

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

基隆河及景美溪水棲昆蟲生態及水棲甲蟲之分類研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC89 - 2313 - B - 002 - 225 -

執行期間：89年08月01日至90年07月31日

計畫主持人：楊平世

共同主持人：

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立臺灣大學 昆蟲學系

中 華 民 國 90 年 10 月 30 日

基隆河及景美溪水棲昆蟲生態及水棲甲蟲之分類研究

Aquatic Insect Ecology of the Keelung River and Ching-Mei Stream and Taxonomic Research of Water Beetles

計畫編號：NSC 89-2313-B-002-225

執行期限：89年08月01日至90年07月31日

主持人：楊平世 臺灣大學 昆蟲學系

一、中文摘要

由於在溪流生態群聚結構的研究上，涉及大量的分類群資料，經常需借助排序支術(ordination)來進行，以明確評量群聚結構在時間及空間上的變異，並探討環亂因子與物種分佈間之關係。本研究以2000年8月至2001年7月間基隆河五個採樣站，就環境因子及水棲昆蟲的調查結果，應用多維空間尺度分析方法(multi-dimensional scaling, MDS)取代以往之主成份分析(principal component analysis, PCA)，探討水棲昆蟲群聚與環境因子梯度間之關係。由單向變方分析(one-way ANOVA)之結果顯示，水棲昆蟲各群聚參數在各採樣站之間具有顯著之差異，在季節之間則無顯著差異存在，各參數間具有高的相關性；環境因子中以電導度、濁度、磷酸鹽及氨氮含量與水棲昆蟲種類數及歧異度變化具有較高的相關性行($p < 0.05$)。生物指標亦顯示自上游往下游環境明顯的劣化趨勢。由本年度的分析結果，以水棲昆蟲不同分類層級(種屬、科、目)所構成群聚結構資料，皆能展現各樣本在二維空間尺度上的分佈，而基隆河之水棲昆蟲群聚的關鍵物種，包含4目8科中的10個分類群($r=0.951$)。藉各樣站在時間序列上的變化，可以瞭解全年群聚變動情形，將再結合往年的研究資料，以做為未來在洪峰與施工影響群聚變動及恢復的基礎。水棲甲蟲分類研究方面以螢科與扁泥蟲科方面的研究為主。螢科部分目前共完成三篇論文，包含水生螢火蟲的綱要、一新種發表、台灣產 *Diaphanes* 屬、全世界 *Lamprigera* 屬及雲南扁螢(*Lamprigera yunnanana*)的分類研究，分別在不同的國外

期刊與專書中，扁泥蟲科則包含 *Microebriai* 屬的修訂及新種發表。

關鍵詞：水棲昆蟲、多維空間尺度分析、群聚結構、生物指標、螢科、扁泥蟲科、分類、新種、*Luciola*、*Diaphanes*、*Lamprigera*、*Microebria*。

Abstract

Ordination technique is always needed in community structure studies of stream ecology, which contain large amount data of taxa, in order to evaluate the temporal and spatial variations of community structures. This study present the results of aquatic insects fauna and related ecological studies conducted at 5 sampling sites in the upper Keelung River, Taiwan, from Aug., 2000 to Jul., 2001. The environmental factors and the aquatic insect composition were investigated to define the relationship between aquatic insect community structure and environmental parameters by using multi-dimensional scaling (MDS) instead of principal component analysis (PCA) ordination technique. The analysis of one-way ANOVA indicated that most of aquatic insect parameters and environmental parameters were significant affected by site, but not by season. Several environmental variables, included conductivity, turbidity, and the concentrations of phosphate and ammonia, were significantly correlated with the aquatic insect taxa richness and diversity index($p < 0.05$). Biotic indices showed that the environmental situations were significantly worsen from upstream sampling sites to downstream sites. The results also indicated that shows difference

between 2-D dimensional scaling distributions from different identification levels (genus-species level, family level, and order level) was slight evident. Ten taxa of 8 families, belonging to 4 orders, were identified to be the key species constitute the profile of aquatic insect community structures of the Keelung River. Time serial changes of aquatic insect community structures within each sampling site were also presented as a base of future researches on the effects of spates and engineering work alongside the river on the communities and their recovery progresses. As to the taxonomic study on aquatic water beetles, three papers were completed and published or submitted on foreign journals and book, which including a synopsis of aquatic fireflies with a description of a new species, revision of the Genus *Diaphanes* of Taiwan, and notes on the taxonomy of *Lamprigera yunnana* and the genus *Lamprigera*.

Keywords: Aquatic insects, Multidimensional scaling, Community structure, Biotic indices, Lampyridae, Psephenidae, Taxonomy, new species, *Luciola*, *Diaphanes*, *Lamprigera*, *Microeubria*.

二、計畫緣由及目的

基隆河長達 80 餘公里,發源於台北縣平溪鄉之菁桐村,至注入淡水河共流經台北縣市及基隆等 26 個鄉鎮區,流域面積廣達 500 平方公里。受到都會區發展不斷擴張的影響,在上游地區亦逐漸受到人口、交通、產業、自然資源開發利用及污染排放等的問題。河川環境的優劣,除了直接影響了人類對於河川的利用之外,由生態的角度而言,對於各種水生動、植物及濱水的生物的生存,亦是重要的關鍵。水棲昆蟲是溪流及湖泊等淡水水域環境中重要的初級消費者,同時也是魚類、鳥類等食物鏈高層生物的重要食物來源之一。水棲昆蟲的分佈主要受到水質與底質環境,以及昆蟲本身對於污染忍受力的影響。許多國家目前已針對水棲昆蟲的此一特性,發

展出各種藉著水棲昆蟲的群聚結構來監測河川水質或環境品質的方法。然就台灣地區而言,除了河川的理化特性之外,基隆河上游河段更受到河川整治工程的影響,基於在量化方面的困難,工程對於水棲昆蟲所造成的干擾更是難以評估。這些就以往的研究結果顯示,基隆河水棲昆蟲的分佈主要在於最上游至實踐橋之間的河段,本研究乃針對基隆河中上游河段之採樣站,進行水棲昆蟲的調查,以探討此河域水棲昆蟲的群聚組成,並藉用 Hilsenhoff 之科級生物指標與快速生物評估法,量化水質與環境品質的變化,就生物與環境參數間的關係,瞭解除了所監測的環境因子之外,水棲昆蟲受到其他未量化的環境因子的作用程度。

三、材料與方法

1. 採樣站與採樣方法

基隆河採樣計畫自上游往下分別設置自強橋、侯硐、瑞芳橋、暖江橋及實踐橋共五個採樣站,其中並以自強橋為參考站(reference site)以作為下游各樣站之評估。各個採樣站(刮弧內為採樣站距源頭距離與 GPS 之定位座標)分屬三個污染等級:未受污染水域—自強橋(0.91Km; 25°01'11"N, 120°42'51"E)、侯硐(18.11Km; 25°06'24"N, 121°49'37");中度污染水域—瑞芳橋(24.81Km; 25°06'25"N, 121°48'32"E);重度污染水域—實踐橋(47.64Km; 25°04'40"N, 121°41'32"E)。

以蘇伯氏定面積水網(Surber's Net Sampler) (50 cm × 50 cm)在上述各採樣站進行水棲昆蟲之採集;採集範圍為以採樣站為中心之五十公尺範圍內之河域,在河域中央、兩測各採集一次;調查頻度為每月採樣一次,並視各採樣站狀況於必要時得增加採樣次數。將所採獲之標本置於 70% 酒精內,攜回實驗室進行鑑定。分類鑑定主要參酌 Merritt & Cummins (1984)、川合(1985)、楊(1992)、Wiggins (1996)以分目及科的層級;並參考何及徐(1977)、楊等(1980, 1986, 1990a, 1990b)、張(1992)、康(1993)及顏(1997)之報告,鑑定至屬或種的

層級。而採獲之標本則依目、科及屬或種建立名錄。

2. 資料分析

(1) 水棲昆蟲之群聚結構

a. 分類群豐度(種類數)(Taxa richness)

即各採樣站所採獲水棲昆蟲之種類數。依據鑑定層級之不同，可分為科級、屬級與種級三等。一般而言，樣站間之比較應基於屬(或種)級之鑑定結果為主。

b. 密度

以各採樣站所採獲之水棲昆蟲總個體數，除以定面積水網之採樣面積所得之商數即是。以50cm×50cm之定面積水網為例，其採樣面積為 $0.5 \times 0.5 = 0.25$ (m²)，故其密度計算為(個體數/平方公尺)：

$$\text{密度}(D) = \text{總個體數}(N) / 0.25$$

c. 優勢種(Dominant species)比例

所謂優勢種即為各採樣中，所採獲個體數最高之種類。以優勢種之個體數除以水棲昆蟲之總個體數，計算所得之百分比即是。

d. 歧異度 (Diversity) (Hughes, 1978; Ludwig & Reynolds, 1988)

歧異度之大小受到採樣站中種類數與各種之個體數的分佈情形所決定，種類數多、各種個體數分佈愈均勻，其歧異度值亦愈大，顯示群聚結構愈穩定。歧異度之計算主要依據種和屬級的鑑定結果，以 Shannon's diversity index 為例， n_i 代表採樣站中第 i 種所採獲的個體數， N 代表該樣站所採樣之水棲昆蟲總個體數，則

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

e. 均勻度 (Evenness) (Ludwig & Reynolds, 1988)

均勻度代表各採樣中，樣本中水棲昆蟲數量在各個分類群中分佈的均勻程度。其計算方式以 Pielou evenness index 為例：

$$\text{Pielou evenness index: } J' = H' / \ln(S)$$

其中 S 表示採樣站所採獲之水棲昆蟲的種類數。

f. EPT Index：蜉蝣目(Ephemeroptera, E)、積翅目(Plecoptera, P)及毛翅目(Trichoptera, T)三目的種類數之和。

g. EPT 豐度(EPT abundance)：指蜉蝣目(E)、積翅目(P)及毛翅目(T)三目的個體數之和。

h. 搖蚊科豐度(Chironomidae abundance)：搖蚊科之個體數。

i. EPT 三目與搖蚊科個體數之比(ratio of EPT and Chironomid Abundances)：蜉蝣目(E)、積翅目(P)及毛翅目(T)三目與搖蚊科(Chironomidae)之相對豐度(Abundance)。

(2) 環境參數分析

a. 水溫 (temperature)：Delta OHM HD8705 Microprocessor Multiuse pH/mv/ Meter; US PAT 5373346 StowAway XTI Internal / External Temperature Logger。

b. 酸鹼度(pH)：Delta OHM HD8705 Microprocessor Multiuse pH/mv/ Meter; AQUA Micro pH-Pen。

d. 溶氧(dissolved oxygen)：PINPOINT™, American Marine Inc., Dissolved Oxygen Meter

e. 總懸浮顆粒(total dissolved solid) / 導電度(conductivity)：HANNA HI9635 Portable Waterproof Multi-Range Conductivity / TDS Meter。

f. 濁度(buridity)：HANNA HI93703 Microprocessor Turbidity Meter。

h. 硬度(hardness)：HANNA, HI3811, HI3812, HI3815, HI3822, HI3834 泛用水質測定組。

i. 氨氮含量(amonia)：HANNA HI93700 Microprocessor Amonia Meter。

j. 磷酸鹽(phosphate)：HANNA HI93713 Microprocessor Phospate Meter。

(3) 水質評估法

a. 科級生物指標 (Family-level Biotic Index, FBI)：

Hilsenhoff (1988)之科級生物指標 (FBI) 與 Hilsenhoff 生物指標 (Hilsenhoff's Biotic Index, BI) 一樣，主要用於評估水質之有機污染 (Hilsenhoff 1982, 1987)。

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

其中 a_i : 第 i 科水棲昆蟲之污染忍受值
 n_i : 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
此兩種生物指標皆將水質依據
指標值劃分為七個水質等級, 指標值
與相對之水質等級如附錄 1。

b. 快速生物評估法 III (Rapid Bioassessment Protocol III, RBP III):

Plafkin *et al.*(1989)所提之快速生物評估法 III (RBP III), 是設置一參考站, 並利用七項指標評估河川之損害程度。茲將此七項指標分別說明如下:

- Taxa Richness: 分類群豐度, 在採樣站所採獲之生物的種類數。
- Hilsenhoff Biotic Index: 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。
- Ratio of Scrapers/Fil. Collectors: 樣本中刮食者(Scraper)與濾食性採食者(Filtering Collector)個體數之比例。
- Ratio of EPT and Chironomid Abundances: 蜉蝣目(Ephemeroptera, E)、干翅目(Plecoptera, P)及毛翅目(Trichoptera, T)三目與搖蚊科(Chironomidae)之相對豐度(Abundance)。
- % Contribution of Dominant Taxon: 優勢種所佔的百分比。
- EPT Index: 蜉蝣目(E)、干翅目(P)及毛翅目(T)三目水棲昆蟲的種類數之和。
- Community Loss Index: 群聚失落指數, 其計算公式如下:

$$\text{Community Loss} = (d - a) / e$$

其中 d : 在參考站所採獲之全部種類數
 a : 在參考站與採樣站皆採獲之種類數

e : 在採樣站所採獲之全部種類數
快速生物評估法 III 各項指標之權重皆相等, 其給分方式與水質等級、相對指標值如附錄 2 及附錄 3。

各項水棲昆蟲群聚參數及環境參數, 以 Pearson 相關係數計算相關性;

各參數在季節及採樣站間之變異, 則以單向變方分析 (one-way ANOVA) 進行; 並應用多維空間尺度 (multi-dimensional scaling, MDS) 的排序技術 (ordination), 探討水棲昆蟲群聚與環境因子梯度間之關係。在分析之前並進行資料的轉換, 水棲昆蟲密度與豐度的資料以 $\log(x+1)$ 轉換; 百分比資料則以開根號取反正弦函數 ($\arcsin(p/2)$) 轉換 (Kleinbaum *et al.*, 1998; Zar, 1998)。單向變方分析方法是以 SAS 程式進行(Hatcher, 1994), 多維空間尺度分析則以 PRIMER v5 套裝程式分析(Clark & Warwick, 1994; Clarke & Gorley, 2001)。

四、結果

(一)水棲昆蟲生態

1.水棲昆蟲組成

計劃執行自 2000 年 8 月至 2001 年 7 月所得結果計有 40 科 61 種, 與 1996 年 2 月以來之調查結果, 總計基隆河所採獲之水棲昆蟲總類數達到 9 目 46 科 75 種(表 1)。在這些分類群中尚有許多包含兩個以上的物種, 而難以幼蟲鑑定至種的層級, 如姬蜉科之 *Caenis* sp.、四節蜉科之 *Baetis* sp.、長鬚石蠶科之 *Stenopsyche* sp.、網石蠶科之 *Hydropsyche* sp.、流石蠶科之 *Rhyacophila* sp.及蚋科之 *Simulium* sp.等, 另搖蚊科之各亞科亦可發現多種不同的型存在, 總類數估計在 10 種以上, 因為整個基隆河之調查河段, 水棲昆蟲之總類數估計至少在 90 種以上。

各採樣站之生物參數如表 2 及圖 1 所示。每次採樣水棲昆蟲平均種類數是以自強橋為最高(25.4 種), 而往下游逐漸遞減, 至暖江橋所採獲種類數為最低(6.0 種), 在實踐橋平均為 9.4 種; 第 1、2 及 3 站與第 4、5 站有顯著之差異($p < 0.05$)。水棲昆蟲平均密度則以自強橋為最高(1873.5 隻/平方公尺), 瑞芳橋次之(1758.3 隻/平方公尺), 以暖江橋為最低(113.3 隻/平方公尺), 第 1、2、3 站之密度顯著高於第 4 站($p < 0.05$)。在歧異度值之變化而言, 以自強橋為最高(1.86), 與瑞芳橋(1.39)有

顯著差異，最低為實驗橋(0.89)，與其他各站有顯著差異($p < 0.05$)。在均勻度方面各站的差異不大，以暖江橋為最高(0.74)，與第 2、3 站之間具有顯著之差異($p < 0.05$) (表 2)。

生物參數間之相關性如表 3 所示。顯示除優勢種比例外，各項水棲昆蟲參數之間多具有顯著之相關性($p < 0.05$)。

2. 各站環境參數

採樣期間各站環境因子的變化如表 4 及圖 2 所示。各項參數中，水溫、酸鹼值在各採樣站間沒有顯著之差異($p > 0.05$)。溶氧在下游採樣站較低，第 5 站與第 1、2 站有顯差異；電導度以實踐橋為最高，與其他上游各站呈現顯著之差異，以自強橋為最低，與暖江橋、實踐橋有顯著差異($p < 0.05$)；濁度亦以實踐橋為最高，與其他各站有顯著差異；磷酸鹽則以實踐橋與暖江橋顯著高於上游三個樣站；氨氮與鹼度在實踐橋皆明顯高與其他各採樣站；硬度亦以實踐橋最高，與自強橋、瑞芳橋及暖江橋三站間有顯著差異。

環境參數間之相關性如表 5 所示。其中酸鹼值與其他各參數之間沒有顯著之相關性，電導度值與其他參數皆有顯著之相關性高($p < 0.05$)。

3. 生物參數與環境參數之相關性

表 6 為基隆河所得水棲昆蟲參數與各項環境因子之相關性。由本年度所得的結果，僅水棲昆蟲的分類群豐度及歧異度與環境因子有較高的相關性，而密度及均勻度的變化則無。在環境因子中，與水棲昆蟲參數變化相關者，包括電導度、濁度、磷酸鹽、氨氮等參數($p < 0.001$)。

4. 時間與空間上之變異

以本年度所測得之各項生物與環境因子，以單向變方分析(one-way ANOVA)探討這些因子在時間(季節)及空間(採樣站)之間的變異，結果如表 7 所示。季節之劃分乃參考所測得之溫度，3-5 月為春季，6-8 月為夏季，9-11 月為秋季，12-2 月為冬季。

在空間的變化上，水棲昆蟲的參數與組成而言，除了均勻度、優勢種比例及碎食者、濾食性採食者組成比例之外，在採樣站之間均呈現顯著之差異($p < 0.05$)；兩項生物指標也顯示在採樣站間有顯著差異($p < 0.001$)。而所測得之環境因子在採樣站間呈現顯著差異的，則包括了溶氧、電導度、濁度、磷酸鹽、氨氮及鹼度等($p < 0.05$)。各項參數在採樣站間的變化可參見表 2 及表 4。

在季節的變化方面，由今年所採得的結果顯示水棲昆蟲在季節上的變化均不顯著($p > 0.05$)；環境因子在季節的變化上，則有水溫、酸鹼值、電導度、鹼度及硬度等項目有顯著之差異($p < 0.05$) (表 7)。水溫在夏秋兩季明顯高於春冬兩季；酸鹼值在夏季顯著高於冬春季；電導度亦以夏秋兩季高於春冬季；鹼度亦以夏秋季高於冬春季；硬度則以秋季高於夏及春季。

5. 多維空間尺度分析

以 PRIMER 套裝程式進行多維空間尺度分析基隆河各樣站的水棲昆蟲群聚結構，各空間向量之特徵值如表 8 所示。所得結果分以下各項說明：

a. 各樣站在二維空間尺度(2D-dimensional scaling)上之分佈

由各月份樣本顯示水棲昆蟲群聚，在二維空間分佈圖如圖 3 所示。除了自強橋在五月份的樣本之外，其餘各樣本可分為二大類群，第一群包含了所有第 1 站的樣本及部分 2、3 站的樣本，第二群則以第 4、5 站及其餘 2、3 站的樣本。以聚類分析方法(cluster method)可以看出各樣本間水棲昆蟲群聚結構的相似性，其樹狀圖(dendrogram)如圖 4 所示。

b. 分類層級的差異

利用水棲昆蟲不同的分類層級，可探討在鑑定層級對於分析結果造成的影響。將原始資料將水棲昆蟲以科級及目錄資料表示，並同樣以二維空間尺度方法來表示，所得結果如圖 5。與圖 3 所得之種級與屬級的結果相較，自強橋五月份的樣本

仍舊位於大部分群聚類型之外，其餘樣本仍分為兩大類群，而此分隔在目級的二維空間圖上更為明顯(圖 5)。

c. 基隆河水棲昆蟲群聚的關鍵物種

由本年度採獲之 61 種水棲昆蟲所組成之群聚結構，以 PRIMER 中之 BVSTEP 程式分析不同之種類之水棲昆蟲組合分析並與原始資料所產生之二維空間分佈比較，考慮由相關係數在 0.95 以上，包含的分類群較少的組合中，其中一種組合為由 10 種水棲昆蟲所組成具有最高的相關性($r=0.951$)，而其之二維空間分佈圖如圖 6。此 10 種水棲昆蟲分別標示於表 1 中，顯示其為影響基隆河的水棲昆蟲群聚分佈主要的關鍵物種。

d. 環境因子的影響

以水棲昆蟲二維空間尺度分佈，利用 BIO-EN 程式連結各環境參數在各樣本上的作用，選擇電導度、濁度、磷酸鹽及氮含量，在二維空間分佈圖上以氣泡圖表示如圖 7 所示，氣泡的相對大小表示其在該樣本的相對量，由圖可看出在電導度與濁度方面在實踐橋皆有較高的參數值，而在磷酸鹽及氮含量，除了實踐橋之外，在瑞芳橋亦具有較大的數值。

e. 時間序列變化

依採樣時間將各樣站水棲昆蟲群聚結構的改變，以圖 8 表示。自強橋樣站水棲昆群聚結構除了在五月份的樣本之外，其各站的群聚組成相當接近，因此將五月份以外的樣本再重新分析作圖如圖 8-b 所示。其餘各站群聚結構在二維空間分佈圖上的變化，皆呈現一週期性的改變(圖 8)。

(二)水棲甲蟲分類研究

水棲甲蟲的分類研究，主要是在螢科(Lampyridae)及扁泥蟲科(Psephenidae)方面。螢科部份在本年度已完成三篇論文報告，包含已發表 15 種水生螢火蟲中 6 個種幼生期的確定，*Luciola* 屬一新種(*L. hydrophila* n.sp.)發表，並藉其外部形態推論其在演化上可能之變化順序(Jeng *et al.*,

in submitting);台灣產 *Diaphanes* 屬的修訂(Jeng *et al.*, 2001);以及全世界 *Lamprigera* 屬與雲南扁螢(*Lamprigera yunnana*)的分類研究(Jeng *et al.*, 2000)。在扁泥蟲科亦針對 *Microeubria* 屬作了修訂及新種發表(Lee & Yang, 2001)，並有部份研究論文在投稿中。

五、討論

就各採樣站所採獲的水棲昆蟲種類數數言，估計在整個採樣的河段之中水棲昆蟲的種類數應在 90 種以上，各種類的分佈與以往之紀錄相同(行政院環保署，1997，1998，1999)。本年度僅增加一科的種類，即鞘翅目隱翅蟲科(Staphylinidae)，部分種類因多在於河岸濱水地區活動，在部分樣本中偶會有檢視到的紀錄。由於許多科水棲昆蟲幼蟲在臺灣並無分類上之分類的研究資料，此乃由於致力於分類研究人力的不足，在台灣的水棲昆蟲生態研究上仍是一個問題。部分生態學者就所需的分類層級亦仍有所爭議(Hilsenhoff, 1988; Lenat and Barbour, 1994; Thompson & Townsend, 2000)。

由整個的採樣結果可看出自強橋與侯硐兩個採樣站為水棲昆蟲種類數最高的採樣站，此結果與以往的成果皆相同，唯本年度在自強橋五月份的樣本與其他各月份有顯著的差別，而在自強橋河段底質多為大型石板所組成，在採樣時受到極大的限制，一旦由於外力的作用下，如洪水或施工產生對此有限的水棲昆蟲棲地造成干擾，即可能對該樣站的採樣造成很大的影響。然就整體而言，自強橋至侯硐河段仍為基隆河流域主要的水棲昆蟲分佈區域。

本次的研究結果以多維空間尺度分析方法(multi-dimensional scaling, MDS)，取代往年利用主成份分析法(principal component analysis, PCA)，主要基於考慮主成份分析的兩項重要的缺點，一是在界定不相似性(dissimilarity)上缺乏彈性，二是保存樣本的距離特性較差(Clarke & Warwick, 1994)。即是在利用主成份分析的二維向量來表達各樣本在空間分佈的關係上，會比多維空間尺度的分佈圖產生較大

的變形。由今年的採樣結果來看，基隆河的水棲昆蟲在自強橋與暖江至實踐橋間是明顯不同的兩種群聚結構，而侯硐至瑞芳橋河段則屬於中間的分佈結構，介於前述的兩者之間(圖 3)。由聚類分析所得之樹狀圖亦可以看出這一趨勢(圖 4)。

分類鑑定層級在生態群聚上的影響亦可由多維空間分佈圖看出，在以種(屬)級的分類資料，以匯聚成科級與目級資料(aggregation)，再以多維空間尺度分析方法所得之二維分佈圖，顯示在分類上雖有鑑定層級上的差異，但在各樣本之分佈圖上，卻有著極大的相似性(圖 3、5)。表示就基隆河生態群聚分析而言，水棲昆蟲在不同層級的鑑定上，對於分析結果並無太大的影響，即使完成目錄的鑑定仍可以得到各樣站群聚結構的輪廓，此結果對於非專業研究單位在進行相關的主題的研究時，能夠藉較高分類層級，得到可靠的研究成果，尤其在推廣教育上更具有較大的應用價值。

在全部 61 種水棲昆蟲中，由原始資料可以發現部分種類全年僅有少數個體被採獲，部分種類在各樣站廣泛分佈，而有些則僅為侷限分佈，而自程式篩選出來 10 個重要的分類群(表 1)，由此 10 個分類群所構成各樣本在二維空間的分佈圖(圖 6)，與原本 61 個分類群的分個圖相關係數達 0.951，表示這些樣站在二維空間上的分佈，主要取決定此 10 個分類群，包括蜉蝣目扁蜉科、姬蜉科、四節蜉科，毛翅目指石蛾科、囊翅石蛾科，蜻蛉目的幽蟴科，雙翅目搖蚊科等共 8 個科。這些種類為基隆河中重要的優勢種類，也涵蓋了各類的食性，由這些物種的相對豐度足以代表各樣站的群聚結構。在其他的組合中也能表現出與原始的群聚結構高度相關的二維分佈圖，唯所需涵蓋的分類群較多，而相關係數亦不高於前述 10 個分類群之組合。

在水棲昆蟲群聚與所測量的環境因子中，在電導度、濁度、磷酸鹽及氨氮含量的變化與水棲昆蟲具有較高的相關性(表 6)，而這幾項因子在各樣本的影響力可由圖 7 看出，電導度值在自強橋為最低，自

侯硐至實踐橋則具有較大的電導度值，濁度則以實踐橋為最高，磷酸鹽主要自瑞芳橋至實踐橋樣站，氨氮則以瑞芳橋與實踐橋具有較高的含量。而這些環境參數對於整體群聚變化的解釋能力並不足夠，顯示有重要的參數未被包含於研究之中。但若再以各分類群在樣站分佈，可以再瞭解各分類群會受到這些環境因子的影響，唯此部分需就各分類群分別繪圖及做更細部之分析，故將在初步分析完成後，再另行整理與分析。

由於多數水棲昆蟲並非整個世代皆於水中完成，成蟲羽化後多數會飛離水中完成交尾後，卵及幼蟲再回到水中生活，而這樣的生活週期會配合四季的變化來完成，因此即使在同一個不受到任何人為干擾與破壞的樣站中，不同的時期水棲昆蟲的群聚結構亦會有不同的變化，通常以一年為一週期性之循環。在以各樣站時間序列上的水棲昆蟲群聚變化而言，若能夠得知其整年的週期變化，則在當受到外力而造成昆蟲群聚結構改變時，便可得知其影響的大小及水棲昆蟲恢復所需的時間。在圖 8 中分別代表第 1-5 站的水棲昆蟲群聚在時間序列上的變化，唯由於本年度有部分樣站及月份受到大雨及施工工程的影響，無法完成所有的採樣作業，特別是在暖江橋及實踐橋，就目前所得的結果已可以看到各樣站在時間序列上的變化情形，在二維空間的分佈圖上，除了自強橋及暖江橋外，皆呈現一個順時間的變化，但在缺少背景的對照下，尚未能肯定此是否為其自然的群聚變動，或評估各項外力作用下群聚結構的恢復能力，因此我們將再彙整歷年的資料加入分析，期能獲得各樣站的自然群聚變動，並作為未來在評估洪峰影響及施工效益上的基礎。

六、計畫成果自評

本年度除了利用以往的分析方法，對於基本的水棲昆蟲群聚參數的分析外，並採取新的分析技術，就所得的資料，做更有詳盡的分析，以期能對基隆河之水棲昆蟲生態有進一步的瞭解與認識。就本年度的採樣結果分析，基隆河上游仍為水棲昆

蟲資源最為豐富的河段，但若與去年所的成果對照，可以發現在種類數上已有呈現減少的趨勢，由於部分分析方法的不同，在本結果中並未就兩年間的結果作一比較。就目前的採樣方式而言，對某些特殊的棲地並無法完整的採獲，而可能需借助其他的採樣方式才能夠廣泛而詳盡的調查到所有的水棲昆蟲種類，然而這些方法亦受到研究人力的限制。而由所測的環境參數來探討水棲昆蟲的群聚結構而言，對於水棲昆蟲群聚的變異仍有大半無法解釋，而這些即可能是受到未度量的環境因子，如流量、底質變化，以及更重要的樣站內各項工程的影響所致。這些環境因子部分是受限於專業的技術與儀器的限制，若能以整合各領域的學者共同研究，將有助於更清楚瞭解水棲昆蟲與環境間之交互關係。由本年度的結果分析可以獲致許多以往未能確定的推論，一為找出基隆河重要的關鍵物種，包含了 8 個科中之 10 個分類群；同時就不同的鑑定層級，在科級與目級能夠得到與屬(種)級相似的二維空間聚群分佈。而時間序列的分析則是要找到基隆河之水棲昆蟲群聚結構的自然變動，期以結合以往數年在基隆河的研究成果，加入分析之中，作為一個背景的基礎，在未來陸續的工作重點中，評估洪峰的影響及河道上的施工效益，能夠獲得更清晰的結果。水棲昆蟲的分類為所有相關生態研究的基礎，在物種分類地位的確定，物種的生態方能有更清晰的輪廓，故唯有持續分類研究工作，生態的研究方能做更深入細部的探討。

七、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。
何鎧光、徐世傑，1977。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。
行政院環保署，1996。淡水河底泥及生物相監測：基隆河之監測 PA-85-G03-03-20，中國生物學會。
行政院環保署，1997。淡水河下游生物相併聚之動態稠查

PA-86-G106-09-14、淡水河污染整治對生態影響之研究 EPA-86-E3GI-09-13、基隆河污染源與底棲生物採樣分析調查 EPA-86-G103-03-20 聯合期中報告，中央研究院動物研究所。

行政院環保署，1998。淡水河污染整治對生物相群聚動態影響之研究 EPA-87-G106-03-05，中央研究院動物研究所。

津田松苗，1956。Saprobien system 表，淡水生物，4: 1-9。

津田松苗，1974。污水生物學。日本北隆館，268 頁。

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：細蜉總科)，國立中興大學昆蟲學研究所碩士論文，111 頁。

黃國靖，1994。景美溪水棲昆蟲生態及生物指標研究。國立台灣大學植物病蟲害研究所博士論文，150 頁。

楊平世，1992。水棲昆蟲生態入門，台灣省教育廳發行，152 頁。

楊平世、洪正中、何鎧光，1980。淡水河流域蜉蝣目稚蟲之初步研究，台大植病學刊，7: 79-78。

楊平世、林曜松、黃國靖、梁世雄、謝森和、曾晴賢，1986。武陵農場流域之水棲昆蟲相和生態調查，農委會 75 年生態研究第 001 號，32 頁。

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.水棲昆蟲相及其相關生態，中華昆蟲，10: 209-224。

楊平世、謝森和、黃國靖，1990b。北勢溪之水棲昆蟲資源及生態研究 II.水文因子及水棲昆蟲之群聚結構，中華昆蟲，10: 249-269。

顏聖紘，1997。水螟亞科與凹翅螟亞科(鱗翅目：螟蛾科)主要支系之系統發育分析以及臺灣產種類之分類檢討。國立中山大學生命科學研究所碩士論

- 文, 486 頁。
- Clarke, K. R., and R. M. Warwick. 1994. Changes in Marine Communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, 144 pp.
- Clarke, K. R., and R. N. Gorley. 2001. PRIMER v5: User Manual/Tutorial. PRIMER-E Ltd., Plymouth, 91 pp.
- Hilsenhoff, W. L. 1982. Using a biotic index to evaluate water quality in streams. Technical Bulletin No. 132, Dept. Natural Resources, Madison, Wisconsin, 23 pp.
- Hilsenhoff, W. L. 1987. An improved biotic index of organic stream pollution. The Great Lakes Entomol. 20: 31-39.
- Hilsenhoff, W. L. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. J. N. 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.
- Hynes, H. B. N. 1970. The ecology of stream insects. Annu. Rev. Entomol. 15: 25-42.
- Jeng, M. L., J. Lai, P. S. Yang, and M. Satô. 2000. Notes on the taxonomy of *Lamprigera yunnana* (Fairmaire) and the genus *Lamprigera* Motschulsky (Coleoptera: Lampyridae). Jpn. J syst. Entomol. 6: 313-319.
- Jeng, M. L., J. Lai, P. S. Yang, and M. Satô. 2001. Revision of the Genus *Diaphanes* Motschulsky (Coleoptera: Lampyridae: Lampyrinae) of Taiwan. Jpn. J syst. Entomol. 7 (in press).
- Jeng, M. L., J. Lai, and P. S. Yang. Lampyridae: A synopsis of aquatic fireflies with a description of a new species (Coleoptera). In: M.A. Jäch & L. Ji (eds): Water Beetles of China Vol. III. (in submitting).
- Lee, C. F., and P.S. Yang. 2001. Notes on the larva of the genus *Microeubra* Lee and Yang, with description of a new species from Borneo. Coleopt. Bull. 55: 7 pp.
- Liebmann, H. 1962. Handbuch der frischwasser-und abwasser-biologie. R. Oldenbourg. Munchen, 503 pp.
- Ludwig, J. A. and J. F. Reynolds. 1988. Statistical ecology. John Wiley & Sons, New York, 337 pp.
- Merritt, R. W. and K. W. Cummins. 1984. An introduction to the aquatic insects of North American (2nd. ed.). Kendall and Hunt. Publ. Co. Iowa, USA, 722 pp.
- Plafkin, J. L., M.T. Barbour, K. D. Porter, S. K. Gross and R. M. Hughes. 1989. Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: benthic macroinvertebrates and fish. EPA/444/4-89-001. United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- Thompson, R. M., and C. R. Townsend. 2000. Is resolution the solution?: the effect of taxonomic resolution on the calculated properties of three stream food webs. Freshw. Biol. 44: 413-422.
- Wiggins, G. B. 1996. Larvae of the North American caddisfly genera. 2nd. Univ. Toronto Press, Toronto, 457 pp.
- Zar, J. H. 1998. Chapter 13. Data transformations. pp. 177-184. in: Biostatistical Analysis. 3rd ed. Prentice Hall, New Jersey.

表 1 基隆河各採樣站所採獲之水棲昆蟲名錄及各分類群之縮寫

| TAXA | Common name | Abbr. | TAXA | Common name | Abbr. |
|--|-------------|-------|-----------------------------|-------------|-------|
| EPHEMEROPTERA 蜉蝣目 | 蜉蝣 | Eph | TRICHOPTERA 毛翅目 | 石蠶蛾 | Tri |
| Heptageniidae 扁蜉科 | 扁蜉 | Hepta | Stenopsychidae 角石蛾科 | 角石蛾 | Steno |
| * ^(a) <u>Afronurus</u> sp. ^(b) | | | * <i>Stenopsyche</i> sp. | | |
| * <i>Epeorus erratus</i> | | | Hydropsychidae 網石蛾科 | 網石蛾 | Hydro |
| <i>Nixe (Nixe)</i> sp. | | | * <i>Cheumatopsyche</i> sp. | | |
| Leptophlebiidae 褐蜉科 | 褐蜉 | Lepph | * <i>Hydropsyche</i> sp. | | |
| * <i>Choroterpes</i> sp. | | | Philopotamidae 指石蛾科 | 指石蛾 | Philo |
| * <u>Habrophlebiodes prominens</u> | | | * <u>Chimarra</u> sp. | | |
| * <i>Thraulius</i> sp. | | | Hydrobiosidae 囊翅石蛾科 | | Hydbi |
| Ephemeridae 蜉蝣科 | 蜉蝣 | Ephem | * <u>Apsilochorema</u> sp. | | |
| * <i>Ephemeriformosana</i> | | | Rhyacophilidae 流石蛾科 | 流石蛾 | Rhyac |
| Ephemerellidae 小蜉科 | 小蜉 | Ephml | * <i>Rhyacophila</i> sp. | | |
| * <i>Ephemerella</i> sp. | | | Leptoceridae 長角石蛾科 | 長角石蛾 | Lepce |
| * <i>Torleya glareosa</i> | | | * <i>Ceraclea</i> sp. | | |
| Caenidae 姬蜉科 | 姬蜉 | Caeni | <i>Mystacides</i> sp. | | |
| * <u>Caenis</u> sp. | | | Goeridae 瘤石蛾科 | 瘤石蛾 | Goeri |
| Baetidae 四節蜉科 | 四節蜉 | Baeti | * <i>Goera</i> sp. | | |
| * <u>Baetis</u> sp. | | | Brachycentridae 短尾石蛾科 | 短尾石蛾 | Brach |
| * <u>Baetiella bispinosa</u> | | | * <i>Micrasema</i> sp. | | |
| * <i>Pseudocloeon</i> sp. | | | Hydroptilidae 姬石蛾科 | 姬石蛾 | Hydpt |
| * <i>Cloeon</i> sp. | | | * <i>Hydroptila</i> sp. | | |
| | | | *Ecnomidae 長角石蛾科 | 長角石蛾 | Ecnom |
| ODONATA 蜻蛉目 | 蜻蜓; 豆娘 | Odo | | | |
| Euphaeidae 幽蟴科 | 幽蟴 | Eupha | PLECOPTERA 積翅目 | 石蠅 | Ple |
| * <u>Euphaea formosa</u> | 短腹幽蟴 | | Nemouridae 短尾石蠅科 | 短尾石蠅 | Nemou |
| Gomphidae 春蜓科 | 春蜓 | Gomph | * <i>Amphinemura</i> sp. | | |
| * <i>Stylogomphus shirozui</i> | 台灣尖尾春蜓 | | * <i>Nemoura</i> sp. | | |
| * <i>Onychogomphus formosanus</i> | 台灣勾尾春蜓 | | * <i>Protonemura</i> sp. | | |
| * <i>Heliogomphus retroflexus</i> | 連氏曲尾春蜓 | | Perlidae 石蠅科 | 石蠅 | Perli |
| <i>Sieboldius deflexus</i> | 台灣巨型春蜓 | | * <i>Neoperla</i> sp. | | |
| | | | *Leuctridae 卷石蠅科 | 卷石蠅 | Leuct |

(續表 1)

| TAXA | Common name | Abbr. | TAXA | Common name | Abbr. |
|----------------------------------|-------------|-------|---------------------------------|-------------|-------|
| ODONATA 蜻蛉目 | | | COLEOPTERA 鞘翅目 | 甲蟲 | Col |
| Libellulidae 蜻蜓科 | | Libel | Psephenidae 扁泥蟲科 | 扁泥蟲; 水錢 | Pseph |
| * <i>Zygonyx takasago</i> | 高砂蜻蜓 | | * <i>Psephenoides</i> sp. | 軟鞘扁泥蟲屬 | |
| <i>Orthetrum</i> sp. | | | * <i>Eubrianax</i> sp. | 四鰓扁泥蟲屬 | |
| Cordulegasteridae 勾蜓科 | 勾蜓; 鬼蜓 | Cordu | <i>Mataeopsephus</i> sp. | 扁泥蟲屬 | |
| <i>Chlorogomophus risi</i> | 南方勾蜓 | | <i>Ectopria</i> sp. | 鋸扁泥蟲屬 | |
| Calopterygidae 色蟴科 | | Calop | Elmidae 長腳泥甲科 | 長腳泥甲蟲 | Elmid |
| <i>Matrona basalis basalis</i> | 白痣珈蟴 | | * <i>Stenelmis formosana</i> | 蓬萊曲脛泥蟲 | |
| | | | * <i>Stenelmis wongi</i> | 方胸曲脛泥蟲 | |
| DIPTERA 雙翅目 | 蚊; 蠅; 虻; 蚋 | Dip | * <i>Grouvellinus</i> sp. | | |
| Chironomidae 搖蚊科 | 搖蚊 | Chiro | * <i>Zaitzevia</i> sp. | 細身泥蟲屬 | |
| *Chironomini | 紅搖蚊 | Chir | Dryopidae 泥蟲科 | | Dryop |
| *Orthoclaadiinae | | Orth | * <i>Elmomorphus</i> sp. | | |
| *Tanytarsini | | Ttar | *Hydrophilidae 牙蟲科 | 牙蟲 | Hydph |
| *Tanypodinae | | Tpod | <i>Pelthydrus</i> sp. | | |
| Simuliidae 蚋科 | 蚋 | Simul | <i>Agraphydrus</i> sp. | | |
| * <i>Simulium</i> sp. | | | Ptilodactylidae 長花蚤科 | 長花蚤 | Ptilo |
| Tipulidae 大蚊科 | 大蚊 | Tipul | *Scirtide 圓花蚤科 | 圓花蚤 | Scirt |
| * <i>Antocha</i> sp. | | | *Staphylinidae 隱翅蟲科 | 隱翅蟲 | Staph |
| * <i>Hexatoma (Eriocera)</i> sp. | | | | | |
| * <i>Tipula</i> sp. | | | MEGALOPTERA 廣翅目 | 石蛉; 魚蛉 | Meg |
| Athericidae 鵲虻科 | 鵲虻 | Ather | Corydalidae 石蛉科 | 石蛉; 水蜈蚣 | Coryd |
| * <i>Atherix</i> sp. | | | * <i>Protohermes costalis</i> | 黃石蛉 | |
| Empididae 舞蠅科 | 舞蠅 | Empid | * <i>Neochauliodes sinensis</i> | 縞石蛉 | |
| * <i>Hemerodromia</i> sp. | | | | | |
| Psychodidae 蛾蚋科 | | Psych | LEPIDOPTERA 鱗翅目 | 蝶; 蛾 | Lepid |
| * <i>Psychoda</i> sp. | | | Pyrilidae 螟蛾科 | 螟蛾 | Pyril |
| *Ceratopogonidae 糠蚊科 | 糠蚊 | Cerat | <i>Eoophyla</i> sp. | 斑水螟 | |
| Syrphidae 食蚜蠅科 | 食蚜蠅 | Syrph | | | |
| Blepharoceridae 網蚊科 | 網蚊 | Bleph | HEMIPTERA 半翅目 | | Hem |
| *Culicidae 蚊科 | 蚊 | Culic | Gerridae 水黽科 | 水黽 | Gerri |
| | | | * <i>Gerris</i> sp. | | |
| | | | Hydrometridae 絲黽科 | 絲黽 | Hydme |
| | | | Veliidae 闊黽春科 | 闊黽 | Velii |

(a)本年度採獲種類(*)共計 40 科 61 種，歷年累計 9 目 46 科 75 種。

(b) 由 BVSTEP 分析影響基隆河群聚分析的 10 種關鍵物種。

表 2 基隆河採樣站之各項水棲昆蟲參數(mean ± S.E.)

| | 自強橋 (Site 1) | 侯硐 (Site 2) | 瑞芳橋 (Site 3) | 暖江橋 (Site 4) | 實踐橋 (Site 5) |
|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Taxa richness | 25.4±9.8 ^a | 21.1±6.3 ^{ab} | 13.8±6.0 ^b | 6.0±1.4 ^c | 9.4±11.8 ^c |
| Density (no./m ²) | 1873.5 ±2212.7 ^a | 1758.3 ±1528.5 ^a | 1201.0 ±1074.9 ^{ab} | 113.3 ±48.9 ^c | 1193.2 ±2614.8 ^{bc} |
| Diversity | 1.86±0.35 ^a | 1.56±0.48 ^{ab} | 1.39±0.24 ^b | 0.131±0.34 ^b | 1.09±0.55 ^c |
| Evenness | 0.62±0.15 ^{ab} | 0.53±0.17 ^b | 0.55±0.10 ^b | 0.74±0.12 ^a | 0.62±0.20 ^{ab} |

*Mean±S.E. in a row followed by same letter are not significantly different at p < 0.05, by Duncan's new multiple range test (n=8).

表 3 基隆河各採樣站水棲昆蟲群聚參數之相關係數

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|
| Community parameter | | | | | | | | | | |
| 1. Taxa richness | 1.00 | | | | | | | | | |
| 2. Density | .80 | 1.00 | | | | | | | | |
| 3. Diversity | .63 | .28 | 1.00 | | | | | | | |
| 4. Evenness | -.35 | -.67 | .43 | 1.00 | | | | | | |
| 5. EPT index | .98 | .79 | .59 | -.38 | 1.00 | | | | | |
| 6. EPT abundance | .83 | .89 | .46 | -.49 | .83 | 1.00 | | | | |
| 7. EPT/Chironomidae ratio | .45 | .49 | -.02 | -.53 | .47 | .58 | 1.00 | | | |
| 8. Dominant taxa ratio | -.26 | -.01 | -.85 | -.66 | -.22 | -.17 | .32 | 1.00 | | |
| Index | | | | | | | | | | |
| 9. Family-level biotic index | -.65 | -.50 | -.34 | .36 | -.66 | -.77 | -.69 | .00 | 1.00 | |
| 10. Rapid bioassessment protocol | .79 | .56 | .68 | -.08 | .76 | .66 | .25 | -.41 | -.52 | 1.00 |

*Values of coefficients in bold are significant (p<0.05).

表 4 基隆河採樣站之各項環境參數(mean ± S.E.)

| | 自強橋 (Site 1) | 侯硐 (Site 2) | 瑞芳橋 (Site 3) | 暖江橋 (Site 4) | 實踐橋 (Site 5) |
|------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Water temperature (°C) | 19.7±4.8 ^a | 22.0±5.7 ^a | 23.4±5.7 ^a | 23.8±5.4 ^a | 25.0±5.7 ^a |
| Dissolved oxygen (ppm) | 8.85 ±1.31 ^a | 9.36 ±1.14 ^a | 7.64 ±1.75 ^{ab} | 7.42 ±2.10 ^{ab} | 7.22 ±1.76 ^b |
| pH | 7.59±0.16 ^a | 7.77±0.35 ^a | 7.67±0.48 ^a | 7.63±0.39 ^a | 7.98±0.33 ^a |
| Conductivity (µs/cm) | 134.1±40.6 ^c | 210.7±97.0 ^{bc} | 202.1±119.9 ^{bc} | 250.2±113.9 ^b | 491.9±126.4 ^a |
| Turbidity (FTU) | 0.96±0.62 ^b | 15.38±16.82 ^b | 13.81±22.51 ^b | 20.31±22.31 ^b | 70.72±71.57 ^a |
| Phosphate (ppm) | 0.12±0.04 ^b | 0.11±0.09 ^b | 0.39±0.26 ^a | 0.36±0.15 ^a | 0.74±0.45 ^a |
| NH(ppm) | 0.15±0.24 ^b | 0.10±0.07 ^b | 1.11±1.07 ^b | 0.81±0.53 ^b | 3.52±2.06 ^a |
| Alkalinity (ppm) | 44.3±14.4 ^b | 47.7±22.6 ^b | 46.3±24.5 ^b | 50.3±22.5 ^b | 104.3±45.1 ^a |
| Hardness (ppm) | 55.8±25.1 ^b | 66.9±30.7 ^{ab} | 58.3±32.7 ^b | 65.0±25.5 ^b | 116.0±20.5 ^a |

*Mean±S.E. in a row followed by same letter are not significantly different at p < 0.05, by Duncan's new multiple range test (n=9).

表 5 基隆河各採樣站各項環境參數之相關係數

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----------------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------|
| 1. Water temperature | 1.00 | | | | | | | | |
| 2. Dissolved oxygen | -.45 | 1.00 | | | | | | | |
| 3. pH | .35 | .26 | 1.00 | | | | | | |
| 4. Conductivity | .72 | -.48 | .43 | 1.00 | | | | | |
| 5. Turbidity | -.08 | -.14 | -.03 | .33 | 1.00 | | | | |
| 6. Phosphate | .39 | -.48 | .13 | .55 | .42 | 1.00 | | | |
| 7. NH | .44 | -.45 | .14 | .77 | .43 | .77 | 1.00 | | |
| 8. Alkalinity | .66 | -.38 | .45 | .81 | .08 | .36 | .52 | 1.00 | |
| 9. Hardness | .70 | -.43 | .31 | .80 | .35 | .39 | .46 | .58 | 1.00 |

*Values of coefficients in bold are significant ($p < 0.05$).

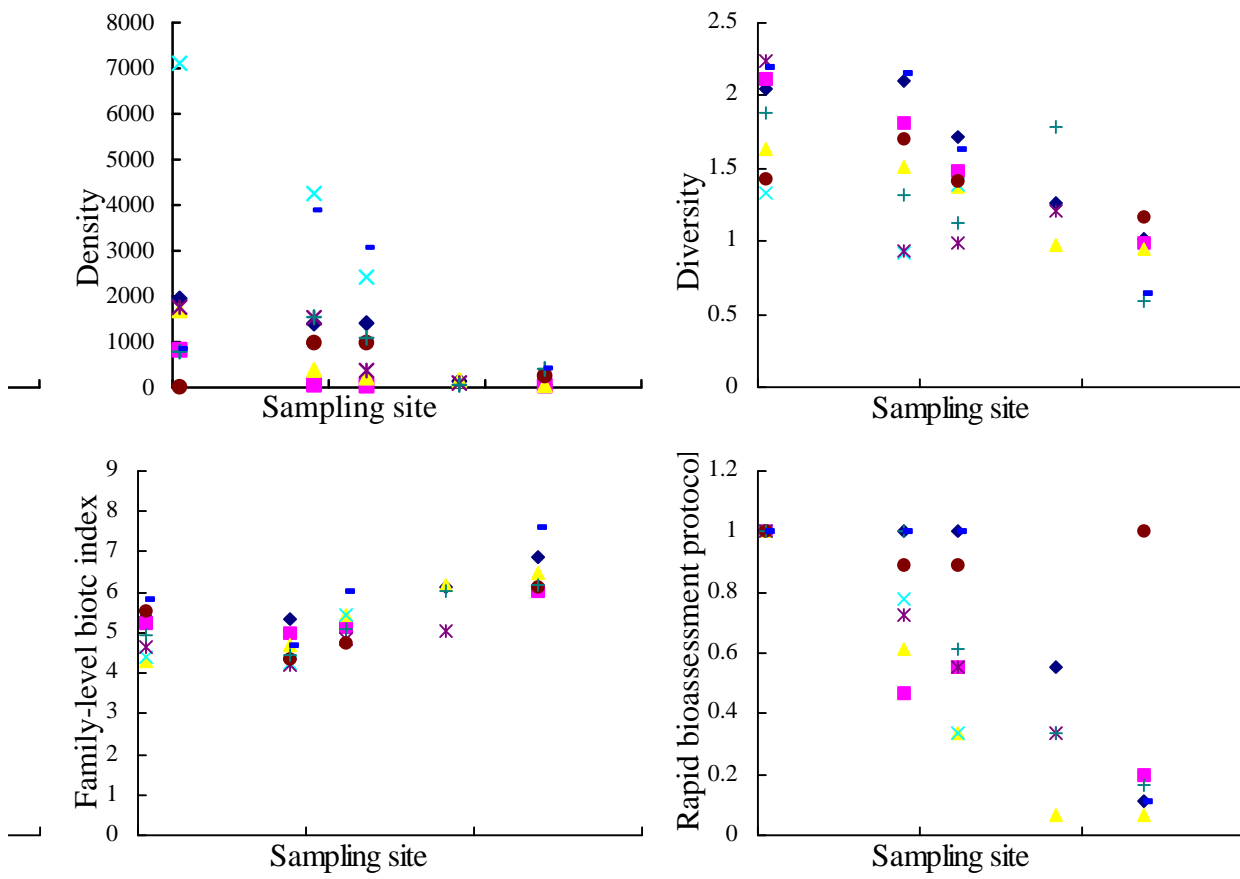
表 6 基隆河水棲昆蟲參數與各項環境參數之相關係數

| | Taxa richness | Density | Diversity | Evenness |
|----------------------|---------------|------------|------------|------------|
| 1. Water temperature | -0.17 n.s. | -0.05 n.s. | 0.05 n.s. | 0.15 n.s. |
| 2. Dissolved oxygen | 0.27 n.s. | 0.16 n.s. | 0.15 n.s. | -0.03 n.s. |
| 3. pH | -0.15 n.s. | 0.01 n.s. | -0.14 n.s. | -0.02 n.s. |
| 4. Conductivity | -0.36 * | -0.19 n.s. | -0.33 n.s. | 0.03 n.s. |
| 5. Turbidity | -0.36 * | -0.29 n.s. | -0.39 * | 0.02 n.s. |
| 6. Phosphate | -0.52 ** | -0.26 n.s. | -0.46 ** | -0.01 n.s. |
| 7. Amonia | -0.46 ** | -0.25 n.s. | -0.46 ** | 0.01 n.s. |
| 8. Alkalinity | -0.19 n.s. | -0.14 n.s. | -0.14 n.s. | 0.07 n.s. |
| 9. Hardness | -0.13 n.s. | -0.13 n.s. | 0.11 n.s. | 0.27 n.s. |

*: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$; n.s.: not significant.

表 7 基隆河各水棲昆蟲及環境參數在季節與採樣站之單向變方分析
(one-way ANOVA)之 F 值

| | Site | | Season | |
|---------------------------|---------|--------|---------|--------|
| | F value | p | F value | p |
| Aquatic insect parameters | | | | |
| 1.Taxa richness | 12.47 | 0.0001 | 0.44 | 0.7236 |
| 2.Density | 3.47 | 0.0196 | 1.92 | 0.1472 |
| 3.Diversity | 7.14 | 0.0004 | 0.46 | 0.7147 |
| 4.Evenness | 1.63 | 0.1930 | 1.18 | 0.3332 |
| 5.Dominant species % | 2.29 | 0.0835 | 1.73 | 0.1812 |
| 6.EPT index | 10.26 | 0.0001 | 0.47 | 0.7052 |
| 7.EPT abundance | 10.72 | 0.0001 | 1.08 | 0.3739 |
| 8.Shredders | 2.53 | 0.0617 | 1.45 | 0.2482 |
| 9.Filtering Collectors | 1.98 | 0.1247 | 2.32 | 0.0953 |
| 10.Gathering Collectors | 4.19 | 0.0084 | 0.76 | 0.5255 |
| 11.Scrapers | 2.80 | 0.0444 | 0.73 | 0.5424 |
| 12.Predators | 6.57 | 0.0007 | 0.20 | 0.8948 |
| Biological index | | | | |
| 1.Family-level index | 15.05 | 0.0001 | 2.45 | 0.0825 |
| 2.RBP | 10.48 | 0.0001 | 1.20 | 0.3279 |
| Environmental parameters | | | | |
| 1.Water temperature | 0.89 | 0.4827 | 32.68 | 0.0001 |
| 2.Dissolved oxygen | 2.89 | 0.0361 | 2.00 | 0.1311 |
| 3.pH | 0.83 | 0.5174 | 4.40 | 0.0098 |
| 4.Conductivity | 10.67 | 0.0001 | 6.29 | 0.0015 |
| 5.Turbidity | 5.07 | 0.0025 | 0.73 | 0.5402 |
| 6.Phosphate | 7.42 | 0.0003 | 0.36 | 0.7850 |
| 7.NH | 10.65 | 0.0001 | 0.87 | 0.4651 |
| 8.Alkalinity | 3.06 | 0.0320 | 7.63 | 0.0026 |
| 9.Hardness | 2.14 | 0.1130 | 9.05 | 0.0014 |



密度、歧異度、均勻度、科級生物指標及快速生物評估法之評估值在各採樣站間之變化。

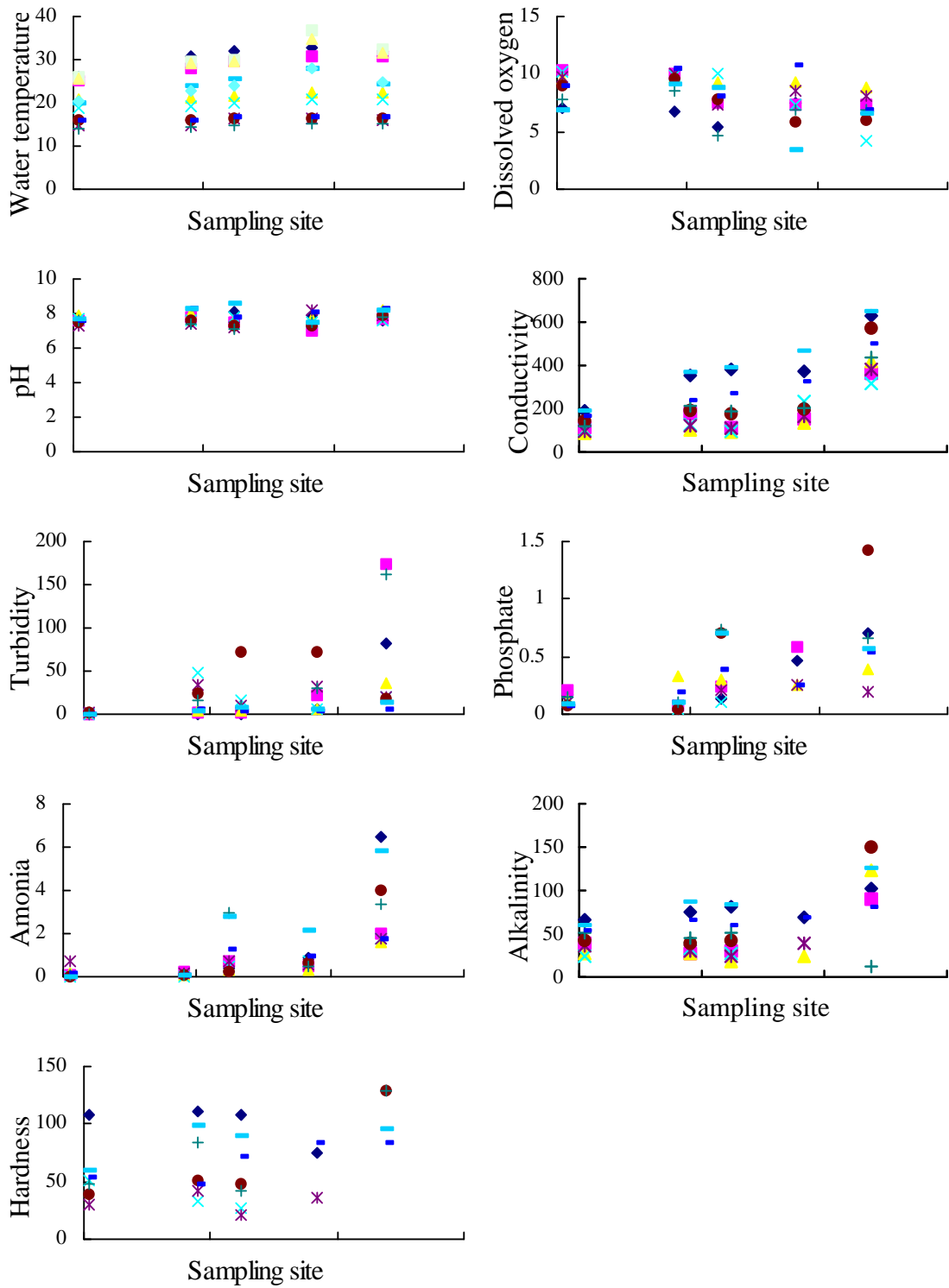


圖 2 基隆河各採樣站水溫、溶氧、酸鹼度、電導度、濁度、磷酸鹽、氨氮、鹼度及硬度的變化。

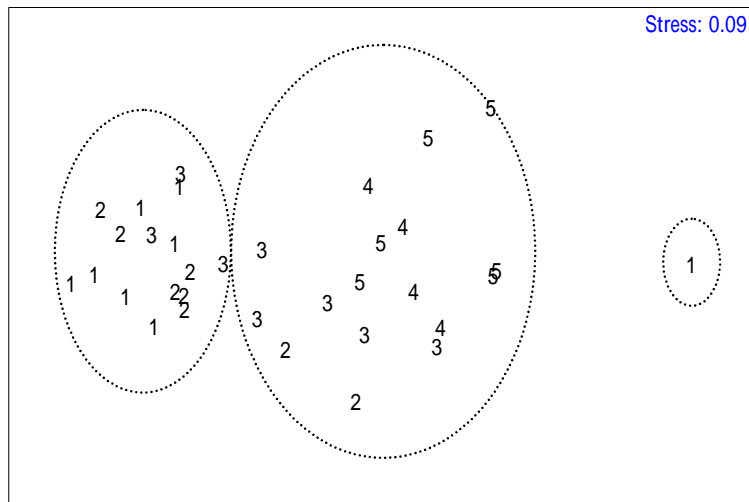


圖 3 基隆河各樣站水棲昆蟲群聚結構，以多維空間尺度(multi-dimensional scaling)分析方法所得之二維空間分佈圖，其中標號代表不同的樣站，各群為聚類分析中取 40% 相似性為標準。

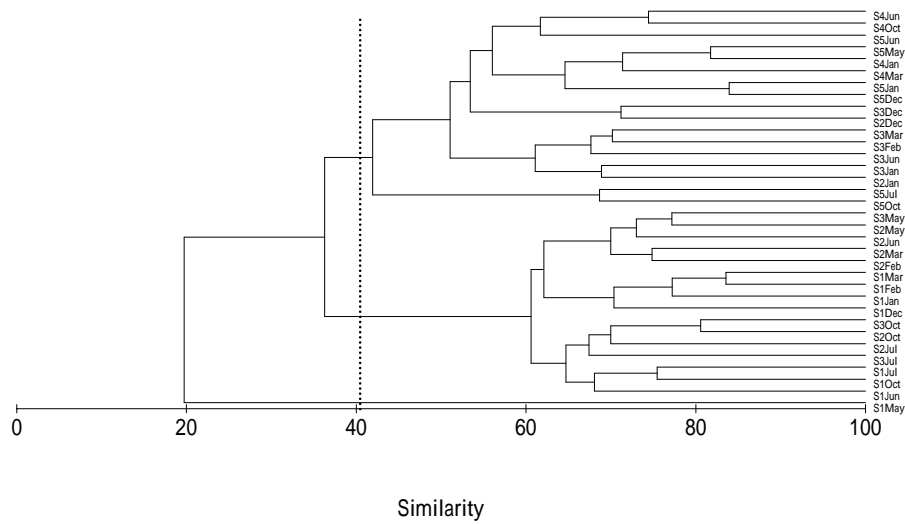
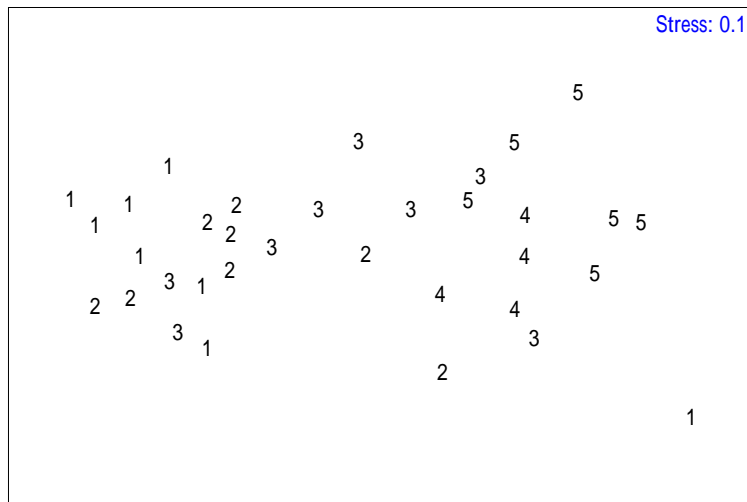
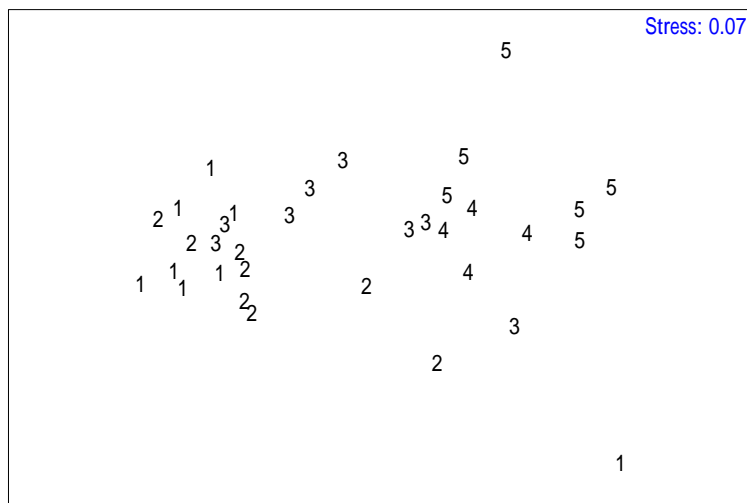


圖 4 基隆河各樣站水棲昆蟲群聚，以 Bray-Curtis 相似性係數進行聚類分析(cluster analysis)所得樹狀圖。



(A)



(B)

圖 5 基隆河各樣站水棲昆蟲群聚結構，以不同的分類層級在二維空間上的分佈圖。(A) 科級鑑定(family-level)；(B)目級分類(order-level)。

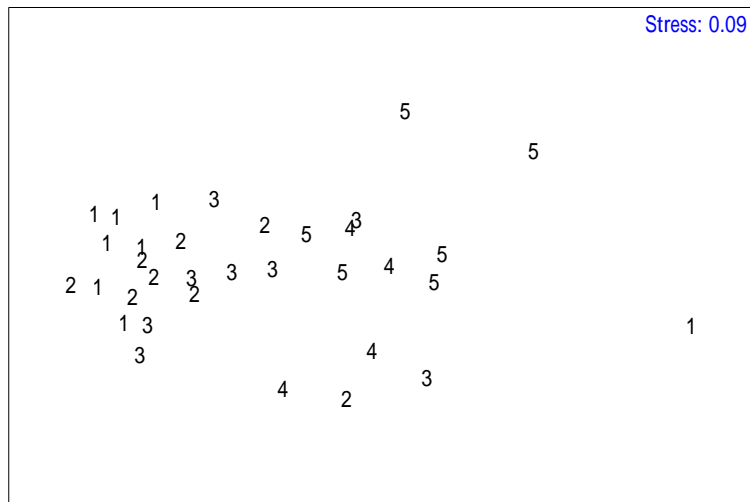
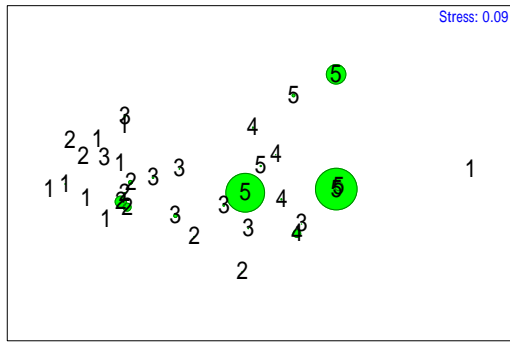
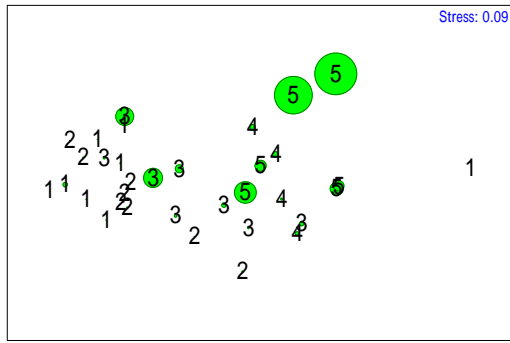


圖 6 以 PRIMER 中 BVSTEP 程式選擇 10 個關鍵物種所構成之群聚結構，基隆河各樣站在二維空間上的分佈圖。

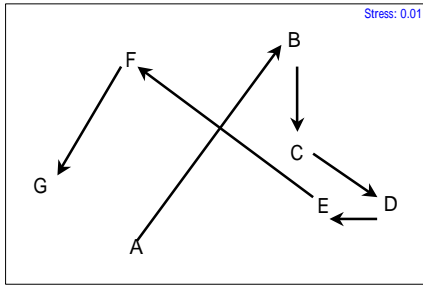


(B)

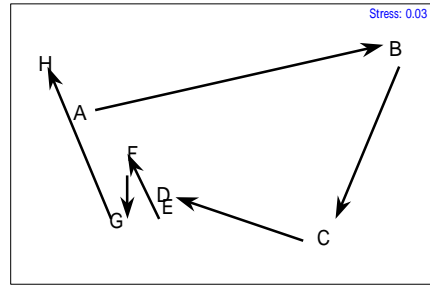


(D)

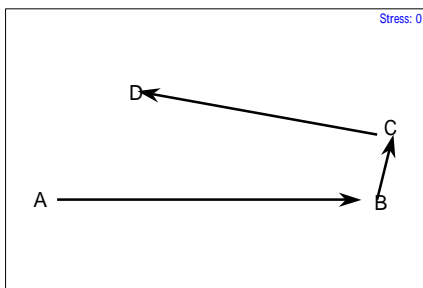
聚結構的二維空間分佈圖上的變化。(A)電導度；(B)濁度；(C)磷酸鹽；(D)氨氮。



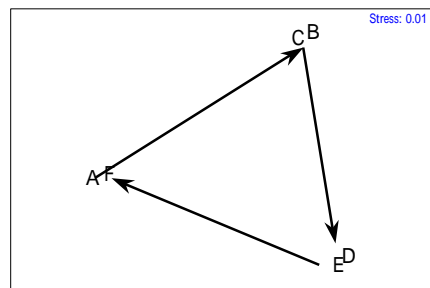
(B)



(C)



(E)



(F)

在二維空間分佈圖上之時間的序列變化。(A)自強橋；(B)自強橋(除 2001 年五月的樣本外)；(C)候踐橋。

附錄 1 Hilsenhoff 生物指標(Biotic Index)與科級生物指標(Family-level Biotic Index)劃分之水質等級與相對之指標值(Hilsenhoff 1987, 1988)

| Water Quality | Biotic Index Range | Family-level BI Range |
|---------------|--------------------|-----------------------|
| Excellent | 0.00-3.50 | 0.00-3.75 |
| Very Good | 3.51-4.50 | 3.76-4.25 |
| Good | 4.51-5.50 | 4.26-5.00 |
| Fair | 5.51-6.50 | 5.01-5.75 |
| Fairly Poor | 6.51-7.50 | 5.76-6.50 |
| Poor | 7.51-8.50 | 6.51-7.25 |
| Very Poor | 8.51-10.00 | 7.26-10.00 |

附錄 2 快速生物評估法 III(Rapid Bioassessment Protocol III)中，各項指標之評分標準 (Plafkin *et al.* 1989)

| Metrics | Biological Condition Scoring Criteria | | | |
|--|---------------------------------------|---------|---------|------|
| | 6 | 4 | 2 | 0 |
| 1. Taxa richness ^(a) | >80% | 60-80% | 40-60% | <40% |
| 2. Hilsenhoff biotic index ^(b) | >85% | 70-85% | 50-70% | <50% |
| 3. Ratio of scrapers/fil. collectors ^(a,c) | >50% | 35-50% | 20-35% | <20% |
| 4. Ratio of EPT and Chironomid abundances ^(a) | >75% | 50-75% | 25-50% | <25% |
| 5. % contribution of dominant taxon ^(d) | <20% | 20-30% | 30-40% | >40% |
| 6. EPT index ^(a) | >90% | 80-90% | 70-80% | <70% |
| 7. Community loss index ^(e) | <0.5 | 0.5-1.5 | 1.5-4.0 | >4.0 |

(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.

附錄 3 快速生物評估法 III(Rapid Bioassessment Protocol III)所劃分之水質等級與相對之百分比值(Plafkin *et al.* 1989)

| Biological condition Category | % Comp. to Ref. Score |
|-------------------------------|-----------------------|
| Non-impaired | > 83% |
| Slightly impaired | 54-79% |
| Moderately impaired | 21-50% |
| Severely impaired | < 17% |