

长江流域典型支流生境健康评价

邹曦¹, 杨荣华², 杨志¹, 郑志伟¹, 史方¹, 池仕运¹, 朱爱民¹, 邵科¹, 袁玉洁¹, 万成炎¹

(1.水利部中国科学院水工程生态研究所,水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室,
湖北省水生生态保护与修复工程技术研究中心,湖北武汉 430079;
2.长江勘测规划设计研究有限责任公司,湖北武汉 430010)

摘要:调查评估长江流域典型支流雅砻江、赤水河、乌江以及汉江的生境状况,探索影响不同支流生境状况的主要因子,为长江流域河流生境保护和修复提供支撑。从河流物理生境形态、河流岸边带生境和水环境特征 3 个方面选取了 10 个指标,借鉴栖息地评估指数(QHEI)和快速生物评估草案(RBPs)构建河流生境评价的指标体系。2017 年 8-9 月对 4 条支流的 162 个断面进行了调查并对河流生境进行了综合评估。评价结果表明,雅砻江、赤水河、乌江、汉江的河流生境综合指数(RHI)分别为 124.7、158.5、137.8、135.5,其中赤水河评价等级为“优”,其他河流评价等级均为“良”。影响雅砻江、赤水河、乌江和汉江生境状况的最主要指标有河岸植被覆盖、河岸植被带宽、河道硬化渠化度、人类活动干扰度和河道蜿蜒度。建议强化支流国土空间管控,建立自然保护区,对具有重要生态服务功能的支流河段开展生态修复。

关键词:长江流域;典型支流;生境评价;影响因子

中图分类号:X826 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2021)05-0029-11

长江流域水生生境类型多样,水生生物资源丰富,是我国重要的生态宝库和战略水源地,流域水网发达,支流众多,不同支流区域分布着各种类型的自然生态系统,是水生生物的重要栖息地(尹炜,2018;姚瑞华等,2015)。近年来,气候变化和社会经济发展改变了长江流域的自然水文情势和径流时空分配格局,长江干流水生生境发生了较大变化,部分区域水生态系统受损,生态安全面临较大威胁(孔令桥等,2018)。河流生境是联系河流生物与周围环境的自然纽带,为水生生物的生存提供了栖息和繁衍的场所(Yang et al,2018),是维护河流生态系统健康的重要环节。河流生境评估可以鉴别导致河流生态系统受损的主要因素,为流域生态系统保护与修复以及河流健康管理提供技术支撑(郑丙辉等,2007)。国外对河流生境评价的研究起步较早,其评估方法和体系相对完善和成熟。如美国环保署、俄亥俄州立大学的快速生物评估草案(Rapid bioassessment protocols, RBPs)和定性生境评价指数(Qualitative

habitat evaluation index, QHEI)(Chandler et al, 2003; Hughes et al, 2010),澳大利亚的“澳大利亚河流评价计划”(Australian River Assessment Scheme, AusRivAS)(Ladson et al, 1999),英国河流生境调查(River Habitat Survey, RHS)(Szozkiewicz et al, 2006)等,这些评估方法已经成为河流生境评价的重要方法。基于国外的技术经验,我国学者在三峡库区支流(王强等,2014;邹曦等,2018)、太湖流域(刘华,2012)、东北地区(郑丙辉等,2007;肖琳,2012;徐彩彩,2015)、西北地区(茹彤,2015)、西南地区(邱阳凌,2018)、东南地区(雷呈等,2019)等区域都开展了生境调查及评价,并根据不同流域的特点建立了各种适宜的评价体系和评价方法,分析其影响因素,为我国重点流域生境健康评价提供了较好的参考。

目前国内外河流生境评价研究多集中于个别小型流域或大流域的部分小尺度区域,鲜有针对流域大型河流进行大尺度生境调查评价及影响因素研究。本研究通过建立长江流域典型支流生境评价的指标体系,选择长江流域上中下游不同生境特点的典型支流雅砻江、赤水河、乌江、汉江开展生境调查和评价,探索影响不同支流生境状况的主要因子,为长江流域河流生境保护和修复提供支撑。

收稿日期:2020-10-30
基金项目:国家自然科学基金项目(51779157,51679153)。
作者简介:邹曦,女,1982年生,副研究员,主要从事水生态修复技术研究。E-mail:zoux@mail.ihe.ac.cn
通信作者:史方,女,1983年生,博士,研究员,主要从事水生态调查与评价。E-mail:moko@mail.ihe.ac.cn

1 材料与方法

1.1 区域概况

雅砻江是金沙江最大一级支流,发源于青海巴颜喀拉山南麓尼彦纳玛克山与冬拉冈岭之间,于攀枝花市保果河口注入金沙江,干流全长 1 535 km,干流天然落差 3 192 m,平均坡降 0.21%,流域面积约 12.84 万 km²。赤水河是长江干流上游右岸的一级支流,发源于云南省镇雄县赤水源镇银厂村,于合江县城东汇入长江,干流全长 436.5 km,总落差 1 475 m,平均比降 0.34%,流域面积 20 440 km²。乌江是长江上游右岸最大的一条支流,发源于贵州省威宁县的乌蒙山东麓,在涪陵汇入长江,全长 1 037 km,地面最大高差可达 2 700 m 以上,流域面积 87 920 km²。汉江是长江中游最大支流,发源于

秦岭南麓,于武汉市注入长江,干流全长 1 577 km,流域面积约 15.9 万 km²。

1.2 现场调查

4 条支流均从上游至下游每隔 20~50 km 岸线长度设置 1 个调查断面。雅砻江、乌江、汉江各设置了 40 个调查断面(YLJ1~YLJ40, WJ1~WJ40, HJ1~HJ40)、赤水河设置了 42 个调查断面(CSH1~CSH42),见图 1。

在每个调查断面 0.5~1.0 km 岸线长度内随机选择 3 个调查单元,每个调查单元为长度 50 m 的河段样方,在河段样方内调查、测量并记录各项生境评价指标情况,同时记录各调查单元的经纬度,拍摄生境特征照片和 360°全景视频。调查工具包括相机、GPS、激光测距仪、改良彼得森采泥器、采水器等。调查时间为 2017 年 8-9 月。

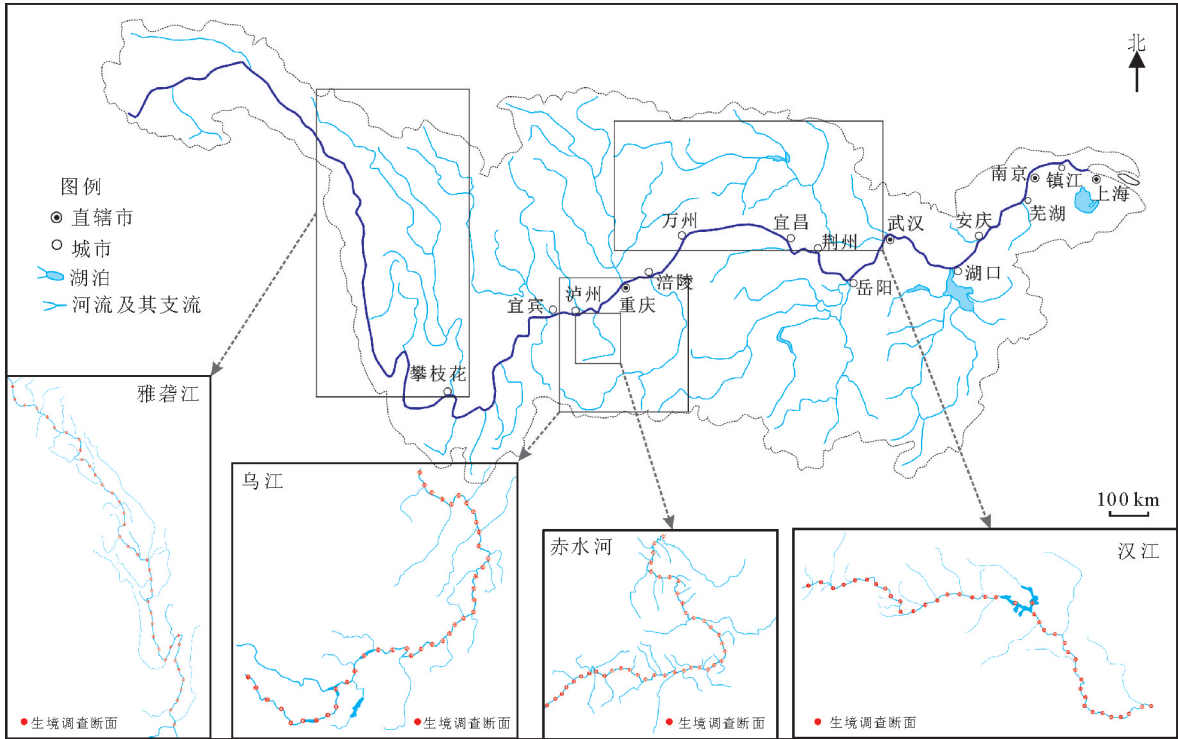


图 1 研究区域调查断面分布

Fig.1 Sampling sections in the study region

1.3 评价方法

美国的定性栖息地评估指数(QHEI)和快速生物评估草案(RBPs)评价指标尺度广泛,适用于流域面积大、河流生境类型差异明显的流域,通过视觉观察即可完成生境快速评估(徐彩彩,2015;Parsons et al,2002)。针对长江流域生境特征,借鉴这 2 种评估方法,建立长江流域典型支流生境评价的指标体系。指标类型分别为河流物理生境形态、河流岸边带生境和水环境特征。河流物理形态指标包括底质

特征(Sediment Characteristics,SC)、微生物复杂性(Micohabitat Complexity,MC)、水流情势(Flow regime,FR)、河道硬化渠化度(River Harden and Canalization,RHC)、河道蜿蜒度(River Meandering Degree,RMD)5 个指标;河流岸边带包括河岸稳定性(Riparian Stability,RS)、河岸植被覆盖(Riparian Plant Cover,RPC)、河岸植被带宽(Riparian Plant Width,RPW)、受人类活动干扰度(Interference Degree,ID)4 个指标;水环境特征为水环境状

况(Water Environmental Status, WES)1个指标(表1)。根据各调查单元生境质量状况优劣程度,分别对各个指标进行分级评分,分级赋值0~20分(表2)。采取累计求和的方式计算河流生境评价综合指数(RHI)得分,10项指标总和的满分为200分。每个调查断面的生境评价综合指数得分为3个调查单元得分的平均值。参考相关河流生境指数分级标准(郑丙辉等,2007), $RHI > 150$ 分为优、 $120 < RHI \leq 150$ 为良、 $90 < RHI \leq 120$ 为中、 $60 < RHI \leq 90$ 为差、 $RHI \leq 60$ 为劣。

1.4 统计分析

以 Bray-Curtis 相似性系数为基础构建不同评价断面得分的相似性矩阵,采用等级聚类(非加权的组平均,即 UPGMA)的分类方法(Cluster analysis,

CA)对不同评价断面进行分组,分析不同评价断面生境的结构特征。采用平均轮廓宽度确定最优的分组数,并对各研究河流按具体采样断面进行分组。采用 One-way ANOSIM 方法检验各组之间生境结构特征的差异是否显著,并在确定统计显著的前提下,采用百分比相似性分析(Similarity Percentage, SIMPER)对聚类分析的结果进行分析,获得引起不同评价断面之间生境结构差异的主要生境评价指标。利用主成分分析方法(PCA)确定生境评价指标对河流生境质量的贡献率,找出影响不同断面生境质量的影响因子。

使用 Primer 6.0 进行 CA、One-way ANOSIM、SIMPER 和 PCA 分析,并使用 Excel、Origin8.0、CorelDRAW 12.0 绘图。

表 1 河流生境评价指标体系

Tab.1 River habitat assessment index system

指标类型	指标名称	指标含义
河流物理形态	底质特征	评估河流底质组成特征:基岩、漂砾、圆石、砾石、卵石、细砂、淤泥、粘土、人工底质
	微生物复杂性	某河段生境状态特征:岩石、枯木、水生植被、深水潭、浅滩
	水流情势	河流形态特征:跌水、小瀑布、急滩、浅滩、阶梯流、平流、缓流、静水、干涸
	河道硬化渠化度	河道硬化特征:渠化长度、硬化长度
	河道蜿蜒度	河道形态特征:河道蜿蜒度
河流岸边带情况	河岸稳定性(左右岸分别评分)	河岸结构特征:稳定、侵蚀程度
	河岸植被覆盖(左右岸分别评分)	河岸带植被特征:植被覆盖度、植被结构、植被密度
	河岸植被带宽(左右岸分别评分)	河岸带植被特征:植被带宽度
	受人类活动干扰度	河岸带改造特征:航道、挖沙、捕鱼、城镇居民活动或者两岸耕作情况
水环境特征	水环境状况	水环境特征:清澈、浑浊、沉淀、气味

表 2 河流生境评价等级及赋分标准

Tab.2 Criteria of the river habitat assessment and grading

序号	生境指标	评价方法	等级分类			
			优	良	中	差
1	底质特征	在水深较大的断面,采用彼得森采泥器采集底质观察;回水深较浅的断面,可手工取样	覆盖面积 > 50% 可作为稳定生境的底质,可供底栖动物定居,可作为鱼类掩体	覆盖面积 30% ~ 50% 可作为稳定生境的底质,适合底栖生物、鱼类生存	覆盖面积 10% ~ 30% 可作为稳定生境的底质,适合底栖生物、鱼类生存	覆盖面积 < 10% 可作为稳定生境的底质,适合底栖生物、鱼类生存
2	微生物复杂性	观察单元内岩石、枯木、水生植被、深水潭、浅滩等微生物状况	有岩石、枯木、水生植被、深水潭、浅滩等,微生物复杂多样	有一些枯木、水生植被等 3 种以上微生物	存在 2 种微生物	微生物单一
3	水流情势	观察单元内水量状况、河道底质暴露情况、流速状况	水量大,极少河道暴露;流速大,呈流水状态	河道底质暴露面积 < 25%;洪水季节流速较大,呈流水状态	浅滩底质基本暴露,水量较少;水体流速较缓	水量极少;水体基本呈静态
4	河道硬化渠化度	观察单元内河道渠道化程度	没有渠道化、硬化,河道呈天然形态	有少量渠道化现象,被渠化河道 < 40%	渠道化现象普遍,40% ~ 80% 的河区渠道化并被人为扰乱	河道渠化 > 80%,河内生境被很大程度的改变甚至完全改变
5	河道蜿蜒度	观察单元内河道弯道数量及长度情况	河道中有 2 个以上的弯道;河道蜿蜒长度为直线长度的 4 ~ 5 倍	河道中有一个弯曲很明显的弯道;河道蜿蜒长度为直线长度的 2 ~ 3 倍	河道中仅有 1 个很小的弯道;河道蜿蜒长度为直线长度的 1 ~ 2 倍	河道笔直

续表 2

序号	生境指标	评价方法	等级分类																			
			优				良				中				差							
6	河岸稳定性 (左右岸分别评分)	观察单元内河岸的侵蚀程度	河岸稳定;没有或极少河岸侵蚀				基本稳定;河岸侵蚀区域<30%				基本不稳定;30%~60%河岸有侵蚀发生;在洪水期有高侵蚀潜在威胁				不稳定;60%以上河岸有侵蚀;明显河岸塌陷							
7	河岸植被覆盖 (左右岸分别评分)	观察单元内河岸植被覆盖率	大于90%的河岸表面及河岸带被当地植物覆盖,种类多样				70%~90%的河岸表面被当地植物覆盖,但植物种类简单				50%~70%的河岸表面被植物覆盖;部分裸露明显				少于50%河岸表面被植物覆盖,河岸裸露率很高							
8	河岸植被带宽 (左右岸分别评分)	用激光测距仪测量植被带宽度	植被带宽>18 m				植被带宽12~18 m				植被带宽6~12 m				植被带宽<6 m或无河岸植被							
9	受人类活动干扰度	观察单元内挖沙、捕鱼、城镇居民活动、两岸耕作等情况	没有人类活动影响				有航行等少量人类活动影响				有挖沙、捕鱼等大量人类活动影响				挖沙、捕鱼、城镇居民活动或者两岸耕作等人类活动干扰非常大							
10	水环境状况	观察单元内水色情况、水体气味、河水浑浊程度等	很清澈,无任何异味,河水静置后无沉淀物质				比较清澈,有少量的异味,河水静置后有少量的沉淀物质				比较浑浊,有异味,河水静置后有沉淀物质				很浑浊,有大量的刺激性气味,河水静置后沉淀物很多							
分值	分左右岸评分		10 9				8 7 6				5 4 3				2 1 0							
	其他指标评分		20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

2 结果与分析

2.1 各支流生境现状评价

长江流域各支流生境综合指数得分及评价结果

见表3。支流不同河段的生境状况见图2。
2.1.1 雅砻江 雅砻江河流生境综合指数分值为124.7分,生境评价等级为“良”。从不同区域来看,上游源头至新龙段生境评价指数分值为126.3分,

表 3 河流生境质量评价结果

Tab.3 Results of tributary habitat assessment

河流生境综合 指数分级(RHI)	雅砻江		赤水河		乌江		汉江	
	断面数量/个	比例/%	断面数量/个	比例/%	断面数量/个	比例/%	断面数量/个	比例/%
优	0	0	37	88.1	11	27.5	6	15.0
良	32	80	5	11.9	23	57.5	27	67.5
中	8	20	0	0	5	12.5	7	17.5
差	0	0	0	0	1	2.5	0	0
劣	0	0	0	0	0	0	0	0

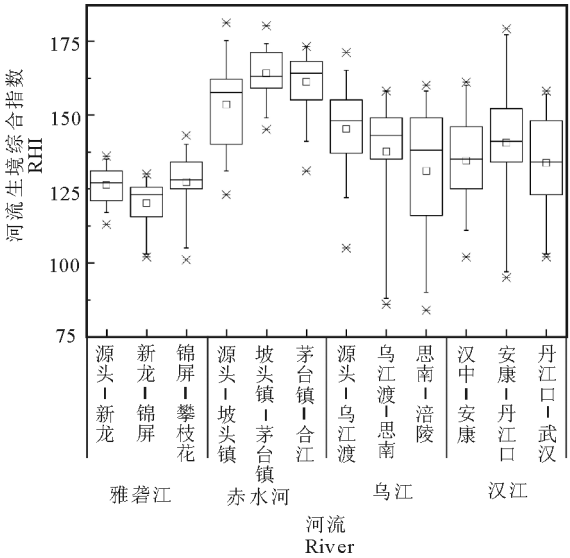


图 2 各支流不同河段河流生境综合指数

Fig.2 River habitat index (RHI) of different reaches in the tributaries

中游新龙至锦屏段分值为120.2分,下游锦屏至攀枝花段分值为127.3分,上游和下游河段生境要略好于中游河段。40个调查河段中,32个河段评价等级为“良”,占80%;8个河段评价等级为“中”,占20%。雅砻江中游河段在水环境状况指标上得分较低,主要受人类活动以及水土流失影响,水体较为浑浊;下游受水电开发影响,水流缓慢,微生境较为单一,评分较低的断面主要是由于河岸植被覆盖较低、受人类活动影响较大。
2.1.2 赤水河 赤水河河流生境综合指数为158.5分,评价等级为“优”。从不同区域来看,赤水河上游源头至镇雄县坡头镇段生境评价指数分值为149.5分,中游坡头至茅台段分值为164.0分,下游茅台至合江段分值为161.1分。整体上看,赤水河生境综合指数变化不大,均处于较高水平。42个调查断面中,37个河段评价等级为“优”,占88.1%;其余河段

评价等级为“良”,占11.9%。上游部分断面评分较低的因素主要是人类活动造成的河道渠化以及植被覆盖度较低。

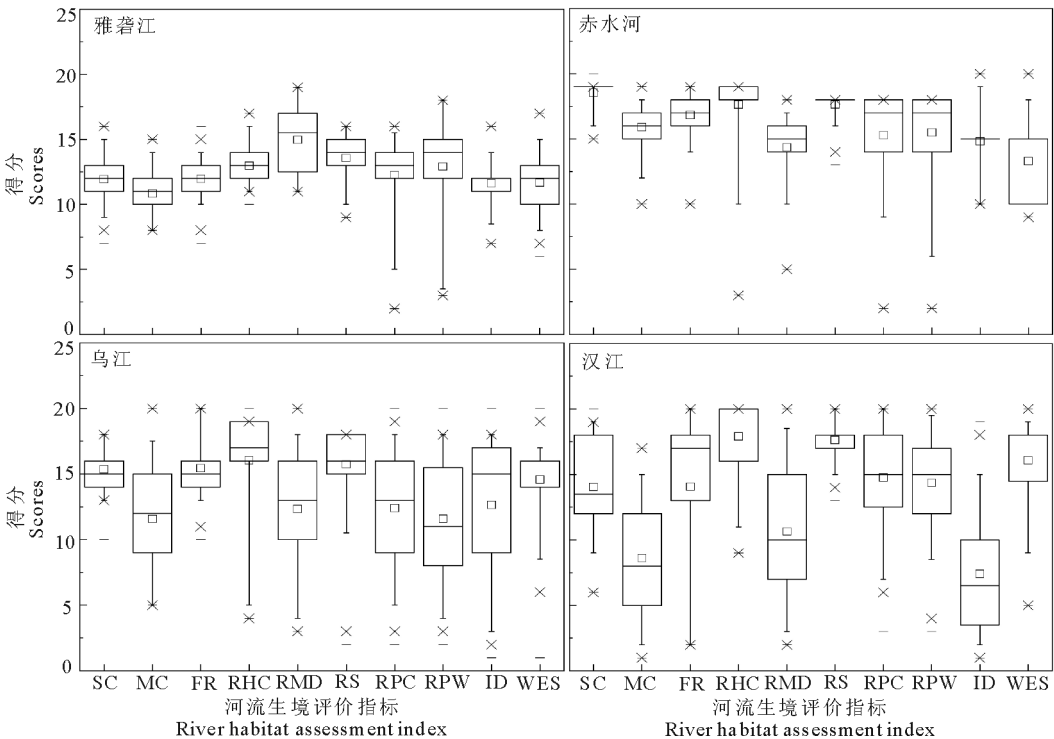
2.1.3 乌江 乌江河流生境综合指数为137.8分,评价等级为“良”。上游源头至乌江渡段生境综合指数评分为145.2,中游乌江渡至思南段评分为137.5,下游思南至涪陵段评分为131.0。40个调查河段中,11个河段评价等级为“优”,占27.5%;23个河段评价等级为“良”,占57.5%;5个河段评价等级为“中”,占12.5%;1个河段评价等级为“差”,占2.5%。乌江各断面生境变化主要受梯级水库开发影响,中下游河段生境明显差于上游河段。

2.1.4 汉江 汉江河流生境综合指数为135.5分,生境评价等级为“良”。从区域来看,上游汉中至安康段生境综合指数评分为134.5,中游安康至丹江口段评分为140.5,下游丹江口至武汉段评分为133.7,汉江各断面综合指数评价等级呈“正态分布”,大部分断面评价等级为“良”。40个调查河段中,6个河段评价等级为“优”,占15%;27个河段评价等级为

“良”,占67.5%;7个河段评价等级为“中”,占17.5%。汉江中游段生境略好于上游和下游,梯级水库开发和社会经济活动影响是造成汉江上游和下游河段生境较差的主要原因。

2.2 各支流生境评价指标得分

长江各支流生境评价指标得分情况见图3。雅砻江河流蜿蜒度、河岸稳定性等指标得分较高,平均分为15和13.6;微生物复杂性、受人类活动干扰、水环境状况等指标得分较低,平均分为10.8、11.6和11.7。赤水河底质特征、河道渠化硬化度、河岸稳定性等指标得分较高,平均分为18.6、17.6和17.6;河道蜿蜒度、受人类活动干扰、水环境状况等指标得分略低,平均为14.4、14.8和13.3。乌江河道渠化硬化度和河岸稳定性指标得分较高,平均分为16.1和15.7;微生物复杂性、河道蜿蜒度、河岸植被带宽等指标得分较低,平均分为11.6、12.3和11.6。汉江河道渠化硬化度和河岸稳定性指标得分较高,平均为17.9和17.6;微生物复杂性、受人类活动干扰等指标得分较低,为8.6和7.4。



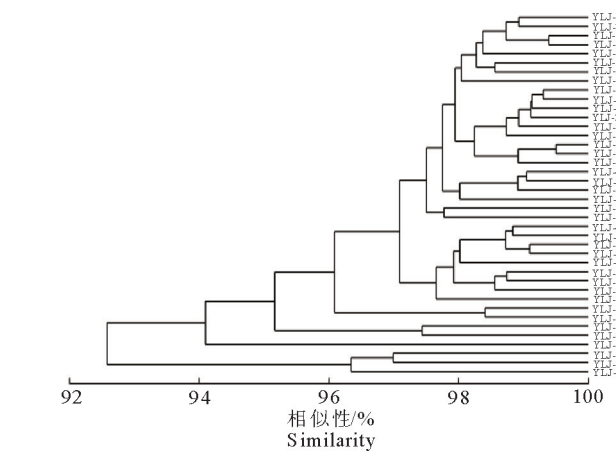
SC:底质特征;MC:微生物复杂性;FR:水流情势;RHC:河道硬化渠化度;RMD:河道蜿蜒度;RS:河岸稳定性;RPC:河岸植被覆盖;RPW:河岸植被带宽;ID:受人类活动干扰度;WES:水环境特征

图3 各支流生境评价指标得分

SC: sediment characteristics; MC: microhabitat complexity; FR: flow regime; RHC: river harden and canalization; RMD: river meandering degree; RS: river stability; RPC: riparian plant cover; RPW: riparian plant width; ID: interference degree; WES: water environmental status

Fig.3 Score of each habitat assessment index in different tributaries

从不同支流来看,赤水河的底质特征、微生物复杂性、水流情势得分明显高于其他支流,赤水河流域水体流速较高、底质稳定、生境多样性高,可为水生动植物提供多样化的栖息生境,其他支流受梯级开发影响,大部分河段水体流速较低、生境和底质环境较为单一;赤水河、汉江的河道渠化硬化度、河岸稳定性、河岸植被覆盖和河岸植被带宽等指标得分较高,支流河岸状态良好,河岸稳定性和植被覆盖较好;雅砻江属于高山峡谷河流,河道呈V字形,曲折蜿蜒,因此其在河道蜿蜒度上得分最高,4条支流中,只有汉江位于长江中下游,其河道蜿蜒度最低;乌江和汉江的水环境状况略好于赤水河和雅砻江,而汉江受人类活动影响程度最强。



SC:底质特征;MC:微生物复杂性;FR:水流情势;RHC:河道硬化渠化度;RMD:河道蜿蜒度;RS:河岸稳定性;RPC:河岸植被覆盖;RPW:河岸植被带宽;ID:受人类活动干扰度;WES:水环境特征

图4 雅砻江生境评价的聚类分析和主成分分析

SC: sediment characteristics; MC: , microhabitat complexity; FR: flow regime; RHC: river harden and canalization; RMD: river mean-dering degree; RS: , river stability; RPC: riparian plant cover; RPW: riparian plant width; ID: interference degree; WES: water environmen-tal status

Fig.4 Cluster analysis (CA) and principal component analysis (PCA) of the habitat assessment in the Yalong River

被覆盖(RPC)、河岸植被带宽(RPW)为影响雅砻江各断面生境状况的最主要指标。

2.3.2 赤水河 赤水河调查断面生境评价的聚类分析和主成分分析见图5。42个调查断面的生境状况没有明显的分组,其各个断面的生境状况的相似性在96%以上。采用PCA方法对42个断面的生境评价指标数据进行分析,主成分分析(表4)表明前3个主成分可以解释不同断面之间生境变异的65.9%,其中第一主成分能够解释生境变异的28.7%。河岸植被带宽(RPW)、河岸植被覆盖(RPC)为影响赤水河生境状况的重要指标。

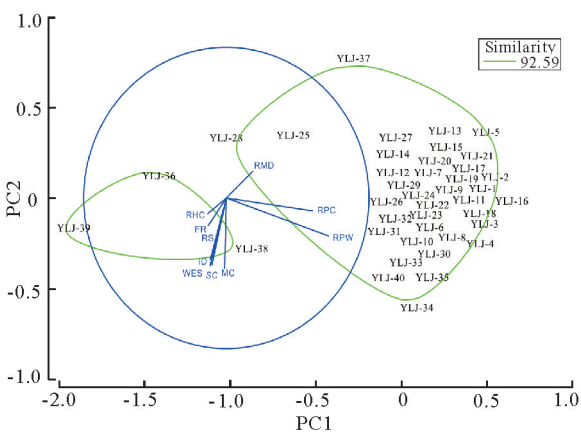
2.3.3 乌江 乌江调查断面生境评价的聚类分析和主成分分析见图6。在89.35%的Bray-Curtis相似性水平上可将乌江40个调查断面的生境结构分

为2组。组1包括调查断面WJ-25、WJ-29、WJ-34、WJ-39等4个断面,组2则包括其他调查断面。One-way ANOSIM检验显示2组间的群聚结构差异显著($r=0.99, P=0.001$)。

采用PCA法对40个断面的生境评价指标数据进行分析,结果表明,组1为受人类活动活动影响较大,在河流蜿蜒度、河道硬化渠化、河岸植被覆盖、河岸植被带宽等方面评分均较低的区域,而组2则代表生境状况相对较好的一组。主成分分析(表4)表明,前3个主成分可以解释不同断面之间生境变异的78.9%,其中第一主成分能够解释生境变异的49.6%。河道硬化渠化度(RHC)、人类活动干扰度(ID)和河道植被覆盖(RPC)为影响乌江各断面生境状况的重要指标。

2.3 河流生境结构及驱动因子

2.3.1 雅砻江 调查断面生境评价的聚类分析和主成分分析见图4。在92.59%的Bray-Curtis相似性水平上可将雅砻江40个调查断面的生境结构分为2组,组1包括调查断面YLJ-36、YLJ-38和YLJ-39,组2包括其他调查断面。One-way ANOSIM检验显示这2组间的群聚结构在统计学上的差异显著($r=0.934, P=0.002$)。PCA将40个断面的生境评价指标数据分为2组,组1为河岸带植被被覆盖情况较差区域,而组2为所有生境指标得分相对较高的区域。主成分分析(表4)表明,前3个主成分可以解释不同断面生境变化的88.2%,其中第一主成分能够解释生境变异的66.3%,河岸植



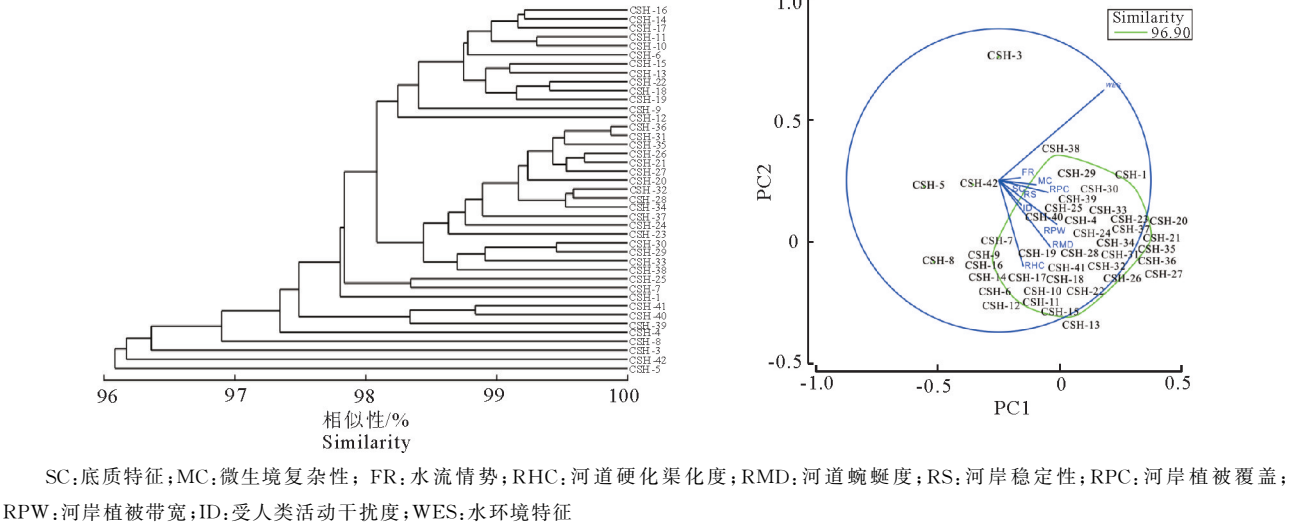


图5 赤水河生境评价的聚类分析和主成分分析

SC: sediment characteristics; MC: microhabitat complexity; FR: flow regime; RHC: river harden and canalization; RMD: river meandering degree; RS: river stability; RPC: riparian plant cover; RPW: riparian plant width; ID: interference degree; WES: water environmental status

Fig.5 CA and PCA of the habitat assessment in the Chishui River

2.3.4 汉江 汉江调查断面生境评价的聚类分析和主成分分析见图7。在89.99%的Bray-Curtis相似性水平上可将汉江40个调查断面的生境结构分为2组。组1包括调查断面HJ-7、HJ-8、HJ-9、HJ-11、HJ-12、HJ-15、HJ-19、HJ-20和HJ-21等9个断面,组2则包括其他调查断面。One-way ANOSIM检验显示2组间的群聚结构差异显著($R=0.78, P=0.01$)。采用PCA法对40个断面的生境评价指标数据进行分析,结果表明,组1

为河道蜿蜒度(RMD)较大,而底质特征(SC)、微生物境复杂性(MC)和水流情势(FR)较差的区域,而组2则代表水流情势较好的一组。主成分分析(表4)表明,前3个主成分可以解释不同断面之间生境变异的80.0%,其中第一主成分能够解释生境变异的43.6%。水流情势(FR)为第一主成分的关键变量,表明汉江生境状况受水流情势变动的影响最大,此外,微生物境复杂性(MC)也为影响汉江各断面生境状况的重要指标。

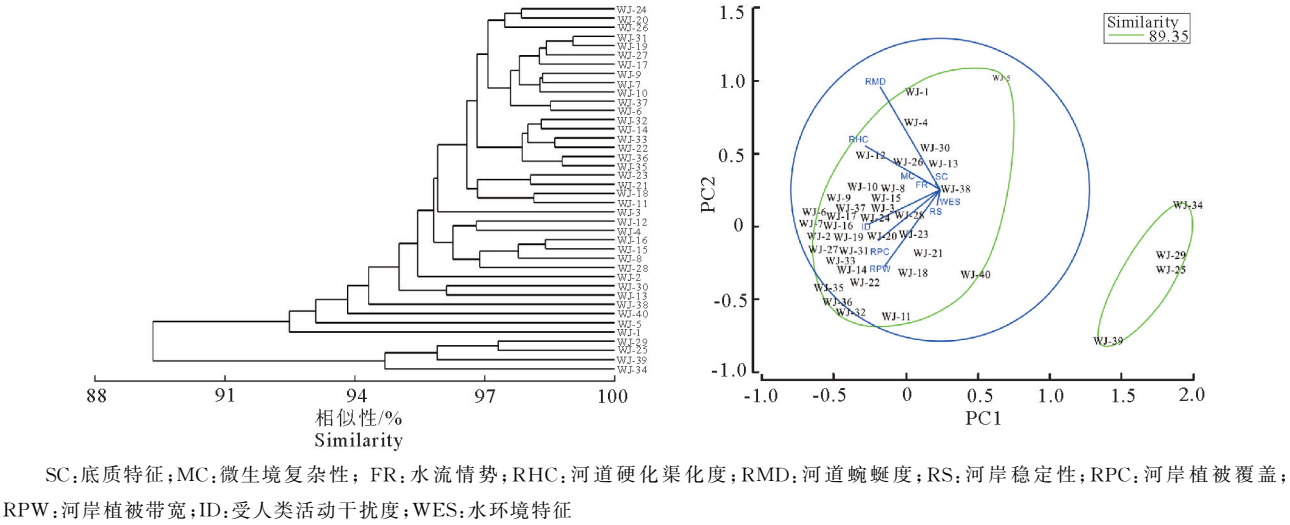


图6 乌江生境评价的聚类分析和主成分分析

SC: sediment characteristics; MC: microhabitat complexity; FR: flow regime; RHC: river harden and canalization; RMD: river meandering degree; RS: river stability; RPC: riparian plant cover; RPW: riparian plant width; ID: interference degree; WES: water environmental status

Fig.6 CA and PCA analysis of the habitat assessment in downstream reaches of the Wujiang River

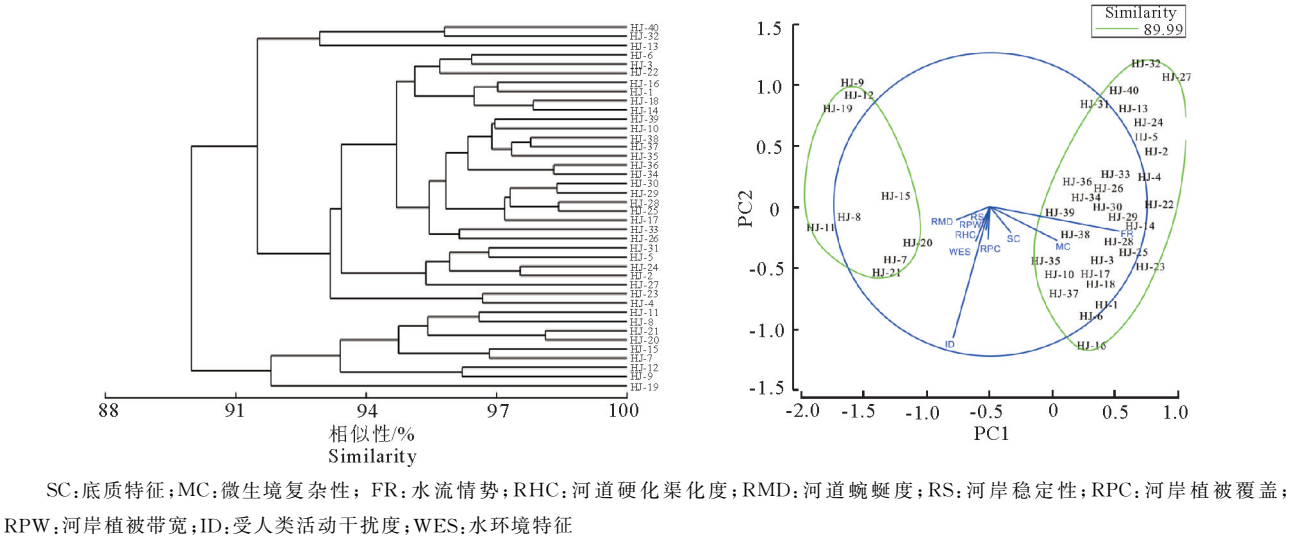


图7 汉江生境评价的聚类分析和主成分分析

SC: sediment characteristics; MC: microhabitat complexity; FR: flow regime; RHC: river harden and canalization; RMD: river meandering degree; RS: river stability; RPC: riparian plant cover; RPW: riparian plant width; ID: interference degree; WES: water environmental status

Fig.7 CA and PCA analysis of the habitat assessment in downstream reaches of the Hanjiang River

表4 长江4条支流生境指标的因子负荷

Tab.4 Component matrix for habitat factors in the different area of the Yangtze River

序号	评价指标	主成分											
		雅砻江			赤水河			乌江			汉江		
		PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3
1	底质特征	-0.102	-0.447	-0.074	0.008	0.065	-0.103	-0.032	0.042	-0.019	0.135	-0.173	0.025
2	微生物复杂性	-0.012	-0.471	-0.075	0.015	0.265	-0.283	-0.174	0.102	0.755	0.43	-0.224	-0.353
3	水流情势	-0.128	-0.186	-0.272	0.033	0.158	-0.078	-0.072	0.044	-0.028	0.827	-0.163	0.374
4	河道硬化渠化度	-0.132	-0.106	-0.077	-0.364	-0.101	-0.449	-0.504	0.291	-0.024	-0.026	-0.154	-0.02
5	河道蜿蜒度	0.187	0.179	0.497	-0.131	0.179	-0.572	-0.403	0.681	-0.053	-0.215	-0.088	0.823
6	河岸稳定性	-0.062	-0.232	-0.305	-0.031	0.068	0.009	-0.022	-0.103	-0.198	-0.007	-0.002	-0.021
7	河岸植被覆盖	0.609	-0.087	-0.309	-0.709	0.073	0.43	-0.418	-0.336	0.142	-0.011	-0.218	-0.133
8	河岸植被带宽	0.721	-0.254	0.129	-0.576	0.134	-0.086	-0.375	-0.507	0.265	-0.049	-0.11	-0.127
9	受人类活动干扰度	-0.114	-0.412	-0.057	-0.002	0.125	-0.378	-0.48	-0.228	-0.514	-0.234	-0.866	0.025
10	水环境状况	-0.114	-0.452	0.674	0.12	0.903	0.197	-0.016	-0.071	-0.178	-0.091	-0.228	-0.151

3 讨论

从生境评价结果看,4条支流在河岸稳定性方面均得分较高,微生物复杂度、受人类活动干扰方面得分相对较低。可以看出,各支流不同程度都受到了人类活动的影响,包括农业种植、岸线开发、水电开发等。

雅砻江属于峡谷河流,河道呈V字形,曲折蜿蜒,在上游为高山及高原景观,河谷多为草原宽谷和少量浅丘峡谷,中下游主要为高山峡谷河段,下游由于锦屏、官地、二滩等梯级水电开发影响,主要为水库静水河段,水流缓慢,微生物较为单一。主成分分析显示,河岸植被覆盖情况为雅砻江不同区域生境变化的主要因子,与雅砻江上中下游由于海拔差距

较大,植被群落结构差异较大有关。另外,雅砻江中上游生境主要受水流情势、人类活动影响较大,中游河段水环境状况略差,下游河段主要是受梯级开发影响,部分河段状况从原来的流态类型多样、微生物复杂的河流生境变成了流速缓慢、水位雍高、底质单一的水库生境,但在锦屏二级到官地库尾河段,仍保持着流水生境,生境状况较好,是雅砻江干流生物栖息地保护重点区域(姜跃良等,2015)。

乌江流域主要呈现喀斯特地貌,地形以高原、山原、中山及低山丘陵为主,绝大部分区域河岸稳定,植被覆盖度较好,而部分城镇岸段河岸硬化程度较高,导致部分断面河岸渠化硬化评分较低。乌江干流规划了12个梯级电站,已建成11座(池仕运等,2018)。尤其是中下游河段,将原有连续的河流生态

系统分隔成一个个首尾相连的不连续水库单元,造成了生境的破碎,流域原有的急流开放型生境变为峡谷河道型水库生境(史方等,2009;杨志等,2011),因此乌江中下游的生境评价分值明显低于上游区域,微生境复杂性、水流情势、河道渠化硬化度以及河道蜿蜒度这几个指标得分明显较低,中下游表现为水库生境,受人为干扰较为严重。

汉江上游呈现峡谷盆地交错特点,中游为丘陵及河谷盆地,下游流经江汉平原,河道弯曲,洲滩较多,两岸筑有堤防。由于汉江中游安康至丹江口段旬阳、白河、孤山等梯级开发尚未建成,大部分河段还是流水生境,水流情势及微生境复杂性较好,综合生境评价分值较高。从整体来看,梯级水库开发导致流域水库生境和流水生境交错变化,水流情势是汉江流域生境状况评分高低的主要影响因子(秦烜等,2014);而受流域周边城镇社会经济发展,汉江干流生境受人类活动干扰较大,水体微生境复杂性略差(卢金友和林莉,2020);从河岸硬化来说,部分城市河段建有堤防,而大部分农村区域则以自然岸线为主,且河岸稳定性较好,因此汉江干流在河岸稳定性、河道硬化渠化度等2项指标评分较高;从水环境状况来看,汉江中上游水质明显好于汉江下游,充分保障了南水北调工程中线水源地水质安全(李欣悦和李昱燃,2020)。

赤水河是4条支流中唯一一条综合评分为“优”的河流,是长江上游为数不多没有在干流修建水坝、自然流淌的生态河流,是长江上游生态功能独具价值的河流(黄真理,2003)。赤水河整体生境状况较好,但上游段评分略低于中下游,上游5个断面评分值为“良”,主要在河道蜿蜒度、河道硬化渠化度、河岸植被覆盖等指标上评分较低。上游部分河段由于农业耕种,部分河道渠化较为明显,影响了河流生境状况。因此,赤水河流域应进一步加强面源污染防治,较少人类活动的干扰,维护赤水河健康河流生态功能(秦立等,2019)。

4 建议

长江流域生态环境地位突出,地貌类型复杂,生态系统类型多样,各支流也呈现出不同的生境特点。近年来受到水资源开发利用和人类活动的影响,干支流生境发生变化,导致栖息在河流中的生物群落结构改变,水生态系统的生物多样性降低。2017年环境保护部、国家发展和改革委员会、水利部联合印发的《长江经济带生态环境保护规划》指出,要贯彻

“山水林田湖是一个生命共同体”理念,坚持保护优先、自然恢复为主的原则,统筹水陆,统筹上中下游,划定并严守生态保护红线,系统开展重点区域生态保护和修复。2018年国务院办公厅发布的《国务院办公厅关于加强长江水生生物保护工作的意见》指出,长江水生生物保护工作需落实保护优先,实施生态修复,即进一步强化涉水工程监管,完善生态补偿机制,修复水生生物重要栖息地和关键生境的生态功能。因此,针对各支流生境现状,应开展生境保护与修复,提升重要生境功能。

第一,统筹山水林田湖草,加强国土空间管控。强化国土空间规划的指导约束作用,增强水电、航道、港口、采砂、取水、排污、岸线利用等各类规划的协同性,从生态系统整体性和流域系统性出发,严格控制开发强度,统筹处理好开发与水生生物保护的关系(郭洪泉,2019)。

第二,建设自然保护区,加强水生生物保护。结合长江经济带生态保护红线划定,在水生生物重要栖息地和关键生境建立自然保护区、水产种质资源保护区或其他保护地,实行严格的保护和管理;统筹协调保护地与人类活动之间的关系,优化调整保护地主体功能和空间布局,确定保护地功能区范围,合理规范涉保护地人类活动(高吉喜,2016)。

第三,加强生态环境系统保护修复,推进水生生境保护。乌江、汉江和雅砻江等流域梯级开发引起的生境的改变不仅导致水体水文情势的改变,也对水生生物的栖息、繁殖生境造成影响,鱼类种群结构和遗传多样性也会受到明显影响(陈俊贤等,2015;曹文宣,2019)。开展生态环境保护与修复,强化山水林田湖草等各种生态要素的协同治理,推动上中下游地区的互动协作,增强各项举措的关联性和耦合性,加强综合治理系统性和整体性。强化水生生物重要栖息地完整性保护,对具有重要生态服务功能的支流河段进行重点修复,包括洄游通道保护、天然生境保留河段、生境替代保护、“三场”保护与修复、河流连通性恢复措施、河岸带修复、人工鱼巢建设等(曹文宣,2019;陈宇顺,2019)。

第四,加强流域生态环境需水保障,优化完善生态调度。开展基于保护水生生物多样性、改善水环境、保护重要湿地及水库坝下生态环境的生态调度,最大限度降低不利影响;采取针对性措施,防治大型水库库容调度对水生生物造成的不利影响(王超,2017;陈求稳等,2020)。

参考文献

- 曹文宣, 2019. 长江上游水电梯级开发的水域生态修复问题[J]. 长江技术经济, (2): 5-10.
- 陈俊贤, 蒋任飞, 陈艳, 2015. 水库梯级开发的河流生态系统健康评价研究[J]. 水利学报, 46(3): 334-340.
- 陈求稳, 张建云, 莫康乐, 等, 2020. 水电工程水生态环境效应评价方法与调控措施[J]. 水科学进展, 31(5): 793-810.
- 陈宇顺, 2019. 多重人类干扰下长江流域的水生态系统健康修复[J]. 人民长江, 50(2): 19-23.
- 池仕运, 陈胜, 李嗣新, 等, 2019. 高坝对乌江下游底栖动物群落结构的影响[J]. 湖泊科学, 31(2): 469-481.
- 高吉喜, 2016. 划定生态保护红线, 推进长江经济带大保护[J]. 环境保护, 44(15): 21-24.
- 郭洪泉, 2019. 长江经济带国土空间规划编制的思考[J]. 中国土地, (4): 15-17.
- 黄真理, 2003. 论赤水河流域资源环境的开发与保护[J]. 长江流域资源与环境, 2003, 12(4): 332-339.
- 姜跃良, 孙大东, 喻卫奇, 2015. 雅砻江中下游鱼类栖息地评价与保护方案[J]. 水生态学杂志, 36(6): 80-85.
- 孔令桥, 张路, 郑华, 等, 2018. 长江流域生态系统格局演变及驱动力[J]. 生态学报, 38(3): 741-749.
- 雷呈, 黄琪, 倪才英, 等, 2019. 袁河流域河流生境质量评价及其影响因素分析[J]. 江西师范大学学报(自然科学版), 43(4): 425-432.
- 李欣悦, 李昱燃, 2020. 2019年汉江干流水质评价与分析[J]. 环境研究与监测, 33: 47-51.
- 刘华, 2012. 太湖流域典型河流生境质量评价研究[D]. 南京: 南京大学.
- 卢金友, 林莉, 2020. 汉江生态经济带水生态环境问题及对策[J]. 环境科学研究, 33(5): 1179-1186.
- 秦烜, 陈君, 向芳, 2014. 汉江中下游梯级开发对产漂流性卵鱼类繁殖的影响[J]. 环境科学与技术, 37(120): 501-506.
- 秦立, 付宇文, 吴起鑫, 等, 2019. 赤水河流域土地利用结构对氮素输出的影响[J]. 长江流域资源与环境, 28(1): 175-181.
- 邱阳凌, 2018. 黑水河生态河貌模拟及鱼类替代生境评价[D]. 重庆: 重庆交通大学.
- 茹彤, 2015. 沔河河流生境调查与评价研究[D]. 西安: 西北大学.
- 史方, 徐念, 熊美华, 等, 2009. 利用微卫星标记评估乌江彭水水电站对泉水鱼的遗传多样性影响[J]. 水生态学杂志, 2(2): 117-121.
- 王超, 2017. “西南水电高坝大库梯级开发的生态保护与恢复”研究构想[J]. 工程科学与技术, 49(1): 19-26.
- 王强, 袁兴中, 刘红, 等, 2014. 基于河流生境调查的东河河流生境评价[J]. 生态学报, 34(6): 1548-1558.
- 肖琳, 2012. 浑河流域河流生境的分类及其评价体系构建[D]. 重庆: 西南大学.
- 徐彩彩, 2015. 辽河流域河流分类与生境评价研究[D]. 太原: 山西大学.
- 杨志, 郑海涛, 熊美华, 等, 2011. 彭水电站蓄水前后鱼类群落多样性特征[J]. 环境科学与技术, 34(8): 22-29.
- 姚瑞华, 赵越, 杨文杰, 等, 2015. 长江经济带生态环境保护规划研究初探[J]. 环境保护科学, 41(6): 15-17, 28-28.
- 尹炜, 2018. 长江经济带水生态环境保护现状与对策研究[J]. 三峡生态环境监测, 3(3): 2-7.
- 郑丙辉, 张远, 李英博, 2007. 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, 27(6): 928-936.
- 邹曦, 丁世敏, 吴易雯, 等, 2018. 汉丰湖入湖支流健康评价指标体系构建和应用[J]. 三峡生态环境监测, 3(4): 1-7.
- Chandler C M, Alexander DH, Christopher C, 2003. Impervious surface area as a predictor of the effects of urbanization on stream insect communities in Maine, U.S.A [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 89: 95-127.
- Hughes R M, Alan T H, Philip R K, 2010. An Evaluation of Qualitative Indexes of Physical Habitat Applied to Agricultural Streams in Ten U.S. States[J]. Journal of the American Water Resources Association, 46(4): 792-806.
- Ladson A R, White L J, Doolan J A, et al, 1999. Development and testing of an index of stream condition for waterway management in Australia[J]. Freshwater Biology, 41(2): 453-468.
- Parsons M, Thoms M, Norris R, 2002. Australian river assessment system: Review of physical river assessment methods—A biological perspective, monitoring river health initiative technical report NO. 21[R]. Canberra: Commonwealth of Australia and University of Canberra: 1-24.
- Szozskiewicz K, Buffagni A, Davy-Bowker J, et al, 2006. Occurrence and variability of River Habitat Survey features across Europe and the consequences for data collection and evaluation. Hydrobiologia, 566(1): 267-280.
- Yang Tao, Wang Shuo, Li Xiaoping, et al, 2018. River habitat assessment for ecological restoration of Wei River Basin, China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 25(17): 1-14.

(责任编辑 张俊友 郑金秀)

Habitat Health Assessment of Typical Tributaries of the Yangtze River

ZOU Xi¹, YANG Rong-hua², YANG Zhi¹, ZHENG Zhi-wei¹, SHI Fang¹, CHI Shi-yun¹,
ZHU Ai-min¹, SHAO Ke¹, YUAN Yu-jie¹, WAN Cheng-yan¹

(1.Key Laboratory of Ecological Impacts of Hydraulic-Projects and Restoration of Aquatic Ecosystem
of Ministry of Water Resources, Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources &
Chinese Academy of Sciences, Hubei Engineering Research Center of Hydroecology
Protection and Restoration, Wuhan 430079, P.R.China;
2.Changjiang Survey Planning Design and Research Co., Ltd, Wuhan 430010, P.R.China)

Abstract: In recent years, river ecosystem degradation is increasingly manifested in the Yangtze River basin, caused by global climate change and human activities. Aquatic habitat is an important component of river ecosystems and plays an important role in maintaining river health. An accurate assessment of river habitat status provides important guidance for the protection and restoration of degraded river ecosystems. In this study, four rivers, the Yalong, Wu Jiang, Chishui and Hanjiang, all typical tributaries of the middle and lower Yangtze River were selected for assessment. The habitat status of the four rivers were evaluated based on an established habitat evaluation index system and the primary factors affecting the habitat of each river were explored, aiming to support conservation and restoration of river habitat in the Yangtze River basin. The habitat evaluation index system included ten indices covering three aspects of river morphology, riparian habitat and water quality. Based on the index score, habitat status was ranked into five categories: excellent ($RHI>150$), good ($120<RHI\leq 150$), moderate ($90<RHI\leq 120$), poor ($60<RHI\leq 90$), very poor ($RHI\leq 60$). From August to September 2017, monitoring and investigation at 162 sampling sections in the four rivers were carried out, and the river health index (RHI) of each river was calculated based on the evaluation system. The RHI of the Yalong River, Chishui River, Wujiang River, and Hanjiang River were 124.7, 158.5, 137.8 and 135.5, respectively. The habitat status of the Chishui River was excellent, and status of the other three rivers was good. Human activities, vegetation cover in the riparian zone, river harden and canalization, riparian plant width and the degree of river meandering were the primary factors affecting habitat quality. Based on the evaluation results, we recommend strengthening territorial control of tributaries, establishing nature reserves, and protecting and restoring tributary reaches that provide important ecological services.

Key words: Yangtze River basin; typical tributary; habitat assessment; influencing factors