

應用水生昆蟲科級生物指標(FBI)評估溪流水質之研究

林信輝⁽¹⁾ 李明儒⁽²⁾ 張世倉⁽³⁾ 李訓煌⁽³⁾

摘要

「生態工法」(Ecological Engineering Methods)近年來在國際上大為風行，而台灣大力倡導則始於 1997 年，並且已有許多學者提出相關論述，有鑒於生態評估越來越受到重視，因此有許多生物指標先後被提出討論。本文則探討國際推薦的水質評估工具-水生昆蟲科級生物指標，並實際應用於頭汴坑溪的水質評估，結果發現頭汴坑溪上游的水質介於極清潔至清潔之間，而該指數對於反應水質的差異也相當敏感。

(**關鍵字**：科級生物指標、水生昆蟲、溪流、水質)

Stream Water Quality Assessment with Family-Level Biotic Index of Aquatic Insect

Shin-Hwei Lin

Professor, Department of Soil and Water Conservation,
National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan

Ming-Ju Lee

Instructor, Department of Leisure Management,
National Penghu Institute of Technology, Penghu 880, Taiwan.
Ph. D. Graduate Student, Department of Soil and Water Conservation,
National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan.

Shih-chang Chang, Hsun-Hwang Lee

Assistant Researcher and Associate Researcher, Division of Habitats and Ecosystems,
Endemic Species Research Institute, Nantou 552, Taiwan.

ABSTRACT

Ecological engineering methods are well recognized recently and have been promoted in Taiwan since 1997. Many biotic indexes have been reported ecological assessment. A water quality assessment method, Family-level Biotic Index of Aquatic Insect was applied in Tou-Bian-Keng Creek in central Taiwan. The quality of upstream water of Tou-Bian- Keng Creek was found to vary

-
- (1) 國立中興大學水土保持學系教授
 - (2) 國立澎湖技術學院休閒事業管理系講師，
國立中興大學水土保持學系博士班研究生、通訊作者
 - (3) 行政院農業委員會特有生物研究保育中心棲地組助理研究員、副研究員

from excellent to good, and the Family-level Biotic Index was certainly sensitive to water quality variations.

(**Keywords** : Family-level Biotic Index, Aquatic Insect, Stream, Water Quality)

前言

近年來，國際上風行「生態工法」(Ecological Engineering Methods)，台灣自1997年大力倡導以來，政府機關、學術單位與民間團體紛紛舉辦各種研討會，會中國內外專家學者對此提出許多的論述與研究，有鑑於生態工法的迅速發展，生態評估也越來越受到重視，世界知名的德國出版商暨線上資料庫 Elsevier Science 也於2001年9月開始出版 Ecological Indicators(生態指標)，為目前專業探討生態指標的國際學術期刊，而國內的學者也紛紛探討各種生態指標的適用性與實際應用(例如林信輝，2002、林信輝、李明儒、孫明德、黃俊仁，2002、李明儒、張俊斌、孫明德，2002、林斯政，1995、唐先柏、李明賢，2002...等)。

全世界的水資源約為 13.5 億 km³，其中 96.5%為海水，2.8%為淡水，扣除冰川與冰山後，可利用的淡水少於 1%。50 年代以後，水環境污染問題日益嚴重，國內外許多學者發展各種指標監測水質，水土保持除了治山防災之外，近年來也越來越重視整治地區的環境與水質監測(林信輝，2002)。本文探討水生昆蟲科級生物指標於野溪評估水質的適用性與敏感度，並於頭汙坑溪上游做實際的調查與分析，其探討結果則期能提供有關單位與學術機構之參考。

前人研究

一、水質生物指標

環境雖然可以透過各種物理化學監測來反應其密度、濃度、酸鹼度...等情況，但生態系統卻無法僅由少數的物理化學監測數據

來表示，但有些生物由於長期演化的結果，僅能適應某些特定的環境，反而能成為象徵某種生態環境的指標，因此生物指標(biotic indicator)一直被認為是監測環境狀態的有力工具。Patrick 在 1949 年曾將用於監測水域的生物分成 7 類：1.藍綠藻和部分綠藻，一些輪蟲、2.寡毛類、螞蟥、肺螺類、3.原生動物 4.硅藻、紅藻和大部分綠藻、5.輪蟲、蜆、螺和三腸目蠕蟲、6.昆蟲與甲殼動物、7.魚類(徐希達，2001)。中國大陸環保局也在 1986 年制定水環境野外監測的技術規範，其中規定野外監測的生物群落有 5 種：1.浮游動物、2.浮游植物、3.著生生物、4.底棲動物、5.水生維管束植物(徐希達，2001)。

國內環保署環境檢驗所自 1993 年起即陸續辦理台灣河川魚類監測及魚類指標之建立(王漢泉，2002)。環保署的網頁(2003)也曾討論生物指標，指出河川中有許多可用肉眼看見的大小生物，這些水中生物對水質喜好各有不同，因此，牠們便成了判斷河水污染程度的一項重要依據。一般使用生物指標判斷河川水質，於野外採樣與實驗室進行生物鑑定，採樣與分析人員需較專業訓練。而環保署檢驗所發展之簡易生物監測，乃針對底棲生物進行採樣調查，選擇流速 30~50 m/sec，水深約 30~50 公分河床，較多礫石、鵝卵石的採樣地點為佳，徒手翻起水中石頭或用水網撈取，採到的生物以 70%之酒精保存，再以肉眼或顯微鏡觀察。一般我們依水質污染的程度，將河川水質分為四等，就是貧腐水性(Oligosaprobic)， β -中腐水性(B-mesosaprobic)， α -中腐水性(L-mesosaprobic)，強腐水性(Polysaprobic)等。所以我們將生物的名稱及數量確定後，就可以依生物的特性，判斷河川水質污染等級是屬於那一

種。並列表將相關的魚、貝及水生昆蟲等種類所代表的水質等級做整理，方便一般民眾檢索參考(表 1)。

國內學者對於水質生物指標也多有闡述，如王漢泉(2002)自民國 70 年起及辦理淡水河系等河川魚類監測工作，並長期致力於台灣河川魚類分布及水質關係之研究，將台灣河川出現之 200 餘種淡水魚篩選出 15 種河川水質魚類指標，並按魚類指標系統分成 5 個水質等級。此外，王漢泉(1999)也探討河川水質、底泥及魚貝類累積毒的關係。徐崇斌、楊平世(1997)則利用水生昆蟲監測基隆河水質；趙大衛(2000)以貝類做為監測環境的生物指標 (biological indicator)；郭鍾秀等(1992)則以矽藻、生菌數及大腸桿菌評估筏子溪水質污染狀況。

二、水生昆蟲指標

利用水生昆蟲作為指標生物進行水質監測，在北美已有 30 餘年的歷史，80 年代西方國家成功的利用蜉蝣目，毛翅目...等水生昆蟲群落特徵及各種類對於水質敏感度的不同，對於水質進行快速的評估，並形成了規範(Plafkin, et al., 1989, Morse, et al., 1994)。中國大陸在 70 年代末至 80 年代初期始開始探索利用搖蚊等水生昆蟲大型無脊椎動物的多樣性指數評估河湖的水質，90 年代初開始利用水生昆蟲進行水質評估的研究(王建國等，1999、劉保元等，1981)。國內學者在近年來也有許多相關研究(例如徐崇斌、楊平世，1997、趙仁方、林斯正、陳錦生，1998、黃國靖、楊平世，1992...等)。

表 1. 環保署之水生昆蟲指標

Table 1. The aquatic insect indicator of Environmental Protection Administration.

水體水質	未受污染	輕度污染	中度污染	嚴重污染
水蟲指標	扁蜉蝣 石蠅 長鬚石蠅 流石蠅 網蚊	雙尾小蜉蝣 縞石蠅 網石蠅 水蠶 小裳蜉蝣 石蛉	姬蜉蝣	顫蚓 紅蟲 水蟲

(一)水生昆蟲的角色

昆蟲綱中全目是水生的，包括浮游目、蜻蛉目、襉翅目、廣翅目和毛翅目；而亞目為水棲的，有半翅目中的隱角椿亞目、雙翅目中的長角亞目、鱗翅目中水棲食蟲亞目；一般這些被稱為初級侵入者。少數水生者，如在水面上活動的水蠅科、絲蠅科、潤蠅科和蠅椿科等，則稱為次級侵入者。水生昆蟲乃溪流生態系中之主要成員，在河域食物網中一直扮演著重要之角色。

水生昆蟲的食性主要有食藻性(例如長鬚石蠅科、縞石蠅科、扁泥蟲科、蚋蠅科、搖

蚊科、蜉蝣目、短尾漬翅科、白腹無尾漬翅科等)與食蟲性(例如流石蠅科、網目漬翅科、漬翅科、水蟲科、蜻蛉目、蛇蜻蛉科)兩種，這些水生昆蟲又可提供雜食性魚類、食蟲性魚類與食蟲食魚性魚類食用，因而構成河川水域的生態系統(圖 1.)。河川之底棲生物中以水生昆蟲種類和數量最多，由於水生昆蟲之存在係受長期水質之作用，故某一類群水生昆蟲之能出現在特定水質環境乃長期演化的結果。因此黃國靖、楊平世(1992)、謝森和、楊平世(1999)曾探討水生昆蟲與河川底質的關係，發現兩者是有相關的；次年(2000)則發

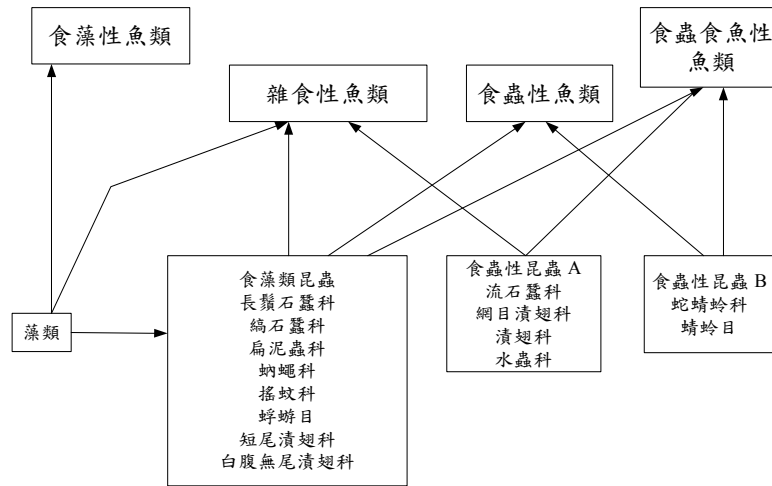


圖 1. 水生昆蟲與魚類的關係

Figure 1. The relationship between aquatic insect and fishes.

表有關七家灣溪水棲昆蟲之群聚結構及功能組成的研究;Compin 和 Céréghino(2003)則曾指出水生昆蟲的豐度對於環境的干擾甚為敏感。

(二)常用水生昆蟲指標

由於水生昆蟲個體較大，種類多，數量大，易於鑑定，耐受範圍廣，相對於魚類其活動範圍較小，對污染的逃避能力弱，加之對環境變化比較敏感等特點，其群落結構可對污染做出敏感的反應(徐希達，2001)。水質的生物監測方法很多，目前國際上常用水生昆蟲群落變化、種的類型、個體數量、動態特徵、受害程度、體內累積毒素的程度做為監測手段。北美應用較為廣泛的方法有 4 種(徐希達，2001)：

1. Shannon Weiner 多樣性指數:其值(D)

越高代表水質越好，當 D=0 為嚴重污染、D<1 為重污染、D=1~3 為中度污染、D>3 為清潔。

2. EPT 種類豐富度：即以浮蜉目(Ephemeroptera)、濼翅目(Plecoptera)

和毛翅目(Trichoptera)三種水生昆蟲種類的豐富度(簡稱 EPT)來表示水體污染程度，其評估標準則依地區而異。

3. Biotic Index 生物指標：簡稱 BI，公式為 $BI = \sum ni/ti / N$ ，其中 ni 代表第 i 種或屬的個體數，ti 為第 i 種或屬的耐受值，N 為樣本種種或屬的總個體數(Beck，1955)。BI 值越小，水質越好(表 2)。

4. Family-level biotic index 科級生物指標：為利於野外快速偵測，並減少分類上的困擾，Hilsenhoff (1988)研發出科級生物指數(Family Biotic Index, 簡稱 FBI)，將美國底棲水生昆蟲 8 目 70 餘科歸納出各科的耐污值。FBI= $\sum ni/ti / N$ 計算出科級水平生物性指數，其中 ni 代表一個科的個體數，N 代表各科個體總數，ti 代表各科耐污值。FBI 值越低表示水體越清淨，FBI 值越高則表示水體越污染(表 2)。

表 2. 生物指標與科級生物指標之水質等級
Table 2. The water quality of Biotic Index and Family-level Biotic Index.

水質(Water Quality)	Biotic Index Range	Family-level BI Range
極清潔(excellent)	0.00-3.50	0.00-3.75
非常清潔(very good)	3.51-4.50	3.76-4.25
清潔(good)	4.51-5.50	4.26-5.00
一般(fair)	5.51-6.50	5.01-5.75
輕微污染(fairly poor)	6.51-7.50	5.76-6.50
污染(poor)	7.51-8.50	6.51-7.25
嚴重污染(very poor)	8.51-10.00	7.26-10.00

(資料來源：Hilsenhoff, 1987, 1988)

(三)海峽兩岸的相關研究

國內學者徐崇斌、楊平世(1997)應用水生昆蟲評估基隆河水質，指標生物耐受力除參考 Hilsenhoff(1988)整理的內容之外，部分參考日本水淨化會的數值加以計算(表 2.)；並比較 Hilsenhoff 種級生物指標(BI)、科級生物指標(FBI)、百分比模式相似性(Percent model affinity)、豐度指標(Taxa & EPT Richness)與快速生物評估法 II、III(Rapid Bioassessment Protocol II & III)，結果發現不同指標評估方法各有優缺點，但就現階段水質監測而言，則以 Hilsenhoff 科級生物指標法較為適用。趙仁方、林斯正、陳錦生(1998)也以 Hilsenhoff 的種級生物指標(BI)和科級生物指標(FBI)的分析卑南大溪水質，調查結果顯示各採樣站的水質呈現極清潔(Excellent)或非常清潔(Very good)。

大陸學者童曉立、胡慧建、陳思源於 1995 年評估南昆山溪流水質時，也曾比較 Shannon Weiner 多樣性指數、EPT 種類豐富度、生物指標(Biotic Index)與科級生物指標(FBI)對於水質的敏感度，結果各指數也各有優缺點，但是科級生物指標的優點為簡便、快速、省力、省時、在野外現場便能完成評估工作，樣本只要鑑定至科，即使未經分類學專業訓練的工作人員也能很快掌握，因此特別適合大陸中、小河流的水質普查工作，是一個值得推廣的快速評估方法。因此童曉立也於 1995 年以專文的方式，介紹利用水生昆蟲科級生物指標評估水質的方法。以後王建国等(1999)也利用水生昆蟲評估廬山自然保護區主要水體水質；徐希達(2001)則探討多種水生昆蟲與水質的生物監測，其文章中也認為 FBI 較為適用。

表 3. 指標生物水質階級及其忍耐值(日本水淨化會)
Table 3. The water quality and pollution tolerance values for biological indicator.

水質階級	清潔水域		略污染水域	污染水域		嚴重污染水域
指標生物	澤蟹 襍翅類 河黑螺 蛇蜻蛉 卷貝類	蜉蝣類 石蠶蛾	小縞石蠶 蜻蛉類 寬板扁泥蟲 大口螺類	蜉類 水虫 左保小蜉蝣	紅虫 污水菌類	顫蚓類 翻轉螺 管尾虫
忍耐值	1	2	3	4	5	6

資料來源：黃國靖，楊平世，1992。

材料與方法

一、水生昆蟲採樣方法

水生昆蟲的採樣方法，依環保署環境檢驗所(2003)網頁上公告的「河川底棲水生昆蟲採樣方法」(82環署檢字第02198號)為基準。本方法適用於非感潮河段，或水中鹽度在1.5/1000以下之河川底棲水生昆蟲採樣

(一)設備

水生昆蟲採樣方法係以蘇伯氏定面積採集網(Surber net sampler)採取河川底棲性且肉眼可見的水生昆蟲，其大小能以30號標準篩(網孔大小為0.595mm)篩獲者。蘇伯氏採集網(如圖)，此網之大小為長寬高各50公分，網框以不銹鋼片製成，網袋近框處以帆布製成，網袋部分為24目(mesh)，每公分9條網線，網孔大小為0.595mm)之尼龍網製成。其他裝備則有尖嘴鑷子、標本瓶(50ml)、白色或淡色塑膠盤以及長統雨鞋(長度至大腿)等。

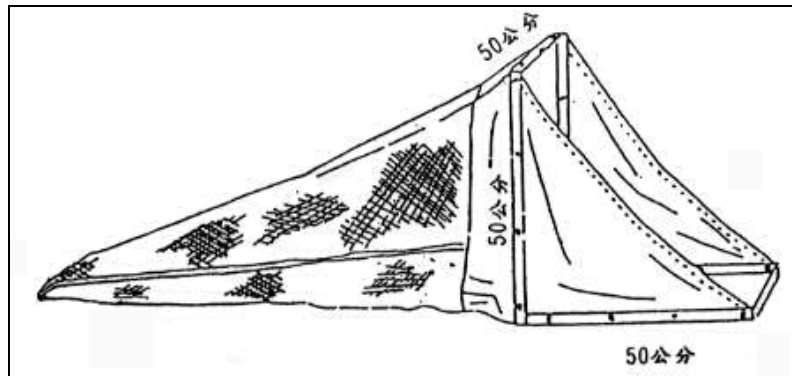


圖 2. 蘇伯氏定面積水網(環保署環境檢驗所，2003)

Figure 2. Surber net sampler.

二、樣區概述

頭汴坑溪發源於台中縣太平市的暗影山和其東側高峰天峙的山麓，溪水一路揮灑而下，匯集了附近山峰支流充沛的溪水，為烏

(二)採樣

採樣地點最好選擇河床底質為卵石、礫石之處，且水深不宜超過50公分左右。其次，在採樣站50公尺範圍內選擇岸邊及接近河中央各一點進行採集，此時採樣人員絕對勿在網框之前走動，採集時，將水生昆蟲網面對水流；兩人一組，一人固定網框，另一人將網框內之河床底質攪動，使其間之底棲昆蟲隨水流入網中。若有附著在石塊者，則用鑷子夾入標本瓶或用刷子刷入網袋。將水生昆蟲網提起至岸邊挑蟲，挑蟲時以鑷子將網上之昆蟲放入標本瓶內，或將網中網獲之物倒入白色或淡色之塑膠盤中，再仔細挑出其中之水生昆蟲放入標本瓶中。

(三)保存與鑑定

將採獲之水生昆蟲放入事先配好之70%酒精標本瓶中，標本瓶上記錄採樣時間、地點及採集者名字，帶回實驗室作進一步種類鑑定及數量計算；採集點之選擇應具代表性，經過酒精保存的樣品必須在一個月內完成鑑定及計數。

溪的支流之一，頭汴坑溪集水區面積約8,725公頃，頭汴坑溪集水區最高點為海拔1300公尺，地勢由西往東增，高程400公尺以下者約佔65%，主要分布於集水區西方；高程由

西往東漸增，所佔的面積逐漸減少，高程大於 1000 公尺只佔 0.6%。

(一)氣象概況

由頭汴坑溪集水區鄰近之氣象觀測站，氣象資料加以統計，本區年平均氣溫為 23.1℃，歷年平均月氣溫以 1 月最冷為 16.5℃，夏季 6 至 8 月為最熱，以 7 月份之 28.3℃ 為最高。年平均相對濕度以 4 月最高為 79.1%，12 月份之 73.1% 最低，歷年平均相對濕度為 76.49%。月平均蒸發量以 7 月最大為 175.43 公釐，2 月份之 91.4 公釐為最低，歷年月平均蒸發量為 133 公釐。頭汴坑集水區全年分為乾濕、兩季，年平均雨量約 1562.9 公釐，雨量多集中在 5 至 8 月約 999.8 公釐。

(二)支流概況

頭汴坑溪集水區有 15 條小支流，主要可以區分成三大支流，位於集水區北方的為北坑溪、中央則為頭汴坑溪、其南端則為東汴坑溪。頭汴坑溪集水區長度為 14.3km，集水區周長為 62.96km，河川主流長度為 25.51km，河川總長度為 64.15km，平均高程 370.46m，平均坡度 35.51%。

(三)樣區設置

本研究以頭汴坑溪集水區為調查樣區，分別於適合地點選擇長 50m 的河段設置調查站，其中北坑溪設置 6 個調查站(編號 1~6)、東汴坑設置 6 個調查站(編號 13~18)、頭汴坑溪主流則設置 8 個調查站(編號 7~12、18~20)，總計設置 20 個調查站(詳圖 3、表 4)。調查時間則由 92 年 4 月 29 日~7 月 3 日止，每個調查站採三個樣點進行調查。

(四)水質量測

在調查樣點選擇具代表性水域，使用 Cyberscan DO100 攜帶型溶氧度計量測調查

樣點溶氧含量(DO)、Cyberscan PC10 攜帶型鹼度/電導度計量測調查點之電導度、酸鹼值、水溫等變化。樣點之 COD 與濁度，則採集水樣帶回實驗室，利用 AL282、AL32 化學需氧量(COD)量測儀器，量測 COD，以及利用 2100P 攜帶型濁度計量測濁度。

結果與討論

一、水生昆蟲調查結果

頭汴坑溪水生昆蟲之調查結果如表 5，上游北坑溪支流共紀錄有 8 目 17 科，頭汴坑溪支流則紀錄有 7 目 16 科，東汴坑溪支流共紀錄有 5 目 11 科，匯流後內城橋草嶺橋樣點共紀錄有 5 目 8 科，上游支流樣點種數略多於匯流後種數。北坑溪支流中以毛翅目網石蠶科為優勢種，蜉蝣目姬蜉蝣科、四節蜉蝣科與半翅目水椿科居次；頭汴坑溪支流中以蜉蝣目姬蜉蝣科、四節蜉蝣科與毛翅目網石蠶科最具優勢，蜉蝣目扁蜉蝣科與毛翅目網石蠶科次之；東汴坑溪支流以毛翅目網石蠶科與蜉蝣目四節蜉蝣科為優勢種，蜉蝣目扁蜉蝣科與毛翅目流石蠶科數量居次；匯流後草嶺橋以蜉蝣目、姬蜉蝣科、扁蜉蝣科、毛翅目網石蠶科與鞘翅目長腳泥蟲科最具優勢，其下游的內城橋樣點以蜉蝣目姬蜉蝣科與毛翅目網石蠶科最具優勢。

二、頭汴坑溪水質概況

(一)FBI 值

頭汴坑溪多數測點的 FBI 等級均為 1-3 級，顯示溪內水質為極清潔(excellent)~非常清潔(very good)~清潔(good)之間。唯一的例外為第 10 測站位於懷恩堂下方的溪流其 FBI 值達 5.95 屬第 5 級，水質為輕微污染(fairly poor)，究其原因可能附近有聚落排水所致。

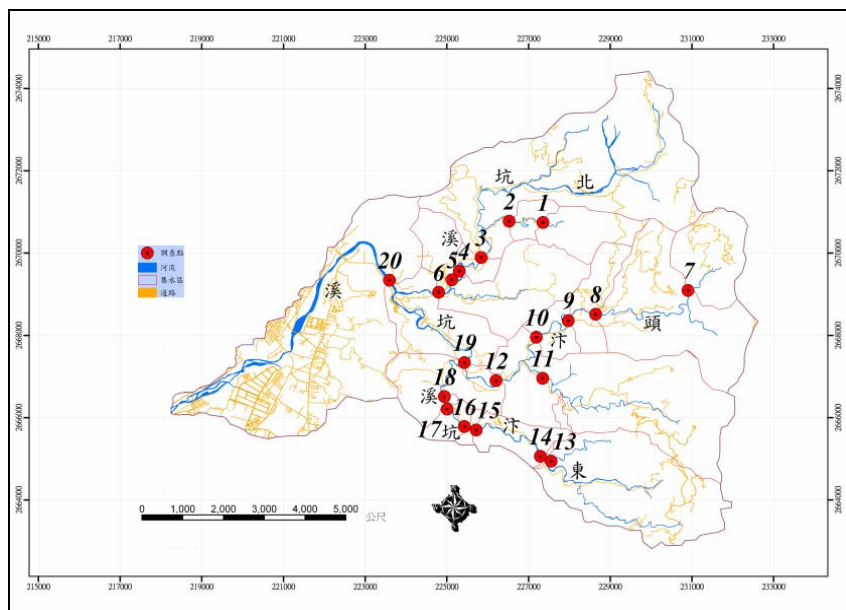


圖 3. 頭汴坑溪調查樣區位置圖

Figure 3. The location of study areas in Tou-Bian-Keng stream.

表 4. 頭汴坑溪調查地點 GPS

Table 4. The GPS of study sites.

編號	支流	位置描述	GPSX	GPSY
1	北坑溪	最上游端	227354	2670743
2	北坑溪	清泉橋	226526	2670776
3	北坑溪	漿砌石、箱籠護岸	225839	2669893
4	北坑溪	北田三號橋	225306	2669561
5	北坑溪	玄聖宮	225123	2669351
6	北坑溪	北田大橋	224801	2669048
7	頭汴坑溪	仙女瀑布過水路面	230904	2669092
8	頭汴坑溪	茅埔二號橋	228643	2668514
9	頭汴坑溪	長興橋下游	227972	2668357
10	頭汴坑溪	懷恩堂附近	227190	2667955
11	頭汴坑溪	中埔橋	227346	2666956
12	頭汴坑溪	中埔四橋(固床工下游)	226202	2666900
13	東汴坑溪	乾溪土地公廟上游	227457	2664995
14	東汴坑溪	乾溪土地公廟下游	227384	2665026
15	東汴坑溪	過水路面(上有潛壩)	225571	2665728
16	東汴坑溪	長龍路 2 段南國巷 162 號-潛壩上游	225554	2665784
17	東汴坑溪	東汴坑溪最下游處之上游	225006	2666339
18	東汴坑溪	東汴坑溪最下游處之下游(過水路面)	224993	2666434
19	頭汴坑溪	草嶺橋下游	225430	2667339
20	頭汴坑溪	內城橋	223595	2669340

北坑溪(測站 1-6)的 FBI 值在 1-2 測站其水質為第 1 級(excellent), 3-5 測站則增加為第 3 級(good), 至第 6 測站則又升為第 2 級(very good), 水質由上游往下游漸次劣化的趨勢(由測站 1 至測站 5), 其中 3-5 測站污染程度反而高於第 6 測站, 究其原因可能第 6 測站有支流補助清潔的水源所致。

東汴坑溪(測站 13-18)的 FBI 值均介於第 1-3 級之間, 顯示該支流水質極清潔(excellent)~非常清潔(very good)~清潔(good)之間, 其數值的消長應與附近是否有住家排放廢水有

關, 不過由於東汴坑溪的住家並不密集, 因此水質相當不錯。

頭汴坑溪(測站第 7-12、19、20)主流的 FBI 值則由上游的第一級水質(excellent)遞減至第 10 測站的第 5 級水質(fairly poor), 第 11、12 測站又漸升至第 1 級, 第 19、20 測站的水質又降至第 2 級(very good), 顯示以水生昆蟲的觀點而言, 水質在不同河段確實有變化消長的趨勢, 但其影響的因子, 則有待進一步深入探討。

表 5. 頭汴坑溪水生昆蟲調查結果(隻)

Table 5. The investigative result of aquatic insect in Tou-Bian-Keng Creek.

目名	科名	樣區	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
蜉蝣目	蜉蝣科		0	0	0	3	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	姬蜉蝣科		1	11	5	13	10	7	1	24	25	15	1	0	1	0	0	2	0	0	35	14
	扁蜉科		1	0	0	2	2	2	1	0	2	0	6	1	6	2	0	1	0	2	4	15
	四節蜉科		1	2	2	3	12	3	20	12	16	1	1	13	24	32	4	16	15	6	1	3
積翅目	石蠅科		3	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
毛翅目	網石蠅科		1	106	10	5	3	2	18	8	13	0	8	9	37	46	12	33	41	16	2	26
	姬石蠅科		0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	流石蠅科		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6	1	2	2	3	0	0
	隧石蠅科		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0
蜻蛉目	春蜓科		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	晏蜓科		0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
鞘翅目	長腳泥蟲科		0	0	0	0	6	7	3	3	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	4	0
	扁泥蟲		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
雙翅目	擬網蚊科		0	3	1	0	1	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	水蠅科		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	搖蚊科		0	2	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	2	0	1	2	2	2	0
	糠蚊科		0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
廣翅目	石蛉科		0	5	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
半翅目	水椿科		1	17	2	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	水黽科		0	0	0	0	0	1	0	0	6	0	0	0	0	1	2	6	7	1	11	0

(二)酸鹼值、溶氧與電導度

本次調查頭汴坑溪 20 個測站的酸鹼值, 均在 7.88~8.89 之間, 顯示水體為中性偏鹼性

的水質。一般自然水之 pH 值多為中性或略鹼性, 當 pH 值過低或過高時, 則影響生物的生長、物質的沉澱與溶解等, 由 pH 值而言, 本區的水質符合自然水的狀態; 而溶氧量除少

數測點(第 15、16、18 測站)低於 6.5mg/L,其餘測站的溶氧量均在 6.5 mg/L 以上,依環保署(2003)的公告資訊顯示,當溶氧量(DO)mg/l 在 6.5 以上,則水質屬於未稍受污染;溶氧量 4.6~6.5 則水質屬於輕度污染;溶氧量在 2.0~4.5 則水質屬於中度污染;而溶氧量在 2.0 以下則屬於嚴重污染。就上述的標準,頭汴坑溪的水質僅在第 15 測站(DO=4.37)有中度污染,而 16、18 測站(DO=5.72、5.95)為輕度污染,其餘測站則均為未稍受污染的水質,其測量分級結果與 FBI 值顯示的意義大致相似,但較為簡略,但少數測點則有不一致的現象,這顯示溶氧量雖可做為判斷水質的依據,但就水域生態而言,僅僅以溶氧量說明河川的環境狀態,顯然是不足的。電導度(E.C.)為水樣導電能力的強弱,台灣湖泊的電導度通常為 100~400u mho/cm,美國之飲用水大約為 50~1500 u mho/cm,而受到工業污染的水通常超過 1000 u mho/cm,因此電導度越高,表示污染較為嚴重,生物量會較為減少。頭汴坑溪的電導度(E.C.)的量測值在 296~655u mho/cm 之間,顯示污染情況並不嚴重,但若僅由電導度推論水質的優劣,則顯得十分粗糙。

(三)濁度與化學需氧量

濁度(turbidity)為水的混濁程度,通常是由污染水中含有漂浮及懸浮物質而引起。靜止的水體如湖泊、水澤,其水中的濁度多來自膠體粒子,而流動狀態的水,如河川,水中的濁度主要來自較大的懸浮物質。本區的濁度測值均於 0.46~41.22NTU 之間,顯示水質相當清澈,依目前國內放流水、灌溉水質及水體水質並相關於此類的標準,因此難由濁度判斷其污染程度;化學需氧量(Chemical Oxygen Demand, 簡稱 COD),為標準條件下,水樣能被氧化的物質氧化所需消耗氧化劑的量,其值可粗略表示水中有機物的含量,用以反應水體受到有機物污染的程度。依環保署的放流水標準, COD 最大限值為 100~450 mg/L,但國內飲用水、灌溉用水及

水體水質並相關的標準。頭汴坑溪測站的 20 個測站的實測位於 7~112 mg/L 之間,顯示河段受到有機物污染的程度低,若以放流水的標準而言,是不錯的水質。

三、各項測值比較

就上述調查的資料顯示,頭汴坑溪的水質除少數測站顯示有輕微的污染之外,基本上相當良好。就個別的 FBI 值、溶氧量、電導度、濁度與化學需氧量而言,大致呈現相似的意義。若以相關測值做皮爾森(Pearson)積差相關分析,則 FBI 值與濁度呈顯著正相關,亦即濁度越高時,其 FBI 值越高,而水質越差。其次,溶氧量與水溫、氣溫呈顯著負相關,即水溫越高時,溶氧量越低,這與一般對溶氧量的認識是相同的。再則電導度與水溫呈顯著正相關,水溫越高,電導度也越高,代表導電能力越強。而 COD 與酸鹼值呈顯著正相關,越鹼性的水體,其有機物污染的程度也越高。以上述的相關分析而言,有些是理論上就可理解的,有些則待進一步的查証,但就在敏感度而言,顯然 FBI 值較能做細微的區分,且較能表徵生態的意義,因此若以探測水體的水質環境而言,個人傾向建議使用 FBI 值。至於國內鑑定昆蟲的學者專家是否足夠應付這樣的工作,楊正澤(2002)曾指出,台灣約有 60 位昆蟲分類學家,個人以為這樣的人力資源應足以勝任相關工作。

結論與建議

經調查顯示頭汴坑溪上游水質,除少數測站顯示有輕微的污染之外,基本上相當良好。各項水質的測值,也顯示水生昆蟲科級生物指標(FBI)相當敏感而能較細微的顯示水質的差異,加上海峽兩岸多位學者的實際驗證與推薦,個人以為 FBI 確實是一項優異的水質監測工具。

本研究耐受值係參考 Hilsenhoff(1988)整

表 6. 調查樣站水質實測值

Table 6. The investigative data for water quality in sample stations.

測站	FBI	FBI 等級	氣溫	水溫	pH 值	溶氧量	電導度	濁度	COD
1	2.86	1	30.2	25.8	8.61	10.43	538	7.09	13
2	3.72	1	28.8	27.4	8.43	9.48	585	10.94	80
3	4.55	3	28.6	27.1	8.56	8.38	505	8.07	50
4	4.55	3	29.9	26.9	8.56	9.38	515	13.38	112
5	4.34	3	30.7	28.1	8.52	9.67	493	11.05	38
6	3.81	2	31.6	31.7	8.89	11.12	483	10.28	50
7	3.74	1	25.2	21.8	7.88	8.31	296	20.48	8
8	4.91	3	26.2	23.0	8.20	9.68	363	16.82	11
9	4.88	3	29.0	24.6	8.16	8.82	385	15.27	17
10	5.95	5	26.0	24.7	8.07	8.25	400	67.16	26
11	4.19	2	30.1	28.0	8.20	7.65	641	0.46	16
12	3.15	1	30.5	28.3	8.38	7.80	520	1.34	9
13	3.95	2	35.6	33.2	8.18	7.40	637	10.98	8
14	3.71	1	28.8	32.8	8.17	6.59	634	18.49	14
15	4.00	3	30.4	33.1	8.31	4.37	575	18.87	10
16	3.95	2	29.7	33.6	8.29	5.72	575	6.99	10
17	3.86	2	30.5	34.2	8.37	7.28	560	10.91	7
18	3.60	1	32.9	34.2	8.33	5.95	561	39.54	14
19	4.13	2	26.2	22.4	8.41	7.47	655	41.22	8
20	3.91	2	31.0	30.2	8.54	7.59	575	43.7	26

表 7. 調查樣站測值之皮爾森相關分析表

Table 7. The Pearson Correlation of investigative data in sample stations.

項目	相關分析	FBI	氣溫	水溫	酸鹼度	溶氧	電導度	濁度	COD
氣溫	Pearson	-0.4186							
	顯著性	0.0662							
水溫	Pearson	-0.3615	0.7588						
	顯著性	0.1173	0.0001***						
酸鹼度	Pearson	-0.2992	0.3750	0.2253					
	顯著性	0.2000	0.1033	0.3396					
溶氧	Pearson	0.0874	-0.1575	-0.5200	0.4298				
	顯著性	0.7141	0.5072	0.0188*	0.0586				
電導度	Pearson	-0.4183	0.5215	0.5679	0.2905	-0.4231			
	顯著性	0.0664	0.0184*	0.0090**	0.2141	0.0630			
濁度	Pearson	0.4751	-0.3108	-0.1817	-0.2304	-0.1935	-0.1362		
	顯著性	0.0343*	0.1822	0.4432	0.3283	0.4136	0.5668		
COD	Pearson	0.1846	0.0147	-0.1088	0.4874	0.4686	-0.0246	-0.1082	
	顯著性	0.4358	0.9510	0.6481	0.0293*	0.0372*	0.9179	0.6498	

理的內容之外，部分參考日本水淨化會的數值，在計算上恐怕會與本土的水生昆蟲有出入，這也是海峽兩岸學者均提出的共同建議-建立本土水生昆蟲的耐受值，期待國內的公部門能挹助經費，提供學術機構做耐受值的調查研究，則對於本土的水質生態監測，能提供準確與便利的參考。

誌謝

本研究特別感謝行政院農業委員會水土保持局補助經費，以及特有生物研究保育中心棲地組工作團隊的協助與支援，並感謝中興大學水土保持學系植生工程研究室碩士班研究生簡明正、蔡志偉、劉儀如、楊敬戎、王凱立、蕭仲昕等人協助野外調查與資料彙整。

參考文獻

1. 王元陞，鄭雅玲（1995）「以底棲動物為指標生物評估宜蘭水質的研究」 宜蘭農工學報 11，149-161。
2. 王漢泉（2002）「台灣河川水質魚類指標」 環境檢驗 40，44-46。
3. 王漢泉（1999）「頭前溪、朴子溪水質、底泥及魚貝類累積毒監測分析及研究」 環境檢驗 26，33-34。
4. 王建國、黃恢柏、楊明旭、唐振華、陳新軍、趙風霞、毛良乾、李鋒、徐勝、謝功讓（1999）「利用水生昆蟲評價廬山自然保護區主要水體水質狀況」 江西農業大學學報 21(3)363-366，中國大陸。
5. 李明儒、張俊斌、孫明德（2002）「利用鳥類評估生態工法成效之可行性探討」 水土保持研究 9(3)，66-72，中國大陸。
6. 林斯政（1995）「水生大型無脊椎動物與棲地監測」 自然保育季刊 11，6-9。
7. 林信輝（2002）「野溪自然生態工法評估指標及設計參考圖冊之建立期末報告書」 行政院農業委員會水土保持局、國立中興大學水土保持學系。
8. 林信輝、李明儒、孫明德、黃俊仁（2002）「生物整合指標(IBM)之應用探討」 水土保持學報 35(1)，81-96。
9. 唐先柏、李明賢（2002）「以生態工法指數(EEI)評估河川生態工法之設計」 第一屆自然生態工法理論與實務研討會論文集，行政院農業委員會、中華民國環境綠化協會。
10. 黃國靖、楊平世（1992）「水生昆蟲與底質環境之關係(下)」 現代漁業 5(6)，33-37。
11. 黃國靖、楊平世（1992）「水生昆蟲與底質環境之關係(中)」 現代漁業 5(5)，43-48。
12. 黃國靖、楊平世（1992）「水生昆蟲與底質環境之關係(上)」 現代漁業 5(4)，35-38。
13. 徐西達（2001）「水生昆蟲與水質的生物監測」 萊陽農學院學報 18(1)66-70。
14. 徐崇斌、楊平世（1997）「應用水生昆蟲生物指標評估基隆河水質之研究」 中華昆蟲 17(3)，152-162。
15. 童曉立（1995）「介紹一種利用水生昆蟲野外快速評價水質的方法」 昆蟲知識 32(5)306-319。
16. 童曉立、胡慧建、陳思源（1995）「利用水生昆蟲評價南昆山溪流的水質」 華南農業大學學報 16(3)6-10。
17. 楊正澤（2002）「昆蟲棲所特性與保育，九十一年度自然生態工法教育訓練研習班」 行政院農業委員會水土保持局、國立中興大學水土保持學系。
18. 楊世平（1993）「昆蟲生態調查之裝備和方法」 生物科學 36(2)，81-100。
19. 趙仁方、林斯正、陳錦生（1998）「卑南大溪水生昆蟲」 東臺灣研究，p.51-65。
20. 劉保元、王士達、王永明（1981）「利

- 用底棲無脊椎動物的群落特徵看水質生態學評價的問題」 環境科學學報 6(3)64-69, 中國大陸。
21. 謝森和、楊平世 (1999) "Colonization Patterns of Aquatic Insects on Artificial Substrates: Effects of Substrate Sizes" 中華昆蟲 19(2), 119-143。
 22. 謝森和、楊平世 (1999) "Colonization Patterns of Aquatic Insects on Artificial Substrates in a Taiwan Stream" 中華昆蟲 19(1), 27-50。
 23. Compin A, Céréghino R.(2003)"Sensitivity of aquatic insect species richness to disturbance in the Adour-Garonne stream system." Ecological Indicators 3, 135-142.
 24. Hilsenhoff, W.L. (1982) "Using biotic index to evaluate water quality in streams." Technical Bulletin No.132 Department of Natural Resources. Wisconsin. pp. 22.
 25. Morse J.C, Yang L, Tian L (1994) "Aquatic insects of China useful for monitoring water quality. " Nanjiang: Hehai University Press. pp.68-91.
 26. Plafkin J.L, Barbour M. T, Porter K.D (1989) "Protocol for use in stream and rivers : Benthic macroinvertebrates and fish." Rapid bioassessment, Report No. EPS/ 444/ 4 - 89/ 001, US, EPA. Washington DC.
 27. 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(3): 191-202.
 28. 環保署環境檢驗所 (2003) 「河川底棲水生昆蟲採樣方法」 (中華民國八十二年三月二十五日環署檢字第 02198 號), <http://www.niea.gov.tw/niea/LIVE/E80130T.htm>。
 29. 環保署 (2003) 「一般河川生物指標」 <http://www.epa.gov.tw/waterpollution/nature/河川生物指標.pdf>。
 30. 環保署 (2003) 「水質分類指標說明」 <http://www.epa.gov.tw/search/ie.html>。
 31. 環保署 (2003) 「指標生物」 <http://www.epa.gov.tw/search/ie.html>。

92年10月04日 收稿

92年11月08日 修改

92年12月16日 接受

林信輝、李明儒、張世倉、李訓煌：應用水生昆蟲科級生物指標(FBI)評估溪流水質之研究