武陵地區長期生態監測暨生態模式建立

計畫主持人：林幸助

協同主持人：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、蔡尚憓（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

內政部營建署雪霸國家公園管理處
保育研究報告

中華民國九十五年十二月

目錄

目錄 1
表目錄 11
圖目錄 17
整合型計畫項目 28
中文摘要 29
一、前言與目的 29
二、材料與方法 30
(一)藻類、資料整合分析與生態模式建構 30
(二)水文與物理棲地 31
(三)水質 31
(四)硝酸鹽 31
(五)濱岸植群 32
(六)水棲昆蟲 32
(七)陸棲昆蟲 33
(八)非昆蟲無脊椎動物 33
(九)兩生爬蟲類 33
(十)魚類 34
(十一)鳥類 35
(十二)生態資料庫建構 35
Abstract 36

第一章　藻類、資料整合分析與生態模式建構

中文摘要 1-1
Abstract 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)攔砂壩與自然營力之研究 1-9
(四)生態模式研究方法 1-10
三、結果 1-16
(一)石附生藻類 1-16
(二)攔砂壩與自然營力 1-17
(三)生態模式研究 1-19
四、討論 1-22
(一)石附生藻類 1-22
(二)攔砂壩與自然營力 1-22
(三)生態模式研究 1-23
五、參考文獻 1-26
表 1-36
圖 1-41

第二章　水文與物理棲地研究

中文摘要 2-1
Abstract 2-3
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 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 2-8
(一) 三號壩下至二號壩上 400 公尺處 2-8
(二) 二號壩上游 400 公尺處至下游 200 公尺處 2-8
(三) 二號壩下游 200 公尺處至一號壩 2-9

(四) 一號壩下游至匯流口 2-9
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、降雨與河道體積變化之關聯 2-16
(一) 河道體積之推求 2-16
(二) 雨量紀錄 2-16
(三) 分析結果 2-16
七、結論及建議 2-17
(一) 結論 2-17
(二) 建議 2-17
表 2-18
圖 2-28

第三章　水質研究

中文摘要 3-1
Abstract 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
二、材料與方法 3-18
(一) 採樣地點介紹 3-18
(二) 採樣方法 3-19
(三) 樣品保存 3-20
(四) 溶解態樣品實驗分析方法 3-20
(五) 底泥態樣品實驗分析方法 3-22
(六) 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) 底泥態物種分析結果 3-28
(三) 武陵地區地理參數 3-29
五、結論 3-35
六、參考文獻 3-36
表 3-39
圖 3-56

第四章　硝酸鹽來源研究

中文摘要 4-1
Abstract 4-2
一、前言 4-4
(一) 文獻回顧 4-4
(二) 研究目的 4-13
二、材料與方法 4-15
(一) 採樣地點 4-15
(二) 現場作業 4-16
(三) 實驗室分析 4-16
(四) 工作內容與執行現況 4-19
三、結果 4-21
(一)　基本水質 4-21
(二)　NO_3^- 之濃度 4-21
(三)　NO3-之 δ15N 及 δ18O 組成 4-22
四、討論 4-23
(一)　NO_3^- 的可能來源 4-23
(二)　不同氮源的混合作用 4-24
(三)　NO_3^-來源之季節變化 4-27
五、結論 4-29

六、參考文獻 4-30
表 4-35
圖 4-37

第五章　濱岸植群研究

中文摘要 5-1
Abstract 5-2
一、前言 5-3
二、材料與方法 5-5
(一) 研究地區 5-5
(二) 研究方法 5-5
三、結果 5-11
(一) 植物組成 5-11
(二) 植群重要值指數與剖面結構 5-11
(三) 枯落物收集 5-14
四、討論 5-15
(一) 矩陣群團分析 5-15
(二) 種豐富度指數分析 5-19
五、結論與建議 5-22
六、參考文獻 5-24
表 5-32
圖 5-43

第六章　水棲昆蟲研究

中文摘要 6-1
Abstract 6-2
一、前言 6-3
二、材料與方法 6-6
三、結果 6-9
四、討論 6-11

五、結論 6-12
六、參考文獻 6-13
表 6-15
圖 6-33

第七章　陸棲昆蟲研究

中文摘要 7-1
Abstract 7-2
一、前言 7-3
(一) 研究緣起與背景 7-3
(二) 干擾因子對昆蟲群聚的影響 7-4
二、材料與方法 7-7
(一) 研究主題及其樣區範圍 7-7
(二) 調查方法及原理 7-9
(三) 存證標本編號保存及蒐藏 7-11
(四) 昆蟲資源調查室內工作流程 7-12
三、結果 7-13
(一) 武陵地區濱水帶樣區 7-13
(二) 高海拔昆蟲群聚 7-15
(三) 櫻花鉤吻鮭胃含物及其食性分析 7-16
四、討論 7-18
（一） 武陵地區濱水帶樣區 7-18
（二） 櫻花鉤吻鮭胃含物及其食性分析 7-20
五、結論 7-21
(一) 武陵地區濱水帶樣區 7-21
(二) 大尺度之高海拔地區昆蟲之樣段調查 7-21
(三) 櫻花鉤吻鮭胃含物及食性分析 7-21
六、參考文獻 7-22
表 7-27
圖 7-44

第八章　非昆蟲無脊椎動物研究

中文摘要 8-1
Abstract 8-2
一、前言 8-3
二、材料與方法 8-4
三、結果 8-5
四、討論 8-7
五、參考文獻 8-9
表 8-10
圖 8-14

第九章　兩生爬蟲類研究

中文摘要 9-1
Abstract 9-2
一、前言 9-3
二、材料與方法 9-5
(一) 研究地區 9-5
(二) 密度與生物量調查 9-5
(三) 資料分析 9-6
(四) 蛇類與蜥蜴 9-6
(五) 哺乳類 9-7
三、結果與討論 9-8
(一) 環境因子 9-8
(二) 密度與生物量調查 9-8
(三) 蛇類與蜥蜴 9-10
(四) 哺乳類 9-11
四、參考文獻 9-12
表 9-14
圖 9-29

第十章　櫻花鉤吻鮭族群監測與動態分析

中文摘要 10-1
Abstract 10-3
一、前言 10-5
二、材料與方法 10-8
三、結果與討論 10-10
(一) 櫻花鉤吻鮭族群數量與分佈 10-10
(二) 其他共域魚類的數量與分佈狀況 10-13
(三) 司界蘭溪流域勘查 10-14
(四) 生態模式建立共同樣區的調查結果 10-16
四、討論 10-19
(一) 櫻花鉤吻鮭歷年族群結構變化 10-19
(二) 歷年各主要河段族群比例變動 10-20
(三) 七家灣溪中游各齡族群歷年變動及阻隔破壩的崩毀 10-21
(四) 高山溪的歷年族群變動狀況 10-23
(五) 各河段幼魚的成長與更新情形 10-24
五、結論與建議 10-26
六、參考文獻 10-28
表 10-31
圖 10-37

第十一章　溪流鳥類群聚生態監測

中文摘要 11-1
Abstract 11-3
一、前言 11-6
(一) 研究緣起 11-6
(二) 研究背景 11-7
二、研究地區與方法 11-9
(一) 研究地區 11-9

(二) 研究方法 11-9
三、結果 11-10
(一) 溪鳥族群變動 11-10
(二) 河烏配對、繁殖與成鳥死亡率 11-12
(三) 鉛色水鶇繁殖 11-13
(四) 鴛鴦巢箱使用情形 11-13
四、討論 11-14
(一) 河鳥 11-14
(二) 鉛色水鶇 11-15
(三) 小剪尾 11-15
(四) 鴛鴦 11-15
五、建議 11-16
六、參考文獻 11-17
表 11-21
圖 11-27

第十二章　生態資料庫建構

中文摘要 12-1
Abstract 12-2
一、前言 12-3
二、材料及方法 12-4
三、結果 12-5
(一) 通用生態調查資料格式簡介 12-5
(二) 棲地、水文、水質調查資料格式 12-6
(三) 資料整理概況 12-6
(四) 使用者查詢方法 12-11
(五) 關聯式資料庫 12-12
四、討論與結論 12-12
圖 12-13

第十三章　成果與建議

一、成果 13-1

二、建議 13-5

表目錄

表 1-1　各棲地類型特性 1-36
表 1-2　模式所需參數來源 1-37
表 1-3　武陵地區各測站之摘要系統分析結果 1-38
表 1-4　武陵地區溪流與蘭陽溪溪流生態系參數比較。 1-39
表 1-5　武陵地區溪流與蘭陽溪溪流生態系模式輸出結果主成分分析表 1-40
表 2-1　四號壩上游床面平均坡度表 2-18
表 2-2　三號壩上游床面平均坡降表 2-18
表 2-3　二號壩上游床面平均坡降表 2-18
表 2-4　一號壩上游床面平均坡降表 2-18
表 2-5　一號壩下游床面平均坡降表 2-18
表 2-6　三號壩下至二號壩上 400 公尺平均坡度表 2-18
表 2-7　二號壩上下游床面平均坡度表 2-18
表 2-8　二號壩下 200 公尺至一號壩上平均坡度表 2-19
表 2-9　一號壩下游至匯流口平均坡度表 2-19
表 2-10　棲地底質分類表 2-19
表 2-11　2006 年 12 月高山溪各河段之棲地底質分佈比例 2-19
表 2-12　2006 年 10 月高山溪各河段之棲地底質分佈比例 2-20
表 2-13　2006 年 06 月高山溪各河段之棲地底質分佈比例 2-20
表 2-14　2006 年 2 月高山溪各河段之棲地底質分佈比例 2-20
表 2-15　2005 年 12 月高山溪各河段之棲地底質分佈比例 2-20
表 2-16　2006 年 12 月七家灣溪二號石壩上下游之棲地底質分佈比例 2-21
表 2-17　2006 年 10 月七家灣溪二號石壩上下游之棲地底質分佈比例 2-21
表 2-18　2006 年 2 月七家灣溪二號石壩上下游之棲地底質分佈比例 2-21
表 2-19　2005 年 12 月七家灣溪二號石壩上下游之棲地底質分佈比例 2-21
表 2-20　2006 年 12 月七家灣溪全河段之棲地底質分佈比例 2-21
表 2-21　棲地環境類型分析 2-22
表 2-22　2006 年 12 月高山溪溪棲地環境類型分析 2-22

表 2-23　2006 年 10 月高山溪溪棲地環境類型分析 2-22
表 2-24　2006 年 06 月高山溪溪棲地環境類型分析 2-22
表 2-25　2006 年 02 月高山溪溪棲地環境類型分析 2-23
表 2-26　2006 年 12 月七家灣溪二號石壩上下游棲地環境類型分析 2-23
表 2-27　2006 年 10 月七家灣溪二號石壩上下游棲地環境類型分析 2-23
表 2-28　2006 年 02 月七家灣溪二號石壩上下游棲地環境類型分析 2-23
表 2-29　2006 年 12 月七家灣溪全河道棲地環境類型分析 2-24
表 2-30　桃山北溪測站床面平均坡度表 2-24
表 2-31　桃山北溪測站床面底質分佈表 2-24
表 2-32　桃山西溪測站床面平均坡度表 2-24
表 2-33　桃山西溪測站床面底質分佈表 2-24
表 2-34　一號壩測站床面平均坡度表 2-25
表 2-35　一號壩測站床面底質分佈表 2-25
表 2-36　新繁殖場測站床面平均坡度表 2-25
表 2-37　新繁殖場測站床面底質分佈表 2-25
表 2-38　萬壽橋測站床面平均坡度表 2-25
表 2-39　萬壽橋測站床面底質分佈表 2-26
表 2-40　迎賓橋測站床面平均坡度表 2-26
表 2-41　迎賓橋測站床面底質分佈表 2-26
表 2-42　有勝溪測站床面平均坡度表 2-26
表 2-43　有勝溪測站床面底質分佈表 2-26
表 2-44　司界蘭溪上游段測站床面平均坡度表 2-27
表 2-45　司界蘭溪上游測站床面底質分佈表 2-27
表 2-46　司界蘭溪下游段測站床面平均坡度表 2-27
表 2-47　司界蘭溪上游測站床面底質分佈表 2-27
表 2-48　各測量時期之河道體積 2-27
表 3-1　桃樹施肥量 3-39
表 3-2　梨樹施肥量 3-39
表 3-3　污染物之單位面積輸出量 3-39
表 3-4　SCS 法土壤分類 3-40

表 3-5 水土保持局土壤分類 3-40
表 3-6 水土保持局與 SCS 法土壤分類之轉換 3-40
表 3-7 SCS 法之曲線值 3-41
表 3-8 SCS 法水文臨前狀況之曲線值 3-42
表 3-9 採樣地點地理座標 3-43
表 3-10 水體樣品保存 3-43
表 3-11 94 年 12 月溶解態分析數據 3-44
表 3-12 95 年 2 月溶解態分析數據 3-45
表 3-13 95 年 4 月溶解態分析數據 3-46
表 3-14 95 年 6 月溶解態分析數據 3-47
表 3-15 95 年 8 月溶解態分析數據 3-48
表 3-16 95 年 10 月溶解態分析數據 3-49
表 3-17 94 年 12 月底泥態分析數據 3-50
表 3-18 95 年 2 月底泥態分析數據 3-50
表 3-19 95 年 4 月底泥態分析數據 3-51
表 3-20 95 年 6 月底泥態分析數據 3-51
表 3-21 95 年 8 月底泥態分析數據 3-52
表 3-22 肥料要素含量 3-52
表 3-23 景美溪實驗數據 3-52
表 3-24 世界河川平均所含可溶性物質的濃度 3-53
表 3-25 武陵地區各子集水區地理參數 3-53
表 3-26 時雨量資料 3-54
表 3-27 WinVAST 設定參數 3-55
表 4-1 武陵地區水體現場測定水質項目之敘述性統計 4-35
表 4-2 本研究水體之 NO_3^- 濃度 4-35
表 4-3 2005 年 10 月與 2006 年 1, 4, 6, 7 及 10 月時水體 NO_3-之 $\delta^{15}N$ 組成 . 4-36
表 4-4 2006 年 4, 6, 7 及 10 月時水體 NO_3-之 $\delta^{18}O$ 組成 4-36
表 5-1 七家灣溪濱岸植群監測調查樣區屬性表 5-32
表 5-2 七家灣溪濱岸植群監測調查之植物類別統計 5-33

表 5-3　七家灣溪濱岸植群監測調查之永久樣區喬木層優勢種植物及其重要值 ... 5-33
表 5-4　七家灣溪濱岸植群監測調查之臨時樣區喬木層優勢種植物及其重要值. 5-34
表 5-5　七家灣溪濱岸植群監測調查（2 月）地被層優勢種植物及其重要值 5-35
表 5-6　七家灣溪濱岸植群監測調查（8 月）地被層優勢種植物及其重要值 5-35
表 5-7　七家灣溪濱岸植群監測調查之臨時樣區地被層優勢種植物及其重要值. 5-36
表 5-8　七家灣溪濱岸植群之枯落物監測調查（2005 年 2 月-2006 年 8 月） ... 5-38
表 5-9　2005-2006 年總樣區喬木層植物之種數、總株數與種豐富度指數..... 5-40
表 5-10　2005 年 2 月永久樣區地被層植物之種數、總株數與種豐富度指數..... 5-41
表 5-11　2005 年 8 月永久樣區地被層植物之種數、總株數與種豐富度指數 5-41
表 5-12　臨時樣區地被層植物之種數、總株數與種豐富度指數..... 5-42
表 6-1　武陵地區第 01 站於 2006 年之水生昆蟲資源組成..... 6-15
表 6-2　武陵地區第 02 站於 2006 年之水生昆蟲資源組成..... 6-16
表 6-3　武陵地區二號壩站於 2006 年之水生昆蟲資源組成 6-18
表 6-4　武陵地區一號壩站於 2006 年之水生昆蟲資源組成 6-20
表 6-5　武陵地區高山溪站於 2006 年之水生昆蟲資源組成 6-22
表 6-6　武陵地區新繁殖場站於 2006 年之水生昆蟲資源組成..... 6-24
表 6-7　武陵地區有勝溪站於 2006 年之水生昆蟲資源組成 6-26
表 6-8　武陵地區迎賓橋站於 2006 年之水生昆蟲資源組成 6-27
表 6-9　武陵地區萬壽橋站於 2006 年之水生昆蟲資源組成 6-29
表 6-10　武陵地區司界蘭溪下游站於 2006 年之水生昆蟲資源組成 6-31
表 6-11　武陵地區司界蘭溪上游站於 2006 年之水生昆蟲資源組成..... 6-32
表 6-12　司界蘭溪於 2005 年 8 月至 2006 年 7 月之水棲昆蟲多樣性指數 6-33
表 7-1　2006 年 2 月至 12 月濱水帶昆蟲調查各測站之陷阱設置情形 7-27
表 7-2　依 Su（1984）之高度、植群及氣候帶特性選定昆蟲群聚調查樣區 7-27
表 7-3　2004 年 02 月至 2006 年 8 月武陵地區濱水帶昆蟲調查結果 7-28
表 7-4　2004 年武陵地區濱水帶各測站昆蟲調查結果 7-29
表 7-5　2005 年武陵地區濱水帶各測站昆蟲調查結果 7-32
表 7-6　2006 年 2 月至 2006 年 8 月武陵地區濱水帶各測站昆蟲調查結果..... 7-35
表 7-7　2005 年 5 月至 2006 年 6 月高海拔 4 樣段總和昆蟲調查結果..... 7-38
表 7-8　2005 年 5 月至 2006 年 6 月高海拔樣段昆蟲月變化 7-38

表 7-9　第一隻櫻花鉤吻鮭胃含物昆蟲碎片鑑定結果 7-41
表 7-10　第二隻櫻花鉤吻鮭胃含物昆蟲碎片鑑定結果 7-41
表 7-11　第三隻櫻花鉤吻鮭胃含物昆蟲碎片鑑定結果 7-41
表 7-12　第四隻櫻花鉤吻鮭胃含物昆蟲碎片鑑定結果 7-41
表 7-13　第五隻櫻花鉤吻鮭胃含物昆蟲碎片鑑定結果 7-42
表 7-14　櫻花鉤吻鮭胃含物昆蟲碎片鑑定結果綜合分析 7-42
表 7-15　2004 至 2006 年武陵地區濱水帶測站各目之科級相對多樣性 7-43
表 8-1　本研究 2006 年各月份之棲地平均資料 8-10
表 8-2　本研究 2006 年之水域無脊椎動物資料 8-12
表 9-1　2006 年一號壩至三號壩與司界蘭溪各樣區水文資料 9-14
表 9-2　2006 年一號壩至三號壩與司界蘭溪各樣區資料 9-15
表 9-3　2006 年一號壩至三號壩與司界蘭溪各樣區水質資料 9-16
表 9-4　2006 年一號壩至三號壩 13 個環境因子常態分佈測試 9-17
表 9-5　2006 年一號壩至三號壩 13 個環境因子主成分軸的總變異數的比例 9-17
表 9-6　2006 年 4 月一號壩至三號壩各樣區蛙數目及密度 9-18
表 9-7　2006 年 6 月一號壩至三號壩與司界蘭溪各樣區蛙數目及密度 9-19
表 9-8　2006 年 10 月一號壩至三號壩與司界蘭溪各樣區蛙數目及密度 9-20
表 9-9　2006 年 4 月一號壩至三號壩各樣區各種成蛙相關資料 9-21
表 9-10　2006 年 6 月一號壩至三號壩各樣區各種成蛙相關資料 9-22
表 9-11　2006 年 10 月一號壩至三號壩各樣區各種成蛙相關資料 9-23
表 9-12　2006 年 4 月各樣區蝌蚪相關資料 9-24
表 9-13　2006 年 6 月各樣區蝌蚪相關資料 9-25
表 9-14　2006 年 10 月各樣區蝌蚪相關資料 9-26
表 9-15　2006 年調查之武陵地區翼手目動物名錄 9-27
表 9-16　2006 年調查之武陵地區食蟲目與囓齒目動物名錄 9-28
表 10-1　2006 年秋季櫻花鉤吻鮭調查數量統計表 10-31
表 10-2　2006 年夏季櫻花鉤吻鮭調查數量統計表 10-32
表 10-3　2002 年迄今各齡櫻花鉤吻鮭在各河段所佔族群比例統計表 10-33
表 10-4　2006 年夏秋兩季與櫻花鉤吻鮭共域之魚類數量統計表 10-34
表 10-5　2006 年七家灣溪固定樣點魚類組成相調查結果 10-35

表 10-6　歷年七家灣溪各河段孵化前期（十一月）月平均水溫比較表 10-36
表 11-1　2006 年 1 月~ 11 月武陵地區溪流鳥類相。括號內為離巢幼鳥數 11-21
表 11-2　2003~2006 年七家灣溪有標記河烏配對情形 11-23
表 11-3　2006 年七家灣溪和司界蘭溪河烏繁殖表現 11-24
表 11-4　2006 年七家灣溪和有勝溪鉛色水鶇巢位紀錄 11-25
表 11-5　2006 年 2 月抽檢有勝溪和七家灣溪鴛鴦巢箱的使用情形。 11-26
表 11-6　2004-2006 武陵地區河烏繁殖比較 11-26
表 12-1　計畫資料表 12-5
表 12-2　測站資料表 12-5
表 12-3　調查資料表（主資料表） 12-6

圖目錄

圖 1-1　武陵地區七家灣溪流域研究地區位置圖 1-41
圖 1-2　高山溪壩體位置圖 1-41
圖 1-3　各研究測站相關位置圖 1-42
圖 1-4　2006 年各測站單位面積葉綠素 a 含量 1-43
圖 1-5　微棲地附生藻類單位面積葉綠素 a 含量比較 1-44
圖 1-6　高山溪壩體拆除對鮭魚族群之影響 1-45
圖 1-7　高山溪鮭魚族群與七家灣溪流量變化圖 1-46
圖 1-8　2001 冬季至 2005 冬季高山溪各河段間底質組成相對百分比圖 1-47
圖 1-9　高山溪四座攔砂壩拆壩前後坡度變化 1-47
圖 1-10　不同階段鮭魚族群的主成分分析 biplot 圖 1-48
圖 1-11　高山溪底質粒徑大小組成主成分分析圖 1-49
圖 1-12　鮭魚族群與底質組成百分比的主成分分析之等高線圖 1-50
圖 1-13　2004 年 8 月到 12 月流量 1-51
圖 1-14　2005 年 6 月到 10 月流量 1-51
圖 1-15　2004 年到 2006 年鳥類數量與流量變化 1-52
圖 1-16　2004 年到 2006 年魚類數量與流量變化 1-52
圖 1-17　2004 年到 2006 年蛙類生物量與流量變化 1-53
圖 1-18　2004 年到 2006 年蝌蚪生物量與流量變化 1-53
圖 1-19　2004 年到 2006 年水棲昆蟲生物量與流量變化 1-54
圖 1-20　2004 年到 2006 年藻類生物量與流量變化 1-54
圖 1-21　桃山西溪食物網能流圖 1-55
圖 1-22　一號壩食物網能流圖 1-56
圖 1-23　繁殖場食物網能流圖 1-57
圖 1-24　高山溪食物網能流圖 1-58
圖 1-25　有勝溪食物網能流圖 1-59
圖 1-26　武陵地區各測站消費者與生產者生物量 1-60
圖 1-27　武陵地區各測站各分類群生物量 1-60

圖 1-28 武陵地區溪流與蘭陽溪溪流生態系主成分分析圖 1-61
圖 1-29 桃山西溪綜合營養衝擊圖 1-61
圖 1-30 一號壩綜合營養衝擊圖 1-62
圖 1-31 繁殖場綜合營養衝擊圖 1-62
圖 1-32 高山溪綜合營養衝擊圖 1-63
圖 1-33 有勝溪綜合營養衝擊圖 1-63
圖 2-1 本年度研究基本流程圖 2-28
圖 2-2 四號壩上游斷面高程剖面圖 2-28
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 2-29
圖 2-6 三號壩上游斷面高程剖面圖 2-29
圖 2-7 高山溪段面 3-22 剖面高程 2-29
圖 2-8 高山溪段面 3-15 剖面高程 2-29
圖 2-9 高山溪段面 3-8 剖面高程 2-30
圖 2-10 高山溪段面 3-1 剖面高程 2-30
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 高山溪段面 2-26 剖面高程 2-31
圖 2-14 高山溪段面 2-17 剖面高程 2-31
圖 2-15 高山溪段面 2-11 剖面高程 2-31
圖 2-16 高山溪段面 2-8 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 高山溪段面 1-19 剖面高程 2-33
圖 2-20 高山溪段面 1-15 剖面高程 2-33
圖 2-21 高山溪段面 1-8 剖面高程 2-33
圖 2-22 高山溪段面 1-1 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　高山溪段面 0-1 剖面高程 2-35
圖 2-26　高山溪段面 0-5 剖面高程 2-35
圖 2-27　高山溪段面 0-9 剖面高程 2-35
圖 2-28　高山溪段面 0-16 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 公尺剖面線 2-37
圖 2-31　七家灣溪斷面 2-36 剖面高程 2-37
圖 2-32　七家灣溪斷面 2-33 剖面高程 2-37
圖 2-33　七家灣溪斷面 2-25 剖面高程 2-37
圖 2-34　七家灣溪斷面 2-19 剖面高程 2-37
圖 2-35　三號壩至二號壩上 400m 處示意圖 2-38
圖 2-36　二號壩上游斷面高程剖面圖 2-39
圖 2-37　七家灣溪斷面 3-12 剖面高程 2-39
圖 2-38　七家灣溪斷面 3-8 剖面高程 2-39
圖 2-39　七家灣溪斷面 3-4 剖面高程 2-39
圖 2-40　七家灣溪斷面 3-1 剖面高程 2-39
圖 2-41　七家灣溪二號壩下游斷面高程剖面圖 2-40
圖 2-42　七家灣溪斷面 1-54 剖面高程 2-40
圖 2-43　七家灣溪斷面 1-52 剖面高程 2-40
圖 2-44　七家灣溪斷面 1-49 剖面高程 2-40
圖 2-45　七家灣溪斷面 1-47 剖面高程 2-40
圖 2-46　七家灣溪二號壩及其副壩 2-41
圖 2-47　二號壩下 200 公尺至一號壩上剖面線 2-42
圖 2-48　七家灣溪斷面 1-17 剖面高程 2-42
圖 2-49　七家灣溪斷面 1-13 剖面高程 2-42
圖 2-50　七家灣溪斷面 1-10 剖面高程 2-42
圖 2-51　七家灣溪斷面 1-2 剖面高程 2-42
圖 2-52　二號壩下 200M 處至一號壩示意圖 2-43
圖 2-53　一號壩下剖面線 2-44
圖 2-54　七家灣溪斷面 0-31 剖面高程 2-44

圖 2-55　七家灣溪斷面 0-29 剖面高程 2-44
圖 2-56　七家灣溪斷面 0-6 剖面高程 2-44
圖 2-57　七家灣溪斷面 0-2 剖面高程 2-44
圖 2-58　一號壩下至七家灣溪與有勝溪匯流口示意圖 2-45
圖 2-59　高山溪棲地類型分析 (2006/12) 2-46
圖 2-60　高山溪棲地環境類型分析（2006/10） 2-46
圖 2-61　高山溪棲地環境類型分析（2006/06） 2-46
圖 2-62　高山溪棲地環境類型分析（2006/02） 2-47
圖 2-63　高山溪棲地類型分布(Dec-06) 2-47
圖 2-64　高山溪棲地類型分布(Oct-06) 2-47
圖 2-65　高山溪棲地類型分布(Jun-06) 2-47
圖 2-66　高山溪棲地類型分布(Feb-06) 2-47
圖 2-67　七家灣溪二號石壩上下游棲地環境類型分析（2006/12） 2-48
圖 2-68　七家灣溪二號石壩上下游棲地環境類型分析（2006/10） 2-48
圖 2-69　七家灣溪二號石壩上下游棲地環境類型分析（2006/02） 2-48
圖 2-70　七家灣溪二號石壩上下游棲地環境類型分析（2005/12） 2-49
圖 2-71　七家溪二號石壩上下游棲地環境類型分布(2006/12) 2-49
圖 2-72　七家溪二號石壩上下游棲地環境類型分布(2006/10) 2-49
圖 2-73　七家溪二號石壩上下游棲地環境類型分布(2006/02) 2-50
圖 2-74　七家溪二號石壩上下游棲地環境類型分布(2005/12) 2-50
圖 2-75　七家灣溪全河道棲地環境類型分析（2006/12） 2-50
圖 2-76　七家灣溪全河道棲地環境類型分布（2006/12） 2-50
圖 2-77　桃山北溪 1-1 斷面剖面高程 2-51
圖 2-78　桃山北溪 1-2 斷面剖面高程 2-51
圖 2-79　桃山北溪棲地分佈類型百分比圖 2-51
圖 2-80　桃山西溪 2-1 斷面剖面高程 2-51
圖 2-81　桃山西溪 2-2 斷面剖面高程 2-51
圖 2-82　桃山西溪棲地分佈類型百分比圖 2-51
圖 2-83　一號壩測站 4-1 斷面剖面高程 2-52
圖 2-84　一號壩測站 4-2 斷面剖面高程 2-52

圖 2-85 一號壩分佈類型百分比圖 2-52
圖 2-86 新繁殖場 5-1 斷面剖面高程 2-52
圖 2-87 新繁殖場 5-2 斷面剖面高程 2-52
圖 2-88 新繁殖場棲地分佈類型百分比圖 2-52
圖 2-89 萬壽橋測站 6-2 斷面剖面高程 2-53
圖 2-90 萬壽橋測站 6-5 斷面剖面高程 2-53
圖 2-91 萬壽橋棲地分佈類型百分比圖 2-53
圖 2-92 迎賓橋測站 7-1 斷面剖面高程 2-53
圖 2-93 迎賓橋測站 7-4 斷面剖面高程 2-53
圖 2-94 迎賓橋棲地分佈類型百分比圖 2-53
圖 2-95 有勝溪測站 9-1 斷面剖面高程 2-54
圖 2-96 有勝溪測站 9-3 斷面剖面高程 2-54
圖 2-97 有勝溪棲地分佈類型百分比圖 2-54
圖 2-98 司界蘭溪上游測站 10-1 斷面 2-54
圖 2-99 司界蘭溪上游測站 10-7 斷面 2-54
圖 2-100 司界蘭溪上游測站棲地分佈類型百分比圖 2-54
圖 2-101 司界蘭溪下游測站 11-1 斷面 2-55
圖 2-102 司界蘭溪下游測站 11-2 斷面 2-55
圖 2-103 界蘭溪下游測站棲地分佈類型百分比圖 2-55
圖 2-104 體積計算範圍(三號壩與四號壩間) 2-55
圖 2-105 河道資料網格化 2-56
圖 2-106 河道多邊型化塑模 2-56
圖 2-107 體積計算 2-56
圖 2-108 桃山雨量站 2-57
圖 2-109 月雨量及河道相對體積變化歷程 2-57
圖 3-1 雪霸國家公園 3-56
圖 3-2 武陵農場農地分佈 3-56
圖 3-3 氮素循環過程 3-57
圖 3-4 SCS 法有效降雨計算 3-57
圖 3-5 流程圖 3-58

圖 3-6 採樣地點位置圖 3-59
圖 3-7 武陵地區溪流 pH 值變化 3-59
圖 3-8 武陵地區溪流導電度值變化 3-60
圖 3-9 武陵地區溪流溶氧值變化 3-60
圖 3-10 武陵地區溪流濁度值變化 3-60
圖 3-11 武陵地區溪流 SiO_2 值變化 3-61
圖 3-12 武陵地區溪流 BOD 值變化 3-61
圖 3-13 武陵地區溪流 NO_3-N 值變化 3-61
圖 3-14 武陵地區溪流 NO_2-N 值變化 3-62
圖 3-15 武陵地區溪流 SO_4^{2-} 值變化 3-62
圖 3-16 武陵地區溪流 Cl^- 值變化 3-62
圖 3-17 武陵地區溪流 PO_4^{3-} 值變化 3-63
圖 3-18 武陵地區溪流 TP 值變化 3-63
圖 3-19 武陵地區溪流 NH_3-N 值變化 3-63
圖 3-20 武陵地區溪流 TOC 值變化 3-64
圖 3-21 武陵地區溪流底泥態磷值變化 3-64
圖 3-22 武陵地區溪流底泥態氮值變化 3-64
圖 3-23 武陵地區溪流底泥態硫值變化 3-65
圖 3-24 武陵地區溪流底泥態碳值變化 3-65
圖 3-25 武陵地區子集水區 3-65
圖 3-26 武陵地區坡向圖 3-65
圖 3-27 武陵地區坡度圖 3-66
圖 3-28 武陵地區高程圖 3-66
圖 3-29 WinVAST 污水廠測站氮的驗証 3-66
圖 3-30 WinVAST 污水廠測站磷的驗証 3-66
圖 3-31 不同 CN 值流量的變化 3-67
圖 3-32 不同 CN 值氮輸出量的變化 3-67
圖 3-33 不同 CN 值磷輸出量的變化 3-67
圖 3-34 不同坡度流量的變化 3-67

圖 3-35 不同坡度氮輸出量的變化 3-67
圖 3-36 不同坡度磷輸出量的變化 3-67
圖 3-37 不同雨量流量的變化..... 3-68
圖 3-38 不同雨量氮輸出量的變化 3-68
圖 3-39 不同雨量磷輸出量的變化 3-68
圖 3-40 WinVAST 敏督利颱風 93 年土地利用 3-68
圖 3-41 WinVAST 納坦颱風 93 年土地利用..... 3-69
圖 3-42 WinVAST 南瑪都颱風 93 年土地利用 3-69
圖 3-43 WinVAST 敏督利颱風 94 年土地利用 3-69
圖 3-44 WinVAST 敏督利颱風 95 年土地利用 3-70
圖 3-45 WinVAST 敏督利颱風 99 年土地利用 3-70
圖 3-46 WinVAST 納坦颱風 94 年土地利用..... 3-70
圖 3-47 WinVAST 納坦颱風 95 年土地利用..... 3-71
圖 3-48 WinVAST 納坦颱風 99 年土地利用..... 3-71
圖 3-49 WinVAST 南瑪都颱風 94 年土地利用 3-71
圖 3-50 WinVAST 南瑪都颱風 95 年土地利用 3-72
圖 3-51 WinVAST 南瑪都颱風 99 年土地利用 3-72
圖 3-52 敏督利颱風乾燥日數為 2 天..... 3-72
圖 3-53 敏督利颱風乾燥日數為 5 天..... 3-72
圖 3-54 敏督利颱風乾燥日數為 10 天..... 3-73
圖 3-55 敏督利颱風乾燥日數為 20 天..... 3-73
圖 3-56 納坦颱風乾燥日數為 2 天 3-73
圖 3-57 納坦颱風乾燥日數為 5 天 3-73
圖 3-58 納坦颱風乾燥日數為 10 天 3-73
圖 3-59 納坦颱風乾燥日數為 20 天 3-73
圖 3-60 南瑪都颱風乾燥日數為 2 天..... 3-74
圖 3-61 南瑪都颱風乾燥日數為 5 天..... 3-74
圖 3-62 南瑪都颱風乾燥日數為 10 天..... 3-74
圖 3-63 南瑪都颱風乾燥日數為 20 天..... 3-74
圖 3-64 敏督利颱風各子集水區氮的輸出..... 3-74

圖 3-65 敏督利颱風各子集水區磷的輸出 3-75
圖 4-1 武陵地區之歷年雨量及氣溫記錄(2002-2005 年) 4-37
圖 4-2 河流生態系流域中氮之輸入與輸出示意圖 4-37
圖 4-3 各種來源硝酸鹽之氮、氧同位素組成分佈範圍圖 4-38
圖 4-4 各類肥料及南投地區河水中硝酸鹽之 $\delta^{15}N$ 分佈圖 4-38
圖 4-5 本研究水體之 NO_3^-濃度變化圖 4-39
圖 4-6 各水體中 NO_3-之 $\delta^{15}N$ 值的分布與各種來源之 $\delta^{15}N$ 值範圍比較 4-39
圖 4-7 本研究各水體之氮、氧同位素組成分布圖 4-40
圖 4-8 本研究各水體中 NO_3^- 之 $1/NO_3^-$ 與 $\delta^{15}N$ 關係圖 4-41
圖 5-1 七家灣溪濱岸植群研究區 5-43
圖 5-2 七家灣溪濱岸植群監測樣區位置圖 5-44
圖 5-3 枯落物收集網之架設示意圖 5-45
圖 5-4 桃山北溪(# 1)右岸植群剖面圖 5-46
圖 5-5 桃山西溪(# 2)右岸植群剖面圖 5-47
圖 5-6 一號壩(# 4)右岸植群剖面圖 5-48
圖 5-7 繁殖場(# 5)右岸植群剖面圖 5-49
圖 5-8 萬壽橋(# 6)左岸植群剖面圖 5-50
圖 5-9 萬壽橋(# 6)右岸植群剖面圖 5-51
圖 5-10 迎賓橋左岸(# 7)植群剖面圖 5-52
圖 5-11 迎賓橋(# 7)右岸植群剖面圖 5-53
圖 5-12 高山溪左岸(# 8)植群剖面圖 5-54
圖 5-13 有勝溪(# 9)左岸植群剖面圖 5-55
圖 5-14 司界蘭溪上游(# 10)左岸植群剖面圖 5-56
圖 5-15 司界蘭溪上游(# 10)右岸植群剖面圖 5-57
圖 5-16 司界蘭溪下游(#11)右岸植群剖面圖 5-58
圖 5-17 七家灣溪濱岸植群 30 個樣區之矩陣群團分析連結的樹形圖 5-59
圖 6-1 武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲各月數量 6-33
圖 6-2 武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲各月生物量 6-34
圖 6-3 武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲之 Richness index 6-34
圖 6-4 武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲之 Simpson's index 6-35

圖 6-5 武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲之 Shannon-Wiener's index 6-35
圖 6-6 武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲之 Pielou's evenness index..... 6-36
圖 6-7 武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲之之 RBPII 相對分數..... 6-36
圖 6-8 武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲之 MDS 分析 6-37
圖 6-9 武陵地區溪流河烏與水棲昆蟲之逐步迴歸分析結果 6-38
圖 7-1 武陵地區濱水帶昆蟲調查測站位置圖及各測站之昆蟲目級組成 7-44
圖 7-2 武陵地區高海拔地區昆蟲調查樣段位置圖..... 7-45
圖 7-3 2004 年 2 月至 2006 年 8 月濱水帶各目昆蟲個體數組成百分比 7-45
圖 7-4 2004 年武陵地區濱水帶各目昆蟲個體數組成百分比..... 7-46
圖 7-5 2005 年武陵地區濱水帶各目昆蟲個體數組成百分比..... 7-47
圖 7-6 2006 年武陵地區濱水帶各目昆蟲個體數組成百分比..... 7-48
圖 7-7 2004 年 2 月至 2006 年 8 月濱水帶各測站主要四目個體數組百分比 ... 7-49
圖 7-8 2004 年 2 月至 2006 年 8 月濱水帶昆蟲調查主要各目每月個體數..... 7-50
圖 7-9 2004 年 2 月至 2006 年 8 月濱水帶各測站彈尾目月個體數變化圖..... 7-50
圖 7-10 2004 年 2 月至 2006 年 8 月濱水帶各測站膜翅目月個體數變化圖..... 7-51
圖 7-11 2004 年 2 月至 2006 年 8 月濱水帶各測站鞘翅目月個體數變化圖..... 7-51
圖 7-12 2004 年 2 月至 2006 年 8 月濱水帶各測站雙翅目月個體數變化圖..... 7-52
圖 7-13 2005 年 5 月至 2006 年 6 月高海拔樣段各目昆蟲個體數組成百分比 ... 7-52
圖 7-14 2005 年 5 月至 2006 年 6 月七卡樣段各目昆蟲個體數組成百分比..... 7-53
圖 7-15 2005 年 5 月至 2006 年 8 月稜線樣段各目昆蟲個體數組成百分比..... 7-53
圖 7-16 2005 年 5 月至 2006 年 8 月黑森林樣段之各目個體數組成百分比..... 7-54
圖 7-17 2005 年 5 月至 2006 年 8 月圈谷樣段各目昆蟲個體數組成百分比..... 7-54
圖 7-18 2004 年 4 月至 2006 年 8 月武陵地區科級累積圖..... 7-55
圖 7-19 2004 年 4 月至 2006 年 8 月武陵地區濱水帶個體數累積圖 7-55
圖 7-20 2005 年武陵地區濱水帶測站各科昆蟲個體數組成百分比 7-56
圖 7-21 武陵地區 2005 年昆蟲（成蟲及幼蟲）之食物塔..... 7-59
圖 8-1 本研究所採集之貧毛類 8-14
圖 8-2 本研究所採集之無脊椎動物..... 8-14
圖 8-3 本研究所採集之水蠆..... 8-15
圖 8-4 本研究所採集之無脊椎動物 8-15

圖 8-5　本研究非昆蟲無脊椎動物之總個體數月變化 8-16
圖 8-6　本研究非昆蟲無脊椎動物之總個體在各樣區之變化變化 8-16
圖 9-1　2006 年一號壩至三號壩 22 個樣區中十三個環境因子主成分分析圖 9-29
圖 9-2　2006 年一號壩至三號壩 22 個樣區中十三個環境因子主成分分析圖 9-30
圖 9-3　2006 年一號壩至三號壩 22 個樣區中十三個環境因子主成分分析圖 9-31
圖 9-4　2006 年一號壩至三號壩各樣區蛙類密度比較 9-31
圖 9-5　2006 年一號壩至三號壩各樣區蛙類生物量比較..... 9-32
圖 9-6　2006 年一號壩至三號壩雄性梭德氏赤蛙平均吻肛長之比較..... 9-33
圖 9-7　2006 年一號壩至三號壩雄性盤古蟾蜍平均吻肛長之比較 9-33
圖 9-8　2006 年一號壩至三號壩雌性盤古蟾蜍平均吻肛長之比較 9-34
圖 9-9　2006 年一號壩至三號壩梭德氏赤蛙蝌蚪平均全長之比較 9-34
圖 9-10　2006 年一號壩至三號壩梭德氏赤蛙蝌蚪平均發育期數之比較 9-35
圖 9-11　2006 年七家灣溪二號副壩上下游平均梭德氏赤蛙蝌蚪生物量差異。... 9-35
圖 10-1　七家灣溪與高山溪流域位置圖 10-37
圖 10-2　臺灣鏟頷魚自 2003 年以來迄今各類體型族群數量變化圖 10-38
圖 10-3　司界蘭溪勘查支流及崩塌地位置圖 10-39
圖 10-4　1998 年至 2006 年櫻花鉤吻鮭族群數量年度變化圖 10-40
圖 10-5　1995 年至 2006 年七家灣溪櫻花鉤吻鮭各齡族群結構變化圖 10-41
圖 10-6　2000～2006 年七家灣溪各主要河段各齡族群比例變動圖 10-42
圖 10-7　2000 年至 2006 年七家灣溪河段各齡鮭魚族群比例變化圖..... 10-43
圖 10-8　2006 年夏秋兩季一號壩至三號壩各齡櫻花鉤吻鮭族群分布圖 10-44
圖 10-9　高山溪各主要河段所佔族群比例變化圖 10-45
圖 10-10 高山溪三號壩以上河段各齡鮭魚族群比例變化圖 10-46
圖 10-11 2005 成魚與 2006 幼魚族群數量與水溫環境比較..... 10-47
圖 11-1　研究地區七家灣溪示意圖 11-27
圖 11-2　2003~2006 年七家灣溪河烏數量月變化..... 11-28
圖 11-3　2003~2006 年七家灣溪鉛色水鶇數量月變化 11-29
圖 11-4　2003~2006 年七家灣溪紫嘯鶇數量月變化 11-30
圖 11-5　2003~2006 年七家灣溪小剪尾數量月變化. 11-31
圖 11-6　2003~2006 年七家灣溪綠簑鷺數量月變化 11-32

圖 11-7　2003~2006 年七家灣溪鴛鴦數量月變化 11-33
圖 11-8　2006 年 5~6 月份鉛色水鶇各離巢幼鳥數的繁殖對數 11-34
圖 11-9　2005 年 6 月份鉛色水鶇各離巢幼鳥數的繁殖對數 11-34
圖 12-1　MDB 關連式資料庫之資料結構..... 12-13

九十五年整合型計畫項目

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	生態模式建構、藻類與有機碎屑研究以及資料整合
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	蔡尚憙	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 6	郭美華	中興大學昆蟲系	副教授	水棲昆蟲研究
子計畫 7	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 8	施習德	中興大學生命科學系	助理教授	非昆蟲無脊椎動物研究
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	副教授	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與功能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流域,但數量已瀕臨絕種的陸封型臺灣櫻花鉤吻鮭。保育工作需以宏觀的角度來管理自然資源，也就是生態系管理，其基礎建立在各項資源的瞭解與掌握。然而早期相關生態保育研究計畫雖然超過上百項，但資料缺乏整合與聯繫。而生態資料的整合與模式建構早被認定為國家公園保育研究的主要目標之一，因此亟需推動長期生態研究，建立不同尺度之生態系模式，以瞭解武陵地區的長期生態現象與過程。本整合計畫以生態系食物網為大綱，武陵地區流域與司界蘭溪為研究地點，設立 9 個共同測站，包括 5 個重點測站與 4 個一般測站，長期生態監測並具體整合環境與生物相關研究計畫。本整合計畫共有 12 項研究項目，參與研究人員近百名，分別來自國內 9 個不同之研究單位，研究內容包括水文、物理棲地、水質、有機碎屑、藻類、沿岸植被、陸棲與水生昆蟲、其它底棲無脊椎動物、兩生類、爬蟲類、哺乳類、魚類與鳥類等時空變化資料。本計畫今年的具體目標為：1. 利用生態系模式為方法，瞭解臺灣櫻花鉤吻鮭與武陵地區溪流的長期生態過程；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. 尋找控制臺灣櫻花鉤吻鮭與武陵地區溪流生態過程的驅動力；4. 鑑別溪水中硝酸鹽之來源及人為活動之影響；5. 了解生物於各種物理微棲地間之分布與差異；6. 了解物理棲地與各種生物在九十四年颱風洪水衝擊下之改變與恢復情形；7. 建立武陵地區生態研究的科學資料庫；8. 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。

二、材料與方法

(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

於各測站機揀取 5 個溪底石頭樣本進行石附生藻類監測。各種微棲地類型亦均揀取 5 個底石樣本，分析微棲地差異。刮下石頭表面的藻類，經丙酮溶液萃取後，以分光光度計測量波長，計算出藻液樣本所含葉綠素 a 的濃度，再換算成單位面積石附生藻類葉綠素 a 含量，以此為石附生藻類生物量豐度依據。

2. 攔砂壩與自然營力之研究

研究高山溪攔砂壩改善後鮭魚族群與底質物理棲地的變動關係。鮭魚的調查方式如魚類研究部分，於 2001 冬季至 2005 冬季，每年分兩次對鮭魚族群進行普查：夏季、冬季。野外鮭魚族群調查以浮潛方法進行，依其體長大小來辨別鮭魚的年齡。在族群調查中，紀錄各齡魚的數量和其出現的棲地型態。河道底質組成分成六類：細沉積沙石、礫石、卵石、大礫石、小巨石和大巨石。將鮭魚數量與底質的百分比組利用 Q-Q plot 檢視其常態性，經主成分分析找出代表鮭魚數量的解釋變量的第一軸和底質主成分第一及二軸後，畫出等高線圖以探討鮭魚數量空間分佈與底質組成的關係。

針對颱風帶來的洪流對溪流生物造成影響的研究，收集整合計畫各主要生物類群在 9 個共同測站，從 2004~2006 年累積三年之群集豐度資料，繪出時間序列趨勢圖，配合溪流流量，並參考旬平均流量了解洪流的強度以及持續時間。以此圖與各生物類群趨勢圖相比較，了解洪流的影響。

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模型，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－－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、臺灣鏟頜魚、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) 水文與物理棲地

河床高程受干擾後，隨著時間的變化呈非線性函數關係。藉由河道縱橫斷面測量結果之比較，可獲致河道地形之演變歷程：河道之縱向穩定、河道橫向穩定與河道砂石沖淤體積。物理棲地組成方面，在溪流中設置間距20 m穿越線，測定各河段之溪寬、水深、流速和底質礫石，並藉以判定棲地類別。最後，利用不同觀測時段之各河段物理棲地組成，歸納其變動趨勢。針對足以影響觀測區河道地形及物理棲地組成之環境因素加以調查，包括自然事件如颱風、暴雨、地震與野火；流量分析及人為活動如河道整治等，並且定義其量體之時空分布及變化情況。

(三) 水質

分析溪水水溫、pH、導電度、溶氧、生化需氧量、濁度、硝酸鹽、亞硝酸鹽、氨態氮、磷酸鹽、矽酸鹽、總有機碳與TP等水質因素。

將以合理化公式推估最大逕流量。合理化公式使用限制條件為小集水區在809 ha以下，在小集水區的應用上其空間與時間的分佈較均勻且逕流主要為漫地流，並可忽略河川貯蓄效應。逕流係數可以查表方式獲得。集水區的污染量推估可利用當地的土地利用、土壤質地、CN值、污染輸出係數等資料的收集，搭配地理資訊系統的整合與集水區運算模式應用而計算出大雨過後溪流中營養鹽的負荷。

本研究欲建立的水質指數主要反映臺灣櫻花鉤吻鮭的生存需求，屬於特殊用途水質指數；針對「敏感性」的要求，建立能有效反映臺灣櫻花鉤吻鮭生存需求的水質指數。並依「因子分析法」篩選出與鮭魚生存環境直接有關的溪流水質因子，並訂出其權重，最後建構指示其生存環境是否良好之水質水量指標。

(四) 硝酸鹽來源

現場採集之水樣過濾後，留 1 L 水樣作為相關水質分析，其餘水樣均在現場進行陰離子管柱交換萃取水體中硝酸鹽的工作，然後將此硝酸鹽的陰離子管柱帶回實驗室進行後續之處理。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 溶液淋洗並收集濾液，經冷凍乾燥得白色粉末樣本。以 $\delta^{15}N$ 代表標本相對於空氣中氮氣之氮同位素組成，再由氣相質譜儀測定樣本中之穩定氮同位素組成。去除濾液樣品中非 NO_3 的含氧物質，分析溶液中硝酸鹽的氧同位素組成。將產生的硝酸鹽溶液冷凍乾燥後，洗入石英管內，再經冷凍乾燥，抽真空且以火燒密封。於高溫爐中加熱，純化反應所產生的 CO_2 以壓力計偵測，並轉移到樣品管中密封，以質譜儀分析氧同位素組成。質譜儀測定後，以 $\delta^{18}O$ 代表標本之氧同位素組成，並換算成相對於世界標準海水標準品的氧同位素組成。

(五) 濱岸植群

於各測站分別設置二個以上長形監測調查樣區，且以全球衛星定位系統定位，並記錄日期、天氣概述、溫度、海拔高、坡向、坡度、全天光空域、直射光空域、土壤pH值以及水分指數等環境因子。

將植物分為喬木層與地被層，其中喬木層分為針葉樹植物和闊葉樹植物，並於每年2月完成喬木層植群之物種與胸高直徑的調查，以及每年2月與8月完成二次地被層植群調查之物種與覆蓋度。繪製植群剖面圖，以瞭解各測站之植群組成、結構以及優勢種植物。每2個月，調查所選取關鍵植物之開花物候。

於各測站內設置收集網以蒐集陸域枯落物。收集網以三根長細塑膠管架起、固定，避免觸及地面影響收集物分解，同時綁上標籤。每次所收集之枯枝落物樣本，置於紙袋內攜回研究室，烘乾後，分為葉、枝條、繁殖體及其他，並秤重。

(六) 水棲昆蟲

於各測站以定面積之舒伯氏水網採樣，每一樣點重複取樣六次。同時於水流方向垂直的橫截線等距放置 4 個泊集水網，以收集泊集水棲昆蟲，每 2 個月於每站取樣。以羽化取樣網讓羽化的水棲昆蟲飛進網內，並持續採集達 1 週為止，每 2 個月於各站隨機放置 4 個羽化取樣網進行採集。將採獲之水生昆蟲置入酒精中，攜回實驗室鑑定種類與數量。水生昆蟲分類主要參考津田等研究報告。

針對過去的研究整合估計水生昆蟲全年生物量，並進行取食功能群組成分析。生物量之測定以每 2 個月每一樣點以定面積之舒伯氏水網所採回之昆蟲鑑定紀錄數量後，並依各取食功能群稱重，待全年結束時合併估計其全年生物量。

食性組成及攝食量之測定為每隔 3 小時採集一次，藉以得知攝食行為於一天的變異及一天的攝食量。並量測水棲昆蟲個體體長及生物量，以及關聯當時捕捉之樣站資料。DAPI 將腸內含物染色，並以 UV 光照射，用螢光顯微鏡分析食性

組成，並量測水棲昆蟲個體體長及生物量。

(七) 陸棲昆蟲

調查分為二部分進行，一為普查，二為監測。普查分為隨機採集及穿越線採集。監測樣區於固定樣區進行，其設定依景觀之植被型，或土地利用型分研究站，而各研究站設 3 小區。另外進行高海拔昆蟲大尺度之調查分析。

樣區內調查方法包括：吊網、黃色黏蟲紙、掉落式陷阱杯、花生醬誘集器、誘餌式陷阱、枯落物搜集、樣區附近掃網，並利用溫溼度記錄器及照度計於各測站記錄環境資料。將採集到的昆蟲測量體長、體重，以進行生物量分析。

對棲地內之生物類群的評估及監測可得棲地特性指數 IHC，項目如下：分類及生態上高度歧異、具高度生態忠誠度、相對定居性、物種特有性高，分化能力強廣分布、分類明確，易鑑定、研究透徹、豐富度高，非隱密性，易於田間發現、族群變動極大、易於隨機採得種或變種、生態功能之重要性高、對干擾的反應具預測性；快速敏感，可分析及具線性相關及和其他特定物種及特有資源關係密切及指標性高。計算指數分數，由分數之高低可選出作為指標生物群。

（八）非昆蟲無脊椎動物

每樣區各在不同微棲地的溪段作五點重覆樣點。每一樣點以溪流底棲生物採集網或 D 型水生採集網，以攪動底層方式採集固定底面積的生物。將網中生物及碎屑放入白色盤中，將可見之昆蟲及其它動物挑出放回水中，將其餘生物及碎屑過濾後放入酒精保存。

在實驗室中將所有貧毛綱動物挑出後計算個體數目及記錄種類。每一樣本分別計算個體數目並將總量稱重。渦蟲殺死後，固定於加入甘油的酒精。至少取三十個樣本。將每一樣本分別稱總重，再放入烘箱中乾燥後稱重。採集到的腹足類稱重，並測量殼寬、殼高、螺旋高、口蓋寬等值，找出最佳的長度與體重關係式。另分析以上三類動物腸胃到中所含之食物種類與所佔比例。

(九) 兩生類爬蟲類

1. 兩生類

成蛙族群特徵，包括生物量、族群密度、雌雄比、卵數、年齡組成，依河岸陸地棲地類型，每一類型作三樣區。在夜間捕捉樣區內所有兩生類的個體，測量體重、體長、鑑定性別，並剪一腳趾後釋放。腳趾樣本中附記該隻個體之性別、棲地及樣區編號、體重、體長，並於實驗室去鈣後以石臘包埋切片判定年齡。食

性以 2004 年捕捉之成蛙胃內含物，分析容積及各類食物佔比例。重覆捕捉時紀錄體長、體重以瞭解每年成長速率，並估計死亡率。

在七家灣溪一號壩與三號壩之間，於春、秋兩季兩生類聚集密度最高月份，做密集的棲地選擇研究。樣區設置以系統及逢機採樣方式，將溪岸每兩百公尺分為一段，再分為 50 公尺的四小段，逢機選擇其中一小段，作為夜間族群數量調查的樣區。捕捉樣區內所有兩生類的個體，測量體長、鑑定性別後釋放；並於兩端及中央在日間測量三組環境因子，平均後代表該小段之環境值。

蝌蚪方面，在與成蛙相同的採樣小段，於日間以 D 型網撈取固定面積溪段之所有蝌蚪，以福馬林固定後在實驗室鑑定種類及發育期數，並測量長度、生物量、生長率、死亡率、棲地喜好、食性等。於溪中設置樣區，撈取蝌蚪，以福馬林固定。依成蛙生殖高峰期連續三月採樣，蝌蚪於實驗室中記錄體重、全長及發育期。蝌蚪棲地喜好的測定，則於蝌蚪所在位置、測量周圍之水深、流速、覆蓋度、底質狀況。方框內蝌蚪數目、底質藻類附生狀況。選取 50 個點，另逢機選取 50 個點，記錄相同之棲地特徵，以瞭解棲地喜好。將蝌蚪腸道取出，將內容物放入甘油中均質；以超音波震動，將內含物分離。將樣本於室溫乾燥，包埋後觀察並計數各類食物所佔比例。

2. 爬蟲類

於近水棲地，埋設塑膠盒，作為蜥蜴的人工棲息地。每日檢查人工棲息地，記錄蜥蜴的種類、性別，秤重，量吻肛長，並剪趾後釋放，指以福馬林固定在實驗室切片估計年齡。計算樣區內蜥蜴密度及生物量。另尋找樣區，以掉落式陷阱及圍欄捕捉蜥蜴，陷阱內裝福馬林，固定捕捉動物，鑑定胃內含物。

於春季至秋季沿岸搜尋蛇類，記錄種類、性別、體長、體重、生殖狀況、肛溫、生殖狀況等動物狀況，另以衛星定位儀定位，並測量氣溫、底質溫度，記錄週圍環境因子，注射晶片後釋放。

(十) 魚類

於六月和十月上旬，密集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。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

、數量分佈及魚群出沒的棲地分析。在進行族群調查同時，亦將同時記錄其他魚類的族群數量估計與分佈調查。

司界蘭溪流域與七家灣溪進行普查方式相同，採浮潛方式進行族群數量的調查工作。整個流域則依據當地環山巡守隊的例行巡察結果，不定期前往針對特定河段或棲地，如深潭或支流等較穩定河段進行浮潛調查，再以概算的方式估計整個流域的族群數量。

(十一) 鳥類

依照武陵地區的土地型，分成 8 種棲地：原始林、二葉松幼林、二葉松壯林、濱岸帶林、果園、菜園、棄耕果園、溪流等。每個棲地分別設置數目不等的樣站，使用樣站法，紀錄鳥種、數量、與調查者的距離及行為。每個樣站以 GPS 定位，並以鋁製標籤和色帶標記，並標記在地圖上。每月調查一次，一季調查完所有土地型。在七家灣溪沿線和有勝溪，架設鳥網和腳套陷阱，進行個體的辨識工作和無線電追蹤以及食性分析。捕捉到的個體除了套上鋁質腳環和塑膠色環外，並測量其基本形態、判斷年齡及催吐，然後釋放。捕捉到的部分種類的身上裝掛小型發報器，以進行後續追蹤研究個體散佈、巢位選擇和活動範圍等項目。

調查估算武陵地區鳥類每日食量，每日能量需求以氫氧穩定同位素標記水估算。以直接觀察、食繭、胃內含物和排遺分析分析鳥類的食性。

(十二) 生態資料庫建構

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。

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。

Abstract

The Formosan landlocked salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*) is an endangered endemic species found only in the basin of Chichiawan Stream of the Wulin area in Shei-Pa National Park (SPNP), located in the mountains of Central Taiwan. The most important mission of SPNP is to conserve the natural resources, especially the Formosan salmon. In order to understand the dynamics of the Formosan salmon, it is necessary to construct the trophic model and to understand the ecological processes and interactions between communities and environmental factors in the area. However, as many other basins, the Wulin area is exploited intensively for agricultural activities and tourism. Here, a collaborative project was proposed to ecologically monitor and integrate hydrodynamics, physical habitats, water quality, organic detritus, periphyton, riparian plants, terrestrial and aquatic insects, other invertebrates, amphibians, reptiles, mammals, fish, and birds at the 9 fixed sites (5 primary sites and 4 secondary sites). This project comprised of 12 research subprojects, from 9 different institutes and almost 100 researchers. The aims of this ecosystem-scale project in 2006 are: 1. Using ecological models to understand ecological processes in the streams; 2. To demonstrate the relationships between environmental factors and communities and between communities within the food webs; 3. To search the driving forces on the ecological processes; 4. To trace the sources of nitrate in the water column and its relationships with human impacts; 5. To relate abundance and composition of communities to physical microhabitats; 6. To examine effects of floods on the communities and physical habitats and their recovery; 7. To develop scientific database; 8. To suggest items for long-term ecological monitoring and policy for sustainable management in the future.

第一章　藻類、資料整合分析與生態模式建構

林幸助、鄭佾展、鐘豐昌、柯伶樺、許惠瑜、林良瑾、黃秋平

國立中興大學生命科學系

摘要

設立雪霸國家公園最重要的功能是自然資源與生物物種的保育，尤其是分布只侷限於武陵地區溪流，且數量已極為稀少的臺灣櫻花鉤吻鮭。保育工作需以宏觀的尺度來管理這些珍貴的自然資源，其基礎必須建立在對園區內各項資源的瞭解與生態過程的掌握之上。然而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而使得後果變得無法預測。因此整合資料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。今年本計畫的目標除了監測溪流主要生產者（石附生藻類）在微棲地間之差異外，並初步整合各子計畫從 2004~2006 年累積的資料，以了解高山溪壩體拆除與洪流對溪流生物的影響，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。

在溪流石附生藻類豐度方面，以有勝溪測站的豐度最高；而 4 到 12 月間的監測結果則以 12 月最高，大雨過後的 6 月最少。另外在桃山西溪、二號壩與一號壩的三種微棲地間(潭、瀨與深流)石附生藻類的豐度並無顯著差異。

溪流流量以 2005 年夏秋季最大，2004 年夏季次之，2005 年春天亦高。豪雨帶來的洪流對於鳥類的直接影響較小，但對溪流生物的影響很大。魚類、青蛙與蝌蚪、水棲昆蟲與石附生藻類在歷經洪流後均急遽減少 50%~70%，但恢復迅速。其中石附生藻類、蝌蚪與水棲昆蟲在當年冬天開始恢復，而青蛙與魚類的恢復則要到隔年春天。2001 年高山溪四座防砂壩拆除後，河床坡度變陡，流速更快，沖刷更嚴重。透過主成分分析(PCA)，發現中大型巨石(>25.6 cm)直徑的比率較高時，鮭魚族群數量亦相對較高，尤其繁殖季節遇到洪流時，中大型石頭可以增加避難所，或減緩流速，維持鮭魚的族群數量。

生態系模式分析 5 個重點測站發現，武陵地區溪流食物網結構簡單，最高營養階層只有 3.09 ~ 3.14。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。各測站 P_p/R ratio 均>1.0，顯示武陵地區溪流均為自營性生

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，以桃山西溪較高(6.1%)。但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，物質循環利用高，營養傳輸效率高，為代謝量與活動力相對旺盛之溪流生態系。

【關鍵字】臺灣櫻花鉤吻鮭、石附生藻類、生態系模式、拆壩、洪流

Abstract

The Formosan landlocked salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*) is an endangered endemic species found only in the basin of Chichiawan Stream in the mountains of Central Taiwan. One of the missions of Shei-Pa National Park is to conserve the natural resources, especially the Formosan landlocked salmon in the streams of Wulin area. In order to understand the dynamics of the Formosan salmon and other communities in the stream ecosystems, we analyzed three-year data from 2004~2006 to examine effects of floods on stream communities and their resilience and also constructed trophic models to understand the trophic structure and functioning of the Wulin stream ecosystems. In addition, we compared abundance of epilithic periphyton, which is the most important food sources, among microhabitats in the streams, including pools, riffles, and runs.

Periphyton in the Yeaushen Stream remained the most abundant as compared to other sites. Periphyton abundance declined to a very low level after floods in June, but reached the highest in August. No significant difference was found among the three microhabitats.

The three-year data of the 9 fixed study sites (5 primary sites and 4 secondary sites) show that discharge was greatest in the summer and fall of 2005, followed by the summer of 2004 and the spring of 2005. The discharge of 2006 was higher only in June. Impacts of floods were greater on stream communities, but were smaller on birds. Abundance of fish, frogs, tadpoles, aquatic insects, and epilithic periphyton declined 50%~70% after floods, but recovered rapidly. Epilithic periphyton, tadpoles, and aquatic insects recovered in the winter of the year, but frogs and fish recovered in the following spring. The Formosan salmon population have been increasing since 2001 in a tributary, the Kaoshan Stream, when dams on that stream were demolished. PCA analyses show that the greater population correlated with the microhabitats processing higher proportions of boulders in diameter > 25.6 cm.

The trophic models of the 5 primary sites and the system statistics show that the ecosystem attributes of the Wulin streams were similar. All sites processed a simple food web structure. The highest trophic level ranged 3.09~3.14. The Yeaushen Stream had the highest total system throughput,

followed by the Dam 1, the Breeding Center, the Kaoshan Stream and the Taoshan West Stream. At all sites, the net primary production (P)/respiration (R) ratios were > 1.0, indicating that the Wulin 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 mean of trophic efficiencies in the Wulin Streams was low. Compared with the adjacent ecosystems of the Lanyang River, the Wulin 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 landlocked salmon, epilithic periphyton, trophicmodel, dam demolishment, flood

一、研究緣起與背景

雪霸國家公園位於臺灣本島之中北部，自然資源豐富，在日據時代（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，以便能發揮自然資源保護與生物物種保育之功能。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孑遺生物，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, Foley 2005)，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 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。

多年來的調查結果分析顯示，天然災害如颱風、梅雨，對鮭魚的族群威脅頗大，經常會影響整個鮭魚族群的數量和分布(曾 2000)。再加上攔砂壩阻隔的重疊效應，使得被洪水沖刷到下游的鮭魚無法再回到上游地區，影響族群的天然分

布。由於無法控制天然災害，雪霸國家公園已著手減少侵害鮭魚的人為因素，於1998 完成拆霸評估與試驗後(葉等人 2002)，在 1999 至 2001 年間使用破害最少的人工拆除法，拆除高山溪四座攔砂壩(圖 1-2)，還給鮭魚一個暢通的環境；並於拆壩前後，監測物理棲地的變化(廖 2001)。依葉（2005）的報告顯示，鮭魚棲地底質粒徑的分佈，主要受到豐枯水期的影響：雨季後底質粒徑粗粒化，乾季時則為細泥沙的沉積。林等人（2005）整合七家灣溪各研究計畫資料定性分析，提出大石頭的存在比例直接影響到鮭魚族群的數量，本研究進一步由定量分析底質和鮭魚族群的關係，探討拆壩後底質組成的變化與鮭魚族群的動態關係，進一步提供棲地保育和鮭魚復育重要的參考依據。

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。過去已陸續設置了五個長期生態研究(Long-Term Ecological Research，LTER)試驗區，包括福山、關刀溪、塔塔加、南仁山及鴛鴦湖等森林生態系。2000 年起國科會又核定墾丁 LTER 計畫，成為我國第一處屬於海洋的長期生態研究區。然而有豐富動植物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, 曾及楊 2001)及水生昆蟲(林等 1987)；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)。而生態相關資料的整合與模式建構為雪霸國家公園保育研究的主要目標之一，因此需推動長期生態研究，整合資料，建立生態系模式，以瞭解武陵地區生態系的長期生態現象與過程。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，因此整合資料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 等人(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。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. 初步整合各子計畫從 2004~2006 年累積三年資料，以了解高山溪壩體拆除與洪流對溪流生物的影響；
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(圖 1-1)。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 ℃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 1-3)：

#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. 微棲地類型定義

各棲地的型態特徵如表 1-1。2006 年 6 月採樣進行微棲地差異比較的測站

有二號壩與一號壩；而在 8 月、10 月與 12 月則加入桃山西溪。進行微棲地差異比較的棲地類型主要為瀨、深流及潭三種。

2. 石附生藻類豐度測定

各測站石附生藻類監測，皆於瀨處隨機揀取 5 個溪底石頭樣本。進行微棲地差異分析的測站為桃山西溪、二號壩與一號壩，在各種微棲地類型亦均揀取 5 個底石樣本。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 ℃下，90％丙酮溶液萃取 24 小時。以分光光度計測量波長 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 Chl a m^{-2})，以此為石附生藻類生物量豐度依據。

3. 統計方法

為釐清測站間與微棲地兩因子對藻類生物量之影響，使用雙向變方分析（Two-way ANOVA）檢定其是否有顯著差異。若 p 值< 0.05，則具有顯著差異。

(三) 攔砂壩與自然營力之研究

1. 高山溪防砂壩改善後鮭魚族群與底質物理棲地變動

(1) 調查地點

高山溪(24^{0}21’~24^{0}31’ N；121^{0}20’~121^{0}35’ E)是七家灣溪的一條支流（圖 1-2），海拔高度約 1700-1800 ㎜。此流域在雨量集中的 5-9 月為豐水期，夏日多颱風造成的洪水。調查流域全長約 3 Km，河寬約 2.5-19 m，平均坡降 0.028-0.087。河道兩岸多為天然林，覆蓋度濃蔭，無人為開發，水溫較低(15 ^{0}C 以下)，水中溶氧量較高(10-12 mg/L)，呈弱鹼性(pH 7-8)，混濁度為 0.02-0.5 NTU，水質優良。水質綜合指標(WQI)為 93.84±2.91(官，2005)，藻指數(GI)達 250 以上(于和林，2003)。

(2) 鮭魚族群調查

於 2001 冬季至 2005 冬季，每年分兩次普查：夏季（6-7 月）、冬季（10 月底繁殖季節前，避免干擾鮭魚的繁殖）。野外鮭魚族群調查以浮潛方法進行。調查時採三人一組，其中一人於岸上紀錄，二人穿著防寒衣、面鏡、呼吸管以浮潛的方式直接觀察和鑑定魚種及估計其大小。由於臺灣櫻花鉤吻鮭每年只進行一次繁殖活動，因此各齡魚間的體型差異明顯，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 5~8 cm；二齡中型成魚指經歷過兩次繁殖期的鮭魚，全長 8~20 cm 之間；而全長 25 cm 以上的三齡成魚，指經歷過三次以上繁殖期的大型鮭魚。在族群調查中，紀錄各齡魚的數量和其出現的棲地型態。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，以利於比較歷年魚群數量、結構及分佈的變化。

(3) 物理底質棲地之調查

在觀測河段中每隔 20 公尺設置一穿越線。河道底質組成參考 Wentworth (1922)和 Wang(1987)，歸納成六類：細沉積沙石（smooth surface: < 0.2 cm）、礫石(gravel: 0.2~1.6 cm)、卵石（pebble: 1.7~6.4 cm）、大礫石(rubble: 6.5~25.6 cm)、小巨石（small boulder: 25.7~51.2 cm）和大巨石（large boulder: > 51.2 cm）並針對流河道的底質組成變化作調查紀錄。

(4) 資料分析

為滿足統計模式樣本常態分佈之基本假設，將鮭魚數量取對數轉換：log(x+1)，將底質的百分比組成標準化（mean=0, SD=1），並利用 Q-Q plot 檢視其常態性。由主成分分析(PCA)找出代表鮭魚數量的解釋變量和底質主成分第一及二軸，將鮭魚族群的第一軸置於 z 軸，解釋底質的第一及二軸置於 x 及 y 軸，進一步畫出等高線圖(contour plot)以探討鮭魚數量空間分佈與底質組成的關係，並以 acrobat area measuring tool 於等高線圖上估算特定鮭魚數量下的底質組成面積(機率)。透過主成分分析建構棲地中物理環境因子的線性組合，以判斷底質組成在拆壩後的五年間是否有梯度（gradient）上的變化。

2. 自然營力研究

主要針對颱風帶來的洪流對溪流生物造成影響的研究。收集本整合計畫各主要生物類群在 9 個共同測站(包括 5 個重點測站與 4 個一般測站)，累積從 2004~2006 年共三年之群集豐度資料，以 sigmaplot 繪出時間序列趨勢圖。流量部分參考水文年報之月平均值，繪出流量，並再參考旬平均流量了解洪流的強度以及持續時間。以此圖與各生物類群趨勢圖相比較，了解洪流的影響。

(四) 生態模式研究方法

在 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模型，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 = production，PM = predation mortality，E = export，MO = other mortality，BA = 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 = production，NA = unassimilated food，R = 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)，利用簡化的方式，將複雜實際情況用一系列的數學方程式加以描述。

2. 生物群與參數的獲得

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，分作不同的功能群以利模式建構

(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 formosanum*)、臺灣鏟頜魚（*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(表 1-2)，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。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。以下簡介生物群之種類：

(1) 水棲昆蟲刮食者

刮食者在桃山西溪、高山溪與七家灣溪以蜉蝣目四節蜉蝣科(Baetidae)佔 48%~67%與雙翅目網蚊科(Blepharoceridae)佔 4%~41%為主。有勝溪以蜉蝣目四節蜉蝣科佔 92%為最多。

(2) 水棲昆蟲碎食者

碎食者在桃山西溪與七家灣溪以雙翅目大蚊科(Tipulidae)佔 50%~79%、毛翅目沼石蛾科(Limnephilidae)佔 5%~40%與鱗石蛾科(Lepidostomatidae)佔 2%~10%為多數。有勝溪以毛翅目鱗石蛾科佔 50%與雙翅目大蚊科佔 40%為主。

(3) 水棲昆蟲濾食採集者

濾食採集者在桃山西溪以角石蛾科 (Stenopsychidae)佔 96%為主，高山溪與七家灣溪以雙翅目蚋科(Simulidae)佔 40%~82%為多數，有勝溪以毛翅目紋石蛾科(Hydropsychidae)佔 99%為主。

(4) 水棲昆蟲聚集採食者

聚集採食者在桃山西溪、高山溪與七家灣溪以蜉蝣目扁蜉蝣科(Heptagenidae)佔 40%~75%與雙翅目搖蚊科(Chironomidae)佔 9%~45%)為多數。有勝溪蜉蝣目蜉蝣科(Ephemeridae)佔 79%與雙翅目搖蚊科佔 16%為主。

(5) 水棲昆蟲掠食者

掠食者在桃山西溪、高山溪與七家灣溪以毛翅目流食蛾科(Rhyacophilidae)佔 32%~64%、積翅目石蠅科(Perlidae)及次石蠅科(Styloperlidae)合佔 29%~71%為主。有勝溪以蜻蛉目春蜓科(Gomphidae)佔 60%與雙翅目 Tanypodinae 佔 37%為最多。

(6) 非水棲昆蟲之刮食者(Grazer)

本生物群包含梭德氏赤蛙*(Pseudoamolops sauteri*)與盤古蟾蜍(*Bufo bankorensis*) 之蝌蚪，以及兩種螺類，扁蜷(*Hippeutis* sp.)與椎實螺(*Lymnaea* sp.)。

(7) 渦蟲(*Dugesia japonica*)

普遍存在於七家灣溪流域中，為自由生活之扁形動物，以碎屑與藻類為主食。臺灣只有紀錄一個種為 *Dugesia japonica*。

(8) 魚類

武陵地區之原產種魚類總共有四種，臺灣櫻花鉤吻鮭(*Oncorhynchus masou formosanum*)、臺灣鏟頷魚（*Varicorhinus barbatulus*）、臺灣纓口鰍（*Crossostoma lacustre*）與明潭吻蝦虎魚（*Rhinogobius candidianus*）。由於明潭吻蝦虎魚數量非常稀少，故本研究暫時未置入模式。

(9) 鳥類

由以往武陵地區鳥類群聚調查報告發現，河烏(*Cinclus pallasii*)、鉛色水鶇(*Phoenicurus fuliginosus*)、鴛鴦(*Aix galericulata*)為數量較多的物種。紫嘯鶇(*Myiophoneus insularis*)、小剪尾(*Enicurus scouleri*)、黃魚鴞(*Ketupa flavipes*)、翠鳥(*Alcedo atthis*)、綠簑鷺(*Butorides striatus*)、大冠鷲(*Spilornis cheela*)等數量較少僅有零星出現紀錄。王(1986)研究指出鉛色水鶇食物主要是陸生飛蟲(99.9%)，非溪流內之水棲昆蟲，故本生物群暫時只考慮數量較多並以溪流內之水棲昆蟲、藻類為食物之物種，包括河烏與鴛鴦。

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)，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 ratio 用以描述系統之“ 成熟度”(Odum 1971)。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)。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。在生態系中，物質循環利用為一重要機制與功能，用以衡量物質停留於一生態系中的時間 (Odum 1969)。

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)是測量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。而系統活力是以系統總通量表示(Rutledge *et al.* 1976; Hirata and Ulanowicz 1984)。系統餘裕度(ascendancy, A)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系統越成熟。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(development capacity, C)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)為評估各生物群生物量消長對於系統其他生物群生物量之影響。最早是由Leontief(1951)發展用以評估直接與間接之交互作用對於美國經濟之影響，Hannon和Joiris(1989)將此概念導入生態系，Ulanowicz和Puccia(1990) 將此方法與EwE結合，便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。最後將各測站選擇之網絡分析輸出資料，以多變值統計軟體PRIMER v6，進行主成分

分析，試圖找出各測站間網絡分析結果彼此間可能存在的共相關特徵。

4. ECOPATH 模式之驗証

輸入參數建構出武陵地區食物網模式後，檢驗 ECOPATH 模式是否合理。第一步檢查各生物類群生態效率(EE)之估計值是否<1.0，因為生物被消耗掉的部份不能超過其生產量。第二步是確認各生物類群之生長效率(Gross Food Conversion Efficiency, GE)是否介於 0.05-0.3。因為對大多數生物而言，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，便可檢驗所架構之模式。

三、結果

(一) 石附生藻類

1. 生物量監測

各測站皆以瀨作為監測的棲地類型。2006 年 4 月各測站的石附生藻類生物量監測結果如圖 1-4a，除一號壩外，單位面積石附生藻類生物量均在 2 mg m^{-2} 以上，其中以有勝溪最高，為 7.08 mg m^{-2}；一號壩最低，為 1.89 mg m^{-2}。6 月時(圖 1-4b)各測站的石附生藻類生物量監測結果偏低，以有勝溪最高，為 0.012 mg m^{-2}；而其他各測站均幾乎為零。8 月時(圖 1-4c)各測站的石附生藻類生物量監測結果均較 6 月高出許多，除桃山北溪與桃山西溪外，單位面積石附生藻類生物量均在 5 mg m^{-2} 以上，其中以迎賓橋最高，為 14.38 mg m^{-2}；有勝溪次之，為 13.95 mg m^{-2}；而桃山西溪最低，為 2.34 mg m^{-2}。10 月時(圖 1-4d)，除有勝溪外，各測站的石附生藻類生物量均比 8 月低，其中以有勝溪最高，為 16.57 mg m^{-2}；而一號壩最低，為 0.78 mg m^{-2}。12 月時(圖 1-4e)，各測站附生藻類均較 10 月時多，其中以繁殖場增加最多(13 倍)，其他側站約增加 1 至 8 倍；葉綠素 a 含量仍以有勝溪最高，為 27.97 mg m^{-2}；繁殖場次之，為 17.32mg m^{-2}；高山溪最低，為 2.28 mg m^{-2}。

月別變化以 6 月的石附生藻類生物量最低。高山溪於 4 月時測得最高的石附生藻類葉綠素 a 量；桃山北溪、一號壩、萬壽橋與迎賓橋在 8 月時最高；桃山西溪、二號壩、繁殖場及有勝溪則在 12 月時有最高的附生藻類量。

2. 微棲地差異分析

各測站不同微棲地所測得的石附生藻類生物量如圖 1-5。8 月時，桃山西溪與二號壩在所測得石附生藻類量有相同分布模式：以潭最高，深流次之，瀨最少。而一號壩則以瀨與深流的石附生藻類量稍高。但三測站微棲地的石附生藻類量在統計上並無顯著差異(Two-way ANOVA，$p > 0.05$，$n = 5$)。

10 月時，二號壩與一號壩所取樣的潭因流速過快，不符合表 1-1 所訂潭之標準，但符合深流之標準，因此將之歸類為深流。以統計個別分析三測站的微棲地差異，結果顯示三種棲地類型的石附生藻類量在統計上亦無顯著差異(Two-way ANOVA，$p > 0.05$，$n = 5$)。

12 月時，桃山西溪與二號壩以瀨所測得時附生藻類稍多於流與潭；一號壩

則以潭較多。但以統計個別分析三測站的微棲地差異，三種棲地類型的石附生藻類量並無顯著差異(Two-way ANOVA，$p > 0.05$，$n = 5$)。

(二) 攔砂壩與自然營力

1. 高山溪防砂壩改善後鮭魚族群與底質物理棲地變動

將鮭魚族群數量對數轉換後，利用 Q-Q plot 檢視其常態性(Johnson and Wichern 2002)，分別為 $ppcc_{juvenile}$ (probability plot correlation coefficient)= 0.9818、$ppcc_{subadult}$=0.9895、$ppcc_{adult}$=0.9625，均相較於原始鮭魚數量更符合常態性。於研究期間，高山溪中不同階段鮭魚族群每年夏季和冬季魚群數量變化見圖 1-6。魚群總數量平均約 314 尾，峰值發生在 2004 夏季，約有 579 尾。2001 冬季至 2002 夏季以及 2004 夏季至 2005 冬季分別發生族群結構性的改變（structure change），推測主要受該流域洪水變動的影響(Lin et al. 1990)。圖 1-7 顯示 2001 冬季到 2002 夏季鮭魚繁殖和生長季節都沒有洪水的影響，所以整個七家灣溪流域(包括高山溪)幼魚(juvenile stage)的更新情況非常好（11 尾增加至 509 尾）。相對的在 2004 夏季有敏督莉和艾莉颱風侵襲，七家灣溪洪水的流量分別超過 50 m^3/s 和 200 m^3/s，加以可供逃避洪流的大石（粒徑 > 25.7 cm）的比例不高(約 20-40%) (圖 1-8)，故魚群數量迅速遞減(由 579 尾降至 100 尾)。在此期間整個七家灣溪族群由 3228 降至 1593 尾。值得注意是在 2004 冬季繁殖季，有兩個帶來豐沛流量的颱風，超過 20 m^3/s，分別是納坦(Nock-Ten Typhoon 2004/10/23-10/26)和南瑪都(Nanmadol Typhoon 2004/12/03-12/04)，使得整個七家灣溪鮭魚族群再度由 1593 尾減少至 967 尾。但在此期間高山溪的族群卻是增加的（100 尾增加至 170 尾），顯示洪水對高山溪魚群的影響相較於整個七家灣溪的影響為低。對照圖 1-8，此期間高山溪各壩體間大石頭比例幾乎達 80%，因此拆除壩體除了暢通高山溪，讓被沖刷至下游的鮭魚有機會回到高山溪上游外，在溪流流速極快（平均流速>1 $m^3\ s^{-1}$）時，大石頭比例確實扮演一個重要的角色。

拆壩對魚群的影響可由拆霸後河床坡度改變來探討。圖 1-9 顯示高山溪四座攔砂壩拆除前後平均坡度的改變情形，除最上游的四號壩以上及下游的一號壩以下坡度稍有變緩外，其餘坡度均有增加的趨勢，顯示壩體拆除的確造成沖刷更嚴重，相對流速也會變快，水溫更低，使得鮭魚的主要食物水生生物減少。加上鮭魚是屬於靜待一處的捕食者(Valdimarsson and Metcalfe 1998)，在流速快的地

方需要消耗更多的能量來維持捕食的位置(Nislow et al. 1999)，所以這幾年的調查研究發現生長在此處的鮭魚，體型明顯較小，因此有效的增加大石頭的比例，不但可以增加洪水時躲避的處所(Coulombe-pontbriand and Lapointe 2004, Lin et al. 1990)，更可緩衝水流，減緩流速，減低鮭魚的能量散失。

魚群結構之改變與棲地變遷之關連由主成分分析(PCA)結果加以探討。不同階段鮭魚族群的主成分分析 biplot 圖如圖 1-10。魚群結構之第一軸

$PC1_{salmon}$= 0.5893 x juvenile＋0.5903 x subadult＋0.5419 x adult

可以解釋族群變異達 79.18%，而且幼魚的數量明顯影響整個高山溪族群的豐度。高山溪底質粒徑大小組成百分比經標準化後，以圖 1-11 呈現主成分分析圖。底質粒徑結構之第一軸

$PC1_{substrate}$= -0.3666 x smooth-0.3976 x gravel-0.4988 x pebble＋0.0667 x rubble＋0.5252 x small boulder＋0.4223 x boulder

可以解釋底質粒徑結構變異達 45.39%，從第一軸的負載(loading)可以看出是以大於 25.7 公分的石頭為主；而第二軸

$PC2_{substrate}$= -0.4021 x smooth-0.1859 x gravel＋0.1649 x pebble＋0.7421 x rubble＋0.02278 x small boulder－0.4747 x boulder

大致以中型石頭（6.5~25.6 公分）為主，可以解釋底質粒徑結構變異的 26.62%。第一、二軸累積可以解釋 72%底質粒徑結構的變異。2004 繁殖季颱風造成洪水使得整個七家灣溪鮭魚族群從 1593 尾驟降至 2005 春季 的 967 尾時（61%），而高山溪的族群仍可以由 100 尾持續成長至 170 尾（170%），推測在 2004 年冬季每個壩體間的大石頭比例高，為主要因素之一。可見前年的大石頭組成比率較高時對惡劣的環境(繁殖季節的洪水)是有幫助的，使得族群恢復得較快。

為了探求鮭魚群分佈受棲地底質粒徑結構變異之影響，將鮭魚族群主成分分析得到的第一軸放在 Z 軸，底質組成百分比的主成分分析所得第一、二軸分別放至 X、Y 軸，進行等高線圖形(contour plot)分析得到圖 1-12，圖示 1、2、3 即是第一軸($PC1_{salmon}$)的值，分別表示鮭魚族群數量的對數值，橫軸是底質組成第一軸，0 表示平均值，1、2 分別表示一、二個標準差，縱軸是底質組成第二軸。從圖 1-12 可發現鮭魚族群數量與溪流底質的變化呈現梯度（gradient）關係。利用 acrobat 面積量測工具(area measuring tool) 估算鮭魚族群相對數量在 3（$PC1_{salmon}$=3）以上的比率，得到高達 94%的面積存在底質第一軸平均值以上，

顯示大型石頭的比例高時，對鮭魚族群確實有正向的影響(Nislow 1999, Harwood et al. 2002, Nykanen and Huusko 2003)。

2. 自然營力研究

2004 年與 2005 年颱風來的洪流如圖 1-13、1-14。2006 年流量仍無法獲得，但是已知直接侵襲武陵地區僅有 6 月時之颱風。從圖 1-15 可知，洪流對於鳥類的直接影響較小，族群雖有下降但並非呈現正相關，可能是因為鳥類並非全日在溪流活動，可移動到較安全的地點躲避；魚群(圖 1-16)在 2004 年洪流之後有減少但是並非相當劇烈，雖然在 8 月有恢復到 2004 年 8 月的量，但因持續強颱與洪水導致族群急遽下降，直到 2006 年 1 月才逐漸恢復。蛙類(圖 1-17)在洪流過後族群就會下降，到了 5 月、6 月數量又會回到高峰，雖然蛙類容易受洪流影響但族群恢復亦相當迅速。在蝌蚪(圖 1-18)的部分更是明顯，洪流過後族群數目相當的低，但是也能夠很快的恢復。水棲昆蟲(圖 1-19)對流量相當敏感，在 2004 年 4 月過後就開始下降，在 2005 年洪流時期下降的更為明顯。流量減少之後族群就會慢慢恢復，但以 2005 年年初以及 2006 年年初的生物量做比較，可看出 2006 年生物量較低，洪流大小對於水棲昆蟲的恢復速度有影響。藻類(圖 1-20)與水棲昆蟲的趨勢相當類似，若有連續沖刷的情形生物量就會降低，尤其以 2006 年 6 月連續降雨，生物量相當低，藻類可能受沖刷時間長短影響較大，強度則較小。

(三) 生態模式研究

1. 食物網能量流圖

利用 EwE 建構的 5 個主要測站，包括桃山西溪、一號壩、繁殖場、高山溪與有勝溪之食物網能量流圖，如圖 1-21 至 1-25 所示。可發現到武陵地區溪流食物網結構簡單，有明顯三個階層。除了有勝溪外，最高營養級(trophic level)介於 3.09 ~ 3.14 間。在桃山西溪、一號壩與有勝溪，附生藻為具有最大現存量的類群，而在繁殖場與高山溪則是碎屑為最多。消費者多集中在初級消費者，以直接利用藻類與碎屑者為主。生物類群中附生藻流入碎屑庫的通量為最大，其次為非水棲昆蟲刮食者之總通量，但在一號壩水棲昆蟲聚集收集者之總通量高於非水棲昆蟲刮食者。

2. 各測站之摘要系統模式與網絡分析結果

經由 EwE 分析之摘要總分析表結果如表 1-3 所示。有勝溪有最高之總系統

通量，其次是一號壩、繁殖場與高山溪，最低為桃山西溪。七家灣溪上游之一號壩總系統通量大於下游之繁殖場，顯示一號壩為容量大且較有活力之生態系統。除了優養化而藻類繁生之有勝溪外，一號壩亦為生物量最多之測站。總系統生產力(sum of all production)與淨系統初級生產力(net primary production)顯示，各測站生產力主要來自初級生產者(95~99%)，次級生產力佔總系統生產力之比率低。總系統攝食量與總生物量顯示，有勝溪有最高之攝食量與生物量，其次是一號壩。高山溪總系統攝食量為所有測站中最低，顯示出高山溪消費者稀少的情況(圖 1-26 及 1-27)。比較各測站 P_p/R ratio 可發現，一號壩之 P_p/R ratio 依序高於有勝溪、高山溪、繁殖場與桃山西溪，為一發展較初期之系統，具有高生產力的特徵。且各測站 P_p/R ratio 均> 1.0，表示武陵地區溪流均為一自營性系統。D:H ratio 均> 1.0，表示武陵地區生態系以碎屑食物鏈為主。一號壩有最高之 D:H ratio，有勝溪最低，顯示一號壩比有勝溪更依賴碎屑作為食物來源。

表 1-4 為武陵地區溪流之網絡分析結果，可發現 P/B ratio 在有勝溪最低，表示物質的周轉率(turnover rate)較慢，繁殖場則較高。營養傳遞效率(trophic transfer efficiency II-III, TE)，以桃山西溪最高，高山溪次之，繁殖場、有勝溪與一號壩則較低。比較 FCI 後發現，桃山西溪有最高之 FCI 值，其次繁殖場、一號壩、高山溪與有勝溪。APL 與 FCI 趨勢相同。一號壩、高山溪與有勝溪 A/C 值較高，表示系統組織化程度較高，但彈性較低。R/C 值在桃山西溪較高，有較多冗餘隻能流可供利用，顯示系統恢復(resilience)較快。將表 1-4 之網絡分析結果標準化，以二次方根轉換進行主成份分析(PCA)。各個主成分之特徵值如表 1-5 所示。根據主成分分析對於成分保留的原則，特徵值之累積解釋變異百分比超過 70%的成分予以保留，故本研究選取第一個主成分。第一主成分解釋 77.7%的變異，其中生物量、淨生產量、總系統通量、營養傳輸效率與 FCI 值與第一主成分成正相關， P_p/R、P/B 與 A/C 為負相關，但 P_p/R、A/C、R/C 相關程度較低，主要是生物量、淨生產量、總系統通量將武陵地區與蘭陽溪溪流生態系區分開(圖 1-28)。第二主成分解釋 18.0%的變異，累積解釋變異百分率達 95.7%，FCI 值與 P_p/R 相關程度最高。

3. 綜合營養衝擊

由圖 1-29 至 1-33 可以發現當碎屑與初級生產者(附生藻與浮游藻)增加之情境下，對大部分的生物類群都有正面的影響，但浮游藻之影響比碎屑與附生藻

少。附生藻對於水棲昆蟲刮食者的影響程度最大。肉食性水棲昆蟲增加之情境對其他水棲昆蟲都有負面影響，由於競爭相同食物，亦會稍對鳥類造成負面影響。非水棲昆蟲刮食者與渦蟲增加對大部份生物類群造成輕微負面影響，但對水棲昆蟲及附生藻影響較大。魚類對水棲昆蟲及附生藻有負面影響，但對浮游藻為正面影響。鳥類的增加對於魚類有負面效應，藉由由上而下的控制(Top-down control)間接增加水棲昆蟲生物量，此效應在繁殖場最為明顯。

四、討論

(一) 石附生藻類

2006 年 6 月藻類監測因適逢大雨過後，與過去武陵地區颱風的影響相似(林 2005)，導致武陵地區溪流水流量大、流速快，強烈沖刷底石，因而石附生藻類生物量大幅下降。除有勝溪與二號壩外，其餘各監測站藻類生物量幾乎為零，且各測站間無明顯差異。而微棲地生物量方面，亦無法顯示棲地間或測站間藻類生物量的差異，均因水量過大導致極低的生物量。

2006 年 8 月時，各監測站的附生藻類生物量均較 6 月高出許多，平均附生藻類生物量 8 月約為 6 月的 2700 倍。10 月時各監測站附生藻類生物量再次下降，然在有勝溪卻是持續增加，野外狀況也可看出附生藻類生長狀況較 8 月更為繁盛，推測可能是因流速較穩定，使得附生藻類有更合適的生長環境所造成。12 月時流量減小、流速較緩，石附生藻類便可快速增加。

在微棲地差異分析方面，可能因單位面積的石附生藻類生物量在棲地間或測站間的變異過大，且樣本數少，使得在統計上無法顯示出差異。

(二) 攔砂壩與自然營力

在良好的環境下（2002 夏季至 2004 夏季），物理棲地底質組成的比率對鮭魚族群不會造成威脅。然而一旦遇到颱風洪水氾濫時，無攔沙壩環境下，暢通的水道，可使被沖刷至下游的魚群有機會回到中上游，而底質大石頭的比率直接影響到是否能有效降低流速，和提供避難所重要的關鍵。即使在秋冬繁殖季遇到洪水時，大石頭的組成很明顯的會讓鮭魚族群恢復得較快，而且數量不會急速下降。

拆壩前相鄰兩攔沙壩間的河床坡度通常較和緩(賴 1996)。拆壩後，暢通了鮭魚的活動空間，使幼魚入添情況更佳(曾 2002)。驟雨洪泛時，被沖刷到下游的個體有機會游回中上游。然而原本堆積在上游的泥沙被沖至下游，增加混濁度，對卵發育有不良影響。流速增加，溶氧增加，溫度下降，可以排除夏季溫度升高對鮭魚的主限制因子(楊 1997)，更可使共域的高山鯝魚較不易生存(O'Connell and Ash 1993)，減少空間的競爭，然而卻也造成鮭魚食物量減少(Kuo 2005)，使得高山溪鮭魚個體體型較七家灣溪小。

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(林等人 1990; Tsao et al. 1998)，必須充分整合不同領域的專家學者的研

究，利用特定生態工法，發展出臺灣櫻花鉤吻鮭的水文棲地模式(habitat-hydraulic model)(Nykanen and Huusko 2003)。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(賴 1996)，提供鮭魚避難所(Coulombe-pontbriand and Lapointe 2004)，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)。

在颱風影響方面，各生物類群在進入乾季之後數量都會穩健上升，但是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 120 m^3/s 的流量，且接踵而來的瑪沙颱風亦帶來 60 m^3/s 的流量，且到 10 月還有龍王侵襲。而在 2004 年 8 月中旬艾利約 50m^3/s 的流量，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。今年颱風數量、強度皆比去年低，可推測明年初各物種生物量都會比今年還高。

(三) 生態模式研究

在資料的正確性方面，於建構模式的過程中發現，過去研究之主體集中在臺灣櫻花鉤吻鮭上，造成部份生物群之資料較為匱乏，如溪流底棲無脊椎生物等。有勝溪由於無櫻花鉤吻鮭之分佈，定量之魚類群聚研究缺乏，故本研究使用呂和汪(1987)之研究來推估魚類生物量。然而呂和汪(1987)所記載之魚類分佈現況是用相對數量來表示，並無精確之紀錄且年代久遠，可能會與實際之有勝溪魚類生物群數量存在差異，故未來希望能重新對有勝溪魚類相做詳細之調查。有勝溪之鳥類豐度研究亦較欠缺，只可從張(2004)之研究來推估鴛鴦之生物量。實際上鳥類生物群只計算鴛鴦是低估有勝溪鳥類對於系統所造成的攝食影響。且根據張(2004)之鴛鴦食性調查，有勝溪之鴛鴦主要是以豆瓣菜、藻類、青苔與雨棲類為主食，大部分食物來源不屬於溪流內，故有勝溪食物網能量圖裡最高階之生物群為水棲昆蟲掠食者，鳥類之營養位階僅 2.0。利用胃內含物估計食性組成常常會低估軟組織消耗量以及受季節性變化影響(Hershey and Peterson1996)。像是蝌蚪這類容易被消化的軟組織，對於生活在武陵地區之魚類與鳥類而言，可能是優秀之食物來源。吳(unpublish data)對臺灣櫻花鉤吻鮭之胃內含物分析，發現到蝌蚪與青蛙亦為食物種類之一，但確切比例不清楚，有更近一步研究之空間。孫

(2002)對七家灣溪鴛鴦族群食性研究發現，三到四月以昆蟲脊椎動物為主，五到六月以植物性與動物性比例相當，九到十月以植物性為主。食性組成確實存在季節性變化，但定量之食性研究較少探討至此細節。

利用 EwE 內建之 Pedigree 系統來評估資料品質，此系數介於 0 到 1 間，越高表資料品質越好。本研究引用之生物量資料由當地實測，資料品質高，然而有關生態功能性資料如生產量、攝食量與食性組成則多引用國外文獻資料，未來如能取得武陵地區之生態功能性資料，隨著資料品質的上昇，便能逐步提高模式的準確程度。而武陵地區生態系模式之 Pedigree index 均有 0.5 以上，整體來看資料品質算是相當高的，未來如能在食性組成方面有更詳盡的分析對於更精確建構模式必有所助益。

武陵地區生態系模式之驗証結果方面，所有生物群之生態效率值均小於一，大部份生物類群之生長效率介於 0.05-0.3 之間，符合 Christensen 等人(2004)所建議之範圍，只有鳥類之生長效率稍低(0.03-0.05)。但在比較更多的文獻(Blanchard et al. 2002, Bradford-Grieve et al. 2003, Brando et al. 2004, Criales-Hernandez et al. 2006)後發現鳥類之生長效率普遍較低，且最低可至 0.0017，應屬正常範圍值而不影響模式之準確性。

從武陵地區溪流食物網模式發現，在櫻花鉤吻鮭族群密度最高的一號壩測站，有著高總系統通量及生產力，但豐沛之藻類並無法完全利用並轉化成水棲昆蟲生物量，而形成碎屑輸出系統外(表 1-3)。繁殖場的情況與一號壩類似，但繁殖場之聚集採集者之 EE 值低(0.54)，有提供作櫻花鉤吻鮭之食物來源之潛在能力。繁殖場與一號壩之平均水流速均較其他測站為高，可能是限制水棲昆蟲族群增長之因素之一(廖 unpublish data)。高山溪雖然水棲昆蟲 EE 值(0.73~0.86)仍有供櫻花鉤吻鮭利用空間，但櫻花鉤吻鮭所受到之掠食壓力稍高(EE=0.65)。Allen(1951)經典研究發現到，溪流內的無脊椎動物生產量不足以支撐該地區鱒魚族群，當時被稱做“Allen’s paradox”。現今則知道陸域無脊椎動物補足了水域無脊椎動物生產量不足，為鱒魚族群重要之食物來源(Huryn 1996)。Kawaguchi 等人(2003)於日本北海道甚至發現鱒魚族群高達 90%胃內含物為陸生昆蟲。而陸生昆蟲為臺灣櫻花鉤吻鮭食餌中主要成分之一也已被發現(林 2006)。但此現象是否只發生在臺灣櫻花鉤吻鮭呢?是否同域之其他種類魚群也有相同現象?這部份不得而知有待進一步研究，故本模式較保守只設定臺灣櫻花鉤吻鮭 20%食

性為陸生昆蟲。

溪流中之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，武陵地區各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(96%)而流入碎屑庫，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)研究也發現設置於溪流內之攔網中有大量藻類。高初級生產力也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，從有勝溪溪面常怖滿剛毛藻便可了解此一現象。Vasconcellos 等人(1997)分析 18 個利用 EwE 建構之模式發現到 APL 與 FCI 兩者有明顯相關，總系統分析亦發現武陵地區各測站之 APL 與 FCI 值有相同趨勢(表 1-3)。

將武陵地區與鄰近之蘭陽溪流域生態系模式相比可發現(表 1-4)，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大且生物較豐。各測站 P/R ratio 均大於一為自營系統，但最高之 P/R ratio 出現在蘭陽溪繼光測站，這可能是由於繼光橋附近為農耕區，營養鹽輸入造成此現象(林等 2005)，有勝溪雖同樣流經農耕區但影響程度較低，故 P/R ratio 亦較低。武陵地區 FCI 值均高於蘭陽溪，為物質循環利用率較高之系統，可能是由於武陵地區生態系營養傳輸率較高。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，故缺少生物能夠循環利用能量，不斷干擾使得蘭陽溪處於一發展初期之狀態。Pauly and 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 6 種主要水域類型之 48 個生態系後，推估平均 TE 值約 10.1%。武陵地區(4.55~6.05)與蘭陽溪流域(1.79~2.90)之 TE 值均低於此平均值，但 Meyer and Poepperl (2004)研究高山溪流生態系模式，第一營養級到第三營養級 TE 值約為 4.3%與武陵地區相似，顯示低營養傳輸效率為高山溪流生態系之特性。

五、參考文獻

于淑芬、林永發，2003。武陵地區水質調查及環境監測。雪霸國家公園管理處九十二年度研究報告。25 頁。

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 8(2)：39-51。

吳聲海，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委託研究報告。66 頁。

呂光洋、汪靜明，1987。武陵農場河域之原產種魚類生態之初步研究。行政院農委會七十六年生態研究第 10 號。86 頁。

沈世傑，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。39 頁。

汪靜明，1994 孑遺的國寶－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。

林幸助、謝莉顒，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，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。34 頁。

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。43 頁。

林幸助、溫珮珍、廖美齡、鐘豐昌、張玄勳、李翠芬，2005。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立-溪流生態系食物來源與模式建構。內政部營建署雪霸國家公園管理處九十四年度研究報告。19、51、54 頁。

林幸助、邵廣昭、吳聲海、馬堪津、高文媛、陳義雄、黃將修、劉莉蓮，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，中央研究院生物多樣性研究中心。325 頁。

林幸助、吳聲海、官文惠、邵廣昭、施習德、孫元勳、郭美華、彭宗仁、曾晴賢、楊正澤、葉文斌、葉昭憲、蔡尚惪，2006。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立-期中報告。內政部營建署雪霸國家公園管理處九十五年度研究報告。

林耀松、曹先紹、張崑雄，1990。櫻花鉤吻鮭之生質生態與行為研究。農委會 1989 年生態研究第 012 號。18 頁。

官文惠，2005。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立－水質參數之研究。雪霸國家公園管理處九十四年度研究報告。76 頁。

孫元勳，2002。七家灣溪鴛鴦生態族群調查(四)。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。39 頁。

孫元勳，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。41 頁。

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。36 頁。

孫元勳、李靜峰、劉彥廷、陳惠玲、姜博仁、吳幸如，2003。雪霸國家公園鴛鴦的繁殖行為。國家公園學報 13(1)：95-105。

張燕玲，2004。武陵地區鴛鴦生態行為調查。內政部營建署雪霸國家公園管理處。68 頁。

郭美華，2004。武陵地區水生昆蟲研究(三)。內政部營建署雪霸國家公園管理處。58 頁。

郭美華，2005。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立-水棲昆蟲長期生態監測。內政部營建署雪霸國家公園管理處。40 頁。

陳義雄、張詠青 2005。臺灣淡水魚類原色圖鑑 第一卷鯉形目。水產出版社。基隆。280 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。

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，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。39 頁。

黃沂訓，2005。臺灣櫻花鉤吻鮭個體標識與族群成長動態之研究。國立臺灣海洋大學水產養殖學系研究所碩士論文。76 頁。

楊平世、林曜松，1986。櫻花鉤吻鮭之食性(Oncorhynchus formosanum, Jordan & Oshima)。自然文化景觀保育論文集(二)鮭鱒魚保育專集。行政院農委會林業特刊第九號。98 頁。

楊平世、謝森和、黃國靚、林耀松，1987。武陵農場流域浮游目稚虫之之生態研究。野生動物保育研討會專輯-國家公園和自然保留區之野生動物。行政院農委會。287 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研究所碩士論文。

楊正澤，2005。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立-昆蟲群聚與功能結構分析。內政部營建署雪霸國家公園管理處。46 頁。

溫珮珍，2004。武陵地區水溫與營養鹽添加對溪流淺流區石附生藻類之影響。國立中興大學生命科學系研究所碩士論文。68 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。

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。56 頁。

蔡尚惠，2005。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立－七家灣溪濱岸植群監測。內政部營建署雪霸國家公園管理處九十四年度研究報告。27-33 頁。

賴建盛，1996。防砂壩對櫻花鉤吻鮭物理棲地影響之研究。國立臺灣大學地理研究所碩士論文。

盧重成，2004。七家灣溪非昆蟲底棲無脊椎動物群聚組成。內政部營建署雪霸國家公園管理處。39 頁。

Allen, K. R., 1951. The Horokiwi Stream: A study of a trout population. Fisheries Bulletin 10.New Zealand. pp51-65 In: Belgrano A, Scharler UM, Dunne J and Ulanowicz eds. Aquatic Food Webs: An Ecosystem Approach. Oxford university press, USA

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

Andersen, K. P. and Ursin, E. P., 1977. A multi-species extension to the Beverton and Holt theory of fishing, with account of phosphorus circulation and primary production. Medd Dan Fish Havunders NS 7:319-345

Belgrano, A., Scharler, U.M., Dunne, J., and Ulanowicz, R. E., 2005. Aquatic Food Webs: an ecosystem approach. Oxford University Press, New York. 262p.

Benke, A. C. and Jacobi, D.I., 1994. Production dynamics and resource utilization of snag-dwelling mayflies in a blackwater river. Ecology, 75:1219-1232

Benke, A. C. and Wallace, J. B. 1997. Trophic basis of production among riverine caddisfies: implications for food web analysis. Ecology, 78:1132-1145.

Benke, A. C., Wallace, J. B., Harrison, J. W., and Koebel, J. W., 2001. Food web quantification using secondary production analysis: predaceous invertebrates of the snag habitat in a subtrophical river. Freshwat. Biol. 46:329-346.

Blanchard, J. L., Pinnegar, J. K., and Mackinson, S., 2002. Exploring marine mammal-fishery interactions using ‘Ecopath with Ecosim’: modelling the Barents Sea ecosystem. Sci Ser Tech Rep, CEFAS Lowestoft 117:52 p

Bradford-Grieve, J. M., Probert, P. K., Nodder, S. D., Thompson, D., Hall, J., Hanchet, S., Boyd, P., Zeldis, J., Baker, A. N., Best, H. A., Broekhuizen, N., Childerhouse, S., Clark, M., Hadfield, M., Safi, K., and Wilkinson, I., 2003. Pilot trophic model for subantarctic water over the Southern Plateau, New Zealand: a low biomass, high transfer efficiency system. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 289:223-262.

Brando, V. E., Ceccarelli, R., Libralato, S., and Ravagnan, G., 2004. Assessment of environmental management effects in a shallow water basin using mass-balance models. Ecol. Model. 172:213-232.

Christensen, V., 1994. On the behavior of some proposed goal functions for ecosystem development. Ecol Model. 75/76:37-49.

Christensen, V., 1995. Ecosystem maturity-towards quantification. Eco Model.

77:3-32.

Christensen, V. and Pauly, D., 1992. ECOPATH II – a software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics. Ecol. Model. 61:169-185.

Christensen, V., Walters, C. J., Pauly, D., 2004. Ecopath with Ecosim: A User's Guide. Univ. of British Columbia, Fisheries Centre, Vancouver, Canada, 154p.

Chung, L. C., Lin, H. J., Yo, S. P., Tzeng, C. S., and Yang, C. H., 2006. A stage-dependent population matrix model for the Formosan landlocked salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*) in Taiwan. The Raffle Bulletin of Zoology.(In press)

Clarke, K. R. and Gorley, R. N., 2006. PRIMER v6: User Manual/Tutorial. Published by PRIMER-E Ltd.

Coulombe-Pontbriand, M., and Lapointe, M.,2004. landscape controls on boulder-rich, winter habitat availability and their effects on Atlantic salmon(*Salmo salar*) parr abundance in two fifth-order mountain streams. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 61: 648-658.

Criales-Hernandez, M. I., Duarte, L. O., Garcia, C. B., and Manjarres, 2006 Ecosystem impacts of the introduction of bycatch reduction devices in a tropical shrimp trawl fishery: insights through simulation. Fisheries Research 77:333-342.

Finn, J. T., 1976. Measures of Ecosystem Structure and Function Derived from analysis of flow. J. Theor. Biol. 56:363-380.

Froese, R. and Pauly, D., Editors, 2000 FishBase 2000:concepts, design and data sources. ICLARM, Los Baños, Laguna, Philippines, p 344.

Fulton, E. A., Smith, A. D., Johnson, C. R., 2003. Effect of complexity on marine ecosystem models. Mar. Ecol. Prog. Ser. 253:1-16.

González, JM, Basaguren A and Pozo J 2001. Life history and production of Caenis luctuosa (Burmeister)(Ephemeroptera, Caenidae) in two nearby reaches along a small stream. Hydrobiologia 452:209-215.

Hannon, B. and Joiris, C. 1989. A seasonal analysis of the southern North Sea ecosystem. Ecology 70(6):1916-1934.

Harwood, A. J., Metcalfe, N. B., Griffiths, S. W., and Armstrong, J. C., 2002. Intra- and inter- specific competition for winter concealment habitat in

juveniles salmonids. Can. J. Fish Aquat. Sci., 59: 1515-1523.

Hershey, A. E. and Peterson, B. J., 1996. Stream food webs. pp510-533 In: Hauer FR and Lamberti GA eds. Methods in Stream Ecology. Academc Press, San Diego, USA.

Hirata, H. and Ulanowicz, R. E., 1984. Information theoretical analysis of ecological networks. International Journal of Systems Science 15:261-270. (Cited by Belgrano et al. 2005).

Huryn, A. D., 1996. An appraisal of the Allen Paradox in a New Zealand trout stream. Limnol Oceanogr 412: 243-252.

Hutchinson, G. E., 1957. Concluding remarks. Cold Spring Harbor symp. Quant. Biol., 22: 425-427.

Hydrolosical year book of Taiwan, 1995-2005.

IUCN, 1994. IUCN RedList of threatened Species.1994 Categories and Criteria (version 2.3). IUCN, Grand. [http://www.redlist.org/info/categories_criteria1994.html, accessed 25 December 2004].

Johnson, R. A., and Wichern, D. W., 2002. Applied multivariate statistical analysis. 5th edition. Prentice-Hall. Inc. Upper Saddle River, NJ.

Kato, F., 2003. Life histories of masu and amago salmon. In: Croot, C. & L. Marcolis, 2003. Pacific salmon life histories. UBC Press, The university of British Columbia. pp. 449-452.

Kawaguchi, Y., Taniguchi, Y., and Nakano, S., 2003. Terrestrial invertebrate inputs determine the local abundance of stream fishes in a forested stream. Ecology 84:701-708.

Krebs, C. J., 1999. Ecological Methodology. Addison-Welsey Educational Publishers,Inc. USA, 620 p.

Kuo, M. H., 2005. Studies on aquatic insect. Technical report, Shei-Pa National Park Administration, Taichung, Taiwan, 28 pp.(in Chinese).

Leontief, W. W., 1951. The Structure of the US Economy. Oxford University Press, New York.

Lin, J. Y., E. H. Tsao, T. C. Lee & S. L. Yu, 2004. stream physical parameters and habitat requirement: the case of the Formosan salmon. Ecological Engineering, 22: 305-309.

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.

Lin, Y. S., Yang, P. S., Liang, S. H.,. Tsao, S. H., and Juang, L. C., 1987. Ecological studies of formosan landlocked salmon, Oncorhynchus mason Formosans. I. Preliminary study on the relationship between population distribution and environmental factors in Wuling Farm. Ecol. Res. No. 23. counc. Agric., Taiwan, ROC, 66 pp. (in Chinese)

Lindeman, R. L., 1942. The trophic-dynamic aspect of ecology. Ecology 23:399-418. Cited by Christensen V and Pauly D, 1992.

Lyons, D. E., 2000. Avian predation on juvenile salmonids in the Lower Columbia River. 1998 Annual Report to Bonneville Power Administration, Portland.101p.

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.

Merritt, R. W. and Cummins, K. W., 1996. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. (2nd ed.) 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.

Nagy, K. A., 1987. Field Metabolic rate and food requirement scaling in mammals and birds. Ecol. Monographs 57:111-128.

Nislow, K., C. Folt, and Parrish, D., 1999. Favorable foraging locations for young Atlantic salmon: application to habitat and population restoration. Ecological applications 9:1085-1099.

Nykanen, M., and huusko, A., 2003. Size-related changes in habitat selection by larval graying (*Thymallus thymallus* L.). Ecology of Freshwater Fish, 12: 127-133.

O'Connell, M. F. and Ash, E. G. M., 1993. Smolt sizr in relation to age at first maturity of Atlantic salmon(*Salmo salar*):the role of lacustrine habitat. Journal of Fish Biology, 42: 551-569.

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.

Paulsen, C. M. and Fisher, T. R., 2003. Detecting juvenile survival effects of habitat actions: power analysis applied to endangered Snake River spring-summer chinook (*Oncorhynchus tshawytscha*). Can. J. Fish. Aquat. Sci., 60:1122-1132.

Pauly, D. and Christensen, V., 1995. Primary production required to sustain global fishries. 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.

Poepperl, R., 2003. A Quantitative Food Web Model for the Macroinvertebrate Community of a Northern German Lowland Stream. Internat Rev Hydrobiol 885):433-452.

Polovina, J. J., 1984. Models of a coral reef ecosystem I :the ECOPATH model and its application to French Frigate Schoals. Coral Reffs 31:1-11.

Quinn, T. P., 2005. The behavior and ecology of pacific salmon and trout. Washington University Press, Inc. Seattle, WA. pp. 378.

Reynoldsen, T. B. and Davies, R. W. 1970. Food niche and co-existence in lake- dwelling triclads. J. Anim. Ecol. 39:599-617.

Reynoldson, T. B., 1975. Food overlap of lake-Dwelling Triclads in the field. J. Anim. Ecol. 44:245-250.

Roni, P. and Fayram, A., 2000. Estimating winter salmonid abundance in small Western Washington Streams: a comparison of three techniques. North American Journal of Fisheries Management, 20:683-692.

Rutledge, R. W., Basorre, B. L., and Mulholland, R. J., 1976. Ecological stability: an information theory viewpoint. J. Theor. Biol. 57:355-371. Cited by Belgrano *et al.* 2005.

Sale, P. F. and Sharp, B. J., 1983. Correction on bias in visual transect censuses of coral reef fishes. Coral Reefs, 2:37-42.

Thurow, R. F. and Schill, D. J., 1996. Comparison of day snorkeling, night snorkeling, and electrofishing to estimate bull trout abundance and size structure in a second-order Idaho Stream. North American Journal of Fisheries Management, 16:314-323.

Thurow, R. F., Peterson, J. T., and Guzevich, J. W., 2006. Utility and validation of day and night snorkel counts for estimating bull trout abundance in first- to third-order stream. North American Journal of Fisheries Management, 26:217-232.

Tsao,E. H. S., Lin, Y. S., Behnke, R. J., and Bergersen, E. P., 1998. Microhabitat use by Formosan landlocked salmon, Oncorhynchus masou formosanus. Zoological Studies, 374:269-281.

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.

Tzeng, C. S. and Yang, C. H., 2002. The effect of precipitations on the fluctuations in larva population size of Formosan landlocked masu salmon in the Chichiawan Stream Basin. National Park, 122:111-124. (in Chinese)

Ulanowicz, R. E., 1986. Growth and Development: Ecosystem Phenomenology. Springer Verlag reprinted by iUniverse, 2000), New York. 203p.

Ulanowicz, R. E. and Norden, J. S., 1990. Symmetrical overhead in flow and networks. Int. J. Systems Sci. 212:429-437.

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. J. Fish Biol. 53:154-178.

Vasconcellos, M., Mackinson, S., Sloman, K., and Pauly, D., 1997. The stability of trophic mass-balance models of marine ecosystems: a comparative analysis. Eco. Model. 100:125-134gh.

Valdimarsson, S. K. and Metcalfe, N. B., 1998. Shelter selection in juvenile

Atlantic salmon, or why do salmon seek shelter in winter? Journal of Fish Biology, 52: 42-49.

Walters, 1979. Influence of benthos life history upon estimation of secondary production. J. Fish Res. Board. Can. 36:1425-1430.

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, lowa State University. 138pp.

Wiens, J. A. and Nussbaum, R. A., 1975. Model estimation of energy flow in north western coniferous forest bird communities. Ecology, 56:547-561.

表 1-1 各棲地類型特性

棲地類型	流速	深度	流況
淺瀨	＞ 30 cm s^{-1}	＜ 30 cm	水面有波紋、水花
淺流	＞ 30 cm s^{-1}	＜ 30 cm	水面波紋與水花少
深流	＞ 30 cm s^{-1}	＞ 30 cm	水面波紋與水花少
深潭	＜ 30 cm s^{-1}	＞ 30 cm	水面平靜無擾動

表 1-2　模式所需參數來源

類群	單位生物量	單位生產量	單位攝食量	食性組成
碎屑	廖(2006)			
浮游藻	林(2003)	林等(2005)		
附生藻	林(2004)	溫(2004)		
水棲昆蟲	郭(2004) 郭(2005)	Walters(1979) Benke and Jacobi (1994) Benke and Wallace (1997) Benke et al.(2001) González et al.(2001)	Christensen et al. (2004) Meyer and Poepperl (2004) Poepperl (2000)	Benke and Jacobi (1994) Benke and Wallace (1997) Poepperl R (2003) Merritt and Cummins (1996) Meyer and Poepperl (2004)
兩生類與螺類	吳(2005) 盧(2004)	Poepperl (2003) 吳 (2005)	Poepperl (2003) Christensen et al. (2004)	林等(2005)
渦蟲	盧(2004)	Meyer and Poepperl (2004)	Meyer and Poepperl (2004)	Reynoldsen and Davies (1970) Reynoldson (1975)
魚類	呂和汪(1987) 沈(2004) 曾(2005)	Froese and Pauly (2000) 黃(2005)	Froese and Pauly (2000)	楊和林(1986) 林等(2005) 楊(2005) 陳和張(2005)
鳥類	孫(2003) 孫等(2003) 孫(2004) 張(2004) 孫(2005)	Wiens and Nussbaum (1975)	Nagy(1987)	孫(2003) 孫(2004) 張(2004)

表 1-3　武陵地區各測站之摘要系統分析結果

	桃山西溪	一號壩	繁殖場	高山溪	有勝溪
Sum of all consumption	186.2	157.9	177.1	100.4	263.0
Sum of all exports	982	2140	1427	1079	3900
Sum of all respiratory flows	81.4	72.6	89.5	66.8	179.4
Sum of all flows into detritus	1082	2237	1531	1134	4012
Total system throughput	2331	4607	3225	2381	8354
Sum of all production	1084	2226	1534	1157	4070
Calculated total net primary production	1061	2209	1516	1145	4039
Net system production	979	2136	1427	1079	3860
Total primary production /total respiration	13.0	30.4	17.0	17.0	28.3
Total biomass/total throughput	0.012	0.011	0.005	0.011	0.019
Total biomass (excluding detritus)	27.7	50.0	17.3	25.7	156.4
Finn's cycling index (% of total throughput)	2.44	1.13	1.64	0.79	0.68
Average path length	2.19	2.08	2.13	2.08	2.05
Detritivory to herbivory ratio	1.42	2.02	1.64	1.44	1.10

表 1-4　武陵地區溪流與蘭陽溪溪流生態系總生物量(不含碎屑)、淨初級生產力(NPP: g WW m^{-2} yr^{-1})、總系統通量(TST: g WW m^{-2} yr^{-1})、總初級生產量/總呼吸量(P_p/R ratio)、總系統生產量/總生物量(P/B ratio)、營養傳輸效率(geometric mean of trophic transfer efficiency II-III, TE)、Finn cycling index (FCI)、系統餘裕度/發展量(A/C ratio)及系統冗餘度/發展量(R/C ratio)之比較。

	武陵地區					蘭陽溪流域			
	桃山西溪	一號壩	繁殖場	高山溪	有勝溪	實谷富溪	繼光橋	家源橋	牛鬪
Biomass	27.71	49.98	17.32	25.68	156.35	8.24	2.89	1.42	1.45
NPP	1060	2209	1516	1145	4039	635	243	151	185
TST	2332	4607	3224	2381	8391	1366	488	308	377
P_p/R	13.0	30.4	17.0	17.0	28.3	11.9	51.8	20.0	40.3
P/B	39.1	44.5	88.6	45.1	26.0	78.3	83.9	106.1	128.0
TE	6.05	4.55	4.90	5.18	4.84	2.90	1.79	2.00	1.84
FCI	2.44	1.13	1.64	0.79	0.68	1.75	0.06	0.31	0.43
A/C	49.3	67.4	57.6	66.3	70.4	54.3	79.3	64.1	71.4
R/C	41.9	27.3	34.8	27.9	24.5	39.0	18.6	31.6	25.0

表 1-5　武陵地區溪流與蘭陽溪溪流生態系選擇之網絡分析與模式輸出結果主成分分析表。變數如下：總生物量(B)，淨初級生產力(NPP)，總系統通量(TST)，總初級生產量/總呼吸量（P_p/R ratio)，總系統生產量/總生物量(P/B ratio)，營養傳輸效率(TE)，Finn cycling index (FCI)，系統餘裕度/發展量(A/C ratio)及系統冗餘度/發展量(R/C ratio)。

變數	主成分			
	1	2	3	4
B	0.631	-0.26	0.275	-0.169
NPP	0.487	-0.069	-0.322	-0.102
TST	0.488	-0.049	-0.32	-0.085
Pp/R	-0.065	-0.462	-0.46	0.647
P/B	-0.223	-0.002	-0.61	-0.505
TE	0.189	0.213	0.173	0.421
FCI	0.191	0.762	-0.315	0.267
A/C	-0.012	-0.149	-0.04	0.048
R/C	0.013	0.253	0.066	-0.171
特徵值	10.7	2.48	0.264	0.176
解釋變異(%)	77.7	95.7	97.6	98.9
累積解釋變異(%)	77.7	95.7	97.6	98.9

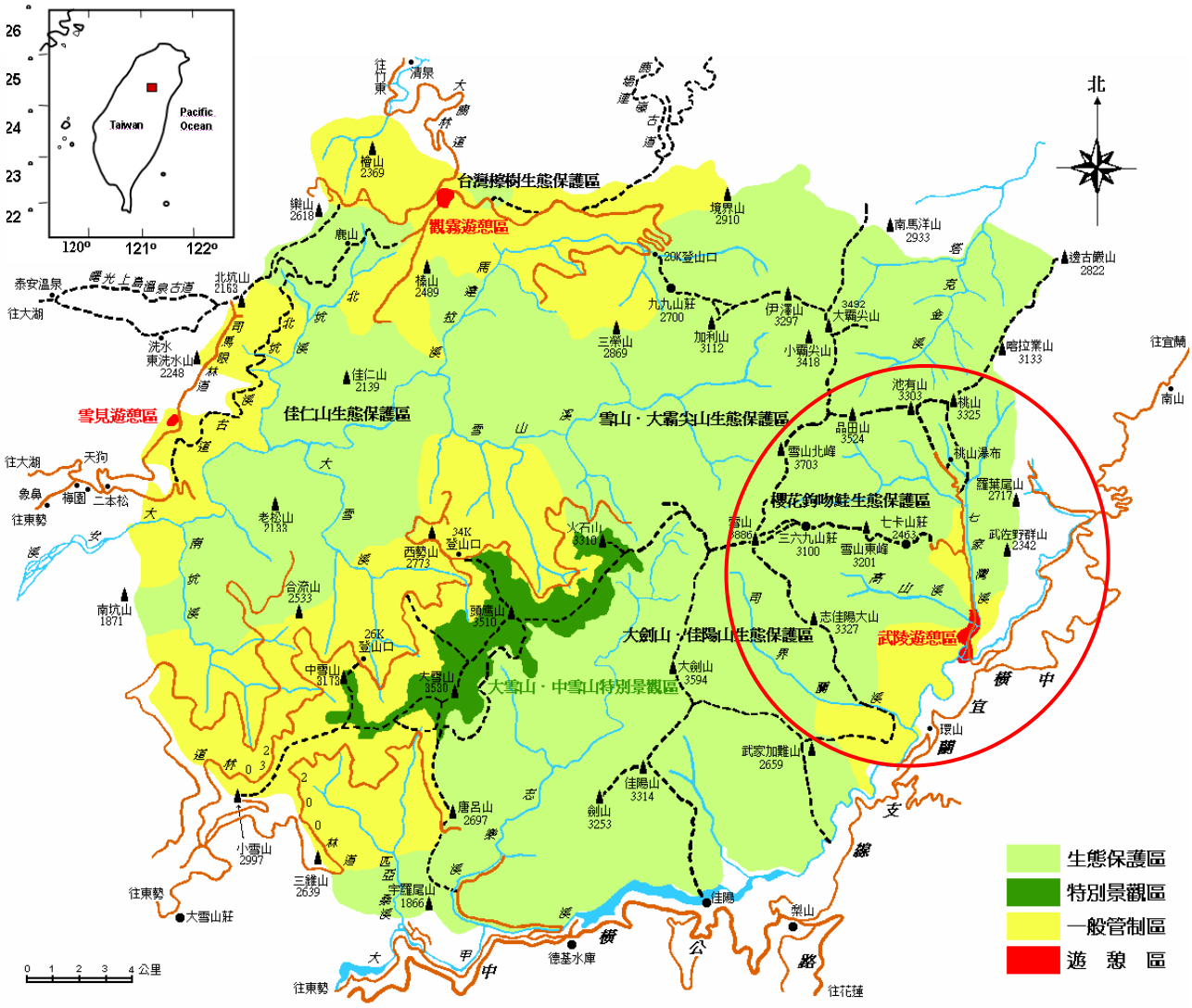


圖 1-1 武陵地區七家灣溪流域研究地區位置圖

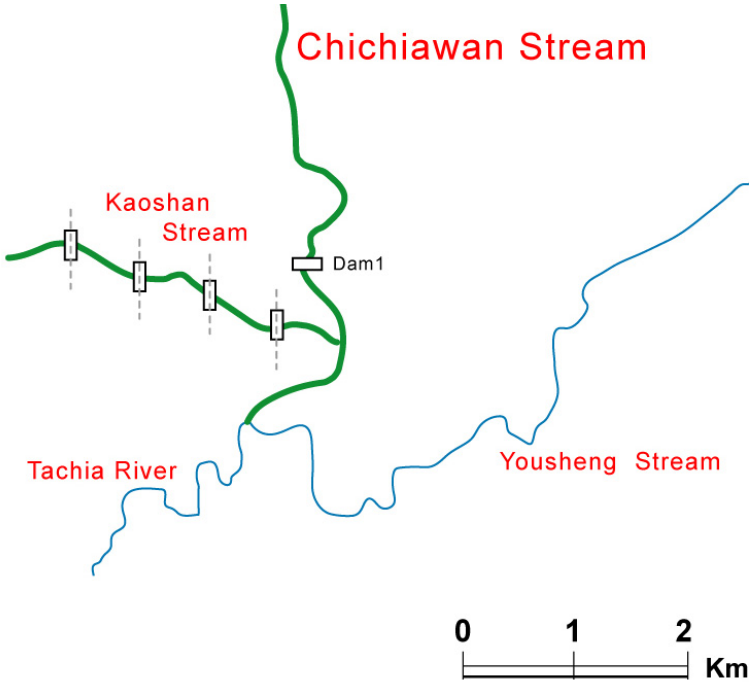


圖 1-2 高山溪壩體位置圖

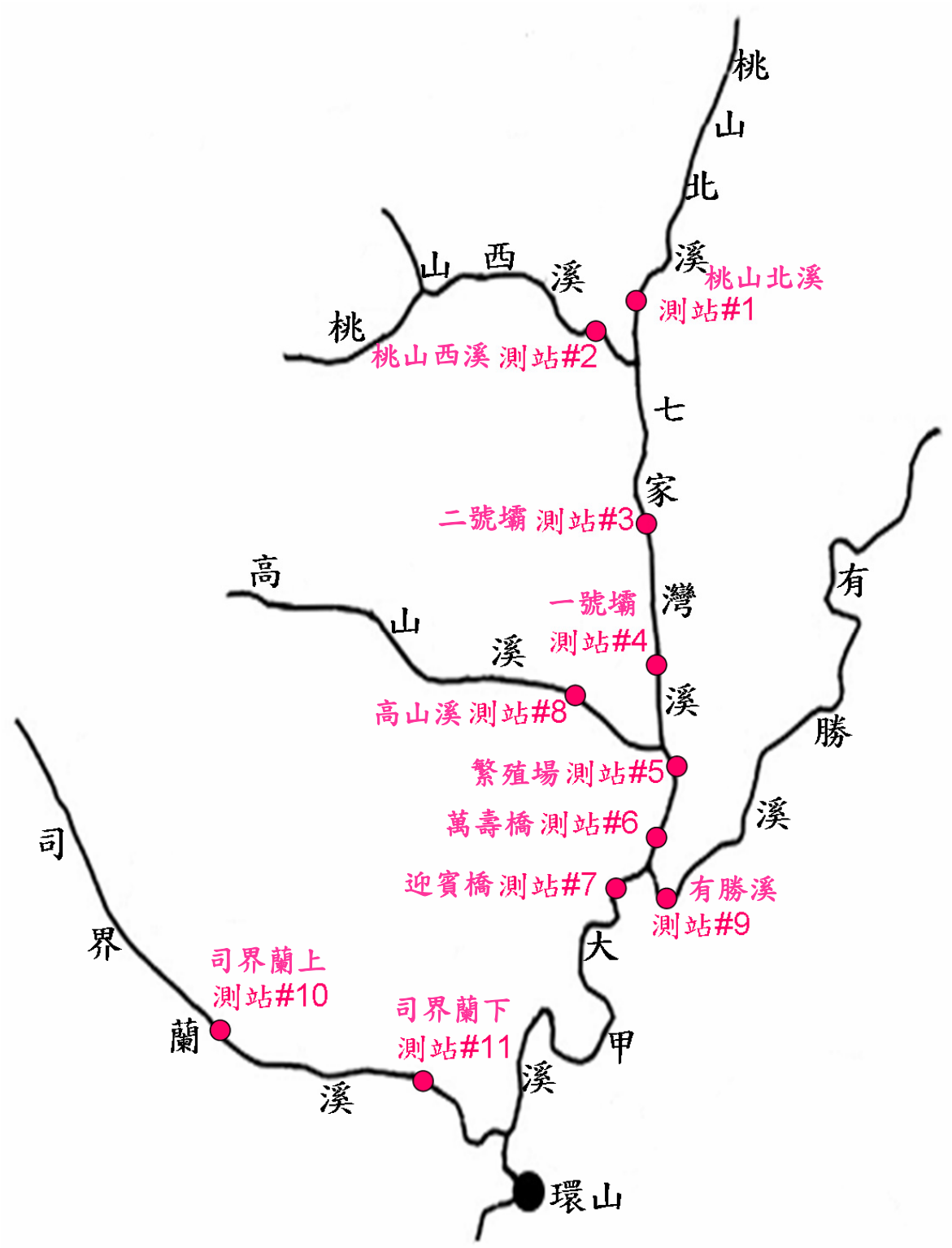


圖 1-3 各研究測站相關位置圖

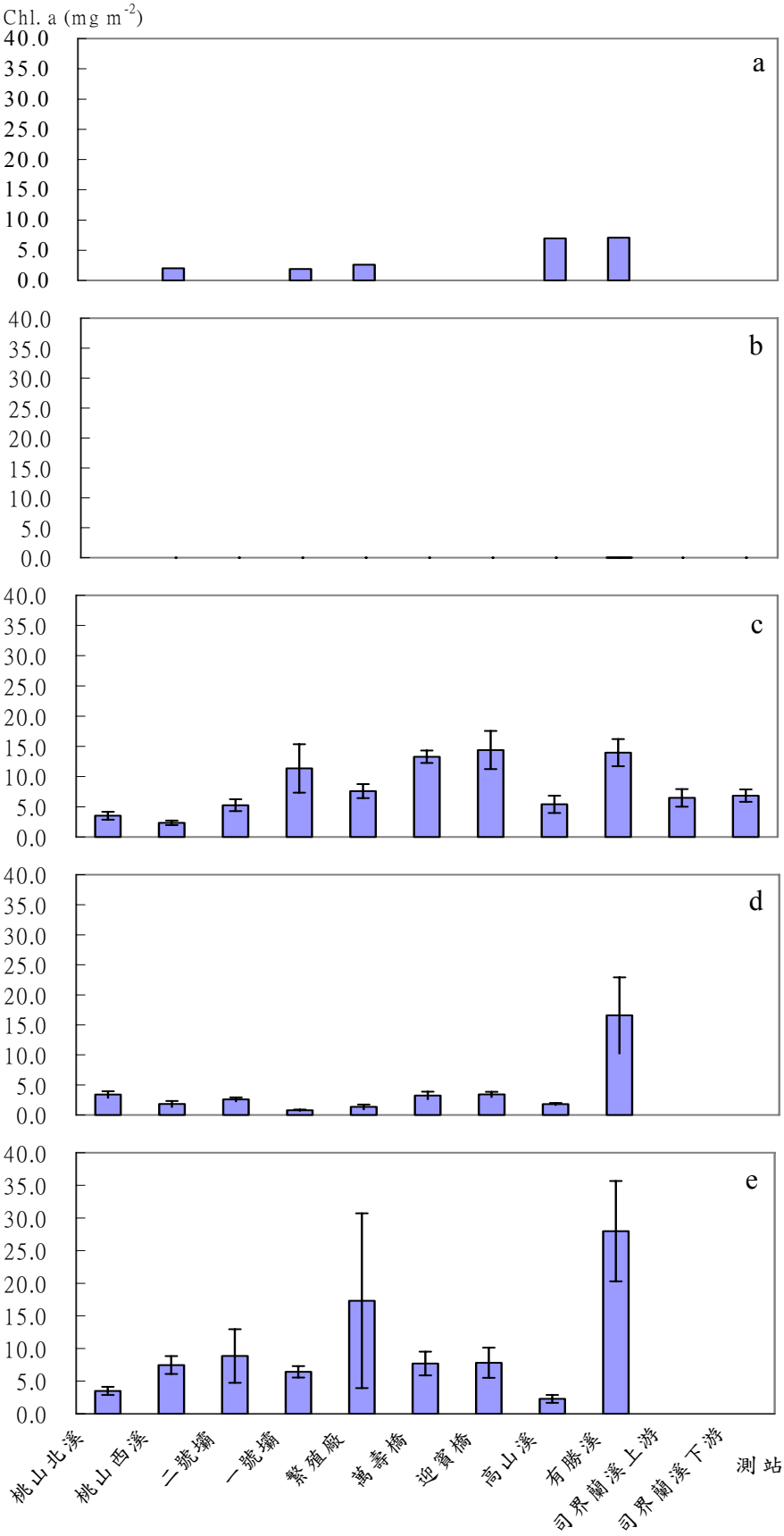


圖 1-4 2006 年各測站單位面積葉綠素 a 含量 (n=5)
a. 4 月　b. 6 月　c. 8 月　d. 10 月　e. 12 月

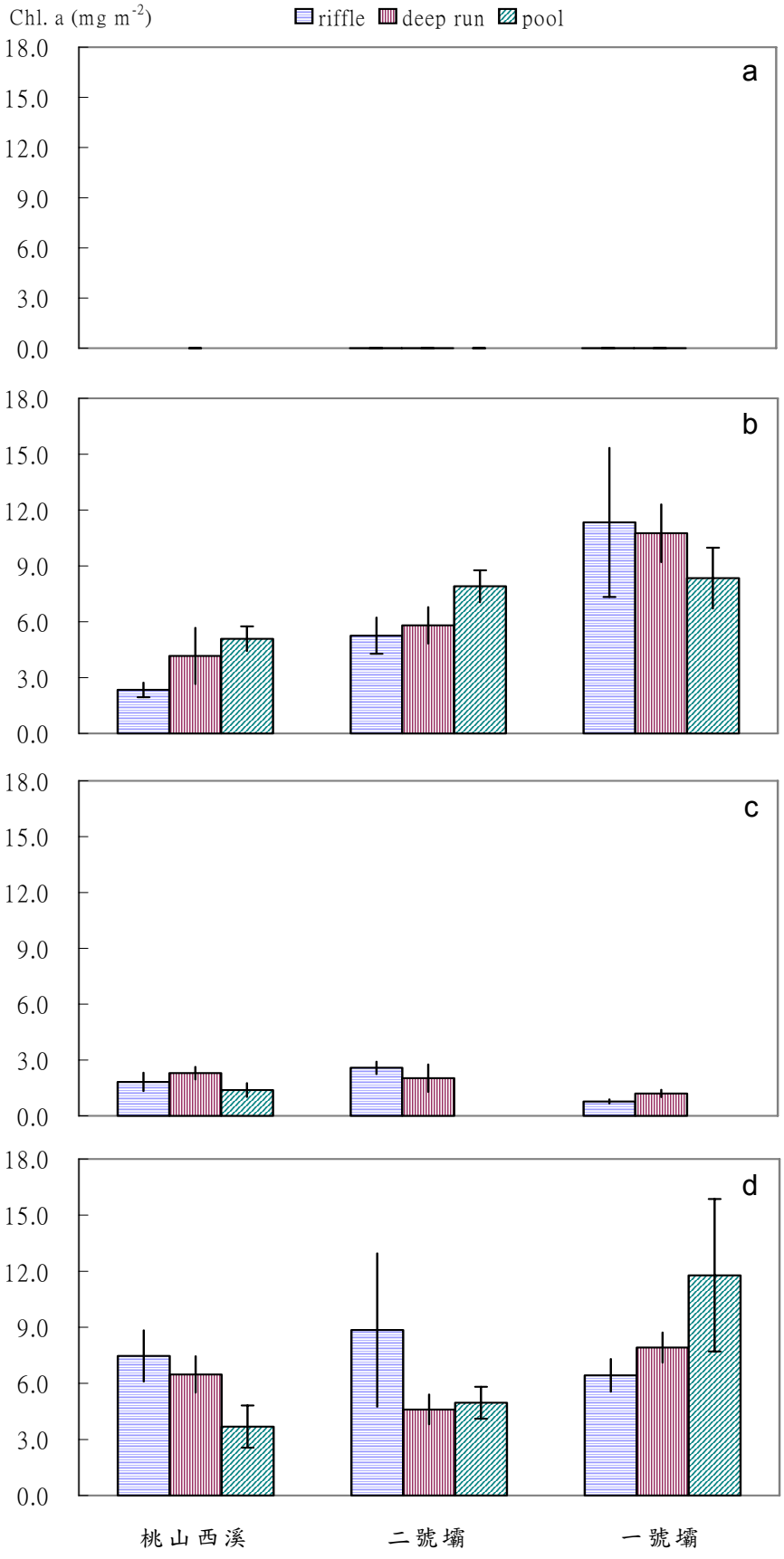


圖 1-5 微棲地附生藻類單位面積葉綠素 a 含量比較(n=5)
a. 6 月　b. 8 月　c. 10 月　d. 12 月

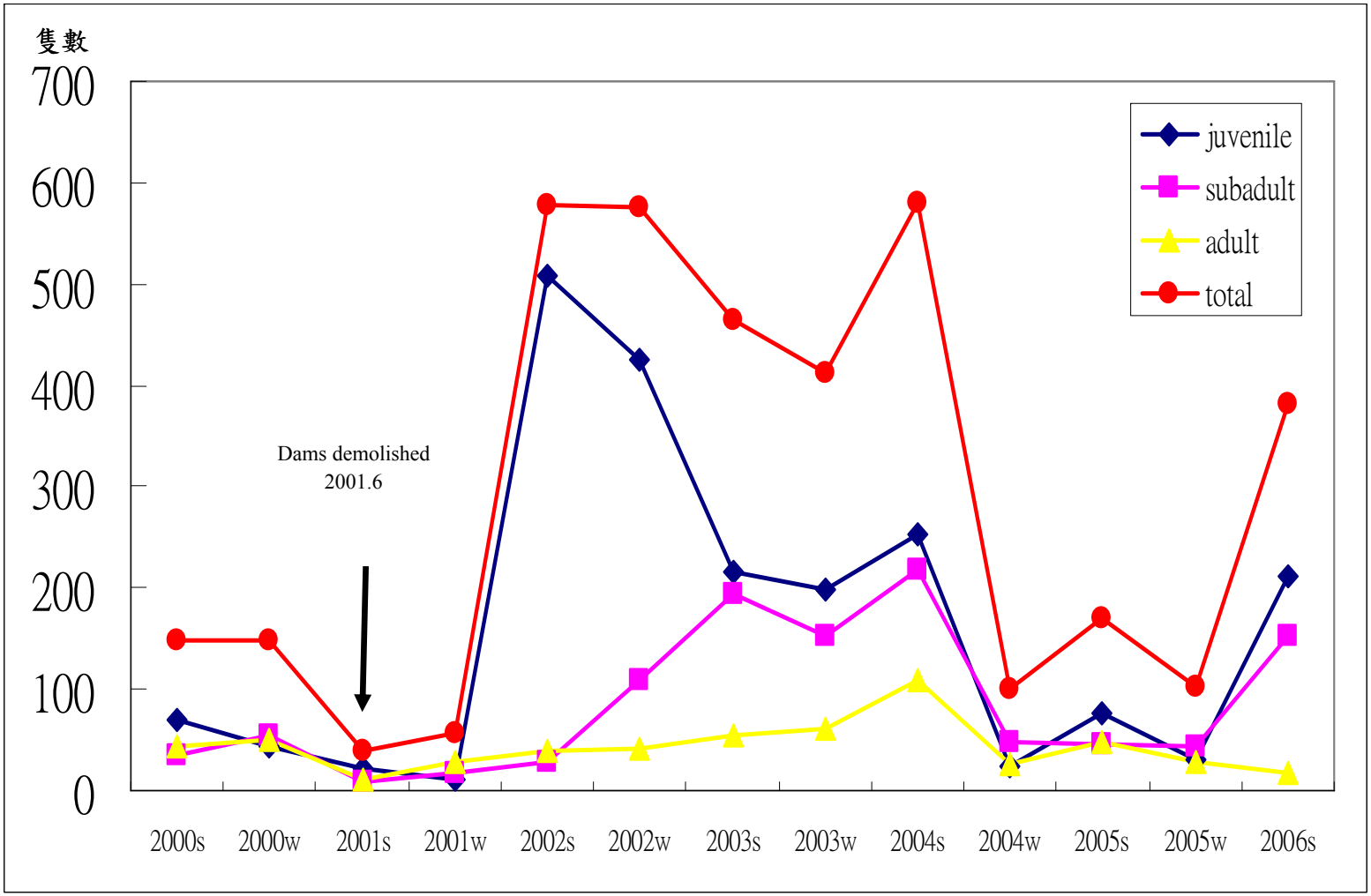


圖1-6 高山溪壩體拆除對鮭魚族群之影響(平均為314尾，峰值為2004年的579尾)。

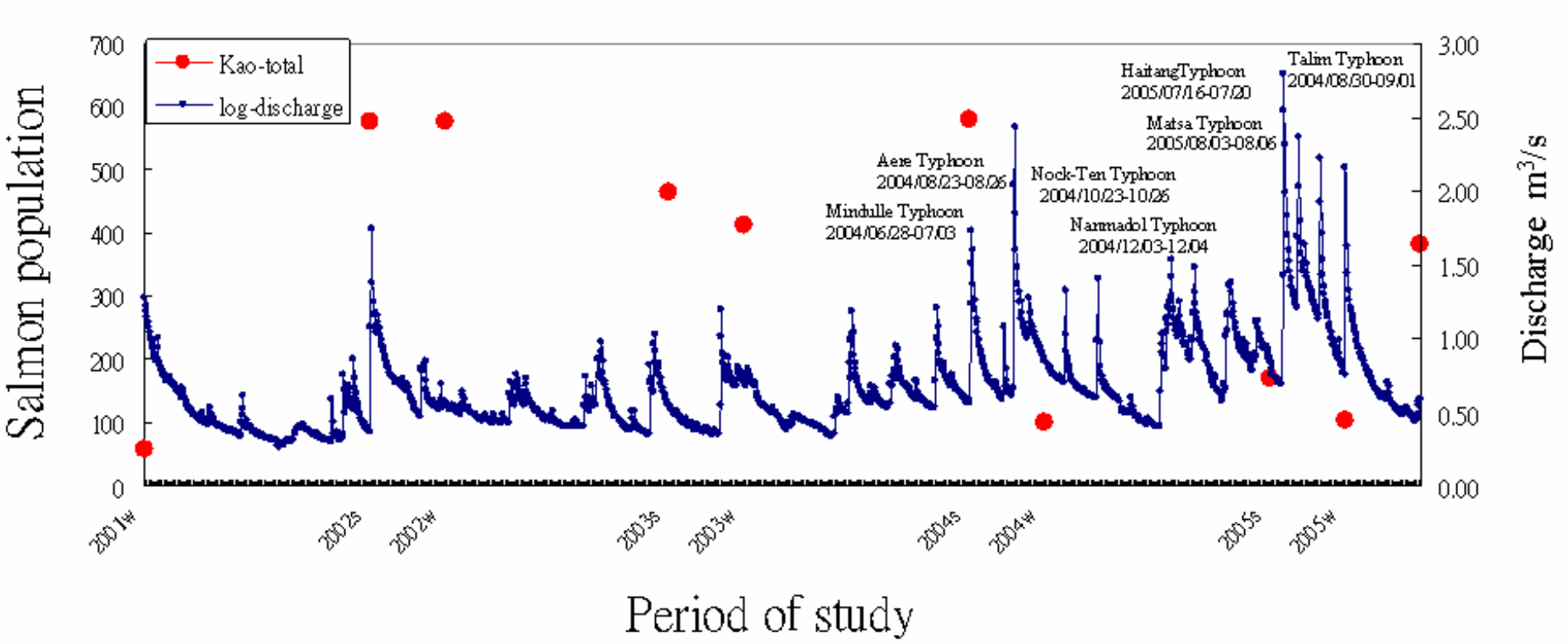


圖 1-7 高山溪鮭魚族群與七家灣溪流量變化圖

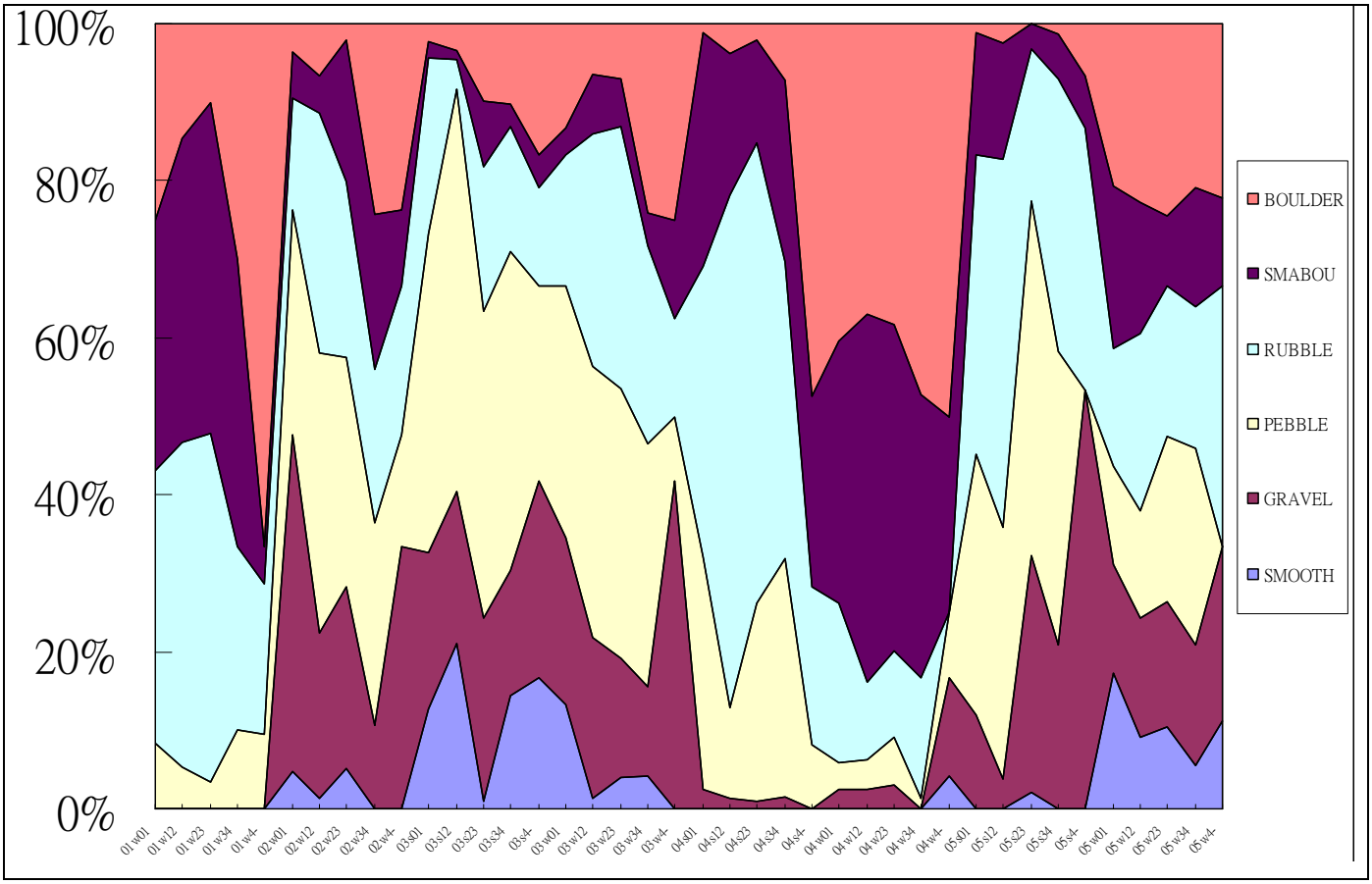


圖 1-8 2001 冬季至 2005 冬季高山溪各河段間底質組成相對百分比圖

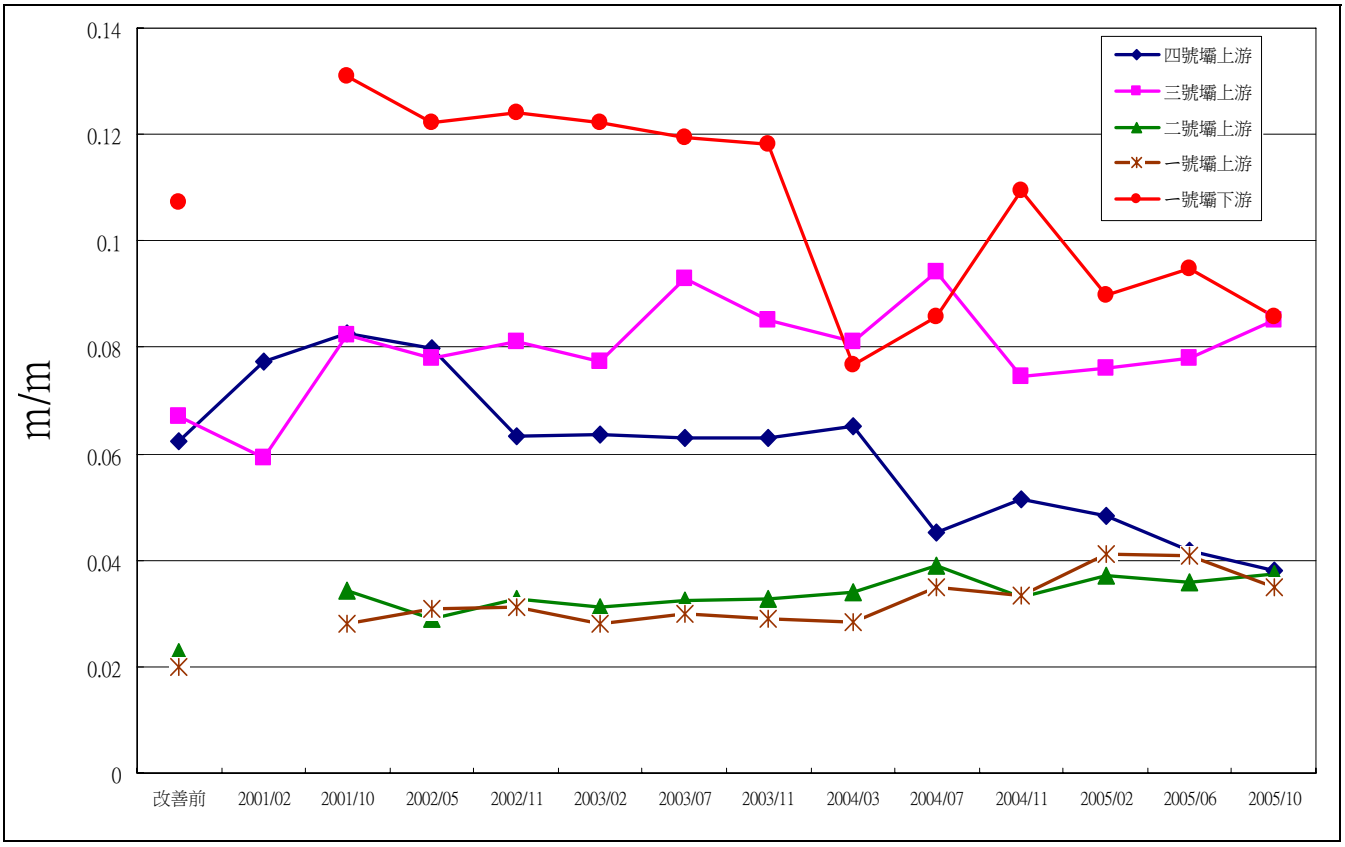


圖 1-9 高山溪四座攔砂壩拆壩前後坡度變化

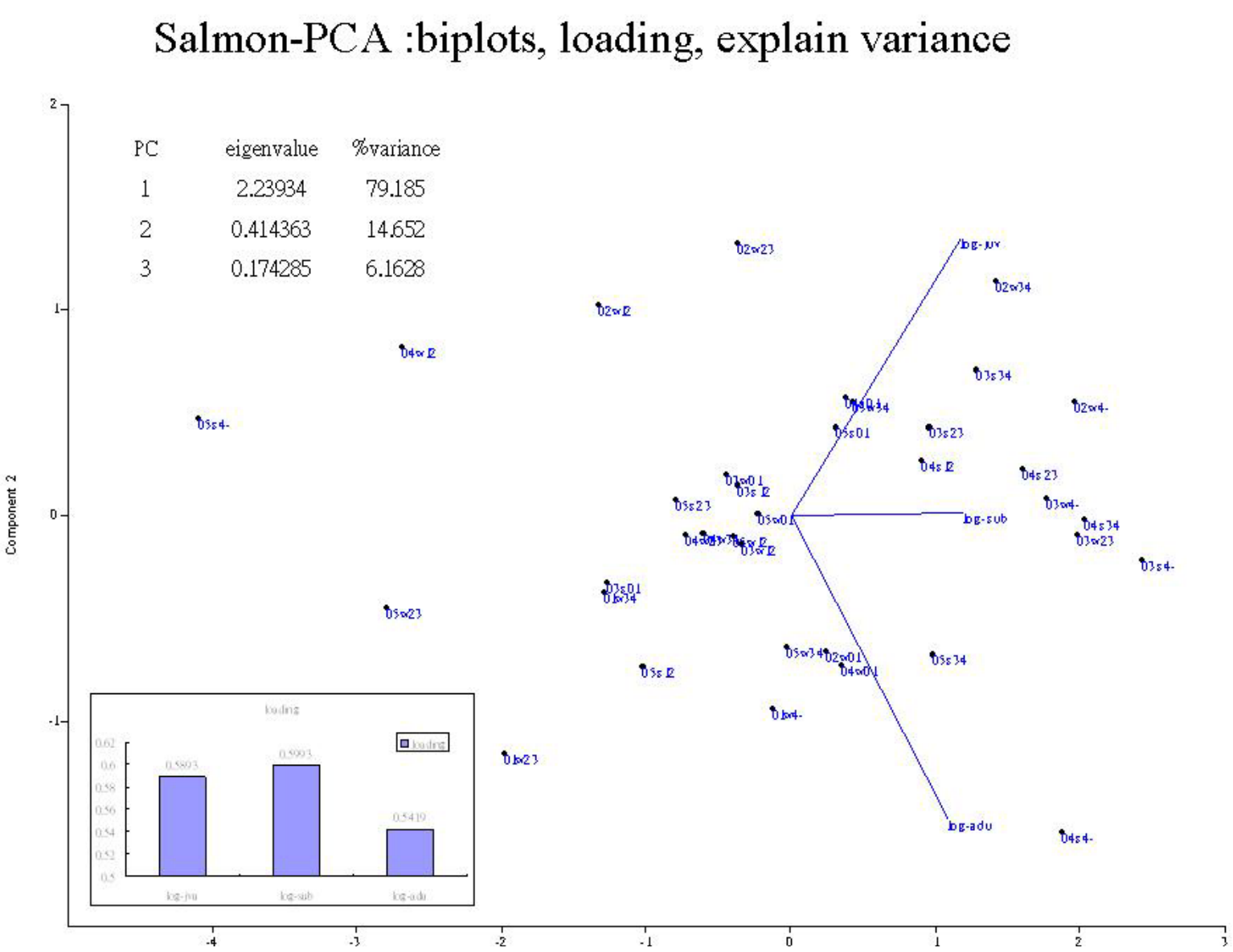


圖 1-10 不同階段鮭魚族群的主成分分析 biplot 圖

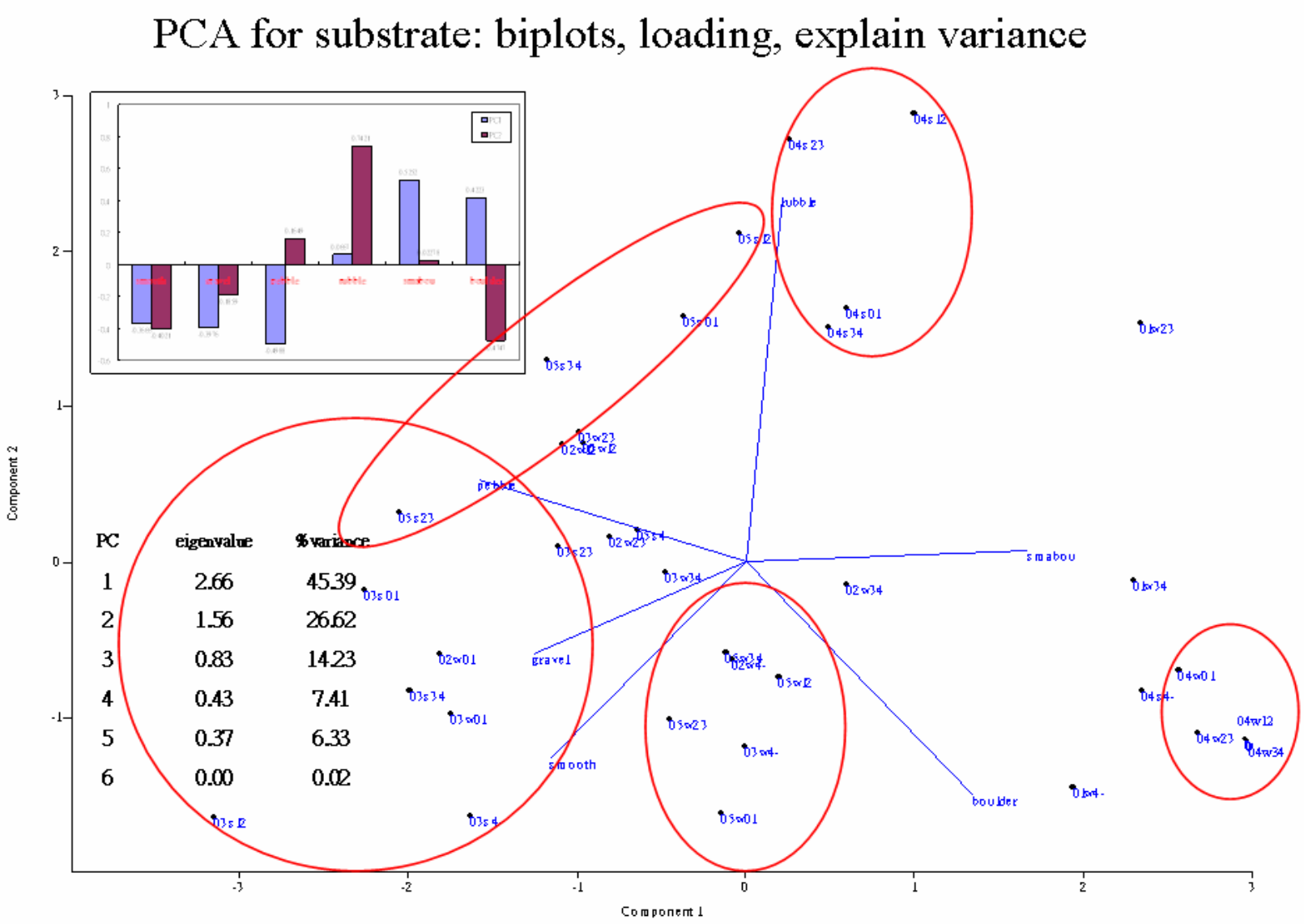


圖 1-11 高山溪底質粒徑大小組成主成分分析圖

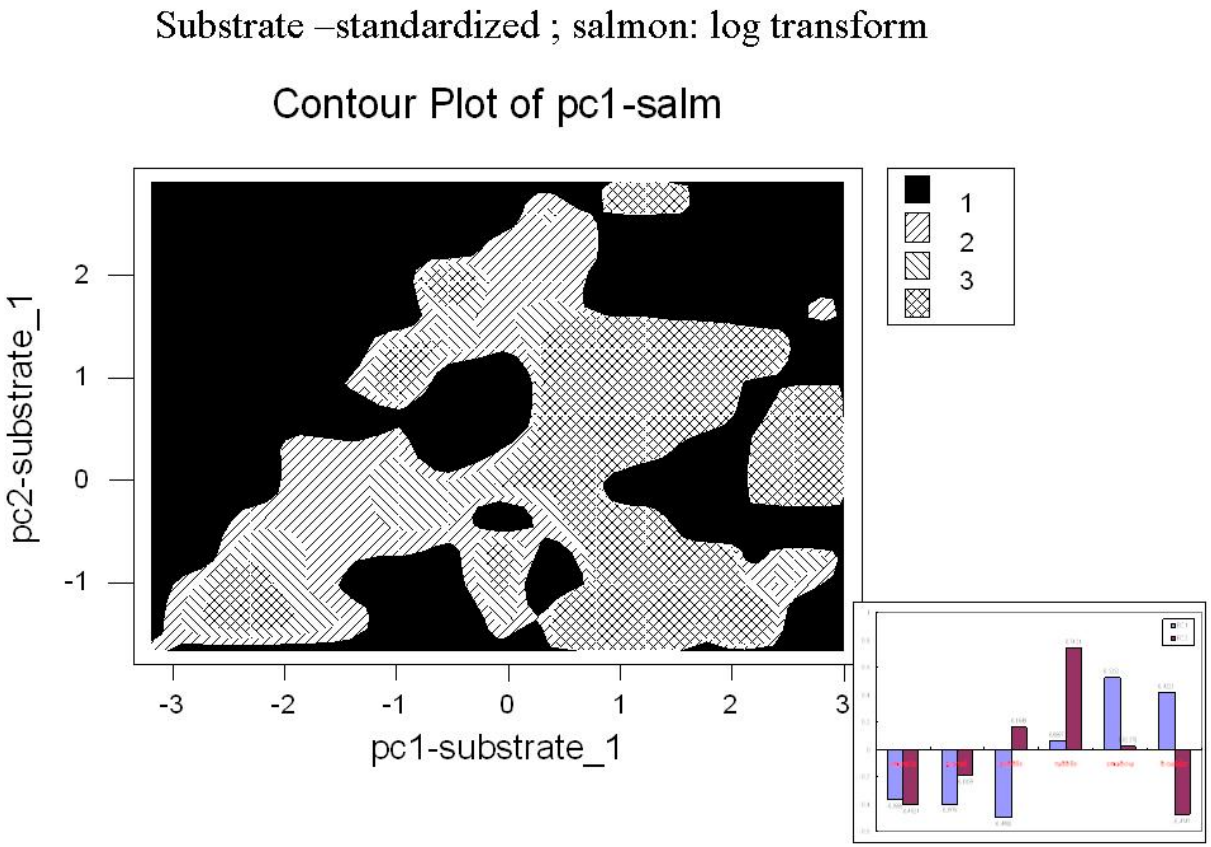


圖 1-12 鮭魚族群與底質組成百分比的主成分分析之等高線圖

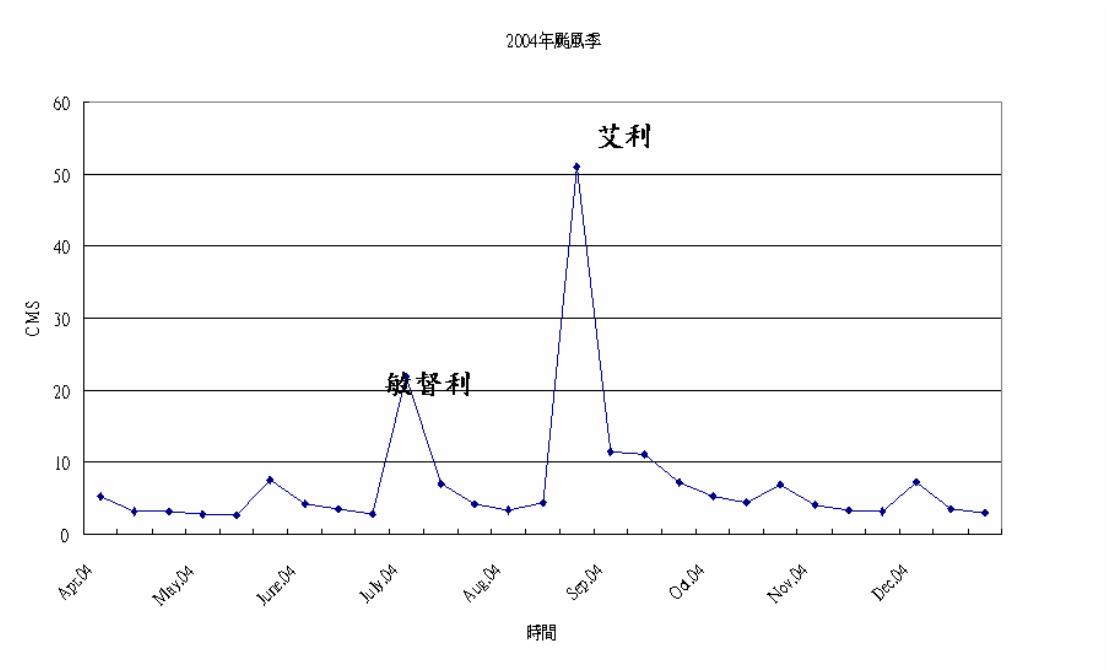


圖 1-13 2004 年 8 月到 12 月流量

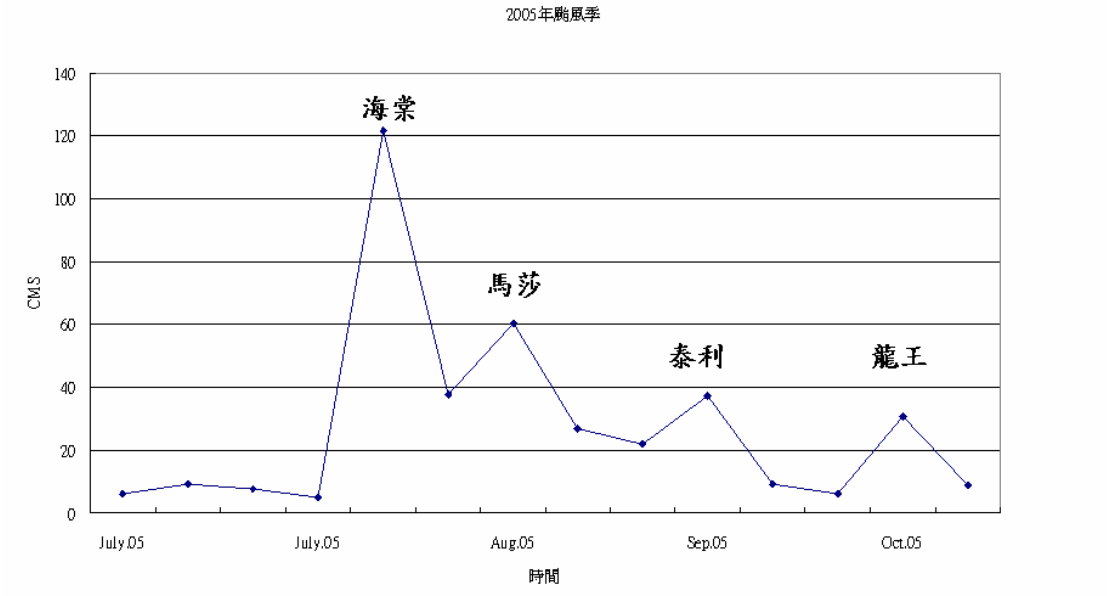


圖 1-14 2005 年 6 月到 10 月流量

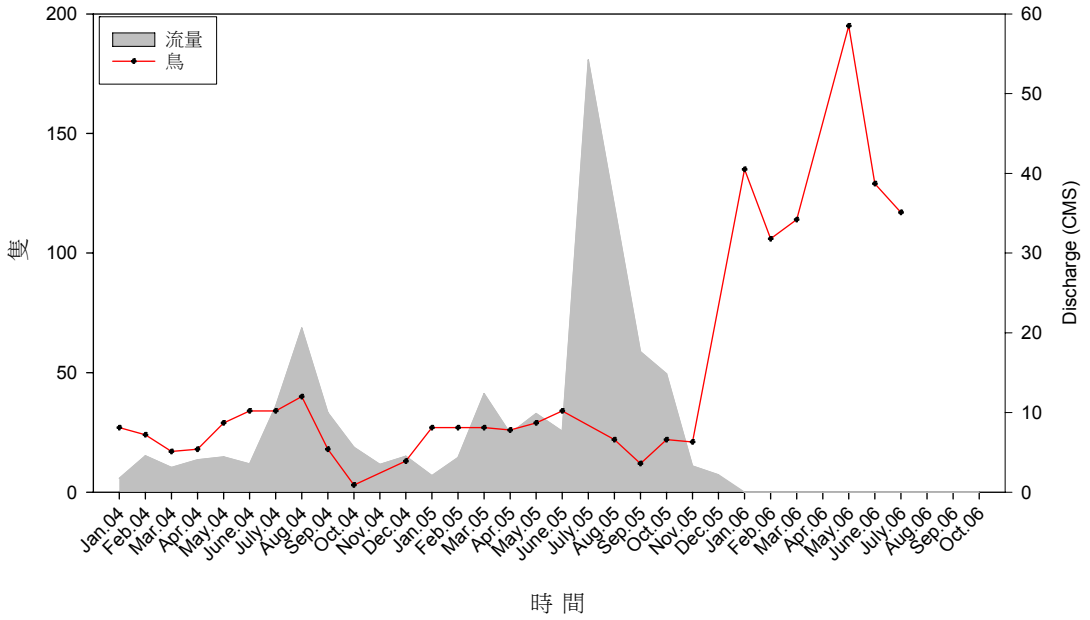


圖 1-15 2004 年到 2006 年鳥類數量與流量變化

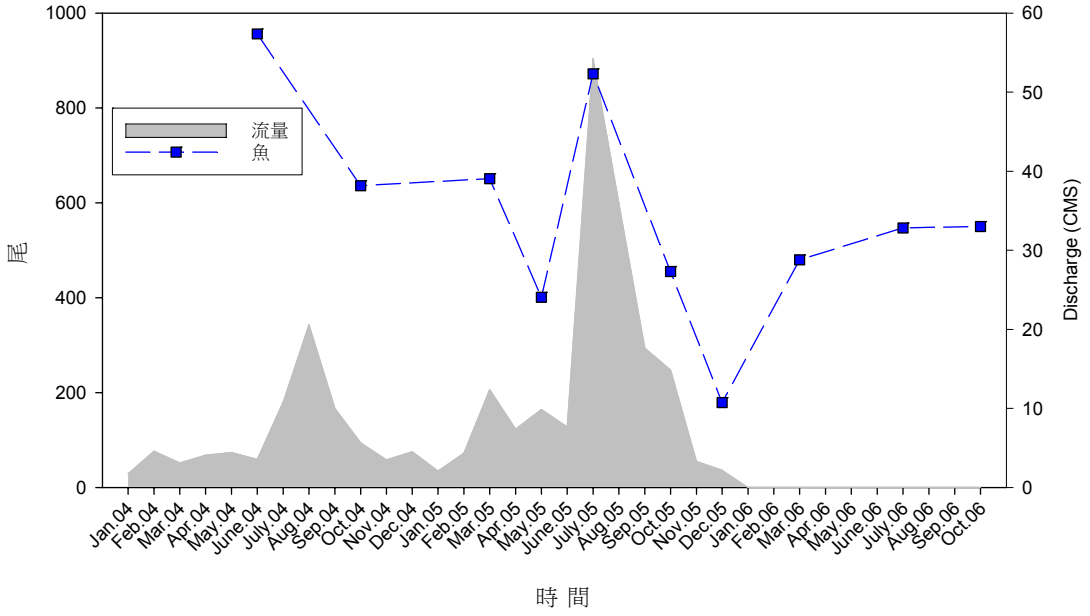


圖 1-16 2004 年到 2006 年魚類數量與流量變化

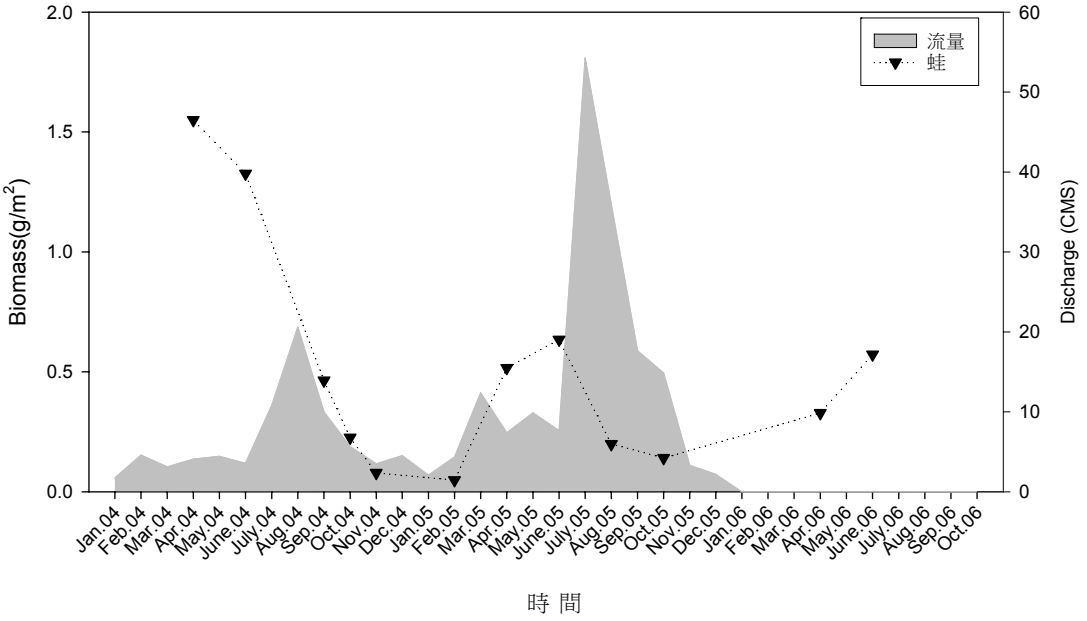


圖 1-17 2004 年到 2006 年蛙類生物量與流量變化

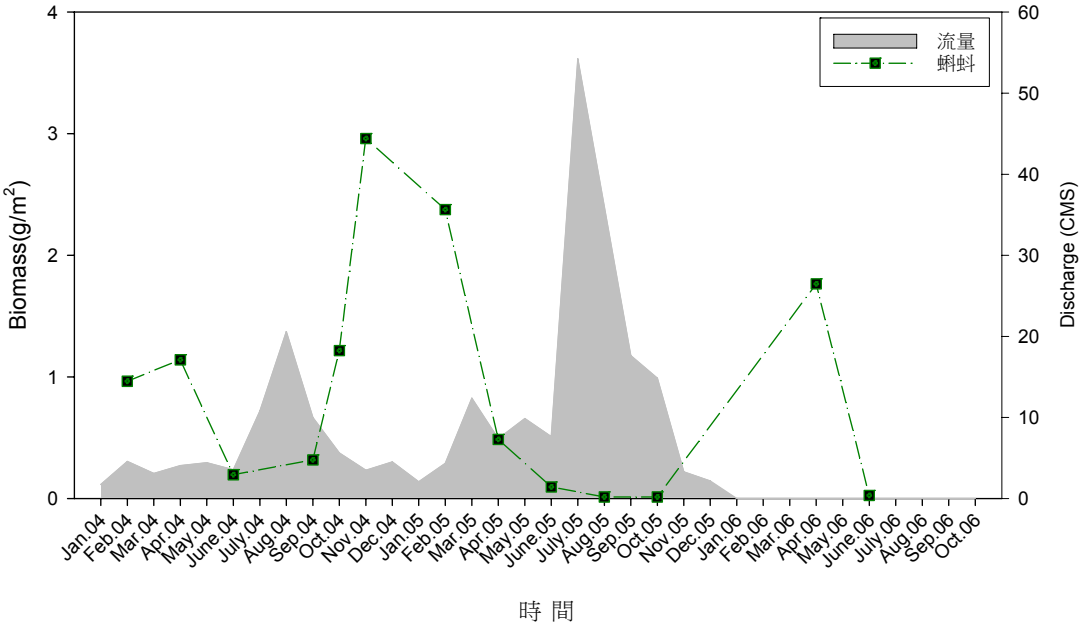


圖 1-18 2004 年到 2006 年蝌蚪生物量與流量變化

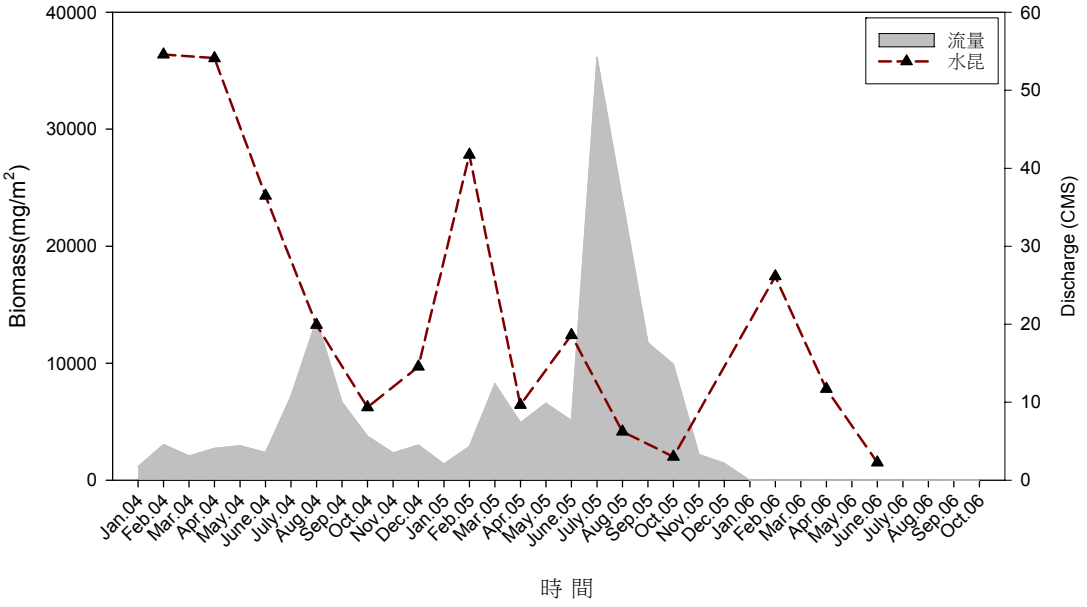


圖 1-19 2004 年到 2006 年水棲昆蟲生物量與流量變化

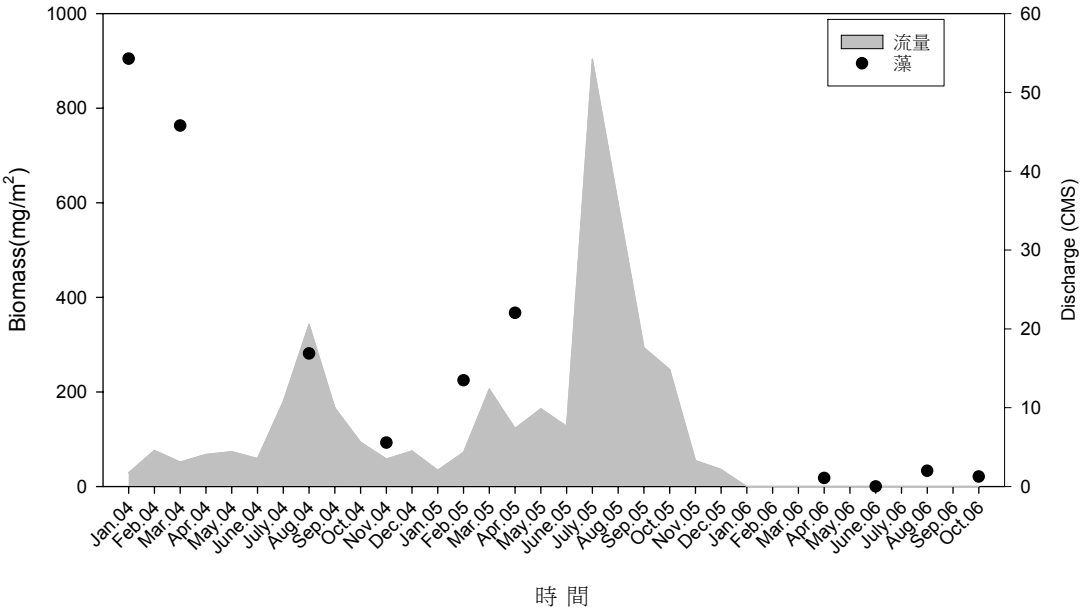


圖 1-20 2004 年到 2006 年藻類生物量與流量變化

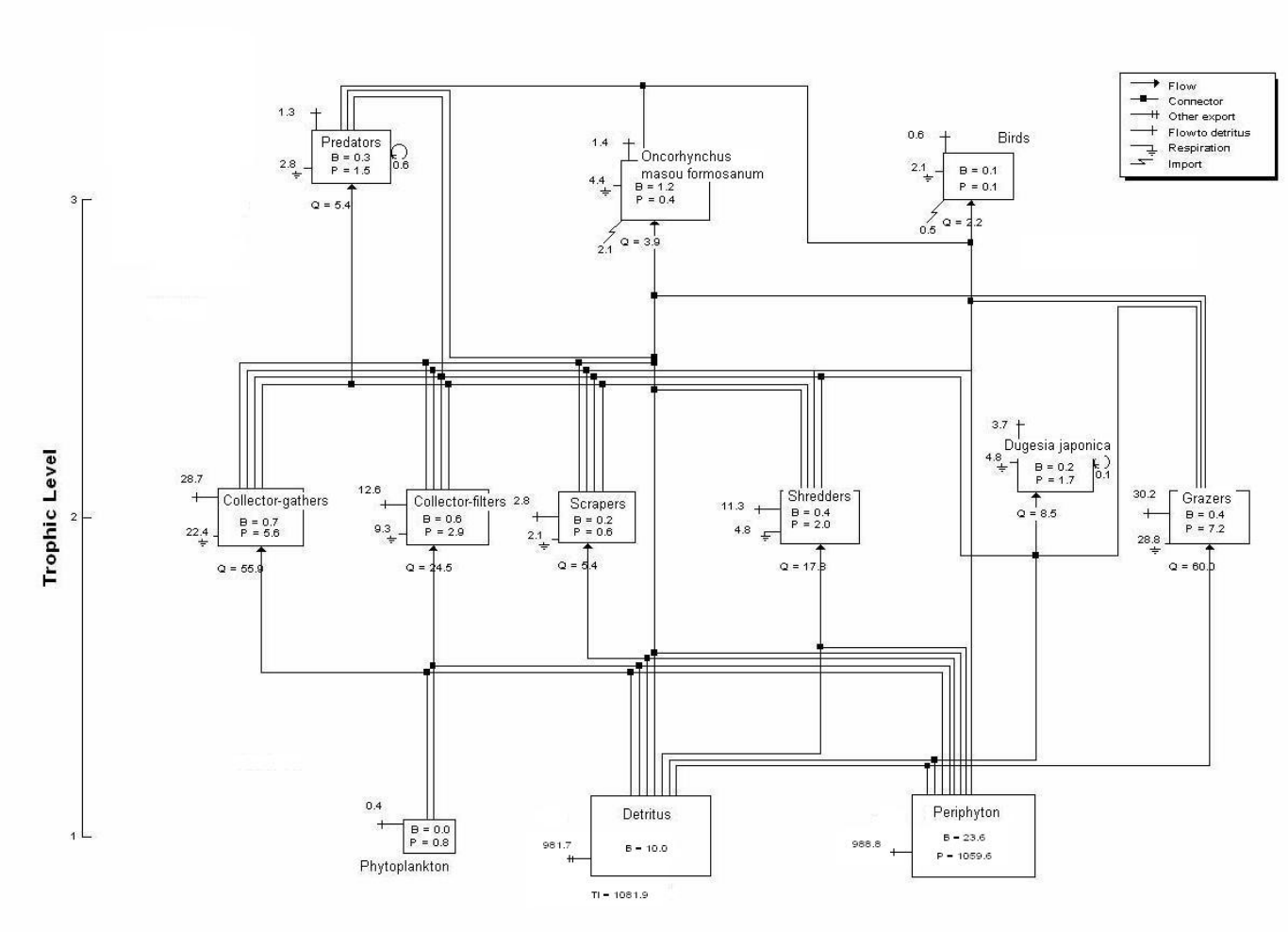


圖 1-21 桃山西溪食物網能流圖

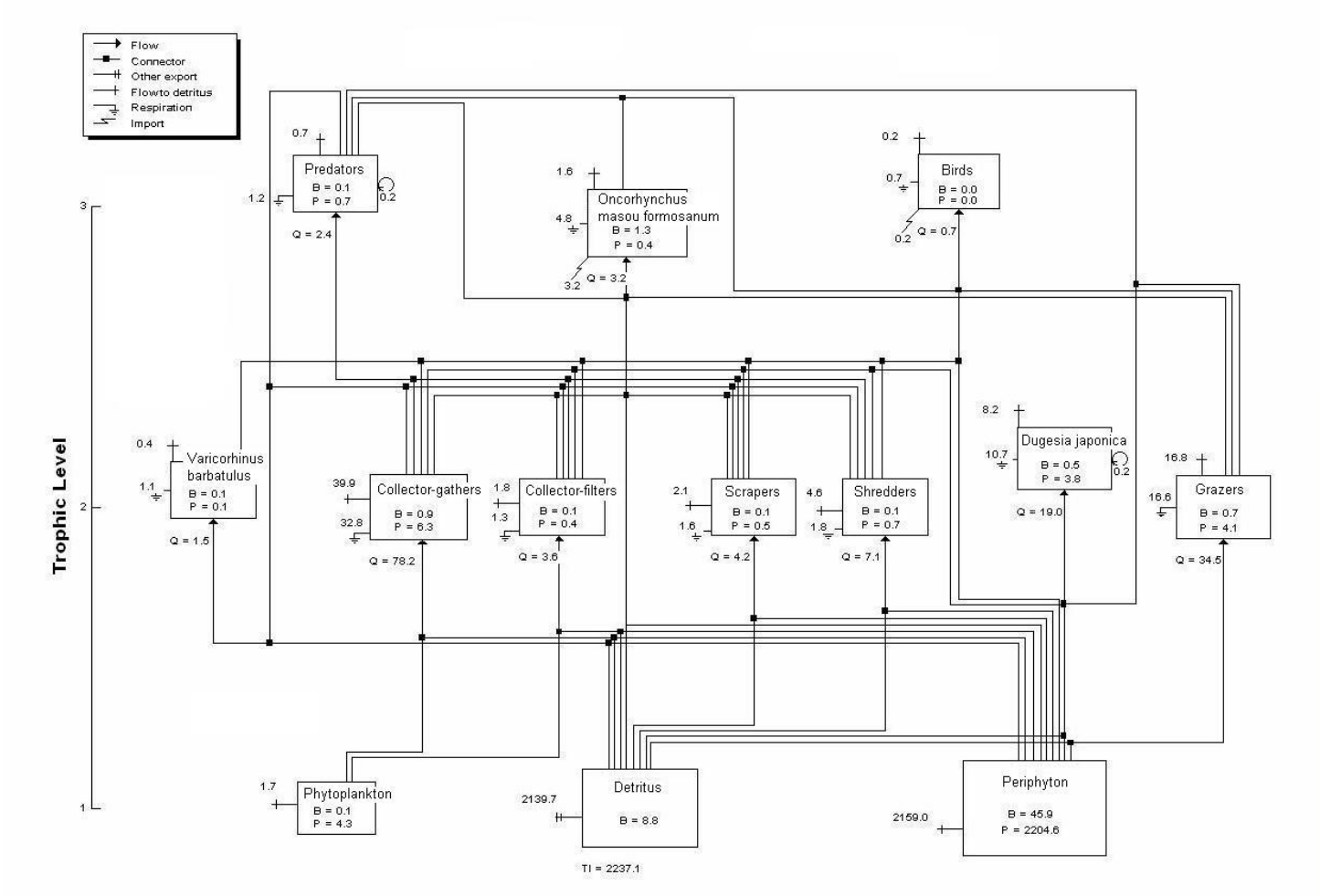


圖 1-22 一號壩食物網能流圖

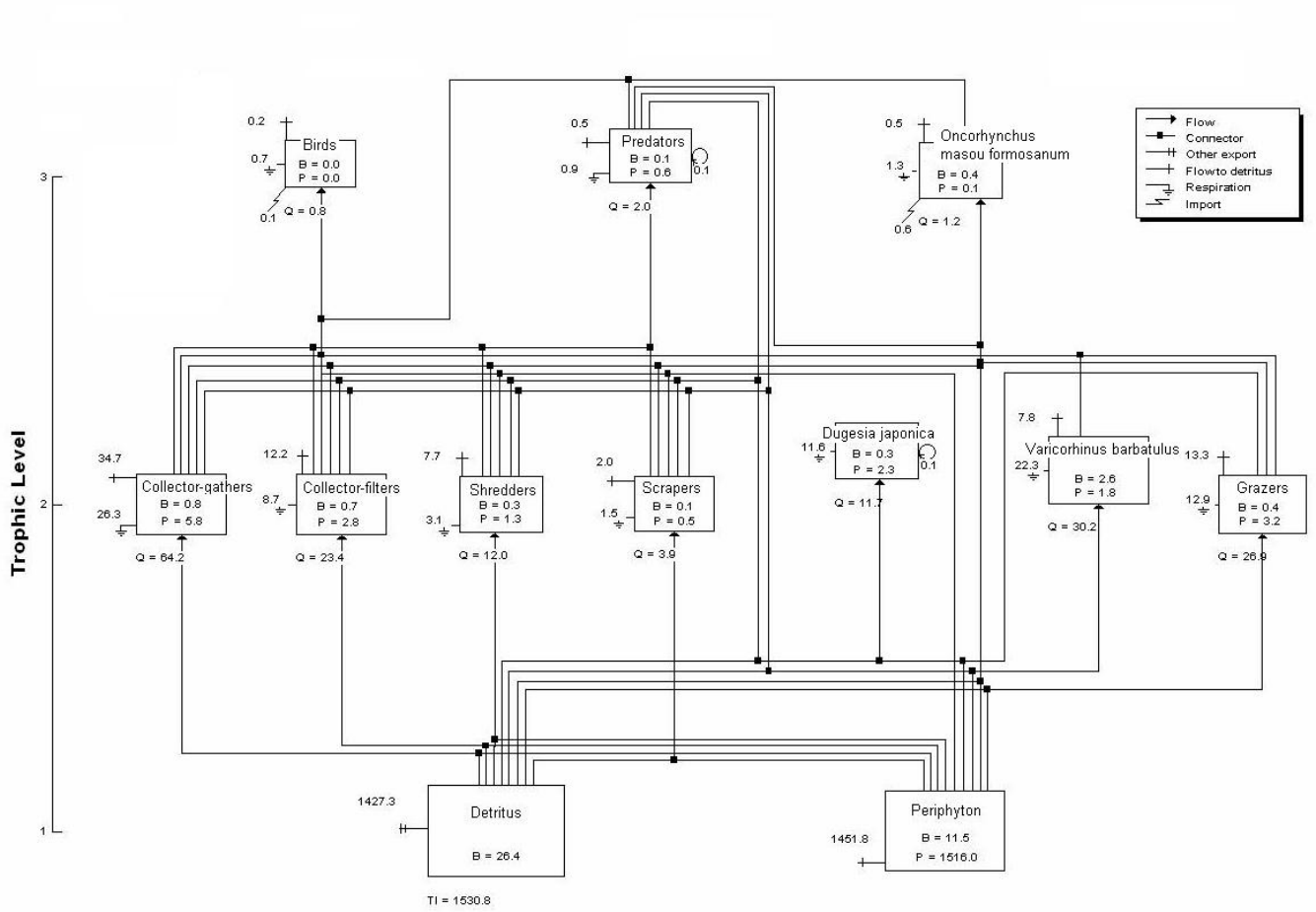


圖 1-23 繁殖場食物網能流圖

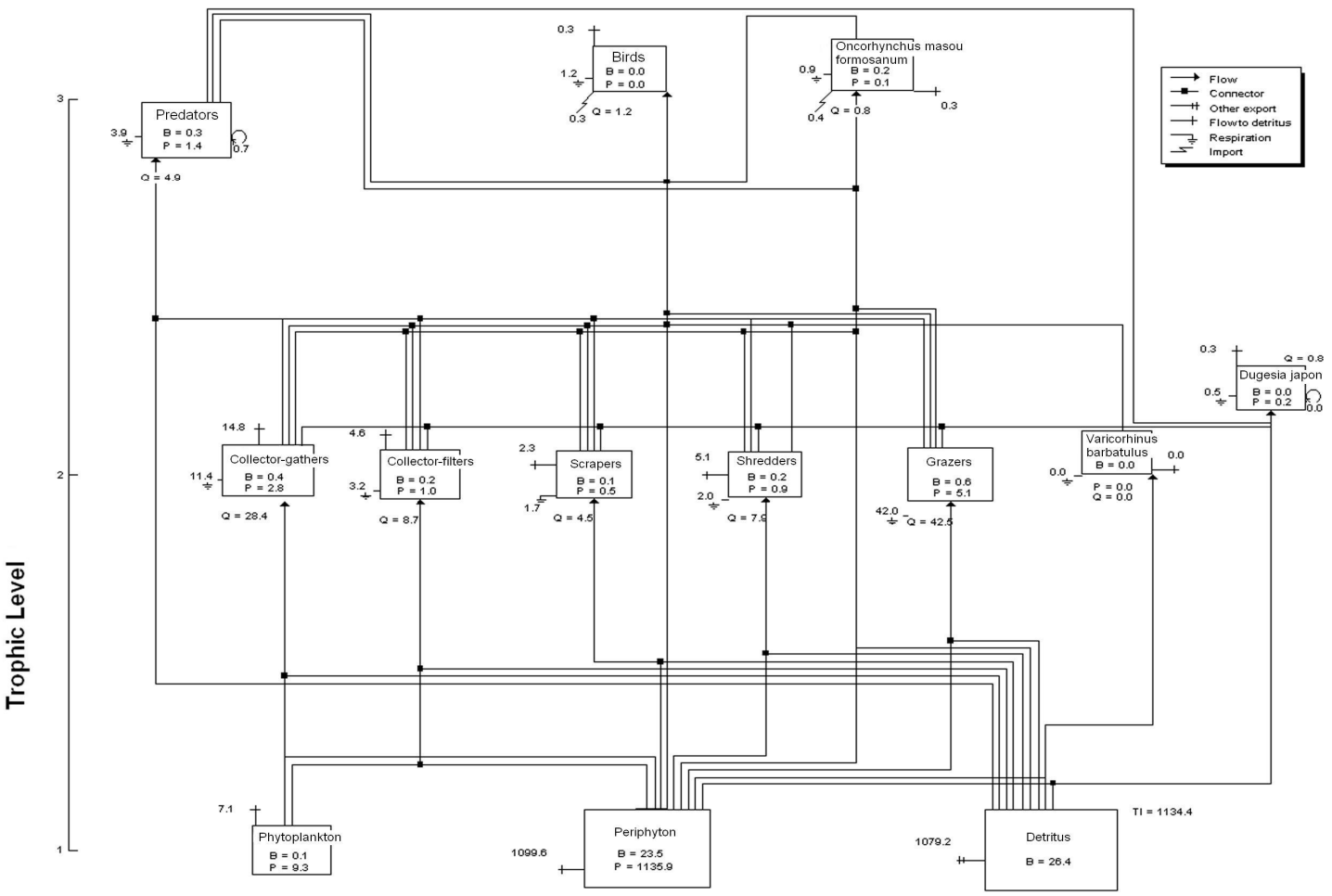


圖 1-24 高山溪食物網能流圖

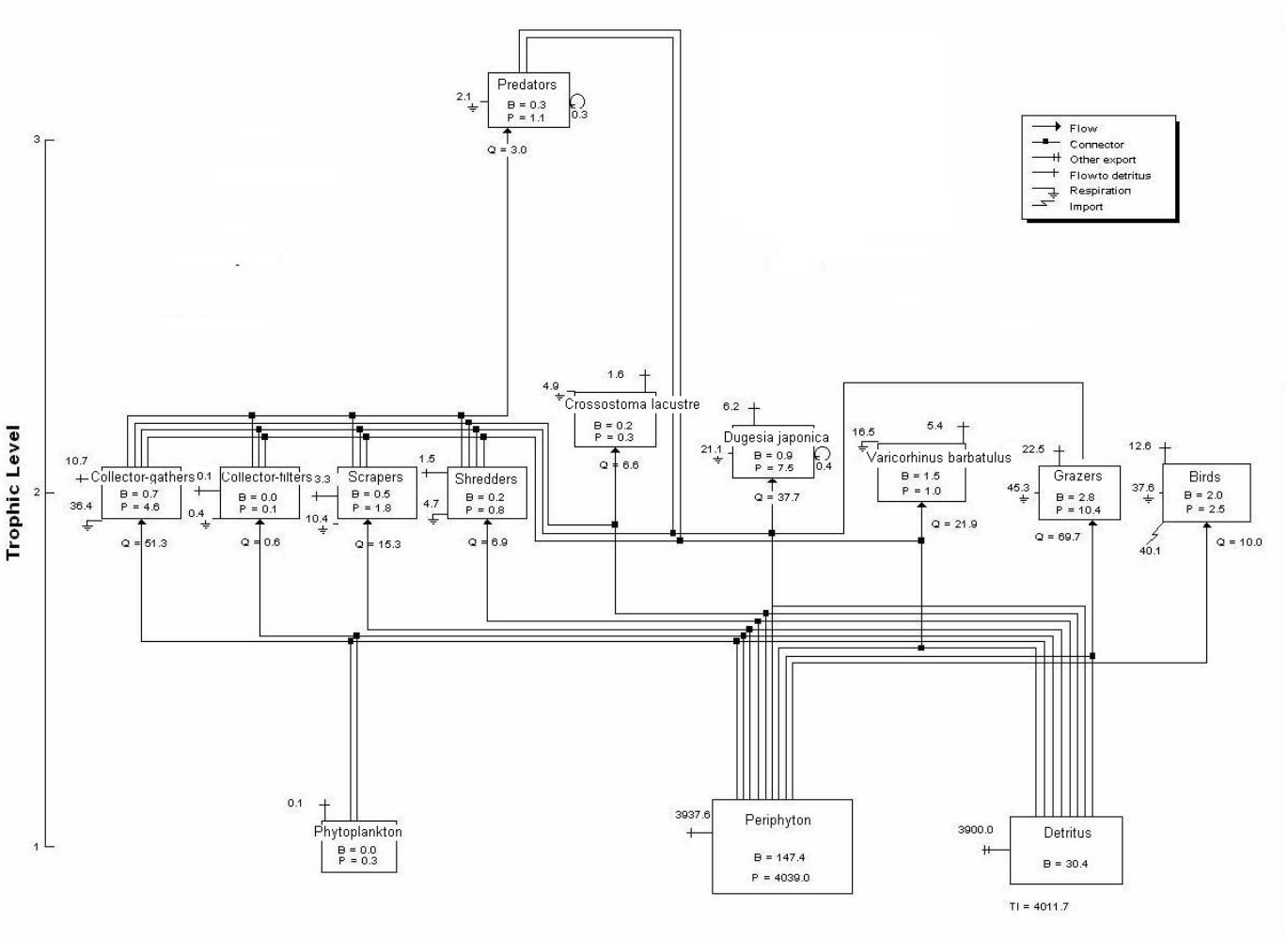


圖 1-25 有勝溪食物網能流圖

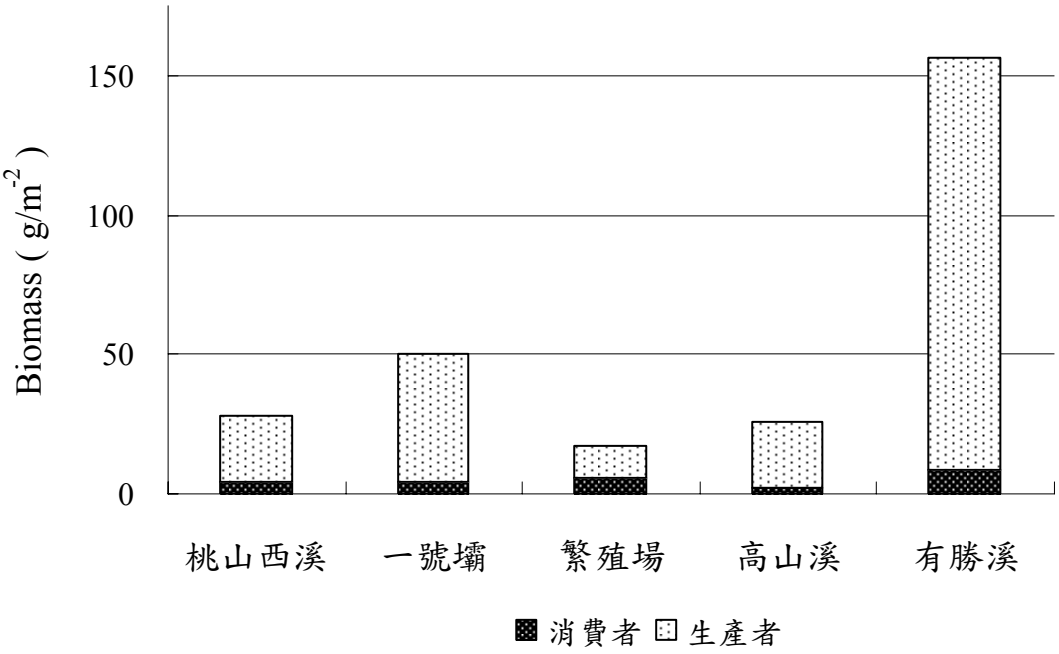


圖 1-26 武陵地區各測站消費者與生產者生物量

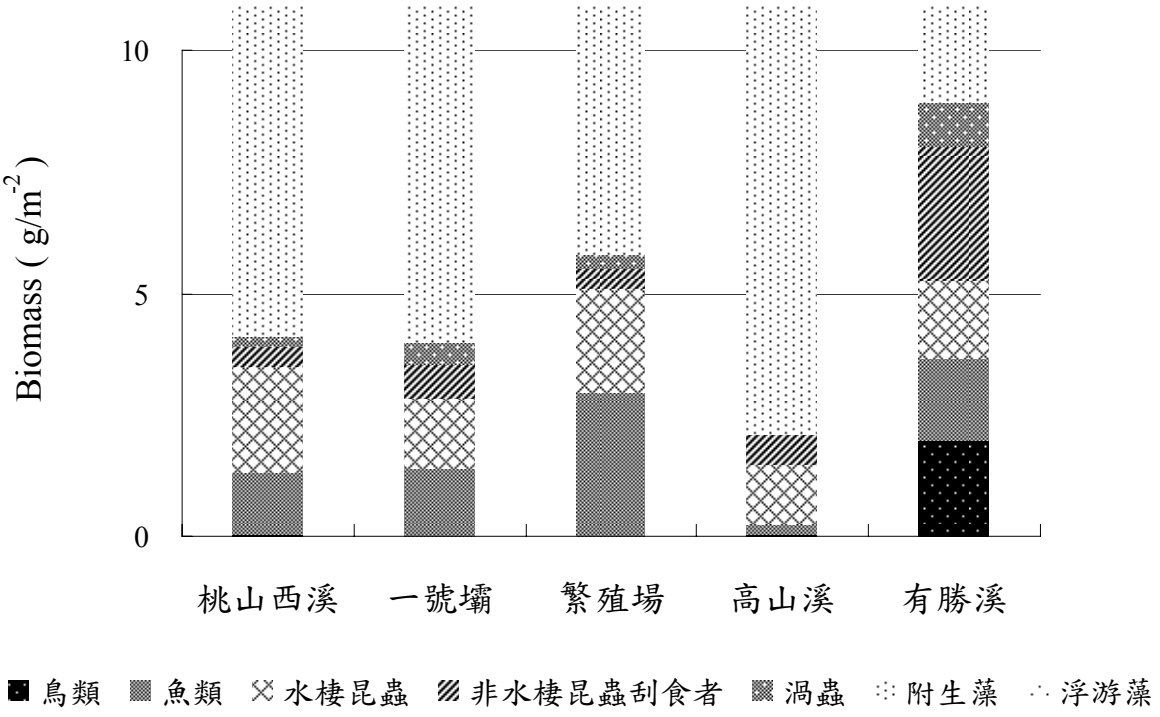


圖 1-27 武陵地區各測站各分類群生物量

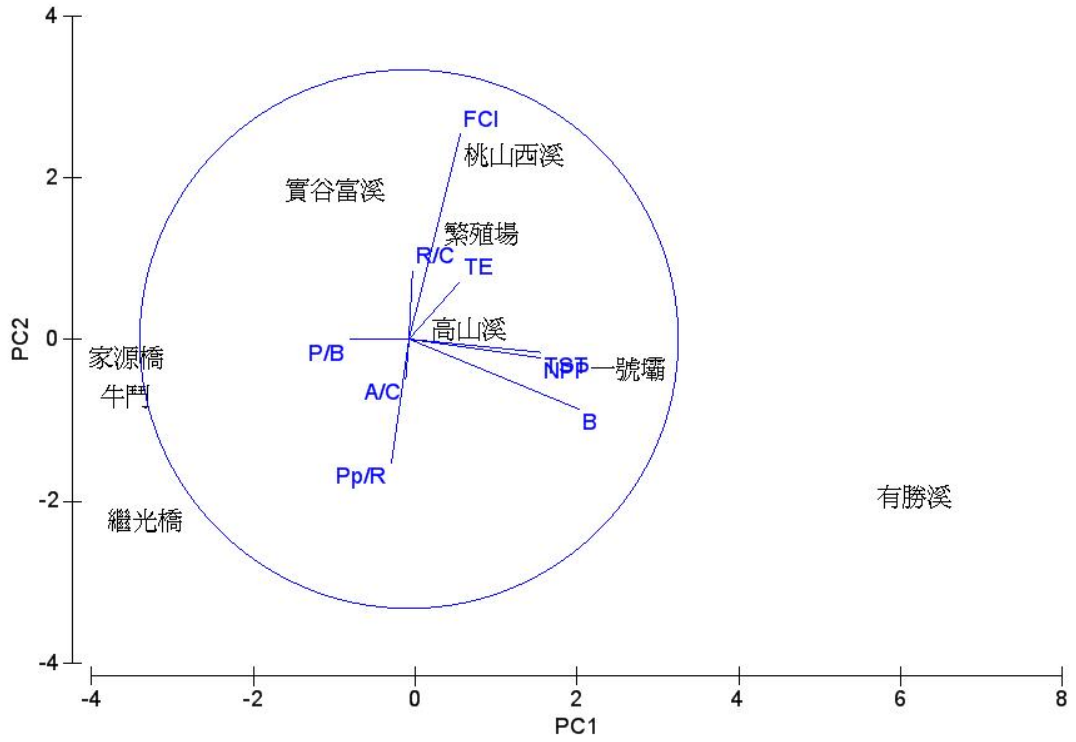


圖 1-28 武陵地區溪流與蘭陽溪溪流生態系選擇之網絡分析與模式輸出結果主成分分析圖

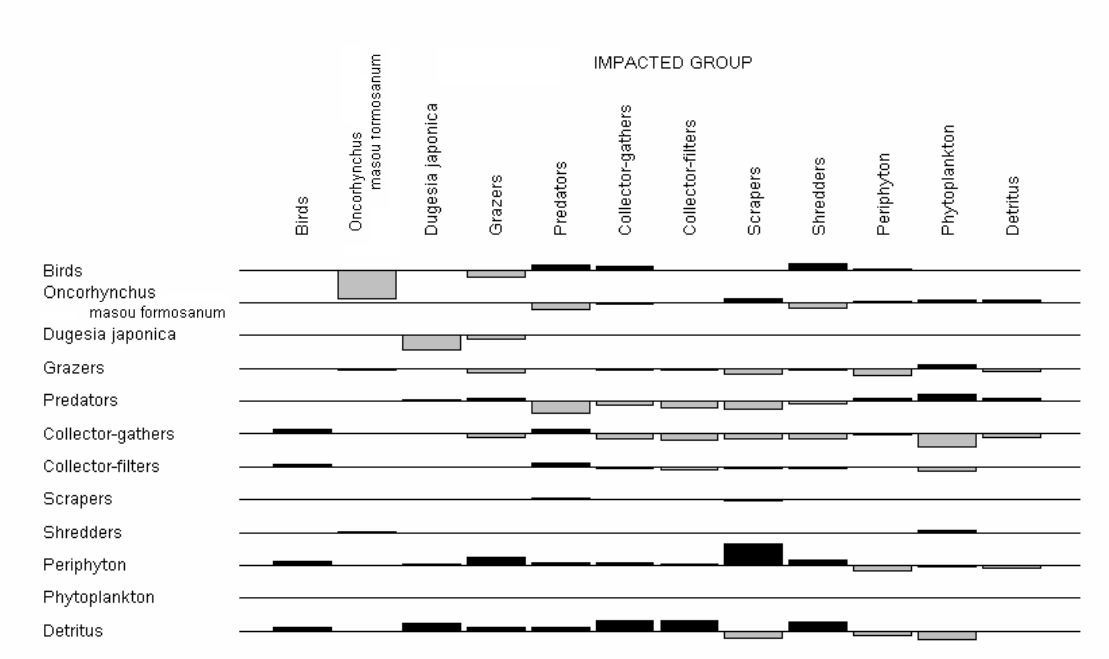


圖 1-29 桃山西溪綜合營養衝擊圖

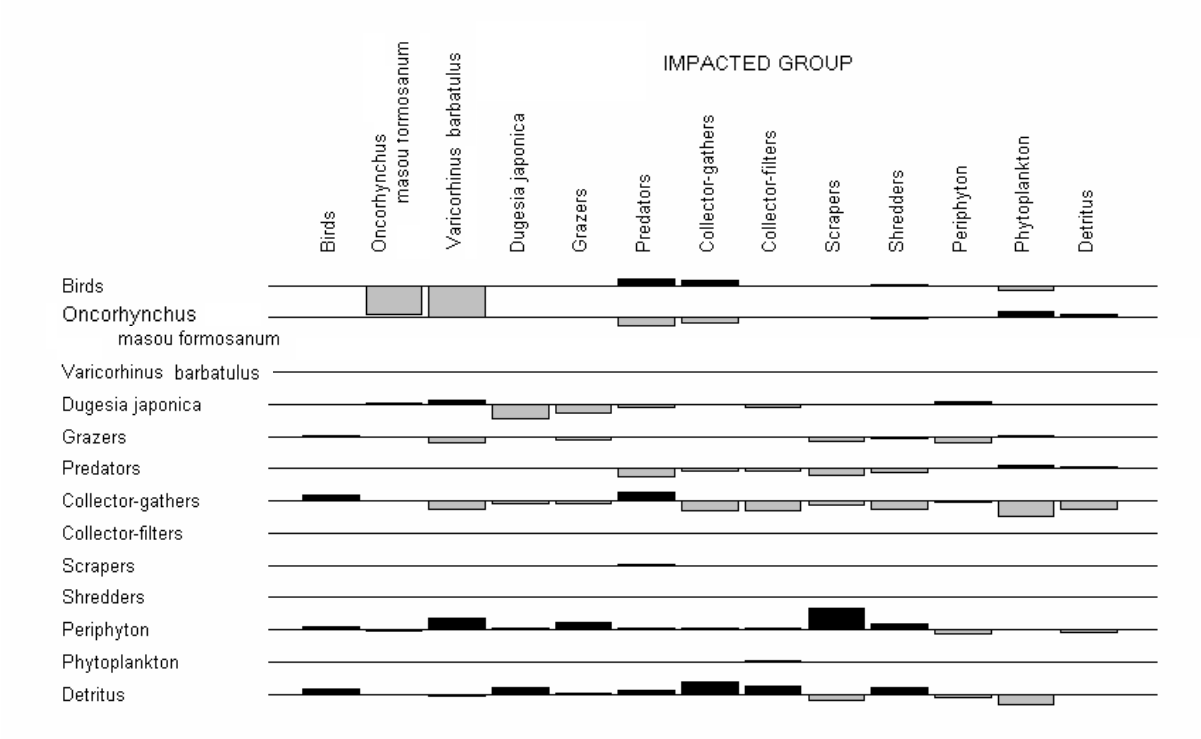


圖 1-30 一號壩綜合營養衝擊圖

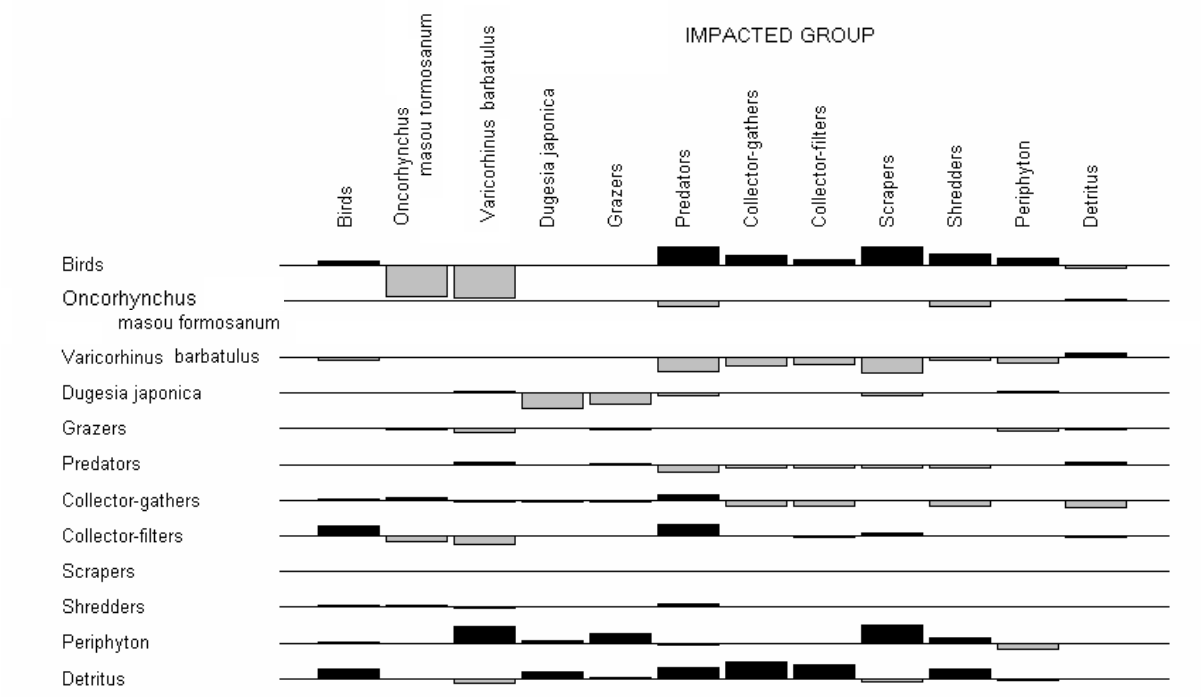


圖 1-31 繁殖場綜合營養衝擊圖

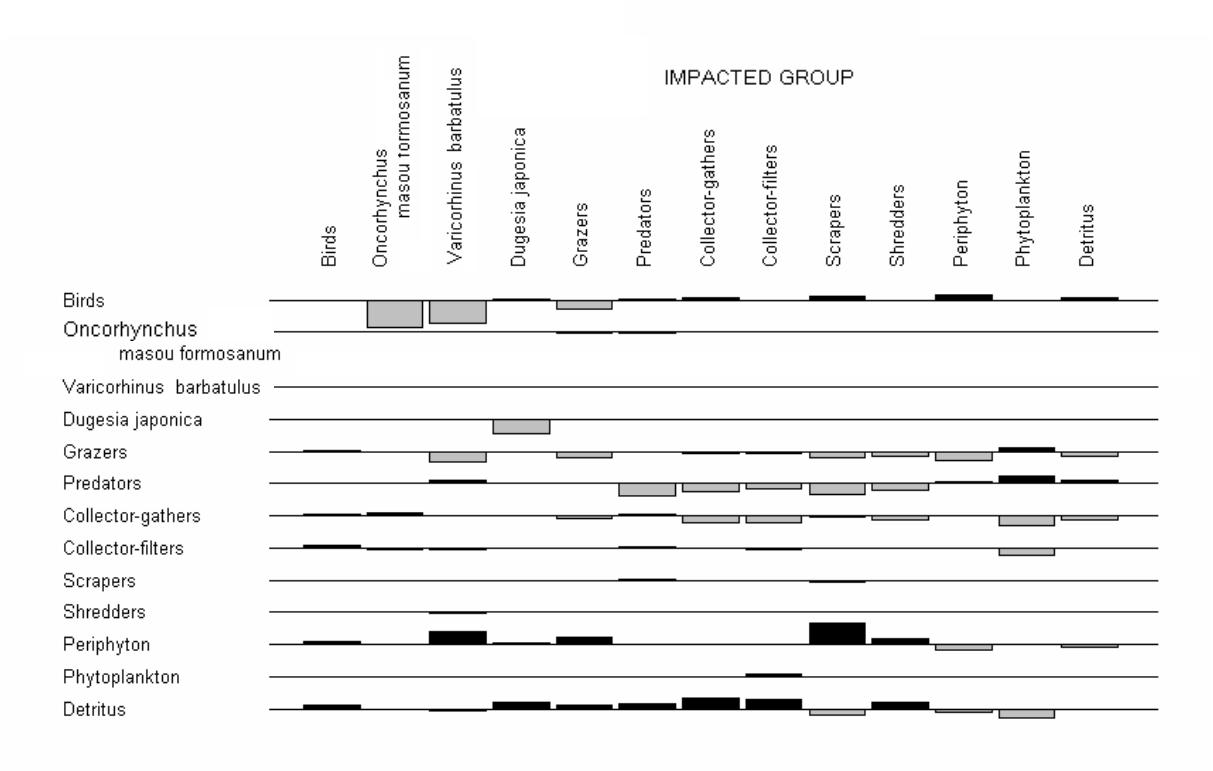


圖 1-32 高山溪綜合營養衝擊圖

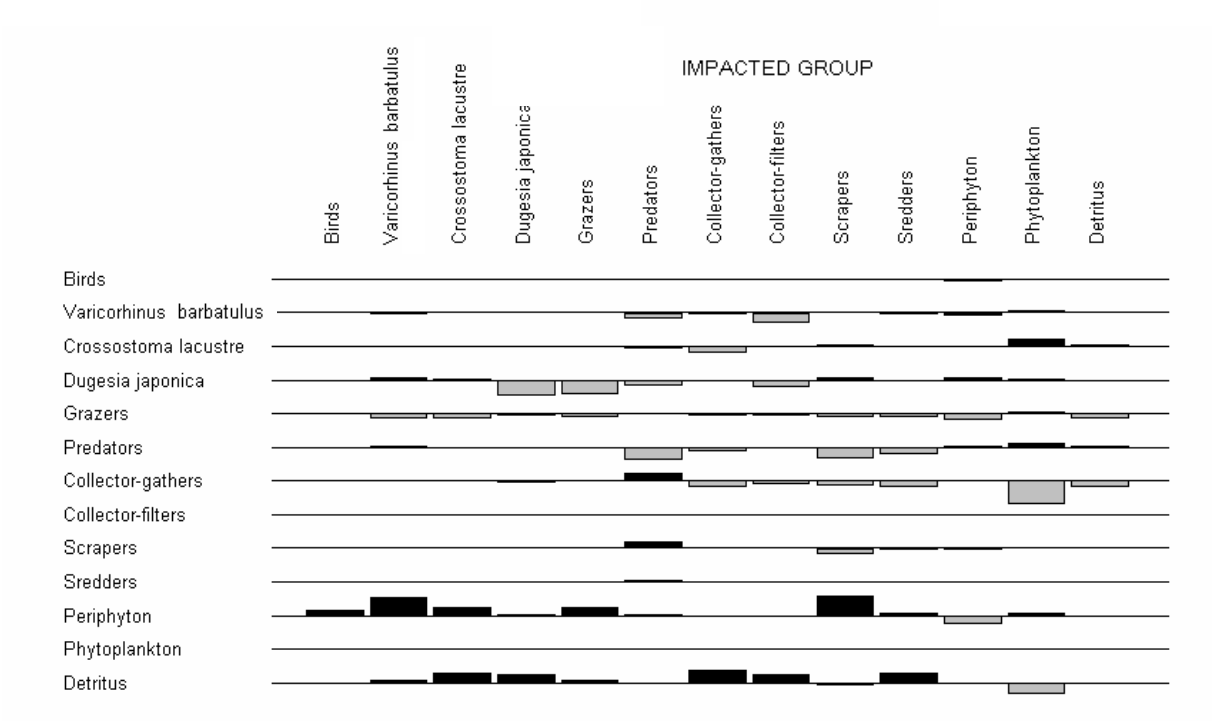


圖 1-33 有勝溪綜合營養衝擊圖

第二章　水文與物理棲地研究

葉昭憲、陳冠宏

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，本計畫對高山溪及十一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：本年度計畫除仍沿用過去實施多年之河道斷面測量及物理棲地調查方法外，亦對在高山溪三號壩與四號壩間進行河道體積之推算，並與降雨資料結合後，簡易呈現兩者間之關係。

三、重要發現：調查結果顯示去年後期到今年調查間，高山溪河道並未有相當顯著之改變，在局部地區有小幅度的沖淤互現；原堆積於高山溪河道及一、二號壩口之漂流木則有減少趨勢及排除情形，但在 6 月份的調查時發現，二號壩至一號壩間有些許崩塌區域，造成土體堆高以及流木增加；在三、四號壩間由流木殘材所形成的殘材壩在今年的調查中發現，其整體構造以趨於堅實，嚴然成為一個天然的壩體，這可能影響魚類迴游以及殘材壩體上之河道地形。七家灣溪二號石壩在多次颱風沖蝕後而崩倒，對其下游河道斷面產生重大影響。在棲地型態分佈的部份，今年調查顯示高山溪和七家灣溪棲地環境多為淺灘(約佔 75-90%)，並且因為 6 月份的豪雨而有流速上升的現象。此外，在去年配合其他計畫所增測之九處共同採樣區外，今年更新增了位於司界蘭溪的兩個新測站。河道斷面在今年兩次調查後發現，6 月份的豪雨所帶來的洪水將大多數採樣區河床沖平，而造成了大量淺灘的現象。有勝溪樣區因為道路施工的結束，原本推積於左岸的土方已被沖平，而出現了擴床的現象；在樣區場址之河道坡度部分，較大變化出現於流心深槽線部份。底質粗粒化現象，在今年前半年逐漸改善，大多集中於卵石到粗石之間。

四、主要建議事項：高山溪三號壩至四號壩間由漂流木所堆積形成之殘材壩，其結構逐漸結實穩定並且產生 2 公尺之高差，對於是否將對魚類迴游造成影響，建議會同其他專家進行評估後再提出適當之對應策略 。

【關鍵詞】櫻花鈎吻鮭、七家灣溪、高山溪、攔砂壩改善、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 eleven observation sites selected by group members of STMD.

2. Method and Process: This project applied the survey and analysis methods used in past several years, and the relationship between precipitation and channel morphology was first explored by one selected reach in Gau-shan Creek.

3. Major Findings:Mostly, the channel conditions at all observatory sites remained relative stable and unchanged compared with those at the end of last year. The woody debris decreased apparently at Dam # 1 and Dam #2 of Gau-shan Creek. However, one debris dam is formed between Dam # 3 and Dam #4. After summer season, boulder Dam #2 at Chi-Chia-Wan Creek collapsed such that the difference of the water levels between upstream and downstream channel decreased into one meter from original five meters. The percentage of rapid habitat increases to make riffle and slow habitats fewer at the second half year, while the percentage of riffle habitat dominated the channel in the first half year with 75-90%. The longitude and cross sections survey for Chi-Chia-Wan Creek was applied for a reach of 6.1kilometers divided into four sub-reaches. The channel slopes at these four sections ranged from 0.021 to 0.028, while the width of channel cross sections is between 20 to 150 meters. For those obsertory sites, minor change in habitat composition and increasing slopes were found after summer season.

4. Suggestions: The debris dam between Dam # 3 and Dam #4 may cause problems for Formosan Landlooked Salmon, appropriate resolution should be discussed among experts from related field.

【Keywords】Formosan Landlooked 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，前數十年之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，物理性之改變以攔砂壩所造成水溫變化與族群阻隔最為明顯。計劃主持人自八十六年七月開始便針對攔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攔砂壩之壩體改善方式提出建議。為瞭解改善工程完成後，河道縱橫斷面之演變以及其物理棲地組成之時空間分佈狀況，同時持續對高山溪河道以及九十一年度中自然損壞之七家灣溪二號壩副壩附近河道進行多年之追蹤測量。

然而，九十三及九十四年連續兩年夏天之多場颱風、暴雨致使武陵地區溪流河道產生相較以往較為激烈之變化，而對應之河川物理棲地組成亦有明顯變異。為進一步瞭解環境變化（包含自然及人為因素）對河道地形及物理棲地變化趨勢之影響，以及此變化趨勢對於武陵地區生態系之互動關聯，本計畫除持續以往之河道調查外，同時將配合群體計畫其他成員在不同溪流尺度下之研究需求進行資料收集、提供及分析工作，以便本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及依據。

(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攔砂壩之觀測河段、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今年新增的司界蘭溪，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。本計劃以八個月的時間進行各項研究項目，故計劃之執行期間為民國九十五年五月一日至民國九十五年十二月三十一日。

(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。
5. 評估雨量因子在高山溪拆霸後與其泥沙變動之相互關係，簡略的將兩者間之關係呈現表示。

二、高山溪河道變化調查

高山溪流域中原有的四座攔砂壩，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，這也使得高山溪河道一直處於變動的狀態。常隨著流量及暴雨流量，使得壩上的泥沙往下游輸送，並沉積於下游河床面；而這樣連續的泥砂沖刷、輸送、淤積，產生了河床的自然演變。本研究中為了瞭解河床演變的趨勢及特性，因此對於高山溪河道進行長期追蹤調查，並延續前幾年之調查。本研究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。

在今年度計畫中，總計對高山溪作了四次的斷面調查，分別選在 2 月、6 月、10 月以及 12 月等四次。由今年四次的調查中可發現，在豐枯水季時有明顯沖淤互現情形，坡降則是有變緩的現象，以整體上來說，今年河道的地形淤大於沖。在舊有崩塌地部份，也因為今年較無暴雨事件的發生，使得這些區域得以緩和，並從調查中可以發現這些崩塌區域已有植生逐漸入侵的跡象。

(一) 四號壩上游河道

今年度 6 月調查由於無法到達四號壩上游河道，本年度報告將無法提供 6 月四號壩上游河道的資料。而根據今年度 2 月、10 月與 12 月等三次的河道調查，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坡降有逐漸變緩的趨勢，但在本年度最後一次調查中則有小幅度升高的現象。再者，在四號壩上游多為較狹窄型的河道，且兩岸多為岩盤，河段寬度並不會隨意變動，深槽線也相當的穩定。變動較大的地方多為壩口附近。值得注意的是，在四號壩周邊近堆積了相當多的木質殘材，進而在其附近形成淤積沙洲，並將流心導往河道中央。

(二) 三號壩上游河道

高山溪的三號壩到四號壩之間的河川型態不同於四號壩上的狹窄型河道是屬於較寬廣的河道，而在此段河道中巨石數量也較四號壩上游少，且因河道的河幅較廣且多直線段，顯得河道更加的多變。當洪水來臨時，此類的河床常會使得河川有擴床現象以及流心變動的現象發生。雖然今年 6 月份之坡度有些許提升，但在 10 月份與 12 月份調查時又回復到以往常態的坡度。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，並產生 2 公尺之高差，對於是否影響魚類迴游，建議會同其他專家進行評估後再提出應對策略。

(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。在本區域中下游段可發現刷深較為嚴重，除此之外，由於崩塌的關係，木質殘材頻繁的出現在此河段當中，在本年度的調查中亦可發現這個事實，但位於河道中之木質殘材容易在其週邊形成淤積，進而塑造出多樣性的物理棲地。

(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有所類似；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，在前年流心轉向偏左後，使得左岸的蛇籠護岸就開始有破損的現象，在最後一次調查中發現破損的情況有加劇的現象。後半期調查可以發現坡降有約略上升的趨勢，但就整體而言，平均坡降仍無太大的變動。

(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，經調查平均坡降為 9%左右，再加上來自上游之泥砂量較大，且巨礫石較多，為所有河段中階潭地形最為明顯之區域。而在匯流口前河道地形變動幅度較為大，10 月份的調查中發現以往存在於接近匯流口的巨岩已被大水沖走，造成接近匯流口之河道有明顯擴床以及平緩的現象。

三、七家灣二號壩及其副壩河道斷面調查

一直以來，大甲溪上游支流七家灣溪均為台灣瀕臨絕種之國寶魚櫻花鉤吻鮭最主要之棲息地。因此，本研究為了要更了解此流域之環境條件，長期進行了河道的追縱調查；在過去，調查的範圍皆以七家灣溪原有之二號壩與二號石壩之上下游河段為主，原因是本河段為魚群密集出現之區域且二號石壩在多次豪雨侵襲後已產生了相當程度的破壞，是以希望藉由長期的追蹤調查來對本河段之變化趨勢加以監控；但為求更了解本流域整體之變化趨勢，本計畫去年度特別增列七家灣溪全河道之斷面與物理棲地調查，本年度將進行對七家灣第二次的全河道調查，並與去年所獲得之資料進行對照。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，終點則為七家灣溪與有勝溪匯流至大甲溪處，全長約為 6.1 公里。

本章將七家灣溪分成四個段落: 三號壩下至二號壩上 400 公尺、二號壩上 400 公尺處至二號壩下 200 公尺處、二號壩下 200 公尺處至一號壩以及一號壩下至終點，來分別作探討。原因主要由於過去調查中主要以二號石壩上游 400 處至下游 200 公尺處為主，是以本章仍將此段單獨列出，以利於與先前調查作比較。

(一) 三號壩下至二號壩上 400 公尺處

本段測量起點三號壩至二號石壩上游 400 公尺處，本河段長約 1200 公尺，河道坡度約為 0.028(見圖 3-1)，在本河段中由於位於上游的原因，是以坡度相較與其他段來得為大。起點七家灣溪三號壩為一高約 20 公尺寬約 30 公尺之攔砂壩(如照片 2-32)，相較於去年，今年度三號壩下近壩體處出現一個深潭；且在壩下左岸處有大規模的崩塌事件發生，而落下的石塊與土體有進入河道並影響其地形的現象(照片 2-34)。而緊接下游兩岸則出現大型岩盤使河道束縮成狹窄且深之水流(照片 2-36)，本河段河寬分布大約為 30-40 公尺(如圖 2-34~2-38)。

(二) 二號壩上游 400 公尺處至下游 200 公尺處道

七家灣溪二號壩下游之攔水堰於民國 91 年間因颱風豪雨之破壞，導致壩體結構產生破壞後，並導致水流經由壩體下方穿過將攔水堰上游原有之淤砂逐漸帶走；而在 93 年 9 月的颱風豪雨後，將攔水堰幾乎完全沖毀。另一方面，當次豪雨也將二號石壩的結構造成嚴重傷害，使得二號石壩的壩基裸露出約有三公尺，

壩體上方缺口也持續加深。今年洪水事件較少，二號石壩破損的情形沒有加劇的現象，故此區域已逐漸形成連續河段，對於魚類迴游應有正面的幫助。

延續近幾次的調查，二號石壩上河床坡度呈現緩和的趨勢（見表 2-7）。而二號石壩下在本年度前三次的調查中也有呈現變緩的趨勢，但在 12 月的調查中則有約略上升的現象（見表 2-7）。河道各斷面之幾何變化及現況，可由圖 2-36~圖 2-45 及照片 2-39~照片 2-54 所示。另外，由於地形條件之影響以及床面存在許多巨礫及岩盤，導致斷面變化不大。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。而在二號壩上游 400 公尺處之邊坡在去年出現崩塌的情形，今年的調查中發現此區域已有對其進行打樁編柵之整治，對其表面土體有穩固的效果。

(三) 二號壩下游 200 公尺處至一號壩

此河段起點位置在於舊復育場下游處，一路延伸至一號壩上其中包含了一號壩生態樣區，本河道全長約為 2500 公尺，河道坡度約為 0.023(如圖 2-8)。本河段中河寬由 20 多公尺逐漸增加在觀魚台前上游數百公尺大約皆為 50 至 60 公尺寬且相當平直的河道，兩岸有非常大量礫石所堆積成的大灘地；在觀魚台前 50 公尺河道稍微束縮，經過觀魚台轉彎之後，河道逐漸開闊，到一號壩上游 500 公尺處至一號壩上間為非常寬廣且平順之河道，也由於河道平緩且河幅寬廣，是以本段河流變化甚大，在幾次颱風豪雨過後都發現流心有劇烈之改變；而在此河道右岸接近道路處有數片杉木林，最寬處甚至超過 150 公尺(如圖 2-48~2-51)，為本流域中河道寬度最大處。

(四) 一號壩下游至匯流口

本河段起點位於七家灣溪一號壩下，終點為七家灣溪與有勝溪匯流入大甲溪處；一號壩寬約 40 公尺而高約 20 公尺，本段沿途與高山溪匯流，並包含繁殖場以及萬壽橋兩個生態採樣區。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；本河段坡度為 0.022~0.019 左右間變動(如表 2-9)，由於位於下游是以坡度較平緩。一號壩下與上游之三號壩下類似，但一號壩之下切深度較大，且右岸蛇籠工之底盤已有逐漸掏空之趨勢，使得緊臨路邊之蛇龍護岸有傾斜之情況發生。在離壩 100 公尺內由於兩岸多為大型岩盤，使得水流均為狹深型的河道(如照片 2-69、照片 2-70)，但在經過兆豐橋至與高山溪匯流口後河段逐漸開闊(如照片 2-71、照片 2-72)

，此現象亦與三號壩下類似。而本次調查也發現位於富野飯店前之河段有整治工事進行(如照片 2-74)，此區段因需大型機具進入而有將河床整平以利機具行駛。

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 2-10 的分類標準產生表 2-11~表 2-20。而在本年度的調查中，河床組成大多集中於粗石與卵石。這顯示出去年因洪水事件所造成的河床底質粗粒化在今年度因洪水事件較少的緣故而有所緩和，中小型粒徑的比例開始大幅提升。這個情形在今年前半年不論是七家灣溪或是高山溪，均有相同的情形，從表 2-11 與表 2-12 對照表 2-13、表 2-14 可發現，今年的前兩次調查中，發現大型礫石以及小型礫石所佔百分比較為高，而後半年度的調查中，粗石與卵石的比例開始提高，相對的小型礫石與大型礫石的比例則有下降的現象，這正呼應了河床底質粗粒化已經開始緩和的情形。在七家灣溪整體的部份(如表 2-20)，正與高山溪有相同的情形，底質均以卵石、粗石所組成，而整年度都是以這兩者為主，大型礫石與小型礫石並無明顯較高的比例，故七家灣溪的底質粗粒化較無高山溪在前半年時明顯，各級粒徑也逐漸平均分布的現象；至於七家灣溪二號石壩上下游範圍的的部份，在本年度後半的調查可發現壩下的河段其粗粒徑有較高的現象，但整體來說還是以粗石與卵石為主要組成粒徑(表 2-16~表 2-18)。

(二) 棲地環境類型分析

本研究利用表 2-21 進行，棲地環境類型的分類（如表 2-22）。高山溪部分在本年度前三次調查中，棲地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 80%以上，不會過在 12 月份的高山溪調查中發現，緩流與深潭的比例有大幅上升的現象。而在七家灣溪方面也與高山溪有類似的現象，在 12 月份的調查資料中，其緩流的比例均較本年度前幾次要來得高。

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

。而在緩流的部份，大多可推測是因為流速在枯水季後變緩，但水深並無明顯下降，而導致分類結果趨向於緩流的分布。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，除了去年度新增九處生態共同採樣區(圖 1-3)，在本年度又新增司界蘭溪之樣區。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，測站範圍內平均坡度可由表 2-30 看出約有 3%左右的坡度，屬於坡度較陡之河段；而此河段中河道寬度較為狹窄，河寬大都分布在 5~10 公尺。在本次調查中可發現河道有明顯淤積的現象。而在棲地分佈上，四次調查中急流的部分除了 2 月份比例較低外，其他三次均有 30%以上的高比例；最後一次調查中則因水量較少，使得淺灘的比例有所提高。至於底質分佈上，可以由表 2-31 發現此河段均以卵石為主要組成底質，其次則為粗石或著碎石。

測站 2. 桃山西溪

桃山西溪位於七家灣溪三號壩上游，與桃山北溪在三號壩上方匯流，測站範圍內河道大多較寬且約在 20~30 公尺左右，平均坡度可由下表 2-32 看出約有 2%左右的坡度。與其他共同樣區相較屬於較陡的河段，在後半年兩次的調查中，河道相對較為穩定，基本上斷面雖有局部刷深或淤積的現象，流心卻變動不多。而棲地分佈上，除了 10 月以外，其他各月份均有其代表性之棲地類型，這與各個時期不同的流速與水深都有其關聯。底質方面除了 10 月粗石比例有所增加外，其餘三次調查均發現以卵石為主要底質構成粒徑(表 2-33)。

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 2%以下，除了二月份有較明顯變緩外，變動不大；而此河段中河寬較為寬闊，均在 30 公尺左右。也由於河道較為寬廣平緩導致流心變化較大，在後半年兩次的調查中可以發現有淤積的現象。而棲地分佈上，本年度後半兩次的調查均以淺灘為主要棲地，特別的是 6 月份因為流速

快，水深較深，而造成都是急流的現象。而在底質分佈上，從表 2-35 中可以發現，底質組成均較其他區域為大，大多都是以粗石以上的粒徑為主要底質組成，可以顯示本河段底質粗粒化較其他河段嚴重。

測站 5. 繁殖場

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深，尤其是在匯流口處周邊。平均坡度約有 1%左右，在本年度 6 月份調查過時發現有微幅上升的現象，之後均維持相同的坡度。而在 10 月份與 12 月份的調查發現，各個區域間有沖有淤，在整體沖淤變化上較為平衡。但在棲地分佈上，本河段擺脫了 6 月份單一棲地形式的現象，在 10 月份的調查可以明顯看出各個類型的棲地均有一定比例的分佈，讓此段河段呈現出棲地多樣化的現象，12 月份的調查因為流速、水深逐漸下降而造成棲地類型集中於淺灘與緩流兩者。至於底質分佈上，濕季的調查中可以明顯看出粗粒化的現象，粒徑大多已經以卵石、粗石與小型礫石為主要組成底質。

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均為維持於 0.027~0.023 之間(表 2-38)，在 6 月的調查發現，坡度有些許變緩的現象，但整體變動不大。而此河段中河道寬度變化較大，河寬的分布 8~26 公尺皆有。但後半年的兩次調查中均可以發現有淤積的現象，但整體淤積程度大致上不甚明顯，河道斷面的變動並不是相當大。而在棲地分佈上，在四次的調查中，淺灘皆佔了絕大多數，緩流與深潭除了 6 月份以外均維持一定的比例。至於底質分佈上，此河段的粒徑分佈偏大，大型礫石與小型礫石的比例較其他樣區都要高，地質粗粒化甚是明顯，但在 12 月的調查中粗粒化的現象則有下降的情形。

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，平均坡度約在 2%左右的坡度(表 2-40)，河道坡度相較於其他部分屬於較陡的河段；而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。而在 10 月份與 12 月份的調查中發現均出現淤積的現象，流心仍然維持於右岸。而在棲地分佈上，本測站

也是調查中樣區棲地多樣性算是突出的，雖然仍然以淺灘為主(圖 2-94)，但是其他棲地類型相較於他處有明顯較多的現象。至於底質分佈上，均以粗石與卵石為主要分布底質，碎石與小型礫石則會因水量大小讓其比例有所變動。

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，在今年的調查中均在 0.012~0.015 間擺盪。而此河段中河道寬度變化不大，河寬大都分布在 15~20 公尺。去年 12 月份調查時，發現有大型機具在現場對路基坍塌進行復原的工作，而在今年已完全整修完畢，施工期間的土體堆積於河道左岸，在完工後經雨水及其他作用逐漸沖刷後，目前已經回復較為正常的河道。在棲地分佈上，10 月份的調查發現本河段均由淺灘來組成，棲地單一化為所有調查區域之最。而在底質分佈上，今年度調查中發現本河段的組成大多為卵石以及粗石為主。

測站 10. 司界蘭溪上游段

司界蘭溪上游段測站在本年度前三次調查以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；12 月份的調查則改為司界蘭溪舊壩上游約 1 公里處，往後將以新測點為主要測站。測站範圍內河寬相當寬廣，寬度有達到 40 公尺之多，平均坡度約在 3.5%左右的坡度。12 月份的調查可以發現其河道斷面兩側較高，深槽線與兩側有數公尺的高差，這個區域的流心變動通常相當大，時常有左右移動的情形出現。而在棲地分佈上，本測站在 12 月份時以淺灘為主， 6 月份的調查仍為舊測站，其棲地主要以急流為主，可能與該月份流速與水深均較大有關。至於底質分佈上，與其他樣區相同，以卵石以及粗石為主要組成底質。

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為起點，全長約 200 公尺之調查樣區。平均坡度變動較大，在 0.021~0.034 間(表 2-44)，2 月份時坡度約為 0.034，但在 6 月之後調查起點的石壩破損，造成此河段地形改變後，其坡度有明顯下降的現象。10 月份的斷面調查中發現基本上斷面有掏刷的現象，相較前兩次的調查中可發現流心變動同樣甚巨。而在棲地分佈上 6 月份因水深、流速較大，以急流為主要棲地，其他三次調查中均可發現此河段以淺灘為主。至於底質分佈上，此樣區主要是以碎石、卵石以及粗石為主要的底質。

六、降雨與河道體積變化之關聯

本研究乃是希望透過河道體積變化與雨量分佈之對照，簡單呈現出兩者間的關聯性。體積計算部份係計算 2000 年 12 月至 2005 年 12 月共 5 年間，總計 17 筆河道地形斷面資料，體積計算範圍為高山溪三號壩至四號壩之間。雨量分佈紀錄則是由桃山雨量站之紀錄資料所擷取，時間一樣為 2000 年 12 月至 2005 年 12 月共 5 年間之紀錄資料。

(一) 河道體積之推求

本次研究係計算 2000 年 12 月至 2005 年 12 月共 5 年間，總計 17 筆河道地形斷面資料，體積計算範圍為高山溪三號壩至四號壩間之河段(圖 2-104)。使用軟體為 PolyWorks 8.0 版。

本軟體是將由全站儀所量測之河道斷面 N、E、Z 等座標網格化後(圖 2-105)，並將其繪製成多邊形圖(圖 2-106)。當完成各個時期之河道塑模後，可利用本軟體內之功能建立一虛擬平面，計算此河道多邊形圖投影於此平面之體積(圖 2-107)。

(二) 雨量紀錄

本次研究採用桃山雨量站之雨量資料(圖 2-108)， 使用 2000 年 12 月至 2005 年 12 月共 5 年間之每日資料進行累積計算各月雨量。

(三) 分析結果

經由各個斷面資料推算之體積總量如表 2-48，並將其結果套疊於雨量資料上。

民國 89 年 10 月至民國 91 年 6 月期間土體體積變化較後期明顯，推定這與高山溪三號壩壩體改善有關，歷經 18 個月後三號壩上游河道開始趨於穩定，沖刷效果下降，以致往後 3 年間之土體體積變化呈現穩定的狀態，故由圖 2-109 中可發現月降雨與河道相對體積變化其實並無直接關聯。

本研究僅考慮月降雨對河道相對體積變化之影響，日後也許可以加入崩塌及其他自然因素來詳細深入研究，期可建立山區河道體積與自然因素之關聯，以提供各方單位之參考。

七、結論及後續研究重點

(一) 結論

本年度研究計畫在今年共計針對高山溪、七家灣溪二號石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，觀測日期分別選在二月、六月、十月與十二月進行相關河道調查及採樣，並在十二月對於七家灣溪，以七家灣溪三號壩為起點及七家灣溪與有勝溪匯流處為終點，本年度實施第二次的七家灣溪全河道量測。

首先就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. 高山溪河道中過去存在許多的倒伏木，雖然部分倒伏木的排列會恰巧形成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；但是倒伏木在高山溪三號壩與四號壩間之河段形成的殘材壩其構造以越趨結實，並開始影響上游河道地形以及在此區域形成約 2 公尺的高差。
2. 在七家灣溪全河道的觀測部分，以以七家灣溪三號壩為起點及七家灣溪與有勝溪匯流處為終點，全長約為 6.1 公里，流域中坡度多為 0.022~0.028，河寬分布相當廣，自 10 餘公尺至超過 150 公尺皆有。在三號壩週邊有多處崩塌，影響此區域地形甚重。二號壩上游 400 公尺處的舊有崩塌地則已開始進行打樁編柵等整治工程。
3. 在降雨與河道體積變化之關聯研究中可以發現，雨量實際上的多寡與攔砂壩拆霸後已穩定的河道體積變化並無直接的影響。

(二) 建議

高山溪三號壩至四號壩間之殘材壩，其結構漸趨結實穩定並形成約 2 公尺高差，是否對魚類迴游造成影響，建議進行評估後再提出對應策略。圖 2-110~圖 2-113 為各時期之殘材壩變化。

表 2-1　四號壩上游床面平均坡度表

測量日期	改善前	2005/10	2005/12	2006/02	2006/10	2006/12
平均坡降	0.0623	0.038	0.028	0.0278	0.0268	0.0392

表 2-2　三號壩上游床面平均坡降表

測量日期	改善前	2006/02	2006/06	2006/10	2006/12
平均坡降	0.0607	0.039	0.046	0.038	0.038

表 2-3　二號壩上游床面平均坡降表

測量日期	2001/02 前	2006/02	2006/06	2006/10	2006/12
平均坡降	0.0227	0.036	0.034	0.039	0.0366

表 2-4　一號壩上游床面平均坡降表

測量日期	2001/02 前	2005/12	2006/02	2006/06	2006/10	2006/12
平均坡降	0.0200	0.039	0.035	0.03	0.034	0.0379

表 2-5　一號壩下游床面平均坡降表

測量日期	2001/02 前	2005/12	2006/02	2006/06	2006/10	2006/12
平均坡降	0.1072	0.087	0.09	0.089	0.088	0.0886

表 2-6　三號壩下至二號壩上 400 公尺平均坡度表

測量日期	2005/12	2006/12
三號壩下至二號壩上 400m	0.02604	0.02877

表 2-7　二號壩上游床面平均坡度表

測量日期	2005/02	2005/10	2005/12	2006/02	2006/10	2006/12
二號壩上	0.0613	0.0735	0.075	0.061	0.0583	0.0525
二號壩下	0.0423	0.0291	0.037	0.035	0.029	0.04

表 2-8　二號壩下 200 公尺至一號壩上平均坡度表

測量日期	2005/12	2006/12
二號壩下 200m 至一號壩	0.02296	0.02204

表 2-9　一號壩下游至匯流口平均坡度表

測量日期	2005/12	2006/12
一號壩下之匯流口	0.02296	0.01910

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　2006 年 12 月高山溪各河段之棲地底質分佈比例

四號壩以上	0.0%	25.0%	33.3%	25.0%	16.7%	0.0%
三號壩至四號壩	6.1%	24.2%	22.7%	19.7%	27.3%	0.0%
二號壩至三號壩	3.7%	22.2%	30.9%	22.2%	21.0%	0.0%
一號壩至二號壩	2.5%	23.5%	21.0%	27.2%	25.9%	0.0%
一號壩以下	1.1%	11.8%	40.9%	34.4%	10.8%	1.1%

表 2-12　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 2-13　2006 年 06 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	0%	5%	10%	19%	29%	38%
二號壩至三號壩	0%	11%	21%	25%	28%	15%
一號壩至二號壩	0%	17%	19%	15%	28%	21%
一號壩以下	3%	18%	15%	20%	28%	15%

表 2-14　2006 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
三號壩至四號壩	0%	5%	21.67%	23.33%	10.00%	40.00%
二號壩至三號壩	1%	1.23%	11.11%	27.16%	11.11%	48.15%
一號壩至二號壩	0%	6.17%	11.11%	22.22%	8.64%	51.85%
一號壩以下	0%	33.33%	66.67%	0.00%	0.00%	0.00%

表 2-15　2005 年 12 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%	41.67%	25%	25%	8.33%
三號壩至四號壩	8%	24%	40%	22%	16%	10%
二號壩至三號壩	4.94%	14.81%	34.57%	25.93%	16.05%	3.7%
一號壩至二號壩	7.14%	26.19%	35.71%	19.05%	11.9%	0%
一號壩以下	9.2%	21.84%	24.14%	21.84%	19.54%	3.45%

表 2-16　2006 年 12 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	1.5%	9.1%	21.2%	31.8%	25.8%	10.6%
二號石壩下	0.0%	10.0%	10.0%	30.0%	30.0%	20.0%

表 2-17　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 2-18　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 2-19　2005 年 12 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%	11.76%	47.06%	26.47%	11.76%	2.94%
二號石壩下	0%	9.8%	43.14%	27.45%	17.65%	1.96%

表 2-20　2006 年 12 月七家灣溪全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%
一號壩至滙流口	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　2006 年 12 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	33%	67%	0%	0%
高山溪三號壩至四號壩	41%	59%	0%	0%
高山溪二號壩至三號壩	22%	72%	5%	1%
高山溪一號壩至二號壩	26%	72%	1%	1%
高山溪一號壩以下	27%	71%	0%	2%

表 2-23　2006 年 10 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	0.0%	8.3%	66.7%	25.0%
高山溪三號壩至四號壩	12.7%	22.2%	60.3%	4.8%
高山溪二號壩至三號壩	29.6%	8.6%	61.7%	0.0%
高山溪一號壩至二號壩	18.4%	8.0%	72.4%	1.1%
高山溪一號壩以下	14.0%	14.0%	71.0%	1.1%

表 2-24　2006 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
高山溪三號壩至四號壩	0%	14.29%	85.71%	0.00%
高山溪二號壩至三號壩	1%	2.47%	93.83%	0.00%
高山溪一號壩至二號壩	0%	1.15%	96.55%	0.00%
高山溪一號壩以下	1%	2.15%	94.62%	1.08%

表 2-25　2006 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	0.43%	33.33%	19.05%	5%
高山溪三號壩至四號壩	25%	23.33%	38.33%	13.33%
高山溪二號壩至三號壩	33%	15%	49.38%	2.47%
高山溪一號壩至二號壩	33%	17%	46.91%	2.47%
高山溪一號壩以下	39%	23%	36.67%	1.11%

表 2-26　2006 年 12 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	3.0%	63.6%	31.8%	1.5%
七家灣溪二號壩以下	0.0%	73.3%	23.3%	3.3%

表 2-27　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 2-28　2006 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	0%	1.52%	78.79%	19.70%
七家灣溪二號壩以下	0%	1.75%	89.47%	8.77%

表 2-29　2006 年 12 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	1.54%	69.74%	24.62%	4.10%
二號壩到一號壩	0.00%	80.00%	20.00%	0.00%
一號壩到匯流口	0.00%	86.67%	13.33%	0.00%

表 2-30　桃山北溪測站床面平均坡度表

測量日期	2005/12	2006/02	2006/06	2006/10	2006/12
平均坡度	0.039	0.031	0.026	0.028	0.030

表 2-31　桃山北溪測站床面底質分佈表

底質 / 日期	1	2	3	4	5	6
2006-02	0%	8.33%	45.83%	38.89%	20.83%	16.67%
2006-06	4.76%	0%	52.38%	14.29	19.05	9.52
2006-10	0%	19.0%	57.1%	14.3%	9.5%	0%
2006-12	0.0%	19.0%	52.4%	28.6%	0.0%	0.0%

表 2-32　桃山西溪測站床面平均坡度表

測量日期	2005/12	2006/02	2006/06	2006/10	2006/12
平均坡度	0.019	0.02	0.024	0.024	0.023

表 2-33　桃山西溪測站床面底質分佈表

底質 / 日期	1	2	3	4	5	6
2006-02	0%	14.29%	33.33%	4.76%	33.33%	14.29%
2006-06	0%	19.05%	42.86%	23.81%	14.29%	0%
2006-10	0%	0 %	29.2%	41.7%	25.0%	4.2%
2006-12	4.2%	20.8%	45.8%	25.0%	4.2%	0.0%

表 2-34　一號壩測站床面平均坡度表

測量日期	2005/12	2006/02	2006/06	2006/10	2006/12
平均坡度	0.021	0.011	0.017	0.018	0.017

表 2-35　一號壩測站床面底質分佈表

底質 / 日期	1	2	3	4	5	6
2006-02	0%	0%	16.67%	41.67%	20.83%	20.83%
2006-06	12.5%	8.33%	16.67%	37.5%	25%	0%
2006-10	0%	11.1%	22.2%	51.9%	11.1%	3.7%
2006-12	0.0%	7.1%	21.4%	14.3%	57.1%	0.0%

表 2-36　繁殖場測站床面平均坡度表

測量日期	2005/12	2006/02	2006/06	2006/10	2006/12
平均坡度	0.011	0.011	0.015	0.015	0.014

表 2-37　繁殖場測站床面底質分佈表

底質 / 日期	1	2	3	4	5	6
2006-02	5.56%	27.78%	38.89%	11.11%	11.11%	5.56%
2006-06	11.11%	38.89%	0%	16.67%	22.22%	11.11%
2006-10	0%	8.3%	33.3%	33.3%	25.0%	0%
2006-12	5.9%	23.5%	35.3%	23.5%	11.8%	0.0%

表 2-38　萬壽橋測站床面平均坡度表

測量日期	2005/12	2006/02	2006/06	2006/10	2006/12
平均坡度	0.026	0.027	0.023	0.025	0.025

表 2-39　萬壽橋測站床面底質分佈表

底質 / 日期	1	2	3	4	5	6
2006-02	5.55%	11.11%	27.78%	11.11%	11.11%	33.33%
2006-06	11.11%	0%	16.67%	16.67%	33.33%	22.22%
2006-10	0 %	5.6%	22.2%	44.4%	5.6%	22.2%
2006-12	5.6%	38.9%	33.3%	11.1%	11.1%	0.0%

表 2-40　迎賓橋測站床面平均坡度表

測量日期	2005/12	2006/02	2006/06	2006/10	2006/12
平均坡度	0.022	0.018	0.023	0.022	0.020

表 2-41　迎賓橋測站床面底質分佈表

底質 / 日期	1	2	3	4	5	6
2006-02	0%	27.78%	33.33%	16.67%	5.56%	16.67%
2006-06	0%	11.11%	22.22%	33.33%	22.22%	11.11%
2006-10	5.6%	5.6%	16.7%	27.8%	27.8%	16.7%
2006-12	0.0%	16.7%	27.8%	27.8%	27.8%	0.0%

表 2-42　有勝溪測站床面平均坡度表

測量日期	2005/12	2006/02	2006/06	2006/10	2006/12
平均坡度	0.01	0.015	0.012	0.015	0.013

表 2-43　有勝溪測站床面底質分佈表

底質 / 日期	1	2	3	4	5	6
2006-02	20%	33.33%	26.67%	13.33%	0%	6.67%
2006-06	13.33%	40%	40%	6.67%	0%	0
2006-10	0%	0%	38.9%	50.0%	11.1%	0%
2006-12	5.6%	5.6%	61.1%	22.2%	5.6%	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	2006/02	2006/06	2006/10	2006/12
平均坡度	0.035	0.032	0.034	0.034

表 2-45　司界蘭溪上游測站床面底質分佈表

底質 / 日期	1	2	3	4	5	6
2006-02	0%	8.33%	20.83%	20.83%	37.5%	12.5%
2006-06	7.14%	2.43%	30.1%	19.05%	11.9%	9.52%
2006-10	10.0%	26.7%	20.0%	36.7%	3.3%	3.3%
2006-12	0.0%	4.8%	54.8%	31.0%	9.5%	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	2006/02	2006/06	2006/10	2006/12
平均坡度	0.034	0.021	0.025	0.032

表 2-47　司界蘭溪下游測站床面底質分佈表

底質 / 日期	1	2	3	4	5	6
2006-02	0%	0%	10%	13.33%	3.33%	73.33%
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%
2006-12	3.3%	13.3%	50.0%	26.7%	6.7%	0.0%

表 2-48　各測量時期之河道體積

測量時間	2000-12	2001-02	2001-06	2001-10
總體積(m^3)	232444.62707	231500.6271	214899.2805	194253
測量時間	2002-02	2002-05	2002-11	2003-05
總體積(m^3)	195170.2214	189395.429	197474.8462	184419.8792
測量時間	2003-07	2003-11	2004-04	2004-07
總體積(m^3)	184274.5611	194772.0094	184274.5611	181156.9787
測量時間	2004-11	2005-02	2005-06	2005-10
總體積(m^3)	180987.654	184274.5611	183068.9842	178468.7854
測量時間	2005-12			
總體積(m^3)	178297.9099			

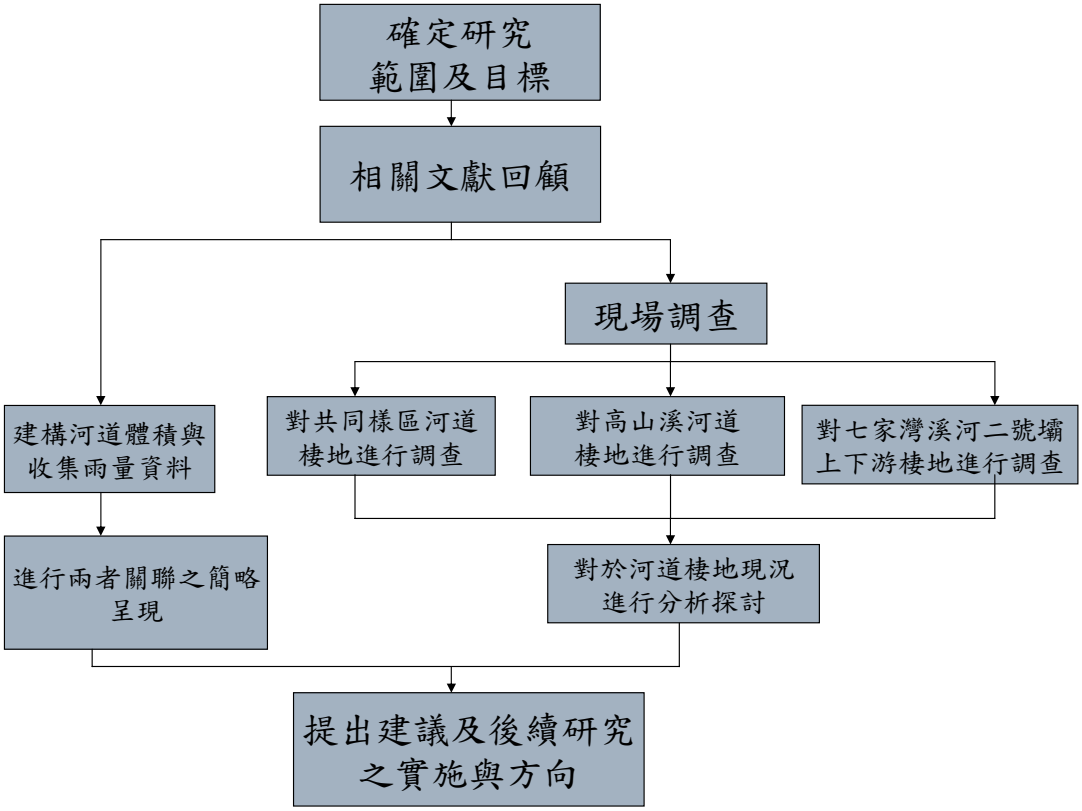


圖 2-1 本年度研究基本流程圖

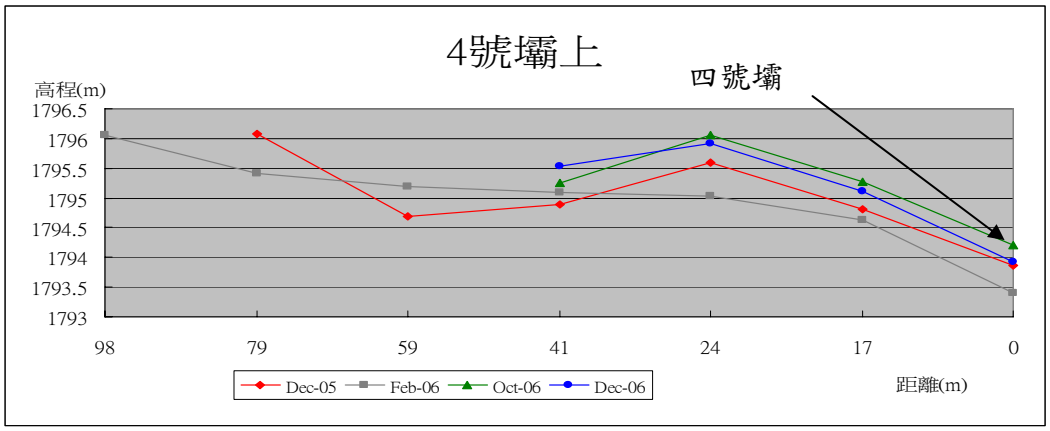


圖 2-2 四號壩上游斷面高程剖面圖

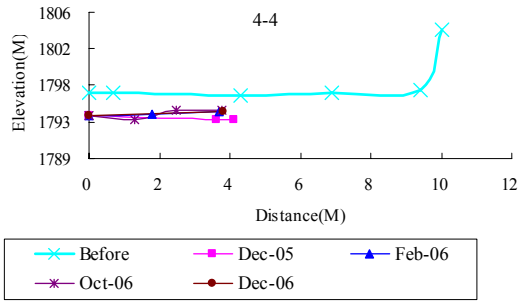


圖 2-3 高山溪段面 4-4 剖面高程

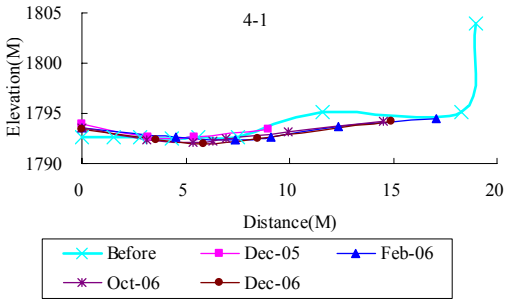


圖 2-4 高山溪段面 4-1 剖面高程

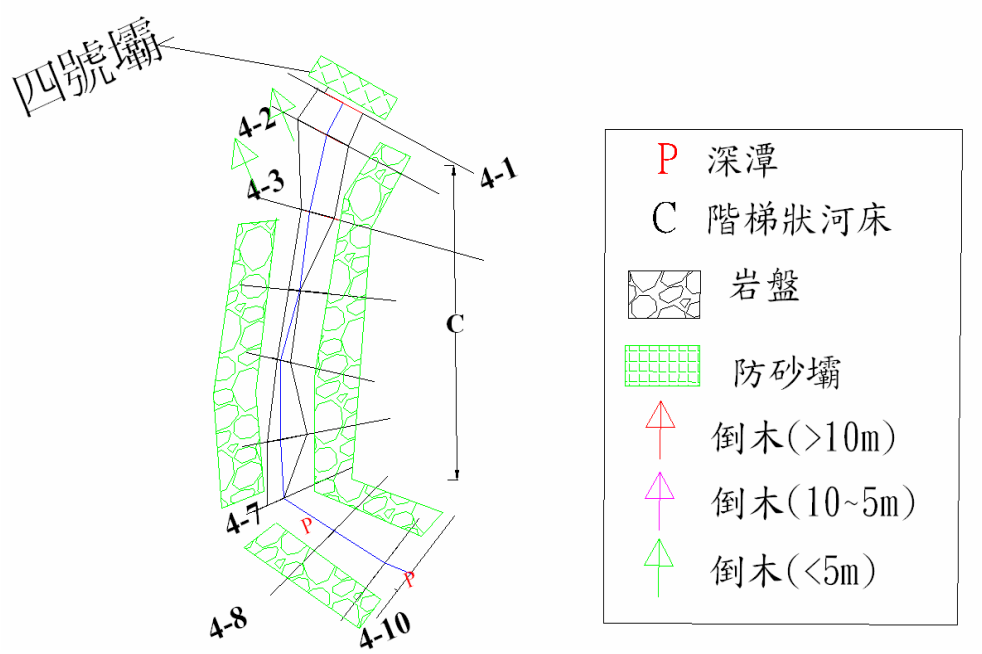


圖 2-5 高山溪四號壩上河道示意圖

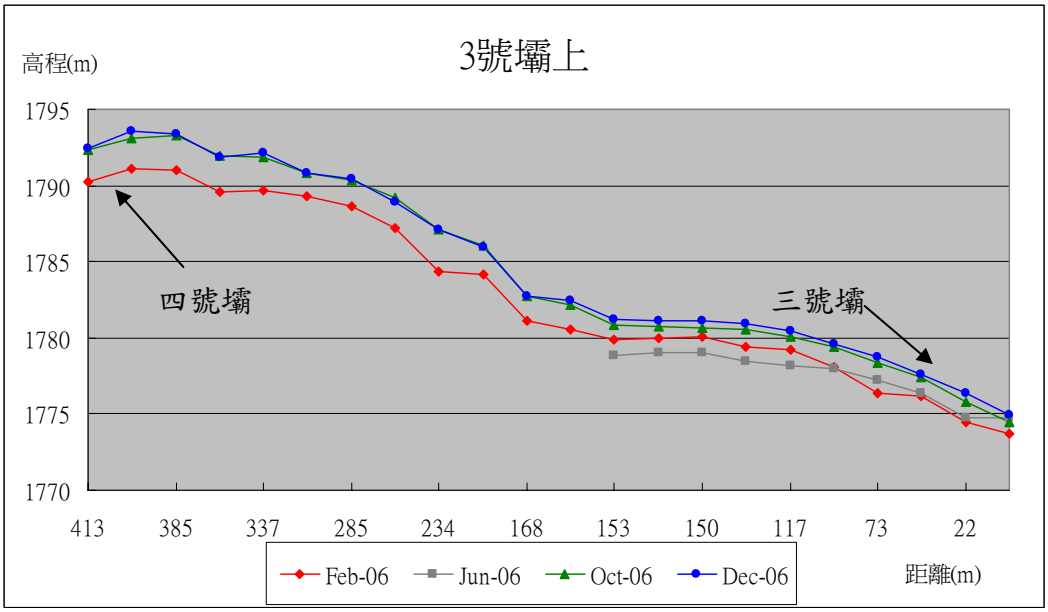


圖 2-6 三號壩上游斷面高程剖面圖

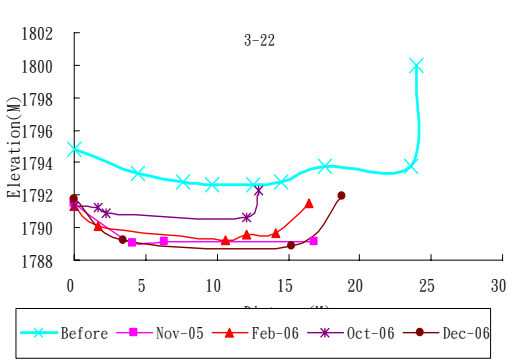


圖 2-7 高山溪段面 3-22 剖面高程

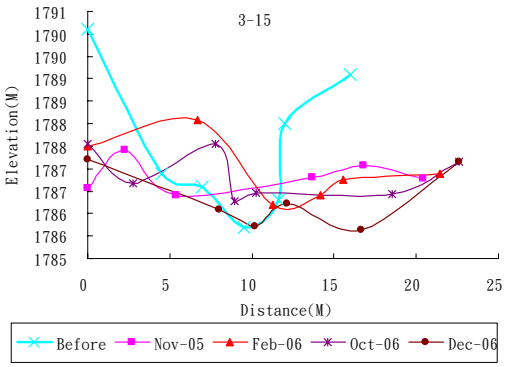


圖 2-8 高山溪段面 3-15 剖面高程

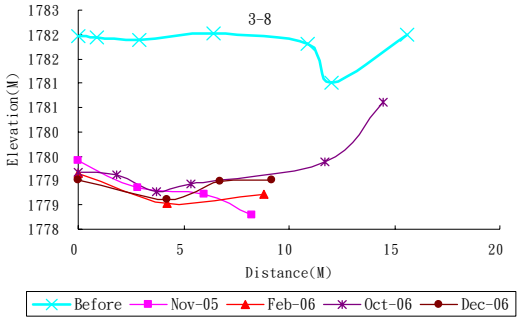


圖 2-9 高山溪段面 3-8 剖面高程

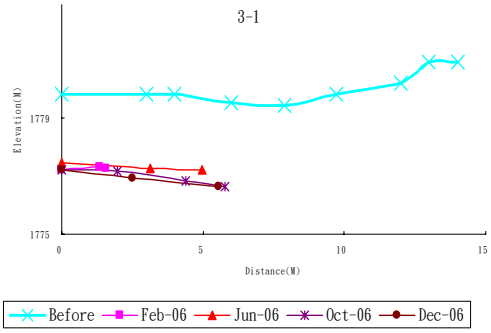


圖 2-10 高山溪段面 3-1 剖面高程

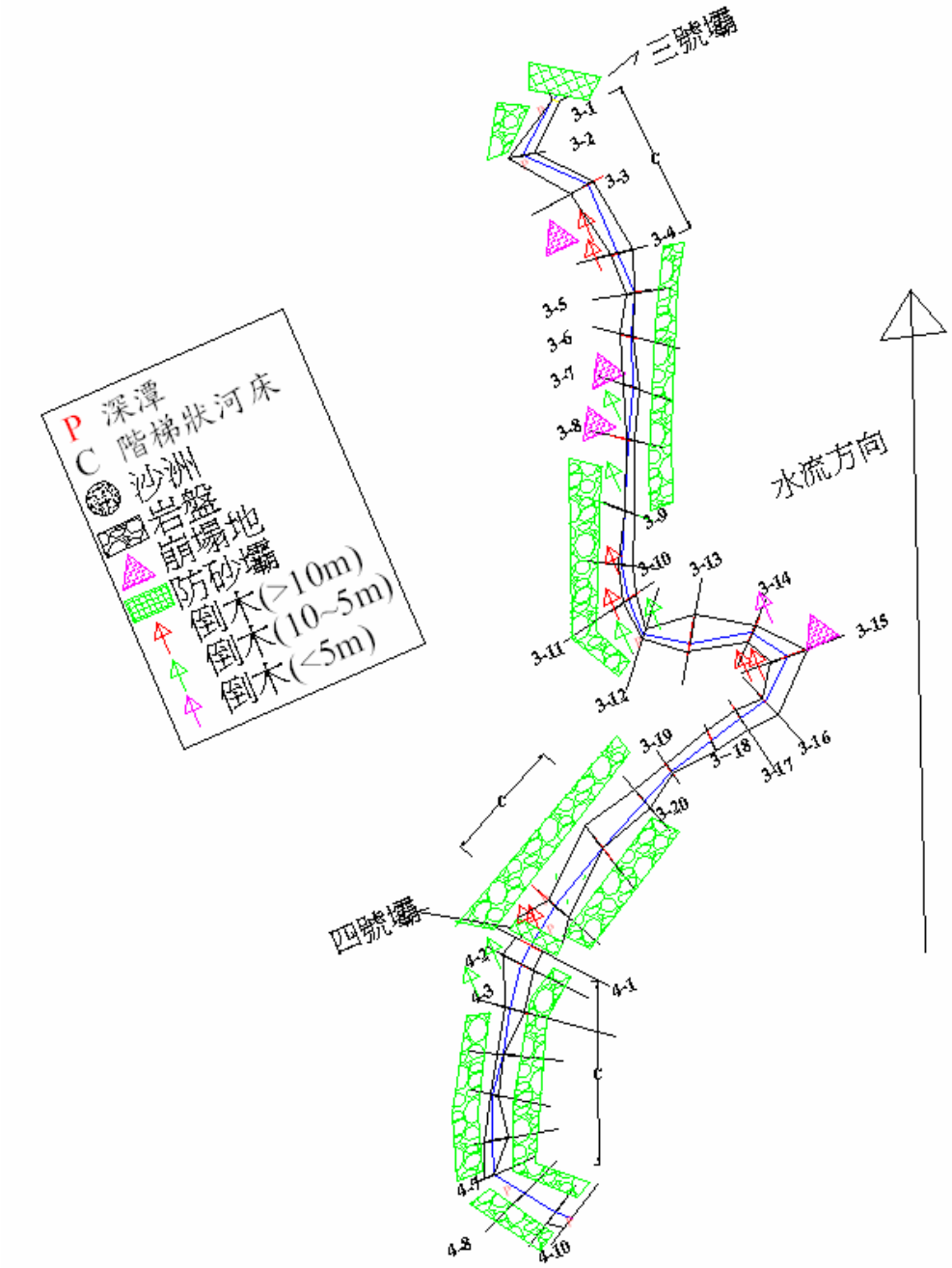


圖 2-11 高山溪三號壩上之河道示意圖

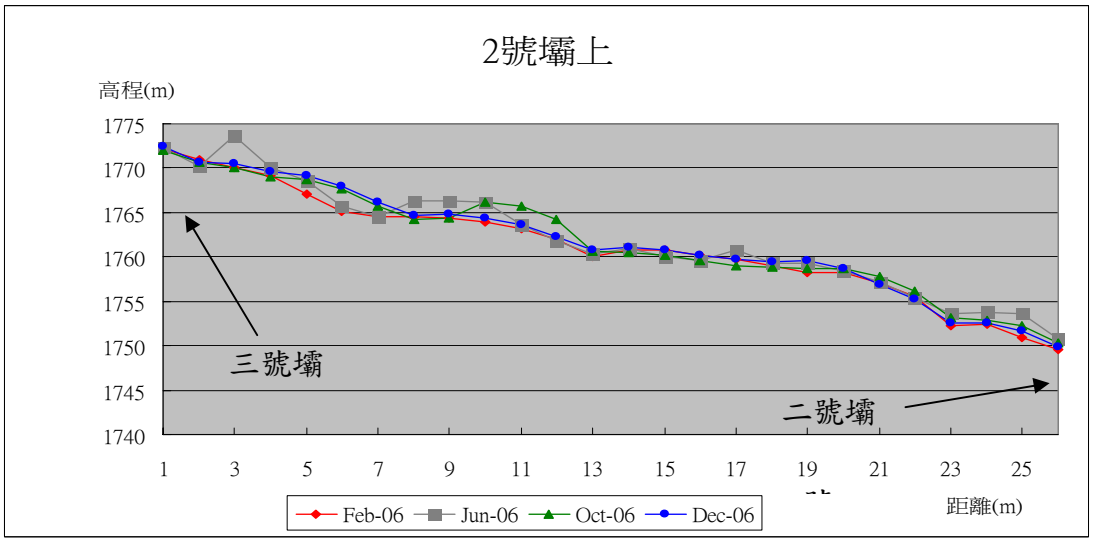


圖 2-12 二號壩上游斷面高程剖面圖

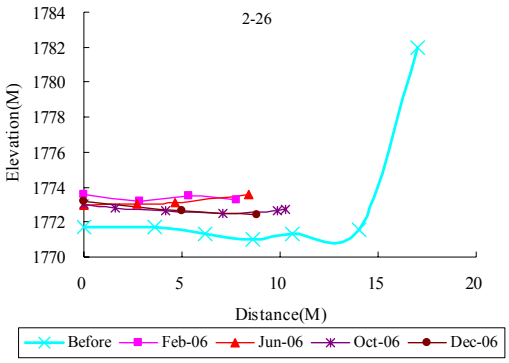


圖 2-13 高山溪段面 2-26 剖面高程

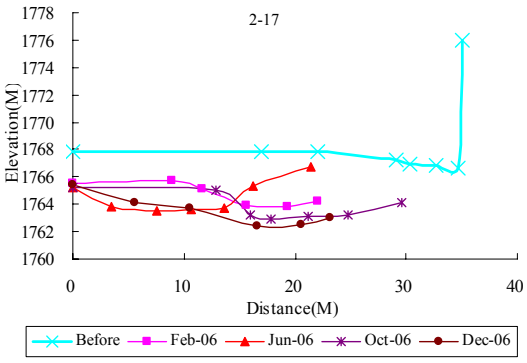


圖 2-14 高山溪段面 2-17 剖面高程

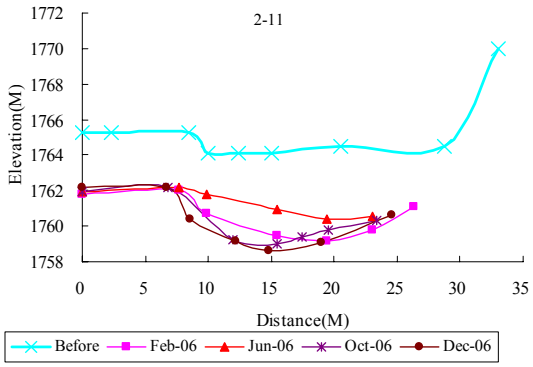


圖 2-15 高山溪段面 2-11 剖面高程

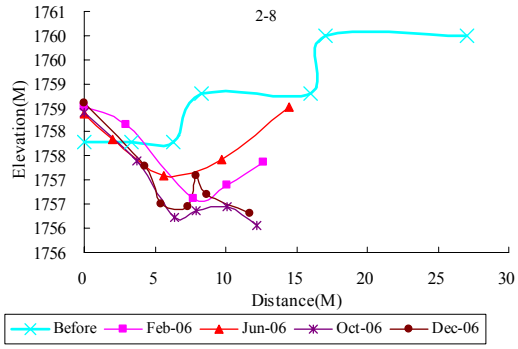


圖 2-16 高山溪段面 2-8 剖面高程

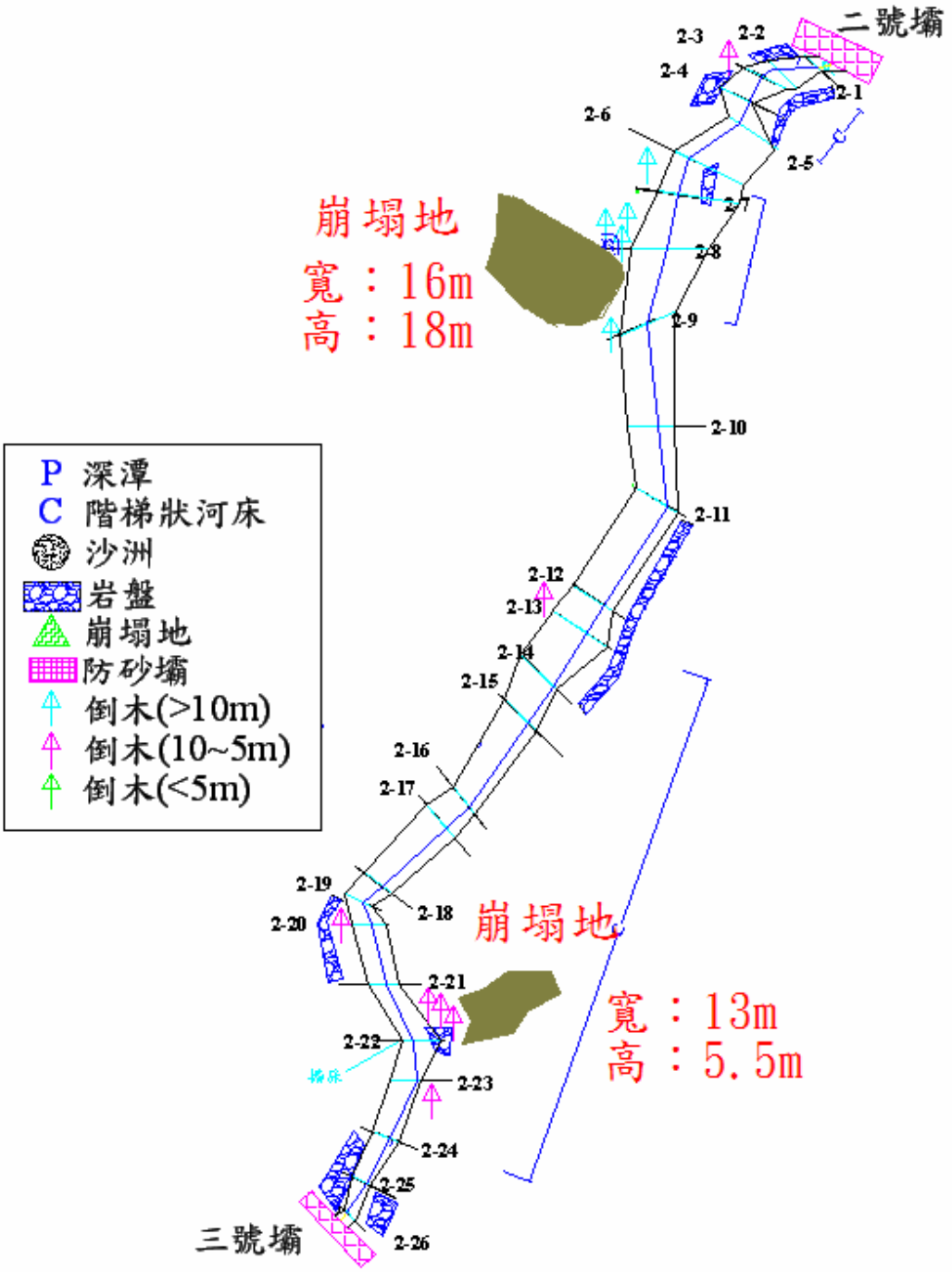


圖 2-17　高山溪二號壩上之河道示意圖

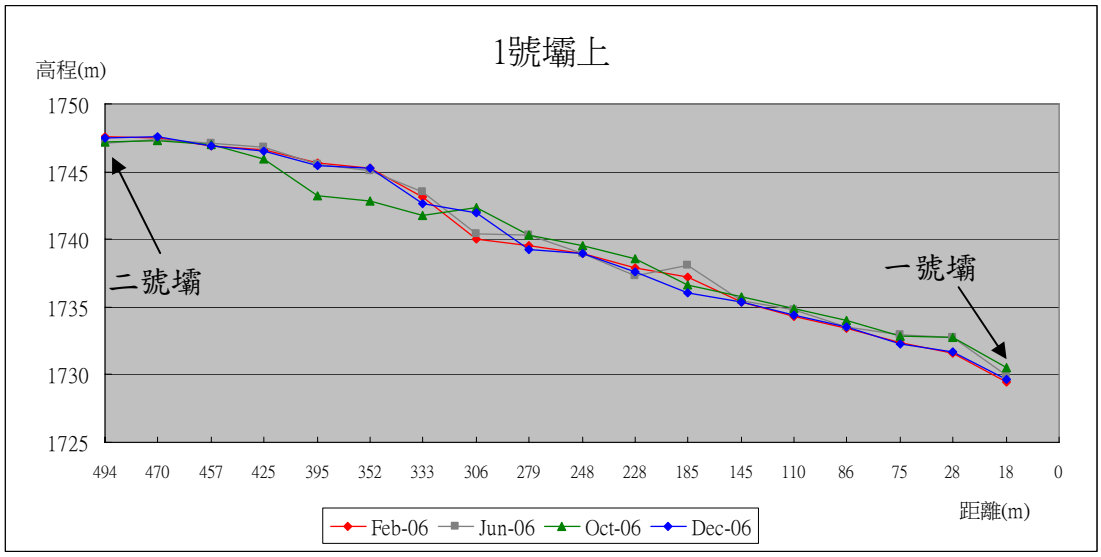


圖 2-18 一號壩上游斷面高程剖面圖

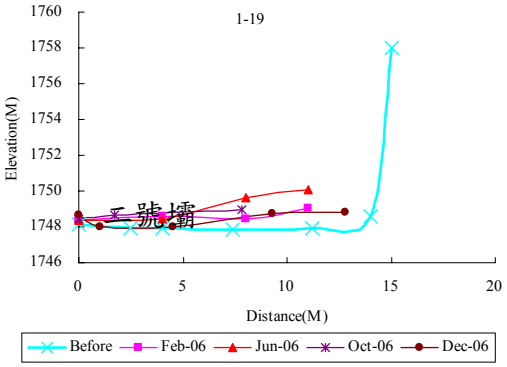


圖 2-19 高山溪段面 1-19 剖面高程

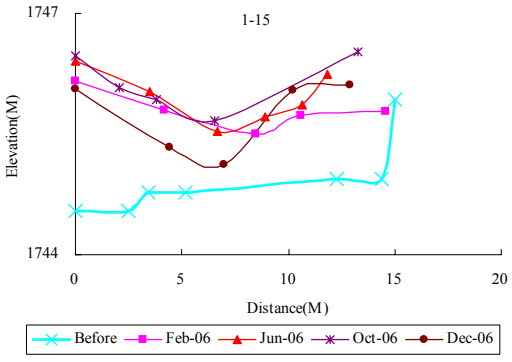


圖 2-20 高山溪段面 1-15 剖面高程

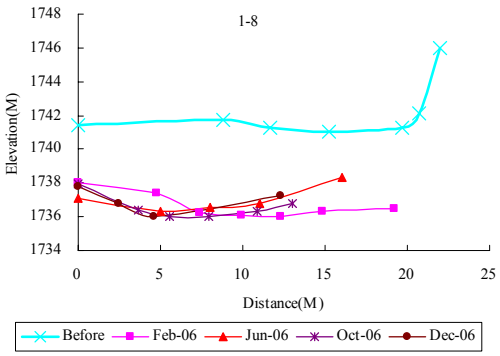


圖 2-21 高山溪段面 1-8 剖面高程

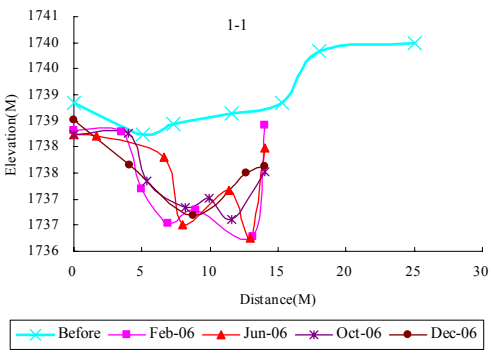


圖 2-22 高山溪段面 1-1 剖面高程

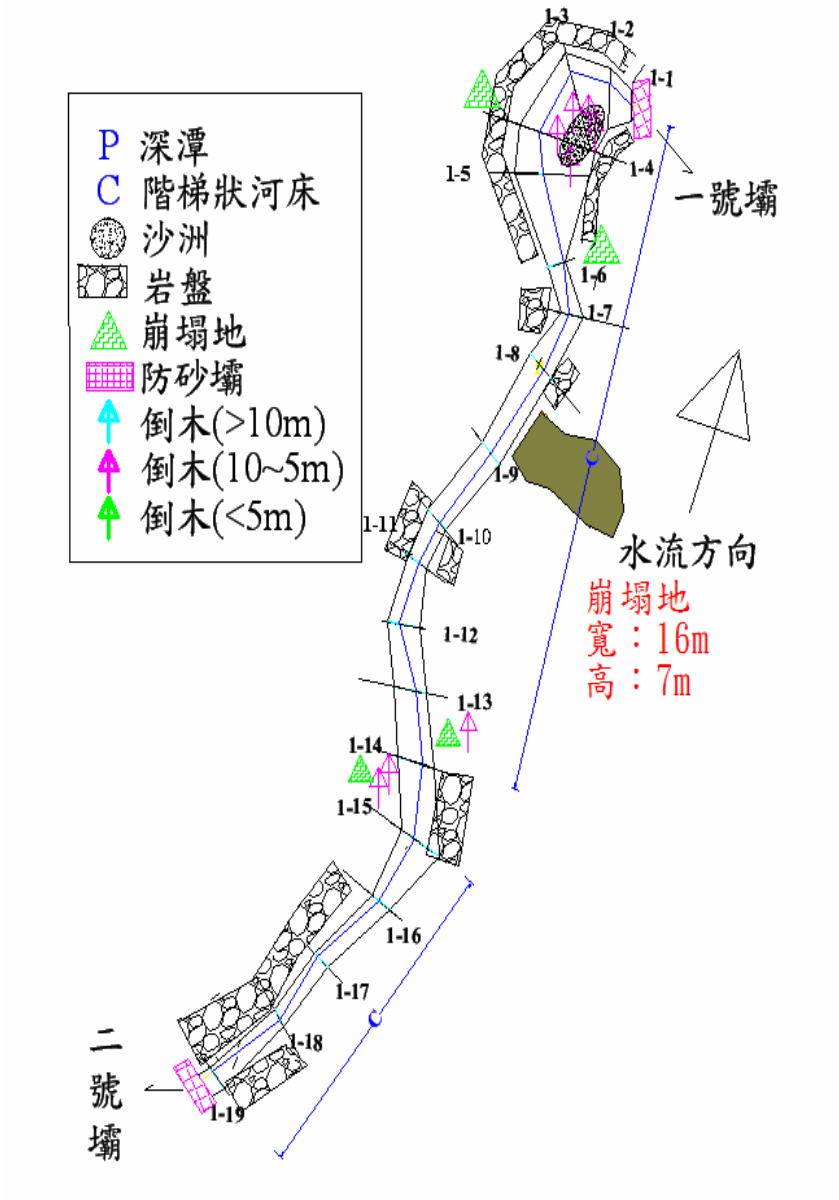


圖 2-23　高山溪一號壩上河道示意圖

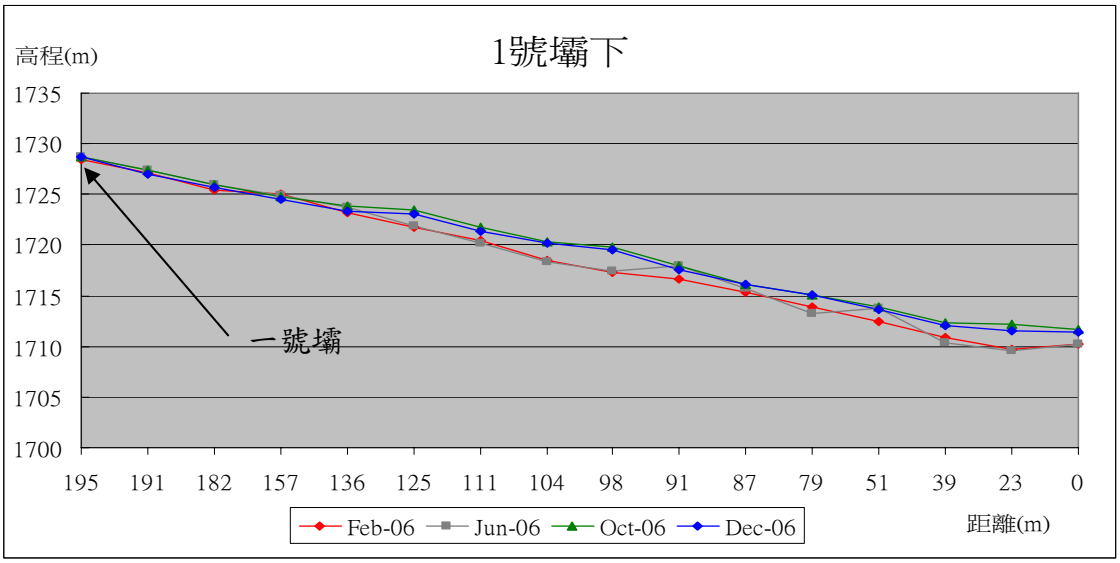


圖 2-24 高山溪一號壩下游斷面高程剖面圖

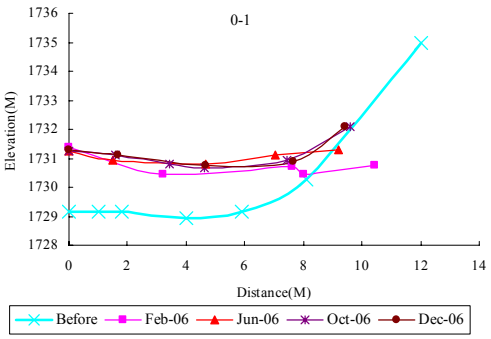


圖 2-25 高山溪段面 0-1 剖面高程

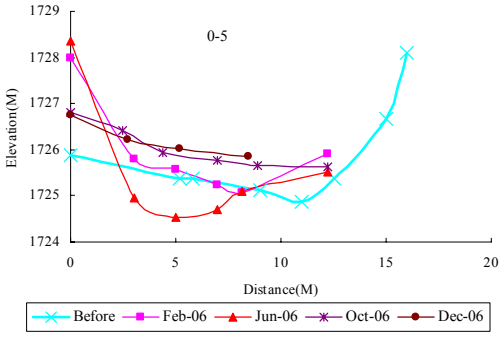


圖 2-26 高山溪段面 0-5 剖面高程

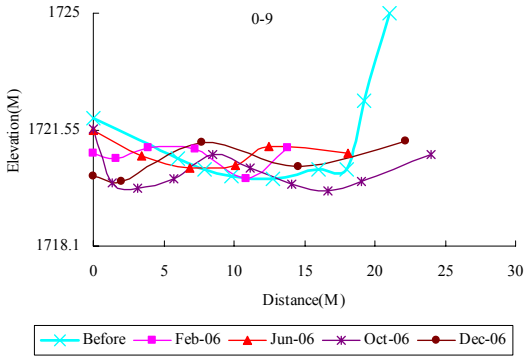


圖 2-27 高山溪段面 0-9 剖面高程

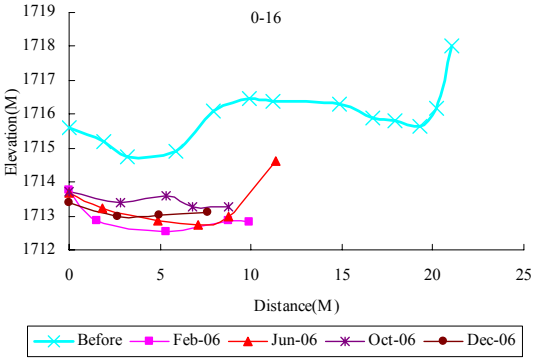


圖 2-28 高山溪段面 0-16 剖面高程

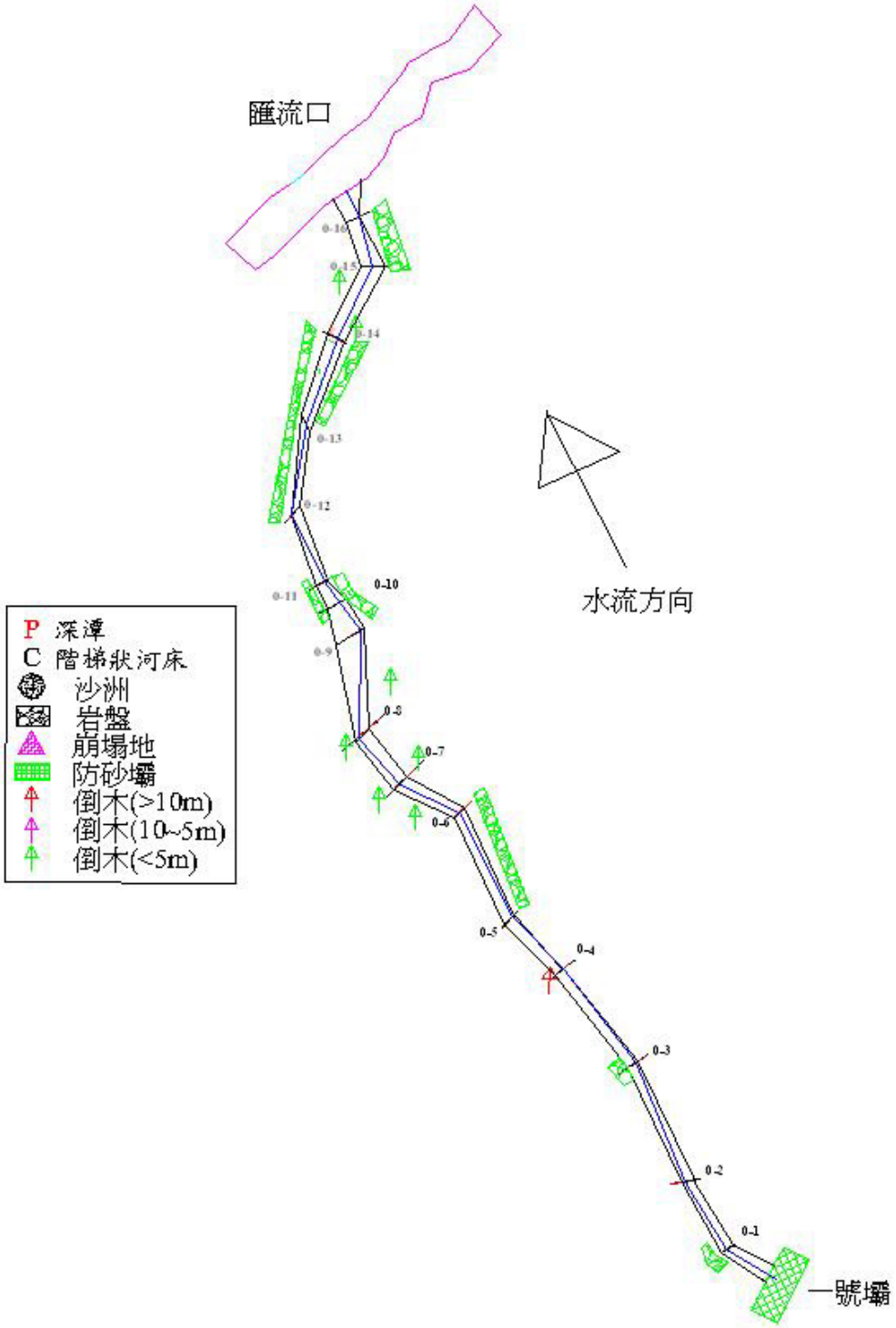


圖 2-29　高山溪一號壩下至匯流口之河道示意圖

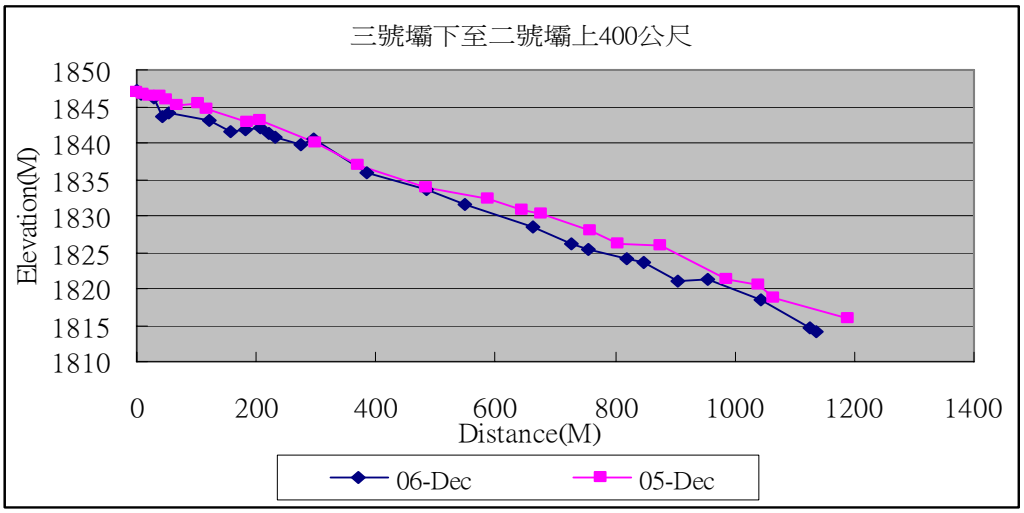


圖 2-30　三號壩下至二號壩上 400 公尺剖面線

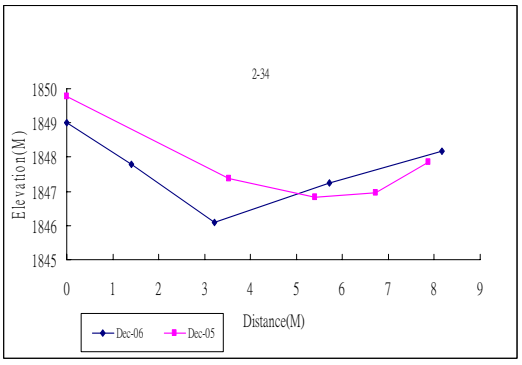


圖 2-31 七家灣溪斷面 2-36 剖面高程

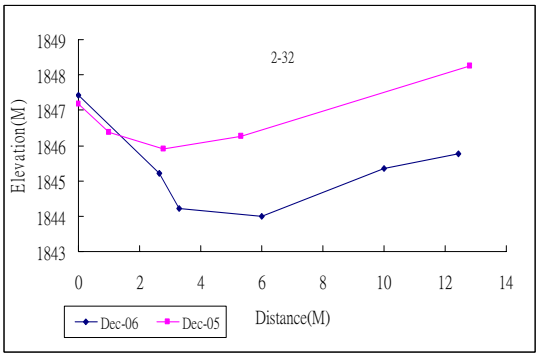


圖 2-32 七家灣溪斷面 2-33 剖面高程

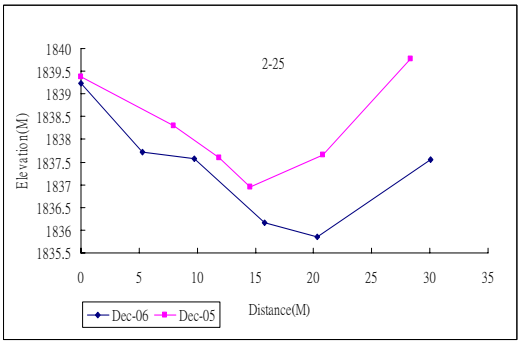


圖 2-33　七家灣溪斷面 2-25 剖面高程

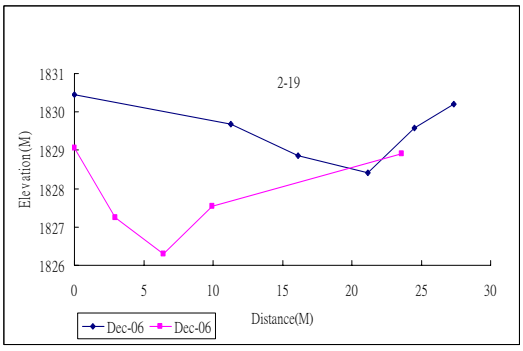


圖 2-34 七家灣溪斷面 2-19 剖面高程

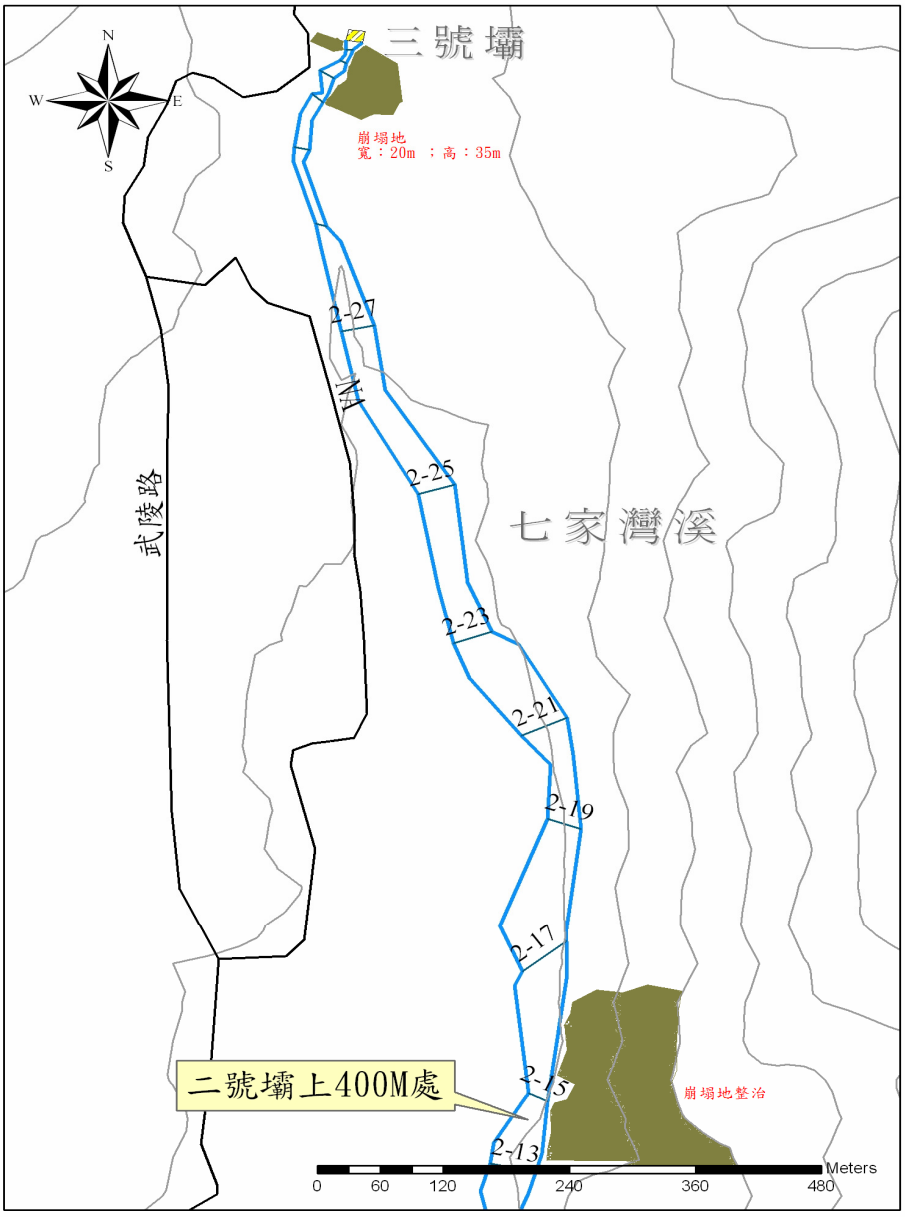


圖 2-35 三號壩至二號壩上 400m 處示意圖

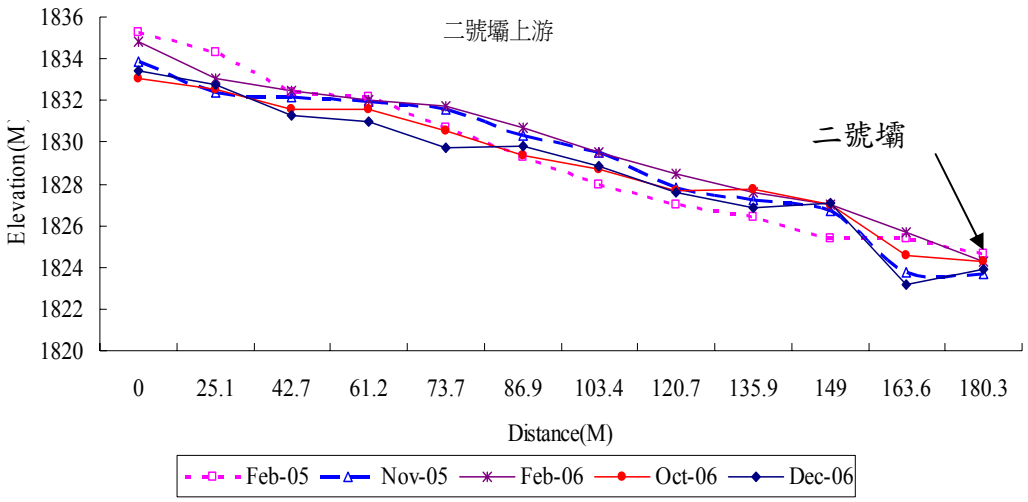


圖 2-36 二號壩上游斷面高程剖面圖

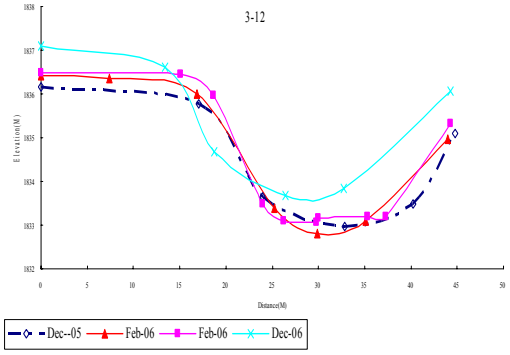


圖 2-37 七家灣溪斷面 3-12 剖面高程

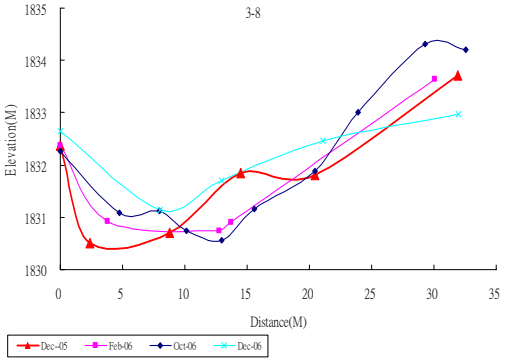


圖 2-38 七家灣溪斷面 3-8 剖面高程

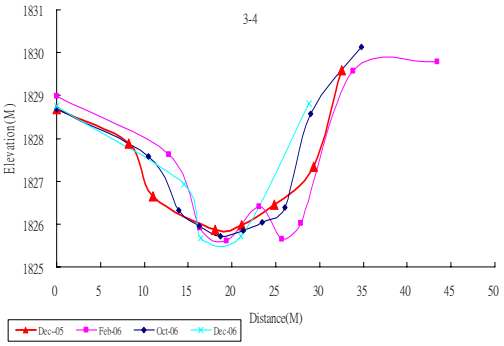


圖 2-39 七家灣溪斷面 3-4 剖面高程

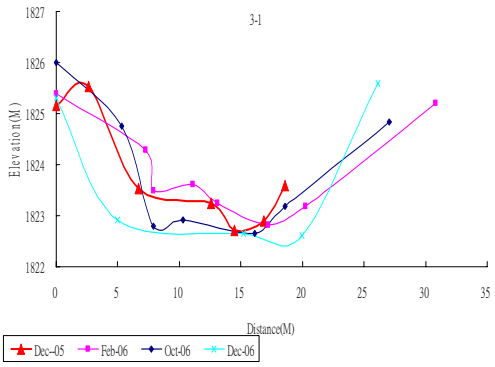


圖 2-40 七家灣溪斷面 3-1 剖面高程

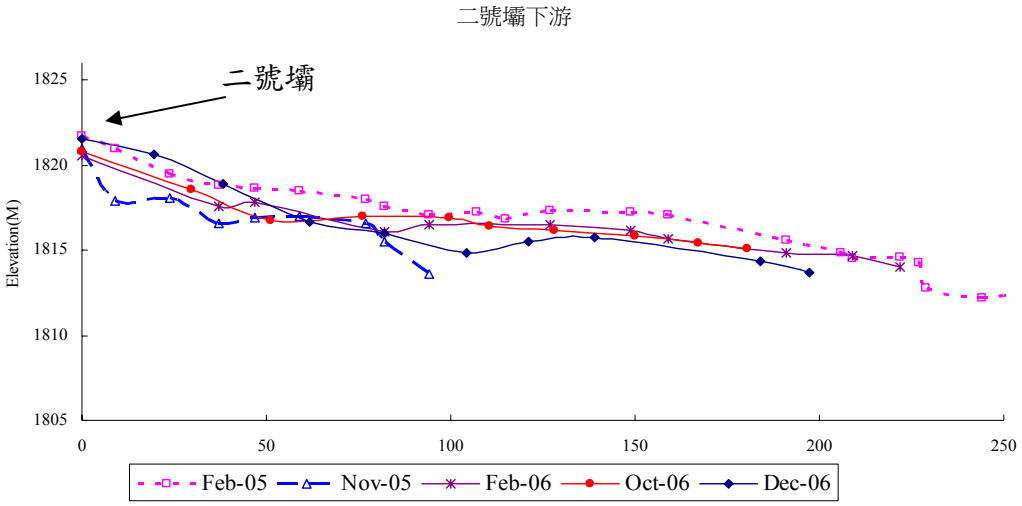


圖 2-41 七家灣溪二號壩下游斷面高程剖面圖

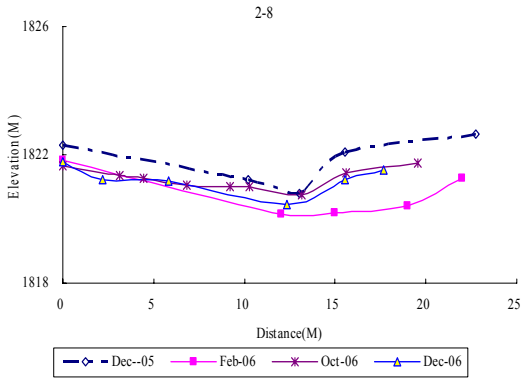


圖 2-42 七家灣溪斷面 1-54 剖面高程

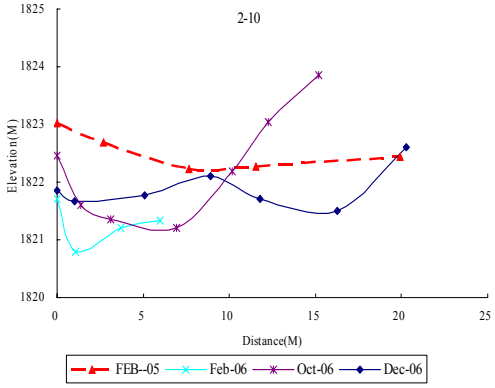


圖 2-43 七家灣溪斷面 1-52 剖面高程

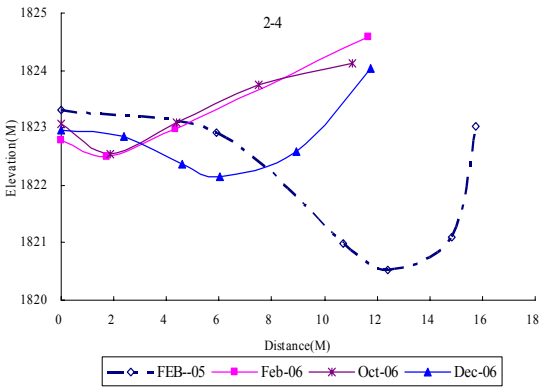


圖 2-44 七家灣溪斷面 1-49 剖面高程

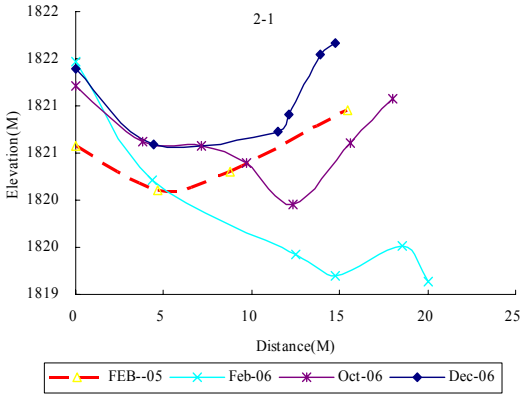


圖 2-45 七家灣溪斷面 1-47 剖面高程

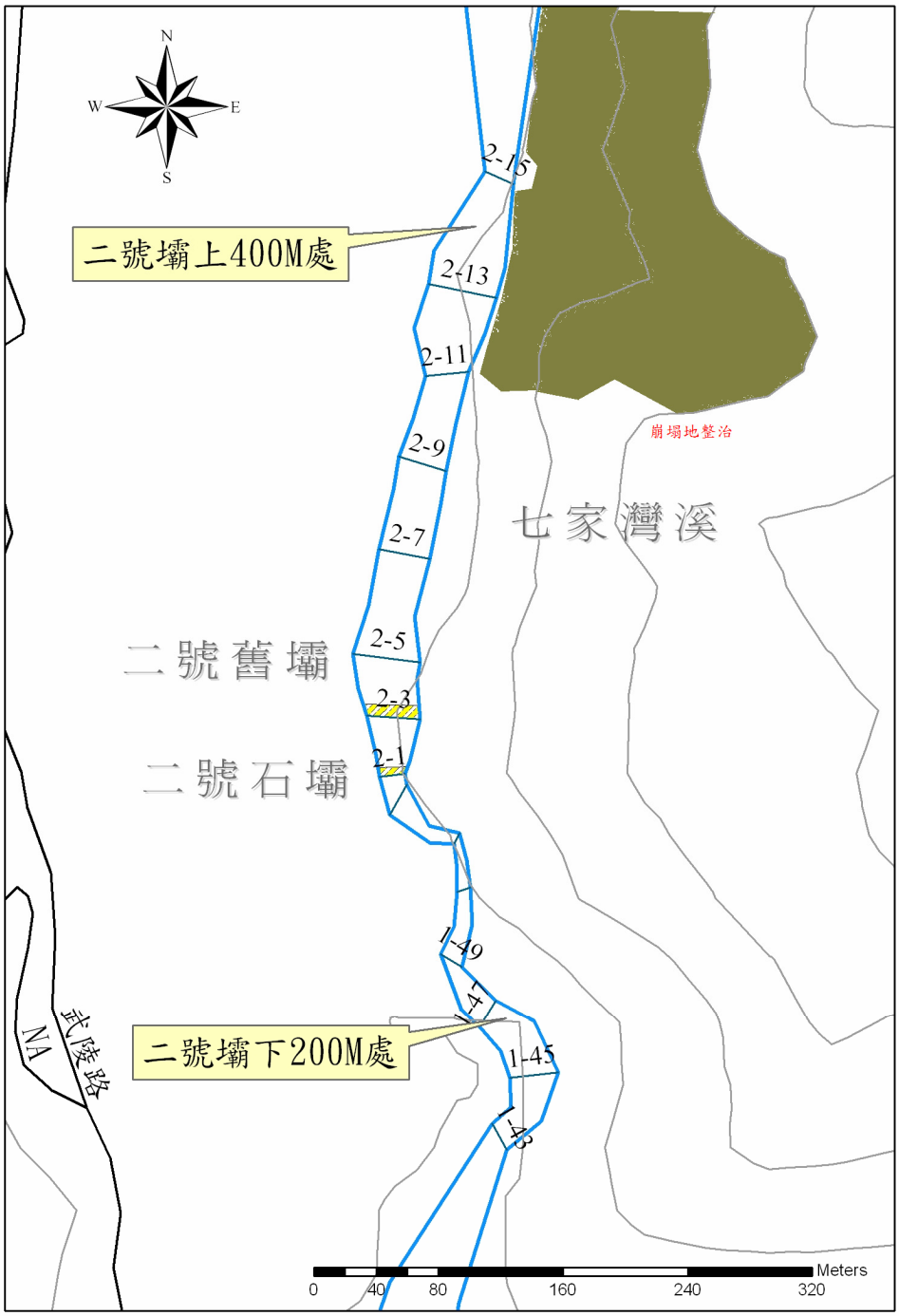


圖 2-46 七家灣溪二號壩及其副壩

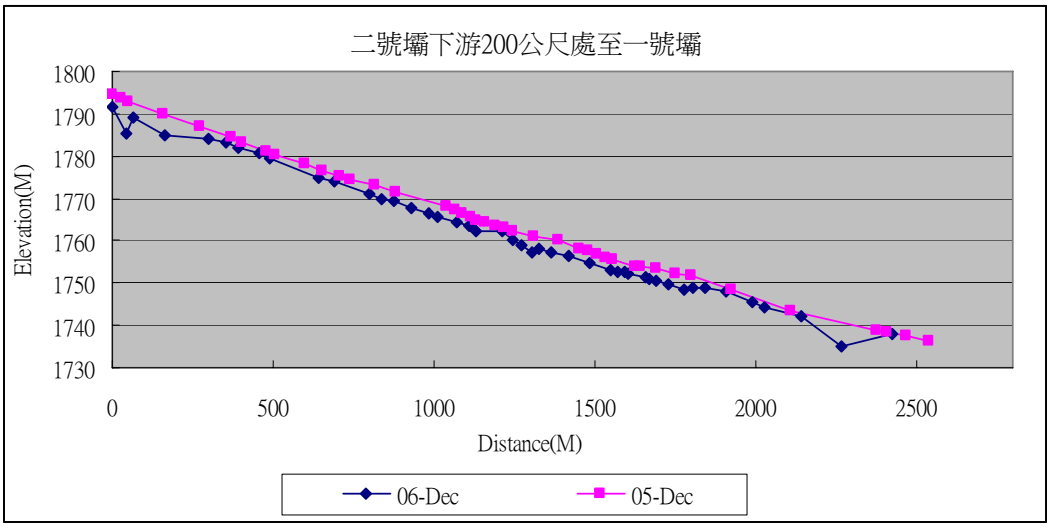


圖 2-47 二號壩下 200 公尺至一號壩上剖面線

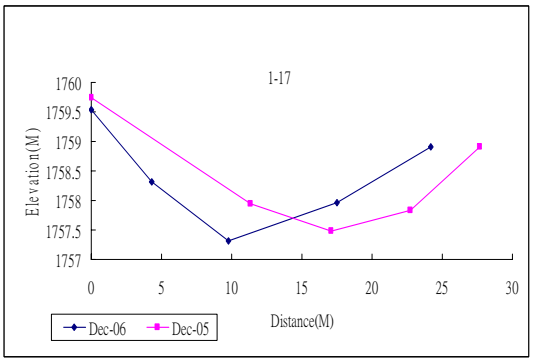


圖 2-48 七家灣溪斷面 1-17 剖面高程

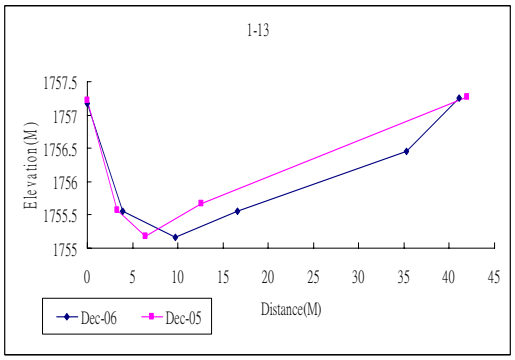


圖 2-49 七家灣溪斷面 1-13 剖面高程

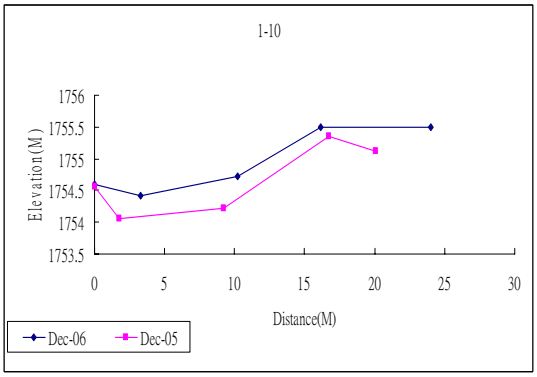


圖 2-50 七家灣溪斷面 1-10 剖面高程

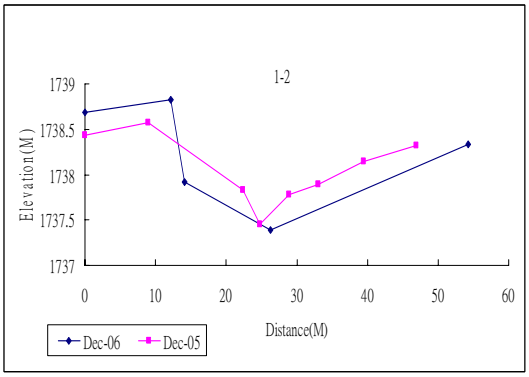


圖 2-51 七家灣溪斷面 1-2 剖面高程

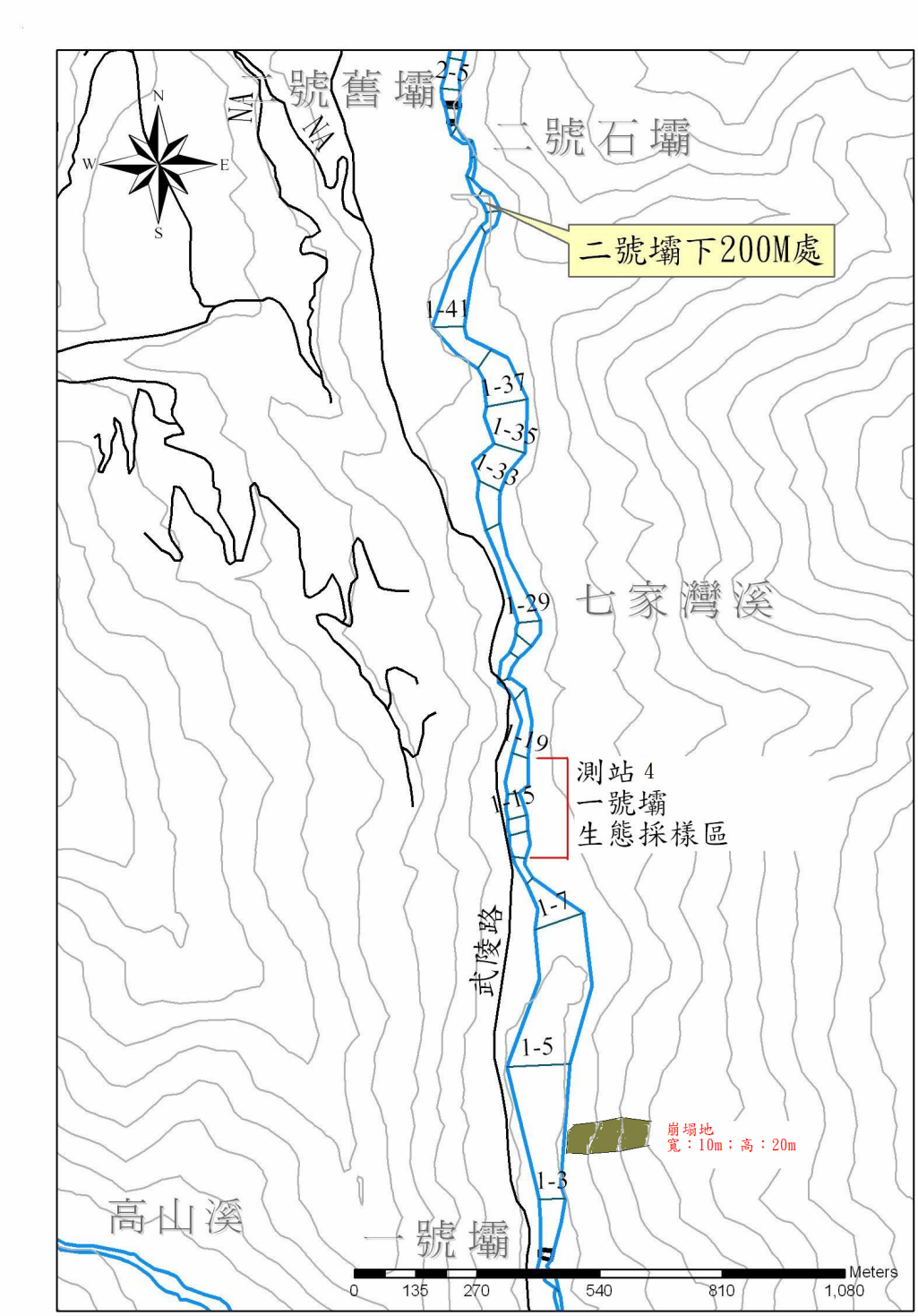


圖 2-52 二號壩下 200M 處至一號壩示意圖

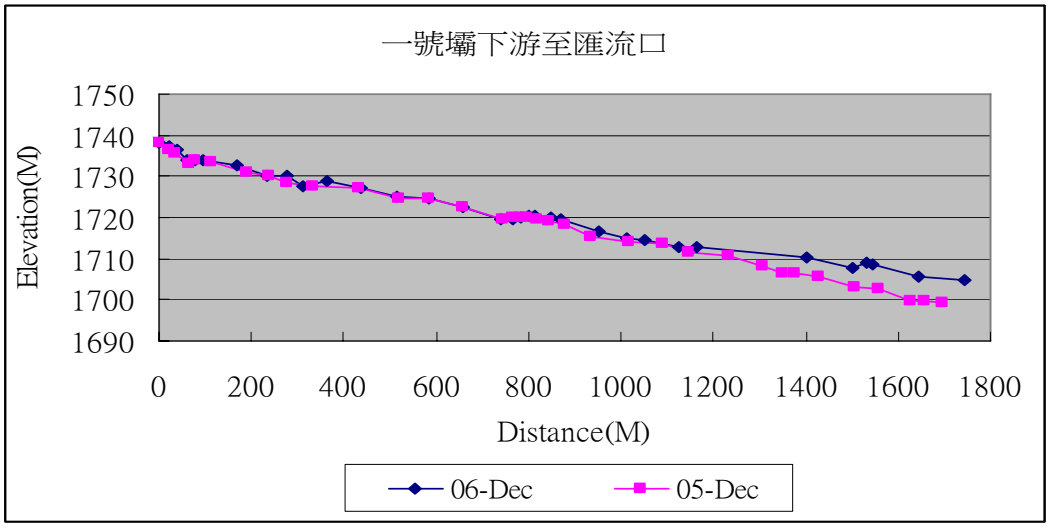


圖 2-53 一號壩下剖面線

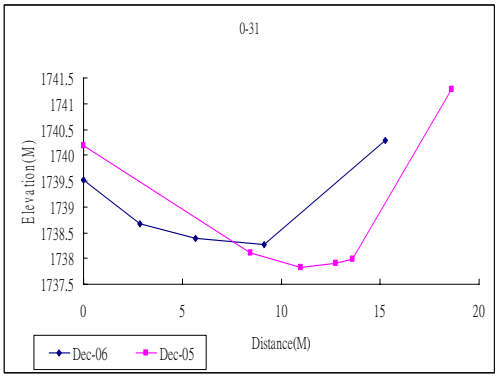


圖 2-54 七家灣溪斷面 0-31 剖面高程

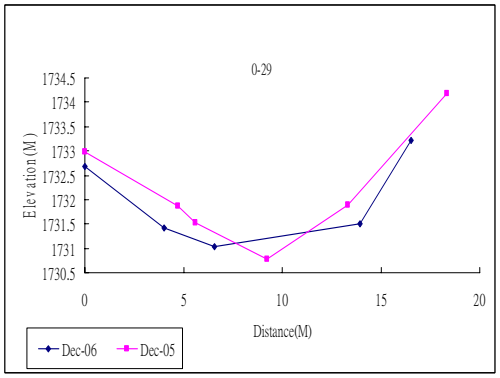


圖 2-55 七家灣溪斷面 0-29 剖面高程

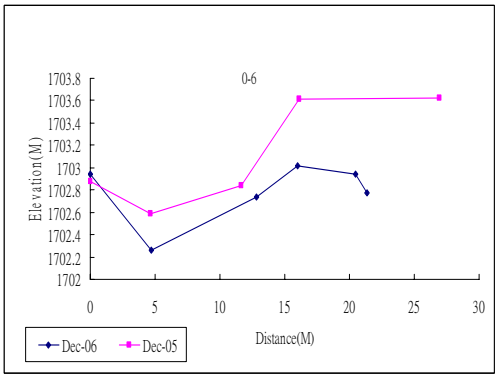


圖 2-56 七家灣溪斷面 0-6 剖面高程

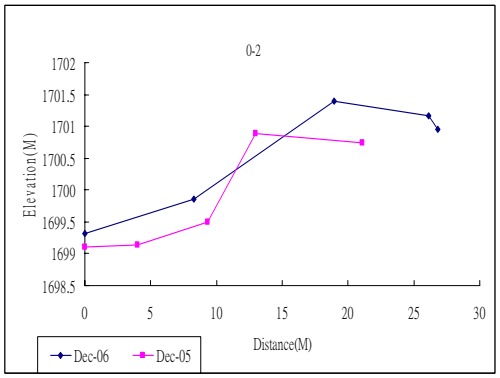


圖 2-57 七家灣溪斷面 0-2 剖面高程

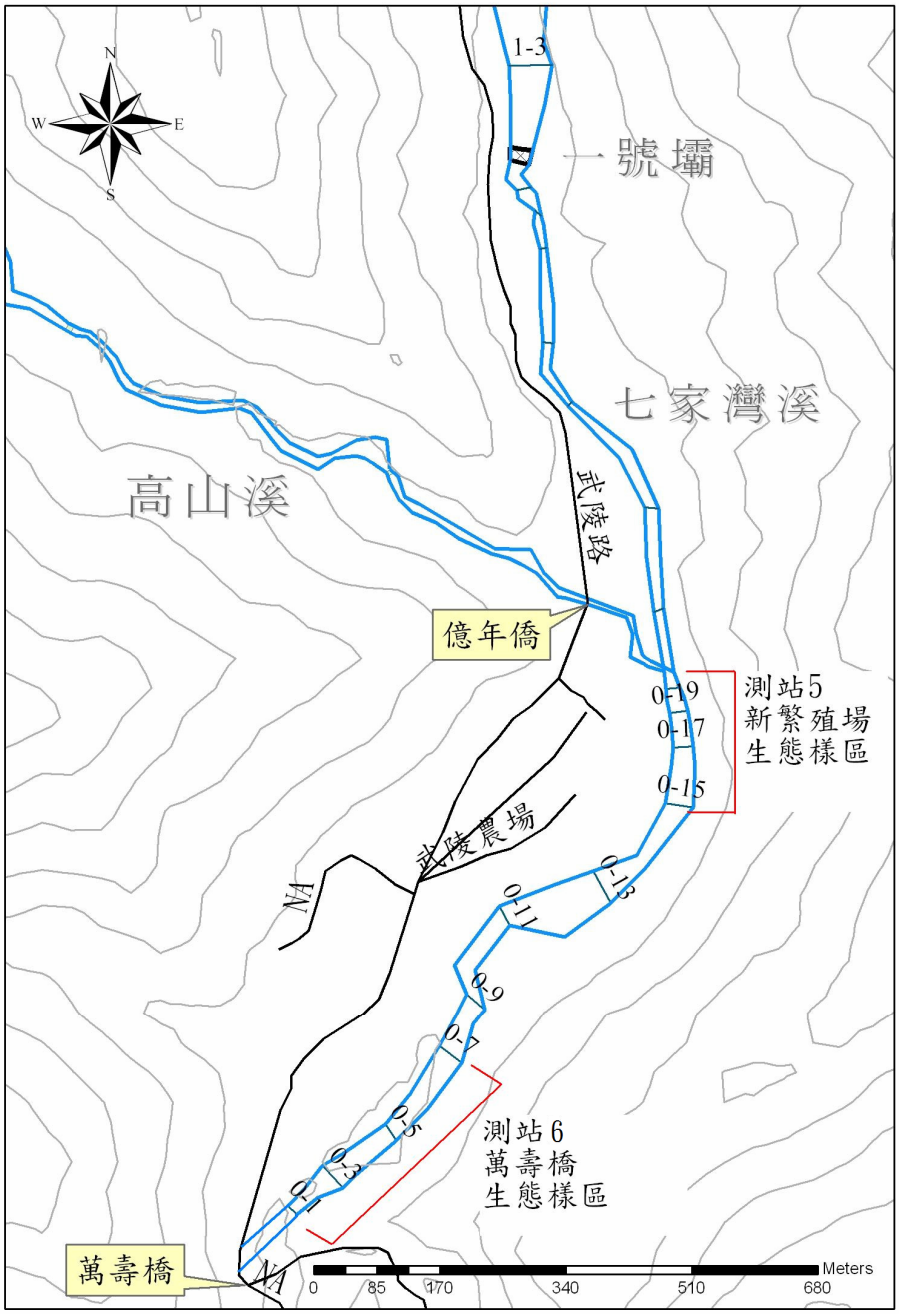


圖 2-58 一號壩下至七家灣溪與有勝溪匯流口示意圖

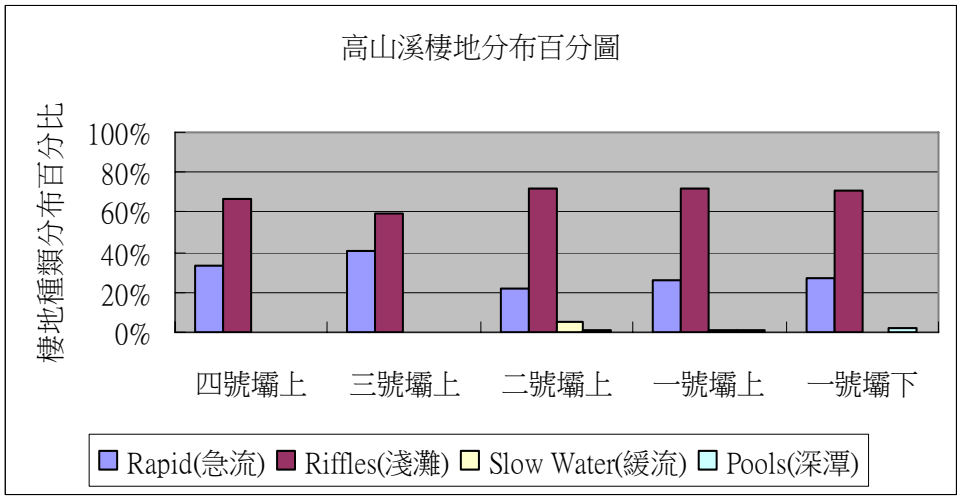


圖 2-59 高山溪棲地類型分析(2006/12)

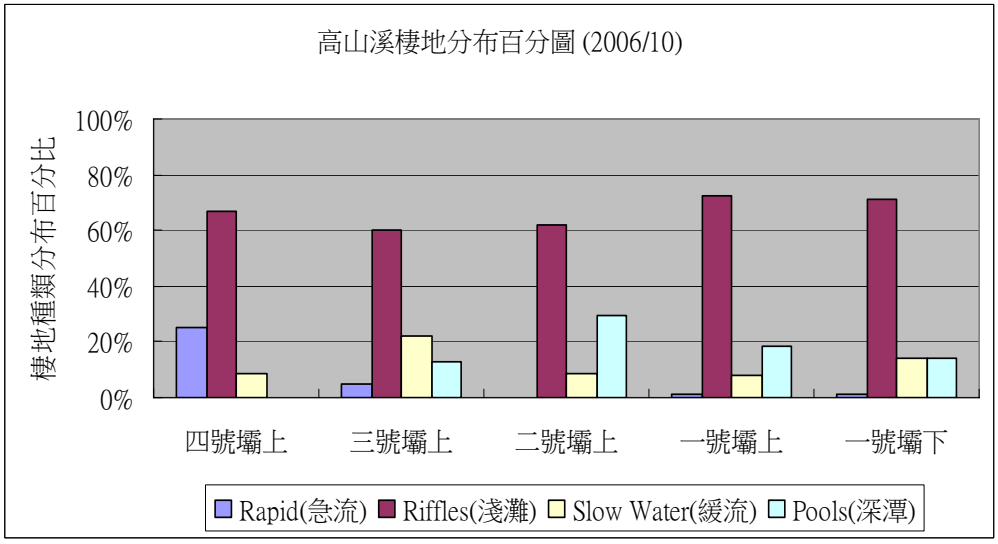


圖 2-60 高山溪棲地環境類型分析（2006/10）

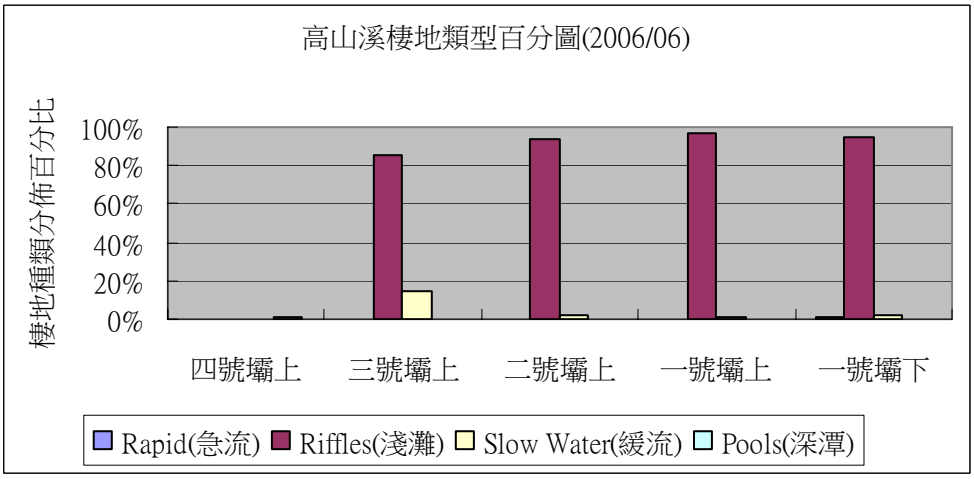


圖 2-61 高山溪棲地環境類型分析（2006/06）

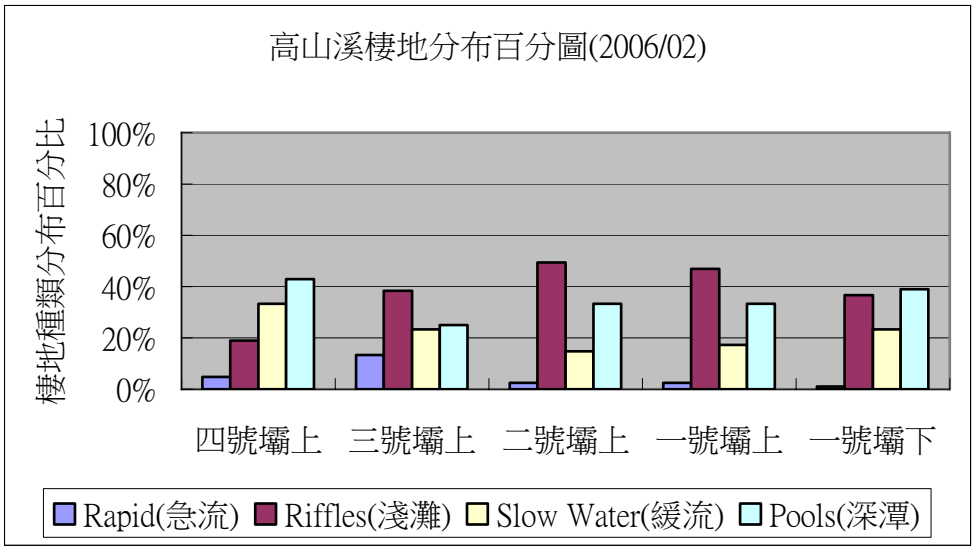


圖 2-62 高山溪棲地環境類型分析（2006/02）

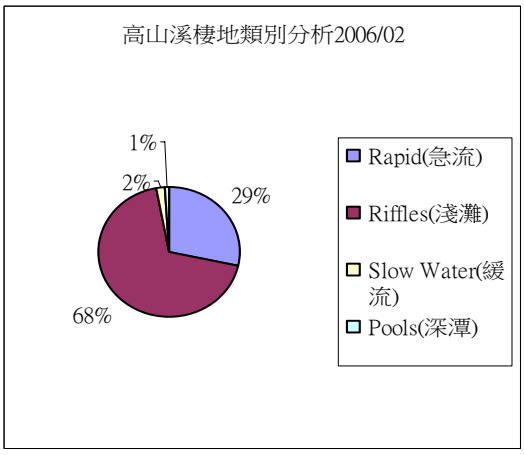


圖 2-63 高山溪棲地類型分布(Dec-06)

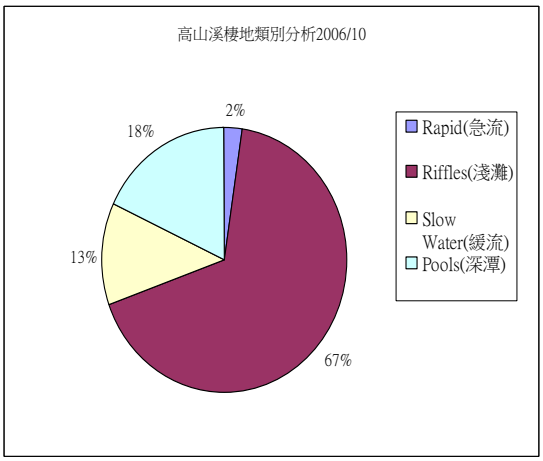


圖 2-64 高山溪棲地類型分布(Oct-06)

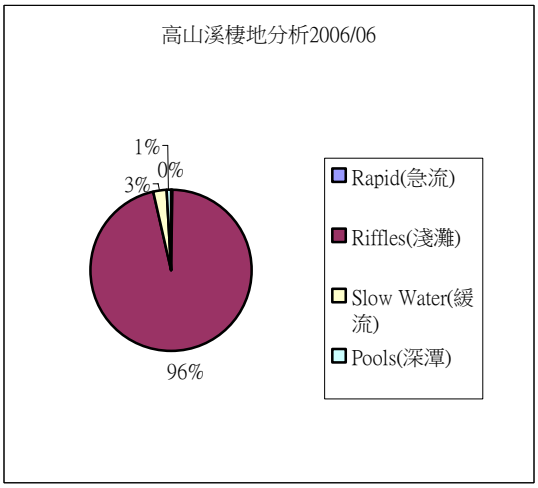


圖 2-65 高山溪棲地類型分布(Jun-06)

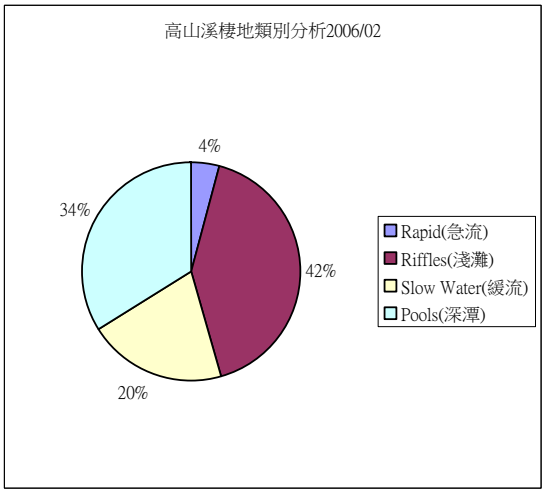


圖 2-66 高山溪棲地類型分布(Feb-06)

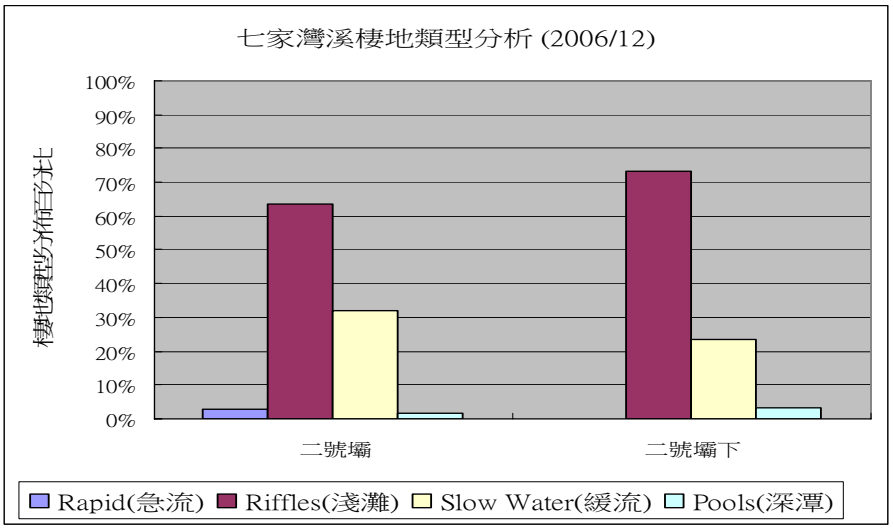


圖 2-67 七家灣溪二號石壩上下游棲地環境類型分析（2006/12）

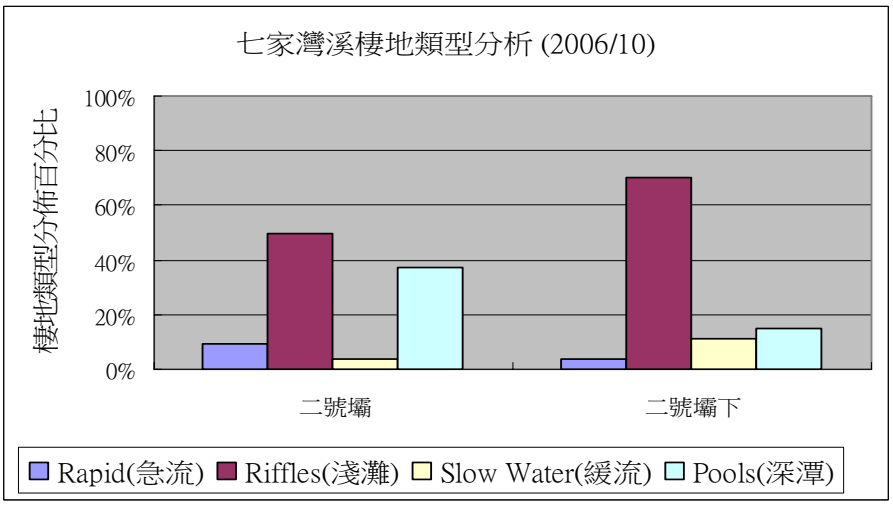


圖 2-68 七家灣溪二號石壩上下游棲地環境類型分析（2006/10）

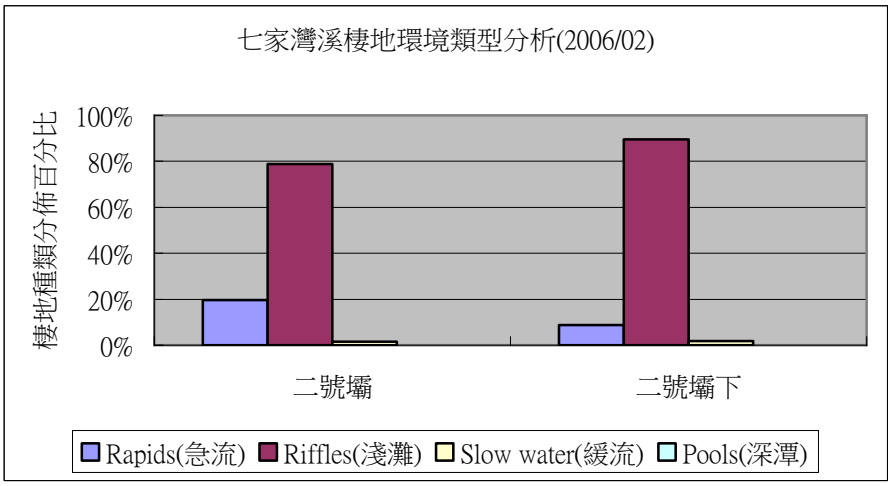


圖 2-69 七家灣溪二號石壩上下游棲地環境類型分析（2006/02）

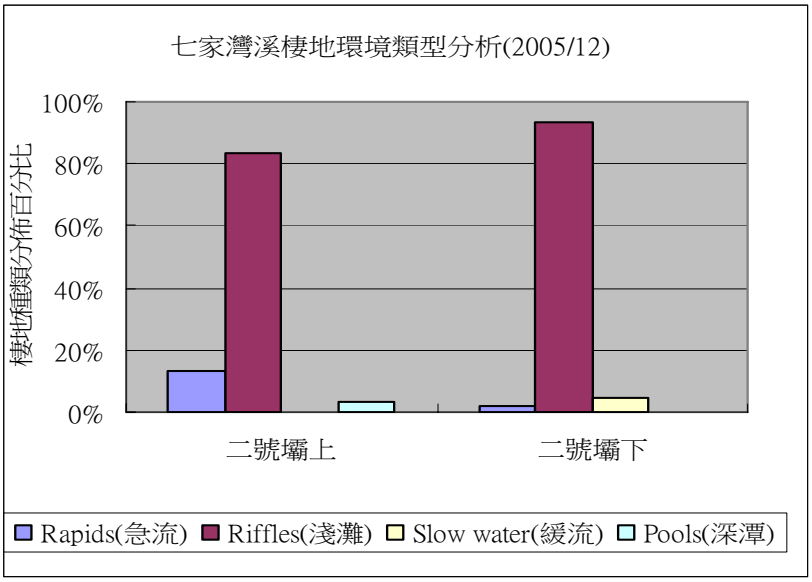


圖 2-70 七家灣溪二號石壩上下游棲地環境類型分析（2005/12）

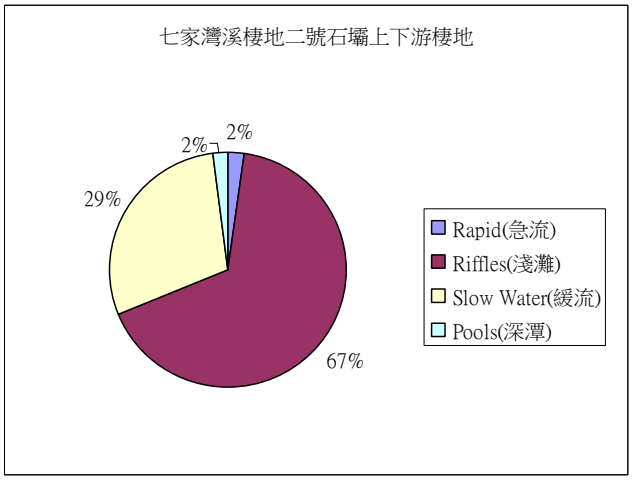


圖 2-71 七家溪二號石壩上下游棲地環境類型分布(2006/12)

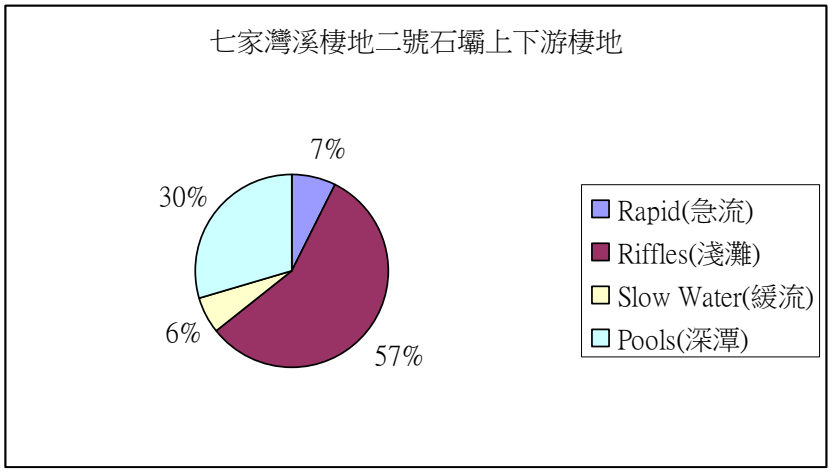


圖 2-72 七家溪二號石壩上下游棲地環境類型分布(2006/10)

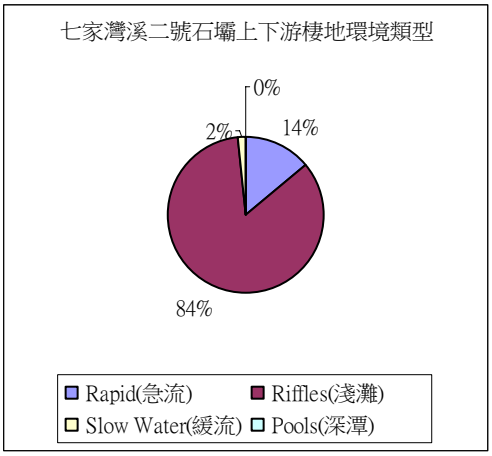


圖 2-73 七家溪二號石壩上下游棲地環境類型分布(2006/02)

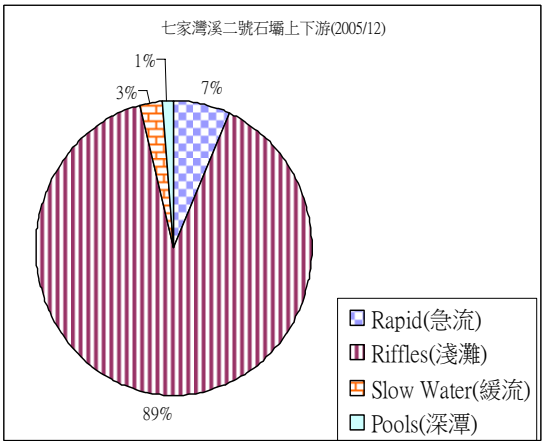


圖 2-74 七家溪二號石壩上下游棲地環境類型分布(2005/12)

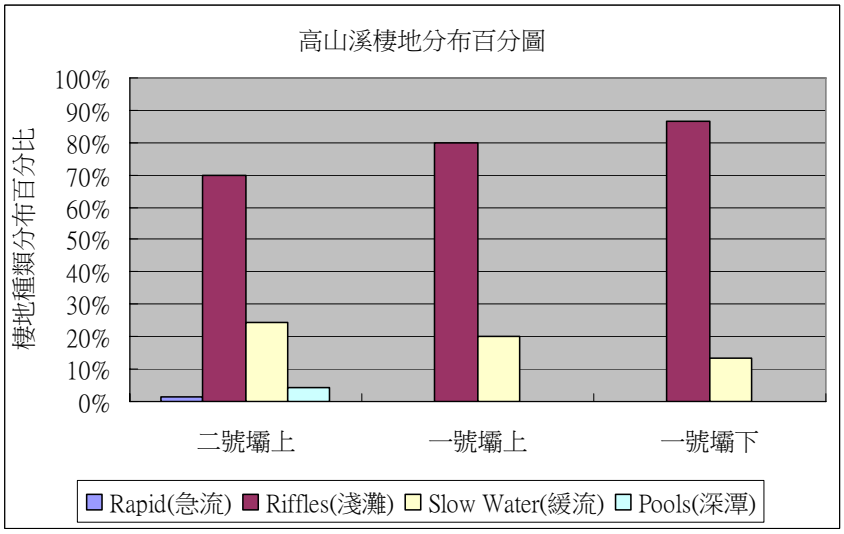


圖 2-75 七家灣溪全河道棲地環境類型分析（2006/12）

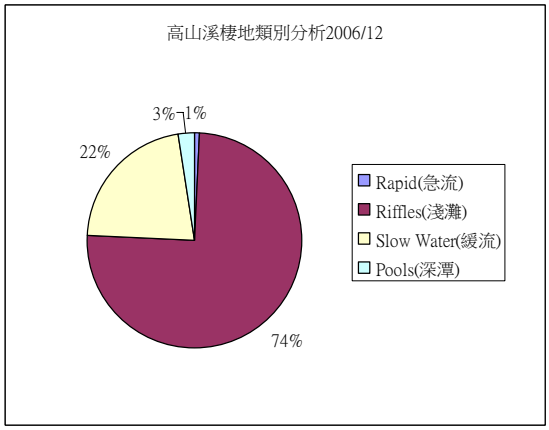


圖 2-76 七家灣溪全河道棲地環境類型分布（2006/12）

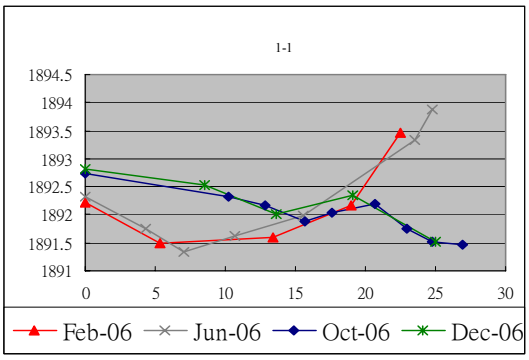


圖 2-77 桃山北溪 1-1 斷面剖面高程

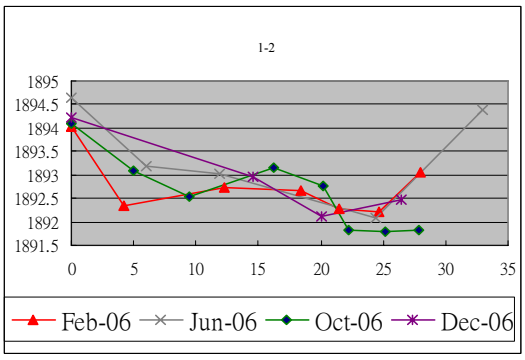


圖 2-78 桃山北溪 1-2 斷面剖面高程

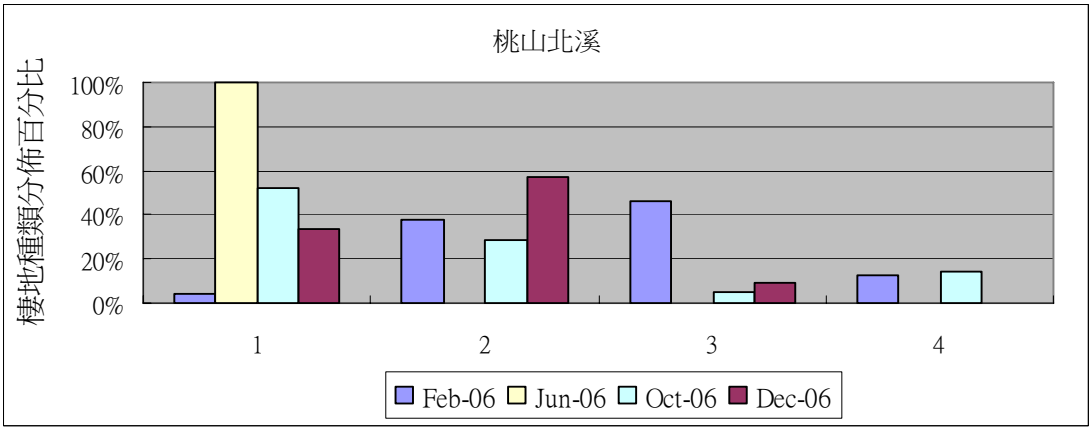


圖 2-79 桃山北溪棲地分佈類型百分比圖

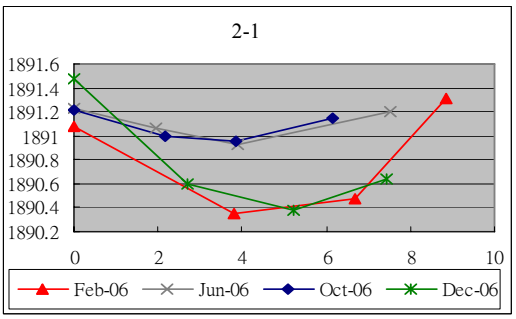


圖 2-80 桃山西溪 2-1 斷面剖面高程

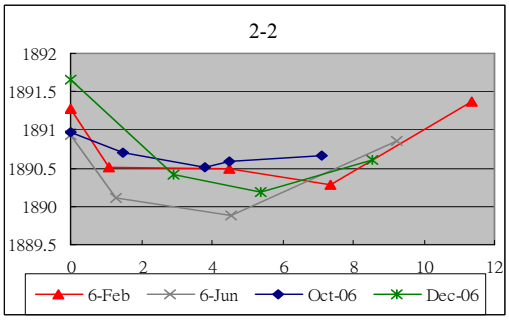


圖 2-81 桃山西溪 2-2 斷面剖面高程

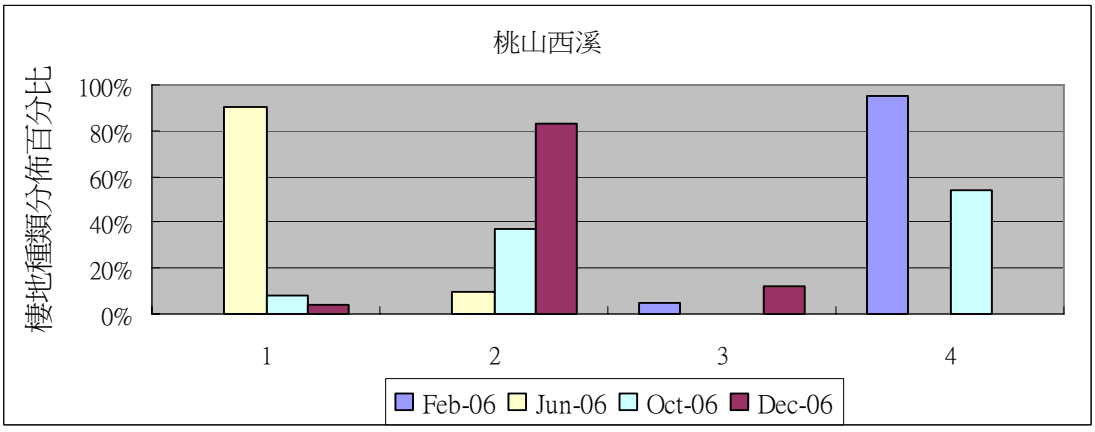


圖 2-82 桃山西溪棲地分佈類型百分比圖

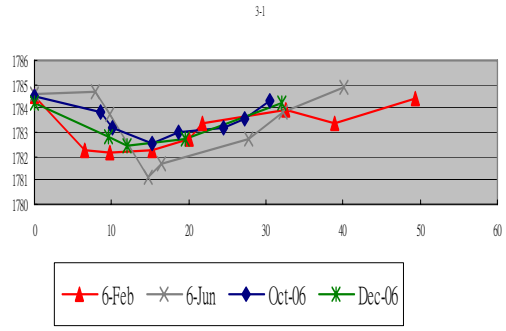


圖 2-83 一號壩測站 4-1 斷面剖面高程

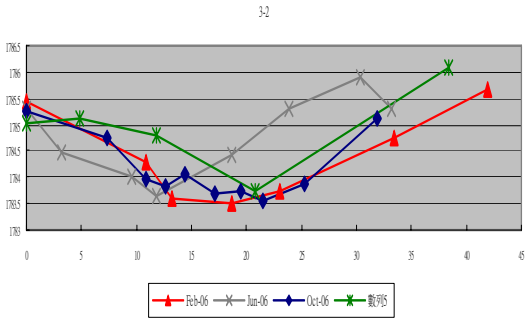


圖 2-84 一號壩測站 4-2 斷面剖面高程

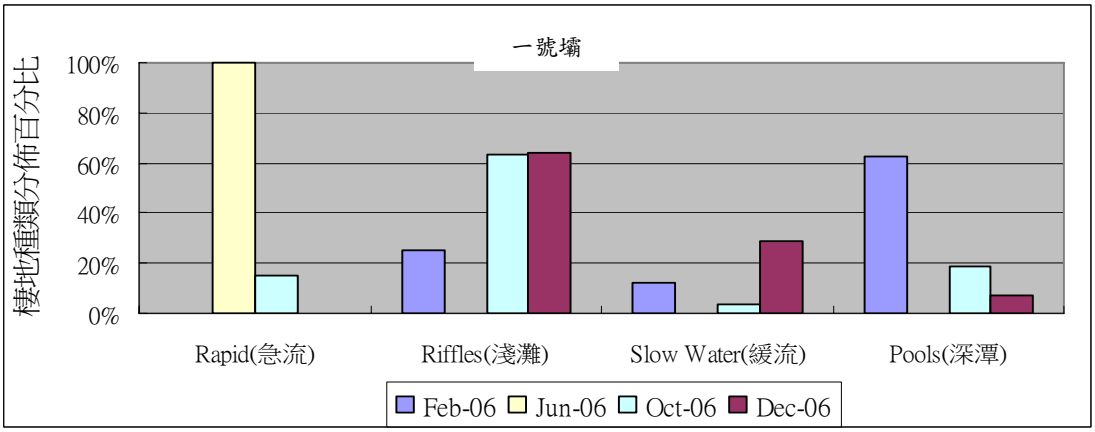


圖 2-85 一號壩分佈類型百分比圖

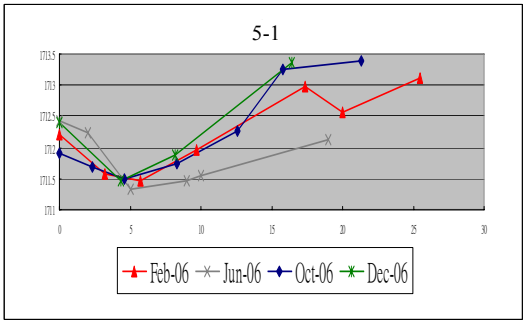


圖 2-86 繁殖場 5-1 斷面剖面高程

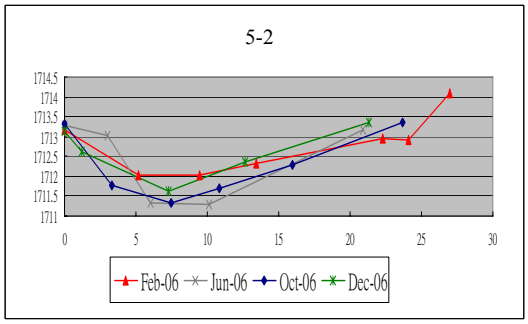


圖 2-87 繁殖場 5-2 斷面剖面高程

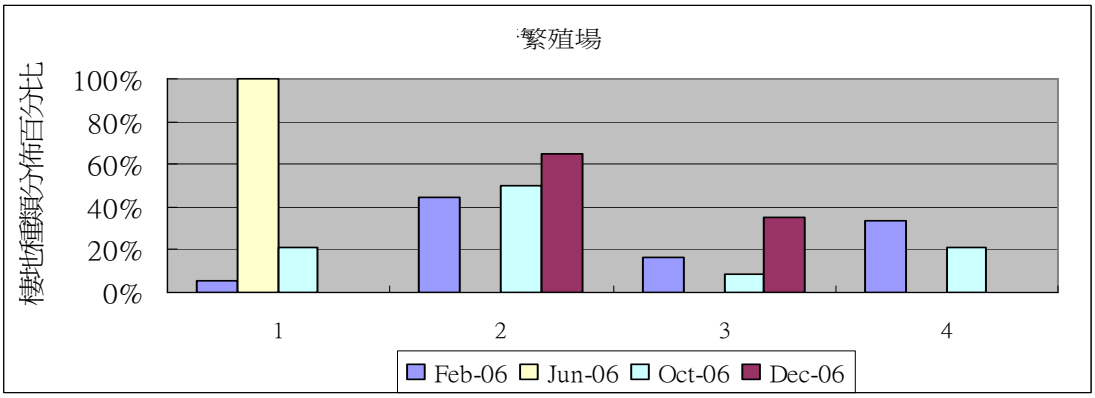


圖 2-88 繁殖場棲地分佈類型百分比圖

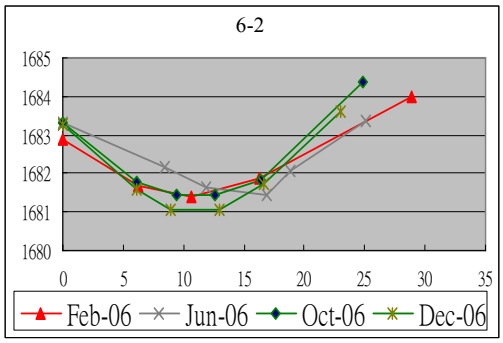


圖 2-89 萬壽橋測站 6-2 斷面剖面高程

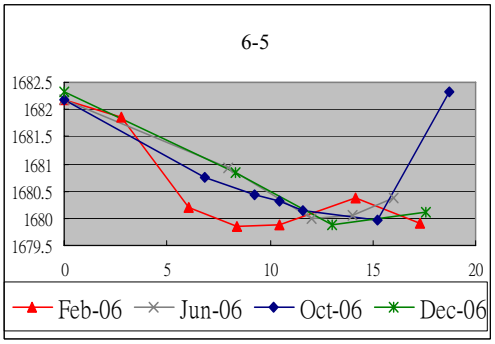


圖 2-90 萬壽橋測站 6-5 斷面剖面高程

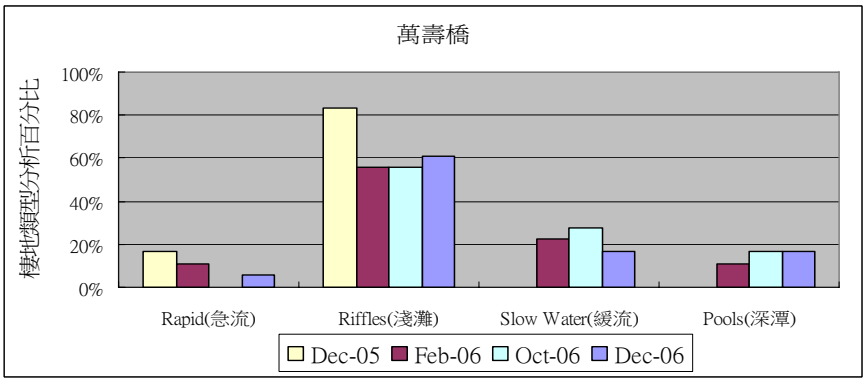


圖 2-91 萬壽橋棲地分佈類型百分比圖

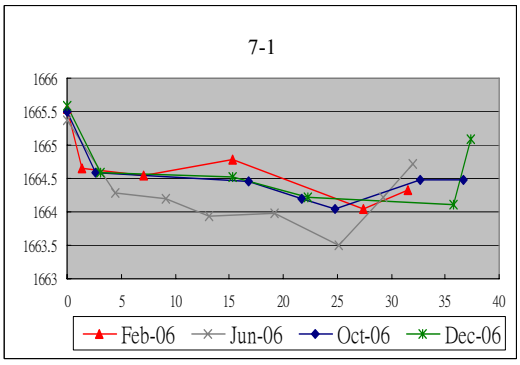


圖 2-92 迎賓橋測站 7-1 斷面剖面高程

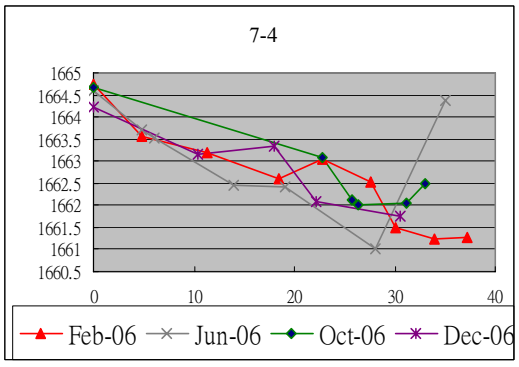


圖 2-93 迎賓橋測站 7-4 斷面剖面高程

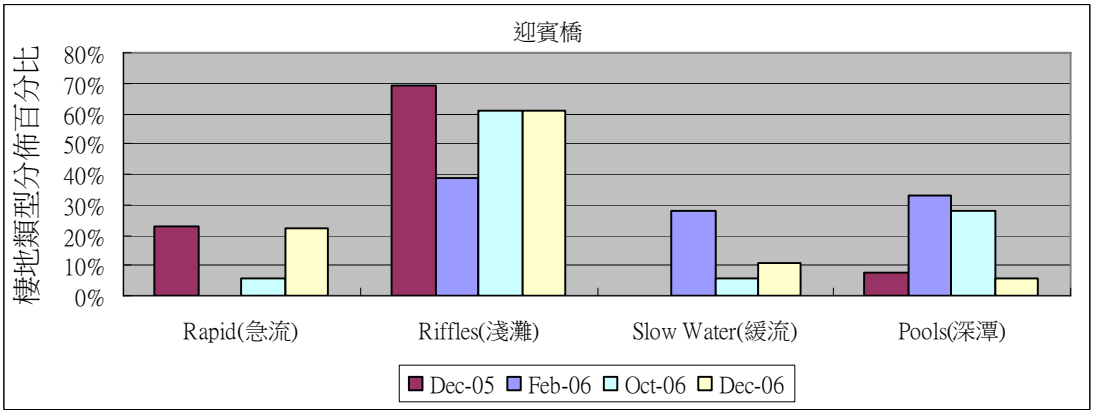


圖 2-94 迎賓橋棲地分佈類型百分比圖

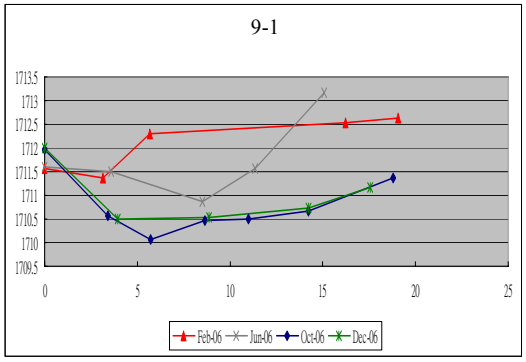


圖 2-95 有勝溪測站 9-1 斷面剖面高程

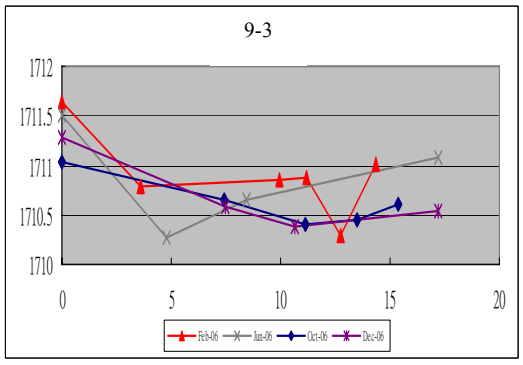


圖 2-96 有勝溪測站 9-3 斷面剖面高程

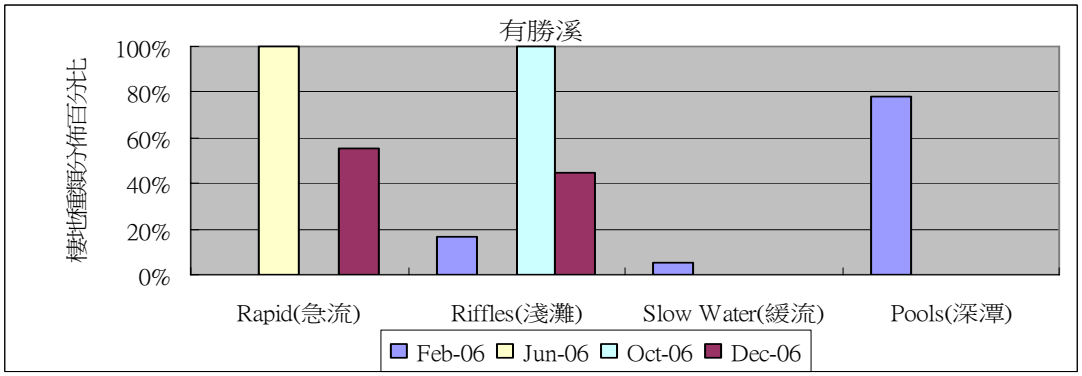


圖 2-97 有勝溪棲地分佈類型百分比圖

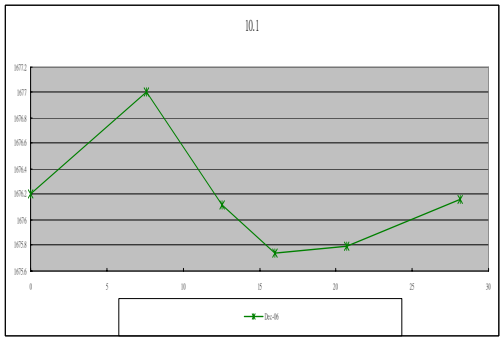


圖 2-98 司界蘭溪上游測站 10-1 斷面

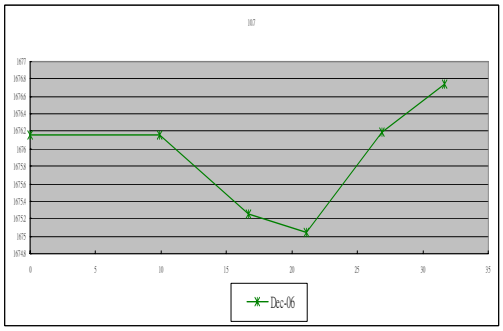


圖 2-99 司界蘭溪上游測站 10-7 斷面

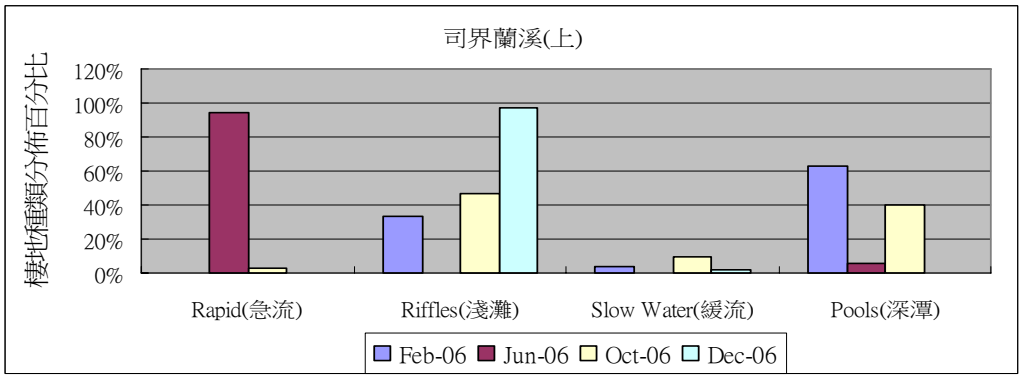


圖 2-100 司界蘭溪上游測站棲地分佈類型百分比圖

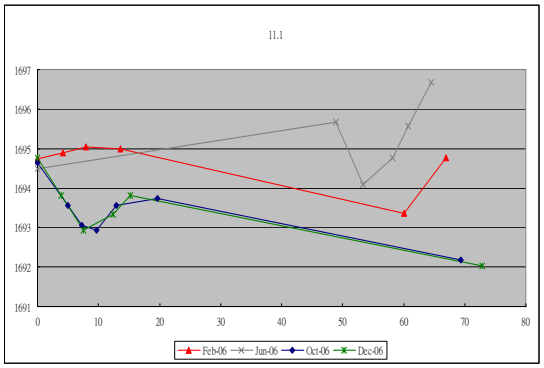


圖 2-101 司界蘭溪下游測站 11-1 斷面

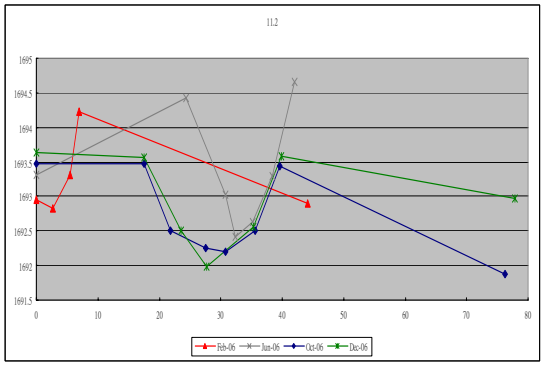


圖 2-102 司界蘭溪下游測站 11-2 斷面

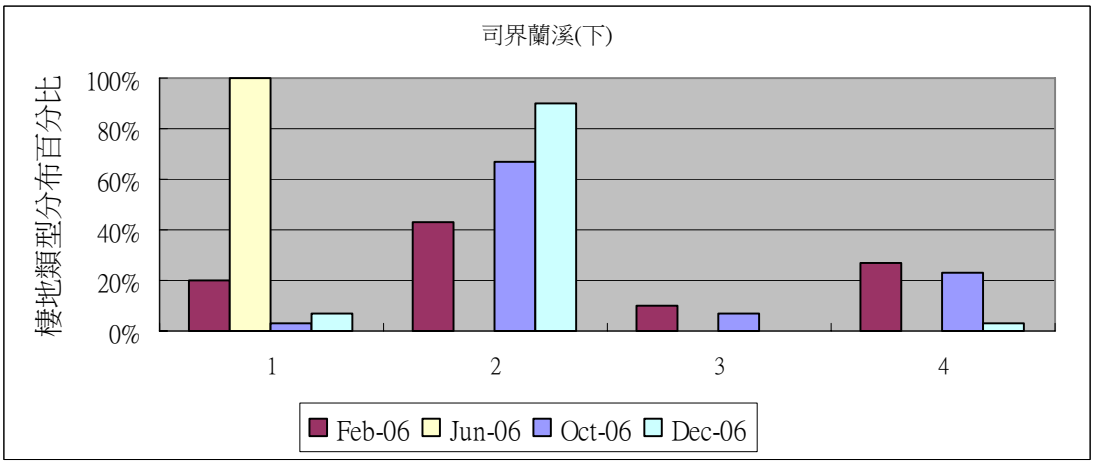


圖 2-103 司界蘭溪下游測站棲地分佈類型百分比圖

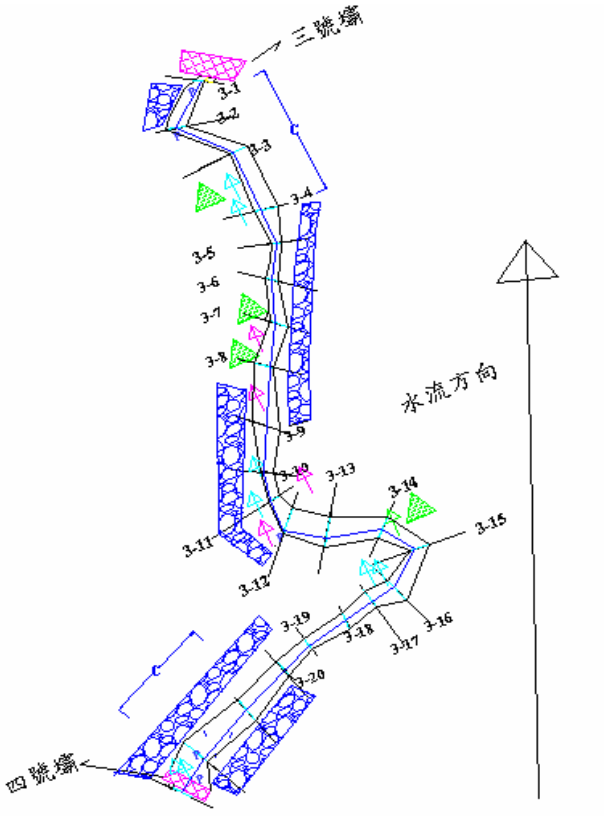


圖 2-104 體積計算範圍(三號壩與四號壩間)

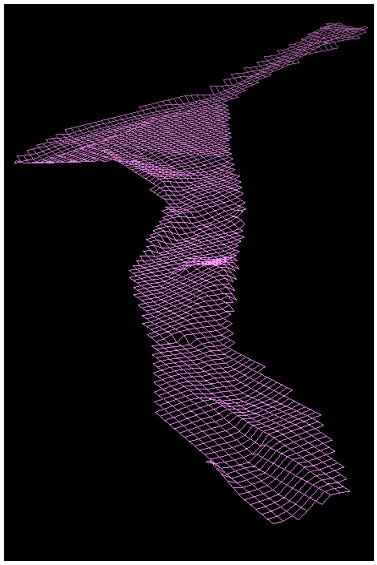


圖 2-105 河道資料網格

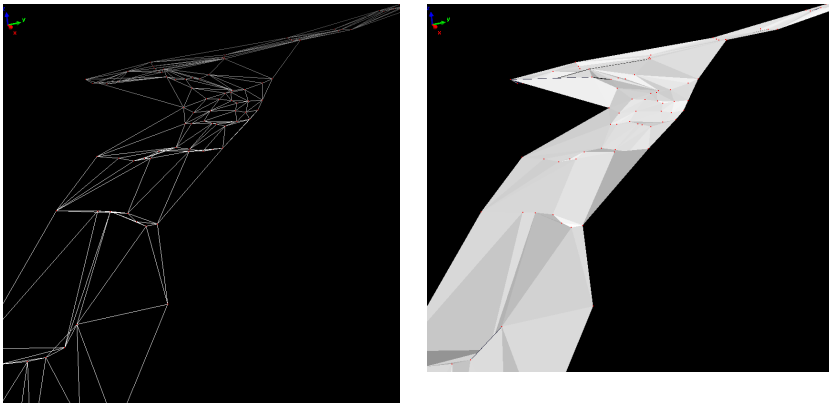


圖 2-106 河道多邊型化塑模

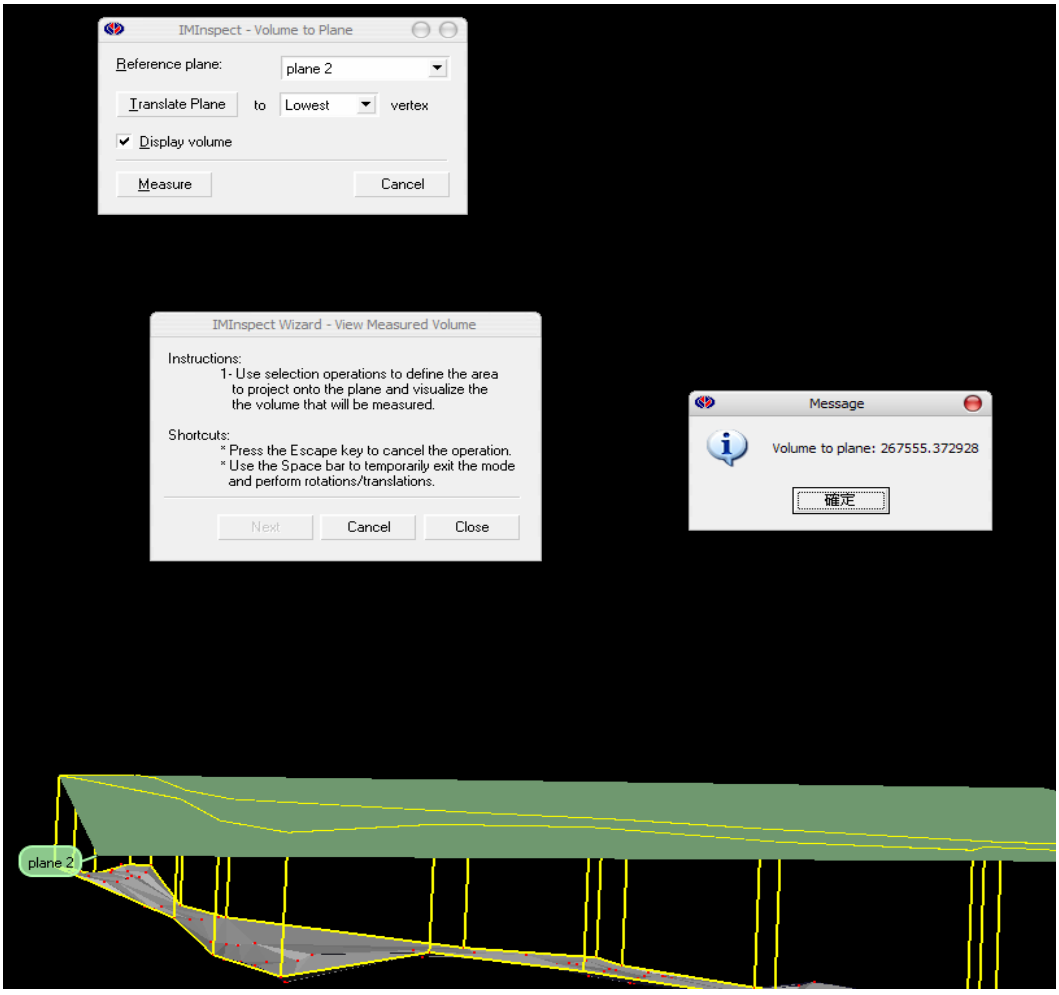


圖 2-107 體積計算

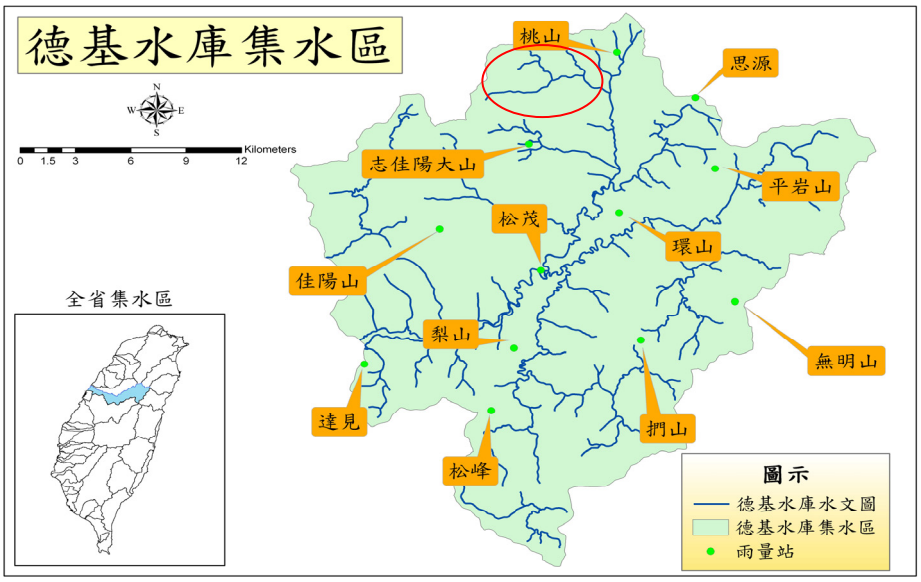


圖 2-108 桃山雨量站

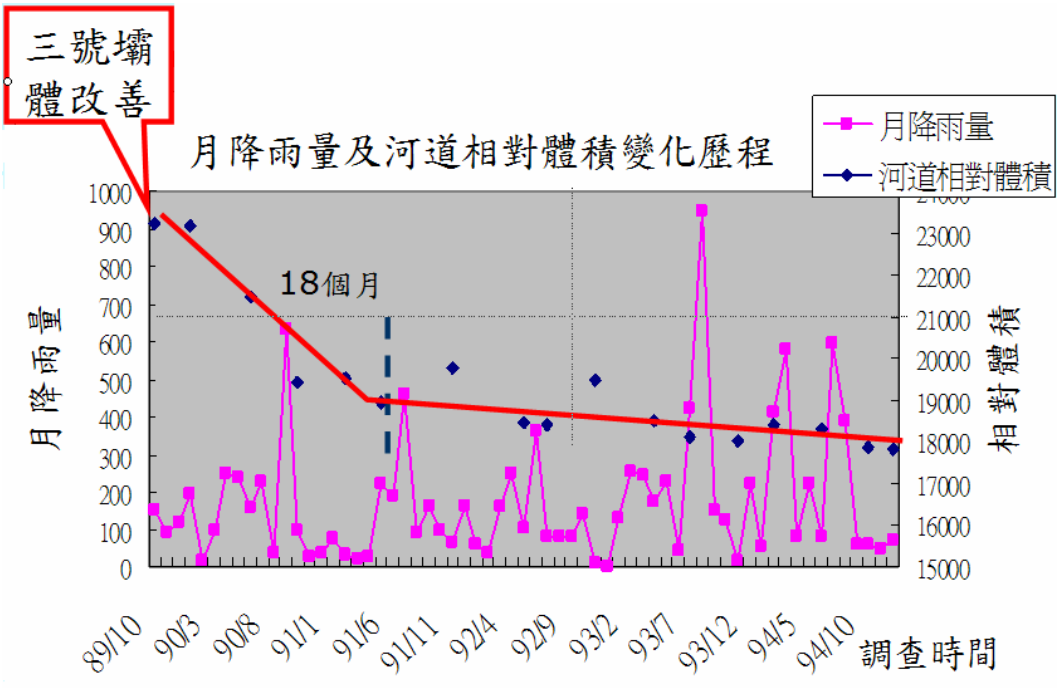


圖 2-109 月雨量及河道相對體積變化歷程



照片 2-1 斷面 4-4 上游面(2006/12)



照片 2-2 斷面 4-4 下游面(2006/12)



照片 2-3 四號壩上游面(2006/10)



照片 2-4 四號壩上游面(2006/2)



照片 2-5 四號壩 (2006/10)



照片 2-6 四號壩下深潭(2006/2)



照片 2-7 斷面 3-20 下游面(2006/10)



照片 2-8 斷面 3-20 上游面(2006/12)



照片 2-9 斷面 3-17 下游面(2006/10)



照片 2-10 斷面 3-17 崩塌(2006/2)



照片 2-11 斷面 3-12 殘材壩(2006/10)



照片 2-12 三號壩壩口(2006/6)



照片 2-13 三號壩壩口(2006/10)



照片 2-14 斷面 2-24 下游面(2006/10)



照片 2-15 斷面 2-23 下游面(2006/10)



照片 2-16 斷面 2-20 下游面(2006/10)



照片 2-17 斷面 2-20 上游面(2006/6)



照片 2-18 二號壩口(2006/10)



照片 2-19 二號壩壩口(2006/12)



照片 2-20 斷面 1-15 上游面(2006/10)



照片 2-21 斷面 1-13 深潭(2006/12)



照片 2-22 斷面 1-6 上游面(2006/10)



照片 2-23 斷面 1-5 蛇籠破損(2006/12)



照片 2-24 斷面 1-4 蛇籠破損(2006/12)



照片 2-25 一號壩(2006/10)



照片 2-26 一號壩下游深潭(2006/10)



照片 2-27 一號壩下游深潭(2006/6)



照片 2-28 斷面 0-5 上游面(2006/10)



照片 2-29 斷面 0-9 下游面(2006/10)



照片 2-30 斷面 0-14 上游面(2006/12)



照片 2-31 匯流口前深潭(2006/6)



照片 2-32 七家灣溪三號壩(2005/12)



照片 2-33 斷面 2-32 上游(2005/12)



照片 2-34 斷面 2-32 上游(2006/12)



照片 2-35 斷面 2-30 上游 (2005/12)



照片 2-36 斷面 2-31 下游 (2006/12)



照片 2-37 斷面 2-17 上游(2005/12)



照片 2-38 斷面 2-16 上游(2006/12)



照片 2-39 斷面 2-12 左岸崩塌(2005/12)



照片 2-40 斷面 2-12 左岸工事(2006/12)



照片 2-41 二號舊壩(2006/12)



照片 2-42 二號舊壩(2006/12)



照片 2-43 二號石壩口(2005/12)



照片 2-44 二號石壩口(2006/12)



照片 2-45 斷面 1-52 上游(2005/12)



照片 2-46 斷面 1-53 下游(2006/12)



照片 2-47 斷面 1-52 下游(2005/12)



照片 2-48 斷面 1-53 上游(2006/12)



照片 2-49 斷面 1-50 下游(2005/12)



照片 2-50 斷面 1-52 下游(2006/12)



照片 2-51 斷面 1-52 下游面(2005/12)



照片 2-52 斷面 1-50 下游面(2006/12)



照片 2-53 斷面 1-48 階梯狀河床(2005/12)



照片 2-54 斷面 1-47 下游面(2006/12)



照片 2-55 斷面 1-40 上游(2005/12)



照片 2-56 斷面 1-37 上游(2006/12)



照片 2-57 斷面 1-28 下游(2005/12)



照片 2-58 斷面 1-28 上游(2006/12)



照片 2-59 斷面 1-27 下游(2005/12)



照片 5-60 斷面 1-27 下游(2006/12)



照片 2-61 斷面 1-14 上游(2005/12)



照片 2-62 斷面 1-13 下游(2006/12)



照片 2-63 斷面 1-10 下游(2005/12)



照片 2-64 斷面 1-10 上游(2006/12)



照片 2-65 斷面 1-3 上游(2005/12)



照片 2-66 一號壩前(2006/12)



照片 2-67 七家灣溪一號壩(2005/12)



照片 2-68 七家灣溪一號壩(2006/12)



照片 2-69 斷面 0-4 上游深潭(2005/12)



照片 2-70 斷面 0-4 上游(2005/12)



照片 2-71 與高山溪匯流口上游(2005/12)



照片 2-72 與高山溪匯流口上游(2006/12)



照片 2-73 斷面 0-22 上游(2005/12)



照片 2-74 斷面 0-26 整治工事(2006/12)



照片 2-75 斷面 0-28 下游(2005/12)



照片 2-76 斷面 0-28 下游(2006/12)



照片 2-77 斷面 0-36 上游(2005/12)



照片 2-78 斷面 0-36 上游(2006/12)



照片 2-79 與有勝溪匯流口上游(2005/12)



照片 2-80 與有勝溪匯流口下游(2006/12)



照片 2-81 桃山北溪斷面 1-1 上游(Jun-6)



照片 2-82 桃山北溪斷面 1-2 上游(Jun-6)



照片 2-83 桃山北溪斷面 1-3 上游(Dec-6)



照片 2-84 桃山北溪斷面 1-3 上游(Oct-6)



照片 2-85 桃山北溪斷面 1-5 上游(Oct-6)



照片 2-86 桃山北溪斷面 1-E 上游(Dec-6)



照片 2-87 斷面 2-3 上游(2006/06)



照片 2-88 斷面 2-3 下游(2006/10)



照片 2-89 斷面 2-6 下游(2006/12)



照片 2-90 斷面 2-6 下游(2006/10)



照片 2-91 桃山西溪與桃山北溪匯流處(三號壩上)(2006/10)



照片 2-92 一號壩 4-1 斷面上游(Jun-6)



照片 2-93 一號壩 4-1 斷面上游(Oct-6)



照片 2-94 一號壩 4-3 斷面上游(Dec-6)



照片 2-95 一號壩 4-6 斷面下游(Oct-6)



照片 2-96 一號壩 4-8 斷面下游(Oct-6)



照片 2-97 繁殖場起始點(Jun-6)



照片 2-98 繁殖場起始點(Oct-6)



照片 2-99 繁殖場斷面 5-2 上游(Dec-6)



照片 2-100 斷面 5-4 下游(Dec-6)



照片 2-101 繁殖場斷面 5-6 上游(Oct-6)



照片 2-102 萬壽橋斷面 6-1 下游(Jun-6)



照片 2-103 萬壽橋斷面 6-2 下游(Dec-6)



照片 2-104 萬壽橋斷面 6-3 下游(Oct-6)



照片 2-105 萬壽橋斷面 6-4 下游(Oct-6)



照片 2-106 萬壽橋斷面 6-6 下游(Oct-6)



照片 2-107 迎賓橋斷面 7-2 下游(Jun-6)



照片 2-108 迎賓橋斷面 7-3 下游(Oct-6)



照片 2-109 迎賓橋斷面 7-3 上游(Jun-6)



照片 2-110 迎賓橋斷面 7-4 上游(Oct-6)



照片 2-111 迎賓橋斷面 7-6 下游(Dec-6)



照片 2-112 有勝溪 9-1 斷面下游(Dec-6)



照片 2-113 有勝溪 9-3 斷面下游(Oct-6)



照片 2-114 有勝溪 9-4 斷面上游(Dec-6)



照片 2-115 有勝溪 9-5 斷面上游(Oct-6)



照片 2-116 有勝溪一號壩上游(Jun-6)



照片 2-117 有勝溪旁路基修護完成(Oct-6)



照片 2-118 司界蘭溪上游斷面 10-1 下游(Jun-6)



照片 2-119 司界蘭溪上游斷面 10-1 上游(新址)(Dec-6)



照片 2-120 司界蘭溪上游斷面 10-2 上游(新址) (Dec-6)



照片 2-121 司界蘭溪上游斷面 10-3 下游(Oct-6)



照片 2-122 司界蘭溪下游舊壩 下游(Dec-06)



照片 2-123 司界蘭溪下游舊壩 下游(Oct-6)



照片 2-124 司界蘭溪下游斷面 11-7 上游(Dec-06)



照片 2-125 2005/11 之殘材壩



照片 2-126 2006/02 之殘材壩



照片 2-127 2006/10 之殘材壩



照片 2-128 2006/12 之殘材壩

第三章　水質研究

官文惠、呂佩珊、江美貞、林彥均

明志科技大學環境與安全工程系

摘要

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，營養鹽在水中之不同分佈型態，決定其對生物之毒性或被生物攝食之可能性。本研究目的在針對水中不同型態之營養鹽，包括溶解態以及底泥態分別進行採樣分析，以研究營養鹽在水域之分佈。

七家灣溪沿岸之農業行為與人為活動對水質有重大之影響，該區的非點源污染會經由降雨沖刷與入滲而流入河川水體，造成溪流中營養鹽上升，進而影響到櫻花鉤吻鮭生存的環境。利用WinVAST集水區非點源污染輸出模擬運算模式，進行推估在不同土地利用下，非點源污染經大雨沖刷流入溪流，其溪流的污染負荷量。

Abstract

The toxicity of nutrients depends on its form of species and distribution in the stream water. Therefore, dissolved and sediment type of samples will be collected in this study to explore the transport and fate of nutrients in this stream. Available information indicated that the nutrients in Chichiawan stream are mainly from the fertilizer applied to the farms near the stream. The mechanisms of the nutrients brought into the stream are controlled by the surface run-off generated from the rainfall. The fertilizers of the farms often flow into stream after raining, can cause enhance of nutrients concentration in the stream therefore affects the main habitat of the Formosan Salmon. The pollution loading from various utilization of land will be simulated and estimated by the WinVAST non-point source model.

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。武陵地區不同的土地利用型態決定了非點源污染輸出的種類，七家灣溪沿岸之農業行為與人為活動對水質有重大之影響，非點源污染的輸出大多是利用降雨沖刷所造成之表面逕流，使得營養鹽快速且大量進入水體，進而影響溪流水體品質，故針對該區不同土地利用型態對非點源污染輸出研究顯得格外重要。

(二) 研究目的

根據往年的水質調查監測報告顯示，武陵地區不同的土地利用型態輸出不同的非點源污染物，該區的果園、菜園等土地利用型態所輸出的非點源污染正衝擊著七家灣溪流域，因此除了定期的水質監測外，尚需估算該區的非點源污染輸出量，評估是否對七家灣溪流域造成過多的負荷。

(三) 研究內容

本研究擬以一年的時間完成七家灣溪流域水環境調查分析與模擬該區經暴雨沖刷後的非點源污染輸出，計劃目標如下：

針對不同型態之營養鹽，包括溶解態與底泥態，分別進行採樣分析。另外將運用非點源污染輸出模擬軟體WinVAST，模擬在不同的土地利用下，非點源污染物經暴雨沖刷輸出的污染量。

(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，含括新竹縣五峰鄉、尖石鄉、苗栗縣泰安鄉、台中縣和平鄉，屬於高山型之國家公園（圖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，並在下游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8.5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℃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. 研究樣區農作物的特性

梨山自中橫公路通車後，遊客不斷湧入，帶動該地區繁榮，並開墾種植溫帶水果如蘋果、水蜜桃、梨、李等溫帶果樹。沿途於佳陽、梨山、華岡、松茂、環山、苗圃、武陵等地區相繼栽培溫帶果樹。近年來，由於水果開放進口，以致水果價格低落，不敷成本支出，果園相繼廢耕改種茶樹、夏季高冷蔬菜。

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，圖 (3-2)為武陵農場地區在94年時農地分佈的情形，其果園面積佔地約30.2公頃、蔬菜園區佔地約24.55公頃、茶園3公頃。武陵農場於94年1月1日開始實施國土復育計劃至99年12月31日止，已於93年停耕蔬菜地17.33公頃，在94年底將再停耕蔬菜地5.19公頃，95年則會將剩餘的19.36公頃蔬菜地全面停耕。果樹部分會於96年一次全面停耕，在同年度也將茶園3公頃一併停耕，終至全面停止農業經濟生產，並於99年底前逐年辦理植生造林。另外，武陵農場將保留茶園3公頃，果園6公頃，合計9公頃作為生態教學及品種觀察區以達教育之目的。

農場中高冷蔬菜主要種植的植物為甘藍與青蒜、菠菜為主。蔬菜園的種植模式為連續種植兩次甘藍後，改種植青蒜或菠菜。

果樹區主要種植水蜜桃、蘋果與梨。水蜜桃三月開花採收季節為6-8月底，蘋果在3月開花因品種的不同採收期介於8月底-12月，梨三月開花因品種的不同採收期介於8月初-12月。以下將針對不同農作物施用肥料之建議方式與梨山地區實際施用之量做介紹。

(1) 甘藍

甘藍種植的季節為夏、秋兩季，採收在夏播定植後60-85天，秋播定植後為60-90天，梨山地區農民在第一期作施用氮肥用量平均1,622公斤/公頃，磷肥857公斤/公頃，鉀肥1,041公斤/公頃，甘藍收穫量平均67,263公斤/公頃；第二期作氮肥平均用量1,349公斤/公頃，磷肥687公斤/公頃，鉀肥887公斤/公頃，甘藍收穫量平均81,011公斤/公頃。然甘藍施肥推薦用量氮素在夏作時使用量為200-300公斤/公頃，秋冬作使用量為250-350公斤/公頃，磷酐為70-90公斤/公頃，氧化鉀則是使用120-180公斤/公頃。均較甘藍推荐用量高出氮肥4.16~6.5倍，磷肥9.5~12.2倍，鉀肥5.8~8.7倍，顯示農民有超量施肥的情形（賴文龍等,2004）。

武陵地區農友所施化學肥料以台肥5號以及台肥43號及尿素與硝酸銨為主（陳弘成,1997），台肥5號成份含有氮16％、磷8％、鉀12％，為化學作用合成的肥料。台肥43號成份含有氮15％、磷15％、鉀15％、鎂4％四種。

(2) 青蒜

青蒜栽培環境好冷涼，需種植在排水良好的砂質壤土或粘質壤土。青蒜栽培時間長，約在100-120天，在武陵高山地區因氣溫較低病蟲害發生率極輕微，可接在甘藍菜後種植。

青蒜的肥料施用量氮肥：磷肥：鉀肥約為300-600：80-100：80-100公斤/公頃，對氮肥的需求高，磷與鉀肥則相同較低，另外需注意硫養分的施用，有機肥與過磷酸鈣亦可提供硫養分。青蒜基肥的種植方式是將磷肥與有機肥一次全部施入，氮肥與鉀肥待青蒜成長至兩片葉片展開以後分三至五次施用（黃與陳,1996）。

(3) 菠菜

菠菜的生長期為60天左右，其施肥頻率應以少量多次為原則，養分的吸收在生長後期最快。研究發現菠菜施用完全腐熟有機肥料6000-10000公斤/公頃，

加上化學肥料氮肥：磷肥：鉀肥，旱季200-300：50-80：200-300公斤/公頃，雨季300-400：50-80：250-360公斤/公頃即以足夠。

菠菜所需的磷較低，磷肥的施用在基肥施用一次即可。菠菜對鉀肥的需求量較高。菠菜對鎂的需求也較甘藍高，若有機肥料中無足夠量的鎂時，則需另外施含鎂的化學肥料。若磷肥沒有施用過磷酸鈣則氮肥可能需用硫酸銨來替代以補充硫的缺乏（黃與陳,1996 ）。

(4) 水蜜桃

桃樹的種植施肥方面依樹齡的不同而有不同的施肥量，樹齡愈大肥料施用量愈多，在氮素施用量呈倍數成長。磷素在樹齡4年以後施用的磷肥將趨於固定，而在鉀肥的施用方面亦呈現倍數成長的現象，三要素施用量如表3-1：氮素＞鉀素＞磷素。休眠期另需施鈣、鎂肥0.9-1.5公斤/公頃。

桃樹在2月開始萌芽開花3月結果，3-6月果實生長，果實的採收由6月底開始至8月底結束，採收後即進入休眠期到隔年的2月再度萌芽開花。桃樹休眠時施用石灰與表土混合全園撒施，可達到降低土壤酸度目的（劉,2001）。

(5) 梨

梨樹施肥依樹齡有不同的施肥量，樹齡愈大肥料施用量愈多，在氮、磷、鉀三要素施用量如表3-2所述。

氮肥施肥時期與分配率同鉀肥，而磷肥則是在一開始即是完全施用。休眠期另需施鈣鎂肥1.2-1.8公斤/公頃。梨樹幼果期在3-4月間，果實肥大期5-7月，依梨的品種不同，採收期可由8-11月，11月後即開始進入落葉期至隔年2月開始開花再度結果。梨樹休眠時施用石灰與表土混合全園撒施，可達到降低土壤酸度目的（劉,2001）。

(6) 蘋果

蘋果的種植方式同梨樹，於3月下旬開始開花，8-12月份進入採收期。

3. 非點源污染

水體污染來源分為點源污染與非點源污染，點源污染是指污染物由可確認的地點流入水體中，如工廠和廢水處理場廠的排水管線、下水道、排水溝等。非點源污染則是指環境中的污染物，並非由單一可確認的地點流入水體所導致的污染，如都市地表逕流，農地地表逕流或類似方式所排放者稱之，或者是大氣中的

土壤沖蝕對於氮的移動佔了很大之影響，原因是因為NH_4^+會吸附在黏土和比較細小之土壤顆粒表面或以有機氮的形式吸附在含有機質的土壤表面，隨著地表逕流和溶解在水中的NO_3^-一起沖至承受水體內。在逕流中或懸浮載體的氮含量比土壤的含量還要高。降雨逕流量之大小猶如滲淋作用，一般取決於降雨量、降雨延時和土壤的特性。若為低逕流特性之土壤，通常有較高之入滲率，這類土壤的組成往往為深層易排水的砂或礫石所組成的土層。相對而言，若為高逕流特性的土壤至少必須含有一項以上的下列數種情況：具膨脹特性之黏土層、高的地下水位、硬質地的地形、在地表附近有一層黏土層或不透水層等情況。此外，地形也是重要影響因素，地表坡度愈陡，地表之逕流量愈大，逕流速度愈快，對土壤沖蝕愈大。

(2) 氮的來源

楊（1997）說明氮肥的來源之種類甚多，包括有機質與無機質的來源。

A.有機質的來源：

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

B.無機質的來源：

無機氮的來源大多是將大氣中的氮氣經高溫高壓合成NH_3之後的產物，或工業合成的氰胺基化鈣（$CaCN_3$），少部份來源是由自然界沉積的礦石中來獲得。

(3) 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。

(4) 氮的循環

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

A.礦質化作用：

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

B.固氮作用：

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

C.硝化作用：

有機氮素經礦質化作用形成銨態，或使用尿素分解也成銨態氮素，這些土壤中的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。

(5) 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、氨揮散現象、嫌氣的脫氮作用及硝化作用的脫氮現象等，分別說明如下：

A. 淋洗作用：

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

B. 氨揮散現象：

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

C. 脫氮作用：

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

b. 硝化作用的脫氮現象：土壤在通氣良好的條件時，銨態氮（NH_4^+）會被

硝化菌先轉化為亞硝酸態氮（NO_2^-），再被微生物轉化為硝態氮（NO_3^-），此過程稱為硝化作用。硝化作用的過程中微生物也釋放氧化亞氮（N_2O），而產生氮肥的流失問題。

5. 磷

(1) 磷的介紹

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

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

(2) 磷的形態

土壤中磷素的形態主要可區分為下面三類：

A. 土壤有機質內的有機磷。

B. 無機磷，存在於鈣、鎂、鐵、鋁及粘粒結合的磷。

C. 存於生命體中的有機及無機磷。

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

(3) 磷的移動

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

楊與Ho 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。

6. 硫

(1) 硫的介紹

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

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

沉降物、都市下水道暴漲的逕流，及來自農、礦、營建業等活動的逕流所造成的污染。非點源污染的特性為散佈、間歇性發生，其影響因素包括土地利用、氣候、水文、地形、原生植被及地質等，過程十分複雜。不管是農地、遊憩區、施工工地、都市、工廠及工業區，均會因下雨而沖刷出各種污染物、泥砂及營養鹽，常見的都市非點源包括街道及工廠空地的逕流、雨水沖刷花園植物的殺蟲劑、街道及道路施工等，鄉村的非點源污染則通常和農業施肥、遊憩活動、林業及開礦有關。

農業活動最常施用之肥料包括氮肥、磷肥以及鉀肥，這些施用在土壤中之物質進入溪流中之主要作用包括有滲淋、沖蝕，以及降雨逕流三種方式。其中鉀肥及其它陽離子，將造成溪水導電度升高，而氮肥及磷肥則是水中藻類之營養鹽來源。滲淋作用是藉由水在地表下之擴散作用與傳流作用把污染物往下帶動的情形；土壤沖蝕係指藉由雨滴沖刷或逕流沖刷，將附著在土壤顆粒表面之營養鹽，隨土壤顆粒自陸域移動至水域之過程；而降雨逕流則是指一場有效降雨，陸地上的污染物或營養鹽被雨水攜帶進入水體之情形。這三種將污染物或營養鹽自陸域帶入水域之污染方式，稱為非點源污染。非點源污染產生的機制及污染特性與點源污染不同，因此污染控制所採行之策略亦不相同。

4. 氮

(1) 氮的介紹

非點源污染氮的主要形式有硝酸鹽、亞硝酸鹽、氨氮、有機氮。土壤中之氮（約95%）大多被包含在土壤有機質當中並被認為是固定的。氨氮被視為是固定的，因為它馬上被土壤中的黏土成分吸附。小部分的氨氮以自由離子的形式存在於孔隙水中，並視為可移動。黃（2002）提及硝酸鹽會透過滲透移動到地下水中，到達地下水的硝酸鹽最後會因沒有受到阻礙及衰減而傳輸到承受水體中。氮在土壤中滲淋之主要形式為氮滲入至地下水，並隨著地下水在大部分土壤中移動。土壤中硝酸鹽帶負電荷，與帶負電的土壤黏土礦物表面相斥，所以硝酸鹽會融入水中。影響溶解性硝酸鹽傳輸之因素很多，不同的土壤與不同地區皆會有顯著之差異。氮進入水體主要是伴隨著水沖蝕土壤所造成。簡而言之，水沖蝕土壤包含雨滴或表面逕流水的分離、運送及沈澱。沖蝕作用有時會使沈積物在未進入承受水體前產生幾毫米之位移，有些則會移動很遠的距離。

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. 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：土壤有質機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：大氣中的二氧化硫沈降。

本研究參考相關文獻報告彙整不同土地利用非點源污染物之輸出量如表3-3所表示。

（溫清光，中美非點源污染控制管理與技術合作研討會）

7. 非點源污染模式

非點源污染模式已發展很多，模式依參數需求可分為簡易的方法、中度複雜及詳細的方法，可模擬連續降雨與單場降雨，例如AGNPS、HSPF、WINVAST、BASINS等。在國內有林等（2004）利用AGNPS對汐止地區土地利用變遷對地表逕流之影響，王（2004）應用AGNPS模式探討台北水源特區之集水區泥砂生產特性。黃（2005）以HSPF營養鹽模組討論農業對水庫非點源污染負荷的貢獻，李（2002）利用HSPF模擬暴雨初期沖刷對水源水質衝擊之評估。以下就常見的非點源污染模式加以介紹：

(1) 輸出係數法

集水區內若有多種土地利用型態，則集水區內某種污染物之年輸出量可表示為

$$W = \sum_{i=1}^{k} UiAi \qquad (3\text{-}1)$$

式中，

W：集水區內某種污染物之年輸出量，公斤/年

U_i：第i種土地利用類型的輸出係數，公斤/公頃/年

A_i: 第i種土地利用類型在集水區內所佔之面積，公頃

(2) 簡易法

$$R=(P)(P_j)(R_v)(A) \qquad (3\text{-}2)$$

$$L=(R)(C)100 \qquad (3\text{-}3)$$

式中，

R：集水區年暴雨逕流量，mm-ha/yr

P:指定年之年降雨深度，mm/yr

P_j：指定年中造成逕流的降雨事件佔全年總降雨場數之比例，無單位

A：集水區面積，ha

L：集水區內某種污染物之年輸出係數，kg/yr

C：某種污染物的年平均暴雨逕流量加權平均濃度，mg/L

R_v：逕流係數，無單位，可依土地利用型態推估或由下列經驗式求得

$R_v=0.05+0.009(I)$，其中I：集水區內不透水面積所佔百分比，%

(3) AGNPS（Aqricultural Non-Point Source Pollution Model）

AGNPS為美國農業部、明尼蘇達污染控制局與土壤保持局在1987年共同所發展出，目前已為一個廣泛應用之模式，以單場暴雨為基礎，可模擬水文、泥砂沖蝕及點源與非點源污染物輸出量，屬於中度複雜的模式，適用於農業地區。

AGNPS將集水區劃分為大小均等的網格，集水區內所產生的污染物係由各網格向河口移動，由上游依序經過一個個的網格，藉此計算出每一個網格流入流出之逕流量、輸砂量及污染物運送的情況。

AGNPS所需要輸入集水區的資料有集水區識別、個數與面積、降雨量與降雨能量強度。在小區參數資料輸入共有20項的資料，包括有小區編號、流向編號、坡向、平均坡度、CN值、坡型因子、平均坡長、曼寧粗糙係數、土壤沖蝕因子、覆蓋與管理因子、水土保持措施因子、地表狀況因子、土壤質地、施肥狀況、肥

料有效性因子、定點源指標、蝕溝源程度、化學需氧量因子、積水地指標、渠道指標等20項的參數。

利用AGNPS模式在水文部分可得到逕流量與尖峰流量，泥砂運送部分可得到上游地區沖蝕量、渠道沖蝕量、泥砂產量，污染物部分得到N、P、COD的濃度。

AGNPS模式推估所需輸入的參數眾多，參數的建立前應確實求得各項參數值，並進行敏感度分析，增加推估結果之可信度。

(4) HSPF

HSPF為一可連續降雨事件之模擬，可模擬出任何時段的逕流量與污染負荷，亦可對承受水體進行衝擊分析與控制分析，適用於農業區與都市區，所需輸入的參數極多，是一個甚完整的模擬程式。

HSPF為Agricultural Runoff Management（ARM）、Non Point Source（NPS）、Hydrocomp Simulation Programming（HSP）三種模式而改良，ARM與NPS主要是模擬集水區非點源之污染，而HSP為美國史丹佛大學所發展之Standford Waterbed Model之改良，為一精確度高之集水區水質模式。

HSPF結合上述模式成為一個水文、水理、水質之連續模擬模式，在此模式中包含了三個模組敘述如下：

A. MAIN模組：為整個模式的主架構，可直接或間接呼叫使用者控制輸入檔（Users Control Input，UCI）、INTERP模組、OSUPER模組。

B. INTERP模組：確認UCI輸入資料的正確性並讀取UCI得到控制數據、參數與起始條件。

C. OSUPER模組：確定所有的操作參數皆在正確範圍內，呼叫應用模組，應用模組分為三部分：

a. 透水區（Pervious Land Segment，PERLND）

b. 不透水區（Impervious Land Segment，IMPLND）

c. 河段（Free –flowing Reach or Mixed Reservoir，RCHRES）

在應用模組內又包含了數個副程式，可用以模擬各種水文、水質情況。

(5)Win VAST

Win VAST為單一降雨事件的模式，其具有能力去預測和計算各子集水區的水文歷線與其非點源污染物歷線模式與最佳管理作業的計算。

水文模擬提供三種方式預測降雨，三種方式考慮降雨損失，四種單位歷線法計算降雨-逕流的關係，並以馬斯金更法作為上下游集水區河道演算。污染物模擬有預設六種污染物與自訂的污染物可推估其污染量。最佳管理作業的計算有滯洪池與草溝兩種設施，計算污染物的去除效率以及污染歷線。

(6) BASINS

BASINS（Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources）為美國環保署（USEPA）於1996年發展的集水區多目標環境分析系統，此系統結合地理資訊系統（GIS）、集水區資料庫及多種水質模擬評估工具，不但為美國國內的政府機關、學術單位及民間環境顧問公司廣為使用，也漸漸被廣為使用。

BASINS所需輸入的資料繁多，包括有集水區的水文邊界、集水區的土地利用、高程、土壤性質、河川水質站與歷年監測資料、河川資料、氣象資料、點源排放資料等，為一個輸入資料量極高的模式。

BASINS主要包含NPSM與QUAL2E兩大模式，可用於集水區之非點源污染與河川水質數學模擬，能同時對點源與非點源污染執行模擬，並用於每日最大污染負荷之研究。

另外，國內有李（2001）收集過去20年間台灣北部地區除了淡水河外其它的主要及次要河川水質因子與土地利用形態之研究，研究中顯示出裸地與溶氧統計上有顯著負相關及濁度有顯著正相關，另外在農地方面與溶氧統計上有顯著負相關，在濁度、氨氮、懸浮固體、生化需氧量等水質參數有顯著正相關。

在國外 Munafo 等（2005）針對非點源污染設計一個非點源污染指標（potential non-point pollution index，PNPI）來表示污染程度。PNPI共分為五個等級，等級愈小代表污染輸出少；等級愈高代表污染輸出多，污染指標是以土地覆蓋指標物（land cover indicator，LCI）、逕流指標物（run-off indicator，ROI）、距離指標物（distance indicator，）等三個指標物所建立，各項指標物其係數值介於0-1之間，計算式如下：

$$PNRI = 5 \times LCI + 3 \times DI + 2 \times ROI \qquad (3\text{-}4)$$

LCI：土地利用產生的非點源污染

ROI：利用地形的坡度、土地覆蓋與地質考慮污染的移動力及可能的入滲情形

DI：計算每一個污染源流入流域傳輸的水力距離

LCI為最重要的一項輸入值，不同的土地規劃實施將可以憶測出非點源污染指標的捐獻值，每一個土地利用計算LCI，LCI以建築物地區的密度、高農耕密度區有比較高的係數，反之，在天然與未開發等地區具有較低的係數。

在計算ROI與DI上需要地形高程數據做輔助，數位高程地形圖可繪畫出流域的外形與流域面積的網絡，每一區塊的ROI係數將考慮土壤的滲透、土地利用與坡度。另外，逕流指標物與距離指標物將會依賴在土地覆蓋指標物上。三個指標物的係數設定是根據學者的專業知識所設立的，強調主要的污染散佈是由不同的土地利用產生的。

8. 集水區逕流推估

逕流推估有數種方法，其中又以合理化公式（Rational Formula for peak runoff rate）和曲線係數法（Soil Conservation Service Curve Number; SCS CN）最廣泛被應用以推估最大逕流量。

合理化公式為一經驗模式，其採用條件為假定雨水在集流時間內，相當降雨持續時間以最大降雨強度降於集水區內。

合理化公式為

$$Q = CIA \qquad (3\text{-}5)$$

Q 為最大逕流率（ft^3/s）， C 為逕流係數（無因次，範圍為0 ~ 1）為反應集水區的降雨損失，I為降雨強度（in/hr），A為集水面積（acre）。係數C依據地表覆蓋、地形、土壤質地土地使用及暴雨發生頻率決定。以上採用單位為英制，若欲採用公制作為輸出單位，可乘上0.0283轉換。

合理化公式使用限制條件為小集水區，在2,000 英畝（809公頃）面積以下，在小集水區的應用上其空間與時間的分佈較均勻且逕流主要為漫地流，並可忽略河川貯蓄效應。逕流係數可以查表方式獲得。

美國水土保持局（Soil Conservation Service，SCS）的curve number 法可直接用來推估小集水區的逕流量。 SCS法在推估直接逕流量之前，需先行估計有效降雨量再推求入滲總量。

總降雨量等於初期的降雨損失、有效降雨量、入滲總量的一個加總，

$$P=Ia+Pe+F \qquad (3\text{-}6)$$

SCS法假設 $F/S=Pe/(P-Ia)$ （3-7）

式中

F：入滲總量

S：集水區最大蓄水量

Pe：有效降雨總量

P：總降雨量

Ia：初期降雨損失量

集水區最大蓄水量其值的大小受到土壤的特性、該區的土地利用、耕作方式、水文臨前況狀等因素而有所影響。美國水土保持局分析小集水區的水文記錄資料，指出初期降雨損失量與集水區最大蓄水量之關係為

$$Ia=0.2\,S， \qquad (3\text{-}8)$$

即

$$Pe=\frac{(P-Ia)^2}{(P-Ia+S)}=\frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \qquad (3\text{-}9)$$

$$F=\frac{S(P-0.2S)}{P+0.8S} \qquad (3\text{-}10)$$

上式即可由降雨總量與集水區最大蓄水量推求入滲總量。

美國水土保持局將集水區最大蓄水量轉換為曲線值（curve number，CN值）之關係如下：

$$S(inch)=\frac{1000}{CN}-10 \quad 或 \quad S(cm)=\frac{2540}{CN}-25.4 \qquad (3\text{-}11)$$

式中CN值受土壤類別、水文臨前情況、土地利用所影響，可經由查閱相關資料所得知。另外上述的逕流計算也可由查圖（3-4）的方式求得直接逕流總深度。

SCS法中將土壤依排水特性區分成如表（3-4）分為A、B、C、D類四類，A類為入滲性最佳的土壤，由A類到D類入滲性漸漸減低，D類即為入滲性最低的土壤。在台灣可依水土保持局對土壤的分類分為9個號碼，其如表（3-5）所示，並可如表（3-6）將之與美國SCS的土壤分類相互對應得知土壤的類別。判斷土壤的類別後可由表（3-7）進而求出逕流係數。對於水文臨前狀況則是分為三種情況，第一種情況是集水區水文臨前狀況極為乾燥，不易產生大量逕流以AMCⅠ表示，第二種情況AMCⅡ為一般的情況，第三種情況AMCⅢ表示集水區水文臨前狀況極為濕潤，易產生大量逕流。在圖（3-4）的曲線值為AMCⅡ的情況，若集水區的臨前狀況為AMCⅠ或AMCⅢ，則需利用表（3-8）作CN值之轉換。

（李光敦，水文學，2002）

二、材料與方法

研究流程規劃如圖3-5，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，藉此研究武陵地區非點源污染物的輸入，測站點選定後即開始進行採樣與實驗分析，對該區的水質進行評估。

第二部分利用GIS軟體便於進行武陵地區地理參數的求得，並以Win VAST非點源輸出模擬軟體，模擬暴雨時所沖刷出的污染物負荷量。

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3-6。採集樣品方法可分為河川水體採樣與底泥採樣兩種採樣型式。實驗的分析方法依河川水質分析方法與底泥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。底泥態樣品分析碳、氮、磷、硫等項目。

(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3-9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5~10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20~30公尺，水深約60公分，上游處有一攔砂霸，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20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30公尺，水深約40公分。

測站五：繁殖場，由億年橋旁進入，河床寬廣，河寬約25~30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8~26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40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10~20公尺，水深45公分，原位於此處的攔砂霸已拆除，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15~20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，河寬約40公尺，河深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。

(二) 採樣方法

採集樣品方面，共分為二種類別的樣品採樣，第一種為直接採集河川水體，測其溶解態物質；第二種為河床表層底泥固體採樣，測其底泥中所含有的碳、氮、磷，硫。

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。

2. 底泥固體態採樣

底泥通常是黏土、泥沙、有機質及各種礦物的混合物，經過長時間物理、化學及生物等作用及水體傳輸而沉積於水體底部所形成。表面0至15公分厚之底泥稱表層底泥，超過15公分厚之底泥稱為深層底泥。表層底泥之採樣可使用抓取式採樣器或鑽取式採樣器，深層底泥之採樣僅能使用鑽取式採樣器水器。底泥之採樣必須依其採樣目的，以及考量底泥、污染物質和現場周圍環境等特性而定。

一般底泥之採樣可分為抓樣與混樣二種方式，抓樣係以單一樣品代表採樣點特定深度底泥中污染物濃度分佈情形；混樣為三個底泥樣品混合均勻後之樣品，代表該採樣點底泥中污染物之平均濃度值。武陵採樣點十一個測站的底泥採樣均採表層底泥混樣。

(三) 樣品保存

所採集之溶解態水體樣品保存方式如下表（3-10），底泥樣品均置於塑膠瓶內。採集完畢的溶解態水體樣品、底泥固體樣品均帶回實驗室進行分析。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^2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^{-3}或10^{-6}表示，記為mmho/cm或μmho/cm。導電度之測定需要用標準導電度溶液先行校正導電度計（HACH sension5）後，再測定水樣之導電度。

3. 溶氧

利用溶氧計測定水樣中溶氧值（YSI 500A）。

4. 濁度

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

5. 生化需氧量

水樣在20 ℃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℃ 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) 底泥態樣品實驗分析方法

樣品放置於乾淨的器皿中，目視以手剔除石礫、樹枝等雜物後，自然風乾

或以30℃烘箱烘乾去除水分後，經100mesh 0.15mm孔徑之篩網過篩充分混合均勻裝入樣品瓶中保存。

稱取3g底泥態樣品做樣品的消化，置於250mL反應瓶中。先以0.5至1mL水潤濕樣品。緩慢加入21mL濃鹽酸，再慢慢加入7mL濃硝酸，搖盪充分混合均勻。若樣品加酸會產生強烈氣泡，則需小心逐滴加入。將迴流冷凝管及反應瓶順序裝置。在室溫下靜置此裝置16小時，可適時將反應瓶搖晃使充分反應之。緩慢加熱溶液至迴流溫度，使溶液在沸騰狀態下維持約2小時。冷卻樣品至室溫後，以約10mL 0.5M稀硝酸沖洗冷凝管，並收集於反應瓶中，以0.22 μm濾紙過濾，最終定量體積100mL即為消化液，取消化液做磷的分析。並以21mL濃鹽酸加入7mL濃硝酸做消化液空白分析。

磷：消化過後之消化液以感應式偶合電漿（Perkin Elmer Optima 2000DV）量測，扣除空白分析磷的濃度而得到各樣品磷之濃度。

樣品經風乾後以100mesh 0.15mm孔徑之篩網過篩，取一定量樣品以元素分析儀分析（Perkin Elmer EA2400）。

1. 氮：經100mesh 0.15mm孔徑之篩網過篩之樣品直接以元素分析儀分析。
2. 碳：經100mesh 0.15mm孔徑之篩網過篩之樣品直接以元素分析儀分析。
3. 硫：經100mesh 0.15mm孔徑之篩網過篩之樣品直接以元素分析儀分析。

(六) 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12月、95年2月、4月、6月、8月、10月共6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3-11至表3-16。

武陵地區底泥態物種實驗以雙月進行採樣，其時間為94年12月、95年2月、4月、6月、8月共5筆數據，分析項目包括磷、氮、硫、碳等4個項目，其分析數據如表3-17至表3-21。

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月至隔年的2、4、6、8、10月，溶解態樣品共11筆數據，如圖3-7至圖3-20。

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7.5-8.5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120-450μmho/cm之間（陳,1998）。武陵地區各溪流導電度值在300μmho/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。二號壩與一號壩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10mg/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。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3-6ppm，目前矽酸鹽對櫻花鉤吻鮭的影響並無直接的証明，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0.1-0.7mg/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、下游處二號壩與一號壩、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氨轉化成亞硝酸根，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，因而氨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5ppb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。

溪流中氨氮的變化，在施用有機肥時會因肥料中氨的分解，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3-22）。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3-23所示，表3-24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、下游處二號壩與一號壩、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0.6-0.8ppm。

(二)底泥態物種分析結果

武陵地區底泥態物種實驗以雙月進行採樣，其為94年4、6、8、10、12月至95年2、4、6、8、10月溶解態樣品共10筆數據，如圖3-21至圖3-24。

武陵地區河床的固態底泥數據呈現出顆粒對磷有高吸附性；有勝溪有最高的磷濃度。河床土壤質地是由砂土、壤土、黏土所構成;經過篩後留下小於0.15mm的砂石，武陵地區所採集的底泥固態顆粒成分判定為砂石壤土或砂質黏壤土，壤土在磷的吸附上具有較高的吸附性。對磷而言，吸附能力取決於鐵、鋁離子或在黏土礦物的鈣離子或附著於土壤的有機質。在好氧情況下，中性到酸性的環境中，三價鐵會固結磷酸鹽，如果土壤因為溢漫水而轉為厭氧狀態，三價鐵將轉為二價鐵會導致吸附能力減弱並釋放出磷酸鹽。磷酸鹽吸附在鈣離子僅發生在中性狀態下，除了吸附可逆的自然狀況下，吸附作用易受制於飽和狀態。除了吸附-脫附程序磷酸鹽可與鐵、鋁離子及土壤鍵結而產生沉降，此程序包括磷酸鹽固定於黏土礦物的結構中及金屬離子的複合體，此反應速率非常慢，若上述被吸附的磷產生沈澱，則吸附位置可再吸附新的磷（柳，2001）。磷的吸附能力強，脫附能力弱，呈現穩定的實驗數據，磷含量約為1500mg-P/kg。

對氮而言，土壤中的氮約95%以氨氮的型式被固定住，因為它馬上可被黏土成分吸附，硝酸鹽氮與亞硝酸鹽氮不易被吸附，則會透過滲透移動至地下水中或是溪流，因此在溪流旁的底泥顆粒氮的含量變動較大，含量值在500-2000mg-N/kg。 固態底泥硫與碳為吸附在顆粒上的有機硫和有機碳，固態

底泥硫含量值介於1000-5000mg-S/kg；固態底泥碳含量值介於3000-8000mg-C/kg。

(三) 武陵地區地理參數

武陵地區集水區內除了七家灣溪外，主要支流尚包括桃山北溪、桃山西溪、高山溪、有勝溪等，集水區面積約110平方公里，降雨情況年降雨量約2000公厘。

武陵地區各子集水區地理參數的求得，是利用由崧旭資訊股份有限公司研發的Super GIS軟體，並搭配武陵地區數值化地圖與航照圖進行之。首先依流域的分水嶺劃分出五個集水區如圖3-25，並給予編號A、B、C、D、E做為各個集水區之代號，各分別代表七家灣溪、桃山北溪、桃山西溪、高山溪四條溪流的集水區，E 區則為計算總污染物負荷區。利用Super GIS的功能呈現出武陵地區地理特徵，包括有圖3-26呈現出武陵地區坡向大致以東、北方向的走勢、圖3-27表示坡度介於在30-45（θ）間、圖3-28表示出武陵地區的高程在2000-2500間（m）。

各子集水區的地理參數如表3-25所述，共計有面積、坡度、主流長度、CN值等四項。

1. 模式驗證工作

在使用此模式做非點源污染模擬時需先針對此模式做驗證工作，驗證模式的應用採用淨降雨量做計算，即是扣除初期降雨損失的有效降雨量。逕流演算採用SCS方法，其為美國水土保持局發展適用於小集水區之逕流量，參數輸入與CN值、降雨量、土壤特性有關，為一常用的逕流演算公式。河道演算以Muskingum方法計算，此法為最常見的河道水文演算法，係將河道內的洪水貯蓄體積劃分為稜形貯蓄與楔形貯蓄兩部分計算。

首先利用雪管處研究報告中曾經對七家灣溪流域所做的水質監測數據，以WinVAST模式來進行模擬，水質資料方面由於缺乏連續監測資料，因此挑選在降雨時有進行採樣工作的水質實驗數據，實驗數據選擇在七家灣溪下游處污水廠測站的水質數據，搭配德基水庫委員會提供的桃山站時雨量資料，以WinVAST進行模擬總氮與總磷兩種污染物的輸出量，做為模式的驗証工作。

降雨時的採樣日期為91年10月27日、92年7月27日、92年11月1日、92年11月22共四筆數據，降雨量依序分別為85、45、10、50mm。

模擬的結果如圖3-29至圖3-30可看出VAST模式在單場暴雨的模擬有不錯的

結果，在92年7月27日的氮與磷污染物輸出模擬結果與水質分析數據相當吻合，這是因為在此月份為農地施肥的季節，其非點源污染輸出會與文獻中污染物輸出係數較為一致，在冬季時期農田休耕，污染物輸出模擬值往往會較實驗值高。污染物氮的輸出模擬較磷為高，這是因為氮比磷較易被沖刷出來，且氮肥的用量也比磷肥高出許多。污染物磷的模擬上顯現模擬值皆高於實驗值，這是因為磷較不易被沖刷，所以會有此現象發生。

WinVAST模式敏感度分析以CN值、坡度、累積降雨量三項因子進行之，其結果呈現如圖3-31至圖3-39。武陵地區不同的土地利用會有不同的CN值，CN值會影響其流量與污染物的輸出量， CN值設定為10、30、60、80、90、100六種情形， 不同的CN值在流量的差異上呈現出CN值愈小流量曲線愈平緩，這表示隨著CN值愈小，降水時雨水的逕流量少而入滲量多，雨水先入滲而後再慢慢流入溪流，所以在尖峰流量CN值10也較CN值100來得低。污染物的輸出上CN值60-100間輸出量無明顯變化、其在CN值60、80、90時呈現出在相同的降雨延時有著相同的輸出量，在CN值30以下污染量開始有明顯遞減的趨勢。

坡度的敏感度分析以不同坡度進行，包括有10%、20%、30%、40%、60%、80%不同的坡度，累積降雨量在設計上以武陵地區日降雨量做為參考，設計10小時累積降雨量達5mm、10mm、15mm、20mm、25mm、30mm六種降雨情況。敏感度分析得知坡度在10%到80%之間時，溪流流量的差異性不大，尖峰流量均達到150cms。累積降雨量在流量方面效應呈現出，累積降雨量愈多流量延時愈久。反之在污染物的輸出上，坡度的影響明顯較CN值與累積降雨量兩因子來得明顯，坡度愈陡，在降雨時污染物愈易被沖刷出。進行敏感度分析可發現明顯影響流量變化之因子為CN值，在污染物的輸出上坡度則為較明顯之影響之因子。

2. 不同土地利用非點源污染輸出模擬

七家灣溪集水區污染物的模擬方面，首先向德基水庫委員會取得93年整年度的降雨資料，其中挑選出三個颱風時期的降雨如表3-26，以WinVAST模擬在該雨量下所沖刷出的污染負荷。其選擇的颱風包括有93年7月的敏督利颱風、93年10月的納坦颱風以及93年12月的南瑪都颱風，共三次的颱風降雨量，並配合93年度該區的土地利用，模擬污染物總氮與總磷的輸出量。

敏督利颱風為中度颱風， 93 年 7 月 2 日於花蓮市南方登陸，颱風引進罕見強烈西南氣流，各地災情慘重。桃山雨量站累積雨量達 397mm。納坦颱風為中

度颱風， 93 年 10 月 25 日於宜蘭頭城登陸，颱風主要降雨集中於北部地區。桃山雨量站累積雨量達 111.5mm。南瑪都颱風為罕見的中度冬颱，93 年 12 月 4 日七點四十分在屏東枋寮附近登陸，九點半即從台東大麻里附近出海，挾帶著強風豪雨直撲台灣，颱風特性為來得急去得也快。桃山雨量站累積雨量達 199mm。

WinVAST模擬各區參數的設定如表3-27所述，模擬污染物為氮與磷兩種，參數設定包括有降雨前晴天的天數、土地利用型態數目、污染物在懸浮固體中與可沉降性固體的百分率、權重因子、貯蓄常數及各年土地利用型態在此集水區之百分率。

圖3-40顯示出敏督利颱風沖刷出的氮為276kg/hr，磷為18.8kg/hr，尖峰流量可達到266cms；圖3-41顯示出納坦颱風沖刷出的氮為103 kg/hr，磷為7.1kg/hr，尖峰流量達242cms；而圖3-42顯示南瑪都颱風所沖刷出的氮為101kg/hr，磷為6.8kg/hr，尖峰流量可達到235cms。

從三次的颱風降雨可以得知當颱風來臨時，初期的沖刷相當的明顯，大部分的污染物都是在此時被沖刷出來的，所以尖峰值也在此時發生，但隨後污染物的量即快速下降。

武陵地區從94年度開始實施國土復育計劃，進行農地回收及造林的工作，該區土地利用上農地的面積會逐年遞減，反之林地將逐年增加。計算出94年、95年各種土地利用型態及所佔面積比例，以及當99年時武陵地區農耕地全面廢除只剩下林地型態的土地利用，並以WinVAST模擬此三種不同年度時期的土地利用，在敏督利颱風、納坦颱風以及南瑪都颱風所帶來的雨量下，污染物被沖刷出的量。

圖3-43至圖3-45顯示為敏督利颱風在94、95、99年度不同的土地利用下，經由WinVAST模擬流量與污染物的輸出量，在94年度經由敏督利颱風所沖刷出的氮為271kg/hr，磷為18.1kg/hr，尖峰流量可達到268cms；在95年度經由敏督利颱風所沖刷出的氮為270kg/hr，磷為17.9kg/hr，尖峰流量可達到268cms；在99年度所沖刷出的氮為253kg/hr，磷為15.8kg/hr，尖峰流量可達到268cms。

圖3-46至圖3-48顯示為納坦颱風在94、95、99年度的土地利用下，經由WinVAST模擬流量與污染物的輸出量，在94年度經由納坦颱風所沖刷出的氮為102kg/hr，磷為6.8kg/hr，尖峰流量可達到243cms；在95年度經由敏督利颱風所沖刷出的氮為101kg/hr，磷為6.7kg/hr，尖峰流量可達到243cms；在99年度所沖

刷出的氮為95kg/hr，磷為5.9kg/hr，尖峰流量可達到243cms。

圖3-49至圖3-51顯示為南瑪都颱風在94、95、99年度的土地利用下，經由WinVAST模擬流量與污染物的輸出量，在94年度經由南瑪都颱風所沖刷出的氮為99kg/hr，磷為6.6kg/hr，尖峰流量可達到236cms；在95年度經由南瑪都颱風所沖刷出的氮為98kg/hr，磷為6.5kg/hr，尖峰流量可達到236cms；在99年度所沖刷出的氮為92kg/hr，磷為5.8kg/hr，尖峰流量可達到236cms。

經由WinVAST模擬敏督利颱風、納坦颱風以及南瑪都颱風在94、95、99年三個年度不同土地利用下污染物的輸出。在污染物氮的輸出方面，可看出敏督利颱風沖刷出的量較納坦颱風與南瑪都颱風明顯高為許多，這是因為敏督利颱風距離上一場降雨晴天乾燥日數較納坦颱風與南瑪都颱風長，污染物有較長的時間累積，因而導致會有較高的氮輸出。納坦颱風與南瑪都颱風在氮的沖刷量上則較為一致。另氮的輸出量亦隨著耕地的減小而降低，尤其是以99年的土地利用型態有著明顯的減少現象。

在污染物磷的輸出方面其輸出的趨勢同氮，由敏督利颱風沖刷出的量較納坦颱風與南瑪都颱風來得高，納坦颱風與南瑪都颱風磷的沖刷量則較為一致。這亦是因為敏督利颱風距離上一場降雨晴天乾燥日數較納坦颱風與南瑪都颱風長，所以敏督利颱風則會沖刷出較多量的磷。另農地在磷肥的使用量上比氮肥來得少，再加上磷較不易被沖刷，可看出其輸出量明顯較氮為低。磷的輸出量亦隨著耕地的減小而降低，尤其是以99年的土地利用型態有著明顯的減少現象。

在WinVAST流量的模擬上，敏督利颱風、納坦颱風以及南瑪都颱風在94、95、99年三個年度不同的土地利用，可看出當達到一個降雨量時，尖峰流量並無明顯的差異。敏督利颱風的降雨量較納坦颱風以及南瑪都颱風多，尖峰流量亦較為高。另南瑪都颱風因降雨的趨勢分為兩段的降雨延時，在流量與污染物的輸出量上亦有著兩個時段。

WinVAST的污染物輸出，土地利用的型態決定了污染物的種類與輸出量。影響輸出量的因子包括了有降雨量、坡度、CN值、土地利用的型態與面積、降雨前的乾燥日數等因子，其最主要之影響因子係為降雨前的乾燥日數。其為關係到污染物的累積量。當降雨前乾燥日數愈多天，其污染物的累積量愈多；反之降雨前乾燥日數愈少天，其污染物的累積量愈少。

以93年的土地利用型態分別探討當降雨前乾燥日數（Days since last

rainfall）為2天、5天、10天、20天等四種不同的降雨前乾燥日數情況時，其污染量輸出的情形，降雨量的選擇仍舊以敏督利颱風、納坦颱風以及南瑪都颱風三場降雨，做為WinVAST模式降雨的參數。

由圖3-52至圖3-55可得知，敏督利颱風分別在降雨前乾燥日數為2天、5天、10天、20天氮的輸出量為69、173、345、691kg/hr，磷的輸出量為4.7、11.8、23.5、47kg/hr。圖3-56至圖3-59可得知納坦颱風氮的輸出量為69、173、345、691 kg/hr，磷的輸出量為4.7、11.8、23.5、47kg/hr。圖3-60至圖3-63可得知南瑪都颱風氮的輸出量為34、84、168、335 kg/hr，磷的輸出量為2.3、5.7、11.4、22.8 kg/hr。

敏督利颱風與納坦颱風具有較類似的降雨情況，雨量分別在前5個小時依序為4.5、4、3、0、1.5mm與4.5、4.5、8.5、0.5、5mm，其特性為一開始的暴雨強度較大而隨後漸減，南瑪都颱風則是相反。因此在敏督利颱風與納坦颱風兩場的降雨，污染物輸出量則也具有相似的情況發生。雨量較大產生的逕流可使污染物在一開始即大量被沖刷出，然而隨著降雨延時的增加，污染物輸出量將會遞減。在三次颱風的降雨中，降雨前乾燥日數分別設定在2天、5天、10天、20天其污染物輸出的量，將隨著乾燥日數成倍數的成長，顯示出降雨前乾燥日數明顯影響著污染物輸出的量。

以93年土地利用型態，探討在敏督利颱風的降雨量下，降雨前乾燥日數為8天時，各子集水區污染物輸出的變化。武陵地區的農作物目前均集中在A區，C區為桃山西溪集水區，B區為桃山北溪集水區，D區為高山溪集水區，E區為七家灣溪下游集水區。

由圖3-64可看出，氮的輸出以C集水區輸出量最多，其次為A、D、B、E區。氮的輸出在A集水區提供75kg，D集水區提供68kg，C集水區提供86kg ，B集水區提供50kg，E集水區提供4kg。武陵地區的農作物雖集中在A集水區，但氮的輸出量卻比C集水區來得少，這是因為C集水區的面積比A集水區來得大，而氮的來源在天然來源有許多，有機質亦提供了相當多氮的來源，所以相對地C集水區提供了較多的氮輸出。另C集水區的面積為25.42平方公里，A集水區的面積為14.27平方公里，A與C集水區兩者土地面積差距約1.8倍，但在氮的輸出量上卻只差距約1.1倍，可顯示出A集水區的非點源污染，有相當多的氮是經由氮肥所提供的。

由圖3-65可看出，磷的輸出以A集水區輸出量最多，其次為C、D、B、E區。

磷的輸出在A集水區提供6.3kg，C集水區提供5.4kg，D集水區提供4.2kg ， B集水區提供3.1kg，E集水區提供0.3kg。以A集水區磷的輸出量最多，是因為在此區有農耕的活動提供了磷的來源。

利用WinVAST模擬可了解該區的農耕活動所提供的非點源污染量，亦可做為當暴雨來臨時,無法施以連續採樣監測時,可用以模擬暴雨時污染物的輸出量。

3. 非點源污染輸出量推估

非點源污染量一般以集水區長時間之平均值來表示,目前針對武陵地區非點源污染年輸出量推估，採用單位面積輸出係數法方式計算，係以每年每公頃單位土地面積上某種污染物之單位污染輸出量(kg/ha-yr)來表示。

根據推估需求分別求得武陵地區不同土地利用型態所佔有的面積,七家灣集水區總面積(A區+B區+C區+D區+E區)達7326ha，另由武陵農場管理處與雪霸國家公園管理處委託計畫「雪霸國家公園武陵地區土地整體利用規劃」計畫書取得該區土地利用型態，94年度武陵地區土地利用以林地為主，面積為7243ha，其次為果園30.2ha，建地28.73ha，菜園24.55ha，茶園3ha。各污染輸出係數參照表3-3。根據集水區多種土地利用型態，則集水區內某種污染物之年輸出量可表示為

$$W = \sum_{i=1}^{k} UiAi$$

式中，

W：集水區內某種污染物之年輸出量，公斤/年

U_i：第i種土地利用類型的輸出係數，公斤/公頃/年

A_i: 第i種土地利用類型在集水區內所佔之面積，公頃

在氮的年輸出量計算如下：

30.2ha*26kg/ha.yr+24.55ha*26kg/ha.yr+28.73ha*8.5kg/ha.yr+7243ha*3kg/ha.yr=23475kg/yr

在磷的年輸出量計算如下：

30.2ha*4kg/ha.yr+24.55ha*4kg/ha.yr+28.73ha*5kg/ha.yr+7243*0.2kg/ha.yr=1823kg/yr

經計算得知，武陵地區氮污染物年輸出量約23,475kg，磷污染物年輸出量約1,823kg

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鉤鮭生存水質標準，目前武陵地區溪流生態適合櫻花吻鉤鮭生存。

(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、下游處二號壩與一號壩、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) 影響流量之明顯因子為CN值，CN值愈高逕流量愈多，其會反應在溪流流量上。污染物輸出主要之影響因子係為降雨前的乾燥日數，其為關係到污染物的累積量。當降雨前乾燥日數愈多天，其污染物的累積量愈多；反之降雨前乾燥日數愈少天，其污染物的累積量愈少。

(六) WinVAST模擬非點源污染輸出，顯示A集水區(農耕區)有相當多的氮是經由氮肥所提供的。磷的輸出也以A集水區(農耕區)輸出量最多。

(七) 武陵地區非點源污染量推估，氮的年輸出量23475kg；磷的年輸出量1823kg。

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。

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 桃樹施肥量

三要素(公斤/公頃) / 樹齡(年)	氮	磷	鉀
1-3	24	13.5	21
4-6	48	27	42
7-10	72	27	63

表3-2 梨樹施肥量

三要素(公斤/公頃) / 樹齡(年)	氮	磷	鉀
1-3	33	18	18
4-6	66	33	48
6-9	141	99	105
10-12	225	132	180
13-15	249	150	192
16-18	276	168	213
19-21	297	186	228
22-24	324	201	246
25	324	201	246

表3-3 污染物之單位面積輸出量

	BOD	NH_3-N	TN	TP
農地	18	13	26	4
果園	18	13	26	4
林地	5	1.5	3	0.2
遊憩區	4.18	2.54	5.08	1.03
建地	50	4.25	8.5	5
草地	5.5	13	26	4

單位：（kg/ha/year）

表3-4 SCS法土壤分類

種類	最小入滲率 (mm/hr)	土壤情形
A	7.60~11.4	深層沙土、深層黃土、集合沉泥
B	3.80~7.60	深層黃土、砂質壤土
C	1.30~380	黏質壤土、淺層壤土、 低有機含量壤土、高黏土含量壤土
D	0.00~1.30	潮濕易膨脹之土壤、高塑性黏土、鹼土

表3-5 水土保持局土壤分類

分類	土壤質地
0	粗砂土、砂土
1	細砂土、壤質砂土、壤質粗砂土
2	壤質細砂土、粗砂質壤土、砂質壤土、細砂質壤土
3	極細砂土、壤質極細砂土、極細砂質壤土
4	砂質壤土、砂土
5	壤土
6	砂質粘壤土
7	粘質壤土、砂質粘壤土
8	砂質粘土、砂質粘土
9	粘土

表3-6 水土保持局與SCS法土壤分類之轉換

水土保持局土壤圖質地分類	美國SCS土壤分類
0、1、2	A
3、4、5、6	B
7、8、9	C

表3-7 SCS法之曲線值

Land use	Treatment or Practice	Hydrologic condition	Hydrologic soil group			
			A	B	C	D
Fallow	Straight row	-	77	86	91	94
Row crops	Straight row	Poor	72	81	88	91
	Straight row	Good	67	78	85	89
	Contoured	Poor	70	79	84	88
	Contoured	Good	65	75	82	86
	Contoured and terraced	Poor	66	74	80	82
	Contoured and terraced	Good	62	71	78	81
Small grain	Straight row	Poor	65	76	84	88
	Straight row	Good	63	75	83	87
	Contoured	Poor	63	74	82	85
	Contoured	Good	61	73	81	84
	Contoured and terraced	Poor	61	72	79	82
	Contoured and terraced	Good	59	70	78	81
Close-seeded legumes or rotation meadow	Straight row	Poor	66	77	85	89
	Straight row	Good	58	72	81	85
	Contoured	Poor	64	75	83	85
	Contoured	Good	55	69	78	83
	Contoured and terraced	Poor	63	73	80	83
	Contoured and terraced	Good	51	67	76	80
Meadow	-	Good	30	58	71	78
Woods	-	Poor	45	66	77	83
-	-	Fair	36	60	73	79
-	-	Good	25	55	70	77
Roads(dirt)/ (hard surface)	-	-	72	82	87	89
	-	-	74	84	90	92

（李光敦，水文學，2002）

表3-8 SCS法水文臨前狀況之曲線值

Corresponding CN_S		
AMCⅡ	AMCⅠ	AMCⅢ
100	100	100
95	87	98
90	78	96
85	70	94
80	63	91
75	57	88
70	51	85
65	45	82
60	40	78
55	35	74
50	31	70
45	26	65
40	22	60
35	18	55
30	15	50
25	12	43
20	9	37
15	6	30
10	4	22
5	2	13

（李光敦，水文學，2002）

表3-9 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3-10 水體樣品保存

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

表 3-11 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	溶氧	濁度	SiO_2	BOD	NO_3-N
					μS/cm	mg/L	NTU	mg/L	mg/L	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_2-N	SO_4^{2-}	CL^-	PO_4^{3-}	TP	NH_3-N	TOC
				μg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	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_2-N＜0.002 mg/L（2）PO_4^{3-}＜0.003 mg/L（3）TP＜0.003 mg/L（4）NH_3-N＜0.003 mg/L (5)Cl^-<0.8 mg/L

表3-12 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	溶氧	濁度	SiO_2	BOD	NO_3-N
					μS/cm	mg/L	NTU	mg/L	mg/L	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	一號壩	晴	2 月 17 日	7.86	245	11.1	0.02	2.49	0.28	0.452
測站 4	二號壩	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_2-N	SO_4^{2-}	CL^-	PO_4^{3-}	TP	NH_3-N	TOC
				μg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	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	一號壩	晴	2 月 17 日	N.D.	45.889	0.788	N.D.	N.D.	0.077	0.598
測站 4	二號壩	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_2-N＜0.002 mg/L（2）PO_4^{3-}＜0.003 mg/L（3）TP＜0.003 mg/L（4）NH_3-N＜0.003 mg/L (5)Cl^-<0.8 mg/L

表3-13 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	溶氧	濁度	SiO_2	BOD	NO_3-N
					μS/cm	mg/L	NTU	mg/L	mg/L	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	一號壩	晴	4 月 7 日	8.07	178	10.5	0.05	3.99	0.18	0.440
測站 4	二號壩	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_2-N	SO_4^{2-}	CL^-	PO_4^{3-}	TP	NH_3-N	TOC
				μg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	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	一號壩	晴	4 月 7 日	N.D.	34.445	0.919	N.D.	0.025	N.D.	0.501
測站 4	二號壩	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_2-N＜0.002 mg/L（2）PO_4^{3-}＜0.003 mg/L（3）TP＜0.003 mg/L（4）NH_3-N＜0.003 mg/L (5)Cl^-<0.8 mg/L

表3-14 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	溶氧	濁度	SiO_2	BOD	NO_3-N
					μS/cm	mg/L	NTU	mg/L	mg/L	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	一號壩	晴	6 月 26 日	7.68	182	8.7	5.05	6.49	0.02	1.099
測站 4	二號壩	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_2-N	SO_2^{4-}	Cl^-	PO_3^{4-}	TP	NH_3-N	TOC
站號	站名			μg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	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	一號壩	晴	6 月 26 日	N.D.	30.4780	1.395	N.D.	0.003	0.0523	0.699
測站 4	二號壩	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_2-N＜0.002 mg/L（2）PO_4^{3-}＜0.003 mg/L（3）TP＜0.003 mg/L（4）NH_3-N＜0.003 mg/L (5)Cl^-<0.8 mg/

表 3-15 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	溶氧	濁度	SiO_2	BOD	NO_3-N
					μS/cm	mg/L	NTU	mg/L	mg/L	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	一號壩	晴	8 月 4 日	8.23	184	8.8	0.58	5.48	0.55	0.843
測站 4	二號壩	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_2-N	SO_4^{2-}	CL^-	PO_4^{3-}	TP	NH_3-N	TOC
				μg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	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	一號壩	晴	8 月 4 日	N.D.	33.285	0.450	N.D.	N.D.	N.D.	0.626
測站 4	二號壩	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_2-N＜0.002 mg/L（2）PO_4^{3-}＜0.003 mg/L（3）TP＜0.003 mg/L（4）NH_3-N＜0.003 mg/L (5)Cl^-<0.8 mg/L

表 3-16 95 年 10 月溶解態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	pH	導電度	溶氧	濁度	SiO_2	NO_3-N
					μS/cm	mg/L	NTU	mg/L	mg/L
測站 1	桃山北溪	晴	10 月 18 日	7.81	230	10.7	0.35	7.23	0.1109
測站 2	桃山西溪	晴	10 月 18 日	7.71	149	10.1	0.25	4.55	0.0385
測站 3	一號壩	晴	10 月 18 日	7.58	189	8.7	0.8	5.38	0.5533
測站 4	二號壩	晴	10 月 18 日	7.60	207	8.4	0.35	5.60	1.1206
測站 5	繁殖場	晴	10 月 18 日	7.51	173	8.9	1.09	4.32	0.2262
測站 6	迎賓橋	晴	10 月 18 日	7.55	199	8.8	0.75	4.50	0.7463
測站 7	萬壽橋	晴	10 月 18 日	7.50	208	8.6	0.8	4.13	0.9180
測站 8	高山溪	晴	10 月 18 日	7.35	163	8.8	1.04	4.05	0.1047
測站 9	有勝溪	晴	10 月 18 日	7.44	239	7.7	2.19	3.28	1.4630

站號	站名	氣候	採樣日期	NO_2-N	SO_4^{2-}	CL^-	PO_4^{3-}	TP	NH_3-N	TOC
				μg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	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	一號壩	晴	10 月 18 日	N.D.	31.938	0.600	N.D.	N.D.	N.D.	0.814
測站 4	二號壩	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_2-N＜0.002 mg/L（2）PO_4^{3-}＜0.003 mg/L（3）TP＜0.003 mg/L（4）NH_3-N＜0.003 mg/L (5)Cl^-<0.8 mg/L

表3-17 94年12月底泥態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	P	N	S	C
				mg-P/kg	mg-N/kg	mg-S/kg	mg-C/kg
測站 1	桃山北溪	陰	12 月 3 日	1894	3300	1600	25400
測站 2	桃山西溪	陰晴	12 月 3 日	1686	1400	1800	8200
測站 3	二號壩	陰晴	12 月 3 日	1346	3300	5700	16900
測站 4	一號壩	陰晴	12 月 3 日	1573	1400	2100	5000
測站 5	繁殖場	陰	12 月 2 日	1250	1900	2600	6100
測站 6	萬壽橋	陰	12 月 2 日	1431	1600	2900	7100
測站 7	迎賓橋	陰	12 月 2 日	1613	2300	1400	11100
測站 8	高山溪	陰	12 月 2 日	1433	2300	1200	9200
測站 9	有勝溪	陰	12 月 2 日	1383	1700	700	6200
測站 10	司界蘭溪上游	陰晴	12 月 4 日	1310	1100	1500	5200
測站 11	司界蘭溪下游	陰晴	12 月 4 日	1396	1500	2400	7400

表3-18 95年2月底泥態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	P	N	S	C
				mg-P/kg	mg-N/kg	mg-S/kg	mg-C/kg
測站 1	桃山北溪	晴	—	枯水期	枯水期	枯水期	枯水期
測站 2	桃山西溪	晴	2 月 18 日	1631	700	400	2000
測站 3	一號壩	晴	2 月 17 日	1758	2300	2900	8800
測站 4	二號壩	晴	2 月 17 日	1578	1400	2000	3400
測站 5	繁殖場	晴	2 月 17 日	1323	1700	2400	7300
測站 6	迎賓橋	晴	2 月 17 日	1423	1400	2700	4300
測站 7	萬壽橋	晴	2 月 17 日	1437	2300	1800	8100
測站 8	高山溪	晴	2 月 17 日	1563	3600	2100	19100
測站 9	有勝溪	晴	2 月 17 日	1525	1800	1100	7600
測站 10	司界蘭溪上游	晴	2 月 18 日	1421	1700	1600	10200
測站 11	司界蘭溪下游	晴	2 月 18 日	1502	2300	1600	12400

表3-19 95年4月底泥態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	P	N	S	C
				mg-P/kg	mg-N/kg	mg-S/kg	mg-C/kg
測站 1	桃山北溪	晴	4 月 7 日	1637	2100	2200	7800
測站 2	桃山西溪	晴	4 月 7 日	1724	2700	1300	11400
測站 3	一號壩	晴	4 月 7 日	1529	1500	2900	6100
測站 4	二號壩	晴	4 月 7 日	1476	2000	2400	6800
測站 5	繁殖場	晴	4 月 7 日	1425	2400	1600	12700
測站 6	迎賓橋	晴	4 月 8 日	1329	1800	2500	6100
測站 7	萬壽橋	晴	4 月 8 日	1397	2000	1500	6900
測站 8	高山溪	晴	4 月 7 日	1569	2800	1600	8200
測站 9	有勝溪	晴	4 月 7 日	1473	2500	900	7900
測站 10	司界蘭溪上游	晴	4 月 8 日	1394	1700	700	6600
測站 11	司界蘭溪下游	晴	4 月 8 日	1447	2000	600	3100

表3-20 95年6月底泥態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	P	N	S	C
				mg-P/kg	mg-N/kg	mg-S/kg	mg-C/kg
測站 1	桃山北溪	晴	6 月 26 日	2271	800	1600	5800
測站 2	桃山西溪	晴	6 月 26 日	2110	900	1100	7700
測站 3	一號壩	晴	6 月 26 日	1914	1100	1100	8800
測站 4	二號壩	晴	6 月 26 日	1964	1600	1300	8400
測站 5	繁殖場	晴	6 月 27 日	1824	1600	1200	6300
測站 6	迎賓橋	晴	6 月 26 日	1745	2100	600	6800
測站 7	萬壽橋	晴	6 月 26 日	1691	1400	1600	7600
測站 8	高山溪	晴	6 月 27 日	1692	700	900	9500
測站 9	有勝溪	晴	6 月 27 日	1642	1100	1200	8800

表3-21 95年8月底泥態分析數據

站號	站名	氣候	採樣日期	P	N	S	C
				mg-P/kg	mg-N/kg	mg-S/kg	mg-C/kg
測站 1	桃山北溪	晴	8 月 4 日	2097	3200	500	5700
測站 2	桃山西溪	晴	8 月 4 日	2131	2100	1000	7300
測站 3	一號壩	晴	8 月 4 日	1987	1900	1500	6700
測站 4	二號壩	晴	8 月 4 日	2009	2300	2600	9800
測站 5	繁殖場	晴	8 月 4 日	1660	1700	600	3200
測站 6	迎賓橋	晴	8 月 4 日	1720	1600	400	4800
測站 7	萬壽橋	晴	8 月 4 日	1792	1700	800	4300
測站 8	高山溪	晴	8 月 4 日	1846	1700	600	2500
測站 9	有勝溪	晴	8 月 4 日	1537	1800	400	5600
測站 10	司界蘭溪上游	晴	8 月 5 日	1507	1500	1700	5100
測站 11	司界蘭溪下游	晴	8 月 5 日	1561	1800	900	5100

表3-22 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3-23 景美溪實驗數據

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

（＊：郭一羽，水域生態工程，2001）

（＋：自行採樣分析）

表3-24 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3-25 武陵地區各子集水區地理參數

	面積（km^2）	坡度（θ）	主流長度（m）	CN值
A區	14.27	27	5.35	55.6
B區	11.34	33	4.21	55
C區	25.42	33	6.7	55
D區	21.43	33	7.37	55
E區	0.8	27	1.06	57.5

表3-26 時雨量資料

敏督利颱風（mm）	納坦颱風（mm）	南瑪都颱風（mm）
4.5	4.5	0.5
4	4.5	0
3	8.5	0
0	0.5	0
1.5	5	0
2.5	6.5	0.5
1.5	4.5	0.5
0	5	2.5
0.5	9.5	4
3.5	26	3.5
13	16	5.5
16.5	12	6
17.5	0.5	6
17	0.5	6.5
17.5	0.5	8.5
9.5		14
11		12
13		10.5
3.5		9
1.5		9
0.5		10
3		13
7.5		9
7		8

表3-27　WinVAST設定參數

	A 區	B 區	C 區	D 區	E 區
污染物	氮、磷	氮、磷	氮、磷	氮、磷	氮、磷
土地利用型態數目	4	1	1	1	1
晴天天數	3~8	3~8	3~8	3~8	3~8
污染物沖刷係數	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
X	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Y	2	2	2	2	2
污染物在懸浮固體中的百分率	氮：0.045 磷：0.0045	氮：0.045 磷：0.0045	氮：0.045 磷：0.0045	氮：0.045 磷：0.0045	氮：0.045 磷：0.0045
污染物在可沈降性固體中的百分率	氮：0.01 磷：0.001	氮：0.01 磷：0.001	氮：0.01 磷：0.001	氮：0.01 磷：0.001	氮：0.01 磷：0.001
93 年土地利用型態在此集水區之百分率	林地:0.938 果園:0.021 菜園:0.029 茶園:0.011	林地：1	林地：1	林地：1	林地：1
94 年土地利用型態在此集水區之百分率	林地:0.950 果園:0.021 菜園:0.017 茶園:0.011	林地：1	林地：1	林地：1	林地：1
95 年土地利用型態在此集水區之百分率	林地:0.953 果園:0.021 菜園:0.014 茶園:0.011	林地：1	林地：1	林地：1	林地：1
99 年土地利用型態在此集水區之百分率	林地：1	林地：1	林地：1	林地：1	林地：1

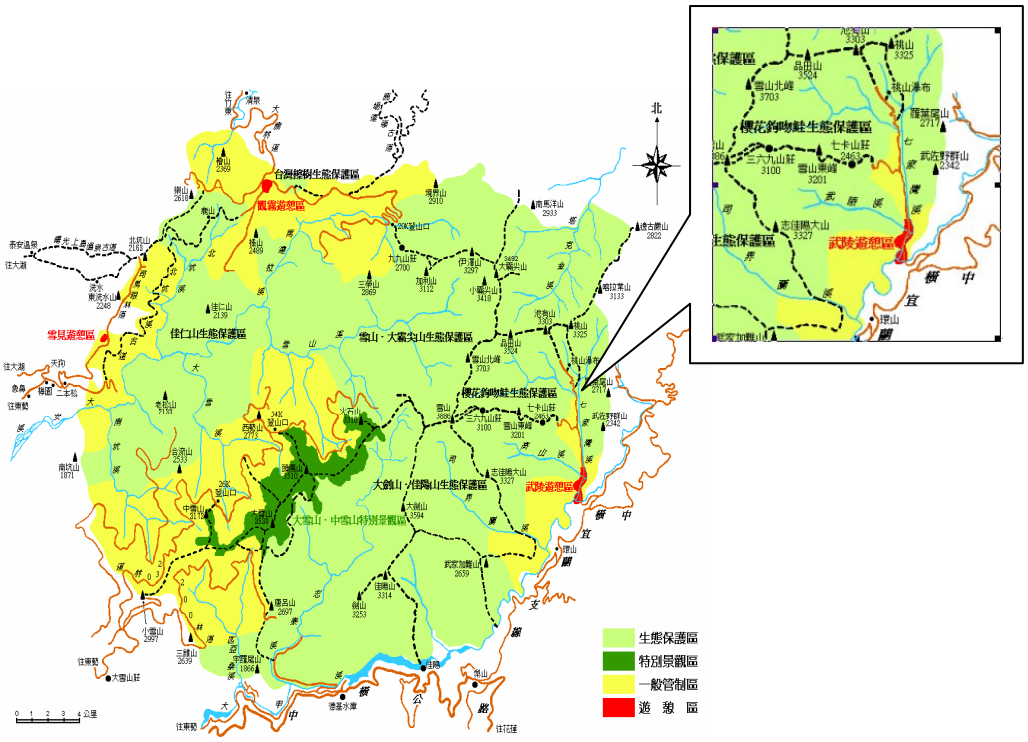


圖3-1 雪霸國家公園

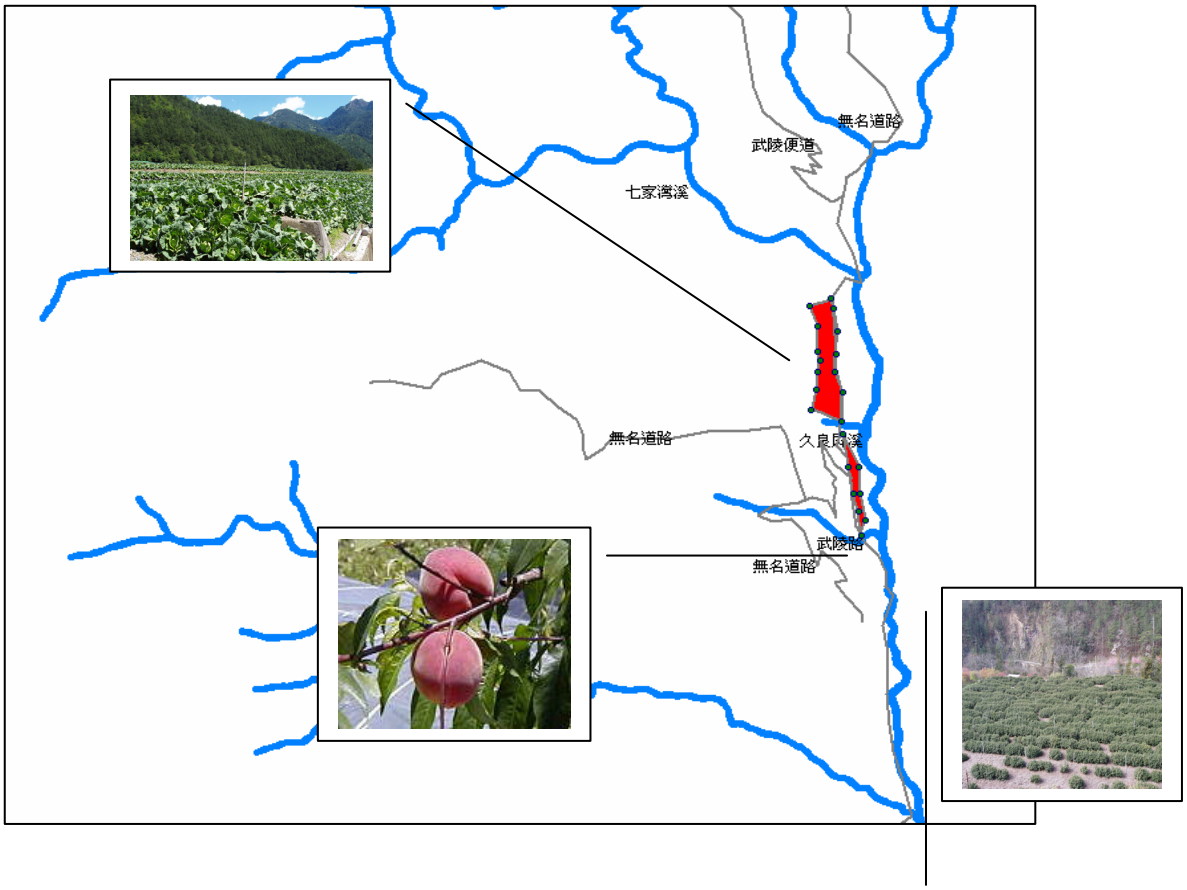


圖3-2 武陵農場農地分佈

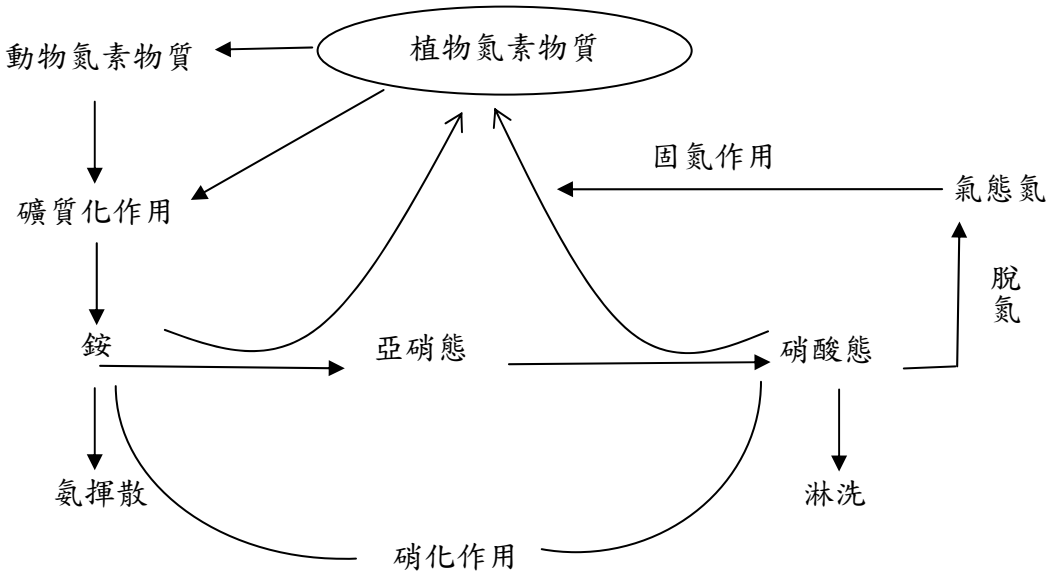


圖 3-3 氮素循環過程

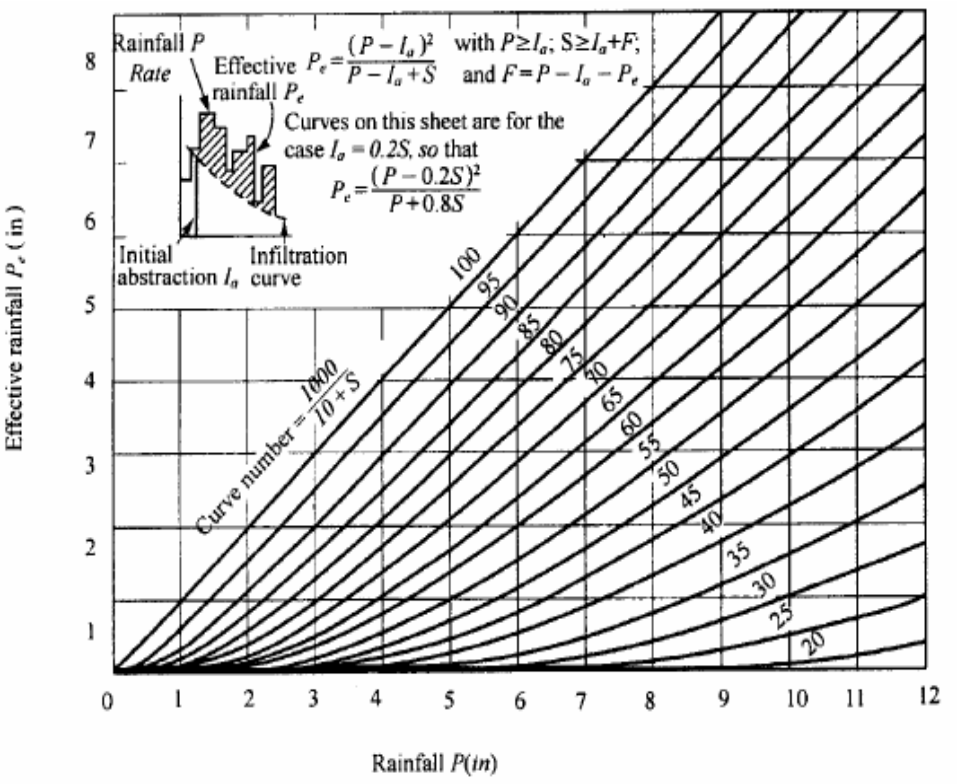


圖3-4 SCS法有效降雨計算

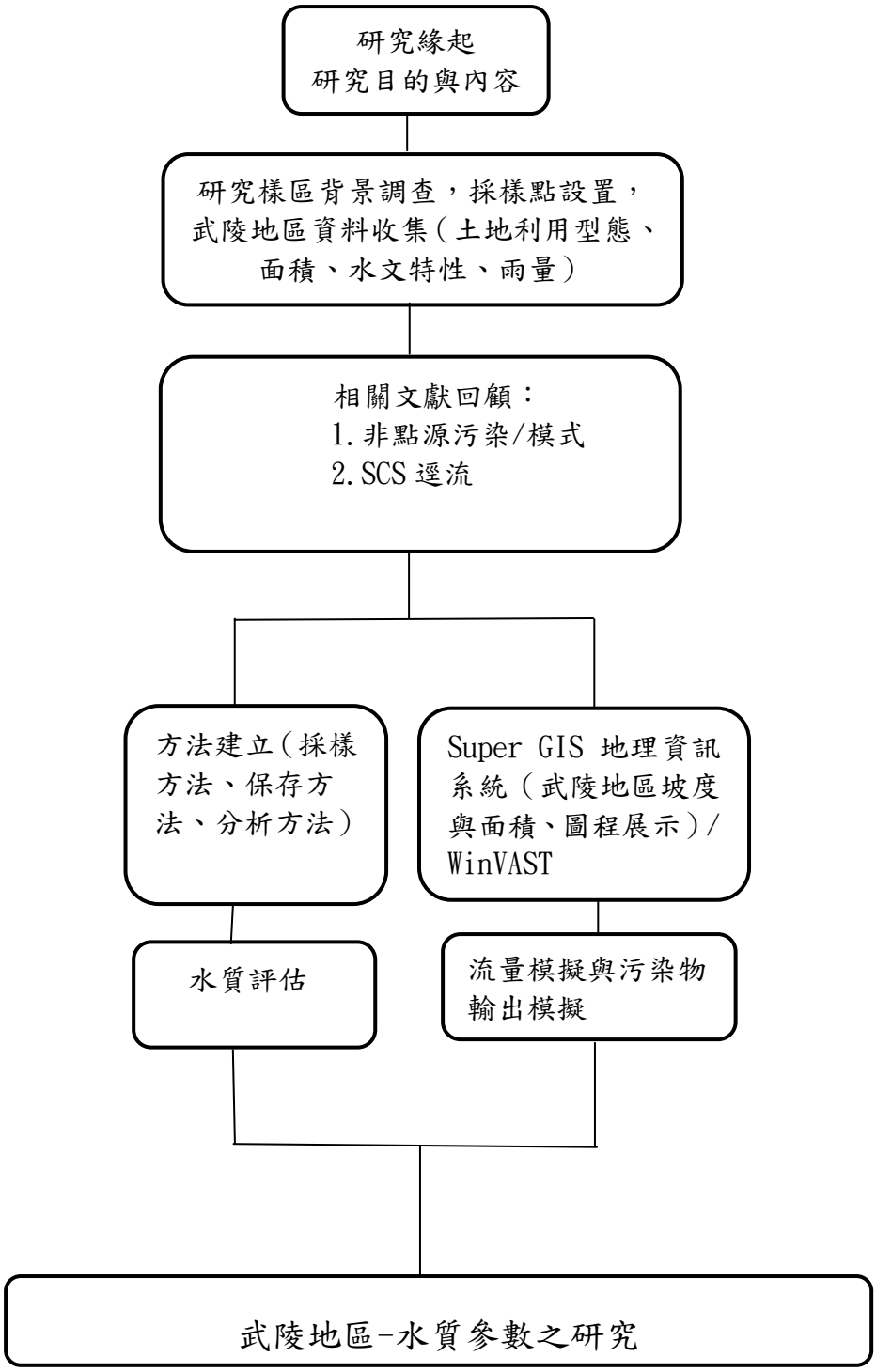

研究緣起
研究目的與內容
研究樣區背景調查，採樣點設置，武陵地區資料收集(土地利用型態、面積、水文特性、雨量)
相關文獻回顧：
1.非點源污染/模式
2.SCS 逕流
方法建立(採樣方法、保存方法、分析方法)
Super GIS 地理資訊系統(武陵地區坡度與面積、圖程展示)/WinVAST
水質評估
流量模擬與污染物輸出模擬
武陵地區-水質參數之研究

圖3-5 流程圖

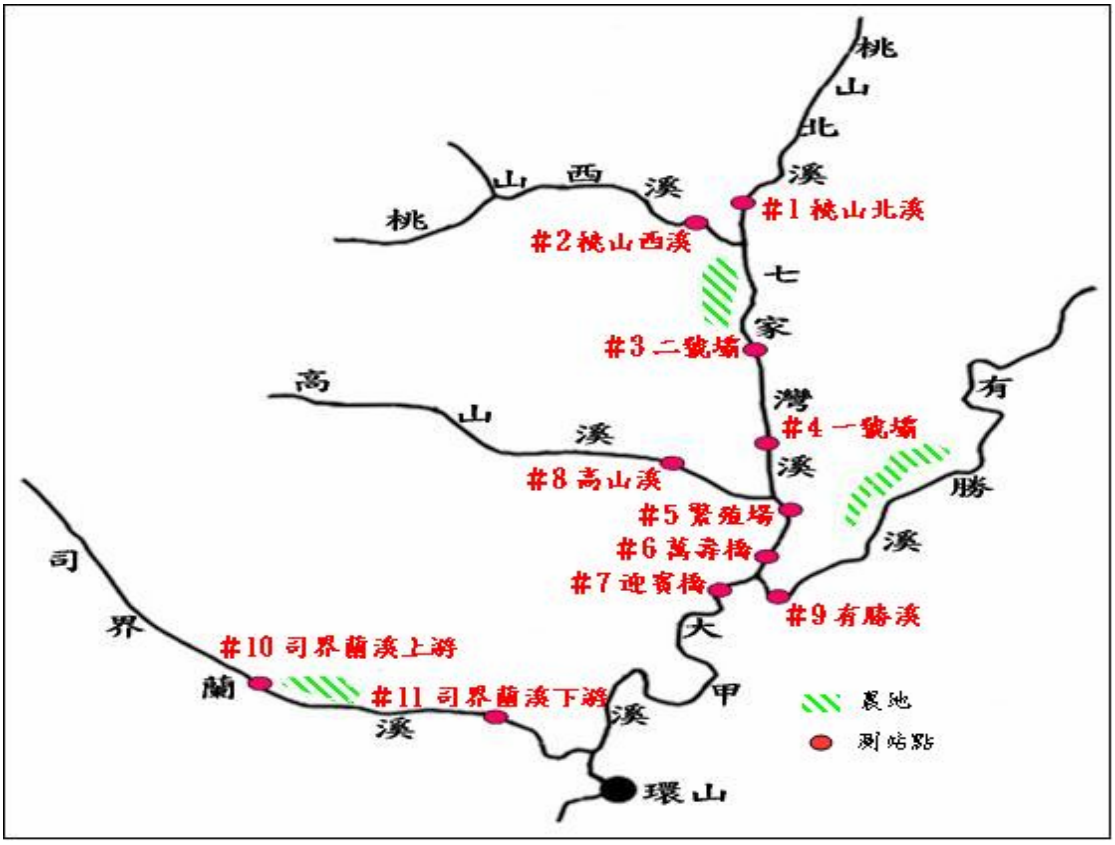


圖 3-6 採樣地點位置圖

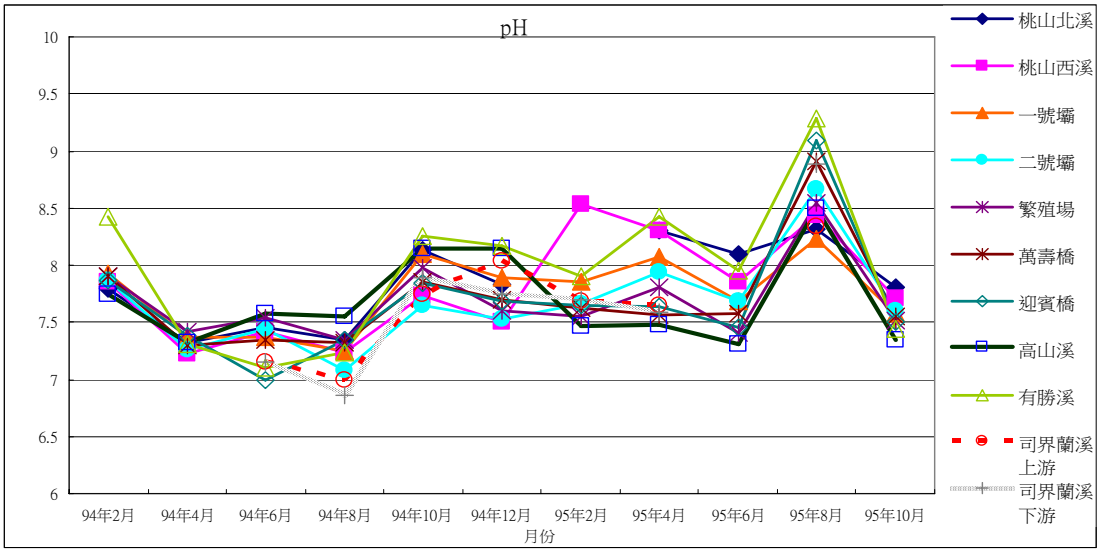


圖3-7 武陵地區溪流pH值變化

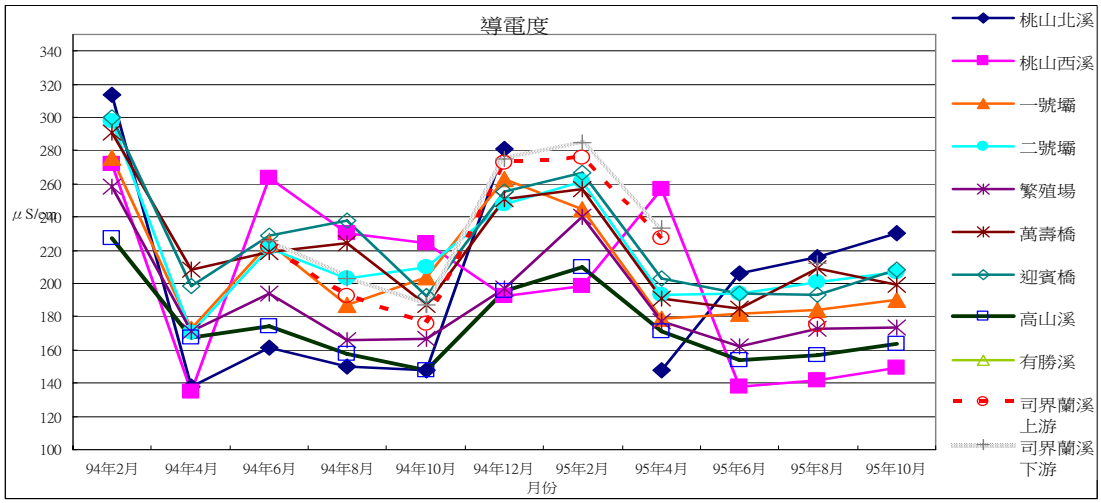


圖3-8 武陵地區溪流導電度值變化

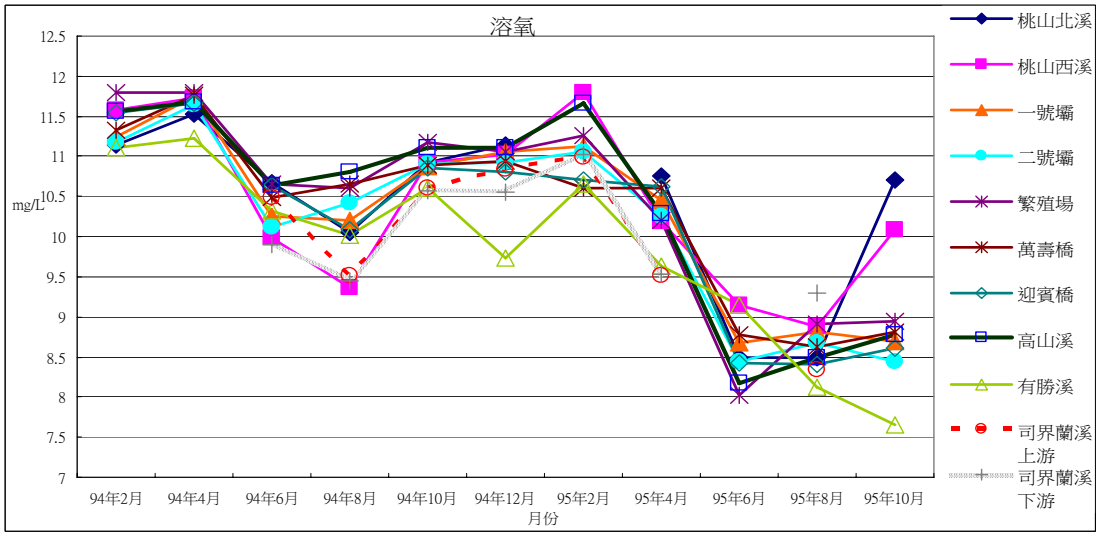


圖3-9 武陵地區溪流溶氧值變化

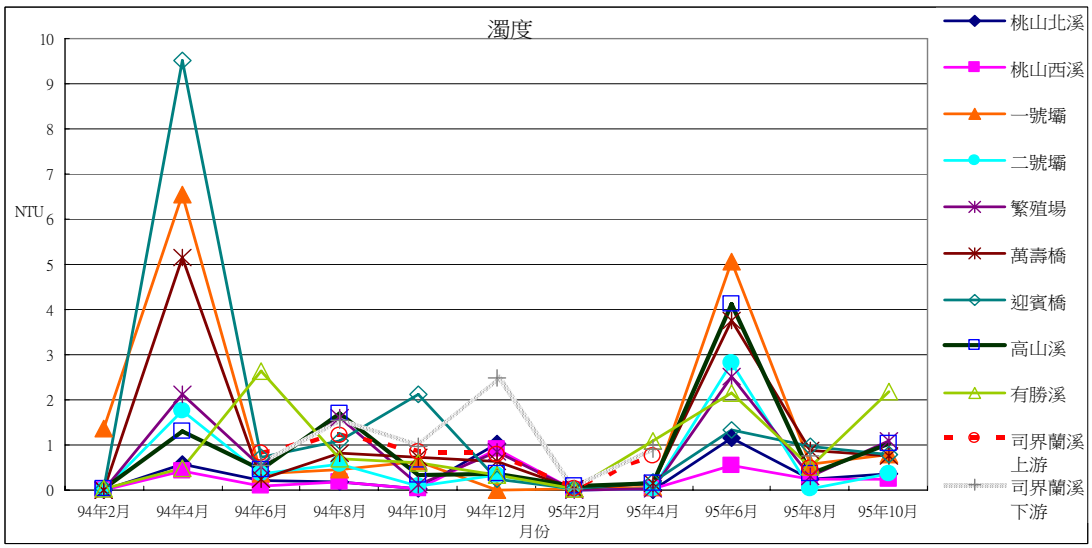


圖3-10 武陵地區溪流濁度值變化

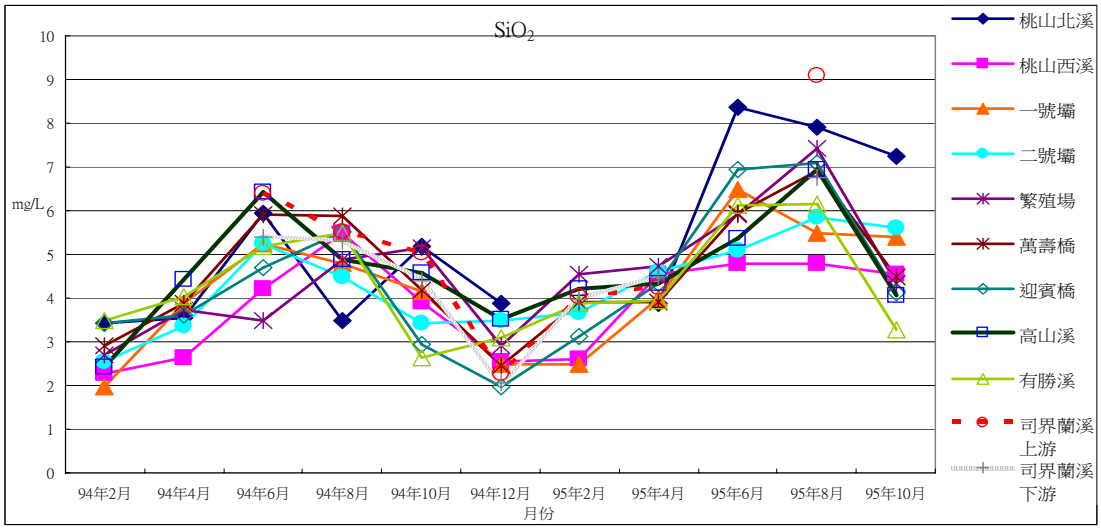


圖3-11武陵地區溪流SiO_2值變化

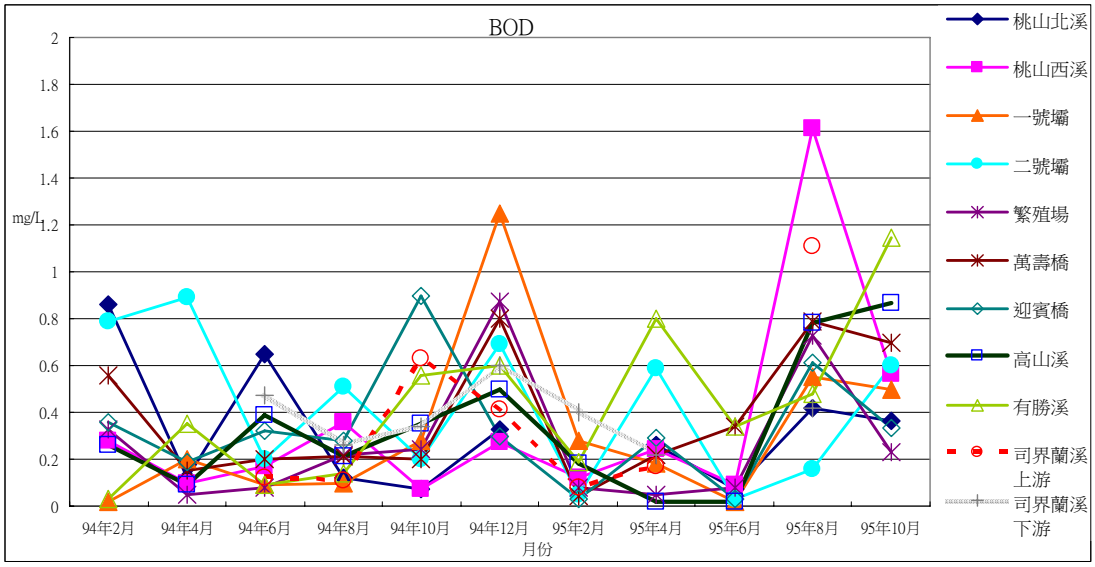


圖3-12 武陵地區溪流BOD值變化

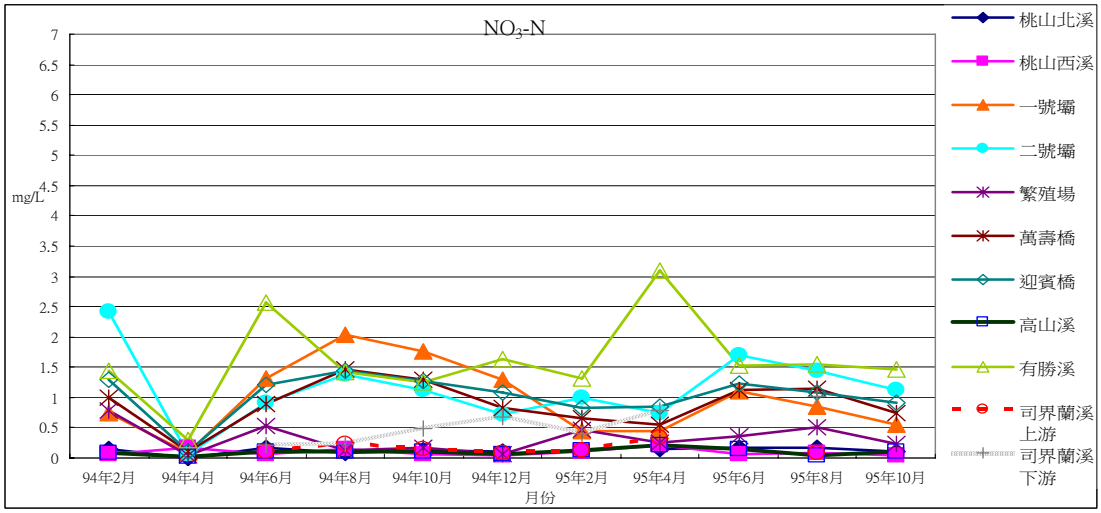


圖3-13 武陵地區溪流NO_3-N值變化

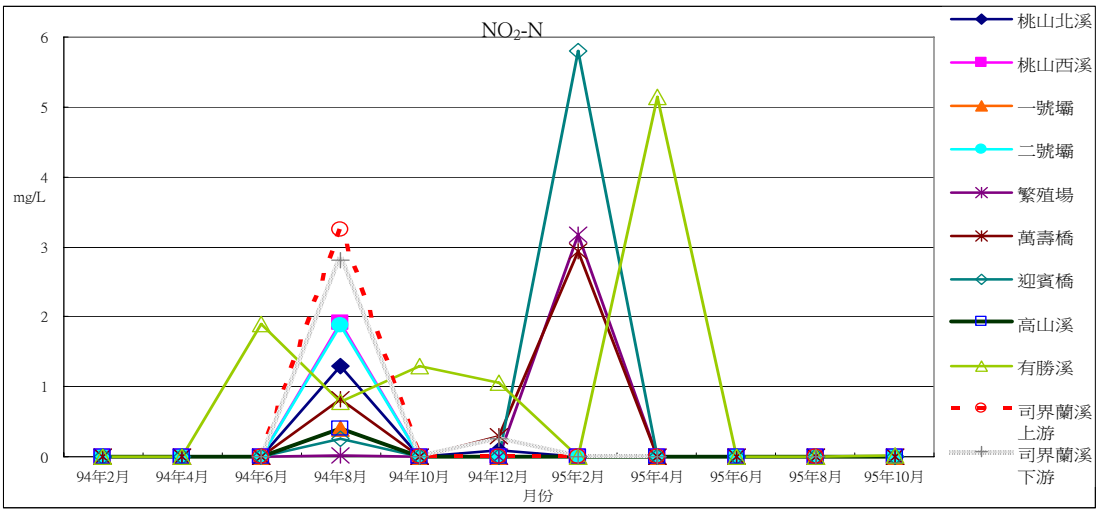


圖3-14 武陵地區溪流NO_2-N值變化

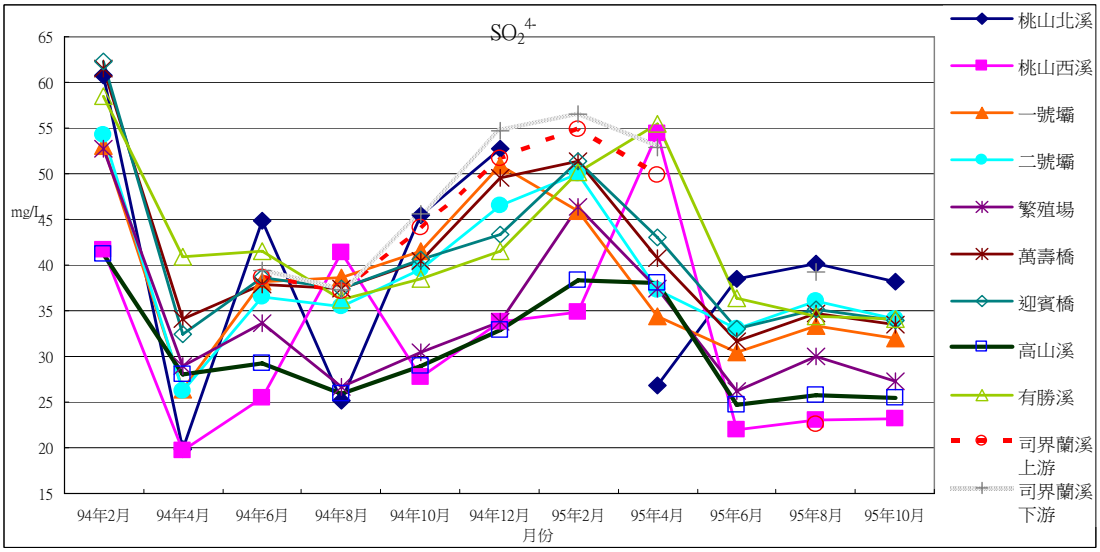


圖3-15 武陵地區溪流SO_4^{2-}值變化

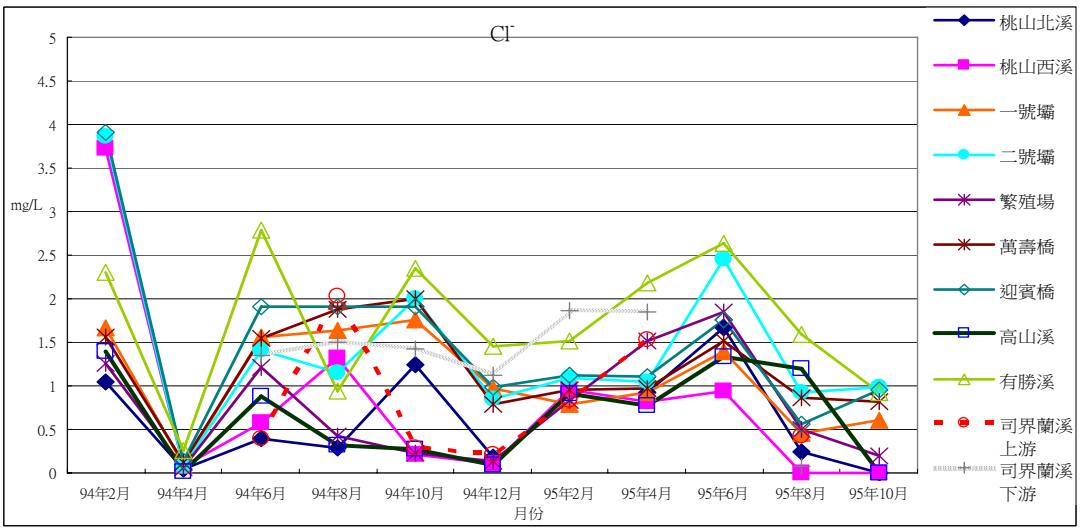


圖3-16 武陵地區溪流Cl^-值變化

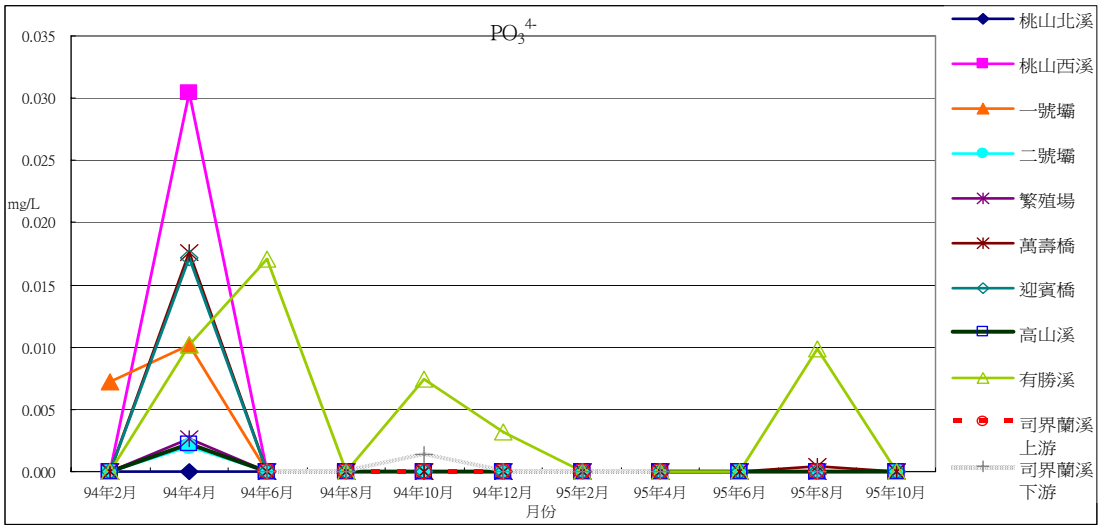


圖3-17 武陵地區溪流PO_4^{3-}值變化

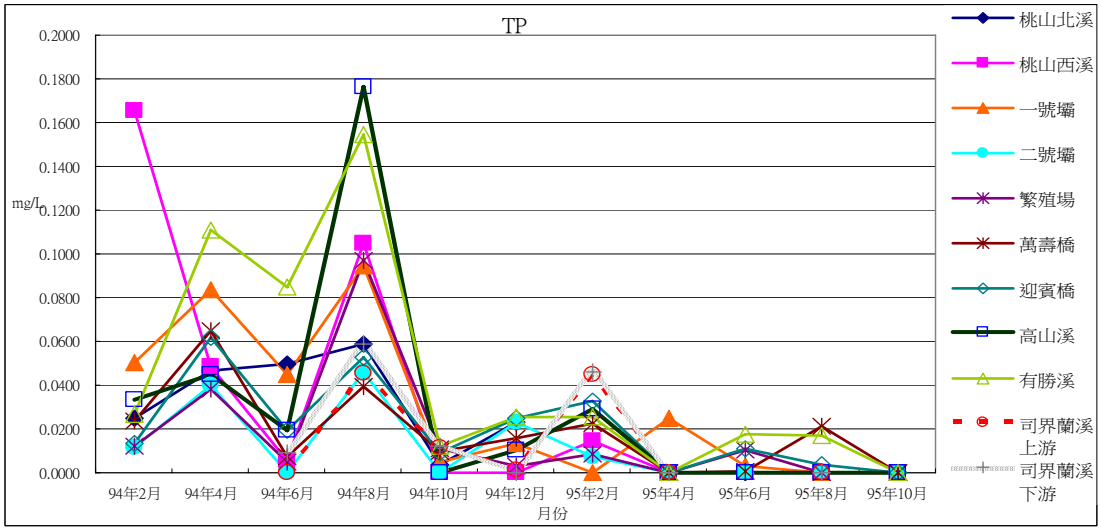


圖3-18 武陵地區溪流TP值變化

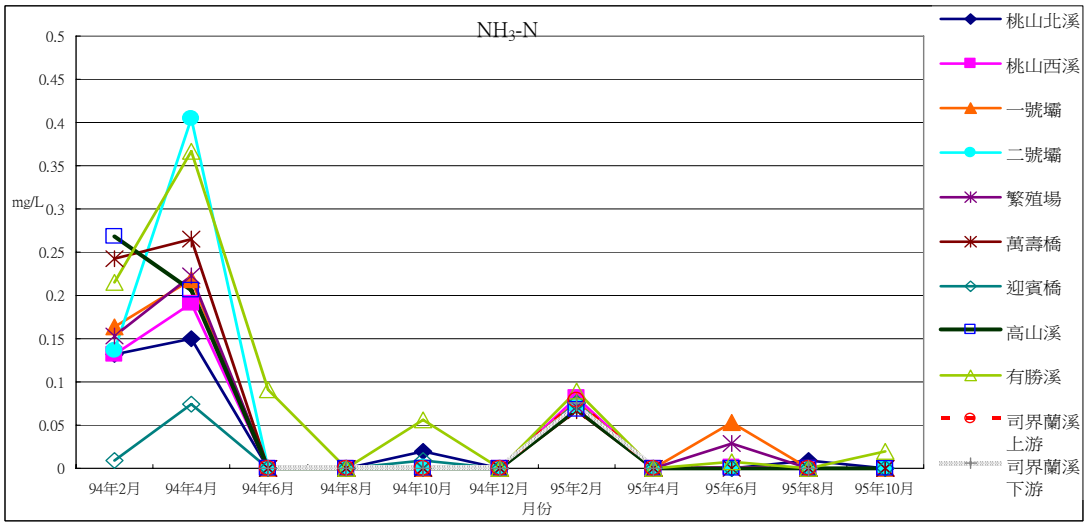


圖3-19 武陵地區溪流NH_3-N值變化

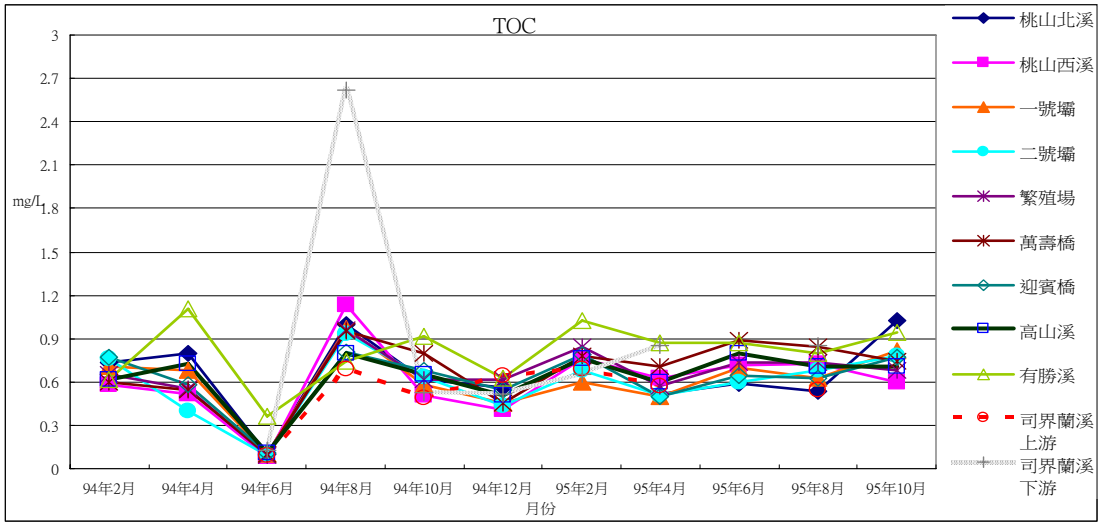
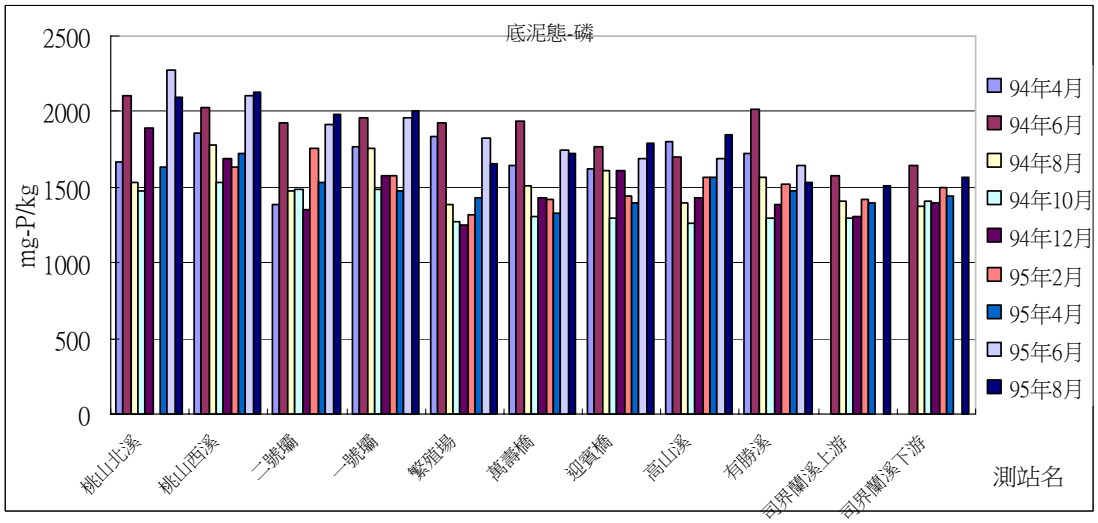


圖3-20 武陵地區溪流TOC值變化



圖圖3-21 武陵地區溪流底泥態磷值變化

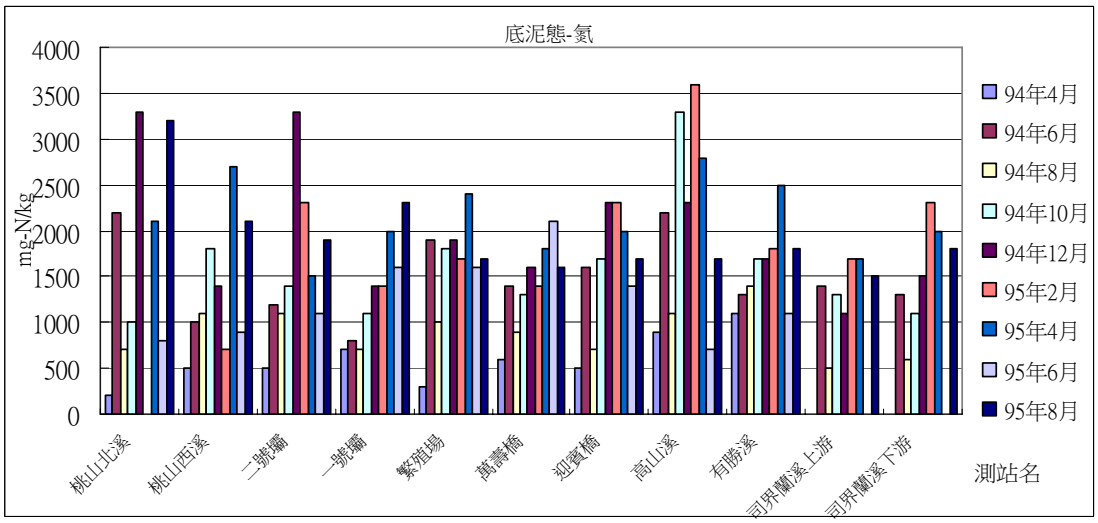


圖3-22 武陵地區溪流底泥態氮值變化

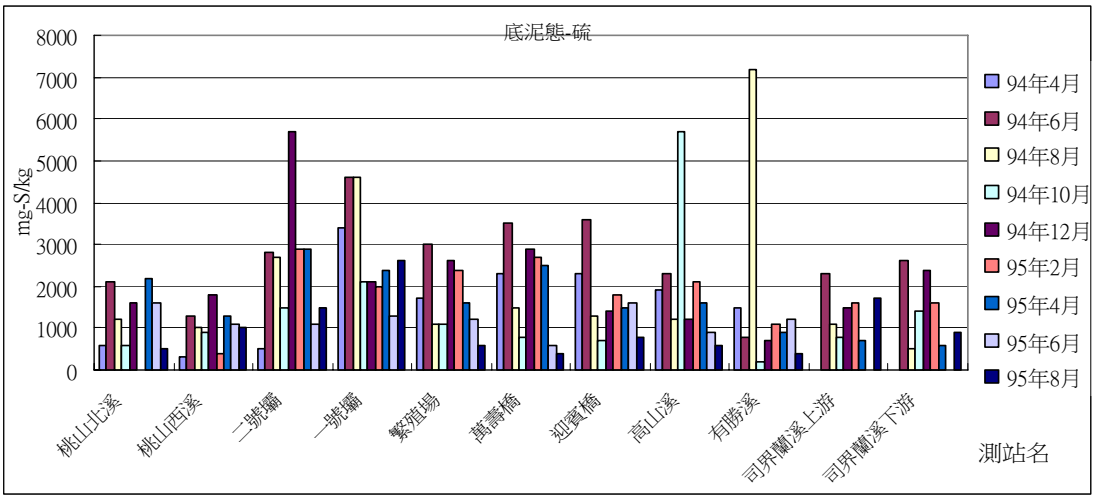


圖3-23 武陵地區溪流底泥態硫值變化

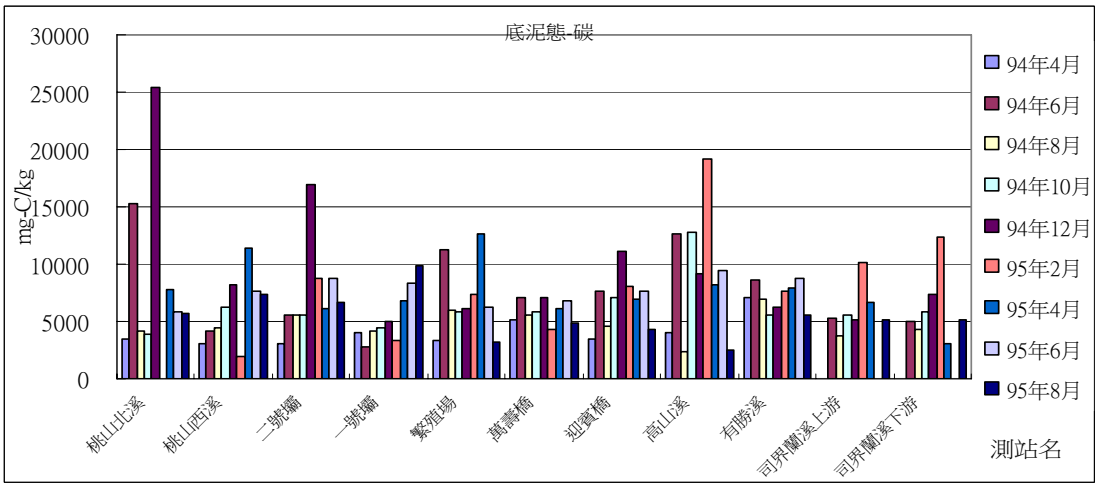


圖3-24 武陵地區溪流底泥態碳值變化



圖3-25 武陵地區子集水區

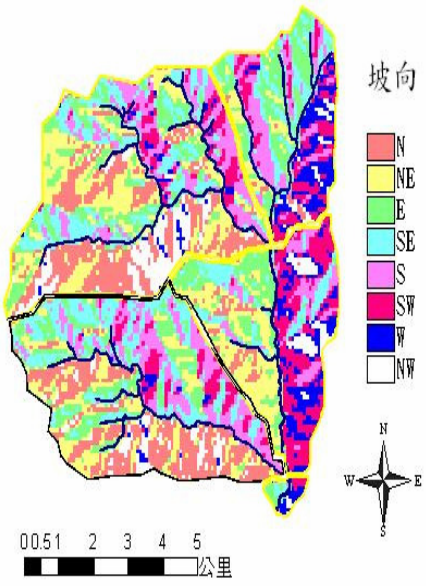


圖3-26 武陵地區坡向圖

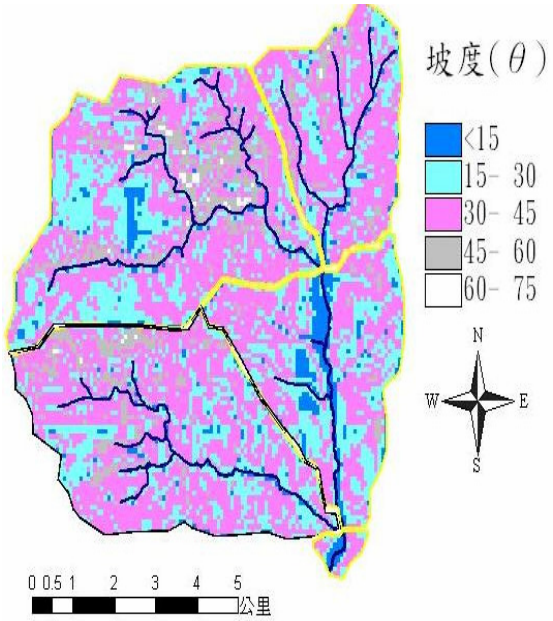


圖3-27 武陵地區坡度圖

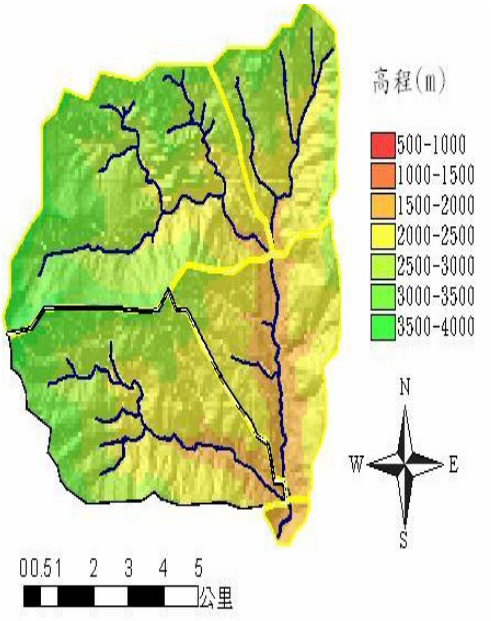


圖3-28 武陵地區高程圖

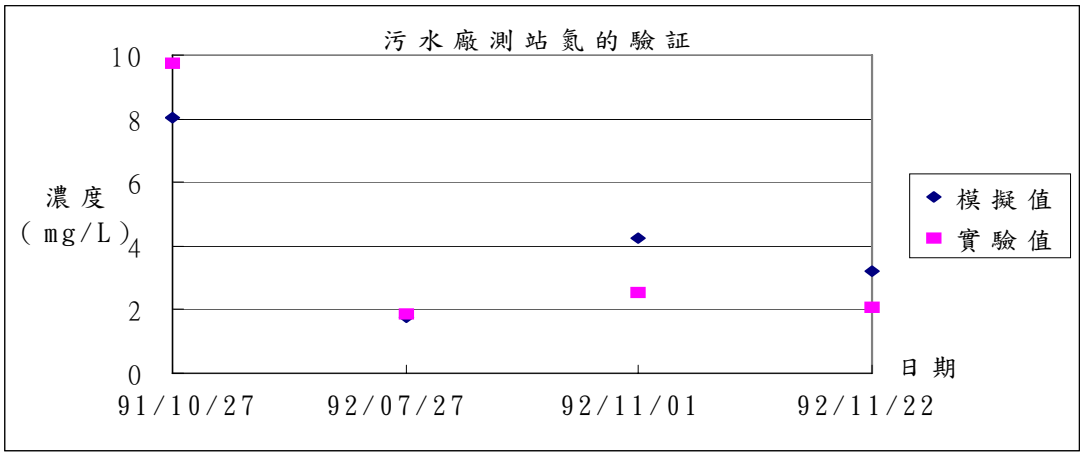


圖3-29 WinVAST污水廠測站氮的驗証

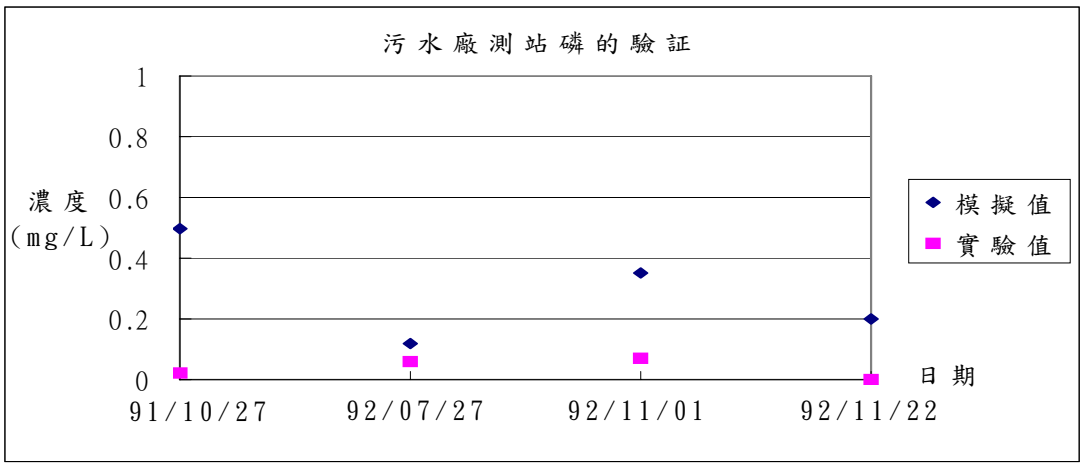


圖3-30 WinVAST污水廠測站磷的驗証

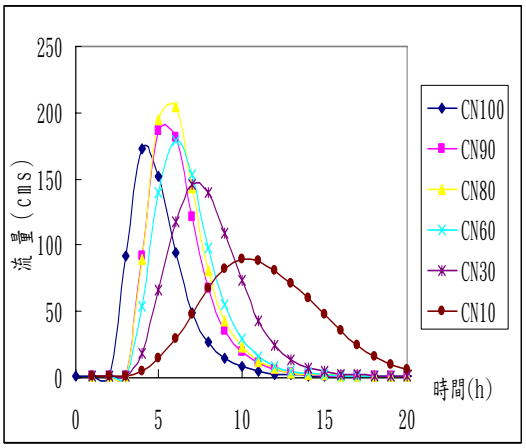


圖3-31 不同CN值流量的變化

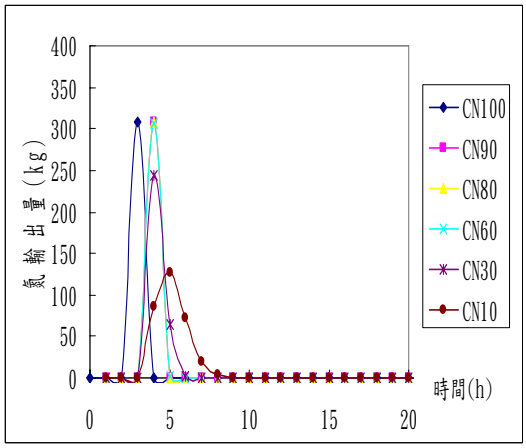


圖3-32 不同CN值氮輸出量的變化

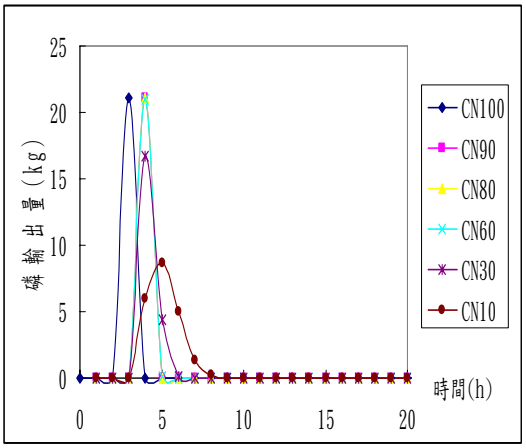


圖3-33 不同CN值磷輸出量的變化

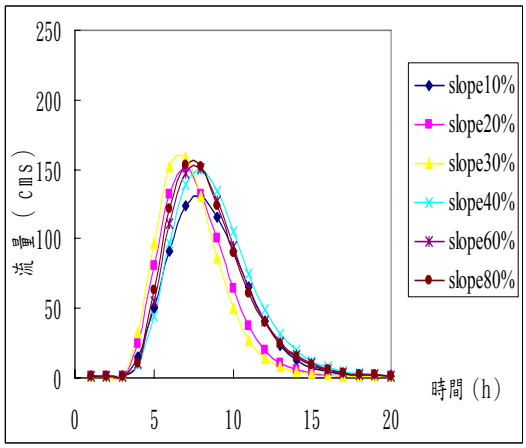


圖3-34 不同坡度流量的變化

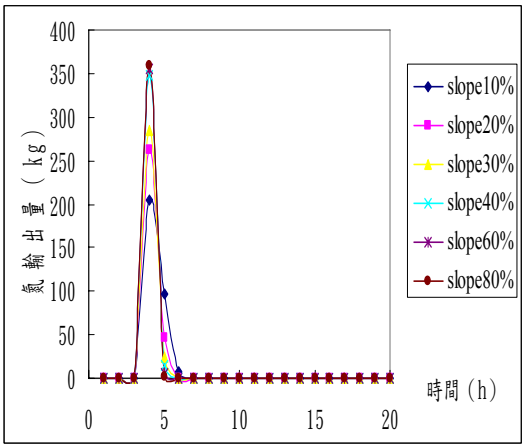


圖3-35 不同坡度氮輸出量的變化

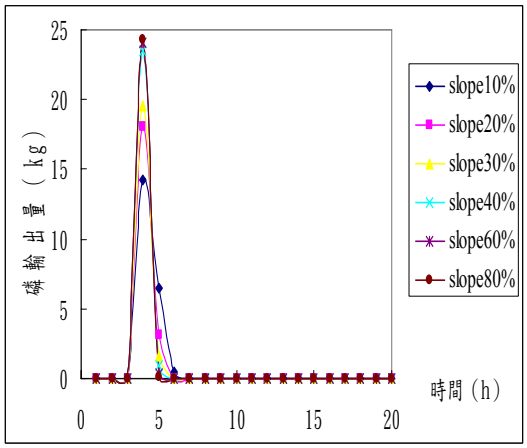


圖3-36 不同坡度磷輸出量的變化

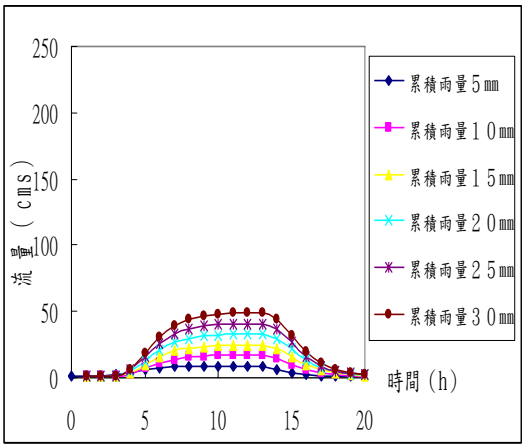


圖3-37 不同雨量流量的變化

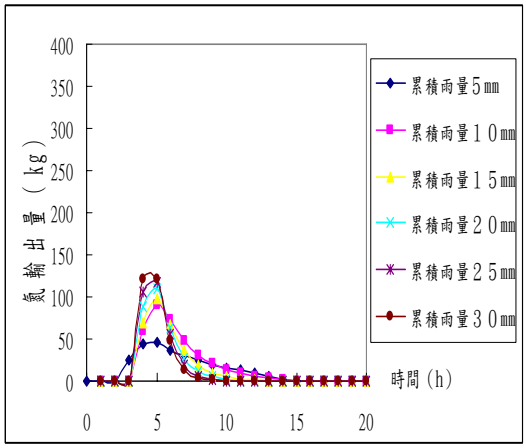


圖3-38 不同雨量氮輸出量的變化

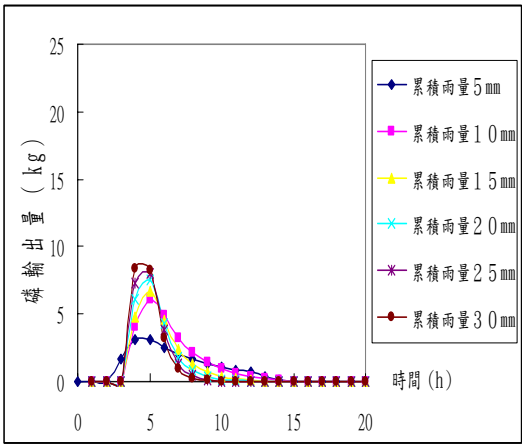


圖 3-39 不同雨量磷輸出量的變化

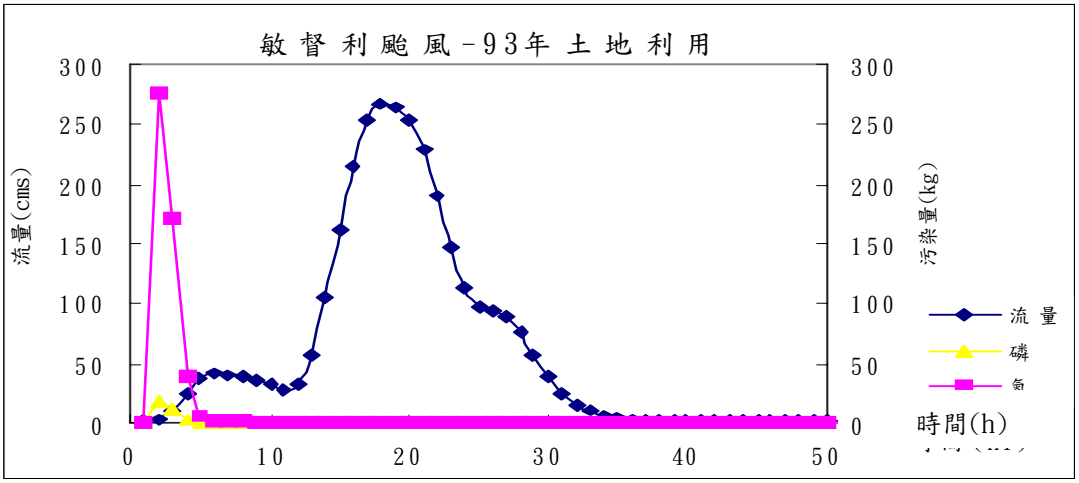


圖3-40 WinVAST敏督利颱風93年土地利用

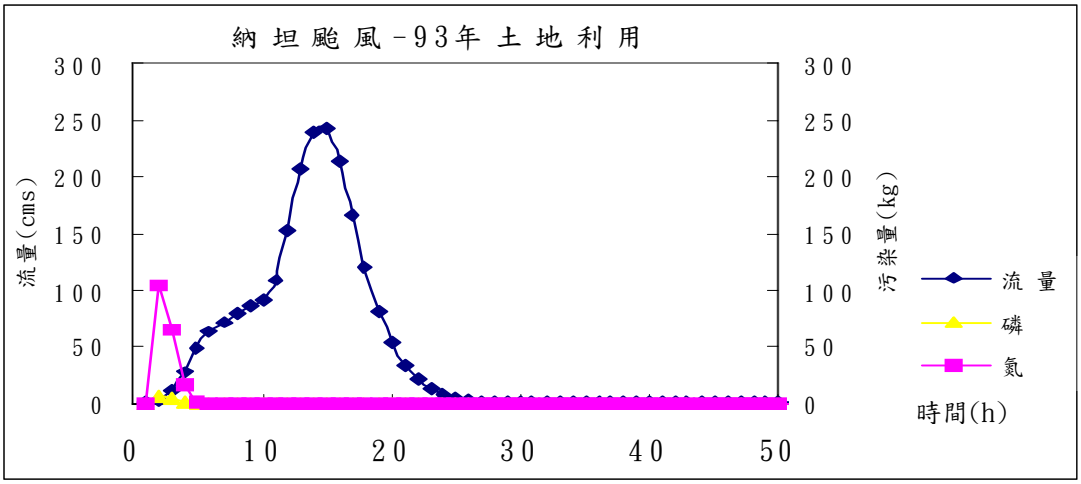


圖3-41 WinVAST納坦颱風93年土地利用

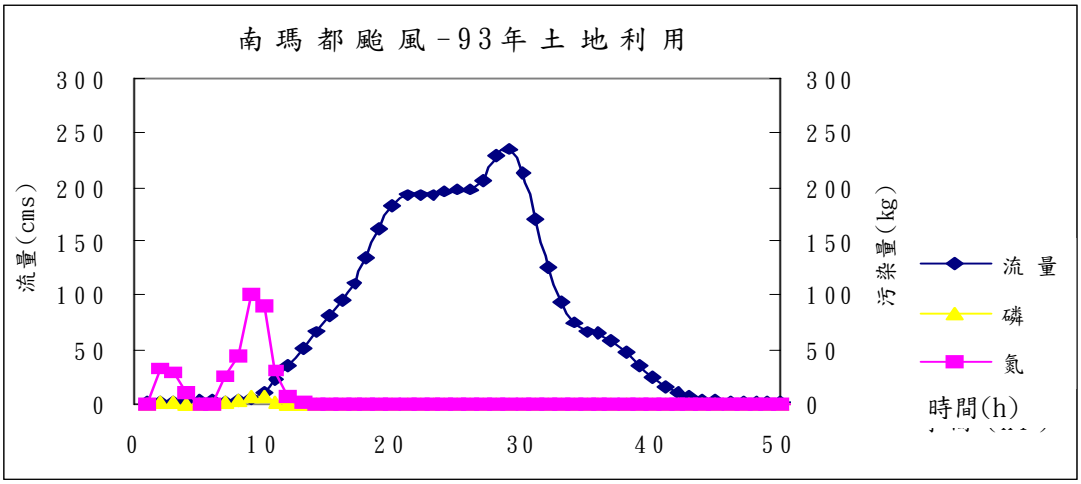


圖3-42 WinVAST南瑪都颱風93年土地利用

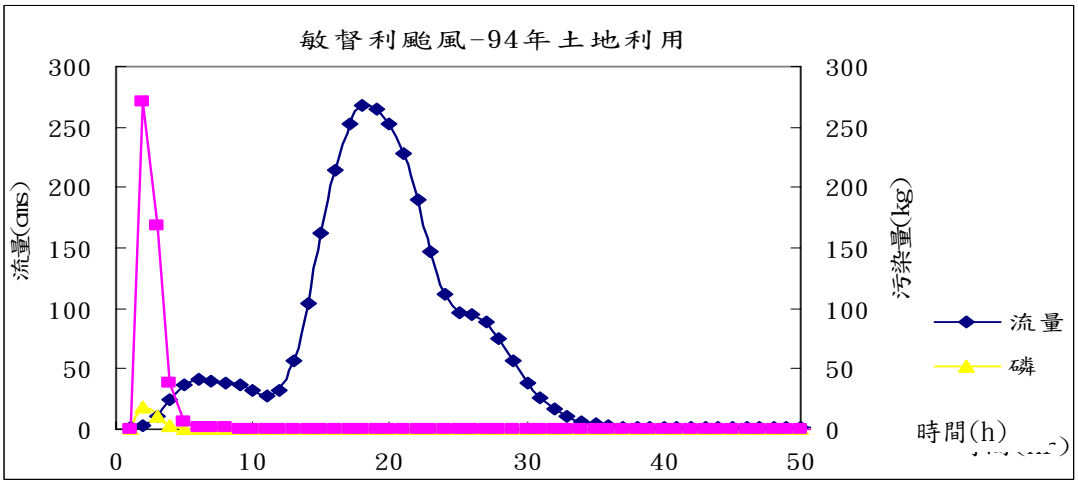


圖3-43 WinVAST敏督利颱風94年土地利用

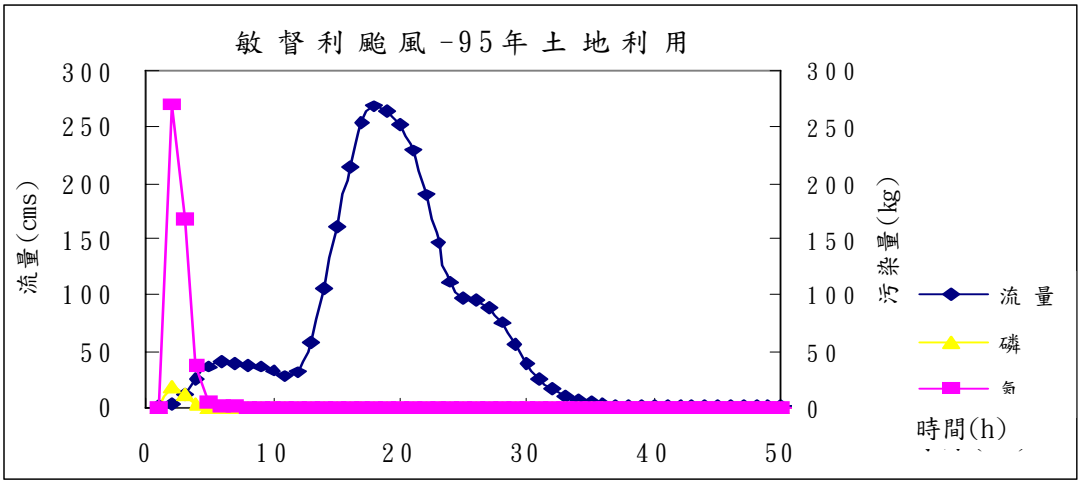


圖3-44 WinVAST敏督利颱風95年土地利用

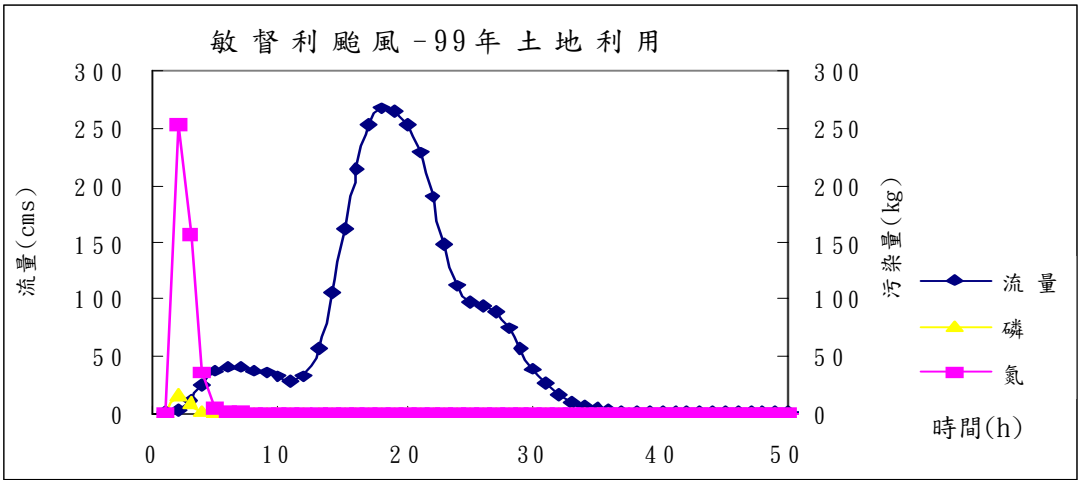


圖3-45 WinVAST敏督利颱風99年土地利用

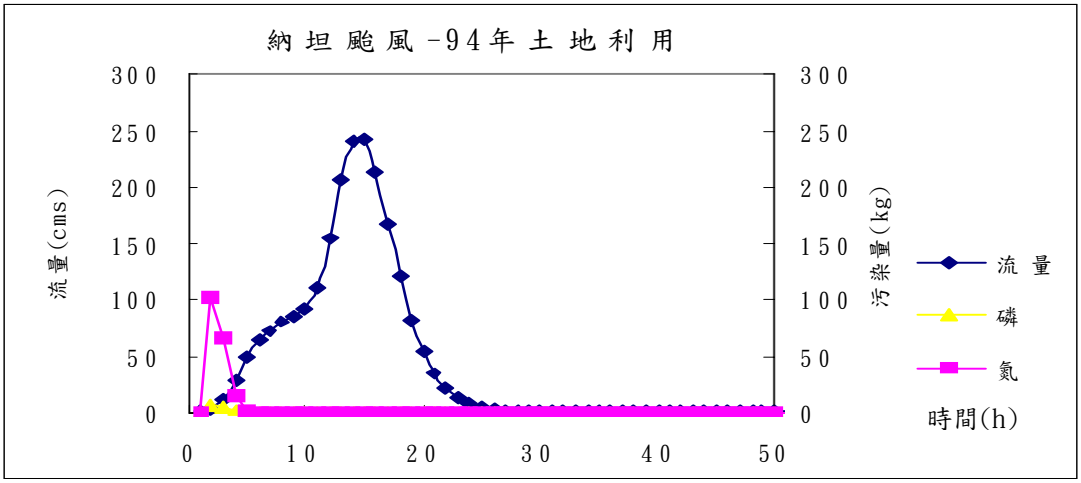


圖3-46 WinVAST納坦颱風94年土地利用

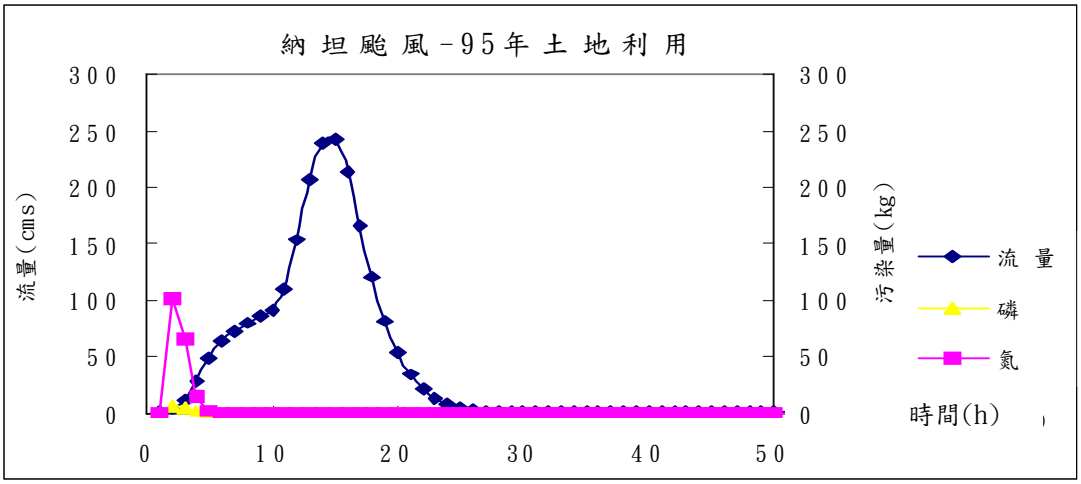


圖3-47 WinVAST納坦颱風95年土地利用

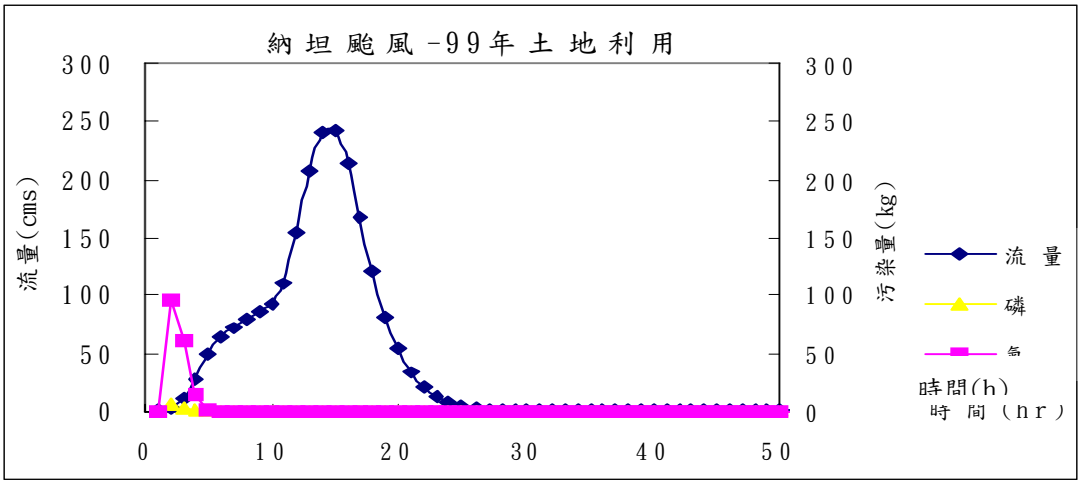


圖3-48 WinVAST納坦颱風99年土地利用

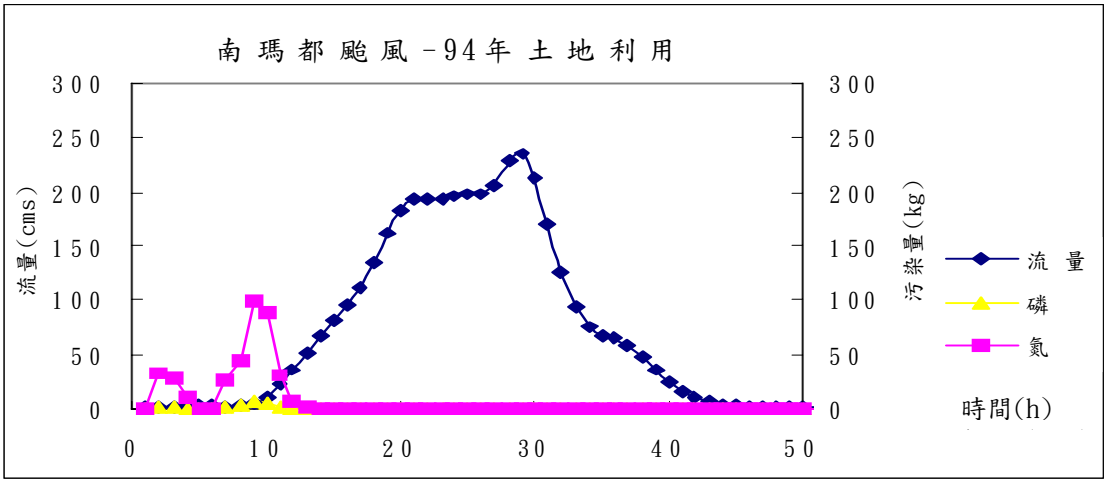


圖3-49 WinVAST南瑪都颱風94年土地利用

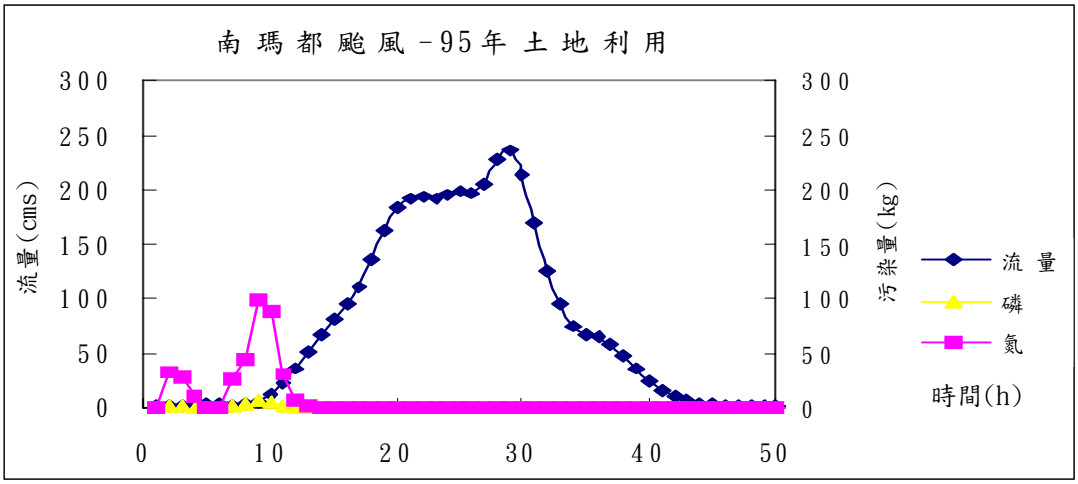


圖3-50 WinVAST南瑪都颱風95年土地利用

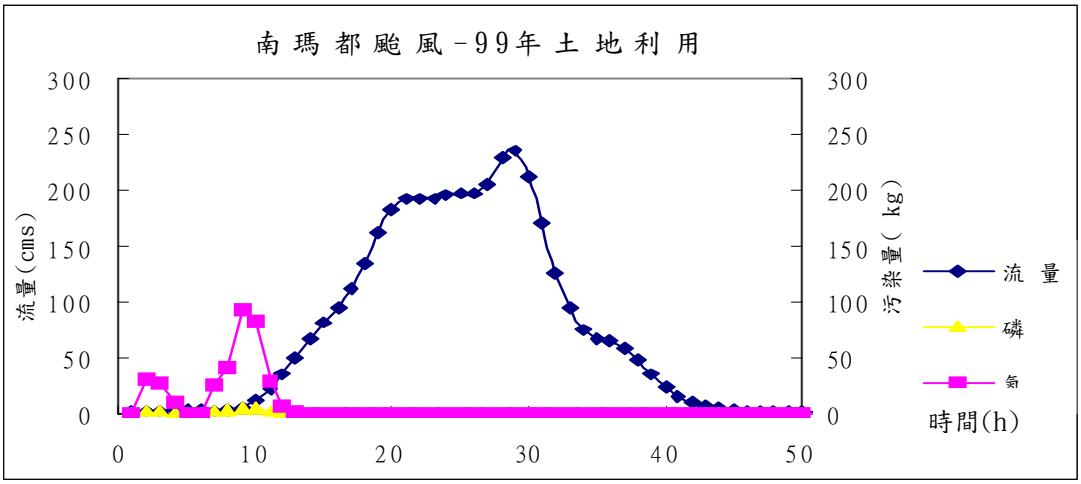


圖 3-51 WinVAST 南瑪都颱風 99 年土地利用

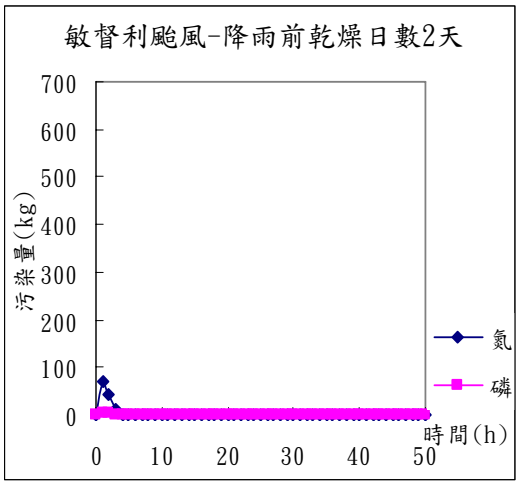


圖3-52 敏督利颱風乾燥日數為2天

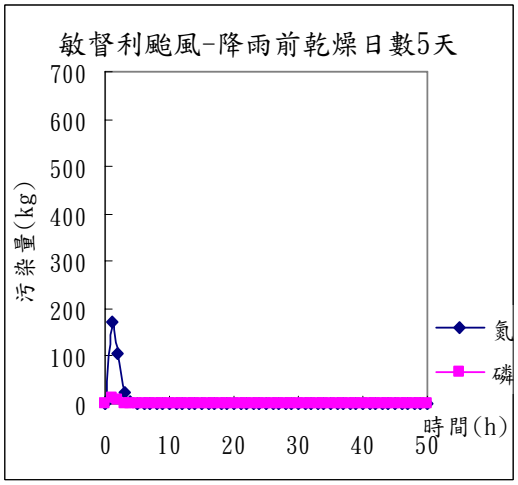


圖3-53 敏督利颱風乾燥日數為5天

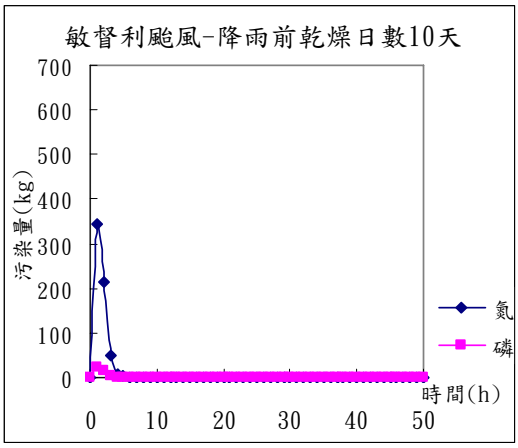


圖3-54 敏督利颱風乾燥日數為10天

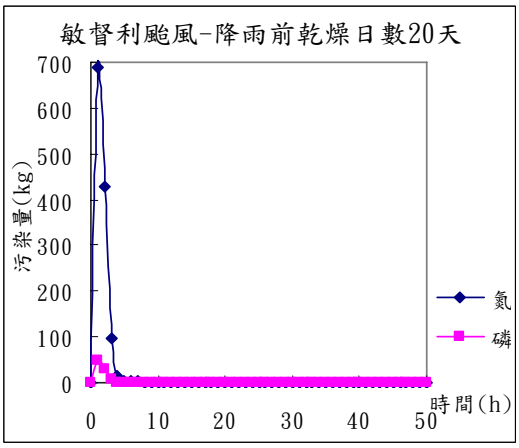


圖3-55 敏督利颱風乾燥日數為20天

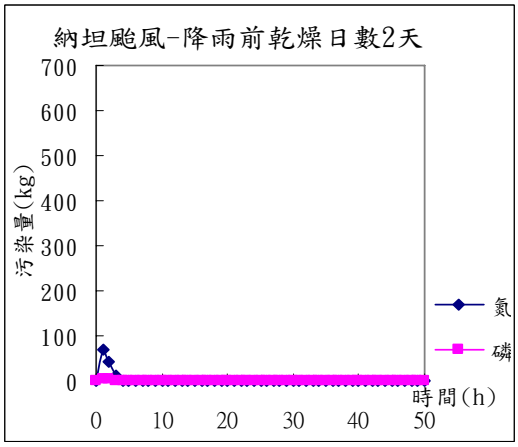


圖3-56 納坦颱風乾燥日數為2天

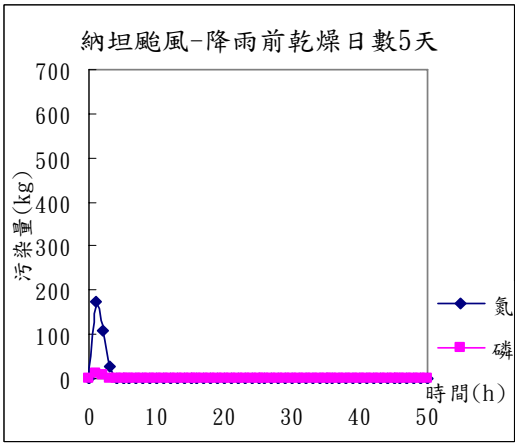


圖3-57 納坦颱風乾燥日數為5天

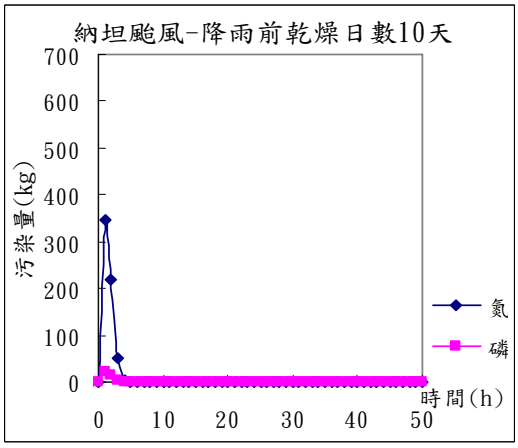


圖3-58 納坦颱風乾燥日數為10天

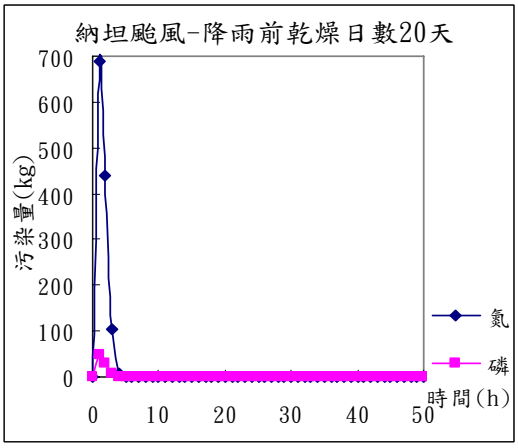


圖3-59 納坦颱風乾燥日數為20天

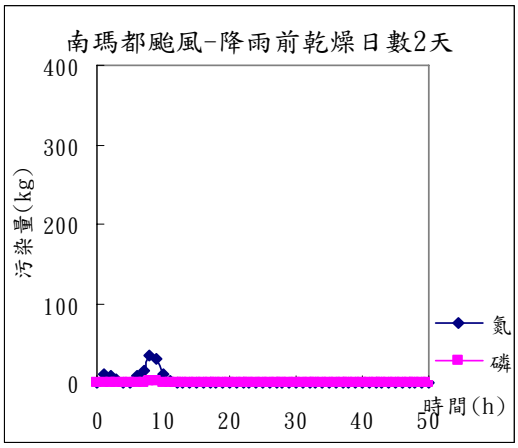


圖3-60 南瑪都颱風乾燥日數為2天

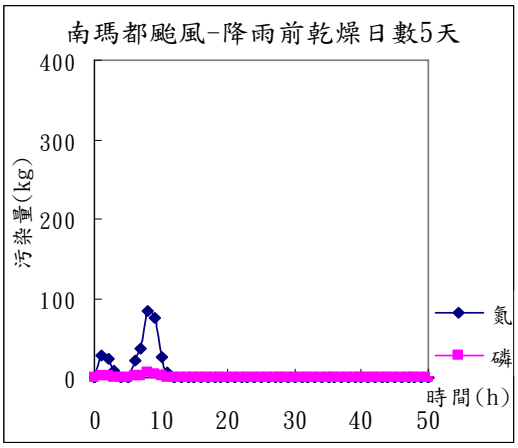


圖3-61南瑪都颱風乾燥日數為5天

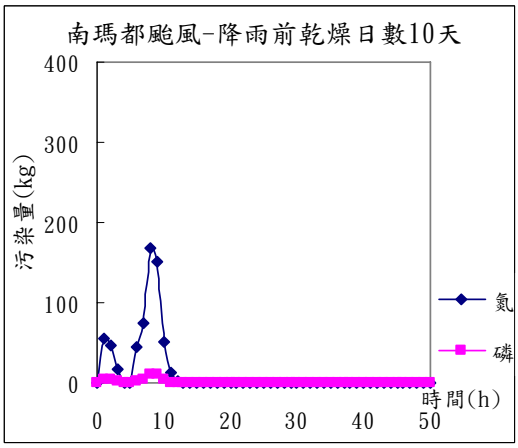


圖 3-62 南瑪都颱風乾燥日數為 10 天

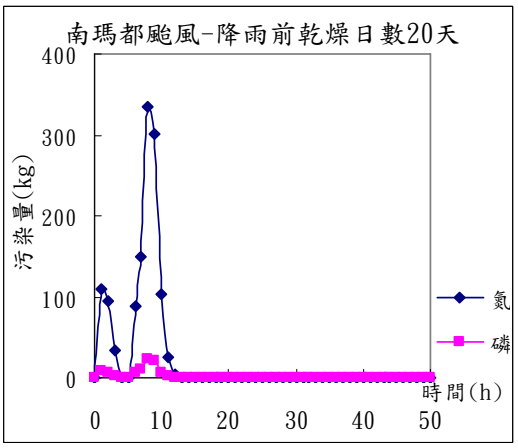


圖 3-63 南瑪都颱風乾燥日數為 20 天

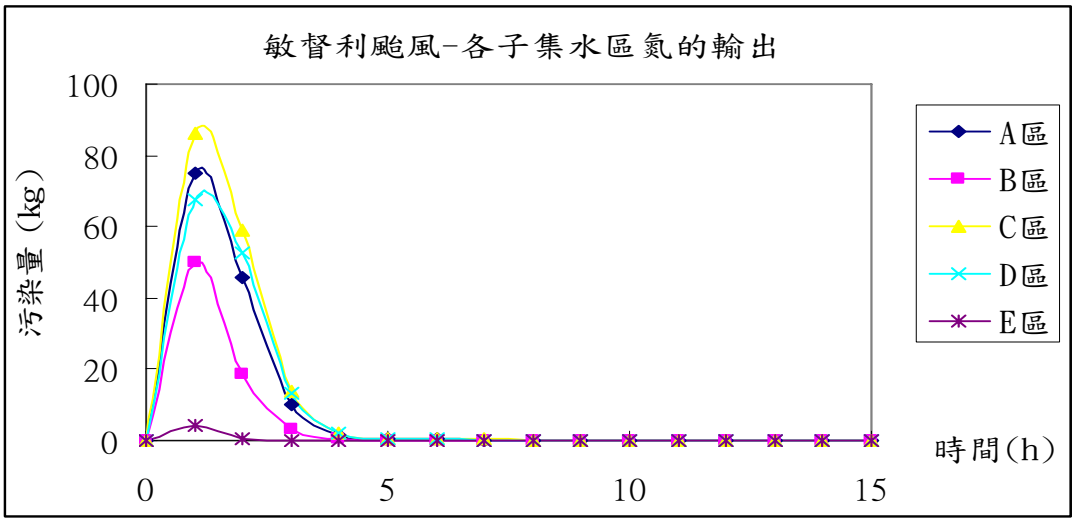


圖3-64 敏督利颱風各子集水區氮的輸出

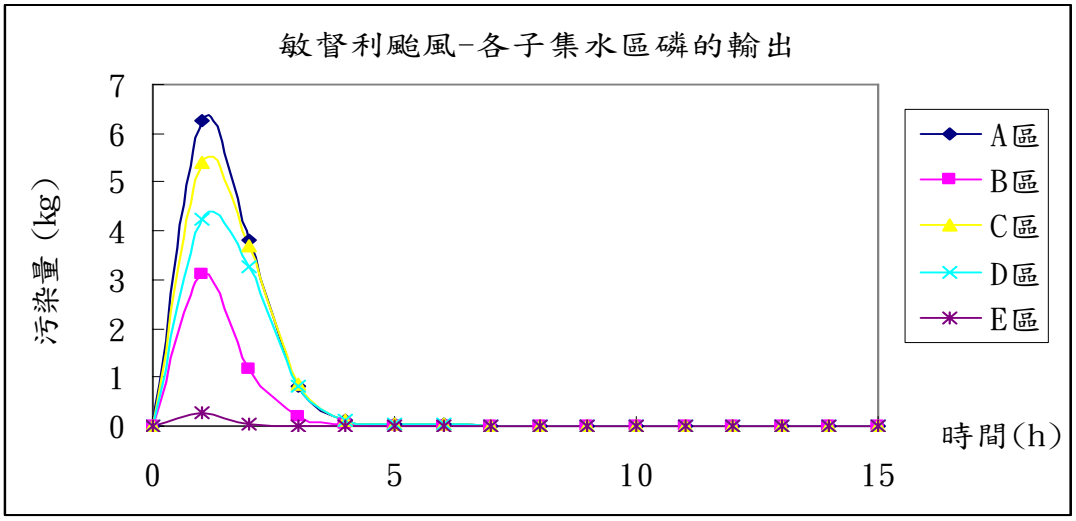


圖 3-65 敏督利颱風各子集水區磷的輸出

第四章　硝酸鹽來源研究

彭宗仁、范家華、林春杏、董奇矗、陳良偉
國立中興大學土壤環境科學系

摘要

大甲溪流域之七家灣溪集水區是台灣櫻花鉤吻鮭的棲息地，同時亦為台灣中部地區重要之水資源集水區。由於自然災害與人為因素之影響，導致河流生態系統被破壞；不僅威脅櫻花鉤吻鮭棲地環境，亦使得上游集水區水資源的水質有惡化現象。由過去眾多水質之相關研究均隱指農業墾植施用的肥料是造成武陵地區溪水水質惡化的主因，而硝酸鹽是其惡化指標之一。因此，本研究擬以水體中硝酸鹽的氮、氧同位素組成，探討武陵地區溪水中硝酸鹽的來源，進而了解溪水中硝酸鹽與農業活動之關係。由現階段對七家灣溪、高山溪、有勝溪及司界蘭溪水體之 NO_3^- 濃度與其 $\delta^{15}N$ 組成分析結果顯示：

桃山西溪、高山溪與司界蘭溪下游三測站水體 NO_3^- 之濃度屬低溶質濃度之上游集水區水體，為本研究最低 NO_3^- 濃度的測站。七家灣溪的五個測站之 NO_3^- 濃度顯示出季節變化，雨季時期之濃度高於旱季。在本研究所有測站中以有勝溪測站出現較高之 NO_3^- 濃度，同樣顯現雨季時期之濃度大於旱季。由 NO_3^- 之氮、氧同位素分析顯示，武陵地區溪水中 NO_3^- 之來源主要為各種氮源經硝化作用所產生，而水體中 NO_3^- 之濃度與 $\delta^{15}N$ 組成特徵的主要為不同氮源端點的混合作用。

由各測站水體 NO_3^- 來源探討顯示，桃山西溪、高山溪與司界蘭溪下游三測站水體 NO_3^- 之來源主要與雨水有關。七家灣溪主河道各測站水體之 NO_3^- 來源則與土壤氮源、雨水源和化肥源有關，但有季節性差異；雨季時期雨水及化學肥料的訊號明顯程度大於旱季，而在旱季時期則土壤氮源訊號明顯。有勝溪測站水體 NO_3^- 之來源較為複雜，與各種可能之氮源均有關聯，但其肥料來源訊號明顯大於其它測站。

Abstract

Chichiawanxi river basin, one of the upstream catchments of Dachiaxi in mountain area of central Taiwan, is the habitat of the Taiwan Salmon and is the important mountain catchments for water resource. The demolition of river ecosystem, which is due to human activity and natural disaster, not only threatens the habitat environment of the Taiwan Salmon, but also causes the deterioration of river water quality. Numerous literatures concerned the water quality implied that fertilizers for farming in Chichiawanxi river basin are the main factors for the deterioration of water quality; and nitrate is one of the significant indexes for anthropogenic contamination in waters. In order to understand the relationship between water nitrates and farming, this study analyzed the nitrogen and oxygen isotope compositions and concentrations of nitrates to evaluate the potential sources of the nitrates in waters.

The results show that nitrate concentrations of water samples in Taoshan western Xi, Kaoshanxi, and Sizeilangxi carried the lowest NO_3^- concentrations than those in other sampling sites of this study. NO_3^- concentrations of water in Chichiawanxi show significant seasonal variation; the NO_3^- concentrations are higher in summer than those in winter. Water of Yoshengxi exhibits the highest NO_3^- concentration than any other river water and has seasonal variation like water of Chichiawanxi. The results of nitrogen and oxygen of water NO_3^- indicate that NO_3^- in water of this study is from varied nitrogen sources via nitrification. Mixing with varied nitrogen sources mainly controls the characteristics of nitrogen isotopic composition and concentration in water NO_3^-. The results also indicate that potential nitrate source for waters in Taoshan western Xi, Kaoshanxi, and Sizeilangxi is rainwater. NO_3^- in Chichiawanxi river waters is mainly derived from soil nitrogen, rainwater, and

chemical fertilizer; source signals of rainwater and chemical fertilizer are significant in raining period, and the significant signal in dry period is soil nitrogen. The nitrate sources for Yoshengxi river water is complex and relates to all potential nitrogen sources; source signal of fertilizer is more significant than any other water sample of this study.

一、前言

雪霸國家公園位於台灣本島之中北部，於 1992 年 7 月 1 日成立，境內高山林立，景觀壯麗，由大安溪河谷海拔 760 公尺至 3,886 公尺的雪山主峰，高差達 3,000 多公尺，自然資源極為豐富。園區範圍以雪山山脈的河谷稜線為界 (圖 1-1)，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。

園區內的國寶魚櫻花鉤吻鮭是台灣特有的冷水性魚類，櫻花鉤吻鮭在台灣約有十萬至八十萬年生存歷史，此種北半球分布最南限的鮭魚，原係屬太平洋洄游性魚類，因冰河時期地球板塊運動，造成河川變遷，其族群因而被隔離於台灣大甲溪上游之河域中，阻絕原有之洄游路線，成為陸封型之孑遺生物，經多年之演化、適應，而成了台灣地區特有亞種之櫻花鉤吻鮭。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。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「櫻花鉤吻鮭保護區」，成為全國最大野生動物保護區，同時推動一連串之保育工作 (李培芬，1996)。

同時，雪霸國家公園區內的集水區是台灣中部地區水資源的主要供應區。然而，山坡地的超限利用及濫墾的現象卻使水質受到污染，大甲溪的德基水庫因上游山坡的墾植蔬果，導致水土流失，致水庫的壽命減短；而過度的使用肥料，也使水庫的水質呈現優養化，使得水資源的供應及品質受到潛在的威脅。

為保護區內自然地形地質景觀及保護區內的集水區，雪霸國家公園管理處除了取締違法的山坡地濫墾外，也檢討集水區的農業墾植現況，使農業發展及集水區水質的保護能取得平衡點，同時使櫻花鉤吻鮭及其生態系的保育工作能確實執行。

(一) 文獻回顧

1. 氣象

由武陵農場所設立之無人氣象監測站 (中央氣象局與武陵農場合作，其站號為 D2F23) 之歷年雨量及氣溫記錄 (2002-2005 年)，其氣象概況如下 (圖 4-1)：全年平均溫度 13.8 ℃，早晚溫度差異平均為 12 ℃以上，夏季 6-8 月平均氣溫最高，約為 17.8 ℃；而冬季自 12 月至翌年 2 月平均溫度小於 10 ℃。年累積雨量在 880-2,090 mm 之間，在夏季 6-8 月有較大之降雨量，在颱風季節發生豪雨或大豪雨的頻率較高，此三個月之累積降雨量約佔全年的 40%；自秋季 11 月至翌年 1 月冬季雨量較少，僅達年雨量的 12%。綜合上述紀錄，武陵在氣候分布上屬於台灣副寒帶山地氣候區，濕季為 2 月至 8 月、乾季為 9 月至翌年 1 月。

2. 水質背景

過去水質監測與河床棲地改善之研究計畫最多，所獲得之資料已為武陵地區七家灣溪流域之水文與化學環境因子提供詳實的基礎背景資料 (林幸助，2002)。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。依據于淑芬 (2003) 整理過去之水質資料，農委會自 1987 年起針對七家灣溪櫻花鉤吻鮭，作棲地環境及生物之調查報告指出，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 (楊平世等，1986)；1992 年 1995 年之監測資料亦顯現總磷及銨量超過甲類陸域地面水體水質標準 (陳秋陽，1998)。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，但磷酸鹽卻已下降 (王敏昭等，2000；陳弘成，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 (于淑芬，2003；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 (于淑芬，2004；官文惠，2005)。

但在近期之水質相關研究發現 (于淑芬，2004；官文惠，2005)，一般慣用之水質指數 WQI 值，並無法清楚反應武陵地區溪流之水質變化，而由歷年之 WQI

值顯示，武陵地區之溪流水質都為屬於特優或良好之水質。同時，一般而言，上游集水區溪水之溶質濃度本就很低，因此若單由 WQI 水質指標恐無法顯示武陵地區之溪流水質受人為活動影響的程度。是故，于淑芬 (2004) 建議以相關藻類群聚指數之表示法，或較能反應出武陵地區溪流水質受人為硝酸鹽影響的程度。

3. 藻類與營養鹽

硝酸鹽及磷酸鹽是溪流中最具關鍵的營養鹽，其關係著溪流初級生產量以及水質優養化甚鉅，而此二種營養鹽類主要是由降雨及來自土地表面的流入而生成的，硝酸鹽多以可溶性硝酸鹽 (dissolvable inorganic nitrate, DIN) 存在，而磷酸鹽卻以顆粒型式沉澱於水底，少量溶解於溪水中，而只有可溶性磷酸鹽 (dissolvable inorganic phosphate, DIP) 可以直接被利用於藻類生長所需，因此生態學者通常直接測量可溶性硝酸鹽及磷酸鹽，來分析河川生態與集水區土地利用等人為活動之關係 (汪靜明，1992)。

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，水生動物死亡不但會降低生物歧異度，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 (張尊國，1987)。因此，林幸助 (2002) 認為，當務之急應先了解溪流藻類是否會有營養鹽限制情形，以及受限於何種營養鹽，才能對週遭特定營養鹽的輸入採取管制措施。

綜合林幸助 (2003)、簡麗鳳和林幸助 (2004) 武陵地區溪水中營養鹽與藻類之關係研究，其結果歸納如下：

(1) 七家灣溪下游及有勝溪 DIN 濃度明顯高於其他測站，其中七家灣溪下游夏季 DIN 濃度較冬季多了一倍，所有測站之 DIP 濃度皆偏低，且兩季之間無明顯差別。

(2) 冬、夏兩季於七家灣溪之附生藻生物量皆有自上游至下游逐漸遞增的趨勢，

高山溪在四測站中最低，而有勝溪明顯較七家灣溪和高山溪高出許多。

(3) 浮游藻單位體積生產力冬季以七家灣溪下游最高，夏季以有勝溪最高。附生藻單位面積生產力兩季皆以有勝溪最高，尤其夏季是冬季的九倍。

(4) 冬季七家灣溪上游與高山溪 DIN 及 DIP 濃度均偏低，推測應有營養鹽限制之情形，而七家灣溪下游河段藻類氮源充足，相對而言磷則為缺乏的狀態，因此磷成為七家灣溪下游藻類的限制營養鹽。有勝溪則沒有營養鹽限制之情形。夏季時所有測站因水體中營養鹽濃度已提高，因此沒有營養鹽限制之情形發生。

(5) 附生藻類生物量變化與 DIN 濃度有顯著正向迴歸關係。

由上述營養鹽與藻類之關係研究推測 (林幸助，2003；簡麗鳳和林幸助，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營養物質即 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 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

前述武陵地區高山溪的水質明顯最好，七家灣溪、司界蘭溪則次之，有勝溪最差 (于淑芬，2004；官文惠，2005)；七家灣溪下游與有勝溪可能因農地的施肥導致營養鹽濃度高於其他溪流，而有優養化的現象 (于淑芬，2004；林幸助，2003；簡麗鳳和林幸助，2004)，因此憂慮武陵農場地區的農業活動影響到櫻花鉤吻鮭的棲息環境。

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 (李培芬，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。王敏昭 (1997) 指出武陵農場緩衝林帶 (七家灣溪舊河道) 下坡段處之土壤 EC 值較上坡及中坡段相對為高，顯示武陵農場之種植果樹、蔬菜多年施用之肥料，以沖刷滲流至武陵農場緩衝林帶下坡段處，且在該處

聚積；同時，武陵農場梨樹區表土含最高之可溶性鹽類，茶區含最高之陰離子鹽類營養源，而作為七家灣濱岸保護帶之草原區，則無大量可溶性肥料營養鹽沖刷滲濾至此。

由德基水庫集水區包括梨山地區農地之施肥資料指出 (賴文龍等，1999；2003；2004)，栽培甘藍每期作施用 $N:P_2O_5:K_2O$ 為 200-300:70-90:120-180 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 1,200-1,300:170-190:1,000-1,200 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 ($N-P_2O_5-K_2O$) 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 (官文惠，2005)。

5. 溪水中硝酸鹽的來源與轉化作用

溶解態無機氮包含硝酸鹽 (NO_3^-)、亞硝酸鹽 (NO_2^-) 及銨鹽 (NH_4^+)，此三種含氮物質在不同氧化還原電位及溶氧下可互相轉變，在溶氧飽和狀態下 NO_2^- 含量會最低，而 NO_3^-含量會最高。上述之相關調查研究資料均隱指武陵地區之農業活動是造成該區溪水水質惡化的主因。為了辨別水體中的硝酸鹽 (NO_3^-) 與農業活動施用肥料的關係，可以從 NO_3^-的穩定氮、氧同位素組成的研究來推斷。因不同來源的 NO_3^-會表現出不同的氮和氧同位素特徵值 ($\delta^{15}N$、$\delta^{18}O$)，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)。

溪流水中之 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 (圖 4-2)，或由土壤有機質、有機肥料中氮素經礦化作用轉化成 NH_4^+，再經硝化作用轉化成 NO_3^-；而 NO_3^-可能的輸出則有脫氮作用及藻類吸收的同化作用，但由武陵地區之溶氧測值均在 8 mg/L 以上之現象 (于淑芬，2004；官文

惠，2005；林幸助，2003；簡麗鳳和林幸助，2004)，因此，脫氮作用不易在此區溪流環境中發生。

利用分析水體中 NO_3^-之穩定氮同位素組成來探討水體中之氮來源和轉變的資訊的基本原理，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($\delta^{15}N$、$\delta^{18}O$) (Wassenaar, 1995；Cey et al., 1999；Kendall, 1998)。如圖 4-3 所示 (Kendall, 1998)，大氣沉降的氮之 $\delta^{15}N$ 值約為-4~5‰；商業化學肥料氮的 $\delta^{15}N$ 值範圍為-5~5‰，土壤有機氮的 $\delta^{15}N$ 值範圍為 3~8‰，人類和動物排泄物的 $\delta^{15}N$ 值範圍為 10~25‰ (Kreitler, 1979; Kreitler and Jones, 1975; Girard and Hillaire-Marcel, 1997; Gormly and Spalding, 1979)。

圖 4-3 中，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 NO_3^-之 $\delta^{18}O$ 值分布範圍重疊，其值約為 (-10~10‰)，此時，對這些來源的 NO_3^-來說，$\delta^{15}N$ 值是個較好的鑑別方式；而硝酸態氮肥料或來自大氣沉降的 NO_3^-，其 $\delta^{15}N$ 值則與經硝化作用產生的 NO_3^-重疊，此時無法以 $\delta^{15}N$ 值鑑別可能的來源，但來自大氣沉降及硝酸態氮肥料的 NO_3^-具有較重的氧同位素組成，其 $\delta^{18}O$ 值大於 15‰，因此可藉由 $\delta^{18}O$ 值與硝化作用所產生的 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。

然而在自然界中，各種氮型態的轉變都會涉及同位素分化作用 (isotope fractionation)，此作用可能會造成反應前、後，氮源與相關氮產物的 $\delta^{15}N$ 值改變。所謂同位素分化作用是指當物質發生某種物理或化學變化時，在反應系統中，產物中各元素的同位素含量和反應物會有差異，即同位素以不同的比例分配在產物和反應物中，其分異程度一般以分化係數 (fractionation factor, α) 或以富集係數 (enrichment factor, ε) 表示之，而富集係數與分化係數之關係為 $\varepsilon = (\alpha-1) \times 1000$ (Kendall and Caldwell, 1998; Lajtha and Michener, 1994)。例如植物固氮所產生的 ε 值為-3~1‰，意指植物的 $\delta^{15}N$ 值在固氮作用後會比固氮前增加-3~1‰；水生植物同化作用之 ε 值為-1.6~1‰，但藻類吸收之同化作用有較大之範圍，約為-27~0‰。有機質礦化作用之 ε 值為-1~1‰，硝化作用之值為-29 至

-12‰；氨揮失與脫氮作用均會造成殘質富集 ^{15}N，故氨揮失的 ε 值約為 2 至 3‰，而脫氮作用的 ε 值範圍為-40 至-5‰。上述之 ε 值大都為實驗室之測值，並不能代表實際環境中之反應值 (Kendall, 1998; Mariotti et al., 1988)，因實際環境為多種轉化作用共同作用之結果，且與氮池 (pool) 量之大小相關，也就是說，即使經歷相同之氮的轉變作用，如果氮源量之大小不同，其所顯示之氮同位素分化程度也會不同。因此，實驗室之 ε 測值僅提供作為可能之同位素分化程度的比較參考 (Kendall, 1998)。若以上述各類氮轉化作用之 ε 值而言，藻類吸收之同化作用、硝化作用及脫氮作用所造成之同位素分化程度最為顯著，因此，這些作用會可能會模糊了水體中 NO_3^-之來源的同位素訊號。

上述硝化作用、同化作用和脫氮作用之轉化過程，概述如下：

(1) 硝化作用

硝化作用是由數種微生物由銨態氮獲取能量的複雜氧化程序 (Kendall, 1998)，反應產物除了有硝酸鹽之外還會產生酸性，而不同的反應程序所產生的含氮氧化物有不同的種類 (如 NO_2^-、NO、N_2O)，硝化作用主要可以下列兩種氧化反應來描述：

A. 亞硝化菌氧化

$$NH_4^+ + H_2O \rightarrow NH_2OH + 2[H] + H^+ \quad \ldots\ldots (1)$$

$$NH_2OH + O_2 \rightarrow NO_2^- + [H] + H^+ \quad \ldots\ldots (2)$$

$$\uparrow\downarrow$$

$$H_2O$$

B. 硝化菌氧化

$$NO_2^- + H_2O \rightarrow NO_3^- + 2[H] \quad \ldots\ldots (3)$$

由 (1)、(2)、(3) 三式之反應過程顯示，在理想狀態下，由硝化作用產生之 NO_3^-之氧原子，其中有 2 單位氧來自水分子 (H_2O) 而 1 單位氧來自氧氣 (O_2) (Kumar et al., 1983; Andersson and Hooper, 1983; Hollocher, 1984)，故其所產生之 NO_3^-的 $\delta^{18}O$ 值可由下式推估 (Wassenaar, 1995)：

$\delta^{18}O\ (NO_3) = {}^{2}/_{3}\ \delta^{18}O\ (H_2O) + {}^{1}/_{3}\ \delta^{18}O\ (O_2)$ ..... (4)

其中，大氣中的 O_2 之 $\delta^{18}O$ 通常為+23‰ (Kroopnick and Craig, 1972)。因此，假設環境中有 $\delta^{18}O$ 正常範圍為-25~4‰之水，則在環境中經硝化作用所產生之 NO_3^-的 $\delta^{18}O$ 應具有相對應的值，約為-10~10‰。因此，從水體中 NO_3^-的 $\delta^{18}O$ 值分布情形就可判別硝化作用是否存在。

(2) 同化作用

植物或藻類對 NO_3^-吸收的同化作用 (Assimilation) 可由下列式子表示 (Shear and DeBruyn, 1986)：

$106CO_2 + 138H_2O + 16NO_3^- \rightarrow (CH_2O)_{106}(NH_3)_{16} + 16OH^- + 138O_2$ .... (5)

因植物或藻類對 NO_3^-吸收的同化作用優先攝取 ^{14}N 進入有機體，造成水體中剩餘之 NO_3^-會因富集 ^{15}N 使得 $\delta^{15}N$ 值變重，同時 NO_3^-濃度會相對的減低。

(3) 脫氮作用

微生物之呼吸作用主要由 O_2、NO_3^-與 SO_4^{2-}接受電子，若含水層屬於缺氧環境時，缺少氧氣供應微生物進行呼吸作用，有些生物則自亞硝酸、硝酸或二者中奪取氧素以取代氧氣，氧從亞硝酸或硝酸中被移去則亞硝酸與硝酸就被還原，還原的產物主為氮之氣態物質，包括 NO_2、N_2O 及 N_2 等，由生物性的還原作用把亞硝酸及硝酸還原而行成氣態的氮素物質及其揮發損失，稱為脫氮作用 (Denitrification)。由異營的 *Pseudomonas denitrificans* 所進行的脫氮作用反應如下：

$4NO_3^- + 5C + 2H_2O \rightarrow 2N_2 + 4HCO_3^- + CO_2$ ..... (6)

由 *Rhiobacillus denitrificans* 所進行的脫氮作用則反應如下：

$14NO_3^- + 5FeS_2 + 4H^+ \rightarrow 7N_2 + 10SO_4^{2-} + 5Fe^{2+} + 2H_2O$ ..... (7)

在 NO_3^-被還原成 N_2 過程中，由於微生物優先利用較輕之 NO_3^--^{14}N，產生具較輕 $\delta^{15}N$ 特徵之 N_2 等氣體，使剩餘之 NO_3^-具重之 $\delta^{15}N$ 值，也使 NO_3^-濃度會相對的減低。當具有脫氮能力的微生物將硝酸鹽中的 N 轉變成 N_2 時 (脫氮作用)，生成具較輕同位素 (^{14}N) 組成的氮氣，則殘餘的硝酸鹽會較富集 ^{15}N，因此 $\delta^{15}N$ 值

較高，同時也將硝酸鹽中的氧，轉變為其他的含氧化合物，因此殘餘的硝酸鹽亦會較富集 ^{18}O，因此同步富集的氮、氧同位素會具有一約為 1:2 的線性關係 (圖 4-3，Blackmer and Bremner, 1977; Bryan et al.,1983; Mariotti et al., 1981, 1982)。

上述氮之轉化會造成 NO_3^-之同位素產生分化作用的過程為雷利方程式 (Rayleigh equation) 之指數曲線變化 (Kendall and Caldwell, 1998; Mariotti et al., 1981)，在此分化過程中，NO_3^-與 $\delta^{15}N$ 值之關係可以 $\delta^{15}N_s = \delta^{15}N_{s0} + \varepsilon Ln\ NO_3^-$的關係式表示之 (Mariotti et al., 1988)，其中 $\delta^{15}N_{s0}$ 為初始之同位素組成，NO_3^-與 $\delta^{15}N_s$ 分別代表在時間 t 之 NO_3^-的濃度與其同位素組成。因此，我們可藉由 $LnNO_3^-$與 $\delta^{15}N_s$ 間的關係進一步檢視水體中因轉化作用所造成同位素分化的現象及程度。

6. 集水區水體硝酸鹽之氮氧同位素研究

利用 Kjeldahl 連續蒸餾濃縮法將水體中之 NO_3^-轉換成銨鹽以供質譜儀同位素分析是早期最為廣泛使用的萃取方法 (Bremner, 1965；Bremner and Edwards, 1965；Kendall and Grim, 1990；Velinsky et al., 1989)，但這些方法或有下述之缺點，限制了廣泛利用以穩定氮、氧同位素技術作為研究水體 NO_3^-的機會：(1) 水樣貯存時必須冷藏、酸化或加入有毒物質，(2) 水樣必須運回研究室才能進行研究，(3) 低 NO_3^-濃度的水樣 (0.7-20 μM) 不適用，(4) 蒸餾過程耗時，且可能發生同位素分化或不同樣品間的交互污染，(5) 需大量水樣，(6) 在高溫反應時，裝置樣品之石英試管或 Vycor 試管中常發生破裂而導致試驗失敗 (Silva et al., 2000)。新近發展成熟的以陰離子交換管柱法分析水體中 NO_3^-的穩定氮同位素組成則提供了新的契機 (Chang et al., 1999; Silva et al., 2000)，此法不但適用於低 NO_3^-濃度的水樣，且較方便、經濟，同時也改進了使用 Kjeldahl 蒸餾法所可能發生的誤差，使 $\delta^{15}N$ 值的測定也較為精確，也已成功的應用在集水區、農業活動區及都市地下水等水文環境 NO_3^-污染之研究。

在國內，利用此新近發展成熟的陰離子交換樹脂法收集陸域水體中的

NO_3^-，並測定其氮、氧同位素組成的研究尚屬起步階段。彭宗仁等 (2004) 利用此陰離子交換樹脂法，收集南投地區河水中的 NO_3^-並測定其氮同位素組成，該研究同時測定國內常用肥料的氮同位素組成。結果顯示，一般國內常用肥料之 $\delta^{15}N$ 值可分做三部份 (圖 4-4)：化學肥料如硫銨、尿素之分佈範圍相近，平均值為-0.8‰；動物性糞肥料如雞糞其 $\delta^{15}N$ 值可重達 17.5‰。植物性豆科植物如豆粕、田菁之分佈範圍為-3.0 至 0.3‰；植物性非豆科植物如稻桿、木屑之分佈範圍為 3.4 至 5.2‰，此結果亦與國外文獻相似。而由河水中 NO_3^-之 $\delta^{15}N$ 值季節性的比較顯示，礦化/硝化作用及同化作用是南投地區河水中 NO_3^-的主要輸入與輸出作用；雨季河水之礦化/硝化作用程度大於旱季，但在旱季時，因 NO_3^-的輸入量較少，使得旱季河水中的同化作用特徵會較雨季顯著，此現象尤以位於上游集水區 1 級河川之河水最為明顯。同時，由河水中 NO_3^-之濃度及其 $\delta^{15}N$ 證據意指源自人類活動所可能造成嚴重之 NO_3^-污染在南投地區之河水中並未顯現，河水中 NO_3^-的來源主要與土壤有機氮有關，而位於埔里盆地下游出口河水之 NO_3^-則可能受動物排泄物的影響 (圖 4-4)。

接續范家華 (2005) 分析同屬德基水庫集水區梨山地區水體中 NO_3^-的氮、氧同位素組成特徵，並探討該研究區水體中 NO_3^-的可能來源及轉化作用，結果顯示梨山地區地表水中的 NO_3^-可能主要源自未施肥土壤的有機氮，而上游合歡溪水則受雨水之 NO_3^-進入影響顯著。在該區地下水體中約有 52%之硝酸鹽濃度高於飲用水水質標準 (NO_3^-＞45 mg/L)，而其 NO_3^-則出現明顯的禽畜糞堆肥之同位素訊號 (圖 4-3)，顯示此區地下水明顯受到農業活動施用肥料的影響。同時，比較不同季節的地下水硝酸鹽氮同位素組成與 NO_3^-濃度、pH 及 DO 濃度顯示，雨季地下水受到的同化作用或脫氮作用較旱季明顯。

(二) 研究目的

武陵地區之七家灣溪集水區不僅為櫻花鉤吻鮭保護區，同時武陵地區所屬之大甲溪流域亦為台灣中部地區重要之水資源集水區。由於人為直接、間接與自然因素之影響，不僅導致櫻花鉤吻鮭棲地有惡化現象，造成族群量銳減，亦使得集水區水資源用水的供應及品質受到潛在的威

脅。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。

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。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，進而了解本研究區溪水中硝酸鹽與農業活動之關係。藉此硝酸鹽的氮、氧同位素組成研究之工作，預期達到下列之目標：

1. 了解七家灣溪、桃山溪、高山溪及有勝溪等各溪溪水間硝酸鹽之氮、氧同位素組成特徵的地域性差異，並鑑別各溪溪水中硝酸鹽之可能來源。
2. 了解七家灣溪、桃山溪、高山溪及有勝溪等各溪溪水之硝酸鹽濃度及氮、氧同位素組成之季節性差異現象與硝酸鹽之轉化作用間的關係。
3. 完成七家灣溪、桃山溪、高山溪及有勝溪等各溪溪水之硝酸鹽與農作肥料間關係之評估。

二、材料與方法

(一) 採樣地點

本研究地區為雪霸國家公園東邊之武陵地區，區內包含五個水域：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櫻花鉤吻鮭棲息地，而有勝溪為優養化最為嚴重之溪流。本計畫參考過去水質調查計畫之固定測站 (林幸助，2003)，配合『武陵地區長期生態監測暨生態模式建立』總體計畫之規劃，在四條主要溪流共七個測站進行水體中硝酸鹽之氮、氧同位素研究 (圖 1-3)，包括：桃山西溪武陵吊橋上游之桃山西溪測站 (測站#2)，舊復育中心下游附近之七家灣溪二號壩測站 (測站#3)，七家灣溪一號壩上觀魚臺附近之七家灣溪一號壩測站 (測站#4)，櫻花鉤吻鮭之繁殖場測站 (測站#5)，高山溪一號壩之高山溪測站 (測站#8)，有勝溪下游靠近遊憩區收費站之有勝溪測站 (測站#9) 與司界蘭溪下游 (測站#11)。

選擇此七測站之原因主要是依據林幸助 (林幸助，2003；簡麗鳳和林幸助，2004) 所述，有勝溪測站疑因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；桃山西溪及高山溪測站無人為營養鹽輸入，水體中營養鹽濃度最低；七家灣溪一號壩測站疑因上游二號壩測站一帶有果菜園農業肥料輸入，致使水體中營養鹽濃度偏高；繁殖場測站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測站。據此，林幸助 (2003)、簡麗鳳和林幸助 (2004) 將高山溪 (測站#8) 視為未受人為影響之測站，有勝溪 (測站#9) 則為嚴重受人為干擾之環境，藉以檢視七家灣溪上、中、下三測站 (測站#2、測站#3、測站#4、測站#5) 所呈現受人為影響的程度。

由於本部分研究之主要目標在於追溯水體中 NO_3^-之來源與農業活動關係，低 NO_3^--N 濃度背景值之標本不須過多，因此以 NO_3^--N 平均濃度最低的高山溪 (測站#8) 及桃山西溪 (測站#2) 二站作為本部分研究之背景測站。司界蘭溪上游 NO_3^--N 濃度接近高山溪，因此在司界蘭溪擇取下游測站作為司界蘭溪 (測站#11)

之代表，以檢視是否有人類活動影響。在七家灣溪沿岸，則擇取二號壩 (測站#3)、一號壩 (測站#4)、繁殖場 (測站#5) 分別代表七家灣溪上、中、下游之測站。另選取藻類繁生、高度優養化之有勝溪水測站 (測站#9) 作為與其他測站之比對。2006 年 1 月起增加二個一般測站，包括測站#6 之萬壽橋上游以及測站#7 之迎賓橋下與有勝溪之匯流口，藉以探討七家灣溪下游與有勝溪之匯流效應。

(二) 現場作業

1. 現場測定

現場以電極法測定溫度、pH、EC 和 DO，本計畫採用 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 μm 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，實驗室預先做 1.25 M $CaCl_2$ 溶液淋洗的前處理，參考下述之同位素分析方法) 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。

各測站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 μM 之水樣體積。依本計畫各測站過去之硝酸鹽濃度資料換算，測站 1, 3, 5 約需 5 至 10 L 的水樣體積，而測站 2, 4 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 NO_3^-之濃度分析

NO_3^-之濃度為經由紫外光分光光度計法測定 NO_3-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 NO_3-N 濃度 (NIEA.W419.50A)，而 NO_3^-之濃度是以 NO_3-N 濃度乘上 4.43 (NO_3 與 N 之原子質量比) 換算。所使用之分光光度計機型為 Hitachi U-2001 UV/visible spectrophotometer。

2. 水樣 NO_3^-之氮、氧同位素組成分析

水樣中 NO_3^-之萃取及其氮、氧同位素組成分析參照相關文獻 (Chang et al., 1999; Silva et al., 2000；詹婉君，2004；范家華，2005)，其主要實驗步驟如下：

A. 陰離子管柱前處理

Bio-Rad AG®1-X8, 200-400 mesh 的拋棄式陰離子管柱中加入 2 mL 的 1.25 M $CaCl_2$ 溶液，管柱中的陰離子交換樹脂在處理後吸附基佈滿了 Cl^-，因陰離子交換樹脂對 NO_3^-的親和力大於對 Cl^-的親和力，故管柱中的 Cl^-便可與水樣中的 NO_3^-交換，使 NO_3^-留在管柱中。將此處理過之陰離子管柱帶至採樣現場，作為交換萃取水體中硝酸鹽用。

B. Ag_2O 前處理

為去除 Ag_2O 上硝酸物質的干擾，將 50 g 氧化銀粉末加入 200 mL 去離子水，攪拌數小時後以 Whatman NO.1 濾紙過濾，並以去離子水沖洗至濾液中不含硝酸鹽物質為止，將處理好的 Ag_2O 連同濾紙在 50℃下烘乾，乾燥後將氧化銀壓成粉末避光貯存。

C. $AgNO_3$ 製備

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 Ag_2O 於濾液中並充分攪拌，使溶液 pH 值維持在 5.5-6.0 的範圍以分離 Cl^-和 NO_3^-，其反應式如下：

$$HCl_{(l)} + HNO_{3(l)} + Ag_2O_{(s)} \rightarrow AgCl_{(s)} + AgNO_{(aq)} + H_2O_{(l)} \quad \cdots\cdots (8)$$

接續以 Whatman NO.1 濾紙將 AgCl 沉澱物濾除，再以去離子水將 $AgNO_3$ 溶液

洗出收集於標本瓶中，得到 $AgNO_3$ 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。

D. 氮同位素分析：

將前述部分濾液經冷凍乾燥得到白色 $AgNO_3$ 粉末。$AgNO_3$ 中之穩定氮同位素組成之測定是由氣相質譜儀 (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 N_2，再進入質譜儀分析。在元素分析儀中，固態樣品在 1800℃的條件下，在含有 Cr_2O_3 和銀鈷氧化物的氧化管柱中完全反應成 NO_x。接續 NO_x 進入含有 Cu 的還原管柱中還原成 N_2，反應式如下：

$$NO_{x(g)} + Cu_{(s)} \rightarrow N_{2(g)} + CuO_{(s)} \quad \text{..... (9)}$$

所產生之 N_2 進入 GC column 中，分離出其他雜氣以得到純化之 N_2。

經過元素分析儀所產生的 N_2 通入氣壓計 (Gas controller)，以調節進入質譜儀之樣品 N_2 及標準品 N_2 的濃度。質譜儀測定後，是以 $\delta^{15}N$ 代表標本相對於空氣中氮氣之氮同位素組成，單位以‰表示。$\delta^{15}N$ 之定義如下：

$$\delta^{15}N = \frac{(\frac{^{14}N}{^{15}N})_{sample} - (\frac{^{14}N}{^{15}N})_{std.}}{(\frac{^{14}N}{^{15}N})_{std.}} \times 1000 \quad \text{..... (10)}$$

本計畫利用台大地質科學系和中研院環境變遷研究中心之質譜儀進行氮同位素組成分析，質譜儀型號分別為 Finnigan Delta plus 和 Finnigan Delta plus Advantage。

E. 氧同位素分析：

為準確分析溶液中硝酸鹽的氧同位素組成，所有非 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，其方法如下：

在含硝酸鹽樣品溶液的 30 mL 塑膠瓶中加入 2 mL 1M $BaCl_2$ 溶液使硫酸鹽及磷酸鹽沉澱。加入 $BaCl_2$ 之後再蓋緊置於冰箱隔夜，以使沉澱物澄清。所產生的 $BaSO_4$、AgCl 和 $BaPO_4$ 固體以 0.2 μm 耐龍濾紙濾除，再將樣品通過裝填 4 mL

Bio-Rad 100-200 mesh AG 50W X8 陽離子樹脂的管柱，其交換能力為 1.2 meq/mL × 4 mL = 4.8 meq，過量的 Ba^{2+}和剩餘的 Ag^{+}被管柱中的 H^{+}交換，以 5 mL 去離子水潤洗，於 50 mL 燒杯收集濾液並再以大約 1 g 的 Ag_2O 中和至 pH=6，以 0.2 μm 耐龍濾紙濾除沉澱的 AgCl 和過量 Ag_2O。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，並以 180 rpm 圓周振盪 20 分鐘，以 0.2 μm 25 mm 尼龍濾紙濾除活性碳，活性碳也會吸附硝酸鹽，因此需注意溶液中活性碳加入的比率，或振盪時間不可超過，且要在振盪後立即將活性碳去除。

之後，將產生的硝酸鹽溶液冷凍乾燥後以 2 mL 去離子水水洗入石英管內，經冷凍乾燥之後，樣品中加入 4-5 mg 磨細的石墨粉末，接著將石英管抽真空且以火燒密封。將石英管中的樣品於 850℃ 高溫爐中加熱，反應所產生的 CO_2 以真空系統低溫純化，氣體的產量以壓力計偵測，並轉移到樣品管中密封，以質譜儀分析氧同位素組成。

質譜儀測定後，以 $\delta^{18}O$ 代表標本之氧同位素組成，單位以‰表示。$\delta^{18}O$ 之定義如下：

$$\delta^{18}O = \frac{(\frac{^{18}O}{^{16}O})_{sample} - (\frac{^{18}O}{^{16}O})_{std.}}{(\frac{^{18}O}{^{16}O})_{std.}} \times 1000 \quad \text{.....(11)}$$

其中標本之 $\delta^{18}O$ 換算成相對於世界標準海水標準品 (Vienna Standard Mean Ocean Water, V-SMOW) 的氧同位素組成。本計畫利用中央研究院地球科學研究所之質譜儀進行氧同位素組成分析，所使用的質譜儀型號為 V.G. SIRA-10。

(四) 工作內容與執行現況

本計畫配合『武陵地區長期生態監測暨生態模式建立』之規劃，擬採集武陵地區包括七家灣溪、桃山溪、高山溪及有勝溪共五個測站之溪水，並分析其硝酸鹽之濃度及氮、氧同位素組成。主要工作內容

如下：

1. 以季採樣頻率方式進行，在 2005 年 10 月、2006 年 1, 4 及 6 月進行採樣工作，分別代表秋、冬、春、夏四個不同季節。並於現場測定溫度、pH、EC 和 DO。
2. 建立各季各流域測站水樣硝酸鹽之濃度及其氮、氧同位素組成數據。
3. 比對各季各流域測站水體中硝酸鹽與各種氮源之氮、氧同位素組成特徵值分布範圍，探討溪水中硝酸鹽的可能來源。
4. 比對各季各流域測站水體中硝酸鹽之氮、氧同位素組成與溫度、pH、EC、DO 和硝酸鹽濃度之關係，探討溪水中硝酸鹽的轉化作用。

本年度已完成有七個測站，包括桃山西溪 (測站#2)、七家灣二號 (測站#3) 及一號壩 (測站#4)、繁殖場 (測站#5)、高山溪 (測站#8)、有勝溪 (測站#9) 及司界蘭溪下游 (測站#11)，自 2006 年 1 月起並增加萬壽橋 (測站#6) 及迎賓橋 (測站#7) 二測站之採樣；採樣時間分別於 2005 年 10 月、2006 年 1, 4 和 6 月進行各季節之採樣，並於 7 月時碧利斯颱風 (7/12-15) 過後，在 7 月 23 日進行暴雨後取樣，並於 10 月時接續進行季節性取樣，共完成六次採樣。

三、結果

本研究於 2005 年 10 月、2006 年 1, 4, 6, 7 和 10 月共進行六次採樣，除分析武陵地區水體之現場基本水質及 NO_3^- 濃度，並測定 NO_3^- 之 $\delta^{15}N$ 及 $\delta^{18}O$ 組成。結果分述如下：

(一) 基本水質

武陵地區溪水的 pH 值介於 6.50~8.35 之間 (表 4-1)，DO 之濃度範圍為 5.4~9.5 mg L^{-1}，EC 的範圍則為 144~303 μS/cm，與甲類陸域地面水體之範圍相近 (pH = 6.5~8.5; DO > 6.5 mg L^{-1}; EC < 705 μS/cm)。

(二) NO_3^- 之濃度

2005 年 10 月至 2006 年 10 月間六次的分析顯示，本研究所有測站 NO_3^- 之濃度均低於飲用水水質標準 (45 mg L^{-1})，範圍在 0.20 至 13.1 mg L^{-1} 之間 (表 4-2)。七家灣溪溪水源自桃山西溪，在測站#2 (桃山西溪) 測得 NO_3^- 之濃度為所有測站中最低者 (0.20~0.59 mg L^{-1})，與本研究於 2005 年 12 月 11 日至 2006 年 4 月 20 日收集在當地雨水並分析雨水之 NO_3^- 濃度範圍 (0.1~5.4 mg L^{-1}) 相近，在六次採樣分析中 NO_3^- 濃度均低於 1 mg L^{-1}。高山溪 (測站#8) NO_3^- 濃度為 0.26~1.21 mg L^{-1} 與桃山西溪 (測站#2) 之濃度範圍相近，顯示桃山西溪 (測站#2) 與高山溪 (測站#8) 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測站中 (測站#3, #4, #5, #6, #7)，以測站#5 (繁殖場) 之 NO_3^- 濃度平均值最低，為 1.69 ± 0.56 mg L^{-1}。測站#4 (一號壩) 之 NO_3^- 濃度平均值最高，為 4.95 ± 2.01 mg L^{-1}，在 6 月時其濃度最高可達 7.06 mg L^{-1}。由圖 4-5 顯示五個測站之 NO_3^- 濃度均顯示有季節性變化；在旱期 (2006 年 1 月) NO_3^- 濃度最低，而在雨期 (2006 年 6 月) 時最高。

此外，司界蘭溪下游測站 (測站#11) 之 NO_3^- 濃度 (0.24~1.60 mg L^{-1}) 較七家灣溪之五個測站為低，與桃山西溪 (測站#2) 之 NO_3^- 濃度範圍相近 (0.20~0.59 mg L^{-1})，顯示司界蘭溪下游 (測站#11) 之水體亦屬上游之低溶質濃

度之水體。有勝溪測站(測站#9)之 NO_3^-濃度範圍為 2.77~13.1 mg L^{-1}，其 NO_3^-濃度平均值較其他測站為高，在 2006 年 4 月時達 13.1 mg L^{-1}。

整體而言，桃山西溪與高山溪顯示最低之 NO_3^-濃度 (0.20~1.21 mg L^{-1})，屬低溶質濃度之水體，季節性變異不明顯。七家灣溪的五個測站之 NO_3^-濃度 (0.88~7.06 mg L^{-1}) 顯示有季節變化，在旱期有較低、而雨期有較高之 NO_3^-濃度。有勝溪測站在本研究區出現較高之 NO_3^-濃度 (2.77~13.1 mg L^{-1})，在所有測站中其 NO_3^-濃度相對較高；而司界蘭溪下游之 NO_3^-濃度 (0.24~1.60 mg L^{-1}) 與桃山西溪之濃度範圍相近 (0.20~0.59 mg L^{-1}) 亦屬低溶質濃度之上游集水區水體，且季節性變化不明顯。

(三) NO_3^-之 $\delta^{15}N$ 及 $\delta^{18}O$ 組成

2005 年 10 月至 2006 年 10 月間，NO_3^-之氮同位素組成 ($\delta^{15}N$) 分析結果列於表 4-3，整體而言其 $\delta^{15}N$ 值介於-1.9~8.7‰間。桃山西溪 (測站#2) NO_3^-之 $\delta^{15}N$ 值範圍為 0.2~3.2‰；高山溪 (測站#8) 之 $\delta^{15}N$ 值範圍為-1.6~2.6‰，與桃山西溪 (測站#2) 之 $\delta^{15}N$ 值範圍相近。七家灣溪各測站 NO_3^-之 $\delta^{15}N$ 值的分布範圍為-1.9~6.4‰。司界蘭溪下游 (測站#11) NO_3^-之 $\delta^{15}N$ 值的分布範圍為 0.1~2.6‰；有勝溪 (測站#9) NO_3^-之 $\delta^{15}N$ 值範圍為-1.8~8.7‰。

2006 年 4, 6, 7 和 10 月 NO_3^-之氧同位素組成 ($\delta^{18}O$) 分析結果列於表 4-4，$\delta^{18}O$ 值之範圍為-17~9‰。桃山西溪 (測站#2) NO_3^-之 $\delta^{18}O$ 值範圍為-12~7‰；高山溪 (測站#8) 之 $\delta^{18}O$ 值範圍為-15~9‰。七家灣溪各測站 NO_3^-之 $\delta^{18}O$ 值的分布範圍為-11 至-0.4‰。司界蘭溪下游 (測站#11) NO_3^-之 $\delta^{18}O$ 值的分布範圍為 -17.3~0.1‰；有勝溪 (測站#9) NO_3^-之 $\delta^{18}O$ 值範圍為-10 至-9‰。

整體而言，上游背景測站 (桃山西溪、高山溪及司界蘭溪下游) 之 $\delta^{15}N$ 值變異較小，但 $\delta^{18}O$ 值變異較大，而有勝溪測站則相反，$\delta^{15}N$ 值變異大，而 $\delta^{18}O$ 值變異小。七家灣溪主河道內各測站 $\delta^{15}N$ 與 $\delta^{15}N$ 值之變異程度則介於中間。

四、討論

(一) 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 (夏等人，2002)，彭等人 (2004) 分析台灣一般常用肥料之 $\delta^{15}N$ 值顯示，化學肥料如硫酸銨及尿素的 $\delta^{15}N$ 值分別為-0.8 ± 0.7‰及-0.8 ± 0.3‰，雞糞之 $\delta^{15}N$ 值為 17.5 ± 0.3‰ (圖 4-4)，其結果與國外文獻中各種可能氮源之 $\delta^{15}N$ 特徵值分布範圍相符合。本研究根據圖 4-4 所顯示不同來源的氮具有不同的同位素組成分布，比較七家灣溪流域水體中 NO_3^-的 $\delta^{15}N$ 特徵值，據以初步推測水體 NO_3^-之可能來源 (圖 4-8)。

在圖 4-8 中，雨水源之 $\delta^{15}N$ 特徵值分布與化肥源之特徵值重疊，約在-4~4‰間；而桃山西溪 (測站#2) 與高山溪 (測站#8) 各次之 $\delta^{15}N$ 測值均落在此範圍內。但以前述此二測站均屬上游 NO_3^-濃度甚低之背景水體，且屬自然深林的環境判斷，此二測站水體之 NO_3^-受人類活動影響之因素甚微，因此推測其水體中之 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測站 NO_3^-之 $\delta^{15}N$ 的分布範圍特徵顯示 (圖 4-8)，各測站於 2005 年 10 月至 2006 年 4 月雨量較少時 NO_3^-之來源主要與土壤氮源有關；而在 2006 年 7 及 10 月雨季時其來源則與雨水或化學肥料有關。

以七家灣溪主河道水體中 NO_3^-之 $\delta^{15}N$ 組成的空間變化而言，在旱期 (2005 年 10 月至 2006 年 4 月) 時似有由上游向下游變重 ($\delta^{15}N$ 值變高) 的現象，顯示在七家灣溪的河道中在往下流動的過程中，漸由上游之雨水來源訊號逐漸在下游出現土壤氮的訊號，且 NO_3^-之濃度亦是向下游增加。此變化顯示，在往下流動的過程中，可能有因硝化作用造成 NO_3^-之逐漸進入。但在繁殖場測站 (測站#5)，其 NO_3^-之 $\delta^{15}N$ 組成有明顯變輕 ($\delta^{15}N$ 值變低) 的情形，此現象可能是受到高山溪的低 NO_3^-濃度及較低 $\delta^{15}N$ 值溪水匯入七家灣溪主河道之影響所造成，但雨期則無此現象。

司界蘭溪下游測站 (測站#11) 水體中 NO_3^-之 $\delta^{15}N$ 特徵值的分布範圍與桃山西溪與高山溪二測站相似，可能仍是受雨水源影響為主。有勝溪 (測站#9) NO_3^-之 $\delta^{15}N$ 值在 2005 年 10 月與 2006 年 1 月時分別為 3.4 與 4.9‰，顯示其 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，且 4 月採樣之 NO_3^-濃度為最高 (13.10 mg L^{-1})，應是受與物排泄物有關之有機肥料的影響；而 7 及 10 月時 $\delta^{15}N$ 值減輕至 1.9 與-1.8‰，顯示其來源與雨水或化學肥料有關。

綜合氮、氧同位素組成分布與文獻之範圍比較顯示 (圖 4-7)，本研究採樣水體之氮、氧同位素組成範圍分別是-1.9~8.7‰與-17~9‰，大部分採樣點落於雨水 ($\delta^{15}N$ 值-4~5‰) 或化學肥料 ($\delta^{15}N$ 值-5~5‰) 與土壤氮 ($\delta^{15}N$ 值 3~8‰) 經硝化作用 ($\delta^{18}O$ 值-10~10‰) 產生之 NO_3^-的範圍，顯示本研究水體中之 NO_3^-來源主要來自不同氮源的硝化作用，而無來自 NO_3^-直接進入的現象。

整體而言，桃山西溪、高山溪與司界蘭溪下游之 NO_3^-的來源主要與雨水有關，七家灣溪主河道各測站在旱季時之 NO_3^-來源主要以土壤氮源為主，在雨季時與雨水或化學肥料要關。有勝溪之 NO_3^-來源主要以土壤氮源為主，但有勝溪在 4 及 6 月時顯示有動物排泄物之有機肥來源的訊號；在 7 及 10 月時有雨水或化學肥料的訊號。因此，本研究之溪流水體中 NO_3^-的來源可能有雨水、土壤氮、人為施用的化學肥料及動物排泄物之有機肥料等，以下以水體中 NO_3^-之濃度與 $\delta^{15}N$ 特徵值，進一步探討各測站水體中 NO_3^-受不同端點氮源的混合作用。

(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 NO_3^-為離子濃度值，故常以 $1/NO_3^-$值與 $\delta^{15}N$ 兩者的直線關係探討水體中 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 4-7 之初步推測，本研究區水體中 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 NO_3^-的混合作用。

由 2005 年 12 月至 2006 年 4 月武陵工作站雨水之 NO_3^-濃度測定顯示，其

濃度分布範圍為 0.1~5.4 mg L^{-1}，中值為 0.9 mg L^{-1}。但本研究桃山西溪測站 (測站#2) 之 NO_3^-濃度較武陵工作站雨水為低，2005 年 10 月至 2006 年 10 月之 NO_3^-濃度平均值 0.35 mg L^{-1}，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，二地區雨水之 NO_3^-濃度值可能略有差異。一般均假設雨水之 $\delta^{15}N$ 值為 0‰，因此，在本研究中，以 NO_3^-濃度值及 $\delta^{15}N$ 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 4-8，R 點)，另一為以桃山西溪測站代表上游背景雨水端點 (圖 4-8，A 點)，圖 4-8 中二點之差異在於 NO_3^-濃度。

土壤氮部分，依據范 (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 NO_3^-的濃度平均值 6.91 mg L^{-1} 及其 $\delta^{15}N$ 平均值 6.5‰，作為本研究土壤氮端點來源特徵值 (圖 4-8，B 點)。因 NO_3^-之飲用水質標準相當於 45 mg L^{-1}，假設以 NO_3^-之濃度為 45 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 $\delta^{15}N$ 特徵值與雨水相同為 0‰，而動物排泄物堆肥如乾雞糞之 $\delta^{15}N$ 特徵值平均為 17.5‰左右 (彭等人，2004)，故在圖 4-8 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，探討各測站水體中 NO_3^-的混合作用現象。

圖 4-8 顯示，在以桃山西溪測站做為上游山區集水區雨水的情形下，高山溪 (測站#8) 之 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。在 2005 年 10 月與 2006 年 6 及 7 月，高山溪 (測站#8) 落於武陵工作站雨水與上游背景雨水端點的混合線上；在 2006 年 1 及 10 月顯示與上游背景雨水有關，4 月時與武陵地區降雨較為有關。因此，高山溪測站水體中 NO_3^-之來源主要與雨水源有關。

以七家灣溪主河道各測站而言，在 2005 年 10 月時 2 號壩 (測站#3) 與 1 號壩 (測站#4) 之 NO_3^-接近土壤氮 (B 點) 與化學肥料來源 (C 點) 混合線上的 M 點 (圖 4-8)；因此，此二測站水體中 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 (測站#5) 之測點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，所有的主河道各測站均落於土壤氮源、武陵工作站與上游背景雨水端點源的混合區域內；4 月時，各測站之特徵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 月時除繁殖場站接近土壤氮與上游背景雨水端點源的混合線，主河道之其他測站均分布於土壤氮、工作站雨水與化學肥料來源端點之混合區域內；7 月為颱風後之採樣，結果顯示主河道所有測站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；10 月時二號壩 (測站#3) 接近土壤氮與工作站雨水端點之混合線，一號壩 (測站#4) 與迎賓橋 (測站#7) 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 (測站#5) 與萬壽橋 (測站#6) 之同位素組成接近高山溪站 (測站#8，$\delta^{15}N$ = -1.8‰)，但濃度高了 6 倍之多，可能有除雨水之外其他的 NO_3^- 來源。圖 4-8 亦顯示在 2006 年 1, 4 及 7 月時繁殖場 (測站#5) 均較其他測站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。

司界蘭溪下游 (測站#11) 在 2005 年 10 月與 2006 年 6 月時 NO_3^-之 $\delta^{15}N$ 落於武陵工作站雨水、上游背景雨水與土壤氮源三端點的混合範圍內；2006 年 1 月時 NO_3^-之濃度及 $\delta^{15}N$ 特徵值與上游雨水背景之桃山西溪和高山溪相似；在 4 月時則顯示主要源自武陵工作站雨水端點；7 及 10 月時則落於上游背景與武陵工作站之雨水端點的混合線上，由上述各次分析結果顯示司界蘭溪之氮同位素組成受雨水影響顯著。

有勝溪測站 (測站#9) 之 NO_3^-在 2005 年 10 月時與七家灣溪主河道的二號壩 (測站#3)、一號壩 (測站#4) 測站之分佈相似，為土壤氮源與化學肥料源混合的結果 (圖 4-8，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，有勝溪測站較高之 $\delta^{15}N$ 特徵值顯示其曾受到動物排泄物肥料影響 (圖 4-8，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 (測站#5)、萬壽橋 (測站#6) 測站之分佈相近，可能是受化學肥料的影響。

如上所述，七家灣溪主河道測站水體中 NO_3^-主要為來自土壤氮源 (B 點) 與雨水源 (A, R 點) 混合作用的影響，2005 年 10 月與 2006 年 7 和 10 月則有化學肥料訊號出現。而溪流的主流與支流在匯流區帶亦可能造成 NO_3^-的混合現象，高山溪是在一號壩與繁殖場之間匯流入七家灣溪，因此，繁殖場測站 (測站#5) 水體之 NO_3^-特徵可能受此主、支流匯流作用的影響。由圖 4-5 各測站 NO_3^-的濃度比較顯示，繁殖場測站 (測站#5) 歷次 NO_3^-的濃度均介於一號壩 (測站#4) 與高山溪 (測站#8) 二者之濃度間；而圖 4-6 中除 2006 年 6 月之測值外顯示繁殖場測站 NO_3^-之特徵分布落在一號壩測站與高山溪測站二者的混合線上，亦說明此主、支流匯流作用所造成 NO_3^-發生混合作用的情形。

整體而言，桃山西溪與高山溪之 NO_3^-主要呈現雨水源的訊號，七家灣溪則為土壤氮源和雨水源混合的結果，但部分時期出現化學肥料的訊號。司界蘭溪下游之 NO_3^-則與桃山西溪和高山溪的情況相似，主要與雨水來源有關。有勝溪 NO_3^-之來源依不同季節而有差異，如在 2005 年 10 月與 2006 年 7 月主要為土壤氮源與化學肥料源混合的結果；2006 年 1 月則主要為土壤氮源與雨水源混合的結果，而在 4 和 6 月時，較高之 $\delta^{15}N$ 特徵值顯示其曾受到動物排泄物之有機肥料源影響；10 月時則可能有化學肥料的影響。

(三) NO_3^-來源之季節變化

從上一節不同氮源的混合作用討論中顯示，七家灣溪主河道採樣點 (測站#3, #4, #5, #6, #7) 之 NO_3^-來源在各採樣月之間有明顯差異，其中以 2006 年 1 月 (旱期) 與 7 月 (雨期) 之差異最明顯。在旱期時，主河道各測站之測值均分布於上游背景雨水端點 (A 點)、土壤有機氮 (B 點) 與武陵工作站雨水 (R 點) 之混合區域內，但接近土壤氮源之端點，顯示土壤氮之來源明顯；在雨期時，則主河道所有測站之分布均接近武陵工作站雨水 (R 點) 與化學肥料來源端點 (C 點) 之混合線，且除繁殖場 (測站#5) 較接近工作站雨水端點之外，其餘四測站顯示與化學肥料來源關係密切。綜合可知，旱期時土壤氮源顯著；雨期時雨水與化學肥料來源明顯，而土壤氮之來源則不明顯。

由上述顯示七家灣溪主河道各測站之 NO_3^-來源有季節性變化，本研究進一步利用各採樣月測值探討七家灣溪主河道內各測站水體 NO_3^-來源之季節性連續變化。在 2005 年 10 月時氣候型態由夏季之雨期轉變為秋冬之旱期，此時七家灣溪水 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 4-8 a)。2006 年 1 月時為旱期，此時水體中 NO_3^-來源主要為土壤有機氮與上游集水區雨水 (圖 4-8 b)。4 月時春雨顯著，此時水體中 NO_3^-主要來源為武陵當地雨水與土壤有機氮 (圖 4-8 c)。6 月進入雨期，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 4-8 d)。7 月時 NO_3^-來源為武陵當地雨水與化學肥料 (圖 4-8 e)，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，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 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 NO_3^-之來源情況大致雨 7 月相似，但由二號壩 (測站#3) 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 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。

五、結論

本研究於 2005 年 10 月、2006 年 1, 4, 6, 7, 10 月分析各測站溪流水體中 NO_3^-之濃度及探討 $\delta^{15}N$、$\delta^{18}O$ 特徵值分布情形，結果如下：

1. 以 NO_3^-濃度而言，桃山西溪與高山溪顯示最低之 NO_3^- 濃度 (0.20~1.21 mg L^{-1})，屬於低溶質濃度之水體；七家灣溪的五個測站之 NO_3^-濃度 (0.88~7.06 mg L^{-1}) 有季節變化，雨季時期之濃度大於旱季。在所有測站中，有勝溪測站顯示較高之 NO_3^-濃度 (2.77~13.1 mg L^{-1})；而司界蘭溪下游之 NO_3^-濃度 (0.24~1.60 mg L^{-1}) 與桃山西溪之 NO_3^-濃度範圍相近 (0.20~0.59 mg L^{-1}) 亦屬低溶質濃度之上游集水區水體。
2. 由水體中 NO_3^-之 $\delta^{15}N$ 及 $\delta^{18}O$ 分析顯示，本研究水體中之 NO_3^-來源均為不同氮源經硝化作用產生；而來自 NO_3^-直接進入水體之情況不明顯。由各測站水體 NO_3^-來源探討顯示，桃山西溪、高山溪與司界蘭溪下游三測站水體 NO_3^-之 $\delta^{15}N$ 較七家灣溪主河道各測站為低；而 $\delta^{15}N$ 最高值出現在有勝溪測站。桃山西溪與高山溪 NO_3^-之來源主要與雨水有關；七家灣溪則與土壤氮、雨水源及化學肥料來源有關，但有季節性差異。雨期時雨水與化學肥料來源明顯，而土壤氮源不明顯，而在旱期時則土壤氮及雨水來源明顯。司界蘭溪下游之 NO_3^-則與桃山西溪和高山溪的情況相似，主要與雨水來源有關。有勝溪 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，但其肥料來源訊號較其他測站明顯。

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 1997 緩衝帶對營養鹽之截流作用。水土保持學報 29:69-92。

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。內政部營建屬雪霸國家公園管理處委託研究報告。

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。

汪靜明 1992 大甲溪魚類棲地改善之生態評估研究。台灣電力公司八十年度研究發展計畫。

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。

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。中興大學土壤環境科學系碩士論文。

財團法人資源及環境保護服務基金會 2003 德基水庫集水區水質監測與管理計畫(1/5)。經濟部水利署。

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。

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 NO3-之來源及轉化。土壤與環境 7(3,4):167-182。

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○○一號。行政院農業委員會。

詹婉君 2003 南投地區地表水之水化學及氮同位素特徵研究。中興大學土壤環境科學系碩士論文。

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。

Andersson KK, Hooper AB (1983) O2 and H2O and each the source of one O in NO2 produced from NH3 by Nitrosomonas: 15N evidence. FEBS Letters 164:236-240

Blackmer AM, Bremner JM (1977) Nitrogen isotope discrimination in denitrification of nitrate in soils. Soil Biol Biochem 9:73-77

Bremner JM, Edwards AP (1965) Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: I. Apparatus and procedure for distillation and determination of ammonium. Soil Sci Soc Am Proc

29:504-507

Bremner JM (1965) Isotope-ratio analysis of nitrogen in nitrogen-15 tracer investigations. In: Vlack CA (ed.) Methods of Soil analysis. Part 2. Agronomy 9:1256-1286

Bryan BA, Shearer G, Skeeters JL, Kohl DK (1983) Variable expression of the nitrogen isotope effect associated with denitrifaction of nitrate. J Bio Chem 258:8613-8317

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 δ15N and δ18O 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 15N/14N 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

Hollocher TC (1984) Source of the oxygen atoms of nitrate in the oxidation of nitrite by Nitrocacter agilis and evidence against a P-O-N anhydride mechanism in oxidative phosphorylation. Arch biochem biophys 233:721-727

Kendall C, Caldwell EA (1998) Fundamentals of Isotope Geochemistry. In: Kendall C, McDonnell JJ (eds) ch. 2. Isotope Tracers in Catchment Hydroligy. Elservier, Amsterdam P:51-86

Kendall C, Grim E (1990) Combustion tube method for measurement of nitrogen isotope ratios using calcium oxide for total removal of carbon dioxide and water. Anal Chem 62:526-529

Kendall C (1998) Tracing Nitrogen Sources and Cycling in Catchments. In: Kendall C, McDonnell JJ (eds) ch. 16. 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

Kroopnick PM, Craig H (1972) Atmospheric oxygen: Isotopic composition and solubility fractionation. Science 175:54-55

Kumar SD, Nicholas JD, Williams EH (1983) Definitive 15N NMR evidence that water serves as a source of ‘O’ during nitrite oxidation by Nitrobacter agilis. FEBS Letters 152:71-74

Lajtha K, Michner R (1994) Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science. Blacnwell, London.

Mariotti A, Landreau A, Simon B (1988) 15N isotope biogeochemistry and natural denireification process in groundwater: Application to the chalk aquifer of northern Frances. Geochim Cosmochim Acta 52:1869-1878

Mariotti A, Germon JC, Leclerc A, Catroux G, Letolle R (1982) Experimental determination of kinetic isotope fractionation of nitrogen isotopes during denitrification. In: Schmidt HL et al. (eds). Stable Isotopes. Elsevier, Amsterdam P:459-464

Mariotti A, Germon JC, Hbert P, Kaiser P, Letolle R, Tardieux A, Tardieux P

(1981) Experimental determination of nitrogen Kinetic isotope fractionation: some principles: Illustration for the denitrification and nitrification processes. Plant Soil 62:423-430

Shearer JA, DeBruyn ER (1986) Photoplankton productivity responses to direct addition of sulfuric and nitric acids to the waters of a double-basin lake. Water, Air, Soil Pollu 30:695-702

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

Velinsky DJ, Cifuentes LA, Pennock JR, Sharp H, Fogel ML (1989) Determination of the isotope composition of NH4+-nitrogen at the natural abundance level from estuarine water. Marine Chem 26:351-361

Wassenaar LI (1995) Evaluation of the origin and fate of nitrate in the Abbotsford Aquifer using the isotopes of 15N and 18O in NO3-. Appl Geochem 10:391-405

表 4-1 武陵地區水體現場測定水質項目之敘述性統計

統計值	pH	DO (mg L^{-1})	EC (μS cm^{-1})	T (℃)
平均值	7.61	7.2	206	14.5
中間值	7.79	7.0	197	14.2
眾數	7.80	6.8	181	12.2
標準偏差	0.49	1.0	43	2.4
變異數	0.24	1.0	1813	5.7
峰度	-0.782	-0.355	-0.492	0.296
偏態	-0.344	0.488	0.455	0.600
範圍	1.85	4.1	170	11.6
最小值	6.50	5.4	133	9.4
最大值	8.35	9.5	303	21.0
標本數	52	51	52	52

表 4-2 本研究水體之 NO_3^- 濃度

採樣站	採樣月份	2005	2006					Range	Average	Stdev	CV
		Oct.	Jan.	Apr.	Jun.	Jul.	Oct.				
		----------mg L^{-1}----------						---------- mg L^{-1}----------			%
2	桃山西溪	0.33	0.20	0.59	0.25	0.43	0.33	0.20~0.59	0.35	0.14	39
3	二號壩	4.45	1.02	1.86	4.45	3.36	2.68	1.02~4.45	2.97	1.39	47
4	一號壩	7.03	2.23	3.06	7.06	5.61	4.73	2.23~7.06	4.95	2.01	41
5	繁殖場	1.50	0.88	1.57	2.59	1.73	1.86	0.88~2.59	1.69	0.56	33
6	萬壽橋	--	1.53	3.15	4.58	4.00	3.09	1.53~4.58	3.27	1.15	35
7	迎賓橋	--	1.69	5.24	4.93	4.39	4.41	1.69~5.24	4.13	1.41	34
8	高山溪	0.57	0.26	1.21	0.52	0.68	0.40	0.26~1.21	0.60	0.33	54
9	有勝溪	5.55	2.77	13.1	6.24	6.95	6.61	2.77~13.1	6.87	3.40	49
11	司界蘭下游	0.95	0.24	1.60	0.73	0.89	0.50	0.24~1.60	0.82	0.46	57

表 4-3　2005 年 10 月與 2006 年 1, 4, 6, 7 及 10 月時水體 NO_3^- 之 $\delta^{15}N$ 組成

採樣站	採樣月份	2005	2006					Range	Average	Stdev.
		Oct.	Jan.	Apr.	Jun.	Jul.	Oct.			
		----------‰----------						----------‰----------		
2	桃山西溪	1.06	0.79	0.24	N/A	3.22	1.08	0.24~3.22	1.28	1.14
3	二號壩	2.97	3.81	3.62	3.98	-0.57	3.08	-0.57~3.98	2.82	1.71
4	一號壩	2.53	5.05	5.04	1.94	-0.07	-0.19	-0.19~5.05	2.38	2.33
5	繁殖場	2.88	3.05	1.15	6.40	0.16	-1.32	-1.32~6.40	2.05	2.70
6	萬壽橋	--	5.02	3.85	4.72	-0.11	-1.91	-1.91~5.02	2.31	3.13
7	迎賓橋	--	3.95	5.42	4.48	-0.29	0.16	-0.29~5.42	2.74	2.62
8	高山溪	0.08	2.56	-1.64	0.13	0.21	-1.47	-1.64~2.56	-0.02	1.51
9	有勝溪	3.37	4.86	8.74	7.61	1.88	-1.79	-1.79~8.74	4.11	3.86
11	司界蘭下游	1.84	2.57	0.29	1.28	0.27	0.07	0.07~2.57	1.05	1.01

表 4-4　2006 年 4, 6, 7 及 10 月時水體 NO_3^- 之 $\delta^{18}O$ 組成

採樣站	採樣月份	2006				Range	Average	Stdev.
		Apr.	Jun.	Jul.	Oct.			
		----------‰----------				----------‰----------		
2	桃山西溪	-4.8	6.7	-11.7	3.4	-11.7~6.7	-1.6	8.3
3	二號壩	-7.8	-8.9	-7.9	-6.5	-8.9~-6.5	-7.8	1.0
4	一號壩	-9.4	-11.3	-8.9	-8.8	-11.3~-8.8	-9.6	1.2
5	繁殖場	-1.5	-6.7	-0.4	-2.4	-6.7~-0.4	-2.7	2.8
6	萬壽橋	-7.0	-10.0	-6.1	-4.7	-10.0~-4.7	-6.9	2.2
7	迎賓橋	-5.6	-8.9	-5.1	-7.7	-8.9~-5.1	-6.8	1.8
8	高山溪	-15.3	9.2	-2.8	-14.6	-15.3~9.2	-5.9	11.6
9	有勝溪	-9.3	-10.0	-10.2	-9.6	-10.2~-9.3	-9.8	0.4
11	司界蘭下游	-10.0	-3.9	0.1	-17.3	-17.3~0.1	-7.8	7.6

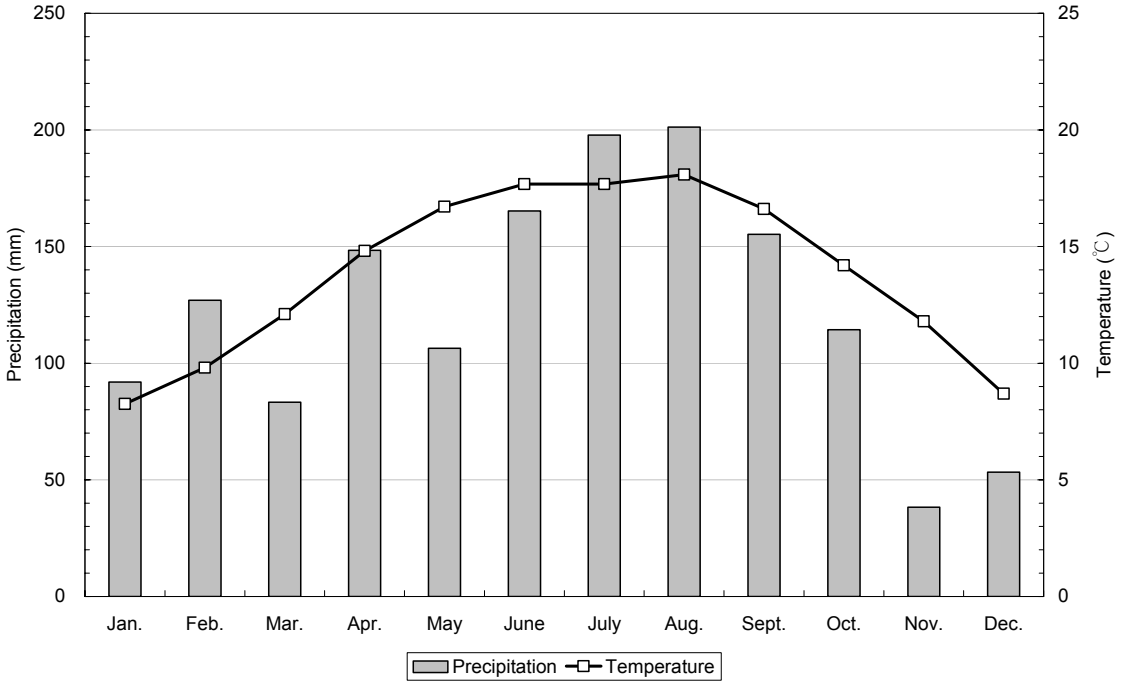


圖 4-1 武陵地區之歷年雨量及氣溫記錄 (2002 至 2005 年)

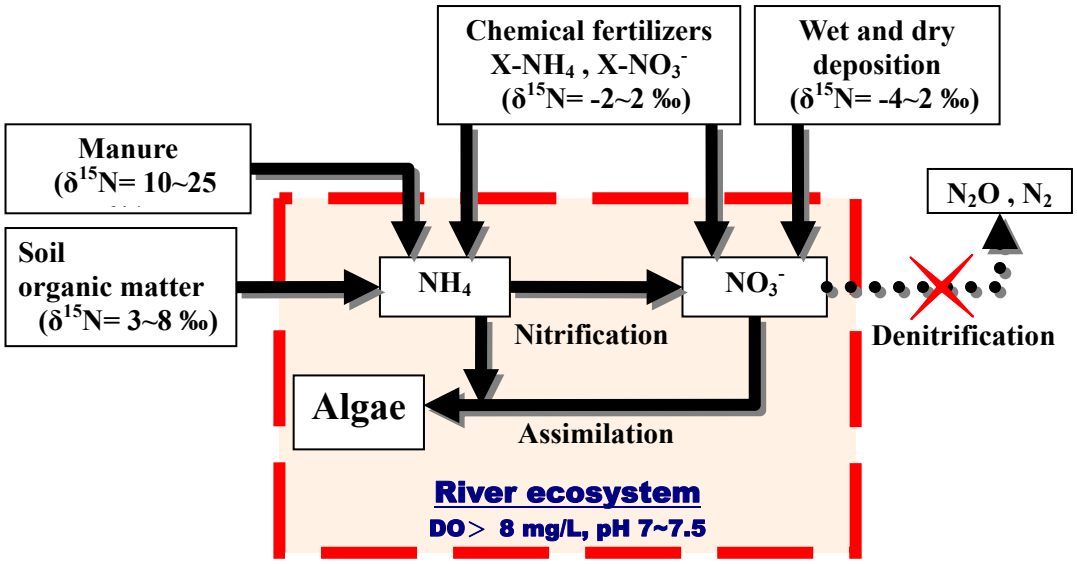


圖 4-2 河流生態系流域中氮之輸入與輸出示意圖

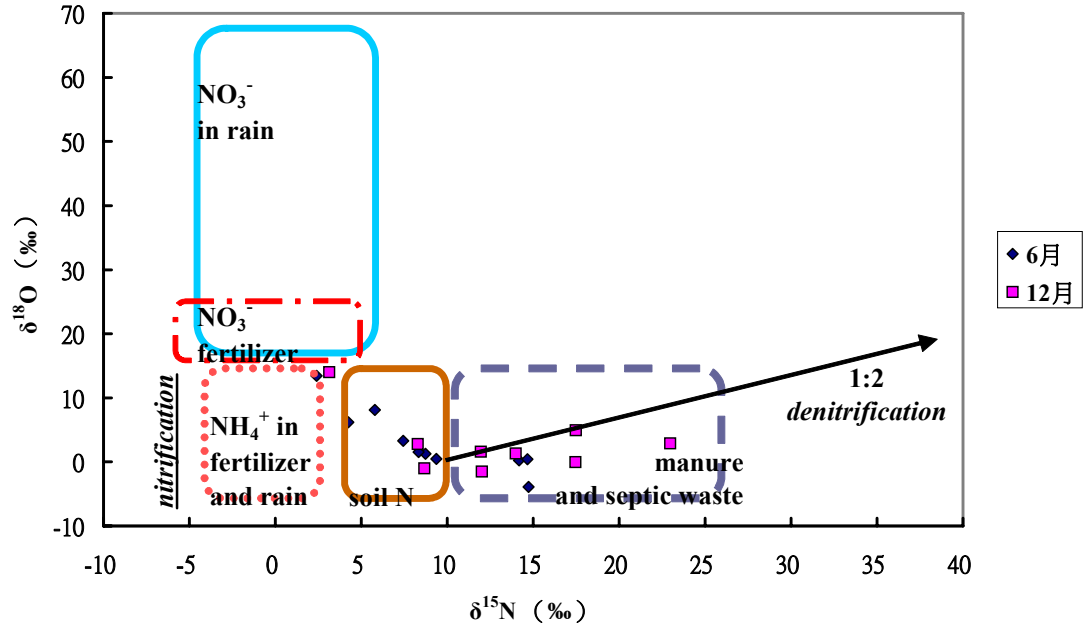


圖 4-3 各種來源硝酸鹽之氮、氧同位素組成分佈範圍圖。圖中數據點為梨山地區水體硝酸鹽之氮、氧同位素組成 (范家華，2005)。

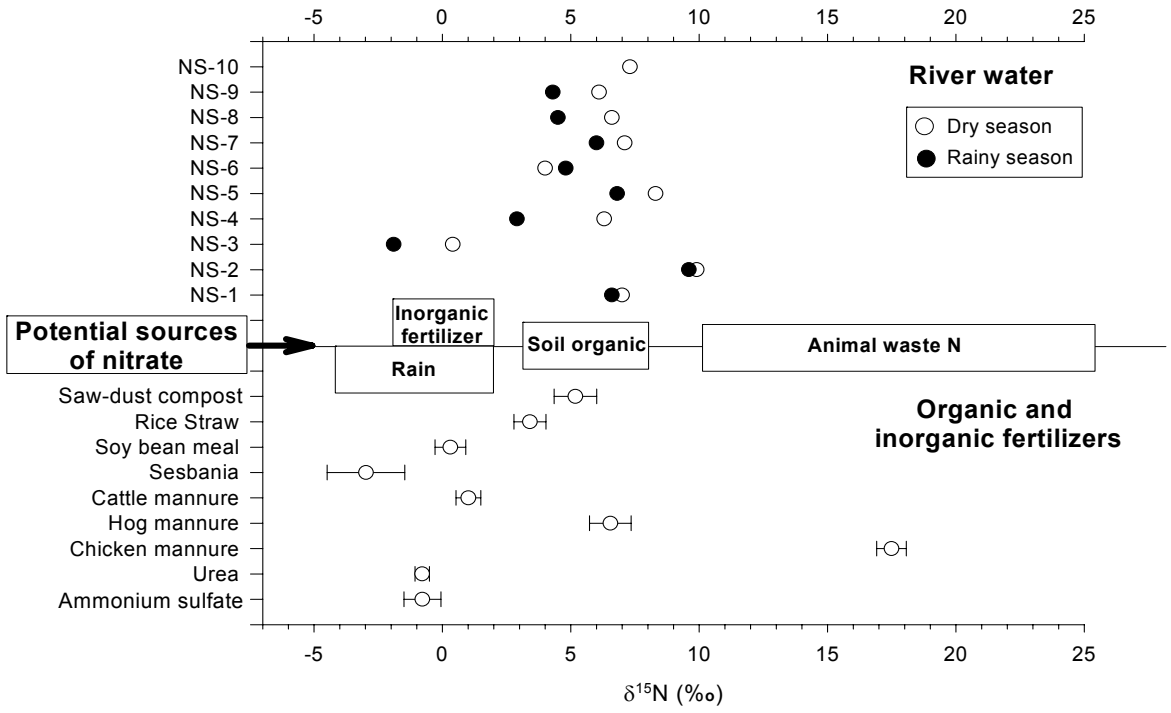


圖 4-4 各類肥料及南投地區河水中硝酸鹽之 $\delta^{15}N$ 分佈圖 (彭宗仁等，2004)。

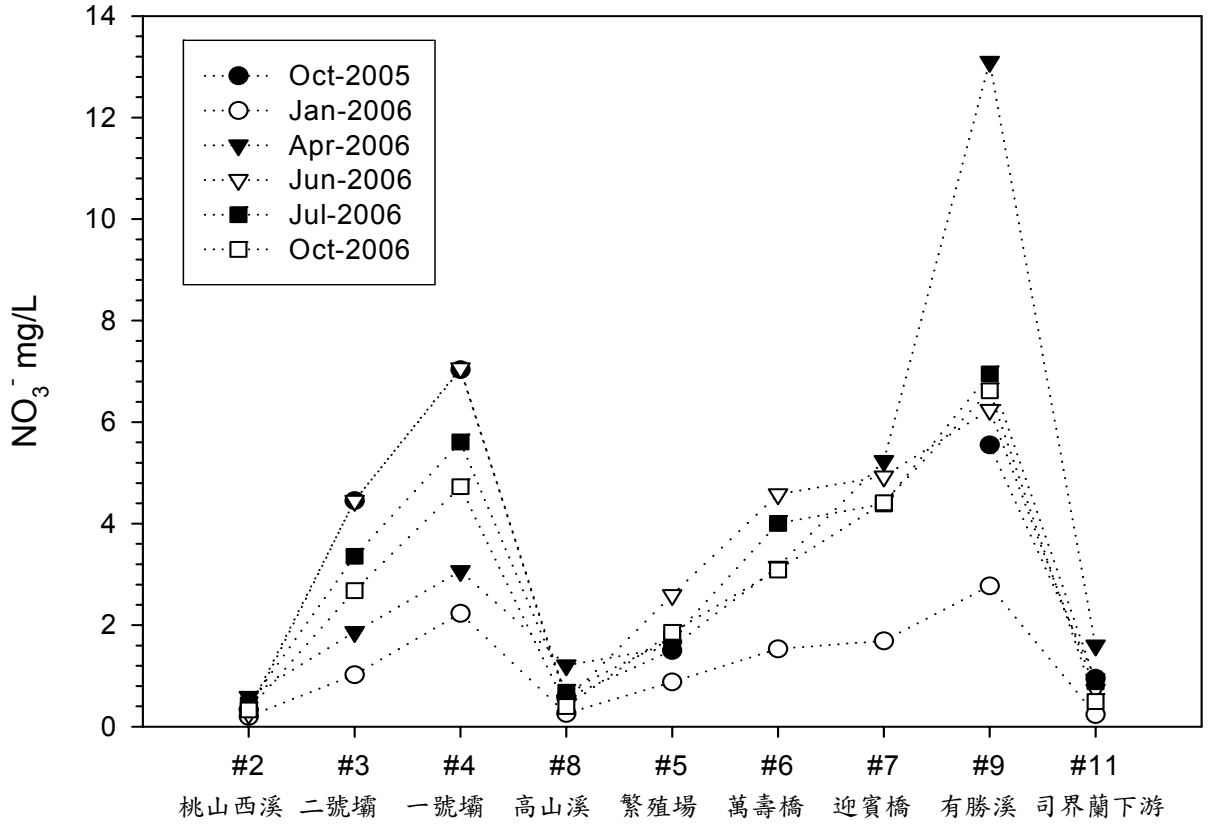


圖 4-5 本研究水體之 NO_3^- 濃度變化圖

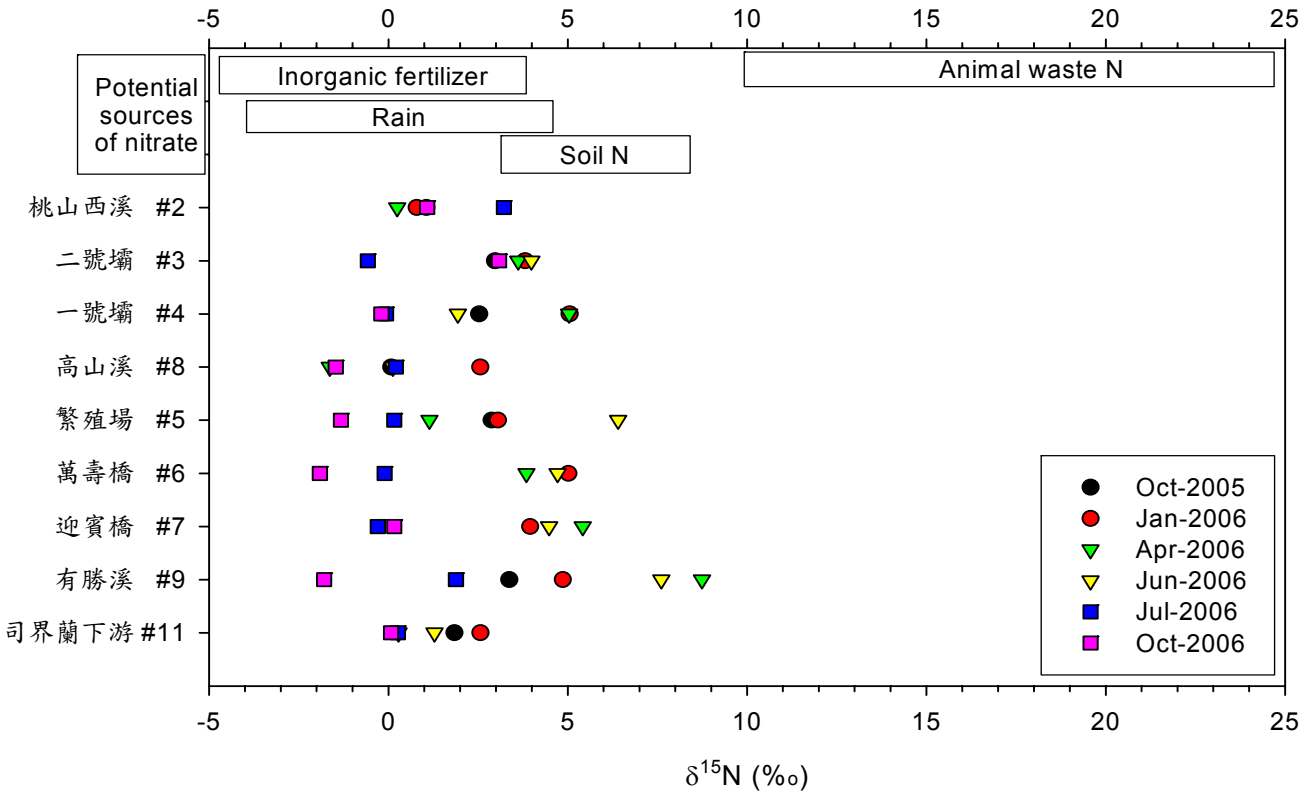


圖 4-6 本研究各水體中 NO_3^- 之 $\delta^{15}N$ 值的分布與各種來源之 $\delta^{15}N$ 值範圍比較

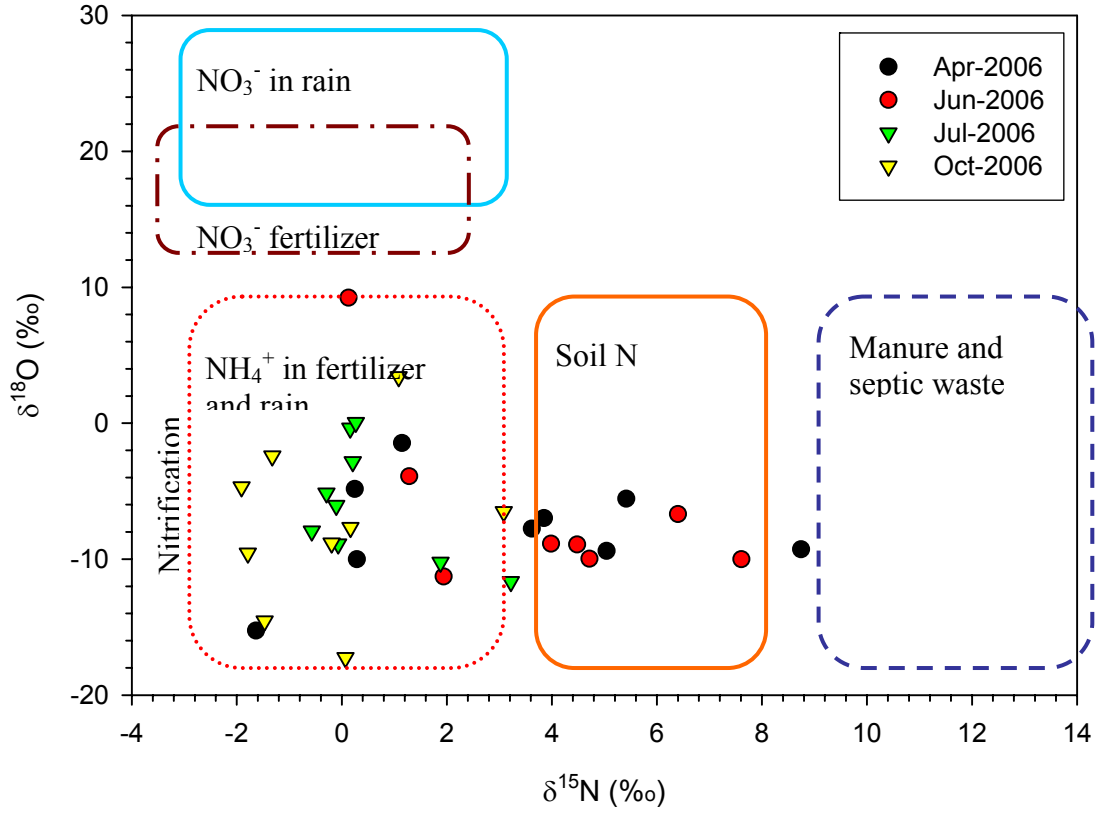


圖 4-7 本研究水體之氮、氧同位素組成分布圖

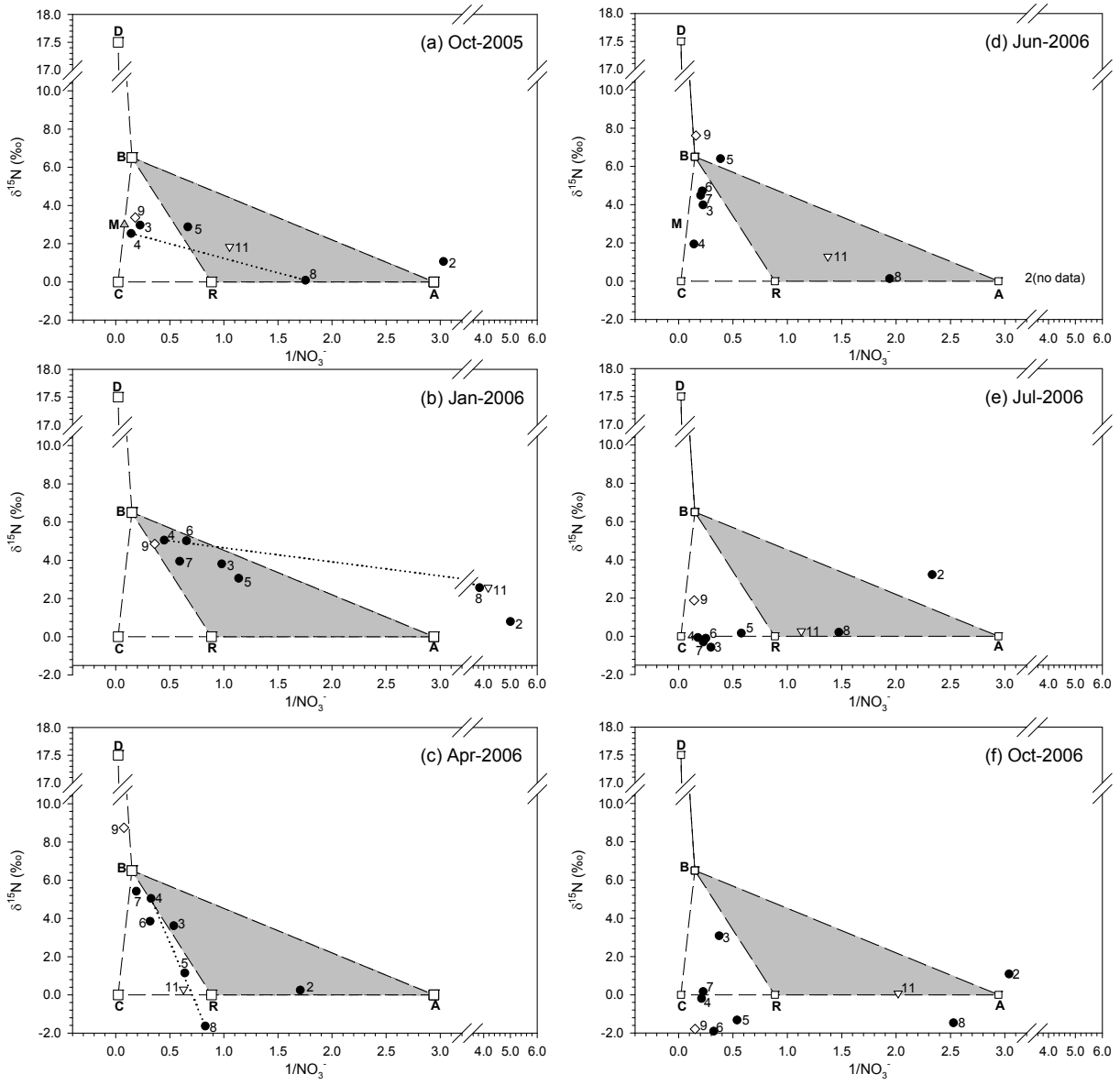


圖 4-8 本研究各水體中 NO_3^- 之 $1/NO_3^-$ 與 $\delta^{15}N$ 關係圖。

(R：雨水來源；A：背景值來源；B：土壤氮來源；C：化學肥料來源；D：動物排泄物來源)

第五章　濱岸植群研究

蔡尚惠、徐憲生、郭礎嘉

環球技術學院環境資源管理系

摘要

本研究為瞭解濱岸植群之組成、結構變化與地景變遷，於七家灣溪主河段、桃山北溪、桃山西溪、高山溪以及有勝溪濱岸，設立30個植群監測樣區，共記錄維管束植物95科209屬335種，依據矩陣群團分析可區分為7型：高山藤繡球－臺灣赤楊型；蓪草－臺灣紫珠型；屏東木薑子型；臺灣二葉松－大頭茶型；栓皮櫟－臺灣二葉松型；臺灣二葉松－臺灣赤楊型及臺灣赤楊型。另物種豐富度之分析結果顯示；喬木層植物歧異度差異大，推測與季節性洪水之干擾與局部地形差異所造成之空間異質性所致；而地被層植物歧異度與均勻度均頗高，但彼此差異不大，僅以8月濕季略高於2月乾季。此外，初步分析1995、2006年兩期之土地利用型圖，結果發現主要六類之土地利用型的維持率，由高至低依序為臺灣二葉松、紅檜-鐵杉、果菜園、臺灣黃杉、臺灣胡桃以及臺灣赤楊類型，其各土地利用類型之面積變異小，空間分布具明顯變化，其主要係受崩塌、洪水、保護區成立以及造林政策影響所致。

【關鍵字】七家灣溪、濱岸植群、地景變遷、植群監測、土地利用

Abstract

In order to realize the change of the composition, structure of the riparian vegetation and landscape change, 30 plots were set, near by the riparian surveying stations in the major segment of Chichiawan stream, Taoshang northern stream, Taoshang western stream, Kaoshang stream and Yosheng stream. The results revealed that 95 families, 209 genera and 335 species of vascular plants recorded. The vegetation in this area could be distinguished into 7 types by the matrix cluster analysis (MCA). They were: *Hydrangea aspera-Alnus formosana* Type, *Tetrapanax papyriferus-Callicarpa formosana* Type, *Litsea akoensis* Type, *Pinus taiwanensis-Gordonia axillaris* Type, *Quercus variabilis-Pinus taiwanensis* Type, *Pinus taiwanensis-Alnus formosana* Type and *Alnus formosana* Type.In species abundance analysis, the tree and ground strata with the habitat environment were evaluated. It was found that the difference of the divergence of the the tree stratum was greater. That's supposed to be caused by the spatial heterogeneity from the disturbance of the seasonal flood and the difference of local topography. There was little difference in the divergence and the uniformity of the ground stratum, then August (wet season) was higher than February (drought season), and both of them were pretty high. Bisides, we analysied initially the change of land use for 1995 and 2006. It revealed the higher to lower in the maintained rate were *Pinus taiwanensis* Type, *Chamaecyparis formosensis–Tsuga chinensis* Type, fruit-and-vegetable farm Type, *Pseudotsuga wilsoniana* Type, *Juglans cathayensis* Type and *Alnus formosana* Type in order. The variance among the areas of all land use types is smaller, but it varied obviously in the spatial distribution. This was affected by collapse, flood, setting up the conservation area and the plan of reforestation policy.

【Keywords】Chichiawan stream, riparian vegetation, landscape change, vegetation monitoring, land use.

一、前言

雪霸國家公園成立於1992年7月，總面積76,850 ha，海拔750 m至雪山主峰3,886 m，3,000 m以上的高峰多達51座，屬山岳型國家公園。園內涵蓋各類型地景（landscape），多樣化的生育地環境如不同海拔高度的山脈、錯綜複雜的地形、源源不絕的溪流或高山湖泊等，孕育豐富而多樣的森林景觀與植物資源，除為野生動物絕佳的棲息地與屏障外，並具有國土保安、涵養水資源、休閒遊憩以及社會教育等重要功能。其中七家灣溪為大甲溪上游支流之一，除為國寶魚臺灣櫻花鉤吻鮭（*Oncorhynchus masou formosanus* Jordan & Oshima）之重要棲地，亦為吸引遊客造訪之森林遊樂區，是故經常面臨的遊憩壓力，加上區內農業活動，使得七家灣溪之自然環境與資源具多元開發與利用。因此，在環境保護與經濟利益之雙重考量下，適當的開放遊憩空間，並有效的保護森林溪流生態為當下之經營管理重點，尤其濱岸（riparian）二旁植物群落，為控制營養源與能量進入溪流之重要緩衝地帶，是陸、水域生態系的交互界面。因此，具特殊之環境因子變化，以及多樣的植物群落之濱岸帶（riparian zone），為控制陸、水域的關鍵系統。濱岸植群（riparian vegetation）是河岸景觀的核心組成，為許多動植物提供棲息地與遷徙之廊道，且對水土流失、養分循環具舉足輕重的角色。有鑑於此，本研究著重於濱岸植群調查，植物群落加以分類，對其物種組成、分布與結構的變化，探討濱岸生態系（riparian ecosystem）之重要組成分（components），並結合地景生態學（landscape ecology）觀念，瞭解目前土地利用型之空間分布，並初步分析1995-2006年之土地利用型的地景變化，期未來持續掌握生態系的整體變遷過程，以提供生態系經營之決策所需的資訊。

雪霸國家公園自 1992 年 7 月 1 日成立以來，極致力於全區資源之調查與研究（歐辰雄，1996；歐辰雄及呂福原，1997；呂金誠，1999；歐辰雄等，2003；歐辰雄，2003、2004）。而於武陵地區七家灣溪沿岸植群而言，劉棠瑞與蘇鴻傑(1978)指出以臺灣黃杉－臺灣二葉松植群型(*Pseudotsuga wilsoniana-Pinus taiwanensis* type）多見於此，特別在陡峻之懸崖峭壁上，其上層樹冠不鬱閉，但覆蓋度多為 60% 以上，又臺灣二葉松－栓皮櫟植群型（*Pinus taiwanensis-Quercus variabilis* type），覆蓋度多在 70%以上；另郭城孟（1995）將之分為十種不同植群型，其中落葉性植物之數量佔極高之比例，如臺灣赤楊（*Alnus formosana*）與臺灣胡桃（*Juglans cathayensis*）之純林；因此，濱岸

植群對於溪流生態最具直接相關，其落葉、枯枝、倒木以及遮蔭效果，與臺灣櫻花鉤吻鮭之活動及其棲地環境息息相關。

二、材料與方法

（一） 研究地區

1. 地理位置

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 5-1）。

2. 地質土壤

本區地質由始新世四稜砂岩層和漸新世水長流層所構成，二者由東北至西南向之斷層所分隔；四稜砂岩層分布於保護區之西北向，以厚層淺灰色到灰白色石英岩質砂岩和石英岩為主，亦有些許暗灰色頁岩和板岩，而水長流層分布於保護區之東南側，以黑色硬頁岩和輕度變質的頁岩和板岩為主；此外，七家溪沿岸階地多屬侵蝕性河階，表層之沖積層淺且薄，板岩岩盤常出露階地崖（張石角，1989）。

3. 氣候

本區氣候依桑士偉（W. Thornthwaite）之分類法，屬寒帶重濕型氣侯區（AC’）（陳正祥，1957）。根據武陵農場氣象站（海拔高 1,734 m）之收集資料顯示，年均溫為 16℃，6-8 月為高溫期，月均溫 1 月最低（9.2℃），7 月最高（21.6℃），日最高溫可達 29℃。年雨量約為 2,200 mm，雨量以 7-9 月較大，11-1 月較少。

（二） 研究方法

本研究蒐集雪霸國家公園武陵地區七家灣溪流域過去之空間與屬性資料，包括地理環境、範圍、氣候、地質土壤、像片基本圖以及林班圖等資料，以瞭解研究區之環境概況；並蒐集、整理相關之研究文獻。藉由確定地圖上之研究範圍並研擬調查路線後，隨即進行區域內之踏勘，瞭解區內環境狀況、概略之植群類型以及土地利用情形，繪製七家灣溪濱岸生態系之範圍，除瞭解其土地利用型態，並為植群樣區選擇之依據與檢訂，期透過濱岸植群之監測調查，以瞭解十年間之物種組成、結構與分布的變化，茲將調查方法說明如下：

1. 植群監測調查

(1) 樣區設置

七家灣溪為河谷地形，河川長期切割作用下，河道兩側常見垂直之岩壁，受限於土壤化育與堆積的限制，植群常僅能依附凹地、岩屑或緩斜坡地形生長而呈現零星散佈，岩壁上難見連續之林相。而山腹緩斜坡面、坡腳土壤堆積或河床平灘地，可發現完整而鬱閉之森林，此乃溪谷地植群常見之散佈型態。又歷經颱風、豪雨侵襲，河谷地的植群常因土石破壞，河床盡為暴雨所帶下來的石塊以及大型殘材。

本研究植基於林幸助（2002）執行「武陵地區生態系監測與模式建構規劃」，以及執行中的七家灣溪生態系模式建構整合計劃，調查時間於 2005 年 2 月至 2006 年 2 月，在七家灣溪主河段、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（圖 5-2），另考量土地利用型、可及性，以及海拔、地形等環境變化與植物組成之差異，並增設臨時樣區。樣區設置採多樣區法（multiple plot method）之集落樣區設置法（contagious quadrat method），舉凡植物社會有所差異之地區均進行取樣調查，並儘可能使樣區於研究區中均勻分布；另由上游至下游之桃山北溪（#1）、桃山西溪（#2）、湧泉池（#3 上游）、一號壩（#4）、繁殖場（#5）、高山溪（#8）以及有勝溪（#9）等 7 個測站，分別設置永久樣區編號為 1-12 等 12 個 10×25 m^2 的長形監測調查樣區(各樣區由 10 個 5 m×5 m之小區組成），且沿線設置編號 101-118 等 18 個臨時樣區；樣區臨近標地為測站名稱。此外，各樣區皆以全球衛星定位系統(global position system, GPS）加以定位（所使用之全球衛星定位儀係SOKKIA公司所製造之SOKKIA AXIS3 型）。

(2) 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。

(3) 植群剖面結構

於各測站或鄰近永久樣區之附近，選擇具有代表性林相，繪製植群剖面圖（溪流之左、右岸係為於下游處面對上游之方向區別）。自溪岸開始，以穿越線橫切垂直於溪流方向，水平距離約 30 m（或依現場情況與可及性調整），向溪流兩側延伸，紀錄（與拍照）其植物種類、高度與覆蓋度；而其平面座標單位為公尺（m），X 軸為自溪流開始之延伸距離，其範圍為-1-30（或適地調整；其中-1–0 代表溪流或植物生長之初端），又 Y 軸代表植株高度。

(4) 枯落物收集

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。收集網係利用網孔 1 mm 之尼龍網，所製作面積為 2,500 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 5-3）。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℃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。

2. 植群監測分析

(1) 重要值指數

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。

(2) 矩陣群團分析

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，各連結相似性百分率繪製樹形圖（dendrogram），以對植物社會加以分類。

(3) 種豐富度指數分析

原始調查資料之植物種類編碼建檔後，以七種之種豐富度指數進行分析，並針對 2005 年 2 月及 8 月永久樣區地被層植物之種豐富度指數結果，進行變異數分析（analysis of variance, ANOVA）（張紹勳與林秀娟，1994、1995）。茲將各指數之性質與求算方法詳述如下；又種豐富度指數之求解，係以蔡尚憙及呂金誠（2004）採用 Visual Basic 程式語言，所撰寫之「生物歧異度分析系統」的套裝軟體運算之。

A. 訊息統計指數

Shannon and Weaver（1949）以 Wiener（1948）所發展之二進位（binary digit）電訊傳遞理論（communication theory of electrical information），利用 Stirling 近似法（Stirling approximation）推導提出訊息統計指數（information statistic index 以下稱 Shannon 訊息統計指數，H_{SW}，式 1）。

$$H_{SW} = -\sum_{i=1}^{S}\left(\frac{n_i}{N}\cdot \ln\frac{n_i}{N}\right) = -\sum_{i=1}^{S}\left(p_i \cdot \ln p_i\right) \qquad \text{（式 1）}$$

式中 S=種數

n_i=第 i 物種所含之個體數

N=總個體數

p_i=第 i 種物種之個體數占總個體數之比例，即各物種之可能率

在一生物群落中，生物個體在不同種間之分布均勻程度，稱為該群落之均勻度，或稱為均等度（equitability）；即歧異度中所探討之相對豐富度（relative abundance）（Pielou, 1966 a; Spellerberg, 1994）。Pielou（1966 a, 1985）以Shannon訊息統計指數（H_{SW}）為骨幹，設一群落有S個物種存在，則其可能之Shannon訊息統計指數的最大值為lnS，將此值除以H_{SW}，即得均勻度指數（以下稱Shannon均勻度指數，E_{SW}，式2）。

$$E_{SW} = \frac{H_{SW}}{\ln S} \qquad \text{（式 2）}$$

B. 優勢度量測

a. Berger and Parker（1970）提出一簡單易於運算的豐富度指數（以下稱 Berger

豐富度指數，D_{BP}，式 3），以強調最豐富種類所占的比例。Magurran（1988）認為其應用於大樣本時，所產生的變異較小。

$$D_{BP} = \frac{N_{max}}{N} \qquad \text{（式 3）}$$

式中 N_{max}=最豐富種所含之個體數

b. McIntosh（1967）認為將各物種所含之個體數，進行歐幾里德距離（Euclidean distance）轉換，可用為估測群落之均質性與群落間相似性，在歧異度的應用上較具生態的意義，故以此構想創一種豐富度指數（以下稱 McIntosh 豐富度指數，D_M，式 4）。另 Pielou（1985）亦依 McIntosh 豐富度指數為骨幹，推導其均勻度指數（以下稱 McIntosh 均勻度指數，E_M，式 5）。Hurlbert（1971）指出此值為 0-1。

$$D_M = \frac{N - U}{N - \sqrt{N}} \qquad \text{（式 4）}$$

式中 $U=\sqrt{\sum n_i^2}$ =各物種所含個體數之歐幾里德距離轉換的總和

$$E_M = \frac{N - U}{N - \frac{N}{\sqrt{S}}} \qquad \text{（式 5）}$$

c. Simpson（1949）對無限群落所抽取出的逢機樣本，計算其種豐富度指數，此又稱 Simpson-Yule 統計值（Yule, 1944）。Hurlbert（1971）與 Krebs（1989）認為多數生態學者使用式（6），因其即表自群落中所取出不同物種之機率，可較合理瞭解一群落內之物種的異質性（heterogeneity），故本文中係以式（6）求算之（以下稱 Simpson 豐富度指數，D_{SM}）。

$$D_{SM} = 1 - \sum_{i=1}^{S} p_i^2 \qquad \text{（式 6）}$$

C. Q 統計值

Kempton and Taylor（1976, 1978）與 Kempton and Wedderburn（1978）以累積種豐富度曲線之四分位差斜率（inter-quartile slope），發展 Q 統計值（Q statistic value，Q_K，式 7），此種豐富度指數無需符合任何種豐富度分布模式

（species abundance distribution model）之前提假設，且未對優勢種或稀有種加以任何權重，而是針對生物群落中較穩定之中等豐富度的物種（more stable species with median abundance），故較 Shannon 訊息統計指數和 Simpson 豐富度指數之區別能力強；然需樣本所含種數大於群落所含種數之 50%時，Q 統計值方無偏估。

$$Q_K = \frac{\frac{1}{2}n_{R1} + \sum n_r + \frac{1}{2}n_{R2}}{\ln\left(\frac{R2}{R1}\right)} \qquad （式 7）$$

式中 n_{R1}=25%之四分位數（即第一個四分位數）所落於組中的種數

n_{R2}=75%四分位數（即第三個四分位數）所落於組中的種數

nr=25%與 75%四分位數之間的種數

R1=種豐富度階之 25%的四分位數

R2=種豐富度階之 75%的四分位數

三、結果

Barnard（1990）認為資源調查（inventory）係指於一特定的時段，量測當時的資料，如材積、生長率或死亡率等，以評估生產力、健康或危害等性態值。若繼以連續調查，則可檢測此等性態值之變化。監測（monitoring）為重複調查所欲瞭解的資料，以與參考系統（reference system）或定義基線（identified baseline）之資料比較，此可用於瞭解資源在時間序列的變化，不同時期與參考基線關係，以掌握監測對象之改變。藉由資源調查以瞭解資源的狀況，另結合監測的理念期能逐步建立一監測基線，因監測的對象有很多，舉凡物理屬性、化學變數、生物，或監測土地利用與景觀之變遷，皆可為監測之變數（馮豐隆，1995）。但限於人力、成本的考量，本研究以濱岸植群調查為對象，針對一資源調查與分析之協同配合，希能展現整合性濱岸生態系監測之效。表 5-1 即本研究之 30 個樣區的 7 項環境因子記錄，其中樣區海拔高為 1,670-1,890 m，各樣區雖分布於各坡向，然多數位於東北向合西向坡；坡度隨取樣地區不同而有差異（0-46°），顯示其微生育地的變化；土壤 pH 值為 4.72-6.74，屬弱酸性至中性土壤；光照空域則顯示溪岸生長環境中所接受之輻射量為 33-62%。

（一） 植物組成

植物種類之鑑定係依劉業經等（1994）、彭鏡毅（1996）、臺灣植物誌第二版編輯委員會（1993，1994，1996，1998）、臺灣植物誌編輯委員會（1978，1979）、郭城孟（1997）以及楊遠波等（1997）相關文獻；並透過塔山自然實驗室（2006）之植物資料庫，建立植物種類名錄。各樣區調查結果共計95科209屬335種植物（表5-2）；其中喬木68種，灌木59種，藤本44種，草本164種，且以被子植物（即雙、單子葉植物）居多（75科173屬268種）；以此調查樣區之植群資料，與郭城孟（1995）之植群組成加以比較，其共記錄241種植物；另本研究著重於溪谷地（含溪谷沖積扇、陡岸和開闊地），以及山坡地之下坡段與山谷凹地。

（二） 植群重要值指數與剖面結構

將各測站之樣區喬木層植物之重要值大於 30 者，而地被層植物大於 10 者選為優勢種植物，而表 5-3 至表 5-7 即各測站之喬木層與地被層之優勢種植物；此外，並針對各測站位置繪製植群剖面圖（圖 5-4 至 5-13）。

1. 桃山北溪測站（#1）

樣區 9、10、112、113、114；此即郭城孟（1995）於溪谷沖積扇所調查之臺灣赤楊－臺灣二葉松植群型，惟其植物組成與結構略有不同；植群剖面圖如圖 5-4 所示，其永久樣區之植物組成中，喬木層優勢種植物為臺灣赤楊、蓪草（*Tetrapanax papyriferus*）、臺灣紫珠（*Callicarpa formosana*）以及臺灣二葉松，另地被層優勢種植物為高山芒、串鼻龍（*Clematis gouriana*）、臺灣何首烏（*Polygonum multiflorum* var. *hypoleucum*）以及臺灣崖爬藤（*Tetrastigma umbellatum*）；臨時樣區喬木層有臺灣赤楊、褐毛柳（*Salix fulvopubescens*）、大葉溲疏（*Deutzia pulchra*）、臺灣紫珠、臺灣二葉松、水麻（*Debregeasia edulis*）、臺灣八角金盤（*Fatsia polycarpa*）；臨時樣區地被層主要為咬人貓（*Urtica thunbergiana*）。

2. 桃山西溪測站（#2）

樣區 1、2、101；此即郭城孟（1995）於溪谷陡岸所調查之臺灣二葉松－卡開蘆植群型，惟其植物組成與結構略有不同；植群剖面圖如圖 5-5 所示，其永久樣區之植物組成中，喬木層優勢種植物為臺灣二葉松、栓皮櫟以及米飯花（*Vaccinium bracteatum*），另地被層之優勢種植物 2 月（乾季）時為高山芒（*Miscanthus transmorrisonensis*）、小葉鐵仔（*Myrsine africana*），而 8 月（濕季）則為高山芒、高山破傘菊（*Syneilesis subglabrata*）以及臺東懸鉤子（*Rubus formosensis*）；臨時樣區喬木層有栓皮櫟、高山莢蒾（*Viburnum propinquum*）；臨時樣區地被層有沿階草（*Ophiopogon intermedius*）、長柄瓦葦（*Lepisorus monilisorus*）。

3. 湧泉池測站（#3上游）

樣區102、103、104；此等臨時樣區之喬木層優勢種植物為栓皮櫟、米飯花、臺灣二葉松、臺灣赤楊、大葉溲疏以及阿里山榆（*Ulmus uyematsui*）；而地被層優勢種植物為沿階草、咬人貓以及山薔薇。

4. 一號壩測站（#4）

樣區 11、12、105、115、116、117；此即郭城孟（1995）於溪谷沖積扇所調查之臺灣赤楊－臺灣二葉松植群型，惟其植物組成與結構略有不同；植群剖面圖如圖 5-6 所示，其永久樣區之植物組成中，喬木層優勢種植物為臺灣赤楊以及臺灣二葉松，另地被層優勢種植物為高山芒、臺灣何首烏、波葉山螞蝗

（*Desmodium sequax*）、艾（*Artemisia indica*）、臺灣澤蘭（*Eupatorium formosanum*）以及苦懸鉤子（*Rubus trianthus*）；臨時樣區之喬木層有栓皮櫟、臺灣赤楊、臺灣二葉松以及阿里山榆；地被層有大葉馬兜鈴（*Aristolochia kaempferi*）、沿階草、小葉鐵仔、玉山瓦葦（*Lepisorus morrisonensis*）、臺灣山薔薇（*Rosa sambucina* var. *sambucina*）。

5. 繁殖場測站（#5）

樣區 3、4、106、109、118；植群剖面圖如圖 5-7 所示，其永久樣區之植物組成中，喬木層優勢種植物為栓皮櫟、楓香（*Liquidambar formosana*）、臺灣黃杉、化香樹以及米飯花，另地被層之優勢種植物 2 月（乾季）時為高山芒、沿階草、高山莢蒾以及五葉長穗木通（*Akebia longeracemosa*），而 8 月（濕季）則為高山芒、沿階草、小葉鐵仔以及五葉長穗木通；臨時樣區喬木層有臺灣赤楊（IVI=300）、屏東木薑子（*Litsea akoensis*）、臺灣二葉松、化香樹、栓皮櫟以及疏果海桐；臨時樣區地被層有木賊（*Equisetum ramosissimum*）、虎杖。

6. 高山溪測站（#8）

樣區 7、8、107、108、110、111；植群剖面圖如圖 5-12 所示，其永久樣區之植物組成中，喬木層優勢種植物為米飯花、化香樹（*Platycarya strobilacea*）以及栓皮櫟，另地被層之優勢種植物 2 月（乾季）時為高山芒、細葉杜鵑、臺灣常春藤（*Hedera rhombea* var. *formosana*），而 8 月（濕季）則為高山芒、臺灣崖爬藤、沿階草、細葉杜鵑以及臺灣常春藤；臨時樣區之喬木層有尖葉槭（*Acer insulare*）以及高山藤繡球（*Hydrangea aspera*）、臺灣赤楊、臺灣胡桃、臺灣二葉松、馬銀花（*Rhododendron ovatum* var. *ovatum*）、化香樹、紅檜以及栓皮櫟，臨時樣區地被層為咬人貓、尖葉耳蕨（*Polystichum parvipinnulum*）、石葦（*Pyrrosia lingua*）、紅毛杜鵑（*Rhododendron rubropilosum*）以及沿階草。

7. 有勝溪測站（#9）

樣區 5、6；位於農場入口收費站旁，有勝溪下游。皆為淺瀨地形，測站下方有一落差極大的壩體，兩岸腹地小，植群剖面圖如圖 5-13 所示，其永久樣區之植物組成中，喬木層優勢種植物為臺灣赤楊、臺灣二葉松、海州常山（*Clerodendrum trichotomum*）以及大頭茶（*Gordonia axillaris*）；2、8 月之地被層優勢種植物主要皆為頂芽狗脊蕨和臺灣蘆竹。

（三） 枯落物收集

於 6 處測站所設置之永久樣區中，分別於樣區內設置 3 座枯落物收集網共 18 座，所蒐集之枯落物區分為葉、枝條、繁殖體以及其他等四類，表 5-8 中分類枯落物生物量係各測站之 3 座收集網的枯落物之總和。繁殖場測站之枯落物蒐集 126 d、123 d，以及一號壩測站之枯落物蒐集 104 d，係於 2005 年 4、8 月調查時，因水流湍急無法過岸採集。有勝溪於 6-10 月（51 d、73 d）因溪水暴漲關係，原 3 座收集網沖毀，於期間內重新架設。各測站之枯落物類別之調查期間總計以葉類最多（2,679.611 g），枝條類次之（596.017 g），又其中部分葉類之枯落物可加以鑑定，如臺灣二葉松、栓皮櫟、楓香、米飯花、臺灣赤楊等。

將各測站於各代表月份之葉、枝條、繁殖體以及其他等四類合計後，將其換算為 30 d 之代表單位面積（m^2）的單位生物量發現；2005 年 6 月以有勝溪測站最高（42.353 g），繁殖場測站次之（26.432 g），8 月以桃山西溪測站最高（220.874 g），桃山北溪測站次之（184.226 g），而 10 月則以桃山北溪測站最高（135.634 g），12 月以繁殖場測站最高（156.333 g），桃山西溪測站次之（129.367 g）。此外，2006 年 2 月以高山溪測站最高（66.974 g），桃山西溪測站次之（64.201 g）。以月份變化而言，12 月之單位生物量最高（632.652 g），此可能與植物生長季，以及立地的樹種組成影響有關，8 月次之（550.920 g，僅桃山西溪、桃山北溪、高山溪及有勝溪測站等 4 處測站之總和）。Facelli and Pickett（1991）指出一些偶發的環境因子，會使枯落物量遽增，對林地內之生產力造成影響，如火燒、暴風雨、乾旱、焚風以及蟲害等因素。臺灣地區深受季風影響，夏秋之季常有颱風來襲影響林地之枯落物量，如本研究區即因 2005 年度第一個侵臺強烈颱風－海棠（2005 年 7 月 17-20 日），致使 8 月枯落物量劇增，雖 2005 年 8 月 4-5 日瑪莎颱風（中度）、8 月 31-9 月 1 日泰利颱風（強烈）及 10 月 1-2 日龍王颱風（強烈）襲臺，10 月枯落物量（271.319 g）雖無因颱風影響而增加，可能如林國銓（1997）、洪淑芬（2003）以及周育如（2003）推測係因颱風已造成樹冠層枝葉掉落，影響往後枯落物量。此外，大量輸入的枯落物，包含綠色新鮮葉、嫩枝條、未成熟花果實，將會直接影響林地的養分循環，此枯落物是森林受到干擾後，於林相恢復初期重要養分來源（Xu and Hirata, 2002）。

四、討論

（一） 矩陣群團分析

植群型之命名選擇可分為優勢種（dominant species），即用於代表植物對環境資源之控制能力；以及分化種或特徵種（differential species or character species），意指為對環境具有一定指標作用之植物。此二種選擇均是以數種植物表達植物社會之生物多樣性的訊息，以優勢種而言，由於其生物量較大，故可劇控制環境資源方面之代表性;而特徵種或分化種常以依賴頻度確認涉及至於出現樣區數多寡的取樣問題，而且死亡和逢機拓殖（random colonization）致使生物組成差異，當一生育地未出現某種植物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，因此，分化種或特徵種之選擇，對生育地環境常僅具有某一程度的指標作用。

本研究之植群分類係以各植物種於各樣區中之重要值指數（IVI）為基礎，計算各樣區間之相性指數，組成相似性指數矩陣，再根據群團分析之結果，連結各樣區而繪成樹形圖（圖 5-17），此樹形圖可依不同相似性百分率之臨界值（threshold）來劃分植物社會。若以相似性指數（IS）=41%為臨界值，可由明顯的優勢種予以辨認或命名，可劃分為 7 個植群型：1. 高山藤繡球－臺灣赤楊型；2. 蓪草－臺灣紫珠型；3. 屏東木薑子型；4. 臺灣二葉松－大頭茶型；5. 栓皮櫟－臺灣二葉松型；6. 臺灣二葉松－臺灣赤楊型；7. 臺灣赤楊型。茲將各植群型之生育地環境，以及主要組成分述如下：

1. 高山藤繡球－臺灣赤楊型（*Hydrangea aspera-Alnus formosana* type）

樣區：No. 107 屬之。

環境：1. 海拔：1,720 m
2. 坡度：42°
3. 坡向：北向
4. 水分指數：14
5. pH 值：6.47
6. 全天光空域：43.66%
7. 直射光空域：42.45%

本型以樣區 107 為代表，分布於高山溪北向山腹坡面，地勢險峻，立地以礫石組成為多，但面積並不廣泛。主要優勢樹種由高山藤繡球（IVI=97.5）所組成，植株分叉多亦多萌蘗，大多以小徑木為主，其胸徑不超過 5 cm，上層喬木以臺灣赤楊（IVI=44.9）、臺灣胡桃（IVI=42.4）、尖葉槭（IVI=39.9）為主，中下層包括青楓（*Acer serrulatum*）、臺灣紫珠、疏果海桐（*Pittosporum illicioides*）、

臺灣朴樹（*Celtis formosana*）、水麻、大葉溲疏、大葉楠（*Machilus japonica* var. *kusanoi*）等。地被層如咬人貓、尖葉耳蕨、臺灣福王草（*Notoseris formosana*）、華鳳了蕨（*Coniogramme intermedia*）、川上氏雙蓋蕨（*Diplazium kawakamii*）、日本牛膝（*Achyranthes bidentata* var. *japonica*）、臺灣常春藤、臺灣天南星（*Arisaema formosana*）等。

2. 蓪草－臺灣紫珠型（*Tetrapanax papyriferus-Callicarpa formosana* type）

樣區：No. 9 屬之。
環境：1. 海拔：1,788 m
2. 坡度：0°
3. 坡向：西向
4. 水分指數：6
5. pH 值：6.29
6. 全天光空域：51.56%
7. 直射光空域：59.35%

本型以樣區 9 為代表，分布於桃山北溪右岸一帶，地勢平坦，林地土壤層淺薄，多為堆積之砂質壤土，上層主要優勢樹種為蓪草（IVI=109.7）、臺灣紫珠（IVI=76.3）、臺灣赤楊（IVI=38.2）、栓皮櫟（IVI=24.5）；地被植物以高山芒、臺灣何首烏、臺灣崖爬藤、串鼻龍、咬人貓、山菊（*Farfugium japonicum*）為主。

3. 屏東木薑子型（*Litsea akoensis* type）

樣區：No. 109 屬之。
環境：1. 海拔：1,697 m
2. 坡度：0°
3. 坡向：東北北向
4. 水分指數：16
5. pH 值：6.26
6. 全天光空域：48.60%
7. 直射光空域：61.89%

本型位處於繁殖場之七家灣溪右岸沿線，為洪水沖積後，形成緊鄰山腳之平臺，主要優勢種為屏東木薑子（IVI=97.3），常見如臺灣二葉松、化香樹、臺灣赤楊、長葉木薑子（*Actinodaphne longifolia*）等混生。地被層如高梁泡（*Rubus lambertianus*）、高山芒、臺灣何首烏、串鼻龍、咬人貓、屏東木薑子之幼木。

4. 臺灣二葉松－大頭茶型（*Pinus taiwanensis-Gordonia axillaris* type）

樣區：No. 6 屬之。
環境：1. 海拔：1,697 m
2. 坡度：46°
3. 坡向：東北東向
4. 水分指數：11
5. pH 值：6.11
6. 全天光空域：33.11%
7. 直射光空域：41.11%

本型位處於有勝溪（靠近收費亭），有勝溪左岸沿線，地勢較陡，坡腳常有洪水侵襲，且夾雜上游農業活動所丟棄肥料用袋合農藥用罐。優勢樹種為臺灣二葉松（IVI=42.5）、大頭茶（IVI=31）、臺灣赤楊、臺灣紫珠、西施花（*Rhododendron latoucheae*）、狹葉高山櫟（*Cyclobalanopsis stenophylloides*）等混生其中。地被層由頂芽狗脊蕨、臺灣蘆竹、臺灣崖爬藤、華八仙（*Hydrangea chinensis*）、斜方複葉耳蕨（*Arachniodes rhomboides*）、雞屎藤（*Paederia foetida*）等所組成。

5. 栓皮櫟－臺灣二葉松型（*Quercus variabilis-Pinus taiwanensis* type）

樣區：No. 1、2、3、4、7、8、101、102、105、108、110、111、117、118屬之。

環境：1. 海拔：1,682-1,887 m
2. 坡度：3-33°
3. 坡向：東北東-西北西向
4. 水分指數：2-14
5. pH 值：5.0-6.6
6. 全天光空域：35.41-62.37%
7. 直射光空域：46.05-72.14%

本型分布於桃山西溪、繁殖場以及高山溪沿線，上層林冠由栓皮櫟（IVI=58.4）、臺灣二葉松（IVI=45.3）所構成，次優勢樹種由米飯花、化香樹、楓香、疏果海桐、馬銀花等混生；地被層以高山芒、沿階草、臺灣蘆竹、細葉杜鵑、臺灣崖爬藤、大葉馬兜鈴、小葉鐵仔、細葉菝葜（*Smilax elongato-umbellata*）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。

6. 臺灣二葉松－臺灣赤楊型（*Pinus taiwanensis-Alnus formosana* type）

樣區：No. 12、103、104 屬之。

環境：1. 海拔：1,740 m
2. 坡度：0-13°
3. 坡向：東南-西向
4. 水分指數：6-7
5. pH 值：6.36-6.74
6. 全天光空域：43.36-52.29%
7. 直射光空域：55.26-58.68%

此型之生育地環境靠近溪谷，坡度較平緩，林地土壤層淺薄，林分為次生林結構，洪水沖擊較小，多為砂石堆積之處。本型上層林冠由臺灣二葉松（IVI=153.3）、臺灣赤楊（IVI=56.7）、阿里山榆（IVI=22.3）、大葉溲疏（IVI=15.7）、變葉新木薑子（*Neolitsea aciculata* var. *variabillima*）（IVI=15.1）所組成，地被層植物多為高山芒、臺灣何首烏、咬人貓為主。

7. 臺灣赤楊型（*Alnus formosana* type）

樣區：No. 5、10、11、106、112、113、114、115、116 屬之。

環境：1. 海拔：1,676-1,875 m
2. 坡度：0-41°
3. 坡向：東北北-西北北向
4. 水分指數：2-16
5. pH 值：5.72-6.67
6. 全天光空域：35.00-57.16%
7. 直射光空域：45.51-66.48%

分布於桃山西溪、桃山北溪、一號壩、繁殖場以及有勝溪沿岸，為常受干擾的開闊地、裸地、向陽坡面，主要干擾因子以崩塌、河川侵蝕為主，亦於溪流當中形成之沖積扇為林，主要優勢種為臺灣赤楊（IVI=132.0），多以大徑木林立其中，其為河谷地各植物社會常見的組成單元，生態幅度相當廣泛，對環境要求不高，多為演替初期最早進入裸地的物種，亦常獨自形成優勢的森林植被，但若干擾或環境限制因子長期存在，則植群可能反覆於演替初期。臺灣二葉松零星分布其中或無，中下層以大葉溲疏、阿里山榆、臺灣紫珠、褐毛柳、臺灣八角金盤、變葉新木薑子組成；地被層則以高山芒、臺灣何首烏為主。

本研究調查結果顯示臺灣二葉松於各林型均有分布，且多以臺灣赤楊、栓皮櫟、臺灣胡桃、川上氏鵝耳櫪（*Carpinus kawakamii*）、狹葉高山櫟、阿里山榆、大頭茶、楓香以及變葉新木薑子等多種闊葉樹混生。臺灣二葉松林為形成火災敏感之林型，王筱萱與邱祈榮（2004）指出武陵地區自 1963-2003 年共紀錄到林火 37 次，本地區面積雖小，僅佔大甲溪事業區（48,657.71 ha）14.52%，然發生林火數卻佔大甲溪事業區（129 筆）29%，燃燒面積達 2,829.15 ha，其中臺灣二葉松造林地與草生地更達 1,486.24 ha，使得七家灣溪的水源涵養、水土保持以及臺灣櫻花鉤吻鮭生育地受到極大威脅，因此，需長期監測該區植群狀況，並加以瞭解與掌握。又根據當地高山嚮導指出目前武陵地區仍有臺灣檫樹（*Sassafras randaiense*）生長分布，根據此一訊息，是否可能為臺灣檫樹分布，以及原生育地地點之一，可加以考據與探討。

（二）種豐富度指數分析

呂金誠（1998）認為當樣區面積達 500 m^2 以上時，Shannon 訊息統計指數增加的趨勢減緩（若樣區面積達 2,916 m^2，其變異數可降低至 10%以下）。而本研究於每一測站均設置 2 個以上之面積為 250 m^2 的調查樣區。又 Wang *et al*.（2002）於長白山二道白河森林流域濱岸帶闊葉松林最小面積與 α 歧異度之關係的研究結果中顯示：180 m^2 之長形樣區可涵蓋 80%的植物種類，而 320 m^2 之長形樣區可涵蓋 90%的植物種類。因此，本研究之樣區大小與形狀的設計應具有代表性。由表 5-9 之各樣區喬木層植物的種數、總株數與種豐富度指數結果得知：各樣區的 Shannon 訊息統計指數為 0.3-2.8，其中以有勝溪測站之樣區 6 最高（2.812），湧泉池測站之樣區 102 次之（2.763），而以一號壩測站之樣區 116 最低（0.330），樣區 12 次之（0.536），顯示各樣區喬木層植物歧異度之差異性高。此外，由表 5-10 至表 5-12 之各樣區地被層植物的種數、總株數與種豐富度指數結果得知；各樣區的 Shannon 訊息統計指數約為 3.0，顯示各樣區地被層植物歧異度之差異性不大，且歧異度頗高；以有勝溪測站之樣區 6 最高（3.97），繁殖場之樣區 118 次之（3.895），而以一號壩測站之樣區 12 最低（2.514），樣區 116 次之（2.693）。又於 2、8 月之重複調查的桃山西溪測站之樣區 1、2，繁殖場測站之樣區 3、4，有勝溪測站之樣區 5、6，以及高山溪測站之樣區 7、8，其結果發現於夏季（8 月）之地被層植物歧異度略微增加。

Pielou（1985）認為一個群落如果含有許多的物種，其 Shannon 均勻度指數高，則其歧異度大；反之，若種數少且均勻度低，則其歧異度小，故歧異度取決於群落中之種數多寡，以及各物種所含個體數分配的情形，因此，比較兩群落歧異度的差異時，難免會有模糊地帶；如一個種數少而均勻度高的群落，可能和另一個種數較多，均勻度低的集合，具有相同的歧異度。由表 5-9 之各樣區喬木層植物的種數、總株數與種豐富度指數結果得知；各樣區的 Shannon 均勻度指數為 0.2-0.9，其中以有勝溪測站之樣區 5 最高（0.903），湧泉池之樣區 102 次之(0.894)，而以一號壩測站之樣區 116 最低(0.238)，樣區 115 次之(0.555)，顯示各樣區喬木層植物均勻度之差異性高。另由表 5-10 至表 5-12 之各樣區地被層植物的種數、總株數與種豐富度指數結果得知；各樣區的 Shannon 均勻度指數為 0.8 左右，顯示各樣區地被層植物歧異度之差異性不大，且均勻度頗高；以一號壩測站之樣區 11 最高（0.905），有勝溪之樣區 5 次之（0.886），而以一

號壩測站之樣區 12 最低（0.781），桃山北溪之樣區 116 次之（0.791）;又於 2、8 月之重複調查的桃山西溪測站之樣區 1、2，繁殖場測站之樣區 3、4，有勝溪測站之樣區 5、6，以及高山溪測站之樣區 7、8，其結果發現除樣區 1 以外，其餘樣區於夏季（8 月）之地被層植物均勻度均略微增加。此外，基於優勢度所求算之 McIntosh 豐富度指數及其均勻度指數與上述之變化趨勢雷同。

Berger 豐富度指數強調植群中之最優勢種，由表 5-9 之各樣區喬木層植物的種數、總株數與種豐富度指數結果得知；各樣區的 Berger 豐富度指數為 0.1-0.8，其中以湧泉池測站之樣區 102 最低（0.131），有勝溪測站之樣區 6 次之（0.134），而以一號壩測站之樣區 116 最高（0.929），樣區 12 次之（0.773），顯示各樣區喬木層植物歧異度之差異性高。此外，由表 5-10 至表 5-12 之各樣區地被層植物的種數、總株數與種豐富度指數結果得知；各樣區的 Berger 豐富度指數約為 0.1-0.2，顯示各樣區地被層植物歧異度之差異性不大；又於 2、8 月之重複調查的桃山西溪測站之樣區 1、2，繁殖場測站之樣區 3、4，有勝溪測站之樣區 5、6，以及高山溪測站之樣區 7、8，其結果發現除樣區 1 以外，其餘樣區於夏季（8 月）之地被層植物歧異度均略微增加。

呂金誠（1998）認為 Simpson 豐富度指數與樣區面積成二次曲線關係，當樣區面積達 100 m^2 以上時，對全林分歧異度之估測性良好（若樣區面積達 1,600 m^2，其變異數可降低至 10 %以下）。而本研究之樣區面積為 250 m^2 已符合此標準。由表 5-9 之各樣區喬木層植物的種數、總株數與種豐富度指數結果得知；各樣區的 Simpson 豐富度指數為 0.1-0.9，其中以有勝溪測站之樣區 6 最高（0.924），湧泉池測站之樣區 102 次之（0.922），而以一號壩測站之樣區 116 最低（0.136），樣區 12 次之（0.351），顯示各樣區喬木層植物歧異度之差異性高。此外，由表 5-10 至表 5-12 之各樣區地被層植物的種數、總株數與種豐富度指數結果得知；各樣區的 Simpson 豐富度指數為 0.9 左右，顯示各樣區地被層植物歧異度之差異性不大，且歧異度頗高；以繁殖場測站之樣區 118 最高（0.972），有勝溪測站之樣區 5 次之（0.971），而以一號壩測站之樣區 12 最低（0.886），樣區 116 次之（0.895）；又於 2、8 月之重複調查的桃山西溪測站之樣區 1、2，繁殖場測站之樣區 3、4，有勝溪測站之樣區 5、6，以及高山溪測站之樣區 7、8，其結果發現除樣區 1 以外，其餘樣區於夏季（8 月）之地被層植物歧異度均略微增加。

強調植群中之中等豐富種的 Q 統計值，由表 5-9 之各樣區喬木層植物的種數、總株數與種豐富度指數結果得知；各樣區的 Q 統計值為 0.9-8.0，其中以湧泉池測站之樣區 102 最高（7.978），有勝溪測站之樣區 6 次之（7.646），而因一號壩測站之樣區 12、115 各僅具 2、4 種植物無法求算，以一號壩測站之樣區 11 最低（0.910），桃山北溪測站之樣區 10 次之（1.303），顯示各樣區喬木層植物歧異度之差異性高。此外，由表 5-10 至表 5-12 之各樣區地被層植物的種數、總株數與種豐富度指數結果得知；各樣區的 Q 統計值為 5.3-29.5，顯示各樣區地被層植物歧異度之差異性大；以有勝溪測站之樣區 6 最高（29.535），高山溪測站之樣區 7 次之（26.342），而以一號壩測站之樣區 12 最低（5.281），桃山北溪測站之樣區 9 次之（8.311）；又於 2、8 月之重複調查的桃山西溪測站之樣區 1、2，有勝溪測站之樣區 5、6，以及高山溪測站之樣區 7、8，其結果發現除樣區 1 以外，其餘樣區於夏季（8 月）之地被層植物歧異度均略微增加。綜觀上述基於訊息理論所求得各樣區喬木層植物的 Shannon 訊息統計指數和 Shannon 均勻度指數，以及基於優勢度所求算之 McIntosh 豐富度指數、Simpson 豐富度指數與 McIntosh 均勻度指數之分析結果雷同；然基於優勢度所求算之 Berger 豐富度指數則呈現相反的結果；另強調生物群落中較穩定之中等豐富度物種的 Q 統計值具明顯差異，顯示 Q 統計值有別於其他指數之高度區別力。此外，以喬木層植物而言，有勝溪測站與湧泉池測站之歧異度與均勻度較高，而一號壩測站的歧異度較低，又部分喬木層植物歧異度之差異，推測與季節性洪水之干擾與局部地形差異所造成之空間異質性所致。

地被層植物歧異度與均勻度均頗高且差異不大，而 8 月（濕季）略高於 2 月（乾季）。透過 SPSS for Windows（Advanced Statistics 11.5.0）統計軟體（SPSS Inc, 2002），針對 2005 年 2 月（即 1-8 等 8 個樣區），以及同年 8 月地被層（即 1-12 等 12 個樣區）地被層植物之七類的種豐富度指數結果，透過無母數檢定（non-parametric test）— K 獨立樣本（K independent samples）— Kruskal-Wallis H 檢定結果發現：Shannon 訊息統計指數的 P 值為 0.280，Berger 豐富度指數的 P 值為 0.247，McIntosh 豐富度指數的 P 值為 0.217，Simpson 豐富度指數的 P 值為 0.263，Q 統計值的 P 值為 1.000，Shannon 均勻度指數的 P 值為 0.123，McIntosh 均勻度指數的 P 值為 0.114，此等說明 2005 年 2、8 月之地被層植物的種豐富度指數皆無顯著差異。

五、結論與建議

（一） 結合遙、航測等空間與屬性資料，掌握七家灣溪濱岸生態系之範圍，本研究設置植群監測樣區，共計調查記錄 95 科 209 屬 335 種植物。其種豐富度指數之分析結果顯示；以喬木層植物而言，有勝溪與湧泉池測站之歧異度與均勻度較高，而一號壩的歧異度較低，又部分喬木層植物歧異度之差異，推測為季節性洪水之干擾，以及局部地形差異所造成之空間異質性所致；另地被層植物歧異度與均勻度均頗高且差異不大。

（二） 將各測站之樣區喬木層植物之重要值大於 30 者，而地被層植物大於 10 者選為優勢種植物，並透過枯落物分析其組成與來源，此等資料可供如昆蟲、兩生類、鳥類、魚類等相關研究，供探討其生物資源之食性組成之參考。未來將持續進行枯落物收集、開花物候之記錄，及其植群之生物量與生產量之調查，以為濱岸生態系模式建構與分析之重要參數。

（三） 本研究已初步完成 1995、2006 年之土地利用型圖，各土地利用型之變遷，於自然因素方面，主要受到崩塌、洪水等干擾性因子；在而人為因素方面，則受到保護區成立、復舊造林計畫以及造林作業等所影響。未來將透過 2005 年航空照片圖之檢定，並蒐集過去武陵地區之植群、造林台帳等資料，以進一步分析其土地利用之變遷。

（四）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，以及混植原生樹之原則，樹種可採用下列數種；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.....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、櫸木、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、烏心石、大頭茶等。

六、參考文獻

王立志，1996。濱岸生態系的特性與保育。河川、溪流及水庫保護帶研討會論文集，pp. 72-80。國立中興大學水土保學系。

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。

王周平、李旭光、石勝友、齊代華、何正明、許文蔚、鄧先寶，2001。重慶縉雲山針闊混交林林隙樹木更替規律研究。植物生態學報 25(4), 399-404。

王相華、沈勇強、高瑞卿，2002。北臺灣福山試驗林陡峭林地之植群構造在不同微地貌的變化。臺灣林業科學 17(1), 99-112。

王相華、潘富俊、劉景國、于幼新、洪聖峰，2000。臺灣北部福山試驗林永久樣區之植物社會分類及梯度分析。臺灣林業科學 15(3), 411-428。

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。

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。

王義仲、黃曜謀、林志欽，2004。陽明山國家公園人工林植群變遷。國家公園學報 14(1), 11-23。

王筱萱、邱祈榮，2004。武陵地區林火發生機制之分析。中華林學會93年度學術發表論文集 pp.140-153。

代力民、王青春、鄭紅兵、陳高、王慶禮，2002。二道白河河岸帶植物群落最小面積種與物種豐富度。應用生態學報 13(6), 641-645。

江明喜、鄭紅兵、唐濤、蔡慶華，2002。香溪河流域河岸帶植物群落物種豐富度格局。生態學報 22(5), 629-635。

呂金誠，1998。樣區面積對四種常用歧異度指數影響之探討。中興大學實驗林研究彙刊 20(2), 1-15。

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，苗栗縣。

李建堂、鄭育斌、邱文良、林則桐、陳建文、王儀臻，2002。關渡自然保留區1986-1998植群變遷。臺灣林業科學 17(1), 41-50。

李哉鳴、王中原、卓子右，2003。雲林沿海平原植群組成之長期動庇變遷研究。華岡農科學報 11, 43-60。

李哉鳴、郭秀珮，2004。澎湖島海岸防風林植群林生態監測。華岡農科學報 13, 75-94。

李興東、宋永昌，1993。浙江東部常綠闊葉林次生演替的隨機過程模型。植物生態學與地植物學學報 17(4), 345-351。

汪靜明，1992。大甲溪魚類棲地改善之生態評估研究。臺灣電力公司80年度研究發展計畫。

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，1997。福山闊葉葉林枯落物及枝葉層之動態變化。臺灣林業 12(2), 135-144。

林朝欽，1993。國有林大甲溪事業區之森林火災及防火線。林業試驗所研究報告季刊 8(2), 159-167。

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。

夏禹九、王文賢，1985。坡地日輻射潛能之計算。臺灣省林業試驗所簡報第001號。

夏禹九、金恆鑣、洪富文、黃正良、王立志、劉瓊霰，1994。植生型與施肥作業對濱岸帶土壤水化學性質的影響。林業試驗所研究報告 9(1), 39-50。

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.

張建春，2001。河岸帶功能及其管理。水土保持學報 15(6), 143-146。

張建春、史志剛、彭補拙，2002。皖西南大別山麓河岸帶灘地生態重建與植物護坡效能分析。山地學報 20(1), 85-89。

張建春、彭補拙，2002。河岸帶及其生態重建研究。地理研究 21(3), 373-383。Cited by Gurnell *et al.*, 1999.

張建春、彭補拙，2003。河岸帶研究及其退化生態系統的恢復與重建。生態學報 23(1), 56-63。

張焜標、張耀聰，2000。恆春半島佳樂水瀑布上游溪岸之森林植群分析。屏東科技大學學報 9(1), 9-19。

連宮瑩，2002。河岸綠帶規劃與復育－以四分溪為例。臺灣大學園藝系碩士論文，臺北市。

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，苗栗縣。

陳正祥，1957。氣候分類及分區。臺灣大學實驗林林業叢刊 第7號。

陳玉峰，2002。臺中港漁港暨濱海遊憩區植被變遷調查報告。臺灣人文生態研究 4(1), 153-184。

陳吉泉，1996。河岸植被特徵及其生態系統和景觀中的作用。應用生態學報 7(4), 439-448。

陳朝圳、陳正華、吳守從，2001。人為干擾對南仁山生態保護區地景之影響。 林業研究季刊 23(2), 25-34。

塔山自然實驗室，2006。植物名錄。http://tnl.org.tw/。

楊正釧，1997。臺北縣烏來鄉桶后溪濱溪植群之研究。臺灣林業科學 12(3), 335-346。

葉慶龍、朱榮三，1999。屏東縣牡丹鄉牡丹溪濱溪植群研究。林業研究季刊 21(4), 17- 32。

廖林彥，2004。臺灣櫻花鉤吻鮭移地保育之研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處，苗栗縣。

劉棠瑞、蘇鴻傑，1978。大甲溪上游臺灣二葉松天然林之群落組成及相關環境因子之研究。臺灣大學農學院實驗林研究報告 121, 207-240。

歐辰雄，1996。雪見地區步道沿線植群調查研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處，苗栗縣。

蔡尚惠、呂金誠、歐辰雄、李明益，2000。惠蓀林場小出山闊葉樹次生林植群之生產力與歧異度分析。林業研究季刊 22(1), 51-62。

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。

蘇鴻傑，1987。森林生育地因子及其定量評估。中華林學季刊 20(1), 1-14。

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。

顧芝寧，2004。武陵地區鳥類群聚與土地利用類型之關係。國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文，花蓮市。

Armantrout, N. B., 1998. Glossary of aquatic habitat inventory terminology. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.

Baczkowski, A. J., Joanes, D. N. and Shamia, G. M., 1997. Properties of a generalized diversity index. Journal of Theoretical Biology 188, 207-213.

Barnard, J. E., 1990. Environmental health concerrco: A role for forest inventory and monitoting, 341-342. *In*: USDA, F. S. State-of-the-art methodology of forest inventory: a symposium proceedings.

Basnet, K., 1992. Effect of topography on the pattern of trees in tabonuco dominated rain forest of Puerto Rico. Biotropica 24(1), 31-42.

Berger, W. H. and Parker, F. L., 1970. Diversity of planktonic Foraminifera in deep sea sediments. Science 168, 1345-1347.

Budd, W. W., Cohen, P. L., Saunders, P. R. and Steiner, F. R., 1987. Stream corridor management in the Pacific Northwest: I. Determination of stream-corridor widths. Environmental Management 11(5), 587-597.

Burger, J., 2000. Landscapes, tourism and longervation. The Science of the Total Environment 249, 39-49.

Carothers, S. W., Johnson, R. R. and Aitchison, S. W., 1973. Population strcture and social organization of southwestern riparian birds. American Zoology 14, 97-108.

Chibbar, R. N. and Chen, H. J., 1999. From gene shuffling to the restoration of riparian ecosystems. Trends Plant Science 4(9), 337-338.

Day, F. P. and Monk, C. D., 1974. Vegetation patterns on a southern Appalachian watershed. Ecology 55, 1064-1074. Cited by Whittaker, R. H. 1960.

Dennis, F. W., 1999. Ecological issues related to wetland preservation, restoration, creation and assessment. The Science of the Total

Environment 240, 31-40.

Facelli, J. M. and Pickett, T., 1991. Plant litter: its dynamics and effects on plant community structure. The Botanical Review 57, 1-32.

Forman, R. T. T. and Godron, M., 1986. Landscape ecology. Forest Ecology and Management 155, 257-270.

Franklin, J. L., 1992. Scientitic basis for new perspectives in forests and streams. *In*: Naiman R. J. ed. Watershed management. Sprirger-Verlag, USA.

Friedberg, S. H. A., Insel, J. and Spence, L. E., 1979. Linear algebra. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

Gignoux, J., Clobert, J. and Menaut, J. C., 1997. Alternative fire resistance strategies in savanna tree. Oecologia, 110, 576-583.

Good, I. J., 1953. The population frequencies of species and the estimation of population parameters. Biometrika. 40, 237-264. Cited by Pielou, E. C., 1966.

Good, I. J., 1950. Probability and Weighing of Evidence, 1st ed. Charles Griffith & Co. Ltd., London. Cited by Pielou, E. C., 1966.

Greenberg, S. H., 1956. The measurement of linguistic diversity. Language 32, 109-115.

Gregory, S. V., Swanson, F. J. and Mckee, W. A., 1991. An ecosystem perspective of riparian zones. BioScience 41(8), 540-551.

Gurnell, A. M., Edwards, P. J., Petts, G. E. and Ward, J. V., 1999. Aconceptual model for alpine proglacial river channel evolution under changing climatic conditions. Catena 38, 223-242.

Hancock, C. N., Ladd, P. G. and Froend, R. H., 1996. Biodiversity and management of riparian vegetation in Western Australia. Forest Ecology and Management 85, 239-250.

Hara, M., Hirata, K., Fujihara, M. and Oono, K., 1996. Vegetation structure in relation to micro-landform in an evergreen broad-leaved forest on Amami Ohshima Island, south-west Japan. Ecology Research 11, 325-327.

Harmon, M. E., Franklin, J. F., Swanson, F. J., Sollins, P., Gregory, S. V., Anderson, J. D., Cline, S. P., Aumen, N. C., Lienkaempcr, S. W., Cromack, K. and Cummins, K. W., 1986. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosysterms. Advances in Ecological Research 15, 133-302.

Hayek, L. C. and Buzas, M. A., 1997. Surveying Natural Populations, 1st ed. Columbia University Press, New York.

Huang, S. F., 2002. Temporal and spatial variation of benthic marine algae in northeasten Taiwan. Journal of the National Taiwan Museum 55(2), 9-20.

Hurlbert, S. H., 1971. The non-concept of species diversity: a critique and alternative parameters. Ecology 52, 577-586.

Johansson, M. E., Nilsson, C. and Nilsson, E., 1996. Do rivers function as corridors for plant dispersal? Journal of Vegetation Science 7, 593-598.

Kempton, R. A. and Taylor, L.R., 1976. Models and statistics for species diversity. Nature 262, 818-820.

Kempton, R. A. and Taylor, L. R., 1978. The Q-statistic and the diversity. Nature 275, 252-253.

Kempton, R. A. and Wedderburn, R. W. M., 1978. A comparison of three measures of species diversity. Biometrics 34, 25-37.

Krebs, C. J., 1989. Ecological Methodology, 1st ed. Harper Collins Publishers, New York.

MacArthur, R. H., 1955. Fluctuations of animal populations, and a measure of community stability. Ecology 36(3), 533-536.

Magurran, A. E., 1988. Ecological Diversity and Its Measurement, 1st ed. Princeton University Press, Princeton.

Margalef, R., 1972. Homage to Evelyn Hutchinson, or why is there an upper limit to diversity. Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences 44, 211-235.

May, R. M., 1975. Patterns of species abundance and diversity, pp. 81-120. *In*: Lody, M. L. and Diamond, J. M., ed. Ecology and Evolution of Communities, 1st ed. Harvard University Press, Cambridge.

Mc Lean, E. O., 1982. Soil pH and lime requirement. *In*: Page, A. L. *et al*. eds. Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Agronomy 9, 199-223.

McIntosh, R. P., 1967. An index of diversity and the relation of certain concepts to diversity. Ecology 48, 392-404.

Molles, M. C., Crawford, C. S., Ellis, L. M., Valett, H. M. and Dahm, C. N., 1998. Managed flooding for Riparian Ecosystem Restoration. Bioscience 48(9), 749-756.

Motyka, J., Dobrzanski, B. and Zawadski, S., 1950. Wstepne badania nad

lakami poludniowowschodneij Lubelszczyzny (Preliminary studies on meadows in the southeast of the province Lublin. Summary in English). Ann. Univ. M. Curie-Sklodowska, Sec. E. 5, 367-347.

Naiman, R. J., 2000. Riparian ecology and management in the Pacific Coastal rain forest. Bioscience 50(11), 996-1012.

Naiman, R. J., Decamps, H. and Pollock, M., 1993. The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity. Ecological Applications 3(2), 209-212.

Naiman, R. J., Melillo, J. M., Lock, M. A., Ford, T. E. and Reice, S. R., 1987. Longitudinal patterns of ecosystem processes and community structure in a subarctic river continuum. Ecology 68(5), 1139-1156.

Nilsson, C., Ekblad, A., Dynesius, M. A., Backe, S., Gardfjell, M., Carlberg, B., Hellqvist, S. and Jansson, R., 1994. A comparison of species richness and traits of riparian plants between a main river channel and its tributaries. The Journal of Ecology 82(2), 281-298.

Peet, R. K., 1974. The measurement of species diversity. Annual Review of Ecology and Systematics 5, 285-307.

Pettit, N. E. and Froend, R. H., 2001. Availability of seed of recruitment of riparian vegetation: a comparison of a tropical and a temperate river ecosystem in Australia. Astralian Journal of Botany 49, 515-528.

Pettit, N. E. and Naiman, R. J., 2005. Flood-deposited wood debris and its contribution to heterogeneity and regeneration in a semi-arid riparian landscape. Oecologia 145, 434-444.

Pielou, E. C., 1966 a. Species-diversity and pattern diversity in the study of ecological succession. Journal of Theoretical Biology 10, 370-383.

Pielou, E. C., 1966 b. The measurement of diversity in different types of biological collections. Journal of Theoretical Biology 13, 131-144.

Pielou, E. C., 1966 c. Shannon's formula as a measure of specific diversity: its use and misuse. The American Naturalist 100(914), 463-465.

Pielou, E. C., 1975. Ecological Diversity, 1st ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Pielou, E. C., 1985. Mathematical Ecology, 2st ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Pollock, M. M., Naiman, R. J. and Hanley, T. A., 1998. Plant species richness

in riparian wetlands- a test of biodiversity theory. Ecology 79(1), 94-105.

Sakai, A. and Ohsawa, M., 1993. Vegetation pattern and micro-topography on a landslide scar of Mt. Kiyosumi, central Japan. Ecology Research 8, 47-56.

Shannon, C. E. and Weaver, W., 1949. The Mathematical Theory of Communication, 1st ed. University of Illinois Press, Urbana.

Simpson, E. H., 1949. Measurement of diversity. Nature 163: 688. Cited by Magurran, A. E., 1988.

Spellerberg, I. F., 1994. Monitoring Ecological Change, 1st ed. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Su, H. J., 1985. Studies on the climate and vegetation types of the natural forests in Taiwan(III). A scheme of geographical climatic regions. Quarterly Journal of Chinese Forestry 18(3), 33- 44.

Tilman, D., 1994. Competition and biodiversity in spatially structure habitats. Ecology 75(1), 2-16.

Turner, M. G. and Gardner, R. H., 1991.Quantitative Methods in Landscape Ecology. Springer, Berlin.

Walter, H. and Lieth, H., 1967. Klimmadiagramm Weltatlas. VEB Gustav Fisher Verlag, Jena.

Wang, Q. C., Deng, H. B., Wang, Q. L., Wang, S. X., Fan, Z. H., 2002. Minimum sampling area and α biodiversity of riparian broad-leaved/Korean pine forest in Erdaobaihe forested watershed, Changbai Mountain. Journal of Forest Research. 13(1), 12-16.

Whittaker, R. H., 1960. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. Ecological Monographs 30(3), 279-338.

Whittaker, R. H., 1972. Evolution and measurement of species diversity. Taxon 21, 213-251.

Williams, C. B., 1964. Patterns in the Balance of Nature and Related Problems in Quantitative Ecology. Academic Press, London and New York.

Xu, N. X. and Hirata, E. 2002. Forest floor mass and litterfall in *Pinus luchuensis* plantations with and without broad-leaved tree. Forest Ecology and Management 157, 165-173.

Yule, G. D., 1944. The Statistical Study of Literary Vocabulary, 1st ed. Cambridge University Press, London.

表 5-1 七家灣溪濱岸植群監測調查樣區屬性表

樣區編號	樣區座標（TM2°）		海拔高 (m)	坡度 (°)	坡向 (°)	水分梯度	全天光空域 (%)	直射光空域 (%)	土壤 pH	樣區所在測站位置
	x	y								
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)
101	280355	2699386	1,872	5	151.0	5	47.49	54.31	5.80	桃山西溪(#2)
102	280621	2699467	1,810	3	216.0	2	47.59	55.37	6.16	湧泉池(#3 上游)
103	280637	2699685	1,813	13	140.0	7	43.36	55.26	6.36	湧泉池(#3 上游)
104	280642	2699784	1,815	4	130.0	7	49.49	58.68	6.44	湧泉池(#3 上游)
105	280534	2696427	1,755	3	349.0	14	37.96	46.05	5.73	一號壩(#4)
106	280968	2694212	1,676	0	222.0	2	57.00	66.48	6.46	繁殖場(#5)
107	280604	2694774	1,720	42	10.0	14	43.66	42.45	6.47	高山溪(#8)
108	280732	2694699	1,690	33	123.0	7	46.84	52.10	5.63	高山溪(#8)
109	280991	2694450	1,697	0	25.0	16	48.60	61.89	6.26	繁殖場(#5)
110	280732	2694770	1,772	10	100.0	11	62.73	72.14	6.14	高山溪(#8)
111	280690	2694757	1,755	22	223.0	2	35.41	46.41	5.67	高山溪(#8)
112	280500	2699369	1,875	0	30.0	16	50.08	58.90	6.67	桃山北溪(#1)
113	280513	2699476	1,874	0	20.0	16	48.24	58.31	6.33	桃山北溪(#1)
114	280528	2699569	1,865	0	335.0	12	40.57	50.14	6.44	桃山北溪(#1)
115	280736	2696352	1,786	0	323.0	10	53.15	45.01	6.34	一號壩(#4)
116	280742	2696248	1,759	0	350.0	14	57.16	59.39	6.50	一號壩(#4)
117	280744	2696222	1,772	3	345.0	12	56.32	58.95	5.44	一號壩(#4)
118	281012	2694551	1,743	26	15.0	16	55.09	54.94	6.61	繁殖場(#5)

註：1-12 為永久樣區；101-118 為臨時樣區

表 5-2 七家灣溪濱岸植群監測調查之植物類別統計

分　類	植　物　類　別				合計
	蕨類	裸子	雙子葉	單子葉	
科數	16	4	68	7	95
屬數	30	6	159	14	209
種數	61	6	248	20	335
喬木	0	6	62	0	68
灌木	0	0	59	0	59
藤本	0	0	36	8	44
草本	61	0	91	12	164
特有	8	5	85	4	102
原生	53	6	144	15	218
歸化	0	0	10	1	11
栽培	0	0	9	0	9
普遍	34	1	188	15	238
中等	21	1	46	4	72
稀有	6	4	14	1	25

表 5-3 七家灣溪濱岸植群監測調查之永久樣區喬木層優勢種植物及其重要值

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	0.0	0.0	2.2	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
栓皮櫟	73.1	38.1	75.9	43.6	0.0	0.0	37.0	53.3	24.5	0.0	0.0	0.0
楓香	0.0	0.0	52.4	61.7	0.0	0.0	29.5	0.0	0.0	3.7	0.0	0.0
臺灣紫珠	1.7	8.9	0.0	0.0	29.8	24.7	0.0	0.0	76.3	0.0	0.0	0.0
臺灣黃杉	0.0	2.3	42.3	5.6	26.3	7.2	4.4	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0
化香樹	0.0	0.0	5.4	49.3	0.0	0.0	91.1	81.3	0.0	0.0	0.0	0.0
米飯花	30.0	16.0	26.2	37.7	0.0	0.0	47.8	119.6	0.0	0.0	0.0	0.0
海州常山	0.0	0.0	0.0	0.0	32.3	0.0	0.0	0.0	17.3	0.0	0.0	0.0
臺灣二葉松	100.5	141.3	0.0	14.9	38.9	42.5	18.7	0.0	10.4	71.7	63.2	194.5
臺灣赤楊	17.3	0.0	0.0	0.0	74.1	28.2	27.5	12.9	38.2	170.7	210.2	105.5
蓪草	0.0	0.0	0.0	0.0	12.8	0.0	0.0	0.0	109.7	0.0	0.0	0.0

註： 桃山西溪測站（1、2）
繁殖場測站（3、4）
有勝溪測站（5、6）
高山溪測站（7、8）
桃山北溪測站（9、10）
一號壩測站（11、12）

表 5-4 七家灣溪濱岸植群監測調查之臨時樣區喬木層優勢種植物及其重要值

植物種類	樣區編號																	
	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
大葉溲疏	0.0	19.6	47.2	0.0	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	40.2	13.4	25.3	18	0.0	15.6	0.0
大頭茶	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
化香樹	0.0	0.0	0.0	0.0	28.9	0.0	0.0	6.3	31.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.6
水麻	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	47.4	0.0	0.0	0.0	0.0
尖葉槭	9.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
米飯花	7.4	88.1	0.0	0.0	26.1	0.0	0.0	2.3	0.0	17.7	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.3	21.1
阿里山榆	0.0	0.0	48.3	18.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	70.3	0.0	0.0
屏東木薑子	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	97.3	0.0	4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.6
紅檜	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1	0.0	36.2	14.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
栓皮櫟	103.6	32.2	0.0	0.0	114.1	0.0	0.0	49.0	0.0	33.3	39.2	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.3	69.4
海州常山	0.0	0.0	0.0	0.0	13.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
馬銀花	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	65.3	0.0	49.3	36.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
高山莢蒾	40.3	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	2.6	0.0	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
疏果海桐	26.7	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	10.5	0.0	4.6	5.3	2.1	0.0	0.0	8	0.0	0.0	16	34.2
楓香	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.2
臺灣二葉松	29.2	18.8	81.7	183.8	0.0	0.0	0.0	68.6	49.2	98.3	64.9	6.6	85.9	14.8	51.3	10.8	79.6	0.0
臺灣八角金盤	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.9	0.0	0.0	0.0	0.0
臺灣赤楊	0.0	10.3	55.8	8.9	15.3	300.0	44.9	0.0	27.5	3.2	6	91.4	46.4	94.8	219.8	206.5	21.4	4.6
臺灣胡桃	0.0	0.0	0.0	0.0	20.5	0.0	42.4	2.3	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.2
臺灣紫珠	3.3	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	12.4	0.0	0.0	0.0	0.0	19.8	66.2	20.2	0.0	0.0	0.0	10.6
臺灣黃杉	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.7	0.0	0.0	16.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	22.1
褐毛柳	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.2	27.1	16.9	0.0	12.3	4.1	0.0
蓪草	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
高山藤繡球	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	97.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

註：桃山西溪測站（101）；繁殖場測站（106、109、118）；湧泉池測站（102、103、104）；高山溪測站（107、108、110、111）；桃山北溪測站（112、113、114）；一號壩測站（105、115、116、117）

表 5-5 七家灣溪濱岸植群監測調查（2 月）之永久樣區地被層優勢種植物及其重要值

植物種類	樣區編號							
	1	2	3	4	5	6	7	8
小葉鐵仔	8.9	11.7	9.9	2.8	0.0	0.4	1.0	5.0
五葉長穗木通	0.0	0.0	4.2	10.7	0.0	0.0	0.0	0.0
沿階草	5.3	6.0	15.0	13.0	0.5	3.0	6.7	8.4
高山芒	98.0	88.4	80.3	82.2	1.5	5.0	52.5	56.3
高山莢蒾	4.5	1.0	12.2	8.8	0.5	0.0	0.5	0.6
細葉杜鵑	0.0	5.5	1.1	1.5	0.0	0.8	28.6	13.9
頂芽狗脊蕨	0.9	0.0	0.0	0.0	16.9	52.8	0.7	0.0
臺灣常春藤	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	22.9
臺灣蘆竹	0.0	2.2	0.0	0.0	55.8	19.4	0.0	0.0

表 5-6 七家灣溪濱岸植群監測調查（8 月）之永久樣區地被層優勢種植物及其重要值

植物種類	樣區編號											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
小葉鐵仔	6.4	8.8	12.8	2.3	0.0	0.8	1.0	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0
五葉長穗木通	0.0	0.0	4.9	10.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
臺灣懸鉤子	3.3	18.5	0.0	0.0	0.0	3.8	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
艾	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	0.8	0.8	3.4	21.3
串鼻龍	0.0	1.3	0.0	0.6	4.3	2.1	0.0	0.0	10.5	13.2	5.8	4.1
沿階草	7.6	5.2	32.9	32.2	0.0	0.8	7.5	23.0	0.0	0.8	0.0	0.0
高山芒	62.3	57.3	34.0	46.5	5.5	2.5	38.9	26.1	72.1	75.2	45.1	34.7
高山破傘菊	10.9	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
細葉杜鵑	0.0	2.3	0.0	3.1	0.0	0.4	17.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0
頂芽狗脊蕨	1.7	0.0	0.0	0.0	15.4	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0
臺灣何首烏	0.0	0.5	0.0	0.0	1.4	0.4	2.6	1.6	13.6	16.4	34.8	51.9
臺灣崖爬藤	0.6	2.4	0.0	0.0	7.9	9.0	11.0	18.4	12.0	3.9	0.0	0.0
臺灣常春藤	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	15.9	0.0	0.0	0.0	0.0
臺灣澤蘭	0.0	0.0	0.5	0.0	0.7	2.1	0.0	0.0	0.0	0.8	6.4	15.3
臺灣蘆竹	0.6	0.9	0.0	0.0	39.9	11.2	0.0	0.0	5.4	7.7	0.9	2.2
波葉山螞蝗	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	25.3
苦懸鉤子	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.8	2.4

表 5-7 七家灣溪濱岸植群監測調查之臨時樣區地被層優勢種植物及其重要值

植物種類	樣區編號																	
	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
大葉馬兜鈴	1.6	0.0	0.0	0.0	30.9	0.0	6.5	2.7	4.4	2.1	2.0	0.0	2.1	2.1	1.3	0.0	0.0	8.0
小葉鐵仔	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	7.4
臺灣山薔薇	2.2	10.0	9.2	0.9	1.3	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	9.1	2.9	6.4	11.1	6.2	0.6
五葉長穗木通	0.0	2.2	0.0	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
木賊	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	9.5	0.0	0.0
台東懸鉤子	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
玉山瓦葦	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	2.4	1.8	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	14.4	1.1
石葦	4.1	0.7	3.2	3.6	0.5	0.0	1.8	1.6	0.0	10.4	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.4	4.7
尖葉耳蕨	0.0	0.7	0.7	0.0	2.1	0.0	19.0	0.5	0.8	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6
艾	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	7.8	0.0	0.0
串鼻龍	0.5	0.7	2.2	3.2	7.6	6.9	4.4	0.5	9.2	0.0	0.0	0.0	1.1	2.4	6.7	0.0	0.9	6.8
波葉山螞蝗	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
沿階草	13.7	29.0	0.7	0.0	18.8	0.0	3.4	2.2	3.9	13.8	3.1	1.0	1.1	2.0	0.0	1.7	4.8	8.6
虎杖	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0
長柄瓦葦	10.6	2.4	3.4	7.1	0.5	0.0	2.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
咬人貓	0.0	0.8	11.0	24.0	3.3	0.0	21.6	0.0	8.1	0.0	0.0	9.3	1.1	28.3	0.0	8.6	0.0	0.0
紅毛杜鵑	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	12.4	11.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
苦懸勾子	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
馬銀花	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	0.0	32.8	8.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
高山芒	37.6	11.6	72.9	55.3	9.4	52.2	0.0	105.3	15.9	22.9	33.0	80.5	57.8	14.1	94.7	70.9	31.3	18.3
高山破傘菊	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

續表 5-7 七家灣溪濱岸植群監測調查之臨時樣區地被層優勢種植物及其重要值

植物種類	樣區編號																	
	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
高山莢蒾	11.5	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	1.4	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
高梁泡	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
細葉杜鵑	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0	27.4	44.5	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8
通條木	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	10.3	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0
頂芽狗脊蕨	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	1.0	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	8.1	15.2	1.3	0.0	0.0	4.9
圓果冷水麻	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.4	0.0	0.0	0.0	2.2
臺灣羊桃	10.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
臺灣何首烏	1.5	0.8	0.0	2.5	0.5	13.3	0.9	0.5	9.8	0.0	0.0	10.6	13.6	12.7	15.5	29.6	0.0	4.1
臺灣崖爬藤	2.2	9.3	13.9	1.8	10.1	0.0	6.2	4.9	0.0	4.5	12.0	12.8	16.5	17.9	0.0	0.0	0.0	0.0
臺灣常春藤	4.0	0.7	0.9	0.0	0.0	0.0	6.7	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
臺灣福王草	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
臺灣澤蘭	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0
臺灣懸鉤子	3.6	1.1	4.6	0.0	0.6	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	8.8	9.5	13.4	0.0	0.0	4.6	0.0
臺灣蘆竹	11.8	49.3	6.4	16.8	8.2	2.3	3.6	0.0	5.1	0.0	0.0	1.3	2.3	2.3	10.4	1.9	33.4	9.9
雞屎藤	0.4	1.9	0.8	4.0	1.8	10.6	2.7	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表 5-8 七家灣溪濱岸植群之枯落物監測調查（2005 年 2 月-2006 年 8 月）

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）	單位生物量（dw-g/30 d m^2）	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）	79.370	52.235	7.150	8.626	147.381	138.170	184.226	6	20050630	20050801	32
	142.587	76.239	8.032	17.284	244.142	101.726	135.634	8	20050801	20051012	72
	130.060	0.182	3.163	1.268	134.673	46.979	62.639	10、12	20051012	20060107	86
	95.630	3.465	0.692	1.447	101.234	43.386	57.848	2	20060107	20060318	70
	61.867	8.323	6.751	1.873	78.813	14.243	18.991	4、6、8	20060318	20060831	166
桃山西溪（#2）	25.370	6.370	6.590	0.530	38.860	17.144	22.859	4	20050404	20050611	68
	88.590	141.939	6.570	33.472	270.571	165.656	220.874	6	20050611	20050730	49
	63.217	24.003	0.882	8.658	96.760	39.227	52.303	8	20050730	20051012	74
	244.750	29.580	0.773	3.037	278.140	97.026	129.367	10、12	20051012	20060107	86
	103.800	5.252	0.245	3.055	112.352	48.151	64.201	2	20060107	20060318	70
	111.414	4.058	7.249	2.187	124.909	22.574	30.098	4、6、8	20060318	20060831	166
一號壩（#4）	52.782	15.691	1.189	10.217	79.879	23.042	30.723	8	20050630	20051012	104
	102.870	0.508	0.914	1.120	105.412	36.349	48.465	10、12	20051012	20060107	87
	85.150	0.048	0.512	0.610	86.320	36.994	49.326	2	20060107	20060318	70
	103.042	4.504	6.857	1.664	116.067	20.976	27.968	4、6、8	20060318	20060831	166
繁殖場（#5）	60.770	16.180	5.470	0.840	83.260	19.824	26.432	2、4	20050205	20050611	126
	80.300	43.252	2.067	10.497	136.116	33.199	44.265	6、8	20050611	20051012	123
	320.050	14.185	0.435	1.447	336.117	117.250	156.333	10、12	20051012	20060107	86
	89.590	0.989	0.306	1.260	92.145	39.491	52.654	2	20060107	20060318	70
	29.205	25.312	1.180	4.551	60.247	10.888	14.517	4、6、8	20060318	20060831	166

續表 5-8 七家灣溪濱岸植群之枯落物監測調查（2005 年 2 月-2006 年 8 月）

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）	單位生物量（dw-g/30 d m^2）	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）
高山溪	3.725	0.636	4.847	2.842	12.050	6.233	8.310	2	20050205	20050404	58
（#8）	20.870	6.460	4.160	2.300	33.790	14.907	19.876	4	20050404	20050611	68
	45.490	27.165	5.310	10.789	88.754	55.471	73.962	6	20050611	20050729	48
	75.460	22.493	13.647	11.797	123.397	48.709	64.946	8	20050729	20051013	76
	235.360	32.112	6.050	3.760	277.282	96.726	128.968	10、12	20051013	20060107	86
	85.760	29.093	1.034	1.318	117.205	50.231	66.974	2	20060107	20060318	70
	151.993	21.770	6.776	3.564	184.103	33.272	44.362	4、6、8	20060318	20060831	166
有勝溪	63.620	4.720	2.520	1.140	72.000	31.765	42.353	4	20050404	20050611	68
（#9）	40.170	19.870	0.106	31.473	91.619	53.894	71.858	6	20050611	20050801	51
	30.280	17.430	0.304	13.830	61.844	25.415	33.887	8	20050801	20051013	73
	210.270	4.510	10.820	4.190	229.790	80.159	106.879	10、12	20051013	20060107	86
	103.720	1.410	1.353	3.596	110.079	47.177	62.902	2	20060107	20060318	70
	171.546	34.026	7.258	8.803	221.633	40.054	53.406	4、6、8	20060318	20060831	166
總　計	2,799.165	553.564	105.424	182.546	3,640.700						

表 5-9 2005-2006 年總樣區喬木層植物之種數、總株數與種豐富度指數

樣區編號	種數	總株數	H_{SW}	D_{BP}	D_M	D_{SM}	Q_K	E_{SW}	E_M
1	17	122	2.265	0.221	0.691	0.862	4.324	0.799	0.830
2	19	101	2.371	0.297	0.695	0.860	5.860	0.805	0.813
3	14	164	2.337	0.189	0.722	0.888	3.792	0.886	0.909
4	15	135	2.303	0.178	0.717	0.881	3.371	0.850	0.883
5	17	92	2.557	0.141	0.780	0.909	5.651	0.903	0.923
6	25	187	2.812	0.134	0.782	0.924	7.646	0.874	0.906
7	19	193	2.111	0.368	0.597	0.801	5.903	0.717	0.719
8	13	230	1.447	0.522	0.435	0.648	5.311	0.564	0.562
9	7	45	1.562	0.356	0.575	0.739	1.985	0.803	0.786
10	6	70	1.333	0.471	0.488	0.675	1.303	0.744	0.726
11	4	67	0.925	0.627	0.355	0.527	0.910	0.667	0.624
12	2	44	0.536	0.773	0.229	0.351	- [a]	0.773	0.664
101	18	150	2.299	0.247	0.678	0.858	5.771	0.795	0.815
102	22	145	2.763	0.131	0.787	0.922	7.978	0.894	0.917
103	10	83	1.900	0.313	0.640	0.815	2.485	0.825	0.833
104	9	45	1.698	0.467	0.569	0.734	4.894	0.773	0.726
105	13	64	2.143	0.281	0.693	0.845	4.551	0.835	0.839
106	1	37	0.000	1.000	0.000	0.000	- [a]	- [b]	- [b]
107	13	104	1.517	0.625	0.401	0.593	5.006	0.591	0.501
108	19	185	1.955	0.497	0.515	0.726	5.651	0.664	0.619
109	13	102	1.472	0.627	0.396	0.587	3.820	0.574	0.494
110	17	145	2.160	0.317	0.648	0.836	3.205	0.762	0.785
111	24	184	2.631	0.245	0.728	0.894	6.649	0.828	0.847
112	12	59	2.050	0.237	0.687	0.838	2.731	0.825	0.840
113	12	75	1.988	0.387	0.621	0.797	6.548	0.800	0.772
114	11	50	2.118	0.200	0.728	0.859	3.657	0.883	0.894
115	4	55	0.770	0.745	0.267	0.409	- [a]	0.555	0.462
116	4	84	0.330	0.929	0.079	0.136	2.466	0.238	0.141
117	19	144	2.581	0.153	0.758	0.907	6.144	0.877	0.902
118	18	108	2.423	0.204	0.729	0.884	5.049	0.838	0.862

註： H_{SW}為Shannon訊息統計指數；D_{BP}為Berger種豐富度指數；D_M為McIntosh種豐富度指數；D_{SM}為Simpson種豐富度指數；Q_K為Q統計值；E_{SW}為Shannon均勻度指數；E_M為McIntosh均勻度指數；a係因無50%種豐富度階之四分位數或因25%、75%種豐富度階之四分位數相等，故無法求得Q統計值；b是因總種數為1，故無法求得其均勻度指數。

表 5-10 2005 年 2 月永久樣區地被層植物之種數、總株數與種豐富度指數

樣區編號	種數	總株數	H_{SW}	D_{BP}	D_M	D_{SM}	Q_K	E_{SW}	E_M
1	38	244	3.087	0.143	0.793	0.933	12.772	0.849	0.885
2	41	326	3.054	0.166	0.772	0.927	14.767	0.822	0.865
3	36	449	2.725	0.194	0.720	0.901	7.534	0.761	0.823
4	46	410	2.965	0.141	0.758	0.922	10.970	0.774	0.845
5	69	599	3.656	0.088	0.844	0.964	16.718	0.864	0.921
6	90	826	3.743	0.087	0.837	0.963	25.597	0.832	0.903
7	69	707	3.444	0.160	0.796	0.945	18.329	0.813	0.871
8	51	813	3.147	0.182	0.762	0.930	12.215	0.800	0.856

表 5-11 2005 年 8 月永久樣區地被層植物之種數、總株數與種豐富度指數

樣區編號	種數	總株數	H_{SW}	D_{BP}	D_M	D_{SM}	Q_K	E_{SW}	E_M
1	54	581	3.169	0.169	0.771	0.932	11.447	0.794	0.855
2	59	656	3.451	0.093	0.817	0.954	15.160	0.846	0.903
3	46	613	3.307	0.098	0.816	0.953	9.772	0.864	0.918
4	61	473	3.512	0.097	0.831	0.957	16.621	0.854	0.909
5	77	581	3.850	0.076	0.866	0.971	21.125	0.886	0.937
6	98	668	3.970	0.084	0.864	0.971	29.535	0.866	0.924
7	77	753	3.602	0.093	0.824	0.957	26.342	0.829	0.896
8	60	722	3.541	0.086	0.835	0.962	14.427	0.865	0.923
9	46	370	3.028	0.186	0.764	0.924	8.311	0.791	0.849
10	43	266	3.091	0.147	0.789	0.933	9.017	0.822	0.874
11	46	220	3.465	0.086	0.855	0.959	17.750	0.905	0.935
12	25	182	2.514	0.209	0.715	0.886	5.281	0.781	0.827

表 5-12 臨時樣區地被層植物之種數、總株數與種豐富度指數

樣區編號	種數	總株數	H_{SW}	D_{BP}	D_M	D_{SM}	Q_K	E_{SW}	E_M
101	66	572	3.493	0.094	0.822	0.955	17.155	0.834	0.898
102	56	347	3.247	0.127	0.791	0.937	15.931	0.807	0.864
103	51	361	3.256	0.188	0.786	0.935	14.667	0.828	0.866
104	48	324	3.193	0.176	0.782	0.932	20.025	0.825	0.864
105	68	505	3.583	0.107	0.835	0.959	15.533	0.849	0.908
106	40	340	2.926	0.171	0.759	0.921	10.099	0.793	0.853
107	61	686	3.349	0.146	0.792	0.943	15.838	0.815	0.873
108	62	468	3.459	0.092	0.824	0.954	17.673	0.838	0.900
109	72	488	3.618	0.100	0.837	0.960	17.312	0.846	0.906
110	46	208	3.216	0.135	0.811	0.940	11.459	0.840	0.885
111	38	246	3.065	0.183	0.784	0.929	10.460	0.842	0.876
112	36	197	3.003	0.162	0.790	0.929	10.013	0.838	0.880
113	40	245	3.116	0.176	0.790	0.932	13.654	0.845	0.879
114	38	260	3.177	0.119	0.810	0.942	12.737	0.873	0.907
115	30	177	2.886	0.181	0.776	0.920	9.180	0.848	0.878
116	28	144	2.693	0.243	0.737	0.895	10.820	0.808	0.833
117	40	238	3.192	0.113	0.817	0.944	13.198	0.865	0.907
118	82	493	3.895	0.073	0.871	0.972	25.544	0.884	0.935

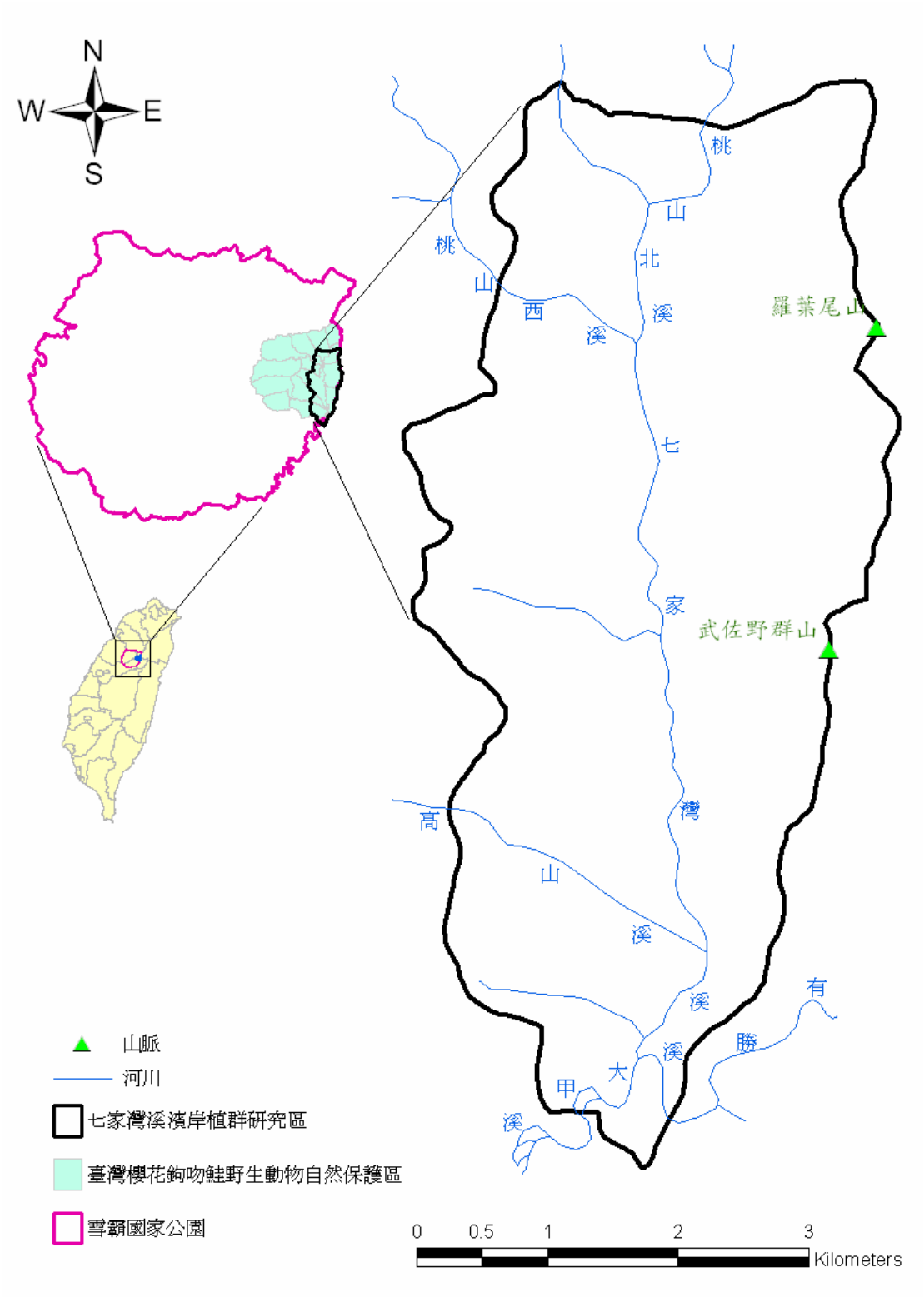


圖 5-1 七家灣溪濱岸植群研究區

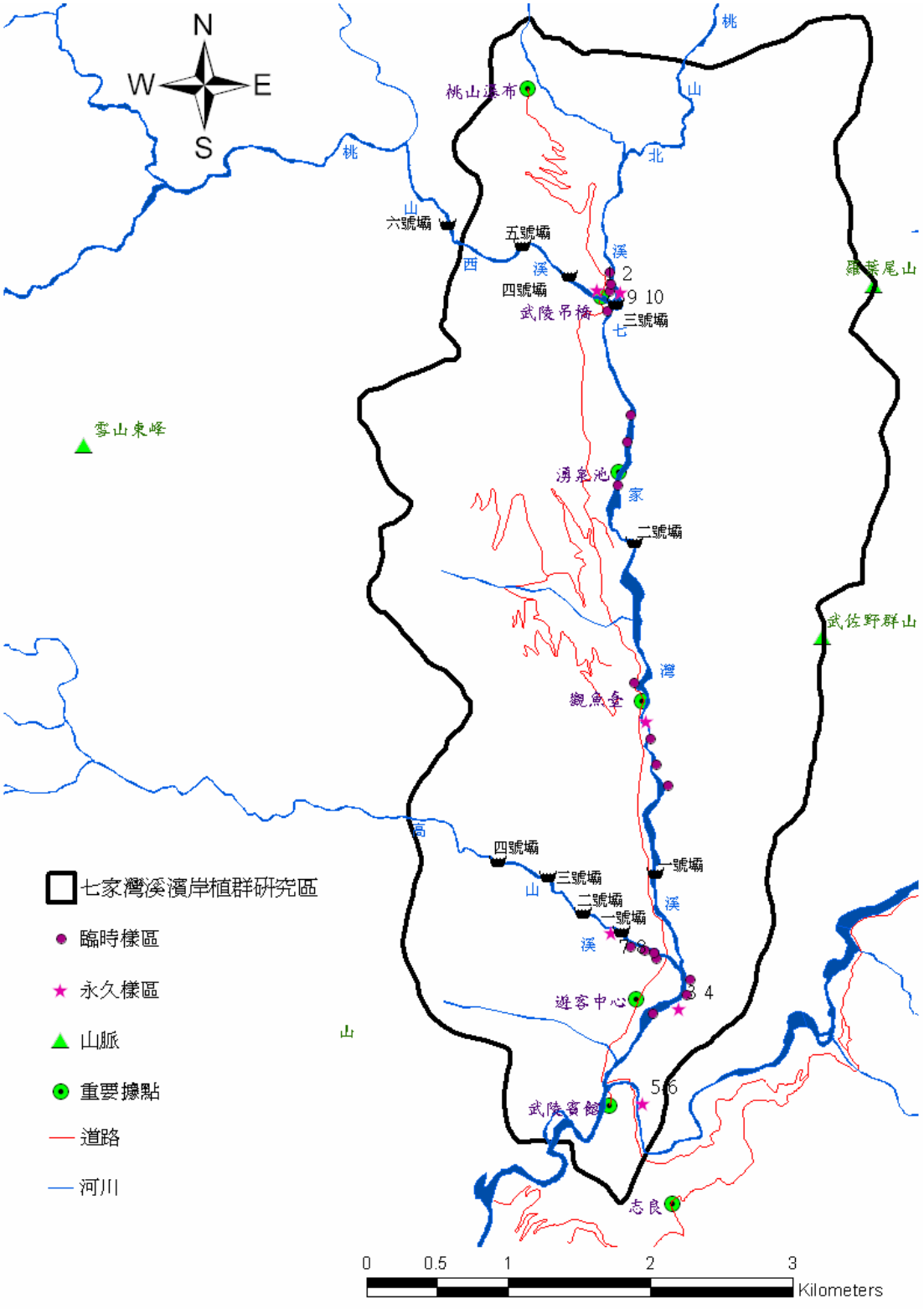


圖 5-2 七家灣溪濱岸植群監測樣區位置圖

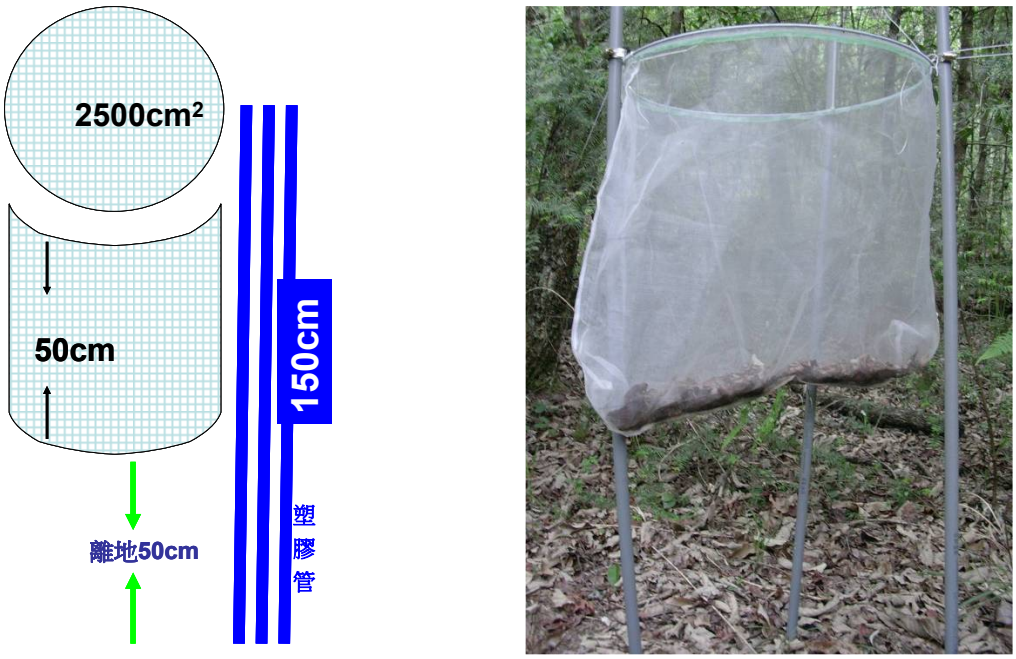


圖 5-3 枯落物收集網之架設示意圖

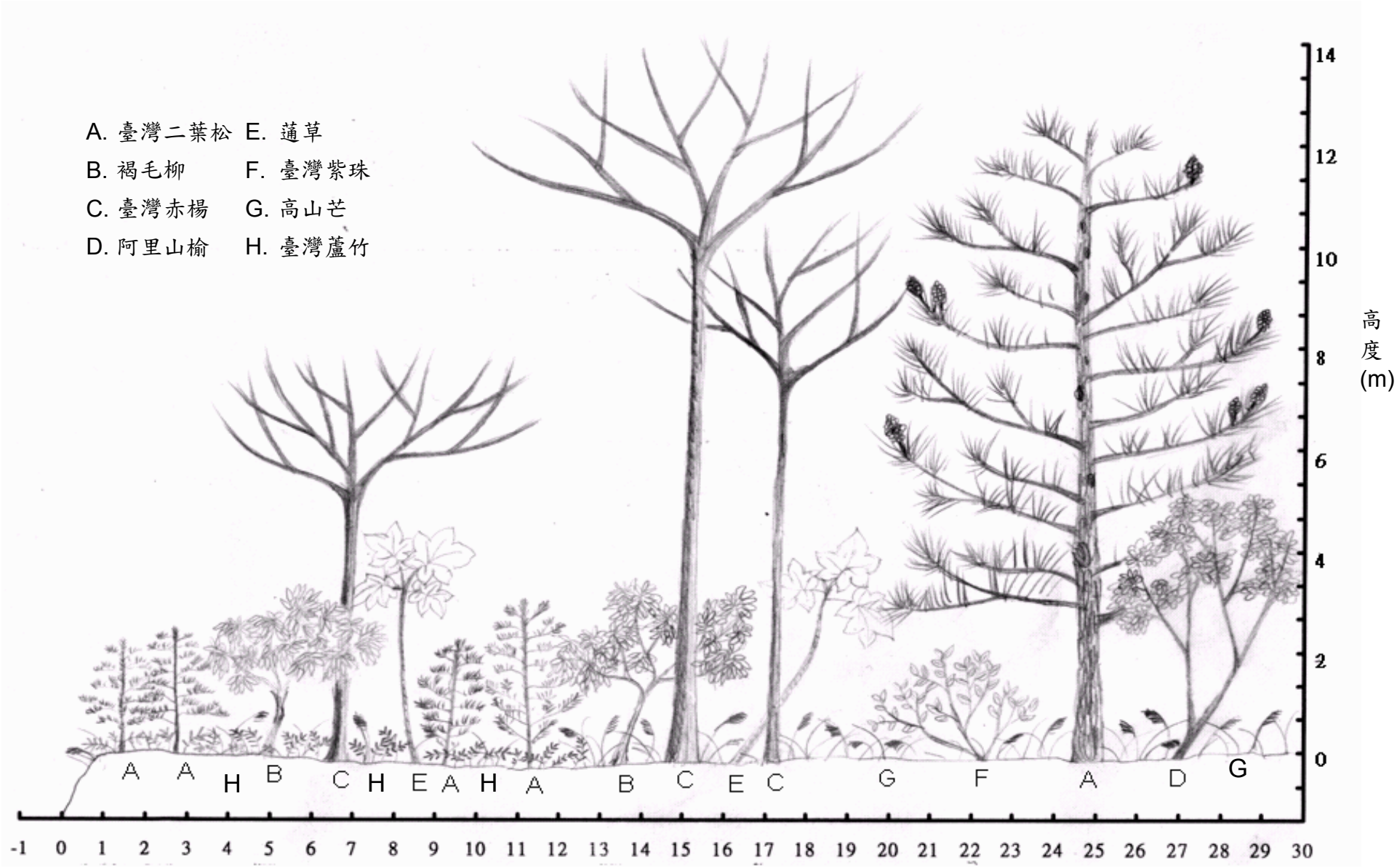


圖 5-4 桃山北溪(# 1)右岸植群剖面圖

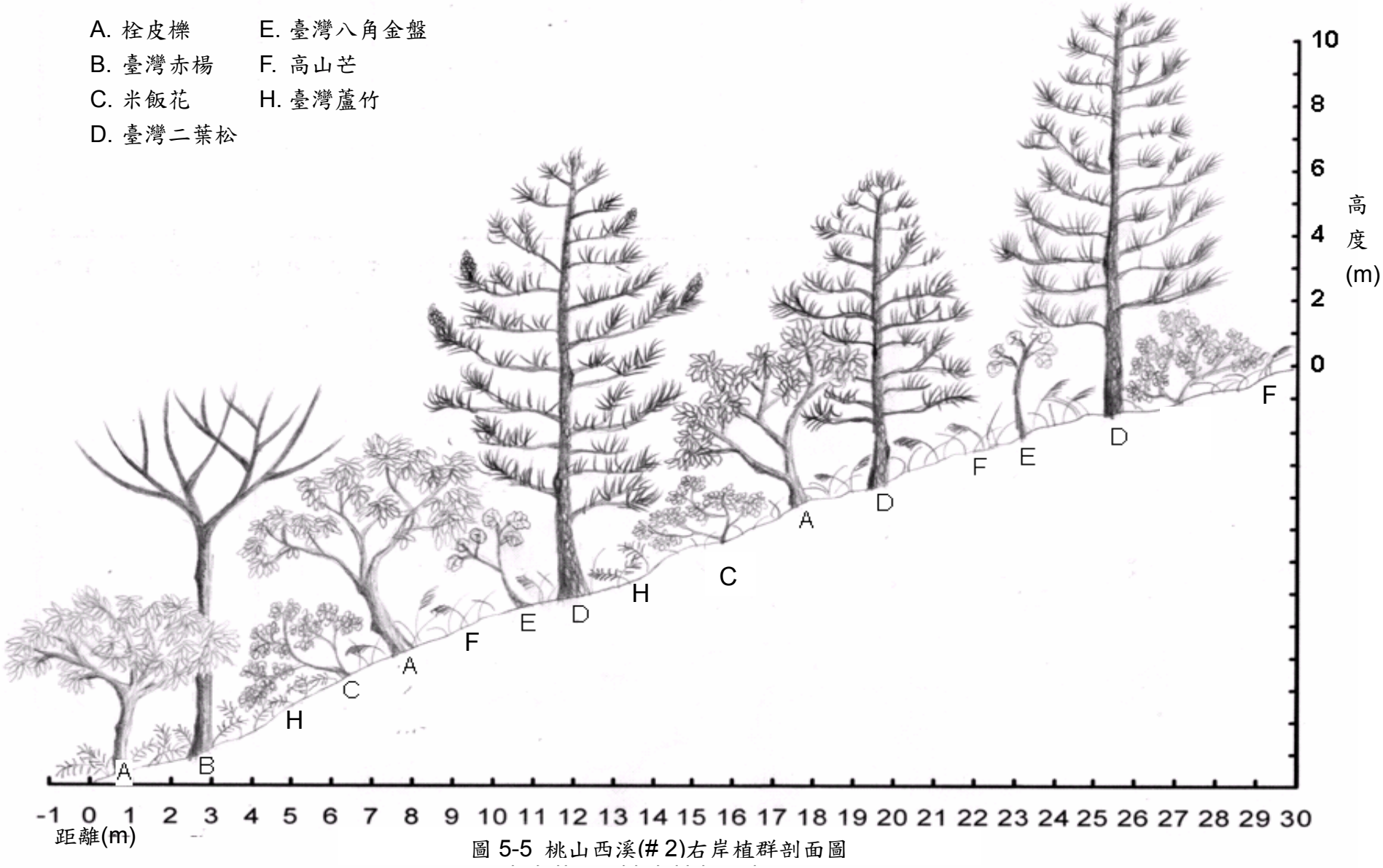


圖 5-5 桃山西溪(# 2)右岸植群剖面圖

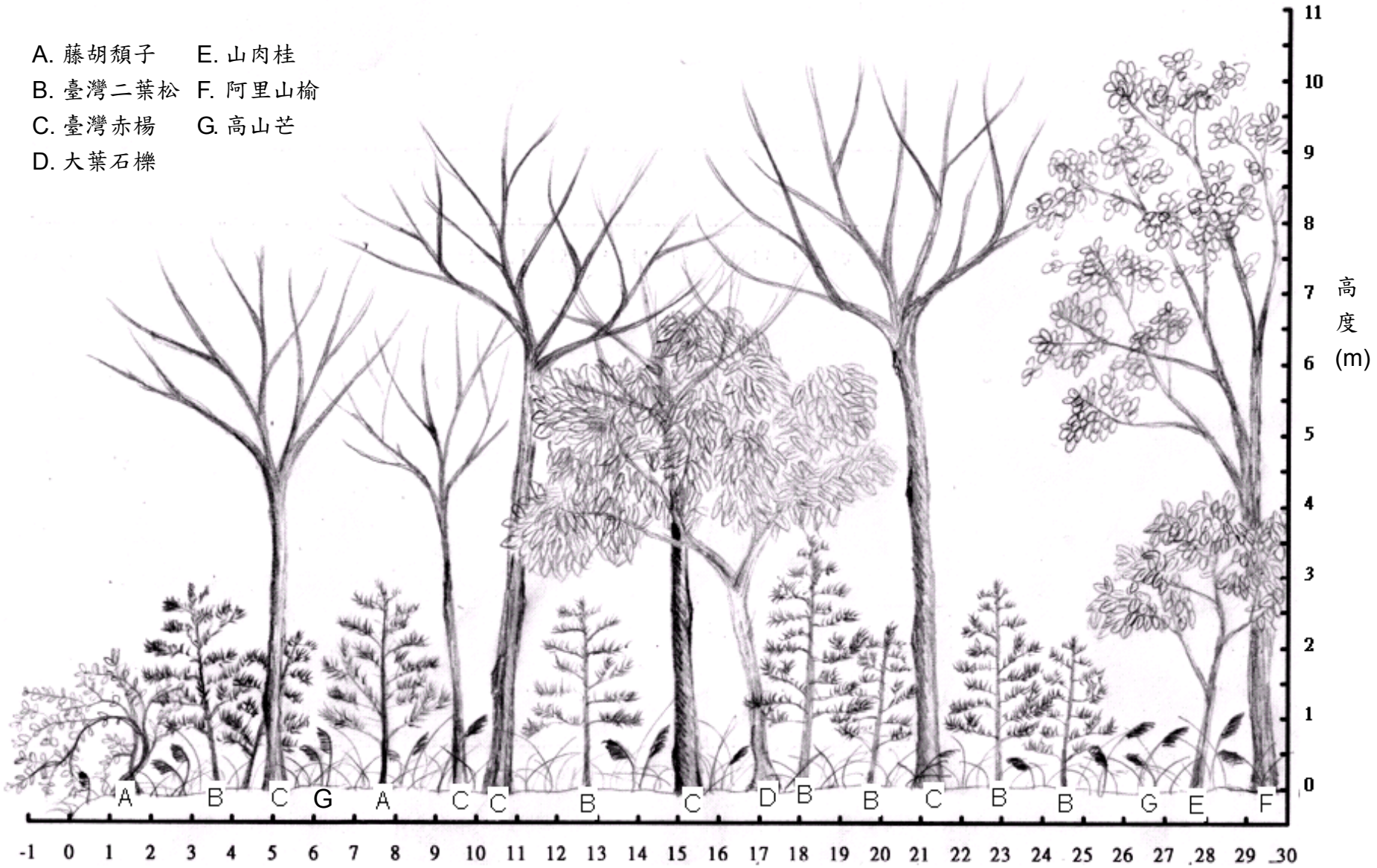


圖 5-6 一號壩(# 4)右岸植群剖面圖

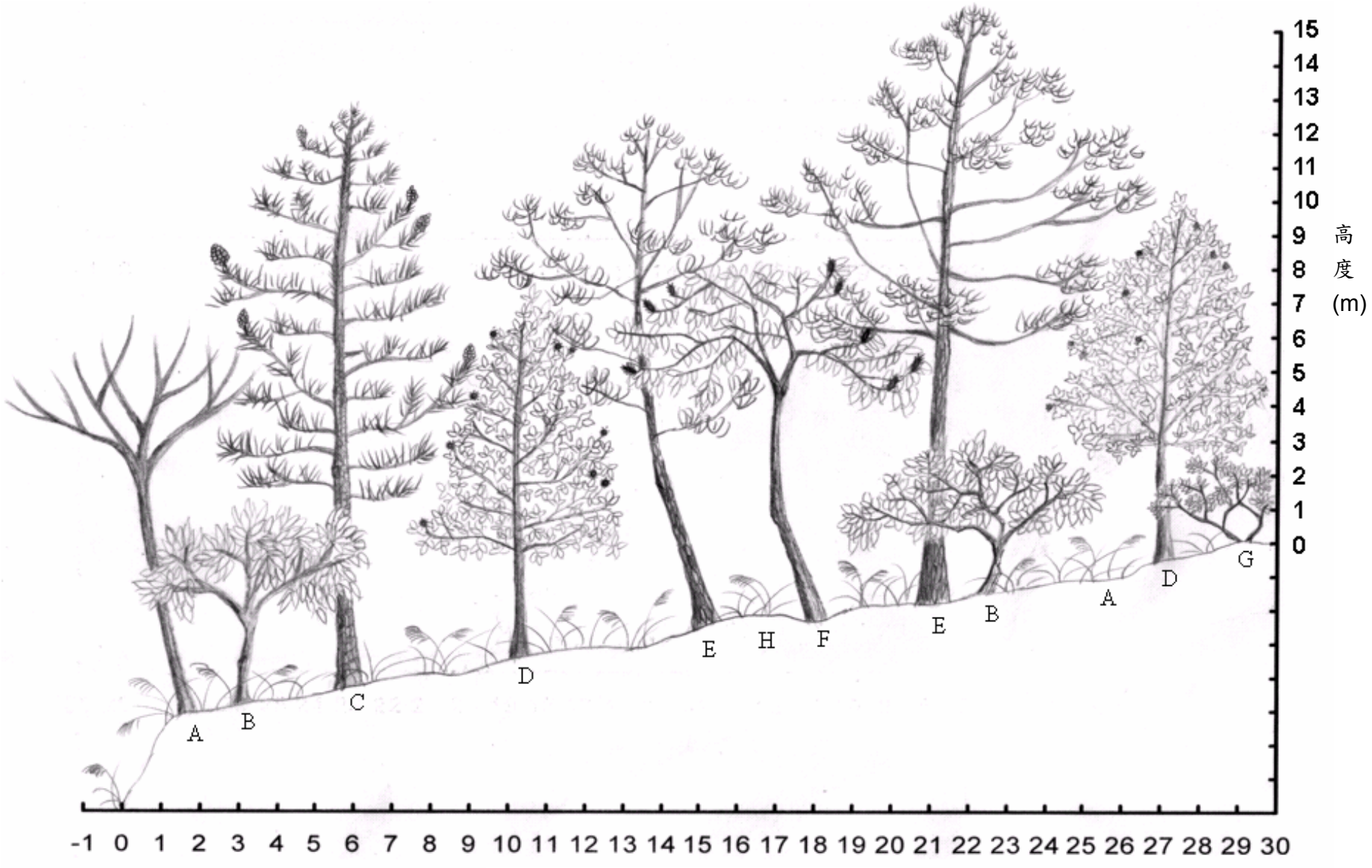


圖 5-7 繁殖場(# 5)右岸植群剖面圖

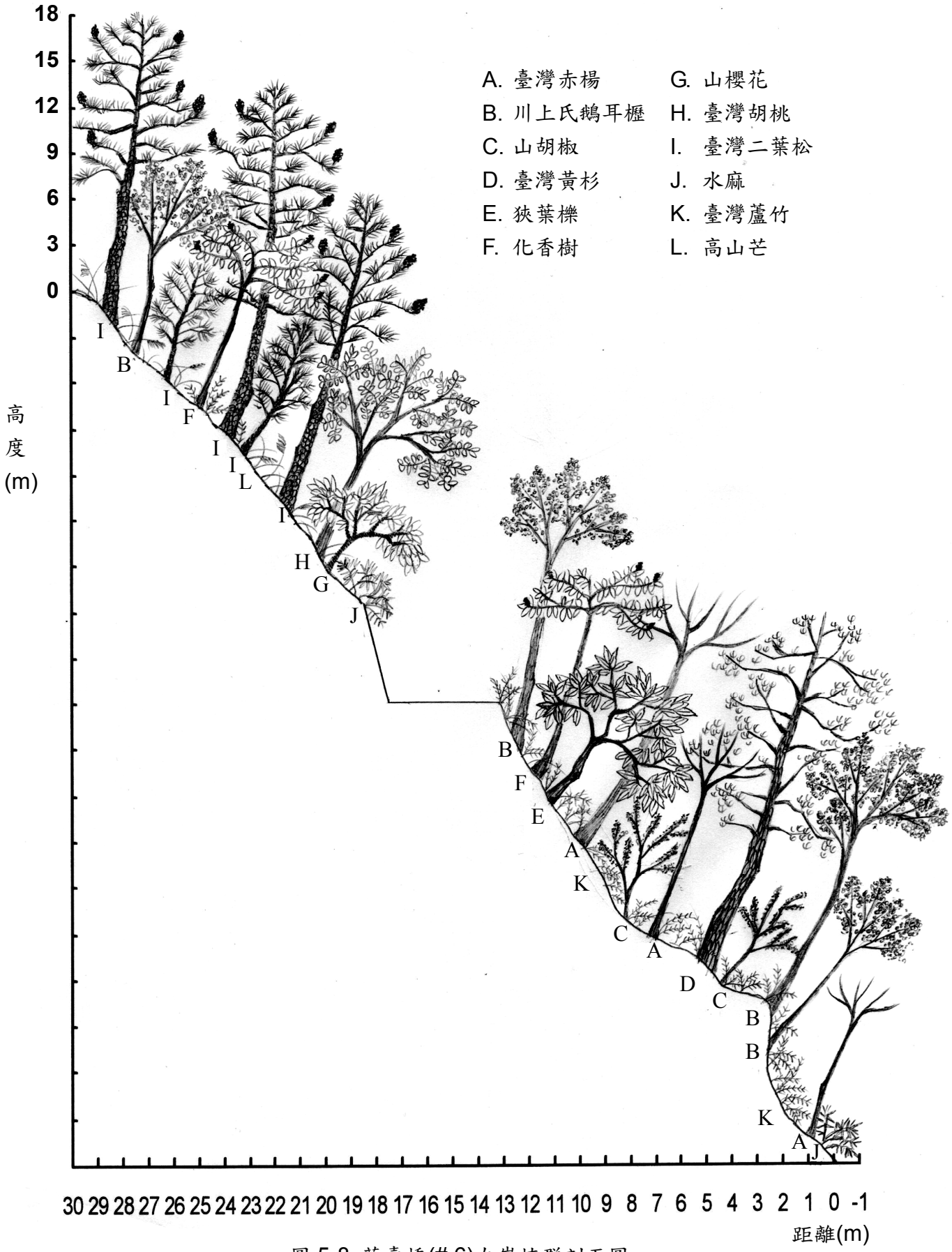


圖 5-8 萬壽橋(# 6)左岸植群剖面圖

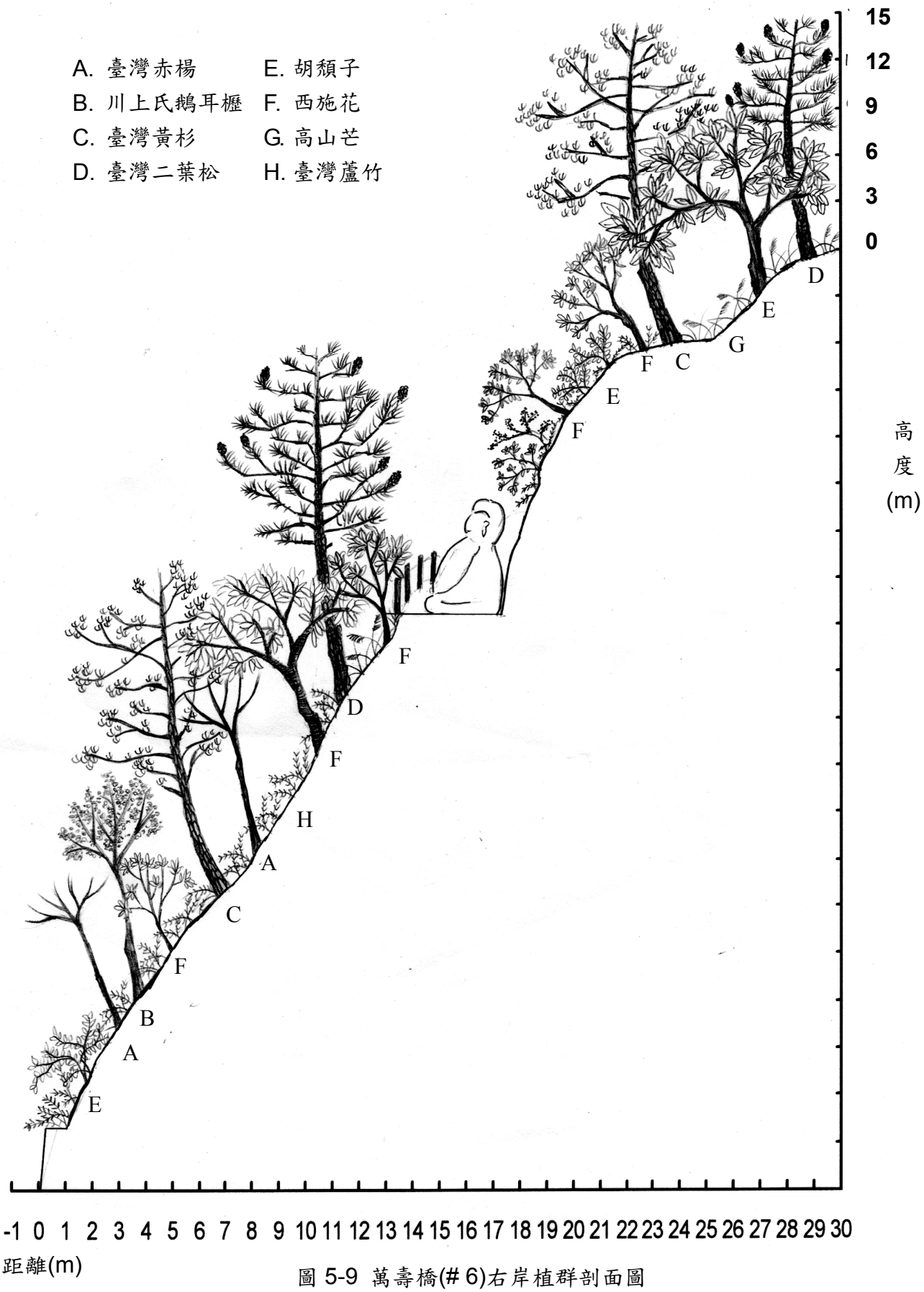


圖 5-9 萬壽橋(# 6)右岸植群剖面圖

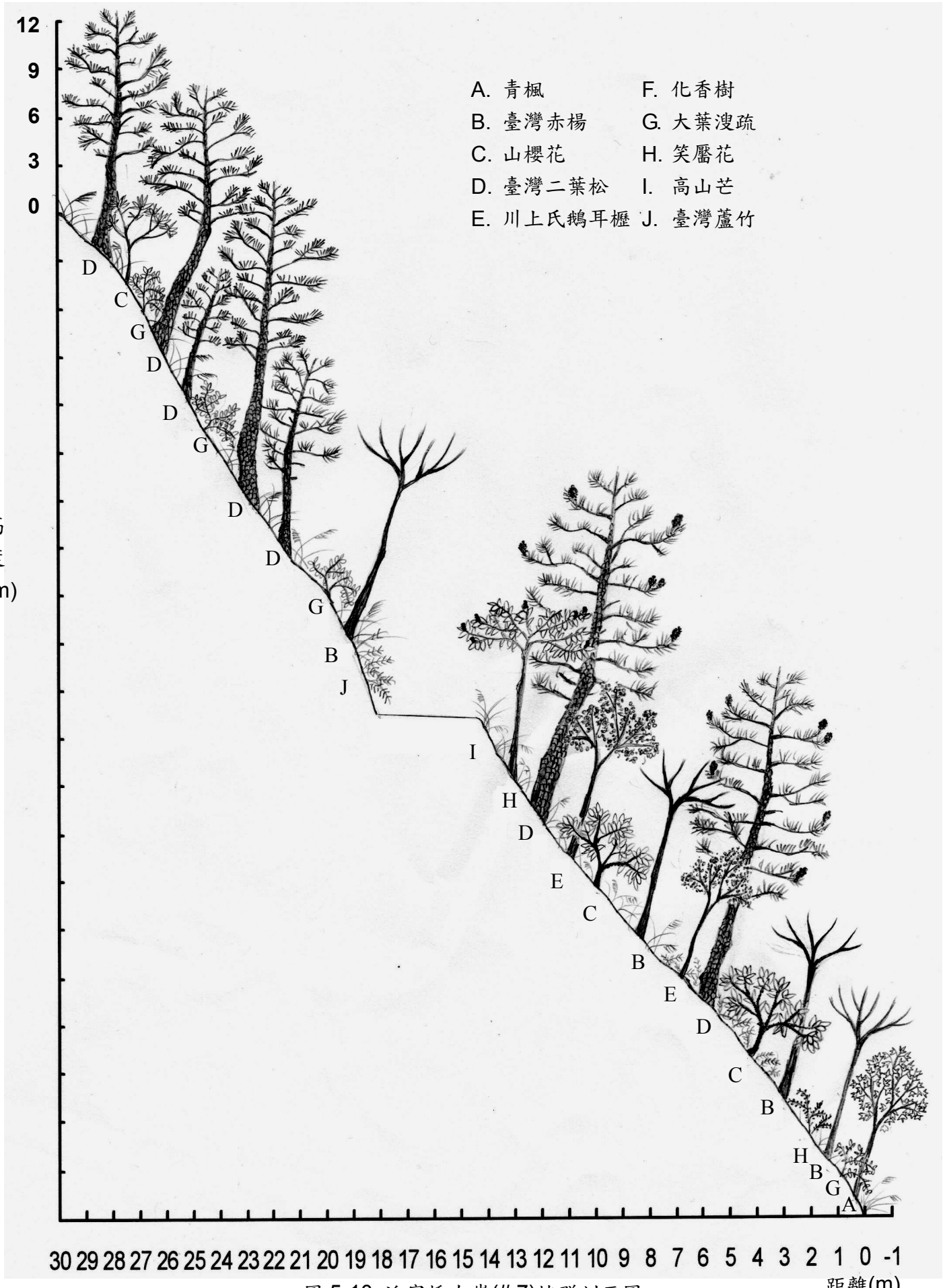


圖 5-10 迎賓橋左岸(# 7)植群剖面圖

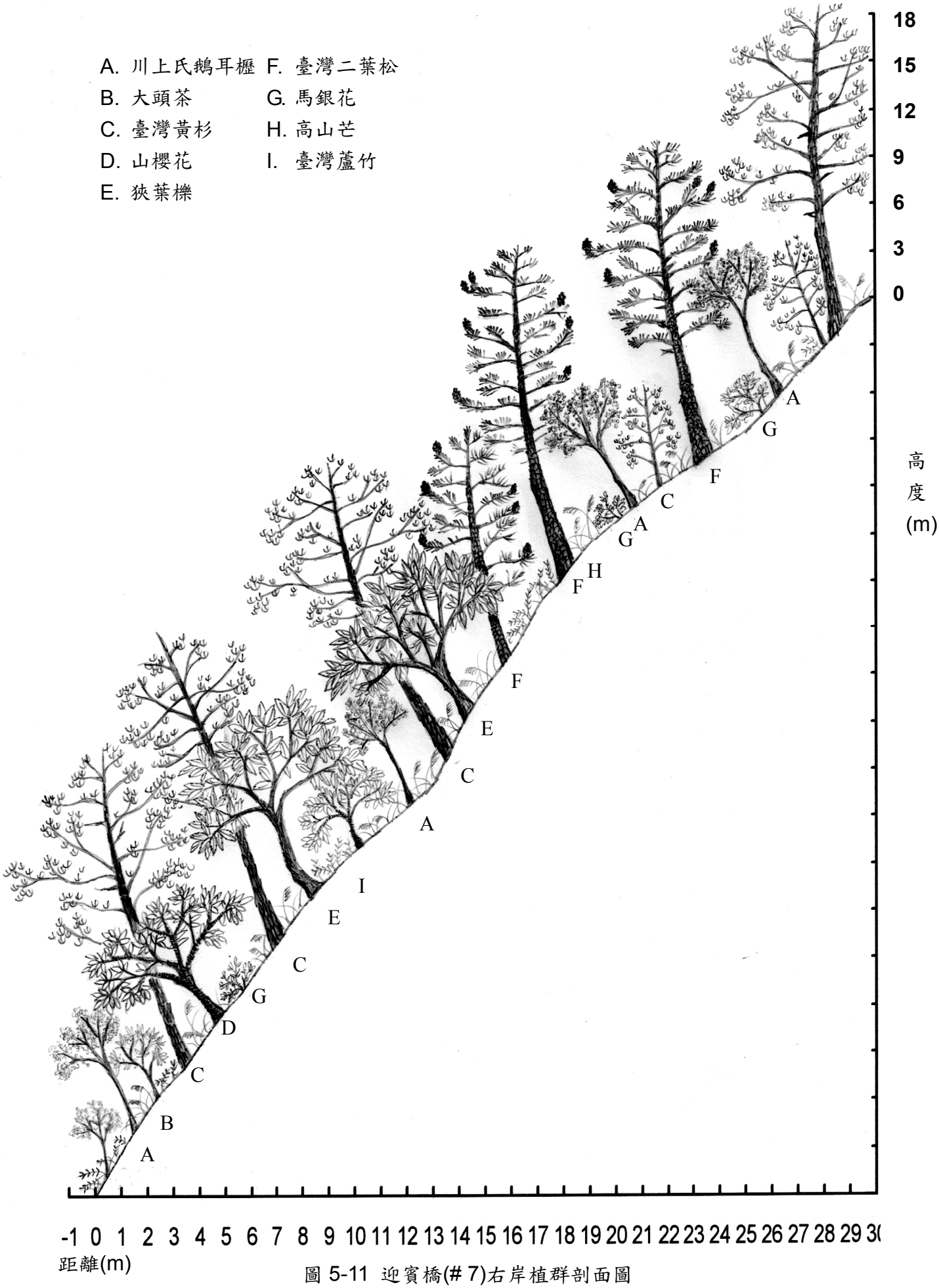


圖 5-11 迎賓橋(# 7)右岸植群剖面圖

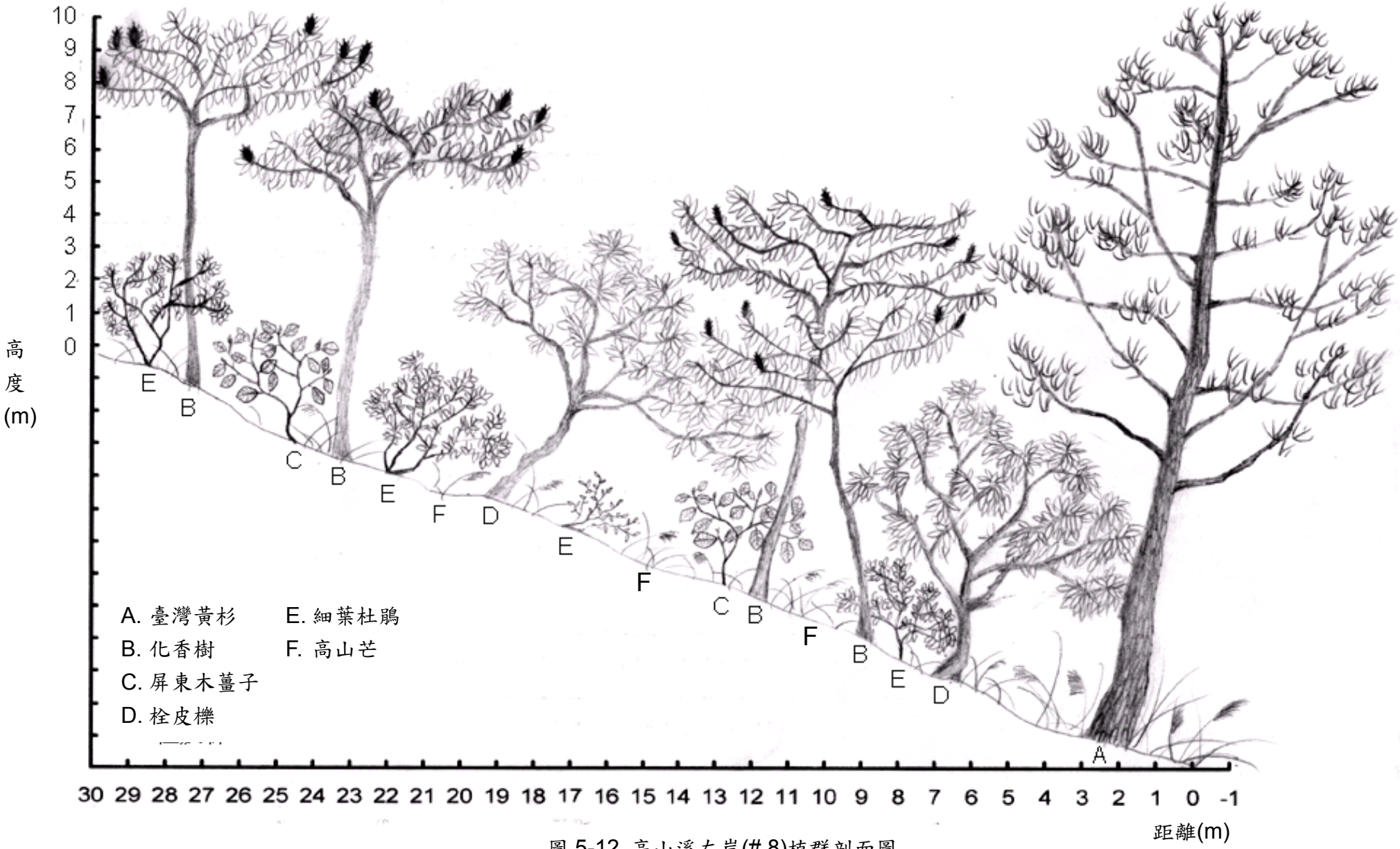


圖 5-12 高山溪左岸(# 8)植群剖面圖

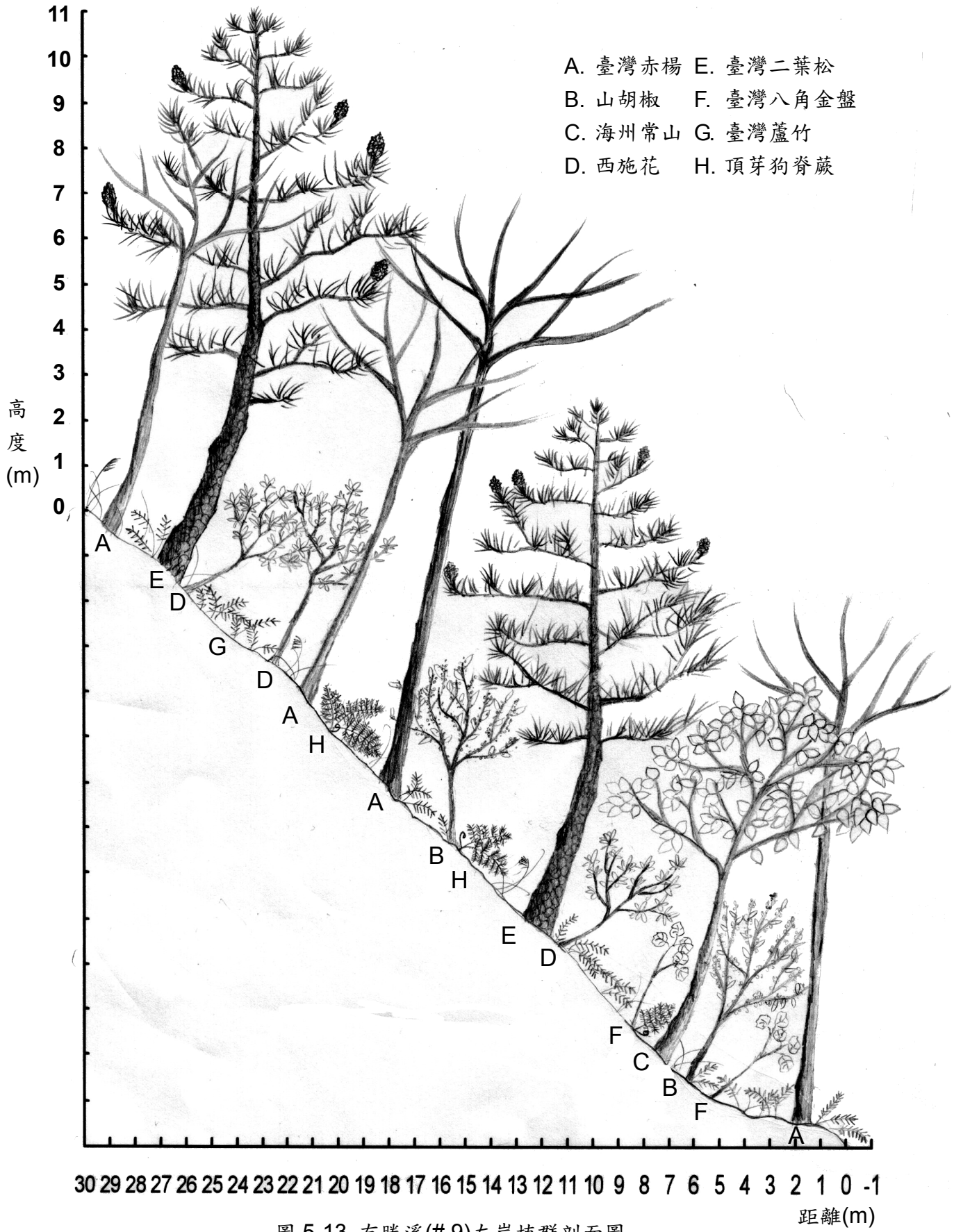


圖 5-13 有勝溪(# 9)左岸植群剖面圖

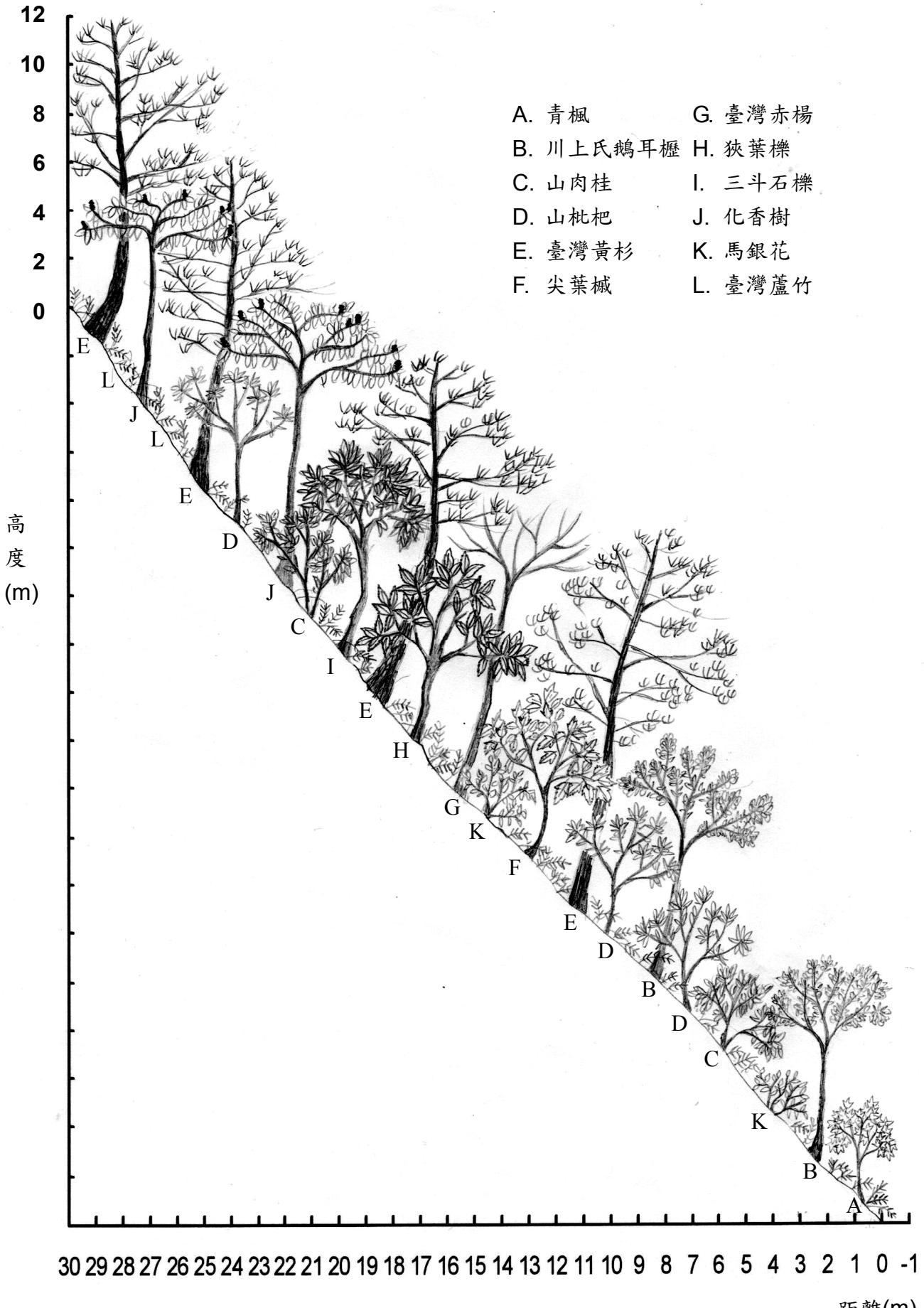


圖 5-14 司界蘭溪上游(# 10)左岸植群剖面圖

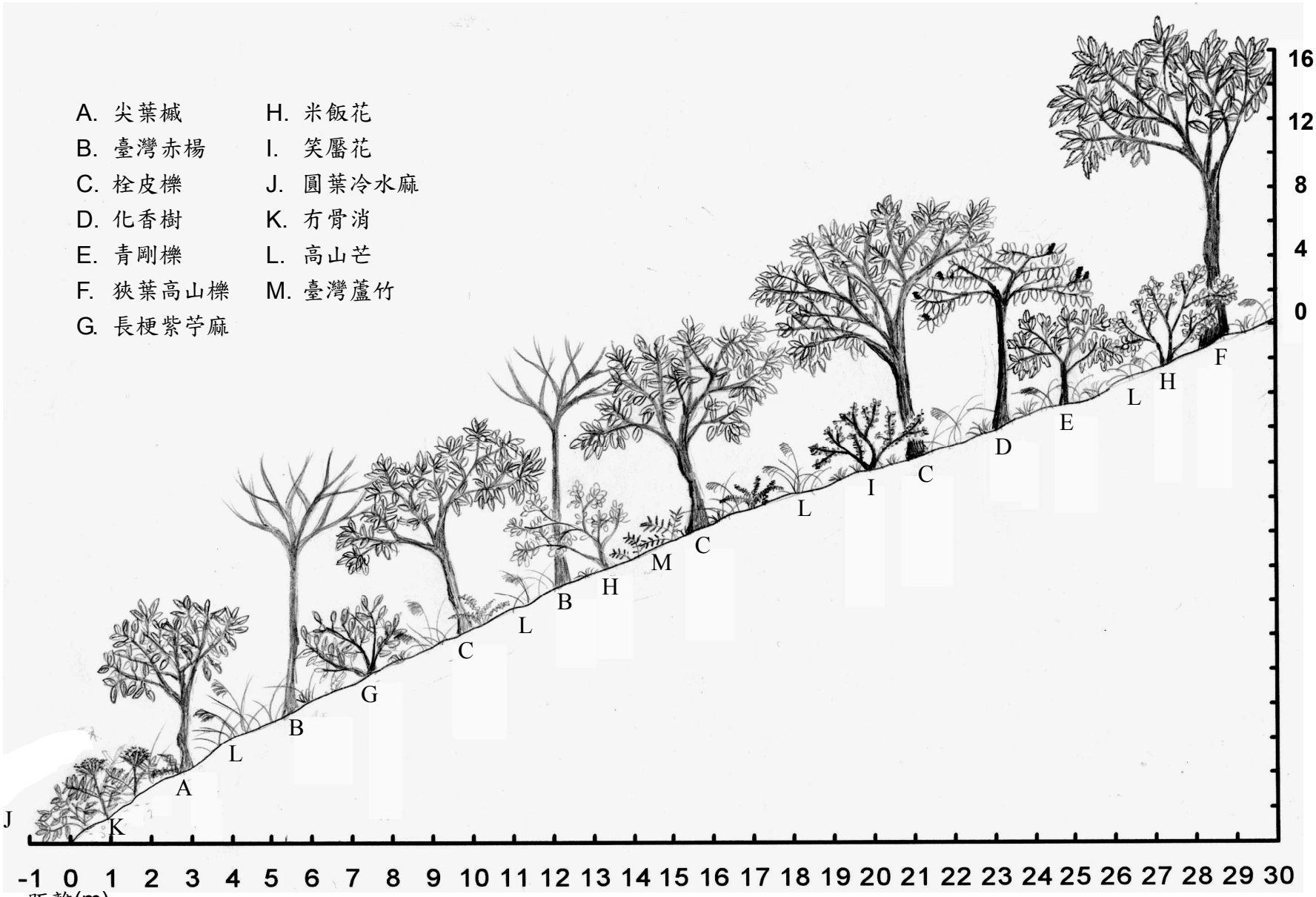


圖 5-15 司界蘭溪上游(# 10)右岸植群剖面圖

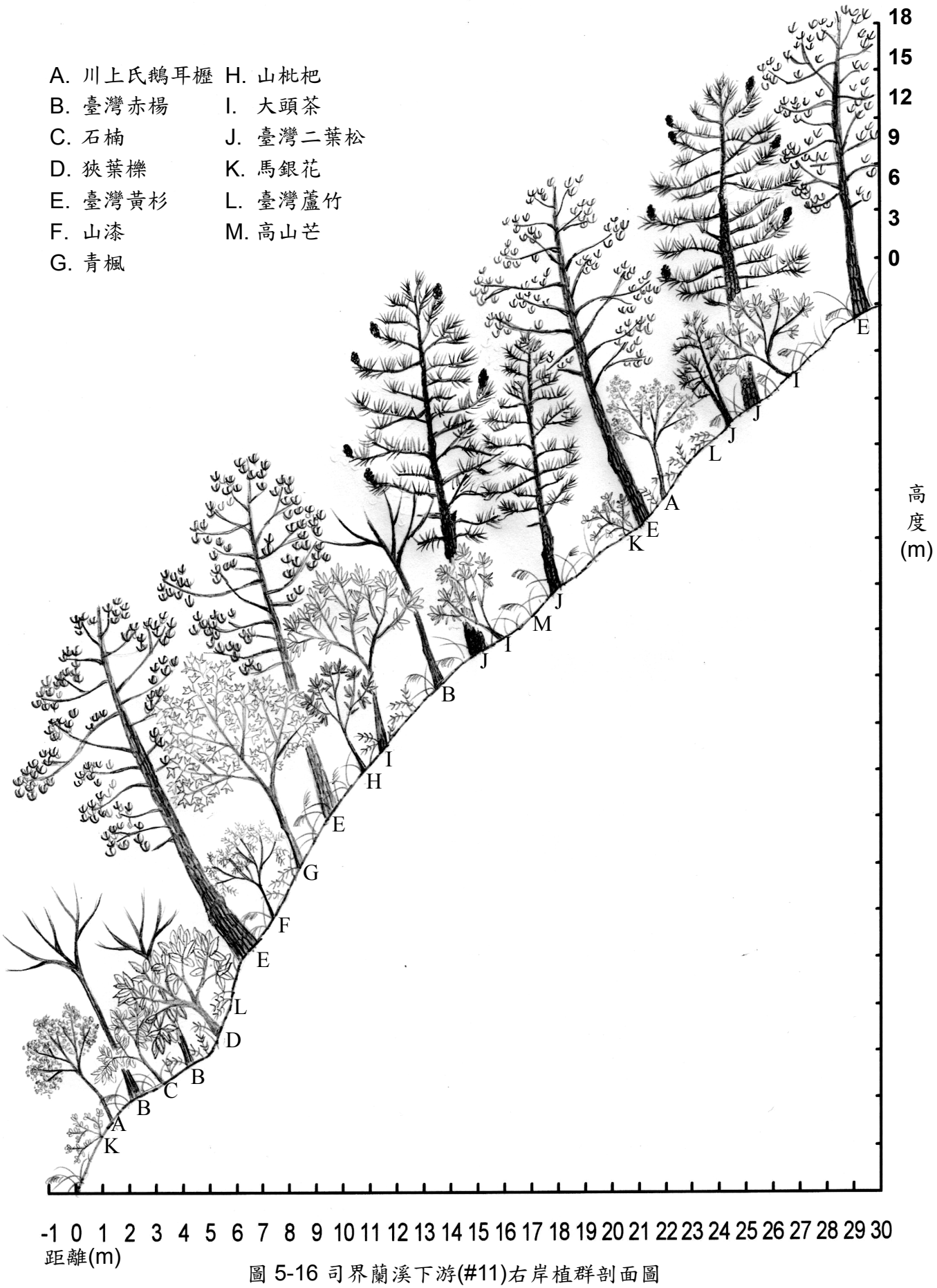


圖 5-16 司界蘭溪下游(#11)右岸植群剖面圖

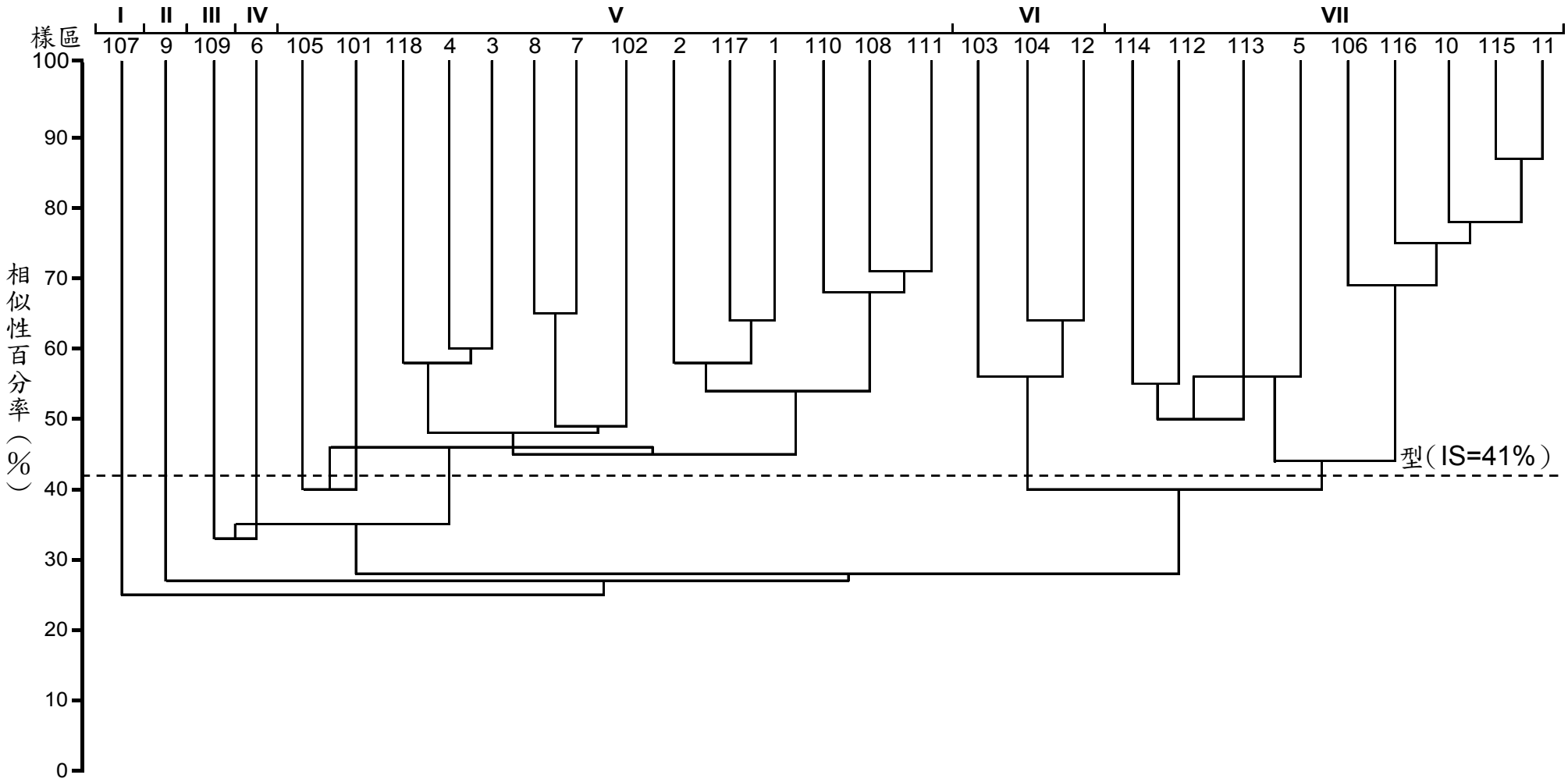


圖 5-17 七家灣溪濱岸植群 30 個樣區之矩陣群團分析連結的樹形

第六章　水棲昆蟲研究

郭美華、丘明智

國立中興大學昆蟲學系

摘要

本研究為【武陵地區長期生態監測暨生態模式建立】之子計畫 6，針對長期監測武陵地區的 9 測站，及櫻花鉤吻鮭放流的司界蘭溪 2 測站，進行水棲昆蟲相長期生態監測，並利用多樣性指數、快速生物評估法Ⅱ評估各永久測站水棲昆蟲群聚及棲地變化。本年度(2006 年) 9 測站，1 至 10 月採樣調查水棲昆蟲共計有 6 目 28 科 45 種(Taxa)；其中蜉蝣目有 12 種、毛翅目有 12 種、積翅目有 5 種、鞘翅目有 2 種、雙翅目有 13 種及蜻蛉目有 1 種。司界蘭溪有 6 目 16 科 33 種(Taxa)；分別為蜉蝣目有 5 種、毛翅目有 8 種、鞘翅目有 2 種、積翅目有 3 種、雙翅目有 10 種及蜻蛉目有 1 種。由連續 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，且每年的 1、2 月為高峰，但今年的生物量卻明顯較往年減少 3 倍之多。大部分測站之多樣性指數（Richness index 及 Shannon-Wiener's index）於 6 月呈現下降趨勢，而 Pielou's evenness index 卻反之。快速生物評估法Ⅱ評估武陵地區棲地維持在無劣化與中度劣化之間，今年 7 月司界蘭溪水質棲地上游優於下游。MDS 分析顯示桃山北溪、桃山西溪、七家灣溪及高山溪的群聚結構變動具相同傾向。

【關鍵詞】水棲昆蟲，Hisenhoff's 科級生物指數，多樣性指數，生物量

Abstract

This study reports the survey of aquatic insect and water quality monitoring at 9 sample sites in the Wuling area in 2006. During the research period, we had recorded 45 taxa of aquatic insects belong to 28 families in 6 orders. They were including 12 species of Ephemeroptera, 12 species of Trichoptera, 5 species of Plecoptera, 2 species of Coleoptera, 13 species of Diptera, and 1 species of Odonata. In 2006, we collected 33 taxa 16 families in 6 orders at two sample sites in the Sikairan Stream, belonging to 5 species in Ephemeroptera, 8 species in Trichoptera, 3 species in Plecoptera, 2 species in Coleoptera, 10 species in Diptera and 1 species in Odonata. According to the data of 4 years, we found most biomass presented in site 3 and peak in January or February in every year, but biomass of this year was reduced to the amount of 3 times than former years. RBPII assayed habitat quality of the Wuling area, and evaluations were between non-impaired and moderately impaired. The upstream site of the Sikairan Stream assayed better habitat quality than the downstream one. Two community indices, namely, Richness index and Shannon-Wiener's index, were decreased at each site in June. However, Pielou's evenness index showed the inverse tread. Using multidimensional scaling plots to analyze the composition similarity of abundances among sampling plots indicated the community structures same shift trends among 1 to 6 sites.

【Keywords】aquatic insects, Hisenhoff's family level biotic index, diversity index, biomass.

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，在台灣的地理分佈位置屬於最南端且是台灣唯一的寒帶魚類，於 1984 年 7 月依「文化資產保存法」被列為台灣珍貴的自然文化資產，因此在學術價值上，如古生物地理學、古氣候學、生物型態分類學及演化生態學上，隨著學者研究的深入，而受到矚目，被公認與有活化石之稱的「腔棘魚」相提並論(雪霸公園網頁，2003)。

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、β-中腐水性、α-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)。若扁蜉蝣中之 *R. ampla* 之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 FBI 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 1-3，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 公尺右左的河段，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 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)，以及記錄數量和生物量。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 ProtocolⅡ, RBPⅡ）(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

$$d = {(T\text{-}1)}/{\ln N}$$

T = *number of taxon in the sample*

N = *total number of individuals in the sample*

Simpson's index

$$D = 1 - \sum\left[{n_i(n_i\text{-}1)}/{N(N-1)}\right]$$

n_i = *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_i = *proportion of total sample belonging to i'th taxon* $= {n_i}/{N}$

n_i = *number of individuals of taxon i in the sample*

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

Pielou's evenness index

$$e = {H'}/{\ln T}$$

H' = *Shannon-Wiener index.*

T = *number of taxon in the sample*

所提之快速生物評估法Ⅱ，是設置參考站，並利用七項指標評估河川之損害程度。茲將此七項指標分別說明如下：（1）Taxa Richness：分類群豐度，在採樣站所採獲之生物的種類數。（2）Modified Family Biotic Index：科級生物指數（Family-Level Biotic Index, FBI）（Hilsenhoff, 1988），其計算公式如下。

$$FBI = \sum \frac{n_i a_i}{N}$$

a_i = *tolerance value of Hisenhoffs family-level aquatic insects*

n_i = *number of individuals of family i in the sample*

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

（3）Ratio of Scrapers and Filtering Collector Functional Feeding Groups：樣本中刮食者（Scraper）與濾食性採食者（Filtering Collector）個體數之比例。（4）Ratio of EPT and Chironomid Abundances：蜉蝣目、襀翅目及毛翅目三目與搖蚊科之相對豐度。（5）Percent Contribution of Dominant Family：優勢科級分類群所佔的百分比。（6）EPT Index：同於 EPT 豐度指標。（7）Community Loss Index：群聚失落指數，其計算公式如下：

$$Community\ Loss = {(d\text{-}a)}/{e}$$

d = number of taxa common to both samples

a = total number of taxa present in Sample A

e = total number of taxa present in Sample B

Sample A = reference station

Sample B = station of comparison

（8）Ratio of shredders and Total：樣本中碎食者（Shredder）與全部個體數之比例。將 2003 年 2 月到 2006 年 10 月之各測點之各分類群的數量以 Log (X+1) 轉換以計算 Bray-Curtis 相異係數後，以多元尺度分析(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)，大於 0.3 時，圖形各點的距離扭曲程度較嚴重，不宜採用，以此來推測及判定各測站之關係(Clark and Warwick, 2001)。

河烏與水棲昆蟲田間族群變動之分析: 將 2003 年至 2006 年每兩個月調查所得之河烏族群總數為應變數(y)，而前兩個月調查所得之河烏族群總數(x_1)、每兩個月調查所得水棲昆蟲族群總數(x_2)、每兩個月調查所得水棲昆蟲生物量(x_3)、每兩個月調查所得水棲昆蟲體形大小(x_4)、每兩個月調查所得水棲昆蟲族群總數 x 體形大小(x_5)等為自變數，利用 SAS 之 Proc Reg 進行逐步迴歸(Stepwise)分析，自迴歸式最顯著的自變數逐步進行討論，每加入一個新變數後，檢驗迴歸式中之原來變數是否由於此變數的加入而成不顯著，若是則將此變數予以刪除，最後求得迴歸方程式及判別係數(R^2, coefficient of determination)，並由 R^2 值判定各考慮因子對河烏族群變動之影響。

三、結果

2006 年 1-10 月共計調查水棲昆蟲有 6 目 28 科 45 種(Taxa)，分別為蜉蝣目有 12 種、毛翅目有 12 種、積翅目有 5 種、鞘翅目有 2 種、雙翅目有 13 種及蜻蛉目有 1 種 ，與 2003 年有 46 種、2004 年 43 種、2005 年 45 種、楊與謝(2000)報導有 40 種相比大致相同且變化不大，今年鞘翅目的 Dytiscidae (龍蝨科)之 *Deronectes* sp.仍沒採獲（2003 年有勝溪所採獲）(表 6-1~6-9)。

司界蘭溪於 2006 年 1 月及 7 月在上游及下游採樣調查水棲昆蟲的種類都為 26 種。司界蘭溪共計有 6 目 16 科 33 種(Taxa)；分別為蜉蝣目有 5 種、毛翅目有 8 種、鞘翅目有 2 種、積翅目有 3 種、雙翅目有 10 種及蜻蛉目有 1 種(表 6-10~6-11)。

各站所採獲水棲昆蟲生物量及數量由 2005 年 10 月至 2006 年 1 月都為上升趨勢，於 2006 年 4 月到 10 月的生物量大致和數量呈現相同變化趨勢(圖 6-1 及圖 6-2)。由 4 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 2 月為高峰，但最近二年的生物量明顯較往年減少 3 倍之多(圖 6-2)。

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，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 spp.)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，優勢種數量大幅減少，但均勻度升高，而使 Shannon- Wiener's index 又上升。2005 年 6 月數量回升及 2005 年 8 月數量下降，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，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，所幸 2006 年 10 月之數據顯示，無論是豐度、生物量及各多樣性指數皆較 2005 年 10 月時為高，2006 年後半年多樣性指數下降程度較 2004 及 2005 年為小，可能和今年颱風頻度和強度都較小有關。

由快速生物評估法Ⅱ所得之相對分數可知大部分樣站於 2006 年後半年都為中度劣化，且有勝溪幾乎整年都最為嚴重，而於颱風過境時，各樣站都一致顯示棲地大幅劣化情況。

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，而棲地評等於皆為無劣化，並且 2006 年 1 月及 2006 年 7 月的多樣性指數都皆 2005 年有所提升，然而 2006 年 7 月的調查顯示，司界蘭溪下游棲地評等有劣化情況，顯現可能農業活動對棲地有影響 (表 6-12)。

2003 年到 2006 年各測站之 MDS 分析顯示於圖 6-8，而其 Stress 值為 0.19，小於 0.3，進一步推測及判定各測站之關係為：連續 4 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，不過 2006 年群聚結構則有回移的現象。

圖 6-9 為河烏與水棲昆蟲田間族群變動之迴歸分析結果，河烏族群變動主要受水棲昆蟲生物量正影響，此因子決定河烏族群變動達 68.13%(判別係數為 0.6813，$p < 0.0001$)。

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 2006 年颱風頻度及強度減小，因此群聚結構有回移的情形。

各測站於流量暴增後，其 RBPII 評等往往都會趨向劣化，然而流量暴增的情況下，群聚結構變化受到此強烈的物理因子的影響遠大於水質，群聚結構起先為抗急流的物種，再者為快速拓殖的物種，因此除非水質或棲地劣化非常嚴重，才可快速反應於 RBPII 評等，所以在水質或棲地較為良好的地區，流量暴增事件的發生，應等待一段時間，待物種拓殖平衡後，方可用 RBPII 來評等。

水棲昆蟲生物量可解釋河烏族群變動達 68.13%變異，可証明河烏偏好取食水棲昆蟲，但仍有近 32%變異未被解釋，可能與河烏除取食水棲昆蟲外，也取食溪流中其他生物有關，也可能受其他因子影響例如水文因子等，都有可能影響決定河烏族群變動。

五、結論

2005 年後半年之水棲昆蟲數量及生物量，經過颱風影響而持續低落到年終，2006 年 1 月則有到達一個高峰，不過可能由於梅雨季節所造成的洪流而造成了 1 月後到 6 月的下降趨勢，所幸 7 月到 10 月之數據顯示較 2005 年同時期為高，且 2006 年後半年多樣性指數下降程度較 2004 及 2005 年為小，可能和今年颱風頻度和強度都較小有關，擬在明年計畫中以連續 4 年數據利用 ABC 方法來驗證颱風對水棲昆蟲群聚的影響。

2004 年下半年到現在，一些體型較大的物種，如毛翅目之長鬚石蛾(Stenopsyche sp. A)，已逐漸減少，到了 2006 年已幾乎採集不到；而被替換成體型較小的物種，如雙翅目搖蚊(Chironomidae spp.)，因而局限了櫻花鉤吻鮭成魚的成長，進而整個族群之增長也可能受限，因此考量體型較大的水悽昆蟲物種逐漸減少的影響，櫻花鉤吻鮭放流比例及時機更應謹慎。

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，然而今年已開始回移。

司界蘭溪水棲昆蟲種類相明顯較七家灣溪少，但持續累加中，Shannon-Wiener's index 也增加中，且落在武陵地區各測站之數值範圍中，因此仍需累積調查數據。天然林旁之上游之水質評等優於農業活動的下游，不過僅 2005 年 8 月及 2006 年 1 月和 7 月的三筆數據，明顯單薄，仍無法有效正確評估農業活動、颱風等影響，因此需要累積多次調查數據才能下更正確的評估。

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.

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.
Clark KR, Warwick RM (2001) Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 2nd ed. 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, JL, MT Barbour, KD Porter, SK Gross, and RM 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 6-1 武陵地區第 01 站於 2006 年之水生昆蟲資源組成

Order	Family	Taxa	Jan	Apr	Jun	Jul	Aug	Oct	Total
Coleoptera	Elmidae	*Zaitzevia* sp.	9.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	16.1 / 5.7
	Helodidae	*Cyphon* sp.	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 2.3
Diptera	Athericidae	*Atherix* sp.	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	3.6 / 6.4
	Chironomidae	Chironomidae sp.C	64.5 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	57.3 / 0.0	121.8 / 14.9
		Chironomidae spp.	23.3 / 0.0	44.8 / 0.0	0.0 / 0.0	41.2 / 0.0	77.0 / 0.0	21.5 / 0.0	207.8 / 35.5
		Tanypodinae spp.	26.9 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	12.5 / 0.0	10.7 / 0.0	52.0 / 4.7
	Simuliidae	*Simullium* sp.	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 1.6
	Tipulidae	*Eriocera* sp.A	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 3.9
		Eriocera sp.B	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 61.3
Ephemeroptera	Baetidae	*Baetiella bispinosa*	12.5 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	17.9 / 34.2
		Baetis spp.	60.9 / 0.0	55.5 / 0.0	14.3 / 0.0	41.2 / 0.0	73.5 / 0.0	121.8 / 0.0	367.3 / 305.1
		Pseudocloeon latum	5.4 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	19.7 / 0.0	5.4 / 0.0	0.0 / 0.0	30.5 / 21.0
	Heptageniidae	*Afronurus nanhuensis*	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 103.2
		Rhithrogena ampla	172.0 / 0.0	62.7 / 0.0	53.7 / 0.0	116.5 / 0.0	64.5 / 0.0	250.8 / 0.0	720.2 / 1456.1
	Siphlonuridae	*Ameletus camtschaticus*	41.2 / 0.0	3.6 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	50.2 / 300.3
Plecoptera	Leuctridae	*Rhopalopsole* sp.	5.4 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 7.0
	Nemouridae	*Amphinemura* sp.	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	7.2 / 6.4
		Protonemura spp.	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	9.0 / 8.1
	Perlidae	*Neoperla* spp.	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	7.2 / 0.0	3.6 / 0.0	17.9 / 84.7
	Styloperlidae	*Cerconychia* sp.	5.4 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	9.0 / 200.5
Trichoptera	Glossosomatidae	*Glossosoma* sp.	3.6 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	14.3 / 0.0	1.8 / 0.0	3.6 / 0.0	26.9 / 39.8
	Hydropsychidae	*Hydropsyche* spp.	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0
	Rhyacophilidae	*Apsilochorema sp.*	16.1 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	7.2 / 0.0	25.1 / 61.1
		Rhyacophila nigrocephala	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 8.1
		Rhyacophila spp.	5.4 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 109.8
	Sericostomatidae	*Sericostomatidae sp.*	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 1.4
	Stenopsychidae	*Stenopsyche sp.A*	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.9

*分子表示每平方公尺個體數及分母表示每平方公尺生物量

表 6-2 武陵地區第 02 站於 2006 年之水生昆蟲資源組成

Order	Family	Taxa	Jan	Apr	Jul	Aug	Oct	Total
Coleoptera	Elmidae	*Zaitzevia* sp.	66.3 / 0.0	32.2 / 0.0	7.2 / 0.0	25.1 / 0.0	32.2 / 0.0	163.0 / 32.5
	Helodidae	*Cyphon* sp.	26.9 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	12.5 / 0.0	43.0 / 40.0
Diptera	Athericidae	*Atherix* sp.	12.5 / 0.0	5.4 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	9.0 / 0.0	26.9 / 25.3
	Blepharoceridae	*Bibiocephala* sp.	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	5.4 / 28.9
	Ceratopogonidae	*Bezzia* sp.	1.8 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	9.0 / 1.6
	Chironomidae	Chironomidae sp.C	524.9 / 0.0	182.7 / 0.0	26.9 / 0.0	78.8 / 0.0	102.1 / 0.0	915.5 / 117.9
		Chironomidae spp.	66.3 / 0.0	175.6 / 0.0	44.8 / 0.0	59.1 / 0.0	80.6 / 0.0	426.4 / 84.9
		Tanypodinae spp.	290.2 / 0.0	173.8 / 0.0	3.6 / 0.0	41.2 / 0.0	5.4 / 0.0	514.2 / 79.3
	Simuliidae	*Simullium* sp.	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	9.0 / 0.0	0.0 / 0.0	25.1 / 0.0	37.6 / 33.4
	Tipulidae	*Antocha* sp.	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	5.4 / 3.0
		Dicranota sp.	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	3.6 / 24.4
		Eriocera sp.A	16.1 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 0.0	16.1 / 0.0	41.2 / 86.2
		Eriocera sp.B	10.7 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	7.2 / 0.0	25.1 / 0.0	46.6 / 1369.0
Ephemeroptera	Baetidae	*Baetiella bispinosa*	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	43.0 / 0.0	5.4 / 0.0	1.8 / 0.0	52.0 / 87.1
		Baetis spp.	938.8 / 0.0	125.4 / 0.0	129.0 / 0.0	125.4 / 0.0	216.8 / 0.0	1535.4 / 574.4
		Pseudocloeon latum	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	155.9 / 0.0	12.5 / 0.0	103.9 / 0.0	272.3 / 77.2
	Caenidae	*Caenis* sp.	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0
	Ephemeridae	*Ephemera sauteri*	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 186.8
	Heptageniidae	*Afronurus floreus*	68.1 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	7.2 / 0.0	0.0 / 0.0	77.0 / 142.6
		Afronurus nanhuensis	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 1.1
		Rhithrogena ampla	98.5 / 0.0	3.6 / 0.0	159.5 / 0.0	240.1 / 0.0	215.0 / 0.0	716.7 / 1190.6

續表 6-2 武陵地區第 02 站於 2006 年之水生昆蟲資源組成

Order	Family	Taxa	Jan	Apr	Jul	Aug	Oct	Total
	Leptophlebiidae	*Paraleptophlebia* sp.	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 3.2
	Siphlonuridae	*Ameletus camtschaticus*	109.3 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	111.1 / 543.9
Plecoptera	Nemouridae	*Amphinemura* sp.	1.8 / 0.0	21.5 / 0.0	16.1 / 0.0	14.3 / 0.0	0.0 / 0.0	53.7 / 11.3
		Protonemura spp.	0.0 / 0.0	14.3 / 0.0	21.5 / 0.0	1.8 / 0.0	16.1 / 0.0	53.7 / 14.2
	Perlidae	*Neoperla* spp.	9.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	17.9 / 0.0	14.3 / 0.0	44.8 / 240.7
	Styloperlidae	*Cerconychia* sp.	5.4 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 1.8
Trichoptera	Glossosomatidae	*Glossosoma* sp.	3.6 / 0.0	3.6 / 0.0	26.9 / 0.0	0.0 / 0.0	21.5 / 0.0	55.5 / 81.6
	Hydropsychidae	*Arctopsyche* sp.	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	25.1 / 0.0	26.9 / 158.2
		Hydropsyche spp.	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	7.2 / 0.0	1.8 / 0.0	12.5 / 41.6
	Lepidostomatidae	*Goerodes* sp.	5.4 / 0.0	5.4 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	10.7 / 103.2
	Limnephilidae	*Uenoa taiwanesis*	1.8 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 12.9
	Rhyacophilidae	*Apsilochorema* sp.	60.9 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	7.2 / 0.0	75.2 / 287.2
		Rhyacophila nigrocephala	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	25.1 / 0.0	9.0 / 0.0	37.6 / 111.6
		Rhyacophila spp.	1.8 / 0.0	14.3 / 0.0	1.8 / 0.0	9.0 / 0.0	5.4 / 0.0	32.2 / 31.3
	Sericostomatidae	Sericostomatidae sp.	17.9 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	17.9 / 153.9
	Stenopsychidae	*Stenopsyche* sp.A	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	3.6 / 0.0	5.4 / 22.6

*分子表示每平方公尺個體數及分母表示每平方公尺生物量

表 6-3 武陵地區二號壩站於 2006 年之水生昆蟲資源組成

Order	Family	Taxa	Jan	Apr	Jun	Jul	Aug	Oct	Total
Coleoptera	Elmidae	*Zaitzevia* sp.	10.7 / 0.0	7.2 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	7.2 / 0.0	26.9 / 4.1
	Helodidae	*Cyphon* sp.	5.4 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 6.8
Diptera	Athericidae	*Atherix* sp.	9.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	9.0 / 7.5
	Blepharoceridae	*Agathon* sp.	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 7.4
		Bibiocephala sp.	10.7 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	10.7 / 6.8
	Ceratopogonidae	*Bezzia* sp.	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.9
	Chironomidae	Chironomidae sp.C	32.2 / 0.0	1.8 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	7.2 / 0.0	80.6 / 0.0	125.4 / 14.0
		Chironomidae spp.	1196.8 / 0.0	116.5 / 0.0	10.7 / 0.0	30.5 / 0.0	507.0 / 0.0	28.7 / 0.0	1890.2 / 839.3
		Tanypodinae spp.	19.7 / 0.0	14.3 / 0.0	0.0 / 0.0	12.5 / 0.0	21.5 / 0.0	1.8 / 0.0	69.9 / 22.4
	Simuliidae	*Simullium* sp.	188.1 / 0.0	60.9 / 0.0	3.6 / 0.0	3.6 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	258.0 / 224.5
	Tipulidae	*Antocha* sp.	7.2 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	12.5 / 0.0	5.4 / 0.0	26.9 / 31.9
		Dicranota sp.	7.2 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	7.2 / 60.6
		Eriocera sp.A	3.6 / 0.0	10.7 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	21.5 / 69.3
		Eriocera sp.B	14.3 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	3.6 / 0.0	5.4 / 0.0	28.7 / 1082.4
Ephemeroptera	Baetidae	*Baetiella bispinosa*	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	9.0 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	12.5 / 21.3
		Baetis spp.	494.5 / 0.0	96.7 / 0.0	10.7 / 0.0	17.9 / 0.0	114.7 / 0.0	238.3 / 0.0	972.9 / 926.6
		Pseudocloeon latum	68.1 / 0.0	1.8 / 0.0	14.3 / 0.0	35.8 / 0.0	207.8 / 0.0	1.8 / 0.0	329.7 / 214.0

續表 6-3 武陵地區二號壩站於 2006 年之水生昆蟲資源組成

Order	Family	Taxa	Jan	Apr	Jun	Jul	Aug	Oct	Total
	Ephemeridae	*Ephemera sauteri*	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 14.0
	Heptageniidae	*Afronurus floreus*	5.4 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 2.0
		Rhithrogena ampla	134.4 / 0.0	173.8 / 0.0	134.4 / 0.0	89.6 / 0.0	213.2 / 0.0	274.1 / 0.0	1019.4 / 1744.2
	Siphlonuridae	*Ameletus camtschaticus*	30.5 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	3.6 / 0.0	3.6 / 0.0	39.4 / 369.0
Odonata	Gomphidae	*Sinogomphus formosanus*	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 515.8
Plecoptera	Leuctridae	*Rhopalopsole* sp.	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 1.6
	Nemouridae	*Amphinemura* sp.	17.9 / 0.0	30.5 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 0.0	1.8 / 0.0	57.3 / 14.4
		Protonemura spp.	12.5 / 0.0	17.9 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	5.4 / 0.0	1.8 / 0.0	41.2 / 53.8
	Perlidae	*Neoperla* spp.	7.2 / 0.0	5.4 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	3.6 / 0.0	17.9 / 0.0	37.6 / 141.4
	Styloperlidae	*Cerconychia* sp.	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 0.0	7.2 / 29.8
Trichoptera	Glossosomatidae	*Glossosoma* sp.	5.4 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 0.0	14.3 / 0.0	17.9 / 0.0	10.7 / 0.0	53.7 / 27.2
	Hydropsychidae	*Arctopsyche* sp.	7.2 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 0.0	16.1 / 283.3
		Hydropsyche spp.	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	3.6 / 0.0	5.4 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	12.5 / 135.4
	Lepidostomatidae	*Goerodes* sp.	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.4
	Rhyacophilidae	*Apsilochorema* sp.	17.9 / 0.0	1.8 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	12.5 / 0.0	37.6 / 110.7
		Himalopsyche sp.	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 279.1
		Rhyacophila nigrocephala	7.2 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	10.7 / 0.0	10.7 / 0.0	34.0 / 264.7
		Rhyacophila spp.	1.8 / 0.0	9.0 / 0.0	7.2 / 0.0	1.8 / 0.0	3.6 / 0.0	5.4 / 0.0	28.7 / 113.1
	Sericostomatidae	Sericostomatidae sp.	12.5 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	12.5 / 17.7
	Stenopsychidae	*Stenopsyche* sp.A	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 1.8

*分子表示每平方公尺個體數及分母表示每平方公尺生物量

表 6-4 武陵地區一號壩站於 2006 年之水生昆蟲資源組成

Order	Family	Taxa	Jan	Apr	Jun	Jul	Aug	Oct	Total
Coleoptera	Elmidae	*Zaitzevia* sp.	3.6 / 0.0	7.2 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	14.3 / 5.7
	Helodidae	*Cyphon* sp.	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.1
Diptera	Athericidae	*Atherix* sp.	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 2.0
	Blepharoceridae	*Agathon* sp.	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0
		Bibiocephala sp.	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 4.1
	Ceratopogonidae	*Bezzia* sp.	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.9
	Chironomidae	Chironomidae sp.C	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	3.6 / 0.0	10.7 / 0.7
		Chironomidae spp.	1071.4 / 0.0	102.1 / 0.0	12.5 / 0.0	41.2 / 0.0	73.5 / 0.0	30.5 / 0.0	1331.2 / 452.1
		Tanypodinae spp.	10.7 / 0.0	19.7 / 0.0	1.8 / 0.0	3.6 / 0.0	1.8 / 0.0	3.6 / 0.0	41.2 / 12.6
	Simuliidae	*Simullium* sp.	286.7 / 0.0	12.5 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 0.0	14.3 / 0.0	1.8 / 0.0	320.7 / 398.0
	Tipulidae	*Antocha* sp.	10.7 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 0.0	21.5 / 0.0	3.6 / 0.0	41.2 / 53.9
		Eriocera sp.A	0.0 / 0.0	7.2 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	7.2 / 33.7
		Eriocera sp.B	10.7 / 0.0	3.6 / 0.0	1.8 / 0.0	12.5 / 0.0	0.0 / 0.0	10.7 / 0.0	39.4 / 868.6
Ephemeroptera	Baetidae	*Baetiella bispinosa*	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	1.8 / 0.0	3.6 / 0.0	9.0 / 5.2
		Baetis spp.	168.4 / 0.0	232.9 / 0.0	17.9 / 0.0	48.4 / 0.0	134.4 / 0.0	215.0 / 0.0	817.0 / 499.9
		Pseudocloeon latum	68.1 / 0.0	14.3 / 0.0	1.8 / 0.0	43.0 / 0.0	102.1 / 0.0	7.2 / 0.0	236.5 / 135.0
	Ephemerellidae	*Acerella montana*	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0
		Cincticostella fusca	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	3.6 / 0.8

續表 6-4 武陵地區一號壩站於 2006 年之水生昆蟲資源組成

Order	Family	Taxa	Jan	Apr	Jun	Jul	Aug	Oct	Total
	Ephemeridae	*Ephemera sauteri*	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 1.4
	Heptageniidae	*Afronurus floreus*	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	3.6 / 0.0	1.8 / 0.0	7.2 / 47.0
		Rhithrogena ampla	139.7 / 0.0	249.0 / 0.0	53.7 / 0.0	91.4 / 0.0	175.6 / 0.0	155.9 / 0.0	865.4 / 2459.2
	Siphlonuridae	*Ameletus camtschaticus*	3.6 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 0.0	7.2 / 0.0	17.9 / 115.5
Odonata	Gomphidae	*Sinogomphus formosanus*	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 153.4
Plecoptera	Leuctridae	*Rhopalopsole* sp.	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 10.4
	Nemouridae	*Amphinemura* sp.	21.5 / 0.0	16.1 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	7.2 / 0.0	0.0 / 0.0	44.8 / 20.9
		Protonemura spp.	1.8 / 0.0	30.5 / 0.0	1.8 / 0.0	3.6 / 0.0	37.6 / 0.0	12.5 / 0.0	87.8 / 108.9
	Perlidae	*Neoperla* spp.	3.6 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	7.2 / 126.2
	Styloperlidae	*Cerconychia* sp.	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.5
Trichoptera	Glossosomatidae	*Glossosoma* sp.	9.0 / 0.0	5.4 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 0.0	44.8 / 0.0	19.7 / 0.0	84.2 / 77.0
	Hydropsychidae	*Arctopsyche* sp.	16.1 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	5.4 / 0.0	1.8 / 0.0	26.9 / 630.9
		Hydropsyche spp.	3.6 / 0.0	9.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	43.0 / 0.0	53.7 / 0.0	112.9 / 241.0
	Lepidostomatidae	*Goerodes* sp.	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 4.3
	Limnephilidae	*Uenoa taiwanesis*	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.9
	Rhyacophilidae	*Apsilochorema* sp.	9.0 / 0.0	10.7 / 0.0	16.1 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 0.0	41.2 / 57.0
		Himalopsyche sp.	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 236.1
		Rhyacophila nigrocephala	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 0.0	5.4 / 0.0	17.9 / 130.5
		Rhyacophila spp.	10.7 / 0.0	5.4 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	16.1 / 130.8
	Stenopsychidae	*Stenopsyche* sp.A	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	3.6 / 81.5

*分子表示每平方公尺個體數及分母表示每平方公尺生物量

表 6-5 武陵地區高山溪站於 2006 年之水生昆蟲資源組成

Order	Family	Taxa	Jan	Apr	Jun	Jul	Aug	Oct	Total
Coleoptera	Elmidae	*Zaitzevia* sp.	21.5 / 0.0	5.4 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	9.0 / 0.0	12.5 / 0.0	48.4 / 13.9
	Helodidae	*Cyphon* sp.	10.7 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	12.5 / 12.2
Diptera	Athericidae	*Atherix* sp.	7.2 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	12.5 / 110.1
	Blepharoceridae	*Agathon* sp.	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 20.4
		Bibiocephala sp.	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 50.5
	Ceratopogonidae	*Bezzia* sp.	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.4
	Chironomidae	Chironomidae sp.C	320.7 / 0.0	53.7 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	50.2 / 0.0	426.4 / 66.6
		Chironomidae sp.D	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.9
		Chironomidae spp.	1288.2 / 0.0	77.0 / 0.0	9.0 / 0.0	12.5 / 0.0	52.0 / 0.0	52.0 / 0.0	1490.6 / 295.4
		Tanypodinae spp.	3.6 / 0.0	23.3 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	34.0 / 1.6
	Simuliidae	*Simullium* sp.	220.4 / 0.0	37.6 / 0.0	0.0 / 0.0	7.2 / 0.0	60.9 / 0.0	14.3 / 0.0	340.4 / 176.4
	Tipulidae	*Antocha* sp.	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	9.0 / 6.6
		Dicranota sp.	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 11.8
		Eriocera sp.A	37.6 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	44.8 / 98.5
		Eriocera sp.B	16.1 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 0.0	7.2 / 0.0	14.3 / 0.0	44.8 / 1073.6
Ephemeroptera	Baetidae	*Baetiella bispinosa*	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 18.3
		Baetis spp.	86.0 / 0.0	30.5 / 0.0	10.7 / 0.0	26.9 / 0.0	12.5 / 0.0	46.6 / 0.0	213.2 / 226.8
		Pseudocloeon latum	32.2 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	19.7 / 0.0	35.8 / 0.0	16.1 / 0.0	107.5 / 59.2

續表 6-5 武陵地區高山溪站於 2006 年之水生昆蟲資源組成

Order	Family	Taxa	Jan	Apr	Jun	Jul	Aug	Oct	Total
	Heptageniidae	*Rhithrogena ampla*	198.9 / 0.0	78.8 / 0.0	21.5 / 0.0	73.5 / 0.0	130.8 / 0.0	148.7 / 0.0	652.2 / 1584.3
	Siphlonuridae	*Ameletus camtschaticus*	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 21.5
Plecoptera	Leuctridae	*Rhopalopsole* sp.	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 5.9
	Nemouridae	*Amphinemura* sp.	52.0 / 0.0	12.5 / 0.0	5.4 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 0.0	0.0 / 0.0	75.2 / 12.7
		Protonemura spp.	12.5 / 0.0	23.3 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	14.3 / 0.0	28.7 / 0.0	82.4 / 100.6
	Perlidae	*Neoperla* spp.	1.8 / 0.0	5.4 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	10.7 / 0.0	14.3 / 0.0	35.8 / 320.3
	Styloperlidae	*Cerconychia* sp.	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	5.4 / 50.5
Trichoptera	Glossosomatidae	*Glossosoma* sp.	0.0 / 0.0	16.1 / 0.0	0.0 / 0.0	17.9 / 0.0	17.9 / 0.0	12.5 / 0.0	64.5 / 52.5
	Hydropsychidae	*Arctopsyche* sp.	9.0 / 0.0	5.4 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	3.6 / 0.0	12.5 / 0.0	34.0 / 962.9
		Hydropsyche spp.	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	1.8 / 0.0	5.4 / 0.0	43.0 / 0.0	55.5 / 81.3
	Lepidostomatidae	*Goerodes* sp.	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	7.2 / 0.0	0.0 / 0.0	7.2 / 17.7
	Rhyacophilidae	*Apsilochorema* sp.	26.9 / 0.0	5.4 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	35.8 / 38.4
		Himalopsyche sp.	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 6.8
		Rhyacophila nigrocephala	7.2 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	10.7 / 29.0
		Rhyacophila spp.	9.0 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 0.0	17.9 / 83.5

*分子表示每平方公尺個體數及分母表示每平方公尺生物量

表 6-6 武陵地區繁殖場站於 2006 年之水生昆蟲資源組成

Order	Family	Taxa	Jan	Apr	Jun	Jul	Aug	Oct	Total
Coleoptera	Elmidae	*Zaitzevia* sp.	3.6 / 0.0	14.3 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	19.7 / 3.9
	Helodidae	*Cyphon* sp.	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.1
Diptera	Athericidae	*Atherix* sp.	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	5.4 / 2.3
	Blepharoceridae	*Agathon* sp.	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	3.6 / 16.0
		Bibiocephala sp.	0.0 / 0.0	7.2 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	16.1 / 0.0	23.3 / 23.6
	Chironomidae	Chironomidae sp.C	41.2 / 0.0	23.3 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	26.9 / 0.0	93.2 / 9.9
		Chironomidae sp.D	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 1.1
		Chironomidae spp.	594.8 / 0.0	118.2 / 0.0	10.7 / 0.0	43.0 / 0.0	292.0 / 0.0	102.1 / 0.0	1161.0 / 253.3
		Tanypodinae spp.	25.1 / 0.0	9.0 / 0.0	0.0 / 0.0	7.2 / 0.0	0.0 / 0.0	7.2 / 0.0	48.4 / 3.2
	Simuliidae	*Simullium* sp.	231.1 / 0.0	105.7 / 0.0	5.4 / 0.0	30.5 / 0.0	57.3 / 0.0	0.0 / 0.0	430.0 / 362.4
	Tipulidae	*Antocha* sp.	5.4 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	9.0 / 0.0	7.2 / 0.0	21.5 / 29.8
		Dicranota sp.	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 3.9
		Eriocera sp.A	5.4 / 0.0	14.3 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	9.0 / 0.0	30.5 / 65.8
		Eriocera sp.B	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 0.0	0.0 / 0.0	16.1 / 0.0	25.1 / 294.0
Ephemeroptera	Baetidae	*Baetiella bispinosa*	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	9.0 / 0.0	0.0 / 0.0	9.0 / 0.0	21.5 / 8.3
		Baetis spp.	68.1 / 0.0	66.3 / 0.0	3.6 / 0.0	37.6 / 0.0	25.1 / 0.0	107.5 / 0.0	308.2 / 327.0
		Pseudocloeon latum	111.1 / 0.0	21.5 / 0.0	3.6 / 0.0	14.3 / 0.0	71.7 / 0.0	96.7 / 0.0	318.9 / 113.0
	Caenidae	*Caenis* sp.	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0

續表 6-6 武陵地區繁殖場站於 2006 年之水生昆蟲資源組成

Order	Family	Taxa	Jan	Apr	Jun	Jul	Aug	Oct	Total
	Ephemerellidae	*Acerella montana*	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 9.7
	Heptageniidae	*Rhithrogena ampla*	249.0 / 0.0	209.6 / 0.0	77.0 / 0.0	168.4 / 0.0	150.5 / 0.0	234.7 / 0.0	1089.3 / 3380.8
Plecoptera	Nemouridae	*Amphinemura* sp.	28.7 / 0.0	5.4 / 0.0	1.8 / 0.0	5.4 / 0.0	10.7 / 0.0	5.4 / 0.0	57.3 / 22.9
		Protonemura spp.	60.9 / 0.0	30.5 / 0.0	5.4 / 0.0	1.8 / 0.0	52.0 / 0.0	23.3 / 0.0	173.8 / 242.2
	Perlidae	*Neoperla* spp.	9.0 / 0.0	3.6 / 0.0	5.4 / 0.0	7.2 / 0.0	3.6 / 0.0	17.9 / 0.0	46.6 / 268.4
	Styloperlidae	*Cerconychia* sp.	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0
Trichoptera	Glossosomatidae	*Glossosoma* sp.	12.5 / 0.0	102.1 / 0.0	1.8 / 0.0	37.6 / 0.0	50.2 / 0.0	91.4 / 0.0	295.6 / 527.3
	Hydropsychidae	*Arctopsyche* sp.	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	1.8 / 0.0	12.5 / 474.6
		Hydropsyche spp.	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	5.4 / 0.0	17.9 / 0.0	39.4 / 0.0	66.3 / 469.6
	Lepidostomatidae	*Goerodes* sp.	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	3.6 / 10.2
	Rhyacophilidae	*Apsilochorema* sp.	0.0 / 0.0	14.3 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	7.2 / 0.0	23.3 / 26.1
		Himalopsyche sp.	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	1.8 / 0.0	9.0 / 889.1
		Rhyacophila nigrocephala	1.8 / 0.0	12.5 / 0.0	7.2 / 0.0	3.6 / 0.0	7.2 / 0.0	3.6 / 0.0	35.8 / 113.8
		Rhyacophila spp.	0.0 / 0.0	10.7 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	7.2 / 0.0	19.7 / 66.8
	Sericostomatidae	*Gumaga* sp.	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 1.9

*分子表示每平方公尺個體數及分母表示每平方公尺生物量

表 6-7 武陵地區有勝溪站於 2006 年之水生昆蟲資源組成

Order	Family	Taxa	Jan	Apr	Jun	Jul	Aug	Oct	Total
Coleoptera	Elmidae	*Zaitzevia* sp.	35.8 / 0.0	28.7 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	5.4 / 0.0	12.5 / 0.0	84.2 / 28.1
Diptera	Athericidae	*Atherix* sp.	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 122.2
	Chironomidae	Chironomidae sp.C	7.2 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	9.0 / 0.0	17.9 / 2.2
		Chironomidae spp.	2504.7 / 0.0	139.7 / 0.0	30.5 / 0.0	19.7 / 0.0	747.1 / 0.0	39.4 / 0.0	3481.1 / 898.1
		Tanypodinae spp.	10.7 / 0.0	50.2 / 0.0	10.7 / 0.0	21.5 / 0.0	16.1 / 0.0	68.1 / 0.0	177.4 / 71.1
	Simuliidae	*Simullium* sp.	1306.1 / 0.0	5.4 / 0.0	19.7 / 0.0	12.5 / 0.0	3.6 / 0.0	10.7 / 0.0	1358.1 / 683.7
	Tipulidae	*Antocha* sp.	7.2 / 0.0	34.0 / 0.0	17.9 / 0.0	25.1 / 0.0	21.5 / 0.0	19.7 / 0.0	125.4 / 179.2
		Dicranota sp.	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 14.0
		Eriocera sp.B	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 1.4
Ephemeroptera	Baetidae	*Baetis* spp.	274.1 / 0.0	311.7 / 0.0	21.5 / 0.0	62.7 / 0.0	173.8 / 0.0	399.5 / 0.0	1243.4 / 738.0
		Pseudocloeon latum	130.8 / 0.0	0.0 / 0.0	14.3 / 0.0	7.2 / 0.0	118.2 / 0.0	1.8 / 0.0	272.3 / 98.8
	Ephemeridae	*Ephemera sauteri*	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 0.0	9.0 / 13.2
	Heptageniidae	*Afronurus floreus*	3.6 / 0.0	12.5 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	7.2 / 0.0	34.0 / 0.0	60.9 / 450.3
		Afronurus nanhuensis	5.4 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	14.3 / 250.6
		Rhithrogena ampla	30.5 / 0.0	107.5 / 0.0	39.4 / 0.0	41.2 / 0.0	71.7 / 0.0	358.3 / 0.0	648.6 / 2443.7
Odonata	Gomphidae	*Sinogomphus formosanus*	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 587.8
Plecoptera	Leuctridae	*Rhopalopsole* sp.	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 1.4
	Nemouridae	*Amphinemura* sp.	5.4 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	7.2 / 2.1
Trichoptera	Glossosomatidae	*Glossosoma* sp.	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 1.8
	Hydropsychidae	*Arctopsyche* sp.	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 13.4
		Hydropsyche spp.	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	3.6 / 0.0	3.6 / 0.0	23.3 / 0.0	32.2 / 99.8
	Rhyacophilidae	*Apsilochorema* sp.	5.4 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 2.3
		Rhyacophila nigrocephala	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	3.6 / 1.6
		Rhyacophila spp.	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	3.6 / 36.7

*分子表示每平方公尺個體數及分母表示每平方公尺生物量

表 6-8 武陵地區迎賓橋站於 2006 年之水生昆蟲資源組成

Order	Family	Taxa	Jan	Apr	Jun	Jul	Aug	Oct	Total
Coleoptera	Elmidae	*Zaitzevia* sp.	1.8 / 0.0	10.7 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 0.0	1.8 / 0.0	19.7 / 6.2
Diptera	Athericidae	*Atherix* sp.	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 19.5
	Ceratopogonidae	*Bezzia* sp.	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.7
	Chironomidae	Chironomidae sp.C	19.7 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 0.0	25.1 / 2.9
		Chironomidae sp.D	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 2.5
		Chironomidae spp.	958.5 / 0.0	191.7 / 0.0	39.4 / 0.0	17.9 / 0.0	390.6 / 0.0	37.6 / 0.0	1635.8 / 413.4
		Tanypodinae spp.	5.4 / 0.0	10.7 / 0.0	14.3 / 0.0	12.5 / 0.0	12.5 / 0.0	19.7 / 0.0	75.2 / 26.7
	Simuliidae	*Simullium* sp.	60.9 / 0.0	12.5 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	23.3 / 0.0	5.4 / 0.0	102.1 / 59.2
	Tipulidae	*Antocha* sp.	16.1 / 0.0	19.7 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 0.0	105.7 / 0.0	14.3 / 0.0	161.2 / 160.9
		Dicranota sp.	1.8 / 0.0	5.4 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	7.2 / 17.2
		Eriocera sp.A	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 12.7
		Eriocera sp.B	12.5 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 0.0	5.4 / 0.0	23.3 / 701.2
Ephemeroptera	Baetidae	*Baetiella bispinosa*	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	12.5 / 0.0	12.5 / 3.2
		Baetis spp.	422.8 / 0.0	243.7 / 0.0	44.8 / 0.0	35.8 / 0.0	141.5 / 0.0	351.2 / 0.0	1239.8 / 677.1
		Pseudocloeon latum	10.7 / 0.0	26.9 / 0.0	1.8 / 0.0	5.4 / 0.0	82.4 / 0.0	19.7 / 0.0	146.9 / 131.9
	Ephemerellidae	*Cincticostella fusca*	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 2.3
	Ephemeridae	*Ephemera sauteri*	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	5.4 / 1.9
	Heptageniidae	*Afronurus nanhuensis*	19.7 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	21.5 / 134.9

續表 6-8 武陵地區迎賓橋站於 2006 年之水生昆蟲資源組成

Order	Family	Taxa	Jan	Apr	Jun	Jul	Aug	Oct	Total
		Rhithrogena ampla	98.5 / 0.0	234.7 / 0.0	84.2 / 0.0	146.9 / 0.0	232.9 / 0.0	358.3 / 0.0	1155.6 / 2861.6
	Siphlonuridae	*Ameletus camtschaticus*	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 3.6
Odonata	Gomphidae	*Sinogomphus formosanus*	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 23.8
Plecoptera	Nemouridae	*Amphinemura* sp.	55.5 / 0.0	5.4 / 0.0	1.8 / 0.0	5.4 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	71.7 / 55.9
		Protonemura spp.	0.0 / 0.0	5.4 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	7.2 / 2.2
	Perlidae	*Neoperla* spp.	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	5.4 / 12.7
Trichoptera	Glossosomatidae	*Glossosoma* sp.	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0
	Hydropsychidae	*Hydropsyche* spp.	5.4 / 0.0	3.6 / 0.0	3.6 / 0.0	1.8 / 0.0	5.4 / 0.0	25.1 / 0.0	44.8 / 116.2
	Lepidostomatidae	*Goerodes* sp.	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	3.6 / 5.2
	Rhyacophilidae	*Apsilochorema* sp.	7.2 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	3.6 / 0.0	16.1 / 78.9
		Rhyacophila nigrocephala	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	1.8 / 0.0	5.4 / 0.0	12.5 / 0.0	5.4 / 0.0	28.7 / 216.4
	Stenopsychidae	*Stenopsyche* sp.A	3.6 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 1081.1

*分子表示每平方公尺個體數及分母表示每平方公尺生物量

表 6-9 武陵地區萬壽橋站於 2006 年之水生昆蟲資源組成

Order	Family	Taxa	Jan	Apr	Jun	Jul	Aug	Oct	Total
Coleoptera	Elmidae	*Zaitzevia* sp.	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 2.0
	Helodidae	*Cyphon* sp.	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.5
Diptera	Athericidae	*Atherix* sp.	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 1.3
	Blepharoceridae	*Agathon* sp.	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	10.7 / 0.0	14.3 / 52.4
		Bibiocephala sp.	5.4 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	7.2 / 10.3
	Ceratopogonidae	*Bezzia* sp.	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.7
	Chironomidae	Chironomidae sp.C	10.7 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	17.9 / 2.2
		Chironomidae spp.	911.9 / 0.0	68.1 / 0.0	3.6 / 0.0	55.5 / 0.0	1320.4 / 0.0	21.5 / 0.0	2381.1 / 689.4
		Tanypodinae spp.	16.1 / 0.0	5.4 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	23.3 / 1.1
	Simuliidae	*Simullium* sp.	315.3 / 0.0	7.2 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	283.1 / 0.0	1.8 / 0.0	607.4 / 708.8
	Tipulidae	*Antocha* sp.	7.2 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	9.0 / 0.0	7.2 / 0.0	28.7 / 72.9
		Dicranota sp.	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 13.3
		Eriocera sp.A	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.4
		Eriocera sp.B	3.6 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	9.0 / 158.2
Ephemeroptera	Baetidae	*Baetiella bispinosa*	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	14.3 / 0.0	17.9 / 24.5
		Baetis spp.	41.2 / 0.0	39.4 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	14.3 / 0.0	26.9 / 0.0	125.4 / 128.2
		Pseudocloeon latum	25.1 / 0.0	7.2 / 0.0	0.0 / 0.0	14.3 / 0.0	161.2 / 0.0	35.8 / 0.0	243.7 / 114.2
	Caenidae	*Caenis* sp.	3.6 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	5.4 / 0.9

續表 6-9 武陵地區萬壽橋站於 2006 年之水生昆蟲資源組成

Order	Family	Taxa	Jan	Apr	Jun	Jul	Aug	Oct	Total
	Heptageniidae	*Rhithrogena ampla*	172.0 / 0.0	77.0 / 0.0	19.7 / 0.0	48.4 / 0.0	218.6 / 0.0	98.5 / 0.0	634.2 / 1990.7
Plecoptera	Nemouridae	*Amphinemura* sp.	41.2 / 0.0	7.2 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	53.7 / 28.5
		Protonemura spp.	1.8 / 0.0	9.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	9.0 / 0.0	7.2 / 0.0	26.9 / 48.5
	Perlidae	*Neoperla* spp.	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	9.0 / 0.0	0.0 / 0.0	9.0 / 20.6
Trichoptera	Glossosomatidae	*Glossosoma* sp.	1.8 / 0.0	14.3 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	1.8 / 0.0	21.5 / 0.0	43.0 / 10.8
	Hydropsychidae	*Arctopsyche* sp.	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	7.2 / 205.7
		Hydropsyche spp.	5.4 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	16.1 / 0.0	43.0 / 0.0	68.1 / 280.5
	Rhyacophilidae	*Apsilochorema* sp.	5.4 / 0.0	7.2 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	1.8 / 0.0	17.9 / 48.6
		Himalopsyche sp.	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 464.3
		Rhyacophila nigrocephala	3.6 / 0.0	7.2 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	5.4 / 0.0	9.0 / 0.0	28.7 / 146.3
		Rhyacophila spp.	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	7.2 / 9.4
	Stenopsychidae	*Stenopsyche* sp.A	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0

*分子表示每平方公尺個體數及分母表示每平方公尺生物量

表 6-10 武陵地區司界蘭溪下游站於 2006 年之水生昆蟲資源組成

Order	Family	Taxa	Jan	Jul	Total
Coleoptera	Elmidae	*Zaitzevia* sp.	19.7 / 0.0	0.0 / 0.0	19.7 / 7.5
	Helodidae	*Cyphon* sp.	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 1.3
Diptera	Chironomidae	Chironomidae sp.C	105.7 / 0.0	0.0 / 0.0	105.7 / 29.6
		Chironomidae spp.	1492.4 / 0.0	5.4 / 0.0	1497.8 / 308.0
		Tanypodinae spp.	9.0 / 0.0	3.6 / 0.0	12.5 / 3.5
	Simuliidae	*Simullium* sp.	245.5 / 0.0	19.7 / 0.0	265.2 / 293.4
	Tipulidae	*Antocha* sp.	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 2.0
		Dicranota sp.	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	3.6 / 21.6
		Eriocera sp.A	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 12.2
		Eriocera sp.B	23.3 / 0.0	1.8 / 0.0	25.1 / 1662.6
Ephemeroptera	Baetidae	*Baetiella bispinosa*	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 29.6
		Baetis spp.	39.4 / 0.0	0.0 / 0.0	39.4 / 88.5
		Pseudocloeon latum	265.2 / 0.0	0.0 / 0.0	265.2 / 154.1
	Heptageniidae	*Rhithrogena ampla*	150.5 / 0.0	12.5 / 0.0	163.0 / 1292.8
	Siphlonuridae	*Ameletus camtschaticus*	0.0 / 0.0	3.6 / 0.0	3.6 / 2.4
Plecoptera	Nemouridae	*Amphinemura* sp.	141.5 / 0.0	0.0 / 0.0	141.5 / 68.3
		Protonemura spp.	77.0 / 0.0	1.8 / 0.0	78.8 / 138.7
	Perlidae	*Neoperla* spp.	21.5 / 0.0	1.8 / 0.0	23.3 / 521.4
Trichoptera	Glossosomatidae	*Glossosoma* sp.	10.7 / 0.0	5.4 / 0.0	16.1 / 26.1
	Hydropsychidae	*Arctopsyche* sp.	32.2 / 0.0	0.0 / 0.0	32.2 / 584.4
		Hydropsyche spp.	10.7 / 0.0	3.6 / 0.0	14.3 / 55.5
	Lepidostomatidae	*Goerodes* sp.	9.0 / 0.0	0.0 / 0.0	9.0 / 8.8
	Rhyacophilidae	*Apsilochorema* sp.	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 2.5
		Himalopsyche sp.	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 9.0
		Rhyacophila nigrocephala	14.3 / 0.0	0.0 / 0.0	14.3 / 74.9
		Rhyacophila spp.	14.3 / 0.0	0.0 / 0.0	14.3 / 213.0

*分子表示每平方公尺個體數及分母表示每平方公尺生物量

表 6-11 武陵地區司界蘭溪上游站於 2006 年之水生昆蟲資源組成

Order	Family	Taxa	Jan	Jul	Total
Coleoptera	Elmidae	*Zaitzevia* sp.	25.1 / 0.0	0.0 / 0.0	25.1 / 8.2
Diptera	Athericidae	*Atherix* sp.	9.0 / 0.0	0.0 / 0.0	9.0 / 6.6
	Ceratopogonidae	*Bezzia* sp.	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0
	Chironomidae	Chironomidae sp.C	109.3 / 0.0	1.8 / 0.0	111.1 / 18.6
		Chironomidae spp.	616.3 / 0.0	9.0 / 0.0	625.3 / 116.8
		Tanypodinae spp.	16.1 / 0.0	0.0 / 0.0	16.1 / 1.3
	Simuliidae	*Simullium* sp.	206.0 / 0.0	1.8 / 0.0	207.8 / 287.9
	Tipulidae	*Antocha* sp.	19.7 / 0.0	3.6 / 0.0	23.3 / 44.3
		Dicranota sp.	7.2 / 0.0	0.0 / 0.0	7.2 / 28.3
		Eriocera sp.A	7.2 / 0.0	0.0 / 0.0	7.2 / 37.6
		Eriocera sp.B	9.0 / 0.0	1.8 / 0.0	10.7 / 1336.5
Ephemeroptera	Baetidae	*Baetis* spp.	159.5 / 0.0	3.6 / 0.0	163.0 / 395.2
		Pseudocloeon latum	182.7 / 0.0	0.0 / 0.0	182.7 / 103.0
	Heptageniidae	*Rhithrogena ampla*	121.8 / 0.0	3.6 / 0.0	125.4 / 1193.9
	Siphlonuridae	*Ameletus camtschaticus*	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0	1.8 / 13.0
Odonata	Gomphidae	*Sinogomphus formosanus*	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 92.4
Plecoptera	Nemouridae	*Amphinemura* sp.	155.9 / 0.0	0.0 / 0.0	155.9 / 36.9
		Protonemura spp.	39.4 / 0.0	10.7 / 0.0	50.2 / 124.7
	Perlidae	*Neoperla* spp.	1.8 / 0.0	1.8 / 0.0	3.6 / 30.6
Trichoptera	Glossosomatidae	*Glossosoma* sp.	16.1 / 0.0	19.7 / 0.0	35.8 / 10.6
	Hydropsychidae	*Arctopsyche* sp.	3.6 / 0.0	0.0 / 0.0	3.6 / 15.4
		Hydropsyche spp.	5.4 / 0.0	1.8 / 0.0	7.2 / 136.8
	Lepidostomatidae	*Goerodes* sp.	1.8 / 0.0	0.0 / 0.0	1.8 / 0.0
	Rhyacophilidae	*Apsilochorema* sp.	9.0 / 0.0	0.0 / 0.0	9.0 / 24.7
		Rhyacophila nigrocephala	10.7 / 0.0	1.8 / 0.0	12.5 / 57.8
		Rhyacophila spp.	10.7 / 0.0	1.8 / 0.0	12.5 / 270.3

*分子表示每平方公尺個體數及分母表示每平方公尺生物量

表 6-12 司界蘭溪於 2005 年 8 月至 2006 年 7 月之水棲昆蟲多樣性指數

Site	RBPII	Richness index	Pielou's evenness index	Shannon-Wiener's index	Simpson's index
司界蘭溪上游 2005 年 8 月	1.0000	1.3653	0.6492	1.3501	0.6336
司界蘭溪下游 2005 年 8 月	0.8571	1.4218	0.6040	1.3271	0.6581
司界蘭溪上游 2006 年 1 月	1.0714	3.4871	0.6773	2.1802	0.8252
司界蘭溪下游 2006 年 1 月	1.0000	3.2793	0.5387	1.7341	0.6685
司界蘭溪上游 2006 年 7 月	0.9333	3.6277	0.8386	2.2131	0.8683
司界蘭溪下游 2006 年 7 月	0.6667	2.8358	0.8481	2.0337	0.8485

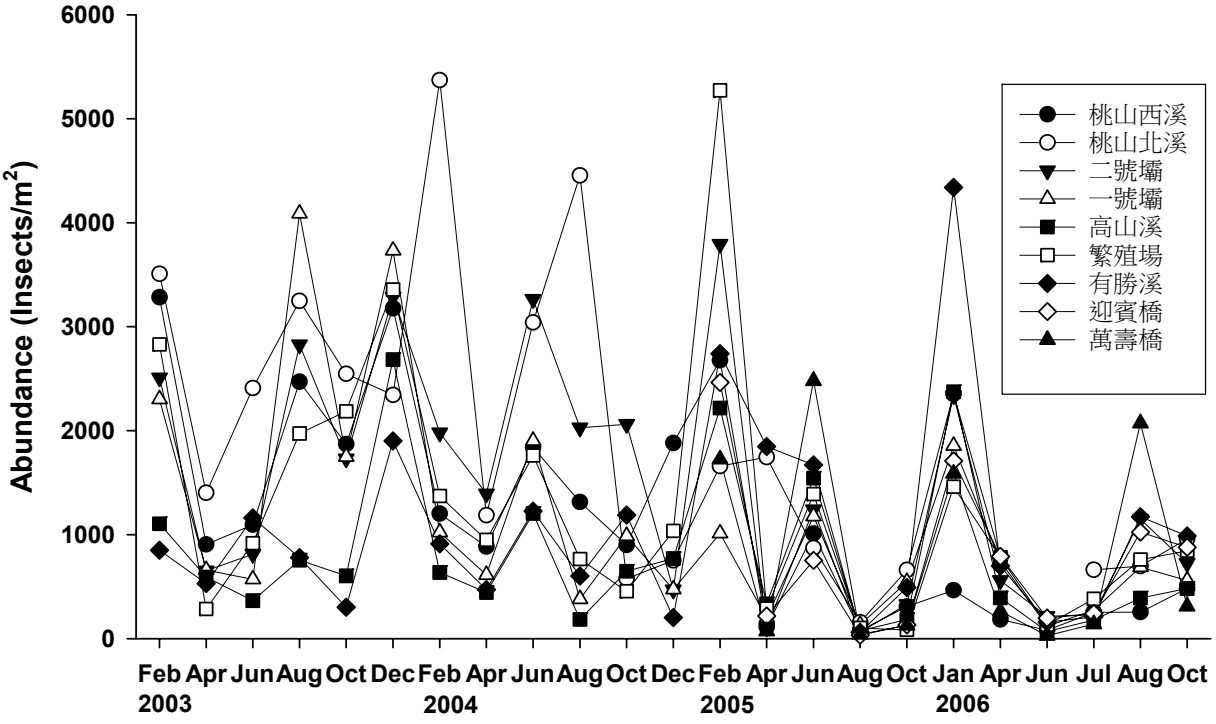


圖 6-1 武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲各月數量。

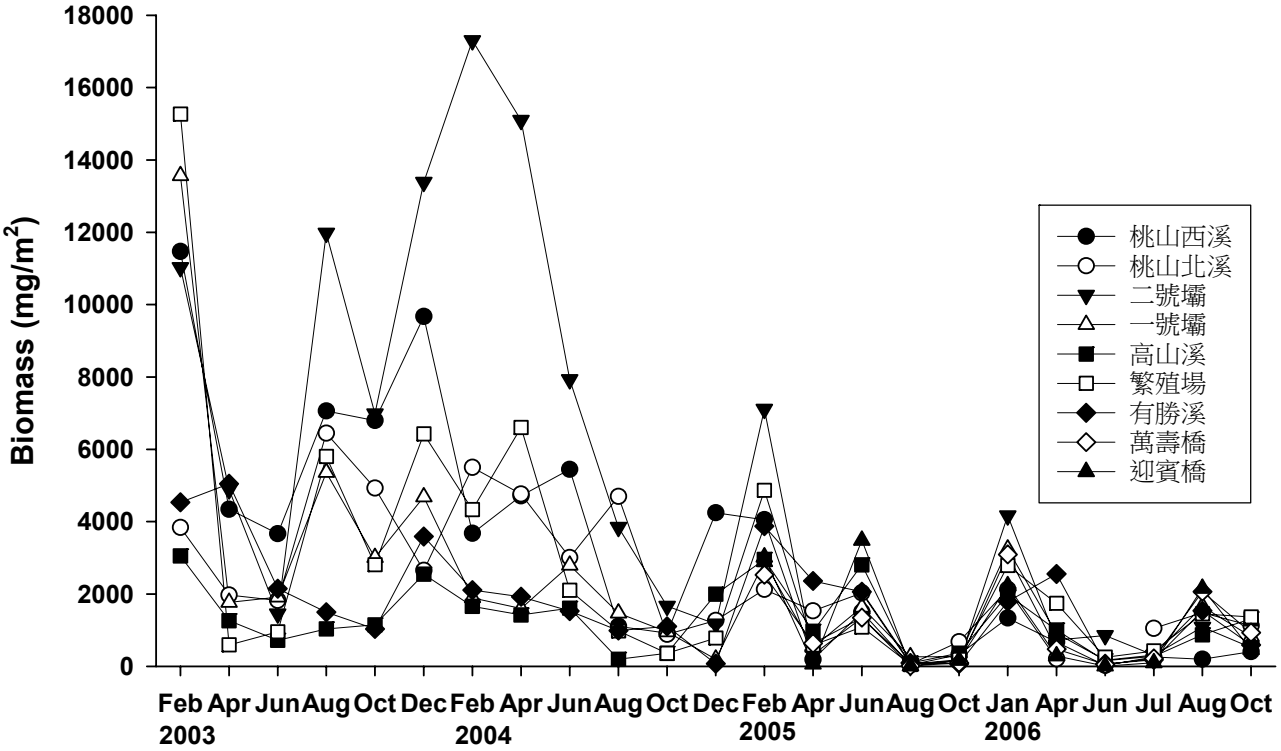


圖 6-2 武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲各月生物量。

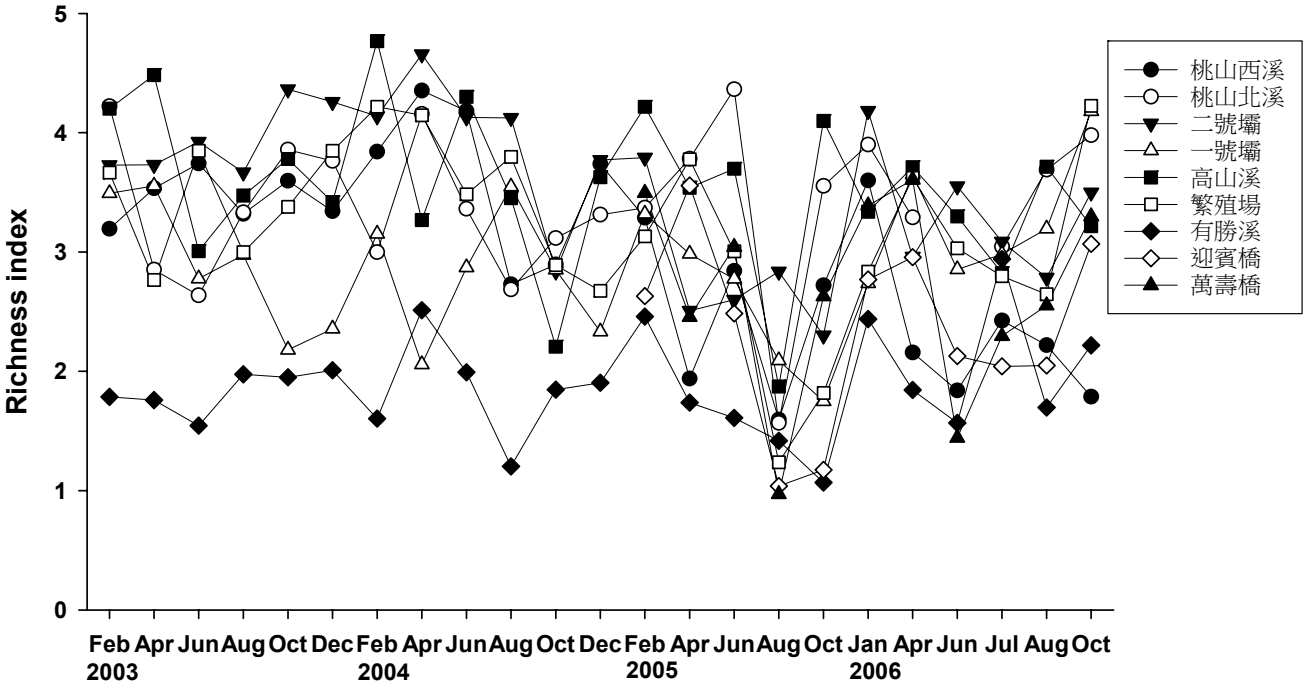


圖 6-3 武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲之 Richness index。

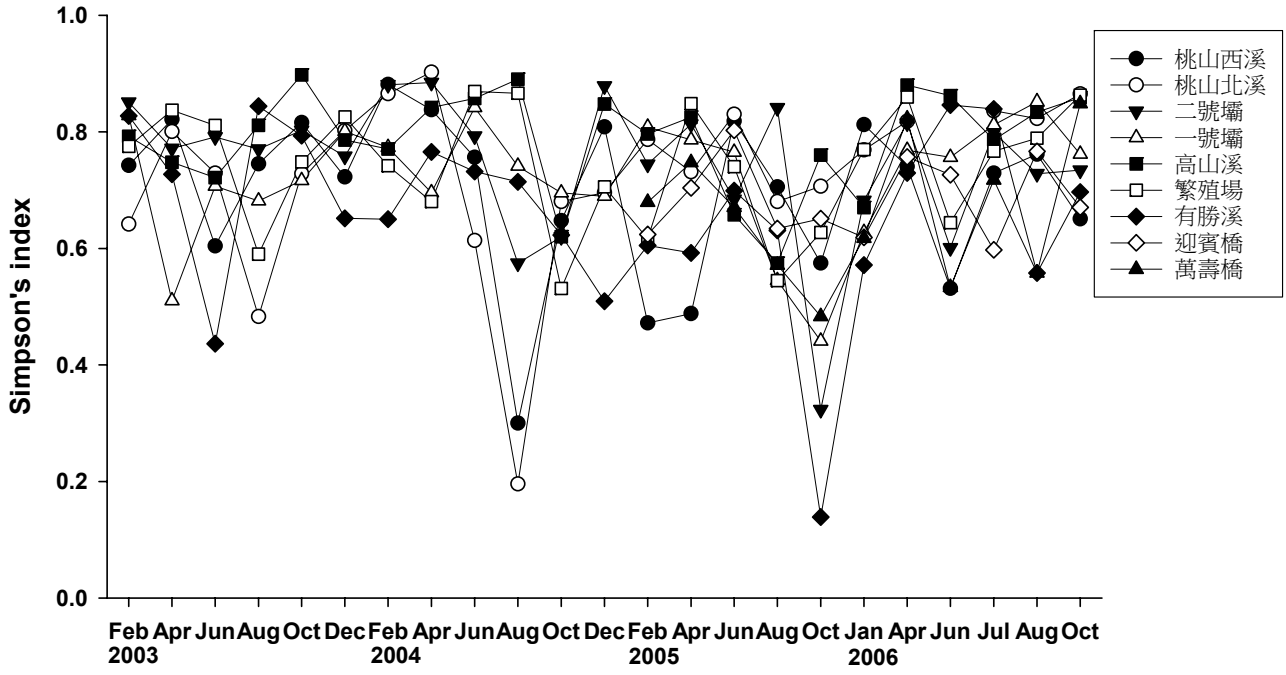


圖 6-4 武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲之 Simpson's index。

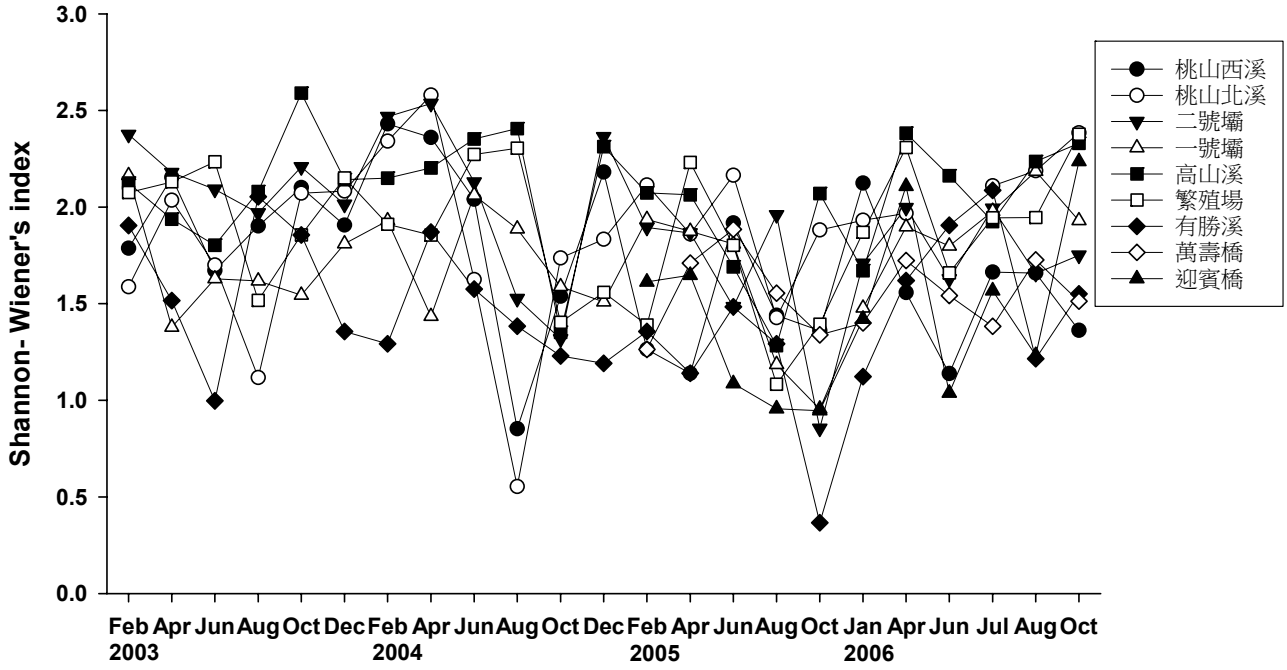


圖 6-5 武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲之 Shannon- Wiener's index。

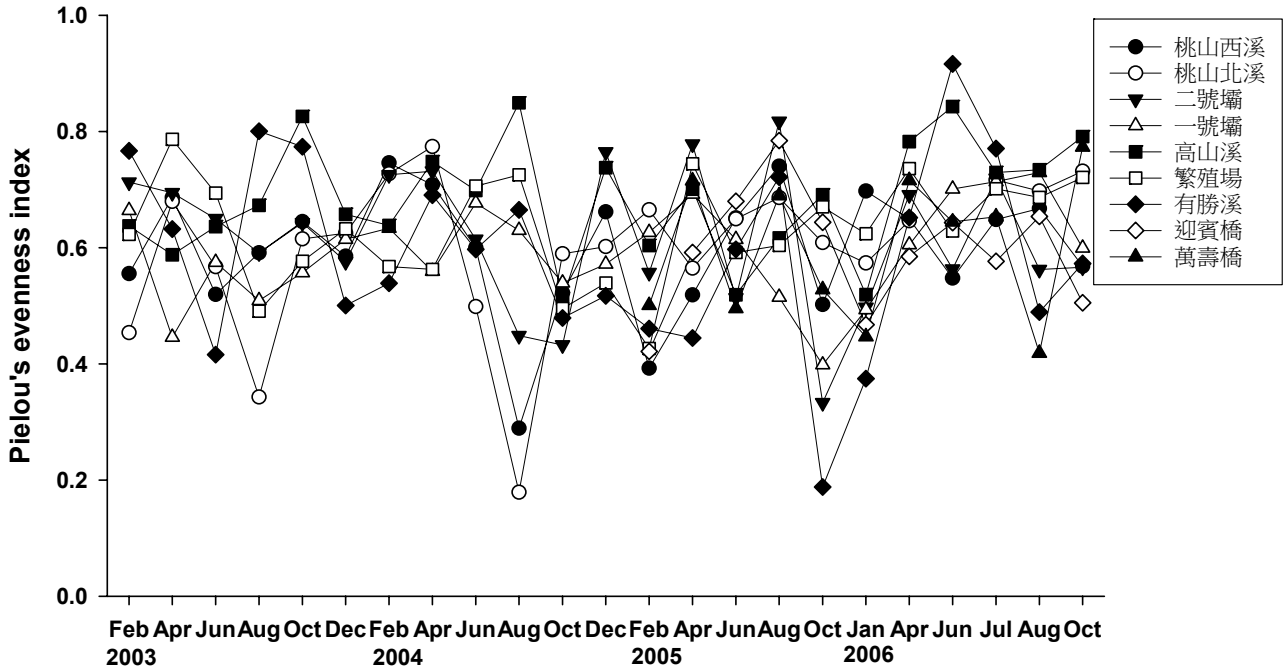


圖 6-6 武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲之 Pielou's evenness index。

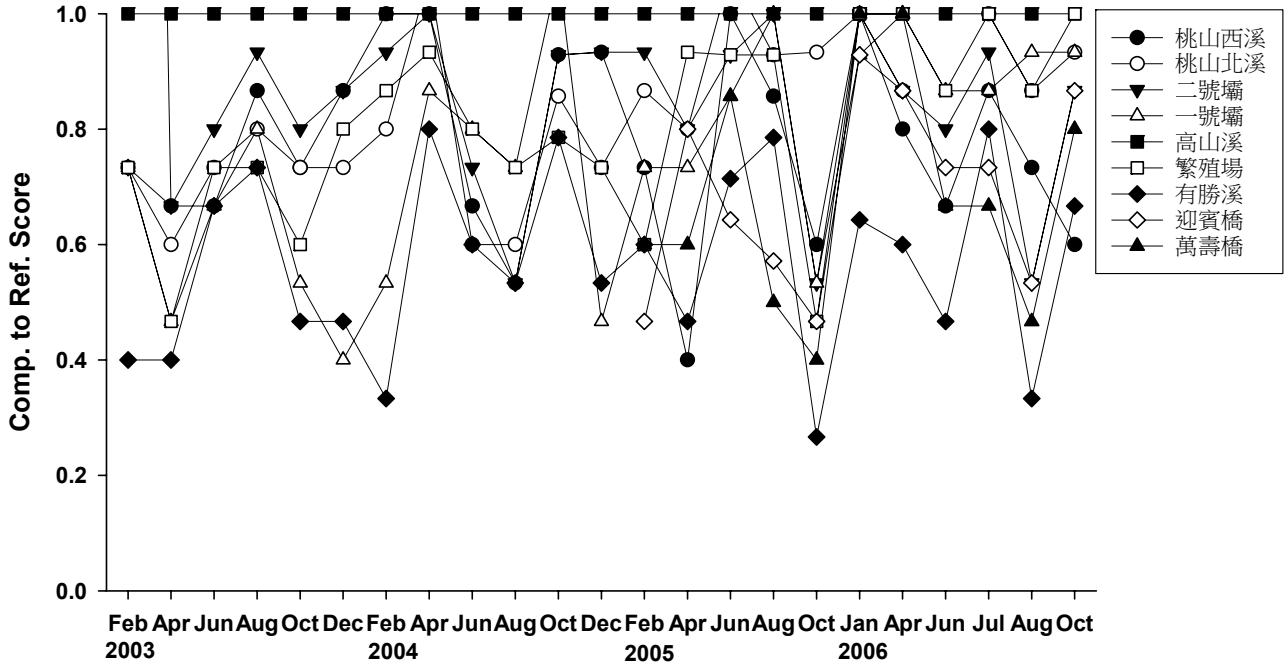


圖 6-7 武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲之之 RBPII 相對分數。

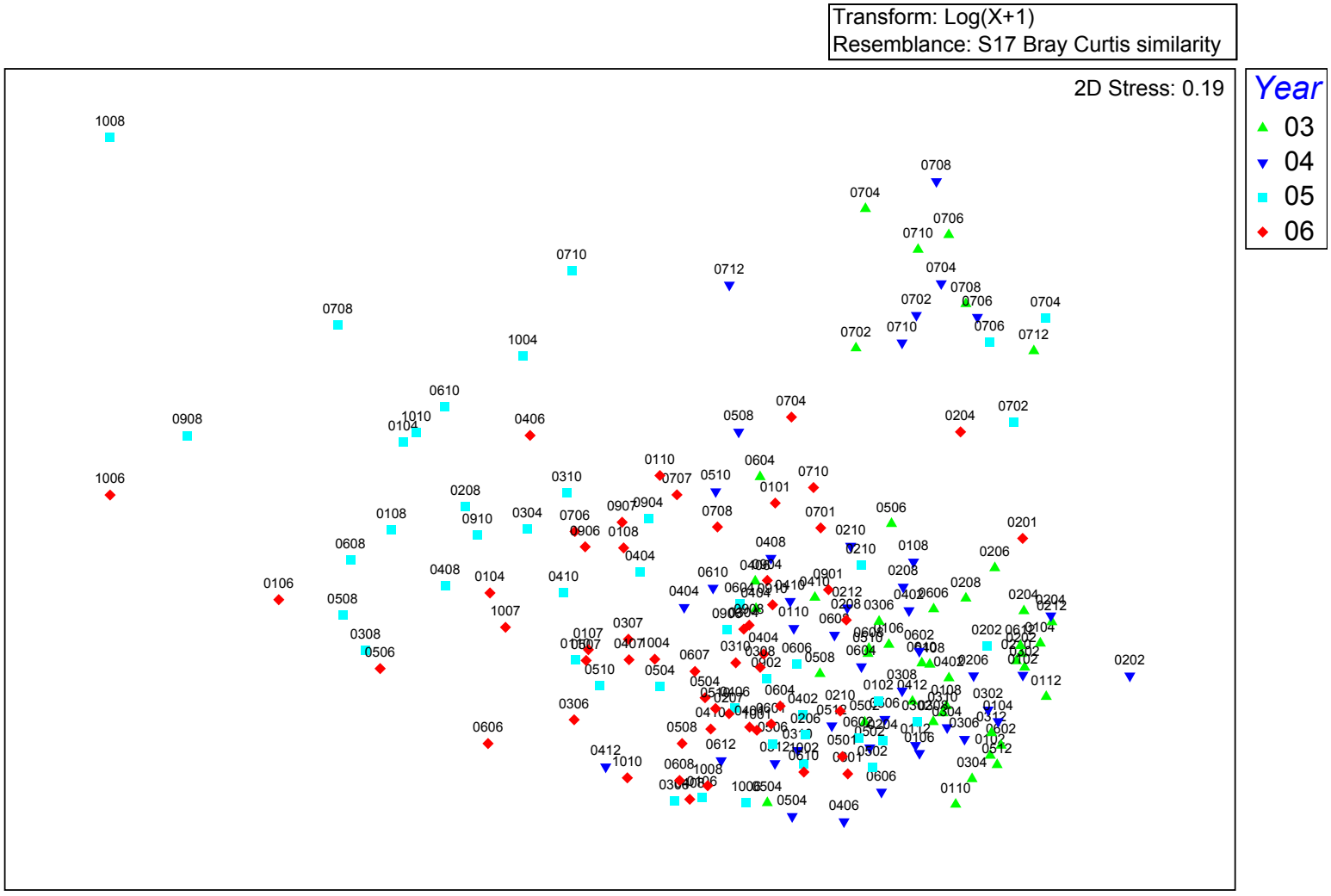


圖 6-8 武陵地區溪流採樣站水棲昆蟲之 MDS 分析。(圖標 4 位數表示樣站及月分組合，如 0502 代表第 5 站 2 月)

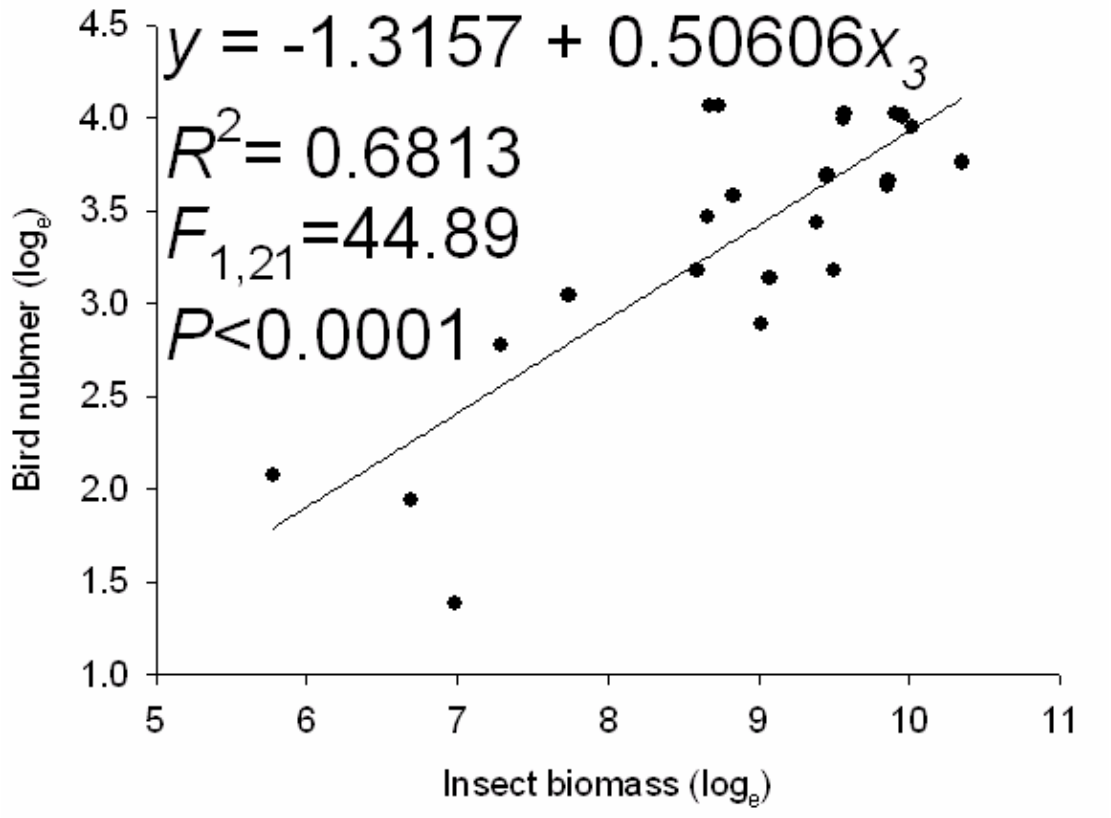


圖 6-9 武陵地區溪流河烏與水棲昆蟲之逐步迴歸分析結果。

第七章　陸棲昆蟲研究

楊正澤、葉文斌、郭雅惠、江東權、黃騰禾、王心浩、陳德浩

中興大學昆蟲學系

摘要

武陵地區中尺度濱水帶昆蟲調查自 2004 年 4 月至 2006 年 8 月止，偶數月在測站 1、2、5、8、9 分別各設了 3 個小樣區，以吊網、陷阱杯、掃網及枯落物收集等調查結果累計 150,403 隻，共分為 22 目，已鑑定 189 科。優勢昆蟲個體數前四名最多為雙翅目（60.9%），其次為彈尾目（22.3%），再其次為鞘翅目(6.7%)，再其次為膜翅目（3.4%），因此調查結果優勢指標群依序為 $DC_mC_pH_y$，佔濱水帶全部昆蟲的 93.3%。武陵地區大尺度之集水區昆蟲群聚另於 2005 年起增加高海拔之掃網調查，採得昆蟲之個體數共計 27,634 隻，依海拔高度分四樣段：七卡（2,500-2,900 m）（18.5%）、稜線（2,900-3,100 m）（11.9%）、黑森林（3,200-3,400 m）（54.5%）、圈谷（3500 m 以上）（15.1%），而優勢昆蟲指標分類群，前四名分別為同翅目（31.1%）、雙翅目（29.8%）、彈尾目（14.8%）、膜翅目（9.9%），優勢指標群依序為 $H_mDC_mH_y$，佔高海拔採集之 85.6%。本計劃另協助委託單位分析五條櫻花鉤吻鮭之胃含物，結果以蜉蝣目（44.2%）為主，其次雙翅目（14.2%）、鞘翅目（11.7%），陸生昆蟲之數量占 33.6%，由陸域輸入水域之物質除枯落物外，陸生昆蟲掉入水中充當櫻花鉤吻鮭食物也是值得注意的問題。

Abstract

The riparian insects survey for the middle scale WLTERM carried out by various method and traps every two month a year at the station 1, 2, 5, 8, 9 along the river Chichiawanshi. Totally 150,403 individuals of insects were collected and identified as 22 orders, and there are 189 families were identified so far. The top four orders in individual number are Diptera (60.9%), Collembola (22.3%), Coleoptera (6.7%) and Hymenoptera (4.3%), therefore the insect indicator group is $DC_mC_pH_y$ and include 93.3% of all individual number. There are 13,518 individuals collected by sweeping net from 4 transections which are along the way from the mountain foot to the peak of Syue mountain by the altitude of 2,500-2,900 m, 2,900-3,100m, 3,200-3,400m, 3500 m are 5,116, 4,165, 2,343 and 1,894 in individual respectively. The dominant orders are Diptera (31.1%), Homoptera (29.8%), Collembola (14.8%) and Hymenoptera (9.9%), the present insect indicator group is $H_mDC_mH_y$ and include 85.6% of all individual number. According to the stomach analysis of the five fishes of *Oncorhychus masou formosamus*, we found that the major groups of insect prey are Ephemeroptera (44.2%), Diptera (14.2%) and Coleoptera (11.7%). There are 33.6% of insect fragment belongs to the terrestrial insect which were dropped into the water and purchased by the fish as the food resource which is also important to the input of the river ecosystem.

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，2005；楊及管，2005；胡及楊，2005a, b；楊及陳，2005；郭等，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（florivore），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（scatophagous），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，本計劃另以武陵地區大尺度考量，針對高海拔之昆蟲相設計相關之研究主題，希望可以釐清台灣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），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，這是繼生態研究之後，國家公園應探討自然史的主題。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（林斯正，2000），針對甲蟲的研究自日本據台時期至今三波的研究（連裕益、楊平世，2000）之外，甚少觸及 3,500 公尺以上之高海拔昆蟲分佈，藉由雪山地區的昆蟲調查，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，金恆鑣（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（earthquakes）、火山爆發（volcanic eruptions）、洪水（floods）、地滑（landslides）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 infestations）、野火（wild fires）及龍捲風（tornadoes）（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（hailstorms）、雪暴（winter storms）、風暴（hurricanes）及海嘯（tsunamis），在台灣則加上每年的颱風（typhoons）。

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，近

十年陸續發生強震，鄰近東南亞地區也發生重大災害，地震及海嘯每每造成重大災難；颱風會造成樹木倒折甚至枯死，土石崩落甚至植被改變，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（typhoons）可與波多黎各的颶風（hurricanes）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。

關於災害性干擾的研究，需要長期監測，本研究室在六年間（1996～2001），以黃色黏蟲紙調查關刀溪森林生態系長翅目的長期生態調查，結果發現，此地區長翅目昆蟲僅有蝎蛉科（Panorpidae）*Panorpa sp.*的分布。一年之中族群變動，4 月到 7 月間成蟲活動；雌蟲數量較多，為總數的 58.9%；黏蟲紙在不同高度（1m 及 2m）中，出現於 1m 高度的個體占 74%最多；天然林、人工林、次生林及火燒跡地等五個樣區中，距離相隔較遠的天然林及人工林兩樣區的族群量最大，各占 39%，其次為火燒跡地（16%），二個次生林樣區則偏少（2%及 3%）。六年間族群變動方面，雖然 1998 年的反聖嬰現象造成的酷暑、寒冬及春雨少，可能會使次年的族群萎縮，而 1999 年的 921 集集大地震則可能是造成隨後族群遽增的關鍵因素。

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，對武陵地區受颱風及豪

雨干擾影響之討論，以隱翅蟲科為例，說明此類生活在地表河濱之枯落物中之分解者昆蟲，在濱水帶生態系 r 型生活策略的模式，在次年干擾來臨前可以上升到最高。

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。

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（繁殖場）、測站 8（高山溪）及測站 9（有勝溪）（圖 7-1）；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2006年8月。開始但周圍環境已大有改變因此在去年度已重新設置，2006 年測站工作進度如表 7-1。

1. 武陵地區濱水帶樣區概述

各測站因 2005 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°，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－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°，多為冬季落葉之闊葉樹林，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；第二及第三小區皆位於林幸助老師所設測站鄰近之左右岸，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，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，鄰近植被主要為五節芒；第二及第三小區位於右岸，地形為陡岸旁，第二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；第三小區位於北岸邊坡，離河面高度約 2 公尺，坡度已超過 60°，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。

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，詳細資料見表 7-2。

（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。

（2）稜線：雪山東峰 2,900 公尺至 3,000 公尺稜線之玉山箭竹及五節芒區。

（3）黑森林：3,200 至 3,400 公尺的冷杉林地段。

（4）圈谷：3,500 公尺以上之圈谷低矮灌叢區。

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，2006 年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，野外標本處理方法同掃網法。

3. 櫻花鉤吻鮭之胃含物及食性分析

由武陵工作站提供 5 條櫻花鉤吻鮭之胃含物分裝 5 瓶，保存於 75%酒精中。櫻花鉤吻鮭胃含物重量經測量後，結果如 2005 年期末報告之表九。本期中報告加上本年度鑑定之兩條櫻花鉤吻鮭胃含物結果。碎片鑑定分析方法，參考本研究室胡及楊（2005）研究野生動物食性之流程處理標本，詳如 2005 年期末報告。

（二）調查方法及原理

依 2005 年之方法延續使用，每測站設樣區，每樣區分三個小樣區，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）黃色黏蟲紙（yellow sticky papers, YSP）

昆蟲飛行時主動或被動靠近而黏上，樣區內找出一株樣株並於樹幹上

100cm 和 200cm 二處，約在胸高（D）與舉手高（U），以釘鎗固定在樹幹上或捲成圓筒狀吊在樹叢中，收取時以塑鋼網為隔板，放在黏膠面，避免黏在一起傷及標本，以測站和小區為單位，裝入 10 號夾鏈袋中，保存於冷藏庫。

（3）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。

（4）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。針對較高海拔之採集點；分別在 3,300 公尺左右的黑森林及圈谷下方 3,600 公尺之黑森林另進行吊網的昆蟲收集。每一處有三種不同的誘餌誘引昆蟲，分別為鳳梨皮、鴿子及老鼠。吊網於三個星期後再前往收集。

2. 非設定採集法（non-installed）

（1）捕網（aerial nets, AN）

網口直徑 50cm，網袋深度為直徑的 1.5－2 倍。設計宜輕巧，市售彈簧框伸縮柄之捕網攜帶方便。網布可用珠羅紗，蚊帳紗或絹紗等製作。使用時須迎著昆蟲飛來的方向撲去，然後輕轉網柄將網袋之下半截甩上，摺疊於平置之網口上，將網內所採得之昆蟲裝入瓶內，並標明採集日期、地點與採集方法。

（2）掃網（sweeping net, SWP）

濱水帶之樣區，以掃網採集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 號夾鏈袋中，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 7-2）。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 7-2）。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。

（3）枯落物收集（litters, LIT）

以柏氏漏斗分離植物分解者及土棲昆蟲。

（4）柏氏漏斗分離法（Berlese funnel method）

柏氏漏斗製作，以現成碾米或碾豆漿用不銹鋼漏斗。

a. 採得落葉裝入採樣袋（12號夾鏈袋）。

b. 採得腐植土裝入塑膠袋再裝入採樣袋同a。

c. 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）。

d. 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。

e. 收集標本浸泡於酒精中，標上標籤（以鉛筆書寫於撕不破紙）。

f. 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）、黃色黏蟲紙（yellow sticky paper, YSP）、及花生醬誘集器（peanut butter bait trap, PBT）都要和掃網（sweeping net, SWP）、捕網（aero nets, AN）、枯落葉物搜集（litters, LIT）、徒手採集（free hand pick-up, HP）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，而黃色黏蟲紙則以隔網分隔後放在冰箱低溫冷藏庫，以防止發霉，延長保存期限，提高可用性，增加利用價值。

（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。鑑定方法及參考資料請參考楊正澤等（2002），另增補列於參考文獻（余清金等，1998；楊平世、范義彬、蕭祺暉，2002；虞國躍、王效岳，1999；Hausmann and Miller, 2000；Hohuryukan, 1994；Miller, 1995；Miller and Hammond, 2000）。
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

1. 昆蟲群聚結構－目級組成

2004 年 4 月起至 2006 年 8 月止昆蟲各目之個體數累積結果，共計 150,403 隻，已鑑定 147,137 隻，分為 22 目（表 7-3）已鑑定 189 科。測站 1 及測站 2 屬七家灣溪上游，總個體數分別為 15,456 隻占 10.3%及 52,075 隻占 34.6%，測站 5 則為七家灣溪下游，總個體數的為 49,263 隻占 32.8%。另外測站 8 和測站 9 總個體數分別為 14,924 隻占 9.9%和 18,685 隻占 12.4%，各年度分別列表（表 7-4、7-5、7-6）。依表 7-3 計算昆蟲目級組成百分比，雙翅目最高（60.9%），彈尾目其次（22.3%），再其次為鞘翅目(6.7%)，再其次為膜翅目（3.4%）。

2. 各測站昆蟲群聚之比較

2004-2006 年之各測站數量表列於表 7-4、7-5、7.6，各測站之偶數月昆蟲個體數變化分別列於表 7-4-a, b, c, d, e、7-5-a, b, c, d, e，2006 年 8 月為止各測站之偶數月個體數變化分別列於表 7-6-a, b, c, d, e 方便參考應用。

2004 年 2 月起至 2006 年 8 月止，採集之昆蟲個體數變化（圖 7-19）在 2005 年 6 月陡升（8,9032 隻），由 2004 年 17 目提升為 19 目，其實 2005 年增加 3 個目分別為雙尾目、總尾目、竹節蟲目，而少了等翅目。雙尾目只在測站 2 採得，總尾目則在測站 1、8、9 分別採得 1、5、5 隻，竹節蟲則是在測站 8 採得 1 隻。而 2004 年的測站所採得的等翅目則未再發現。

單以 2005 年偶數月份各測站 3 個小樣區之調查結果，共記錄到 96,930 隻昆蟲（表 7-5），分為 19 目，各目的百分比前三名仍是以雙翅目最多（62.8%），彈尾目其次（21.9%），再其次為鞘翅目(5.8%)，再其次為膜翅目（3.3%）（圖 7-4）。以測站間而言，測站 1 在桃山北溪溪床之台灣赤楊林下，彈尾目比測站 2 少。測站 2 的樣區在森林邊緣，又自 2005 年起移入林下，林下有機層多樣且豐富，測站 2 採到彈尾目個體數成為所有樣區之最高者（9,790 隻），其次為測站 8

（4,017 隻）、測站 5（3,143 隻），其中以棘跳蟲科最多（59.2%），長角跳蟲科（18.0%）次之，再其次為球角跳蟲科（7.7%）（圖 7-20-a），到了 8 月份彈尾目蟲數驟降，在測站 2 及測站 8 甚至測站 5 之數量均下降。膜翅目以蟻科最多（74.1%），小蜂總科（13.2%）次之，再其次為癭蜂科（3.8%）（圖 7-20-b），其中以測站 9 最多。鞘翅目在測站 8 數量最多，其中以隱翅蟲科最多（73.7%），出尾蟲科（9.2%）次之，再其次為纓毛蕈甲科（6.0%）（圖 7-20-c）。雙翅目主要為分解者，和前述各目之出現模式相似，以果蠅科最多（93.4%），蕈蚋科（1.2%）次之，再其次為黑翅蕈蚋科（0.8%）（圖 7-20-d），其中以測站 1 數量最高 (32,139 隻)，測站 2 (21,869 隻)次之，再其次為測站 9 (3,520 隻)。

3. 2005 年武陵地區之昆蟲科級多樣性

累積科數由 2005 年 4 月之後小幅增加到 189 科(圖 7-18)，之後便維持在此一水準，可見科數達到一定的量。累積個體數在 2005 年 4 月大量增加，主要因為鑑定工作在 2005 年暑假到 2006 年之間鑑定工作進入狀況，工作進度趕上，這突顯出野外調查工作需要室內工作配合，生態調查及監測工作的大量標本鑑定對昆蟲而言是很龐大的負擔，三年計劃方能有此成果。然而就 2005 年增加的科而言，以鞘翅目、膜翅目為多（附錄 7-1），主要是此兩目的分科鑑定依檢索表按圖索驥相當費時，因此急需培養人才並且累積資料整理鑑定工具，以備未來調整及監測人力之需要。已經鑑定之個體數而言，2004 年累積個體數為 4,458 隻，2005 年為 48,336 隻，2006 年尚未鑑定，但少數增加 1,114 隻，科數則緩慢增加（圖 7-18）。

各目昆蟲依其分類系統有其理論上的科數（表 7-15），依昆蟲學會（原中華昆蟲學會）之科級以上分類群名錄為基礎，可見武陵地區各目之間之理論科數百分比，鞘翅目 181 科最高（19.7%），鱗翅目和雙翅目相近，分居二、三位（13.5% 及 13.2%），然而，實際採得之科數百分比則是雙翅目最多（24.1%），鞘翅目其次（21.1%），鱗翅目則只占 5.5%。當然和調查方法有關，然而這反應出各地之昆蟲各目科的組成以及其群聚中科級的多樣性。但是以各目昆蟲之特性有些本來

組成成員就少，只要偶然出現，則在某地出現的相對多樣性高，如彈尾目所有科均在武陵出現是最高的，而雙翅目雖然採得很多也只占 39.7%，纓翅目的科數少，在此可達 60.0%也算是科級多樣性相當高了。

4. 武陵地區 2005 年昆蟲（成蟲及幼蟲）之食物塔，分解者(D)、初級消費者(Pc)及次級消費者(Sc)之組成

依附錄 7-1 之功能群一覽表換算結果食物塔（圖 7-22），依食物塔層次比由上而下次級消費者／初級消費者／分解者為 1：11：15，此一比例和 2004 年資料不足的情形比較，分解者增加許多，可能與樣區增加及樣區改變有關。

5. 濱水帶昆蟲指標群

經三年調查分析結果，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 CmCpDH，2004 年其排列為 CmDHCp，2005 年及 2006 年均為 DCmCpH，應該是較穩定的模式。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 CmCpDH 之組成及排序受到環境影響足以當作昆蟲指標群。但仍需利用其他指標或指數檢驗。

指標群昆蟲 CmCpDH 在 2004 年 2 月至 2006 年 8 月各月份間之變化，三年之調查可見六月是個體數最多的月份，而雙翅目最多，其排序為 DCmCpH。為了更清楚總和之結果，由各目之月份及測站間 CmCpDH 之組成分別製成長條圖（圖 7-4-a, 7-5-a, 7-6-a, 7-7）。

（二） 高海拔昆蟲群聚

1. 高海拔各樣段之個體數變化

在 2005 年 4 月到 2006 年 6 月昆蟲調查的結果（表 7-7），共計 13,518 隻，分 17 目（表 7-7）。個體數前四名依序為同翅目（4,207 隻）、雙翅目（4,024 隻）、彈尾目（2005 隻）、膜翅目（1,331 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 公尺的七卡樣段以同翅目（46.0%）最多，其次

為雙翅目（18.9%）、彈尾目（12.7%）、膜翅目（10.6%）等（圖 7-14）。（2）雪山東峰 2,900 公尺至 3,000 公尺稜線則以彈尾目（31.0%）最多，其次為同翅目（26.0%）、雙翅目（23.1%）、膜翅目（9.0%）等（圖 7-15）；（3）3,200 公尺至 3,400 公尺的冷杉林地段則以雙翅目（38.8%）最多，其次為同翅目（17.2%）、鞘翅目（16.5%）及膜翅目（14.6%）等（圖 7-16）；（4）3,500 公尺以上的圈谷則以雙翅目（62.6%）數量最多，遠遠超過其他各目物種，其次則為同翅目（19.4%）、鞘翅目（10.5%）、膜翅目（4.0%）等（圖 7-17）。

2. 高海拔各樣段各月份間之個體數變化

七卡到雪山圈谷的掃網的調查資料顯示，以膜翅目、雙翅目、鞘翅目及同翅目的數量最多（表 7-8）。膜翅目在夏季 4-7 月最多，爾後逐漸減少，直到冬季的 1-2 月最少，5 月起又有增加的趨勢，其中以黑森林的 6 月採得數量最多（表 7-8-c）；雙翅目變動也是以 4-7 月最多，其中以圈谷的 6 月採得數量最多（表 7-8-d）；鞘翅目變動情形則是以夏季 6-7 月最多，爾後漸減，直到 4 月才漸增，其中以黑森林的 6 月最多；同翅目的變化情形則與上述兩者差異甚大，以春季個體數最多，2006 年 4 月（1,496 隻）最多，2006 年 6 月則大幅下降為 512 隻。在夏季個體數反而最少（290 隻）。同翅目在七卡樣區段的採集數量最多，明顯的尚有纓翅目及膜翅目等，一般為體型小的分類群，在高海拔中此樣段總採集量最多（2,116 隻），是合乎溫度梯度每上升一百公尺下降 0.6℃顯現的結果。至於雙翅目則是黑森林樣段最多（1,186 隻），其他樣段雖較少，但差異不顯著，約在 910-970 隻之間，顯示雙翅目亦為高海拔之優勢類群。這兩目的比較可見植食性和分解者的適應高山特性有所不同。

（三） 櫻花鉤吻鮭胃含物及其食性分析

櫻花鉤吻鮭胃含物昆蟲碎片之鑑定結果，分析櫻花鉤吻鮭食物中之昆蟲食餌。繼 2005 年期末報告之後，增加兩條櫻花鉤吻鮭之資料，合併如下：

1. 第一條櫻花鉤吻鮭的 54 件胃內含物昆蟲碎片初步取樣鑑定結果（表 7-12），發現水生昆蟲比陸生昆蟲被取食之百分比較高，約 12.5：1。

2. 第二條櫻花鉤吻鮭的 23 件胃內含物昆蟲碎片初步取樣鑑定結果（表 7-13），發現水生昆蟲比陸生昆蟲被取食之百分比較高，約為 1.5：1。顯然陸生昆蟲以消化情形而言，昆蟲蟲體完整者或尚完整的占最多（60%），胸部碎片次之（40%），其他則沒有發現。以分類群而言，蜉蝣目占 52.1%，雙翅目占 30.4%，其他膜翅目、同翅目、半翅目、毛翅目均只有一件，各占 4.3%，其中毛翅目為水生昆蟲，卻只有一件，在持續鑑定中，應特別留意毛翅目之量。
3. 第三條櫻花鉤吻鮭的 10 件胃內含物昆蟲碎片初步取樣鑑定結果（表 7-12），發現水生昆蟲比陸生昆蟲被取食之百分比較高，約 4：1。
4. 第四條櫻花鉤吻鮭的 36 片胃內含物初步取樣鑑定結果（表 7-15），發現水生比陸生昆蟲高，約 2.3：1，以消化情形而言，殘留碎片與蟲體完整者而言，碎片中仍以胸部殘留最多（42.1%），其次仍為蟲體完整者（31.6%），頭部、腹部殘留者仍少。胸部中常留有翅片，蜉蝣 7 件中，占有較多初羽化之亞成蟲帶翅胸部，少數有稚蟲翅芽。
5. 第五條櫻花鉤吻鮭的 22 件胃內含物昆蟲碎片初步取樣鑑定結果（表 7-16），發現陸生昆蟲比水生昆蟲被取食之百分比較高，約為 1： 4.7。顯然陸生昆蟲以消化情形而言，昆蟲蟲體完整者或尚完整者有 5 件（35.7%），胸部碎片 5 件（35.7%），腹部碎片 4 件（28.6%），其他則沒有發現。

綜合分析結果（表 7-17），五條櫻花鉤吻鮭胃內含物，以昆蟲分類群而言，蜉蝣目最多，占 44.17%，其次為雙翅目（14.16%）、鞘翅目（11.67%）。

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，然而樣區在河岸緩衝區，水流量大的時候便會淹沒，有機質被帶走，故堆積量有限，因此上游桃山北溪測站 1 蟲數較少。然而由表 7-3 及表 7-4、7-5、7-6 之分年各測站分列之資料，彈尾目數量逐年增加，但據圖 7-7，除 2004 年（測站 2 最多）之外，2005 年及 2006 年最多出現在測站 8，而測站 8 是高山溪，樣區遠離河流緩衝區地表層較穩定，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，原因可能只是因為總組成的各科之中，果蠅科占了 60.9%（圖 7-20），而果蠅科在雙翅目之中占了 93.4%，果蠅在本調查之數量居高不下，值得注意，也許對其來源做深入調查能有較合理的解釋。

2. 各測站昆蟲群聚之比較

2005 年調查蟲數及目數增加，主要是調查後的鑑定工作及所有樣區均較多，第二階段之昆蟲增加則是 2006 年上半年，似乎有相同的趨勢，所以昆蟲生物量是否也和個體數有相同趨勢需要進一步探討，建議委託單位容許有些計劃轉入室內之鑑定工作並深入計算昆蟲生物量，以便更進一步探討此生態系生態模式。

各目昆蟲之中，個體數最多的是雙翅目，可能因大量的果蠅及蕈蚋等小型昆蟲數量多所造成，2006 年各月（2、4、6、8 月）已調查之昆蟲雖然尚未鑑定至科，但初步發現家蠅類有增加趨勢。至於水生昆蟲中成蟲為陸生的毛翅目、蜉蝣目等均有記錄，主要是掃網方法調查所採得。昆蟲群聚組成中 2006 年目的增加很少，但各目個體數相差懸殊，除了昆蟲相組成的特性使然之外，調查方法也有影響，然而累積蟲數達 15 萬隻應可表現一定的組成模式，以此供監測之指標，另以優勢各目選出指標群昆蟲也會在文末討論。各目之間昆蟲的組成結構應可加

以比較其總體環境的影響，甚至提供生態干擾監測之指標。

3. 2005 年武陵地區之昆蟲科級多樣性

以昆蟲的理論科數而言，纓翅目所有科中，3 科即占全部的 60%均在武陵採得，而雙翅目則是 39.7%。其次為直翅目。由此可見此類植食性昆蟲在武陵地區的科級多樣性頗高，值得探討其食草，寄主植物，和植群調查配合分析其食物消耗量及生物量之變化。

4. 武陵地區 2005 年昆蟲（成蟲及幼蟲）之食物塔，分解者(D)、初級消費者(Pc)及次級消費者(Sc)之組成

由此可見此方法鑑定至科群換算個體數之百分比，可以建構食物塔表達昆蟲群聚結構之特色，在指標群生物尚無法確認之前，用以監測環境變化，但費時費工又需要高度專業，需要大量專業分類人才投入，因次發展指標群生物也是刻不容緩的工作。

Persson and Lohm（1977）、Macfadyen（1963）和 Breymeyer（1978）調查發現，全世界不同地區的各種草原生態系中，無脊椎動物生物量絕大多數出現在地下層占 69%-99.5%，而地上層占 0.5%-31%；若以營養組成食物塔層次來看，分解者在 43%-98%為最多，其次為初級消費者占 2%-52%，再其次為次級消費者占 19%以下（Curry,1994）。以此計算食物塔層次比由上而下約為 10：1：21 或 3：1：5。

據楊（2003a）報告，在 1994 年至 1999 年間國科會補助之關刀溪森林生態系長期生態研究（Long Term Ecological Research, LTER），調查記錄 21 目 138 科昆蟲，最多為鞘翅目 34 科，其次為雙翅目 28 科，再其次為膜翅目 17 科。而林下層已鑑定之昆蟲形態種，則約計 780 種。以功能群分析昆蟲幼期，植食性功能群（phytophagous functional group）33%，分解者昆蟲（decomposer insects）58%，分別是動物性分解者（saprophagous functional group）30%、植物性分解者（decomposer functional group）28%及肉食性昆蟲（carnivorous insects）8%，其中捕食性（predacious）4%及寄生性（parasite）4%，相較

之下植食性昆蟲百分比極高，由此可見關刀溪亞熱帶林之食物塔層次比由上而下為 1：4：7。據臺灣東部花蓮水璉牛山之海岸林調查分析節肢動物形態種結果，植食性功能群最高，占 40%，其次是捕食性 23%，再其次依序為植物性分解者 22%，動物性分解者 10%，寄生者 3%，故食物塔層次比由上而下為 1：1.5：1.2（郭等，2005），表現海岸林地表分解者不如成熟的關刀溪亞熱帶林。

5. 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 **C**m**C**p**DH**，但在高海拔 2,500-3,500m 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 **H**m**DC**m**H**y，其中 **H**m 則是同翅目（Homoptera），而 **H**y 則是膜翅目（Hymenoptera），而 **C**m 則是彈尾目（Collembola），**D** 是雙翅目（Diptera），所以目前採用此指標群應可應用於武陵地區之昆蟲群聚監測。

（二） 櫻花鉤吻鮭胃含物及其食性分析

櫻花鉤吻鮭胃含物分析結果，以殘留部位而言，蟲體完整者居多，碎片則以胸部之翅和足居多，尤其是蜉蝣初羽化亞成蟲之翅及稚蟲之翅芽為多。雙翅目及鞘翅目、膜翅目、同翅目等成蟲均為陸生，雙翅目除了蚋科及網蚊科之幼蟲外，大部分仍為陸生昆蟲。陸生昆蟲以鞘翅目步行蟲、隱翅蟲為主，半翅目則是陸生的花椿科而非水黽，膜翅目很多，胡蜂科、細腰蜂科及螞蟻均有發現。因此可見陸生昆蟲也是櫻花鉤吻鮭食餌中的主要成分之一，這些昆蟲是如何輸入水生生態系中成為櫻花鉤吻鮭的食物？或櫻花鉤吻鮭如何在水中取食陸域昆蟲？或是水生昆蟲之成蟲陸棲時期之分布與櫻花鉤吻鮭魚群之間的關係等，這些是值得深入研究的主題，因此此使得陸域昆蟲的研究變得更為重要。

經過三年的計畫執行，已可看出中短期的運作機制已趨穩定，室內工作進度能趕上野外調查，因此 8 月的調查標本已整理並鑑定到目，計算出個體數。已完成分蟲並鑑定至目級分類群，除上述（表 7-3）之 22 目之外，尚有蚤目可能因外寄生於小型哺乳動物而被掉落式陷阱杯抓到，目前尚待確認。另有部分未明的材料，因標本不全無法鑑定，皆列為 unknown，尚待解決。

五、結論

（一） 武陵地區濱水帶樣區

颱風及豪雨搬移枯落葉層有可能造成分解者之個體數下降，以隱翅蟲為例，此類分解者可能為 r-型策略之生物，適合在天然干擾下永續生存於此區。

（二） 大尺度之高海拔地區昆蟲之樣段調查

在颱風及豪雨集中的 8 月份濱水帶遭到洪流衝擊時，高海拔地區卻是優勢的雙翅目、膜翅目及鞘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，然而同翅目卻是 4 月較多，可能與玉山箭竹及五節芒發芽生長有關，另一則為台灣馬醉木上的木蝨，在此一季節有極高的數量。

（三） 櫻花鉤吻鮭胃含物及食性分析

相較於楊平世等（1986）之報告，台灣櫻花鉤吻鮭之食物以水棲昆蟲為主，本研究發現，陸生昆蟲在五條櫻花鉤吻鮭的胃含物中占有 33.6%，有相當之重要性，因此陸生昆蟲調查有其必要性，未來對於櫻花鉤吻鮭取食陸域昆蟲之現象可以進行取食行為研究及棲地相關性研究，以便直接觀測了解櫻花鉤吻鮭之食餌昆蟲及其生態角色。此主題單獨發展為研究案，成為橋接生態系模式分析與鮭魚飼養放流之關鍵計畫，使生態調查直接應用於鮭魚基礎生物學研究及保育措施之決策參考。

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*）與長尾麝鼩（*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 7-1 2006 年 2 月至 12 月武陵地區濱水帶昆蟲調查各測站之陷阱設置情形

樣區名稱	MOT	PA	PF	SWP	YSP	PBT	LIT
測站1	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月
測站2	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月
測站5	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月
測站8	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月
測站9	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月	2,4,6,8,10,12月

表 7-2 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(℃) 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℃	Subarctic 亞寒帶
黑森林	Subalpine 亞高山帶	Abies zone 冷杉林帶	3,200-3,400	5-8℃	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℃	Cool-temperate 涼溫帶
七卡山莊	Montane 山地帶	Quercus (upper) zone 櫟林帶(上層)	2,500-2,900	11-14℃	Temperate 溫帶
七家灣溪(中尺度)		Quercus (lower) zone 櫟林帶(下層)	1,500-2,000	14-17℃	Warm-temperate 暖溫帶

表 7-3 2004 年 02 月至 2006 年 8 月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年	2005年	2006年	
雙尾目	Diplura	0	2	0	2
彈尾目	Collembola	1982	21236	10247	33465
總尾目	Thysanura	0	11	2	13
蜚蠊目	Blattaria	26	28	25	79
革翅目	Dermaptera	6	81	51	138
嚙目	Psocoptera	4	750	553	1307
纓翅目	Thysanoptera	12	873	692	1577
等翅目	Isoptera	1	0	0	1
雙翅目	Diptera	1533	60837	29293	91663
同翅目	Homoptera	200	683	371	1254
直翅目	Orthoptera	26	50	81	157
竹節蟲目	Phasmida	0	1	0	1
襜翅目	Plecoptera	5	8	3	16
毛翅目	Trichoptera	4	14	9	27
鱗翅目	Lepidoptera	47	713	653	1413
鞘翅目	Coleoptera	1484	5666	2881	10031
脈翅目	Neuroptera	3	37	13	53
長翅目	Mecoptera	0	0	3	3
蚤目	Siphonaptera	0	0	7	7
膜翅目	Hymenoptera	777	3162	1192	5131
半翅目	Hemiptera	76	436	284	796
蜉蝣目	Ephemeroptera	2	1	0	3
unknown	unknown	57	2341	868	3266
	Total	6245	96930	47228	150403

表 7-4 2004 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	Total
彈尾目	Collembola	105	503	459	122	793	1982
蜚蠊目	Blattaria	4	3	4	12	3	26
革翅目	Dermaptera	2	0	0	0	4	6
嚙目	Psocoptera	0	0	3	1	0	4
纓翅目	Thysanoptera	0	0	2	3	7	12
等翅目	Isoptera	1	0	0	0	0	1
雙翅目	Diptera	42	38	483	373	597	1533
同翅目	Homoptera	4	4	33	64	95	200
直翅目	Orthoptera	0	6	6	11	3	26
襀翅目	Plecoptera	0	0	5	0	0	5
毛翅目	Trichoptera	0	0	3	0	1	4
鱗翅目	Lepidoptera	0	0	15	19	13	47
鞘翅目	Coleoptera	6	22	824	189	443	1484
脈翅目	Neuroptera	0	0	2	1	0	3
膜翅目	Hymenoptera	363	52	155	92	115	777
半翅目	Hemiptera	0	3	17	35	21	76
蜉蝣目	Ephemeroptera	0	0	0	0	2	2
unknown	unknown	1	8	25	11	12	57
	Total	528	639	2036	933	2109	6245

表 7-4-a 2004 年武陵地區濱水帶測站 1 昆蟲調查結果（個體數）

目/中名	目/學名	月份				Total
		200402	200404	200408	200412	
彈尾目	Collembola	0	102	3	0	105
蜚蠊目	Blattaria	0	3	1	0	4
革翅目	Dermaptera	0	0	0	2	2
等翅目	Isoptera	0	1	0	0	1
雙翅目	Diptera	0	18	21	3	42
同翅目	Homoptera	3	1	0	0	4
鞘翅目	Coleoptera	2	4	0	0	6
膜翅目	Hymenoptera	1	63	298	1	363
unknown	unknown	0	0	1	0	1
	Total	6	192	324	6	528

表 7-4-b 2004 年武陵地區濱水帶測站 2 昆蟲調查結果（個體數）

目/中名	目/學名	月份				Total
		200402	200404	200408	200412	
彈尾目	Collembola	0	500	3	0	503
蜚蠊目	Blattaria	0	0	1	2	3
雙翅目	Diptera	0	9	4	25	38
同翅目	Homoptera	0	4	0	0	4
直翅目	Orthoptera	0	2	4	0	6
鞘翅目	Coleoptera	2	17	1	2	22
膜翅目	Hymenoptera	0	35	15	2	52
半翅目	Hemiptera	0	2	0	1	3
unknown	unknown	0	2	6	0	8
	Total	2	571	34	32	639

表 7-4-c 2004 年武陵地區濱水帶測站 5 昆蟲調查結果（個體數）

目/中名	目/學名	月份						Total
		200402	200404	200406	200408	200410	200412	
彈尾目	Collembola	9	432	5	3	8	2	459
蜚蠊目	Blattaria	0	0	1	1	1	1	4
嚙目	Psocoptera	1	0	0	0	0	1	2
纓翅目	Thysanoptera	0	3	0	0	0	0	3
雙翅目	Diptera	2	35	372	52	12	10	483
同翅目	Homoptera	1	0	25	4	1	2	33
直翅目	Orthoptera	0	1	1	1	1	2	6
襀翅目	Plecoptera	0	0	5	0	0	0	5
毛翅目	Trichoptera	0	0	2	0	1	0	3
鱗翅目	Lepidoptera	0	0	13	2	0		15
鞘翅目	Coleoptera	6	9	753	31	23	2	824
脈翅目	Neuroptera	0	0	1	1	0	0	2
膜翅目	Hymenoptera	7	16	22	105	3	2	155
半翅目	Hemiptera	5	1	6	2	3	0	17
unknown	unknown	5	1	0	19	0	0	25
	Total	36	498	1206	221	53	22	2036

表 7-4-d 2004 年武陵地區濱水帶測站 8 昆蟲調查結果（個體數）

目/中名	目/學名	月份				Total
		200406	200408	200410	200412	
彈尾目	Collembola	41	37	39	5	122
蜚蠊目	Blattaria	8	3	1	0	12
嚙目	Psocoptera	0	0	0	1	1
纓翅目	Thysanoptera	3	0	0	0	3
雙翅目	Diptera	118	75	168	12	373
同翅目	Homoptera	48	14	1	1	64
直翅目	Orthoptera	4	5	0	2	11
襜翅目	Plecoptera	0	0	0	0	0
毛翅目	Trichoptera	1	34	0	0	35
鱗翅目	Lepidoptera	9	7	3	0	19
鞘翅目	Coleoptera	123	26	39	1	189
脈翅目	Neuroptera	1	0	0	0	1
膜翅目	Hymenoptera	27	57	4	4	92
半翅目	Hemiptera	0	0	0	0	0
unknown	unknown	1	10	0	0	11
	Total	384	268	255	26	933

表 7-4-e 2004 年武陵地區濱水帶測站 9 昆蟲調查結果（個體數）

目/中名	目/學名	月份						Total
		200402	200404	200406	200408	200410	200412	
彈尾目	Collembola	1	536	225	11	18	2	793
蜚蠊目	Blattaria	0	1	1	0	1	0	3
革翅目	Dermaptera	0	0	2	0	1	1	4
纓翅目	Thysanoptera	0	0	5	2	0	0	7
雙翅目	Diptera	2	55	237	187	104	12	597
同翅目	Homoptera	0	26	15	51	1	2	95
直翅目	Orthoptera	0	1	1	1	0	0	3
毛翅目	Trichoptera	0	0	0	0	1	0	1
鱗翅目	Lepidoptera	0	1	4	4	4	0	13
鞘翅目	Coleoptera	1	13	411	8	4	6	443
膜翅目	Hymenoptera	0	19	52	30	5	9	115
半翅目	Hemiptera	3	2	3	13	0	0	21
蜉蝣目	Ephemeroptera	0	0	0	0	2	0	2
unknown	unknown	4	2	3	3	0	0	12
	Total	11	656	959	310	141	32	2109

表 7-5 2005 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	Total
雙尾目	Diplura	0	2	0	0	0	2
彈尾目	Collembola	1830	9790	3143	4017	2456	21236
總尾目	Thysanura	1	0	0	5	5	11
蜚蠊目	Blattaria	4	4	8	5	7	28
革翅目	Dermaptera	46	4	13	1	17	81
嚙目	Psocoptera	67	58	584	20	21	750
纓翅目	Thysanoptera	176	81	447	49	120	873
雙翅目	Diptera	32139	21869	2334	975	3520	60837
同翅目	Homoptera	129	109	75	72	298	683
直翅目	Orthoptera	7	5	7	11	20	50
竹節蟲目	Phasmida	0	0	0	1	0	1
襀翅目	Plecoptera	1	2	0	5	0	8
毛翅目	Trichoptera		1	1	11	1	14
鱗翅目	Lepidoptera	327	107	109	96	74	713
鞘翅目	Coleoptera	1088	1750	1054	736	1038	5666
脈翅目	Neuroptera	3	20	9	2	3	37
膜翅目	Hymenoptera	519	427	759	392	1065	3162
半翅目	Hemiptera	34	46	215	50	91	436
蜉蝣目	Ephemeroptera	0	0	1	0	0	1
unknown	unknown	206	604	529	357	645	2341
	Total	36577	34879	9288	6805	9381	96930

表 7-5-a 2005 年武陵地區濱水帶測站 1 昆蟲調查結果（個體數）

目/中名	目/學名	月份						Total
		200402	200404	200406	200408	200410	200412	
彈尾目	Collembola	5	553	810	43	181	238	1830
總尾目	Thysanura	0	0	0	0	1	0	1
蜚蠊目	Blattaria	0	0	2	0	2	0	4
革翅目	Dermaptera	7	18	17	0	3	1	46
嚙目	Psocoptera	0	55	5	5	1	1	67
纓翅目	Thysanoptera	1	26	22	49	53	25	176
雙翅目	Diptera	128	195	31012	3	671	130	32139
同翅目	Homoptera	15	10	46	1	14	43	129
直翅目	Orthoptera	0	0	6	0	0	1	7
襀翅目	Plecoptera	0	0	1	0	0	0	1
鱗翅目	Lepidoptera	5	15	282	0	22	3	327
鞘翅目	Coleoptera	42	83	679	34	156	94	1088
脈翅目	Neuroptera	0	0	2	0	0	1	3
膜翅目	Hymenoptera	21	13	333	58	68	26	519
半翅目	Hemiptera	3	8	8	0	4	11	34
unknown	unknown	1	5	122	32	37	9	206
	Total	228	981	33347	225	1213	583	36577

表 7-5-b 2005 年武陵地區濱水帶測站 2 昆蟲調查結果（個體數）

目/中名	目/學名	月份						Total
		200402	200404	200406	200408	200410	200412	
雙尾目	Diplura	0	0	0	2	0	0	2
彈尾目	Collembola	6	2447	6787	193	166	191	9790
蜚蠊目	Blattaria	2	0	0	0	0	2	4
革翅目	Dermaptera	0	2	0	0	2	0	4
嚙目	Psocoptera	11	26	9	1	6	5	58
纓翅目	Thysanoptera	6	2	44	1	13	15	81
雙翅目	Diptera	236	509	20765	3	208	148	21869
同翅目	Homoptera	21	10	40	1	7	30	109
直翅目	Orthoptera	1	1	2	0	1	0	5
襀翅目	Plecoptera	1	0	0	0	0	1	2
毛翅目	Trichoptera	0	0	0	0	1	0	1
鱗翅目	Lepidoptera	5	26	53	0	14	9	107
鞘翅目	Coleoptera	70	109	1305	9	207	50	1750
脈翅目	Neuroptera	17	2	0	0	0	1	20
膜翅目	Hymenoptera	17	69	190	6	106	39	427
半翅目	Hemiptera	5	9	20	1	4	7	46
unknown	unknown	3	2	552	24	14	9	604
	Total	401	3214	29767	241	749	507	34879

表 7-5-c 2005 年武陵地區濱水帶測站 5 昆蟲調查結果（個體數）

目/中名	目/學名	月份						Total
		200402	200404	200406	200408	200410	200412	
彈尾目	Collembola	13	1456	299	410	329	636	3143
蜚蠊目	Blattaria	0	2	3	0	3	0	8
革翅目	Dermaptera	1	2	3	1	3	3	13
嚙目	Psocoptera	21	521	20	0	10	12	584
纓翅目	Thysanoptera	1	60	64	246	67	9	447
雙翅目	Diptera	35	348	1350	89	360	152	2334
同翅目	Homoptera	8	9	30	6	12	10	75
直翅目	Orthoptera	1	0	1	0	4	1	7
毛翅目	Trichoptera	0	0	1	0	0	0	1
鱗翅目	Lepidoptera	3	7	18	5	73	3	109
鞘翅目	Coleoptera	10	78	703	97	74	92	1054
脈翅目	Neuroptera	5	0	2	0	2	0	9
膜翅目	Hymenoptera	13	43	170	277	214	42	759
半翅目	Hemiptera	24	17	14	1	30	129	215
蜉蝣目	Ephemeroptera	0	0	0	0	0	1	1
unknown	unknown	0	23	226	264	12	4	529
	Total	135	2566	2904	1396	1193	1094	9288

表 7-5-d 2005 年武陵地區濱水帶測站 8 昆蟲調查結果（個體數）

目/中名	目/學名	月份						Total
		200402	200404	200406	200408	200410	200412	
彈尾目	Collembola	16	301	3003	48	423	226	4017
總尾目	Thysanura	1	0	1	3	0		5
蜚蠊目	Blattaria	1	1	0	1	2	0	5
革翅目	Dermaptera	0	0	0	0	1	0	1
嚙目	Psocoptera	0	4	4	0	5	7	20
纓翅目	Thysanoptera	3	3	10	16	13	4	49
雙翅目	Diptera	74	145	268	71	309	108	975
同翅目	Homoptera	4	17	20	10	9	12	72
直翅目	Orthoptera	1	0	3	1	2	4	11
竹節蟲目	Phasmida	1	0	0	0	0	0	1
襀翅目	Plecoptera	1	0	3	0	1	0	5
毛翅目	Trichoptera	0	0	10	1	0	0	11
鱗翅目	Lepidoptera	6	11	6	1	61	11	96
鞘翅目	Coleoptera	25	76	308	55	187	85	736
脈翅目	Neuroptera	1	0	1	0	0	0	2
膜翅目	Hymenoptera	9	20	52	33	244	34	392
半翅目	Hemiptera	2	7	7	21	9	4	50
unknown	unknown	3	2	233	35	82	2	357
	Total	148	587	3929	296	1348	497	6805

表 7-5-e 2005 年武陵地區濱水帶測站 9 昆蟲調查結果（個體數）

目/中名	目/學名	月份						Total
		200402	200404	200406	200408	200410	200412	
彈尾目	Collembola	103	185	498	1372	134	164	2456
總尾目	Thysanura				5			5
蜚蠊目	Blattaria		1	2	3	1		7
革翅目	Dermaptera	1	4	10	1	1		17
嚙目	Psocoptera		4	9	1	3	4	21
纓翅目	Thysanoptera	5	18	32	41	13	11	120
雙翅目	Diptera	42	312	2165	437	425	139	3520
同翅目	Homoptera	3	26	237	9	13	10	298
直翅目	Orthoptera		5	3	7	1	4	20
毛翅目	Trichoptera		1					1
鱗翅目	Lepidoptera	5	5	25	9	20	10	74
鞘翅目	Coleoptera	46	121	340	202	251	78	1038
脈翅目	Neuroptera			1			2	3
膜翅目	Hymenoptera	4	23	88	791	113	46	1065
半翅目	Hemiptera		13	38	18	15	7	91
unknown	unknown		40	165	418	21	1	645
	Total	209	758	3613	3314	1011	476	9381

表 7-6 2006 年 2 月至 2006 年 8 月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	Total
彈尾目	Collembola	1991	1515	3763	2076	902	10247
總尾目	Thysanura	0	1	0	1	0	2
蜚蠊目	Blattaria	2	7	5	5	6	25
革翅目	Dermaptera	13	4	30	2	2	51
嚙目	Psocoptera	20	19	419	31	64	553
纓翅目	Thysanoptera	198	62	193	84	155	692
雙翅目	Diptera	10948	10815	1963	3699	1868	29293
同翅目	Homoptera	72	182	23	48	46	371
直翅目	Orthoptera	21	17	8	11	24	81
襜翅目	Plecoptera	0	2	0	1	0	3
毛翅目	Trichoptera	0	0	4	4	1	9
鱗翅目	Lepidoptera	205	159	87	149	53	653
鞘翅目	Coleoptera	965	497	295	586	538	2881
脈翅目	Neuroptera	3	4	1	2	3	13
長翅目	Mecoptera	3	0	0	0	0	3
蚤目	Siphonaptera	2	0	0	1	4	7
膜翅目	Hymenoptera	301	239	241	254	157	1192
半翅目	Hemiptera	44	27	114	38	61	284
unknown	unknown	182	195	215	194	82	868
	Total	14970	13745	7361	7186	3966	47228

表 7-6-a 2006 年 2 月至 2006 年 8 月武陵地區濱水帶測站 1 昆蟲調查結果（個體數）

目/中名	目/學名	月份				Total
		200402	200404	200406	200408	
彈尾目	Collembola	1710	140	139	2	1991
蜚蠊目	Blattaria	0	0	1	1	2
革翅目	Dermaptera	3	10	0	0	13
嚙目	Psocoptera	0	19	1	0	20
纓翅目	Thysanoptera	9	104	67	18	198
雙翅目	Diptera	346	5043	5092	467	10948
同翅目	Homoptera	19	15	21	17	72
直翅目	Orthoptera	2		5	14	21
鱗翅目	Lepidoptera	20	65	96	24	205
鞘翅目	Coleoptera	124	528	243	70	965
脈翅目	Neuroptera	0	1	2	0	3
膜翅目	Hymenoptera	37	59	151	54	301
半翅目	Hemiptera	14	7	11	12	44
unknown	unknown	25	36	65	56	182
	Total	2309	6027	5894	735	14965

表 7-6-b 2006 年 2 月至 2006 年 8 月武陵地區濱水帶測站 2 昆蟲調查結果（個體數）

目/中名	目/學名	月份				Total
		200402	200404	200406	200408	
彈尾目	Collembola	1165	170	167	13	1515
總尾目	Thysanura	0	1	0	0	1
蜚蠊目	Blattaria	0	1	3	3	7
革翅目	Dermaptera	1	2	1	0	4
嚙目	Psocoptera	7	12	0	0	19
纓翅目	Thysanoptera	7	31	10	14	62
雙翅目	Diptera	259	4509	5582	465	10815
同翅目	Homoptera	6	11	6	159	182
直翅目	Orthoptera	12	4	1	0	17
襀翅目	Plecoptera	0	1	0	1	2
鱗翅目	Lepidoptera	18	35	83	23	159
鞘翅目	Coleoptera	89	221	122	65	497
脈翅目	Neuroptera	0	2	2	0	4
膜翅目	Hymenoptera	41	90	65	43	239
半翅目	Hemiptera	9	6	4	8	27
unknown	unknown	61	36	98	0	195
	Total	1675	5132	6144	794	13745

表 7-6-c 2006 年 2 月至 2006 年 8 月武陵地區濱水帶測站 5 昆蟲調查結果（個體數）

目/中名	目/學名	月份				Total
		200402	200404	200406	200408	
彈尾目	Collembola	540	397	765	374	2076
總尾目	Thysanura	0	0	1	0	1
蜚蠊目	Blattaria	0	1	1	3	5
革翅目	Dermaptera	0	0	0	2	2
嚙目	Psocoptera	1	29	0	1	31
纓翅目	Thysanoptera	3	61	17	3	84
雙翅目	Diptera	84	2349	773	493	3699
同翅目	Homoptera	9	22	9	8	48
直翅目	Orthoptera	1	2	4	4	11
襀翅目	Plecoptera	0	1	0	0	1
毛翅目	Trichoptera	0	0	0	4	4
鱗翅目	Lepidoptera	11	84	28	26	149
鞘翅目	Coleoptera	106	294	135	51	586
脈翅目	Neuroptera	2	0	0	0	2
膜翅目	Hymenoptera	46	41	130	37	254
半翅目	Hemiptera	6	21	2	9	38
unknown	unknown	72	68	53	1	194
	Total	881	3370	1918	1016	7185

表 7-6-d 2006 年 2 月至 2006 年 8 月武陵地區濱水帶測站 8 昆蟲調查結果（個體數）

目/中名	目/學名	月份				Total
		200402	200404	200406	200408	
彈尾目	Collembola	3286	185	290	2	3763
蜚蠊目	Blattaria	1	3	1	0	5
革翅目	Dermaptera	8	17	2	3	30
嚙目	Psocoptera	14	400	5	0	419
纓翅目	Thysanoptera	8	156	16	13	193
雙翅目	Diptera	194	1105	413	251	1963
同翅目	Homoptera	6	6	2	9	23
直翅目	Orthoptera	1	3	3	1	8
毛翅目	Trichoptera	0	0	0	4	4
鱗翅目	Lepidoptera	31	45	2	9	87
鞘翅目	Coleoptera	54	124	65	52	295
脈翅目	Neuroptera	0	0	1	0	1
膜翅目	Hymenoptera	69	65	60	47	241
半翅目	Hemiptera	70	38	1	5	114
unknown	unknown	72	42	38	63	215
	Total	3814	2189	899	459	7361

表 7-6-e 2006 年 2 月至 2006 年 8 月武陵地區濱水帶測站 9 昆蟲調查結果（個體數）

目/中名	目/學名	月份				Total
		200402	200404	200406	200408	
彈尾目	Collembola	444	88	345	25	902
蜚蠊目	Blattaria	0	0	0	6	6
革翅目	Dermaptera	0	2	0	0	2
嚙目	Psocoptera	3	59	0	2	64
纓翅目	Thysanoptera	6	89	22	38	155
雙翅目	Diptera	122	934	370	442	1868
同翅目	Homoptera	6	23	11	6	46
直翅目	Orthoptera	14	1	8	1	24
毛翅目	Trichoptera	1	0	0	0	1
鱗翅目	Lepidoptera	14	14	6	19	53
鞘翅目	Coleoptera	63	246	79	150	538
脈翅目	Neuroptera	0	3	0	0	3
膜翅目	Hymenoptera	29	34	52	42	157
半翅目	Hemiptera	10	11	11	29	61
unknown	unknown	20	28	34	0	82
	Total	732	1532	938	760	3962

表 7-7 2005 年 5 月至 2006 年 6 月高海拔 4 樣段總和昆蟲調查結果(個體數)

目/中名	目/學名	七卡樣段	稜線樣段	黑森林樣段	圈谷樣段	Total
彈尾目	Collembola	651	1289	6	59	2005
蜚蠊目	Blattaria	0	1	0	0	1
革翅目	Dermaptera	1	2	0	7	10
嚙目	Psocoptera	37	83	2	53	175
纓翅目	Thysanoptera	259	173	39	15	486
等翅目	Isoptera	3	0	0	0	3
雙翅目	Diptera	967	961	1186	910	4024
同翅目	Homoptera	2352	1085	367	403	4207
直翅目	Orthoptera	19	9	7	0	35
竹節蟲目	Phasmida	1	0	0	0	1
襀翅目	Plecoptera	0	0	0	22	22
毛翅目	Trichoptera	4	2	3	63	72
鱗翅目	Lepidoptera	60	40	4	70	174
鞘翅目	Coleoptera	170	142	199	386	897
脈翅目	Neuroptera	7	2	0	1	10
膜翅目	Hymenoptera	541	373	75	342	1331
半翅目	Hemiptera	44	3	6	11	64
unknown	unknown	0	0	0	1	1
	Total	5116	4165	1894	2343	13518

表 7-8 2005 年 5 月至 2006 年 6 月高海拔樣段昆蟲月變化(個體數)

目/中名	目/學名	日期							Total
		200505	200507	200511	200601	200602	200604	200606	
彈尾目	Collembola	0	2	11	806	636	454	96	2005
蜚蠊目	Blattaria	0	0	0	0	0	1	0	1
革翅目	Dermaptera	0	2	3	3	0	2	0	10
嚙目	Psocoptera	5	24	0	44	20	78	4	175
纓翅目	Thysanoptera	0	12	0	45	63	254	112	486
等翅目	Isoptera	0	0	0	0	0	3	0	3
雙翅目	Diptera	32	1001	2	304	388	1055	1242	4024
同翅目	Homoptera	170	290	0	499	1240	1496	512	4207
直翅目	Orthoptera	1	16	0	5	3	4	6	35
竹節蟲目	Phasmida	0	0	0	0	0	1	0	1
襀翅目	Plecoptera	0	18	0	0	0	0	4	22
毛翅目	Trichoptera	0	0	0	1	1	1	69	72
鱗翅目	Lepidoptera	0	22	0	21	37	51	43	174
鞘翅目	Coleoptera	6	331	2	15	25	75	443	897
脈翅目	Neuroptera	0	10	0	0	0	0	0	10
膜翅目	Hymenoptera	25	320	2	182	126	323	353	1331
半翅目	Hemiptera	0	12	0	2	39	2	9	64
unknown	unknown	0	0	1	0	0	0	0	1
	Total	239	2060	21	1927	2578	3800	2893	13518

表 7-8-a 2005 年 5 月至 2006 年 6 月高海拔七卡樣段昆蟲月變化(個體數)

目/中名	目/學名	月份					Total
		200507	200601	200602	200604	200606	
彈尾目	Collembola	0	0	485	74	92	651
革翅目	Dermaptera	1	0	0	0	0	1
嚙目	Psocoptera	2	9	13	13	0	37
纓翅目	Thysanoptera	2	35	58	105	59	259
等翅目	Isoptera	0	0	0	3	0	3
雙翅目	Diptera	173	32	286	422	54	967
同翅目	Homoptera	35	155	972	1151	39	2352
直翅目	Orthoptera	11	2	3	3	0	19
竹節蟲目	Phasmida	0	0	0	1	0	1
毛翅目	Trichoptera	0	1	1	1	1	4
鱗翅目	Lepidoptera	6	8	10	21	15	60
鞘翅目	Coleoptera	41	7	11	48	63	170
脈翅目	Neuroptera	7	0	0	0	0	7
膜翅目	Hymenoptera	76	134	94	225	12	541
半翅目	Hemiptera	2	1	35	2	4	44
	Total	356	384	1968	2069	339	5116

表 7-8-b 2005 年 5 月至 2006 年 6 月高海拔稜線樣段昆蟲月變化(個體數)

目/中名	目/學名	月份						Total
		200505	200507	200601	200602	200604	200606	
彈尾目	Collembola	0	0	806	138	345	0	1289
蜚蠊目	Blattaria	0	0	0	0	1	0	1
革翅目	Dermaptera	0	1	0	0	1	0	2
嚙目	Psocoptera	5	7	35	5	31	0	83
纓翅目	Thysanoptera	0	6	10	2	146	9	173
雙翅目	Diptera	17	120	252	72	462	38	961
同翅目	Homoptera	78	54	343	252	299	59	1085
直翅目	Orthoptera	1	4	3	0	1	0	9
毛翅目	Trichoptera	0	0	0	0	0	2	2
鱗翅目	Lepidoptera	0	8	13	6	9	4	40
鞘翅目	Coleoptera	6	62	5	8	13	48	142
脈翅目	Neuroptera	0	2	0	0	0	0	2
膜翅目	Hymenoptera	15	102	44	26	77	109	373
半翅目	Hemiptera	0	2	1	0	0	0	3
	Total	122	368	1512	509	1385	269	4165

表 7-8-c 2005 年 5 月至 2006 年 6 月高海拔黑森林樣段昆蟲月變化(個體數)

目/中名	目/學名	月份							Total
		200504	200507	200511	200601	200602	200604	200606	
彈尾目	Collembola	0	0	11	0	11	35	2	59
革翅目	Dermaptera	0	0	3	3	0	1	0	7
嚙目	Psocoptera	0	15	0	0	2	34	2	53
纓翅目	Thysanoptera	0	2	0	0	3	3	7	15
雙翅目	Diptera	15	176	2	20	28	169	500	910
同翅目	Homoptera	92	99	0	1	11	38	162	403
襀翅目	Plecoptera	0	18	0	0	0	0	4	22
毛翅目	Trichoptera	0	0	0	0	0	0	63	63
鱗翅目	Lepidoptera	0	7	0	0	21	21	21	70
鞘翅目	Coleoptera	0	169	2	3	6	14	192	386
脈翅目	Neuroptera	0	1	0	0	0	0	0	1
膜翅目	Hymenoptera	10	128	2	4	6	18	174	342
半翅目	Hemiptera	0	6	0	0	4	0	1	11
unknown	unknown	0	0	1	0	0	0	0	1
	Total	117	621	21	31	92	333	1128	2343

表 7-8-d 2005 年 5 月至 2006 年 6 月高海拔圈谷樣段昆蟲月變化(個體數)

目/中名	目/學名	月份				Total
		200507	200602	200604	200606	
彈尾目	Collembola	2	2	0	2	6
嚙目	Psocoptera	0	0	0	2	2
纓翅目	Thysanoptera	2	0	0	37	39
雙翅目	Diptera	532	2	2	650	1186
同翅目	Homoptera	102	5	8	252	367
直翅目	Orthoptera	1	0	0	6	7
毛翅目	Trichoptera	0	0	0	3	3
鱗翅目	Lepidoptera	1	0	0	3	4
鞘翅目	Coleoptera	59	0	0	140	199
膜翅目	Hymenoptera	14	0	3	58	75
半翅目	Hemiptera	2	0	0	4	6
	Total	715	9	13	1157	1894

表 7-9 第一隻櫻花鉤吻鮭胃含物昆蟲碎片鑑定結果

目\中名	數量	百分比	碎片部位			蟲體完整	發育期			陸\水生	
			頭	胸	腹		若蟲	蛹	成蟲	陸生	水生
雙翅目	2	6.80%	0	2	0	0	0	0	2	2	0
蜉蝣目	19(+25*)	65.51%	1	16	0	2	17	0	2	0	19
半翅目	2	6.89%	0	0	2	0	2	0	0	0	2
襀翅目	4	13.79%	4	0	0	0	4	0	0	0	4
Unknown	2	6.89%	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Total	29	100%	5	18	2	2	23	0	4	2	25

*：無法判定部位及發育期

表 7-10 第二隻櫻花鉤吻鮭胃含物昆蟲碎片鑑定結果

目\中名	數量	百分比	碎片部位			蟲體完整	發育期			陸\水生	
			頭	胸	腹		若蟲	蛹	成蟲	陸生	水生
膜翅目	1	4.30%	0	0	0	1	0	0	1	1	0
同翅目	1	4.30%	0	0	0	1	0	0	1	1	0
雙翅目	7	30.40%	0	4	0	3	1	0	6	6	1
蜉蝣目	12	52.10%	0	5	0	7	6	0	6	0	12
半翅目	1	4.30%	0	0	0	1	0	0	1	1	0
毛翅目	1	4.30%	0	0	0	1	1	0	0	0	1
總和	23	100%	0	9	0	14	8	0	15	9	14

表 7-11 第三隻櫻花鉤吻鮭胃含物昆蟲碎片鑑定結果

目\中名	數量	百分比	碎片部位			蟲體完整	發育期			陸\水生	
			頭	胸	腹		若蟲	蛹	成蟲	陸生	水生
雙翅目	2	20%	1	1	0	0	1	0	1	2	0
蜉蝣目	5	50%	0	3	0	2	3	0	2	0	5
毛翅目	3	30%	0	0	0	3	1	1	1	0	3
總和	10	100%	1	4	0	5	5	1	4	2	8

表 7-12 第四隻櫻花鉤吻鮭胃含物昆蟲碎片鑑定結果

目\中名	數量	百分比	碎片部位			蟲體完整	發育期			陸\水生	
			頭	胸	腹		若蟲	蛹	成蟲	陸生	水生
膜翅目	3	8.30%	0	1	0	2	0	0	3	3	0
同翅目	3	8.30%	0	0	0	3	0	0	3	3	0
雙翅目	5	13.90%	1	3	1	0	3	0	2	2	3
蜉蝣目	13	36.10%	2	7	2	3	7	0	6	0	13
毛翅目	2	5.60%	0	2	0	0	0	0	2	2	0
鞘翅目	9	25.00%	2	3	1	2	9	0	0	0	9
鱗翅目	1	2.80%	1	0	0	0	1	0	0	1	0
總和	36	100.00%	6	16	4	10	20	0	16	11	25

表 7-13 第五隻櫻花鉤吻鮭胃含物昆蟲碎片鑑定結果

目\中名	數量	百分比	碎片部位			蟲體完整	發育期			陸\水生	
			頭	胸	腹		若蟲	蛹	成蟲	陸生	水生
膜翅目	2	9.09%	0	0	0	2	0	0	2	2	0
雙翅目	1	4.54%	0	1	0	0	0	0	1	1	0
蜉蝣目	3	13.64%	0	2	0	1	3	0	0	0	3
蜻蛉目	1	4.54%	0	1	0	0	0	0	1	1	0
半翅目	2	9.09%	0	1	1	0	1	0	1	2	0
鱗翅目	1	4.54%	0	1	0	0	0	0	1	1	0
鞘翅目	6	27.27%	0	1	3	2	2	0	4	6	0
膜翅目	1	4.54%	0	0	0	1	0	0	1	1	0
unknown	5	22.72%	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Total	22	100%	0	7	4	6	6	0	11	14	3

表 7-14 櫻花鉤吻鮭胃含物昆蟲碎片鑑定結果綜合分析

目\中名	數量	百分比	碎片部位			蟲體完整	發育期			陸\水生	
			頭	胸	腹		若蟲	蛹	成蟲	陸生	水生
膜翅目	7	5.83%	0	1	0	6	0	0	7	7	0
同翅目	4	3.33%	0	0	0	4	0	0	4	4	0
雙翅目	17	14.16%	2	11	1	3	5	0	12	13	4
蜉蝣目	53	44.17%	3	33	2	15	36	0	16	0	52
蜻蛉目	1	0.83%	0	1	0	0	0	0	1	1	0
半翅目	5	4.17%	0	1	3	1	3	0	2	3	2
毛翅目	6	5.00%	0	2	0	4	2	1	3	2	4
鱗翅目	2	1.67%	1	1	0	0	1	0	1	2	0
鞘翅目	14	11.67%	2	4	4	4	11	0	4	6	9
襩翅目	4	3.33%	4	0	0	0	4	0	0	0	4
unknown	7	5.83%	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Total	120	100%	12	54	10	37	62	1	50	38	75

表 7-15 2004 至 2006 年武陵地區濱水帶測站各目之科級相對多樣性

目/中名	目/學名	理論科數		實採科數		科級相對多樣性(%)
		科數	百分比	科數	百分比	
雙尾目	Diplura	7	0.8%	1	0.5%	14.3%
彈尾目	Collembola	8	0.9%	8	4.0%	100.0%
總尾目	Thysanura	6	0.7%	1	0.5%	16.7%
蜚蠊目	Blattaria	28	3.1%	3	1.5%	10.7%
革翅目	Dermaptera	10	1.1%	2	1.0%	20.0%
嚙目	Psocoptera	37	4.0%	9	4.5%	24.3%
纓翅目	Thysanoptera	5	0.5%	3	1.5%	60.0%
等翅目	Isoptera	6	0.7%	1	0.5%	16.7%
雙翅目	Diptera	121	13.2%	48	24.1%	39.7%
同翅目	Homoptera	66	7.2%	17	8.5%	25.8%
直翅目	Orthoptera	21	2.3%	7	3.5%	33.3%
竹節蟲目	Phasmida	11	1.2%	1	0.5%	9.1%
襀翅目	Plecoptera	11	1.2%	1	0.5%	9.1%
毛翅目	Trichoptera	39	4.3%	1	0.5%	2.6%
鱗翅目	Lepidoptera	124	13.5%	11	5.5%	8.9%
鞘翅目	Coleoptera	181	19.7%	42	21.1%	23.2%
脈翅目	Neuroptera	11	1.2%	3	1.5%	27.3%
長翅目	Mecoptera	8	0.9%	1	0.5%	12.5%
蚤目	Siphonaptera	18	2.0%	1	0.5%	5.6%
膜翅目	Hymenoptera	99	10.8%	21	10.6%	21.2%
半翅目	Hemiptera	77	8.4%	16	8.0%	20.8%
蜉蝣目	Ephemeroptera	23	2.5%	1	0.5%	4.3%
總計	Total	917	100.0%	199	100.0%	—

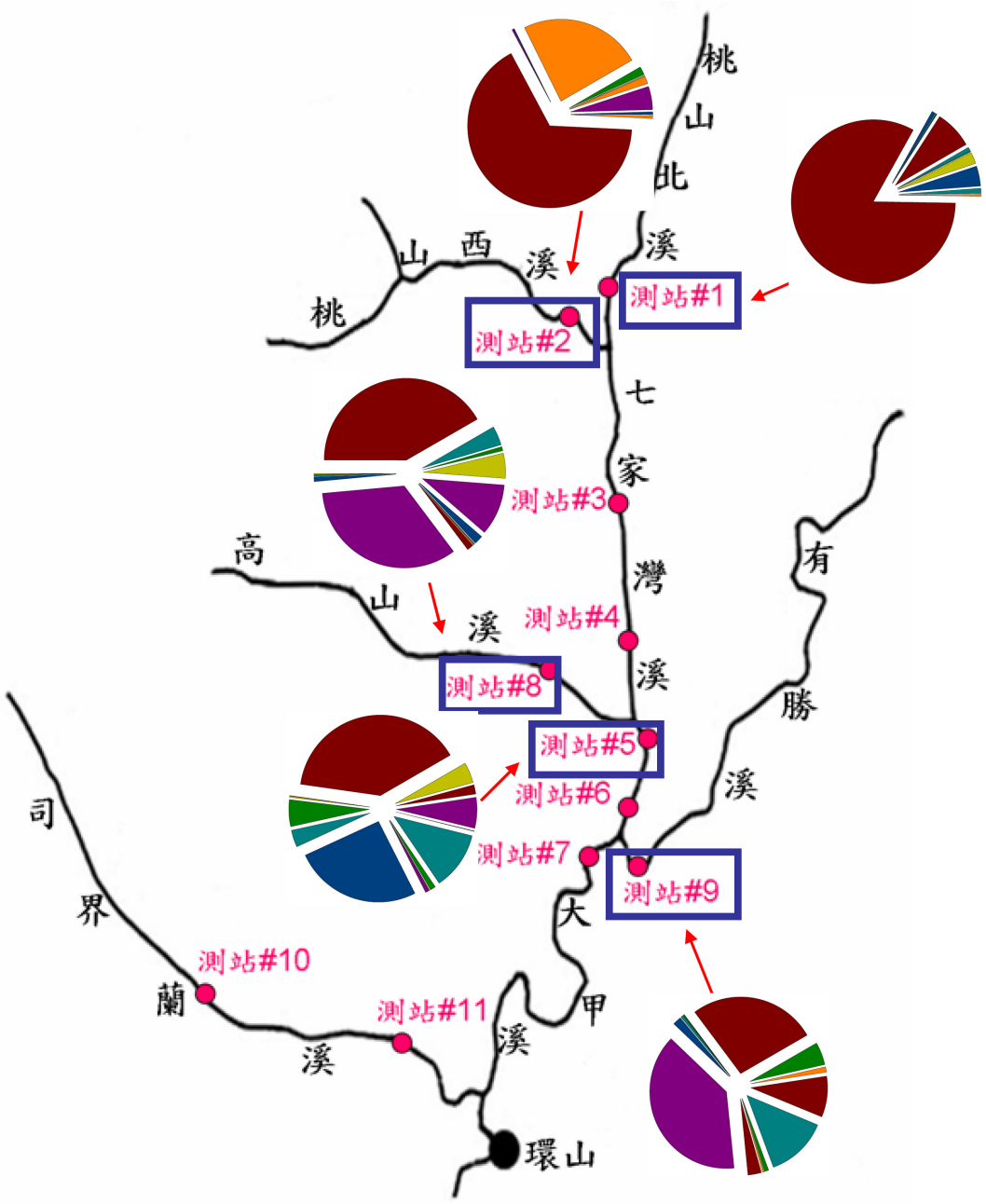


圖 7-1 武陵地區濱水帶昆蟲調查測站位置圖及各測站之昆蟲目級組成。



圖 7-2 武陵地區高海拔地區昆蟲調查樣段位置圖。

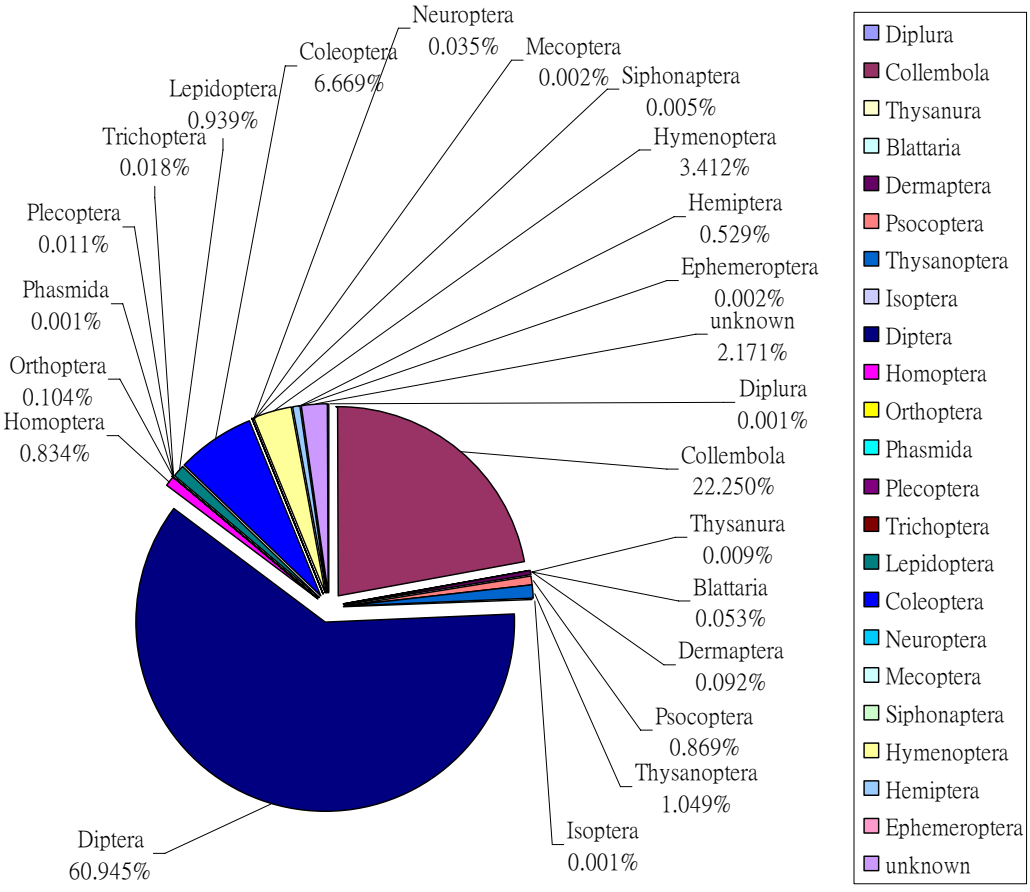


圖 7-3 2004 年 2 月至 2006 年 8 月武陵地區濱水帶各目昆蟲個體數組成百分比。

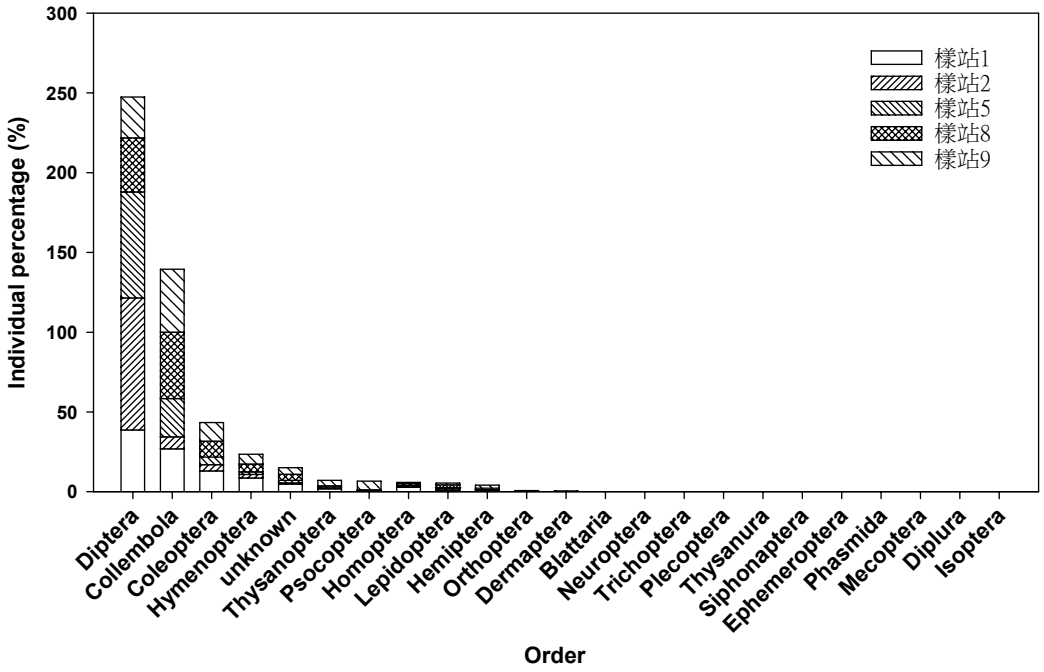


圖 7-3-a 2004 年 2 月 2006 年 8 月武陵地區濱水帶各目昆蟲個體數。

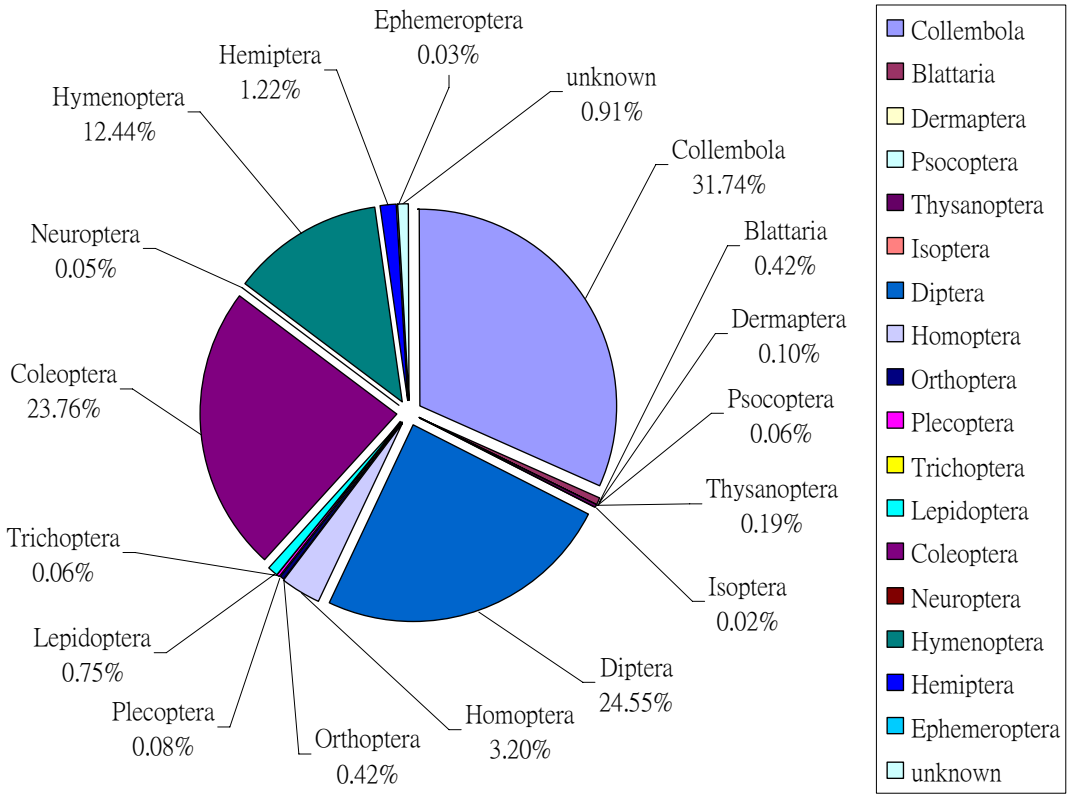


圖 7-4 2004 年武陵地區濱水帶各目昆蟲個體數組成百分比。

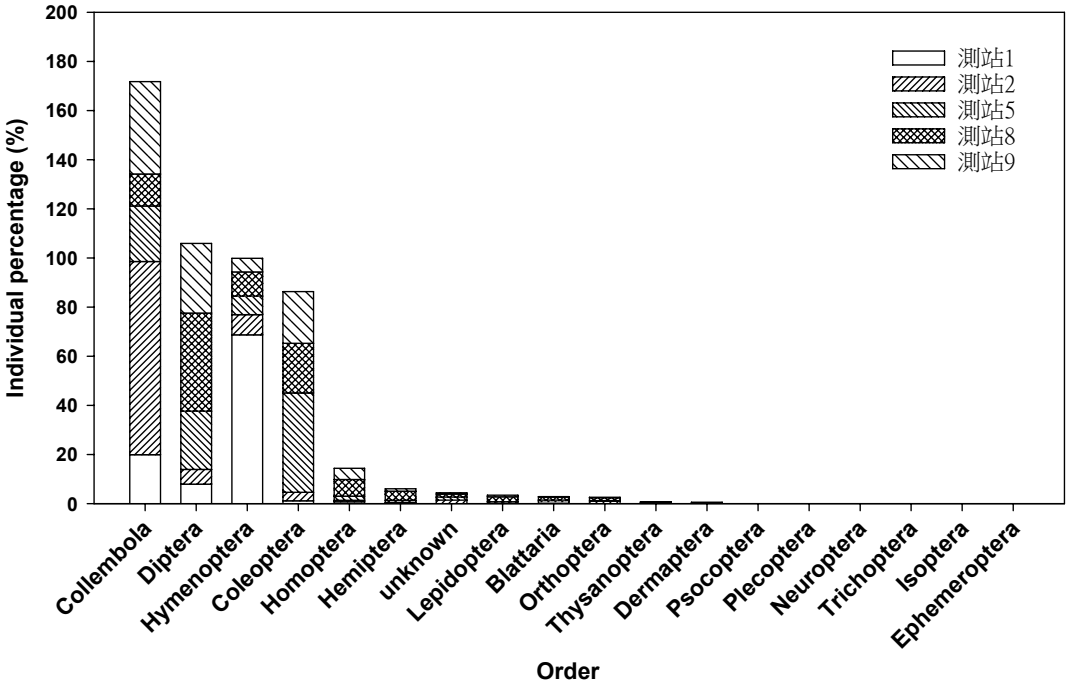


圖 7-4-a 2004 年武陵地區濱水帶各測站各目昆蟲個體數。

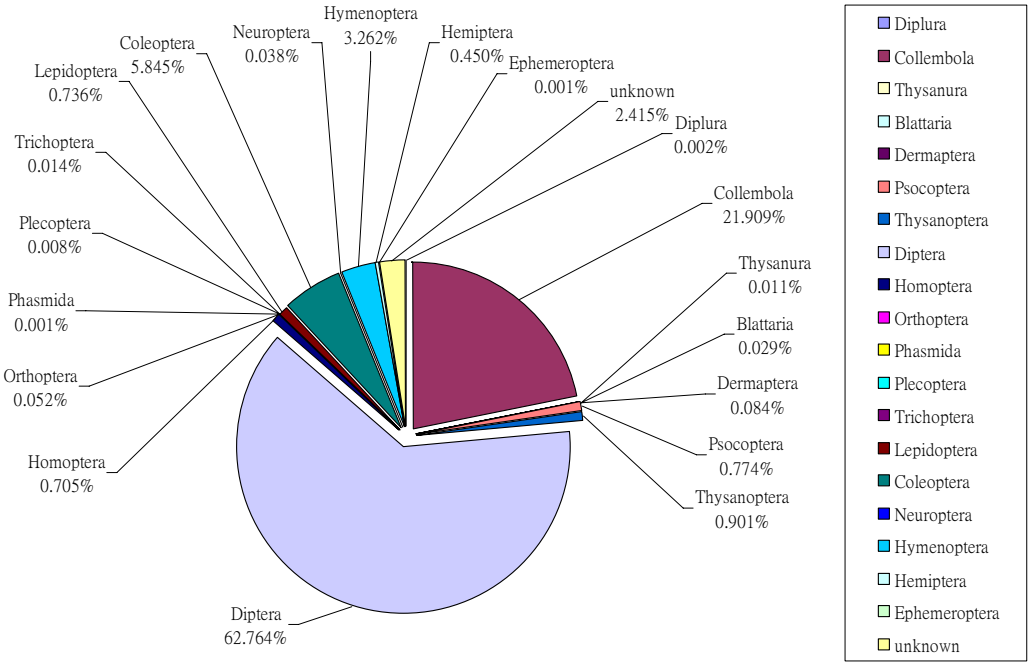


圖 7-5 2005 年武陵地區濱水帶各目昆蟲個體數組成百分比。

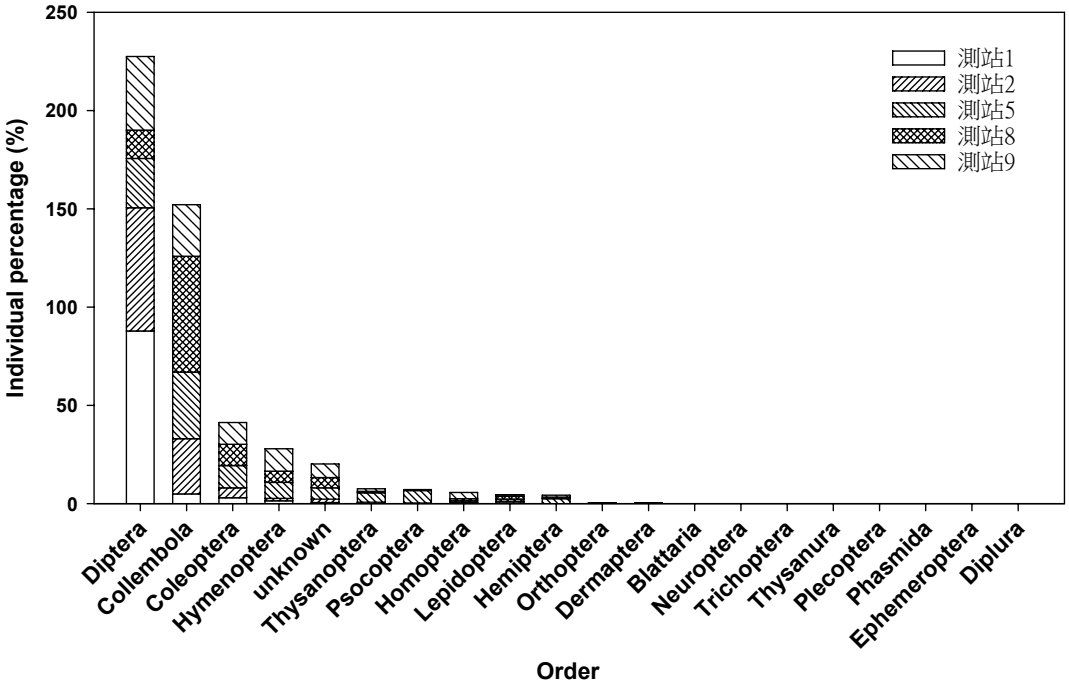


圖 7-5-a 2005 年武陵地區濱水帶各測站各目昆蟲個體數。

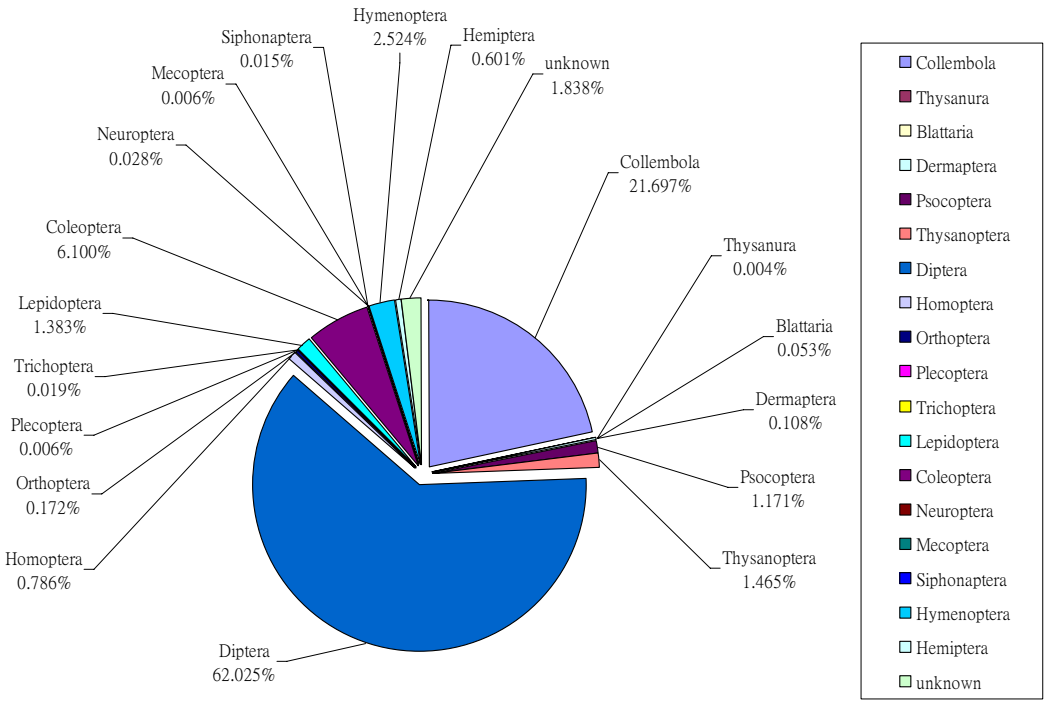


圖 7-6 2006 年武陵地區濱水帶各目昆蟲個體數組成百分比。

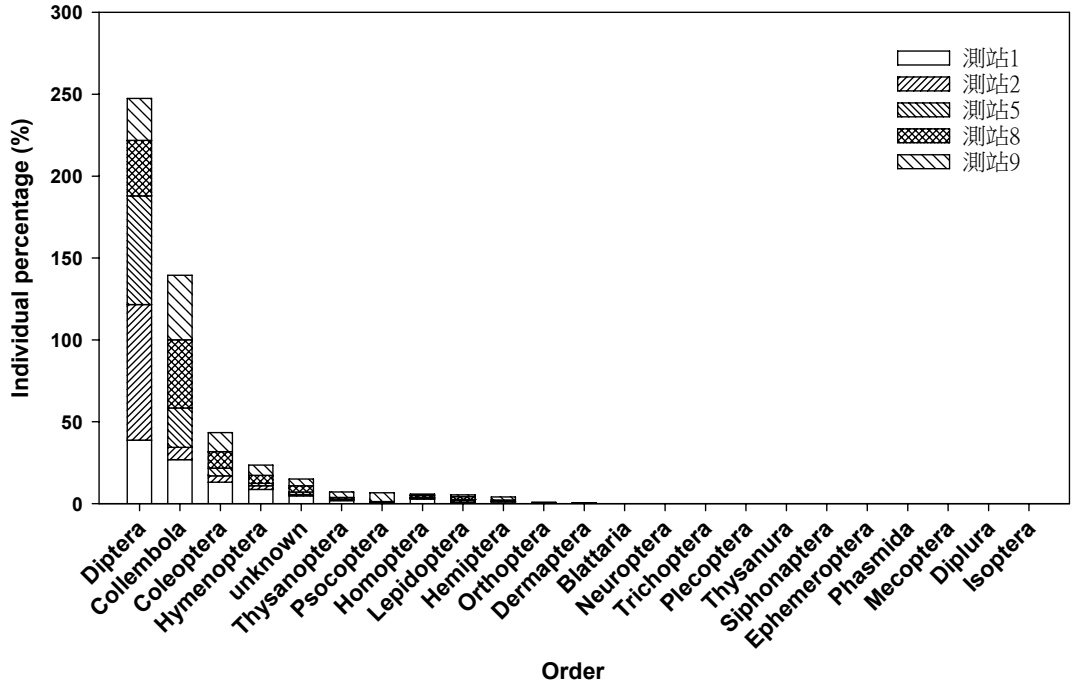


圖 7-6-a 2006 年武陵地區濱水帶各測站各目昆蟲個體數。

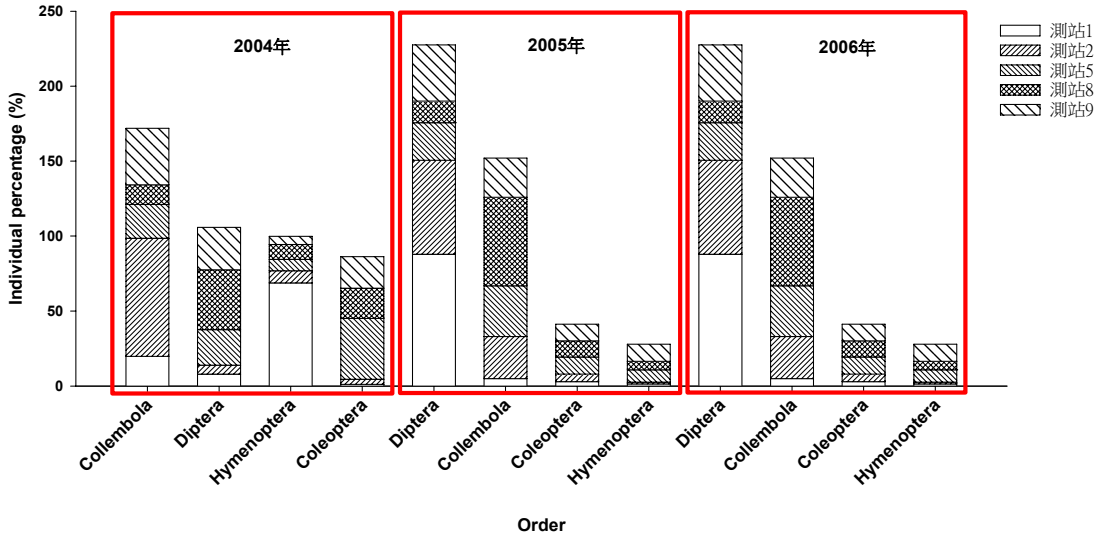


圖 7-7 武陵地區濱水帶 2004 年 2 月至 2006 年 8 月優勢指標群個體數。

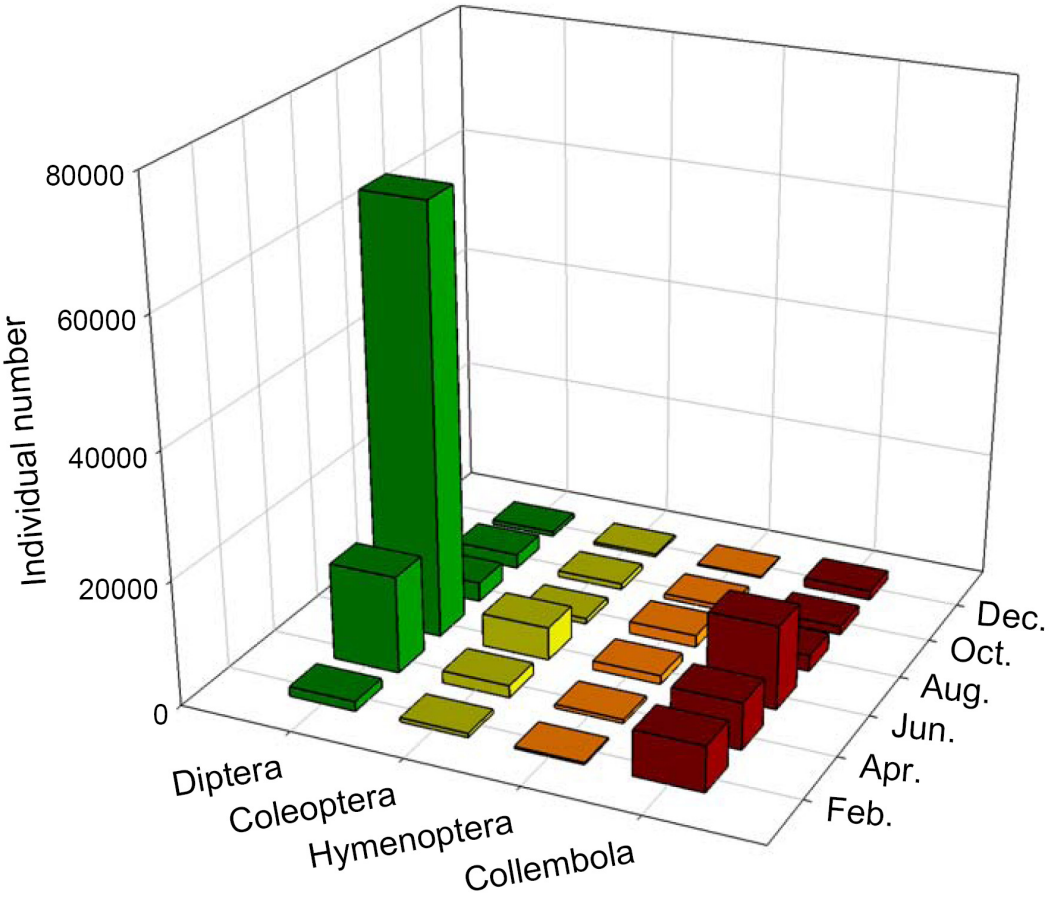


圖 7-8 2004 年 2 月至 2006 年 8 月武陵地區濱水帶昆蟲調查主要各目在各月份的個體數。

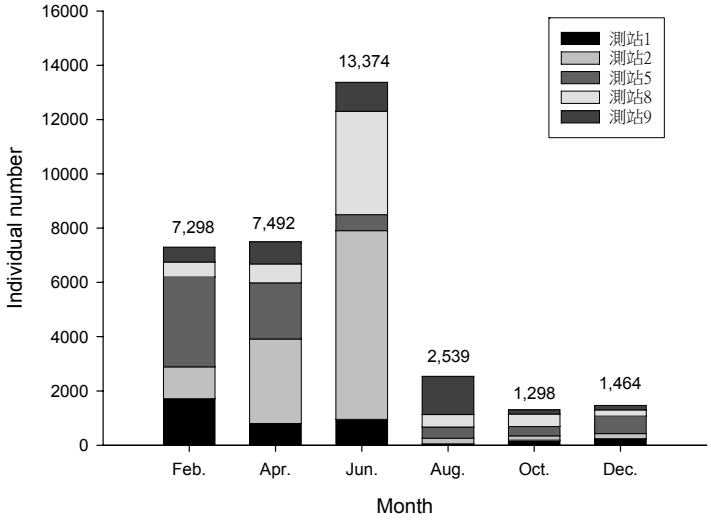


圖 7-9 2004 年 2 月至 2006 年 8 月武陵地區濱水帶彈尾目昆蟲各月份之個體數在各測站間之出現比例變化圖。

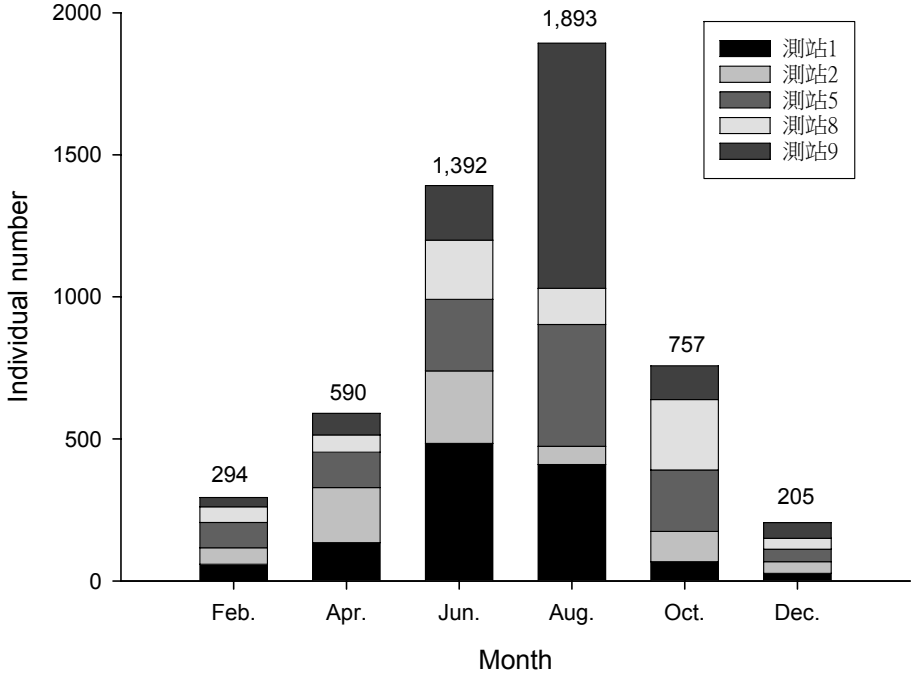


圖 7-10 2004 年 2 月至 2006 年 8 月武陵地區濱水帶膜翅目昆蟲各月份之個體數在各測站間之出現比例變化圖。

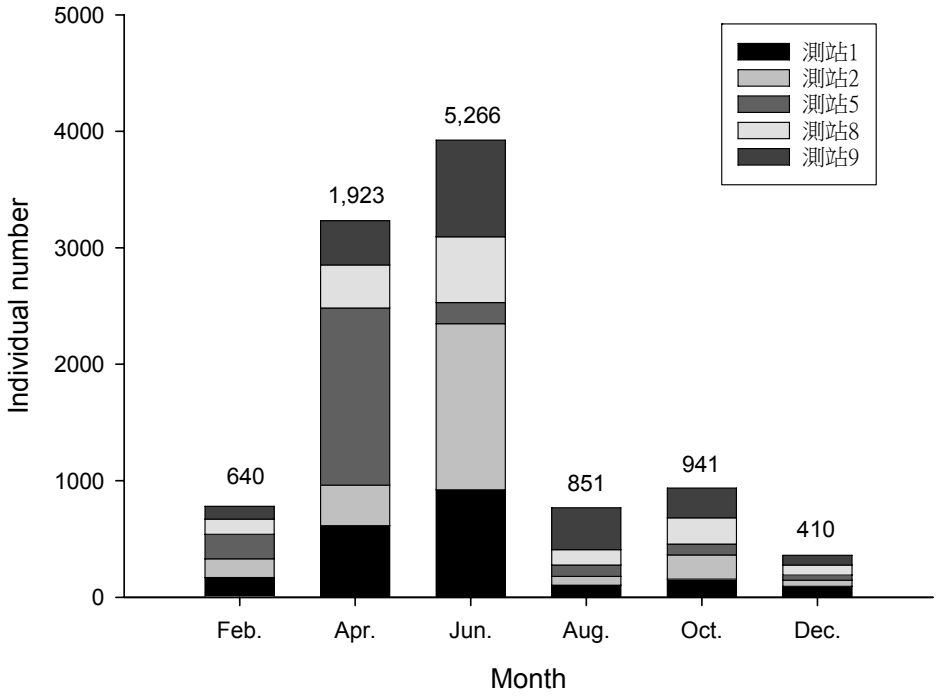


圖 7-11 2004 年 2 月至 2006 年 8 月武陵地區濱水帶鞘翅目昆蟲各月份之個體數在各測站間之出現比例變化圖。

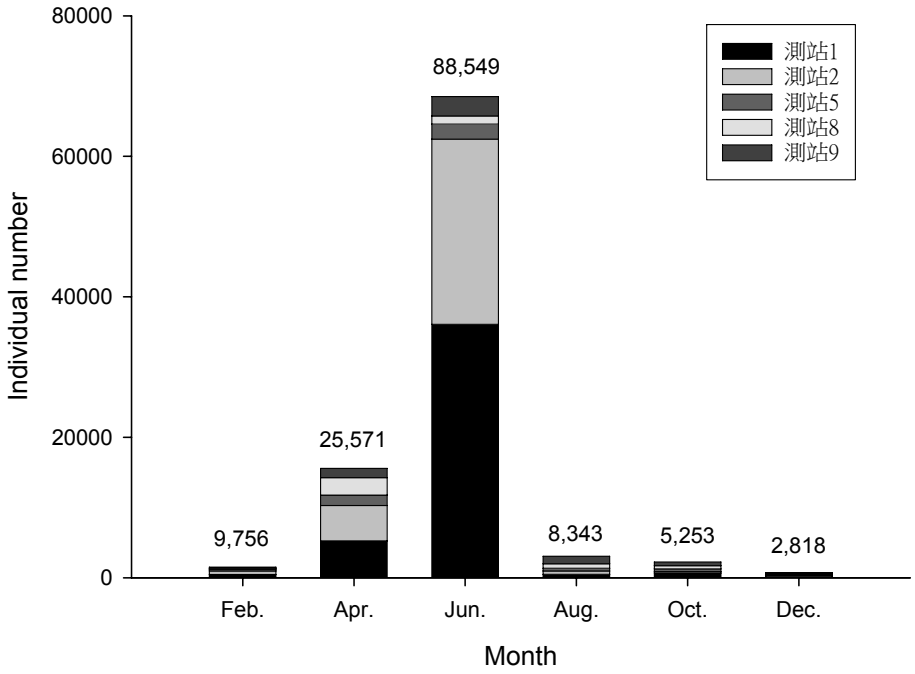


圖 7-12 2004 年 2 月至 2006 年 8 月武陵地區濱水帶雙翅目昆蟲各月份之個體數在各測站間之出現比例變化圖。

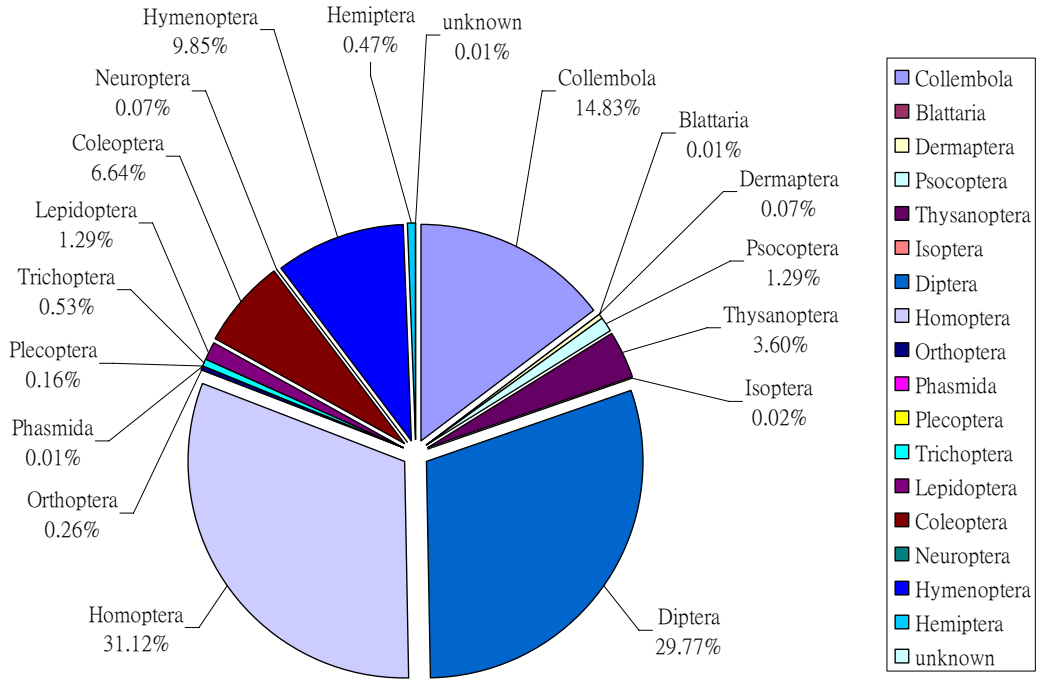


圖 7-13 2005 年 5 月至 2006 年 6 月高海拔樣段各目昆蟲個體數組成百分比。

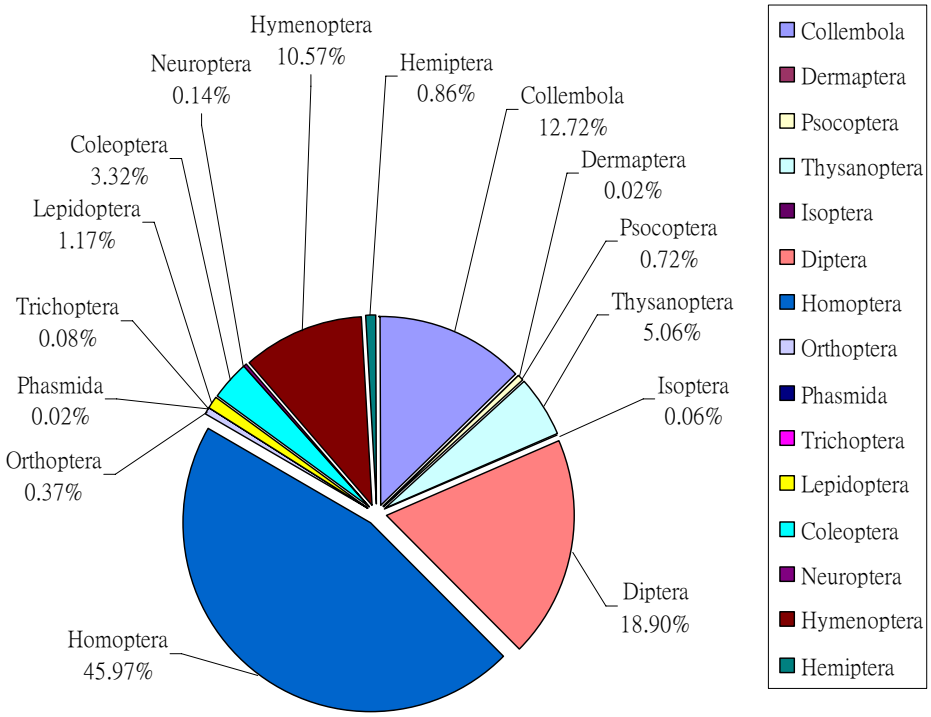


圖 7-14 2005 年 5 月至 2006 年 6 月高海拔七卡樣段各目昆蟲個體數組成百分比。

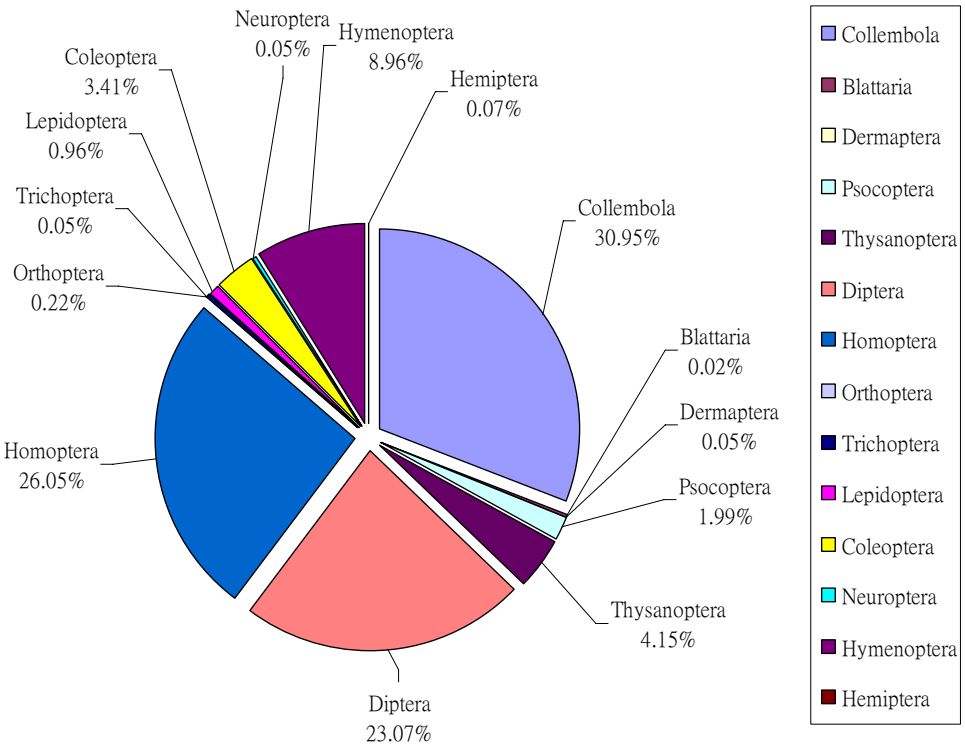


圖 7-15 2005 年 5 月至 2006 年 8 月高海拔稜線樣段各目昆蟲個體數組成百分比。

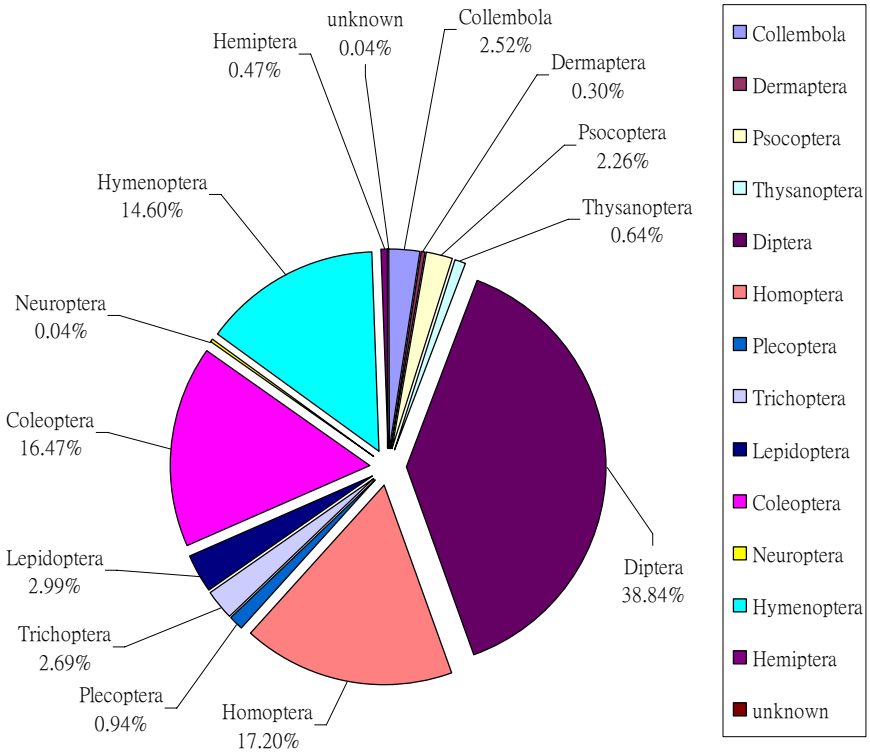


圖 7-16 2005 年 5 月至 2006 年 8 月高海拔黑森林樣段之各目個體數組成百分比。

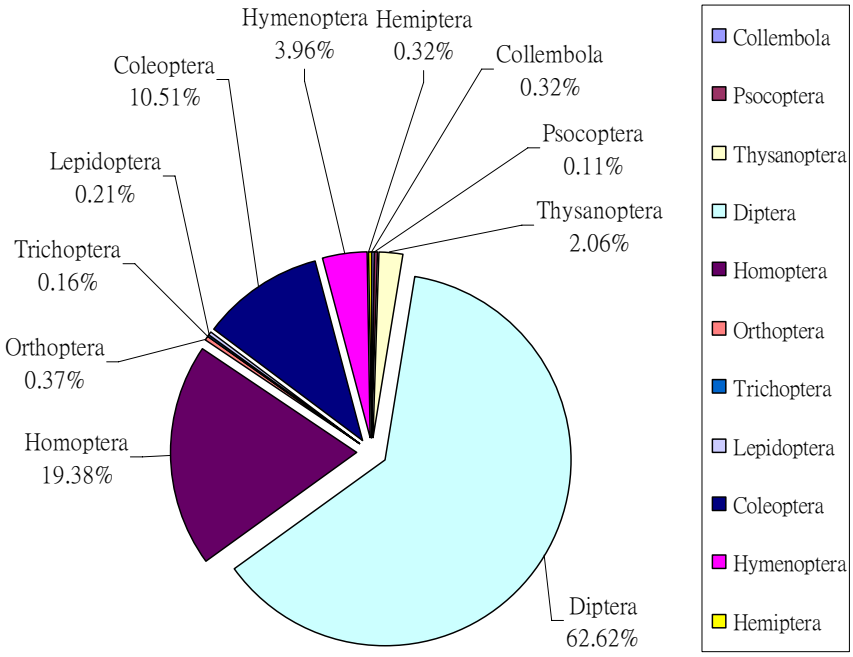


圖 7-17 2005 年 5 月至 2006 年 8 月高海拔圈谷樣段各目昆蟲個體數組成百分比。

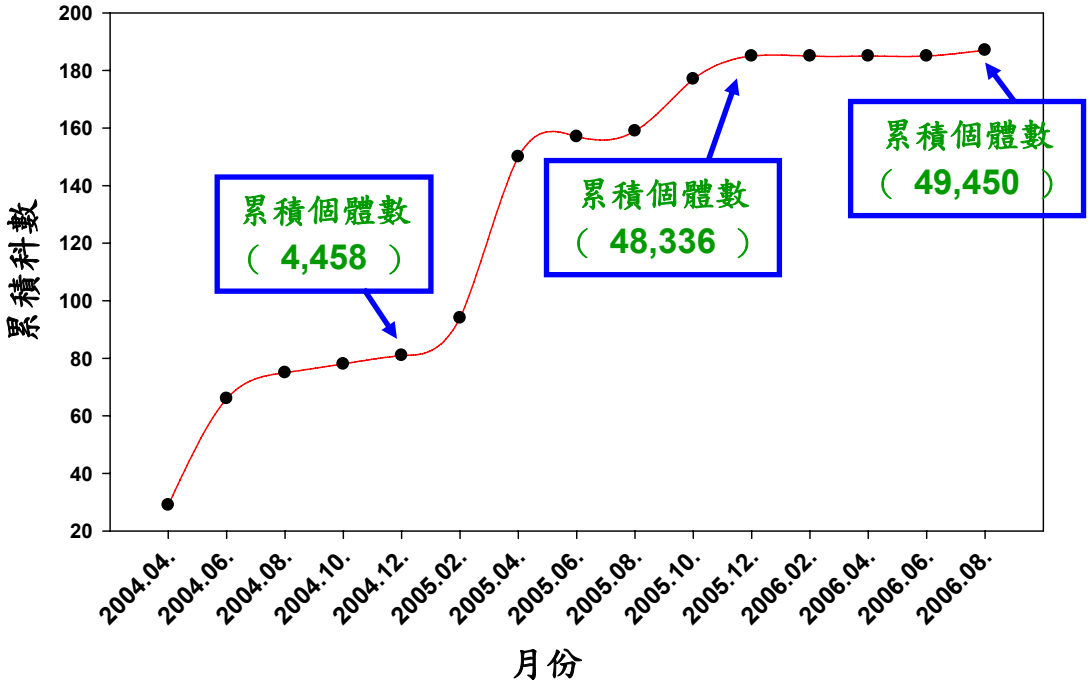


圖 7-18 2004 年 4 月至 2006 年 8 月武陵地區科級累積圖。

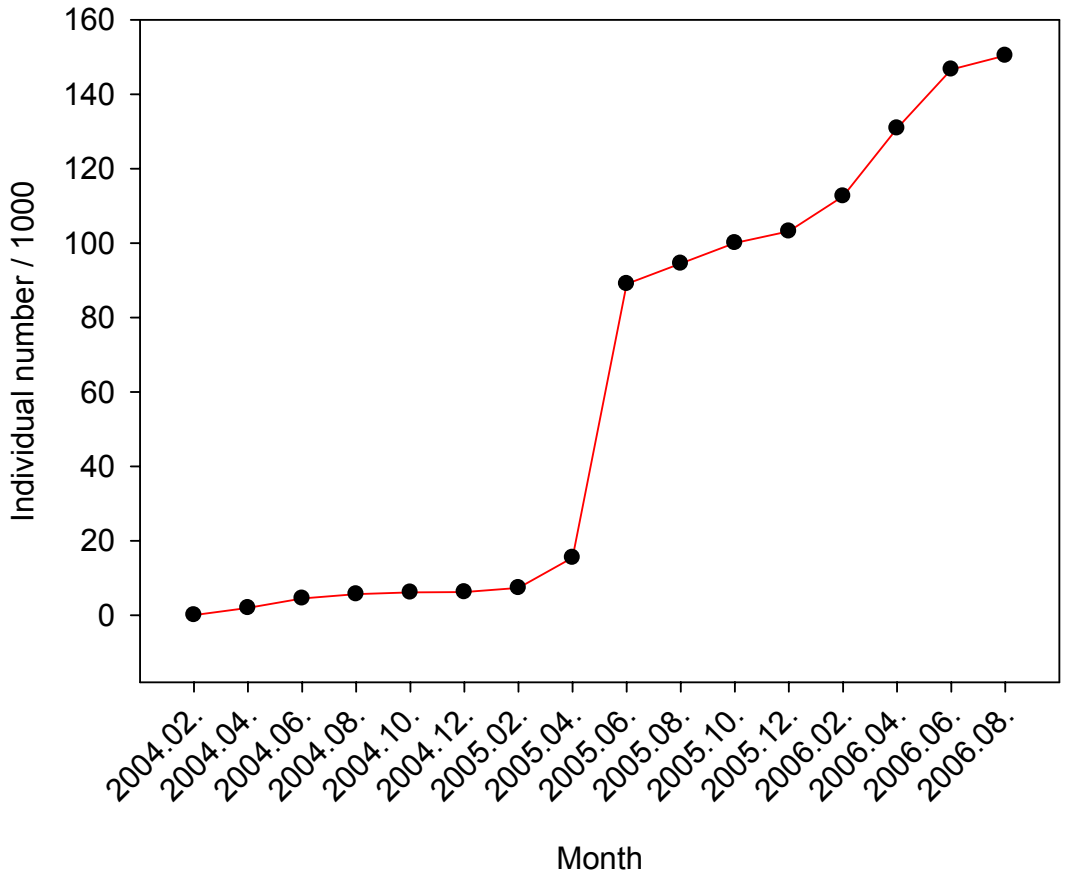


圖 7-19 2004 年 4 月至 2006 年 8 月武陵地區濱水帶個體數累積圖。

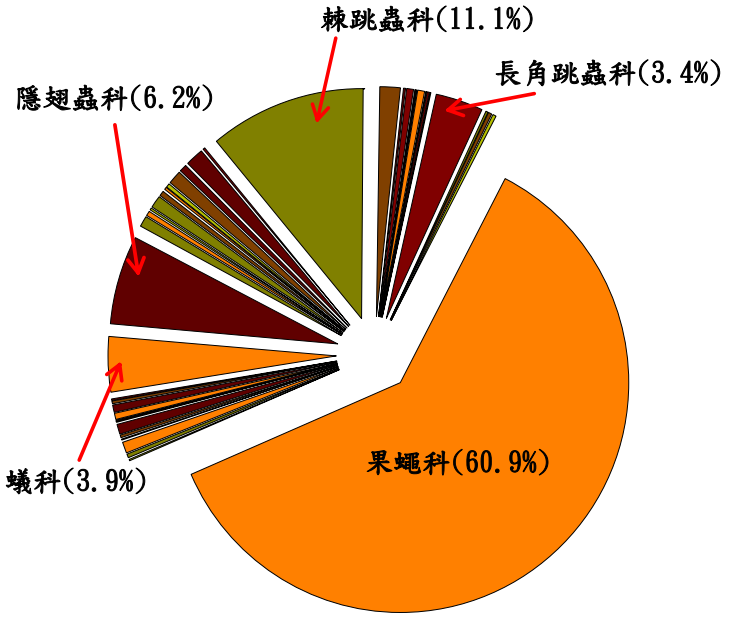


圖 7-20 2005 年武陵地區濱水帶測站各科昆蟲個體數組成百分比。

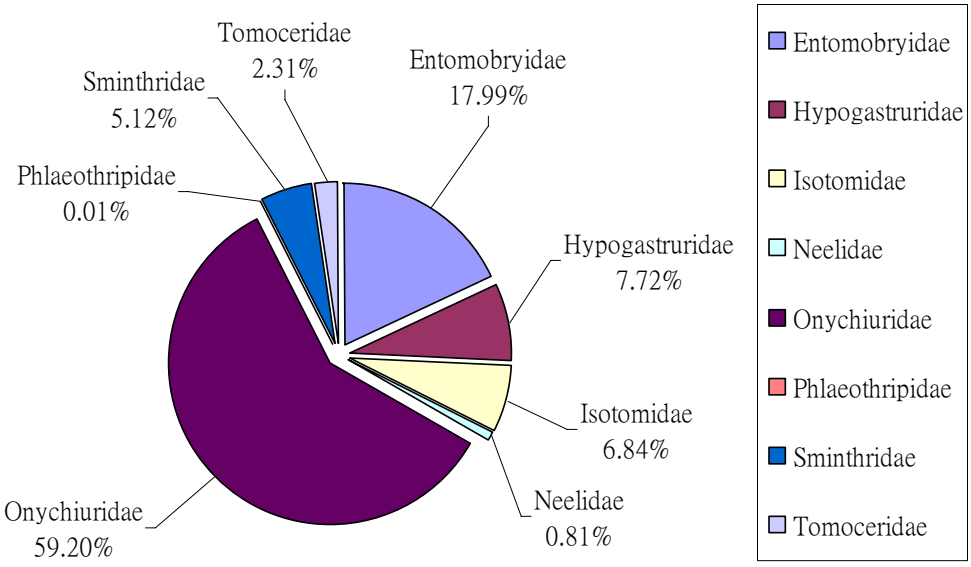


圖 7-20-a 2005 年武陵地區濱水帶彈尾目 8 科之個體數組成百分比。

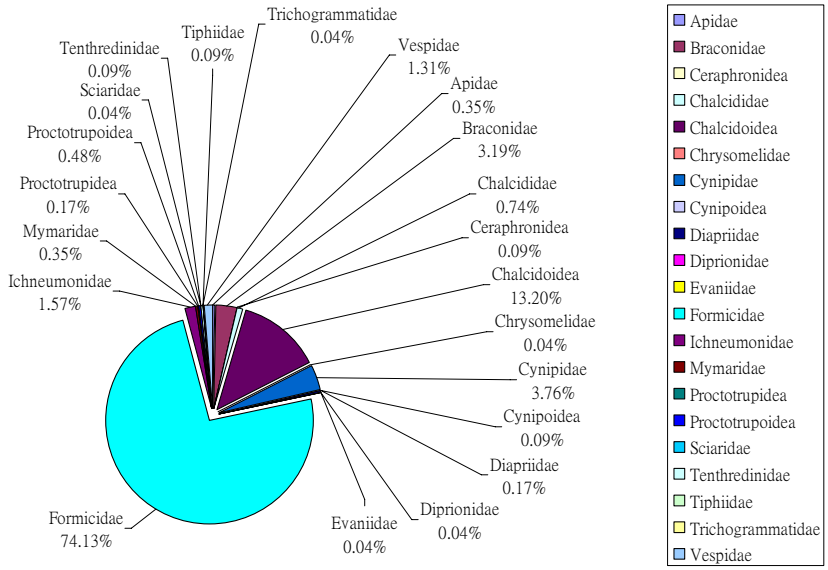


圖 7-20-b 2005 年武陵地區濱水帶膜翅目 21 科之個體數組成百分比。

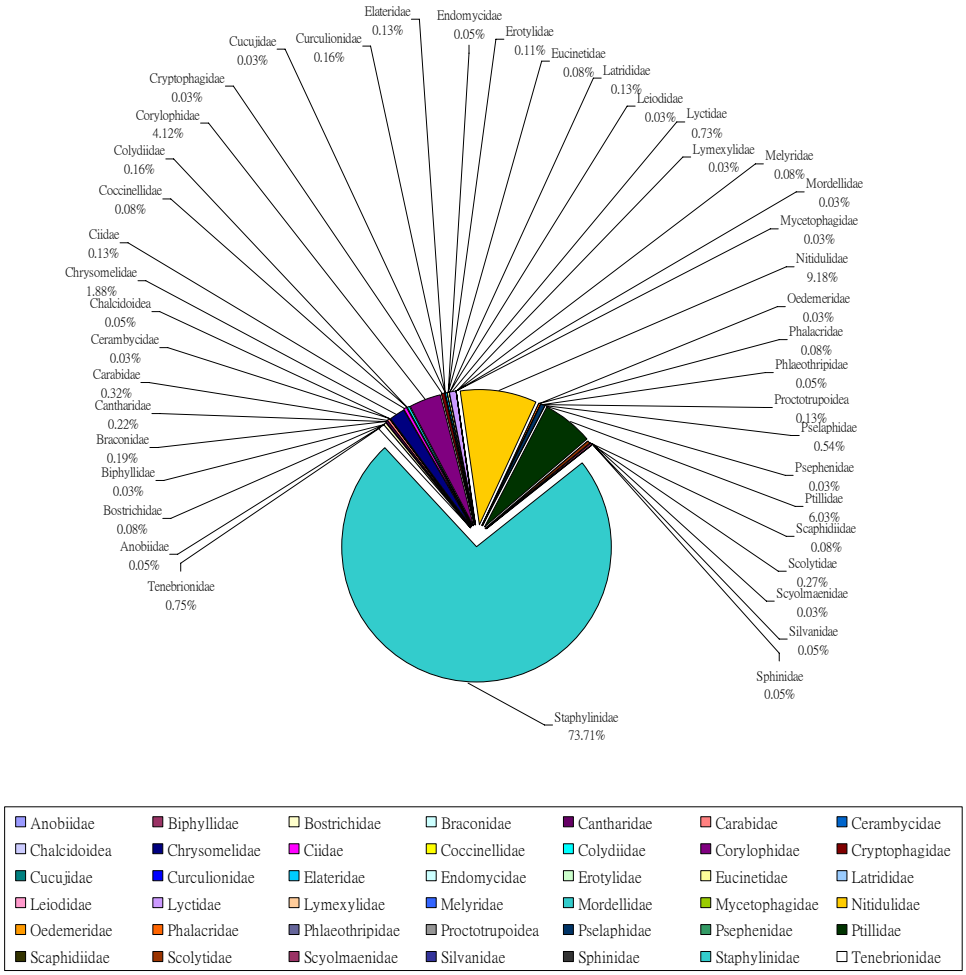


圖 7-20-c 2005 年武陵地區濱水帶鞘翅目 42 科之個體數組成百分比。

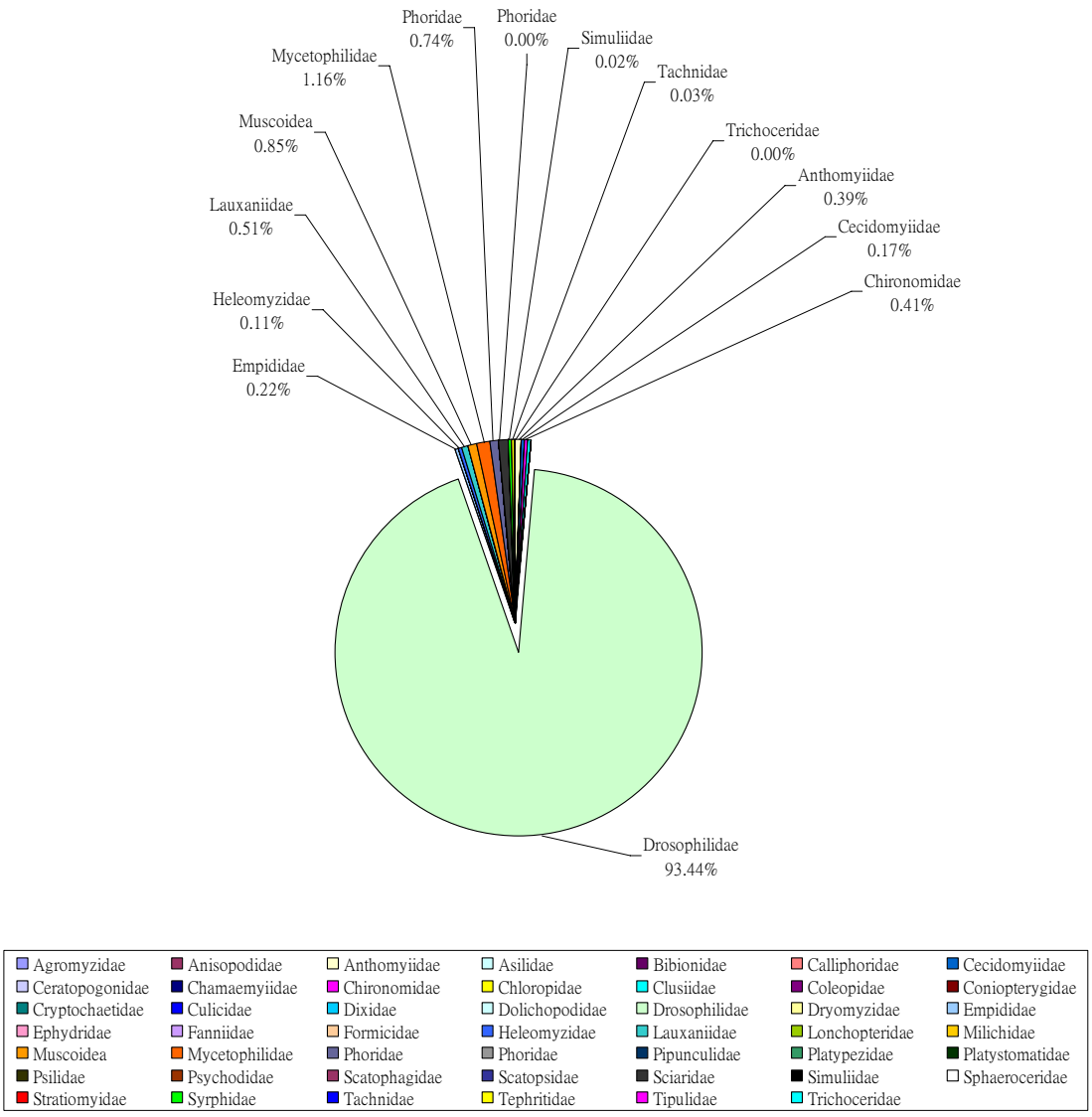


圖 7-20-d 2005 年武陵地區濱水帶雙翅目 48 科之個體數組成百分比。

Sc：Pc：D＝1：11：15

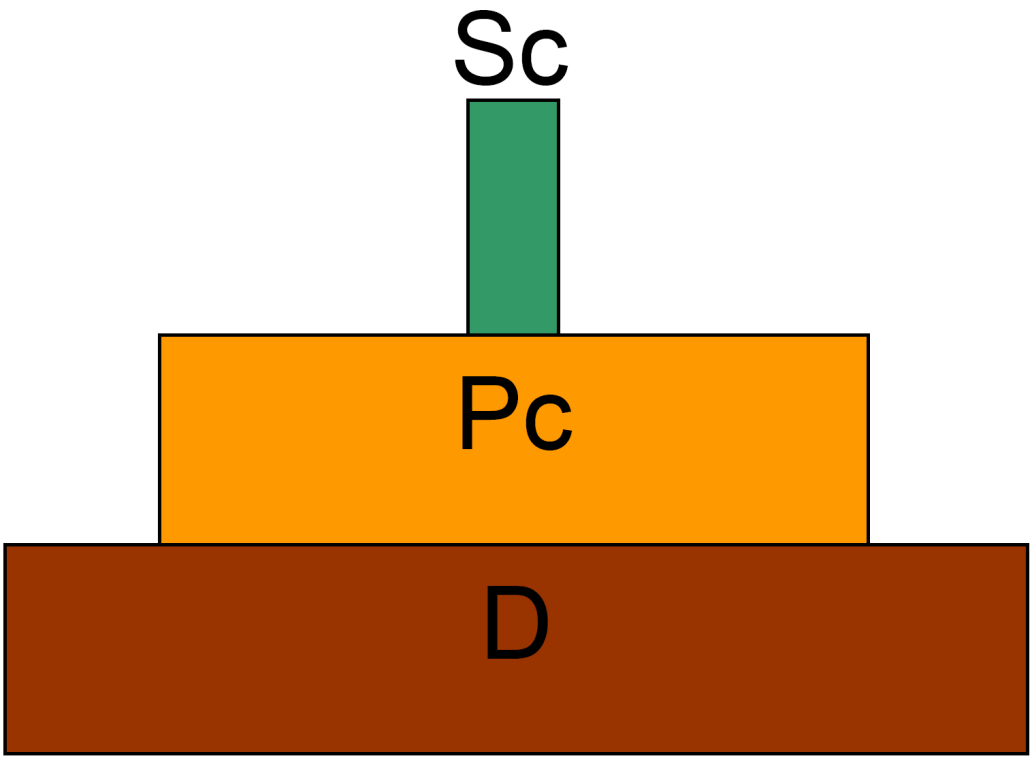


圖 7-21 武陵地區 2005 年昆蟲（成蟲及幼蟲）之食物塔，分解者(D)、初級消費者(PC)及次級消費者(SC)之組成。

附錄 7-1. 武陵地區昆蟲各目調查功能群一覽表（2004 年至 2005 年）

目	中文名	科	食性(成蟲)	食性(幼蟲)	2004年的科	2005年的科
Collembola						
科待鑑定		Brachystomellaidae				
	長角跳蟲科	Entomobryidae	D	D	*	*
	球角跳蟲科	Hypogastruridae	D	D	*	*
	等節跳蟲科	Isotomidae	D	D	*	*
	短角跳蟲科	Neelidae	D	D		*
癩跳蟲科	棘跳蟲科	Onychiuridae	D	D		*
	擬亞跳蟲科	Pseudachorutidae	D	D	*	*
	圓跳蟲科	Sminthridae	D	D	*	*
	鱗跳蟲科	Tomoceridae	D	D	*	*
Dipulura						
	雙尾蟲科	Campodeidae	D	D		*
Thysanura						
	石蛃科	Machilidae	D	D		*
Ephemeroptera						
	undetermined	undetermined	X	Ph		*
Plecoptera						
	undetermined	undetermined	X	Pr	*	*
Orthoptera						
	穴螽科	Rhaphidophoridae	S, D	S, D	*	*
	蝗科	Acrididae	Ph	Ph	*	*
	蟋螽科	Gryllacridae	Pr	Pr		*
	蟋蟀科	Gryllidae	Ph	Ph		*
	釬蟋科	Mogophistidae	Ph	Ph		*
	菱蝗科	Tetrigidae	Ph	Ph	*	*
	螽蜥科	Tettigonidae	Ph	Ph		*
Phasmida						
	undetermined	undetermined	Ph	Ph		*
Blattaria						
	姬蠊科	Blattellidae	S, D	S, D	*	*
	蜚蠊科	Blattidae	S, D	S, D		*
	光蜚蠊科	Epilampridae	S, D	S, D	*	*
Dermaptera						
	蠼螋科	Forficulidae	D, Ph	D, Ph	*	*
	球蠼科	Labiduridae	D	D		*
Isoptera						
	undetermined	undetermined	D	D, Ph	*	*
Psocoptera						
	雙嚙科	Amphipsocidae	D	D		*
	毛嚙科	Caeciliidae	D	D		*
	外嚙科	Ectopsocidae	D	D		*
科待確定	徑嚙科	Elipsocidae				
	一嚙蟲科	Epipsocidae				*
	書蝨科	Liposcelidae	D	D		*
	擬毛嚙科	Pseudocaecilidae	D	D		*
科待確定	嚙科	Psocidae				*
	裸嚙科	Psyllipsocidae	D	D		*
Thysanoptera						
	管薊馬科	Phlaeothripidae	D, Ph	D, Ph		*
	薊馬科	Thripidae	Ph	Ph		*

	異薊馬科	Heterothripidae	D, Ph	D, Ph		*
Hemiptera						
	角椿科	Acanthosomatidae	Ph	Ph	*	*
	花椿科	Anthocoridae	Ph	Ph		*
	緣椿科	Coreidae	Pr, Ph	Pr, Ph	*	*
科待鑑定	鞭椿科	Dipsocoridae				*
	長頭椿科	Enicocephalidae	Pr	Pr		*
	微水黽科	Hebridae	Pr	Pr		*
	擬盲春科	Isometopidae				*
	長椿科	Lygaeidae	Ph	Ph		*
	盲椿科	Miridae	Pr, Ph	Pr, Ph	*	*
	擬刺椿科	Nabidae	Pr	Pr		*
	椿象科	Pentatomidae	Ph	Ph		*
	獵椿科	Reduviidae	Pr	Pr	*	*
	姬緣椿科	Rhopalidae	Ph	Ph		*
科待鑑定		Rhyparochromidae				
	姬跳椿科	Schizopteridae	S	S		*
	軍配蟲科	Tingidae	Ph	Ph	*	*
Homoptera						
	粉蝨科	Aleyrodidae	Ph	Ph	*	*
	蚜科	Aphididae	Ph	Ph	*	*
	蚜總科	Aphidoidea	Ph	Ph		*
	尖胸沫蟬科	Aphrophoridae	Ph	Ph		*
	沫蟬科	Cercopidae	Ph	Ph	*	*
浮塵子科	葉蟬科	Cicadellidae	Ph	Ph	*	*
	菱飛蝨科	Cixiidae	Ph	Ph		*
	介殼蟲科	Coccidae	Ph	Ph	*	*
	介殼蟲總科	Coccoidea	Ph	Ph		*
稻蝨科	飛蝨科	Delphacidae	Ph	Ph	*	*
	臘蟬科	Fulgoridae	Ph	Ph		*
	圓飛蝨科	Issidae	Ph	Ph		*
	角蟬科	Membracidae	Ph	Ph	*	*
	癭棉蚜科	Pemphigidae	Ph	Ph		*
	木蝨科	Psyllidae	Ph	Ph	*	*
Neuroptera						
	粉蛉科	Coniopterygidae	Pr	Pr		*
	草蛉科	Chrysopidae	Pr	Pr	*	*
	魚蛉科	Corydalidae	Pr	Pr	*	*
	姬蛉科	Hemerobiidae	Pr	Pr		*
Mecoptera						
	undetermined	undetermined	Pr	D	*	*
Trichoptera						
	undetermined	undetermined	X	Pr, Ph	*	*
Lepidoptera						
	燈蛾科	Arctiidae	X, Ph	Ph		*
	麥蛾總科	Gelechioidea	S	D, Ph		*
	尺蠖蛾科	Geometridae	X, Ph	Ph	*	*
	枯葉蛾科	Lasiocampidae	X, Ph	Ph	*	*
	小灰蝶科	Lycaenidae	X, Ph	Ph		*
	毒蛾科	Lymantriidae	X, Ph	Ph	*	*
	夜蛾科	Noctuidae	X, Ph	Ph	*	*

	蛺蝶科	Nymphalidae	Ph	Ph	*	*
	鳳蝶科	Papilionidae	X, Ph	Ph		*
	粉蝶科	Pieridae	X, Ph	Ph		*
	螟蛾科	Pyralidae	X, Ph	Ph	*	*
	天蠶蛾科	Saturnidae	X, Ph	Ph		*
	蛇目蝶科	Satyrinae	Pr, Ph	Ph		*
	波紋蛾科	Thyatiridae	X, Ph	Ph		*
	捲葉蛾科	Tortricidae				*
Coleoptera						
	竊蠹科	Anobiidae	D	D		*
	毛蕈蟲科	Biphyllidae	D	D		*
	長蠹蟲科	Bostrichidae	D, Ph	D, Ph		*
	菊虎科	Cantharidae	Pr	Pr	*	*
	步行蟲科	Carabidae	S, Pr	S, Pr	*	*
	天牛科	Cerambycidae	Ph	Ph	*	*
	金花蟲科	Chrysomelidae	Ph	Ph	*	*
	圓蕈科	Ciidae	D	D		*
	郭公蟲科	Cleridae	Pr	Pr	*	*
	瓢蟲科	Coccinellidae	Pr, Ph	Pr, Ph	*	*
	細堅蟲科	Colydiidae	D, Pr, Ph	D, Pa, Pr, Ph		*
	瑣微蟲科	Corylophidae	Ph	D		*
	木吸蟲科	Cryptophagidae	D	D	*	*
	扁蟲科	Cucujidae	Ph	D, Ph		*
	象鼻蟲科	Curculionoidea	Ph	D, Ph	*	*
科待確定	長花蚤科	Dascillidae	Ph	Ph		*
	鰹節蟲科	Dermestidae	S	S	*	*
	叩頭蟲科	Elateridae	D, Ph	Ph		*
	僞瓢蟲科	Endomychidae	Ph	D		*
	大蕈蟲科	Erotylidae	D	D		*
	僞圓花蚤科	Eucinetidae	Ph	Ph		*
	姬薪甲科	Latrididae	D	D		*
	球蕈甲科	Leiodidae	D	D		*
	粉蠹科	Lyctidae	D	D		*
	筒蠹科	Lymexylidae	D	D		*
	擬花螢科	Melyridae	Ph	Ph		*
	花蚤科	Mordellidae	Ph	D, Pr	*	*
	小蕈蟲科	Mycetophagidae	D	D	*	*
	出尾蟲科	Nitidulidae	D	D	*	*
	擬天牛科	Oedemeridae	Ph	Ph		*
	姬花蟲科	Phalacridae	Ph	Ph		*
蟻友甲科	蟻塚蟲科	Pselaphidae	D, Pa	D		*
科待確定	扁泥蟲科	Psephenidae				
	纓毛蕈甲科	Ptillidae	S	S		*
	出尾蕈蟲科	Scaphidiidae	D	D		*
	小蠹蟲科	Scolytidae	D, Ph	D, Ph	*	*
	蘚苔蟲科	Scyolmaenidae	D	D		*
	埋葬蟲科	Silphidae	S	S		*
	細扁蟲科	Silvanidae	Ph	Ph		*
	僞圓蕈蟲科	Sphinidae	D	D		*
	隱翅蟲科	Staphylinidae	S, D	S, D	*	*
	擬步行蟲科	Tenebrionidae	S, D	S, D	*	*

Hymenoptera						
	蜜蜂科	Apidae	Ph	Ph	*	*
	泥蜂科	Astatidae	Ph	Ph		*
	小繭蜂科	Braconidae	Pa	Pa		*
	分盾細蜂科	Ceraphronidea	Pa	Pa		*
	小蜂科	Chalcididae	Pa	Pa, Pr		*
	小蜂總科	Chalcidoidea	Pa	Pa, Pr	*	*
	癭蜂總科	Cynipoidea	Ph	Ph		*
	癭蜂科	Cynipidae	Ph	Ph		*
	錘角細蜂科	Diapriidae	Pa	Pa		*
	松葉蜂科	Diprionidae	Ph	Ph		*
	瘦蜂科	Evaniidae	Pa	Pa		*
	蟻科	Formicidae	S, D, Ph	S, Pr, Ph	*	*
	姬蜂科	Ichneumonidae	Pa	Pa, Pr	*	*
	纓小蜂科	Mymaridae	Ph	Ph		*
	細蜂總科	Proctotrupoidea	Pa	Pa		*
科待確定	冠蜂科	Stephanidae	Pa	Pa		*
	葉蜂科	Tenthredinidae	Ph	Ph		*
	小土蜂科	Tiphiidae	Pr	Pr		*
	赤眼蜂科	Trichogrammatidae	Pa	Pa		*
	胡蜂科	Vespidae	Pr, Ph	Pa, Pr	*	*
	細蜂科	Proctotrupidea	Pa	Pa		*
Diptera						
	蚊科	Culicidae	Pr	D	*	*
	潛蠅科	Agromyzidae	Ph	Ph	*	*
	蚊蚋科	Anisopodidae	Ph	Ph		*
	花蠅科	Anthomyiidae	S, D	S, D, Pa	*	*
	食蟲虻科	Asilidae	Pr	Pr		*
	毛蚋科	Bibionidae	Ph	Ph		*
	麗蠅科	Calliphoridae	S, Pr	S, Pr	*	*
	癭蚋科	Cecidomyiidae	X, Ph	S, Pr, Ph	*	*
	蠓科	Ceratopogonidae	Ph	D, Pa, Ph	*	*
	斑腹蠅科	Chamaemyiidae	X, Ph	Pr	*	*
	搖蚊科	Chironomidae	Ph	D, Pa, Ph		*
	稈蠅科	Chloropidae	Ph	Ph	*	*
	腐木蠅科	Clusiidae	D, Ph	D		*
	扁蠅科	Coleopidae	S	S, D	*	*
	隱毛蠅科	Cryptochaetidae	Pa	Pa		*
	細蚊科	Dixidae	Ph	D, Ph		*
	長足虻科	Dolichopodidae	Pr	D	*	*
	果蠅科	Drosophilidae	D, Ph	D, Ph	*	*
	玳瑁蠅科	Dryomyzidae	S, D	S, D		*
	舞虻科	Empididae	Pr, Ph	Pr	*	*
	水蠅科	Ephydridae	Ph	Ph		*
	廁蠅科	Fanniidae	S, Pr	Ph	*	*
	日蠅科	Heleomyzidae	S, D	S, D	*	*
	縞蠅科	Lauxaniidae	D	D	*	*
	黑豔蠅科	Lonchaeidae	X	Ph	*	*
	槍蠅科	Lonchopteridae	Ph	D		*
	葉蠅科	Milichidae	S, D	S, D		*
	家蠅總科	Muscoidea				*

	家蠅科	Muscidae	S	S, D	*	*
	蕈蚋科	Mycetophilidae	D	D	*	*
	蚤蠅科	Phoridae	S	S, D	*	*
	大頭蠅科	Pipunculidae	Pa	Pa		*
	扁足蠅科	Platypezidae	Ph	D		*
	扁口蠅科	Platystomatidae	Ph	Ph		*
	折翅蠅科	Psilidae	Ph	Ph		*
	蛾蚋科	Psychodidae	X	S	*	*
	糞蠅科	Scatophagidae	D	D, Ph		*
	僞毛蚋科	Scatopsidae	D	D, Ph		*
	黑翅蕈蚋科	Sciaridae	X	D	*	*
	蚋科	Simuliidae	S, D	S, D		*
	大跗蠅科	Sphaeroceridae	D	D		*
	水虻科	Stratiomyidae	Ph	D, Ph		*
	食蚜蠅科	Syrphidae	Pr	Pr	*	*
	寄蠅科	Tachnidae	Pa	Pa	*	*
	果實蠅科	Tephritidae	Ph	Ph		*
	大蚊科	Tipulidae	X	D, Ph	*	*
	冬大蚊科	Trichoceridae	X	Ph		*
	木虻科	Xylophagidae	Ph	Ph	*	*
Siphonaptera						
	undetermined	undetermined	Pa	Pa		

注：S＝腐食性；D＝分解者；Ph＝植食性；Pa＝寄生性；Pr＝捕食性；X＝不取食

第八章　非昆蟲無脊椎動物研究

施習德、陳旻宛、王玉璽、李建融

國立中興大學

摘要

本計畫研究非昆蟲無脊椎動物之生物量與食性，包括流域中數量較多的貧毛類、軟體動物與渦蟲。這些動物的食性，多為植食性或腐食性，且可能是其他大型動物的食物來源。本計畫擬探討其數量、密度、食性、生活史、棲地需求與其他相關生物學資料。這些資料除可了解這些非昆蟲無脊椎動物在整個生態系食物網中的角色之外，對此類動物的長期監測，亦可作為反應環境狀況的良好指標。由所獲得的資料顯示，二月份水生貧毛類較佔優勢，但四月與七月的數量降低，推測可能與生活史有關；水生貧毛類、水陸兩棲蚯蚓 (*Eiseniella tetraedra*) 與渦蟲穩定出現於有勝溪，可能與當地水流較緩以及水質優養化有關；水生螺類僅於七、八月份出現，顯示適合螺類生存的棲地可能減少，此外也可能是其生活史的季節變化造成的；水蠵持續出現在各樣區，但體型微小，在生態方面的角色可能有限；水生等足類與端足類體型較大，但數量稀少，影響層面也有限。整體而言，武陵地區的水域無脊椎動物，以貧毛類數量較多，應該可以作為其他大型動物食物的來源之一。

【關鑑字】貧毛類、蚯蚓、軟體動物、淡水螺、扁形動物、渦蟲、食性、生物量、轉換率、次級生產力

Abstract

This proposal is focused on the biomass and food habit of non-insect aquatic benthic macroinvertebrates, including 3 main groups: oligochaetes, mollusks and turbellarians. They are mainly herbivorous or detritivorous in food habits and are the possible food resources of other large animals. The population size, density, food habit, life history, habitat requirement and other related biological data are studied. Those data are important to know the ecological roles of the non-insect macroinvertebrates in the food web of ecosystem. In addition, they can serve as indicators to response the stream environments, through a long-term monitoring. The results show that the aquatic oligochaetes were dominant in February, but the number fell down in April and July. The factors may be caused by its life history. The steadily occurrence of aquatic oligochaetes, amphibious earthworms (*Eiseniella tetraedra*) and turbellarians in Yousheng River, may be related with the slow flow and the eutrophic water. Freshwater snails was collected only in July and August suggests that the suitable habitats may be reduced. It was also related by the seasonal variations of their life history. Water mites could be collected steadily in all sampling areas, but the ecological roles may be limited due to their small body size. The number of large-sized isopods and amphipods was rare, although their size were much larger, and the role in ecology should be low. In conclusion, the non-insect aquatic invertebrates in Wuling area was dominant by aquatic oligochaetes in numbers, and is suggested to be a food source of other large animals.

【Keywords】Oligichaetes, earthworms, mollusks, freshwater snails, planarians, turbellarians, food habits, biomass, turnover rate, secondary productivity

一、前言

七家灣溪流域為是台灣地區特有的櫻花鉤吻鮭之僅存棲地。對於本處溪流之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。長年來，對七家灣溪的研究，多集中在魚類本身 (Wang, 1989；Tsao, 1995；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，並未成為主要的研究對象或只有非量化的附帶性質資料 (陳，1999)。這些具有不同食性及生活史的無脊椎動物，在溪流生態系中，是魚類食物種類 (水生昆蟲) 的主要競爭者，且是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，有更完整的認識 (林及謝，2002)。

目前七家灣溪已知的底棲性非昆蟲無脊椎動物種類，僅包括一種扁形動物門的渦蟲 (*Dugesia* sp.,)、四種軟體動物 (*Austpelplea ollua*, *Physa* sp., *Radix auricularia*, *Valvata* sp.)、及一種環節動物的絲蚯蚓 (*Tubifix* sp.) (陳，1999)。在水質較差的環境裡，水生昆蟲數量少但相對地渦蟲及兩種螺類 (*Austpelplea ollua*, *Physa* sp.) 的數量較多 (陳，1999)。絲蚯蚓在陳 (1999) 的研究中僅於有勝溪中發現，在孫 (2002) 的鴛鴦觀察記錄中，亦在有勝溪及大甲溪發現鴛鴦取食絲蚯蚓。

非昆蟲無脊椎動物之研究，在 94 年度並無相關研究，此處提供 93 年度之成果。水棲非昆蟲無脊椎動物目前共計有渦蟲 1 種、蚯蚓 1 種、淡水螺 3 種、十足類 1 種 (淡水蟹)、水蠆 11 形態種，水蛭 5 種，及蜘蛛、等足類、線蟲等。其中渦蟲及蚯蚓在溪中數量較多；軟體動物在七家灣溪數量少但在有勝溪密度較高。93 年數次大雨造成對棲地的破壞，在非昆蟲無脊椎動物方面，似乎只有淡水螺受到影響，渦蟲並未受影響。

此計畫擬針對非昆蟲之無脊椎動物，持續做二年的長期研究，總體目標為

(一) 建構溪流生態系食物網的模式； (二) 建構溪岸生態系食物網的模式； (三) 由研究生物中選擇做為長期監測物種。擬定的內容，為溪流非昆蟲無脊椎動物生物量及生活史，擬了解包括: 1. 貧毛類 2. 軟體動物 3.渦蟲 三類動物之數量、密度、食性、生活史、棲地需求與其他相關生物學資料。

二、材料與方法

研究地區位於大甲溪上游，有勝溪與七家灣溪交會處以上的七家灣溪流域及臨近之近水棲地 (如森林草原等) 為研究地區，包含 1. 桃山北溪 2. 桃山西溪 3. 二號壩 4. 一號壩 5. 繁殖場 6. 萬壽橋 7. 迎賓橋 8. 高山溪 9. 有勝溪 10. 司界蘭溪上游 11. 司界蘭溪下游，共有 11 站樣區。其中 1 至 9 樣區每兩個月調查一次，10 與 11 兩個司界蘭溪樣區，則半年調查一次 (圖 1-3)。

由於目前對七家灣溪中的非昆蟲無脊椎動物所知限，僅針對目前所知的幾個類群分別描述研究方法，若有其它新類群的發現 (如端足類，海綿動物)，將再另行設計取樣方法。採樣方法如下所述: 每樣區各在不同微棲地的溪段 (平瀨、深潭、急流) 作五點重覆樣點。每一樣點使用 D 型水生採集網，以攪動底層方式採集固定底面積 (約 50×50 cm^2) 的生物。將網中生物及碎屑洗入篩網中，將其中之無脊椎動物收集保存於 70% 酒精，於實驗室中將樣品分類並計數。此外，在每一樣區分別記錄氣溫、水溫、水流速、酸鹼度、總離子量、溶氧量、溪寬、底質組成、溪段特性等相關基本資料。

食性部份，擬針對以上三類動物，將其腸胃道取下，在解剖顯微鏡下剪開，並分析其中所含之食物種類與所佔比例。

三、結果

由 2006 年二月迄今，共計前往五次 (二月、四月、七月、八月、十月)。各次調查之棲地資料如表 8-1；兩次調查之生物樣品資料如表 8-2。

二月份進行 9 個樣區調查，但桃山北溪乾涸缺水，因此僅有 8 個樣區資料。棲地資料方面，各平均值如下: 水溫 12 .14℃、pH 8.30、DO 8.62、導電度 249.49；二月份較佔優勢的非昆蟲無脊椎動物為貧毛類的絲蚯蚓 (種類待鑑定) (總隻數 4030 隻，佔總量的 15.1%) (圖 8-1)，主要出現在繁殖場、萬壽橋、迎賓橋三處，分別佔該樣區總生物量 (含水生昆蟲) 的 31.0%、33.9%、24.4%；此外採集的無脊椎動物包括渦蟲 (*Dugesia* sp.) (圖 8-2A) (有勝溪)、水蝨 (water mites) (圖 8-3) (桃山西溪、二號壩、一號壩、迎賓橋、高山溪、有勝溪)、等足類 (isopods) (圖 8-4A,B) (二號壩、迎賓橋)。水生昆蟲數量比例很高，佔每樣區的比例平均為 88.6% (範圍 66.12 ~ 99.96%)。

四月份進行 9 個樣區調查。棲地資料方面，各平均值如下: 水溫 13.66℃、pH 8.03、DO 4.88、導電度 222.52；四月份較佔優勢的非昆蟲無脊椎動物為節肢動物蛛形類的水蝨，在 9 個樣區均有採集到，佔此次採集總生物量 (含水生昆蟲) 的 2.6% (總隻數 157 隻)。貧毛類數量顯著減少，僅在桃山北溪、一號壩、繁殖場、有勝溪有零星分布，佔總採集量的 0.2% (總隻數 10 隻)；其餘物種包含渦蟲 (有勝溪) 與端足類 (圖 8-4C,D) (桃山西溪、一號壩)。水生昆蟲數量比例很高，佔每樣區的比例平均為 96.4% (範圍 93.68 ~ 98.44%)。

七月份進行 11 個樣區調查。棲地資料方面，各平均值如下: 水溫 17.05℃、pH 8.11、DO 7.51、導電度 214.20；生物樣品所得資料如下: 水生貝類 (含椎實螺、囊螺、扁蜷) (圖 8-2B,C,D) 數量開始增多，出現在一號壩、二號壩；水蝨在各樣區仍有零星分布；渦蟲出現於迎賓橋、有勝溪、桃山北溪；貧毛類包含水陸兩棲的蚯蚓 (*Eiseniella tetraedra*) 與水生絲蚯蚓 (含 *Slavina* 與 *Pachydrilus* 兩屬) (圖 8-1)，出現於桃山北溪、有勝溪、萬壽橋，以有勝溪數量最高。司界蘭溪生物極度貧瘠，僅有端足類 1 隻。

八月份進行 9 個樣區調查。棲地資料方面，各平均值如下: 水溫 15.53℃、pH 8.13、DO 故障；生物樣品方面，水生貝類 (含椎實螺、扁蜷) 僅零星出現於繁殖場、迎賓橋；水蝨在各樣區仍有分布；渦蟲出現於有勝溪、桃山北溪；貧

毛類僅發現水陸兩棲的蚯蚓 (*Eiseniella tetraedra*)，出現於有勝溪，水生蚯蚓未發現。

十月份進行 9 個樣區調查。棲地資料方面，各平均值如下: 水溫 14.38℃、pH 8.17、DO 8.97；無脊椎動物方面，渦蟲數量增多，以有勝溪較多，其餘則零星出現在二號壩、繁殖場;有不少貧毛類的水陸兩棲蚯蚓 (*Eiseniella tetraedra*) (6 隻) 與水生蚯蚓 (16 隻) 出現於有勝溪；水蠆在各樣區仍有不少分布 (77 隻)；等足類 (1 隻) 出現於萬壽橋；然而，水生貝類完全沒有發現。

四、討論

由 2006 年的採集，水生昆蟲的數量所佔的比例均極高 (例如二月份佔 85%; 四月份佔 96%)，因此以下的分析比較均僅探討非昆蟲的無脊椎動物。此外，司界蘭溪的無脊椎動物極度貧乏，僅在七月份採集一隻端足類 (表 8-2)，因此在分析比較時也予以略去。除了二月份水生貧毛類數目大量增加之外，其餘月份的樣品數都很少，數量較多的水蠆體型卻十分微小，難以進行生物量的量測，僅就樣品的數目上進行分析比較。

以整體無脊椎動物的標本數目進行估算，在不同的月份間，可看出二月份有很高的數量，以後急劇下滑，至八月份最低，然後再逐漸上升 (圖 8-5)。這與 2004 年九月份的非昆蟲無脊椎動物總數最低相符合，推測兩者均可能是由於七月分的颱風帶來大量降雨，溪流水量急劇變大，將許多底棲生物沖走，之後數量才逐漸上升。以樣區而言，繁殖場、萬壽橋、迎賓橋的無脊椎動物數量最高，然而，這是由於在二月份時有大量水生貧毛類所造成的，且之後的月份此類大發生並沒有再出現；因此若暫不考慮此類大發生，則以有勝溪的總個體數量最高，且各月份均較為平均 (圖 8-6)，其原因分析如後。

水生無脊椎動物的物種出現與季節也有較大的關連，環節動物的絲蚯蚓部份 (圖 8-1C,D)，二月份極佔優勢 (總隻數 4030 隻，佔二月份總量的 99.3%; 佔歷次採集總量之 98.5%) (表 8-2)，四月份、八月份並未發現絲蚯蚓，七月份與十月份則有一些數量 (分別是 44 隻與 16 隻)，且均在有勝溪出現。推估二月份大量出現於繁殖場、萬壽橋、迎賓橋，可能與其生活史週期有關；有勝溪在各月份持續出現一定的數量，則可能由於該地區的流速較緩慢 (表 8-1)，且水質優養化造成河床下佈滿絲狀藻類，因而形成適合絲蚯蚓的棲息環境。林等 (2005) 研究大里溪的霍氏水絲蚓 (*Limnodrilus hoffmeisteri*) 亦發現冬季數量最高，且喜好棲息在有機物含量高及生物量多的環境中，此與本研究所得相符。然而，推測由於族群量不大，且可能會被較大的水流沖走，因此並非每次均能採集到絲蚯蚓。

水陸兩棲的蚯蚓 (*Eiseniella tetraedra*) 與渦蟲 (圖 8-2A) 數量並不多，但均較穩定出現在歷次的有勝溪樣區採集中 (表 8-2)，此樣區同時也是絲蚯蚓佔優勢之處，其影響原因可能也是水流較緩以及水質優養化。

水生螺類 (圖 8-2B,C,D) 至七月份才零星發現於一號壩、二號壩，八月份也零星出現於繁殖場、迎賓橋，但十月分則沒有採集到。比較 2004 年的武陵地區無脊椎動物調查資料，該年的水生螺類數量較多，但 2006 年的數量減少很多，顯示適合螺類生存的環境可能減少。兩年的共同點均是九月份以後未出現，這可能是其生活史的季節變化造成的。

此外，節肢動物蛛形類的水蠋 (圖 8-3)，在每個月的各樣區中都有一定數量的分布，但由於其體型極小，對於整個武陵水生食物網的影響可能有限。水生的等足類 (圖 8-4A,B) 與端足類 (圖 8-4C,D) 的數量極少，推測武陵地區是此類水生甲殼類的分布上限；雖然體型較大，但數量稀少，影響層面應該有限。

武陵地區較大型的無脊椎動物為高山澤蟹 (*Geothelphusa monticola*) (施志昀、游祥平，1999)，甲寬可達 2 公分，其棲息區域在具有小溪流的山壁石下與碎石堆內，由於固定的 11 個樣區均在較大溪流處，因此很難採集到。台灣地區的澤蟹，可能是野豬、獼猴、黑熊、黃鼠狼、水獺、白鼻心、食蟹獴 (棕簑貓)、鼠類、鳥類、大型魚類等野生動物的食物來源，例如台北縣哈盆溪附近的日月潭澤蟹和大里澤蟹 (*G. tali*) 就是食蟹獴冬季重要的食物來源 (施習德, 2000)。由於在武陵地區小溪流的採集中，發現其在武陵地區的數量並不少，加上個體較大，可能是附近一些大型鳥類與哺乳類的食物來源之一。

整體而言，武陵地區的水域無脊椎動物，以貧毛類數量較多，應該可以作為其他大型動物食物的來源之一；有勝溪的水域無脊椎動物在種類與數量上均較多，可能是水流緩慢與較為優養化所造成的。

五、參考文獻

林幸助、謝莉顒。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。

林康捷、吳靖穎、尤少彬。2005。大里溪產霍甫水絲蚓 *Limnodrilus hoffmeisteri* (Claparède) 之生活史與族群分布。特有生物研究 7: 13-29。

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。

施志昀、游祥平，1999。台灣的淡水蟹。國立海洋生物博物館籌備處。114 頁。

施習德，2000 年。橫行溪流的鐵甲武士 — 淡水蟹，114-119 頁。賴郁旻主編，消失中的精靈 — 台灣珍貴及稀有動物保育專輯。行政院農業委員會，台北。

孫元勳 2002 七家灣溪鴛鴦生態族群調查 (四)。內政部營建署雪霸國家公園管理處九十一年度研究報告。31 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。

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。

Tsao, E. H. S., 1995. An ecological study of the habitat requirements of the Formosan landlocked salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*). Ph.D. Dissertation. Colorado State University Fort Collins, Colorado.

Wang, CMJ 1989 Environmental quality and fish community ecology in an agricultural mountain stream system of Taiwan. Ph.D. Dissertation, Iowa State University.

表 8-1 本研究 2006 年各月份之棲地平均資料。

月份	樣區編號	樣區	水面寬度	河岸寬度	水溫	水深	流速	pH	DO	導電度	註解
二月	1	桃山北溪	—	—	—	—	—	—	—	—	溪流無水
二月	2	桃山西溪	6.31	35.16	9.28	29.87	36.72	8.59	8.94	201.40	
二月	3	二號壩	14.48	33.07	11.36	33.15	36.55	8.18	8.43	250.87	
二月	4	一號壩	14.40	41.57	11.37	30.87	60.93	8.18	9.20	259.13	
二月	5	繁殖場	18.88	34.13	12.23	23.93	51.31	8.33	*	251.93	DO 故障
二月	6	萬壽橋	16.71	19.73	14.30	35.60	55.64	8.28	8.25	258.67	
二月	7	迎賓橋	20.19	29.98	13.75	24.73	12.14	8.37	8.29	273.60	
二月	8	高山溪	8.07	12.63	11.15	25.73	46.46	8.49	*	213.40	DO 故障
二月	9	有勝溪	5.40	14.63	13.67	21.20	11.95	7.97	*	286.93	DO 故障
		平均	**13.06**	**27.61**	**12.14**	**28.14**	**38.96**	**8.30**	**8.62**	**249.49**	
四月	1	桃山北溪	4.07	10.73	12.29	22.53	3.97	8.17	5.03	286.73	
四月	2	桃山西溪	9.47	36.77	12.07	34.47	26.54	7.93	4.96	164.72	
四月	3	二號壩	15.07	30.34	12.01	31.86	26.10	7.76	4.66	201.71	
四月	4	一號壩	12.41	35.47	13.21	35.87	24.57	7.79	4.68	212.20	
四月	5	繁殖場	18.18	31.72	14.18	36.60	19.41	7.96	4.91	209.89	
四月	6	萬壽橋	12.65	23.53	13.85	32.67	55.50	7.83	5.12	207.40	
四月	7	迎賓橋	24.61	38.80	13.63	31.20	22.74	7.92	4.84	217.73	
四月	8	高山溪	7.97	17.87	13.52	28.27	14.82	7.95	4.93	195.60	
四月	9	有勝溪	6.22	26.92	18.13	18.73	10.54	8.96	4.79	306.73	
		平均	**12.29**	**28.02**	**13.66**	**30.24**	**22.69**	**8.03**	**4.88**	**222.52**	
七月	1	桃山北溪	6.83	10.24	14.51	28.27	12.37	8.18	6.56	257.10	
七月	2	桃山西溪	10.47	30.80	14.71	39.07	79.04	7.98	6.54	158.21	
七月	3	二號壩	15.29	27.45	14.98	52.33	33.80	7.94	10.32	208.98	
七月	4	一號壩	16.40	30.00	16.45	41.53	27.42	8.23	12.25	227.60	
七月	5	繁殖場	22.47	30.28	16.87	31.93	41.67	8.13	6.52	204.97	
七月	6	萬壽橋	13.86	17.9	18.18	59.55	62.03	8.17	6.47	190.71	
七月	7	迎賓橋	28.18	36.05	18.40	46.57	25.66	8.12	6.45	221.58	
七月	8	高山溪	8.91	15.26	16.65	37.87	46.67	8.06	6.72	168.45	
七月	9	有勝溪	10.30	24.14	21.31	34.53	40.84	8.28	5.87	258.33	
七月	10	司界蘭上	0.00	0.00	17.98	42.00	43.41	8.06	7.49	228.17	
七月	11	司界蘭下	0.00	0.00	17.47	45.80	35.10	8.02	7.44	232.10	
		平均	**12.06**	**20.42**	**17.05**	**41.77**	**40.73**	**8.11**	**7.51**	**214.20**	

續表 8-1 本研究 2006 年各月份之棲地平均資料。

月份	樣區編號	樣區	水面寬度	河岸寬度	水溫	水深	流速	pH	DO	導電度	註解
八月	1	桃山北溪	5.23	9.53	14.29	38.27	10.36	7.99	*	267.83	DO 故障
八月	2	桃山西溪	10.50	29.00	14.03	35.00	18.03	7.75	*	*	DO 故障
八月	3	二號壩	14.90	23.83	15.44	34.86	28.18	7.68	*	225.86	DO 故障
八月	4	一號壩	17.58	31.52	15.20	37.73	29.85	7.77	*	238.80	DO 故障
八月	5	繁殖場	24.00	30.23	15.72	41.64	26.44	7.90	*	223.43	DO 故障
八月	6	萬壽橋	12.93	18.82	15.90	43.47	36.79	8.17	*	232.33	DO 故障
八月	7	迎賓橋	26.90	37.28	16.23	45.08	22.24	10.25	*	243.69	DO 故障
八月	8	高山溪	8.63	15.77	15.65	29.73	78.19	7.88	*	185.48	DO 故障
八月	9	有勝溪	8.96	26.92	17.32	30.53	20.23	7.74	*	278.87	DO 故障
		平均	**14.40**	**24.77**	**15.53**	**37.37**	**30.04**	**8.13**	*	**237.04**	
十月	1	桃山北溪	6.02	9.32	12.64	30.00	12.08	8.42	8.83	259.00	
十月	2	桃山西溪	11.07	24.70	12.65	44.33	18.06	7.99	9.27	168.27	
十月	3	二號壩	18.83	20.03	14.55	50.36	29.25	8.23	8.80	219.29	
十月	4	一號壩	15.65	27.37	14.54	38.87	29.29	8.05	9.20	234.40	
十月	5	繁殖場	23.03	28.07	15.09	46.07	20.15	8.26	9.19	217.39	
十月	6	萬壽橋	12.53	17.80	15.60	52.36	59.58	8.22	8.53	222.60	
十月	7	迎賓橋	28.35	32.55	15.72	48.75	20.73	8.17	8.31	230.00	
十月	8	高山溪	8.27	12.53	13.88	33.00	25.71	8.04	9.38	183.27	
十月	9	有勝溪	11.52	19.30	14.75	27.20	21.02	8.66	9.66	265.60	
		平均	**15.03**	**21.30**	**14.38**	**41.22**	**26.21**	**8.23**	**9.02**	**222.20**	
十二月	1	桃山北溪	15.73	9.10	12.71	35.13	22.55	8.49	7.33	268.73	
十二月	2	桃山西溪	9.67	21.23	10.60	38.87	6.17	8.16	8.11	162.93	
十二月	3	二號壩	23.45	30.70	12.72	46.50	17.34	8.25	7.59	227.54	
十二月	4	一號壩	12.10	17.57	12.65	48.87	29.15	8.36	7.68	213.80	
十二月	5	繁殖場	11.20	20.98	11.73	27.67	18.74	5.29	8.06	276.00	
十二月	6	萬壽橋	8.67	14.82	9.74	33.87	28.17	5.39	7.98	184.55	
十二月	7	迎賓橋	21.88	28.35	11.23	41.53	23.46	5.35	7.80	207.45	
十二月	8	高山溪	13.57	20.87	12.49	46.64	24.79	8.26	7.59	203.29	
十二月	9	有勝溪	14.67	25.53	12.27	40.33	27.93	5.68	7.52	214.60	
十二月	10	司界蘭上	12.30	29.10	12.42	31.00	42.58	8.68	7.59	250.40	
十二月	11	司界蘭下	21.00	29.20	13.23	31.25	54.38	5.27	7.43	253.00	
		平均	**14.93**	**22.50**	**11.98**	**38.33**	**26.84**	**7.02**	**7.70**	**223.84**	

表 8-2 本研究 2006 年之水域無脊椎動物資料。

月份	樣區編號		渦蟲 (*Dugesia* sp.)	蚯蚓 (*Eiseniella tetraedra*)	蚯蚓 (*Slavina*, *Pachydrilus*)	蜘蛛	水蠆	等足類	端足類	椎實螺	囊螺	扁捲	水蛭	馬陸	未知	非昆蟲總計
二月	2	桃山西溪					1									1
二月	3	二號壩			16		2	2								20
二月	4	一號壩			2		1									3
二月	5	繁殖場			1589											1589
二月	6	萬壽橋			623											623
二月	7	迎賓橋			1793		1	3								1797
二月	8	高山溪					1									1
二月	9	有勝溪	16	2	7	1										26
		總計	**16**	**2**	**4030**	**1**	**6**	**2**								**4057**
四月	1	桃山北		1		1	16								6	24
四月	2	桃山西					7		1							8
四月	3	二號壩					12								4	16
四月	4	一號壩		2		1	18		1						2	24
四月	5	繁殖場		4			40								3	47
四月	6	萬壽橋					5								1	6
四月	7	迎賓橋					3								7	10
四月	8	高山溪					17								2	19
四月	9	有勝溪	1	3			39								19	62
		總計	**1**	**10**		**2**	**157**		**2**						**44**	**216**
七月	1	桃山北	4		1		5	1						1		12
七月	2	桃山西					1									1
七月	3	二號壩					5			2		1				8
七月	4	一號壩					5		1		3	1			1	11
七月	5	繁殖場				1	4									5
七月	6	萬壽橋		1												1
七月	7	迎賓橋	2				4									6
七月	8	高山溪					1									1
七月	9	有勝溪	7		43		59									109
七月	10	司界蘭上							1							1
七月	11	司界蘭下														0
		總計	**13**	**1**	**44**	**1**	**84**	**1**	**2**	**2**	**3**	**2**		**1**	**1**	**155**

續表 8-2 本研究 2006 年之水域無脊椎動物資料。

月份	樣區編號		渦蟲 (*Dugesia* sp.)	蚯蚓 (*Eiseniella tetraedra*)	蚯蚓 (*Slavina*, *Pachydrilus*)	蜘蛛	水蠆	等足類	端足類	椎實螺	囊螺	扁捲	水蛭	馬陸	未知	非昆蟲總計
八月	1	桃山北	3			1	2	2								8
八月	2	桃山西														0
八月	3	二號壩														0
八月	4	一號壩					2	1								3
八月	5	繁殖場										1				1
八月	6	萬壽橋														0
八月	7	迎賓橋							2	1						3
八月	8	高山溪														0
八月	9	有勝溪	11	17			6						1			35
		總計	**14**	**17**		**1**	**10**	**3**	**2**	**1**		**1**	**1**			**50**
十月	1	桃山北	3				5									8
十月	2	桃山西					7									7
十月	3	二號壩	1				1									2
十月	4	一號壩					10									10
十月	5	繁殖場	2				7									9
十月	6	萬壽橋					7	1								8
十月	7	迎賓橋					14									14
十月	8	高山溪					5									5
十月	9	有勝溪	17	16	6		26									65
		總計	**23**	**16**	**6**		**82**	**1**								**128**
十二月	1	桃山北	1		1		6									8
十二月	2	桃山西				1	3									4
十二月	3	二號壩					10									10
十二月	4	一號壩	1		1		4					1				7
十二月	5	繁殖場					14		1	1						16
十二月	6	萬壽橋					1									1
十二月	7	迎賓橋					5		1							6
十二月	8	高山溪					2		2							4
十二月	9	有勝溪	26	3	79		6						1			115
十二月	10	司界蘭上					1									1
十二月	11	司界蘭下					1									1
		總計	**28**	**3**	**81**	**1**	**53**		**4**	**1**		**1**	**1**			
		全部總計	**95**	**49**	**4161**	**6**	**392**	**7**	**10**	**4**	**3**	**4**	**2**	**1**	**45**	**4779**

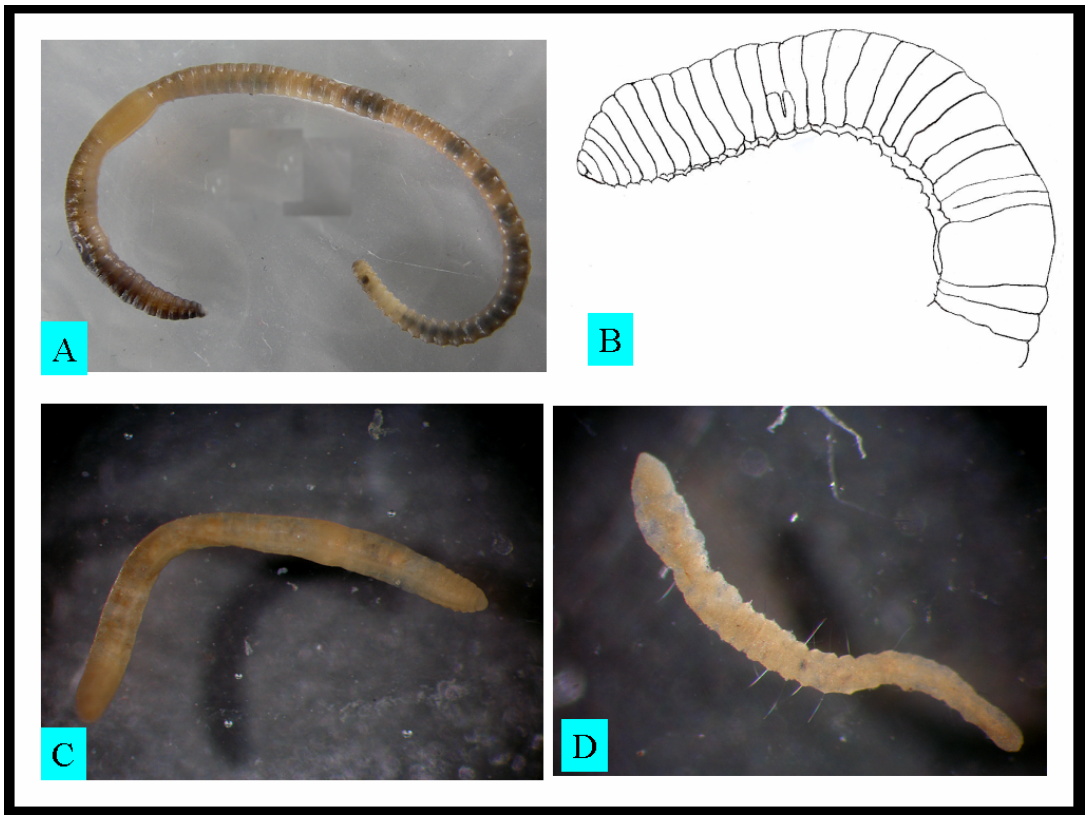


圖 8-1 本研究所採集之貧毛類。A, B, *Eiseniella tetraedra*; C, *Pachydrilus* sp.; D, *Slivina* sp.。

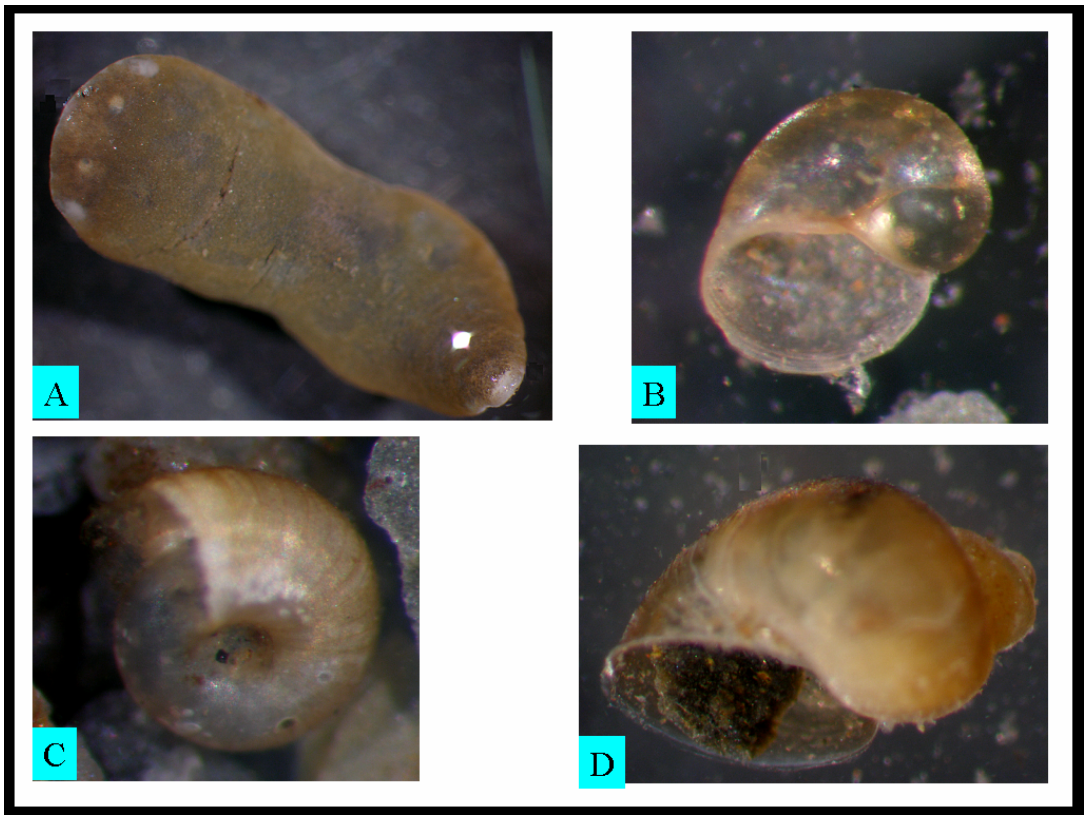


圖 8-2 本研究所採集之無脊椎動物。A, 渦蟲 (*Dugesia* sp.); B, D, 水生螺類囊螺 (*Physa* sp.); C, 盤螺 (*Valvata* sp.)。

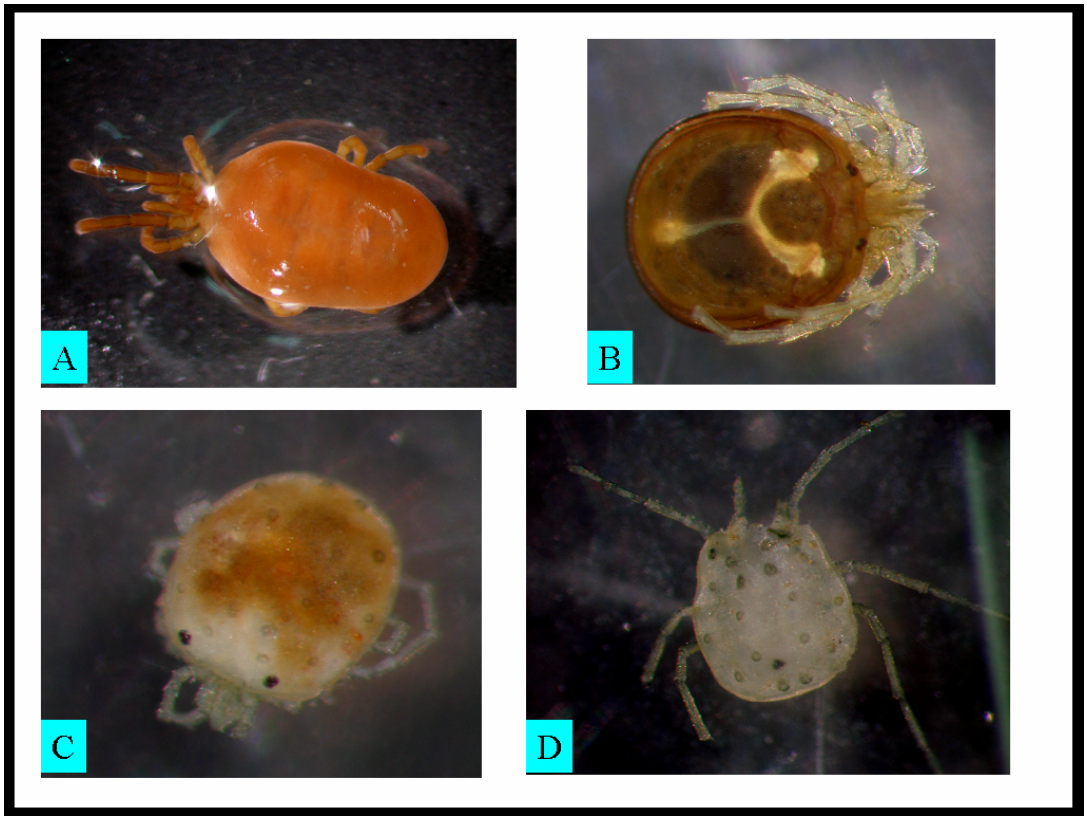


圖 8-3 本研究所採集之水蠵 (water mites)，具有不同之體色類型。



圖 8-4 本研究所採集之無脊椎動物。A, B 等足類 (isopods); C, D, 端足類 (amphipods)。

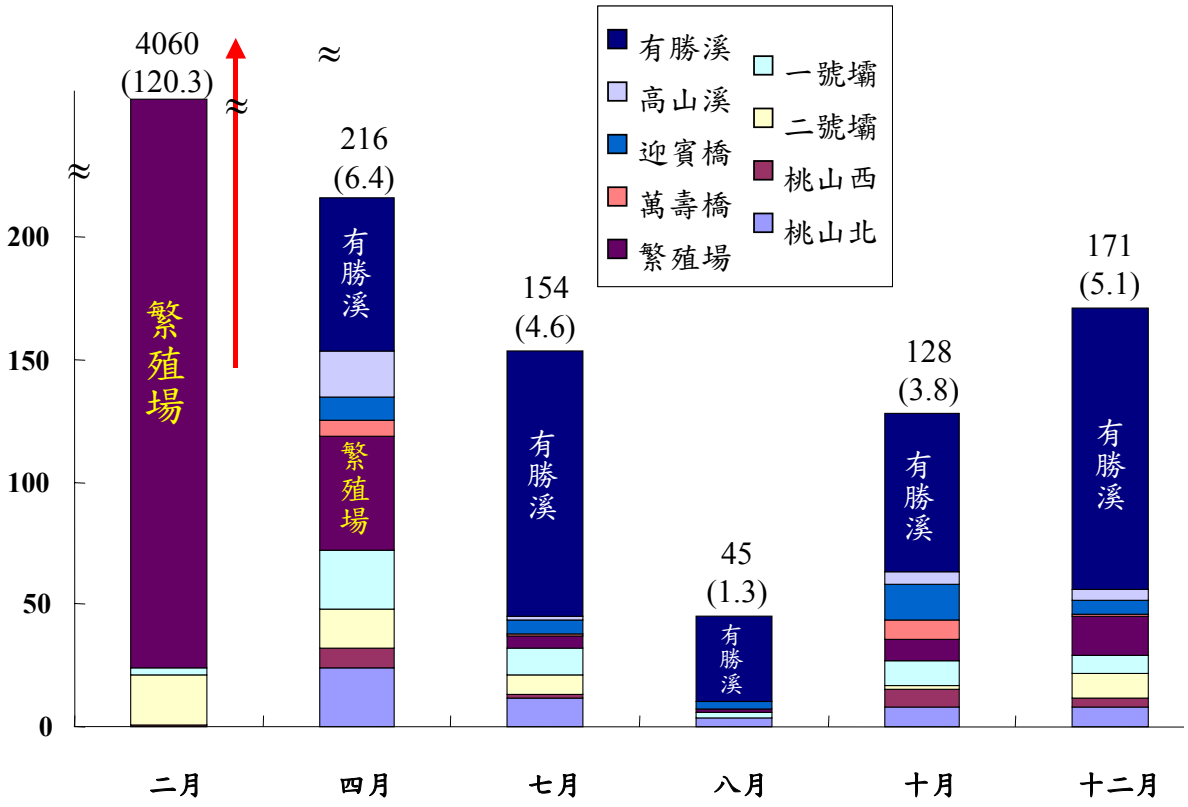


圖 8-5 本研究非昆蟲無脊椎動物之總個體數月變化。直條圖上方數字為該月份總個體數。

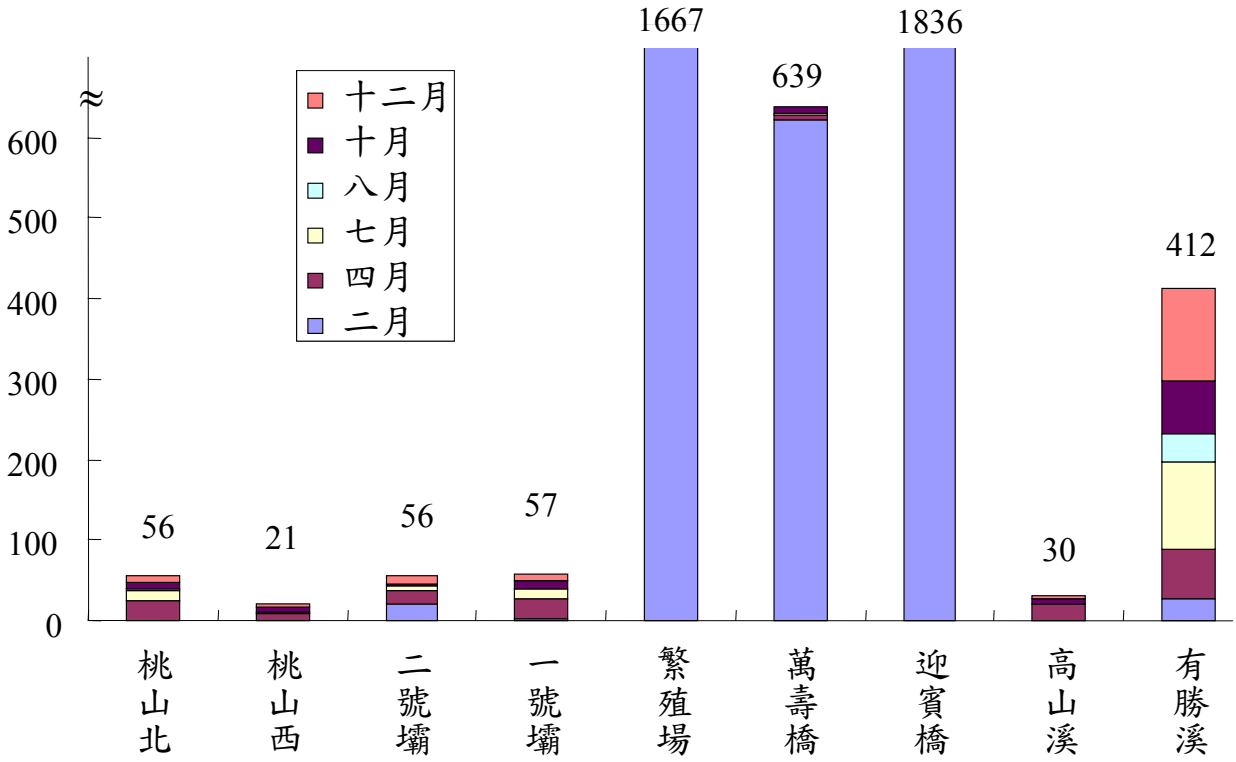


圖 8-6 本研究非昆蟲無脊椎動物之總個體在各樣區之變化變化。直條圖上方數字為該地區總個體數。

第九章　兩生爬蟲類研究

吳聲海、劉育志、蔡慧珊、張依鈞、黃繼瑩、楊雅惠、廖珠宏、蔡俊興、楊茵洳

國立中興大學生命科學系

摘要

2006 年兩生類研究集中於七家灣溪一號壩至三號壩間，以瞭解兩生類成體及蝌蚪之棲地需求及空間分佈。四月及六月均以盤古蟾蜍密度最高，十月則以梭德氏赤蛙最高。四月及六月只有梭德氏赤蛙的蝌蚪，到 10 月份才有 5 隻盤古蟾蜍蝌蚪。4 月各樣區的蝌蚪平均密度為 0 － 0.379 隻/m^2，6 月 44 條測線僅採到 2 隻梭德氏赤蛙的蝌蚪；10 月蝌蚪密度為 0 – 1.440 隻/m^2。

自 2005 年 4 月起至 2006 年 10 月，共記錄二科五種的蛇類，以紅斑蛇共 32 筆最多，另外阿里山龜殼花、臭青公、錦蛇及赤煉蛇各一隻。蛇類均在 4 月至 10 月捕到。2006 年整年僅捕到 1 隻短肢攀蜥。2006 年則共調查到小型哺乳類三目五科 13 種，包括翼手目 2 科 7 種 72 隻；嚙齒目兩科三種，食蟲目兩科三種。

Abstract

We conducted our studies of hatitat requirements and spatial distribution frogs and tadpoles between no. 1 and no. 3 dams in the Chijawan Creek in 2006. In April and June, Bufo bankorensis were the most numerous, whereas Rana sauteri reached highest density in October. Rana sauteri tadpoles were found in all sampling dates, only five B. bankorensis tadpoles were found in October. Tadpole densities in April ranged from 0 to 0.379 / m^2 among 44 transect lines at 22 sites, and were between 0 to 1.44 / m^2 in October; Only two R. sauteri tadpoles were collected in 44 transect lines.

Snakes belonging to two families and five species were collected between 2005 and 2006. Thirty-two were *Dinodon rufozonatum*, and four other species were represented by a single individual. All snakes were caught between April and October. Only a single lizard (*Japalura brevipes*) was collected in 2006. Thirteen species of small mammals were collected in 2006, including bats belonging to two families and seven species, three rodent species from two families, and three insectivore speices from two families.

一、前言

七家灣溪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，均非主要的研究對象，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；這與內溫動物（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、食物網更高階的掠食動物為食。

七家灣溪流域有三種主要的溪流兩生類。梭德氏赤蛙數量多，蝌蚪期近一年（賴，2002）；盤古蟾蜍成體大，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體型最大數量最多的草食動物，但溪流蝌蚪的研究卻極缺乏。

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，也可以改變這些動物的食性。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，亦可作為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。

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，可決定昆蟲多樣性及豐度，進而影響土壤中營養堆積的速度；更經由對昆蟲的捕食，而影響植物種類的分佈。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研究。

因此本研究的主要目的，即為瞭解兩生類各生活史階段的生物量變化、食性、聚集方式、及棲地喜好；並提供這些量化的資料作為建構溪流食物網及能量循環的基礎。

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，因此由去年（2005）開始，也針對研究地區所有蛇類，進行殖入晶片，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。

在過去兩年的調查中，也曾對濱水之哺乳類作調查，總共有三目八種，但數量不多。唯對濱水無脊椎動物有較大影響之翼手目種類及多樣性，則尚無資料。本年度一併加入研究內容。

二、材料與方法

(一) 研究地區

今年本計劃的研究測站設置在七家灣溪的一號壩至三號壩之間的溪段。全長約為 4 km。每 200 m 的溪段劃分為一樣區，總共 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編號 A-1 順序排列到最下游一號壩上的樣區編號 A-22。A-1 樣區至 A-8 樣區的溪段位於一號壩與二號副壩之間。A-7 樣區右岸即是湧泉池。A-17 樣區位於觀魚台。另外在司界蘭溪的上游樣區與下游各設置一個樣區，上游樣區兩岸為天然林，下游樣區位在農業區旁。

本年度調查與實驗分成數項，研究方法分述如下：

(二) 密度與生物量調查

1. 棲地調查

每一樣區（200m）的下游 100 m 與 200 m 處分別為樣區內兩條穿越線，穿越線彼此間隔的長度為 100 m。從一號壩至三號壩共設置 44 條測線，每條測線在日間測量一組水面寬、河岸寬、濱岸底石大小、水裡底石大小。於測線上溪水兩端及中央測量三組環境因子，包括水深、水流速、覆蓋度、pH、溶氧量、導電度等，平均後代表該測線之環境因子數值。每一樣區中兩條測線的環境因子平均後，代表該樣區的環境因子。

(1) 青蛙：

各樣區中選取下游 50 m 長的溪段，於夜間青蛙活動時間，沿兩岸溪畔以手電筒搜尋並徒手捕捉所有發現之青蛙，重複搜尋至抓不到青蛙為止。後由 2004 年四月至 2005 年八月蛙類捕捉紀錄發現左右岸發現的青蛙數無顯著差異 (Mann-Whitney test, U=1423, P>0.05)，且搜尋趟數為一次的青蛙個體數佔重複捕捉到完的平均比例為 79.8%，因此 2006 年開始只沿右岸搜尋蛙類，搜尋趟數為一次。由於 90%以上個體均在水邊 5 公尺範圍內，因此搜尋範圍為水邊 5 公尺內之所有個體（因此，本年度所有呈現的單位面積蛙類數量，乘以 3.785 後便可與前兩年資料比較）。所捕捉到之青蛙分辨種類及計算數量，並記錄性別、體長。記錄完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 + bLn(SVL)

其中 a 及 b 為係數，W 為體重，SVL 為吻肛長。

梭德氏赤蛙：Ln(W) = -8.273 + 2.685Ln(SVL)

盤古蟾蜍：Ln(W) = -9.371 + 3.056Ln(SVL)

斯文豪氏赤蛙：Ln(W) = -9.299 + 3.005Ln(SVL)

(2) 蝌蚪：

在每個樣區中選取兩條穿越線〈與測量棲地因子相同測線〉，每條穿越線 1 m 寬，以 D 型水撈網（BioQuip DR7412D；網框寬 32 cm，網目 20 * 24 mesh, 150 mm）將所有蝌蚪捉出，在穿越線中撈取一次的蝌蚪數佔重複撈取到完的平均比例為 68.9%，因此 2006 年開始在穿越線中只撈取一次（本年度所有呈現的蝌蚪密度，乘以 1.451 後便可與前兩年資料比較）。每次工作的樣本分別裝於容器中，分別計算數目、種類，並將所有蝌蚪固定保存，攜回實驗室後測量體長以及利用 2004 年實驗所得之最佳公式估計體重，並記錄發育期數。

(三) 資料分析

使用主成分分析法中相關矩陣(correlation matrix)，對 2006 年 4、6 與 10 月中 22 個樣區的 13 個環境因子進行樣區的時間與空間變異分析。來解釋不同季節與不同樣區間環境因子的變異。在進行主成分分析前，為符合常態分布的前提，3 個月份中各 22 個樣區的環境因子經刪除三筆有缺失值的資料(4 月的 A-09、A-20 與 6 月的 A-15)後，使用 Shapiro-Wilk test 測試 13 個環境因子是否符合常態分布(McGarigal et al., 2000)。不符合常態分布的環境因子，經轉換以達到或趨近常態分布後，再進一步使用主成分分析法。所有統計分析是在 Systat 10 軟體上進行。

(四) 蛇類與蜥蜴

春季至秋季在一號壩與三號壩間沿岸搜尋到的蛇類，以及在馬路上所發現的個體，均記錄種類、性別、生殖狀況、吻肛長、尾長、體重、肛溫等動物生理狀況；另以衛星定位儀定位，並測量氣溫、底質溫度，記錄週圍環境因子（覆蓋度、底質成份、樹木及植被類型等），最後注射晶片後釋放。

清晨與下午之時沿著往桃山瀑布的步道，與從管理站到武陵山莊的道路，以步行方式沿路搜尋蜥蜴，發現的個體均予以記錄種類、性別、生殖狀況、吻肛長、尾長、體重，帶回實驗室予以安樂死，取組織放置在 99.5%的酒精，以 10%的

福馬林固定成標本。

(五) 哺乳類

蝙蝠類以網在各溪段捕捉，於辨認種類測量後釋放。陸地之嚙齒目及食蟲目以 Ugglan 與 Sherman 氏捕鼠器活捉。於 2006 年 7 月 21-23 日佈置陷阱在武陵農場的七個樣點，分別是雪山登山口、露營區往雪山登山口的路上、果五區、露營區、果三區、果二區與兆豐橋茶園一帶。於雪山登山口放置 6 個 Sherman 捕鼠器與 65 個 Ugglan 捕鼠器。露營區往雪山登山口的路上共放置了 10 個 Ugglan 捕鼠器。果五區放置了 58 個 Ugglan 捕鼠器。露營區共放置了 20 個 Ugglan 捕鼠器。果三區共放置 40 個 Ugglan 捕鼠器。果二區共放置了 19 個 Ugglan 捕鼠器。兆豐橋茶園一帶共放 66 個 Ugglan 捕鼠器。

三、結果與討論

(一) 環境因子

2006 年 4、6 與 10 月由上游三號壩至下游一號壩 22 個樣區的 13 項環境因子之描述性統計如表 9-1、表 9-2 與表 9-3。在上下游環境因子的變化趨勢上，4、6 與 10 月的導電度有由上游至下游有增加的趨勢（表 9-3）。

Shapiro-Wilk test 顯示 13 個環境因子只有水面寬、水裡底石平均、濱岸底石平均、濱岸底石變異度符合常態分布（表 9-4）。9 個不符合常態分布的環境因子，經轉換後以符合或趨近常態分布。水深、流速、水裡底石變異度、溶氧量與導電度，經對數(log)轉換後均符合常態分布；覆蓋度經開根後也符合常態分布。河岸寬與水溫經排序(rank)轉換，而酸鹼度保持原始數值。

前三個主成分可解釋 56.13%的變異，其中第一主成分可解釋 25.56%，第二主成分可解釋 17.49%的變異，第三主成分可解釋 13.09%的變異（表 9-5）。在前三個主成分中選取因子的負荷量在±0.60 以上，用來解釋各主成分軸的生態意義。當某因子的負荷量大於 0.63 或小於-0.63，該因子可用來解釋主成分軸的生態意義 (McGarigal et al., 2000)。第一主成分中流速、水裡底石平均、濱岸底石平均的成份負荷量分別是 0.613、0.781、0.741（表 9-5）；第二主成份中覆蓋度與水溫的成份負荷量分別是 0.689、0.663（表 9-5）；第三主成分中溶氧量的成份負荷量是 0.709（表 9-5）。所有樣區在不同月份間可看出明顯分成三群（圖 9-1、圖 9-2、圖 9-3），4 月的樣區集中在左下角，代表該月份水流速、水裡底石大小平均與濱岸底石大小平均都偏小，而 10 月份的樣區集中在右上，6 月的樣區則夾在 4 月與 10 月的樣區間，顯示底石大小與流速在七家灣溪不同季節間是很重要的環境影響因子。而同一月份不同樣區在主成分第二軸上呈現較大擴散(比起第一軸)，顯示覆蓋度與水溫因子用來解釋同一月份不同樣區間的環境差異是有代表性（圖 9-1）。同一月份不同樣區在上下游沒有呈現規律縱向或橫向分布，顯示七家灣溪一號壩至三號壩的各溪段間的環境因子變化是不連續的。

(二) 密度與生物量調查：

1. 青蛙：

在一號壩與三號壩之間共採集到 4 種蛙類，分別為梭德氏赤蛙、盤古蟾蜍、斯文豪氏赤蛙、莫氏樹蛙。莫氏樹蛙只在 4 月採集到一隻個體，以下不予敘述。

4 月梭德氏赤蛙、盤古蟾蜍與斯文豪氏赤蛙的平均密度分別是 0.008、0.005 與 0.0009 隻/m^2（或 2.09、1.36 與 0.23 隻/樣區）（表 9-6）；6 月分別是分別是 0.017、0.009、0.0004 隻/m^2（4.23、2.18 與 0.09 隻/樣區（表 9-7）；10 月分別是 0.046、0.0017、0.0010 隻/m^2（11.48、0.24 與 0.43 隻/樣區）（表 9-8）。每樣區蛙類密度在 4-10 月有增加之趨勢，分別是 0.015 隻/m^2、0.026 隻/ m^2 與 0.049 隻/ m^2（表 9-6、表 9-7、表 9-8、圖 9-4）。

司界蘭溪上、下游樣區在 6 月的蛙類密度分別是 0.144、0.128 隻/ m^2，10 月分別是 0.188、0.404 隻/m^2，在所有調查月份，司界蘭溪的蛙類密度都高於七家灣溪的蛙類密度（4、6 與 10 月分別為 0.015、0.026 與 0.049 隻/m^2）（表 9-6、表 9-7、表 9-8）。10 月司界蘭溪上游及下游樣區的梭德氏赤蛙密度比 6 月高(6 月 0.108、0.020 隻/m^2；10 月 0.180、0.388 隻/m^2）。而盤古蟾蜍密度則由 6 月的 0.036（上游）、0.100 （下游）隻/m^2 下降到 10 月 0.004、0.012 隻/m^2。司界蘭溪的梭德氏赤蛙與盤古蟾蜍密度在月份間的變化與七家灣溪是一致的。

在 4 月，七家灣溪的梭德氏赤蛙、盤古蟾蜍與斯文豪氏赤蛙平均生物量分別為 0.028、 0.126 與 0.040g/m^2（表 9-9）；6 月為 0.044、0.165 與 0.013 g/m^2（表 9-10）；10 月梭德氏赤蛙、盤古蟾蜍與斯文豪氏赤蛙平均樣區生物量分別為 0.149、0.019 與 0.062 g/m^2（表 9-11）。盤古蟾蜍平均樣區生物量在 4、6 月為最高，梭德氏赤蛙則是在 10 月為最高（圖 9-5）。司界蘭溪上、下游樣區在 6、10 月蛙類生物量（6 月 1.501、2.402 g/m^2；10 月 0.849、0.926 g/m^2）都比七家灣溪高（表 9-10、表 9-11）。6 月盤古蟾蜍生物量最高，10 月則是梭德氏赤蛙最高（表 9-10、表 9-11）。

4、6 與 10 月梭德氏赤蛙的雌雄比例分別為 1 : 21.5、1 : 8.2 與 1 : 29；盤古蟾蜍分別為 1 : 0.81、1 : 0.17 與 1 : 0.33；而斯文豪氏赤蛙分別為 0 : 5、0 : 2 與 1 : 0.29（表 9-6、表 9-7、表 9-8）。在 6 月夜晚調查過程中，均發現梭德氏赤蛙與盤古蟾蜍抱對，在二號壩與桃山北溪也發現梭德氏赤蛙的卵塊。10 月梭德氏赤蛙配對數較多，在 22 個樣區中，有 6 個樣區各發現有一對抱對個體，盤古蟾蜍則沒有發現抱對個體。

以體型來看，雄性梭德氏赤蛙在七家灣樣區間無顯著差異($F = 0.938_{21,294}$, $p > 0.05$)（圖 9-6）。雄盤古蟾蜍($F = 0.640_{12,6}$, $p > 0.05$)（圖 9-7）及雌蟾蜍吻肛

長在七家灣溪各樣區間均無顯著差異($F = 1.480_{14,34}$, $p > 0.05$)（圖 9-8）。

2. 蝌蚪：

2006 年 4、6 月在一號壩與三號壩之間，所有樣區只採集到梭德氏赤蛙的蝌蚪，到 10 月份才有採集到 5 隻盤古蟾蜍蝌蚪。4 月各樣區的蝌蚪平均密度為 0 — 0.379 隻/m^2，蝌蚪平均生物量為 0 — 0.293 g/m^2（表 9-12）。6 月 44 條測線僅採到 2 隻梭德氏赤蛙的蝌蚪(表 9-13)。10 月各樣區的蝌蚪平均密度為 0 – 1.440 隻/m^2，蝌蚪平均生物量為 0 – 0.368 g/m^2（表 9-14）。

4 月份所撈取到的梭德氏赤蛙蝌蚪的平均全長為 32.33（± 6.44） mm （圖 9-9），平均發育期數為 32.17（± 4.43）（圖 9-10）。10 月份七家灣溪樣區所撈取到的梭德氏赤蛙蝌蚪的平均全長為 19.21（± 6.09 mm）（圖 9-9），平均發育期數為 26.08（± 0.63）（圖 9-10）；10 月司界蘭溪梭德氏赤蛙蝌蚪的平均全長為 26.08（± 5.28） mm，平均發育期數為 26.61（± 1.27）。

4 月七家灣溪二號副壩下游樣區的梭德氏赤蛙蝌蚪平均生物量顯著大於上游樣區($F = 8.811_{1,20}$, $p = 0.008$)（圖 9-11），在 10 月下游樣區亦高於上游樣區，但統計上不顯著($F = 2.228_{1,20}$, $p > 0.05$)（圖 9-11）。在二號副壩上游 9 個樣區與下游 13 個樣區的環境因子差異上，4 月份環境因子中只有濱岸底石大小平均（$F = 4.823_{1,40}$, $p < 0.05$）、水溫（$F = 10.514_{1,38}$, $p < 0.01$）與導電度（$F = 11.945_{1,39}$, $p < 0.01$）有顯著差異。而 10 月份水溫（$F = 32.834_{1,41}$, $p<0.001$）與導電度（$F = 129.490_{1,41}$, $p<0.001$）兩個因子有差異。因此從環境因子與梭德氏赤蛙蝌蚪生物量在二號副壩上游與下游樣區的差異來看，造成梭德氏赤蛙蝌蚪生物量在二號副壩上下游有差異，濱岸底石大小、水溫與導電度是重要環境因子。2005 年夏季二號副壩至三號壩共計 72 尾鮭魚，一號壩至二號副壩 356 尾；秋季二號副壩至三號壩共計 59 尾，一號壩至二號副壩量 119 尾（曾，2005）。若由櫻花鉤吻鮭與蝌蚪之呈負相關來看，因為櫻花鉤吻鮭會捕食梭德氏赤蛙的蝌蚪（吳，個人觀察），，且鮭魚在二號副壩上下游溪段也有數量差異，因此鮭魚有可能是造成在蝌蚪二號副壩下游蝌蚪較少的原因。

(三) 蛇類與蜥蜴

自 2005 年 4 月起至 2006 年 10 月，共有 36 筆活體蛇類的捕捉記錄。其中紅斑蛇（*Dinodon rufozonatum*）共有 32 筆，另外 4 筆為阿里山龜殼花（*Ovophis monticola*）、臭青公（*Elaphe carinata*）、錦蛇（*Elaphe taeniura*）及赤煉蛇

（*Rhabdophis tigrinus*）。除了赤煉蛇與臭青公外，其他都是在夜間捕捉到。2005 年 4 月、6 月、7 月、8 月及 10 月皆有捕捉記錄；2006 年 4 月、6 月、7 及 10 月有捕捉記錄。在可辨別性別的捕捉記錄中，紅斑蛇捕獲雌性個體 15 隻，吻肛長 53.60 ± 12.14 cm (n = 14)，體重 73.20 ± 34.35 g (n = 9)，其中 2 隻懷孕個體，分別在 2005 年 7 月及 10 月捕獲；雄性個體 9 隻，吻肛長 66.00 ± 14.39 cm，體重 140.60 ± 94.63 g (n = 8)，未性成熟個體 3 隻，吻肛長 29.80 ± 9.12 cm，體重 13.70 ± 9.80 g。阿里山龜殼花為雄性，體長目測約為 60 cm。錦蛇為雄性，吻肛長 138.5 cm，體重超過 1000 g。赤煉蛇為雌性，吻肛長 86.5 cm，體重 194 g。臭青公為幼體，吻肛長 34.5 cm，體重 29.5 g。至目前尚無再捕獲的個體。

紅斑蛇發現地點分為公路柏油地及河岸岩石地兩種，阿里山龜殼花與錦蛇出現在公路柏油地，赤煉蛇則在扁柏林底被發現。所有蛇類捕獲時的氣溫在 14.4 - 20.4˚C 之間，底質溫度變化在 14.5 - 29.0˚C 之間，蛇肛溫在 16.1 - 31.3˚C 之間。

在 15 筆有效的捕捉記錄中（有效記錄指完整記錄肛溫、底質溫度及氣溫三種資料，包括 14 筆紅斑蛇與 1 筆錦蛇），9 筆的蛇肛溫及底質溫度均大於氣溫，12 筆的底質溫度高於氣溫；14 筆蛇隻肛溫高於氣溫，其中 3 筆肛溫高於底質溫度。顯示夜間蛇類會出現在暖和的底質上。

在 6 月份八個人花 1 天，僅在兆豐橋捕捉到 1 隻雌性短肢攀蜥，由調查努力量來看，武陵農場蜥蜴密度低。而在往司界蘭溪的步道上也發現一隻雌性短肢攀蜥。

(四) 哺乳類

2006 年上半年調查，蝙蝠類共採得 2 科 7 種 72 隻（表 9-15）；囓齒目三種，食蟲目三種（表 9-16）。

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、謝莉顒 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。

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

McGarigal K, Cushman SA, Stafford S (2000) Multivariate Statistics for Wildlife and Ecology Research. Springer Verlag, New York, New York, USA.

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 2006 年 4、6 與 10 月一號壩至三號壩與司界蘭溪各樣區水面寬、溪寬、水深與流速（平均值±標準差）。

	水面寬(m)			溪寬(m)			水深(m)			流速(cm/s)		
	4 月	6 月	10 月	4 月	6 月	10 月	4 月	6 月	10 月	4 月	6 月	10 月
A-01	6.80±0.99	9.5	9.97	9.20±1.84	10.8	12.4	0.71±0.06	0.83	0.52	50.00±0.19	110.33	68.33
A-02	12.18±5.90	13.95±5.73	12.85±5.87	28.05±2.05	27.70±2.40	25.00±1.41	0.27±0.14	0.53±0.01	0.41±0.09	65.00±1.88	61.17±42.66	84.00±0.00
A-03	15.20±1.70	22.15±4.74	16.45±2.47	34.65±0.78	37.80±0.99	29.00±4.24	0.25±0.04	0.40±0.06	0.33±0.04	21.50±7.78	55.67±2.35	67.92±6.48
A-04	11.75±3.32	13.15±1.91	11.90±0.14	26.00±5.52	25.50±7.21	24.00±1.41	0.22±0.01	0.53±0.04	0.31±0.08	40.00±11.78	69.75±3.42	86.84±5.42
A-05	13.10±6.36	14.25±6.58	10.15±3.18	32.35±10.96	31.93±9.93	29.00±16.97	0.26±0.11	0.38±0.21	0.34±0.04	21.00±0.95	65.00±27.34	60.17±12.02
A-06	21.33±9.02	18.90±11.74	14.40±7.21	32.30±14.28	28.15±14.35	28.00±12.73	0.21±0.11	0.45±0.11	0.39±0.15	48.84±23.81	71.50±36.06	69.17±30.41
A-07	10.18±4.78	13.23±2.79	11.20±2.97	28.72±1.53	24.50±1.70	30.50±4.95	0.29±0.16	0.46±0.02	0.45±0.13	59.83±4.95	72.17±3.06	53.50±11.55
A-08	9.65±0.49	6.85±2.62	9.1	25.65±1.91	19.50±0.71	24.00±1.41	0.17±0.09	0.53±0.18	0.45±0.06	52.84±4.01	171.50±135.06	94.84±51.15
A-09	5.9	8.3	10.4	27.1	32	27	0.38	0.52±0.23	0.64±0.21	107.33	125.50±31.11	97.75±9.55
A-10	11.45±1.48	14.75±2.47	11.45±0.64	31.55±22.42	35.00±18.38	19.55±2.90	0.28±0.03	0.78±0.33	0.57±0.30	45.67±11.79	89.00±30.41	54.67±30.64
A-11	10.30±1.56	15.93±4.84	13.55±3.46	21.60±3.68	26.00±9.90	29.05±15.06	0.36±0.04	0.42±0.16	0.38±0.03	38.34±23.57	41.92±4.83	63.00±14.61
A-12	12.55±1.48	17.70±6.08	12.30±0.42	25.40±0.85	29.00±7.07	24.55±0.78	0.28±0.01	0.66±0.08	0.48±0.01	45.00±5.66	75.00±31.82	70.84±4.01
A-13	9.20±0.00	16.60±3.11	11.40±0.57	33.05±196.90	32.60±22.06	21.95±5.87	0.27±0.04	0.47±0.11	0.40±0.06	38.17±15.79	61.59±22.04	103.17±5.89
A-14	11.90±2.40	13.70±0.29	13.90±0.85	28.64±3.31	29.85±4.46	32.30±7.50	0.31±0.02	0.46±0.08	0.42±0.04	31.50±7.78	63.59±5.54	70.00±29.23
A-15	10.00±1.41	/	14.20±0.85	25.55±6.29	25.00±2.83	24.05±3.18	0.43±0.07	0.67±0.25	0.61±0.30	26.84±17.20	67.25±67.53	35.84±22.39
A-16	10.20±4.67	16.26±3.90	15.20±4.10	39.75±12.09	32.95±0.49	35.90±6.22	0.35±0.05	0.43±0.06	0.39±0.04	46.84±7.30	56.34±26.40	91.33±9.90
A-17	10.95±0.92	13.21±6.64	15.45±3.89	36.10±21.07	27.21±2.26	34.25±12.37	0.40±0.14	0.36±0.04	0.49±0.11	73.00±16.02	32.75±19.45	72.83±0.71
A-18	12.79±5.53	16.30±2.12	14.80±0.99	29.29±15.29	28.55±11.38	21.80±2.40	0.34±0.13	0.42±0.08	0.47±0.11	25.84±2.60	45.34±8.01	47.84±26.64
A-19	7.80±0.99	12.10±0.71	20.35±12.52	22.60±3.96	22.70±5.80	29.80±16.83	0.31±0.11	0.47±0.04	0.41±0.15	50.17±15.32	50.59±12.85	55.67±23.57
A-20	11.10±7.21	11.90±2.83	11.50±2.55	92.40±94.05	64.10±62.08	32.25±13.79	0.35±0.05	0.50±0.10	0.38±0.01	24.17±1.18	67.17±22.39	68.17±27.58
A-21	10.10±1.27	11.83±3.29	11.15±1.77	88.00±32.53	19.55±3.46	21.90±5.94	0.26±0.03	0.42±0.13	0.37±0.17	30.17±4.01	58.67±17.44	76.33±2.83
A-22	5.75±3.32	8.62±1.24	14.90±7.50	50.85±21.43	46.87±22.81	31.50±4.95	0.52±0.16	0.40±0.02	0.33±0.03	48.83±6.36	50.50±8.24	70.00±7.54
司上	/	10.15±0.21	6.70±3.24	/	80.33±52.73	8.87±5.38	/	0.53±0.13	0.30±0.03	/	105.22±27.53	107.00±34.77
司下	/	14.57±4.94	14.60±6.79	/	30.80±6.61	27.13±6.14	/	0.45±0.17	0.33±0.08	/	84.56±49.57	78.11±39.40

表 9-2　2006 年 4、6 與 10 月一號壩至三號壩與司界蘭溪各樣區覆蓋度、水裡底石大小平均、水裡底石大小變異度、濱岸底石大小平均與濱岸底石大小變異度（平均值±標準差）。

	覆蓋度(%)			水裡底石平均			水裡底石標準差			濱岸底石平均			濱岸底石標準差		
	4 月	6 月	10 月	4 月	6 月	10 月	4 月	6 月	10 月	4 月	6 月	10 月	4 月	6 月	10 月
A-01	41.58±13.63	66.41	57.03	4.6±0.2	5.6	5.9	1.5±0.5	0.6	0.3	4.6±0.5	5.7	5.9	1.4±0.6	0.5	0.3
A-02	15.54±11.29	27.69±17.92	28.30±16.08	5.4±0.6	5.0±0.2	5.6±0.1	0.5±0.1	1.3±0.0	0.8±0.1	5.6±0.4	5.2±0.1	5.6±0.1	0.6±0.4	1.2±0.1	0.8±0.0
A-03	12.42±2.95	31.16±14.98	25.35±1.35	4.7±0.3	4.5	4.8±0.2	0.8±0.2	0.9	0.9±0.0	5.0±0.1	4.4	4.9±0.3	0.9±0.0	1.1	0.9±0.0
A-04	7.77±2.02	18.75±2.70	15.15±0.06	4.6±0.2	5.2±0.8	5.0±0.6	0.9±0.1	0.9±0.1	0.7±0.2	4.8±0.1	4.9±0.9	5.3±0.4	1.1±0.2	1.4±0.1	0.8±0.2
A-05	13.37±7.98	22.18±0.31	24.91±1.97	4.9±0.6	4.9±0.5	6.8±0.9	0.9±0.1	0.7±0.1	0.8±0.2	4.6±0.4	4.5±0.5	4.6±0.5	0.8±0.1	1.1±0.5	0.7±0.3
A-06	10.29±0.67	13.06±9.39	17.54±0.25	4.8±0.6	4.1±0.0	5.5±0.4	1.1±0.1	1.4±0.2	0.6±0.3	4.7±0.5	3.5±0.5	5.1±0.2	1.2±0.1	1.6±0.2	1.0±0.1
A-07	6.99±0.55	18.14±10.68	18.71±1.04	4.5±0.8	4.9±1.1	5.4±0.0	0.9±0.1	0.9±0.3	0.8±0.1	4.3±0.4	4.8±0.8	5.0±0.2	0.9±0.2	1.0±0.1	1.0±0.0
A-08	0.78	16.02±11.97	17.19±19.52	5.4	5.9±0.1	5.9±0.1	0.7	0.2±0.2	0.2±0.2	5.5	5.7±0.1	5.7±0.1	0.6	0.7±0.0	0.8±0.1
A-09	/	51.63±31.95	51.70±11.97	4.5	4.2	4.4	1.1	0.4	0.5	4.5	3.4	4.3	1.1	1.2	0.6
A-10	31.29±38.24	35.17±40.91	49.91±46.16	4.4±0.1	4.8±0.5	5.3±0.8	1.0±0.0	0.8±0.3	0.5±0.2	4.4±0.1	4.5±0.3	4.9±0.4	1.4±0.2	1.5±0.1	0.8±0.1
A-11	4.73±2.02	26.98±4.82	13.98±9.21	4.1±0.6	5.3	5.2±0.2	0.9±0.0	0.5	0.8±0.1	4.5±0.6	5.3	5.2±0.3	1.0±0.0	0.7	0.9±0.1
A-12	8.25±11.42	5.01±3.59	18.41±17.43	4.7±0.8	5.2±0.4	5.5±0.5	0.9±0.1	0.9±0.0	0.6±0.3	5.0±0.1	5.0±0.2	5.4±0.6	0.9±0.0	1.3±0.5	0.7±0.3
A-13	14.59±2.82	31.43±3.57	30.69±17.37	4.7±1.0	4.9±0.6	5.3±0.1	0.3±0.4	0.7±0.1	0.8±0.0	4.8±0.5	4.6±1.0	5.1±0.1	0.9±0.2	1.0±0.5	0.9±0.1
A-14	17.62±2.57	46.40±2.64	42.11±10.92	4.5±0.0	5.4±0.0	4.7±0.0	1.0±0.3	0.5±0.0	1.1±0.3	5.0±0.4	5.2±0.1	5.0±0.1	0.9±0.1	0.9±0.1	1.0±0.1
A-15	28.26±2.88	42.45±0.74	47.27±3.63	4.7±0.5	5	4.6±0.0	1.0±0.4	0.8	1.1±0.3	5.2±0.5	5.3	4.9±0.6	0.9±0.1	0.6	1.0±0.1
A-16	19.32±13.20	41.32±11.67	35.12±6.20	5.1±1.0	4.3±0.3	5.2±0.6	0.9±0.7	0.5±0.3	0.8±0.1	4.1±0.4	4.3±0.3	4.6±0.4	1.8±0.2	0.6±0.2	1.2±0.4
A-17	6.47±3.87	14.37±8.78	15.80±1.97	5.1±0.1	5.0±0.4	5.3±0.0	1.0±0.2	0.8±0.1	0.9±0.1	4.8±0.6	5.2±0.2	5.2±0.3	1.0±0.0	0.7±0.1	1.0±0.4
A-18	38.54±13.01	53.35±17.37	55.56±17.19	3.8±1.5	4.3±0.4	4.5±0.6	1.0±0.1	0.7±0.0	0.5±0.3	3.5±1.2	3.9±0.4	4.4±0.6	1.4±0.1	1.1±0.4	1.0±0.3
A-19	13.89±13.14	24.27±18.84	46.36±31.18	4.5±0.7	4.8±1.1	5.2±0.1	0.6±0.9	0.7±0.1	0.8±0.0	4.4±0.4	4.8±0.8	5.2±0.1	1.0±1.0	0.7±0.1	0.9±0.1
A-20	27.00±36.58	43.45±41.19	41.24±28.97	3.8±0.7	4.4±0.1	5.1±0.5	1.4±0.3	1.0±0.4	0.8±0.1	3.8±0.4	3.9±0.4	5.1±0.4	1.5±0.2	1.1±0.4	0.8±0.1
A-21	18.93±3.19	37.24±0.86	41.32±2.09	4.1±0.2	4.8±0.2	5.2±0.2	0.9±0.1	1.2±0.3	0.9±0.3	4.0±0.1	4.9±0.1	5.2±0.3	0.8±0.1	1.2±0.0	0.8±0.1
A-22	37.98±31.49	49.22±29.59	27.78±1.47	4.0±0.7	4.1±0.1	4.4±0.3	1.7±0.3	0.3±0.4	0.7±0.4	3.8±0.5	4.4±0.1	4.2±0.1	0.8±0.7	1.2±0.6	0.5±0.3
司上	/	42.42±21.53	44.38±32.60	/	4.5±0.1	4.4±0.3	/	0.5±0.0	0.5±0.5	/	4.3±0.0	4.4±0.2	/	1.1±0.1	0.6±0.3
司下	/	82.79±21.33	77.93±19.08	/	4.7±0.3	4.8±0.4	/	0.6±0.1	1.0±0.8	/	4.7±0.1	4.6±0.2	/	0.7±0.2	0.8±0.3

表 9-3　2006 年 4、6 與 10 月一號壩至三號壩與司界蘭溪各樣區水溫、酸鹼度、溶養量與導電度（平均值±標準差）。

	水溫(℃)			酸鹼度			溶養量(mg/l)			導電度 (μs/cm)		
	4 月	6 月	10 月	4 月	6 月	10 月	4 月	6 月	10 月	4 月	6 月	10 月
A-01	12.03±0.16	14.54	12.79	7.555±0.502	7.930	8.224	11.47±1.33	12.06	9.89	172.17±0.37	174.77	194.80
A-02	12.32±.0.08	14.10±0.08	12.83±0.00	7.830±0.170	7.975±0.290	8.381±0.094	9.99±0.23	11.06±0.19	10.25±1.06	172.95±0.07	148.35±38.72	194.37±0.62
A-03	11.90±0.23	15.04±0.06	13.17±0.07	7.385±0.106	7.730±0.057	8.362±0.144	10.18±1.68	10.49±0.09	9.11±0.50	178.12±4.79	180.84±3.91	202.24±0.55
A-04	11.70±0.37	15.40±0.18	13.48±0.12	8.050±0.636	8.115±0.233	8.421±0.008	10.72±0.34	10.64±0.12	9.74±0.37	177.53±0.71	181.48±1.63	201.84±0.23
A-05	12.12±0.06	14.27±0.08	14.40±0.03	7.155±0.247	7.250±0.000	8.409±0.071	10.49±1.07	11.99±1.49	9.61±0.16	180.74±2.60	180.58±1.03	205.67±0.94
A-06	13.25±0.11	14.43±0.16	14.74±0.24	8.440	7.680±0.269	8.390±0.148	10.50±0.65	12.33±0.11	9.70±0.44	187.72±3.32	187.94±17.59	211.00±7.54
A-07	13.06±0.05	14.46±0.07	14.37±0.16	8.635±0.898	7.520±0.240	8.131±0.072	11.67±2.86	11.32±0.57	9.18±0.28	183.95±0.88	189.97±1.22	215.50±1.65
A-08	12.59	14.70±0.10	14.25±0.03	8.025±0.318	7.615±0.148	8.033±0.035	10.50±0.95	14.88±0.20	9.29±2.76	181.13±11.35	189.60±5.94	219.00±1.41
A-09	11.92	15.14±0.05	14.20±0.10	/	7.795±0.389	8.289±0.246	13.79	11.77±0.08	10.35±1.49	187.70	187.25±7.99	215.50±6.36
A-10	12.10±0.09	15.80±0.03	14.45±0.13	7.360	8.175±0.361	8.207±0.209	10.94±0.04	12.21±0.06	9.11±0.47	187.49±2.67	195.60±4.17	221.67±0.47
A-11	12.31±0.21	14.55±0.17	14.94±0.29	7.105±0.389	7.480±0.028	8.869±0.176	10.60±1.14	11.32±0.06	8.96±1.11	188.87±0.33	192.48±3.57	222.00±0.00
A-12	13.55±0.22	14.50±0.00	15.14±0.01	7.175±0.516	7.270±0.071	8.268±0.076	14.19±2.41	12.45±0.79	8.97±0.49	178.70±15.70	190.55±7.21	232.84±10.13
A-13	13.73±0.06	14.77±0.21	15.01±0.21	7.380±0.523	7.190±0.071	8.267±0.069	13.72±0.25	12.16±0.35	9.11±1.06	163.79±4.22	203.17±1.65	230.84±1.65
A-14	13.64±0.06	15.44±0.31	14.56±0.21	8.975±1.011	7.760±0.085	8.340±0.169	12.99±3.25	12.03±0.38	8.74±0.32	197.61±0.76	201.22±5.82	231.34±2.35
A-15	13.18±0.29	15.83±0.06	14.08±0.20	7.820±0.042	7.705±0.573	8.182±0.044	11.83±2.41	13.00±0.45	9.24±0.72	197.12±0.54	202.58±0.60	233.00±0.47
A-16	12.71±0.13	15.50±0.10	14.57±0.16	7.445±0.615	7.120±0.085	8.201±0.076	9.53±0.35	11.20±0.14	11.13±1.37	194.40±0.28	182.55±39.29	232.67±2.35
A-17	12.78±0.14	15.50±0.69	14.92±0.15	7.230±0.297	7.600±0.269	8.098±0.013	14.13±3.57	12.65±0.46	9.96±0.16	192.84±2.07	206.67±1.41	233.34±0.47
A-18	12.79±0.24	14.66±0.14	15.23±0.08	8.230±0.481	7.120±0.141	8.127±0.025	11.27±1.12	12.82±1.31	9.76±0.57	187.21±10.10	203.77±1.27	233.84±0.23
A-19	12.48±0.06	14.95±0.08	15.70±0.19	8.610±0.184	7.490±0.057	8.392±0.244	11.66±0.88	10.34±0.74	9.73±0.20	195.50±1.41	205.65±1.92	233.00±0.00
A-20	/	16.60±0.17	15.60±0.27	/	7.740±0.891	8.125±0.093	/	10.34±0.21	10.74±0.45	/	210.40±3.68	234.84±2.60
A-21	13.77±0.20	15.68±0.23	14.89±0.25	7.195±0.064	7.305±0.092	8.161±0.034	10.17±0.08	10.78±0.80	9.37±1.48	194.02±1.20	213.00±0.95	235.33±0.00
A-22	12.41±0.83	14.94±0.43	14.46±0.00	6.915±0.134	7.180±0.028	8.235±0.093	9.73±0.04	11.49±0.46	10.75±0.25	198.38±0.05	211.67±1.89	236.84±1.18
司上	/	16.89±0.11	15.60±0.07	/	7.420±0.069	8.062±0.105	/	11.42±1.19	9.98±0.72	/	219.94±2.71	248.22±5.10
司下	/	18.07±0.04	16.49±0.05	/	7.265±0.148	8.092±0.060	/	10.76±0.28	8.88±0.40	/	225.84±0.23	251.78±2.55

表 9-4　2006 年 4、6 與 10 月一號壩至三號壩 13 個環境因子常態分佈測試（已刪除三筆有缺失值的樣區，粗體代表 p<0.05）。

	SW Statistic	p
水面寬	0.972	0.163
溪寬	**0.759**	**0.000**
水深	**0.952**	**0.016**
流速	**0.905**	**0.000**
覆蓋度	**0.958**	**0.031**
水裡底石平均	0.986	0.671
水裡底石變異度	**0.958**	**0.029**
濱岸底石平均	0.977	0.274
濱岸底石變異度	0.980	0.384
水溫	**0.951**	**0.014**
酸鹼度	**0.957**	**0.027**
溶氧量	**0.951**	**0.014**
導電度	**0.955**	**0.021**

表 9-5　2006 年 4、6 與 10 月一號壩至三號壩 13 個環境因子在前三個主成分軸的負荷量以及各軸可解釋的總變異數的比例。

環境因子	PC axes		
	1	2	3
水面寬	-0.111	0.331	-0.366
河岸寬	-0.515	0.300	-0.145
水深	0.363	0.512	0.530
流速	0.613	0.257	0.317
覆蓋度	0.267	0.689	0.212
水裡底石平均	0.781	-0.330	0.008
水裡底石覆蓋度	-0.545	0.181	-0.313
濱岸底石平均	0.741	-0.491	-0.072
濱岸底石覆蓋度	-0.547	0.383	0.051
水溫	0.412	0.663	0.093
酸鹼度	0.477	0.049	-0.544
溶氧量	-0.313	-0.185	0.709
導電度	0.465	0.515	-0.454
佔總變異度之比例	25.555	17.487	13.087

表 9-6　2006 年 4 月一號壩至三號壩各樣區蛙數目及密度（隻/m^2）。

	梭德氏赤蛙				盤古蟾蜍				斯文豪氏赤蛙				莫氏樹蛙				全部總數	密度
樣區	雄	雌	幼	總數	雄	雌	幼	總數	雄	雌	幼	總數	雄	雌	幼	總數		
A-01	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.008
A-02	0	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0.012
A-03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A-04	5	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0.02
A-05	1	0	1	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0.012
A-06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A-07	3	0	0	3	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0.024
A-08	1	0	0	1	2	0	0	2	1	0	0	1	0	0	0	0	4	0.016
A-09	3	1	0	4	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0.020
A-10	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.004
A-11	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2	0.008
A-12	7	0	0	7	1	0	1	2	0	0	0	0	1	0	0	1	10	0.040
A-13	3	0	0	3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0.016
A-14	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0.012
A-15	2	0	0	2	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	4	0.016
A-16	1	0	0	1	1	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0.016
A-17	0	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0.012
A-18	4	1	0	5	2	3	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0.040
A-19	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.004
A-20	1	0	0	1	0	2	0	2	2	0	0	2	0	0	0	0	5	0.020
A-21	3	0	0	3	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0.016
A-22	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0.012
總數	43	2	1	46	13	16	1	30	5	0	0	5	1	0	0	1	82	
平均	1.95	0.09	0.05	2.09	0.59	0.73	0.05	1.36	0.23	0	0	0.23	0.05	0	0	0.05	3.73	0.015

表 9-7　2006 年 6 月一號壩至三號壩與司界蘭溪各樣區蛙數目及密度（隻/m^2）。

	梭德氏赤蛙				盤古蟾蜍				斯文豪氏赤蛙				莫氏樹蛙				全部總數	密度
樣區	雄	雌	幼	總數	雄	雌	幼	總數	雄	雌	幼	總數	雄	雌	幼	總數		
6 月																		
A-01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	/	/	/	/	0	0
A-02	4	1	1	6	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0.028
A-03	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.008
A-04	2	1	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0.020
A-05	9	1	2	12	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0.056
A-06	4	0	3	7	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0.032
A-07	3	0	10	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0.052
A-08	2	0	5	7	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	8	0.032
A-09	2	0	2	4	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0.020
A-10	1	1	9	11	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0.048
A-11	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.008
A-12	1	0	7	8	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	10	0.040
A-13	1	0	0	1	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0.012
A-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A-15	2	0	1	3	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0.020
A-16	1	0	0	1	1	4	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0.024
A-17	1	0	2	3	0	1	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0.024
A-18	1	0	2	3	0	11	1	12	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0.060
A-19	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.004
A-20	1	0	0	1	1	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0.016
A-21	0	0	0	0	0	3	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0.016
A-22	4	0	1	5	0	1	7	8	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0.052
總數	41	5	47	93	5	30	13	48	2	0	0	2	0	0	0	0	143	
平均	1.86	0.23	2.14	4.23	0.23	1.36	0.59	2.18	0.09	0	0	0.09	0	0	0	0	6.5	0.026
司上	25	2	0	27	1	8	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	36	0.144
司下	4	1	0	5	19	5	1	25	1	1	0	2	0	0	0	0	32	0.128

表 9-8　2006 年 10 月一號壩至三號壩與司界蘭溪各樣區蛙數目及密度（隻/m^2)。

10 月	梭德氏赤蛙				盤古蟾蜍				斯文豪氏赤蛙				莫氏樹蛙				全部總數	密度
樣區	雄	雌	幼	總數	雄	雌	幼	總數	雄	雌	幼	總數	雄	雌	幼	總數		
A-01	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
A-02	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0.012
A-03	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.008
A-04	10	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0.040
A-05	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.008
A-06	7	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0.028
A-07	6	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0.024
A-08	4	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0.016
A-09	18	1	1	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0.080
A-10	20	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0.080
A-11	11	1	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0.048
A-12	8	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0.032
A-13	11	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0.044
A-14	10	0	0	10	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	11	0.044
A-15	11	2	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0.052
A-16	16	1	0	17	0	0	0	0	0	6	0	6	0	0	0	0	23	0.092
A-17	25	1	0	26	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0.112
A-18	20	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0.080
A-19	23	1	0	24	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0.100
A-20	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	2	0	0	0	0	3	0.012
A-21	8	0	0	8	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0.040
A-22	17	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0.068
總數	232	8	1	241	1	3	1	5	2	7	0	9	0	0	0	0	255	
平均	11.05	0.38	0.05	11.48	0.05	0.14	0.05	0.24	0.10	0.33	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	12.14	0.049
司上	38	2	5	45	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	47	0.188
司下	30	0	67	97	2	1	0	3	1	0	0	1	0	0	1	1	101	0.404

表 9-9　2006 年 4 月一號壩至三號壩各樣區各種成蛙平均吻肛長(mm)、平均體重(g)、生物量(g/m^2)；及樣區生物量(g/m^2)（所有種類合計）。

測站	種類	隻數	平均體長	平均體重	生物量	樣區生物量
A-01	盤古蟾蜍	1	63.11	27.0	0.108	0.124
A-01	梭德氏赤蛙	1	35.68	3.9	0.016	
A-02	盤古蟾蜍	3	60.04±12.81	25.4±15.4	0.305	0.305
A-03	/	0	/	/	/	/
A-04	梭德氏赤蛙	5	33.42±1.51	3.3±0.4	0.066	0.066
A-05	盤古蟾蜍	1	76.09	47.8	0.191	0.212
A-05	梭德氏赤蛙	2	30.84±2.29	2.7±0.5	0.021	
A-06	/	0	/	/	/	/
A-07	盤古蟾蜍	3	56.88±1.73	19.7±1.9	0.236	0.277
A-07	梭德氏赤蛙	3	34.00±1.75	3.4±0.5	0.041	
A-08	盤古蟾蜍	2	53.50±2.06	16.3±1.9	0.131	0.298
A-08	梭德氏赤蛙	1	34.47	3.6	0.014	
A-08	斯文豪氏赤蛙	1	74.18	38.2	0.153	
A-09	盤古蟾蜍	1	59.26	22.3	0.089	0.163
A-09	梭德氏赤蛙	4	37.60±5.23	4.6±1.8	0.074	
A-10	盤古蟾蜍	1	63.28	27.2	0.109	0.109
A-11	梭德氏赤蛙	1	31.27	2.7	0.011	0.171
A-11	斯文豪氏赤蛙	1	75.33	40.0	0.160	
A-12	盤古蟾蜍	2	36.29±7.70	5.3±3.3	0.043	0.142
A-12	梭德氏赤蛙	7	34.33±1.66	3.5±0.5	0.099	
A-12	莫氏樹蛙	1	42.68			
A-13	盤古蟾蜍	1	41.20	7.3	0.029	0.070
A-13	梭德氏赤蛙	3	33.75±2.10	3.4±0.6	0.041	
A-14	梭德氏赤蛙	3	33.33±0.73	3.3±0.2	0.039	0.039
A-15	盤古蟾蜍	1	59.31	22.3	0.089	0.325
A-15	梭德氏赤蛙	2	30.17±0.11	2.5±0.0	0.020	
A-15	斯文豪氏赤蛙	1	83.28	54.0	0.216	
A-16	梭德氏赤蛙	1	32.39	3.0	0.012	0.277
A-16	盤古蟾蜍	3	59.04±2.69	22.1±3.1	0.265	
A-17	盤古蟾蜍	3	61.72±7.86	26.1±10.6	0.313	0.313
A-18	梭德氏赤蛙	5	31.83±2.38	2.9±0.6	0.058	0.609
A-18	盤古蟾蜍	5	62.75±7.72	27.6±10.4	0.551	
A-19	梭德氏赤蛙	1	30.88	2.7	0.011	0.011
A-20	盤古蟾蜍	2	65.04±9.07	30.5±12.7	0.244	0.597
A-20	斯文豪氏赤蛙	2	77.03±3.42	42.9±5.7	0.343	
A-20	梭德氏赤蛙	1	29.84	2.4	0.010	
A-21	盤古蟾蜍	1	55.45	18.2	0.073	0.113
A-21	梭德氏赤蛙	3	33.51±2.48	3.3±0.7	0.040	
A-22	梭德氏赤蛙	3	32.39±1.37	3.0±0.3	0.036	0.036
平均	/	/	/	/	/	0.194

表 9-10　2006 年 6 月一號壩至三號壩各樣區各種成蛙平均吻肛長(mm)、平均體重(g)、生物量(g/m^2)及樣區生物量(g/m^2)（所有種類合計）。

測站	種類	隻數	平均體長	平均體重	生物量	樣區生物量
A-01	/	/	/	/	/	/
A-02	盤古蟾蜍	1	50.55	13.7	0.055	0.157
A-02	梭德氏赤蛙	6	34.58±11.34	4.3±2.8	0.102	
A-03	梭德氏赤蛙	2	42.41±8.92	6.5±3.5	0.052	0.052
A-04	梭德氏赤蛙	5	30.12±15.49	3.7±4.0	0.073	0.073
A-05	盤古蟾蜍	2	65.99±7.42	31.6±10.6	0.252	0.425
A-05	梭德氏赤蛙	12	33.09±8.62	3.6±1.8	0.173	
A-06	盤古蟾蜍	1	45.68	10.1	0.040	0.110
A-06	梭德氏赤蛙	7	27.17±11.27	2.5±2.0	0.070	
A-07	梭德氏赤蛙	13	19.98±9.10	1.2±1.6	0.063	0.063
A-08	梭德氏赤蛙	7	21.25±9.16	1.3±1.5	0.038	0.147
A-08	斯文豪氏赤蛙	1	66.41	27.4	0.109	
A-09	盤古蟾蜍	1	50.54	13.7	0.055	0.095
A-09	梭德氏赤蛙	4	27.17±12.47	2.5±2.4	0.041	
A-10	盤古蟾蜍	1	64.22	28.5	0.114	0.192
A-10	梭德氏赤蛙	11	20.68±12.79	1.8±3.5	0.078	
A-11	盤古蟾蜍	1	45.85	10.2	0.041	0.059
A-11	梭德氏赤蛙	1	38.26	4.7	0.019	
A-12	斯文豪氏赤蛙	1	76.62	42.1	0.168	0.373
A-12	盤古蟾蜍	1	73.89	43.7	0.175	
A-12	梭德氏赤蛙	8	18.29±8.10	0.9±1.5	0.030	
A-13	盤古蟾蜍	2	55.74±15.36	20.7±15.8	0.165	0.195
A-13	梭德氏赤蛙	1	45.21	7.4	0.029	
A-14	/	0	/	/	/	/
A-15	盤古蟾蜍	2	49.24±23.67	17.2±19.4	0.138	0.168
A-15	梭德氏赤蛙	3	27.92±11.15	2.5±1.8	0.030	
A-16	盤古蟾蜍	5	56.73±4.39	19.8±4.5	0.396	0.413
A-16	梭德氏赤蛙	1	37.08	4.3	0.017	
A-17	盤古蟾蜍	3	38.28±22.09	10.3±14.3	0.123	0.141
A-17	梭德氏赤蛙	3	21.14±11.68	1.4±1.9	0.017	
A-18	盤古蟾蜍	12	54.30±14.05	20.5±16.2	0.983	1.003
A-18	梭德氏赤蛙	3	23.29±10.95	1.7±2.0	0.020	
A-19	盤古蟾蜍	1	68.54	34.7	0.139	0.139
A-20	盤古蟾蜍	3	58.08±6.44	21.5±6.7	0.258	0.268
A-20	梭德氏赤蛙	1	30.25	2.5	0.010	
A-21	盤古蟾蜍	4	50.72±12.23	15.7±9.4	0.251	0.251
A-22	盤古蟾蜍	8	38.28±14.32	8.7±13.5	0.278	0.339
A-22	梭德氏赤蛙	5	30.93±8.94	3.0±1.5	0.060	
平均	/	/	/	/	/	0.222
司上	盤古蟾蜍	9	64.28±9.18	30.2±12.8	1.087	1.501
司上	梭德氏赤蛙	27	35.31±2.32	3.8±0.7	0.414	
司下	盤古蟾蜍	25	54.82±7.23	18.5±7.6	1.849	2.402
司下	梭德氏赤蛙	5	37.28±5.95	4.6±2.1	0.092	
司下	斯文豪氏赤蛙	2	84.14±12.95	57.7±25.9	0.462	

表 9-11　2006 年 10 月一號壩至三號壩各樣區各種成蛙平均吻肛長(mm)、平均體重(g)、生物量(g/m^2)及樣區生物量(g/m^2)（所有種類合計）。

測站	種類	隻數	平均體長	平均體重	生物量	樣區生物量
A-01	/	/	/	/	/	/
A-02	梭德氏赤蛙	3	30.15±0.87	2.5±0.2	0.030	0.030
A-03	梭德氏赤蛙	2	31.95±1.34	2.9±0.3	0.023	0.023
A-04	梭德氏赤蛙	10	32.51±1.37	3.0±0.3	0.122	0.122
A-05	梭德氏赤蛙	2	31.95±1.34	2.9±0.3	0.023	0.023
A-06	梭德氏赤蛙	7	31.96±1.85	2.9±0.5	0.082	0.082
A-07	梭德氏赤蛙	6	31.51±1.27	2.8±0.3	0.067	0.067
A-08	梭德氏赤蛙	4	32.35±1.68	3.0±0.4	0.048	0.048
A-09	梭德氏赤蛙	20	32.88±5.46	3.3±1.6	0.266	0.266
A-10	梭德氏赤蛙	20	32.91±1.47	3.2±0.4	0.252	0.252
A-11	梭德氏赤蛙	12	34.78±3.69	3.7±1.2	0.179	0.179
A-12	梭德氏赤蛙	8	32.26±2.36	3.0±0.6	0.096	0.096
A-13	梭德氏赤蛙	11	32.31±1.57	3.0±0.4	0.132	0.132
A-14	斯文豪氏赤蛙	1	60.20	40.0	0.160	0.295
A-14	梭德氏赤蛙	10	33.64±3.06	3.4±0.8	0.135	
A-15	梭德氏赤蛙	13	34.73±4.25	3.7±1.3	0.195	0.195
A-16	斯文豪氏赤蛙	6	58.82±15.38	27.7±20.7	0.665	0.892
A-16	梭德氏赤蛙	17	33.39±3.31	3.3±1.0	0.227	
A-17	盤古蟾蜍	2	41.26±19.36	9.9±11.0	0.079	0.412
A-17	梭德氏赤蛙	26	33.03±2.26	3.2±0.7	0.333	
A-18	梭德氏赤蛙	20	33.12±1.78	3.2±0.5	0.257	0.257
A-19	盤古蟾蜍	1	74.70	45.2	0.181	0.492
A-19	梭德氏赤蛙	24	33.04±3.35	3.2±1.0	0.312	
A-20	梭德氏赤蛙	1	40.25	5.4	0.022	0.492
A-20	斯文豪氏赤蛙	2	78.98±13.82	58.8±29.3	0.470	
A-21	梭德氏赤蛙	8	33.05±0.85	3.2±0.2	0.102	0.245
A-21	盤古蟾蜍	2	55.08±3.01	17.9±3.0	0.143	
A-22	梭德氏赤蛙	17	33.36±2.51	3.3±0.6	0.224	0.224
平均	/	/	/	/	/	0.230
司上	梭德氏赤蛙	45	32.19±7.14	3.2±1.3	0.585	0.849
司上	盤古蟾蜍	1	20.19	0.8	0.003	
司上	斯文豪氏赤蛙	1	88.73	65.4	0.262	
司下	梭德氏赤蛙	97	20.4±9.38	1.3±1.5	0.509	0.926
司下	斯文豪氏赤蛙	1	76.55	42.0	0.168	
司下	盤古蟾蜍	3	57.43±6.51	20.8±7.1	0.249	
司下	莫氏樹蛙	1	30.12			

表 9-12　2006 年 4 月各樣區蝌蚪總數、平均全長(mm)、平均濕重(g)、樣區平均密度(隻/m^2)、樣區平均生物量(g/m^2)。

樣區	種類	總數	平均全長	平均濕重	平均密度	平均生物量
A-01	/	0	/	/	0	0
A-02	梭德氏赤蛙	1	33.60	0.495	0.031	0.062
A-03	梭德氏赤蛙	1	38.95	0.806	0.031	0.049
A-04	/	0	/	/	0	0
A-05	/	0	/	/	0	0
A-06	梭德氏赤蛙	5	29.98±4.45	0.362±0.158	0.106	0.039
A-07	梭德氏赤蛙	4	32.85±6.76	0.510±0.253	0.220	0.121
A-08	/	0	/	/	0	0
A-09	/	0	/	/	0	0
A-10	梭德氏赤蛙	2	27.40±1.41	0.254±0.043	0.080	0.041
A-11	梭德氏赤蛙	4	24.10±12.77	0.319±0.476	0.218	0.138
A-12	梭德氏赤蛙	4	39.013±4.72	0.843±0.305	0.174	0.293
A-13	梭德氏赤蛙	6	32.49±8.47	0.543±0.462	0.326	0.177
A-14	梭德氏赤蛙	2	35.05±0.35	0.570±0.019	0.074	0.084
A-15	梭德氏赤蛙	7	33.71±3.45	0.517±0.168	0.379	0.196
A-16	梭德氏赤蛙	2	31.50±2.97	0.407±0.124	0.037	0.048
A-17	梭德氏赤蛙	7	32.69±3.73	0.471±0.159	0.334	0.159
A-18	梭德氏赤蛙	5	29.21±6.73	0.362±0.247	0.203	0.069
A-19	梭德氏赤蛙	1	35.45	0.591	0.070	0.083
A-20	/	0	/	/	0	0
A-21	梭德氏赤蛙	2	36.48±0.60	0.649±0.035	0.091	0.118
A-22	梭德氏赤蛙	1	37.50	0.711	0.062	0.088
平均	/	/	/	/	/	0.080

表 9-13　2006 年 6 月各樣區蝌蚪總數、平均全長(mm)、平均濕重(g)、樣區平均密度(隻/m^2)、樣區平均生物量(g/m^2)。

樣區	種類	總數	平均全長	平均濕重	平均密度	平均生物量
A-01	/	0	/	/	0	0
A-02	/	0	/	/	0	0
A-03	/	0	/	/	0	0
A-04	/	0	/	/	0	0
A-05	/	0	/	/	0	0
A-06	梭德氏赤蛙	1	31.07	0.382	0.019	0.014
A-07	梭德氏赤蛙	1	24.06	0.165	0.033	0.011
A-08	/	0	/	/	0	0
A-09	/	0	/	/	0	0
A-10	/	0	/	/	0	0
A-11	/	0	/	/	0	0
A-12	/	0	/	/	0	0
A-13	/	0	/	/	0	0
A-14	/	0	/	/	0	0
A-15	/	0	/	/	0	0
A-16	/	0	/	/	0	0
A-17	/	0	/	/	0	0
A-18	/	0	/	/	0	0
A-19	/	0	/	/	0	0
A-20	/	0	/	/	0	0
A-21	/	0	/	/	0	0
A-22	/	0	/	/	0	0
平均	/	/	/	/	/	0.001
司上	/	0	/	/	0	0
司下	/	0	/	/	0	0

表 9-14　2006 年 10 月各樣區蝌蚪總數、平均全長(mm)、平均濕重(g)、樣區平均密度(隻/m^2)、樣區平均生物量(g/m^2)。

測站	種類	總數	平均全長	平均濕重	平均密度	平均生物量
A-01	梭德氏赤蛙	5	17.85±4.65	0.076±0.076	0.502	0.038
A-02	梭德氏赤蛙	10	16.78±1.90	0.052±0.019	0.322	0.017
A-03	梭德氏赤蛙	42	17.46±4.60	0.075±0.095	1.154	0.087
A-03	盤古蟾蜍	5	18.41±3.20	0.071±0.035	0.137	0.010
A-04	梭德氏赤蛙	4	15.89±2.20	0.044±0.019	0.169	0.007
A-05	梭德氏赤蛙	8	20.71±7.58	0.150±0.175	0.369	0.050
A-06	梭德氏赤蛙	4	18.29±3.01	0.072±0.038	0.131	0.008
A-07	/	0	/	/	0	0
A-08	/	0	/	/	0	0
A-09	梭德氏赤蛙	4	20.14±5.73	0.114±0.106	0.385	0.044
A-10	梭德氏赤蛙	5	18.08±2.75	0.069±0.035	0.214	0.015
A-11	梭德氏赤蛙	6	16.13±3.73	0.052±0.034	0.201	0.011
A-12	梭德氏赤蛙	9	14.53±3.04	0.036±0.025	0.365	0.013
A-13	梭德氏赤蛙	7	19.28±6.95	0.117±0.138	0.300	0.035
A-14	梭德氏赤蛙	11	20.22±4.54	0.111±0.102	0.395	0.043
A-15	梭德氏赤蛙	4	19.88±2.54	0.092±0.042	0.135	0.012
A-16	梭德氏赤蛙	16	18.77±4.17	0.087±0.086	0.442	0.039
A-17	梭德氏赤蛙	39	18.04±3.18	0.072±0.051	1.440	0.103
A-18	梭德氏赤蛙	31	22.45±11.35	0.366±1.344	1.016	0.368
A-19	梭德氏赤蛙	25	21.12±4.95	0.132±0.126	0.771	0.084
A-20	梭德氏赤蛙	26	19.19±5.38	0.106±0.145	1.047	0.114
A-21	梭德氏赤蛙	11	20.07±5.80	0.120±0.126	0.525	0.061
A-22	梭德氏赤蛙	7	26.81±7.30	0.290±0.205	0.337	0.104
平均	/	/	/	/	/	0.057
司上	梭德氏赤蛙	8	31.32±4.39	0.417±0.164	0.334	0.135
司下	梭德氏赤蛙	78	25.54±5.09	0.231±0.159	1.784	0.403

表 9-15　2006 年調查之武陵地區翼手目動物名錄（資料由李玲玲老師與方引平老師提供）。

中文名	學名[b]	特有性[c]	地點[d]	總共數量	調查者[e]	文獻回顧[f]
蹄鼻蝠科	**Rhinolophidae**					
台灣小蹄鼻蝠	*Rhinolophus monoceros*	◎	D	38	李、方	#6
台灣大蹄鼻蝠	*R. formosae*	◎	B	1	方	#7
蝙蝠科	**Vespertilionidae**					
寬耳蝠	*Barbastella leucomelas*			1	李	#1#6
台灣長耳蝠	*Plecotus taivanus*	◎				#1#6
台灣黃頸蝠	*Arielulus torquatus*	◎				#1
鼠耳蝠 sp. 1[a]	*Myotis* sp. 1	?	AD	24	李、方	#1#3
鼠耳蝠 sp. 2[a]	*M.* sp. 2	?				#3
寬吻鼠耳蝠	*M. latirostris*	◎	B	2	李、方	#6
姬管鼻蝠	*Murina gracilis*		B	3	方	
台灣管鼻蝠	*M. puta*		BCDE	3	方	#4
金芒管鼻蝠	*Harpiola isodon*	◎				#5

a 學名仍待確認。

b 管鼻蝠類蝙蝠學名參考郭浩志(2004)及 Kuo, et. al (2006)，鼠耳蝠屬蝙蝠學名參考周政翰(2004)，其他種類參考林良恭等(2004)。

c ◎代表台灣特有種，○代表台灣特有亞種，?表示特有性未知。

d 調查地點代號：A 為高山溪-億年橋工寮旁 (281579，2694518；1722M)、B. 為億年橋旁工寮步道 (281516，2693351；1707M)

C.武陵農場收費站前斜坡下 (281877，2693113；1751 M)、D.武陵農場收費站前大甲溪(有勝溪) (281877，2693113；1751M)

E.台七甲 52.5k，近香菇橋

e 本次調查點在溪流或是溪流附近的森林。

f 文獻回顧代號

#1 林良恭、李玲玲和鄭錫奇，2004。台灣的蝙蝠 再版。國立自然科學博物館。

#2 何英毅、邱珍和李玲玲，未發表資料

#3 周政瀚 (2004) 台灣地區鼠耳蝠屬分類學研究。私立東海大學生物學研究所碩士論文。

#4 郭浩志 (2004) 台灣地區管鼻蝠屬系統分類學研究。國立台灣大學生態學與演化生物學研究所碩士論文。

#5Kuo, H. C., Y. P. Fang, G. Csorba and L. L. Lee (2006). The definition of *Harpiola* (Vespertilionidae: Murininae) and the description of a new species from Taiwan.

#6 鄭錫奇，未發表資料，2006。

表 9-16　2006 年調查之武陵地區食蟲目與嚙齒目動物名錄（資料由于宏燦與林雨德老師提供）。

中文名	學名	地點[a]	總共數量
食蟲目	**Insectivora**		
短尾鼩	*Anourosorex squamipes*	AEF	6
長尾麝鼩	*Crocidura kurodai*	ADF	25
台灣煙尖鼠	*Soriculus fumidus*	BC	4
嚙齒目	**Rodentia**		
森鼠	*Apodemus semotus*	ACDEF	26
黑腹絨鼠	*Eothenomys melanogaster*	ACDEF	12
巢鼠	*Micromys minutus*	ABCDEFG	90

a 調查地點代號：A.雪山登山口 B.露營區往雪山登山口的路上；C.果五區 D.露營區 E.果三區 F.果二區 G.兆豐橋茶園一帶。

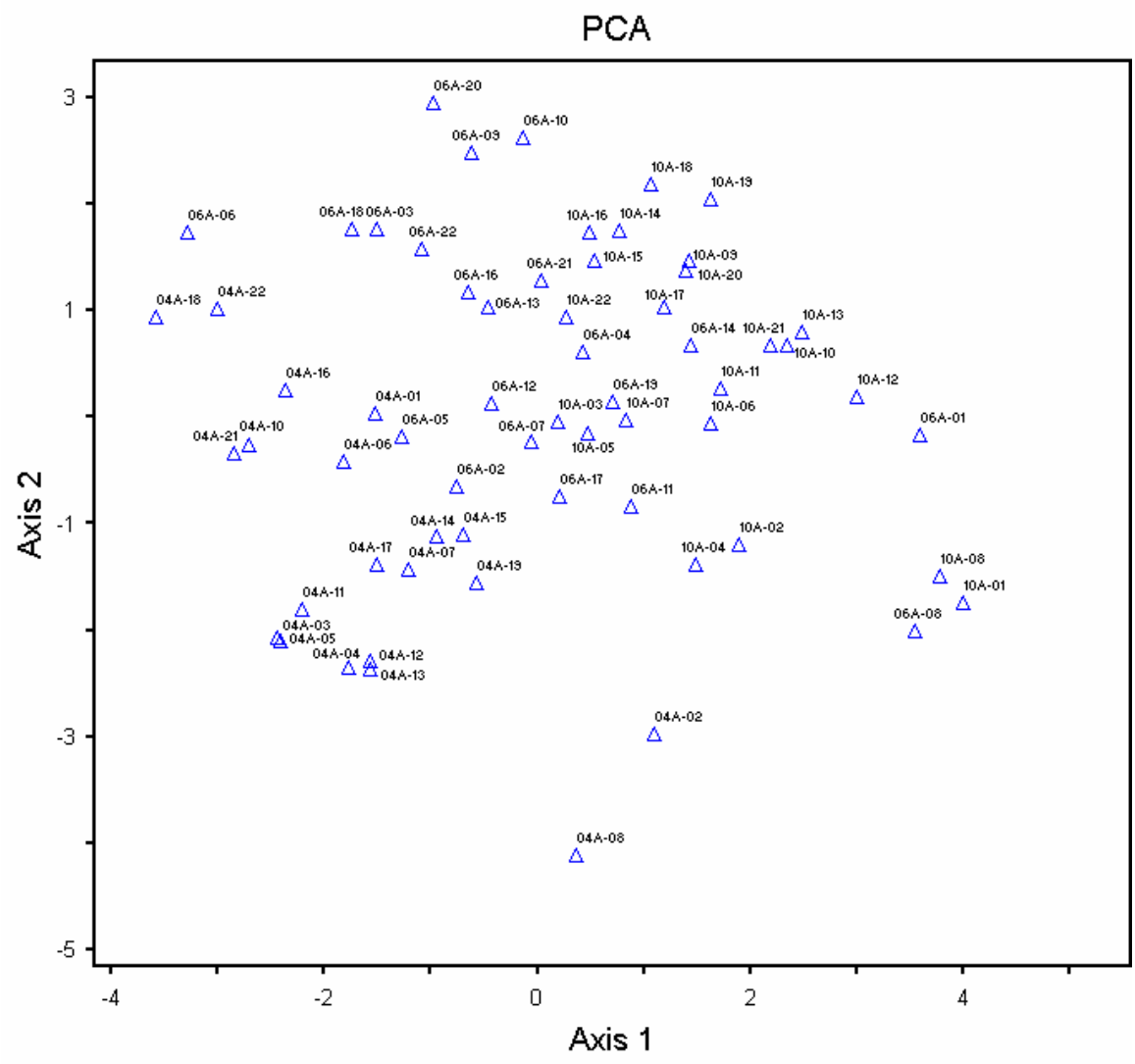


圖 9-1　2006 年 4、6 與 10 月一號壩至三號壩 22 個樣區中十三個環境因子主成分分析圖(PC1 vs. PC2)。每一標記前兩個數字代表月份，A 字母後數字代表樣區編號。

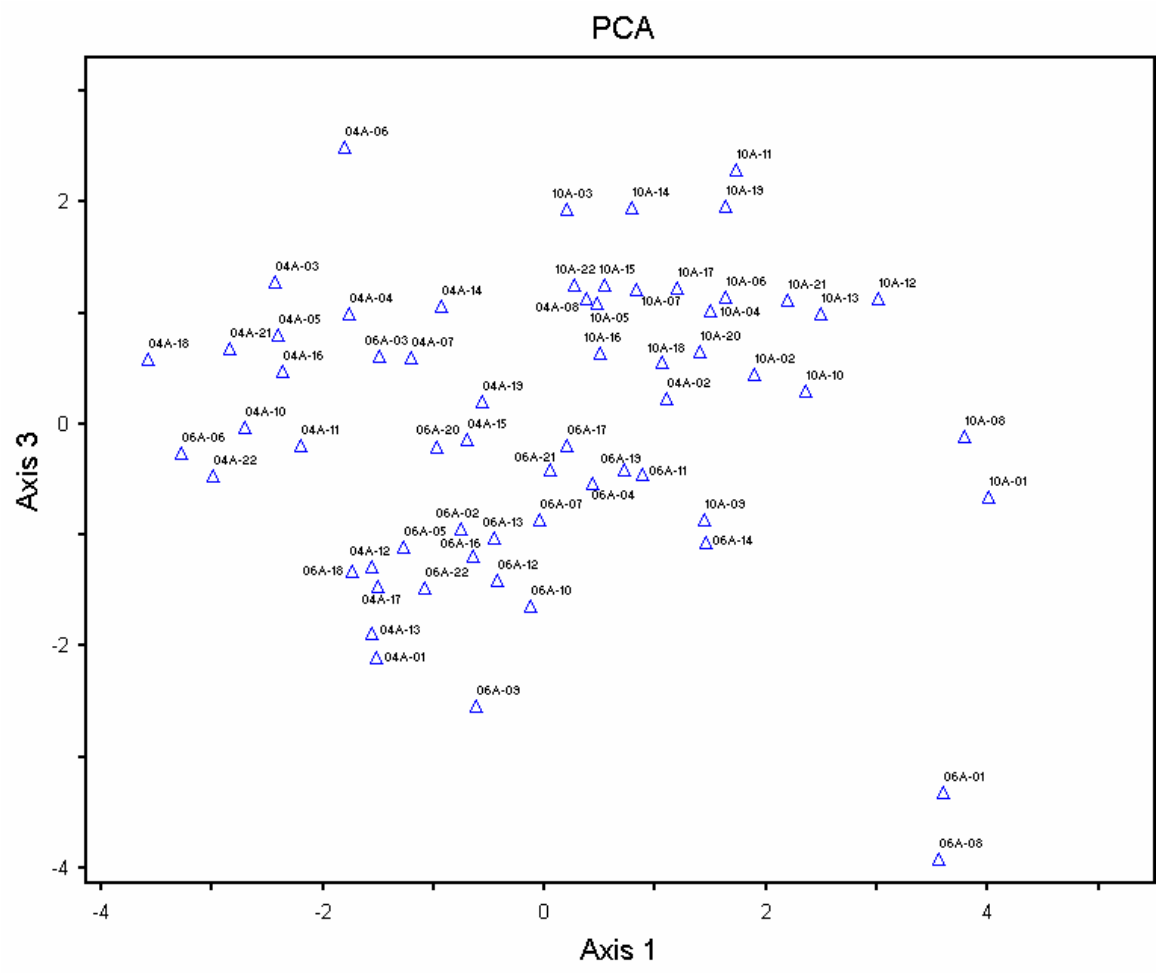


圖 9-2　2006 年 4、6 與 10 月一號壩至三號壩 22 個樣區中十三個環境因子主成分分析圖(PC1 vs. PC3)。每一標記前兩個數字代表月份，A 字母後數字代表樣區編號。

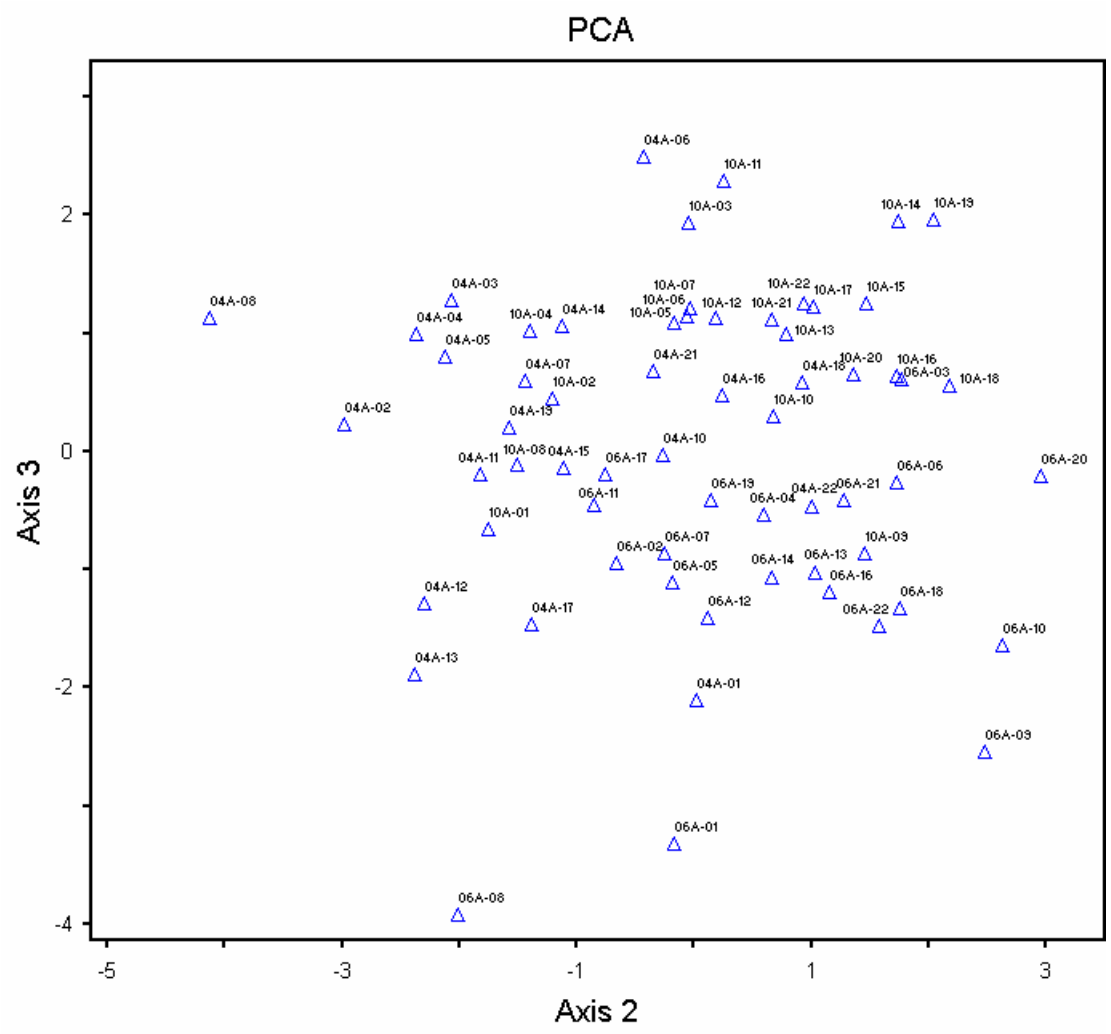


圖 9-3　2006 年 4、6 與 10 月一號壩至三號壩 22 個樣區中十三個環境因子主成分分析圖(PC2 vs. PC3)。每一標記前兩個數字代表月份，A 字母後數字代表樣區編號。

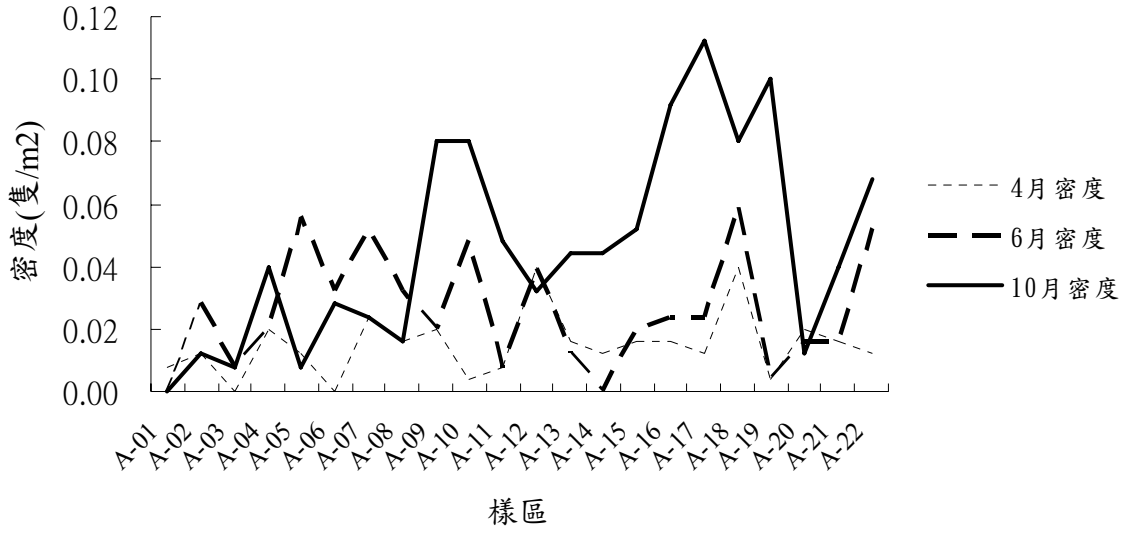


圖 9-4　2006 年 4、6 與 10 月一號壩至三號壩各樣區蛙類密度比較。

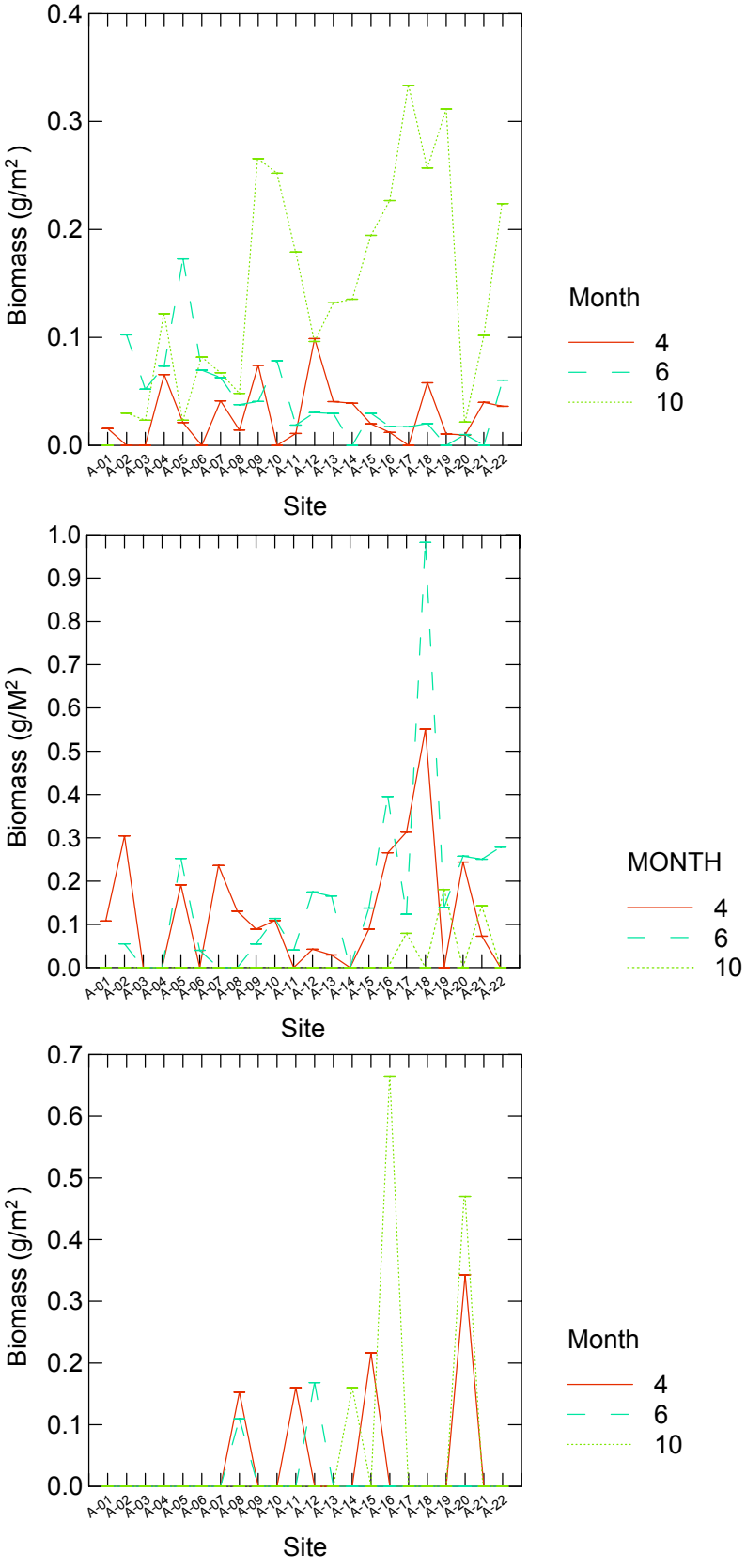


圖 9-5　2006 年 4、6 與 10 月一號壩至三號壩各樣區蛙類生物量比較。(a)梭德氏赤蛙 (b)盤古蟾蜍 (c)斯文豪氏赤蛙。

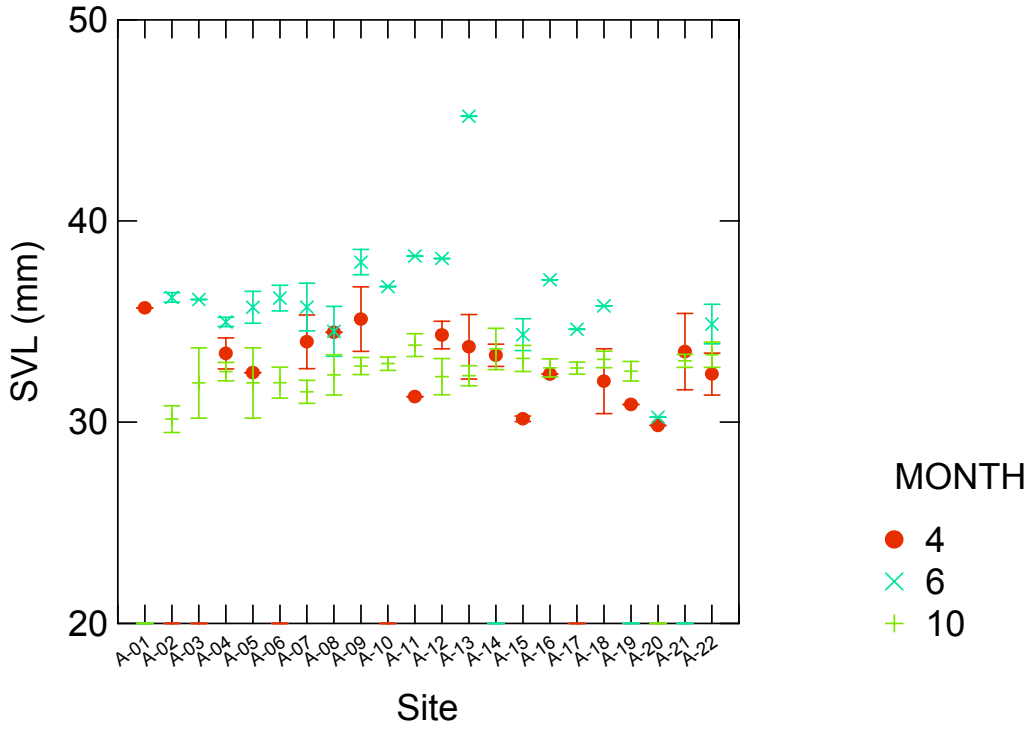


圖 9-6　2006 年 4、6 與 10 月一號壩至三號壩雄性梭德氏赤蛙平均吻肛長(±1SE)之比較。

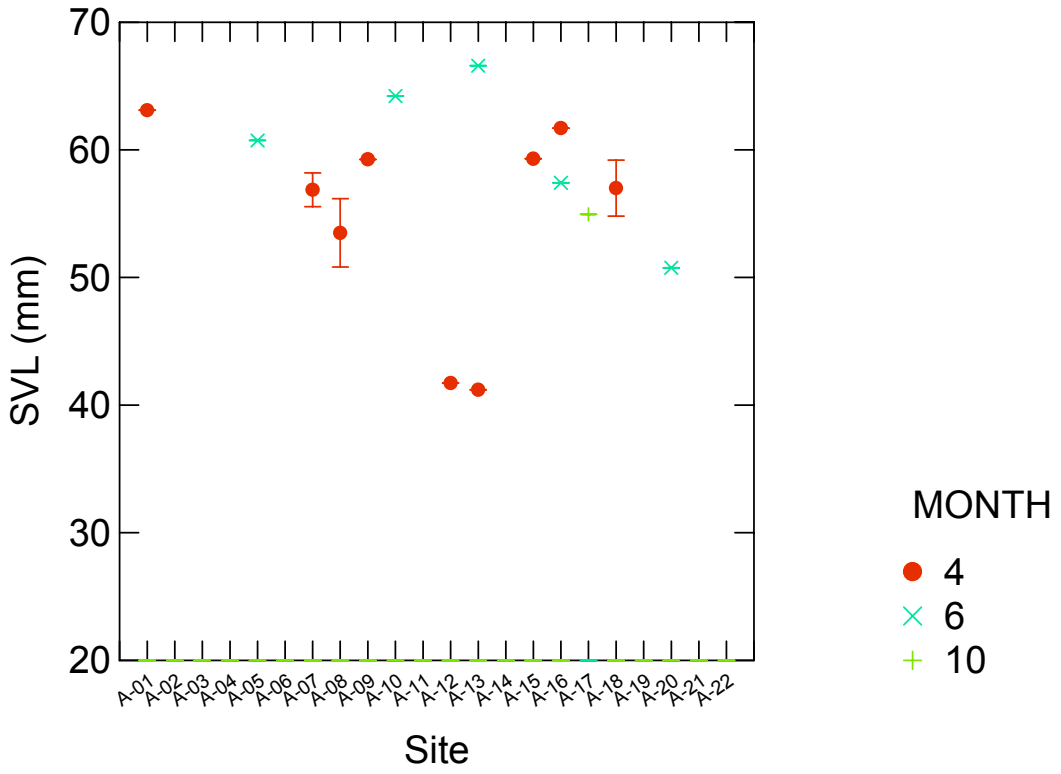


圖 9-7　2006 年 4、6 與 10 月一號壩至三號壩雄性盤古蟾蜍平均吻肛長(±1SE)之比較。

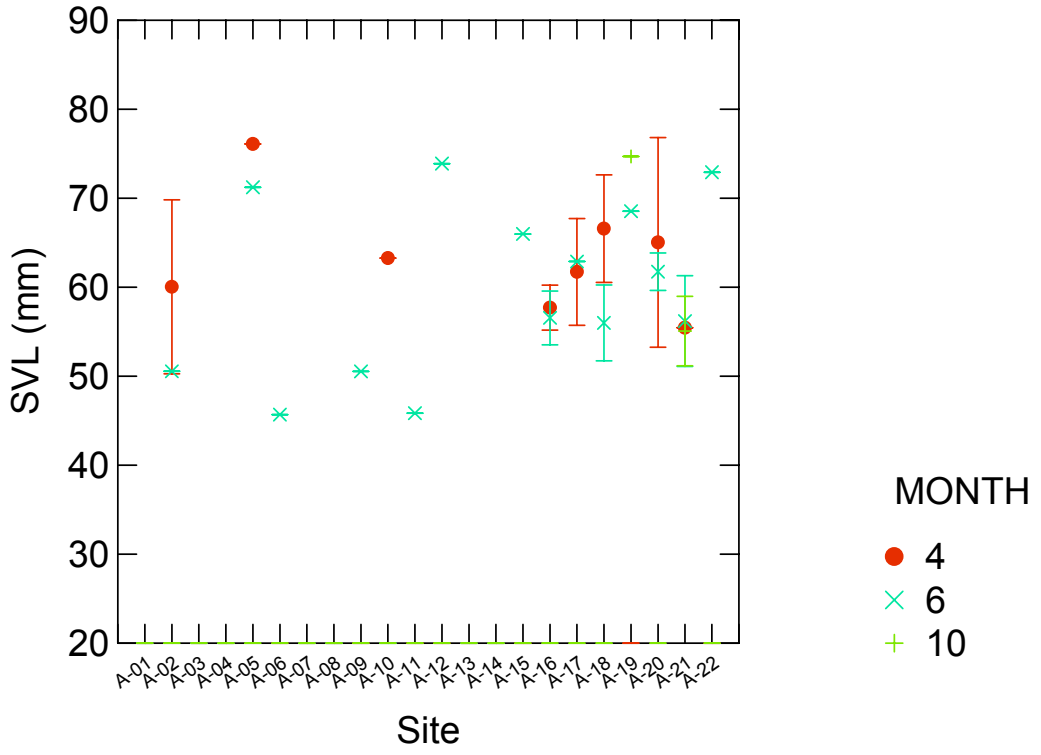


圖 9-8　2006 年 4、6 與 10 月一號壩至三號壩雌性盤古蟾蜍平均吻肛長(±1SE)之比較。

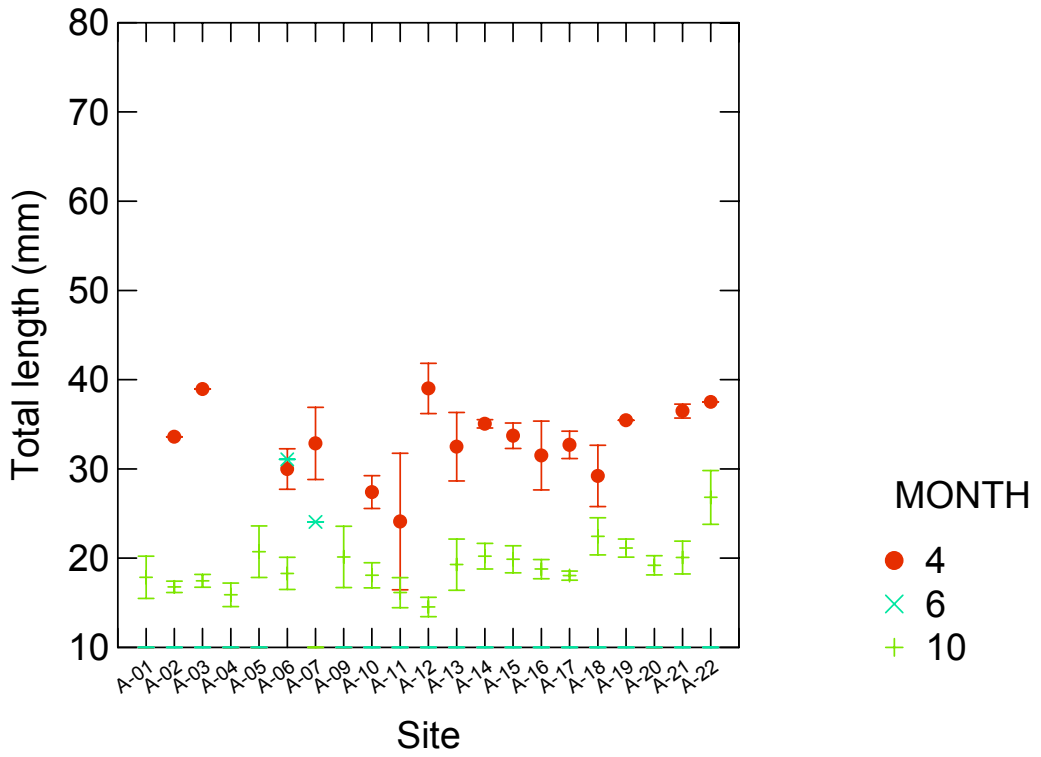


圖 9-9　2006 年 4、6 與 10 月一號壩至三號壩梭德氏赤蛙蝌蚪平均全長(±1SE)之比較。

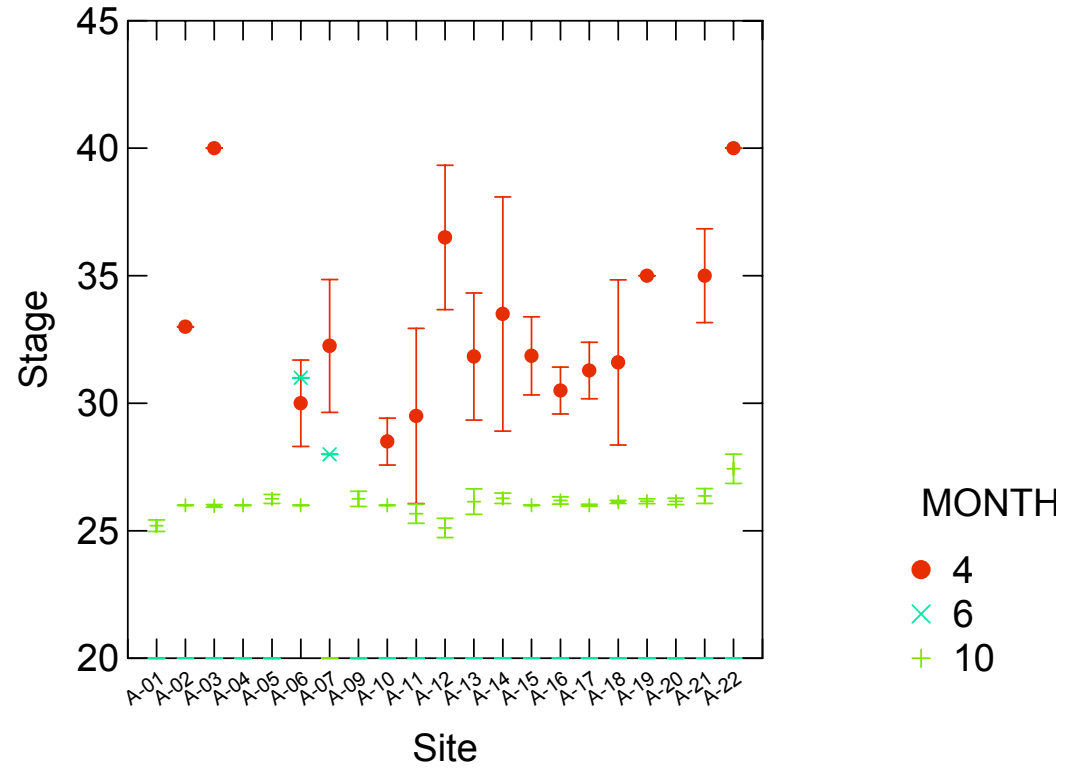


圖 9-10　2006 年 4、6 與 10 月一號壩至三號壩梭德氏赤蛙蝌蚪平均發育期數(±1SE)之比較。

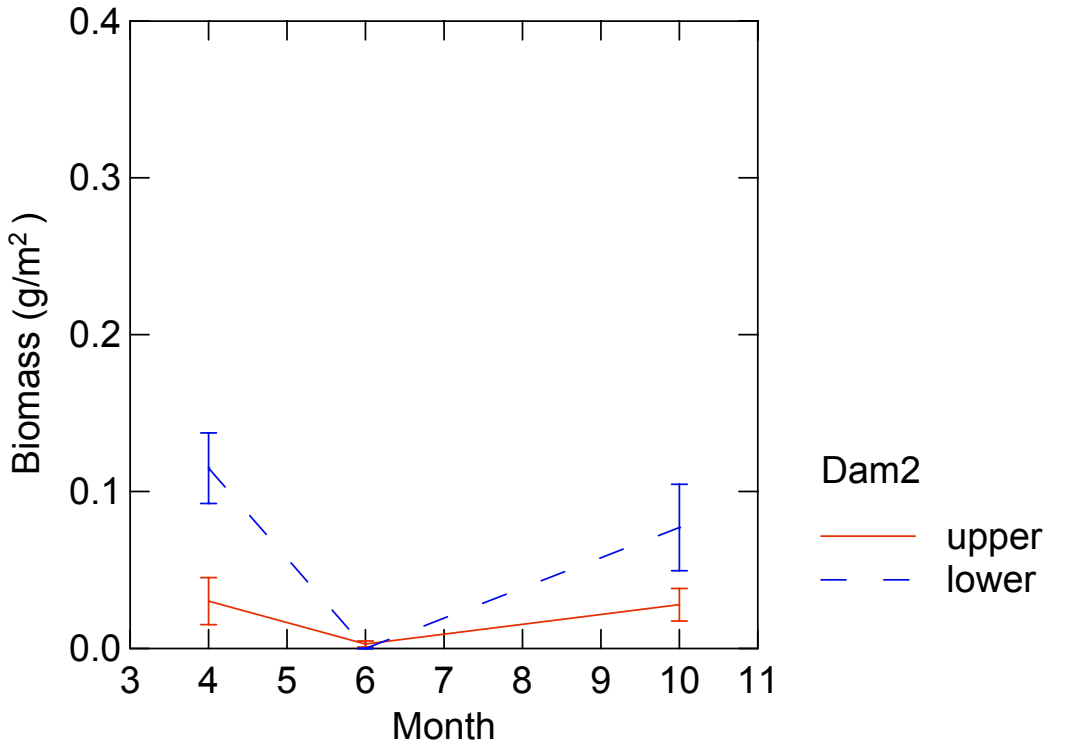


圖 9-11　2006 年七家灣溪二號副壩上下游平均梭德氏赤蛙蝌蚪生物量(±1SE)之差異。

第十章　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

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、攔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 年開始進行櫻花鉤吻鮭族群現況的普查工作，以瞭解並掌握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 2006 年七月進行七家灣溪櫻花鉤吻鮭的全面族群數量普查，以瞭解 2005 年繁殖季節後新生幼魚加入族群數量與分布狀況，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

分述如下：

(一) 最近的一次 2006 秋季調查結果發現，整個流域共記錄到櫻花鉤吻鮭 2,270 尾，其中一齡幼魚有 986 尾，二齡中型鮭魚有 911 尾，三齡大型成魚則有 373 尾。與 2006 年夏季普查調查記錄的 2,696 尾總數差異不大，僅有幼魚數量減少較多。族群結構也因此由夏季的金字塔型結構轉變為秋季的桶型結構。

(二) 鮭魚明顯集中在一至三號壩間河段，佔了整個族群數量的 1/2 以上，不過和前幾年不同，中游上段的二至三號壩河段數量較一至二號壩來得多。其次是上游的三號壩以上河段，不過其中有近 1/3 都集中在桃山北溪支流。再其次是高山溪河段。

(三) 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，此外桃

山北溪支流與高山溪河段亦有相當比例的中大型鮭魚存在，一齡幼魚則在其他河段所佔比例相差不多。針對一至三號壩的詳細分佈資料結果比較，則可以發現該流域櫻花鉤吻鮭分佈有特定的集中點，且會因齡級及季節有變動性，不過以分佈來看，還是有越上游數量越多的趨勢。

【關鍵詞】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 in July of 2006. This study want to understand the population and the distribution of salmon after the juveniles of the 2005 breeding season attending to the group.

The major findings are as follows:

1.In the summer of 2006, the population of the masu salmon is 2,696, in which the amount of the one-aged juvenile is 1,898, the two-aged adult 617, and the three-aged adult 181. The age structure of the population becoming from inverse-pyramid shape to -pyramid shape because of the one-aged juvenile population increasing in each section.

2. Over One second of the overal salmon massed up in the region of the checkdam no.1 to checkdam no.3, however, differ from the past result, the population ratio in the region of checkdam no.2 to checkdam no.3 higer than the checkdam no.1 to checkdam no.2. minor in the region under the checkdam

no.3 but 1/3 population massed up only at the region of Tao-mt north creek, and then the popualtion in the Gaoshan creek.

3. All the one-aged juvenile, the two-aged and three-aged adult massed up in the region of the checkdam no.1 to checkdam no.3. The two-aged and three-aged adult Tao mt. north creek and Gaoshan creek. The one-aged juvenile averaged among other region in the Chichawan creek. Compared the detail distribution of the salmon at the section of the checkdam no.2 to no.3 revealed that the distribution of the salmon concentrate to some special hot-spot and variable with the year-class and season, however, data showed that there is more salmon at the more upward section.

【**Keyword**】Formosan landlocked salmon、*Oncorhynchus masu formosanus*、population censuses、population ecology

一、前言

台灣的櫻花鉤吻鮭 *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，指定並公告櫻花鉤吻鮭為珍貴稀有動物，至此，櫻花鉤吻鮭被列為文化資產之一。其現存棲息地的七家灣溪流域，並且在民國八十八年（1999）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），櫻花鉤吻鮭在日據時代(自 1917 年至 1941 年間)的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 et al., 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，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，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）。加上此地甚多攔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，使櫻花鉤吻鮭再次面臨生存威脅，由於大多數的攔砂壩仍舊矗立，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。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，因為造成櫻花鉤吻鮭族群不穩定的各項因子依舊存在，許多河段的攔砂壩依舊矗立，因此仍有必要密切且持續地監測風災後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，今年（2006 年）七月的夏季先進行第一次鮭魚族群調查工作，以瞭解各河段櫻花鉤吻鮭在去（2005）年繁殖季節孵化及幼魚更新的狀況，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。

除進行族群數量調查外，並標定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，希望對七家灣溪流域棲地現況及其與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 5~8cm；二齡中型成魚指經歷過兩次繁殖期的鮭魚，全長 8～20cm 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），包含台灣鏟頜魚（*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。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頜魚，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 年颱風過後的幾次調查都沒有再發現到任何族群。與當地環山護溪隊聯絡後發現該河段在近期內以水面目視也並未發現到任何魚群蹤影，但由於還是可能有調查誤差的可能性，因此本研究將擇期再以浮潛法進行全段調查以確認族群狀況。由於颱風豪雨頻仍以及調查時間衝突的問題，因此原本計畫在期中報告後前往進行調查工作，不過管理處在十月時已經前往司界蘭溪（以及南湖溪）進行櫻花鉤吻鮭的放流工作，並且另案進行族群監測與巡守工作，因此本研究僅前往司界蘭溪固定樣點進行勘查，並未針對全流域進行普查工作。

三、結果與討論

(一) 櫻花鉤吻鮭族群數量與分布

今（2006）年最近一次的秋季普查結果如表 10-1 所示，整個七家灣溪流域總計記錄到 **2,270** 尾櫻花鉤吻鮭，其中一齡幼魚有 **986** 尾，二齡中型成魚有 **911** 尾，三齡大型成魚則有 **373** 尾。夏季普查結果則如表 10-2 所示，總計記錄到 **2,696** 尾櫻花鉤吻鮭，其中一齡幼魚有 **1,898** 尾，二齡中型成魚有 **617** 尾，三齡大型成魚則有 **181** 尾。相較去年秋季調查的總計 **523** 尾櫻花鉤吻鮭（一齡幼魚有 **150** 尾，二齡中型成魚有 **175** 尾，三齡大型成魚則有 **198** 尾），數量呈現大幅度的增加，這主要是因為幼魚的大量增加，與 2002 年幼魚大發生的情況極為類似，去年九月份的強烈颱風龍王（Longwang）來襲時雖然已經進入櫻花鉤吻鮭的繁殖季節初期，但由調查結果看起來似乎大多數河段的影響都不大。夏秋兩季比較的數量則沒有改變太多，僅有幼魚的數量呈現下降，對照數量，下降 48.1%，不過其中有一部份幼魚是因為成長速度較快，在調查時被歸類在中型鮭魚也有關係，因此中型鮭魚的數量明顯增加。

今（2006）年兩季的族群調查發現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，高山溪流域則可達到四號破壩下。高山溪的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，使得原先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。高山溪流域內，除了四號破壩之外，其他如三號破壩以及一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。

由於年久失修加上有些攔砂壩當初設計的缺失，因此除了人工拆除的高山溪四座攔砂壩之外，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去（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），也在去（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，但對櫻花鉤吻鮭來說或許仍是個地形阻礙，本次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，且其高差較去年有稍微降低，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。

由調查結果顯示櫻花鉤吻鮭在七家灣溪的空間分布狀況，考慮攔砂壩阻隔的各封閉河段為區間，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，夏季共記錄到 914 尾（佔當季調查整個族群的 33.9％），秋季則有 673 尾（佔整個族群的 29.6％）。其次是一至二號副壩（石壩）河段，夏季共記錄到 599 尾（佔 22.2％），秋季則調查到 362 尾（佔 15.9％）。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，族群佔了總數量的 56.1％（夏季）及 45.5％（秋季）。其他河段所佔族群的比例則隨著季節變動較大。其他河段在夏季結果中，依序分別為的整個高山溪（高山溪匯流點以上）共計記錄到 382 尾（佔 14.1％），三至四號壩（包含桃山北溪全段）的 301 尾（佔整個族群的 11.2%），及一號壩以下河段（共計 265 尾，佔 9.8%）與四至六號壩（共計 235 尾，佔 8.7％），不過並未超過總數的 10％。

秋季調查的依序河段則為一號壩以下河段的 353 尾（佔 15.5％），高山溪全段的 341 尾（佔 15％），三至四號壩（包含桃山北溪全段）的 307 尾（佔 13.5

%），及四至六號壩的 234 尾（佔 10.3%）。

若將各齡鮭魚的分布列表來看（表 10-3），原先夏季三齡以上大型鮭魚集中在一至二號副壩（石壩）（佔所有族群的 34.3%）情況在秋季時有所改善，雖然該河段的比例仍然最高，但降低至 23.9%，相對來說，二號副壩（石壩）至三號壩間河段的大型成魚比例夏季為 23.2%，秋季為 23.1%，相對相差不大。與夏季調查結果比較，秋季大幅增加的河段還有一號壩以下河段以及四至六號壩河段，除了中型成魚成長增加外，原本四號壩以上可能因為夏季調查誤差，記錄個體過少。秋季調查和夏季調查一樣，三至四號壩河段族群主要都集中在桃山北溪河段（夏季為 18.8%，秋季為 13.9%）。高山溪河段則在夏秋兩季的比例變化不大（夏季 9.9%，秋季 10.2%），但各分段的變化趨勢不同，夏季時成魚明顯集中在下游，秋季則以中、上游居多。

二齡中型鮭魚族群的分布在夏季時原本集中在高山溪流域（25.1%），二號副壩（石壩）至三號壩（22.9%）以及一至二號副壩（石壩）河段（21.9%）。不過秋季時，二號副壩（石壩）至三號壩河段的比例變成最高，達 30.1%，其次是高山溪的 18.4%，最下游的一號壩以下河段比例在秋季時則提高至 17.7%，躍升為第三名。一至二號副壩（石壩）河段的比例則降低至 15.5%。三至四號壩河段與四至六號壩河段在夏秋兩季之間的變化不大。

至於去年繁殖季節新生的一齡幼魚原本在夏季調查最集中在二號副壩(石壩）至三號壩（38.5%），其次是一至二號副壩（石壩）（21.2%），再其次是高山溪（11.1%）與一號壩以下(10.8%)河段，上游的三至四號壩（8.9%）與四至六號壩（9.5%）則反而比例最低。不過秋季時則轉變為二號副壩（石壩）至三號壩的比例依舊最高，達到 31.7%，不過一至二號副壩（石壩）的比例降低至 13.4%，和其他各河段的比例相差不多，都在 13～15%之間。與夏季相比較，幼魚族群由集中在七家灣溪主流的中游河段的狀況變得較為均勻的狀況。

各齡鮭魚的分布狀況雖然並非完全一致，不過七家灣溪主流河段的一至三號壩河段都佔有最高的比例，以秋季調查而言，都在各齡族群的 45%以上。上游的三號壩以上河段在兩季的調查中，族群比例都明顯偏低，若不包含桃山北溪河段數量頗豐的族群，則除了幼魚之外，所佔族群比例都還比一號壩以下河段來得低。

兩季調查結果相較，夏季時各河段的族群比例差異較大，這是因為各河段去

年繁殖季節後，幼魚更新以及成魚死亡狀況不盡相同，不過夏秋季之間，因為連續幾個颱風影響所帶來的洪水，以及攔砂壩的阻隔，使得上游河段的族群會因為沖移到下游而稍微降低，下游則因為族群移入而有所增加。由於今年度的歷次颱風並未造成太大的洪水，因此各河段的族群數量雖然有些微減少，但族群比例顯得較為平均，三號壩以上的上游河段的族群萎縮效應並不明顯。高山溪河段雖然已經沒有攔砂壩的阻隔，因此沒有族群萎縮的疑慮，但原先以三號破壩以上河段族群為優勢的現象也被打破，族群亦有向中、下游各河段擴散的趨勢，不過對照整個河段，高山溪看起來是呈現穩定的狀況。

(二) 其他共域魚類的數量與分布狀況

本季在進行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頜魚（*Varicorhinus barbatulus*）、台灣纓口鰍（*Crossostoma 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，台灣鏟頜魚的數量仍然不易正確估計，因此表中的數量較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 10-4），台灣鏟頜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數量最多，以往調查總數都會超過整個流域族群數量的 1/2 以上，這兩季調查更提高到 2/3 以上。高山溪河段則不穩定，在夏季時並未發現到任何台灣鏟頜魚個體，秋季時則記錄到零星族群。

與櫻花鉤吻鮭相同，台灣鏟頜魚在 2004 年時因為收到艾莉風災的影響，數量大幅減低至原來族群的 56%，造成相當嚴重的族群損失。今年度夏季調查到的總數相較去（2005）年秋季調查結果也顯著的減少，不過今年秋季又有增加的趨勢。

由於七家灣溪一至三號壩間河段已經沒有高落差的攔砂壩阻隔，二號副壩（石壩）約一米左右的落差也並未造成絕對的阻隔。不過今年在觀魚台以上河段幾乎都沒有發現到台灣鏟頜魚的蹤影。對照以往的調查資料發現，七家灣溪觀魚台以上河段的台灣鏟頜魚數量原本就不多，且多呈現零星的小群分布，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，不適合鏟頜魚生活所致，因此以七家灣溪來說，觀魚台附近可以視為台灣鏟頜魚的分布上限。在沒有任何攔砂壩阻隔的高山溪河段，也有觀察到這樣的現象，台灣鏟頜魚族群大略以高

山溪一號破壩為界，以上的上游河段僅偶見零星個體蹤影。

需要注意的是，台灣鏟頜魚族群迄今總共進行八次的完整數量調查，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，和台灣鏟頜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頜魚幼魚族群數量、分布及族群更新的狀況。

除了台灣鏟頜魚之外，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頜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。

今年度僅在夏季在一號壩以下河段發現到六尾纓口鰍，蝦虎魚則兩季都沒有發現記錄。

這些與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頜魚，和櫻花鉤吻鮭有最大的重疊區域，而且數量龐大，往往被視為櫻花鉤吻鮭的競爭者，甚至有可能影響鮭魚族群的消長，不過其嗜食附著性藻類的食性明顯與肉食為主的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。

(三) 司界蘭溪流域勘查

司界蘭溪自 1996 春季與 1997 年春季分別放流 60 尾與 200 尾幼魚（吳，2000）後，當時研究人員曾前往該流域多次調查族群數量與變動情形（曾，1997、1998、1999），當時（1997 年）的調查記錄顯示司界蘭溪的櫻花鉤吻鮭已經可以自然更新，並已建立少量的族群。不過 1999 年調查人員再度前往調查時，卻未能發現任何族群，當時並且遇到許多釣客與釣具餌料等物品。因此認定司界

蘭溪的鮭魚族群可能因為人為捕抓而又再度滅絕，所以之後本延續計畫一直未再前往該流域調查。2003 年的十月上旬，為了確認司界蘭溪流域長久以來傳聞有櫻花鉤吻鮭蹤影的消息是否屬實，亦或其實是其他鮭魚如虹鱒，研究人員再次前往司界蘭溪進行調查。當時的調查發現，司界蘭溪確實存在櫻花鉤吻鮭族群，且其鮭魚數量相當穩定，遍及整個流域的中、上游河段。當時粗略估計族群數量應該有兩三百尾左右，分布則自攔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 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 年時放流所建立的族群，多年來這些被遺忘的鮭魚族群自行繁衍更新，再逐漸增加擴展領域的鮭魚新族群。

為了保護該流域的櫻花鉤吻鮭族群，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，保護該流域的櫻花鉤吻鮭族群。不過自 2004 年夏季敏督莉颱風過後，研究人員多次前往司界蘭溪全河段進行重點式的族群調查，調查範圍包含松柏農場攔砂壩以上，一直到雙溪匯流點的右支流更上方約五百公尺的瀑布處，由於河段十分長，加上水流較急，因此研究人員都僅針對深水潭區進行調查。但都未直接目擊到任何鮭魚，甚至連台灣鏟頷魚都沒有見到。

本研究在今年期中報告後，前往司界蘭溪進行魚類族群工作，此外也針對司界蘭溪環境進行評估與記錄，如圖 10-2 所示。其中顯示有四處較大面積的崩塌地，以及四條主要的支流。放流點所記載位置是今年十月管理處在本流域放流櫻花鉤吻鮭稚魚的地點，此外，管理處亦同時前往南湖溪進行另一批稚魚的放流工作。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，司界蘭溪確實合適櫻花鉤吻鮭的生存與繁殖，不過棲地環境相較七家灣溪流域來說較為惡劣，這主要是因為該流域的崩塌地較多，且面積都相當可觀（圖 10-2），因此放流的族群並不容易立刻建立穩定的族群，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櫻花鉤吻鮭的保育流域，考慮櫻花鉤吻鮭的生活史，應該至少要連續進行三年的放流工作，如此才能讓該流域的櫻花鉤吻鮭在族群達到穩定前盡量免於天然災害的干擾與影響。

(四) 生態模式建立共同樣區的調查結果

本年度計畫為了建立「武陵地區長期生態監測暨生態模式」，因而各相關計畫選擇九個共同樣點（圖 10-1）進行監測。因此本研究亦針對這些共同樣區進行魚類種類與數量分布等調查工作。其調查結果如表 10-5 所示。

由於第二次調查預計安排的五六月間受到鋒面影響，豪雨不斷，並無法在預定時間內進行浮潛調查，因此並沒有調查資料。七月與十月份資料則是直接整理自全河段櫻花鉤吻鮭普查結果，因此有些河段並未包含在內，各河段的調查結果與狀況說明如下：

1. 有勝溪

有勝溪的調查點位於收費站旁攔砂壩上游河段，因為去年夏季受到颱風侵襲，有勝溪整個河床平整化，加上河岸護岸復健工程，連帶影響當棲地環境狀況，在三月時僅記錄到少量台灣鏟頜魚，並未記錄到任何鮭魚。七月時施工已經結束，且河床經過夏季幾次颱風帶來洪水沖刷，已經逐漸回復，因此記錄到不少小型及中型的台灣鏟頜魚族群。但十月調查時，雖然棲地環境看起來變動不大，但卻未發現到任何個體。

2. 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，不過今年各次的例行調查中都並未發現其他魚類，只有紀錄到台灣鏟頜魚一種。七月時在潭區有記錄到零星的一尾櫻花鉤吻鮭。十月時則記錄到不少台灣鏟頜魚，但未觀察到櫻花鉤吻鮭。

3. 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，棲地主要是急瀨，包含部分的潭區，本河段開始記錄到少量的櫻花鉤吻鮭魚群，台灣鏟頜魚的數量則明顯較大甲溪以及有勝溪來得少。七月時則記錄到不少的櫻花鉤吻鮭幼魚。十月的狀況與七月差異不大。

4. 繁殖場（新復育中心）

本河段調查點位於七家灣溪與高山溪匯流後，新復育心中旁的七家灣溪河段，棲地型態主要是水深較深的平瀨環境，在高山溪匯流點附近有個深潭區，大多數魚群都是在平瀨區域被紀錄到，不過櫻花鉤吻鮭通常分佈在匯流點附近的水潭區。三月份時並未記錄到鮭魚，但在七月時則有數量不少的櫻花鉤吻鮭幼魚在靠近岸邊的緩流區活動。十月時持續記錄到櫻花鉤吻鮭，不過數量不如七月來得豐富，而台灣鏟頜魚的數量也變少。對照夏秋兩季的族群普查，該河段的族群數量是相對增加的，不過由於繁殖場旁邊本年度持續進行護岸施工，剛開始僅在護岸邊布置，不過後來為了不知道什麼緣故，重機械對河床邊緣進行推整工程，或許因次干擾到附近河段的魚群，才造成該河段數量的減少。

5. 一號壩（觀魚台）

本河段的調查點雖然命名為一號壩，但實際上地點應該比較接近觀魚台，主要是位於觀魚台下游的七家灣溪河段，棲地主要仍是平瀨地形，但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櫻花鉤吻鮭，而台灣鏟頜魚的分布也開始受到侷限，因此數量通常都相當零星，僅在七月份在觀魚台附近記錄到一尾。櫻花鉤吻鮭的分布則顯得較為零散，三月記錄到三尾大型成魚，七月則記錄到較多幼魚。十月份也有發現到相當數量的櫻花鉤吻鮭。

6. 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，在上游處也有深潭。加上一至二號壩河段為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櫻花鉤吻鮭。本河段在這幾次的調查中都未記錄到台灣鏟頜魚。

7. 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，棲地型態以平瀨為主。除了五月份因為洪水無法順利完成調查外，該流域的其他三次調查都還記錄到不少的櫻花鉤吻鮭，七月則記錄到較多數量的幼魚個體。

8. 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，由於攔砂壩的抬高效應，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，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，以往通常可記錄到少量零星的櫻花鉤吻鮭個體。不過三月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的水潭內。七月與十月則記錄到少量鮭魚，七月有較多的幼魚。

9. 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。本河段以往可以同時記錄到台灣鏟頜魚和櫻花鉤吻鮭兩種魚類，不過數量都不多。三月份調查並未發現任何個體，七月與十月都僅記錄到鮭魚，沒有發現到台灣鏟頜魚。

10. 司界蘭溪

司界蘭溪共有兩個樣點，下游樣點位於司界蘭溪松柏農場旁攔砂壩下游河段，棲地主要是平瀨為主，上游樣點則位於松柏農場以上的未開發河段，棲地以急瀨為主。三月份與七月份調查在上下游樣點都未記錄到任何魚群。由於司界蘭溪上游的樣點一直沒有發現到鮭魚的蹤影，且管理處在十月進行放流的位置在更上游約七百公尺的峽谷河段，因此已建議將固定樣點往上游調整至放流點位置，因此下次調查將改以新的上游樣點為樣區。

由於無論是台灣鏟頜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。

四、討論

(一) 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 10-4（族群數量變化圖）與圖 10-5（族群結構變化圖），去（2005）年秋季調查結果是自 2002 年幼魚大發生以來的最低數值，這主要是因為受到去年接連數個強烈颱風天候影響所致。但今年夏季調查的數量又再度回覆至 2500 尾以上的水準，顯示去年最接近繁殖季節的龍王颱風並未影響到鮭魚繁殖活動的進行，而今年春夏間因為鋒面帶來的豪大雨，對各河段幼魚的更新狀況影響也不大。雖然族群數量，並不如先前的 3000 尾數量水準，但數量相差不多。也由於一齡幼魚的數量大幅增加，使得年齡結構的組成。由去（2005）秋季調查的倒金字塔型結構，又轉變為齡級越小，數量越多的正字金塔型結構。亦即三齡以上成魚數量最少，一齡幼魚數量最多的穩定族群結構。不過秋季調查時各齡族群數量有所消長，一齡幼魚由於體型成長以及受風災影響，族群數量下降，二齡中型成魚則增加。因此成為近似桶狀結構。

不過比較歷年的族群結構變化（圖 10-5），大多數時間都偏離穩定的金字塔型結構，只有 1995 年、1997 年與 2002 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，以及攔砂壩效應的干擾，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，似乎櫻花鉤吻鮭族群的未來將遭受很大的挑戰。

(二) 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 10-6 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。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，加上攔砂壩阻隔，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。

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。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。一號壩以下主流河段由於水溫環境通常偏高，因此並不利於鮭魚自然繁衍，因此幼魚的族群比例通常都不高，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，並且河中原本四座攔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，但因為沒有攔砂壩的阻隔，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。

由於七家灣溪中游是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。

(三) 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 10-7 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%左右高比例的高峰期，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 10-6），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）與水面還有約一公尺左右的落差，加上下游河段峽谷跌水亦有相當落差，因此水流十分湍急，原本推測或許對櫻花鉤吻鮭來說仍然是個阻隔，不過對照今年兩次的調查結果各齡鮭魚的族群比例顯示，二號副壩（石壩）以上河段已經變得較以下河段來得高，該壩體殘骸應該已經不再成為鮭魚上溯的阻礙。

本年度研究並且針對一至三號壩整個進行較為詳細的分析，如果將整個河段每 50m 長設立一個區間，統計每個區間的各齡櫻花鉤吻鮭族群數量，如圖 10-8 所示。則可以觀察到整個河段之間較為細部的鮭魚實際分布狀況。由圖中可以清楚看到，鮭魚的分布明顯是呈現不均質的分布，亦即並不是平均散佈在各個河段，而是集中在某些較為特定的河段。以夏季來說，鮭魚似乎集中在幾個區段，包含二號壩的上下游附近，以及抽水站至三號壩附近的河段。不過這個情形在秋季

調查結果又有所不同，秋季的鮭魚分布則因各齡鮭魚而有不同，三齡以上大型鮭魚在觀魚台以上至舊復育中心之間以及湧泉至抽水站之間有個明顯的高峰分佈，二齡中型鮭魚則自觀魚台以上的數量起伏不定，不過有越靠近上游越高的趨勢，一齡幼魚則除了舊復育中心有個小高峰分佈外，其他明顯分佈在抽水站以上的河段。鮭魚的分布會隨著齡級以及調查時間毒不同而有所變動。

對照各齡族群的分布，即使有齡級及熱點區段的差異，但各齡鮭魚的分布還是可以看出一些明顯的共同趨勢。首先，在最下游的一號壩至觀魚台河段間的族群數量都較少，甚至許多區間沒有任何鮭魚的分布，只有零星一些個體的發現記錄，對照棲地環境的觀察來看，一至三號壩間各河段其實都有合適鮭魚生存的區域，即使是在觀魚台下游河段，也可以看到不錯的深潭地區。不過似乎櫻花鉤吻鮭並不青睞最下游的河段，對照歷年水溫資料（表 5.7），該河段的水溫通常較高，甚至一號壩河段常常都是七家灣溪整個流域中水溫最高的河段之一有密切的關係，該河段在夏季的最高水溫甚至可以超過 17℃，並不適合鮭魚個體的分布與生存。

此外，各齡鮭魚都有一種越往上游數量越高的趨勢，由於一齡幼魚的數量最多，因此在幼魚的趨勢也最為明顯。這讓三號壩附近河段成為一個較為集中的分布熱點。

不同季節的分布資料，也可以幫助瞭解該季櫻花鉤吻鮭的族群動態，例如：在夏季調查前如果並未遭遇規模太大的颱風侵襲，則該河段的一齡幼魚分布資料在某種程度上可以視為該河段前一年繁殖季節成魚的生殖成功力。又秋季調查時成魚的分佈資料可以瞭解中大型成魚彼此競爭以及選擇繁殖棲地的實際狀況。

由於目前僅針對今年的族群調查資料進行分析，並無法確定影響該河段鮭魚分佈的主要因子到底是什麼？因此本研究將整理早期的調查資料，並透過該河段環境調查資料的比對，看是否能夠真正釐清影響該流域鮭魚分佈的真正限制因子為何？

(四) 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 年攔砂壩陸續拆除，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 10-9 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 年高山溪攔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。

不過本季兩次調查結果發現，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攔砂壩，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 10-9）。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去（2005）年又面臨新的考驗，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) 各河段幼魚的成長與更新情形

由於去（2005）年並未進行人工繁殖放流，因此河中的幼魚都是自然繁殖而來的族群。本次調查幼魚增加的情形與 2002 年幼魚大發生的情況相當類似，

幼魚的大量出現，雖然還是有特定河段的數量特別多，但是其他河段的幼魚數量也不算少，而非只集中在某一河段內。由於 2002 年幼魚大量發生的原因推測可能與前一年繁殖期的水溫較低、孵化與仔稚魚成長時期並未遇到洪水、棲地環境改善以及競爭減少有關（曾，2002）。對照本季幼魚大發生的情況，似乎也有類似的情形。

以水溫來說，楊（1997）曾分析櫻花鉤吻鮭孵化死亡率與水溫的關係研判，最適合孵化的水溫約在 12℃左右。而整個發育過程中，初期的發眼期水溫更是孵化成功與否的最大關鍵。十一月可以被視為孵化前期，其平均水溫的狀況可以作為孵化成功的指數。為了瞭解今年幼魚分佈與各河段水溫的關係，本研究將各河段的去（2005）年十一月水溫平均值統計，並且與歷年十一月平均水溫值進行比較如表 10-6。由於 2001 年的 11 月平均水溫資料不夠齊全，但由單純比較抽水站與高山溪匯流點的平均水溫仍可顯示去年繁殖期水溫並未如 2001 年理想，溫度分布狀況比較接近於 1996 年的情形。利用迴歸方法計算其 12℃等溫線如圖 10-10 所示，去年 11 月等溫線位置約在舊復育中心旁二號壩（已破損）附近河段。與本季調查幼魚資料比較，幼魚主要集中在二號壩以上河段的狀況吻合。不過以下有些河段的幼魚數量仍然比想像中來得高。例如一號壩以下河段在高山溪匯流點附近有相當高密度的幼魚族群，可能是由高山溪擴散而來的。又例如一至二號壩河段間也有數量不少的幼魚，對照圖 10-11 可以發現，雖然在一號壩與二號壩的附近水溫都偏高，但仍有些河段，例如分流點的水溫相對來說較低，因此或許有些成魚仍然可以在高水溫環境中尋覓到合適的低溫環境進行繁殖。

曾（2003）的報告中曾經利用吳（2003，出版中，個人聯絡）對產卵場的研究比對各河段的族群調查數量及平均水溫發現，上游河段的產卵場數目雖然較下游河段少的許多，卻因為孵化水溫合適，而有較高的孵化率，因此可以觀察到數量更多的幼魚存活。顯示成魚數量或者產卵場的數量並非影響幼魚數量的最大原因，孵化水溫環境的高低對孵化以及幼魚更新狀況更具關鍵。

本研究統計去（2005）年秋季調查成魚與今年幼魚數量及相對的水溫關係圖如圖 10-11 所示。確實在水溫環境較好的河段，有較高的幼魚/成魚比例。並非完全與成魚數量有關。

五、結論與建議

總結今（2006）年夏季櫻花鉤吻鮭族群調查結果整理分述如下：

(一) 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) 由於夏季各河段大量增加的幼魚數量受到洪水仍有折損，因此秋季調查各齡鮭魚數量中一齡幼魚與二齡中型鮭魚的數量幾乎相同，三齡以上的成魚最少，族群結構因此由夏季的金字塔結構轉變為桶型結構。

(三) 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，佔了整個族群數量的 1/2 以上，不過自今年度夏季調查開始，中游上段的二至三號壩河段數量又變得較下段的一至二號壩來得多。其次是上游的三號壩以上河段，不過其中有近 1/3 都集中在桃山北溪支流。再其次是高山溪河段。但最下游的一號壩以下河段，在秋季時有幼魚增加的趨勢，值得注意。

(四) 三齡以上成魚明顯集中在中游的一至三號壩河段，比例超過 1/2 以上，其中又以一至二號壩河段族群的數量最多。桃山北溪支流與高山溪流域則也有相當數量分布。二齡中型成魚也是分布在中游的一至三號壩河段，比例將近 1/2。高山溪也有許多中型成魚的分布。本季調查的一齡幼魚大幅度的增加，但各河段增加的狀況有些差異，中游的一至三號壩族群最多，佔了所有族群的 60%，尤其是二至三號壩河段，佔了所有幼魚的 1/3 以上。其他各河段的族群比例則相差不多。

(五) 由一至三號壩的各齡鮭魚調查資料來看，櫻花鉤吻鮭的分布有集中在某些河段的趨勢，且有越往上游數量越多的趨勢。

(六) 近年的監測結果顯示，台灣鏟頜魚的族群有逐年減少的趨勢。

針對司界蘭溪與南湖溪的放流復育工作建議如下：

為了避免自然環境的干擾，以及考慮櫻花鉤吻鮭生活史週期，建議司界蘭溪與南湖溪應該持續進行至少三年的放流工作，以幫助建立較為穩定的自然族群。

誌謝

本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潘頎鈞、陳文彥、林偉彥、林佩誼、張瑞宗、蕭程友、陳建廷、詹姆士（Jamus）等同仁，以及林欣慧、許伶印、莊安華、吳杰峰、呂榮達、申忠哲、歐耀仁、劉冠吟、陳奕帆、孟琬瑜、陳理德、朱幸一、王奇偉、鄭淳淳、陳聖宗、陳昕嶸、王慶怡、劉玉釵、葉國明、李陳發、鍾豐昌、蕭一真、張惠文、張明達、蔡昭慧、劉宜惠、陳鴻儒等多人在野外工作上的協助，才能順利平安完成本年度的野外調查工作，特別在文末致謝之。

六、參考文獻

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，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，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-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。

戴永禔，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，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，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，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。

曾晴賢，1997，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。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。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。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，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，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，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。

戴永禔，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。

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.

表 10-1 2006 年秋季櫻花鉤吻鮭調查數量統計表。

調查於十月十一日至十月十五日前往進行，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 2,270 尾。其他共域魚類數量估計請見表 10-3。

地　　點	三齡以上成魚（25cm 以上）	二齡中型成魚（8~20cm）	一齡幼魚（5~8cm）	小計	備註
迎賓橋~高山溪匯口	9	56	74	139	
高山溪匯口~一號壩	49	105	60	214	
一號壩~觀魚台	23	26	13	62	一至二號壩共計 362 尾
觀魚台~二號副壩	66	115	119	300	
二號副壩~三號壩	86	256	305	647	二至三號壩共計 673 尾
湧泉池	0	18	8	26	
三號壩~四號壩	10	24	26	60	三號壩以上河段共計 541 尾
無名溪匯流點至小瀑布	14	28	36	78	
無名溪小瀑布以上	38	51	80	169	
四號壩~五號破壩	5	8	1	14	
五號破壩~六號壩	35	56	129	220	
高山溪一號破壩以下	7	19	53	87	高山溪全段共計 341 尾
高山溪一~二號破壩	7	55	7	69	
高山溪二~三號破壩	12	49	42	103	
高山溪三~四號破壩	12	45	33	90	
高山溪四號破壩以上	0	0	0	0	
小計	373	911	986	2,270	

表 10-2 2006 年夏季櫻花鉤吻鮭調查數量統計表。

調查於七月八日至七月十二日前往進行，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 2,696 尾。其他共域魚類數量估計請見表 10-3。

地　　點	三齡以上成魚（25cm 以上）	二齡中型成魚（8~20cm）	一齡幼魚（5~8cm）	小計	備註
迎賓橋~高山溪匯口	2	27	112	141	
高山溪匯口~一號壩	12	19	93	124	
一號壩~觀魚台	12	24	88	124	一至二號壩共計 599 尾
觀魚台~二號副壩	50	111	314	475	
二號副壩~三號壩	40	134	727	901	二至三號壩共計 914 尾
湧泉池	2	7	4	13	
三號壩~四號壩	8	22	89	119	三號壩以上河段共計 536 尾
無名溪匯流點至小瀑布	8	27	5	40	
無名溪小瀑布以上	26	41	75	142	
四號壩~五號破壩	2	2	7	11	
五號破壩~六號壩	1	50	173	224	
高山溪一號破壩以下	11	60	16	87	高山溪全段共計 382 尾
高山溪一~二號破壩	2	44	48	94	
高山溪二~三號破壩	4	28	101	133	
高山溪三~四號破壩	1	21	46	68	
高山溪四號破壩以上	0	0	0	0	
小計	181	617	1,898	2,696	

表 10-3 2002 年迄今各齡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 公分的中魚，一齡幼魚為 5～8 公分的小魚。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。其中「？」指以前曾有鮭魚分布，但未進行調查河段，不確定數量。

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（％）									
河段	02S	02W	03S	03W	04S	04W	05S	05W	06S	06W	02S	02W	03S	03W	04S	04W	05S	05W	06S	06W	02S	02W	03S	03W	04S	04W	05S	05W	06S	06W
迎賓橋~高匯點	0.8	4.9	11.6	2.5	4.2	1.3	3.8	9.1	1.1	2.4	1.6	2.2	1.1	0.4	2.1	6.1	2.4	4.6	4.4	6.1	0.7	1.6	0.1	0.9	3.2	4.5	6.4	4.7	5.9	7.5
匯流點~一號壩	2.3	9.8	11.2	2.5	9.2	5.2	4.2	8.1	6.6	13.1	3.2	4.5	1.2	0.6	1.5	5.2	7.1	9.7	3.1	11.5	1.9	2.5	1.5	3.2	3.3	21.0	1.4	4.7	4.9	6.1
一號壩以下小計	3.1	14.8	22.8	5.0	13.4	6.5	8.0	17.2	7.7	15.5	4.8	6.6	2.3	1.1	3.6	11.2	9.5	14.3	7.5	17.7	2.6	4.1	1.6	4.1	6.6	25.5	7.9	9.3	10.8	13.6
一號壩~觀魚台	9.2	17.2	16.6	8.0	18.3	13.4	12.5	8.6	6.6	6.2	19.9	11.0	3.9	1.0	8.3	19.5	8.0	6.3	3.9	2.9	4.1	3.4	0.7	0.1	27.6	12.6	3.2	3.3	4.6	1.3
觀魚台~二號壩	43.5	23.1	21.1	30.7	24.9	36.2	26.5	21.2	27.6	17.7	27.8	21.6	20.3	11.9	14.7	26.0	39.2	14.9	18.0	12.6	15.2	13.3	11.4	10.0	28.7	33.1	15.7	12.0	16.5	12.1
一至二號壩小計	52.7	40.3	37.7	38.7	43.2	49.5	39.0	29.8	34.3	23.9	47.7	32.6	24.2	12.9	22.9	45.4	47.3	21.1	21.9	15.5	19.3	16.7	12.1	10.1	56.4	45.7	18.9	15.3	21.2	13.4
二號壩~三號壩	7.6	26.5	18.6	21.7	7.5	11.1	6.8	9.6	22.1	23.1	25.6	16.9	14.0	19.8	10.5	8.7	7.8	2.3	21.7	28.1	7.2	12.6	11.2	12.5	7.9	8.1	2.5	4.0	38.3	30.9
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	1.6	0.3	0.6	1.1	0.6	0.3	0.9	4.6	1.1	2.0	2.6	3.4	4.4	0.9	1.2	1.6	3.6	9.3	0.2	0.8
二至三號壩小計	11.5	26.5	18.6	22.9	7.9	12.4	6.8	13.6	23.2	23.1	27.1	17.2	14.6	20.9	11.1	9.0	8.7	6.9	22.9	30.1	9.8	16.1	15.7	13.4	9.0	9.7	6.1	13.3	38.5	31.7
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	8.4	9.8	12.0	12.5	5.2	0.2	0.5	0.6	3.6	2.6	12.6	17.1	13.4	3.9	1.8	0.8	0.7	0.0	4.7	2.6
桃山北溪匯流點以上	2.3	0.6	3.1	6.7	4.2	17.6	15.5	20.2	18.8	13.9	0.9	3.2	6.7	8.4	3.3	14.9	14.2	26.9	11.0	8.7	1.6	2.3	8.7	14.4	2.1	10.4	38.2	39.3	4.2	11.8
三至四號壩小計	2.3	1.2	8.3	13.9	7.5	18.2	18.2	21.2	23.2	16.6	9.3	13.0	18.7	20.9	8.5	15.0	14.7	27.4	14.6	11.3	14.1	19.4	22.2	18.2	3.9	11.1	38.9	39.3	8.9	14.4
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	4.8	10.5	12.5	11.7	12.1	1.2	3.3	0.6	0.3	0.9	16.6	11.6	12.1	9.2	4.7	1.1	0.4	0.0	0.4	0.1
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	0.0	8.8	17.9	23.1	24.0	10.6	6.1	4.6	8.1	6.1	22.7	17.7	4.6	19.5	2.0	2.7	0.7	2.0	9.1	13.1
六號壩以上	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
四至六號壩小計	0.0	4.3	1.9	10.1	8.1	4.9	9.8	4.0	1.7	10.7	4.8	19.3	30.4	34.8	36.1	11.9	9.5	5.1	8.4	7.0	39.2	29.3	16.7	28.8	6.7	3.8	1.1	2.0	9.5	13.2
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	0.9	2.3	0.5	0.4	1.0	3.8	3.1	9.7	9.7	2.1	0.3	0.3	0.3	2.4	3.5	1.3	13.6	6.7	0.8	5.4
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	0.5	1.0	0.8	0.6	1.7	0.9	0.7	3.4	7.1	6.0	0.0	0.3	1.5	1.4	3.6	0.2	1.8	10.0	2.5	0.7
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	0.0	1.3	1.7	3.9	3.9	1.2	1.2	1.1	4.5	5.4	0.7	1.3	6.8	8.3	4.6	1.3	4.3	0.0	5.3	4.3
高三號壩以上	29.0	8.0	7.2	3.7	13.4	2.0	8.7	5.6	0.6	3.2	5.0	6.5	6.8	4.6	11.2	1.5	5.4	10.9	3.4	4.9	13.9	12.6	23.2	13.2	5.7	1.3	7.5	4.0	2.4	3.3
高山溪小計	30.5	12.9	10.6	9.4	19.8	8.5	18.2	14.1	9.9	10.2	6.3	11.2	9.8	9.5	17.7	7.4	10.4	25.1	24.8	18.4	14.9	14.5	31.8	25.4	17.4	4.0	27.1	20.7	11.1	13.7
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

表 10-4 2006 年夏秋兩季與櫻花鉤吻鮭共域之魚類數量統計表。

夏季調查時間於七月八日至十二日，秋季調查於十月十一日至十五日前往進行，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）匯流口以上至桃山瀑布溪與詩崙溪匯流點河段。

調查時間	2006 夏季					2006 秋季				
種類	台灣鏟頜魚			台灣纓口鰍	明潭吻鰕虎魚	台灣鏟頜魚			台灣纓口鰍	明潭吻鰕虎魚
地點/體型	大(25cm 以上)	中(15-25cm)	小(15cm 以下)			大(25cm 以上)	中(15-25cm)	小(15cm 以下)		
迎賓橋~高山溪匯口	66	331	503	6	0	34	341	1370	0	0
高山溪匯口~一號壩	27	44	229	0	0	83	367	310	0	0
一號壩~觀魚台	3	10	69	0	0	0	1	31	0	0
觀魚台~二號壩（損毀）	0	2	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	14	2	21	0	0
高山溪一~二號破壩	0	0	0	0	0	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	96	387	801	6	0	131	711	1,732	0	0

表 10-5 2006 年七家灣溪固定樣點魚類組成相調查結果。

時間自 2006.3 至 2006.10。其中五月因為連續鋒面帶來豐沛降雨，無法按照期程前往調查，故無資料。

調查時間	2006.3						2006.5						2006.7						2006.10					
種類	櫻花鉤吻鮭			台灣鏟頜魚			櫻花鉤吻鮭			台灣鏟頜魚			櫻花鉤吻鮭			台灣鏟頜魚			櫻花鉤吻鮭			台灣鏟頜魚		
地點/尺寸	大	中	小	大	中	小	大	中	小	大	中	小	大	中	小	大	中	小	大	中	小	大	中	小
有勝溪	0	0	0	4	11	5							0	0	0	0	20	110	0	0	0	0	0	0
迎賓橋	0	0	0	16	32	181							0	0	1	1	25	85	0	0	0	0	15	250
萬壽橋	1	0	0	0	16	150							1	2	0	8	111	39	0	1	4	0	15	195
繁殖場	0	0	0	1	5	24							0	0	25	1	5	40	0	5	2	0	7	7
一號壩	3	0	0	0	0	0							0	1	9	0	0	1	2	4	4	0	0	0
二號壩	3	1	0	0	0	0	因連續鋒面帶來豪雨，無法按照期程進行調查						1	0	13	0	0	0	3	4	9	0	0	0
桃山西溪	0	6	0	0	0	0							0	2	33	0	0	0	1	8	5	0	0	0
桃山北溪	0	0	0(21*)	0	0	0							0	0	4	0	0	0	1	2	1	0	0	0
高山溪	0	0	0	0	0	0							0	5	4	0	0	0	0	4	1	0	0	0
司界蘭溪下游	0	0	0	0	0	0							0	0	0	0	0	0						
司界蘭溪上游	0	0	0	0	0	0							0	0	0	0	0	0						
備註	*：桃山北溪所有鮭魚僅分佈在最上游河段的深潭												有勝溪、大甲溪與司界蘭溪四站為2006.8.5調查資料，其他各站資料整理自2006年夏季族群普查結果。（2006.7.8～7.12）						資料整理自2006年秋季族群普查結果。（2006.10.11～10.15）					

表 10-6 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(℃)	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

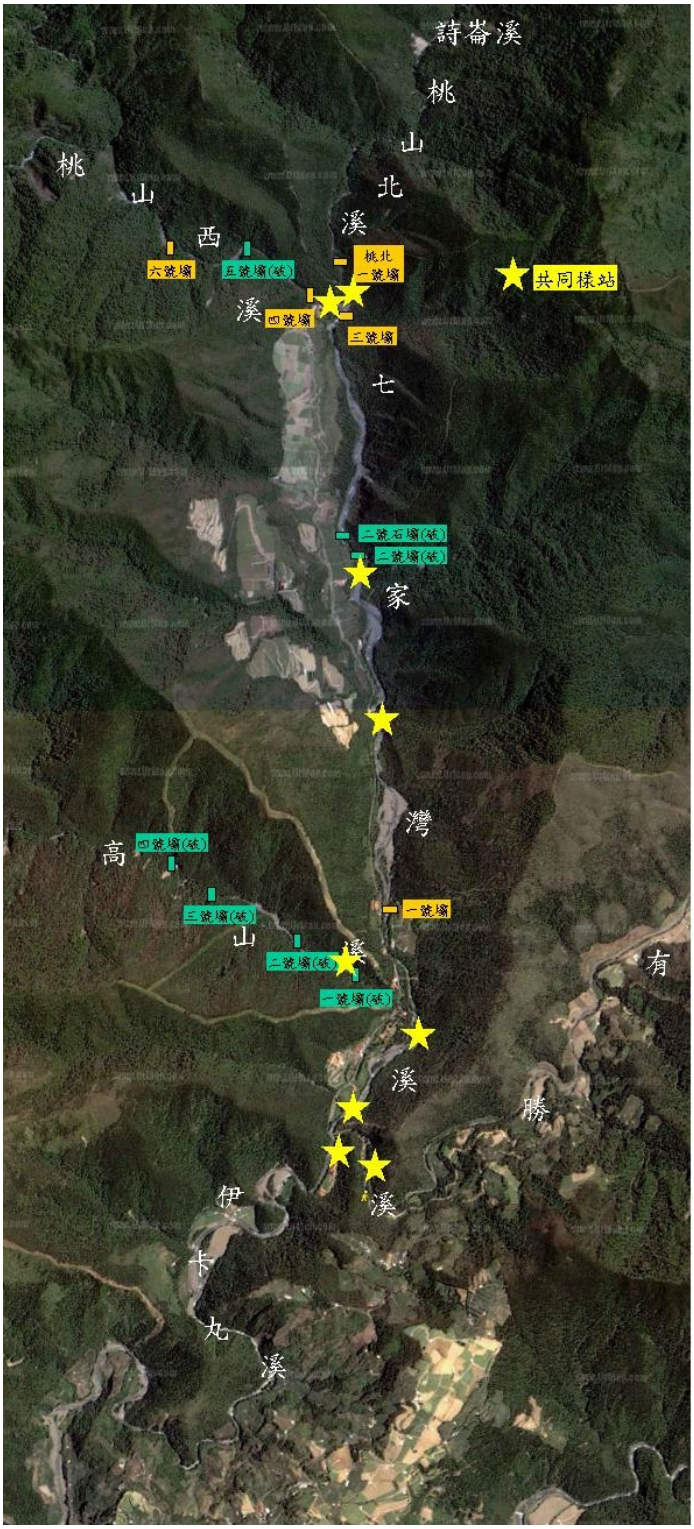


圖 10-1 七家灣溪與高山溪流域位置圖。

各個攔砂壩位置與編號如圖示，其中高山溪所有攔砂壩已經拆除，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。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。

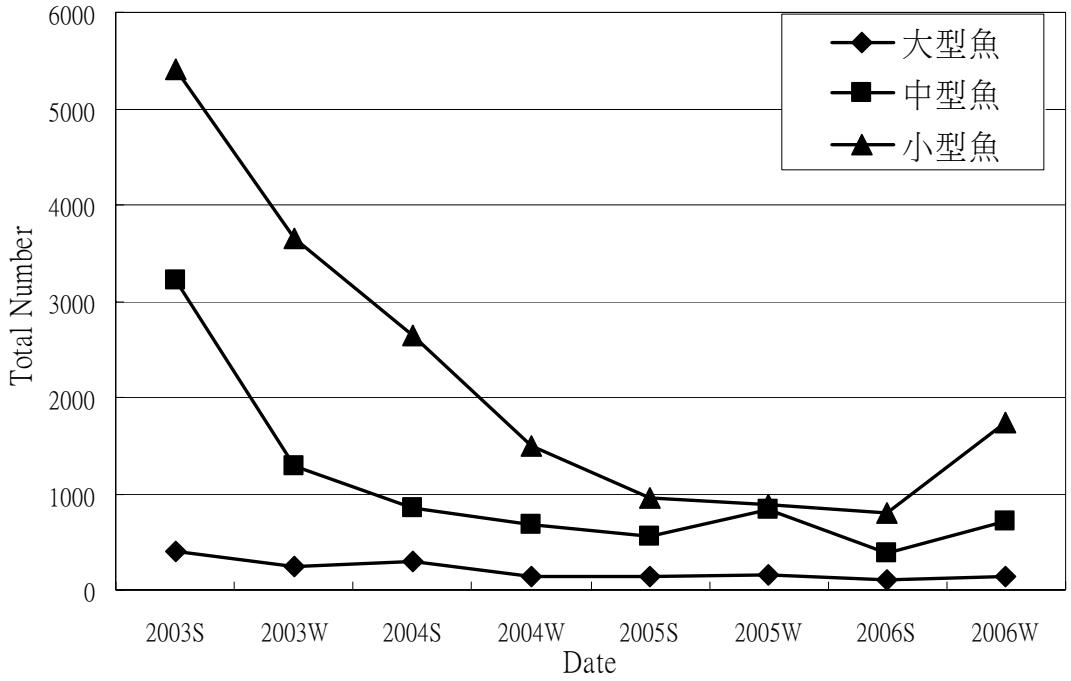


圖 10-2 台灣鏟頜魚自 2003 年以來迄今各類體型族群數量變化圖

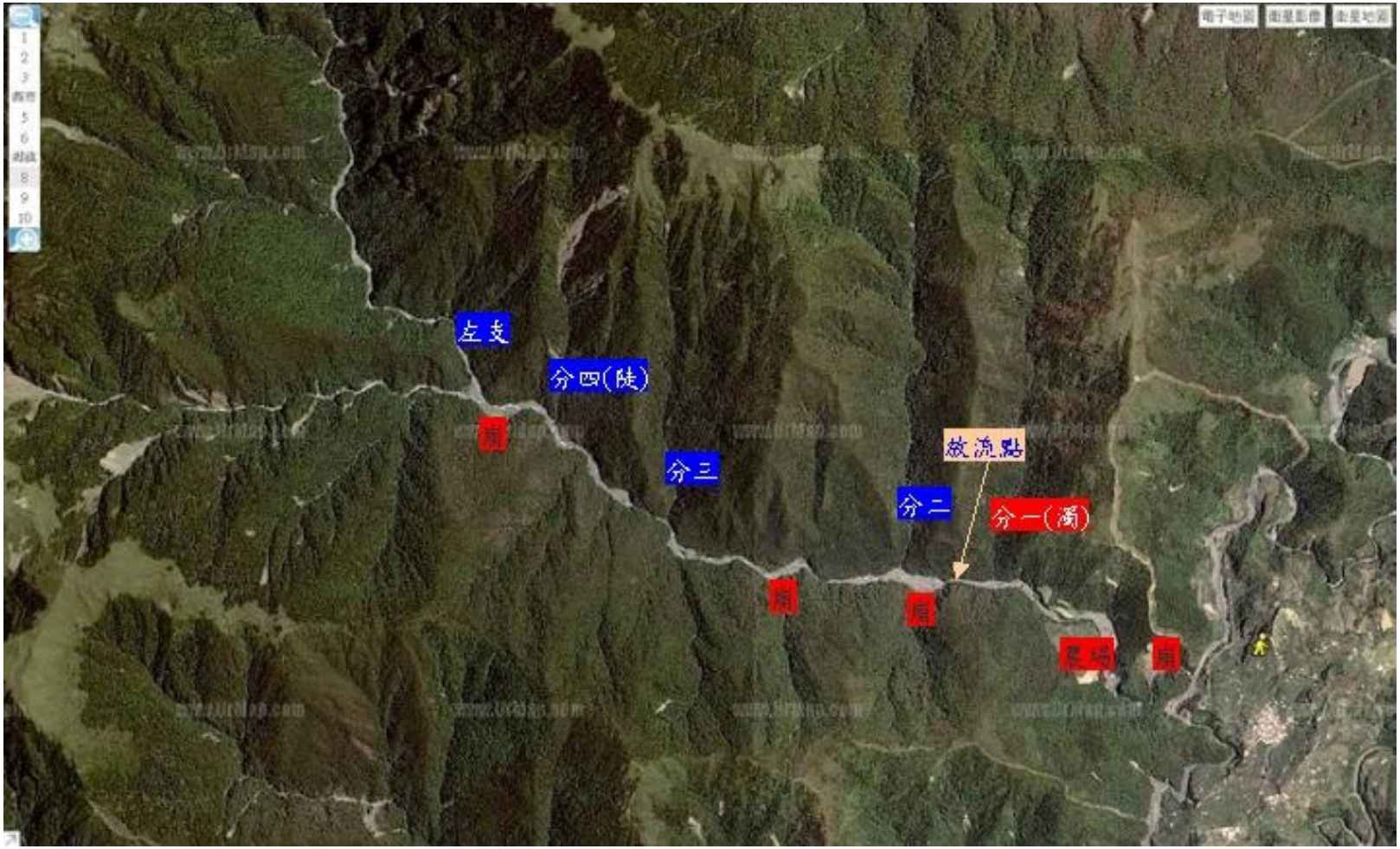


圖 10-3 司界蘭溪勘查支流及崩塌地位置圖

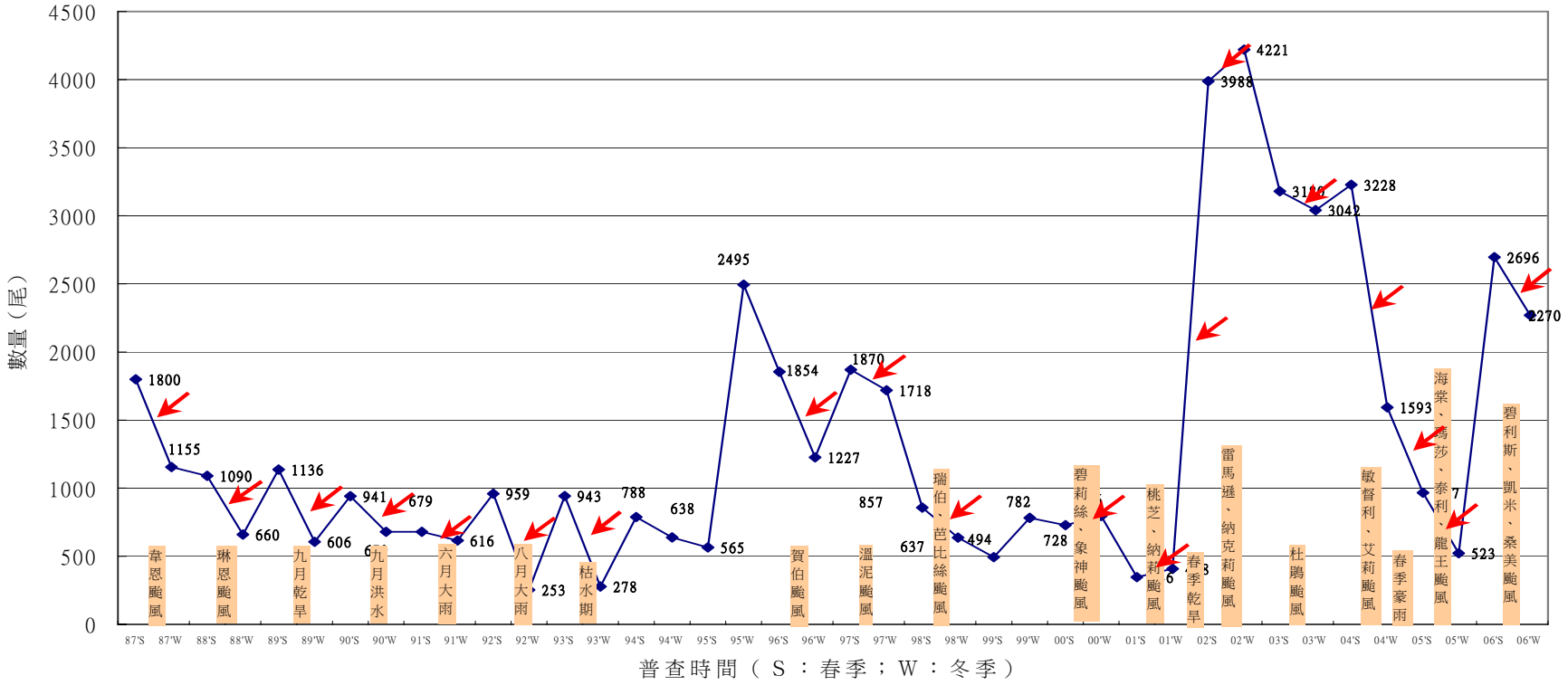


圖 10-4 1998 年至 2006 年櫻花鉤吻鮭族群數量年度變化圖。

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。2006 年兩次調查結果，是自 2005 年秋季數量大幅下降以來又再一次數量大幅增加。

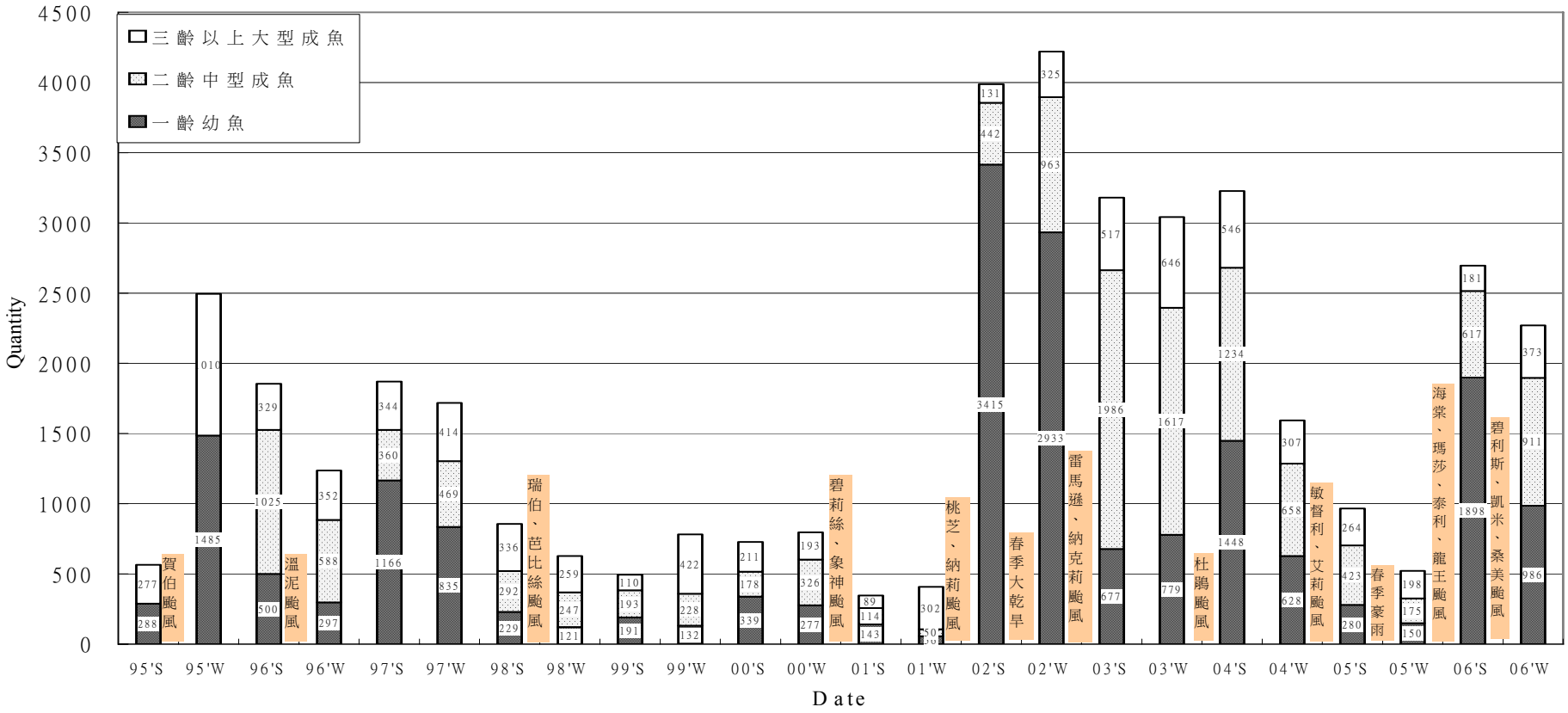


圖 10-5 1995 年至 2006 年七家灣溪櫻花鉤吻鮭各齡族群結構變化圖。

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。但今年夏季調查時又因幼魚大幅增加而形成金字塔型結構。

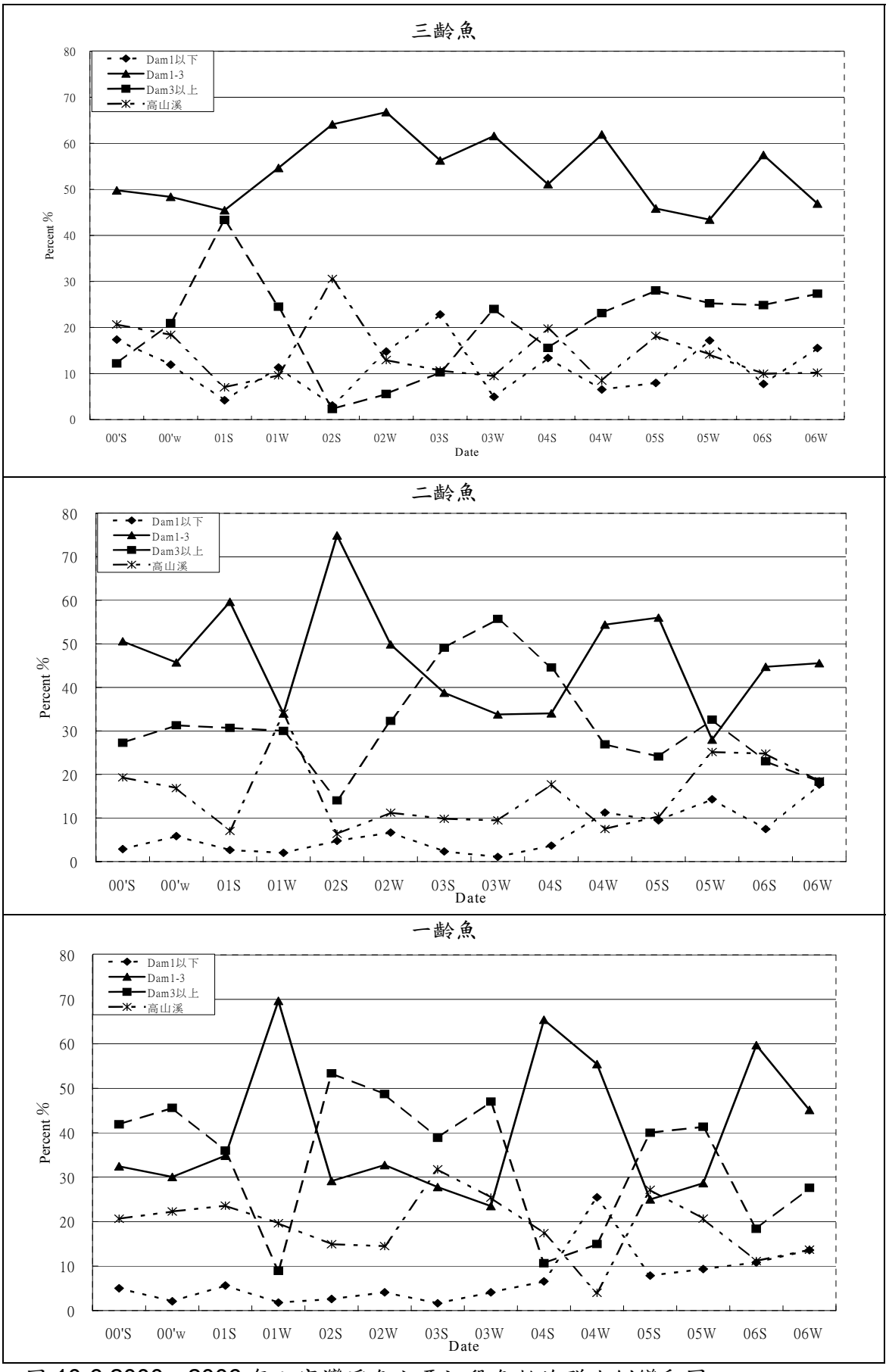


圖 10-6 2000～2006 年七家灣溪各主要河段各齡族群比例變動圖。

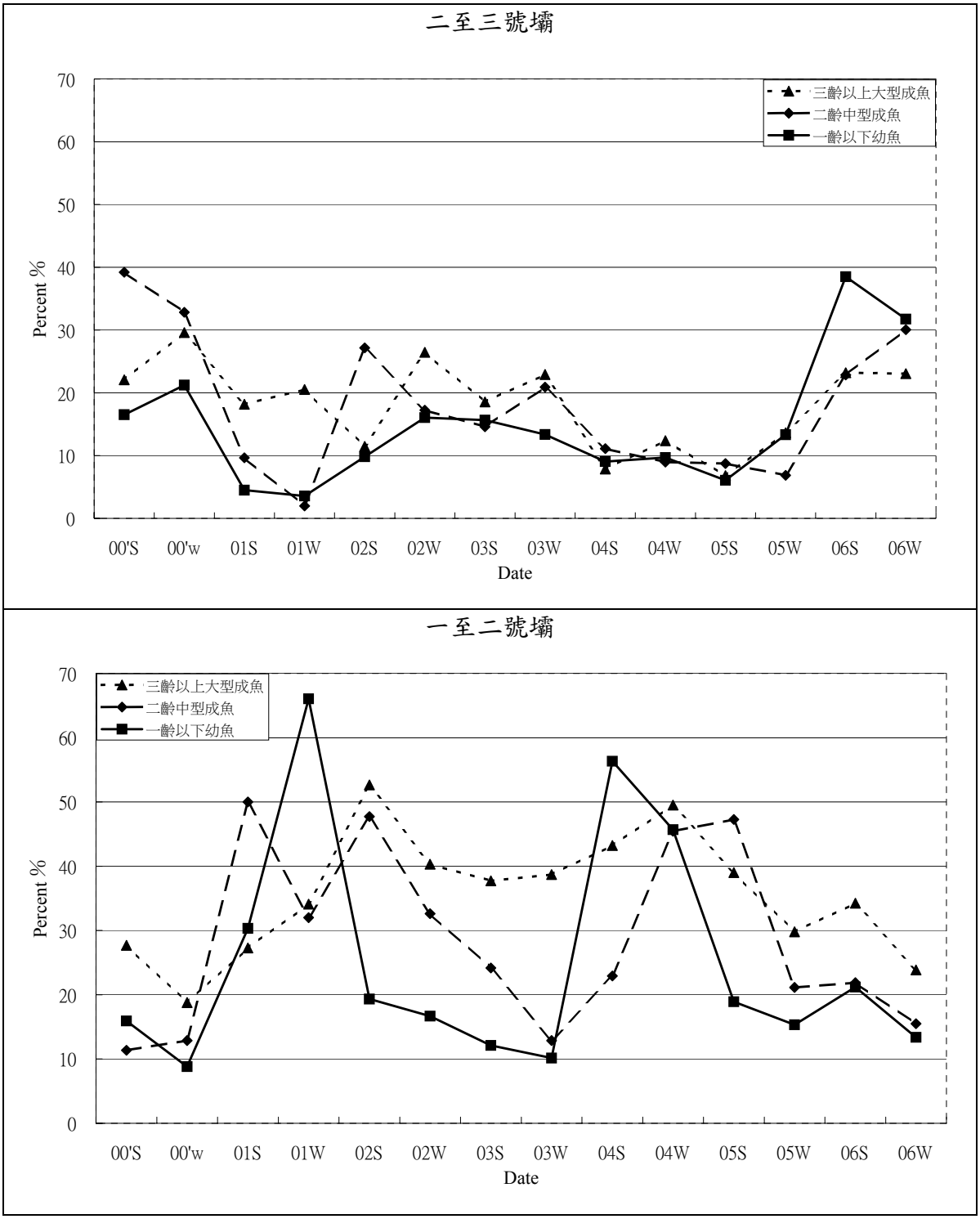


圖 10-7 2000 年至 2006 年七家灣溪二至三號壩以及一至二號壩河段各齡鮭魚族群比例變化圖。

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。

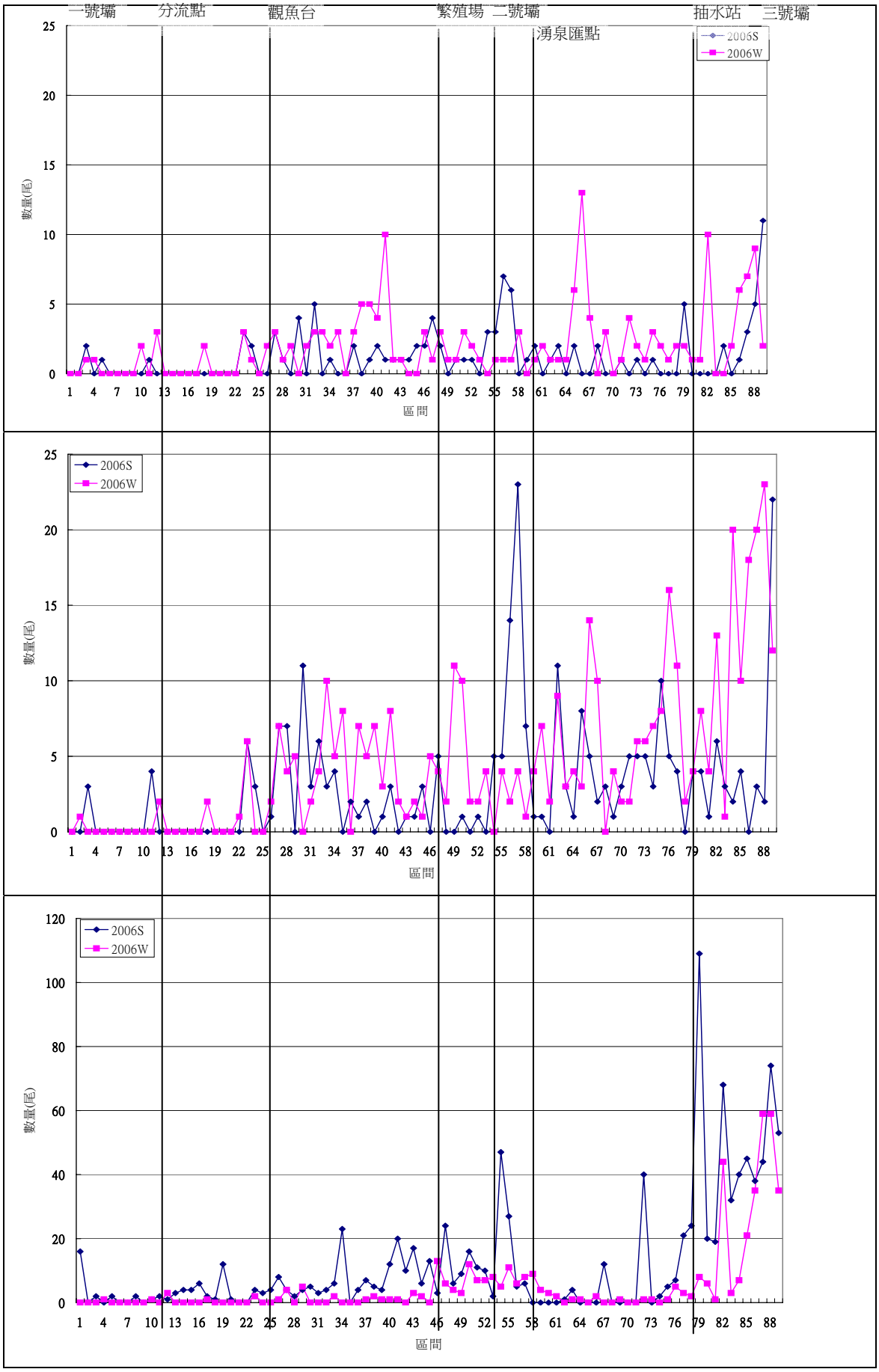


圖 10-8 2006 年夏秋兩季一號壩至三號壩各齡櫻花鉤吻鮭族群分布圖。

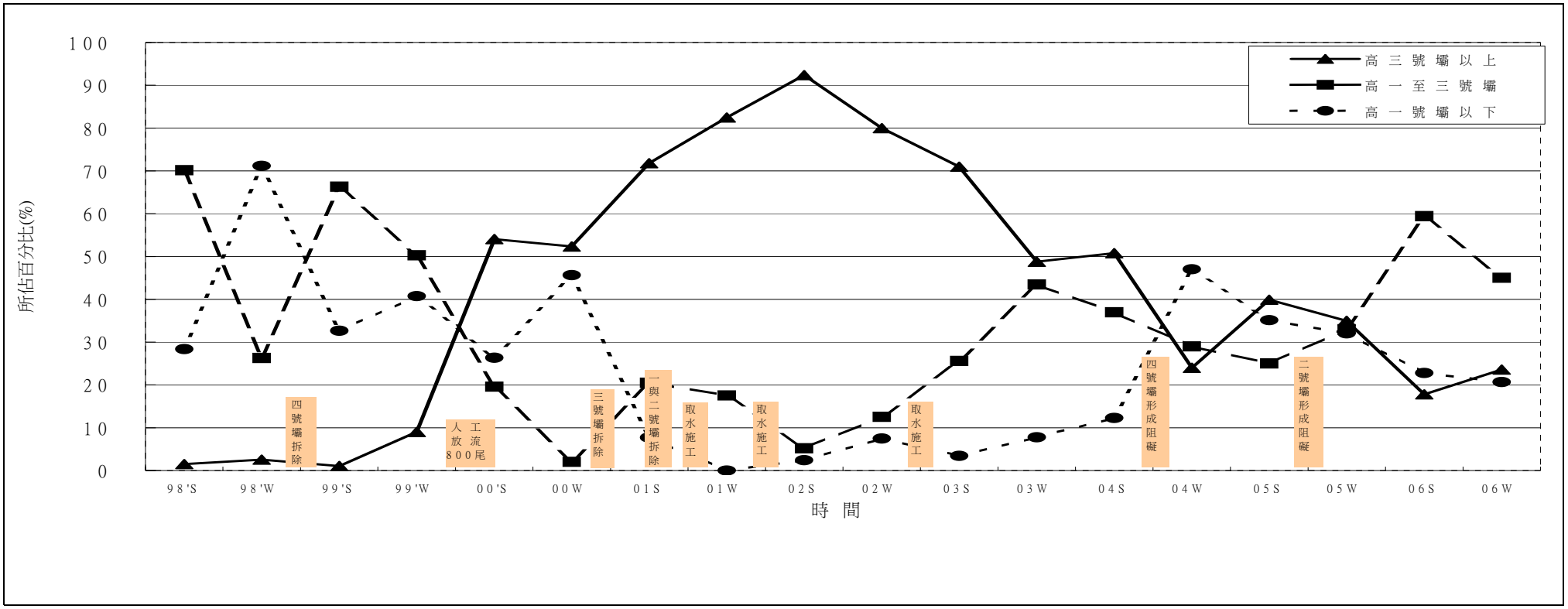


圖 10-9 高山溪各主要河段所佔族群比例變化圖。

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 年高山溪攔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。

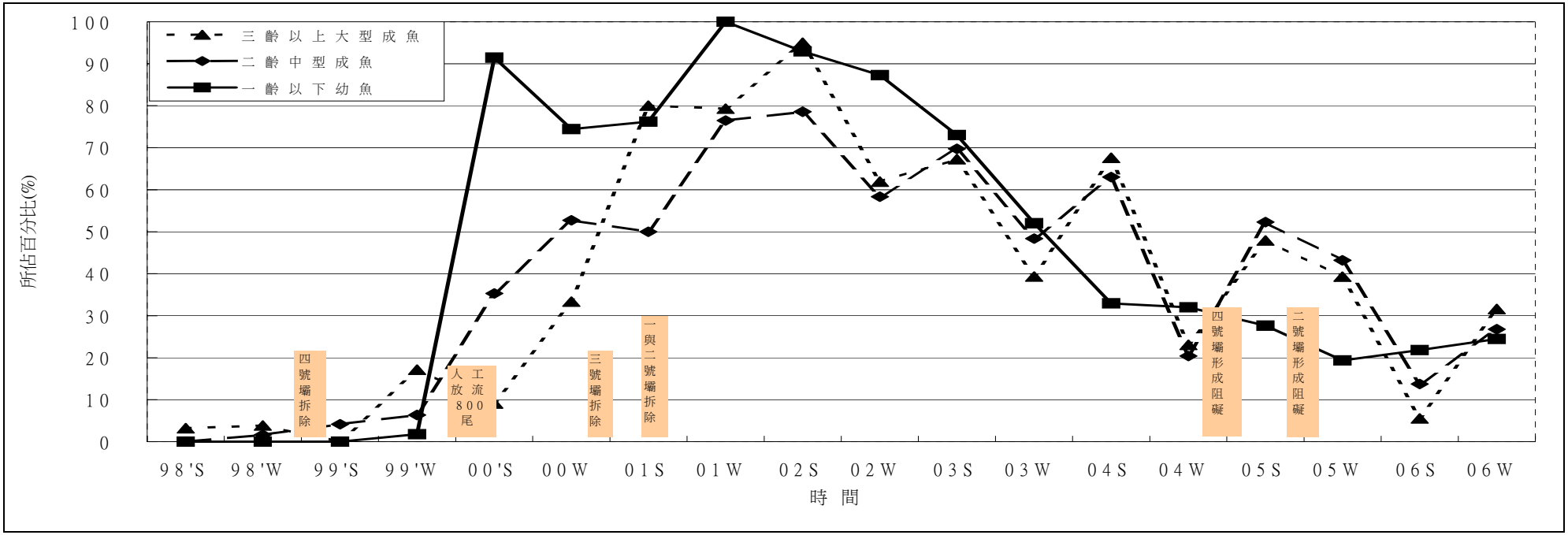


圖 10-10 高山溪三號壩以上河段各齡鮭魚族群比例變化圖。

時間自 1998 年迄今，統計值為三號壩以上河段族群佔高山溪全段族群的比例變化。由圖中可見 1999 年高山溪攔砂壩陸續拆除及復育放流後，各齡族群比例都逐漸攀升，尤其是幼魚族群的增加最為顯著且快速。不過近年來又逐漸下降，同時比對高山溪其他河段的數量，可以發現減少比例的原因為上游族群逐漸往下游各河段擴散所致。2004 年風災後上游河段族群比例有下降情形，加上破壩又形成阻隔，族群無法獲得補充。

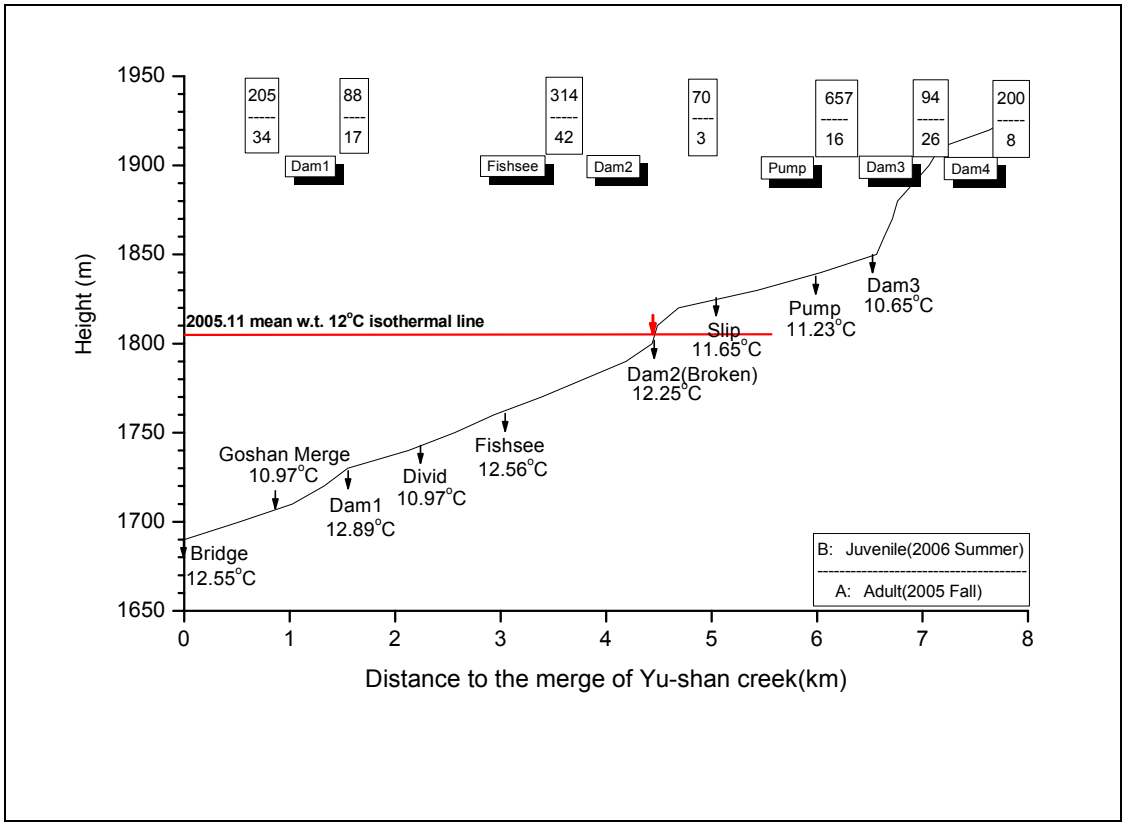


圖 10-11 七家灣溪各主要河段 2005 成魚與 2006 幼魚族群數量與水溫環境比較圖。

比較各主要河段 2005 年秋季三齡以上成魚及 2006 年夏季一齡幼魚數量比較，數量統計僅包含主流河段，並未包含支流如湧泉、桃山北溪小瀑布以上河段。水溫統計則以 2005 年 11 月均溫比較，並依據各定點水溫資料以迴歸法計算得到當年度 12℃等溫線位置約在舊復育中心旁二號壩（已毀損）。

第十一章　溪流鳥類群聚生態監測

孫元勳、洪孝宇、胡景程

國立屏東科技大學

摘要

本研究之目的在探討颱風對七家灣溪溪鳥群聚組成和分布的影響，並了解颱風如何影響今年河烏（*Cinclus pallasii*）和鉛色水鶇（*Phoenicurus fuliginosus*）的繁殖表現。調查方法包括沿著七家灣溪、高山溪和司界蘭溪進行分布和族群調查，找尋巢位紀錄及繁殖情況，持續繫放河烏以辨認個體。七家灣溪和高山溪除 4 月逢豪雨沒有調查以外，其餘每月均會調查一次，司界蘭溪則是在 1 月和 7 月各調查一次。

颱風對七家灣溪水鳥族群造成不同程度衝擊。2006 年 1~7 月間，河烏數量較去年減少 25%~78%(5 月除外），但 8~11 月後因今年颱風少所以數量較去年增加 6.2%~500%。鉛色水鶇數量則較去年同期增加 11.4%~108%，5 月份時族群量達到 2003 年調查以來的最高峰（127 隻），並未受颱風的負面影響，可能跟溪段變寬有關。小剪尾在主溪的數量則大幅下降，可能是由於與其有競爭關係的鉛色水鶇數量增加，致使相對弱勢的小剪尾遭到排擠。

在繁殖表現上，今年上半年有 7 對河烏生了 8 窩蛋，5 窩成功離巢共 13 隻幼鳥，遠高於 2005 年的 4 隻，接近 2004 年的 15 隻記錄，且首度記錄到前年繫放的幼鳥參與繁殖。5~6 月共有 69 隻鉛色水鶇幼鳥離巢，比例高於往年。今年一對鉛色水鶇平均成功離巢 2.0±0.5 隻幼鳥（n=30），高於去年的 1.54 ± 0.65 隻（n=26）。

2003~2006 年河烏成鳥年死亡率為 37.5~57.1%，平均死亡率為 49.7±10.6%。

司界蘭溪 1 公里溪段只記錄到一對河烏繁殖，但是繁殖時程較武陵地區最早

的時程還早約 23 天。

【關鍵字】溪鳥、食性、繁殖、死亡率、族群、颱風

Abstract

The purposes of this research were to monitor the effect of typhoon on the distribution and community structure of stream birds and on the breeding performance of Common dipper (*Cinclus pallasii*) and Plumbeous water redstart (*Phoenicurus fuliginosus*) in Chichiawuan, Kaoshan, and Shihjialan Streams in the Sheipa National Park. Survey was conducted monthly, but for April, in Chichiawuan and Kaoshan Streams, and in Shihjialan Stream just in January and July. We recorded the number of birds along the stream by the binoculars. During the breeding season, breeding habits and diet of Common dipper and Plumbeous water redstart were also documented.

Effects of typhoons on stream bird abundance varied with species. During January-July 2006, the number of Common dipper decreased by 25~78% than last year, excepting in May; however, it increased by 6.2%~500% during August-November. Instead, the number of Plumbeous water redstart increased by 11.4~108%, with the highest number (127 birds) recorded in May since 2003. This may be resulted from the expanded width of the stream by flooding. As an ecological counterpart, Little forktail (*Enicurus scouleri*) decreased dramatically probably as a result of competition from dominant Plumbeous water redstart.

We found seven pairs of Common dippers breeding in Chichiawuan Stream this year, one of which produced two clutches. Five of them successfully fledged 13 young birds totally, higher than that (4 birds) in 2005 but slightly lower than that (15 birds) in 2004. One young bird banded in 2004 starts to breed this year. A total of 69 birds fledges this year, averaging 2.0 ± 0.5 birds per nest (n=30), higher than did last year, 1.5 ± 0.6 birds.

Annual mortality of adult dipper ranged from 37.5 to 57.1% annually，

with a mean of 49.7±10.6%。

Only one pair of dippers presented in a 1-km section in the Shihjialan Stream. Its breeding season began 23 days earlier than that in Chichiawuan Stream.

【Key words】breeding, diet, mortality, population, stream bird, typhoon

誌謝

本計畫承蒙雪霸國家公園管理處經費贊助，並提供食宿便利，才得以順利進行。研究期間武陵管理站協助研究人員後勤和野外工作的協助，武陵管理站解說員張燕伶小姐提供部份鳥類生態照片，吳增勇先生協助檢查鴛鴦巢箱，在此一併致謝。協助我們從事野外調查工作的人員包括：本校野生動物保育所學生林惠姍、林可欣、曾建偉、陳建廷和清華大學生命科學研究所助理楊正雄等。

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)和吳海音(2002)的初步研究，前者主要調查幾條登山步道沿線鳥相，後者探討區內各生態系的鳥類群聚組成，其在食性組成和族群變遷上，特別是溪流鳥類方面的研究比較欠缺。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*)的繁殖期食性研究也已陸續完成或持續中(孫元勳，2003；2004)。至於黃魚鴞(*Ketupa flavipes*)、翠鳥(*Alcedo atthis*)、小剪尾(*Enicurus scouleri*)、鉛色水鶇(*Phoenicurus fuliginosus*)、綠蓑鷺(*Butorides striatus*) 等其他溪鳥的食性內容以及濱岸和集水區陸地鳥類的資料仍然欠缺。而有關溪流鳥類的每日食量需求，僅Sun(1996)有低海拔黃魚鴞的研究。

颱風對一地區鳥類群聚、食性、死亡率的影響甚鉅(Wiley, 1994)。2004年8月24日的艾利颱風挾著豐沛雨量，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，對當地水鳥族群造成衝擊(孫元勳，2004) 。2005年7~9月的三個颱風又再次帶來大水，七家灣溪溪鳥數量仍無法回復到2003年的水準(孫元勳，2005)。今年過境七家灣溪的颱風少見，

其對溪鳥數量和繁殖狀況的影響情形是今年監測的主要目的，獲得的成果將有助於雪霸管理處在颱風對七家灣溪溪鳥生態的干擾之管理和教育解說。

(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烏(*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年七家灣河烏的育雛食物中，81.1%是水生昆蟲，1.8%是魚類，17.1%是蝌蚪(孫元勳，2003)；2004年河烏的育雛食物中，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)。另小魚也是普通河烏(*Cinclus Cinclus*)的食物之一(Ormerod and Tyler, 1991; Yoerg, 1994)；美洲河烏(*Cinclus mexicanus*)甚至有覓食太平洋鮭魚魚卵的紀錄(Obermeyer, et al., 1999)。

體重 27 g 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)。

由食繭分析結果顯示，花蓮縣沙卡礑的黃魚鶺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，一對黃魚鶺一年最多曾吃掉 122 條虹鱒(Sun, 1996)。圈養下(9~12 月)的黃魚鶺一天約消耗 186.9 g (n=20)的魚肉和雞肉，佔體重的 8.5%，和野外食繭獲得的食量(171.9 g，n=49)相近(孫元勳,未發表資料)。

研究地以魚為主食的鳥類中，綠簑鷺、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 274 g 的魚，佔體重的 19% (Crocker *et al*.,2002)。體重 300 餘 g 的綠簑鷺以小魚為主食(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 19~23 g 的鉛色水鶇的餵雛食物裏，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)。紫嘯鶇母鳥平均重 155 g，公鳥重 165 g，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，紫嘯鶇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，七家灣溪的紫嘯鶇除了昆蟲、青蛙、蜥蜴外，還會捕食巢鼠(*Micromys minutus*)。

Martin, et al. (2000)發現，Knysna 河河口水鳥數量在洪水過後減少三分之一；同樣地，Knutson and Klass (1997) 調查密西西比河上游的水鳥群聚時，發現洪水過後的水鳥數量下降。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。

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(圖 1-3)，前者長度約 13 km，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，調查區域另外涵蓋其支流高山溪，調查範圍由匯流口至上游 1.5 km 處的四號壩，海拔介於 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。司界蘭溪匯流口海拔約 1580 m。

(二) 研究方法

1. 溪鳥族群調查

溪鳥族群調查除 4 月逢豪雨溪水暴漲致無法調查外，每月均調查一次。調查使用雙筒望遠鏡沿著溪流行進，記錄溪鳥的出現地點、腳環顏色、數量、性別和年齡。司界蘭溪段則是 1 月和 7 月各調查一次。

2. 繫放

研究者在樣區溪流架設網目約 5 公分的黑色大型鳥網，在光線比較明亮的溪段，張網時間集中在日型性鳥類視覺較差的清晨和傍晚。捕獲後的個體則繫上腳環和色環、測量形質、抽血和拍照。

3. 繁殖

這部份則延續去年河烏和鉛色水鶇的繁殖行為進行調查，內容包括築巢日期和地點、蛋數和離巢隻數。此外，我們沿溪搜尋岩壁和石縫，並藉由啣巢材行為指引搜尋巢位方向。

三、結果

(一) 溪鳥族群變動

1. 河烏

2004 年 8 月七家灣溪遭受艾莉颱風挾帶的豐沛雨水沖刷，隔年又再遭遇海棠、泰利、龍王等颱風的接連肆虐，部份河道拓寬，導致河烏族群波動幅度甚劇。2005 年 11 月河烏雖然回升到當年 6 月颱風季前的水準（32 隻），但仍比 2004 年和 2003 年同期分別減少 20%和 44.8%(圖 11-2；表 11-1)。今年 1 月份的數量則下降到 23 隻，比 2005 年和 2004 年同期分別減少 41%和 37.8%。2 月份由於部分親鳥在巢裏孵蛋，因此數量再度下跌到不到 20 隻，與前三年同期相比仍分別下降 25.0%、53.8%以及 41.9%（2005、2004 以及 2003 年）。3 月份幼鳥離巢使得河烏族群回升到 27 隻，和 2004、2005 年相差已不大，但與 2003 年相比仍然減少了 34.8%。5 月份的河烏數量小幅下跌到 24 隻，雖然比之去年增加了 118%，但與 2004 和 2003 年相比仍下降了 38.5%和 22.6%。6 月份河烏大幅減少到只剩 7 隻，與前三年同期相比分別下降 78.1%、82.5%以及 87.9%。7 月份數量則小幅上升到 18 隻。8 月份記錄到 26 隻，相較於去年七家灣溪此時受到海棠颱風與泰利颱風的影響，今年颱風少，所以數量增加了 18 隻(增加 225%)，此外 9 月份也比去年增加了 20 隻(增加 500%)，共有 24 隻。10 月份共記錄了 42 隻，比去年增加 250%，為今年紀錄最多的月份，11 月份的紀錄則為 34 隻，較去年增加 6.2%，但尚未達 2003 年同期的水準。

司界蘭溪部份，1 月和 7 月各只記錄到 1 對河烏。

2. 鉛色水鶇

2005 年 11 月鉛色水鶇數量較前兩年同期各減少 40.4%、39.8%，2006 年 1 月則回升到 89 隻，維持與前兩年同期一樣的水準，2 月及 3 月份數量則下降到 65 隻和 71 隻，但仍與前三年同期的數量相當，5 月份由於幼鳥離巢，數量上升到 127 隻，是鉛色水鶇族群數量監測以來的新高紀錄，與前三年

(2003~2005 年)同期相比分別增加了 108%、36.6%、28.3% (圖 11-3；表 11-1)。6 月份鉛色水鶇仍持續有幼鳥離巢，而先前的亞成鳥可能已經擴散至別處，因此數量下降至 107 隻，比 2003 年同期略少 5%，但高於去年和前年的數量，各增加 11.4%和 35.4%。7 月份進入繁殖季尾聲，鉛色水鶇數量持續下降至 96 隻。8 月份記錄到 70 隻，數量仍持續減少，但較去年仍增加了 21%，9 月份為 67 隻，10 月份則又增加為 86 隻，11 月份的隻數又降為 81 隻。

司界蘭溪部份，1 月和 7 月只記錄到 14 和 6 隻鉛色水鶇。

3. 紫嘯鶇

去年與前年的 3~6 月，紫嘯鶇數量分別有 1~8 隻和 3~7 隻，然而今年上半年的 6 月時在三號壩調查到 1 隻，8 月份在迎賓橋記錄到 1 隻，10 月份與 11 月份只在三號壩各記錄到 1 隻(圖 11-4；表 11-1)。自從前二年的颱風侵襲之後，紫嘯鶇在武陵地區的紀錄似乎有下降的趨勢。

4. 小剪尾

今年 1 月份調查到 6 隻小剪尾，比去年和前年同期分別減少了 33%和 66%，2006 年的前半年僅 5 月和 7 月份各記錄到 1 隻小剪尾(圖 11-5；表 11-1)。在 8~10 月則分別記錄到了 4、1 和 2 隻，11 月份則增加為 9 隻，模式和去年一樣，只是仍未達 2003 年的水平。

5. 綠簑鷺

2005 年 11 月到 2006 年 2 月，綠簑鷺的數量從 3 隻逐月降為 1 隻，最多時的數量則略少於 2004 年 11 月至 2005 年 2 月同期，但略高於 2003 年 11 月至 2004 年 2 月同期的數量，今年 3 月以後則未有紀錄綠簑鷺，直到 9~11 月份後才出現 2~3 隻(圖 11-6；表 11-1)。

6. 黃魚鴞

2 月份在武陵賓館下游靠近和平農場的廢棄吊橋附近發現數處排遺，但沒找到食繭；5 月份則在桃山西溪六號壩前方 100 m 發現兩處排遺。8 月在高山溪二~三號壩間發現 1 隻個體被 2 隻烏鴉圍繞騷擾。

7. 鴛鴦

2006 年 1 月鴛鴦的數量有 10 隻左右，2~7 月在 5 隻以下，8~10 月有 5~15 隻(表 11-1)。和往年比較，艾莉颱風後的繁殖季(3~7 月)最高數量在 6 隻以下，較之前的略低(圖 11-7)。

(二) 河烏配對、繁殖與成鳥死亡率

去年標記的 5 對河烏，今年僅剩 O-RY♂與 W-♀仍維持原配對，只是去年在兆豐橋下游繁殖的牠們，今年改至高山溪口附近築巢。先前在兆豐橋上游 200 m 和 O-RO♀連兩年配對的 O-RR♂不知去向(可能已經死亡)，則另與 92 年 1 月在三號壩繫放的 B-R♂配對，另 B-W♀、R-G♀、G-W♂等 3 隻河烏也不見蹤影，其中連三年在分流處繁殖的 R-G♀，去年換配偶，連三年在觀魚台上游 200 m 繁殖的 G-W♂去年和前年也皆換配偶。今年另外增加了 O-WG 與無標個體、O-RW♀（曾在 2004 年時與 O-RY 配對）與無標公鳥、R-W（93 年兆豐橋那窩的亞成鳥）與無標個體（表 11-2）。

在繁殖方面，今年在武陵地區（不含司界蘭溪）找到 7 個河烏巢，裏面皆有鳥蛋，其中一對產下兩窩，確定蛋數的 4 個巢的每窩蛋數從 2~5 顆不等，下蛋日期介於 12 月 14 日和 2 月 19 日間。河烏下蛋日期似乎有越往上游越晚的現象，其中司界蘭溪河烏巢的下蛋日期最早，1 月份內有 3 隻河烏幼鳥，牠們在 1 月 25 日離巢，若依據 2004 年武陵地區的河烏資料推算，是在去年 12 月 14 日便開始孵蛋，比武陵地區最早繁殖的河烏的孵蛋日期還早 23 天（表 11-3）。7 巢 8 窩河烏巢中有幼鳥成功離巢的有 5 窩，另有兩窩失敗，1 窩則結果不確定結果，即至少有 1 隻幼鳥成功離巢比例為 62.5%（扣除不確定的那窩）。5 個成功的河烏巢中分別有 1~4 隻幼鳥離巢，總計有 13 隻幼鳥離巢。以位置來看，5 個成功的巢裏有 4 巢位在武陵賓館到一號壩之間的河段，一號壩以上的溪段只有在抽水站有一個巢成功。

死亡率部份，2003 年有領域的配對標記個體有 8 隻，2004 年只剩下 5 隻，若消失個體沒有遷出研究地的話，死亡率為 37.5%；2004 年有 11 隻配對標記

個體，2005 年只剩下 6 隻，死亡率為 54.5%；2005 年有 7 隻標記個體，2006 年只剩下 3 隻，死亡率為 57.1%，總計三年平均死亡率為 49.7±10.6%。

(三) 鉛色水鶇繁殖

今年共計發現 7 個鉛色水鶇巢位(表 11-4)。除了 1 個巢構築在一株倒木的樹洞內，其餘均以岩壁為平台。岩壁巢離地 1.5~5 m，碗狀巢材料主要為苔蘚、松針和細枝，巢的外徑寬約 20 cm，巢的內徑寬約 6~8 cm，巢高在 6~12 cm 間。

今年 4 月預定調查時間適逢豪雨，5 月份調查時已有鉛色水鶇幼鳥出現在溪床，共計 46 隻，佔該月族群的 36.2%，6 月則有 23 隻，佔該月族群的 21.5%，7 月紀錄 24 隻，佔該月族群的 25%，8 月份只有記錄到 5 隻，佔該月族群的 7%。這 4 個月的調查顯示，今年一對鉛色水鶇平均有 2.0 ± 0.5 隻（n=30）成功離巢；一窩鉛色水鶇有 1~3 隻幼鳥離巢，其中有 2 隻幼鳥成功離巢的對數佔的比例最高（53.3%），1 隻和 3 隻則都是 23.3%（圖 11-8）。

(四) 鴛鴦巢箱使用情形

2002 年在七家灣溪和有勝溪設置 50 個鴛鴦巢箱，今年 2 月隨同武陵管理處人員進行抽查，隨機檢查有勝溪 4 個巢箱和七家灣溪 6 個巢箱，發現有 8 個巢箱分別被不同的物種利用（表 11-5），其中鳥類有三個巢箱，包含茶腹鴟(*Sitta europaea*)和另一種小型鳥類。本次沒有發現河烏利用的巢箱，但是哺乳類利用的巢箱有 4 個，包含白面鼯鼠(*Petaurista alborufus*)和赤腹松鼠(*Callosciurus erythraeus*)，昆蟲類有 1 個（胡蜂）。

四、討論

(一) 河烏

2005 年夏天接連遭受數個颱風的侵襲，河烏族群再度下降到只剩下個位數，11 月雖有部分族群重返，但仍然影響了今年年初在武陵地區的繁殖數量，此模式和 2004 年 8 月艾莉颱風過後的 2005 年初的情況雷同，繁殖對數僅有 2004 年的一半左右（表 11-6）。然而今年成功離巢的幼鳥數卻是去年的三倍之多，可能原因是去年三月幼鳥離巢期間，適逢罕見的三月春雪，劇烈的氣候變化影響了當年幼鳥的存活率（孫元勳，2005）。2006 年颱風少且雨勢不若前兩年，七家灣溪 8~11 月河烏數量就比較多。

今年參與繁殖的上標個體中，僅有 O-RY 和 O-RO 是連續三年都有繁殖的個體，O-RR、R-G 和 G-W 等前兩年都有繁殖的個體，今年均未發現，而前年 O-RY 的元配 O-RW 去年繁殖季並未出現，今年卻再度現身並與一隻無標公鳥配對，但是繁殖失敗。今年另一個繁殖失敗的巢的其中一隻親鳥是 R-W，牠是在 2004 年 3 月繫放的個體，是兆豐橋上游 O-RR 和 O-RO 的後代，這是本研究第一隻繫放的幼鳥參與繁殖的案例，兩歲的年齡是否為其開始繁殖的時期有待探討。

由於司界蘭溪樣區長度僅 1 km，和一對河烏的繁殖領域長度(陳炤杰，1989)，因此僅找到一對河烏的巢，然而 1 月份調查時巢內已有即將離巢的幼鳥，繁殖時程較七家灣溪河烏早了 23 天（表 11-3），而今年七家灣溪已是三年來繁殖時程較早的一年（表 11-6）。司界蘭溪的海拔約在 1580~1620 m，較七家灣溪起點的迎賓橋(1720 m) 和上游六號壩(1950 m)低 140~370 m，推斷可能是司界蘭溪樣區河烏較早繁殖的主因。事實上，隨海拔增加的延遲繁殖也發生在短短 7 公里長的七家灣溪河烏本身，因為這段溪流上下游海拔就相差了 230 m；換言之，上下游溫差應該有一兩度。

今年首次記錄到一窩 5 個蛋的河烏巢，過去發現的蛋數皆為 4 顆(孫元勳，

2004；2005)。英國的白喉河烏一窩蛋數多為 5 顆，最多有 7 顆(Tyler and Ormerod, 1994)。一般而言，溫帶鳥類的一窩蛋數會比較多(Koenig, 1984)。

死亡率方面，七家灣溪河烏 2003~2006 年間的成鳥死亡率平均為 49.7%，和白喉河烏的 47%成鳥死亡率以及美洲河烏的 45.2%相差不大。

(二) 鉛色水鶇

本區鉛色水鶇最早孵蛋日期在 3 月初，比起北部海拔 200 多 m 的南勢溪溪段(王穎，1986)要晚上至少半個月。

今年 5-6 月鉛色水鶇幼鳥離巢隻數達到 69 隻，是 2003 年調查以來的最大值（2003~2005 年分別是 22、22、40 隻），5 月份的族群量也一舉達到 2003 年以來的新高，尤其今年每窩離巢的幼鳥數以兩隻居多，高於去年大多只有 1 隻幼鳥離巢的現象（圖 11-9），繁殖率並未受到颱風所影響，且整體數量甚至回復到 2003 年的水準。此或許係部份溪段因大水沖蝕變寬，提供其更多空間讓鉛色水鶇進駐而彌補風災可能產生的暫時性食物不足和個體死亡之因素。不過和往年的趨勢相似，8~9 月間鉛色水鶇數量會下降，由於幼鳥在親鳥的驅趕下會離開出生地(王穎，1986)，研判是數量減少的原因之一。是至於 10~11 月數量又微增的現象可能和其他領域散布出去的幼鳥經過本地有關。

(三) 小剪尾

今年 1~7 月僅調查到 8 隻次的小剪尾，較前三年同期大幅減少（2003~2005 年分別是 29、42、14 隻次）。小剪尾和鉛色水鶇體型和食性（陸生昆蟲）相近，研究人員經常發現鉛色水鶇會有追趕小剪尾的情形，因此推測此二者之間有競爭關係，且小剪尾是處於弱勢的一方。沙謙中（1989）指出，小剪尾主要棲息在小溪澗而鉛色水鶇棲息在主溪。因此今年鉛色水鶇數量的增加所造成的排擠作用，也許就是主溪中小剪尾數量減少的原因。

(四) 鴛鴦

2004 年艾莉颱風過，七家灣溪的鴛鴦數量有略減現象。七家灣溪的溪床變寬，深潭變少多少影響其繁殖數量，轉移的數量可能也是有勝溪在該年 11 月

曾見過 70 隻鴛鴦的原因(張燕伶，2004)，因為相較之下有勝溪在 2004 年艾莉颱風後的地貌改變較輕微。不過，今年 8~10 月鴛鴦數量較前幾年多的原因，或許是颱風較少的緣故。

五、建議

小洞口巢箱在奧萬大森林遊樂區和觀原人工林的設置研究已有十多年的歷史，其間曾吸引山雀鳥類、棕面鶯、茶腹鴝和條紋松鼠。三年前為吸引鴛鴦而在本區設置的大洞口巢箱，雖然尚未發現鴛鴦利用，但卻吸引白面鼯鼠使用和繁殖，此有助於提高人工林的多樣性，特別是人工林的巢洞比較不足。在七家灣溪設置的巢箱因前年大水沖走巢樹，建議加以補充。

六、參考文獻

王穎、裴家騏。1984。紫嘯鶇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鶇的生態研究。師大生物學報 21: 15-39。

方志仁，2003。台灣紫嘯鶇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。

沙謙中，1989。忽影悠鳴隱山林。玉山國家公園管理處。

吳海音，2002。太魯閣、雪霸國家公園生態廊道之研究-有勝溪上游動物相的調查。內政部營建署太魯閣國家公園管理處。

吳聲海，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。

吳聲海，2005。武陵地區生態模式的建立：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。

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。

陳炤杰，1989。河烏繁殖領域與棲地關係之研究。國立台灣師範大學生物研究所碩士論文。41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。

張燕伶，2004。武陵地區鴛鴦生態行為調查。內政部營建署雪霸國家公園管理處。68頁。

郭美華，2005。武陵地區水生昆蟲研究(四)。內政部營建署雪霸國家公園管理處。

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，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。

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。

翟鵬，1977。台灣鳥類生態隔離的研究。東海大學生物學研究所碩士論文。72頁。

Cairns, D. K. 1998. Deit 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 Flordia USA. Florida Field Naturalist 16: 8-9.

Koenig, W.D. 1984. Geographic variation in clutch size in the Northern Flicker (Colaptes auratus): Support for Ashmole's hypothesis. Auk 101:698-706.

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.

Moss, D. 1975. Movements and sexing of roosting dippers. Edinburgh Ringing Group Annual Report 3:8-15.

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., M.A. Boilstone, and S.J. Tyler. 1985. Factors influencing the abundance of breeding dipper Cinclus cinclus in the catchment of the River Wye, mid-Wales. Ibis 127:332-340.

Ormerod, S. J. and S.J. Tyler. 1991. Exploitation of prey by a river the dipper Cinclus cinclus L. along acidic and circumeeutral 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. 1996. The ecology and conservation of tawny fish owl in Taiwan. Ph.D. Dissertation, Texas A&M University, College Station, Texas.

Sun, Y., H. Wu, and Y. Wang. 2004. Predation by Tawny Fish-Owls at fish farms in Taiwan. J. Raptor Research 38: 326-333.

Tyler, S. J. and S. J. Ormerod. 1994. The dippers. T & A D Poyser, London. 225pp

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 2006 年 1 月~ 11 月武陵地區溪流鳥類相。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		
2006.1 月	河烏	3	16	4	23	2
	鉛色水鶇	22	61	10	93	14
	小剪尾	2	3	2	6	0
	綠簑鷺	1	1	0	2	0
	鴛鴦	0	10	0	10	0
2 月	河烏	2	13(4)	3	18	—
	鉛色水鶇	19	49	12	80	—
	綠簑鷺	0	1	0	1	—
	鴛鴦	0	2	0	2	—
3 月	河烏	5	21(9)	1	27	—
	鉛色水鶇	17	52	4	73	—
	綠簑鷺	0	0	0	0	—
	鴛鴦	2	3	0	5	—
	紫嘯鶇	0	0	0	0	—
5 月	河烏	3	21（1）	0	24	—
	鉛色水鶇	20（4）	98（40）	9（2）	127	—
	鴛鴦	0	2	0	2	—
	小剪尾	0	0	1	1	
	紫嘯鶇	0	0	0	0	—
6 月	河烏	0	5	2	7	—
	鉛色水鶇	28（6）	52（12）	27（5）	107	—
	小剪尾	0	0	0	0	—
	鴛鴦	0	2	0	2	—
7 月	河烏	4	14	0	18	2
	鉛色水鶇	28（7）	62（17）	6	90	6
	小剪尾	0	1	0	1	0
	鴛鴦	0	2	0	2	0
8 月	河烏	2	21	3	26	—
	鉛色水鶇	17	45（5）	8	70	—
	小剪尾	0	3	1	4	—
	鴛鴦	1	14	0	15	—
	紫嘯鶇	0	1	0	1	—

續表 11-1 2006 年 1 月~ 11 月武陵地區溪流鳥類相。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		
9 月	河烏	4	18	2	24	—
	鉛色水鶇	16	45	6	67	—
	小剪尾	0	0	1	1	—
	鴛鴦	0	12	0	12	—
	綠簑鷺	1	1	0	2	—
10 月	河烏	8	29	5	42	—
	鉛色水鶇	15	58	13	86	—
	小剪尾	0	1	1	2	—
	鴛鴦	0	8	0	8	—
	綠簑鷺	0	2	0	2	—
	紫嘯鶇	0	1	0	1	—
11 月	河烏	5	26	3	34	—
	鉛色水鶇	20	52	9	81	—
	小剪尾	2	4	3	9	—
	鴛鴦	0	0	0	0	—
	綠簑鷺	0	3	0	3	—
	紫嘯鶇	0	1	0	1	—

表 11-2 2003~2006 年七家灣溪有標記河烏配對情形

年	配對河烏	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 [a] +無標	彌勒佛下方	2004.3
	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 [b] +無標	觀魚台下游 30 m	2004.3

[a] 今年新繫放的個體

[b] 2004 年兆豐橋上游幼鳥。

表 11-3 2006 年七家灣溪和司界蘭溪河烏繁殖表現。

巢　位	孵　蛋　期			雛　鳥　期			備　註	失敗原因
	下完日期	一窩蛋數	孵化日期(日數)	雛鳥數	離巢日期	離巢幼鳥數		
武陵賓館下游 50 m	1/8[a]	≥3	-	≥3	2/19	3		
彌勒佛下方岩壁	1/4-1/8[a]	≥3	-	3	2/15-2/19 之間	3	親鳥：O-WG	
高山溪距河口 30 m	1/6[a]	≥1	-	≥1	2/17 前	1	親鳥：O-RY 和 W-	
	2/19	2	3/8[a]	2	4/2[a]	-		
兆豐橋上游 200 m	1/8[a]	4	-	4	2/19	4	親鳥：B-R 和 O-RO	
分流處上游 50 m	1/20 前	5	X	0	X	0	親鳥：O-RW	疑遭掠食
觀魚台下游 30 m	1/20 前	3	X	0	X	0	親鳥：R-W	疑遭掠食
抽水站	1/23	≥2	-	≥2	3/6[a]	2		
司界蘭溪 11 號測站	12/14[a]	≥3	-	3	1/25	3		

-不確定

[a]由 2004 年資料，孵化需 17 日，離巢需 25 日推算

X- 繁殖失敗

表 11-4 2006 年七家灣溪和有勝溪鉛色水鶇巢位紀錄

巢位地點	巢中狀況	備註
七家灣溪彌勒佛像下方岩壁，距水面約 2 公尺，築在岩縫中。	呈碗狀，巢中沒有鳥，巢材多為苔蘚與松針，巢外岩壁亦無排遺的遺跡。	該巢旁邊有之前紀錄過的河烏巢。
七家灣溪與高山溪匯流處對面岩壁，巢位距離水面約 3 公尺，築在岩縫中。	碗狀，巢材多為苔蘚、松針與細的樹枝，巢外並未發現有鳥的排遺痕跡。	巢位非常隱密。
觀魚台下游約 200 公尺，該巢距離水面約 1.5 公尺，距離稜頂約 3 米，築在岩壁上，下方水流急速。	巢材多為苔蘚與松針，外圍有細長的枯葉，巢呈碗狀，外徑寬約 20 公分，高約 12 公分，巢中有雌鳥正在孵育。	
觀魚台上游 500 公尺處，距水面約 2 公尺，距邊坡頂約 3 公尺，朝下方為一深潭，巢築在岩壁上。	巢外徑寬約 18 公分，高約 10 公分，巢內徑的直徑約 6-8 公分。巢外圍的巢材有苔蘚、小樹枝、松針與枯葉，巢中的材料有新鮮的松針與細枝。	巢中無鳥，但是附近很明顯有鉛色水鶇的警戒聲傳來。
七家灣溪二號壩前約 100 公尺，距水面約 4 公尺，距稜頂約 4 公尺，朝下方的水流急速。	巢中無鳥，此巢較為凌亂，巢外岩壁沒有鳥的排遺痕跡。	可能是舊巢位。
桃山西溪五號壩旁邊的岩壁上，距水面約 5 公尺，下方水流急速。	巢中已經沒有鳥的蹤跡，應該皆已離巢。	
此巢築在高山溪溪旁倒木的樹洞中。	外徑約 20×20 公分，內徑約 8×8 公分，厚度約 6-7 公分。	

表 11-5 2006 年 2 月抽檢有勝溪和七家灣溪 10 個鴛鴦巢箱的使用情形。巢箱於 2002 年放置。

河段	位置	編號	樹種	使用物種	使用情況
有勝溪	距收費站 1.5 km 處	27	桑樹	無	
		32	二葉松	小型鳥類	苔蘚和地衣構成碗狀巢
		38	二葉松	小型鳥類	苔蘚和地衣構成碗狀巢
		10	二葉松	茶復鴨	觀察到進出巢箱,但尚未築巢
七家灣溪	一號壩上游 50 m	42	赤楊	胡蜂	20-30 隻胡蜂停棲在巢箱中，但沒有築巢。
	一號壩上游 100 m	43	赤楊	無	
	分流處	25	二葉松	白面鼯鼠	巢箱內有 1 成體+1 幼體
		20	二葉松	白面鼯鼠	巢箱內 1 成體
		37	二葉松	白面鼯鼠	由巢材研判
		？	二葉松	赤腹松鼠	由巢材研判

表 11-6　2004-2006 武陵地區河烏繁殖比較

年	2004	2005	2006
繁殖對數	13	6	7
巢窩數	15 巢 11 窩	6 巢 6 窩	7 巢 8 窩
最早下蛋日期	1 月 13 日	1 月 31 日	1 月 6 日
幼鳥最晚離巢日期	4 月 23 日	3 月中旬	4 月 2 日
平均每窩蛋數（n）	4（9）	4（3）	3.5（4）
*繁殖成功窩數	5	2	5
平均離巢幼鳥	3	2	2.6
離巢幼鳥總數	15	4	13

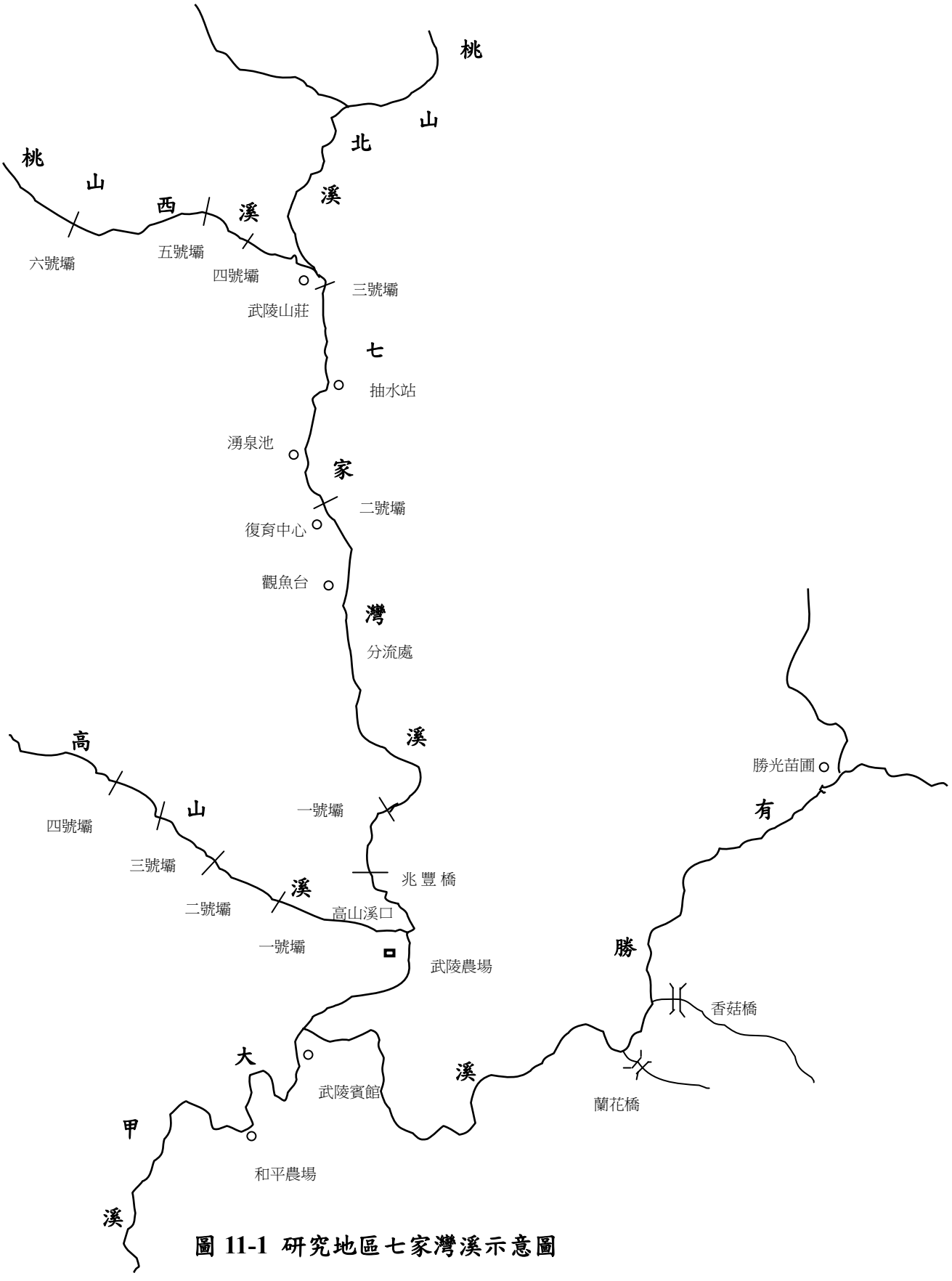


圖 11-1 研究地區七家灣溪示意圖

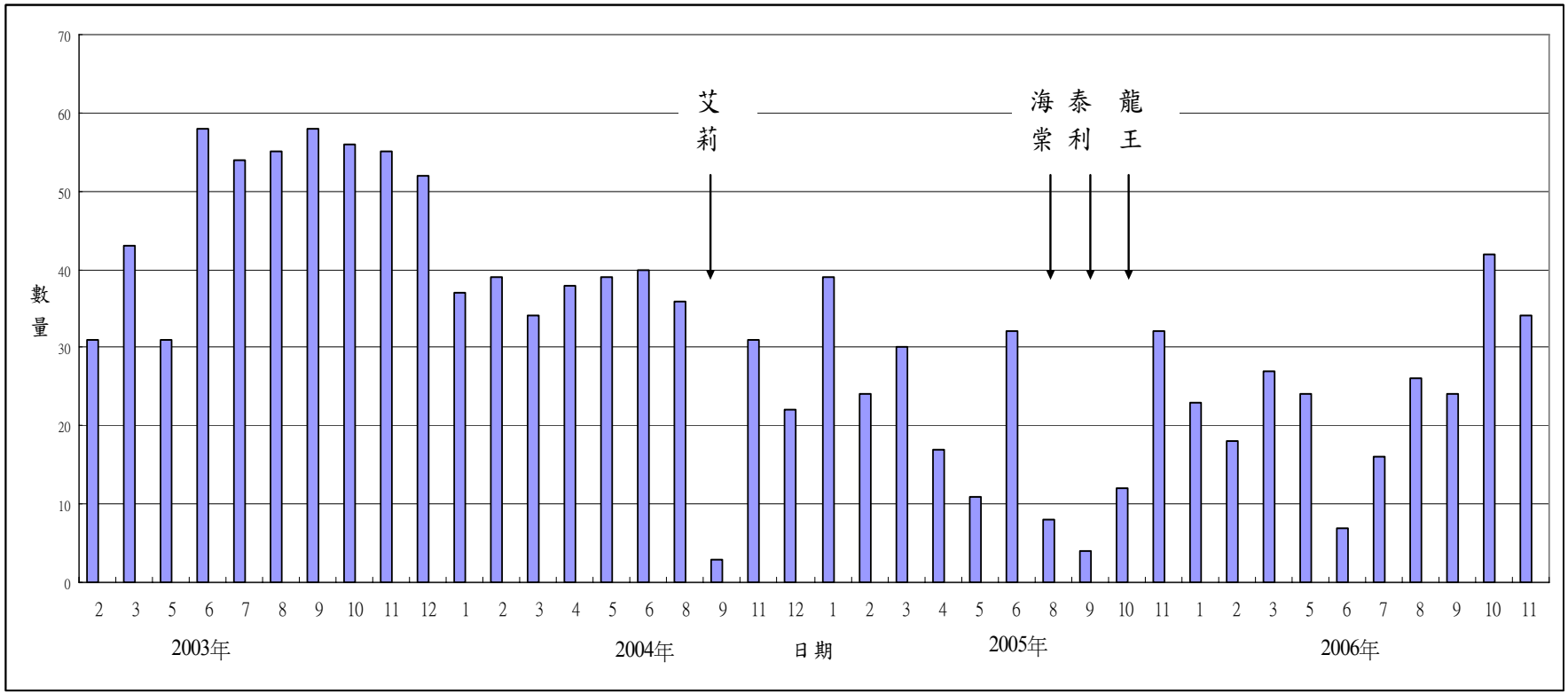


圖 11-2 2003~2006 年七家灣溪河烏數量月變化，部份月份因逢溪水高漲沒有調查。

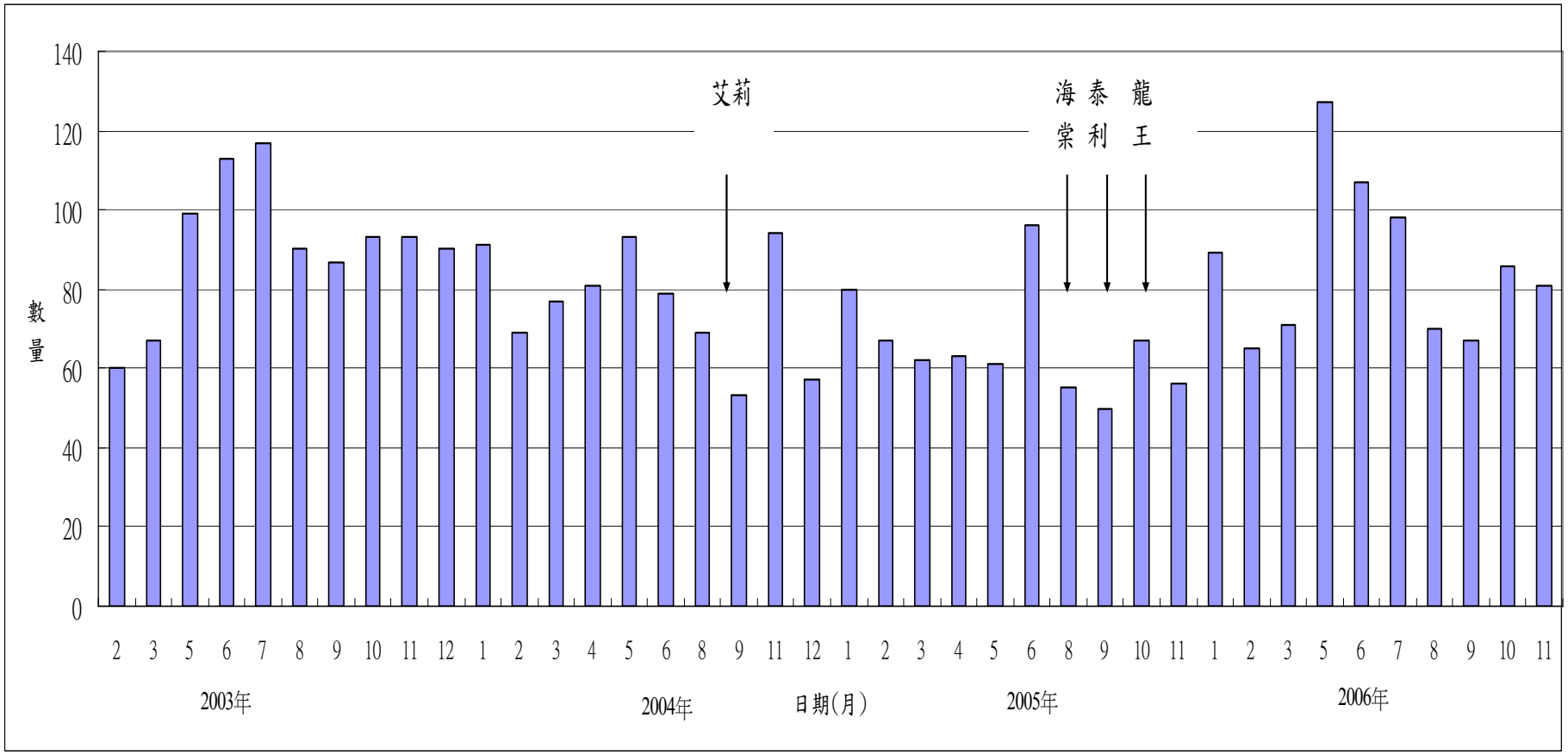


圖 11-3 2003~2006 年七家灣溪鉛色水鶇數量月變化，部份月份因逢溪水高漲沒有調查。

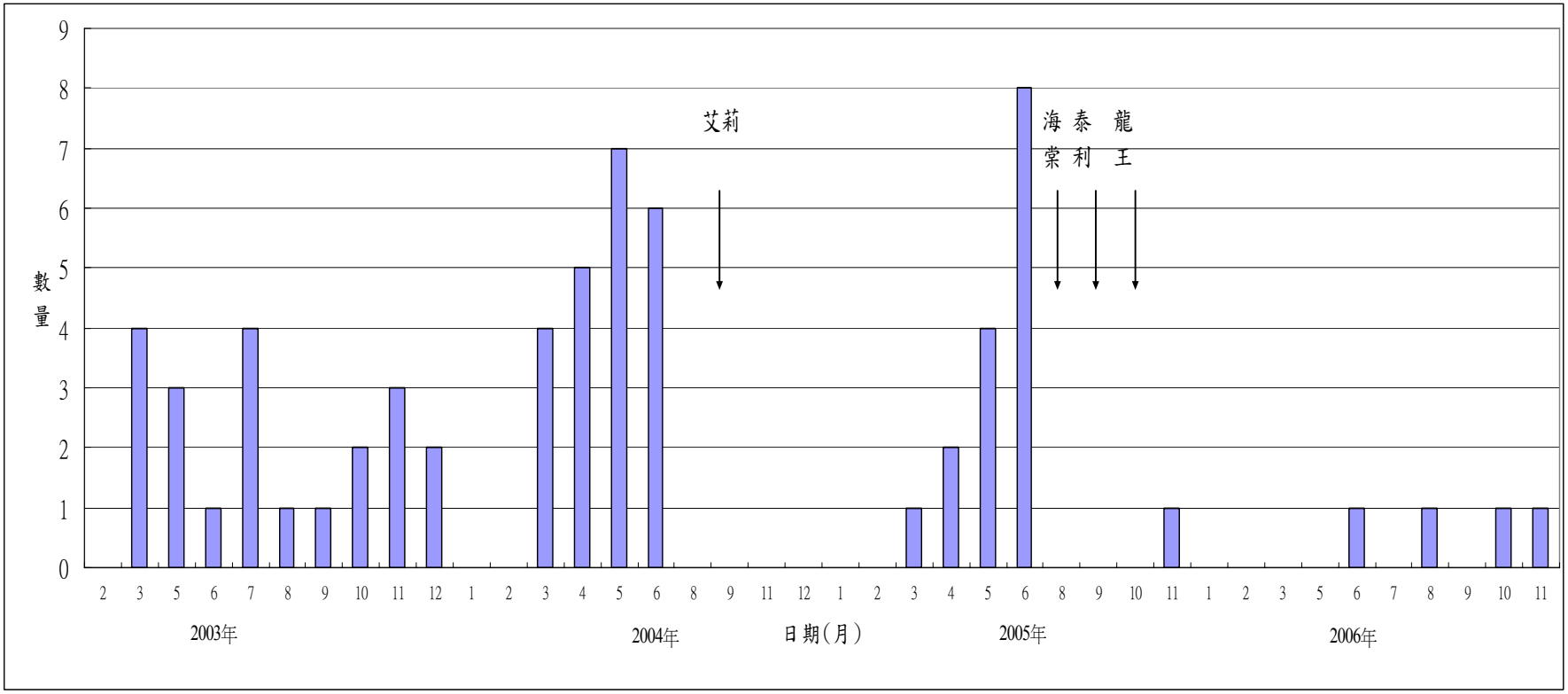


圖 11-4 2003~2006 年七家灣溪紫嘯鶇數量月變化，部份月份因逢溪水高漲沒有調查。

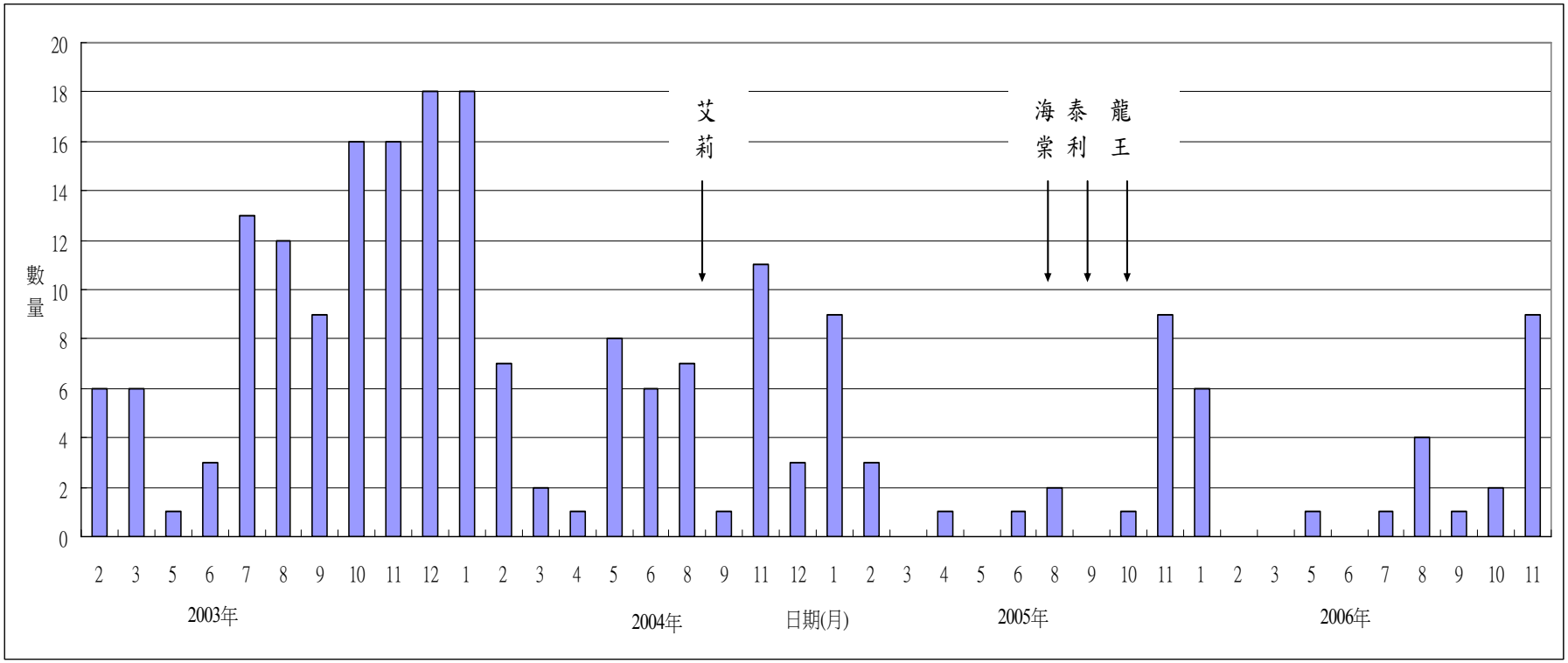


圖 11-5 2003~2006 年七家灣溪小剪尾數量月變化，部份月份因逢溪水高漲沒有調查。

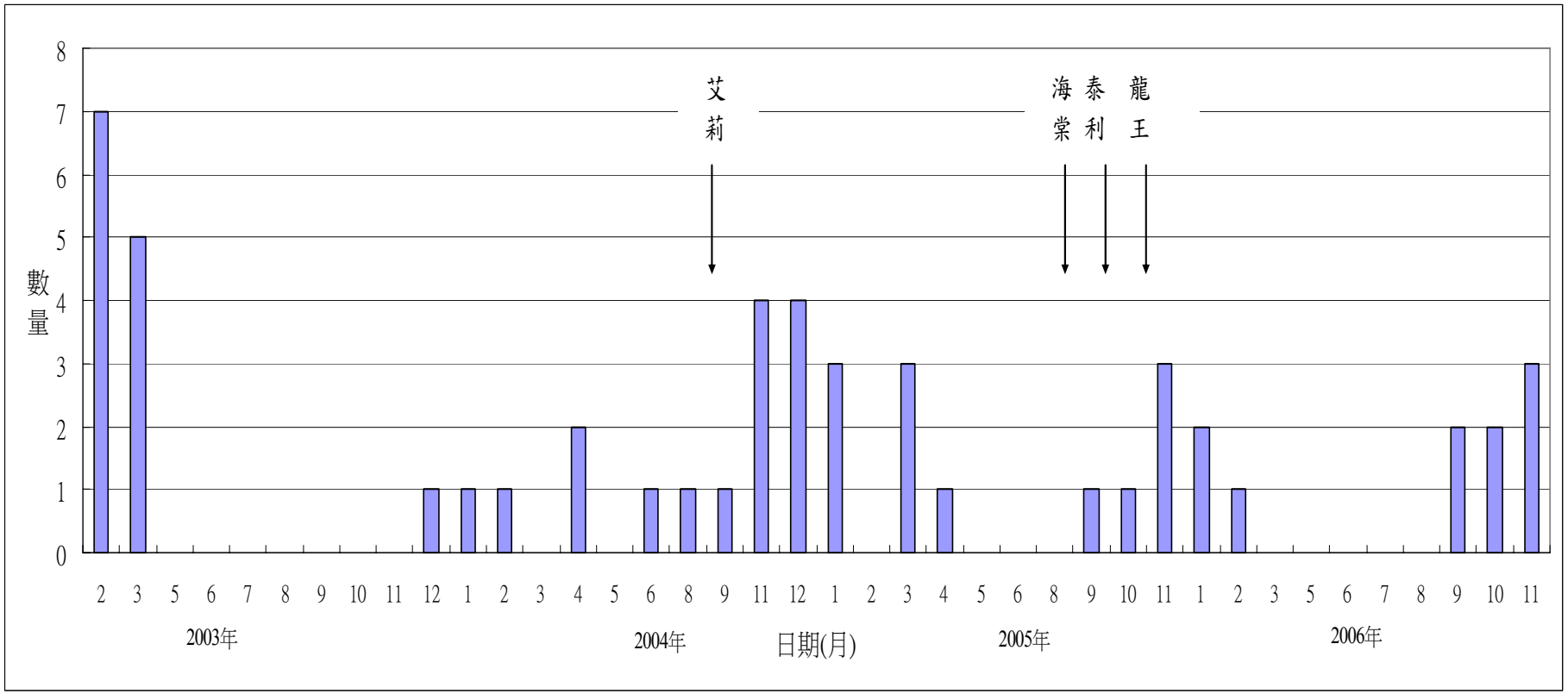


圖 11-6 2003~2006 年七家灣溪綠簑鷺數量月變化，部份月份因逢溪水高漲沒有調查。

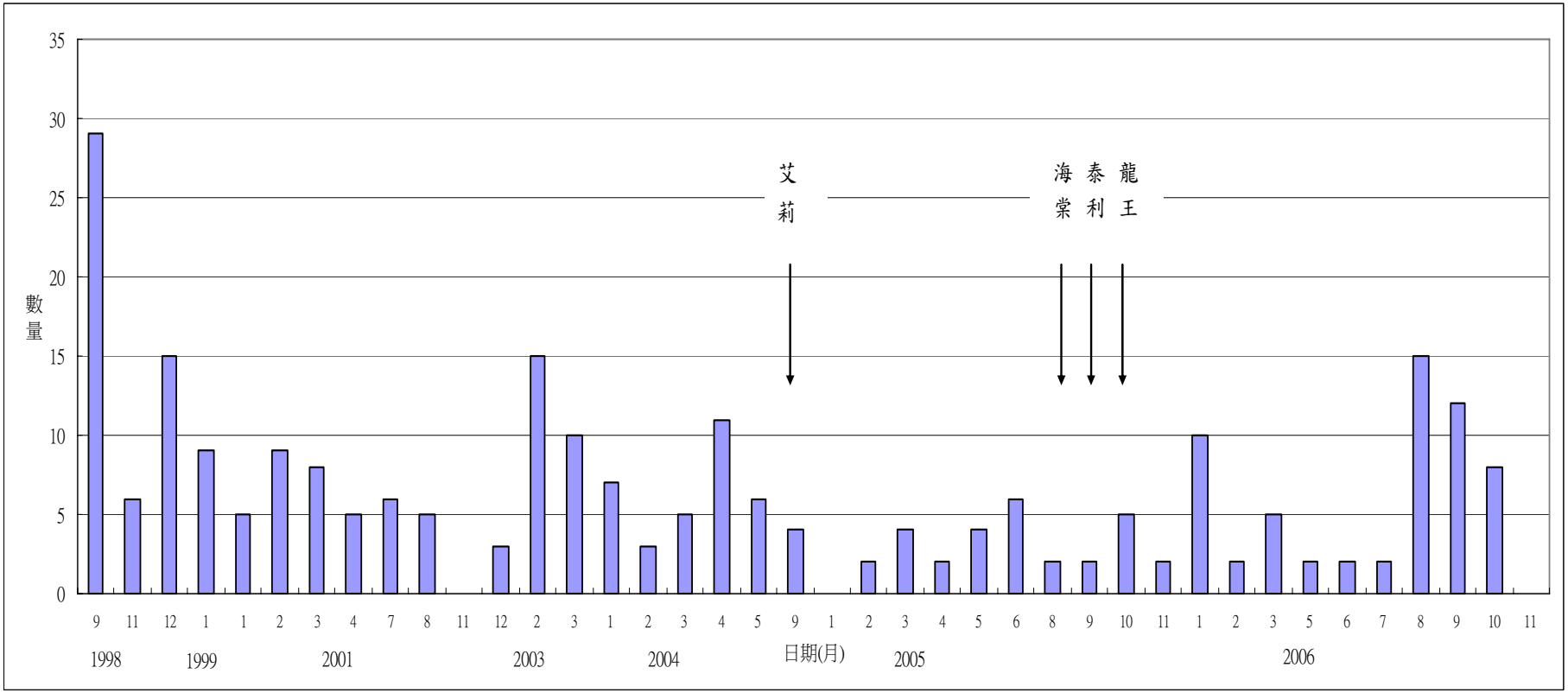


圖 11-7 2003~2006 年七家灣溪鴛鴦數量月變化，部份月份因逢溪水高漲沒有調查或資料遺失。

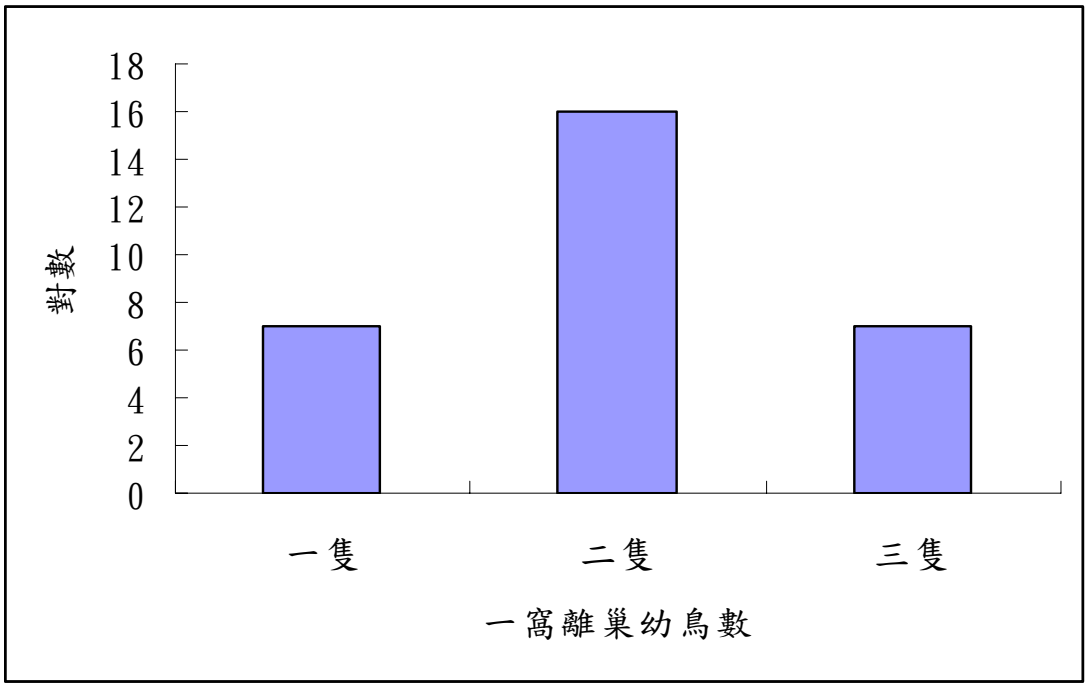


圖 11-8 2006 年 5~6 月份鉛色水鶇各離巢幼鳥數的繁殖對數。此圖不包含繁殖失敗的個體。

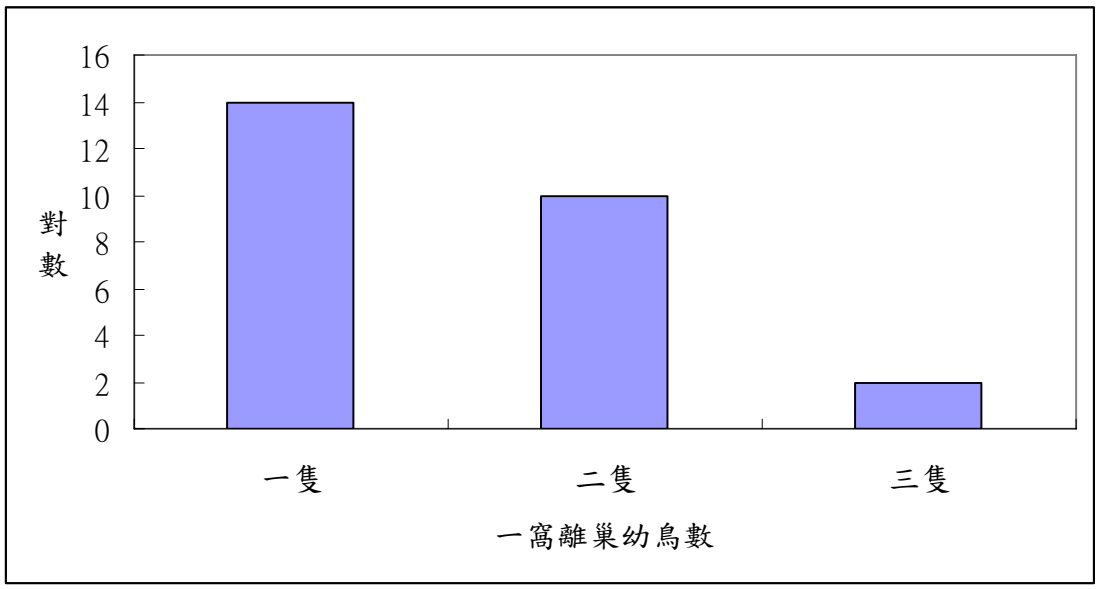


圖 11-9 2005 年 6 月份鉛色水鶇各離巢幼鳥數的繁殖對數。此圖不包含繁殖失敗的個體。



圖版一 研究人員過高山溪二號壩的情形



圖版二 探巢



圖版三 調查者在七家灣溪的紀錄工作



圖版四 司界蘭溪河烏雛鳥



圖版五 巢箱內的白面鼯鼠



圖版六 巢箱內的白面鼯鼠墊材



圖版七 赤腹松鼠利用的巢箱



圖版八 高山溪倒木樹洞內的鉛色水鶇巢

第十二章　生態資料庫建構

邵廣昭

中央研究院生物多樣性研究中心

摘要

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。

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。

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 requirment 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 internationlly 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 preseved digitized and is availabe 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.

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) 通用生態調查資料格式簡介：

通用生態調查資料，包含三個資料表，欄位說明如下：

表 12-1 計畫資料表

欄位名稱	欄位說明
計畫名稱	該調查計畫的名稱
執行期限	該調查計畫執行起迄期限
委託單位	該調查計畫的委託單位
執行單位	該調查計畫的執行單位
主持人英文姓名	主持人英文姓名
主持人中文姓名	主持人中文姓名
主持人地址	主持人普通郵件地址
主持人 E-Mail	主持人 E-Mail
協同主持人姓名	協同主持人姓名
調查方法摘要	調查方法摘要
計畫摘要	計畫摘要

表 12-2 測站資料表

欄位名稱	欄位說明
測站代號	本計畫共 11 個測站(1~11)
緯度	十進位緯度
經度	十進位經度
座標誤差	單位：公尺
調查日期時間	調查日期時間
調查地(英文)	調查地(英文)
調查地(中文)	調查地(中文)
最低海拔高度	單位：公尺
最高海拔高度	單位：公尺
最淺深度	單位：公尺
最深深度	單位：公尺
測站描述	文字描述
全天光空域	
直射光空域	

表 12-3 調查資料表（主資料表）

欄位名稱	欄位說明
測站代號	本計畫共 11 個測站(代號 1~11)
調查日期	yyyy/mm/dd
科名	調查物種的拉丁科名
學名	調查物種的拉丁學名
調查者英文名	調查者英文姓名
調查者中文名	調查者中文姓名
調查方法	調查方法
鑑定者英文名	鑑定者英文名
鑑定者中文名	鑑定者中文名
個體數(面積/密度)	個體數(面積/密度)
體長	體長範圍
體長單位	體長單位
生物量	生物量
生物量單位	生物量單位

(二) 棲地、水文、水質調查資料格式

棲地、水文、水質調查資料內容與生物調查資料迥異，由調查者參考表三調查資料表，自行擴增欄位，最後依據調查點經緯度與生物資料整合。

(三) 資料整理概況

每筆資料均以 XML 及關聯式資料庫兩種格式存放。

1. XML 昆蟲調查資料實際範例如下：

<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
- <DACatalog>
- <MetaDesc>
<Date_Last_Modified>**2006/7/25**</Date_Last_Modified>
<Record_ID>**332**</Record_ID>
<Scientific_Name>**Sinogomphus formosanus**</Scientific_Name>
<Basis_of_record>**O**</Basis_of_record>
<Kingdom>**Animalia**</Kingdom>
<Phylum>**Arthropoda**</Phylum>
<Class>**Insecta**</Class>
<Order>**Odonata**</Order>

<Family>**Gomphidae**</Family>
<Kingdom_Chinese>**動物界**</Kingdom_Chinese>
<Phylum_Chinese>**節肢動物門**</Phylum_Chinese>
<Class_Chinese>**昆蟲綱**</Class_Chinese>
<Order_Chinese>**蜻蛉目**</Order_Chinese>
<Family_Chinese>**春蜓科**</Family_Chinese>
<Chinese_Name>**鉸剪春蜓**</Chinese_Name>
<Scientific_Name_Author>**Asahina**</Scientific_Name_Author>
<Identified_By>**Ming-Chih Chiu**</Identified_By>
<Collector>**Ming-Chih Chiu**</Collector>
<Collector_Chinese>**丘明智**</Collector_Chinese>
<Year_Collected>**2005**</Year_Collected>
<Month_Collected>**2**</Month_Collected>
<Day_Collected>**1**</Day_Collected>
<Locality>**Yeausheng Stream**</Locality>
<Locality_chinese>**有勝溪**</Locality_chinese>
<longitude>**121.5037**</longitude>
<latitude>**24.5815**</latitude>
<Coordinate_Precision>**10**</Coordinate_Precision>
<Minimum_Elevation>**1710**</Minimum_Elevation>
<Maximum_Elevation>**1712**</Maximum_Elevation>
<Minimum_Depth>**0.14**</Minimum_Depth>
<Maximum_Depth>**0.3**</Maximum_Depth>
<Individual_Count>**3**</Individual_Count>
<全天光空域>**33.1**</全天光空域>
<直射光空域>**41.11**</直射光空域>
<Locality_Describe>**有勝溪下游，旁為武陵收費口，流速緩慢，上游有農田栽種**</Locality_Describe>
<ProjectName>**武陵地區長期生態監測暨生態模式建立-水棲昆蟲研究**</ProjectName>
<ExecutivePeriod>**2006/5/1-2006/12/31**</ExecutivePeriod>
<AssociatedAgency>**內政部營建署雪霸國家公園管理處**</AssociatedAgency>
<ExecutiveAgency>**國立中興大學昆蟲學系**</ExecutiveAgency>
<HostName>**Mei-Hwa Kuo**</HostName>
<HostName_Chinese>**郭美華**</HostName_Chinese>
<HostAddress>**台中市國光路 250 號 國立中興大學**</HostAddress>
<E-Mail>**mhkuo@dragon.nchu.edu.tw**</E-Mail>
<Coordination>**林幸助、吳聲海、邵廣昭、施習德、孫元勳、官文惠、彭宗仁、曾晴賢、楊正澤、葉文斌、葉昭憲、蔡尚憙**</Coordination>
<ExecutiveWay>**各樣區 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。</ExecutiveWay>

<ProjectSummary>**本研究計畫配合【武陵地區長期生態監測暨生態模式建立】相關整合計畫設置水棲昆蟲長期監測永久測區有 9 站，進行武陵地區水棲昆蟲相長期生態監測，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 測站，評估 2004 年艾莉颱風所造成棲地改變對水棲昆蟲的影響及以多樣性指數、Hisenhoff's 科級生物指數(FBI)評估各永久測站水棲昆蟲群聚及水質變化，以了解武陵地區受颱風干擾後之狀況，作為集水區經營管理之參考指標。**</ProjectSummary>

</MetaDesc>

</DACatalog>

2. XML 水質調查資料實際範例如下：

<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>

- <DACatalog>

- <MetaDesc>

<Date_Last_Modified>**2006/7/25**</Date_Last_Modified>

<Record_ID>**WQ37**</Record_ID>

<Collector>**Wen-Hui Kuan**</Collector>

<Collector_Chinese>**官文惠**</Collector_Chinese>

<Year_Collected>**2005**</Year_Collected>

<Month_Collected>**1**</Month_Collected>

<Day_Collected>**31**</Day_Collected>

<Locality>**Welcome Bridge**</Locality>

<Locality_chinese>**迎賓橋**</Locality_chinese>

<longitude>**121.3047**</longitude>

<latitude>**24.3415**</latitude>

<Coordinate_Precision>**10**</Coordinate_Precision>

<Minimum_Elevation>**1661**</Minimum_Elevation>

<Maximum_Elevation>**1667**</Maximum_Elevation>

<Minimum_Depth>**0.28**</Minimum_Depth>

<Maximum_Depth>**0.62**</Maximum_Depth>

<全天光空域 />

<直射光空域 />

<Locality_describe>**七家灣溪下游與有勝溪的匯流口，匯流後流至大甲溪**</Locality_describe>

<PH>**7.87**</PH>

<Conductivity Unit="**μS/cm**">**300**</Conductivity>

<Dissolved_Oxygen Unit="**mg/L**">**11.54**</Dissolved_Oxygen>

<Clarity Unit="**NTU**">**0.04**</Clarity>

<Alkali_Silicate Unit="**mg/L**">**3.43**</Alkali_Silicate>
<BOD Unit="**mg/L**">**0.36**</BOD>
<NO3_N Unit="**mg/L**">**1.29**</NO3_N>
<NO2_N Unit="**mg/L**">**0**</NO2_N>
<SO4 Unit="**mg/L**">**62.29**</SO4>
<Chloride Unit="**mg/L**">**3.91**</Chloride>
<Phosphate Unit="**mg/L**">**0**</Phosphate>
<TP Unit="**mg/L**">**0.01**</TP>
<AN Unit="**mg/L**">**0.01**</AN>
<TOC Unit="**mg/L**">**0.77**</TOC>
<ProjectName>武陵地區長期生態監測暨生態模式建立-水質參數之研究</ProjectName>
<ExecutivePeriod>**2006/5/1-2006/12/31**</ExecutivePeriod>
<AssociatedAgency>內政部營建署雪霸國家公園管理處</AssociatedAgency>
<ExecutiveAgency>明志科技大學</ExecutiveAgency>
<HostName>**Wen-Hui Kuan**</HostName>
<HostName_Chinese>官文惠</HostName_Chinese>
<HostAddress>台北縣泰山鄉工專路 **84** 號</HostAddress>
<E-Mail>**whkuan@ns1.mit.edu.tw, kuan_w_h@yahoo.com.tw**</E-Mail>
<Coordination>林幸助、吳聲海、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、蔡尚憲</Coordination>
<ExecutiveWay>營養鹽在水中之不同分佈型態，決定其對生物之毒性或被生物攝食之可能性。本研究目的在針對水中不同型態之營養鹽，包括溶解態、顆粒態，以及底泥態，分別進行採樣分析。另本研究將利用地理資訊系統（**Geographic Information System**，**GIS**）先求得研究地區的地理參數，後再搭配非點源污染輸出模擬運算軟體做為推估流量與非點源污染輸出之工具，以不同的土地利用推估七家灣溪的污染負荷變化。</ExecutiveWay>
<ProjectSummary>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，營養鹽在水中之不同分佈型態，決定其對生物之毒性或被生物攝食之可能性。本研究目的在針對水中不同型態之營養鹽，包括溶解態、顆粒態，以及底泥態，分別進行採樣分析，以研究營養鹽在水域之傳輸與宿命。七家灣溪沿岸之農業行為與人為活動對水質有重大之影響，該區的非點源污染會經由降雨沖刷與入滲而流入河川水體，造成溪流中營養鹽上昇，進而影響到櫻花鉤吻鮭生存的環境。利用 **Win VAST** 集水區非點源污染輸出模擬運算模式，進行推估在不同土地利用下，非點源污染經大雨沖刷流入溪流，其溪流的污染負荷量。</ProjectSummary>
</MetaDesc>
</DACatalog>

3. XML 硝酸鹽調查資料實際範例如下：

<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
- <DACatalog>

- <MetaDesc>
  <Date_Last_Modified>**2006/7/25**</Date_Last_Modified>
  <Record_ID>**WQ87**</Record_ID>
  <Collector>**Tsung-Ren Peng**</Collector>
  <Collector_Chinese>**彭宗仁**</Collector_Chinese>
  <Year_Collected>**2006**</Year_Collected>
  <Month_Collected>**4**</Month_Collected>
  <Day_Collected>**13**</Day_Collected>
  <Locality>**Downstream Shjiehlan**</Locality>
  <Locality_chinese>**司界蘭溪下游**</Locality_chinese>
  <longitude>**121.2865**</longitude>
  <latitude>**24.319**</latitude>
  <Coordinate_Precision>**10**</Coordinate_Precision>
  <Minimum_Elevation>**1498**</Minimum_Elevation>
  <Maximum_Elevation>**1525**</Maximum_Elevation>
  <Minimum_Depth />
  <Maximum_Depth />
  <全天光空域 />
  <直射光空域 />
  <Locality_describe>**為環山部落，匯入大甲溪，上游種植大片高麗菜園，溪流湍急**
</Locality_describe>
  <PH>**6.8**</PH>
  <EC Unit="**μS/cm**">**227**</EC>
  <DO Unit="**mg/L**">**6**</DO>
  <DO_Rate Unit="**%**">**60**</DO_Rate>
  <Temperature Unit="**C**">**13.2**</Temperature>
  <Nitrate Unit="**mg/L**">**1.6**</Nitrate>
  <NO3_δ15N Unit="**one thousandth**">**0.28**</NO3_δ15N>
  <ProjectName>**武陵地區長期生態監測暨生態模式建立-硝酸鹽來源研究**</ProjectName>
  <ExecutivePeriod>**2006/1/1-2006/12/31**</ExecutivePeriod>
  <AssociatedAgency>**內政部營建署雪霸國家公園管理處**</AssociatedAgency>
  <ExecutiveAgency>**國立中興大學土壤環境科學系**</ExecutiveAgency>
  <HostName>**Tsung-Ren Peng**</HostName>
  <HostName_Chinese>**彭宗仁**</HostName_Chinese>
  <HostAddress>**台中市南區國光路 250 號 土壤環境科學系 4D11 室**</HostAddress>
  <E-Mail>**trpeng@dragon.nchu.edu.tw**</E-Mail>
  <Coordination>**林幸助、吳聲海、邵廣昭、施習德、孫元勳、官文惠、郭美華、曾晴賢、楊正澤、葉文斌、葉昭憲、蔡尚憙**</Coordination>

<ExecutiveWay>以陰離子交換管柱法分析水體中 NO3-的穩定氮同位素組成</ExecutiveWay>
<ProjectSummary>本研究擬以水體中硝酸鹽的氮、氧同位素組成，探討武陵地區溪水中硝酸鹽的來源及轉化作用，進而了解溪水中硝酸鹽與農業活動之關係。</ProjectSummary>
</MetaDesc>
</DACatalog>

上述資料，將隨著計畫進行陸續增加，待計畫結束後再將資料使用光碟封裝，隨期末報告送繳委辦單位—內政部營建署雪霸國家公園管理處及執行單位—中興大學。中研院生物多樣性研究中心將負責後續之維護及資料備援工作，未來如有後續之調查或長期監測計畫，中研院生物多樣性研究中心亦將提供技術支援並協助資料移轉

(四) 使用者查詢方法：

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。

目前正在恰購武陵地區 60cm 高解析度衛星地圖，預計下年度可提供以 Google Map 為為基底的整合式 GIS 查詢功能。

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。

(五) 關聯式資料庫：

為方便與一般資料庫系統整合,本計畫所收集的資料除建立 XML 資料格式外，亦同步建立 MDB 關連式資料庫，資料結構如圖 12-1。

四、討論與結論

1. 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。
2. 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)。
3. 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。



圖 12-1 MDB 關連式資料庫之資料結構

第十三章　成果與建議

一、成果

1. 在高山溪或七家灣溪，6 月時因颱風洪水將大多數的細顆粒帶往下游，河床底質粒徑及流量皆呈現出偏大的趨勢。
2. 武陵地區溪流水質大致良好。
3. 營養鹽濃度在雨季時大於旱季。但是 2 月乾季時導電度與硫酸鹽濃度值明顯偏高，而雨季時導電度值與硫酸鹽濃度有降低的現象。
4. 營養鹽濃度方面高山溪均低於其他溪流，有勝溪最高。在七家灣溪中、下游處明顯比上游有較高的趨勢。司界蘭溪下游高於上游。
5. 污染物輸出主要影響因子為降雨前的乾燥日數。當降雨前乾燥日數愈多天，其污染物的累積量愈多。
6. 經 WinVAST 模擬非點源污染輸出，顯示七家灣溪之農耕區有相當多的氮與磷的輸出。估計氮的年輸出量 23475kg，磷的年輸出量 1823kg。
7. 由水體中 NO_3-之 $\delta^{15}N$ 及 $\delta^{18}O$ 分析顯示，桃山西溪與高山溪 NO_3-之來源主要與雨水有關；七家灣溪則與土壤氮、雨水源及化學肥料來源有關，但有季節性差異。雨季時雨水與化學肥料來源明顯，而土壤氮源不明顯，而在旱季時土壤氮及雨水來源明顯。司界蘭溪下游之 NO_3-主要與雨水來源有關。有勝溪 NO_3-之來源與雨水源、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，但其肥料來源訊號較其他測站明顯。
8. 溪流石附生藻類豐度仍以有勝溪最高。季節變化以 8 月較高，洪水過後之 6 月最少。在潭、瀨與深流等三種微棲地間之豐度並無顯著差異。
9. 植群共記錄 95 科 209 屬 335 種植物。喬木層植物在有勝溪與湧泉池測站之歧異度與均勻度較高，而一號壩的歧異度較低，推測為季節性洪水之干擾，以及局部地形差異所致。地被層植物歧異度與均勻度均頗高，但差異不大。
10. 比較 1995 與 2006 年之植群與土地利用之變遷，發現於自然因素方面，主

要受到崩塌與洪水等干擾；在而人為因素方面，則受到保護區成立、復舊造林計畫以及造林作業等所影響。

11. 從 2005 年後半年至 2006 年 6 月，水棲昆蟲數量持續減少，直至 7 月始回升。但是一些體型較大的物種逐漸減少，已被替換成體型較小的物種。除有勝溪測站外，各站的群聚結構變動方向具一致性，流量可能為驅使力量。司界蘭溪種類相明顯較七家灣溪少。上游天然林旁之指標優於有農業活動之下游。

12. 颱風及豪雨搬移枯落葉層有可能造成分解者之個體數下降。

13. 高海拔地區陸棲昆蟲的數量受颱風豪雨影響不大。

14. 有勝溪的水域無脊椎動物在種類與數量上均較多，可能是水流緩慢與水質優養化所造成的。武陵地區的水域無脊椎動物，以貧毛類數量較多。水蝨持續出現在各樣區，但體型微小。水生等足類與端足類體型較大，但數量稀少。

15. 蛙類密度在 4 月至 10 月間有增加的趨勢。司界蘭溪的蛙類密度都高於七家灣溪的蛙類密度。造成梭德氏赤蛙蝌蚪生物量在二號副壩上下游有差異，濱岸底石大小、水溫與導電度是重要環境因子。

16. 目前共有 36 筆活體蛇類的捕捉記錄。其中以紅斑蛇(*Dinodon rufozonatum*)佔大多數，另外為阿里山龜殼花（*Ovophis monticola*）、臭青公（*Elaphe carinata*）、錦蛇（*Elaphe taeniura*）及赤煉蛇（*Rhabdophis tigrinus*）。

17. 在哺乳類動物調查，蝙蝠類共採得 2 科 7 種，囓齒目 3 種，食蟲目 3 種。

18. 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，到以上約 100 m 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。

19. 由於夏季各河段大量增加的幼魚數量受到洪水仍有折損，因此秋季調查各齡鮭魚數量中一齡幼魚與二齡中型鮭魚的數量幾乎相同，三齡以上的成魚最少，族群結構因此由夏季的金字塔結構轉變為桶型結構。

20. 台灣櫻花鉤吻鮭族群數量以七家灣溪中游河段最多，其中中游上段的二至三號壩河段數量又較下段的一至二號壩來得多。其次是上游的三號壩以上河段，不過其中有近 1/3 都集中在桃山北溪支流。再其次是高山溪河段。但最下游的一號壩以下河段，在秋季時有幼魚增加的趨勢。
21. 今年調查的一齡幼魚大幅度的增加，以中游的一至三號壩族群最多。
22. 台灣櫻花鉤吻鮭胃含物研究發現，陸生昆蟲在五條櫻花鉤吻鮭的胃含物中占有 33.6%，有相當之重要性。
23. 2001 年高山溪四座防砂壩拆除後，河床坡度變陡，流速更快，沖刷更嚴重。但分析發現中大型巨石>25.6 cm 直徑的比率較高時，鮭魚族群數量亦相對較高。
24. 颱風對七家灣溪水鳥族群造成不同程度衝擊。河烏數量在 8 月後因颱風少，數量增加。鉛色水鶇並未受颱風的負面影響，可能跟溪段變寬有關。小剪尾在主溪的數量則大幅下降，可能是由於與其有競爭關係的鉛色水鶇數量增加，致使相對弱勢的小剪尾遭到排擠。
25. 今年河烏與鉛色水鶇在繁殖表現由於去年。司界蘭溪只記錄到一對河烏繁殖，但是繁殖時程較武陵地區還早約 23 天。
26. 整合三年共 9 個共同測站資料，顯示洪流對於鳥類的直接影響較小，但對溪流生物的影響大。魚類、青蛙與蝌蚪、水棲昆蟲與藻類在歷經洪流後均急遽減少 50%~70%，但亦能迅速恢復。其中藻類、蝌蚪與水棲昆蟲在當年冬天開始恢復，而青蛙與魚類的恢復要到隔年春天。
27. 武陵地區溪流食物網結構簡單，最高營養階層只有 3.09 ~ 3.14。總系統通量以有勝溪最高。各測站 Pp/R ratio 均>1.0，顯示武陵地區溪流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。
28. 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，物質循環利用高，營養傳輸效率高，為代謝量與活動力相對旺盛之溪流生態

系。

29. 英文版網頁已完成建置。

30. 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，可提供解說教育及分區規劃、經營管理之用，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。

二、建議

1. 七家灣溪二號石壩在去年 9 月颱風後發生崩壞，已對當地環境產生較大的影響。雖然鮭魚迴游的通道逐漸打通，但坡度方面也產生變化。結果是否會在使下游坡度大幅下降而呈現連續的河川系統，有待未來持續河道監測。
2. 目前在七家灣溪二號石壩原址下游堆置了大量的壩體殘骸，將流心限制於河段的某些區域，並造成如階梯狀之落差，建議使用現存之石塊來改善河段之落差。
3. 七家灣溪一號壩下右岸之蛇龍護岸底部因大水沖刷而產生掏空的現象，致使蛇龍有傾斜之情況，且因此處與道路以及建物距離甚近，因此必須持續關注，以避免對該地區安全產生影響。
4. 高山溪一號壩上原有之蛇籠在本年度出現破損，雖然後續追蹤發現並無更大規模的損壞，但是為顧及河岸之保護，仍建議必須對破損蛇籠進行維修及養護之工程，以達到持續保護河岸之效果。
5. 建構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)之流量之時空變異，瞭解水文過程對棲地的影響。
6. 建構水溫變化模式，模擬水溫之時空分佈，探討控制水溫之因子，分析人工結構壩體存在與否、濱岸植物遮蔽與氣候變遷條件下鮭魚之生存範圍變遷，以供管理與未來氣候變遷應變之用。
7. 建置武陵地區七家灣溪流域水文與水質無線感應監測網。
8. 探討武陵地區農藥的成分及對該流域生物可能之影響。
9. 武陵地區植栽的物種仍宜選用當地的原生樹種或鄉土樹種為宜。

(1) 保安植林方面，以營造複層林，以及混植原生樹之原則，樹種可採用下列數種；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、果之植物羅列如下：

a. 觀（紅）葉植物：青楓、臺灣紅榨楓、蘭嵌鵝耳櫪、楓香、櫸木、巒大花楸等。

b. 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。

c. 觀花植物：臺灣蘋果、霧社櫻、西施花、紅毛杜鵑、金毛杜鵑、烏心石、大頭茶等。

10. 應該重新對有勝溪魚類與鳥類豐度做詳細之調查。

11. 應持續對溪流中主要生物類群利用穩定性同位素技術，配合腸胃內含物分析，建立食物網間食性關係。

12. 增加或留住流域中中大型巨石，可減緩流速的沖刷，更有利於淺賴和梯狀潭的形成，提供鮭魚在颱風洪水時的避難所，提升鮭魚早期的存活率。

13. 為了避免自然環境的干擾，以及考慮櫻花鉤吻鮭生活史週期，建議司界蘭溪與南湖溪應該持續進行至少三年的放流工作，以幫助建立較為穩定的自然族群。

14. 溪流流量變化為溪流環境一重要結構因子，也是響溪流生物群聚分布與結構的因子之一，尤其是洪流的強度及持續時間對溪流生物造成的影響更是遠大。因此建議於七家灣溪一號壩處設立流量監測站，持續監測溪流流量。