

文章编号:1672-3031(2022)02-0120-09

赣江干流底栖动物群落结构与环境因素的关系

黄彬彬¹, 李光锦¹, 丰茂成¹, 陈宇炜¹, 严登华^{2,3}

(1. 鄱阳湖流域水工程安全与资源高效利用国家地方联合工程实验室, 江西 南昌 330099;

2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 3. 流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038)

摘要: 底栖动物是河流水生态系统的重要组成部分, 对水环境的变化极其敏感。为分析赣江干流底栖动物群落结构特征及其与环境因素的关系, 本研究于2018年8月、2019年1月及4月在赣江干流布设12个采样点进行底栖动物调查。赣江干流共检出底栖动物3门6纲24种属, 上游的优势种分别为苏氏尾鳃蚓和铜锈环棱螺, 中游的优势种为铜锈环棱螺和河蚬, 下游的优势种为大沼螺和圆顶珠蚌。经统计得出底栖动物丰度为49 ind./m², 而生物量达46.82 g/m²。不同水情期物种数变化趋势为: 1月枯水期(18种)大于4月丰水期(12种), 枯水期的生物多样性指数要高于丰水期。典型对应分析法分析表明, 枯水期影响赣江干流底栖动物群落分布的主要环境因素为总氮、电导率和溶解氧; 而丰水期却为透明度、溶解氧、电导率等。研究结果可为赣江流域生态系统的保护和修复提供数据参考和技术支撑。

关键词: 赣江干流; 底栖动物; 群落结构; 环境因素; 河流健康

中图分类号: X171.1

文献标识码: A

doi: 10.13244/j.cnki.jiwhr.20200220

近年来, 河流水生态系统健康由于人类活动干预和全球气候变化影响受到了严重的威胁^[1], 准确评估河流水环境与生态系统的现状尤为重要。水生生物作为水生态系统的重要组成部分, 与水生态环境存在着密切联系^[2-3]。底栖动物在河流水生态系统中分布极其广泛, 在河道中主要以有机碎屑和浮游生物为食^[4-6], 并且活动场所固定, 对水体中的污染物较敏感, 能够较全面地表征河流水环境的变化^[7-8], 故被广泛用于水生态系统的评价及修复等领域^[9-11]。因此, 研究大型底栖动物群落特征及其与环境因素之间的关系, 能够对河流水生态系统健康评价及水污染的防控提供数据支撑与问题解决思路。

底栖动物群落结构与环境因子的关系一直都是淡水和海水生态系统研究的热点问题。研究方法多采用数理统计^[8]、SPSS相关分析法^[12]、典型对应分析(CCA)^[13]等方法, 研究结果表明: 河流自然生境与环境因子是影响河流水生态系统中水生生物群落结构特征的主要因素^[14]。海拔、河流形态、基质粒径大小、异质性和稳定性等自然生境对鱼类^[15]、底栖动物等水生生物的群落结构有着明显的影响; 河流中污染物的增加, 降低了水体中溶解氧的浓度, 底栖动物丰度减少, 耐污性强的底栖动物增加^[16]; 由于毒性效应, 电导率的升高会显著减少底栖动物的敏感物种存活率^[17]。对于底栖动物与水环境因子的研究大多集中于定性分析水生生物的群落结构与环境因子的关联性。

目前, 大量研究表明水温、溶解氧、氨氮、电导率、高锰酸钾指数、底质等环境因素是影响大型底栖动物群落结构最主要的因素^[3-4, 8-9, 18-20], 底栖动物完整性指数与溶解氧及栖息地指数呈显著正相关, 与高锰酸钾指数、悬浮物、氨氮、总磷、总氮、电导率呈显著负相关, 但是不同流域影响底栖动物群落的主要环境因素具有一定的差异性, 且目前对赣江流域底栖动物群落及其主要影响因素的研究相对匮乏。本研究系统跟踪调查了赣江干流的12个断面, 分析了底栖动物群落结构特征, 并对各断面的环境指标进行了监测, 探讨了底栖动物群落与环境因素之间的关系, 以为赣江干流水生态系统健康提供数据支撑。

收稿日期: 2020-11-01; 网络首发时间: 2021-07-02

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5020.TV.20210702.1457.001.html>

基金项目: 国家自然科学基金项目(51969016); 江西省科学技术厅项目(20192ACBL21044)

作者简介: 黄彬彬(1983-), 博士, 教授, 主要从事水文过程对环境与生态系统的影响研究。E-mail: wanilyzh@163.com

1 研究区域与方法

1.1 研究区域概况 赣江流域地处亚热带湿润季风气候，年平均气温 17.8 ℃，年均降水 1580 mm，下游控制站外洲水文站多年径流量 686 亿 m³。干流全长 766 km，沿途汇入的支流多达 13 条。上游河段为赣州以上河段，周边山地交错，多支流，长 255 km 左右；中游为吉安新干至赣州河段，周边峡谷幽深，多险滩急流，长为 303 km 左右；下游为吴城至新干河段，河面宽广江心洲众多，两岸多为人工护岸江堤，长为 208 km 左右；全长近 766 km。赣江分南支、中支及北支三处流入鄱阳湖，与鄱阳湖一起构成整个江西省的水系大动脉^[21]，流域面积约占江西省地域面积的 50%，达到 8.35 万 km²，如图 1 所示。随着社会的发展，赣江流域的开发强度逐渐加大，如水利工程的兴建、建筑用地面积显著增加、河道的挖沙和废水的排放等，导致赣江流域天然湿地面积逐步减少^[22]，水质污染较为严重，大部分河段为轻、中度污染，其中赣州、南昌段污染最为严重^[23]，同时气候变化如极端气候事件的频发对赣江流域生态环境系统造成了一定程度的影响，流域生态系统功能退化明显^[24]。

1.2 采样时间及方法 为研究赣江干流的整体水生态系统健康状况，于 2018 年开始对赣江干流进行野外调查采样，2018 年 8 月、2019 年 1 月和 2019 年 4 月共进行 3 次采样调查。根据研究区域水文、地理、气候及《河道大型底栖动物监测与水质评价技术手册》^[25]，于赣江干流选取 12 个采样点进行底栖动物野外调查采样与环境因素监测(表 1)，具体位置见图 1。

表 1 赣江干流采样断面

点位	位置	河段	经度	纬度	河道比降/‰	平均水深/m
GJ1#	贡水	上游	114.9444	25.866735	0.22	3.46
GJ2#	章水	上游	114.9201	25.865919	0.23	3.35
GJ3#	储潭	上游	114.961481	25.938271	0.20	3.33
GJ4#	万安水库	中游	114.801	26.447	0.18	3.56
GJ5#	罗塘	中游	114.712046	26.5044941	0.17	3.44
GJ6#	吉安滨江公园	中游	114.992381	27.120156	0.17	3.19
GJ7#	峡江水库	中游	115.129947	27.50706	0.15	4.21
GJ8#	拖船镇	下游	115.129947	28.15797	0.15	2.88
GJ9#	小港	下游	115.86323	28.26021	0.11	2.61
GJ10#	外洲	下游	115.359039	28.63518	0.08	2.37
GJ11#	赣江南支	下游	116.359039	28.036683	0.07	2.01
GJ12#	赣江北支	下游	116.015864	28.187105	0.07	2.13

对采集的底栖动物带回实验室，参考《中国经济动物志—淡水软体动物》等书籍^[26-29]，将检测结果进行个数和质量统计并分析。

1.3 水质理化参数的测定 根据《水和废水监测分析方法》的相关标准^[30]，现场使用 YSI 及塞氏盘对电导率、溶解氧和透明度等参数进行测定，之后在实验室对水样进行分析以此得出总氮、总磷、化学需氧量等其他水质参数数据。

1.4 数据分析方法 根据实验室的样品鉴定结果，统计各采样断面不同种类的个体数、生物量及生物密度，进而计算底栖动物的优势度(Y)指数、多样性指数(H')、均匀度指数(J')和丰富度指数(d_M)^[31]，进一步对赣江干流群落结构进行描述。指数计算公式如下：

$$Y = P_i \times f_i \tag{1}$$

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

$$J' = H' / \ln N \tag{3}$$

$$d_M = (S - 1) \ln N \tag{4}$$



图1 赣江地理位置与干流采样断面分布

式中： $P_i = n_i / N$ 为第*i*个物种个体数量与个体总数的比值； n_i 为第*i*个物种的个体数； N 为样方内个体总数量； f_i 为第*i*个物种在所有样点中出现的频率； S 为样方内种类数，当 $Y > 0.02$ 时，该种即为优势种。

CCA 通常被研究学者用来探讨生物物种与所处生境(例如气候、地理环境、水质理化等)之间的相关关系^[32-33]。本研究采用CANOCO5.0进行CCA分析，通过建立底栖动物各类群数据矩阵与环境因素数据矩阵，进而分析底栖动物类群分布特征与环境因素之间的关系。

2 结果与分析

2.1 赣江干流底栖动物群落结构

2.1.1 群落组成及优势种 调查期间检出底栖动物3门(环节动物门、软体动物门和节肢动物门)6纲(寡毛纲、腹足纲、双壳纲、昆虫纲、蛭纲、软甲纲)13科24种。其中软体动物共检出11种，占总种类的45.8%，其次为水生昆虫类和寡毛类，分别有6种和4种，其余为其他类群最少，仅3种，占比12.5%，如表2所示。不同断面的种类数差异较大，各采样断面采集鉴定到的种类数范围为0~14种，平均各断面底栖动物种类数仅为4种。其中采样断面GJ2#(贡水)的种类数最多，断面位GJ8#(拖船镇)、GJ9#(小港)和GJ10#(外州)均未采集到底栖动物，如图2所示。

表2 赣江干流不同河段底栖动物群落优势种的密度百分比

	上游/%	中游/%	下游/%
苏氏尾鳃蚓 <i>Branchiura sowerbyi</i>	18.03	6.54	
铜锈环棱螺 <i>Bellamya aeruginosa</i>	14.41	54.12	9.39
骨河螺 <i>Rivularia</i> sp.	8.48		
浅白雕翅摇蚊 <i>Glyptotendipes pallens</i>	8.17		
霍甫水丝蚓 <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>			4.67
河蚬 <i>Corbicula fluminea</i>		13.11	8.25
大沼螺 <i>Parafossarulus eximius</i>			25.63
圆顶珠蚌 <i>Unio douglasiae</i>			14.29
萝卜螺属 <i>Radix</i> sp.		5.26	

赣江干流枯水期共检出底栖动物3门6纲12科18种，软体动物为9种，占总种类的50%，其次为寡毛类、水生昆虫类和其他类群均占16.7%。丰水期共检出底栖动物3门4纲8科12种，软体动物类

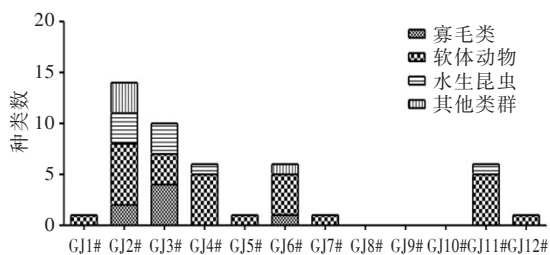


图2 赣江干流各点底栖动物种类数

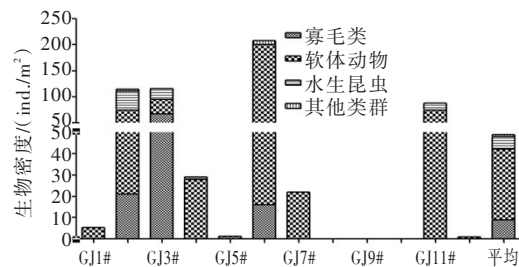


图3 赣江干流各采样断面平均密度

占比58%、水生昆虫类占比25%、寡毛类占比17%，无其他类群。

2.1.2 现存量 赣江各采样点底栖动物密度范围为0~208 ind./m²，平均密度为49 ind./m²，其中软体动物最高为33 ind./m²，其次为寡毛类和水生昆虫类分别为9 ind./m²和6 ind./m²，其他类群最低，为1 ind./m²。如图3所示，不同采样断面的平均生物密度差异较大，其中采样断面GJ6#(吉安滨水公园)的平均生物密度最高，为208 ind./m²，其次为采样点GJ3#(储潭)，生物密度为116 ind./m²，下游GJ8#(拖船镇)、GJ9#(小港)和GJ10#(外洲)多个采样点在采样调查期间未采集到底栖动物。

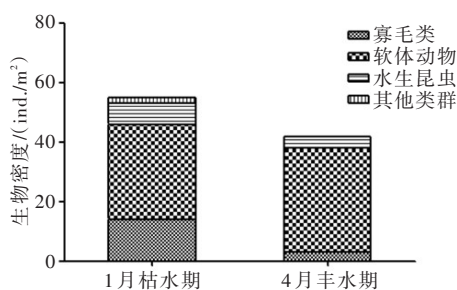


图4 赣江干流不同水情期底栖动物平均生物密度

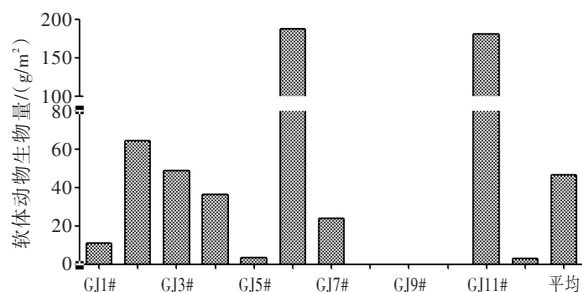


图5 赣江干流各断面平均软体动物生物量

赣江干流枯水期底栖动物平均生物密度为55 ind./m²，高于丰水期42 ind./m²，如图4所示。枯水期的底栖动物生物密度大于丰水期，赣江干流两个水情期的底栖动物各类群平均生物密度均以软体动物类群的生物密度最高，且均占比50%以上。

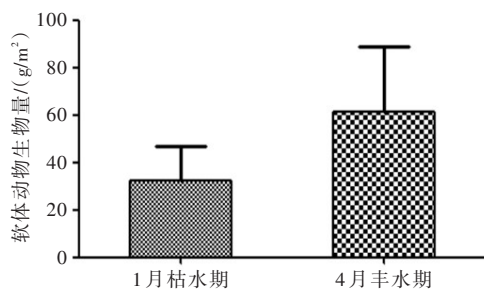


图6 赣江干流不同水情期平均软体动物生物量

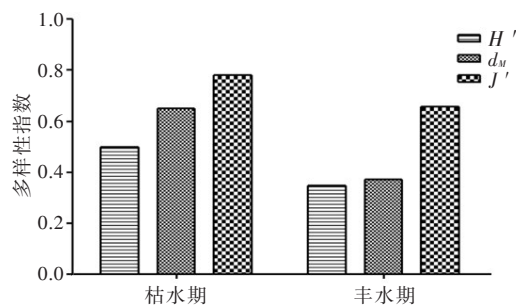


图7 不同水情期各点位多样性指数

赣江干流平均生物量为46.902 g/m²，其中软体动物类最高为46.67 g/m²，水生昆虫和寡毛类分别为0.12 g/m²和0.08 g/m²，其他类群为0.032 g/m²。因底栖动物中软体动物个体较大，生物量的大小主要体现在软体动物上，如图5所示。不同断面软体动物生物量差异显著，GJ6#(吉安滨水公园)采样断面生物量最高，其次为GJ11#(赣江南支)；平均软体动物类生物量为180.9 g/m²。枯水期的软体动物平均生物量为32.462 g/m²，低于丰水期的软体动物平均生物量61.337 g/m²，如图6所示。

2.1.3 多样性分析 赣江干流多样性指数中的香浓威纳指数 H' 全年范围在0~1.741之间，丰富度指数 d_M 在0~1.884之间，均匀度指数 J' 在0.323~0.975之间。香浓威纳多样性指数 H' 枯水期在各个断面的范围为0~1.74，均值为0.5；丰水期在各个断面的范围为0~1.35，均值为0.35。丰富度指数 d_M 枯水期在各个断面的范围为0~1.88，均值为0.65；丰水期在各个断面范围为0~0.921，均值为

0.27; 均匀度指数 J' 枯水期变化范围为 0.63 ~ 0.95, 均值为 0.78; 在丰水期为 0.32 ~ 0.98, 均值为 0.66。从香浓威纳指数 H' 、丰富度指数 d_M 和均匀度指数 J' 的分布范围及均值可得出多样性指数均为枯水期大于丰水期, 如图 7 所示。

2.2 环境参数分析 对赣江干流 10 个采样点的 14 个水体理化指标进行测试分析, 结果显示所有的采样点均属Ⅲ-Ⅳ类水体, 枯水期各采样点均总氮超标, 且 GJ2#(贡水)、GJ7#(峡江水库)与下游 3 个采样点的溶解氧均较低。丰水期各采样点水体溶解氧均较低, 总氮除点位 GJ5#(罗塘)外均超标。不同水情期各点位的水质指标可溶性磷(DTP)和化学需氧量(COD)均属于Ⅰ或Ⅱ类水体标准, 具体数值如表 3 所示。

赣江干流的水温、pH 值、电导率、溶解氧和盐度在不同时期呈显著差异, 其中水温和 PH 值枯水期 < 丰水期, 电导率、而溶解氧和盐度则刚好相反, 枯水期 > 丰水期。营养盐均以无机化合物的形式存在, 同样具有较为明显的时间变化, 丰水期营养盐的浓度 < 枯水期; 但空间上的分布不同, 其中无机磷的空间分布在不同时期具有相似的分布规律, 而无机氮的空间分布在不同水情期呈现不同的分布规律。

表 3 赣江干流各点位环境因素测试分析结果

时期	点位	透明度	水温	pH	电导率	溶解氧	盐度	TN/(mg/l)	DTN/(mg/l)	NH ₄ -N/(mg/l)	NO ₃ -N/(mg/l)	TP/(mg/l)	DTP/(mg/l)
枯水期	GJ1#	0.45	10.9	6.95	189.6	7.57	0.28	2.33	2.28	0.16	0.75	0.06	0.04
	GJ2#	0.6	12.3	7.05	159.9	4.88	0.62	1.93	1.73	1.17	0.37	0.08	0.05
	GJ3#	0.45	10.7	6.72	196.5	5.07	0.42	2.28	2.16	1.09	0.85	0.07	0.05
	GJ4#	0.5	10.2	7.05	144.4	5.87	0.54	2.11	1.51	0.87	0.53	0.07	0.06
	GJ5#	0.6	10.4	6.93	169.7	5.37	0.49	1.84	1.82	0.66	0.78	0.04	0.03
	GJ6#	0.55	9.9	6.82	158.8	5.49	0.52	1.62	1.4	0.53	0.44	0.08	0.05
	GJ7#	1	10	6.6	142.3	3.25	0.3	1.56	1.3	0.51	0.61	0.03	0
	GJ8#	1	9.1	6.72	159.6	4.96	0.41	1.68	1.63	0.5	0.53	0.06	0.04
	GJ9#	0.5	9.1	6.56	167.5	3.68	0.37	1.87	1.78	0.49	0.71	0.07	0.04
	GJ10#	0.5	8.8	6.51	185.7	3.11	0.43	1.97	1.91	0.46	0.57	0.09	0.05
丰水期	GJ1#	0.4	19.1	8.46	109.4	3.07	0.49	1.92	1.61	0.21	1.08	0.06	0.04
	GJ2#	0.7	19.6	8.28	149.4	3.17	0.34	1.53	1.28	0.32	0.51	0.06	0.04
	GJ3#	0.45	20.1	8.48	124.2	3.34	0.31	1.95	1.65	0.05	0.73	0.06	0.04
	GJ4#	1	19.6	8.53	130.6	3.52	0.32	1.75	1.7	0.23	0.89	0.06	0.04
	GJ5#	0.5	18.7	8.33	110.5	3.45	0.33	1.36	1.2	0.05	0.52	0.05	0.03
	GJ6#	0.5	19.5	8.45	156	3.9	0.47	1.81	1.65	0.26	0.54	0.07	0.04
	GJ7#	0.8	19.3	8.46	137.1	4.21	0.31	1.48	1.33	0.05	0.66	0.04	0.02
	GJ8#	0.9	19.6	8.42	132.8	4.38	0.27	1.67	1.52	0.05	0.67	0.06	0.03
	GJ9#	1	16.2	8.6	133.6	3.42	0.25	1.68	1.6	0.05	0.65	0.05	0.04
	GJ10#	0.8	15.7	8.6	140.5	2.77	0.27	1.77	1.49	0.04	0.7	0.06	0.04

2.3 底栖动物与环境因子的关系 将赣江干流不同水情期底栖动物各物种数据同水环境因素进行 CCA 分析, 不同水情期环境因素均为 14 种, 统计底栖动物属种生物密度, 对底栖物种筛选采用如下两个标准: 该物种在各样点出现的频度 $f_i \geq 12.5\%$, 该物种在至少一个样点的相对密度 $n_i/N \geq 1\%$ [34-35]。依据各样点的频度、相对密度, 进一步得出香农威纳指数、丰富度以及均匀度与实测环境因子的关系。依据此标准枯水期筛选出 6 种底栖动物分类单元, 而丰水期仅有 5 种。

2.3.1 枯水期 CCA 分析 对于枯水期, 第一、二轴的特征值分别为 0.43 和 0.12, 共解释 86% 的变化率, 说明前两轴涵盖了大部分变化解释信息。不同的水环境因素对于排序轴贡献不同, 从图 8 所示 CCA 分析的排序图可以看出, 溶解氧、电导率、可溶性氮和总氮是影响底栖动物分布的主要环境因子, 均与前两轴的相关系数达到 0.8 以上; 其次氨氮、磷酸盐和化学需氧量也具有一定相关关系。

其中蜻科(Libellulidae)、浅白雕翅摇蚊(Glyptotendipes pallens)和萝卜螺属(Radix sp)对营养物质

总氮 TN 等含氮化合物比较敏感，相关性较高，其中蜻科 (Libellulidae) 和浅白雕翅摇蚊 (Glyptotendipes pallens) 表现为和总氮 (TN)、可溶性氮 (DTN)、氨氮 (NH₄-N) 呈正相关，而萝卜螺属 (Radix sp.) 呈负相关；铜锈环棱螺 (Bellamya aeruginosa) 与透明度呈一定正相关关系，与营养物质磷元素和氮元素呈一定负相关关系，说明其喜欢生存于水体较清澈且污染少的清洁水体；大沼螺 (Parafossarulus eximius) 则表现为和化学需氧量 (COD) 呈一定正相关性关系；苏氏尾鳃蚓 (Branchiura sowerbyi) 与水环境因素的相关性关系皆较低，说明其对环境的变化具有较好的适应性。

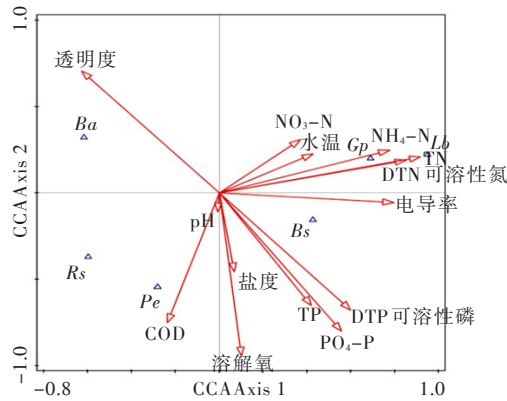


图8 枯水期底栖动物与环境因素的 CCA 分析

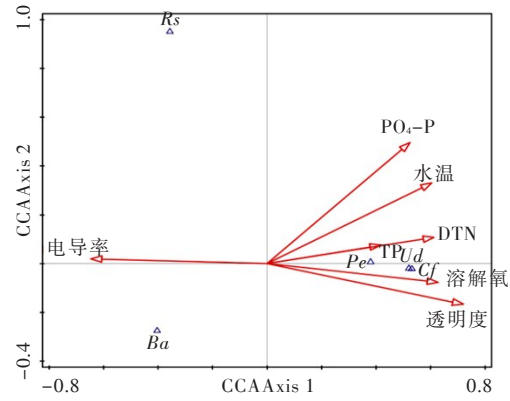


图9 丰水期底栖动物与环境因素的 CCA 分析

(注: Bs 为苏氏尾鳃蚓 *Branchiura sowerbyi*; Ba 为铜锈环棱螺 *Bellamya aeruginosa*; Pe 为大沼螺 *Parafossarulus eximius*; Rs 为萝卜螺属 *Radix* sp.; Gp 为浅白雕翅摇蚊 *Glyptotendipes pallens*; Lb 为蜻科 *Libellulidae*; Rs 为骨河螺 *Rivularia* sp.; Ba 为铜锈环棱螺 *Bellamya aeruginosa*; Pe 为大沼螺 *Parafossarulus eximius*; Ud 为圆顶珠蚌 *Unio douglasiae*; Cf 为河蚌 *Corbicula fluminea*。)

2.3.2 丰水期 CCA 分析 丰水期，第一、二轴的特征值分别为 0.94 和 0.73，共解释 90.3% 的变化率，说明前两轴基本涵盖了大部分变化信息。不同的水环境因素对于排序轴贡献不同，从图 9 所示 CCA 分析结果可知，电导率、溶解氧和透明度是影响赣江干流底栖动物分布与群落结构的主要环境因素，其相关系数分别为 0.76、0.73 和 0.72；其次，水温、磷酸盐和可溶性氮也存在一定的相关关系。

其中圆顶珠蚌 (*Unio douglasiae*) 和河蚌 (*Corbicula fluminea*) 两者对生存环境的要求具有一定相似性，且均对溶解氧具有较高的敏感性，成正相关；铜锈环棱螺 (*Bellamya aeruginosa*) 与磷酸盐 PO₄-P 和水温呈一定负相关关系；骨河螺 (*Rivularia* sp.) 与其他底栖动物的生存环境的要求具有较大区别，与所分析的所有环境因子相关性均不高；大沼螺 (*Parafossarulus eximius*) 与总磷 TP、可溶性氮 DTN 和溶解氧具有一定正相关性关系。

3 结论

文章通过对赣江干流底栖动物的采样调查，分析了赣江干流底栖动物的群落结构及优势种、现存量与多样性，并探索了赣江干流底栖动物与环境因子的相关关系，初步得到如下结论：

(1) 赣江干流底栖动物 3 门 6 纲 13 科 24 种，共 24 个分类单元，种类数统计可知软体动物最多，水生昆虫类次之，上游的优势种分别为苏氏尾鳃蚓和铜锈环棱螺，中游的优势种为铜锈环棱螺和河蚌；下游的底栖动物的优势种分别为大沼螺和圆顶珠蚌。

(2) 底栖动物丰度和生物量的变化基本可以反映群落的变化，在一定程度上反映环境质量变化^[37]。底栖动物中软体动物相对较大，故生物量主要体现在软体动物上。枯水期的软体动物平均生物量为 32.462 g/m²，丰水期的软体动物平均生物量 61.337 g/m²；底栖动物枯水期丰度为 55 ind./m²，丰水期仅为 42 ind./m²。

(3) 电导率、溶解氧和总氮是枯水期影响底栖动物群落结构的主要环境因子，而丰水期却有所差异，主要为透明度、电导率和溶解氧。

4 讨论

4.1 底栖动物群落结构特征 软体动物在赣江干流上、中、下游以及不同水情期均最大,属于明显的优势类群,可能主要与赣江流域河流生境为软体动物提供了良好的生存条件有关,适合软体动物的生存与发展,软体动物耐受值表明水体处于轻度-中度污染状态,枯水期赣江流域水质受污染程度相对较高。

赣江干流底栖动物种类组成与2011年丛明^[37]研究赣江底栖动物群落组成基本一致,但是底栖动物的种类、丰度和生物量均出现下降,表明赣江流域近年来水生态系统正面临一定程度的退化^[38-39]。赣江流域水利枢纽工程的修建以及挖沙作业严重破坏了底栖动物的栖息地,给底栖动物的生存带来威胁。此外,鄱阳湖流域极端水文事件频发,赣江枯水期不断延长,也严重危害了底栖动物的生境。

4.2 赣江干流底栖动物群落结构与环境驱动因子 通过计算不同水情下赣江干流香浓威纳指数 H' 、丰富度指数 d_m 和均匀度指数 J' 表明,枯水期均高于丰水期。其可能原因一方面由于丰水期流速较大,基质的异质性和稳定性较差,底栖动物因水流对河道侵蚀而很难固着在河底;另外,由于水土流失,丰水期水体的透明度较差,藻类生长受限,减少了底栖动物的食物来源,污染物以及悬浮物质的迁移过程发生了改变,都会对底栖动物多样性产生影响。

赣江干流上中下游底栖动物呈现空间差异性,海拔通过影响地区光照和温度等环境因子间接影响底栖动物的群落结构,海拔高的地区,基质底质类型以卵石为主,异质性和稳定性越高,并生长有一些水生植物,生物多样性明显增加,为底栖动物提供了生存空间、产卵、捕食和避难场所,增加了底栖动物的多样性。中下游河段沙质河床不稳定,人类活动剧烈,污染物排放量较大,且存在一些挖沙行为,破坏了水生生物的生境,底栖动物多样性降低。

透明度主要通过光抑制、污染物以及悬浮物质的迁移等影响藻类生长来影响底栖动物的食物来源。环境因子对底栖动物群落和密度的影响会随季节的变化而变化,从影响赣江流域底栖动物的环境因子来看,不同水情期对底栖动物影响显著的环境因子不同,这些因子既有河流物理特征的因子,也有污染性质的因子。

参 考 文 献:

- [1] 王国庆,张建云,刘九夫,等.气候变化和人类活动对河川径流影响的定量分析[J].中国水利,2008(2): 55-58.
- [2] 徐宗学,武玮,殷旭旺,等.渭河流域水生态系统群落结构特征及其健康评价[J].水利水电科技进展,2016,36(1): 23-30.
- [3] 高士林,白音包力皋,许凤冉,等.楠溪江干流香鱼栖息地水生态调查分析[J].中国水利水电科学研究院学报,2018,16(3): 233-240.
- [4] 邢圆,吴小平,欧阳珊,等.赣江水系大型底栖动物多样性与胁迫因子初探[J].生物多样性,2019,27(6): 648-657.
- [5] 龚志军,谢平,阎云君.底栖动物次级生产力研究的理论与方法[J].湖泊科学,2001,13(1): 79-88.
- [6] SCHMERA D, HEINO J, PODNI J, et al. Functional diversity: a review of methodology and current knowledge in freshwater macroinvertebrate research[J]. Hydrobiologia, 2017, 787(1): 27-44.
- [7] 顾晓昀,徐宗学,王汨,等.北运河水系底栖动物群落结构与水环境质量评价[J].湖泊科学,2017,29(6): 1444-1454.
- [8] 汪星,郑丙辉,刘录三,等.洞庭湖典型断面底栖动物组成及其与环境因子的相关分析[J].中国环境科学,2012,32(12): 2237-2244.
- [9] 陈丽,王东波,君珊.拉萨河流域大型底栖动物群落结构及其与环境因素的关系[J].生态学报,2019,39(3): 757-769.
- [10] 胡涛,魏开建,张桂蓉,等.密云水库大型底栖动物群落结构及水质生物学评价[J].水生生态学杂志,2018,39(4): 79-88.

- [11] KALOGIANNI E, VOURKA A, KARAOUZAS I, et al . Combined effects of water stress and pollution on macro-invertebrate and fish assemblages in a Mediterranean intermittent river[J] . Science of The Total Environment, 2017, 603-604: 639-650 .
- [12] 黄昆, 陈岚, 傅婷婷, 等 . 厦门湾大型底栖动物多样性指数空间分布及其与环境因子的关系[J] . 渔业研究, 2019(4): 293-301 .
- [13] 王航俊, 姚炜民, 林义, 等 . 乐清湾大型底栖动物群落及其与环境因子之间的关系[J] . 海洋学报, 2020, 42(2): 75-86 .
- [14] 杨青瑞, 陈求稳, 赵丹, 等 . 漓江秋季大型底栖动物群落结构特征分析[J] . 中国水利水电科学研究院学报, 2012, 10(3): 67-72 .
- [15] 张汶海, 胡鹏, 侯佳明, 等 . 横断山区水电开发对鱼类资源多维影响及其保护措施研究进展[J] . 中国水利水电科学研究院学报, 2020, 18(1): 15-23 .
- [16] DUAN X H, WANG Z Y, XU M Z . Effects of fluvial processes and human activities on stream macro-invertebrates[J] . International Journal of Sediment Research, 2011, 26(4): 416-430 .
- [17] 张远, 丁森, 赵茜, 等 . 基于野外数据建立大型底栖动物电导率水质基准的可行性探讨[J] . 生态毒理学报, 2015, 10(1): 204-214 .
- [18] 吴东浩, 张勇, 于海燕, 等 . 影响浙江西苕溪底栖动物分布的关键环境变量指示种的筛选[J] . 湖泊科学, 2010, 22(5): 693-699 .
- [19] 梁露巍, 惠秀娟, 徐成斌 . 辽河流域水环境因素对大型底栖动物的影响研究[J] . 环境保护与循环经济, 2015, 35(12): 51-53 .
- [20] 刘贤, 莫凌, 陈峻峰, 等 . 海南省文教河底栖动物群落特征及与环境因素关系分析[J] . 水生态学杂志, 2018, 39(6): 37-43 .
- [21] 王毛兰, 周文斌, 胡春华 . 赣江流域水体无机氮分布特征[J] . 南昌大学学报, 2007, 31(3): 271-275 .
- [22] 陈昌春, 张余庆, 项瑛 . 土地利用变化对赣江流域径流的影响研究[J] . 自然资源学报, 2014, 29(10): 1758-1769 .
- [23] 王鹏, 齐述华, 陈波 . 赣江流域土地利用方式对河流水质的影响[J] . 生态学报, 2015, 35(13): 4326-4337 .
- [24] 高凡, 蓝利, 黄强 . 变化环境下河流健康评价研究进展[J] . 水利水电科技进展, 2017(6): 85-91 .
- [25] 陈小华, 等 . 河道大型底栖动物监测与水质评价技术手册[M] . 北京: 科学出版社, 2016 .
- [26] 刘月英 . 中国经济动物志—淡水软体动物[M] . 北京: 科学出版社, 1979 .
- [27] 王俊才, 王新华 . 中国北方摇蚊幼虫[M] . 北京: 中国言实出版社, 2011 .
- [28] 梁象秋, 方纪祖, 杨和荃 . 水生生物学(形态和分类)[M] . 北京: 中国农业出版社, 1995 .
- [29] 杨柳, 王俊才, 白雪 . 温榆河底栖动物时空分布及其图谱[M] . 北京: 科学出版社, 2014 .
- [30] 北京环境保护总局, 水和废水监测分析方法编委会. 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, 2002 .
- [31] CHAO M, SHI Y, QUAN W, et al . Distribution of benthic macroinvertebrates in relation to environmental variables across the Yangtze River estuary, China[J] . Journal of Coastal Research, 2012, 284(5): 1008-1019 .
- [32] ZHAO Zhenhua, JIANG Ying, XIA Liling, et al . Application of canonical correspondence analysis to determine the ecological contribution of phytoplankton to PCBs bioaccumulation in Qinhuai River, Nanjing, China[J] . Environmental Science and Pollution Research, 2014, 21(4): 3091-3103 .
- [33] DODKINS I, RIPPEY B, HALE P . An application of canonical correspondence analysis for developing ecological quality assessment metrics for river macrophytes[J] . Freshwater Biology, 2005, 50(5): 891-904 .
- [34] 张琦, 王方鸣, 罗岳平, 等 . 湘江流域大型底栖动物群落结构及其与环境因素的关系[J] . 水生态学杂志, 2018, 39(2): 48-57 .
- [35] 韩志杰, 赵志红, 常欣悦, 等 . 昌黎生态监控区夏季大型底栖动物群落特征及其环境影响因素分析[J] . 海洋湖沼通报, 2019(3): 108-118 .
- [36] 季晓, 徐韧, 刘材材, 等 . 江苏启东近岸海域大型底栖动物群落健康评价[J] . 海洋渔业, 2016, 38(4): 348-363 .
- [37] 丛明 . 赣江流域底栖动物生态学研究[D] . 南昌: 南昌大学, 2012 .
- [38] 邢圆, 吴小平, 欧阳珊, 等 . 赣江水系大型底栖动物多样性与受胁因子初探[J] . 生物多样性, 2019, 27(6): 648-657 .
- [39] 丁建华, 杨威, 金显文, 等 . 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, 2012, 24(4): 593-599 .

Characteristics of benthos community structure and its relationship with environmental factors within the mainstream of Ganjiang River

HUANG Binbin¹, LI Guangjin¹, FENG Maocheng¹, CHEN Yuwei¹, YAN Denghua^{2, 3}

(1. National and Local Joint Engineering Laboratory for Water Engineering Safety

and Resource Efficient Utilization in Poyang Lake Basin, Nanchang 330099, China;

2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;

3. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, Beijing 100038, China)

Abstract: Benthos are an important part of the river water ecosystem and are extremely sensitive to changes in the water environment. In order to analyze the characteristics of the benthic community structure in the main stream of the Ganjiang River and its relationship with environmental factors, this study was conducted in August 2018, January and April 2019, and 12 sampling points were set up in the main stream of the Ganjiang River for benthic animal surveys. A total of 24 species of benthic animals in 3 phyla and 6 classes were detected in the main stream of the Ganjiang River. The dominant species of benthos in the upper reaches were urobranchis Soxhlet and Cyclobalanopsis aeruginosa, while in the middle reaches were Cyclobalanopsis aeruginosa and Corbicula fluminea, and in the lower reaches were macrobalanopsis macrocephala and pearl oyster. The benthic abundance is 49ind./m², and the biomass up to 46.82g/m². The change trend of the number of species in different water regimes is: the dry season in January (18 species) is greater than the wet season in April (12 species), and the biodiversity index in the dry season is higher than in the wet season. CCA analysis shows that the main environmental factors affecting the distribution of benthic communities in the mainstream of the Ganjiang River during the dry season are total nitrogen, electrical conductivity, and dissolved oxygen, while in the wet season; they are transparency, dissolved oxygen, and electrical conductivity. The results can provide data reference and technical support for the protection and restoration of ecosystem in the Ganjiang River basin.

Keywords: main stream of the Ganjiang River; benthic animals; community structure; water environmental factors; river health

(责任编辑: 王学风)

(上接第 119 页)

Study on the evolution characteristics of water quality and its key impact factors of Erhai Lake

MA Wei¹, SU Jianguang², YANG Yang², JIANG Rucheng², WU Jinhai²

(1. Department of Water Ecological Environment, CIWHR, Beijing 100038, China;

2. Yunnan Water Conservancy and Hydroelectric Survey Design and Research Institute, Kunming 650021, China)

Abstract: Erhai Lake is the main drinking water source of Bai people in Dali. As a result, the lake is characterized by relatively good water quality in dry season and serious pollution problem during the rainy season, evident interannual fluctuation of water quality, and gradually increasing trend of eutrophication. Among those factors, the agricultural non-point source pollution is the key factor that results in the water quality exceeding the limit during the rainy seasons, rainfall runoff is the main carrier of pollutants into the lake, the hydrological regime is the key driving factor affecting the annual variation of water quality in Erhai Lake, the natural restoration of submerged vegetation in lakeside zone is restricted by the water level of scheduling control, and the decaying aquatic vegetation is an important factor affecting sudden changes of water quality in May and June. Therefore, measures, such as carrying water from other basin to Erhai lake, controlling the agricultural non-point source pollution, strengthening the end interception of pollutants by the ecological storage zones and the scientific level of aquatic plant harvesting management, and optimizing the water level scheduling, are the keys ways to achieve the sustainable improvement of the water quality and water ecosystem of Erhai Lake.

Keywords: evolution characteristics of water quality; environmental impact factors; lake inflow; water level regulation; non-point pollutant; ecological storage zones; Erhai Lake

(责任编辑: 王学风)