WL (1988) Rapid field assessment of organic pollution with family-level biotic index. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 7: 65- 68.

Krebs CJ (1999) *Ecological methodology*. 2nd ed. Addison Wesley Longman, INC. 620 pp.

Ludwing JA, Reynolds JF (1988) *Statistical ecology. A primer on methods and computing*. John Wiley & Sons. 338 pp.

Merritt RW, Cummins KW (1996) *An introduction to the aquatic insects of North America*. 3rd ed. Dubuque. IA: Kendall/Hunt.

Odum EP (1983) *Basic ecology*. Saunders College Publishing Company, Georgia. 613 pp.



Plafkin, J. L., M. T. Barbour, K. D. Porter, S. K. Gross, and R. M. Hughes.  
1989. Rapid assessment protocols for use in streams and rivers:  
Benthic macroinvertebrates and fish. EPA 440-4-89-001. U.S.  
Environmental Protection Agency, Office of Water Regulations and  
Standards, Washington, D.C.

Shieh SH, Yang PS (2002) 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.

表 7-1、武陵地區於 2007 年之水生昆蟲資源組成及個體數 ( individuals / square meter )

Order	Family	Taxa	桃山	西溪	桃山北溪	二號壩	一號壩	高山溪	繁殖場	有勝溪	迎賓橋	萬壽橋	
Coleoptera	Elmidae	<i>Zaitzevia</i> sp.	3.6	283.8	39.4	16.1	186.3	114.7	26.9	39.4	5.4		
	Psephenidae	<i>Eubrianax</i> sp.		1.8									
	Scirtidae	<i>Cyphon</i> sp.	12.5	41.3	9.0	1.8	14.3	3.6				1.8	
Diptera	Athericidae	<i>Atherix</i> sp.		3.6			3.6				1.8	1.8	
	Blepharoceridae	<i>Agathon</i> sp.										1.8	
		<i>Bibliocephala</i> sp.	3.6		3.6	1.8	1.8	7.2		5.4	3.6		
	Ceratopogonidae	<i>Bezzia</i> sp.	5.4	73.5	1.7	7.2	9.0	12.5		14.3	7.2		
	Chironomidae	Chironomidae sp.C	189.9	1831.5	1196.8	868.9	155.9	186.3	121.8	333.2	21.5		
		Chironomidae sp.D				1.8	3.6				1.8		
		Chironomidae sp.E		25.8				3.6	1.8				
		Chironomidae spp.	367.3	168.6	1456.6	754.3	481.9	426.5	175.4	176.8	25.8		
		Tanypodinae spp.	132.6	358.3	249.4	12.4	14.3	41.3	58.8	213.2	1.7		
		Simuliidae	<i>Simulium</i> sp.	23.3	77.4	59.1	112.9	15.5	40.0	241.9	184.5	35.8	
	Tipulidae	<i>Antocha</i> sp.	3.6	16.1	41.3	44.8	37.6	32.2	55.5	136.2	17.9		
		<i>Dicranota</i> sp.	1.8	9.0	1.8	1.8	3.6						
		<i>Eriocera</i> sp.A	3.6	68.8	1.7	1.7	35.8	7.2	1.8	5.4	5.4		
		<i>Eriocera</i> sp.B		5.2	34.5	91.4	43.0	43.0	5.4	5.2	9.0		
		Limoniinae sp.	1.8		3.6		1.8						
Ephemeroptera		Baetidae	<i>Baetiella bispinosa</i>	7.2	48.4	15.8	191.7	139.7	159.5	71.7	159.5	112.9	
	<i>Baetis</i> spp.		225.7	1227.3	564.4	157.6	333.2	351.2	389.1	74.0	159.5		
	<i>Pseudocloeon latum</i>		16.1	75.2	164.8	193.5	143.3	13.9	53.4	451.5	86.0		
	Caenidae	<i>Caenis</i> sp.	1.8		3.6		1.8						
	Ephemerellidae	<i>Acerella montana</i>				3.6	5.4	3.6				1.8	
	Ephemeridae	<i>Ephemeria sauteri</i>		57.3	1.8	3.6	5.4	5.4	114.7	55.5	1.8		
	Heptageniidae	<i>Afronurus floreus</i>	1.8	5.4		71.7	5.4	1.8	136.2	13.9	1.8		
		<i>Afronurus nanhuensis</i>	3.6	5.4	9.0	32.2			17.9	7.2			
		<i>Epoerus erratus</i>				3.6					3.6		
		<i>Rhithrogena ampla</i>	79.1	1214.7	1714.6	1641.1	738.2	94.7	983.7	125.6	532.1		
	Leptophlebiidae	<i>Paraleptophlebia</i> sp.		9.0		1.8	1.8						
	Siphonuridae	<i>Ameletus camtschaticus</i>	48.4	39.4	32.2	21.5	1.7	1.8		1.8			
	Plecoptera	Leuctridae	<i>Rhopalopsale</i> sp.		9.0	1.8	1.8	3.6					
		Nemouridae	<i>Amphinemura</i> sp.	34.5	21.5	91.4	123.6	14.3	48.4	9.0	13.9	14.3	
			<i>Protonemura</i> spp.	26.9	12.5	75.2	35.8	55.5	78.8		7.2	3.6	
Perlidae		<i>Neoperla</i> spp.	32.2	184.5	19.3	43.0	48.4	12.1		5.4	9.0		
Styloperlidae		<i>Cerconychia</i> sp.	12.5	44.8	21.5	5.4	7.2	3.6					

表 7-1、武陵地區於 2007 年之水生昆蟲資源組成及個體數 ( individuals / square meter )(續)

Order	Family	Taxa	桃山西溪	桃山北溪	二號壩	一號壩	高山溪	繁殖場	有勝溪	迎賓橋	萬壽橋
Trichoptera	Apataniidae	<i>Manophylas</i> sp.			1.8	1.8	1.8				3.5
	Glossosomatidae	<i>Glossosoma</i> sp.	26.9	7.2	394.2	59.1	338.6	279.5	1.8	1.8	34.4
	Hydrobiosidae	<i>Apsilochorema</i> sp.	21.5	86.0	5.2	21.5	23.3	7.2	9.0	16.1	7.2
	Hydropsychidae	<i>Arctopsyche</i> sp.	1.8	12.5	17.9	34.5	17.9	37.6	1.8		3.6
		<i>Hydropsyche</i> spp.	3.6	43.0	89.6	36.4	52.0	154.8	686.2	1.3	52.0
	Lepidostomatidae	<i>Goerodes</i> sp.	9.0	12.1	12.5	3.5	23.3	21.5	238.3	39.4	14.3
	Limnephilidae	<i>Uenoa taiwanesis</i>		3.6							
	Rhyacophilidae	<i>Himalopsyche</i> sp.			1.8	3.6	1.8	7.2	1.8	1.8	3.6
		<i>Rhyacophila nigrocephala</i>	12.5	222.2	297.4	73.5	28.7	82.4	26.9	98.5	21.5
		<i>Rhyacophila</i> spp.	19.8	39.4	3.5	23.3	17.9	1.7	17.9		5.4
	Sericostomatidae	<i>Gumaga</i> sp.		1.8			1.8				
		Sericostomatidae sp.	1.7	14.3	32.2	3.6	3.6	7.2			
	Stenopsychidae	<i>Stenopsyche</i> sp.A		7.2	7.2	39.4	1.8	7.2		7.2	3.6

表 7-2、武陵地區於 2007 年之水生昆蟲生物量 (mg / square meter )

Order	Family	Taxa	桃山西溪	一號壩	高山溪	繁殖場	有勝溪	
Coleoptera	Elmidae	<i>Zaitzevia</i> sp.	12.3	25.5	277.6	192.8	85.4	
	Scirtidae	<i>Cyphon</i> sp.	8.5	2.0	21.1	5.4		
Diptera	Athericidae	<i>Atherix</i> sp.		5.2	7.9			
	Blepharoceridae	<i>Bibiocephala</i> sp.	9.7	1.7	34.1	75.5		
	Ceratopogonidae	<i>Bezzia</i> sp.	5.9	8.9	15.7	26.6		
	Chironomidae	Chironomidae	Chironomidae sp.C	34.3	174.5	32.1	3.9	4.8
			Chironomidae sp.D		4.2	7.4		
			Chironomidae sp.E				5.9	0.2
			Chironomidae spp.	67.7	134.3	111.4	74.4	417.3
			Tanypodinae spp.	15.6	19.1	1.7	5.1	32.8
	Simuliidae	<i>Simulium</i> sp.	3.0	45.5	15.2	221.3	157.9	
	Tipulidae	<i>Antocha</i> sp.	<i>Antocha</i> sp.	0.8	23.1	14.7	16.3	27.7
			<i>Dicranota</i> sp.	0.4		7.4		
			<i>Eriocera</i> sp.A	9.7	22.6	19.2	12.2	6.5
			<i>Eriocera</i> sp.B	2.9	638.4	347.1	524.5	348.8
			Limoniinae sp.	7.2	1.6			
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetiella bispinosa</i>	3.7	75.8	34.9	66.5	28.5	
		<i>Baetis</i> spp.	268.8	748.0	16.8	61.9	1525.9	
		<i>Pseudocloeon latum</i>	14.5	26.4	32.7	3.8	129.8	
	Caenidae	<i>Caenis</i> sp.	1.3		2.1			
	Ephemerellidae	<i>Acerella montana</i>		38.6	0.8	313.3		
	Ephemeridae	<i>Ephemera sauteri</i>		33.7	4.4	139.3	731.5	
	Heptageniidae	<i>Afronurus floreus</i>	<i>Afronurus floreus</i>	5.3	212.6	7.8	2.6	973.2
			<i>Afronurus nanhuensis</i>	67.5	128.5			95.2
			<i>Epoerus erratus</i>		35.6			
			<i>Rhithrogena ampla</i>	1748.5	3834.2	2794.7	3449.5	2222.3
	Leptophlebiidae	<i>Paraleptophlebia</i> sp.		0.4	0.6			
Siphonuridae	<i>Ameletus camtschaticus</i>	424.3	111.4	178.2	19.8			
Odonata	Gomphidae	<i>Sinogomphus formosanus</i>					88.8	
Plecoptera	Leuctridae	<i>Rhopalopsole</i> sp.		1.6	4.5			
	Nemouridae	<i>Amphinemura</i> sp.	21.4	71.8	1.8	27.9	5.8	
		<i>Protonemura</i> spp.	29.9	38.1	53.6	115.1		
	Perlidae	<i>Neoperla</i> spp.	1157.3	1356.3	388.7	425.3		
	Styloperlidae	<i>Cerconychia</i> sp.	24.5	225.7	75.9	36.5		

表 7-2、武陵地區於 2007 年之水生昆蟲生物量 (mg / square meter )(續)

Order	Family	Taxa	桃山西溪	一號壩	高山溪	繁殖場	有勝溪
Trichoptera	Apataniidae	<i>Manophylas</i> sp.			1.5	17.2	
	Glossosomatidae	<i>Glossosoma</i> sp.	24.9	45.9	255.8	43.9	1.5
	Hydrobiosidae	<i>Apsilochorema</i> sp.	231.1	229.5	83.7	49.4	22.9
	Hydropsychidae	<i>Arctopsyche</i> sp.	1.2	139.5	278.0	842.3	11.5
		<i>Hydropsyche</i> spp.	127.0	2299.6	358.3	1731.9	742.6
	Lepidostomatidae	<i>Goerodes</i> sp.	3.4	62.8	15.8	45.9	2251.7
	Rhyacophilidae	<i>Himalopsyche</i> sp.		145.9	5.4	39.1	6.0
		<i>Rhyacophila nigrocephala</i>	167.9	582.8	164.4	392.7	132.0
		<i>Rhyacophila</i> spp.	22.9	2.9	74.6	14.4	19.0
	Sericostomatidae	<i>Gumaga</i> sp.			0.5		
		Sericostomatidae sp.		5.7	1.3	1.1	16.0
	Stenopsychoidea	<i>Stenopsyche</i> sp.A		3593.8	1.3	2459.0	49.8

表 7-3、武陵地區於 2007 年優勢物種之年生產量( mg AFDM / square meter / year )

		桃山西溪	一號壩	高山溪	繁殖場	有勝溪
Coleoptera	<i>Zaitzevia</i> sp.			60.05	39.90	
Diptera	Chironomidae sp.C	39.19	288.60	42.28	35.96	43.23
	Chironomidae spp.	85.36	202.53	216.95	126.97	685.83
	<i>Eriocera</i> sp.B		162.71			
	<i>Simulium</i> sp.		35.91			121.77
	Tanypodinae spp.	21.90	26.24		3.85	392.79
Ephemeroptera	<i>Afronurus floreus</i>		79.46			400.98
	<i>Ameletus camtschaticus</i>	92.15				
	<i>Baetiella bispinosa</i>		50.77	24.63	47.28	18.45
	<i>Baetis</i> spp.	162.10	638.70	612.77	331.43	1446.50
	<i>Ephemerella sauteri</i>					259.37
	<i>Pseudocloeon latum</i>		18.60	22.88		96.47
	<i>Rhithrogena ampla</i>	814.07	2170.75	1363.18	1812.97	1105.59
Plecoptera	<i>Amphinemura</i> sp.	3.02	12.62		4.95	
	<i>Neoperla</i> spp.	199.40	356.89	47.97		
	<i>Protonemura</i> spp.	9.67	9.71	11.28	36.60	
Trichoptera	<i>Apsilochorema</i> sp.	50.57	37.32	23.92		
	<i>Arctopsyche</i> sp.		319.29		133.08	
	<i>Glossosoma</i> sp.	2.29	10.13	55.46	118.73	
	<i>Goerodes</i> sp.			6.42	26.40	1397.26
	<i>Hydropsyche</i> spp.		604.22	103.06	415.51	2013.29
	<i>Rhyacophila nigrocephala</i>		119.38	39.04	95.19	34.73
	<i>Rhyacophila</i> spp.	19.15	30.37	11.20		25.78
	<i>Stenopsyche</i> sp.A		951.12			

表 7-4、水棲昆蟲之羽化個體數(individuals / m<sup>2</sup>)

		桃山西溪	二號壩	高山溪	繁殖場	有勝溪	Total
2007 年 1 月							
Ephemeroptera	Baetidae		21.2	3.5		7.1	31.7
Trichoptera	Hydrobiosidae	3.5	402	3.5	3.5		412.6
	Hydropsychidae					59.9	59.9
	Rhyacophilidae					3.5	3.5
Diptera	Chironomidae	10.6	17.6	3.5	28.2	260.9	320.9
	Simuliidae			3.5			3.5
	Tipulidae		3.5			7.1	10.6
	Total	14.1	440.8	14.1	31.7	331.5	832.2
2007 年 4 月							
Ephemeroptera	Baetidae			17.6		21.2	38.8
	Ephemeridae		3.5		3.5	10.6	17.6
	Heptaeniidae					45.8	45.8
	Siphonuridae	17.6					17.6
Trichoptera	Hydrobiosidae	7.1	67	7.1		17.6	98.7
	Hydropsychidae					67	67
	Rhyacophilidae		17.6		3.5		21.2
Plecoptera	Nemouridae				7.1		7.1
	Perlidae					7.1	7.1
	Styloperlidae	14.1					14.1
Diptera	Ceratopogonidae					81.1	81.1
	Chironomidae	21.2	3.5	24.7	193.9	320.9	564.2
	Simuliidae	3.5					3.5
	Tipulidae	7.1		3.5			10.6
	Total	70.5	91.7	52.9	208	571.2	994.4
2007 年 7 月							
Ephemeroptera	Ephemeridae					7.8	7.8
	Hydropsychidae		3.5			21.2	24.8
Trichoptera	Glossosomatidae		3.5				3.5
	Heptaeniidae		3.5				3.5
	Hydrobiosidae				3.5	6.2	9.7
	Lepidostomatidae		28.4	7.8			36.2

表 7-4、水棲昆蟲之羽化個體數(individuals / m<sup>2</sup>)(續)

		桃山西溪	二號壩	高山溪	繁殖場	有勝溪	Total
Diptera	Chironomidae	31.8	17.7	24.8		28.4	364.5
	Ceratopogonidae						212.3
	Simuliidae	3.5					
	Tipulidae					1.6	
	Total	35.4	56.7	32.5		33.5	611.9
2007 年 10 月							
Ephemeroptera	Baetidae					0	3.5
Plecoptera	Nemouridae					3.5	
Diptera	Ceratopogonidae					0	
	Chironomidae	14.2				10.6	
	Simuliidae					0	
	Tipulidae			3.5		3.5	3.5
	Total	14.2		3.5		17.7	7.1



表 7-5、司界蘭溪於 2007 年之水生昆蟲資源組成及個體數 ( individuals / square meter )

Order	Family	Taxa	司界蘭溪下溪	司界蘭溪上溪
Coleoptera	Elmidae	<i>Ampumixis</i> sp.	1.8	
		<i>Zaitzevia</i> sp.	19.7	21.5
Diptera	Blepharoceridae	<i>Agathon</i> sp.	1.8	19.7
		<i>Bibiocephala</i> sp.		12.5
	Chironomidae	Chironomidae sp.C	43.0	34.0
		Chironomidae spp.	13.8	2.7
		Tanypodinae spp.		75.2
	Simuliidae	<i>Simulium</i> sp.	7.2	64.5
	Tipulidae	<i>Antocha</i> sp.	16.1	1.8
		<i>Eriocera</i> sp.A	17.9	
		<i>Eriocera</i> sp.B	1.8	1.8
	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetiella bispinosa</i>	37.6
<i>Baetis</i> spp.			28.7	34.0
<i>Pseudocloeon latum</i>			374.5	98.5
Heptageniidae		<i>Rhithrogena ampla</i>	51.6	584.1
Siphonuridae		<i>Ameletus camtschaticus</i>	1.8	
Plecoptera	Nemouridae	<i>Amphinemura</i> sp.	3.6	5.4
		<i>Protonemura</i> spp.	3.6	3.5
	Perlidae	<i>Neoperla</i> spp.	5.4	26.9
Trichoptera	Glossosomatidae	<i>Glossosoma</i> sp.	146.9	19.3
	Hydrobiosidae	<i>Apsilochorema</i> sp.	5.4	9.0
	Hydropsychidae	<i>Arctopsyche</i> sp.	19.7	1.7
		<i>Hydropsyche</i> spp.	7.2	37.6
	Lepidostomatidae	<i>Goerodes</i> sp.		1.7
	Rhyacophilidae	<i>Himalopsyche</i> sp.	3.6	1.8
		<i>Rhyacophila nigrocephala</i>	55.5	14.3
		<i>Rhyacophila</i> spp.	3.6	12.5
Stenopsychidae	<i>Stenopsyche</i> sp.A		1.8	

表 7-6、司界蘭溪於 2005 年 8 月至 2007 年 7 月之水棲昆蟲多樣性指數及 RBPII

Site	RBPII	Richness index	Pielou's evenness index	Shannon- Wiener's index	Simpson's index
上游 2005 年 8 月	1.0000	1.3653	0.6492	1.3501	0.6336
下游 2005 年 8 月	0.8571	1.4218	0.6040	1.3271	0.6581
上游 2006 年 1 月	1.0714	3.4871	0.6773	2.1802	0.8252
下游 2006 年 1 月	1.0000	3.2793	0.5387	1.7341	0.6685
上游 2006 年 7 月	0.9333	3.6277	0.8386	2.2131	0.8683
下游 2006 年 7 月	0.6667	2.8358	0.8481	2.0337	0.8485
上游 2007 年 2 月	0.8000	3.4575	0.6711	2.1042	0.7841
下游 2007 年 2 月	0.6667	3.3298	0.6706	2.0418	0.7960
上游 2007 年 7 月	0.7333	3.1311	0.7079	2.0462	0.7765
下游 2007 年 7 月	0.4000	1.6677	0.5545	1.3297	0.6502

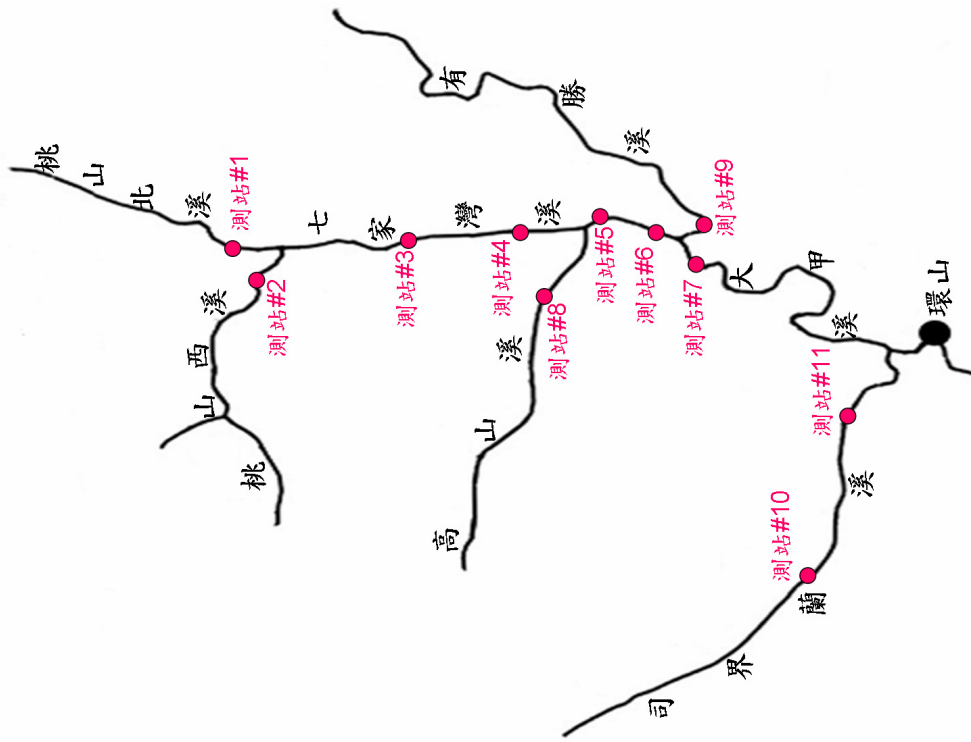


圖 7-1、武陵地區溪流水棲昆蟲監測調查採樣站之相關位置圖。

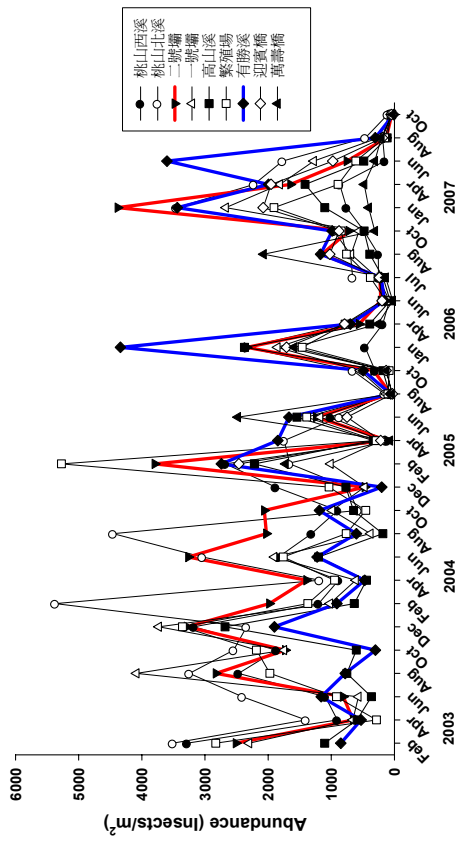


圖 7-2、武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲各月數量。

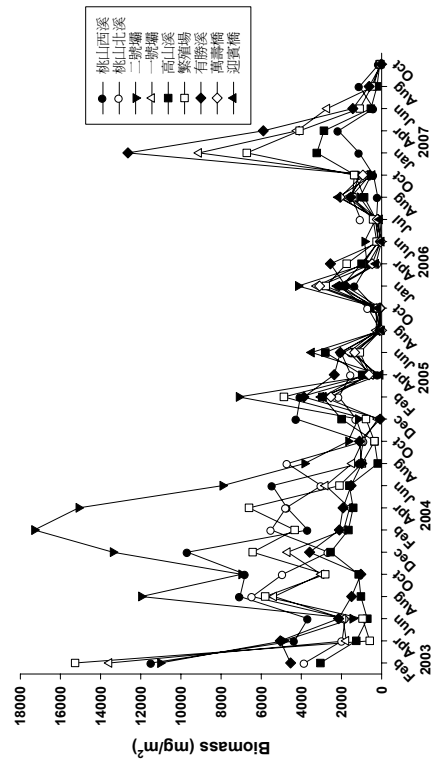


圖 7-3、武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲各月生物量。

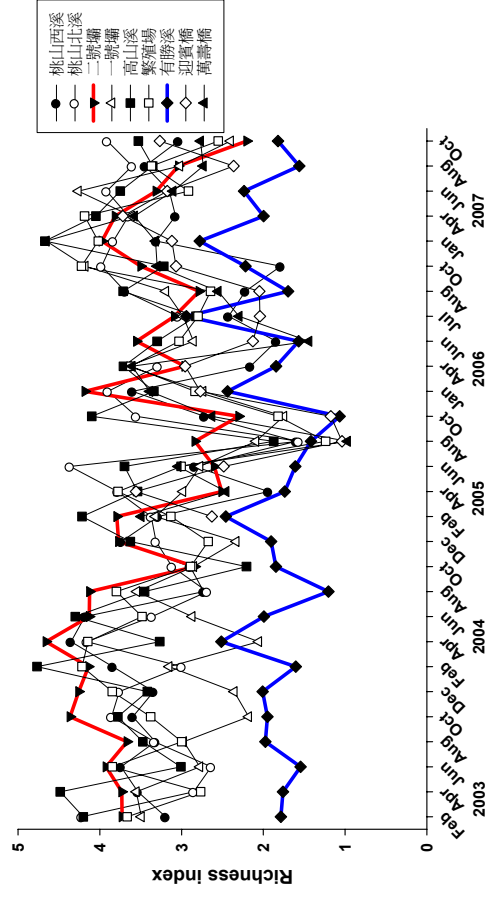


圖 7-4、武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲之 Richness index。

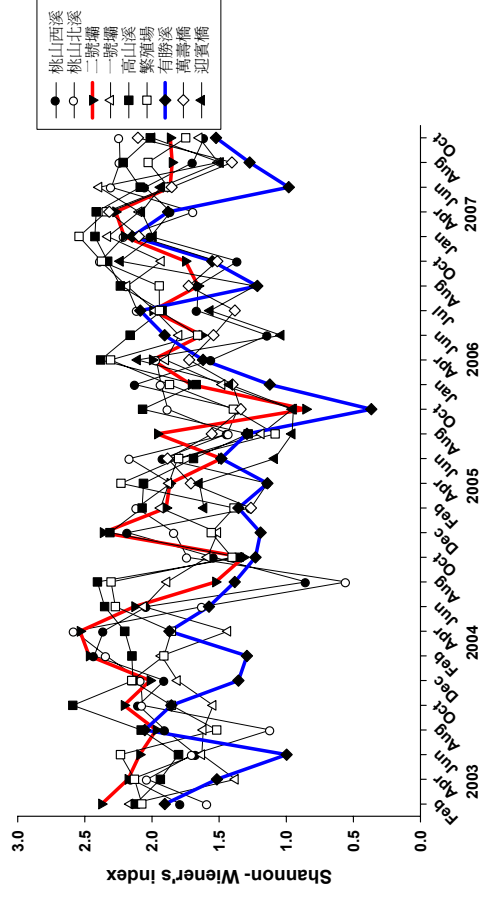


圖 7-6、武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲之 Shannon- Wiener's index。

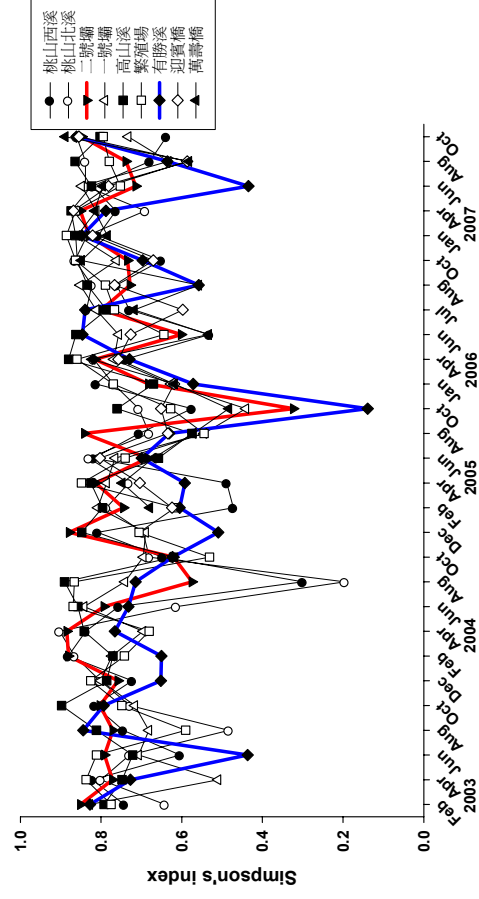


圖 7-5、武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲之 Simpson's index。

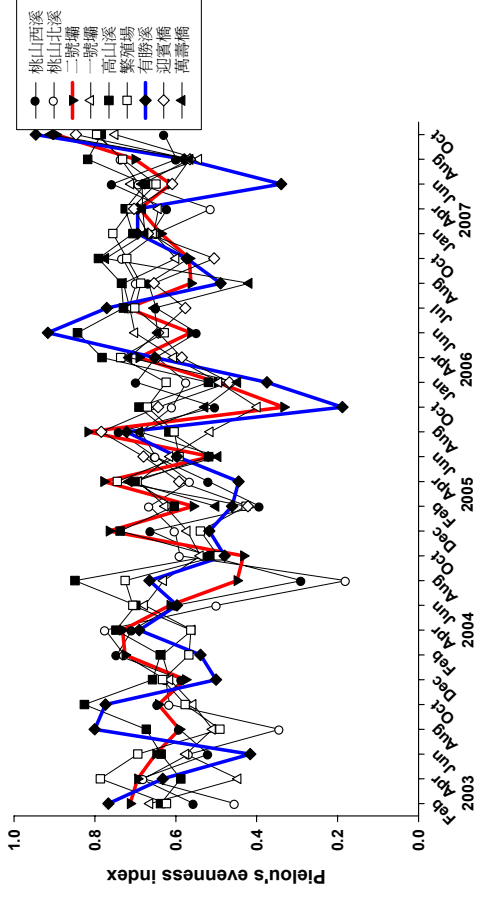


圖 7-7、武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲之 Pielou's evenness index。

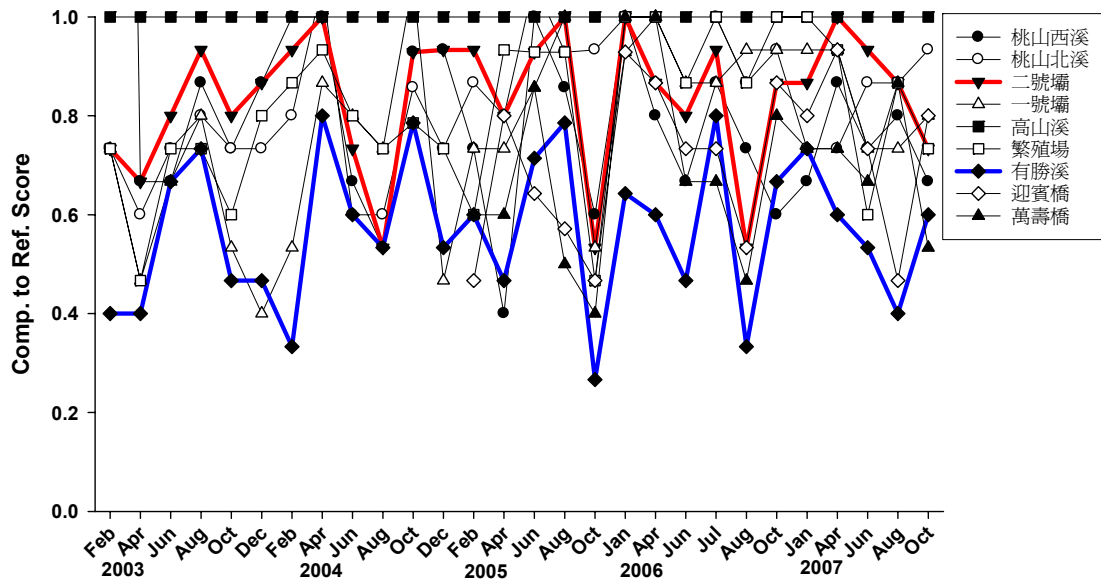


圖 7-8、武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲之 RBPII 相對分數。

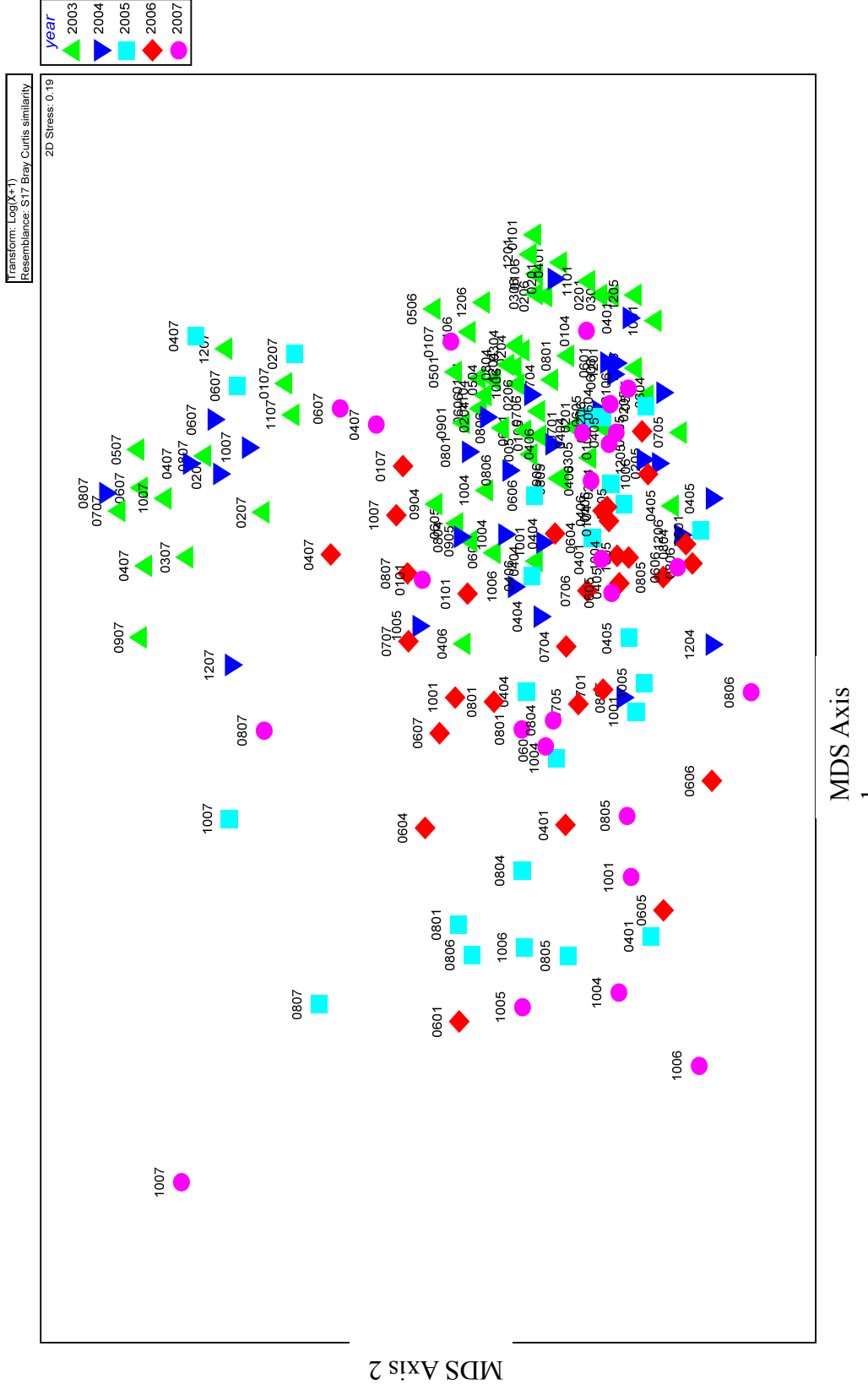


圖 7-9、武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲之 MDS 分析。(圖標 4 位數表示樣站及月分組合，如 0502 代表 5 月第 2 站)

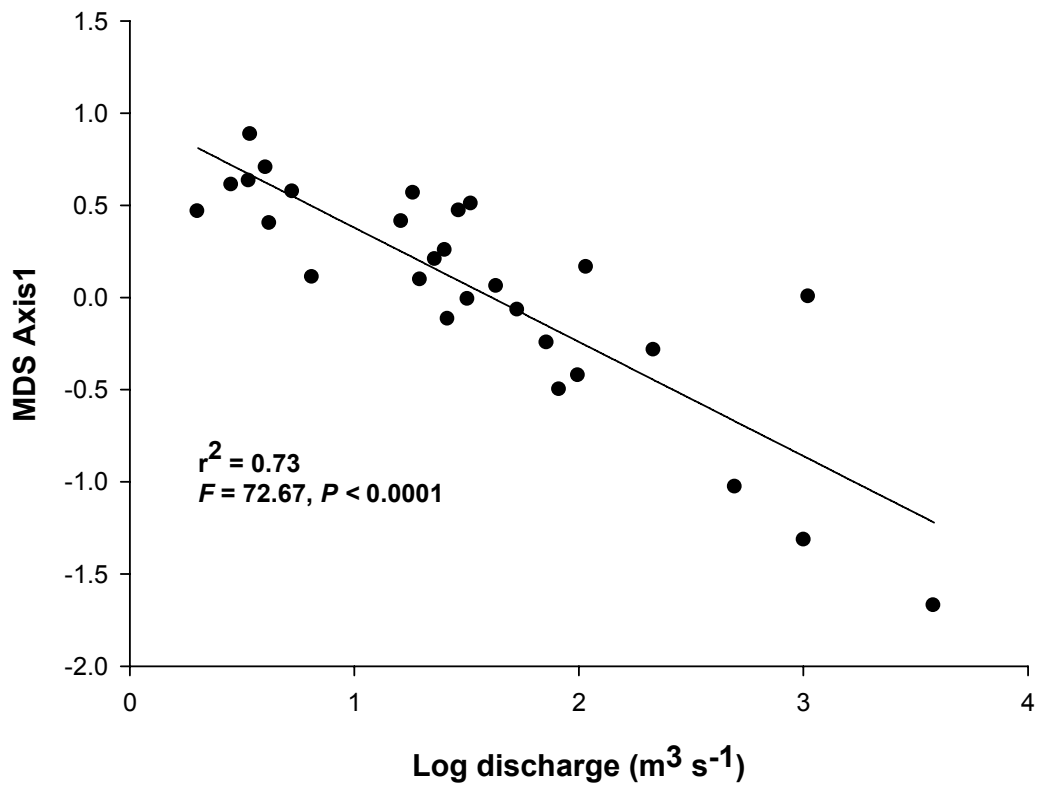


圖 7-10、各月於 MDS 軸一的平均分數相關於月平均流量。

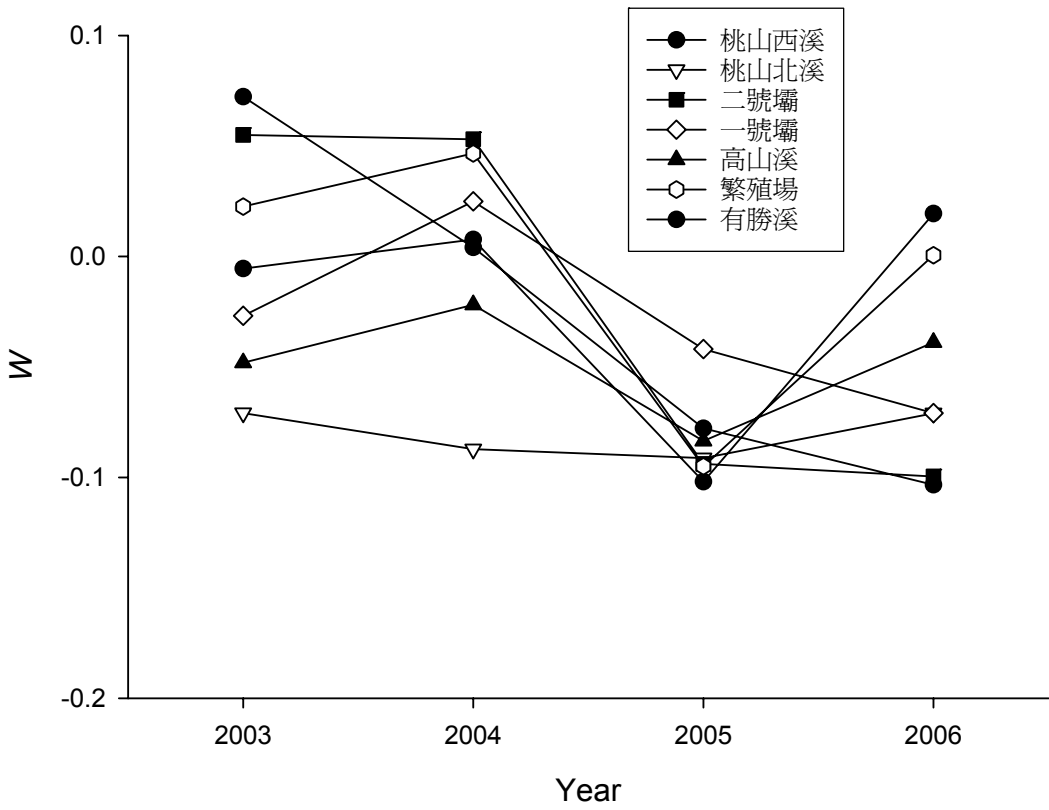


圖 7-11、以 ABC 方法檢測武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲干擾程度的 W 統計量。





# 第八章 陸棲昆蟲研究

葉文斌、楊正澤、張家維、蔡侑昇、曹曄智、利軒仲、李蕙宜

國立中興大學昆蟲學系

## 摘要

**一、研究緣起：**昆蟲群聚之生態功能及結構，一般包括初級消費食物鏈、次級消費食物鏈及分解者食物鏈之主要架構。此類生態系昆蟲群聚之研究在國內尚少，本計畫共同主持人楊正澤及其合作伙伴，已積極整理台灣之調查結果及文獻蒐集所得資料，陸續發表相關文章。本計劃探討的昆蟲群聚以武陵地區濱水帶的昆蟲組成及特性為主，另以武陵雪山地區大尺度考量，針對高海拔之昆蟲相設計相關之研究主題，希望可以釐清武陵地區濱水帶及高海拔地區的昆蟲季節性動態及組成改變。

**二、研究方法及過程：**昆蟲的調查方法有下列之方式；掉落式陷阱杯（pit-fall, PF）、花生醬誘集器（peanut butter bait trap, PBT）、吊網（moth trap, MOT）、鳳梨皮（pineapple, PA）、空中馬氏網、水撈網及掃網（sweeping net, SWP）；高海拔地區則分四個樣段掃網收集。標本收集後，室內工作流程計有分蟲、編標本碼、登錄採集資料、鑑定、輸入資料庫以便分析。

**三、重要發現：**本年度武陵地區濱水帶昆蟲調查自 2007 年 1 月至 2007 年 12 月止，偶數月月初在各測站 1、2、5、8、9、11 的 3 個小樣區，分別以吊網、陷阱杯、掃網、花生醬誘集器及枯落物收集等方式調查昆蟲組成。目前結果累計濱岸昆蟲的分析資料共 9076 隻，分為 19 目；優勢昆蟲前三名個體數最多為彈尾目，其次為雙翅目，再其次為鞘翅目；各個測站的昆蟲組成大同小異，僅在測站#1 發現較多的雙翅目昆蟲，司界蘭溪的調查次數雖然僅有 2 次，但其昆蟲數量並不少於其他幾個測站。大尺度之高海拔四個樣段的調查，目前分析之昆蟲個體數共計 20000 隻，海拔由低到高各樣段採得之個體數，分別如下：2,500—2,900 公尺的七卡樣段的灌木則以同翅目最多，其它為雙翅目；雪山東峰 2,900 公尺至

3,000 公尺稜線則以雙翅目最多，其次為同翅目；3,200 公尺至 3,400 公尺的冷杉林地段的則以雙翅目遠多於其他目；而特定地形及亞寒帶氣候的 3,500 公尺以上的圈谷主要昆蟲組成為雙翅目及同翅目。指標群昆蟲在在濱水帶及高海拔二地區差異最大處為同翅目，主要原因應該是高海拔地區的箭竹及芒草等寄主植物的關係。

**四、主要建議事項：**颱風及豪雨帶來的洪流衝擊影響濱水帶昆蟲組成甚巨，此對於濱水昆蟲的棲群變動為何，需另行設計探討。

**【關鍵字】** 濱岸昆蟲、高山昆蟲、指標性昆蟲

## **Abstract**

The riparian insects along the river Chichiawanshi were determined by a variety of methods and traps every two month. Three replicates of four insect capturing methods in each six sampling localities, i.e. station #1, #2, #5, #8, #9 and #11, were constructed to analyze the insect fauna in this region. More than 9000 individuals were collected and identified in 19 insect orders now. The primary three orders in riparian region are Collembola, Diptera and Coleoptera. Composition of insect orders is similar in each survey station except Dipteran is more abundant in station #1. In the alpine region, more than 20000 individuals were collected via sweeping net along the mountain paths. There are 4 collective transactions, i.e. the altitude between 2,500-2,900 m, between 2,900-3,100m, between 3,200-3,400m, and more than 3500 m according vegetation zone were designed. The dominant orders in the alpine area are Collembola, Homoptera and Diptera. However, the dominant insect in the subarctic region of ice valley is Homoptera and Diptera. The primary different insect composition of Homoptera in alpine area may result from the host plant of bamboo and grass.

**【Keywords】** riparian insect, alpine insect, dominant insect

## 一、前言

### (一) 研究緣起與背景

生態系昆蟲群聚之研究在國內尚少，近來本計畫主持人楊正澤及其同事伙伴，積極整理台灣之調查結果及文獻蒐集所得資料，陸續發表相關文章(楊等人，2007；楊及管，2005；胡及楊，2005a, b；楊及陳，2005；郭等人，2005)。森林生態系昆蟲群聚之生態功能及結構，一般包括初級消費食物鏈(primary consumer, Pc)、次級消費食物鏈(secondary consumer, Sc)及分解者食物鏈(decomposer, D)之主要架構。其中初級消費者為植食性(phytophagous, Ph)，依取食行為特性又可分為嚼食性、吸食性(含挫吸)、舐吮式、潛食性與蛀食性等；而次級消費者包括捕食性(predaceous, Pr)及寄生性(parasites, Pa)，此兩功能群亦可能在更高階之消費食物鏈扮演重要角色。分解者又分為植物性分解者(decomposer, De)及動物性分解者(saprophagous, Sa)。

初級消費者昆蟲(primary consumer insects)，一般泛指植食性(phytophagous)取食包括 3 個植物類群如：禾草類(herbivore)、闊葉草類(forbivore)、樹木類(arborivore)，依取食部位又可分為：A1 食葉(folivore)、A2 食種子(grainivore)、A3 食果(frugivore)、A4 食蜜(nectarivore)、A5 食花(florigivore)，包括取食花瓣、花蜜及花粉(petals, nectar and pollens)、A6 食根(rootivore)以及 A7 食木(xylovore)，取食植物木質化部份。

次級消費者昆蟲(secondary consumer insects)，肉食性(carnivore)，通常分為捕食者(predator)及寄生者(parasite)。寄生有些是以寄主為食物，或奴役寄主為其做事，或占有寄主之棲所。其寄主分為昆蟲及非昆蟲無脊椎動物，有些吸食哺乳動物血液，許多為疾病之媒介(vector)。分解者(decomposer)分為腐食性(saprophagous)，屍食性(necrophagous)及糞食性(scatothagous)，腐食性其分解的物質包括動物、植物及真菌類，有些利用無機物直接或間接影響礦化作用及礦物質之循環，如彈尾目對酚化物的影響。

高海拔地區的環境氣候變化異常明顯，本計畫另以武陵雪山地區大尺度考量，針對高海拔之昆蟲相設計相關之研究主題，希望可以釐清武陵地區高海拔地區的昆蟲季節性動態及組成改變。已有研究報告指出北歐及喜馬拉亞等古老山系高山昆蟲的特徵有特異的退化現象(Kruseman,1983；Mani, 1968)。雪山地區海拔 3,500 公尺以上之地區每年可以有 4 個月的冰封期，可以預見冰封時期的冬春季節與非冰封時期的夏秋季節的環境驟變，對昆蟲的存活及組成影響大。台灣昆蟲能否在短短 300 萬年內演化出此一高山昆蟲的特性，有待本研究的資料累積及分析；這是繼高山植物生態研究之後，以無脊椎動物為主，應探討的自然史主題。此外，台灣的昆蟲多樣性研究，除了少數近期專門針對高海拔的蜻蜓研究及無脊椎之生物組成(林斯正，2000；林等人，2006)，針對甲蟲的研究自日本據台時期至今三波的研究(連及楊，2000)之外雖有揚等人(1991，1992，1993)對太魯閣國家公園的部分高山地區進行研究，但其採及次數及時間並無法全面看出高海拔昆蟲的變動，且其甚少觸及 3,500 公尺以上之高海拔昆蟲分佈，藉由雪山地區昆蟲的定期調查，除可比對中高海拔之昆蟲組成分佈外，也可揭開高山昆蟲相成因，尤其是其適應起源的神秘面紗。

## (二) 干擾因子對昆蟲群聚的影響

地球的生命有自然的力量來操作以使之運轉，使生命過程達成各種通量循環，金恆鏞(2006)更認為自然的擾動力量是維繫地球上各層級的生命過程均有影響。依災害性干擾之定義：天然災害(natural hazard)及地理災害(geologic hazard)所指的是大範圍的地理環境、材料、過程及事件。地理災難包括：地震(earthquake)、火山爆發(volcanic eruption)、洪水(flood)、地滑(landslide)及其他過程與發生。這些也被包括在更廣義的天然災害之中，但增加一些過程和事件，如蝗災(locust infestation)、野火(wild fire)及龍捲風(tornadoe)(Durant, 1995)，另美國國家地理學會出版的「巨大災變(great disasters)」標出北美之天然災害時，另包括冰雹(hailstorm)、雪暴(winter storm)、風暴(hurricane)及海嘯(tsunamis)，在台灣地區則需加上每年的颱風(typhoon)。

在台灣地區，和資源調查結果有關的干擾，稱得上是天然災害的因子有地震、颱風、洪水及聖嬰現象。地震方面，包含 1999 年 9 月 21 日的集集大地震、2000 年 6 月 14 日的 614 地震及後續陸續發生有感芮氏六級以上地震多起。颱風會造成樹木倒折甚至枯死，土石崩落甚至植被改變；至 2002 年止，台灣 46 年來颱風總數有紀錄者共 216 次，據金恆鑣(2006)之資料，台灣百年來，每年有 3-4 個颱風過境，而近十年來對台灣影響較大的則有 1996 年 7 月 29 日的賀伯颱風、1998 年 10 月 14 日的瑞伯颱風及 2000 年 8 月 21 日的碧利斯颱風。聖嬰現象發生於 1997 年，而 1998 年則發生反聖嬰現象，近年則有暖冬現象，2005 年冷氣團則一直到十一月才南下，包括中國南方的立冬仍是綠意盎然，2006 年玉山雖然在 11 月 22 日因濕氣夠，下了第一場雪，但 11 月初合歡山的天氣仍呈現 8 月、9 月之天氣形態，歐洲的 10 月仍不見冬天景象。干擾生態之研究以台灣的颱風(typhoon)可與波多黎各的颶風(hurricane)對樹木危害的影響相提並論，比較的重點為落葉量，而落葉之主要分解者之昆蟲群聚及其功能群結構便成為環境受干擾的指標生物群。

2006 年 10 月林試所的林業研究專訊以台灣干擾生態研究為專題，網羅國內精英 18 人合輯 11 篇佳作探討干擾生態對台灣生態的影響，但對於生態系中之動物的影響探討不多，國內尚有賴勇志(2001)發表和地震影響兩棲動物相關的論文之外，其他動物尚少探討，本計劃之成果探討部份受颱風干擾之現象，可提供未來之參考，希望帶動此一領域注意到無脊椎動物，尤其如武陵濱水帶分解者昆蟲受颱風衝擊之模式。

2004 年武陵地區昆蟲調查結果可能受 2004 年 7 月 2 日七二水災及 7 月 1 日敏督利颱風及 2005 年 3 月大風雪、7 月 18 日海棠颱風及 8 月 4 日馬沙颱風等天災的干擾，因此以累積的調查資料供同期平行比較分析，2004 年 6 月及 10 月之資料和 2005 年之 6 月及 10 月比較結果初步發現，對武陵地區而言，颱風及豪雨干擾影響最大。而 2007 年的颱風一直到 11 月底仍出現，可預期對秋冬昆蟲相會有影響，此外，今年 5-6 月間常有豪雨出現，已影響到 5-6 月的樣本收

集；而雪山高海拔地區的積雪期也很長，從去年 12 月到今年 4 月初，圈谷的雪幾乎未全融過，而今年雪山的雪況則已在 11 月下旬開啟，此二天然干擾因子對於今年雪山武陵地區的昆蟲組成應會有所影響。

## 二、 材料與方法

### (一) 研究主題及其樣區範圍

共劃設 5 個測站，分別為測站 1(桃山北溪)、測站 2(桃山西溪)、測站 5(新繁殖場)、測站 8(高山溪)、測站 9(有勝溪)及測站 11(司界蘭溪)(圖 8-1)；配合水生生態系模式分析團隊之同一河段附近，樣區代碼取得一致，以便易與生態模式結合便於分析整合。

濱水帶因溪邊陡坡腹地狹小，只適合小區進行劃設，因此調適結果以 10m×10m 小樣區設定調查陷阱，各樣區含 3 個小區，每個小區設一套調查陷阱參考楊(2003a)、楊(2003b)，採集昆蟲及其他無脊椎動物記錄輸入建成資料庫供未來分析昆蟲群聚。2004 年因各測站經天災之後破壞殆盡，只有測站 5、測站 8 及測站 9 留下樣區的大部分尚稱堪用，且僅設置 1 個小區，於 2005 年 4 月起，所有測站均已完成 3 個小區的設置。資料每 2 個月調查一次，目前最新資料為 2007 年 10 月。

#### 1. 武陵地區濱水帶樣區概述

各測站因各年颱風、豪雨及洪水改變溪岸濱水帶環境故每個測站均有些微移動，但仍在各測站之範圍。各樣區因應整合團隊之需要，將統一測站代號，茲依各測站代號及名稱，環境概述如下：

##### (1) 測站 1—桃山北溪

位於桃山西溪及桃山北溪會流處，原為一平坦之沖積扇，2004 年 6 月初調查時水流豐沛和之前乾涸情形完全不同，第一小區位於匯流點西北方約 50 公尺處；面向上游，第二及第三小區皆位於溪流之右岸，近 3 號攔砂壩上方，2004 年此處水潭常積留大量落葉，有昆蟲活動其間。

此樣區之植被主為台灣赤楊—台灣二葉松群叢，而其中台灣赤楊亦為綠小灰蝶之寄主植物；但在 2004 年七二水災及敏督莉颱風之後，此地貌及植被已被天災改變，原先設置的三組小樣區被沖毀，已於 2004 年 10 月初於接近原小樣區



位置設立新的陷阱，2005 年延用至今。

#### (2) 測站 2—桃山西溪

位於桃山西溪旁，武陵吊橋下方鄰近四號攔沙壩，第一及第二小區位於溪流右岸，右岸為平坦之開闊地，灌叢植物較多，第三小區位於左岸，植物以低矮灌叢為主，坡度較陡約  $60^\circ$ ，較多喬木；而與樣站 1 相同的是三組小樣區皆因天災所造成的洪水沖毀，於 2004 年 10 月初重新設立，2005 年沿用至今。

#### (3) 測站 5—新繁殖場

位於七家灣溪中游之種源繁殖場旁，第一及第三小區位於溪流右岸，坡度約為  $45^\circ$ ，多為冬季落葉之闊葉樹林(栓皮櫟、楓香、臺灣黃杉、化香樹、米飯花等)，第二小區位於溪流左岸較平緩地內；此處雖屬七家灣溪主流，但由於其河面較寬廣，且當初陷阱的設置位置較高，所以天災對其影響不大，2005 年延用至今。

#### (4) 測站 8—高山溪

位於 1 號攔砂壩逆流而上約 100 至 150 公尺處，由於高山溪河道的改變，該樣區所有小區高出河面約 1.5 公尺；第一小區位於溪流近蛇籠之左岸開闊草地邊，樣區靠山壁設立；第二小區位於右岸，腹地較寬廣；第三小區位於左岸，腹地狹長連接陡峭山壁，由於此溪河窄流急，近岸的樣區非常容易被洪水沖毀，天災造成溪水暴漲，將此樣區的三組小樣區部份沖毀，但仍能利用所剩下的區域進行陷阱設置，2005 沿用至今。

#### (5) 測站 9—有勝溪

靠近攔砂壩，第一小區位於溪流左岸之陡岸邊，鄰近植被主要為五節芒；第二及第三小區位於上行 20 公尺處的右岸，地形為陡岸及河濱間旁，第二及第三小區周邊主要植物為蕨類及水麻，水麻為細蝶之寄主植物，而於此區之馬兜鈴內亦發現有大紅紋鳳蝶之幼蟲；此區由於非屬七家灣溪主流，所以天災所造成的影響並不大，三組小樣區的設置及使用仍正常運作，2005 年沿用至今。

#### (6) 測站 11—司界蘭溪

2007 年增加司界蘭溪測站 11 作為對照，以評估此放鮭魚放流點之生態。

## 2. 高海拔昆蟲群聚調查穿越線樣段

根據武陵地區的地形及海拔高度，將採集穿越線分為四樣段，代號及描述如下，詳細資料見圖 8-2。

- (1) 七卡：2,500 公尺至 2,900 公尺，即七卡山莊至哭坡地段之次生林區。此一  
樣段為二葉松、臺灣赤楊、高山櫟、杜鵑、芒草、箭竹等，在冬天時，  
芒草及雜草幾乎全都枯萎。
- (2) 稜線：雪山東峰 2,900 公尺至 3,000 公尺稜線之鐵杉、玉山箭竹及五節芒區。  
此一樣段尚會有一些冷杉、杜鵑、玉山英迷及巒大花楸，於林內夏秋  
之時尚有一些矮生之菊科植物及雜草。
- (3) 黑森林：3,200 至 3,400 公尺的冷杉林地段。此樣段幾乎為冷杉純林，在五  
月至十月之間山徑旁會長滿黃山蟹甲草、蕨類、菊科等低矮植物。
- (4) 圈谷：3,500 公尺以上之圈谷低矮杜鵑及圓柏灌叢區。此樣段在五月至九月  
間會長出不少矮生之雜草類植物。

為武陵地區大尺度之昆蟲調查之需要，繼 2005 年初步調查之後，繼續高海拔之穿越線樣段掃網調查昆蟲，每一樣段沿路掃網採集分別針對特定路段的箭竹、芒草(雜草)及灌木作收集，另在近圈谷的黑森林地區設置枯枝落葉採集、陷阱杯調查、腐肉陷阱及馬氏網等調查；野外標本處理方法同掃網法。

### (二) 調查方法及原理

依 2004 年之方法延續使用，每測站設樣區，每樣區分三個小樣區，小樣區內之設定採集調查方法及樣區附近掃網及枯落物採集法，分別敘述如下：

#### 1. 設定採集法(installed)

##### (1) 掉落式陷阱杯(pit-fall, PF)

地棲昆蟲如跳蟲等躍起碰到遮蓋物掉入或地面步行者，直接掉入裝有固定液(代用福馬林，neutral buffer Formalin)之 500 c.c.水杯中。一周後前往查看，將其倒入塑膠罐(直徑 7.3cm、高 7.5cm)中保存，並標明收集日期、樣區名稱與採

集方法。

## (2) 花生醬誘集器(peanut butter bait trap, PBT)

採集如灶馬及蟋蟀等直翅類昆蟲(Yang *et al.*, 1994)，而蜚蠊目及部分雙翅目均能在此調查方法中出現。

## (3) 吊網(moth trap, MOT)以及鳳梨皮(pineapple, PA)

誘集蛾類等鱗翅目及果實蠅等雙翅目昆蟲，用以採集植物性腐果分解者。

## (4) 空中馬氏網

架於河面上，誘捕河面上飛行之昆蟲，此網的上方及下方均設有一收集罐分別收掉落及上爬之昆蟲。

## (5) 水撈網

用以收集河面上及水流入袋的水蟲。

## 2. 非設定採集法(non-installed)

### (1) 掃網(sweeping net, SWP)

濱水帶之樣區，以掃網採集小樣區附近灌叢上活動的昆蟲，與捕網之製作相似，掃集之後網袋甩上方法如捕網，再將蟲子裝入 10 號夾鍊袋中，並標明採集日期、地點與採集方法。

高海拔昆蟲調查之掃網，則用沿途掃網之方式，掃取山徑兩旁兩公尺內之昆蟲，依樣段及不同植被方式收集昆蟲，樣段由海拔高不同，分別為 1. 七卡山莊往哭坡，約 2km 長；2. 哭坡以上稜線到三六九山莊，約 2km 長；3. 黑森林，約 1km 長；4. 圈谷到主峰，約 1km 長(表 8-2)。配合植被調查子計畫，以 Su(1984)之海拔高度帶、植群帶及氣候帶特性選定高海拔之穿越線樣段(圖 8-2)。網柄長度以個人身高為限，掃集高枝上棲息之昆蟲時宜加長網柄。網得之昆蟲均裝於 10 號夾鍊袋中，標記帶回實驗室進一步處理。

### (2) 枯落物收集(litters, LIT)

每一小樣區均收集一包 12 號夾鍊袋之枯落物及部份腐植土；以柏氏漏斗分離(Berlese funnel method) 植物分解者及土棲昆蟲。程序如下；

- a. 採得落葉及部份腐植土裝入採樣袋(12 號夾鏈袋)；
- b. 採得樣品編號以塑膠片(布條)奇異筆寫好標籤放入袋中(不宜以鉛筆書寫於紙條上)；
- c. 以 60 w 燈泡照射 3-5 天，為求快速可以分批經常更替並注意檢查以免起火燃燒。
- d. 收集標本浸泡於酒精中，標上標籤(以鉛筆書寫於撕不破紙)。
- e. 如無法一次處理完，分批放入漏斗照射處理(存放不宜太久，以免昆蟲死亡無法分離)。

### (三) 存證標本編號保存及蒐藏

收標本後之存證標本，依吊網(moth trap, MOT)、鳳梨皮(pineapple, PA)、掉落式陷阱杯(pit fall, PF)、花生醬誘集器(peanut butter bait trap, PBT)、掃網(sweeping net, SWP)及枯落葉物搜集(litters, LIT)等代碼寫出每一件存證標本之編碼，以便日後再比對，編碼系列：“採集日期—研究站—樣區—調查(採集方法)—形態種標號(筆數)—個體數”，未來可利用條碼系統管理以便應用。浸液標本保存在 70—75%酒精中。

### (四) 昆蟲資源調查室內工作流程

1. 分蟲→編標本碼→登錄採集資料(如採集日期、地點、方法、採集者)，詳細請參考秦等(2004)之報告。
2. 鑑定→填鑑定資料表，主以各目及形態種為分類依據。鑑定方法及參考資料參考楊正澤等(2002)，余等(1998)，楊平世等(2002)，虞及王(1999)，Hausmann and Miller (2000)，Hohuryukan (1994)，Miller (1995)，Miller and Hammond (2000)。此外，更建立各昆蟲個體之體長資料，以評估其相對之生物量。
3. 輸入資料庫以便分析。
4. 建立後設資料(meta-data)。

### 三、 結果

#### (一) 武陵地區濱水帶樣區

今年的調查已於 12 月初完成，但標本的整理僅有部份完成到 10 月的採集，其最後一次的調查未完全整理出。2007 年各測站工作進度如表 8-2，因為蟲子的處理多以陷阱杯(PF)及枯枝落葉(LIT)為主，已處理到 10 月，其餘則僅處理到 4 月。而鳳梨皮(PA)及花生醬誘集(PBT)，因過去幾年顯示，蟲量很少，已於 6 月起停用。

##### 1. 昆蟲群聚結構—目級組成

2007 年 1-10 月昆蟲各目之個體數累積結果，共計已鑑定 9076 隻，分為 19 目(表 8-3)。依表 8-3 計算昆蟲目級組成百分比，彈尾目、雙翅目及鞘翅目最高分別有 3240、2457 及 1522 隻，遠大於其他各目，其次為膜翅目及鱗翅目數量約 500 隻，其餘各目均低於 200 隻。陸域誘捕到的水蟲很少，僅毛翅目較多 28 隻。優勢的目仍以彈尾目、雙翅目、膜翅目及鞘翅目為主。

##### 2. 各測站昆蟲群聚之比較

2007 年之各測站昆蟲個體數量表列於表 8-4；各測站數量自桃山北溪 900 左右到高山溪 2500 隻之間，測站 1 及測站 2 屬七家灣溪上游，總個體數分別約為 1000 隻，測站 5 則為七家灣溪下游，總個體數的為 2300 隻。另外測站 8 和測站 9 總個體數分別為 2500 隻和 1300 隻，兩次調查的司界蘭溪則有數量 850 隻。以各測站而言，彈尾目、雙翅目及鞘翅目等常觀測到的 3 個目在各測站都有不小的數量出現(表 8-4)；較特別的是，在桃山北溪的測站 1 有高數量的雙翅目(Diptera)出現，而繁殖場的測站 5 則有高比例的彈尾目(Collembola)出現。此外，在高山溪的測站 8 則數量頗高的蝸蟬出現。

在各調查法昆蟲群聚之比較當中可知(表 8-5)測站 5(繁殖場)枯枝落葉收集物內有高比例的彈尾目出現，測站 11 司界蘭溪的吊網收集法中則有高比例的雙翅目出現。吊網(MOT)、陷阱杯(PF)及枯枝落葉(LIT)三種方法收集的蟲源較多，

但變異也不小；而花生醬(PBT)及掃網(SWP)在各測站的捕獲率則有顯著不同，鳳梨皮(PA)上的蟲數則在各測站均不多。

### 3. 濱水帶昆蟲指標群

經 2004~2006 年調查分析結果，各分類群中前四目的昆蟲為彈尾目(Collembola)、鞘翅目(Coleoptera)、雙翅目(Diptera)、膜翅目(Hymenoptera)，特將此簡稱為 CmCpDHy，2004 年其排列為 CmDHCp，2005 年及 2006 年均為 DCmCpHy，應該是較穩定的模式。2007 的資料則是 CmDCpHy(表 8-4)。而各測站之指標群昆蟲組成百分比可見指標群各目在測站 1、2 及 5(七家灣溪)變化較大，而測站 8(高山溪)及測站 9(有勝溪)則較小。顯見 CmCpDHy 之組成足以當作各測站昆蟲指標群，但排序則會受到環境影響。

### 4. 各指標昆蟲之相對生物量

在今年的昆蟲組成分析當中，於每一形態種加入體長之測量值評估其生物量，做為指標昆蟲在生態流量的相對重要性(表 8-6)。在彈尾目的特性當中，其長寬比通常為 3:1 到 5:1；雙翅目之蚊為 4:1，蠅為 2:1；鞘翅目變化較大，自瓢蟲的 1:1 到天牛的 4:1；膜翅目主要組成為姬蜂及小繭蜂其比值為 2:1 到 6:1；同翅目則為 2:1 到 3:1。在此長寬之相對比例下，將這些指標昆蟲依此比例相乘推估其相對生物量。表 8-6 顯示出各指標昆蟲依體長換算出來之相對生物量大小，資料顯示，雖然彈尾目昆蟲個體雖少，但數量頗多其相對生物量也是很可觀，在鞘翅目的個數雖不一定最多，但其相對生物量卻是最高的。

## (二) 高海拔昆蟲群聚

### 1. 高海拔各樣段之個體數變化

目前已收集到 12 月份的資料，但僅分析到 2007 年 1-10 月調查的結果，共約 21000 隻，分 16 目(表 8-7，圖 8-3)。個體數前四名依序為雙翅目(10423 隻)、同翅目(5956 隻)、膜翅目(2672 隻)、彈尾目(2374 隻)及鞘翅目(1212 隻)，海拔由低到高各樣段採得之個體數，分別如下：(1)2,500—2,900 公尺的七卡樣段的灌木則以同翅目最多，其它為雙翅目、膜翅目、彈尾目及鞘翅目等；(2)雪山東

峰 2,900 公尺至 3,000 公尺稜線則以雙翅目最多，其次為同翅目、彈尾目及膜翅目；(3)3,200 公尺至 3,400 公尺的冷杉林地段的則以雙翅目遠多於其他目，其次為同翅目、鞘翅目及膜翅目；(4)3,500 公尺以上的圈谷仍以雙翅目最多，其次為同翅目，其餘各目之數量則少很多(表 8-8，圖 8-4)。

## 2. 高海拔各樣段之昆蟲組成

2007 年的資料顯示，七卡樣段的灌木、芒草及箭竹上分別有較多的雙翅目、同翅目、膜翅目及彈尾目，但以箭竹上的同翅目最為突顯，2058 隻遠高於其他各目(均小於 1000 隻)(表 8-9，圖 8-5)。雪山東峰稜線區段的灌木、芒草及箭竹的昆蟲組成，有其特異之處(表 8-10，圖 8-6)，其中，雙翅目在這三類植物上均有很高比例的組成，在芒草及箭竹上則發現大量到同翅目及彈尾目的昆蟲，其餘各目則在芒草上的組成較低。在黑森林及圈谷樣段，無論是灌木或箭竹，均以雙翅目最高，其次為同翅目，其餘各目數量均少很多(表 8-11，表 8-12，圖 8-7，圖 8-8)在不同海拔的箭竹也顯示出不同的昆蟲組成(表 8-13，圖 8-9)，在稜線的箭竹中以彈尾目、同翅目及雙翅目數量相當居前 3 位；黑森林內的箭竹則是以雙翅目(1164 隻)遠高於其它各目(少於 200 隻)，在不同海拔的芒草也顯示出不同的昆蟲組成(表 8-12)在七卡樣段雙翅目最多，而稜線樣段則為彈尾目及同翅目最多，兩者相當(表 8-14，圖 8-10)。在不同樣段的灌木上也是(表 8-15，圖 8-11)前五個目的組成大多是雙翅目、彈尾目、同翅目、膜翅目及鞘翅目；稜線、黑森林及圈谷灌木上有高比例的雙翅目，尤其是圈股上的灌木。

## 3. 高特異性昆蟲之分析

在高海拔樣段當中，經常發現有特定季節大量特定昆蟲出現的顯示。包括 3-6 月間的馬醉木木蝨(七卡至哭坡樣段)，經常使馬醉木出現為黴煙病；3-5 月的赤楊金花蟲(七卡至哭坡樣段)，會將整棵赤楊葉啃光，幼蟲掉落滿地；雲杉球蚜(七卡至哭坡樣段)，從 4 月到 10 月間會形成類似毬果的蟲癭，每個毬果的癭室可達 300 個，每室含 1-5 隻不等的若蚜，多在 10 月後變成成蚜飛出尋找第二寄主；在稜線樣段的代表則算是 7-9 月間的永澤氏蛇目蝶，11 月間箭竹上大量的嚙蟲；

特別的是園谷這邊 7-10 月的玉山小蠶及圓柏上有密密麻麻的圓柏木蠹，它們對杜鵑似乎未感興趣，園谷這邊有另一類杜鵑蚜蟲在 11 月前後吸食杜鵑汁液。這些特定時間大量出現的昆蟲均有待標本處理後做進一步的數據分析。

### **(三) 水撈網及空中馬氏網之昆蟲組成**

今年新增水撈網之初步調查結果顯示(表 8-16)，可以捕獲濱岸不容易捕獲的水蟲，顯示此調查方法確可用於明年水蟲及陸生昆蟲之比對分析。

空中馬式網的結果也顯示，可以同時捕獲陸生及水生之昆蟲(表 8-17)，同樣顯示此調查方法也可用於明年水蟲及陸生昆蟲之比對分析。



## 四、討論

### (一) 武陵地區濱水帶樣區

#### 1. 昆蟲群聚結構—目級組成

濱水帶之待分解掉落物資源較多、水分充足、地表潮濕，分解者適存。因此由表 8-18 資料可知，雙翅目及彈尾目的數量遠大於其他各目，其次則為鞘翅目及膜翅目，2007 年的資料也顯示出此一特性(表 8-4)，樣區附近穩定的森林，可能是土壤昆蟲優勢群的彈尾目最多的原因。而雙翅目的數量最多，原因除了附近的果園栽培區之外，偏好潮濕環境的蚋可能也是重要原因。值得注意的是司界蘭溪雖然其監測僅執行兩次，但其昆蟲組成與七家灣溪各測站差異並不大。

#### 2. 各測站昆蟲群聚之比較

各目昆蟲之中，個體數最多的是雙翅目，是因大量的果蠅及蕈蚋等小型昆蟲數量多所造成，2007 年各月已調查之昆蟲雖然尚未鑑定至科，但初步發現果蠅類可能是主要組成。至於水生昆蟲中成蟲為陸生的，除毛翅目外，蜉蝣目及積翅目則少有記錄，主要可能與調查方法有關。各測站的昆蟲也顯示出一些共同的趨勢，彈尾目、雙翅目及膜翅目數量均較多，但鞘翅目則並非每一測站均有大量出現，此可能與各測站的林相組成有關係。各目昆蟲在各測站的組成結構應可加以比較應用提供生態干擾監測之指標。

#### 3. 濱水帶與高海拔昆蟲指標群

指標群昆蟲以優勢之前四名在濱水帶為 CmDCpHy，雖然在各測站順序有差但基本上均為此四個目。但在高海拔 2,500-3,800m 之間各樣區調查結果雖只用掃網採集，然而其優勢四個目昆蟲則是 DHmHyCm，其中 Hm 則是同翅目(Homoptera)，此二地區差異最大處為同翅目，原因應該是高海拔地區箭竹及芒草等寄主植物的關係，所以目前採用這些指標群應可應用於武陵地區之昆蟲群聚監測。

## 五、 結論

### (一) 武陵地區濱水帶樣區

經 2004~2006 年調查分析結果，各分類群中前四目的昆蟲為彈尾目 (Collembola)、鞘翅目 (Coleoptera)、雙翅目 (Diptera)、膜翅目 (Hymenoptera)，特將此簡稱為 CmCpDHy，2004 年其排列為 CmDHCp，2005 年及 2006 年均為 DCmCpHy，應該是較穩定的模式。2007 的資料則是 CmDCpHy(表 8-4)。而各測站之指標群昆蟲組成此四目昆蟲的排序則會受到環境影響。

各指標昆蟲依體長換算出來之相對生物量大小顯示，雖然彈尾目昆蟲個體雖少，但數量頗多其相對生物量也是很可觀，在鞘翅目的個數雖不一定最多，但其相對生物量卻是最高的。

### (二) 大尺度之高海拔地區昆蟲之樣段調查

在颱風及豪雨影響的濱水帶遭到洪流衝擊時，高海拔地區卻是優勢的雙翅目、同翅目及膜翅目昆蟲數量最多的時段。顯示出高海拔地區昆蟲的存活能力受颱風豪雨影響不大，有可能是高海拔的環境原已夠嚴苛，而同翅目有較大的組成，可能與玉山箭竹及五節芒發芽生長有關。

此外，再各樣段的灌木、芒草及箭竹上分別有較多的雙翅目及同翅目，但以箭竹上的同翅目最為突顯，遠高於其他各目。

## 六、參考文獻

- 于丹 1995 激流植物群落生態學研究。水生生物學報 19(1): 31-39。
- 王成、徐化成、鄭均寶 1999 河谷土地利用格局與洪水干擾的關係。地理研究 18(3): 327-335。
- 王忠魁 1974 臺灣高山草原之由來及演進亞極群落之商榷。生物與環境專題研討會講稿集。中央研究院刊印。16 頁。
- 王敏昭 2003 七家灣溪沿岸土地各利用型態對溪流生態影響之研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處。苗栗縣。
- 余清金、小林裕和、朱耀沂 1998 木生昆蟲博物館叢書《台灣生物圖鑑 2》植食性金龜。木生昆蟲有限公司。台北市。263 頁。
- 呂金誠 1999 武陵地區雪山主峰線植群調查與植栽應用之研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處研究報告。
- 呂金誠 2002 雪山東峰火燒後玉山箭竹開花之研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處九十一年度研究報告。27 頁。
- 邱清安、林永發 2003 雪霸國家公園氣候環境之研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處。苗栗縣。
- 林幸助 2002 武陵地區生態系監測與模式建構規劃。內政部營建署雪霸國家公園管理處，苗栗縣。
- 林幸助、楊小慧 2001 水域生態系模式的建構。中華藻類學會簡訊 5(2): 1-6。
- 封福記、楊海軍、于智勇 2004 受損河岸生態系統近自然修復實驗的初步研究。東北師大學報自然科學版 36(1): 101-106。
- 胡俊毓 2001 關刀溪森林生態系華南鼬(*Mustela sibirica*)與長尾麝鼯(*Crocidura kurodai*)食餌昆蟲之碎片分析。國立中大學昆蟲學系碩士論文。94 頁。台中。
- 胡峻毓、楊正澤 2005a 美食天地—食餌、食蟲者與昆蟲(一)。農業世界雜誌 260: 60-66。

- 胡峻毓、楊正澤 2005b 美食天地—食餌、食蟲者與昆蟲(二)。農業世界雜誌 261: 71-75。
- 郭仕強 2002 台灣東部水璉海岸林生態系節肢動物群聚之探討。國立中興大學昆蟲系碩士論文。84 頁。台中。
- 郭仕強、楊正澤、陳明義 2005 東台灣水璉海岸林生態系節肢動物群聚之探討。植物保護學學會會刊 47(4): 319-335。
- 郭城孟 1995 七家灣溪潛在植被之研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處。臺中縣。45 頁。
- 袁孝維、李瑞宗 2000 武陵、觀霧地區步道沿線野生動物資源調查。10-13 pp。櫻花鉤吻鮭保育研究研討會論文集。特有生物研究保育中心、雪霸國家公園管理處。312 頁。
- 秦思源 楊正澤 陳明義 2004 臺灣中部荒廢農地昆蟲群聚與植物防疫。台灣昆蟲特刊 6: 293-305。
- 張光富 2000 浙江天童山區灌叢群落的物種多樣性及其與演替的關係。生物多樣性 8(3): 271-276。
- 張琪如 2004 河岸土地使用與植生緩衝帶特性對水質影響之研究—以七家灣溪濱水區為例。中國文化大學景觀學系碩士論文。
- 莊俊逸、袁孝維、王亞男、吳星輝 2005 塔塔加地區土壤動物動態變化之初步研究。中華林學季刊 38(1): 19-35。
- 連裕益、楊平世 2000 台灣高山甲蟲之研究與展望。高山生態多樣性研討會。97-126 頁。太魯閣國家公園管理處。
- 陳玉峰 2002 塔塔加遊憩區及鄰近地區高地草原及其植群之變遷。國立臺灣博物館年刊 45: 35-82。
- 黃乙玉 2001 亞熱帶森林源頭溪流哈盆溪食物網之研究—穩定碳氮同位素分析之應用。國立臺灣大學動物學研究所碩士論文。
- 葉昭憲 2002 七家灣溪河床棲地改善之試驗研究(六)。內政部營建署雪霸國家公

- 園管理處。苗栗縣。
- 夏繼紅、嚴忠民 2004 生態河岸帶研究進展與發展趨勢。河海大學學報 32(3): 252-255。
- 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。48 頁。
- 楊平世、范義彬、蕭祺暉 2002 台灣森林常見害蟲彩色圖鑑 2。行政院農業委員會林務局出版。238 頁。台北市。
- 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。櫻花鉤吻鮭研究保育研討會論文集。151-177 頁。農委會、特生中心、營建署及雪霸公園管理處編印。
- 楊正澤 2000 瑞岩溪野生動物重要棲息環境昆蟲相調查—森林下層永久樣區昆蟲調查及林道樣段。行政院農業委員會林務局保育研究系列-89-04 號。62 頁。
- 楊正澤 2003a 森林昆蟲群聚生態功能多樣性分析—以科級分類群為基礎。35-58 頁。「第四次野生動物研究與調查方法」研討會論文集。2003 年 11 月 07 日。台北。野生動物保護基金會編。104 頁。
- 楊正澤 2003b 香港大嶼山昆蟲相調查初報。61-79 頁。「第三次香港野生動植物現況與保育研討會—大嶼山離島的資料更新與生態保育」論文集。2003 年 12 月 19 日。香港。野生動物保護基金會編。127 頁。
- 楊正澤、陳明義 2005 森林服務業—生態系、功能與昆蟲。農業世界雜誌 263: 74-82。
- 楊正澤、管力慶 2005 花花世界—顯花植物嗜花者與昆蟲。農業世界雜誌 259: 72-84。
- 楊正澤、陳明義、陳瑩娟、羅華娟 2005 老樹共和國—老樹、著生植物與昆蟲。農業世界雜誌 257: 74-86。
- 楊嘉文 1996 七家灣溪濱水區植生緩衝帶寬度之研究。國立中興大學水土保持學系碩士論文。

- 蔡尚惠、呂金誠 2004 生物歧異度分析系統，第一版。志祥科技股份有限公司，雲林縣。
- 蔡慶華、唐濤、鄭紅兵 2003 淡水生態系統服務及其評價指標體系的探討。應用生態學報 14(1): 135-138。
- 虞國躍、王效岳 1999 台灣瓢蟲彩色圖鑑。石佩妮出版。231 頁。
- 劉恒鍵 2002 台灣地區津田氏大頭竹節蟲(Megacrania tsudi Shiraki)(竹節蟲目：竹節蟲科)之空間分布、野外生活史及取食行為特性調查。36 頁。
- 歐辰雄 2000 武陵、觀霧、雪見地區植群調查研究。38-41 頁。櫻花鉤吻鮭保育研究研討會論文集。特有生物研究保育中心、雪霸國家公園管理處。312 頁。
- 鄭紅兵、肖寶英、代力民、王慶禮、王紹先 2002 溪流粗木質殘體的生態學研究進展。生態學報 22(1): 87-93。
- 賴勇志 2001 地震前後斯文豪氏赤蛙族群動態之研究。彰化師範大學生物學系碩士論文。
- Hausmann, A. and Miller M. A. 2000. Atlas der Raupen. 95pp.
- Hohuryukan. 1994. Illustrated Insectorum in Colour I. 303pp. Tokyo, Japan.
- Holbrook, S. J., Carr, M. H. and Osenberg, C. W. 2003. Species-level identification of infaunal samples and the relationship between taxonomic aggregation and the Before-After/Control-impact Paired Series assessment design. Coastal Research Center, California. Pp. 1-34.
- Lamb, E.G., Mallik, A. U. and Mackereth, R. W.. 2003. The early impact of adjacent clearcutting and forest fire on riparian zone vegetation in northwestern Ontario. For. Ecol. Manage. 210: 443-454.
- McAlpine, J. F., Peterson, B. V., Shewel, G. E., Teskey, H. J., Vovkeroth, J. R. and Wood, D. M. 1981. Manual of Nearctic Diptera Volume 1. Pp.1-669. Canadian Government Publishing Centre.
- McAlpine, J. F., Peterson, B. V., Shewel, G. E., Teskey, H. J., Vovkeroth, J. R.

- and Wood, D. M. 1981. Manual of Nearctic Diptera Volume 2. Pp.675-1332.  
Canadian Government Publishing Centre.
- Miller, J. C. 1995 Caterpillars of Pacific Northwest Forest and Woodlands.  
80pp.
- Miller, J. C. and Hammond, P. C. 2000. Macromoths of Northwest Forest and  
Woodlands. 133pp.
- Petranka, J. W. and Smith. C. K. 2005. A functional analysis of streamside  
habitat use by southern Appalachian salamanders: Implications for riparian  
forest management. For. Ecol. Manage. 210: 443-454.
- White, R. E. 1983. A field guide to the beetles of north America. Houghton  
Mifflin Companys, Boston, New York. 368 pp.
- Yang, J. T., Chao, J. T. and Liu, W. Y. 1994. Collecting crickets (Orthoptera:  
Gryllidae) by using peanut butter bait traps. J. Orthoptera Research 3:  
87-89.

表 8-1. 依 Su(1984)之高度帶、植群帶及氣候帶之分布特性選定武陵地區昆蟲群聚調查樣區

昆蟲調查樣區	Altitude zone 高度帶	Vegetation zone 植群帶	Alt.(m) 海拔高度	Tm(°C) 年均溫	Equivalent Climate 相當氣候帶
圈谷	Alpine 高山帶	Alpine vegetation 高山植群帶	>3500	<5°C	Subarctic 亞寒帶
黑森林	Subalpine 亞高山帶	Abies zone 冷杉林帶	3,200-3,400	5-8°C	Cold-temperate 冷溫帶
東峰稜線	Upper montane 山地上層帶	Tsuga-Picea zone 鐵杉冷杉林帶	2,900-3,100	8-11°C	Cool-temperate 涼溫帶
七卡山莊	Montane	Quercus (upper) zone 櫟林帶(上層)	2,500-2,900	11-14°C	Temperate 溫帶
七家灣溪 (中尺度)	山地帶	Quercus (lower) zone 櫟林帶(下層)	1,500-2,000	14-17°C	Warm-temperate 暖溫帶



表 8-2. 武陵地區濱岸昆蟲調查 96 年各樣區室內工作進度紀錄表

陷阱別	MOT					PA					PF					SWP					PBT					LIT										
	2月	4月	6月	8月	10月	12月	2月	4月	6月	8月	10月	12月	2月	4月	6月	8月	10月	12月	2月	4月	6月	8月	10月	12月	2月	4月	6月	8月	10月	12月	2月	4月	6月	8月	10月	12月
樣區 \ 處理																																				
#1	e	e	b	b	b	b	e	e	b	b	b	b	e	e	b	b	b	b	e	e	a	b	b	b	e	e	b	b	b	b	e	e	e	e	b	b
#2	e	e	a	d	d		e	d	a	b	b	b	e	e	e	e	d		e	e	a	d	d		e	e	a	b	b	b	e	e	e	e	b	b
#5	e	e	b	d	d		e	e	b	b	b	b	e	e	e	e	e		e	e	b	d	d		e	e	b	b	b	b	e	e	e	e	b	b
#8	e	e	a	d	d		e	e	a	b	b	b	e	e	e	e	e		e	e	a	d	d		e	e	a	b	b	b	e	e	e	e	b	b
#9	e	e	a	d	d		e	e	a	b	b	b	e	e	e	e	e		e	e	a	d	d		e	e	a	b	b	b	e	e	e	e	b	b
#10			b						b												a						b						e			
#11	e	e	a				e	e	a				e	e	e	e	e		e	e	a				e	e	a				e	e	e	a		
	e	e	b				e	e	b				e	e	e	e	e		e	e	a				e	e	a				e	e	e	a		

樣品收集 (a: 有, b: 無); 挑至酒精保存 (c: 完成); 分目 (d: 處理中, e: 完成)

表 8-3. 2007 年武陵地區濱水帶各調查時間昆蟲及其他無脊椎動物調查結果(個體數)

		個 體 數				
目/中名	目/學名	2 月	4 月	6 月	8 月	10 月
雙尾目	Diplura	0	0	0	0	0
彈尾目	Collembola	757	1309	355	416	328
總尾目	Thysanura	0	0	0	0	0
蜚蠊目	Blattaria	5	5	0	2	7
革翅目	Dermaptera	6	16	1	0	0
嚙目	Psocoptera	9	81	37	9	10
纓翅目	Thysanoptera	20	47	17	28	65
等翅目	Isoptera	4	0	0	0	0
雙翅目	Diptera	665	1497	151	56	83
同翅目	Homoptera	47	180	37	15	8
直翅目	Orthoptera	4	11	0	5	5
竹節蟲目	Phasmida	0	0	0	0	0
禿翅目	Plecoptera	0	0	0	0	0
毛翅目	Trichoptera	1	14	4	1	6
鱗翅目	Lepidoptera	105	155	51	17	76
鞘翅目	Coleoptera	115	804	269	79	159
脈翅目	Neuroptera	1	0	2	2	0
長翅目	Mecoptera	0	0	0	0	0
蚤目	Siphonaptera	0	0	2	0	0
膜翅目	Hymenoptera	149	104	180	46	88
半翅目	Hemiptera	139	50	14	4	9
蜉蝣目	Ephemeroptera	0	0	0	0	0
unknow	unknow	20	13	3	9	3
馬陸		6	0	1	0	3
等足目	Isopoda	4	0	0	0	0
蛞蝓		2	2	0	0	0
蜈蚣目	Scolopendromorpha	1	2	0	0	4
蜘蛛目	Araneae	147	219	59	15	54
擬蝎目	Pseudoscorpiones	1	1	5	2	7
蟎蟬目	Acari	324	548	484	165	772
其他		27	144	56	41	60
總計		2559	5202	1728	912	1747

表 8-4. 2007 年武陵地區濱水帶各測站昆蟲調查結果(個體數)

目/中名	目/學名	測站 1	測站 2	測站 5	測站 8	測站 9	測站 11	總量
雙尾目	Diplura	0	1	0	0	0	0	1
彈尾目	Collembola	79	320	1306	988	233	314	3240
總尾目	Thysanura	0	0	0	0	0	0	
蜚蠊目	Blattaria	5	1	10	3	0	0	19
革翅目	Dermaptera	12	1	7	1	1	1	23
嚙目	Psocoptera	4	18	26	67	5	28	148
纓翅目	Thysanoptera	22	7	30	41	75	2	177
等翅目	Isoptera	2	2	0	0	0	0	4
雙翅目	Diptera	705	308	529	409	224	282	2457
同翅目	Homoptera	19	29	20	180	38	2	288
直翅目	Orthoptera	6	5	3	9	2	0	25
竹節蟲目	Phasmida	0	0	0	0	0	0	
襍翅目	Plecoptera	0	0	3	0	0	0	3
毛翅目	Trichoptera	1	1	1	19	3	1	26
鱗翅目	Lepidoptera	63	27	70	166	47	31	404
鞘翅目	Coleoptera	106	134	265	510	371	136	1522
脈翅目	Neuroptera	0	1	0	1	3	0	5
長翅目	Mecoptera	0	0	0	0	0	0	
蚤目	Siphonaptera	0	1	0	0	1	0	2
膜翅目	Hymenoptera	53	90	119	127	58	19	466
半翅目	Hemiptera	12	6	63	59	37	39	216
蜉蝣目	Ephemeroptera	0	0	2	0	0	0	2
unknow	unknow	3	4	5	8	23	5	48
蜘蛛目	Araneae	94	94	70	95	108	35	496
蟎蟬目	Acari	112	205	663	929	259	111	2279
等足目	Isopoda	1	3	0	0	0	0	4
擬蝎目	Pseudoscorpiones	0	2	12	0	2	0	16
蜈蚣目	Scolopendromorpha	2	5	1	0	0	0	8
其他		18	26	34	100	149	4	331

表 8-5. 2007 年武陵地區濱水帶各測站採集法的昆蟲數量

測站	調查法	MOT	PA	PF	SWP	PBT	LIT
測站 1	桃山西溪	675	24	158	46	65	351
測站 2	桃山北溪	218	9	384	74	59	556
測站 5	繁殖場	526	253	1273	239	38	926
測站 8	高山溪	509	40	1087	120	91	1960
測站 9	有勝溪	66	55	313	62	56	1275
測站 11	司界蘭溪	261	3	288	6	6	327
總 計		2255	384	3503	547	315	5395

表 8-6 昆蟲體型大小與其相對體長及寬相對生物量之換算

	體長範圍(cm)	體寬/體長 比例	相對生物量*
彈尾目	0.01~1.2	1/5~1/3	211.73~349.35
雙翅目	0.01~1.9	1/4~1/2	262.67~525.34
鞘翅目	0.0375~4	1/4~1/1	159.65~638.58
同翅目	0.02~0.7	1/3~1/2	17.48~26.48
膜翅目	0.03~3.1	1/6~1/2	42.89~126.14

\*相對生物量係由【各目各個體的體長×(體寬/體長 比例)]之總和而來。

表 8-7. 2007 年高海拔 4 樣段  
總和昆蟲調查結果(個體數)

目名	個體數
Diptera	10423
Homoptera	5956
Hymenoptera	2672
Collembola	2374
Coleoptera	1212
Thysanoptera	598
Lepidoptera	268
Psocoptera	248
Trichoptera	93
Hemiptera	85
Orthoptera	48
Dermaptera	10
Blattaria	4
Isoptera	4
Neuroptera	4
Phasmida	1
Acari	7126
Araneae	1439
snail	3
馬陸	1
Scolopendromorpha	1

表 8-8. 2007 年高海拔 4 樣段昆蟲組成

	七卡	稜線	黑森林	圈谷
Diptera	1899	1638	1882	4530
Homoptera	3286	1334	288	1483
Hymenoptera	1449	632	255	202
Collembola	721	1350	80	115
Coleoptera	419	148	198	235
Thysanoptera	312	235	16	42
Lepidoptera	123	41	70	6
Psocoptera	38	71	123	13
Trichoptera	10	5	7	10
Hemiptera	73	2	4	6
Orthoptera	11	20	0	13
Dermaptera	1	1	2	2
Blattaria	1	1	0	0
Isoptera	3	0	0	0
Neuroptera	0	0	4	0
Phasmida	1	0	0	0
Acari	3362	3248	355	28
Araneae	704	369	235	62
snail	0	3	0	0
馬陸	0	0	1	0
Scolopendromorpha	1	0	0	0

表 8-9. 2007 年七卡段各植被昆蟲組成(個體數)

目名	七卡-灌木	七卡-芒草	七卡-箭竹
Diptera	923	689	287
Homoptera	943	285	2058
Hymenoptera	789	470	190
Collembola	144	395	182
Coleoptera	253	147	19
Thysanoptera	108	130	74
Lepidoptera	84	30	9
Psocoptera	23	7	8
Trichoptera	7	2	1
Hemiptera	31	6	36
Orthoptera	5	3	3
Dermaptera	0	0	1
Blattaria	1	0	0
Isoptera	3	0	0
Phasmida	0	1	0
Acari	1356	1152	854
Araneae	393	244	67

表 8-10. 2007 年稜線段各植被昆蟲組成(個體數)

目名	稜線-灌木	稜線-芒草	稜線-箭竹
Diptera	641	579	418
Homoptera	114	749	471
Hymenoptera	189	268	175
Collembola	85	820	445
Coleoptera	60	28	60
Thysanoptera	49	42	144
Lepidoptera	8	24	9
Psocoptera	11	38	22
Trichoptera	1	2	2
Hemiptera	0	1	1
Orthoptera	0	19	1
Dermaptera	0	0	1
Blattaria	0	1	0
Acari	1485	20	1743
Araneae	123	195	51
snail	0	0	3

表 8-11. 2007 年黑森林段各植被昆蟲組成(個體數)

目名	黑森林-灌木	黑森林-箭竹
Diptera	718	1164
Homoptera	95	193
Hymenoptera	53	202
Collembola	15	65
Coleoptera	70	128
Thysanoptera	4	12
Lepidoptera	18	52
Psocoptera	10	113
Trichoptera	4	3
Hemiptera	0	4
Dermaptera	1	1
Neuroptera	0	4
Acari	161	194
Araneae	83	152
馬陸	1	0

表 8-12. 2007 年圈谷段各植被昆蟲組成(個體數)

目名	圈谷-灌木	圈谷-雜草
Diptera	3857	673
Homoptera	1081	402
Hymenoptera	132	70
Collembola	113	2
Coleoptera	86	149
Thysanoptera	5	37
Lepidoptera	3	3
Psocoptera	11	2
Trichoptera	7	3
Hemiptera	2	4
Orthoptera	3	10
Dermaptera	2	0
Acari	5	23
Araneae	37	25



表 8-13. 2007 年高海拔 4 樣段箭竹昆蟲組成(個體數)

目名	七卡-箭竹	稜線-箭竹	黑森林-箭竹
Diptera	287	418	1164
Homoptera	2058	471	193
Hymenoptera	190	175	202
Collembola	182	445	65
Coleoptera	19	60	128
Thysanoptera	74	144	12
Lepidoptera	9	9	52
Psocoptera	8	22	113
Trichoptera	1	2	3
Hemiptera	36	1	4
Orthoptera	3	1	0
Dermaptera	1	1	1
Neuroptera	0	0	4
Acari	854	1743	194
Araneae	67	51	152
snail	0	3	0

表 8-14. 2007 年高海拔 4 樣段芒草昆蟲組成(個體數)

目名	七卡-芒草	稜線-芒草
Diptera	689	579
Homoptera	285	749
Hymenoptera	470	268
Collembola	395	820
Coleoptera	147	28
Thysanoptera	130	42
Lepidoptera	30	24
Psocoptera	7	38
Trichoptera	2	2
Hemiptera	6	1
Orthoptera	3	19
Blattaria	0	1
Phasmida	1	0
Acari	1152	20
Araneae	244	195
Scolopendromorpha	1	0

表 8-15. 2007 年高海拔 4 樣段灌木昆蟲組成(個體數)

目名	七卡-灌木	稜線-灌木	黑森林-灌木	圈谷-灌木
Diptera	923	641	718	3857
Homoptera	943	114	95	1081
Hymenoptera	789	189	53	132
Collembola	144	85	15	113
Coleoptera	253	60	70	86
Thysanoptera	108	49	4	5
Lepidoptera	84	8	18	3
Psocoptera	23	11	10	11
Trichoptera	7	1	4	7
Hemiptera	31	0	0	2
Orthoptera	5	0	0	3
Dermaptera	0	0	1	2
Blattaria	1	0	0	0
Isoptera	3	0	0	0
Acari	1356	1485	161	5
Araneae	393	123	83	37
馬陸	0	0	1	0

表 8-16 2007 年 9 月 29~30 水撈網採集調查結果

	有勝溪	高山溪	總數
積翅目 Plecoptera	1	3	4
雙翅目 Diptera	1	0	1
蜻蛉目 Odonata	0	1	1
膜翅目	0	1	1
Hymenoptera	0	1	1
鞘翅目 Coleoptera	0	1	1
蜘蛛目 Araneae	0	1	1
蛻	2	9	11
Unknown	2	0	2
總數	6	16	22

表 8-17. 2007 年武陵地區濱水帶空中馬式網調查結果(個體數)

		繁殖場高空馬氏網			
		上游		下游	
目/中名	目/學名	上層容器	下層容器	上層容器	下層容器
彈尾目	Collembola	0	0	0	0
蜚蠊目	Blattaria	0	0	0	0
革翅目	Dermaptera	0	0	0	0
嚙目	Psocoptera	0	0	0	0
纓翅目	Thysanoptera	1	0	0	1
等翅目	Isoptera	0	0	0	0
雙翅目	Diptera	18	12	15	2
同翅目	Homoptera	2	0	5	2
直翅目	Orthoptera	0	0	0	0
竹節蟲目	Phasmida	0	0	0	0
積翅目	Plecoptera	3	0	0	0
毛翅目	Trichoptera	2	0	2	0
鱗翅目	Lepidoptera	3	0	0	0
鞘翅目	Coleoptera	2	2	1	2
脈翅目	Neuropetra	0	0	0	0
長翅目	Mecopetra	0	0	0	0
蚤目	Siphonaptera	0	0	0	0
膜翅目	Hymenoptera	5	5	1	0
半翅目	Hemiptera	0	0	0	0
蜉蝣目	Ephemeroptera	0	0	0	0
unknow	unknow	0	0	0	0
等足目	Isopota	0	0	0	0
蜘蛛目	Araneae	0	1	0	0
蟎蟬目	Acari	0	0	0	0
其他		0	0	0	1
總計		36	20	24	8

表 8-18. 2004 年至 2007 年武陵地區濱水帶昆蟲調查結果(個體數)

目/中名	目/學名	個 體 數				Total
		2004	2005	2006	2007	
雙尾目	Diplura	0	2	0	1	3
彈尾目	Collembola	1982	21236	10247	3240	36705
總尾目	Thysanura	0	11	2		13
蜚蠊目	Blattaria	26	28	25	19	98
革翅目	Dermaptera	6	81	51	23	161
嚙目	Psocoptera	4	750	553	148	1455
纓翅目	Thysanoptera	12	873	692	177	1754
等翅目	Isoptera	1	0	0	4	5
雙翅目	Diptera	1533	60837	29293	2457	94120
同翅目	Homoptera	200	683	371	288	1542
直翅目	Orthoptera	26	50	81	25	182
竹節蟲目	Phasmida	0	1	0		1
禿翅目	Plecoptera	5	8	3	3	19
毛翅目	Trichoptera	4	14	9	26	53
鱗翅目	Lepidoptera	47	713	653	404	1817
鞘翅目	Coleoptera	1484	5666	2881	1522	11553
脈翅目	Neuroptera	3	37	13	5	58
長翅目	Mecoptera	0	0	3		3
蚤目	Siphonaptera	0	0	7	2	9
膜翅目	Hymenoptera	777	3162	1192	466	5597
半翅目	Hemiptera	76	436	284	216	1012
蜉蝣目	Ephemeroptera	2	1	0	2	5
unknow	unknow	57	2341	868	48	3314
總計		6245	96930	47228	9076	159479

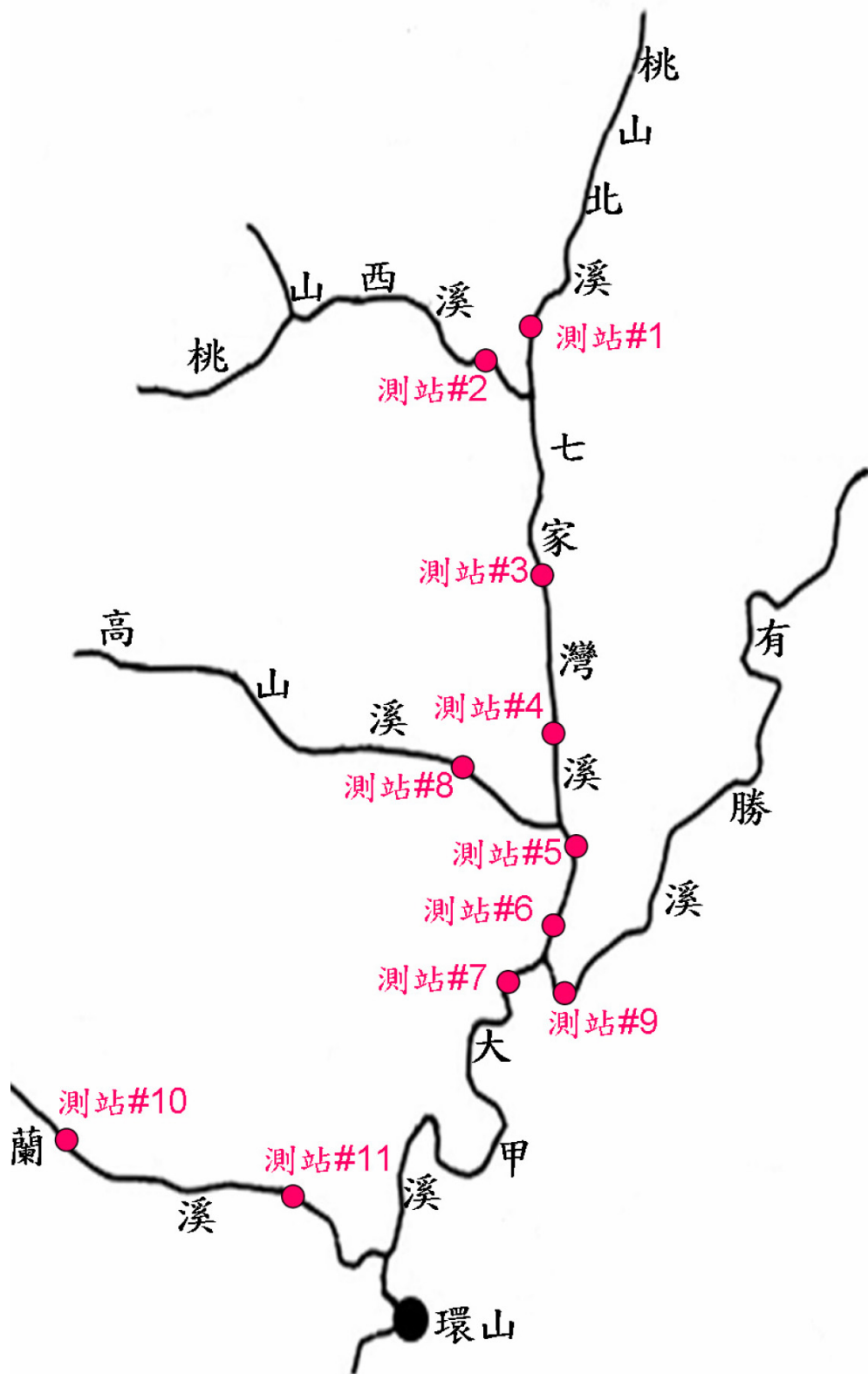


圖 8-1. 武陵地區濱水帶昆蟲調查測站位置圖。



圖 8-2. 武陵地區高海拔地區昆蟲調查樣段位置圖。

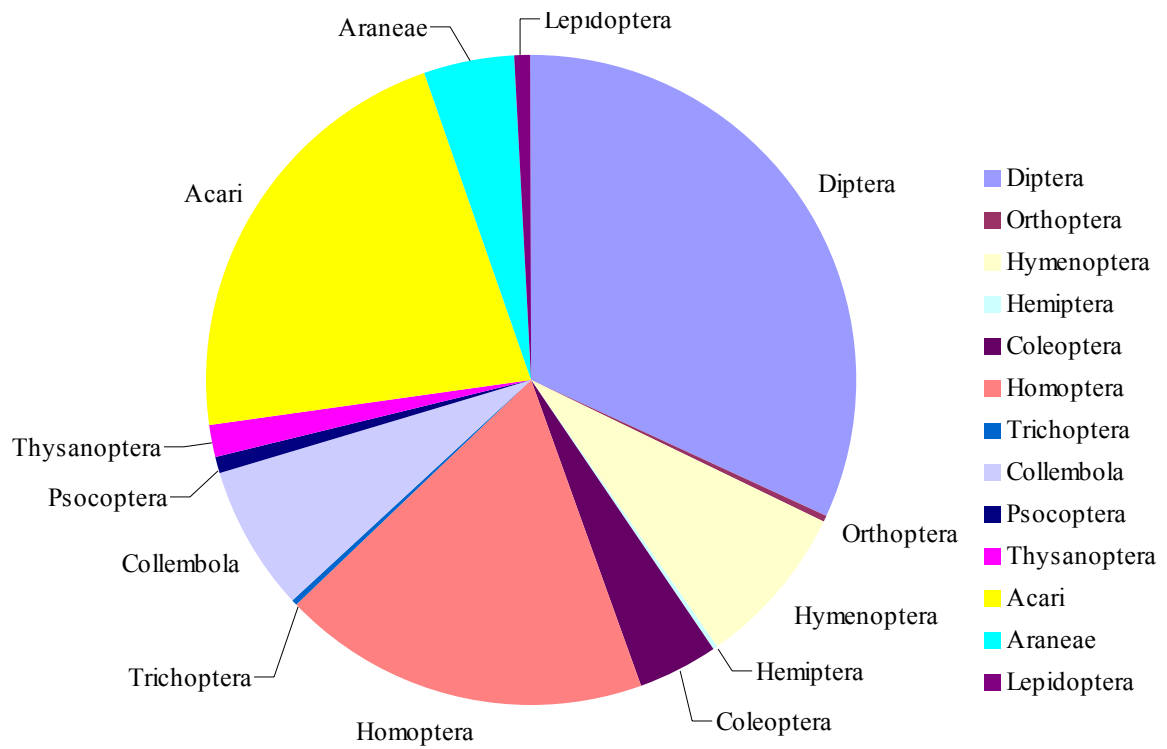


圖 8-3. 2007 年高海拔 4 樣段昆蟲組成。

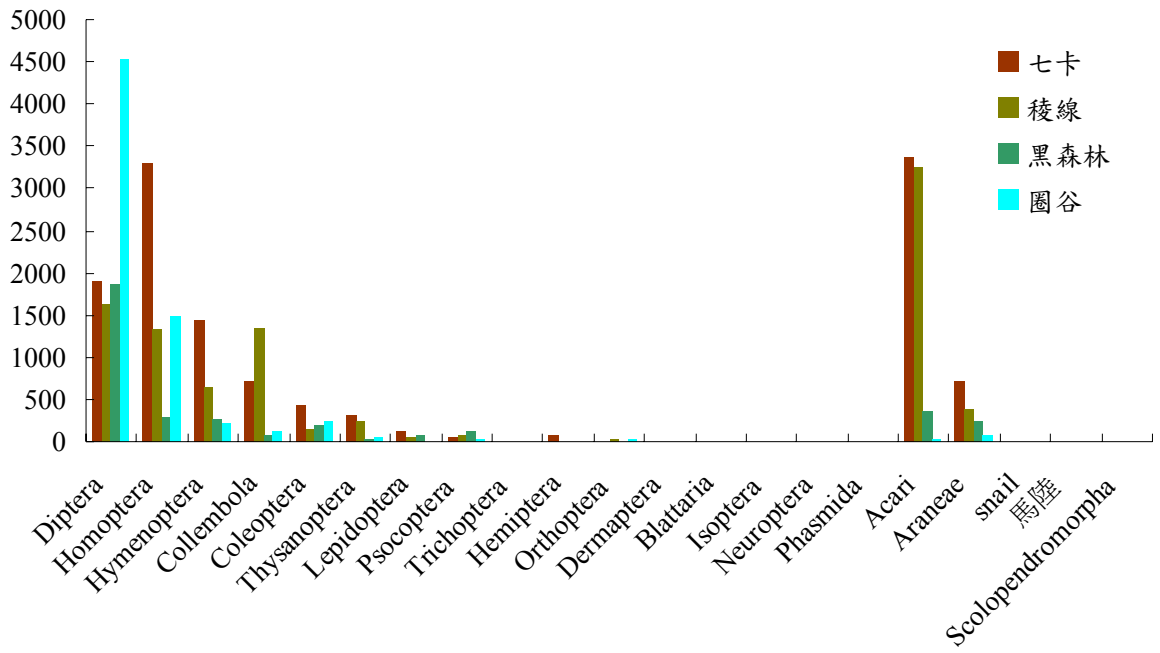


圖 8-4. 2007 年高海拔 4 樣段昆蟲組成

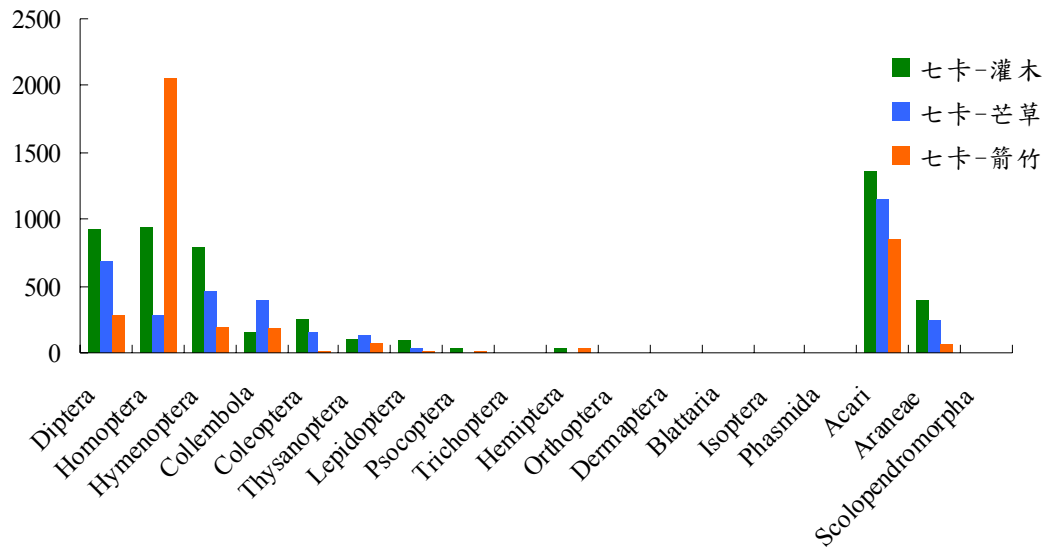


圖 8-5. 2007 年高海拔七卡段各植被昆蟲組成

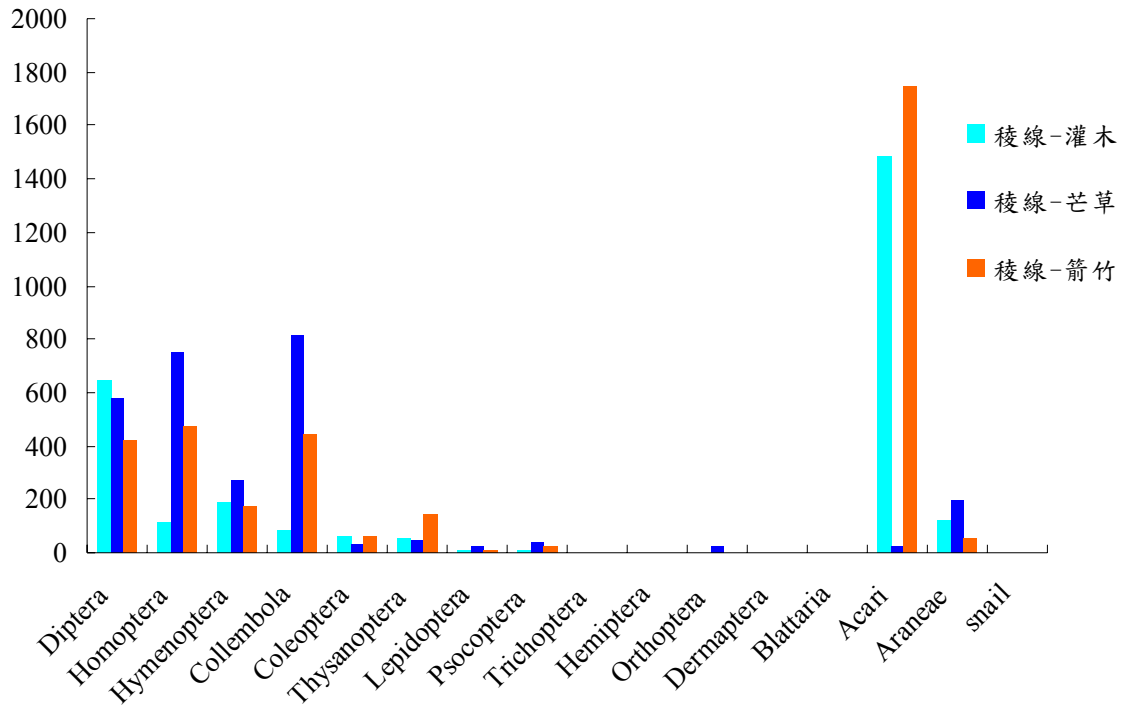


圖 8-6. 2007 年高海拔稜線段各植被昆蟲組成

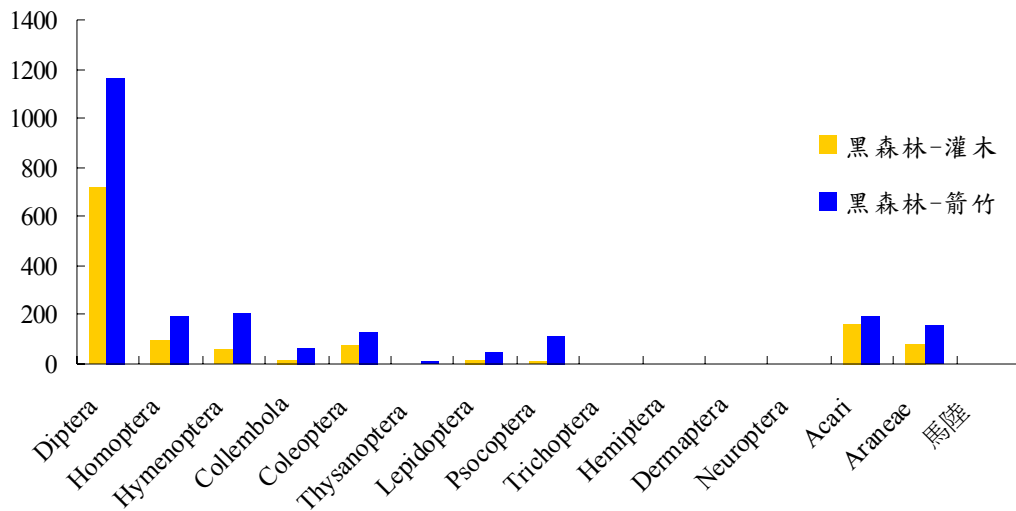


圖 8-7. 2007 年高海拔黑森林段各植被昆蟲組成



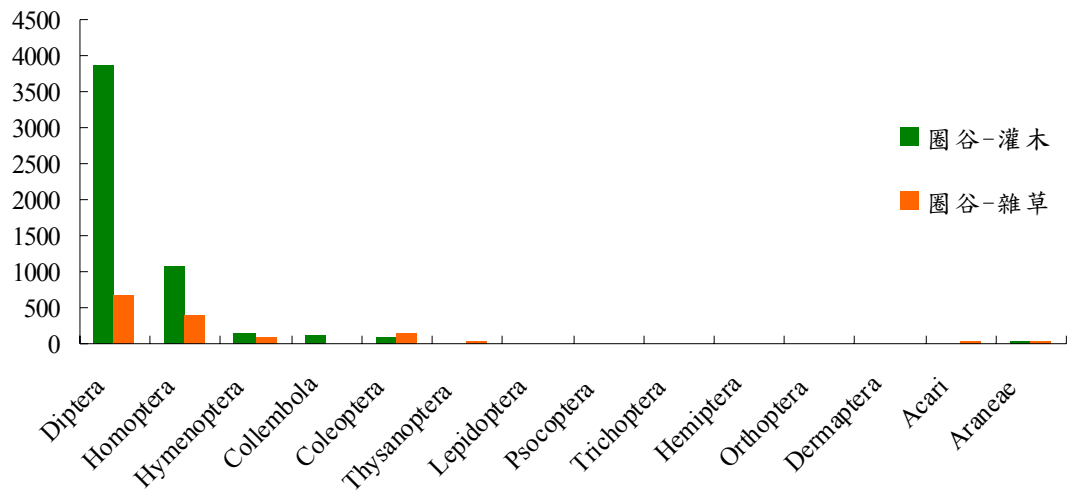


圖 8-8. 2007 年高海拔圈谷段各植被昆蟲組成

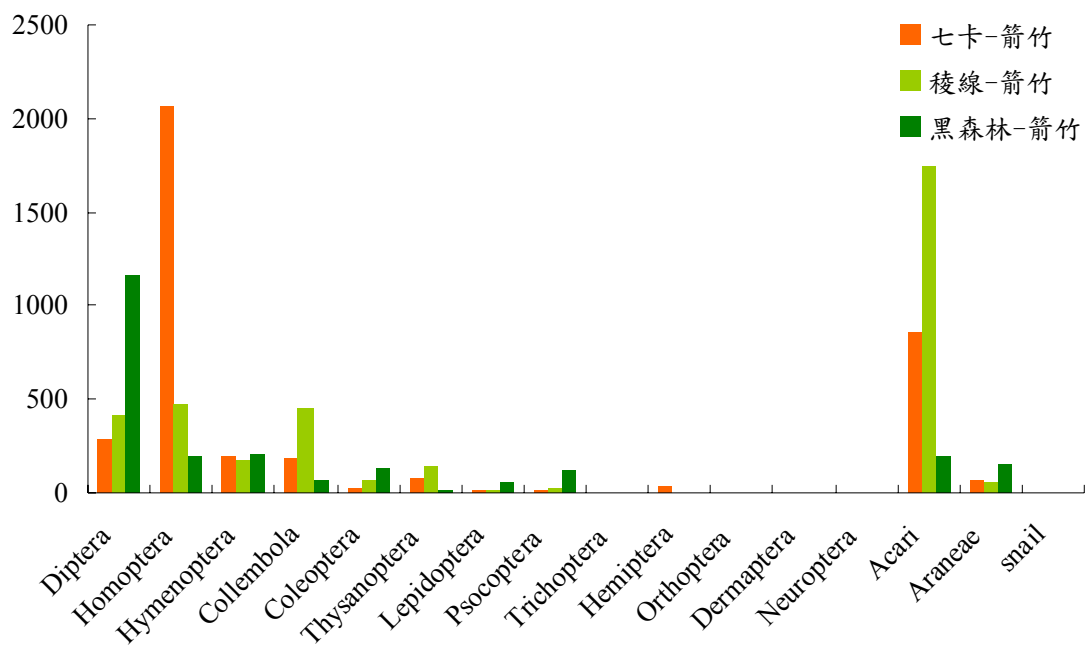


圖 8-9. 2007 年高海拔七卡、稜線及黑森林段箭竹昆蟲組成

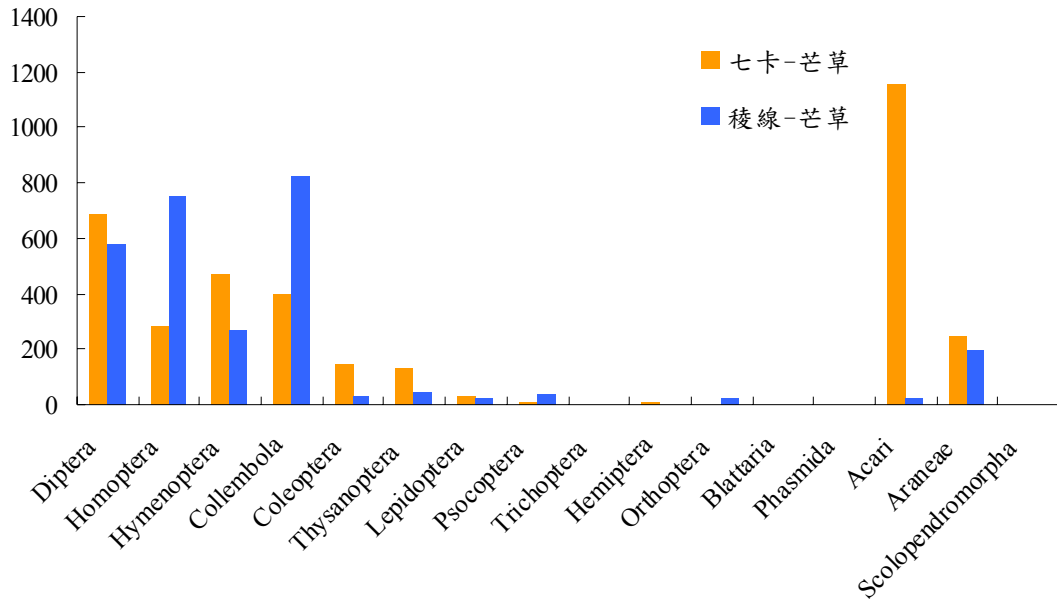


圖 8-10. 2007 年高海拔七卡及稜線段芒草昆蟲組成

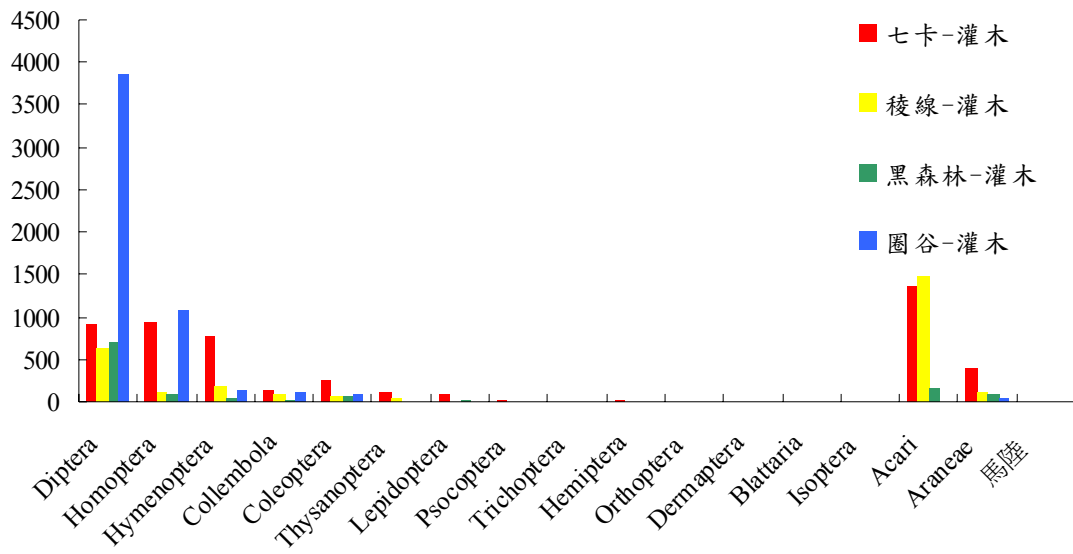


圖 8-11. 2007 年高海拔 4 樣段灌木昆蟲組成

# 第九章 兩生爬蟲類研究

吳聲海、林奕甫、蔡慧珊、張伊鈞、黃繼瑩、楊雅惠、廖珠宏、蔡俊興、柯伶樺

國立中興大學生命科學系

## 摘要

### 一、研究緣起

七家灣溪的溪流兩生類及蛇類數量多，是溪流生態系中，魚類食物種類(水生昆蟲)的主要競爭者及生態系中的能量傳遞者。對於這些動物瞭解的增加，不但是生物學上有意義的研究，也能對七家灣溪生態系統的運作，有更進一步的認識。溪流週圍生活的兩生類族群較穩定，是作為環境指標的良好生物。溪流中蝌蚪數量多，對於環境需求更容易作為人為環境造成水域棲地惡化的指標。因此應對兩生類的族群及生活史特性有更深入的瞭解。

### 二、研究方法及過程

測站有七家灣溪的一號壩至三號壩之間的4公里溪段(劃分為22樣區，44條測線)，桃山北溪、桃山西溪、高山溪、有勝溪等樣區，及司界蘭溪上、下游。調查蛙類與蝌蚪的數量及生物量變化、溪流環境因子、及蛇類數目。

### 三、重要發現

2007年在七家灣溪共採集到4種蛙類。盤古蟾蜍數量5月最高，梭德氏赤蛙在5月及10月有一波高峰。

蝌蚪數量只與水面寬有顯著正相關，青蛙數量與環境因子均無顯著相關。主流樣區與支流樣區的蛙類組成與密度並無顯著差異。各支流測站，成蛙密度隨繁殖季而起伏，以有勝溪最明顯。各月份生物量主要由盤古蟾蜍組成，10月則為梭德氏赤蛙。司界蘭溪共捕獲成蛙3種。司界蘭溪盤古蟾蜍各月份的數量皆高於七家灣溪，梭德氏赤蛙除10月之外，亦高於七家灣溪。司界蘭溪與七家灣溪成蛙生物量無顯著差異。

2007年在七家灣溪共採集到盤古蟾蜍及梭德氏赤蛙兩種蛙類的蝌蚪。梭德氏赤蛙蝌蚪在3、4月數量最多；盤古蟾蜍蝌蚪數量則在7月最高。自2004至今，蝌蚪密度有三次降到極低，均與劇烈天氣事件有關，顯示突發性的大水會對溪流蝌蚪族群造成很大的破壞。

司界蘭溪只有梭德氏赤蛙的蝌蚪。平均密度則高於七家灣溪(圖 9-21)。

2007 年共有 28 筆蛇類的捕捉紀錄，紅斑蛇 (*Dinodon rufozonatum*) 佔 26 隻。多在晚上發現。紅斑蛇在溪西側分布有區域性差異，以岸邊較少人為設施的河段數量較多，可能與開發程度有關。數量夏季最多。2005 年至 2007 年所有標記之 64 隻蛇，均無再捕獲的紀錄，

#### 四、主要建議事項

能對梭德氏赤蛙蝌蚪與鮭魚間關係進行直接的實驗，期釐清兩生類在櫻花鉤吻鮭生活史中所扮演的角色，以及兩者共域對彼此的生活史產生的影響。

【關鍵字】兩生類、爬蟲類、盤古蟾蜍、梭德氏赤蛙、斯文豪氏赤蛙、紅斑蛇、生物量、  
七家灣溪

## Abstract

The objectives of this year's project are the continued monitoring of amphibian (frog and tadpole) biomass and census of snake populations. In addition to monitoring amphibians in the stations common to all investigators in the Chichawan and Sijelan streams, we partitioned the stream segment (between dams no. 1 and no. 3 in the Chichawan stream) into 22 segments and conducted detailed study of the relationships between habitats and amphibian abundance.

Four species of frogs were collected this year in the Chichawan stream. Highest number of *Bufo bankorensis* was recorded in May; *Rana sauteri* reached highest numbers in May and October. Three species were collected in Shejelan stream. Except for *Rana sauteri* in October, the density of frogs found in Shejelan stream was higher than in Chichawan stream. *Bufo bankorensis* constituted the main portion of amphibian biomass in all months except in October, when *Rana sauteri* predominated.

Tadpoles belonging to two species were collected in all sites in the Chichawan stream. *Rana sauteri* tadpoles was most abundant in March and April; and *B. bankorensis* tadpoles predominated in July. In Shejelan stream, only *R. sauteri* tadpoles were found in the stream and were collected only in April. Average density of tadpoles was higher in the Shejelan stream.

The most abundant snake species found in Chichawan stream is *Dinodon rufozonatum*. There was variation in the number of snakes caught among three different segments on the western bank of the stream. More snakes were found in the stream segment with the least human-made alterations. Most of the snakes were encountered during the summer.

**【Keywords】** amphibian, reptile, *Bufo bankorensis*, *Rana sauteri*, *Rana swinhoana*, *Dinodon rufozonatum*, biomass, habitat, Chichiawan Creek

## 一、前言

七家灣河流域是台灣地區特有櫻花鉤吻鮭的僅存棲地。對於本區溪流的生物相及食物鏈結構的瞭解，將有助於對七家灣溪棲地的保育。長年對七家灣溪的研究或焦點，都是在魚類 (Wang, 1989; 曾及楊, 2001)、水生昆蟲 (林等, 1987)、藻類、及水質的監測及特性 (陳, 1995, 1998, 1999; 陳及楊, 1997; 陳等, 1996)。對於其它水中的非昆蟲無脊椎動物，及對溪流或近水棲地 (riparian habitat) 的兩生類及爬蟲類，均未成為主要的研究對象，或只有非量化的附帶性質資料 (袁, 1995; 呂, 2002)。這些動物，食性及生活史多樣，在溪流生態系中，是魚類食物種類 (水生昆蟲) 的主要競爭者及七家灣集水區生態系中的能量傳遞者。對於這些動物瞭解的增加，不但是生物學上有意義的研究，也能對七家灣溪生態系統的運作，有更進一步的認識 (林及謝, 2002)。

陸地的外溫 (或變溫) 脊椎動物 (兩生類及爬蟲類)，可將大部分食物轉換成本身生物量；僅有少部份用於維持自身代謝；而內溫動物 (或恆溫) (哺乳類及鳥類) 將大部份能量，用於維持生命所需之基礎代謝，有很大的差別。這個特性，使兩生類及爬蟲類在生態系中，成為很好的能量傳輸中繼站：牠們取食小型生物，轉換為本身質量，再供應體型更大、在食物網更高階的掠食動物為食。

七家灣河流域有三種主要的溪流兩生類。梭德氏赤蛙數量多，蝌蚪期可近一年 (賴, 2002)；盤古蟾蜍成體龐大，每次生殖卵數目極大；斯文豪氏赤蛙生殖季短、蝌蚪數量少、但成體體型最大。前兩種的蝌蚪是水中最重要草食動物，但溪流蝌蚪的研究極缺乏。因此有關蝌蚪對生產者的關係、對其它無脊椎動物初級消費者的影響，都罕有相關研究 (Peterson & Boulton, 1999)。

溪流中的蝌蚪與無脊椎動物的關係可能有兩類。一是競爭的關係，當兩類動物都使用同樣生產者資源時，一類動物的數量會造成另一類的減少。但兩者的關係也可能是互利：枯落物及碎屑可以是水生昆蟲初級消費者最重要的食物來源 (Hall *et al.*, 2000)。溪流枯落物的減少，除減少水生昆蟲多樣性外，也改變這些動物食性。在高山溪流中主要的生產者為矽藻，這些卻不是無脊椎動物可以利用的資源；蝌蚪的存在可能可以增加水中碎屑的量，從而增加無脊椎動物 (鮭魚的食物) 的次級生產力 (Ranvestel *et al.*, 2004)。但動物間的相互關係也可能因環境及干擾的頻度不同而有差別 (Kiffney & Richardson 2001; Lamberti *et al.*, 1992)。由鮭魚族群的角度來看，蝌蚪的數量可以對生態系有相當的影響。

溪流週圍生活的兩生類族群較穩定 (Welsh, 1998; Dupuis & Stevenson, 1999) 是

作為環境指標的良好生物。溪流中蝌蚪數量多，對於環境需求更容易作為人為環境造成水域棲地惡化的指標 (Mensing *et al.*, 1998)。這兩個原因都指出應對兩生類的族群及生活史特性有更深入的瞭解。比對歷年監測的調查結果，應能觀察兩生類及其幼體的分佈是否受特定環境因子影響。

在溪流週圍的森林及草地等近水棲地兩生類有重要的能量傳遞功能。生殖季只佔兩生類每年活動的一小段時間；其它絕大部份的非生殖季，兩生類都是在森林底層覓食，同時也成為鳥類及哺乳類的重要食物。森林中的兩生類對食物網是由上階向下階的調控方式 (Beard *et al.*, 2001)，這是指兩生類的數量是決定昆蟲多樣性及豐度更影響土壤中營養堆積的速度，更經由對昆蟲的捕食影響草地植物種類的分佈。這對中高海拔山區以分解為主的食物網，可加入更多可供兩生類的食物量。為完整呈現溪流及近水棲地食物網結構，應對兩生類動物的族群及食性等特徵有更深入的

武陵地區的爬蟲類過去僅有出現的記錄，缺乏量化資料 (袁, 1995；呂, 2002)。由過去兩年的調查中，發現紅斑蛇是本地區數量較多的爬蟲類，因此由前年 (2005) 開始，也針對研究地區所有蛇類，進行植入晶片，追蹤及調查其數量及活動區域的研究，期能釐清對爬蟲類在濱水生態系食物網中的角色。

## 二、材料與方法

### (一) 研究地區

本年度的研究測站有七家灣溪的一號壩至三號壩之間的溪段，以及七家灣溪鄰近溪流。七家灣溪一號壩至三號壩間全長約為 4 公里，每 200 公尺的溪段劃分為一樣區，共 22 樣區。為便於描述溪流由上游到下游的棲地變化與兩生類族群動態，從最上游三號壩下的樣區至最下游一號壩上的樣區依序編號為 A-01 至 A-22。A-01 樣區至 A-08 樣區的溪段位於三號壩與二號舊壩之間；A-07 樣區右岸即湧泉池。A-15 樣區則為觀魚台。另外七家灣溪鄰近溪流的測站分別為桃山北溪 (#1)、桃山西溪 (#2)、繁殖場 (#5)、高山溪 (#8)、有勝溪 (#9) 與司界蘭溪 (#10、#11)。

### (二) 研究方法

#### 1. 棲地因子調查

七家灣溪一號壩至三號壩間的 22 樣區，每一樣區內設置 2 條穿越線，穿越線間隔 100 公尺，共設置 44 條測線。於桃山北溪、桃山西溪、高山溪、有勝溪等支流樣區則各設一測站。每一測站於 50 公尺內設 3 條穿越線，穿越線間相隔 25 公尺。司界蘭溪上下游亦各設一測站，穿越線設置方式如同支流樣區。日間於每條穿越線測量一組水面寬、水裡底石大小；於每條穿越線左右兩端離岸 1 公尺之溪內、及水面正中央共三點，測量環境因子，包括水深、流速、水溫及覆蓋度，三點平均即代表該測線之環境因子數值。每一樣區內各測線各測量值之平均，即代表該樣區之環境因子數值。

#### 2. 生物量調查

##### (1) 青蛙：

兩生類的數量及生物量會因是否處於繁殖季而有差異，因此本年度依不同月份有不同的採樣地點。在 3 月、5 月及 9 月等三個月份，僅在支流樣區中的桃山北溪、有勝溪採集；4 月、10 月等兩個月，則在主流樣區 22 個測站、支流樣區 4 測站及司界蘭溪上下游 2 測站。7 月則於支流樣區 4 測站及司界蘭溪上下游 2 測站外，再增設二號壩(#3)、一號壩(#4) 與繁殖場測站。在夜間青蛙活動時段，於各測站測量棲地因子最下游之穿越線，往上游 50 公尺之溪段內，沿右岸離水 5 公尺之岸上 (#9、#10、#11 為左岸) 以手電筒搜尋 1 趟 (#10、#11 則為重複搜尋至該趟無任何青蛙為止)，並徒手捕捉所有發現之青蛙。於分辨種類、性別、測量體長後於原溪段放回所有青蛙。由 2004 年至 2005 年所測量之蛙類體長、體重關係式推算三種蛙類的體重。

$$\ln(W) = a + b \cdot \ln(SVL)$$



其中 a 及 b 為係數，W 為體重，SVL 為吻肛長。

$$\text{梭德氏赤蛙：Ln}(W) = -8.273 + 2.685 \cdot \text{Ln}(SVL)$$

$$\text{盤古蟾蜍：Ln}(W) = -9.371 + 3.056 \cdot \text{Ln}(SVL)$$

$$\text{斯文豪氏赤蛙：Ln}(W) = -9.299 + 3.005 \cdot \text{Ln}(SVL)$$

將司界蘭溪二測站所捕捉之青蛙先浸於 chloretone 溶液麻醉，再以 10 % 福馬林溶液固定，於調查結束後保存於 70 % 酒精中。

## (2) 蝌蚪：

於各測站在測量棲地因子相同的穿越線，於日間在穿越線內撈取蝌蚪。3 月、5 月、7 月及 9 月的調查地點為支流樣區中的桃山北溪及有勝溪；4 月、10 月則為主流樣區 22 個測站、支流樣區 4 測站及司界蘭溪上下游 2 測站。每條穿越線寬為 1 公尺，長度則為水寬，以 D 型水撈網 (BioQuip DR7412D；網框寬 32 cm，網目 20\*24 mesh (150mm))，撈取一趟蝌蚪 (#10、#11 為重複撈取直至該趟無任何蝌蚪為止)。蝌蚪於採集後先浸於 chloretone 溶液麻醉，計算數目、記錄種類，依測線分別放置，再以 10 % 福馬林溶液固定。蝌蚪攜回實驗室測量體長、判定發育期數後，利用吳及張於 2004 年所得之最佳體重與長度轉換關係公式估計體重。

## (3) 蛇類：

夜間於主流樣區 22 測站、支流樣區 4 測站、司界蘭溪上下游 2 測站的兩岸以及農場公路、遊客步道上，沿路搜尋蛇類。所發現的個體，均予以記錄種類、性別、生殖狀況、體溫、體長、頭部型質、體重等動物生理狀況，另以衛星定位儀定位，測量氣溫、底質溫度，記錄週圍環境因子 (底質種類、植被類型、離岸距離等)，於注射晶片後釋放。

### 三、結果與討論

#### (一) 棲地因子調查

2006 年的結果，顯示酸鹼度、導電度、溶氧量等環境化學因子的變化與兩生類數量無相關，因此本年度的調查監測僅記錄水溫、水面寬、水深、流速、覆蓋度、水裡底石大小等環境因子。2007 年各測站各項環境因子之資料列於表 9-1。水寬、水深與流速的全年變化趨勢一致，於 4 月及 10 月有兩個高峰（圖 9-1）。10 月受颱風豪雨影響，各測站河道變動極大，水寬加大，流速亦變快。4 月則應為雨季降雨所影響。四個支流測站間比較，有勝溪測站的流速最低，水溫最高，但差異不顯著（圖 9-2）。

四月和十月之間，七家灣溪各河段溪流環境因子的改變中，河面寬、覆蓋度、底石的改變不大（圖 9-3 A, D, F, G），水深則在數個樣區有較大的變異（圖 9-3 C）。十月的較下游樣區流速較大。

第一及第九測站在本年度有六個月的棲地資料，各月間都以有勝溪測站的改變較大（圖 9-4）。兩測站底石大小在各月份的平均值變異不大，但是底石的標準差卻有明顯的改變（圖 9-4 F, G）。桃山北溪測站的底石大小與變異度均大於有勝溪測站，有勝溪測站的底石大小在 4 月及 10 月較為一致，在 5 月、7 月及 9 月則有較大的變異。

將主流樣區 4 月的蝌蚪、及 10 月的成蛙各與該月棲地因子進行相關性分析。進行分析之前，先經 Shapiro-Wilk normality test 測試六個因子是否符合常態分布。4 月水深及覆蓋度經對數轉換、底石經指數轉換後，皆符合常態分布。10 月各樣區成蛙數量與水面寬、流速、覆蓋度、水溫等因子呈負相關，與水深、底石、底石平均標準差呈正相關，但皆不顯著（ $p = 0.05, r > 0.4143$ , 表 9-2）。4 月各樣區蝌蚪數量則與水面寬、底石平均標準差成正相關，與水深、流速、覆蓋度、水溫、底石呈負相關，但只有水面寬達顯著水準（表 9-2）。

#### (二) 生物量調查

##### 1. 青蛙：

2007 年在七家灣溪主流樣區與支流樣區共採集到 4 種蛙類，由數量多寡依序為梭德氏赤蛙、盤古蟾蜍、斯文豪氏赤蛙及莫氏樹蛙，總隻數分別為 373 隻、70 隻、12 隻與 1 隻。各月份各樣區所採集之青蛙種類及數量如表 9-3。莫氏樹蛙只在 4 月採集到一隻個體，以下不予敘述。盤古蟾蜍的數量在 5 月最高，梭德氏赤蛙則各在 5 月及 10 月有一波高峰（圖 9-5），10 月隻數達 278 隻，占全年梭德氏赤蛙總隻數的 75%。兩種蛙類成蛙數量上的波動符合自 2004 年開始至今觀察到的繁殖季節：盤古蟾蜍在春夏季，

梭德氏赤蛙則於秋冬季繁殖。比照兩種蛙類歷年吻肛長亦可說明此一現象（圖 9-6，圖 9-7）。斯文豪氏赤蛙在各月份都有體型大的個體，小個體的出現在六月至十月（圖 9-8）。5 月有發現盤古蟾蜍的抱對個體；梭德氏赤蛙的抱對個體在 7 月有 1 對，10 月則發現 10 對抱對個體。而 5 月於有勝溪測站發現大量梭德氏赤蛙剛變態小蛙（表 9-3）。本年度盤古蟾蜍成蛙平均吻肛長為  $53.0 \pm 14.3$  mm，梭德氏赤蛙為  $33.0 \pm 5.2$  mm，斯文豪氏赤蛙為  $70.8 \pm 19.5$  mm，各月份各樣區詳細資料如表 9-4。10 月梭德氏赤蛙大量出現，以及雄雌比例懸殊的現象（30:1，表 9-4，表 9-5），除代表繁殖季到來之外，亦可能因柯羅莎颱風帶來的降雨沖走先前已出現在岸邊的成蛙，空出大量生態棲位所致。主流樣區與支流樣區的蛙類組成與密度並無顯著差異（ $t = -0.959$ ,  $P = 0.513$ ）。歷年資料顯示，各支流測站中，成蛙密度波動伴隨繁殖季而起伏，並以有勝溪測站最為明顯（圖 9-9）。各月份各樣區的生物量主要由盤古蟾蜍組成，10 月則為梭德氏赤蛙（表 9-4，圖 9-10）。

司界蘭溪樣區測站自 2006 年開始連續兩年的監測，今年共捕獲成蛙 3 種，較去年少一種，依數量多寡為梭德氏赤蛙、盤古蟾蜍與斯文豪氏赤蛙；本年度三種隻數分別為 49 隻、34 隻、與 7 隻（表 9-3）。司界蘭溪盤古蟾蜍在各月份的數量皆高於七家灣溪，梭德氏赤蛙除 10 月之外，亦高於七家灣溪（圖 9-11）。比較 06、07 年的結果，成蛙在數量上的變化一致，且下游測站的數量略低於上游（圖 9-12）。2006 年 10 月在下游測站發現大量梭德氏小蛙（ $n = 67$ ），同月份在上游測站僅有 5 隻小蛙，在七家灣溪樣區亦只有 1 隻小蛙，本年同月則無發現小蛙。司界蘭溪梭德氏赤蛙的繁殖季在秋冬季（9 月及 10 月），前一次調查梭德氏赤蛙成蛙數量及雄雌比並無異常（上游測站 12.5:1，下游測站 4:1），下游測站小蛙數量增加，可能是同為本溪流的蝌蚪被沖至下游，變態後亦留在下游溪岸邊生活。司界蘭溪生物量在 2007 年 4 月及 7 月主要由盤古蟾蜍組成，10 月則主要由梭德氏赤蛙組成（表 9-4，圖 9-13）。司界蘭溪與七家灣溪成蛙生物量並無顯著差異（ $t = 2.897$ ,  $P = 0.102$ ）。

## 2. 蝌蚪：

2007 年共採集到盤古蟾蜍及梭德氏赤蛙兩種蛙類的蝌蚪，隻數為 121 隻及 355 隻。盤古蟾蜍蝌蚪平均全長為  $18.2 \pm 9.9$  mm；梭德氏赤蛙平均全長為  $32.7 \pm 6.2$  mm，各月份各樣區蝌蚪種類、隻數、平均體長、平均濕重、平均期數、密度與生物量列於表 9-6。梭德氏赤蛙蝌蚪在 3 月及 4 月數量最多，共有 312 隻；盤古蟾蜍蝌蚪數量則在 7 月最高。歷年調查顯示，本區盤古蟾蜍蝌蚪在夏季、梭德氏赤蛙蝌蚪在冬季至隔年春季

數量到達高峰，本年蝌蚪密度的變化符合此一趨勢（圖 9-14 至圖 9-16），亦與歷年體長與期數變動情形相符（圖 9-17 至圖 9-20）。自 2004 至今，蝌蚪密度共有三次降到極低，分別為 2005 年 8 月、2006 年 6 月及今年 10 月（平均密度 0.0040、0.0044、0.0232 隻/m<sup>2</sup>，圖 9-15）。若與氣候資料相對照，當月皆有劇烈天氣事件：2005 年 8 月有海棠颱風，2006 年 6 月有大雨，本年 10 月則為柯羅莎颱風過境。柯羅莎颱風過後，在可進行調查的 50 條測線中只撈取到 6 隻梭德氏赤蛙的蝌蚪，顯示突發性的大水會對溪流蝌蚪族群造成很大的破壞。因蝌蚪為完全棲息於水中的生物，故大水會對其造成影響。2005 年 8、9 月間續有瑪莎、泰利、龍王等颱風，導致同年 10 月之蝌蚪數量仍低。2006 年全年蝌蚪數量偏低，而該年調查集中在七家灣溪主流測站，未對支流測站進行調查，故無法確知蝌蚪數量下降之情形是所有測站共同情形，還是為主、支流測站間的差異。2007 年主流樣區蝌蚪平均密度為  $0.171 \pm 0.122$  隻/m<sup>2</sup>，支流樣區蝌蚪平均密度為  $0.761 \pm 0.724$  隻/m<sup>2</sup>，支流樣區的蝌蚪密度較高。07 年在主流樣區只撈取到梭德氏赤蛙的蝌蚪，沒有撈到盤古蟾蜍蝌蚪。比較各支流測站的蝌蚪密度，顯示七家灣流域各支流蝌蚪數量變動極不規律（圖 9-16）。有勝溪測站與桃山北溪測站各有一次蝌蚪大發生的情形；本地區蝌蚪歷年的高峰期皆與繁殖季相吻合，但與數量最高的時期相比，則近年有減少的趨勢。推測是主流樣區因流速較高使蝌蚪數量偏低。

2007 年司界蘭溪二測站只撈取到梭德氏赤蛙的蝌蚪，共 51 隻，平均全長為  $32.9 \pm 4.2$  mm，平均期數為  $32.6 \pm 4.0$  期，都是在 4 月撈取到（表 9-6）。比較去年 10 月調查結果，今年 10 月颱風過境大水亦對蝌蚪數量產生影響，造成沒有撈取到任何蝌蚪。蝌蚪平均密度則高於七家灣溪（圖 9-21）。

### 3. 蛇類：

2007 年 3 月到 11 月共有 28 筆蛇類的捕捉紀錄，紅斑蛇 (*Dinodon rufozonatum*) 26 筆，臭青公 (*Elaphe carinata*) 1 筆，標蛇 (*Achalinus niger*) 1 筆。其中兩隻紅斑蛇及一隻標蛇為路死個體（圖 9-22）。

紅斑蛇捕獲個體中，有兩隻在測量型質前逃逸，性別不明。雌性個體 12 隻，平均吻肛長為  $64.6 \pm 14.2$  cm，平均體重為  $102.4 \pm 56.7$  g，皆未懷孕；雄性個體 5 隻，平均吻肛長為  $64.8 \pm 8.9$  cm，平均體重為  $125.5 \pm 54.9$  g；未性成熟個體 6 隻，平均吻肛長為  $34.98 \pm 7.6$  cm，平均體重為  $21.8 \pm 17.7$  g。

蛇類捕獲的時間，除了一隻紅斑蛇在白天 16:30（氣溫 23.6 °C，底質溫度 23 °C，肛溫 27.2 °C）發現外，其餘都是在晚上發現，最晚的一筆為 23:33。捕獲的氣溫在

14.5–24.4 °C 間。底質溫度在 16.3–23.7 °C 之間，蛇的肛溫則在 15.5–27.2 °C 之間。

紅斑蛇發現地點為河岸岩石地、公路柏油地、步道石板地及有植被的泥土地四種。發現時的行為則分爬行、停滯（蟠踞或延展）及攝食；在五月跟八月分別記錄到一隻個體正在捕食盤古蟾蜍，八月份的個體有錄影直到吞食完畢後逃逸，從開始吞食到吞食完畢一共花費三個小時。

從 2007 年調查結果中（表 9-7），發現紅斑蛇在七家灣溪西側分布有區域性的差異（Kruskal-Wallis test,  $F_{2,15} = 8.017$ ,  $P < 0.05$ , 圖 9-23）。一號壩到觀魚台範圍（樣區 A-22 至 A-15）數量明顯較多，二號壩至桃山西溪測站（A-07 至 #2）次之，而觀魚台至二號壩範圍（A-14 至 A-08）數量最少。武陵農場在觀魚台至武陵山莊有較大面積的土地開發為果園及菜田等用地，形成與周圍環境極大差異的地景，其中觀魚台至二號壩間開發範圍最大，因此推測造成分布上不平均的可能原因與開發程度不同有關，但仍需更進一步的調查及探討。

2005 年至 2007 年春（4 月）、夏（7 月）、秋（10 月）三季例行性調查結果（表 9-8）中，紅斑蛇數量有季節性的差異（Kruskal-Wallis test,  $F_{2,6} = 16.2$ ,  $P < 0.05$ , 圖 9-24）。紅斑蛇應是在春季漸漸開始活動，到夏季為活動高峰期，進入秋季後活動頻率又降低。

2005 年至 2007 年共捕獲紅斑蛇 58 隻，阿里山龜殼花、錦蛇、赤煉蛇、標蛇各 1 隻，以及臭青公 2 隻。所有捕獲的蛇類，皆沒有再捕獲的紀錄（表 9-9），推測武陵地區蛇類個體活動不頻繁，又或者活動範圍遠大於調查範圍，使個體再捕獲率為零。圖 9-25 呈現三年所捕獲紅斑蛇之吻肛長分布。由圖 9-26 中可看出雌雄紅斑蛇在吻肛長的分布上有些差異，捕獲的雄蛇吻肛長略大於雌蛇。

#### 四、參考文獻

- 呂光洋 2002 雪霸國家公園兩生爬蟲類調查研究—武陵地區。內政部營建署雪霸國家公園管理處九十一年度研究報告。26 頁。
- 林幸助、謝莉顯 2002 武陵地區生態系監測與模式建構規劃。內政部營建署雪霸國家公園管理處九十一年度研究報告。35 頁。
- 林曜松、楊平世、黃國靖、謝森和 1987 武陵農場河域蜉蝣目稚蟲之生態研究。行政院農業委員會林業特刊第一三號。57-78 頁。
- 陳弘成 1995 武陵地區—溪流之水源水質監測系統之規劃與調查。內政部營建署雪霸國家公園管理處八十四年度研究報告。104 頁。
- 陳弘成 1998 武陵地區—溪流之水源水質監測系統之規劃與調查。內政部營建署雪霸國家公園管理處八十七年度研究報告。85 頁。
- 陳弘成 1999 武陵地區—溪流之水源水質監測系統之規劃與調查。內政部營建署雪霸國家公園管理處八十八年度研究報告。78 頁。
- 陳弘成、林培旺、楊喜男 1996 武陵地區—溪流之水源水質監測系統之規劃與調查。內政部營建署雪霸國家公園管理處八十五年度研究報告。107 頁。
- 陳弘成、楊喜男 1997 武陵地區—溪流之水源水質監測系統之規劃與調查。內政部營建署雪霸國家公園管理處八十六年度研究報告。88 頁。
- 賴肅如 2002 海拔對臺灣山區梭德氏赤蛙生活史變異之影響。國立臺灣大學動物學研究所博士論文。台北。
- 曾晴賢、楊正雄 2001 櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查(四)。內政部營建署雪霸國家公園管理處九十年度研究報告。34 頁。
- 吳聲海、張文宏 2004 七家灣溪蛙類及蝌蚪族群研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處九十三年度研究報告。10 頁。
- 袁孝維，1995 武陵地區登山步道沿線野生動物景觀資源調查。雪霸國家公園管理處，42 頁。
- Beard KH, Vogt KA, Kulmatiski A 2001 Top-down effects of a terrestrial frog on forest nutrient dynamics. *Oecologia* 244: 583-593
- Dupui L, Stevenson D (1999) Riparian management and the tailed frog in northern coastal forests. *Forest Ecol Manag* 124: 35-43
- Hall ROJr, Wallace JB, Eggert SL 2000 Organic matter flow in stream food webs with

- reduced detrital resource base. *Ecology* 81: 3445-3463
- Kiffney PM, Richardson JS 2001 Interactions among nutrients, periphyton, and invertebrate and vertebrate (*Ascaphus truei*) grazers in experimental channels. *Copeia* 2001(2): 422-429
- Lamberti GA, Gregory SV, Hawkins CP, Wildman RC, Ashkenas LR, Denicol DM 1992 Plant-herbivore interactions in streams near Mount St Helens. *Freshwater Biology* 27: 237-247
- Mensing DM, Galatowitsch SM, and Tester JR 1998 Anthropogenic effects on the biodiversity of riparian wetlands of a northern temperate landscape. *J Environ Manag* 53: 349-377
- Ranvestel AW, Lips KR, Pringle CM, Whiles MR, Bixby RJ 2004 Neotropical tadpoles influence stream benthos: evidence for the ecological consequences of decline in amphibian populations. *Freshwater Biology* 49: 274-285
- Wang CMJ 1989 Environmental quality and fish community ecology in an agricultural mountain stream system of Taiwan. Ph.D. Dissertation. Iowa State University.
- Welsh HH, Olivier LM 1998 Stream amphibians as indicators of ecosystem stress: a case study from California's redwoods. *Ecological Applications* 8: 1118-1132

表 9-1、2007 年各月各樣區水面寬、水深、流速、覆蓋度、水溫、水裡底石大小平均、水裡底石大小變異度（平均值±標準差）。

樣區	水面寬 (m)	水深 (m)	流速 (m/s)	覆蓋度 (%)	水溫 (°C)	水裡底石	水裡底石	
						平均	標準差	
三月	1	5.80±2.62	0.14±0.04	0.08±0.09	28.91±14.85	10.34±0.56	4.1±0.3	0.5±0.1
	9	9.17±1.44	0.16±0.01	0.19±0.09	49.33±1.13	12.88±0.28	4.6±0.7	0.6±0.1
四月	1	8.33±4.85	0.20±0.01	0.26±0.03	47.83±18.73	13.11±0.45	4.1±0.2	0.3±0.3
	2	11.97±2.14	0.42±0.07	0.49±0.25	63.83±17.44	11.87±0.38	4.4±0.7	0.7±0.1
	8	9.23±0.21	0.29±0.03	0.66±0.36	85.97±8.13	13.27±0.18	3.7±1.1	0.8±0.5
	9	9.63±0.29	0.20±0.03	0.31±0.04	56.51±4.35	16.75±0.04	3.9±0.6	1.0±0.3
	A-01	8.35±1.91	0.74±0.03	0.57±0.13	57.94±4.85	12.17±0.05	3.3±1.3	1.9±0.2
	A-02	14.70±6.08	0.52±0.13	1.01±0.25	35.64±12.58	12.19±0.30	4.8±0.9	1.4±0.8
	A-03	20.00±2.83	0.30±0.04	0.67±0.38	29.12±2.52	12.44±0.19	4.3±0.2	1.1±0.1
	A-04	13.20±0.71	0.38±0.10	0.76±0.26	25.22±1.66	12.15±0.17	4.9±0.5	1.3±0.1
	A-05	11.65±3.04	0.39±0.09	0.52±0.03	29.65±8.54	12.39±0.16	4.6±0.7	0.7±0.5
	A-06	15.05±5.59	0.47±0.16	1.19±0.28	27.09±3.56	12.45±0.35	4.8±0.0	1.1±0.1
	A-07	13.40±3.39	0.46±0.11	0.68±0.38	20.88±0.55	12.59±0.02	4.6±0.7	1.3±0.4
	A-08	11.70	0.95	0.36±0.17	21.36±25.41	12.80±0.28		
	A-09	11.90	0.59±0.11	1.08±0.23	61.40±15.01	13.04±0.38	4.3	0.8
	A-10	8.50±4.12	0.64±0.03	0.74±0.31	61.72±34.51	13.01±0.32	4.7±0.7	0.7±0.6
	A-11	13.80±2.55	0.39±0.11	0.32±0.09	21.57±2.76	12.84±0.23	4.8±0.0	0.8±0.1
	A-12	14.20±3.39	0.47±0.03	0.72±0.01	23.83±16.51	12.80±0.52	4.9±0.1	1.0±0.0
	A-13	13.00±0.57	0.45±0.16	0.79±0.35	37.55±23.88	12.50±0.04	4.6±0.4	1.1±0.0
	A-14	14.35±0.35	0.50±0.03	0.55±0.03	39.85±6.02	12.37±0.14	4.6±0.5	1.0±0.0
	A-15	12.65±0.64	0.58±0.21	0.45±0.16	55.86±5.95	12.37±0.05	4.2±0.5	1.6±0.4
	A-16	14.25±5.30	0.38±0.20	0.76±0.33	50.44±7.98	12.32±0.30	4.9±0.8	1.0±0.6
	A-17	15.50±3.54	0.52±0.13	0.92±0.12	34.51±9.14	12.49±0.16	4.4±0.6	1.2±0.1
	A-18	15.90±2.26	0.44±0.18	0.42±0.06	61.07±19.95	12.57±0.28	3.8±1.9	1.0±0.0
A-19	19.30±10.89	0.35±0.05	0.57±0.07	27.65±14.43	12.30±0.18	4.2±1.1	1.1±0.4	
A-20	11.70±4.38	0.41±0.02	0.53±0.19	42.54±26.14	12.39±0.02	5.0±0.8	0.9±0.2	
A-21	11.25±2.05	0.34±0.16	0.67±0.13	43.62±0.68	11.98±0.21	4.7±0.0	0.8±0.0	
A-22	7.97±2.35	0.33±0.10	0.84±0.04	33.62±15.83	12.04±0.34	3.8±0.3	0.3±0.3	



表 9-1、(續)

樣區	水面寬 (m)	水深 (m)	流速 (m/s)	覆蓋度 (%)	水溫 (°C)	水裡底 石平均	水裡底石 標準差	
四月	10	9.40±1.94	0.32±0.12	0.84±0.64	61.27±11.70	13.37±0.07	4.2±0.5	0.9±0.3
	11	12.45±3.96	0.29±0.14	0.66±0.35	86.07±8.03	14.84±0.22	4.2±1.3	1.2±0.3
五月	1	7.90±3.76	0.18±0.03	0.21±0.10	48.52±23.19	14.58±0.07	4.1±0.4	0.7±0.1
	9	7.97±1.79	0.19±0.04	0.17±0.09	44.70±6.84	22.59±0.30	4.1±0.6	0.7±0.3
七月	1	7.03±4.92	0.18±0.06	0.30±0.15	58.10±28.30	15.64±0.02	3.8±0.7	0.7±0.2
	9	9.60±0.56	0.18±0.02	0.13±0.08	67.00±0.40	21.04±0.19	3.4±0.1	0.9±0.2
九月	1	8.65±3.79	0.22±0.04	0.38±0.02	60.00±22.70	14.46±0.25	4.0±0.2	0.6±0.3
	9	11.98±2.36	0.21±0.06	0.22±0.05	48.80±5.00	18.71±0.15	4.1±0.2	0.6±0.0
十月	1	6.37±3.50	0.23±0.06	0.31±0.13	72.90±24.90	12.22±0.04	3.7±0.6	0.2±0.3
	2	10.97±1.32	0.44±0.06	0.50±0.11	44.40±26.60	11.16±0.31	4.3±0.3	1.3±0.2
	8	8.33±0.64	0.42±0.01	0.72±0.03	93.40±6.20	12.17±0.09	4.5±0.2	1.6±0.3
	9	16.23±1.24	0.29±0.02	0.38±0.04	55.80±1.30	14.41±0.25	4.2±0.2	0.9±0.2
	A-01	/	0.55	0.18	59.40	12.40	/	/
	A-02	20.50±0.71	0.43±0.14	0.49±0.14	49.70±11.20	12.28±0.18	4.8±0.1	1.2±0.1
	A-03	15.30±5.23	0.61±0.10	0.98±0.11	25.00±5.20	12.48±0.07	5.1±0.2	0.9±0.1
	A-04	13.75±0.92	0.39±0.01	0.63±0.13	6.30±2.60	12.43±0.00	4.5±0.3	0.9±0.0
	A-05	12.80±1.41	0.36±0.03	0.77±0.42	12.40±6.10	12.55±0.26	4.5±0.4	0.8±0.3
	A-06	8.75±1.06	0.59±0.01	0.60±0.05	20.10±13.60	12.63±0.24	4.6±0.5	1.0±0.1
	A-07	9.85±0.21	0.48±0.21	0.71±0.39	13.60±9.30	12.50±0.05	4.5±0.6	0.8±0.6
	A-08	19.50	0.50	0.62	12.20	13.00	4.6	1.1
	A-09	13.50	0.53	0.47	44.00	13.73	3.9	1.5
	A-10	16.05±5.59	0.45±0.07	1.05±0.08	26.80±13.00	13.72±1.01	5.1±0.2	1.1±0.4
	A-11	13.05±2.05	0.37±0.14	0.56±0.23	18.20±13.40	13.75±0.71	4.5±0.2	1.2±0.1
	A-12	11.40±3.68	0.45±0.18	0.86±0.37	21.70±11.10	13.02±0.02	4.6±0.5	0.6±0.2
	A-13	16.00±2.83	0.34±0.07	0.75±0.05	56.50±45.30	12.62±0.12	3.8±0.1	1.3±0.5
	A-14	10.55±2.05	0.58±0.11	1.04±0.09	39.10±8.70	12.57±0.14	4.5±0.4	1.0±0.0
	A-15	14.10	0.69±0.11	0.86±0.06	52.90±5.90	12.63±0.38	4.8	1.5

表 9-1、(續)

樣區	水面寬 (m)	水深 (m)	流速 (m/s)	覆蓋度 (%)	水溫 (°C)	水裡底石平均	水裡底石標準差
十月 A-16	14.55±0.07	0.39±0.01	0.90±0.28	18.10±22.20	12.50±0.57	4.3±0.1	0.8±0.3
A-17	11.60±1.27	0.41±0.23	0.64±0.59	23.50±12.10	13.48±0.59	5.0	1.0
A-18	12.35±0.50	0.50±0.06	0.95±0.19	57.80±43.40	13.58±0.12	3.9±0.5	0.6±0.1
A-19	21.00	0.34±0.08	0.86±0.30	63.50±34.60	14.30±0.57	4.1	0.7
A-20	13.15±4.60	0.40±0.02	1.27±0.70	41.00±2.80	13.80±0.05	4.5±0.4	0.8±0.1
A-21	9.00±0.00	0.65±0.11	0.73±0.45	48.70±12.00	13.27±0.14	4.0±0.3	0.8±0.0
A-22	13.90±7.15	0.37±0.17	0.75±0.60	37.10±11.90	13.31±0.27	4.0±0.0	0.8±0.2
十月 10	7.45±0.07	0.51±0.05	1.10±0.24	41.30±13.20	14.22±0.10	4.1±0.3	0.9±0.6
11		/ 0.43±0.12	1.02±0.79	61.20±31.60	14.23±0.03	/	/

表 9-2、2007 年 4 月蝌蚪、10 月成蛙之數量與六個棲地因子之相關性係數 ( $p = 0.05, r > 0.4143$ )。

	4 月蝌蚪	10 月成蛙
水面寬	0.615	-0.217
水深	-0.360	0.122
流速	-0.218	-0.038
覆蓋度	-0.295	-0.135
水溫	-0.085	-0.123
底石	-0.227	0.108
底石標準差	0.048	0.078

表 9-3、2007 年各月各樣區成蛙數目與密度(隻/m<sup>2</sup>)。

樣區	梭德氏赤蛙			盤古蟾蜍			斯文豪氏赤蛙			莫氏樹蛙			總數	密度				
	雄	雌	幼	總數	雄	雌	幼	總數	雄	雌	幼	總數						
三月	1	3	0	0	3	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	4	0.016	
支流	9	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.004	
總數	3	0	0	<b>3</b>	0	2	0	<b>2</b>	0	0	0	<b>0</b>	0	0	0	<b>5</b>		
平均	1.5	0	0	1.5	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2.5	0.010	
四月	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.004	
支流	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	8	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.004	
	9	10	1	0	11	21	2	1	24	0	0	0	0	0	0	35	0.140	
總數	10	1	0	<b>11</b>	21	3	2	<b>26</b>	0	0	0	<b>0</b>	0	0	0	<b>37</b>		
平均	2.5	0.3	0	2.8	5.3	0.8	0.5	6.5	0	0	0	0	0	0	0	9.3	0.037	
四月	A-01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
主流	A-02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	A-03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	A-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	A-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	A-06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	A-07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	A-08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	A-09	3	0	0	3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	4	0.016	
	A-10	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.004	
	A-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	A-12	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0.004	
	A-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	A-14	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	2	0.008
	A-15	0	0	0	0	0	1	0	1	3	0	0	3	0	0	4	0.016	
	A-16	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	2	0	0	3	0.012	
	A-17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	A-18	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0.008	
	A-19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	A-20	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0.004	
	A-21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	A-22	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0.008	
總數	6	0	0	<b>6</b>	3	4	1	<b>8</b>	4	1	0	<b>5</b>	1	0	0	<b>1</b>	<b>20</b>	
平均	0.3	0	0	0.3	0.1	0.2	0.0	0.4	0.2	0.05	0	0.2	0.05	0	0	0.05	0.9	0.004

表 9-3、(續)

	樣區	梭德氏赤蛙			盤古蟾蜍			斯文豪氏赤蛙			莫氏樹蛙			總數	密度			
		雄	雌	幼	總數	雄	雌	幼	總數	雄	雌	幼	總數					
四月	10	1	0	0	1	0	3	7	10	0	0	0	0	0	0	11	0.044	
司界	11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	0	0	2	0.008	
蘭溪	總數	1	0	0	<b>1</b>	0	3	7	<b>10</b>	1	1	0	<b>2</b>	0	0	<b>0</b>	<b>13</b>	
	平均	0.5	0	0	0.5	0	1.5	3.5	5	0.5	0.5	0	1	0	0	0	6.5	0.026
五月	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
支流	9	0	1	11	12	5	2	1	8	0	0	0	0	0	0	0	20	0.080
	總數	0	1	11	<b>12</b>	5	2	1	<b>8</b>	0	0	0	<b>0</b>	0	0	<b>0</b>	<b>20</b>	
	平均	0	0.5	5.5	6	2.5	1	0.5	4	0	0	0	0	0	0	0	10.0	0.040
七月	1	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0.008
支流	2	4	0	7	11	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	12	0.048
	3	2	0	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0.012
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0.004
	5	5	0	2	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0.028
	8	0	0	0	0	0	0	2	2	0	2	0	2	0	0	0	4	0.016
	9	4	1	5	10	2		1	3	0	0	2	2	0	0	0	15	0.060
	總數	15	1	14	<b>30</b>	5	0	4	<b>9</b>	0	3	2	<b>5</b>	0	0	<b>0</b>	<b>44</b>	
	平均	2.1	0.1	2	4.3	0.7	0	0.6	1.3	0	0.4	0.3	0.7	0	0	0	6.3	0.025
七月	10	21	0	0	21	2	2	5	9	2	1	0	3	0	0	0	33	0.132
司界	11	3	0	1	4	2	5	7	14	1	1	0	2	0	0	0	20	0.080
蘭溪	總數	24	0	1	<b>25</b>	4	7	12	<b>23</b>	3	2	0	<b>5</b>	0	0	<b>0</b>	<b>53</b>	
	平均	12	0	0.5	12.5	2	3.5	6	11.5	1.5	1	0	2.5	0	0	0	26.5	0.106
九月	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
支流	9	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.004
	總數	0	0	0	<b>0</b>	0	0	1	<b>1</b>	0	0	0	<b>0</b>	0	0	<b>0</b>	<b>1</b>	
	平均	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.002
十月	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
支流	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.004
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	0	0	0	2	0.008
	9	26	6	0	32	14	1	0	15	0	0	0	0	0	0	0	47	0.188
	總數	27	6	0	<b>33</b>	14	1	0	<b>15</b>	1	1	0	<b>2</b>	0	0	<b>0</b>	<b>50</b>	
	平均	6.75	1.5	0	8.25	3.5	0.25	0	3.75	0.25	0.25	0	0.5	0	0	0	12.5	0.050

表 9-3、(續)

	樣區	梭德氏赤蛙				盤古蟾蜍				斯文豪氏赤蛙				莫氏樹蛙				總數	密度	
		雄	雌	幼	總數	雄	雌	幼	總數	雄	雌	幼	總數	雄	雌	幼	總數			
十月	A-01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
主流	A-02	12	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0.048	
	A-03	8	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0.032	
	A-04	17	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0.068	
	A-05	6	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0.024	
	A-06	24	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0.096	
	A-07	11	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0.044	
	A-08	9	1	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0.040	
	A-09	11	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0.044	
	A-10	17	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0.068	
	A-11	18	1	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0.076	
	A-12	41	1	0	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	0.168	
	A-13	19	1	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0.080	
	A-14	31	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0.124	
	A-15	17	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0.068	
	A-16	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.008	
	A-17	5	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0.020	
	A-18	4	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0.016	
	A-19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	A-20	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0.012	
	A-21	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.008	
	A-22	18	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0.072	
		總數	274	4	0	<b>278</b>	1	0	0	<b>1</b>	0	0	0	<b>0</b>	0	0	0	<b>0</b>	<b>279</b>	
	平均	12.5	0.18	0	12.6	0.05	0	0	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	12.7	0.051	
十月	10	14	1	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0.060		
司界	11	6	2	0	8	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	9	0.036		
蘭溪	總數	20	3	0	<b>23</b>	1	0	0	<b>1</b>	0	0	0	<b>0</b>	0	0	0	<b>0</b>	<b>24</b>		
	平均	10	1.5	0	11.5	0.5	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	12	0.048		

表 9-4、2007 年各月各樣區各種成蛙平均吻肛長(mm)、平均體重(g)、生物量(g/m<sup>2</sup>)及樣區生物量(g/m<sup>2</sup>)(所有種類合計)。

樣區	種類	隻數	平均吻肛長	平均體重	生物量	樣區生物量
三月						
1	盤古蟾蜍	1	52.4	15.29	0.0612	0.0901
1	梭德氏赤蛙	3	29.8±1.9	2.41±0.43	0.0289	
9	盤古蟾蜍	1	51.1	14.21	0.0568	
四月						
1	盤古蟾蜍	1	76.1	47.83	0.1913	
8	盤古蟾蜍	1	59.4	22.43	0.0897	
9	盤古蟾蜍	24	58.3±8.1	22.43±9.84	2.1530	2.3120
9	梭德氏赤蛙	11	34.1±3.7	3.61±1.22	0.1590	
10	盤古蟾蜍	10	46.2±18.8	15.45±16.26	0.6181	0.6295
10	梭德氏赤蛙	1	31.7	2.84	0.0114	
11	斯文豪氏赤蛙	2	83.7±21.3	60.34±42.57	0.4828	
A-09	盤古蟾蜍	1	43.05	8.39	0.0336	0.0823
A-09	梭德氏赤蛙	3	36.2±0.8	4.06±0.25	0.0487	
A-10	梭德氏赤蛙	1	33.4	3.27	0.0131	
A-12	盤古蟾蜍	1	62.7	26.47	0.1059	
A-14	盤古蟾蜍	1	64.8	29.34	0.1174	0.1174
A-14	莫氏樹蛙	1	41.9	/	/	
A-15	盤古蟾蜍	1	63.9	28.04	0.1122	0.5562
A-15	斯文豪氏赤蛙	3	73.4±0.3	37.00±0.49	0.4440	
A-16	盤古蟾蜍	1	65.3	29.96	0.1199	0.3408
A-16	斯文豪氏赤蛙	2	66.3±6.4	27.61±7.87	0.2209	
A-18	盤古蟾蜍	1	50.6	13.74	0.0550	0.0691
A-18	梭德氏赤蛙	1	34.4	3.53	0.0141	
A-20	盤古蟾蜍	1	51.6	14.63	0.0585	
A-22	盤古蟾蜍	1	58.3	21.19	0.0848	0.0953
A-22	梭德氏赤蛙	1	30.8	2.63	0.0105	
五月						
9	盤古蟾蜍	8	56.0±16.4	22.88±15.12	0.7322	0.7618
9	梭德氏赤蛙	1	44.7	7.14	0.0286	

表 9-4、(續)

樣區	種類	隻數	平均吻肛長	平均體重	生物量	樣區生物量
七月						
1	盤古蟾蜍	2	62.0±14.2	27.75±18.12	0.2220	
2	盤古蟾蜍	1	63.1	27.05	0.1082	0.1805
2	梭德氏赤蛙	11	22.0±11.0	1.64±1.86	0.0723	
3	盤古蟾蜍	1	29.8	2.74	0.0110	0.0369
3	梭德氏赤蛙	2	33.3±0.7	3.24±0.18	0.0259	
4	斯文豪氏赤蛙	1	82.9	53.40	0.2136	
5	梭德氏赤蛙	7	32.0±4.9	3.05±1.02	0.0855	
8	盤古蟾蜍	2	28.6±1.3	2.43±0.35	0.0194	0.4095
8	斯文豪氏赤蛙	2	80.1±7.5	48.76±13.61	0.3901	
9	盤古蟾蜍	3	48.6±21.0	16.53±13.06	0.1983	0.2979
9	梭德氏赤蛙	10	27.9±7.3	2.29±1.46	0.0917	
9	斯文豪氏赤蛙	2	21.4±5.0	0.99±0.65	0.0079	
10	盤古蟾蜍	9	43.3±17.2	12.48±13.82	0.4492	1.1845
10	梭德氏赤蛙	21	35.0±1.7	3.73±0.48	0.3134	
10	斯文豪氏赤蛙	3	72.1±1.8	35.16±2.65	0.4219	
11	盤古蟾蜍	14	49.9±16.6	17.41±14.59	0.9750	1.3466
11	梭德氏赤蛙	4	33.2±2.6	3.25±0.64	0.0520	
11	斯文豪氏赤蛙	2	74.8±8.6	39.95±13.55	0.3196	
九月						
9	盤古蟾蜍	1	17.9	0.57	0.0023	
十月						
2	梭德氏赤蛙	1	35.7	3.91	0.0156	
8	斯文豪氏赤蛙	2	86.0±8.8	60.46±18.27	0.4836	
9	盤古蟾蜍	15	56.4±4.8	19.53±5.25	1.1717	1.6504
9	梭德氏赤蛙	32	34.4±5.3	3.74±1.74	0.4787	
10	梭德氏赤蛙	15	35.2±3.4	3.84±1.09	0.2303	
11	盤古蟾蜍	1	66.60	31.82	0.1273	0.2909
11	梭德氏赤蛙	8	38.44±7.24	5.11±2.90	0.1636	
A02	梭德氏赤蛙	12	34.05±2.35	3.47±0.62	0.1668	
A03	梭德氏赤蛙	8	35.09±1.24	3.74±0.36	0.1196	
A04	梭德氏赤蛙	17	33.30±1.63	3.26±0.42	0.2214	
A05	梭德氏赤蛙	6	34.79±3.15	3.70±0.91	0.0888	
A06	梭德氏赤蛙	24	33.99±1.89	3.45±0.52	0.3308	

表 9-4、(續)

樣區	種類	隻數	平均吻肛長	平均體重	生物量	樣區生物量
十月						
A07	梭德氏赤蛙	11	33.35±1.49	3.27±0.38	0.1437	
A08	梭德氏赤蛙	10	34.97±3.98	3.79±1.29	0.1518	
A09	梭德氏赤蛙	11	35.20±2.45	3.80±0.73	0.1670	
A10	梭德氏赤蛙	17	33.84±1.94	3.41±0.54	0.2315	
A11	梭德氏赤蛙	19	33.96±3.04	3.47±0.94	0.2640	
A12	梭德氏赤蛙	42	33.11±2.90	3.25±0.94	0.5454	
A13	梭德氏赤蛙	20	33.37±2.76	3.31±0.84	0.2646	
A14	梭德氏赤蛙	31	33.78±2.55	3.41±0.71	0.4227	
A15	梭德氏赤蛙	17	33.90±2.63	3.44±0.70	0.2342	
A16	盤古蟾蜍	1	64.25	28.52	0.1141	0.1255
A16	梭德氏赤蛙	1	31.75	2.85	0.0114	
A17	梭德氏赤蛙	5	33.79±1.35	3.38±0.36	0.0676	
A18	梭德氏赤蛙	4	34.04±1.08	3.44±0.30	0.0551	
A20	梭德氏赤蛙	3	31.73±1.08	2.85±0.25	0.0342	
A21	梭德氏赤蛙	2	33.55±1.20	3.31±0.31	0.0265	
A22	梭德氏赤蛙	18	32.38±1.83	3.02±0.46	0.2177	

表 9-5、歷年梭德氏赤蛙繁殖季及 2007 年各月份成蛙總數與雄雌比。

月份	總數	雄蛙	雌蛙	雄雌比
2004.09	295	265	11	24:1
2004.10	274	222	27	8:1
2005.10	622	598	10	59:1
2006.10	241	232	8	29:1
2007.03	3	3	0	3:0
2007.04	17	16	1	16:1
2007.05	12	0	1	0:1
2007.07	30	15	1	15:1
2007.09	0	0	0	0
2007.10	311	301	10	30:1



表 9-6、2007 年各月各樣區蝌蚪種類、總數、平均全長(mm)、平均濕重(g)、平均期數(平均值±標準差)、平均密度(隻/m<sup>2</sup>)與生物量(g/m<sup>2</sup>)。

樣區	種類	隻數	平均全長	平均濕重	平均期數	平均密度	生物量
三月							
1	梭德氏赤蛙	12	28.43±3.73	0.304±0.16	28.25±1.36	0.720	0.629
9	梭德氏赤蛙	56	35.25±6.56	0.650±0.33	32.57±3.92	2.433	3.969
四月							
1	梭德氏赤蛙	34	33.78±4.01	0.528±0.18	33.15±3.54	1.257	2.156
2	梭德氏赤蛙	3	33.10±8.24	0.540±0.34	33.33±4.62	0.091	0.135
9	盤古蟾蜍	1	12.35	0.018	25	0.068	0.002
9	梭德氏赤蛙	54	35.30±4.43	0.615±0.22	35.91±4.28	1.855	3.430
10	梭德氏赤蛙	20	33.19±3.42	0.494±0.17	32.65±3.95	0.513	1.051
11	梭德氏赤蛙	30	32.68±4.64	0.487±0.27	32.60±4.07	0.814	1.174
A-01	梭德氏赤蛙	2	28.75±0.35	0.296±0.01	28.00±0.00	0.123	0.071
A-02	梭德氏赤蛙	1	29.00	0.305	29	0.027	0.021
A-03	梭德氏赤蛙	8	31.26±3.87	0.410±0.16	30.88±3.40	0.202	0.164
A-04	梭德氏赤蛙	4	23.06±5.28	0.166±0.14	26.50±1.00	0.149	0.050
A-05	梭德氏赤蛙	7	36.66±5.15	0.701±0.29	34.71±3.64	0.270	0.421
A-06	梭德氏赤蛙	6	34.38±2.87	0.546±0.15	32.50±3.56	0.158	0.218
A-07	梭德氏赤蛙	9	24.61±5.70	0.213±0.19	28.33±2.87	0.409	0.143
A-09	梭德氏赤蛙	3	37.72±6.09	0.772±0.39	36.33±5.03	0.252	0.195
A-10	梭德氏赤蛙	1	37.30	0.699	38	0.025	0.082
A-11	梭德氏赤蛙	2	25.25±0.14	0.193±0.00	27.50±0.71	0.064	0.028
A-12	梭德氏赤蛙	4	34.56±3.62	0.560±0.18	33.75±3.95	0.133	0.158
A-13	梭德氏赤蛙	2	37.78±1.31	0.730±0.08	36.50±0.71	0.075	0.112
A-14	梭德氏赤蛙	8	30.14±7.56	0.416±0.28	31.50±4.72	0.283	0.232
A-15	梭德氏赤蛙	4	28.68±3.14	0.303±0.10	29.25±1.50	0.161	0.096
A-16	梭德氏赤蛙	5	33.54±7.94	0.575±0.40	33.80±6.38	0.159	0.202
A-17	梭德氏赤蛙	2	23.58±0.32	0.154±0.01	27.55±0.71	0.067	0.020
A-18	梭德氏赤蛙	7	31.54±5.38	0.439±0.23	32.29±4.34	0.270	0.194
A-19	梭德氏赤蛙	22	28.24±6.70	0.339±0.27	30.09±4.60	0.482	0.387
A-20	梭德氏赤蛙	3	27.05±5.27	0.265±0.15	29.67±2.89	0.126	0.068
A-21	梭德氏赤蛙	1	32.40	0.439	34	0.040	0.039
A-22	梭德氏赤蛙	3	37.92±5.03	0.770±0.32	36.67±5.77	0.241	0.290

表 9-6、(續)

樣區	種類	隻數	平均全長	平均濕重	平均期數	平均密度	生物量
五月							
1	梭德氏赤蛙	13	32.35±2.33	0.445±0.09	34.39±3.25	0.459	0.732
9	盤古蟾蜍	35	21.92±6.71	0.156±0.16	30.26±3.15	1.343	0.684
9	梭德氏赤蛙	19	36.50±2.39	0.661±0.16	39.58±1.92	0.919	1.575
七月							
1	盤古蟾蜍	11	12.52±0.42	0.02±0.00	25.73±1.91	0.394	0.029
1	梭德氏赤蛙	3	33.33±1.38	0.49±0.07	39.67±2.08	0.125	0.207
9	盤古蟾蜍	39	27.59±4.13	0.26±0.11	36.21±4.38	1.388	1.053
9	梭德氏赤蛙	2	31.55±3.11	0.41±0.13	41.00±2.83	0.070	0.085
九月							
9	盤古蟾蜍	35	6.07±1.18	0.002±0.002	18.80±1.73	0.803	0.006
十月							
1	梭德氏赤蛙	3	14.00±1.60	0.03±0.01	25.67±0.58	0.205	0.014
9	梭德氏赤蛙	2	15.20±1.56	0.04±0.01	26.00±0.00	0.039	0.005
A-05	梭德氏赤蛙	1	15.25	0.04	25	0.042	0.003

表 9-7、2007 年七家灣溪西側紅斑蛇數量分布。

	A01 至 A07	A08 至 A14	A15 至 A22
2007 年 3 月	0	0	0
2007 年 4 月	1	0	0
2007 年 5 月	1	0	2
2007 年 6 月	1	1	3
2007 年 7 月	0	0	1
2007 年 8 月	0	0	3
2007 年 9 月	1	0	2
2007 年 10 月	0	0	0

表 9-8、2005 年至 2007 年紅斑蛇各季節數量。

	春 (4 月)	夏 (7 月)	秋 (10 月)
2005 年	4	7	1
2006 年	3	8	0
2007 年	3	4	0

表 9-9、2005 年至 2007 年蛇類捕獲及再捕獲數量。

	2005 年	2006 年	2007 年
紅斑蛇	17	15	26
再捕獲	0	0	0
其他種類	1	3	2
再捕獲	0	0	0

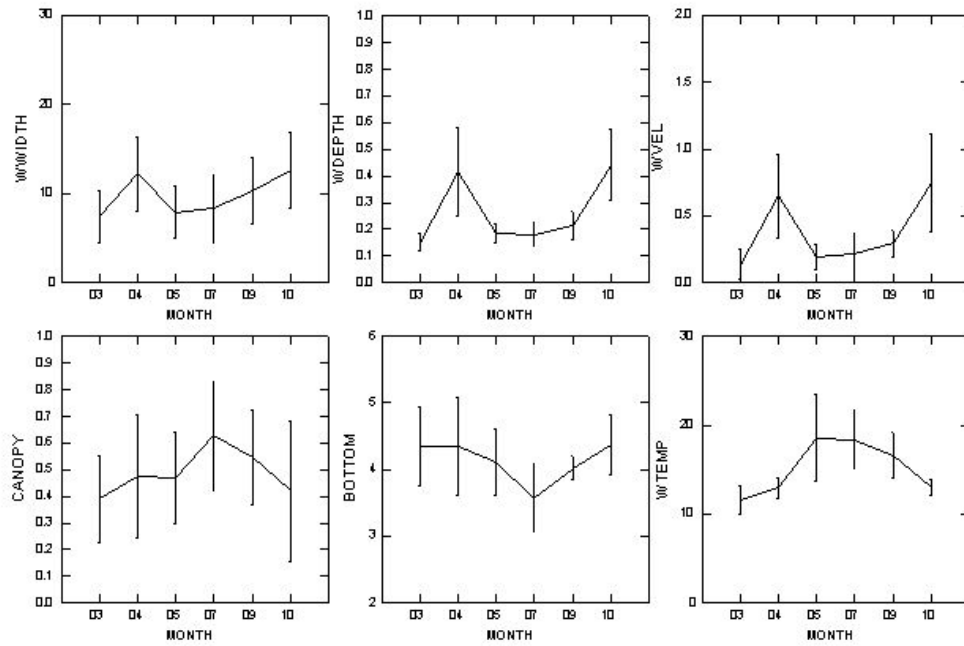


圖 9-1、2007 年七家灣溪環境因子全年變化 (WWIDTH 水寬、WDEPTH 水深、WVEL 流速、CANOPY 覆蓋度、BOTTOM 水裡底石、WTEMP 水溫，平均值±標準差)。

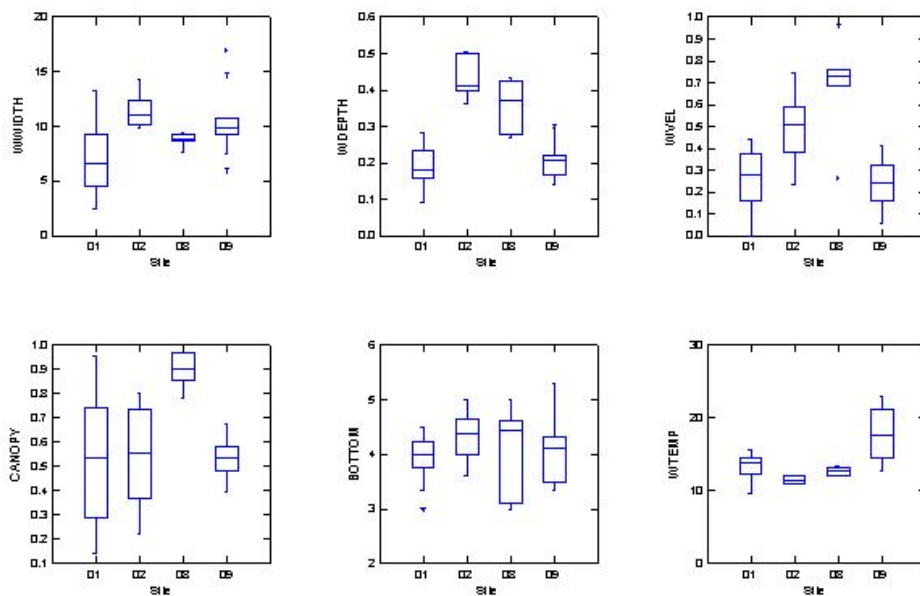


圖 9-2、2007 年七家灣溪四支流測站環境因子比較 (1 桃山北溪、2 桃山西溪、8 高山溪、9 有勝溪、WWIDTH 水寬、WDEPTH 水深、WVEL 流速、CANOPY 覆蓋度、BOTTOM 水裡底石、WTEMP 水溫)。

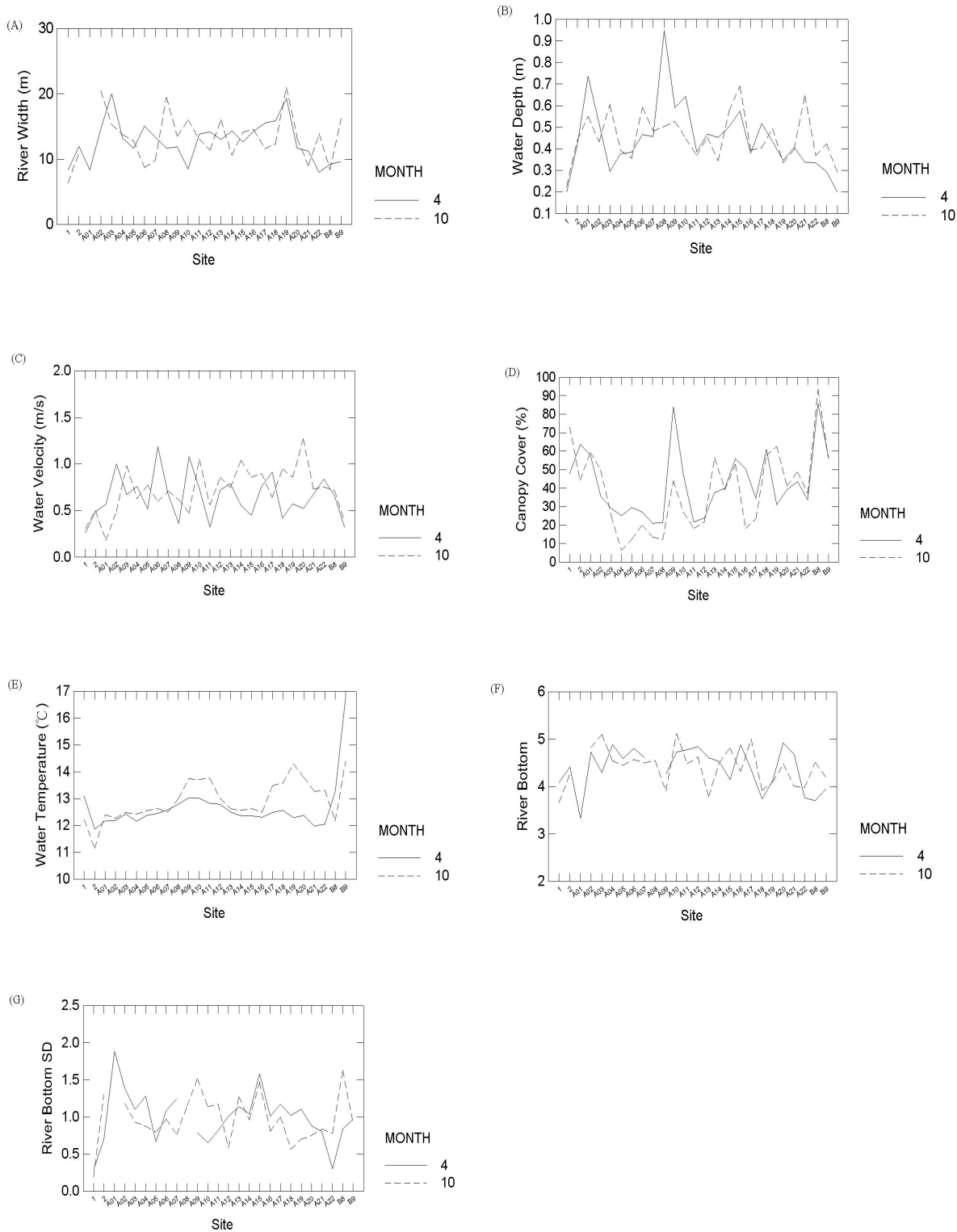


圖 9-3、2007 年七家灣溪上游至下游測站，四月與十月環境因子比較 (A:水面寬、B:水深、C:流速、D:覆蓋度、E:水溫、F:底石平均、G:底石平均標準差) (測站最左為最上游之 1 桃山北溪測站及 2 桃山西溪測站；A-01 至 A-22 為七家灣溪之 22 測站；B8 為高山溪；B9 為有勝溪)。

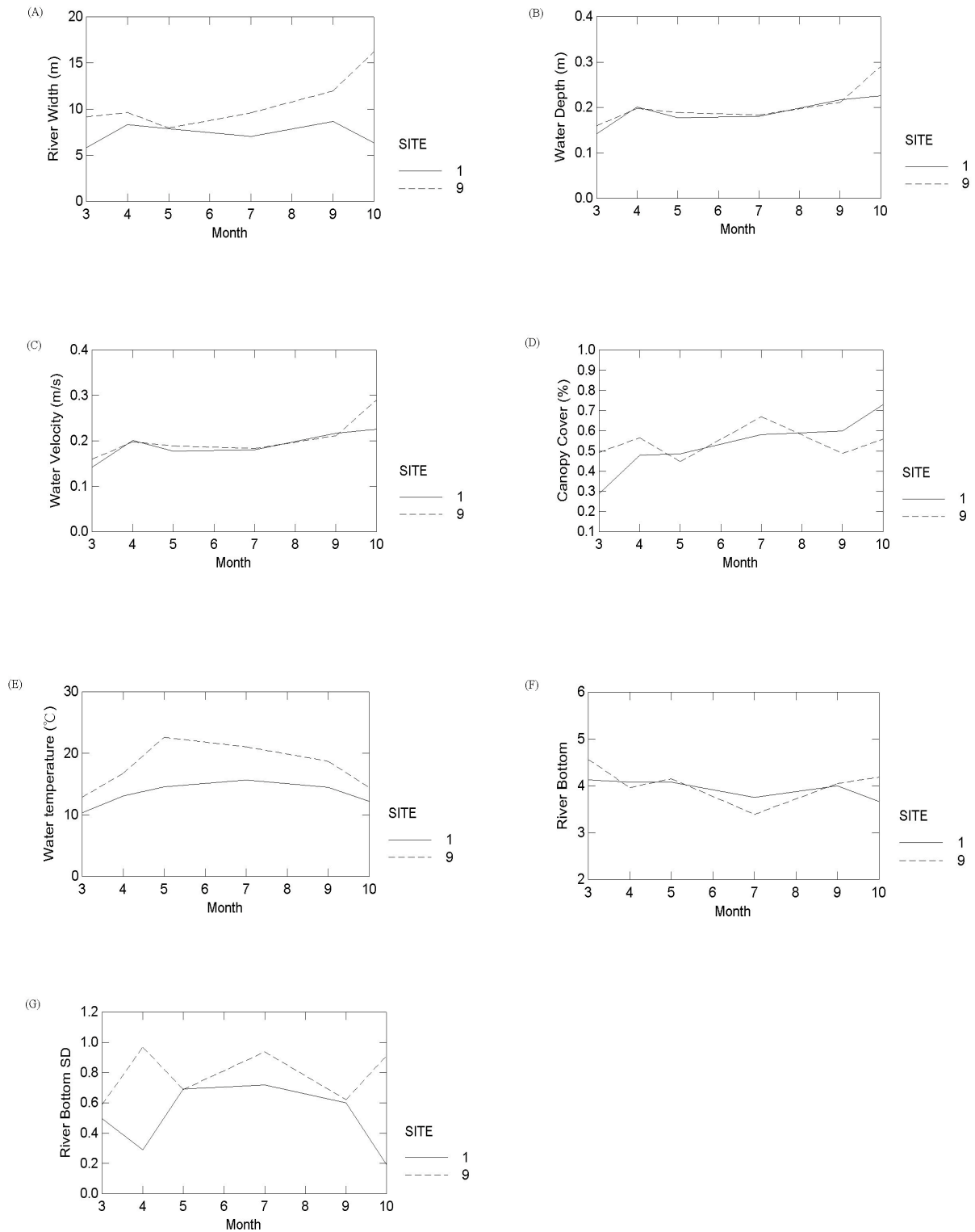


圖 9-4、2007 年七家灣溪之桃山北溪 (1) 與有勝溪 (9) 測站各月份環境因子比較 (A: 水面寬、B:水深、C:流速、D:覆蓋度、E:水溫、F:底石平均、G:底石平均標準差)。

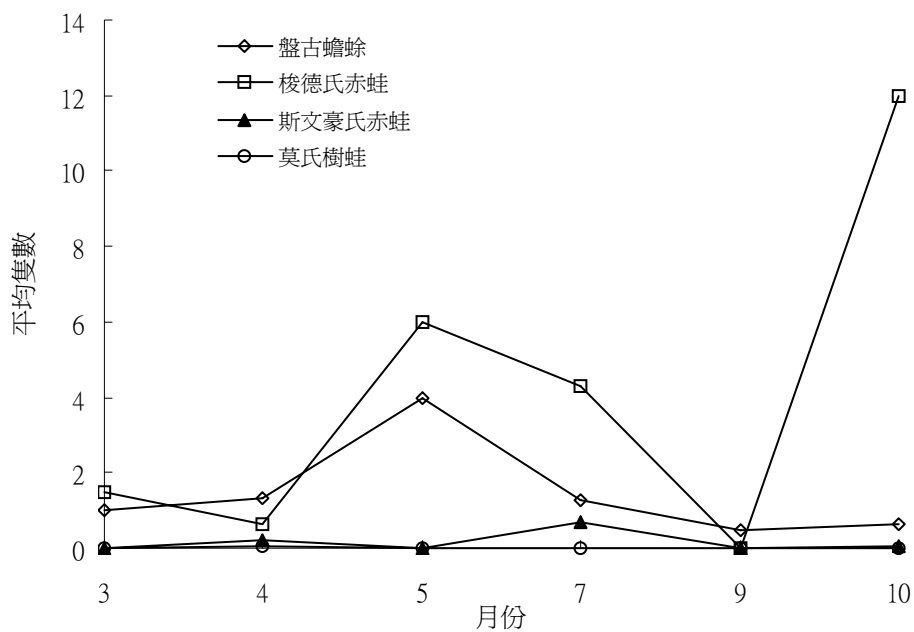


圖 9-5、2007 年七家灣溪全年各月青蛙平均隻數 (隻/樣區)。

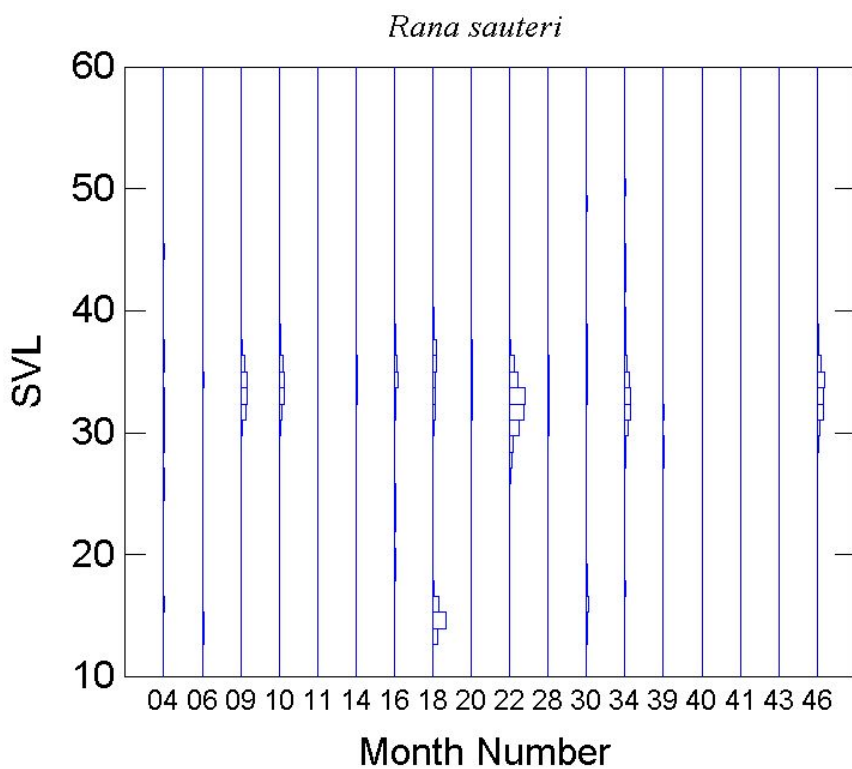


圖 9-6、七家灣溪梭德氏赤蛙成蛙歷年吻肛長 (SVL, mm)。

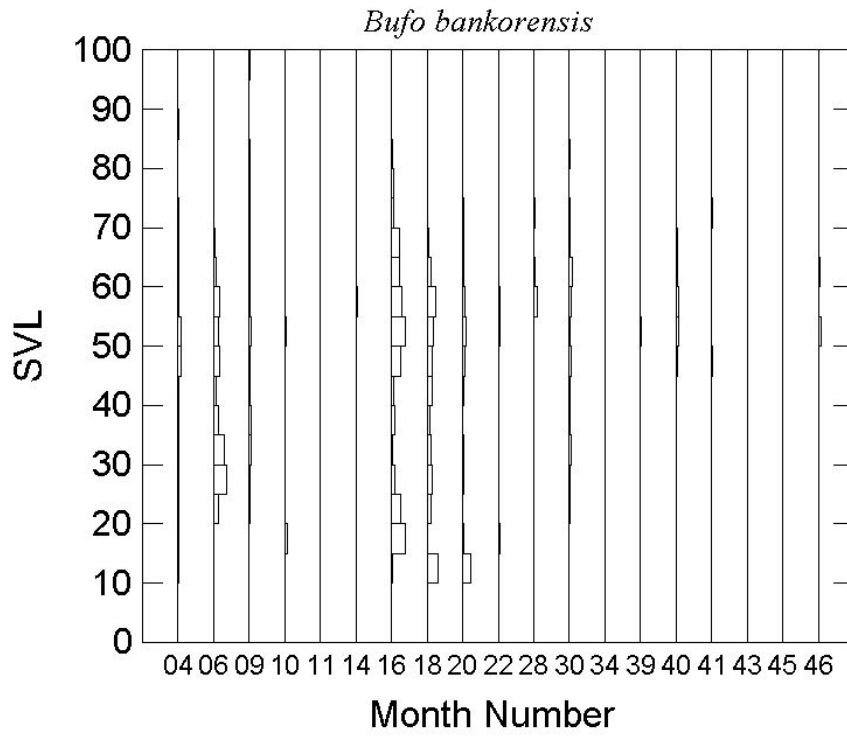


圖 9-7、七家灣溪盤古蟾蜍成蛙歷年吻肛長 (SVL, mm)。

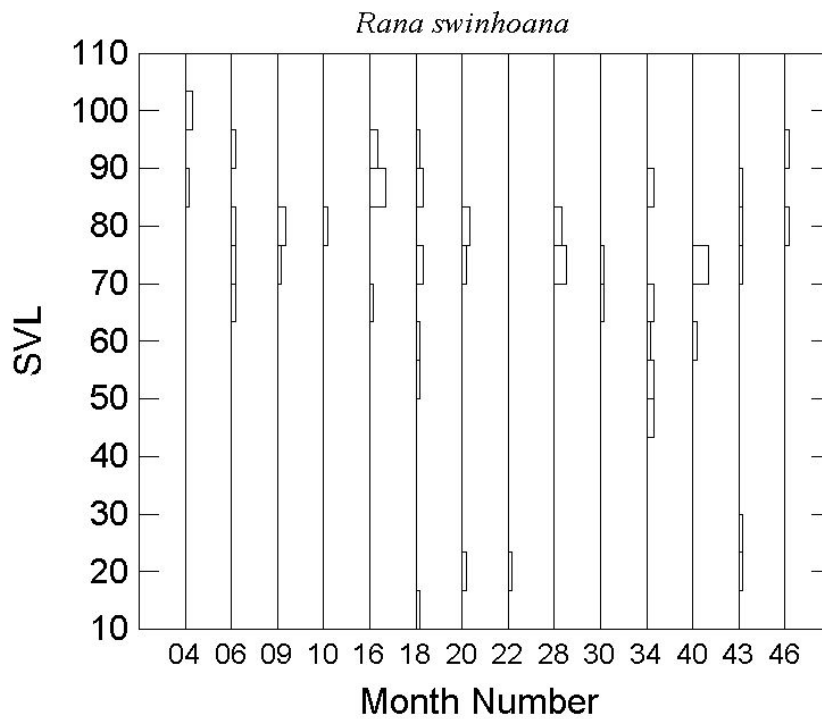


圖 9-8、七家灣溪斯文豪氏赤蛙成蛙歷年吻肛長 (SVL, mm)。



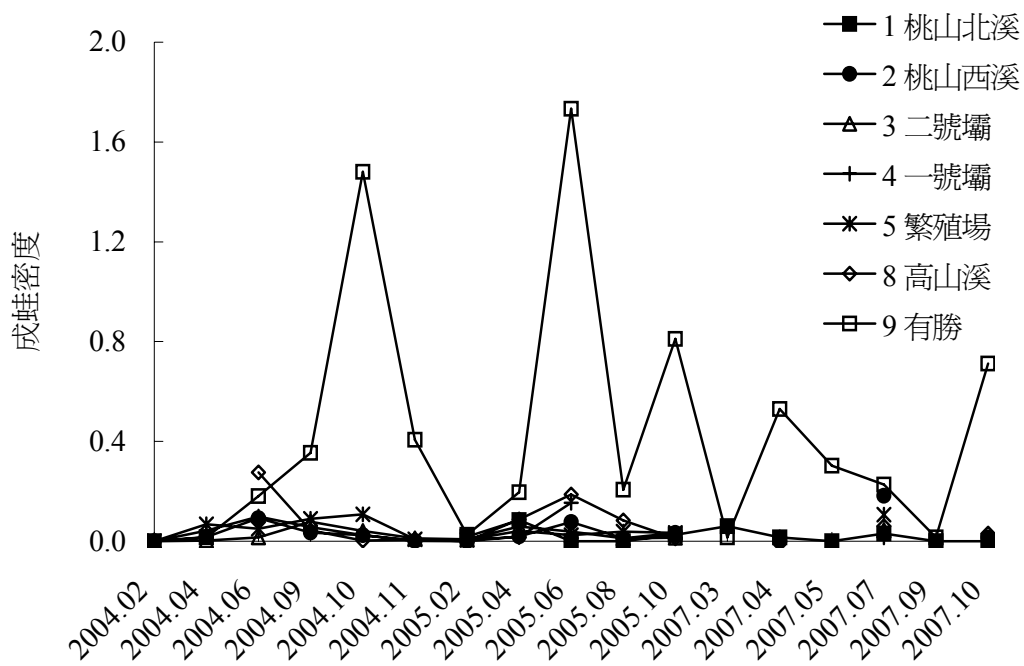


圖 9-9、歷年七家灣溪各測站成蛙平均密度 (隻/m<sup>2</sup>)。

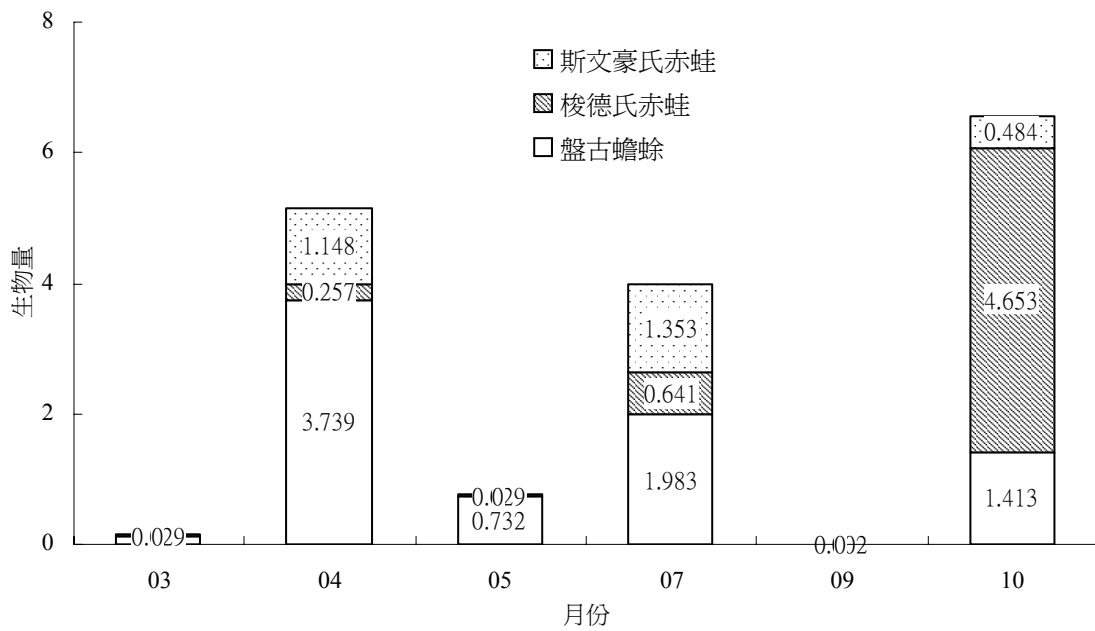


圖 9-10、2007 年七家灣溪各月成蛙生物量比較。

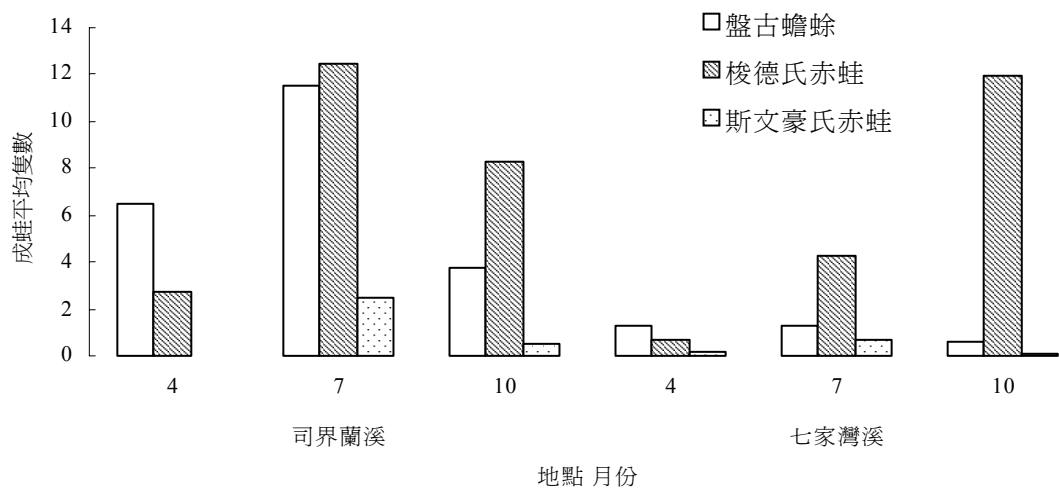


圖 9-11、2007 年司界蘭溪與七家灣溪成蛙平均隻數（隻/樣區）比較。

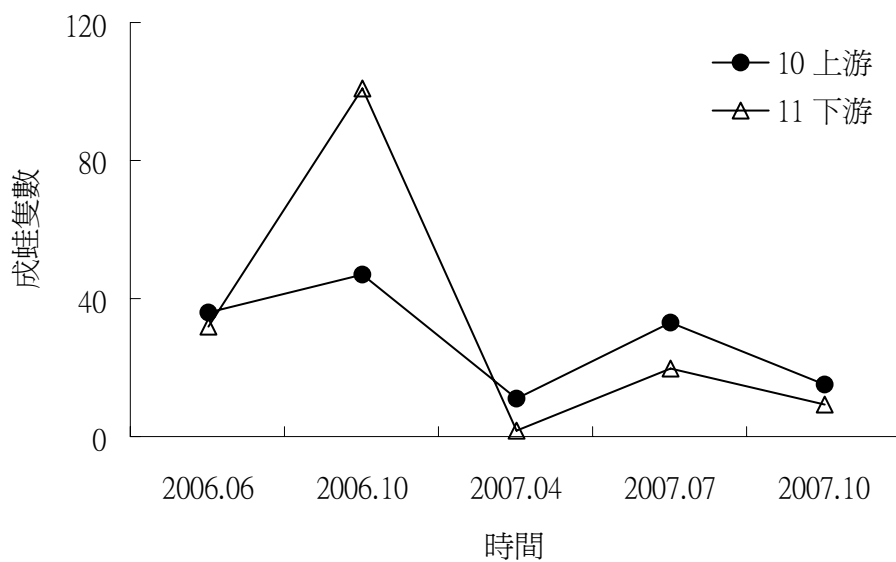


圖 9-12、2006 至 2007 司界蘭溪二測站成蛙隻數。

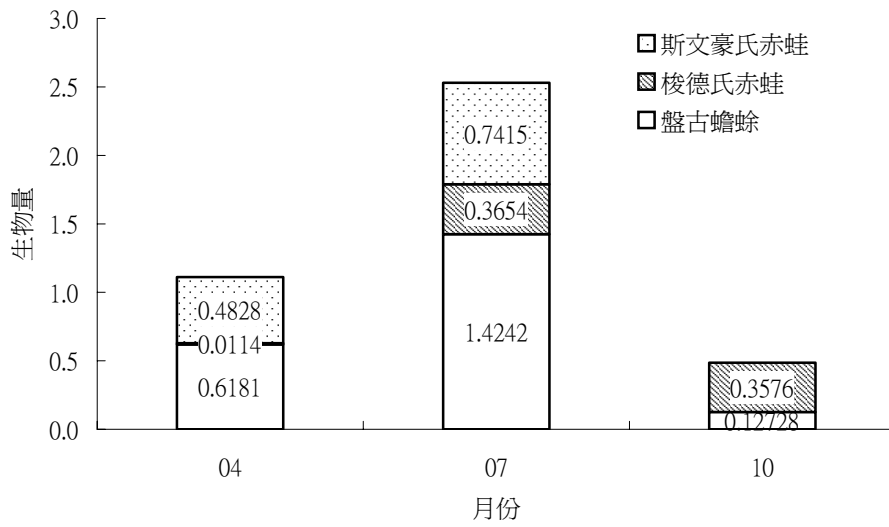


圖 9-13、2007 年司界蘭溪各月成蛙生物量 (g/m<sup>2</sup>) 比較。

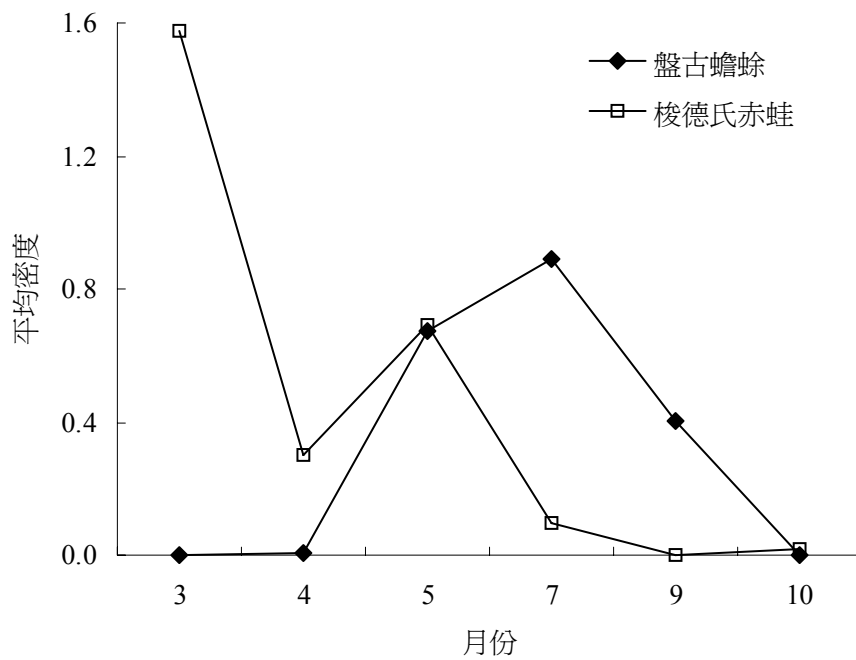


圖 9-14、2007 年七家灣溪全年各月蝌蚪平均密度 (隻/m<sup>2</sup>)。

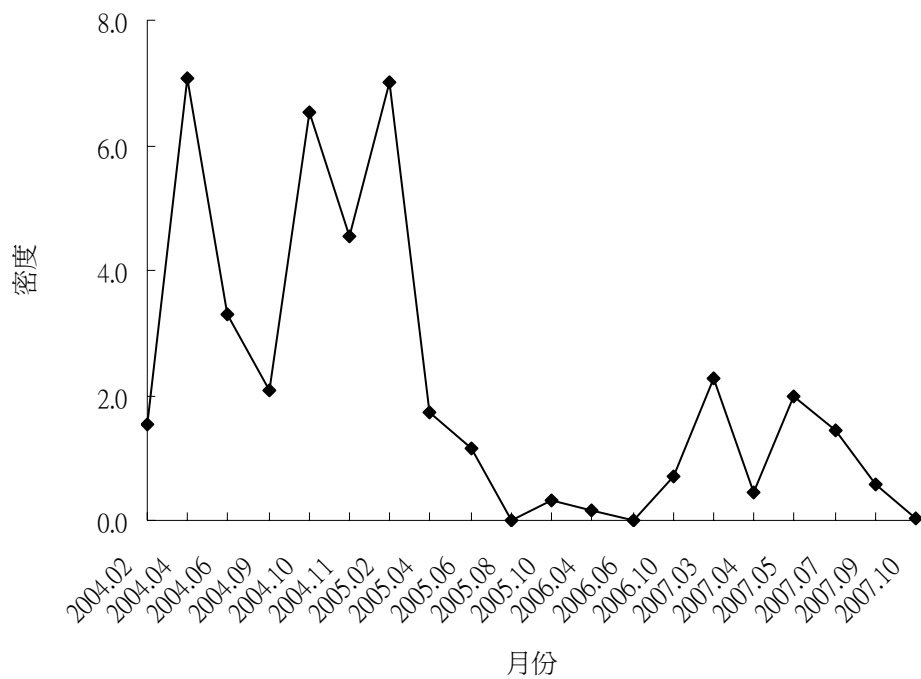


圖 9-15、歷年七家灣溪蝌蚪平均密度 (隻/m<sup>2</sup>)。

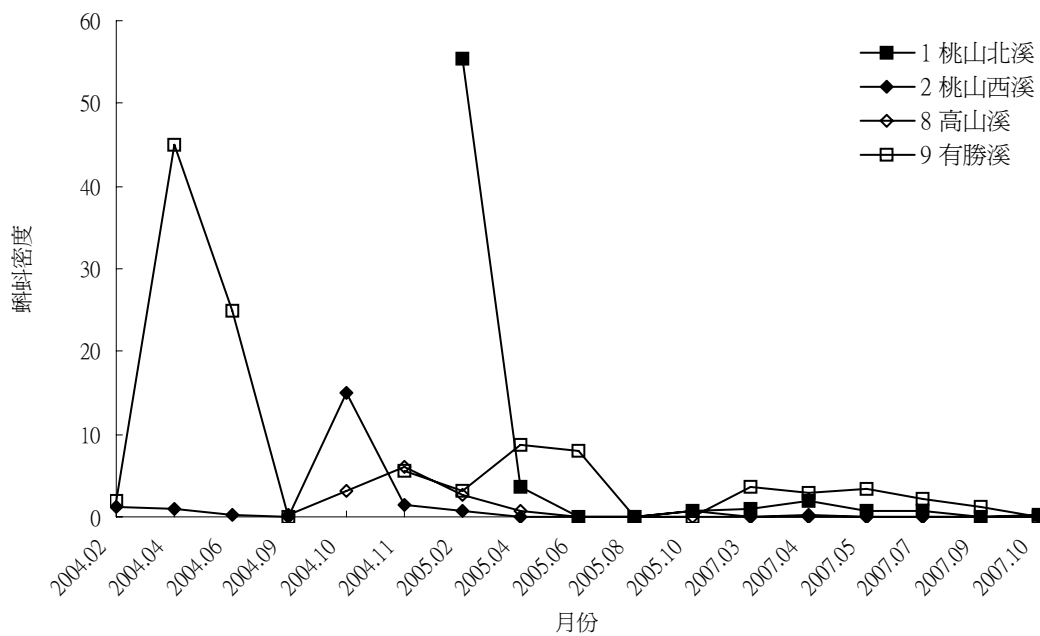


圖 9-16、歷年七家灣溪支流測站蝌蚪平均密度 (隻/m<sup>2</sup>)。

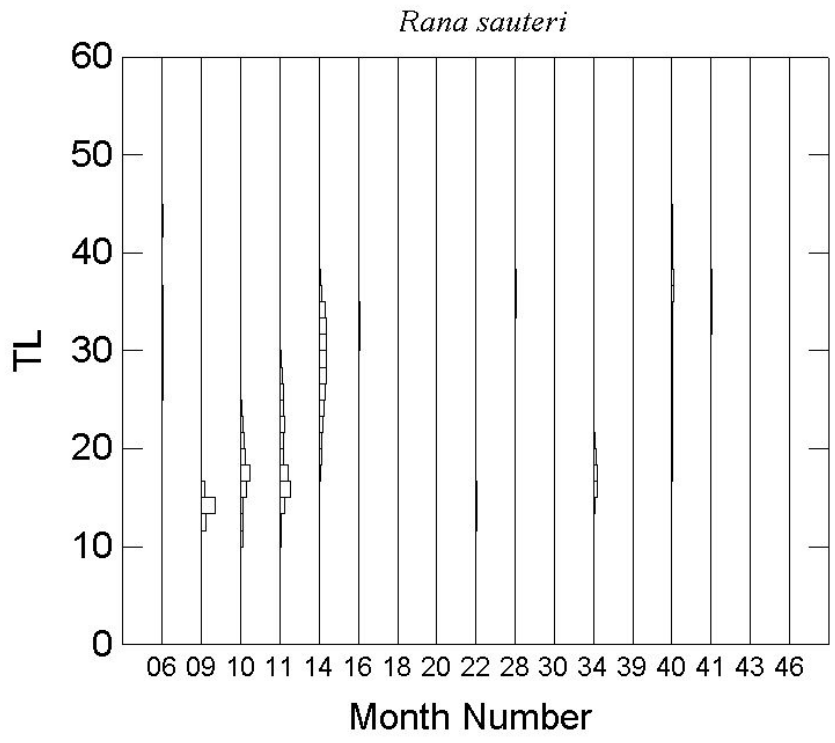


圖 9-17、七家灣溪梭德氏赤蛙蝌蚪歷年體長 (TL, mm)。

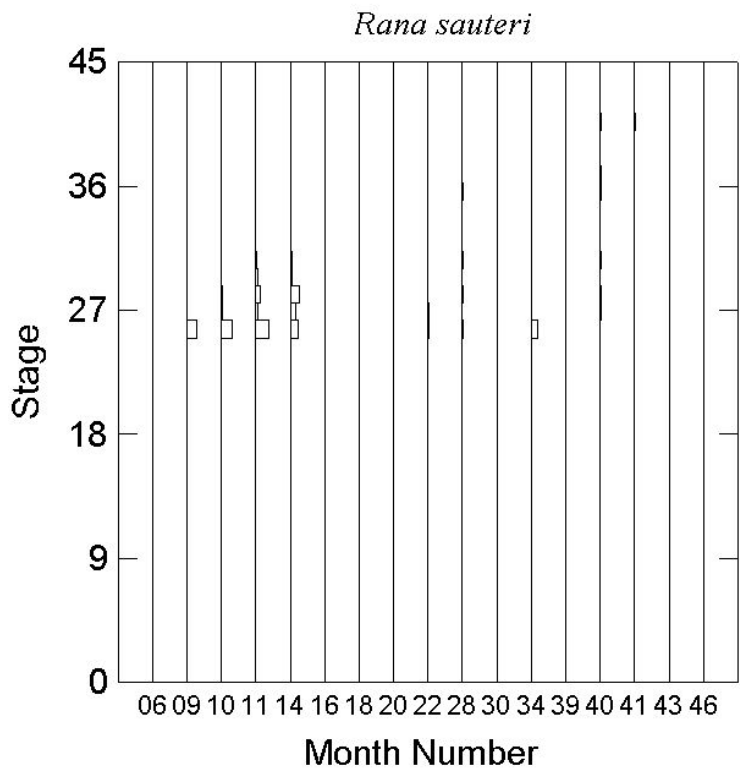


圖 9-18、七家灣溪梭德氏赤蛙蝌蚪歷年期數。

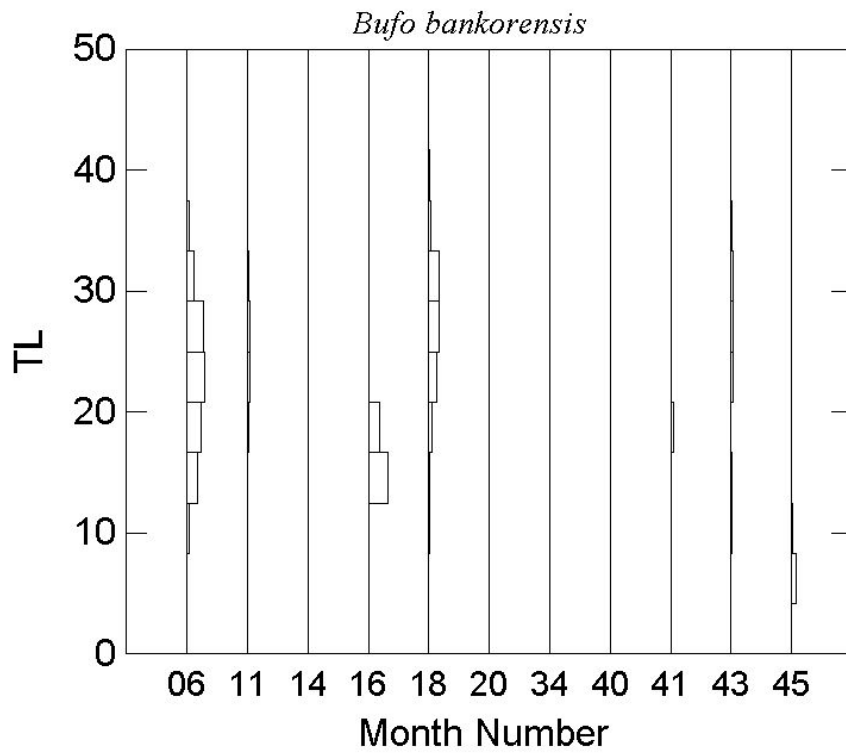


圖 9-19、七家灣溪盤古蟾蜍蝌蚪歷年體長 (TL, mm)。

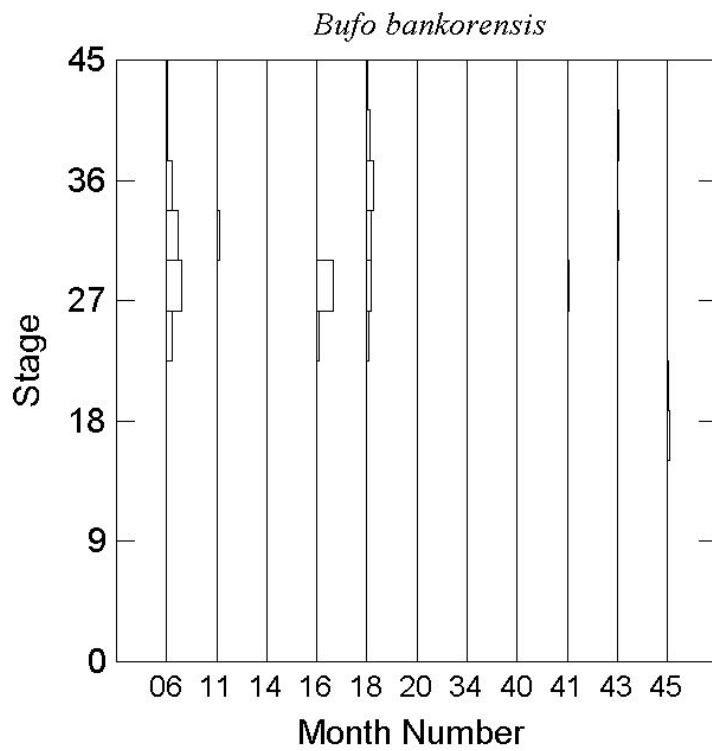


圖 9-20、七家灣溪盤古蟾蜍蝌蚪歷年期數。

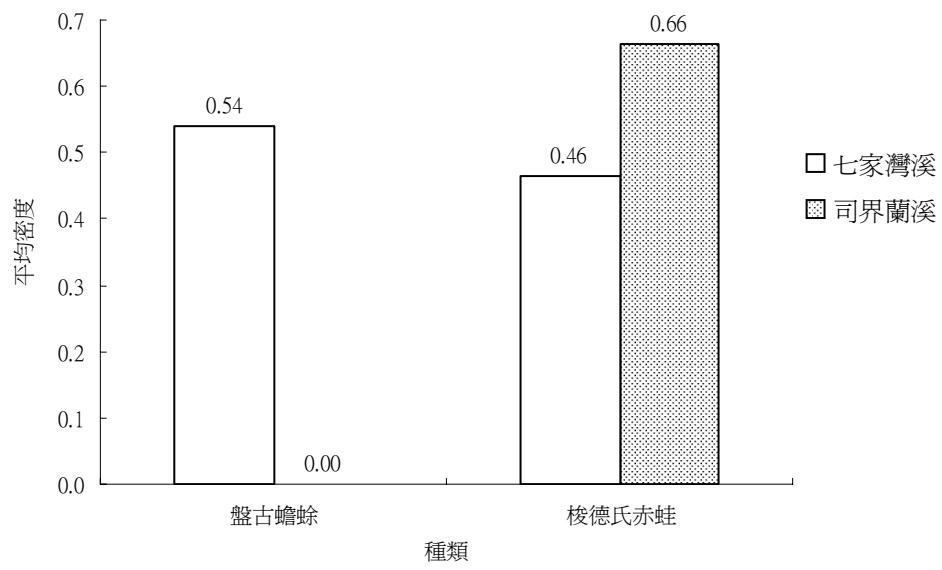


圖 9-21、2007 年司界蘭溪與七家灣溪蝌蚪平均密度(隻/m<sup>2</sup>)。

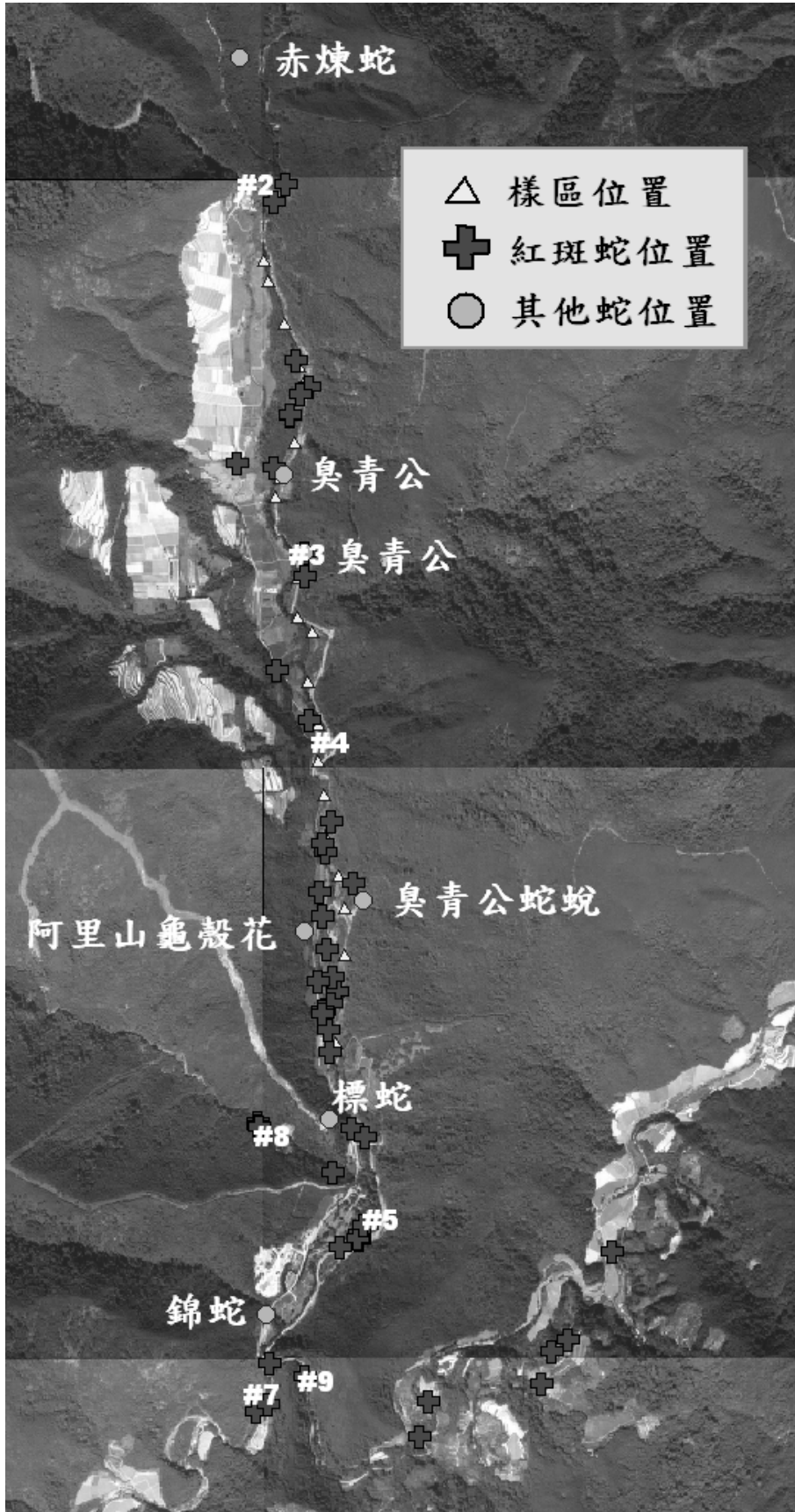


圖 9-22、2005 年至 2007 年捕獲蛇類在七家灣溪的分布。



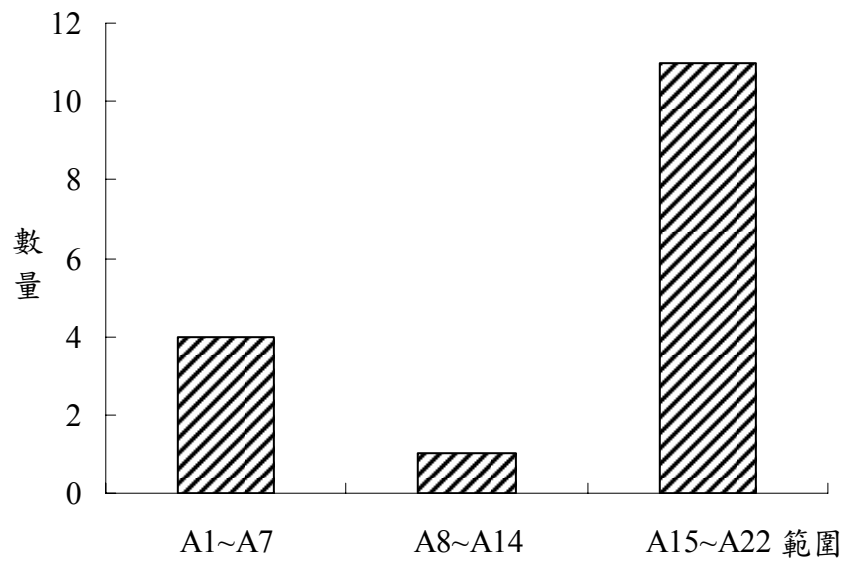


圖 9-23、2007 年七家灣溪西側紅斑蛇數量分布。

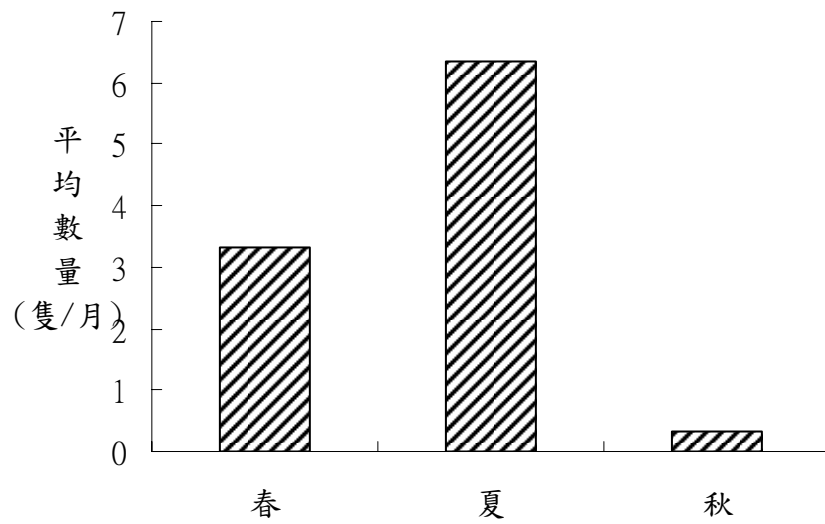


圖 9-24、2005 年至 2007 年紅斑蛇各季平均數量。

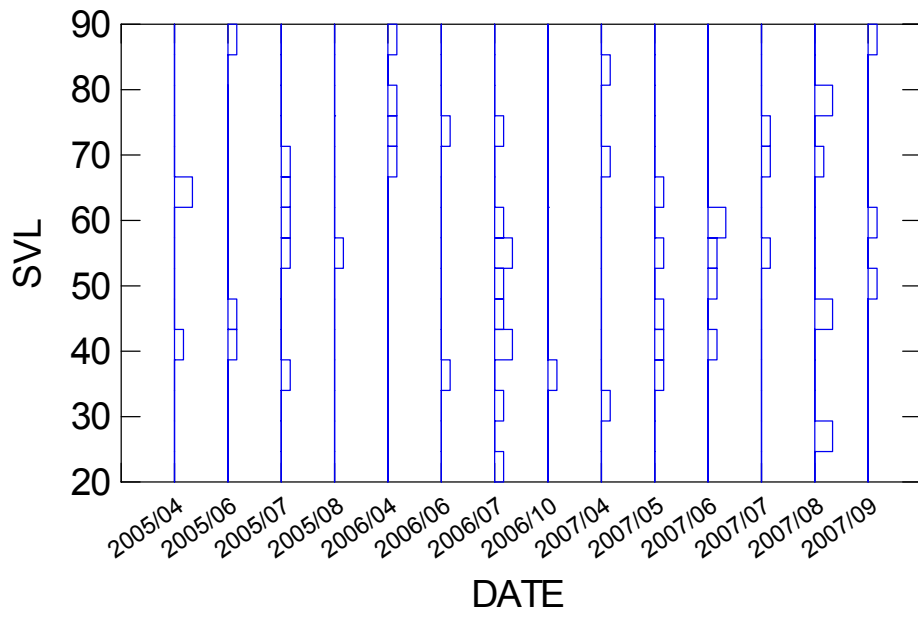


圖 9-25、2005 年至 2007 年紅斑蛇吻肛長分布。

# 第十章 台灣櫻花鉤吻鮭族群監測與動態分析

曾晴賢、楊正雄

清華大學生物資訊與結構生物研究所

## 摘要

### 一、研究緣起

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

### 二、研究方法及過程

本研究於除定期調查各固定樣點的魚類族群分布與數量外，於 2007 年六、七月間及十月進行七家灣溪台灣櫻花鉤吻鮭的全面族群數量普查，以瞭解 2006 年繁殖季節後新生幼魚加入族群數量與分布狀況及繁殖季節前成魚的狀況，並對照歷年的魚群數量與族群結構的變化以作進一步的分析。

### 三、重要發現

1.最近的一次 2007 秋季調查結果發現，整個流域共記錄到台灣櫻花鉤吻鮭 2,009 尾，其中一齡幼魚有 625 尾，二齡中型鮭魚有 798 尾，三齡大型成魚則有 586 尾。夏季調查則為 2,624 尾，其中一齡幼魚有 1,028 尾，二齡中型鮭魚有 1,087 尾，三齡大型成魚則有 509 尾。兩季比較顯示風災造成。族群結構因此由夏季近於金字塔型結構轉變為中型成魚數量較多，而一齡幼魚與大型成魚數量相當的桶型結構。

- 2.今年夏秋季接連的風災對台灣櫻花鉤吻鮭的影響衝擊不大，成魚和幼魚還分別可以保有 86.7 和 60.8%的族群比例存活。幼魚受到風災影響較大，且上游河段受到影響較下游河段來得明顯。
- 3.鮭魚明顯集中在一至三號壩間河段，由原先夏季佔整個族群數量的 54%提高至秋季普查的 63.9%。其次是上游的三號壩以上河段，不過其中有近 1/2 都集中在桃山北溪支流。再其次是一號壩以下河段。
- 4.各齡鮭魚都明顯以中游的七家灣溪一至三號壩河段為最優勢，且在風災後其各齡族群所佔比例都有提升。不過夏季在一號壩以下有相當數量的大型成魚（28.1%）在秋季調查時已經降低至 6.8%，同樣的，桃山北溪夏季時佔有很高比例（31%）的一齡鮭魚鮭魚也受到風災衝擊影響而大幅降低至 14.1%。
- 5.高山溪族群在夏季調查所佔各齡鮭魚比例都不高，雖然可能是因為水濁不適合浮潛調查造成低估誤差，但高山溪各河段破壩又再形成阻礙及新近形成的天然障礙，對族群已經造成分割的狀況應該要特別注意。

#### 四、主要建議事項

人工復育繁殖捕抓的種魚，建議還是以二號壩以下河段或一號壩以下河段高水溫河段族群個體較佳。

【關鍵字】台灣櫻花鉤吻鮭、七家灣溪、族群數量、生態調查

## **Abstract**

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

Beside the investigation on the 11 joint site every two month, the overall population investigations for Taiwan masu salmon in the Chichiawan creek have been conducted between June- July and middle October of 2007 in order to know the population and the distribution of new born juveniles attending to the salmon group and the distribution and number of the adults before 2007 breeding season.

The major findings are as follows:

1. In the fall of 2007, the population of the masu salmon is 2,009, in which the amount of the one-aged juvenile is 625, the two-aged adult 798, and the three-aged adult 586. And in the summer of 2007, the population of the masu salmon is 2,624, in which the amount of the one-aged juvenile is 1,028, the two-aged adult 1,087, and the three-aged adult 509. The age structure of the population transform to bottle shape in fall from near-pyramid in summer shape because of the two-aged adult more and the one-aged juvenile

population almost equal to the number of the three-aged adult.

2. The cascade typhoons didn't affect too much with the salmon population, adults and juveniles still left 86.7% and 60.8%. The juveniles lost more than adults, and the population in the upstream region lost more than the downstream region.

3. The percentage of the overall salmon massed up in the region of the checkdam no.1 to checkdam no.3 lifted from 54% to 63.9%. Minor population is in the region above the checkdam no.3 but 1/2 population massed up only at the region of Tao-mt north creek, and then the minor population is in the region under the dam no.1.

4. Population size of all year-class salmon dominate at the region of the checkdam no.1 to checkdam no.3 and lifted up after typhoons. However that, the percentage of the three-aged adult population recorded at the section under dam no.1 becoming 6.8% form 28.1% formerly. And the same time, the high percentage in summer (31%) of one-aged juvenile at the Tao mt. north creek down to 14.1% after typhoons.

5. The population ratio at the Gaoshan creek becoming less than past maybe because of the turbid flood to survey underwater, however, the broken checkdams becoming obstruction again and newly tree-rock dam had divide up population to several parts need to be considered.

Suggest to catch the salmon locate on the section under dam2 or dam1 that are high water temperature region to do the artificial propagation.

**【Keywords】** Formosan landlocked salmon 、 *Oncorhynchus masu*

*formosanus* 、 population censuses 、 population ecology

## 一、前言

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

目前僅知台灣櫻花鉤吻鮭在台灣只分布於中部的大甲溪上游，由於本種有非常重要的學術和經濟價值，而目前數量稀少到瀕臨絕種的地步，因此政府於民國七十三年（1984）七月依「文化資產保存法」第 49 及施行細則 72 條之規定，指定並公告台灣櫻花鉤吻鮭為珍貴稀有動物，至此，台灣櫻花鉤吻鮭被列為文化資產之一。其現存棲息地的七家灣流域，並且在民國八十六年（1997）由農委會依據「野生動物保護法」，公告為野生動物保護區。

根據早期的記錄顯示 (Kano, 1940)，台灣櫻花鉤吻鮭在日據時代(自 1917 年至 1941 年間)的分布遍及今日松茂以上的整個大甲溪上游，包括合歡溪、南湖溪、司界蘭溪、七家灣溪及有勝溪等支流都曾是它的棲息地。其中司界蘭溪及七家灣溪的數量最多，甚至在七家灣溪還可以用投網的方式，每人每天可以捕獲到十五斤以上，在當時是當地原住民重要的食物來源之一。但是到了民國五、六十年代時日本人來台灣採集調查時，發現就只剩下司界蘭溪、高山溪及七家灣溪有鮭魚的蹤影了 (Watanabe and Lin, 1988)。當時並且發現這種魚類受到嚴重的迫害，毒魚、電魚的情形極為嚴重，魚類數量已經極度稀少。到了在民國七十三年（1984）時，農委會委託台大動物系林曜松教授等人再次詳細調查時，發現只剩下七家灣溪約五公里左右的溪段，有這種國寶魚的存在 (林等, 1988)。之後又根據民國八十年（1991）林務局邱健介先生等人之調查，台灣櫻花鉤吻鮭的棲地大概是以七家灣溪武陵農場迎賓橋為下限，向上至七家灣溪上游桃山西溪六號壩底下約七公里長之區域 (邱, 1991)。近年來由於人工復育的幼魚都放流在七家灣溪與高山溪的上游地區，所以後來的調查結果顯示，台灣櫻花鉤吻鮭的分布範圍之最上游約在池有溪匯流點以下附近，海拔約在 1980 公尺左右，

距離分布範圍的最低點七家灣溪與有勝溪匯流點約有八公里左右的距離。雖然過去亦曾經發現有極少數鮭魚個體會分布到更下游的大甲溪和平農場附近（曾，1996），但是這種情形應該是颱風等天災所帶來之洪水將部份個體沖刷到下游地區的結果，並未能夠在此下游河段建立穩定的族群。

雪霸國家公園管理處自民國八十三年（1994）五月起開始，委託辦理台灣櫻花鉤吻鮭族群現況的普查（曾，1994、1995、1996、1997、1998、1999、2000、2001、2002、2003），本項研究計畫延續林曜松教授等人在七家灣溪主流域的族群數量調查工作（林等，1988；林等，1990；林等，1991；Tsao，1995），以瞭解並掌握台灣櫻花鉤吻鮭族群數量多寡、年齡結構組成和分布範圍的最新動態與變化情形。這些台灣櫻花鉤吻鮭族群變動與分布資料不僅關係到本種珍貴保育類動物的存續問題，復為提供一般大眾了解台灣櫻花鉤吻鮭族群現況，為雪霸國家公園管理處建立一個接續以往本種珍貴魚類之保育工作的基礎生態資料，因此有必要持續且全面調查該種魚類的分布現況，以瞭解其族群數量和分布變化情形。

多年來的調查結果分析顯示，天然災害如颱風、梅雨，對於台灣櫻花鉤吻鮭族群的威脅最大，經常會影響整個鮭魚族群的數量與分布變化（曾等，2000）。加上此地甚多防砂壩阻隔的重疊效應，往往使得被洪水沖到下游的鮭魚無法再回到上游地區，影響族群的天然分布。而天然災害對台灣櫻花鉤吻鮭族群最深遠的影響，主要是在產卵季節時對於新生族群的傷害，例如在 1994 年十月的產卵季開始時，正好碰上豪雨使得溪水高漲，許多已經產完卵的巢場和卵均被沖毀。洪水同時挾帶甚多的泥沙，覆蓋許多未被沖毀的鮭魚產卵場，導致魚卵的死亡率大增（曾，1995）。

每年新生幼魚的加入對整個台灣櫻花鉤吻鮭族群的影響甚巨，各河段魚卵孵化死亡率的高低影響到當年度各河段新生族群的加入（楊，1997）。如七家灣溪一號壩至二號壩之間的河段雖然在多年來都觀察到有許多產卵場，幼魚的數量卻都是偏低的。在 1995 年的調查中，發現此段唯一的一尾幼魚是在觀魚台棲地



改善後的深潭中所記錄到的，其餘近二公里的河段竟然看不到其他的幼魚蹤跡（曾，1995）。這樣的現象提醒我們對各河段的水文水質特性進一步的調查分析，以了解魚群分布與環境因子之間的關係。由於七家灣溪流域長期進行水質監測與分析（陳，1996、1997、1998、1999、2000），因此本研究只就最有可能影響鮭魚族群的水溫條件著手分析研究，自 1996 年起開始就加上水溫長期監測與分析的工作，探討水溫在台灣櫻花鉤吻鮭生活史各個階段所扮演的角色，以了解天然族群數量的變化與水溫之間的關聯。進一步研究影響水溫變化的各相關因子，期能提供一良好的策略作為管理單位棲地改善及經營管理的依據。同時為了瞭解台灣櫻花鉤吻鮭族群數量、結構及分布溪段的變化，提供管理單位保育經營政策擬定之精確的參考資訊與基本資料，持續進行長期而全面性的族群監測是相當重要的。

由於 2001 年繁殖季節的低水溫與少洪水等環境因素使得 2002 年幼魚數量大幅提高，由於當年度並未對七家灣溪流域進行人工繁殖放流工作，因此這些大量增加的幼魚都是自然生殖成功的加入族群，且在各個主、支流河段中都可以觀察到大量發生的幼魚族群，並未如以往只特別集中在某一河段，鮭魚總數因此創下族群調查工作以來的最高數量。隨後兩年內的幼魚更新狀況也不算差，因此自 2002 年以後的鮭魚數量都在三千尾以上，雖然各齡族群有所增減變動，但仍然顯得十分穩定。不過 2004 年夏季以後，遭逢兩個敏督莉（Mindulle）以及艾莉（Aeri）颱風侵襲，以及 2005 年多個連續颱風，包含七月強烈颱風海棠（Haitang），八月份中度颱風馬莎（Matsa）、輕度颱風珊瑚（Sanvu）、強烈颱風泰利（Talim），九月份強烈颱風龍王（Longwang），超大且連續豪雨所帶來的洪水，使台灣櫻花鉤吻鮭再次面臨生存威脅，由於大多數的防砂壩仍舊矗立，形成的阻隔效應使得風災對族群的衝擊放大，因此去年夏秋季以來的族群數量，又呈現快速的衰退。不過風災過後在 2006 年夏秋兩季由於幼魚數量的增加，整個族群數量又大幅度的提升，之後雖然又歷經一些颱風的侵襲，但影響並不大。2007 年夏秋季節三個颱風，包含聖帕（Sepat）、韋帕（Wipha）和柯羅沙

(Krosa) 的接連侵襲，帶來的充沛雨量也對七家灣溪流域造成一定的損害與衝擊，尤其是十月初的柯羅沙颱風來襲時已經是繁殖季節的初期，不過最近一次調查結果顯示，族群損失並未如預期般嚴重，大多數河道雖然因為風災洪水沖刷或是泥沙淤積完全改觀，但各河段仍保有許多良好的棲地環境。

由於整個河床棲地在洪水衝擊後將完全改觀，由以往對賀伯風災的觀察經驗，棲地恢復以及族群穩定通常都需要二至三年以上的時間，甚至可能因為連續的天災，以及氣候變遷造成幼魚更新狀況不佳而使得族群數量跌到谷底，但由調查結果看來，2005 年風災的影響似乎沒有想像中來得高，不過即使如此，因為造成台灣櫻花鉤吻鮭族群不穩定的各項因子依舊存在，許多河段的防砂壩依舊矗立，因此仍有必要密切且持續地監測風災後台灣櫻花鉤吻鮭族群變動以及棲地回復情形。

## 二、材料與方法

本年度計畫為「武陵地區長期生態監測暨生態模式」的子計畫，除配合各相關計畫的九個共同樣點（圖 10-1）進行定期監測工作，以瞭解共同樣區內魚類種類與數量分布等狀況。

此外，為了延續以往的台灣櫻花鉤吻鮭長期族群監測工作，本研究亦持續進行全流域的族群普查工作，共計進行兩次，今年（2007 年）七月的夏季先進行第一次鮭魚族群調查工作，以瞭解各河段台灣櫻花鉤吻鮭在去（2006）年繁殖季節孵化及幼魚更新的狀況，第二次則在十月秋季繁殖季節初期時進行，以觀察瞭解各河段成年鮭魚繁殖的狀況。調查範圍如圖 10-1 所示，包含迎賓橋（有勝溪匯流點）以上至桃山西溪六號壩的整個七家灣溪流域，其中並包含桃山北溪（舊名無名溪）、高山溪（舊名雪山溪或武陵溪）與湧泉等支流。唯第二次普查時，因為受到柯羅沙颱風（Krosa）影響，有些河段如七家灣溪與高山溪匯流點以上兆豐橋至一號壩以下河段的水流過於湍急，考慮人員安全，以及高山溪全段及與七家灣溪匯流點以下河段因為水流混濁，並未進行調查或是無法調查，因此並未順利完成所有河段的族群普查工作。

除進行族群數量調查外，並標定台灣櫻花鉤吻鮭棲息溪段的相對位置，本年度並計畫針對七家灣溪一至三號壩進行棲地調查，配合族群調查結果，希望對七家灣溪流流域棲地現況及其與台灣櫻花鉤吻鮭分布關係有更加詳細瞭解。

族群數量調查採用浮潛法，此法是野外調查魚類的方法中花費較少，破壞性最低的方法（林等，1988），由於本流域平常水質清澈，對於族群數量已屆瀕臨絕種的台灣櫻花鉤吻鮭而言，這無異是最為合適的方法。調查時採三人一組，其中一人於岸上記錄，二人穿著防寒衣、面鏡、呼吸管以浮潛的方式直接觀察和鑑定魚種及估計其大小，由於台灣櫻花鉤吻鮭每年只進行一次繁殖活動，因此各齡魚間的體型差異明顯，因此本研究依其體長大小來辨別鮭魚的年齡，年齡是依鮭魚經歷繁殖期的次數作為依據，如一齡幼魚指經歷過一次繁殖期的鮭魚，全長

約為 15cm 以下(幼魚夏季全長約在 5~8cm 左右,秋季則約在 8~15cm 左右);二齡中型成魚指經歷過兩次繁殖期的鮭魚,全長 15~20cm 之間;及全長 25cm 以上的三齡大型成魚,指經歷過三次以上繁殖期的鮭魚,三齡以上大魚亦是參與繁殖的成魚。族群調查中利用手繪河道圖標定各齡魚的相對位置與數量。魚群較多的地點並輔以潛水相機和攝影機加以拍攝記錄,藉以進行族群結構、數量分布分析。調查結果均直接標示於河段圖面上,並比較歷年魚群數量、結構及分布的變化。

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

此外,司界蘭溪在 2003 年調查時曾經發現到不少的鮭魚族群,但在 2004 年颱風過後至 2006 年間多次的調查都沒有再發現到任何族群。雪霸國家公園管理處在去(2006)年十月時已經前往司界蘭溪及南湖溪先後放流台灣櫻花鉤吻鮭的幼魚各 250 尾,並且與當地環山居民組成的護溪巡守隊合作,配合國家公園警力,進行例行性的護溪巡邏工作,也有另外委託研究案,進行該兩地流域的長期族群監測研究,因此本研究僅前往司界蘭溪上下游的兩個固定樣點進行例行調查,並未針對司界蘭溪或南湖河流域進行全河段普查工作。

### 三、結果與討論

#### (一) 生態模式建立共同樣區的調查結果

本年度計畫首先配合「武陵地區長期生態監測暨生態模式」總計畫的需要，在總計畫選擇的九個共同樣點（圖 10-1）中進行定時的監測。本研究主要是進行共同樣站的魚類生物相與分布的調查。今年度各月份的各樣點調查結果如表 10-1 所示。

今年度已經完成四次調查，其中第三次調查原本排定時間受到豪雨洪水影響，因此以七月完成的全河段族群調查結果來呈現，第四次調查結果則直接引用自十月份的全河段普查結果，各河段的調查結果與狀況說明如下：

##### **Site1：桃山北溪**

本河段的調查點位於桃山北溪與桃山西溪匯流點以上約兩百公尺附近，棲地型態主要為流速不快的平瀨為主，由於防砂壩的抬高效應，桃山北溪在此處以伏流型態為主，表面徑流的水深與流速都小，甚至在秋冬季節流量較小的時候，下游靠近匯流點的地方會形成完全的斷流狀況（伏流水），不過因為桃山北溪的上游有穩定的鮭魚族群，加上本河段的兩岸遮蔽良好，通常還是可以記錄到少量零星的台灣櫻花鉤吻鮭個體。本季二月份時在樣區範圍內並未記錄到任何鮭魚，追蹤發現所有鮭魚都集中在最上游瀑布下方幾個水潭內，這主要是因為枯水季節，原本調查地區的水深太淺，加上氣溫水溫低，因此所有鮭魚都上溯到深潭躲藏休息。四月則開始記錄到少量鮭魚，也可以發現到一些新生的幼魚個體。七月時則因為流量的增加，甚至在樣區內形成多道分流，因此也有較多的幼魚出現。十月柯羅沙颱風侵襲後，該流域還可以看到不少鮭魚，不過在調查河段的數量較少，僅各記錄到一尾幼魚和一尾中型成魚。與去（2006）年調查結果比較顯示，該河段在秋冬季節的枯水時期，大多數鮭魚都會上溯至上游的水潭地區聚集。

##### **Site2：桃山西溪（武陵吊橋）**

本河段的調查點位於武陵吊橋下的稍上游河段，棲地型態以平瀨或急瀨為

主，不過在調查樣點下游，有個 依著岩壁地形的大型深潭。二月份並未記錄到任何個體，四月份則記錄到少量的中型成魚，七月份明顯魚群數量增加，且有較多的幼魚個體出現，十月份受到風災影響，原本河段的棲地環境改變，水流變得較為急湍，各齡族群數量也略有減少。

### **Site3：二號壩**

本河段的調查點位於已經崩毀的舊二號攔水堰下游河段，棲地相較其他河段較為多樣，除了平瀨外，也有急流，在稍上游處也有深潭棲地。加上一至二號壩河段為台灣櫻花鉤吻鮭族群的主要分布河段，因此通常也可以記錄到數量不少的台灣櫻花鉤吻鮭。本河段以往在進行普查的時候，有時會紀錄到少量的台灣鏟頰魚個體，但在去年與今年的歷次的定期調查中都未記錄到台灣鏟頰魚的出現，甚至今年度夏季普查沒有發現到台灣鏟頰魚的蹤影，而秋季普查也僅有記錄到一尾個體在靠近舊復育中心的位置附近。

### **Site4：一號壩（觀魚台）**

本河段的調查點雖然名為一號壩，但實際上共同樣區的位置十分接近觀魚台位置，主要是位於觀魚台下游約 150m 的七家灣溪河段，棲地主要是平瀨地形，但有較多的大石頭，在較上游河段的轉折處有個深潭區。此處通常開始記錄到較多的台灣櫻花鉤吻鮭，而台灣鏟頰魚的分布也開始受到侷限，在該區域及其以上河段的數量通常都相當零星，可以視為是台灣鏟頰魚的過渡地帶，在去年七月份時還有記錄到一尾小型魚，不過今年的幾次調查中，都並未發現到台灣鏟頰魚的蹤影，直到今年十月才又再記錄到一尾。台灣櫻花鉤吻鮭的數量則顯得較為零星，不如二號壩測站的數量來得多，二月記錄僅記錄到一尾幼魚，四月、七月及十月則記錄到越來越多的鮭魚。

### **Site5：繁殖場（新復育中心）**

本河段調查點位於七家灣溪與高山溪匯流後，新復育中心旁的七家灣溪河段，棲地型態主要是水深較深的平瀨環境，在高山溪匯流點附近有個深潭區，大多數魚群都是在平瀨區域被紀錄到，不過台灣櫻花鉤吻鮭通常分布在匯流點附近

的水潭區。今年度各次調查都有發現到台灣鏟頰魚和台灣櫻花鉤吻鮭的紀錄。七月與十月調查時，因為高山溪持續混濁的關係，連帶影響到本河段的目視調查結果，可能對族群數量造成低估。

#### **Site6：萬壽橋（七家灣溪下游）**

調查地點位於大佛旁的七家灣溪下游河段，水量充沛湍急，因為有很多大石頭的關係，雖然棲地型態主要是急瀨，但還是會有部分深水潭區分布在岸邊或是河中大石頭後面，本河段通常都是台灣鏟頰魚的數量較台灣櫻花鉤吻鮭來得多，今年度的幾次調查亦不例外，只有少量的台灣櫻花鉤吻鮭魚群，不過該流域的台灣鏟頰魚的數量通常會較大甲溪以及有勝溪調查河段的族群數量來得少些。

#### **Site7：迎賓橋（大甲溪）**

大甲溪的調查點位於迎賓橋以下河段，棲地包含平瀨以及急流環境，大多數的魚群都是在平瀨環境被紀錄到的。本河段依照以往普查經驗，偶爾可以記錄到台灣櫻花鉤吻鮭，以往也有蝦虎魚的紀錄，不過去年和今年各次的例行調查中都並未發現其他魚類，僅在十月時在匯流點附近的水潭記錄到一尾大型個體的台灣櫻花鉤吻鮭，其他時間都只有紀錄到台灣鏟頰魚一種。甚至在今年二月時連台灣鏟頰魚都沒有發現。十月時的台灣鏟頰魚數量則明顯較其他季節來得少。

#### **Site8：高山溪**

本河段的調查點位於高山溪一號破壩上游，棲地型態以急瀨為主，不過因為高山溪的底質較多大粒徑石頭，加上坡度較其他河段來得大，因此形成類似階梯狀的急瀨地形。本河段都是以台灣櫻花鉤吻鮭為主要魚類，不過以往有時可以記錄到零星的台灣鏟頰魚個體，不過去年和今年的歷次調查都只記錄到台灣櫻花鉤吻鮭，而沒有發現到台灣鏟頰魚。七月與十月調查時，則因為整個高山溪流急水濁，因此以目視法觀察的效果有限，可能造成族群數量的低估。

#### **Site9：有勝溪**

有勝溪的調查點位於收費站旁防砂壩上游河段，該河段通常都是以台灣鏟頰魚為主，因為樣區下游有座高聳的防砂壩矗立，七家灣溪下游的台灣櫻花鉤吻鮭

也沒有機會上溯到該樣區內，因此沒有發現到零星台灣櫻花鉤吻鮭的機會。因為受到前年夏季颱風的洪水侵襲，加上河岸護岸復健工程，使得有勝溪整個河床形成平整化，連帶影響當地的棲地環境狀況，去年各次調查的結果有勝溪的台灣鏟頰魚族群數量都不多，今年也是相同的狀況。在二月時甚至沒有發現到任何的個體，對照去年十月的狀況也有類似的現象，推測這是因為秋冬或是早春水溫較低的時候，台灣鏟頰魚會溯游至水溫較低的深水潭區休息覓食，而該河段並沒有靜水潭的棲地型態，因此並不容易見到。由上所述，有勝溪該河段河段的魚類族群十分容易受到外在環境的干擾，進而造成族群數量與分布上的變動。

### **Site10 及 Site11 司界蘭溪上下游**

司界蘭溪共有兩個樣點，編號 Site10 的下游樣點位於司界蘭溪松柏農場旁防砂壩下游河段，棲地主要是平瀨為主，該河段通常僅能記錄到台灣鏟頰魚個體，有時則沒有發現任何魚群。今年度各次調查都沒有記錄到魚群，僅在十一月份時記錄到一尾台灣鏟頰魚，以及在岸邊緩流區記錄到一群台灣鏟頰魚小魚。

編號 Site11 的上游樣點則位於松柏農場以上的未開發河段，後來於去（2006）年十月後更改至雪霸國家管理處的放流點位置，棲地以急瀨為主，上方有一水潭區（即放流點）。去年的各月份調查在上下游樣點都沒有記錄到任何魚群。自雪霸國家公園管理處在去（2006）年十月於司界蘭溪放流一百多尾台灣櫻花鉤吻鮭幼魚以後。今年度調查才開始記錄到魚群。由調查結果看來，魚群數量逐漸減少，這或許是幼魚已經由原本放流的水潭擴散至其他河段。不過值得欣喜的是，在十月柯羅沙颱風侵襲過後，還是可以發現到台灣櫻花鉤吻鮭的蹤影。司界蘭溪原本橫跨在兩個樣點之間的防砂壩已經在之前因為風災破壞左岸岩壁，上下游間形成通路，但本河段仍未記錄到任何上溯台灣鏟頰魚的蹤影。

以上是共同樣區範圍的調查狀況，不過由於無論是台灣鏟頰魚或是台灣櫻花鉤吻鮭的平日移動範圍都並非僅限於共同樣區範圍內，因此其將各河段的鮭魚數量列表提供其他相關子計畫研究團隊進行相關係數分析時使用，本研究並未特別針對此部分調查結果進行分析或進一步的討論。



## (二)台灣櫻花鉤吻鮭族群數量與分布

今(2007)年最近一次的秋季普查結果如表 10-2 所示，若不包含高山溪河段發現的零星數量，總計記錄到 **2,009** 尾台灣櫻花鉤吻鮭，其中一齡幼魚有 **625** 尾，二齡中型成魚有 **798** 尾，三齡大型成魚則有 **586** 尾。前一次的夏季普查結果則如表 10-3 所示，總計記錄到 **2,624** 尾台灣櫻花鉤吻鮭，其中一齡幼魚有 **1,028** 尾，二齡中型成魚有 **1,087** 尾，三齡大型成魚則有 **509** 尾。相較於去年秋季調查的 **2,270** 尾總數(一齡幼魚有 **986** 尾，二齡中型成魚有 **911** 尾，三齡大型成魚則有 **373** 尾)相較，數量都在 2000 尾以上。夏秋兩季調查結果比較顯示經歷過接連聖帕(Sepat)、韋帕(Wipha)和柯羅沙(Krosa)颱風的侵襲後，族群數量雖然下降，但並不算嚴重，整體數量降低 **23.4%**，不過如果考慮因為水濁無法進行調查的高山溪河段族群，以及一號壩以下部分河段因為急流未竟全段調查的情況，實際上族群的折損狀況應該再更低些。對照各齡族群，大型成魚的數量因為去年中型成魚成長的加入有所增加，其他中型成魚及幼魚的數量都明顯減少，其中一齡幼魚的整體數量下降最多，達到 **39.2%**。由此來看，本次風災對幼魚的影響較成魚來得顯著。

夏、秋兩季的族群調查結果顯示台灣櫻花鉤吻鮭的分布範圍與去年相同。最下游的分布界線本研究仍是以七家灣溪與有勝溪匯流點所在的迎賓橋為界。雖然依據以往調查經驗，會有零星鮭魚個體因洪水暴雨被沖移到更下游河段，甚至是松茂附近的大甲溪河段都有發現鮭魚的記錄，有些個體亦可能游入有勝溪的最下游河段，但由於河段距離太長，加上那些台灣櫻花鉤吻鮭分布相當分散且並無法形成穩定的族群，因此並未針對大甲溪河段進行詳細調查，亦無法將這些零星個體納入總數。事實上，這些河段的水溫與水質環境並不一定合適鮭魚的繁衍，因此這些零星記錄到的鮭魚個體並不能形成穩定的族群。往上游則可達桃山西溪六號壩下，往桃山北溪(無名溪)則可超過桃山(煙聲)瀑布溪與詩崙溪匯流點，到達以上約一百公尺一個落差小瀑布止。高山流域秋季調查雖然無法調查，但是對三號破壩以上河段的調查顯示，以上河段還是有少量鮭魚族群棲息，因此在

高山溪的分布還是可達到四號破壩下。

高山溪的台灣櫻花鉤吻鮭分布上限自 2004 年秋季以來，因洪水淘蝕造成整個上游河床基盤下降一公尺以上，使得原本已經拆除的四號破壩所殘留的壩基底座又形成新的高差阻礙，造成所有被洪水沖移至四號破壩以下的鮭魚個體都無法順利回溯，以上河段在之後調查都未記錄到任何鮭魚個體。除了四號破壩之外，高山溪流域內的一號破壩以及二號破壩也因為當時拆壩保留壩基底座，因此在河道的快速下切下反而形成新的高差，這些高差的高度約在 1~2m 之間，按照台灣櫻花鉤吻鮭的跳躍能力判斷鮭魚應該可以順利通過，不過因為這些破壩高差的後方常常又是混擬土表面，使得鮭魚無法在跳躍過去之後立即上溯，因此還是會被急流沖回，這些阻隔的破壩其對族群分布的影響還有待持續性的觀察，不過高山溪二號破壩在此次柯羅沙風災中，右岸壩基被沖毀，還殘餘左側基礎，且高度仍高。此外，在三號破壩上方，因為 2006 年豪雨帶來的巨大殘幹堆積，形成一座新的殘材壩，在本季的調查中發現，殘材壩已經因為風災衝破一部份，但底下基礎仍在，其高度仍然形成障礙。這些新形成的高壩都對高山溪又再形成隔閡。

由於年久失修加上有些防砂壩當初設計的缺失，因此除了人工拆除的高山溪四座防砂壩之外，七家灣溪流域內也有多個自然崩毀，例如：舊復育中心旁的攔水堰（舊名二號壩），在先前已經崩毀，後來更被洪水整個沖移摧毀，僅存左翼的壩基遺址，其餘部分則散落下游河床。七家灣溪上游的五號壩在 2005 年風災也因洪水被切割出一塊缺口，使得四至六號壩間的河段成為沒有阻礙的新河段。此外，原本一至三號壩間河段唯一的人工水泥構造物阻礙，攔水壩上游的二號副壩（石壩），也在 2005 年風災來襲時，整個崩毀，當時仍有殘破的壩基形成約一公尺左右落差，加上該河段在破壩下游五十米以內河段的水流都非常湍急，雖然落差並不算高，但對台灣櫻花鉤吻鮭來說或許仍是個地形阻礙，2006 年調查發現壩基的落差依然存在，但應該有部分游泳能力較強的成魚個體可以順利越過，且其高差稍微降低，今年最近一次調查也發現，整個高差都已經消失。對照夏秋兩季的族群調查結果資料，二號壩以上河段的族群明顯大幅增加，顯示該壩

體應該已經不再成為阻礙。

由調查結果顯示台灣櫻花鉤吻鮭在七家灣溪的空間分布狀況，考慮防砂壩阻隔的各封閉河段為區間，比較各河段之間的數量與族群比例。雖然二號壩與石壩已經接連損壞坍塌，整個一至三號壩河段已經可以視為一個完整的主要河段。不過為了與歷年族群分布資料比較，以及比較該河段上下游間族群的狀況，本研究還是沿用將一至三號壩分隔成「一至二號副壩（石壩）」與「二號副壩（石壩）至三號壩（包含湧泉支流）」等兩個河段進行討論。

最近一次的秋季族群調查結果顯示，數量上以七家灣溪一至二號副壩(石壩)河段為最多，共調查記錄到 648 尾（佔本季調查整個族群的 32.3%）。其次是二號副壩（石壩）至三號壩（包含湧泉支流）河段，共記錄到 636 尾（佔 31.6%）。兩個河段總計超過所有族群的 60%。其他河段的次序，分別為三至四號壩（包含桃山北溪全段）的 423 尾（佔 21%），四至六號壩的 196 尾（9.8 佔%）。部分河段無法調查的一號壩以下河段則僅有 106 尾，佔 5.3%。高山溪本季調查不列入統計。

夏季調查則以七家灣溪二號副壩（石壩）至三號壩（包含湧泉支流）河段的族群數量最多，本季調查共記錄到 805 尾（佔本季調查整個族群的 30.6%）。其次是一至二號副壩（石壩）河段，共記錄到 614 尾（佔 23.4%）。如果將二號石壩視為不再阻隔的人工構造物，則一至三號壩合計在今年的調查中，超過所有族群的一半以上，族群佔了總數量的 54%（1,419 尾）。其他河段所佔族群的比例則隨著季節變動較大。其他河段的分布若依序，分別為三至四號壩（包含桃山北溪全段）的 603 尾（佔整個族群的 23.3%），與一至二號石壩的族群總數相差不多。其他河段的族群數量則都未超過總數的 10%，如：一號壩以下河段有 242 尾，佔 9.2%；四至六號壩記錄到 235 尾，佔 9.0%；之前狀況都還不錯的整個高山溪河段（高山溪與七家灣溪匯流點以上的所有河段）則僅記錄到 115 尾（佔 4.4%），是高山溪自拆壩完成以來的歷史新低數量。

若將各齡鮭魚的分布列表來看（表 10-4），夏季調查中三齡以上大型鮭魚

還是主要集中在一至二號副壩（石壩）河段（佔所有族群的 29.5%），比較令人意外的是，居次的是一號壩以下河段（佔所有族群的 28.1%），相較去年秋季的調查整體比例大幅增加。再其次則為二號副壩（石壩）至三號壩間河段，大型成魚比例為 18.1%，以及三至四號壩河段（佔所有族群的 14.1%），其他河段包含高山溪和上游的四至六號壩河段其族群比例則都未超過 10%。

不過秋季調查時，因為風災豪雨衝擊以及族群移動的緣故，各河段族群比例有所變動，三齡以上大型鮭魚仍然主要集中在一至二號副壩（石壩）河段，佔有大型成魚總數的 37.1% 之多。其次則是三至四號壩河段（25%）及二號副壩（石壩）至三號壩河段（佔 21.8%）。原本夏季數量頗多的一號壩以下河段，則大型成魚數量大幅減少，僅佔有族群的 6.8%。雖然本河段有部分河段因考慮人員安全無法進行調查，但是其他河段可以發現的成魚數量也較少，實際觀察，發現該流域在兆豐橋附近的一些河段原本具有不少狀況不錯的深潭棲地，通常可以發現到不少鮭魚個體，不過在風災後過的調查顯示，深潭都被填寫或是消失，轉變為急瀨棲地。該河段大型成魚的減少，與此有密切的關係。

二齡中型鮭魚族群的在夏季調查時的分布則主要集中在二號副壩（石壩）至三號壩，超過所有中型成魚族群的 1/3（37.2%）都分布於此流域，其次是一至二號副壩（石壩）河段（24.7%）和三至四號壩河段（16.0%）。其他一號壩以下河段（5.4%）及高山溪流域（3.4%）則都未超過 10%。

秋季調查的結果則與夏季調查結果相同，仍以二號副壩（石壩）至三號壩河段族群所佔比例最高，佔有 34.2%，其次是其次是一至二號副壩（石壩）河段（33%）和三至四號壩河段（19.2%）。四至六號壩河段則為 8.8%。一號壩以下河段則略為降低至 4.9%。

至於一齡幼魚在夏季的分布比例則與成魚有所差異，比例最高的河段在原本在上游的三至四號壩，佔了所有幼魚族群的 35.7%，不過這其中主要還是分布在桃山北溪流域（31.0%），其次是二號副壩（石壩）至三號壩（30.1%），及一至二號副壩（石壩）（19.1%）。其他四至六號壩（5.7%）、高山溪（5.5%）

與一號壩以下(3.9%)河段則都未達 10%。

秋季調查結果則又與夏季調查結果不同，族群比例所佔最高的河段為二號副壩（石壩）至三號壩（33.9%），其次是一至二號副壩（石壩）（28.6%）。原本比例最高的三至四號壩河段減少至 21%，其中桃山北溪河段的族群比例也降低至 14.1%，可見此次風災對桃山北溪河段族群的影響較大。不過三至四號壩族群比例仍有 11.8%，相對來說仍然保有相當的族群比例。一號壩以下河段族群則佔有 4.6%。

比較夏、秋兩季的調查結果，各齡鮭魚的分布狀況雖然並非完全一致，但河段最長，棲地變化最為多元的七家灣溪主流河段的一至三號壩河段都還是佔有最高的比例，無論是幼魚（夏季 49.1%，秋季 62.5%）還是中型成魚（夏季 61.9%，秋季 67.2%）、大型成魚（夏季 47.6%，秋季 58.9%）都有此趨勢，兩河段合計的族群比例都在各齡族群的 45%以上。原本夏季調查時在上游的三號壩以上河段中大型成魚比例雖然並不高，但幼魚的比例卻是全流域之冠，不過在秋季調查結果中的族群卻大幅度減少。其中桃山北溪河段的狀況減少最多。

比較上下游河段夏、秋兩季調查結果顯示，今年度的幾個風災造成整個台灣櫻花鉤吻鮭族群明顯往下游集中移動，而主要族群都還是都集中在中游的一至三號壩河段。上游河段受到族群損失較大，不過四至六號壩河段較桃山北溪來得輕微，雖然所佔族群比例相對來說不高，不過比較夏、秋兩季的結果顯示，風災對於該河段的影響較小，在秋季時，反而有族群比例提升的趨勢。

高山溪部分則因為夏、秋兩季時的調查都因為水流湍急混濁，水底下的能見度僅有 1~2m 左右，因此無法以浮潛法進行調查，容易發生人為觀察的誤差，可能因此有嚴重的族群低估。不過由實際已經調查的河段來看，目前高山溪流域的台灣櫻花鉤吻鮭族群數量應該不高。對照夏季各齡族群所佔比例，是自拆壩完成以來的最低值。

### (三) 其他共域魚類的數量與分布狀況

本季在進行台灣櫻花鉤吻鮭族群調查時，並且同時進行七家灣溪共域魚類的數量與分布狀況調查，這些魚類包含台灣鏟頰魚 (*Onychostoma barbatulus*)、台灣纓口鰍 (*Formosania lacustre*) 與明潭吻蝦虎魚 (*Rhinogobius candidianus*) 等三種，其結果整理如表四。由於數量眾多，族群優勢加上河域寬廣，又喜愛聚集成群，即使是以浮潛進行觀察，台灣鏟頰魚的數量仍然不易正確估計，因此表中的數量較台灣櫻花鉤吻鮭族群調查結果誤差會來得更高。

調查結果顯示 (表 10-5)，今年兩季的調查結果與前幾年的調查結果相同，台灣鏟頰魚數量仍然集中在七家灣溪一號壩以下河段，特別是高山溪匯流點以下至迎賓橋河段的魚群數量最為豐富，以往調查該河段的總數量都會超過整個流域族群數量的一半以上，有時甚至可以佔有族群 2/3 以上。今年度夏季調查則還是維持在總族群數量 1/2 的水準，而在秋季調查時的數量則大幅降低，甚至總數未達 500 尾，這其中和有些河段無法進行調查有關，不過整體數量確實也降低許多。不過本研究實際調查時發現，因為許多河段的水量過於湍急，不少台灣鏟頰魚都躲藏在大石頭的下方便是洞穴中，並不容易觀察到，加上高山溪匯流點以下水較為混濁，並不容易估計整體數量，可能因此造成今年對族群嚴重低估。

高山溪河段的台灣鏟頰魚族群則通常都不穩定，以往僅在一號破壩以下河段有較為穩定的族群，但今年這兩季的調查因為水過於混濁，以目視法調查誤差相對來說變大，僅於夏季時在一號破壩以下河段發現到一尾台灣鏟頰魚個體。

台灣鏟頰魚在七家灣溪的分布是存在上限的，雖然在七家灣溪一至三號壩間河段已經沒有高落差的防砂壩阻隔，即使是二號副壩 (石壩) 殘存的落差也都不會造成阻隔。但歷年來的調查顯示在觀魚台以上河段很少或是不會發現到台灣鏟頰魚的蹤影，即使有也都是零星的小群分布，並未如下游般成群聚集。這也許是上游水溫較低或是附著藻類較少，不適合鏟頰魚生活所致。因此以七家灣溪來說，觀魚台附近可以視為台灣鏟頰魚的分布上限。在沒有任何防砂壩阻隔的高山溪河段，也有觀察到這樣的現象，台灣鏟頰魚族群大約以高山溪一號破壩為界，

以上河段僅偶見零星個體蹤影。

台灣鏟頰魚族群在近年來的調查，也因為收到多次風災的影響，數量大幅減低，造成相當嚴重的族群損失。本次夏季調查到的總數相較去（2006）年秋季調查結果差異不大，但還是呈現減少趨勢。

台灣鏟頰魚族群普查迄今總共進行過九次的完整數量調查，比較歷年調查結果如圖 10-2 所示，無論是總加或是各河段的數量，都有逐年遞減的趨勢。由於台灣櫻花鉤吻鮭的數量和天災相關，隨著洪水侵襲而呈現鋸齒狀的變動，和台灣鏟頰魚一直呈現減少的趨勢完全不同，這其中或許除了不可避免的調查誤差外，可能還有其他因素也同時影響到台灣鏟頰魚幼魚族群數量、分布及族群更新的狀況。

除了台灣鏟頰魚之外，台灣纓口鰍與明潭吻蝦虎魚的數量並不多，都只有零星發現，這是因為浮潛方法不易發現底棲性魚類而有較低的估計所致，還有這兩種魚類不會像鮭魚和鏟頰魚般有群聚的行為的緣故。熱帶性魚類的蝦虎魚不耐低溫，以往在夏季調查時在有勝溪匯流點還可以偶然見到，但水溫較低的秋季則不見蹤影。具有攀附能力的台灣纓口鰍分布範圍在以往的調查中有時可以到達一號壩上方河段。

不過台灣纓口鰍今年僅在夏季在高山溪匯流點至迎賓橋之間河段發現到兩尾，蝦虎魚則兩季都沒有發現記錄。此外在一號壩以下河段，也記錄到一尾外來種錦鯉，推測應該是武陵農場養殖池中逸出個體，以往也曾經發現過，不過這些零星的錦鯉通常無法停留太久，很容易就會被自然環境所淘汰掉。

這些與台灣櫻花鉤吻鮭同時分布在七家灣溪流域的魚類，其中台灣纓口鰍與明潭吻蝦虎魚因為數量不多，且不耐於低水溫環境，因此和台灣櫻花鉤吻鮭的棲息環境幾乎完全隔離，彼此之間沒有互動。上溯能力極強的台灣鏟頰魚，和台灣櫻花鉤吻鮭有最大的重疊區域，而且數量龐大，往往被視為台灣櫻花鉤吻鮭的競爭者，甚至有可能影響鮭魚族群的消長，不過其嗜食附着性藻類的食性明顯與肉食為主的台灣櫻花鉤吻鮭有所區隔，加以兩者在最適水溫環境與生殖棲地等需求

亦有不同，研究人員在調查時，也從未見到兩者有太多的追逐或驅趕等互動行為。雖然沒有堅實的科學證據指出兩種魚類之間的相互影響程度，但由長期演化的觀點來看，咸信共域數十萬年之久的兩種魚類族群，其相互干擾應該不會太大。

#### (四) 司界蘭溪與南湖流域族群

司界蘭溪曾經是台灣櫻花鉤吻鮭的歷史分布流域，但多年來一直沒有再從文獻或調查中發現鮭魚的蹤影。為了擴展台灣櫻花鉤吻鮭的分布流域，雪霸國家公園曾經在 1996 年春季與 1997 年春季分別放流 60 尾與 200 尾幼魚（吳，2000），之後連續幾年監測調查族群數量與變動情形（曾，1997、1998、1999），發現當時（1997 年）司界蘭溪的台灣櫻花鉤吻鮭族群已經有幼魚族群，顯示其族群已可自然更新。不過 1999 年調查當時，卻未能發現任何族群，由於當時曾經發現許多釣具餌料物品。因此推論該流域的鮭魚族群可能因為人為捕抓而又再度滅絕，所以之後一直未再前往該流域調查。但該流域一直有釣客耳語流傳可以釣獲到台灣櫻花鉤吻鮭個體，為了確認司界蘭溪流域長久以來的傳聞，本研究又於 2003 年的十月上旬，前往該流域進行調查確認。調查發現，司界蘭溪確實存在台灣櫻花鉤吻鮭，且其數量相當穩定，分布遍及整個流域的中、上游河段。當時粗略估計族群數量應在兩三百尾左右，分布則自防砂壩松柏農場流域以上至雙溪匯流點都可以見到鮭魚的蹤影，咸信應該可以分布到更上游的支流才是。由於自 1997 年之後並未再有任何針對司界蘭溪流域的放流行動，因此這些族群應該是 1997 年與 1998 年當時放流個體所自然更新建立的族群，這些被研究人員遺忘的鮭魚族群在司界蘭溪自然繁衍更新，逐漸增加擴展領域成為鮭魚新族群。

為了保護該流域的台灣櫻花鉤吻鮭族群，雪霸國家公園與當地環山部落居民自發組成的護溪巡守隊合作，由巡守隊員定期前往巡視，保護該流域的台灣櫻花鉤吻鮭族群。不過自 2004 年夏季敏督莉颱風過後，全流域的整個環境完全改觀，土石崩塌嚴重，加上整個棲地破壞，本計畫之後陸續多次前往司界蘭溪進行全河段重點式的族群調查。但都未再目擊到任何鮭魚，甚至連台灣鏟頰魚都沒有見到。

去（2006）十月，雪霸國家公園又再次前往該流域進行台灣櫻花鉤吻鮭稚



魚的放流此外，之後亦前往南湖溪進行另一批稚魚的放流工作，兩個流域分別放流 250 尾個體。由於這些放流的稚魚都有進行標誌，因此未來管理處也將另案進行持續性的追蹤調查工作。

由於司界蘭溪先前已有幾次的放流，尤其結果來看，司界蘭溪確實合適台灣櫻花鉤吻鮭的生存與繁殖，不過該流域的棲地環境相較七家灣溪流域來說惡劣許多，除了棲地因為坡降大以湍流的急瀨為主外，主要是因為該流域的崩塌地較多，有些崩塌地的面積相當可觀，因此放流的族群並不容易即刻建立穩定的族群，因此建議如果希望可以透過司界蘭溪的域外放流工作建立另外一個台灣櫻花鉤吻鮭的保育流域，考慮台灣櫻花鉤吻鮭的生活史，至少應連續進行三年以上的放流工作，如此或許可以讓天然災害的干擾與影響減到最低，讓該流域的台灣櫻花鉤吻鮭族群可以達到穩定。

本研究在今年五月份曾經前往南湖溪的鮭魚放流點進行環境勘查，十一月時則安排前往放流點進行調查，不過從原本放流點位置至終點瀑布約 200m 的整個河段，調查並未發現到台灣櫻花鉤吻鮭的蹤影，僅記錄到數量不算多的台灣鏟頰魚個體。這可能是調查誤差遺漏，也有可能是這次的風災將原本放流的族群都沖移到下游河段。不過今年雪霸國家公園已經又再度前往南湖溪進行放流，且都是放流到瀑布障礙的上游處，因此即使目前族群尚未穩定建立，但未來有更大的機會可以成功放流，建立穩定的族群。如果有機會的話，本研究也將持續關注。

## 四、討論

### (一)台灣櫻花鉤吻鮭歷年族群結構變化

將歷年族群調查數量及族群結構整理比較如圖 10-3 (族群數量變化圖) 與圖 10-4 (族群結構變化圖)，比較 2002 年以來的族群調查結果，除了 2005 年兩次普查結果因為受到當年度接連數個強烈颱風天候影響，造成數量銳減之外。其他各次調查結果總數都有 1000 尾以上，尤其 2005 年之後，台灣櫻花鉤吻鮭族群又逐年有數量回升的趨勢。對照一齡幼魚的數量，顯示各河段幼魚更新的狀況都還不錯，今年春夏間因為鋒面帶來的豪大雨影響有限，族群數量雖然不如先前的 3000 尾數量水準，但仍有 2500 尾以上的數量。2005 年大幅增加的幼魚族群，在今年夏季調查時可以觀察到成長狀況良好，各河段族群死亡率並不高。不過接連幾個風災之後，各齡族群數量仍然受到衝擊而有降低，整體數量雖然仍然維持在 2000 尾的水準，不過族群結構卻由夏季的近金字塔狀結構 (二齡中型成魚與一齡幼魚數量差不多，三齡大型成魚數量最少) 轉變為桶狀結果 (二齡中型成魚數量最多，一齡幼魚數量與三齡大型成魚數量接近，不過各齡級的數量其實差異都不算大)。

比較歷年的族群結構變化 (圖 10-4)，大多數時間都偏離穩定的金字塔型結構，只有 1995 年、1997 年、2002 年、2004 年及 2006 年因為幼魚數量的大幅增加才得以建構出金字塔型結構。Hjort (1904) 在進行大西洋鯡研究時曾經觀察到整個族群中有某一「齡級」(year-class) 的數量，相較其他齡級，會持續保有數量上的優勢多年。這種情形與一般想像魚類族群的組成並不完全相同，其真正的原因雖然還並不清楚，不過許多學者都認為優勢齡級的生成在初期生活史時，如孵化與仔稚魚等的那一段時期就已決定 (Chamber et al., 1997)。觀察台灣櫻花鉤吻鮭歷年的族群結構變動似乎也可以觀察到這樣的現象，但由於台灣櫻花鉤吻鮭的壽命只有三至四年，而且分齡族群統計次數也少，加上氣候變遷影響頻仍，以及防砂壩效應的干擾，似乎並不容易直接判定。由於台灣櫻花鉤吻

鮭和台灣其他溪流性魚類不同，一年僅繁殖一次，因此其繁殖季節的成功與否，直接關係到隔年的幼魚族群數量與分布狀況，因此其族群數量與結構特別容易遭逢到天災變動的影響。雖然台灣櫻花鉤吻鮭進行繁殖季節的秋冬季節，已經是一年之中豪雨風災最少的時節，不過由近年來風災侵襲的狀況來說，以及全球氣候變遷的可能影響，似乎台灣櫻花鉤吻鮭族群的未來將遭受很大的挑戰。

## (二) 歷年來重大風災對鮭魚族群比例與分布的影響

為了評估今年度連續三個風災對台灣櫻花鉤吻鮭造成的影響，將風災前後族群數量變化統計整理列於表 10-6，並且同時列出去 1996 年十月在七家灣溪也造成極嚴重災害的賀伯風災，2004 年的敏督利、艾莉颱風，以及 2005 年接連侵襲的海棠、珊瑚和龍王颱風，以當年度夏季調查族群數量作為 100%，統計秋季調查時台灣櫻花鉤吻鮭族群保有的狀況作為存活率比較，因為以往的分析顯示中大型鮭魚與小型鮭魚受到風災衝擊的影響會有所不同，因此將三齡以上大型成魚與二齡中型成魚合計，與一齡幼魚同時比較。本年歷經三個風災之後，夏、秋兩季族群數量的比較，風災後保有率為 76.6%。其中成魚保有 86.7%，幼魚則為 60.8%，保有率與體型大小有關，體型較大的鮭魚，由於游泳能力較佳，在躲避洪水暴雨侵襲下有較高的族群比例得以倖存。觀察 2005 年、2004 年與 1996 年的風災前後族群數量亦有類似的結果。比較往年風災過後的狀況，今年度的族群保有狀況較佳。族群保有比率較低的是 2004 年與 2005 年。不過這是由於作為基數的 2005 年夏季族群總數量本來就已經不高，因此造成風災對族群折損狀況的低估。而 2004 年接連兩個嚴重風災對當時族群的影響應該是最為嚴重的。

由表中所列比較各個河段的保有狀況，有些河段會呈現不減反增的狀況，這除了少數可能是當年度調查誤差所造成的之外，有些則是因為原本在風災前的族群數量就已經不高，都只有零星幾十尾的紀錄，因此只有小幅增加就產生風災過後不減反增的假象。除以上兩個原因之外，增加的原因都主要還是上游河段的族群被洪水沖移加入至下游河段所導致，其中又以中游河段的一至三號壩河段最容易發生這樣的情形。

如果排除這些的狀況，則有越往上游河段，族群保有率越低的趨勢，下游河段的一號壩以下河段與中一至二號壩河段，都因為有上游族群的補充，而呈現相對增加或是折損比較不嚴重的情況，比較 2004 年艾莉颱風過後族群保有情況也有類似的情形。桃山北溪的損失情況也相對低得許多，這是因為該河段受到風災影響幅度較小，族群折損相對較少的緣故。

高山溪河段族群存活狀況則是另外一個不同的狀況，因為峽谷地形環境特性的關係，在洪水時通常沒有大面積的沙洲地可以提供作為魚類躲藏避難棲所，加上歷年洪水對高山溪底質形成嚴重的淘刷，因此族群折損狀況會較七家灣溪流域河段來得更為顯著，通常是呈現劇烈降低的趨勢。不過由於該河段的所有防砂壩都已經都被拆除，雖然還有一些殘壩會形成阻礙，但通行河段已經較之前距離更長，加上遭受豪雨擾動後，該流域的棲地及族群數量都會再逐漸恢復。因此高山溪河段在之後幾年風災過後的族群損失狀況並不若以往嚴重。不過今年由於秋季水濁無法進行調查，因此無從比較高山溪族群受風災影響後保存的比例狀況。

由上述結果，可以知道各河段大致都是中、大型成魚的族群存活比較較高，而游泳能力較差的幼魚相對存活狀況較差。且越上游河段族群受到風災影響的狀況越顯著。

### **(三) 歷年各主要河段族群比例變動**

為了瞭解各主要河段的族群比例變化，比較歷年各主要河段自 2000 年以來的各齡鮭魚族群比例的變化情形（表 10-6），本研究將三號壩以上（包含桃山北溪全段）視為上游河段，一至三號壩視為中游河段，一號壩以下則視為下游河段，高山溪則視為一獨立支流，其各齡鮭魚所佔比例變化情形整理在圖 10-5 中。

以上游河段來說（三號壩以上含桃山北溪支流），大型成魚的比例在 2000 年至 2002 年間呈現一個非常劇烈的震盪，之後則呈現逐漸上升的狀況，今年則顯示維持穩定的狀況。中型成魚的變動亦大，但相對來說，所佔族群比例較成魚來得高些，其在 2002 年至 2004 年間呈現一個較大的波動變化。一齡幼魚則呈現較成魚更劇烈的變動，在 2001 年以及 2004 年分別有兩個谷底。由於三號壩

以上河段是由多個隔離的小區段組成，河道亦多為峽谷地形，族群受洪水影響較下游來得嚴重，加上防砂壩阻隔，使得族群容易面臨萎縮（戴，1992）。特別是桃山西溪三至六號壩河段的鮭魚族群變動狀況十分劇烈，相對來說，桃山北溪的族群狀況就穩定得多，也因此近兩年的各齡族群比例雖然有增加的趨勢，但若扣除掉桃山北溪的族群，則上游河段的狀況其實仍是不樂觀的。

中游河段（一至三號壩間河段）是河段最長，且棲地較為多樣化的一段，對照各齡族群比例，無論是成魚或幼魚，其所佔族群比例通常都不低。大型成魚是其中最為顯著的，自 2000 年以來該河段的族群比例在各河段中都是最高的，至少都有 40%，在 2001 年至 2004 年間更是佔了一半以上的族群。中型成魚與幼魚的比例則呈現較為劇烈的變動，但變動狀況頗為一致，幼魚在 2001 年秋季有個明顯的高峰，中型成魚在隔年的 2002 年夏季則同樣表現出一個高峰比例，2004 年夏季的狀況也頗為類似。調查結果發現，雖然該河段的大型成魚總是佔有最高比例，但每年幼魚更新的狀況卻不穩定，相較其他河段，不一定總是會有最多的幼魚族群，顯示該流域雖然較為合適大型鮭魚分布，但卻不利於繁殖。該河段的狀況在下一節中有較為詳細的比較與討論。

下游河段（一號壩以下河段至迎賓橋有勝溪匯流點止）的大型鮭魚比例呈現震盪性的變動，而且相對其他河段，通常所佔族群比例都是比較低的。但 2007 最近一季調查又呈現大幅度的增加。中型成魚與幼魚的族群比例變動則較為平緩，不過所佔族群比例更低，幼魚僅在 2004 年秋季有過一次高峰，其他時間都在 10% 左右，2003 年以前的族群比例更都在 5% 以內。中型成魚的族群比例平均來說稍高於幼魚所佔比例，但也都在 10% 以內的情況較多。不過近兩年的調查結果顯示，幼魚與中型成魚所佔的族群比例有略微逐漸升高的趨勢。由目前調查結果來看，一號壩以下主流河段並非完全不適合鮭魚的分布，雖然根據水溫記錄，該流域水溫有時會超過 20°C，但是觀察棲息其中的中大型及成魚，在適應上都沒有問題。只是但由於水溫環境通常偏高，因此認定並不利於鮭魚自然繁衍，因此幼魚的族群比例通常都不高，由其幼魚族群數量不定的情況來看，絕大

多數的幼魚應該都是颱風洪水，自高山溪以及七家灣溪上游河段的沖移至此的。

高山溪的兩岸植被完整，水溫低，並且河中原本四座防砂壩都已經陸續拆除完畢，成為完全沒有人工構造物阻礙的河段。但由於流域面積相對七家灣溪來說小得多，且坡降大，水流湍急且多為峽谷地形，因此各齡台灣櫻花鉤吻鮭的數量相較七家灣溪各河段通常較少。在族群比例上，大型鮭魚的比例呈現叫大幅度的變動，且在 2002 年有一個明顯的高峰期，變動主要是因為多次颱風的侵襲，對高山溪來說，大型成魚在面臨洪水時不容易尋覓到合適的避難所，因此大多數鮭魚都會被沖移到下游處，但因為沒有防砂壩的阻隔，因此族群比例通常可以在下一季因為有新的魚群回溯補充而恢復先前的比例。中型鮭魚在 2001 年有一個族群高峰，但隨後在下一季調查中立即大幅減少，不過近年來又有逐漸回升的現象。幼魚的族群比例則在早期是屬於一個比較穩定的狀態，但後來則呈現較大幅度的震盪，2003 年與 2005 年有兩個較明顯的族群高峰，2004 年則是一個最低值。這些大幅降低主要是因為颱風天災的關係，與中大型鮭魚的變動大致相同，不過幼魚折損的幅度較大，顯示幼魚所受到的衝擊較大。與七家灣溪其他河段相較，其族群變動狀況也有所不同，除了因為各河段本身族群更新狀況有所不同之外，颱風針對不同集水區會有不同影響，也有關係。例如：2004 年夏季接連而來的敏督莉與艾莉颱風，前者對高山溪的影響較大，但後者對七家灣溪的影響較為顯著。

不過因為先前拆壩的壩基並未完全拆除，加上高山溪河床還在不斷淘蝕下切，使得包含四號破壩及一號及二號破壩又都形成阻礙，這些殘存的破壩壩基通常高度不高，但因為處於地形的關鍵點，水流湍急，鮭魚不易跳躍而過，加上壩基上通常都是水泥構造物，使得即使可以跳躍過落差障礙的鮭魚，也不一定就可以順利抵達後方。在靠近四號破壩的上游河段，也形成一座巨大樹幹攔阻而成的殘材壩，使得高山溪又有逐漸分割為局部河段的狀況發生。由今年夏秋兩季調查發現族群數量有減少的趨勢，可能也跟族群被分隔化有關。

由於七家灣溪中游是台灣櫻花鉤吻鮭最主要的分布河段，尤其是具有繁殖能

力的大型成鮭，因此針對組成中游主要河段的一至二號副壩（石壩）與二號副壩（石壩）至三號壩兩相鄰河段的族群比例變化再下一小節進行更為深入的討論。

#### **(四) 七家灣溪中游各齡族群歷年變動及阻隔破壩的崩毀**

中游主要河段的一至二號副壩（石壩）與二號副壩（石壩）至三號壩兩相鄰河段的各齡鮭魚族群變化情形如圖 10-6 所示。其中二至三號壩間河段的各齡鮭魚比例在 2005 年以前有逐年下降的趨勢，其中三齡大型成魚比例變動在 2003 年以前的下降情況較為緩和，但長期來看仍是呈現下降趨勢。一齡以下幼魚以及二齡中型成魚比例雖然在 2002 年有攀升情形，但相對往年比例仍舊不高。至 2004 年以後的族群比例又明顯下滑。不過在 2005 年之後，各齡族群的比例有開始有回升的現象，尤其是幼魚族群呈現急速的大幅增加。

一至二號壩河段的各齡族群歷年變化則呈現較為劇烈的變動，且有不同的趨勢。三齡以上大型鮭魚一直佔有相當比例，自 2001 年以來通常都佔整個族群的 40% 左右，一直到 2005 年才有遞減的情形發生。一齡的幼魚與二齡中型鮭魚亦呈現變動，且其震盪幅度較大型成魚來得顯著，特別是幼魚族群有兩個 60% 左右高比例的高鋒期，但隨後又立即的快速下降，顯示該河段的幼魚族群並無法呈現穩定。

由於以往對水溫的長期監測資料顯示（表 10-7），一至二號壩河段在秋季繁殖季節的水溫通常較上游河段來得高些，不利於鮭魚卵的成功孵化，因此雖然該河段的成魚比例極高，但每年幼魚更新狀況卻不甚穩定，其中有些可能都是上游河段被洪水沖移來此的，族群比例因此呈現劇烈變動。例如 2001 年多次的大雨與颱風侵襲，將上游鮭魚族群沖移至該河段，各齡鮭魚族群數量與比例因此呈現大幅上升（曾，2001），尤其是二齡中型成魚的數量。也因此使得幼魚族群數量在隔年（2001）隨之大幅增加。

七家灣溪中游該兩主要河段的族群比例差異在 2004 年艾莉風災過後更為顯著，無論是三齡以上成魚或是一齡幼魚，都有近 50% 的族群集中於此河段，2005 年以後，由於兩河段間唯一的人工構造物—二號副壩（石壩）因為長久以來的淘

刷，已將壩基底部完全淘空，加上去（2005）年連續颱風豪雨所帶來洪水，整個壩體因此整個崩毀。破損的二號副壩（石壩）與水面在夏季調查時還有約一公尺左右的落差，但現在落差已經幾乎完全消失，不過因為壩體崩毀之後，該流域上下游河段形成嚴重淘刷，下游河段峽谷因此變的更為急湍。對照副壩破損之後的歷次各齡鮭魚的族群比例調查結果顯示，二號副壩（石壩）的阻礙已經不復存在，在上下游間的鮭魚可以通行無阻。這對整個一至三號壩河段的族群相當重要，因為鮭魚可以依據自己的需要尋求合適的棲所，在下游河段的鮭魚也不會因為阻礙受限無法在繁殖季節回溯到上游河段尋找較低水溫環境進行繁殖。

此外，因為近年來雪霸國家公園持續進行人工繁殖復育計畫，因此在繁殖季節初期都會安排到溪流中捕抓成個體種魚，由於水溫影響的關係，在下游河段，包含二號石壩以下河段的族群，特別是七家灣溪一號壩以下的族群，並無法順利繁衍出下一代，因此建議捕抓種魚還是應該以這些高水溫區域河段的族群個體為主才是。甚至有時在豪雨過後，可以在更下游的大甲溪和平農場河段觀察到零星的個體族群，這些族群也可以透過捕抓的方式，部分放流到上游河段，部分也可以作為繁殖種魚來幫助其延續下一代。

#### **(五) 高山溪的歷年族群變動狀況**

高山溪河段的鮭魚族群比例則自 1999 年防砂壩陸續拆除，河道上下游形成穩定通路後，由於上游環境良好且棲地穩定，幼魚更新也十分良好，因此總數量即一直呈現穩定上升的趨勢。

圖 10-7 是高山溪各河段族群比例變化圖，為了比較上的單純，將高山溪分成三個河段討論，分別是下游的一號（破）壩以下河段，中游的一號（破）壩至三號（破）壩河段與上游的三號（破）壩以上河段進行比較。由圖中可見到 1999 年高山溪防砂壩陸續拆除及復育放流後，上游三號（破）壩以上河段的族群比例快速攀升，其他各河段則呈現相對的降低。隨後三號（破）壩以上河段族群逐漸下降，而其他下游河段的族群也逐漸攀升，達到穩定的情況。雖然會因為風災造成族群比例上的變動，但因為沒有人工構造物阻隔，因為隨即會因為成魚上溯的



補充，比例又馬上恢復。

不過去年兩次調查結果發現，各河段的族群比例開始有拉大差距的現象，不過和先前有所不同的是，中游河段的族群比例較下游與上游河段增加，其他兩個河段則明顯的減少，這可能是因為前（2004）年敏督莉風災時，使高山溪整個河道淘刷嚴重，底床劇烈下切，因此先前拆壩保留壩基的防砂壩，因此又形成阻礙，造成下游河段的鮭魚無法再成功的自由上溯至上游河段。

高山溪上游的三號（破）壩以上河段，自拆壩完成後，由於棲地型態多樣，河床底質穩定，水溫環境優良（林等，2001），加上人工放流，因此一開始即可記錄到相當多的幼魚，之後許多成魚也上溯集中於此河段，由於幼魚更新狀況亦相當穩定，加上當時三號壩以下河段仍然因為兩岸砂石堆積，水流湍急，加上時有工程干擾，棲地型態與底質都尚未完全穩定（葉等，2001），因此該河段各齡鮭魚的比例一直佔有整個高山溪族群的 50%以上（圖 10-7）。直到 2003 年秋季開始，上游族群開始往下游擴展，因此各齡族群比例有降低的趨勢。有時，洪水亦會將該河段的鮭魚沖移至下游，例如：2004 年的豪雨，造成高山溪各河段的族群分布狀況完全改觀，原先穩定的上游河段族群收到嚴重的衝擊，中大型成魚的族群比例降低至 23% 以下，幼魚也僅保有 30% 不到的族群。但由於整個高山溪流域是完全沒有阻礙的自由河段，因此雖然此次風災對該流域的族群造成嚴重的損失，但是當棲地環境又逐漸穩定之際，還是可以吸引到下游以及七家灣溪河段的鮭魚上溯至此，不過族群回復的狀況在 2005 年開始又面臨新的考驗，由於高山溪河道嚴重沖刷使的拆壩後殘留的壩基形成高落差，因此又變成新的人工構造阻礙，連帶也影響到該河段的族群補充。

## 五、結論與建議

總結今(2007)年夏、秋兩季台灣櫻花鉤吻鮭族群調查結果整理分述如下：

- (一) 台灣櫻花鉤吻鮭的分布範圍與去年相同，下游起點自迎賓橋起，往上游可達桃山西溪六號壩，往桃山北溪(無名溪)則可超過桃山(煙聲)瀑布溪與詩崙溪匯流點，到達以上約一百公尺一個落差小瀑布止。高山溪流域則因為四號破壩落差變大，僅達四號破壩止，高山溪二號壩與一號壩也因為河床嚴重淘刷形成落差。
- (二) 秋季調查結果顯示各齡鮭魚數量中一齡幼魚與三齡以上的成魚幾乎相同，二齡中型鮭魚的數量最多，族群結構因此由夏季的近金字塔結構轉變為秋季的桶型結構，不過實際上各齡族群之間的數量差異不大。
- (三) 今年夏秋季接連的風災對台灣櫻花鉤吻鮭的影響衝擊不大，成魚和幼魚還分別可以保有 86.7 和 60.8% 的族群比例存活。不過上游河段受到影響較下游河段來得劇烈。
- (四) 如果不考慮防砂壩阻隔效應，以中游河段的一至三號壩族群數量最多，族群所佔比例由夏季的 54% 提升至秋季的 63.9%。其次是上游的三號壩以上河段，不過其中超過 1/2 族群都集中在桃山北溪支流。再其次是最下游的一號壩以下河段。
- (五) 風災過後，三齡以上成魚明顯集中在中游的一至三號壩河段，比例由原先略為超過 1/2 增加至 59%，其中又以一至二號壩河段族群的數量最多。二齡中型成魚也是分布在中游的一至三號壩河段，比例增加達到 65% 以上。一齡幼魚則以中游的一至三號壩族群最多，佔了所有族群的 62.5%，其次是最上游的三號壩以上河段，但主要集中在桃山北溪流域。
- (六) 監測結果顯示，台灣鏟頰魚的族群有逐年減少的趨勢。
- (七) 建議針對每年的繁殖復育計畫，繁殖用種魚還是應該選擇高水溫區域河段的鮭魚，包含二號壩以下河段或是一號壩以下河段等，無法成功繁殖的個體較佳。

## 誌謝

今年度研究工作期間受到雪霸國家公園管理處林青處長及前處長林永發、保育課、警察隊和武陵管理站及遊客中心全體同仁的幫忙與照顧。除此之外，全體清華大學生命科學系淡水魚類生態及分子系統學實驗室等同仁，以及陳燦然、陳亮瑾、朱惠菁、呂榮達、申忠哲、陳勢杰、葉國明、李陳發、汪淑媛、歐耀仁、劉冠吟、孟琬瑜、陳理德、朱幸一、許佑銘、李兩傳、田春佳、向碧盈、鄭婷婷、陳鴻儒、李孝忠、柯伶樺、鍾豐昌、吳杰峰、劉旭峰、劉家彰、林存盛、藍梁文、李卿志、王一如、蘇萬興、王文松、莊安華、許建明、戴嘉慧、江振彰等多人在野外工作上的協助，才能順利平安完成本年度多次的野外調查工作，特別在文末致謝之。

## 六、參考文獻

- Chambers, R.C., and Trippel, E.A. (eds.), 1997, Early life history and recruitment in fish populations. Chapman & Hall 21, London, 596 p.
- Hjort, J., 1914. Fluctuations in the great fisheries of Northern Europe. Rapp. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer 20, 1-28.
- Kano, T., 1940. Zoogeographical studies of the Tsugitaka Mountains of Formosa. Inst. Ethnogr. Res. Torkyo. 145pp.
- Tsao, E. H. 1995. An ecological study of the habitat requirements of the Formosan landlocked salmon(*Oncorhynchus masou formosanus*). Ph. D. Dissertation, Colorado State Univ. 213pp.
- Tsao, E. H., Y. S. Lin. E. P. Bergersen, R. Behnke and C. R. Chiou, 1996, A stream classification system for identifying reintroduction sites of Formosan landlocked salmon(*Oncorhynchus masou formosanus*, Jordan and Oshima) , Acta Zoologica Taiwanica 7(1):39-59.
- Wang, C. J. 1989. Environmental quality and fish community ecology in an agricultural mountain stream system of Taiwan. Ph. D. Dissertation, Iowa State Univ. 138pp.
- Watanabe, M., and Y. L. Lin 1985. Revision of the salmonid fish in Taiwan. Bull. Biogeog. Soc. Japan 40 ( 10 ) : 75- 84.
- 吳富春、王文江、徐享田、張守陽，1999，水庫集水區治理規劃與成效評估計畫(二)，經濟部水資源局研究計畫。
- 吳祥堅，2000，台灣櫻花鉤吻鮭 (*Oncorhynchus masou formosanus*) 人工繁殖與放流，台灣櫻花鉤吻鮭保育研究研討會論文集，31-46 頁。
- 林曜松、曹先紹、張崑雄、楊平世，1988，台灣櫻花鉤吻鮭生態之研究(二)族群分布與環境因子間關係之研究，農委會 77 年生態研究第 012 號，39 頁。
- 林曜松、張崑雄，1990，台灣七家灣溪台灣櫻花鉤吻鮭族群生態與保育，農委

會 79 年生態研究第 001 號，40 頁。

林曜松、張崑雄、詹榮桂，1991，台灣大甲溪上游產陸封性鮭魚的現況，農委會林業特刊第 39 號：166-172。

邱建介，1991，探尋國寶魚-台灣櫻花鉤吻鮭魚的故鄉，台灣林業 17(8):25-29。

陳弘成、林培旺、楊喜男，1996，溪流之水質調查與生物監測之研究— 武陵附近地區，內政部營建署雪霸國家公園管理處與經濟部及國立臺灣大學合辦漁業生物試驗所。

陳弘成、楊喜男，1997，武陵地區—溪流之水源水質監測系統之規劃與調查。內政部營建署雪霸國家公園管理處八十六年度研究報告。

陳弘成，1998，武陵地區—溪流之水源水質監測系統之規劃與調查。內政部營建署雪霸國家公園管理處八十七年度研究報告。

陳弘成，1999，武陵地區溪流水源水質監測系統之規劃與調查。內政部營建署雪霸國家公園管理處，78 頁。

陳弘成，2000，武陵地區溪流水源水質監測系統之規劃與調查（六），內政部營建署雪霸國家公園管理處，106 頁。

戴永禎，1992，台灣櫻花鉤吻鮭之族群生態學研究，國立台灣大學動物學研究所博士論文，121 頁。

曾晴賢，1994，台灣櫻花鉤吻鮭族群調查及觀魚台附近河床之改善研究，內政部營建署雪霸國家公園管理處，24 頁。

曾晴賢，1995，台灣櫻花鉤吻鮭復育研究，內政部營建署雪霸國家公園管理處，21 頁。

曾晴賢，1996，台灣櫻花鉤吻鮭族群數量和生態調查，內政部營建署雪霸國家公園管理處。

曾晴賢，1997，台灣櫻花鉤吻鮭族群生態調查和育種場位址評估，內政部營建署雪霸國家公園管理處，71 頁。

曾晴賢，1998。台灣櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查（一），內政部營建署雪霸

- 國家公園管理處，79 頁。
- 曾晴賢，1999。台灣櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查（二），內政部營建署雪霸國家公園管理處，43 頁。
- 曾晴賢，2000。台灣櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查（三），內政部營建署雪霸國家公園管理處，54 頁。
- 曾晴賢、游智閔、楊正雄，2000。七家灣溪台灣櫻花鉤吻鮭族群數量變動的研究，國家公園學報 10（2）：190-210。
- 曾晴賢，2001，台灣櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查（四），內政部營建署雪霸國家公園管理處，34 頁。
- 曾晴賢，2002，台灣櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查（五），內政部營建署雪霸國家公園管理處，36 頁。
- 曾晴賢，2003，台灣櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查（六），內政部營建署雪霸國家公園管理處，48 頁。
- 葉昭憲、段錦浩、連惠邦，2001，七家灣溪河床棲地改善之試驗研究（四），內政部營建署雪霸國家公園管理處，72 頁。
- 楊正雄，1997。水溫對台灣櫻花鉤吻鮭族群的影響，國立清華大學生命科學系碩士班碩士論文，76 頁。
- 賴建盛，1996，防砂壩對台灣櫻花鉤吻鮭物理棲地影響之研究，國立臺灣大學地理學研究所碩士論文，112 頁。
- 戴永禎，1992，台灣櫻花鉤吻鮭之族群生態學研究，國立台灣大學動物學研究所博士論文，121 頁。

表 10-1：2007 年七家灣溪固定樣點魚類組成相調查結果。

時間自 2007.2 至 2007.10。

調查時間	2007.2			2007.4			2007.7			2007.10		
	台灣櫻花鉤吻鮭	台灣鏟頰魚	台灣鏟頰魚	台灣櫻花鉤吻鮭	台灣鏟頰魚	台灣鏟頰魚	台灣櫻花鉤吻鮭	台灣鏟頰魚	台灣鏟頰魚	台灣櫻花鉤吻鮭	台灣鏟頰魚	台灣鏟頰魚
種類	大	中	小	大	中	小	大	中	小	大	中	小
地點/尺寸	大	中	小	大	中	小	大	中	小	大	中	小
#1 桃山北溪	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
#2 桃山西溪	0	0	0	0	0	0	9	5	12	2	4	3
#3 二號壩	0	7	5	0	0	0	2	6	1	4	13	3
#4 一號壩	0	0	1	0	0	0	1	5	0	2	1	0
#5 繁殖場	0	4	1	0	4	2	1	4	0	1	0	2
#6 萬壽橋	0	2	1	0	5	3	1	0	0	0	0	0
#7 迎賓橋	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
#8 高山溪	0	0	1	0	0	0	0	2	2	1	3	3
#9 有勝溪	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
#10 司界蘭溪上游	0	27	4	0	0	0	0	5	0	0	0	0
#11 司界蘭溪下游	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
備註	*:桃山北溪調查點以上三個深潭分別有鮭魚大3中30小2 *2 司界蘭溪的調查為五月進行(5.11)餘為4.23 調查 資料整理自 2007 年夏季族群普查結果。(2007.6.29~7.4) 資料整理自 2007 年秋季族群普查結果。(2007.10.19~10.24)司界蘭溪調查為十一月進行(11.19)。灰色區域表示水濁，調查誤差較大。											

表 10-2：2007 年秋季台灣櫻花鉤吻鮭調查數量統計表。

調查於十月十九日至廿四日前往進行，調查河段包含迎賓橋以上至六號壩以下的七家灣溪主流全段與桃山北溪（舊名無名溪）匯流口以上至詩崙溪匯流點河段，統計總數量為 2,009 尾。高山溪河段因為水濁無法調查，不列入統計。其他共域魚類數量估計請見表 10-5。

地 點	三齡以上成魚	二齡中型成魚	一齡幼魚	小計	備註
	(25cm 以上)	(15~20cm)	(15cm 以下)		
迎賓橋~高山溪匯口	15	11	18	44	
高山溪匯口~一號壩	23	28	11	62	
一號壩~觀魚台	91	42	41	174	一至二號壩共計
觀魚台~二號副壩	105	221	138	474	648 尾
二號副壩~三號壩	139	252	204	595	二至三號壩共計
湧泉池	12	21	8	41	636 尾
三號壩~四號壩	11	17	43	71	三號壩以上河段
無名溪匯流點至小瀑布	12	13	9	34	共計 619 尾
無名溪小瀑布以上	116	123	79	318	
四號壩~五號破壩	35	34	27	96	
五號破壩~六號壩	17	36	47	100	
高山溪一號破壩以下	--	--	--	--	高山溪水濁無法 以浮潛法調查
高山溪一~二號破壩	--	--	--	--	
高山溪二~三號破壩	2	7	2	11	
高山溪三~四號破壩	3	4	0	7	
高山溪四號破壩以上	--	--	--	--	
小計	<b>586</b>	<b>798</b>	<b>625</b>	<b>2,009</b>	合計未包含高山溪



表 10-3：2007 年夏季台灣櫻花鉤吻鮭調查數量統計表。

調查於六月廿九日至七月四日前往進行，調查河段包含迎賓橋以上至六號壩以下的七家灣溪主流全段、高山溪全段與桃山北溪（舊名無名溪）匯流口以上至詩崙溪匯流點河段，統計總數量為 2,624 尾。其他共域魚類數量估計請見表 10-5。

地 點	三齡以上成魚	二齡中型成魚	一齡幼魚	小計	備註
	(25cm 以上)	(15~20cm)	(15cm 以下)		
迎賓橋~高山溪匯口	45	16	8	69	
高山溪匯口~一號壩	98	43	32	173	
一號壩~觀魚台	52	42	16	110	一至二號壩共計
觀魚台~二號副壩	98	226	180	504	614 尾
二號副壩~三號壩	88	396	265	749	二至三號壩共計
湧泉池	4	8	44	56	805 尾
三號壩~四號壩	23	27	48	98	三號壩以上河段
無名溪匯流點至小瀑布	12	41	106	159	共計 750 尾
無名溪小瀑布以上	37	106	213	356	
四號壩~五號破壩	4	6	0	10	
五號破壩~六號壩	27	139	59	225	
高山溪一號破壩以下	6	9	14	29	高山溪全段共計
高山溪一~二號破壩	4	11	11	26	341 尾
高山溪二~三號破壩	4	10	21	35	
高山溪三~四號破壩	7	7	11	25	
高山溪四號破壩以上	0	0	0	0	
小計	<b>509</b>	<b>1,087</b>	<b>1,028</b>	<b>2,624</b>	

表 10-4：2002 年迄今各齡台灣櫻花鉤吻鮭在各河段所佔族群比例統計表。

時間欄內 W 指秋冬時的調查，S 指春夏間的調查。其中三齡以上大型成魚為 25 公分以上的大魚，二齡中型成魚則指 8~20 公分（夏季）或是 15~20 公分（秋季）的中魚，一齡幼魚為 5~8 公分（夏季）或是 15 公分以下（秋季）的小魚。2004 年夏季以後的統計結果中，由於原二號壩已經毀損，因此一至二號壩與二至三號壩河段總計分界線改以更上游的二號石壩（副壩）為界。

分類、時間	各河段三齡以上成魚比例(%)							各河段二齡成魚比例(%)							各河段一齡幼魚比例(%)																					
	02	03	04	05	06	07	08	02	03	04	05	06	07	08	02	03	04	05	06	07	08															
河段	02S	W	03S	W	04S	W	05S	W	06S	W	07S	W	02S	W	03S	W	04S	W	05S	W	06S	W	07S	W												
迎賓橋~高匯點	0.8	4.9	6	2.5	4.2	1.3	3.8	9.1	1.1	2.4	8.8	2.7	1.6	2.2	1.1	0.4	2.1	6.1	2.4	4.6	4.4	6.1	1.5	1.4	0.7	1.6	0.1	0.9	3.2	4.5	6.4	4.7	5.9	7.5	0.8	2.9
匯流點~一號壩	2.3	9.8	2	2.5	9.2	5.2	4.2	8.1	6.6	1	3	4.1	3.2	4.5	1.2	0.6	1.5	5.2	7.1	9.7	3.1	5	4.0	3.5	1.9	2.5	1.5	3.2	3.3	0	1.4	4.7	4.9	6.1	3.1	1.8
一號壩以下小計	14.	22.	13.	17.	15.	28.				11.	14.	17.																			25.	10.	13.			
一號壩~觀魚台	9.2	2	6	8.0	3	4	5	8.6	6.6	6.2	2	4	9	0	3.9	1.0	8.3	5	8.0	6.3	3.9	2.9	3.9	5.3	4.1	3.4	0.7	0.1	6	6	3.2	3.3	4.6	1.3	1.6	6.6
觀魚台~二號壩	5	1	1	7	9	2	5	2	6	7	3	7	8	6	3	9	7	0	2	9	0	6	8	7	2	3	4	0	7	1	7	0	5	1	5	1
一至二號壩小計	52.	40.	37.	38.	43.	49.	39.	29.	34.	23.	29.	37.	47.	32.	24.	12.	22.	45.	47.	21.	21.	15.	24.	33.	19.	16.	12.	10.	56.	45.	18.	15.	21.	13.	19.	28.
二號壩~三號壩	7	3	7	7	2	5	0	8	3	9	5	1	7	6	2	9	9	4	3	1	9	5	7	0	3	7	1	1	4	7	9	3	2	4	1	6
湧泉池及湧泉支流	3.8	0.0	0.0	1.2	0.4	1.3	0.0	4.0	1.1	0.0	0.8	2.2	1.6	0.3	0.6	1.1	0.6	0.3	0.9	4.6	1.1	2.0	0.7	2.6	2.6	3.4	4.4	0.9	1.2	1.6	3.6	9.3	0.2	0.8	4.3	1.3
二至三號壩小計	11.	26.	18.	22.	12.	13.	23.	23.	18.	21.	27.	17.	14.	20.	11.																					
三號壩~四號壩	0.0	0.6	5.2	7.3	3.3	0.7	2.7	1.0	4.4	2.7	4.5	2.0	8.4	9.8	0	5	5.2	0.2	0.5	0.6	3.6	2.6	2.5	2.1	6	1	4	3.9	1.8	0.8	0.7	0.0	4.7	2.6	4.7	6.9
四號壩~五號壩	0.0	3.4	0.6	1.4	1.6	0.3	1.9	0.5	1.1	1.3	0.8	6.3	4.8	10.	12.	11.	12.	1.2	3.3	0.6	0.3	0.9	0.6	4.3	16.	11.	12.	9.2	4.7	1.1	0.4	0.0	0.4	0.1	0.0	4.3

五號壩~六號壩	0.0	0.9	1.4	8.7	6.4	4.6	8.0	3.5	0.6	9.4	5.3	3.1	0.0	8.8	9	1	0	6	6.1	4.6	8.1	6.1	8	4.5	7	4.6	5	2.0	2.7	0.7	2.0	9.1	1	5.7	7.5		
六號壩以上	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?		
四至六號壩小計	0.0	4.3	1.9	10.	8.1	4.9	9.8	4.0	1.7	7	6.1	9.4	4.8	3	4	8	1	9	9.5	5.1	8.4	7.0	3	8.8	2	3	7	8	6.7	3.8	1.1	2.0	9.5	2	5.7	8	
高一號壩~匯流點	0.0	4.0	0.8	1.1	1.5	4.6	3.0	3.0	6.1	1.9	1.2	0.0	0.9	2.3	0.5	0.4	1.0	3.8	3.1	9.7	9.7	2.1	0.8	0.0	0.3	0.3	0.3	2.4	3.5	1.3	6	6.7	0.8	5.4	1.4	0.0	
高一號壩~二號壩	0.0	0.3	1.0	1.2	2.2	0.0	4.2	4.5	1.1	1.9	0.8	0.0	0.5	1.0	0.8	0.6	1.7	0.9	0.7	3.4	7.1	6.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.5	1.4	3.6	0.2	1.8	0	2.5	0.7	1.1	0.0
高二號壩~三號壩	1.5	0.6	1.7	3.4	2.7	2.0	2.3	1.0	2.2	3.2	0.8	0.0	0.0	1.3	1.7	3.9	3.9	1.2	1.2	1.1	4.5	5.4	0.9	0.0	0.7	1.3	6.8	8.3	4.6	1.3	4.3	0.0	5.3	4.3	2.0	0.0	
高三號壩以上	0	8.0	7.2	3.7	4	2.0	8.7	5.6	0.6	3.2	1.4	0.0	5.0	6.5	6.8	4.6	2	1.5	5.4	9	3.4	4.9	0.6	0.0	9	6	2	2	5.7	1.3	7.5	4.0	2.4	3.3	1.1	0.0	
高山溪小計	30.	12.	10.	19.	18.	14.	10.	10.	10.	17.	10.	25.	24.	18.	14.	14.	31.	25.	17.	27.	20.	11.	13.	13.	13.	13.	13.	13.	13.	13.	13.	13.	13.	13.	13.	13.	13.
司界蘭溪中上游	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
合計	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

表 10-5：2007 年夏季與台灣櫻花鉤吻鮭共域之魚類數量統計表。

夏季調查時間為六月廿九日至七月四日前往進行，秋季調查時間則為十月十九至廿四日，調查河段包含迎賓橋以上至六號壩以下的七家灣溪主流全段、高山溪全段與桃山北溪（舊名無名溪）匯流口以上至桃山瀑布溪與詩崙溪匯流點河段。但秋季調查一號壩以下河段湍急，未調查完畢，以及高山溪全段混濁無法以浮潛法進行觀察。

種類	2007 夏季				2007 秋季					
	台灣鏟頰魚		台灣櫻花鉤吻鮭		台灣鏟頰魚		台灣櫻花鉤吻鮭			
	大(25cm 以上)	小(15cm 以下)	大(25cm 以上)	小(15cm 以下)	大(25cm 以上)	中(15-25cm)	小(15cm 以下)	明潭吻蝦虎魚		
迎賓橋~高山溪匯口	44	245	297	2	0 (*)	20	89	267	0	0
高山溪匯口~一號壩	24	73	314	0	0	0	17	28	0	0
一號壩~觀魚台	0	0	38	0	0	0	8	0	0	0
觀魚台~二號壩(損毀)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
二號壩(毀損)~二號石壩	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
二號石壩~三號壩	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
三號壩~四號壩	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
四號壩~五號壩	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
五號壩~六號壩	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
高山溪一號破壩以下	0	1	0	0	0	--	--	--	--	--
高山溪一~二號破壩	0	0	0	0	0	--	--	--	--	--
高山溪二~三號破壩	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
高山溪三~四號破壩	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
高山溪四號破壩以上	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小計	68	319	649	2	0	20	115	295	0	0

\*：錦鯉\*1

表 10-6：歷年重大風災對台灣櫻花鉤吻鮭族群的影響比較表

其中成魚包含三齡以上大型成魚及二齡中型成魚，幼魚則專指一齡幼魚。各年度存活百分比統計資料為當年度夏、秋季之間族群數量差異，以夏季調查作為 100 為基準所作的統計。2007 年高山溪攔位因為秋季無法調查沒有資料可以比對，故空缺。

時間	1996		2004		2005		2007	
	賀伯		敏督利.艾利		海棠.珊瑚.龍王		聖帕.柯羅沙	
河段/體型/存活百分比 (%)	成魚	幼魚	成魚	幼魚	成魚	幼魚	成魚	幼魚
下游 (一號壩以下)	87	39	80	168	97	64	38	73
中游下段 (一至二號壩)	146	125	97	37	32	43	112	91
七家灣溪 中游上段 (二至三號壩)	67	89	42	37	71	118	85	69
上游(桃山西溪三號壩以上)	52	44	17	24	27	60	66	109
桃山北溪	200	43	234	213	86	55	135	28
高山溪	38	41	23	10	78	41	0	--
小計	70.0	59.4	54.2	43.4	54.3	53.6	86.7	60.8
總計	67.2		49.3		54.1		76.6	

表 10-7：歷年七家灣溪各河段孵化前期（十一月）月平均水溫比較表。

月均水溫(°C)	1996	1998	1999	2001	2002	2003	2004	2005
迎賓橋	12.4	13.4	13.4			13.2	11.5	12.55
Dam1	12.9	15.2	12.6		13.3	13.2	12.4	12.89
觀魚台	12.7	12.6	13.3		13	13.9	11.3	12.56
Dam2	12.4		12.8		12.5	12.3		12.25
抽水站		13.4	11.2	10.6			10	11.23
Dam3	11.2	11.7	13.4		11	11.1		10.65
Dam5		10.6			10.1		9.3	
高Dam3			11.9	9.6	10.3		9.6	10.97

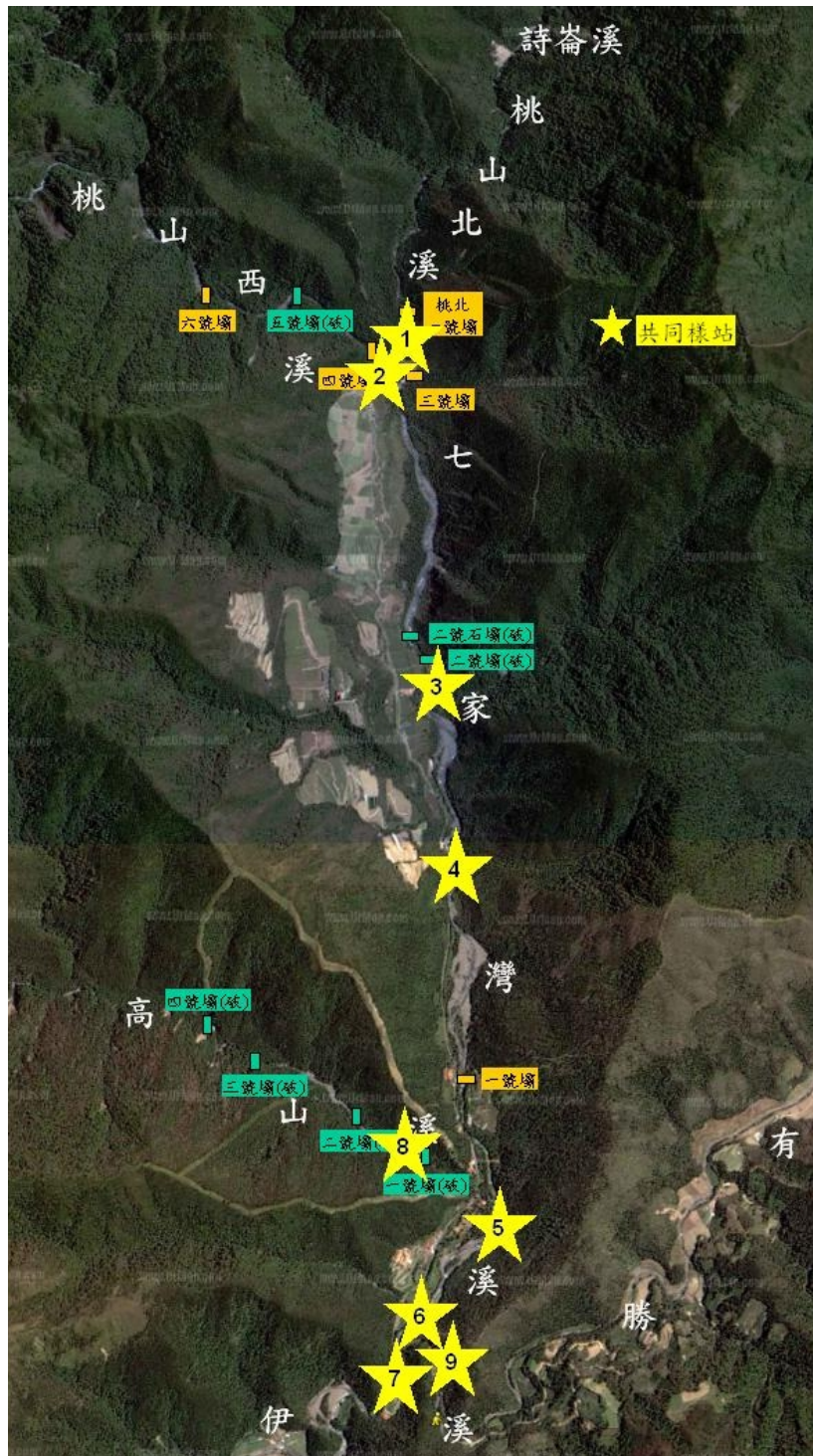


圖 10-1：七家灣溪與高山溪流域位置圖。

各個防砂壩位置與編號如圖示，其中高山溪所有防砂壩已經拆除，舊復育中心取水堰（二號壩）、二號副壩（石壩）以及桃山西溪的五號壩分別在在 2003 年、2004 年因颱風豪雨帶來的洪水淘空崩毀。台灣櫻花鉤吻鮭分布範圍上限，在高山溪為四號破壩，桃山北溪為與詩崙溪匯流點上的天然落差，桃山西溪為六號壩止。黃色星號標誌為「武陵地區長期生態監測暨生態模式」計畫的共同樣區。Site10 與 Site11 分別為司界蘭溪的上下游，並未標示於地圖中。

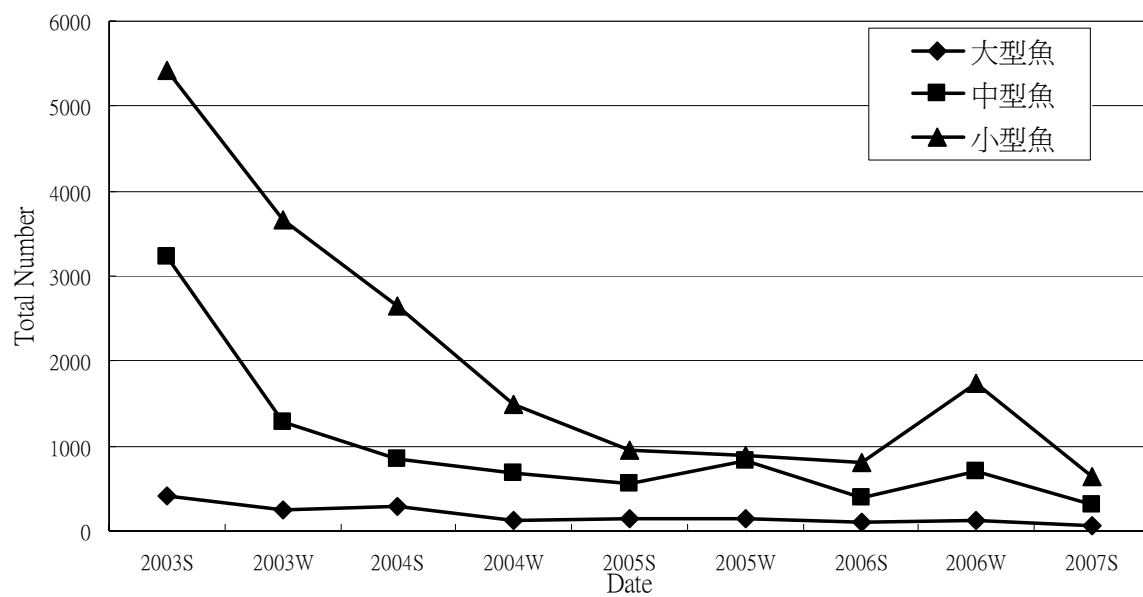
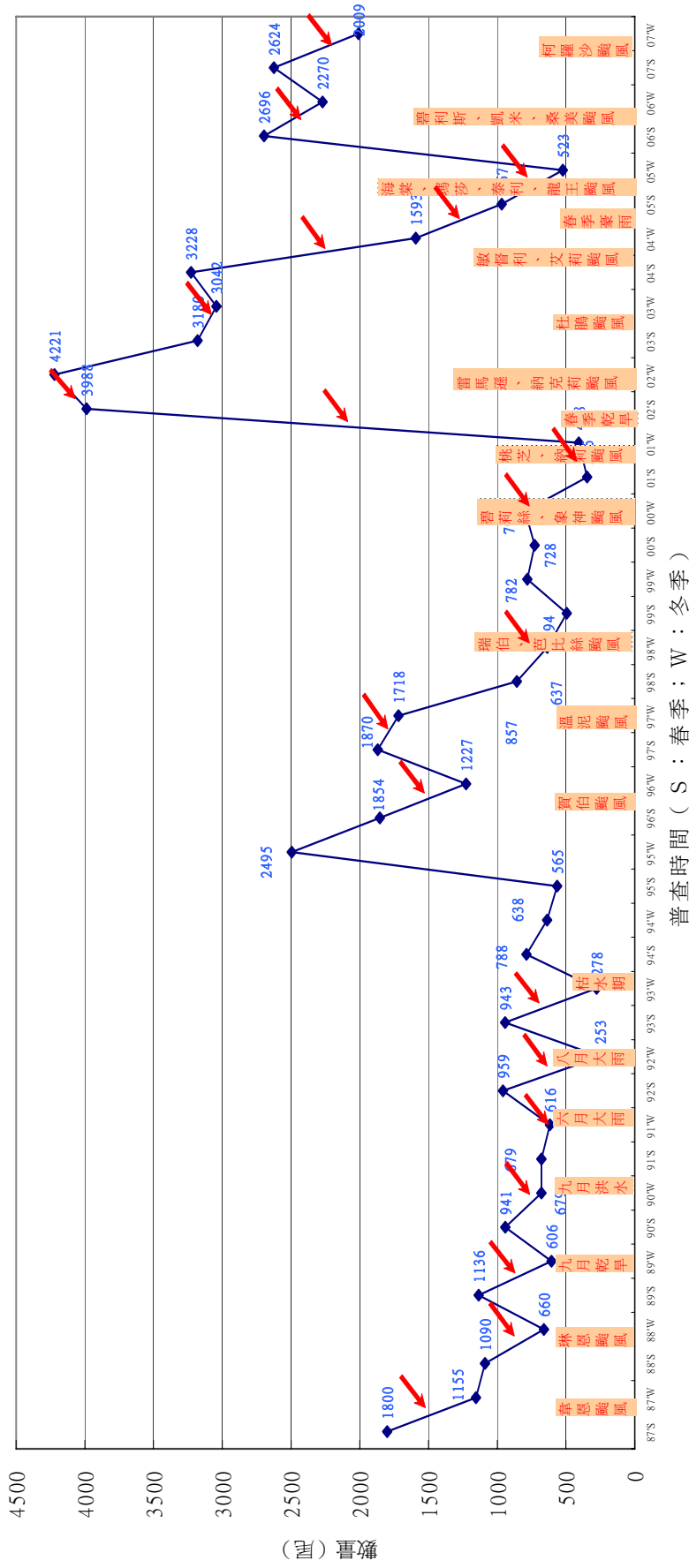


圖 10-2：台灣鏟頰魚自 2003 年以來迄今各類體型族群數量變化圖





普查時間 ( S : 春季 ; W : 冬季 )

圖 10-3 : 1998 年至 2007 年台灣櫻花鉤吻鮭族群數量年度變化圖。

1993 年以前的資料取自 Tsao (1995)，其統計河段為七家灣溪一號壩至三號壩間河段，唯當時的七家灣溪上游與高山溪河段，並沒有台灣櫻花鉤吻鮭族群的存在。1994 年以後的數目為本研究持續調查所得實際族群數目。近年的調查結果，除了 2005 年夏秋兩季之後，總數都在一千尾以上。

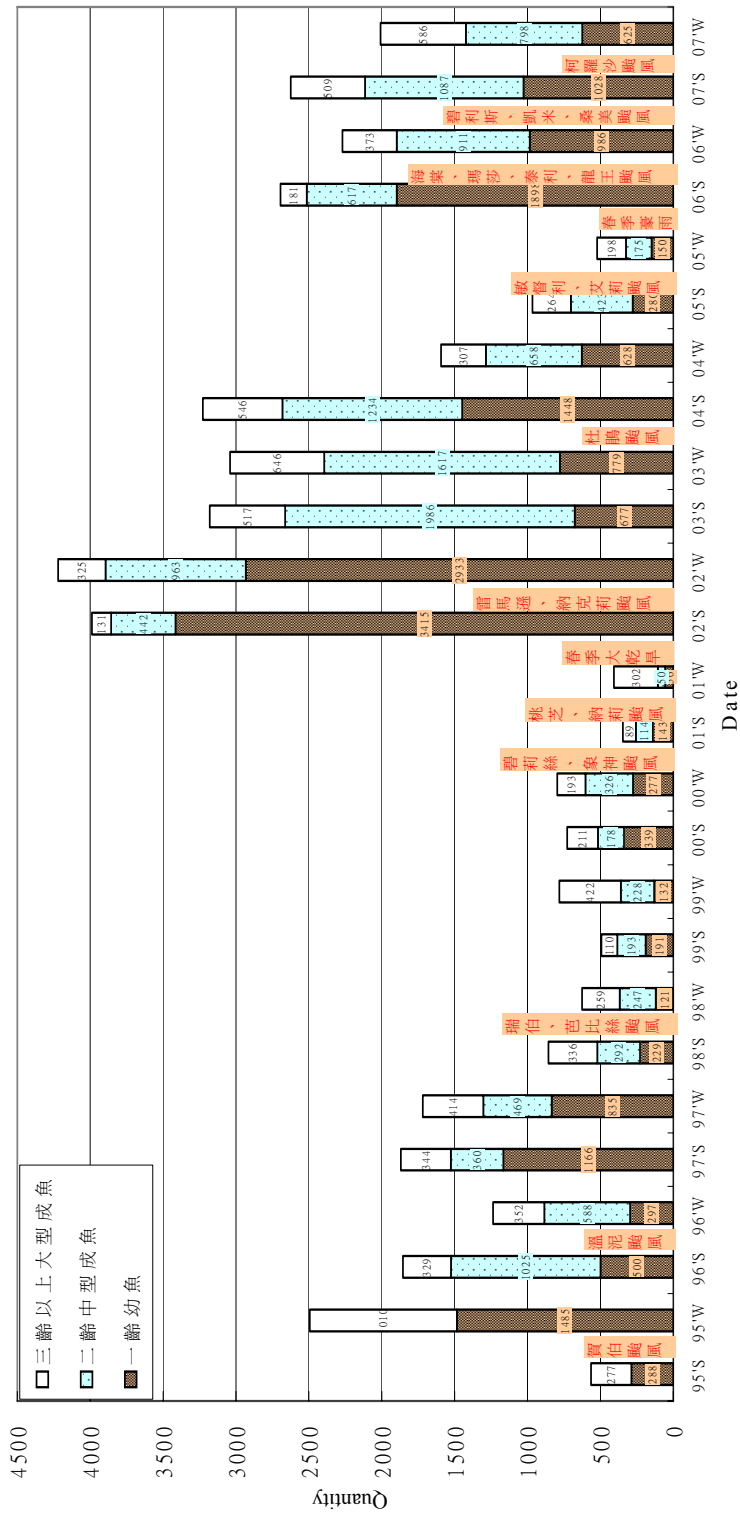


圖 10-4：1995 年至 2007 年七家灣溪台灣櫻花鉤吻鮭各齡族群結構變化圖。

可以看出整個族群結構在 2005 年時由於各齡鮭魚的數量都受到風災大幅折損，形成倒金字塔型的族群結構。但 2006 年夏季調查時又因幼魚大幅增加而調整成為金字塔型結構。本季調查結果則為中型成魚與一齡幼魚數量相當的桶狀結構。

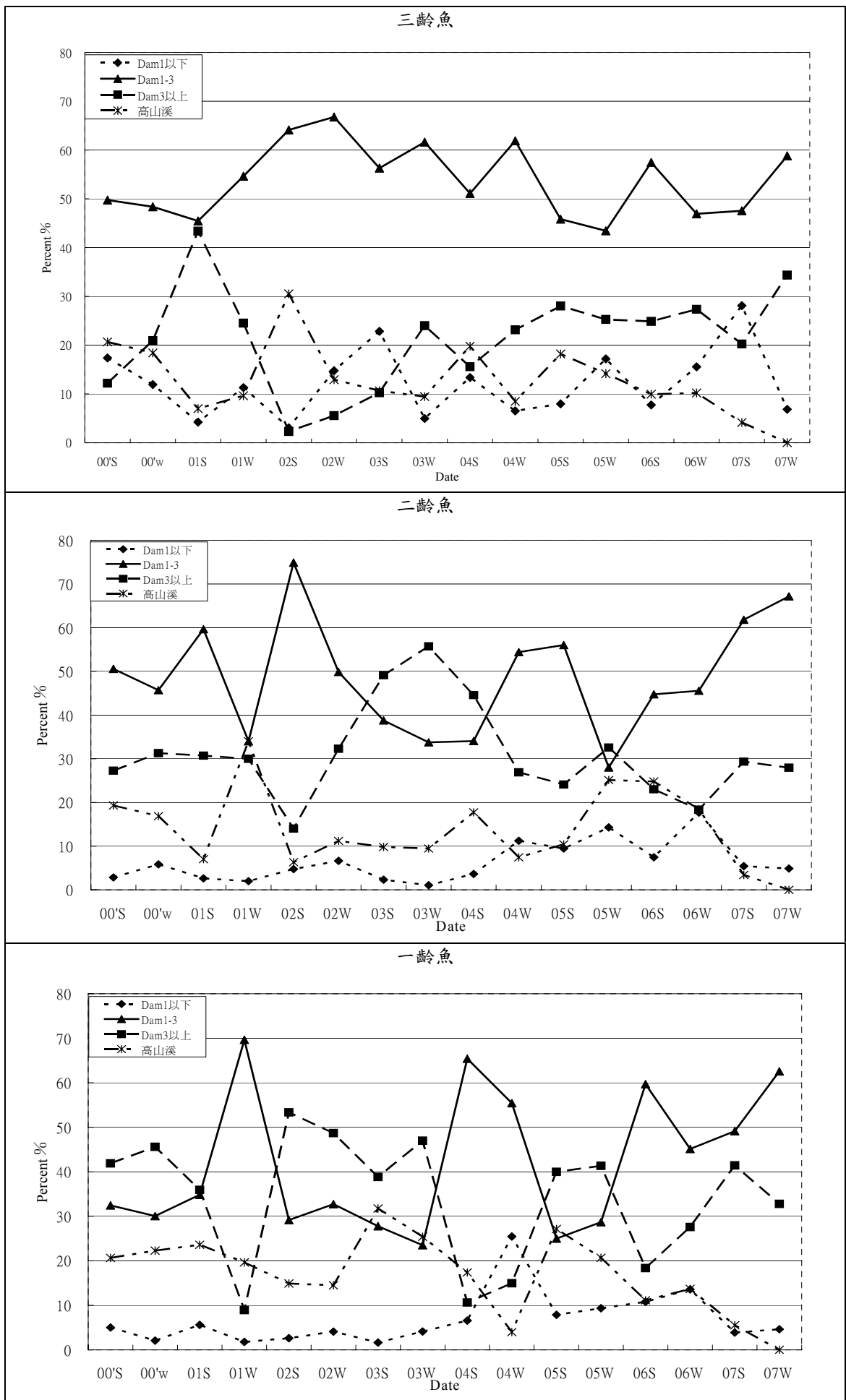


圖 10-5：2000～2007 年七家灣溪各主要河段各齡族群比例變動圖。

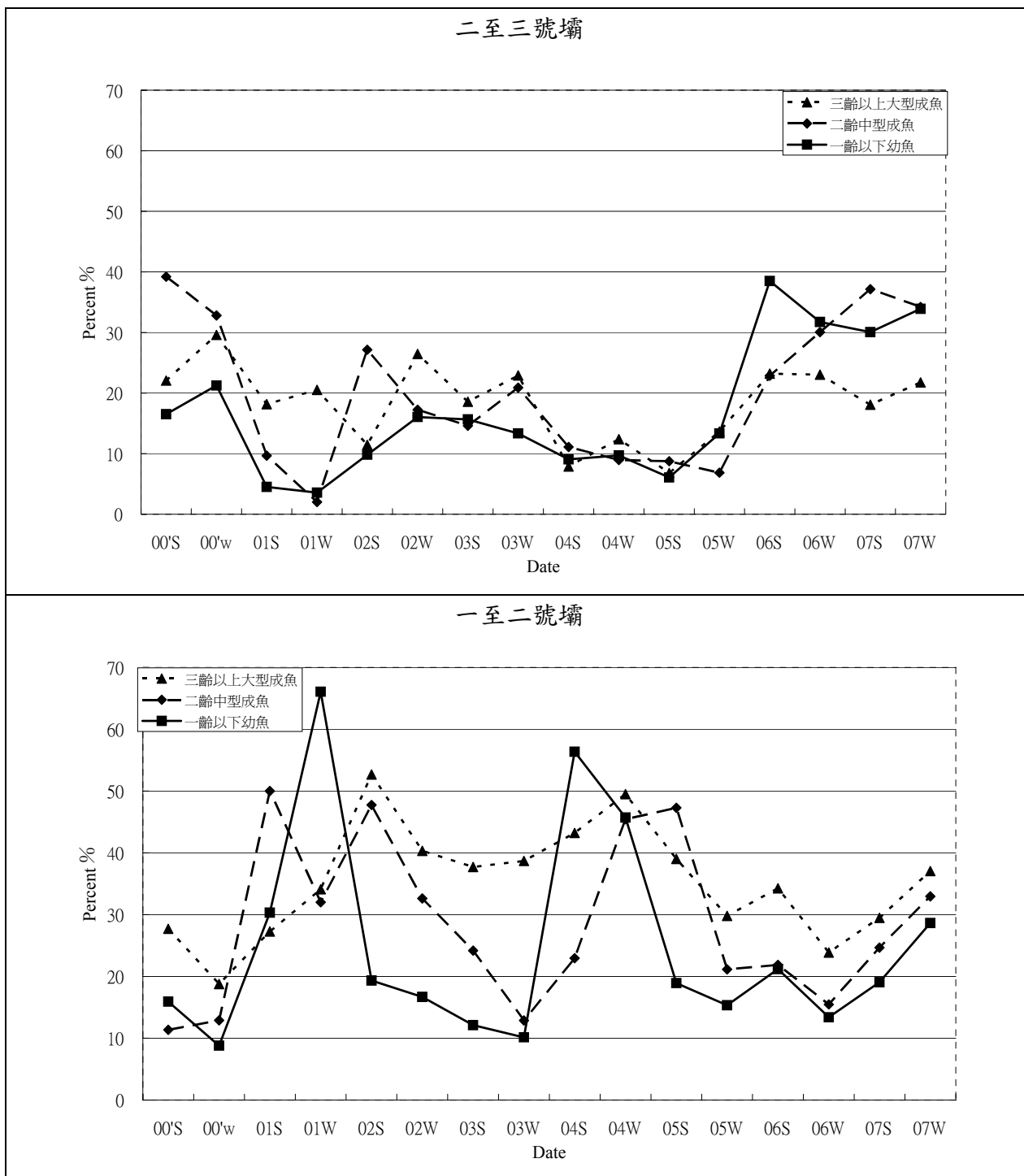


圖 10-6：2000 年至 2007 年七家灣溪二至三號壩以及一至二號壩河段各齡鮭魚族群比例變化圖。

上圖為二至三號壩河段各齡族群比例變動圖，下圖則為一至二號壩河段各齡族群比例變動圖。由兩圖比較，可見二至三號壩河段各齡族群，所佔整個族群比例有逐年降低情形；一至二號壩河段的各齡鮭魚有不同變化，但大略呈現上升趨勢，其中以大型成魚上升最為顯著。

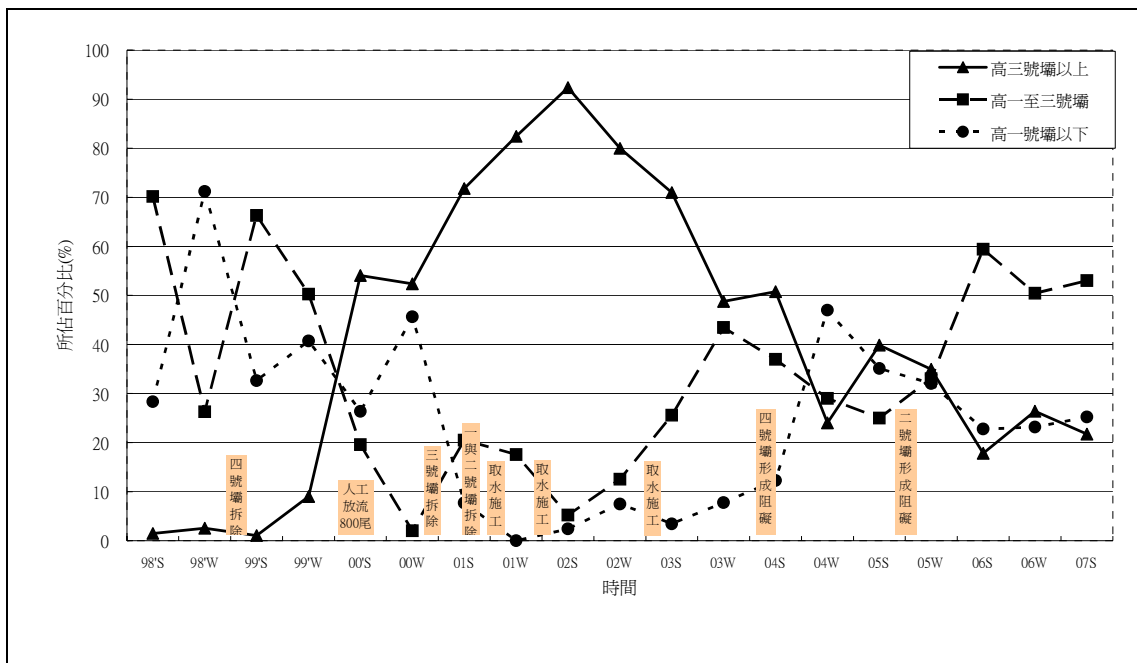


圖 10-7：高山溪各主要河段所佔族群比例變化圖。

時間自 1998 年迄今，統計值為各河段鮭魚族群佔高山溪全段族群的比例變化。其中將高山溪分成三個河段：一號（破）壩以下，一號（破）壩至三號（破）壩與三號（破）壩以上河段進行比較。由圖中可見 1999 年高山溪防砂壩陸續拆除及復育放流後，上游三號（破）壩以上河段的族群比例快速攀升，其他各河段則呈現相對的降低。隨後三號（破）壩以上河段族群逐漸下降，而其他下游河段的族群也逐漸攀升，達到穩定的情況。雖然會因為風災造成族群比例上的變動，但又會因為成魚上溯又馬上恢復的情形。



# 第十一章 溪流鳥類群聚生態監測

孫元勳、胡景程、曾建偉

國立屏東科技大學

## 摘要

### 一、研究緣起

本研究之目的在監測颱風有無對七家灣溪溪鳥群聚組成和分布的影響，並從歷年來的資料累積，了解颱風有無如何影響河鳥（*Cinclus pallasii*）和鉛色水鶇（*Phoenicurus fuliginosus*）的繁殖表現。

### 二、研究方法及過程

本研究沿著七家灣溪、高山溪和司界蘭溪進行分布和族群調查，找尋巢位及記錄繁殖情況，另持續繫放河鳥以辨認個體。七家灣溪和高山溪除六月逢豪雨沒有調查外，每月均調查一次，司界蘭溪則在12月、7月另調查一次。

### 三、重要發現

颱風對七家灣溪水鳥族群造成不同程度衝擊。今年1~5月河鳥數量較去年同期增加，10月的柯羅莎颱風雖然讓數量陡降但11月又回升。受2004及2005年的颱風影響，鉛色水鶇的數量反而多於2003年，2006年沒有颱風，今年的數量(142隻)又創下新高，推測和溪中羽化昆蟲的數量有關。小剪尾的數量和去年略同。綠蓑鶯的數量回升並接近2003年的水準，或許和鮭魚族群的回穩有關。又綠蓑鶯在七家灣和高山溪的出現次數大致如鮭魚數量的分布所預期。

在繁殖表現方面，今年有8對河鳥共生了9窩蛋，其中6窩成離巢共13隻幼鳥，和2006年的幼鳥數一樣，離巢成功率雖略低於2006

年，但高於 2004~2005 年。2003 年繫放的 24 隻河鳥，今年僅剩下 1 隻個體。本年度共有 72 隻鉛色水鶉幼鳥離巢，數量多於往年，這也是本區鉛色水鶉族群增多之因。

#### **四、主要建議事項**

在部份河段架設即時監看系統，如此比較容易捕捉記錄稀有鳥類天敵的捕魚行為。

**【關鍵字】** 溪鳥、食性、繁殖、死亡率、颱風



## Abstract

The purposes of this research were to monitor the effect of typhoons on the distribution and community structure of stream birds and on the breeding performances of common dipper (*Cinclus pallasii*) and plumbeous water redstart (*Phoenicurus fuliginosus*) in Chichiawuan, Kaoshan, and Shihjialan Streams in Sheipa National Park. Survey was conducted monthly except for June in Chichiawuan and Kaoshan and in December in Shihjialan, and we recorded the number of birds along the stream by binoculars.

The effect of typhoon on Chichiawuan stream bird abundance varied in relation to species. During January-May 2007, number of common dipper has rebounded due probably to less summer flooding last year; that of plumbeous water redstart reached its highest peak, 142 birds, since 2003. The expanded stream stretch by flooding may be responsible for this. Number of little forktail (*Enicurus scouleri*) changed slightly as compared with last year. The increased salmon number may render green-backed heron (*Butorides striatus*) to show up at Chichiawuan Stream more often than last two years.

Eight pairs of common dippers breed with eight clutches this year. Six of them fledged 13 young birds as last year, with fledging success slightly lower than last year but higher than the two years before last year. A total of 72 young plumbeous water redstarts fledged this year, the highest during 2003~2007. This partly explains the increased population of the species.

【Keywords】 *breeding, diet, mortality, stream bird, typhoon*

## 一、前言

### (一) 研究緣起

七家灣溪目前是陸封型櫻花鉤吻鮭(*Oncorhynchus masou formosanus*)的唯一主棲地(林曜松等, 1988; 曾晴賢, 1997; 汪靜明, 2000)。它的存在讓這條溪的生態特性異於本島其他溪流, 稱得上是這條溪流生態系的代表性物種。七家灣溪生態系可以稱為「櫻花鉤吻鮭生態系」, 雖然這種明星化的稱謂, 表面上看似和生物多樣的保育的精神有些背離, 但是若其保育有助於七家灣溪生態系的完整, 櫻花鉤吻鮭扮演所謂傘護種(*Umbrella species*)的角色, 不僅不違背生物多樣保育的精神, 其象徵意義也有利於與社會大眾的溝通和引起他們關注, 這是另一種保育策略(Hunter, 1996)。

武陵地區的鳥類群聚調查, 過去僅有袁孝維(1995)的初步研究, 該研究調查幾條登山步道沿線鳥相, 但是沒有區內各生態系的鳥類群聚組成、各鳥種的生物量和食性資料, 此對架構整個地區生物能量的轉換以及了解人為或自然干擾對整個地區生態系擾動和復原過程的影響, 可提供參考的價值不大。過去幾年, 七家灣溪的溪鳥群聚組成已有比較完整的資料, 其中鴛鴦(*Aix galericulata*) (孫元勳, 2002)、河烏(*Cinclus pallasii*)和紫嘯鶇(*Myiophoneus insularis*)的食性研究也已陸續完成或持續中(孫元勳, 2003; 2004)。至於其他溪鳥, 如黃魚鶇(*Ketupa flavipes*)、翠鳥(*Alcedo atthis*)、小剪尾(*Enicurus scouleri*)、鉛色水鶇(*Phoenicurus fuliginosus*)、綠蓑鶇(*Butorides striatus*) 等的食性內容比較欠缺。

2004~2005年連續兩年數個颱風挾著豐沛雨量, 重創七家灣溪生態系, 濱溪植被和水中附生藻受到嚴重破壞、溪床變寬且上升、深潭減少, 對當地生態系的衝擊程度之大, 可能史無前例。颱風對一地

區鳥類群聚結構和死亡率的影響甚鉅(Wiley, 1994)。2006年，颱風沒有經過七家灣溪，其對當地溪鳥族群和繁殖的影響結果會是如何，是本年要追縱的重點。此一探討將有助於雪霸管理處對於大自然干擾的處理策略和解說教育。

## (二) 研究背景

Crocker *et al.*(2002)根據日耗能(Daily energy expenditure)和各類食物所含的熱能以及同化效率，計算體重101 g的英國北部的白喉河鳥(*Cinclus cinclus gularis*)平均每天要吃88.7 g的水生昆蟲，約佔體重的87.8%。2003年七家灣河鳥的育雛食物中，81.1%是水生昆蟲，1.8%是魚類，17.1%是蝌蚪(孫元勳，2003)；2004年河鳥的育雛食物中，94.6%是水生昆蟲，3.9%是魚類(含57以條上的鮭魚)，1.5%是蝌蚪(孫元勳，2004)。另小魚也是普通河鳥(*Cinclus Cinclus*)的食物之一(Ormerod and Tyler, 1991; Yoerg, 1994)；美洲河鳥(*Cinclus mexicanus*)甚至有覓食太平洋鮭魚魚卵的紀錄(Obermeyer, *et al.*, 1999)。

體重 27g 的翠鳥(*Alcedo atthis*)平均每天要吃 13.1g 的魚，佔體重的 48.5% (Crocker *et al.*,2002)。在西班牙北部的翠鳥主要覓食 4~5 cm 的小鱒魚，在英國的同種翠鳥則覓食 4~7 cm 的小魚(Reynolds and Hinge, 1996)；又分布於北美的帶翠鳥(*Ceryle alcyon*)同樣會掠食小鮭魚(Cairns, 1998)。

由食糞分析結果顯示，花蓮縣沙卡礑的黃魚鴉主要以甲殼類和兩生類為主要食物，不過在鱒魚場林立的南勢溪，一對黃魚鴉一年最多曾吃掉 122 條虹鱒(Sun *et al.*, 2004)。圈養下(9~12月)的黃魚鴉一天約消耗 186.9g (n=20)的魚肉和雞肉，佔體重的 8.5%，和野外食糞獲得的食量(171.9g, n=49)相近(孫元勳,未發表資料)。

研究地以魚為主食的鳥類中，綠蓑鷺、蒼鷺(*Anthus cervinus*)

係本國過境鳥和冬候鳥，體重 1443 g 的蒼鷺平均每天要吃 274g 的魚，佔體重的 19% (Crocker *et al.*, 2002)。體重 300 餘 g 的綠蓑鷺以小魚為主食(Cao, *et al.*, 2002)。在七家灣溪一、四號壩間和高山溪有這種溪鳥分布(曾晴賢，1998；孫元勳，2003)，是一種會用餌引誘魚靠近的鳥類(Higuchi, 1988; Monnet and Varney, 1998)。

其他溪流鳥類部分，體重 19~23g 的鉛色水鶉的餵雛食物裏，95.3%是昆蟲，1.8%是蜘蛛，1.7%是漿果，1%是青蛙，0.2%是小魚(王穎，1986)。紫嘯鶉母鳥平均重 155g，公鳥重 165g，由 95%MCP 計算的領域大小，在 1~4 ha，領域位於溪流附近，為濱溪鳥類(方志仁，2003)；據王穎和裴家騏(1984)調查發現，紫嘯鶉在台北縣石碇溪的餵雛食物組成中，有 70.9%是昆蟲，0.3%是蜘蛛，1.2%是甲殼類，5.8%是青蛙，8.4%是小魚，4.6%是爬蟲類，8.8%是蚯蚓。孫元勳(2004)初步發現，七家灣溪的紫嘯鶉除了昆蟲、青蛙、蜥蜴外，還會捕食老鼠。

Martin,*et al.*(2000)發現，洪水促使 Knysna 河河口水鳥的數量減少三分之一。Knutson and Klass (1997) 調查密西西比河上游的水鳥群聚時，發現洪水爆發後的水鳥數量會跟著下降。Hunter *et al.* (1987)表示，洪水過後的沖刷平原的森林鳥類數量互有增減；減少的是地面和樹冠的食蟲鳥類，增加的是草澤型和秧雞類的鳥種。

## 二、研究地區與方法

### (一) 研究地區

研究地主要位於雪霸國家公園境內的大甲溪上游七家灣溪(圖 11-1)和下游司界蘭溪，前者是櫻花鉤吻鮭目前分布的區域。調查範圍由七家灣溪與有勝溪的匯流口至上游約 7 km 處的桃山西溪的六號壩，此外，調查範圍另外涵蓋其支流-高山溪，由匯流口至上游 1.5 km 處的四號壩，調查範圍的海拔為 1700~2000 m。七家灣溪沿岸土地利用型態包括遊憩住宿區、果園、菜園、二葉松林、次生林和原始針闊葉林等生態系。司界蘭溪為今年新增加的樣區，調查範圍是 11 號和 12 號測站中間約 1 km 長的溪段，起點在匯流口上方約 1 km。

### (二) 研究方法

#### 1. 溪鳥族群調查

除六月逢豪雨沒有調查外，研究者每月均會進行一次調查，6 月因調查日正逢梅雨期大雨，溪水暴漲，所以沒有上山。調查使用雙筒望遠鏡沿著七家灣溪和高山溪記錄溪鳥的出現地點、腳環顏色、數量、性別和年齡。司界蘭溪段的調查則在去年 12 和今年 7 月各進行一次。

#### 2. 繁殖

這部份乃延續歷年兩種溪鳥-河鳥和鉛色水鶉的繁殖行為調查，時間是 1~7 月。研究者沿溪搜尋岩壁、石縫及倒木，並藉由唧巢材行為的指引來搜尋巢位。調查內容包括築巢日期和地點、蛋數、雛鳥數和離巢幼鳥數。

### 三、結果

#### (一) 溪鳥族群變動

##### 1. 河鳥

本研究於 2003 年初開始進行調查，當年也是河鳥數量最多的一年，數量最多曾逼近 60 隻，2004 年春、夏季數量降至 40 隻，那年 8 月下旬因受艾莉颱風影響以及 2005 年相繼而至的海棠、泰利、龍王等 3 個颱風的肆虐，春、夏季河鳥數量大多維持在 30 隻以內的水平，2006 年 12 月河鳥的數量(35 隻)已較過去兩年(<30 隻)回升，今年 4、5 月的數量同時跟著回升到 43、32 隻，雖然數量仍無法回復到 2003 年同期的數量，但與前兩年比較，數量已經有明顯回升現象。惟好景不常，今年 10 月又受到柯羅莎強烈颱風的衝擊，導致河鳥的數量又明顯減少；11 月數量又回復到 30 隻(圖 11-2；表 11-1)。

司界蘭溪部份，2006 年的 12 月沒有紀錄到任何河鳥，只有在下溪處(樣點一)紀錄到一處舊巢位，今年 7 月份則記錄 4 隻河鳥，不過腳上都沒有腳環。

##### 2. 鉛色水鶉

2003 年春夏繁殖期鉛色水鶉數量最多將近 120 隻，2004 年降至 60~100 隻，2004~2005 年間的 4 個颱風，並未對族群造成太大的衝擊；在 2006 年春夏繁殖期的數量最高揚升至 127 隻，其上升趨勢甚至延續到 2007 年同期，如 4 月增至 142 隻，5 月也有 127 隻，是 2003 年監測以來的最高紀錄(圖 11-3；表 11-1)。7 月鉛色水鶉開始減少，不過和 9 月比較，10 月的柯羅莎強烈颱風並未造成鉛色水鶉數量波動。

司界蘭溪部份，2006 年 12 月紀錄到的鉛色水鶉有 11 隻，2007

年 7 月則紀錄到 15 隻鉛色水鶉，其中包含了 4 隻亞成鳥。

### 3. 紫嘯鶉

2007 年與 2006 年的 1~6 月，紫嘯鶉數量分別都只有 1~2 隻，數量都無法與 2005 年 1~8 隻和 2004 年的 4~7 隻相比，都是零星的單筆紀錄居多，7~10 月的情形類四似(圖 11-4；表 11-1)。從 2006 年的繁殖季到今年的繁殖季，尚未在七家灣溪流域發現紫嘯鶉的巢位。自從前二年的颱風侵襲之後，紫嘯鶉在武陵地區的數量一直無法恢復到 2003 年的水準。

### 4. 小剪尾

今年 1 月份調查到 8 隻小剪尾，2 月份也還可記錄到 5 隻，但進入繁殖季節之後，數量開始明顯的往下降，4、5 月兩個月則是完全沒有任何紀錄，7~10 月，其數量又恢復到 2~4 隻，不過 11 月數量由爬升到 15 隻之多，直逼 2003 年的 18 隻水準(圖 11-4；表 11-1)。

### 5. 綠蓑鷺

2006 年 12 月到 2007 年 5 月，綠蓑鷺的數量從 2 隻逐月增加，到 3 月份共記錄到 5 隻，5 月到 8 月綠蓑鷺離開研究地，9 月之後又如往年般開始出現，和前兩年比較今年的數量似乎略為回升(圖 11-5；表 11-1)。

### 6. 鴛鴦

今年記錄到的鴛鴦數量最多在 7 月，比去年記錄到的最大量還多(圖 11-6；表 11-1)。

### 7. 黃魚鴉

今年共有 3 筆各 1 隻的目擊記錄，分別是：1 月份在高山溪二號壩上游約 100 m 處，4 月份也是在高山溪二號壩下游約 50 m 處發現，還有 5 月份在桃山西溪的五號壩下游約 50 m 處(表 11-1)。另

外 7 月份在湧泉池附近，研究人員也檢到一根黃魚鴉的胸羽。

## (二) 河鳥繫放紀錄、配對、繁殖

今年記錄到有腳環標記的河鳥共有 10 隻個體，最早的繫放時間是 2003 年 1~7 月 (2002 年 5 月以前出生)，由此可知野外河鳥壽命至少在 5 歲以上 (表 11-2)。其中 O-RY♂ (2004 年 02 月 15 日繫放) 與 W-♀ (2003 年 1 月 21 日繫放) 兩隻皆有腳環的河鳥維持原配對情形 (表 11-3)，巢位與去年位置相同，築在高山溪與七家灣溪匯流口處，此巢位中共有 4 顆蛋，有 3 隻雛鳥成功離巢。

另外，W-R 與另一隻沒有腳環的河鳥配對，巢位地點在觀魚台下游約 200 m 處，此巢位是在一月份時發現，但是到了 2 月份卻消失，且該對河鳥在原巢位處下游約 10 m 處的岩壁繼續築巢，但 3 月份時此巢又消失不見，原因不明 (表 11-2)。W-R 是 2003 年 2 月 28 日在觀魚台上游巢位繫放的幼鳥，今年已 4 歲，今年是其離巢後首次出現在樣區的一年。

在二號壩上游約 500 m 處也發現到一隻有腳環的河鳥有配對情形，腳環為-O，與另一隻沒有腳環的雌鳥配對，共產下 5 顆蛋，有 3 隻雛鳥成功離巢 (表 11-2)。-O 是於 2003 年 1 月 20 日在高山溪三號壩繫放的雄鳥，此是其首次在樣區繁殖的紀錄。

除了有腳環標記的河鳥外，在無標記河鳥的繁殖方面，今年在武陵地區 (不含司界蘭溪和有勝溪) 還找到 6 個河鳥巢，其中在高山溪的一窩巢位失敗，沒有繼續築巢和產卵紀錄，其餘 5 個巢位中有 4 巢位母鳥確定有產蛋，確定蛋數的 4 個巢每窩蛋數 3~5 顆不等，下蛋日期介於 1 月中旬日和 2 月中旬之間。

整體而言，今年武陵地區共紀錄 9 個巢，其中至少有一隻幼鳥離巢的有 5 窩，成功離巢比例為 55.6%。和歷年比較，今年河鳥的



繁殖率略低於去年，但是離巢雛鳥數和去年一樣（表 11-4）。

### **(三) 鉛色水鶉繁殖情形**

今年鉛色水鶉雛鳥從 4 月份開始離巢，並持續到 5 月份(6 月份因豪雨沒有調查)；4 月份共記錄到 45 隻雛鳥，佔全部紀錄的 31%；5 月份共記錄到 27 隻，佔全部紀錄的 21%。從 4 月份的紀錄來看，有 3 隻雛鳥離巢的巢位共有 8 巢，2 隻雛鳥離巢的巢位有 9 巢。而 5 月份的紀錄，3 隻雛鳥離巢有 5 巢，2 隻雛鳥離巢的巢位有 5 巢，剩下 1 隻雛鳥離巢的有 2 巢。

### **(四) 鴛鴦巢箱使用情形**

2002 年在七家灣溪和有勝溪所設置的 50 個鴛鴦巢箱，部份被大水沖走，今年一月進行抽查，其中檢查的 19 個巢箱皆位於有勝溪，只有 3 個巢箱有其他物種利用的跡象，但均無河鳥使用，由巢材判斷其中 1 個巢箱應為赤腹松鼠，另外 2 個巢箱則無法確定被何種物種使用過（表 11-5）。

## 四、討論

### (一) 河烏

今年繁殖期河烏總數在 2004、2005 年的颱風過後又大幅回升。原因可能是去年武陵地區並未受到颱風的明顯影響，加上今年冬季寒流的低溫效應沒有比去年和前年來的高，以致於河烏族群有逐漸恢復快到 2003 年水平。但由於受到今年 10 月份柯羅莎強烈颱風的影響，導致整個七家灣流域的河烏總數在 10 月只有紀錄到 4 隻，和 2004 年艾莉颱風的情形類似，只是那時有一些個體躲到有勝溪避難，並未死亡，所以不到幾個月多數河烏又再度重返(孫元勳 2004)。郭美華(2007)同樣發現，10 月七家灣溪的水生昆蟲數量變少，所以即使七家灣溪水量已經降低不少，在此覓食的河烏數量還是有限。

另外，4 月份的河烏雛鳥總數達到 19 隻，比我們確定的離巢幼鳥總數還要多出 6 隻，此現象有可能是其他溪流的河烏雛鳥或是亞成鳥擴散進入七家灣流域所致。在有勝溪方面，今年 1 月份在收費站上游 500 m 處紀錄到一個河烏巢位，巢中有 4 顆蛋；另外，在迎賓橋下游約 1 km 的大甲溪上，也發現另一個河烏巢，並記錄到至少 2 隻雛鳥離巢。

繼去年首次記錄到一窩 5 個顆蛋的巢後(孫元勳等，2006)，今年在七家灣溪迎賓橋與彌勒佛像下的兩個河烏巢中，同樣記錄到 5 顆蛋的巢。過去發現的蛋數多為 4 顆(孫元勳，2004；2005)。

今年參與繁殖的上標個體中，僅有 O-RY 和 O-RO 是連續 4 年繁殖的個體，且牠們都有雛鳥成功離巢的紀錄。O-RR、R-G 和 G-W 等前三年均有繁殖，但去年與今年皆未發現，可能已經死亡。W-R

是繼去年發現繫放幼鳥(R-W)返回繁殖的另一個個案(孫元勳等, 2006);不同的是 R-W 在 2 歲時回來繁殖,而今年 W-R 回到距離出生地不到 300 m 處,比 R-W 返回出生地的距離(2 km 多)還要近。這兩隻個體返鄉繁殖的比例占 2003 年至 2006 年間繫放的 35 隻的 5.7%,白喉河鳥返回出生地的比例也只有 8%(Hewson, 1969)。

## (二) 鉛色水鶉

今年 4~5 月鉛色水鶉幼鳥離巢達到 72 隻,是 2003 年調查以來的最大量(2003~2006 年分別是 22、22、40、52 隻)(孫元勳,2003; 2004; 2005; 孫元勳等,2006),4 月份的族群量也一舉達到 2003 年以來的新高峰,此一現象是去年族群上升的延續,河床拓寬極可能是主要原因(孫元勳等,2006);又郭美華(2004)發現,颱風過後蜉蝣目組成占大宗,本研究認為此或許是育雛期以飛蟲為主食(72.2%)的鉛色水鶉(王穎 1986)之數量在過去幾年持續增加,繁殖表現也漸入佳境的原因,至於其族群承載量是多少,有待後續探究。

## (三) 小剪尾

今年小剪尾的數量和去年相當,推測溪床加寬可能是其數量尚無法回復至 2003 年的水準的原因,小剪尾主要棲息在小溪澗,溪床加寬導致棲地受到改變。

## (四) 綠蓑鷺

去年秋至今年冬季和初春,綠蓑鷺的數量回升到 2003 年的水準,去年颱風季沒有颱風挾帶大水進入本區,冬季鮭魚族群是前年冬季的 5 倍多(曾晴賢和楊正雄,2006),可能是綠蓑鷺數量回升的原因。今年 10 月柯羅莎之後的鮭魚數量並未大幅下降(曾晴賢和楊正雄,2007),所以 9~10 月出現的綠蓑鷺比去年同期多 1 隻。

今年在七家灣溪目擊綠蓑鷺的次數(17 次)是高山溪(3 次)的 5.67

倍，而根據曾晴賢和楊正雄(2007)發現夏季七家灣溪鮭魚數量(2283尾)是高山溪(341尾)的 6.70 倍，如果夏季兩地的鮭魚相對數量可代表綠蓑鷺在此地的全期比例，則綠蓑鷺在兩地的利用恰如鮭魚的分布所預期(Goodness of fit test,  $P>0.05$ )。

#### **(五) 黃魚鴉**

今年首次在高山溪(二號壩)看見這種吃魚的貓頭鷹，而且還連兩個月出現。曾晴賢和楊正雄(2006)發現，去年高山溪一~二號壩鮭魚較上、下游段多，有可能今年這種現象依然存在，所以吸引黃魚鴉前來覓食。

## 五、參考文獻

- 王穎、裴家騏。1984。紫嘯鶉育雛行為之初步研究。師大生物學報 19: 83-93。
- 王穎，1986。台灣特有亞種鉛色水鶉的生態研究。師大生物學報 21: 15-39。
- 方志仁，2003。台灣紫嘯鶉的領域行為與鳴叫行為。國立台灣師範大學生物研究所碩士論文。64頁。
- 林曜松、楊平世、梁世雄、曹先紹、莊鈴川，1988。櫻花鉤吻鮭生態之研究(一)：魚群分布與環境因子關係之研究。行政院農業委員會，76年生態研究第023號。66頁。
- 汪靜明，2000。保育國寶魚-台灣櫻花鉤吻鮭。台中縣政府。176頁。
- 曾晴賢，1997。櫻花鉤吻鮭為何會瀕臨絕種。中台灣自然保育研討會論文集。17~23頁。
- 曾晴賢，1998。櫻花鉤吻鮭族群監測和生態調查(一)。內政部營建署雪霸國家公園管理處。79頁。
- 曾晴賢、楊正雄，2006。櫻花鉤吻鮭族群監測與動態分析。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立，10-1~47頁。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 曾晴賢、楊正雄，2007。櫻花鉤吻鮭族群監測與動態分析。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立，?頁。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 郭美華，2007。水棲昆蟲研究。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立，?頁。內政部營建署雪霸國家公園管理處。

孫元勳，2002。七家灣溪鴛鴦族群、生態調查(IV)。內政部營建署雪霸國家公園管理處。31頁。

孫元勳，2003。櫻花鉤吻鮭天敵之研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處。40頁。

孫元勳，2004。櫻花鉤吻鮭天敵之研究(2)。內政部營建署雪霸國家公園管理處。

孫元勳，2005。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立-溪流鳥類群聚生態監測。內政部營建署雪霸國家公園管理處。

孫元勳、洪孝宇、胡景程，2006。溪流鳥類群聚生態監測武陵地區長期生態監測暨生態模式建立，11-1~36頁。內政部營建署雪霸國家公園管理處。

Cairns, D. K. 1998. Diet of cormorants, mergansers, and kingfishers in northeastern North America. Canadian Technical Report of Fisheries & Aquatic Sciences. I-III, 1-29.

Cao, L., S. Lu, J. Yang, X. Shen. 2002. Observations on the breeding habits of Green-backed Herons (*Butorides striatus*). Zoological Research 23: 180-184.

Hewson, R. 1969. Roosts and roosting habits of the Dipper. Bird Study 16:89-100.

Higuchi, H. 1988. Bait-fishing by green-backed herons in south Florida USA. Florida Field Naturalist 16: 8-9.

Knutson, M. A. and E.E. Klass. 1997. Declines in abundance and species richness of birds following a major flood on the Upper Mississippi River. Auk. 114:367-380.

- Martin, A. P., J. Von Korff, Joy, and L. Watt. 2000. Abundance and distribution of waterbirds on the Knysna Estuary. Transactions of the Royal Society of South Africa 55:215-222.
- Monnet, C. and A. Varney. 1998. Notes on the breeding of the Striated Heron (*Butorides striatus patruelis*) in Tahiti, French Polynesia. Emu 98:132-136.
- Obermeyer, K.E., A. Hodgson, and M. F. Willson. 1999. American Dipper, *Cinclus mexicanus*, foraging on Pacific salmon, *Oncorhynchus* sp., eggs. Canadian Field-Naturalist 113:288-290.
- Ormerod, S. J. and S.J. Tyler. 1991. Exploitation of prey by a river the dipper *Cinclus cinclus* L. along acidic and circumneutral streams in upland Wales UK. Freshwater Biology 25:105-116.
- Reynolds, S. J. and M. D. C., Hinge. 1996. Foods brought to the nest by breeding Kingfishers *Alcedo atthis* in the New Forest of southern England. Bird Study 43: 96-102.
- Sun, Y., H. WU, and Y. Wang. 2004. Predation by Tawny Fish-Owls at fish farms in Taiwan. J. Raptor Research 38: 326-333.
- Yoerg, S. I. 1994. Development of foraging behaviour in the Eurasian dipper, *Cinclus cinclus*, from fledging until dispersal. Animal Behaviour 47:577-588.

表 11-1 2007 年 1 月~2007 年 11 月武陵地區溪流鳥類調查。括號內為離巢幼鳥數。

月份	鳥種	溪 段			合計	司界蘭溪
		高山溪	七家灣溪	桃山西溪		
1 月	河鳥	5	24	2	<b>31</b>	-
	鉛色水鶇	15	90	7	<b>112</b>	-
	小剪尾	2	5	1	<b>8</b>	-
	綠蓑鶇	0	3	0	<b>3</b>	-
	鴛鴦	0	10	0	<b>10</b>	-
	紫嘯鶇	1	0	0	<b>1</b>	-
	黃魚鶇	1	0	0	<b>1</b>	-
	蒼鶇	0	1	0	<b>1</b>	-
2 月	河鳥	7	19	6	<b>32</b>	-
	鉛色水鶇	15	74	6	<b>95</b>	-
	小剪尾	4	0	1	<b>5</b>	-
	綠蓑鶇	0	3	0	<b>3</b>	-
	鴛鴦	0	2	0	<b>2</b>	-
	紫嘯鶇	1	1	0	<b>2</b>	-
3 月	河鳥	3	19	2	<b>24</b>	-
	鉛色水鶇	14	90	8	<b>112</b>	-
	小剪尾	0	2	0	<b>2</b>	-
	綠蓑鶇	2	3	0	<b>5</b>	-
	鴛鴦	0	6	0	<b>6</b>	-
	蒼鶇	0	1	0	<b>1</b>	-
4 月	河鳥	8 (3)	30 (16)	5	<b>43 (19)</b>	-
	鉛色水鶇	20 (5)	102 (30)	20 (10)	<b>142 (45)</b>	-
	小剪尾	0	0	0	<b>0</b>	-
	綠蓑鶇	0	2	0	<b>2</b>	-
	鴛鴦	0	5	0	<b>5</b>	-
	黃魚鶇	1	0	0	<b>1</b>	-
	紫嘯鶇	2	0	0	<b>2</b>	-
	翠鳥	0	1	0	<b>1</b>	-



續表 11-1、2007 年 1 月~2007 年 11 月武陵地區溪流鳥類調查。括號內數字為當月離巢幼鳥數。

5 月	河鳥	3	25 (5)	4 (2)	32 (7)	-
	鉛色水鶇	20 (5)	97 (19)	12 (3)	129 (27)	-
	小剪尾	0	0	0	0	-
	紫嘯鶇	0	1	0	1	-
	黃魚鶇	0	0	1	1	-
	鴛鴦	0	6	0	6	-
7 月	河鳥	6	16	6	28	4
	鉛色水鶇	15 (2)	75 (21)	12 (1)	102 (24)	15 (4)
	小剪尾	2 (1)	2	0	4	0
	綠蓑鶇	0	1	0	1	0
	鴛鴦	4	21	0	25	0
8 月	河鳥	1	14	0	15	-
	鉛色水鶇	17	46	13 (3)	76 (3)	-
	小剪尾	1	1	2	4	-
	紫嘯鶇	0	1	0	1	-
	鴛鴦	0	5	0	5	-
9 月	河鳥	0	18	3	21	-
	鉛色水鶇	18	60	15	91	-
	小剪尾	0	0	2	2	-
	綠蓑鶇	0	3	0	3	-
	鴛鴦	0	3	0	3	-
	紫嘯鶇	0	1	0	1	-
10 月	河鳥	0	4	0	4	-
	鉛色水鶇	19	56	17	92	-
	小剪尾	0	2	1	3	-
	綠蓑鶇	1	2	0	3	-
	鴛鴦	2	9	0	11	-
	紫嘯鶇	0	1	0	1	-
11 月	河鳥	4	21	5	30	-
	鉛色水鶇	13	74	13	100	-
	小剪尾	2	7	6	15	-
	綠蓑鶇	0	1	0	1	-
	鴛鴦	0	8	0	8	-
	紫嘯鶇	0	0	0	0	-

表 11-2 武陵地區河鳥繫放個體 2007 年的目擊紀錄。

紀錄地點	記錄日期	腳環	繫放日期	繫放地點	配對情形	環號
七家灣與高山溪匯流處	1月20日	R-YR	2006年3月15日	兆豐橋上游	無	無
二號壩上游 約 500 m	1月23日	-O	2003年1月20日	高山溪三號壩	雄鳥，與另一隻有腳環雌鳥正在築巢	E03812
五號壩 上游 50 m	1月17日	R-W	2004年3月22日	匯流口	無	D20525
七家灣溪與高山溪匯流口右邊岩壁	1月22日	W- O-RY	2003年1月21日 2004年2月15日	高山溪三號壩 七家灣與高山溪匯流口	二隻成鳥配對築巢，巢中有4顆蛋	E03816 D20527
五號壩下游 約 50 m	2月2日	O-G	2003年2月28日	復育池下游	雄鳥	E03838
觀魚台下游 約 200 m	2月5日	W-R	2003年2月27日	觀魚台上游	與另一隻無腳環成鳥在觀魚台下游 200 m 的右壁築巢	E03834
舊復育中心 下游約 200 m 處。	2月5日	G-W	2003年2月19日	觀魚台	雄鳥	E03828
三號壩	4月19日	B-O	2003年2月17日	抽水站		E03821
一號壩	5月21日	B-GY	2003年7月31日	一號壩		D20507
鮭魚復育中心	7月27日	O-RY	2004年2月15日	七家灣與高山溪匯流口		D20527
七家灣溪與高山溪匯流口處	8月31日	O-RY	2004年2月15日	七家灣與高山溪匯流口		D20527
七家灣溪與高山溪匯流口處	9月11日	O-RY	2004年2月15日	七家灣與高山溪匯流口		D20527
觀魚台下游 約 500 m 處	9月12日	R-W	2004年3月22日	七家灣與高山溪匯流口		D20525

表 11-3 2003~2007 年七家灣溪有標記河鳥之配對情形

年	配對河鳥	巢位	繫放日期
2003	G-R+無標	一號壩	2003.2
	G-W♂+G-O♀	觀魚台	2003.2&2003.2
	R-Y♂+R-G♀	分流處	2003.4&2003.3
	B-Y♂+無標♀	復育池	2003.2
	R-B♂+B-♀	四號壩	2003.2&2003.1
2004	O-RY♂+O-RW♀	兆豐橋下游 50 m	2004.2&2004.2
	O-RR♂+O-RO♀	兆豐橋上游 200 m	2004.2&2004.2
	R-Y♂+R-G♀	分流處	2003.4&2003.3
	R-B♂+B-♀	四號壩	2003.2&2003.1
	O-RG +無標	六號壩	2004.1
	G-W♂+B-OB♀	觀魚台上游 200 m	2003.2&2004.1
2005	無標♂+B-W♀	有勝溪收費站	2003.1
	O-RY♂+W-♀	兆豐橋下游 50 m	2004.2&2003.1
	O-RR♂+O-RO♀	兆豐橋上游 200 m	2004.2&2004.2
	無標♂+R-G♀	分流處	2003.3
	G-W♂+無標♀	觀魚台上游 200 m	2003.2
2006	O-WG <sup>a</sup> +無標	彌勒佛下方	2006.3
	O-RY♂+W-♀	高山溪距河口 30 m	2004.2&2003.1
	B-R♂+O-RO♀	兆豐橋上游 200 m	2004.1&2004.2
	無標♂+O-RW♀	分流處上游 50 m	2004.2
	R-W <sup>b</sup> +無標	觀魚台下游 30 m	2004.3
2007	O-RY♂+W-♀	高山溪距河口 30 m	2004.2&2003.1
	♂-O+無標	二號壩上游約 500 m	2003.1
	W-R <sup>c</sup> +無標	觀魚台下游約 200 m	2003.2

<sup>a</sup> 2006 年繫放個體。

<sup>b</sup> 2004 年兆豐橋上游離巢幼鳥。

<sup>c</sup> 2003 年觀魚台離巢幼鳥。

表 11-4 2003~2007 武陵地區河鳥繁殖比較

年份	2003	2004	2005	2006	2007
繁殖對數	10	13	6	7	9
巢窩數	10 巢	15 巢 11 窩	6 巢 6 窩	7 巢 8 窩	9 巢 6 窩
最早下蛋日期	-	1 月 13 日	1 月 31 日	1 月 6 日	1 月中旬
幼鳥最晚離巢日期	-	4 月 23 日	3 月中旬	4 月 2 日	4 月中旬
平均每窩蛋數 (n)	-	4 (9)	4 (3)	3.5 (4)	4 (6)
*繁殖成功窩數(%)	-	5(33.3)	2(33.3)	5(62.5)	5 (55.6)
平均每窩離巢幼鳥	-	3	2	2.6	2.6
離巢幼鳥總數	12	15	4	13	13

<sup>a</sup> 至少有一隻幼鳥離巢，成功率=成功窩數/總巢數

表 11-5 2007 年 1 月抽檢河鳥是否使用有勝溪鴛鴦巢箱的情形（巢箱為 2002 年放置）。

巢箱編號	樹種	使用情況	放置河段
27	桑樹	無	有勝溪
32	二葉松	只有巢材。	有勝溪
10	二葉松	無	有勝溪
31	二葉松	無	有勝溪
21	二葉松	應為赤腹松鼠的巢材，巢箱中枯枝落葉堆積頗高。	有勝溪
36	二葉松	無	有勝溪
18		無	有勝溪
28	赤楊	無	有勝溪
05	二葉松	敲擊巢箱，巢箱沒有反應。	有勝溪
27		無	有勝溪
13		敲擊巢箱，巢箱沒有反應。	有勝溪
23		無	有勝溪
32	二葉松	無	有勝溪
38		無	有勝溪
14	二葉松	敲擊巢箱，巢箱沒有反應。	有勝溪
19	二葉松	無	有勝溪
11		敲擊巢箱，巢箱沒有反應。	有勝溪
01	二葉松	有巢材，多為枯枝落葉，但無法確定何動物使用。	有勝溪
10	二葉松	無	有勝溪

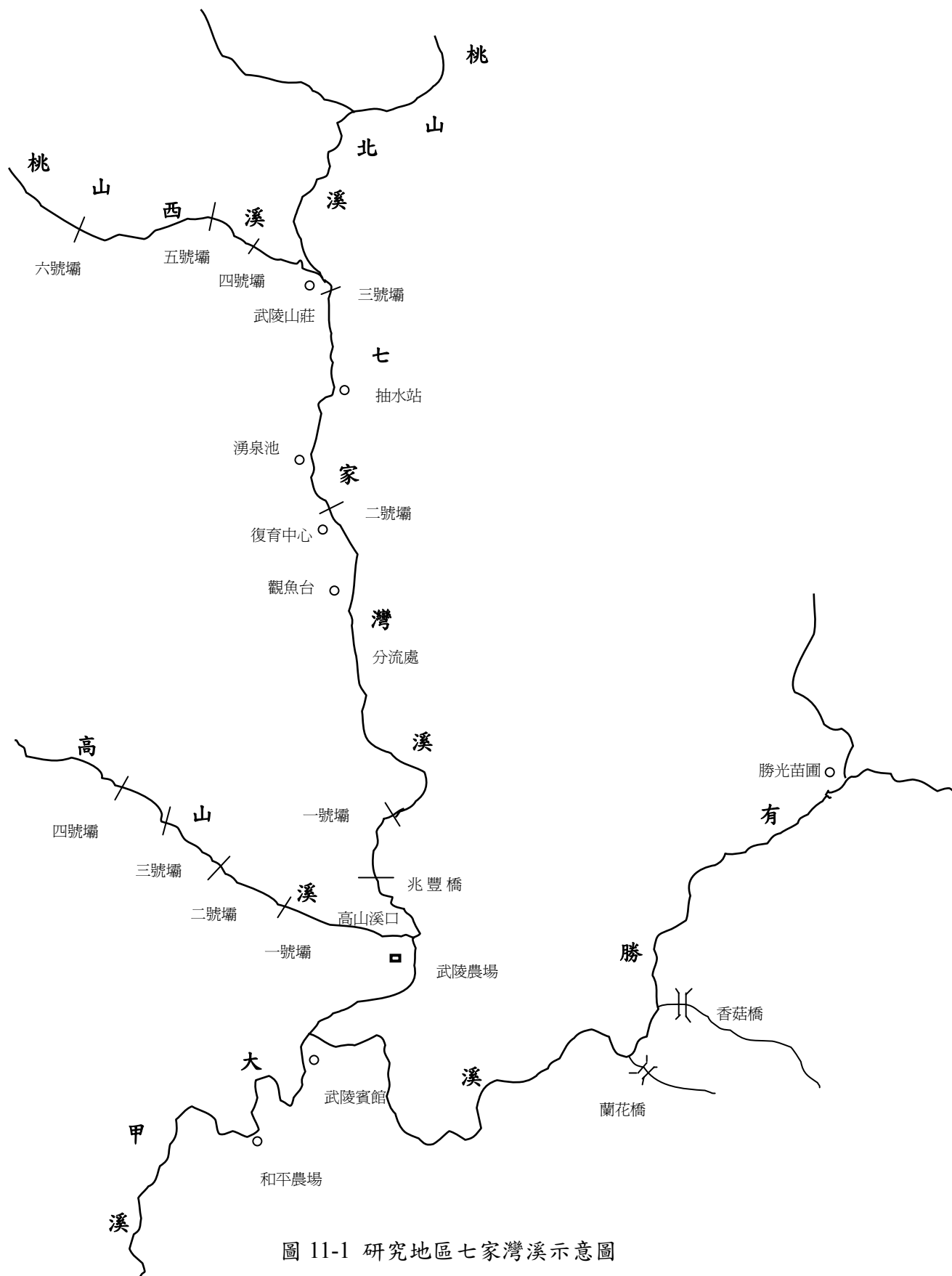


圖 11-1 研究地區七家灣溪示意圖

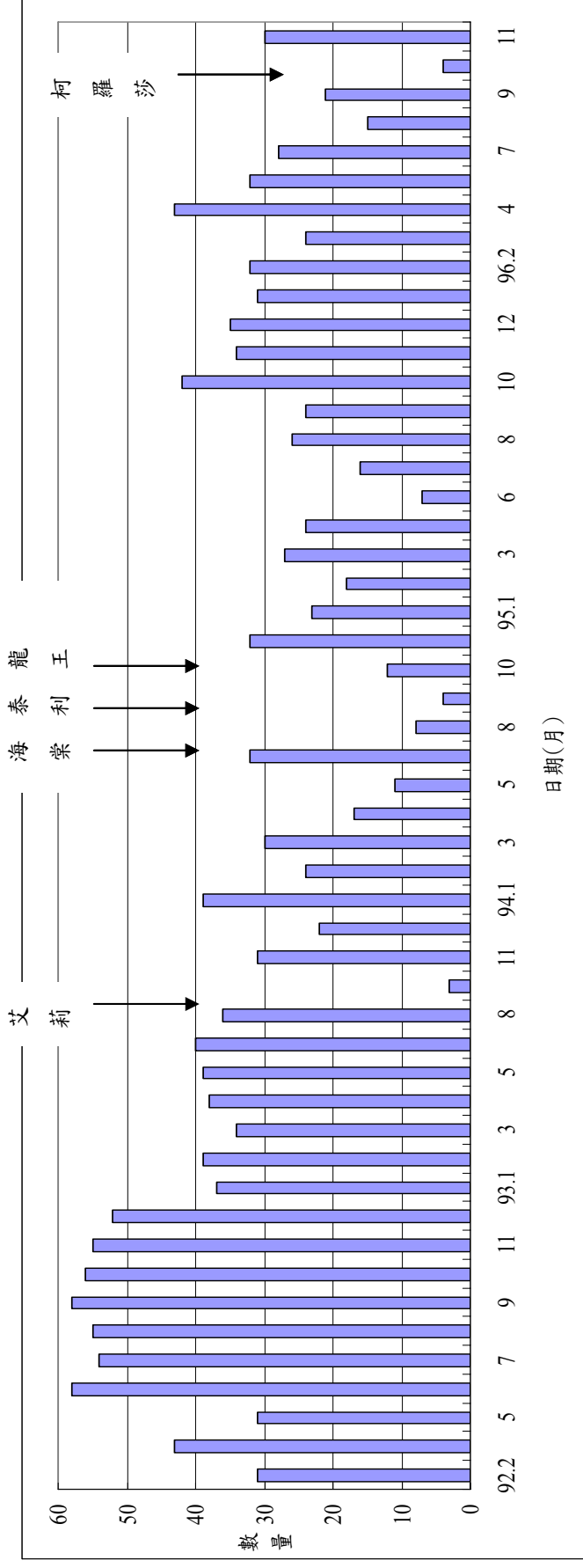


圖 11-2 2003 年 3 月~2007 年 11 月七家灣溪河烏數量月變化。部份月份因逢溪水高漲而沒有調查，包括 2003 年 7 月、2006 年 4 月、2007 年 6 月。

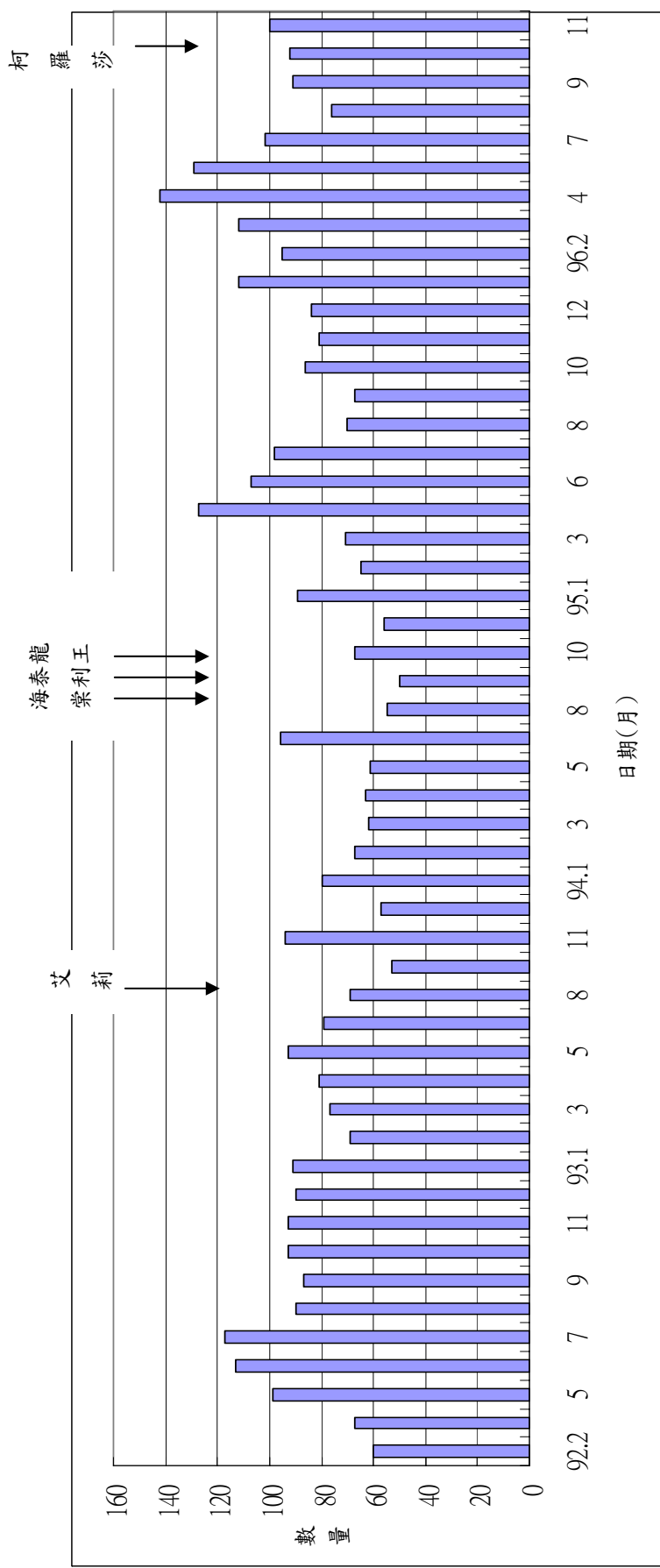


圖 11-3、2003 年 3 月~2007 年 11 月七家灣溪鉛色水鴨數量月變化。部份月份因達溪水高漲而沒有調查，包括 2003 年 7 月、2006 年 4 月、2007 年 6 月。



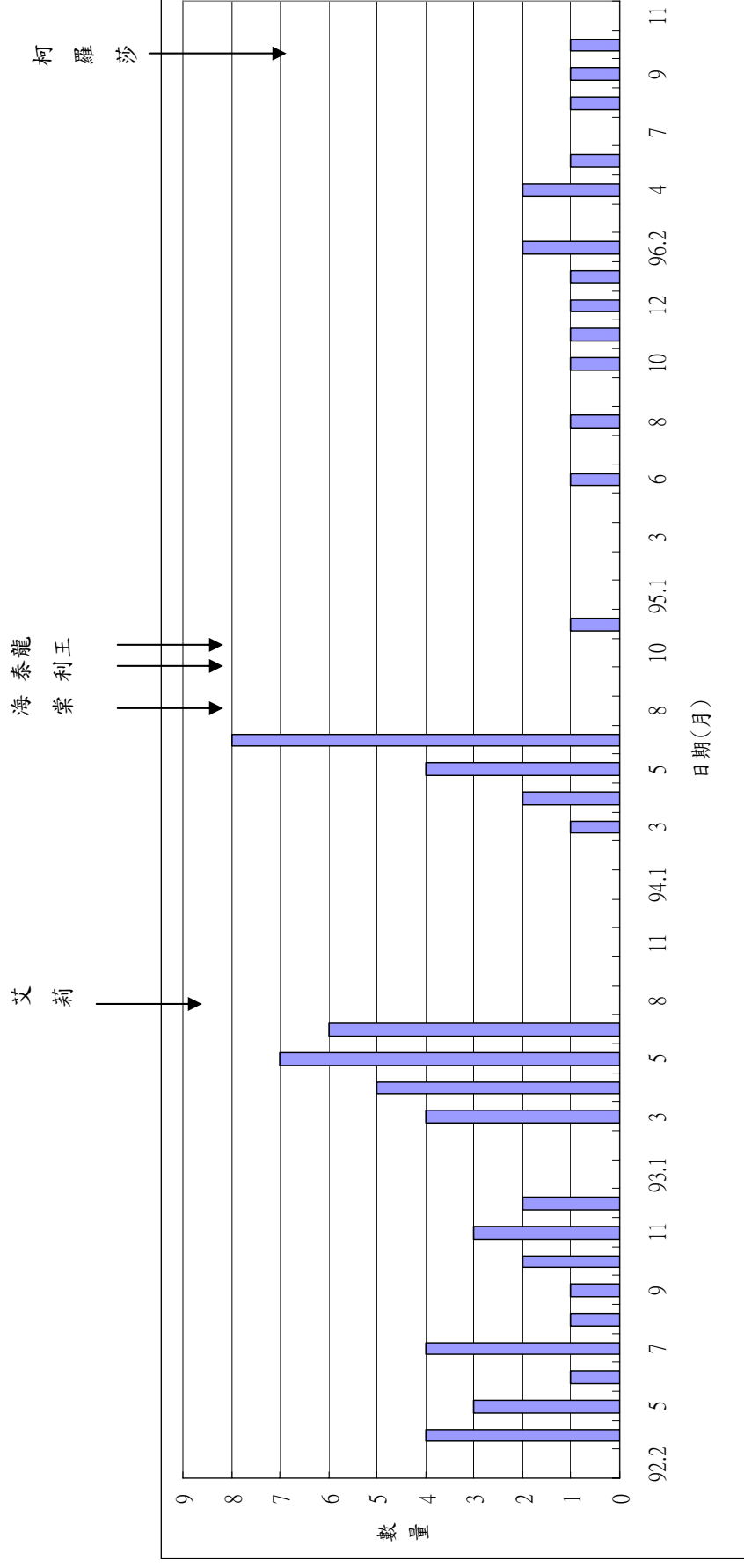


圖 11-4、2003 年 3 月~2007 年 11 月七家灣溪紫嘯鶇數量月變化。部份月份因逢溪水高漲而沒有調查，包括 2003 年 7 月、2006 年 4 月、2007 年 6 月。

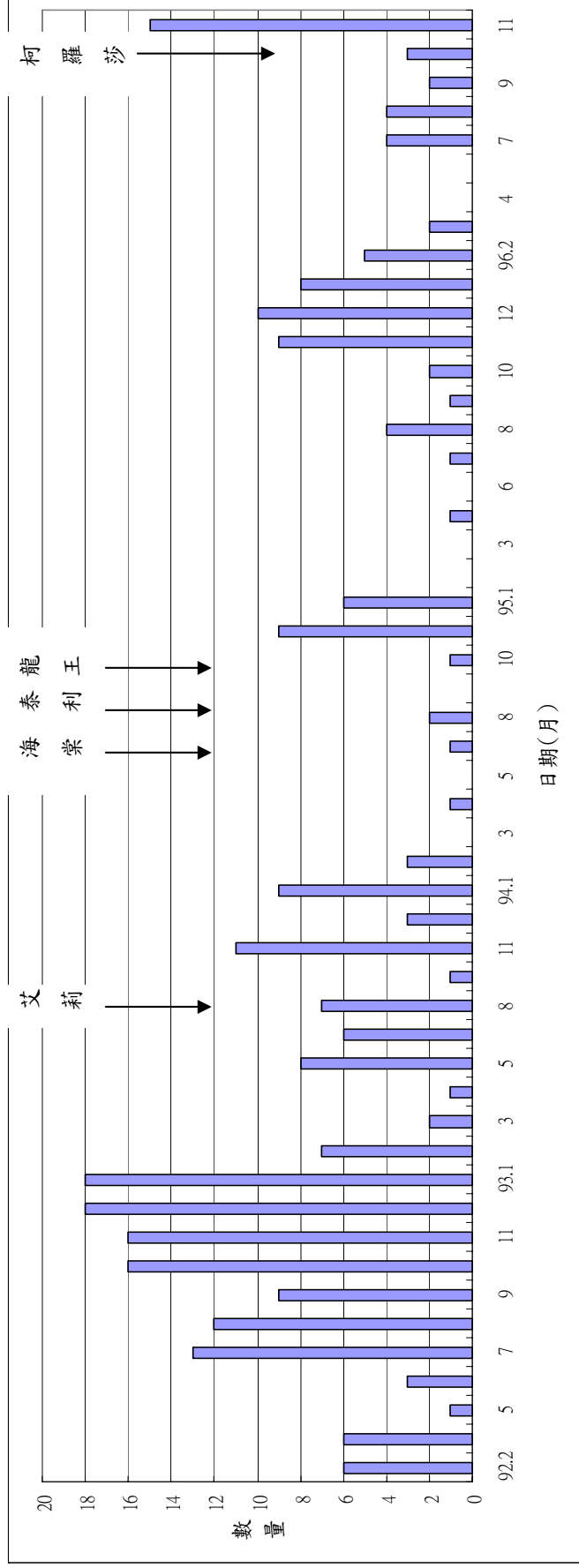


圖 11-5、2003 年 3 月~2007 年 11 月七家灣溪小剪尾數量月變化。部份月份因逢溪水高漲而沒有調查，包括 2003 年 7 月、2006 年 4 月、2007 年 6 月。

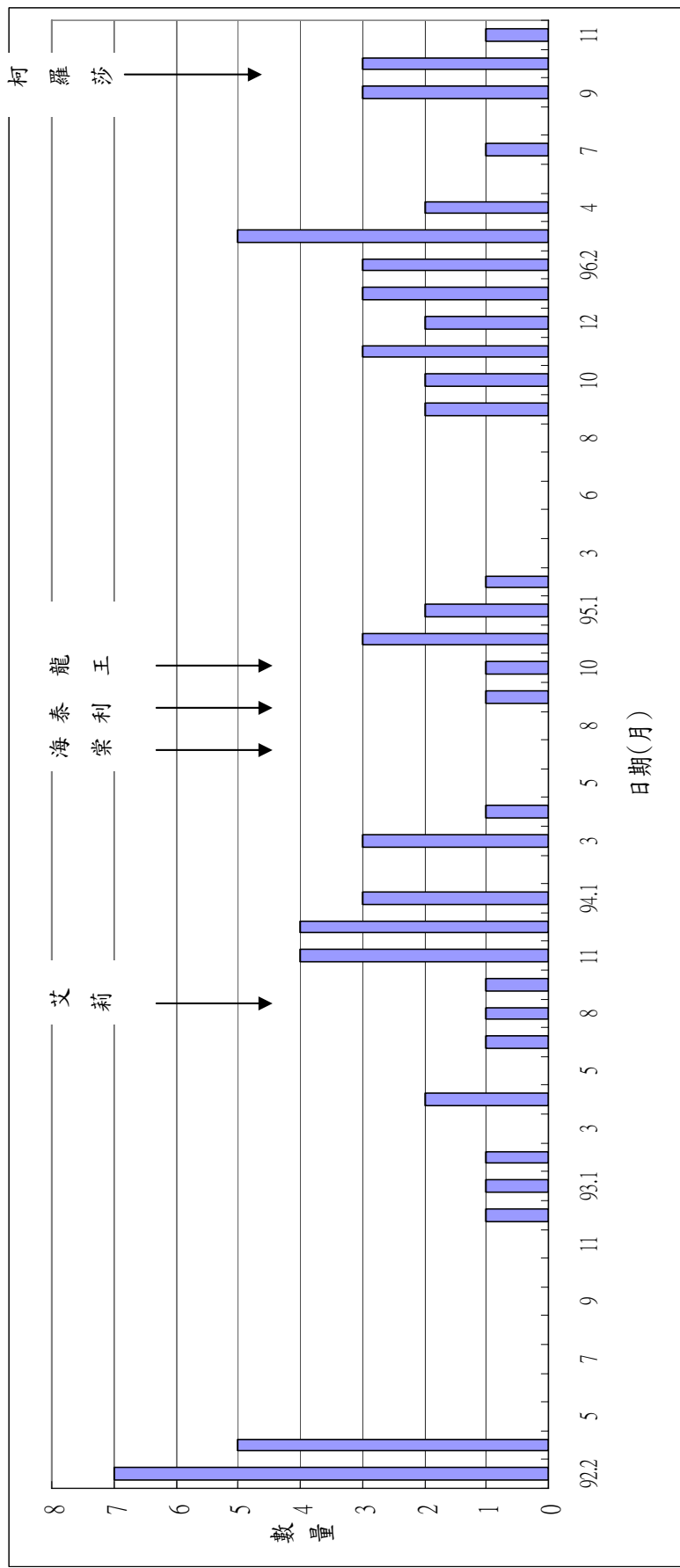


圖 11-6、2003 年 3 月~2007 年 11 月七家灣溪綠鶯數量月變化。部份月份因逢溪水高漲而沒有調查，包括 2003 年 7 月、2006 年 4 月、2007 年 6 月。

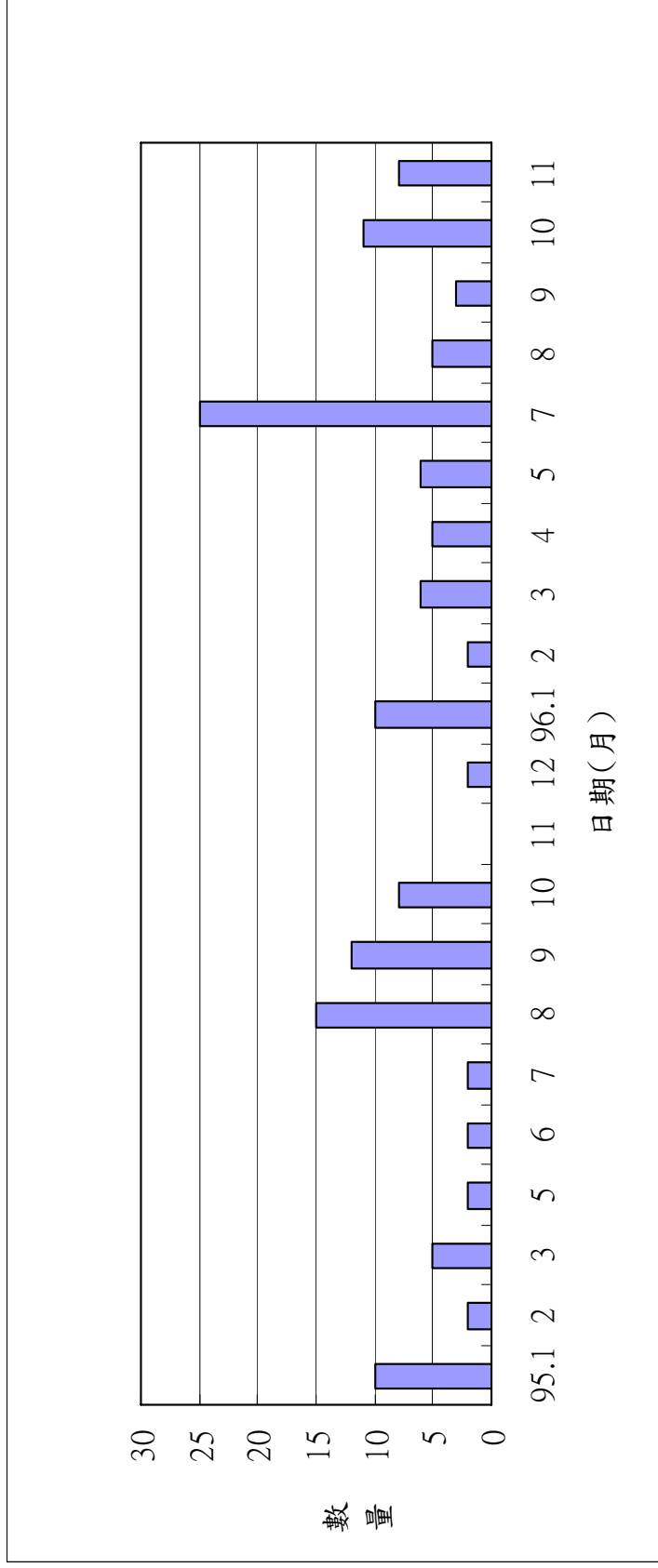


圖 11-7、2006 年 1 月~2007 年 11 月七家灣溪鴛鴦數量月變化。2006 年 4 月、2007 年 6 月因逢溪水高漲沒有調查。

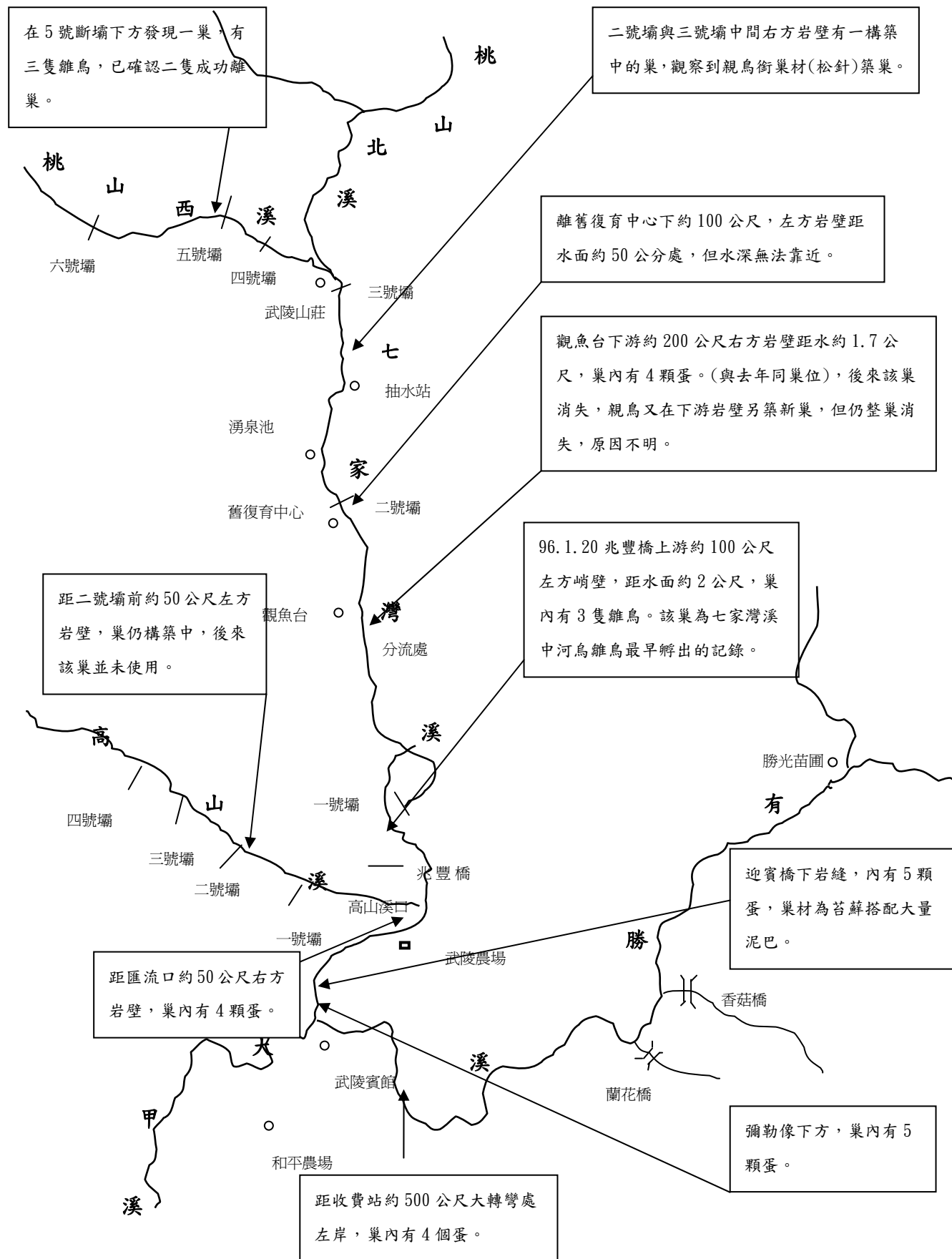


圖 11-8 2007 年 武陵地區河鳥繁殖巢位位置圖



# 第十二章 生態資料庫建構

邵廣昭、林永昌

中央研究院生物多樣性研究中心

## 摘要

### 一、研究緣起

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

### 二、研究方法及過程

武陵地區長期生態監測暨生態模式建立計畫，所收集之原始生態調查資料，採用中央研究院生物多樣性研究中心設計的『通用生態調查資料格式』，作為本計畫原始生態調查資料的格式。

『生態調查資料格式』，主要以國際通用的達爾文核心欄位 (Darwin Core 2.0) 及 ABCD Schema 為基礎，並配合中文資料的需求，作適度的修改。

### 三、重要發現

累計收集鳥類、魚類、兩棲類、昆蟲及植物調查資料共 28503 筆(涵蓋 14 綱 93 目 344 科 559 種生物物種)，水體環境資料共 957 筆(包括水質、硝酸鹽、基本元素通量)，藻類與有機碎屑調查記錄共 401 筆以及環境溫度監測資料 2392 筆(包括空氣、水、土表、地下溫度)。所有調查資料，均上網供使用者查詢。

### 四、主要建議事項

為因應國際資料交換的需求，本計畫收集的資料，主要以國際通用的 XML 格式為

主，此外為配合網站資料查詢及資料呈現的需求，也同步建立關聯式資料庫，目前已經將部分原始調查資料，數位化建檔保存，並整合建置於網站上供委辦單位及調查者查詢及下載使用，必要時亦可開放供一般使用者查詢及下載。

網址：<http://wlterm.biodiv.sinica.edu.tw>。

**【關鍵字】** 達爾文核心欄位、原始資料、生態調查資料



## **Abstract**

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

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

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

## 一、前言

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

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

## 二、材料及方法

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

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

為因應國際資料交換的需求，本計畫收集的資料，主要以國際通用的 XML 格式為主，此外為配合網站資料查詢及資料呈現的需求，也同步建立關聯式資料庫，供一般使用者使用。

### 三、結果

(一) 持續利用通用生態調查資料格式整合調查資料，依照 Darwincore 整理成 xml 檔案且同步建立 MDB 關連式資料庫，截至目前為止，累計收集鳥類、魚類、兩棲類、昆蟲及植物調查資料共 28503 筆(涵蓋 14 綱 93 目 344 科 559 種生物物種)，水體環境資料共 957 筆(包括水質、硝酸鹽、基本元素通量)，藻類與有機碎屑調查記錄共 401 筆以及環境溫度監測資料 2392 筆(包括空氣、水、土表、土下溫度)。所有調查資料，均上網供使用者查詢，網址：

<http://wlterm.biodiv.sinica.edu.tw>，使用者可使用以下任一種方法查詢。

#### 1. 由地圖查資料：

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

#### 2. 由生物分類階層查得資料

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

#### 3. 由調查記錄清單查得資料

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

#### 4. 由子計畫生物類別查詢資料

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

#### (二) 建立武陵地區衛星影像 GIS 圖資

目前 Google 免費提供的武陵地區衛星影像，從最高解析度的第一層影像算起，需 Zoom Out 至第六層才有影像可用，其低解析度過低不符使

用，為提供資料整合所需的基本 GIS 圖資，96 年度購得一幅武陵地區 QuickBird 捷鳥衛星影像，影像內容如下：

拍攝日期：2004/10/22 (Quick Bird 最新的武陵地區影像)

影像類別：彩色融合三波段影像

影像處理等級：預備正射影像處理等級(Ortho Ready Standard Imagery)

解析度：彩色融合 70-公分

面積：75 平方公里

QuickBird捷鳥衛星為美國DigitalGlobe公司所擁有之商用高解析度光學衛星。2001年10月18日於美國Vandenberg空軍機地發射升空，同年12月份開始接收衛星影像。QuickBird捷鳥衛星係從450公里外的太空拍攝地球表面上之地物、地貌等空間資訊，拍攝影像為全色態及多光譜二種影像，焦距為10m，視野角約為2度，最大視角25度，像幅寬16.5Km，其影像解析度高達61公分，為全球首顆提供1米以下解析度之商用光學衛星。QuickBird衛星為太陽同步衛星，平均4至6天即可拍攝同一地點的影像。因此，QuickBird衛星可提供快速且品質清晰之衛星影像，使人們可更迅速掌握所處之環境訊息，目前Google Map 及Google Earth 即採用其影像。下表為QuickBird衛星相關的資訊。

感測器	光譜範圍(μm)		解析度(m)	涵蓋範圍(km <sup>2</sup> )	飛行高度(km)
多光譜	1 藍	0.45-0.52	2.44	20×20	450
	2 綠	0.52-0.60	2.44		
	3 紅	0.63-0.69	2.44		
	4 近紅外	0.76-0.90	2.44		
全色態	0.45-0.90		0.61		

QuickBird 衛星及影像相關參數

波段和可能辨識的地物說明如下：

- 0.45 – 0.52  $\mu\text{m}$  — 藍波段，水體穿透力強，有助於近海水域製圖，也可用於土壤及植物的辨別。
- 0.52 – 0.60  $\mu\text{m}$  — 綠波段，對於健康茂盛植物的綠色反射值敏感。
- 0.63 – 0.69  $\mu\text{m}$  — 紅波段，為葉綠素的主要吸收波段，用於區分植物種類及覆蓋度。
- 0.76 – 0.90  $\mu\text{m}$  — 近紅外波段，用於區別植物類別，水體。
- 1.55 – 1.75  $\mu\text{m}$  — 中紅外波段，反映土壤濕度，植物含水量，可用於區分雲和雪。
- 2.08 – 2.35  $\mu\text{m}$  — 中紅外波段，辨別岩石，地質類別，同時對於植物的含水量敏感。
- 10.4 – 12.5  $\mu\text{m}$  — 熱紅外波段，主要是監測有關熱的特徵及相關應用。

衛星在進行攝影時，由於無法保證攝影瞬間航攝相機的絕對水準，得到的影像是一個傾斜投影的像片，像片各個部分的比例尺不一致；另外，根據光學成像原理，相機成像時是按照中心投影方式成像的，這樣地面上的高低起伏在像片上就會存在投影差。要使影像具有地圖的特性，需要對影像進行傾斜校正和投影差的校正，經校正消除各種變形後得到的影像叫做正射影像。

正射影像製作(Ortho Rectification)一般是在像片上選取一些地面控制點，並利用原來已經獲取的該像片範圍內的數位高程模型(DEM)資料，對影像同時進行傾斜校正和投影差校正，將影像重新採樣成正射影像。將多個正射影像拼接鑲嵌在一起，並進行色彩平衡處理後，按照一定範圍內裁切出來的影像就是正射影像圖。正射影像同時具有地形圖特性和影像特性，資訊豐富，可作為 GIS 的圖層資料。

武陵地區地形起伏、存在相互遮蔽問題，不易進行傾斜校正和投影差校正，幸好，公路局測繪的武陵路貫穿整張影像的中心，提供我們校正影像的線性參考點，經過中央研究院計算機中心 GIS 小組同仁多次的校正，我們已能將誤差控制在十公尺之內，與我們野外採集時攜帶的衛星定位系統(GPS)的誤差約略相同，足敷 Google Map 圖層所需，也足敷資料座標精確度的要求。請參閱圖 12-1,12-2,12-3。

#### 四、 討論與結論

1. 本年度新增主要元素通量監測資料。
2. 本年度已完成武陵地區 Google Map 衛星空照圖資之建立,提供 70 cm 解相度的圖資。
3. 英文版網頁已完成建置,惟部分資料僅有中文內容,尚須增加英文內容。



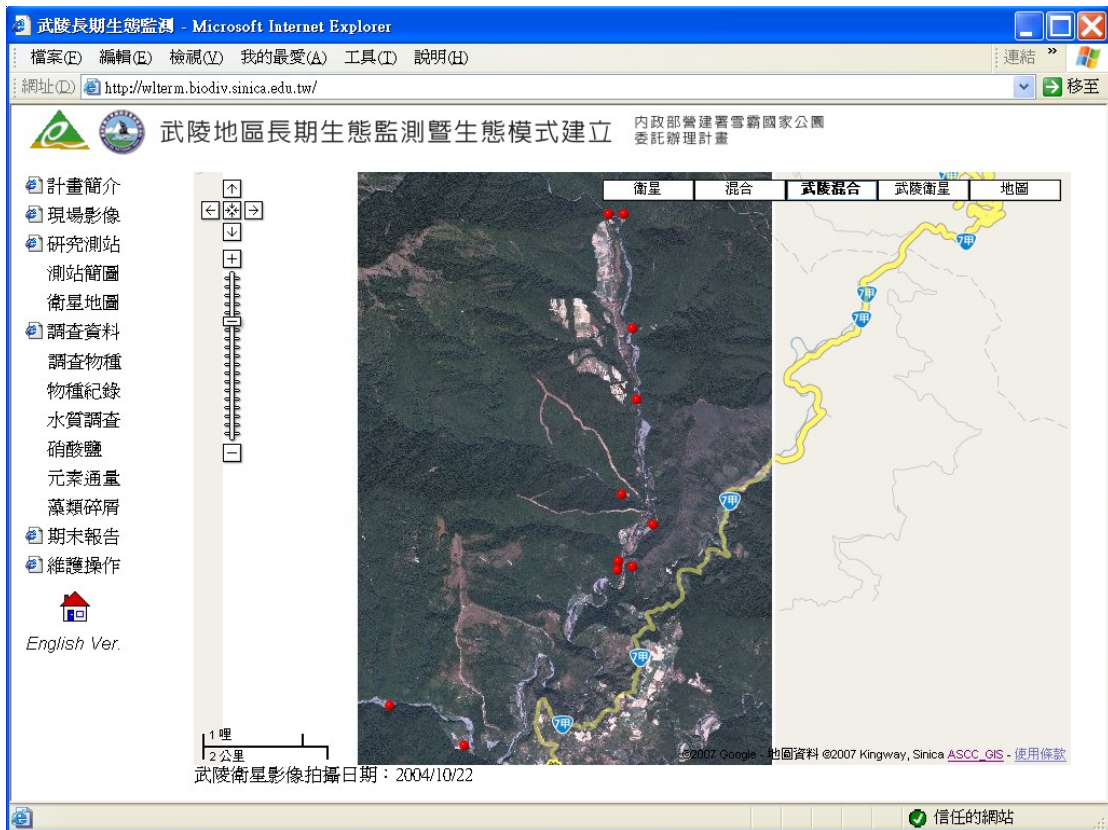


圖 12-1 武陵衛星影像全圖 (含 12 個測站)



圖 12-2 武陵衛星影像高解析影像(迎賓橋)

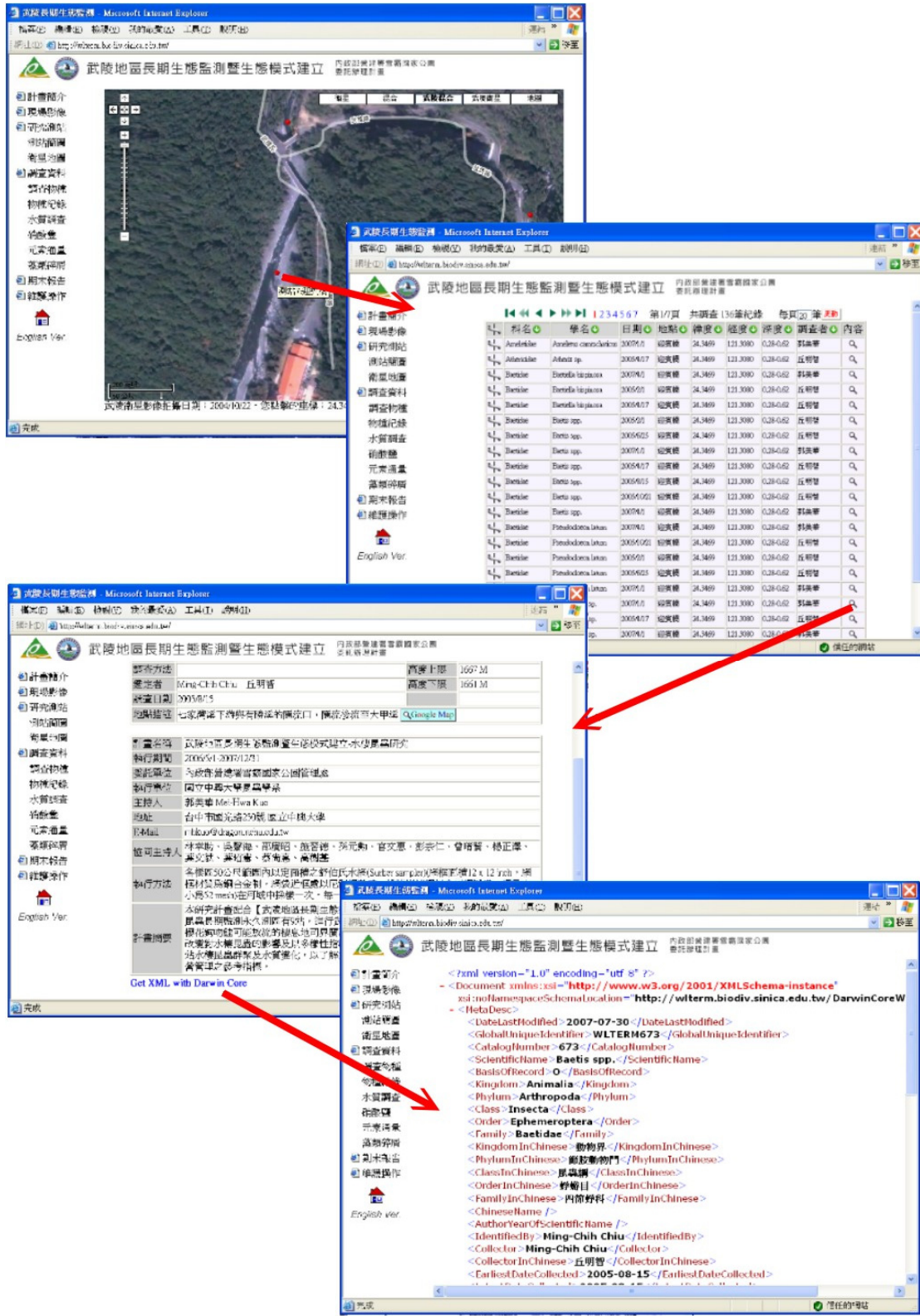


圖 12-3 由衛星影像查詢調查資料操作範例

## 第十三章 成果與建議

### 一、成果

1. 各測站附生藻生物量仍以有勝溪最多，高山溪最少。七家灣溪的生物量仍由上游往下游逐漸增加，而司界蘭溪附生藻生物量皆少。
2. 各測站的附生藻生物量從 2003 年以來，歷經多次颱風洪水後逐年遞減。2006 年在幾乎沒有颱風直接侵襲之狀況下，至 2007 年夏季生物量明顯累積。直到 8 月颱風來臨後生物量又驟降。
3. 不同的測站間之微棲地生物量差異分析結果並不一致。在桃山西溪以瀨區生物量最高，而一號壩及二號壩則均以潭區最高。
4. 水溫、導電度以及總有機碳與魚類群聚顯有顯著相關，但以水溫的解釋程度最高。
5. 典型對應分析結果顯示，台灣櫻花鉤吻鮭與台灣鏟頰魚在棲地上有明顯區隔，鮭魚在水溫較低、水中導電度與總有機碳較低的測站有較多的數量。
6. 魚類群聚與水棲昆蟲數量並沒有顯著的相關關係，顯示食物來源對鮭魚並不是重要的限制因子。
7. 多變量迴歸分析結果顯示，冬季平均日流量可以解釋 84% 夏季鮭魚普查總數的變化。
8. 夏季成魚數量與冬季流量有顯著的負相關，而亞成魚數量與去年秋季幼魚數量呈正相關。
9. 夏季幼魚沒有任何因子達到顯著水準，顯示影響幼魚變因複雜。
10. 秋季鮭魚普查總數與同年夏季成魚與幼魚數目以及雨季平均日流量這三個因子有顯著相關，且解釋程度高。
11. 夏季成魚與幼魚數目與秋季鮭魚普查總數為正相關，而雨季平均日流量則與秋季鮭魚普查總數呈負相關。
12. 秋季成魚與幼魚數量幾乎可分別只由夏季成魚與幼魚數目解釋，而亞成魚數

量亦可由當年夏季亞成魚數量解釋。

13. 當年雨季最大日流量可部份解釋秋季幼魚數量。
14. 生態系模式顯示武陵地區溪流食物網結構簡單，可分為三個階層。
15. 總系統通量以有勝溪最高，其次是一號壩、繁殖場、高山溪與桃山西溪。均為自營性生態系統。
16. 系統食物來源主要來自石附生藻類，但由於消費者不多，多未被利用而流入碎屑庫，因此平均營養傳輸效率不高。
17. 與鄰近之蘭陽河流域相比，總系統通量高，淨系統生產量亦高，生物量豐，物質循環程度高，營養傳輸效率高，為活動力相對旺盛之溪流生態系。
18. 然由於持續高流速干擾，七家灣溪生態系屬於發展初期之生態系。
19. 高山溪三、四號壩之間的殘材壩，因將上游泥砂攔阻，造成殘材壩下數公尺內的河道只有沖刷，因此部分河道有加深的趨勢。
20. 在高山溪或七家灣溪，在豐水期時因大水將大部分粒徑較小的細顆粒帶往下游，所以河床底床粒徑呈現偏大的趨勢。
21. 在二月為枯水期導電度與硫酸鹽濃度值明顯偏高，六月至八月為豐水期導電度值與硫酸鹽濃度即有降低的現象。
22. 針對武陵地區溪流進行因素分析，得出5個共同因子，依特性分別命名如下：總磷與氨氮兩個水質參數變數命名為「營養鹽因子」，pH與溶氧兩個水質參數變數命名為「光合性因子」，生化需氧量水質參數變數命名為「有機物因子」，濁度水質參數變數命名為「混濁性因子」，導電度水質參數變數命名為「溶解性因子」。
23. 利用因素分析及WQI的缺項公式將溶氧因子剔除，修正未含溶氧參數之新權重，得一新權重代表pH、導電度、濁度、生化需氧量、總磷、氨氮水質參數彼此間相對的重要性，分別為0.08、0.23、0.23、0.23、0.16、0.07，並將此做為七家灣河流域水質新指標權重，此適用七家灣流域水質指標命名為WWQI(Wuling Water Quality Index)。



24. 建立水質指標等級分類，其標準如下： $WWQI > 95$ ，特優水質， $91 \leq WWQI \leq 95$ ，優級水質， $86 \leq WWQI \leq 90$ ，輕度污染水質， $WWQI \leq 85$ ，中度污染水質。
25. 七家灣河流域水體中  $NO_3^-$  之來源主要來自土壤及雨水二氮源經硝化作用所產生，且其  $NO_3^-$  之濃度尚屬低值範圍。然而，在夏季水體中仍可發現化學肥料來源的訊號，且此時期溪水有較高之  $NO_3^-$  濃度。也就是說，現階段之農業活動仍影響到七家灣河流域水質。
26. 利用低流量時期所建立之水位—流量曲線去推估高水位時期的流量可能it存在不小的誤差。
27. 武陵地區水質濃度由高到低依序為：有勝溪 > 環山地區 > 七家灣溪 > 桃山西溪。有勝溪不管在水溫、水質方面均不符合櫻花鉤吻鮭的生長需求。
28. 各元素單位面積的產出量亦以有勝溪及環山地區最高。
29. 東西流向河川的水溫較南北流向河川水溫來的低。
30. 颱風對於水文、水質及集水區物質傳輸的影響非常顯著。
31. 對濱岸植群而言，溪水的干擾具有一定程度的影響。七家灣溪濱岸植群，由於位於濱溪地區，除溪水氾濫影響外，水流的侵蝕作用導致邊坡陡峭，偶有崩塌的現象發生，故而環境較不穩定。以植群之物種組成而言，2005、2007 年的物種組成並無太大變化，其歸群之群團分析的結果相似，皆可分為 2 植群型與 3 亞型；即 蘆草—臺灣紫珠型，栓皮櫟—化香樹型；臺灣二葉松—臺灣赤楊亞型，臺灣二葉松—栓皮櫟亞型，以及臺灣二葉松—臺灣赤楊—臺灣紫珠亞型。
32. 植群生物量之推估，已選取更為適當的生物量迴歸式；結果得知 2007 年各樣區之喬木層生物量皆有所增長，其生物量為 28-326 ton/ha，而地被層生物量為 14-36 ton/ha，又位在洪氾區的植群生物量，遠低於其他位於中坡或邊坡的植群生物量，是故若無大規模性的崩塌，則崩塌的干擾影響小於溪水氾

濫的干擾。

33. 枯落物的部分，由於樣區內的優勢植物如臺灣赤楊、臺灣二葉松等皆為落葉性植物，因此，枯落物生物量於冬季最高，且其主要組成以葉居多。2007年10月枯落物複查時，發現七家灣溪之河道於颱風季後具明顯改變，特別是繁殖場測站的河道變化最為明顯，而位於繁殖場測站之樣區內的三個枯落物網，都因高漲的河水所衝毀，此一現象間接說明；氾濫期與枯水期時河水之高低水位確實有所差異，而位於高低水位間的區域即為濱岸帶定義。
34. 由2003年為流量平穩，但水棲昆蟲消長仍然於平時應發生洪流的時期有數量減少到很低的變化，羽化成蟲數量及種類由2007年1月到4月則都為上升變化，和溪流中之幼蟲數量變化呈相反趨勢。
35. 流量暴增可能為驅使力量，而使群聚結構驅向某一特定群聚結構，然而2006年干擾較小，因此2006年到2007年年初的群聚結構已開始回移，但因2007年後半年的強颱風的干擾，則再度驅向特定群聚結構。
36. 參照以往研究的數量及生物量變化，經過較嚴重的洪流會造成未來水棲昆蟲體型較大物種比例下降。
37. 2007年之優勢物種年生產量及生物量皆是以較抗流速的 *R. ampla* 為大多數樣站之冠
38. 司界蘭溪天然林旁之上游之棲地評等優於農業活動的下游，且各項多樣性指數大都優於農業活動的下游。
39. 濱岸昆蟲的分析資料共9076隻，分為19目；優勢昆蟲前三名個體數最多為彈尾目，其次為雙翅目，再其次為鞘翅目；各個測站的昆蟲組成大同小異
40. 司界蘭溪的調查次數雖然僅有2次，但其昆蟲數量並不少於其他幾個測站。
41. 高海拔四個樣段的調查，2,500—2,900公尺的七卡樣段的灌木則以同翅目最多，其它為雙翅目；雪山東峰2,900公尺至3,000公尺稜線則以雙翅目最多，其次為同翅目；3,200公尺至3,400公尺的冷杉林地段的則以雙翅目遠多於

其他目；而特定地形及亞寒帶氣候的 3,500 公尺以上的圈谷主要昆蟲組成爲雙翅目及同翅目。

42. 指標群昆蟲在在濱水帶及高海拔二地區差異最大處爲同翅目，主要原因應該是高海拔地區的箭竹及芒草等寄主植物的關係。
43. 蛙類共採集到梭德氏赤蛙、盤古蟾蜍、斯文豪氏赤蛙及莫氏樹蛙四種。司界蘭溪則捕獲梭德氏赤蛙、盤古蟾蜍與斯文豪氏赤蛙三種。生物量組成主要爲盤古蟾蜍，10 月則爲梭德氏赤蛙。
44. 蝌蚪共採集到梭德氏赤蛙與盤古蟾蜍兩種。歷年資料顯示，颱風及豪雨對兩生類幼體有很大的影響。10 月大水過後，蝌蚪密度降至全年最低；成蛙密度則爲全年最高。
45. 成蛙及蝌蚪密度在各測站中以有勝溪測站最高。司界蘭溪成蛙及蝌蚪的密度皆高於七家灣溪。
46. 紅斑蛇數量七家灣溪西側分布有差異。一號壩到觀魚台範圍數量較多，二號壩至桃山西溪測站次之，而觀魚台至二號壩範圍數量最少。紅斑蛇的出現記錄，以夏季最多、春季次之、秋季最少。
47. 櫻花鉤吻鮭的分布範圍與去年相同，下游起點自迎賓橋起，往上游可達桃山西溪六號壩，往桃山北溪（無名溪）則可超過桃山（煙聲）瀑布溪與詩崙溪匯流點，到達以上約一百公尺一個落差小瀑布止。高山溪流域則因爲四號破壩落差變大，僅達四號破壩止，高山溪二號壩與一號壩也因爲河床嚴重淘刷形成落差。
48. 秋季調查結果顯示各齡鮭魚數量中一齡幼魚與三齡以上的成魚幾乎相同，二齡中型鮭魚的數量最多，族群結構因此由夏季的近金字塔結構轉變爲秋季的桶型結構，不過實際上各齡族群之間的數量差異不大。
49. 今年夏秋季接連的風災對櫻花鉤吻鮭的影響衝擊不大，成魚和幼魚還分別可以保有 86.7 和 60.8% 的族群比例存活。不過上游河段受到影響較下游河段來得劇烈。

- 50.如果不考慮攔砂壩阻隔效應，以中游河段的一至三號壩族群數量最多，族群所佔比例由夏季的 54% 提升至秋季的 63.9%。其次是上游的三號壩以上河段，不過其中超過 1/2 族群都集中在桃山北溪支流。再其次是最下游的一號壩以下河段。
- 51.風災過後，三齡以上成魚明顯集中在中游的一至三號壩河段，比例由原先略為超過 1/2 增加至 59%，其中又以一至二號壩河段族群的數量最多。二齡中型成魚也是分布在中游的一至三號壩河段，比例增加達到 65% 以上。一齡幼魚則以中游的一至三號壩族群最多，佔了所有族群的 62.5%，其次是最上游的三號壩以上河段，但主要集中在桃山北溪流域。
- 52.監測結果顯示，台灣鏟頰魚的族群有逐年減少的趨勢。
- 53.建議針對每年的繁殖復育計畫，繁殖用種魚還是應該選擇高水溫區域河段的鮭魚，包含二號壩以下河段或是一號壩以下河段等，無法成功繁殖的個體較佳。
- 54.上半年七家灣溪河鳥數量較去年同期增加，但颱風又使下半年的數量減少，至今仍受颱風影響的尚有小剪尾、綠蓑鷺。上半年鉛色水鵝的數量創下歷年同期新高(142 隻)，反因颱風而受益。
- 55.本計畫收集的原始生態調查資料，將以 XML 及資料庫兩種格式提供委辦單位雪霸國家管理處典藏，或整合入管理處的網頁上，此外，亦可與國家生物多樣性入口網 TaiBIF 整合，使用者也可以使用 TaiBIF 網站提供的 GIS 系統，依地點查詢到本計畫各測站的物種，也可以由物種學名，依物種查詢該物種的分佈地點(保留敏感性保育類物種之分佈資料)。



## 二、建議

1. 各測站附生藻生物量地點間差異受濱岸農業活動之硝酸鹽氮輸入影響大，應持續辦理濱岸果菜園廢耕工作，並且植樹造林護溪。
2. 各測站附生藻生物量時間變化受溪流流量影響大。
3. 水溫是造成台灣櫻花鉤吻鮭與台灣鏟頰魚在棲地上明顯區隔的主要因素。
4. 台灣櫻花鉤吻鮭在水溫較低、水中導電度與總有機碳較低的測站有較多的數量。
5. 水棲昆蟲數量對台灣櫻花鉤吻鮭數量並不是重要的限制因子。
6. 冬季平均日流量可以高度預測隔年夏季鮭魚普查總數，而夏季平均日流量可以高度預測同年秋季鮭魚普查總數。
7. 亞成魚數量與去年秋季幼魚數量有顯著正相關，而夏季成魚與幼魚數目與秋季鮭魚普查總數為正相關。
8. 影響夏季幼魚數量之變因複雜，需投注更多研究了解其影響機制。
9. 流量幾乎可以用以預測台灣櫻花鉤吻鮭之數量變化，因此須及早建立七家灣溪流域流量觀測預警系統
10. 生態系模式顯示武陵地區溪流食物網結構簡單，可分為三個階層，均為自營性生態系統。
11. 系統食物來源主要來自石附生藻類，但因流量影響，消費者不多，多未被利用而流入碎屑庫，因此平均營養傳輸效率不高。因此營造優質棲地環境應可提高生態承載量。
12. 與鄰近之蘭陽溪流域相比，總系統通量高，淨系統生產量亦高，生物量豐，物質循環程度高，營養傳輸效率高，為活動力相對旺盛之溪流生態系。
13. 高山溪二號壩口因颱風所造成的高低落差，可能對鮭魚的迴游造成影響，棲息地遭到切割。此外，壩口堆置了大量的木質殘材，其結構頗為紮實，若不進行處理，可能會形成另一座殘材壩，建議進行評估清除工作。

- 14.可實際採集復育池水樣進行水質分析，在與武陵地區流域比較水質差異性。
- 15.七家灣溪中  $\text{NO}_3^-$  主要是經由山溝逕流進入，至於是否影響到臺灣櫻花鉤吻鮭之棲息環境，有賴其他研究資料共同研判。因此，農業活動對溪水之影響仍應持續監測或防治，特別是針對山溝來源的水體。
- 16.謹慎使用高水位時期流量推估的結果。
- 17.以有勝溪作為對照組，以桃山西溪作為背景，瞭解人為活動對溪流條件的影響。
- 18.進一步探討人為活動與單位面積產出量之關係。
- 19.河川的流向或許可以作為放流櫻花鉤吻鮭時的考慮因子之一。
- 20.持續針對颱風期間的水質進行調查。
- 21.建立地下水觀測井，有助於瞭解生態基流量，集水區內物質傳輸的路徑，及地下水溫對於河川水溫的重要性。
- 22.已見司界蘭溪下游農業活動造成不利影響，因此視櫻花鉤吻鮭放流於司界蘭溪後的拓殖情況，考慮控管下游的農業活動。
- 23.各測站於流量暴增後，其評等往往都會趨向劣化，因此流量暴增事件發現，應等待一段時間，待物種拓殖平衡後，方可用 RBPII 來評等，或待數年研究而使數據庫足夠，既可發展區域性的類神經網路模式以評等棲地。
- 24.建議於 2008 年 8 月完成司界蘭溪地被層植物之複查，以瞭解其於乾、濕季有無差異。
- 25.於 2008 年 2 月完成七家灣溪永久樣區之地被層植物之複查，並進一步推估喬木、地被層植物的淨初級生產量(net primary production, NPP)。
- 26.為期更瞭解濱岸植群的特性，未來擬將焦點集中於濱岸植群與河水間交互作用的影響，試圖以濱岸植群的梯度變化，研判濱岸帶的範圍，並歸納出濱岸帶之特徵種，以更完善地瞭解七家灣溪濱岸植群的特性。
- 27.藉由向武陵管理站、武陵農場的訪查結果得知；由於保護區成立與造林政策之推動，截至 2007 年為止，武陵地區之果菜園面積，已由過去約 174 ha

減少為 9 ha 左右，而未來將面臨徵收回之果菜園的後續土地利用問題，建議以復育生態學 (restoration ecology) 為基礎，結合景觀生態學 (landscape ecology) 之應用，妥善規劃與配置，又以武陵地區而言，植栽的物種仍宜選用當地的原生樹種或鄉土樹種為宜。

28. 由以往 2003 年至 2006 的數量及生物量變化，經過較嚴重的洪流會造成後續水棲昆蟲體型物種較大比例下降，可能造成櫻花鉤吻鮭捕食不利，因此可放置巨石於溪流，巨石後較低流速成為水棲昆蟲的避難所，並且考量暴雨過後，目前濱岸土地利用類型對溪流流量的緩衝能力。
29. 濱水帶昆蟲分類群中前四目的昆蟲為彈尾目 (Collembola)、鞘翅目 (Coleoptera)、雙翅目 (Diptera)、膜翅目 (Hymenoptera)，其組成排序則會受到環境影響。
30. 各指標昆蟲依體長換算出來之相對生物量大小顯示，雖然彈尾目昆蟲個體雖少，但數量頗多，其相對生物量很可觀；在鞘翅目的個數雖不一定最多，但其相對生物量卻是最高的。
31. 高海拔地區昆蟲的存活能力受颱風豪雨影響不大。
32. 高海拔地區昆蟲同翅目有較大的組成，可能與玉山箭竹及五節芒發芽生長有關。
33. 各樣段的灌木、芒草及箭竹上分別有較多的雙翅目及同翅目，但以箭竹上的同翅目最為突顯，遠高於其他各目。
34. 2006 年結果分析顯示，七家灣溪蝌蚪生物量以二號壩為界有顯著差異：蝌蚪生物量在二號壩以下小於二號壩以上，此與櫻花鉤吻鮭的數量分布呈負相關。在食物網角色中，蝌蚪為水生昆蟲的競爭者，水生昆蟲又是櫻花鉤吻鮭主要的食物來源，在櫻花鉤吻鮭胃內亦有發現梭德氏赤蛙蝌蚪。建議能對梭德氏赤蛙蝌蚪與鮭魚間的關係進行直接的實驗，期能釐清兩生類在櫻花鉤吻鮭生活史中所扮演的角色，以及兩者共域對彼此的生活史產生何種影響。
35. 在部份河段架設即時監看系統，可以長時間記錄稀有水鳥和家貓的捕魚行為。

36.未來如進行後續的調查計畫，將持續增補資料，以發揮建置此網站及資料的目的，亦可提供解說教育及分區規劃、經營管理之用。