

清江利川段底栖动物群落结构及水质生物学评价

刘林峰¹, 潘超¹, 周驰², 苗滕², 熊文¹, 刘伟¹, 李祝¹, 徐德雄¹, 赵以军¹, 高健¹

(1.湖北工业大学河湖生态修复与藻类利用湖北省重点实验室, 土木建筑与环境学院, 武汉 430068;
2.湖北省水利水电科学研究院, 武汉 430070)

摘要:研究清江利川段的大型底栖动物群落结构和评价水质, 为合理实施该重点流域水环境分区管控和生态保护提供科学依据。2016 年 5 月—2017 年 3 月, 在清江(源头至利川城下游)共设置 5 个采样点, 开展了 6 次底栖动物群落结构调查, 采用大型底栖动物科级水平生物指数(FBI)、底栖动物敏感性计器指数(SIGNAL)进行水质生物学评价。底栖动物共检出 5 门 8 纲 16 目 61 科, 其中源头采样点共采集 9 目, 蜉蝣目数量占 74.1%; 临村庄采样点共采集 7 目, 蜉蝣目数量占 41.6%; 近城区上、中、下采样点分别采集 10、9 和 13 目, 优势目均为十足目, 其数量分别占总量的 73.5%、79.9% 和 54.5%。敏感类群蜉蝣目比例沿水流方向逐渐降低。基于底栖动物耐污性及其数量占比分析, 该江段污染程度沿水流方向呈加重趋势。综合 FBI 和 SIGNAL 底栖生物指数与环境因子的拟合回归结果以及底栖动物污染敏感值, 表明 SIGNAL 指数应作为该江段首选水质污染生物学评价指数。

关键词:大型底栖动物; 群落结构; 水质评价; 清江

中图分类号:Q958.8 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2018)05-0039-08

底栖动物是对外界干扰反应敏感的关键生物类群, 其群落结构变化能反映水生态环境的变化, 是河流健康评价中应用时间最久和最广泛的指示生物类群(Chutter, 1972; 王备新和杨莲芳, 2004; 申瑞凤等, 2016; Balderas et al, 2016; 陈凯等, 2017), 尤其是基于科属级敏感值的快速生物评价体系的建立, 简化了分类鉴定的难度和提高了评估效率(Hilsenhoff, 1988; Chessman et al, 1997, 2003; 冷龙龙等, 2016)。

清江是长江的一级支流, 全长 423 km, 发源地湖北省利川市齐岳山平均海拔 1 100 m, 亚热带大陆性季风山地气候, 夏无酷暑, 云多雾大, 日照较少, 雨量充沛, 空气潮湿, 年均气温 15℃。监测数据显示, 清江水质逐年降低, 污染逐渐加重, 局部断面甚至降低为劣 V 类水质, 对长江水环境构成了直接的威胁(张仪等, 2015; 李柏山等, 2010; 王守文和黄刚, 2016); 随着城镇化和区域经济尤其是旅游经济的发展, 该流域面临的环境胁迫越来越大(李柏山等,

2010; 张仪等, 2015; 王守文和黄刚, 2016)。目前, 对清江流域支流底栖动物群落结构及水质评价开展了少量的研究(江晶等, 2016; 苏华武等, 2008), 但未见针对清江源头段底栖动物群落结构的研究。

河流源头对下游甚至整个河网生态系统具有重要意义(Wallin et al, 2015), 其对人为干扰高度敏感(Meyer et al, 2007; 李杨等, 2016)。随着农业耕作、城镇化和旅游开发快速发展, 源头河流的水生态安全已面临着严重的威胁(Rasmussen et al, 2013; Moore et al, 2005)。清江源头至利川城段是清江重要的水源地保护区, 对“生态长江”水环境健康状况具有重要的指示意义。本研究于 2016 年 5 月—2017 年 3 月对清江利川段的大型底栖动物群落结构开展了系统研究, 利用底栖动物评价指数评估清江源水质污染状况, 增进对清江源水生态健康状况的了解, 为合理实施该重点流域水环境分区管控和生态保护提供科学依据, 推进长江流域绿色发展。

1 材料与方法

1.1 研究地点和采样时间

在清江利川河段设置 5 个采样点(Q1~Q5, 图 1)。各采样点情况: Q1 位于清江源(距源头约 0.75 km), 上游村庄较少, 受人类影响较小, 河床以石块和泥沙为主, 无水生植物; Q2 位于红鹤坝村(距源头约 18.25 km), 上游流经村落, 农业面源等对河流有一定影响, 河床以泥沙为主, 无水生植物; Q3 在

收稿日期:2018-01-15
基金项目:国家自然科学基金(31500378);湖北工业大学高层次人才科研启动基金(337301);河湖生态修复与藻类利用湖北省重点实验室开放基金(HHKF201506);湖北省水利重点科研项目(HB-SLKY201719)。
作者简介:刘林峰,1991 年生,男,硕士研究生,主要研究方向为水域生态学与生态修复。E-mail:528449870@qq.com
通信作者:高健。E-mail:jgao13@hotmail.com

利川市上游(距源头约 66.65 km),上游流经汪营镇(镇区常住人口约 2.5 万人),部分集镇污水直排到河道,河床以泥沙和硬质底为主,水生植物以沉水植物马来眼子菜为主,零星有微齿眼子菜和穗花狐尾藻分布;Q4 在利川市中心(距源头约 71.65 km),受利川市点、面源污染影响较重,河床以泥沙为主,水生植物以喜旱莲子草为主,零星有沉水植物马来眼子菜和穗花狐尾藻分布;Q5 在利川市下游(距源头约 77.55 km),该样点上游有 1 个污水处理厂尾水排放口,河床以泥沙为主,水生植物以马来眼子菜和篦齿眼子菜为主,还有微齿眼子菜、菹草、穗花狐尾藻和轮叶黑藻。采样期间河流水深有波动,但水体透明度均较高。

采样时间为 2016 年 5 月(水温约 16.1℃)、7 月(20.7℃)、9 月(18.4℃)、11 月(9.9℃)以及 2017 年 1 月(6.1℃)和 3 月(9.6℃)。

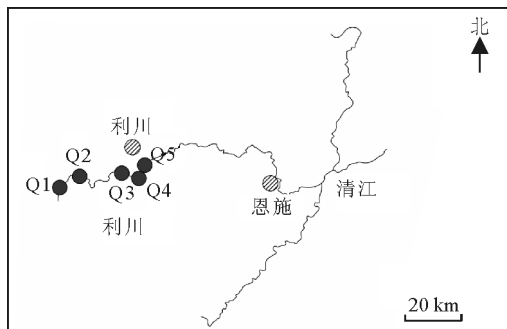


图 1 清江利川段采样点

Fig.1 Location of sampling sites in the Lichuan section of Qingjiang River

1.2 样本采集及分析

水温(WT)和电导率(SPC)采用 YSI ProPlus 多参数水质测量仪(美国)现场测定。

用 5 L 有机玻璃采水器采集水下 0.5 m 左右表层水样,随机采集 4 次共计 20 L 水样放置在用河水洗净的塑料桶内,混合后取约 2.5 L 水样低温保存,带回实验室分析水质。TN、TP、氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)和高锰酸盐指数(COD_{Mn})等水质指标的检验方法依据《水和废水监测分析方法(第四版)》(国家环境保护总局,2005)。叶绿素 a(Chl-a)现场抽滤后,将滤膜低温避光保存,带回实验室用丙酮萃取分光光度法测定。

底栖动物定量采集采用 60 目索伯(Surber)网(30 cm×30 cm)。由于采样点水深均较浅,采样人员涉水采集。在每个采样点根据生境特点随机采集 3~5 次,样品筛选后置于白色解剖盘中分检,标本

用 99% 的乙醇固定保存在广口瓶中,贴上标签,带回实验室中鉴定标本至属(Brinkhurst and Jamieson,1971;刘月英等,1979;尤大寿等,1995;Epler,2001;王洪铸,2002;Morse 等,1994)。分类计数时,若标本损坏则只统计头部。

1.3 数据处理及分析

1.3.1 优势属确定 对污染敏感性底栖动物优势属参照 Mcnaughton 优势度指数(Y)公式(Mcnaughton,1967)来确定。

对水环境的污染敏感性指示分类参照相关文献(王备新和杨莲芳,2004;chessman et al,1997,2003;王建国等,2004;段学花等,2010)。

1.3.2 水质生物学评价法 (1)生物指数评价 采用大型底栖动物科级水平生物指数(Family biotic index,FBI)(Hilsenhoff,1988)评价。评价标准:FBI=0.00~3.75,极清洁;3.76~4.25,很清洁;4.26~5.00,清洁;5.01~5.75,一般;5.76~6.50,轻度污染;6.51~7.25,污染;7.26~10.00,严重污染。

(2)底栖动物敏感性评价 采用底栖动物敏感性计分器指数(Stream invertebrate grade number-average level, SIGNAL)(Chessman et al,1997;Chessman,2003)评价。评价标准为:SIGNAL>6,清洁;SIGNAL5~6,轻污染;SIGNAL4~5,中等污染;SIGNAL<4,严重污染。

SIGNAL 指数分类要求仅到目级分类单元即可,并进一步考虑了不同物种出现时个体数的多寡,将个体数的多寡加入权重值进一步完善和发展了敏感值指数(Chessman,2003)。公式和权重赋值参见冷龙龙等(2016)。

1.3.3 数据分析 环境因子沿水流方向的变化趋势通过 SPSS Statistics 22.0 进行 Spearman 秩相关分析, $P<0.05$ 表示有显著差异;水质与生物评价指标采用线性回归拟合分析关联性(武松和潘发明,2014;张利田等,2007)。

采用 PCA 分析理化数据,将 5 个主要环境指标重新组合,从而提取出尽可能多的反应原变量信息的综合变量,寻找各采样点环境因子的潜在梯度。主成分轴选取特征根值(eigenvalue)大于 1 者进入下一步分析(武松和潘发明,2014)。为了获得数据正态分布,将环境因子均进行 $\ln(x+1)$ 转换(Lepš and Smilauer,2003)。

PCA 分析和回归分析通过软件 SPSS Statistics 22.0 进行,图形处理采用 Sigma Plot 12.5 完成。

2 结果与分析

2.1 水体理化特征和变化规律

各采样点水体理化指标见图 2。Q1 点 TN 浓度均值最低;Q5 点 TN 值显著高于其他 4 个采样点,范围为 3.50~6.79 mg/L。NH₃-N 浓度值变化

趋势与 TN 类似,Q5 点显著高于其他 4 个采样点,范围为 0.71~3.77 mg/L。TP 和 COD_{Mn} 均值沿水流方向呈显著升高趋势,二者均是 Q1 点最低和 Q5 点最高。SPC 值范围在 271.5~433.7 mg/L。Chl-a 含量在各采样点均较低,均值均低于 5 μg/L。

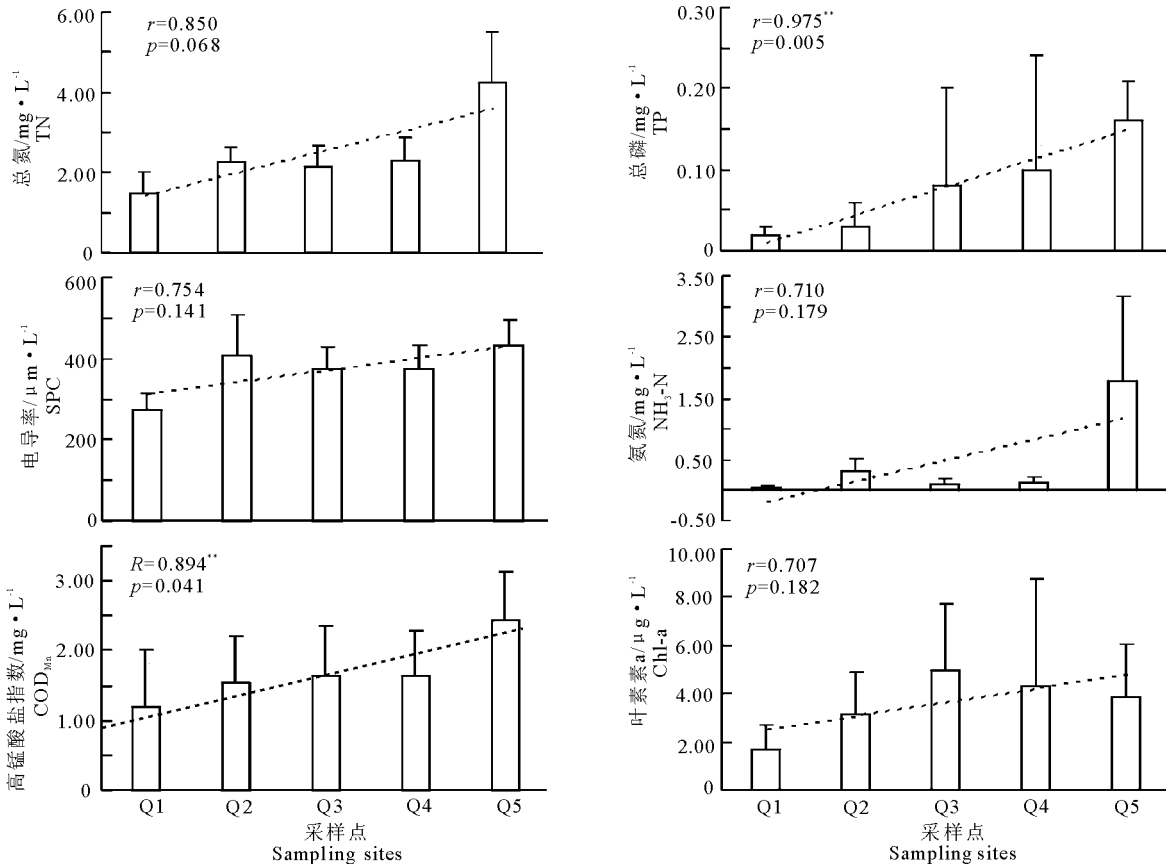


图 2 水质理化特征和沿水流方向变化趋势

Fig.2 Physicochemical characteristics of water at each sampling site and variation along the direction of flow

2.2 大型底栖动物群落特征与分布

6 次调查共采集到大型底栖动物 5 门 8 纲 16 目 61 科 94 属(其中 12 科未能鉴定到属)。Q1 点 9 目,数量均值 503 个/m²,蜉蝣目数量占 74.1%;Q2 点 7 目,数量均值 102 个/m²,蜉蝣目数量占 41.6%;Q3、Q4 和 Q5 点分别为 10、9 和 13 目,数量均值分别为 474、344 和 318 个/m²,十足目为优势类群,分别占总数量的 73.5%、79.9%和 54.5%。蜉蝣目占总数量的比例沿水流方向逐渐降低。

各样点优势属见表 1。Q1 点优势属以清洁类群为主,但耐污类群流粗腹摇蚊出现在 2017 年 3 月的调查中;Q2 点优势属是以清洁类群蜉蝣为主,耐污类群单脉色螳出现并占较大比例;Q3、Q4 和 Q5 点最优势属均为米虾属(*Caridina*),其中 Q3 点清

洁类群蜉蝣占比仍较高,而 Q5 点出现了对污染耐受高的水丝蚓。从污染敏感性指示属数量占总属数的比例来看,污染程度沿水流方向逐渐加重。

2.3 水质评价

利用 FBI 指数和 SIGNAL 指数评价水质结果见表 2。

按照 FBI 指数判断水质:Q1 点极清洁-清洁,Q2 点清洁-一般清洁,Q3 点很清洁-清洁,Q4 点很清洁-清洁,Q5 点清洁-严重污染。从变化趋势来看,有机污染程度沿水流方向逐渐加重。按照 SIGNAL 指数判断水质:Q1 点清洁-轻污染,Q2 点和 Q3 点清洁-中等污染,Q4 和 Q5 点中等污染-严重污染。水质污染程度也是沿水流方向显著加重。

表 1 不同采样点大型底栖动物优势属
Tab.1 Dominant genus at each sampling site

目	污染敏感性	属	优势度				
			Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
蜉蝣目 Ephemeroptera	9	四节蜉属 <i>Baetis</i>	0.385	0.024	0.047	—	—
		蜉蝣属 <i>Ephemera</i>	0.065	0.261	0.061	—	—
		高翔蜉属 <i>Epeoru</i>	0.021	—	—	—	—
		背刺蜉 <i>Notacanthurus</i>	0.028	—	—	—	—
		细蜉属 <i>Caenis</i>	—	0.021	—	—	—
毛翅目 Trichoptera	8	纹石蛾属 <i>Hydropsyche</i>	—	0.126	—	—	—
蜻蜓目 Odonata	3	单脉色蟌属 <i>Matrona</i>	—	0.105	—	—	—
鞘翅目 Coleoptera	5	狭溪泥甲属 <i>Stenelmis</i>	—	—	—	0.035	—
双翅目 Diptera	3	摇蚊属 <i>Chironomus</i>	—	—	—	—	0.075
		流粗腹摇蚊属 <i>Rheopelopia</i>	0.031	—	—	—	—
十足目 Decapoda	4	米虾属 <i>Caridina</i>	—	—	0.735	0.663	0.272
颤蚓目 Tubificida	2	水丝蚓属 <i>Limnodrilus</i>	—	—	—	—	0.036
		仙女虫属 <i>Nais</i>	—	—	—	—	0.025
真瓣鳃目 Eulamellibranchia	3	蜆属 <i>Corbicula</i>	—	—	0.083	—	—

表 2 水质评价结果

Tab.2 Water quality bioassessment for each sampling site based on FBI and SIGNAL

采样点	FBI		SIGNAL	
	指数	水质	指数	水质
Q1	3.88(2.83~4.64)	很清洁	6.07(5.6~6.55)	清洁
Q2	3.43(2.15~5.22)	很清洁	5.72(4.43~7.25)	轻污染
Q3	4.27(3.86~4.85)	清洁	5.40(4.73~6.08)	轻污染
Q4	4.24(4.05~4.57)	清洁	3.94(3.55~4.53)	严重污染
Q5	5.64(4.26~7.50)	一般	3.28(2.73~4.50)	严重污染

2.4 清江利川段底栖生物评价指数对水质指示的敏感性分析

对环境因子做主成分分析,轴 1 的解释率达到 69.1%(特征根为 2.88),轴 2 的解释率达到 18.1%(特征根为 0.99)。选择特征根大于 1 的轴 1 作为主要环境压力梯度,与生物评价指标的敏感性做进一步评估。在水环境指标中,TN 对轴 1 的贡献率较

高,其次为 NH₃-N 和 COD_{Mn}。将 FBI 和 SIGNAL 指数与轴 1 进行线性回归分析,结果表明二者对主要水质压力梯度均具有显著的解释(图 3),表明这些指数可有效指示水质污染状况。

FBI 和 SIGNAL 指数与各水质指标的线性回归分析进一步显示 FBI 指数与 COD_{Mn}、TN、NH₃-N、TP 和 SPC 线性拟合关系均不显著;而 SIGNAL 指数除与 COD_{Mn}拟合关系不显著外,与其他 4 个环境因子的拟合回归关系均达显著水平(图 4)。

3 讨论

3.1 清江利川段底栖动物群落结构特征及其对河流污染的指示

底栖动物群落结构沿河流流动方向分布格局主要受水体理化性质、栖息地类型等环境因子的影响,导致在空间上存在差异(张仪等,2015;李 柏 山 等,

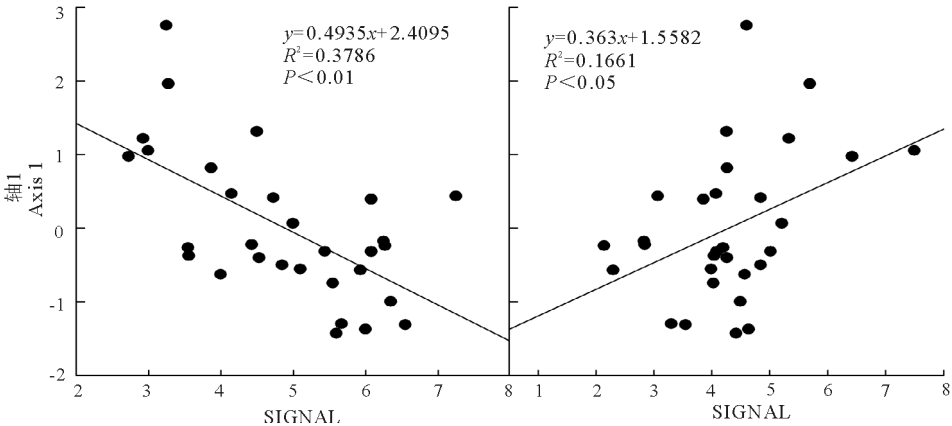


图 3 FBI 和 SIGNAL 指数与轴 1 的线性回归拟合

Fig.3 Linear regression between benthic biological indices (FBI and SIGNAL) and Axis 1

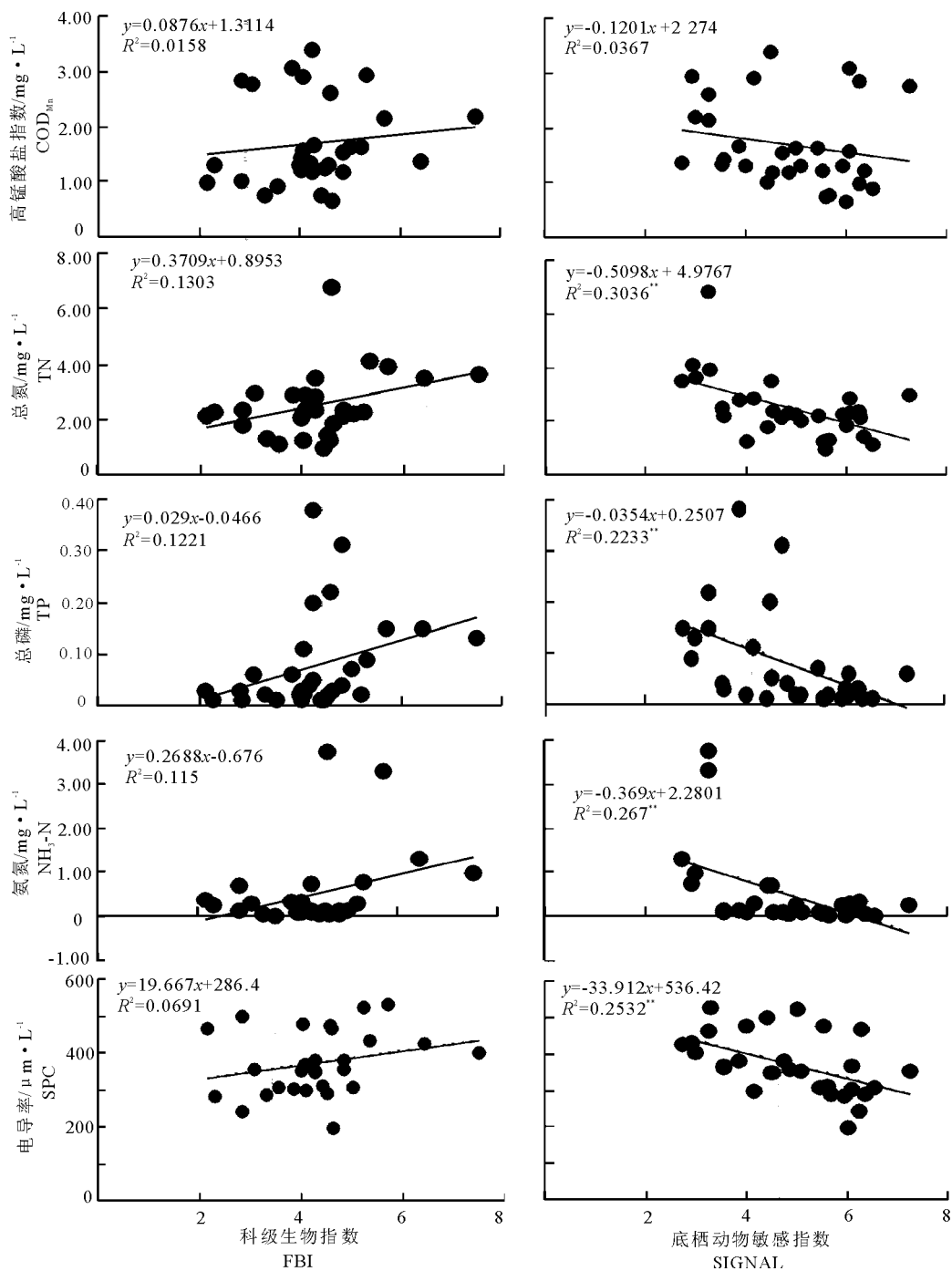


图 4 FBI 和 SIGNAL 指数与主要水质指标的线性拟合

Fig.4 Linear regression analysis between benthic biological indices (FBI and SIGNAL) and each environmental variable

2010; Meyer et al, 2007; 简东等, 2015; 张 海 萍 等, 2017)。清江利川段是清江重要的源头生态河流, 大型底栖动物数量以蜉蝣目、毛翅目、鞘翅目、双翅目、十足目、颤蚓目和真瓣鳃目为主, 各采样点的优势类群组成不同。清水类群蜉蝣目是靠近源头 Q1 和 Q2 点的最优势类群, 而十足目米虾属是后 3 个点最优势类群, 颤蚓目耐污类群只在 Q5 点出现。许多

研究已表明蜉蝣目往往是源头河流中的常见种(汪兴中等, 2009; 徐晨等, 2015), 蜉蝣目喜急流和洁净水体且对水质变化敏感(段学花等, 2010), 在溪流上游水流往往湍急、溶解氧充足和底质多为圆石、漂砾, 适宜于蜉蝣生存(阚春梅和于洪贤, 2014); 而随着流域污染的汇入增加, 耐污性更高的类群会逐渐出现。本研究从 Q1 点起, 河流依次流经农业区

(Q2)、小集镇(Q3)、城市中心(Q4)和城市下游(Q5),外来污染影响逐渐加重。大量研究表明区域的营养盐及污染物富集会造河流生态状况恶化,影响大型底栖动物群落结构分布,对水污染敏感的底栖动物类群比例沿水流方向逐渐会减少(王硕等,2017),耐污种会逐渐出现。

清江利川段各采样点底质类型以沙石为主,具有一定的类似性,但各采样点又有一定区别:上游Q1点位于源头,底质以石块为主;往下几个点由于冲刷沉积作用,底质泥沙逐渐增多,这些基质的差异性也可能影响底栖动物类群分布(江晶等,2009)。例如河蚬主要分布在Q3、Q4和Q5点,可能原因是这几个采样点的泥沙增多适合软体类动物十足目的河蚬栖息(丁建华等,2012)。此外,在Q3、Q4和Q5点米虾也是优势类群,这几个采样点的水生植物可能是影响其分布的因素之一,因为虾喜栖息于多水草区域。

3.2 底栖动物评价指数对河流水污染状态的指示

本研究在预分析的基础上,参考冷龙龙等(2016)研究结果,选择FBI和SIGNAL 2个快速评价指数。从有机污染、富营养化、面源污染、次生盐化的角度,选取 COD_{Mn} 、TP、TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和SPC这5个典型水质指标与底栖动物评价指数线性拟合。FBI和SIGNAL底栖生物指数由于运用相对简便,在亚洲地区得到广泛应用(陈小华等,2013;Du et al,2017;Krisanti et al,2017)。本研究中FBI与环境因子的主成分轴1拟合回归关系显著,但与单一环境因子拟合回归关系均不显著,表明FBI底栖动物评价指数对单一环境因子的变化解释效果不理想。而SIGNAL指数与轴1拟合回归关系显著,且其与除 COD_{Mn} 之外的其他4个环境因子拟合回归关系显著,表明SIGNAL指数对水环境总体污染梯度和不同水质指标具有较强的指示作用。因此,SIGNAL指数与利川段水环境指标的相关性更强,能够有效指示水环境污染的总体状况,是较为适宜的快速生物评价指数。

4 结论

(1)清江利川段大型底栖动物以蜉蝣目、毛翅目、鞘翅目、双翅目、十足目、颤蚓目和真瓣鳃目为主,各采样点的优势类群组成不同。清江利川段靠近源头底栖动物以清洁种为主,沿水流方向清洁种减少而耐污种出现并逐渐占优势。

(2)底栖动物敏感类群的变化很好地指示了水

环境指标的变化,而SIGNAL指数优于FBI指数对水污染的指示。SIGNAL指数能够有效指示水环境污染的总体状况以及主要营养盐指标的变化,是开展清江利川段水污染生物学评价较为适宜的快速生物评价指数。

(3)尽管清江利川段底栖动物主要以敏感类群为主,但水质理化因子和底栖动物类群的耐污性均沿水流方向呈升高趋势,尤其是利川城下游总氮严重超标。因此,及时实施清江源头区域外源污染控制,加快推进实施该区域水环境分区分管,对保护清江源头河网健康生态系统具有重要意义。

参考文献

- 陈小华,康丽娟,孙从军,等,2013. 典型平原河网地区底栖动物生物指数筛选及评价基准研究[J]. 水生生物学报, 37(2): 191-198.
- 陈凯,于海燕,张汲伟,等,2017. 基于底栖动物预测模型构建生物完整性指数评价河流健康[J]. 应用生态学报, 28(6): 1993-2002.
- 丁建华,杨威,金显文,等,2012. 赣江下游流域大型底栖动物群落结构及水质生物学评价[J]. 湖泊科学, 24(4): 593-599.
- 段学花,王兆印,徐梦珍,等,2010. 底栖动物与河流生态评价[M]. 北京:清华大学出版社.
- 国家环境保护总局,2005. 水和废水监测分析方法(第四版)[M]. 北京:中国环境科学出版.
- 江晶,温芳妮,顾鹏,等,2009. 湖北清江流域胡家溪大型底栖动物群落结构及水质评价[J]. 湖泊科学, 21(4): 547-555.
- 简东,黄道明,常秀岭,等,2015. 拉萨河中下游底栖动物群落结构特征分析[J]. 水生态学杂志, 36(1): 40-46.
- 阚春梅,于洪贤,2014. 亚布力山涧溪流秋季水生昆虫群落特征及其与环境因子的关系[J]. 东北林业大学学报, 42(1): 143-147.
- 冷龙龙,渠晓东,张海萍,等,2016. 不同大型底栖动物快速生物评价指数对河流水质指示比较[J]. 环境科学研究, 29(6): 819-828.
- 李杨,蒋万祥,李斌,等,2016. 2009年苍山水系6条源头河流中的大型底栖动物群落结构季节动态[J]. 湿地科学, 14(5): 733-739.
- 李柏山,熊欣,沈建军,等,2010. 湖北清江长阳段水质现状评价及污染分析[J]. 环境科学导刊, 29(1): 42-44.
- 刘月英,张文珍,王跃先,等,1979. 中国经济动物志:淡水软体动物[M]. 北京:科学出版社.
- 申瑞凤,陈启慧,王备新,等,2016. 港口湾水库对下游大型底栖动物群落结构的影响[J]. 水生态学杂志, 37(5): 33-40.

- 苏华武, 江晶, 温芳妮, 等, 2008. 湖北清江流域叹气沟河底栖动物群落结构与水质生物学评价[J]. 湖泊科学, 20(4): 520–528.
- 汪兴中, 蔡庆华, 李凤清, 等, 2009. 南水北调中线水源区溪流大型底栖动物群落结构的时空动态[J]. 应用与环境生物学报, 15(6): 803–807.
- 王洪铸, 2002. 中国小蝇类研究-附中国南极长城站附近地区两新种[M]. 北京: 高等教育出版社.
- 王备新, 杨莲芳, 2004. 我国东部底栖无脊椎动物主要分类单元耐污值[J]. 生态学报, 24(12): 2769–2775.
- 王建国, 黄恢柏, 杨明旭, 等, 2003. 庐山地区底栖大型无脊椎动物耐污值与水质生物学评价[J]. 应用与环境生物学报, 9(3): 279–284.
- 王守文, 黄刚, 2016. 清江流域生态安全评估指标体系及治理措施研究[J]. 人民长江, 7(18): 5–10.
- 王硕, 林育青, 陈求稳, 等, 2017. 漓江大型底栖动物群落时空分布及水质生物评价[J/OL]. 环境科学学报: 1–12. <https://doi.org/10.13671/j.hjkxxb.2017.0342>.
- 武松, 2014. SPSS 统计分析大全[M]. 北京: 清华大学出版社.
- 许晨, 2015. 长白山源头溪流大型底栖动物群落特征初步研究[D]. 长春: 东北师范大学.
- 尤大寿, 归鸿, 1995. 中国经济昆虫志(第 48 册: 蜉蝣目)[M]. 北京: 科学出版社.
- 张利田, 卜庆杰, 杨桂华, 等, 2007. 环境科学领域学术论文中常用数理统计方法的正确使用问题[J]. 环境科学学报, 27(1): 171–173.
- 张海萍, 张宇航, 马凯, 等, 2017. 河流微生物异质性与大型底栖动物空间分布的关系[J]. 应用生态学报, 28(9): 3023–3031.
- 张仪, 张淑琴, 罗薇, 2015. 恩施清江枯水期水质现状与污染防治对策分析[J]. 城市环境与城市生态, 28(1): 42–46.
- Balderas E C S, Grac C, Berti-equille L, et al, 2016. Potential application of macroinvertebrates indices in bioassessment of Mexican streams[J]. Ecological Indicators, 61: 558–567.
- Brinkhurst R O, Jamieson B G M, 1971. Aquatic Oligochaeta of the World[M]. Edinburgh: Oliver and Boyd.
- Chessman B C, Gowns J E, Kotlash A R, 1997. Objective derivation of macro invertebrate family sensitivity grade numbers for the SIGNAL biotic index: application to the Hunter River system, New South Wales[J]. Marine & Freshwater Research, 48(2): 159–172.
- Chessman B C, 2003. New sensitivity grades for Australian river macroinvertebrates[J]. Marine & Freshwater Research, 54(2): 95–103.
- Chutter F M, 1972. An empirical biotic index of the quality of water in south African streams and rivers[J]. Water Research, 6(1): 19–30.
- Du L N, Jiang Y E, Chen X Y, et al, 2017. A family-level macroinvertebrate biotic index for ecological assessment of lakes in Yunnan, China[J]. Water Resources, 44(6): 864–874.
- Epler J H, 2001. Identification manual for the larval Chironomidae (Diptera) of North and South Carolina[M]. USA: EPA Region 4 and Human Health and Ecological Criteria Division.
- Hilsenhoff W L, 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index[J]. Journal of the North American Benthological Society, 7(1): 65–68.
- Krisanti M, Wardiatno Y, Anzani Y M, 2017. Assessing the ecological status of the Cisadane River's headwaters using benthic macroinvertebrates [C]//IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 54(1): 012–023.
- Lepš J, Šmilauer P, ED, 2003. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO[M]. London: Cambridge University Press.
- Mcnaughton S J, 1967. Relationships among Functional Properties of Californian Grassland [J]. Nature, 216(5111): 168–169.
- Meyer J L, Strayer D L, Wallace J B, et al, 2007. The contribution of headwater streams to biodiversity in river networks[J]. Journal of the American Water Resources Association, 43(1): 86–103.
- Moore A A, Palmer M A, 2005. Invertebrate biodiversity in agricultural and urban headwater streams: implications for conservation and management[J]. Ecological Applications, 15(4): 1169–1177.
- Morse J C, Yang L, Tian L, 1994. Aquatic insects of China useful for monitoring water quality[M]. Nanjing: Hohai University Press.
- Rasmussen J J, Mcknight U S, Loinaz M C, et al, 2013. A catchment scale evaluation of multiple stressor effects in headwater streams[J]. Science of the Total Environment, 442(1): 420–431.
- Wallin M B, Weyhenmeyer G A, Bastviken D, et al, 2015. Temporal control on concentration, character, and export of dissolved organic carbon in two hemi boreal headwater streams draining contrasting catchments[J]. Journal of Geophysical Research Biogeosciences, 120(5): 832–846.

**Macrozoobenthos Community Structure and Water Quality Bioassessment
in the Lichuan Section of Qingjiang River, China**

LIU Lin-feng¹, PAN Chao¹, ZHOU Chi², MIAO Teng², XIONG Wen¹,
LIU Wei¹, LI Zhu¹, XU De-xiong¹, ZHAO Yi-jun¹, GAO Jian¹

(1.Key Laboratory of Ecological Remediation of Lakes and Rivers and Algal Utilization
of Hubei Province, School of Civil, Architectural and Environment, Hubei University
of Technology, Wuhan 430068,P.R.China;
2.Hubei Water Resources Research Institute, Wuhan 430070,P.R.China)

Abstract: Qingjiang River is the second largest tributary of the Yangtze River in Hubei province. To understand the ecological health of its headwaters, a field survey of the macrozoobenthos community structure was conducted in the Lichuan section of Qingjiang River from May 2016 to March 2017. The results were used for bioassessment of water quality using the Family Biotic Index (FBI) and Stream Invertebrate Grade Number-Average Level (SIGNAL). The study provides a reference for ecological conservation and regional management and control of the water environment. Five sampling sites (Q1 – Q5) were established, respectively at 0.75 km, 18.25 km, 66.65 km, 71.65 km and 77.55 km from the headwater. In May, July, September and November of 2016 and January and March of 2017, water samples were collected at 0.5 m below the surface for determination of water quality parameters: specific conductance (SPC), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), ammonia-nitrogen (NH₃-N) and permanganate oxygen demand (COD_{Mn}). Quantitative samples of macrozoobenthos were collected with a Surber net (30 cm×30 cm) and macrozoobenthos were identified to genus. A total of 61 macrozoobenthic families were collected, belonging to 16 orders, 8 classes and 5 phyla. Ephemeroptera constituted 74.1% and 41.6% of the total specimens in Q1 and Q2 and Decapods made up 73.5%, 79.9% and 54.5% of the total abundance in Q3, Q4 and Q5. The abundance of Ephemeroptera decreased from Q1 to Q5, and the pollution-tolerant species gradually became dominant, indicating that pollutants accumulated in the direction of flow. Linear regression between FBI and environmental variables showed no significant relationships, while SIGNAL displayed significant correlations with all environmental variables except COD_{Mn}. Thus, the SIGNAL index is an effective indicator of water pollution status and is a reliable means for assessing water quality in the Lichuan Reach of Qingjiang River. According to the SIGNAL index, water quality varied from clean to light pollution in Q1, from clean to mid-pollution in Q2 and Q3 and from mid-pollution to serious pollution in Q4 and Q5.

Key words: macroinvertebrate; community structure; water quality assessment; Qingjiang River