

## 生態工程整治後北勢溪之 水棲昆蟲群聚變動

田佩玲<sup>1</sup>、徐崇斌<sup>2</sup>、王亞男<sup>3</sup>、楊平世<sup>4</sup>

### 摘要

為取得防洪工程與生態保育的平衡達到河川治理的目的，溪頭自然教育園區採取生態工程整治園區內土石流危害之溪流。本研究自2004年3月至2005年8月，在溪頭北勢溪設置七個樣站，依淺瀨型棲地(riffle habitats)之有無，分別對水棲昆蟲進行定量或半定量之採樣，以評估生態工程整治之河段與未整治河段其群聚組成的變動，瞭解整治溪流在施工完成後其溪流生態恢復程度及速度。比較其中位於園區內整治後之大學坑站(site 3)及其下游園區外的竹亭左站(site 6)，經過生態工程整治的第3站，直至2004年8月溪流量大幅增加，溪流棲地由暫時性水域轉換為永久急瀨溪流，始恢復為一典型溪流狀態。以單變質分析水棲昆蟲之分類群豐度(taxa richness)、密度、歧異度、均勻及優勢種比例等群聚參數，結果顯示第3站在2004年9月以後群聚組成之消長及變動逐漸趨近第6站。利用多變質之多維空間尺度(multidimensional scaling, MDS)分析結果亦顯示群聚結構在時間序列上相同之變動；半定量與定量採樣所得之群聚組成在排序圖上呈現較大之距離，除採樣方法所造成之數量差異外，主要原因應為暫時性水域與永久性水域所適存之物種組成的不同。由於缺乏整治前生物及環境之基本資料，因此無法判定生態工程是否能恢復溪流在土石流災害前之狀態；以水棲昆蟲的群聚變動做長期之監測，應能有助於評估生態工程是否能協助溪流達到生態復育的目的。

**關鍵詞：**群聚結構、水棲昆蟲、多維空間尺度、生態工程

### Dynamics of Aquatic Insect Assemblages in the Pei-Shih Stream after Eco-engineering Mitigation

Pei-Ling Tian<sup>1</sup>、Chorng-Bin Hsu<sup>2</sup>、  
Ya-Nan Wang<sup>3</sup>、Ping-Shih Yang<sup>4</sup>

1 臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處

2 中央研究院生樣多樣性研究中心博士後研究

3 國立臺灣大學森林環境暨資源學系教授

4 國立臺灣大學昆蟲學系教授

### Abstract

In order to achieve a balance between flood control engineering and ecological conservation, eco-engineering method has been applied to mitigate the debris flow streams in the recreational area. The purpose of the research was to evaluate differences of community structure between streams with and without restoration and to understand the recovery of stream ecology. Seven sites were selected in the Pei-Shih Stream in Shi-Tou, and aquatic insects were sampled quantitatively or semi-quantitatively between March 2004 and October 2005 according to the presence of riffle habitats. Comparison was made between the restored site 3 and the downstream site 6. The flow at site 3 increased after August 2004, thus the habitats changed from temporary pools to a typical stream. Community parameters such as taxa richness, density, diversity, evenness, and dominant species were analyzed using univariate analyses. The results indicated that the compositions of aquatic insects at site 3 tend to be gradually close to those at site 6 after September 2004. There was large gaps between the aquatic insect assemblages in quantitative and semi-quantitative samples in the ordination diagram of multidimensional scaling (MDS). Besides the sampling method, the main causal agent may be due to the differences in species compositions between temporary and permanent waters. Lacking of the biological and environmental data before the stream mitigation, the recovery to the status before the hazard of debris flow by eco-engineering methods could not be evaluated appropriately. However, long-term monitoring of aquatic insect assemblages should be of use in assessing whether the eco-engineering methods achieve the aim of the ecological recovery of a stream.

**Key words :** multidimensional scaling、aquatic insects、community structures、eco-engineering

### 一、前言

北勢溪為濁水溪上游重要支流，發源於台大實驗林之溪頭營林區，為營林區內重要溪流；近年來溪頭地區遭逢多次重大

天然災害，尤其是 1999 年「九二一」大地震造成土石鬆動崩塌；2001 年 7 月的桃芝颱風挾帶暴雨引發土石流，在溪頭自然教育園區內造成嚴重之河道刷深，河岸淘蝕，河床被土砂、巨石覆蓋，破壞河流生態。為取得防洪工程與生態保育的平衡，並達到河川治理的目的，台大實驗林施行生態工程，整治溪頭園區內遭受土石流沖刷破壞之溪流。施作工法之有無，可能影響水棲昆蟲拓植模式，因此透過河流生態調查以瞭解水域環境復原之程度。

水棲昆蟲為溪流中主要無脊椎動物成員，其分布主要受水質、水溫、流速及棲地等環境因子影響，亦受工程或洪峰等干擾；因水棲昆蟲群聚結構易於恢復及變化趨勢易於預測，故藉由水棲昆蟲群聚結構之改變，可評估環境變異；並利用群聚結構反映長時期整體水質之狀況。目前評估環境變化，已採用出多種生物指標方法嘗試評估溪流狀況(徐、楊, 1997)。傳統群聚參數如分類群豐富度 (taxa richness)、密度 (density)、歧異度 (diversity) 及均勻度 (evenness) 等參數，可以簡單地描繪環境變動 (Poulton *et al.*, 2002); 而近年來逐漸廣泛應用的排序技術 (ordination techniques)，對群聚結構的多變質資料提供更佳的分析方法 (Clarke and Warwick, 1994; ter Braak *et al.*, 1995; Hsu, 2005; Hsu and Yang, 2005)。

本研究以單變質初步分析群聚組成之消長及變動，評估溪流生態系統的特性；以多維空間尺度 (multi-dimensional scaling, MDS) 的排序技術分析群聚結構，進一步瞭解水棲昆蟲在各樣站及樣站內之空間及時間上的分布模式，顯示各樣站間群聚動態差異程度，評估生態工程是否能協助溪流達到生態復育的目的。

## 二、材料與方法

### (一) 試驗地簡介

溪頭營林區位於南投縣南方，行政區隸屬南投縣鹿谷鄉，面積約 2,500 公頃，海拔介於 700~2,000 公尺之間；主要樹種為柳杉、台灣杉、杉木、巒大杉、紅檜等；天然潤葉林約 620 公頃；人工竹林以孟宗竹、麻竹及桂竹為主；另外有台灣最大一片銀杏林 (0.44 公頃)(陳, 1999)。主要溪流為濁水溪流域上游一支流北勢溪。

### (二) 採樣站

依溪頭園區內外河段及有無施作生

態工程，設置園區內整治河段 3 個樣站，下游園區外未整治河段 4 個樣站，共 7 樣站，本文以大學坑站 (site 3; 海拔 1192 m; 二度分帶座標: 227785, 2618702) 及其下游之竹亭左站 (site 6; 海拔 1062 m; 二度分帶座標: 227985, 2619792) 之群聚資料來探討第 3 站時間序列的群聚變動。

### (三) 調查方法

自 2004 年 3 月至 2005 年 8 月，每月調查一次，且依溪流棲地型式採取不同之調查方式，水棲昆蟲之採樣分為半定量 (semi-quantitative sampling) 及定量 (quantitatively sampling) 兩部分。因調查初期，第 3 站溪水基流量不足，水深平均小於 10 cm，無法使用改良之蘇伯氏定面積水網 (surber sampler) (面積 50 cm × 50 cm; 網目 250 μm) 定量採集，因此採用半定量之定時採集，一人採集計時 30 分鐘，利用手抄網 (dipnet)、鏟子在此樣站之滲水岩壁、淺水底質、雜草岩縫等地以最大努力量 (the greatest effort) 隨機採集；直到在 2004 年 8 月份其棲地環境由淺水轉變為急瀨棲地，其採樣方法與第 6 站相同，依下游往上游之順序，在選定之採樣站約 100 m 長之河段內依下游往上游之順序，以改良之蘇伯氏定面積水網，隨機採集 3 個樣本，再以 95% 的酒精將標本保存帶回研究室進行鑑定及資料分析。

### (四) 資料分析

計算各採樣站生物之分類群豐富度 (種類數)、密度、優勢種比例、歧異度及均勻度等群聚參數 (Ludwig and Reynolds, 1988)。以非介量多維空間尺度的排序技術探討水棲昆蟲群聚與環境因子梯度間之關係。藉由多維空間尺度分析方法評估群聚結構在時空的變動，利用聚類分析 (cluster analysis) 檢視各樣站樣本群聚之相似性，並以 ANOSIM (analysis of similarity) 程序分析樣站間之水棲昆蟲群聚結構相似性；SIMPER (similarity percentage) 程序分析水棲昆蟲群聚分布之平均相異性 (average dissimilarity)。以種類有/無類型資料 (presence / absence data) 進一步比較半定量及定量樣站群聚結構相似性。多維空間尺度分析則以 PRIMER v.5 套裝程式分析 (Clark and Warwick, 1994; Clarke and

Gorley, 2001)。

### 三、結果討論

#### (一) 半定量及定量棲地

第 3 站於 2004 年 3 月至 7 月以半定量採集法調查，共採獲 6 目 21 科 30 分類群 (taxa)；2004 年 8 月以後其棲地環境由淺水轉變為急瀨棲地，適用定量採集法，調查期間由 2004 年 9 月至 2005 年 8 月，共採獲 13,369 隻水棲昆蟲，共計 7 目 35 科 60 分類群。第 6 站於 2004 年 4 月至 2005 年 8 月調查期間採獲 22,805 隻水棲昆蟲，共計 9 目 36 科 66 分類群。

二樣站樣本來源有定量及半定量兩種方式，因此僅以分類群有 / 無類型資料分析水棲昆蟲之群聚組成相似性而不考慮物種豐度，MDS 二維空間分布圖如圖 1 所示，樣站間距離即為群聚結構之相似程度；樣本呈現二大類群，第 3 站半定量樣本自成一類，而第 6 站所有樣本自成一類且與第 3 站定量樣本接近形成一大類群；其中第 3 站之半定量樣本在 2004 年 7 月漸接近第 6 站樣本聚集之類群，至 2004 年 9 月以後之定量樣本群聚組成均已偏離原類群而與園區外樣本相近。

以 2004 年 8 月為分界，第 3 站時間序列的群聚變動及每月採獲之物種數變化，推測可能原因有二：(a) 棲地環境的改變導致群聚組成的變動：第 3 站雖於 2003 年 11 月整治完工，為溪流生態工程整治示範樣區；但整治完工後至 2004 年 6 月期間，因水流量不足，溪流棲地型態常為暫時性水域或淺灘，僅有少數水棲昆蟲能利用該棲地；生態工程目的為復育溪流生態系統和恢復棲地原始狀況 (Bergen *et al.*, 2001)，而第 3 站工程目標也以模擬災害前自然環境為前提 (鄭等, 2001)；因此直至 2004 年 7 月溪流量大幅增加，溪流棲地由暫時性水域轉換為永久急瀨棲地，始恢復為一典型自然溪流狀態，達到生態工程模擬自然環境的目的。(b) 不同採樣方法的偏差：半定量採樣是以目視法透過鑷子及手抄網等工具於樣區內採集各微棲地物種，因此較能採集到棲息於靜水或極緩流環境等非溪流底棲昆蟲；而定置網定量採集法多用於流水棲地，主要採集溪流中之底棲生物。因此以不同的採樣方法收集不同棲地之物種，可能會造成分析上的偏差。

第 3 站水棲昆蟲分類群數從暫時性水域的 21 科 30 分類群上升至永久水域的 35 科 60 分類群，除了上述兩種原因外，

可能也與採集次數相關，半定量及定量採集次數分別為 5 及 10 次。

#### (二) 定量棲地

當第 3 站環境在 2004 年 8 月恢復成典型的溪流棲地後，採獲之分類群數逐月增加 (圖 2)；歧異度與均勻度皆呈現逐月上升而接近第 6 站的趨勢；而優勢種個體數百分比則呈現逐月下降接近第 6 站，從 2004 年 9 月 66.86% 最高值，隨後逐月而在 2005 年 1~8 月呈現小幅波動。以分類群豐度、密度、歧異度、均勻度及優勢種比例等單變質群聚參數發現第 3 站群聚組成之消長及變動逐月趨近第 6 站；另以單向變方分析 (one-way ANOVA) 整年資料，顯示樣站間除了優勢種比例呈顯著差異 ( $p < 0.01$ )，其他群聚參數皆無顯著差異。

進一步以多變質之相似性矩陣的變方分析 (ANOSIM procedure) 檢視第 3、6 站整年間及月份間的群聚結構在空間上是否呈現顯著差異，配對比較樣站間差異結果如表一所示。以整年資料整體分析，二樣站群聚結構呈現顯著差異 (Global  $R = 0.759$ ,  $p = 0.001$ )，顯示園區內第 3 站與下游之第 6 站有顯著差異 ( $p < 0.01$ )；而分析群聚結構在月份間的差異，卻呈現二樣站在各月份間並無顯著差。進一步以 SIMPER 程序分析二樣站水棲昆蟲在各月份間群聚分布之平均相異性，顯示二樣站的群聚組成相異性僅在調查初期 (2004 年 9 月) 呈現最高值 (51.7%)；群聚相異性隨月逐漸下降，在 2005 年 3 月為最低值 (37.29%)，隨後數值波動不大，直到 2005 年 7 至 8 月，上升至 47.25 及 45.3%。以聚類分析檢視二樣站樣本平均值之群聚資料，群聚相似度達 75.6%；另外以檢視二樣站所有樣本群聚之相似性，分為二大類群，第 3 站及第 6 站樣本各成一類，第 3、6 站群聚相似度為 59.34%；推測二樣站所有樣本可能因各項環境因子而使樣站間群聚結構差異性約為 40%。經過生態工程整治的第 3 站，待溪水流量增加而使樣區成為永久河域，水棲昆蟲群聚結構隨著時間越來越接近下游第 6 站；但因二樣站間約有 40% 群聚相異性，侷限兩樣站群聚組成的相似程度。

### 四、結論與建議

以分類群有 / 無類型資料分析二樣站水棲昆蟲之群聚組成相似性，顯示第 3 站在 2004 年 8 月後採獲之物種數及豐度呈現增

加趨勢，且群聚組成逐漸接近第 6 站，顯示為暫時水域與永久水域之物種組成差異，或為定量與半定量採獲物種之差異；另以單變質與多變質分析第 3 站在 2004 年 9 月以後時間序列的群聚變動，皆呈現第 3 站群聚組成之消長及變動逐漸趨近第 6 站。經過生態工程整治的第 3 站，待溪水流量增加而使樣區成為一典型原始溪流後，水棲昆蟲群聚結構隨著時間越來越接近下游第 6 站。

因本研究無生態工程施工前之群聚資料，文獻資料也無紀錄溪頭地區溪流中之底棲大型無脊椎動物之相關研究（劉，1999），無法透過水棲昆蟲的監測瞭解施工前後群聚變動趨勢，評估生態工程前後河川綜合狀態是否恢復而符合工法的需求；因而求其次而設下游樣站為對照組。因此當研究發現第 3、6 站間約有 40% 群聚相異性，無法確認是因為海拔高度、底質粒徑、遮蔽度等各項環境因子影響樣站間群聚差異；或是調查時間尺度不足，僅呈現整治溪流生態恢復過程中的一部分面相。僅能初步評估第 3 站整治溪流生態恢復程度及速度。

建議在施行生態工程前後，皆需進行溪流生物普查，才能較精確瞭解施工前後溪流生物群聚組成的變動，評估生態工程前後河川綜合狀態是否恢復而符合工法的需求。而生態工程是否能協助河川達到溪流復育，使之恢復原本生態上的功能，有賴於後續的監測、評估及適當的管理。

##### 五、參考文獻

徐崇斌、楊平世。1997。應用水棲昆蟲生物指標評估基隆河水質之研究。中華昆蟲 17(3): 152-162。

陳信雄。1999。台大實驗林集水區經營與管理研討會。國立台灣大學農學院，台北。106 頁。

鄭富書、林銘郎、劉格非、黃宏斌、劉啟川。2001。溪頭土石流災害調查。溪頭桃芝影響及復建研討會論文集，1-22，溪頭，台灣大學。

劉儒淵。1999。溪頭地區生物資源的研究概況、干擾及經營策略。1999 年生物多樣性研討會論文集 96-118。

Bergen, S. D., S. M. Bolton, and J. L. Fridley. 2001. Design principles for ecology engineering. *Eco. Eng.* 18: 201-210.

Clarke, K. R., and R. M. Warwick. 1994. Changes in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and

Interpretation. Plymouth Marine Lab. Plymouth. 144 pp.

Clarke, K. R., and R. N. Gorley. 2001. PRIMER v5: User Manual/Tutorial. PRIMER-ELtd. Plymouth. 91 pp.

Hsu, C. B., and P. S. Yang. 2005. Examining the relationship between aquatic insect assemblages and water variables by ordination techniques. *Formosan Entomol.* 25: 67-85.

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.

Ludwig, J. A., and J. F. Reynolds. 1988. *Statistical Ecology*. John Wiley and Sons, New York, 337 pp.

Poulton, B. C., M. L. Wildhaber, C. S. Charbonneau, J. F. Fairchild, B. G. Mueller, and C. J. Schmitt. 2002. A longitudinal assessment of the aquatic macroinvertebrate community in the channelized lower Missouri River. *Environ. Monitoring and Assessment* 85: 23-53.

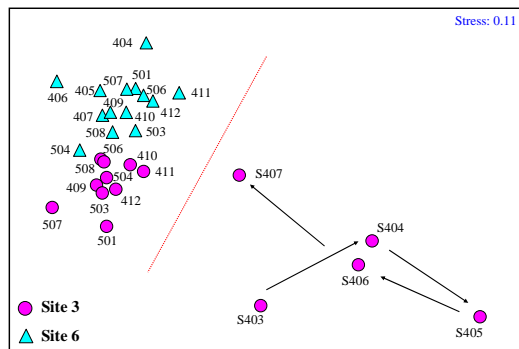
ter Braak, C. J. F. 1995. Ordination. pp: 91-173. *In: C. J. F. ter Braak, O. F. R. van Tongeren, R. H. Jongman, P. van Tongeren, and C. J. ter Braak, eds., Data Analysis in Community and Landscape Ecology*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.

## 六、圖表

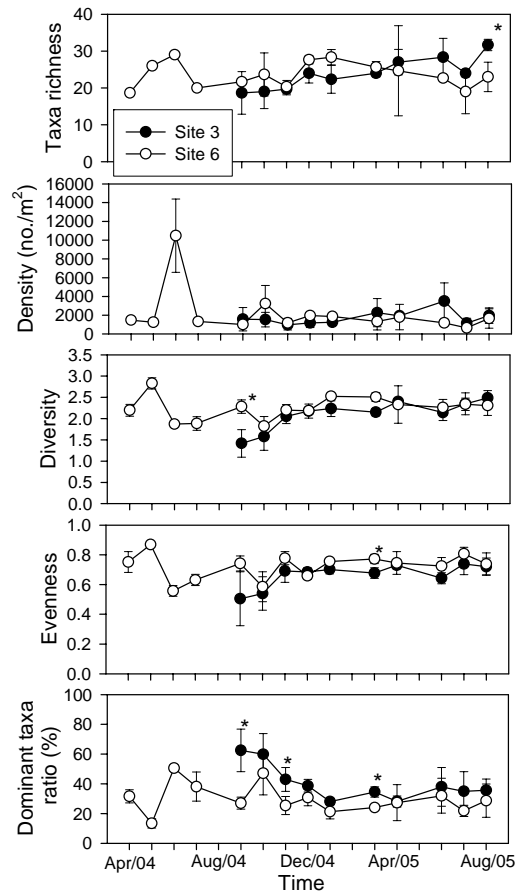
表一 二樣站在月份間兩兩配對檢視其水棲昆蟲群聚之相似性變方分析 (Analysis of similarity, ANOSIM procedure) 所得之  $R$  值及其顯著水平 ( $p$ )；並以 SIMPER (similarity percentage) 程序分析群聚分布之平均相異性。

Pairwise test	Significance level	Average dissimilarity (%)
Global	***	
Month <sup>1</sup>		
409	n.s	51.70
410	n.s	48.77
411	n.s	45.15
412	n.s	47.91
501	n.s	40.83
503	n.s	37.29
504	n.s	41.43
506	n.s	40.95
507	n.s	47.25
508	n.s	45.30

n.s. : not significant ; \*  $p < 0.05$  ; \*\*  $p < 0.01$  ; \*\*\*  $p < 0.001$  ; <sup>1</sup>表第一個數字表年份，第二及三數字表月份。



圖一 以 MDS 分析二樣站水棲昆蟲分類群有 / 無類型資料之群聚組成相似性，以二維空間分佈圖呈現，樣站間距離即為群聚結構之相似程度；其中樣站以不同符號表示；字母 S 表半定量樣本；數字代表不同樣本，第一個數字表年份，第二及三數字表月份。



圖二 溪頭北勢溪第 3 及 6 樣站各月採樣之水棲昆蟲分類群豐度、密度、歧異度、均勻及優勢種比例之平均值 (mean  $\pm$  S.D.) 及其顯著水平。