

雪霸國家公園有勝溪冬季不同微棲地(瀨、流及潭)之石附生矽藻群集結構分析

蘇美如^{1,2}，張世倉¹，林幸助^{2,3}

¹特有生物研究保育中心；²國立中興大學生命科學系；³通訊作者 (hjlin@dragon.nchu.edu.tw)

[摘要] 溪流微棲地之瀨、流及潭在流速、水深、底質等環境特徵上往往具有明顯的差異，而此差異是否會影響石附生矽藻群集是本研究探討的目標。2008年1月於雪霸國家公園武陵地區的有勝溪，選擇一段包含瀨、流及潭等不同微棲地之溪段，進行石附生矽藻及環境因子之矩陣式密集採樣與量測。研究結果發現，單殼縫耐高流速的曲殼藻屬(*Achnanthes*)為採樣溪段中最優勢矽藻種類，約佔總豐度的53.5%。ANOSIM分析結果亦顯示，不同微棲地間矽藻群集的組成有顯著差異：在流速較快的瀨區，*Cocconeis placentula* var. *euglypta*及 *Reimeria sinuata*兩種的豐度(31.7%)明顯高於流速較緩的流(3.5%)及潭區(3.3%)。而BioEnv分析指出流速是影響此微棲地差異的最主要環境因子。由本研究結果顯示，當進行溪流藻類多樣性監測時，須兼顧不同微棲地的採樣，才能忠實描述該溪段的藻類群集結構。

關鍵字：附生藻類、流速、微棲地、*Achnanthes*, *Cocconeis placentula* var. *euglypta*, *Reimeria sinuata*

Winter Community Structure of Epilithic Diatoms in Pools, Runs, and Riffles of Yousheng Stream in Shei-Pa National Park

Mei-Ru Su^{1,2}, Shi-Tsang Chang¹ and Hsing-Juh Lin^{2,3}

¹Division of Habitats and Ecosystems, Endemic Species Research Institute, ² Department of Life Sciences, National Chung Hsing University, ³ Corresponding author (hjlin@dragon.nchu.edu.tw)

ABSTRACT In a mountain stream, riffles, runs, and pools are major microhabitats characterized by distinct physical conditions such as depth, current velocity, and substratum. This study was aimed to examine differences in the community structure of periphyton among these microhabitats. Epilithic diatoms were identified and environmental factors were measured on a sampling grid in a section of Yousheng Stream consisting of riffles, runs, and pools in Shei-Pa National Park in January 2008. Results reveal that *Achnanthes* spp. accounted for 53.5% of the total abundance and was the most dominant taxon in the section. ANOSIM analysis shows that diatom communities were significantly different among these microhabitats. *Cocconeis placentula* var. *euglypta* and *Reimeria sinuata* were more abundant in riffles (31.7%) than in runs (3.5%) and pools (3.3%). BioEnv analysis indicates that current velocity was the main factor contributing to the distinctness in diatom composition. In this study, it is suggested that periphyton sampling in a stream must take different microhabitats into consideration, especially those with distinct current velocity regime, in order to appropriately assess the community structure.

Keywords: Periphyton, current velocity, microhabitat, *Achnanthes*, *Cocconeis placentula* var. *euglypta*, *Reimeria sinuate*

前言

藻類是溪流生態系中主要的基礎生產者，不僅扮演能量與物質轉換及儲存的角色，也為其他水生生物提供食物及棲所，進而影響水生生物種類組成(Lock et al. 1984)，因此探討藻類群集結構對於了解溪流生態系統的特徵是重要的。空間生態學的發展讓我們了解，不同的空間尺度下有其對應的環境因子決定生物分布的模式(Borcard et al. 2004)。在大空間尺度下(如集水區)，藻類群集變異可能源於地質、氣候條件、人類對土地利用所形成的地理環境差異(Stevenson 1997, Pan et al. 1999)，而在較小空間尺度下(如溪段)決定藻類分布的因子為流速、河岸樹冠覆蓋度、底質及營養等(Stevenson 1997)。

水流是溪流中一個很重要的驅力，不僅形塑溪流的物理棲地，也決定生物的空間分布。水流被發現往往是影響小尺度空間下底棲藻類群集或生物量最重要的因子(Biggs and Stokseth 1996, Stevenson 1996)，特別是在流量小而穩定的時期(Biggs and Gerbeaux 1993)。流速通常決定了不同生長形式底棲藻類的分布，在流速快的地點常出現小型貼覆底質、叢生狀群集，而在流速緩慢處則較常出現大型、頂生、絲狀藻類(Lamb and Lowe 1987)。Soininen (2005)研究不同流速下藻種組成的差異發現，在乾淨的溪流中在高流速 100 cm/s 與低流速 10-40 cm/s 下的藻種組成顯著不同，且在高流速下物種多樣性最低。而 Passy(2001)應用地景生態學空間分析的方法探討溪段尺度下底棲藻類分布與流速的關係，也指出流速為決定溪流中藻種分布的主要因子。

河岸樹冠覆蓋度與光照有關。當藻類進行光合作用需要光所提供的能量，不同光度下藻

類光合作用率會不同，不僅使得最後累積生物量有差異，在藻種組成上也可能產生差異(Steinman and McIntire 1987, Boston and Hill 1991)。底質是溪流附生藻類賴以生存的基礎，底質大小決定其對抗水流的能力，也間接左右了附生藻類生長的穩定度，而最後可能決定了生物量及物種的組成。Cattaneo 等人(1997)在加拿大渥太華研究底質大小對藻類分布及豐度的影響，將底質依大小分為五個等級，結果發現不僅單位生物量在大小不同底質上存在差異，藻類的生長型式(life form)組成也隨著底質大小不同而改變，絲狀(filamentous)與貼附生(adnate)藻種的比例隨著底質變大而增加，而移動-浮游性(motile-planktonic)藻種則在較小的底質有較重要的組成。

瀨、流及潭為溪段內常見的微棲地單元，具有不同的水深、流速與底質特徵。這些微棲地差異是否足以對石附生藻類的分布產生影響？前人研究，在比較不同微棲地間藻類群集的差異，大多是放置人工底質培養藻類，且流速皆在50 cm/s以下，他們的結果發現微棲地間藻類群集差異不大(Korte and Blinn 1983, Oemke and Burton 1986, Sobczak and Burton 1996)。但是，台灣山高水急，高山溪流瀨區流速動輒超過100 cm/s。因此，前人研究結果可否應用於台灣地區，值得探討。因此本研究欲探討以下問題：在同一溪段尺度下，溪流石附生矽藻在瀨、流及潭等微棲地間的藻種組成是否有差異？若有差異，由何種環境因子所造成？

材料與方法

一、研究地點:

研究溪段位於台灣中部雪霸國家公園武陵地區的有勝溪，海拔約1750 m，為典型的高

山溪流。有勝溪河寬約4-5 m，全長11.4 km，年平均水溫12.8°C、硝酸鹽類 (NO_2+NO_3)濃度為5.65 mg/L、磷酸鹽(PO_4)濃度為0.02 mg/L、導電度為239 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (Yu and Lin 2009)。上游流經295公頃農耕地帶，承接來自兩岸有機肥料的營養鹽輸入，因此附生藻類繁生，冬季以矽藻為主，夏季則有大量絲狀綠藻附生，若依環保署WQI5水質分類等級仍屬於優質等級水質(官等 2007)。

二、採樣方法

實驗於2008年冬季進行，為武陵地區溪流流量穩定時期，且於採樣日(1/4-5)前約兩個月時間武陵地區僅有幾次少量降雨，因此可以確保採樣時附生藻類生長已達演替的極盛狀態。於有勝溪選擇一段包含瀨、流、潭三類微棲地的溪段(距七家灣溪匯流口約500m

處，二度分帶座標 281524, 2693319)，設置6條橫越河道，分別穿越不同微棲地的穿越線，穿越線上每隔50 cm設置一個採樣點。採樣溪段全長23.4m，平均穿越線長度7.7m，共設置55個採樣點(圖1)。

於採樣點下方撿拾溪石，刮取石頭表面16 cm^2 的附生藻類，以100 ml的採集瓶保存。

回實驗室後以濃硫酸洗掉有機質，酸洗後的矽殼以Naphrax封片，以高階干涉式位相差光學顯微鏡(OLYMPUS, BX51)，在油鏡1000倍下鑑定藻種，並計數每片至少400個矽殼(Steinman and McIntire 1986)。

穿越線架設完成後，於三種微棲地各取三個重複的水樣，進行營養鹽濃度的測定。同時於每個採樣點測量環境因子，包括水深、平均流速、底質上方流速、底質粒徑、水溫、溶氧、導電度、pH、河道上方樹冠覆蓋度。

為避免因採集過程太久，導致水溫、溶氧等環境因子受日照影響，因此環境因子測量在藻類採集前一個小時內完成。以流速計(SonTek FlowTrakcer, Handheld ADV) 測量平均流速(水深3/5處)及底質上方流速，底質長度測量是將刮取藻類後之溪石平放，以尺測量石頭的最長直徑，水溫、溶氧、導電度、pH以水質儀(YSI 556)進行量測，樹冠覆蓋度測量以數位相機(Nikon Coolpix 5000)接魚眼鏡頭固定於高度1.3 m的腳架上，垂直立於採樣點上，拍攝樣點上方影像，再以GLA (Gap Light Analyzer)軟體將影像處理為黑(樹冠)白(天空)影像，並計算出黑色部份的百分比，以此作為樣點上方樹冠覆蓋度。

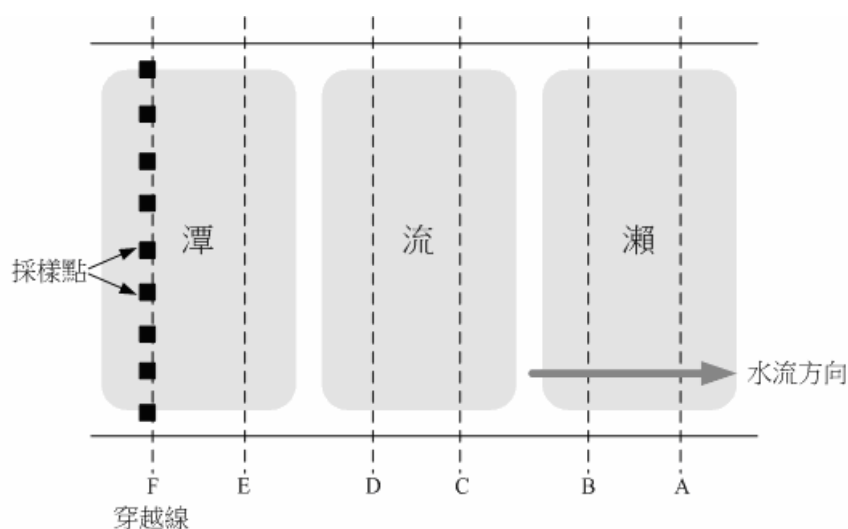


圖 1. 採樣溪段穿越線設置及採樣點分布示意圖

三、統計分析

以ANOVA檢測微棲地間環境因子是否有顯著差異，若達顯著水準($p < 0.05$)，再以Fisher's PLSD進行平均值之間差異顯著性檢測。

藻類群集主要利用Primer 6統計軟體進行分析(Clarke and Warwick 2001)，在分析之前先將每個藻種的相對豐度進行root square轉換，以降低優勢種的影響力，以Bray-Curtis相似性指數作出相似性矩陣，再以多元尺度空間排序法(Non-metric Multi-Dimensional Scaling, MDS)與聚類分析法(Hierarchical Cluster Analysis)比較不同微棲地間藻種組成的相似程度。

若藻類群集樣本間在MDS二度空間圖上的距離較近，代表他們的藻種組成較相似，若距離較遠，則反之。另以ANOSIM (Analysis of Similarities)檢測不同微棲地間，藻類群集的物種組成是否有顯著差異。

ANOSIM的統計值 R 介於1和-1之間， $R = 1$ 代表藻類群集內樣本相似性高於群集間； $R = 0$ 代表藻類群集內樣本相似性與群間沒有差異； $R < 0$ 代表藻類群集間樣本相似性高於群集內。

如果不同微棲地間藻類群集物種組成有顯著差異，再利用SIMPER(Similarity Percentages-Species Contribution)找出導致藻類群集間差異的關鍵物種。

此法主要利用物種對群集內相似性的貢獻度(%), 或者對群集間相異性的貢獻度(%)來判別，貢獻度越高為影響分群的重要物種。最後，以BioEnv (Biota and/or Environment Matching)找出影響藻種群集差異的主要環境因子。

BioEnv的概念是將物種組成相似性分布的MDS圖與由不同環境因子組合所形成的MDS圖疊合，計算兩分布圖間之相關性。相關性最高者，就是最能解釋藻種群集差異的環境因子組合。

結果

一、環境因子

採樣溪段之潭、瀨與流三種微棲地之水溫介於11.58-12.03°C、pH介於8.09-8.17、溶氧介於6.60-7.77 mg/L及導電度介於0.27-0.28 mS/cm，並無明顯變化，但是在水深、底質粒徑、流速、水溫、溶氧及覆蓋度在微棲地間存在顯著差異(表1)。

潭區有較深的水深33.07±13.61 cm及較小的底質粒徑7.68±2.51 cm；流區有較高的樹冠覆蓋度57.4±3.77 %；瀨區有較高的平均流速49.6±47.03 cm/s、溶氧7.49±0.23 mg/L及水溫11.9±0.05°C。而底質上方流速因變異太大，在三個微棲地間並無顯著差異。除F外，各微棲地間營養鹽濃度並無顯著差異(表2)。

二、藻種組成

本研究共記錄矽藻種類50種(表3)，其中中心綱(Centricae)僅一種，其餘均為羽紋藻綱(Pennatae)矽藻，其中無殼縫目(Araphidiales)有5種，佔全部種類的10 %，單殼縫目(Monoraphidiales)有14種佔28 %，雙殼縫目(Biraphidinales)有30種佔60 %。細胞相對豐度最優勢種類為*Achnanthes biasolettiana* Grunow var. *biasolettiana*，佔細胞總數38%，其次為*Nitzschia inconspicua* Grunow佔11 %及*Cocconeis placentula* var. *euglypta* (Ehrenberg) Grunow佔9%，三種共佔總相對豐度58 %。*Achnanthes*及*Cocconeis*兩屬為單殼縫種類，雖然單殼縫種類僅佔總藻種數的28 %，但他們的細胞數卻佔總細胞數的62 %。

三、藻種群集差異比較

由採樣溪段瀨、流、潭區石附生矽藻藻種群集樣本間之相似性矩陣，進行多元尺度空間排序法分析(MDS)可以將採樣點分為兩群(圖2)，其中一群藻種群集皆來自瀨區，另一群則由流與潭區的藻種群集及少數瀨區藻種群集所組成。

表 1. 有勝溪採樣溪段微棲地(潭、流及瀨)之各項環境因子參數及範圍

微棲地	潭 (n = 14)	流 (n = 23)	瀨 (n = 18)
水深(cm)	33.1±13.6 ^a (20-66)	19.2±8.96 ^b (3-33)	16.5±6.96 ^b (5-27)
底質粒徑大小(cm)	7.68±2.51 ^b (3-12)	12.8±3.95 ^a (7.5-20.5)	12.9±3.32 ^a (7-18)
平均流速(cm/s)	27.8±10.4 ^b (1.26-39.4)	28.1±20.6 ^b (0.40-64.8)	49.6±47.0 ^a (0.09-153)
底質上方流速(cm/s)	19.4±7.31 (2.77-28.4)	24.5±16.0 (1.02-54.9)	33.1±29.7 (0.07-102)
水溫(°C)	11.6±0.05 ^c (11.6-11.7)	11.8±0.05 ^b (11.6-11.9)	11.9±0.05 ^a (11.9-12.0)
導電度(mS/cm)	0.28±0.01 (0.27-0.28)	0.27±0.02 (0.21-0.28)	0.27±0.01 (0.27-0.27)
溶氧 DO(mg/L)	7.09±0.16 ^b (6.60-7.22)	7.18±0.16 ^b (6.76-7.38)	7.49±0.23 ^a (6.77-7.77)
pH	8.14±0.01 (8.12-8.17)	8.14±0.02 (8.09-8.17)	8.14±0.02 (8.1-8.17)
樹冠覆蓋度(%)	50.6±1.33 ^b (48.8-53.5)	57.4±3.77 ^a (51.3-63.3)	52.5±2.20 ^b (49.3-56.4)

n 為樣本數; 不同上標字母代表顯著差異, $p < 0.05$ 。

表 2. 有勝溪採樣溪段微棲地間各項離子濃度比較

離子(mg/L)	潭 (n = 3)	流 (n = 3)	瀨 (n = 3)
Li	0.02±0.01	0.02±0.00	0.02±0.00
Na	4.52±0.57	4.36±0.65	4.51±0.35
NH ₄	0.13±0.05	0.14±0.04	0.13±0.02
K	2.14±0.24	1.95±0.34	2.13±0.23
Mg	13.15±1.16	12.21±1.73	12.80±1.13
Ca	21.15±1.91	20.57±2.21	20.80±1.21
F	0.04±0.03 ^a	0.08±0.02 ^b	0.07±0.01 ^b
Cl	1.03±0.21	1.15±0.10	1.08±0.09
NO ₃	2.62±0.41	2.90±0.17	2.80±0.20
SO ₄	36.44±3.23	36.59±5.14	34.80±2.84

註:n 為樣本數; 不同上標字母代表顯著差異, $p < 0.05$ 。

表 3. 有勝溪採樣溪段藻種名錄及相對豐度

物種	殼縫數	綱別	相對豐度
<i>Achnanthes biasolettiana</i> Grunow var. <i>biasolettiana</i> 1880	1	P	38.4%
<i>Nitzschia inconspicua</i> Grunow 1862	2	P	10.6%
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i> (Ehrenberg) Grunow 1884	1	P	8.70%
<i>Planothidium lanceolatum</i> (Brébisson) Round & Bukhtiyarova 1996	1	P	5.43%
<i>Diatoma mesodon</i> (Ehrenberg) Kutzing 1844	0	P	5.11%
<i>Achnanthes</i> sp. 1	1	P	4.19%
<i>Achnanthidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki 1994	1	P	4.09%
<i>Reimeria sinuata</i> (Gregory) Kociolek & Stoermer 1987	2	P	3.97%
<i>Fragilaria rumpens</i> var. <i>fragilarioides</i> (Grunow) Cleve-Euler 1953	0	P	3.63%
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Grunow var. <i>dissipata</i> 1862	2	P	2.34%
<i>Diatoma vulgare</i> Bory 1824	0	P	2.30%
<i>Gomphonema pumilum</i> var. <i>rigidum</i> E. Reichardt et Lange-Bert. 1997	2	P	2.15%
<i>Gomphonema tergestinum</i> Fricke 1902	2	P	1.95%
<i>Nitzschia fonticola</i> Grunow 1978	2	P	1.70%
<i>Achnanthes</i> sp. 5	1	P	0.78%
<i>Nitzschia linearis</i> (Agardh) W. Smith var. <i>linearis</i> 1853	2	P	0.71%
<i>Encyonema minutum</i> (Hilse ex Rabenhorst) D. G. Mann 1990	2	P	0.71%
<i>Navicula seminulum</i> Grunow var. <i>seminulum</i> 1860	2	P	0.62%
<i>Achnanthes</i> sp. 2	1	P	0.48%
<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow 1880	2	P	0.47%
<i>Gomphoneis heterominuta</i> Mayama et Kawashima 2002	2	P	0.38%
<i>Navicula pseudoreinhardtii</i> Patrick var. <i>pseudoreinhardtii</i> 1959	2	P	0.18%
<i>Synedra rumpens</i> var. <i>familiaris</i> (Kützing) Grunow 1881	2	P	0.13%
<i>Navicula capitatoradiata</i> Germain 1981	2	P	0.12%
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing 1844	2	P	0.09%
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg 1838	1	P	0.09%
<i>Melosira varians</i> Agardh 1872	0	C	0.08%
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith 1856	2	P	0.07%
<i>Rhoicosphenia</i> sp.	1	P	0.06%
<i>Achnanthes</i> sp. 6	1	P	0.06%
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot 1980	0	P	0.05%
<i>Cymbella excisa</i> var. <i>excisa</i>	2	P	0.05%
<i>Navicula amphiceropsis</i> Lange-Bertalot & Rumrich 2000	2	P	0.05%
<i>Achnanthes hustedtii</i> (Krasske) Reimer 1966	1	P	0.04%
<i>Navicula tantula</i> Hustedt 1934	2	P	0.03%
<i>Gomphonema brebissonii</i> Kützing var. <i>brebissonii</i> 1849	2	P	0.03%

表 3. 有勝溪採樣溪段藻種名錄及相對豐度 (續)

物種	殼縫數	功能群	相對豐度
<i>Navicula gregaria</i> Donkin 1861	2	P	0.03%
<i>Navicula suprinii</i> Moser, Lange-Bertalot & Metzeltin 1998	2	P	0.03%
<i>Achnanthes brevipes</i> Agardh 1824	1	P	0.02%
<i>Amphora montana</i> Krasske 1932	2	P	0.02%
<i>Cymbella kappii</i> (Cholnoky) Cholnoky 1956	2	P	0.02%
<i>Cymbella turgidula</i> var. <i>bengalensis</i>	2	P	0.02%
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing var. <i>parvulum</i> 1849	2	P	0.02%
<i>Surirella angusta</i> Kützing 1844	2	P	0.02%
<i>Achnanthes</i> sp. 4	1	P	0.01%
<i>Achnanthes</i> sp. 7	1	P	0.01%
<i>Navicula Vandamii</i> Schoeman & Archibald 1987	2	P	0.01%
<i>Achnanthes</i> sp. 3	1	P	0.00%
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow 1862	2	P	0.00%
<i>Nitzschia clausii</i> Hantzsch 1860	2	P	0.00%

殼縫數：0=無殼縫；1=單殼縫；2=雙殼縫及其他/ 綱別：P=羽紋綱 C=中心綱

再檢視藻種群集的聚類分析結果(圖3)，可以發現多數瀨區的樣本聚合在一起，在相似性 66 %處可以與其他樣本分開為兩群，右群皆由瀨區13個藻種群集樣本組成，其餘藻種群集樣本則形成另一群。

多元尺度分析及聚類分析呈現一致的結果。再以ANOSIM檢測不同微棲地間藻種群集差異的顯著性，發現瀨區藻種群集與流區($R=0.51, p=0.1\%$)及潭區($R=0.42, p=0.1\%$)皆有顯著差異，而流區及潭區($R=0.01, p=0.38$)則沒有顯著差異，因此瀨區的藻種組成明顯不同於流及潭區，而流及潭區藻種組成則無顯著差異。

由圖4我們可以發現流與潭區的優勢藻種組成幾乎一致，較明顯的藻種差別只有在流區出現了較高豐度的*Nitzschia dissipata* var. *dissipata*。而瀨區的優勢種則出現了兩種在流及潭區並非優勢的藻種，即*C. placentula* var. *euglypta* 與*R. sinuata*；此兩物種即占瀨區相對豐度的32 %，而*C. placentula* var. *euglypta* 的

豐度則僅次於最優勢的*A. biasolettiana* var. *biasolettiana*。

以SIMPER釐清導致瀨與潭區，以及瀨與流區間藻種群集有差異的關鍵物種，發現造成瀨區與流及潭區間差異的關鍵物種為*C. placentula* var. *euglypta*、*A. biasolettiana* Grunow var. *biasolettiana*、*Achnanthes* sp. 1、*Reimeria sinuata* (Gregory) Kociolek & Stoermer、*Achnantheidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki、*Nitzschia . inconspicua*、*N. dissipata* (Kützing) Grunow var. *dissipata*、*N. fonticola* Grunow等8種，相異性綜合貢獻度在瀨與流區為52.7 %，在瀨與潭區為52.3 % (表4及5)。其中*C. placentula* var. *euglypta* 及*R. sinuata* 在瀨區的豐度比流及潭區要高出許多，其他6種則在流及潭區有較高豐度。藉由BioEnv分析，發現底質上方流速、平均流速、水溫及溶氧等4種環境因子的組合($Rho = 0.58, p = 1.0\%$)能提供不同微棲地間藻類群集變化的最佳解釋。

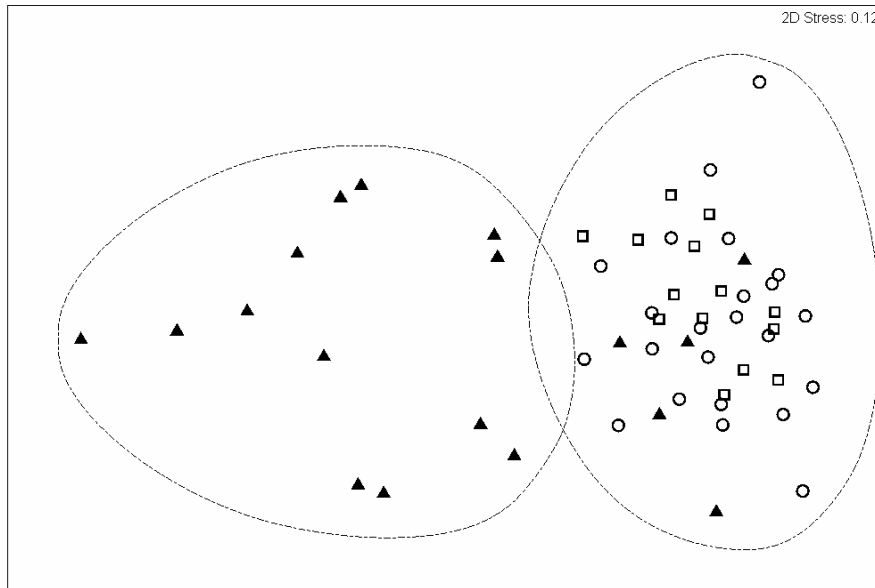


圖 2. 有勝溪採樣溪段石附生矽藻群集的多元尺度空間排序法分析圖(MDS)
(▲代表瀨區採樣點；○代表流區採樣點；□代表潭區採樣點)

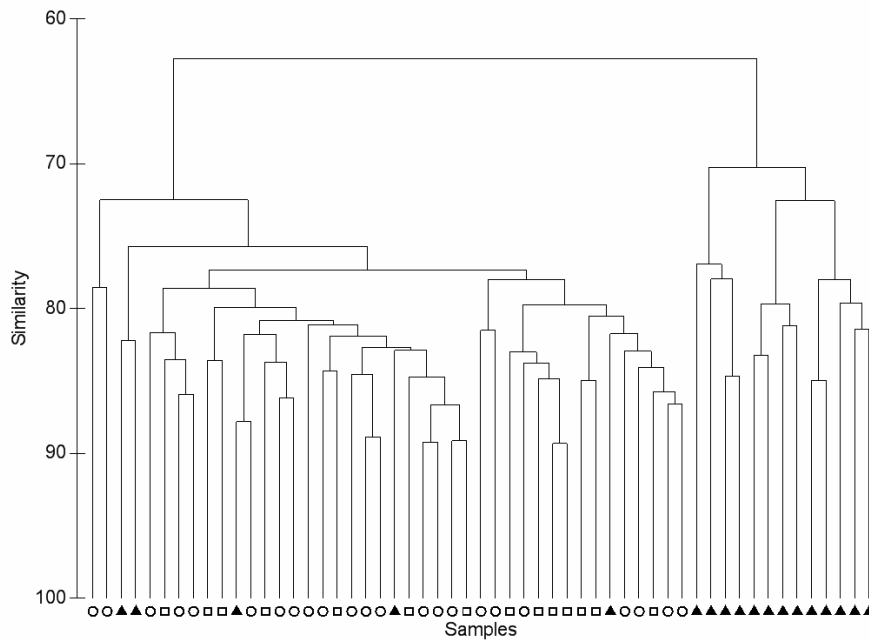


圖 3. 有勝溪採樣溪段石附生矽藻群集的聚類分析圖(cluster analysis)
(▲代表瀨區採樣點；○代表流區採樣點；□代表潭區採樣點)

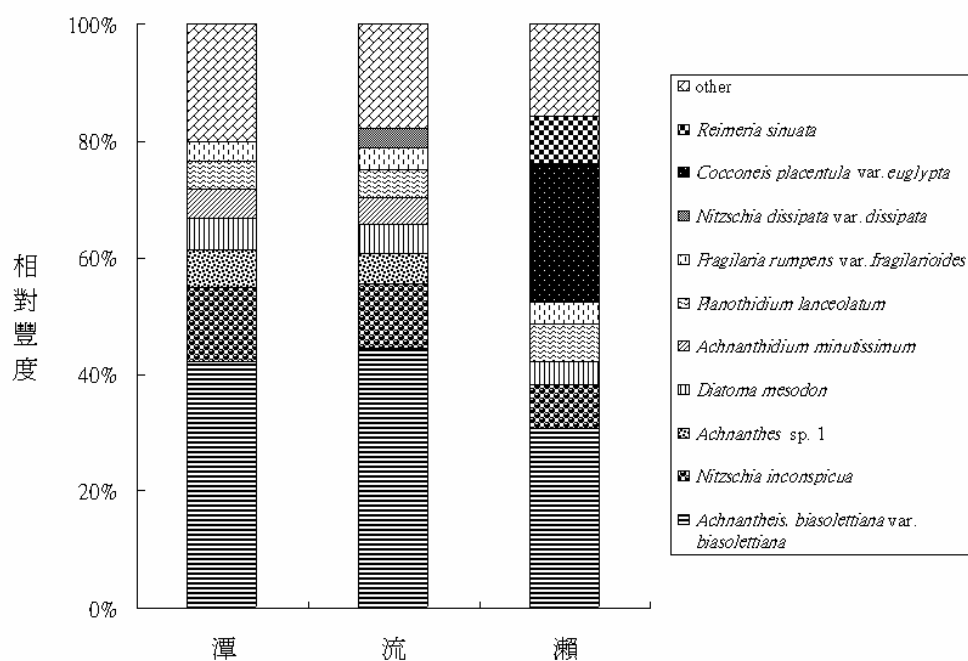


圖 4. 有勝溪採樣溪段微棲地間優勢藻種相對豐度

表 4. 有勝溪溪段瀨及流區石附生矽藻群集間相異性貢獻度累積至 50%的物種
(Average dissimilarity = 33.52)

物種	瀨 Av.Abund.	流 Av.Abund.	Av.Diss.	Diss./SD	Contrib.%	Cum.%
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i>	8.82	2.35	4.72	1.56	14.1	14.1
<i>Achnanthes biasolettiana</i> var. <i>biasolettiana</i>	10.6	13.3	2.71	1.27	8.08	22.2
<i>Achnanthes</i> sp. 1	1.63	4.40	2.19	1.47	6.53	28.7
<i>Reimeria sinuata</i>	5.36	2.66	2.11	1.53	6.30	35.0
<i>Nitzschia dissipata</i> var. <i>dissipata</i>	1.24	3.22	1.65	1.20	4.93	39.9
<i>Achnanthis minutissimum</i>	2.53	4.16	1.58	1.38	4.73	44.7
<i>Nitzschia fonticola</i>	1.19	3.02	1.37	1.68	4.10	48.8

註: Av. Abund. = 平均豐度(開二次方根)/ Av. Diss. = 平均相異性/ Contrib. % = 貢獻度百分比
Cum. % = 貢獻度累積百分比

表 5. 有勝溪溪段瀨及潭區石附生矽藻群集間相異性貢獻度累積至 50%的物種
(Average dissimilarity = 32.84)

物種	瀨 Av.Abund.	潭 Av.Abund.	Av.Diss.	Diss./SD	Contrib.%	Cum.%
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i>	8.82	2.25	4.70	1.57	14.3	14.3
<i>Achnanthes biasolettiana</i> var. <i>biasolettiana</i>	10.6	12.3	2.35	1.31	7.15	21.5
<i>Achnanthes</i> sp. 1	1.63	4.61	2.17	1.42	6.60	28.1
<i>Reimeria sinuata</i>	5.36	2.68	2.06	1.58	6.27	34.3
<i>Achnanthidium minutissimum</i>	2.53	4.44	1.81	1.56	5.52	39.9
<i>Nitzschia inconspicua</i>	5.29	7.38	1.56	1.49	4.75	44.6
<i>Nitzschia dissipata</i> var. <i>dissipata</i>	1.24	2.82	1.36	1.45	4.13	48.7

註: Av. Abund. = 平均豐度(開二次方根)/ Av. Diss. = 平均相異性/ Contrib. % = 貢獻度百分比

Cum. % = 貢獻度累積百分比

討論

一、環境因子

水流是決定水生生物分布重要的因子之一，可以促進底棲藻類群集的異質性，尤其在較小空間尺度下及流量穩定時期(Biggs and Stokseth 1996, Stevenson 1996, Biggs and Gerbeaux 1993)。本研究發現在溪段尺度下，底質上方流速、平均流速、溫度及溶氧等4種環境因子的組合與不同微棲地間藻類群集的變化最為相關。雖然在不同微棲地間，水溫有顯著差異，但此差異相當小(潭: 11.6±0.05 °C；流: 11.8±0.05 °C；瀨: 11.9±0.05 °C)，而溶氧在三個微棲地間的差異亦小(潭 7.09±0.16 mg/L；流 7.18±0.16 mg/L；瀨 7.49±0.23 mg/L)，而且兩者在微棲地的差異很可能皆由流速不同所造成的，因此流速實為溪段尺度中影響藻類群集的主要因子。早期在實驗室人工溪流研究中，曾發現流速會影響藻類物種組成、豐度、生長型態(Lamb and Lowe 1987, Steinman and McIntire 1986, Peterson and Stevenson 1990)，野外的調查研究也發現在較小的空間尺度下(如溪段)，流速是決定藻類群集的關鍵因子(Wendker 1992, Biggs and Gerbeaux 1993, Soininen 2005)。

二、藻種組成

有勝溪採樣溪段中優勢藻種多為體型較小或生長形式為緊貼底質(adnate)的單殼縫種類，這類矽藻利用其微微彎曲的矽殼緊貼在底質表面，而能在高流速的環境下生存，而此類藻種正是武陵地區溪流最優勢的藻種(Yu and Lin 2009)。其中最優勢藻種*A. biasolettiana* var. *biasolettiana* 常為高山溪流中的優勢種(Noga 2003, Martinez *et al.* 2003)，適應寡至中度營養鹽的水域環境，此確實反映了武陵地區溪流水文環境特性。

三、藻種群集差異比較

本研究結果發現在不同微棲地間，藻種組成有顯著差異。差異主要在於瀨區的藻種組成明顯不同於流及潭區。相對於流及潭區，*C. placentula* var. *euglypta* 與 *R. sinuata* 兩物種在瀨區有相當高的相對豐度(32%)，即該兩物種有可能是偏好高流速環境的種類，類似的現象在 Jowett and Biggs (1997)的研究中也曾發現 *Cocconeis* sp.及 *Reimeria sinuate* 在較高流速(60-90 cm/s)下有較高的豐度，另 Soininen (2005)的研究比較在 10、40、100 cm/s 三種流速下藻種組成，也指出 *Cocconeis* sp.及 *R. sinuate* 在 100 cm/s 的高流速下，豐度最高，

而在我們的研究中，瀨區的流速最高可以超過 150 cm/s。

以瀨、流及潭區為微棲地單元比較藻種組成的研究並不多。Oemke and Burton (1986) 以玻片放入溪流的瀨及潭區中，比較矽藻在不同演替階段中兩類微棲地藻種組成的差異。結果發現，雖然在演替初期，藻類細胞移入率及組成略有差異，但很快地兩類棲地類型的差異消失，六個星期後均以 *Cocconeis* spp. 為優勢種，最後並沒有顯著差異。Korte and Blinn (1983) 的研究將玻璃纖維(plexiglass)人工基質放置於溪流中的瀨(流速 48 cm/s)及潭區(接近 0 cm/s)，同時比較不同演替階段的藻種組成發現，兩種微棲地一開始均以單殼縫平貼基質生長的藻種 *Achnanthes* 及 *Cocconeis* 為主，兩個星期後僅在瀨區出現鏈狀及直立狀藻種，如 *Gomphonema* 及 *Nitzschia*。不過他們認為如果實驗時間拉長，潭區也會出現同樣的藻類群集，只不過瀨區的演替過程較快速而已。上述兩個研究最終均指出，瀨區及潭區的藻種組成在群集發展達到極盛時，藻種組成並沒有差異。不過，在我們的研究中卻可以明顯的看出瀨區的藻種組成與潭及流區的不同，其原因可能在於前人研究因人工底質放置採樣的問題，只能限制在較低的流速(< 50 cm/s)狀況下，而本研究直接採集溪流底石的方法，讓我們有機會採集到較高流速的環境，而能偵測到因高流速所造成藻種組成上的差異。

四、水棲昆蟲的影響

除了物化環境因子會影響藻類群集豐度及組成，植食性水棲昆蟲也會透過採食而影響藻類群集、生物量及豐度 (Rosemond et al. 1993, Steinman et al. 1989, Steinman et al. 1992)。武陵地區水棲昆蟲發生高峰出現在2月及颱風來前的7月(郭 2008)，由觀察我們採樣時石頭上附生藻分布狀況來看，水棲昆蟲對附生藻類的影響事實上並不大；且由鄭(2007)在武陵溪流食物網模式的研究提到，有勝溪由附生藻類所帶來的初級生產力有高達97 %沒

有被利用，意即缺乏足夠的初級消費者而使得大量的初級生產力輸出系統外部；又 *Cocconeis placentula* var. *euglypta* 及 *Reimeria sinuata* 在前人研究中均指出其為高流速水文條件下的優勢種，因此我們判斷在採樣期間，有勝溪瀨區的藻種差異受水蟲影響的部分應該不大，主要還是與流速有關。

五、生態監測的應用

長期以來藻類普遍被用作為評估水質的生物指標，甚至用來評估溪流棲地或河岸環境品質 (Kutka and Richards 1996, Pan et al. 2004)，相關的指標如 PIBI (Periphyton Index of Biotic Integrity, Hill et al. 2000) 及 TDI (Trophic Diatom Index, Kelly and Whitton 1995)，是藉由個別藻種對環境因子反應的敏感度來評估水域環境。這類考慮藻種組成及相對豐度的評估方式需要特別注意採樣方法的代表性。以本研究結果為例，Van Dam et al. (1994) 將 *C. placentula* var. *euglypta* 歸類為 β -mesosaprobous - eutrphentic 種類，屬於第二級水質出現種類，而 *N. inconspicua* 被歸類為 σ -mesosaprobous - eutrphentic，屬於第三級水質出現物種。在本研究中，*C. placentula* var. *euglypta* 的相對豐度在流及潭區僅約 1.5%，但在瀨區卻高達 23%。而 *N. inconspicua* 在流及潭區皆為第二優勢種，因此若只採集瀨區藻種，恐怕會高估溪流水質的情況；若僅採集流或潭區，則又發生低估溪流水質的情況。台灣山高水急，高山溪流流速超過 100 cm/s 是很常見的情況，因此我們欲以底棲藻類來評估溪流水質時，須考慮採樣點是否具有代表性，尤其在流速相當快的溪段，須兼顧不同微棲地的採樣，才能真實反映當地水質狀況。

結論

在冬季的有勝溪，石附生矽藻的優勢種類多為適應高流速環境之單殼縫曲殼藻屬 (*Achnanthes*)，約佔總豐度的 53.5%。在溪段尺

度下，瀨、流及潭區三種微棲地中的石附生矽藻群集組成有顯著差異：在流速較快的瀨區，*Cocconeis placentula* var. *euglypta*及 *Reimeria sinuata*兩種的豐度 (31.7 %)明顯高於流速較緩的流 (3.5 %)及潭區 (3.3%)。流速為導致此微棲地矽藻群集差異的最主要環境因子。由本研究結果顯示，當進行溪流藻類多樣性監測時，須兼顧不同微棲地的採樣，尤其在流速變異大時，才能忠實描述該溪段的藻類群集結構。

誌謝

本研究經費由雪霸國家公園管理處委託計畫「武陵地區長期生態監測暨生態模式建立」補助。感謝特有生物研究保育中心河川研究室郁沅瀚先生及中興大學生科系水域生態實驗室黃秋平小姐與陳建宏先生的協助，使得野外工作得以順利進行。另要感謝特有生物研究保育中心提供器材及設備使藻類鑑識工作得以完成。最後感謝雪霸國家公園武陵工作站提供住宿及採樣相關協助，在此一併致謝。

引用文獻

官文惠、呂佩珊、江美貞、林彥均、陳淳圓、鄭宗誠、盧麒丞、蕭翔懌。2007。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立-第三章水質研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處研究報告，共 72 頁。

郭美華、丘明智。2007。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立-第七章水棲昆蟲研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處研究報告，共 27 頁。

鄭份展。2007。蘭陽溪與七家灣溪流流域生態系模式之比較分析。國立中興大學生命科學系碩士論文，共 146 頁。

Biggs BJJ and P Gerbeaux. 1993. Periphyton Development in Relation to Macro-scale (geology) and Micro-scale (velocity) Limiters in Two Gravel-bed Rivers, New Zealand. *New*

Zealand Journal of Marine and Freshwater Research. 27:39-53.

Biggs BJJ and S Stokseth. 1996. Hydraulic Habitat Suitability for Periphyton in Rivers. *Regulated Rivers Research & Management*. 12:251-261.

Borcard D, P Legendre, C Avois-Jacquet and H Tuomisto. 2004. Dissecting the Spatial Structure of Ecological Data at Multiple Scales. *Ecology*. 85:1826-1832.

Boston HL and WR Hill. 1991. Photosynthesis-light Relations of Stream Periphyton Communities. *Limnology and Oceanography*. 36:644-656.

Cattaneo A, T Kerimian, M Roberge and J Marty. 1997. Periphyton Distribution and Abundance on Substrata of Different Size Along a Gradient of Stream Trophy de Montreal. *Hydrobiologia*. 354:101-110.

Clarke KR and RM Warwick. 2001. *Changes in Marine Communities: an Approach to Statistical Analysis and Interpretation*. 2nd edition. Plymouth Marine Laboratory, UK.

Hill BH, FH McCormick, AT Herlihy, PR Kaufmann, RJ Stevenson and CB Johnson. 2000. Use of Periphyton Assemblage Data as an Index of Biotic Integrity. *Journal of the North American Benthological Society*. 19:50-67.

Jowett IG and BJJ Biggs. 1997. Flood and Velocity Effects on Periphyton and Silt Accumulation in Two New Zealand Rivers. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*. 31:287-300.

Kelly MG and BA Whitton. 1995. The Trophic Diatom Index: a New Index for Monitoring Eutrophication in Rivers. *Journal of Applied Phycology*. 7:433-444.

Korte VL and DW Blinn. 1983. Diatom Colonization on Artificial Substrata in Pool and Riffle Zones Studied by Light and Scanning Electron Microscopy. *Journal of Phycology*. 19(3):332-341.

Kutka FJ and C Richards. 1996. Relating Diatom Assemblage Structure to Stream Habitat Quality. *Journal of the North American Benthological Society*. 15:469-480.

Lamb MA and RL Lowe. 1987. Effects of Current Velocity on the Physical Structuring of Diatom (Bacillariophyceae) Communities. *Ohio Journal of Science*. 87:72-78.

Lock MA, RR Wallace, JW Costerton, RM Ventullo and SE Charlton. 1984. River Epilithon: toward a Structural-functional Model. *Oikos*. 42:10-22.

Martinez DF, N Maidana, N Gomez and S Sabater. 2003. Distribution patterns of benthic diatoms in a Pampean river exposed to seasonal floods: the Cuarto River (Argentina). *Biodiversity and Conservation*. 12:2443-2454.

Noga T. 2003. Dispersion of *Didymosphaenia* in the flowing waters of southern Poland-new sites of species occurrence in the Oramska watershed and the Orawska basin. *Oceanological and Hydrobiological Studies*. 32:159-170.

Oemke MP and TM Burton. 1986. Diatom Colonization Dynamics in a Lotic System.

- Hydrobiologia*. 139:153-166.
- Pan Y, A Herlihy, P Kaufmann, J Wigginton, J van Sickle and T Moser. 2004. Linkages among Land-use, Water Quality, Physical Habitat Conditions and Lotic Diatom Assemblages: A Multi-spatial Scale Assessment. *Hydrobiologia*. 515:59-73.
- Pan Y, RJ Stevenson, BH Hill, PR Kaufmann and AT Herlihy. 1999. Spatial Patterns and Ecological Determinants of Benthic Algal Assemblages in Mid-atlantic Streams, USA. *Journal of Phycology*. 35:460-468.
- Passy SI. 2001. Spatial Paradigms of Lotic Diatom Distribution: A Landscape Ecology Perspective. *Journal of Phycology*. 37:370-378.
- Peterson CG and RJ Stevenson. 1990. Post-Spate Development of Epilithic Algal Communities in Different Current Environments. *Canadian Journal of Botany*. 68(10): 2092-2102.
- Rosemond AD, PJ Mulholland and JW Elwood. 1993. Top-down and bottom-up control of stream periphyton: effects of nutrients and herbivores. *Ecology*. 74:1264-1280.
- Sobczak WV and TM Burton. 1996. Epilithic Bacterial and Algal Colonization in A Stream Run, Riffle, and Pool: A Test of Biomass Covariation. *Hydrobiologia*. 332:159-166.
- Soininen J. 2005. Assessing the Current Related Heterogeneity and Diversity Patterns of Benthic Diatom Communities in A Turbid and A Clear Water River. *Aquatic Ecology*. 38:495-501.
- Steinman AD and CD McIntire 1986. Effects of Current Velocity and Light Energy on The Structure of Periphyton Assemblages in Laboratory Streams. *Journal of Phycology*. 22:352-361.
- Steinman AD and CD McIntire. 1987. Effects of Irradiance on The Community Structure and Biomass of Algal Assemblages in Laboratory Streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 44:1640-1648.
- Steinman AD, CD McIntire, SV Gergory and GA Lamberti. 1989. Effects of irradiance and grazing on lotic algal assemblages. *Journal of Phycology* 25:478-485.
- Steinman AD, PJ Mulholland and WR Hill. 1992. Functional responses associated with growth form in stream algae. *Journal of the North American Benthological Society*. 11:229-243.
- Stevenson RJ. 1996. The Stimulation and Drag of Current. Pages 321-340. in Stevenson, RJ, ML Bothwell, RL Lowe, editors. *Algal Ecology, Freshwater Benthic Ecosystems*. Academic Press. San Diego, California, USA.
- Stevenson RJ. 1997. Scale-Dependent Determinants and Consequences of Benthic Algal Heterogeneity. *Journal of the North American Benthological Society*. 16:248-262.
- Van Dam H, A Mertens and J Sinkeldam. 1994. A Coded Checklist and Ecological Indicator Values of Freshwater Diatoms from the Netherlands. *Aquatic Ecology*. 28:117-133.
- Wendker S. 1992. Influence of Current Velocity on Diatoms of A Small Softwater Stream. *Diatom Research*. 7:387-396.
- Yu SF and HJ Lin. 2009. Effects of Agriculture on the Abundance and Community structure of Epilithic Algae in Mountain Streams of Subtropical Taiwan. *Botanical Studies*. 50: 73-87.