

应用鱼类生物完整性指数评价黑水河河流健康状况

李文^{1,2}, 滕航^{1,3}, 田辉伍¹, 邓华堂¹, 成必新⁴, 杨少荣⁵, 刘绍平¹, 陈大庆¹, 段辛斌¹

(1. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 农业农村部长江中上游渔业资源环境科学观测实验站, 湖北 武汉 430223;

2. 华中农业大学水产学院, 湖北 武汉 430070; 3. 西南大学生命科学学院, 重庆 400715;

4. 上海勘测设计研究院有限公司, 上海 200434; 5. 中国三峡建工(集团)有限公司, 四川 成都 610041)

摘要: 黑水河为金沙江下游一级支流, 是白鹤滩库区干流鱼类的重要替代生境和优先保护支流, 评价黑水河河流健康状况, 可为黑水河鱼类栖息地生态修复提供数据支撑。2018年11月至2019年9月在黑水河23个采样点开展了4次鱼类资源调查, 共采集到鱼类45(亚)种, 隶属于4目10科33属。以黑水河河口、水文站上游和825回水点作为参照点, 经过分布范围、判别能力及Pearson相关性分析等指标构建黑水河鱼类生物完整性指数(F-IBI)评价体系。使用1、3、5赋值法和比值法计算各采样点的IBI分值以评价各采样点健康状况, 结果显示, 1、3、5赋值法和比值法的结果虽不完全相同, 但趋势是一致的。黑水河大部分采样点的健康状况处于“较差”和“一般”水平。相关性分析结果显示, F-IBI分值与海拔呈显著负相关($P<0.01$)。丰度生物量比较曲线显示, 黑水河鱼类群落结构整体上受到中度干扰。

关键词: 鱼类生物完整性指数; 河流健康; 黑水河

中图分类号: X826 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2024)02-0073-11

健康的河流对自然生态系统和社会的发展至关重要, 它们可以为人类生存和社会发展提供必要的生态服务(Luo et al, 2018)。同时, 人类活动直接或间接影响到河流生态系统, 例如水文条件、污染物富集和栖息地属性等, 从而导致河流生态系统不断恶化(Zhao & Yang, 2009; Pinto et al, 2013), 因此对河流生态系统的健康评估和合理保护尤为重要。自Karr (1981)首次提出鱼类生物完整性指数(fish index of biotic integrity, F-IBI)以来, 生物完整性指数(IFI)作为一种可靠的工具已广泛用于全球河流生态系统健康评估(Novotny et al, 2005)。IFI通过对多个能够反映河流生态系统健康状况的敏感指标进行赋值或评分, 从而间接对河流生态系统进行健康评价, 避免了单一指标的有限适用性和敏感度不足等问题, 可以综合地反映河流健康状况(刘猛等, 2016)。由于不同

地区的河流及鱼类群落结构各不相同, 因此运用IFI评价新区域时需要对其进行调整(武晶, 2015; 谭巧, 2017)。鱼类是进行生态健康评估常用的指示生物, 因其位于河流食物链的顶端, 生命周期比其他大部分生物更长, 而且其迁移和产卵等生命活动使其更加依赖栖息生境, 故对鱼类的健康评估可以综合反映河流生态环境的整体健康状况(Karr, 1981; Harris, 1995; Trautwein et al, 2012)。当前, 我国对IFI的研究还处在探索阶段, 自21世纪以来, 我国在部分水系开展了应用, 黄亮亮等(2013)运用鱼类生物完整性评价了东苕溪的河流健康状况, 刘猛等(2016)构建了浑太河流域的鱼类生物完整性指数, 朱召军等(2016)基于鱼类生物完整性对漓江上游进行了河流健康评价, 在我国高原地区, 生物完整性指数也有应用, 郑海涛(2006)对怒江中上游进行了鱼类生物完整性评价。

金沙江下游是长江上游鱼类资源最为丰富的区域之一, 有142种鱼类栖息于此江段, 其中大部分为喜流水生境鱼类(宋一清等, 2018)。但由于金沙江下游干流建设有向家坝、溪洛渡、白鹤滩和乌东德四大梯级电站, 造成自然连续的河流片段化, 形成缓流或静止的水库环境, 严重影响土著鱼类的生存和繁殖, 导致部分鱼类物种消失、生物多样性和遗传多样性下降(张雄等, 2014; 宋一清等, 2018)。因此, 在金沙江下游大规模开发的背景下, 为了弥补干流开发对

收稿日期: 2022-01-11 修回日期: 2023-06-19

基金项目: 中国三峡建设管理有限公司科研项目(JG/18056B, JG/18057B); 国家自然科学基金项目(51909271); 中国水产科学研究院创新团队项目(2020TD09)。

作者简介: 李文, 1998年生, 男, 硕士研究生, 主要从事鱼类资源方面研究。E-mail: 1339055248@qq.com

滕航, 1995年生, 男, 主要从事鱼类生态学方面研究。E-mail: 18234494163@163.com

通信作者: 段辛斌, 男, 研究员。E-mail: duan@yfi.ac.cn

鱼类造成的部分不利影响,选择几条生境较好的支流作为其替代生境进行保护尤为重要。黑水河为金沙江下游白鹤滩库区左岸一级支流,全长 173.3 km,流域面积 3 653 km²,是金沙江下游白鹤滩库区干流鱼类的重要替代生境和优先保护支流(张雄等,2014;杨志等,2017),其流域内鱼类资源较丰富(孙嘉宁,2013;傅菁菁等,2016),共有 45 种鱼类,隶属于 4 目 10 科 33 属,长江上游特有鱼类 11 种,其中以鲤形目鱼类种类最多。近年来水域污染、过度捕捞、梯级电站建设以及采砂等人类活动对黑水河下游鱼类资源构成了严重的干扰和损害(杨志等,2017),黑水河生态系统健康状况受到了广泛关注(孙嘉宁,2013;张雄等,2014;傅菁菁等,2016;杨志等,2017;宋一清等,2018)。目前,黑水河尚未开展过河流健康评价,金沙江水系也没有可借鉴的 F-IBI 研究。本研究以黑水河鱼类为指示物种,建立适合该地区的 F-IBI 评价指标体系,以客观评估黑水河河流健康状况,为黑水河生态系统保护和鱼类栖息地生态修复提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 调查方法

2018 年 11–12 月(冬季)、2019 年 2–3 月(春季)、2019 年 5–6 月(夏季)和 2019 年 8–9 月(秋季)在黑水河 23 个采样点(图 1,表 1)进行鱼类标本采集,每个采样点采用三层流刺网(外层网目 7 cm,内层网目 2~3 cm,网高 2 m,网长 80 m)和地笼网(网目 1 cm,网高 0.4 m,网宽 0.4 m,网长 12 m)进行捕捞(经渔业主管部门批准),所有采样点所用网具的类型和数量保持一致,网具设置 13 h。采集到的鱼类样本参照相关研究(褚新

洛和陈银瑞,1989;褚新洛和陈银瑞,1990;丁瑞华,1994;陈宜瑜,1998)进行现场鉴定,并统计数量和健康状况(畸形、表皮损伤、疾病),测量每尾鱼的体重(精确到 0.1 g)、体长及全长(精确到 1 mm)等生物学性状。对于部分无法识别的鱼类标本,在完成生物学性状测量后,用 95% 乙醇或者 10% 福尔马林溶液保存,带回实验室再利用分子手段或者解剖等方法鉴定。

在每个调查采样点进行 pH(AZ86031 便携式水质检测仪)、溶解氧(DO)(YSI Pro20i 溶解氧测量仪)、流速(V)(ZM-SVR 手持式电波流速仪)、河深(D)、河宽(W)(SW-1500A 手持激光测距仪)、水温(WT)(YSI Pro20i 溶解氧测量仪)、海拔(H)(彩途 F32 手持 GPS)、总溶解固体(TDS)(AZ8373TDS 笔)、透明度(Trans)(透明度盘)和电导率(Cond)(AZ86031 便携式水质检测仪)等环境因子的测定。将木棍垂直放入河中,触底时拿出,卷尺测量木棍被水淹没的长度即为河深。

1.2 F-IBI 指标构建

1.2.1 参照点 选取黑水河受人类活动干扰相对较小的黑水河河口、825 回水点和水文站上游 3 个采样点作为参照点。

1.2.2 指标设置 结合国内外河流常用的 F-IBI 评价指标和实际黑水河调查到的鱼类组成及分布特点,综合考虑采用指标的可靠性和适用性,选取隶属于鱼类种类组成与丰度、营养结构、耐受性、繁殖共位群、鱼类数量与健康状况等 5 个项目层的 27 个对环境变化较为敏感的候选指标(表 2)。同时,参照相关研究划分鱼类的产卵类型、栖息水层、食性、耐受性和生活习性等(褚新洛和陈银瑞,1989;褚新洛和陈银瑞,1990;丁瑞华,1994;陈宜瑜,1998)。

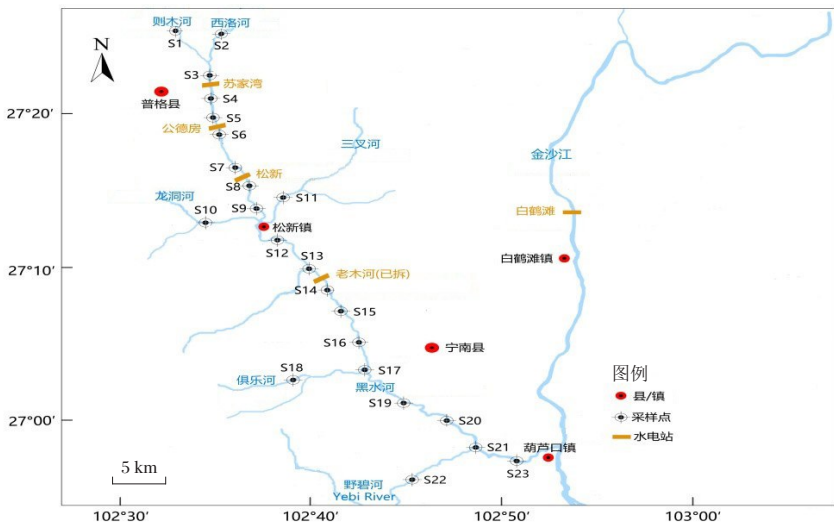


图 1 黑水河采样点分布

Fig.1 Location of sampling sites in Heishui River

表1 黑水河鱼类资源调查采样点信息

Tab.1 Sampling site information of the fish resource survey in Heishui River

采样点(代码)	经度	纬度	海拔/m
则木河(S1)	102°33'12.70"	27°23'41.83"	1 139
西洛河(S2)	102°33'43.97"	27°23'36.01"	1 145
苏家湾坝上(S3)	102°33'39.65"	27°22'57.49"	1 134
苏家湾坝下(S4)	102°33'49.71"	27°21'36.83"	1 099
公德房坝上(S5)	102°33'55.47"	27°21'07.29"	1 089
公德房坝下(S6)	102°33'51.15"	27°20'12.21"	1 064
公德房厂房下(S7)	102°34'21.71"	27°18'10.47"	1 050
松新坝下(S8)	102°35'01.99"	27°16'40.41"	1 030
幸福养猪场(S9)	102°35'47.70"	27°15'42.06"	995
龙洞河(S10)	102°35'55.62"	27°12'56.06"	962
三叉河(S11)	102°37'11.64"	27°13'13.02"	1 000
松新厂房下(S12)	102°36'41.73"	27°11'40.82"	914
老木河坝上(S13)	102°19'47.88"	27°11'44.68"	908
老木河坝下(S14)	102°39'09.94"	27°10'01.97"	880
老木河尾水(S15)	102°40'17.06"	27°08'46.11"	852
老木河厂房下(S16)	102°40'50.26"	27°07'29.12"	827
825回水点(S17)	102°42'28.77"	27°02'57.78"	779
俱乐河(S18)	102°42'21.19"	27°02'54.16"	784
水文站上游(S19)	102°43'23.59"	27°01'53.03"	765
765回水点(S20)	102°47'08.31"	26°59'49.13"	687
野碧河口(S21)	102°48'57.27"	26°57'45.81"	660
野碧河(S22)	102°48'56.91"	26°57'45.45"	663
黑水河河口(S23)	102°52'13.57"	26°57'35.39"	617

1.2.3 候选指标的筛选 (1)分布范围筛选(Barbour et al,1996):删除在所有采样点小于5的物种数指标;删除在所有采样点之间相差小于10%的比例指标;删除在所有采样点中90%以上指标值为0的指标。(2)判别能力筛选(刘猛等,2016):删除参照点和观测点中位数在对方25%~75%分位数箱体之内的指标。(3)Pearson相关性分析筛选(朱召军等,2016):对余下的指标进行相关性分析,若指标之间相关性系数小于0.9,则通过筛选,若2个指标之间相关性系数大于0.9,则采用其中1个信息量较多的指标。

1.2.4 F-IBI指标的分值计算 本研究选取常用的1、3、5赋值法(Karr 1981;郑海涛,2006)和比值法(Blocksom et al,2002)分别对黑水河的鱼类生物完整性指数(F-IBI)进行评分计算。

(1)1、3、5赋值法 对通过筛选的各指标在各采样点的实测值从最低到最高均分为3个等级,最高的

表2 黑水河F-IBI评价候选指标

Tab.2 Candidate indices for the fish-based index of biotic integrity (F-IBI) evaluation system for Heishui River

项目层	指标层(指标代码)	对干扰的响应
种类组成与丰度	鱼类总物种数(I1)	↓
	Shannon-Wiener多样性指数(I2)	↓
	鲤科鱼类占总物种数比例(I3)	↑
	鲈科鱼类占总物种数比例(I4)	↓
	鲇形目占总物种数的比例(I5)	↑
	上层鱼类物种数(I6)	↓
	中上层鱼类物种数(I7)	↓
	中下层鱼类物种数(I8)	↓
	底层鱼类物种数(I9)	↓
	外来鱼类物种数(I10)	↑
	特有鱼类物种数(I11)	↓
	亲流型鱼类物种数(I12)	↓
	静水型鱼类物种数(I13)	↑
	水流广适型鱼类物种数(I14)	↑
	土著鱼类物种数(I15)	↓
营养结构	肉食性鱼类数量比例(I16)	↓
	植食性鱼类数量比例(I17)	↓
	杂食性鱼类数量比例(I18)	↑
耐受性	敏感性鱼类物种数(I19)	↓
	耐受性鱼类物种数(I20)	↑
繁殖共位群	产沉性卵鱼类数量比例(I21)	↓
	产黏性卵鱼类数量比例(I22)	↑
	产漂流性卵鱼类数量比例(I23)	↓
	产漂浮型卵鱼类数量比例(I24)	↓
	鱼类总个体数(I25)	↓
	外表病变或畸变个体数量(I26)	↑
鱼类数量与健康状况	单位努力捕捞量/kg(I27)	↓

注:↑表示随干扰增强,该指标上升;↓表示随干扰增强,该指标下降。

Note: ↑ indicates that the index increases with the increase of interference; ↓ indicates that the index decreases with the increase of interference.

等级记为5分,中间的等级记为3分,最低的等级记为1分。为了避免指标个数引起IBI总分值的不同,选取如下公式计算F-IBI(Moyle & Randall,1998):

$$F-IBI = (\sum_{i=1}^n P_i / n) \times 12$$

①

式中:F-IBI为鱼类完整性指数, P_i 为第*i*个指标的得分,*n*为指标个数。

(2)比值法 各个指标的标准化分2种方法。

1)随干扰增强而指标值越小的指标,标准化方法为:

$$P_{ij} = O_{ij} / S_{i95} \times 100$$

②

式中: P_{ij} 、 O_{ij} 分别为第*j*个采样点第*i*个指标的标准化指数和原始值, S_{i95} 为第*i*个指标的标准化阈值,取第*i*个指标在所有采样点95%百分位的原始值。

2)随干扰越强而指标值越大的指标,标准化方法为:

$$P_{ij}=(\max O_{ij}-O_{ij})/(\max O_{ij}-S_{i5})\times 100 \tag{3}$$

$\max O_{ij}$ 为第*i*个指标在所有采样点中的最大原始值, S_{i5} 为第*i*个指标的标准化阈值,取第*i*个指标在所有采样点5%百分位的原始值。

各采样点的F-IBI值为该点各个指标标准化指数的平均值。

表 3 黑水河 F-IBI 等级划分

Tab.3 Grading of the fish-based index of biotic integrity (F-IBI) for Heishui River		
F-IBI 分值范围	等级	特征
≥ 参照点 25% 分位数	健康(H)	人类干扰甚小或没有;水系完整、开放连通程度高,自然岸线比例高;依地理区系、水域大小和生境特点,所有可能出现的鱼类种类大部分出现,群落结构合理;代表性种类规格正常,优势度较历史状况变化小;形体异常个体及外来物种数量比例低,且不出现外来物种卵苗;水体污染程度较低。
(2/3~1)× 参照点 25% 分位数	一般(F)	水系完整性和开放连通性受到一定程度影响,岸线受到一定程度人为改变及利用;土著鱼类种类占期望出现种类数量比例较高,鱼类数量与历史状况比较发生较大变化;代表性物种规格偏小;形体异常个体数量高于一般水平;外来种个体数量上升但未出现外来物种卵苗;水体污染程度低。
(1/3~2/3)× 参照点 25% 分位数	较差(P)	水系完整性和开放连通性受到较大影响,大量岸线人为改变及利用;土著鱼类种类占期望出现种类数量比例偏低,鱼类数量与历史状况比较发生较大变化;代表性物种规格偏小;形体异常个体数量高于一般水平;外来种个体数量上升,出现部分外来物种卵苗;水体污染程度较高。
(0~1/3)× 参照点 25% 分位数	极差(V)	水系整体破碎化、开放连通性受到显著影响,自然岸线比例低;土著鱼类种类占期望出现鱼类种类数量比例低,代表性物种优势度比历史状况大幅降低;形体异常个体出现较多;外来种个体数量多,出现较多外来物种卵苗;水体污染程度高。
0	无鱼(N)	人类干扰强度大,水环境恶劣,重复采样,没有发现鱼类。

1.3 ABC 曲线分析验证

根据丰度生物量比较曲线(abundance biomass comparison curve,简称 ABC 曲线)(Warwick,1986;杨志等,2017;徐姗楠等,2020)中生物量和丰度的 K-优势度曲线的波动,分析黑水河鱼类群落受扰动情况。用 W 值表示 ABC 曲线的统计量,公式为:

$$W = \sum_{i=1}^s (B_i - A_i) / [50(S - 1)] \tag{4}$$

式中: S 为鱼类物种数, B_i 和 A_i 分别为曲线中种类序号对应的生物量和丰度的累计百分比。 W 值与鱼类群落受干扰情况的关系如表 4 所示。

表 4 黑水河鱼类 W 统计值与群落结构受干扰的关系

Tab.4 Relationship between the W statistic value and disturbance of fish community structure in Heishui River

条件	受干扰状态
W 为正值时,生物量曲线位于丰度曲线上方	未受干扰
W 值接近于 0 时,两条曲线接近或出现部分相交	中度干扰
W 值为负值时,生物量曲线位于丰度曲线下方	严重干扰

采用软件 SPSS 19.0 进行候选指标分布范围和判别能力的筛选以及 Pearson 相关性分析,采用软件 Microsoft

1.2.5 健康标准的建立 以参照点 F-IBI 总分值的 25%分位数为健康标准进行划分,把小于 F-IBI 总分值的 25%分位数均分为 3 个等份,对重复采样,没有调查到鱼的采样点记为“无鱼”,以此将河流健康状况由低到高划分为“无鱼”“极差”“较差”“一般”和“健康”5 个等级(Karr,1981;裴雪姣等,2010;武晶,2015;朱召军等,2016)(表 3)。

Excel 2019 计算各采样点得分,采用软件 PRIMER 6.0 做 ABC 曲线图,采用软件 Origin 2018 进行图表的绘制。

2 结果与分析

2.1 鱼类种类组成

2018 年 11 月-2019 年 9 月在黑水河共采集到鱼类标本 20 817 尾,120.4 kg,隶属于 4 目 10 科 33 属 45(亚)种,长江上游特有鱼类 11 种,入侵物种 2 种(表 5)。其中鲤形目鱼类种类最多,3 科 24 属 31 种,占总种数的 68.9%;鲇形目次之,4 科 6 属 10 种,占 22.22%;鲈形目 2 科 2 属 3 种,占 6.67%;合鳃鱼目 1 科 1 属 1 种,占 2.22%。

2.2 指标筛选与确立

通过对黑水河 27 个候选指标分布范围的筛选,将 I6、I7、I8、I10、I13、I14、I17、I24、I26 等 9 个指标从候选指标中删除。其余指标进行判别能力筛选,其中 I2、I3、I9、I11、I12、I15、I18、I19、I20、I21、I22、I27 等 12 个指标在观测点和参照点具有显著差异,满足筛选要求进入下一轮筛选(图 2)。对这 12 个指标进行 Pearson 相关性分析检验(表 6),将 I3、I9、I20、I21 等 4 个指标从候选指标中删除。最终确定隶属于 5 个项目层的 8 个指标作为黑水河河流健康评价体系的评价指标(表 7)。

表 5 黑水河鱼类组成

Tab.5 Fish species composition in Heishui River

目	科	(亚)种	拉丁名	耐受性	栖息水层	习性	食性	产卵类型
鲤形目	鳅科	红尾副鳅	<i>Paracobitis varigatus</i>	耐受性	底层	亲流型	杂食性	沉性卵
		短体副鳅★	<i>Paracobitis potanini</i>	耐受性	底层	亲流型	杂食性	沉性卵
		山鳅★	<i>Oreias dabryi</i>	耐受性	底层	亲流型	杂食性	沉性卵
		大桥高原鳅	<i>Triplophysa daqiaoensis</i>	耐受性	底层	亲流型	杂食性	沉性卵
		斯氏高原鳅	<i>Triplophysa stoliczkae</i>	耐受性	底层	亲流型	杂食性	沉性卵
		前鳍高原鳅★	<i>Triplophysa anterodorsalis</i>	耐受性	底层	亲流型	杂食性	沉性卵
		贝氏高原鳅	<i>Triplophysa bleekeri</i>	耐受性	底层	亲流型	杂食性	沉性卵
		西昌高原鳅★	<i>Triplophysa xichangensis</i>	耐受性	底层	亲流型	杂食性	黏性卵
		中华沙鳅	<i>Botia superciliaris</i>	耐受性	底层	亲流型	肉食性	漂流性卵
		长薄鳅★	<i>Leptobotia elongata</i>	耐受性	底层	亲流型	肉食性	漂流性卵
		泥鳅	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	耐受性	底层	广适型	杂食性	黏性卵
		大鳞副泥鳅	<i>Paramisgurnus dabryanus</i>	耐受性	底层	亲流型	杂食性	黏性卵
		宽鳍鱮	<i>Zacco platypus</i>	耐受性	上层	亲流型	杂食性	沉性卵
鲤形目	鲤科	赤眼鲮	<i>Squaliobarbus curriculus</i>	耐受性	中上层	广适型	杂食性	漂浮性卵
		中华鲮	<i>Rhodeus sinensis</i>	耐受性	底层	亲流型	杂食性	黏性卵
		鲮	<i>Hemiculter leucisculus</i>	耐受性	中上层	广适型	杂食性	黏性卵
		麦穗鱼	<i>Pseudorasbora parva</i>	敏感性	中上层	静水型	杂食性	黏性卵
		棒花鱼	<i>Abbottina rivularis</i>	敏感性	底层	亲流型	肉食性	沉性卵
		蛇鮈	<i>Saurogobio dabryi</i>	敏感性	中下层	亲流型	杂食性	漂流性卵
		裸体异鳃鮈★	<i>Xenophysogobio nudicorpa</i>	敏感性	底层	亲流型	肉食性	漂流性卵
		鲈鲤★	<i>Percocypris pingi</i>	敏感性	中上层	亲流型	肉食性	沉性卵
		白甲鱼	<i>Onychostoma sima</i>	敏感性	底层	亲流型	植食性	黏性卵
		泉水鱼	<i>Pseudogyrinocheilus procheilus</i>	敏感性	中下层	亲流型	杂食性	沉性卵
		云南盘鮈	<i>Discogobio yunnanensis</i>	敏感性	底层	亲流型	杂食性	沉性卵
		短须裂腹鱼★	<i>Schizothorax wangchiachii</i>	敏感性	底层	亲流型	植食性	沉性卵
		齐口裂腹鱼★	<i>Schizothorax prenanti</i>	敏感性	底层	亲流型	植食性	沉性卵
鲇形目	平鳍鳅科	鲫	<i>Carassius auratus</i>	耐受性	底层	广适型	杂食性	黏性卵
		锦鲫*	<i>Carassius auratus</i>	耐受性	底层	广适型	杂食性	黏性卵
		犁头鳅	<i>Lepturichthys fimbriata</i>	敏感性	底层	亲流型	植食性	漂流性卵
		中华金沙鳅★	<i>Jinshaia sinensis</i>	敏感性	底层	亲流型	植食性	漂流性卵
		四川爬岩鳅★	<i>Beaufortia szechuanensis</i>	敏感性	底层	亲流型	植食性	漂流性卵
	鲇科	鲇	<i>Silurus asotus</i>	耐受性	中下层	广适型	肉食性	黏性卵
		黄颡鱼	<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	耐受性	底层	亲流型	杂食性	黏性卵
		瓦氏黄颡鱼	<i>Pelteobagrus vachelli</i>	耐受性	底层	亲流型	杂食性	黏性卵
		光泽黄颡鱼	<i>Pelteobagrus nitidus</i>	耐受性	底层	亲流型	杂食性	黏性卵
	鲿科	粗唇鲿	<i>Leiocassis crassilabris</i>	耐受性	底层	亲流型	杂食性	黏性卵
		细体拟鲿	<i>Pseudobagrus pratti</i>	耐受性	底层	亲流型	杂食性	黏性卵
		凹尾拟鲿	<i>Pseudobagrus emarginatus</i>	耐受性	底层	亲流型	杂食性	黏性卵
		切尾拟鲿	<i>Pseudobagrus truncatus</i>	耐受性	底层	亲流型	杂食性	黏性卵
	钝头鲿科	白缘鲿	<i>Liobagrus marginatus</i>	敏感性	底层	亲流型	肉食性	沉性卵
	鮡科	中华纹胸鮡	<i>Glyptothorax sinense</i>	耐受性	底层	亲流型	杂食性	沉性卵
合鳃鱼目	合鳃鱼科	黄鳝	<i>Monopterus albus</i>	耐受性	穴居	广适型	肉食性	沉性卵
鲈形目	鰕虎鱼科	子陵塘鰕虎鱼	<i>Ctenogobius giurinus</i>	敏感性	底层	广适型	肉食性	沉性卵
		褐栉鰕虎鱼	<i>Ctenogobius brunneus</i>	敏感性	底层	广适型	肉食性	沉性卵
	慈鲷科	尼罗罗非鱼*	<i>Oreochromis niloticus</i>	耐受性	中下层	广适型	杂食性	沉性卵

注:★-长江上游特有鱼类;*-入侵物种。

Note: ★ - endemic fish species in the upper Yangtze River; *- invasive species.

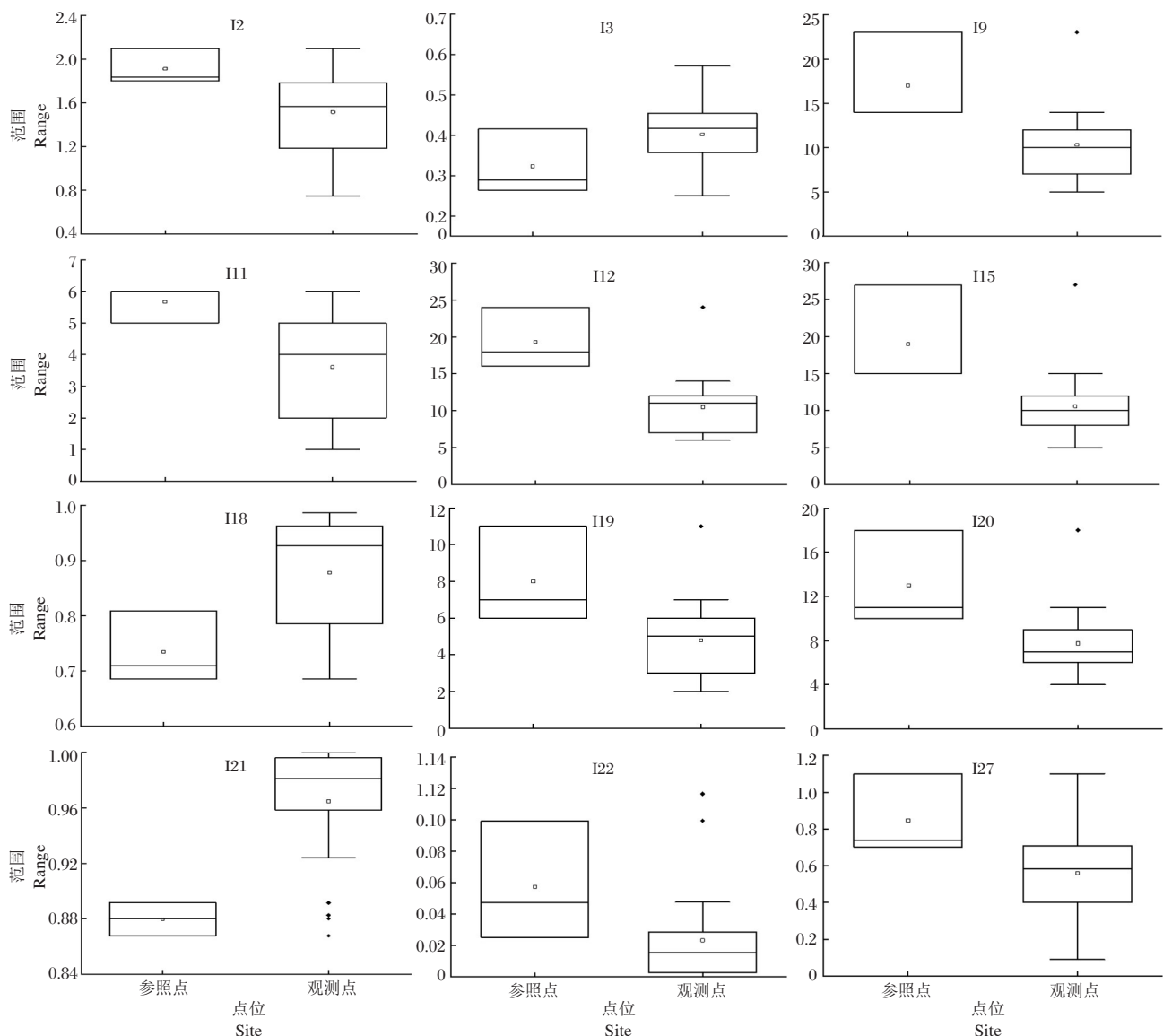


图 2 黑水河 12 个 F-IBI 候选指标在参照点和观测点的箱体

Fig.2 Box-plots showing twelve candidate indices for the fish-based index of biotic integrity evaluation system between reference sites and observation sites in Heishui River

表 6 黑水河 12 个 F-IBI 候选指标相关性分析

Tab.6 Correlation analysis among twelve candidate indices for fish-based index of biotic integrity (F-IBI) evaluation system for Heishui River

指标	I2	I3	I9	I11	I12	I15	I18	I19	I20	I21	I22	I27
I2	1											
I3	-0.399	1										
I9	0.723**	-0.245	1									
I11	0.666**	-0.259	0.811**	1								
I12	0.731**	-0.241	0.763**	0.784**	1							
I15	0.745**	-0.271	0.965**	0.742**	0.777**	1						
I18	-0.693**	0.199	-0.459*	-0.253	-0.502*	-0.563**	1					
I19	0.596**	-0.035	0.714**	0.707**	0.852**	0.752**	-0.454*	1				
I20	0.703**	-0.268	0.739**	0.683**	0.749**	0.776**	-0.542**	0.926**	1			
I21	-0.615**	0.267	-0.686**	-0.494*	-0.687**	-0.700**	0.469*	-0.537**	-0.703**	1		
I22	0.571**	-0.208	0.653**	0.484*	0.625**	0.639**	-0.346	0.508*	0.653**	-0.968**	1	
I27	-0.165	0.959*	0.418*	0.185	0.378	0.347	0.025	0.559**	0.395	-0.242	0.246	1

注: **表示 $P<0.01$, *表示 $P<0.05$ 。
Note: **denotes an extremely significant difference $P<0.01$, * denotes a significant difference $P<0.05$.

表 7 黑水河 F-IBI 评价指标

Tab.7 Indices of fish-based index of biotic integrity (F-IBI) evaluation system for Heishui River

项目层	指标层(指标代码)	对干扰的响应
种类组成与丰度	Shannon-Wiener 多样性指数(I2)	↓
	特有鱼类物种数(I11)	↓
	亲流型鱼类物种数(I12)	↓
	土著鱼类物种数(I15)	↓
营养结构	杂食性鱼类数量比例(I18)	↑
耐受性	敏感性鱼类物种数(I19)	↓
繁殖共位群	产黏性卵鱼类数量比例(I22)	↑
鱼类数量与健康状况	单位努力捕捞量/kg(I27)	↓

注:↑表示随干扰增强,该指标上升;↓表示随干扰增强,该指标下降。

Note: ↑ indicates that as interference increases, the indicator increases; ↓ indicates that as interference increases, the indicator decreases.

2.3 评分与评价

将筛选出的8个指标分别采用1、3、5赋值法和比

值法计算各指标评分标准(表8、表9)。用表8、表9的评分标准计算各采样点得分,2种方法参照点F-IBI总分值的25%分位数分别为42、67.97,黑水河F-IBI评价标准见表10。

运用F-IBI评价黑水河23个采样点健康状况的结果如表11所示。1、3、5赋值法评价结果显示,黑水河23个采样点中10个为“较差”,8个为“一般”,5个为“健康”;比值法评价结果显示,5个为“较差”,15个为“一般”,3个为“健康”。2种方法都无采样点为“无鱼”和“极差”水平(表11)。黑水河大部分采样点的健康状况处于“较差”和“一般”的水平。另外,1、3、5赋值法健康状况为“较差”采样点所占的比例高于“健康”“一般”采样点所占比例;比值法健康状况为“一般”采样点所占的比例高于“健康”“较差”采样点所占比例(图3)。总体来看,越接近黑水河下游,F-IBI值越高(图4)。

表 8 1、3、5 赋值法各指标的评分计算

Tab.8 Calculation method of the F-IBI metrics by the 1, 3, 5 assignment method

指标(指标代码)	最小值	最大值	赋值标准			对干扰的响应
			1	3	5	
Shannon-Wiener 多样性指数(I2)	0.75	2.1	<1.20	1.20~1.65	>1.65	↓
特有鱼类物种数(I11)	1	6	<2.67	2.67~4.33	>4.33	↓
亲流型鱼类物种数(I12)	6	24	<12	12~18	>18	↓
土著鱼类物种数(I15)	5	27	<12.33	12.33~19.67	>19.67	↓
杂食性鱼类数量比例(I18)	0.69	0.99	>0.89	0.79~0.89	<0.79	↑
敏感性鱼类物种数(I19)	2	11	<5	5~8	>8	↓
产黏性卵鱼类数量比例(I22)	0	0.12	>0.08	0.04~0.08	<0.04	↑
单位努力捕捞量/kg(I27)	0.09	1.1	<0.43	0.43~0.76	>0.76	↓

注:↑表示随干扰增强,该指标上升;↓表示随干扰增强,该指标下降。

Note: ↑ indicates that the index increases with increase in interference; ↓ indicates that the index decreases with increase of interference.

表 9 比值法各指标的评分计算

Tab.9 Calculation of the F-IBI indices by the ratio method

指标(指标代码)	5%分位数	25%分位数	95%分位数	最大值	计算公式
Shannon-Wiener 多样性指数(I2)	0.81	1.08	2.03	2.1	$I2/2.03 \times 100$
特有鱼类物种数(I11)	1.25	2.25	5.75	6	$I11/5.75 \times 100$
亲流型鱼类物种数(I12)	6.9	10.5	23.1	24	$I12/23.10 \times 100$
土著鱼类物种数(I15)	6.1	10.5	25.9	27	$I15/25.9 \times 100$
杂食性鱼类数量比例(I18)	0.70	0.76	0.97	0.99	$(0.99-I18)/(0.99-0.70) \times 100$
敏感性鱼类物种数(I19)	2.45	4.25	10.55	11	$I19/10.55 \times 100$
产黏性卵鱼类数量比例(I22)	0.01	0.03	0.11	0.12	$(0.12-I22)/(0.12-0.01) \times 100$
单位努力捕捞量/kg(I27)	0.14	0.34	1.05	1.1	$I27/1.05 \times 100$

表 10 黑水河 F-IBI 评价标准

Tab.10 Assessment criteria for the F-IBI evaluation system for Heishui River

评分方法	无鱼(N)	极差(V)	较差(P)	一般(F)	健康(H)
1、3、5赋值法	0	(0~14]	(14~28]	(28~42)	≥42
比值法	0	(0~22.66]	(22.66~45.31]	(45.31~67.97)	≥67.97

表 11 黑水河各采样点 F-IBI 得分及健康评价结果
Tab.11 F-IBI scores and health evaluation results
for each sampling site in Heishui River

采样点(代码)	赋值法 F-IBI 值	比值法 F-IBI 值	赋值法 健康等级	比值法 健康等级
则木河(S1)	21	39.34	较差	较差
西洛河(S2)	21	38.08	较差	较差
苏家湾坝上(S3)	27	52.42	较差	一般
苏家湾坝下(S4)	21	39.15	较差	较差
公德房坝上(S5)	21	45.41	较差	一般
公德房坝下(S6)	21	43.03	较差	较差
公德房厂房下(S7)	24	48.37	较差	一般
松新坝下(S8)	39	62.6	一般	一般
幸福养猪场(S9)	27	53.01	较差	一般
龙洞河(S10)	36	62.26	一般	一般
三叉河(S11)	36	60.7	一般	一般
松新厂房下(S12)	33	48.01	一般	一般
老木河坝上(S13)	42	64.13	健康	一般
老木河坝下(S14)	36	60.46	一般	一般
老木河尾水(S15)	24	49.57	较差	一般
老木河厂房下(S16)	30	53.68	一般	一般
825回水点(S17)	42	68.27	健康	健康
俱乐河(S18)	24	44.11	较差	较差
水文站上游(S19)	42	67.67	健康	一般
765回水点(S20)	45	71.38	健康	健康
野碧河口(S21)	30	56.04	一般	一般
野碧河(S22)	30	50.13	一般	一般
黑水河河口(S23)	54	93.21	健康	健康

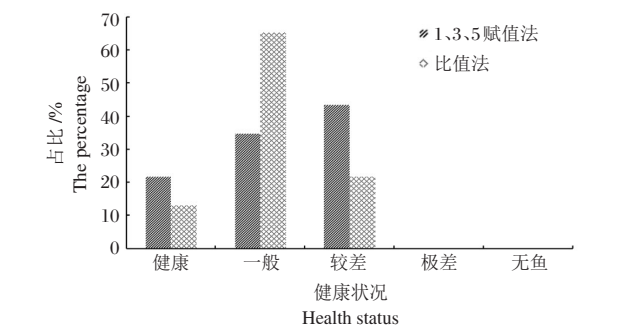


图 3 黑水河不同健康状况采样点所占比例
Fig.3 Percentage of sampling sites of different
health status in Heishui River

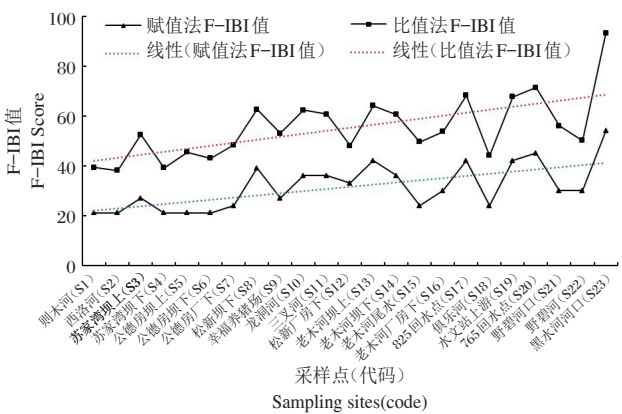


图 4 黑水河 23 个采样点的 F-IBI 值
Fig.4 F-IBI values of the twenty-three
sampling sites in Heishui River

2.4 F-IBI 分值与环境因子的相关性

Pearson 相关性分析显示,1,3、5 赋值法和比值法的 F-IBI 分值与海拔均呈显著负相关($P<0.01$)(表 12)。

2.5 ABC 曲线评价

ABC 曲线如图 5 所示,丰度和生物量曲线出现一定程度的相交,且 W 值接近 0,根据鱼类 W 值与群落受干扰的关系(表 4),表明黑水河鱼类群落处于中度干扰状态。

3 讨论

3.1 F-IBI 评价体系的构建

参照点是评价河流健康状况的标准,是指没有受人类活动影响或影响较小的采样点(Hughes et al, 1986)。目前,我国河流除了一些国家自然保护区的

中心地带可能没有受到人为因素影响外,大部分河流生态系统均存在一定程度的干扰和破坏(黄亮亮等,2013)。因此,在实际应用中,通常选取历史数据和受人类活动影响较小的采样点作为参照点(朱迪和常剑波,2004)。黑水河历史研究较少,通过文献调研发现仅开展过黑水河部分河段的鱼类资源调查,未见对黑水河全流域鱼类组成和分布的研究报道(孙嘉宁,2013;张雄等,2014;傅菁菁等,2016;杨志等,2017;宋一清等,2018)。因此在本研究中,根据调查结果选取受人类活动影响较小、水生生物较丰富、生境相对复杂的黑水河河口、水文站上游、825 回水点等 3 个采样点作为参照点。本研究通过对初步选取的 27 个候选指标进行分布范围、判别能力及 Pearson 相关性

表 12 黑水河环境因子与 F-IBI 之间的相关性系数
Tab.12 Correlation coefficients between environmental factors and F-IBI values in Heishui River

评分方法	水温	溶解氧	海拔	河深	透明度	流速	pH	河宽	总溶解固体	电导率
1,3,5 赋值法	-0.073	-0.126	-0.626**	0.117	-0.010	0.247	0.031	0.103	0.404	0.397
比值法	-0.035	-0.120	-0.623**	0.183	-0.041	0.180	-0.014	0.184	0.396	0.380

注:**表示 $P<0.01$ 。
Note: ** denotes an extremely significant difference $P<0.01$.

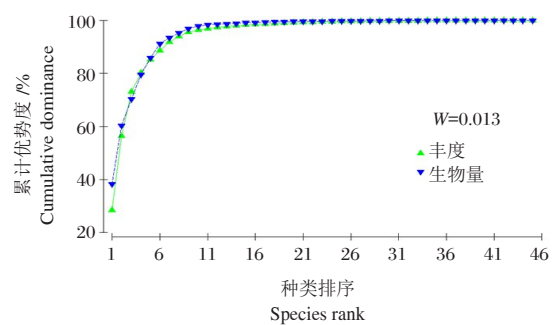


图5 黑水河鱼类的ABC曲线以及W统计值

Fig.5 Abundance biomass comparison (ABC) curve and W values of the fish community in Heishui River

分析筛选,最终确定隶属于5个项目层的Shannon–Wiener多样性指数、特有鱼类物种数、亲流型鱼类物种数、土著鱼类物种数、杂食性鱼类数量比例、敏感性鱼类物种数、产黏性卵鱼类数量比例、单位努力捕捞量等8个指标作为黑水河河流健康评价指标,构建的F-IBI指标评价体系可以从5个不同的层面来综合反映黑水河鱼类生物完整性变化。有研究表明,天然河流生态系统中,亲流型、敏感性和土著鱼类对水体污染、过度捕捞、电站建设以及河道采砂等人类活动影响十分敏感,受到这些因素干扰时,属于此类型鱼类的生存、繁殖以及鱼类群落结构将受到严重影响,与此相关的指标将严重下降(郜星晨等,2015;谭巧,2017;孟新翔等,2019)。故本研究构建的F-IBI指标评价体系可以相对准确地评估黑水河河流生态系统的健康状况。

3.2 不同评分方法的比较

目前,在应用F-IBI评价河流健康的研究中,没有统一的评分方法,常用的评分方法有1、3、5赋值法、比值法、连续赋值法、3分法、4分法等(徐姗姗等,2020)。本研究采用使用较多的1、3、5赋值法和比值法2种评分方法来计算黑水河各采样点F-IBI值。2种方法评价结果显示,16个采样点的评价结果相一致,其中“健康”3个,“一般”8个,“较差”5个。比值法评价结果主要为“一般”,较少出现“健康”和“较差”,1、3、5赋值法的评价结果比比值法的“健康”和“较差”出现得多,表明1、3、5赋值法和比值法的评价结果不完全一致。分析认为出现差异的原因在于评分标准的确定方式不同,1、3、5赋值法是依据各指标在各采样点的分布范围,从最小值到最大值进行三等分,划分为3个等级,由低到高分别记1、3、5分,采样点各个指标的得分累计即为该采样点F-IBI分值(Karr,1981),F-IBI分值之间连续性较弱,间隔较大,不同等级之间划分相对明显(谭巧,2017);比值法是根据指标在某采样点的原始值和该指标在所有采样

点5%和95%百分位原始值,计算采样点各指标的标准化指数,各个指标标准化指数的平均值即为该采样点F-IBI值,比值法F-IBI分值之间连续性较强,间隔较小,等级划分更细致,等级差异相对不明显(裴雪皎等,2010)。从评价结果来分析,1、3、5赋值法和比值法所得F-IBI值之间呈显著正相关($P<0.01$),所以,2种方法表现黑水河各采样点的健康状况水平变化趋势大致相同,且2种方法健康状况为“较差”“一般”和“健康”的采样点相同率较高(达69.57%),表明2种方法都能反映出黑水河河流健康状况,且两者间并不矛盾,只是比值法在评价等级划分上更细致,评价结果更精确,但1、3、5赋值法应用得较多,因为等级差异明显,可以很清楚地区分不同河段的健康状况(武晶,2015)。

3.3 应用F-IBI评价黑水河河流生态系统健康状况

采用F-IBI评价河流生态系统的健康水平,可以衡量人类活动对河流各方面的综合影响情况,F-IBI分值与人类活动影响强度密切相关,人类影响越大,F-IBI分值越低(朱迪和常剑波,2004;郑海涛,2006)。本研究结果显示,F-IBI分值较低的采样点大都分布在受人类影响较大的中上游河段,如西洛河、苏家湾坝下和公德房坝下,西洛河旁边是采砂场,河道受到严重破坏,鱼类组成简单;苏家湾坝下和公德房坝下为减水河段,减水河段对河流生境破坏较大,流量和有效栖息地面积相对其他河段较小,所以这2个采样点健康程度较低。F-IBI分值较高的采样点如黑水河下游的黑水河河口、水文站上游和825回水点,都离人类居住区较远,受人类活动影响较小,且两岸植被较多,水草较茂盛,生境较多样化,鱼类资源相对丰富,此处所采集到的鱼类样本也较多,所以这3个采样点F-IBI分值较高。评价结果表明,黑水河大部分采样点的健康状况处于“较差”和“一般”的水平。杨志等(2017)认为黑水河下游渔获物结构处于严重干扰状态,而本研究ABC曲线分析结果表明,黑水河处于中度干扰状态。原因可能是从2014年到2018年,黑水河老木河电站大坝拆除、松新电站以下河道连通及生境修复工程建设等一系列措施让黑水河的生态得到了一定的恢复。

3.4 黑水河河流生态系统保护建议

由于近年来过度捕捞、梯级电站建设以及采砂等人类活动,黑水河鱼类小型化加剧,鱼类资源呈下降趋势(孙嘉宁,2013;张雄等,2014;傅菁菁等,2016;杨志等,2017;宋一清等,2018)。黑水河是白鹤滩库区鱼类的重要替代生境和优先保护支流,随着2020年白鹤滩开始蓄水,黑水河下游鱼类栖息生境将发生剧烈改变,当地的鱼类生物完整性将受到严重影响(孙嘉宁,2013;杨志等,2017;宋一清等,2018)。结合本研究F-IBI评价结果、

ABC 曲线分析以及相关历史文献资料(张雄等,2014;傅菁菁等,2016;宋一清等,2018),提出以下保护对策:(1)加强渔政管理,规范河道砂石的开采,禁止在鱼类产卵场分布河段采砂。(2)开展相关鱼类增殖放流,一定程度弥补蓄水对珍稀特有鱼类的不利影响。(3)建议将黑水河中下游设为鱼类繁殖保护区,有效保护长江上游特有鱼类种质资源。(4)对黑水河减水河段采取疏槽增加水深及改善底质等手段修复生境。(5)在黑水河鱼类主要繁殖季节(11月—5月)开展生态调度,促进鱼类繁殖。(6)建设松新、公德房、苏家湾电站的过鱼设施,恢复河道连通性。

参考文献

- 陈宜瑜,1998. 中国动物志:硬骨鱼纲:鲤形目(中卷)[M]. 北京:科学出版社:19-547.
- 褚新洛,陈银瑞,1989. 云南鱼类志:上册[M]. 北京:科学出版社:11-353.
- 褚新洛,陈银瑞,1990. 云南鱼类志:下册[M]. 北京:科学出版社:12-257.
- 丁瑞华,1994. 四川鱼类志[M]. 成都:四川科学技术出版社:27-536.
- 傅菁菁,黄滨,芮建良,等,2016. 生境模拟法在黑水河鱼类栖息地保护中的应用[J]. 水生态学杂志,37(3):70-75.
- 黄亮亮,吴志强,蒋科,等,2013. 东苕溪鱼类生物完整性评价河流健康体系的构建与应用[J]. 中国环境科学,33(7):1280-1289.
- 郜星辰,章群,韩博平,等,2015. 基于鱼类生物完整性指数的广东鉴江流域环境质量评估[J]. 湖泊科学,27(4):679-685.
- 刘猛,渠晓东,彭文启,等,2016. 浑太河流域鱼类生物完整性指数构建与应用[J]. 环境科学研究,29(3):343-352.
- 孟新翔,王晶,张崇良,等,2019. 黄河口渔业资源底拖网调查采样断面数对资源量指数估计的影响[J]. 水产学报,43(6):1507-1517.
- 裴雪姣,牛翠娟,高欣,等,2010. 应用鱼类完整性评价体系评价辽河流域健康[J]. 生态学报,30(21):5736-5746.
- 孙嘉宁,2013. 白鹤滩水库回水支流黑水河的鱼类生境模拟研究[D]. 杭州:浙江大学:3-69.
- 宋一清,成必新,胡伟,2018. 黑水河鱼类优先保护次序的定量分析[J]. 水生态学杂志,39(6):65-72.
- 谭巧,2017. 嘉陵江下游鱼类群落与环境因子的关系及生物完整性评价[D]. 重庆:西南大学:45-63.
- 武昌,2015. 应用鱼类完整性指数(F-IBI)评价小清河健康状况[D]. 济南:山东大学:1-40.
- 徐姗楠,郭建忠,陈作志,等,2020. 胶州湾鱼类生物量粒径谱特征[J]. 水产学报,44(4):596-605.
- 杨志,龚云,董纯,等,2017. 黑水河下游鱼类资源现状及其保护措施[J]. 长江流域资源与环境,26(6):847-855.
- 郑海涛,2006. 怒江中上游鱼类生物完整性评价[D]. 武汉:华中农业大学:1-36.
- 朱迪,常剑波,2004. 长江中游浅水湖泊生物完整性时空变化[J]. 生态学报,24(12):2761-2767.
- 张雄,刘飞,林鹏程,等,2014. 金沙江下游鱼类栖息地评估和保护优先级研究[J]. 长江流域资源与环境,23(4):496-503.
- 朱召军,吴志强,黄亮亮,等,2016. 漓江上游基于鱼类生物完整性指数的河流健康评价体系构建与应用[J]. 桂林理工大学学报,36(3):533-538.
- Barbour M T, Gerritsen J, Griffith G E, et al, 1996. A framework for biological criteria for Florida streams using Benthic Macro-invertebrates[J]. Journal of the North American Benthological Society, 15(2):185-211.
- Blocksom K A, Kurtenbach J P, Klemm D J, et al, 2002. Development and Evaluation of the Lake Macroinvertebrate Integrity Index (LMII) for New Jersey Lakes and Reservoirs[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 77(3):311-333.
- Harris J H, 1995. The use of fish in ecological assessments[J]. Aust Ecol, 20(1):65-80.
- Hughes R M, Larsen D P, Omernik J M, 1986. Regional reference sites: a method for assessing stream potentials[J]. Environmental Management, 10(5):629-635.
- Karr J R, 1981. Assessment of Biotic Integrity Using Fish Communities[J]. Fisheries, 6(6):21-27.
- Luo K, Hu X B, He Q, et al, 2018. Impacts of rapid urbanization on the water quality and macroinvertebrate communities of streams: A case study in Liangjiang New Area, China[J]. The Science of the Total Environment, 621(10):1601-1614.
- Moyle P B, Randall P J, 1998. Evaluating the Biotic Integrity of Watersheds in the Sierra Nevada, California[J]. Conservation Biology, 12(6):1318-1326.
- Novotny V, Bartosová A, O'Reilly N, et al, 2005. Unlocking the relationship of biotic integrity of impaired waters to anthropogenic stresses[J]. Water Research, 39(1):184-198.
- Pinto U, Maheshwari B L, Ollerton R L, 2013. Analysis of long-term water quality for effective river health monitoring in peri-urban landscapes: a case study of the Hawkesbury-Nepean river system in NSW, Australia[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 185(6):4551-4569.
- Trautwein C, Schinegger R, Schmutz S, 2012. Cumulative effects of land use on fish metrics in different types of running waters in Austria[J]. Aquatic Sciences, 74(2):329-341.
- Warwick R M, 1986. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities[J]. Marine Biology, 92(4):557-562.
- Zhao Y W, Yang Z F, 2009. Integrative fuzzy hierarchical model for river health assessment: A case study of Yong River in Ningbo City, China[J]. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 14(4):1729-1736.

River Health Assessment of Heishui River Using the
Fish-based Index of Biotic Integrity

LI Wen^{1,2}, TENG Hang^{1,3}, TIAN Hui-wu¹, DENG Hua-tang¹, CHENG Bi-xin⁴,
YANG Shao-rong⁵, LIU Shao-ping¹, CHEN Da-qing¹, DUAN Xin-bin¹

- (1. Fishery Resources and Environmental Science Experimental Station of The Upper-Middle Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Wuhan 430223, P.R. China;
- 2. College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, P.R. China;
- 3. School of Life Science, Southwest University, Chongqing 400715, P.R. China;
- 4. Shanghai Investigation, Design and Research Institute Co. Ltd, Shanghai 200434, P.R. China;
- 5. China Three Gorges Construction Engineering Corporation, Chengdu 610041, P.R. China)

Abstract: Heishui River is a tributary of the lower Jinsha River, and an important alternative habitat and priority protection tributary for the fish community in the mainstream of Baihetan reservoir. In this study, we constructed a fish-based index of biotic integrity (F-IBI) evaluation system for the Heishui River. The biological integrity of the fish community was then analyzed and the ecological health of Heishui River was evaluated. Our aim was to provide data to support sustainable management and habitat restoration of the fishery resource in Heishui River. Construction of the F-IBI was based on fish resource surveys conducted at 23 sampling sites in Heishui River from November 2018 to September 2019. Fish samples were collected using gill nets and cages, and all the fish collected were classified in situ. A total of 45 fish species from 33 genera, 10 families and 4 orders were identified. Fishery survey data at the Heishui River estuary, upstream of the hydrometric station, and the 825 backwater point was used as the reference point. Eight of the 27 candidate metrics were selected to establish the evaluation system using distribution range analysis, discriminatory power analysis and Pearson’s correlation analysis. The F-IBI value of each sampling site in Heishui River was calculated in two ways, using a ranked scale of 1, 3 and 5, and the ratio method. Five grades of ecological health were set based on the F-IBI values: (1) no fish, (2) very poor, (3) poor, (4) fair and (5) healthy. While the ecological health of sampling sites was higher with the ratio method, the trend was consistent. The health status of most sampling sites in Heishui River was poor or fair. Pearson correlation analysis shows that F-IBI values were significantly negatively correlated with altitude ($P < 0.01$). The abundance-biomass comparison (ABC) curve shows that the fish community structure in Heishui River was moderately disturbed. The assessment was consistent with the actual situation of river drainage and provides a scientific basis for environmental protection and health monitoring of Heishui River.

Key words: fish biotic integrity index; river health; Heishui River