

专栏:黄河流域生态保护

黄河干流生境质量评价研究

李学军^{1,2},张洋^{1,2},高云霓^{1,2},李龙飞^{1,2},张景晓^{1,2},
董静^{1,2},张曼^{1,2},高肖飞^{1,2},秦祥朝³

(1.河南师范大学水产学院,河南新乡 453007;2.河南省丹江口水库水域生态系统野外科学观测研究站,
河南南阳 474450;3.生态环境部黄河流域生态环境监督管理局
生态环境监测与科学研究中心,郑州 450000)

摘要:河流生境是河流生态系统中的重要组成部分,是维持河流健康的重要因素。为揭示黄河生境质量状况,于2021年和2022年5-7月对黄河源头至下游的26个干流河段开展河流生境现状调查与质量评价。选取河道和河岸10项生境指标开展综合评价。结果显示,黄河干流各河段生境质量综合得分H值介于79~153分,超过69%的河段生境质量介于90~120分,等级为中等。源区、上游、中游和下游生境未表现出显著的区域差异($p > 0.05$)。10项生境指标中,大型木质残体分布在全河段得分最低,介于1~5分,水质状况、河道内人类活动强度、河岸带植被覆盖度和河岸土地利用类型等4项指标在不同区域表现出显著差异($p < 0.05$)。主成分分析结果显示,影响黄河干流生境质量的主要因子有河岸土地利用类型、河道内人类活动强度、水质状况和河岸稳定性等。

关键词:黄河干流;生境质量;河道;河岸

中图分类号:X52

文献标志码:A

文章编号:1000-2367(2024)01-0008-08

黄河是我国第二长河、世界第五大河流,也是我国西北、华北地区的重要水源^[1]。黄河流域横跨东中西部,是我国重要的生态安全屏障,也是人口活动和经济发展的重要区域^[2]。新中国成立以来,黄河流域在水沙治理、防洪减灾方面取得显著成效,但流域生态监测工作严重滞后,水生态基础资料欠缺,流域生态脆弱问题突出,水生生物资源下降,生物多样性降低,亟待加强黄河水生态监测,维护流域水生态系统健康,促进黄河流域高质量发展^[1-2]。

生境是区域内为生物提供生存和生长的物理、化学和生物环境^[3]。生境质量用于反映生态系统为个体、种群或群落提供适宜生存条件的能力^[4]。河流生境是河流生态系统的重要组成部分,为水生生物的生存和繁衍提供了场所,是河流水生生物和物理环境的自然纽带,也是河流生态系统健康和完整的重要因素^[5]。河流生境评价是河流生态健康评价的重要内容,为识别河流生态问题及受损河流生态系统修复提供理论依据^[6]。根据评价方法的技术特征,河流生境评价方法可分为模型模拟法和多指标综合评价法。模拟法一般包括生境适宜度模型和生境模拟模型,多指标综合评估法综合水文、水力、地貌、物理、化学、生物等多个因素,选取代

收稿日期:2022-10-21;**修回日期:**2023-03-17。

基金项目:农业农村部财政专项“黄河渔业资源与环境调查”;国家高端外国专家引进计划(G2021026024L);河南省重大公益专项(201300311300);河南师范大学国家级科研项目培育基金(校2021PL05);国家藻类产业技术体系(CARS-50);国家自然科学基金(U1904124);河南省科技攻关项目(232102320250)。

作者简介:李学军(1967-),男,河南新乡人,河南师范大学教授,研究方向为水生态健康评价,E-mail:xjli@htu.cn。

通信作者:高云霓,E-mail:gaoyun@htu.cn。

引用本文:李学军,张洋,高云霓,等.黄河干流生境质量评价研究[J].河南师范大学学报(自然科学版),2024,52(1):8-15.
(Li Xuejun, Zhang Yang, Gao Yunni, et al. Habitat status survey and habitat quality assessment in the Yellow River mainstream[J]. Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition), 2024, 52(1): 8-15. DOI: 10.16366/j.cnki.1000-2367.2022.10.21.0004.)

表性指标,从河流整体状况出发,制定评价标准,评价河流状况^[7].较成功的多指标综合评价法包括美国的快速生物评价方案(RBPs)^[8]、英国的河流生境调查(RHS)^[9]、澳大利亚的河流状况指数(ISC)^[10]、西班牙的水文地貌指数法(IHG)等^[11],已运用在我国辽河和长江流域各级支流的生境调查与质量评价工作中^[5,12].然而,现有生境评价方法主要应用于中小型可涉水河流和较大不可涉水河流,针对超大型河流如长江和黄河干流的生境调查和质量评价实践较少^[1],亟待加强相关研究和应用,以推动大型河流健康综合评价和生态修复保护战略制定和工程实施.

为此,本研究参照国内外多指标综合生境评价方法,基于中国环境监测总站《河流水生态环境质量监测与评价技术指南》中提出的河流生境评价指标体系^[13],于 2021 和 2022 年 5—7 月,在河段尺度上对黄河干流自源区到河口的 26 个监测河段开展生境现状调查与质量评价,评估黄河干流典型区域的生境状况,探索影响黄河干流生境状况的主要因素,从而为黄河流域生境保护和修复提供支撑,为大型河流的生境调查与评价提供借鉴.

1 材料与方法

1.1 位点布设

样点的布设结合实际情况,在黄河干流的源头、上游、中游、下游共选取 26 个具有代表性的监测河段进行现场调查(附录表 S1),其中,S1~S4 位于黄河源区,U1~U10 位于黄河上游,M1~M4 位于黄河中游,D1~D8 位于黄河下游.

1.2 调查内容与评价方法

参照文献^[13],水深较浅、可人工涉水采样的河流为可涉水河流;水深较深、河面较宽、无法人工涉水采样的河流为不可涉水河流.本研究选择各监测位点上下 500 m 范围作为监测河段,使用 GPS 定位记录每个点位的经纬度和海拔.所选河段均不可涉,调查人员通过现场目测、拍照及无人机全景摄像对每个监测河段生境指标情况进行全面测量、记录和调查.主要内容包括底质、栖境复杂性、河水水量状况、水质状况、河道内人类活动强度等河道指标和大型木质残体分布、河岸稳定性、河岸带植被覆盖率、河道护岸变化、河岸土地利用类型等河岸指标(附录表 S2).进行河流生境评价时,每项指标分 4 个等级,分别对应好(16~20 分)、较好(11~15 分)、中等(6~10 分)、较差(0~5 分)4 个评价等级.参照河流生境质量分级标准,每个监测河段的生境总分(H)由 10 项指标分值累加计算,10 项指标总和的满分为 200 分,其中 $H > 150$ 为优秀, $120 < H \leq 150$ 为良好, $90 < H \leq 120$ 为中等, $60 < H \leq 90$ 为较差, $H \leq 60$ 为很差.

1.3 数据分析

调查数据处理与统计分析主要采用 SPSS 22.0 和 Excel 2019 软件完成,采用 ArcGIS10.2、Adobe Photoshop 22.0 和 Origin 2022b 作图.采用 Pearson 相关性分析 10 项指标的相关性.运用主成分分析法(PCA)确定各评价指标对黄河干流生境的贡献率,找出影响黄河干流生境质量的主要因子.

2 研究结果

2.1 各生境评价指标得分及相关性

所选取的 10 项生境评价指标中,大型木质残体分布在全河段得分相对最低,集中在 1~5 分(图 1).其次为栖境复杂性,得分介于 5~11 分,平均值为 7.2.河水水量得分介于 10~19 分,平均值为 17.1,相对最高.其他指标的离散度和变异度均较大.

黄河干流不同区域间底质、栖境复杂性、河水水量、大型木质残体分布、河岸稳定性、河道护岸变化等 6 项指标未表现出显著差异($p > 0.05$,图 2).但水质状况、河道内人类活动强度、河岸带植被覆盖度和河岸土地利用类型等 4 项指标在不同区域表现出显著差异($p < 0.05$).相对而言,中游水质状况显著优于上游和下游河段($p < 0.05$),但河道内人类活动强度得分最低,显著低于源头和上游河段($p < 0.05$),河岸土地利用类型得分最低($p < 0.05$).上游河岸带植被覆盖强度最低,显著低于下游($p < 0.05$).黄河干流不同区域河道生境指标未表现出显著差异,而河岸带生境指标上游得分最低,并显著低于下游.

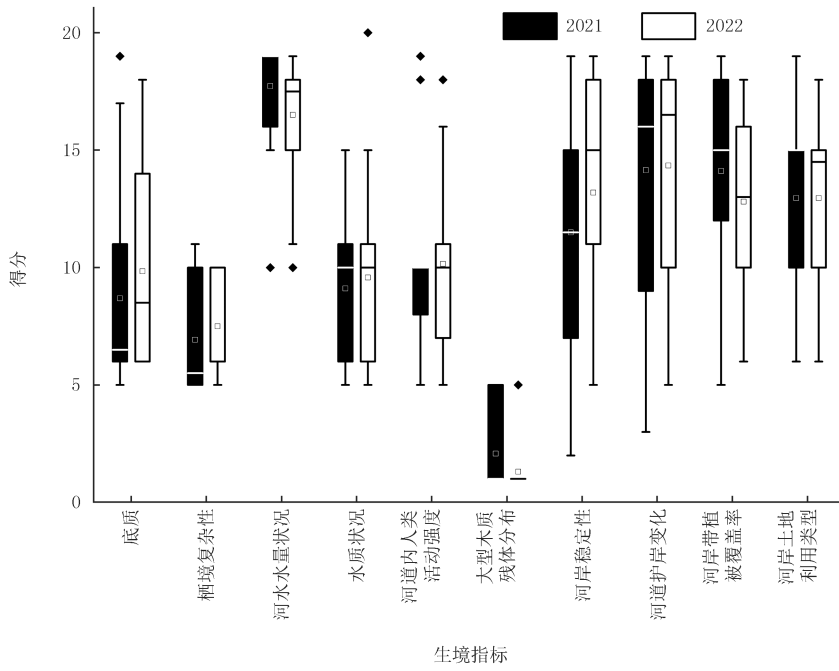
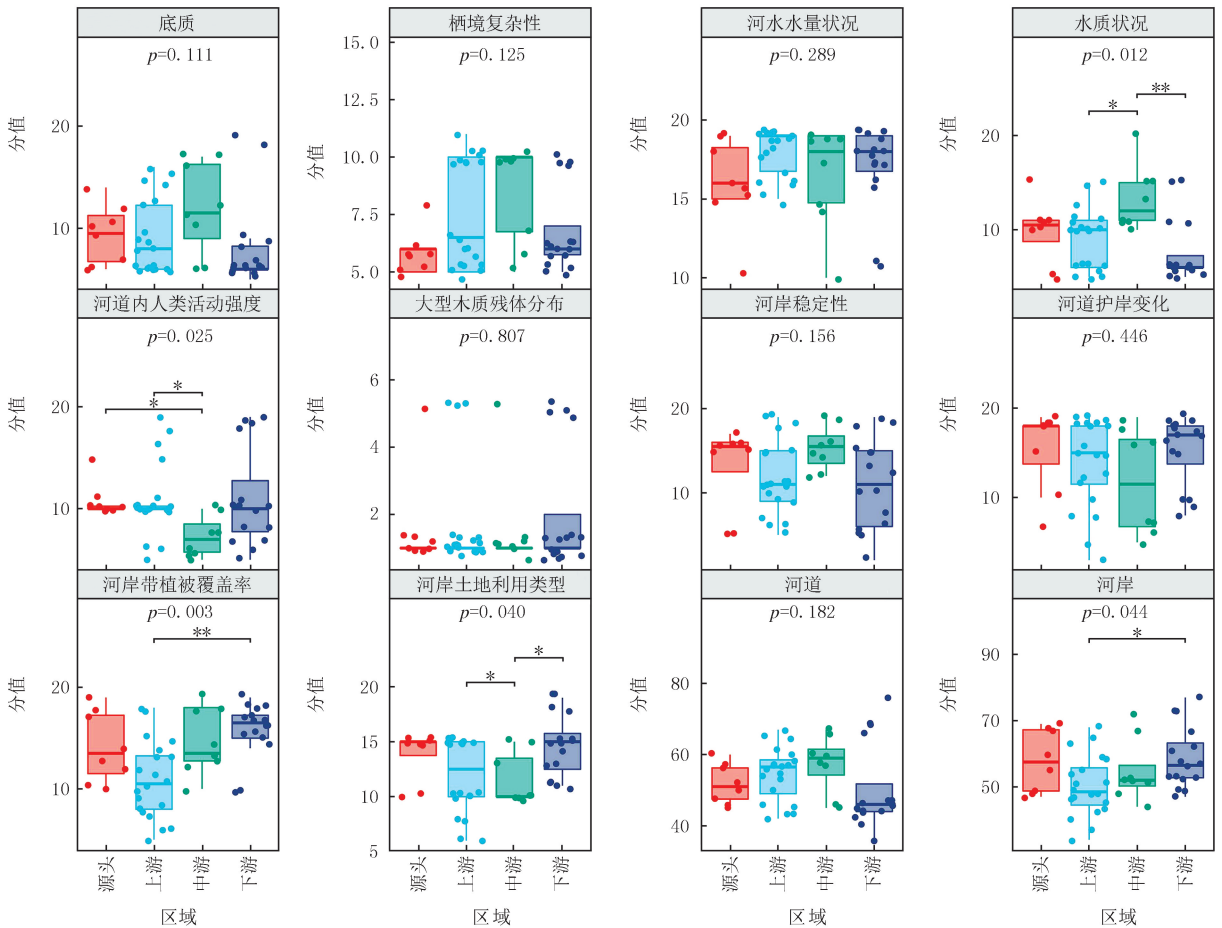


图1 黄河干流各项生境指标得分

Fig.1 Scores of each habitat assessment index in the Yellow River mainstream



*和**分别表示在 $p < 0.05$ 和 $p < 0.01$ 水平上存在显著性差异。

图2 黄河干流各区域生境评价指标得分情况

Fig.2 Scores of each habitat assessment index in each region of the Yellow River mainstream

对黄河干流各项生境评价指标得分状况进行 Pearson 相关分析,结果显示,尽管多项指标之间表现出显著相关性,但相关系数均低于 0.5,仅底质与栖境复杂性相关系数达到 0.534($p < 0.01$,表 1),各项评价指标间共线性较低,指标之间不具有可替代性。

表 1 各项生境评价指标间 Pearson 相关性分析

Tab. 1 Pearson correlation analysis of habitat assessment indexes

指标	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5
A1	1.000									
A2	0.534 **	1.000								
A3	-0.255	-0.116	1.000							
A4	0.424 **	0.483 **	-0.280 *	1.000						
A5	0.073	0.287 *	0.011	0.109	1					
B1	-0.096	-0.210	0.020	-0.181	-0.213	1.000				
B2	0.379 **	0.411 **	-0.266	0.348 *	-0.010	-0.284 *	1.000			
B3	0.059	0.046	0.140	-0.309 *	0.356 **	-0.024	-0.181	1.000		
B4	0.066	0.207	-0.014	0.020	0.344 *	0.037	0.055	0.297 *	1.000	
B5	0.132	0.276 *	-0.137	-0.026	0.484 **	0.170	-0.156	0.510 **	0.448 **	1.000

注:A1,底质;A2,栖境复杂性;A3,河水水量状况;A4,水质状况;A5,河道内人类活动强度;B1,大型木质残体分布;B2,河岸稳定性;B3,河道护岸变化;B4,河岸带植被覆盖率;B5,河岸土地利用类型。*和**分别表示在 $0.01 \leq p < 0.05$ 和 $p < 0.01$ 水平上存在显著性差异。

2.2 黄河干流生境质量

通过两年的生境调查与评价发现,黄河干流 26 个监测河段的生境总分介于 79~153 分,连续两年生境整体评价均达到良好等级以上的有 6 个河段,连续两年达到中等级别的河段为 18 个,出现较差级别的河段为 2 个,无很差等级的河段。相对而言,位于黄河下游的黄河口湿地 1(D7)和黄河口湿地 2(D8)、中游的风陵渡大桥(M4)、上游的叶盛公路桥(U6)和新城桥(U3)、源区的门堂(S2)两年的生境质量均大于 120 分,为优秀或良好等级。而位于黄河上游的什川桥(U4)2021 和 2022 年生境评分分别为 84 和 79 分,均为较差等级(图 3)。黄河源区、上游、中游和下游之间生境质量整体上无显著差异($p > 0.05$)。

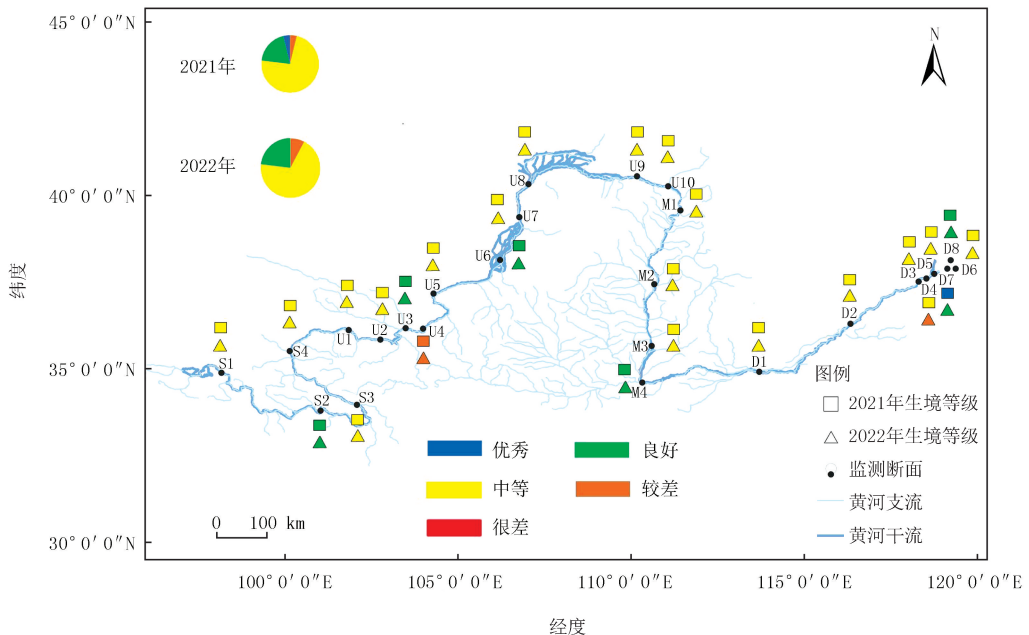


图3 黄河干流生境评价等级

Fig. 3 Habitat assessment grade in the Yellow River mainstream

2.3 黄河干流生境主要影响因素

2021 和 2022 年黄河干流生境评价指标主成分分析 KMO 值为 0.655, Bartlett 球形度检验 $p < 0.05$, 说明数据适合进行主成分分析。主成分分析一共提取出 3 个主成分, 特征根值(分别为 2.669、2.276、1.158)均大于 1, 累计方差解释率为 61.03%。权重值最高为河岸土地利用类型, 占 12.35%, 最低为栖境复杂性, 占 8.63% (表 2)。权重值高于 10% 的指标还包括河道内人类活动强度、水质状况和河岸稳定性等 3 项指标。

表 2 黄河干流生境评价指标主成分分析及权重结果

Tab. 2 Principal component analysis and weight results of habitat assessment indexes in the Yellow River mainstream

名称	主成分 1	主成分 2	主成分 3	综合得分系数	权重/%
A1 底质	0.428	0.128	0.172	0.268	9.63
A2 栖境复杂性	0.497	0.031	0.056	0.240	8.63
A3 河水水量状况	0.236	0.160	0.481	0.254	9.14
A4 水质状况	0.389	0.287	0.085	0.293	10.55
A5 河道内人类活动强度	0.288	0.368	0.283	0.317	11.40
B1 大型木质残体分布	0.199	0.132	0.733	0.275	9.90
B2 河岸稳定性	0.346	0.308	0.116	0.288	10.37
B3 河道护岸变化	0.081	0.504	0.137	0.249	8.97
B4 河岸带植被覆盖度	0.232	0.362	0.080	0.252	9.06
B5 河岸土地利用类型	0.247	0.492	0.271	0.343	12.35

3 讨论

3.1 黄河干流生境质量综合评价

基于河段尺度的黄河干流生境质量评价结果表明, 黄河干流所有调查河段生境总分 H 值平均为 108.0, 生境质量整体处于中等水平, 区域间未表现出显著差异 ($p > 0.05$)。2017 年长江流域河流生境综合评价结果显示, 长江干流生境质量整体处于良好水平, 金沙江下游、三峡库区、长江中下游 3 个典型区域的生境综合指数均值分别为 133.9、124.6 和 130.8^[5]。长江流域典型支流赤水河生境质量为优秀等级, 雅砻江、乌江和汉江的生境质量均为良好等级^[14]。2005 年辽河流域生境质量调查结果显示, 全流域 36% 的河段处于优秀或良好水平, 主要为辽河支流及浑太河源区, 但 42% 的河段处于较差或很差等级, 主要为辽河干流及浑太河中下游^[15]。综合来看, 黄河干流各区域间生境质量差别较小, 整体生境状况比长江流域差。河流生境质量与流域植被覆盖状况息息相关。尽管黄河流域近 40 年植被覆盖呈现波动增长趋势, 近 20 年黄河流域植被生态质量指数均呈波动增加趋势, 但基于 NDVI 值的植被盖度水平仍低于长江、辽河等流域。黄河流域年均植被 NDVI 值介于 0.36~0.45^[16], 而长江和辽河流域植被 NDVI 值分别介于 0.50~0.81 和 0.61~0.72 之间, 均显著高于黄河流域^[17-18]。

黄河干流各区域均有生境质量相对较好的河段, 如下游的黄河口湿地 (D7, D8)、中游的风陵渡大桥 (M4)、上游的叶盛公路桥 (U6) 和新城桥 (U3)、源区的门堂 (S2), 主要表现在水流速相对较缓、湿生或水生植被丰茂、泥沙含量低, 从而在栖境复杂性、水质状况、河岸稳定性、河道内人类活动强度等方面得分较高。而生境质量相对最差的河段为上游的什川桥 (U4), 主要表现在泥沙含量高、水流速快、河岸侵蚀程度高、河道和河岸人类活动强度大等。黄河干流超过 69% 的河段生境质量处于中等水平, 主要体现在泥沙含量较高、人类活动强度较大、河岸和河道植被覆盖较低、河岸侵蚀较为严重。这与黄河本身所处地质时期、气候条件、地貌特征、河流类型和水沙特点等有关^[19]。

本研究中水质状况指标主要反映各河段水体浑浊度和异味情况, 与水体悬浮泥沙含量关系密切。尽管通过近 60 年的拦河坝、水库建设等大型水利枢纽工程调控及大型植被修复工程的实施, 黄河输沙量已减少近 90%^[20], 但大部分黄河干流上的监测河段水体泥沙含量仍较高, 河水静置后沉淀物质多, 没有发现完全清澈

的河段。另外,中游水质状况显著优于上游和下游河段($p < 0.05$),表明中部地区尤其是黄土高原植被恢复工程对黄河中游土壤侵蚀和泥沙含量减少方面发挥了积极作用^[16]。但黄河中游河道内人类活动强度和河岸土地利用类型得分相对最低,主要表现在监测河段出现大型桥梁、闸坝、船舶或工程施工等。河岸带植被覆盖率主要反映调查河段近岸植被覆盖情况,本研究结果显示,黄河上游河岸带植被覆盖率最低,并显著低于下游。这与卫星遥感技术所测得的黄河流域植被盖度情况一致。相对于下游、中游或源区,黄河上游所在的内蒙古、宁夏和甘肃所在区域植被盖度最低,植被生态质量指数也最低^[16,21]。

3.2 大型河流生境质量评价指标体系构建

目前 60% 的生境调查方法基于小尺度下快速现场观测,通过现场目测和简单测量获取定性半定量数据,包括英国 RHS、美国 RBP、澳大利亚 ISC 等^[3]。我国已采用河段尺度的现场生境调查方法对大型河流、城市河流、平原或山地河流开展生境质量评价,如长江干流及支流^[5,14,22]、海河^[23]、辽河^[15]、深圳市河流^[24]等。尽管不同研究所采用的生境评价指标存在差别,但针对不可涉水河流,推荐采用物理形态特征、生境组成与复杂性、河岸带状况、人类干扰、水文水质状况等类型指标^[25]。本次生境调查从河道和河岸两个方面选取 10 项指标,采用现场目测法调查评价黄河干流生境质量状况,基本包括了基于大型不可涉水河流推荐的生境评价指标类型,调查结果也能初步反映黄河干流生境质量整体水平,并对生境质量存在明显差别的监测河段加以区分。本次调查所构建的生境指标体系,各项指标对生境质量评价的权重介于 8.63%~12.35% 之间,根据权重值大小,初步说明影响黄河干流生境质量的主要因子包括河岸土地利用类型、河道内人类活动强度、水质状况和河岸稳定性等。

然而,针对各项生境指标评价过程的主观性大,不同人员对同一河段的各项指标评价结果容易产生较大差别。若能在各项生境评价指标赋分依据中增加定量依据,将极大增强生境评价过程和结果的客观性和可比性。比如水质状况,在浊度方面引入浊度、悬浮物或者含沙量这些可实际测量的量化指标。河岸带植被覆盖率和河岸土地利用类型这两个指标的调查和评价,可借助无人机来获取固定范围内河段的定量数据,将极大增强评价结果的准确性和可靠性。基于此,在未来的河段尺度生境调查工作中,亟须结合相关技术,增强生境指标数据获取的客观性,从而加强生境评价结果的准确性和可比性。

4 结 论

2021 年和 2022 年黄河干流各河段生境质量综合得分 H 值介于 79~153,超过 69% 的河段生境质量介于 90~120 分,为中等等级,无较差等级河段。10 项生境指标中,大型木质残体分布在全河段得分最低,介于 1~5 分,水质状况、河道内人类活动强度、河岸带植被覆盖度和河岸土地利用类型等 4 项指标在不同区域表现出显著差异($p < 0.05$)。主成分分析结果显示,影响黄河干流生境质量的主要因子包括河岸土地利用类型、河道内人类活动强度、水质状况和河岸稳定性等。未来应因地制宜,针对黄河干流特定区域特定河段的关键影响因子提出生态修复和保护策略。

附录见电子版(DOI:10.16366/j.cnki.1000-2367.2022.10.21.0004)。

参 考 文 献

- [1] 李学军,张景晓,于森,等.黄河流域底栖动物调查研究进展[J].河南师范大学学报(自然科学版),2022,50(2):36-47.
LI X J,ZHANG J X,YU M,et al.Progresses of macrozoobenthic investigation in Yellow River Basin[J].Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition),2022,50(2):36-47.
- [2] 刘哲,张宁,彭定华,等.水生态监测方法研究进展及在黄河流域的应用实践[J].中国环境监测,2022,38(1):58-71.
LIU Z,ZHANG N,PENG D H,et al.Research progress of aquatic ecological monitoring methods and the application in the Yellow River Basin[J].Environmental Monitoring in China,2022,38(1):58-71.
- [3] 阴琨,刘海江,王光,等.流域水生态空间管控下生境监测方法概述[J].环境科学,2021,42(3):1581-1590.
YIN K,LIU H J,WANG G,et al.Overview on habitat monitoring methods under watershed ecological space management[J].Environmental Science,2021,42(3):1581-1590.
- [4] 宋高飞,朱宇轩,米武娟,等.武汉市湖泊浮游动物群落特征及其影响因素[J].河南师范大学学报(自然科学版),2022,50(3):135-142.

- SONG G F,ZHU Y X,MI W J, et al.Characteristics of zooplankton community and their influencing factors in lakes of Wuhan[J].Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition),2022,50(3):135-142.
- [5] 邹曦,杨志,郑志伟,等.长江干流典型区域河流生境健康评价[J].长江流域资源与环境,2020,29(10):2219-2228.
- ZOU X,YANG Z,ZHENG Z W, et al.Health assessment of river habitat in typical regions of the Yangtze River mainstream[J].Resources and Environment in the Yangtze Basin,2020,29(10):2219-2228.
- [6] YANG T,WANG S,LI X P, et al.River habitat assessment for ecological restoration of Wei River Basin,China[J].Environmental Science and Pollution Research International,2018,25(17):17077-17090.
- [7] 汪昱昆.太湖流域河流生境多尺度评价研究[D].上海:华东师范大学,2019.
- WANG Y K.Multi-Scale Evaluation of River Habitats in Taihu Lake Basin[D].Shanghai:East China Normal University,2019.
- [8] BARBOUR M T.Rapid bioassessment protocols for use in wadeable streams and rivers:periphyton,benthic macroinvertebrates and fish [M].2nd ed.Washington D C:U.S.Environmental Protection Agency,1999.
- [9] ENVIRONMENTAL A.River habitat survey in Britain and Ireland:Field survey guidance manual[R].2003 version ed.London:Environment Agency,2003.
- [10] LADSON A R,WHITE L J.An index of stream condition:Reference manual[R].Melbourne:Department of Natural Resources and Environment,1999.
- [11] OLLERO A,IBISATE A,GONZALO L E, et al.,The IHG index for hydromorphological quality assessment of rivers and streams:updated version[J].Limnetica,2011,30(2):255-262.
- [12] 徐彩彩.辽河流域河流分类与生境评价研究[D].太原:山西大学,2015.
- XU C C.The Study of River Classification and River Habitat Assessment in Liaohe River Basin[D].Taiyuan:Shanxi University,2015.
- [13] 中国环境监测总站.河流水生态环境质量监测与评价技术指南[EB/OL].[2022-10-21].<https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202009/W020200930591307542598.pdf>.
- [14] 邹曦,杨荣华,杨志,等.长江流域典型支流生境健康评价[J].水生态学杂志,2021,42(5):29-39.
- ZOU X,YANG R H,YANG Z, et al.Habitat health assessment of typical tributaries of the Yangtze River[J].Journal of Hydroecology, 2021,42(5):29-39.
- [15] 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.
- ZHENG B H,ZHANG Y,LI Y B.Study of indicators and methods for river habitat assessment of Liao River Basin[J].Acta Scientiae Circumstantiae,2007,27(6):928-936.
- [16] 李雪银,张志强,孙爱芝.1982—2021年黄河流域植被覆盖时空演变及影响因素研究[J].地球环境学报,2022,13(4):428-436.
- LI X Y,ZHANG Z Q,SUN A Z.Study on the spatial-temporal evolution and influence factors of vegetation coverage in the Yellow River Basin during 1982—2021[J].Journal of Earth Environment,2022,13(4):428-436.
- [17] 徐勇,郑志威,郭振东,等.2000—2020年长江流域植被 NDVI 动态变化及影响因素探测[J].环境科学,2022,43(7):3730-3740.
- XU Y,ZHENG Z W,GUO Z D, et al.Dynamic variation in vegetation cover and its influencing factor detection in the Yangtze River Basin from 2000 to 2020[J].Environmental Science,2022,43(7):3730-3740.
- [18] 朱丽亚,胡克,孙爽.2000—2018年辽河流域植被 NDVI 变化及其与温度、降水的响应关系[J].生态科学,2022,41(3):203-213.
- ZHU L Y,HU K,SUN S.Vegetation NDVI changes in the Liao River Basin from 2000 to 2018 and its response to temperature and precipitation[J].Ecological Science,2022,41(3):203-213.
- [19] WANG Y C,GAO X W,LI T J, et al.Geocode-based aquatic habitats in hierarchical system of the Yellow River basin[J].Journal of Environmental Informatics,2018,32(2):69-81.
- [20] WANG,S,FU B J,PIAO S L, et al.Reduced sediment transport in the Yellow River due to anthropogenic changes[J].Nature Geoscience, 2015(9):38-41.
- [21] 曹云,孙应龙,陈紫璇,等.2000—2020年黄河流域植被生态质量变化及其对极端气候的响应[J].生态学报,2022,42(11):4524-4535.
- CAO Y,SUN Y L,CHEN Z X, et al.Dynamic changes of vegetation ecological quality in the Yellow River Basin and its response to extreme climate during 2000—2020[J].Acta Ecologica Sinica,2022,42(11):4524-4535.
- [22] YU,F D,LIU F,XIA Z J, et al.Classification and assessment methods for mountain channel habitats in the Chishui River basin,China[J].Water,2022,14(4):515.
- [23] DING Y K,SHAN B Q,ZHAO Y.Assessment of river habitat quality in the Hai River Basin,northern China[J].International Journal of Environmental Research and Public Health,2015,12(9):11699-11717.
- [24] 高雯琪,陆颖,屈雷,等.城镇化背景下河流生境评价:以深圳市为例[J].生态学报,2021,41(22):8783-8793.
- GAO W Q,LU Y,QU X, et al.River habitat assessment under urbanization:a case study in Shenzhen[J].Acta Ecologica Sinica,2021, 41(22):8783-8793.
- [25] 陈勇,许人骥,贾世琪,等.长江流域水生生态评价指标初步研究[J].中国环境监测,2022,38(1):45-57.
- CHEN Y,XU R J,JIA S Q, et al.Preliminary study on aquatic ecological assessment index of Yangtze River Basin[J].Environmental Mo-

onitoring in China, 2022, 38(1):45-57.

Habitat quality assessment in the Yellow River mainstream

Li Xuejun^{1,2}, Zhang Yang^{1,2}, Gao Yunni^{1,2}, Li Longfei^{1,2}, Zhang Jingxiao^{1,2},
Dong Jing^{1,2}, Zhang Man^{1,2}, Gao Xiaofei^{1,2}, Qin Xiangchao³

(1. College of Fisheries, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China; 2. Observation and Research Station on Water Ecosystem in Danjiangkou Reservoir of Henan Province, Nanyang 474450, China; 3. Ecological Environment Monitoring and Scientific Research Center, Yellow River Basin Ecology and Environment Administration, Ministry of Ecology and Environment, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: River habitat is an important component of river ecosystems and plays an important role in maintaining river health. In order to clarify the habitat quality status of the Yellow River, the habitat status survey and habitat quality assessment of 26 sites from the source to the lower reaches of the Yellow River mainstream were carried out from May to July in 2021 and 2022. A total of 10 habitat indexes were selected from two aspects of river channels and riparian zones. The results showed that the comprehensive H scores of habitat quality of all sites of the Yellow River mainstream were between 79 and 153, and more than 69% of sites were in the medium grade. No significant differences were observed in the habitat scores among the source, upstream, middle and downstream ($p > 0.05$). Among the 10 habitat indexes, the scores of large woody residues were the lowest in the whole reach, ranging from 1-5. The water quality, human activity intensity, riparian vegetation coverage and riparian land use types showed significant differences among different regions ($p < 0.05$). The results of principal component analysis showed that the main factors affecting the habitat quality of the Yellow River mainstream included riparian land use type, human activity intensity, water quality and riverbank stability.

Keywords: Yellow River mainstream; habitat quality; river channels; riparian zones

[责任编辑 刘洋 杨浦]

附 录

表 S1 黄河干流生境调查位点

Tab. S1 Sampling sites of river habitat survey in Yellow River mainstream

位点名称	位点编号	海拔/m	所在地市	所属区域
玛多黄河沿	S1	4 219.2	青海果洛藏族自治州	源头
门堂	S2	3 632.6	青海果洛藏族自治州	
玛曲	S3	3 411.9	甘肃甘南藏族自治州	
唐乃亥	S4	2 677.1	青海海南藏族自治州	
李家峡	U1	2 055.9	青海黄南藏族自治州	上游
大河家	U2	1 778.5	青海临夏回族自治州	
新城桥	U3	1 506.9	甘肃兰州市	
什川桥	U4	1 438.2	甘肃兰州市	
五佛寺	U5	1 271.1	甘肃白银市	
叶盛公路桥	U6	1 072.2	宁夏吴忠市	
麻黄沟	U7	1 044.3	内蒙古乌海市	
三盛公	U8	1 019.8	内蒙古巴彦淖尔市	
磴口	U9	971.2	内蒙古包头市	
头道拐	U10	966.8	内蒙古呼和浩特市	
万家寨水库	M1	877.9	山西鄂尔多斯市	中游
柏树坪	M2	606.4	山西吕梁市	
龙门	M3	350.4	山西渭南市韩城市	
风陵渡大桥	M4	318.7	陕西渭南市	
花园口	D1	66.5	河南郑州市	下游
艾山	D2	36.1	山东聊城市	
利津水文站	D3	11.8	山东东营市	
垦利	D4	2.5	山东东营市	
建林浮桥	D5	0.1	山东东营市	
丁字路口	D6	1.5	山东东营市	
黄河口湿地 1	D7	0.5	山东东营市	
黄河口湿地 2	D8	4.4	山东东营市	

表 S2 河流生境评价指标体系、评价等级及赋分标准

Tab. S2 Index system, classification and assignment criteria of river habitat assessment

分类	评价指标	等级分类			
		好	较好	中等	较差
河道	底质	50%以上是碎石、卵石、大石或水生植物,余为细沙等沉积物	50%~25%是碎石、鹅卵石、大石或水生植物,余为细沙等沉积物	25%以下是碎石、鹅卵石、大石或水生植物,主要为细沙、泥等沉积物	主要为淤泥、黏土、有机碎屑等沉积物或人造材料(如建筑材料、金属、塑料、玻璃等)
	栖境复杂性	有水生植被、枯枝落叶、倒木、倒凹河岸和大石、碎石等各种小栖境	有水生植被、枯枝落叶和倒凹河岸、大石或碎石等3种小栖境	以2种小栖境为主	以1种小栖境为主,底质多以淤泥或细沙为主
	河水水量状况	水量很大,河水淹没到河岸两侧,几乎没有河道暴露	水量比较大,河水淹没75%左右的河道	水量中等,河水淹没25%~75%的河道	水量很小,河道干涸
	水质状况	很清澈,无任何异味,河水静置后无沉淀物质	较清澈,无异味,河水静置后有少量的沉淀物质	较浑浊,无异味,河水静置后有较多沉淀物质	很浑浊,有刺激性气体逸出,河水静置后有大量沉淀物
	河道内人类活动强度	调查区域及周边无人类活动干扰(桥梁、采砂、闸坝等)或少有人类活动(钓鱼、附近出现道路等)	调查区域及周边人类干扰较小(出现水文监测站、少量采砂或工程施工、小型桥梁、附近小规模道路等小型活动)	调查区域及周边人类干扰较大(出现闸坝、大型采砂、大型桥梁、港口、河道的裁弯取直等其他改变河流自然状况的人工活动)	调查区域及周边人类干扰很大(出现闸坝、大型采砂、河道疏浚、河床完全硬化、大型桥梁、港口、河道的裁弯取直等2项以上改变河流自然状况的人工活动)
河岸	大型木质残体分布	河道及岸边分布50%以上的大型倒木和枝干类残体	河道及岸边25%~50%的区域有大型倒木和枝干类残体	河道及岸边25%以下的区域有倒木或枝干类残体	河道及岸边几乎未出现枝干类残体
	河岸稳定性	河岸稳定,调查范围内小于5%河岸受到侵蚀	比较稳定,调查范围内有5%~30%的面积出现侵蚀现象	调查范围内30%~60%面积发生侵蚀,出现大范围人工挖掘直立式土坡,或出现“河心洲”	调查范围内60%以上的河岸发生侵蚀,且洪水期可能会有较大隐患
	河道护岸变化	自然土质坡岸,人工护岸没有或很少,河道维持正常模式	自然或斜坡式生态护岸为主,台阶式或直立式护岸少于30%	台阶式或直立式护岸较广泛,占30%~60%,或出现大面积人工挖掘直立式土坡	渠道化广泛,台阶式护岸或直立式护岸为主,大于60%
	河岸带植被覆盖率	河岸带植被覆盖50%以上,植被种类多样化	河岸带植被覆盖25%~50%,有少许种类变化	河岸带植被覆盖少于25%,植被种类单一	河岸周围几乎没有任何植被
	河岸土地利用类型	调查区域及周边河岸两侧无耕作土壤,保持原生态,森林、沼泽、灌木、草地等	调查区域及周边河岸两侧有少量耕作土壤或建设用地(居民区、大型桥梁、道路等),面积小于20%	调查区域及周边河岸两侧耕作土壤或建设用地较多,或处于城镇内,面积在20%~60%	调查区域及周边河岸两侧耕作土壤或建设用地很多,面积大于60%