

國立臺灣大學昆蟲學系研究所

碩士論文

Graduate Institute of Entomology

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

台北桶后溪之固床工對水棲昆蟲群聚結構影響

The Impact of the Consolidation Work of Aquatic Insects  
in Tonghou Stream, Taipei



Shi-Jyh Huang

指導教授：楊平世 博士

Advisor: Ping-Shih Yang, Ph.D.

中華民國 98 年 6 月

June, 2009

國立臺灣大學碩士學位論文  
口試委員會審定書

台北桶后溪之固床工對水棲昆蟲群聚結構影響  
The Impact of the Consolidation Work of Aquatic  
Insects in Tonghou Stream, Taipei

本論文係黃熙智君（學號 R96632017）在國立臺灣大學昆蟲學研究所完成之碩士學位論文，於民國九十八年六月三十日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明



口試委員：

\_\_\_\_\_ (簽名)

\_\_\_\_\_ (指導教授)

系主任、所長

\_\_\_\_\_ (簽名)

## 謝誌

感謝指導教授楊平世老師兩年來的指導，並規劃國科會在桶后溪的水棲昆蟲研究計畫，使得我在研究方面，不管是器材或是經費都不於虧乏，還有個舒適且氣氛良好的研究室，研究得以順利進行。也感謝謝森和教授和黃國靖教授對於我的論文巨細靡遺的指正，於口試時得到許多寶貴意見，使得本篇論文得以更加完善，雖然因為時間倉促無法修改至進善進美，但給予我的意見對於我往後的研究幫助甚大。

感謝陳韻如學姊和徐崇斌學長，從我對水棲昆蟲一無所知開始帶領我進入研究，教導我野外採集、鑑定技術、統計分析和論文寫作等，就連學長已經移駕到中研院，仍多次跑去騷擾已經十分忙碌的學長，更在蜜月旅行一回來，就直接把論文送到府上打擾。

感謝森林系王立志老師協助分析水質，也感謝國家紅火蟻中心多次借車提共我出差。

感謝昆蟲保育研究室的所有成員，吳加雄學長、李信德學長、于小雅、陳君玳、謝瑞帆、李青珍和張哲烜等人協助我野外調查；感謝楊珺蜜小姐處理出差等報帳事宜。

感謝多年好友林威，在得知我有統計方面的問題，雖然人在軍中，仍然主動借我統計書籍，但對我有不小的幫助。

最後要感謝我的父母，供養我二十多年，照顧我生活起居，忍受我鬧脾氣，準備別人稱羨的便當，我能夠拿到這個學位，最大的幕後功臣就是我的父母。

## 摘要

爲了防洪蓄水，台灣地區之水域做了許多的水利工程設施，這些工程對於水域環境造成嚴重的干擾，甚至永久改變棲地環境。在施工期間干擾所及的範圍內，流失相當數量的泥沙和水生生物；在施工後，則會產生了新的棲地，隨後這些棲地被各種水棲生物再拓殖。在溪流中水棲昆蟲是主要的無脊椎動物，牠們能夠非常快速地拓殖新的棲地，而群聚結構將隨著拓殖的時間而改變。藉由水棲昆蟲群聚的改變，來了解施工前後環境的改變。本研究在桶后溪上設置兩個樣站，樣站 2' 就在固床工程上，樣站 2'' 則是在工程的上游。施工前在 2006 年 11 月至 2007 年 7 月，施工後自 2007 年 10 月至 2008 年 3 月，在急瀨型棲地上使用蘇伯式水網在兩個樣站作隨機取樣，並且同時紀錄酸鹼度、電導度、溶氧、水溫等理化資料，唯理化資料調查延續至 2008 年 8 月。結果顯示在於拓殖初期搖蚊科 (Chironomidae) 和四節蜉蟴科 (Baetidae) 即爲優勢科群，而蚋科 (Simuliidae) 也爲優勢科群；唯在演替初期拓殖速度較前者兩科稍慢，且在拓殖過程中數量起伏不定。而於工程後，多樣參數均有顯著性的改變，分類群數和 Hilsenhoff 生物指標至調查結束，也就是施工之後第 5 個月仍未恢復至施工前水準；功能取食群的比例亦有接近顯著的變化。除了工程干擾的影響外，本研究也有發現大雨對於水棲昆蟲造成影響，此即水棲昆蟲群聚數量於大雨後有顯著性的下降。

**關鍵字：**水棲昆蟲、工程、固床工、洪水、大雨、拓殖

## Abstract

For the purposes of flood control and water retraining, there are a lot of hydro engineering projects in the streams in Taiwan. These engineering constructions usually cause disturbance on the riverbed. Some of them might cause permanent change in stream habitats. A considerable amount of sediment as well as aquatic organisms are lost from the disturbed reaches during the construction. New patches are created after construction and subsequently recolonised by various aquatic organisms. Aquatic insects are one of the major invertebrate groups in streams. They could colonize on a new patch very fast. Community composition in a new patch would change along the colonization time. Therefore, it is possible to use the changes in community composition of aquatic insects to monitor the change of environment between before and after the construction. Two sites were set up in the Tonghou Stream in the study; Site 2 on the consolidation work, and Site 2' in about 180 meters upstream of the construction site. Aquatic insects were randomly sampled in riffle habitats by Suber net sampler from November 2006 to July 2007 and from October 2007 to March 2008. The environmental variables were also recorded in the same time. Chironomidae and Baetidae were the major colonists at the beginning of the colonization period at Site 2. Simuliidae were also the major colonists, but the

colonized speed was slower than the other two. The proportion of Simuliidae fluctuated during the colonization period. Many parameters have changed significantly after the construction. The number of taxa and Hilsenhoff Biotic Index didn't recover to the level before the construction until the last investigation that was five months after the construction. The ratio of functional feeding group have marginally significantly difference. It was found that in addition to the effect of project, the heavy rain also caused decreases in density of aquatic insects.

**Key words** : aquatic insects, construction, consolidation work, flood, heavy rain, colonization



# 目錄

	頁數
口試委員審定書 .....	i
謝誌 .....	ii
摘要 .....	iii
Abstract .....	iv
前言 .....	1
前人研究 .....	2
一. 台灣的水利設施 .....	2
二. 水利工程的影响 .....	2
三. 洪水的影響 .....	2
四. 拓殖 .....	3
五. 桶后溪往昔的研究 .....	3
材料與方法 .....	4
研究地點及樣站 .....	4
水棲昆蟲調查 .....	4
環境因子測量 .....	5
資料分析 .....	6
結果 .....	8
一. 施工前之樣站 2 調查結果 .....	8
(一) 環境因子調查 .....	8
1. 環境參數 .....	8
2. 時間效應 .....	8
3. 底質結構 .....	8
(二) 水棲昆蟲調查 .....	9
1. 群聚結構與參數 .....	9
2. 時間效應 .....	9
3. 功能攝食群 .....	9
(三) 環境因子與水棲昆蟲之間的關係 .....	10
二. 樣站 2' 之調查結果 .....	10
(一) 環境因子調查 .....	10
1. 環境參數 .....	10
2. 時間效應 .....	10



3. 底質結構 .....	11
(二) 水棲昆蟲調查 .....	11
1. 群聚結構與參數 .....	11
2. 時間效應 .....	11
3. 功能攝食群 .....	11
(三) 環境因子與水棲昆蟲之間的關係 .....	12
三. 施工效應與恢復 .....	12
(一) 環境因子比較 .....	12
(二) 水棲昆蟲比較 .....	13
四. 洪水影響 .....	14
<b>討論</b> .....	16
一. 環境因子特性 .....	16
二. 環境因子施工前後改變 .....	16
三. 施工後兩樣站環境因子比較 .....	16
四. 底質差異與影響 .....	17
五. 優勢類群 .....	17
六. 演替 .....	18
七. 群聚參數 .....	18
八. 功能攝食群 .....	19
九. 洪水的影響 .....	19
十. 施工對水棲昆蟲群聚之影響 .....	20
<b>參考文獻</b> .....	22
<b>表</b> .....	28
<b>圖</b> .....	45
<b>附錄</b> .....	64





## 前言

在台灣就數量和種類而言，節肢動物是淡水生態系中主要的組成動物，且分佈範圍廣泛，其中又以底棲昆蟲最多 (楊，1992；黃，1994)；水棲昆蟲會受環境中的各項物理和化學等因子所影響，所以可以由水棲昆蟲的群聚結構及各族群之數量變化來反映出這些因子 (Merritt and Cummins, 1984)。

在眾多因子當中，食物的種類與來源，對於水棲昆蟲的生存是個重要的因素 (Anderson and Cummins, 1979)；部分的水棲昆蟲為初級或次級消費者，取食溪流中的有機碎屑或藻類，也同時為溪流中多數肉食性魚類的主要食物來源 (黃，2002；黃，2005；Allen, 1995; Hauer and Lamperi, 1996; Giller and Malmqvist, 2002)。

底質也是影響溪流水棲昆蟲群聚的重要因素 (Minshall, 1984; Ward, 1992)，而底質的表面特性和底質顆粒的大小會影響水棲昆蟲的拓殖 (Mackay, 1992)；底質顆粒大小將會影響到水棲昆蟲拓殖的總個體數，但不會影響拓殖的種類數 (Shieh and Yang, 1999b)。而顆粒的大小一般也代表著抵抗移動的穩定程度 (Minshall, 1984)；小石頭 (small stones) 有較高的可能性會受洪水而滾動 (McAuliffe, 1983)，大的卵石 (large pebbles) 和圓石 (cobbles) 比小的卵石 (small pebbles) 和碎石 (gravel) 有較穩定的傾向 (Shieh and Yang, 1999b)，小卵石和碎石比大的底質較能留住細顆粒有機碎屑 (Fine Particulate Organic Matter) (Rabeni and Minshal, 1977; Wise and Molles, 1979; Parker, 1989)。

本研究乃針對桶后溪上游河段進行水棲昆蟲群聚的調查，藉由固床工工程施做前後的水棲昆蟲群聚差異，進行該工程對於水域環境影響的評估；並利用完工後水棲昆蟲群聚的變化，評估固床工施做之後水域環境的恢復狀況。調查期間因遭遇數次大雨和颱風，是故本研究亦會就大雨前後的差異，評估大雨對水棲昆蟲的影響。

## 前人研究

### 一. 台灣的水利設施

台灣屬於多雨地區，加上地勢陡峭，河流短且急，沖蝕力量大，含砂量高，容易發生洪災；隨著人口發展，活動範圍的擴張，政府遂設立了許多防洪設施，以防洪護土；早期河川治理的主要目的為防範洪水，以築堤束洪為主要手段 (李錦育，2004)；台灣雖然雨量豐富，但雨量在時間和空間上分布不均，加上大部分的雨量都直接逕流入海，遂被列為全世界第十八名的水資源嚴重缺乏的國家 (張，2004)，政府因而建設許多水庫與水壩，以蓄留水源。這些種種的水利設施工程期間將對水域環境造成干擾，其結構體將造成水域環境的永久改變；而水利工程對於溪流生態環境可能造成流量、水溫和底質傳輸的改變，也對於河道的縱向與橫向通路的阻隔 (中村，1998)。桶后溪設置了許多護岸工，用來保護河岸避免水流沖蝕；因為位於翡翠水庫的集水區，亦設置了許多防砂壩，攔阻砂石和減緩落差以穩固河床 (張和林，1999)。而本樣站的坡地保育工程為固床工，固床工具有穩固兩岸高灘地、防止河床下降、緩和河川坡降、抑制紊亂水流和防止下游側河床及岸側之沖刷等功能 (吳，2004)。

### 二. 水利工程的影響

施工過程中經常會干擾到底質，造成環境物理化學因子的改變，進而對基礎生產者產生影響 (張等，2008)。楊和徐 (1998) 於淡水河污染整治對生物相群聚動態影響之研究中，在於受到施工干擾的底質部分，半年之後可以恢復了，但是如果底質水泥化的區域，所所造成的影響將是永久性無法恢復，且會使某些種類在當地消失。楊 (2002) 於基隆河水棲昆蟲群聚生態和生物指標之研究及台灣螢科分類及生物學研究中，因為施工影響造成底質翻新與水流改道等影響，其群聚變動的幅度低於洪峰沖刷的幅度，但是卻有較長的恢復期。

護岸工等縱向結構物對上游地區的棲地物理特性影響較中下游明顯，主要反應在植生和地形特性方面上；除切斷兩岸間的連續性，易造成植物生長不易；而水壩和固床工等橫向結構造成棲地縱向連續性的破壞 (方，2007)。防砂壩則對於河川造成物理、化學特性和營養來源傳輸的改變 (Ward and Stanford, 1995)，亦使族群分布被切割和棲地單調化 (Alexandex and Hansen, 1986)。

### 三. 洪水的影響

除了工程影響外，洪水也是個重要的非生物干擾因子 (Flecker and Feifarek, 1994; Lake, 2000; Fritz and Dodds, 2004)，洪水將會讓大型無脊椎動物減少 (Fritz and Dodds, 2004)，重新回到拓殖早期的情形 (Shieh and Yang, 1999b)。

### 四. 拓殖

拓殖是個體或族群在某個棲地由不存在到立足的過程 (Sheldon, 1984)。演替的過程，初期生物相比較單調，隨著時間推移，物種數跟著增加，至演替中後期可達到極盛相，其後因競爭作用，使得弱勢物種被排除，物種數再次下降 (Begon *et al.*, 1996)。在 Shieh and Yang (1999a, 1999b) 以人工底質觀察水棲昆蟲的拓殖模式中，*Baetis* sp. 和 Chironomidae 為最早的拓殖者；而在較不穩定的棲地環境比在較穩定的棲地環境下，演替較易達到平衡。

### 五. 桶后溪往昔的研究

桶后溪位於台北縣烏來鄉境內，為台北市重要水源南勢溪的支流之一，且在翡翠水庫的水源保護區範圍內。溪流全長約 26 公里長，集水面積約 55 平方公里，年平均雨量約 4600mm，全年無明顯乾溼季之分，即使在枯水時期的流量仍有 0.4 m<sup>3</sup>/s 以上 (張等，2008；楊，1997)。

有關桶后河流域之生態資源研究，包含魚類 (林和許，1980；郭和楊，1993；曹等，1996；莊等，1996)、鳥類 (郭和楊，1993；曹等，1996)、兩棲類、爬蟲類 (曹等，1996) 和植群 (楊，1997) 等，而水棲昆蟲研究則闕如 (楊等，2008)。

本區地質為古第三紀之烏來相，由硬頁岩、砂質頁岩和參雜少量砂岩質泥質粉砂岩的丘層所組成，此層中於許多地區尚含有少量的玄武岩質火山碎屑岩 (傅，1986)。

近年來桶后溪生態環境主要受到遊憩壓力和河川整治的影響，民眾的遊憩造成了環境的干擾與水質的汙染；而河川整治則造成對環境的干擾或破壞。對於遊客所造成的影響，自 2004 年 8 月 1 日起，林務局新竹林區管理處開始實施車輛管制措施，雖然無法完全阻止遊客的影響，但是現行的管制量控制在遊憩承載量的容許範圍之內，對於減緩遊憩壓力有正面的幫助 (劉，2005)。

## 材料與方法

### 研究地點及樣站

桶后溪位於台北縣烏來鄉，發源於烘爐地山及大、小礁溪山，為南勢溪上游之一支流。本區氣候受東北季風影響極大，冬季及春季多陰雨，夏季和秋季則以雷雨為主，且雨量較集中；以 8~10 月份雨量較豐沛，冬天雨量稍低於夏季雨量，年雨量平均約為 4600 mm，全年無明顯乾溼季之分，相對濕度約在 90% 左右，降雨日數全年約 192 天，年平均溫約攝氏 21 度 (楊，1997)。

本區之植群性質介於亞熱帶及暖溫帶，在海拔 300 m 左右之地海拔，以榕屬 (*Ficus*)、楠屬 (*Machilus*) 為主之植群；在海拔 300 m 以上至最高點約 1200 m 以楠屬、柯屬 (*Castanopsis*) 為主之植群。主要樹種有豬母乳 (*Ficus fistulosa*)、山龍眼 (*Helicia formosana*)、紅花八角 (*Illicium arborescens*)、紅楠 (*Machilus thunbergii*)、大葉楠 (*Machilus kusanoi*)、白校欖 (*Castanopsis carlesii* var. *sessilis*)、烏來柯 (*Castanopsis uraiana*)、錐果欖 (*Cyclobalanopsis longinux*)、穉子欖 (*Cyclobalanopsis sessilifolia*) 等樹種 (楊，1997)。

本研究之調查範圍樣站為林務局桶后工作站下游之桶后溪支流，設置 2 個樣站 (如圖 1)，每一樣站涵蓋範圍約在 20 公尺之河段。2 樣站皆分別位於兩座防砂壩下游，壩體高度約 3 公尺。樣站 2' 位於防砂壩下游約 50 公尺處；樣站 2 位於防砂壩下游約 20 公尺處，且位於固床工上，兩岸為混泥土護岸，固床工工程自 2007 年 8 月 10 日至 2007 年 10 月 19 日，本研究除施工前進行調查之外，亦於完工後第 4 天開始第一次調查。

### 水棲昆蟲調查

樣站 2 於施工前水棲昆蟲標本的採集自 2006 年 11 月 14 日至 2007 年 7 月 26 日，每個月調查 1 次，施工前總計地查 9 次。施工後樣站 2 自 2007 年 10 月 23 日至 2008 年 3 月 24 日，採樣頻度為第 1~2 週時，每週調查 2 次；第 3~4 週時，每週調查 1 次；第 5~14 週時，每兩週調查 1 次；第 15 週以後，每個月調查 1 次，施工後總計調查 12 次。樣站 2' 則是於施工後每個月調查 1 次。

水棲昆蟲以蘇伯氏定面積水網 (Suber sampler) (面積 50 cm × 50 cm) (Hauer and Lamberti, 1996; Merritt and Cummins, 1984) 在各樣站進行採集，對每一樣站之

淺瀨型棲地 (riffle habitats) 隨機採樣三次，在野外將樣本保存於 75 % 的酒精中，攜回研究室進行鑑定與分析。樣本處理先經過三層過篩以便於挑蟲工作，孔徑大小分別是 1 mm、500  $\mu\text{m}$  和 250  $\mu\text{m}$ ，小於 250  $\mu\text{m}$  的濾液則棄之。分類鑑定主要以 Merritt and Cummins (1984)、川合 (1985)、楊 (1992)、Wiggins (1996) 等的檢索表，將水棲昆蟲標本鑑定分目及科的層級，屬和種級則參考何及徐 (1977)、楊等 (1980、1990a、1990b)、張 (1992)、康 (1993) 和 Yen(1997) 之研究報告進行鑑定，某些標本因特徵不明或鑑定上有困難，則鑑定至科級，標本如毀損致無法鑑定到科級，則不納入計數。

採樣時避免造成尚未採樣的採樣點造成干擾，在各樣站採樣時，由下游開始採樣。完工初期因為採樣頻度較高，所以每次調查採樣時，避免重複上次調查採樣的下網點。

## 環境因子測量

1. 河寬 (width)、水深 (depth)、流速 (velocity)：穿越線的設定為大約穿越蟲樣的採樣點，每個樣站於各採樣點各進行測量河寬 3 次，測量範圍以溪水覆蓋的範圍為界，並在此穿越線上，使用數位式流速計 (Digital water velocity, Globe Water Model FP101)，每 1 公尺測量 1 次水深和流速，經換算後可以得到各穿越線的水流量。
2. 遮蔽度 (canopy)：於每條穿越線上，兩岸面向河心、穿越線中央面向上游和下游以美製圓形密度計 (Spherical densitometer, model C) 各測量一次遮蔽度，平均後換算成百分比。
3. 酸鹼度 (pH)：使用 CyberScan pH 310 pH/mv/ $^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{F}$  Meter; US PAT 5373346 StowAway XTI Internal / External Temperature Logger 測量水中酸鹼值。
4. 溶氧 (dissolved oxygen)：PINPOINT<sup>TM</sup>, American Marine Inc., Dissolved Oxygen Meter; CyberScan DO100 Dissolved Oxygen  $\cdot^{\circ}\text{C}$  Meter 測量溶氧量。
5. 導電度 (conductivity)：HANNA HI9635 Portable Waterproof Multi-range Conductivity / TDS Meter。
6. 水溫 (temperature)：HANNA HI9635 Portable Waterproof Multi-range Conductivity / TDS Meter。
7. 濁度 (turbidity)：HANNA HI93703 Microprocessor Turbidity Meter。

8. 硬度 (hardness) : HANNA, HI3811, HI3812, HI3815, HI3822, HI3834 泛用水質測定組。
9. 氨氮 (ammonia) : HANNA HI93700 Microprocessor 。
10. 磷酸鹽 (phosphate) : HANNA HI93713 Microprocessor Phosphate Meter 。

其餘水質資料項目如 Na、K、Mg、Ca、Cl、硝酸鹽 (nitrate)、硫酸鹽 (sulfate) 和重碳酸鹽 (hydrocarbonate) 則是於現場採取水樣，再由台大森林系王立志老師協助進行分析。各項分析操作程序參照 APHA (American Public Health Association, 1995)，以離子層析儀 (DIONEX DX-120, Dionex Corp., Sunnyvale, CA, USA)。

環境因子測量隨同水棲昆蟲調查時一併進行，唯調查持續至 2008 年 8 月 19 日，故較水棲昆蟲調查多 5 個月的資料。

## 資料分析

### 1. 分類群豐度 (種類數) (Taxa richness)

即各樣站所採獲水棲昆蟲之種類數，依據鑑定層級可分為科級、屬級和種級，因鑑定上有些類群到科級，有些到屬級或種級，本研究的種類數採用分類群 (taxa)。

### 2. 密度

以各採樣點所採獲的水棲昆蟲總個體數，除以定面積採集的面積，也就是 0.25 平方公尺，即可得單位面積的個體數。

$$D = N / 0.25$$

D：密度

N：總個體數

### 3. 歧異度 (Hughes, 1978; Ludwig and Reynolds, 1988)

Shannon diversity index (H')

$$H' = - \sum (p_i \times \log p_i)$$

$$p_i = n_i / N$$

$n_i$ ：採樣站中第  $i$  種所採獲的個體數

N：該樣站所採樣之水棲昆蟲總個體數

Simpson diversity index (D)

$$D = - \sum \ln P_i^2$$

P<sub>i</sub>：第 i 個分類群的個體數佔此樣本所有個體之比例

4. 均勻度 (Ludwig and Reynolds, 1988)

Pielou's evenness index (J')

$$J' = H' / \ln(S)$$

S：分類群數

5. 科級生物指標 (Family-level Biotic Index)(Hilsenhoff, 1988)

$$\text{FBI value} = \sum (a_i \times n_i) / N$$

a<sub>i</sub>：第 i 科水棲昆蟲之汙染忍受值

n<sub>i</sub>：第 i 科水棲昆蟲之個體數

N：各採樣站水棲昆蟲之總個體數

此法將水質依據指標值劃分唯七個水質等級，指標值與相對之水質等級如附錄 2 所示。



6. 統計分析

各項水棲昆蟲群聚參數及環境參數，以 Spearman 相關係數計算相關性；各參數在月份及施工前後之變異，則以無母數 (nonparametric methods) 統計之 Mann-Whitney U test (SPSS for Windows v.10.0 套裝軟體) 進行檢定 (Zar, 1996)。

## 結果

### 一. 施工前之樣站 2 調查結果：

#### (一) 環境因子調查

##### 1. 環境參數

由表 1 (a)(b) 得知，此站酸鹼度平均值為 6.81；溶氧量平均值為 9.74 ppm；電導度平均值為 66.10  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ；水溫平均值為 17.77  $^{\circ}\text{C}$ ；濁度平均值為 0.02 FTU，唯 2007 年 7 月份為 0.22 FTU；磷酸鹽、氨氮、鹼度、硬度、鈉離子、鉀離子、鎂離子、鈣離子、氯離子、硝酸鹽和重碳酸鹽濃度平均值分別為 0.11、0.14、29.44、23.00、4.10、0.21、2.45、7.17、3.06、2.04、9.84 和 22.82 mg/L；遮蔽度平均值為 39%；河寬平均值為 8.33 公尺；流量平均值為 0.58 c.m.s.。

施工前環境因子相關性如表 2；溶氧量與水溫有顯著地負相關 ( $p < 0.01$ )，顯示隨著水溫越高，溶氧量就越低；而陽離子間 (鈉離子、鎂離子和鈣離子) 互相有顯著正相關性 ( $p < 0.05$ )；與硫酸鹽和重碳酸鹽皆有顯著的正相關 ( $p < 0.05$ )。至於流量，則與這 5 項離子皆有顯著的負相關 ( $p < 0.05$ )。

##### 2. 時間效應

溶氧量、水溫和流量在於月份之間有顯著性差異 ( $p < 0.01$ )；溶氧量從 2007 年 1 月開始逐漸下降，以 2007 年 1 月 10.61 ppm 為最高，2007 年 5 月 8.90 ppm 為最低；水溫則在 2008 年 1 月開始逐漸上升，在 2007 年 7 月時 22.23  $^{\circ}\text{C}$  最高，2007 年 1 月 12.80 $^{\circ}\text{C}$  最低；流量無明顯趨勢，在 2007 年 6 月 1.01 c.m.s. 最高，2007 年 7 月 0.27 c.m.s. 最低 (圖 2)。

濁度、遮蔽度和河寬在於月份間沒有顯著性差異 ( $p > 0.05$ )；濁度在各月份均為 0.00 FTU，唯 2007 年 7 月為 0.22 FTU；遮蔽度在 2007 年 5 月 56% 最高，2007 年 1 月和 2 月 28% 最低；河寬在 2007 年 3 月 9.28 公尺最高，2007 年 2 月 6.41 公尺最低 (圖 2)。

鹼度有逐漸上升的趨勢，直到 2007 年 5 月開始轉為下降；鈉離子和鉀離子從 2007 年 1 月開始有逐漸上升的趨勢 (圖 2)。

##### 3. 底質結構

河床底質主要由卵石 (pebble) 和圓石 (cobble) 所組成，卵石佔 39.0%，圓



石佔 57.7%，其餘佔 3.3% (圖 3)。

## (二) 水棲昆蟲調查

### 1. 群聚結構與參數

在 9 次調查中共記錄了 7 目 37 科 56 個分類群 (表 3)，其中以蜉蝣目 (15 個分類群) 和雙翅目 (15 個分類群) 所佔分類群數最多。個體數而言共採獲 8,792 個體，目級以雙翅目佔 42.3% 為最高；其次為蜉蝣目佔 30.2%；科級以搖蚊科 (Chironomidae) 佔 29.8% 為最高，其次為四節蜉蝣科 (Baetidae) 佔 15.1% (圖 4)。

平均採獲 29.6 個分類群，平均密度為 1300.1 隻 / 每平方公尺，平均 Pielou's 均勻度指標為 0.82；平均 Shannon 歧異度指標為 2.74；平均 Simpson 歧異度指標為 0.91，平均的科級生物指標為 4.79 (Good) (表 4)。

### 2. 時間效應

以優勢的主要水棲昆蟲科群來檢視不同時間的密度，由圖 5 可以看出，部分的優勢科群在時間上有明顯的變化；整體的趨勢在 2007 年冬季 1 月開始，水棲昆蟲的數量開始略微上升，其中以搖蚊科、四節蜉蝣科、角石蛾科 (Stenopsychidae) 和長腳泥蟲科 (Elmidae) 的變化較為明顯；石蠅科 (Perlidae) 和褐蜉科 (Leptophlebiidae) 也於 2007 年 1 月時數量最多。

密度、Pielou's 均勻度指標、Simpson 歧異度指標和生物指標在月份間有顯著地差異 ( $p < 0.05$ )。密度以 2007 年 6 月 2529.3 隻 / 每平方公尺為最高，2006 年 12 月 657.3 隻 / 每平方公尺時最低。Pielou's 均勻度指標以 2007 年 2 月 0.86 最高，2007 年 7 月 0.72 最低。Simpson 歧異度指標以 2007 年 2 月 0.93 最高，2007 年 5 月 0.86 最低。科級生物指標以 2007 年 7 月 5.91 最高，2006 年 12 月 3.86 最低 (圖 6)。

分類群數和 Shannon 歧異度指標沒有顯著地差異 ( $p > 0.05$ )。分類群數以 2007 年 6 月 34.3 最高，2007 年 3 月 24.7 最低。Shannon 歧異度指標以 2007 年 1 月 2.91 最高，2007 年 7 月 2.45 最低 (圖 6)。

### 3. 功能取食群

施工前濾食採食者 (filtering collectors) 佔 15%，聚集採食者 (gathering collectors) 佔 43%，捕食者 (predators) 佔 17%，刮食者 (scrapers) 佔 21%，碎食者 (shedders) 佔 4% (圖 7 a)。

捕食者、刮食者和碎食者在月份間有顯著性差異 ( $p < 0.05$ )，聚食採食者在月份間有顯著性差異 ( $p < 0.01$ )，濾食採食者無顯著性差異 ( $p > 0.05$ )。在於夏季 5、6 和 7 月時，聚食採食者明顯較多 ( $> 50\%$ ) (圖 8 a)。

### (三) 環境因子與水棲昆蟲之間的關係

水溫與 Pielou's 均勻度指標有顯著的負相關 ( $p < 0.05$ )，與 Shannon 歧異度指標有顯著性負相關 ( $p < 0.01$ )，與科級生物指標則有顯著正相關 ( $p < 0.05$ )。氨氮與 Shannon 歧異度指標有顯著性負相關 ( $p < 0.05$ )，與 Simpson 歧異度指標有顯著性負相關 ( $p < 0.01$ )。鹼度與密度和科級生物指標有顯著性正相關 ( $p < 0.01$ )，與 Pielou's 均勻度指標和 Shannon 歧異度指標有顯著性負相關 ( $p < 0.01$ )。硬度與分類群數有顯著正相關 ( $p < 0.05$ )。鈉離子與分類群數有顯著正相關 ( $p < 0.01$ )，與科級生物指標有顯著正相關 ( $p < 0.05$ )，與 Pielou's 均勻度指標有顯著負相關 ( $p < 0.05$ )。鉀離子與 Pielou's 均勻度指標和 Shannon 歧異度指標有顯著的負相關 ( $p < 0.05$ )。鈣離子與分類群數有顯著正相關 ( $p < 0.05$ ) (表 5)。

## 二. 樣站 2' 之調查結果：

### (一) 環境因子調查

#### 1. 環境參數

酸鹼度平均值為 7.10；溶氧量平均值為 9.90 ppm；電導度平均值為 68.19  $\mu$  s/cm；水溫平均值為 16.99  $^{\circ}$ C；濁度各月份均為 0 FTU；磷酸鹽、氨氮、鹼度、硬度、鈉離子、鉀離子、鎂離子、鈣離子、氯離子、硝酸鹽和重碳酸鹽濃度平均值分別為 0.18、0.20、27.31、21.15、3.91、0.22、2.05、5.73、2.43、1.85、8.68 和 16.00 mg/L；遮蔽度平均值為 47%；河寬平均值為 16.19 公尺；流量平均值為 2.46 c.m.s.；各環境因子平均值列於表 1 (c)(d)。

#### 2. 時間效應

酸鹼度、溶氧量、電導度、水溫、遮蔽度和流量在於月份之間有顯著性差異 ( $p$

< 0.05)，濁度和河寬在於月份間沒有顯著性差異 ( $p > 0.05$ )。溶氧量呈現在冬季和初春時較高，從 2008 年春季 2 月開始持續下降，夏末和秋季時最低，以 2007 年 11 月 10.60 ppm 為最高，2008 年 7 月 7.76 ppm 為最低；水溫則是在冬末和初春時較低，以夏末和秋季較高，從 2008 年春季 2 月開始持續上升，在 2008 年 7 月時 22.63°C 最高，2008 年 2 月 11.90°C 最低；電導度從 2008 年 2 月開始有逐漸上升的趨勢，以 2008 年 5 月 77.03  $\mu\text{s/cm}$  最高，2008 年 2 月 54.23  $\mu\text{s/cm}$  最低；濁度在各月份均為 0.00 FTU；鉀離子、氯離子、硝酸鹽、硫酸鹽和重碳酸鹽於秋末和冬初時較低，之後逐漸上升；其餘環境因子變化詳見圖 9。

### 3. 底質結構

河床底質主要由卵石、圓石和巨石 (boulder) 所組成，卵石佔 51.3%，圓石佔 34.0%，巨石佔 11.3%，其餘佔 3.4% (圖 3)。

## (二) 水棲昆蟲調查

### 1. 群聚結構與參數

樣站 2' 共記錄了 7 目 39 科 58 個分類群 (表 3)，其中以雙翅目 (14 個分類群) 和蜉蝣目 (14 個分類群) 所佔分類群最多。個體數而言共採獲 11,491 個體，目級以雙翅目佔 52.5% 為最高，其次為蜉蝣目 29.9% (圖 4)，科級以蚋科 (Simuliidae) 佔 30.8% 為最高，其次是四節蜉蝣科佔 19.2%，搖蚊科佔 14.8%。

### 2. 時間效應

以優勢的主要水棲昆蟲科群來檢視不同時間的密度，由圖 5 可以看出，數個科群從 10 月份開始水棲昆蟲的數量開始有上升的趨勢，其中以搖蚊科、四節蜉蝣科、扁蜉蝣科和短尾石蠅科的變化較為明顯；而褐蜉科、石蠅科、扁泥蟲科 (Psephenidae) 和長腳泥蟲科亦有上升的趨勢，唯於一月或二月時即開始下降；蚋科變化趨勢不明顯，但是於 2008 年 3 月時密度提升至 4461.3 隻 / 每平方公尺。

分類群數和密度從 2007 年 10 月開始有逐漸增加的趨勢；均勻度從 2007 年 10 月開始有逐漸下降的趨勢；而科級生物指標從 2007 年 11 月開始轉為逐漸上升。

### 3. 功能取食群

濾食採食者佔 36%，聚食採食者佔 30%，捕食者佔 5%，刮食者佔 25%，碎食者佔 3% (圖 7 b)。

捕食者比例從 2007 年 10 月開始逐漸變少；而濾食採食者的比例從 2007 年 11 月開始逐漸增加 (圖 8b)。

#### (三) 環境因子與水棲昆蟲之間的關係

酸鹼度與科級生物指標有顯著負相關 ( $p < 0.01$ )。鹼度與分類群數和科級生物指標有顯著正相關 ( $p < 0.05$ )。遮蔽度與 Shannon 歧異度指標有顯著性正相關 ( $p < 0.05$ )。硝酸鹽與科級生物指標有顯著正相關 ( $p < 0.05$ ) (表 6)。

### 三. 施工效應與恢復：

#### (一) 環境因子比較

施工前最後一次調查與施工後第一次調查，各項環境因子比較如表 7，其中水溫、河寬和流量有接近顯著差異 ( $p = 0.05$ )，濁度和遮蔽度沒有顯著性差異 ( $p > 0.05$ )。

施工後各月份環境因子與同月份施工前環境因子比較 (表 8)。酸鹼度在 12 月的比較中，於施工後顯著地下降 ( $p < 0.05$ )，在於 1 月、3 月、4 月和 7 月有接近顯著的下降 ( $p = 0.05$ )，在 5 月時有接近顯著的上升 ( $p = 0.05$ )。溶氧量在 11 月的比較中，於施工後顯著地上升 ( $p < 0.05$ )，於 12 月和 2 月時有接近顯著的上升 ( $p = 0.05$ )，於 3 月和 4 月時有接近顯著的下降 ( $p = 0.05$ )。電導度於 2 月時有顯著地下降 ( $p < 0.05$ )，於 3 月時有顯著地上升 ( $p < 0.05$ )。水溫在 2 月 ~ 6 月時顯著地下降 ( $p < 0.05$ )，於 1 月時顯著地上升 ( $p < 0.05$ )，12 月時有接近顯著的下降 ( $p = 0.05$ )，在 7 月時有接近顯著的上升 ( $p = 0.05$ )。濁度和遮蔽度在各月份均無顯著性的差異 ( $p > 0.05$ )。河寬在各月份均有接近顯著的上升 ( $p = 0.05$ )。流量在 11 月、12 月、1 月、2 月、4 月和 7 月時有接近顯著的上升 ( $p = 0.05$ )。

施工後兩樣站各月份的环境因子比較如表 9。酸鹼度在樣站 2 於 12 月和 8 月時顯著 ( $p < 0.05$ ) 比樣站 2' 高；溶氧量在樣站 2 於 1 月時接近顯著 ( $p = 0.05$ ) 比樣站 2' 低，於 2 月時顯著 ( $p < 0.05$ ) 比樣站 2' 高；電導度在樣站 2 於 5 月

時顯著 ( $p < 0.05$ ) 比樣站 2' 高，於 4 月時接近顯著 ( $p = 0.05$ ) 比樣站 2' 高，於 6 月時接近顯著 ( $p = 0.05$ ) 比樣站 2' 低；水溫在樣站 2 於春季 2 月、3 月和 4 月顯著 ( $p < 0.05$ ) 比樣站 2' 高；遮蔽度在樣站 2 於 6 月顯著 ( $p < 0.05$ ) 比樣站 2' 低，於 7 月和 8 月時接近顯著 ( $p = 0.05$ ) 比樣站 2' 低；河寬在樣站 2 於 10 月時顯著 ( $p < 0.05$ ) 比樣站 2' 低，於 11 月、2 月、4 月、6 月和 7 月時接近顯著 ( $p = 0.05$ ) 比樣站 2' 低；流量在樣站 2 於 11 月和 2 月時顯著 ( $p < 0.05$ ) 比樣站 2' 高。

施工後樣站 2 的河床底質主要由卵石、圓石和巨石所組成，卵石佔 64.0%，圓石佔 16.0%，巨石佔 19.3%，其他佔 0.7%，粒徑在卵石以下的比例提高了 (圖 3)。

## (二) 水棲昆蟲比較

施工後在 12 次調查中共計錄了 7 目 40 科 59 個分類群 (表 3)，其中以雙翅目 (16 個分類群)、蜉蝣目 (14 個分類群) 和毛翅目 (14 個分類群) 所佔分類群最多。個體數而言共採獲 15,607 個體，目級以雙翅目佔 59.7% 最高，其次為蜉蝣目 30.6% (圖 2)；科級以搖蚊科佔 29.3% 為最高，其次是蚋科佔 26.7%，四節蜉蝣科佔 22.4%。以優勢的主要水棲昆蟲科群來檢視不同時間的密度，由圖 5 可以看出，搖蚊科和四節蜉蝣科從拓殖初期即是優勢科群，一直維持到拓殖的後期，蚋科在除了第一次採樣與颱風之後的兩次調查中未採獲，其餘採樣日也是優勢科群之一，而石蠅科和角石蛾科則是到拓殖中後期數量才逐漸增加。

施工前最後一次調查與施工後第一次調查，各項群聚參數比較如表 10。分類群數、密度、Shannon 歧異度、濾食採食者和刮食者於施工前後有顯著地差異 ( $p < 0.05$ )。

樣站 2 於施工後物種組成有所改變，有 5 個分類群未再採獲，分別是蜉蝣目的 *Kangella brocha*、Potamanthus idiocerus、蜻蜓目的 *Heliogomphus retroflexus*、廣翅目的 *Neochondriodes sinensis* 和鞘翅目的 *Pelthydrus* sp.；於施工後採獲紀錄多了 9 個分類群，分別是蜉蝣目的 *Electrogena fracta*、襉翅目的 *Amphinemura* sp.、毛翅目的 *Agapetus* sp.、*Brachycentrus* sp.、*Lepidostoma* sp.、*Paucicalcaria* sp.、*Polycentropus* sp.、蜻蜓目的 *Stylogomphus shirozui* 和雙翅目的 *Tipulidae* sp1. (表 3)。

施工後各月份群聚參數與同月份施工前群聚參數比較 (圖 11)。分類群數在於施工後的拓殖初期數個月份大都有顯著變低 ( $p < 0.05$ )；密度於施工後的拓殖初期較施工前同月份少，自 2007 年 12 月 30 日的調查後明顯較施工前同月份多；Pielou's 均勻度指標、Shannon 歧異度指標和 Simpson 歧異度指標在各月份於施工後大多較施工前同月份低；科級生物指標除 2007 年 3 月，在各月份皆較施工前同月份高。

而在施工前後同月份比較當中 (表 11)，濾食採食者的比例於 12 月時有接近顯著下降 ( $p = 0.05$ )，於 2 月和 3 月時有接近顯著上升 ( $p = 0.05$ )；聚食採食者的比例在 11 月和 12 月時有接近顯著上升 ( $p = 0.05$ )；捕食者的比例在各月份均有接近顯著下降 ( $p = 0.05$ )；刮食者的比例於 11 月、2 月和 3 月時有接近顯著下降 ( $p = 0.05$ )；碎食者的比例於 1 月時有接近顯著上升 ( $p = 0.05$ )。

施工後樣站 2 各功能取食群的比例於各採樣日變化不定，唯濾食採食者與聚食採食者總和於各採樣日皆超過 60%，較施工前樣站 2 和施工後樣站 2' 高 (圖 8 c)。

濾食採食者的比例在樣站 2 於 10 月、11 月、1 月和 2 月時接近顯著比樣站 2' 高 ( $p = 0.05$ )；聚食採食者的比例在樣站 2 於 11 月和 12 月接近顯著比樣站 2' 高 ( $p = 0.05$ )；捕食者的比例在樣站 2 於 11 月時接近顯著比樣站 2' 低 ( $p = 0.05$ )；刮食者的比例在樣站 2 除 10 月外，各月份均接近顯著比樣站 2' 高 ( $p = 0.05$ ) (表 12)。

水棲昆蟲群聚密度在樣站 2 於調查後期變化逐漸變小，而在樣站 2' 仍持續增加 (圖 12)。

#### 四. 洪水影響：

施工後的調查中遭遇數次大雨和颱風，於 2007 年 10 月 31 日、11 月 8、22、25、26 和 27 日有大雨發生 (附錄 3)，其中 11 月 26 和 27 日中度颱風襲台。樣站 2 在於 2007 年 11 月 4 日和 12 月 3 日的調查中分類群數、密度和 Shannon 歧異度指標有明顯的下降變化，2007 年 11 月 12 日調查日前亦有大雨，因大雨連續作用，與 11 月 4 日的調查比較並無明顯變化 (圖 12)；在於目級上，蜉蝣目和毛翅目的分類群數於 11 月 4 日和 12 月 3 日兩次的調查中皆有下降的變化；其餘目沒有明顯下降的變化或於該兩次調查中變化狀況不一致；

扁蜉蝣科、四節蜉蝣科、石蠅科、短尾石蠅科和搖蚊科於該兩次調查中均有明顯的數量下降變化 (圖 5)。而樣站 2' 於大雨後的調查中，並無明顯或無下降的變化。



## 討論

### 一. 環境因子特性

樣站 2 於施工前各環境因子間的相關性中，流量與鈉離子、鎂離子、鈣離子、硫酸鹽和重碳酸鹽的濃度有顯著負相關性。此濃度稀釋現象，即物質濃度隨流量越大而越低 (羅，2006)，為濃度變化現象之一。而隨著流量增加使得離子濃度降低，進而電導度也下降。

電導度是測量電在水中的傳導，大致估計水中的總溶解離子，而主要影響電導度是離子的濃度 (Allan and Castillo, 2007)。這也與電導度與多數離子有顯著正相關符合。

水溫與溶氧量有顯著的負相關。氧氣存在於大氣中，主要影響溶解於水中的因素為氣體分壓和溫度 (Allan and Castillo, 2007)。當水溫越高時，溶氧量越低，當水溫隨著季節變化時，溶氧也會跟著變化。

### 二. 環境因子施工前後改變

樣站 2 於施工後水溫在 2 月到 6 月間均有顯著地下降，根據中央氣象局宜蘭氣象站的月均溫資料 (附錄 4)，可以看到在此期間除了 4 月時施工後的氣溫高於施工前，其餘月份的氣溫施工後均低於施工前，推測主要是由於氣溫的影響，造成施工前後的水溫差異。

施工後的流量於大多數月份有接近顯著的上升，根據中央氣象局宜蘭氣象站的雨量資料 (附錄 3)，推測是因為施工前後的雨量不同，造成流量於施工前後有所差異。

施工後的河寬於各月份均有接近顯著的上升，主要是因為該固床工工程將各階底質鋪設均勻，使得該段河床在橫向沒有大起伏，無法束縮水流，而使河寬變寬。

### 三. 施工後兩樣站環境因子比較

遮蔽度在樣站 2 有比樣站 2' 低的趨勢，而樣站 2 的河寬卻是顯著比樣站 2' 窄，所以樣站 2 並沒有因為河寬較窄而遮蔽度較高，而樣站 2 兩岸有混凝土護岸的縱向構造物；縱向結構物對上游地區的棲地物理特性影響較中下游明顯，主要反應在植生和地形特性方面上，除切斷兩岸間的連續性，易造成植物生長不易



(方, 2007), 所以使得遮蔽度較低。

太陽輻射是調節水溫的顯著因子 (Hetrick and Brusven), 水溫在樣站 2 有比樣站 2' 高的趨勢, 推測與遮蔽度在樣站 2 較低有關。

#### 四. 底質差異與影響

樣站 2 於施工後卵石以下 (粒徑  $< 64 \text{ mm}$ ) 的比例上升, 且也較樣站 2' 高, 而底質粒徑大小與穩定性有關 (Minshall, 1984), 使得施工後樣站 2 的棲地較施工前樣站 2 或樣站 2' 的棲地不穩定。

於圖 12 可以看到樣站 2 於拓植後期逐漸趨於平衡, 而樣站 2' 水棲昆蟲群聚密度增加的趨勢仍未見趨於平衡, 水棲昆蟲在較不穩定的環境中, 更容易達到平衡狀態 (Shieh and Yang, 1999b)。

#### 五. 優勢類群

樣站 2 於施工前後, 其中蜉蝣目所佔總個體數的比例並無顯著的差異, 而雙翅目卻由 42.3% 提高至 59.7%; 而雙翅目中主要科群搖蚊科由 29.8% 變為 29.3%, 並無顯著的變化, 主要是因為蚋科由 1.1% 提高到 26.7%。蚋科主要出現在湖泊 (lake) 或池塘 (pool) 的出口 (Kúdela, 2007), 蚋的幼蟲和蛹會附著在小瀑布 (cascade) 或瀑布 (waterfall) 的床岩 (bedrock) 上 (Crosskey, 1989), 施工後多階的固床工形成許多個小型瀑布, 使得樣站 2 於施工後變為蚋科幼蟲偏好的棲地。

而在本研究中拓殖初期, 搖蚊科、蚋科和四節蜉蝣科為主要的優勢科群。Shieh and Yang (1999a; 1999b) 以人工底質進行水棲昆蟲拓殖模式的研究中, *Baetis* sp. 和 Chironomidae 為拓殖初期的最優勢類群; Hsu (2005) 在於基隆河的研究調查中, *Baetis* sp. 和 Chironomidae 為拓殖初期的最優勢類群; 黃 (2005) 乾旱對大型無脊椎動物群聚組成之影響的研究中, 於乾旱結束後演替初期, 以 *Baetis* sp. 和 Chironomidae 最為優勢, 本研究與上述研究有相似的結果; 而這兩類物種採取大量繁殖的生活史策略 (Giller and Malmqvist, 2002), 搖蚊科擁有生活史短、非同時成熟 (asynchronous) 與高遷徙能力的特性 (Williams, 1996; Langton and Casas, 1999), 所以才能在拓殖初期即再拓殖, 且迅速成為優勢類群。

而施工後樣站 2 的搖蚊科在於拓殖後期數個月中, 密度明顯比同月份的施工

前樣站 2 和施工後樣站 2' 的密度高，搖蚊科為深潭區優勢物種 (Scullion *et al.*, 1982)；固床工結構經多次洪水作用後，於每一個橫向結構下游方形成深潭，雖然採樣均於淺灘棲地進行，但與深潭棲地十分鄰近，推測因為如此，所以搖蚊科密度於施工後提升，與樣站 2' 比較也較高。

## 六. 演替

樣站 2 的水棲昆蟲群聚於施工前共調查 9 次，其中蜉蝣目的 *Kangella brocha* 和鞘翅目的 *Pelthydrus sp.* 超過半數以上調查有採獲，而蜉蝣目的 *Potamanthus idiocerus*、蜻蛉目的 *Heliogomphus retroflexus* 和廣翅目的 *Neochauliodes sinensis* 亦有 3~4 次採獲，而且採獲個體數非常少，推測此類物種在於樣站 2 為零星分布，密度較低，此 5 個分類群於施工後 12 次調查中均未再採獲，可能尚未能在此樣站再拓殖或棲地改變使得密度非常低不易採獲。而在這五個分類群中，蜉蝣目的 *Kangella brocha*、*Potamanthus idiocerus* 和蜻蛉目的 *Heliogomphus retroflexus* 此三個分類群於鄰近的上游也未採獲，而廣翅目的 *Neochauliodes sinensis* 和鞘翅目的 *Pelthydrus sp.* 於鄰近的上游採獲數量也很少 (分別為 2 個體和 5 個體)。於受到工程施工影響範圍的棲地，其鄰近或上游擁有族群的拓殖者，可以快速恢復 (Hsu, 2005)。此 5 個分類群於鄰近上游沒有族群或是很少，使得在施工完五個月都未能再採獲。

而於施工後採獲紀錄多了 9 個分類群，但是毛翅目的 *Agapetus sp.*、*Brachycentrus sp.*、*Lepidostoma sp.*、*Paucicalcaria sp.*、*Polycentropus sp.*、蜻蛉目的 *Stylogomphus shirozui* 和雙翅目的 *Tipulidae sp.* 只採獲 1~2 次，採獲的個體也均只有 1~2 隻，推測此 7 個分類群雖然拓殖到樣站 2 上，但是可能隨後又被競爭取代掉而消失未再採獲或是密度較低不易被採樣到；而蜉蝣目的 *Electrogena fracta* 於拓殖期間陸續間隔採獲，推測此物種分佈零星且密度低；而 3 次採獲均為大雨過後第一次調查，此物種的拓殖與大雨之間關係有待更多資料再做探討；襍翅目的 *Amphinemura sp.* 集中於拓殖後期 5 次被採獲，推測為演替後期的物種。

## 七. 群聚參數

施工前樣站 2 的密度、Pielou's 均勻度指標、Simpson 歧異度指標和科級生

物指標在月份間有顯著地差異；水棲昆蟲在季節間會自然發生數量的變化 (Lenat, 1988)。其中密度和科級生物指標在夏季五月、六月和七月時最高，與田 (2006) 密度在夏季最高，秋季次高，春冬下降，有相似的結果；但 Dudgeon (1989) 水棲昆蟲密度在夏季最少，與上述研究有所出入，觀察優勢科群變化，推測主要由於兩個優勢科群，耐中度污染物種的四節蜉蝣科和耐重度污染物種的搖蚊科，於夏季時密度增加所造成。而 Pielou's 均勻度指標、Simpson 歧異度指標和 Shannon 歧異度皆在夏季期間則是最低，而分類群數在月份間並無顯著的差異，顯示在於夏季時，部分分類群數量大增，而科級生物指標的上升，顯示個體數量增加的多為耐污性較高的分類群，參考優勢族群的變化，可以發現主要是由於搖蚊科於夏季時數量明顯增加所造成。

施工後樣站 2 的水棲昆蟲群聚密度從 2008 年 1 月開始就比施工前高；但分類群數除了於 2008 年 1 月時曾恢復到施工前水準，調查至 2008 年 3 月時仍未能恢復；科級生物指標在各月份一直較施工前高，2008 年 3 月才達到施工前同月份水準。而均勻度和歧異度均未能恢復到施工前同月份水準。顯示調查至 2008 年 3 月，水棲昆蟲群聚仍未能恢復到施工前水準。

## 八. 功能取食群

樣站 2 於施工前後功能取食群的比例在許多月份有接近顯著地變化，推測因為捕食者的比例在施工後有接近顯著地降低，使得濾食採食者和聚食採食者的比例有在施工後變多的趨勢；而因為底質重新鋪設且完工初期持續在變動當中，可能使底質上著生的藻類變少，使得刮食者的比例在施工後降低。在於施工後兩樣站的比較也有相似的結果。

於兩樣站碎食者的比例都較低，比例不像一般上游棲地類型，推測因為樣站 2 上游約 20 公尺、樣站 2' 上游約 50 公尺處有攔砂壩，使得兩樣站的粗顆粒有機碎屑 (coarse particulate organic matter) 較少。粗顆粒有機碎屑容易在壩體上游沉積，細顆粒有機碎屑 (fine particulate organic matter) 則較易通過壩體，造成壩體下游的粗顆粒有機碎屑與細顆粒有機碎屑比值驟降 (張和馮，2005)，所以造成碎食者的比例較低。

## 九. 洪水的影響

雨量與流量有顯著正相關 (陳等, 2005), 降雨強度會影響集水區逕流量的變化 (林和林, 2009), 調查期間經歷過多次大雨和颱風, 因為本研究沒有監控每日流量, 故以中央氣象局所提共的宜蘭監測站每日降雨量作為參考; 而不同植被覆蓋 (Bosch and Hewlett, 1982) 和不同坡長 (Weinwright and Parson, 2002) 等因素都會對地表逕流造成影響, 僅以雨量資料作為參考, 觀察桶后地區水棲昆蟲群聚與雨量之間的關係。

於 11 月 4 日和 12 月 3 日的調查中, 樣站 2 的水棲昆蟲群聚密度皆明顯下降, 大型無脊椎動物會受高流量的影響而顯著減少 (黃, 2005), 水棲昆蟲密度在高流量溪流會減少 (Fritz and Dodds, 2004), 推測因為大量降雨使得流量增加, 造成水棲昆蟲密度下降; 於 11 月 19 日和 12 月 17 日的調查中即恢復至颱風或大雨前的水準, 此兩次調查與前一大雨發生日分別間隔 11 日和 20 日, 恢復時間短暫, 與本研究固床工的影響比較起來較小。而扁蜉蟬科、四節蜉蟬科、石蠅科、短尾石蠅科和搖蚊科於 11 月 4 日和 12 月 3 日的調查中皆有明顯的數量下降變化, 顯示此 5 科昆蟲對洪水的抵抗能力較弱; Shieh and Yang (1999b) 的研究指出洪水造成在碎石底質 (gravel) 上的 *Baetis* spp., *Caenis* sp., *Afronurus hyalinus*、*Paraleptophlebia* sp. 和 Chironomidae 與在圓石底質上的 *Baetis* spp. 和 *Caenis* sp. 的數量顯著減少, 有類似的結果。

而樣站 2' 於大雨或颱風之後的調查中, 水棲昆蟲群聚密度並無下降趨勢, 推測主要因素是樣站 2' 的採樣頻度較寬, 較難顯示洪水的影響; 另一方面由底質粒徑大小來判定棲地穩定度 (Minshall, 1984; Shieh and Yang, 1999b), 樣站 2' 也較樣站 2 來得穩定, 較能抵抗洪水的影響, 所以由樣站 2' 的資料並無法看出洪水的影響。

#### 十. 施工對水棲昆蟲群聚之影響

樣站 2 施工前有紀錄的 5 個分類群, 於施工後未再採獲; 而於施工後採獲 9 個在施工前未記錄過的分類群, 推測施工影響造成棲地環境的改變所致; 而由科級生物指標來看, 樣站 2 施工後的水質較施工前來的差; Pielou's 均勻度指標、Shannon 歧異度和 Simpson 歧異度指標於施工後也較差; 綜合以上幾點, 在桶后溪的此固床工程確實造成水棲昆蟲群聚的影響, 且在完工後 5 個月仍無法恢復至施工前的水準; 而生物指標和群聚參數比環境物化因子較水質分析能清楚顯示此

不利的影響。因此此兩種方法可用以評估工程施作對水棲昆蟲群聚之影響。



## 參考文獻

- 川合禎次。1985。日本產水生昆蟲檢索圖說。日本東海大學出版會。409 頁。
- 中村俊六翻譯。1998。多自然型魚道マニュアル—魚の溯上設備とその設計・施工・機能監視。山海堂。德國財團法人水資源暨農業土木協會 (DVWK) 原著 (1996)。
- 方琦萱。2007。工程結構物對河川棲地物理特性之影響。國立中興大學水土保持學系所碩士論文。135 頁。
- 田佩玲。2006。溪頭地區北勢溪水棲昆蟲群聚結構及功能組成。國立台灣大學昆蟲學研究所碩士論文。166 頁。
- 何鎧光、徐世傑。1997。台北區新店溪水生昆蟲之研究。省立博物館科學年刊。12: 1-50。
- 吳金水。2004。階梯式混泥土塊固床工設計之初步探討。國立成功大學水利暨海洋工程研究所碩士論文。137 頁。
- 李錦育。2004。生態工法應用於河川治理。台灣林業。30(5): 53-59。
- 林文英、林俐玲。2009。河川流域長期雨量及流量對水資源變化之影響。水土保持學報。41(2): 169-180。
- 林曜松、許嘉恩。1980。桶后溪石賓資源之生態研究。行政院農業委員會 79 年生態研究第 36 號。
- 康世昌。1993。台灣的蜉蝣目(四節蜉蝣科除外)。國立中興大學昆蟲學研究所博士論文。246 頁。
- 張先正。1992。台灣的細蜉科(蜉蝣目：細蜉科)。國立中興大學昆蟲學研究所碩士論文。111 頁。
- 張東炯。2004。探討台灣缺水問題及解決對策 - 以 2002 年為探討年。高苑學報 10: 17-26。
- 張水龍、馮平。2005。河流不連續體概念及其在河流生態系統研究中的發展現況。水科學進展。16: 758-762。
- 張明雄、黃品綺、林宣佑、賴卓彥。2008。溪流資源保育與永續發展 - 以桶后溪生態資源與遊客利用承載量為例。2008 年河川生態與永續發展研討會 - 中華民國溪流環境協會。

- 張明雄、林曜松。1999。攔砂壩對水生生物多樣性的影響。
- 張睿昇、朱達仁、陳柏成、施君翰、徐笑情。2008。野溪生態工程對基礎生產者之生態結構與環境衝擊影響分析－以湳仔溝溪為例。農業工程研討會論文集 588～601。
- 曹先紹、林曜松、莊鈴川。1996。烏來鄉溪流劃定生態保護野生動物保護區規劃研究。台北縣政府。
- 莊鈴川、林曜松、曹先紹、陳恩理、林德恩。1996。台北縣烏來鄉溪流魚類資源之調查研究。台北縣政府。
- 郭寶章、李素華。1994。桶后溪森林溪流生態及棲地規劃經營之研究 II。台灣省農林廳林務局保育研究之系列之 83-10 號。
- 郭寶章、楊正釗。1993。桶后溪森林溪流生態及棲地規劃經營之研究 I-集水區環境與濱溪植群分析。台灣省農林廳林務局保育研究之系列之 83-10 號。
- 陳正洪、楊宏青、任國玉、沈沛英。2005。長江流域面雨量變化趨勢及對幹流流量影響。人民長江。36(1): 22-24。
- 傅良敏。1986。臺北縣、基隆市暨台北市山坡地土壤調查報告。台灣省政府農林廳山地農牧局。
- 黃乙玉。2002。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。國立台灣大學動物學研究所碩士論文。69 頁。
- 黃國靖。1994。景美溪水棲昆蟲生態及生物指標研究。國立台灣大學昆蟲學研究所博士論文。150 頁。
- 黃雅倫。2005。乾旱對哈盆溪大型無脊椎動物群聚組成之影響。國立台灣大學生態學與演化生物學研究所碩士論文。56 頁。
- 楊平世。1992。水棲昆蟲生態入門。台灣省政府教育廳，台中縣。152 頁。
- 楊平世。2002。基隆河水棲昆蟲群聚生態和生物指標之研究及台灣螢科分類及生物學研究。行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告。
- 楊正釗。1997。台北縣烏來鄉桶后溪濱溪植群之研究。台灣林業科學 12(3): 335-346。
- 楊平世、洪正中、洪鎧光。1980。淡水河流域蜉蝣目稚蟲之初步研究。台大植病學刊。7: 78-79。
- 楊平世、徐崇斌。1998。水棲昆蟲。40 頁。行政院環境保護署。淡水河污染整治

- 對生物向群聚變動影響之研究。
- 楊平世、陳韻如、徐崇斌。2008。桶后溪水棲昆蟲群聚變動及羽化模式之研究期中報告。計劃報告：NSC 95-2313-B-002-080-MY3。
- 楊平世、黃國靖、謝森和。1990a。北勢溪之水棲昆蟲資源及生態研究 I.水文因子及水棲昆蟲之群聚結構。中華昆蟲。10: 209-224。
- 楊平世、黃國靖、謝森和。1990b。北勢溪之水棲昆蟲資源及生態研究 II.水棲昆蟲相及其相關生態。中華昆蟲。10: 249-269。
- 劉祐彰。2005。桶后溪遊憩行為對環境衝擊之研究。行政院農委會林務局新竹區林管處。
- 羅士福。2006。溪頭試驗林 2005 年泰利颱風期間雨水與溪水化學變化研究。國立台灣大學森林環境暨資源學研究所碩士論文。33 頁。
- Allen, J. D. 1995. Stream ecology: structure and function of running waters. Chapman and Hall, London. 388 pp.
- Allen, J. D., and M. M. Castillo. 2007. Stream ecology: structure and function of running waters. Second Edition. Springer, Dordrecht. 436 pp.
- Allexandex, G. R., and E. A. Hansen. 1986. Sandbed load in a brook trout stream. N. Am. J. Fish Manag. 6: 9-23.
- Anderson, N. H. and K. W. Cummins. 1979. The influences of diet on the life histories of aquatic insects. J. Fish. Res. Bd. Can. 36:335-342
- APHA. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th ed. American Public Health Association. USA.
- Begon, M., J. L. Harper and C.R. Townsend. 1996. Ecology: individuals, populations, and communities. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Bosch, J. M. and J. D. Hewlett. 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. J Contam Hydrol. 55: 3-23
- Crosskey, R. W. 1989. 24. Family Simuliidae. pp. 221-225. in Evenhuis, N. L., eds. Catalog of the Diptera of Australasia Oceania. Bishop Museum. only version. 1155 pp.
- Dudgeon, D. 1989. Seasonal dynamic of invertebrate drift in a Hong Kong stream. Zool. Lond. 22: 187-196.
- Flecker, A. S. and B. Feifarek. 1994. Disturbance and the temporal variability of



- invertebrate assemblages in two Andean streams. *Freshwater Biology* 31: 131-142
- Fritz, K. M. and W. K. Dodds. 2004. Resistance and resilience of macroinvertebrate assemblages to drying and flood in a tallgrass prairie stream system. *Hydrobiologia* 527: 99-112.
- Giller, P. S. and B. Malmqvist. 2002. *The biology of streams and river*. Oxford University, New York.
- Hauer, F. R. and G. A. Lamberti. 1996. *Methods in stream ecology*. Academic, San Diego.
- Hetrick, N. J. and M. A. Brusven. 1998. Changes in Solar Input, Water Temperature, Periphyton Accumulation, and Allochthonous Input and Storage after Canopy Removal along Two Small Salmon Streams in Southeast Alaska. *Trans. Am. Fish. Soc.* 127(6): 859-875.
- Hilsenhoff, W. L. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *J. North Am. Benthol. Soc.* 7:68-68.
- Hughes, B. D. 1978. The influence of factors other than pollution on the value of Shannon's diversity index for benthic macro-invertebrates. *Wat. Res.* 12: 359-364.
- Hsu, C. B. 2005. Changes in community structures, seriation, cyclicity, and diversity patterns of aquatic insects under environmental impacts in the upper Keelung River, northern Taiwan. PhD Dissertation. Graduate Institute of Entomology, National Taiwan University. 237 pp.
- Kúdela, M. 2007. New records of *Prosimulium Latimucro* (Diptera: Simuliidae) in Slovakia. *Acta Zoologica Universitatis Comenianae* 47(2): 167-170.
- Lake, P. S. 2000. Disturbance, Patchiness, and diversity in streams. *Journal of the North American Benthological Society* 19: 573-592.
- Lamberti, G. A., and S. V. Gregory. 1996. CPOM transport, retention and measurement. Pp 217-229 *In*: Hauer, F. R., and G. A. Lamberti, eds. *Method in stream ecology*, 1st ed. Academic press, San Diego, California, USA
- Langton, P. H. and J. Casas. 1999. Changes in chironomid assemblage composition in two Mediterranean mountain streams over a period of extreme hydrological conditions. *Hydrobiologia* 390: 37-49.
- Lenat, D. R. 1998. Water quality assessment of streams using a qualitative collection method for benthic macroinvertebrates. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 7: 222-233
- Ludwig, J. A., and J. F. Reynold. 1988. *Statistical Ecology: A Primer on Methods and*

- Computing. John Wiley and Sons, New York, USA.
- Mackay, R. J. 1992. Colonization by lotic macroinvertebrates: a review of processes and patterns. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49: 617-628.
- McAuliffe, J. R. 1983. Competition, colonization patterns, and disturbance in stream benthic communities. pp.137-156. *in* J. R. Barnes and G. W. Minshall. Eds., *Stream Ecology. Application and Testing of General Ecological Theory*. Plenum Press, New York. 399 pp.
- Merritt, R. W. and K. W. Cummins. 1984. *An introduction to the aquatic insects of North American*. 3rd ed. Kendall and Hunt Publ. Co., Dubuque, Iowa. 862 pp.
- Minshall, G. W. 1984. Aquatic insect-sub-stratum relationships, pp. 358-400. *in* V. H. Resh and D. M. Rosenberg, eds. *Aquatic Insect Ecology*. Praeger Scientific, New York. 625 pp.
- North American. 2nd ed. Kendall and Hunt Publ. Co., Dubuque, Iowa. 722 pp.
- Parker, M. S. 1989. Effect of substrate composition on detritus accumulation and macroinvertebrate distribution in a southern Nevada desert stream. *Southwest. Nat.* 34: 181-187.
- Rabeni C. F., and G. W. Minshall. 1977. Factors affecting microdistribution of stream benthic insects. *Oikos* 29: 33-43.
- Scullion, J., C. A. Parish, N. Morgan, and R. W. Edwards. 1982. Comparison of benthic macroinvertebrate fauna and substratum composition in riffles and pools in the impounded River Elan and the unregulated River Wye, mid-Wales. *Freshwat. Biol.* 12: 579-595.
- Sheldon, A. L. 1984. Colonization dynamics of aquatic insects. pp.401-429. *in*: V. H. Resh and D. M. Rosenberg eds. *Aquatic insect ecology*. Praeger Scientific, New York. 625 pp.
- Shieh, S. H. and P. S. Yang. 1999a. Colonization patterns of aquatic insects on artificial substrates in a Taiwan stream. *Chinese J. Entomol.* 19: 27-50.
- Shieh, S. H. and P. S. Yang. 1999b. Colonization patterns of aquatic insects on artificial substrates: effects of substrate sizes. *Chinese J. Entomol.* 19: 119-143.
- Wainwright, J. and A. J. Parson. 2002. The effect of temporal variations in rainfall on scale dependency in runoff coefficients. *Water Resour. Res.* 38(12): 1271
- Ward, J. V. 1992. *Aquatic insect ecology. 1. Biology and habitat*. J. Wiley, New York.
- Ward, W., and J. A. Stanford. 1995. The serial discontinuity concept: extending the

- model to floodplain rivers. *Regul. Rivers Res. Manage.* 10: 159-68.
- Wiggins, G. B. 1996. *Larvae of the North American Caddisfly genera*. 2nd. Univ. Toronto Press, Toronto, 457pp.
- Williams, D. D. 1996. Environmental constraints in temporary fresh waters and their consequences for the insect fauna. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 15: 634-650.
- Wise, D. H., and M. C. Molles, Jr. 1979. Colonization of artificial substrates by stream insects: influence of substrate size and diversity. *Hydrobiologia* 65: 69-74.
- Yen, S. H. 1997. A phylogenetic analysis of the major lineages of nymphulinae and musotiminar (Lepidoptera: Pyralidae s. l.), with taxonomic revision on the Taiwanese fauna. Master thesis, Graduate institute of Biological Science, National Sun Yan-Sen University. 486 pp.
- Zar, J. H. 1998. Chapter 13. Data transformations. pp. 177-184. in: *Biostatistical Analysis*. 3rd ed. Prentice Hall, New Jersey.



表 1. 桶后溪環境參數平均 (mean  $\pm$  S.E.) : 施工前的樣站 2 (a)(b) 和施工後的樣站 2'(c)(d)。

Table 1. The mean of environmental factors (mean  $\pm$  S.E.) in Tonghou Stream. (a)(b) before the construction at Site 2, (c)(d) after the construction at Site 2'.

(a)

	pH	Dissolved oxygen (ppm)	Total Conductivity ( $\mu$ s/cm)	Temperature ( $^{\circ}$ C)	Turbidity (FTU)	Phosphate (mg/L)	Ammonia (mg/L)	Alkalinity (mg/L)	Hardness (mg/L)	Canopy (%)
Mean	6.81	9.74	66.10	17.77	0.02	0.11	0.14	29.44	23.00	39
SE	0.07	0.22	2.70	1.02	0.02	0.01	0.06	3.29	0.76	3
N	9	8	9	9	9	9	9	9	9	9

(b)

	Width (m)	Discharge (c.m.s.)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)	Chloride (mg/L)	Nitrate (mg/L)	Sulfate (mg/L)	Hydrocarbonate (mg/L)
Mean	8.33	0.58	4.10	0.21	2.45	7.17	3.06	2.04	9.84	22.82
SE	0.29	0.09	0.11	0.05	0.10	0.36	0.08	0.06	0.39	0.86
N.	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

續表 1.

Table 1. Continued.

(c)

	pH	Dissolved oxygen (ppm)	Conductivity (μs/cm)	Temperature (°C)	Turbidity (FTU)	Phosphate (mg/L)	Ammonia (mg/L)	Alkalinity (mg/L)	Hardness (mg/L)	Canopy (%)
Mean	7.10	9.90	68.19	16.99	0.00	0.18	0.20	27.31	21.15	47
SE	0.08	0.47	2.78	0.74	0.00	0.03	0.03	1.05	0.47	2
N	15	16	7	16	16	16	16	16	16	16

(d)

	Width (m)	Discharge (c.m.s.)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)	Chloride (mg/L)	Nitrate (mg/L)	Sulfate (mg/L)	Hydrocarbonate (mg/L)
Mean	16.19	2.46	3.91	0.22	2.05	5.73	2.43	1.85	8.68	16.00
SE	0.36	0.41	0.10	0.01	0.07	0.22	0.05	0.11	0.29	1.76
N	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

表 2. 桶后溪樣站 2 施工前環境參數間之相關係數 (correlation coefficient) 及顯著水平 ( $p$ )。

Table 2. The Spearman coefficient and  $p$ -value of aquatic insects before the construction at Site 2 in Tonghou Stream.

Environmental variables	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1.pH	1.00																
2.Dissolved oxygen	0.13	1.00															
3.Conductivity	-0.09	0.26	1.00														
4.Water Temperature	-0.29	-0.91**	-0.10	1.00													
5.Phosphate	0.02	-0.67	-0.82**	0.29	1.00												
6.Ammonia	0.01	-0.19	-0.38	0.55	0.21	1.00											
7.Aikalinity	-0.38	-0.38	-0.08	0.62	0.05	0.38	1.00										
8.Hardness	-0.16	-0.62	0.37	0.42	0.04	-0.28	0.47	1.00									
9.Canopy	-0.51	-0.71	0.12	0.47	0.04	-0.03	0.26	0.43	1.00								
10.Discharge	0.21	-0.14	-0.80**	-0.10	0.51	0.43	0.03	-0.55	-0.04	1.00							
11.Na	-0.31	-0.49	0.51	0.62	-0.24	-0.11	0.62	0.77*	0.30	-0.69*	1.00						
12.Mg	-0.19	-0.07	0.87**	0.22	-0.52	-0.35	0.13	0.60	0.09	-0.90**	0.80*	1.00					
13.Ca	-0.02	-0.19	0.67*	0.27	-0.40	-0.43	0.22	0.62	0.02	-0.82**	0.86**	0.88**	1.00				
14.K	-0.36	-0.95***	0.02	0.95***	0.25	0.52	0.60	0.55	0.58	-0.17	0.61	0.28	0.22	1.00			
15.Nitrate	0.52	-0.26	0.13	0.19	0.08	0.29	-0.44	-0.01	0.09	0.00	-0.17	0.06	-0.08	0.27	1.00		
16.Sulfate	-0.19	0.19	0.68*	0.05	-0.41	-0.32	0.20	0.58	-0.21	-0.88**	0.69*	0.85**	0.75*	0.13	-0.18	1.00	
17.Hydrocabonate	0.06	-0.30	0.67*	0.24	-0.37	-0.33	0.16	0.83**	0.34	-0.76*	0.69*	0.71*	0.70*	0.37	0.22	0.64	1.00

\*  $p < 0.05$  : \*\*  $p < 0.01$  : \*\*\*  $p < 0.001$

表 3. 桶后溪兩樣站所採獲之水棲昆蟲分類群及期相對豐度百分比。

Table 3. The name list of aquatic insects and the ratio of mean abundance collected at two sample sites in Tonghou Stream.

Taxa	FFG*	Site 2 (before construction) (n=9)	Site 2 (after construction) (n=12)	Site 2' (n=6)
Ephemeroptera				
Heptageniidae				
<i>Afronurus</i> spp.	Sc	2.40	0.58	0.77
<i>Electrogena fracta</i>	Sc	-	0.05	-
<i>Epeorus erratus</i>	Cg	1.62	2.93	3.44
<i>Rhithrogena</i> spp.	Cg	1.27	3.91	3.87
Leptophlebiidae				
<i>Choroterpes</i> spp.	Cg	2.16	0.31	1.35
<i>Habrophlebiodes tenella</i>	Sc	0.16	0.01	0.32
un-identify spp.	Cg	1.27	0.11	0.02
Ephemeridae				
<i>Ephemerella formosana</i>	Cg	1.36	0.03	0.14
Ephemerellidae				
<i>Torleya</i> spp.	Cg	0.20	0.01	0.04
<i>Kangella brocha</i>	Cg	1.55	-	-
Caenidae				
<i>Caenis</i> spp.	Cg	1.39	0.15	0.51
Baetidae				
<i>Baetis</i> spp.	Cg	14.66	9.19	7.63
<i>Baetiella bispinosa</i>	Cg	0.48	5.11	2.73
<i>Pseudocloeon</i> sp.	Sc	1.63	8.09	8.78
Potamanthidae				
<i>Potamanthus idiocerus</i>	Cf	0.05	-	-
Isonychidae				
<i>Isonychia formosana</i>	Cg	0.02	0.13	0.24
Prosopistomatidae				
Prosopistomatidae	Sc	-	-	0.03
Plecoptera				
Perlidae				
Perlidae	Pr	5.70	1.67	3.01
Nemouridae				
<i>Nemoura</i> sp.	Sh	0.01	0.46	0.44
<i>Amphinemura</i> sp.	Sh	-	3.04	1.35
<i>Protonemura</i> sp.	Sh	0.01	1.65	1.09
Leuctridae				
Leuctridae	Sh	0.69	0.11	0.56

續表 3.

Table 3. continued.

Taxa	FFG	Site 2 (before construction) (n=9)	Site 2 (after construction) (n=12)	Site 2' (n=6)
Peltoperlidae				
Peltoperlidae	Sh	0.02	0.01	-
Trichoptera				
Stenopsychidae				
<i>Stenopsyche</i> sp.	Cf	3.87	0.56	0.14
Philopotamidae				
<i>Chimarra</i> sp.	Cf	0.19	0.06	0.48
Hydropsychidae				
<i>Cheumatopsyche</i> sp.	Cf	3.72	0.20	0.26
<i>Hydropsyche</i> spp.	Cf	0.80	0.38	0.05
Hydrobiosidae				
<i>Apsilochorema excisum</i>	Pr	0.02	0.05	0.03
Rhyacophilidae				
<i>Rhyacophila</i> sp.	Pr	0.77	0.17	0.23
Brachycentridae				
<i>Brachycentrus</i> sp.	Cf		0.01	0.01
Leptoceridae				
Leptoceridae	Cg	0.09	0.02	0.13
Hydroptilidae				
<i>Paucicalcaria</i> sp.	Sh		0.01	-
Glossosomatidae				
<i>Glossosoma</i> sp.	Sc	-	-	0.01
<i>Agapetus</i> sp.	Sc	-	0.01	-
Psychomyiidae				
Psychomyiidae	Cg	0.07	0.05	-
Polycentropoididae				
<i>Polycentropus</i> sp.	Pr	-	0.01	-
Lepidostomatidae				
<i>Lepidostoma</i> sp.	Sh	-	0.01	-
Ecnomidae				
Ecnomidae	Cf	0.09	0.18	0.03
Odonata				
Euphaeidae				
<i>Euphaea formosa</i>	Pr	1.43	0.02	0.15



續表 3.

Table 3. Continued.

Taxa	FFG	Site 2 (before construction) (n=9)	Site 2 (after construction) (n=12)	Site 2' (n=6)
Gomphidae				
<i>Heliogomphus retroflexus</i>	Pr	0.07	-	-
<i>Onychogomphus formosanus</i>	Pr	-	-	0.01
<i>Stylogomphus shirozui</i>	Pr	-	0.01	0.00
Cordulegasteridae				
<i>Chlorogomphus risi</i>	Pr	-	-	0.01
Lestidae				
Lestidae	Pr	-	-	0.01
Aeschnidae				
Aeschnidae	Pr	-	-	0.01
Megaloptera				
Corydalidae				
<i>Protohermes costalis</i>	Pr	0.34	0.04	0.07
<i>Neochauliodes sinensis</i>	Pr	0.07	-	0.02
Coleoptera				
Psephenidae				
<i>Psephenoides</i> sp.	Sc	5.33	0.30	1.66
<i>Mataeopsephus</i> sp.	Sc	0.47	0.08	0.39
Elmidae				
<i>Stenelmis wongi</i> (adult)	Sc	0.16	0.06	0.63
<i>Stenelmis</i> sp. (larvae)	Sc	0.13	-	0.09
<i>Grouvellinus</i> sp.	Sc	0.41	0.01	-
<i>Zaitzevia</i> sp.	Sc	0.94	0.37	1.91
Gyrinidae				
Gyrinidae	Pr	-	-	0.03
Hydrophilidae				
<i>Pelthydrus</i> sp.	Pr	0.88	-	0.04
Scirtidae				
Scirtidae	Sc	1.19	0.14	4.80
Diptera				
Chironomidae				
Chironimini	Cg	8.06	5.87	1.67
Orthocladiinae	Cg	13.27	11.78	8.26
Tanytarsini	Cf	6.12	9.80	4.13
Tanypodinae	Pr	5.76	1.82	0.69

續表 3.

Table 3. Continued.

Taxa	FFG	Site 2 (before construction) (n=9)	Site 2 (after construction) (n=12)	Site 2' (n=6)
Athericidae				
<i>Atherix</i> sp.	Pr	0.32	0.08	0.04
Empididae				
<i>Hemerodromia</i> sp.	Pr	0.03	0.06	0.03
Simuliidae				
<i>Simulium</i> sp.	Cf	1.27	26.64	30.76
Tipulidae				
<i>Tipula</i> sp.	Sh	2.09	0.13	0.01
<i>Hexatoma (Eriocera)</i> sp.	Pr	0.03	0.03	0.11
<i>Antocha</i> sp.	Cg	0.59	0.04	0.36
sp1.	Sh	-	0.01	-
Blephariceridae				
<i>Blepharicera</i> sp.	Sc	0.03	1.28	2.02
Ceratopogonidae				
Forcipomyiinae	Cg	-	-	0.03
sp1.	Pr	0.40	0.42	0.53
Ephydriidae				
Ephydriidae	Cg	0.03	0.04	-
Nymphomyiidae				
<i>Nymphomyia holoptica</i>	Sc	4.21	1.65	3.78
Canacidae				
Canacidae	Sc	0.07	0.05	-
Dolichopodidae				
Dolichopodidae	Pr	-	-	0.03

\*FFG 表功能取食群；Cf：濾食採食者；Cg：聚食採食者；Pr：捕食者；Sc：刮食者；Sh：碎食者。

FFG=functional feeding groups; Cf=filtering collector; Cg=gathering collector;

Pr=predator; Sc=scrapper; Sh=shredder

表 4. 桶后溪樣站 2 施工前全部月份水棲昆蟲群聚參數平均 (mean ± S.E.)。

Table 4. The mean of aquatic insect parameters (mean ± S.E.) all months at Site 2 in the Tonghou Stream.

Month	No. of taxa	Density	Pielou's evenness	Shannon diversity	Simpson diversity	FBI
			index (J')	index (H')	index (D)	
Mean	29.6	1300.1	0.82	2.74	0.91	4.79
SE	2.1	396.1	0.04	0.09	0.02	0.30
N	9	9	9	9	9	9

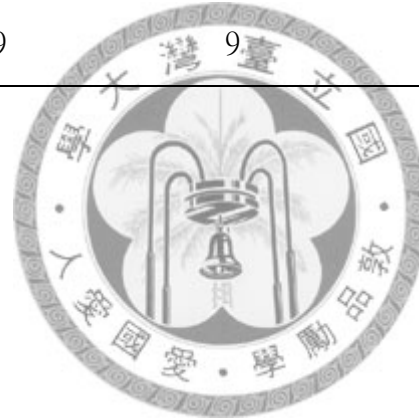


表 5. 桶后溪樣站 2 施工前環境參數與水棲昆蟲群聚參數間相關係數及其顯著水平 (n=9)。

Table 5. The Spearman correlation coefficient and their  $p$ -values between aquatic insect parameters and environmental variables before the construction at Site 2 in the Tonghou Stream.

Environmental variables	No. of taxa	Density	Pielou's evenness index	Shannon diversity index	Simpson diversity index	FBI
pH	-0.34	-0.05	0.42	0.35	-0.18	-0.29
Dissolved oxygen	-0.38	-0.21	0.55	0.43	0.00	-0.38
Conductivity	0.30	0.00	-0.12	0.10	0.32	0.07
Water Temperature	0.38	0.48	-0.72*	-0.68*	-0.20	0.70*
Turbidity	0.14	0.27	-0.55	-0.55	-0.27	0.55
Phosphate	-0.09	-0.05	0.13	0.07	-0.08	0.14
Ammonia	-0.35	0.50	-0.37	-0.72*	-0.90**	0.42
Alkalinity	0.63	0.90**	-0.90**	-0.83**	-0.08	0.92**
Hardness	0.67*	0.37	-0.57	-0.18	0.45	0.40
Canopy	0.17	-0.02	-0.48	-0.38	0.08	0.18
Width	-0.59	-0.52	0.37	0.17	-0.23	-0.52
Discharge	-0.48	0.08	0.20	-0.15	-0.52	-0.17
Na	0.87**	0.50	-0.72*	-0.39	0.43	0.74*
K	0.32	0.48	-0.73*	-0.68*	-0.23	0.62
Mg	0.62	0.15	-0.27	0.05	0.48	0.28
Ca	0.79*	0.18	-0.32	0.07	0.65	0.42
Chloride	-0.14	-0.07	-0.05	0.00	0.02	0.00
Nitrate	-0.51	-0.22	0.27	0.14	-0.43	-0.34
Sulfate	0.57	0.23	-0.27	0.05	0.43	0.30
Hydrocarbonate	0.43	0.14	-0.44	-0.08	0.36	0.27

\*  $p < 0.05$  ; \*\*  $p < 0.01$

表 6. 桶后溪樣站 2' 環境參數與水棲昆蟲群聚參數間相關係數及其顯著水平 (n=9)。

Table 6. The Spearman correlation coefficient and their  $p$ -values between aquatic insect parameters and environmental variables at Site 2' in the Tonghou Stream.

Environmental variables	No. of taxa	Density	Pielou's evenness index	Shannon diversity index	Simpson diversity index	FBI
pH	-0.49	-0.20	0.20	0.60	0.43	-0.94**
Dissolved oxygen	-0.20	0.26	-0.26	0.49	0.77	-0.09
Conductivity	0.60	0.49	-0.49	-0.20	-0.37	-0.03
Water Temperature	-0.54	-0.77	0.77	0.43	0.09	-0.60
Phosphate	0.03	0.37	-0.37	0.09	0.43	0.43
Ammonia	-0.20	-0.46	0.46	0.70	0.29	-0.06
Alkalinity	0.81*	0.58	-0.58	-0.58	-0.52	0.87*
Hardness	0.52	0.70	-0.70	0.03	0.03	0.03
Canopy	-0.77	-0.71	0.71	0.89*	0.60	-0.77
Width	-0.60	-0.49	0.49	0.20	0.37	0.03
Discharge	-0.14	-0.43	0.43	-0.31	-0.26	0.43
Na	-0.03	0.09	-0.09	0.09	-0.09	-0.77
K	0.55	0.41	-0.41	-0.23	-0.41	-0.06
Mg	-0.03	0.09	-0.09	0.09	-0.09	-0.77
Ca	-0.03	0.09	-0.09	0.09	-0.09	-0.77
Chloride	0.54	0.71	-0.71	-0.77	-0.49	0.20
Nitrate	0.71	0.77	-0.77	-0.49	-0.20	0.83*
Sulfate	0.54	0.77	-0.77	-0.14	-0.09	-0.09
Hydrocarbonate	0.55	0.64	-0.64	-0.12	-0.12	0.06

\*  $p < 0.05$  ; \*\*  $p < 0.01$

表 7. 桶后溪樣站 2 在施工前最後一次調查與施工後第一次調查的環境參數 (mean ± S.E.) 及兩次調查之 Mann-Whitney 檢定。

Table 7. The mean of environmental factors (mean ± S.E.) of the last investigation before the construction and the first investigation after the construction with Mann-Whitney examine at Site 2 in the Tonghou Stream.

Time	pH (n=1)	Dissolved oxygen (ppm)(n=3)	Total Conductivity ( $\mu$ s/cm)(n=1)	Temperature ( $^{\circ}$ C) (n=3)	Turbidity (FTU) (n=3)	Phosphate (mg/L) (n=1)	Ammonia (mg/L) (n=1)	Alkalinity (mg/L) (n=1)	Hardness (mg/L) (n=1)	Canopy (%)(n=3)
Last	6.65	missing data	80.50	22.23 ± 0.19	0.22 ± 0.22	0.05	0.17	36.00	23.40	44 ± 2
First	6.60	7.46 ± 0.06	63.10	18.87 ± 0.18	0.85 ± 0.14	0.18	0.20	29.00	21.90	38 ± 4
Z	-	-	-	-1.96	-1.55	-	-	-	-	-1.09

續表 7

Table 7. Continued.

Time	Width (m) (n=3)	Discharge (c.m.s.) (n=3)	Na (mg/L) (n=1)	K (mg/L) (n=1)	Mg (mg/L) (n=1)	Ca (mg/L) (n=1)	Chloride (mg/L) (n=1)	Nitrate (mg/L) (n=1)	Sulfate (mg/L) (n=1)	Hydrocarbonate (mg/L) (n=1)
Last	7.97 ± 1.35	0.27 ± 0.05	4.69	0.44	2.91	8.64	2.93	2.14	11.19	25.44
First	12.75 ± 0.62	2.59 ± 0.44	4.01	0.27	2.08	6.13	2.63	1.96	9.32	19.52
Z	-1.96	-1.96	-	-	-	-	-	-	-	-

表 8. 桶后溪樣站 2 施工前後各月份之環境參數平均與施工前後同月份 Mann-Whitney 檢定 (n=3)。

Table 8. The mean of environmental factors in each month with Mann-Whitney examine at Site 2 before and after the construction in the Tonghou Stream. (n=3)

Month		pH	Dissolved oxygen (ppm)	Conductivity (μs/cm)	Water temperature(°C)	Turbidity (FTU)	Canopy (%)	Width (m)	Discharge (c.m.s)
11	before	missing data	9.53 ± 0.05	71.10 ± 0.22	16.83 ± 0.03	0.00 ± 0.00	49 ± 5	8.50 ± 1.53	0.42 ± 0.06
	after	missing data	10.57 ± 0.09	missing data	17.00 ± 0.06	0.00 ± 0.00	47 ± 5	13.89 ± 0.30	3.59 ± 0.32
	Z	-	-1.99 *	-	-1.80	0.00	-0.22	-1.96	-1.96
12	before	7.58 ± 0.01	9.50 ± 0.15	62.50 ± 0.50	17.83 ± 0.09	0.00 ± 0.00	39 ± 12	9.06 ± 1.36	0.52 ± 0.04
	after	7.11 ± 0.02	15.88 ± 0.15	missing data	16.50 ± 0.06	0.00 ± 0.00	43 ± 3	13.75 ± 0.10	1.09 ± 0.10
	Z	-1.99 *	-1.96	-	-1.96	0.00	-0.66	-1.96	-1.96
1	before	7.37 ± 0.09	10.61 ± 0.49	62.57 ± 0.15	12.80 ± 0.25	0.00 ± 0.00	28 ± 6	8.94 ± 1.42	0.81 ± 0.04
	after	6.99 ± 0.03	10.00 ± 0.01	missing data	13.63 ± 0.03	0.00 ± 0.00	29 ± 6	13.37 ± 0.39	2.07 ± 0.18
	Z	-1.96	-0.66	-	-1.99 *	0.00	-0.22	-1.96	-1.96
2	before	7.10 ± 0.08	10.41 ± 0.09	69.63 ± 0.07	14.23 ± 0.03	0.00 ± 0.00	28 ± 7	6.41 ± 0.32	0.40 ± 0.06
	after	missing data	10.72 ± 0.08	56.27 ± 4.73	12.10 ± 0.00	0.00 ± 0.00	31 ± 8	13.65 ± 0.74	3.20 ± 0.17
	Z	-	-1.96	-2.02 *	-2.12 *	0.00	-0.66	-1.96	-1.96
3	before	7.32 ± 0.04	10.17 ± 0.06	57.97 ± 0.13	17.10 ± 0.00	0.00 ± 0.00	44 ± 5	9.28 ± 1.32	0.98 ± 0.10
	after	6.85 ± 0.03	9.22 ± 0.17	71.03 ± 0.78	14.37 ± 0.03	0.00 ± 0.00	36 ± 6	13.63 ± 0.78	0.88 ± 0.09
	Z	-1.96	-1.96	-1.99 *	-2.12 *	0.00	-1.10	-1.96	-1.09

續表 8.

Table 8. Continued.

Month		pH	Dissolved oxygen (ppm)	Conductivity (μs/cm)	Water temperature(°C)	Turbidity (FTU)	Canopy (%)	Width (m)	Discharge (c.m.s)
4	before	7.69 ± 0.01	9.79 ± 0.04	missing data	17.63 ± 0.09	0.00 ± 0.00	32 ± 5	8.69 ± 1.66	0.37 ± 0.16
	after	6.96 ± 0.03	9.31 ± 0.04	63.40 ± 0.12	15.13 ± 0.03	0.00 ± 0.00	39 ± 1	13.52 ± 0.36	2.01 ± 0.19
	Z	-1.96	-1.96	-	-1.99 *	0.00	-1.10	-1.96	-1.96
5	before	7.67 ± 0.01	8.90 ± 0.15	missing data	20.13 ± 0.09	0.00 ± 0.00	56 ± 5	8.09 ± 1.27	0.44 ± 0.03
	after	7.74 ± 0.01	8.69 ± 0.10	77.60 ± 0.00	18.27 ± 0.07	0.00 ± 0.00	41 ± 3	13.83 ± 0.40	0.38 ± 0.04
	Z	-1.96	-1.09	-	-1.99 *	0.00	-1.53	-1.96	-1.11
6	before	7.44 ± 0.02	9.01 ± 0.23	missing data	21.13 ± 0.23	0.00 ± 0.00	37 ± 7	8.02 ± 0.30	1.01 ± 0.08
	after	7.54 ± 0.03	8.48 ± 0.09	64.70 ± 0.58	20.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	43 ± 2	13.57 ± 0.62	1.06 ± 0.05
	Z	-1.80	-1.53	-	-2.12 *	0.00	-0.22	-1.96	-0.44
7	before	7.58 ± 0.02	missing data	missing data	22.23 ± 0.19	0.22 ± 0.22	44 ± 2	7.97 ± 1.35	0.27 ± 0.05
	after	7.39 ± 0.01	7.57 ± 0.09	73.43 ± 0.41	22.90 ± 0.15	0.00 ± 0.00	39 ± 5	13.49 ± 0.49	0.46 ± 0.01
	Z	-1.96	-	-	-1.96	-1.00	-1.53	-1.96	-1.96

\*  $p < 0.05$



表 9. 桶后溪施工後兩樣站各月份之環境參數平均與同月份兩樣站 Mann-Whitney 檢定 (n=3)。

Table 9. The mean of environmental factors in each month with Mann-Whitney examine after the construction at two sites in the Tonghou Stream. (n=3)

Month	Site	pH	Dissolved oxygen (ppm)	Conductivity (µs/cm)	Water temperature(°C)	Turbidity (FTU)	Canopy (%)	Width (m)	Discharge (c.m.s)
10	2	6.88 ± 0.05	7.72 ± 0.11	missing data	19.17 ± 0.17	0.00 ± 0.00	43 ± 8	13.44 ± 0.04	5.75 ± 0.11
	2'	6.83 ± 0.03	7.96 ± 0.11	missing data	19.20 ± 0.11	0.00 ± 0.00	44 ± 7	17.02 ± 0.85	4.96 ± 0.93
	Z	-1.11	-1.09	-	-0.47	0.00	-0.22	-1.99 *	-0.66
11	2	missing data	10.57 ± 0.09	missing data	17.00 ± 0.06	0.00 ± 0.00	47 ± 5	13.89 ± 0.30	3.59 ± 0.32
	2'	missing data	10.12 ± 0.23	missing data	16.80 ± 0.10	0.00 ± 0.00	61 ± 4	17.97 ± 0.47	2.53 ± 0.46
	Z	-	-1.09	-	-1.35	0.00	-1.53	-1.96	-1.96
12	2	7.11 ± 0.02	15.88 ± 0.15	missing data	16.50 ± 0.06	0.00 ± 0.00	43 ± 3	13.75 ± 0.10	1.09 ± 0.10
	2'	7.02 ± 0.01	15.32 ± 0.44	missing data	16.83 ± 0.34	0.00 ± 0.00	53 ± 6	15.43 ± 1.93	1.07 ± 0.08
	Z	-1.99 *	-0.66	-	-0.67	0.00	-1.09	-0.22	-0.22
1	2	6.99 ± 0.03	10.00 ± 0.01	missing data	13.63 ± 0.03	0.00 ± 0.00	29 ± 6	13.37 ± 0.39	2.07 ± 0.18
	2'	6.98 ± 0.02	10.20 ± 0.05	missing data	13.60 ± 0.06	0.00 ± 0.00	39 ± 3	15.95 ± 1.14	2.36 ± 0.18
	Z	-0.22	-1.96	-	-0.47	0.00	-1.53	-1.53	-1.09
2	2	missing data	10.72 ± 0.08	56.27 ± 4.73	12.10 ± 0.00	0.00 ± 0.00	31 ± 8	13.65 ± 0.74	3.20 ± 0.17
	2'	missing data	10.57 ± 0.01	54.23 ± 4.38	11.90 ± 0.06	0.00 ± 0.00	35 ± 5	17.22 ± 0.30	2.78 ± 0.01
	Z	-	-1.96	-1.11	-2.09 *	0.00	-1.11	-1.96	-1.96

續表 9.

Table 9. Continued.

Month	Site	pH	Dissolved oxygen (ppm)	Conductivity ( $\mu\text{s/cm}$ )	Water temperature( $^{\circ}\text{C}$ )	Turbidity (FTU)	Canopy (%)	Width (m)	Discharge (c.m.s)
3	2	6.85 $\pm$ 0.03	9.22 $\pm$ 0.17	71.03 $\pm$ 0.78	14.37 $\pm$ 0.03	0.00 $\pm$ 0.00	36 $\pm$ 6	13.63 $\pm$ 0.78	0.88 $\pm$ 0.09
	2'	6.80 $\pm$ 0.04	9.43 $\pm$ 0.07	69.97 $\pm$ 0.27	14.20 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	38 $\pm$ 2	14.30 $\pm$ 0.70	1.39 $\pm$ 0.22
	Z	-0.66	-1.09	-0.66	-2.12 *	0.00	-0.22	-0.22	-1.53
4	2	6.96 $\pm$ 0.03	9.31 $\pm$ 0.04	63.40 $\pm$ 0.12	15.13 $\pm$ 0.03	0.00 $\pm$ 0.00	39 $\pm$ 1	13.52 $\pm$ 0.36	2.01 $\pm$ 0.19
	2'	6.86 $\pm$ 0.02	9.24 $\pm$ 0.06	62.17 $\pm$ 0.54	14.97 $\pm$ 0.03	0.00 $\pm$ 0.00	47 $\pm$ 4	17.27 $\pm$ 1.16	3.09 $\pm$ 1.76
	Z	-1.77	-1.09	-1.96	-2.02 *	0.00	-1.53	-1.96	-0.22
5	2	7.74 $\pm$ 0.01	8.69 $\pm$ 0.10	77.60 $\pm$ 0.00	18.27 $\pm$ 0.07	0.00 $\pm$ 0.00	41 $\pm$ 3	13.83 $\pm$ 0.40	0.38 $\pm$ 0.04
	2'	7.65 $\pm$ 0.05	8.79 $\pm$ 0.07	77.03 $\pm$ 0.09	18.10 $\pm$ 0.06	0.00 $\pm$ 0.00	48 $\pm$ 4	15.70 $\pm$ 2.22	0.35 $\pm$ 0.02
	Z	-1.53	-0.89	-2.09 *	-1.62	0.00	-1.11	-0.22	-0.22
6	2	7.54 $\pm$ 0.03	8.48 $\pm$ 0.09	64.70 $\pm$ 0.58	20.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	43 $\pm$ 2	13.57 $\pm$ 0.62	1.06 $\pm$ 0.05
	2'	7.47 $\pm$ 0.02	8.63 $\pm$ 0.35	66.43 $\pm$ 0.09	20.13 $\pm$ 0.19	0.00 $\pm$ 0.00	59 $\pm$ 6	17.17 $\pm$ 0.74	0.77 $\pm$ 0.12
	Z	-1.53	-0.22	-1.96	0.00	0.00	-1.99 *	-1.96	-1.53
7	2	7.39 $\pm$ 0.01	7.57 $\pm$ 0.09	73.43 $\pm$ 0.41	22.90 $\pm$ 0.15	0.00 $\pm$ 0.00	39 $\pm$ 5	13.49 $\pm$ 0.49	0.46 $\pm$ 0.01
	2'	7.39 $\pm$ 0.03	7.76 $\pm$ 0.12	72.67 $\pm$ 0.34	22.63 $\pm$ 0.30	0.00 $\pm$ 0.00	55 $\pm$ 1	14.85 $\pm$ 0.38	0.54 $\pm$ 0.12
	Z	0.00	-1.09	-1.09	-0.89	0.00	-1.96	-1.96	-0.66
8	2	7.84 $\pm$ 0.05	7.96 $\pm$ 0.33	72.60 $\pm$ 2.35	22.20 $\pm$ 0.10	0.00 $\pm$ 0.00	34 $\pm$ 5	13.64 $\pm$ 0.57	0.33 $\pm$ 0.07
	2'	7.69 $\pm$ 0.01	7.99 $\pm$ 0.26	74.80 $\pm$ 3.50	22.03 $\pm$ 0.19	0.00 $\pm$ 0.00	44 $\pm$ 3	12.82 $\pm$ 1.26	0.33 $\pm$ 0.01
	Z	-1.99 *	-0.22	-0.66	-0.90	0.00	-1.96	-0.22	-0.66

\*  $p < 0.05$

表 10. 桶后溪樣站 2 在施工前最後一次調查與施工後第一次調查的水棲昆蟲群聚參數 (mean ± S.E.) 及兩次調查之 Mann-Whitney 檢定。(n=3)

Table 10. The mean of aquatic insect parameters (mean ± S.E.) of the last investigation before the construction and the first investigation after the construction with Mann-Whitney examine at Site 2 in the Tonghou Stream. (n=3)

Time	No. of taxa	Density	Pielou's	Shannon	Simpson	FBI	Cf (%)	Cg (%)	Pr (%)	Sc (%)	Sh (%)
			eveness	diversity (H')	diversity (D)						
Last	30.00 ± 2.89	1916.00 ± 282.64	0.72	2.45	0.88	5.91	21 ± 4	56 ± 5	8 ± 2	15 ± 1	0 ± 0
First	1.67 ± 0.33	6.67 ± 1.33	1.00	0.46	1.00	5.5	0 ± 0	67 ± 33	33 ± 33	0 ± 0	0 ± 0
Z	-1.99 *	-1.99 *	-0.66	-1.99 *	-0.66	-0.66	-2.09 *	-0.66	-0.66	-2.09 *	-1.00

\*  $p < 0.05$

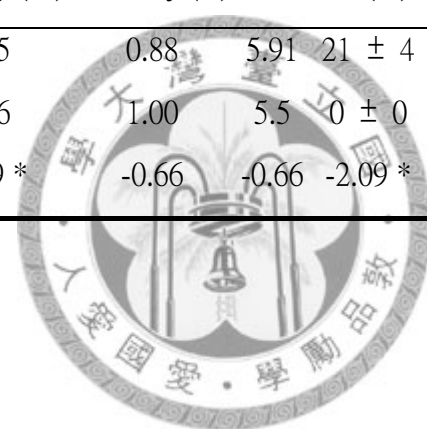


表 11. 桶后溪樣站 2 於各月份的水棲昆蟲功能取食群平均 (mean  $\pm$  S.E.) 及施工前後 Mann-Whitney 檢定。

Table 11. The mean of functional feeding group (mean  $\pm$  S.E.) each month with Mann-Whitney examine at Site 2 in the Tonghou Stream.

Month		FBI	Cf (%)	Cg (%)	Pr (%)	Sc (%)	Sh (%)
11	Before	3.95	17 $\pm$ 3	29 $\pm$ 2	27 $\pm$ 3	24 $\pm$ 5	4 $\pm$ 2
	After	6.19	27 $\pm$ 5	60 $\pm$ 2	5 $\pm$ 0	5 $\pm$ 2	3 $\pm$ 2
	Z	-1.96	-1.09	-1.96	-1.96	-1.96	-0.22
12	Before	3.86	18 $\pm$ 3	37 $\pm$ 3	19 $\pm$ 5	21 $\pm$ 8	5 $\pm$ 2
	After	4.47	7 $\pm$ 2	63 $\pm$ 2	8 $\pm$ 1	14 $\pm$ 2	9 $\pm$ 3
	Z	-1.96	-1.96	-1.96	-1.96	-0.66	-1.09
1	Before	4.00	12 $\pm$ 3	43 $\pm$ 2	23 $\pm$ 3	17 $\pm$ 1	4 $\pm$ 1
	After	5.57	27 $\pm$ 10	48 $\pm$ 8	5 $\pm$ 1	12 $\pm$ 3	8 $\pm$ 1
	Z	-1.96	-1.53	-0.66	-1.96	-1.53	-1.96
2	Before	4.36	8 $\pm$ 2	37 $\pm$ 2	20 $\pm$ 2	27 $\pm$ 4	8 $\pm$ 1
	After	5.60	45 $\pm$ 14	33 $\pm$ 9	5 $\pm$ 3	13 $\pm$ 0	4 $\pm$ 1
	Z	-1.96	-1.96	-0.66	-1.96	-1.96	-1.53
3	Before	4.79	13 $\pm$ 1	33 $\pm$ 2	13 $\pm$ 2	38 $\pm$ 5	3 $\pm$ 2
	After	4.43	39 $\pm$ 13	48 $\pm$ 11	5 $\pm$ 1	5 $\pm$ 1	2 $\pm$ 1
	Z	-0.66	-1.96	-1.09	-1.96	-1.96	-0.66

Sh: shredder, Sc: scraper, Pr: predator, Cg: gathering collector, Cf: filtering collector

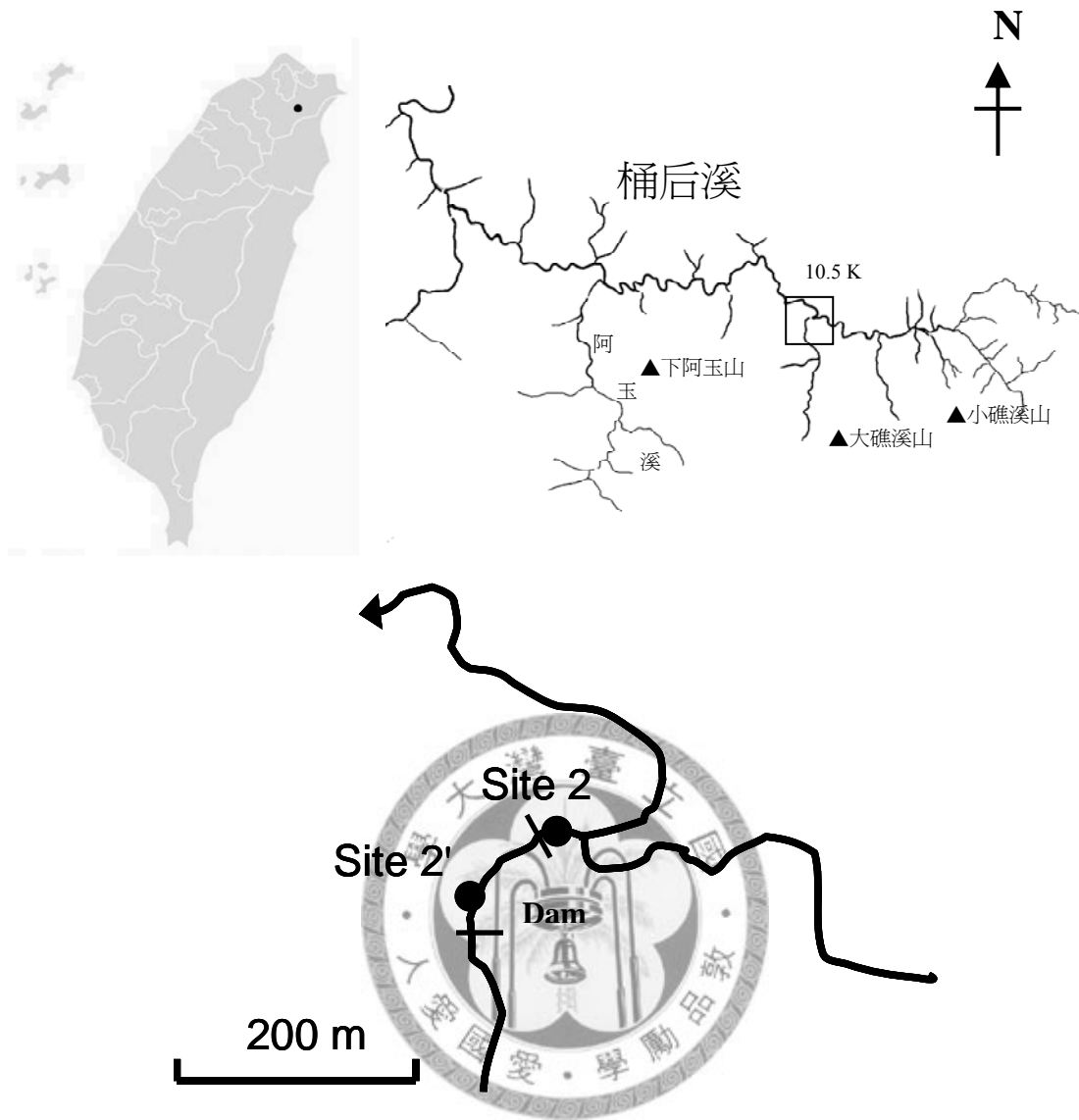


圖 1. 桶后溪兩樣站示意圖。

Figure 1. The Diagram of two sites in the Tonghou Stream.

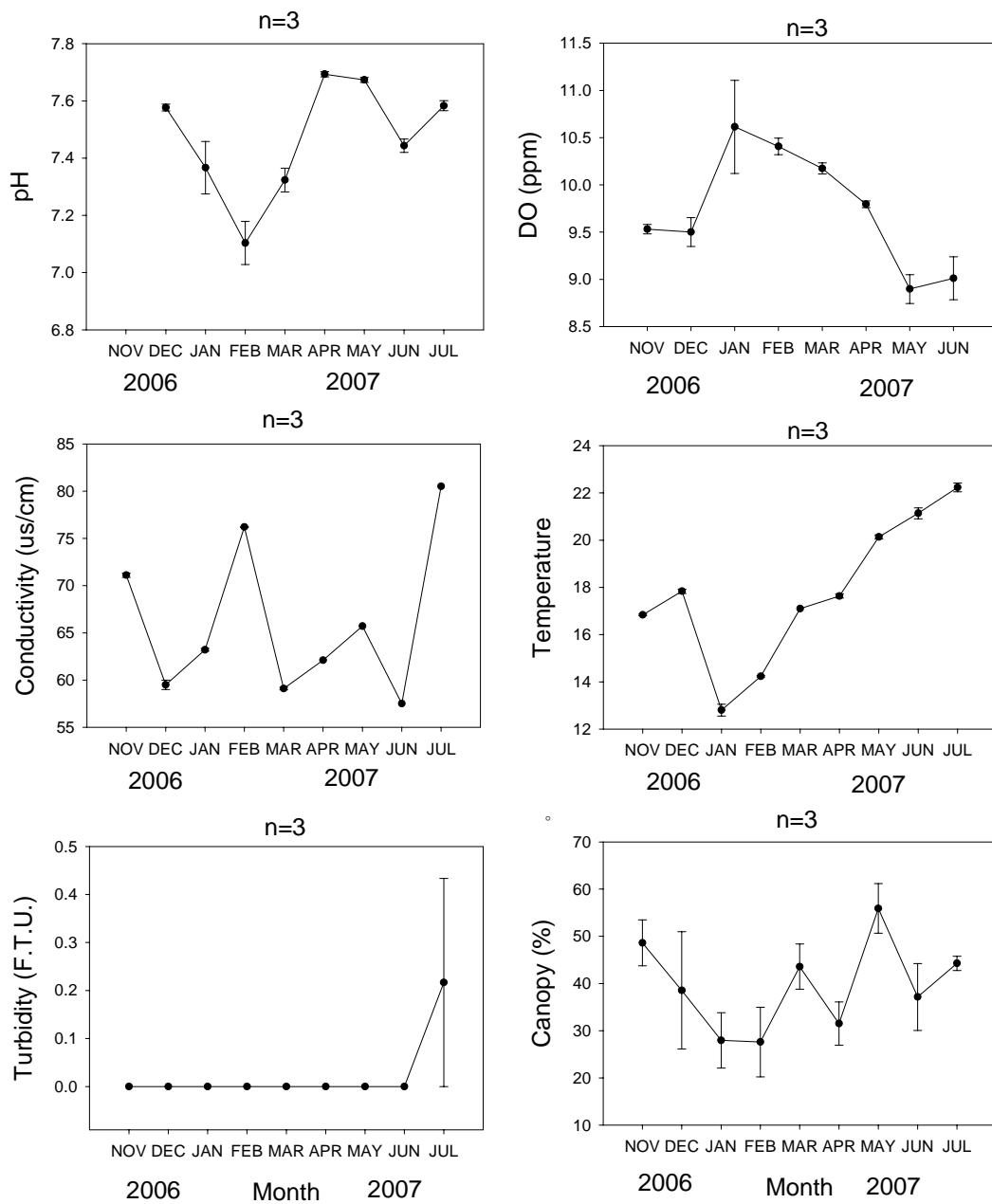
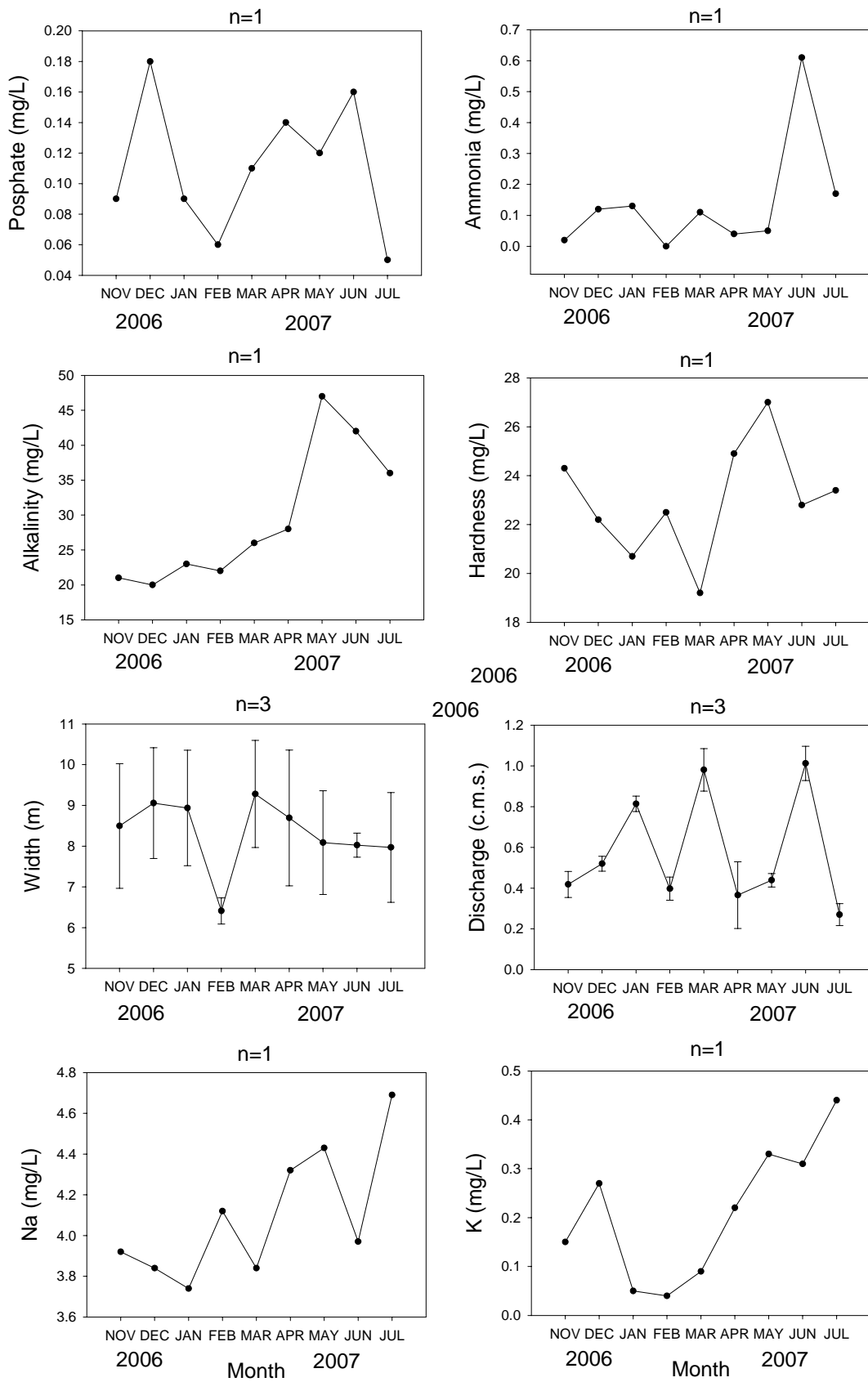


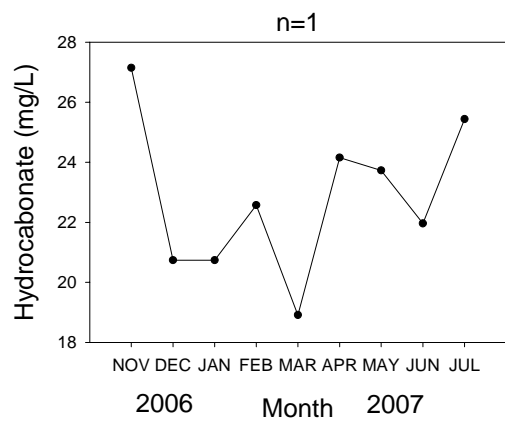
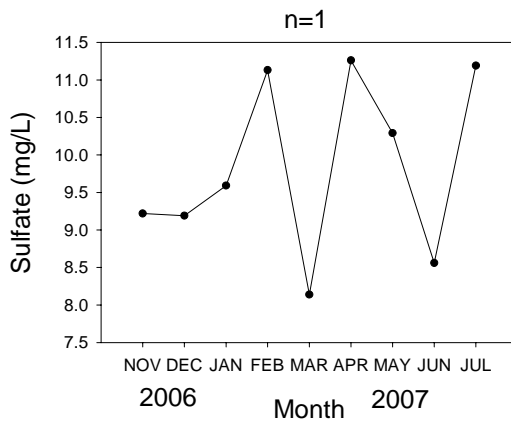
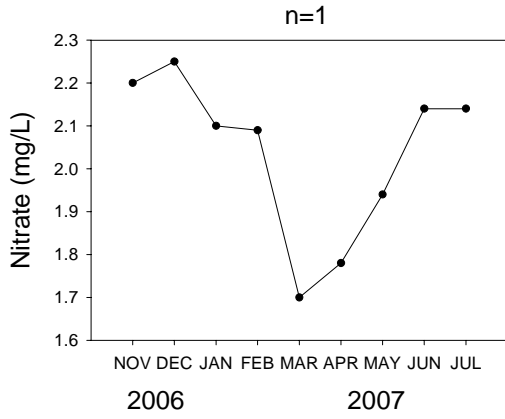
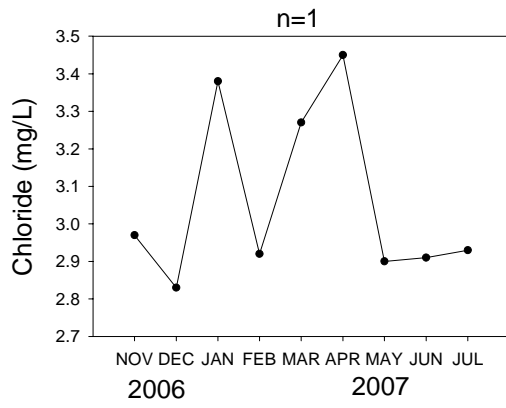
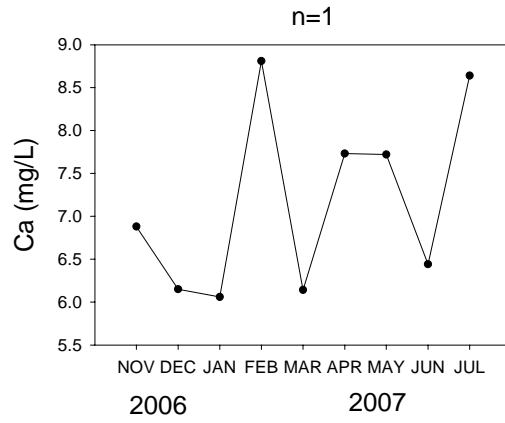
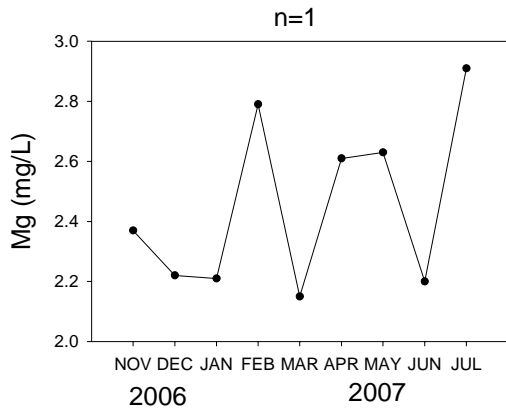
圖 2. 桶后溪樣站 2 施工前各月份環境參數平均 (mean ± S.E.)。 (n=3)

Figure 2. The mean of environmental factors (mean ± S.E.) each month before the construction at Site 2 in Tonghou Stream. (n=3)



續圖 2.

Figure 2. Continued.



續圖 2.

Figure 2. Continued.



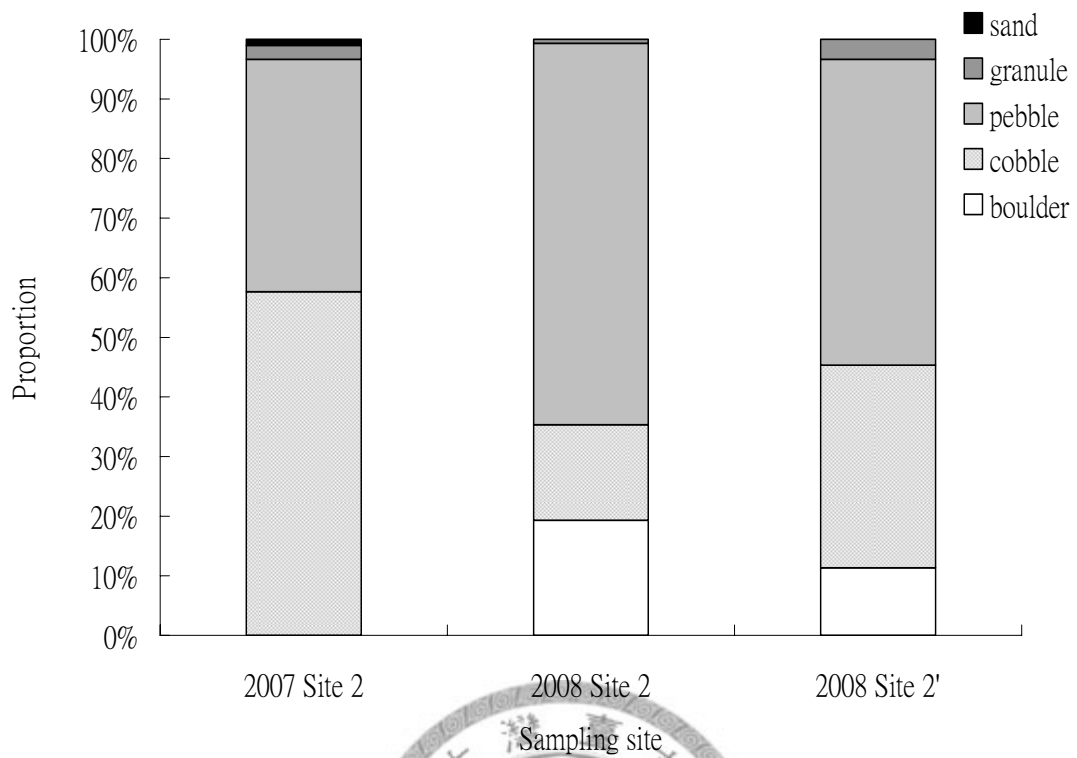


圖 3. 桶后溪兩樣站於不同年份的底質組成。

Figure 3. The substrate of two sites in two year in the Tonghou Stream.



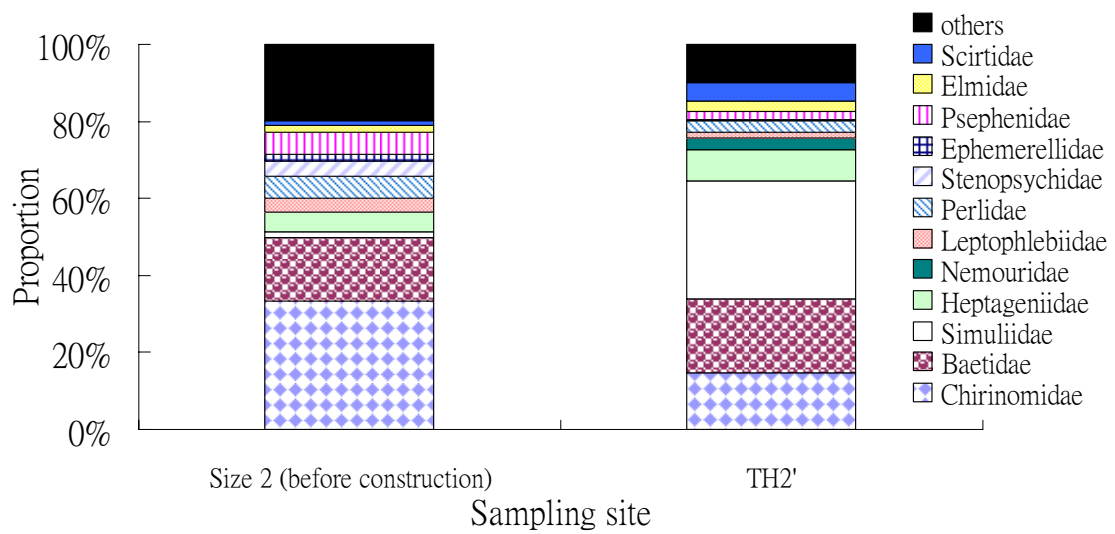


圖 4. 桶后溪施工前樣站 2 和樣站 2' 所採獲之各優勢科群水棲昆蟲個體數之比例。

Figure 4. The aquatic insects ratio of number of individuals of each dominant families at Site 2 before the construction and Site 2' in the Tonghou Stream.



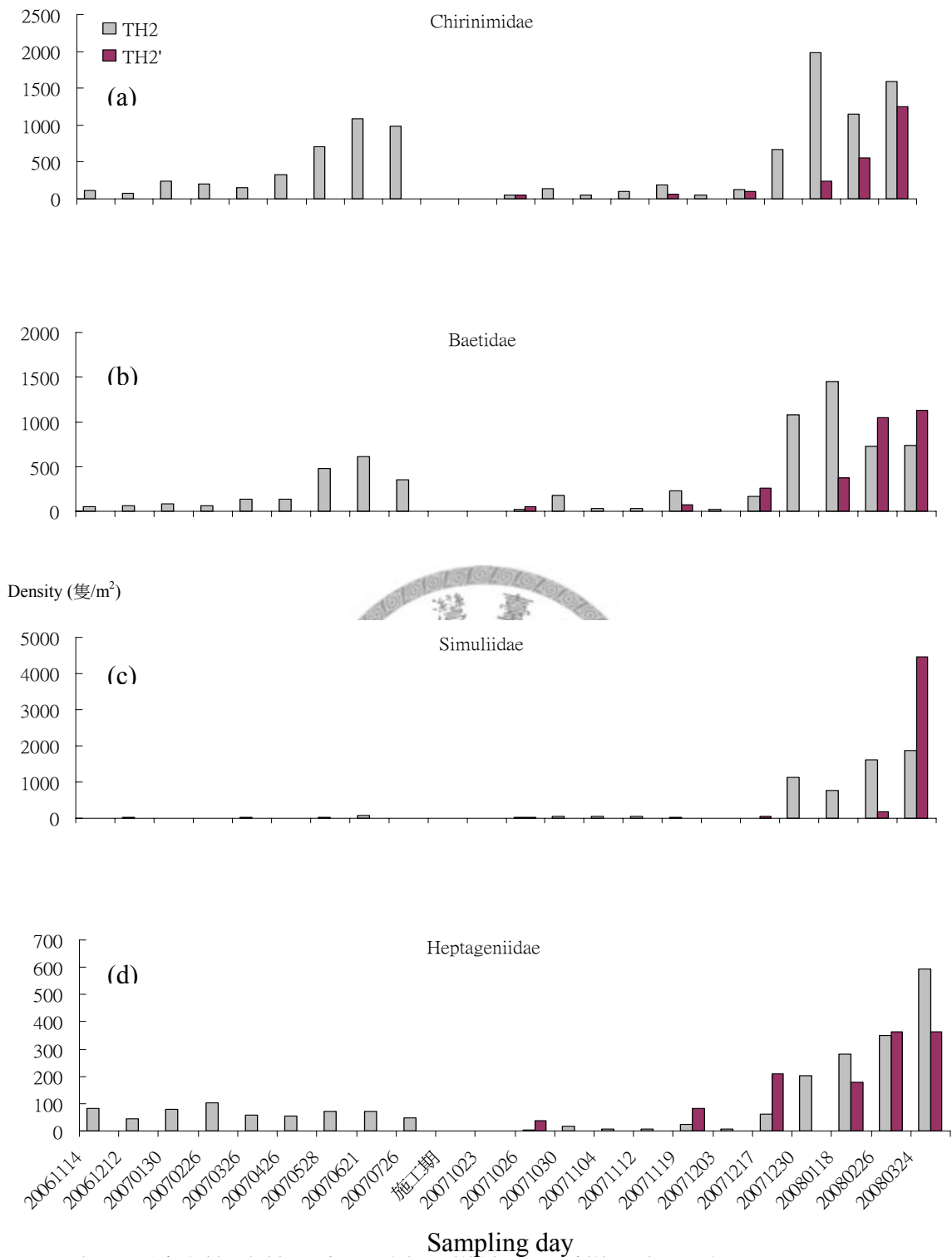
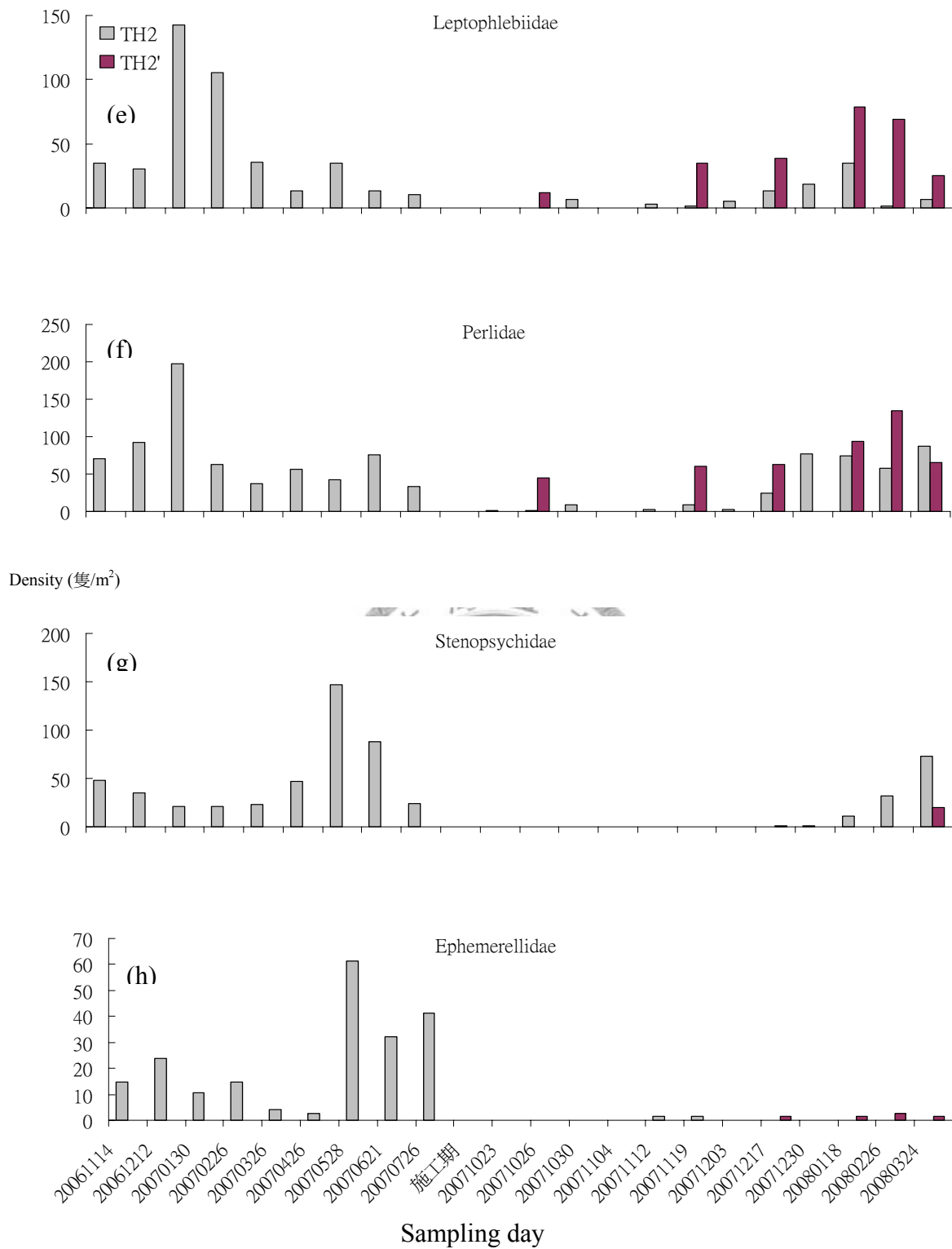
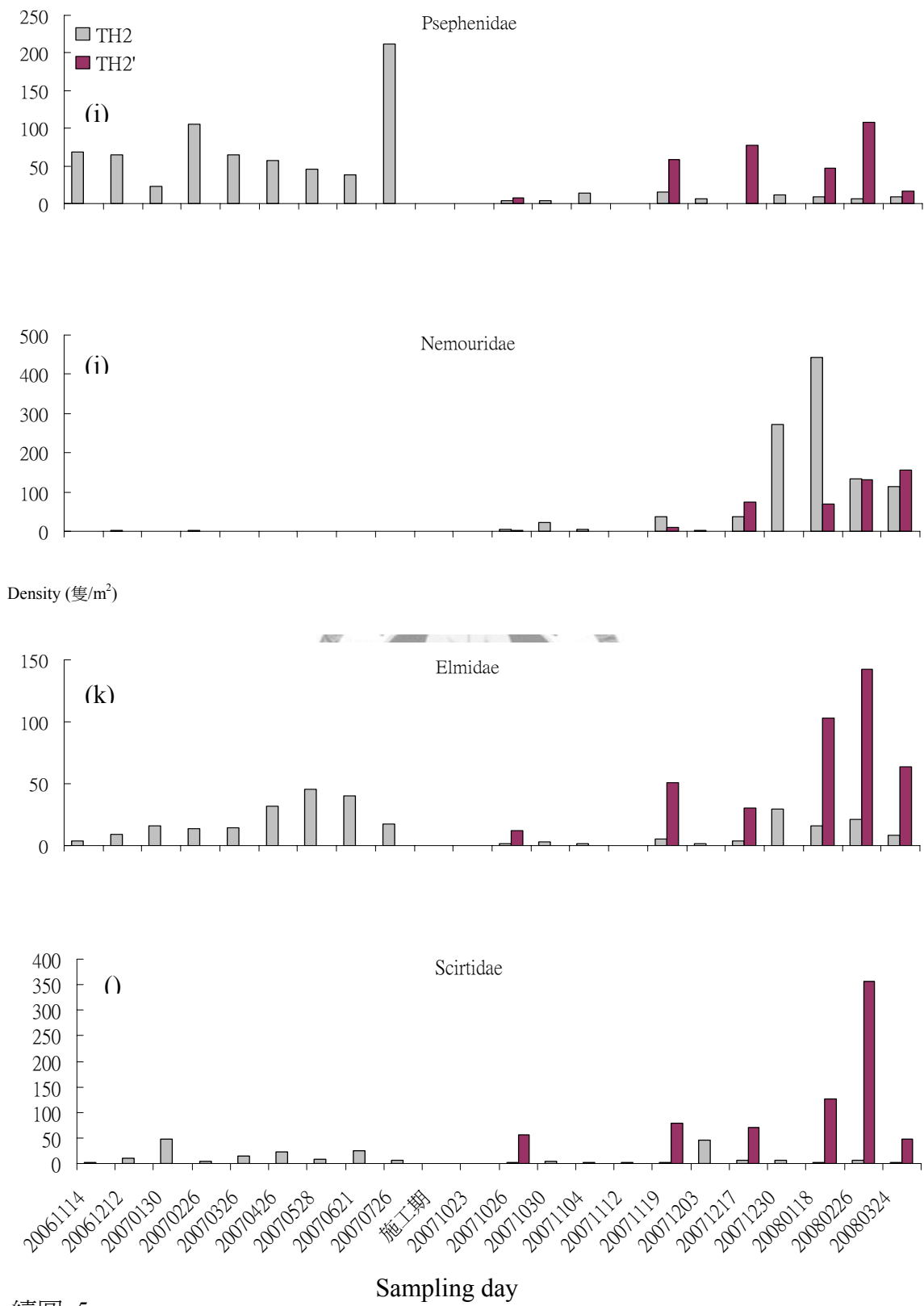


圖 5 桶后溪各優勢水棲昆蟲科群在兩樣站不同採樣日之族群變動。  
 Figure 5. The change of dominant family of aquatic insects in every sampling day at two sampling sites in Tonghou Stream.



續圖 5.  
Figure 5. Continued.



續圖 5.  
Figure 5. Continued.

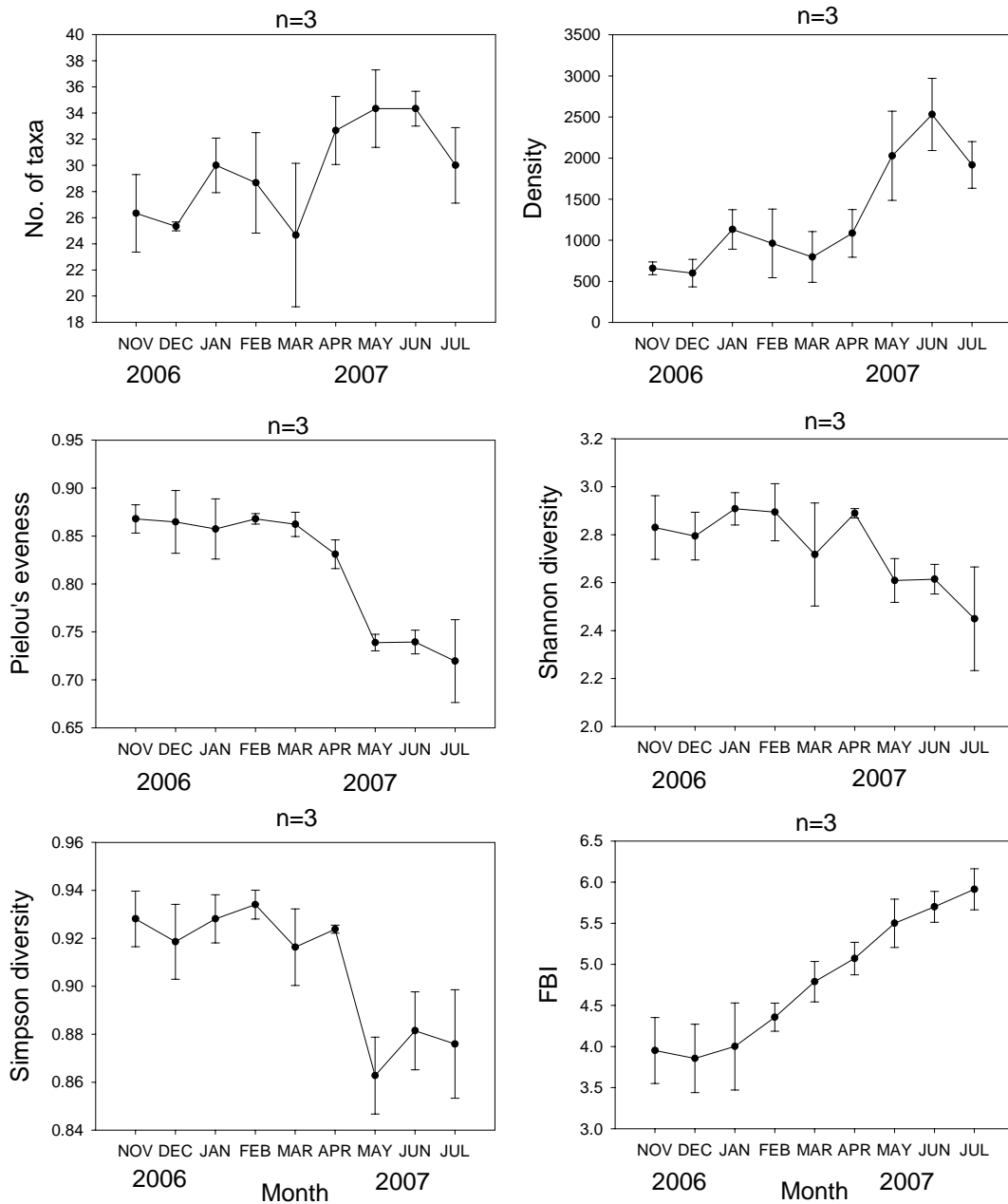
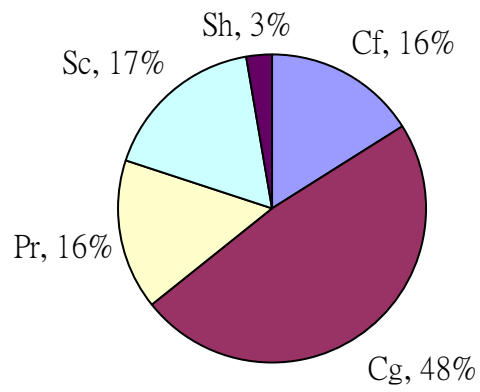
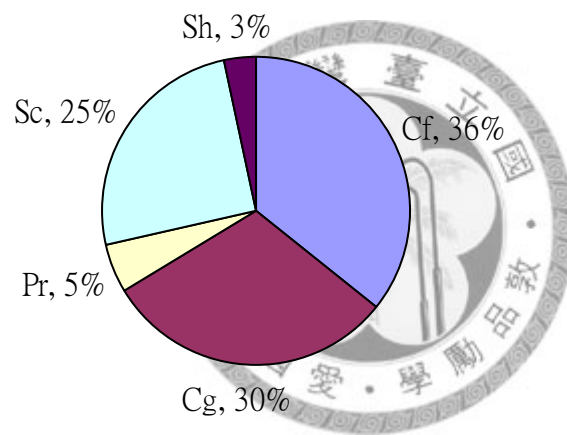


圖 6 施工前桶后溪樣站 2 施工前各月份水棲昆蟲群聚參數平均 (mean ± S.E.) 及 Mann-Whitney 檢定。

Figure 6. The mean of aquatic insect parameters (mean ± S.E.) each month with Mann-Whitney examine at Site 2 in the Tonghou Stream.



(a)



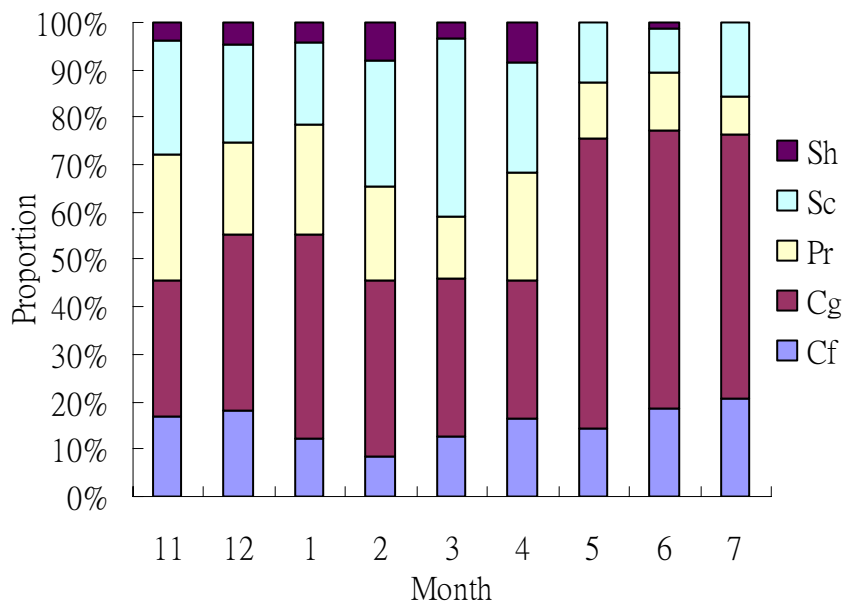
(b)

圖 7. 桶后溪各樣站功能取食群比例：施工前的樣站 2 (a) 和施工後的樣站 2'。

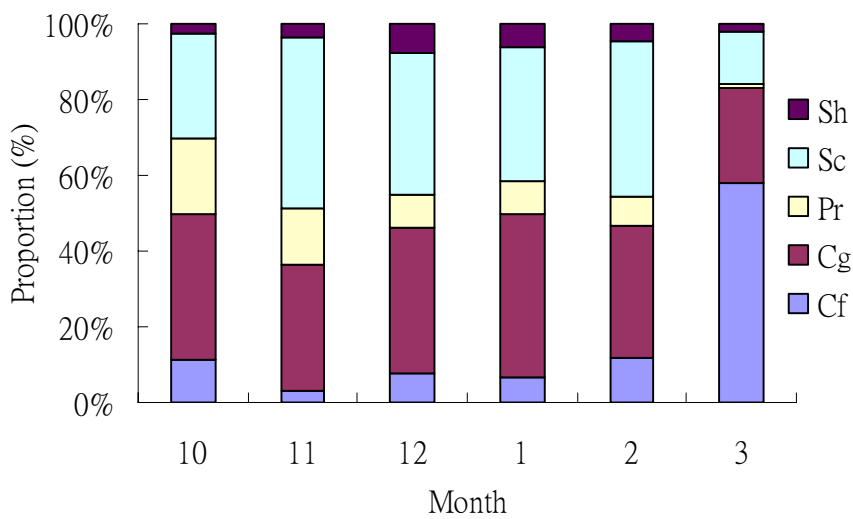
Figure 7. The ratio of functional feeding group at each sampling site in Tonghou Stream.

(a) before the construction at Site 2, (b) after the construction at Site 2'.

Sh: shredder, Sc: scraper, Pr: predator, Cg: gathering collector, Cf: filtering collector



(a)

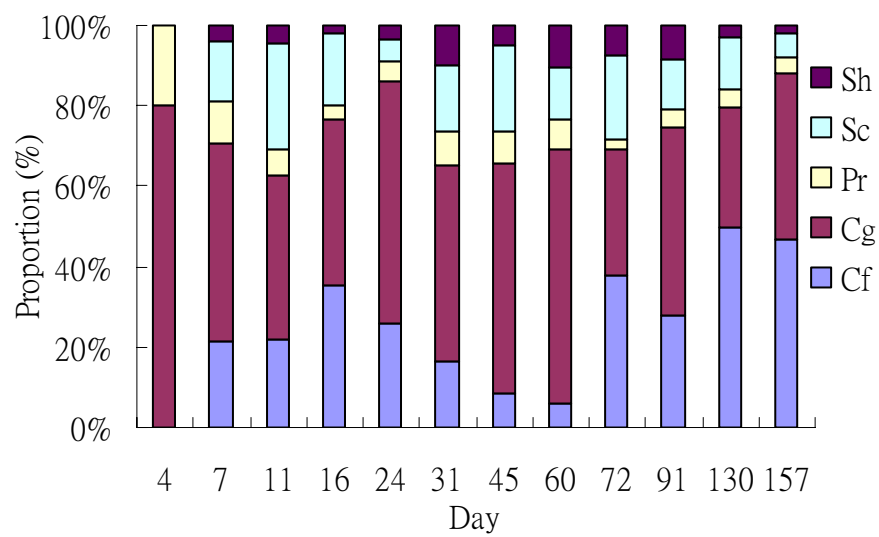


(b)

圖 8. 桶后溪各樣站於施工前後的功能取食群比例：施工前的樣站 2 (a)，施工後的樣站 2' (b)，施工後的樣站 2 (c)。

Figure 8. Change in the ratio of functional feeding group in each month before and after the construction at two sites in the Tonghou Stream.





(c)

續圖 8.

Figure 8. Continued.

Sh: shredder, Sc: scraper, Pr: predator, Cg: gathering collector, Cf: filtering collector



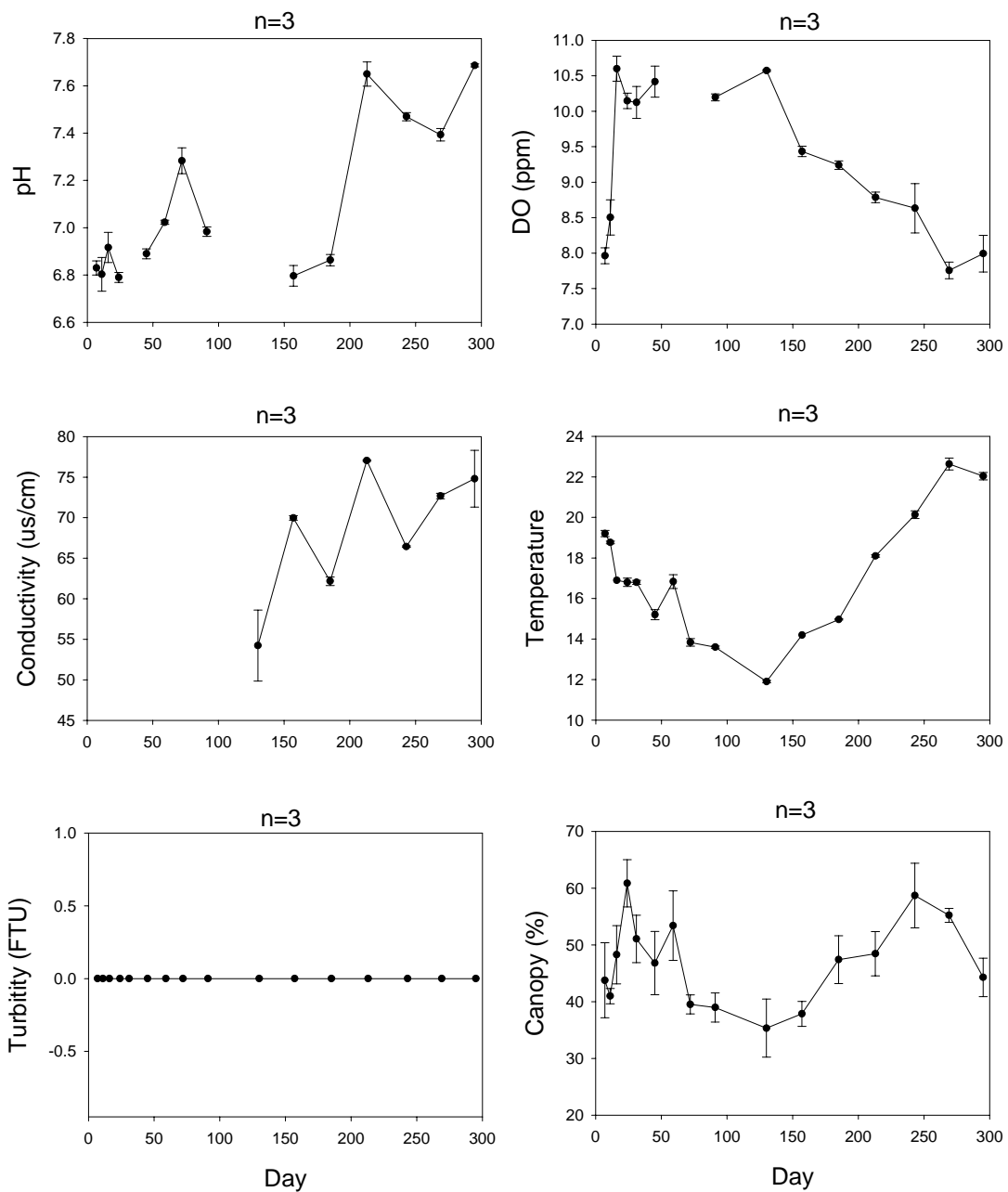
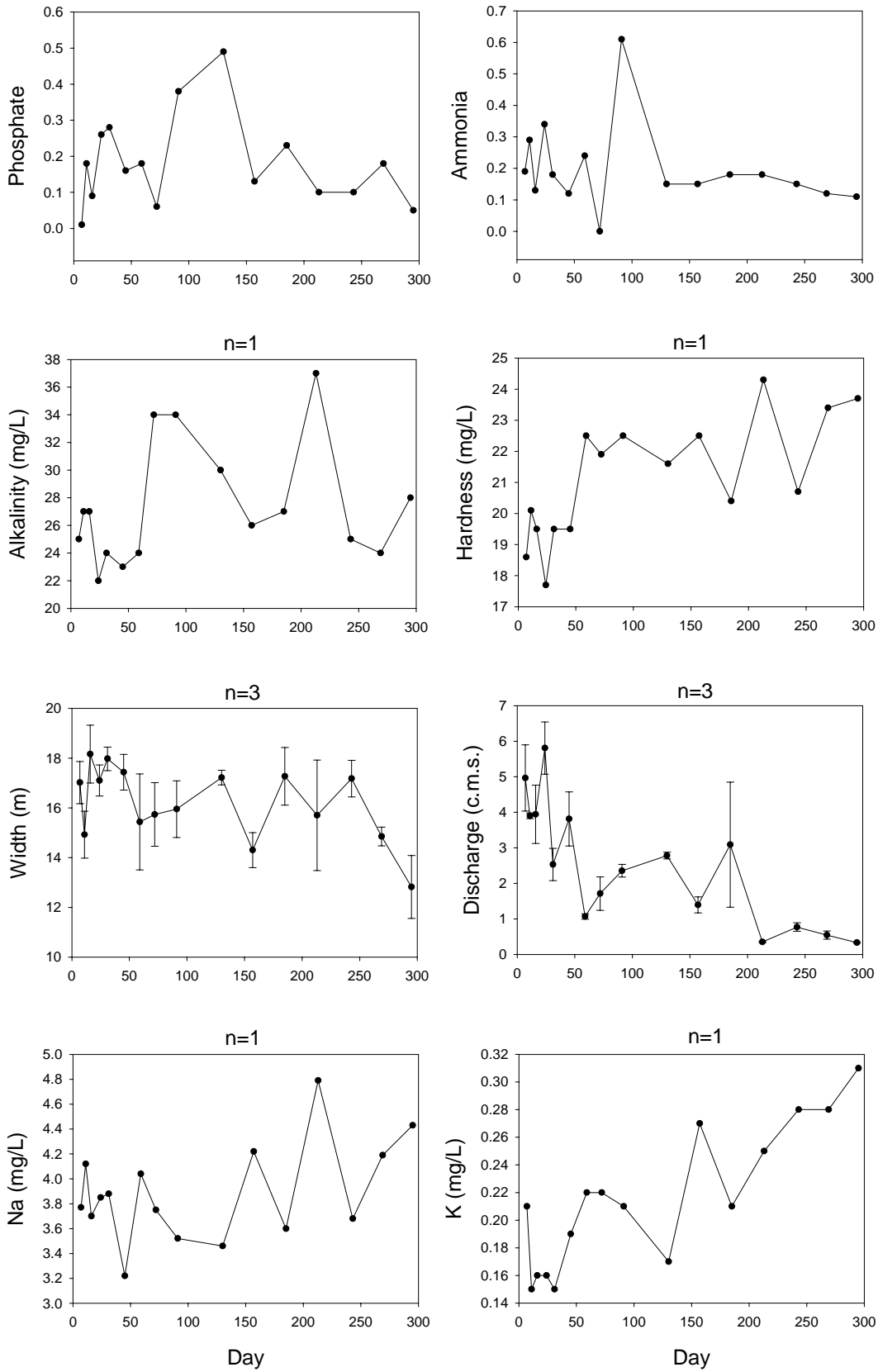
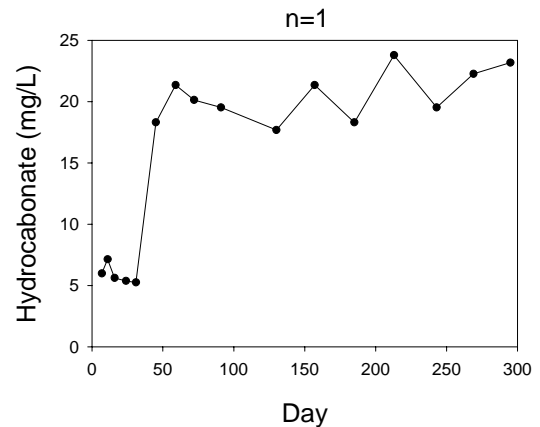
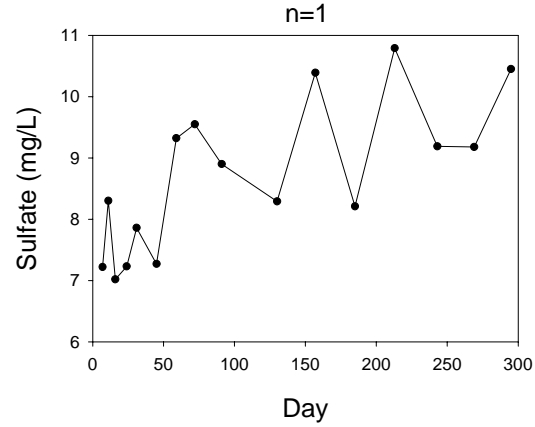
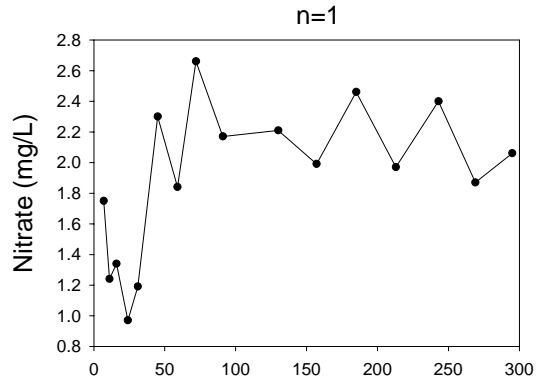
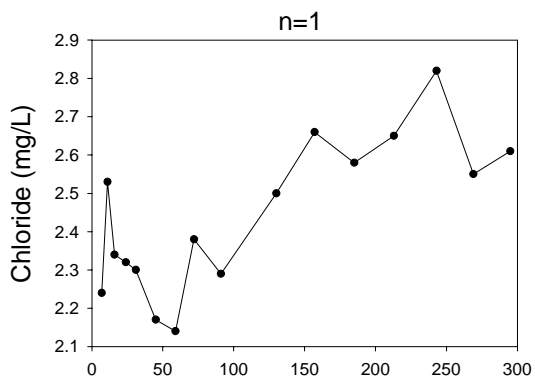
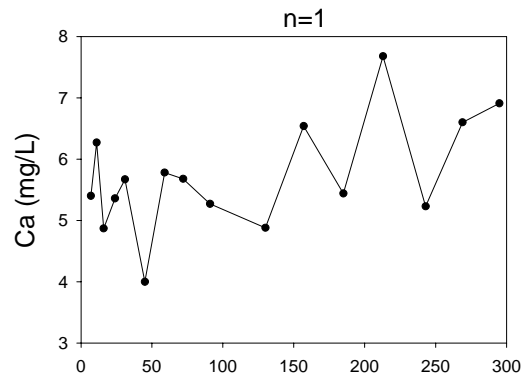
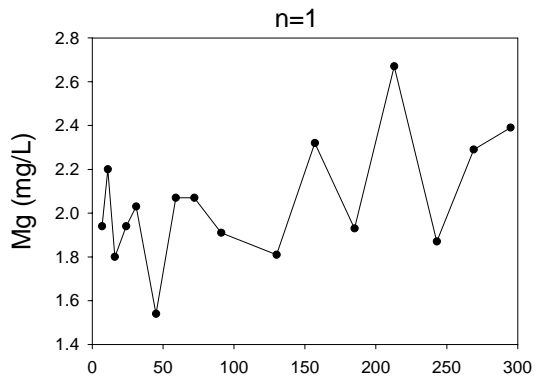


圖 9. 桶后溪樣站 2' 環境參數平均 (mean  $\pm$  S.E.) 及 Mann-Whitney 檢定。  
 Figure 9. The mean of environmental factors (mean  $\pm$  S.E.) each month with Mann-Whitney examine at Site 2' in Tonghou Stream.



續圖 9.

Figure 9. Continued.



續圖 9.

Figure 9. Continued.

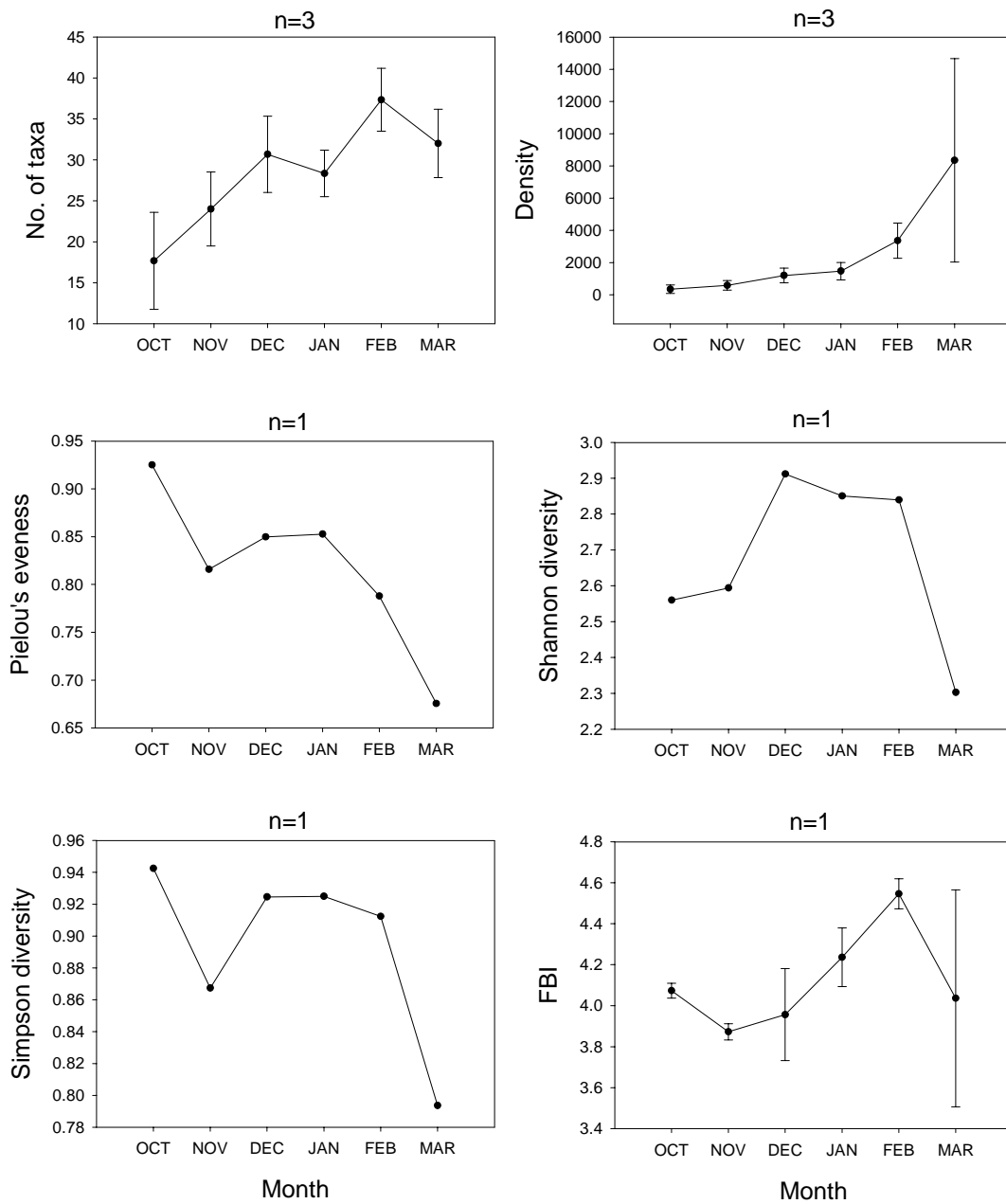


圖 10. 桶后溪樣站 2' 各月份生物參數平均變化及 Mann-Whitney 檢定。

Figure 10. The mean of aquatic insect parameters (mean  $\pm$  S.E.) each month with Mann-Whitney examine at Site 2' in the Tonghou Stream.

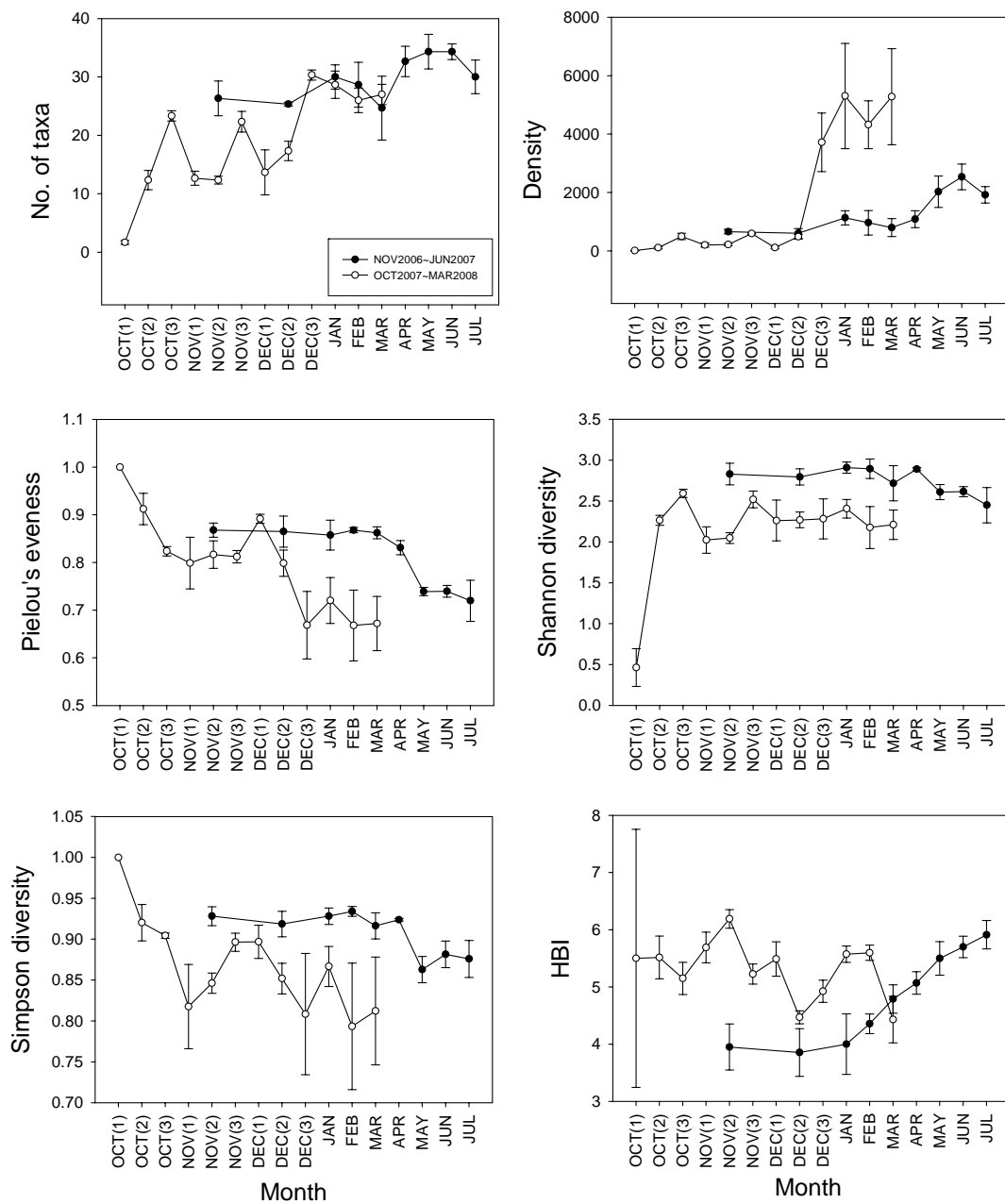


圖 11. 桶后溪樣站 2 於施工前後各月份群聚參數平均變化。(n=3)

Figure 11. The mean of aquatic insect parameters (mean  $\pm$  S.E.) each month before and after the construction at Site 2 in the Tonghou Stream. (n=3)

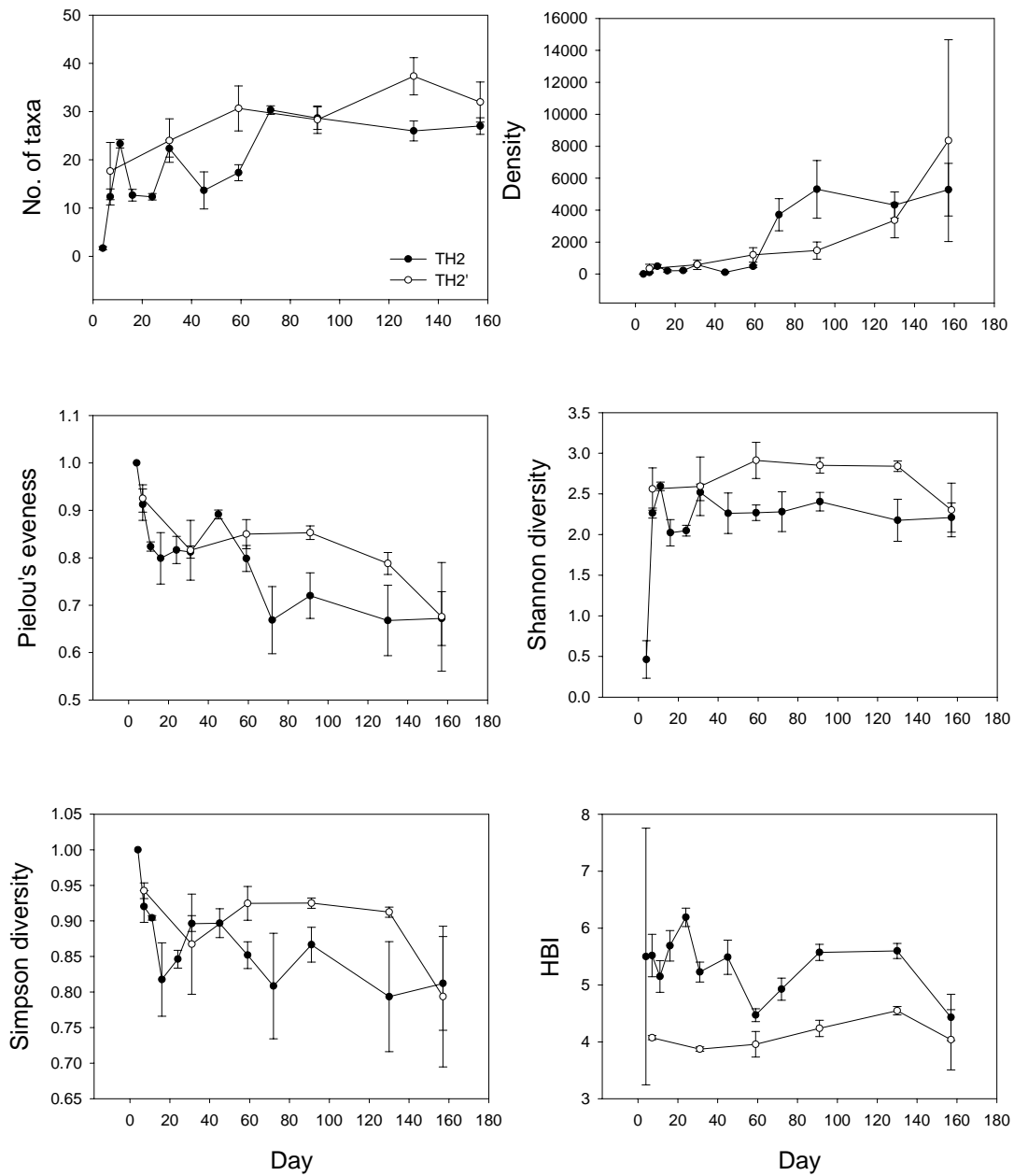


圖 12. 桶后溪施工後兩樣站各月份群聚參數平均變化。(n=3)

Figure 12. The mean of aquatic insect parameters (mean  $\pm$  S.E.) each month after the construction at two sites in the Tonghou Stream.(n=3)

附錄 1. 本研究採用之底質粒徑分級，參考 Wentworth 底質粒徑分級，另外增加三分級。

Appendix 1. The size category of substrate according to the method of Wetworth and addition of 3 categories.

Size category	Particle diameter (mm)
Embedded rock	
Bedrock	> 512
Boulder	256 – 512
Cobble	64 – 256
Pebble	4 – 64
Granule	2 – 4
Sand	0.6 – 2.0





附錄 2. Hilsenhoff 科級生物指標劃分之水質等級。

Appendix 2. The Hilsenhoff's Family-level Biotic Index.

Water quality	FBI
Excellent	0.00 – 3.75
Very good	3.76 – 4.25
Good	4.26 – 5.00
Fair	5.01 – 5.75
Fairly poor	7.76 – 6.50
Poor	6.51 – 7.25
Very poor	7.26 – 10.00



附錄 3. 宜蘭氣象站從 2006 年 11 月到 2008 年 8 月的逐日降雨量。

Appendix 3. The data of rain fall in every day from November 2006 to August 2008 at Yilan weather station.

年 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total		
06	11	16.9	8	12	5.3	0.4	0.7	T	-	-	-	1	-	-	2.7	25	12	-	-	0.2	5	9.9	1	0.5	-	-	-	3.6	26	16	3.2	149.3		
	12	2.9	12	21	57	1.5	2.7	-	-	T	3.7	1.1	T	5.1	19	31	22	-	1.9	40	60	4.4	T	T	5.5	-	-	-	5.7	0.3	-	5.7	302.9	
07	1	-	6	15	3.8	T	-	-	-	-	11	8.8	0.5	13	4	7.2	2	16	34	23	2.2	3.9	1	0.1	-	-	3.4	6.5	-	-	-	-	159.6	
	2	-	-	-	-	-	1.4	-	-	0.8	0.2	T	-	-	0.5	-	-	-	9.7	4.1	16	9.1	2	0.5	-	2.6	-	-	6.1	-	-	53.0		
	3	0.5	1.2	-	0.4	6.9	15	20	24	2.1	-	11	8.6	12	5.3	T	T	0.1	0.7	5.7	0.1	-	-	-	9	8	-	1	-	-	-	T	131.4	
	4	0.2	21	6.9	8.7	2.9	0.7	-	14	1.4	21	0.6	-	-	-	0.2	-	-	14	-	-	-	-	3.3	5.4	-	-	-	14	11	0.2	-	124.5	
	5	-	-	-	2.4	2.7	4.2	-	-	-	-	-	-	6.4	-	-	T	6.4	3.5	26	32	5.2	1.6	T	-	T	-	T	5.3	16	18	4.8	135.1	
	6	0.3	1	34	14	7.1	6.4	48	110	10	41	4.9	3.6	0.7	T	17	6	11	31	9.3	-	-	-	-	-	0.8	0.9	-	-	-	-	-	356.6	
	7	-	-	-	4.9	T	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	4.5	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.3	
	8	-	-	-	-	-	-	137	50	2.5	0.2	3.1	9.5	0.8	0.2	-	15	82	130	42	0.7	5.1	9	-	0.5	32	1.2	-	-	-	-	-	-	519.4
	9	-	T	T	23	32	0.5	2	1.6	1.9	-	-	-	1.4	-	-	T	13	60	17	-	41	48	77	59	0.5	19	5.5	-	5.6	22	-	429.8	
	10	21.9	1.4	17	T	15	203	9.5	-	1.8	6	2.9	3.5	0.7	1.1	0.2	T	0.2	-	-	-	-	-	6.7	22	2.3	4.3	-	-	11	37	55	420.5	
	11	48.7	12	2	4.2	34	40	23	57	2.8	0.9	0.3	-	0.2	-	13	1.4	2.7	6.6	12	18	33	84	14	38	106	86	69	3.2	T	-	-	711.7	
	12	T	-	T	12	13	0.5	2.2	5	1.7	0.2	-	-	1.8	T	6.3	1.2	-	0.1	T	5.1	-	T	5.7	7.9	0.5	-	-	-	-	-	-	63.2	
08	1	-	-	12	5.2	-	-	T	-	-	-	0.2	6.7	5.7	3.3	2.7	1.8	23	9.1	-	0.1	1.9	3.9	0.5	14	21	1.3	T	2.6	3	7.8	125.0		
	2	0.3	-	3.6	19	17	2	9.6	21	0.8	-	T	0.3	T	0.5	-	4.5	56	53	8	2.4	1.1	T	11	3.6	0.2	T	-	-	0.8	-	214.8		
	3	0.9	-	-	-	-	-	7.1	0.5	1.8	53	2.2	4	-	0.3	-	-	-	T	0.2	-	-	0.5	14	-	-	-	-	0.6	0.3	0.6	57	142.3	
	4	16.6	0.8	7.2	0.2	-	-	-	-	0.9	1.3	1.2	0.2	2.5	0.1	-	22	8.5	-	15	1.4	2	1	-	-	-	-	-	8.4	12	15	-	116.8	
	5	3.8	-	-	-	7.7	14	16	0.2	-	1.1	-	-	0.5	1.2	0.9	-	T	-	4.7	0.1	0.5	2.8	0.1	2	43	1.9	6	-	1.3	22	5.5	135.2	
	6	7.7	7.9	4.1	0.6	T	-	2.2	0.5	-	-	-	60	1.1	6.5	0.4	12	0.1	19	T	-	-	-	-	4	-	-	19	0.6	27	-	-	172.8	
	7	T	-	-	-	-	-	25	0.2	-	29	-	-	-	-	-	-	22	28	-	-	-	T	-	-	-	23	47	77	1.2	-	T	250.6	
	8	-	-	T	7	-	-	-	-	1.5	T	0.2	-	11	18	T	-	-	T	-	-	-	T	-	T	-	-	-	-	-	-	61	-	97.8

T : trace of rain ; - : no rain

附錄 4. 宜蘭氣象站從 2006 年 11 月到 2008 年 8 月逐月氣溫變化。

Appendix 4. The temperature each month from November 2006 to August 2008 at Yilan weather station.

