

海南省文教河底栖动物群落特征及与环境因子关系分析

刘 贤, 莫 凌, 陈峻峰, 林彰文, 姜 佳, 邢 巧

(海南省环境科学研究院, 海口 571126)

摘要:调查流域底栖动物及相应的水环境因子,分析底栖动物群落结构特征,探讨底栖动物与主要水质指标之间的相关关系,为文教河水质生物监测、流域生态健康评价、水资源管理等提供科学依据和研究基础。2014年11月,在文教河流域15个点位共采集到底栖动物42种,隶属3门5纲23科,其中水生昆虫为主要类群,占总物种数的69.05%;优势种为雕翅摇蚊 *Glyptotendipes* sp、多足摇蚊 *Polypedilum* sp、海南白虾 *Exopalaemon hainanensis* 和米虾 *Caridina* sp,优势度分别为0.19、0.12、0.05、0.02;底栖动物密度和生物量分别为295.00个/m²和31.78 g/m²;香农-威纳(Shannon-Wiener)多样性指数范围在0.50~1.96;Margalef丰富度指数范围在0.97~2.82;Pielou均匀度指数范围在0.18~0.39。相关分析表明,水温和溶解氧是影响文教河底栖动物群落结构的主要环境因子。

关键词:底栖动物;群落结构;环境因子;文教河

中图分类号:Q178, Q142 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2018)06-0037-07

底栖动物是水生态系统碎屑食物链的重要生物类群之一,对维持水生态系统的生物完整性有重要作用(王备新等,2007)。底栖动物群落结构特征主要取决于环境因子的特点,环境因子的变化影响底栖动物的生长、捕食、繁殖和群落的演替等,并最终使整个群落结构发生变化(蒋万祥等,2009)。因此,底栖动物群落结构与水质和水生态系统健康状况关系密切。目前,针对底栖动物群落结构与水质关系已开展了大量的研究。Ward和Stanford(1979)认为温度格局影响昆虫生命周期,从而导致昆虫密度增加;任淑智(1991)研究发现底栖动物种类的多样性指数与水中溶解氧呈显著正相关关系;王备新等(2007)对底栖动物群落结构特征及其与环境的关系进行了研究,指出总氮和总磷对该地区底栖动物群落结构的影响较大;环境因子对底栖动物的影响非常复杂,不仅环境因子众多,而且不同的环境因子对不同的底栖动物类群有着不完全一致的作用(任海庆等,2015)。目前针对热带岛屿独流入海流域的底

栖动物群落结构及其与环境因子关系研究还很少。

文教河是海南省文昌市独流入海的第一大河流,发源于海南省海口市琼山区大坡镇文德村,自西向东横贯该市,长约57 km,流域面积530 km²,自源头划分为黑白两溪,其中白溪为干流、黑溪为支流,黑溪集雨面积162 km²,河长21.9 km。文教河下游坡柳水闸饮用水源地主要供给文昌卫星发射中心的饮用水。流域总人口数量为134 666人,年平均温度23.9℃。近年来,随着文昌市经济和社会的发展,农业农村面源废水、渔业、畜牧业等对文教河水质的影响越发突出。据海南省环境质量报告书,2010-2015年,文教河水质整体优良,但是坡柳水闸断面水质为Ⅳ类,未能满足集中式饮用水源地水质要求。目前,针对文教河流域的底栖动物群落特征及与环境因子关系的研究还未见报道。本研究以2014年11月对文教河流域15点位底栖动物生态调查及相应的水环境因子为依据,分析底栖动物群落结构特征,探讨底栖动物与主要水质指标之间的相关关系,为文教河水质生物监测、流域生态健康评价、水资源管理等提供科学依据和研究基础。

1 材料与方法

1.1 采样点设置与采样方法

根据文教河河流形态、地形地貌、污染源分布及使用功能,本研究共设15个点位(图1),基本覆盖文教河整个流域;分别为龙虎山水库出口(S1)、锦

收稿日期:2017-07-10

基金项目:海南省自然科学基金(20154176);国家自然科学基金(41273118和41473102)。

作者简介:刘贤,1980年生,男,工程师,主要从事水生生物监测工作。E-mail:liuxian-801001@163.com

通信作者:莫凌,1984年生,男,博士,高级工程师/副研究员,主要从事水生态系统健康评估和调查工作。E-mail: hnmling@hainan.gov.cn

东村(S2)、公坡大桥(S3)、头水线(S4)、潭牛公路桥(S5)、白溪源头(S6)、东路水库出口(S7)、文林村(S8)、流翠桥(S9)、美柳村(S10)、龙塔村(S11)、培龙村(S12)、文教大桥(S13)、坡柳水闸(S14)、文教大桥入海口(S15)。采样点用GPSI2型全球卫星系统进行定位。流域所有点位周边都无工业点源,流域主要以水产养殖污染源、生活源和农业面源污染为主。除S14和S15点位底质以淤泥为主,其他点位均为沙质底质为主。

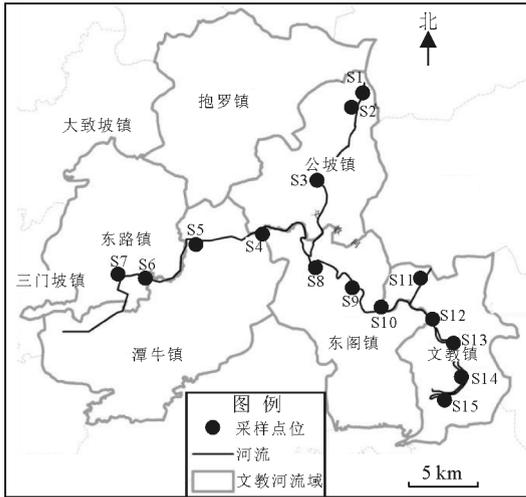


图1 文教河流域采样点位布设

Fig.1 Location of Wenjiao River sampling sites

2014年11月,对底栖动物采用索伯网(可涉水)和1/16 m²改良彼德逊采泥器(不可涉水)采集相结合的方式采集,各点位选取1~3个具有代表性的生境进行采样。样品经60目网筛洗后置于解剖盘中将动物检出,用4%的甲醛溶液固定保存标本,带回实验室镜检计数(刘月英等,1979;大连水产学院,1982;袁锋,1996;李新正等,2007),然后用滤纸吸去表面固定液,电子天平称重。2014年3、5、9和11月4次对15个点位水质调查,采用美国赛莱默多参数水质分析仪(YSI Professional Plus)现场测定(水面下0.5m)水温、溶解氧(DO),同时按《水和废水监测分析方法(第四版)》(国家环境保护总局,2002)进行水样采样、保存和运输。

1.2 水质分析及综合污染指数计算

水样分析指标为总氮、总磷、氨氮、生化需氧量及化学需氧量,分析方法按照《水和废水监测分析方法(第四版)》(国家环境保护总局,2002)。采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定总氮,钼酸铵分光光度法测定总磷,纳氏试剂比色法测定氨氮,稀释与接种法测定生化需氧量,重铬酸钾盐法测定化学需氧量。

综合污染指数采用如下公式计算(王博等,2012):

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{C_{ai}} \quad (1)$$

式中: P 为综合污染指数, C_i 第 i 种污染物实测评价浓度, C_{ai} 为第 i 种污染物评价标准值。

1.3 生物指数计算

采用香农-威纳(Shannon-Wiener)多样性指数(H')(Shannon & Wiener, 1949)、Margalef丰富度指数(D)(Margalef, 1968)、Pielou均匀度指数(J)(Pielou E C, 1975)表征生物多样性特征。优势物种依据优势度(Y)计算公式完成,将 $Y \geq 0.02$ 的种类视为优势种(陈萍萍等,2014)。各指数算式和优势度公式如下:

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (2)$$

$$D = (S - 1) / \ln N \quad (3)$$

$$J = H' / H'_{\text{Max}} \quad (4)$$

$$Y = (n_i / N) \times f_i \quad (5)$$

式中: P_i 为采样点第 i 种底栖动物个体数占总个体数的比率, N 为同一样品中的个体总数, n_i 为第 i 类物种的个体数; S 为样本中总物种; D 为Margalef丰富度指数; H' 为实测香农-威纳多样性指数; H'_{Max} 为群落的最大香农-威纳指数; J 为Pielou均匀度指数; Y 表示优势度; f_i 为第 i 种在各个采样点出现的频率。

Pearson相关分析的软件为SPSS16.0。

1.4 水质生物学评价

各生物指数评价及综合污染指数标准见表1(王博等,2011)。

2 结果与分析

2.1 文教河流域环境因子

文教河各点位的水质状况见表2。总磷、总氮、氨氮平均值均最高的点位均为公坡大桥(S3),分别为0.33、1.95、1.26 mg/L;最低的点位分别为东路水库出口(S7)(0.03 mg/L)、东路水库出口(S7)(0.90 mg/L)和潭牛公路桥(S5)0.37 mg/L。DO、BOD₅和COD_{Cr}平均值最高的点位分别为龙虎山水库出口(S1)(8.78 mg/L)、锦东村(S2)(29.07 mg/L)和龙虎山水库出口(S1)(5.28 mg/L),最低的点位分别为白溪源头(S6)(4.82 mg/L)、东路水库出口(S7)(2.20 mg/L)和潭牛公路桥(S5)(11.22 mg/L)。水温平均值最高的点位为培龙村(S12),30.23℃,最低

的点位为文教大桥入海口(S15),为 28.63℃。潭牛公路桥(S5)和东路水库出口(S7)水质为Ⅲ类,锦东

村(S2)、公坡大桥(S3)和龙塔村(S11)为Ⅴ类,其余点位为Ⅳ类。文教河水质总体为Ⅳ类。

表 1 生物指数及综合污染指数标准

Tab.1 Water quality assessment standard based on biological index and comprehensive pollution index

指数	水质等级分类				
	清洁 (I)	微污染 (II)	轻污染 (III)	中污染 (IV)	重污染 (V)
Shannon-Wiener 多样性指数(H')	>3.5	2~3.5	1~2	0~1	0
Margalef 丰富度指数(D)	>3.5	2~3.5	1~2	0~1	0
综合污染指数(P)	[0,0.2)	[0.2,0.4)	[0.4,0.7)	[0.7,1)	[1,2)

表 2 文教河各点位水质状况

Tab.2 Water quality parameters for each sampling site in Wenjiao River

点位	DO/ mg · L ⁻¹	总磷/ mg · L ⁻¹	总氮/ mg · L ⁻¹	水温/ ℃	COD _{Cr} / mg · L ⁻¹	BOD ₅ / mg · L ⁻¹	氨氮/ mg · L ⁻¹	水质 类别
S1	8.78±0.47	0.08±0.03	1.28±0.03	29.35±2.08	28.00±4.08	5.28±0.45	0.94±0.19	Ⅳ
S2	6.18±1.65	0.17±0.08	1.62±0.56	28.88±2.33	29.07±3.14	4.48±0.63	0.85±0.30	Ⅴ
S3	6.91±0.91	0.33±0.11	1.95±0.07	29.00±1.99	26.90±5.38	4.40±0.70	1.26±0.40	Ⅴ
S4	7.05±0.23	0.10±0.01	1.05±0.33	29.00±2.97	15.08±5.29	4.03±0.48	0.62±0.26	Ⅳ
S5	6.60±0.67	0.07±0.02	1.13±0.36	29.23±3.01	11.22±5.48	2.92±0.80	0.37±0.27	Ⅲ
S6	4.82±1.29	0.06±0.01	1.54±0.24	28.98±2.51	16.13±1.55	3.73±0.39	0.67±0.32	Ⅳ
S7	6.26±0.37	0.03±0.01	0.90±0.30	29.80±2.53	13.00±0.82	2.20±0.98	0.41±0.05	Ⅲ
S8	7.21±0.23	0.15±0.04	1.26±0.37	28.63±2.82	13.76±6.56	3.79±1.39	0.64±0.26	Ⅳ
S9	6.94±0.93	0.23±0.12	1.22±0.34	29.63±3.18	24.05±7.37	4.67±0.87	0.80±0.48	Ⅳ
S10	8.42±0.72	0.21±0.09	1.40±0.24	29.23±2.92	20.24±4.96	4.61±0.85	0.67±0.20	Ⅳ
S11	7.13±1.13	0.29±0.21	1.50±0.18	28.93±1.52	20.63±3.56	5.07±1.21	0.78±0.41	Ⅴ
S12	8.63±0.66	0.14±0.03	1.24±0.22	30.23±2.07	21.25±2.89	4.99±1.08	0.66±0.25	Ⅳ
S13	7.28±2.12	0.09±0.03	0.97±0.14	28.73±1.73	23.66±1.81	4.67±0.58	0.48±0.19	Ⅳ
S14	8.51±1.78	0.10±0.04	1.18±0.28	28.90±1.96	25.36±0.42	4.69±1.07	0.78±0.17	Ⅳ
S15	7.02±1.47	0.10±0.06	1.55±0.28	28.63±1.84	21.06±2.60	4.80±1.54	0.57±0.24	Ⅳ

2.2 底栖动物

2.2.1 种类组成及优势种 本次调查文教河流域 15 个点位,共采集到底栖动物 42 种,隶属 3 门 5 纲 23 科。水生昆虫为主要类群,29 种,占总物种数的 69.05%,其中双翅目 19 种、毛翅目 3 种、蜉蝣目和半翅目各 2 种、襀翅目、蜻蜓目及鞘翅目各 1 种。软体动物 5 种,占总物种数的 11.90%。甲壳类、寡毛类均为 4 种,各占总物种数的 9.52%。底栖动物优势种为雕翅摇蚊 *Glyptotendipes* sp.、多足摇蚊 *Polypedilum* sp.、海南白虾 *Exopalaemon hainanensis* 和米虾 *Caridina* sp.,优势度分别为 0.19、0.12、0.05 和 0.02。在空间分布上,文教河流域 15 个点位的底栖动物群落结构存在明显的差异(图 2),头水线(S4)种类数最多,11 种;文教大桥入海口(S15)种类数最少,3 种。除龙虎山水库出口(S1)、东路水库出口(S7)、美柳村(S10)外其余点位均采集到甲壳类,软体动物仅出现在头水线(S4)、白溪源头(S6)、文林村(S8)、流翠桥(S9),寡毛类仅出现在锦东村(S2)、头水线(S4)、文林村(S8)、文教大桥入海口(S15)。

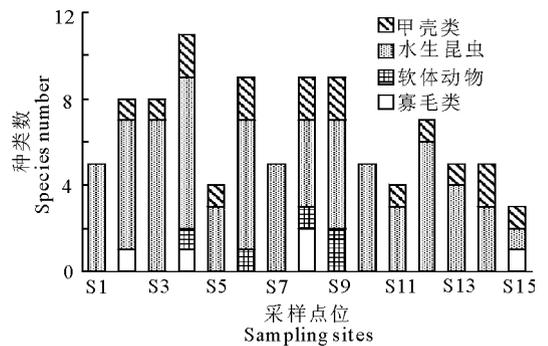


图 2 文教河流域底栖动物的种数分布

Fig.2 Macroinvertebrate species composition for each sampling site in Wenjiao River

2.2.2 密度和生物量 文教河流域底栖动物平均密度和平均生物量分别为 295.00 个/m² 和 31.78 g/m², 变化范围分别在 55.56 ~ 1 344.44 个/m² 和 0.04~193.76 g/m²;从上游至下游,密度和生物量之间并没有表现出规律性的变化趋势(图 3),但各样点的密度主要受水生昆虫影响,生物量主要受软体动物影响。如培龙村(S12)密度最高,为 1 344.44 个/m²,其中水生昆虫就高达 1311.11 个/m²;其次是东路水库出口(S7)为

677.78 个/m²,全部为水生昆虫;文林村(S8)生物量最高,为193.76 g/m²,其中软体动物就高达157.98 g/m²;锦东村(S2)为105.29 g/m²,其中甲壳类为105.23 g/m²;最小为美柳村(S10),0.04 g/m²,仅采集到水生昆虫。

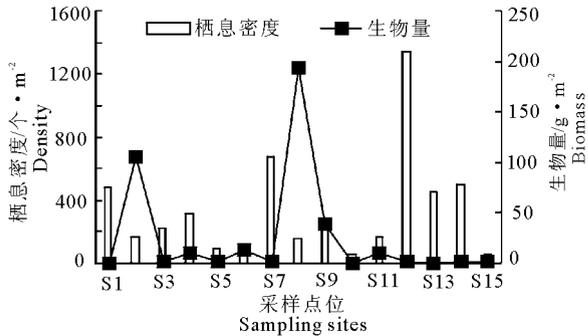


图3 文教河底栖动物密度及生物量

Fig.3 Macroinvertebrate density and biomass for each sampling site in Wenjiao River

2.2.3 多样性 文教河流域底栖动物多样性指数见图4。 H' 、 D 和 J 均值分别为1.31、1.69和0.26,范围分别在0.50~1.96、0.97~2.82和0.18~0.39。底栖动物 H' 和 D 整体变化区域基本保持一致,但

是 J 的评价结果明显低于 H' 、 D 。具体点位中,白溪源头(S6) H' 、 D 均较高而 J 较低,东路水库出口(S7) H' 、 D 均较低而 J 较高。

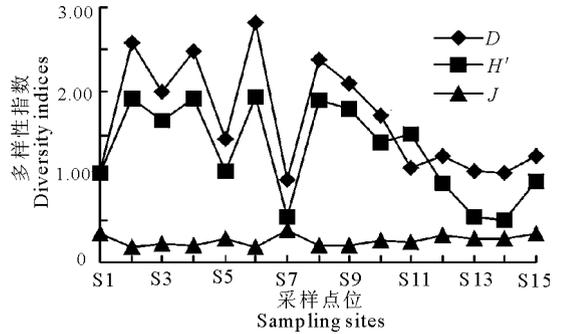


图4 文教河底栖动物多样性指数

Fig.4 Macroinvertebrate diversity indices of each sampling site in Wenjiao River

2.2.4 与环境因子的相关分析 底栖动物的密度、生物量、 D 、 H' 、 J 与环境因子的相关系数及概率水平见表3。密度与水温呈显著中度相关($r=0.729$, $P=0.002$), D 与溶解氧呈显著中度负相关($r=-0.577$, $P=0.031$),密度、生物量、 D 、 H' 、 J 与其余的环境因子在概率水平 $P<0.05$ 上未显著相关。

表3 文教河流域底栖动物与环境因子的相关系数(r)和概率水平(P)

Tab.3 Correlation coefficient (r) and probability level between macroinvertebrate community structure and environmental factors in Wenjiao River

环境因子	密度		生物量		D		H'		J	
	r	P								
溶解氧	0.447	0.095	-0.173	0.538	-0.577	0.031	-0.426	0.114	0.389	0.152
总磷	-0.222	0.428	0.113	0.689	0.167	0.552	0.451	0.092	-0.450	0.092
总氮	-0.395	0.085	0.085	0.762	0.366	0.180	0.502	0.056	-0.380	0.163
水温	0.729	0.002	-0.330	0.230	-0.260	0.350	-0.233	0.403	0.381	0.161
COD _{Cr}	0.094	0.740	-0.097	0.731	-0.106	0.706	-0.035	0.902	-0.022	0.937
BOD ₅	0.094	0.740	-0.100	0.722	-0.139	0.621	0.054	0.848	-0.086	0.762
氨氮	-0.080	0.776	0.046	0.872	0.228	0.413	0.393	0.148	-0.319	0.246

注: $|r| \geq 0.8$ 表示高度相关, $0.5 \leq |r| < 0.8$ 表示中度相关; $P < 0.01$ 表示非常显著; $P < 0.05$ 表示显著。

Note: $|r| \geq 0.8$ indicates highly correlated, $0.5 \leq |r| < 0.8$ indicates moderately correlated; $P < 0.01$ indicates the probability level is extremely significant, $P < 0.05$ indicates the probability level is significant.

3 讨论

3.1 底栖动物群落结构特征

本次调查结果,文教河流域具有较高的底栖动物多样性,共鉴定底栖动物42种;底栖动物中水生昆虫为主要类群,29种,占69.05%,这与海南文澜江67.86%(刘贤等,2016)、松花江干流63.8%(霍堂斌等,2012)基本一致;但比渭河流域78.4%(殷旭旺等,2013)、广西红水河79.3%(赵茜等,2014)稍低。洪松等(2000)对中国河流底栖动物群落结构特征研究发现:水生昆虫幼虫一般在有机污染较轻的

河流或河段占优势,软体动物和寡毛类则在底积淤泥、有机质较丰富的河流或河段成为优势种。调查文教河流域水质结果主要以IV类水质为主,也印证了底栖动物组成的结果。从文教河流域底栖动物多样性分布来看,源头和下游入海段底栖动物多样性较低,文教大桥入海口(S15)点位种类仅3种,从现场调查情况来看,源头龙虎山水库分布众多的淡水养殖网箱,入海口周边分布众多高位海水养殖池,这些区域可当做流域水生生物多样性重建区域,通过对流域水产养殖治理和城镇生活源治理等措施,逐步恢复流域水生生物多样性。

3.2 环境因子影响分析

底栖动物生活史的全部或者大部分时间都在水中,温度的变化直接或间接影响底栖动物群落结构(任海庆等,2015;杨青瑞等,2010)。Hay 等(2013)对 Missouri 河内底栖动物漂移密度与非生物因子的关系进行了研究,提出水温是河流上游底栖动物重要的预测因子。本研究中也发现水温与底栖动物密度呈现显著的正相关关系,表明水温是影响文教河底栖动物群落结构的主要环境因子,对底栖动物的生长繁殖具有显著的促进作用。溶氧也是水体中影响底栖动物群落结构的重要因素之一(任海庆等,2015),本研究中发现溶解氧量与 Margalef 丰富度指数呈现显著的负相关关系。蔡佳亮等(2011)对滇池流域入湖河流研究,丰水期底栖动物属种与溶解氧量的相关系数为显著负相关。已有研究证明,不同种群对溶解氧量的需求不同,疣吻沙蚕、红裸须摇蚊、锯齿新米虾、日本螺卷羸蜚生物量与溶解氧呈正相关,而霍甫水丝蚓、巨毛水丝蚓、苏氏尾腮蚓等耐污种生物量与溶解氧呈负相关(赵风斌等,2016)。McClelland 和 Brusven(1980)研究发现襁翅目物种的敏感度与栖息生境中溶解氧量有着密切的关系。底栖动物群落结构与水体中其他化学因子(氮、磷

等)也有着紧密的联系。王备新等(2007)的研究发现总氮和总磷对常州地区太湖流域上游水系底栖动物群落结构的影响较大。本次调查研究结果底栖动物群落与氮、磷相关性不显著。生物与环境之间的相互影响是一个系统复杂的问题,环境因子对生物的影响并不是简单的若干个单独环境因子对生物影响的总和(董雪等,2016)。与太湖流域不同,文教河流域独特的独流入海特性、亚热带气候、水产养殖污染和农业面源污染特征等可能是导致这种差异的主要原因。

3.3 水环境质量现状综合评价方法

本研究采用 Margalef 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数以及综合污染指数对文教河水质进行了评价(表 4),结果显示,采用 Margalef 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数评价等级明显好于综合污染指数评价的等级,原因可能是底栖动物生命周期较长、行动缓慢、生活场所比较固定,对逆境的逃避较迟缓,且各类底栖动物对水体环境变化的适应性、耐受性及敏感程度不同,水环境质量的变化都可以从底栖动物的群落中得到响应(霍堂斌等,2012)。

表 4 文教河水质类别的理化评价与生物评价结果对比

Tab.4 Comparison of water quality assessment based on macroinvertebrate biological indices and water quality parameters in Wenjiao River

指数	水 质 类 别														
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15
H'	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ
D	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅳ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
P	Ⅳ	Ⅴ	Ⅴ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ

根据生物指数评价水体污染状况时,由于污染与非污染因子综合影响生物群落的结构和功能,单一的生物指数很难准确地反映某一区域的水质状况,必须试用多种生物指数之后,选择适于调查水域的地方性生物指数并结合理化监测数据进行水质评价的综合分析,才能得到准确的评价结果(高世荣,2005;王博等,2011)。因此在评价特定河流时,比较不同的评价方法并选择合适的指数尤为重要(黄旭蕾等,2015)。王博等(2011)对东江干流底栖动物群落结构与水质生物学评价研究,以 GB3838-2002 标准Ⅱ类水为评价标准,采用综合污染指数法进行水质评价;采用 Shannon-Wiener 指数法、Margalef 指数评价得出的水体质量低于综合污染指数法的评价质量。理化指标能比较直接精确地反映河道水质。但严格来说,理化指标只代表采集水样那一刻

的瞬时水质,并不能直接或全面地反映水质与水生生物之间关系(陈小华等,2013)。黄旭蕾等(2015)、刘贤等(2016)认为 Margalef 丰富度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数可作为地方性水质评价指标。

参考文献

- 蔡佳亮,苏玉,文航,等,2011. 滇池流域入湖河流丰水期大型底栖动物群落特征及其与水环境因子的关系[J]. 环境科学,32(4):982-989.
- 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.
- 大连水产学院,1982. 淡水生物学(上册)[M]. 北京:农业出版社.
- 董雪,蔡艳,贾铭宇,等,2016. 阿什河春季不同河段大型底栖

- 动物群落结构与环境因子[J]. 东北林业大学学报, 44(1):90-93.
- 国家环境保护总局,《水和废水监测分析方法》编委会,2002. 水和废水监测分析方法(第四版)[M]. 北京:中国环境科学出版社.
- 高世荣,2005. 利用水生生物评价水质及环境污染[J]. 中国环境卫生, 8(2):1-8.
- 耿世伟,渠晓东,张远,等,2012. 大型底栖动物生物评价指数比较与应用[J]. 环境科学, 33(7):2281-2287.
- 洪松,陈静生,2000. 中国河流水生生物群落结构特征探讨[J]. 水生生物学报, 26(3):295-304.
- 霍堂斌,刘曼红,姜作发,等,2012. 松花江干流大型底栖动物群落结构与水质生物评价[J]. 应用生态学报, 23(1):247-254.
- 黄旭蕾,李天宏,蒋晓辉,2015. 基于大型底栖无脊椎动物指数的黄河水质评价研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 51(3):53-561.
- 海南省生态环境保护厅,2016. 2011-2015年海南省环境质量报告书[R].
- 蒋万祥,贾兴焕,周淑婵,等,2009. 香溪河大型底栖动物群落结构季节动态[J]. 应用生态学报, 20(4):923-928.
- 刘月英,张文珍,王跃先,1979. 中国经济动物志(淡水软体动物)[M]. 北京:科学出版社.
- 李新正,刘瑞玉,梁象秋,2007. 中国动物志(无脊椎动物,第四十四卷)[M]. 北京:科学出版社.
- 刘贤,莫凌,陈峻峰,等,2016. 海南省文澜江底栖动物结构与其水质生物学评价[J]. 水生态学杂志, 37(6):30-36.
- 渠晓东,2006. 香溪河大型底栖动物时空动态、生物完整性及小水电站的影响研究[D]. 武汉:中国科学院水生生物研究所.
- 任淑智,1991. 北京地区河流中大型底栖无脊椎动物与水质关系的研究[J]. 环境科学学报, 11(1):31-46.
- 任海庆,袁兴中,刘红,等,2015. 环境因子对河流底栖无脊椎动物群落结构的影响[J]. 生态学报, 35(10):3148-3156.
- 孙小玲,蔡庆华,李凤清,等,2012. 春季昌江大型底栖无脊椎动物群落结构及功能摄食类群的空间分布[J]. 应用与环境生物学报, 18(2):163-169.
- 王备新,徐东炯,杨莲芳,等,2007. 常州地区太湖流域上游水系大型底栖无脊椎动物群落结构特征及其与环境的关系[J]. 生态与农村环境学报, 23(2):47-51.
- 王博,刘全儒,周云龙,等,2011. 东江干流底栖动物群落结构与水质生物学评价[J]. 水生态学杂志, 32(5):43-49.
- 王军,周琼,谢从新,2014. 新疆额尔齐斯河大型底栖动物的群落结构及水质生物学评价[J]. 生态学杂志, 33(9):2420-2428.
- 徐梦珍,王兆印,潘保柱,等,2012. 雅鲁藏布江流域底栖动物多样性及生态评价[J]. 生态学报, 32(8):2351-2360.
- 袁锋,1996. 昆虫分类学[M]. 北京:中国农业出版社.
- 杨青瑞,陈求稳,2010. 漓江大型底栖无脊椎动物及其与水环境的关系[J]. 水利水电科技进展, 12(6):8-11.
- 殷旭旺,徐宗学,高欣,2013. 渭河流域大型底栖动物群落结构及其与环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 24(1):218-226.
- 赵伟华,2010. 中国河流底栖动物宏观格局及黄河下游生态需水研究[D]. 北京:中国科学院研究生院.
- 赵茜,高欣,张远,等,2014. 广西红水河大型底栖动物群落结构时空分布特征[J]. 环境科学研究, 27(10):1150-1157.
- 赵凤斌,陈萍萍,徐后涛,等,2016. 上海市河道底栖动物群落结构与环境因子的关系[J]. 生态环境学报, 25(8):1361-1368.
- Hay C H, Franti T G, Marx D B, et al, 2008. Macroinvertebrate drift density in relation to abiotic factors in the Missouri River[J]. Hydrobiologia, 598(1):175-189.
- Margalef D R, 1968. Perspectives in Ecological Theory[M]. Chicago: Univ Chicago Press:111.
- McClelland W T, Brusven M A, 1980. Effects of sedimentation on the behaviour and distribution of riffle insects in a laboratory stream[J]. Aquatic Insects, 2(3):161-169.
- Pielou E C, 1975. Ecological Diversity[M]. New York: Wiley Interscience:163.
- Shannon C E, Weaver W, 1949. The Mathematical Theory of Communication [M]. Urbana: University of Illinois Press:379-423.
- Ward J V, Stanford J A, 1979. Ecological factors controlling stream zoobenthos with emphasis on thermal modification of regulated streams[J]. The Ecology of Regulated Streams:35-55.

(责任编辑 张俊友)

Characteristics of Macroinvertebrate Community in Wenjiao River, Hainan Province and Its Relationship to Environmental Factors

LIU Xian, MO Ling, CHEN Jun-feng, LIN Zhang-wen, JIANG Jia, XING Qiao

(Hainan Research Academy of Environmental Sciences, Haikou 571126, P.R.China)

Abstract: Wenjiao River is the largest river flowing to the sea from Wenchang City, Hainan Province and the Poliu water sluice section of the lower Wenjiao River is an important drinking water source. According to the environmental quality report of Hainan Province, the overall water quality of Wenjiao River was good during 2010 – 2015, but water quality in the Poliu water sluice section was Grade IV and did not meet drinking water standards. In this study, we analyzed the macroinvertebrate community structure and its relationship to water environmental parameters in Wenjiao River. The aim of the study was to provide reference data for biological water quality monitoring, ecosystem health assessment and water resource management. In March, May, September and November of 2014, water environmental factors including temperature, ammonia nitrogen, DO, TN, TP, COD_{Cr}, and BOD₅ were monitored at 15 sampling sites (Sites 1 – 15) along the main stem of Wenjiao River. In November 2014, macrozoobenthos sampling was carried out at the 15 sites. A total of 42 macroinvertebrate species were collected, belonging to 23 families, 5 classes and 3 phyla. Aquatic insects (29 species) made up the largest group, accounting for 69.05% of the total macroinvertebrate species. *Glyptotendipes* sp., *Polypedilum* sp., *Exopalaemon hainanensis* and *Caridina* sp. were the dominant species, with dominance values of 0.19, 0.12, 0.05 and 0.02, respectively. Macroinvertebrate density and biomass ranges were 55.56 – 1 344.44 ind/m² and 0.04 – 193.76 g/m², with the average values of 295.00 ind/m² and 31.78 g/m², respectively. The density of macroinvertebrate was primarily affected by aquatic insects and the biomass by mollusks. The Shannon – Wiener diversity, Margalef richness and Pielou evenness indices of the macroinvertebrate community ranged, respectively, from 0.50 to 1.96, 0.97 to 2.82 and 0.18 to 0.39, with average values of 1.31, 1.69 and 0.26. Correlation analysis showed that temperature and DO were the primary environmental factors affecting the macroinvertebrate community structure in Wenjiao River.

Key words: macroinvertebrates; community structure; environmental factors; Wenjiao River