

文章编号: 1000-5862(2019)04-0425-08

袁河流域河流生境质量评价及其影响因素分析

雷 呈^{1,2}, 黄 琪^{1,2*}, 倪才英^{1,2}, 刘丽贞³, 罗 津^{1,2}, 刘建新⁴, 温 巍⁵

(1. 江西师范大学鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室, 江西 南昌 330022; 2. 江西师范大学地理与环境学院, 江西 南昌 330022;
3. 江西省科学院, 江西 南昌 330096; 4. 江西省水文局, 江西 南昌 330002; 5. 宜春市水文局, 江西 宜春 336000)

摘要: 河流生境质量评价是河流综合健康评价的关键组成部分,也是河流评价管理的重要手段。选择涵盖袁河干流和支流的30个调查点进行河流生境质量调查和评价,采用了反映河道、河岸和滨岸带生境状况的10个指标,建立河流生境质量评价体系,进行河流生境质量评价和等级划分。进一步研究评价结果与河流水质、河流近岸土地利用状况以及底栖动物群落的相关性,以便验证河流生境指标体系对河流状态的表征状况。探讨影响河流生境的关键因素。研究结果表明:(i)袁河流域生境质量指数综合得分介于32~81,全流域83.4%的调查点处于中等及以上水平,总体质量状况较好;(ii)大型底栖动物种类数和多样性指数与河流生境质量关系密切,尤其是滨岸带生境;(iii)袁河流域生境质量状况与200 m、500 m缓冲区内林地显著正相关,与建筑用地显著负相关,且相关系数在空间尺度上存在差异;(iv)袁河流域生境质量指数与 $C_{OD_{Mn}}$ 显著负相关,影响河流生境的主要水质因素为有机污染物。

关键词: 河流; 生境质量; 大型底栖动物; 土地利用; 水质

中图分类号: X 826 文献标志码: A DOI: 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2019.04.15

0 引言

在气候变化和人类活动干扰的双重影响下,全球河流水生生态系统都受到了不同程度的干扰和损害^[1],表现为水体污染、河流形态结构受损、生物多样性减少等^[2]。维持和恢复河流健康状态,逐步成为各国河流管理的重要任务,且河流管理也逐渐从水质达标和水量调控向全面的河流水生态系统健康保护和恢复方向转变^[3]。

河流生境是河流生物的栖息地,按空间结构组成可分为河道、河岸、滨岸带生境3部分。河道是汇集和接纳地表及地下径流的场所,河岸是河道两侧高低水位之间被水淹没的区域,滨岸带是河岸和周围景观的过渡带,主要是指滨河的植被缓冲带^[4-5]。河流生境是联系河流生物与周围环境的自然纽带^[6],评估河流生境质量有助于识别导致生态系统受损的压力源,对流域内生物多样性保护具有重要指导作用^[7-8]。国外的河流状况评估方法相对完善和成熟,如美国的快速生物评估草案(RBP)^[9]、英国的河流生境质量调查法(RHS)^[10]和澳大利亚的

河流状况指数(ISC)^[11-12]等,已成为这些国家河流生境评价的有力工具。结合国外相关研究和各地实际,我国学者依据各地自然及功能属性,调整了评价指标,并先后在我国东北的辽河流域^[8]、饶力河流域^[13]、三峡库区河流^[14-15]和南四湖^[16]等河流湖库开展生境质量评价工作,并深入探究相关因素的影响,为我国重点流域生境质量评价提供了良好的借鉴。相比之下,国内研究对亚热带中小型河流的研究和关注相对较少。袁河是赣江的1级支流,其干流上还有山口岩和江口2座大型水库,袁河流域又与沪昆高铁经济带(江西段新宜萍城镇群)高度重叠。因而,该流域具有我国亚热带中小型河流典型的自然特征与人类活动干扰特征。以往对袁河的研究主要集中在水质评价^[17-18]上,尤其缺少较为系统的河流生境评价和影响因素分析。因此,建立袁河流域生境质量评价指标体系,评价袁河生境质量状况,系统分析底栖动物群落对生境状况的响应,探讨水质、不同尺度土地利用状况等压力因素对河流生境质量的影响,不仅可以为袁河流域水生态管理、生物多样性保护及河流治理等提供数据支撑与基础资料,也可以为长江中下游相似河流健康评价提供有益的参考。

收稿日期: 2018-11-27

基金项目: 国家自然科学基金(41661102, 41561093)和江西省青年科学基金(20161BAB213076)资助项目。

通信作者: 黄 琪(1985-),男,湖北通城人,助理研究员,博士,主要从事河湖健康评价研究。E-mail: huangq@jxnu.edu.cn

1 材料与方法

1.1 研究区概况

赣江为鄱阳湖流域内第 1 大河流,入湖量约占 46.6%,由南至北贯穿江西省全境,袁河位于江西省中西部地区($114^{\circ}11'E \sim 115^{\circ}29'E$, $27^{\circ}29'N \sim 28^{\circ}04'N$),是赣江最大的 1 级支流.源头位于江西省萍乡市武功山(罗霄山脉),袁河自西南向东北流经萍乡市、宜春市、新余市,至樟树市张家山镇河湖馆注入赣江,总长度为 231 km,流域总集水面积达 $6\,262\text{ km}^2$.袁河流域属副热带季风气候,春秋季较短,而夏冬季略长,多年平均降水量为 1 678 mm.袁河上游为峡谷性河道,多漂砾、卵石,建有山口岩水库;中游包括湖库型水体——仙女湖(江口水库);下游为冲积平原性河道,多沙洲,新余市以下河床较低,河面开阔;

使袁河的生境变为河流-湖库-河流生境.

1.2 调查及采样方法

1.2.1 调查点设置 采样点的选择遵循“随机性”、“全面性”、“代表性”和“可达性”4 个原则,仔细研究流域形态、生态功能和人类活动特征,在干流代表性点位、主要支流汇合处和流经城市出入水口等位置共设立 30 个调查点.根据山口岩和江口水库在袁河干流上下游的分布和行政区划,将袁河划分为 4 个河段,萍乡市芦溪县境内为上游河段 1(S20、S21、S22、S23、S24、S25),宜春市江口水库以上为中游河段 2(S13、S14、S15、S16、S17、S18、S19、S26、S27、S28),江口水库以下新余市境内为中下游河段 3(S5、S6、S7、S8、S9、S10、S11、S12、S29、S30),樟树市境内为下游河段 4(S1、S2、S3、S4).采样点位与河段划分详见图 1.

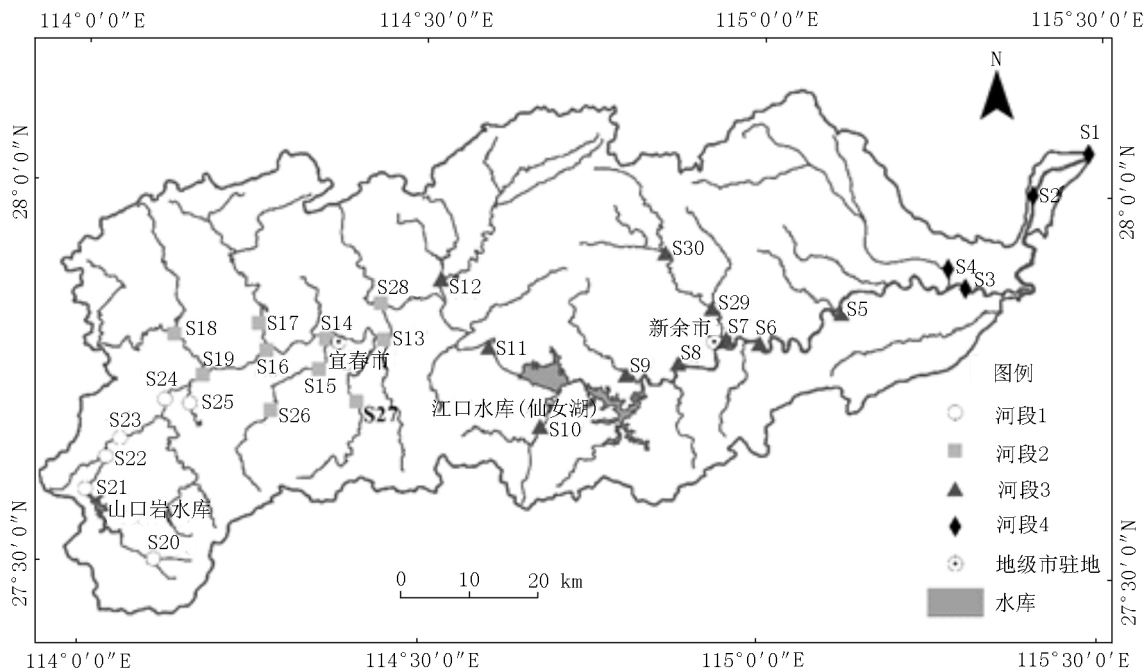


图 1 采样点位与河段划分图

1.2.2 生境调查、生物、土地利用和水质调查方法 每个调查点长度为 100 m,在调查时用手持 GPS 仪确定调查点的坐标,使用标杆、透明度盘等测量河深、透明度等指标,现场对表观水质、水量、河岸植被等真实情况进行客观详细地描述,拍照并填写记录表.

利用宽度为 0.3 m、孔径 0.25 mm 的索伯网和 D 型网配合采样,在水流较缓处,索伯网放置于样点的河床,先将网内的大型石块仔细清洗,使得石块上大型底栖动物随着水流进入索伯网内,较大的石块挑拣完后,利用铁铲搅动石块下方的底质,搅动的深度 $>10\text{ cm}$.在水流较深或较快处用 D 型网进行采样,采样面积为 3 m^2 (宽度为 0.3 m,采集长度

为 10 m).将底泥样品在尼龙筛中清洗掉污泥,装入盛有质量浓度为 $100\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 甲醛溶液的塑料瓶中固定,带回实验室分析鉴定.

土地利用数据通过 2016 年 10 月的宜春市 OLi 卫星遥感图像进行几何校正后解译获取,参照生态环境状况评价技术规范(HJ/T 192—2015)中的分类方法及相关文献,将本研究区内土地利用按 1 级分类划分为林地、耕地、建设用地等.

采集 1 L 水样固定后保存于密封采样容器,于实验室测定氨氮(NH_4^+-N)、总氮(TN)、总磷(TP)、高锰酸盐指数(C_{ODMn})等水质指标,水样采集、保存和分析均严格按照《水和废水监测分析方法》(第 4

版) 中的要求进行, 样品需重复测定 3 次后取其平均值, 以减小系统误差。

2 指标与评价

2.1 生境质量评价指标体系

在参考长江流域以往研究^[7,15,19]的基础上, 结合袁河流域自然与人类活动干扰特征, 从河道生境、河岸带生境和滨岸带生境 3 部分入手, 共筛选出 10 项指标, 构建袁河生境质量评价指标体系。

(i) 河道生境评价指标包括底质类型、表观水质、河床宽深比和水量。其中, 河床底质是河流生物直接的生存环境, 是影响河流底栖生物群落结构的关键性因素^[20], 天然河床底质包括基岩、漂砾、卵石、细沙、淤泥和水生植被等, 河床底质以底质组合表征。表观水质一般包括河水透明度(W_T) 和水体气味, 河水透明度指河水的清澈程度, 污染物越多, 透明度就越小, 水体如有异味, 则指示有其他污染。从实际调查结果来看, 袁河流域 30 个调查点均无明显异味, 因此仅以透明度指标描述表观水质。河床宽深比是河流形态指标, 影响河段输送水沙和污染物的条件^[21]。水量即河道充水度, 以水体充满河床的百分比表示;

(ii) 河岸带生境评价指标有河岸类型、河岸侵蚀程度和河岸植被。其中, 河岸类型主要包括自然坡岸和人工坡岸, 人为对自然坡岸的改造包括河岸硬化、石砌坡岸和闸坝建设等使河岸失去自然渗透性, 会扰乱河流输送能力和泥沙负荷之间的平衡^[22]。河岸侵蚀程度可以较为贴切地反映出河岸的稳定性, 也可以判断坡岸的水土流失情况^[23]。河岸植被是介于河流与高地植被之间的缓冲带, 河岸植被结构越复杂则能够提供的栖息场所及食物越多^[24];

(iii) 滨岸带生境评价指标包括滨岸带植被宽度、滨岸带植被覆盖度和人类活动。其中, 滨岸带植被是河流有机质输入的主要途径, 对河流小气候、河水温度、热状况都有密切关系^[25], 以宽度及覆盖度作为滨岸带植被的评价指标。滨岸带的人类活动干扰也会对河流生境产生重要影响。

2.2 生境质量评价方法及标准

参照刘华等^[14,15,19]设立的评价标准, 将袁河生境质量评价体系中的所有指标量化为 5 个等级, 将 V~I 级赋予 1~10 分的分值, 根据实地调查和客观评价对这些指标进行科学的评分。底质类型(I_{A1})、

表观水质(I_{A2})、河床宽深比(I_{A3}) 和水量(I_{A4}) 4 项指标评分累计叠加得到河道生境(I_A) 质量评价结果; 河岸类型(I_{B1})、河岸稳定性(I_{B2})、河岸植被结构(I_{B3}) 3 项叠加得到河岸带生境(I_B) 质量评价结果; 滨岸带植被宽度(I_{C1})、植被覆盖度(I_{C2})、人类活动(I_{C3}) 3 项叠加得到滨岸带生境(I_C) 质量评价结果。最终的河流生境质量指数(I_{RHQ}) 为河道生境(I_A)、河岸带生境(I_B)、滨岸带生境(I_C) 3 部分评价结果的总和。

根据最终的评价结果将生境质量划分为 5 个等级: (i) I 级, $75 \leq I_{RHQ}$, 河流生境质量极好 (excellent); (ii) II 级, $75 < I_{RHQ} \leq 60$, 河流生境质量为好 (good); (iii) III 级, $60 < I_{RHQ} \leq 45$, 河流生境质量一般 (fair); (iv) IV 级, $45 < I_{RHQ} \leq 30$, 河流生境质量差 (poor); (v) V 级, $I_{RHQ} < 30$, 河流生境质量极差 (bad)。

3 结果与分析

3.1 生境质量评价结果

袁河流域共 30 个调查点的生境质量综合指数介于 32~81 之间, 评价结果总体差异较大。河流生境质量等级主要集中在 II~III 级, 达到 I 级的调查点有 3 个, 占 10%, 位于袁河上游或中游支流的上游; 处于 II 级的调查点有 11 个, 占 36.7%; 处于 III 级的调查点共 11 个, 占 36.7%; 有 5 个调查点处于 IV 级状态, 主要位于河流中下游城市建成区人类活动干扰强度较大的区域。总体而言, 袁河流域生境质量较好, 生境质量较差的河段主要表现为河床底质单一, 河岸硬化程度高, 人为干扰严重, 滨岸带生境遭到较大破坏。

对调查点进行登记划分的结果表明, 河段 1: 2 个调查点 (S20、S21) 生境质量状况达到 I 级, S20 生境质量最好, 该调查点毗邻武功山, 植被覆盖率高, 是袁河发源地; 2 个调查点 (S23、S24) 达到 II 级; 2 个调查点 (S22、S25) 生境质量一般, 其中 S22 为河段 1 生境质量最差的调查点, 处于芦溪县中心附近, 河道两旁建筑密集, 滨岸带硬化程度高、绿化率低, 属于受污染的城市河道。河段 2: 调查点 S18 生境质量最好达到 I 级, 处在远离袁州区人口稠密地带的一条小支流中游位置, 周边除几个自然村外极少人为干扰; 5 个调查点 (S15、S16、S19、S26、S27) 生境质量达到 II 级; 2 个调查点 (S17、S28) 生境质量一般; 2 个调查点 (S13、S14) 生境质量已经较差, 其中

表 1 袁河生境质量评价体系

项目	评价指标	评分标准				
河道 (I_A)	底质类型 (I_{A1})	存在漂砾、细沙、粘土、水生植被等均匀混合基质	存在漂砾、细沙、粘土等均匀混合基质	存在多种基质但分布不均	基质类型较少	只存基岩或坚硬土层
	表观水质 (I_{A2})	$W_T > 1.0\text{ m}$	$1.0\text{ m} \leq W_T < 0.8\text{ m}$	$0.8\text{ m} \leq W_T < 0.6\text{ m}$	$0.6\text{ m} \leq W_T < 0.4\text{ m}$	$W_T \leq 0.4\text{ m}$
	河床宽深比(I_{A3})	$I_{A3} > 30$	$19 < I_{A3} \leq 30$	$9 < I_{A3} \leq 19$	$5 \leq I_{A3} \leq 9$	$I_{A3} < 5$
	水量(充水度/ $\%$)(I_{A4})	$I_{A4} > 75$	$59 < I_{A4} \leq 75$	$44 < I_{A4} \leq 59$	$20 \leq I_{A4} \leq 44$	$I_{A4} < 20$
河岸带 (I_B)	河岸类型 (I_{B1})	自然坡岸为主, 少量石砌坡岸, 无河岸硬化、闸坝建设	自然坡岸为主, 有石砌坡岸及小程度河岸硬化, 无闸坝建设	石砌坡岸为主, 河岸硬化程度较小或有闸坝建设	河岸硬化程度较大或有闸坝建设	河岸硬化程度较大, 有闸坝建设
	河岸稳定性 (I_{B2})	河岸侵蚀率 $< 5\%$	$5\% \leq \text{侵蚀率} < 15\%$	$15\% \leq \text{侵蚀率} < 40\%$	$40\% \leq \text{侵蚀率} < 60\%$	侵蚀率 $\geq 60\%$
	河岸植被结构 (I_{B3})	乔灌木结合	乔灌木或乔木	无乔木, 灌木结合	单一植被结构, 灌木或草地	基本无植被
滨岸带 (I_C)	植被宽度/ m (I_{C1})	$x \geq 10$	$7 \leq x < 10$	$3 \leq x < 7$	$x < 3$	没有植被缓冲带
	植被覆盖度/ $\%$ (I_{C2})	$x \geq 80$	$60 \leq x < 80$	$40 \leq x < 60$	$20 \leq x < 40$	$x < 20$
	人类活动 (I_{C3})	无人类活动或人类活动较少	人类活动少, 少量非机动车	人类活动少, 少量机动车、船只	人类活动频繁, 干扰程度大, 但污染不严重	人类活动密集, 污染严重
分值		9 ~ 10	7 ~ 8	5 ~ 6	3 ~ 4	1 ~ 2

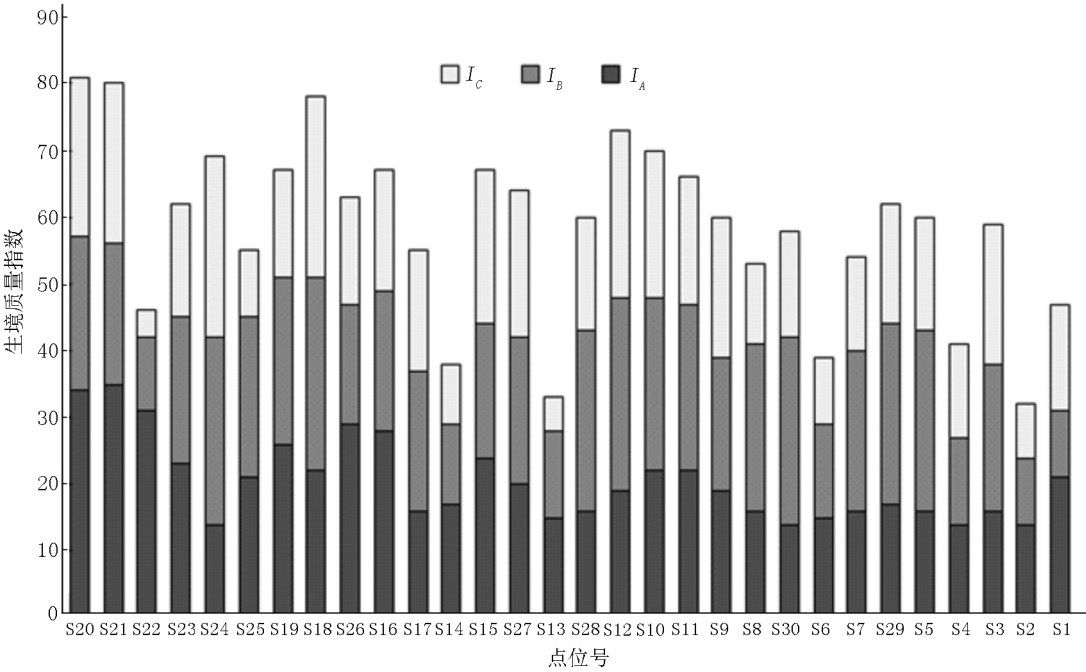


图 2 袁河流域生境质量指数综合评分

S13 处在人口密集区下游,且有采砂活动, S14 位于城市建成区附近,人类活动干扰强度大. 河段 3: 处在仙女湖流域,是典型的湖库型生境, 4 个调查点(S10、S11、S12、S29) 生境质量状况达到Ⅱ级,大部

分分布在仙女湖上游分宜县境内; 5 个调查点(S5、S7、S8、S9、S30) 生境质量一般; 位于孔目江入袁河口的 S6 生境质量状况较差. 袁河下游的河段 4 生境质量较差, 4 个调查点(S1、S2、S3、S4) 生境质量均一

般或较差,其中 S2 是袁河流域生境质量最差的调查点,位于工业较发达的临江镇,周边有印刷厂、饲料厂等,袁河流域总体生境状况大小顺序依次为河段 1 > 河段 2 > 河段 3 > 河段 4.

表 2 袁河流域生境质量评价结果

区域	I 级 (极好)	II 级 (好)	III 级 (一般)	IV 级 (差)	V 级 (极差)
河段 1	2	2	2	—	—
河段 2	1	5	2	2	—
河段 3	—	4	5	1	—
河段 4	—	—	2	2	—

3.2 大型底栖动物与生境质量的关系

袁河流域大型底栖动物种类数介于 2 ~ 20 之

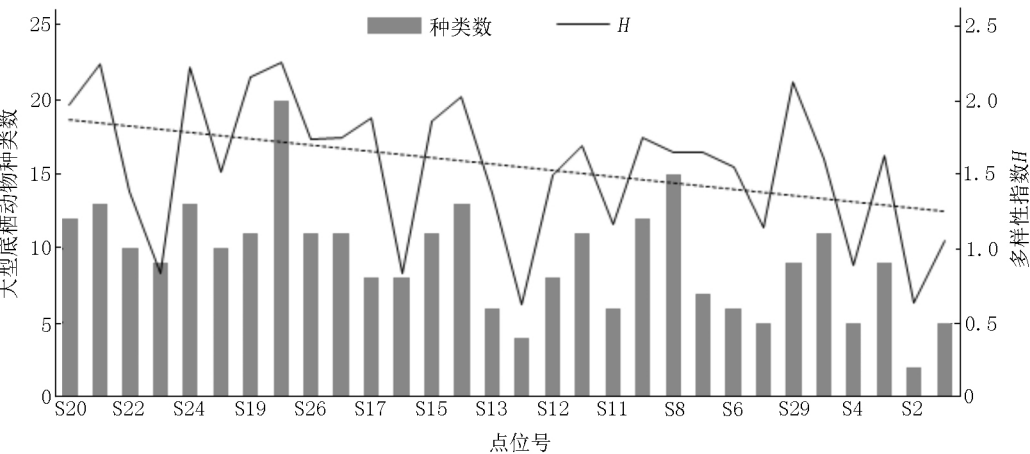


图 3 袁河流域大型底栖动物数据

表 3 Spearman 相关性分析结果

指标	I_{A_1}	I_{A_2}	I_{A_3}	I_{A_4}	I_A	I_{B_1}	I_{B_2}	I_{B_3}	I_B	I_{C_1}	I_{C_2}	I_{C_3}	I_C	I_{RHQ}
种类数	0.218	0.466 **	0.185	0.325	0.480 **	0.275	0.340	0.307	0.308	0.452 *	0.498 **	0.482 **	0.543 **	0.633 **
H	0.215	0.264	0.066	0.351	0.341	0.370 *	0.472 **	0.304	0.364 *	0.490 **	0.645 **	0.468 **	0.637 **	0.670 **

注: * 在 0.05 水平(双侧)上显著相关; ** 在 0.01 水平(双侧)上显著相关.下同.

K-S 法检测结果显示水量、河岸类型、河岸稳定性、滨岸带植被覆盖度等生境质量指标呈非正态分布,故采用 Spearman 分析.将大型底栖动物种类数和生物多样性指数与河流生境质量评估结果进行相关性分析发现,大型底栖动物种类数与表观水质、滨岸带植被宽度、植被覆盖度、人类活动等指标显著正相关,与河道生境、滨岸带生境及河流生境质量指数均显著正相关,生物多样性指数与河岸类型、河岸稳定性、滨岸带植被宽度、植被覆盖度、人类活动等指标显著正相关,与河岸带生境、滨岸带生境及河流生境质量指数均表现为正相关.

袁河流域滨岸带生境各项指标与大型底栖动物种类数及生物多样性指数均显著相关,且相关性较高,总体生境质量指数与大型底栖动物种类数及生物多样性指数的相关性显著,这表明大型底栖动物

间种类数 ≥ 10 和 < 10 的调查点各 15 个,种类数最多的是河段 2 的调查点 S18,下游河段 4 的 4 个调查点(S1、S2、S3、S4)种类数均低于 10(见图 3).

由河流大型底栖动物的种类数和 Shannon 多样性指数(见表 3)发现,生物多样性指数 H 介于 2.26 ~ 0.62, $H > 2$ 的调查点有 6 个,2 个位于芦溪段,3 个位于袁州段,1 个位于樟树段.生物多样性指数平均值顺序依次为河段 1(1.69) > 河段 2(1.65) > 河段 3(1.58) > 河段 4(1.05),下游河段 4 平均生物多样性指数显著低于其他河段.

群落对生境变化的响应较为敏感,生境质量的改善将有利于流域内大型底栖动物的多样性保护.滨岸带植被对水体输入物质的调控作用能有效控制面源污染,植物残体和根系微生物群又能为底栖动物提供丰富的食物来源^[26].袁河上游河段的高植被覆盖率和中游部分河段滨岸带植被的修复使大型底栖动物分类单元数和生物多样性指数得以提升,但就整个流域而言,不合理耕作、道路硬化、城市污水排放等滨岸人类活动造成的水环境因子变化或生境受损,对底栖动物种群特征影响同样显著.

3.3 土地利用状况与河流生境质量的相互影响

200 m 缓冲区耕地与河岸类型、人类活动等指标显著正相关;林地与底质类型、河岸植被结构、河岸稳定性、滨岸带植被覆盖度、人类活动等指标均显

著正相关,与河道生境、滨岸带生境、生境质量指数呈显著正相关;建设用地与底质类型、河岸类型、滨岸带植被宽度、滨岸带植被覆盖度、人类活动等指标显著负相关,与河岸带生境、滨岸带生境、生境质量指数呈显著负相关.500 m 缓冲区林地与河岸稳定性、滨岸带植被覆盖度等指标显著正相关,与河道生境、滨岸带生境、生境质量指数呈显著正相关.

200 m、500 m 缓冲区土地利用类型对河流生境质量影响显著,总体生境质量状况:林地>耕地>建设用地,在相关性上200 m 缓冲区土地利用类型与河流生境的关系更为密切,这说明调查点周边不同的土地利用类型对河流生境质量影响不同,且具有空间尺度上的差异(见表4).

表4 土地利用状况与栖息地状况 Spearman 相关性分析结果

指标	200 m 缓冲区			500 m 缓冲区		
	耕地	林地	建设用地	耕地	林地	建设用地
I_{A1}	-0.053	0.374 [*]	-0.373 [*]	-0.117	0.300	-0.246
I_{A2}	-0.263	0.274	0.160	-0.181	0.247	0.149
I_{A3}	-0.177	0.272	-0.086	0.050	0.067	-0.070
I_{A4}	-0.078	0.253	0.104	-0.169	0.350	0.255
I_A	-0.223	0.474 ^{**}	-0.138	-0.110	0.399 [*]	-0.040
I_{B1}	0.523 ^{**}	0.146	-0.593 ^{**}	0.276	0.122	-0.337
I_{B2}	0.229	0.449 [*]	-0.190	0.015	0.486 ^{**}	0.034
I_{B3}	0.136	0.375 [*]	-0.312	0.136	0.339	-0.133
I_B	0.344	0.307	-0.392 [*]	0.220	0.274	-0.136
I_{C1}	0.114	0.298	-0.370 [*]	-0.004	0.284	-0.290
I_{C2}	0.232	0.509 ^{**}	-0.555 ^{**}	0.070	0.373 [*]	-0.190
I_{C3}	0.363 [*]	0.389 [*]	-0.454 [*]	0.155	0.275	-0.237
I_C	0.232	0.476 ^{**}	-0.514 ^{**}	0.046	0.385 [*]	-0.274
I_{RHQ}	0.168	0.618 ^{**}	-0.463 ^{**}	0.047	0.489 ^{**}	-0.185

3.4 水质状况与河流生境的相互影响

采用 Spearman 分析高锰酸盐指数($C_{OD_{Mn}}$)、总磷(TP)、总氮(TN)、氨氮(NH_4^+-N)等水质指标与河流生境质量指数的相关关系,结果(见表5)显示:上游河段TP与表观水质(I_{A2})、人类活动(I_{C3})和综合生境质量指数(I_{RHQ})显著负相关,这说明袁河上游河流磷元素输入影响水体透明度且与人类活动密切相关,TP是影响袁河上游河流生境的主要水质指

标.河床宽深比是一项反映水体与底质接触面积的河流形态指标,主要影响底质对污染物的吸附和转化,王雁等^[7]的研究指出河床宽深比与水质有显著相关性.袁河上游个别城市河道因防洪需求改变河床宽深比,不利于污染物扩散和转化,TN、 NH_4^+-N 与河床宽深比显著负相关,但中下游河段的情况则相反,这可能是受富集效应的影响,河面越开阔累积的污染物质越多.

表5 水质与栖息地状况 Spearman 相关性分析结果

指标	I_{A1}	I_{A2}	I_{A3}	I_{A4}	I_A	I_{B1}	I_{B2}	I_{B3}	I_B	I_{C1}	I_{C2}	I_{C3}	I_C	I_{RHQ}
上游河段(河段1、河段2)														
$C_{OD_{Mn}}$	-0.309	-0.339	-0.440	0.082	-0.347	-0.055	-0.016	0.054	0.045	-0.245	-0.165	-0.420	-0.254	-0.400
TP	-0.295	-0.612 [*]	-0.299	-0.175	-0.482	-0.070	-0.078	-0.295	-0.084	-0.467	-0.408	-0.555 [*]	-0.494	-0.634 ^{**}
TN	-0.609 [*]	-0.950 ^{**}	-0.585 [*]	-0.286	-0.901 ^{**}	0.262	0.132	0.100	0.233	-0.007	-0.049	-0.123	-0.047	-0.391
NH_4^+-N	-0.589 [*]	-0.625 ^{**}	-0.517 [*]	0.109	-0.599 [*]	0.434	0.412	0.118	0.390	-0.196	-0.036	-0.104	-0.165	-0.257
中下游河段(河段3、河段4)														
$C_{OD_{Mn}}$	0.323	-0.002	-0.077	-0.697 ^{**}	-0.065	0.048	-0.428	-0.334	-0.322	-0.007	-0.251	-0.160	-0.130	-0.261
TP	0.437	-0.811 ^{**}	0.608 [*]	-0.295	0.239	-0.296	-0.152	-0.413	-0.485	0.126	-0.052	0.534 [*]	0.313	0.033
TN	0.366	-0.754 ^{**}	0.546 [*]	-0.442	-0.034	-0.194	-0.401	-0.472	-0.487	-0.108	-0.115	0.408	0.112	-0.165
NH_4^+-N	0.101	-0.179	-0.263	-0.442	-0.298	0.106	-0.524	-0.409	-0.347	-0.053	-0.600 [*]	-0.080	-0.343	-0.419
所有河段														
$C_{OD_{Mn}}$	-0.028	-0.337	-0.386 [*]	-0.381 [*]	-0.348	-0.019	-0.210	-0.067	-0.087	-0.054	-0.242	-0.290	-0.184	-0.369 [*]
TP	0.026	-0.705 ^{**}	-0.011	-0.331	-0.314	-0.077	-0.087	-0.145	-0.112	-0.107	-0.254	-0.080	-0.164	-0.358
TN	-0.253	-0.873 ^{**}	-0.299	-0.436 [*]	-0.714 ^{**}	0.184	0.014	0.121	0.153	0.116	-0.024	-0.013	-0.002	-0.293
NH_4^+-N	-0.265	-0.423 [*]	-0.433 [*]	-0.204	-0.504 ^{**}	0.269	-0.058	-0.092	0.090	-0.112	-0.245	-0.118	-0.223	-0.308

从所有河段的分析结果来看,TP、TN、 NH_4^+-N 与表观水质显著负相关,是影响水体透明度的主要因素; $C_{\text{OD}_{\text{Mn}}}$ 、 NH_4^+-N 与河床宽深比显著负相关, $C_{\text{OD}_{\text{Mn}}}$ 、TN与水量显著负相关,这表明水文特征影响水体污染物质的迁移转化。 TN 、 NH_4^+-N 与河道生境显著负相关, $C_{\text{OD}_{\text{Mn}}}$ 与生境质量指数显著负相关,水体理化因子与生境质量之间的相互作用明显,这表明水质对河流生境质量状况贡献较大。

4 结论

本文通过构建袁河的生境质量评价指标体系,对袁河全流域关键点位进行评价,利用大型底栖动物群落特征验证袁河生境质量评价体系对物理生境的表征状况,并分析土地利用和水质等相关因素对袁河生境的影响,结果表明:

1) 袁河流域生境质量状况总体较好,综合指数分值为32~81,达到Ⅰ级的调查点占10%,集中在河段1及河段2上游;处于Ⅱ级和Ⅲ级的调查点各占36.7%;另有16.7%的调查点处于Ⅳ级,主要集中在中下游地区,总体生境质量指数:河段1>河段2>河段3>河段4;

2) 大型底栖动物种类数和生物多样性指数与河流生境质量相关性显著,需注意滨岸带人类改造活动对生物自然栖息地造成的影响;

3) 土地利用方式改变会影响河流生境质量,生境质量状况:林地>耕地>建设用地,应尽量合理规划建设用地,保护滨岸带植被缓冲带;不同缓冲区尺度的土地利用与生境质量的相关性不同,200 m缓冲区土地利用类型变化对生境质量的影响更为显著;

4) 有机污染物是制约袁河流域生境质量的关键因素,袁河上游应限制总磷排放及治理城市河道,中下游新余、樟树地区应注意监控干流污染物的累积作用。

致谢:本研究得到江西省水利厅重点项目袁河流域(含山口岩、江口水库)健康评估(试点)项目资助。采样和测试过程中还得到了江西省水文局邓燕青、刘敏和常婧婕等工程师的大力帮助,在此一并表示感谢!

5 参考文献

[1] 彭文启. 河湖健康评估指标、标准与方法研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2018, 16(5): 394-404, 416.

- [2] Galbraith H S, Blakeslee C J, Cole J C, et al. Evaluating methods to establish habitat suitability criteria: a case study in the upper Delaware River Basin, USA [J]. River Research and Applications, 2016, 32(8): 1765-1775.
- [3] Huang Qi, Gao Junfeng, Cai Yongjiu, et al. Development and application of benthic macroinvertebrate-based multi-metric indices for the assessment of streams and rivers in the Taihu Basin, China [J]. Ecological Indicators, 2015, 48(1): 649-659.
- [4] Davenport A J, Gurnell A M, Armitage P D. Habitat survey and classification of urban rivers [J]. River Research and Applications, 2004, 20(6): 687-704.
- [5] Kamp U, Binder W, Hölzl K. River habitat monitoring and assessment in Germany [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2007, 127(1/2/3): 209-226.
- [6] Yang Tao, Wang Shuo, Li Xiaoping, et al. River habitat assessment for ecological restoration of Wei River Basin, China [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2018, 25(17): 1-14.
- [7] 王雁, 赵家虎, 黄琪, 等. 南水北调工程徐州段河流生境质量评价[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(6): 965-973.
- [8] 郑丙辉, 张远, 李英博. 辽河流域河流栖息地评价指标与评价方法研究[J]. 环境科学学报, 2007, 27(6): 928-936.
- [9] Barbour M T, Gerritsen J, Snyder B D, et al. Rapid bio-assessment protocols for use in streams and wadable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, second edition [M]. Washington D C: EPA 841-B-99-002. US EPA Office of Water, 1999.
- [10] Raven P J, Holmes N T H, Naura M, et al. Using river habitat survey for environmental assessment and catchment planning in the UK [J]. Hydrobiologia, 2000, 422/423(4): 359-367.
- [11] Ladson A R, White L J, Doolan J A, et al. Development and testing of an index of stream condition for waterway management in Australia [J]. Freshwater Biology, 1999, 41(2): 453-468.
- [12] Parsons M, Thoms M C, Norris R H. Development of a standardised approach to river habitat assessment in Australia [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2004, 98(1/2/3): 109-130.
- [13] 王建华, 田景汉, 吕宪国. 挠力河流域河流生境质量评价[J]. 生态学报, 2010, 20(2): 481-486.
- [14] 陈淼, 苏晓磊, 党成强, 等. 三峡水库河流生境评价指标体系构建及应用[J]. 生态学报, 2017, 37(24): 8433-8444.
- [15] 王强, 袁兴中, 刘红, 等. 基于河流生境调查的东河河流生境评价[J]. 生态学报, 2014, 34(6): 1548-1558.

- [16] 张大智, 孙小银, 袁兴中, 等. 南四湖流域 1980—2015 年土地利用变化及其对流域生境质量的影响 [J]. 湖泊科学 2018, 30(2): 349-357.
- [17] 张柱, 刘足根, 张萌, 等. 赣江一级支流浮游植物群落动态特征分析: 以袁河为例 [J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(5): 546-552.
- [18] 胡方凡, 王毛兰, 周文斌. 袁河浮游藻类群落结构与水质评价 [J]. 水生态学杂志 2011, 32(1): 27-33.
- [19] 刘华, 蔡颖, 於梦秋, 等. 太湖流域宜兴片河流生境质量评价 [J]. 生态学杂志 2012, 31(5): 1288-1295.
- [20] 段学花, 王兆印, 程东升. 典型河床底质组成中底栖动物群落及多样性 [J]. 生态学报 2007, 27(4): 1664-1672.
- [21] 周鸿权, 李伯根, 顾裕兵, 等. 椒江河口河床宽深比对水沙条件的响应分析 [J]. 海洋学研究 2014, 32(4): 69-75.
- [22] Anna B, Łukasz W. Evaluation of the hydromorphological state of mountain streams under the influence of contemporary human activity (Polish Carpathians) [J]. Environmental Earth Sciences 2015, 73(7): 3451-3463.
- [23] Ophra S J, Begum S, Islam R, et al. Assessment of bank erosion and channel shifting of Padma River in Bangladesh using RS and GIS techniques [J]. Spatial Information Research 2018, 26(6): 599-605.
- [24] 郭二辉, 孙然好, 陈利顶. 河岸植被缓冲带主要生态服务功能研究的现状与展望 [J]. 生态学杂志 2011, 30(8): 1830-1837.
- [25] Naylor B J, Mackereth R W, Kreutzweiser D P, et al. Merging END concepts with protection of fish habitat and water quality in new direction for riparian forests in Ontario: a case study of science guiding policy and practice [J]. Freshwater Science 2012, 31(1): 247-258.
- [26] 王超, 尹炜, 贾海燕, 等. 滨岸带对河流生态系统的影响机制研究进展 [J]. 生态科学 2018, 37(3): 222-232.

The Analysis on Habitat Quality Assessment and Related Factors in Yuanhe River Basin

LEI Cheng^{1,2}, HUANG Qi^{1,2*}, NI Caiying^{1,2}, LIU Lizhen³, LUO Jin^{1,2}, LIU Jianxin⁴, WEN Wei⁵

(1. Key Laboratory of Poyang Lake Wetland and Watershed Research, Ministry of Education, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi 330022, China; 2. College of Geography and Environment, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi 330022, China; 3. Jiangxi Academy of Sciences, Nanchang Jiangxi 330096, China; 4. Hydrological Bureau of Jiangxi Province, Nanchang Jiangxi 330002, China; 5. Hydrological Bureau of Yichun City, Yichun Jiangxi 336000, China)

Abstract: A key component of comprehensive river health assessment is river habitat quality assessment, useful for river evaluation and management and applicable to any river basin. In this study, thirty river sections covering the main stream and tributaries of the Yuanhe River are analyzed for river habitat quality assessment. Ten indicators (associated with bank, channel and riparian zone properties) are selected to construct this river habitat quality assessment system, and the evaluation results are divided into five grades according to the grading standard of the evaluation index. To verify the status accuracy of the river habitat indicator system on river status and to explore the key factors affecting influencing river habitat health, we analyzed the correlations between the evaluation results and water quality, river nearshore land use status, and benthic step community are analyzed. The results reveal that the river habitat index (ranging from 32 to 81) with rated most sections as in good and fair status, though a few river sections exhibit the less healthy status (e. g., monotonous bed material, high hardening level bank and/or a seriously disturbed riparian zone). The species number and diversity index of macrobenthos are closely related to the river habitat quality, especially in riparian zone. Habitat quality is positively correlated with forested land and negatively correlated with anthropogenically developed or developing land. The river habitat quality index is negatively correlated with $C_{OD_{Mn}}$, an organic pollutant and the main contaminant in Yuanhe River Basin.

Key words: river; river habitat quality; macrobenthos; land use; water quality

(责任编辑: 刘显亮)