

平原區濁水溪流域

浮游動物群聚結構時空變異與水質評估應用

孫華駿¹、林宛柔¹、汪碧涵¹

摘 要

濁水溪是台灣最長的河川，特點是有高懸浮微粒，為特殊的水生生物棲地。本研究季節性調查濁水溪探討浮游動物相與環境因子（水溫、pH、鹽度、飽和溶氧量等）。建立 1,037 筆 32 種淡水浮游動物資料，以輪蟲類 22 種、原生動物 8 種為最多樣，橈足類豐量最高。ANOSIM 結果顯示，下游河段群聚結構與中游、上游顯著不同；群落結構有季節性變化，與物種的季節性的生活史有關。濁水溪水中的浮游動物以秋季的下游豐富度最高，每公升可達 12,056 個。輪蟲類是各季節與各河段樣本中的優勢優勢無脊椎動物。根據輪蟲類作為生物指標的水質指數 $Q_{B/T}$ ，濁水溪上、中游河段均屬寡養型水體；下游夏季為中養型水體 ($Q_{B/T} = 1.0$)，秋季為優養型水體 ($Q_{B/T} > 2.0$)，冬季族群量過低，無法評估。

關鍵詞：濁水溪、浮游動物、群聚結構、輪蟲類

¹ 東海大學生命科學系

一、前言

浮游動物指在水流運動的作用下，被動地漂浮於水層中的生物，廣泛分佈在水域生態系，在食物階層中，屬於初級消費者，其種類和數量直接或間接影響水域生態系統的結構 (鄭等人, 1992)。由於其游泳能力受限，容易受到潮汐、流速等水的物理性質影響。浮游動物的分布同時也受到鹽度、溶氧量和營養等水化學因子影響。當然物種本身的生活史、趨性也是影響其在水域時空中群聚分布的因素，例如有季節生活史的類群，繁殖期豐富度高，休眠期豐富度低 (何等人, 1982)。不同的物種對水質有不同的容忍度與適應度，因此可作為水質生物指標 (Ferdous and Muktadir 2009)。

水質監測包含理化因子和生物因子的監測。測得的理化因子數值只表示當下瞬間的水質變化。生物因子的監測，是利用環境中的生物群聚作為代表，可顯示長期多方環境因子所造成的群聚變化，反映長期的水質狀況對於生態環境的影響。以生物作為水質監測的技術有藻屬指數 (GI) (Wu, 1999)、生物整合指標 (IBI) (Karr, 1991) 和指標性底棲昆蟲 (徐和楊, 1997) 等。以浮游動物監測水質的研究多應用在湖泊和水庫。

生物指標的概念，最早是由德國生物學家 Marsson 和 Kolkwitz 提出，他們區分污水池生物自淨的五個階段，並調查各階段中的生物相，其中就包含浮游動物 (Kolkwitz and Marsson, 1908)。Sládeček (1983) 分析 620 種輪蟲在這五階段的分布，並以五階段的腐水質 (Saprobic Index; SI) 轉換對應的生物需氧量 (BOD₅)，由於 *Brachionus* 屬都分布在中腐水性 (mesosaprobic) 的污水中，而 *Trichocera* 屬主要分布在寡腐水性 (oligosaprobic) 的水中，因此以前者作為優養型 (eutrophy) 水體指標，後者作為寡養型 (oligotrophy) 水體指標，訂定出以輪蟲類作為生物

指標的水質指數 (*Brachionus* 種數 / *Trichocera* 種數; $Q_{B/T}$)。

本研究探討淡水河川浮游動物相與環境因子之關係，藉由浮游動物的群聚結構以及輪蟲類作為生物指標的水質指數 $Q_{B/T}$ 評估水質。

研究以台灣第一長河濁水溪的平原區為樣區。濁水溪位於台灣中西部，發源於合歡山主峰與東峰間，入海口位於彰化縣大城鄉與雲林縣麥寮鄉間，流入台灣海峽，主流長度 186.6 公里。流域面積約為 3,156.9 km²，流域面積為全台第二大之河川，全流域地形平均高度約為 1,422 公尺，標高小於 100 公尺的平地面積約占 8.37%(台灣水利署，2014)，平地流域分佈於彰化、雲林縣，面積廣闊，多為農業用地。

二、材料與方法

(一) 樣區設置

研究以濁水溪的平原區為樣區，沿濁水溪主流以 GPS 訂定座標 (表一)，等距離在麥寮鄉、崙背鄉、西螺鎮與莿桐鄉境內設四個樣區，分別代表平原區的下流 (W1)、中游 (W2, W3) 和上游 (W4) 河段，每個樣區是一公里河段，並在樣區內設置三重複樣點，每個樣點間至少相隔 100 公尺。

(二) 採樣方法

1. 採樣時間

2012 年 3 月 20 日、6 月 10 日、9 月 11 日與 11 月 25 日，共四季採樣。

2. 樣本濃縮

取表層水 30 公升後，以 0.053 mm 的篩網 (mesh no. 270) 過濾，以水反覆沖洗篩網，收集篩網上的濾物，裝於 50 毫升的離心管，並固定於 5% 福馬林中，最終體積為 35 毫升。帶回實驗室冷藏保存於攝氏 4 度。

3. 水質檢測

以袖珍型溶氧計 (Code 1761 DO Tracer Pocketester Kit, LaMotte, USA) 測量溫度和溶氧量。以袖珍型酸鹼度/鹽度/總懸浮固體量/導電度計 (Code 1766 pH / salinity / TDS / Con Tracer, Pocketester, LaMotte, USA) 測量 pH 值、電導度、鹽度和總溶解固體量。

(三) 計數與統計分析

1. 計數與鑑定

樣本均勻混合後，以微量吸管吸取 20 微升滴於懸滴玻片上，用光學顯微鏡 (Nikon H550L，日本) 鏡檢，拍照記錄，存成數位檔，計數各分類單位 (operational taxonomic unit; OTU) 的族群量，每個樣本三重覆。根據淡水生物學 (何等人，1982) 圖鑑鑑定。

2. 統計分析

使用 R 統計軟體，以 Redundancy Analysis (RDA) 分析環境因子與群聚結構之相關性。使用 PRIMER5 統計軟體，計算以各樣區之多樣性指數來比較浮游動物的多樣性。以各樣區多樣性資料，利用 PRIMER5 軟體計算 Bray-Curtis similarity (Kerbs, 1989) 後，再以 Analysis of Similarity (ANOSIM) 分析各河段和季節間的群聚結構是否有顯著差異 (Clarke and Warwick, 2001)。

以 Sládeček (1983) 的 $Q_{B/T}$ 指數分析水質優養化程度，其公式為：

Brachionus 種數 / *Trichocera* 種數

其中， $Q_{B/T}$ 小於 1 為寡養型水體；介於 1 和 2 之間為中養型水體；大於 2 為優養型水體。若只有 *Brachionus* 屬，分母設為 1；若只有 *Trichocera* 屬，水質屬於寡養型水體。在 Sládeček 的調查中，只有寡養型水體出現兩屬皆無的情形，應代表寡養型水體，註記為「-」，但未加註說明。

三、結 果

調查共獲 32 種形態種，其中以輪蟲類 22 種最為多樣，原生動物 8 種，橈足類由於鑑定困難，只區分無節幼蟲與成蟲 (表二)。

各河段群聚結構與季節性消長如圖一。浮游動物的最高豐量出現在秋季下游 (W1)，每公升水樣中有 12,056 個個體，以輪蟲類為優勢，每升中有 9,333 個個體。冬季的豐量明顯低於其他季節，下游 (W1) 和 中游 (W2) 每公升水樣中僅有 389 個個體，其他二樣區無發現。下游 (W1) 和 中游 (W2) 的豐度較 中游 (W3) 和 上游 (W4) 高。輪蟲類和橈足類的豐量從上游往下游有遞增的趨勢。秋季下游群聚結構多樣性最高 (圖二)。春季與夏季的多樣性比冬季高，冬季各河段多樣性皆低 (圖二)。

各季節間的浮游動物群聚結構，除了夏季與秋季差異未達顯著水準外 ($P = 0.063$)，其他季節間的群聚結構有顯著性差異 ($P \leq 0.05$) (表四)。除 中游 (W2, W3)、上游 (W4) 間浮游動物群聚結構無顯著差異 ($P = 0.135$) 外，下 (W1)、上游 (W4)

和下 (W1)、中游 (W2, W3) 間浮游動物群聚結構有顯著差異 ($P < 0.05$) (表四)。代表下游 (W1) 河段浮游動物群聚結構與中游 (W2, W3)、上游 (W4) 顯著不同。

RDA 分析結果如圖三，6 個環境因子，包括水溫、pH 值、溶氧量、導電度、鹽度、總溶解固體量，對於物種分佈的解釋量為 55.81%，不能解釋的物種分佈量為 44.19%。浮游動物群聚結構顯著受總溶解固體量 ($P = 0.009$) 與導電度 ($P = 0.044$) 影響。水溫、pH 值、溶氧量、鹽度影響不顯著。

輪蟲調查，濁水溪四季各樣點都沒有 *Trichocera* 的紀錄，依照 $Q_{B/T}$ 的公式，分母設定為 1 計算。濁水溪夏季時，下游與上游 $Q_{B/T}$ 值皆為 1，屬於中養型水體；秋季下游 $Q_{B/T} = 5$ ，為優養型水體；其他季節與河段皆未計數到兩屬指標輪蟲，根據 Sládeček (1983) 的調查報告，只有在寡養型水體才沒有這兩屬指標輪蟲出現，判讀為寡養型水體。

四、討 論

浮游生物群聚結構有季節變化，群落的組成和數量隨季節變化，族群量在四到五月增加，七到八月會有第二次的增加，進入冬季則減少 (袁，1992)。本研究調查濁水溪浮游動物群聚組成的季節性變化，發現春、夏季浮游動物的豐度高，冬季豐度降低；冬季浮游動物族群低於可偵測量。

在我們的調查中，橈足類的幼體在春季最多，夏冬其次，秋季族群均為成體而沒有幼體的紀錄(表二)，顯示浮游動物的生活史與適應季節變化有關。

浮游動物群聚組成受季節影響外，河口生態系受河流與海水的多種因子影響 (Elliott and Mclusky 2002)，也就是群聚結構受河段影響。從 ANOSIM 統計結果，濁水溪下游浮游動物群聚結構與中游和上游顯著不同。春季下游豐富度低，其他

季節越接近下游，豐富度與多樣性越高。尤以秋季下游浮游動物的豐量與多樣性指數最高，生物類群中以輪蟲類為優勢，最適宜做為指標生物。

優養化河川中，*Brachionus* 有較高的多樣性、出現頻率以及豐富度 (Perbiche-Neves et al. 2013)。根據 Sládeček (1983) 的調查，*Brachionus* 屬的出現代表優養型水體，對應於寡養環境生長的 *Trichocera* 屬輪蟲，屬間的物種數比的差別越大，反映出優養化的嚴重程度。根據濁水溪溪水 $Q_{B/T}$ 指數計算，秋季下游的 *Brachionus* 物種數比夏季多， $Q_{B/T}$ 指數升高，分別反映優養型與中養型水體，其他河段在各季未計數到優養型水體的指標輪蟲 *Brachionus*，屬寡養型水體，然而也沒有寡養型水體的 *Trichocera* 屬輪蟲紀錄。

春冬二季濁水溪各河段都未計數到二個指標輪蟲屬，有二個可能，一為樣本中沒有這二屬指標輪蟲，為寡養型水體；或是季節變異的關係，春季輪蟲族群以幼體為主，冬季大多數輪蟲休眠，非生長季節，族群量太低，無法判別其多樣性。若是後者，則 $Q_{B/T}$ 不適合用作冬季與春季的水質生態評估。

本研究調查樣區的下流附近沒有台灣環保署環境檢驗所的監測站與化學水質評估的資料，根據指標輪蟲 $Q_{B/T}$ 值，夏季是中養型水體，秋季為優養型水體。濁水溪中游鄰近本研究調查樣區的 3 個監測站，各季節評估都為乙類水體，也就是屬於低汙染的水體，與本研究 $Q_{B/T}$ 指數結果為寡養型水體相符。乙類水體屬於只需經由沉澱、過濾和一般消毒的公共供給水源。

優養化是由於河川的磷酸鹽和硝酸鹽等營養鹽增加，造成藻類的大量生長，當藻類族群量超過環境負荷力時導致大量死亡，造成分解者族群增加，大量耗氧，此時水質溶氧量下降，威脅其他需氧生物。從我們調查的溶氧量變化與 $Q_{B/T}$ 的水質評估，顯示濁水溪下游為優養型水體，容忍度較高與適應力較強的輪蟲類有

較高的族群量。浮游動物屬於初級消費者，在養殖漁業中是很好的餌料，可能因此間接提升下游河口生態系與近海生態系的生產力。

綜合多種指標評估水體的污染程度，可獲得更為真實的評價結果。輪蟲可作為對河川或湖泊水質評估的重要生物性指標 (Perbiche-Neves et al. 2013; Duggan and Barnes 2005) 之一。

五、結 論

濁水溪的浮游動物群聚結構，以輪蟲類為各季節與各河段的優勢群。浮游動物群聚結構有季節變化，且各河段不同。根據輪蟲類作為生物指標的水質指數 $Q_{B/T}$ ，濁水溪上、中游河段均屬寡養型水體；下游夏季為中養型水體，秋季為優養型水體，冬季族群量過低，無法評估。

致 謝

本研究為雲林縣政府「雲林縣生物監測暨六輕對生態環境影響評估計畫」補助下之成果，同時感謝海洋大學黃將修教授協助鑑定，本研究得以完成。

參考文獻

- [1] 台灣水利署，<http://www.wra.gov.tw/ct.asp?xItem=20004&ctNode=4547>
- [2] 袁澣。1992。浮游生物學。南山堂出版社。台北市。301pp。
- [3] 鄭重、李少菁、許振祖。1992。海洋浮游生物學。水產出版社。台灣。661pp。
- [4] 何志輝、謝祚渾、嚴生良、梁象秋、楊和荃、卓明。1982。淡水生物學。農

業出版社。北京。346pp。

- [5] 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，17：152-162。
- [6] Clarke, K.R., Warwick, R.M. (2001) Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. PRIMER-E, Plymouth, 144pp.
- [7] Hwang, J. S., Kumar, R., Hsieh, C. W., Kuo, A. Y., Souissi, S., Hsu, M. H., Wu, J. Y., Liu, W. C., Wang, C. F., and Chen, Q. C. (2010) Patterns of Zooplankton Distribution along the Marine, Estuarine, and Riverine Portions of the Danshuei Ecosystem in Northern Taiwan. *Zoological Studies* 49, pp. 335-352.
- [8] Elliott, M., and McLusky D.S. (2002) The need for definition in understanding estuaries. *Estuar. Coast. Shelf Science* 55, pp. 815- 827.
- [9] Karr, J. R. (1981) Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* 6, pp. 21-27.
- [10] Kerbs, C. J. (1989) Ecological methodology. Harper Collins, New York, 620pp.
- [11] Kolkwitz, R., and Marsson, M. (1908) Ökologie der pflanzlichen Saprobien. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft* 26, pp. 505-519.
- [12] Perbiche-Neves, G., Fileto, C., Laco-Portinho, J., Troguer, A., and Serafim-Junior M. (2013) Relations among planktonic rotifers, cyclopoid copepods, and water quality in two Brazilian reservoirs. *Latin American Journal of Aquatic Research* 41, pp. 138-149.
- [13] Sládeček, V. (1983) Rotifers as indicators of water quality. *Hydrobiologia* 100, pp. 169-201.
- [14] Wu, J.T. (1999) A generic index of diatom assemblages as bioindicator of pollution in the Keelung River of Taiwan. *Hydrobiologia* 397, pp. 79-87.

表一、樣區之 GPS 座標

樣區編號	行政區	河段	GPS 座標	
W1	麥寮鄉	下游	N 120°14'21.04"	E 23°50'17.70"N
W2	崙背鄉	中游	N 120°20'56.76"	E 23°49'34.70"N
W3	西螺鎮	中游	N 120°26'38.55"	E 23°49'07.80"N
W4	荊桐鄉	上游	N 120°35'59.85"	E 23°47'21.14"N

<i>Polyarthra</i>	0	0	0	0	389	0	0	0	3306	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rotaria</i> sp1	0	153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rotaria</i> sp2	0	586	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Synchaeta</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	389	0	0	0	0	0	0	0
<i>Testudinellae</i>	0	583	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
unknow Rsp1	0	0	0	0	389	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
unknow Rsp2	0	0	0	0	972	0	0	389	0	194	0	0	194	0	0	0
<i>Copepoda</i>	139	0	153	0	194	0	194	0	194	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nauplius</i>	0	1058	417	0	194	0	0	0	2528	0	0	0	0	0	0	0
<i>Acineta</i> sp1	0	153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Epistylis</i> sp1	0	1683	0	0	0	917	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Epistylis</i> sp2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	194	0	0	0
<i>Paramecium</i>	0	250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	194	0	0
<i>Tintinnopsis</i>	0	0	278	0	0	0	0	389	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Vorticella</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	194	0	0
unknow Psp1	0	0	0	0	0	194	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nematoda	0	0	278	0	0	367	0	194	0	194	0	0	0	0	0	0
larvae	0	153	722	156	0	183	0	0	0	0	0	0	0	194	0	0
unknow1	0	0	0	0	0	183	0	0	0	0	0	0	0	194	389	0

表三、濁水溪 2012 年 3 月至 2013 年 1 月水質物理因子調查結果

	春 季				夏 季				秋 季				冬 季			
	下游	中游	中游	上游	下游	中游	中游	上游	下游	中游	中游	上游	下游	中游	中游	上游
	樣區 1	樣區 2	樣區 3	樣區 4	樣區 1	樣區 2	樣區 3	樣區 4	樣區 1	樣區 2	樣區 3	樣區 4	樣區 1	樣區 2	樣區 3	樣區 4
水表溫度 (°C)	23.2	24	28.2	31.5	31.5	29.7	29.1	30.4	35.4	29.8	31.7	32.8	26.17	25.56	25.28	29.67
pH	9.03	8.25	8.42	8.53	8.49	7.51	8.28	8.22	8.12	8.45	8.52	8.29	8.02	8.24	8.16	7.75
鹽度 (ppm S)	n.a.	330	280	320	330	310	210	230	370	210	200	260	260	230	250	440
TDS (ppm)	n.a.	540	460	520	530	480	340	380	600	300	290	340	370	340	350	630
導電度 (μS/cm)	n.a.	688	590	651	670	593	431	477	754	436	290	518	538	492	527	898
溶氧量 (mg/L)	5.82	4.36	3.93	4.35	4.8	3.02	1.53	1.79	0.07	3.73	4.04	4.19	1.03	0.89	0.59	0.6

n.a. is "not available"

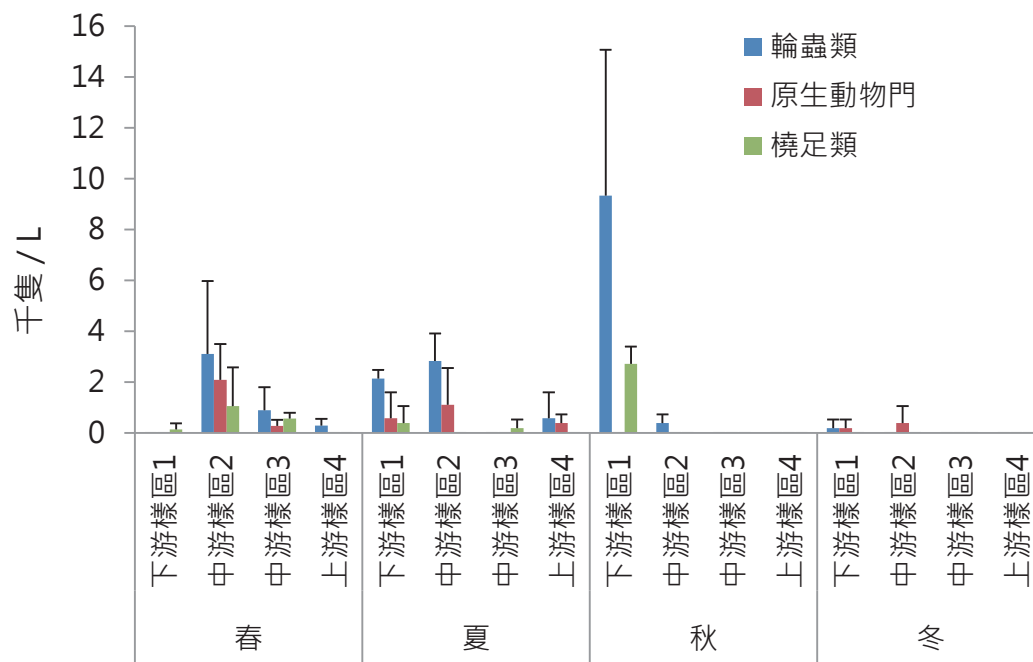
表四、使用 ANOSIM 統計分析各樣本的浮游動物群聚結構差異的結果。

(a) 河段間浮游動物群聚結構 ANOSIM 統計分析顯示，下游和中游及上游之浮游動物群聚結構有顯著差異。

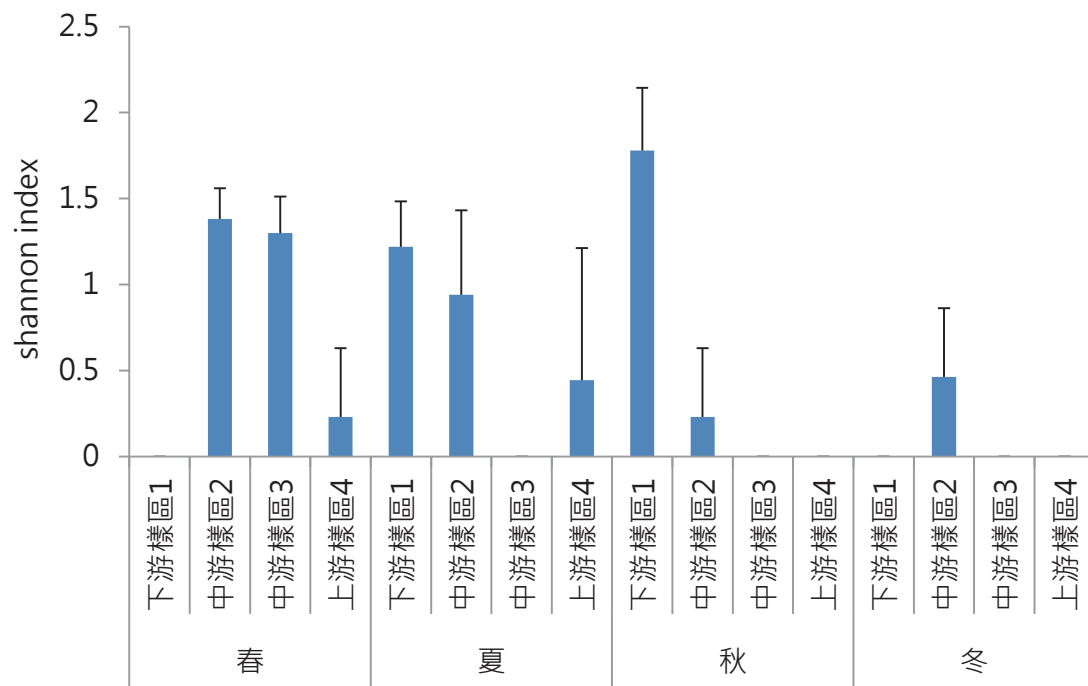
Groups	R statistic	Significance level	Possible Permutations	Actual Permutations	Number \geq Observed
下游 v.s. 中游	0.125	0.029	2042975	999	28
上游 v.s. 下游	0.241	0.022	715	715	16
上游 v.s. 中游	0.092	0.135	4845	999	180

(b) 季節間的浮游動物群聚結構 ANOSIM 統計分析顯示，春季分別和夏、秋、冬季之浮游動物群聚結構有顯著差異，冬季和夏秋二季亦有顯著差異 ($P \leq 0.05$)。

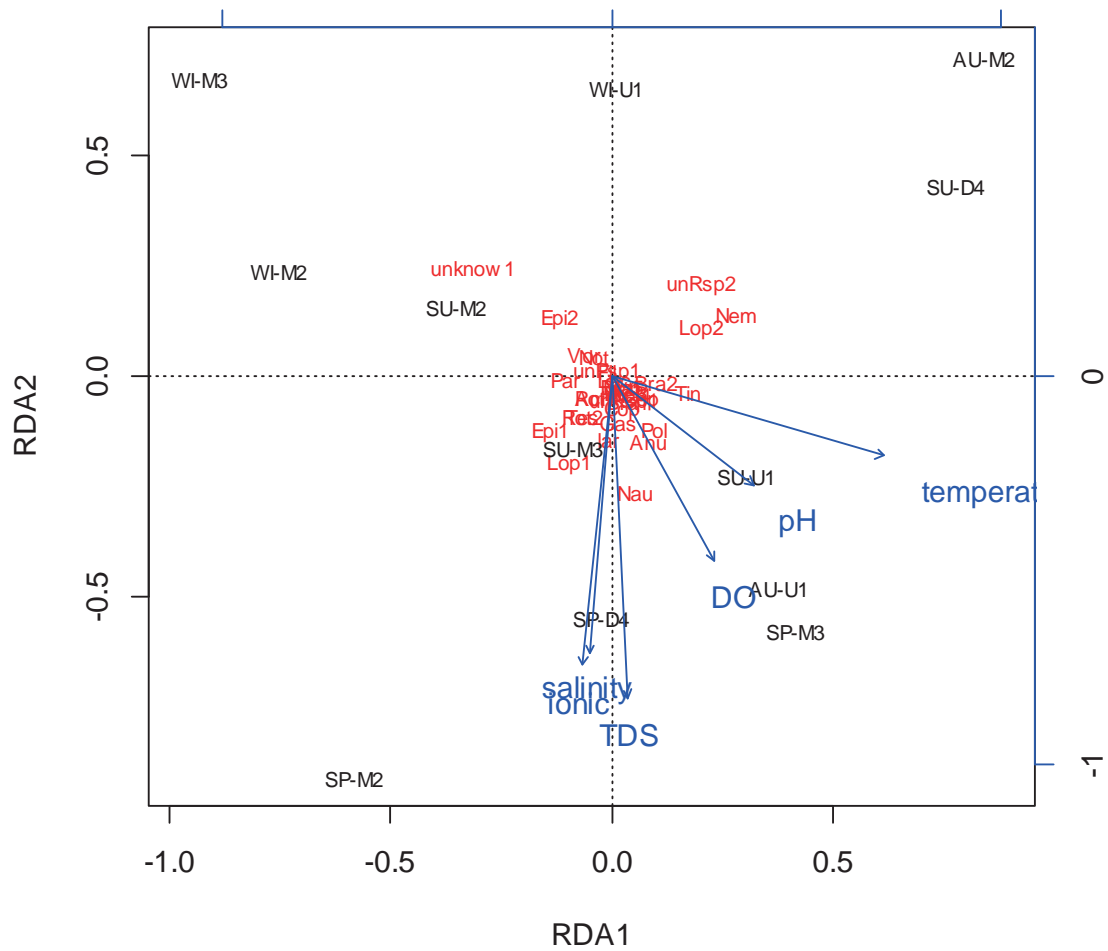
Groups	R statistic	Significance level	Possible Permutations	Actual Permutations	Number \geq Observed
春 v.s. 夏	0.135	0.042	24310	999	41
春 v.s. 秋	0.203	0.05	2002	999	49
春 v.s. 冬	0.277	0.002	5005	999	1
夏 v.s. 秋	0.164	0.063	2002	999	62
夏 v.s. 冬	0.161	0.039	5005	999	38
秋 v.s. 冬	0.32	0.022	462	462	10



圖一、濁水溪四季各河段輪蟲類、原生動物與橈足類浮游動物族群變化



圖二、濁水溪各河段四季浮游動物多樣性指數(Shannon index)。



圖三、濁水溪浮游動物群聚結構與環境因子 RDA 分析。藍色字體代表環境因子，包含溶氧量(DO)、導電度(ionic, conductivity)、鹽度(salinity)、總溶解固體量(TDS)、酸鹼值(pH)和水溫(temperature)。黑色字體代表樣本。紅色字體代表各分類單元(OTU)。

Spatial structure and temporal variation of zooplankton community and ecological assessment of water quality in plain of Jhuoshuei river

Hua-Jyun Sun¹, Wan-Rou Lin¹, Pi-Han Wang¹

Abstract

Jhuoshuei River is the longest river in Taiwan and is a special habit for aquatic organisms because high river sediment content. In this study, we investigated the zooplankton fauna and environmental factors, such as water temperature, pH, salinity, TDS and saturated DO of Jhuoshuei River seasonally. In total, 1,037 metadata of 32 zooplankton species were established. There were 22 species of rotifera and 8 species of protozoan. Copepods was the most abundant taxon. Downstream zooplankton community structure showed significant difference with upstream and midstream by ANOSIM analysis. ANOSIM analysis suggested that communities had seasonal variations. It was related to their seasonally life history. The highest richness of zooplankton (12,056 inds/L) occurred at the downstream in autumn. Rotifers was the dominate invertebrates in all samples. Based on the *Brachionus–Trichocerca* quotient ($Q_{B/T}$) of Rotifers biological index ($Q_{B/T} < 1$), the upstream and midstream water quality of the Jhuoshuei River was at oligotrophic state whereas downstream water was mesotrophic ($Q_{B/T} = 1.0$) in summer, eutrophic ($Q_{B/T} > 2.0$) in autumn. The $Q_{B/T}$ was not able to evaluate because of the low population of the rotifer.

Keywords: Jhuoshuei River; zooplanktons; community structure; Rotifer

¹ Department of Life Science, Tunghai University, Taichung 407, Taiwan.