

[鍵入文字]

武陵地區七家灣溪及有勝溪流域壩 體改善後溪流水棲昆蟲群集監測

雪霸國家公園管理處委託辦理報告

中華民國一百零四年十二月

SP104101

武陵地區七家灣溪及有勝溪流域壩 體改善後溪流水棲昆蟲群集監測

受委託者：國立中興大學

研究主持人：郭美華博士

雪霸國家公園管理處委託辦理報告

中華民國一百零四年十二月

目次

表次	II
圖次	III
摘要	IV
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 水棲昆蟲	2
第三節 棲地評比及多樣性	4
第四節 一號壩壩體改善部分拆除工程的影響	5
第二章 研究方法及過程	7
第一節 研究地區	7
第二節 研究方法	8
第三章 結果與討論	11
第一節 結果	11
第二節 討論	16
第四章 結論與建議	20
第一節 結論	20
第二節 建議	21
附錄一	33
參考書目	22

表次

表 3-1 2015 年七家灣溪及有勝溪之 2 月水棲昆蟲資源
組成及總個體數 28

表 3-2 2015 年七家灣溪及有勝溪之 6 月水棲昆蟲資源
組成及總個體數 29

表 3-3 2015 年七家灣溪及有勝溪之 10 月水棲昆蟲資源
組成及總個體數 30

圖次

圖 1-1 武陵地區溪流 1967 至 2013 流量資料	31
圖 1-2 洪水流量和隔年 1、2 月中大型食餌密度之關係	31
圖 2-1 武陵地區溪流水棲昆蟲監測調查測站之相關位置圖	32
圖 3-1 武陵地區溪流測站水棲昆蟲各月數量	33
圖 3-2 武陵地區溪流測站之臺灣鈎吻鮭中大體型昆蟲食餌數量變化圖	34
圖 3-3 武陵地區溪流測站之水棲昆蟲生物量(濕重)變化圖	35
圖 3-4 一號壩壩體上下游四測站之水棲昆蟲生物量(濕重)變化圖	35
圖 3-5 武陵地區溪流測站水棲昆蟲之 Shannon-Wiener's index	36
圖 3-6 武陵地區溪流測站水棲昆蟲之 RBPII 相對分數	37
圖 3-7 武陵地區溪流測站水棲昆蟲之 MDS 分析	38
圖 3-8 一號壩壩體上下游四測站水棲昆蟲數量	39
圖 3-9 一號壩壩體上下游四測站水棲昆蟲之 Shannon-Wiener's index	39
圖 3-10 一號壩壩體改善工程後水棲昆蟲之 MDS 分析	40
圖 3-11 一號壩壩體上下游四測站水棲昆蟲之 RBPII 相對分數	40

摘要

關鍵詞：臺灣櫻花鉤吻鮭，水棲昆蟲，群集結構，快速生物評估法 II，溪流

一、研究緣起

生活在雪霸國家公園內七家灣溪流流域(約面積 7200 公頃)之臺灣櫻花鉤吻鮭 *Oncorhynchus masou formosanus* (Jordan and Oshima, 1919)，是屬於臺灣地區特有陸封型鮭魚，自日據時期被列為天然紀念物，而今日被視為國寶魚，並於 1984 年被政府列入快要絕種的保育名錄中，皆顯示對臺灣櫻花鉤吻鮭的保育工作是其可持續生存顯著重要。為了保護臺灣櫻花鉤吻鮭棲息地，監測其主要食物來源水棲昆蟲，對棲息環境及水質變化可以提供重要的見解。2011 年 5 月 23-30 日進行七家灣溪一號壩體(高 16.5 m)改善工程，本計畫長期監測武陵地區七家灣溪及有勝溪流流域壩體改善後溪流水棲昆蟲群集，做為此鮭魚棲息環境水質評估之生物指標。2015 年的 2 月、6 月及 10 月於七家灣溪及有勝溪流沿岸共計八個採樣監測站，共計採集三次，並以快速生物評估法 II (RBP II 指數)及多元尺度分析(MDS)評估武陵地區棲地水質及水棲昆蟲群集結構變動，供管理單位日後評估作業之參考。

二、研究方法及過程

持續收集並建置永久測站之水棲昆蟲生態資料庫，以多樣性指數、RBP II 指數及MDS等研究方法分析評估各永久測站棲地環境、棲地損害程度及水棲昆蟲群聚結構變動，以作為進行棲地改善評估依據及監測七家灣溪一號防砂壩改善後溪流棲地水棲昆蟲群集及生物量之變化，提供生態研究的科學資料，作為訂定臺灣櫻花鉤吻鮭保育措施與武陵地區經營管理策略之參考。

三、重要發現

本年度 2 月、6 月及 10 月採樣調查水棲昆蟲，位於七家灣溪之 5 個測站共計有 50 分類群(Taxa)，分屬 6 目 28 科(表一)；位於有勝溪之 3 個測站共計有 53 分類群(Taxa)，分屬 6 目 33 科(表二)。由連續 10 年以上數據(2003 至 2015 年)看出，水棲昆蟲豐度幾乎以每年年初為高峰。中大體型水棲昆蟲數量(臺灣鉤吻鮭之可能大型食餌)，以 2011 年年初為最高。各測站之多樣性指數於各年變化

區間相似。快速生物評估法 II (RBP II 指數) 評估武陵地區棲地維持在無損害與中度損害之間。多元尺度分析 (MDS) 顯示桃山西溪 (七家灣溪上游)、七家灣溪及高山溪的水棲昆蟲群聚結構變動具相同傾向, 且於 2009~2015 年有勝溪測站與其他測站群聚結構相近。2011 年一號壩壩體改善工程對七家灣溪的水棲昆蟲群聚產生約 2.5 個月的短期負面直接影響, 導致數量和多樣性下降, 等同遭受一小型洪水的衝擊。

四、主要建議事項

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

長期性建議：減緩暴增流量及增加鮭魚陸域食餌之土地利用類型

主辦機關：雪霸國家公園管理處

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

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

長期性建議: 一號壩壩體改善工程之長期追蹤

主辦機關：雪霸國家公園管理處

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

拆壩後再遭受到大雨引起的洪水衝擊為另一重要事件, 此洪水除了本身的影響力, 會結合拆壩再重演一次負面直接影響, 加深此次洪水的衝擊。可能還有間接的、慢性的長期衝擊: 例如從生態系食物鏈傳遞的角度來看, 水棲昆蟲

的棲息環境的改變，將會引起食物鏈和生態結構的逐步變化。面對全球暖化及極端洪流頻繁發生對台灣溪流生態的影響，應持續監測(5年以上)並建立武陵地區資料庫，使雪霸國家公園成為在地證據的科學基地及集水區經營管理績效之典範。

ABSTRACT

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

The *Oncorhynchus masou formosanus* (Jordan and Oshima, 1919) in Cijiawan brook within the 7200 ha drainage area of Shei-Pa National Park is belonging to a special continental-closed type of salmon in Taiwan area. Since Japanese occupied Taiwan, the *Oncorhynchus masou formosanus* has been classified as natural memorial. For the present time, it is regarded as a national precious fish. The salmon was listed as an endangered species by the Taiwanese government in 1984. Both stages of strategies show that the preservation of the *Oncorhynchus masou formosanus* is significantly important for its sustainable surviving. Biological monitoring of aquatic insects can provide important insights into changes in stream water and habitat quality. To protect the habitat of the Formosan salmon, programs to monitor stream quality using aquatic insects. The first check dam, with a height of 16.5 m, was present within our study area in the Cijiawan Stream watershed. The dam was demolished and removed by excavators from 23-30 May 2011. The main goal of this research includes long-term monitoring of aquatic insects in reaches downstream of a check dam after it was removed. The surber sampler was used to collect six samples of aquatic insects along the streams at the eight stations were collected about 2015 February, June, and October, respectively. The rapid bioassessment protocol II (RBPII) and was a reliable method for assessing water quality, and a non-metric multidimensional scaling (MDS) plot were used to show the composition similarity among site-time samples, the plot indicated that the

community structures of Cijiawan Stream. Furthermore, it can provide the Management Department of Shei-Pa National Park the guideline for the preservation of the *Oncorhynchus masou formosanus* in Cijiawan and Yousheng Streams.

This study reports the survey of aquatic insects and water quality monitoring at 8 sampling sites in the Wuling area in year 2015. During the research period, we have collected 50 taxa and 53 taxa of aquatic insects belong to 28 families and 33 families within 6 orders in Cijiawan and Yousheng Streams, respectively. According to the data from 2003 to 2013, we found that abundance peak of aquatic insects were present in January or February almost every year. Similar ranges of Shannon-Wiener's index appeared among years. As the habitat quality of the Wuling area was assayed by the rapid bioassessment protocol II (RBPII), the evaluations of the Wuling area were between non-impaired and moderately impaired. While a non-metric multidimensional scaling (MDS) plot were used to show the composition similarity of abundances among site-time samples, the plot indicated that the community structures of Cijiawan Stream and Gaoshan Stream shifted to the same trends, and, from year 2009 to 2015, the community structures of Yousheng Stream and the two streams began to tend toward higher similarity. The short-term impact persisted for approximately 2.5 months after the dam removal, and, thus, led to the decline in the number and diversity of aquatic insect communities in the Cijiawan Stream. When these flooding events happened after dam removal, the repeats of the negative short-term effect, caused by the removal, increased the impacts of these floods. This project comes to the immediate and long-term strategies.

For long-term strategies:

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

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

臺灣櫻花鉤吻鮭 *Oncorhynchus masou formosanus* (Jordan and Oshima, 1919) 原產於北半球的寒溫帶洄游性魚類，在繁殖期自海中溯河而上，回到出生的河流上游交配、產卵，幼魚孵化後，次年春天再游回海中生長，是臺灣唯一的溫帶魚類，歷經數十萬年的演化，而能在獨特環境中孑遺的生物，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，有「國寶魚」之美稱。但因長期封閉在高山溪流裡，且生長在亞熱帶的台灣，已完全喪失了洄游的本能。這種陸封型的鮭鱒魚類，目前也只有在日本、韓國及大陸東北地區曾經發現過，而臺灣櫻花鉤吻鮭是世上地理位置分佈最南端的魚類，在 50 年前整個大甲溪流域上游支流均可見到鮭魚的蹤影，但如今魚群數量大幅減少，自然分布範圍只侷限於武陵地區七家灣溪、高山溪與桃山北溪。因此在學術價值上，如古生物地理學、古氣候學、生物型態分類學及演化生態學上，隨著學者研究的深入，而受到全球矚目，一致公認此鮭魚與世界上有活化石之稱的「腔棘魚」相提並論(汪，1992; 1994; 林等，2011; 雪霸公園網頁)。

棲地的破壞往往是造成物種滅絕的主因，此鮭魚於日據時代(1911-1941) 原生存於大甲溪上游的各主要支流中，包括司界蘭溪、高山溪、七家灣溪、有勝溪、南湖溪與合歡溪等都可發現蹤影(雪霸公園網頁)。但近幾十年來因經濟的快速發展，造成集水區的農業開發，間接破壞了植被的遮陰效果，導致溪水溫度升高(此鮭魚生存的限制因子為水溫不得超過 16°C)，同時農藥的濫用，水質的優氧化，攔砂壩的興建，棲地的破碎化等等原因，使得臺灣櫻花鉤吻鮭的生存棲地面臨了空前的危機(汪，1992; 1999; 農委會等，2000;)

雪霸公園，2000；雪霸公園網頁)。因溪流環境改變，如防砂壩將棲地片段分割、遊憩活動及農業的開發污染、天然災害如颱風、洪水肆虐及前人的捕捉，族群數量嚴重受影響而有絕種之虞，政府積極復育，且以生物多樣性為標的，長期生態監測為手段，建立生態模式，2005年起擴大以武陵地區溪流與司界蘭溪為研究地點，依循長期生態系統研究之模式，委由中興大學林幸助教授主持，建構武陵長期生態監測研究 (WLTER)，設立永久測站，持續相關環境與生態監測工作，並整合重點監測項目，包括棲地、水文、泥沙、水質、藻類、濱岸植被、水棲與陸棲昆蟲、兩生類、魚類與鳥類等時空動態變化資料，已建立相當完整的基礎，提供主管機關的經營管理之參考(林等，2011)。

雪霸國家公園管理處於2009~2014年陸續於司界蘭溪、羅葉尾溪等臺灣櫻花鉤吻鮭歷史棲地進行鮭魚放流及環境監測，目前放流個體已可於羅葉尾溪棲地自然繁殖，且鮭魚往有勝溪移動分布(林等，2012)。而雪霸國家公園管理處為擴大臺灣櫻花鉤吻鮭棲息溪段增加族群基因交流，於2011年5月完成七家灣溪一號防砂壩改善工程。本計畫則為監測七家灣溪一號壩壩體改善後對鮭魚重要食餌—水棲昆蟲之群集變化的影響，並同步進行羅葉尾溪、有勝溪棲地水棲昆蟲群集、生物量等調查監測，以與歷年監測結果進行動態變化之分析，並比對七家灣溪、有勝溪水棲昆蟲群集組成差異，所收集資料可建置於歷年監測資料庫。

第二節 水棲昆蟲

與臺灣櫻花鉤吻鮭息息相關的食物來源之一的水棲昆蟲，也在武陵地區進行了相當多年的研究。最早為上野(1937)對12尾臺灣櫻花鉤吻鮭胃內容物所作調查，其中96%為昆蟲，水棲昆蟲更佔74%。由於水棲昆蟲是臺灣櫻花鉤吻鮭最主要營養來源，是相當重要的棲地因子，因此在農委會與雪霸國家公園等單位支持下，陸續有對武陵地區水棲昆蟲相與相關生態的研究報告(黃，1987；楊等，1986；楊及謝，2000)。綜合前人多年研究成果，武陵地區水棲昆蟲種類仍相當豐富，約有6目40至60種(Taxa or 形態種)，主要種類為四節蜉蝣科(約佔總

隻數 25~30%)、扁蜉蝣科 (約佔總隻數 10%)、沼石蛾科 (約佔總隻數 10%)、流石蛾科 (約佔總隻數 5%)、網石蛾科 (約佔總隻數 3%)、長角石蛾科 (約佔總隻數 3%) 及搖蚊科 (約佔總隻數 10~15%) (Shieh & Yang, 2000)。其中屬於水質優良的指標物種比率仍高，Hilsenhoff's 科級生物指數 (FBI) 約在 3.2~4.0，多屬於 7 等水質評價之前二等，即水質為特優 (Excellent) 到非常好 (Very good) 的評價 (Shieh & Yang, 2000; 郭等, 2004)。

雖然 Shieh 及 Yang (2000) 報導 74-75 及 84-85 兩個年度，在 10 年間水生昆蟲數量下降約至原有之半。惟此結果是否足以代表棲地逐年劣化趨勢 (Trend) 或僅為個別年度差異而已，實有賴於長期的監測調查，如此可增加統計可信度外並對颱風或人為干擾事件影響有更佳的診斷。楊等 (1986) 以形態種 (morphological species) 鑑定有 6 目 31 科 61 種，之後 Shieh 及 Yang (2000) 以分類單元 (Taxa) 歸類整理 74-75 年及 84-85 年而其中數種形態種合併為複合種，共記錄 6 目 27 科 39 屬 40 種。

我們自 2003 年起的調查結果顯示，並 2000 年報導 40 分類群 (Taxa) 相比，此地區的物種數逐年微量增加，雖可能因測站及採集月份增多有關，但每樣站仍可採到 40 分類群 (Taxa)，全年的物種數 57~67 分類群 (Taxa)，暗示我們所採的樣本中已包含了此地水棲昆蟲群集的所有 (或幾乎所有) 物種數了。就物種數及科數而言，七家灣溪棲地並沒有劣化 (林等, 2009)，也充分顯現出棲地保育的績效。例如，農業區下游之觀魚台測站於 2006 年農地回收後，水棲昆蟲數量及中大型食餌比例明顯持續上升並較以往及大部分其他測站為高，多樣性指數及 RBPII 數值波動上下限區間範圍已提升，棲地評比已提升至優良測站，且二號壩測站 (農業區旁)，多樣性變高及棲地評比提升，證實農地回收政策已具有成效 (郭, 2014)。

過去 40 年來受颱風及梅雨影響，溪流流量暴增，至 2008 年，以 2005 年為最嚴重的一年，其次依序為 2007 年、2008 年、2004 年，是此地流量暴增的前 4 名 (Chiu *et al.*, 2008)。2012 年的溪流流量暴增，可以進前五名。由連續 10 年以上 (2003 年至 2014 年) 水棲昆蟲數量之研究數據顯示，在歷經較嚴重的洪流，可能未來會造成水棲昆蟲群集中體型較大物種之比例下降 (郭, 2010, Chiu & Kuo, 2012)。水棲昆蟲歷經了 2003 年無颱風的年度，數量及生物量於 2004 年 2 月達到高峰，但往後幾年也明顯受到颱風季節及梅雨季節所造成的洪流影響而

呈現下降趨勢，影響隔年水棲昆蟲組成拓殖回復之方向。一些體型較大的物種，已逐漸減少；而被替換成體型較小的物種，生物量下降，且由底棲幼蟲、成蟲羽化之組成再次驗證颱風季節對昆蟲群集結構及組成之影響(郭，2008)，而由歷年中大型食餌數據也證實了洪流對昆蟲群集結構及組成之衝擊(郭，2009)。就整體趨勢而言，若當年度有發生洪水，將導致來年年初中大型食餌密度下降(Chiu & Kuo, 2012)。2012年又見大型洪流的發生，隔年(2013年)水昆及中大型食餌持續受此影響，其年初的密度高峰已大幅下降，同於2005至2009年的低水平，2014年年初水昆及中大型食餌數量將較2013年年初低迷。因此進行2003年至2014年，洪水流量與中大型食餌密度之迴歸分析($y = 1.2 + 2.1x - 0.6x^2$, $p = 0.039$, $R^2 = 0.51$, $x =$ 當年最大流量, $y =$ 次年中大型食餌密度, 流量資料來自台灣電力公司水文水資源資料管理供應系統)(圖 1-1、圖 1-2)，顯示若當年度有極端流量(過低 $< 10 \text{ m}^3/\text{s}$; 過高 $> 200 \text{ m}^3/\text{s}$)發生後，次年1、2月之中大型食餌密度大幅降低(郭，2014)。由過去研究發現洪流減弱，長角石蛾 *Stenopsychidae* (大體形物種) 會增加及黑管石蛾 *Uenoidae* 回復採樣之記錄，我們認為毛翅目這二物種可作為極端洪流的生物指標(郭，2012)。

整合10年來武陵地區水棲昆蟲對能量的利用情形，發現水棲昆蟲5個取食功能群之群集組成都存在，七家灣溪、桃山西溪及高山溪皆以採食者(33~46%)及刮食者(35~37%)為主，而有勝溪則以採食者(73%)為優勢取食功能群，其他取食功能群之組成皆佔10%以下，明顯不同於其他溪流，且有勝溪的刮食者及捕食者，尤其是刮食者(8%)，所佔比例相較於其他溪流較低(郭，2012)。

第三節 棲地評比及多樣性

每年季節性的颱風及暴增的流量，常讓此地接受嚴峻考驗(Chiu *et al.*, 2008)，棲地評等往往在颱風及洪流衝擊後都會趨向劣化，各測站多樣性指數也受到影響，長期監測水棲昆蟲在每年前半年多樣性指數波動小於後半年，且颱風強度越大波動變大(林等，2009)。2003~2014年以快速生物評估法II (Rapid Bioassessment Protocol II, RBP II) 作為棲地評價標準，並以武陵地區之高山溪為無干擾參考站(Plafkin *et al.*, 1989)。就RBPII數值而言，各測站於流量暴增後，其評等往往都會趨向劣化，然而流量暴增的情況下，群集結構變化受此

強力的物理因子影響遠大於水質或棲地因子，群集結構起先為高留存之抗急流的物種居多，後續發展為快速拓殖的物種為主，且其他研究也顯示季節性變化會明顯影響棲地評估的準確性(Šporka *et al.*, 2006; Alvarez-Cabria *et al.*, 2010)。因此流量暴增事件的出現，應等待一段時間，待物種拓殖穩定後，方可用 RBPII 來評等。

洪流擾動過後，物種可能大量減少，進而造成物種多樣性之降低，不過因優勢物種的減少所空出的資源使得其他物種得以拓殖，下半年洪流過後，年終至隔年年初之持續拓殖回復，物種數之增加的確會多樣性上升，真正相關，而小型且生活史短之物種，則因非常態干擾影響，其比例提升導致均勻度下降，終究會造成多樣性降低。這樣的現象說明了颱風及梅雨季節所帶來洪流對多樣性有一定的影響力，而其干擾時間點、頻度及強度之常態與否，則決定正向或負向影響(Chiu & Kuo, 2012)。

第四節 一號壩壩體改善部分拆除工程的影響

一號壩壩體改善工程對七家灣溪的水棲昆蟲群集產生約 2.5 個月的短期負面直接影響，導致數量和多樣性下降，且壩體下游兩測站受到影響較上游兩測站來的大(Chiu *et al.*, 2013)。拆壩後再遭受到大雨引起的洪水衝擊為另一重要事件，此洪水除了本身的影響力，會結合拆壩再重演一次負面直接影響，加深此次洪水的衝擊。一號壩下游測站首當其衝，水棲昆蟲個體數及多樣性大幅下降，顯現出受到洪水及改善工程的影響，可能還有間接的、慢性的長期衝擊：例如水棲昆蟲的棲息環境的改變，引起食物鏈和生態結構的逐步變化(Chiu *et al.*, 2013)。

一號壩壩體改善工程施工擾動水體後，使得水體中懸浮物質增多(王，2011)，對整個水域食物鏈的影響是多環節的。從生態系食物鏈傳遞的角度分析，除了初級生產者藻類受到負面影響外(林等，2011)，其它的消費者營養階級的水生生物也會受到負面影響，對水棲昆蟲短期影響即是族群數量出現下降

(郭，2011)，並可通過影響食物鏈的傳遞進而影響整個水域生態系統。挖泥掀起的泥沙沖刷進入水域中，壩體下游的空間改變(王，2011)，枯枝落葉掉入水域中變少，底層的粗顆粒碎屑下降(林等，2011)，下游的環境改變較上游明顯(王，2011；葉，2011)。壩體上游的兩測站，可能季節性變化所造成的影響大於壩體改善短期影響，但壩體下游的兩測站除了季節性變化的影響外，還有壩體改善工程短期衝擊。一號壩下游測站遭受壩體碎片及所釋放大粒徑石頭覆蓋原有溪底底質(葉，2011)，此測站首當其衝應遭受較巨大的衝擊，更下游之繁殖場測站相較之下僅遭受細顆粒物質衝擊及掩蓋(葉，2011)，結果的確也顯示出一號壩下游測站水棲昆蟲個體數及多樣性大幅下降，並於2013年10月更大幅下降，且下降幅度大於繁殖場測站(郭，2013)，如此大幅下降現象，與國外其他研究雷同(Thomson *et al.*, 2005, Orr *et al.*, 2008)。然而2012年8月的颱風所引發的溪流變動，已經不僅是拆壩所造成的影響，大型底質挾帶沖刷到更下游的繁殖場測站，淤積明顯(林等，2012)，由離一號壩較遠的觀魚台測站及繁殖場測站多樣性指數的波動明顯變大且下降，及水昆數量高峰連續3年仍然低迷，此影響將持續進行中(郭，2014)。

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

第二章 研究方法及過程

第一節 研究地區

本年度的計劃範圍詳如圖 2-1，係以武陵地區為主，包含七家灣溪、高山溪、有勝溪、羅葉尾溪等設置樣站進行一年三次（2、6 及 10 月）之水棲昆蟲採樣與鑑定。於計劃範圍內所設置的 8 個永久樣站進行水棲昆蟲監測及研究，分布地點如圖 2-1，詳述如下：

- (1) 觀魚台測站於武陵地區農業區的下游處，該處河川級序為 2 級，雪霸國家公園管理處往上游的河段，而流經附近人類活動區之山溝水則為該測站之點源污染源，其河床底質也多为礫石及鵝卵石。
- (2) 一號壩上游測站也於武陵地區農業區的下游處，雪霸國家公園管理處往上游約 100 公尺的河段，為一號防砂壩上游，該處河川級序為 2 級，其河床底質也同为礫石及鵝卵石，植被多为灌木及闊葉林。
- (3) 一號壩下游測站位於雪霸國家公園管理處往下游方向的河段，為一號防砂壩下游，該處河川級序為 2 級，其河床底質也多为礫石及鵝卵石，植被與一號壩上游類似。
- (4) 繁殖場測站在高山溪及七家灣溪的匯流處，新建繁殖場旁的河段，該處河川級序為 2 級，河道較為寬闊，河床底質多为礫石及鵝卵石，。
- (5) 高山溪測站位於高山溪已拆防砂壩上游方向 50 公尺，該處河川級序為 1 級，河床底質含砂量較高，且兩岸植被較密河道窄、芒草、灌木與荊棘密布，陽光不易透入。
- (6) 有勝溪測站在有勝溪旁之農業區的下游處，該處河川級序為 2 級，河床底質多为泥砂、礫石及鵝卵石，河岸一側為公路因此僅有禾本科植物叢生，另一側為闊葉林及灌木叢組成之山坡。
- (7) 南湖登山口測站位於羅葉尾溪測站下游之思源啞口，該處河川級序為 2 級，溪流底質多泥沙、礫石並常有許多藻類附生其上，濱岸植多芒草類植物，並時常遮蔽河道。
- (8) 羅葉尾溪測站為有勝溪上游之測站，該處河川級序為 1 級。河道狹窄，寬約 4 公尺。溪流型態較崎嶇深淺不一，且溪流底質粒徑多樣，可見淺流、

淺瀨亦有部份深潭。該測站區段之濱岸灌木生長茂盛並遮蔽部分河道，因此河道之日照稀疏。

第二節 研究方法

各樣站於 2 月、6 月及 10 月在 50 公尺範圍內以定面積之舒伯氏水網 (Surber sampler)(網框面積 30.48 x 30.48 cm，網目大小為 250 μ m) 在河域中採樣一次，每一樣點重複取樣六次。將採獲之水棲昆蟲以水盤承接並置入 70~75% 酒精中，攜回實驗室並使用分類檢索資料以鑑定出分類群 (Taxa) (Kang, 1993; Kawai & Tanida, 2005; Merritt *et al.*, 2008)。參考臺灣櫻花鉤吻鮭的食性分析(郭, 2008; Liao *et al.*, 2012)，將整個水棲昆蟲類群可能的中大型食餌(e.g. 體長大於 1cm)，包含蜉蝣目(蜉蝣科、扁蜉蝣科)、毛翅目(長角石蛾科、流石蛾科、網石蛾科、弓石蛾科)、襉翅目(石蠅科)及雙翅目(大蚊科)等 4 目 8 科水棲昆蟲數量加總計算並以時間動態呈現其變化。

各測站昆蟲之分類群及數量輸入統計軟體 PRIMER 6 進行 Shannon-Wiener's index 分析多樣性(Ludwing & Reynolds, 1988; Krebs, 1999)。

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 = $\sum n_i$

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

參考美國環保署之快速生物評估法 II (Rapid Bioassessment Protocol II, RBP II) 作為棲地評價標準(Plafkin *et al.*, 1989)，因此本研究地區係以高山溪為無干擾參考站，各測站依據和無干擾參考站之相對分數範圍評比棲地無損害(>79%)、

中度損害(29~72%)及嚴重損害(<21%)，其中此分數範圍間的不確定區間(如 79 到 72%以及 29 到 21%)，則需要額外增加棲地的物理化學因子等資訊，才能決定此棲地損害評比。

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

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

快速生物評估法 II 中之水質評定流程 (Plafkin *et al.*, 1989)

Flowchart of bioassessment approach advocated for RBP II (Plafkin *et al.*, 1989)

Metrics	Biological Condition Scoring Criteria		
	6	3	0
1. Taxa richness ^(a)	>80%	40-80%	<40%
2. Family biotic index ^(b)	>85%	50-85%	<50%
3. Ratio of scrapers/filtering collectors ^(a,c)	>50%	25-50%	<25%
4. Ratio of EPT and Chironomid abundances ^(a)	>75%	25-75%	<25%
5. % contribution of dominant family ^(d)	<20%	30-50%	>50%
6. EPT index ^(a)	>90%	70-90%	<70%
7. Community loss index ^(e)	<0.5	0.5-4.0	>4.0
8. Ratio of shredders/Total ^(a,c)	>50%	25-50%	<25%

(a) Score is a ratio of study site to reference site $\times 100$.

(b) Score is a ratio of reference site to study site $\times 100$.

(c) Determination of Functional Feeding Group is independent of taxonomic grouping.

(d) Scoring criteria evaluate actual percent contribution.

(e) Range of values obtained.



Biological condition Category	% Comp. to Ref. Score
Non-impaired	> 79%
Moderately impaired	29-72%

利用武陵地區 2003 到 2006 的所有樣站的生物量資料，去推算本研究各站各時間生物量，例如各站各時間的各分類群數量乘上相對應季節(1-3、4-6、7-9 及 10-12 月)之相同科級平均體重(溼重)，如無此科級則採用目級計算。

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

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

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

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

將各站之各分類群的數量以 $\text{Log}(X+1)$ 轉換以計算 Bray-Curtis 相異係數後，以多元尺度分析(Non-metric multidimensional scaling, MDS)繪製成圖，並以二度空間顯示各測點彼此間之關係。得到圖形之壓縮值 (Stress)，可信建議值為小於 0.2，以此來推測及判定各測站之關係 (Clarke & Warwick, 2001)。

第三章 結果與討論

第一節 結果

(一) 物種數及個體數

本年度 2 月、6 月及 10 月採樣調查水棲昆蟲，位於七家灣溪之 5 個測站共計有 50 分類群(Taxa)，分屬 6 目 28 科(表 3-1、3-2、3-3)；位於有勝溪之 3 個測站共計有 53 分類群(Taxa)，分屬 6 目 33 科(表 3-1、3-2、3-3)，2015 年共採到 61 分類群(Taxa)。而 2015 年 2 月於七家灣溪各測站中則以一號壩下游及繁殖場為多，達 5000~5300 昆蟲(個體數/平方公尺)，6 月則以高山溪為多，達 1600 昆蟲(個體數/平方公尺)，有勝溪 2 月及 6 月份則皆以有勝溪測站為多分別為 5700 與 3700 昆蟲(個體數/平方公尺)，所有測站皆於 10 月份測站皆於下降至最低點。於 2015 年年初之高峰相對於 2013-2014 年較高，升至 5700 昆蟲(個體數/平方公尺)，但於年底低峰較 2014 年大幅下滑，與 2013 年 10 月份相仿降至 60~500 昆蟲(個體數/平方公尺)(圖 3-1)。

(二) 中大體型食餌

圖 3-2 為各站所採獲中大體型水棲昆蟲數量(臺灣鈎吻鮭之可能大型食餌)以時間動態呈現其變化，圖中可看出和圖 3-1 有相似之季節豐度變化，皆於 10 月至隔年 1 月或 2 月為上升趨勢，以及後續其較低數量水平。2015 年年初有勝溪測站躍升至另一高峰達 1900 昆蟲(個體數/平方公尺)僅次於繁殖場測站 2200 昆蟲(個體數/平方公尺)，而於年底相較於 2014 年則呈現減少之趨勢(圖 3-2)。

(三) 生物量

武陵地區溪流及有勝溪中的水棲昆蟲生物量變化與中大體型食餌相相似，在每年年初達最高峰，之後隨時間遞減，颱風季來臨時，生物量最少，再逐漸增加至隔年年初，如此週而復始(圖 3-3)。2015 年七家灣溪之測站其生物量亦與中大型食餌變化相仿，自 2011 年壩體改善後其高峰之生產量逐漸下滑至

2014年1700~3400毫克/平方公尺(圖3-4),而於2015年再度回升至5000~9400毫克/平方公尺;低峰亦較2014年之250~1200毫克/平方公尺微幅攀升至2015年之1900~2800毫克/平方公尺。另一方面,有勝溪之測站其中大型食餌生物量變化趨勢與七家灣溪相似,且從位於下游之南湖登山口測站20000毫克/平方公尺,似乎於2014~2015年有逐漸大於上游羅葉尾溪測站6500毫克/平方公尺之趨勢。

(四) 多樣性

由2003~2015年之各測站Shannon-Wiener's index比較結果可看出,大多數時間點高山溪測站指數值較其他測站為高,而有勝溪測站指數值則較其他測站為低,其他各測站則在這兩測站之指數值間波動,十年來棲地品質已有提升之趨勢,尤其是有勝溪測站及觀魚台測站(圖3-5)。2015年2月數值約介於1.4~2.7之間,6月則降至1.0~2.0之間且兩個月份數值皆以有勝溪測站為最低,而10月則介於1.7~2.3之間則有上升之趨勢,高山溪測站為最高,且相較於2013~2014年則呈現些微下降之趨勢(圖3-5)。

(五) 棲地評比

由快速生物評估法II所得之相對分數可知,各測站都介於無損害到中度損害之間(圖3-6)。往年皆以颱風過境時,多數測站一致顯示棲地大幅劣化情況,且以有勝溪測站最為明顯。於2014~2015年為無損害到中度損害程度(圖3-6),2015年2月觀魚台測站相較於2013~2014年棲地短暫劣化至中度損害程度但於6月時又回復至無損害程度至10月時再次微幅下降,有勝溪測站則呈現與之相反的趨勢變化,其餘測站皆維持於無損害程度。

(六) 群聚結構

2003~2015年各測站之MDS分析顯示於圖3-7。其分析結果仍具有群聚組成變異之代表性。進一步推測及判定各測站之關係,有勝溪測站連續10年以來為一類群,而其他測站為另一類群,不過分析圖上可看出兩類群於2009年到2015年有交集,顯示有勝溪測站開始與其他測站有相近結構之趨勢,各站

的群聚結構大致約一年完成一個循環。分析圖顯示，群聚結構大致隨著年份，往同一方向轉移(MDS 軸 1 的正向)，2006 年到 2007 年初群聚結構有回移的現象，但 2007 年後半年則停此回移，且和 2005 年變動幅度相近，2008~2010 年仍有此律動，且 2011 年結構已回移至 2003 年的狀態，並超越而成為此轉移方向的新極值，直到 2012 年及上半年仍維持於此回移範圍內。然而，2012 年 6 月到 8 月的泰利、蘇拉與天秤颱風過後，以及 2013 年 7 月到 10 月的蘇力、潭美、康芮、天兔及菲特等颱風過後，再度轉移至 2005 年~2009 年間的群聚結構，以致 2013 年並無完全回復至 2011 年到 2012 年狀態，水昆類群已開始偏向至 2005 年~2009 年間的群聚結構，不過 2014 年則回復至 2011 年到 2012 年狀態，而於 2015 年前半年亦呈現與 2011~2014 年相仿之狀態，後半年受到南卡、蘇迪勒、天鵝及閃電等颱風影響，再度轉移至 2005 年~2009 年間的群聚結構。總括而言，每年上半年都會回移，但後半年則受颱風季節之洪流強度影響，而改變為另一方向之相對應轉移量(圖 3-7)。

(七) 一號壩壩體改善部分拆除工程的影響

由圖 3-8 得知水棲昆蟲個體數於壩體改善初期，壩體上游的兩測站一直都較壩體下游的兩測站為多，但於 2015 年 2 月及 6 月的資料顯示，壩體上下游之水棲昆蟲個體數之分界不若以往明顯，這可能表示壩體改善後，上下游之棲地環境差異正在逐漸縮小。壩體下游的一號壩下游測站水棲昆蟲個體數由 2011 年 5 月 17 日的 1100 昆蟲(個體數/平方公尺)大幅降至 5 月 31 日(拆壩後第 1 天)的 70 昆蟲(個體數/平方公尺)；更下游之繁殖場測站水棲昆蟲個體數則由 5 月 17 日的 1300 昆蟲(個體數/平方公尺)大幅降至 5 月 31 日(拆壩後第 1 天)的 600 昆蟲(個體數/平方公尺)。因 2011 年 6 月下旬之米雷颱風所造成的洪水，兩者於 7 月 4 日又降至 300~500 昆蟲(個體數/平方公尺)，一號壩下游測站下降較大，繁殖場測站於 8 月大幅回升至 3200 昆蟲(個體數/平方公尺)，而一號壩下游測站於 9 月才回升至 3200 昆蟲(個體數/平方公尺)。2011 年 8 月下旬強烈颱風南瑪都侵台，10 月份調查結果，一號壩下游測站大幅下降至 300~800 昆蟲(個體

數/平方公尺)，2012 年年初有回升至 4700~7000 昆蟲(個體數/平方公尺)，但 2012 年 6 月到 8 月的泰利、蘇拉與天秤颱風過後降至 600 昆蟲(個體數/平方公尺) 以下，10 月時有回升至 600~2000 昆蟲(個體數/平方公尺)，並在 2013 年年初水昆密度高峰呈現 1900~4600 (個體數/平方公尺)，其中離壩體較遠的兩站(觀魚台與繁殖場測站)之水昆密度則高於緊鄰壩體的一號壩上游及下游測站，2013 年蘇力、潭美、康芮、天兔及菲特等颱風過後，10 月則降至 60~200 昆蟲(個體數/平方公尺)，其中緊鄰壩體的一號壩下游為最低值；2014 年 2 月則升至 1200~2800 昆蟲(個體數/平方公尺)，於 2015 年 2 月進而提升至 3000~5300 昆蟲(個體數/平方公尺)而 6 月則下滑至 1200~1500(個體數/平方公尺)，10 月則降至 60~200 昆蟲(個體數/平方公尺)(圖 3-8)。

壩體上游的一號壩上游測站有山溝水匯入，壩體下游的一號壩下游測站有一號防砂壩在此，過去這兩測站 Shannon- Wiener's index 值較觀魚台測站為低，且前半年多樣性指數波動小於後半年時期，颱風強度越大時似乎會造成較大波動(圖 3-9)。2011 年年初這兩測站在維持 2.4~2.5 (壩體改善前)，和觀魚台測站及繁殖場測站相比則不相上下(圖 3-9)。2011 年壩體改善工程後一個月內，壩體上下游的四測站皆明顯受到衝擊，顯現出多樣性指數之不確定性，波動變化加劇尤其是壩體下游的一號壩下游測站，Shannon- Wiener's index 值由 2.5 下降至 1.7，成為四測站中最低者(圖 3-9)，颱風季節使得壩體上下游的四測站再次承受負面衝擊，再一次且加深下降幅度，一號壩下游測站由 2.5 下降至 1.5 且為最低者，雖然 2012 年 2 月回升至 2.4，但可能因 2012 年 4 月的降雨較多而流量提升，使此測站再降至 1.1 (圖 3-9)。之後 2012 年 8 月遭受到中度颱風所造成的大型洪水影響，壩體上下游的四測站由 6 月的 2.0~2.7 降至 1.2~2.0，2012 年 10 月開始回升，2013 年 2 月的 2.4~2.7；2013 年 6 月降至 1.7~1.9，而颱風季後之 10 月則回升至 2.2~2.6，持平至 2014 年 2 月的 2.2~2.4，而 2014 年 6 月至 10 月則為 1.7~2.4；2015 年 2 月之壩上游兩測站多樣性指數仍高於下游測站，但 6 月則否，且繁殖場測站數值降至自壩體改善以來最低點，至 10 月

繁殖場測站回升與上游測站相仿，但一號壩下游測站則持續下滑至最低點(圖 3-9)。由於壩體改善後期需要長時間回復 (Thomson *et al.*, 2005)，未來將需一段較長時間並待回復後才能清楚釐清是受山溝水影響，或與壩體改善工程有關，或受每年颱風洪水的衝擊，彼此之因果關係，必須持續關注。

壩體改善工程後之 MDS 分析顯示於圖 3-10。四壩測站昆蟲組成以一號壩下游測站變化較大，但都趨向 MDS 軸一負值向驅動，經過 2.5 個月，順著 MDS 軸一正向歸回，回至相似結構。一號壩下游測站雖然於壩體改善工程一年內已有數度回返，但一經洪水事件後，則較其他站更加易受衝擊，而再度往 MDS 軸一負值趨向。由四測站水棲昆蟲受到壩體改善工程短期衝擊之變化速率也可看出，壩體下游兩測站受到約 2.5 個月的短期影響後回升，然施工 5 個月後的洪水衝擊，使得壩體下游測站較上游測站受到的影響更大(圖 3-8、3-9、3-11)。2012 至 2014 年颱風季的影響，對一號壩下游測站的衝擊較其他三站為大。

第二節 討論

(一) 物種數及個體數

2013 年調查水棲昆蟲有 63 分類群(Taxa)，由過去調查結果顯示，2003 年 46 分類群(Taxa) (郭，2003)、2004 年 43 分類群(Taxa) (郭，2004)、2005 年及 2006 年 45 分類群(Taxa) (郭，2005; 2006)、2007 年 48 分類群(Taxa) (郭，2007)、2008 年 52 分類群(Taxa) (郭，2008)、2009 年 59 分類群(Taxa) (郭，2009)、2010 至 2013 年 63~67 分類群(Taxa) (郭，2010、2011、2012 及 2013)，以及楊與謝 (2000)報導有 40 分類群(Taxa)相比，物種數逐年微量增加。2010 年及 2011 年可採到 64 及 67 分類群(Taxa)，可能與測站及採集月份增多也有關，而到了 2012 及 2013 年物種數則沒有再增加而持平，為 63 分類群(Taxa)，2014 年則為 57 分類群(Taxa)，2015 年為 61 分類群(Taxa)，暗示我們所採的樣本中已包含了此地水棲昆蟲群聚的所有（或幾乎所有）物種數。

近年來受颱風及梅雨影響，溪流流量暴增，過去 40 年來至 2008 年，以 2005 年為最嚴重的一年，其次依序為 2007 年、2008 年、2004 年，是此地流量暴增的前 4 名(丘, 2009)。2012 年的溪流流量暴增，可以進前五名。由連續 10 年以上(2003 年至 2014 年)水棲昆蟲數量之研究數據顯示，在歷經較嚴重的洪流，可能未來會造成水棲昆蟲群聚中體型較大物種之比例下降(郭，2010)。由圖 3-1 及圖 3-2 數據可看出，水棲昆蟲數量及中大型食餌數於每年的 1 或 2 月為高峰，2003 年至 2004 年初期達到最高，但受到 2004 年及 2005 年洪流影響，2005~2006 年的中大型食餌數明顯較少，顯示溪流流量暴增對水棲昆蟲群聚中體型較大物種之影響。由 10 年數據以上可看出，流量為常態發生而非突然暴增時，其隔年年初中大型食餌比例則會增加，此現象發生於 2003 年初及 2010~2012 年初，反之，嚴重洪流出現，隔年年初中大型食餌比例則會下降，數據顯示，2012 年受到 8 月的中度颱風影響，而 2013 年年初高峰之水昆及中大型食餌數量皆變少，重演 2005 至 2009 之大型洪水的影響。2013 年受到颱

風影響，10月水昆數量大幅下降，且2014年年初水昆及中大型食餌數量也較2013年年初低，但2015年年初中大型食餌數量已上升且較2012~2014年年初高峰為多，後半年受到南卡、蘇迪勒、天鵝及閃電等颱風影響，又再度下滑且較2014年10月為少。

(二) 多樣性

洪流擾動過後，物種可能大量減少，進而造成物種多樣性之降低，2005年8月 Shannon- Wiener's index 數值下降，並且2006後半年 Shannon- Wiener's index 指數下降程度較2004及2005年為小，可能和2006年颱風頻度和強度都較小有關；不過因優勢物種的減少所空出的資源使得其他物種得以拓殖，而得以增加了均勻度，例如大多數測站之多樣性指數在歷經2004年7月及9月的颱風，其暴雨所帶來之洪流，其群聚生態反應於均勻度指數之數值上升(郭，2005)。下半年洪流過後，年終至隔年年初之持續拓殖回復，物種數之增加的確會正向關聯於多樣性上升，而小型且生活史短之物種因非常態干擾影響(Chiu & Kuo, 2012)，其比例之提升導致均勻度下降，終究造成多樣性降低，例如2005年2月，種類數持續回復，然而由於搖蚊(Chironomidae)等物種快速增長且成為優勢物種，因而均勻度降低，導致大部分樣站 Shannon- Wiener's index 於溼季前之逐月下降趨勢(郭，2005)，並且同樣的2006年1月上升及6月 Shannon- Wiener's index 回降變化，可延伸2007~2014年相近時期的數值變化，而2012~2014年洪流過後，雖然物種數必然減少，不過多樣性大致持平或小幅上升，乃因均勻度上升；另一方面，2013至2015年數量持續回升，優勢物種數量增長更甚，終致均勻度下降，而呈現2月或4月有些測站之多樣性下降。這樣的現象說明了颱風及梅雨季節所帶來洪流於對多樣性有一定的影響力，而其干擾時間點、頻度及強度之常態與否則決定正向或負向影響。

(三) 棲地評比

以2003~2015年的RBPII數值而言，各測站於流量暴增後，其評等往往都

會趨向劣化，然而流量暴增的情況下，群聚結構變化受此強力的物理因子的影響遠大於水質或棲地因子，群聚結構起先為高留存之抗急流的物種居多，後續發展為快速拓殖的物種為主，因此除非水質或棲地劣化非常嚴重，能快速反應於 RBPII 評等的情況，在水質或棲地普遍較為良好的地區，流量暴增事件的出現，應等待一段時間，待物種拓殖穩定後，方可用 RBPII 來評等。除此之外，其中往年皆以颱風過境時，多數測站都一致顯示棲地大幅劣化情況，然而 2007 年起各測站於颱風季節後棲地劣化幅度較小，且觀魚台測站棲地可維持在無損害程度，且幾乎所有測站 2011 年颱風季節後，棲地劣化幅度最小，然而於 2012 年颱風季節後，棲地劣化幅度又再增大；一號壩下游測站首當其衝，由 2013~2014 年 6 月~10 月維持在中度損害程度，此結果說明了 RBPII 或許可用來偵測到颱風所引發的洪流對武陵地區溪流之影響，但似乎無法僅與洪流強度有關聯，應還有其他因子的交互作用也包含在內，其他研究也顯示季節性變化會明顯影響棲地評估的準確性(Šporka *et al.*, 2006, Alvarez-Cabria *et al.*, 2010)。另一方面，2015 年 2 月~6 月除了觀魚台測站中度損害程度，其餘 3 個測站皆維持無損害程度，而 10 月除了有勝溪收費口外，其餘測站則回到無損害程度，顯現出受到洪水及改善工程的影響，但已於 2015 年逐漸出現回穩跡象。

(四) 一號壩壩體改善部分拆除工程的影響

一號壩壩體改善工程施工擾動水體後，使得水體中懸浮物質增多(王，2011)，對整個水域食物鏈的影響是多環節的。從生態系食物鏈傳遞的角度分析，除了初級生產者藻類受到負面影響外(林，2011)，其它的消費者營養階級的水生生物也會受到負面影響，對水棲昆蟲短期影響即是族群數量出現下降(圖 3-8)，並可通過影響食物鏈的傳遞進而影響整個水域生態系統。挖泥掀起的泥沙沖刷進入水域中，壩體下游的空間改變(王，2011)，枯枝落葉掉入水域中變少，底層的粗顆粒碎屑下降(林，2011)，下游的環境改變較上游明顯(王，2011；葉，2011)。壩體上游的兩測站，可能季節性變化所造成的影響大於壩體改善短期影響，但壩體下游的兩測站除了季節性變化的影響外，還有壩體改

善工程短期衝擊。一號壩下游測站遭受壩體碎片及所釋放大粒徑石頭覆蓋原有溪底底質(葉, 2011), 此測站首當其衝應遭受較巨大的衝擊, 更下游之繁殖場測站相較之下僅遭受細顆粒物質衝擊及掩蓋(葉, 2011), 結果的確也顯示出一號壩下游測站水棲昆蟲個體數及多樣性大幅下降, 並於 2013 年 10 月更大幅下降, 且下降幅度大於繁殖場測站 (圖 3-8 及圖 3-9), 如此大幅下降現象, 與國外其他研究雷同(Thomson *et al.*, 2005, Orr *et al.*, 2008)。然而 2012 年 8 月的颱風所引發的溪流變動, 已經不僅是拆壩所造成的影響, 大型底質挾帶沖刷到更下游的繁殖場測站, 淤積明顯(林等, 2012), 由圖 3-8 可看出離一號壩較遠的觀魚台測站及繁殖場測站多樣性指數的波動明顯變大且下降, 而繁殖場測站降至最低(1.2); 2013 年年初雖已回復洪水衝擊前水準, 然而其水昆數量高峰仍然為低迷, 低於 2012 年年初數量高峰之水準。因而此影響將持續, 2014 年年初大型水昆數量會低於 2013 年, 即自 2011 年年初高峰後, 大型水昆密度下降至 2014 年, 連續 3 年。就整體趨勢而言, 若當年度有發生洪水, 將導致來年年初中大型食餌密度下降 (Chiu & Kuo, 2012), 極端流量(過低 $<10 \text{ m}^3/\text{s}$; 過高 $>200 \text{ m}^3/\text{s}$)發生後, 次年 1、2 月之中大型食餌密度大幅降低 (郭, 2014)。

壩體改善工程對壩體上下游的測站呈現出短期的負面衝擊, 隨著時間演進, 隨後出現的自然洪水事件所造成的洪水衝擊, 除了本身的影響力, 會與壩體事件結合, 再重演一次並加深此次洪水所造成的衝擊, 且壩體下游的測站受到影響較上游來的大。結果顯示颱風所引發的洪流的确造成如此的影響, 一號壩下游測站首當其衝遭受較巨大的衝擊, 水棲昆蟲個體數下降幅度較大, 且多樣性下降至最低, 其次為繁殖場測站。2012~2014 年的洪水衝擊, 可以看到拆壩後的影響力已可達一號壩上游棲地, 當然一號壩下游測站也因底質嚴重掏刷也同受衝擊, 同時表現出水棲昆蟲數量及多樣性大幅下降, 但於 2015 年的資料影響顯示逐漸有回穩之趨勢, 影響之距離及時間, 持續監控中。

第四章 結論與建議

第一節 結論

水棲昆蟲歷經了 2003 年無颱風的年度，數量及生物量於 2004 年 2 月達到高峰，但往後幾年也明顯受到颱風季節及梅雨季節所造成的洪流影響而呈現下降趨勢，影響隔年水棲昆蟲組成拓殖回復之方向。一些體型較大的物種，已逐漸減少；而被替換成體型較小的物種，生物量下降，且由底棲幼蟲、成蟲羽化之組成再次驗證颱風季節對昆蟲群聚結構及組成之影響（郭，2008），而由歷年中大型食餌數據也證實了洪流對昆蟲群聚結構及組成之衝擊（郭，2009），不過洪流減弱，長鬚石蛾 *Stenopsychidae*（大體形物種）又增加及黑管石蛾 *Uenoidae* 之回復採樣記錄，我們認為毛翅目這二物種可作為極端洪流的生物指標。

2012 年又見大型洪流的發生，隔年(2013 年)水昆及中大型食餌持續受此影響，其年初的密度高峰已大幅下降，同於 2005 至 2009 年的低水平，2014 年年初水昆及中大型食餌數量將較 2013 年年初低迷。若當年度有發生洪水，極端流量(過低 $<10\text{ m}^3/\text{s}$; 過高 $>200\text{ m}^3/\text{s}$)發生後，次年 1、2 月之中大型食餌密度大幅降低。而在 2015 年年初中大型食餌數量又上升至高峰，但有勝溪上游之羅葉尾溪測站與南湖登山口測站依舊少於其它測站，且相較於往年紀錄雖較 2012~2013 年為高，但整體無太大起伏，而在 2014~2015 年下游數量始多於上游至有勝溪測站達到最高峰，而生物量資料亦呈現相同趨勢顯示出有勝溪之中大型食餌可能逐漸有自上游泊集至下游的趨勢。

MDS 分析中顯示有勝溪測站為一類群，而其他站為另一類群，表示有勝溪測站的群聚結構和其他各站較不相似，然而 2009~2015 年開始和其他測站於 MDS 分析圖中具有交集，表示其和其他測站有相似度提高的現象。除了有勝溪測站外，各站的群聚結構變動方向具一致性，流量暴增為驅使力量，使群聚結構驅向某一特定群聚結構，干擾較小，年初的群聚結構回移，干擾較大，則再度驅向特定群聚結構直到隔年年初回復，因此可歸納出每年回復之時期為年初。由 2009~2012 年結果分別再度證實年初回復及其後洪水干擾之情形。2012 及 2013 年的颱風影響，再度轉移至 2005 年~2009 年間的群聚結構，而 2014~2015 年則有回復的趨勢。

一號壩壩體改善工程對七家灣溪的水棲昆蟲群聚產生約 2.5 個月的短期負面直接影響，導致數量和多樣性下降，且壩體下游兩測站受到影響較上游兩測站來的大。拆壩後再遭受到大雨引起的洪水衝擊為另一重要事件，此洪水除了本身的影響力，會結合拆壩再重演一次負面直接影響，加深此次洪水的衝擊。一號壩下游測站首當其衝，由 2013 年 6 月到 2014 年 2 月維持在中度損害程度，水棲昆蟲個體數及多樣性大幅下降，顯現出受到洪水及改善工程的影響，可能還有間接的、慢性的長期衝擊(Chiu *et al.* 2013)：例如水棲昆蟲的棲息環境的改變，引起食物鏈和生態結構的逐步變化，而 2014 年 10 月至 2015 年 6 月除了觀魚台測站於 2015 年 2 月時短暫降至中度損害程度外，其餘皆回復為無損害程度。因此是否開始達到恢復狀態應從生態系食物鏈傳遞的角度來看，長期追蹤(5 年以上)及全面監測(永久測站)，方可為未來壩體改善之長期生態衝擊及回復，樹立健全之典範。

第二節 建議

(一)減緩暴增流量及增加鮭魚陸域食餌之土地利用類型

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

(二)一號壩壩體改善工程之長期追蹤

拆壩後再遭受到大雨引起的洪水衝擊為另一重要事件，此洪水除了本身的影響力，會結合拆壩再重演一次負面直接影響，加深此次洪水的衝擊。可能還有間接的、慢性的長期衝擊：例如從生態系食物鏈傳遞的角度來看，水棲昆蟲的棲息環境的改變，將會引起食物鏈和生態結構的逐步變化。面對全球暖化及極端洪流頻繁發生對台灣溪流生態的影響，應持續監測(5 年以上)並建立武陵地區資料庫，使雪霸國家公園成為在地證據的科學基地及集水區經營管理績效之典範。

附錄一

「武陵地區七家灣溪及有勝河流域壩體改善後溪流水棲昆蟲群集監測」期末報告會議修正答覆

委員	委員提問	中興大學回覆
曹先紹委員	<p>1. 倘若資料可及，有關累積水棲昆蟲相，請就楊平世等早年研究範圍之樣站，進行水棲昆蟲相之比較，另整理新建議站調查之新增類群。</p> <p>2. 就大型水蟲的分布與數量變化，建議亦可考量其發生之時間及地點，與臺灣櫻花鉤吻鮭生活史需求(如繁殖季)的關聯性。</p>	<p>1. 比較 1985、1995 年的研究在 10 年變遷中似有劣化現象，但在 2015 年於共同測站調查資料相較，物種的差異性不大。</p> <p>2. 毛翅目等大型昆蟲可作為極端洪流下優勢留存生物，主要其為 K selection 的繁殖策略，至於與鮭魚繁殖季的關聯性，將會納入參考並仔細研判。</p>
楊正雄委員	<p>1. 大型水蟲 4 目 8 科建議可以重點標示在表 3-1 與表 3-2 中，比較有利於比較閱讀。表 3-1 與表 3-2 的分類群 taxa 數目與結果(P11)敘述有所不同，請確認。表中目別/科別/分類群名稱的對齊請重新確認。是否有可能以虛線表示，更容易閱讀。</p> <p>2. 有鑑於大型水棲昆蟲(>1cm)對鮭魚食餌的重要性，而水棲昆蟲的成長史中有另外的陸域時期，自然補充或是成蟲受到颱風影響的狀況是否有可能估計得出。此外，目前表列 8 科的大型水蟲其主要生殖週期與長成時間等資料，是否已經瞭解，或許可以針對此題目深究，可以更確定這些大型水蟲不同生活週期群體變化對鮭魚的可</p>	<p>1. 大型水蟲 4 目 8 科會列於表格中。表 3-1 與表 3-2 的分類群 taxa 數目已更正，並標示大型水蟲。</p> <p>2. 在極端洪流前後的水棲昆蟲的影響上，目前以棲地模板假說，依生活史特徵、功能群來探討次級生產量，尚無法補齊陸域昆蟲之資料，或許可以和洪水期共同分析探討。</p> <p>3. 長角石蛾與黑管石蛾的評估標準，所代表極端洪流下的生物指標，但在櫻花鉤吻鮭的食物品質標準上尚無法進行探討，可能需跨領域研究。</p> <p>4. 依委員意見皆已修正完畢。</p>

	<p>能影響？</p> <p>3. 簡易指標發展的可能性：相對於 RBPII 指標仍需要進行多項資料蒐集後評估，文中提到長角 vs 黑管石蛾之間因為洪水事件造成的相反比例狀況，因歷次颱風造成水文條件不同，有無可能發展出在特定地點，針對兩者水蟲比例做快速的調查後檢視，作為評估該區域櫻花鉤吻鮭大型食餌豐度及品質的快速評估指標？</p> <p>4. 錯漏字修正：</p> <p>⊙摘要 IV：流域面積是否為 77 平方公里？另外一本報告葉(2015)物理棲地研究中提到是 7200 公頃(P8)。</p> <p>⊙P1：「寒」帶請改成「溫」帶。「百」萬年請改成「數十」萬年。「子」遺請改成「孑」遺。「古生物、活標本」建議措辭修正。「迴」游請改成「洄」游。南「胡」溪請改成南「湖」溪。⊙P2：臺灣鏟頰魚在一號壩拆除前即已分布在一號壩上，建議修正該段文字。⊙P12 與 P13：圖八請改成圖 3-10？⊙P37「堰」口請修正為「埡」口。</p>	
于淑芬課長	<p>1. 昆蟲資料在 2 月、6 月、10 月的出現數量均有不同，故資料應予以分開計算。2. 相關成果資料請再送中研院資料庫匯整。</p>	<p>1. 相關資料已依于課長意見更正，並送中研院彙整。</p>

參考書目

- 上野益三，1937。台灣大甲溪之鱒之食性與寄生蟲（日文）。台灣博物學會會報，第 27 期，153-159 頁。
- 王筱雯，2011。100 年度武陵地區溪流生態系長期監測暨整合研究，第十一章泥沙監測研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 丘明智，2009。武陵地區洪流及河鳥與溪流昆蟲之關係。國立中興大學昆蟲學研究所博士論文。臺中市。
- 汪靜明，1992。河川生態保育。國立自然科學博物館。臺中市。
- 汪靜明，1994。子遺的國寶—臺灣櫻花鉤吻鮭專集。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 汪靜明，1999。河川生物多樣性的內涵與生態保育。生物多樣性前瞻研討會論文集。行政院農業委員會。臺北市。
- 林幸助、吳聲海、官文惠、邵廣昭、孫元勳、郭美華、高樹基、彭宗仁、曾晴賢、楊正澤、葉文斌、葉昭憲、蔡尚惠。2008。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立。內政部營建署雪霸國家管理處委託辦理計畫案。
- 林幸助、徐崇斌、葉昭憲、官文惠、彭宗仁、高樹基、蔡尚惠、郭美華、楊正澤、葉文斌、吳聲海、曾晴賢、孫元勳、邵廣昭。2009。武陵溪流生態系長期生態研究與生態模式建構。國立臺灣博物館學刊, 62(4):13-23.
- 林幸助、王筱雯、吳聲海、官文惠、邵廣昭、孫元勳、郭美華、曾晴賢、楊正澤、葉昭憲、蔡尚惠。2011。武陵地區溪流生態系長期暨整合研究。內政部營建署雪霸國家管理處委託辦理計畫案。
- 林幸助、王筱雯、吳聲海、官文惠、邵廣昭、孫元勳、郭美華、曾晴賢、楊正澤、葉昭憲、蔡尚惠。2012。武陵地區溪流生態系及七家灣溪一號壩防砂壩體改善後研究。內政部營建署雪霸國家管理處委託辦理計畫案。
- 林曜松，1998。生物多樣性前瞻研討會論文集。行政院農業委員會。臺北市。
- 康世昌，1993。臺灣的蜉蝣目（四節蜉蝣科除外）。國立中興大學昆蟲學研究所博士論文。臺中市。
- 雪霸國家公園編印，2000。雪霸國家公園自然資源研究方向芻議-歷年保育研究計畫總檢討。

- 郭美華，2003。武陵地區水生昆蟲研究(二)。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 郭美華，2004。武陵地區水生昆蟲研究(三)。內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告。
- 郭美華，2005。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立：水棲昆蟲長期生態監測。內政部營建署雪霸國家公園管理處保育研究報告。
- 郭美華，2006。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立，第六章水棲昆蟲研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處保育研究報告。
- 郭美華，2007。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立，第七章水棲昆蟲研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處保育研究報告。
- 郭美華，2008。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立，第七章水棲昆蟲研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處保育研究報告。
- 郭美華，2009。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立，第四章水棲昆蟲研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處保育研究報告。
- 郭美華，2010。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立，第四章水棲昆蟲研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處保育研究報告。
- 郭美華，2011。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立，第四章水棲昆蟲研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處保育研究報告。
- 郭美華，2012。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立，第七章水棲昆蟲研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處保育研究報告。
- 郭美華，2013。台灣櫻花鉤吻鮭歷史溪流放流及環境生態監測計畫，第三章水棲昆蟲研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處保育研究報告。
- 郭美華，2014。七家灣溪及高山溪鮭魚族群及棲地監測，第三章水棲昆蟲研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處保育研究報告。
- 郭美華、丘明智、謝易霖，2004。以水棲昆蟲監測雪霸國家公園武陵地區溪流水質。台灣昆蟲，第24期，339-352頁。
- 黃國靖，1987。七家灣溪水棲昆蟲相及其生態研究。國立台灣大學植物病蟲害研究所碩士論文。
- 曾晴賢。2012。武陵地區溪流生態系及七家灣溪一號壩防砂壩體改善後研究。第六章臺灣櫻花鉤吻鮭族群監測與動態分析。內政部營建署雪霸國家管理處委

託辦理計畫案。

農委會、特生中心、營建署及雪霸公園管理處編印，2000。櫻花鉤吻鮭研究保育研討會論文集。

楊平世、謝森和，2000。以水棲昆蟲之群聚結構及功能組成監測七家灣溪環境品質。農委會、特生中心、營建署及雪霸公園管理處編印。櫻花鉤吻鮭研究保育研討會論文集，151-177 頁。

楊平世、林曜松、黃國靖、梁世雄、謝森和、曾晴賢，1986。武陵農場河域之水棲昆蟲相與生態調查。農委會 75 年生態研究第 1 號。

葉昭憲，2011。100 年度武陵地區溪流生態系長期監測暨整合研究，第二章物理棲地研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處。

Alvarez-Cabria, M., Barquin, J. & Juanes, J. A. (2010) Spatial and seasonal variability of macro invertebrate metrics: Do macroinvertebrate communities track river health? *Ecological Indicators*, **10**, 370-379.

Chiu, M.-C., Kuo, M.-H., Sun, Y.-H. Hong, S.- Y. & Kuo, H.-C. (2008) Effects of flooding on avian top-predators and their invertebrate prey in a monsoonal Taiwan stream. *Freshwater Biology* 53: 1335-1344.

Chiu, M.-C. & Kuo, M.-H. (2012) Application of *r/K* selection to macroinvertebrate responses to extreme floods. *Ecological Entomology*, **37**, 145-154.

Chiu, M.-C., Yeh, C.-H., Sun, Y.-H. & Kuo, M.-H. (2013) Short-term effects of dam removal on macroinvertebrates in a Taiwan stream. *Aquatic Ecology*, **47**, 245-252.

Clarke, K. R. & Warwick, R. M. (2001) *Changes in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. PRIMER-E, Plymouth, UK.

Hilsenhoff, W. L. (1988) Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *Journal of the North American Benthological Society*, **7**, 65-68.

IPCC. (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Kang, S.-C. (1993) *Ephemeroptera of Taiwan (excluding Baetidae)*. PhD dissertation, National Chung Hsing Univ., Taichung, Taiwan.

Kawai, T. & Tanida, K. (2005) *Aquatic insects of Japan: manual with keys and illustrations*. Tokai Univ. Press, Tokyo.

Krebs, C. J. (1999) *Ecological methodology*. Addison-Wesley Educational Publishers, INC., Menlo Park, CA.

Liao, L.-Y., Chiu, M.-C., Huang, Y.-S. & Kuo, M.-H. (2012) Size-dependent foraging on aquatic and terrestrial prey by the endangered Taiwan salmon. *Zoological Studies* 51: 671-678.

Ludwing, J. A. & Reynolds, J. F. (1988) *Statistical ecology. A primer on methods and computing*. John Wiley and Sons, New York.

Merritt, R. W., Cummins, K. W. & Berg, M. B. (2008) *An introduction to the aquatic Insects of North America*. Kendall/Hunt Publ. Co., Dubuque, IA.

- Orr, C. H., Kroiss, S. J., Rogers, K. L. & Stanley, E. H. (2008) Downstream benthic responses to small dam removal in a coldwater stream. *River Research and Applications*, **24**, 804-822.
- Plafkin, J. L., Barbour, M. T., Porter, K. D., Gross, S. K. & Hughes, R. M. (1989) Rapid assessment protocols for use in streams and rivers: Benthic macroinvertebrates and fish. EPA 440-4-89-001. *U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water Regulations and Standards, Washington, D.C.*
- SAS Institute. 2011. Base SAS® 9.3 procedures guide. Cary. NC: SAS Institute Inc.
- Shieh, S.-H. & Yang, P.-S. (2000) Community structure and functional organization of aquatic insects in an agricultural mountain stream of Taiwan: 1985-1986 and 1995-1996. *Zoological Studies*, **39**, 191-202.
- Šporka, F., Vlek, H. E., Bulánková, E. & Krno, I. j. (2006) Influence of seasonal variation on bioassessment of streams using macroinvertebrates. *Hydrobiologia*, **566**, 543-555.
- Thomson, J. R., Hart, D. D., Charles, D. F., Nightengale, T. L. & Winter, D. M. (2005) Effects of removal of a small dam on downstream macroinvertebrate and algal assemblages in a Pennsylvania stream. *Journal of the North American Benthological Society*, **24**, 192-207.

武陵地區七家灣溪及有勝河流域壩體改善後溪流水棲昆蟲群集監測

表 3-1、2015 年七家灣溪及有勝溪 2 月之水棲昆蟲資源組成及個體數 (individuals / square meter)

Order	Family	Taxon	觀魚台	高山溪	繁殖場	有勝溪	一號壩上游	一號壩下游	羅業尾溪放流點	南湖登山口
Coleoptera	Dytiscidae	<i>Deronectes</i> sp.						12.5		
		<i>Oreodytes</i> sp.							3.6	
	Elmidae	<i>Zaitzevia</i> sp.A	28.7	392.4	112.9	17.9	87.8	86.0	136.2	66.3
		<i>Zaitzevia</i> sp.B		44.8	7.2		16.1	1.8	1.8	5.4
	Psephenidae	<i>Ectopria</i>								1.8
<i>Eubrianax</i> sp.									25.1	1.8
Diptera	Scirtidae	<i>Cyphon</i> sp.		96.7	41.2	3.6	9.0	7.2	453.3	62.7
	Athericidae	<i>Asuragina</i> sp.		1.8					10.7	
	Blepharoceridae	<i>Bibiocephala</i> sp.		1.8						
	Ceratopogonidae	<i>Bezzia</i> sp.	12.5	7.2	5.4	10.7	32.2	19.7		14.3
	Chironomidae	Chironomidae sp.B	591.2	293.8	815.2	480.2	453.3	537.5	1352.7	1239.8
		Chironomidae sp.C	78.8	182.7	446.1	440.7	698.7	474.8	30.5	5.4
	Chironomidae spp.		218.6	78.8	320.7	263.4	439.0	378.0	464.0	478.4
		Tanypodinae spp.	1.8		1.8	172.0	68.1	39.4	10.7	93.2
	Empididae	<i>Chelifera</i> sp.	1.8		3.6		19.7	7.2		
		<i>Clinocera</i> sp.B			10.7			5.4		
		<i>Dolichocephala</i> sp.	5.4	1.8						
	Simuliidae	<i>Simulium</i> sp.	39.4	57.3	105.7	77.0	25.1	23.3	53.7	
	Tipulidae	<i>Antocha</i> sp.	186.3	23.3	69.9	120.0	272.3	107.5	30.5	211.4
		<i>Dicranota</i> sp.			3.6					
		<i>Eriocera</i> sp.A	48.4	141.5	43.0	7.2	86.0	77.0	35.8	1.8
<i>Eriocera</i> sp.B		5.4	16.1	26.9	44.8	30.5	44.8		12.5	
Ephemeroptera	Ameletidae	<i>Ameletus camtschaticus</i>		17.9	1.8		3.6		60.9	5.4
	Baetidae	<i>Acentrella lata</i>	152.3	53.7	89.6	173.8	89.6	64.5	39.4	14.3
		<i>Baetiella bispinosa</i>	164.8	23.3	87.8	86.0	21.5	46.6	26.9	1.8
		<i>Baetis</i> spp.	222.2	369.1	327.9	1707.4	711.3	874.3	281.3	1209.4
	Caenidae	<i>Caenis</i> sp.		3.6	1.8		7.2	9.0		
	Ephemerellidae	<i>Acerella montana</i>		5.4	21.5	1.8		1.8	14.3	134.4
		<i>Cincticostella fusca</i>		1.8	9.0		1.8		46.6	207.8
	Ephemeridae	<i>Ephemera sauteri</i>				32.2	1.8			1.8
	Heptageniidae	<i>Afronurus floreus</i>		1.8		125.4				16.1
		<i>Epeorus erratus</i>		3.6	7.2					
		<i>Rhithrogena ampla</i>	616.3	868.9	1506.8	1678.8	1184.3	1841.8	275.9	374.5
	Leptophlebiidae	<i>Paraleptophlebia</i> sp.							120.0	143.3
Plecoptera	Nemouridae	<i>Amphinemura</i> sp.	37.6	57.3	132.6	62.7	224.0	123.6	35.8	283.1
		<i>Protonemura</i> spp.	41.2	7.2	26.9		3.6	14.3	66.3	59.1
	Perlidae	<i>Gibosia</i> sp.			1.8				10.7	3.6
Trichoptera	Styloperlidae	<i>Neoperla</i> spp.	34.0	213.2	170.2	1.8	68.1	48.4	157.7	139.7
		<i>Cerconychia</i> sp.		1.8	7.2		7.2		114.7	243.7
	Beraeidae	<i>Nippoberaea</i>							96.7	5.4
	Glossosomatidae	<i>Glossosoma</i> sp.	369.1	17.9	64.5	5.4	3.6	12.5	5.4	1.8
	Goeridae	<i>Goera</i>							1.8	1.8
	Hydrobiosidae	<i>Apsilochorema</i> sp.		3.6	7.2	3.6	7.2	1.8	9.0	7.2
	Arctopsychidae	<i>Arctopsyche</i> sp.	3.6	9.0	5.4		1.8		10.7	1.8
	Hydropsychidae	<i>Hydropsyche</i> spp.	408.5	48.4	326.1	3.6	98.5	181.0	3.6	1.8
	Hydroptilidae	<i>Hydroptila</i>				3.6				3.6
		<i>Stactobia</i>								12.5
	Lepidostomatidae	<i>Goerodes</i> sp.		3.6	14.3	5.4				
	Rhyacophilidae	<i>Himalopsyche</i> sp.	10.7		1.8		1.8			
<i>Rhyacophila nigrocephala</i>		123.6	55.5	127.2	125.4	129.0	200.7	23.3	48.4	
<i>Rhyacophila</i> spp.		43.0	12.5	25.1		1.8	3.6	5.4	28.7	
Sericostomatidae	Sericostomatidae sp.								1.8	
Stenopsychidae	<i>Stenopsyche</i> sp.A	23.3		7.2		5.4	34.0	21.5	139.7	
Uenoidae	<i>Uenoa taiwanensis</i>		1.8							

註：中大型食餌以粗體字表示

(資料來源：本研究資料)

表 3-2、2015 年七家灣溪及有勝溪 6 月之水棲昆蟲資源組成及個體數 (individuals / square meter)

Order	Family	Taxon	觀魚台	高山溪	繁殖場	有勝溪	一號壩上游	一號壩下游	羅業尾溪放流點	南湖登山口
Coleoptera	Dytiscidae	<i>Oreodytes</i> sp.							1.8	
	Elmidae	<i>Zaitzevia</i> sp.A	5.4	103.9	5.4	9.0	127.2	25.1	3.6	14.3
		<i>Zaitzevia</i> sp.B		7.2		5.4	12.5	3.6	1.8	3.6
	Psephenidae	<i>Ectopria</i>								1.8
<i>Eubrianax</i> sp.									9.0	
Diptera	Scirtidae	<i>Cyphon</i> sp.		3.6					5.4	1.8
	Athericidae	<i>Asuragina</i> sp.		3.6						
	Blepharoceridae	<i>Agathon</i> sp.				3.6				
		<i>Bibiocephala</i> sp.	1.8		1.8					
	Ceratopogonidae	<i>Bezzia</i> sp.		7.2	1.8				3.6	5.4
	Chironomidae	Chironomidae sp.B	1.8	14.3	7.2	17.9	1.8	3.6	1275.6	73.5
		Chironomidae sp.C	1.8	12.5	5.4	30.5	3.6	1.8	23.3	3.6
		Chironomidae spp.	7.2	64.5	21.5	109.3	17.9	19.7	548.2	342.2
		Tanypodinae spp.				118.2	3.6		7.2	41.2
	Empididae	<i>Clinocera</i> sp.A							3.6	
		<i>Dolichocephala</i> sp.							3.6	
	Simuliidae	<i>Simulium</i> sp.	3.6	7.2	17.9	50.2		1.8	157.7	9.0
	Tipulidae	<i>Antocha</i> sp.	1.8	3.6		5.4	9.0	1.8	64.5	77.0
		<i>Eriocera</i> sp.A	5.4	10.7	7.2	1.8	5.4	10.7	1.8	
		<i>Eriocera</i> sp.B	12.5	21.5	5.4	3.6	68.1	37.6		5.4
Ephemeroptera	Ameletidae	<i>Ameletus camtschaticus</i>					1.8		5.4	
	Baetidae	<i>Acentrella lata</i>	118.2	26.9	78.8	73.5	7.2	53.7	127.2	261.6
		<i>Baetiella bispinosa</i>	102.1	52.0	84.2	62.7	14.3	73.5	159.5	37.6
		<i>Baetis</i> spp.	431.8	200.7	48.4	2911.4	302.8	87.8	182.7	1191.4
	Ephemerellidae	<i>Acerella montana</i>		3.6	1.8			3.6	5.4	
	Ephemeridae	<i>Ephemeria sauteri</i>					3.6			1.8
	Heptageniidae	<i>Afronurus floreus</i>	1.8			120.0			25.1	59.1
		<i>Epeorus erratus</i>	5.4		1.8				23.3	1.8
		<i>Rhithrogena ampla</i>	535.7	772.2	958.5	46.6	401.3	512.4	102.1	189.9
	Odonata	Gomphidae	<i>Sinogomphus formosanus</i>							1.8
Plecoptera	Leuctridae	<i>Rhopalopsale</i> sp.								14.3
	Nemouridae	<i>Amphinemura</i> sp.	5.4	10.7		7.2		5.4	82.4	14.3
		<i>Protonemura</i> spp.	14.3					1.8	89.6	
	Perlidae	<i>Gibosia</i> sp.								9.0
<i>Neoperla</i> spp.		25.1	121.8	59.1		69.9	46.6	60.9	145.1	
Trichoptera	Styloperlidae	<i>Cerconychia</i> sp.							12.5	1.8
	Glossosomatidae	<i>Glossosoma</i> sp.	5.4		7.2		1.8	5.4	17.9	3.6
	Hydrobiosidae	<i>Apsilochorema</i> sp.	1.8				5.4		1.8	5.4
	Arctopsychidae	<i>Arctopsyche</i> sp.							25.1	
	Hydropsychidae	<i>Hydropsyche</i> spp.	105.7	98.5	84.2	7.2	37.6	177.4	21.5	53.7
	Lepidostomatidae	<i>Goerodes</i> sp.	3.6	26.9	10.7	3.6				1.8
	Rhyacophilidae	<i>Himalopsyche</i> sp.	1.8		1.8					
		<i>Rhyacophila nigrocephala</i>	41.2	64.5	30.5	95.0	78.8	89.6	32.2	116.5
		<i>Rhyacophila</i> spp.	3.6	5.4			1.8	19.7	64.5	28.7
	Stenopsychidae	<i>Stenopsyche</i> sp.A	19.7		1.8	1.8	5.4	12.5	16.1	261.6
Uenoidae	<i>Uenoa taiwanensis</i>							3.6		

註：中大型食餌以粗體字表示

(資料來源：本研究資料)

武陵地區七家灣溪及有勝溪流域壩體改善後溪流水棲昆蟲群集監測

表 3-3、2015 年七家灣溪及有勝溪 10 月之水棲昆蟲資源組成及個體數 (individuals / square meter)

Order	Family	Taxon	觀魚台	高山溪	繁殖場	有勝溪	一號壩上游	一號壩下游	羅業尾溪放流點	南湖登山口	
Coleoptera	Dytiscidae	<i>Oreodytes</i> sp.				1.8					
	Elmidae	<i>Zaitzevia</i> sp.A		19.7	5.4		1.8		14.3	7.2	
		<i>Zaitzevia</i> sp.B							5.4		
Diptera	Scirtidae	<i>Cyphon</i> sp.		5.4	10.7				197.1	9.0	
	Athericidae	<i>Asuragina</i> sp.							5.4		
		<i>Atherix</i> sp.			1.8				1.8		
	Blepharoceridae	<i>Agathon</i> sp.		3.6							
		<i>Bibiocephala</i> sp.		3.6							
	Chironomidae	Chironomidae sp.B		80.6	9.0	3.6	1.8	5.4	1.8	32.2	127.2
		Chironomidae sp.C				3.6				1.8	
		Chironomidae sp.E					1.8			3.6	
		Chironomidae spp.				5.4	3.6			12.5	1.8
		Tanypodinae spp.						1.8			
	Simuliidae	<i>Simulium</i> sp.		3.6	3.6	1.8		1.8	25.1	1.8	
	Stratiomyidae	<i>Oxycera</i>							1.8		
Tipulidae	<i>Antocha</i> sp.			1.8							
	<i>Eriocera</i> sp.A		1.8	23.3	9.0				43.0	3.6	
	<i>Eriocera</i> sp.B		1.8	10.7	3.6	10.7	9.0	3.6		3.6	
	Baetidae	<i>Acentrella lata</i>		1.8			1.8			1.8	1.8
		<i>Baetiella bispinosa</i>		9.0							7.2
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetis</i> spp.	37.6	44.8	17.9	21.5	43.0	3.6	19.7	5.4	
		<i>Acerella montana</i>	21.5	9.0	1.8		44.8	7.2	39.4	12.5	
		<i>Cincticostella fusca</i>							5.4		
	Ephemerellidae	<i>Ephemerella sauteri</i>			1.8		1.8				
		<i>Afronurus floreus</i>		1.8			3.6		1.8	5.4	
	Heptageniidae	<i>Epeorus erratus</i>		1.8							
		<i>Rhithrogena ampla</i>		77.0	35.8	53.7	5.4	50.2	30.5	23.3	21.5
		<i>Paraleptophlebia</i> sp.		1.8						16.1	1.8
	Leptophlebiidae	<i>Sinogomphus formosanus</i>			1.8	1.8	3.6				
	Plecoptera	Nemouridae	<i>Amphinemura</i> sp.		1.8					10.7	1.8
<i>Protonemura</i> spp.			5.4	1.8			3.6		12.5		
Trichoptera	Perlidae	<i>Gibosia</i> sp.								5.4	
		<i>Neoperla</i> spp.	7.2	32.2	55.5		12.5	21.5	68.1	53.7	
	Styloperlidae	<i>Cerconychia</i> sp.	1.8						26.9		
	Glossosomatidae	<i>Glossosoma</i> sp.						1.8			
	Arctopsychidae	<i>Arctopsyche</i> sp.		1.8				1.8			
Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Hydropsyche</i> spp.	9.0	3.6	1.8	1.8					
	Lepidostomatidae	<i>Goerodes</i> sp.								1.8	
	Rhyacophilidae	<i>Himalopsyche</i> sp.		1.8							
		<i>Rhyacophila nigrocephala</i>		1.8	3.6	21.5	25.1	7.2	3.6	5.4	3.6
		<i>Rhyacophila</i> spp.								1.8	1.8
	Stenopsychidae	<i>Stenopsyche</i> sp.A		1.8						3.6	
Uenoidae	<i>Uenoa taiwanensis</i>							1.8			

註：中大型食餌以粗體字表示

(資料來源：本研究資料)

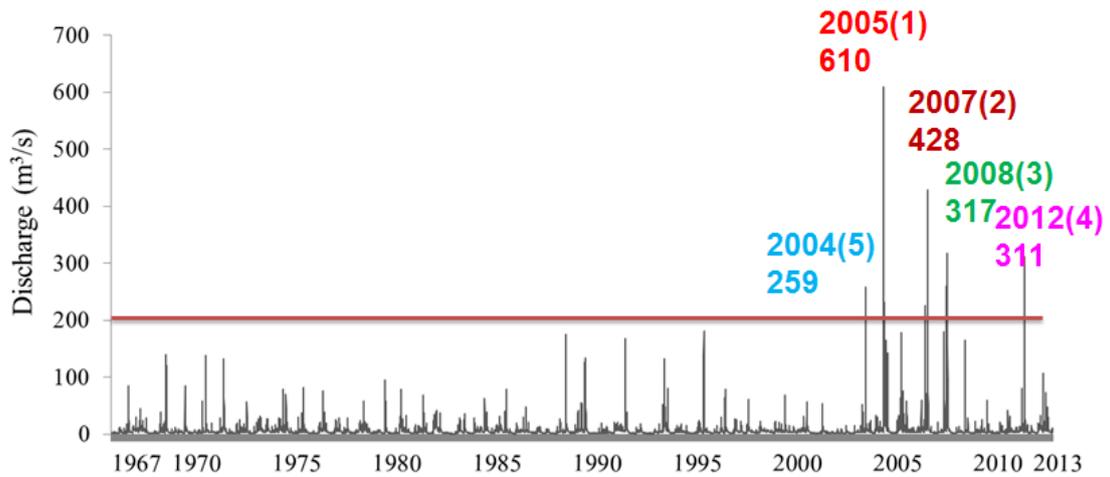


圖 1-1 武陵地區溪流 1967 至 2013 流量資料(流量資料來自台灣電力公司水文水資源資料管理供應系統)。(Hong *et al.*, unpublished data) (資料來源：本研究資料)

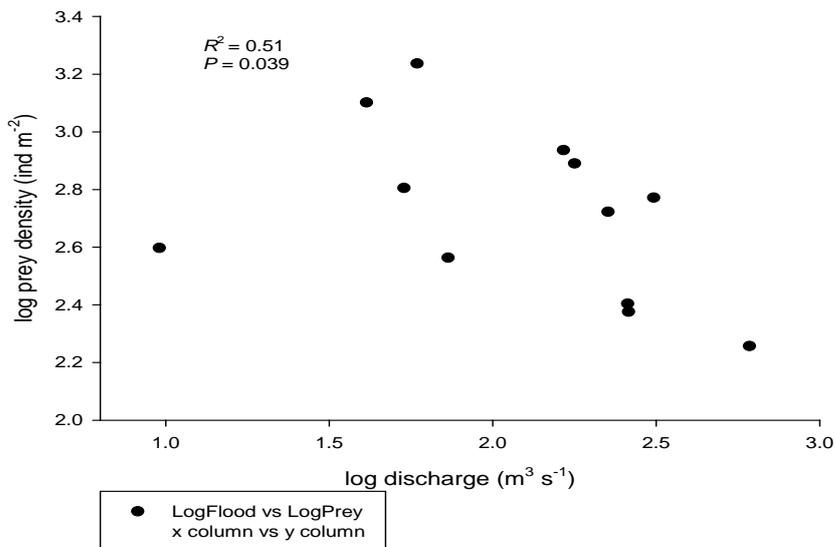


圖 1-2 洪水流量和隔年 1、2 月中大型食餌密度之關係($y=1.2+2.1x-0.6x^2$, $p = 0.039$, $R^2 = 0.51$, x =當年最大流量, y =次年中大型食餌密度, 流量資料來自台灣電力公司水文水資源資料管理供應系統)。(資料來源：本研究資料)



圖 2-1、武陵地區溪流水棲昆蟲監測調查測站之相關位置圖。

(資料來源：本研究資料)

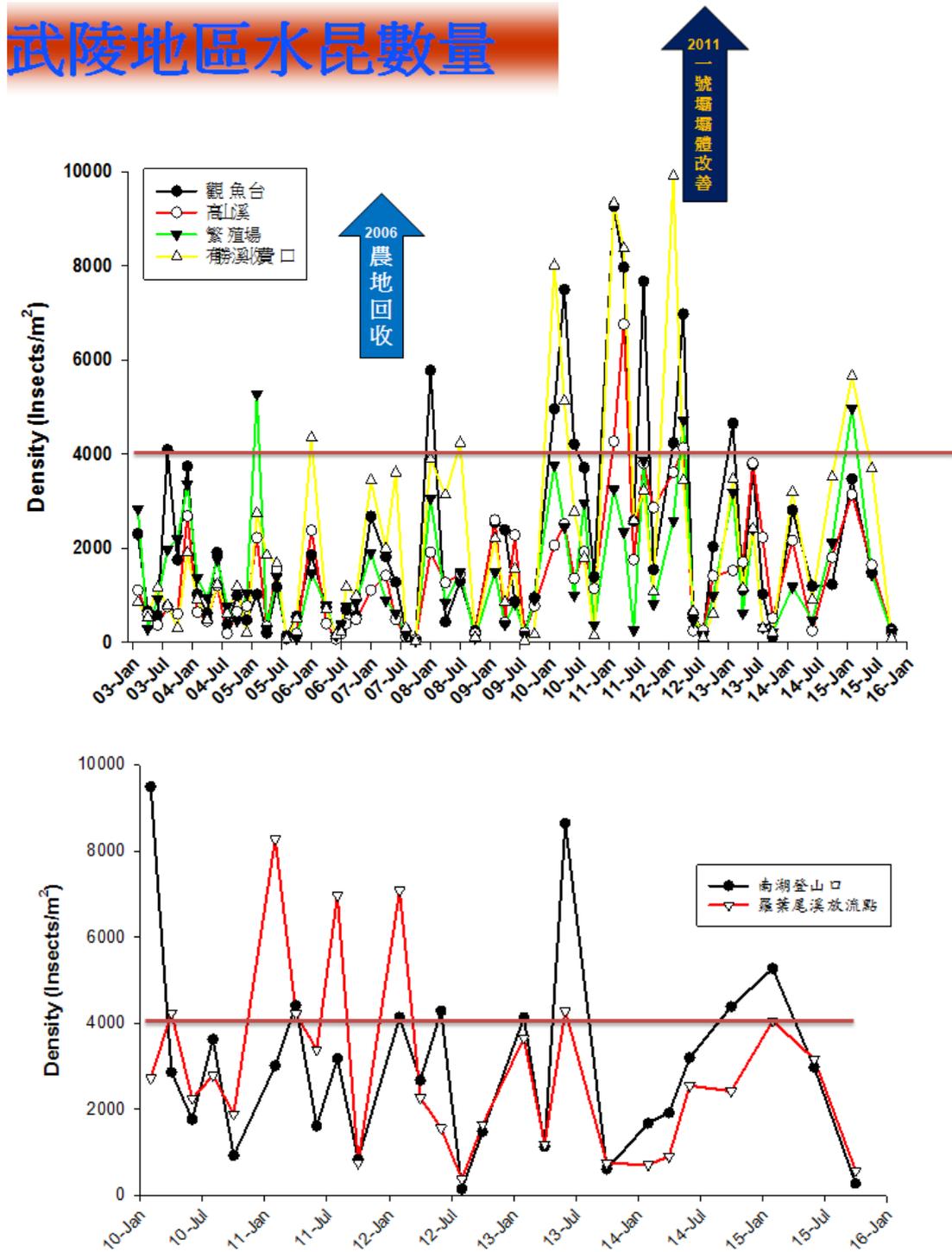


圖 3-1 武陵地區溪流測站水棲昆蟲各月數量。(資料來源：本研究資料)

武陵地區水昆中大型食餌密度

有勝溪測站的中大型食餌數量由2007年開始逐年年初漸漸上升的趨勢

參考台灣鈎吻鮭的食性分析(郭, 2008; Liao et al., 2012)
中大型食餌(e.g. 體長大於1cm) (4目8科)

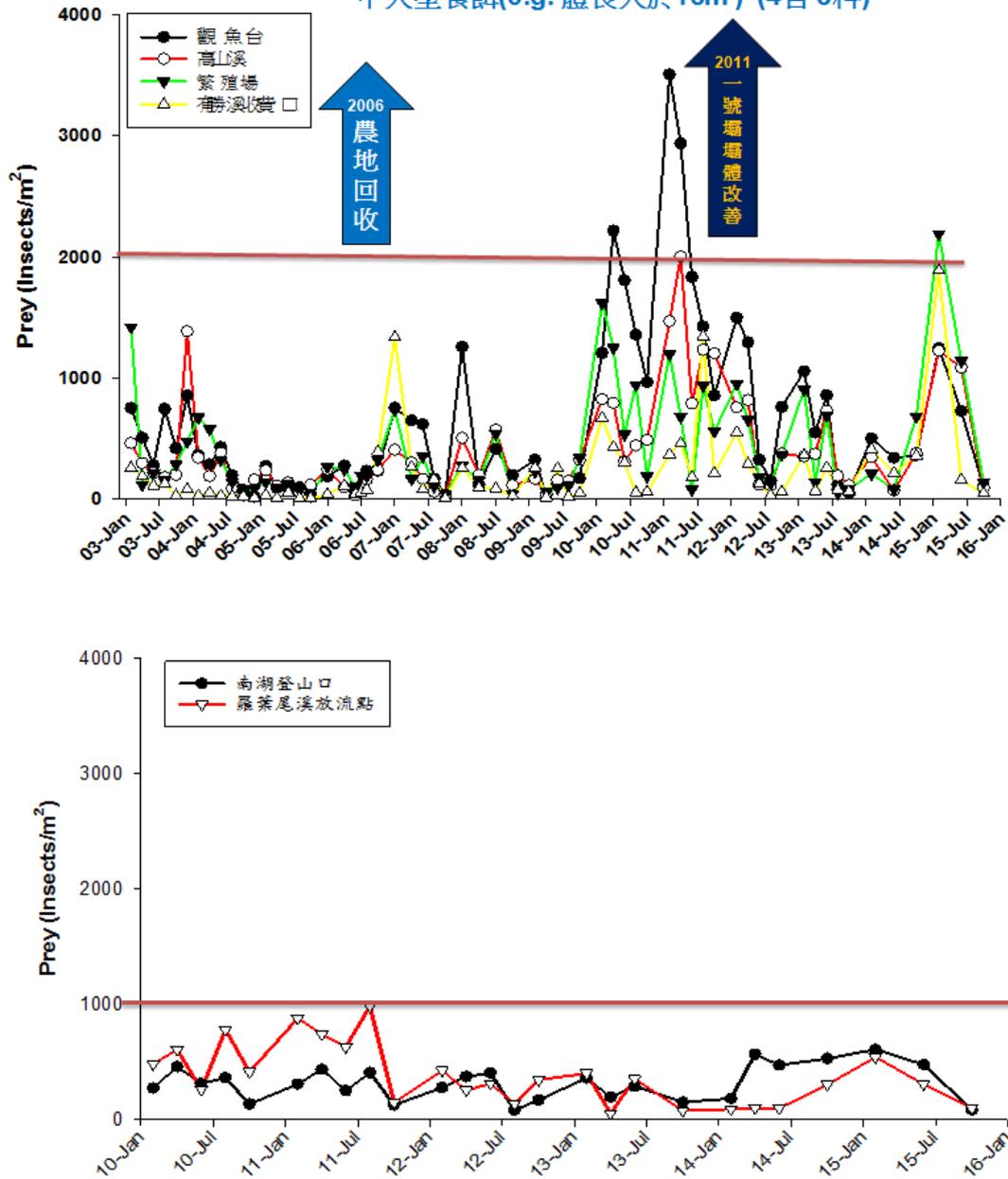


圖 3-2 武陵地區溪流測站之臺灣鈎吻鮭中大體型昆蟲食餌數量變化圖。
(資料來源：本研究資料)

武陵地區水昆生物量

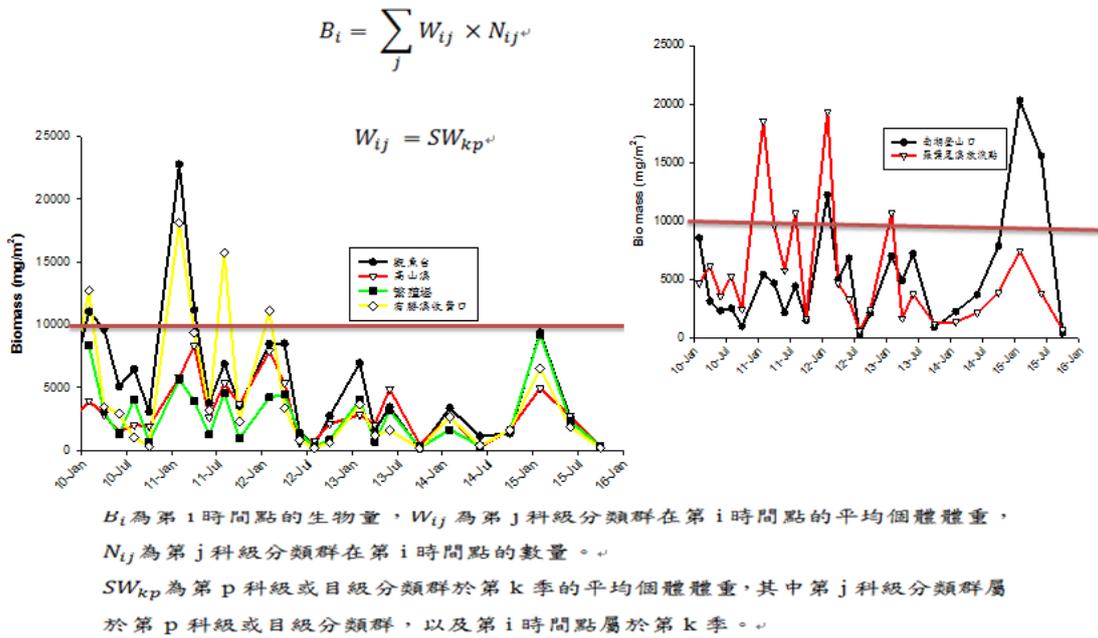


圖 3-3 武陵地區溪流測站之水棲昆蟲生物量(濕重)變化圖。
(資料來源：本研究資料)

壩體拆除前後壩體上下游四測站水昆之生物量

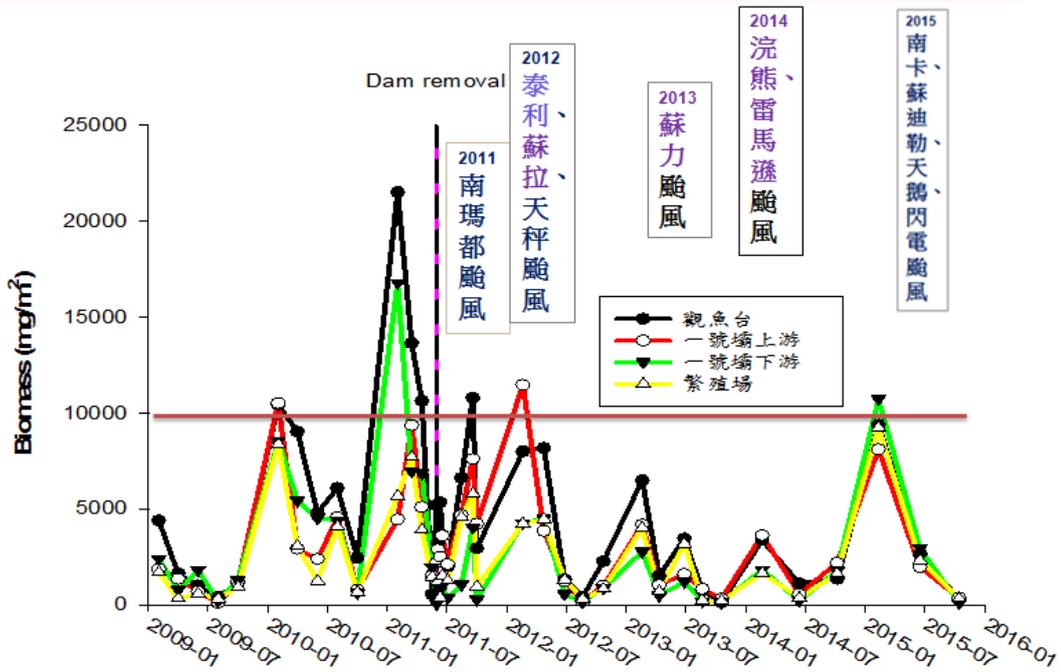


圖 3-4 一號壩壩體上下游四測站之水棲昆蟲生物量(濕重)變化圖。
(資料來源：本研究資料)

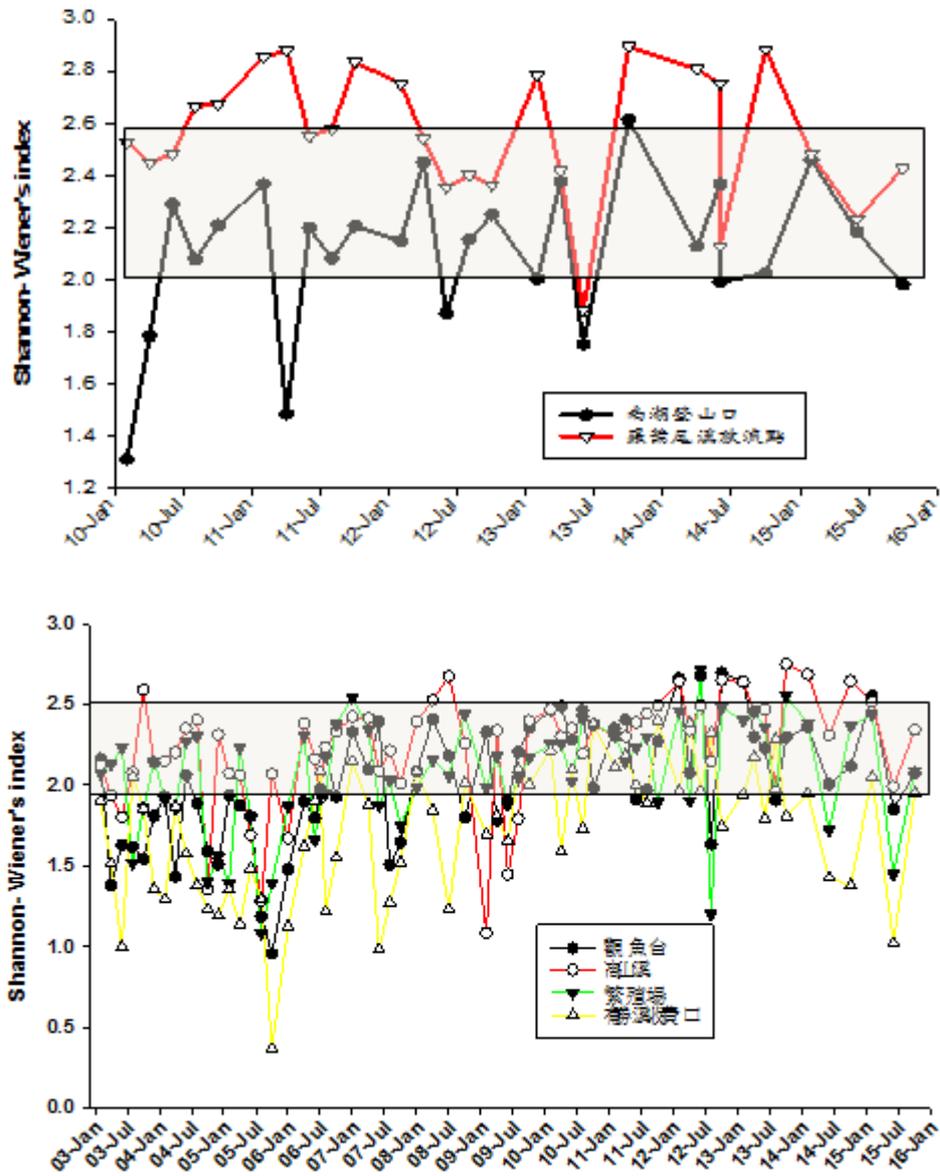


圖 3-5 武陵地區溪流測站水棲昆蟲之 Shannon- Wiener's index。

(資料來源：本研究資料)

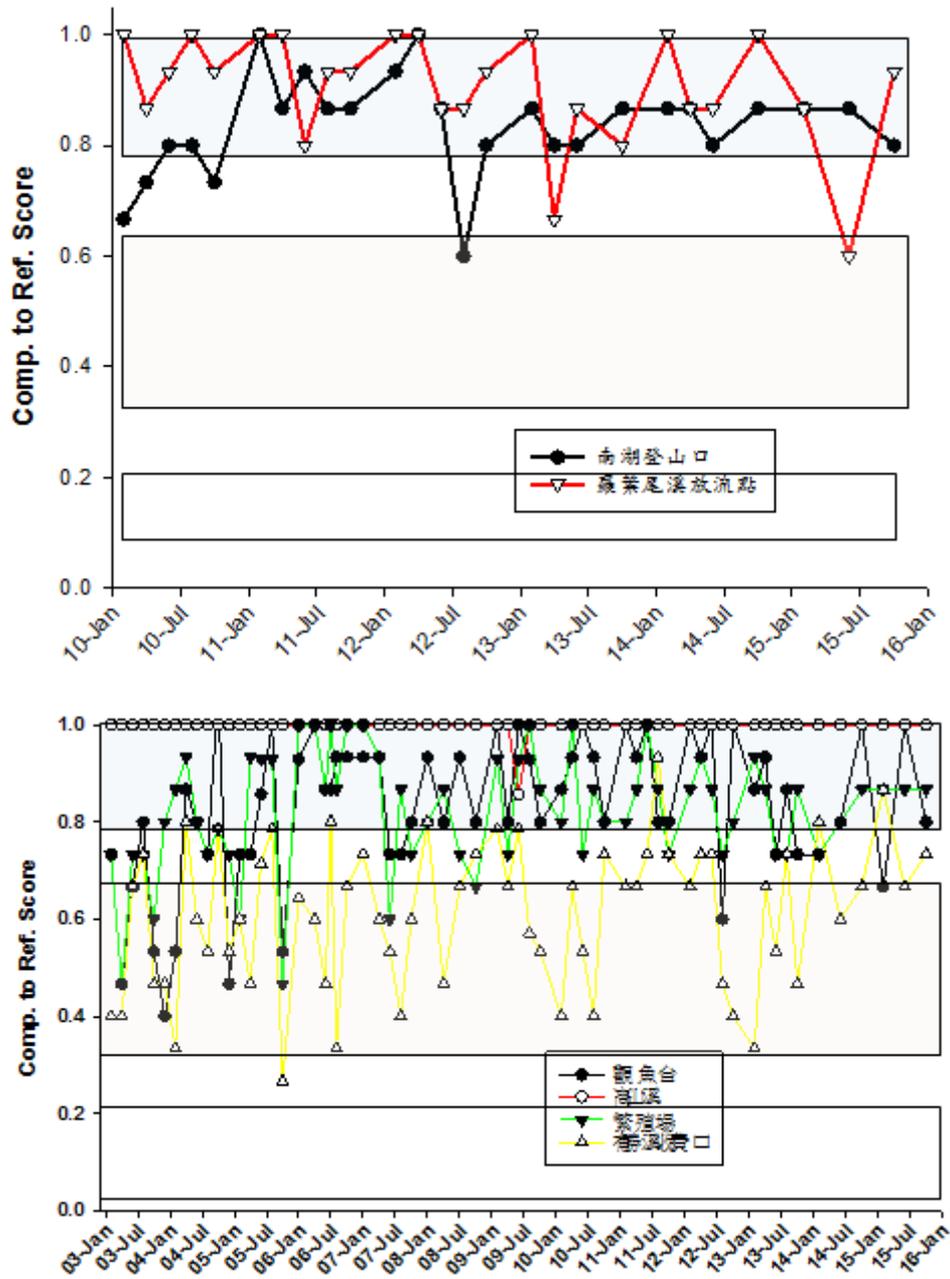


圖 3-6 武陵地區溪流測站水棲昆蟲之 RBPII 相對分數。

(資料來源：本研究資料)

武陵地區水昆群聚結構: MDS圖

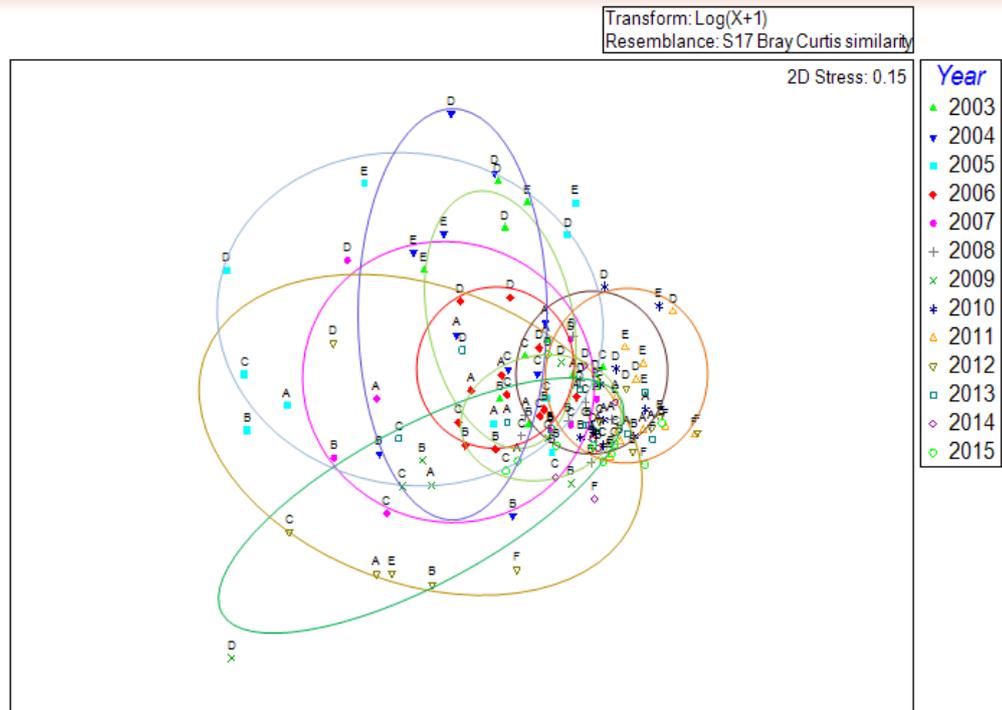


圖 3-7 武陵地區溪流測站水棲昆蟲之 MDS 分析。A: 觀魚台 B: 高山溪 C: 繁殖場 D: 有勝溪收費站 E: 南湖登山口 F: 羅葉尾溪放流點。

(資料來源：本研究資料)

壩體拆除前後壩體上下游四測站水昆之數量

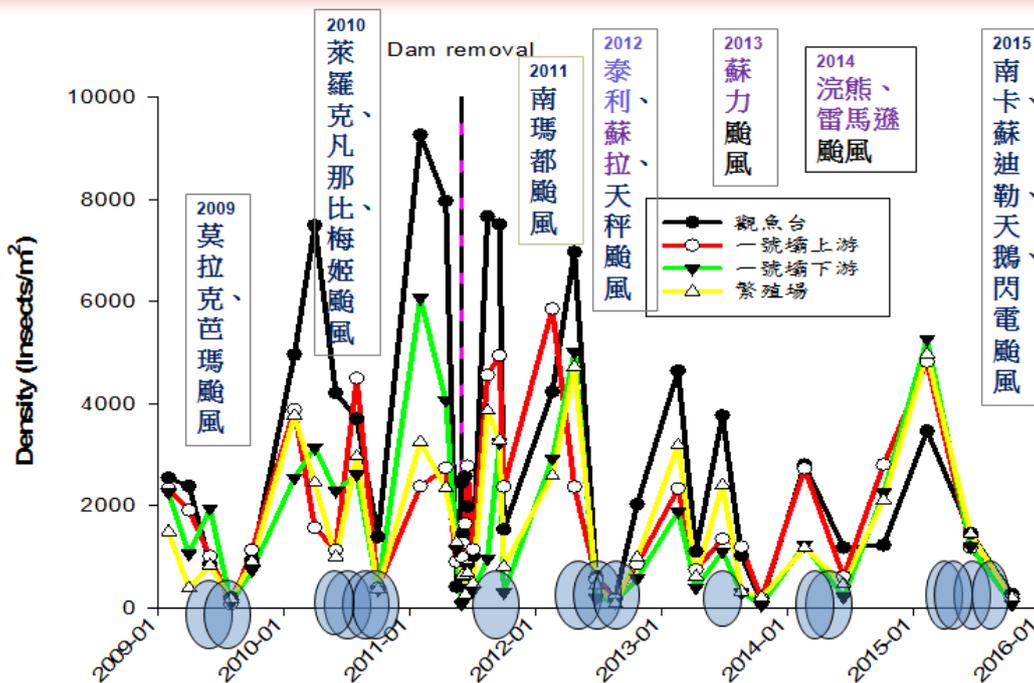


圖 3-8 一號壩壩體上下游四測站水棲昆蟲數量。

(資料來源：本研究資料)

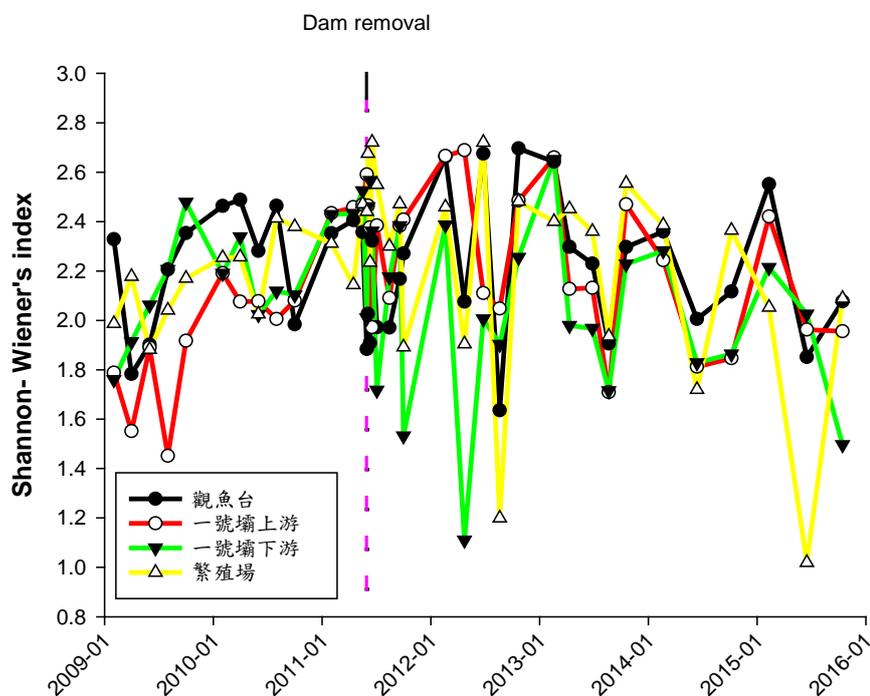


圖 3-9 一號壩壩體上下游四測站水棲昆蟲之 Shannon- Wiener's index。

(資料來源：本研究資料)

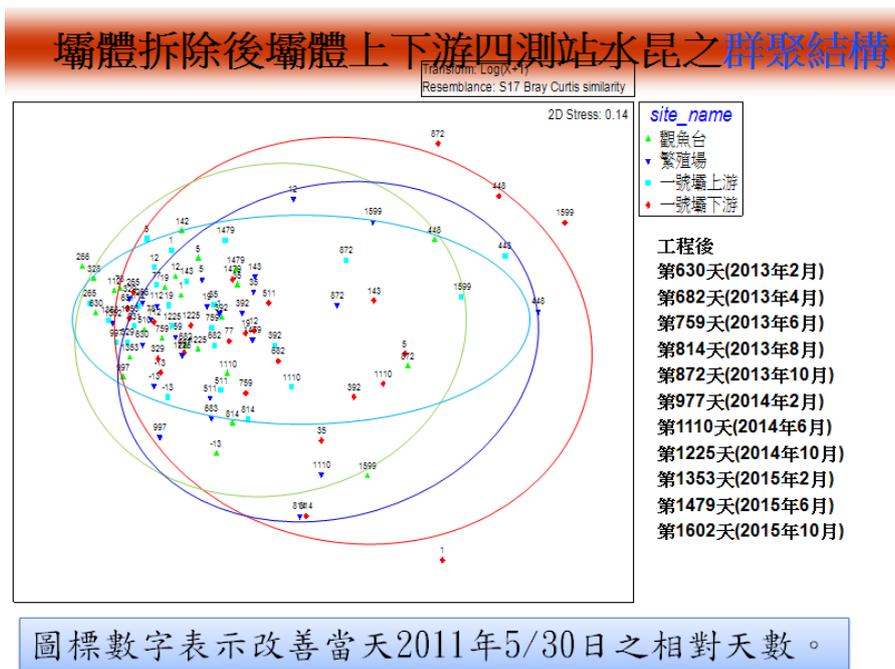


圖 3-10 一號壩壩體改善工程後水棲昆蟲之 MDS 分析。圖標數字表示改善當天 2011 年 5/30 日之相對天數，例如 448 代表 2012 年 8 月 20 日，工程後第 630 天(2013 年 2 月)、第 682 天(2013 年 4 月)、第 759 天(2013 年 6 月)、第 814 天(2013 年 8 月)、第 872 天(2013 年 10 月)、第 977 天(2014 年 2 月)、第 1110 天(2014 年 6 月)、第 1225 天(2014 年 10 月)、第 1353 天(2015 年 2 月)、第 1479 天(2015 年 6 月)及第 1602 天(2015 年 10 月)。(資料來源：本研究資料)

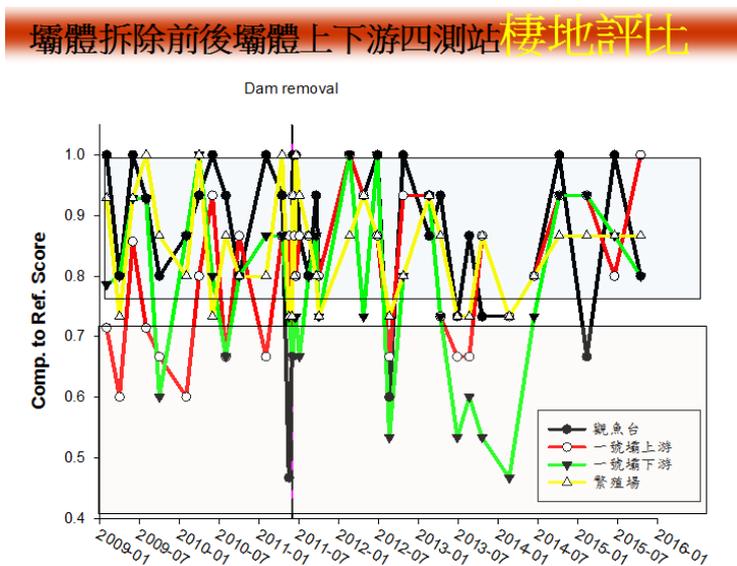


圖 3-11 一號壩壩體上下游四測站水棲昆蟲之 RBPII 相對分數。(資料來源：本研究資料)